

축산분뇨에 의한 환경오염현황과 대책

이명규 · 이재일*

상지대학교 이공과대학 환경공학과

Present State and Strategies on Environmental Pollution by Animal Wastes

Lee Myung Gyu* and Lee Jae Il

Department of Environment Engineering, College of Science and Engineering,

Sang Ji University, Won ju, Kangwon-do, Korea 220-702

Summary

The main purpose of this research project is to monitor the present state of agricultural environment and to develop the countermeasures for the protection of the environment from the pollution by animal wastes.

The results of this research were described largely 3 parts, 1) Monitoring of present state of environmental pollution by animal wastes, 2) Monitoring of animal wastes treatment technology, 3) Strategies for the protection of environmental pollution from animal wastes in future.

The current most important problems from animal wastes are water pollution and air pollution commonly regardless of domestic or foreign country.

Especially, intensive livestock breeding pattern in restricted area is actually a real reason of eutrophication, soil acidification, ground water contamination, irrigation water pollution.

As a result from this research project, authors recommend the 3 type of strategies for the protection of environmental pollution by animal wastes,

1. Development of non-discharge type of wastes treatment technology
2. Manufacturing local structure for animal waste recycling system
3. Development of new international environmental program for transfer bioresource and soil environment prevention.

(Key words : Non-discharge type technology, Waste recycling system, International environmental program)

본 연구는 1995년도 교육부 농업과학분야 학술연구조성비 NICEM 대학간 공동연구사업비 일부로 수행되었음.

* 건국대학교 산업대학원 환경공학과

서 론

가축분뇨 발생량은 국내 전체 폐수발생량의 1%에 불과하나, 대규모 집단화 사육과 사육시설의 지역편중화로 인하여 국부적이거나 심각한 환경오염을 초래할 수 밖에 없게 되었다⁴³⁾.

최근들어 가축분뇨가 수질오염 등 환경오염원으로 지목되고, 더욱이 '96년 7월 1일부터 방류수의 규제가 강화조치 되면서 가축사육농가는 분뇨처리문제로 매우 어려운 처지에 놓이게 되었다⁴⁴⁾.

지금까지 가축분뇨의 적정관리 방안은 경제·사회적 접근, 기술적 접근을 통해 다각적으로 연구, 보고되어졌으나 보다 집중적인 연구분야의 설정이 요망되는 시기이다⁷⁵⁾. 특히 향후 20년 후 국내 식량, 환경문제는 어려운 입장이 예측되어지므로 미래지향적인 한국형 축산환경의 구조적체제 개편을 주도할 수 있는 연구가 시급한 상황이다. 그러나 지금까지 관련 연구 발표가 산발적이며, 각 분야별로 연구시각이 분산되어져 한국형 축산환경의 체계적이며 집중적 연

구설계에는 아직 미흡한 실정이다⁷⁵⁾.

본 연구는 이러한 시기적 상황의 요청에 따라 현재까지의 국내외 축산환경 관련연구를 축산오염현황, 분뇨처리기술의 연구현황, 축산환경정책별로 정리하고, 이를 기초로 한 미래지향적 한국 축산환경에 대한 정책대안을 제시하고자 함에 있다.

국내 축산환경 오염현황

1. 수생태계오염

가축분뇨는 얼마전까지 부업농가에서 영농을 위한 비료로서 이용되었으나 최근 축산의 형태가 전문화, 기업화되면서 영농에 이용할 수 있는 한계를 넘어서 호소, 하천 등의 수질오염원으로 부상하게 되었다⁴⁶⁾.

가축분뇨의 원단위는 분뇨의 항목별 성분분석 결과에 분뇨배출량을 곱함으로써 구할 수 있는데 서 등³⁷⁾에 의해 제시된 각 축종별 원단위 산정결과는 Table 1과 같다.

Table 1. The results on the unit mass discharges of livestock

(Unit : g/head · day)

Item	Pig		Cattle						Poultry feces
	feces	urine	Milk cow		Beef cattle		Korean native cow		
			feces	urine	feces	urine	feces	urine	
BOD	67	11	330	25	576	18	331	8	3.1
COD	94	14	242	26	677	20	419	9	5.9
SS	93	4	459	2	737	9	478	4	4.7
T-N	4.8	0.4	252.0	0.1	310.0	0.1	60.3	0.4	4.8
T-P	7.2	4.5	14.5	0.4	18.2	0.7	11.0	0.7	0.2
NH ₃ -N	1.4	1.1	12.1	0.6	4.8	1.9	2.6	0.8	0.2
NO ₃ -N	0.1	0.0	31.4	0.1	15.2	0.1	7.7	0.0	0.2
NO ₂ -N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PO ₄ -P	27	0.2	10.5	0.2	15.2	0.1	0.1	0.1	0.2

즉 한 마리의 돼지분뇨에서 발생되는 BOD량은 78g/일이며, T-N 및, T-P량은 5.2g/두·일, 11.7g/두/일이었다. 소의 경우, 비육우의 오염 부

하량이 대체적으로 많은 편이며, 한 마리의 비육우 분뇨에서 발생되는 BOD량은 594g/두/일이며 젖소, 한우는 355g/두/일이었다.

서 등³⁷⁾에 의하면 팔당호 수질변화에 있어서 부영양화 제한인자인 T-P의 배출원 단위는 축산시설이 22.32g/m³으로 가장 높게 나타났으며, 식료품 제조시설(11.87g/m³), 음료품 제조시설(7.34g/m³), 가죽 모피 제조시설(6.46g/m³)순으로 나타났음을 보고하였다.

신 등⁴³⁾에 의하면 Vollenweider Model을 적용하여 인을 중심으로 팔당호의 호소수질에 축산분뇨가 미치는 영향을 검토한 결과, 현재는 중영양상태이나 장래의 2001년에는 부영양상태로 변화하며, 축산폐수와 생활수의 2차처리를 할 경우 현재의 중영양상태를 유지할 수 있음을 보고함으로써, 팔당호의 부영양화를 억제하기 위해서는 남한강, 북한강으로부터의 인 유입량뿐만 아니라 수질영향권내의 생활하수 및 축산분뇨의 처리를 통한 인 유입량을 감소시켜야 함을 강조하고 있다.

축산폐수의 고농도 오염함유 특성은 하천호소의 부영양화 외에 관개수로 이용될 경우 농작물의 피해를 김 등²⁵⁾은 지적하고 있다. 즉 방류된 축산폐수의 수질오염 물질이 관개수를 따라 논에 유입될 경우, 오염된 논은 토양의 물리, 화학적 영향뿐만 아니라 식물 생육에 직접 영향을 주어 작물의 이상생육 현상을 유발하기 때문이다. 축산폐수에 의한 대표적인 관개수 오염문제는 축산폐수 중에 많이 함유되어 있는 질소농도에 집중 논의되어져 왔다. 즉 축산폐수 방류시 방류수내 질소농도가 10~20ppm을 상회하는 경우가 많기 때문이다. 질소는 농작물에 가장 필요로 하는 영양소이며, 수도채배시 질소를 10a당 10~15kg 사용한다. 수도채배기간 중 관개수의 총 소요량이 1,440 kℓ일 경우, 오염된 관개수 중에 질소함량이 10ppm이면 벼 재배기간중 관개수에 의하여 공급되어지는 질소량은 14.4kg/10a가 되므로 질소오염된 관개수를 이용할 경우 질소비료를 그만큼 감소 시비해야 한다³⁸⁾. 질소과잉에 의한 수도의 영향은 보고자에 따라 차이는 있으나 정상시비의 경우, 관개수중 질소함량이 3~5 ppm 함유되어 있을 경우라도 26% 정도의 수량 감소현상을 가져온다고 보고하고 있

다^{25),28)}.

