

KEI/1999
기본과제 연구보고서

국토환경용량을 고려한 축산오염 관리방안 연구

1999. 12

최지용
신은성



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

국토환경용량을 고려한 축산오염 관리방안 연구

최 지용
신 은성

1999. 12.

한국환경정책·평가연구원

序 言

우리나라는 화학비료가 본격적으로 사용되기 시작한 1970년대 이전까지만 해도 가축분뇨는 농경에 있어 주요한 영양공급원으로 이용되어 왔습니다. 그러나 총 가축 사육두수의 증가와 더불어 단위농가에서 사육하는 규모가 크지면서 농가내 자연 순환시스템을 초과함으로써 가축분뇨의 관리는 주요한 환경문제로 대두하게 되었습니다. 최근 환경의 질에 대한 국민들의 관심사가 확대되면서 적절한 가축분뇨처리를 위한 제도적 장치들이 강화되고 있습니다. 특히 축산폐수 배출에 대한 직접규제의 강화와 환경농업에 대한 필요성 대두로 가축분뇨의 농지환원은 증가하리라 예상되고 있습니다.

그러나 가축분뇨의 농지환원은 환경용량을 초과하여 과다하게 적용될 경우 수질오염과 토양오염의 원인이 되나, 일부에서는 가축분뇨를 농지에 환원만 하면 환경친화적이고 유기영농으로 인식되는 사례도 있습니다. 이러한 때에 농지의 환경용량을 고려한 축산오염관리 정책을 제시한 본 연구는 매우 시의 적절하다고 사료됩니다. 우리나라의 국토여건을 고려할 경우 환경용량을 고려한 축산은 환경적인 측면 뿐만아니라, 지속적이고 건전한 축산업 발전을 위해서도 반드시 정착되어야 할 것입니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행한 本院의 崔智龍 博士와 申恩聲 研究員에게 감사를 표합니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해를 밝혀 드립니다.

1999년 12월

韓國環境政策·評價研究院
院 長 李 相 垠

제 목 차 례

제 1 장 서 론	1
1.1. 연구의 필요성과 목적	1
1.2. 연구범위 및 방법	2
제 2 장 가축분뇨관리 측면에서의 국토환경용량 평가	5
2.1. 환경용량의 정의	6
2.2. 가축분뇨 발생·처리현황	10
1. 가축분뇨 발생현황	10
2. 가축분뇨 및 축산폐수 처리현황	15
2.3. 가축분뇨의 퇴비화 여건분석	23
1. 가축분뇨 퇴비의 특성	23
2. 축분내 유해물질	25
2.4. 축산환경용량의 평가	36
1. 가축분뇨의 자원화 여건	36
2. 축산폐수 규제강화	37
3. 정부의 자원화 주요시책	39
4. 우리 나라의 축산환경용량 평가	40
제 3 장 외국의 축산 및 농업환경 관리	47
3.1. 일본	47
1. 축분퇴비화현황	47
2. 축산관련규제	48
3. 가축분뇨 시비기준	50
3.2. 미국	57

1. 농무성의 환경농업 프로그램	57
2. EPA의 환경농업 프로그램	60
3. 가축분뇨 시비기준	61
3.3. 독일	71
1. 환경농업 정책방향	71
2. 환경보전농업의 추진	71
3. 환경농업지원 프로그램	72
4. 가축분뇨 시비기준	73
3.4. 네덜란드	76
1. 농경지 자연보전정책	76
2. 집약적 축산에 대한 환경부하 경감대책	76
3.5. 뉴질랜드	80
1. 환경농업정책	80
2. 가축분뇨 시비기준	80
3.6. 스웨덴	83
3.7. 덴마크	84
3.8. EU	85
제 4 장 환경용량을 고려한 가축분뇨 관리방안	87
4.1. 농지의 시비상태와 영양물질 관리실태	87
1. 현 시비상태의 평가	87
2. 우리 나라의 시비관련규정	96
3. 현 토양중 영양분 축적 실태	98
4.2. 시비량과 비료의 유실	100
1. 현장조사 추진	100
2. 유출특성 비교 및 모델링	101
3. 영양염류 물질수지	108
4.3. 적정시비량 산정과 최적가축밀도 제시	118
1. 적정시비량 산정	118

2. 최적가측밀도 제시	120
제 5 장 결론 및 정책건의	123
참 고 문 헌	131
부록 1. 위스콘신주의 퇴비시용에 대한 기본지침	134
부록 2. 유출수질 및 유량조사 결과	137

표 차 례

<표 2- 1> 축종별 사육동향과 전망(1990-2004)	10
<표 2- 2> 가축분뇨의 배출원단위 및 성분함량	11
<표 2- 3> 가축분뇨의 비료성분함량	11
<표 2- 4> 가축분뇨 발생량(1998년 기준)	12
<표 2- 5> 가축분뇨에 의한 비료성분 발생량(1998년 기준)	12
<표 2- 6> 우리 나라 가축분뇨의 정상	13
<표 2- 7> 연도별 총가축 사육두수 및 호당 평균두수 변동추이 ...	14
<표 2- 8> 사료 공급구조의 변동추이	15
<표 2- 9> 규제대상별 축산폐수배출시설 및 사육두수 규모	17
<표 2-10> 처리시설 설치현황	17
<표 2-11> 퇴비화 자재 1톤당의 성분과 유효성분량	23
<표 2-12> 축분퇴비의 중금속함량	25
<표 2-13> 현행 퇴비 공정규격	27
<표 2-14> 국가별 퇴비중 유해물질 관리기준 비교	27
<표 2-15> 작물별 가축분 시용효과	31
<표 2-16> 축종별 가축분뇨내 BOD, COD농도	32
<표 2-17> 축분퇴비 생산량 및 판매량	36
<표 2-18> 가축분뇨 처리시설의 방류수 수질기준	38
<표 2-19> OECD국가의 질소 인 비료 사용량	42
<표 2-20> 농지당 가축밀도 및 축분에 의한 영양물질 발생량	43
<표 2-21> 농업양분 균형지표	44
<표 2-22> 국가별 국토환경용량 현황비교	45
<표 3- 1> 일본의 축분 및 질소, 인의 연간발생량(1996년도)	47
<표 3- 2> 일본 낙농장의 비료성분별 배출량 및 퇴비화량	48
<표 3- 3> 일본의 가축분뇨 방류수 수질기준	49
<표 3- 4> 일본의 축산시설 규제규모	49

<표 3- 5> 관동지역의 유기물 사용기준	50
<표 3- 6> 일본의 축분뇨 및 질소·인 발생량 원단위	52
<표 3- 7> 일본의 가축분뇨의 성분조성	52
<표 3- 8> 일본의 가축분뇨 및 처리물의 시용기준(논·밭)	53
<표 3- 9> 일본의 가축분뇨 및 처리물의 시용기준(야채밭)	54
<표 3-10> 일본의 축분퇴비의 시용기준(초지·사료밭)	55
<표 3-12> 초지내 축분퇴비 시용시 화학비료 소요량	56
<표 3-13> 미국의 축분내 영양물질 함량	63
<표 3-14> 미국의 시스템별 영양물질 조성비교	64
<표 3-15> 저장 및 취급시 손실되는 질소량	65
<표 3-16> 살포방법에 따른 질소이용율	65
<표 3-17> 미국의 식용곡물과 사탕수수에 대한 질소추천시비량	67
<표 3-18> 미국의 식용곡류와 사탕수수에 대한 인 추천시비량	68
<표 3-19> 미국의 식용곡류와 사탕수수에 대한 칼륨 추천시비량	69
<표 3-20> 질소원별 유효질소량	70
<표 3-21> 토양특성에 따른 관개용수내 질소함량의 권고치	70
<표 3-22> 독일의 가축분뇨 관련법규	72
<표 3-23> 독일의 축분내 영양물질 함량	74
<표 3-24> 분뇨 중 질소 이용률	74
<표 3-25> 독일의 축분퇴비 시용기준	75
<표 3-26> 네덜란드의 일반퇴비 시용기준	79
<표 3-27> 네덜란드의 인산기준 퇴비시용기준	79
<표 3-28> 축종 및 토양종류별 손실인자	82
<표 3-29> 덴마크의 가축분뇨저장 및 살포기준	84
<표 3-30> 가축분뇨 액비화를 위한 저장용량 규제기준	85
<표 4- 1> 토양 인산함량에 따른 축분퇴비 사용기준	89
<표 4- 2> 인산기준 축분퇴비 작물별 시용량	90
<표 4- 3> 논토양 농토배양 방법별 시비기준	91
<표 4- 4> 질소의 시용방법에 따른 이용율	93

<표 4 - 5> 축분퇴비의 이용율	94
<표 4 - 6> 주요작물별 시비기준	95
<표 4 - 7> 토양의 종류·작물의 이용율에 따른 시비배율	95
<표 4 - 8> 축종별 배출원단위	96
<표 4 - 9> 액비살포시 농경지확보 요구면적	97
<표 4-10> 가축두당 농경지 확보요구 면적	97
<표 4-11> 화학비료 사용량 및 축분에 의한 비료성분 발생량	98
<표 4-12> 춘천지역 월별 강수량, 1999	102
<표 4-13> 대표강우사상	102
<표 4-14> 유량과 부하량의 관계	108
<표 4-15> 비료주입량	110
<표 4-16> 수확량과 수확물내 영양물질 함량	111
<표 4-17> 토양분석결과	112
<표 4-19> 대표강우사상	115
<표 4-20> 재배기간동안 총유출량	115
<표 4-21> 재배기간동안 총침투량	116
<표 4-22> 질소의 물질수지	116
<표 4-23> 인의 물질수지	117
<표 4-24> 가축분뇨에 의한 질소발생량중 유효량	119
<표 4-25> 가축분뇨에 의한 인산발생량중 유효량	119
<표 4-26> 국가별 가축분뇨 살포기준	121
<표 4-27> 국토환경용량을 고려한 사육가능한 가축두수	122

그림 차례

<그림 1-1> 연구추진 세부계획	4
<그림 2-1> 축산폐수 처리방법	18
<그림 4-1> 월별 SS 농도변화	103
<그림 4-2> 월별 COD 농도변화	104
<그림 4-3> 월별 T-P 농도변화	105
<그림 4-4> 월별 PO4-P 농도변화	105
<그림 4-5> 월별 T-N, NO3-N, NH4-N 농도변화	107
<그림 4-6> 농업지역에서 영양물질의 순환에 대한 영향인자	109
<그림 4-7> 월별 토양중 유기물 함량변화	113
<그림 4-8> 월별 토양중 T-N 농도변화	113
<그림 4-9> 월별 토양중 T-P 농도변화	114

제 1 장 서 론

1.1. 연구의 필요성과 목적

1983년 세계환경 및 개발위원회(WCED : World Commission on Environment and Development)에서 보고된 「Our Common Future」에서는 지속가능한 발전을 “미래세대가 그들 스스로의 필요를 충족시킬 수 있도록 하는 능력을 저해하지 않으면서 현재 우리세대의 필요를 충족시키는 발전”으로 정의하고 있다¹⁾. 이와 같이 리우정상회담이후 환경문제는 지속가능성에 초점이 맞추어지고 있으며, 농업의 경우도 전세계적으로 지속가능한 농업을 추진하고 있다. 지속가능한 농업에 있어 가장 초점이 되고 있는 것은 유기농업을 비롯한 환경친화적 농업이고, 특히 대량생산을 위한 화학비료의 남용으로 토양이 산성화되고, 환경오염이 심화됨에 따라 유기농업의 당위성이 더욱 강조되고 있다.

이와 같이 화학비료, 농약, 성장조절제 등의 저투입에 바탕을 두고, 윤작, 농업부산물, 가축분뇨 등을 사용하여 토양의 비옥도를 높이고 잡초와 병해충을 방지하는 환경농업의 추진은 환경에 큰 기여를 하고 있다. 그러나 가축분뇨의 농토환원이 토양의 수용능력을 초과할 경우 이는 주요한 수질 및 토양오염원으로 작용할 수 있다. 현재까지 우리 나라에서는 농지의 축분환원에 대해 환경오염원으로서의 분석이 이루어지지 않은 상태에서 모든 가축분뇨의 농지살포를 환경친화적 농업으로 보고, 토양에 환원시키는 양을 더욱 증가시키고 있으며 현재 전체 가축분뇨 발생량의 90%이상이 농지로 투입되고 있다.

1) Hams, Tony et al., "Greening Your Local Authority", England:Longman Group Ltd, 1994

2 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구

퇴비화된 가축분뇨는 토양구조 개선, 병충해 억제, 비효성분 지지, 완충능 증대, 유해물 저지 등 환경에의 긍정적 측면을 가지고 있으나 적정용량을 초과한 경우에는 강우시 유출되어 비점오염원으로서 호소·하천의 부영양화 원인으로도 작용한다. 농지에 적용하는 가축분뇨의 자원화량이 증가함에 따라 환경용량을 고려한 적절한 관리대책이 없을 경우 농지에 영양물질이 계속 축적되어 비점오염원 유출가능성은 더욱 높아질 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 가축분뇨의 오염부하량 파악과 농지에서의 수용능력, 수질오염기여도 등을 평가하여 우리 나라의 국토여건에 적합한 축산오염 관리방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구범위 및 방법

우리 나라의 농경지 토양내 인 함량은 작물재배 적정 기준치인 44mg/kg토양(P_2O_5 로는 100mg/kg토양), 밭에서는 130mg/kg토양(P_2O_5 로는 300mg/kg토양)을 훨씬 넘어서서 보통 경작지에서는 10-20배 수준이고 도시 근교의 시설재배지역에서는 100-1,000배 정도로 나타나고 있다. 이는 시설재배가 급증하고, 시설재배지의 경우 강우시에 비료나 표토의 유실이 적은 데도 관행적으로 다량의 시비가 이루어지고 있기 때문이다. 전남 지역 4개 시설재배지역의 토양 인함량은 1994년도에 1980년도의 2,000~4,000배로 증가하였다는 보고가 있다²⁾. 이와 같이 우리 나라의 농토에 투입되는 영양물질은 이미 적정 권장량 또는 제한량을 초과하였고 특히 가축분뇨의 경우 유기농업과 연계되어 농지에 환원하는 것이 환경농업으로 잘못 인식되어 다량의 축분이 농지에 환원되고 있어 환경용량을 고려한 검토가 필요하다.

