

가시광선을 이용한 돈분뇨 액비 부숙도 측정장치 개발에 관한 연구

최동윤 · 곽정훈 · 박규현 · 송준익 · 김재환 · 강희설 · 한창배* · 최성원** · 이창석**
농촌진흥청 국립축산과학원

Study on the Development of Measuring System for Fermentation Degree of Liquid Swine Manure Using Visible Ray

Choi, D. Y., Kwag, J. H., Park, K. H., Song, J. I., Kim, J. H., Kang, H. S.,
Han, C. B.,* Choi, S. W.** and Lee, C. S.**

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, 441-706, Korea

Summary

This study was conducted to develop an measuring system and method for fermentation degree of liquid swine manure by visible ray. The constituent changes of liquid swine manure were examined. pH gradually increased with time, but EC gradually decreased. Malodor strength decreased gradually with aeration treatment with time. Control needed more time to decrease malodor strength than aeration treatment. In aeration treatment, there was no germination of seeds (radish, chinese cabbage) up to 6 weeks and germination rate at 15th week was over 50%. However, in control, there was no germination up to end of experiment. Circular chromatography method showed that there was change after 10th week in aeration treatment but there was no change up to end of experiment in control. As a result, the fermentation degree of liquid swine manure would have relations among pH, EC, germination rate, malodor concentration, and reaction of circular chromatography. The simple analytical instrument for liquid swine manure consisted of a tungsten halogen and deuterium lamp for light source, a sample holder, a quartz cell, spectrometer for spectrum analyzer, a malodour measuring device, a software, etc. Results showed that the simple analytical instrument that was developed can approximately predict the fermentation degree of liquid swine manure by visible ray. Generally, the experiment proved that the simple analytical instrument was reliable, feasible and practical for analyzing the fermentation degree of liquid swine manure.

(Key words : Swine, Liquid manure, Fermentation, Measuring system)

* 금보육종 (Gumbo Genetics Inc.)

** 코리아스펙트랄프로덕츠(주) (Korea Spectral Products, Inc.)

Corresponding author : Choi, D. Y. Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, R.D.A. 77 Chuksangil, Suwon, Korea.

Tel : 031-290-1715, E-mail : cdy5760@rda.go.kr

2010년 9월 13일 투고, 2010년 11월 15일 심사완료, 2010년 11월 20일 게재확정

서 론

가축분뇨 액비는 작물에 필요한 다량 및 미량의 영양소를 가장 값싸게 공급시켜 줌과 동시에 분뇨 중의 유기성분과 무기성분이 가장 이상적으로 균형있게 조성되어 있으며, 그 성분조성과 농도가 작물 생육에 가장 적당하기 때문에 작물재배에 있어 높은 이용효과를 보는 것으로 보고되고 있다(농식품부, 2000). 또한 가축분뇨는 식물의 영양소인 비료성분이 풍부하기 때문에 이를 적절한 방법으로 처리하고 이용하면 토양의 물리화학적 성질 및 미생물상이 개선되어 토양개량을 위한 귀중한 자원이 된다(Sommerfelt, et al., 1986). 이미 서구 여러나라에서는 가축분뇨 처리의 편리성 때문에 가축의 배설물을 액상분뇨화하여 토양에 환원시키는 방법을 주로 이용하고 있으나, 가축분뇨는 유기물과 영양염류의 함량이 높기 때문에 제대로 사용하지 않으면 환경문제를 유발한다(신동은, 1999). 우리나라는 외국과 다른 기후 풍토를 가지고 있기 때문에 가축분뇨를 환경 친화적이고 효율적으로 이용하기 위해서는 토양, 작물, 환경 등의 관계를 정확하게 조사하여야 한다. 그러나 우리나라에서는 액비 이용시 환경과 관련하여 정확한 검증이 이루어지지 않고 있어서 가축분뇨 처리와 이용에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다(임영철, 2008). 액상분뇨(Liquid manure)는 퇴비보다 비료효과가 속효성이며, 화학비료 대비 약 75~100%의 비효를 나타낼 수 있다고 하나(농촌진흥청, 2002), 가축분뇨를 액상분뇨로 경종농가에 살포할 때 지역별로 액상분뇨화 저장탱크의 설치가 필요하고, 액상분뇨 살포시 악취로 인한 민원사례가 있는 등 문제가 있다(신동은, 1999). 또한 액상분뇨의 과다사용으로 토양 중에 유입된 무기질소 중 질산태질소가 용탈되어 경제적 손실과 지하수 오염을 유발시키기도 한다(Webster and Dowdell, 1985). 따라서 이와

