최종보고서

수출돈 생산단지의 분뇨처리시설 표준화에 관한 조사연구

Studies on Standardization of Waste Treatment Facilities for Collective Swinery

한국육류수출입협회

농림부행정자료실

0005908

농 림 수 산 부

제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 "수출돈 생산단지의 분뇨처리시설 표준화에 관한 조사 연구"과제의 최종 보고서로 제출합니다.

1995. 12. 20

주관연구기관명 : 한국육류수출입협회

총괄연구책임자 : 김 강 식

연 구 원 : 박 완 철

오 인 환

박 천 서

한 정 대

강 태 홍

홍 준 표

本多勝男

요 약 문

I. 제 목

수출돈 생산단지의 분뇨처리시설 표준화에 관한 조사연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 1994년 현재 돼지 총 사육두수는 5,953천두로 사육농가 호수는 54천호로 가축분뇨에 의한 환경오염 방지를 위한 오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 및 동 시행령에 따라 허가 신고 간이처리대상농가 21,000호중 시설을 처리한 농가는 84.9%(18,329호)로서

2. 설치한 농가의 현지 실태를 조사한 결과 허가 신고대상 농가별로 축산폐수처리 시설을 하였으나 사육규모에 적합한 시설을 갖추지 못함으로서 처리효과를 거두지 못하고 있어 사육규모에 알맞는 경제적인 표준시설을 제시코져 본 연구를 실시하였음

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 국내기술로 개발되었거나 외국 기술도입 또는 모방개조하여 이미 양돈농가에 설치된 분뇨처리 시설의 운영실태를 조사분석하고 선진 양돈국가의 분뇨처리기술을 분석하여, 축산분뇨로 인한 환경오염을 최소화하기 위하여 사육규모별 및 지대별로 가장 알맞는 분뇨처리 방법을 제시코저 아래와같은 연구내용과 범위를 설정하고 조사분석 검토하였음

첫 째, 축사에서 배출되는 가축분뇨오수가 환경오염에 어떠한 영향을 미

치는가를 분석하고, 분뇨오수에 의한 환경오염을 최소화 하기위한 우리나라와 선진외국의 축산폐수처리 규정을 분석검토

둘 째, 기히 국내기술로 개발되었거나 또는 외국의 처리기술을 도입 모방 설치한 시설에 대한 운영실태를 현지 조사하여 분뇨동시처리, 분뇨분리처리, 뇨오수 별도처리, 방법별로 효과와 문제점 조사

셋 째, 가축분뇨오수에 의한 환경오염을 최소화하기 위한 기본처리방법에 의한 처리방법의 선택과 처리방법별 기본원리의 제시

넷 째, 제시된 처리방법별 기본원리에 따라 가축분의 퇴비화 방법, 건조증발 방법, 액비화 방법 등 뇨오수 처리방법별로 장단점을 제시

다섯째, 분뇨의 자원화를 위하여 처리된 발효퇴비 부숙액비 등의 비료적인 성분과 가치를 정확히 분석하여 농경지 환원 작물재배시의 적정시 요량 및 그 효과와 동시에 부숙도별 또는 과용시의 문제점 검토제시

여섯째, 사양관리 방법에 의한 분뇨오수의 배출량을 감소시키기 위한 사료 영양성분 및 첨가제의 조정과 오수배설량 감소를 위한 축사 급이 급수시설, 개선방법의 검토

일곱째, 이상검토한 자료를 종합하여 사육규모별 우리현실에 적합한 분뇨 오수 처리방법을 제시

여덟째, 처리시설별 투자규모와 운영비를 산출하고 처리비가 비육돈 생산비에 미치는 영향을 분석 정부지원 시책방향을 제시코저함

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 일반현황

ㅇ번식모돈 사육규모별로(50, 100, 200, 300, 400, 500, 1,000) 1일 배분량 배뇨오수 발생량 제시

ㅇ사육규모별로 1일 배분뇨량이 환경오염에 미치는 부하량과 분뇨 분리 비율에 따른 환경오염 부하량 제시

ㅇ가축분뇨처리관련 규정에 대하여 우리나라와 선진 외국과의 환경 대책 비교

나. 분뇨처리실태

ㅇ돼지사육농가중 오수, 분뇨 및 축산폐수 처리에 관한 법률 및 동 시행령에 따라 시설설치 해당농가는 전체 양돈농가 54천호중 21.6천호로 그중 18.3천호가 설치운영

ㅇ본 조사에서는 사육규모별로 305호를 선정분 처리방법별로 조사한 결과 기계교반 발효퇴비화 1.0%, 퇴적 퇴비화 92.4%, 건조 퇴비화 6.5%였으며, 분뇨분리처리농가 198호중 톱밥토양여과 32.8%, 간이활성오니 22.8%, 폭기활성오니처리 3%, 저장액비화 41.4%로 뇨오수처리에 문제가 있었음

다. 분의 발효퇴비화

ㅇ305호 조사농가중 축사내에서 분뇨를 분리체취하는 농가는 81.6%인데 비해 18.4%가 분뇨동시체취하는 스러리식 돈사를 이용하고 있으며, 퇴비화 발효 적정수분 65%를 조정하기 위한 수분조정제 톱밥 소요량에 있어 분뇨분리시는 분뇨량의 62.3%, 분뇨분리시는 37.5%가 소요되고 있음

라. 분뇨오수처리의 기본원리와 방법

ㅇ분은 원칙적으로 자원화하기 위해 발효퇴비화하되 퇴적퇴비, 퇴적 통기식 발효퇴비, 건조증발방법, 기계교반 발효 퇴비화, 액상콤포스트 등에 대한 장단점을 비교 분석하여 우리 농가의 적응성 분석

ㅇ뇨오수 처리방법으로 톱밥토양여과 방식, 간이활성오니법, 장시간 활성오니법, 전자동 회분식 활성오니법, 순환신 TBX생물방법 등에 대한 장단점을 비교 분석하여 우리 농가의 적응성 분석

마. 돼지 분뇨의 자원화 이용

돈 발효퇴비의 부숙기준과 작물별 시용량을 산출 제시하소 사용할 때의 유의사항을 제시

2. 연구결과 활용에 대한 건의

가. 번식모돈 100두 이하에서는 분뇨를 분리 각종 퇴비화방법중 농가실정에 알맞은 방법을 선택 처리하고 뇨오수는 톱밥토양여과식 또는 축산정화조 처리 방법을 택하는 것이 가장 경제적으로 사료됨

나. 번식모돈 200두 이상 사육농가에서는 분뇨분리 분만을 기계교반 등 발효퇴비화하고 뇨오수는 활성오니 처리하는 방법이 가장 경제적으로 사료된다.

다. 단 분뇨동시기계교반 처리시 발효기간을 연장 이용함으로서 번식모돈 300두기준 톱밥 소요량을 약 62% 절약할 수 있고, 비육돈 두당생산 분뇨처리비를 57% 절약할수있다는 농가사례를 조속히 이론정리 필요

라. 95년 기준 톱밥공급량은 약 495천톤 그중 축산분뇨 처리용으로 공급할 수 있는량은 419.2천톤이나 돼지 1,000두이상 사육농가의 분처리 퇴비화시 조절재로 톱밥을 이용한다면 이에 소요되는 양만도 약 461천톤이므로 이에대한 대책이 필요함

마. 분뇨의 퇴비화를 위한 조정제인 톱밥의 수급 및 분뇨처리비용면에서 분뇨를 분리 처리하는 것이 경제적일 것으로 사료되고 부족된 조절재로 활용할 수 있는 왕겨 등의 조절재 개발 이용방법에 대한 기술 확립 시급

바. 현재 보급되고 있는 뇨오수 정화처리결과중 방류수의 수질이 기준치 이하 농가는 처리시설의 운영수칙을 제대로 이행하고 있고, 기준치 이상인 농가는 시설용량에 비해 과다사육 처리시설의 운영수칙 불이행이 원인이므로 교육지도사업 강화

사. 현재 농가의 사육규모별로 처리효과가 우수한 처리방법을 각도에 일개소씩 시범운영농가를 설치하여 운영상의 문제점의 계속 점검 보완과 농가 현지 견학교육장으로 활용할 수 있는 조치

아. 각 지역별 사육규모별 알맞은 분 및 뇨오수 처리시설에 대한 표준 설계시방서와 시설운영수칙을 조속히 제정 보급

자. 가축분뇨 처리에 있어 방류수의 수질오염방지 이외에 금후 주번주민의 민원대상으로 야기될 수 있는 악취(惡臭) 처리방법의 기술개발과 장려가 필요함

차. 미숙퇴비의 시용으로 작물 및 토양에 미칠영향을 고려하여 유통 발효퇴비의 공정 규격 제정실시가 필요

카. 정부가 가축분뇨처리를 위하여 보조 또는 융자지원하는 각종시설에 대해서는 공인기관으로 하여금 일정기간 실제 시험결과 처리효과, 내구성, 이용편이성, 경제성이 인정된 처리방법의 시설에 한하여 지원하는 방법검토

참 고 문 헌

1. 김 옥 경. 축산분뇨의 경제적 이용에 관한 연구, 건국대 박사학위논문, 1992.
2. 권 관. Phytase가 단위가축의 성장능력 및 인의 이용에 미치는 영향, 서울대 박사학위논문, 1995.
3. 농림수산부. 농림수산주요통계, 1995.
4. 농림수산부. 축산분뇨처리사업기술교본, 1995.
5. 농림수산부. '94 축산정책 해설, 1994.
6. 농촌진흥청 축산기술연구소. 축산폐수 정화시설
7. 농촌진흥청 축산기술연구소. 톱밥토양 여과법에 의한 축산폐수 정화시설
8. 농촌진흥청 축산기술연구소. 가축분뇨 자원화를 위한 기술 지침서, 1995
9. 박 천 서. 우리나라 경토의 비옥도현황과 시비관리대책, 한작지 37(4): 383-396, 1992.
10. 오 인 환. 축산폐수의 흡착산화처리, 1995.
11. 최 윤 재. 가축분뇨처리법, 1993.
12. 최 의 소. 폐기물처리와 자원화, 청문각, 1985.
13. 축협중앙회. 퇴비화시설의 설계, 1994
14. 축협중앙회. 가축분뇨처리 업무지침, 1994.
15. 축협중앙회. 축협조사계보 제 15권 제 3호, 1995.
16. 한국농어민신문사. 축산분뇨처리 총람, 1994.
17. 한국농촌경제연구원. 축산분뇨 및 축산폐수처리대책에 관한 연구, 1990.
18. 한국농촌경제연구원. 가축배설물 처리 및 이용에 관한 연구, 1991.
19. 한국농촌경제연구원. 가축배설물 처리 및 이용에 관한 연구, 1992
20. 한국농촌경제연구원. 축산폐수처리에 관한 연구, 1994
21. 한국육류수출입협회. 수출규격돈 생산을 위한 경영유형 및 사육규모에 관한 조사연구, 1995.

22.畜産環境整備 リ-ス協會. 畜産環境整備の技術, 1986.

23.畜産環境整備 リ-ス協會. 畜産環境整備のための 技術及び 機械裝置法, 1993.

24.行政時報社. 畜産環境對策の現況と課題, 1993.

25.日本中央畜産會. 家畜排泄物の處理の手引き, 1978.

26.日本中央畜産會. 堆肥化 施設 設計 マニュアル, 1987.

27.日本中央畜産會. 家畜糞汚水の處理利用技術と事例

28.日本中央畜産會. 畜産に おける 臭氣 とその防止對策, 1990.

29.農文協. 畜産環境大事典, 1995.

30.原田青生. 堆肥化技術の 現狀と課題. 日 農林水産. 行政時報.24-32. 1993.

31.草野 秀. 小川 和夫. 植物體に 含まれる フエノ-ル性酸に ついて, 日土肥誌. 45, 29-36

32.日農水産省 草地試驗場. 昭和 58年度 家畜ふん尿 處理利用 研究會資料. p.1-60. 1983.

33.甲斐 秀昭. 土壤腐植と 土つくり 講座 III, 農文協. 酪農總合研究所. p. 151. 1979.

34.酪農總合研究所. 農耕地の 有機物受け入れ 容量と畜産 廢棄物, 1994.

35.Bachmann,A.,Beard,V.L., and McCarty, P.L.,"Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor", Wat. Res., 19, p.99-106, 1985.

36.DE Boodt, M., Soil Conditioning, a Modern Procedure for Restoring Physical soil degredation. Pedologie,XLIII-1, p. 157-195. Ghent. 1993.

37.Guiot, S.R., and Van den Berg, L.,"Performance of an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Blanket and a Filter Treating Sugar Waste", Biotech. Bioeng., 27, 800, 1985.

38.Gujer, W., and Zehnder,J.B., "Conversion Process in Anaerobic Digesion", Wat. Sci. Tech., 15. pp.127-167, 1983.

39.Hayes,t.d., and Jewell,W.J., et "Anaerobic Digetion of Cattle

Manure", Department of Agricaltural Engineering, Conell University 202. Riley-Robb Hall, Ithaca, N.Y. 14853, U.S.A.

40.Harada, Y. Composting and applicarion of animal wastes, FFTC Extention Bull. 311, 19-31. 1990.

41.Harada, Y. and Inoko, A. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity, Soil Sci. Plant Nutr., 26(1), 127-134. 1980.

42.Jeris, J.S., et.al., "Hight Rate Biological Denitrification using a Grannular Fludized Bed", JWPCF, Vol, 46. pp. 2118-2128. 1974.

43.Kugman, I.J., and Chin,K.K., "Toxicity, Synergism, and Antagonism in Anaerobic Waste Treatment Process", Anaerobic Biological Treatment Processes, Advances in Chemistry Series 105, American Chemical Society, 1971.

44.McKinney, R.L., and McCarty, P.L., "Kinetics of Methane Fermentation in Anaerobic Waste Treatmenr", Technical Report No. 75, Stanford, California, 1967.

45.Mclnerney, M.J., and Bryant, M.P., and Pfennig, N., "Anaerobic Bacterium that Degrades Fatty Acids in Syntrophic Association with Methanogenes" Arch Microbiol, 122, p. 129-135, 1979.

46.McCarty, P.L., and Kugelman, I.J., and Lawrence A.W., "Ion Effect in Anaerobic Digestion ",Technical Report, No.33, Dept. of Civil Engineering, Stanford University of Stanford, Calif., 1964.

47.Mengel, K and E.A. Kirkby. Principles of Plant Nutrition, 3rd ed. IPI. Bern, Switzerland 1982. 1982.

48.Parr, J. F. Use of Microbial Inoculants and Organic fertilizers in Agricultural Production, Proc. FFTC Seminar. 1994.

제1장 연구목적과 범위

제 1 절 연구필요성과 목적

1962년 제1차 경제개발 5개년 계획이 착수된 이후 우리경제가 급진적으로 성장 국민1인당 년간 육류소비량이 1965년도에 불과 3.4kg이던것이 1994년도에는 25.8kg로 무려 7.4배로 소비량이 증가 되었다. 특히 돈육은 1.9kg가 13.9kg로 증가하였고, 이와같이 폭발적으로 수요가 증가된 돈육생산을 위해서 1965년 돼지 사육두수가 불과 1,382천두 이던것이 1994년에는 5,955천두로 늘어났을 뿐아니라 호당 사육규모가 1965년도의 호당 1.3두에 불과하여 돼지가 배설하는 분뇨는 축사밖으로 배출되어 수질을 오염시킨다는 생각보다는 오늘의 무배출식 구퇴비화되어 농경지에 공급하는데도 절대부족한 상태였다.

1994년도 호당 사육두수는 110두로 증가되었을뿐아니라 호당 500두 이상 사육하는 두수가 전체사육두수의 61%(3,629천두)로서 배설되는 분뇨를 종래와 같이 사육농가가 직접 구퇴비화 이용하기는 불가능하게 되어 배설되는 분뇨는 환경오염원 특히 댐, 하천은 물론 지하수를 오염시키는 정도가 날로 증가 환경오염이 사회문제가 되고 있다.

정부는 1991년 3월 8일 법률 제4364호 오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률을 제정하고 동시행령(1991. 9. 7. 대통령령 제13462호) 동시행규칙(1991. 9. 9. 총리령 제392호)에 의거 축산폐수 처리시설 설치, 허가, 신고, 대상과 방류 수질기준 등을 규정하고, 농림수산부에서는 91년부터 95년까지 총 3,340억원을 투자하여 축산분뇨로 인한 환경오염을 최소화하기 위하여 개별농가에는 퇴비화 및 정화시설을 설치토록 하고, 축산단체에는 축분발효퇴비화 공동시설 등을 설치 운영토록 지원하고 있다.

그러나 우리의 분뇨처리 기술과 시설 설치운영의 경험이 짧을뿐아니라 기후조건과 경영형태가 다른 외국 처리시설을 모방, 도입, 설치하므로서 시행착오를 거듭하고 있는 현상태에서 모든 양돈농가는 우리의 사육규모와 사육 지대별로 가장 적합한 처리방법을 제시하여 달라는 것이 모든 양돈농가의 요구사항이다. 그러므로 본 연구에서는 국내기술로 개발되었거나 외국기술 도입, 모방 개조하여 이미 농가에 설치된 분뇨처리시설의 운영실태를 조사 분석하고 선진외국의 각종 분뇨처리 기술을 분석 검토하여 우리농가의 사육규모 및 지대별로 가장 알맞는 분뇨처리방법을 제시코저 한다.

제 2 절 연구방법

축산분뇨로 인한 환경오염을 최소화 하기위하여 사육규모별 및 지대별로 가장 알맞는 분뇨처리 방법을 제시코저

첫 째, 축사에서 배출되는 가축분뇨오수가 환경오염에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하고, 분뇨오수에 의한 환경오염을 최소화 하기위한 우리나라와 선진외국의 축산폐수처리 규정을 분석검토

둘 째, 이미 국내기술로 개발되었거나 또는 외국의 처리기술을 도입 모방설치한 시설에 대한 운영실태를 현지 조사하여 분뇨동시처리, 분뇨분리처리, 뇨오수 별도처리 방법별로 효과와 문제점 제시

셋 째, 가축분뇨오수에 의한 환경오염을 최소화하기 위해 기본처리방법에 의한 처리방법의 선택과 처리방법별 기본원리의 제시

넷 째, 제시된 처리방법별 기본원리에 따라 가축분의 퇴비화 방법, 건조증발방법, 액비화 방법 등 뇨오수 처리방법별로 장단점을 검토하고

다섯째, 분뇨의 자원화를 위하여 처리된 발효퇴비 부숙액비 등의 비료적인 성분과 가치를 정확히 분석하여 농경지 환원 작물재배시의 적정 시용량 및 그효과와 동시에 부숙도별 또는 과용시의 문제점 검토제시

여섯째, 사양관리 방법에 의한 분뇨오수의 배출량을 감소시키기 위한 사료영양성분 및 첨가제의 조정과 오수배설량 감소를 위한 축사 급이급수시설, 개선방법의 검토

일곱째, 이상 검토한 자료를 종합하여 사육규모별 지대별로 우리현실에 적합한 분뇨오수 처리방법을 제시

여덟째, 처리시설별 투자규모와 운영비를 산출하여 환경처리비가 비육돈 생산비에 미치는 영향을 분석하고 국제경쟁력에 미치는 영향 등을 분석하여 양돈경영을 위한 분뇨처리 및 정부지원 시책방향을 분석제시코저함

제 2 장 가축분뇨와 환경

제 1 절 가축분뇨의 성상과 환경

우리나라 축산은 경제성장과 더불어 국민식생활의 양적, 질적 향상에 따라 축산물의 수요가 급증 가축사육두수와 더불어 사육규모가 확대되어 축사에서 발생하는 분과 뇨를 재래식으로 수거하여 토양에 환원시키는 방법은 불가능하게 되었다.

가축은 사료를 섭취하면 전량 완전소화되는 것이 아니고 축종과 가축의 상태, 사료의 조성, 사육환경에 따라 일부는 소화 흡수되고 나머지는 배설하게 되며 사료의 소화흡수와 체조직을 유지하기 위해서는 많은 수분을 흡수이용함과 동시에 체외로 배설하게 된다.

표 2-1. 가축별 사료소화율

가축별	체중 (kg)	사 료 소 화 율 (%)					
		조 단백질	조지방	가용무질 소물	조섬유	건물	유기물
착유우	550	51.1	58.4	58.7	60.0	54.7	58.7
비육우	400	49.5	64.9	60.1	65.0	58.1	61.7
돼 지	90	81.4	80.3	82.6	30.2	73.5	87.0
육 계	1	82.0	86.8	85.0	7.5	70.4	86.0

표 2-2. 배설된 가축분의 유기물함량

가축별	체 중 (kg)	수 분 (%)	유 기 물 (%)				
			조단백질	조지방	NFN	조섬유	유기물
착유우	550	82.5	1.9	0.5	9.3	4.0	15.8
비육우	400	80.7	3.3	0.7	9.3	3.9	17.1
비육돈	90	73.5	5.0	0.4	6.7	4.4	16.6
육 계	1	78.5	7.9	0.8	5.9	2.0	16.6
산란계	1.6	77.0	6.2	1.5	8.8	2.1	18.5

※ 슬러리 돈사의 수분함량 90 95%

1. 분뇨의 배설량

가축의 분뇨는 가축이 섭취한 사료와 물을 체내에서 소화흡수한 나머지가 체외로 배설되는 분과 뇨의 혼합물로 환경차원에서 효율적으로 처리하기 위해서는 배설량을 정확히 알아야 한다.

표 2-3. 돼지성장 단계별 분뇨배설량

구 분	체 중 (kg)	1일 1두당(kg)			년간 1두당(톤)		
		분	뇨	계	분	뇨	계
번식웅돈	250	2.5	5.5	8.0	0.9	2.0	2.9
임 신 돈	230	2.4	5.5	7.9	0.9	2.0	2.9
포 유 돈	230	3.3	5.5	8.8	1.2	2.0	3.2
육 성 돈	30	1.3	2.0	3.3	0.5	0.4	2.1
비육전기돈	60	2.3	3.5	5.8	0.8	1.3	0.9
비육후기돈	90	2.7	5.0	7.7	1.0	1.8	2.8

※ 규격돈 생산 경영유형 및 사육규모에 관한 조사연구 1995

일반적으로 분과 뇨 분리시와 혼합처리시 즉 발효퇴비화시는 배설물중의

고형물과 수분함량을 정확히 측정하여야 하나 이를 현장에서 측정한다는 것은 불가능하기 때문에 급여한 사료로부터 분뇨의 고형물을 산출하는 방법이 간편하다. 급여사료중의 건물량(DM)과 가소화양분총량(TDN)의 수치가 거의 같기 때문에 소화흡수되지 못한 잔량이 분중의 고형물 함량이 되기 때문에 이를 이용하여 다음과 같이 분뇨배설량을 계산하는 방법이 있다.

$$\text{생분배설량} = \frac{\text{사료급여량} \times (1-\text{사료중의 함수율}) \times (1-\text{사료중의 TDN})}{(1-\text{생분중의 함수율})}$$

이방법에 따라 자돈, 비육, 번식돈별 체중별로 분중의 수분함량에 따른 배분량을 계산하여 보면 다음표와 같다.

표 2-4. 돈분의 배설량 추정 단위 : kg

구분	체중	기대체중	사료중의 건물량	가소화 양분총량	분중의 고형물량	수분함량에 따른 배분량					
						70%	72	74	76	78	80
자돈	5	0.25	0.40	0.30	0.10	0.33	0.36	0.39	0.42	0.46	0.50
	10	0.30	0.70	0.50	0.20	0.67	0.71	0.77	0.83	0.91	1.00
	15	0.35	1.00	0.72	0.28	0.93	1.00	1.08	1.17	1.27	1.40
	20	0.40	1.20	0.84	0.36	1.20	1.29	1.38	1.38	1.64	1.80
	25	0.45	1.35	0.95	0.40	1.33	1.43	1.54	1.67	1.82	2.00
	30	0.50	1.50	1.05	0.45	1.50	1.61	1.73	1.88	2.05	2.25
	35	0.55	1.65	1.15	0.50	1.67	1.79	1.92	2.08	2.27	2.50
비육돈	40	0.60	1.80	1.26	0.54	1.80	1.93	2.08	2.25	2.45	2.70
	50	0.65	2.20	1.54	0.66	2.20	2.36	2.54	2.75	3.00	3.30
	60	0.70	2.60	1.82	0.78	2.60	2.79	3.00	3.25	3.55	3.90
	70	0.70	2.80	1.96	0.84	2.80	3.00	3.23	3.50	3.82	4.20
	80	0.70	3.00	2.10	0.90	3.00	3.21	3.46	3.75	4.09	4.50
	90	0.70	3.20	2.24	0.96	3.20	3.43	3.69	4.00	4.36	4.80
번식돈	60	0.55	2.20	1.54	0.66	2.20	2.36	2.54	2.75	3.00	3.30
	80	0.50	2.40	1.68	0.72	2.40	2.57	2.77	3.00	3.27	3.60
	100	0.45	2.60	1.82	0.78	2.60	2.79	3.00	3.25	3.55	3.90

※ 일본 축산환경정비기술 1986

배뇨량은 계절별 음수량과 사료섭취량에 따라 다르며 겨울철의 음수량은 사료급여량의 2 3배, 봄과 가을철에는 4배, 여름철에는 5배가 되며 성돈의 배뇨량은 3 4kg로서 이에따른 비육돈의 평균 배뇨량은 2.5 5.5kg가 된다. 음수시 세는 물량을 계산하면 이보다 많아진다. 분과 뇨가 분리된 생분의 함수율을 75 80%로서 뇨가 혼합되었을때는 88 92%가 되어 세는 물량이 많아지면 함수율은 더 높아진다.

2. 환경오염

돼지 사육두수 증가로 분뇨배설량이 날로 증가되어 이를 합리적으로 처리하지않으면 환경오염에 큰 주범이 되며 성돈 1두당 환경오염 배출량을 측정하면 다음표와 같으며,

표 2-5. 성돈 배뇨량의 오탁부화량 추정치 단위 : 농도PPM, 부하량g/1일

배설량kg/1일		BOD		SS		N		P	
		농도	부하량	농도	부하량	농도	부하량	농도	부하량
분	1.9	60,000	114	220,000	418	10,000	19	7,000	13.3
뇨	3.5	5,000	18	4,500	16	5,000	18	400	1.4
혼합	5.4	24,000	130	80,000	430	6,800	37	2,700	14.7

번식비육 일관사육시의 사육단계별 사육두수와 분뇨 배설량을 기준으로하여 총배설량과 두당 배설량을 계산하면 다음표와 같다.

표 2-6. 번식비육 일관사육시의 1일 분뇨생산량(모돈100두기준)

사 육 두 수		분	뇨	분뇨혼합
번식모돈	100두	3.0 X 100 = 300kg	5.5 X 100 = 550kg	850kg
번식웅돈	7	2.7 X 7 = 19	5.5 X 7 = 39	53
자 돈	495	0.8 X 495 = 396	1.0 X 495 = 495	891
비 육 돈	518	1.9 X 518 = 984	3.5 X 518 = 1,813	2,797
후보모돈	20	1.9 X 20 = 38	3.6 X 20 = 72	108
후보웅돈	1	1.9 X 1 = 2	3.5 X 1 = 4	6
계	1,143	1,739kg	2,971kg	4,705
1두 평균분뇨량		1.5	2.6	4.1

분뇨를 완전무배출 발효퇴비화 액비퇴비화시는 별도 문제가 없지만 분뇨를 분리하여 분은 발효퇴비화하고 뇨는 정화처리시 혼탁부화량을 최대로 줄여주기 위해서는 분을 최대로 분리하여 주는것이 뇨오수중의 오탁 부하량을 줄여주는 결과가 된다.

표 2-7. 일관경영시 분뇨제거율과 오탁 부하량과의 관계

구 분		현물량	분제거 70%	분제거 80%	분제거 90%
배출량	분(g)	1,739	522	348	173
	뇨(g)	2,971	2,971	2,971	2,971
	계(g)	4,710	3,493	3,319	3,144
BOD	분(g)	104	31	21	10
	뇨(g)	15	15	15	15
	계(g)	119	46	36	25
	농도(mg/l)	25,000	13,000	11,000	8,000
SS	분(g)	382	114	76	38
	뇨(g)	13	13	13	13
	계(g)	395	127	89	51
	농도(mg/l)	83,000	37,000	27,000	16,000

이상과 같이 번식모돈 100두를 기준으로 하여 1일 발생하는 축산폐수, 오탁, 부하량을 현행 축산폐수 정화시설기준(시행규칙 45조)에 따라 정화처리 후 방유하여야 한다.

표 2-8. 축산폐수 배출시설 방유수 수질기준

기 간	축사규모	지 역	BOD(mg/l)	SS(mg/l)
96. 6.30까지 (현 행)	허가대상	특정지역	50이하	50이하
		기타지역	150이하	150이하
	신고대상	특정지역	1,500이하	-
		기타지역	1,500이하	-
96.7.1부터	허가대상	(현 행기준과 동일)		
	신고대상	특정지역	350이하	350이하
		기타지역	500이하	500이하

※ 1995.7 축산분뇨처리 사업 교육자료

이상 축산폐수의 배출시설 방유수의 수질 기준에 맞추어 사육규모별로 완전무배출 분뇨처리시는 오폐수 방유가 불필요하지만 분뇨분리 뇨오수 처리시는 오탁 부하농도를 최저로 저하시켜 최저의 배출수의 농도가 되도록 분뇨분리 방법과 처리 시설을 검토설치 해야한다.

표 2-9. 사육규모별 분뇨배설량과 오탁부하발생량

번식모돈 사육기준	배 설 량 (kg)			BOD 부하량 (kg)		
	분	뇨	분뇨혼합	분	뇨	분뇨혼합
50	869	1,485	2,352	52	74.2	59.5
100	1,739	2,971	4,705	104	148	119
200	3,478	5,942	9,410	208	297	238
300	5,217	8,913	14,115	312	445	357
400	6,956	11,884	18,820	416	594	476
500	8,695	14,855	23,525	520	742	595
1,000	17,390	29,710	47,050	1,040	1,480	1,190

제 2 절 가축분뇨처리 관련규정

1. 우리나라규정

가. 관계법률, 시행령 및 시행규칙

제 정 일 자	개 정	관련법 및 규칙
법률 제4364호 (1991. 3. 8)	법률 제4715호 (1994.1.5)	오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률
대통령 제13462 (1995. 9. 7)	시행령 제14450호 (1994.12.23)	오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 시행령(대통령령)
총리령 제392호 (1991. 9. 9)	시행규칙 제7호 (1995.4.1)	오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 시행규칙(환경부령)

나. 허가 및 신고대상 축산폐수 배출시설

허가대상(시행령 제5조)	신고대상(시행령제7조)
돼지사육시설 1,000m2 이상 단 수질보전 특별 대책지역 등에서도 면적 500m2 이상으로 한다.	면적 250m2 이상 1,000m2 미만 다만 수질보전 특별지역 대책지역 등에서도 면적 250m2 미만으로 한다.

다. 간이축산 폐수정화조 설치대상 축사시설(시행령 제20조 제2항)

돼지 사육시설 면적 70m2 이상 250m2 미만

라. 분뇨처리시설 및 축산 폐수 처리시설의 방류수 수질기준

구 분	시행일자	생물학적 산소요구량 mg/l	화학적 산소요구량mg/l	부유물질량 mg/l	대장균수 (개/ml)	기 타 (mg/l)
분뇨처리 시 설	95.12.31까지	40이하	-	70이하	3,000이하	-
	96.1.1부터	30이하	-	30이하	3,000이하	총질소120이하
	99.1.1부터	30이하	50	30	3,000이하	총인 16이하
축산폐수 처리시설	95.12.31까지	40이하	-	70이하	-	-
	96.1.1부터	30이하	-	30이하	-	총질소120이하
	99.1.1부터	30이하	50	30이하	3,000이하	총인 16이하

마. 축산폐수 정화시설의 방류 수질기준(96. 6. 30일까지)

구 분	축산폐수배출시설의 설치허가를 받는자가 설치한 축산폐수 정화시설	축산폐수 배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수 정화시설
생물화학적산소요구량 (mg/l)	150이하	1,500이하
부유물질량 (mg/l)	150이하	
수도법 제5조의 규정에 의한 상수원보호구역, 환경정책 기본법 제22조의 정에 의한 특별대책지역 및 수질환경보전법 제33조의 규정에 의한 특정호수수질관리구역에 있어서의 축산폐수 배출시설의 설치허가를 받은 자가 설치한 축산폐수정화시설의 방류수수질기준은 생물화학적 산소요구량 및 부유물질량 50mg/l 이하로 한다.		

o 1996년 7월 1일부터 적용하는 기준

지역	구 분	축산폐수배출시설의 설치허가를 받은자가 설치한 축산폐수정화시설	축산폐수배출시설의 설치신고를 한자가 설치한 축산폐수정화시설
특정지역	생물화학적 산소요구량 (mg/l)	50이하	350이하
	부유물질량 (mg/l)	50이하	350이하
기타지역	생물화학적 산소요구량 (mg/l)	150이하	500이하
	부유물질량 (mg/l)	150이하	500이하
공동축산폐수정화시설의 방류수수질기준은 특정지역내에 설치된 허가대상 축산폐수배출시설의 방류수수질기준을 적용한다. 다만, 공동축산폐수정화시설로 유입.처리하는 축산폐수배출시설이 법 제24조 제4항의 규정에 의한 신고대상 축산폐수배출시설만으로 구성된 경우에는 특정지역내에 설치된 신고대상 축산폐수배출시설의 방류수수질기준을 적용한다.			

※ 비고 : 이표에서 특정지역은 수도법 제5조의 규정에 의한 상수원보호구역 및 동법 제3조 제15호의 규정에 의한 상수원수취수시설로부터 유하거리 4킬로미터 이내의 상수원상류지역, 환경정책기본법 제22조의 규정에 의한 특별대책지역, 수질환경보전법 제33조의 규정에 의한 특정호소수질관리구역, 지하수법 제10조의 규정에 의한 지하수보전구역, 자연공원법 제4조 내지 제6조의 규정에 의한 공원구역 및 동법 제25조의 규정에 의한 공원보호구역으로 한다.

바. 재활용 분뇨 또는 축산폐수의 처리기준(제30조관련)

o 수집운반의 경우

(1) 분뇨 또는 축산폐수는 지역별, 계절별로 발생량 및 성상을 고려하여 적정하게 처리될 수 있도록 수시로 이를 수집, 운반하여야 하며, 수탁처리 계약을 체결한 경우에는 정당한 사유없이 수집, 운반을 거부하거나 지연으로 인하여 위탁자의 사업에 지장을 주어서는 아니 된다.

(2) 분뇨 또는 축산폐수는 흡인식장비로 수집하여야 한다. 다만, 흡인식 장비의 사용이 어려운 지역 및 성상인 경우에는 수거식장비로 수집 할수 있다.

(3) 흡인식 또는 수거식장비에는 수집량을 계량할수 있는 계기 등을 갖추어야 하며, 운반장비는 내부용량을 계측할수 있는 구조이거나 그 양을 확인할 수 있도록 하여야 한다.

(4) 수집,운반장비는 분뇨 또는 축산폐수에 의하여 부식되지 아니하고, 운반도중에 분뇨 또는 축산폐수가 흘러나오거나 악취가 발산되지 아니하는 구조이어야 한다.

(5) 운반차량은 항상 청결하게 유지, 관리하여야 하며, 분뇨 또는 액상 축산폐수는 적재함이 밀폐된 차량으로 운반하여야 한다.

o 처리의 경우

(1) 저장시설은 분뇨 또는 축산폐수에 의하여 부식, 손괴되지 아니하는 재질이어야 하며, 분뇨 또는 축산폐수가 흘러나오거나 악취가 발산되지 아니하는 안전한 구조이어야 한다.

(2) 저장시설의 바닥 및 벽은 방수재료로 만들거나 방수제를 사용하여 누수되지 아니하도록 하여야 하고, 빗물,토사,지표수 등이 유입되지 아니하도록 하여야 한다.

(3) 분뇨 또는 축산폐수의 처리는 자연환경과 생물환경에 위해가 없는 생물학적,퇴비화,저장액비화방법 등에 의하여 적정하게 처리하여야 한다.

(4) 분뇨 또는 축산폐수의 저장, 처리장소에는 쥐, 파리, 모기 등 해충이 발생. 번식하지 아니하도록 약제의 살포 등 필요한 조치를 하여야 한다.

(5) 분뇨 또는 축산폐수를 저장.처리함에 있어서는 처리시설.장비 등으로부터 분뇨 또는 축산폐수가 흘러나오거나 악취가 발산되지 아니하도록 하여야 한다.

(6) 분뇨 또는 축산폐수를 처리하는 과정에서 생산된 재활용 회수자원은 재활용(판매 등을 포함한다) 되기 전까지는 보관시설 및 장비로부터 흘러나오거나 악취가 발산되지 아니하도록 하여야 한다.

(7) 분뇨 또는 축산폐수를 처리하는 시설 및 장비 등은 기능이 정상적으로 유지될 수 있도록 수시로 점검 및 보수등 필요한 조치를 하여야 한다.

사. 축산폐수정화시설 설치면제자 지정을 받는자의 준수사항(제40조관련)

o 유입처리의 경우

(1) 축산폐수 처리시설의 운영권자와 유입처리계약을 한후 그 계약서를 사업장안에 항상 비치하여야 한다.

(2) 축사에서 발생하는 폐수를 5일이상 집수할 수 있는 집수조 및 스크린을 설치하여야 한다.

(3) 축사에서 발생하는 축분을 전량 처리할 수 있는 퇴비화시설을 설치하여야 한다.

(4) 축사 청소시에는 분 분비율이 90%이상이 되도록 하여야 한다.

(5) 집수조에 협잡물, 토사, 빗물 등이 들어가지 아니하도록 뚜껑을 설치하여야 한다.

(6) 집수조 및 스크린을 수시로 청소하여야 하며, 악취가 발산되지 아니하도록 허가나 파리,모기 등 해로운 벌레가 발생,번식하지 아니하도록 소독을 실시하여야 한다.

(7) 축산폐수배출시설의 운영중지 등에 관한 사항이 발생된 때에는 축산폐수 처리시설의 운영권자 및 관할 행정기관에 지체없이 통보하여야 한다.

o 위탁처리의 경우

(1) 축산폐수재활용 신고자, 분뇨처리시설 또는 축산폐수처리시설의 운영권자와 위탁처리계약을 한후 그 계약서를 사업장안에 항상 비치하여야 한다.

(2) 축사에서 발생하는 축산폐수를 1주일 이상 보관할 수 있는 축분저장시설과 폐수저장시설을 설치하여야 한다.

(3) 축산폐수량 및 위탁처리한 축산폐수량을 기록하여 최종기재를 한 날부터 3년간 보존하여야 하며, 매년 위탁처리한 축산폐수량 및 수탁처리자에 대한 사항을 다음해 1월15일까지 관할 행정기관에 통보하여야 한다.

(4) 축산폐수저장시설에 협잡물,토사,빗물 등이 들어가지 아니하도록 뚜껑을 설치하고 수시로 청소하여야 하며, 악취 및 해충이 발생, 번식되지 아니하도록 소독을 실시하여야 한다.

(5) 축산폐수배출시설의 운영중지 등에 관한 사항이 발생된때에는 축산폐수 재활용신고자, 분뇨처리시설 또는 축산폐수처리시설의 운영권자 및 관할 행정기관에 지체없이 통보하여야 한다.

o 자가처리의 경우

(1) 축사에서 발행하는 축산폐수를 전량 자가처리 지정조건에 따라 처리하여 오염물질이 외부로 배출되지 아니하도록 하여야 한다.

(2) 시설의 고장 또는 수리 등으로 오염물질이 외부로 배출되는 경우에는 관할 행정기관이 지체없이 축산폐수 배출시설의 비정상운영신고를 하여야 한다.

(3) 발생된 축산폐수량과 자가처리한 축산폐수량을 기록하여 최종기재를 한 날부터 3년간 보존하여야 하며, 매년 자가처리한 축산폐수량 등을 다음해 1월15일까지 관할 행정기관에 통보하여야 한다.

(4) 축산폐수저장시설에 협잡물,토사,빗물 등이 들어가지 아니하도록 뚜껑을 설치하고 수시로 청소하여야 하며, 악취 및 해충이 발생 번식되지 아니하도록 소독을 실시하여야 한다.

(5) 축산폐수배출시설의 운영중지 등에 관한 사항이 발생된 때에는 축산폐수재 활용신고자, 분뇨처리 시설 또는 축산폐수처리시설의 운영권자 및 관할 행정기관에 지체없이 통보하여야 한다.

아. 축산폐수정화시설의 설치기준(제41조 관련)

(1) 구조물의 천정,바닥 및 벽은 수밀성 재료로 만들거나 방수재를 사용하여 누수되지 아니하도록 하여야 한다.

(2) 구조물은 토압.수압.자체중량 기타 하중에 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

(3) 부식 또는 변형의 우려가 있는 부분에는 부식 또는 변형이 되지 아니하는 재료를 사용하여야 한다.

(4) 발생가스를 배출할 수 있는 배출장치를 갖추어야 하고, 배출장치는 이 물질이 유입되지 아니하는 구조로하며, 방충망을 설치하여야 한다.

(5) 유입량이 변동되더라도 기능수행에 지장을 받지 아니하는 구조로 설치하거나 유입량을 일정한 수준으로 유지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.

(6) 기계류는 계속하여 가동될 수 있는 견고한 구조로 하되, 진동 및 소음을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.

(7) 점검, 보수 및 오니의 청소를 편리하고 안전하게 할수 있는 구조이야 한다.

(8) 축산폐수배관은 폐쇄, 역류 및 누수를 방지할 수 있는 구조이어야 한다.

자. 간이축산폐수정화조의 설치기준(제54조의 5관련)

구 분	구 조 및 규 격
퇴비화 방법	o 퇴비사는 사육시설에서 배출되는 가축의 분을 30일이상 충분히 건조.발효하여 퇴비화할 수 있는 용량으로 설치하여야 한다. o 비닐하우스 등과 같은 지붕을 설치하여 빗물의 침투를 방지할 수 있어야 한다. o 바닥은 방수재료로 만들거나 방수제를 사용하여 축산폐수가 지하로 스며들지 아니하도록 하여야 한다.
저장액비 화방법	o 유입구는 분과 뇨(세척수 포함)를 분리할 수 있는 설치를 하여야 한다. o 2실이상 직렬로 접속하여야 한다. o 저장액비조는 사육시설에서 배출되는 축산폐수를 30일이상 저류할 수 있는 규모로 설치하여야 한다. o 구조물의 천정.바닥 및 벽은 방수재료로 만들거나 방수재를 사용하여 누수되지 아니하도록 하여야 한다. o 밀폐식으로 하되, 내부청소를 하거나 스컴을 제거할 수 있도록 맨홀을 설치하여야 한다. o 발생가스를 배출할 수 있는 배출장치를 갖추어야 하고, 배출장치는 이물질이 유입되지 아니하는 구조로 하여야 하며, 방충망을 설치하여야 한다.
생물학적 처리방법	o 유입구는 분과 뇨(세척수포함)를 분리할 수 있는 설비를 하여야 한다. o 유입량이 변동되더라도 기능수행에 지장을 받지 아니하는 구조로 설치하거나, 유입량을 일정한 수준으로 유지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다. o 벽 및 바닥은 방수재료로 만들거나, 방수제를 사용하여 축산폐수가 지하로 누수되지 아니하도록 하여야 한다. o 부식 또는 변형이 되지 아니하는 재료를 사용하여야 한다. o 저장조의 폐수를 이송할 수 있는 펌프를 설치하여야 한다. o 비닐하우스 등과 같은 지붕을 설치하여 빗물의 침투를 방지할 수 있어야 한다.

차. 간이축산폐수 정화조의 관리기준(제54조6 관련)

(1) 기능이 정상적으로 유지되고 있는지를 점검하고 시설가동상태를 수시로 확인하여야 한다.

(2) 악취가 발산되지 아니하도록 하여야 하며, 파리.모기등 해로운 벌레가 발생. 번식하지 아니하도록 하여야 한다.

(3) 퇴비화방법 및 저장액비화방법에 의한 시설에서 배출되는 축산폐수는 인근농가와 협의하여 전량 퇴비로 이용되도록 하여야 하며, 공공수역에 방류하여서는 아니된다.

(4) 기능이 정상적으로 유지될 수 있도록 수시로 내부청소를 하여야 하며, 이 경우 청소과정에서 발생된 오니는 탈수하여 처분하거나 법 제35조의 규정에 의한 정화조 청소업의 허가를 받은자에게 위탁하여 처리하여야 한다.

(5) 기능이 정상적으로 유지될 수 있도록 부유물질을 제거하여야 한다.

카. 분뇨처리시설 등의 설계.시공업의 등록기준(제59조제1항 관련)

업종	기 술 능 력	시설 및 장비	자본금 또는 재산
축산폐수정화시설설계.시공업	1.토목기사 또는 건축기사 1인이상 2.수질환경기사 또는 화공기사(화공.공업화학분야)1인이상 3.기계기사(일반.정밀.건설.공정설계분야) 또는 전기기사중1인이상	1. 사무실(전용면적) : 30제곱미터이상 2. 실험실(전용면적) : 15제곱미터이상 3. 다음 항목을 측정할 수 있는 실험기기 o 생물화학산소요구량 o 부유물질량 4. 제도설비 1조이상	법인: 자본금5천만원이상 개인: 재산평가액 1억원이상

※ 비고 : 1. 2개업종이상의 설계.시공업의 등록을 하고자 하거나 수질환경보전법 제39조의 규정에 의한 방지시설업의 등록을 한자 또는 폐기물관리법 제21조제3항의 규정에 의한 일반폐기물처리시설설계.시공업의 등록을 한자가 분뇨처리시설 등의 설계.시공업의 등록을 하고자 하는 경우에는 이표에서 정한 기술능력. 시설 및 장비를 중복하여 갖추지 아니할 수 있다.

2. 수질관리기술자는 상.하수도 기술자,공학박사(환경공학 전공에 한다) 학위소지자 또는 수질환경기사 1급자격을 취득한 후 분뇨처리시설 설계. 시공업 또는 분뇨처리시설에서 7년이상 종사한 자로 대체할 수 있다.

3. 측정항목 각각에 수질환경보전법 제44조의 규정에 의한 측정 대행업자와 대행계약을 체결한 경우에는 동 항목의 측정에 필요한 실험기기를 갖추지 아니하여도 되며, 전체 측정항목에 대하여 대행계약을 체결한 경우는 설험기기 및 실험실을 갖추지 아니하여도 된다.

타. 기술관리인의 자격기준(제66조관련)

구 분	기 술 관 리 인
1. 분뇨처리 시설 및 축산폐수 처리시설	o 다음의 1에 해당하는 자 가. 수질환경기사.폐기물처리기사.토목기사 또는 화공기사(화공.공업화학분야) 나. 환경기능사 또는 화학분석기능사로서 해당분야에서 2년이상 실무에 종사한 자
2. 오수정화 시설 및 정화조	o 다음의 1에 해당하는 자 가. 수질환경기사.폐기물처리기사.토목기사 또는 화공기사(화공.공업화학분야) 나. 환경기능사 또는 화학분석기능사로서 해당분야에서 2년이상 실무에 종사한 자 다. 이공계 전문대학졸업이상의 학력을 가진 자로서 해당분야에서 1년이상 실무에 종사한 자 라. 공업계 고등학교졸업자로서 해당분야에서 3년 이상 실무에 종사한 자
3. 축산폐수 정화시설 및 공동 축산폐수 정화시설	축산폐수배출시설.축산폐수정화시설 또는 공동축산폐수정화시설 업무에 종사하는 피고용인중에서 축산폐수배출시설 설치허가를 받은 자 또는 공동축산폐수정화시설의 설치승인을 얻은자가 임명하는 자

파. 배출부과금(시행령 제13조 제3항 관련)

방류수 수질기준을 초과하여 오염유기물질과 부유물질이 함유된 방유수를 유출할때는 기준부과금 50만원에 방류수 수질기준을 초과하여 배출되는 오염물질의 처리비용에 한하는 금액을 부가한다.