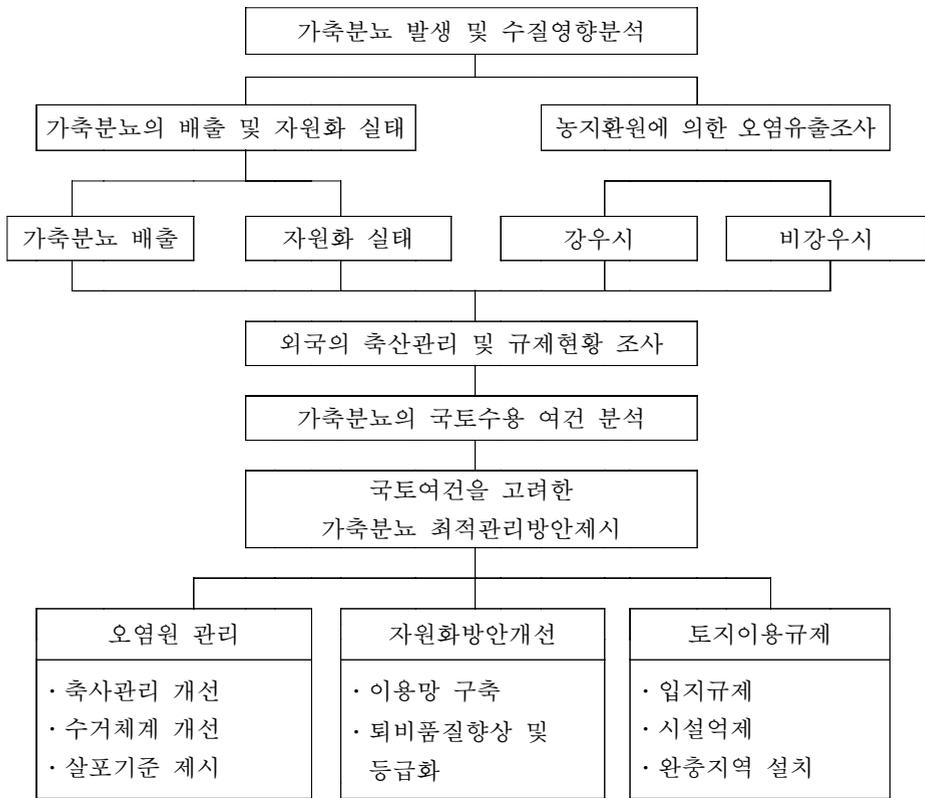
2) 김용웅, 「환경농업을 위한 제언, 상수원수질보전을 위한 환경농업」, pp. 59-89, 광록회, 1997

따라서 궁극적인 수질개선을 위해서는 축산에 의한 오염기여율을 파악하여 최적관리 방안을 도출하여야 한다.

‘오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률’에서는 가축분뇨를 가축이 배설하는 액체성 및 고체성의 오염물질로 정의하고 있고, 축산폐수는 가축분뇨와 세정수를 포함한 것으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 국토의 환경여건을 고려한 가축분뇨를 농지에 적용하였을 경우 농지의 환경용량을 고려한 적정 관리방안의 도출에 있으므로 축산폐수 전체를 다루는 것이 아니라 농지환원과 관련된 가축분뇨의 관리를 연구대상으로 한다. 용어의 사용에서는 의미전달이 잘되도록 하기 위해 가축분뇨와 축산폐수를 서로 혼용하여 사용하였다.

연구방법으로는 국내외 문헌을 통하여 가축분뇨의 농지환원에 의한 오염원유출, 원단위, 관리방안 등에 대한 사례를 조사하여 적정관리방안 도출에 활용하였다. 그리고 가축분뇨의 농지살포에 있어 살포량별 유출특성 및 수질영향조사를 수행하여 이를 토대로 농지에서의 적정 가축분뇨 시비량 산정을 모색코자 하였다. 또한 이상의 연구결과를 바탕으로 우리 나라의 농지환경용량을 고려한 가축분뇨 관리방안을 제시하였다. 과업의 흐름도는 다음과 같다.

4 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구



<그림 1-1> 연구추진 세부계획

제 2 장 가축분뇨관리 측면에서의 국토환경용량 평가

우리나라는 1970년대 이전까지만 해도 가축분뇨를 농경지의 주요한 영양공급원으로 이용해 왔다. 그러나 가축 사육 두수 증가에 따른 가축분뇨의 생산량의 증가와 더불어 축산업이 전업적·기업적 생산구조로 변하면서 발생량이 집중되어, 일부지역에서는 농지에의 환원소요량보다 생산량이 과다하여 오염원으로 전락하게 되었다. 뿐만 아니라, 사용이 편리하고 비효가 빠른 화학비료의 이용확대로 인해 가축분뇨의 수요는 크게 확대되지 못하고 있다. 이를 타개하고자 축분비료공장과 각종 가축분뇨 처리시설이 설치되었으나 퇴비공장에서 생산되고 판매되는 축분비료(부산물 비료)는 높은 가격과 낮은 비료 성분 함량으로 농민들이 적극적인 이용을 기피하고 있으며, 여러 요인으로 인해 일부지역에서는 처리시설의 운영에 각종 문제를 노출시키고 있다.

가축분뇨는 영양염류, 악취, 세균 등 다양한 오염물질을 함유하고 있으므로 적절하게 처리되지 않고 환경에 노출될 경우 수질, 토양, 대기오염원 등으로 작용하게 된다. 최근 환경의 질에 대한 국민의 관심사가 확대되면서 환경관리 측면에서 적절한 가축분뇨처리를 위한 제도적 장치들이 강화되고 있으며, 특히 가축분뇨에 대한 배출허용기준 등 직접규제의 강화에 따라 가축분뇨처리 문제는 축산농가의 경영에 있어서도 중요한 문제로 대두되고 있다. 가축분뇨 관리문제는 당해 지역의 환경용량, 지역적 특성과 사육방식, 규모 등을 종합적으로 고려하여 관리대책이 수립되어야 한다. 따라서 본 장에서는 환경용량에 대해 연구범위를 결정하고, 우리나라의 가축분뇨 관련 현황을 검토하여 우리 나라의 축산환경용량을 평가하였다.

2.1. 환경용량의 정의

자연자원을 이용하고 개발할 때 환경을 고려하지 않으면 환경오염이 누적되어 기존 생태계의 균형이 깨지고 환경문제가 심각해진다. 이는 축산업에서도 마찬가지로 생각되며 사육두수를 발생축분의 자원화가 가능한 수준으로 유지하는 것이 가장 바람직하다 하겠다. 물론 농지에 환원하고 남은 것은 물리화학적으로 처리하는 것도 가능하겠지만 앞서 살펴보았듯이 발생축분의 대부분이 자원화되고 있으며 앞으로 더욱 자원화가 증가될 전망이다므로 본 연구에서는 농지에 환원가능한 양에 바탕을 두고 연구를 진행하고자 한다. “환경용량(Carrying Capacity)”에 대해서는 많은 계획가나 환경론자들이 주장하고 있으나 환경용량이 무엇이고 정량적으로 얼마나 되는지, 어떻게 산정하는지 그리고 이를 환경계획에 어떻게 반영해야 되는지에 대해서는 연구자와 적용조건에 따라 다양하다.

환경용량은 환경수용력이라고도 하고 옥스퍼드영어사전(1972)에는 「당해 지역에서 그 토지가 유지시킬 수 있는 인간 또는 동물수」로 정의되어 있다. 미국과학아카데미(1969)에서 지구의 지탱가능한 인구를 산출할 때 개념적으로 이용되었으며, 「지구에서 개인의 삶을 비교적 자유롭게 지탱할 수 있는 인구」는 100억인, 「인간적인 삶이 불가능하고 단지 생명유지만 가능할 경우 수용할 수 있는 인구」로는 300억인이 예측되었다. 최근 미국은 수질총량규제 적용시 환경용량을 Loading Capacity라는 개념으로 적용하고 있으며 의미적으로는 특정수계에서 지정수질기준을 준수하는 한도내에서 수용할 수 있는 총 오염부하량의 상한치를 나타내고 있다. 환경용량과 유사한 개념으로 사용되고 있는 용어로는 적정환경이용량, 적정환경질수준, 생태계의 자정능력, 자연의 동화능력 등이 있다. “환경용량”으로서 구체적으로 적용되고 있는 사례를 중심으로 분류하면 다음과 같다.

가) 개념으로서의 환경용량

지구의 자원, 환경의 유한성을 나타내는 개념으로 자원의 무한적 이용가능성에 대한 반성으로서 표현된다. 가장 최근에 우리 나라에서 정립된 개념으로는 수동적 환경용량과 능동적 환경용량으로 구분하여 정의한 바 있다³⁾. 수동적 환경용량은 자연의 자원공급능력과 자정능력에 의해 결정되며 환경훼손이 발생하지 않고 인간이 이용할 수 있는 한계수준으로 인간의 지적수준과 기술 등은 고려하지 않는다. 능동적 환경용량은 환경문제를 찾아내고 이를 해결할 수 있는 지역사회의 총체적 능력으로 자연자원 및 자정작용과 함께 인간의 기술, 관리능력 및 지역사회의 능력 등이 포함된 포괄적 용량으로 정의된다.

나) 배출허용량의 공간(시간) 적분치

환경용량을 1, 2종으로 구분하고 제1종은 환경상태에 대한 외적규범내에서 인간의 활동량을 적정배분하기 위한 개념으로 정의하고 제2종은 자연생태계 안정을 지속시키기 위한 절대적 조건하에서의 인간활동의 한계로 정의하였으며, 이는 환경기준 등의 기준치를 만족하기 위해 필요한 허용배출량이 있는 지역(또는 시간)의 총합으로서 당해지역의 오염량에 대한 시간적 공간적으로 할당된 총량을 의미한다.

다) 개발적합성 평가

개발행위에 대한 지역의 적성도를 나타내는데 사용할 수 있다. 예

3) 제주도, 「제주도 친환경개발을 위한 환경지표설정」, 1997

8 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구

를 들어 특정유역을 개발할 경우 당해 지역이 감당할 수 있는 총 오염부하량을 산정하여 이를 계획에 반영하는 방법이다. 즉 특정유역에서 식생, 경사, 표고, 지질, 도로율, 건폐율, 토양종류, 상대적 침식잠재력, 홍수위험도 등을 이용해 개발용량 또는 개발위험도로서 표현한다. 이는 자연환경이 지니고 있는 가능성과 한계를 파악하여 최적의 적응방법을 파악하는 것으로 그 방법으로서 환경평가는 사전환경적성평가로 정의된다.

라) 시설, 장치의 최대능력

어느 용도를 위한 시설, 장치가 가지고 있는 한계로서 표현된다. 예를 들어 유원지의 뱃놀이 입장객수, 해수욕객 수용능력, 서울의 상수도 공급을 위해 필요한 유역면적, 댐의 퇴사에 의한 사용연한 등의 산정도 이 범위에 포함된다.

마) 개체에의 허용축적량

하나의 개체가 기능을 상실하기까지 누적된 부하량으로 예를 들면 정상인의 생식능력의 방어를 위해 일정 기간동안 노출된 방사능 피폭량외에 전 생애동안 누적되는 방사선량을 제한하는 것으로 피로 파괴에서 수명을 고려한 것과 같은 개념이다. 환경에서 산성우에 대한 토양의 완충능력 등도 이러한 개념의 적용이 가능하며, 이는 허용배출량의 적정기준에서 개체에의 손상정도가 평가기준으로 된 예이다.

바) 자연정화능

자연정화기능에 의해 축적되지 않고 제거될 수 있는 오염물질량으로서 수질개선에 관한 연구 등에서 수역에서의 자연정화능력의 정

량화가 추정가능해지면서 자연정화능을 환경용량으로 이용할 수 있게 되었다.

이상과 같이 환경용량은 자연계에서의 오염물 정화능력(자정작용)에 바탕을 두고 있으며 자정작용은 다방면에서 이루어지고 있기 때문에 단순히 한 두가지 측면만 고려하여 용량을 산정하는 데는 한계가 있다. 또한 환경용량은 제도변화, 기술발전, 인간의 생활양식 및 가치관, 경제활동체계 등 물리적 환경과 생물학적 환경과의 상호작용에 의해 끊임없이 변화되기 때문에 고정된 숫적인 개념으로서의 한계용량은 의미가 없으며 일정한 환경질을 목표로 하였을 때 인간활동과 환경요소간의 복합적이고 순환적인 상호작용에 의해 변화되는 개념으로 파악할 필요가 있다⁴⁾.

본 연구에서는 이상의 환경용량에 대한 개념을 바탕으로 농업지역에서 즉, 축산이 이루어지고 축산활동의 영향을 받는 농업지역에서의 환경용량을 「자연상태에서의 유역내 생물상호관계의 작용에 의해, 탄소계 유기물은 탄산가스로 무기화하고, 질소계 물질은 무기화 과정을 통해, 탈질과정으로 진행되어 가스화하고, 인은 무기고형물로서 고형화하는 과정」과, 「재차 인간활동의 장애 있어 수영역내의 현상에 기여하기까지에 상당한 시간을 요하는 작용」까지 포함해 고려하고자 한다. 즉, 축분을 살포하였을 경우 농작물에 의해 흡수되어 농작물로 산출되는 양도 당장은 수질오염원으로 기여하지 않기 때문에 자정작용의 범위에 포함시켰고 유출 및 침출되는 양도 식물에 이용되지 않고 포장외부로 배출되는 것이므로 비료이용효율에서 제외시켜 계산하였다.