2. 농업환경오염

토양중에 유입되는 질소는 식물의 대사를 통해 식물체 구성물질 합성에 이용되어지는 중요한 비료원이지만 최근 각종 보도를 통해 질소에 의한 지하수 오염문제가 대두되고 있는 실정이다. 우리나라는 '90년도에 질소 성분량으로 523,469톤/년이 경지에 사용되었으며, 가축(소, 돼지, 닭)분뇨로 배설된 질소량은 224,806톤/년에 달한다. 이는 비료와 분뇨로 배설된 질소가 국내 전경지에 균등히 사용되었다고 가정할 때 354.8kgN/ha에 해당되며, 다비작물인 옥수수의 추천량 200kgN/ha를 기준으로 할 때 1.77배가 되는 양이다. 또한 사용질소량 중 식물체에 흡수되는 양이 50% 이하이며, 2~8% 정도는 NO₃-N로 산화되어 지하수로 용탈될 잠재성을 운 등⁴⁹⁾은 지적하고 있다. 특히 청색증(Methemoglobinemia)과 발암물질(Nitrosamin)의 원인물질로 알려진 NO₃-N의 지하수내 농도가 단위면적당 가축밀도와 정(+)의 관계있으며, NO₃-N가 다량 함유된 논을 토양에 ha당 30, 60, 90t(질소량기준: 180, 360, 540kgN/ha)을 사용했을 경우 질소를 사용하지 않은 처리에 비해 각각 1.4, 2.5, 2.9배 용탈질소량이 증가함을 보고하고 있어(Fig. 1)

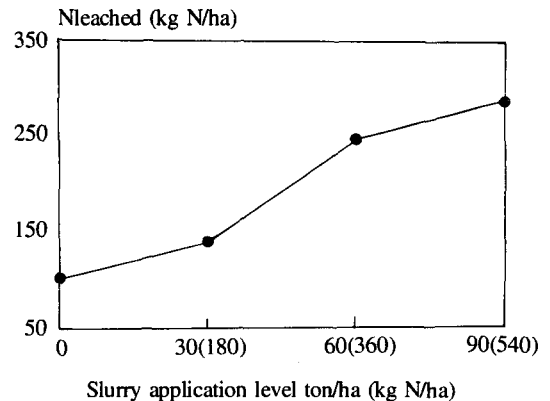


Fig. 1. Effect of animal slurry application on the nitrate nitrogen leaching loss.

토양내 질소함량을 인위적으로 조절할 수 있는 가축분뇨의 시용량, 시용시기, 작부체계 및 토양의 물리적 특성을 고려한 질소관리로 작물재배후 토양에 잔존되어 용탈 잠재성이 있는 질소량을 최소화하는 방법이 강구되어야 함을 지적하고 있다.

3. 사육환경오염

가축분뇨로부터 기인하는 환경오염은 수생태 오염, 토양환경오염, 악취오염 등 축사 외부환경에 주목되어지나 간과할 수 없는 것이 축사 내부환경이다^{78),79)}. 가축분뇨를 손쉽게 처리하는 방법으로서 톱밥발효축사를 이용하는 농가가 상당수 분포되어 있으며, 분뇨를 혼합처리함으로써 노동력절감, 분뇨냄새감소, 가축배설물의 유기질비료화 등 환경오염을 극소화 할 수 있는 것으로 평가되어져 왔다^{21),46)}. 특히 수질보존 특별대책지역과 상수도 보호구역 및 도시근교 낙농 및 양돈농가에 주로 보급되어져 왔다. 기존의 사육방법과 다른 톱밥축사에 대한 긍정적 측면외에 부정적 측면은 톱밥축사내 기생충 감염률이 소, 돼지 축종에 관계없이 비톱밥축사보다 높으며, 이에 따른 급성폐사가 발생함에 있다. 국립중축원 보고에 의하면^{15),16)} 우사내 기생충 감염률이 톱밥우사>왕겨우사>일반우사 순이며, 감염 기생충은 박스토넬라가 우점종인 것으로 보고되었다.

4. 악취민원

축사내부와 외부환경에 공통적으로 관여하는 것이 악취오염이다. 가축분뇨로부터 발생하는 악취는 발생기전에 따라 단백질, 탄수화물, 지방질계 물질로 나누어지나 악취에 관련된 환경오염 연구는 아직 미흡한 편이다. 악취물질은 발생특성상 고형물과 수분의 함량이 미생물 활동에 크게 영향을 미치게 되므로 우분보다는 돈분과 계분에서 높은 공해를 유발하게 된다.

돈분을 이용하여 혐기적 상태에서 탈취제 첨

가사료 급여돈분에 물 또는 뇨를 혼합하여 암모니아, 황화수소 및 메틸메르캅탄 등 악취오염물질의 발생현상을 조사한 결과⁸⁰⁾ 분뇨혼합 초기에는 취기강도가 강하나 48시간을 지난후에는 상당부분 감소했음을 보고하고 있다. 아직 악취로 인한 민원은 산발적으로 발생하는 상태이나, 분뇨의 저장, 처리 및 토양환원시 발생하는 악취는 민원의 소지가 되기 쉽고 이에대한 규제도 제도화 할 전망이어서 축산농가에서는 악취에 대비한 기술이나 대책 등이 시급히 요구되어진다^{78),79)}.

국내 축산환경오염 대책기술

1. 국내 가축분뇨처리실태

국내 소, 돼지, 닭 등 전가축의 분뇨처리시설 설치율은 '94년말 전국대상농가의 71%이며, 양돈농가만을 규모별로 보면 Table 2와 같다⁸¹⁾.

분처리시설은 저장액비화가 61%로 가장 많고, 뇨처리시설은 정화시설이 72%를 차지하여 양돈농가의 대표적인 분뇨처리시설은 저장액비법과 정화조 처리법이 주로 이용되고 있음을 알 수 있다. 그러나 주변 환원농지가 부족한 국내 양돈농가 현실을 고려할 때 저장액비법은 물론 이거니와 정화 처리법도 운영이 매우 곤란하며, 뇨의 정화처리시설의 처리효과면에서도 일부농가를 제외하고는 대부분의 농가가 처리시설의 기본원리와 부하량에 알맞는 운영을 하지 못해 전혀 기능을 발휘하지 못하고 있거나 가동 중지 상태 등 문제가 있는 것으로 지적되고 있다^{53),81)}.

2. 정화처리기술

가축분뇨의 처리방법중 정화처리기술은 가축분뇨 발생 특성상 축산농가 주변 분뇨환원농지를 확보하기 어렵고, 뇨, 오수의 발생량이 비교적 많은 양돈농가를 중심으로 연구되어 왔다^{62),71)}. 발생된 양돈분뇨를 먼저 고액분리한 후

Table 2. Waste treatment facilities distribution by pig breeding scale('94)

Breeding scale	Waste treatment facilities		Waste recycling type			Waste purifying type				
	Total Farm	Set up Farm	Pile composting type	Sawdust bedding type	Liquid reserving type	Total	Activated sludge type	Purifying tank etc.	Total	
Large scale	1,955	1,939	425	219	694	1,338	180	236	185	601
Midium scale	10,960	9,842	1,074	1,226	3,942	5,792	321	2,901	828	4,050
Small scale	8,745	6,611	542	658	1,209	2,409	22	3,257	923	4,202
Total	21,660	18,392	2,041	2,103	5,845	9,539	523	6,394	1,936	8,853

고형물은 퇴비화로,뇨는 정화처리하여 방류하는 방법을 주로 채택하고 있기 때문이다^{35,89)}. 양돈분뇨를 대상으로 정화처리 방법은 여러 가지로 나누어지는데 처리방법별로 나누어 보면 ① 생물학적 간이폐수 처리방법, ② 돈사폐기물의 물리화학적 처리방법, ③ 간헐폭기에 의한 영양염류 제거방법, ④ 생물학적 여재 이용방법, ⑤ 살수여상 처리방법 ⑥ 수초 이용방법, ⑦ 연속회분식 처리방법, ⑧ Air Stripping 이용방법⁵¹⁾ 등이 주로 보고 되었다.