표 2-10. 배출부과금 산정기준 단위 : 원

구 분	오염물질 1kg당 부과액	방류수수질기준초과율부과계수							
		20% 미만	20%이상 40%미만	40%이상 80%미만	80%이상 100% 미만	100%이상 200%미만	200%이상 300%미만	300%이상 400%미만	400% 이상
유기물질	250	3.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
부유물질	250	3.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0

※ 비고 : 1. 방류수 수질기준초과율=(배출농도-방류수수질기준농도)÷방류수수질기준농도 X 100

2. 일본 가축분뇨 환경대책

가. 축산관계민원 발생현황

일본의 축산분뇨에 의한 민원발생사항은 1970년 4,497건, 1975년 9,816건, 1980년 6,006건, 1985년 4,591건, 1990년 3,443건, 1992년 3,065건중 악취(惡臭) 관계가 1936건(전체의 63%)으로 제일많고 다음이 수질오탁(水質汚濁) 관계가 1,183건(39%)로 되어 있으며 축종별로 보면 양돈에서 발생한 건수가 전체의 40%, 낙농 29%, 양계 22%, 육우 9% 순으로 발생하고 있다.

표 2-11. 가축별 민원(苦情) 발생건수(1992년)

가축별	수질오염	악취관계	해충발생	기 타	계
돼 지	609(51.5)	786(40.6)	37(13.7)	42(28.4)	1,210(39.5)
닭	103(8.7)	430(22.2)	176(65.4)	19(12.8)	669(21.8)
젖 소	348(29.4)	544(28.1)	32(11.9)	69(46.6)	875(28.5)
육 우	112(9.5)	141(7.3)	19(7.1)	15(10.1)	260(8.5)
기 타	11(0.9)	54(1.8)	5(1.5)	3(2.1)	51(1.7)
계	1,183(100)	1,936(100)	296(100)	148(100)	3,065(100)
구성비	38.6	63.2	8.7	4.8	100

한편 가축의 사양규모가 커짐에 따라 민원발생 비율이 높아지는 경향으로 양돈 1,210건을 규모별로 보면 다음 표와 같이 발생하고 있다.

표 2-12. 돼지 사육규모별 민원 발생건수(1992년)

구 분	49두이하	50 199두	200 499	500 999	1000두이상
민원건수	149	224	266	246	325
발생비율(%)	12.3	18.5	22.0	20.3	26.9

일본환경청의 민원발생사항중 악취(악취) 관계중 축산관계로 22.5%로서 제일높고 수질오염발생의 9.7%가 축산관계에서 발생하고 있다.

나. 분뇨의 처리 이용사항

일본축산농가는 민원발생 최소화를 위하여 최선의 분뇨의 각종처리 방법을 선택하고 있으며 돼지사육 농가에서는 분뇨를 분리처리하는 농가가 62%로 그중 발효퇴비처리가 32% 건조처리가 12%, 미처리가 약 56%로 되어 있고, 뇨는 저장부숙이 54.5%, 정화처리 13.7%, 강제발효 7.4%, 기타 방법으로 24.4%가 처리되고 있다. 처리분뇨의 이용은 경지에 이용이 분37.3%, 뇨 39.6%, 판매교환, 무상양도가 분은 41.6%, 뇨 12.4%로 처리 이용되고 있다.

표 2-13. 가축분뇨 처리이용상황(농가호수비율)

구 분		젖 소	육 우	돼 지	산란계	육 계
분	발 효	9.9	9.4	32.1	11.5	5.1
	퇴 적	86.6	89.7	-	-	-
	건 조	3.5	1.3	11.7	63.6	15.0
	소 각	-	-	-	0.6	13.0
	기 타	-	6.7	56.2	24.3	66.9
	계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
뇨	저 장	64.0	-	54.5	-	-
	정 화	1.4	-	13.7	-	-
	강재발효	1.7	-	7.4	-	-
	기 타	32.9	-	24.4	-	-
	계	100.0	-	100.0	-	-
조사년도		1989	1992	1988	1987	1987

다. 관련법률과 규제현황

축산환경문제에 관련되는 법률은 공해대책 기본법에 따라 ① 폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률, ②수질오탁 방지법, ③ 호수 수질보존특별조치법, ④ 악취 방지법, ⑤ 하천법, ⑥ 해양오염 및 해상재해 방지에 관한법률, ⑦ 대기오염방지법 등으로 가축분뇨의 처리를 규제하고 있으며 관련되는 법규제를 보면 다음과 같다.

첫째 폐기물처리 및 청소에 관한법률(1970 제정 법률제137호) 폐기물에 가축분뇨를 포함시키고 폐기물을 발생시킨 농가 스스로가 책임하에 적정한 방법으로 처리하는것을 의무사항으로 하고, 불법투기(投機) 한자는 6개월이내의 징역 또는 50만엔 이하의 벌금에 처하도록 하고, 분뇨의 이용은 시가화(示街化) 구역에서는 ① 발효처리 ② 건조 또는 소각 ③ 화학처리 ④ 뇨(尿)는 분리 뇨처리시설에 의한 처리 ⑤ 충분한 복토등의 방법 이외에는 비료로서 사용할수 없도록 규정 기타지역에서도 생활환경에 피해가 발생하지 않는 방법으로 사용하도록 규정하고 있다.

둘째 수질오탁(汚濁) 방지법(1970 제정 법률제138호) 공공용수역(用水域)에 배출하는 배출 및 지하에 침투하는 물에 의한 수질오탁을 방지하는법 규정으로 돈사면적 50m2 우사 200m2 이상의 축산농가는 특별시설을 설치토록 하고 배수기준을 위반할때는 6개월 이하의 징역 또는 30만엔 이하의 벌금에 처하도록하고 있다.
개수명령을 이행하지 않았을때는 1년이하의 징역 또는 50만엔 이하의 벌금에 처하도록 하고 있다.

표 2- 14. 배수기준(1일 배수량 50m3 이상에 적용)

PH	BOD	COD	SS	대장균수	질 소	인 산
5.8 8.6 바다는 5.0 9.0	150ppm (일간평균 120ppm)	160ppm (일간평균 120ppm)	200ppm (일간평균 150ppm)	3000개/cm3	120ppm (축산 250ppm)	16ppm (축산 50ppm)

1991년 7월이후 신증설(新增設) 1일 1000m3 이상 방수하는 축산사업장은 COD 30 50ppm, 1,000m3 미만의 축산사업장은 COD 60 90ppm로 규정되어 있다.

세째 악취(惡臭)방지법(1984 제정 법률제91호) 공장 또는 사업장에서 발생하는 악취물질인 암모니아, 메칠메루카부타, 유화(硫化)수소, 염화(鹽化) 메칠 등 12개 물질을 지정 규제하고 있다.

네째 대기오염방지법(1968 제정 법률제97호) 축산환경관계시설의 분뇨소각 건조시설에서 발생하는 내염(耐鹽)의 대기증 배출기준을 규정

라. 축산환경대책 관계보조사업 리스사업 융자, 세제우대조치사항

(1) 국고보조사업

농림수산성은 가축분뇨의 적정 처리에의한 환경보존을 위하여

- 축산농가에 대한 적절한 가축분뇨처리를 위한 지도
- 공동이용가축분뇨처리 시설의 정비
- 환경문제 해소를 위한 집단적인 이전
- 가축분뇨처리를 위한 신기술의 개발과 실용화 보급추진 등

사업을 추진하기 위하여 다음과 같은 각종 보조사업을 실시하고 있다.

표 2-15. 축산환경대책 관련사업 자금지원 내역

사 업	실 시 주 체	보조율 및 금리
1. 환경보존형 축산확립대책 사업(대형화 종합처리장)	시정촌(市町村) 및 농협	보조 1/2 - 1/3이내
2. 환경보존형 축산환경대책 추진사업 (퇴비화 이용대책추진)	도도부현 및 농협	보조 1/2 이내
3. 축산환경 종합정비사업 (공공사업)	도도부현 및 지방공공단체농협 등	기반정비 보조 1/2이내 처리시설 보조 1/3이내
4. 가축분뇨처리 이용 신기술 실용화사업	도도부현, 농협 영농집단	보조 1/2 이내
5. 쾌적한 축산마을 추진사업	도도부현, 중앙축산회	보조 1/2 또는 전액
6. 축산환경미화 운동추진사업	전국련(全國連), 중앙축산회	보조 1/2 또는 전액
7. 농업근대화자금	영농법인, 농협	융자금리 4.15% 4.35%
8. 농업개량자금 (생산환경개선)	농가 및 영농법인	융자 80% 무이자
9. 축산환경정비 리스사업	리스협회	취득액 90%에 대한 5% 금리(집단 3.5%)

(2) 리스사업

개별농가, 농가집단 또는 농협 등의 가축분뇨 처리시설 정비시 리스자금의 활용이 가능하며 시설 및 기종에 따라 대부기간 2 10년으로 금액은 취득액의 90%에 대하여 5% 단체는 3.5% 금리를 부담함

표 2-16. 리스대부 기계종류와 대부기간

대부기간	대 부 기 계 의 종 류
10년	오수처리 구축(構築)물(무근콘크리트 금속제에 한함) 퇴비화장치
7	FRP제 뇨조(尿槽)
6	오물처리 기계장치 대행탈취장치
5	분뇨처리용 기구(건조, 발효장치, 로다, 뇨살포기 등) 분뇨복토기 악취방지용 기구 및 장치
4	운반용기구 경4윤차(배기량 0.661이하)
3	배큐움차(2톤이하)

(3) 융자제도

개별농가의 가축분뇨 처리시설기계에 소요되는 자금 융자제도로서는 농업개량자금, 농업근대화자금 농림어업 금융공고자금 등을 이용할 수 있다.

표 2-17 자금별 융자조건

구 분	대 상	금 리	융자비율	상환기간
농업개량자금	분뇨처리 시설기계 정비자금	무이자	80%	3년거치 10년상환
농업근대화자금	시설구축을 개량 및 기계 기구취득	4.15% (농업 4.35%)	100	무제한
농림어업금융금고	축산경영자 분뇨처리 시설의 설치	비보조 4.0% 보조시는4.6%	100	무제한

(4) 세제상의 특별조치

수질오염 방지법, 악취방지법 등에 대응하기 위한 환경오염방지 시설설치 촉진을 위하여 다음과 같은 우대조치를 취하고 있다.

세 원 별	우 대 조 치
o 소득세 및 법인세 특별상각	청색신고대상인 개인 또는 법인이 오수 처리에 투입한 금액의 감가상각액과 취득액의 18/100을 특별상각조치
o 고정자산세의 비과세 조치	신설시설에는 비과세, 기존시설의 능력을 상회 이후에도 과세 표준액의 1/2과세
o 고정자산의 과세표준의 특별조치	돈방 40m2 이상 50m2 미만의 오수 처리시설의 고정자산세는 표준과세액의 1/3 생산시설 2/3를 경감

3. EC의 분뇨처리와 환경

축산이 고도로 발달된 EC 각국에서는 대량의 분뇨 발생과 농경작지에 뿌리므로서 지표수, 지하수의 오염은 물론 토양의 과비욕화, 산성화 대기오염의 주원인이 되고 있어, 축산경영의 과집약화 집중화를 억제하여 자연환경을 보존하는 문제가 70년 후반기부터 80년 초반기에 대두하기 시작하였다. 일반적으로 국토면적이 좁으면서 많은 가축사양 특히 많은 농후사료를 급여하는 집약적인 축산을 경영하는 덴마크, 화란, 벨기 등 국가에서는 축산경영에 의한 환견오염의 경감이 중요과제로 되어있고, 불란서 독일과 같이 국토가 넓어 지역적으로 조성된 축산 주산지에 서도 문제시하고 있다.
영국에서는 분뇨의 농경지 살포가 수질오염의 주 원인이 되고 있어 환경규제를 강화하고 있다.

표 2-18. EC 국가의 집약적 축산경영에 의한 오염

요 인	영 향	피 해
1. 축사건물	소음,외관,악취	인근주민의 민원
2. 분뇨살포로 유출질소침투	악취,초산염의 발생	음료수의 저질화
3. 유기질,질소,인산 침출	유수중의 산소흡수 완유수의 부영양	하천, 해역생태계파괴 음료수질의 저하
4. 병원균의 전파	어폐류의 세균오염	보건위생
5. 암모니야 대기오염	환경의 산성화	토양산성화

1985년 EC위원회가 공포한 그-린 페퍼조항의 양돈농가(비육,번식)는 사료자급율을 최저 35%로 제한해서 두수확대를 제한하고 분뇨의 방류는 절대안되고 자가 농경지에 살포하는 것을 원칙으로 하고, 농경지의 과비옥화 방지와 물의 초산연농가 50mg/l 이상의 위험이 있는 지역에서는 농지 1ha당 젖소 성우 2두, 비육우 4두, 번식돈 5두, 비육돈 16두, 산란계 133수 이내로 제안하는 조치를 취할것을 지시하고 있다.

표 2-19. EC각국의 경지 1ha당 권장 가축사육두수

구 분	독 일	네덜란드	덴 마 크
큰 소(두)	4.5	2.4	2.3
모 돈(두)	9.0	7.1	1.7
산 란 계(수)	300	48.2	-
육 계(수)	900	-	-

가. 네덜란드의 환경규제

네덜란드의 환경규제법률을 EC는 물론 다른 선진국보다는 더 엄격하게 규제하고 있다. 지하수위가 높고, 지하수에 의한 음용수 의존도가 높으며 최근 조사한 지하수의 초산염 농도가 장소에 따라 차는 있지만 EC의 허용기준치 50mg/l를 상회하는 80 100mg/l의 고농도로서 음용수의 약 25%가 초산염기준치이상을 상회하고 있다. 네덜란드 전국환경정책기획(NEPP)에 의하면 2000년을 목표로 현재의 환경오염수치의 70 90%를 감축시키는 대책으로 액상분뇨의 사용기준을 다음과 같이 제시하고 있다.

표 2-20. ha당 분뇨사용기준인(P2O5)kg로 표시

구 분	1987	1995	2000
초 지	250(액비 139톤)	175(액비 97)	미 정
생식옥수수	350(액비 194톤)	175(액비 67)	

※ 액비는 스로리분뇨 완전부숙 액비임

이를 달성하기 위하여 ① 토양본조에 관한법률(1986) ②기비제료에 관한 법률 (1986) ③ 잉여기비문제 역행방지를 위한 돼지, 닭 사양제한 잠정법 등을 제정하여 지역별로 농지 ha당 기비사용량의 단계적 규제 기비발생의 억제와 기비장부(騏肥帳簿)를 구비토록하여 잉여발생량에 대한 과세관리 등 다각적으로 오염물질 감축대책을 추진하고 있다.

나. 덴마크 환경규제

EC 각국과 같이 생산된 가축분뇨를 퇴비화 토양환원에 의한 환경보전을 기본방향으로 스로리 액비로서 9개월간 저장할 수 있는 시설을 갖추도록 규정하고 다음에 해당되는 농장을 신설하거나 그러한 규모로 농장을 확장 또는 개축하는 경우에는 환경승인을 받도록 하고 있다.

① 120 가축단위 이상(모돈기준 360두) ② 15가축단위(모돈기준 45두) 이상으로 축사 및 기비저장시설이 주거지와 50m이내 또는 휴양지 경계로부터 100m 이내

다. 미국의 환경규제(Green- Water)

환경보호청은 그린- 워다법 수질보존관점에서 전 미국 오염물질방출 폐지 시스템계획(NPDES)이 실시되고, 축산경영에서의 대상은 배합사료위주로 특정장소에서 다두사육하는 휘드랏트 경영형태로 양돈은 사내(舍內) 사육인 스노코상, 콘크리트상, 옥외방목상 등이 대상이 된다. NPDES에서는 대규모 축산경영 대상의 기준을 육우는 1,000두, 젖소성우 700두, 돼지 25kg 이상 2,500두, 산란계 10만수 이상 가축단위로 1,000이상이면 환경규제의 허가를 득하여야 한다.

허가받은 농장은 분뇨와 사육시설경내의 빗물을 집수저장 할 수 있는 최소의 시설을 갖추어야 하고 기비 살포시에는 화학비료의 시비량과 기준으로 조정수계(水系)로부터 30 60m 간격을 두고 살포하도록 규제하고 있다.

제3장 분뇨처리실태

제 1 절 분뇨처리시설 설치현황

오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률, 동시행령 제5조, 제7조에 따라 일정규모이상의 축산폐수 배출시설을 설치하고자 하는자는 시장, 군수, 구청장에게 신고 또는 허가를 받도록 되어 있으며 신고, 허가 기준은 다음과 같다.

표 3-1. 돼지사육시 배출시설의 허가신고기준

구 분	일반지역		수질보전특별 대책지역	
	축사면적	두수환산	축사면적	두수환산
허가대상	1,000m2 이상	720두이상	500m2이상	360두이상
신고대상	250~1,000m2미만	180~720미만	250~500m2미만	180~360두미만
간이정화시설설치대상	-	-	70~250m2미만	50~180두미만

※ 두수환산은 본조사에서 참고로 환산제시한 것임

농림수산부가 95. 2. 11 ~ 3. 25일까지 전체축산 농가중 기업, 전업, 부업 규모별로 축산분뇨처리시설 설치현황을 조사한 결과는 다음과 같다.

표 3-2. 소, 돼지, 닭 전가축 분뇨처리시설 설치현황(94말 현재)

구 분	설치대상	설 치		미 설 치		규격미달	
		개소수	비율	개소수	비율	개소수	비율
허가대상	2,722	2,694	99	28	1	239	9
신고대상	24,431	20,319	83	4,112	17	1,530	8
간이대상	51,031	32,783	64	18,248	36	1,553	5
계	78,184	55,796	71	22,388	29	3,322	6

※ 94년말 설치대상은 개정 법률적용 규격미달은 96. 6. 30까지의 기준 적용

전가축 설치현황중 돼지를 대상으로 허가, 신고, 간이대상별로 분 및 뇨오수 처리시설 설치내역을 보면 분처리시설을 저장액비화가 59%, 톱밥축사 21%, 퇴비화 20%로 되어 있고, 뇨오수 처리시설 설치내역은 정화조 72%, 기타방법 22%, 활성오니 6%로 되어있다.

표 3-3. 돼지 규모별 분뇨오수시설 설치내역(94년말 현재)

구 분	설 치		자원화(퇴비,액비) 시설				정화방류시설			
	대상	농가	퇴비사	톱밥축사	저장액비	계	활성오니	정화조	기타	계
허가대상	1995	1939	425	219	694	1,338	180	236	185	601
신고대상	10,960	9,842	1,074	1,226	3,942	5,792	321	2,901	828	4,050
간이대상	8,745	6,611	542	658	1,209	2,409	22	3,257	923	4,202
계	21,660	18,392	2,041	2,103	5,845	9,539	523	6,394	1,936	8,853

한편 축산폐수 배출시설의 허가신고 기준중 수질보전 특별대책지역의 전대상농가는 38,827호이며, 이중 허가대상은 1,655호(4.2%), 신고대상 11,974호(31%), 간이대상 25,198호(64.8%)로 기 설치한 농가는 허가대상 99%, 신고대상 86%, 간이대상 67%가 되어있는 것으로 조사 되었다.

표 3-4. 축산폐수, 처리시설 수계별 설치내역 단위 : 호수

수계별	허가대상		신고대상		간이대상		계	
	농가	설치	농가	설치	농가	설치	농가	설치
한 강	586	583	2,489	2,079	6,821	5,234	9,896	7,896
낙동강	503	499	4,281	3,884	8,677	6,347	13,451	10,730
금 강	425	425	3,840	3,336	7,165	4,263	11,430	8,024
영산강	141	140	1,364	977	2,545	1,017	4,050	2,134
계	1,655	1,647	11,974	10,276	25,198	16,861	38,827	28,784

제 2 절　축산분뇨 처리사업지원

1. 축산분뇨 처리시설 종류와 지원계획

농림수산부는 '90년도부터 축산분뇨에 의한 환경오염방지를 위한 년차 사업계획을 수립 개별농가시설과 축산단체 공동시설로 나누어 다음표와 같이 지원하였다.

사업지원 우선순위는 개별농가시설의 경우 첫째, 상수보호구역 등 특정지역 내 농가, 둘째, 자원화(퇴비·액비)시설 설치농가, 셋째, 축산업을 계속 영위할 수 있는 농가순이며, 단체공동시설의 경우에는 첫째, 축산단지를 기 조성하였거나 시설부지를 확보한 단체, 둘째, 경영구조가 양호한 단체, 셋째, 공동시설 설치와 관련 농지전용, 부산물비료제조업허가, 액비살포 확보에 문제가 없는 단체 및 분뇨의 자원화에 필요한 수분조절제의 수급에 지장이 없는 지역의 단체를 우선으로 하고 있다.

표 3-5. 축산분뇨 처리시설의 종류와 지원내역

구 분	축 종	자 원 화 시 설		정화방류시설	개 소 당 지원금액
		퇴 비	액비		
간이대상 (부업규모)	소 돼지 닭	퇴 비 사 퇴비사, 톱밥돈사 건 조 장	저장액비 “ -	간이정화조, 톱밥토양여과 “ -	420만원 - 융자 : 50% - 보조 : 50%
신고대상 (전업규모)	소 돼지 닭	퇴비사, 개폐식우사 퇴비사, 톱밥돈사 퇴 비 사	저장액비 “ -	정화조*** 톱밥토양여과 “ -	1,000만원 - 융자 : 50% - 보조 : 50%
	공통	비료화시설* (축분발효시설)	-	-	5,000만원 - 융자 : 70% - 자담 : 30%
		퇴비처리장비**	-	-	1,000만원(융자)
허가대상 (기업규모)	소 돼지	- -	- -	정화시설 “	(환경부 환경오염 방지 시설자금) 20,000만원이내 융자
	공통	비료화시설 (축분발효시설)	-	-	10,000만원 - 융자 : 70% - 자담 : 30%
		퇴비처리장비	-	-	10,000만원(융자)
축산단체	공통	축분발효시설 분뇨운반장비	분뇨공동 저장탱크	-	축분 : 100,000만원 운반 : 3,000만원 저장 : 5,000만원 (보조50%, 융자20%, 자담30%)
	(정착촌)	공통시설	공통시설	공통시설	

* 비료화시설 : 교반식, 통풍식, 건조식 발효시설
** 퇴비처리장비 : 스키드로다, 고액분리기, 분뇨건조기, 왕겨분쇄기 등
*** 정화조(시설) : 활성오니, 살수여상, 장기폭기시설 등
※ 융자조건 : 3년거치 7년균분상환, 연리3%

2. 축산분뇨처리 사업추진실적

농림수산부에서는 축산업으로 인한 환경오염을 방지하고자 지난 90년도부터 농림수산부에서는 축산업으로 인한 환경오염을 방지하고자 지난 90년도부터 본격적으로 정부시책사업을 추진하여 왔으며, 95년도부터는 매년 1,000억원 규모의 사업비를 투자할 계획이며 95년까지 투자한 사업비 내역은 다음 표와 같다.

표 3-6. 년도별 사업비 투자내역 단위 : 백만원/개소당

구 분		91 93		94		95	
		물 량	금 액	물 량	금 액	물 량	금 액
사 업 비		23,665	135,694	9,538	86,040	10,681	109,455
설치 내역	개별농가	간이정화시설, 정화시설, 퇴비처리장비(스키드로다, 고액분리기, 건조기, 톱밥제조기 등), 비료화시설(축분발효시설)					
	축산단체	분뇨운반장비, 공동저장탱크(톱밥제조시설), 축분발효시설, 정착촌					

※ 재원 : (91 94) 농발, 농특, 축발기금(95부터) 농특회계

3. 처리시설 운영현황

가. 운영실태조사결과

오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률(1991. 3. 8. 법률 제4364호)에 따라 수질보전 특별대책지역, 이반지역으로 구분 허가, 신고 대상별로 축산폐수 처리시설을 위한 각종자금을 91년부터 지원하고 있다.

그 결과 표 3-2에서와 같이 1994년 12월말 현재 축산폐수 처리시설 설치 대사농가 78,184호 그중 양돈농가 21,660호 설치대상별로 분의 자원화시설과 뇨오수의 처리시설 설치현황을 보면 표3-3와 같이 9,939호 설치농가중 퇴비화 2,041호(20%), 톱밥돈사 2,103호(21%), 저장액비화 5,845호(59%)로 되어있고, 뇨오수의 정화방류시설 8,853호 설치농가중 활성오니 523호(6%), 정화조 6,394호(72%), 기타 1,936호(22%)로 되어 있으나 실제 양돈농가의 운영실태를 조사하기 위하여 각 도별로 실태조사를 하였다.

(1) 분뇨처리 방법 실태조사결과

돼지사육농가 305호를 지역별로 선정 사육규모별로 분뇨처리 실태조사를 위하여 우선 돈사내에서 분뇨 체취방법을 조사한 결과 196호(64.2%)가 종래식 돈사에서 인력으로 분을 제거하고, 뇨는 돈사외에 설치된 뇨조로 들어가도록 되어 있으며, 스크렛바를 이용한 분뇨분리 농가가 56호(18.4%), 분뇨동시 체취하는 스로리 농가가 53호%(17.4%)로서 305로 조사 농가중

표 3-7. 사육규모 및 분뇨체취 방법별 농가호수

구 분	500두이하	501 1,000	1,001 2,000	2,001두이상	계	비 율
스크렛파	10	22	18	6	56	18.4
스로리	17	13	12	11	53	17.4
손작업	90	72	27	7	196	64.2
계	117	107	57	24	305	100

완전무배출식 분뇨처리 농가를 제한 198농가를 대상으로 사육규모별로 분처리 실태를 조사한 결과 교반식 기계퇴비화 2농가(1.0%) 퇴적퇴비화 183농가(92.8%) 건조퇴비 13농가(6.5%) 순으로 2,000두 이상 사육 2농가 이외에는 대부분 퇴적퇴비화하고 있었으며 사육규모가 적은 농가에서는 일부 건조퇴비화 방식을 사용하고 있는 농가도 있었다.

표 3-8. 사육규모 및 분처리 방법별 농가호수

구 분	500두이하	501 1,000	1,001 2,000	2,001두이상	계	비 율
기계발효퇴비화	-	-	-	2	2	1.0
퇴적퇴비화	62	86	27	8	183	92.4
건조퇴비화	7	5	0	1	13	6.5
계	69	91	27	11	198	100

분뇨 분리농가중 뇨오수 처리방법을 조사한 결과 저장액비 경지살포농가 82호(41.4%), 톱밥토양여과 농가 65호(32.8%), 간이활성오니 45호(22.8%), 폭기식 활성오니 처리농가 6호(3%) 되어있으며 처리효과면에서도 일부농가를 제하고는 문제가 있는것으로 조사되었다.

표 3-9. 사육규모 및 뇨오수처리 방법별 농가호수

구 분	500두이하	501 1,000	1,001 2,000	2,001두이상	계	비 율
톱밥토양여과	32	27	6	0	65	32.8
간이활성오니	20	22	3	0	45	22.8
폭기활성오니	-	-	1	5	6	3.0
저장액비경지살포	26	43	10	3	82	41.4
계	78	92	20	8	198	100

당초 조사 대상농가 305호중 분뇨를 분리체취 처리하지 않는 농가 즉, 분과뇨를 톱밥 또는 왕겨와 혼합퇴비화하는 완전무배출 처리를 하고 있는 농가에 대하여 사육규모별로 퇴비화 방법을 조사한결과 톱밥혼합 퇴적퇴비화 44농가(41%), 왕겨 등 혼합간이 퇴비정지환원 37호(35%), 기계교반 발효퇴비화 26호(24%)였다.

표 3-10. 사육규모 및 완전무배출 처리시설별 농가호수

구 분	500두이하	501 1,000	1,001 2,000	2,001두이상	계	비율
기계발효퇴비화	-	-	12	8	20	18.7
퇴적퇴비화	13	15	12	4	44	41.1
경지 환원	19	21	3	-	43	402
계	32	36	27	12	107	100

(2) 뇨오수 처리조사결과

분뇨분리처리 조사농가 표 3-9 198호중 저장액비화 경지살포하는 농가 82호 이외의 톱밥 토양여과, 간이활성오니, 폭기식 활성오니 처리별로 축사방출 뇨오수와 처리후 최종 방유수의 처리효과를 분석한 결과 다음과 같다. 톱밥토양여과시에 있어 65농가중 500두 이상 기르고 있는 농가가 33호이고 처리능력 사육두수 500두 이하 기르는 농가는 32호로 그중 5농가에 대한 시료를 체취 처리효과를 KIST에 의뢰 분석한 결과 다음과 같았다.

표 3-11. 톱밥토양 처리농가의 방유수의 수질분석결과 단위 : ppm

구분	사육두수	축사배출뇨오수					처 리 후 방 유 수				
		BOD	COD	T-N	T-P	SS	BOD	COD	T-N	T-P	SS
1	394	1,783	4,090	955	81	1,890	22	131	32	15	33
2	500	2,300	4,670	1,230	123	1,900	2,100	4,083	1,131	55	285
3	450	2,413	4,083	1,131	55	285	292	873	264	59	50
4	700	2,450	4,189	1,127	54	289	192	963	259	40	49
5	580	2,370	3,910	1,114	52	279	165	820	256	36	47

간의활성오니에 의한 뇨오수 처리농가 45호중 500두 이하를 사육하는 농가는 20호이고,500두 이상 사육농가가 25호로서 그중 10호 농가에 대하여 시료를 체취 분석한 결과 다음과 같다.

표 3-12. 간이 활성오니 처리농가의 방유수 수질분석 단위 : mg/l

농가	사육두수	축사배출뇨오수			처리후 방유수			설치대수
		BOD	COD	SS	BOD	COD	SS	
1	250	4,250	6,780	1,810	174	690	135	1
2	500	3,520	5,327	415	63	112	45	1
3	130	2,800	4,732	1,316	17	104	9	1
4	180	2,420	5,157	1,137	14	95	2	1
5	300	4,180	8,781	1,964	130	294	33	1
6	200	3,750	7,950	3,800	63	150	18	1
7	230	2,471	4,200	1,161	173	311	45	1
8	300	5,157	8,715	773	361	942	78	1
9	200	2,142	3,641	267	15	218	52	1
10	320	3,515	5,834	456	203	978	115	1
11	110	6,310	11,193	726	1,493	2,180	956	1
12	450	4,950	7,300	646	398	1,120	427	1
13	250	3,500	5,250	420	58	112	71	1
14	280	4,280	6,863	856	173	620	171	1
15	190	5,857	9,971	1,230	42	203	209	1
16	1,100	3,980	5,973	469	65	128	12	3

일부 대규모 사육농가에서 분뇨를 분리한 뇨오수를 폭기식 활성오니법으로 처리하고 있는 4농가에 대하여 시료를 체취 분석한 결과를 보면, 운영을 잘

하고 있는 3농가의 처리효과는 우수하였으나 한 농가는 전혀 처리효과를 인정할 수 없었다.

표 3-13. 폭기식 활성오니 처리농가의 방류수 수질분석결과 단위 : mg/l

농가	사육두수	축사배출뇨오수					처리후 방류수				
		BOD	COD	T-N	T-P	SS	BOD	COD	T-N	T-P	SS
1	24,000	3,030	5,451	396	102	2,443	19	145	35	18	27
2	3,980	2,120	4,381	553	74	900	15	44	12	13	17
3	2,821	2,763	5,560	1,100	117	1,980	24	148	105	13	22
4	1,765	10,155	17,591	2,350	193	8,700	1,128	2,040	789	34	427

나. 처리방법과 시설운영상의 문제점

돼지에 의한 분뇨의 환경오염방지를 위한 각종 처리시설 설치현황과. 처리효과 실태조사결과. 처리방법은 대략 다음과 같이 분류할 수 있다.
먼저 분뇨를 완전히 무배출 퇴비화 및 액비화하는 방법과 분뇨를 완전고액(完全固液)분리하여 분은 퇴비화하고 뇨오수는 정화방류하는 방법과 장기저장 부숙시킨후 토양에 환원하는 방법으로 대별이 된다.

표 3-14 축산폐수 처리방법

분 뇨 동 시처 리	분 뇨 분 리 처 리
o 분뇨동시 발효퇴비화 o 분뇨동시 장기부숙액비화	o 분분리 발효퇴비화 o 뇨오수 장기부숙 액비화 o 뇨오수 정화처리방류

처리방법별 운영실태 및 효과를 조사한 결과는 대략 다음과 같다.

(1) 완전무배출방법

분뇨무배출 방법이란 돼지가 배설한 분과 뇨오수를 하천 또는 지하수

등으로 유출시키지 않고 분뇨를 같이 체취하여 퇴비발효조건에 가장 적합한 수분 60 70%이 될수 있도록 예건(予乾) 또는 수분조정제인 톱밥, 왕겨, 발효건조 퇴비의 재이용하여 퇴적(堆積), 교반 방식으로 퇴적발효 퇴비화하는 방식과 분뇨오수 혼합물을 저장조에 유입시켜 일정기간 형기성 발효 또는 호기성 발효를 시켜 경지휴작(休作) 기간중에 살포 처리하는 액비화(液肥化)하는 방법이 있으나 본조사에서는 다음과 같은 방법으로 처리되고 있었다.

첫째, 스로리돈사에서 배출되는 분뇨 발효퇴비화

수분 90% 혼합분뇨를 발효퇴비화 하기 위해서는 수분 25%의 톱밥 조정첨가량은 혼합분뇨 중량의 62.3% 톱밥이 필요하여 비육돈 1일분뇨 배설량 6.8kg(분 2.5kg, 뇨 4.3kg)로 할때 1일톱밥 소요량 62.3kg가 소요되고

$$\text{톱밥첨가비율} = \text{생분뇨량} \times \frac{\text{생분수분}(90\%) - \text{조정목표수분}(65\%)}{\text{조정목표수분}(65\%) - \text{톱밥수분}(25\%)} = 62.3\text{kg}$$

완숙퇴비 생산을 위해서는 퇴적퇴비사에서는 150 180일 상형(箱型) 통기퇴비화 시설에서는 90 120일 개방형 퇴비화시설 60 90의 처리일수가 소요되어야 하나 수분조절 발효일수에 일정기준 없이 발효퇴비화 있는 것이 문제가 되고 있다.

표 3-15. 완전퇴비제조 소요일수

구 분	분만 이용			수분조정제첨가		
	발효조	퇴적사	계	발효조	퇴적사	계
퇴적퇴비사	-	-	50 60	-	-	150 180
통기퇴비화시설	20 25	15 20	35 45	25 25	65 90	90 120
개방형퇴비화시설	15 20	15 20	30 40	20 25	40 65	60 90
밀폐형퇴비화시설	5 7	20 25	25 32	-	-	-

※ 자료 : 퇴비화 시설 설계 1993(일본 중앙축산회)

둘째, 분뇨혼합부숙 액비화

축사에서 바로 배출된 분뇨혼합물을 작물재배 경작시에 바로 살포시 작물생육에 장해가 있기 때문에 3 6개월 저장조에서 발효퇴비 작물 수학후 휴작기에 살포하는 처리 방법으로 경작지가 넓은 미국, EC 등에서 많이 이용되는 방법이다.

본 조사연구에서 분뇨혼합 액비화 처리원리와는 전혀 다른 형태의 처리방법이다.

(2) 분뇨분리 처리방법

스로리 돈사에서 배출되는 분뇨의 수분함량은 85 90% 정도이고 스크렛파식으로 분뇨를 분리한 분의 수분함량은 75 80%로서 발효퇴비화 시키기 위한 수분 60 70%로 조절하기 위한 수분조정제가 적게 드는 반면 불리된 뇨오수를 정화처리하거나 또는 저장조에 장기저장 완전부숙후에 토양에 살포하는 등의 처리방법이 사용되고 있었다.

첫째, 분뇨분리분의 퇴비화

수분 75 80% 분의 발효퇴비화 하기 위해서는 수분 25%의 톱밥의 첨가량은 분중량의 37.5%가 필요하여, 비육돈 분배설량 2.5kg로 할때 0.93kg가 소요되므로 분뇨 동시퇴비화시의 21% 밖에 소요되지 않는다.

$$※\ \text{톱밥첨가비율} = \text{생분량} \times \frac{\text{생분수분량}\ 80\% - \text{조정수분량}\ 65\%}{\text{조정목표수분량}\ 65\% - \text{톱밥수분량}\ 25\%} = 37.5\%$$

발효퇴비화 방법은 퇴적퇴비화, 상형통기 퇴비화시설, 개방형 퇴비화시설, 밀폐형 퇴비화시설 등을 이용퇴비화하나 본조사연구 대상농가에서는 일부 개방형퇴비화 시설을 이용할뿐 대부분이 퇴적 퇴비화 방법으로 완숙퇴비가 되지못하고 있는것이 문제로 사료되고 일부지역에서는 공동 발효퇴비화 공장에 이송하고 있는 방법도 있었다.

둘째, 분뇨분리 뇨오수 정화처리

분리된 뇨오수는 활성오니법(活性汚泥法), 생물막법(生物膜法), 톱밥토양여과방법, 저장액비화 방법등이 있으며, 본조사 연구에서는 대규모 양돈장에서 처리하고 있는 활성오니법과 토밥토양여과방법, 저장액비화 처리방법이 사육규모에 따라 설치 이용하고 있었다. 정화처리효과는 일부농가를 제외하고는 대부분의 농가 처리시설의 기본원리와 부하량에 알맞는 운영을 하지 못하므로 전혀 기능을 발휘하지 못하고 있거나 가동 중지상태의 농가가 많다는 것이 문제로 사료된다.

제 4 장 분뇨 오수처리의 기본원리와 방법

제 1 절 분뇨처리방법의 선택

가축분뇨는 본래 농지에 환원하여 유용하게 이용하는 것이 기본이지만 농지면적이 적고 사육두수가 많은 우리나라의 축산경영(특히 양계, 양돈, 비육우 경영)에 있어서는 자경 농지로의 환원은 극히 일부이고, 대부분은 타 경작농가의 농지에 환원 이용되지 않을 수 없는 실정이다. 그러므로 일반적인 경작농가의 이용형태에 맞춘 처리방식을 선택해야 한다. 현재는 퇴비화후 이용하는 것이 가장 일반적인 방법이지만 퇴비의 품질과 가격이 문제가 된다. 게다가 앞으로는 분뇨처리때마다 주변의 환경보전 악취 등에 대한 배려가 필수적이므로 탈취 대책 등을 가미한 처리방식의 선택이 필수적이라고 할 수 있다. 여기서 말하는 분뇨처리는 최종적으로 분뇨를 비료 또는 연료로써 유효하게 이용하는 것을 전제로 하고, 분뇨의 성상과 물성을 변화해 이용하는 것이 가장 바람직하다는 것을 의미하고 있다. 분.뇨오수의 정화처리의 경우에도 고형물과 잉여오니는 퇴비로 이용을 검토하고, 처리수는 방류수 기준을 충족하는 높은 효율의 처리시설을 선택하여야 할 것이다.

1. 분뇨처리방식 선택의 전제조건

분뇨처리방식의 선택에 있어서는 축종과 사육두수, 축사구조와 사육관리방식, 기후(지역)조건 및 사회적조건을 기초로한 대부분의 전제조건들이 밀접한 관련이 있기 때문에 이들 요인에 관한 검토가 필요하다.

가. 축종과 사육두수

축종에 따라 분뇨의 성상은 매우 다른 양상을 보인다. 예를 들면 닭은 뇨를 분리하여 배설하지 않으므로 돼지와 소처럼 뇨처리를 필요로 하지 않는다. 또, 계분에는 N함량이 많으므로 화학비료의 대용으로 많이 이용되고 있는 것에 비해 우분에는 섬유질이 많고 분해도 비교적 늦기 때문에(특히, 톱밥 등을 혼입하고 있는 경우) 토양개량제로써 이용된다. 게다가 계분은 비료로 활용하기 위한 건조처리시에 다량의 암모니아를 비롯한 그외의 악취성분이 발생하므로 탈취대책이 필수조건이다. 그리고 축종에 따라 분뇨의 배설량이 다르기 때문에 사육두수를 근거로하여 처리량이 산정되며, 사육두수(처리량)에 따라서 처리방식이 같더라도 처리방법(기계화와 자동화 정도)은 달라진다.

나. 축사구조와 사육 관리방식

축종에 따라 축사구조(분뇨의 분리여부) 및 사육 관리방식이 다르고 분뇨의 성상도 축사구조와 사육 관리방식에 의해 영향을 받기 때문에 분뇨처리방식의 선택은 잘 생각해야 한다. 돼지는 분과 뇨를 분리 배설하기 때문에 축사구조와 분뇨체취 시설등을 사전에 잘 고려하여 경제적인 분뇨처리 방법을 선택해야 한다.

다. 분뇨의 이용방법

분뇨는 농지에 환원하든지 연료등으로 이용하는 것이 기본이지만 이용형태에 따라 처리방식이 정해진다. 농지에 환원하는 경우라도 구미 축산선진국이 채택하고 있는 분뇨배합에 의한 액상 Compost처리 방법은 인력이 가장 적게드는 방법이지만 이를 활용할 수 있는 농지면적이 적고 강수량이

많은 우리 나라에는 극히 일부를 제외하고 적용이 곤란하다. 또, 주변의 경작농가에 이용되기도 하며, 이를 위해서는 이용하는 경작농가의 이용형태에 따른 처리방법을 적용해야 한다. 최근 수 년간 농지에 유기질비료 시용량의 감소에 따라 지력저하가 문제시되었고, 한편으로는 소비자가 식품의 안정성면에서 유기농산물에 대한 관심이 높아지고 있는등 경작농가에 대해 양질의 퇴비생산에 대한 기대가 크므로 분은 퇴비화 처리가 주를 이루고 있다.

라. 기상조건과 지역성

건조 및 퇴비화처리는 원료중 수분을 기준이하로 어떻게 효율적으로 증발 제거시킬 것인가가 처리기술의 핵심이다. 특히, 천일건조처리방식은 바람과 태양에너지 등의 외부에너지를 필요로 하기 때문에 기온이 따뜻한 지역에 적용되고 있지만, 적설이 많은 한냉지역에서는 동절기에 수분의 증발이 격감하므로 이 처리방식은 적용할 수 없다. 그리고 온난지역에서도 천일건조처리는 시설주변의 입지조건에 따라 처리효율이 다르며, 통풍이 나쁜 장소에서는 처리능력이 저하된다. 또, 지형과 풍향에 따라서는 암모니아 등의 악취성분이 먼 곳까지 비산하여 문제가 되는 예도 있다. 미생물처리가 처리기술의 중심이 되는 퇴비화 처리와 정화처리는 겨울철 저온기에 미생물활성이 저하하고 처리능력이 감소하기 때문에 한냉지역에서는 처리능력 저하를 고려한 시설규모(안전율 적용)를 하거나 보온대책 적용이 필요하고 처리경비가 많이 소요될 수 있다.

마. 사회적조건과 환경보전

최근 축산경영의 규모확대와 인구 밀집화에 따라 악취와 수질오탁등의 환경오염문제가 발생하고 있다. 따라서 가축분뇨는 축산농가에 책임이 있고, 주변의 환경보전에 각별한 관심과 적절한 처리가 의무시되고 있으며, 농지에 환원되는 경우에도 악취와 파리 등의 발생이 없도록 해야한다. 축사와 분.뇨처리시설을 신설하는 경우에도 주변에 거주하는 주민들의 동의가 필요하며, 동의를 얻지 못할 경우 시설신축이 어려운 실정이다. 이후, 축산경영을 지역주민과 일체가 되어 계속하기 위해서는 주변의 환경보전에 대한 구체적인 대책이 필요하고 특히, 건조 및 퇴비화 처리시에는 탈취대책이 또한, 오수정화처리 시설에는 방류수의 수질(특히 N과 P의 제거)보전이 중요하다. 이들 오염방지 대책에는 많은 비용이 소요되지만 각종의 자연 및 시설여건 등을 활용해 적절한 대책을 강구하는 것이 축산경영을 지속할 수 있는 필수조건이다.

바. 분뇨처리노력과 처리경비

분뇨처리는 축산경영측면에서 본다면 가능한한 인력을 줄이고 적은 비용을 투자한처리가 바람직하며, 경작농가가 퇴비를 이용하기 위해서는 퇴비품질을 고려하고 환경보전에 대한 대책과 그에 따른 적절한 처리가 따라야 하겠다. 또한, 앞서 서술한바와 같이 탈취대책등에 많은 비용이 소요된다. 퇴비화 처리의 경우에는 호기성 미생물의 증식조건을 원활하게 하기 위하여 퇴비원료인 돈분의 수분함량을 70% 이하로(가능하면 60 - 65%) 조정하는 것이 필수조건이고 이를 위해 톱밥 등의 수분조절용의 부자재가 필요하다.
또한, 수분함량이 80% 이하의 돈분(뇨의 분리가 양호한 경우)과 계분은 분중에 에너지가 많기 때문에(추정 건물분해증발량 4,800 Kcal/건물분해1 Kg) 반송퇴비의 첨가(수분의 조정)만으로도 퇴비화가 가능하지만 수분함량이 높은

우분(특히 비육우의 분)은 분의 에너지가 비교적 적으므로(4,500 Kcal/건물분해1 Kg) 톱밥 또는 외부에너지의 첨가를 필요로 한다. 따라서, 필요한 수분조절용 부자재의 확보가 가능하지 않으면 퇴비화처리시 퇴비품질 및 처리경비 등에 악영향을 준다.

아. 분뇨처리시설 및 기계

본래는 앞서 서술했던 전제조건을 비교검토한 후에 처리방식을 선택한 후 처리방식에 가장 적당한 처리시설 및 기계를 선택하는 것이 순서이지만 자칫하면 처리방식의 검토에 우선해 시설.기계를 결정하는 예가 있으므로 주의 하지 않으면 안된다. 분.뇨처리시설 및 기계의 선택에 있어서는 실제 사용하고 있는 사례를 조사하는 것이 필요하다. 분뇨처리시설 및 기계는 부식이 심하기 때문에 가격이 저렴한 것이 반드시 유리한 것은 아니고 필요로 하는 강도와 재질(예를 들면 스텐레스사용), 내구성의 검토가 꼭 필요하다. 그리고 무모한 자동화와 기계화도 부식문제로 인한 기기의 교체등을 고려한 경우에 반드시 유리한 것만은 아니다.

2. 분뇨처리방식과 시설 및 기계

현재 가장 많이 적용되고 있는 분뇨처리방식과 이에 필요한 시설 및 기계와 분뇨처리방식의 개요는 표4- 1에서와 같다.

분뇨처리방식은 분(고형물), 분뇨혼합, 뇨. 오수처리로 크게 나눈다. 분의 처리방식에는 건조처리와 퇴비화 처리 및 연료화로 구분하는데, 건조처리는 바람, 태양열, 연료 등의 외부에너지를 이용하여 분중의 수분을 증발제거시키는 방법이다. 태양열과 바람등의 자연에너지를 이용하는 천일건조처리방식은 처리비용이 적은 반면 넓은 시설면적을 필요로하며, 기후와 계절에 따라

건조 능력이 큰 영향을 받는 등 문제점이 있으므로 온난지역을 제외한 지역에서의 적용은 곤란하다. 종래는 계분의 처리에 많이 적용되고 있지만 최근에는 퇴비화 처리의 전처리로써 분의 수분을 70 % 이하까지 예비건조하는 목적으로 돈분과 육우분의 처리에도 이용되고 있다. 화력건조 처리방식은 기후에 관계없이 처리할수 있는 장점이 있는 반면, 처리경비(연료비)가 비싸기 때문에 최근에는 대규모 양계경영시에만 일부 적용되고 있다. 퇴비화 처리방식(발효처리)은 건조처리와 다르고 분 중의 에너지를 이용하여 부숙과 수분증발을 촉진시키는 처리방식이고 분처리에서 가장 많이 적용되고 있으며, 퇴비화처리는 가장 오래전부터 이용되어온 분 처리방식이다. 퇴비사 비축퇴비처리는 저가(低價)처리가 가능한 반면 퇴비의 품질이 불균일 하기 쉬운 문제점이 있고 많은 노력을 필요로 하므로 대량생산이 곤란하다. 교반 및 호기성퇴비화 처리는 발효조에 교반 장치를 설치하고 발효조 저부의 산기장치를 병용한 처리방법이고, 인력소비가 적고, 양질의 퇴비와 대량생산이 가능한 반면 고장 발생이 쉽고, 처리경비가 비싼 문제점이 있다. 퇴비화처리는 퇴비원료에 호기성을 부여하는 것이 처리 전제조건이고 이를 위해 분내에 수분을 어느정도 이하로 줄일수 있는지가 가장 중요한 점이다. 분.뇨혼합에 따라 액상 Compost 처리방식은 인력을 줄일수 있는 처리방법이지만 우리 나라에서 이 방식에 대한 적응은 인분에 한정되고 있다. 분.뇨의 정화처리는 미생물처리를 중심으로 물리 및 화학적 처리를 병용한 처리방식이고 양돈 경영 등에서 환경보전(수질보전)면에서 많이 채택되어지고 있다. 종래의 정화처리기술의 중심은 BOD 및 SS의 제거에 있지만 앞으로는 N 및 P를 제거할 수 있는 기술의 적용이 중요하다. 정화처리는 미생물처리가 중심으로 겨울철의 저온기에는 정화능력이 저하되기 때문에 이를 고려한 처리효율을 제고할 수 있는 방법의 개발은 앞으로의 연구과제이다. 연료화처리를 위한 메탄가스 이용은 겨울철 저온기의 메탄가스 발생량감소와 등유와의 가격차 등에 문제가 남겨져 있지만 장래의 유력한 연료자원으로 그 가치가 주목되고 있다.