4) 김선희, “도시성장관리를 위한 환경용량평가의 의의”, 서울시 환경용량평가의 의의 및 추진방향에 관한 워크샵 발제자료, 1999

2.2. 가축분뇨 발생 · 처리현황

1. 가축분뇨 발생현황

우리 나라의 축산업은 WTO체제에 따른 축산물수입개방(돼지고기 1997. 7, 소고기 2001.1) 등 축산환경의 변화에 따라 1990년과 비교하여 농가수는 약 35% 감소한 반면, 사육두수는 56%가 증가하여 단위 축산농가별 사육규모가 점점 대형화되고 있다. 축종별 사육추세 및 전망은 다음 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 축종별 사육동향과 전망(1990-2004)

(단위 : 천두, 천수)

사육두수	1990	1995	1997	1998 ¹	2004 ² (계획)	변화율(%) 97/90
한육우	1,622	2,594	2,735	2,383	-	+47.0
젓소	504	553	544	539	525	+6.9
돼지	4,528	6,461	7,096	7,544	8,382	+66.6
닭	74,463	85,800	88,251	85,847	83,670	+15.3

주) 1. 농림부, 『농림업 주요통계』, 1999

2. 한국농촌경제연구원, 『농업전망 1999』, 1999.1

가축분뇨 발생량도 가축사육두수에 비례하여 증가하는 추세에 있으며 1998년에는 35,027천톤의 가축분뇨가 배출되었다. 축종별 분뇨 배출량은 1999년 환경부 고시로 성축 1두를 기준으로 젓소의 경우 35.6kg이고 돼지가 4.2kg이며, 한우의 경우 14.6kg으로 규정하고 있으며, 축종별 분뇨의 성분을 보면, 질소와 인산의 경우 돼지분뇨가 소분뇨보다 높은 함유율을 보이고 있고, 칼리성분에 있어서는 소분뇨가 돼지분뇨보다 높은 함유율을 나타내고 있다. 특히 소분에는 섬유소가 많고 분해가 비교적 용이하여 토양개량제로서 적합한 것으로 제시되

고 있고, 돼지분뇨의 경우(비육돈 기준)는 1일 두당 평균 분발생량에 비하여 노발생량이 많은 것이 특징이다. 한편 닭의 경우는 노가 발생되지 않아 배출원단위로 규정되고 있지는 않으나, 전반적인 비료성분 함량이 높기 때문에 화학비료와의 대체효과가 높은 것으로 나타나고 있다.

<표 2-2> 가축분뇨의 배출원단위 및 성분함량

축종	축산폐수 배출원 단위(kg/두/일)				
	분	노	분뇨발생량	세정수	계
한우	10.1	4.5	14.6	0.0	14.6
젖소	24.6	11.0	35.6	10.0	45.6
돼지	1.6	2.6	4.2	4.4	8.6
닭	0.12	-	0.12	-	0.12

자료: 환경부 고시 제1999-110호, 1999. 7.

가축분뇨는 질소, 인산, 칼륨과 같은 주요 3대 비료성분과 더불어 토양의 물리적, 화학적 성질을 개선하는 토양조절제로 이용될 수 있어 적절하게 처리하여 이용하는 경우 상업적 화학비료와 대체 또는 보완관계에 있다고 볼 수 있다.

<표 2-3> 가축분뇨의 비료성분함량

축종	가축분뇨의 비료 성분 함유율(%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
한우	4	2	5
젖소	5	1	5
돼지	5	8	4
닭	17	16	9

자료: 김춘수, 최홍림, 강성모, 「가축분뇨 처리시스템 개선 및 자원화 기술개발」, 농촌진흥청, 1995

12 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구

가축분뇨 발생량을 비료성분량으로 환산하면 질소성분이 20만 7,561톤, 인산이 18만 5,083톤, 칼리가 17만 8,615톤에 이르는 귀중한 자원이다.

<표 2-4> 가축분뇨 발생량(1998년 기준)

구분	사육두수 (천두)	연간분뇨 발생량(천톤)		
		분	뇨	분뇨발생량
한우	2,383	8,785	3,914	12,699
젖소	539	4,840	2,164	7,004
돼지	7,544	4,406	7,159	11,565
닭	85,847	3,760	-	3,760
계	-	21,790	13,237	35,027

가축분뇨의 비료성분량 중 질소는 화학비료 사용량의 50% 수준이나 인산의 경우 화학비료 사용량과 동일한 수준이고, 칼륨의 경우는 화학비료 사용량을 초과하는 수준으로 적절히 이용하는 경우 화학비료 사용량을 크게 줄일 수 있다.

<표 2-5> 가축분뇨에 의한 비료성분 발생량(1998년 기준)

구분	가축분뇨의 비료성분량(톤)			화학비료사용량
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
한우	50,796	25,398	63,495	N (톤) : 447,286 P ₂ O ₅ (톤) : 187,064 K ₂ O(톤) : 125,977
젖소	35,019	7,004	35,019	
돼지	57,825	92,520	46,260	
닭	63,922	60,162	33,841	
계	207,561	185,083	178,615	

주) 비료성분량은 발생량을 기준으로 산정되었으며 실제로는 가축분뇨 저장, 처리, 적용방법에 따라 감소된다.

가축분뇨는 양질의 퇴비·액비상태로 토양에 환원시에는 자원 가치가 높은 반면, 생활하수보다 오염부하량이 높은 고농도 오염물질로서 유출시 수질오염영향이 크고, 적정처리가 곤란하다. 가축분뇨의 오염부하량(BOD기준)은 1~2만mg/L으로, 200mg/L인 일반 하수농도의 50~100배의 농도를 가지고 있다.

<표 2-6> 우리 나라 가축분뇨의 성상

구 분	BOD (mg/kg)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	기준체중 (kg)
소	21,700(477.4)	7,600(167.2)	1,800(39.6)	350
돼지	64,200(141.2)	8,400(18.5)	5,700(12.5)	115
닭	37,000(3.7)	13,000(1.3)	4,100(0.41)	1.4

주) ()는 총발생량(g/두·일)

자료 : 신상철, 이인선 등, “한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술개발(II-1) - 수질오염물질발생 및 배출원단위 산정 -”, 「국립환경연구원보」, 제14권, 1992

우리나라 축산업은 80년대 이후부터 대규모화와 전업화가 빠르게 진행되어 왔고, 반면에 토지의 제약과 수입사료에 의존함으로써 국토 전체의 차원에서 볼 때 환경용량에 큰 영향을 끼치고 있는 부문이라 할 수 있다. 특히 젓소 사육두수의 경우 1998이 경우 1970년에 비해 22배나 급증하였고, 돼지의 사육두수도 동기간 중에 7배로 증가하였다. 이러한 사육두수 증가와 더불어 대규모화와 전업화로의 구조도 변화하여 한육우의 경우 50두 이상을 사육하는 전업농의 비중은 1980년에는 1.2%로 아주 미약한 수준에서 1998년에는 18.8%를 차지하는 것으로 나타났고, 젓소의 경우 전업농이 1980년에는 1.6%에 불과하였으나 1998년에는 19%로 총 젓소사육두수의 55.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 양돈의 경우도 1,000두 이상을 사육하는 전업농의 비중은 사육농가를 기준으로 1980년에 미미하였으나 1998년에는 전

14 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구

체 양돈 농가 중 7%를 차지하는 것으로 나타났고, 전업 양돈농가에서의 사육두수는 51.8%로 급증하였다. 10,000수 이상을 사육하는 양계전업농의 경우에도 사육가구수 기준으로 1980년에는 전체 양계농의 0.1%정도이고 전체 닭 사육두수의 31%를 사육하였으나, 1998년에는 전업양계농가가 1.6%로 증가하였고 총 사육두수의 88.2%정도를 사육하고 있는 것으로 나타났다.

이와같이 양축농가중 전업농의 비율은 증가하는 추세이고 사육두수로서는 전체의 절반이상을 차지하고 있어 우리나라의 축산경영규모가 대규모화되어 감을 나타내고 있다. 가축의 호당 평균 사육두수로 돼지의 경우 1970년에는 1.3두에서 1998년에 279두로 증가하는 등 개별농가가 배출한 가축분뇨 발생량이 당해 농가의 농지수용한계를 크게 초과하는 것으로 추정할 수 있다.

<표 2-7> 연도별 총가축 사육두수 및 호당 평균두수 변동추이

구 분		1970	1980	1990	1995	1998
사육두수 (천두.수)	육우	1,286	1,361	1,622	2,594	2,383
	젖소	24	180	504	553	539
	돼지	1,126	1,784	4,528	6,461	7,544
	닭	23,633	40,130	74,463	85,800	85,847
호당평균 사육두수	육우	1.1	1.4	2.6	5.0	5.6
	젖소	8.0	10.0	15.3	23.0	33.7
	돼지	1.3	3.5	34.0	140.5	279.4
	닭	17.7	58.0	462.5	422.7	511.0

자료: 농림부, 「농림업 주요통계」, 1999

가축사육두수 증가에 따라 사료 수요량도 크게 증가하고 있으나 국내 사료공급기반의 취약으로 수입량은 가축사육두수에 비례하여 증가하고 있다. 배합사료 수입은 1998년에는 1980년에 비해 5.3배 증가한 10,985천톤을 수입하여 자급율은 23.6%에 불과하고 특히 사료곡

물의 경우 1980년 수입량은 2,008천톤에서 1998년에는 8,066천톤으로 거의 전량을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이와같은 수입사료는 가축분뇨로 전환되어 국토환경용량 측면에서 보면 외부에서 유입되는 영양원으로서 결국에는 국토에 축적되는 오염물이 된다.

<표 2-8> 사료 공급구조의 변동추이

구 분	1980	1990	1998
배합사료 사용량(천톤)	3,464	10,529	14,259
- 수입량(천톤)	2,054	7,650	10,895
- 자 급 율(%)	40.7	27.3	23.6
사료곡물 사용량(천톤)	2,077	5,634	8,204
- 수입량(천톤)	2,008	5,480	8,066
- 자 급 율(%)	3.3	2.7	1.7

자료: 농림부, 「농림업 주요통계」, 1999

2. 가축분뇨 및 축산폐수 처리현황

축산으로 인한 오염발생을 줄이기 위해 가축분뇨처리시설 지원을 명시한 근거법은 '축산법' 제3조(축산발전시책의 강구)와 '오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률' 제25조(축산폐수처리시설의 설치), '농어촌발전 특별 조치법' 제5조(농림어업기계화 및 시설현대화 촉진)에 기초를 두고 있다. 현행 가축분뇨처리를 위한 시책방향은 퇴비화, 액비화 중심의 가축분뇨자원화에 있고, 자원화가 어려운 경우 정화방류처리를 고려하고 있다. 이러한 지원정책의 수혜대상자는 상수원보호지역 및 수질보전특별대책지역 등 특정지역(한강, 낙동강, 영산강, 금강 유역과 새만금 지역 등)의 축산농가 및 '오수·분뇨및 축산폐수처리에관한법률'에 의해서 가축분뇨처리시설을 해야 할 대상농가에 우선 지원하고 있다. 이외에도 기 설치된 농가의 노후기계설

비 보완 및 4대강 유역의 특정지역내 소규모 축산농가의 가축분뇨시설도 지원해주고 있다.

저장시설에 대해서는 축산폐수처리시설의 설치대상인 자가 저장액비화 방법으로 가축분뇨를 처리하고자 하는 경우 6개월 이상 저장할 수 있는 저장조를 설치해야 하고, 축종별 두당 일정규모의 초지 또는 농경지를 확보해야 한다(오수·분뇨및축산폐수처리에관한법률 시행규칙 제 53조, 제76조). 액비살포시에는 기상 또는 토지의 결빙 여부, 경사도 등 모든 조건을 고려하여 부수적인 환경오염이 발생하지 않도록 하여야 하고, 필요시에는 경운을 실시해야 한다.

가축분뇨를 이용하여 축분비료를 생산, 판매하고자 할 경우에는 비료관리법 제11조에 따라서 등록해야 하며, 비료관리법에서는 유기질 비료와 부산물 비료의 공정 규격을 구분하여 관리하고 있다. 「비료공정규격」에 따르면, 유기질 비료는 보통 비료에 포함되어 있고 보통비료는 비료중의 질소, 인산, 칼리와 같은 비료성분 그 자체를 공정규격으로 설정하여 관리한다. 그러나, 부산물 비료는 비료성분은 고려하지 않고 비료중의 유기물 함량과 유해성분을 규제하고 있다. 비료관리법상 축분비료는 부산물 비료의 일종으로 유기질 비료와 달리 비료성분은 규제하지 않는 반면 유기물 함량과 유기물 대 질소비율을 공정규격으로 설정 관리하고 있다.

가) 처리실태

축산폐수배출시설은 규제대상시설과 규제미만시설로 구분되며 규제대상시설은 허가 및 신고대상시설로 나누어진다. 허가시설과 신고시설은 단독 또는 공동으로 축산폐수처리시설을 설치하여 폐수를 처리해야 한다. 신고대상 미만의 소규모 축산농가(소 8두, 돼지 30두 미만)에서 발생하는 축산폐수는 대부분 축산농가에서 자체 퇴비화하여 농지로 환원하거나 시·군·구에서 설치 운영하고 있는 축산폐수 공동처리시설에서 수거·처리하도록 하고 있다.

<표 2-9> 규제대상별 축산폐수배출시설 및 사육두수 규모

축 종	신고대상미만	신고대상	허가대상
소	100 m^2 이하 (8두 미만)	100-900 m^2 (8-75두)	900 m^2 이상 (75두 이상)
돼지	50 m^2 이하 (30두 미만)	50-1,000 m^2 (35-715두)	1,000 m^2 이상 (715두 이상)
닭	150 m^2 이하 (1,500수 이하)	150 m^2 이상 (1,500수 이상)	-

간이대상시설이 신고대상으로 합류되기 전의 1998년도 시설별 가축분뇨 처리현황을 살펴보면, 규제대상 축산농가에서는 주로 퇴비화, 저장액비화 등 자원화시설을 설치·운영하여 자체처리하고 있고 규제미만 농가에서 배출되는 가축분뇨도 자체퇴비화 하거나 일부는 시·군에서 운영중인 축산폐수공동처리시설에서 처리하고 있어 설치시설중 80%가 자원화시설이고, 미설치농가도 어떤 형태로든지 대부분 토양에 환원시킬 것으로 예상되므로 간이대상 이상의 시설에서 발생하는 가축분뇨의 91%가 자원화되었다고 볼 수 있다.