양돈분뇨를 정화처리할 경우 큰 문제점 중의 하나가 고형물과 폐수의 고액분리기술인 탈수처리인데, 탈수효율을 증대시키는 방법으로 석회를 이용하여 pH를 11로 높이고⁵²⁾, 이러한 조건에서 고분자응집제를 50ppm 첨가한 경우 가장 양호한 탈수처리성적을 얻은 것으로 보고하고 있다^{14),58)}.

박 등³⁵⁾은 고액분리된 오폐수의 축산 폐수처리 장치를 Lab-Scale과 Pilot-Scale로 단계적으로 Scale Up하여 실험전한 결과, Lab-Scale에서 적정 유기물질 부하율이 0.5kg BOD/m³/day인 경우 BOD와 COD 제거율이 각각 90%, 75%임을 보고하고 있다. 또한 2.0m³ 반응조를 이용, 현장 실험결과 적정유기물 부하량(0.5kg BOD/m³/day)일 경우, BOD 제거율이 90% 이상을 나타내는 것으로 보고 하였다. 특히 박 등³⁵⁾은 결과의 재현성을 얻기 위해서는 유기물 부하율이 적정해야 하며, 질소와 인의 방류수 농도를 낮추기

위해서는 화학적처리의 추가적 보완이 필요하다고 지적하고 있다.

물리화학적 방법에 의한 고액분리와 간이처리에 의한 BOD, COD 제거방법 외에 최근 부영양화를 방지하기 위해서 N, P의 제거가 필수적으로 지적되고 있다. 이는 1996년 7월부터 축산폐수의 방류수중 질소, 인 항목이 추가되어 축산폐수 공동처리시설인 경우 총질소 120 mg/ℓ, 총인 16mg/ℓ 이하로 강화되었기 때문이다. 박 등³⁴⁾은 생물반응조를 이용하여 온도변화에 따른 양돈폐수내 질소, 인의 제거효율을 검토한 결과 BOD, COD경우와 마찬가지로 25℃에서 질소, 인의 제거가 가장 효율적이며, 그 이상의 온도에서는 제거효율이 낮아짐을 보고하고 있다(Table 3).

한편 서³⁸⁾, 이 등⁵⁶⁾은 간헐폭기공법을 이용하여 돈사폐수내의 질소와 인의 제거에 관해 연구 보고 하였다. 폭기방식에 따른 질소, 인의 제거는 24h 장기연속방식의 활성오니 시스템(T-N제거율 48%)보다 폭기, 비폭기를 1:1(h), SRT를 20일로 할 경우, T-N 제거율이 85%이었으며, 2단 간헐폭기 시스템으로 운영할 경우는 T-N 제거율이 91.3%로 크게 증가함을 나타내었고, 동일한 간헐폭기방식일 경우에도 폐수처리탱크내 미디어(미생물 흡착제)를 첨가하였을 경우 질소와 인의 제거율이 크게 향상되었음을 보고하고 있다. 이는 미디어에 의해 미생물을 상대적으로 많이 보유할 수 있는 특징과 생물막 내

외로 혐기, 호기 상태가 공존하므로 인한 질산화 및 탈질현상 때문으로 판단하고 있다³⁶⁾.

축산폐수중 질소, 인의 제거는 활성오니 시스템내 폭기에 의한 처리방법과 여재를 이용한 생물막법으로 크게 나눌 수 있다.

국내에서 생물막법을 이용한 질소, 인의 제거에 관한 연구는 최근에 주로 이루어졌으며, 처리방법 예로는 토양트렌치공법¹⁹⁾, 생물막공법³⁹⁾, 톱밥토양여과법⁷⁷⁾, 살수여상법⁴⁵⁾ 등을 들 수 있다.

Table 3. Removal rate in each parameter by temperature

(Unit : %)

Parameter Temp. (°C)	BOD	COD _{Mn}	SS	TKN	T-P
10	80.6	79.1	90.4	35.6	60.9
15	86.5	85.0	89.1	53.1	62.2
20	94.2	91.4	87.9	73.6	63.3
25	96.4	96.9	87.3	80.4	80.6
30	95.7	95.7	86.2	81.8	78.2
35	91.1	84.1	86.4	80.4	78.0

* Airation Time : 18 hrs.

양돈분뇨처리리에 있어서 부패조와 토양트렌치 공법을 연계하여, 부패조에서는 BOD 제거, 토양트렌치내에서는 N, P의 제거를 목적으로 실험한 결과¹⁹⁾, 부패조에서의 BOD 제거율은 HRT 10일인 경우 61% 정도이며, HRT가 15일 이상인 경우는 BOD 제거율이 점차 높아지는 경향을 보였다. 한편 토양트렌치에 부패조를 통과한 처리수를 희석하여(BOD 20mg/ℓ ~170mg/ℓ) 정화 효율을 검토한 결과 적정 BOD용적부하는 0.1kg/m³·day 이하여야 함을 보고하고 있다. 따라서 본 방식은 소규모 양돈 폐수처리시스템으로 활용가능성을 보여주고 있으나, 문제점으로 유입구에 유입하기전의 희석수 공급 및 토양트렌치의 막힘현상이 해결해야 할 과제로 지적되고 있다.

임 등³⁹⁾은 여재로서 일반 Plastic media보다 비표면적이 넓고(400m²/m³) 미생물 부착량을 많이 확보할 수 있는 Lock 또는 Luffa형태의 S/L (Saran Lock) 여재를 이용하여 여재의 생물막의 두께증가에 따른 VSS 함량과 Substrate의 제거율을 실험적으로 산출하는데 성공하였다. Lab-Scale의 반응조(10ℓ)를 이용하여 실험한 결과,

반응조내 DO농도가 3~5mg/ℓ 조건하에서 생물막의 두께가 1,000μm까지 증가하면서 Substrate가 일정하게 제거되며, 이때 COD유출수 농도는 300mg/ℓ (유입수 COD농도 3,000~3,800mg/ℓ) 전후로 보고하고 있다.

소규모 양축농가를 대상으로 하여 비교적 경제적인 축산폐수정화시설로 톱밥과 토양을 연계한 톱밥토양여과 처리법이 탁 등⁷⁷⁾에 의해 보고 되었다. 1일 처리수가 2m³일 때 10m³(5×2×1m) 여과시설을 4개 설치하여 1번째는 톱밥, 2~4번째는 토양여과상으로 배치하여 부유물질과 폐수내 질소, 인의 제거율을 검토한 결과 BOD 99.6%, SS 99.9%, N과 P는 각각 97.8%, 96.7%로 양호한 성적을 도출한 것으로 보고하고 있다. 본 시설의 관리상 문제점으로는 유입수 부유물질 농도가 5,000mg/ℓ 이하여야 하며, 톱밥과 토양의 교체기간은 각각 3개월, 1년으로 할 필요성을 주문하고 있다.

살수여상식 생물학적 처리방법은 19C 후반부터 경험적 결과를 토대로 시행되어 왔던 방법으로, 주로 생활하수와 같은 저농도 폐수처리에 적용되었던 것으로 보고되고 있다⁴⁵⁾. 최근 본 방

법이 개선되어 소규모 양돈농가의 고농도 폐수 처리의 한 방법으로 연구 보고 되었다. 보고에 의하면 유기물질 부하에 따른 처리효율 실험결과, BOD부하 0.77~4.28kg/m³·day에서 BOD 70.2~75.4%의 처리효율을 나타내고 있다.

축산폐수내 질소와 인의 미생물학적 제거기술 외에 김 등²⁴⁾은 수초를 이용하여 질소, 인의 제거방법에 대한 기초자료를 제시하고 있다. 질소 100ppm에서 생육이 가장 양호한 부레옥잠을 이용하여 7개월간의 생육기간중 N, P, K의 제거량은 N 200ppm 처리구에서 166.2kg, P 100ppm 처리구에서 140.6kg, K 200ppm 처리구에서 148.0kg으로 보고하고 있으며, 생육량은 10a 당 5톤 정도로 퇴비로 사용할 때 상당한 비료량을 대체할 수 있음을 강조하고 있다.