같은 문제점을 해결하고 액비를 적절하게 이용하기 위해서는 부숙여부가 중요한 판단기준이 될 수 있다. 부숙은 유기질자재를 토양에 시용하여도 작물에 생육장해를 일으키지 않고, 토양미생물에 활동에너지를 충분히 공급하여 지력을 유지하고 작물의 생산성을 최고로 높일 수 있는 유기성분 조성을 가지는 것이라고 정의하고 있다(原田와 山口, 1997). 액상분뇨를 발효시켜 부숙을 촉진시키는 것은 미생물이 잘 활동할 수 있는 조건, 즉, 미생물의 영양원, 압력, 온도 및 적당한 수분을 만족시켜야 하며(佐藤, 1990), 잘 부숙된 액비는 pH가 9 이상으로 악취와 병원균이 소멸한 부식물질이 생산되고 유동성이 좋은 흑갈색 액체로 변화한 것이라고 하였다(押田 등, 1978 ; 柿本, 1983 ; 川野 등, 1976). 본 연구는 액비의 부숙여부 측정을 기존의 물리·생물학적 측정방법과 주관적 판단으로 측정을 하였던 방법에 의하지 않고, 빛을 이용한 액비의 색도분석과 악취농도, 종자발아율 및 부식반응 등의 요인으로 대체하여 부숙 판단시 어려움을 해결하고, 부숙 기준을 객관적이고 정량적인 데이터로 판단하여 가축분뇨 액비를 이용하고자 하는 농가에 신속하게 정보를 제공하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

국립축산과학원내 육성돈사에서 슬러리상태로 배출된 돼지 액상분뇨를 1톤 규모의 PVC 탱크에 동일한 양으로 저장하여, 5월부터 10월까지 6개월 동안 1주일 간격으로 시료를 채취해 분석용 시료로 사용하였다.

2. 시험구 배치

시험구 배치는 폭기처리구와 대조구인 무

처리구로 구분하여 2처리 3반복으로 설치하여 비교 시험을 실시하였다. PVC 탱크 상하 부분에 밸브를 2개씩 설치하여 각각의 처리구마다 상단밸브에서 500 ml, 하단밸브에서 500 ml 총 1,000 ml의 시료를 채취하여 혼합한 후 분석시료로 사용하였다. 폭기처리구에는 브로와를 이용하여 시간당 2.5 m³ 용량의 공기가 공급되도록 처리하였다.

3. 분석내용 및 방법

가. 수소이온농도 (pH)

유리전극은 미리 물에 수 시간 이상 담가둔다. pH meter는 전원을 넣어 5분 이상 경과 후에 쓴다. 검출부는 물로 잘 씻고 부착한 물은 여지 등으로 가볍게 닦아낸다. 온도 보상용 꼭지가 있는 것은 pH 표준액의 온도와 같게 맞추고 검출부를 시료의 pH 값에 가까운 표준액에 담가 2분 이상 된 후 pH meter의 지시가 온도에 있어서의 pH 표준액의 pH 값이 되도록 영점조정용 꼭지를 조절한다. 두 점에서 조절을 한 경우에는 보통 인산염 pH 표준액과 검액의 pH 값에 가까운 pH 표준액을 써서 앞의 조작에 따라 조작한다. 다음에 검출부를 물로 잘 씻고 부착한 물을 여지 등으로 가볍게 닦아낸 다음 검액에 담가 측정값을 읽는다.

나. 전기 전도도 (EC: Electric conductivity)

전기전도도 측정계에 전원을 넣고 시료를 사용하여 셀을 2~3회 씻어준 다음 시료 중에 셀을 잠기게 하여 25 ± 0.5℃를 유지한 상태에서 반복측정하고 그 평균값을 취하여 다음 식에 따라 시료의 전기전도도 값을 산출한다. 다만, 전기전도도 측정계에 자체온도 보상회로와 셀상수 자동설정회로가 내장된 경우에는 제작사의 지침에 따라 온도계수(25℃)와 셀정수를 설정해준 다음 시료의 전기전도도 값을 측정하고 측정계의 지시부에 나

타난 값을 직접 측정결과로 기록한다.

다. 암모니아 (NH₃), 황화수소 (H₂S)

암모니아와 황화수소의 농도측정은 측정대상 가스용 검지관을 준비하고, 검지관의 양쪽 끝을 절단하여 기체 채취기를 이용해서 50 ml나 100 ml에 게이지에 용량을 맞추고, 시료가스를 손잡이 부분에 flow finish창에 완료표시가 될 때 까지 흡인하면 시료가스 중의 측정대상 가스는 검지제와 즉각 반응을 일으켜서 입구 쪽부터 변색한다. 그 변색 층의 끝 부분 눈금을 확인해 농도를 판독한다.