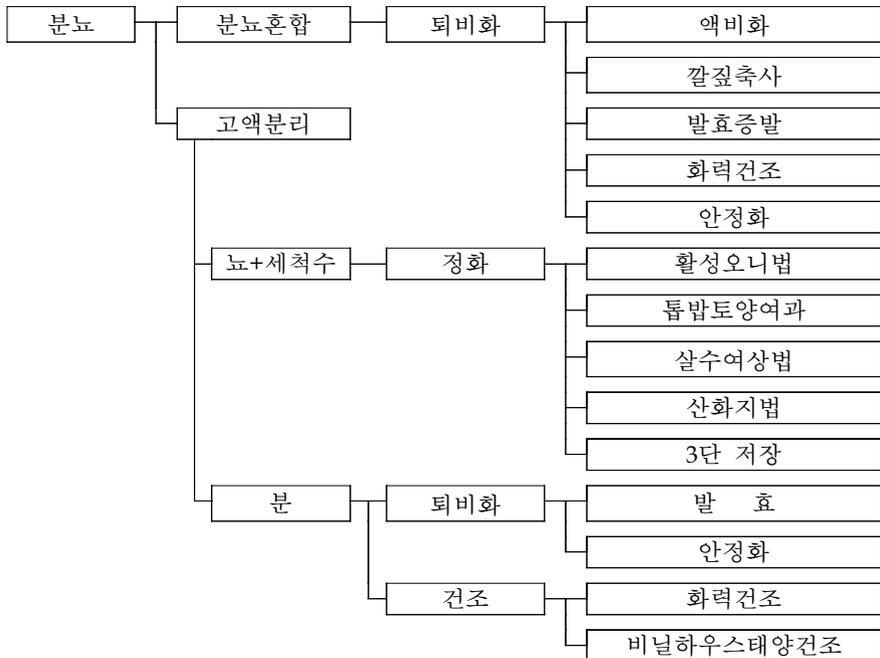
<표 2-10> 처리시설 설치현황

구 분	설치대상 (가구)	설치현황			미설치
		자원화시설	정화방류시설	계	
허가대상	6,094 (100)	5,205	856	6,061 (99)	33 (1)
신고대상	39,342 (100)	30,631	5,972	36,603 (93)	2,739 (7)
간이대상	38,849 (100)	24,302	7,964	32,266 (83)	6,583 (17)
합계	84,285 (100%)	60,138 <80%>	14,972 <20%>	74,930 (89)	9,355 (11)

자료 : 농림부, 「가축분뇨처리 및 자원화 대책」, 1998. 11.

나) 처리방법

앞서 살펴보았듯이 우리 나라 발생축분의 91%가 자원화 되고 나머지가 처리시설에서 처리되고 있다. 가축분뇨처리방법별 환경규제내용은 크게 정화처리, 액비화, 퇴비화 등으로 대별될 수 있다. 가축분뇨는 다음 그림에서와 같이 분·뇨 혼합처리, 분·뇨 분리의 고액분리방식으로 나눌 수 있다. 분·뇨 혼합처리방식은 대부분을 퇴비화하고 일부만 소화처리하는 방식이고, 분·뇨 분리처리방식은 뇨·세척수는 정화하여 처리하고 분은 퇴비화 하거나 건조하여 처리하는 방식이다.



<그림 2-1> 축산폐수 처리방법5)

설치된 축산폐수정화시설의 처리방법을 보면 소의 경우 허가대상은 저장액비법, 톱밥축사로 많이 처리되고 있으며, 신고대상은 간이정화조, 저장액비법, 규제미만은 간이정화조, 퇴비화로 많이 처리되고 있다. 돼지의 경우 허가대상은 저장액비법, 활성오니법으로 많이 처리되고 있으며, 신고대상은 저장액비법, 간이정화조, 규제미만은 간이정화조로 많이 처리되고 있다.

(1) 자원화 방법

① 건조 : 취급의 용이성과 보존성을 개선하기 위한 방법으로 수분함량이 20%정도로 될 때까지 건조하며, 처리후 용적감소뿐 아니라 악취도 개선된다. 건조는 퇴비와 달리 발효시키는 것이 아니므로 처리후에도 생분과 같이 미분해성 유기물을 많이 포함하고 있고, 다량 시용하면 토양중에서 급격히 분해되어 작물에 장애를 가져올 수도 있다. 방법으로는 화력건조법과 비닐하우스 건조법이 있다.

② 퇴비화 : 퇴비화에는 두가지 목적이 있는데 하나는 가축분의 취급을 용이하게 하고, 위생적으로 안전하게 하는 것이고, 두번째는 가축분을 작물에 안전한 상태로 만드는 것이다. 방법으로는 다음과 같은 여러 가지 방법이 있다.

- 액비화 : 대형저류조에서 장기간 부숙시켜 축산폐수를 정화하는 시설로서 정화된 최종처리수를 액비로 사용하는 방법이다(공정 : 전처리(분뇨분리) → 침전분리조 → 저장조 → 저류조 → 액비살포).

5) 국무총리수질개선기획단, 「수질개선지원기관 '97 연구보고서」, 1998

- 깔집축사 : 축사바닥에 깔짚(톱밥 등)을 적당한 두께로 깔고 그 위에서 가축을 사육하여 배설된 분뇨를 혼합, 건조시키고, 1차 건조된 축분은 퇴비사로 운반하여 최종적으로 재차, 건조, 발효처리하는 방법이다.
- 발효 : 가축분뇨에 톱밥을 넣고, 교반 또는 송풍식으로 혼합산소를 주입함으로써 발효시키는 방법이다.

(2) 정화처리 방법

우리 나라에서 정화처리방법으로서 일반적으로 사용되는 기법으로는 호기성 방법으로 활성오니법, 액상부식법, 자연정화법, B₃ 법 등이 있고, 혐기성 방법으로 HAF(메디아)법, BIMA(가스혼합)법 등이 있으며 이외에 여과법으로는 톱밥토양여과방법이 많이 사용된다.

- ① 활성오니법 : 뇨, 오수중 유기물이 미생물 활동에 적합한 환경조건에서 분해, 산화되어, CO₂, H₂O, NH₃로 안정화되며, 미생물이 분해산물인 NH₃와 산화에너지를 이용하여 세포증식 및 생장을 함으로써 유기물을 분해하는 방법이다(공정 : 스크린 여과 → 유량조정조 → 약품투입조 → 침전조 → 폭기조 → 침전조 → 농축, 탈수조 → 방류).
- ② 액상부식법 : 호기성상태인 액상부식조에서 폭기와 교반으로 질산화 및 탈질산화공정을 반복 운전한 후 기계식 고액분리를 통하여 유기물을 제거하는 공법이다. 처리실적이 많아 유지관리지표가 있고, 처리공정이 단순하여 관리가 용이하며 유입수의 농도변화에 대처하기 쉽다. 단점으로는 부지확보에 대한 경제적 부담이 있으며 운전비가 고가이고 전문기술자가 요구되며 탈수케이크의 처분 문제가 남는다.

- ③ 자연정화법 : 토양중에 서식하는 토양균군의 대사산물 및 유기물 질간의 토양반응에 의한 정화작용을 이용한 공법으로 운전이 용이하며 화학약품을 사용하지 않으므로 기계의 사용연한이 길다. 단점으로는 연1회 충전물을 보충해야 하며, 거품이 많이 발생하므로 소포설비가 필요하고 처리공정이 복잡하고 기계설비가 많아 고장발생의 우려가 크다. 아직 처리공정이 검증되지 않았으며 외국특허기술로 신속한 기술지원이 어렵다.
- ④ B₃(Bio Best Bacillus) : 고농도 유기물 폐수를 사상균의 일종인 바실러스 균을 배양시켜 각 조에서 재순환시키는 방법으로 유기물과 질소, 인을 제거한다. 탈취시설이 필요없고, 부하변동에 대한 대응력이 뛰어나며, 공기량 감소로 에너지 비용이 절감된다. 단, 배양을 위한 무기영양성분주입이 필요하다.
- ⑤ HAF(메디아)법 : 원통형 혹은 4면형으로 된 수직구조물과 충전용 접촉제로 구성되며, 고형물에 의한 막힘 현상을 방지하고 반응조 하부에 다량의 미생물을 확보하기 위하여 하부로부터 30~40%정도의 공간이 있다. 혐기성 미생물 접종후 반응조를 가동하면 혐기성 미생물이 접촉여재 표면에 부착되며 매체사이의 저부 전면에서 고농도로 부유하게 되어 유기물을 소화하게 된다. 숙련된 운전기술이 요구되며 고농도 고형물에 의한 접촉제의 막힘 우려가 있다.
- ⑥ BIMA(가스혼합)법 : 고농도의 유기성 및 고형물 함유폐수를 혐기성 박테리아에 의해 유기물을 분해하는 처리방식으로 메탄균에 의해 메탄발효가 이루어지는 공법이다. 주로 20~40℃에서 운전되며, 소화 소요일수는 15일이다. 산분해, 메탄발효, 고액분리가 순차적으로 이루어지며 부하변동에 강하다. 고농도에 유리한 공법이나 구조물 시공의 정밀도가 요구되고 온도유지를 위해 가온설비

22 국토환경용량을 고려한 축산분뇨 관리방안 연구

가 필요하다.

- ⑦ 톱밥토양여과 : 톱밥에 의한 물리적인 여과와 토양의 흡착 및 미생물 분해능을 이용한 정화방법이다(공정 : 축사 → 침전분리조 → 톱밥여과조 → 토양여과조 → 방류).

2.3. 가축분뇨의 퇴비화 여건분석

1. 가축분뇨 퇴비의 특성

퇴비화는 그 목적에 따라 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 버리기 위한 퇴비화 즉 단순히 퇴비화에 의해서 감량화하여 매립지 복토제 정도로 사용하는 경우이고, 다른 하나는 농업토양에 시비를 목적으로 하는 퇴비화이다. 축분퇴비는 주로 두 번째 목적, 시비를 목적으로 이루어진다. 우리 선조들은 예로부터 가정에서 발생하는 생활쓰레기와 풀, 가축분뇨 등을 섞어서 발효시켜 퇴비를 만들어 농사에 사용해 왔으므로 두 번째 목적의 퇴비화는 그 역사가 오래되었다 하겠다. 퇴비는 재료에 따라 비료효과가 달라지는데 재료별 성분과 유효성분량은 <표 2-11>과 같다.

<표 2-11> 퇴비화 자재 1톤당의 성분과 유효성분량

유 기 물 명	수분 (%)	성 분 량(kg/t/년)				유효성분량(kg/t/년)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	석회	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
퇴 비	75	4	2	4	5	1	1	4
우분뇨	66	7	7	7	5	2	4	7
돈 분	53	14	20	11	19	10	14	10
계 분	39	18	32	16	69	12	22	15
도시쓰레기비료	47	9	5	5	24	3	3	4
슬러지 퇴적분	58	15	22	1	43	13	15	1
식품산업폐기물	63	14	10	4	18	10	7	3

- 주) 1. 유효성분을 시용후 1년 이내에 유효화하는 것을 추정한 성분량
 2. 일본의 농림수산성 농잠원예국 농산과 1982년 조사결과를 참고로 작성

우리나라에서 발생하는 주요 가축분은 우분·돈분·계분으로 나눌 수 있다. 이 세가지의 가축분뇨중 질소성분함량을 보면 계분이 제일 많고 그 다음이 돈분이며 그리고 우분이다. 따라서 이들의 농지시

용량은 계분이 적고 그 다음이 돈분이며 우분은 시용량이 많다. 이는 우분은 C/N비가 높아 질소무기화율이 느린 반면, 돈분과 계분은 C/N비가 낮아 질소무기화율이 빠르기 때문이다. 각각의 축종별 퇴비화의 특성은 다음과 같다.

가) 우분

우분은 일반적으로 섬유질을 많이 포함하고 있고, C/N비가 높아 비료성분 함량이 낮으며 난분해성 유기물을 많이 함유하고 있으나 토양개량제로서 이용가치가 높다. 배설직후 우분의 수분함량은 약 85%로서 가축분중 가장 높고, 사료중의 비료성분이 분뇨로 배설되어 분에는 질소, 인산, 칼슘과 같은 성분이 많이 함유되어 있으며 노에는 칼륨이 많다. 그러나, 잡초, 목초의 종자가 소화되지 않고 배설되므로 생분을 그대로 살포하거나 건분 또는 저온으로 발효하여 시용하면 제초작업이 곤란해진다. 따라서 60℃이상에서 퇴비화 하는 것이 좋다.

나) 돈분

사료의 종류, 급여량에 따라 배설량, 비료성분이 달라진다. 일반적으로 전분, 단백질 함량이 높으며 유기물 함량은 우분보다 적어 비교적 분해가 빠르다. 질소, 인산함량이 높아 유기질비료로서 이용가치가 크다. 돈분은 섬유질이 적어 생분자체로 취급하기가 곤란하며, 분의 악취가 강해 농지에 직접 적용하는 것은 어렵다. 퇴적상태에서는 악취의 발산이 적으나 이동, 혼합시 악취의 발산이 심하다.

다) 계분

닭은 채란계와 육계로 나누어지며, 단백질, 전분이 많은 농후사료

가 주로 사용되며 배설물에는 질소가 많이 함유되어 있다. 또한, 인산, 칼슘함량이 높고 유기물의 분해도 비교적 빠르나, 악취가 발생한다. 작물에 대한 질소성분의 비효는 가축분중에서 가장 높다.

2. 축분내 유해물질

사료작물은 인간이 섭취하는 농작물보다 열등한 환경에서 경작하므로 사료작물에 함유된 환경오염물이 가축으로 이동하면서 축분내 유해물질이 종류도 다양해지고 농도도 상승하고 있다. 아직까지 연구 결과가 많지 않으나, 전 세계적으로 축분을 자원화하여 토양에 환원시키는 추세이므로 축분내 유해물질 함유실태는 반드시 고려해야 할 부분이다.

가) 중금속함량

축분퇴비내 중금속함량은 <표 2-12>와 같다. 일반적으로 하수오니 등에 비해 Cd, Hg, As, Pb 등의 성분이 1~1/10정도로 낮으며 비료의 규제치 As 50mg/kg, Cd 5mg/kg, Hg 2mg/kg을 넘지 않는다.