3. 축분발효건조 처리기술

고액분리한 후의 가축분의 처리방법은 주로 발효처리하거나 또는 건조처리를 한 후 비료로 이용하는 방법이 일반적이다^{86),87)}. 홍⁸⁵⁾은 퇴비화의 주요환경요소 조건중 통기량은 50~200 l/m³·min가 적당범위이며, 발효온도 상승에 따라 최적온도범위에 알맞게 통기량을 피드백컨트롤하는 것이 바람직하다고 지적하고 있다.

가축분뇨의 퇴비화 공법가운데 퇴비화방법에 따른 완전부숙에 필요한 일수, 퇴비화 방법에 따른 두당 발효퇴비사의 용적과 면적, 사육규모 별 퇴비화 처리비용, 기계식 교반 발효퇴비화 처리시설의 처리비용 등의 자료는 매우 필수적이다⁸²⁾. 분뇨퇴비화에 사용되어지는 부자재는 톱밥이 주로 사용 되어지나, 톱밥의 수급이 어려워짐에 따라 대체부자재의 이용성에 대한 연구가 최 등⁷²⁾과 김 등²⁶⁾에 의해 보고되어 졌다. 최 등⁷²⁾은 톱밥, 볏짚, 왕겨 및 신문지를 이용하여 양돈분의 퇴비화 반응을 시킨 결과, 톱밥, 볏짚, 왕겨, 신문지의 퇴비화 최고온도는 각각 53.8℃, 51.9℃, 52.7℃, 52.1℃이었으며, 호열성 온도 지속시간은 각각 72, 108, 108, 111시간으로 각 반응간의 차이는 크지 않음을 나타내었

다. 또한 퇴비화 진행에 따른 C:N 비는 볏짚, 왕겨, 신문지, 톱밥의 순이었으며, 이 결과를 통해 각각의 부자재는 톱밥대신의 수분조절제로서의 이용가능성을 입증하고 있다(Fig. 2).

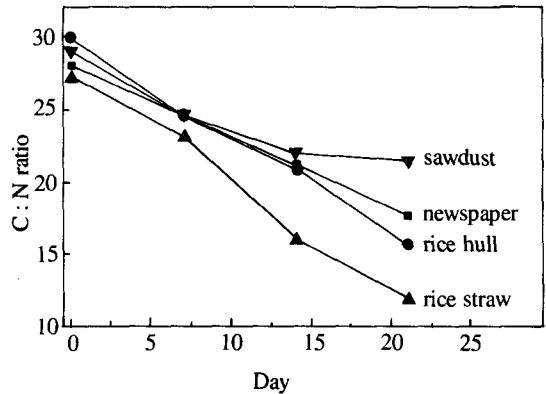


Fig. 2. C : N ratio trends of each composter using sawdust, rice straw, rice hull and newspaper respectively as a bulking material.

가축분의 발효 및 건조에 관해서는 전업양축 농가를 대상으로 원형교반건조방식²⁹⁾, Bin형 부숙조-Sundry시스템⁷⁴⁾, 밀폐형 2단 순환부숙시스템³⁰⁾ 등이 연구 진행되고 있다. 원형교반건조방식은 돈분을 콘크리트상 위에 10cm 두께로 자연광과 복사열을 이용, 건조시키는 방법인데 반해, Bin형 부숙조-Sundry시스템은 양돈분뇨슬러리의 처리목적으로 연구되었으며, 밀폐형 2단 순환 부숙시스템은 발효부자재인 톱밥의 재활용을 통해 톱밥절약형으로 개발된 것이 특징이다.

4. 분뇨혼합 처리기술

가축분뇨의 혼합처리기술은 주로 혐기성소화조 이용방식, 톱밥발효축사방식, 액상퇴비화방식, 안정화처리방식으로 나누어 보고되고 있다. 혐기성 소화조를 이용한 양돈축산폐수처리시 정 등⁶⁸⁾은 메탄발생 제한요인으로 양돈폐수

내 함유된 고농도의 암모니아성 질소 및 휘발성 지방산의 농도를 지적하며, 적절한 pH의 유지가 전체공정의 제한단계임을 밝히고 있다. 한편 정 등에 의하면⁶⁴⁾ 1차 혐기처리, 2차 살수여상, 3차 다단식라군 처리방식의 호기처리를 연계한 양돈폐수 현장실증실험 결과, 초기 유입수 BOD 농도는 5,714mg/ℓ 인 것이 혐기처리후 291mg/ℓ (94.9% 제거), 살수여상처리후 165mg/ℓ (97.1%), 다단식라군 처리후 44mg/ℓ (99.2%)의 높은 제거율을 보여준 반면, 유입수 질소 (1,419mg/ℓ), 인(239mg/ℓ)의 제거율은 각각 65.8%, 89.5%로 방류수 질소, 인의 농도는 각각 486mg/ℓ, 25mg/ℓ 를 나타내고 있다. 따라서 본 방식의 적용시, 질소, 인의 제거기능을 보완할 필요성을 지적하고 있다.

메탄을 생성하는 혐기성 소화조 방식에서 일부 저온메탄균의 생리와 기작의 특성⁶⁵⁾ 및 중온, 고온 메탄생성균과 유기물제거 능력비교를 검토한 예³³⁾는 있으나 일반적으로 메탄생성은 중온 및 고온 조건에서의 연구보고가 주를 이루고 있다⁷¹⁾.

중온 및 고온메탄 발효처리시 어려운 점으로 지적된 겨울철 발효온도의 유지보온방법과 혐기발효 처리후의 고농도 질소함유 폐액의 정화처리문제는 각각 축분의 퇴비열을 이용하는 방법⁸⁴⁾과 유기탄소원(Glucose, Na-Acetate)를 첨가하여 질소제거율을 높일 수 있는 것으로 연구되었다³²⁾.

툽밥축사는 1990년대 양돈분야에 있어서 무방류형태의 분뇨혼합처리 기술로 주목받았던 기술이었으나⁶⁷⁾, 툽밥의 원활한 수급과 발효상의 발효열 및 기생충 오염에 대한 철저한 관리가 전제되어야 하며, 관리노동력, 툽밥경제성 등의 이유로 현재는 실패의 위험성이 높다는 점을 지적하고 있다²³⁾. 최근 툽밥축사는 주로 양축농가(젓소, 한우, 육우)를 중심으로 축사내 깔짚 부자재용으로 사용되고 있으며, 강 등¹³⁾은 툽밥우사내 툽밥의 효율적 두께는 5cm라고 하였고, 권 등²⁰⁾은 낙농가에서 툽밥상의 면적, 두께, 이용기간, 툽밥상의 기생충 발생, 툽밥상에서의

분뇨배설량, NO₃-N농도, 수분증발량 등을 기준으로 볼 때 툽밥 10cm + 콘크리트바닥이 가장 유리하다고 현장 보고 하였다²⁰⁾.

액상퇴비화 방식은 오래전부터 낙농가를 중심으로 가축분뇨의 비료 이용방법으로 채택되어져 왔던 방식이나, 최근 정화처리방식에 의한 수질오염과 툽밥이용 무방류 방식의 운영상 문제점이 지적되고, 정부로부터 퇴비화, 액비화의 금융지원이 강화되면서 새로이 주목받는 처리방법이다³¹⁾. 액상퇴비는 크게 분뇨혼합된 저장액비, 분뇨분리후 뇨·오수만의 분리액비, 저장액비를 고온 발효처리한 발효액비, 분리액비를 1차 정화처리한 정화처리액비 등으로 분류된다.

홍 등⁸⁸⁾은 젓소분뇨의 저장액비내 통기처리에 따른 물리, 화학적 특성에 관하여 보고하였으며, 이 등⁵⁴⁾은 양돈분뇨를 이용한 고온발효처리시, 처리전후의 물리적, 화학적, 생물학적 변화와 처리된 발효액비의 비료이용성에 관한 보고서를 통해 수분증발효과, 악취감소효과와 유기태질소 공급에 따른 작물의 생육증가와 작물체내 질산태질소의 농도저감효과를 밝혔다⁵²⁾⁵⁵⁾.