그림 4-1 현재 적용되고 있는 분뇨처리방법과 시설

표 4-1. 분뇨처리방식의 개요

처리방식	처리 방법	적용조건			적용상의 유의점	비 고
		필수조건	축종	지역		
건조처리	연료, 태양열, 바람등의 외부 에너지를 이용한 건조	풍부한 태양에너지	닭	전국	① 처리경비가고가 ② 탈취 필요	화력건조
			돈, 닭	온난 지역	① 축사와 같은 면적 필요 ② 탈취필요	천일건조
퇴비화처리 (발효처리)	축분중의 내부 에너지를 이용 부숙과 수분증발 촉진	토양개량제로 농지 환원	전축종	전국	① 수분조절필요 (70%이하) ② 퇴비질과 생산비 ③ 탈취 필요	한냉, 다설지역은 부적절
액상퇴비화	분뇨혼합액을 폭기하여 부숙	환원할 농지확보	젖소 돼지	전국	① 살포시 유출과 악취	
오수정화 처리	생물, 물리, 화학 적처리에 의해 오염물질 제거	방류가능할 하천이 있는곳	돼지	전국	① 지역별방류수 기준 ② 생물처리는 동절기 효율저하	생물처리는 한냉지역에 적용불가

현재 주로 적용되고있는 돈사구조와 분뇨처리방식과의 연관성은 그림 4-2에서와 같다. 규모가 큰 대부분의 양돈경영에 있어서 분뇨를 환원하는 자가농지를 거의 소유하고 있지 않으므로 주변 경작농가의 이용에 의지할 수 밖에 없다. 또, 돼지의 경우는 뇨의 양이 많으므로(비육돈의 1일1두당 평균분의양 1.9kg, 뇨의 양 3.5kg)분뇨를 조기에 분리하여 따로 처리하는 방식이 스크레파식과 콘베어시스템으로 돈사 밖으로 배출한다. 일부에서 스크레파를 이용하지않고 분과 뇨가 혼합배출되어 고액분리기에서 분과 탈리액으로 분리되는 방식이 적용되고 있다. 분 및 고형물은 퇴비화처리 및 천일 건조처리 된다. 퇴비화처리의 경우는 수분함량을 65 70% 이하로 조절하는것이 필요하고 이를 위해 왕겨와 톱밥등이 첨가된다. 또, 온난지역은 천일 건조시설에 의해 예비건조방식도 이용된다. 계분과 같이 온난지역에는 천일건조처리방식도 채택되고 있지만 이 방식은 기후와 계절의 영향을 많이 받고 또 건조분(수분 15% 전후)의 생산에 필요한 천일건조 시설면적은 돈사면적(우분의 경우에는 우사면적)과 거의 비슷한 넓은 면적(겨울 기간의 건조처리 경우)을 필요로 한다. 최근 하우스돈사(톱밥돈사)가 한냉, 다설 지역을 제외하고 돈사건설비의 저감과 분뇨처리의 성력화란 면에서 널리 보급되고 있다. 톱밥 돈사에는 돈방에 톱밥(완숙퇴비를 혼합한다)을 40-50cm의 두께로 깔아섞고 Bulking agent층에 분뇨를 흡수시켜 분뇨처리가 불필요하게 되지만 분과 톱밥의 에너지를 보면 분과 뇨를 완전분해 또는 증발(특히겨울기간)시키는 것은 이론적으로 불가능하며, 톱밥의 사용량이 적으면 지하침투문제가 발생할 가능성이 있으므로 주의해야 한다. 뇨 또는 탈리액의 액상물은 활성오니법등의 생물학적 처리를 중심으로 한 정화처리방식이 적용되어 처리수는 수질기준에 합격한 수질로 하천등에 방류시킨다. 하천등에 방류가 불가능한 경우에는 바람과 태양열 등을 이용한 증산처리방식도 일부 채택되고 있지만 이처리 방식도 천일건조처리방식과 같이 기후와 계절의 영향을 많이 받기 때문에 온난지역에 한정되고, 게다가 상당히 넓은 증산면적을 필요로 하는 등의 문제점이 있다.

그림 4-2. 돈사구조와 돈분.뇨의 처리방식

4. 분뇨처리의 저비용화와 성력화

분뇨의 저비용, 인력절감처리를 달성하기 위해서는 분뇨의 조기 분리 및 처리량의 절감과 공동처리의 두 가지가 필요하다. 분(고형물)의 처리에는 퇴비화 처리와 건조처리 방식이 있지만 이 방식은 분 가운데 수분을 쉽게 효율적으로 증발시키는가가 처리기술의 핵심이고 뇨 및 탈리액등의 정화처리의 경우에는 분 가운데 많은 BOD와 SS 유입을 어느 정도 낮게할 수 있는가, 분.뇨오수의 처리량을 어디까지 저감시킬 수 있는지가 중요하다. 이를 위해서는 일상의 가축사육 관리작업과 축사의 개선 등에 의하여 분뇨의 조기분리와 음수기등으로 부터의 넘치는 잉여수의 혼합방지를 꾀하며 처리량의 저감을 꾀하는 것이 필수조건이다. 일상 가축의 사육관리 및 축사구조등으로 미루어보아 수분의 증감에 관계하는 주요인을 표 4-2에 나타낸다. 저비용, 인력

저감의 제일조건은 분뇨의 공동처리를 꾀하는데 있다. 이를 위해서는 축산

농가와 경작농가가 유기적으로 결합하고 지력의유지, 증진과 분뇨의 효율적이용을 전제로 퇴비 센타등의 공동처리 시설을 설치하고 축산농가도 이에 적극적 참가하는 것이 분뇨처리 시설의 투자액을 줄이고, 처리시 인력저감을 도모하기 위해 중요하다.

표 4-2. 분중의 수분의 증감에 관한 요인

개 선 항 목	구체적인 검토사항
급이 . 급수방법의 개선	① 급이방법- 습식급이 ② 급수방법- 제한급수
잉여수의 혼입방지	① 음수기의 개선 ② 음수기에서부터 넘치는물의 처리 ③ 세정수. 빗물의 처리
분뇨분리의 적합성	① 돈방의 바닥 및 분뇨구의 구조 ② 분뇨의 반출방법
여름의 수분이 많은분의 방지	① 축사내의 환경개선 ② 사육밀도의 개선

제 2 절 퇴비화의 원리와 방법

1. 퇴비화의 원리

퇴비화는 유기물의 안정화 기술 즉, 물리적, 생물학적 및 화학적 안정화 중 생물학적 안정화의 한 부분으로서 포괄적으로는 고형상과 액상의 것을 의미하나 통상적으로 고형물을 퇴비라고 한다. 일본에는 가축분을 주원료로 하는 것은 속비(速肥), 짚등을 주로 한 것은 퇴비(堆肥)라 하여 원료의 차이에 따라 구별된다. 구미에서는 재료의 조정, 뒤집기, 강제통기등 인위적인 조건을 조절하여 발효시키는 것을 compost, 그와 다른 것을 manure이라 하여 처

리의 차이에 대하여 구별하고 있다.

따라서 가축분뇨를 주원료로 인위적인 발효처리(퇴비화)를 한 것은 고형물로서의 퇴비이고, 일본의 경우 속비가 되나 구미의 경우 퇴비로 되므로 인위적으로 발효처리하는 것을 퇴비화(composting)라 부르고 그 처리에 의하여 된 제품은 원료의 여하에 관계없이 퇴비(compost)라고 하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

가. 퇴비화의 목적

가축분뇨 및 건조분, 퇴비, 액상콤포스트 등의 처리물은 많은 비료성분과 각종 유기물성분을 함유하고 있어 지력의 유지.증강에 유효한 재료이다. 분뇨성분 자체는 농경지에 사용할 때 문제가 없으나 그것의 성분과 특성등이 축종과 사육형태 및 처리방법에 따라 크게 달라 획일적인 사용이 어렵게 되어 퇴비화 과정이 요구된다

가축분 퇴비가 갖추어야할 품질 조건에 나타난 바와 같이 퇴비가 양질의 유기질 비료로 사용된 경우, 직접적인 작물의 영양분으로서 효과가 있을 뿐만 아니고 지력이 증진, 토양의 물리. 화학성의 개선, 토양중의 생물상도 질.양으로도 풍부하게 된다. 이 경우, 화학비료를 대체하게 되어 자원과 에너지가 절약되고 또한, 증대된 토양의 화학적.생물학적 완충력으로 농약 등의 사용을 대폭 절감시킬 수 있는 것으로 예상된다. 특히 표 4-3의 C항과 관련한 장점은 유기질 자재가 본질적으로 가지고 있는 특질이다. 따라서 가축배설물의 퇴비화 목적을 다음과 같이 정리할 수 있다. 즉, 수분저하와 악취성분의 분해로 가축분을 작업자의 취급이 쉽게 하는 것, 70-80℃의 발효온도에 의하여 위생상 안전한 것으로 하는 동시에 잡초의 종자 등도 사멸시키는 것, 발효시

키기에 쉬운 생분해성분을 분해 안정화시키는 동시에 생육저해물질 등을 분해하여 작물에 안정한 것으로 하는 것 등이다.

표 4-3. 가축분 퇴비의 품질조건(原田, 1985)

A. 취급이 쉬운 성상일 것

a 함수율이 적당할 것

b 惡臭가 강하지 않을 것

c 병원균기생충란 등을 포함하지 않을 것

B. 토양작물의 측면에 안전할 것

a 시용후 급격히 분해되지 않을 것

b 질소기아를 일으키지 않을 것

(C/N비가 지나치게 크지 않을 것)

c 생육저해 물질이 들어 있지 않을 것

d 유해물질을 포함하지 않을 것

e 식물병원균등을 포함하지 않을 것

f 잡초의 종자를 포함하지 않을 것

C. 토양작물 측면에 유효할 것

a 식물양분을 공급한다.

b 토양의 화학적 성질을 개선한다.

c 토양의 물리적 성질을 개선한다.

d 토양중의 생물활동을 유지 증진한다.

나. 퇴비화의 조건

양질의 퇴비를 만들기 위해 관련된 퇴비화의 조건은 크게 물리적, 화학적, 생물학적 조건으로 구성될 수 있으며 화학적 조건은 가축분의 수소이온농도(pH), 독성물질의 함량 및 퇴비화에 필요한 영양성분의 함량 등이 있으나 가축분의 경우 이들 성분상의 문제는 거의 없어 조정이 크게 요구되지는 않는 것으로 사료된다. 생물학적 조건은 퇴비화에 관련된 미생물의 활성을 조장하는 것과 미생물자체를 투입하는 방법 등이 있으나 가축분자체에도 많은 미생물이 존재하므로 활성을 촉진시키는 것이 보다 유효한 것으로 사료된다. 그러나 직접적인 개선으로는 발효촉진제의 투입과 부숙퇴비의 반송 등으로 제한되고 대부분 물리적조건의 개선을 통해 달성된다.

물리적 조건의 개선은 다른 두 경우에 비해 조절이 용이하여 대부분의 퇴비화장치의 처리수단으로 활용되고 있다. 여기에는 함수량, 입도, 공기등의 통기성 확보를 위한 요소, 온도와 관련된 보온 및 퇴적높이, 기질과 미생물의 접촉을 위한 혼합등 많은 요소가 관련되어 있다.

(1) 수분조정

수분은 퇴비의 품질에도 중요한 요소이고 초기의 수분은 퇴비화반응의 속도에 큰 영향을 주는 인자이며 최종 퇴비의 잔류 함수량에도 밀접한 관련이 있다.즉 함수량에 따른 발효속도는 함수량 자체의 과다에 의한 영향과 산소전달속도의 변화에 따른 영향, 유기물농도의 희석정도에 따른 영향을 받게 되는 것이다. 축사에서 배출되는 분의 수분은 통상 80% 내외로 퇴비화의 진행이 어려운 상태로서 조절이 요구되는데 발효에 가장 적절한 수분은 55-65%로 나타나 있다. 그림 4-3의 저함수율 영역에서 미생물의 비증식속도비(umax/ub)는 45%에서 약 0.3-0.5로 낮게 나타나 미생물의 활성이 감소되는 것을 보여주고 20% 이하로 되면 완전히 중단되는 것을 알 수 있다.

고함수율인 85% 이상에서는 반응이 중지되고 80%에서는 비증식속도비가

0-0.6으로 나타났다. 따라서 초기의 부적절한 함수량은 반응속도에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 이러한 수분조절의 목적으로 예비건조와 수분조절재를 이용한 조절이 수행되는데 예비건조에는 자연건조, 하우스건조, 통풍 등이 있고 수분조절재로는 톱밥 등의 목질물, 볏짚, 왕겨 등의 농산폐기물등의 유기질재료, 제오라이트등의 무기질 재료 및 부숙퇴비등이 일반적이며, 최근에는 신문지와 골판지 등도 가능성이 시험중이다. 그러나 함수량 조절의 궁극적 목적이 처리물내의 통기성의 확보에 있으므로 C.G. Golueke(1972)에 의하면 볏짚과 같이 구조가 안정되고 입자가 큰 물질의 경우 최대 허용함수량이 75-85%로 높고 분과 도시고형폐기물의 경우 55-65%로 낮게 나타났다. 수분조절제의 사용은 또한 수분조절재는 퇴비화초기에 악취의 흡착.제어 효과도 기대 될 수 있다.

그림 4-3. 초기함수율의 변화에 따른 비증식속도비의 변화

(2) **입도 및 공기**

퇴비화반응은 고체표면에 미생물이 부착성장하여 진행되는 것으로 입도가 적은 재료를 활용할 수록 재료의 비표면적이 크게 되어 퇴비화반응속도가 크게 된다. 그러나 지나치게 입도가 적은 재료는 공기의 유통에 지장을 주어 강제통기시 식 1)**에 나타난 바와 같이 압력손실을 초래하여 효율이 저하된다.**

$$\triangle p = f.n.v.L/(o2D2).(1-e)2/e3 \qquad \text{식 1)}$$

식 1)**에 의하면 압력손실은 재료입자 직경의 자승에 반비례하므로 입도가 적을수록 압력손실은 크게 된다. 공극률을 나타내는** Free Air Space(FAS)**에 상당하는 값으로 식** 2)**와 같이 표현된다.**

$$FAS(\%)=[1-B/Sc \times W - B/Sc \times (1-W)]\times 100 \qquad \text{식 2)}$$

B:**겉보기밀도,** Sc**물의 진 비중,** Sc**고형물의 진 비중,** W:**함수랑**

KIST(1995)**에 의하면 이 값이 생분으로서 우분은** 14.5%, **돈분은** 13.6%**로 돈분의 경우 퇴비화의 경우 압력손실이 우분보다 크게 되어 송풍이 보다 어려운 것으로 나타났고, 초기함수량** 65% **정도인 경우 약** 30%**내외인 것으로 보고되었다. 또한** K. Nagasaki(1988)**에 의하면 공극이 클수록** CO2/kg dry Sludge**로 표현되는 유기물의 분해율이 크게 되는 것으로 나타났다. 따라서 수분조절제를 이용한 입경과 공극의 조절이 요구되나 목질계나 섬유질인 경우 길이가** 5-10 cm**정도가 적절하며 더 긴 경우 장치의 운전에 장해를 일으킬 우려가 있다.**

(3) C/N비

C/N비는 퇴비의 품질에도 중요한 요소이며 초기의 C/N비는 퇴비화 속도에 영향을 주고 최종 C/N비는 질소기아 현상과 관계한다. 탄소는 미생물의 에너지와 세포벽과 세포막 그리고 원형질의 성분으로 되나 질소는 주로 원형질의 성분으로만 사용되어 훨씬 많은 탄소를 요하는데 그 비는 약 20에서 25이다. 이 것과 관련하여 퇴비화속도와 C/N비는 C/N비가 10-30 인 경우 유기물의 분해속도가 빠른 편이고 7-10인 경우 최대로 되며 C/N가 60 이상인 겨우 분해속도는 현저히 저하된다. 이러한 차이는 미생물에 실제 사용되는 영양소는 물에 용해된 형태로서 재료물질에 들어 있는 총량이 아니기 때문인 것으로 사려된다.

(4) 발효촉진제

발효는 미생물에 의해 이루어지므로, 종균을 접종하는 것은 직접적으로 퇴비화속도의 향상에 기여하는 것으로 사려된다. 현재 시판되고 있는 발효촉진용의 미생물제제 중에는 무취화 효과를 겸한 것도 포함되어 있으나, 미생물의 내용이 다양하여 효과가 엄밀하게는 파악되지 않은 것도 많다.
원분 내에는 원래 많은 종류와 많은 형의 세균이 있고, 퇴비화 시설의 주변에도 어느 정도의 기간이 되면 그 원료의 퇴비화에 적절한 세균이 상존하게 되어 있다. 그러나 이들 중에 들어 있거나 나중에 첨가된 미생물이 발효시 효력을 발휘하는 것은 흔한 정도는 아니므로 현상태에는, 부숙퇴비가 가장 안정하고 확실한 발효촉진제로서 고려될 수 있다.

(5) 균일혼합

퇴비화 수행전의 혼합조정은 상당히 중요한 요소로서 기질과 미생물의 접촉을 유도하고 미생물이 부착될 재료의 표면을 미생물과 접촉시켜주며 특히 수분조절제와의 혼합시 고른 수분함량을 유지하기 위해 반드시 수행되어야 한다. 이 과정에서 퇴비화의 소요기간이 결정된다고 해도 지나친 것은 아니므로, 기계식 교반에 의한 잦은 교반은 급속퇴비화 시설이외에는 상당한 주의 가 요구된다. 최근에는 수분조정과 균일 혼합을 도모하기 위한 전처리장치도 개발되고 있다.

(6) 퇴적높이

발효온도를 높이는 것과 관련하여, 보온의 관점에서는 60cm이상의 두께로 퇴적하여 발효온도를 축적하는 것이 중요하며 그것을 초과한 퇴적은 통기성이 악화되고 발효가 불균일하게 되는 점에서 좋지 않다. 수분조절용의 부숙퇴비와 톱밥 등이 분과의 혼합이 불충분하게 되어 수분 30-40 %의 부분이 퇴적물 내에 있게 되거나 3 m이상의 높은 퇴적으로 고온이 축적된 경우에는 탄화되지 않은 자연발화가 초래될 수도 있다.

(7) 통기

통기는 호기성미생물에 산소를 공급하여 미생물의 활성을 높이고 부숙을 촉진시키는 중요한 요소이기는 하나, 기타 조건이 적정하고 뒤집기도 확실히 수행되고 있으면 강제통기할 필요는 없다. 수분이 과다한 경우 예비적인 과포기가 있으나, 통기는 발효의 촉진과 함께 건조도 수행하여 과도한 통기는 온도를 떨어트리고 건조를 촉진하게 되어 오히려 발효를 억제한다.

수분제거를 위해 적절한 통기량은 0.05m3/min/m3(퇴적높이가 1 m 이상인 경우 0.1 m3/min/m3)이 필요한 것으로 보고되었다. 따라서 강제송풍보다는 오히려 통기성이 좋은 수분조절제를 사용하면 퇴적물 자체의 통기성을 촉진시키기도 한다. 예를 들면, 미분쇄석을 이용하면 수분 75 %에도 양호한 발효가 가능하다.

8) 뒤집기

뒤집기는 산소공급과 균일혼합의 역할을 하고 품질의 균일화에도 기여하므로 1 차 발효의 종료시까지는 일정하게 수행되어야 한다. 그러나 뒤집기 시에는 열이 손실되고 수분이 일시에 손실되므로 개방형발효조의 경우 최고1일 1-2회가 한도이고, 퇴비사의 경우 로다에 의한 뒤집기는 최소 1회/월 이상이 요구되며 퇴적초기에는 15일에 1회 정도가 좋다. 그렇지만 밀폐식 발효조의 경우, 단열효과가 높으므로 매시 20-40회 교반이 가능하나 대개 5-20회/시간으로 지정된 경우가 많다.

다. 퇴비화 기간

(1) 안정화에 필요한 기간

가축분 자체와 그것에 톱밥을 첨가한 것에 대해서 퇴적발효에 의한 퇴비화에 따른 유기물함량의 추이를 나타낸 것이 그림 4-4이다. 그것에 따르면, 유기물의 분해라는 관점에서는 계분이 0.5개월, 돈분 및 우분이 약 1개월 걸린다. 톱밥이 첨가되어도 대개 같은 정도인 1개월에 한정되나 이것은, 톱밥중의 분해가 쉬운 성분의 분해에 요구되는 기간으로 사료되고 난분해성 부분의 분해는 그 후에 진행되고 토양에 주입하여도 급격한 분해는 일어나지 않으므로, 이 관점에서는 문제가 되지 않는 것으로 볼 수 있다. 볏짚 등으로 수분조정을 행한 경우에는 약간 긴 2개월 정도로 사료된다.

또한 KIST(1995)에 의하면 밀폐형 회분식 고속형반응조의 경우 온도발현이 약 5일 후에 상온과 유사하게 되고,

그림 4-4. 가축분의 퇴비화에 따른 유기물의 분해

연속형의 경우 그림 4-4와 유사한 정도의 유기물 분해율인 30% 이상이 제거되는데 약 4-5일이 소요되는 것으로 보고되었다. 따라서 일반적인 정도의 안정화를 고려한 퇴적식 퇴비화는 약 1개월 정도로 보는 편이 좋다.

(2) 생육저해물질의 분해를 고려한 기간

그림 4-5는 톱밥과 계분으로 퇴비사에서 퇴비화를 수행한 경우 유채 종자의 발아율에 대한 영향을 나타내고 있는데 이것에 의하면 발아율을 100%로 하기에는 약 5개월의 퇴적기간이 필요한 것을 알 수 있다. 이상을 종합하여 퇴비화에 필요한 기간은 안전을 고려하여, 가축분 자체의 경우는 2개월 이상, 작물수확잔사를 첨가한 경우는 약 3개월 이상, 목질물을 첨가한 경우는 6개월 이상이 고려될 수 있다.

그림 4-5. 분과 톱밥혼합물의 퇴비화에 따른 유채의 발아율

라. 퇴비화의 방법

퇴비화의 방식에 대해서는 가장 간단한 퇴비화에서 대규모 시설까지, 각종 방법들이 개발되어 있다.

(1) 퇴적방식

간이형이라 불리는 종래에 있던 방식으로서 가장 간단한 것이 퇴비화이다.

원분과 퇴비의 특성 부숙퇴비의 특성

그림 4-6. 퇴비화처리 정도에 따른 Gel-chromatography유출 특성

더욱 간편한 것은 소위 “야적(Windrow)”식으로 1931년 이후 대규모의 슬러지처리에 사용된 VAM(체류시간 약 1개월)과 Triga식, Wiesloch식이 있었으며 그 구조는 그림 4-6에 나타나 있다. 그러나 이 방식은 퇴비화의 효율이 나쁘고 무엇보다 환경오염을 초래할 위험성이 높다.

Triga식 Wiesloch식

그림 4-6. 야적식 퇴비화시설의 개요

퇴비단의 경우 침출수의 지하유입에 대비하여 바닥을 포장하고 강우시 유출에 대비하여 배수시설과 차집시설을 설치하는 것이 좋다. 통기방식은 주로 뒤집기가 수행되나 그 외 송풍기로 공기를 주입하기도 하고 최근에는 흡인식의 것도 보급되기 시작하였다. 통기의 효율은 불명확하나 적정공기량은 미국의 겨우 약 $5m^3/min$정도가 12×6×2.5m 규모의 퇴비단에 적용된 예가 있으며 흡인식이 되면 또한 악취방지가 용이하다. 관형통기식에 의하면 용지효율이 높게 되나 조작이 약간 어려운 측면이 있고, 백식과 컨테이너식도 간편한 방법으로서 적체(옮겨싣기)가 뒤집기를 대신하고 무엇보다도 그 자체로 제품을 출하하는 것이 특징이다.

옹벽과 격벽을 설치한 퇴비사도 주 1회 마다 뒤집기를 겸하여 옆구간으로 이동시키는 방식으로 비교적 쉽고 효율이 높아 가장 많이 보급되어 있는 방법으로 사려된다. 그림4-8는 톱밥으로 초기수분 65%로 조절하여 퇴비사에서 처리하는 경우 원분의 함수량에 따른 목표수분에 도달하기 위해 요구되는 퇴비사의 용적을 나타내는데 예를 들어 초기 80%의 젖소분이 50%의 함수량으로 되는데는 약 225일이 소요되고 소요용적은 4m3/두, 한우는 225일에 3.1 m3/두, 돼지는 235일에 0.33 m3/두가 되는 것을 의미한다.

(2) 교반방식

일명 "급속퇴비화시설"이라 불리는 것으로, 개방형과 밀폐형으로 대별된다. 개방형은 상부가 개방된 발효조에 수평방향으로 이송되는 교반기(뒤집기)가 설치되어있어 뒤집기와 동시에 퇴적물의 이송을 하는 것으로 Rotary식과 Scoop식이 있고, 평면의 형태에 의해 다시 직선형과 회행형 (Endless형)으로 분류된다.

직선형은 기구적으로는 간단하나 투입분의 수분조정을 할 필요가 있어, 투입구와 출구가 복잡하게 되어 있으므로, 부숙퇴비작업에 노력을 요한다. 회행형은 직선과 곡선의 조합으로 되어 기구적으로는 복잡하나, 수분조정을 엄격히 할 필요는 없고, 퇴비부숙 작업은 어렵지 않다. 그 외, 최근에는 원통형식의 것도 개발되어 있는데 이것은 회행형의 일종이라고도 할 수 있으나 주변부에 투입하여 최종적으로 중심부에서 배출한다. Compact하게 되어 있는 경우, 전체를 hood로 덮어 탈취장치를 연결하는 것이 가능한 특징이 있다. 로타리식은 통상 체류시간이 약 3-7일 정도로 대표적인 장치가 Dano Process로서 1950년대 가장 널리 사용되었다. Scoop식 반응조는 장방형의 반응조로 Bin식의 대표적인 장치이며 체류시간 9-10일 정도이다.

표 4-4. 퇴비화(발효) 장치의 구분과 명칭(중앙축산회, 1987)

구 분 명 칭				실용상의 호칭
퇴비화 (발효) 처리	퇴적식	無통기형	퇴비단	• 비단
			퇴비사	퇴비사
			간이 발효조	간이발효조
		통기형	백-컨테이나	백-컨테이나
			퇴비사	통기형퇴비사
			상자통기발효조	상자형통기 발효장치
	교반식	개방 무통기형	직선형발효장치	개방.무통기.직선형 발효장치(단열, 복열)
			회행형발효장치	개방.통기형.회행형발효 장치(격판형)
		개방통기형	직선형발효장치	개방.직선형발효장치 (단열, 복열)
			횡행형발효장치	개방.회행형 발효장치 (격판형)
		밀폐통기형	종형발효장치	밀폐.종형발효장치
			횡형발효장치	밀폐.횡형발효장치

표 4-5. 주요한 퇴비화처리시설의 종류 및 특징(중앙축산회, 1987)

구분 / 시설명			시설의 특징							경영별 이용 현황					
										축종별				규모별	
			태양열 이용	수분 조절	악취처리 난이도와 탈취법	처리 노력	소요 부지	시설비 운전비	처리 기간	낙농	비육우	양돈	양계	中	小
퇴적방식	퇴비사		Y	Y	어렵다	크다	크다	적다 적다	길다	◎	◎	○	△	△	○
퇴적방식	통기형퇴비사		Y	Y	쉽다 (톱, 토)	크다	중간	적다 중간	중간	○	○	○	○	○	○
퇴적방식	상형통기발효		Y	Y	쉽다 (톱, 토)	크다	중간	중간 중간	중간	○	○	○	○	○	○
교반방식	개방	로타리식	Y	Y, N	어렵다 (토)	적다	크다	크다 크다	조금 짧다	○	△	○	○	○	△
교반방식	개방	스쿠프식	Y	Y, N	어렵다 (토)	적다	크다	크다 크다	조금 짧다	○	○	○	○	○	△
교반방식	밀폐	횡형	N	N	쉽다 (톱, 토)	적다	적다	크다 크다	아주 짧다	×	×	△	○	○	×
교반방식	밀폐	종형	N	N	쉽다 (톱)	적다	적다	크다 크다	아주 짧다	×	×	△	○	○	×

*()속의 톱은 톱밥탈취장치, 토는 토양탈취를 의미
*Y는 긍정, N은 부정
*×는 거의 이용되지 않음, ○는 이용됨, ◎는 많이 이용됨, △는 일부 이용됨

밀폐형은 다시 종형과 횡형으로 이분된다. 종형은 좁은 용지에도 아주 적절하게 대량의 처리가 가능한 것으로, 단열효과가 높아 매시 20-40회의 기계교반이 되고 통기도 온풍을 사용하여 개방형의 10배 이상 크게 되어 발효기간도 단축되고 그 분처리량이 많게 된다.

그렇지만, 암모니아가 원인이 되는 강한 악취가 집중적으로 배출되므로, 탈취장치가 필수적이다. 대표적인 처리장치에는 Earp-Thomas식 발효조가 있는데 이는 다단식으로 다단소각로와 유사한 구조로 장치는 고가이나 체류시간은 비교적 짧은 1-3일 정도이다. 횡형도 기본적으로는 종형과 같으나 기계교반 대신 발효조인 드럼 자체가 회전하는 구조로 최근에는 전장 40 m로 된 초대형의 것도 개발되었다.

(3) 뇨살포에 관해서

퇴비화시설의 특수한 활용방안으로서 뇨살포가 있다. 생분의 건물 1kg 당 열량은 가장 높은 계분이 약 5000 Kcal, 가장 낮은 우분이 약 4000 Kcal이다. 한국과학기술원(KIST)의 실측치는 돈분이 약 4000, 우분이 약 2900 Kcal/kg). 비효가 높은 퇴비로 되는데는 적어도 2500 Kcal정도는 남겨둘 필요가 있는데, 퇴비의 이차발효로 수분이 50%까지 되려면 생분으로서 계분은 수분 80%이하, 돈분은 수분 75%이하, 우분은 70%이하로 되지 않으면 안된다. 따라서, 본래의 분만의 발효에도 한계에 달하고 있어, 분보다 많이 배설되는 뇨가 치리되기는 쉽지 않다. 따라서 어떤 방법으로든 뇨살포를 한 경우에는 제품의 품질을 희생하고 열과 바람 등의 보조에너지 투입을 실시하지 않으면 안되며 뇨살포를 한 퇴비는 또한, 염류농도가 극히 높게 되어 경종농가에서는 경원되고 있다.

또한 뇨에는 칼륨과 나트륨의 염화물은 많이 함유되어 있으나 칼슘과 마그네슘의 함량이 적고 인은 거의 함유되어 있지 않다. 이러한 영양소 발란스는 사료작물에 시용시 K/(Ca+Mg)의 비가 크게 되어 가축분에 투입시 저마그네슘혈증의 원인이 되기도 하므로 뇨의 살포는 상당한 주의들 요하는 것으로 사료된다.

2. 건조 증발의 원리와 방법

가. 건조증발의 원리

(1) 증발에 필요한 열에너지

가축분뇨등의 수분을 함유한 재료에서 태양에너지, 바람 및 각종의 연료등의 열에너지를 이용하여 그 수분을 증발(기화)시켜 분리.제거하는 조작을 건조라 한다. 재료를 건조시키는 데는 재료내에 열에너지를 공급하여 수분을 증발시키고 증발한 수증기를 함유한 재료 주변의 공기를 재료 주변에서 분리 제거하고 새로이 건조한 공기를 공급할 필요가 있다. 즉, 건조의 정도는 열에너지의 양과 건조공기의 송풋량이 어느 정도 재료에 공급되는지에 따라 크게 차이가 날 것이다. 분 1kg을 증발시키는데 필요한 열에너지(증발열, 기화열)는 25℃에 582.8kcal (2.44 MJ), 100℃에 539.8 kcal(2.26MJ)이나, 실제의 건조시설에는 공급된 열량의 일부가 장치의 벽면에 전도와 복사에 의해 외부에 전이되거나 배기에 포함되어 대기중에 방출되는 경우 더 많은 열에너지가 필요하다. 이러한 손실을 고려하여 1kg의 수분을 증발시킬 경우에는 장치의 형식에 따라 다르나 약 800-2000kcal(3.35-8.37 MJ)의 에너지가 필요하다.

(2) 공기가 함유한 수증기량

건조의 촉진정도는 공급된 공기가 어느 정도 수증기량을 지닐 것인가에 따라 다르나, 공기가 함유할 수증기량은 그 공기의 온도와 습도에 따라 결정된다. 즉, 공기가 건조되어 온도가 높으면 재료는 보다 건조되나, 공기가 습하고 온도도 낮으면 건조가 극도로 악화된다. 표 4-6은 각 온도와 습도에서의 건조공기 1kg에 들어 있는 수증기량(절대습도, JIS에서 혼합비)을 나타내고 있다. 건조공기 1kg은 750mmHg (Torr, 표준대기압), 120℃, 1,205 kg/m3에서 그 체적은 0.83 m3으로 된다.

각 온도에서 습도 100%의 수증기량은 해당 온도에서의 포화수증기량으로서 공기는 그것 이상 수분을 함유하지는 못한다. 예를 들면, 20℃의 각 습도에서 공기가 수증기를 지닐량은 10℃의 약 2배, 30℃의 경우는 10℃의 약 4배로 된다. 즉, 자연에너지를 이용하여 가축분뇨를 건조하기 위한 장치 및 시설은 여름과 겨울의 외기에 포함된 수증기량에 큰 차이가 있어 여름과 겨울의 건조처리 능력에 차이가 있게 된다. 또한 화력건조기에 의한 고온의 공기를 사용한 경우, 포화수증기양이 극단적으로 크게 된다.

표 4-6. 각 온도와 습도에 따른 건조공기 1 kg에 함유되는 수증기량

(단위:g/kg)

온도(℃)	습 도 (%)			
	50	70	90	100
5	2.7	3.8	4.9	5.4
10	3.8	5.3	6.9	7.6
20	7.3	10.2	13.2	14.7
30	13.3	18.8	24.3	27.2
40	23.5	33.4	43.6	48.8

3) 열원의 종류

가축분뇨의 건조에 이용될 열원에는 연료, 태양에너지(일사량), 바람, 전열, 떠감에서 부터 건조계분등의 외부에너지와 가축분뇨의 퇴비시에 유기물 분해에 의해 발생되는 에너지 등이 있다. 화석연료와 땔감등은 주로 화력건조의 열원이 되며, 전열은 밀폐형발효조의 통기용 공기의 온도상승에 이용된다.

연료의 단위연료당 가격에서 발열량 1000kcal당 가격을 비교하면 전력에 의해 발생할 발열량 1000kcal당의 가격은 화석연료의 3배 정도이다. 태양에너지의 열량은 지표면이 받는 일사량으로 표현되고, 일본에는 여름에 4500 kcal/m2d, 겨울에는 2000kcal(8.4 MJ)/m2d 정도로서 지표면의 물 1kg이 증발하는데 전도 복사 등에 따른 손실을 포함하여 1000kcal이므로, 태양에너지의 일사량에 의해 1일 1m2당 여름에는 약 4.5kg, 겨울에는 약 2.0kg의 증발이 될 수 있다. 바람의 의한 건조에 필요한 에너지는 그 공기의 온도가 높을 수록, 습도가 높을수록 크며 그 풍량에 비례한다.

나. 건조 증발을 촉진시키는 방법

건조를 촉진시키기 위해서는, 가축분뇨등의 재료에서 수분을 단기간 증발시키고 증발된 수분을 지닌 공기를 재료주변에서 배제할 수 있도록 송풍하여 새로운 공기가 들어와 대체되지 않으면 안된다. 그 경우 재료의 가온, 보온, 송풍, 증발면적을 크게 하는 등의 방법이 필요하다.

(1) 가온.보온

건조를 촉진시키기 위해 먼저, 재료중의 수분증발을 촉진시켜야만 하고 이 경우에는 재료를 가온할 필요가 있다. 가온은 연료등을 써서 고온의 공기를 발생시키고 그 공기를 재료에 접촉시켜주는 방법과 퇴비화시에 발생하는 열을 이용하는 방법 등이 있다. 가온시킨 재료에서 수분이 증발되도록 증발열이 필요하나, 가온한 재료의 온도가 곧 낮아지게 되면 증발을 지속시킬 수 없으므로 가온을 계속하면서 재료온도가 낮아지지 않도록 보온하는 것도 필요하다. 이때 보온에 주의하여 재료주변의 공기에 포화된 수증기가 충만하게 되어 건조가 제대로 진행되지 않으므로 건조한 공기의 공급이 필요하다.

어느 정도 가온하여 재료의 온도를 상승시켜도, 재료주변의 공기가 수증기로 포화되면 건조는 진행되지 않는다. 보온은 재료와 접촉하고 있는 장치의 외벽 등에서 열이 손실되지 않도록, 재료와 접촉하고 있는 장치벽의 단열을 고려한 구조로 되어 있는 것과, 장치 전체를 건물내부에 넣어 직접 차가운 외기와 닿지 않도록 하는 것으로도 보온을 도모하는 방법이 있다.

(2) 송풍

송풍에 의해 재료에서 증발된 수분을 재료 주변에서 배제할수 있다. 또한, 송풍한 공기의 온도가 높고 습도가 낮으면 재료온도를 올려 증발을 촉진시킬 수 있으므로 송풍이 건조를 빠르게 하는데는 필요한 조작이다.

따라서, 온도가 높고 습도가 낮은 공기를 많이 송풍시키면 건조는 촉진된다. 화력건조기에 의해 고온(수백 도)의 공기를 송풍하여 건조하는 경우 고온. 저습의 공기가 수분을 다량으로 함유할 수 있게 되므로 플라스틱하우스 건조법과 같은 상온과 유사한 공기를 송풍하여 건조하는 경우와 비교하면, 송풍량이 극히 적어도 다량의 수분을 제거할 수 있다. 플라스틱하우스 건조시설에 송풍기를 사용하여 건조 촉진을 꾀하는 경우 하우스 상부의 따뜻한 공기를 대형환기기로 재료에 직접 닿도록 하여 송풍한다. 송풍에 의한 수분의 변화는 많은 함수가 관계되나 간편한 함수로 포화수증기압과 공기량의 관계를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

dw/dt = - ljq . W/M = - ljqw2)

j = 18/22.4 . ps/(p0 - ps)

ps/p0 =exp[A- B/(T+D)]:Antoise eq.

여기에서 q는 송기량(m3/hr), l은 공기포화율, j는 포화수증기량(kg/N.m3), ps는 포화수증기압(Pa)을 나타내고 p0은 대기압(Pa)을 의미한다. 일반적인 온도조건인 0-80℃의 온도에서 Antoise eq.의 계수는 A가 11.961, B가 3993.7이고 D는 233.9이며 T는 온도(℃)를 의미한다. 따라서 식은 다음과 같이 표현된다.

$$ps/p0 = exp[11.961 - 3993.7/(T + 233.9)] = ps/10330$$

이러한 관계를 이용하여 송풍에 의한 수분제거량을 예측 평가할 수 있다.

자연의 바람을 이용한 경우는 설치장소의 풍향을 고려하여 풍향에 교차하여 하우스를 세우고, 하우스 중간에서 바람이 들어오기 쉽게 하여, 하우스내의 재료에 가능한 접촉하기 쉬운 구조로 한다.

자연의 바람과 태양에너지를 이용한 플라스틱하우스 건조시설은 입지조건에 의존하며 일본 관동지방의 경우 여름에 1일 1 m2당 4.5-5kg, 겨울에는 1.5-2kg 정도로 재료내의 수분증발이 기대된다.

(3) 증발면적

재료에서 수분을 증발시키기 위해서는 많은 건조공기를 재료에 닿게 하는 것이 필요하나 재료측면에서는 재료의 표면적을 크게 하여 건조공기에 의해 많이 접촉되는 것이 건조의 촉진에 연결된다.

즉, 재료의 수분증발 면적을 크게 할 필요가 있다. 그와 같은 경우 재료의 표면적을 크게 하는 것이 요구되며, 그 외 재료를 얇고 넓게 하고, 폐쇄, 분쇄하는 것과 재료를 교반 등에 의하여 수분이 큰 부분을 공기에 접촉하여 쉽게 하는 것등이 건조를 촉진 시키는데 유효한 수단으로 된다. 플라스틱하우스 건조시설에 교반기를 사용하여 가축분뇨를 건조하는 것은 이 경우이다.

다. 각종 건조증발 방법

가축분뇨의 건조.증발을 도모하기 위해서는 여러 방식에 의한 장치와 시설이 도입 실용화되어 있고 건조, 증발을 촉진시키는 장치와 시설등의 역할과 능력 등은 다음과 같다.

(1) 송풍장치

가축분뇨등의 재료를 건조시키기에는 고온 저습도의 공기를 대량으로 재료에 송풍하여 접촉시키는 것이 유효한 방법이며 그 경우의 송풍장치로서 송풍기가 사용된다. 송풍기에는 축류형과 원심형이 있다. 축류형의 송풍기는 축사의 환기, 시설 원예 하우스의 환기, 가정부엌의 환기구등에 사용되고 있는 타입으로, 송풍을 위한 압력을 그다지 필요치 않는 장소에 대량의 공기를 보내는 것이 가능하다. 가축분뇨의 하우스 건조시설에 하우스 상부의 따뜻한 공기를 대형환기구로서 직접재료에 닿도록 송풍하는 경우와 축사환기용으로서 가축분뇨등의 재료를 건조시키기에는 고온 저습도의 공기를 대량으로 재료에 송풍하여 접촉시키는 것이 유효한 방법이며 그 경우의 송풍장치로서 송풍기가 사용된다. 송풍기에는 축류형과 원심형이 있다. 축류형의 송풍기는 축사의 환기, 시설 원예 하우스의 환기, 가정부엌의 환기구등에 사용되고 있는 타입으로, 송풍을 위한 압력을 그다지 필요치 않는 장소에 대량의 공기를 보내는 것이 가능하다. 가축분뇨의 하우스 건조시설에 하우스 상부의 따뜻한 공기를 대형환기구로서 직접재료에 닿도록 송풍하는 경우와 축사환기용으로서 이용된다.

그림 4-7. 건조에 사용되는 송풍기의 구조

그러나, 가축분과 퇴비등의 재료내부에 송풍하는 경우에는 송풍압력을 필요로 하므로 축류형의 송풍기로는 송풍량이 급격히 떨어져 송풍기로서의 기능을 상실하게 된다. 송풍압력을 필요로 하는 경우는 원심형 송풍기를 이용한다. 이 유형은 높은 압력이 걸리므로 일정량의 송풍이 가능하고 압력이 다소 변동하여도 축류형에 비해 송풍량의 변동이 적다. 송풍기는 목적에 따라 그 특성이 변하고, 도입시에는 사용목적과 송풍량, 정압(송풍압력)을 명기하여 발주하지 않으면 안된다. 가축분과 퇴비등의 재료에 송풍하는 경우의 배관은 배관의 곡선을 적게 하는 것과, 배관경을 크게 하는 것, 재료내의 배관의 개공율을 크게 하는 것 등이, 배관에 의한 압력손실을 적게 하는 방법이다. 또한 송풍기의 정압은 소비전력에 비례하므로 필요 이상으로 정압이 높은 송풍기를 설정하는 것은 피해야 한다. 송풍기에는 다양한 성능을 표시한 성능곡선이 있어, 정압, 풍량등 필요한 항목을 참고하여 선정하여야 한다.

(2) 축사구조

가축분뇨처리 방법의 기본적인 고려방향은 가능한 축사내에서 분뇨의 고액분리를 계획하여 축사외부로 반출한 후 건조, 퇴비화, 오수처리등의 처리를 용이하게 하는데 있다. 축사외부 처리시설의 부하 경감을 위해서는 가능한 한 축사내에 분뇨를 분리하는 것이 필요하고, 제한된 용지 내에서 분뇨처리 시설에 이용되는 면적을 확보하는 것이 곤란한 상황에서는, 축사내의 공간을 적절히 이용할것 즉, 사양관리면뿐만아니라 분뇨처리도 고려한 축사구조를 계획할 필요가 있다. 또한, 음료수의 과소비를 줄이도록 개선하고, 우수 등 사양관리에 불필요한 물이 분뇨에 혼입되지 않도록하는것도 중요하다.

(3) 깔짚의 다량사용에 따른 방법

건조를 촉진시키기 위해서는, 재료의 증발면적을 크게 하고, 다량의 건조한 공기와 접촉시키는 것이 효과적이나 깔짚(건초, 짚, 톱밥등)를 많이 사용한 만큼 증발면적이 크게 되어 건조가 쉽게 된다. 깔짚의 퇴적높이가 높게 되면 가축분뇨와 깔짚가 적당히 혼합되어 퇴비화 상태로 되면 깔짚의 온도가 조금 상승하여 건조에 기여할 수 있다. 또한, 건물내 천정의 환기구를 사용하여 약간 따뜻한 공기를 송풍시키면 건조는 더 촉진된다

그림 4-8. Cage 양돈의 구조

라. 건조축분의 대표적인 성상

일본의 통계자료로 나타낸 표4-7과 같이 건조분의 성분함량은 생분의 특성과 유사하게 나타나고 있다. 건조물의 수분함량은 분의 종류와 무관하게 30% 이하인 것을 알 수 있다.

표 4-7. 건조분의 무기물 함량

구 분	건조물	N	P2O5	K2O	CaO	MaO	Na2O	TC	n	f
채란 M 계분 CV	81.1 5.5	36.5 14.7	6.41 22.5	3.01 16.6	11.29 19.9	1.42 16.2	- -	26.8 21.0	16	269
브로이 M 나-계분CV	85.0 6.9	3.54 20.0	5.49 21.3	3.41 20.0	4.96 45.0	1.38 26.7	- -	37.7 7.0	4	69
돈분 M CV	75.7 11.2	3.43 12.4	6.03 38.2	1.99 30.7	4.36 31.8	1.59 18.2	0.59 -	35.8 6.8	10	89
우분 M CV	72.0 15.9	2.29 7.8	2.56 6.60	2.41 15.2	2.24 22.9	1.06 18.0	1.03 -	36.1 13.0	7	89

3. 액상콤포스트의 원리와 방법

가. 액상콤포스트의 정의와 위치

(1) 액상콤포스트의 정의

가축분뇨를 처리하고 비료로 제조하여 농경지에 환원 이용하는 방법은 고형상으로 다루는 경우와 액상으로 다루는 경우로 크게 나누어진다. 전자는 퇴비화가 일반적이나 그 외에 계분에는 건조처리방법도 쓰고 있다. 후자에는 정화처리가 잘 알려져 있고, 양돈관계에는 분뇨를 환원 이용할 농장이 적은 경영형태가 많아, 처리후 방류하는 정화처리 방식이 확대 보급되어

있다.

따라서 낙농에는 분뇨를 목초지와 사료작물 재배포장에 환원하여 비료로서 이용할 수 있으므로, 퇴비 외에도 액상으로 정화처리하지 않고 액상구비로서 쓰는 등, 고형액상 양방식을 도입한 경우가 많다. 우리의 경우 저장액비화법으로 보다 잘 알려져 있는 액상 콤포스트와 관련된 액상 물질은 다음의 4 종류로 나눌수 있다.

- 분의 고형물이 대부분 들어있지 않는 뇨자체의 것
- 분뇨에 잡용수가 혼합되어 있으나, 특별한 처리가 되어 있지 않은 것
- 자연유하식의 분뇨시설로 장기간 혐기성 발효시킨 것
- 분과 뇨를 적륵적으로 혼합교반하여 호기성 발효시킨 것

이중, 나중 2가지가 액상으로 발효되는 것으로 사료되며, 넓은 의미의 액상 compost라고 하는 것이다. 그러나, 자연유하식에 의한 혐기성 발효의 경우 농장에 살포할 때에 강한 악취가 발생하는 문제가 있어, 현재는 적극적인 혼합교반에 의하여 호기성 발효시켜 악취가 나지 않고, 농장에 사용시에도 작물의 발아장애등을 유발하는 유해물질도 분해시켜 안전한 퇴비로 하여 이용할 수 있도록 조제된 액상취급의 가축분뇨를 액상콤포스트(Liquid compost)라 부르고 그 처리법을 Liquid composting 이라 하며 우리의 경우 저장액비화법으로 보편화 되어 있다.