라. 종자발아율

건전한 종자(배추 또는 무)를 100립씩 임의로 추출하여 준비된 Petri dish(습 또는 여과지를 바닥에 깔고 충분한 액비를 공급)에 산포한다. 정확성을 기하기 위하여 3반복 처리하여 발아율 측정 후 평균한다. 종자를 산포한 Petri dish를 20℃에 맞춰진 배양기에 넣고 발아율을 측정한다.

※ 발아율 측정:

$$\text{발아율(\%)} = (\text{발아된 종자수} / \text{전체 종자수}) \times 100$$

마. 부식반응(원형여지크로마토그래피)

퇴·액비의 수산화나트륨 추출액을 초산용 함유한 원형여지에 전개시키면 원형의 크로마토그램이 얻어진다. 크로마토그램은 외부 환상부, 무색 또는 담도색 중앙부 및 중간에 있는 회색 내지 도홍색의 중간부의 세부분으로 분리된다. 외부 환상부 내측에 톱니상의 갈색부분의 출현유무에 의해서 부숙도를 판정한다. 미숙 퇴·액비는 외곽환상의 내측에 톱니상부분의 발현이 전혀 나타나지 않는다. 부숙이 진행됨에 따라 점차로 톱니의 형태가 나타나게 되므로 부숙이 진전된 퇴비에서 확실히 나타난다. 분석방법은 ① 질산은(AgNO₃) 함유 여지의 폭 2 mm 정도를 잘라 흡을 내

고 흡 부분의 여지를 2 cm 정도 잘라낸다. ② 콘웨이 유니트내부(샤레 경과는 시약병 뚜껑)에 2 mm의 침출액을 넣는다. ③ 여지의 흡 부분의 여지를 통하여 내부의 침출액이 스며 들도록 썬우고 난 다음에 다른 하나의 유니 트를 그림과 같이 뒤집어 털어놓는다(통상 20~30분간). ④ 착색부분의 직경이 6 cm 정도로 전개 시키고, 흡의 여지를 제거한다. ⑤ 그대로 상향 콘웨이 유니트로 상에서 건조, 노 광시킨다. ⑥ 크로마토그램의 특징을 관찰한 후 사진으로 촬영보존 순으로 한다.

바. 액비 색도 프로그램 및 분석장치

액비 색도분석을 위한 프로그램으로 그래픽 기반의 객체 지향언어로 자연과학 및 공학 분야에서 다양하게 활용되고 있는 LabVIEW 프로그래밍 언어를 사용하였다. 액비 색도분석을 위하여 가시광선용 실시간 분광계를 제작하고 액비 측정용 셀 홀더와 가시광선-적외선용 광원으로 안정적인 텅스텐-할로겐 광원을 일체형으로 하는 액비 색도분석용 시스템을 제작하여 색도측정에 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 저장기간별 돈분뇨 액비 주요 성분변화

돈분뇨 액비의 저장기간별 pH 변화를 살펴보면, 폭기처리구에서 1주차부터 증가하기

시작하여 6주차가 지나고 나서 큰 변화없이 pH 9 전후를 계속 유지되었다. 반면, 무처리구에서는 꾸준히 증가하여 18주부터는 pH 8.5 전후를 유지하였다. 이와같은 결과는 호기성 조건에서 CO₂ 가스가 액중에 용해되지 못하고 제거되어 pH가 증가된다는 보고(정광용 등, 1998)와 같은 경향을 나타내었다. EC의 변화를 보면, 폭기처리구와 무처리구 모두 저장기간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었으며, 폭기처리구가 무처리구보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서 돈분뇨 액비 저장기간이 경과함에 따라 pH는 증가하고 EC는 낮아졌으며, 액비를 폭기처리하므로서 무처리에 비해 pH는 더 증가하고 EC는 더 낮아지는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과를 볼 때, 돈분뇨 액비는 부숙이 진행됨에 따라 pH는 증가하고 EC는 낮아지게 된다는 것을 알 수 있었다.