생물학적 안정화처리(퇴비화)시 툽밥의 사용량이 증가되면서 가축분뇨를 이화학적 및 위생학적으로 안정화 시키는 방법으로 석회안정화방법이 최⁷³⁾에 의해 보고 되었다. 본 방법은 퇴비의 안정화, 비료이용성에 관한 장점외에 슬러리돈사의 처리시 악취발생과 수분건조면적의 과다소요로 Rotary dryer를 이용한 강제증발 건조장치를 필수적으로 설치해야 한다고 보고하고 있다.

5. 비료 이용기술

년간 가축분뇨 발생량을 비료원으로 환산하면 질소 343천톤, 인산 264천톤, 칼리 315천톤으로 국내 소비량의 상당부분을 대체하는 것으로 보고되고 있으나⁶⁶⁾ 편중된 지역에서의 발생과, 미부숙된 퇴비의 이용에 따른 실패사례 보고 등이 문제점으로 지적되고 있다⁶⁵⁾. 정 등⁶⁹⁾은 수입

사료곡물의 자급도를 늘리면서 가축분뇨문제의 해결을 위한 정책과 부자재 수급책으로서 경종 농가와의 연계를 위한 시설지원 필요성을 역설하였으며, 장 등⁶¹⁾은 퇴비이용시 부숙도 판정을 위한 방법에 관하여 유기산과 Na의 농도에 따른 발아율 저하 특성을 중심으로 설명하고 있다⁶⁰⁾. 가축분뇨의 농지환원시 분뇨 저장상태와 최대살포 허용량¹¹⁾과 토양내 질소형태 변화^{48),50)}는 작물 수량증가면에 있어서 주요연구과제이나 가축분뇨 시용에 따른 토양내 NO₃-N용탈과 농작물 가식부위내 NO₃-N함량 연구는 환경보존형 토양관리면에서 매우 시급한 연구과제로 보고되고 있다^{17),39),40),41),47)}.

외국 축산환경오염 현황 및 대책기술

선진외국에서는 화학비료나 농약사용에 따른 작물생산의 비약적 발전과 수입사료를 이용한 축산이 크게 발전하면서 화학비료, 농약, 가축

분뇨로 인한 환경부하가 높아져, 수질오염, 대기오염 등이 커다란 사회문제로 되고 있다^{1),3),6),9)}.

독일과 북유럽에서는 연간 강우량이 평균 600mm에 불과하며, 식수의 지하수에 대한 의존도가 70%로 상당히 높은 편이다. 특히 국토 농지이용률이 50%를 넘어, 농지에 투입되는 자재에 의한 수질오염의 영향이 음용 지하수에 미치기 쉽다. 따라서, 유럽에서의 가축분뇨 오염은 지하수 오염의 원인이 되는 질산성 질소(NO₃-N)에 집중되어지며, 이에 대한 예방책으로 분뇨처리 규제도 강화되고 있다(Table 4)^{42),76)}.

질산성질소에 의한 지하수오염은 주로 가축분뇨와 화학비료로 부터 유래하지만 그중 가축분뇨로 부터의 질산성질소 오염은 특히 과잉 분뇨살포에 의해서도 나타나며 이외에 암모니아 휘산에 의한 대기중 암모니아 문제도 심각하게 다루어지고 있다(Table 5, Table 6)^{2),7)}.

Table 4. Animal waste legal allowance volume for land application in Netherland

(Unit : kg P₂O₅/ha · y)

	1987		1991		1995		2000	
	kg/ha	t/ha	kg/ha	t/ha	kg/ha	t/ha	kg/ha	t/ha
Grassland	250	139	200	11	175	97	97	미정
Corn field	350	194	250	139	125	69	69	미정
Cultivated field	125	69	125	69	125	69	69	미정

Table 5. Emission factors and annual NH₃ emission for Scotland

	Emission (t N as NH ₃)	Emission factor (kg N per animal pa)		Contribution of livestock categories to the total emission in Scotland (%)
		This study	The Dutch study	
Cattle	44,200	19.31	18.0	64
Sheep	20,900	2.68	3.1	30
Pigs	1,300	2.86	2.8	2
Poultry	2,700	0.23	0.23	4
Total	69,100			

Table 6. Total annual NH₃ emission in England and Wales

	Tonnes of N	% of total
Cattle	181,700	60.0
Sheep	62,100	20.5
Poultry	25,400	8.4
Pigs	19,300	6.4
Fertilizer	12,300	4.1
Horse	1,600	0.6
Total	302,400	

이는 축사근방에서 발생하는 암모니아가 낙하하여 호소의 부영양화 및 자연식생에 변화를 가져다주며, 수목에 고농도의 암모니아를 공급하여, 토양미생물에 의한 질산성질소 변화와 이에 따른 토양의 산성화를 일으키는 문제⁴⁾와 광역적으로는 대기중의 암모니아가 광화학반응으로 산성의 질소산화물로 되거나 황산화물과의 반응으로 황산암모늄으로 존재, 지상에 낙하하여 토양산성화의 원인이 되기 때문으로 보고되고 있다¹⁰⁾. 특히 소의 반추위내에서 발생하는 메탄, 토양에 사용된 뇨로부터 발생하는 아질산성 질소(NO₂-N)가 지구온난화의 원인으로 인식되는 반면, 암모니아는 훨씬 현실적인 문제로 주목되기 때문이다.

축산전체에서 발생하는 암모니아량의 30%는 가축의 배설과정시 축사에서, 30%는 분뇨저장시, 40%는 농지살포시에 기인하는 것으로 보고되고 있다¹¹⁾. 따라서 암모니아의 휘산을 억제하는 정책이 일부 국가에서는 적극적으로 채택되고 있다⁸⁾.

북유럽국가 중 가장 집약적 축산을 영위하는 네덜란드 정부는 가축분뇨의 토지이용기준을 작성하여(Table 4) 과잉시용을 억제하면서 생산조정과 맞추어 단계적으로 시용량을 낮추는 가축분뇨 시용기준을 법률로 시행하고 있다. 더욱이 최근에 도입된 잉여가축분뇨세(1988. 일명 암모니아세)는 농지환원이 불가능한 잉여분뇨에 인산을 기준으로 세금을 부과하는 것으로 년

간(1985년도 기준) 네덜란드 국내 가축분뇨생산량의 44%가 과세대상이 되어 세수입으로 징수 예상액은 약 256억원에 이르는 것으로 보고하고 있다. 징수된 세 수입은 분뇨저장, 처리시설의 건설재원으로 이용된다.

이외에 가축분뇨 대책으로 분뇨가공시설 건설, 사료중 인산이용효율 향상을 위한 유기태인산 분해효소 기술을 개발하여 보급단계에 있다. 앞으로 서술된 일련의 정책은 집약적 축산사육 지역에서 환경오염 타개책으로 내놓을 수 있는 대책안이라는 점에서 매우 주목할 필요가 있다. 한편 축산 생산억제와 환경보전을 도모하기 위하여, 가축의 사양밀도 또는 분뇨 시용량을 제한하는 경우도 있다¹²⁾. 덴마크는 성우 2.3두/ha(N 환산으로 248kg/ha), 모돈 5.1두/ha(184kg N/ha), 산란계 255수/ha(13.7kg N/10a)의 사양밀도를 의무화 하고 있다. 영국은 분뇨 시용상한을 연간 25kg N/10a로 하는 가이드라인을 취하고 있다. 독일은 폐기물 처리법에서 분뇨 시용량의 제한을 두고 있어 통상 기준을 연간 24kg N/10a로 하고 있다.