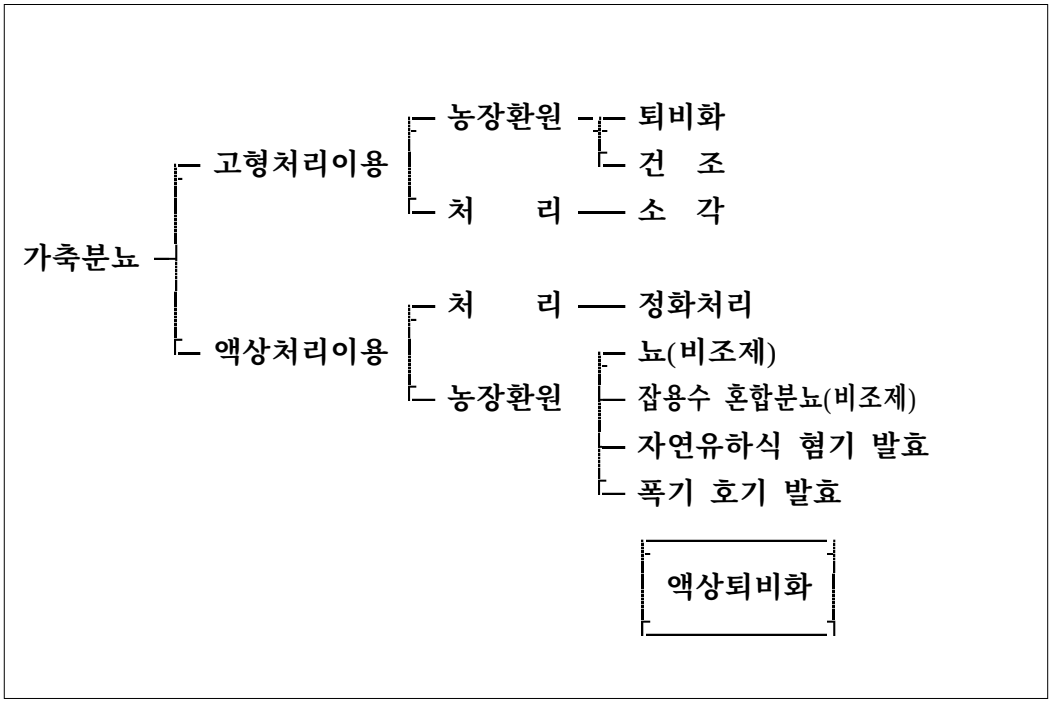
(2) 액상콤포스트의 위치

가축분뇨의 처리기술을 “처리”와 “이용”으로 분류하고 그림 4-12에 나타내었다. 각각 특징과 결점 등이 있어 축종과 포장의 유무 등의 조건에 따라 각 경영에 적응될 수 있는 방식이 채용되고 있다. 이중 가장 많이 채용되는 방식이 퇴비화이고, 1두당 분뇨가 많은 비육우 사육과 낙농, 그리

고 뇨가 없어 수분이 적어 퇴비화가 쉬운 양계에서 주로 수행되고 있다.

양돈에서의 정화처리도 고액분리된 고형분과 활성오니정화 방식의 잉여오니등은 일부 퇴비화 되고 있다. 액상콤포스트는 비료를 정화처리외의 비용을 많이 소요하지 않고 조제할 수 있는 장점과 무거운 액상분을 운반하지 않으면 안되는 단점이 있어, 축사 가까이에 환원될 농장을 지닌 곳에는 유리한 가축분뇨처리 방법이지만, 충분한 포장이 요구되는 한계가 있다.

그림 4-9. 가축분뇨의 처리 이용방법



따라서, 현재는 분뇨를 축사에서 또는 고액분리기에서 액분과 고형분으로 분리하고, 고형분을 양질의 퇴비로 제조하여 축사경영외의 보통작물과 채소재배 등의 경종농가에 유통시킨다. 한편, 일정량의 고형분을 제외시켜 교반, 폭기, 발효하여 편리하게 된 액분을 액상콤포스트로 제조하고, 자기농장에 환원하는 방식이 합리적으로 고려되고 있다.

즉, 분뇨 전량을 퇴비화하는 경우 수분이 높아 퇴비화가 어렵고 비용도 크게 되고, 전량을 정화처리와 액상콤포스트 제조하는 경우도 시설의 부하가 크게 되어 비용이 많이 소요되고 안정적인 발효도 어렵다. 그래서 어느 정도의 환원포장이 있는 경영에 있어서는 고액을 분리하여 고형분을 퇴비화하고, 축산경영 외로 유통시켜 자가농장에는 발효제조한 액상콤포스트로 환원하는 방식으로서 액상콤포스트를 위치시키는 것이 가능하다. 따라서 우리의 경우 적절한 액비처리기간의 설정이 필요하며 가축두당 확보하여야 할 경지면적의 규정, 액비살포량에 대한 규제가 요구된다.

나. 액상콤포스트의 제조의 원리와 처리 유형

(1) 가축분뇨의 부숙(발효)처리

가축분뇨를 배설된 그대로의 신선한 상태로 농장에서 사용한 경우, 악취와 오물감 외에도 세균류와 기생충란 및 잡초종자가 확대되고, 분해되기 쉬운 유기물이 토양에서 급속한 분해를 하여 일시적으로 질소를 수탈하는 질소기아상태를 초래하게 되며 또한, 토양내에서의 분해 중에 작물종자의 발아에 나쁜 영향을 끼칠 성분이 발생하여 발아장애를 초래할 경우가 있는 등 장해가 많다. 그래서 가축분뇨를 농장환원전에 적극적인 발효분해를 선행하여 그 과정에서 악취와 유해성분을 없애고, 잡초종자류를 사멸시켜 안전한 비료로 사용하는 방법이 채용되어 있다. 가축분뇨의 발효란, 각종 미생물이 증식활동하여 분뇨중의 유기물이 분해되는 현상이며, 퇴비화는 호기성 미생물에 의해 유기물중 비교적 분해가 용이한 생분해성 유기물이 빠른 속도로 분해되어 발효되는 현상이다. 액상분뇨는 주로 고액분리액과 분뇨혼합물로 분류되고 분리액에는 고형물이 많이 제외되어 건분율이 낮으나 우분뇨(특히 착유우)

의 경우는 고액분리기로 분리된 분리액에 유기물의 상당부분이 들어 있으므로 건분율은 그것만큼 낮지는 않다.

액상분뇨의 처리방식에는 호기성처리와 혐기성처리가 있다. 액상의 가축분뇨에 있어서도 미생물에 의한 분해가 진행되는 것은 잘 알려져 있는데로 자연유하식에 의해 저류조에 저류되어 남아 있으면 공기가 없어도 활동하는 혐기성 미생물에 의하여 느린 분해가 진행하여 안정화되며 혐기적처리 특성으로 메탄가스를 발생시켜 에너지로 이용한다. 또한 그 잔사액중에는 탄소이외의 성분은 대부분 존재하므로 액상비료로서 유용하게 이용될 수 있다. 그러나, 실제 그러한 처리를 수행하는 농가는 적고 대부분 저장한 그대로 사용하고 있다. 장시간 체류시켜 두면 고분자의 유기물은 저분자의 유기산등으로 변화하고 질소도 대부분은 암모니아성 질소로 되어, 토양중의 분해도 빠르고 비교적 빨리 비료효과가 나타난다. 그러나, 액상분뇨는 저류시킨 그대로 보내면, 악취가 심하게 나므로 주택지 주변의 농경지에 사용하는 경우는 역시 폭기하여 부숙시키는 것이 필요하다. 그와 달리, 액상분뇨를 교반하고 공기를 혼입하여 폭기처리하는 호기성 처리는 충분한 통기가 되면 퇴비화와 동일한 양상의 부숙이 진행되고 호기성 미생물이 증식하여 혐기성 발효보다 훨씬 빠른 속도로 분해가 진행하고, 악취가 없게 되는 것으로 알려져 있다. 여기에 서술한 액상콤포스트의 제조는 액상의 가축분뇨를 폭기처리하여 호기성 미생물을 증식시켜 발효작용에 의해 분해가 쉬운 유기물을 분해하여 안전한 액상퇴비로 제조하는 것이다.

(2) 호기성 발효조의 필수조건

호기성 발효를 수행하기 위해서는 호기성 미생물이 활동할 수 있는 조건을 제공해주어야 한다. 조건으로는 미생물의 영양원이 활동에 이로울 것, 공기(산소)는 활동에 적합할 것, 온도 및 수분의 4가지가 필수적이다.

그외 미생물 첨가제나 질산화 억제제 등을 첨가하여 보다 적절한 퇴비로서 사용 가능하다.

미생물의 영양원은 분뇨에 들어있는 유기물로서, 가축에서 배출되면서 분이 혼합되지 않아 뇨만이 분리되어 분의 고형분 즉 유기물이 없는 경우는 영양분이 부족하여 발효는 진행되지 않는다. 실제, 축사의 반-크리너와 반-스크레퍼에 의해 고액분리되거나 고액분리기로 분리한 액상분에는 분의 고형분이 아직 많이 남아 있어 영양분이 부족한 경우는 없다. 호기성 미생물의 활동에 필요한 산소의 경우 퇴비화는 깔짚등을 혼합하는 것에 의해 공기가 유입될 간격이 확보되고 비교적 용이하게 외부에서 공기를 통하게 할 수 있다. 그러나 액상분뇨에는 액중에 용존되어 있는 약간의 산소로는 부족하므로, 공기는 액중에 강제로 송기시키는 폭기처리에 의하여 산소를 상시 보급시킬 필요가 있다. 미생물이 활동하기에 적절한 온도에 대해서는 미생물자체의 활동에 의해 발생하는 열로 온도가 상승할 경우, 특별한 가온이 필요치 않다. 수분에 대해서는 액상 콤포스트이므로 미생물의 활동이라는 면에서의 수분을 의미하는 것이 아니라, 폭기작용을 충분히 효과적으로 할 수 있는 유동성을 유지하는 것과 관련된 함수율에 대한 주의가 필요하다.

(3) 액상 콤포스트의 제조법

액상콤포스트의 제조법에는 폭기유무에 따라 혐기성(자연유하식)과 호기성(폭기방식)으로 분류되고 교반방식에 따라 사용직전의 교반처리법, 정기적교반처리법, 펌프의 와류를 이용한 처리 방법등이 있다.

(가) 자연유하식

1960년대에 널리 보급되었던 유우소사의 분뇨를 성력적으로 저류조에 도입하여 부숙시키는 방법이다. 그 이전까지의 깔짚을 많이 썼던 분

뇨취급의 경우 반출방식에 많은 노력이 요구되었고, 두수의 증가로 볏짚이 부족하여 자연유하식이 보급되었다.

이는 축사내에 분뇨구를 만들고 출구에 제방을 쌓아 분뇨구내에서 부숙이 진행, 유동성이 증가되어 펌프와 vacuum car로 취급이 가능하게 된다. 혐기성 발효한 경우 신선한 분에는 없던 악취성분도 생성되고 농장에 살포하는 경우 강한 악취가 발생한다. 따라서 최근에는 살포직전 저류조에서 폭기를 수행하여 악취를 감소시키는 것과, 악취저감용 첨가제를 사용하는 방법도 행해지고 있다. 분뇨전량을 처리하는 경우 사육두수 증가에 따라 환원할 포장의 부족이 문제시 되어있다.

(나) 폭기처리방식

호기성발효에 의한 액상 콤포스트 제조를 목적으로 하는 방식으로 저류조에 폭기장치를 설치하고 교반과 동시에 강제적인 공기를 혼입하여 액상으로 되어 있는 재료를 퇴비화에 의한 호기성 발효를 진행하는 것이다. 호기발효에 의해 분해하기 쉬운 유기물은 급속히 분해되고, 악취도 없어지며 유동성이 좋은 액상으로 된다. 저류조는 콘크리트제의 지하식과 특수강판으로 조립된 지상식이 있고, 지하식에는 수증 폭기장치가 많이 사용되고 지상식에는 블로아식 폭기장치로 조립된 것도 많다. 그림 4-10은 이들의 구성을 나타내고 있으며 액상콤포스트는 흔히 이 방식으로 제조되는 것을 의미한다.

(다) 라군방식

구미등 넓은 토지를 소유한 낙농과 양돈경영에 사용된 저류지 방식으로 우리의 경영규모와 토지환경 사정에서는 적응이 어려운 방식이다.

다. 폭기방법의 구성요소

포기처리에 의하여 액상 콤포스트를 조제하는 시스템의 구성은 분뇨구 구조에 따른 고액분리기, 저류조, 포기장치와 소포기, 반송사용기로 구성되어 있다.

액상 콤포스트의 지하식 폭기 시스템

액상콤포스트의 지상식 폭기 시스템

그림 4-10. 액상퇴비화장치의 저류방식에 따른 구성

(1) 고액분리방식과 고액분리기

낙농과 양돈에 있어 분뇨와 기타 잡용수까지 전량을 폭기처리하여 배관으로 농장살포하는 방식이 성력적이나 광대한 토지가 필요하다. 최근의 다두화의 진행 상황중에는 특히, 낙농의 경우 반출중 또는 반출후 기계로 고액을 대충 분리하여 고형물은 퇴비화하고 액분을 액상콤포스트하는 방식이 합리적인 것으로 판단된다. 고액분리는 반-크리나의 경우 부뇨구(副尿構)에서 분리하나 이것은 입상(粒狀)인 부분에서 액분을 분리해내는 정도이다.

반-스크레퍼 방식에는 분뇨가 많이 혼합되어 있으므로 고액분리기로 분리하게 된다. 고액분리기를 사용한 경우도 엄격한 분리의 필요는 없고 경사 스크린식 고액분리기(웽지스크린)등으로 대략적인 분리를 하므로 액상콤포스트가 아주 제조하기 쉽게 된다.

(2) 저류조

축사에서 액상분을 일시 저류하고 짚등의 협잡물을 스크린으로 제거하기 위한 전처리조와 폭기장치가 설치된 폭기조, 그리고 마무리된 액상 콤포스트를 일시 저장하는 일시적 저류조등이 있다. 주장치는 폭기조이고 일반적으로 지하에 설치되는 큰크리트제와 지상에 시공하는 강판제의 두종류가 있다.

(3) 폭기장치와 소폭기

저류조의 액상분뇨를 교반하면서 공기를 액상에 송기하여 주입하는 장치로서 액면위에 있는 표층을 폭기하는 송풍식과 저류조의 하부에 설치하

여 흡인하여 혼합하는 수중방식이 있다. 송풍식의 경우 표면폭기로 기포의 발생은 적으나, 수중식의 경우 분뇨의 조건에 따라 대량의 기포가 발생하므로, 지하식 저류조의 천정에 소폭기를 설치하여 기포를 소폭시키는 대책이 필요하다.

라. 폭기량

(1) 폭기량의 단위

어느정도 폭기시키면 액상콤포스트가 될지는 액상콤포스트의 제조에 있어서 가장 관심있는 부분이다. "어느정도"는 일반적으로 몇 시간 내지는 며칠간을 유지하는 경우가 많으나 주입되는 공기의 유량과 폭기조의 크기에 따라, 액중에 있는 공기의 양이 달라지므로 시간이 정확한 지표는 아니다. 그렇지만, 액상분뇨의 중량 1ton당 1시간에 몇m3의 공기를 주입(m3/hr.t)할지는 특정단위로 통일시켜 검토하여야 한다. 일본(1981 美齊)의 자료에 의하면 pH 6.5, 고형물함량 4-8% 및 점도가 200CP 이상인 우분을 폭기량 6Lair/m2으로 연속 폭기한 경우 약 4일후 온도가 60℃ 이상으로 상승하고 pH도 약 8.8정도의 좋은 특성을 나타내고 있다.

(2) 지상식 폭기의 폭기량

대형의 지상식 폭기조에 있어 블로아형 폭기장치를 사용하는 경우, 표면폭기 방식으로서 액중에 들어가는 공기량을 확실히 파악하는 것은 곤란하고, 액표면에서도 공기가 액중에 용해될 가능성이 있어 정량을 할 수 없다. 그러나 지상식은 제작메이커에 따라서 폭기조용적과 폭기장치능력이 규격화되어 있으므로 설치시 문제점은 적다.

(3) 지하식 폭기조의 폭기량

지하식의 경우 기성 제품인 저류조에 폭기장치를 넣어 폭기하는 경우도 있으므로 그 저류조의 적정 폭기량을 구할 필요가 있다. 지하식 폭기

조에 사용한 수중식 폭기장치의 경우 공기의 유입량을 측정할 수 있으므로 적정폭기량을 구하는 시험을 반복 수행한 결과 적정폭기량은 1-5m3/hr.t의 범위이다. 적정폭기량이 상당히 넓은 폭으로 되어 있는 이유는 분뇨의 농도, 질, 폭기운전방법(단속운전도 있다) 등 시험조건이 다양하기 때문이다.

시험조건을 통일시키면 가장 폭이 좁은 적정치가 구해지리라 생각되나 그러한 값을 나타내어도 액상콤포스트를 계획하는 축산농가의 액상분뇨의 농도등의 액상분뇨의 농도등의 조건이 각각 달라 그대로 사용하기는 어렵다. 따라서 여기에 나타낸 폭 넓은 적정폭기량을 참고하여 개별적 예비시험등을 통해, 각각의 조건에 맞는 폭기량과 운전방법을 구하는 것이 필요하다.

(4) 폭기량과 발효상태

폭기량이 지나치게 적은 경우, 호기성 미생물의 활동이 둔화되고, 그 경우 발효에 의한 발열이 적게 되고 폭기조의 주변에서 열이 빼앗기면서 재료의 온도를 상승시키지 못한다. 그 경우 조금 높은 온도에 적응한 미생물이 활동하면 발열이 많아 액온을 올리는 것은 가능하나 폭기량이 적어 발효가 부족한 상태 그대로있게 된다. 적정폭기량에서는 운전초기에는 느린 발효가 있으나 폭기조에서 열이 손실되는 이상으로 발열되면서 온도가 상승하고, 고온에서 활발히 활동하는 미생물이 더크게 발열을 하여 온도를 높이는 순환이 되고, 온도 57-70℃에 달하면 아주 양호하고 빠른 호기발효가 이루어진다. 폭기량이 많은 경우에는 폭기량의 폭기로 액체가 냉각되어 온도가 하강하여 분해속도가 빠른고온의 초기발효에 도달되지 못하는것에 유의할 필요가 있다.

마. 액상분뇨(액상 속효비, 슬러지)성상

액상분뇨는 비료로서의 효과는 크나 유기물의 함유율이 낮아 토양개량의 효과를 그다지 기대할 수 없다. 액상분뇨의 비료성분 함량은 분뇨의 혼입정도에 따라, 축사세정수의 혼입정도에 따라 크게 변동되므로, 사용할 때에 비료의 성분함량을 구하는 것이 필요하다.

이들의 분석을 위한 수단과 기술을 필요로 하나, 화학적 분석보다는 간편한 추정방법이 제안되고 있다. 즉, 질소와 칼륨은 액상분뇨중에는 상당부분이 이온으로 존재하므로, EC(전기전도도)를 측정하는 것으로 추정이 가능하다. 일본 농업시험장에서 검토한 액상분뇨중의 질소, 칼리함량과 EC의 회기식관계는 다음과 같다.

- 돈분의 뇨화합물 분리액

$N(\%) = 0.018EC(ms/cm)$ $r = 0.95$

$K_2O(\%) = 0.011EC - 0.01$ $r = 0.96$

인은 이온으로도 존재하나 함유량이 많으므로 증발잔사를 측정하여, 다음식을 쓰는 것으로서 추정하는 방법이 제안되었다.(上野 1980)

- $P_2O_5(mg/L) = 602 \times$ 증발잔류물(%) $- 57 = 0.81$

이들 회기식을 이용한 추정외에 일본의 액상퇴비의 비료질을 측정한 결과는 표 4-8과 같다.

표 4-8. 돼지 액상분뇨의 무기성분함량(건물 %)

구 분	DM	N	P2O5	K2O	Co2O	MgO	Na2O	Tc
고액분리액	0.70	18.57	7.14	10.00	2.86	1.43	5.71	-
액상속비	4.05	1018	5.32	4.86	2.86	1.39	2.17	46.6

※ 1995 일본 축산환경대책 대사전

이러한 액비의 경우 전량비료화 할 경우 수역의 방류수를 없앨 수 있는 장점은 있으나 높은 함수량으로 인하여 발생량이 고형퇴비의 약 2.2배가 되어 비수기에 대량의 저류시설이 요구되며 살포를 위한 보유 경지면적이 크게 요구되어 소규모의 시설로 국한될 수밖에 없다. 또한 전술한 바와같이 과다사용으로 특정영양소의 과잉으로 작물의 영양소발란스에 문제를 유발할 가능성도 우려되며 액상이므로 살포를 위한 살포용시설과 도로시설이 요구되며 보습성과 공극성의 결여로 인한 고형물비료와 같은 토양개량의 효과를 얻을 수 없으며 특히 설문조사에 따르면 약 응답자중 66%가 고체상태의 퇴비를 원하는 수요특성도 제약요소로 사려된다.

4. 뇨.오수의 정화처리의 원리와 방법

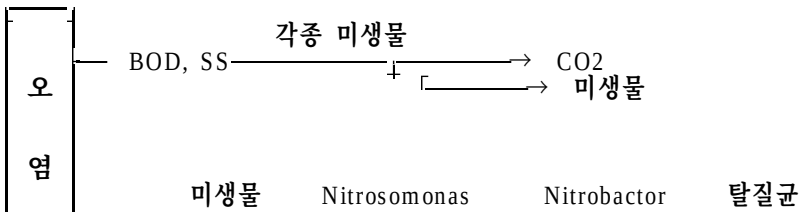
가. 정화처리의 원리

축사에서 배출되는 액체성 폐수는 주로 가축의 뇨와 식수, 청소수등으로 이루어져 있으며, 배출양상은 가축의 종류, 사육규모, 사육방법, 청소횟수 및 계절에 따라 매우 다양한 양상을 보이고 있다.

또한 가축분뇨에는 질소 함유물질, 인 함유물질, 휘발성 지방산, 알데하이드류 등의 냄새 유발물질이 함유되어 있으며, 분뇨의 악취문제는 이물질들의 복합취로 생각되며, 축산폐수는 고농도의 유기물질과 영양소인 질소 와 인이 함유되어 그 발생량은 적으나 자연계에 배출되는 유기물질 부하율은 매우 큰 특성을 갖고 있다. 이와 같은 특성을 갖고 있는 고농도의 축산폐수를 처리하는 방법은 물리화학적 처리방법과 생물학적 처리방법으로 크게 나눌 수 있으나 경제적이며, 2차오염이 없는 생물학적 처리방법이 많이 이용되고 있는 실정이다. 물리.화학적 처리방법은 대상물질의 특성파악이 선행된 후 오염물의 특성과 목표 처리수질에 따라 처리방법을 결정한다. 일반적으로 대상물질의 특성은 물리적성상과 화학적성상으로 구분되며 처리방법의 적용을 위한 분류는 오염물의 크기를 기준으로 하고 있다. 10^{-10}~ 10^{-8}m 정도의 입자는 살

균, 이온교환 및 흡착처리에 의해 처리되며, 10-6 - 104㎛정도의 입자는 여과에 의한 처리가 적당하고, 그 이상의 입자는 침전이나 부상법에 의한 처리가 이루어지고 있다. 그러나 이들의 중간크기에 해당하는 입자의 경우에는 직접 처리법의 적용이 어려운데 이러한 상태의 입자를 colloid라고 하며 화학적처리의 주목적이 이들입자의 성상을 변화시켜 처리하는데 있다고 할 수 있다.

폐수처리방법중에서 생물학적 처리방법은 폐수내에 존재하는 유기물질중에서 생물에 의하여 분해가능한 유기물질을 미생물을 이용하여 제거시키는 방법이다. 생물학적 처리방법은 산소와의 관계에 따라서 호기성, 임의성, 혐기성 처리방법으로 나눈다. 호기성처리방법에는 용존산소가 필요하며 따라서 용존산소가 시스템내에 충분히 존재하도록 공기를 주입시켜 주는 구조로 되어 있다. 예로서 활성슬러지법, 살수여상법, 산화지법, 호기성소화법등이 있다. 임의성 처리방법은 호기성과 혐기성의 중간으로 살수여상이나 산화지에서 산소가 부족하게 되면 임의성이 된다. 혐기성 처리방법은 폐수나 슬러지내에 유기물질의 농도가 너무 높으면 포기에 의한 방법으로 필요로 하는 충분한 양의 산소를 공급하여 주지 못하게 되며 이때 산소가 없는 상태에서 성장할 수 있는 미생물을 이용하는 처리방법이다. 예로서 부패조(Septic Tank), Imhoff조, 혐기성소화조, 혐기성접촉소화조, 혐기성산화지 등이 있다. 그림 4-12는 생물학적처리방법에 의한 유기물질과 영양소의 제거구조를 나타내주고있다.



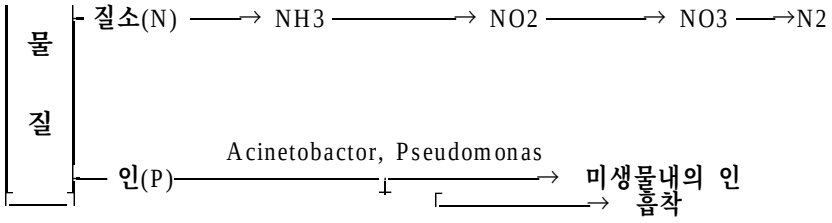
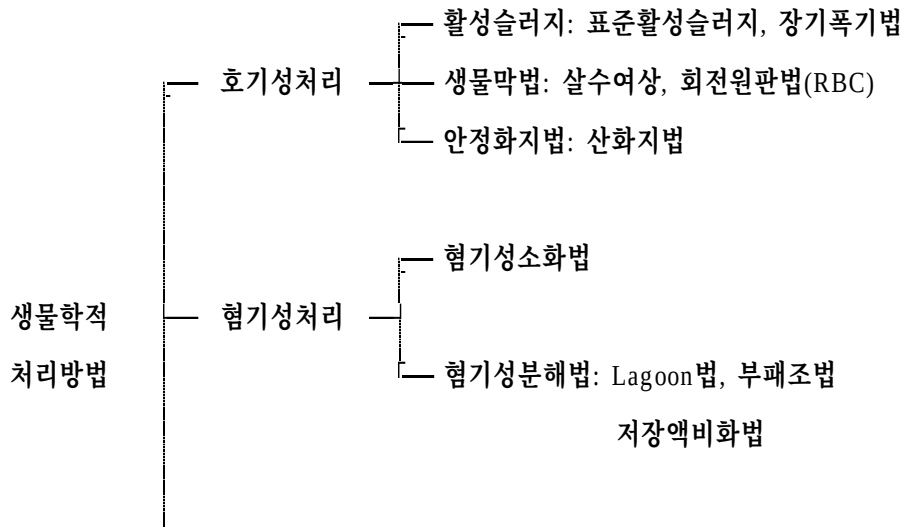


그림 4-11. 생물학적처리에서의 오염물질 제거구조

나. 정화처리방법

축산폐수의 정화처리방법은 위에서 살펴 본 바와같이 물리.화학적처리방법과 생물학적처리방법으로 구분되며 현장에서 적용되고 있는 처리방법은 주로 생물학적처리방법이다. 최근에는 고효율의 처리방법과 정화조 형식의 Compact한 처리시스템이 개발되고 있으며, 생물학적처리와 화학적처리를 병행해서 처리하려는 방법등이 연구되고 있다. 그림 4-13에는 생물학적처리법의 분류를 나타냈으며, 이에 대한 구체적인 설명을 하고자 한다.



├─ 특정미생물처리: 광합성세균, 효모
├─ 영양염의 처리: 생물학적 탈질, 탈인
└─ 자연정화기능: 늪, 수로, 토양

그림 4-12. 생물학적처리법의 분류

(1) 활성슬러지법

우리나라 중.대규모 축산폐수처리장에서 흔히 적용되고 있는 활성슬러지법의 경우 축산 원폐수를 저장하는 폐수저장소와 축산폐수에 다량 함유되어 있는 부유물질과 분 찌꺼기, 사료 찌꺼기 및 깔짚등의 협잡물을 제거하기 위한 스크린시설, 시멘트 및 방사식 축사에서 나오는 모래를 침전제거하기 위한 침사조, 침사조에서 침전되지 않은 실트 및 침전가능 부유물질을 침전하여 제거시키는 1차침전조, 1차침전조를 거친 폐수가 고농도이기 때문에 활성슬러지의 적정 유기물질부하율에 맞게 희석수를 사용하여 희석하고폭기조에 유입 처리한다. 생물학적처리를 거친 폐수는 최종침전조에서 침전하여 침전슬러지의 일부는 미생물 확보를 위해 폭기조로 반송되고 나머지는 폐기처리하고 상등수는 방류하며, 침사조 및 1차 침전조의 침전 슬러지와 최종침전지의 폐슬러지를 모아서 탈수하여 고형폐기물로 처리하는 시스템이다. 단순 물리적 처리시스템의 경우 응집처리후 활성슬러지법으로 처리하는데 원폐수를 저류하는 저류조와 스크린, 침사조를 거쳐 적정 pH와 접촉시간을 갖춘 응결조(응집제는 보통 Alum사용)를 거쳐 형성된 Floc을 분리하는 침전조를 거쳐 상등액은 희석수 없이 폭기조로 유입처리되고 응집 침전된 슬러지는 최종침전지의 폐슬러지와 함께 탈수처리되는 시스템이다. 그러나 이경우 그 처리효율 및 경제성에 많은 문제점이 있을것으로 사료된다. 축산폐수는 유기물질 농도가 매우 높아서 활성슬러지법으로 운전할 때에는 전처리단계

로 희석을 해야하기 때문에 비경제적인 것으로 판단된다. 또한 운전시에 전문기술자가 꼭 필요하며 활성슬러지 운전시 거품(Foam) 및 Forthing 문제가 자주 발생하고 슬러지의 침전성이 불량한 것으로 알려져있다. 또한 물리적 처리법도 약품처리에 의한 비경제성과 응집으로 생성된 다량의 슬러지 처리문제, 약품투입으로 인한 2차오염등의 문제점이 지적되고 있다. 따라서 활성슬러지 공정 및 물리적처리에도 운전상의 문제점이 많고 유지관리비가 상대적으로 높아 대규모의 처리장에서나 운전이 가능하며, 중규모 또는 그 이하 규모에서는 처리장치의 운전에 기술적, 경제적 난점이 많은 것으로 판단된다.

A) 활성슬러지

B) 응집침전 및 활성슬러지

그림 4-13. 축산폐수의 활성슬러지 처리 계통도

(2) 침전 희석처리법

이 방법은 축사에서 나오는 축산폐수의 고형물을 물리적인 방법으로 제거시킨후 희석 방류하거나 정화조를 거쳐 방류 및 토지에 살포하는 방법이다. 축사에서 나오는 폐수를 단순 고액분리후 상등수를 수질기준에 맞춰 희석 방류하는 방법과 축산 원폐수를 스크린하여 2단 또는 3단 부패조(Septic Tank)에서 침전 및 혐기성처리하여 처리상등액을 희석 방류하는 방법으로 이는 혐기성처리의 효율이 그리 높지 않아 역시 많은 희석수가 소요되며 혐기성처리수를 활성슬러지등의 방법으로 2차처리하는 경우도 간혹 있으나 대부분 희석수를 이용하여 방류하는 것으로 알려져 있다.

또한 축산폐수에 사용되는 정화조가 가정에서 사용되는 부패형 분뇨정화조를 본떠 만든 것으로 그 효율과 기능에 대한 연구가 되어있지 않은 상태이다. 또하나의 방법으로 축산 원폐수의 고액분리후 상등액을 토지주입 및 살포방식으로 처리하는 방법으로 소규모처리장의 경우 그 활용도에는 많은 문제점을 가지고 있는 것으로 사료된다. 고액분리의 경우 우리나라는 시멘트바닥으로 된 축사가 주를 이루고 있으며 배설 돈분을 주로 인력에 의하여

수거하는데 그이유는 유지 및 관리상의 경제적 문제등으로 중.소규모의 축사 농가에서는 기계식 불리가 잘 활용되지 않기 때문에 적절한 물리적 고액분리(Solide-liquid Separation)공정이 실제적으로 보아 거의 적용되지 않고 있다. 외국의 경우 고액분리에 의한 돈사폐수의 SS 제거효율이 약 22%, COD 제거효율이 10-18% 정도로 보고되어 유기물 및 고형물의 제거효율이 비교적 낮은 경향을 보여 주었다. 따라서 상기처리법으로 토지주입에 적용시키는 경우 처리수의 농도가 높아서 2차처리가 필요할 것으로 사료된다.

(3) 저장액비화법

축산폐기물 및 분뇨를 액상물질과 고형물질로 분리하여 처리할 경우 뇨를 비롯한 오수는 저장조에 저장하였다가 농지에 살포하거나 축산폐수 처리시설로 이송 처리하여 축사로 재순환 또는 하천으로 방류하는 방법으로 자원의 재이용 및 시설과 조작이 간편하고 운영비가 저렴하다는 장점이 있으나 현실적으로 토지에 살포할 경우 살포할 토지가 있어야하며 원거리 살포시 비용이 과다 지출되며, 살포시기가 한정돼 있어 비살포시기에는 저장하여야 하기 때문에 저장조의 용량이 대형화 되어야 한다. 또한 계절적으로 겨울에는 동결문제, 하절기에는 호우시 우수의 유입으로 인한 저장액 유출등의 유지관리상의 문제가 발생한다.

저장액비화법에서 혐기성처리법은 가축분 및 뇨를 투입하여 상층부에 Scum층을 형성하여 공기와의 접촉을 막아 하부를 혐기성상태로 만들어서 혐기성 미생물에 의해 유기물질을 분해하여 이산화탄소와 유용한 부산물인 메탄가스를 생산하는 생물학적인 방법이다. 그러나 혐기성소화법은 메탄생성균의 증식속도가 느리기 때문에 긴 체류시간이 요구되고, 온도를 일정하게 유지하기 위하여 에너지가 소요되며, 혐기성처리의 효율에는 한계가 있기 때

문에 고농도의 폐수를 처리한 유출수의 농도가 높기 때문에 2차처리를 해야 하는 단점을 갖고 있다. 호기성 저장액비화법은 교반과 동시에 폭기하여 호기성 미생물의 증식과 더불어 섬유질이 분해되어 액상화되며 온도가 상승하여 열손실을 최소로 한다면 60-70℃까지 상승하여 액상퇴비화를 기대할 수 있다. 그러나 호기성 처리법에는 교반방법에 따라 온도상승 효과가 다르기 때문에 내용물의 부숙정도가 달라질 수 있으며 장기간 호기성상태로 유지하기 위해서는 동력비가 많이 소요되는 단점이 있다.

(4) 토양침투법

토양침투법은 토양중에 존재하는 미생물을 이용하여 유기물질의 분해, 질산화와 탈질산화작용등의 무기물질의 변환, 미생물의 세포형성에 의한 영양염의 흡수작용등에 의해 처리되는 방법이다. 토양중에서 생물학적인 작용이 활발히 일어나는 곳은 토양생물의 주된 서식처인 토양층 깊이 약 1m 정도로 호기성상태, 임의성상태 및 혐기성상태가 공존하여 유기물질의 분해 및 변화가 매우 다양하게 이루어진다. 이 방법은 가축뇨 및 오수중의 부유물질 제거가 필수적이고, Willams씨에 의하면 처리에 다음과 같은 요소를 고려할 것을 추천하였다.

① 폐수의 양과 성상 ② 병원균 및 위생상의 문제 ③ 처리장의 지하수위 ④ 지형 ⑤ 기후조건 ⑥ 토양의 종류 및 장기주입시 그 반응 및 영향 ⑦ 폐수의 주입방법 및 주입로 ⑧ 토지처리 요구면적 ⑨ 토양식물의 종류 ○ 처리효율 ○ 토양주입으로 인한 지표 및 지하수의 오염영향 ○ 적용대상 토지의 위치 ○ 오염물질 관측 시스템 ○ 시설 및 유지관리비 ○ 환경에 대한 총괄적 영향

이상과 같은 토양침투법의 고려사항을 소홀히 할 경우 커다란 환경적 재앙(Environmental Disaster)을 초래 할 수 있다고 하였다.

(5) 살수여상법

축산폐수 및 오수를 미생물이 성장하기 좋은 조건을 만든 접촉여재

(Media)를 통과하면서 여재표면에 형성된 미생물막에 의해 유기물질이 흡착 분해되어 정화된 유출수를 얻는 방법으로 구조가 매우 간단하고 유지관리가 용이하며 소규모 오수처리에 많이 이용되고 있다. 이 방법은 주로 고속 살수여상을 사용하는데 표면적 부하는 10-20m3/m2/일당 정도로 연속적인 살수를 함으로써 처리효율이 향상되고 여상의 단락과 폐쇄 및 유충의 발생을 억제할 수 있다. 이러한 살수여상법은 돼지사육두수 1,000두 이하의 농가의 가축뇨 및 오수처리에 적합하며, BOD 부하는 1.2kg BOD/m3/일당, 깊이는 1.0-1.5m로 설계하여 BOD, COD 제거효율을 85-90% 까지 기대할 수 있다.

그러나 살수여상은 온도에 의하여 처리효율에 많은 영향을 받으며, 폐수의 부유물의 농도가 고농도일 때 막힘현상이 발생하며, 처리효율이 좋다가도 여재표면에 부착된 미생물막이 떨어져 나오는 탈리현상이 일어나는 경우에는 처리효율이 나빠지는 단점을 갖고있다.

돈사폐수의 온도에 따른 처리효율을 나타내주고 있는데 온도가 떨어질수록 처리효율이 감소한다. 또한 살수여상을 이용한 최근의 논문에 의하면 살수여상에 사용되는 여재로 싼가격으로 구입할 수 있는 볏짚을 이용한 돈사폐수의 살수여상에 의한 전처리 실험결과 고형물의 제거효율은 짚 Column과 단순침전에 의한 처리효율이 거의 동일 하였으나 그 유출수를 2차 처리공정으로 생물학적 처리공정을 적용할 때 짚 Column을 사용한 것이 효율적인 처리기법으로 판단되며 여재인 짚에서 용출되는 유기물은 큰 문제가 없는 것으로 나타났으며 여재를 추후 Composting에 이용할 때 Bulking Agent로서 활용할 수 있다고 한다.

표 4-9. 살수여상에 의한 축산폐수 처리효율

수온 (℃)	B O D (mg/l)			C O D (mg/l)			S S (mg/l)		
	유입수	유출수	처리효율	유입수	유출수	처리효율	유입수	유출수	처리효율
12.1	933	66.3	92.9	461	50.6	89.0	268	36.4	86.4
17.8	945	40.0	95.8	413	33.1	92.0	243	13.4	94.5
25.8	931	37.4	96.0	438	50.6	88.4	234	14.5	93.8

※ KIST 연구보고 1992

(6) 산화구법

산화구법(Oxidation ditch process)은 1954년 Pasveer가 개발한 생물학적 처리법으로 깊이 1m 정도의 도랑(Ditch)을 설치하고 폭기장치(Rotor)에 의해 축산폐수 및 오수를 순환하면서 폭기하여 처리하는 호기성 처리법이다.

산화구법에 사용되는 폭기장치(Rotor)의 적정 회전수는 80-100 rpm, 침전깊이 7-10cm 및 BOD 용적부하는 0.6-1.0kgBOD/m3/day 정도로 설계하는 것이 적당하다고 한다. 산화구법도 역시 온도에 큰 영향을 받으며 온도가 내려가면 처리효율이 감소하며, 폭기장치의 폭기에의한 증발(Evaporation)에 의한 손실도 많은 양을 차지하며, 거품문제(Foaming), 습도, 냄새와 폭기장치의 유지관리문제가 단점으로 지적되고 있다

(7) 산화지법

가축뇨 및 오수를 산화지(Lagoon)에 모아서 수중의 미생물을 이용하여 정화처리하는 방법이다. 산화지법의 중요 미생물은 Bacteria와 조류(Algae)이다. 유기물질을 주로 섭취하는 Hetrotropic Bacteria는 산화지내의 유기물을 안정화시키는 역활을 하며, 유입되는 침전성 유기물질들은 산화지 밑바닥에 침전되어 있는 혐기성균에 의하여 혐기성 처리된다. 산화지법은 산

화지의 깊이와 광선의 투과정도에 따라 혐기성, 임의성 및 호기성으로 분류된다. 혐기성 산화지법은 유입폐수의 농도가 높아 용존산소를 완전히 소모시킴으로써 혐기성 상태로 존재하여 산형성단계를 거쳐 메탄 형성미생물에 의해 최종 생성물로 메탄을 생산하는 처리법으로 호기성보다 적은 부지와 높은 유기물부하로 운전할 수 있으며, 처리에 햇빛이 필요하지 않기 때문에 수심이 3-4.5m까지 가능하고 체류시간은 20-60일 정도가 적당하다. 호기성 산화지법은 산화지를 호기성상태로 유지시켜 호기성 미생물에 의해 처리하는 방법이다.

이 방법은 넓은 부지가 소요되며, 특히 오수중의 유기물이 상당수 조류로 전환되기 때문에 유출수중의 조류를 제거해야하는 번거로움과 유지관리비가 많이 소요된다. 임의성 산화지법은 호기성과 혐기성의 중간상태로서 상부는 호기성이고 하부는 혐기성인 산화지를 이용하여 뇨 및 오수를 정화처리하는 방법이다. 통상 폭기는 상부에서 이루어지며 깊이 2-3m, 체류시간 10-30일 정도로 운전되는데, 부지확보가 쉬운 경우 혐기성 산화지보다 경제적이다.

(8) 액상부식법

액상부식법은 호기성소화법의 단점을 보완한 처리방법으로써 생물학적처리와 화학적처리방법을 병행한 처리방법이다. 이 방법은 대상폐수내의 협잡물이나 모래등을 제거한 후 유량조정조의 역할과 균등조의 역할을 하는 저류조를 거친다. 저류조에서 일정량의 폐수가 Pump를 통하여 액상부식조에 유입되어 호기성 처리된다. 액상부식조의 수리학적 체류시간은 10일 정도이며, BOD 농도는 0.1-0.5 mg/l를 유지하여 호기성미생물에 의한 분해가 이루어지도록 한다. 액상부식조를 거친 폐수는 응집조로 유입되는데 이때 폐수는 적정 pH인 4로 맞추어지고 응집제인 $FeCl_3$를 첨가하여 응집반응 시킨다. 이때 폐

수는 전량 응집반응조에 유입되며, 응집된 피처리물도 전량 탈수 처리된다. 탈수 Cake은 고형물처리하고 탈리액은 방류수기준에 맞도록 NaOH로 pH를 중화하여 침전조에서 고형물과 고액분리한 후 상등수를 방류하는 처리시스템이다. 처리수는 탈수처리후 3차처리로써 모래여과, 활성탄처리 및 막처리등으로 고도처리가 가능하다. 이 처리방법은 호기성소화에서 폭기시간이 길어지므로 침전지에서의 침전불량과 폭기조에서의 Bulking 현상을 방지할 수 있는 방법이며, 화학적처리를 수행하므로써 안정적인 방류수 확보가 가능하고, 단시간에 처리가 가능하고, 공정이 단순하여 운전관리가 용이하며, 24시간 연속

운전이 가능한 처리방법이다. 그러나 화학처리로 2차오염의 위험과 슬러지 발생량이 과다하여 슬러지 처리비용이 많이 소요되며, 저질의 FeCl3사용시 중금속오염이 우려되며 pH를 4까지 내리므로 기기부식으로 기기의 수명이 단축될 수 있으며, 방류수와 슬러지의 pH 조정이 필요한 단점을 가지고 있다.

그림 4-14. 액상부식법의 처리 계통도

(9) Bio-Reactor를 이용한 처리방법

이 방법은 일본에서 개발된 처리 방법이다. 처음에는 분뇨에 적용하였으나 근래에는 축산폐수에도 적용이 가능한 것으로 알려져있다. 처리의 개념은 일반 호기성소화와 유사하며 배양조에서 배양한 미생물을 투입조와 저류조, 조정조에 배분하여 이곳에서의 분해를 촉진하며, 저류조와 조정조에서는 폐수의 부패와 침전을 방지하고자 산소공급을 실시하고 있다. 또한 최종 방류수를 하천에 방류하지 않고 어조에 저장하여 비료나 산림등에 살포하여 수계의 오염을 방지하고 있다.

이 방법의 가장 큰 장점은 배양조에서 배양된 미생물이 투입조와 저류조 및 저장조에 배분되므로 분뇨처리장이나 축산폐수처리장에서 가장 큰 민원의 대상이 되는 악취문제를 이곳에서 탈취 미생물에 의해 악취를 제거할 수 있으며, 폭기조에도 일부 배분하여 안정적인 미생물확보가 가능하다는 점이다. 또한 유입폐수가 고농도에도 적용이 가능하며, 유입폐수에 고형물이 다량 함유되어 있어도 탈수시설에서 고형물을 제거하여 퇴비화등의 고형물 처리장치로 이송되어 처리되므로 완벽한 처리가 보장된다. 이 처리방법의 결과치는 표 4-10에 나타냈으며, Bio-Reactor의 처리 계통도는 그림 4-15에 나타나 있다.

그림 4-15. Bio-reactor의 처리 계통도

표 4-10. Bio-reactor의 처리수질

구 분 / 처리공정	BOD(mg/l)	CODMN(mg/l)	SS(mg/l)
투 입 조	10,000-20,000	3,000- 4,000	-
저 류 조	4,000-10,000	1,500- 3,500	4,000-10,000
조 정 조	600-1,700	200-1,000	1,500-4,000
폭 기 조	5 - 30	20 - 100	30 - 80
침 전 조	3 - 20	10 - 40	10 - 20
방 류 수	1 - 10	5 - 20	2 - 15

(10) 장기폭기형 축산정화조(KDST)

이 처리법은 KIST에서 장기폭기형방법을 응용하여 개발한 축산정화조로서 축산농가가 산재하여 공동처리가 곤란하고 기존의 처리방법으로는 하천의 수질개선에 도움이 안되는 소규모 축산농가에서 배출되는 축산폐수를 정화조형식으로 Compact하게 개량한 고효율의 축산 정화조이다. 그 처리 계통도는 그림 4-29에 나타나 있으며, 이 처리방법은 먼저 축산폐수에 함유되어 있는 모래와 사료찌꺼기, 분 찌꺼기등의 협잡물을 1차로 침전 및 혐기성소화

하는 침사 및 침전분리실, 이 침전분리실을 거친 피처리물은 연속적으로 공급되는 공기에 의해 활성화된 미생물이 존재하는 폭기조로 유입되어 미생물에 의해 유기물질이 분해 제거되며, 침전조에서 유기물질이 제거된 폐수와 미생물의 분리가 이루어져 침전슬러지는 폭기조로 100% 반송되고, 일부 잉여 슬러지는 폭기조의 MLSS를 일정하게 유지하고 침사 및 침전분리실의 악취를 제거할 수 있도록 침사 및 침전분리실로 반송되어 폐기처리되며, 상징수는 접촉여재가 충진된 순환조로 유입된다. 장기폭기법에 의한 처리이므로 침전조에는 침전이 잘 이루어지지 않는 미생물인 Pin-floc이 생성되어 그대로 유출되므로 이를 접촉여재에 부착된 미생물에 의해 2차로 분해 처리하는 순환조를 거쳐서 최종방류하도록 고안된 처리 시스템이다. 상기 처리방법은 기존의 처리방법에 비해 훨씬 경제적이며, 구조가 간단하고 용량이 적기 때문에 설치면적 및 설치작업이 용이하며, 산재되어 있는 소규모 축사에서 일정규모의 축사까지 적용이 다양하고, 충분한 청소수를 사용하여도 안정적인 수질을 확보 할 수 있어서 위생적인 축사관리가 기대되며, 축사주위의 환경개선으로 민원에 대한 불안감에서 벗어날 수 있으며 무엇보다도 고효율의 처리장치로 상수원오염의 주범인 축산폐수의 효율적 처리로 하천의 수질오염저감에 큰 역할을 담당할 수 있을 것이다.