저장기간별 돈분뇨 액비의 악취농도 변화를 살펴보면, 암모니아(NH₃)는 폭기처리구에서 초기부터 2주까지는 급격하게 증가하는 모습을 보였으나 3주후부터 서서히 감소하기 시작하여 14주부터는 1 ppm 이하로 나타났으며, 16주후부터는 농도가 거의 측정되지 않았다. 이와 반면에 무처리구에서는 암모니아 농도가 초기에 비하여 2주까지는 감소하는 경향을 나타내었으나, 3주후부터 시험 종료 시까지 15~30 ppm의 농도를 유지하고 있었다. 저장기간별 돈분뇨 액비의 황화수소

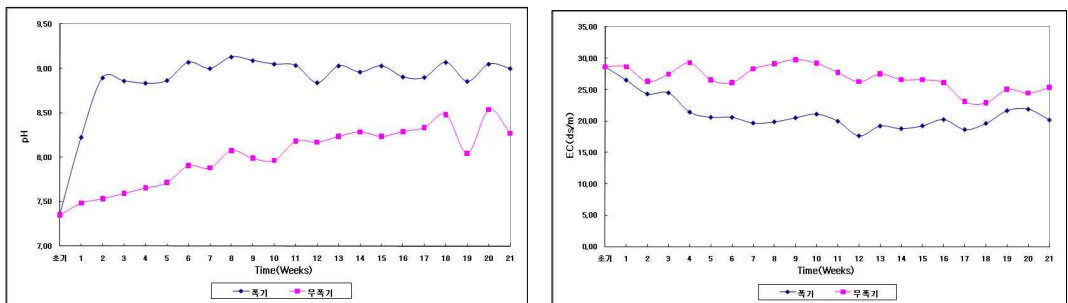


Fig. 1. Changes of pH and EC during experimental period.

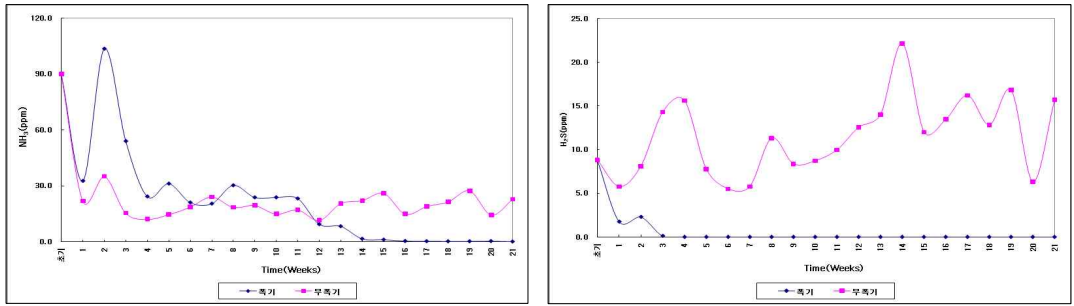


Fig. 2. Changes of NH₃ and H₂S during experimental period.

(H₂S) 농도도 암모니아와 비슷한 경향을 나타내었는데, 폭기처리구에서는 2주까지는 급격히 감소하면서 3주후부터는 측정되지 않았으나, 무처리구에서는 초기에 감소하는 경향을 보이다가 시험 종료시까지 큰 변화없이 10~20 ppm의 농도를 계속 유지하고 있었다. 따라서 돈분뇨 액비 저장기간 경과함에 따라 주요 악취물질인 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S) 농도가 낮아지는 경향을 나타냈으며, 폭기처리를 하므로써 악취농도가 현저하게 낮아지거나 없어지는 결과를 보였다. 이와같은 결과를 볼 때, 돈분뇨 액비는 폭기를 함으로써 악취를 유발하는 H₂S를 제어할 수 있음을 의미한다고 보고(Mosier, et al., 1986, Willams, 1984, Huh, 1994)와 일치되는 것으로 나타났다.

돈분뇨 액비의 저장기간별 종자발아율의 변화를 보면, 물에서는 무 및 배추 공히 평균 96% 이상의 발아율을 보였으나, 폭기처리한 액비 100%를 이용하여 발아율을 조사한 결과, 무 및 배추종자 공히 초기부터 6주 경과시까지는 전혀 전혀 발아되지 않았고, 7주가 지나고부터 서서히 서서히 발아율이 높아지는 경향이였으나, 무폭기처리한 액비 100%를 이용하여 발아율을 조사한 결과, 무 및 배추종자 공히 초기부터 시험종료시까지 전혀 전혀 발아되지 않는 것으로 나타났다. 물과 액비를 50%씩 섞어 발아율을 조사한 결과, 폭기처리한 액비를 섞은 처리구는 초기

부터 3주까지는 전혀 발아되지 않았으나, 4주부터는 서서히 발아되기 시작하여 무는 11주째부터 70% 이상의 발아율을 나타냈고, 배추는 15주째부터 70% 이상의 발아율을 나타냈다. 무폭기처리한 액비를 섞은 처리구의 발아율을 보면, 폭기처리한 액비에서와 같이 초기부터 3주까지는 전혀 발아되지 않았으며, 4주부터 10~12주까지 10% 이내의 발아율을 나타냈으며, 시험 종료시까지 발아율이 50%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이와같은 결과를 종합해 보면, 돈분뇨 액비의 부숙에는 폭기처리가 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 무 종자의 발아율이 배추 종자 발아율 보다 높은 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 액비의 부숙이 진행될수록 높은 발아율을 나타낸다는 보고(함선규, 2005)와 일치하였다. 따라서 종자발아율을 이용하게 되면, 돈분뇨 액비의 부숙여부를 판단하는 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.