일본에 있어서 가축분뇨에 의한 전형적인 환경오염은 악취와 수질오염이다. 1973년 축산경영에 의한 환경오염문제의 발생건수가 11,676건에서 최근에는 3,000여건으로 매년 감소하고 있으나 이는 오염대책의 진전이라기 보다는 가축사육 농가수의 감소에 의한 것이며 오히려 환경오염이 대형화 하고 있는 것으로 파악하고 있다.

일본 국내 축산 환경오염문제는 주로 악취민원(62%), 수질오염(38%)이며, 축종으로 양돈(40%), 낙농(29%)이 점하는 비율이 높은 것은 우리나라와 유사하다¹²⁾. 현재 일본 국내 환경에 있어서 커다란 부담이 되고 있는 것은 질소문제이다. 일본 국내에 사용되는 질소량은 연간 69만t 전후이나 국외 수입되는 식료, 사료로 부터의 질소방출량이 연간 73만t에 이르며 축분뇨를 포함한 자연환경 유출량이 무려 117만여t이 된다. 따라서 현재 상태에서는 화학비료량을 줄이고 동시에 유기물의 Recycle System을 구축하지 않

는 한 질소부하에 의한 오염문제는 계속 진행 될 것으로 보고하고 있다(Table 7)^{21,36)}.

일본농림수산성에 의한 전국적인 질산성질소 농도에 대한 조사결과를 보면, 농업용 우물 182

점 중 15%가 음용수 기준(10ppm)을 넘고 있으며, 우사부근의 우물물에서는 특히 오염이 심해, 질산성질소농도가 120ppm에 달하는 경우도 보고되고 있다¹²⁾.

Table 7. Comparison of international animal waste load to land base on nitrogen per area

Nation	Cattle (1,000 head)	Pig (1,000 head)	Poultry (1,000 head)	Livestock unit	Total land area (1,000 ha)	Livestock unit/ha	Nitrogen Load (kg/ha)
Netherland	4,920	14,161	91,500	7,300	1,991	3.67	393
Denmark	2,132	13,133	18,259	3,896	2,757	1.41	151
Dutch	21,648	26,466	106,054	25,663	16,950	1.51	162
Japan	5,024	10,783	333,814	8,597	5,124	1.68	180
Korea	2,386	5,783	84,122	3,670	2,055	1.79	192

주 1) EC 3국은 1992년, 일본은 1993년, 한국은 1994년.

2) 1가축단위는 소 1두, 돼지 8두, 닭 150수임.

3) 1가축단위당 질소량은 107kg으로 계산하였음.

이 기준은 덴마크 가축단위환산계수 및 성우 1두당 표준질소발생량임.

축산부문을 포함한 산업 전반에서 비료자원화 가능한 물질이 다량 배출됨으로서 지금까지 가축분뇨의 농지이용시스템은 앞으로 한계에 도달하게 되어, 새로운 축산환경정책이 긴급히 요구되고 있다⁶⁹⁾. 이는 비료자원으로서 재이용에 치우쳤던 과거의 방향성으로부터 Biogas 등 대체에너지 재이용 시스템개발과 발생원으로부터 오염을 근절시킬 수 있는 기술의 개발을 통해 분뇨의 환경부담을 경감시키고, 정화처리와 같은 말단기술로부터 농가의 부담을 덜어주려 하는 방향으로의 전환점이기도 하다.

향후 추진 연구정책과제 및 정책대안

1. 향후 추진 연구정책과제

가축분뇨의 환경오염 예방을 위한 향후 추진과제는 크게 분뇨처리기술 개발과제와 개발기술의 효과적 현장적용을 위한 정책과제로 나눌 수 있으며⁸³⁾, 추진과제를 처리단계별 접근방법에 따라 발생단계를 대상으로 하는 원천기술,

처리단계를 대상으로 하는 공정기술, 분뇨재이용 및 방류단계를 대상으로 하는 말단기술로 분류하면 다음과 같다.

2. 축산환경오염 정책대안

최근 국내에는 수입사료, 수입식품으로 인한 부산물의 증가로 비료자원이 과잉된 상태이다. 더욱이 국내 비료자원의 해외수출이 전무상태이므로, 장기적으로 환경오염 부하량 증대는 필연적 사실로 예측 되어진다. 특히 국내 축산 사육규모는 집단화, 단지화 추세에 있으며 주변 경중농가로의 물질흐름이 차단상태에 있으나 가축분뇨는 더 이상 환경오염원이 아닌 지역농업환경의 중추적 기능을 담당하도록 유도해야 지역농업의 활성화를 통해서 국내수입 유기물량을 줄일 수 있고, UR에 대비한 안정된 지역 농축산물 수급이 가능해진다.

이와같은 국내 상황하에서의 축산환경오염에 대한 정책대안으로 다음을 제안하고자 한다.

이명규와 이재일 : 축산분뇨에 의한 환경오염현황과 대책

분 류	향 후 주 요 추 진 과 제	분 류
분뇨처리기술 개발 과제	① 슬러리액비 감량화 기술	원천기술
	② 가축사육시설내 악취발생억제 및 제어기술	원천기술
	③ 퇴비화 수분조절제 대체재 개발기술	공정기술
	④ 부자재 비사용 발효기술	공정기술
	⑤ 퇴비사 발효 gas 발생 제어 기술	공정기술
	⑥ 폐자원이용 고효율 혐기소화기술	공정기술
	⑦ 슬러리액비 시용에 따른 토양관리기술	말단기술
	⑧ 방류수 재이용(Recycle)기술	말단기술
	⑨ 정화처리시 방류수의 N, P 제거기술	말단기술
	⑩ 혐기소화후 방류수 고도처리 기술	말단기술
개발기술의 현장 적용을 위한 정책 과제	① 무방류 처리기술 우선지원 정책수립	원천기술
	② 퇴비화, 액비자가처리이용시 자금지원과 세제상 특별조치 강구	원천기술
	③ 축산입지 선정 위한 권역별 농, 축산 복합 모델 설정	원천기술
	④ 퇴비제품의 균질화 및 상표부착화	말단기술
	⑤ 악취 민원발생 대비한 악취방지법 설정	말단기술
	⑥ 가축분뇨 폐수 방류시설의 철저 관리, 감독 강화	말단기술

분 류	향 후 주 요 추 진 과 제
축산환경오염 정책대안	① 가축 사육시설은 주변 경종농가와의 긴밀한 협조관계가 전제되도록 유도함.
	② 전업중규모 사육농가의 분뇨처리기술은 가급적 무방류 처리하도록 유도함.
	③ 무방류처리기술은 부자재 수급능력, 주변농지환원가능성, 지역청정성 등 지역특성에 따라 선택될 수 있도록 개발함.
	④ 일정 지역내 발생분뇨는 발생지역에서 비료로서 재이용할 수 있도록 Recycle System 구조 구축
	⑤ 비료이용성 한계이상의 과잉분뇨에 대한 사료화, 에너지화 기술개발 적극적 추진
	⑥ 자국내 비료, 에너지화 이용분 외의 가축분뇨는 Pellet화 하여 국외 환경보존사업용으로 원조, 활용계획 추진이 필요함.