그림 4-16. 축산정화조의 계통

5. 메탄가스 발효처리의 원리와 방법

가. 혐기성 처리의 원리 및 기본조건

생물학적 처리방법중에서 산소가 없는 상태에서 유기물질을 분해하는 혐기성처리방법이 이용되고 있으나, 처리 유출수의 수질이 고농도이기 때문에 후속처리가 필요하고, 혐기성 미생물이 주위환경에 민감하여 운전이 어렵고, 장기간의 체류시간으로 반응조의 크기가 커서 초기 건설비가 많이 든다는 단점으로 그 적용이 한정되었으나, 에너지 파동등으로 인하여 유용한 부산물인 메탄가스를 얻을 수 있으며, 고농도의 폐수를 희석 없이 처리할 수 있고, 슬러지 발생량이 적으며, 유지관리비가 저렴하다는 장점등으로 새로이 각광 받고 있다.

혐기성처리의 원리는 용존산소가 없는 상태에서 유기물질은 산형성 미생물에 의해 유기산으로 분해되고 유기산은 CH_4 형성 미생물에 의해 메탄 가스와 CO_2로 분해 된다

지 방
탄수화물 Methane(CH_4)

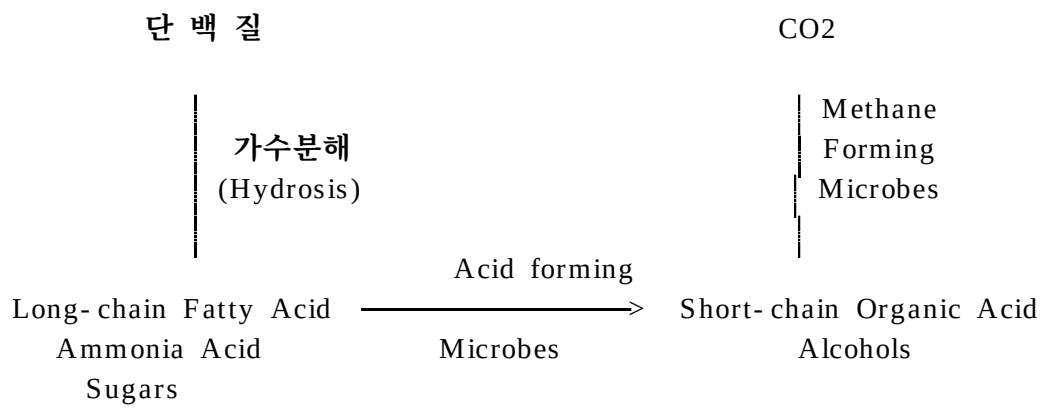


그림 4-17. 혐기성 소화의 단계적 반응

유기물질의 혐기성 분해반응은 매우 복잡한 경로를 거치게 되는데 Zehnder는 반응경로를 먼저 탄수화물, 지방, 단백질과 같은 고분자 유기물질이 여러 미생물로 부터 분비되는 체외효소(Extracellular Enzyme)에 의해 단당류, 지방산, 아미노산 등으로 가수분해되고 생성된 저분자물질은 산 생성균의 탄소원과 에너지원으로 이용되어 Acetic, Propinic, Butyric, Valeric 및 Capric Acid등의 휘발산(Volatile Acids)과 알콜을 생성하고 Propionic, Butyric Acid 등은 더욱 산화되어 메탄균의 주된 이용물인 Acetic Acid와 수소를 형성한다. 산형성에 관여하는 미생물은 절대 혐기성균과 통성혐기성균 두그룹으로 이루어져 있으며, Mckinney는 Peudomous, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia, Aerobacter 등이 산형성에 기여한다고 밝혔다. 산형성단계에서 유기물질의 분해는 수소의 부분압(PH2)이 영향을 미치며 PH2가 높을 경우는 Propinic과 Butyric Acid이 많이 생성되고 Acetic Acid와 수소 및 CO2는 적게 생산된다. McInerney등에 의하면 Propinic Acid와 Butyric Acid등은 혐기성상태에서 Acetic Acid와 수소 및 CO2등으로 분해되며, Propinic Acid와 Butyric Acid가 분해될 때는 매우 낮은 PH2가 요구된다고 한다. 이 과정에서 발생되는 수소는 혐기성 소화조의 효율적인 운전을 위해서 반응조내에 축적되어서는 안

되므로 산 생성균이나 메탄 생성균에 의해 즉각적으로 소모되어야 한다. 반응조내의 수소분압이 10-4 atm을 초과하게 되면 유기산 농도가 증가하게 되어 메탄생산에 방해를 받게 된다. 메탄 형성단계는 여러 종류의 메탄균에 의해 Acetic Acid 또는 수소와 이산화탄소를 이용 메탄과 이산화탄소를 생성시키는데 메탄가스의 약 70% 정도가 Acetic Acid 로부터 생성되는 것으로 알려지고 있다. 메탄 생성균은 절대혐기성으로 산소에 매우 민감하여 산소 접촉시 쉽게 사멸되는데 성장을 위해서는 약 300 mV의 산화환원전위(ORP)가 필요하다고 알려져 있다. 메탄 생성균의 분류를 위해서는 순수배양이나 메탄 생성균에 특별한 기술이 요구된다. 이러한 어려움 때문에 메탄 생성균의 분류는 아직 명확히 밝혀지지 못하고 있다.

메탄 생성균은 에너지원에 따라 Acetic Acid로 부터 에너지를 얻는 종과 수소가스로부터 에너지를 얻는 2그룹으로 나누어져 있다. 대부분의 메탄 생성균이 식 1에 표시한 Propinic Acid와 Acetic Acid을 기질로 하고 있어, 수소와 아세트산이 메탄생성을 위한 중요한 에너지원으로 믿어지고 있다.

$$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O \quad \text{----------} \quad (1)$$

메탄 생성균은 환경조건에 민감하여 환경조건이 충족되지 못하면 산형성 반응으로 부터의 생성물을 충분히 분해할 수 없다. 특히 온도는 메탄 생성균에 중요한 요소가 된다. 메탄 생성균에 의한 메탄가스의 생성과정은 다음과 같다. 유기물질의 주성분은 C,H,O,N 인데 그중 탄소가 물과 미생물에 의해 CH_4와 CO_2로 형성된다. 화학적으로 살펴보면

$$\underset{24\ gr}{2\ C} + H_2O \text{———} \underset{22.4\ L}{CH_4 + CO_2}$$

로 간략히 표시 되는데 탄소 24 gr은 22.4 L의 CH_4 가스를 생성한다. 다시 24gr의 탄소는 64gr의 산소와 결합하여 CO_2를 형성 하는데 이를 화학적으로 나타내면

$$2\,C + O_2 \longrightarrow 2\,CO_2$$

24 gr 64 gr

와 같이 된다. 즉 COD 1 gr은 22.4 L/64 gr COD = 0.35 L/gr COD로 이론적으로 0.35 L의 CH_4 가스를 생성하게 된다.

Biogas 내에는 CH_4, CO_2, H_2S, H_2 등이 함유 되는데 이중 CH_4와 CO_2의 함량이 주를 이루며 유입 폐수내에 황화물이 많을 경우에는 H_2S 가스의 함량이 많아진다. CH_4와 CO_2의 함량비는 처리 유기물질의 종류에 따라 상이하게 되는데 이를 요약하면 다음과 같다.

탄수화물 ($C_6H_{12}O_2$) ——— $3CO_2 + 3CH_4$

단 백 질 (Glutamic Acid) —— $3/4CO_2 + 5/2CH_4 + NH_4HCO_3 + NaHCO_3$

지 방 (Butyric Acid) —— $1/2CO_2 + 5/2CH_4 + NaHCO_3$

즉, 이론적으로 탄수화물이 분해 될때에는 Biogas 내에는 50%의 CH_4와 50%의 CO_2가 생성된다. 반면에 알칼리도의 생성이 없어 pH가 저하되어 탄수화물이 주를 이루는 폐수처리시에는 반드시 알칼리의 공급이 필수적이다. 단백질의 경우에는 Biogas내의 75%가 CH_4이고, 나머지가 CO_2이며 알칼리도가 형성되어 pH가 상승한다. 지방질의 경우에는 Biogas 내의 83%가 CH_4이고, 17 %가 CO_2 이며 pH는 알칼리도에 의해 상승된다. 미생물반응은 합성과 내호흡반응으로 이루어 지는데 합성된 세포는 내호흡에 의해 분해된다. 따라서 탄수화물폐수의 경우에도 생성된 미생물을 다시 분해시키는 경우에는 단백질분해와 유사하게 pH 가 상승하며 가스내의 CH_4 함량은 다르다.

즉,

$C_5H_7O_2N$(미생물) + 4 H_2O —— 3/2 CO_2 + 5/2 CH_4 + NH_4HCO_3

에서 가스내의 CH_4 함량은 64 %이며 알칼리도가 형성되어 pH 가 상승된다.

결국 메탄 생산량은 유입되는 폐수를 효율적인 혐기성처리방법으로 처리할 때 처리되는 유기물질의 량(COD, TS, VS)에 의해 결정된다고 할 수 있다. 즉 유입되는 돈사폐수의 TS가 많아지면 혐기성 가스 발생량이 증가되는 것이다.

나. 혐기성 소화 운전조건 및 운전결과

CH_4 생성미생물은 환경조건에 매우 민감하다. 독성물질이 없어야 하며 영양소가 충분하여야 하고 용존산소가 있어서는 안되는 것으로 알려지고 있다. 쉽게 반응조로 부터 씻겨나가는 특성 때문에 반응조내의 고체표면에 미생물을 부착 시키거나 입상화(Granulation)를 시키려는 노력이 진행되고 있으며, 그 방법에 따라 혐기성소화의 소화효율이 결정된다고 할 수 있다. 반응속도가 느리기 때문에 가열은 거의 필수적으로 이루어지고 있다. 흔히 35oC 내외로 가열하는데 주정폐수와 같이 온도가 높은 경우에는 50oC 이상의 친열성 상태로 운전시키는 경우도 있다. pH는 산 생성균의 경우 약 5.5이하에서 성장이 저하되지만 메탄 생성균은 pH 약 6.5 이하에서 방해를 받기 때문에 혐기성소화를 위한 최적 pH는 약 알카리성인 7.0 - 7.5로 알려져 있다. CH_4 생성미생물은 다른 미생물들과 먹이를 놓고 경쟁한다. 특히

폐액내에 SO_4가 함유되는 경우에는 SO_4를 환원시키는 Sulfate Reducing Microbes와 경쟁하게 되는데 이때 생성되는 H_2S에 의해 CH_4 미생물이 저해 작용을 받을 수 도있다. 저농도와 저온에서 메탄형성 미생물은 Sulfate Reducing Microbes와 경쟁상대가 되지 못한다. 따라서 농도가 낮은 유기물질로부터 CH_4 가스를 얻기위해서는 SO_4가 존재하지 않거나 Sulfate Reducing Microbes의 성장을 억제 시켜야 할 것이다.

제 5 장 분뇨처리방법

제 1 절 가축분의 퇴비화

1. 퇴비화 필요조건

퇴비화의 과정에서 유기물의 분해속도를 최대로 하여 주는것이 중요하나 미생물에 산소를 공급하여 줌으로서 유기물질의 분해가 이루어지고 이때 발생하는 열에 의하여 온도가 상승하여 퇴비화가 이루어진다. 개방형의 발효조에 65% 전후의 함수율로 조절한 돈분을 깊이 80 200cm 정도로 퇴적하여 교반 또는 반전하고 송풍에 의한 호기성 발효를 행한다. 이때 발생한 발효열을 이용하여 남은 수분을 증발시키고 단기간에 퇴비를 생산하는 처리방식이 기장 중요한 요점이다.

2. 완숙퇴비 제조를 위한 발효기술

퇴비화란 호기성 미생물이 작용하는 분해작용으로 퇴비화 미생물이 활발히 활동할 수 있도록 충분한 유기물과 적당한 수분과 적당한 산소의 공급이 필요하며 생분에는 충분한 유기물과 수분은 있지만 퇴적 압축되어 그안에는 산소가 없는 형기성 상태가 되어 퇴비발효화를 위한 호기성 미생물의 활동이 억제되어 유기물이 분해되지 못하여 완숙퇴비가 되지 못한다.
그러므로 압밀현상을 어떤 방법으로든지 통기성을 개선해서 호기성 미생물이 충분히 활동할 수 있도록 하여야 양질의 완숙퇴비가 만들어진다. 통기성을 좋게 하기 위해서는 수분조정과 비중조정이 필요하나 그중에서도 비중조정이 중요하며 이를 조정하기 위한 조정제가 필요하다.

표 5-1. 각종제료에 의한 돈분의 비중조정효과

생돈분에 혼합이 용이한 조정제	돈분 100에 대한 혼합비		혼 합 후	
	중 량	용 량	수 분	비 중
① 조정제를 혼합하지 않은 생돈분	0kg	0l	75%	0.95
② 수분 30% 비중 38%의 조정제를 혼합한 돈분	35.7	94	65	0.62
③ 수분20% 비중 0.21의 톱밥을 혼합한 돈분	31.3	149	65	0.54
④ 수분10% 비중 목제껍질 혼합시 돈분	27.8	347	65	0.45
⑤ 수분 0% 비중 0.006 발효 스트로부를 목재껍질돈분에 추가	0.8	140	65	0.35

※ 축산환경 대책대사선 1995

각종 재료를 혼합하여 수분 65%로 조정 발효가 시작되는 시점은 혼합물의 비중에 따라 퇴비화 발효 진행속도는 달라진다.
혼합의 비중이 가벼울수록 빠르며 최소한도 0.6이하의 비중이 발효조건인 것을 알수 있다. 퇴비화 발효에 유기물 수분 산소이외에 미생물, PH, C/N비 온도등이 중요한 역할을 하게된다.

가. 생분의 함수율 조절

이 처리방식은 생분의 함수율을 60-70%로 조절하여 발효조에 투입하여서 호기성 발효를 일으키게 되는데, 여기에는 보통 함수율 20 30%의 톱밥을 사용하여 생분의 함수율을 65% 정도로 조절한다.
톱밥 공급이 제한되는 지역 또는 시기에는 수분함량이 90% 이상의 분뇨혼합물의 경우에는 고액분리 방식을 병용하여 톱밥의 첨가량을 적게 하든가, 또는 건조분의 재이용, 왕겨 등을 첨가하는 것도 검토되어야 한다.

나. 반전

발효조에 있어서 분의 발효 또는 건조는 플라스틱 하우스의 건조처리와는 달리 건물분해시의 발열을 이용하고 분중의 수분을 증발시키는데 목적이 있다. 그렇기 때문에 교반 또는 반전을 하여 발효조내에 퇴적한 분에 공기 및 미생물과의 접촉을 양호하게 하여 발효를 촉진한다. 1일에 일정량의 분을 이송하는 것이 주된 일이고 반전의 빈도는 1일에 1-2회 정도이다.
과도한 교반 또는 반전은 발생한 분해열을 방출하게 되어 발효율의 저하와 아울러 발효를 억제하는 결과를 초래할 수 있다.

다. 일사량과 송풍량

일사량은 지역 및 시기에 따라서 차이가 있고 지붕의 형상과 지붕재료의 재질 등에 따라 다르다. 발효조의 지붕덮개에 사용되는 FRP, FRA 등의 지붕재료의 광선 투과율은 60% 전후가 되며 하우스내에 들어온 에너지는 3000kcal/m^2/일x0.60=2000kcal/m^2/일이 된다. 이 에너지를 유효하게 이용하도록 하여야 하며 하우스내의 온도의 상승 등에 따라서 기온이 10℃ 상승하면, 증발능력은 약 10% 증가한다고 한다. 송풍의 효과는 호기적 조건을 좋게하여 발효열에 의한 수분의 증발을 촉진시키고, 증발한 수분을 운반하거나 제거하는 역할도 한다. 적당한 송풍량에 관하여는 일반적으로 1일당 분 2.0%, 톱밥 0.7%의 분해를 기대하기 위해서는 0.2-0.4 m^3/분.m^3(풍속 3.3-6.7mm/초)정도가 필요한 것으로 알려져 있다.
과도한 송풍, 특히 온도가 낮고 습도가 높은 공기의 경우에는 발효를 억제하는 수가 있으니 주의하지 않으면 안된다.

라. 건물분해시의 발열량

발효조 내의 건물(축분 및 톱밥의 고형물)은 호기성 조건하에서 조금씩 분해되며, 이때 발열하는데, 이 과정을 조사한 자료는 대단히 적다. 일본 농림성 축시에서는 돈분을 30℃와 60℃의 정온기내에 보관한 경우에 돈분의 성상과 발열량의 변화 등을 조사한바 있으며, 이 과정에서 건물분해량 1kg당의 발열량의 변화를 그림5-1와 같이 표시하였다. 이것에 의한 건물의 분해비율은 초기에는 크고, 30일후에는 일정하게 되는 경향이 확인되었다. 또한 발열량도 15일 후에는 일정하여, 건물 1kg당 분해에 의하여 발생한 열량은 약 4800kcal정도가 된다.

발효조내의 분의 체류일수는 2-3주간이 일반적이다. 분해속도는 축종분에 따라 차이가 있다. 예를 들면, 소에 있어서 조사료를 많이 섭취하는 경우에 분중의 섬유함량이 많아서 돼지, 닭에 비교하여 분해속도가 늦게 된다. 톱밥에 있어서도 수종에 따라 차이가 있다는 것을 고려하여야 하며, 이것에 관한 자료가 없기 때문에 여기서는 축종, 수종 등에 관계없이, 분은 1일에 2.0% 톱밥은 0.7%로 하였다. 또한 왕겨를 사용하는 경우에는 0.1%정도이다. 분 및 부자재의 1일당의 건물분해량과 발열량에서 1일당 분해발열량은 다음식에 의하여 구할수 있다.

1일당 분해발열량(kcal)=(분의 건물량x0.02)+(톱밥의 건물량x0.007)x4800kcal

이 식에 의하면 하루에 건물 1kg당 분해량과 발열량에 있어

분의 분해량은 0.02kg로서 분해발열량은 96.0Kcal이고,

톱밥의 분해량은 0.007kg로서 분해발열량은 33.6Kcal이 된다.

따라서 1일당 분해발열량은 (분의 건물량x96.0kcal)+(톱밥의 건물량x33.6kcal)에 의하여 구할 수 있다.

마. 분중의 수분 증발에 필요한 열량

분에 함유한 수분 1kg을 증발하기 위하여 필요한 열량은 일사량과 투과율, 외기온습도, 송풍량, 분의 성상과 교반조건, 발효조에서의 열손실 등 조건에 따라 변동이 크다. 현재 사용되고 있는 발효건조 처리시설의 건물분해 1kg당의 감수량을 구하면 5-6kg정도이다. 따라서 지붕의 재료를 수지판으로 하여 태양열의 이용과 송풍을 전제로 한 발효건조 조건하에서의 증발필요열량과 열손실 등을 고려하면 수분 1kg당 800 kcal이다. 또한 건물이 분해될 때에 건물 1kg당 약 500g의 수분이 발생하는데, 이 수분의 증발에 요하는 열량도 800kcal에 포함하는 것으로 한다. 이상에 의하면, 분과 톱밥의 건물분해 1kg당의 발열량 4,800kcal에 의해 수분 6kg이 증발된다는 계산이 된다. 또한 발효조에 약간의 여유를 줄 경우에는 분과 톱밥의 건물분해 1kg당 발열량 4,500kcal, 수분의 증발에 필요한 열량 900kcal, 건물분해 1kg당 수분증발량 5kg으로 계산한다.

3. 발효조의 용적산출

가. 발효조의 체류일수와 증방수분량

1) 건물분해량과 잔존량

1일당의 건물분해량(율)을 분 2.0%, 톱밥 0.7%라 할 경우의 건물잔존량(율)과 분해량(율)은 다음의 식에 의하여 구한다.

① 발효건조 종료시의 건물잔존량(kg) = 투입시건물량 - 건물분해량

투입시 건물량 -- 생분 + 톱밥의 건물량

건물분해량 - (생분건물량 x 0.02 x 체류일수)+(톱밥건물량 x 0.007 x 체류일수)

② 종료시의 건물잔존율(감소율) = $\frac{\text{건물잔존량(분해량)}}{\text{투입시의 건물량}}$ x 100

③ 종료시의 건물잔존량 = 투입시건물량 x 잔존율 (①식에서 구할 수 있다.)

④ 1일당의 건물분해율 = $\frac{(\text{생분건물량} \times 0.02) + (\text{첨가톱밥건물량} \times 0.007)}{\text{투입시의 건물량}} \times 100$

⑤ 1일당의 분해량 = 투입시 건물량 x 1일당의 건물분해율

2) 발효조 체류일수와 증발수분량

건물분해율(잔존율)과 목표함수율에 도달하기 위하여 필요한 발효조 내의 체류일수와 증발수분량은 다음의 식에 구한다. 예를 들면 분뇨분리 돈분의 함수율 80%의 생분을 50%까지 수분을 증발하기 위한 체류일수를 다음 조건하에서 구하여 보면 다음과 같다.

표 5-2. 생분 및 수분조절제의 건물과 함수량

구 분	량	건물량	함수량
생 분	30.0kg	6.0kg	24.0kg
수분조절재	11.4	8.6	2.8
합 계	41.4	14.6	26.8

① 건물잔존량 = 투입시건물량 - 건물분해량(투입시건물량 x 분해율 x 체류일수)

14.6 kg - 2.44(14.6 kg x 0.0124 x 13.5일) = 12.16

② 건물분해에 의한 증발수분량 = 건물분해 1kg당의 증발수분량 x 건물분해량

6.0 kg x 2.44 kg = 14.64 kg

③ 증발후의 잔존수분량 = 투입시 함수량 - 증발수분량

26.8 kg - 14.64 kg = 12.16 kg

④ 잔존분량(조절재포함) = 12.16kg(건물잔존량) + 12.16kg(잔존수분량) = 24.32kg

⑤ 잔존함수율 = $\frac{\text{잔존수분량}}{\text{잔존분량}} \times 100 = \frac{12.16\ \text{kg}}{24.32\ \text{kg}} \times 100 = 50.0\%$

즉, 함수율 80%의 생분을 조절재(함수율25%)를 첨가하여 65%로 맞추고, 발효조내에 13.5일간 체류 처리하면 수분이 14.64kg 증발되고, 잔존함수율은 50%가 된다. 전술한 조건의 경우에 생분 및 목표함수율별의 필요한 체류일수는 표 5-3에 나타내었다. 이것에 의하면 축종에 관계없이 함수율에 의한 체류일수가 다르며, 생분의 당초 함수율과 목표함수율의 교차한 점이 필요한 체류일수가 된다.

표 5-3. 개방형발효조내의 체류일수

목표함수율	생 분 함 수 율					
	65%	70%	75%	80%	85%	90%
30%	12.8	15.1	17.6	20.4	23.6	27.2
40%	11.1	13.1	15.4	17.7	20.6	23.7
50%	8.4	10.0	11.7	13.5	15.6	18.0
60%	3.8	4.7	5.2	6.1	7.0	8.1

나. 두당 필요발효조 용적

1두당 필요한 발효조의 용적 또는 면적을 계산할때 분의 비용적과 가비중을 구하지 않으면 안된다. 이것은 가축의 종류와 조절재의 사용량 등에 의하여 다소 차이가 있으나 다음의 수치를 사용할 수가 있다.

표 5-4. 발효분의 조건에 따른 가비중과 비용적

구 분	가 비 중	비 용 적
발효조 투입시	0.5 t/m^3	2.0 m^3/t
발효건조종료시	0.4 t/m^3	2.5 m^3/t
분만투입시와 종료시	0.6 t/m^3	1.67 m^3/t

1) 생분 투입시의 필요용적

분을 연속투입할 경우에 반전하는 동안에 분의 이송에 따라서 매일 투입에 필요한 용적을 확보하여 놓지 않으면 안된다.

① 투입시의 1두당의 필요발효조용적(㎥)=(생분중량+수분조절재 중량)x비용적

② 필요발효조면적(㎡)=[(생분중량+수분조절재중량)/가비중]/(퇴적높이/100)

이 계산에 있어서 분의 퇴적높이(발효조의 깊이)를 100cm라고 한다면, 필요한 용적(㎥)과 면적(㎡)은 동일한 수치가 된다.

표 5-5. 발효건조분의 비용적 (돈분)

함수율(%)	분만 발효		조절재 혼입	
	가비중	비용적	가비중	비용적
85-75	0.7 t/m3	1.43 m3/t		
75-60	0.6	1.67	0.5 t/m3	2.00 m3/t
60-50	0.6	1.67	0.4	2.50
50-30	0.5	2.00	0.4	2.50
30이하	0.5	2.00	0.4	2.50

2) 1두당 필요발효조 용적

투입시의 필요용적과 목표함수율에 도달하기까지의 체류일수에서 1두당의 필요용적을 구한다. 1두당 필요발효조용적 (㎥/1두),면적(㎡/1두)=투입시의 필요용적x체류일수. 가축종에 따라서 생분함수율과 체류일수별의 필요용적을 참고하여 표 5-6에 제시하였다. 또한, 이 계산에 있어서는 체류기간 중 감량을 고려하지 않았으나 실제에서는 발효가 진행될 때 건물의 분해와 수분의 증발에 따라서 감량이 발생하며 함수율의 저하에 따른 비용적의 증가를 감해야 한다. 이러한 용적의 여유는 분의 이송과 아울러 개방형의 발효조에서 투입시에 필요한 용적으로 이용을 한다. 발효조의 총 용적(면적)은 1두당의 필요용적(면적)x사육두수에 의하여 구한다. 최근 조절재의 입수가 대단히 곤란한 상황이 되었다. 우리나라에서 1일 톱밥 생산능력은 9689.5㎥ (3,197톤) 이나, 1일 실제 톱밥생산량은 6817.6㎥ 정도이다.

이러한 톱밥생산량중 축산용으로 사용된 1일 톱밥량은 1455.8㎥(480톤)으로 1일 실제톱밥생산량의 21.4% 정도이다. 지역별 톱밥가격은 수송이 불편한 내륙지방의 경우에는 원목수입 및 가공산업이 발달한 지역보다 2배정도 비싸게 유통되고 있다. 톱밥가격은 30-100원/㎏으로 폭이 크며, 양돈협회에서 조사한 톱밥구입 가격도 45-60원/㎏ 사이였다. 일부업체에서는 톱밥제조기를 이용하여 톱밥을 직접 제조하기도 하는데, 구입하는 가격보다 더 많이 소요되어 오히려 불리한 여건이다. 따라서, 대체품목의 개발이 요구되고 있다.

그래서 조절재의 대용으로 왕겨, 목재수피 등을 이용하는 예가 증가하고 있다. 전술한 바에 의하면 왕겨, 목재수피는 분해속도가 늦고, 발열량도 적기 때문에 단기간에 많은 에너지의 발현을 기대하기 어렵다. 그렇기 때문에 왕겨와 목재수피를 수분조절재로 사용하는 경우에는 수분의 흡착능력이 떨어지며 톱밥보다 다량을 사용하여 발효조내의 체류일수를 길게 하지 않으면 안된다. 따라서 발효조 용적이 크게 된다. 또한 최근에 발효조내에 3-6 개월정도 체류시키고 함수율 30% 이하로 건조하는 경우도 있으며, 분리한 뇨를 그위에 살포, 증발시키는 회행형을 사용하기도 하는데,

이 경우에는 건조분을 수분조절재로 사용하기 때문에, 톱밥 등의 첨가량이 적게 소요되고, 이 분량만큼의 발효조 용적이 적게 되는 이점이 있는 반면에 제품의 양이 적게 된다.

실제의 발효시설에서는 생분의 수분함량의 변화 또는 지역적인 조건에 따라서 태양열의 이용에도 차이가 있고 발효조건의 상태에도 변동이 있을 수가 있다.

따라서 안전율을 고려하여 축분의 건물 분해율을 1.5%/일 로 톱밥의 분해율을 0.5%로 하여 계산하기도 하며, 발효조의 실용적 계산에서도 온난지역, 중간지역, 한냉적설지역 등 으로 나누어서 발효조면적에 10%씩 더 여유를 준다. 안전율을 감안한 마리당 소요 발효조 용적을 비육돈과 산란계의 경우를 예로 나타내었다.

표 5- 6. 개방형발효조 필요용적(1두,10수당)

목표함수율	생분함수율	체류일수	착유우(m3)	비육우(m3)	비육돈(m3)	산란계(m3)
30%	65%	12.8일	0.371	0.205	0.0294	0.0192
	70	15.1	0.709	0.378	0.0554	0.0347
	75	17.6	1.056	0.581	0.0845	0.0546
	80	20.4	1.693	0.938	0.1346	0.0877
	85	23.6	2.832	1.558	0.2266	0.1463
	90	27.2	5.331	2.938	0.4243	0.2747
40%	65	11.4	0.331	0.182	0.0262	0.0171
	70	13.1	0.590	0.328	0.0472	0.0301
	75	15.4	0.924	0.508	0.0739	0.0477
	80	17.7	1.469	0.814	0.1168	0.0761
	85	20.6	2.472	1.360	0.1978	0.1277
	90	23.7	4.645	2.560	0.3697	0.2394
50%	65	8.4	0.244	0.134	0.0193	0.0126
	70	10.0	0.450	0.250	0.0360	0.0230
	75	11.7	0.702	0.386	0.0562	0.0363
	80	13.5	1.121	0.621	0.0891	0.0581
	85	15.6	1.872	1.030	0.1498	0.0967
	90	18.0	3.528	1.944	0.2808	0.1818
60%	65	3.8	0.110	0.061	0.0087	0.0057
	70	4.7	0.212	0.118	0.0169	0.0108
	75	5.2	0.312	0.172	0.0250	0.0161
	80	6.1	0.506	0.281	0.0403	0.0262
	85	7.0	0.840	0.462	0.0672	0.0434
	90	8.1	1.588	0.875	0.1264	0.0818

※ 함수율 65%로 조절한 생분을 투입한 경우

상형 통기 퇴비화시설에서는 개방형 반전 발효시설보다 낮게 잡아 축분의 건물분해율을 1.0%, 그리고 톱밥의 건물분해율은 0.3%로 하며, 발효된 분을 혼합하는 경우에는 통상 부자재의 건물분해율을 0%로 하기 때문에 그만큼 더 많은 발효조 면적이 필요하게 된다. 그림 5-2에는 상형통기 발효조에서 톱밥을 사용하여 함수율을 68%로 조절하였을 경우에 마리당 소요 발효조 용적을 나타낸것이다.

4. 발효건조 시설 · 기계

발효시설에는 오래전부터 행하여져 온 퇴적발효시설과 발효를 촉진하기 위한 통기 및 반전시설을 갖춘 시설로 구분되는데 여기서는 후자에 관하여 살펴보고자 한다.

가. 상형 통기발효시설

1) 구조 : 이 시설은 퇴비사를 구분하고, 통기기능을 갖게 하여 장치화한 것이다. 3면을 콘크리트 블록 등으로 쌓고, 전면에는 재료의 반출입을 위하여 합판 또는 두꺼운 판을 이용한다. 발효조의 폭은 1.8-3.6m, 길이는 1.8-5.6m, 높이는 1.8-2.5m, 용적은 약 8-50m^3이고, 단열 또는 복열로 5-15조 정도를 연결하고 있다. 이것에 혼합, 반송용의 스크류 및 벨트 콘베이어를

부착하고, 임의의 조에 수분조절한 재료를 투입한다. 조의 상부에는 지붕을 설치한다. 바닥면은 콘크리트로 포장하고, 여기에 통기용 파이프를 매설한다. 또한 통기용의 암거용 다공관을 깔고 판넬을 설치하여 통기한 구조이다. 바닥면을 앞쪽으로 1/50 정도의 기울기를 주어서 침출액이 오수조에 수집되도록 한다. 경우에 따라서는 통기 파이프내에 들어온 오수의 배출구조도 필요하다.

2) 기능 : 수분조절한 재료를 퇴적하고, 바닥으로부터 통기시켜 발효를 촉진시키면, 20-30일 정도 경과 후에 발효가 완료되며, 퇴비사로 이동하여 후숙시킨다. 통기에 있어서는 전술한 이유로 저풍압의 송풍기 (0.2-0.3kW)를 각조에 설치한다. 전면 문의 착탈에는 노력이 필요하고, 또한 부숙이 쉽게 되기 때문에, 조의 깊이를 다소 길게 하고(약 50cm정도) 문짝 등을 사용하지 않는 방안도 있다. 뇨를 살포하여 증발시키는 예가 있으나 증발량은 계절에 따라 차이가 있으며, 여름철을 제외하고는 기대하기 어렵다. 또한 축분의 분해는 조건에 따라서 1%/일 정도로 추정된다.

3) 사용상의 유의점 : 이 시설은 교반의 기능이 없으며, 통기로만 발효가 되기 때문에 특히 수분조절(65%전후)에 의하여 통기성을 양호하게 하는 것이 중요하다. 그리고 재료를 퇴적하는 경우에 있어서 균일하게 되도록 배려하여야 한다.
예를 들면, 콘베이어에서 낙하하는 재료를 고르게 하는 경우에도 가급적이면 조외에서 실시하여 밟아서 굳어지지 않도록 하는 주의가 필요하다. 또한 바닥면에는 특히 통기성이 좋은 저수분의 재료를 30-50cm정도 깔아주는 것이 좋다. 다량의 부자재가 필요한 데, 최근에는 이미 발효된 퇴비를 이용하는 예가 많다. 가능한 수분이 적은 것을 사용하지 않으면 발효조 용적이 크게 되기 때문에 여기에 사용하는 발효퇴비를 건조시켜야하는 등의 조작이 필요하다.

4) 보수·점검 : 구조가 간단하며 콘베이어 등의 주유·점검 (벨트의 늘어짐 조정) 이외에 특별한 필요는 없다. 통기 파이프가 막히기 쉬운데 사용 전에 필히 점검이 필요하다. 또한 침출액이 파이프내에 유입되지 않도록 하며, 파이프내의 오수의 배출기능을 갖도록 한다.

나. 반전·통기발효시설

장방형의 상면이 개방된 발효조(개방형)또는 원통형의 밀폐 발효조에 전용의 교반기 및 통기장치(일부는 없다)를 부착한 것으로 부숙이 빠르고 제품의 품질도 균일하여 생력적으로 대량생산이 가능하기 때문에 전국적으로 많이 사용되고 있다. 또한 이 시설에서 7-30일 정도 처리한 후에는 퇴비사에서 후숙시키는 것이 일반적이다.
여기서는 개방형 발효시설에 관하여 알아보고자 한다.

1) 발효조 : 발효조의 경우 폭은 2.0-6.0m, 길이는 20-60m, 깊이는 0.5-2.0m 정도인데, 상면은 개방되고, 재료의 투입 및 교반기가 주행한다. 직렬형(단열 또는 복열)이 많으며, 교반기의 선회가 가능한 회행형도 있다. 조의 측벽의 구조는 교반기의 중량(1.5-5t)에 견딜 수 있는 철근 콘크리트를 사용하고, 상부에 주행용 레일이 설치되어 있다. 회행형에는 선회부와 원형으로 할 필요가 있는데 이 부분은 강 또는 합판을 사용하는 예가 많다. 바닥면은 콘크리트로 포장하고, 통기파이프를 부설하며 파이프의 막힘을 방지하기 위하여 자갈과 모래가 사용된다.

2) 교반기 : 교반기는 크게 에스컬레이터식과 로타리식이 있다. 제어스위치로 자동적으로 작동되도록 설계되어 있다. 대부분의 기종은 발효조 상부의 레일위를 주행하나 차륜으로 주행하는 것도 있다. 교반기의 선회는

기술적으로 복잡하고(특히 에스컬레이터식), 발효조의 형상은 단열형이 많으며, 교반할 때 직진하여 조의 끝부분까지 가고, 교반부를 위로 올려 후퇴하는 기구가 대부분이다. 교반기가 조대에서 선회하기 위하여 이동용의 대차가 필요하다. 발효 종료후의 퇴비에 신선분을 투입하는 데 퇴비투입노력의 절감이 가능한 이점이 있다. 이 기종은 주행용과 선회용의 구동장치를 따로 하고 있으며, 그외에 에스컬레이터식의 교반기를 반전하여 왕복작동하기도 한다.

3) 발효조 하우스 : 발효조에는 지붕덮게가 필요하며 건물의 면적은 발효조 면적에 통로, 재료의 반출입에 필요한 공간을 합하여 총 면적이 된다. 발효조에는 이것에 부착된 교반기 외에 건물의 건축비가 많이 소요된다. 태양열의 이용도 필요한데 플라스틱(FRP 또는 FRA)를 지붕재로 하고, 가능한한 간편하고 저렴한 건물이 되도록 한다.

4) 기능 : 수분 65%의 전후로 조정한 분을 투입하여, 20-30일 정도(회행형에서는 조금 더 장기간 처리를 하는 경우도 있다) 교반·통기에 의하여 1차 발효시키고, 퇴비사로 이동하여 후숙시킨다.

교반은 공기와 접촉시켜서 발효를 촉진시키는 것이며, 분을 이송하여 투입하는 공간을 확보하는 기능을 갖는다. 통상 1-2회/일의 교반에 의하여 투입필요용적과 발효조의 폭과 깊이, 교반에 의한 이송거리와의 관계 등을 고려하여 공간의 확보가 가능하도록 설계한다. 통기량은 발효의 측면에서 볼 때 0.05 ㎥/분·㎥ 정도가 좋으나 재료와 온도, 그외 변동 및 퇴비의 수분을 저하하는 등의 점을 고려하여 0.05-0.3㎥/분·㎥ 정도의 통기량으로 설계한다. 개방형 발효조에 있어서 발효온도의 경과 및 수분에 따른 유기물의 감소, 통기의 효과에 관해서는 이미 기술한 바와 같다. 적절한 조건으로 처리한 경우에 축분의 1일당의 건물분해율은 1.5-2.0%정도가 기대된다.

재료의 투입은 일반적으로 매일 일정량을 행한다. 직렬형의 발효조의 경우에는 한쪽에서 투입하고, 반대쪽에서 반출한다. 회행형의 경우에는 수개소에서 반출입이 가능하다. 또한 뇨조를 병설하여 펌프로 압송하여 표면에 살포하는데 뇨탱크(약 2㎥)를 교반기에 실어서 살포하는 것도 있다.

5) 설치사용상의 유의점 : 수분이 높은 재료를 투입하면 발효가 순조롭게 진행되지 않을 뿐 만아니라 하부에 두터운 층이 생기기 쉬운데, 이것 때문에 통기성이 저하되는 것에 주의하여야 한다. 또한 이것이 통기파이프가 막히는 원인이 되는데, 수분조절에 유의한다. 최근에는 톱밥의 가격상승으로 발효퇴비를 수분조절재로 사용하는 예가 증가하고 있으며 이 경우에도 전항에서 서술한 것과 같이 저수분의 것을 사용하지 않으면, 발효조의 용적이 증가하여 이 효과를 기대하기 어렵다. 증발한 수분을 신속하게 제거하기 위해서는 주변의 조건이 허락하는 한 건물의 측벽은 필요최소한으로 한다. 또한 악취가 문제가 되는 경우에는 탈취장치를 설치한다.

6) 보수점검 : 교반기는 더욱 더 부식이 심한 조건하에서 사용되며 또한 현재의 교반기는 구조·재질·강도 등의 면에서 완전하지는 않기 때문에 항상 보수·점검이 필요하다. 특히 볼트의 풀어짐, 벨트 및 체인의 조정, 주유 등은 항상 유의하지 않으면 안된다. 통기 파이프의 막힘에 주의하고, 발효의 저하, 고르지 못한 발효얼룩 등이 발생한 경우에는 점검한다. 타이머를 장치하여 무인으로 교반기의 운전도 가능하다. 시동시에는 필히 관리자가 가서 한다. 다음 표 5-7에는 현재 양축농가에서 사용되고 있는 발효건조기에 관한 사양을 나타내었다.

표 5-7. 개방형발효조의 사양

제작회사			D	J LL형 D형	M	T
발효조	폭(m) 높이(m) 유효높이(m)		5.0 - 8.0 1.5 - 1.7 1.5 - 1.7	6.7 6.4 1.0 1.0 1.0 1.0	3.0 0.8 0.7	4.4 0.8 0.8
교반기	폭(m) 높이(m)		5.5 2.0	6.0 6.0 1.6 1.6	2.7 1.0	3.6 1.2
	중량(ton)		10.0	5.0 3.0	1.1	4.5
	동력(HP)	교반 주행 선회 기타 계	15 5 승강0.5 이송0.5X2 분쇄1 유압5 27.5	30 15 4 2 - - 유압2 36 19	5 1 1 - 7	10 3 - 승하강 3 16
	주행속도(m/분)		1.2	0.6 1.2	1.0	4.0
	분의이송(m/회)		2	2 1	0.75	0.5
송풍(HP)			3X4	필요에따라	3X3	5
특 징			발효조의 깊이가 깊어 계절에 의한 영향이 적다. 뇨살포	아연용융도금 내부식성우수 본체이송 기술정교	산소공급 1,2단계 :혼합예비발효 3단계 :본발효로타리식	태양열에 의한 예열장치 로타리식

5. 건조증발방법

가. 처리방법의 선택

건조 벙법을 대별하면 축사내의 예비건조법과 축사외 건조법으로 구분된다. 전자는 축사의 공간을 유효하게 사용하여 다소나마 가축분을 건조하는 것이며, 후자는 건조처리장치 시설 등을 설치하여 건조하는 것이다.

건조되는 재료는 가축분, 가축뇨오수로 그 성상에 따라 어느 정도까지 건조가 가능한가는 건조 방법에 따라 다르다. 배설 직후의 분은 축종, 사양관리 방법에 따라 다른 데 일반적으로 수분함량이 75%이상이다. 그래서 취급성이 나쁘고, 이용가치가 낮기 때문에 건조와 발효처리를 한다. 건조한 후의 이용에 따라서도 건조정도에 차이가 있다. 퇴비화를 한다면 60-65%정도까지 건조시키면 퇴비화가 잘 이루어지고, 장기간 보관할 경우에는 25%이하로 건조를 시키는 것이 좋다. 하우스 건조시설의 경우에는 여름철에 1일 1m3당 4.5-5.0kg, 겨울철에는 1.5-2.0kg 정도의 수분증발을 기대할 수 있다. 재료의 양이 많고, 수분함량이 높을 경우에는 넓은 하우스 면적이 필요하게 된다.

화력건조기의 건조능력은 사용하는 연료의 양에 비례하는데, 연료 1kg당 재연소 탈취장치를 할 경우에 5-7kg이 된다. 하우스 건조시설에 비하면 시설면적 규모가 적은 것이 특징이다. 가축뇨오수를 건조하여 처리할 경우에는 태양에너지와 자연풍에 의한 건조능력에는 한계가 있기 때문에 큰 건조시설면적이 필요하게 된다. 건조시설의 입지조건에 따라 건조정도도 달라지며 설치장소의 일사량과 풍향을 조사하여 자연에너지를 최대한으로 이용하도록 시설의 설계를 하여야 한다. 예를 들면 경사면을 이용하는 경우에는 남향으로 하고, 빗물이 유입되지 않도록 지붕과 하우스 측면에 도랑을 설치하는 등의 기본적인 조건을 무시하지 않도록 한다. 적설지대에서는 겨울철에 일사량의 저하와 습도가 증가하기 때문에 건조능력이 저하된다. 따라서 자연에너지 이외의 에너지에 관하여 검토할 필요가 있다.

재료의 표면적이 크면 공기와의 접촉이 많아져서 건조가 용이하기 때문에, 재료를 분쇄한다든가 습한 재료와 공기를 접촉시키도록 한다.

뇨오수는 표면적이 큰 증발판이나 막등을 이용하여 입체적으로 증발을 시키도록 하며 추가적으로 송풍을 하여주면 효과가 증가한다.

공기의습도가 낮고, 온도가 높을 때 건조는 촉진된다. 쾌청한 날에도 시간에 따라서 건조도의 정도가 달라진다. 오전 10시경에서 오후 4시경까지 수분증발량이 많고 야간이 되면 극단적으로 적어진다. 야간에 송풍량을 많게하면 송풍량이 적을 경우보다는 효과적이다. 건조가 순조롭게 진행될 때 악취가 발생하기 때문에 악취대책을 고려할 필요가 있다. 밀폐형 하우스 건조시설의 경우에는 환기회수가 건조에 큰 영향을 주는데, 환기회수를 10-15회/시 정도로 한다. 또한 과건조상태가 되면 분진이 많이 발생한다. 시설 주변에 주택이 있는 경우에는 분진이 발생해선 안되기 때문에 건조상태에 주의하지 않으면 안된다.

나. 하우스 건조 시스템

하우스내에 넓게 가축분을 분산시켜 태양과 바람의 힘으로 건조하는 단순한 방법이며, 자연의힘을 이용한 단순한 처리법으로서 무엇보다도 저비용과 간편한 것을 요구하는 가축분의 실용적 처리기술로서 최적의 처리법이다.

건설비가 적게 들고, 운영경비가 낮으며 유지관리가 용이하여 노력이 거의 들지않는 것이 하우스 건조의 이점이다. 결점으로는 넓은 면적, 악취문제, 건조불량시기, 미숙퇴비 등의 문제가 있다. 주 건조상 입구에 건조상피트의 완전건조분을 자재로하여 그위에 고수분의 생축분을 매일 투입한다. 하루에 6회 가동하는 교반 이송기에 의하여 건조분과 혼합된다. 수분이 75%에 달하는 축분은 매일 2.5m씩 이송하여 13일에 수분 65%까지 건조된다. 그후 건조상의 출구 피트에 저장한다. 피트내의 건조축분은 약43%가 퇴비사로 반출하여 판매 이용한다.

외부에 의하여 건조성능이 크게 변하며 건조불량기에 대비하여 건조양호기의 건조분을 저장하는 시설을 병설한다. 건조불량기에 하우스에서 반출할 때 건조불량정도에 의하여 최대로 같은 용량의 건조분을 혼합하여서 연간을 통하여 일정성상이상의 건조분을 판매 이용하는 것이 가능하다. 개량형 하우스에는 부건조상을 설치하여 건조분의 일부를 좀 더 건조시키고, 이것을 고수분의 생분에 혼합한 후 다시 건조를 시작한다. 완전건조분을 혼합하여, 수분 75%(우분) 또는 65%(돈.계분)에서 건조를 시작하는 경우에는 혼합분의 표면적이 증가함과 동시에 통기성이 개선되어 내부가 호기성으로 되어 부패되지 않기 때문에 악취의 발생이 없다. 내부의 풍부한 산소에 의하여 호기성균이 활동하여 건조와 동시에 퇴비화 발효가 진행된다. 또한 하우스내의 어디에도 생분이 발견되지 않으며, 이러한 2단건조법은 일반적인 하우스 건조법과 비교할 때 건조 중의 외관이 크게 개선된다.

그림 5-3. 2단식 경사건조상 비닐하우스 모형도

그림 5-4. 건조개량 비닐하우스

다. 오일콕스 화력건조

오일콕스는 원유에서 최대한으로 경유분을 추출한 후 남은 것으로 저품질의 중유를 열처리하여 가스, 가솔린, 가스오일 등 경질의 탄화수소와 코크스로 전환한 코킹 프로세스로부터 산출된 것이다.

화력건조기에 사용하는 중유가격이 비싸기 때문에 상대적으로 가격이 저렴한 오일콕스가 개발되었으며 유동상의 화로를 사용한다. 중유의 열량은 1l당 10,000kcal이며, 오일 콕스는 8,610kcal이다. 밑면에서 1,100mmAq의 고압 송풍기로 고체입자를 유동시키고, 오일콕스를 투입하고 석유버너를 이용하여 점화한다.

라. 회전원판방식

이 시설은 운전비용(송풍기의 전기대)이 많고, 겨울철에 증발능력의 저하가 문제가 되기 때문에 현재 사용하지 않는 예가 증가하고 있다.

합성수지제의 디스크형 증발판을 4 5㎝간격으로 다수 장착하고, 이 회전원판의 약 1/3이 뇨조에 침수되게 한후 천천히 회전시킨다. 한쪽 방향에서 다수의 휀이 상온의 공기를 대량으로 송풍한다. 원판표면에 부착한 뇨오수를 증발하여 뇨조중의 오수를 농축한다. 겨울철에는 증발량이 계획이 약 반 정도로 저하되는 경우가 있다. 또한, 한냉·적설지대에서는 겨울철에 이 장치에 의한 증발은 거의 기대하기 어려우므로 적용이 불가능하다.