돈분뇨 액비의 부숙여부를 알아보기 위한 방법으로 원형여지크로마토그래피법에 의한 액비 부식반응을 조사한 결과, 폭기처리한 액비의 경우에는 초기부터 10주째까지는 부식반응을 보이지 않았으나, 10주가 지나고부터 부식반응이라고 할 수 있는 톱니바퀴 모양이 조금씩 형성되면서 반응을 보이기 시작하였고, 저장기간시간이 경과할수록 톱니바퀴 모양이 더욱 뚜렷하고 선명해졌다. 그러나 무폭기처리한 돈분뇨 액비를 가지고 부식

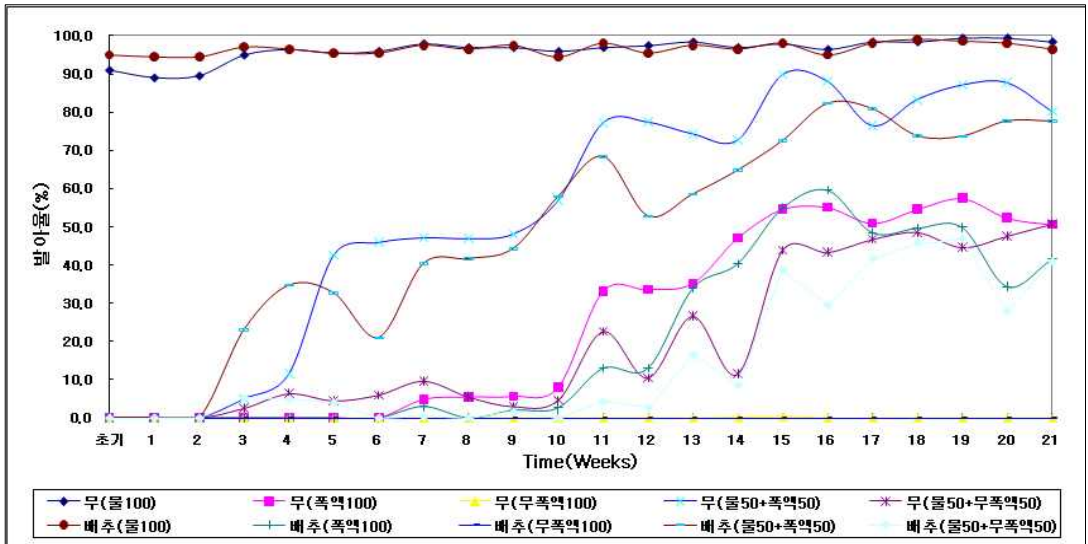


Fig. 3. Changes of seed germination ratio during experimental period.

반응을 조사한 결과 시험 종료시까지 반응을 보이지 않았다. 따라서 액비의 폭기처리 가 부숙을 촉진시키는 것으로 추정되며, 이와 같은 결과는 미숙퇴비 추출물에서는 원형을 이루며 규칙적인 형태를 나타내고, 완숙퇴비 추출물에서는 톱니모양 테두리를 이루며 불규칙한 형태를 나타낸다는 보고(Inoko, 1979)와 같은 경향을 나타냈다.

2. 저장기간별 돈분뇨 액비 색도분석

가. 소프트웨어

액비 색도분석을 위한 프로그램으로 그래픽 기반의 객체 지향언어로 자연과학 및 공

학 분야에서 다양하게 활용되고 있는 LabVIEW 프로그래밍 언어를 기반으로 액비 색도분석 프로그램을 개발하였다.

나. 하드웨어

액비 색도분석을 위하여 가시광선용 실시간 분광계를 제작하고 액비 측정용 셀 홀더와 가시광선-적외선용 광원으로 안정적인 텅스텐-할로겐 광원을 일체형으로 하는 액비 색도분석용 시스템을 제작하여 색도측정에 사용하였다. 액비 색도 측정시스템에 사용된 분광계는 현재까지 일반적으로 많이 사용되어 오던 2048 픽셀 CCD를 사용하지 않고 최근에 본사에서 개발 완료한 3680 픽셀



Fig. 4. The programme of color analysis (left) and color coordinates (right).

CCD를 적용하여 보다 높은 분해능과 보다 넓은 측정 대역 (Dynamic Range)을 갖게 되었다.