결 론

년간 가축분뇨 발생량의 증가추세는 당분간 지속될 것으로 보고 되어지는 가운데 사육규모의 대규모화, 사육시설의 지역편중화는 가축분뇨에 의한 환경오염부하를 더욱 더 가중시키는

요소로 지적되고 있다. 가축분뇨의 환경오염 감소와 농축산 전반적 대외경쟁력 향상을 위한 가축분뇨의 자원화 필요성은 여러 연구자들에 의해 역설되어 왔으나 국내 현 자원화 실태는 각 농가의 퇴비화 기술부족과 제품으로서의 불균일성, 퇴비화 관련 부자재의 공급 불균형 등으

로 어려운 처지에 놓여 있으며, 뇨·오수의 정화처리효율 역시 간이 정화처리, 공동폐수처리장 어느곳에서나 가동효율이 저조한 것으로 보고되고 있다. 또한 퇴비화와 관련된 기술개발이 완벽하다 하더라도 국내 전체에서 발생하는 퇴비화 가능한 유기성 산업폐기물내 비료함량이 연간 전국에서 필요로 하는 비료소비량 한계 이상으로 발생되어 비료로서의 이용만을 전제로 한 가축분뇨 자원화 정책은 점차 구조적 한계에 부딪치고 있다⁶⁾. 따라서 앞으로의 국내 가축분뇨의 발생량을 효율적으로 관리하기 위해서는, 첫째, 각 지역별 특성을 기초로 하여 가축분뇨의 무방류 처리체계를 기술적으로 확립하는 것(농가수준)과 둘째, 일정지역내에서 발생하는 분뇨는 발생지역에서 비료 등 자원으로 재 이용할 수 있는 Recycle System을 구조적으로 확립하는 것(지역수준)과 셋째, 환경보존사업(사막화 지역 생태복원 및 경작토양의 비옥도 향상)을 통한 국제 유기자원의 물질이동(국가수준) 등의 방안이 신중히 검토되어야 한다.

참 고 문 헌

- Williams, A. G. 1984. Indicators of piggery slurry odour offensiveness. *Agricultural Wastes*. 10. 15-30.
- Lochyer, D. R. and Pain, B. F. 1989. Ammonia emission from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environmental pollution*. 56. 19-30.
- Earl, G. Hammond, Fedler, C. and Smith, R. J. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. *Agriculture and environment*. 6. 395-401.
- Hall, J. E. 1988. Environmental effects of ammonia volatilization from agriculture. *Commision of the European communities*. 71-77.
- Korevaar, H. and Boer, D. J. den. 1991. Practical measures to reduce nutrient losses from grassland systems. *Netherland Fertilizer Institute*. 53 p.
- Ishaque, M., Bisaillon, J. G., Beaudet, R. and Sylvestre, M. 1985. Degradation of phenolic compounds by microorganisms indogenous to swine waste. *Agricultural Wastes*. 13. 229-235.
- Kuruse, M., Apsimon H. M. and Bell, J. N. B. 1989. Validity and Uncertainty in the calculation of an emmision inventory for ammonia arising from agriculture in Great Britian. *Environmental Pollution*. 56. 237-257.
- Min. Agri. Nature Management and Fisheries, the Netherlands. Progress report on manure legislation and acidification policy. 1990.
- Paul Copper and Ian S. Cornforth. 1978. Volatile fatty acid in stored animal slurry. *J. Sci. Fd Agric*. 29. 19-27.
- Roelfs, J. G. M. and Houdijk, A. L. F. M. 1990. Ecological effects of ammonia, odour and ammonia emmision from livestock farming. London & New York, Elsevier Appl. Sci. 10-16.
- 가축분뇨자원화를 위한 기술지침서. 1995. 농촌진흥청 축산기술연구소.
- 가축분뇨처리 이용기술. 1994. 농림수산 연구논문 해제 (일본).
- 강희철, 홍성구, 조원모, 백봉현, 박치호, 이덕수. 1995. 톱밥이용 한우 분뇨처리에 관한 연구 한국축산시설환경학회지. 1권 1호. 1-8.
- 국립서울산업대학. 1991. 축산폐기물의 물리 화학적 처리에 관한 연구. 한국환경과학연구 협의회.
- 국립종축원. 1992. 톱밥발효돈사의 내부기생충 감염실태 및 구충 효과 실험. 한국농촌경제연구원. C92-14. 325-341.
- 국립종축원. 1994. 톱밥우사 기생충 감염실태 및 방지에 관한 연구. 축산폐수처리에 관한 연구. 한국농촌경제연구원. C-94-5. 61-

- 132.
17. 국립중축원. 1995. '94 축산분뇨 처리에 관한 연구. 221-310.
 18. 국립환경연구원. 1983. 전국주요하천 기초조사 최종보고서. 국립환경연구원.
 19. 국립환경연구원. 1990. 축산폐수처리시스템 개발에 관한 연구. Vol 12. 115-124.
 20. 권두중, 권웅기, 기광석, 이기중, 한정대, 정석찬, 강승원, 강상열, 정협섭, 장학주. 1995. 착유우의 톱밥발효우사 이용 연구. 한국축산시설환경학회지. 1권 1호. 9-20.
 21. 권두중 외. 1995. 착유우의 톱밥발효우사 이용 연구. 한국축산시설환경학회지. 1권 2호. 117-124.
 22. 김경량. 1995. 유럽의 환경보전형 낙농시스템. 환경보전형 낙농시스템의 과제와 발전방향 모색을 위한 국제심포지움. 축협중앙회. 53-76.
 23. 김동성. 1990. 양돈분뇨처리와 톱밥발효돈사. 월간양돈. 2. 48-53.
 24. 김복영, 김규식, 박영대. 1988. 축산폐수의 오염물질 제거를 위한 수초선발 이용 연구. 한국환경농학회지. 7권 2호. 111-116.
 25. 김복영. 1993. 토양오염실태와 개선대책. 환경보전형 농업을 위한 토양관리 심포지움 발표요지. 한국토양비료학회. 41-53.
 26. 김석구, 김병태, 김정욱. 1988. 연탄재를 이용한 분뇨퇴비화의 적정 첨가제 선정에 관한 연구. 한국폐기물학회지. 5권 2호. 75-81.
 27. 김완중. 1992. 혐기성 처리공법에 의한 농촌지역의 주방폐기물과 인분뇨 및 축분뇨의 혼합처리에 관한 연구. 전북대학교 대학원 환경공학과. 석사학위논문.
 28. 김종수, 박경배, 최 정. 1993. 오염관계수가 벼 생육 및 미질에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 26권 2호. 132-138.
 29. 농촌진흥청. 1992. 농업 환경오염 경감 대책 연구. 서울대학교 농업생명과학대학.
 30. 농촌진흥청. 1995. 가축분뇨처리시스템 개선 및 자원화 기술 개발. 단국대학교 농과대학.
 31. 류종원. 1995. 가축분뇨의 액비화처리 가축분뇨의 자원화에 관한 국제심포지움. 61-84.
 32. 맹원재, 이상락, 조남기. 1994. 혐·호기 2단계 발효법에 의한 가축폐기물의 처리 및 재활용에 관한 연구. '94 국내외 한국과학기술자학술대회. 528-539.
 33. 민경석. 1989. 저온에서의 돈분의 혐기성 소화. 한국폐기물학회지. 6권 2호. 79-85.
 34. 박석환. 1995. 실험실수준의 반응조 온도가 양돈폐수중 질소, 인의 처리에 미치는 영향. 한국환경위생학회지. 21권, 1호. 86-92.
 35. 박완철, 김태형, 하준수. 1994. 소규모 축산폐수 처리의 개발. '94 국내외 한국과학기술자 학술대회. 528-539.
 36. 사사키 이치오. 1995. 환경보전형 낙농시스템의 과제와 발전방향 모색을 위한 국제 심포지움. 축협중앙회. 5-49.
 37. 서윤수 외. 1989. 수질환경기준 달성 최적화 방법에 관한 연구. 국립환경연구원보. 11호 125-141.
 38. 서인석, 이상일. 1995. 간헐폭기 공정에 의한 양돈폐수의 영양염류 처리. 대한환경공학회. 17권. 7호. 637-649.
 39. 손상목, 오경석. 1993. 질소비료 저투입에 의한 우수농산물 간이관정지표로서 주요 농작물의 "가식부위내 NO₃" 함량 활용 가능성에 관한 연구. 한국유기농업학회. 2권. 2-15
 40. 손상목, 오경석. 1993. 질소 시비량이 배추, 무우 및 오이의 가식부위내 NO₃ 집적량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 26권 1호. 10-19.
 41. 손상목. 1994. 채소를 통한 한국인의 일일 NO₃ 섭취량과 안전농산물의 일일 NO₃ 함량 허용기준. 유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움. 한국토양비료학회 주최. 251-276.
 42. 손상목. 1995. 외국의 농업환경 정책방향. 농림수산 환경정책과제에 관한 세미나. 농림수산환경연구포럼. 121-1142.