<표 2-12> 축분퇴비의 중금속함량

(단위 : mg/kg)

	Cd	Hg	As	Cu	Zn	Pb
소	0.1-0.54	0.01-0.21	0.07-0.1	12.8-46.4	49-189	0.79-13.9
돼지	0.05-2.1	0.005-0.13	0.1-1.6	50.1-639.5	56.5-1,564	0.5-18.2
닭	0.4-2.8	ND-0.06	0.3-2.2	30-60	300-500	-
하수오니	0.61-5.9	0.31-4.9	0.6-24.4	108-380	350-3,300	15-122
도시폐기물	0.42-1.52	0.05-1.07	0.54-2.15	18.7-127	71.6-350	3.35-45.6

자료 : 羽賀 清典, “家畜ふん尿の農耕地利用”, 「用水と廢水」, Vol.35, No.10, 1993

돼지의 경우, Cu, Zn, 닭은 Zn함량이 도시폐기물보다 높게 나타났는데 이는 가축의 성장촉진 등을 목적으로 사료에 Cu와 Zn를 첨가함에 따른 것으로 생각된다.

나) 작물의 생육에 악영향을 미치는 물질

가축분뇨중에 포함된 작물의 생육에 영향을 미치는 물질로는 저급지방산과 페놀카르복산 등이 있다. 이러한 물질은 가축분뇨의 처리과정에서 증가하는 경우가 있다. 우분-톱밥혼합물중에는 약 2,000mg/kg의 저급지방산 약 200mg/kg의 페놀카르복산이 포함되어 있다. 이는 호기적 처리시에는 검출되지 않는 정도로 감소하지만 혐기상태에서는 증가 축적되어 약 1,000mg/kg에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 물질은 호기적 퇴비화로 감소시킬 수 있다.

다) 항생물질

가축의 사료에 첨가된 항생물질이 분뇨로 배설되어 토양환경에 영향을 미칠 가능성이 있다. 축산생산물인 우유, 고기, 계란 등의 항생물질잔존량에 대해서는 많은 자료가 있으나, 부산물인 가축분뇨중의 항생물질량에 대한 연구자료는 미비하다.

우리 나라는 퇴비내 유해성분에 대해서 <표 2-13>과 같은 퇴비 공정규격을 설정하여 운영하고 있다. 퇴비의 공급목적이 토양중 유기물 공급이기 때문에 비료성분에 대해서는 공정규격이 설정되어 있지 않으며, 작물에 시용하기 때문에 유해물질은 규제하고 있다. 외국에서도 법으로 유해물질의 성분함량을 규제하고 있으며 <표 2-14>와 같이 국가별로 항목과 기준치의 차이가 크다.

<표 2-13> 현행 퇴비 공정규격

비료 종류	주성분의 최소량	유해성분의 한계치 (%)	기타규격	비고
퇴비	OM 25% 이상	As : 50 mg/kg Cd : 5 mg/kg Hg : 2 mg/kg Pb : 150 mg/kg Cr : 300 mg/kg Cu : 500 mg/kg	OM/N : 50 이하 NaCl : 1.0%이하	지정 원료로 한정

<표 2-14> 국가별 퇴비중 유해물질 관리기준 비교

성분	국 별										
	AUS	BEL	DEN	FRA	GER	ITA	NET	SPA	SWI	일본	한국*
As	-	-	25	-	-	10	15	-	-	50	100
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	0.7	5	1.2	8	1	10	1	40	3	5	10
Cr	70	150	-	-	100	500	70	750	150	-	600
Co	-	10	-	-	-	-	-	-	25	-	-
Cu	70	100	-	-	75	600	90	1750	150	-	1000
Pb	70	600	120	800	100	500	120	1200	150	150	300
Hg	0.7	5	1.2	8	1	10	0.7	25	3	2	4
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	42	50	45	200	50	200	20	400	50	-	-
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	210	1000	-	-	300	2500	280	4000	500	-	-

자료 : Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International symposium - Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998

* 우리나라의 기준치는 현물기준이기 때문에 건물기준인 외국자료와 비교하기 위해 현행기준에 2배를 곱한 수치를 표기하였음

<표 2-14>에서 보는 바와 같이 유럽지역은 유해물질 허용기준을 건물중의 기준으로 평가한다. 그러나 우리 나라는 현물중을 적용하고 있다. 현물중의 함량으로 기준치를 정하는 것이 관리측면에서는 유리할지 모르나 퇴비중의 수분함량에 따라 분석치가 달라지는 문제가 있으며, 규제항목도 6성분으로 다른 나라에 비하여 적다. 공정규격으로 설정되지 않은 중금속의 농경지 유입에 대한 대비와 사업장 폐기물과 도시폐기물이 가축분뇨와 같이 혼합 퇴비화 되어 농경지에 활용될 경우를 고려하여, 중금속 원소에 대한 전면적인 재검토가 필요하다.

3. 퇴비의 시비효과

퇴비화는 가축분뇨, 슬러지, 나뭇잎, 종이, 음식쓰레기와 같은 유기물을 미생물이 분해하여 토양과 비슷한 물질인 퇴비로 변화시키는 것으로 이것은 나뭇잎이나 기타 유기잔재물이 자연상태에서 썩는 과정과 동일하다. 퇴비는 가축분뇨의 취급성 향상, 토양의 경작성 개선, 환경위해성 감소 등의 장점을 가지고 있다⁶⁾. 퇴비의 시비효과는 크게 작물에 대한 양분공급효과, 토양의 물리적/화학적 성질개선, 토양중 생물상의 활성유지 및 증진으로 나눌 수 있다. 이외의 여러 가지 효과에 대해 자세히 살펴보면 다음과 같다.

가) 부식질의 공급과 토양구조개선

퇴비를 시비하면 토양에 부식질을 공급하게 됨으로써 단립구조를

6) USEPA, 「Best Management Practices Agricultural Nonpoint Source Control」, 1981

만들게 되는데 그 결과 토양중의 공극율이 증가하여 통풍성과 투수성이 양호해진다. 또한 토양의 물리, 화학적 성상이 개선되어 식물의 생육에 적합한 토양구조를 지니게 된다.

나) 미생물의 공급과 병충해의 억제

퇴비를 뿌린 토양에는 각종 세균, 원생동물, 지렁이 등이 많이 서식하게 되고 이들이 복잡한 먹이사슬을 형성함으로써 유해병원미생물의 급격한 증식을 억제한다.

다) 비효성분의 보유력

단립구조로 된 수분보유력이 좋은 토양은 비료보유력도 좋다. 또한 부식질은 비효성분인 암모니아, 칼슘, 칼륨과 같은 양이온을 보유하는 능력이 있다. 퇴비시용시 토양의 양이온교환용량이 증대하여 양이온의 형태로 존재하는 양분(K, Ca, Mg 등)이 유출되지 않도록 토양에 잡아두는 능력이 커진다. 이와같이 양이온의 비료성분을 흡착보존하는 능력을 염기치환용량으로 측정하는데 우리나라 토양의 염기치환용량은 10me/100g정도로 일본의 20me/100g, 필리핀의 40me/100g에 비하면 낮은 편이다.

라) 완충능의 증대

화학비료를 이용하면 토양의 pH 등 화학적 성질이 변화하는 경향이 있으나, 다양한 물질을 함유하고 있는 퇴비는 이 변화폭을 감소시킬 수 있다.

마) 유해물의 저지

부식질은 알루미늄과 결합하는 능력이 강하다. 알루미늄은 뿌리를 상하게 하거나 인산을 고정시켜 식물에 흡수될 수 없도록 하는 힘이 있다. 퇴비는 알루미늄과 반응해서 유해물질을 식물에 무해한 형태로 만든다. 동, 납, 카드뮴에 대해서도 같은 작용을 한다.

바) 비효성분과 미량원소의 공급

퇴비는 질소, 인산, 칼륨의 비료3요소를 포함하고 있으며, 또한 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 규산, 망간, 몰리브덴 등의 미량원소도 함유하고 있다. 그러나 함유량이 그다지 많지 않기 때문에 이 효과를 지나치게 과대 평가하면 안된다. 또한 퇴비는 화학비료와 달리 비료효과가 천천히 발현되므로 효과가 누적되는 경향이 있다.

사) 작물의 증수효과

이상의 효과가 종합되어 나타나는 것이 작물의 증수효과이다. 작물별 가축분 시용효과에 대해 살펴보면, 벼의 수량 증수효과는 우분 5.4%, 돈분 4.8%인데 비하여 밭작물은 9.0~33.4%에 이른다⁷⁾. 특히 옥수수는 화학비료 시용구 대비 최고 70%에 달하는 경우도 있어서 논보다 밭에서 가축분뇨의 시용효과가 크게 나타나고 있다. 이와같이 밭토양에서 퇴비시용효과가 큰 것은 유기물에 의한 토양이화학성 개선과 양분 공급효과가 상승적으로 작용한 결과라고 볼 수 있다.

7) Jung, K. Y., K. D. Woo, "The use of organic wastes for the organic fertilizer in Korea", International seminar on the use of microbio and organic fertilizer in agricultural production, R.D.A., 1994

<표 2-15> 작물별 가축분 시용효과

작물종	가축종류	작물수량증대(%)			시험수
		최소	최대	평균	
벼	우분	-6	14	5.4	5
	돈분	-8	11	4.8	5
옥수수	우분	4	70	33.4	14
고추	돈분	1	20	9.0	5
참깨	돈분	12	25	16.4	5

자료 : Jung, K. Y. and K. D. Woo, 전계서

4. 퇴비화로 인한 수질 및 농지오염 요인

가축분뇨는 작물이 필요로 하는 비료성분을 골고루 함유하고 있어 잘 이용하면 자원의 재활용이 되나 부적절하게 이용될 경우에는 환경오염원으로서 수질오염과 토양오염 및 농작물에 지대한 영향을 미친다. 축분내 잠재적인 오염물질은 유기물, 식물의 영양물질, 전염성 물질과 염류로 수체내 탁도, 이취미를 유발할 수 있다. 이들 오염물질은 지하수로 침출되거나 강우유출수에 용해되어 수계로 유입한다.

가) 수질오염

(1) 유기물

유기물질은 하천내로 유입되면 호기성 미생물의 기질로서 작용하고 일반적으로 BOD나 COD로 측정되는데, 축산폐기물에 의한 고농

도의 BOD, COD는 하천이나 호수의 산소공급을 빠르게 고갈시킬 수 있고 그 결과 물고기 폐사와 기타 수중생물체에 심각한 손상을 가져온다.

<표 2-16> 축종별 가축분뇨내 BOD, COD농도

발생원	BOD(mg/ℓ)	COD(mg/ℓ)
가정하수	100 - 300	400 - 600
젓소의 배설물	25,600	68,200 - 168,000
소의 배설물	-	72,900 - 258,000
돼지의 배설물	27,000 - 33,000	25,000 - 176,400
닭의 배설물	24,000	100,000 - 255,100
양의 배설물	-	162,100 - 351,700

(2) 영양염류

지표수내 고농도의 영양염류는 조류의 이상증식, 물고기 폐사, 냄새, 그리고 탁도 증가를 가져온다. 또한 토양을 통해 지하수로 침출될 수 있으며, 수질에 가장 크게 영향을 미치는 두 가지 영양염류는 질소와 인으로 하천 및 호소의 부영양화의 주범이다. 질소와 인의 상당부분이 동물의 배설물에서 기인하며, 음용수 수질기준 이상의 질소농도와 수중생물의 성장필요량 이상의 인농도를 유발하는 주요 원인이다.

① 질소

분변성 질소는 일차적으로 유기성 질소와 암모니아성 질소의 형태로 되어 있고, 유기성 질소는 미생물 분해에 의해 암모니아질소의 형태로 전환된다. 암모니아성 질소는 질산화를 통하여 질산성 질소로 쉽게 전환되며, 질산성질소는 토양을 통해 지하수로 이동하는데 가정용수 공급에 있어 질산성 질소의 최대허용농도는 10mg/L으로, 이 농도에서는 그 자체로는 무해하다. 그러나 질산성 질소의 환원산물인

아질산성 질소는 이 농도로도 혈관내 헤모글로빈과 반응하여 온혈동물의 산소수송에 피해를 줄 수 있다. 질소는 또한 1~2mg/L의 낮은 농도로도 하천과 호수내 조류의 이상증식을 유발하여 부영양화를 가속시킬 수 있다.

② 인

가축분뇨는 무기물이 조금 우세하지만 유기, 무기 모든 형태의 인을 포함하고 있으며, 토양내 인은 칼슘, 철, 알루미늄과 빠르게 반응하여 불용성 화합물을 형성하거나 토양입자내에 흡착된다. 인산염 형태의 인($\text{PO}_4\text{-P}$)은 식물의 성장을 위해 필요한 주요 영양물질의 하나이고 하천이나 호소의 부영양화를 가속시킨다. 인은 0.05mg/L이하의 농도에서는 지하수를 거의 오염시키지 않으나, 토양이 가지고 있는 인 고정능력이상으로 비료가 사용되면, 강우유출수내 인농도가 증가하여 침출을 초래하고 지하수를 오염시킨다.

(3) 병원균

가축분뇨는 수영이나 음용용으로 사용되는 수체를 병원균으로 오염시켜 사람과 동물을 감염시킬 수 있는 박테리아와 바이러스를 함유하고 있다. WHO는 150개 이상의 질병이 동물과 사람간에 전염될 수 있다고 추정하고 있으며, 100ml당 200마리 이하의 분변성 대장균이 목욕용으로 안전한 한계치이며, 분변성 대장균의 농도는 수원에서 전염성 미생물의 지표가 된다.

라군내 저류되거나 토양에 살포된 박테리아는 빠르게 사멸되며, 기타 발생원으로 젖소의 축분슬러리가 관개장비를 통해 살포되었을 때 지하수내 총대장균과 분변성 대장균 농도가 용수공급을 위한 지표원수의 허용기준내에 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 용수공급원에서 직접 처분이 된 경우를 제외하고는 축분에 의한 병원균은 공공건강의 위협이 거의 없는 것으로 나타났다.