다. 액비 색도분석

부숙의 판정지표로써 색도를 이용한 부숙 여부 판정 가능성을 구명하기 위하여 CIE 표준색계를 이용하여 시험을 수행한 결과, 폭기처리구의 색도 변화가 무폭기처리구에 비하여 적은 것으로 나타났고, 이를 통하여 폭기처리가 색도의 안정화에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 두 처리간에는 색 좌표계에서 서로 다른 영역에 존재하는 것으로 나타났으며, 이는 폭기와 관련된 부숙의 정도가 액비의 색도 분포에 변화를 가져온다는 것을 보여 주었다. 또한 액비의 부숙도와 색도 사이에는 어느 정도의 상관성 (相關性, correlation)이 존재한다는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 액

비의 색도를 부숙 유무의 판단을 위한 객관적인 지표로 사용하는 것이 가능하고, 부숙과 관련된 다른 요인들의 분석 결과와 통계적인 비교를 통해 보다 합리적인 부숙도 판정 기준 설정이 가능할 것으로 예상할 수 있었으며, 부숙과 관련된 기준 색도가 마련될 경우 색차를 활용한 폭기 유무 및 정량적인 액비 부숙도 판정이 가능할 것으로 판단된다.

폭기액비와 무폭기액비의 색도 분석결과를 누적하여 CIE 좌표와 투과분포를 다시 확인하였다. CIE 좌표 상에서는 폭기액비와 무폭기액비의 구분 정도가 약하였지만 투과분포를 확인 할 경우 폭기액비와 무폭기액비의 차이가 명확하였다. 폭기액비의 투과패턴의 모양을 보면 전체파장에서 550~700 nm가 투과가 높은 것을 확인할 수 있었고, 무폭기액비의 경우 전체파장에서 전체적으로 고른 투과분포를 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 5. Scheme and picture of measuring system for fermentation degree of liquid swine manure.

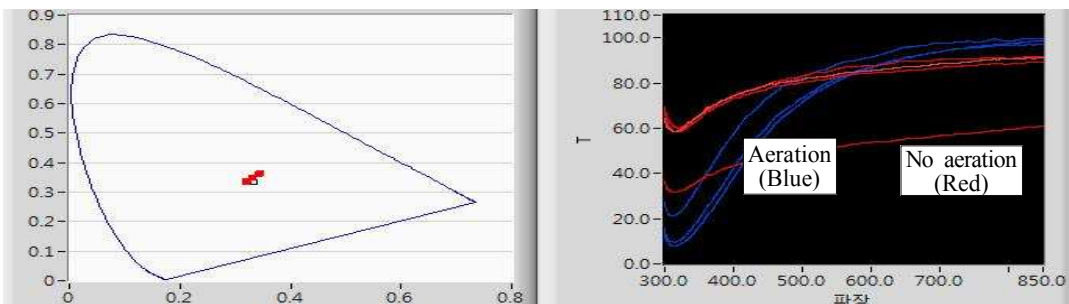


Fig. 6. Comparison of CIE coordinates and transmittance distribution of liquid swine manure.

또한 효과적인 액비 색도분류를 위해 다변량분석에서 사용되는 클러스터링 (Clustering) 방법을 사용하였다. 클러스터링방법은 대상들끼리 특정 패턴 (patterns) 및 경향 (trends)을 찾아 연관성 및 상관관계가 높은 대상들끼리 구분 지어 분류하는 방법으로 다양한 분야에서 많이 사용되고 있다.

액비를 UV/VIS 색도분석기로 투과스펙트럼을 얻어 데이터 셋을 만든 후 주성분분석 (PCA)을 하여 <그림 7>와 같이 주성분 점수 분포를 그려 보았다. 노란색 선은 Decision boundary로 각 액비 색의 특징 별로 클러스

터링한 분류 경계를 나타낸다. 클러스터링한 결과를 주성분분석(PCA)을 통하여 결과를 확인한 것인데 주성분점수 분포에서도 효과적으로 분류되어 각각 군집을 이루고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 방법을 통해 기존의 주관적인 방법으로 액비의 색을 구분하던 방법에서 좀 더 객관적인 시각으로 액비의 색을 구분할 수 있어 기존보다 액비 색도분석의 정확성을 높였고 색을 세분화시켜 분류화한 조건으로 그 외 부속도 요인들도 세분화시켜 분류하여 각각의 부속도 요인들끼리 상관분석의 신뢰도 향상에 도움을 줄