43. 신항식, 구자공, 신현국, 정연구, 김종오. 상수원 보호를 위한 축산분뇨의 적정관리방안. 한국폐기물학회. 1990. 7. 45-52.
44. 양돈단지조성사업. 1993. 부여군.
45. 어수미. 1985. 산수여상법에 한 축산폐수의 처리효과에 관한 연구. 한국환경위생학회지. 11권 2호. 17-27.
46. 유철호, 정민국. 가축분뇨비료의 생산 및 유통 활성화 방안. 농촌경제. 1995. 18권 2호 15-29.
47. 육완방. 1994. 가축분뇨(액비)의 사료작물 사용시 질소용탈량 기초조사시험. 축산폐수처리에 관한 연구. 한국농촌경제연구원. C-94-5. 241-269,
48. 윤순강, 우기대, 유순호. 1993. Dicyandiamide(DCD)가 고형 축산폐기물중 무기화된 질소의 경시적 방출 및 억제에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 26권 1호. 43-48.
49. 윤순강, 유순호. 1993. 토양중 질산태질소의 향방과 지하수질. 한국환경농학회지. 12권 3호. 281-297.
50. 윤순강, 정광용, 유순호. 1993. 혐기 및 호기 조건하에서 토양처리된 돈분중 질소형태 변화. 한국토양비료학회지. 26권 2호. 121-126.
51. 윤영주. 1995. Air Stripping에 의한 축산폐수중의 Ammonia제거 특성에 관한 연구. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문.
52. 이명규. 1993. 광합성세균을 이용한 양돈폐기물의 고온 액상 처리법. 상지대학교 자연과학연구소. 7집. 51-60.
53. 이명규. 1995. 가축분뇨처리의 새로운 접근방법. 환경보전형 낙농시스템의 과제와 발전방향 모색을 위한 국제심포지움. 축협중앙회. 105-127.
54. 이명규. 1995. 양돈분뇨처리에 있어서 연속폭기배양조(CABR)의 현장적용 연구. 한국축산시설환경학회지. 1권 1호. 55-64.
55. 이명규. 1995. 연속폭기배양조(CABR)로 처리된 양돈분뇨의 비료이용성 연구. 상지대학교 환경과학 연구. 1권 1호. 43-60.
56. 이병헌, 박은정, 정우석. 1995. 간헐폭기공법을 이용한 돈사폐수의 질소, 인 제거. 한국수처리기술연구회. 3권 4호. 31-45.
57. 이수구, 홍지형, 이승무. 1990. 돈사폐기물의 탈수에 관한 연구. 한국폐기물학회지. 7권 2호. 109-115.
58. 이수구, 박상헌, 손철목. 1992. 돈사폐기물의 탈수 및 응집처리에 관한 연구. 한국폐기물학회지. 9권 1호. 73-81.
59. 임재명, 권재혁, 이정환. 1994. 망상형고정층을 이용한 돈사폐처리시 생물막 부착 특성. 한국수질보존학회지. 10권 1호. 41-48.
60. 장기운, 임재신. 1994. 유기성 폐자원을 이용한 퇴비제품화 요건. 유기성폐기물자원화. 2권 1호. 121-134.
61. 장기운. 1995. 부산물비료품질 고급화를 위한 금후발전방안. 유기성폐기물 비료화의 문제점과 대책 심포지움. 한국토양비료학회. 70-112.
62. 전병수, 광정훈, 탁태영. 1995. 변형된 활성오니법과 톱밥토양여과법을 이용한 축산폐수처리에 관한 연구. 한국축산시설환경학회지. 1권 1호. 77-82.
63. 정광용, 김재정. 1993. 농축산폐기물 처리를 위한 저온내성 메탄 생성균의 특성에 관한 연구(1). 한국환경농학회지. 12권 1호. 41-49.
64. 정광용, 주영희, 임재현, 우기대, 김동수. 1993. 혐기발효법을 이용한 축산폐수 정화 시설 개발연구. 농업논문집. 35(1). 301-307.
65. 정광용. 1994. 유기성폐기물의 비료화 방안. 21세기를 향한 비료개발과 정책방향 심포지움. 한국토양비료학회. 48-90.
66. 정광용. 1995. 유기질 및 부산물 비료 활용상의 실제. 한국토양비료학회 학술발표대회. 4-13.
67. 정숙근. 1990. 무공해 발효돈사 양돈법(5). 월간양돈. 7. 139-141.
68. 정윤진, 강인국. 1988. 혐기성소화조를 이용

- 한 고농도 양돈축산폐수의 처리에 관한 연구. 대한환경공학회지. 10권 1호.
69. 정이근. 1995. 부산물비료품질 고급화를 위한 금후발전방안. 유기성폐기물 비료화의 문제점과 대책 심포지움. 한국토양비료학회. 46-69.
70. 조성진. 1978. 관개수에 의한 양분의 천연공급. 비료학. 향문사. 129-132.
71. 주영희, 다치가와 료. 1993. 소규모농가형 양돈 폐수처리시설의 개발. 한국토양비료학회지. 26권 2호. 127-131.
72. 최경호, 박석환, 정문식. 1995. 톱밥, 벚집, 왕겨 및 신문지를 이용한 돈분의 퇴비화. 한국환경위생학회지. 27권 1호. 50-67.
73. 최용수. 1994. 축산폐기물의 안정화처리 및 재활용. '94 국내외 한국과학기술자 학술대회. 404-418.
74. 최홍립, 김현태, 정영륜. 1993. 축분뇨처리를 위한 Bin형 부숙조-sundry 시스템의 퇴비화 효율 평가. 한국농공학회지. 35. 92-103.
75. 축산시험장. 1994. 가축분뇨자원화와 농촌환경개선전략.
76. 축협중앙회. 1994. 세계의 가축분뇨 이용과 관련규정.
77. 탁태영, 박정훈, 전병수. 1993. 톱밥 토양여과법에 의한 축산폐수 정화효과 연구. 농진청농업학논문집. 35(1). 607-013.
78. 한국농촌경제연구원. 1991. 가축배설물 처리 및 이용에 관한 연구. C91-15.
79. 한국농촌경제연구원. 1992. 가축배설물 처리 및 이용에 관한 연구. C92-14.
80. 한국농촌경제연구원. 1994. 축산폐수처리에 관한 연구. C94-5.
81. 한국육류수출협의회. 1995. 수출돈 생산단지의 분뇨처리시설 표준화에 관한 조사 연구. 농림수산부. pp. 50-58.
82. 한국육류수출협의회. 1995. 수출돈 생산단지의 분뇨처리시설 표준화에 관한 조사 연구. 농림수산부. pp. 223-240.
83. 한정대. 1995. 축산에 의한 환경오염. 농림수산 환경정책과제에 관한 세미나. 농림수산 환경연구포럼. 97-105.
84. 홍종준, 김진상. 1984. 퇴비열 보온 메탄발효 시스템에 의한 축산 폐기물의 바이오가스화 연구. 한국폐기물학회지. 1권 1호. 79-92.
85. 홍지형. 1988. 퇴비화에 의한 농축산폐기물의 녹농지환원. 한국농업기계지. 13(3):81-90.
86. 홍지형. 1990. 축산폐기물 처리이용. 한국폐기물학회지. 7권 2호 147-153.
87. 홍지형. 1994. 농축산폐기물의 자원화 방향과 퇴비화기술 '94 국내외 한국과학기술자 학술대회. 528-539.
88. 홍지형, 최병민. 1995. 액상콤포스트화 처리에 있어서 유우분뇨의 화학적 특성. 한국축산시설환경학회지. 1권 2호. 165-171.
89. 황규대, 윤치웅, 김복현, 조종목, 정윤진, 백성기. 1993. 축산하수 종말처리장의 설계 최적화에 관한 연구. J. KSWQ Dec. 246-255.