마. 발효시에 발생하는 에너지 이용방법

가축분 등의 퇴비화시에 유기물의 분해에 의하여 발생하는 열에너지는 분해할 때 감소하는 중량 1kg당 대략 3,000 4,500 kcal정도로 볼 수 있다. 이 발생 에너지를 통기하면 재료중의 수분의 증발을 촉진한다. 퇴비화 시설에는 통상 겨울철에 대한 처리능력을 기준으로 하여 설계·시설한다.

가축분과 부자재를 혼합한 원료수분함량은 통상 70%이하이다. 밀폐형을 제외한 퇴비화 시설에서 나오는 제품의 수분함량은 50 60%정도가 된다.

봄에서 가을에 이르기까지는 외기온의 상승 등에 의하여 발효조 벽에서의 전도열에 의한 손실 에너지 등이 적게 된다. 따라서 재료 중에 함유한 수분을 증발시키는 능력은 향상된다. 제품의 수분함량(%)을 감소하는데 퇴비화처리 도중에 뇨오수를 살포하여 뇨오수의 증발을 촉진하는 방식도 채용되고 있다. 뇨오수의 살포방법으로는 개방형 퇴비화 시설에는 건물 내에 설치하여 뇨오수저류조에서 교반기 상의 펌프로 뇨오수를 흡입하여 발효조내의 퇴적재료에 균일하게 살포하여 교반하는 방법이 있다. 또한 건물외에 뇨오수저류조에서 발효조내의 일정 위치에서 교반기위의 뇨오수 탱크에 펌프로 자동공급하고, 교반기의 주행도중에 발효조 내의 퇴적재료에 살포하여 교반하는 방법도 있다. 또한 상형통기퇴비화 시설의 발효조 상부에 설치된 살포노즐로 부터 퇴적재료의 뇨오수에 균일하게 살포하는 방식도 있다. 하우스 내에 가축분을 30㎝정도 퇴적하여 발효하는데 뇨오수를 살포한 시험(여름철)에서 발효조성 1㎥당 20 22 kg/일 정도의 증발능력을 나타내었다. 재료퇴적높이가 1대 또는 대이상일 경우에 수분 1kg당 증발에 필요한 열에너지를 봄·가을에 800 kcal, 여름철에 700kcal, 겨울철 900kcal정도로 하여 계산하는 것이 타당하다. 필요한 장치는 뇨저류조, 펌프, 배관, 살포장치등이 있으며, 이 규모등에 의하면 시설비가 크게 차이가 난다. 퇴비화 시설정도의 시설비는 들지 않는다. 또한 운전경비는 펌프가동의 전기료가 주요 경비이다.

6. 액비화 (액상콤포스트) 방법

가. 액상콤포스트방법의 이점

가축분뇨의 혼합처리는 액비로 농경지에 살포하는 것을 전제로 한다. 이방법을 시행하기 위하여 축사의 분뇨처리시설을 변경하면 제분작업에 소요되는 노동력을 절감할 수 있다. 우사바닥은 틈바닥으로 되어 있으며, 그밑에는 분뇨구가 설치되어 있어 배설된 분뇨는 이분뇨구에 떨어진다.

액상분뇨의 유출방법으로 돼지의 경우에는 중력흐름식이 적합하다. 중력흐름식에서는 분뇨가 연속적으로 유출되며, 바닥이 수평으로 된 장방형의 분뇨구 끝에 15cm높이의 가둠턱이 있다. 이 가둠턱은 분뇨구쪽으로 45도의 경사면을 두고, 흘러나가는 쪽에는 수직으로 되어서 액상분뇨에 미끄럼층을 형성하게 한다. 따라서 액상분요의 윗표면은 2-3%의 경사가 지게 된다.

분뇨구의 깊이는 그길이에 따라 달라지는데, 분뇨구의 길이가 10m이하일지라도 최소한 0.7-0.8m의 깊이는 되어야하며, 분뇨구의 길이가 25m이상이 되지 않도록 한다. 또한 액상분뇨의 표면위로 최소한 10cm정도의 여유공간을 준다. 분뇨구의 액상분뇨는 분뇨구에 가로질러 깊게 설치된 분뇨로를 통하여 돈사밖에 있는 저정통으로 유입된다.

나. 액비 저장탱크

실제로 사용되는 저장탱크의 종류는 크게 그림 5-5과 같이 구분된다. 개방된 지하 저장탱트는 경사면을 이용한 방법으로서 밸브를 열어주면 액상분뇨가 우사로부터 저장탱크로 유입된다. 밀폐된 지하저장탱크는 농장부지가 협소하고 지하수가 깊게 흐르는 곳에 유효하며, 악취의 발생을 감소하는 효과도 있다. 그러나, 시설비가 많이 소요되는 것이 단점이며, 분뇨를 교반할 때 유해가스가 축사안으로 유입되지 않도록 유의하여야한다.

지상저장탱크는 액상분뇨를 저장하는 표준형으로 간주되고 있다. 2- 3주 용량의중간저류조가 차게되면 저장탱크로 퍼 올린다. 중간저류조와 본 저장탱크사이에는 배관으로 연결되어 있고, 두개의 밸브가 설치되어 있어서 교반을 할 때 이용된다. 그외에도 콘크리트 각형의 저장탱크를 지하식으로 설치하는 방식은 건설이 용이하며 상부는 밀폐식이다. 포크레인으로 땅을 파서 웅덩이를 만들어 저장하는 방법도 있으나 이 경우에는 두꺼운 PVC를 바닥과 옆면에 깔아주어 폐수가 땅속으로 스며들어 지하수가 요염되는 것을 방지하여야 한다. 저장용량을 산정함에 있어서 혼합처리시에는 번식모돈 한마리당 하루에 6.9 8.3l, 분리처리에서는 뇨 발생량만을 고려해서 2.5l를 기준으로 한다. 저장탱크의 용량은 최소한 4개월 이상이 되도록 하며, 마리당 한달에 약 1.0m3를 기준으로 하여 설계한다. 축사밑의 분뇨구 자체를 크게하여 저장탱크로 이용하는 방법에서는 살포하기 전에 순환을 시키고 펌프로 퍼내게 된다. 이 법은 저장기간이 짧은 경우에 건축비면에서 유리하나 6개월 이상일 경우에는 축밖에 저장하는 것이 권장된다. 축사지하의 분뇨구에 분리벽등을 설치하여 액상분뇨가 순환이 가능하도록 하며, 교반장치(프로펠라)를 설치하여 살포하기 전에 교반시킨다. 분뇨구의 깊이는 소용돌이가 발생하는 관계로 최소한 1.2m는 되도록 한다. 이방법에서는 교반시에 유해가스가 발생하기 때문에 축의 통기가 잘 되도록 해야한다.

다. 액상 콤포스트 조제기술

혐기성 처리로 완숙되지않은 분뇨를 시비할 경우에는 악취의 문제가 야기되며, 또한 분뇨중에는 대장균, 기생충란, 잡초종자 등이 포함되어 있어 비료효과를 얻기보다는 오히려 시비로 인한 장해가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 폐단을 방지하기 위하여는 액상 콤포스트를 만들 필요가 잇다.

그원리는 분의 발효처리와 유사하여서 산소를 충분히 공급하여 주고 교반하여 주면, 호기성 미생물이 증식하게 되고 발효열이 발생하며, 이때 유기물이 분해되고 부숙되어서 유기질 비료를 생산하게 된다.

호기성 미생물의 활동에는 산소가 필요한데, 액상분뇨중에는 용존산소가 극히 적기때문에 공기를 인위적으로 액중에 주입시켜줄 필요가 있다.

미생물의 활동에는 적온이 있으며 폭기 개시에는 상온균이 증식하며, 이때 열이 발생하여서 액온이 서서히 상승한다. 다음 단계에서는 고온에 적합한 종류의 미생물이 증식하며 미생물의 활동으로 인하여 온도는 섭씨 40-70도 지속된다. 동시에 유기물의 분해가 촉진된다. 이러한 과정을 통하여 악취가 소멸되고 생분뇨의 색은 흑갈색으로 변하여 pH가 9이상으로 되는데, 이러한 요인들이 완숙콤포스트의 지표가된다. 분뇨혼합의 경우에 액비로 이용하기 위하여는 충분한 살포면적이 있어야 한다. 그러나 살포면적이 충분하지 못할 경우에는 분뇨혼합액을 고액분리하여서 고형물은 퇴비화하고 분리된 액체만을 액상 콤포스트로 한다. 이와같이 하여서 처리시설에 소요되는 부담이 경감되고 폭기처리가 용이하게 된다. 아울러 퇴비는 이용범위를 확대할 수 있는 관계로 살포면적이 적어도 되는 이점이 있다.

폭기시에는 거품이 다량발생하기 때문에 저장탱크용량에서 20%정도의 여유공간을 고려하여야 한다.

라. 폭기장치

폭기에 사용되는 장치의 종류에는 다음과 같은 것들이 있다.

표면폭기장치 : 대형으로 원형의 저장탱크에 사용하는 경우가 많다. 액체 표면에 부상하여 있는 상태에서 프로펠라가 회전을 할 때 모터의 주위에서 공기가 자동적으로 액중으로 흡입된다. 발생한 거품을 제거하기 위하여는 다른 2개의 프로펠라를 부착하기도 한다.

산기식 수중폭기장치 : 폐수의 정화처리에 많이 사용하는 방식으로 폭기조의 밑부분에 산기관을 설치하고 외부에서 송기하는 방법이다. 폐수의 농도가 높을 경우에는 거품이 많이 생기기 때문에 수세 소포장치가 필요하다.

원심식 수중폭기장치 : 모타의 회전축에 와권펌프가 장착되어 있으며 폭기조의 아래부분에 고정한다. 펌프의 날개가 회전할 때 액체를 강제로 토출하게되며, 이때 생기는 부압으로 인하여 외부의 공기가 파이프를 통하여 자동적으로 흡인된다. 내부에서 발생하는 기.액혼합으로 극히 미세한 기포가 토출되며 동시에 교반도 행하여진다. 산소용해율이 높으며, 최근에는 정화조의 폭기처리에도 사용된다.

액상콤포스트의 조제에는 단위시간당 주입되는 공기량(m^3/h)의 결정이 중요하다. 적정한 폭기량은 내용액의 성상에 따라 다르며, 폭기량이 부족하면 혐기성으로 진행되는 부분이 많아지고 부숙이 지연된다. 반대로 폭기를 과도하게 하여주면 거품이 많이 발생하고 발효온도가 저하되는 등의 문제가 야기된다. 시험결과에 의하면 액상분뇨 1톤당 1-5m^3/h가 적당한 것으로 나타났다. 그러나 다른 시험에 의하면 수중폭기장치를 사용하여서 액상콤포스트를 만드는 과정에서 유해한 병원균을 사멸하며 공기주입량은 액상분뇨 1m^3당/0.37m^3/h이었다. 위의 결과로 부터 폭기장치에 따라서 공기량이 달라지는 것을 알 수 있다.

제 2 절 뇨오수 처리방법

1. 처리방법의 선택

축사오수를 처리함에 있어서는 농지환원과 정화처리의 두가지로 대별된다. 농지환원을 우선적으로 고려하고 입지조건이 여의치않을 경우에는 정화처리를 한다. 이전과 같이 농촌에 산재하여있는 소규모 축산에서는 농지환원처리가 이상적 처리방법이지만 축산의 대규모화와 도시화가 동시에 진행되는 현재에는 농지환원처리에는 여러가지 문제 즉, 대량오수의 저장, 운반, 살포, 농지확보, 악취,지하수 오염 등이 발생하기 때문에 농지환원을 하기가 곤란하다. 특히, 배출오수량이 많고 대규모화가 진행된 양돈에서는 목초지 등의 농지를 소유하고 있지 않기 때문에 정화처리 이외의 대응책은 없는 실정이다. 뇨오수의 정화처리시설은 유지관리가 어렵고, 사용방법의 미숙, 그리고 운전경비가 소요되어 보급에 제약이 되고 있다. 또한 이러한 이유로 운전을 정지하는 예를 많이 볼 수 있다. 그래서 정화처리를 부정적으로 생각하는 경향이 있다. 그러나 오수처리 기술은 기술적으로 확립되어 있으며, 적절히 활용하면 충분한 효과를 발휘할 수 있다.

여러 연구기관에서 축산에 적응가능한 간편하고 저렴한 시설이 개발되고 있다. 오랜 연구축적과 가동실적이 있으며, 최근에는 질소, 인 등의 제거에 관한 기술개발도 이루어지고 있다.

소규모 축산농가에는 KIST에서 개발한 방법이 사용되고 있으며 축산시험장에서 개발된 톱밥토양여과상은 소규모 양축농가를 위주로 보급되고있다. 중규모 전업규모에서는 건국대학교에서 개발한 단순화한 활성오니법이 적합하며 대규모에서는 표준활성오니법이 보급되어있다. 정화처리에 대한 불신감은 이유가 없어진다면, 농지환원을 대신하여 정화처리가 축사오수처리의 주류를 이룰 것으로 생각한다.

2. 장시간 폭기방식

가축뇨오수만을 처리한 실증시험 자료가 없기 때문에 최적운전조건을 마련하기 위하여 처리설계기준은 목표처리수의 BOD, SS는 150mg/l이하 BOD 부하는 1일 0.2kg/m3, BOD SS부하일 0.5kg/sskg 폭기강도는 2.4m3/m3시간으로 하여 설계조건으로 시험을 실시하였다.

설계규모는 번식모돈 규모로 1일 배뇨오수량을 10톤 내외로 축사오수처리시스템의 흐름도는 다음과 같다.

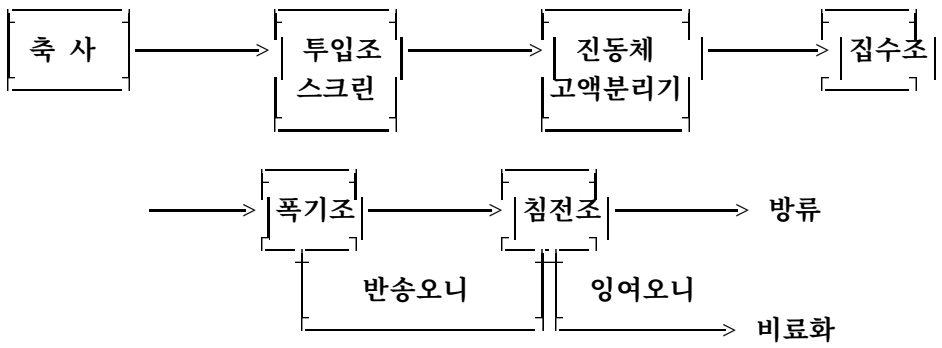


그림 5-6. 축사오수처리시스템

축사내에서 분제거작업의 정도는 폐수처리장의 오염부하에 직접적인 영향을 주기 때문에 진동체 고액분리기를 개발하여서 2차적으로 고형물을 제거하여 폭기조에 주는 오염부하를 일정하게 하였다. 진동체의 Mesh는 40으로 하였으며, 0.2 kw의 진동모타 2 개를 장착하였다. 진동체는 12°의 경사면을 유지하도록 하였다 (그림 5-6). 투입조에 유입된 오수는 수중모타에 의하여 진동체 고액분리기에 도달한다. 이곳에서 오수중의 고형물은 체 위를 지나게 되고, 오수는 체 밑으로 흘러서 집수조에 유입된다.

폭기조에서는 송풍기를 이용하여서 공기를 불어넣어 주었으며, Roots Blower의 풍량은 2.28m3/분이었고 전기 모타의 용량은 7.5 PS이었다. 폭기조 바닥에는 디스크식 산기관 30개를 적당한 간격으로 설치하였다. 오수는 연속적으로 흐르도록 하였으며 폭기는 간헐적으로 행하여졌다. 즉, 운전은 4시간 폭기, 4시간 정지로 회분식으로 하였다.

pH의 값은 폭기조에 유입되기 전에는 8 정도로 알칼리성을 나타내었다. 방류수에 있어서는 초기에는 6∼7사이로 중성을 나타내다가 나중에는 7∼8사이로 되어서 약알칼리를 나타내었다. 투입조의 BOD농도는 상당한 변화를 보이나 실제에서 축사의 청소 등으로 흔히 있을 수 있는 상황이며 평균 3,000ppm으로 볼 수 있다. 집수조의 BOD농도는 평균 1,300ppm정도로 되었다. 투입조와 집수조 사이의 BOD제거율은 57%를 나타내고 있다. 그 원인은 주로 진동체 고액분리기의 고형물 분리효과이며, 부분적으로는 저장중에서 고형물 침전형상과 발효분해에도 기인한다. 방류수의 수질은 실험기간 중 평균 85ppm을 나타내었다. 따라서, BOD 제거율은 평균 97%를 나타내고 있다. 특히, 동절기에 있어서의 이러한 양호한 결과는 처리시스템의 우월성을 보여주고 있다. 유입수의 총질소함량은 평균 360ppm이었으며, 집수조에서의 평균함량은 220ppm, 그리고 유출수의 평균 총질소함량은 65ppm으로 되었다. 따라서, 평균 총질소 제거율은 82%로 나타났다. 이러한 현상은 집수조에서의 일부 발효와 폭기조에서의 충분한 양의 산소공급으로 질산화가 충분히 이루어진 결과로 분석된다. 그러나, 온도의 강하에 따라서 제거효율도 둔화되고 있는 것을 알 수 있다. 인의 함량은 전반적으로 낮으며 각 단계별로 보면 평균 24ppm, 6ppm, 3ppm으로 되어서 인의 제거효율은 평균 87%를 나타내었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 축사오수처리장 시설시 설계기준으로 삼은 인자는 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 이 처리시스템은 장시간 폭기방식으로서 면적을 적게 소요하기 때문에 축산농가에 적응 가능성을 보여주고 있다.

3. 전자동 회분식활성오니법

일본의 가나가와현(神奈川縣) 축산시험장에서 개발한 활성오니법으로 현내의 양도농가화 낙농가를 중심으로 많이 보급되어있다. 오수처리의 개요는 축사에서 분을 제거한 후 뇨오수는 스크린을 거쳐 대형고형물을 침사조에서는 모래를 제거하여 투입조에 유입된다. 투입조에 저류된 1일분의 오수는 하루에 한번 오수펌프로 퍼올려 진동체를 거쳐서 고형물을 제거한 후, 폭기조에 투입된다. 이것과 동시에 희석수조에서 제1 희석수펌프로 오수량과 같은 양(축사오수의 경우에는 약4.5배의 양)의 희석수가 폭기조에 투입된다.

폭기조에서는 21시간 동안 폭기기에 의하여 폭기가 행하여지고, 오수중의 오염물은 활성오니 미생물에 의해 분해된다. 폭기종료후 1시간동안 정치시키면 활성오니 미생물은 침전된다.

활성오니 미생물 침전후의 상등수는 방유펌프에 의하여 소독조로 보내지고, 대장균등을 멸균하여 하천에 방류된다. 만약 어떠한 원인으로 방류수질이 현조례에 정한 수질(하루 평균 BOD 120ppm이하 등)을 초과하는 사태가 야기될 때, 제2 희석수 펌프에 의하여 처리수와 동량의 희석수가 처리수에 혼합된다. 희석수로는 지하수를 사용하는 것이 일반적이다.

폭기조에 생성된 잉여활성오니는 2주간에 1회정도 방류펌프의 밸브를 변환하여, 1시간 정치후의 침전활성오니중 1일의 처리수에 해당하는 양을 오니여상에 이송한다. 이곳에서는 천일건조처리하며 진동체의 분리 고형물도 함께 반출 처분한다. 위와 같은 방법으로 오수의 처리가 이루어지는데 여기에 필요한 운전조작은 잉여오니의 건조처리공정을 제외하고는 운전조작이 제어함에 의하여 자동적으로 행하여진다.

COD와 BOD의 제거율은 98%이상이며 돼지 1두당 소요면적은 0.3평m3 정도(소는 1두당 돼지의 10배)이다. 폭기조는 산화구 방법으로서 오수가 수로를 회전하도록 되어 있으며, 여기에 스크류와 로타가 사용된다.

4. 순환식 TBX생물막법

뇨오수처리는 토양침투, 토양환원의 단계에서 영속적인 처리가 가능한 정화처리 방식이 채용되고 있다. 방류수에서는 BOD가 오염의 지표가 되며 호수의 부영양화의 원인이 되는 총질소, 인에 관한 규제도 강화되고 있다.

질소, 인의 제거를 위한 검토에서 오수중의 인을 흡착제거 하기 위하여 케이산칼슘계의 신소재(TBX)를 개발하였고 또한 처리수를 순환시켜서 질소의 제거도 가능한 순환식 TBX 생물막법을 확립하였다. 처리능력은 원뇨오수의 수질 BOD 2,000ppm/l, SS 3,000ppm/l,총질소 700ppm/l, 인 60ppm/l를 처리수의 수질 BOD 20ppm/l, SS 20ppm/l, 총질소 70ppm/l, 인 8ppm/l로 하는 것이 목표이다. 정화처리 시설에 소요되는 면적은 일본의 사례에서 60kg 돼지 2400 두규모일 때 약 90m2(12.5m x 7m)이고, 조의 깊이는 4.3m인데 땅속으로 3.1m 들어간 반지하식의 시설이다. 정화의 핵심이되는 TBX 생물처리조는 6실로 나누어져 있으며 78m2를 차지한다. 오니처리를 위한 오니건조상의 소요면적은 약 115m2(16m x 7m)이다. 축사에서의 뇨오수는 10mm 구멍의 바스크린으로 큰 고형물을 제거하고 원수조에 유입한다. 0.3mm구멍의 경사스크린으로 고형물을 제거하고, 원수저류조에 저장한다. 뇨오수는 조정조를 경유하여 일정량혼합조에 이송된다. 처리수조에 저장된 처리수를 희석하고, TBX 생물처리조에 자연유입되도록 한다. TBX 생물처리조 6조 가운데, 처음의 2조에는 폭기를 하지 않아 혐기조건을 만들어 탈질균에 의한 탈질을 행한다. 연이은 4개의 조에는 폭기에 의하여 호기성 조건을 마련하여 BOD를 제거한다. 질산화세균에 의한 암모니아의 질산화가 진행된다. 처리수는 소독조를 거쳐 못에 유입, 하천에 방류된다. 유지관리비로는 전기료가 대부분을 차지하는 데 하루에 사용되는 전력은 약 180kw 이다. 그 외에도 TBX재료는 폭기와 역세(逆洗)에 의하여 연간 약 1할 정도가 소모된다. 이렇게 소모된 재료는 보충할 필요가 있다.

뇨오수의 정화처리에서는 축사에서의 고액분리가 중요하다. 처리할 뇨오수의 농도를 되도록이면 묽게 하면 시설을 콤팩트하게 하며, 유지관리가 용이하게 된다. 빗물이 유입되면 뇨오수의 양과 수질의 변화가 발생하기 때문에, 빗물이 유입되지 않도록 한다. 사양조건과 축사구조가 다를 경우에 오수의 양, 수질에 차이가 있기 때문에 뇨오수의 양, 수질을 측정하여 적정한 규모의 정화처리시설을 설치한다.

미생물에 의한 오수처리는 필히 오니(미생물의 사해)가 발생한다. 그렇기 때문에 오니의 처리방법에 있어서는 주변환경과 소유농지의 상황을 고려하여 결정한다.(오니탈수기, 토양환원, 하우스 건조등)

5. 톱밥토양 여과시설

가. 톱밥토양여과법의 특징

본 시설은 토양과 식물체등 자연생태계를 이용 축산폐수를 여과하여 정화시키는 정화방법 및 장치에 관한것이며 이미 알려진 축산폐수의 정화시설은 시설비면에서 소규모의 양축농가가 단독으로 설치하기가 어렵기 때문에 대부분의 양축농가에서는 축산폐수의 정화방법으로서 퇴비화 방법중에서 톱밥 축사형을 많이 이용하고 있지만 이방법 역시 발효제인 톱밥의 구입이 날로 어려운 실정에 있으며 또한 현재 축산농가에서는 분처리 문제보다는 축사에서 나도는 폐수를 처리하는 데 더 큰 문제점을 안고 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 시설비가 저렴하고 운영비가 거의 없이 손쉽게 설치하여 활용할 수 있는 축산폐수의 정화방법이며 또한 폐수중 질소와 인을 토양여과상에서 생육하고 있는 사료작물의 영양분으로 이용토록 하여 폐수중 질소와 인성분도 제거시키고자 하는데 목적이 있는 것이 특징이다.

나. 정화시설의 설치요령

톱밥토양여과시설은 자연생태계를 이용한 폐수정화 처리시설이기 때문에 겨울철에는 정화능력이 약간 저하될 수가 있어서 비교적 일조시간이 길고 온난한 지역 또는 장소에 설치하는 것이 좋다.

축산폐수 여과시설은 축사내에서의 분뇨분리후 뇨오수의 저장조를 거쳐 다음 그림과 같이 톱밥여과조를 거친후 3단계의 토양여과조를 거쳐 최종 방류하게 된다.

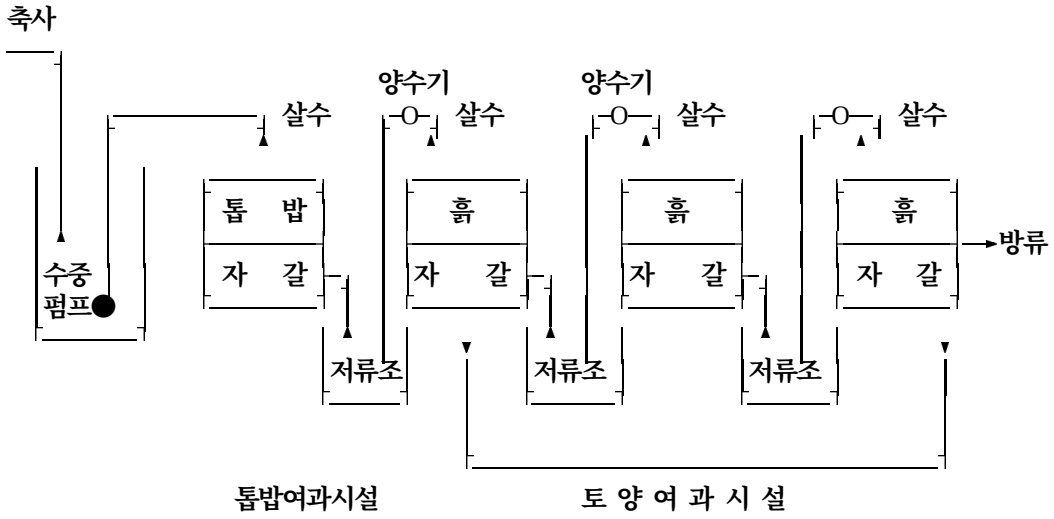


그림 5-7. 톱밥토양여과법의 공정도

다. 톱밥여과시설의 시공

여과시설의 규격은 비육돈 500두기준(1일2톤처리)으로 길이 5m, 폭 2m, 깊이 1m로 하고 비육돈 1,000두 기준으로 할 때에는 길이 7m, 폭 3m, 깊이 1m로 하여 철근 콘크리트로 시공하며 바닥과 벽면은 방수처리 한다.
바닥면에는 U자형의 홈을 만들어 저장탱크 에 여과수가 들어가도록 시설을 한다.

톱밥여과시설의 단면은 밑바닥에서 20cm정도 물로 세척한 자갈을 넣고 그위에 물빠짐이 좋은 매트를 한장 깐다. 이때 주의할 점은 자갈을 넣을 때 물로 세척을 잘하지 않으면 저장조에서 모터펌프로 여과수를 퍼올릴 때 모래, 흙 등에 의해서 펌프가 고장이 날 수 있으므로 자갈을 잘 세척하는 것이 좋다. 매트의 시설시에는 매트의 크기와 여과시설의 크기가 같게 한다.

이와같이 자갈을 20cm 깔고 그 위에 매트를 한장 깐후에는 톱밥을 넣는 작업을 실시하여야 한다.

라. 토양여과시설의 시공

토양여과시설의 규격은 톱밥여과시설과 같이 지하 또는 반지하로 3개 설치한다. 자갈을 물로 잘 세척한 후 20cm높이로 넣은 후 그 위에 물빠짐이 좋은 매트를 여과시설의 50:50 비율로 섞은 후 50cm충진을 한다. 이때 토양은 강하게 진압을 할 필요는 없다. 토양여과시설에 자갈, 매트 및 토양을 충진한 후에는 살수관을 설치를 한다.

즉 살수관은 40mm PVC관에 수압조절장치를 부착하여 살수량을 조절토록 한다. 살수관은 40mm PVC관을 500두 기준으로 설치시에는 H자형으로 또한 1,000두 기준으로 설치시에는 산(山)자형으로 제작하고 150mm간격으로 직경 3mm의 구멍을 각도 45도로 되도록 한다. 살수관의 살수구멍은 PVC관에 증식하는 미생물의 생물막으로 인하여 막히는 일이 잇어 년 1회 청소가 필요하므로 접착부분을 접착하지 않도록 한다. 이와같은 방법으로 2차 토양여과시설과 3차토양여과시설을 설치하고 1,2차 토양여과시설에는 여과수를 잠시 저장 시킬 수 있는 저장조를 만들어야 하며 축산폐수 용량의 1/2이상이 되게 설치를 한다. 이때 저장조안에 수위 감지기를 설치하여 자동으로 여과할 수 있게 하는 것이 정화시설 관리면에서 편리하게 된다.

6. 메탄발효법

유기물은 혐기성 상태에서 박테리아에 의하여 Biogas, 즉 메탄과 이산화탄소의 혼합가스를 생성한다. 이 과정에서 중요한 박테리아는 메탄 박테리아이며 물질로부터 메탄을 생성한다. 유기물 분해의 기본 공정을 다음의 3단계로 나누어 볼 수 있다. 세번째 단계에서 메탄생성이 이루어진다. 다른 단계는 준비단계로 유기물은 박테리아군에 의하여 일반적인 생화학적 분해과정에서 초산으로 분해된다.

중간단계가 결정적인 역할을 한다. 이 박테리아는 상당히 예민하며 세번째 단계의 반응과 밀접한 관계에 있다. 가스생산은 공정의 온도와 기간, 교반 등에 의하여 영향을 받는다. 일반적으로 가축분뇨의 경우에는 30 40℃의 온도 범위에서 이루어진다. 안정적인 발효시스템을 유지하기 위하여는 체류일수를 10 30일로 정한다. 교반은 발효조 내의 온도를 균일하게 하여주며, 내용물의 분리현상을 억제하여 미생물의 접촉을 용이하게 한다. Biogas 는 혼합가스이며, 주된 요소는 이산화탄소(40%)와 메탄(60%) 소량의 S화합물이 함유되어 있다. 연료로 사용하기 위하여는 탈황장치를 하여야 한다. Biogas의 발열량은 약6,000kcal/N · ㎥(CH4는 9,500kcal/N · ㎥)이며 임계온도는 82.1℃, 융점은 182.7℃이다. 투입고형물 1kg당 발열량을 계산하면 소의 경우에 732kcal, 돼지 3,000kcal, 닭 2,430kcal가 된다. 가스 생산은 300 400l/kg 유기건물량이 된다. 소 평균 100, 돼지 평균 400, 닭 평균 300

Biogas생산은 중온 또는 고온범위에서 운영되기 때문에 내용물은 가온되어야 한다. 메탄 박테리아는 온도변화에 예민하기 때문에 발효조내에 가급적 균일한 온도를 유지하여야 한다.

pH는 6.4-7.2가 적당한 범위이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 열교환기를 이용한다던가 온수배관을 발효조내에 설치하는 방법 등이 사용되고 있다. 발효조 내의 침전층과 부유층의 형성을 막고, 균일한 온도를 유지하고, 박테리아에 새로운 양분을 공급해 주기 위하여 내용물은 교반되어야 한다. 교반 방법은 펌프를 이용하여 내용물을 순환시키는 방법, 공기를 불어넣어 주는 방법, 기계적인 교반장치를 이용하는 방법 등이 있다. 발생한 가스는 포집조에 저장되어야 한다.

생산된 Biogas는 열, 전기, 난방, 등에 이용된다. 메탄가스를 채취한 후,순화오니의 발생량을 체류일수가 짧은면 감소율도 낮아져 10-20일 체류에는 약 5%수준이다. 장기간 체류에서는 감소율이 높아지지만, 동시에 가스중에 함수율도 높아진다. 혐기성 발효에서도 소화가 진행되기 때문에 사용가능한 경지가 있는 경우에는 비료로 이용하는 것이 가능하다.

혐기성 소화를 이용한 3단 정화에 이용 보급되어 있다.이 정화조는 저류조, 부패조 등으로 구성되어 있다. 저류조는 1일분의 오수를 일정하게 부패조에 보내기 위한 조이다. 보통 저류조에서 부패조까지의 오수의 이송은 중간에 체별고액분리장치를 삽입하기도 한다. 부패조에 단시간에 다량의 오수를 이송하면 부패조내 소화오니를 교반함과 아울러 부패조에서의 침전분리작용을 방해한다. 따라서 소화오니의 유출이 발생하며,결과적으로 처리수질을 악화하게 된다. 그렇기 때문에 저류조에서 운전관리를 점하여 부패조에서 가급적 장시간에 걸쳐서 정량적으로 오수를 이송하도록 한다.

부패조에 유입된 오수는 충분한 체류시간(2일간 정도)을 주고 오수중의 오염물을 침전시킨다. 상등액은 부패조에서 방류된다. 부패조내에 침전한 오니는 혐기성분해에 의한 소화오니이다.

부패조의 운전관리는 오수의 체류시간을 얼마로 하느냐,소화오니의 측정및 소화오니의 인발 등을 고려해야 한다.

보통 부패조용적은 오니의 체류일수를 40일로 하여, 즉 돼지 1두 하루당발생의 오수량을 25ℓ로 하면 2일간 체류하도록 설계하면 된다.

온도가 20℃ 이하가 되면 분해가 완료되기까지에는 많은 일수가 필요하게 된다. 축사오수를 혐기성 처리할 경우에 pH가 적당한 범위에 있는가, 온도조건에 관하여, 시설에 필요한 경비, 유지관리면에서 곤란성이 있기 때문에 자연온도에 의한 처리를 하게 된다.

그래서, 정화가 세균의 분해에 의존하기 때문에, 저류일수가 많아지고, 부지 및 경비등 큰 부담이 된다.

제 6 장 돼지분뇨의 자원화 이용

농림업은 인류의 식량생산과 산업사회에서 배출이 격증하고 있는 지구온난화기체의 일부를 고정정화하여 지구환경 훼손을 완화 보존하므로써 인류의 생존을 보장하기 위해서 영속되어야 한다. 이를 위해서는 농촌에서 발생되는 고간류나 인분, 축산분뇨와 같이 농업생태계의 오염물질로 전락 농업의 지속에 장해요인이 될수 있는 폐자원의 합리적 관리가 필요하다. 즉 이들 폐자원을 농업생태계의 기본인 농경지의 질이나 생산성 유지 보존을 위한 유용한 자원으로 활용하는 적절한 방법이 강구되어야 한다.

이들 유기성폐기물을 자원화하기 위해서는 적절한 처리를 통하여 공해를 유발하지 않는 안전한 물질로 전환 조제하여 각종 환경여건에 알맞게 사용되어야 할것이다. 즉 농촌에서 배출되는 여러가지 유기성폐자원은 적절한 처리를 거치면 소위 생물비료(Biofertilizer)나 토양조정제(Soil conditioner)등 다양한 기능을 갖는 생산자재로 활용할수 있다. 다만 이들 폐자원을 잘 선별하고 적절한 처리를 통해서 안전한 물질로 만들고 함리적으로 사용해야 만 할것이다.

농산폐자원의 생산자재로서의 기능에 대한 경제적 가치가 적절한 평가를 받지 못하고 있는 것은 이들 자원의 처리과정이나 사용과정에서의 불합리한 방법에 문제가 있기 때문일 것이다.

여기서는 이들 폐자원이나 가공물에 대한 부산물비료로서의 성분 공급능력이나 경지의 이화학성의 퇴화방지면에서의 개량제적 특성이나 기능을 주로 화학비료나 합성 토양개량제와 대비하여 상대적인 가치를 평가해 보고 양질의 유기성 폐자원의 가공품은 어떻게 만들어 어떻게 사용할 것인가에 대해 조사 검토코져 한다.

제 1 절 돼지분뇨와 그 처리퇴비의 비료 또는 토양 개량제로서의 특성

축산분뇨나 그 처리물질의 부산물비료 또는 유기질비료로서의 가치를 평가할때에 화학제품들과의 큰 차이는 첫째 이분해성 유기탄소를 다량 함유하며 그 함량은 매우 적지만 3요소를 비롯한 각종 작물의 필수원소들을 모두 함유하고 있다는 점이다.

따라서 단기적인 안목으로 비료 3요소성분 함량에 의해서 평가하는 경우가 많으나 장기적인 안목으로는 이들 필수원소 모두의 경제적 가치도 인정해야 할것이다.

한편 이들 유기폐자원을 가공한 부산물비료 또는 퇴비는 토양의 양이온치환능이나 보수력, 경도(硬度), 가비중(假比重)등 물리성을 개선하는 토양개량제나 조정제(Soil Conditioner)로서 평가할 수도 있다. 즉 유기물 함량이 많은 부산물비료는 화학비료와 같은 비료성분 공급역할과 토양조정제로서의 역할 두가지를 겸하고 있다.

이들 역할중 어느것이 보다 중요한가 하는 문제는 시용대상지의 특성이나 시용방법 여하에따라 다르기 때문에 단기적인 안목에서 일율적으로 평가하기는 극히 어렵다. 또 이들 부산물비료 즉 퇴비는 사람몸에 좋은 보약과 같다고 평가하는 경우도 있다. 그러나 보약이 허약한 사람에게는 보약이 되나 건강한 사람에게는 큰 효과가 없는것과 같이 본래 질이 좋은 토양에서는 효과를 기대하기 어렵다.

따라서 이들을 합리적으로 가공 이용하기 위해서는 우선 이들 부산물비료의 특성과 가치를 올바로 이해할 필요가 있다.

1. 돼지분뇨와 그 처리물의 화학적 특성

국내에서의 주요 가축분의 성분을 분석한 자료가 불충분하기때문에 우리의 축산형태와 유사한 외국에서 조사보고된 자료(일본 초지시험장[1983])에서 생분의 건물중당 각 화학성분 함량을 발취하고 이들 분뇨중의 비료 3요소성분의 가격(Vnpk)을 산출해 보면 표 6-1과 같다. 단 3요소성분 N-P2O5-K2O의 kg당 가격은 각각 0.3-0.37-0.20 US$ (1990. 12, 미국 중서부 FOB가, Parr [1994])로 하였다.

표 6-1. 주요가축 생분의 성분함유율과 건물 kg당 가격

가 축	시료수 L*/S**	평균 변이	건물율	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Na2O	T-C	***Vnpk us$/kg
			(%DM)								
돼 지	7/62	M	30.6	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	0.33	41.3	0.021
		cv	24.1	17.3	18.0	54.4	35.5	39.6	53.6	0.4	
산란계	5/50	M	36.3	6.18	5.19	3.10	10.98	1.44	-	34.7	0.030
		cv	42.3	21.5	28.8	9.8	25.5	21.6	-	21.5	
육 계	1/2	M	59.6	4.00	4.45	2.97	1.60	0.77	-	-	0.022
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	
우 분	10/100	M	19.9	2.19	1.78	1.7	1.70	0.83	0.27	34.6	0.011
		cv	26.3	15.4	11.9	36.5	18.0	24.6	-	22.3	

L*:지역수, S**:시료수, M:평균치, cv:변이계수, *** NPK의 화학제품 환산가
일본초지시험장 [1983]

표 6-1에서 보는 바와 같이 돈분, 산란계분, 육계분, 우분은 각각 건물 kg당 0.021, 0.030, 0.022, 0.011 US$로서 원화의 환률을 US$당 800원으로 하였을때 건물 kg당 돈분은 16.8원, 산란계분은 24원 육계분은 17.6원, 우분은 8.8원으로 돈분값은 우분 보다는 약 2배 높고 산란계분 보다는 낮으나 육계분과는 대등하다 하겠다.

또한 돼지 분뇨와 그 처리물들의 화학성분 함량과 3요소성분에 대한 경제적 가치는 표6-2와 같다.

표 6-2. 돼지 분뇨와 분뇨처리물의 성분함유율과 NPK의 가격비교

종류별	시료수 L*/S**	평균 변이	건물율	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Na2O	T-C	NPK가 원/kg
			(%DM)								
생분	7/62	M	30.6	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	0.33	41.3	16.83
		cv	24.1	17.3	18.0	54.4	35.5	39.6	53.6	0.4	
건조분	10/89	M	75.7	3.43	6.03	1.99	4.36	1.59	0.59	35.8	17.37
		cv	11.2	12.4	38.2	30.7	31.8	18.2	-	6.8	
톱밥퇴비	16/227	M	42.8	2.22	3.25	1.53	3.00	0.97	0.14	39.9	10.56
		cv	21.9	17.7	48.6	39.8	60.0	49.6	-	16.6	
볏짚퇴비	2/12	M	30.3	2.92	5.95	4.74	1.38	0.87	0.62	-	17.87
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	
왕겨퇴비	3/34	M	60.5	2.27	3.67	1.21	4.00	1.16	-	38.8	11.01
		cv	13.3	9.3	15.1	80.1	-	-	-	-	
고형물	2/31	M	24.5	2.57	1.97	0.38	1.52	0.38	0.11	-	8.97
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	
분리액	1/19	M	0.70	18.57	7.14	10.00	2.86	1.43	5.71	-	55.72
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	
액상분뇨	2/28	M	4.05	10.18	5.32	4.86	2.86	1.39	2.17	46.6	34.55
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	
생뇨	1/11	M	2.0	32.5	-	-	-	-	-	-	78.00
		cv	-	-	-	-	-	-	-	-	

단 L*: 지역수, S**:시료수, M: 평균치, cv:변이계수%
@ 일본초지시험장 [1983] 자료

표에서 보는 바와같이 화학비료 성분단가로 환산한 건물kg당 가치는 생뇨> 분리액>> 액상분뇨>> 볏짚퇴비> 건조분> 생분> 왕겨퇴비> 톱밥퇴비 >> 분분리 고형물의 순으로 현저한 차이가 있다.

한편 각종처리물의 화학비료 3요소성분 함량에 동일한 성분단가를 적용하여 복합비료 21-17-17의 kg당 가격을 산출해보면 83.72원/kg(104.65$/톤)으로서 복합비료에 비해 높은 가치를 갖는 것은 없다.

한편 생뇨에는 일반적으로 질소성분 외에 칼륨이나 나토륨의 염화물과 황산염이 함유되나 칼슘이나 마그네슘 함량은 낮으며 인은 거의 함유되어 있지 않다. 즉 뇨성분의 대부분은 무기태이며 유기태라도 요소와 같이 무기태 되기 쉬운 형태의 것들로서 질소와 칼리를 중심으로 한 속효성 액비로 이용할 수 있으나 토양개량제로는 부적당 하다.

한편 생분뇨에는 기생충알, 병원균 및 잡초 종자들이 함유되어 있는 경우가 있으며 냄새가 강해서 이들을 제거하기 위한 발효퇴비화등 처리가 필요하다. 이와같은 처리과정에서 소요되는 경비는 대형 비료공장에서 화학비료 제조에 소요되는 경비에 비하면 비교할수 없을 만큼 많을수 밖에 없다.

2. 국내 시판중인 부산물비료의 규격과 가격

현재 국내에서 판매되는 돈분이나 계분발효비료들의 가격을 예시하면 표 6-3과 같다.

이들 가축분뇨비료는 우리나라 비료공정규격(농림수산부[1994.8. 12])에서는 유기질비료중의 계분가공비료(3요소성분 합계량 6%)와 부산물비료중의 퇴비(유기물함량 25%이상, 유기물 질소비 50%이하)에 속하며 부산물비료인 퇴비는 비료성분 보다는 유기물함량을 중요시 하는 토양개량제적 성격의 비료로 규정하고 있다.

표 6-3. 가축분뇨 공동처리장에서 생산되는 가축분뇨비료 판매가격

지 역 별	축종	일생산량(포/20kg)	생산비(원/20kg)	판매가(원/20kg)
경북군위	양돈	1000	3607	3400
양계조합	양계	960	3277	2000
남제주축협	양돈	355	5112	3500
전북왕궁영농	양돈양계	1000	2176	2300
전남무안축협	양돈	700	3548	2500
경기동두천	양계	240	*2106	1200
경기양주	양계	260	*2005	1200
경기파주	양돈	375	*775	1333
경기김포	양돈	700	*958	1800

* 경영비 ** 비수기 가격
자료: 한국농촌경제연구원, 유철호[1995]

일본에서도 가축분을 주원료로 하는 퇴비의 대부분은 비료관리법상 특수비료에 포함되어 있고 비료성분에 대한 기준치가 설정되어있지 않다. 그러나 일본톱밥퇴비협회 및 전국 톱밥퇴비공업회에서는 상품화해서 보다 넓은 지역에 판매하기 위해서는 품질 보장과 품질 향상을 위해 품질표시의 필요가 있어 표 6-4와 같은 통일품질 기준을 설정하여 사용하고 있다.

표 6-4. 일본 톱밥퇴비공업회의 통일 품질기준[1980.6]

유기물 %	T-N %	C/N 비	T-P_2O_5 %	T-K_2O %	pH	CEC me/100g	수분 %	유식물검정
70이상	1.2이상	30이하	0.5이상	0.3이상	5.5~7.5	70이상	60±5	이상없음

※ 성분은 % 이상

그러나 톱밥퇴비가 아닌 다른 유기질비료에는 별도로 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 이의 적용범위를 확대하여 다른 가축분퇴비에서도 이를 품질기준으로 적용할 수도 있을 것이다. 그러나 표6-4의 톱밥퇴비의 기준에는 pH 5.5-7.5로 되어 있는 반면 가축분퇴비의 pH는 이보다 높아서 6.8-9.0의 범위이며 또한 질소, 인산, 칼리등 비료성분 함량도 톱밥퇴비 보다는 상당히 높기 때문에 가축분퇴비에는 톱밥퇴비의 기준을 준용하기는 어렵다.

3. 부산물비료와 화학비료의 가격비교

참고로 표6-4의 기준에 맞는 퇴비를 생산했을때 퇴비 100kg당 총 3요소성분 가격을 1990년말 미국 중서부 FOB가격을 적용 산출해보면 T-N, T-P_2O_5 및 T-K_2O 각각 0.30, 0.424, 0.120 US$로서 이들을 합산한 가격은 0.844$ 이다. 이에 환률 800원/$을 적용하면 100kg당 675.2원이 되며 20kg 한포당 가격은 135원에 불과하다. 이 값은 현재 국내에서 판매되고 있는 축분비료중 가장 값이싼 20kg 한포당 1,200원의 약 1/11이고 가장 고가로 판매되고 있는 축분비료 3,500원의 약 1/26에 해당 된다.

또한 국내에서 상표등록이 되어있는 가축분 퇴비의 가중평균 판매가격은 20kg 항포당 약 2,475원으로서 화학비료 성분에서 환산한 가격의 약 18배가 된다. 축분퇴비의 경우는 일반적으로 비료성분 함량이 톱밥퇴비 보다는 높기 때문에 3요소성분 함량에서 환산한 가격은 포당 135원 보다는 높을 것임으로 화학비료의 18배나 되지는 않겠으나 10배이상 될것은 분명하다.

즉 현재 생산판매되고 있는 국산 축분비료를 단순한 비료성분의 공급 목적으로 사용한다면 말할수 없이 비싼 비료가 된다. 따라서 축분비료는 유기질퇴비가 아니면 경토의 보존관리가 어려운 경지에서만 사용함으로써 그 가치를 제대로 보상 받게 될수 있다.

우리나라 비료공정규격에 규정되어 있는 부산물비료중의 퇴비는 유기물함량중의 유기탄소함량이 토양유기물(부식)의 경우와 같이 유기물의 1/1.724이라고 하면 탄소함량은 약 14.50%인 셈이다. 또한 질소함량은 유기물함량 25%중의 1/50이상으로 규정되어 있으므로 0.5% 이상 되어야 하는 셈이어서 C/N율은 약 29.0 이하가 되어야 한다.

즉 우라나라 공정규격상의 부산물비료인 퇴비의 규격은 일본의 톱밥퇴비협회의 통일기준과 비교하면 유기물함량은 약 36%, 총질소함량은 약 42%에 불과하고 C/N율은 약 83%로서 유기물과 질소함량은 적으나 C/N율은 보다 낮게 규정되어 있는 셈이다.