(4) 염류

가축분뇨내의 염분농도는 가축사료내 염분농도가 높은데서 기인하며, 이러한 과잉의 염분은 소화되지 않고 배설물에 남게 된다. 만약 이 배설물이 높은 비율로 토양에 살포된다면 염분농도가 낮은 비료를 사용한 것보다 상당량의 염이 토양에 축적될 것이다. 토양염 문제는 토양이 처리할 수 있는 교환가능한 분률이상으로 토양에 용해성 염분이 축적될 때 발생할 수 있으며, 염분은 강우에 의해 토양표면으로부터 침출될 수 있고 지하수와 지표수의 오염을 초래한다.

염분(즉, 용해된 고형물)은 생리적 영향, 불쾌한 광물맛, 금속부식 또는 추가적인 수처리에 따른 비용상승의 가능성 때문에 음용수내 관심대상 물질이다. 고농도의 염분섭취에 의한 생리적 증상의 몇가지는 황화나트륨, 황화마그네슘에 의한 이완, 나트륨에 의한 심장병 악화를 포함하고 임신중인 여성에게 나트륨은 독혈증의 악영향을 가진다. 나트륨은 용존고형물내 주요요소이고 용수공급을 위한 농도기준은 수립되어 있지 않지만 염분 제한음식에 있어 사람에게 대한 나트륨 농도는 20mg/L이하가 좋으며, 염분제한음식에 대한 상한치는 270mg/L이다. 시용된 고농도의 가축분뇨에 의한 식물의 뿌리영역내 높은 염분농도는 작물생산량을 감소시킬 수 있으며, 작물의 질병을 유발할 수 있는 염분축적량은 작물의 염분저항력에 따라 결정되며, 식물발아에도 영향을 미친다.

나) 작물 및 농지오염영향

가축분뇨는 비료성분이 높고 미분해성 유기물 함량이 높기 때문에 과다하게 시용할 경우 작물수량이 오히려 감소하는 문제점도 내포하고 있다. 과다사용 및 유해물질 함유퇴비의 영향은 크게 6가지로 볼 수 있으며, 이외에도 잉여 비료성분은 유실되어 인근 수계를 오염

시키거나 지하수층의 질산염 오염을 유발할 수 있다.

① 질소과잉(C/N비가 낮은 퇴비 과다사용)

- 고농도의 무기질소에 의한 작물 생육장해
- 식물내 질산성 질소 농도상승
- 질산성 질소 유실에 의한 지표수 및 지하수 오염

② 질소기아(C/N비가 큰 퇴비 과다사용)

- 식물체와 미생물간의 질소경쟁

③ 생육 저해물질에 의한 피해발생

- 부자재중 생육저해 물질
- 퇴비원료내 생육저해 물질
- 퇴비화 과정에서 생성된 생육저해 물질

④ 토양의 이상환원

- 토양환원에 의한 뿌리 생육장해
- 토양중에서 생육저해 물질 생성

⑤ 작물양분 불균형 및 유해물질 축적

- 작물체중 무기성분 균형 저해
- 토양중 구리 및 아연 등 중금속 축적

⑥ 토양의 물리성 악화

- 토양의 경화
- 토양의 보수성 악화

따라서 가축분뇨 등 유기자원은 환경오염을 유발하지 않는 환경용량 범위내에서 사용하는 것이 농경지를 친 환경적으로 활용할 수 있다.

2.4. 축산환경용량의 평가

1. 가축분뇨의 자원화 여건

앞서 살펴보았듯이 우리 나라에서 발생하는 축분의 대부분은 자원화되고 있다. 그러나, 공급자(축산농가)와 수요자(경작농가)간의 효율적인 연계가 미흡하여 발생된 축분이 농지에 적절히 환원되지 못하고 일부지역에는 제조된 퇴비가 유통되지 않고 적체되어 있는 곳도 있다. 이에 대해 농림부는 '축분퇴비 이용확대를 위한 농·축·임협 협의회'를 구성하여 축분퇴비의 판매 및 유통을 촉진하고 축분퇴비의 공급확대를 통해 화학비료 사용절감을 위해 노력하고 있다⁸⁾. <표 2-17>은 축분퇴비 생산량과 판매량에 대한 것으로 해가 갈수록 생산량 대비 판매량의 비율이 감소한 것으로 나타나 자원화된 퇴비가 적체되고 있음을 의미한다.

<표 2-17> 축분퇴비 생산량 및 판매량

(단위 : 천톤)

구 분		'91	'95	'96	'97	순증가율(%)	
						'96/'95	'97/'96
축분퇴비	생산량	137	508	625	1,230	23	97
	판매량	129	365	522	720	43	38
	비 율	94%	72	84	59	-	-
부산물 비 료	생산량	225	684	892	1,428	30	60
	판매량	209	526	777	886	48	14
	비 율	93%	77	87	63	-	-

주) 副産物肥種(10종) : 퇴비(축분퇴비)·부숙겨·재·분뇨잔사·부엽토·건계분·부숙왕겨 및 톱밥·구비 등

8) 농림부, 「축분퇴비 이용확대를 위한 농·축·임협 협의회 구성운영 계획」, 1999. 2

한편, 우리나라는 근본적으로 축분퇴비를 살포할 수 있는 초지·경지면적이 부족하여 퇴비화촉진에도 한계가 있다. 가축 1두당 초지면적을 외국과 비교해 볼 때 우리나라는 약 20평으로 네덜란드 172평, 미국 523평, 호주 43,090평, 일본 136평에 비하여 미미한 수준에 불과하다. 또한, 퇴비·액비의 사용 시기가 봄·가을로 제한되어 보관·저장설비가 많이 소요되고 적기사용이 곤란하는 등 축분사용 여건이 열악하다.

가축분뇨 배출로 인한 환경오염을 방지하고 가축분뇨의 위탁처리로 인한 양축농가의 운영비 절감 및 토양개량제로의 재활용 촉진을 목적으로 1993년의 공동퇴비제조장 지원사업을 시작으로 본격적인 가축분뇨자원화사업이 착수된 이래, 공동퇴비화시설인 '축분비료공장'으로 발전하였다. 축분비료공장 운영의 수익성에 있어 공장 전체로 보면 포당 생산단가는 2,806원, 판매단가는 2,377원으로 포당 429원의 손실이 발생하는 것으로 나타났다⁹⁾. 따라서 기존의 축분퇴비공장이 정상적으로 운영되기 위해서는 경제적 유인책이 필요하며, 이에 더하여 생산단가를 낮추기 위한 축분공장운영의 경영혁신과 축분비료 소비자인 경종농가의 축분퇴비이용 촉진을 위한 다양한 대책이 필요하다.

2. 축산폐수 규제강화

축산폐수로 인한 수질오염에 대한 인식이 높아져서 축산폐수처리에 대한 규제는 강화되는 추세이다. 현재 가축분뇨처리는 1999년 2월에 개정되어 8월부터 시행되어 오고 있는 '오수·분뇨 및 축산폐수처

9) 김창길, "축산의 경제성과 환경성 비교우위를 토대로 한 축산분뇨 관리정책의 경제적 효율성 제고방안", 「축산분뇨 관리정책 토론회」, 국회환경포럼, 1999

리에 관한 법률'에 의해서 규제되고 있다. 축산폐수 배출시설인 축사 면적기준으로 축산농가의 가축사육규모에 따라 허가대상과 신고대상으로 규제단계가 이루어져 있다. 이번에 개정된 법규에서는 신고대상 미만의 소규모 축산농가에도 적절하게 가축분뇨를 처리하지 않고 공공수역으로 무단 방류하는 행위를 할 수 없도록 관리의무가 부과되었다. 이에 더하여 불가피하게 가축분뇨를 축산폐수의 형태로 배출하는 경우 분과 뇨의 분리는 물론 저장시설 설치를 의무화하였으며, 시·군이나 민간의 위탁처리업체가 수거하여 축산폐수공공처리장에서 처리하도록 하였다.

축산폐수 처리시설의 설치대상인 자가 저장액비화 방법으로 가축분뇨를 처리하고자 하는 경우 6개월 이상 저장할 수 있는 저장조를 설치하여야 한다. 또한 축산폐수공공처리장의 방류수수질기준도 2000년부터 강화되어 이전에는 규제하지 않았던 COD가 50mg/L이하, 총질소와 총인이 각각 120에서 60mg/L, 16에서 8mg/L으로 강화되었다. 따라서 자원화를 선호하는 농가가 증가할 전망이다. 그에 대한 관리가 부적절한 경우 과도한 축분살포로 수질 및 토양을 오염시킬 우려는 더욱 증가하리라 예상된다.

<표 2-18> 가축분뇨 처리시설의 방류수 수질기준

구 분		허 가 대 상	신 고 대 상	간 이 대 상
현 행	BOD	150mg/ℓ (50)이하	500mg/ℓ (350)이하	1,500mg/ℓ 이하
	SS	150(50)	500(350)	1,500
2000.1.1	BOD	150(50)	350(150)	1,500
	SS	150(50)	350(150)	1,500
	T-N	- (260)	-	-
	T-P	- (50)	-	-

주) ()내는 수질보전특별대책지역의 적용기준임

3. 정부의 자원화 주요시책

가) 가축분뇨 자원화기본계획의 수립추진

향후 축산업 전망 및 축산시책과 연계한 체계적인 가축분뇨 자원화 기본계획의 수립을 추진하고 있으며, 국내의 축산여건이 반영된 지역별·수계별 가축분뇨자원화계획을 중·장기 축산발전계획에 포함시켰다. 또한 각 도별로 가축분뇨 자원화 기본계획을 수립·추진하도록 하여, 이를 토대로 가축분뇨시설 지원자금을 배정(관계법, 농림사업시행지침에 반영)하고 있다.

나) 효율적인 가축분뇨처리 추진체계의 구축

가축분뇨 관리의 효율적 추진을 위해 환경부에서는 관계 법령 등 제도 및 처리기준 설정, 축산폐수 공공처리시설 설치추진, 이행상황 점검·평가업무를 담당한다. 농림부에서도 경종농업과 연계한 자원화 촉진, 축산농가의 개별·공동처리시설 설치 업무 등 가축분뇨 자원화·처리와 관련된 실질적인 업무를 담당하고 있다. 또한 지방자치단체 축산부서의 가축분뇨 처리에 관한 기능을 강화하였다.

다) 가축분뇨 자원화시설 확충 및 관리기준 마련

축분 퇴비·액비화시설 설치자금 지원강화 및 토양 환원프로그램을 개발·보급하고 가축분뇨 자원화를 위한 개별 축산농가의 시설설치 자금 지원을 '99년에 총 950억원으로 확대하였다. 또한 가축분뇨 자원화에 의한 2차오염의 방지대책으로 작물별·계절별 축분퇴비·액비의 시용량 및 경지면적 기준을 설정하고 가축분뇨 자원화처리방법에 관한 신기술개발 보급을 추진하고 있다. 퇴비화에 있어 가장 큰 문제중의 하나인 톱밥 등 수분조절제 공급을 안정적으로 하기 위하

여 생명의 숲가꾸기 사업에서 수집된 간벌목과 산림에서 버려진 폐잔목을 활용, 톱밥 생산을 확대하고 있으며 톱밥대체 수분조절제 개발 및 왕겨팽연화 시설지원을 통해 부자재 개발을 추진하고 있다.

라) 축분퇴비·액비의 수요확대 및 유통체계확립

축분퇴비 판매촉진을 위해 유통센터를 설치 운영하고, “푸른들 가꾸기”등과 연계하여 농협을 통한 유기질비료 가격차액보전제도도입을 시행하고 있다. 또한 가축분뇨자원화·정화처리의 기술교육 및 홍보강화를 위해 농촌지도기관을 통한 축산농가 기술교육을 실시하고 가축분뇨처리에 대한 우수사례를 조사하여 홍보하고 있다.

마) 특수지역 가축분뇨 처리대책

민감지역인 특수지역에 대하여 가축분뇨에 의한 수질오염의 우려를 고려하여 상수원수질오염 우려지역에 대하여는 신규축산농가 입지제한 근거를 마련하여 '98년에 마련하여 '오수·분뇨및축산폐수처리에관한법률'의 개정에 반영하였다. 팔당특별대책지역의 경우에는 남·북한강, 경안천의 하천 경계로부터 일정지역을 수변구역으로 설정하여 신규 가축사육을 제한하였다.

4. 우리 나라의 축산환경용량 평가

국토 전체적인 차원에서 진정한 환경용량에 대한 평가는 농업뿐만 아니라 공업과 생활 등을 포함한 국토전반의 환경에 대한 것을 고려하여 총 환경이 수용할 수 있는 용량을 산정하고 이를 다시 각 부문별 세부 섹터별로 다시 할당하여야 한다. 그러나 국토 전체적인 차원에서 볼 때, 이와같은 환경용량을 산정하기는 어려운 일이다. 따

라서 본 연구에서는 국토환경용량을 축산에 제한하여 평가하기 위해 축산분뇨의 농지 수용력에 한정하여 용량을 평가하였고, 이를 국토환경용량이라고 칭하기로 한다.

환경용량에 대한 평가방법은 OECD 등과 같은 국제기구를 중심으로 지속적으로 연구가 이루어지고 있으며, 우리나라도 OECD회원국으로서 농업환경에 대한 보고자료가 있으나 매우 제한적이다. 지금까지 보고된 내용을 살펴보면, 농약사용량, 농업용수사용량, 농업양분균형(질소초과량, 초지면적당 가축밀도, 양분균형추정치) 등이 있으며, 다른 회원국에 비해 우리나라의 지표들이 대체로 높고 환경상태가 악화되는 추세로 나타났다. 먼저 비료사용량에 대한 자료를 보면, 우리나라는 미국 등 다른 선진농업국보다 단위면적당 많은 양을 사용하는 나라로 평가되고 있다. 질소는 OECD 국가중 우리나라가 가장 높고 인의 경우는 일본 다음 인데 일본은 사용량이 줄어들고 있는 추세인데 비해 우리나라는 계속 증가하고 있는 실정이다.