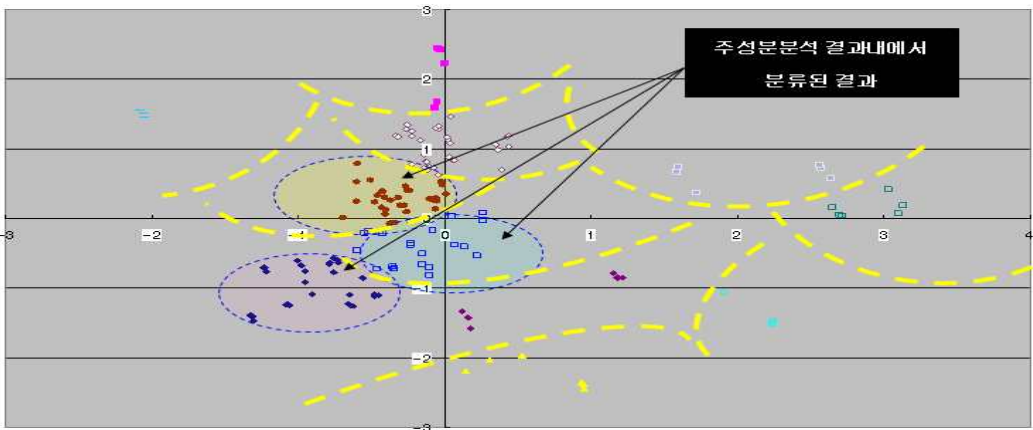


Fig. 7. Result of Principal Component Analysis by clustering method.

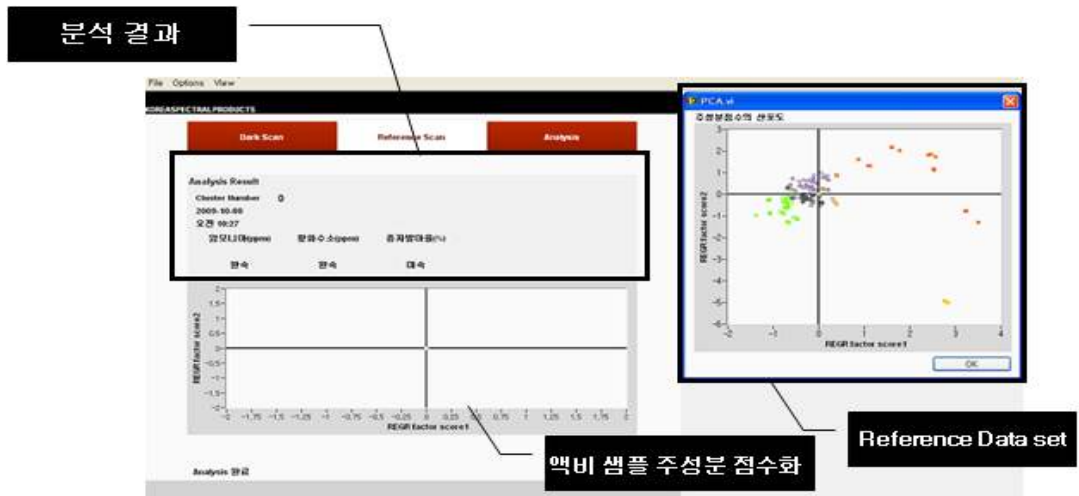


Fig. 8. Prediction of fermentation degree of liquid swine manure.

것으로 예상된다.

따라서 클러스터링을 이용한 액비부숙도 분석 프로그램을 완성하였다. 얻어진 151개의 액비 Reference Data set (액비의 색 정보)를 기준으로 하여 미지의 액비 샘플이 들어왔을 시 Reference Data set와 가장 비슷한 패턴 (patterns) 및 경향 (trends)을 가지는 분류군집을 찾고 역시 같은 조건으로 분류되어 있는 악취, 종자 발아율의 군집별 정보를 토대로 액비 부숙여부를 예측하였다.

적 요

본 시험은 가시광선을 이용한 돈분뇨 액비의 부숙여부를 구명하고, 이를 활용한 측정장치의 개발을 목적으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 돈분뇨 액비 저장기간이 경과함에 따라 pH는 증가하고 EC는 낮아졌으며, 액비를 폭기처리하므로서 무처리에 비해 pH는 더 증가하고 EC는 더 낮아지는 경향을 나타내었다.

나. 돈분뇨 액비 저장기간이 경과함에 따라 주요 악취물질인 암모니아 (NH₃)와 황화수소 (H₂S) 농도가 낮아지는 경향을 나타냈으며, 폭기처리를 하므로서 악취농도가 현저하게 낮아지거나 없어지는 결과를 보였다.