그러나 수질오염이나 염류집적 문제를 일으킬수 있는 인산이나 칼리의 성분함량은 일체 규정이 되어있지 않다. 이것은 유기성 부산물비료를 보통 퇴비와 같이 많은 량을 연용하면 인산과 칼리를 비롯한 각종 성분의 경토 축적이 일어나서 염류피해나 수질의 부영양화등 환경오염을 유발할 가능성을 내포하고 있는 셈이다.

따라서 이들 부산물비료에 함유된 각종성분이 토양중에 과다 축적되는것을 방지하기 위해서는 함량자체를 보증하지는 않더라도 유기질비료 시용량을 안전한 수준으로 조정하는데 농가가 참고할수 있도록 각종 성분의 함량표시만은 하도록 규정할 필요가 있다.

한편 토양물리성의 퇴화방지 작용도 현재는 일부 값싼 석유화학제품으로 대체할수 있는 시대가 되었으며 이들 용도별 사용량과 추산 가격의 예를 들면 표6-5와 같다.

표 6-5. 화학적 토양 물리성 개량제의 농업이용 형태별 시용량과 비용(US$,1986)

유묘이식열 표면 보호			점적관수 나무주위 보호			나무 이식공 처리용		
처리량 g/m2	가격 $/m2	40%커버 $/ha	처리량 g/m2	가격 $/m2	20%커버 $/ha(1)	%/토양	가격 $/공(2)	경비 $/ha
			Plastic emulsions					
50	0.0175	70	75	0.025	50	--- 적용불가능---		
			Bitman emulsions					
25	0.0175	70	50	0.035	70	0.060	0.0425	34
			Poly(vynilacetate)					
20	0.0275	110	50	0.069	138	0.060	0.0825	66
			Poly(urea-formaldehyde)+ironsulphate+urea					
30	0.018	72	75	0.045	90	0.060	0.03625	29
			Poly(vinyl alcohol)					
20	0.050	200	50	0.125	250	0.040	0.100	80
			Polybutadiene					
20	0.055	200	50	0.138	276	0.040	0.110	88
			Poly(acryl amide)+added glycol					
10	0.054	216	25	0.135	270	0.020	0.1075	86
			Poly(urea)+poly(ethylene)					
20	0.075	310	50	0.188	376	0.020	0.075	60

(1) 2.5m2/나무=800 나무/ha, (2)식목공 크기=40x40x50cm=80dm3, dencity=1.25

즉 가축분을 원료로한 부산물비료인 유기질비료의 특성으로 볼때는 토양의 화학성 개량을 목적으로 하는 화학비료나 물리성개선을 목적으로 하는 석유화학제재등과 비교하면 가격 경쟁에서 불리하다.

그러나 우리 선조들이 자급비료로 제조하여 사용하던 질좋은 완숙퇴비는 이분해성 유기탄소들이 미생물의 먹이가 되어 미생물이 활동하는 동안에 공중질소를 고정하여 작물에 질소를 공급하기도하고 유기물에 함유되어 있던 각종 유기태 양분이 무기화되어 작물생육을 촉진시키는 역할을 잘 감당하여 왔다. 또 퇴비 자원도 불충분 하여 과량을 시용하거나 유기물의 부숙도가 낮아 C/N율이 지나치게 커서 퇴비만 시용하고 작물을 재배할때에도 작물의 질소기아 현상이나 염분축적현상을 일으키는 일은 없었다.

이러한 작용은 축산분뇨등 양질의 유기성 폐기물을 퇴비화하여 적정량을 장기간 시용하여도 같아질것은 물론이다.

제 2 절 돼지 분뇨의 자원화 처리와 효과

부산물비료는 그 특성상 화학비료나 토양의 물리성개량제인 화학제품 어느것과 비교하여도 그 단기간내의 효과와 가격면에서 경쟁이 불가능한 실정이다. 그러나 국내 축산물 생산과정에서 생산되는 유기성폐기물을 유용한 자원으로 활용하지 못하면 환경오염원이되며 오염된 환경을 정화할때의 막대한 경비를 생각할때 적절한 처리를 통해서 안전한 물질로 만들어 이용할 필요가 있다. 이들 농업부생 유기성폐기물은 메탄가스, 이산화탄소등의 원료나 그 발효잔사의 일부를 축산 사료로 대체하는 등의 방법들이 있겠으나 가장 손쉬운 이용방법은 전통적인 퇴비의 형태로 만들어 농자재로 사용하는 방법이라 하겠다.

1. 퇴비화의 목적과 퇴비화 방법

퇴비화의 목적은 한마디로 조악하고 취급하기 어려운 유기성 폐기물의 질과 이용을 증진 시키는것 이라고 할수 있다. 즉 퇴비화는 각종 조악한 유기성폐기물을 점진적으로 생물비료나 토양조정제로 만들어 안전하고 유용하게 사용할수 있게 하는데 목적이 있다. 즉 조악하고 불안전한 유기성폐기물을 농자재로 이용할때에 문제가 되는 좋지못한 냄새나 인축의 기생충란, 각종 병원균, 잡초종자 그리고 취급하기에 부적절한 화학적 물리적 성질들을 퇴비화를 통해서 개선할 수 있다.

가축분은 일반적으로 질소함량이 높고 C/N율이 낮아 분해속도가 빠르기 때문에 이를 생분 또는 미숙한 상태로 토양에 시용하면 분중에 함유되어 있는 이분해성 유기물이 급격히 분해하여 유기태 질소가 재빨리 무기화하여 질소농도가 높아지며 특히 암모니아태 질소의 농도가 높아지면 밭작물에서는 생육장애를 일으킨다.

또한 이분해성 유기물이 급격히 분해되는 과정에서 미생물의 활동이 활발해져서 산소의 소비량이 증가하여 토양은 산소부족상태인 환원상태가 된다. 이러한 조건에서는 미생물에 의한 혐기분해 조건이 되어 유기산과 같은 작물에 해로운 대사산물이 생성되어 발아장애를 일으키거나 작물의 초기생육을 억제하게 된다. 따라서 가축분 만으로 퇴비를 만들때의 부숙의 목적은 시용한후에 급격한 분해가 일어나지 않게 축분중의 이분해성유기물을 미리 분해시키는데 있다. 한편 볏짚이나 보릿짚등 고간류는 일반적으로 C/N율이 50-100으로 비교적 높고 미생물이 활동에너지원으로 이용할수 있는 탄수화물의 함량이 많다.

이와같은 유기성폐기물을 토양에 직접 넣어주면 토양중의 미생물들은 이들 탄수화물을 에너지원으로 이용하여 재빨리 증식하게 되므로 미생물체 형성에 필요한 단백질원으로 토양내에 존재하는 무기태질소를 미생물체내에 도입하게 된다. 이와같은 무기태질소의 유기화로 토양중의 무기태질소가 균체형성에 충분하지 못하면 작물이 이용할 무기태질소는 고갈되기 때문에 작물은 질소부족 현상을 일으키게되는 소위 질소기아(飢餓)현상이 일어난다.

무기태질소의 유기화현상은 C/N율이 20이상에서 우세하게 일어나며 이때에는 토양중에 무기태질소는 존재하지 않는다. C/N율이 20이하로 떨어지면 무기화가 우세하여지며 무기화율은 C/N율의 감소에따라 직선적으로 증가 한다. 즉 질소의 유기화와 무기화의 한계는 C/N율이 20일때 이며 일반적으로 C/N율이 낮은 가축분과 C/N율이 높은 고간류를 혼합하여 C/N율을 20내외로 조정하면 작물의 질소기아현상은 일어나지 않는다.

한편 고간류에는 각종 훼놀성 산류가 함유되어 있거나 분해되는 과정에서 생성되기도 한다. 훼놀성 산류는 작물종자의 발아나 성장을 억제할 가능성이 있으나 고간류를 퇴비화 하므로써 이들 훼놀성 산류의 함량이 현저히 감소된다(草野등[1974]). 즉 분뇨와 고간류를 혼합하여 부숙시키는 목적은 분뇨중에 함유되어있는 이분해성(易分解性) 유기물을 어느정도까지 분해시키는 동시에 고간류중에 들어 있는 작물생육 저해물질을 분해해서 없게 하는것이라 하겠다. 한편 톱밥, 나무껍질등 목질물을 가축분뇨와 혼합하여 퇴비화 하는 경우 목질물에 함유되어 있는 훼놀성산류, 탄닌, 정유(精油)등으로 지목되는 물질이 식물의 발아를 저해 초기생육을 억제하나 이를 퇴비화하면 이와같은 저해작용은 거의 없어진다(佐藤[1976]).

한편 목질물의 C/N율은 130-1,400 정도로 매우 높으며 세루로즈함량이 많으나 그 대부분은 리그닌과 강하게 결합되어 있거나 결정화(結晶化)되어 있어 미생물에 의해 분해되기 힘든 난분해성(難分解性)이다. 이러한 목질물과 분뇨를 혼합하면 목질물의 분해가 다소는 촉진되지만 고간류의 경우와같이 현저히 촉진되지는 않으며 목질물과 분뇨의 분해과정은 각각 별도로 진행되는 것으로 여겨진다. 즉 목질물과 분뇨를 혼함하여 퇴비화할때의 부숙의 목적은 주로 훼놀성산류, 탄닌, 정유(精油)등 작물생육 저해물질을 분해하는것이고 부차적으로 분뇨중의 이분해성 유기물을 분해시키는 것이다.

결국 퇴비화 과정에서 유기성폐기물중의 유해성분은 분해소실되고 식물영양성분은 무기화되며 병균과 충란, 잡초 종자등이 사멸 되고 악취는 감소 된다.

이러한 퇴비화는 유기성폐기물에 토착되어있는 세균, 사상균, 곰팡이등 혼합미생물군의 성장과 활성에 지배되는 미생물적 분해과정을 거쳐서 조악하고 취급하기 어려운 농산폐기물을 유용한 생산자재로 전환시키는 전통적인 농가의 퇴비화기술 이다. 즉 퇴비화는 호기적 또는 혐기적 어느방법으로도 가능하지만 호기적방법이 보편화되어 있으며 그 까닭은 호기조건에서는 부숙이 빠르고 55-65oC나 되는 높은 발효온도에 의해 기생충란이나 병균의 사멸효과가 크기 때문이다. 퇴비화목적에 적합한 호기적 고온 분해조건에서 빠르고 효과적으로 부숙시켜 퇴비화하기 위해서는 퇴비화 대상 유기성폐기물 또는 고간류, 톱밥등 부재료와의 혼합비율과 토착미생물들의 활동조건을 적절히 조절하는것이 중요하다. 즉 혼합물의 C:N율은 15-35, 수분함량은 중량기준으로 40-60%, 초기온도는 20-40oC로하되 점차 40oC이상으로 증가시켜 최종적으로는 55-65oC를 유지시키는 것이다.

한편 적정 pH범위는 재료에 따라 5.0- 9.0이되어야 하며 통기 또는 산소공급 조건은 대상 유기성폐기물이나 부재료와의 혼합물의 공기공극율이 최소한 30%가 되게 하는 것이다. 이를 위해서는 유기성폐기물이나 부재료의 크기의 조성이 적절하여 용량에 대한 표면적의 비율이 호기성 퇴비화에 적절하게 조성되어야 한다.

2. 부숙도와 퇴비가치

부숙이란 지력유지 증강을 목적으로 유기성폐기물을 농업에 이용하고자 할때 미리 그 유기자재를 적절히 처리하여 일정 목표치에 이를때까지 분해시켜 놓는것을 말한다. 즉 이들 부숙된 유기자재를 토양에 시용하여도 토양이나 재배작물에 좋지못한 영향을 주지 않으면서도 토착미생물이 활동하는데 필요한 에너지를 공급할수 있는 유기성분 함량을 어느정도 함유하고 있을때까지만 분해시키는 것이라고 할수 있다. 이러한 분해 목표에 도달했을 때 부숙이 완료 되었다 할수 있고 이때의 부숙상태를 완숙(完熟)이라 하며 이러한 완숙상태까지 이르는 여러단계의 분해 진전의 정도를 부숙도라 할수 있다. 즉 완숙이란 유기물이 장기간의 분해과정을 겪어서 완전히 분해되어 더이상 분해할수 없는 상태가 된것을 말하는것이 아니고 아직도 충분한 미생물의 활동에너지를 보유하고 있으면서도 토양이나 재배작물에 좋지못한 영향을 미치지 않을 만큼 안정화된 상태까지만 분해된 상태를 말한다.

예전과같이 농가스스로 가축분과 고간류등 유기성폐기물을 퇴적 부숙시켜 사용할때는 장기간의 경험을 통해서 손으로 만져보거나 시각에 의한 외관에서도 완숙도의 판정이 가능 했다.

그러나 현재에는 고간류를 자가용 퇴비로 만드는 경종농가는 거의 없으며 고간루대신 톱밥 왕겨등을 부재료로 사용할 뿐 아니라 퇴비를 제조하는 축산농가는 경종농가와 거의 분리되어 있다. 즉 퇴비를 이용하는 경종농가는 퇴비생산에 관여하지않고 가축의 분뇨를 처리할 목적으로 축산농가나 단체가 퇴비를 제조하여 경종농가에 공급하는 경우가 많다. 따라서 퇴비제조에 관여하지 않고 다만 이를 이용하는 농가가 그 부숙도를 판정하는것은 극히 어려운 실정이다. 즉 부재료가 무엇이었으며 퇴비의 제조과정이 어떠하였는지도 모르는 상태에서 제조된 유기질비료나 퇴비를 공급 받았을때 이를 이용할 경종농가가 그 부숙도를 판정하기란 극히 곤난하다.

즉 가축분퇴비를 제조하는 측이나 이를 이용하는 측 모두에게 적정 부숙도의 판정문제는 매우 중요하며 간편한 부숙도 판정방법이 절실하게 요청된다. 이때문에 일본에서는 표 6-6에 제시한 바와 같이 여러가지 부숙도 판정방법이 제안되어 있다. 그러나 간편성, 정확성, 검정경비등 면에서 적절한것이 많지않으며 여기서는 퇴비제조과정에서의 부숙도 판정방법으로서 퇴적물의 온도 측정, 유기물의 잔존율 측정과 제품에 대한 부숙도 판정법으로서 양이온치환능(CEC) 측정, 다이훼닐아민에 의한 질산태질소의 검출 그리고 식물에 대한 생육저해를 직접적으로 알아내는 방법으로서의 발아시험에 대해 설명해 보고져 한다.

가. 퇴적물의 온도 변화

유기성폐기물을 퇴적하여 토착미생물에 의해 분해시키는 부숙화과정에서 열이 발생하여 퇴적물의 온도가 급속하게 올라가서 무려 70-80℃까지에 이르는 수도 있다.

표 6-6. 부숙의 지표 및 부숙도 판정법 (하라다 [1993])

판정 지표	판정방법	제안자	(제안연도)
1. 미생물 활성			
	1)퇴적물의 온도	Golueke	(1972)
	2)BOD	羽賀 및 原田	(1984)
	3)효소활성	Godden 등	(1986)
	4)가스 발생량	吉野	(1979)
2. 생물 이용			
	1)발아시험	藤原등(1980) 長田등(1985)	
	2)유식물시험	高橋 (1976) 河田 (1981)	
	3)지렁이 시험	吉野	(1979)
	4)화분관 생장 검정	若澤등	(1986)
3. 물리성 검정			
	1)물체색	菅原등	(1979)
	2)미세형태 관찰	藤原등	(1980)
	3)篩別 殘渣중량	日向	(1981)
4. 화학성 검정			
	1) C/N 비	Poincelot(1975),Golueke(1981)	
	2) 수침액의 C/N비	Chanyasak 및 久保田	(1981)
	3) 환원당 함량	이노고 및 原田	(1979)
	4) 암모니아 불검출	Spohn(1978), 森및木村	(1984)
	5) 질산 이온 검출	原田 (1983), Finstein	(1985)
	6) COD	Lossin	(1971)
	7) pH	Jann 등	(1960)
	8) EC	日向	(1981)
	9) 휘발성 성분	羽賀등	(1978)
	10)유리 아미노산	原등	(1991)
	11)물추출물 크로마토그래피	吉田. 久保田	(1979)
	12) CEC	原田. 井 子	(1980)
5. 부식물에의한 판정			
	1)원형여지 크로마토그래피	Hertelendy(1974),井子(1979)	
	2)부식물질 함량	Morel(1982),渡邊.栗原(1982)	
	3)침전부 비율	管原. 井 子(1981)	
6. 종합적 판정			
	1)평점법	川邊.高野(1979)	原田(1984)
	2)판별수치값	日本하수오니 자원이용협의회(‘85)	

그후 온도는 점차 내려가지만 퇴적물 내부의 것과 겉부분의 것을 뒤집어 쌓아서 산소를 공급하여 주면 온도가 또다시 올라가게 된다. 이와같이 온도가 오르락 내르락하는 발효열 변화현상은 퇴비재료중의 쉽사리 분해될수 있는 유기물이 아직 남아있는 한 반복된다. 이와같이 온도가 올라가는 것은 토착미생물들이 탄수화물을 분해시켜 먹이로 이용하면서 왕성하게 번식을 지속하면서 퇴비화가 순조롭게 진행되고 있음을 보여주는 현상이다. 즉 퇴적한 유기성폐기물의 온도가 외기 온도와 같아지며 뒤집어 쌓아 주어도 더이상 온도상승이 일어나지 않는 경우에는 더이상 토착미생물이 이용할 탄수화물이나 유기화합물이 거의 모두 소비되었음을 의미한다.

이와같이 온도변화가 더이상 없어졌을때가 퇴비가 완숙된 때라고 생각할수 있으며 일반적으로 퇴비제조 현장에서의 실용적인 완숙퇴비 판정지표가 된다. 그러나 퇴비화과정에서 고온에 의해 수분이 증발손실되어 지나치게 건조한 상태가되면 아직 미숙상태에 있는 경우라도 열이 발생하지 않기때문에 주의를 요한다. 이러한 경우에는 수분을 충분히 가해주고 발열상태를 보아서 부숙정도를 판정할 필요가 있다.

나. 유기물의 잔존율

퇴비화과정에서 유기물의 분해정도를 알아보기 위해서는 유기성분 조성의 변화를 조사하는 방법이 적절하지만 매우 많은 시간이 소요되는 결점이 있다. 비교적 간단하게 유기물의 분해정도를 파악하기 위해서는 경시적으로 채취한 퇴비시료를 600℃의 전기로(電氣爐)내에서 태워서 조회분(粗灰分)함량을 측정하고 손실된 유기물량(灼熱損失量)에서 유기물의 잔존율(殘存率)을 구하는 방법이다.

잔존율이란 퇴비화를 시작할때의 유기물량을 100으로하고 일정기간후에 분해되지 않고 남아있는 유기물량을 100분율(%)로 표시한것으로서 조회분량은 항상 일정하다고 가정하고 산출한 값이다. 우리나라 부산물비료의 공정규격에 합당한 유기물함량을 검정하는데는 작열손실량을 사용하고 있으나 부숙시키기 전의 유기물함유율을 알수없으면 원자재의 유기물의 부숙도가 얼마나 되는지를 판정하기는 어렵다.

다. CEC 측정

유기물이 분해되는 과정에서 부숙도에 따라 CEC가 증가하며 그 변화는 C/N율이나 성분변화와 높은 상관이 있다. CEC란 양이온치환용량(Cation Exchange Capacity)을 말하는것이며 암모니움(NH_4^+), 칼륨(K^+), 칼슘(Ca^{+2}), 마그네슘(Mg^{+2}), 수소(H^+)이온등 양(陽)이온을 흡착 간직할수 있는 부하전량(負荷電量) 즉 음성전하(陰性電荷)의 량을 말한다. 유기물의 부하전은 주로 카보옥실(-COOH)기에 의해서 생성되며 카보옥실기의 수는 부숙이 진행될수록 많아지기 때문에 이 부하전량을 측정하므로써 부숙정도의 판정이 가능하다. 일반적인 토양의 CEC 측정법은 유기질 자재에 대한 CEC 측정에는 적합하지 않기때문에 유기물에 대한 CEC 측정법이 특별히 개발되어 있다 (Harada등 [1990]). 이방법은 시료를 0.05-0.5M HCl(염산)로 씻어내어 표면의 음전하를 모두 수소이온(H^+)으로 포화시킨 다음 증류수로 흡착되어 있지 않은 과량의 유리(遊離)수소이온을 제거한 후 0.5M의 식초산바륨으로 흡착되어있는 수소이온들을 치환침출(置換浸出)시켜 전위차 측정장치를 사용해서 0.05M NaOH로 적정한다. 적정장치가 없을 경우에는 지몰부루 지시약을 사용하여 변색될 때까지 적정하여도 무방하며 이렇게 측정한 값은 조회분을 제거한 순 유기물의 건물100g당 값으로 표시한다.

라. 다이훼닐아민에 의한 질산태질소(NO_3-N)의 검출

단백질과같은 함질소 화합물이 분해되면 초기에는 암모니아(NH_3)태질소가 다량 생성되지만 퇴비화가 진전됨에따라 암모니아(NH_3) 산화균, 아질산(NO_2) 산화균에 의해 단계적으로 산화되는 과정에서 점차 암모나아태질소는 감소되고 질산태질소가 증가한다. 이와같이 생성된 질산태질소를 다이훼닐아민을 사용하여 정성적으로 검출하는 방법이다.

이방법은 퇴비시료를 소형 비커에 담고 증류수를 넣은 다음 유리막대로 교반한후 여지를 사용하여 여과하고 여액의 일부를 정색반응접시나 증발접시에 옮겨 넣는다. 그리고 다이훼닐아민용액(진한 황산 25ml에 다이훼닐아민 30mg을 녹힌 용액) 몇방울을 첨가한 후 2-5분간 두었다가 나타나는 청색을 관찰한다. 이때 질산태질소 함량이 많아서 농청색이 되면 유기물의 부숙이 상당히 진행되어 있는것으로 판단 할수 있다.

계분퇴비의 경우는 장기간 발효시켜도 암모니아태 질소의 집적이 현저히 많아지며 질산태질소의 생성반응이 거의 나타나지 않는 경우가 많음으로 이방법은 계분비료의 부숙도 판별에 사용하기는 어렵다. 돈분의 경우도 계분의 경우와같이 질산태질소의 검출이 어려울 경우도 있으나 우분퇴비에서는 안심하고 사용할 수 있다.

마. 발아시험

퇴비중의 생육장해 물질의 유무를 판별하기 위해서는 식물종자를 이용한 발아시험이 간편하다. 발아시험에는 여러가지가 있으나 일본에서 사용되고 있는 발아가 빠른 채소(小松菜)종자를 이용하는 방법을 소개하면 다음과 같다. 즉 퇴비에 20-30배량의 증류수를 가하고 실온(20℃)에서 30분간 왕복진탕, 60℃ 항온수조(恒溫水槽)중에 3시간 두거나 30분간 끓이는 열수(熱水) 추출법등을 사용한다.

이와같이 추출한 것을 여지를 사용하여 여과한 여액 10ml를 여지 두장 위에 다시 가제를 깔아놓은 초자샤레(직경9cm)에 주입하고 채소종자 50알을 파종하여 20℃이하의 실온에 정치하여 발아율을 조사한다. 이때에 사용하는 종자는 발아가 빠르고 발아율이 좋으며 동일종자의 구득이 용이한 것이라야 한다. 이때 주의할것은 증류수만 사용한 대조구의 발아율이 100%되었을때를 정확히 판정하여 이때의 각 처리구의 발아율을 조사 비교하는 일이다.

이때의 나타나는 발아저해 현상은 거의 모두 발아지연이 원인이 되기때문에 조사가 2-3일 늦어지면 상당히 미숙한 퇴비의 경우에도 대부분 발아되어 부숙도 비교가 어려워지기 때문이다.

이상과 같은 여러가지 방법으로 검정된 부숙도가 적절해야 유기질비료의 화학비료 또는 토양개량제로서의 다양한 기능을 충분히 발휘 할수 있어 화학제품들에 비해 매우 고가인 유기질비료에 합당한 제품이 될수 있다.

제 3 절 돼지 분뇨 및 그 처리퇴비의 토양시용효과

앞에서 설명한 바와같이 퇴비는 비료로서의 가치 외에도 화학비료로서는 대체할수 없는 여러가지 효과를 기대할수 있다. 즉 퇴비는 재배작물에 필수불가결한 모든 무기영양성분을 공급해 주는 완효성 복합비료와같은 직접적인 효과와 농경지 토양의 물리성, 화학성 그리고 미생물성을 개선해 주어 작물생산성을 향상시켜 주는 토양개량제로서의 간접적효과로 크게 나누어 생각할 수 있다. 이와같은 효과는 전술한 바와같이 시용대상지의 여건여하에 따라서 차이가 있기때문에 우선 우리나라 토양의 일반적인 이화학성 또는 비옥도 현황을 파악할 필요가 있다.

1. 우리나라 토양의 비옥도 현황과 문제점

우리나라 토양은 그 생성모재가 주로 화강암 및 화강편마암과 같은 산성암의 풍화물이 많기때문에 일반적으로 산성이며 이러한 모재에서 토양이 발달되는 과정에서 양이온치환능(CEC)이나 완충능이 작은 편이다. 따라서 유효양분의 부족이나 불균형에 의한 작물 성장면에서의 안정성이 비교적 낮은것도 사실이다. 이와같은 비옥도 현황을 파악하기 위하여 1980년대에 전국 밭(92,365점)및 논(616,687점)에서 총709,052점에 대한 경토의 화학성분 함량을 조사한바 있다 (농촌진흥청 농토배양 10개년사업보고서[1989]).

이들 조사성적의 전답별 가중평균치와 1960년대에 조사된 전국 농경지 총 8,181점의 편균치를 비교해 보면 표6-7과 같다.

표 6-7. 우리나라 농경지 작토(作土)의 유효성분 함량(加重平均値)

지목	면적(ha)	OM(%)	P_2O_5**	*ExK	*ExCa	*ExMg	*CEC	SiO_2**	Mg/K
				1964-1968 (8,781점)					
밭	859,547	2.00	114	0.320	4.2	1.20	10.30	-	3.75
논	1,212,178	2.60	60	0.230	4.5	1.80	11.30	78	7.83
				1980-1989 (709,052점)					
밭	859,547	1.93	228	0.595	4.66	1.42	9.33	-	2.39
1모작논	844,220	2.16	97	0.245	4.14	1.44	9.38	86	5.88
2모작논	367,958	2.74	138	0.319	3.69	1.38	9.97	98	4.33
논전체	1,212,178	2.34	109	0.267	4.27	1.42	9.56	90	5.32

* 치환성 칼리,석회, 고토 me/100g, ** 유효인산, 유효규산 ppm

표 6-7에서 보는 바와같이 유기물함량(OM)과 양이온치환용량(CEC) 및 치환성 Mg/K비는 1980년대에 조사된 값이 1960년대에 조사된 값보다 적은 반면 기타성분들은 오히려 증가하는 경향이다. 또 2모작지의 논은 1모작지 논에 비해 유기물(OM),유효인산(P_2O_5), 치환성칼리(ExK)함량이 많고 그외 주요 치환성염기(ExCa,ExMg)함량은 적다.

이것은 연간 작물재배 회수가 많은 2모작지에는 재배시마다 시비하는 회수와 양도 많았을 것임으로 인산, 칼리등 시비하는 성분은 많이 축적된 반면 일반적으로 시비하지는 않는 Ca나 Mg성분들은 적어지고 있음을 보여주는 것이다. 즉 1980년대까지는 화학비료 위주로 다수확재배가 성행되었으며 이로인해 작물을 재배할때 마다 시비하는 비료성분들은 점차 경토층에 남아돌아가서 쌓이게 되었고 매번 시비하지 않는 성분은 작물에 의한 수탈이나 유실 용탈에 의해 경토층에서 사라져서 유효성분함량간에 균형이 깨어져가고 있음을 보여주는 결과라 하겠다.

이러한 경토층 시비성분 축적현상은 농가에서 비료성분의 축적량은 생각하지 않고 최고 다수확을 목표로 값싼 화학비료를 관습적으로 다량시용하는데 익숙해졌기 때문이라고 생각 된다.

이러한 현상은 일부 독농가나 농촌운동가들에 의해 전적으로 화학비료만 시용했기때문에 토양이 악화되어 간다고 믿고 이를 방지하기 위해서는 화학비료 보다는 퇴비와 같은 유기질비료를 시용해야 한다고 주장하게 만든것 같다. 즉 경지토양의 질적퇴화현상을 우려하는 독농가에 속하는 일부 유기농법실천 농가들은 극단적으로 화학비료나 농약사용을 기피하고 유기질비료로 농사를 하면 토양의 질적 퇴화문제들이 모두 해결될것으로 착각하고 있는것 같다. 그러나 오히려 유기농법실천농가들의 경지에서 비료성분의 불균형이 보다 심각한것이 현실이다.

지효성이며 따라서 경토 축적작용이 화학비료 보다 훨신 심한 유기질퇴비를 계속하여 다량 시용하면 비료성분의 경토층 집적이 속효성인 화학비료를 적량 시용할때 보다도 심해질것은 당연하다.

근래에 국내 유기농법 실천농가들이 유기질퇴비 위주로 채소류등 전작물을 재배하는 경지의 이화학성을 조사한 결과는 표 6-8과 같다.

표 6-8. 유기농법 실천농가 밭의 화학성 검정결과

		OM	P2O5	Exch. Cations (me/100g)					유효 N (ppm)			EC
조사지역	pH	%	ppm	K	Ca	Mg	Na	Mg/K	NH4	NO3	N합계	dS/m
忠北 음성	6.5	2.5	990	0.25	5.7	1.2	0.06	4.80	56	112	168	0.31
忠南 청양	6.1	2.8	1,031	1.80	6.4	2.3	0.10	1.28	7	31	38	2.33
全南 보성	6.8	8.8	979	2.36	9.9	4.0	0.80	1.69	14	102	116	1.84
忠南 전의1	6.3	7.8	2,400	1.90	9.0	4.8	0.54	2.53	15	163	178	2.60
忠南 전의2	6.1	5.5	1,805	1.00	7.6	3.8	0.62	3.80	11	91	102	3.00
忠南 전의3	5.8	4.8	1,832	1.10	8.1	3.9	0.83	3.55	13	338	351	6.40
慶北 봉화	6.2	3.0	1,155	0.90	7.4	1.3	0.01	1.44	14	44	58	1.10
忠南 보령1	6.9	3.2	1,992	0.82	7.4	3.9	0.17	4.76	14	434	448	0.70
忠南 보령2	7.3	2.7	1,524	0.58	8.0	2.8	0.15	4.83	11	266	277	0.50

자료:농진청 농업기술연구소[1990]

표에서 볼수 있는 바와 같이 유기농법실천농가 밭의 경토분석 검정결과는 비료성분 축적량이 표6-7의 전국 평균값 보다 엄청나게 많다. 이것은 연간 재배회수도 많고 시비기준량도 많은 채소류를 재배하는 농가가 일반 전작물보다 훨신많은 시비기준량을 모두 축적작용이 심한 유기질퇴비로 대체했기 때문일 것이다.

한편 염류농도(鹽類濃度)의 지표가 되는 포화침출액(飽和浸出液)의 전기전도도(電氣傳導度)값인 EC(Electro Conductivity)도 모든 채소작물의 안전수준인 1.0을 훨신 넘는 경지가 많다.

또한 경토 10-15cm깊이의 가비중(假比重)을 1.25g/cm3로 보고 총유효질소(NH_4-N+NO_3-N)함량을 산출해보면 10a당 11kg 미만은 2개소 뿐이고 나머지 7개소는 12.75-84 kg나 되는 많은량이 그리고 유효인산(P_2O_5)은 122-450kg, 치환성칼리(K_2O)는 14.5-208 kg이나 되는 많은량이 경토에 축적되어 있다.

이와같이 1960년대에 비해 1990년대의 채소단지의 경토층에 축적된 비료성분은 질산염이나 인산염의 형태로 지하수나 하천수에 유입되면 식수나 농업용수, 호수 그리고 바다를 오염시키는 원인이 되어 환경규제 대상이 된다.

또한 이분해성 유기물의 과다집적은 논바닥이나 호수 바닥에 가라앉아 쌓이게 되면 메탄가스나 아산화질소가스와 같은 지구온난화 기체를 발생시켜 대기오염원이 되기도 한다.

결국 화학비료나 유기질비료 어느것을 막론하고 지나치게 많은 량을 시용하여 경지에 집적이 일어나게 하는것은 결국 농업생태계의 기능을 마비시키고 환경오염을 유발시키기때문에 세계적으로 규제대상이 되고 있다.

2. 분뇨 및 그 처리물시용으로 인한 토양비옥도 증진 효과

분뇨 및 처리물의 특성이 과거에 우리 농가에서 자급비료의 형태로 직접 제조사용하던 것과 대등하다고 하면 다음 표6-9에 제시된 다양한 효과가 기대된다는 사실에 이의를 제기할 사람은 없다.

표 6-9. 유기물시용의 다양한 효과(甲裴[1979])

I. 식물양분 공급원으로서의 효과

1. 대량원소의 공급원
2. 미량원소의 공급원
3. 완효적. 지속적. 누적적효과
4. 이산화탄소 공급원
5. 성장촉진 물질

II. 토양의 이화학성 개선 효과

1. 토양단립의 형성(점질물 입자의 떼알조직화)

   공극분포, 투수성, 보수성, 통수성, 이경성, 내침식성등의 개선
2. 양이온 치환능력의 증대
3. 킬레이트 작용

   * 활성 알미늄(Al)의 생성억제

   * 인산의 고정방지 및 토양인산의 유효화

   * 불가급태 양분의 유효화
4. 완충능 증대

III. 토양중의 생물상과 그 활성의 유지 및 증진

1. 중소 생물.미생물의 증가 및 안정화
2. 물질 순환능의 증대
3. 생물적 완충능의 증대
4. 유해물질의 분해 제거

가. 식물영양분 공급원으로서의 효과

각종가축의 분뇨나 그 처리물을 부산물비료로 퇴비화한 것에는 여러가지 식물영양성분을 함유하고 있으나 화학비료와 크게 차이가 있는것은 칼리성분을 제외한 대부분의 성분이 유기화합물의 형태로 들어있기때문에 작물이 흡수이용하기 위해서는 먼저 토양중의 미생물의 작용으로 분해되어 무기화될 필요가 있다는 점이다. 즉 유기질퇴비는 화학비료 보다 효과가 더디게 나타나며 고간류와같이 C/N율이 높은 유기자원중의 비료성분이 모두 무기화되어 작물에 공급되는데는 3-4년이나 걸리는 것으로 알려져 있다.

따라서 유기질퇴비를 연속적으로 다량 사용할 경우에는 표6-8에서와같이 이들 성분의 경토층 축적량이 만아진다. 이들 유기성분을 분해하는 미생물의 활동조건은 토양산도, 토양온도, 통기 통수성등 환경조건에 크게 지배를 받게 되므로 유기질비료 성분들이 무기화되어 작물에 공급되는 속도도 토양의 환경조건여하에 따라 다르다.

이러한 조건은 작물이 성장하는 조건과도 대체로 일치하기때문에 작물의 성장 속도와 맞추어 양분공급이 이루어질수 있으며 공중 질소고정능력을 갖는 미생물의 활동을 촉진하여 질소 공급능을 증대시키는 이점도 있서 화학비료보다 토양비옥도 증진면에서는 유리하다고 할수도 있다.

나. 토양의 이화학성 개선효과

유기물중에 존재하는 탄수화물이 분해되는 과정에서는 각종 점착성 물질이 생성되어 점토(입경 0.002mm이하)나 미사(0.02-0.002mm)와같은 아주 미세한 흙알의 표면을 감싸게 되고 이들 입자를 서로 엉겨붙게 하므로써 홑알조직을 떼알조직으로 만든다.

떼알조직으로 변함으로서 치밀한 점질토양에서는 비교적 큰 틈새를 만들게 되어 공기나 물의 나들이를 쉽게 하고 이것이 작물 뿌리나 토양미생물의 호흡작용을 원활하게 할수있어 유기물의 분해나 작물생육을 촉진하게 된다. 또한 흙알이 유기물질로 감싸여 있기때문에 떼알조직 조건에서는 물론 경운이나 정지할때 농기계에 흙알이 늘어붙는것을 막을수 있어 작업이 용이해 진다. 한편 빗물을 큰 틈새를 통해서 쉽사리 토층 깊숙히 스며들게 할수 있어 토양표면에서 물이 흐러내리는 량을 줄이고 이때 씻겨내려가기쉬운 미세한 흙알들의 유실을 적게하고 토층내 수분보존량을 많게 하여 가뭄피해를 줄일 수도 있다.

또한 화학비료형태로 시용한 가용성 인산성분은 미세한 흙알 특히 가오리나이트와 같은 1:1격자형광물 표면에 강하게 흡착되어 고정되는 성질이 있어 그 이용율이 25%정도에 불과한 것인데 유기성 점착물질이 이들 흙알을 감싸줌으로써 이러한 고정력을 어느정도 줄여주기때문에 인산질비료의 이용효율을 높여 준다.

한편 이들 유기물이 완전히 분해되어 부식산의 형태로 되면 음성전하의 밀도가 높아져서 양이온치환능과 완충능(토양산도의 변동을 적게하여주는 능력)을 크게하여 준다. 이들 토양부식은 음전하의 밀도가 큼으로 1가의 양이온인 암모니아나 칼리이온들 보다는 2가의 양이온인 석회나 고토이온들을 더욱 강하게 흡착 간직할수 있어 이들의 용탈유실을 줄이므로서 토양의 산성화를 완화해 준다.

또한 킬레이트작용이란 중금속과 같은 유해물질을 유기물자체의 구조중에 집어넣어 간직하는 작용을 말하며 이러한 킬레이트작용으로 중금속의 독성을 나타내기 어렵게하여 작물피해를 줄여주는 작용도 있다.

다. 토양중의 생물상과 그 활성의 유지 및 증진 효과

토양중에는 지렁이 땅강아지등 중소동물과 각종 미생물등 여러가지 생물이 살고있으며 유기질 퇴비는 이들 생물들의 먹이가되어 이들의 활동을 원활하게 하여 준다. 이들이 활동하는 과정에서 토양에 들어온 유기탄소 화합물을 영양원으로 이용하며 활동하기 위한 호흡과정에서 산소를 소비하고 탄산가스를 배출하므로 토양중의 탄소가 감소되어 C/N율이 낮아지기 때문에 유기태질소의 무기화가 촉진된다. 또한 인축에 해로운 유기농약성분이나 암모니아와같은 작물생육에 해로운 물질들을 분해 제거시킬수도 있다. 물론 공중질소를 고정하여 작물성장을 촉진시켜 주는등 자연계의 물진순환을 원활하게하여 준다. 한편 유용미생물의 활동을 조장하여 토양전염성 병해미생물들의 활동을 억제하는 생물적 완충기능에 대한 가능성이나 기대가 적지 않지만 현실적으로 현저한 효과를 기대하기는 어려운 실정이다.

3. 과다시용의 문제점

표 6-10는 최근에 농촌진흥청 농업과학기술원에서 관행농법인 화학비료 적량을 적정방법으로 시비하는 것과 유기농법실천농가와 같이 유기질비료만으로 채소를 연작하는 방법과를 대비한 시험에서 재배회수 증가에따른 경토중의 유기물함량, 유효인산 및 치환성 칼리함량등을 조사 보고한 성적이다.

표 6-10. 관행 및 유기농법으로 채소연작지의 유효성분 함량 변동

주요성분함량	관 행 농 법					유 기 농 법				
	1년	2년	3년	4년	5년	1년	2년	3년	4년	5년
유기물(%)	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.6	2.3	2.4	3.1	4.2
유효안산(ppm)	369	376	381	392	404	786	850	1020	1230	1850
치환성K(me/100g)	0.25	0.3	0.3	0.4	0.4	0.60	1.35	1.60	3.3	1.5

자료:농업과학 기술원, 1994년 사업보고서

표 6-10에서 볼수있는바와 같이 재배연차가 거듭될수록 관행 농법에 비해 유기농법에서는 3개 주요 토양성분이 모두 기하급수적으로 증가되고 있음을 알수 있다. 이것은 본래 많이 책정되어있는 채소류의 시비기준량을 모두 성분함량이 낮고 지효성이어서 축적작용이 큰 유기질비료로 대체 사용했기 때문이다.

이것은 유기질비료만 사용하여 작물을 연거푸 재배하면 축적작용에의해 3-4년내에 표 6-8에 제시한 유기 농법실천농가들의 경지와같이 질산태질소를 위시한 각종 염류가 지나치게 많이 경토층에 집적될 것이라는 사실을 보여주는 것이다. 표 6-11은 경토의 염류성분의 과다집적으로 전기전도도(EC)값이 높아질때의 채소류의 종류별 수량감소 정도를 표시한 것이다.

표 6-11 채소류의 감수율과 포화침출액의 전기전도도(EC)값*

내염성 정도	작물명	감수정도별 전기 전도도 (EC dS/m)값			
		감수율 0%	10%	25%	50%
약	딸기	1.0	1.3	1.8	2.5
중	당근	1.0	1.7	2.8	4.6
	무	1.2	2.0	3.1	5.0
	상추	1.3	2.1	3.2	5.2
	고추	1.5	2.2	3.3	5.1
	배추	1.8	2.8	4.4	6.3
	감자	1.7	2.5	3.8	5.9
	고구마	1.5	2.4	3.8	6.0
강	오이	2.5	3.3	4.4	7.0
	토마도	2.5	3.5	5.0	7.6
	시금치	2.0	3.3	5.3	8.6

* % 염농도 = EC x 0.064

표 6-11에서 보는 바와 같이 염류에 비교적 강한 과채류에서도 EC값이 2.5dS/m 이상되면 수량이 감소하기 시작하여 3.3dS/m 이상되면 10%, 4.4dS/m 이상되면 25%, 7.0dS/m 이상 되면 무려 50%가 감수된다는 것을 보이고 있다.

한편 토양의 EC값을 높이는 것은 토양중의 물에 잘 녹는 전해질 (電解質)의 농도가 높기때문이다. 즉 시비량이 지나치게 많아서 작물에 모두 흡수 이용되지못하고 질산염(窒酸鹽), 염산염(鹽酸鹽)및 황산염(黃酸鹽)과 같은 전해질의 형태로 조금씩 경토층에 남아 돌아가서 재배를 거듭할수록 점차 많은 량이 쌓이기 때문이다.

전해질의 농도는 염류를 형성하는 음(陰)*이온*인 산기(酸基)와 염기성(鹽基性) 양(陽)*이온*의 종류에따라 달라지는 용해도(溶解度)에 지배를 받으며 토양중에 흔한 이들 음*이온*과 양*이온*의 결합형태에 따른 용해도의 차이를 살펴보면 표 6-12와 같다.

표 6-12 0℃ 물에 대한 염류의 종류별 용해도(염류g/100g H_2O)

산기(음이온)	염기 (양이온)				
	Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}
탄산(CO_3^-)	7.0	100.0*	51.3	0.001	0.01
황산(SO_4^{-2})	4.9	70.6	7.4	0.300	29.00
염산(Cl^-)	35.7	29.4	28.0	59.500	52.80
질산(NO_3^-)	73.0	124.0	13.3	121.200	66.60

* 15℃에서의 용해도임

표에서와 같이 벼가 좋아 하는 *암모니아*태질소(NH_4^+-N)와의 염인 탄산(炭酸)*암모니아*[$(NH_4)_2CO_3$]는 벼생육이 가능한 온도인 15℃의 물 100g당 100g나 녹는다. 즉 벼재배 기간중 채 흡수되지 못하고 치환복합체로 부터 유리되어 있는 *암모니아*태의 질소성분은 탄산염(炭酸鹽)의 영태로 유실(流失)되거나 용탈(溶脫)될 위험이 크다.

특히 양*이온*치환용량이 일본의 1/2정도인 우리나라 논토양조건에서는 흡착되지 않고 유리되어있는 양*이온*이 많을것이기 때문에 치환성 양*이온*함량이 같다하면 염류피해는 일본토양 보다 커진다.

또한 물을 담아두는 논토양에 유기질비료를 지나치게 많이 시용하여 이분해성탄소(Readily Minerallizable Carbon=RMC)의 집적량이 많아지면 호기적(好氣的)미생물의 활동이 왕성해져서 산소의 소비량이 많아지기 때문에 심한 환원상태가 된다. 이러한 조건에서는 혐기성(嫌氣性) 미생물에 의한 황화수소*가스*와같은 유독*가스*의 발생으로 벼뿌리의 양분흡수기능을 떨어뜨려 벼생육을 억제할뿐 아니라 *메탄*이나 아질산*가스*등 지구온난화*가스* 발생을 촉진시킨다. 한편 유럽지역에서의 연구에 의하면 질산염이 많은 밭에서 재배된 채소는 일반적으로 질산염이 단백질로 동화되는 *미토콘드리아*에서 동화에 필요한 농도인 4.5 mMol보다 10배이상 되는 50 mMol이나 되는 고농도의 질산염이 공포(空胞)에 집적된다는 것이다.

이와같이 식물체세포의 공포중에 다량 집적된 질산염은 물로 씻거나 삶아도 변질되지 않고 질산염으로 존재한다고 하므로 이러한 채소류를 사람이 먹었을때는 인체내로 들어가게 될것이다. 이것은 음료수중에 함유된 질산태질소와 마찬가지로 포유동물(哺乳動物)의 소화기(消化器)내에서 아질산(亞窒酸)으로 환원(還元)된후 *아민*류와 결합하여 발암물질인 아질산*아민*류(Nitrousamines)로 된다고 알려져있다.

또한 아질산이 혈액에 들어가 산소운반체인 *헤모그로빈*을 산소 운반능력이 없는 *메세모그로빈*으로 만들면 현기증(眩氣症)이나 갓난아기의 청색증(baby blue disease)을 유발하는 원인이 된다고도 한다.

한편 가축에서는 질산태질소 농도가 높은 사료를 급여하면 질산 중독증(고창증)이 발생하는것으로 알려져 있으며 표6-13은 일본 초지시험장에서 가축분퇴비를 연용할때 시용수준별로 단독 또는 화학비료와 병용하여 재배한 *오챠드그라스*중의 질산태질소 함량을 연차별로 조사한 성적이다.

표 6-13 가축분퇴비의 시용량과 오챠드그라스의 질산태질소 농도 (%DM)

연차별	가축분 시용량(톤/10a)				
	0	2	4	8	16
			NPK 과 병용시		
1	0.13	0.14	0.12	0.20	0.35
2	0.12	0.15	0.16	0.23	0.31
3	0.17	0.21	0.23	0.36	0.34
4	0.05	0.07	0.19	0.30	0.34
			퇴비단용		
1	0.02	0.02	0.05	0.05	0.15
2	0.03	0.04	0.09	0.12	0.27
3	0.01	0.08	0.10	0.19	0.36
4	흔적	0.02	0.14	0.19	0.40

주: NO_3-N , 건물중당 % 자료: 일본 초지시험장 [1983])

일본에서는 현재 급여사료의 질산태질소함량의 허용기준은 0.2%라고 보고 있는데 표에서 보는바와같이 화학비료와 가축분퇴비를 병용할때는 10a당 퇴비 2-4톤 시용에서도 3년만에 그리고 8톤이상을 시용할때는 초년도부터 허용기준을 상회한다. 반면 가축분퇴비만을 단용할 경우에는 10a당 8톤을 4년간 연용하여도 허용기준을 넘지 않는다는 것을 알수 있다.

한편 유럽지역에서도 질산태질소의 거물기준 함량의 허용기준을 채소류(특히 시금치)에서는 0.2%, 목초류에서는 0.4%로 보고 있다(Mengel과 Kirkby [1982]). 즉 멀지 않은 장래에 시금치, 배추, 상추등 채소류에 대한 질산태질소 함량의 허용기준이 건물중(乾物重)의 0.2%로 식품규격이 설정될 가능성이 크다. 따라서 안전한 식품으로서의 채소나 목초재배지에는 질산태질소의 과다한 집적이 일어나지 않도록 경토의 비옥도관리가 필요하다. 이를 위해서는 잔류성이 심한 유기질퇴비의 시용량을 절제하여야 한다.

특히 표6-14에서와같이 *하우스*나 온실재배의 경우처럼 광도가 낮은 조건에서는 질산염 과다집적에 각별한 주의가 필요하다.