농지당 가축밀도 및 축분에 의해 발생하는 영양물질량 등에 대한 보고에서도, 1980년에 비해 1995년에는 소가 102%, 돼지가 279%가 증가하여 회원국중에서 가장 높은 증가율을 나타내었으며, 그 결과 축분에 의한 영양분의 양도 벨기에와 네덜란드를 제외하고 가장 큰 것으로 나타났다. 이와같이 국토 단위 면적당 또는 농지면적당 평균값이 가지는 뜻도 중요하지만 당해 국가의 기후와 지형특성을 고려할 경우, 우리나라의 여건은 강수량의 계절적 집중과 농경지의 경사가 급한 점을 고려해 볼 때 환경의 수용력은 훨씬 불리함을 알 수 있다.

<표 2-19> OECD국가의 질소 인 비료 사용량

국 가	화학비료사용량(ton/km ²)				농업생산	
	N		P ₂ O ₅		곡물	총
	1995	1980년 대비 증가율(%)	1995	1980년 대비 증가율(%)	1980년 대비 증가율(%)	1980년 대비 증가율(%)
Canada	2.2	63	0.9	-1	50.5	39.2
Mexico	0.9	- 1	0.2	-14	16.9	34.7
USA	2.6	3	1.0	-17	14.4	20.9
Japan	10.4	- 8	12.4	-2	-9.0	3.6
Korea	22.3	12	10.6	38	31.8	55.0
Australla	0.1	193	0.2	17	84.9	36.0
N.Zealand	1.0	632	2.7	18	65.3	17.6
Austria	3.2	-26	1.7	-38	-3.5	7.7
Belgium	10.0	-13	3.2	-50	46.1	30.7
Czech Rep.	5.9	-40	1.6	-78	-6.5	-13.0
Denmark	10.3	-20	1.7	-56	43.4	22.0
Finland	7.0	-3	2.8	-48	9.0	-4.3
France	8.0	18	3.4	-39	10.5	6.0
Germany	10.3	-17	2.3	-65	13.2	-2.0
Greece	3.9	7	1.7		15.7	13.6
Hungary	4.2	-48	0.5	-91	-25.2	-25.8
Iceland	0.6	-29	0.3	-42	-41.1	17.9
Lreland	7.6	58	2.5	1	7.6	16.6
Italy	5.7		3.4	-20	-10.9	-4.3
Netherland	18.1	-23	2.9	-20	36.8	18.9
Norway	11.0	-5	3.1	-52	-1.8	6.7
Poland	4.5	-34	1.6	-65	34.0	0.1
Portugal	3.5	1	1.6	-10	8.6	36.6
Spain	2.9	1	1.6	5	-14.3	0.5
Sweden	6.0	-13	1.4	-59	-3.3	-3.8
Switzwrland	3.6	-3	2.0	-26	2.7	1.2
Turkey	2.7	27	1.5	-9	37.3	36.2
UK	8.1	16	2.2	-2	18.7	10.0
OECD	2.1	4	0.9	-24		

자료 : OECD, 「Environmental Indicators-Towards Sustainable Development」, 1998

<표 2-20> 농지당 가축밀도 및 축분에 의한 영양물질 발생량

국 가	단위농지당 가축 밀도						축분형 영양물질		농업생산	
	소		양 또는 염소		돼지		질소	인	가축	총계
	두/km ²	% 증감	두/km ²	%증감	두/km ²	%증감	ton/km ²	ton/km ²	%증감	%증감
	1995	1980-95	1995	1980-95	1995	1980-95	1995	1995	1980-95	1980-95
Canada	19.0	7	1.0	29	17.2	17	1.8	0.7	23.4	39.2
Mexico	30.4	9	16.6	2	16.0	-6	3.2	1.2	52.8	34.7
USA	24.1	-7	2.5	-24	14.1	-11	2.3	1.0	25.8	20.9
Japan	96.7	24	1.1	-24	201.7	10	14.4	7.1	14.4	3.6
Korea	146.7	102	30.3	230	301.2	279	17.7	8.0	165.6	35.0
Austria	5.6	8	26.7	-3	0.6	13	0.6	0.2	20.8	38.0
N. Zealand	66.6	20	352.9	-25	3.1	4	7.8	2.4	15.0	17.6
Austria	67.1	-3	12.1	93	106.9	-2	6.7	2.7	11.9	7.7
Belgium	203.3	4	10.9	51	460.2	44	22.7	9.9	26.3	30.7
Czech Rep	46.5	-43	3.1	-58	93.8	-20	5.1	2.2	-18.0	-13.0
Denmark	76.7	-26	5.3	176	406.6	19	10.8	5.0	15.3	22.0
Finland	45.2	-30	3.2	-18	49.4	-7	4.2	1.7	-14.6	-4.3
France	68.3	-9	37.9	-8	45.5	35	6.6	2.6	6.4	6.0
Germany	92.6	-17	14.5	-16	143.9	-23	9.3	3.8	-14.7	-2.0
Greece	6.9	-32	176.6	29	10.9	5	2.2	0.7	-1.0	13.8
Hungary	14.7	-49	16.2	-64	70.5	-44	2.5	1.2	-26.6	-25.9
Iceland	3.9	22	24.1	-45	0.2	140	0.7	0.2	-17.0	-17.0
Ireland	114.2	6	102.8	150	26.7	36	9.8	3.5	16.6	16.8
Italy	44.7	-10	75.7	32	50.1	0	5.2	2.1	9.1	-4.3
Netherlands	231.3	-10	85.7	96	716.7	44	29.7	13.3	13.3	18.9
Norway	97.3	-6	242.5	11	74.9	8	10.4	3.7	7.8	6.7
Poland	39.1	-41	3.8	-83	109.4	-2	4.5	1.9	-21.6	0.1
Portugal	34.1	2	179.5	35	61.6	-30	5.1	1.9	49.5	36.6
Spain	17.9	19	83.1	56	58.9	72	2.9	1.1	25.6	0.5
Sweden	49.9	-8	12.9	18	64.9	-15	5.0	2.0	-2.6	-3.8
Switzerland	111.1	-3	30.9	26	101.9	-18	10.2	3.9	-3.1	1.2
Turkey	30.3	-25	115.3	-32	0.0	-40	3.6	1.3	27.3	36.2
UK	68.4	-9	249.3	105	43.9	0	8.1	2.9	4.6	10.0
OECD	23.0		29.1		19.8		2.5	1.0		

자료 : OECD, 「Environmental Indicators-Towards Sustainable Development」, 1998

이상의 자료를 토대로 주요국의 농업양분균형지표를 살펴보면 농지면적당 질소균형수치에서 우리나라가 2위로 나타났다. 이 수치는

가축밀도가 높거나 집약적 농업생산체제를 가진 나라일수록 높게 나타나는데 1993~95년에 우리 나라의 초지면적당 가축밀도는 31.74LU로 회원국중에서 가장 높은 수치를 기록하였다.

<표 2-21> 농업양분 균형지표

회원국	질소투입량 (천톤)		질소배출량 (천톤)		농지면적당 질소균형 (kg/ha)		초지면적당 가축단위 (LU/ha)	
	1985~87	1993~95	1985~87	1993~95	1985~87	1993~95	1985~87	1993~95
	한 국	662	773	352	323	139	215	23.13
일 본	1,370	1,253	645	560	135	136	4.88	5.03
미 국	26,197	29,380	20,345	20,598	14	21	0.34	0.33
프랑스	4,392	4,155	4,196	4,048	6	4	1.13	1.16
화 란	1,090	1,005	479	472	303	272	3.15	3.15
EU-14	22,109	19,938	14,443	13,685	53	46	-	-
OECD	75,369	75,159	53,770	53,265	16	17	-	-

주) EU-14는 룩셈부르크를 제외한 국가수입

네덜란드는 1985~87년 대신에 1986~97평균을 사용함.

종합적으로 국가별 축산환경용량을 가축분뇨의 농지나 초지에 대한 잠재적인 환원량을 토대로 평가하면 <표 2-22>와 같이 우리 나라가 세계 제일의 축산국인 화란에 이에 2위로 매우 열악한 수준이다. 그러나 여기에서 간과하지 말아야 할 사항은 화란은 상당부분의 축산품을 수출하고 있으며, 농지의 영양물질 사용량이 과거에 비해 감소하고 있으나 우리나라는 농지에 투입되는 비료 등 영양물질은 계속 증가하고 있으며, 축분의 활용도 체계적으로 이루어지지 않아 가축분뇨의 친 환경적 사용도 미비한 상황이다. 하루 빨리 우리나라의 국토여건을 고려한 환경용량의 설정과 이에 따른 가축분뇨의 관리방향이 마련되어야 한다.

<표 2-22> 국가별 국토환경용량 현황비교

구분	국토면적 (천km ²)	초지 (천km ²)	농지 (천km ²)	인구 (천명)	축산규모(만두) (소/돼지)	LU(만두)	축산환경용량 (LU/초지+농지)
한국	99.7	0.66	19.46	46,400	991 (339/652)	443	260
화란	37.3	10.51	9.34	15,503	1,854 (458/1,396)	681	343
덴마크	43.1	1.97	25.42	5,181	1,280 (209/1,071)	380	139
호주	7,713.4	4,614.86		18,088	2,910 (2,650/260)	2,692	6
독일	356.9	52.51	121.16	81,591	3,963 (1,589/2,374)	1,969	113
미국	98,019.4	279.00	1,877.76	263,250	16,175 (10,349/5,826)	11,281	52
일본	377.8	6.61	44.63	125,095	1,473 (483/990)	641	125

주) 1. 국토, 농경지, 초지, 강수량 : 농림부 「농림수산통계」 1995

2. 소, 돼지 사육두수 : 미 농무성(USDA) World Market and Trade

3. 소, 돼지 사육두수 : 96년말 기준임

제 3 장 외국의 축산 및 농업환경 관리

3.1. 일본

1. 축분퇴비화현황

축산물에 대한 수요가 높아짐에 따라 일본의 가축, 가금의 사육두수는 해마다 증가하고, 그 결과 축분발생량도 크게 증가하였다. 일본의 1996년도의 축산규모는 젓소 약 200만두, 식육우 300만두, 돼지 1,100만두, 닭 32,400만수로 연간 9,500만톤 이상의 축분이 발생하였다. 이는 일본내 유기성 폐기물 발생량의 41%에 해당하며 질소함량으로는 47%, 인함량으로는 65%에 달한다.

<표 3-1> 일본의 축분 및 질소, 인의 연간발생량(1996년)

축종	사양두수 (천두)	배설물량(10 ³ t)			질소, 인배설량(10 ³ t)	
		분	뇨	합계	질소	인
젓소	1,927	24,294	7,178	31,472	160.2	22.3
육우	2,901	19,647	7,223	26,870	147.2	16.1
돼지	9,900	8,001	14,830	22,831	129.4	33.8
채란계	181,221	7,993		7,993	194.3	33.5
broiler	118,106	5,604		5,604	112.9	12.5
합계	314,055	65,539	29,231	94,770	744.0	118.2

자료 : 농업과학기술원, 「가축분뇨의 특성과 처리이용의 기초지식」, 1999.
(<http://envy.naist.go.kr>)

일본은 1993년부터 환경보전형 축산확립대책을 적극적으로 추진하여 가축분뇨의 양질 퇴비화를 통해 화학비료 사용량 감소대책을 추진하고, 퇴구비 종합이용센터, 실증포장의 정비, 지도사업 등을 추

진하고 있다.

일본의 배출량대비 이용량을 살펴보면 홋카이도가 91%로 다른 지역에 비해 월등히 높으며, 홋카이도 이외 지역은 67%정도이다.

<표 3-2> 일본 낙농장의 비료성분별 배출량 및 퇴비화량

(단위 : 백톤/년)

구 분	질소			인			칼륨		
	배출량	이용량	이용율 (%)	배출량	이용량	이용율 (%)	배출량	이용량	이용율 (%)
홋카이도	4,965	4,513	90.9	641	584	91.1	5,226	4,759	91.1
홋카이도 이외지역	2,445	1,627	66.5	315	212	67.3	2,130	1,512	71.0

자료 : 농업과학기술원, 「가축분뇨의 특성과 처리이용의 기초지식」, 1999.

(<http://envy.naist.go.kr>)

처리양상은 혼합처리 24%, 분리처리 76%로 분리처리를 선호하고 있으며 노·오수의 처리는 저류조 55%, 정화처리 13%, 액비화 7%, 기타 25%정도이다. 1996년도 발표에 따르면 일본 전역에서 가동중인 가축분뇨의 퇴비화 시설은 2천여개에 이르고 있으며, 가축분의 수분이나 통기성을 개선하기 위한 부재료로는 톱밥이 많이 사용되고 있으나 톱밥의 입수가 곤란하고 난분해성 물질 등 시용시 다소 문제점이 있기 때문에 대체할 수 있는 부재료를 검토하고 있다.

2. 축산관련규제

일본은 ‘공해대책기본법’과 ‘환경오염방지관리법’을 상위법으로 하고 축산관련사항을 다루는 법에는 ‘수질오탁방지법’, ‘악취방지법’, ‘폐기물의처리및청소에관한법률’, ‘하천법’, ‘호소수질보전특별조치법’, ‘대기오염방지법’ 등이 있다. 환경관련법 규제대상 사육규모는 우리

나라와 비슷하고, 총량규제를 강조하고 있으며, 축산폐수를 근해에 투기하거나 미숙성된 축분을 농경지에 살포하지 못하도록 규제하고 있다.

<표 3-3> 일본의 가축분뇨 방류수 수질기준

구 분	pH	BOD	COD	SS
기준치	5.6~8.6 (해역이외의 공공수역)	160mg/L (일평균 120mg/L)	160mg/L (일평균 120mg/L)	200mg/L (일평균 150mg/L)

수질오탁방지법시행령 제1조에서 수질오탁법 제2조 제2항(특정시설)에서 정하는 시설중 축산에 관한 사항은 다음과 같다.

<표 3-4> 일본의 축산시설 규제규모

시설의 종류	규 모
돈 방 시 설	총면적 50m ² 이상의 사업장
우 방 시 설	총면적 200m ² 이상의 사업장
마 방 시 설	총면적 500m ² 이상의 사업장

퇴비사용량은 작물의 종류, 토양의 종류, 입지조건뿐만 아니라 축종별, 처리방법에 따라서도 다르며, 관동동해지역의 각 도(道)·현(縣)의 축분사용기준은 다음과 같다.