다. 돈분뇨 액비의 종자발아율은 무 및 배추종자 공히 초기부터 6주 경과시까지는 전혀 전혀 발아되지 않았고, 7주가 지나고부터 서서히 서서히 발아율이 높아지는 경향이었으나, 무폭기처리한 액비의 종자발아율은 무 및 배추종자 공히 초기부터 시험종료시까지 전혀 전혀 발아되지 않았다.

라. 원형여지크로마토그래피법에 의한 돈분뇨 액비 부숙여부 반응을 조사한 결과, 폭기처리한 액비의 경우 초기부터 10주까지는 부식반응을 보이지 않았으나, 10주가 지나고 톱니바퀴 모양이 조금씩 형성되면서 반응을

보이기 시작하였고, 무폭기 처리한 액비는 시험 종료시까지 반응을 보이지 않았다.

마. 돈분뇨 액비의 부숙에는 pH, EC, 종자 발아율, 악취농도 및 원형여지크로마토그래피 반응 등이 관련되는 것으로 나타났다.

바. 색도를 이용한 돈분뇨 액비 부숙도 측정을 위해 소프트웨어와 하드웨어를 개발하였으며, 클러스터링을 이용한 액비부숙도 분석 프로그램을 완성하였다.

사. 돈분뇨 액비 부숙도 측정장치는 텅스텐할로겐, 듀테륨램프, 시료투입구, 석영셀, 분광분석기, 악취측정기, 분석소프트웨어 등으로 구성되었으며, 액비의 부숙여부를 간편하고 신속하게 예측할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. Huh, M. 1994. Characteristics and Evaluation of Odor Offensiveness. J. Environ. Hi-Tech. 1(6):6-14.
2. Inoko, A. A. 1979. Rapid Test for the Check of Maturity of Refuse Compost Using a Paper Chromatographic Method. J. Sci. Soil Manure, 50:127-132.
3. Moseier, A. R., S. M. Morrison, and G. K. Elmund. 1986. Odors and Emissions from Organic Wastes. in "Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters. ASA. CSCA. SSSA. 577 South Road, Madison, Wisconsin 53711. USA.
4. Sommerfelt, T. G., C. Chang and T. Entz. 1986. Long-Term Annual Manure Application Increase Soil Organic Matter and Nitrogen and Decrease Carbon to Nitrogen Ratio. Soil Sci., Soc. Am J.
5. Webster, A. and R. J. Dowdell. 1985. Alysimeter Study of the Fate of Nitrogen applied to Perennial Ryegrass Sward : Soil Analyses and the Final Balance Sheet. J.

- Soil Sci. 36:605-611.
6. Williams, A. G. 1984. Indicators of Piggery Slurry Odor Offensiveness. *Agricultural Wastes*. 10:15-36.
 7. 原田晴生, 山口武側. 1997. 家畜糞尿の堆肥化の品質實態と問題點. *環境保全と新畜産. 農林水産技術情報協會*. 229-246.
 8. 佐藤純日. 1990. 畜産公害と環境汚染-畜産の研究. 44, 204-210.
 9. 田敏雄, 本庄利男, 田中享一. 1978. リサイクルの爲の家畜糞尿の高水分好氣的發酵處理と發酵處理物の利用について,(2) 發酵處理物の利用について. *家畜の管理*, 14-2-4(1).
 10. 柿本徳英. 1983. 曝氣式ラグーンにおける風量の相違による影響. *日本獣医畜産大學研究報告*. 32, 124-127.
 11. 川野組男, 窪園順一郎, 宮内泰千代, 平田齋. 1976. 家畜ふん尿處理に關する研究Ⅲ回分式活性汚泥法の實用化試験. *鹿兒島縣畜産試驗場研究報告*. 9, 125-130.
 12. 농식품부. 2000. 가축분뇨자원화 및 이용 기술개발(제1권).
 13. 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨 액비 사용기술 기술지도지침서.
 14. 배재근. 2001. 퇴비의 부숙도 및 안정화 정도 평가방법 및 기준설정 검토.
 15. 신동은. 1999. 축종별 액상분뇨와 질소(N)시용량이 양질조사료의 수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향. *서울대학교 박사논문*.
 16. 임영철. 2008. 돈분액비 시용이 초지 및 사료작물의 생산성과 NO₂-N 용탈에 미치는 영향. *건국대학교 박사논문*.
 17. 정광용, 조남준, 정이근. 1998. 가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성비교. *한국환경농학회지 제17권 제4호*.
 18. 최동윤. 2000. 돈분뇨(액비) 저장 및 악취저감기술 연구 보고서. *축산과학원*.
 19. 함선규. 2005. 골프장 잔디 예초물의 퇴비화 연구. *충남대학교 박사논문*.