표 6-14 질소시비량과 광도가 시금치및 비트의 질산태질소 함량과 수량에 미치는 영향

질소시비량 mgN/kg soil	질산태질소 함량(%DM) 10,800 Lux	32,300 Lux	건물 수량 g DM/pot 10,800 Lux	32,300 Lux
		시 금 치		
0	0.14	0.09	0.22	0.22
100	1.09	0.35	0.57	1.27
200	1.61	0.72	0.42	1.25
		비트 뿌리		
0	0.04	0.02	0.68	1.28
50	0.13	0.04	1.10	2.67
100	0.44	0.35	1.35	2.99

자료: Cantliffe [1973]

표 6-14에서와같이 투광량(透光量)이 부족하여 광도가 10,800룩스로 낮은 *하우스*에서 재배된 채소류는 노지에서와같이 높은 광도조건인 32,300룩스에서 재배된것 보다 건물수량도 낮을뿐 아니라 식물체내 질산태질소함량이 월등히 높다. 또한 시비한 질소 농도가 토양 kg당 100 mg(100ppm)이 넘으면 어느 광도조건에서도 식물체내 질산태질소 농도는 식품으로서 안전수준으로 지목되는 0.2%를 초과하고 있다. 한편 유기질퇴비나 화학비료를 지나치게 많이 시용했을 경우에 생기는 좋지못한 영향은 토양중의 광물질 성분의 불균형으로 인한 농산물의 품질저하와 토양의 물리성을 오히려 나쁘게하는 것등이다. 우선 우리의 주식곡물인 쌀의 경우 밥맛을 지배하는 요인중의 하나로써 쌀알중의 Mg/K의 당량비가 1.60이상으로 높아야 한다고 알려져 있다. 그러나 우리나라 토양에서 재배된 쌀은 이보다 훨신 낮다(손종록[1992]). 이것은 표 6-7에 제시한 우리나라 논토양의 비옥도 현황에서와 같이 경토중의 Mg/K 당량비가 1960년대의 7.83에서 1980년대에는 5.32로 낮아졌기 때문이라고 생각할수 있다. 또한 논토양중 Mg/K당량비가 낮아진 원인은 비료에서 공급한 K성분의 축적으로 치환성 K성분은 증가한 반면 Mg함량은 감소되었기 때문이라 하겠다.

표 6-15 토양중 치환성 고토(Mg) 및 칼리(K)성분 함량과 작물의 고토성분 부족증과의 관계

경지조건	Mg부족증	치환성 Mg me/100g	치환성 K me/100g	Mg/K me/100g
Mg부족지(1)	발생	0.151	0.122	1.26
(2)		0.361	0.199	1.81
K과다집적(1)	발생	0.776	0.917	0.85
(2)		1.398	0.699	2.00
건전 경지(1)	건전	0.695	0.108	6.44
(2)		0.892	0.069	12.93

한편 경토의 무기영양성분 함량간의 불균형이 심해지면 작물에서는 과다하게 집적된 성분이 타성분의 흡수를 길항적으로 방해하므로 방해를 받은 성분의 부족증을 유발하게 된다. 그 대표적인 현상이 치환성 K와 Mg의 불규형에 의한 Mg부족 현상의 발생이며 그 예는 표 6-15에서 보는 바와 같다.

표 6-15에서 보는 바와 같이 Mg의 결핍증상은 토양시료 100g당 치환성 Mg함량이 0.151-0.361 me에 불과한 고토부족 토양에서뿐 아니라 치환성 K함량이 0.699-0.917me로서 지나치게 많이 축적된 토양에서도 발생한다. 즉 토양시료 100g당 치환성 Mg 함량이 0.7-1.4me 정도로 충분하여도 이들 두 성분간의 균형 즉 치환성 Mg/K 당량비가 2.0이하 일때에는 식물체에 Mg부족 증상이 나타난다. 반면 토양 100g당 치환성 Mg함량이 0.7-0.9me 이하로서 적은 경우라도 치환성 K함량이 0.108 me 이하인 경우에는 Mg 부족증은 발생하지 않음을 알수 있다.

Mg는 염록소의 구성성분으로서 부족하면 엽맥간이 황화되고 엽맥만 록색을 띄게되어 탄소 동화작용이 억제되기 때문에 수량이 떨어질 뿐 아니라 엽채류는 상품가치를 잃게 된다.

한편 비료의 과다시용으로 토양중의 치환성 K성분의 축적량이 많아지면 이로인한 길항적 흡수방해를 받아 목초의 Mg흡수량이 상대적으로 적어진다.

즉 비료의 시비량이 많아 K함량에 비해서 Ca나 Mg함량이 적은 목초를 급여하여 사육한 가축에서는 혈액중 Mg함량이 부족해서 일어나는 소위 *그라스테타니*(저고토혈증) 증상의 발생원인이 됨은 표 6-16에서 보는바와 같다.

표 6-16 목초의 무기성분함량 불균형이 소의 저고토혈증 발생에 미치는 영향

목초의 K/(Ca/Mg)당량비	저고토혈증 발생율(%)
1.4 이하	0
1.41-1.80	0.06
1.81-2.20	1.70
2.21-2.60	5.10
2.61-3.00	6.80
3.01-3.40	17.40

자료: 일본 초지시험장[1983]

즉 토양에서의 K공급이 지나치게 많아 목초중의 K흡수량은 많아지는 반면 Ca나 Mg등은 길항적 흡수방해를 받아 모초중의 함량이 적어져서 모초중 이들 염기성분 함량균형 즉 K/(Ca+Mg)비가 2.2이상이으로 높아지면 높아질수록 저고토혈증의 발생율이 증가한다. 즉 이 값이 3.01-3.40범위가 되면 무려 17.4%의 소가 저고토혈증을 나타내는 것을 알수 있다.

이 이외에도 돼지사료에는 돼지의 성장을 촉진시키기 위해서 동(Cu)이나 아연(Zn)을 첨가하는 수도 있으며 이때에는 돈분퇴비중에 이들 성분의 농도가 높아진다. 이들 성분은 식물의 미량필수원소이기도 하지만 식물에서는 미량원소일수록 그 농도가 조금만 지나치게 높아도 식물생육을 크게 억제하게 된다. 따라서 이들 미량원소함량이 공정규격에 적합한 적은 량이 들어있는 퇴비라 하더라도 지나치게 많은 량의 돈분퇴비를 시용했을 경우에는 작물생육을 억제할 수도 있다.

한편 가축사료에 항생제를 혼합 급여하는 경우가 많은데 이들 항생제가 분뇨에 잔류되어 있는 처리물을 다량시용할 경우에는 채소류등 식품중에 함유될수도 있어 식품의 규제대상이 된다. 또한 이와같은 항생제는 토양미생물의 활동을 억제하기 때문에 분뇨처리물의 항생제의 분해제거가 어려울뿐 아니라 3요소비료 성분을 비롯한 여러가지 자연계의 물질순환 과정을 억제하게 된다. 또한 수분함량이 많은 미숙한 유기질퇴비나 *스러리*를 다량 시용한 토양에 대형 농기계를 도입하여 경운이나 정지할 경우에는 농기계의 앞착에 의해 통기나 통수성등 토양의 물리성이 오히려 악화될수도 있다.

한편 톱밥이 많이 섞인 퇴비를 다량 시용할 경우에는 토양의 대형공극이 지나치게 많아져서 모세관공극의 연결이 끊겨 모세관수의 상승이 저해되므로 한발피해를 받기 쉬운 경우도 있다.

제 4 절 작물별 시용기준과 시용방법

각종퇴비는 적정량을 사용하면 식물영양분의 공급효과 외에 토양개량효과도 기대할수 있으나 지나치게 많이 시용하면 앞에서 말한바와 같이 각종 장애가 발생한다. 즉 적정시비량이란 고품질 농산물의 다수확이나 토양의 질을 높이는등의 목적으로 시용하여 경제적인 효과를 기대할수 있는 량 이라고 정의 할수 있다. 부산물비료인 퇴비에는 일반적으로 식물의 필수적인 각종 영양원소를 고루 함유하고 있기는 하나 성분함량의 균형면에서는 각종 작물들이 요구하는량을 요구하는 시기에 공급할수 있다고 할수는 없다. 즉 유기농법실천 농가들과 같이 퇴구비등으로만 작물을 재배하면 어느성분은 지나치게

많아져서 양분의 공급불균형이나 상호간의 길항적 흡수방해작용을 받아 토양중 양분이 충분함에도 불구하고 작물생육이 부진하고 품질이 낮아져서 상품가치를 떨어 뜨린다. 특히 화학비료나 합성개량제들과 비교해서 가격면에서 10배이상비싼 유기질비료나 부산물비료를 지나치게 많이 시용한는 것은 경제적으로 손해가 클뿐 아니라 환경오염등을 유발하여 농업을 지속하는데 큰 장애요인이 된다.

따라서 부산물퇴비나 유기질비료의 적정시비량은 이들이 함유하고 있는 유효성분중에서 가장 많이 함유하고 있는 성분을 전량 재배작물의 요구량에 맞게 조절시용하고 이때 부족되는 그외의 비료성분은 화학비료로 보충한다는 원칙하에서 적정시용량의 상한이 정해져야 할것이다.

이와같이 작물이 요구하는 비료성분량을 조절시용할수 있기위해서는 반드시 비료성분의 함량을 알수 있어야하며 유기질비료를 시판할때에는 이들성분의 함량이 명시되어 있어야 할것이다.

유기질비료나 퇴비중에 들어있는 비료성분은 제조원료에 따라 다양하지만 생초나 고간류 톱밥등을 많이 혼합한 것은 일반적으로 칼리성분이 가장 많다. 이것은 칼리성분이 식물체가 흡수하는 3요소성분중에서 가장 많이 흡수하는 성분인 동시에 거의 모두 무기*이온*상태로 식물체내에 존재 한다. 이 때문에 유기질비료중의 칼리성분은 화학비료중의 칼리성분과 거의같은 속효성이어서 비효율이 90-95%나 된다.

따라서 고간류나 톱밥의 함유량이많은 부산물퇴비를 시용할때는 토양중의 치환성칼리성분 함량을 감안하여 부족되는 칼리성분이 재배작물에 충분한량을 공급할수 있는량 만을 시용하고 기타의 부족되는 비료성분들은 화학비료의 형태로 공급하여야 한다.

이때 유기질퇴비중의 질소나 인산성분은 유기화합물의 형태로 들어있기 때문에 작물에 흡수이용되기 위해서는 우선 미생물의 분해작용을 받아 무기화되어야하므로 시비효과가 늦게 나타나는 특성이 있다. 따라서 작물의 초기생육을 촉진하기 위해서는 속효성인 화학비료로 보완 한다는 생각에서 퇴비의 시비량을 정해야 한다.

또 유기질비료에 들어있는 유기태비료성분이 토양미생물에 의해 무기화되어 작물에 공급되기 위해서는 이들 미생물의 활동 조건인 온도나 토양산도등이 적절하여야 한다. 따라서 토양의 특성과 기상조건이 다른 지역에서는 시용시기나 시용량이 서로다를수 있기때문에 각 지역단위로 작물별 시용기준이 설정되어야 한다.

여기서는 참고로 일본의 가축분뇨처리 이용협회가 제안 또는 보고한 평균적인 기준들을 소개하지만 이것은 다만 일본에서의 평균적인 수치에 지나지 않고 실제로 이기준을 시용하는 농가에서는 우리나라 토양조건이나 기상조건이 일본과 차이가 있음을 감안하여 그 시용기준이 조정되어야 할것이다.

즉 우리나라에서의 시용기준량은 일본보다 적어야 한다고 판단 된며 그것은 일반적으로 일본토양의 인산흡수능력 또는 고정능력이 우리나라 토양의 2-3배 크며 토양의 완충능의 지표가되는 양*이온* 치환용량도 대체로 2배정도로 높기 때문이다. 즉 유기질비료가 토양에 들어가서 분해되는 과정에서 발생하는 각종 유해성분에 의한 유해작용을 완화시켜줄수 있는 완충능이나 유효인산함량 증가를 완화해주는 인산고정능력이 일본토양의 1/2 이하로 낮다는 것이다. 따라서 우리나라에서의 안전한 유기질비료 시용기준량은 대체로 일본의 기준량의 1/2정도가 된다고 판단 된다.

1. 일본에서의 초지나 사료포장에서의 시용기준

목초나 사료작물은 경엽을 수확하는 것이 많으며 일반적으로 토양에서의 양분수탈량이 많다. 또 이들 초지나 사료작물은 내비성이 큰것이 많아 다비할수록 증수되기때문에 그 시비량이 일반적으로 많은 경향이다. 그러나 이들 작물은 가축에게 사료로 급여하는 것이므로 수량뿐 아니라 품질도 좋아야 하며 지나치게 많은량의 유기질비료를 시용하면 앞에서 설명한바와 같이 식물체내 질산태질소나 K/(Ca+Mg)비가 지나치게 증가 하는등 목초로서의 품질이 저하되기 때문에 양질의 목초를 재배하기 위해서는 지나치게 많은 량을 시용해서는 않된다.

일본의 가축분뇨 처리이용 연구회에서 제안한 기준을 소개하면 표6-17과 같으며 이표의 돈분퇴비의 시용기준량은 칼리성분함량이 가장 많은 우분퇴비와는 달리 계분퇴비처럼 인상성분이 가장 많기때문에 각작물이 요구하는 3요소성분량 중에서 인산성분 요구량을 전량 유기질퇴비로 공급하고 부족되는 질소와 칼리성분은 화학비료로 공급한다는 생각이 기본이 되어 있다.

따라서 돈분시용기준량 Y(톤/10a)는 함량이 가장 많은 인산성분을 모두 돈분으로 시용한다는 생각에서 특정 작물에 필요한 10a당 P_2O_5시비량 PR(kg10a), 돈분퇴비중 P_2O_5함유율 C(%), 비효율 E(%)를 적용하여 식(A)에서 산출할 수 있다.

$$Y=PR \times 100/C \times 100/E \times 10^{-3} \quad \text{.....(A)}$$

그러나 일반적으로 가축분이나 그 처리물의 10a당 시용기준량 Y톤은 재배할 특정 작물에 필요한 N시비량 NR(kg/10a), 질소성분 대체율 S(%), N함유율 C(%), 축분퇴비에 함유된 질소성분의 비효율 E(%)를 적용하여 식(B)에서 산출 할수도 있다.

$$Y = NR \times S/100 \times 100/C \times 100/E \times 10^{-3} \quad \text{.....(B)}$$

단 대체율 S는 예상수량을 얻기위해서 필요한 총N시비기준량중에서 축분퇴비로 대체할 N성분량의 비율(%)이며 우분퇴비에서는 30%, 돈분이나 계분에서는 60%를 대체하는 것으로 정하고 있다. 비효율 E는 질소질 화학비료의 비효를 100으로 했을때의 축분퇴비중 N성분의 상대적인 비효를 %로 표시한 것이다.

표 6-17에 제시된 돈분시용량은 식(B)와 같이 각작물생산에 필요한 질소성분 시비량의 대체비율(S%)을 적용하는 방법으로 산출한 것이다.

표 6-17 돈분퇴비 및 병용할 화학비료 10a당 시용기준

초 종	예상수량 *(톤/10a)	**필요화학비료량 N-P_2O_5-K_2O(kg)	퇴비시용량 (톤/10a)	화학비료시용량 N-P_2O_5-K_2O(kg)
화본과 초지	5-6	20-10-20	2-3	8-0-8
혼파초지	5-6	12-10-20	2-3	0-0-8
옥수수	5-6	20-18-20	2-3	8-0-8
이타리안라이	4-5	16-10-16	2	8-0-6

주*예상수량은 생중, 건물율은 목초, *이타리언라이* 약 17%, 옥수수는 약 27%
** 일반적인 토양에서 화학비료 만으로 재배할 때의 필요한 량임

자료: 일본 초지시험장 [1983])

한편 일본의 각연구기관에서 조사보고된 축분처리물의 각 성분 함량의 평균치와 N, P_2O_5 및 K_2O의 비효율 (Ne), (Pe) 및 (Ke)는 각각 표6-18과 같다.

표 6-18 일본에서의 가축분 현물중의 비료성분함유율과 비효율 (%)

분뇨처리물	수분	N (Ne)*	P_2O_5 (Pe)*	K_2O (Ke)*	CaO	MgO
우분퇴비	72.8	0.57 (30)	0.52 (60)	0.64 (90)	0.61	0.23
액상우분뇨	91.0	0.38 (55)	0.20 (60)	0.42 (95)	0.26	0.11
돈분퇴비	62.1	1.00 (50)	1.33 (60)	0.65 (90)	0.93	0.38
건 계 분	16.6	3.20 (70)	5.30 (70)	2.69 (90)	10.17	1.20

*( )내숫자는 각 비료성분의 비효율(%)임

2. 논 및 일반 밭에서의 시용기준

논에서는 가축분뇨 처리물을 적량만 시용한다면 지력이 증진되어 시용효과가 인정되나 그이상 시용량이 증가된다 하여도 목초나 사료작물과 같이 현저하게 벼수량이 증가 되지는 않는다. 특히 본래 토양에 유기물함량이 1%내외로 적고 강산성이어서 미생물의 활동이 저조하기 때문에 담수하여도 토양의 환원상태 발달이 미미한 소위 미숙논에서는 환원이 촉진되어 pH값은 중성부근(6.5정도)으로 교정되고 토양중 인산, 규산 및 *암모니아*태질소와 같은 영양성분의 유효도가 증대되어 벼생육을 촉진한다.

그러나 지나치게 많은량을 시용하면 심한 환원상태의 발달로 특히 저온 조건에서는 유기산류나 황화수소와 같은 양분흡수 저해물질이 생성집적되어 벼생육을 저해한다. 또한 질소의 비효가 뒤늦게 나타나서 생육후기의 도복이나 병충해의 증대와 품질을 저하시킨다. 심한 토양환원을 줄이기 위해서는 부숙도가 높은 유기질퇴비를 적량 시용할 필요가 있으며 저습한 논에서는 일반적으로 심한 환원상태발달의 위험이 크기 때문에 가축분뇨등은 일체 시용하지 않는것이 좋다. 일본 농수산성 농업연구쎈터에서 제안한 논밭에 대한 가축분뇨 처리물의 작형별 시용기준량은 표6-19와 같으며 이기준은 주로 비료성분 특히 질소성분 함량을 기준으로 설정되었다. 즉 이들 가축분뇨 처리물중의 질소성분의 화학비료에 대한 비효율은 우분 30-40 %, 돈분 60-70%, 계분 70%로 보고 산출한 것이다. 또한 기비질소 시비기준량에 대한 대체율은 목초나 사료작물에서와 같이 우분에서는 화학비료의 30%, 돈분 및 계분에서는 60%까지만 대체하는 것으로 하고 이 대체량은 화학비료 기비량에서 감하도록 지도하고 있다.

표 6-19 논 및 일반 밭에서의 돈분처리물의 시용기준 (톤/10a)

작형별	시용시기	생돈분	건조돈분	돈분퇴비	우분퇴비	건조계분
벼 단작	동계	1.5	0.7	1.5	2.0	-
기비	-	-	0.5-1.5	1-2	0.2	
맥류-벼	맥작전	1.0	0.5	1.0	1.5	-
일반작물	기비	1-2	0.5-1	1-2	1.5-3.0	0.2-0.4

주:(1) 벼에서는 건답의 경우이며 반습답에서는 반량으로함
(2) 벼에는 원칙적으로 생분 무시용
단시용시는 동계에 한하며 기비화학비료 절감 불요
(3) 보리-벼 2모작에서는 맥작전 1회만 시용하고 벼에는 무시용
자료: 일본 초지시험장 [1983])

퇴비등을 연용할때는 논에서는 혐기조건에서의 완만한 발효적 분해과정에서 질소의 누적(累積)효과가 크기때문에 주의를 요한다.

또 질소의 비효율이 낮은 유기물을 연용할때에는 분해가 더욱 더디기 때문에 집적된 유기태질소의 방출량이 해마다 증가하게 된다는 사실을 명심해야 한다. 물론 돈분이나 계분퇴비의 경우 일반 볏짚퇴비와는 달리 질소 방출속도가 빠르기 때문에 기준량을 매년 연용할때 축적작용은 적을것이나 이때에도 화학비료의 기비시용량을 토양검정결과에 의해 해마다 감소시켜 나가야 할것이다. 그렇지 않으면 질소의 과다공급으로 병충해의 발생증가나 생산물의 품질이 저하 된다.

3. 채소류 재배 포장에 대한 돈분퇴비의 시용기준량

채소류는 일반적으로 벼나 보리에 비해 다량의 대량원소와 여러가지 미량원소를 필요로하는 작물임으로 유기질퇴비의 시용은 이들성분의 공급면에서 매우 중요하다. 또한 채소류를 재배할때는 토양의 통기 통수성이 좋아서 뿌리의 신장이 좋아야하고 양분의 유지보존능력이 좋고 양분의 무기화가 순조롭게 진행되어 양분이나 수분의 공급이 원활히 지속되며 완충능력이 커야하는등 재배환경이 적절해야한다. 따라서 유기질비료의 적정량 시용으로 토양의 화학성 물리성 생물성등을 개선할 필요가 있다.

일본의 농수산성 야채 및 차(茶) 시험장에서는 표 6-20과 같이 채소밭에서의 가축분뇨처리물의 시용기준을 제안하고 있다. 즉 채소류를 소비형, 중비형 및 다비형으로 구분하고 각작물의 질소나 칼리성분요구량의 30%정도만을 가축분뇨처리물로 대체하는것을 기준으로 한것이다. 그런데 채소류에 대한 가축분뇨처리물의 시용량이 기상이나 토양조건등의 차이에 따른 지역성이 크기 때문에 시용기준량에 일정 범위를 두었다.

표 6-20 채소류 비료소비 유형별 돈분처리물의 시용량기준 (톤/10a)

채소류형	생돈분	건조돈분	돈분톱밥퇴비	우분톱밥퇴비	계분톱밥퇴비
소비형	1.0-2.0	0.3-0.4	1.0-2.0	1.0-2.0	0.4-1.0
중비형	1.3-1.5	0.4-0.6	1.2-2.5	1.3-2.5	0.6-1.5
다비형	2.0-4.0	0.5-0.8	1.7-3.5	2.5-4.0	1.0-2.0

주:(1) 화학비료 시용량은 기준량의 30%로 하고
톱밥퇴비의 상한값을 이용할 겨우에는 K_2O시비량을 60%로 주린다.
(2) 소비형채소 : 무우, 감자, 시금치등 (N, K_2O의 시비기준 25kg/10a이하)
중비형채소 : 배추, 상추, 토마도, 수박등(N,K_2O 시비기준 25kg/10a내외)
다비형채소 :가지, 피만, 오이등 (N, K_2O의 시비기준량 30-35kg/10a)
(3) 시설재배의 경우는 돈분 및 계분류는 기준량의 1/2, 우분류는 2/3 만시용
특히 주년재배지에서는 토양검정결과에 따라 화학비료시비량 조절요
자료:일본초지시험장 [1983]

4. 과수류에 대한 돈분퇴비 시용기준량

과수류에 있어서는 퇴비등 유기질비료를 시용해서 토양의 물리성을 개량하여 근군(根群)의 발달을 촉진시키는 것이 중요하지만 지나치게 많이 시용하면 품질을 떨어트릴 염려가 있다. 즉 과수는 일반적으로 새 가지의 신장이 왕성한 5-6월달에 양분흡수량이 절정에 달하는 것인데 그후 특히 질소성분 흡수가 7-8월까지 지속되면 새가지의 성장 정지가 늦어지고 과실의 성숙도 늦어지기 때문에 과실품질에도 크게 영향을 미친다.

표 6-21은 일본의 각공립 여구기관에서 보고된 사항들에 의해 설정된 가축분뇨 및 그 처리물의 과수 종류별 시용기준 이다. 여기에 제시한 시용기준량은 (1)연간 질소비료시용 기준량의 30-50% 상당량의 분뇨처리물을 가을부터 겨울동안에 시용하면 질소의 비효가 뒤늦게 나타나는 일이 없어 안전하며 (2) 매년 연거퍼 시용하면 4-5년째 부터는 토양에 축적된 질소의 효과가 나타나기 시작함으로 이때부터는 엽분석에 의한 과수 영양이나 토양검정에 의한 비옥도 진단이 필요하다.

표 6-21 과수 종류별 분뇨처리물의 시용량기준 (톤/10a)

과수 종류	생돈분	건조돈분	돈분퇴비	우분퇴비	계분퇴비
감귤	1.0-2.0 1.0-3.9a	0.5-2.0 1.5-4.0c	1.0-4.0	1.0-4.0	1.0-2.0
사과	0.3-2.0	0.3-2.0	0.5-2.0	1.5-1.7	-
포도	2.0-2.5	-0.5	0.5-3.0	0.5-3.0	0.4-3.0
배	0.2-3.5 1.0-1.7a	0.7-1.4 1.5-2.0c	0.5-4.0	0.5-5.0	-
복숭아	0.3-1.2	0.3-0.5 -0.8c	0.5-1.5	0.5-3.0	0.15-0.4
감	1.0-2.0 1.0-2.8a	0.5-1.0 1.2-1.7c	0.5-2.0	1.0-5.0	0.5-0.8
밤	-2.0 1.0-2.6a	0.5-0.9 0.5-1.5b 1.2-3.0a	1.5-2.4	2.0-8.0	-0.4

주) a: 분뇨, b: 반건조, c: 고액 분리분

(참고) 과수에 대한 가축분뇨 시용에 있어서 일본에서 실시중인 일반사항은 다음과 같다.

가). 시용시기: 과실 수확후 (가을,겨울)- 2, 3월

나). 시용방법: 전면에 산포후 경운하여 토양과 혼합, 일부 심층시용

다). 비료절감 여부와 방법

(1)퇴비의 C/N율이 20-30인것을 시용할때는 시비량을 절감하지 않음

(2)가축분이나 퇴비중 유효성분을 산출하여 그 함량만큼 시비량 절감

(3)관행 시비량중 질소시비량의 1/3-1/2을 대체함. 감비의 대상은 봄철시비나 가을시비로 하되 여름철비료를 성략하기도 함

(4)가축분을 매년시용하면 토양중에 인산과 칼리성분의 축적이 일어나므로 화학비료로시용하는 인산과 칼리 특히 칼리의 감량시비 필수 (우분의경우 2/3, 돈분 또는 계분의 경우 1/3로 감비)

자료: 일본초지시험장 [1983]

5. 우리나라의 작물별 가축분뇨(액비) 사용지침

우리나라 가축분뇨 발생량은 매년 증가되는 추세이며 사육규모가 기업화됨에 따라 가축배설물을 안전하게 처리하는데 어려움이 많다. 즉 우리나라 가축의 사육두수(농수산부 가축통계[1993.12])에서 추정한 가축분뇨 생산량은 표 6-22와 같으며 고형 가축분은 적절한 처리를 통해서 퇴비대체 물질로 활용되고 있다.

표 6-22 우리나라 가축분뇨 생산량 추정

가축	사육두수 (천두)	배설량(kg/일)			총 생산량 (천톤/연)		
		분	뇨	계	분	뇨	계
한우	2,260	15	5	20	12,374	4,124	16,498
젖소	553	30	10	40	6,055	2,108	8,073
돼지	5,928	3	3	6	6,491	6,491	12,982
닭	72,945	0.1	-	0.1	2,662	-	2,662
계					27,582	12,633	40,215

자료: 농촌진흥청 [1993. 12.]

그러나 가축분뇨및 축사를 청소한 물은 악취제거를 위해 일단 부숙이나 발효과정에서 정화처리를 한 후에도 배출수 허용기준이하로 오염물의 농도를 낮출수없어 법의 규제를 받아야 하는 실정이다. 따라서 축산폐수로 인한 수질 및 환경오염을 방지하고 축산농가로 하여금 가축분뇨의 정화처리 부담을 경감시키며 화학비료의 시용량 절감등을 목적으로 현재는 표6-23과 같은 가축분뇨중 우분과 돈분을 액비로 사용할때의 최대 허용기준량 만을 설정하여 농촌지도 지침으로 삼고있다. 그러나 각종분뇨를 원료로한 퇴비에 대한 시용기준량이나 지침은 아직 설정되어 있지 않으나 불원간 그 기준량도 설정될 전망이다.

표 6-23 작물별 가축분뇨(액비) 최대 살포 허용량

작물별	N시비기준 (Kg/10a)	우분 (톤/10a) 액상구비	생뇨	처리수	돈분 (톤/10a) 액상구비	생뇨	처리수
*1모작 벼	5.5	1.5	0.6	5.5	1.3	1.1	5.0
*2모작 벼	7.7	2.1	0.8	7.7	1.9	1.5	7.0
*쌀보리	5.0	1.4	0.5	5.0	1.2	1.0	4.5
*맥주보리	5.0	1.4	0.5	5.0	1.2	1.0	4.5
콩	4.0	1.1	0.4	4.0	1.0	0.8	3.6
참깨	8.0	2.2	0.8	8.0	2.0	1.6	7.2
땅콩	3.0	0.8	0.3	3.0	0.7	0.6	2.7
고구마	5.5	1.5	0.6	5.5	1.3	1.1	5.0
*단옥수수	15.0	4.1	1.5	15.0	3.7	3.0	13.6
청예옥수수	10.0	2.7	1.0	10.0	2.4	2.0	9.1
목초	28.0	7.6	2.8	25.0	6.8	5.6	25.0
* 고추	13.7	3.7	1.4	13.7	3.3	2.7	12.5
* 토마토	13.6	3.7	1.4	13.6	3.3	2.7	12.4
* 오이	11.2	3.0	1.1	11.2	2.7	2.2	10.2
*딸기	7.0	1.9	0.7	7.0	1.7	1.4	6.4
*참외	13.0	3.5	1.3	13.0	3.2	2.6	11.8
*수박	8.0	2.2	0.8	8.0	2.0	1.6	7.2
*가지	13.0	3.5	1.3	13.0	3.2	2.6	11.8
*호박	10.0	2.7	1.0	10.0	2.4	2.0	9.1
김자	10.0	2.7	1.0	10.0	2.4	2.0	9.1
*마늘	9.0	2.4	0.9	9.0	2.2	1.8	8.1
*당근	6.0	1.6	0.6	6.0	1.5	1.2	5.5
* 무	10.0	2.7	1.0	10.0	2.4	2.0	9.1
* 양파	8.0	2.2	0.8	8.0	2.0	1.6	7.2
생강	24.0	6.5	2.4	24.0	5.9	4.8	21.8
11년생 복숭아	9.1	2.4	0.9	9.0	2.2	1.8	8.1
단감 성목	13.0	3.5	1.3	13.0	3.2	2.6	11.8
20년생 감귤	14.0	3.7	1.4	14.0	3.4	2.8	12.7
20년생 사과	9.0	2.4	0.9	9.0	2.2	1.8	8.1
20년생 배	14.0	3.7	1.4	14.0	3.4	2.8	12.7
11년생 포도	7.8	2.1	0.8	7.8	1.9	1.6	7.1
*뽕나무	12.0	3.2	1.2	12.0	3.0	2.4	10.9

(농촌진흥청[1994])

한편 표6-24에서와 같이 우리나라 농가의 73%가 유기물을 경지에 사용하고 있으며 평균 유기물시용량은 헥타르당 약19톤이며 작물별로 보면 논벼에는 5톤내외 일반 밭작물에는 10톤내외 채소류 작물중 근채류에는 13톤내외 엽채류 및 양념류에는 25톤내외 과채류에는 20내지 45톤에 이르는 유기물을 사용하고 있다.

표6-24 우리나라 농가의 작물별 유기물 활용실태

작물	조사농가수 (호)	사용농가비율 (%)	평균사용량 (톤/ha)	유기물종류 (종)*
1모작 벼	891	56	5.14	7
2모작 벼	613	36	6.78	7
쌀보리	572	61	12.29	9
맥주보리	216	69	8.96	5
콩	730	40	8.84	6
참깨	742	47	11.35	5
땅콩	427	54	10.47	7
고구마	607	59	7.46	9
김자	738	83	15.03	8
사탕수수	549	79	22.82	6
토마토	567	95	34.28	8
오이	607	100	45.95	9
딸기	489	93	29.37	9
참외	454	93	23.84	8
수박	640	92	19.52	9
상추	493	86	27.92	7
배추	790	73	20.47	9
양파	354	86	21.49	8
고추	753	89	23.00	10
마늘	727	83	24.71	8
생강	168	90	29.98	7
당근	362	81	13.29	7
무	790	69	13.84	6
함계 평균	13,259	73	19.03	14

*
볏짚, 보릿짚, 퇴비, 두엄,우분, 돈분,계분,인분, 오리분,왕겨,톱밥,유박, 시판유기질비료, 녹비등 14종 중 택일

자료; 농촌진흥청[1993]

그러나 이들 유기물이 어떠한 형태로 만들어져 사용되는지는 분명치 않으며 현재의 농촌노동력의 여건에 비추어 볼때 양질의 퇴비를 생산하여 이용하기는 어렵다고 판단된다.

한편 우리나라 유기질비료와 부산물비료의 종류, 생산능력, 등록업체의 현황은 표6-25와 같이 연간 총생산 가능량은 167만톤내외로서 현재 생산량은 이보다도 낮아 생산판매되고 있는량은 현재 사용되고 있는 유기물추정량 약 1,500만톤의 10% 내외에 불과하다.

표 6-25 우리나라 유기물비료와 부산물비료 생산능력

비료종류	생산가능량 톤/일	생산가능량 천톤/년	등록된 생산 업체수 (개)	주요 자원 명
유기질비료	1,410	515	24	아미노산발효부산물, 골분, 증제피혁분,어박,채종유박, 혼합유박,혼합유기질, 계분가공
부산물비료	3,159	1,153	140	아미노산부산액,건계분, 부엽토,혼합퇴비,톱밥, 왕겨,두엄,분뇨잔사, 토양활성제
계	4,569	1,668	164	

자료: 비료공업협회 [1993]

즉 우리나라 농가에서 사용되고 있는 90%의 유기물은 그 품질면에서 규격화되어 있지 않은 것이라 하겠으며 이들의 비료 또는 토양개량제로서의 역할이 제대로 발휘될지의 여부가 크게 근심스럽다. 그것은 앞에서 설명한바와 같이 적절한 방법으로 처리되지 않은 유기질자재는 여러가지 문제점을 이르키기 때문이다.

6. 우리나라 경지의 유기물 소요량과 가축분뇨퇴비의 공급가능량

우리나라에서 조사된 1980년대의 논토양 갈이흙의 유기물함량은 평균 2.34%로서 적정 3요소시비 조건하에서는 아주 적정한 함량이지만 콤바인 수확과 동시에 볏짚을 분쇄 환원하는 기계화영농이 확산됨에 따라 생짚이 매년 논토양에 환원되는 조건에서 점차 유기물함량이 증가할 가능성이 크기때문에 논에는 별도의 부산물퇴비를 시용하는것은 토양의 과다환원 방지나 양질의 쌀생산 측면에서 바람직하지 못하다.

반면 밭토양의 유기물함량은 농촌진흥청이 지목하고 있는 3.0%를 목표로 할때는 1989년 현재의 약 2.0%에서 1%를 높여야 하는 셈이된다. 이것은 밭갈이흙 10cm 깊이의 적정한 가바중을 1.25g/cm3 라고 하면 10a당 갈이흙 전체의 흙의 무게는 125톤이며 이것의 1%에 해당하는 유기물량은 1.25톤이다. 즉 질소기아현상을 일으키지 않는 C/N율 20정도의 양질퇴비를 10a당 건물기준으로 1.25톤을 10cm 깊이에 고루 증가시켜 주면 유기물 함량이 2.0%에서 3.0%로 증가하는 셈이 된다.

부산물비료인 퇴비는 비료공정규격상 유기물함량 25%이상으로 규정되어 있으며 이규격의 하한 값인 유기물 25%되는 퇴비를 사용할 경우의 10a당 시용할 물량은 1.25톤의 4배인 5톤이 된다. 그러나 이와같이 많은량을 단번에 시용할 수는 없으며 토양의 유기물 소화능력을 감안하여 소화능력의 한계를 넘어서는 안된다.

우리나라 농경지 토양의 연간 소화가능한 유기물량은 건물기준 722만톤(정광용, 토양비료학회 추계심포지엄자료, 1995)이라고 하므로 이를 감안하여 연간 시용량이 조정되어야 한다.

우리나라 농경지의 연간 소화가능한 유기물량은 총경지면적 약 206만정보(논 약 130만정보 밭 약 76만정보)의 평균값으로는 정보당 약 3.5톤 즉 10a당 약 0.35톤에 불과한 셈이다. 따라서 유기물 25%를 함유한 부산물퇴비를 사용할 경우 소화가능한 퇴비량은 10a당 1.4톤이며 우리나라 농경지의 유기물함량을 건물기준으로 10a당 1.25톤 증가시키기 위해서는 연간 0.35톤식 3.57년(3-4년)간 지속 하 여야하는 셈이다. 그러나 토양중에서 계속 분해 소실되는 유기물을 증가시키기 위해서는 이보다 훨신 오랜기간이 소요될 것이다.

우리나라 총밭면적 약 76만정보를 부산물비료의 시용대상지로 할때에 경토 10cm 깊이의 총유기물 소요량은 건물기준으로 950만톤이다. 그러나 연간 소화가능량 정보당 3.5톤을 기준으로하면 연간 총유기물 소요량은 266만톤이다.

한편 1995년 9월현재 축산분뇨의 배출량은 분 30,568천톤 생뇨13,841천만톤 합계 44,409천톤(1995.9.한국토양비료학회 심포지엄 자료)으로서 전술한 1993년 12월현재의 총배출량 40,215천톤 표6-22보다 4,194천톤이 증가하였다. 분중의 수분함량을 약 80%, 뇨중의 수분함량을 98%로 보고 건물기준으로 환산하면 분이 약 611만톤 뇨가 약 28만톤이며 합계 약 640만톤으로서 우라나라 경지의 연간 총소화 가능량 722만톤의 약 89%에 불과하다.

그러나 이들 분뇨를 톱밥이나 왕겨등 수분조절을 위한 부재료의 첨가량을 중량비율로 30%로 보고 발효처리할경우 유기물의 총량은 약 831만톤이 되어 우리나라 농경지의 소화능력722만톤을 100만톤이상 초과하는 셈이 된다. 따라서 축산농가에서 배출되는 총분뇨량을 부산물비료로 퇴비화할 경우 연간 100만톤은 화란에서와 같이 타국으로 수출하지 않으면 농경지의 과부화를 피할 길이 없어 환경오염 문제를 야기할것이 분명하다.

한편 우리나라 경지의 유기물 소화능력을 분뇨에서 공급되는 3요소성분 량면에서 검토한 결과(한국토양비료학회 심포지엄자료, 1995)에 의하면 분뇨에 함유량이 가장 많은 인산성분을 기준으로 할때 국내 총인산질 비료 소요량을 축분뇨로 대체할 경우 건물기준 약 534만톤이 필요하여 우리나라 밭 경지에서 소화가능한 축분뇨 건물기준량 266만톤의 2배 이상되므로 우리나라 총인산소요량을 축분뇨로 대체할수 없다는 결론이다.

한편 우리나라 총인산질비료 소요량의 40%만을 대체할 경우에는 건물기준 축분뇨 약 214만톤만이 필요하여 이것은 우리나라 밭경지의 소화능력을 감안한 연간 건물기준 유기물 총소요량 266만톤에 접근한 량이다.

따라서 우리나라 밭토양의 유기물함량을 증가시키기 위해서 연간 소화가능한 유기물량은 건믈기준으로 266만톤으로 함이 안전하며 40%이상의 인산질 화학비료의 대체가 가능하다. 그러나 이보다 과잉 배출되는 축산분뇨 건물기준 374만톤(640만톤- 266만톤)은 별도로 처리 소비하거나 수출하지 않으면 농경지의 비료성분의 과부화로 심각한 환경문제를 야기시킬 것이 분명하다.

즉 우리나라 밭경지 약 76만정보에서 소화가능한 축분뇨의 건물기준량은 총배출량 640만톤의 약 42%에 해당하는 266만톤이며 이것을 현재의 비료 공정규격에 적합한 부산물비료로 가공한 퇴비로 만들 경우 1,064만톤이 되며 밭에 연간 시용량은 10a당 평균 1.4톤 정도가 된다.

따라서 현재 우리나라에서 배출되는 축분뇨의 58%이상에 해당하는 건물기준 약374만톤의 축분뇨는 부산물퇴비 이외의 방법으로 처리하거나 수출용 부산물퇴비로 가공할 필요가 있다.

제7장 사양관리방법에 의한 분뇨배설감소

제 1 절 분뇨의 배설량 감량방법

분뇨 배설량감량은 섭취한 사료를 체내에서 최대 흡수이용하고 체외로 배설되는 량을 줄여주는 방법으로 섭취한 사료중의 단백질의 체내 이용율을 최대로 높이기 위해서 아미노산 조성비를 잘 맞추어주어야 하고, 탄수화물, 지방, 인은 소화흡수율을 높여주도록 하고 소화흡수율이 좋은 식염,칼슘은 최적량만 급여 배설량을 줄여 주는 방법이다.

1. 분의 감량

분의 주체는 섭취한 사료성분중 미소화된 성분과 물로서 소화성이 높은 사료를 급여하면 분의량은 확실히 감소된다. 사료의 건물소화율이 80%이던것을 85%로 높인다면 분의 건물량은 25%가 감소되는 결과가 되고 동시에 소화흡수성이 낮은 사료를 섭취한 분은 수분이 많은 분을 배설하게 된다.

표 7-1. 사료중의 영양수분과 배분량과의 관계 단위 : g

사료중의 TDN %	사료 급여량	분중고형물량	생분중량 (함수율별) 70	75	80
65	3,039	1,064	3,547	4,256	5,320
70	2,821	846	2,820	2,384	4,230
75	2,633	658	2,193	2,632	3,290
80	2,469	425	1,647	1,976	2,470

※ 평균체중 71.3kg(40 105kg 100일간 비육)

2. 뇨오수의 감량

배뇨량은 사료섭취량 및 질에 따라 다르며 겨울철에는 사료섭취량의 2-3배, 봄과 가을 4배, 여름철은 5배의 물을 먹게된다.

비육성돈 배뇨량은 2.5 5.5kg으로서 급수기 불량으로 누수되는 량을 합하면 더많아진다. 다음표에서와 같이 단백질 섭취량을 30% 낮추면 음수량은 20% 줄고 동시에 뇨배설량은 35%가 감소된다.

표 7-2. 단백질 섭취량이 돼지 음수 및 배뇨량과의 관계

구 분	저단백질	고단백질
건물섭취량(kg/일)	1.91	1.91
단백질섭취량(g/일)	319	433
음 수 량(kg/일)	4.32	5.43
수 분 배 설 량		
분 (kg/일)	1.19	1.19
뇨 (kg/일)	1.87	2.89

※ Pteitter 1990

3. 습식급이 사양에 의한 뇨오수의 감량

사조내에 급수기를 설치 사료와 물을 동시에 섭취할수 있는 습식 급여기를 이용한 사육법으로 음수시 흘리는 물을 적게 함으로서 뇨오수량을 줄일 수 있다.

습식급이기와 종래의 립푸식 급수기 사용시의 돼지 물소비량을 비교한 시험결과 표에서와 같이 하절기에 있어 립푸식이 30%정도의 물허식이 있었고 겨울에는 차이가 없다는 것을 알수 있다.

1일 1kg증체시 수분측정량은 700g되기 때문에 물소비량의 대부분은 뇨로서 배설된다는 것을 알수 있다.

표 7-3 돼지 급이 및 급수기에 따른 계절별 물소비량에 미치는 영향

구 분	자동급이기 립푸급수기	습식급이기
여 름 철(l/일)	16.0	7.5
겨 울 철(l/일)	6.1	6.2

※ 축산환경대책 대사전 1995

제 2 절 질소 및 인의 배설량의 감소

1. 성장단계별 급이에 준한 단백질 급여

자돈 및 비육돈의 조단백질 요구량은 성장단계에 따라 24 13%로 조절 급여하므로서 단백질 이용효율을 높이고 동시에 질소배설량은 줄여줄수 있다. 임신중기의 1일 아미노산인 리진요구량은 6.3g 이지만 후기에는 10.8가 필요하기 때문에 기준에 맞추어 사료를 배합하고 일정량을 급여하므로서 질소 배설량을 줄여줄 수 있다.

2. 아미노산 요구기준에 의한 분뇨배설량 감소

종래의 돼지사료 배합시 조단백질(CP) 가소화조단백질(DCP) 요구량 가소화양분총량(TDN) 소화에너지(DE) 요구량과 같이 중요시 되었다.
그러나 단백질은 20여종의 각종 아미노산이 결합된 영양소를 체내에서 분해 흡수되기 때문에 동물이 필요로하는 단백질 그것보다는 동물의 체단백질 합성에 필요한 아미노산의 균형이 잘조화된 배합사료를 급여해야 한다.
비육초기의 조단백질 16% 수준의 배합사료에서는 필수아미노산의 과다현상은 있으나 부족사항은 볼수없다. 비육후기의 조단백질 11 12% 수준의 배합사료에서는 필수아미노산인 라이신, 트리오닌 등의 부족현상이 있어 합성아미노산만을 첨가한 사료배합 급여시 배설량을 50% 정도 줄일수 있다.

표 7-4. 사료급여의 조단백 함량에 따른 배설량 단위 : g

사료중의 조단백질함량	1일 CP 접취량	CP 배설량		
		뇨 중	분 중	계
16%	330	150	66	216
11%	230	70	46	116

※ CP 11% 시 부족된 필수아미노산만 첨가 보충

그러므로 70kg 이후의 비육돈 사료에는 에너지가 높고 단백질 함량이 낮으면서도 균형된 아미노산이 배합된 사료를 급여하므로서 품질이 좋은 돈육생산이 되고 동시에 분뇨의 배설량을 줄일수 있다.

3. 생균제 이용

사료에 첨가하는 항균제 등은 사료효율 및 내병성의 강화등 효과가 있는 반면 장내 유익균의 감퇴등으로 장기보호기능의 약화와 더불어 육류중에 항생물질의 잔유등으로 문제가 되고있다. 그러나 생균제는 생물학적 제제품으로 장내 유해균의 억제로 살균효과와 항균성 물질의 생성으로 사료효율과 성장을 돕고 분의 발효억제에 의한 유독가스의 방지 등 효과가 있어 많이 이용

되고 있다.

4. 효모 및 효소제의 이용

효모가 가지고 있는 풍미로 가축의 기호성을 증진시키고 효소는 생체세포나 미생물이 생산하는 단백질성 고분자 유기촉매물질로 이를 사료에 첨가함으로서 사료효율을 개선하여 사료영양소에 대한 활용을 증대시켜 소화기관을 통과한 사료폐기물이 적어지기 때문에 환경오염물질의 배설량이 줄어들게 된다. 또한 단백질이용성을 증가시켜 질소의 배설량을 감소시킴으로서 오염원이 줄어들게 된다.

1989년 Weon등의 시험결과에 의하면 항생물질첨가구 1일증체량은 738g 사료요구율은 2.52인데 반하여 효모 0.2% 첨가구의 1일 증체량은 812g 사료요구율은 2.31로서 증체는 10% 사료요구율은 9%가 개선되었다고도 보고가 있고, 1959년 Tennessec A & State 대학의 연구결과에 의하면 효모첨가구의 건물소화율이 4.5% 조섬유의 소화율이 63.3% 증가하였다는 보고가 있다.

이는 비료배분량을 줄여주면서 사료이용효율을 증가시켰다는 결과가 된다.

효소제이용에 대해서는 1990년 Piva가 돼지체중 100kg 증체시 효소제 첨가에 의한 질소배설량에 의한 공해요인을 조사한결과 대조구의 질소배설량 3.7kg에 비해 효소첨가구는 2.54kg로서 32.0%의 공해물질 배설량을 감소시켰다는 결과가 된다.

5. 파이터이스(Phitase)의 이용

사료곡물중에 들어있는 인(P)의 함량중 2/3이상이 파이테이크산(Phytic acid)염의 형태로 존재하여 인의 이용 효율이 40% 미만으로 나머지는 분뇨로 배설되어 이를 경작지에 시용시 인의 토양내 축적이 과다해지고 동시에 하천 또는 호수에 유입시 부영양화에 원이이 된다. 그러므로 곡류에 들어있는 인의 이용율을 증진시키는 방법으로 효모제 또는 미생물에 추출한 파이터이스(Phytase)를 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 1990년 Simons 등은 곡류 및 박류사료를 위주로한 돼지배합사료에 파이터이스를 첨가할 경우 인의 소화율이 24% 증가하였고 인배설량이 0.83에 비해 파이터이스 첨가구는 0.61로 25%가 감소한다는 보고가 있다.