또한 일본은 “가축분뇨관리의적정화및이용촉진에관한법률”을 제정하여 축산업자에 의한 가축분뇨의 관리에 대해 필요한 사항을 정하고 있다. 이 법의 목적은 가축분뇨의 적정관리 및 이용촉진으로 농림수산부장관이 가축분뇨 관리방법에 대해 축산업자가 준수할 관리기준을 정하고 도도부현지사는 정해진 관리기준에 따라 지도 및 권고를 하도록 되어 있다. 가축분뇨의 이용촉진을 위한 조치로서 경제

적인 지원조치로는 소득세·법인세를 퇴비화시설에 대해 특별변제(16%)를 적용하고, 고정자산세에 대해 5년간 과세표준의 1/2로 특례를 정하고 있다.

<표 3-5> 일본 관동지역의 유기물 사용기준

(단위 : ton/acre)

작 물	생분뇨			건조분뇨			대변퇴비(똥밥혼합)			슬러지	
	소	돼지	닭	소	돼지	닭	소	돼지	닭	무처리	퇴비화
논	0.1~25	0.8~15	0.8	0.3~20	0.2~15	0.1~0.2	1.0~25	0.5~15	0.5~10	0.6~12	0.4~0.7
일반 밭작물	2.0~3.0	0.1~2.0	0.8	0.1~2.0	0.1~1.0	0.1~0.5	1.5~4.0	0.5~2.0	0.2~2.0	1.0~2.0	0.6~2.0
야채	2.0~6.0	0.3~4.0	0.4~1.5	0.3~3.0	0.2~2.0	0.1~1.0	1.0~5.0	1.0~4.0	1.0~4.0	0.8~2.0	0.5~1.2
사료 작물	5.0~10.0	3.0~10.0	2.0	3.0~5.0	2.0	0.3~1.0	4.0~6.0	2.0~4.0	1.0	2.0	1.2
과수	2.0~6.0	1.0~4.0	1.0	0.6~4.0	0.2~2.0	0.2~0.8	1.0~7.0	0.5~5.0	1.0	1.0~2.0	0.6
차	2.0~6.0	1.0~5.0	1.5	0.5~6.0	0.5~3.0	0.5~1.0	1.0~10.0	0.5~5.0	1.0~4.0	1.0~2.0	0.6
뽕나무	5.0~10.0	3.0~10.0	2.0	1.0~4.0	0.3~2.0	0.3~1.0	2.0~8.0	1.5~4.0	1.0	1.0~2.0	0.6

자료 : 羽賀 清典, “家畜ふん尿の農耕地利用”, 「用水と廢水」, Vol. 35, No. 10, 1993.

3. 가축분뇨 시비기준¹⁰⁾

농경지 단위면적당 과부하문제에 대한 대책으로 사료자급을 향상, 사육두수와 농경지 면적의 불균형 조정, 축분이용촉진, 축분재활용을 위한 연구추진을 기본방향으로 하고 있다. 또한 최근 증가하고 있는 집약축산에 대해서는 분뇨유통, 분뇨환원용량범위에서 사육밀도 제한 방안을 강구하고 있다.

10) 羽賀 清典, “家畜ふん尿の農耕地利用”, 「用水と廢水」, Vol. 35, No. 10, 1993
 徐 開欽 등, “畜舍排水の性狀と原單位”, 「用水と廢水」, Vol. 39, No. 12, 1997.
 국립중축원, 「외국의 축산폐수 처리대책」, 농림수산부, 1992. 6. 편집 인용

일본의 경우 우리나라와 마찬가지로 축분의 이용에 대해 긍정적으로 생각하고 있으며, 발생하는 가축분뇨를 전국의 농지에 균일하게 시용할 경우 환경에 대해 큰 부하가 되지 않는다는 연구결과가 나와 있다. 그러나 가축분뇨가 지역적으로 집중해서 발생하고 있으므로 이에 따른 환경오염을 예방하기 위해서는 분뇨를 적정처리하기 위해 장기보전이 가능하도록 가공유통하고 부하량이 낮은 곳으로 이송하는 평균화대책을 중요하게 다루고 있다.

축분이용의 기본적 고려사항으로 양분의 균형을 유지하는 것을 들고 있다¹¹⁾. 이를 위해서는 축분발생원단위를 정확하게 추정하여 환경조건에 적합한 처리 및 이용방식을 선정하는 것을 들고 있다. 즉, 농지면적과 사육두수의 균형, 입지조건, 사회적 조건, 기상조건 등의 전제조건을 충분히 검토하고 이에 맞는 처리, 이용을 기본으로 하고 있다.

일본 가축사육표준에 기초하여 가축사료의 종류와 섭취량, 생산량 등에서 분뇨의 중량별 질소·인의 발생량을 추정하는 프로그램이 개발되어 있으며, 이 프로그램을 사용하여 도출한 축분량 및 질소·인의 발생량 원단위는 다음 <표 3-6>과 같다. 가축분뇨의 성분조성은 사료의 종류에 따라 크게 변동하지만, 평균 수치를 제시하면 <표 3-7>과 같다. 분에는 다량의 비료성분이 함유되고 있고, 노에는 질소 외의 칼륨과 나트륨의 염화물 및 황산염 등이 함유되어 있고, 칼슘, 마그네슘, 인 등의 함유율은 낮다.

11) 原田靖生, 山口武則, “家畜畜糞の堆肥に品質實態と問題點, 環境保全と新しい畜産”, 農林水産技術情報協會, pp.229~246, 1997

<표 3-6> 일본의 축분뇨 및 질소·인 발생량 원단위(g/두·일)

축 종		분뇨			질소			인		
		분	뇨	합계	분	뇨	합계	분	뇨	합계
젓소	착유우	45.5	13.4	58.9	152.8	152.7	305.5	42.9	1.3	44.2
	乾·未經	29.7	6.1	35.8	38.5	57.8	96.3	16.0	3.8	19.8
	육성우	17.9	6.7	24.6	85.3	73.3	158.6	14.7	1.4	16.1
육우	2세미만	17.8	6.5	24.3	67.8	62.0	129.8	14.3	0.7	15.0
	2세이상	20.0	6.7	26.7	62.7	83.3	146.0	15.8	0.7	16.5
	乳用種	18.0	7.2	25.2	64.7	76.4	141.1	13.5	0.7	14.2
양돈	육돈	2.1	3.8	5.9	8.3	25.9	34.2	6.5	2.2	8.7
	번식돈	3.3	7.0	10.3	11.0	40.0	51.0	9.9	5.7	15.6
양계	영계	0.059	-	0.059	1.54	-	1.54	0.21	-	0.21
	성계	0.136	-	0.136	3.28	-	3.28	0.58	-	0.58
Broiler		0.130	-	0.130	2.62	-	2.62	0.29	-	0.29

자료 : 原田靖生, 山口武則, “家畜畜糞の堆肥に品質實態と問題點, 環境保全と新しい畜産”, 農林水産技術情報協會, pp.229~246, 1997

<표 3-7> 일본의 가축분뇨의 성분조성

(단위 : %)

축 종		乾物(%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-C	C/N
양계	생분	36.3	6.18	5.19	3.10	10.98	1.44	34.7	5.6
양돈	생분	30.6	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	41.3	11.4
	뇨	2.0	32.5	-	-	-	-	-	-
양우	생분	19.9	2.19	1.78	1.76	1.70	0.83	34.6	15.8
	뇨	0.7	27.1	tr.	88.6	1.43	1.43	-	-

자료 : 原田靖生, 山口武則, “家畜畜糞の堆肥に品質實態と問題點, 環境保全と新しい畜産”, 農林水産技術情報協會, pp.229~246, 1997

일본은 기본적으로 가축분 퇴비의 경우 퇴비중의 질소함량을 기준으로 시용량을 결정한다. 시용량 결정에는 아래의 산출식을 적용하며, 화학비료 대체율과 퇴비중 질소이용율을 고려하여 결정하는 것이 특징이다.

$$\text{퇴비 사용량 산출(톤/10 a)} : \text{질소소비량(kg/10a)} \times \text{대체율/100} \times 100 / \text{퇴비중 비료성분함유율} \times 100 / \text{비효율} \times 10^{-3}$$

가) 논·밭

논에서는 적정량의 축분퇴비를 사용하면 지력이 증진되어 수확량 증가를 기대할 수 있지만 지나치게 사용하면 질소과다로 벼가 넘어져 수확량이 감소하고 농작물의 맛도 떨어진다. 또한 생분이나 건조분, 미숙퇴비 등의 미분해성 유기물을 많이 포함하고 있는 것을 다량 사용하면 토양 중 미생물이 급격히 증식하여 토양 중의 산소를 소비하여 토양이 환원상태가 된다. 환원상태에서는 뿌리에 장애가 오고 생육저해물질이 생산된다.

논·밭에서의 축분퇴비 사용기준은 <표 3-8>과 같다. 화학비료에 대한 비효율은 우분을 30~40%, 돈분을 60~70%, 계분을 70%로 계산하였다. 또한 대체율은 우분 30%, 돈분·계분 60%로 적용하였다.

<표 3-8> 일본의 가축분뇨 및 처리물의 사용기준(논·밭)

(단위 : 톤/10a)

작물	우분뇨			돈분뇨			건계분
	생분	건조분	퇴비	생분	건조분	퇴비	
벼	2 - 2.5	1	1 - 2	1.5	0.7	0.5 - 1.5	0.2
보리	2	0.8	2	1	0.5	1	-
일반작물	2 - 3	0.5 - 1.5	1.5 - 3	1 - 2	0.5 - 1	1 - 2	0.2 - 0.4

자료 : 농문협, 축산환경대책대사전, 1995

가축분이나 퇴비를 연용하는 경우에는 화학비료에 비해 분해가 느리므로 토양 중에 축적되어 질소방출률이 해마다 증가한다는 점에 주의해야 한다. 축분중에서도 돈분과 계분은 분해가 용이하여 연용

하더라도 토양 중에 그다지 축적되지 않지만 우분은 분해가 느리기 때문에 토양 중에 축적되어 질소방출률이 해마다 증가된다. 따라서 매년 같은 양의 퇴비를 시용 하더라도 토양 중으로 방출되는 질소량은 점차 증가하기 때문에 병용하는 화학비료의 양을 줄여야 한다.

나) 채소밭

야채는 일반적으로 다량의 양분과 각종 미량원소를 필요로 하기 때문에 가축분뇨 처리물의 시용은 이들 양분공급의 의미로 중요하다. 그러나 과잉으로 시용하면 미네랄 균형이 변화되어 결핍증이 발생하기도 하고 토양의 통풍성이나 투수성이 불량해 질 수 있다.

야채밭에서의 가축분뇨 시용기준은 <표 3-9>과 같다. 야채는 종류가 많고 시용기준을 일률적으로 정할 수 없기 때문에 야채종류에 따라 소비형·중비형·다비형으로 구분하여 기준치를 정하고 있다. 이 기준은 질소 또는 칼륨의 시용기준량의 30%정도를 축분퇴비로 대체하도록 계산되었다.

<표 3-9> 일본의 가축분뇨 및 처리물의 시용기준(야채밭)

(단위 : 톤/10a)

야채	소			돼지			닭	
	생분	건조분*	톱밥퇴비*	생분	건조분	톱밥퇴비*	건조분	톱밥퇴비*
소비형	2.0~4.0	0.4~0.8	1.0~2.0	1.0~2.0	0.3~0.4	1.0~2.0	0.2~0.3	0.4~1.0
중비형	3.0~5.0	0.6~1.2	1.3~2.5	1.3~2.5	0.4~0.6	1.2~2.5	0.3~0.4	0.6~1.5
다비형	4.0~6.0	0.8~1.5	2.0~4.0	2.0~4.0	0.6~0.8	1.7~3.5	0.4~0.5	1.0~2.0

주) *표시된 재료는 많은 쪽의 양을 시용할 때는 K₂O를 60%감축한다.

1. 화학비료 시용량을 기준량의 30%로 감축한다.
2. 소비형 : 무, 토란, 감자, 시금치 등(N, K₂O기준량 20kg/10a 이하)
중비형 : 생강, 배추, 상추, 토마토, 수박 등(N, K₂O기준량 25kg/10a 전후)
다비형 : 가지, 피망, 오이 등(N, K₂O기준량 30~35kg/10a)
3. 시설재배에서는 계분, 돈분류는 기준치 1/2, 우분류는 2/3로 한다.

다) 초지

목초·사료작물은 과잉의 비료에 대한 적응력이 있고, 시비량이 생산량에 직접적으로 반영되기 때문에 과다하게 사용하는 경향이 있다. 그러나 지나치게 시용한 경우에는 작물체 내의 질산성 질소농도가 상승되고 미네랄 균형이 무너진다. 또한 질산성질소에 의한 지하수 오염 등 수환경에 대한 영향도 고려해야 한다.

<표 3-10> 일본의 축분퇴비의 시용기준(초지·사료밭)
(단위 : 톤/10a)

종류		예상수량	소		돼지	닭
			퇴비	액상분뇨	퇴비	건조분
목 초	화분과초지	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
	혼과초지	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
옥수수		5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
이탈리안라이그라스		4~5	3	4~5	2	0.4

자료 : 농문협, 축산환경대책대사전, 1995

<표 3-11> 축분퇴비와 병용해야 하는 화학비료 시용기준
(단위 : 톤/10a)

종류		우분퇴비			우액상분뇨			돈분퇴비			건조계분		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
목 초	화분과초지	14	-	-	8	3	-	8	-	5	8	-	8
	혼과초지	6	-	-	-	3	-	-	-	5	-	-	8
옥수수		14	7	-	8	11	-	8	-	4	8	-	8
이탈리안라이그라스		11	-	-	6	5	-	8	-	4	8	-	6

자료 : 농문협, 축산환경대책대사전, 1995

<표 3-10>은 가축분뇨 및 처리물의 시용량이고, <표 3-11>는 가축분뇨와 함께 사용해야 하는 화학비료의 양이다. 이들 기준은 축종별로 함유량이 가장 많은 비료성분에 근거하여 정해졌다.

<표 3-12> 초지내 축분퇴비 시용시 화학비료 소요량

초 종	우분퇴비 시용시 (3,000-4,000 kg/10a)			돈분퇴비 시용시 (2,000-3,000 kg/10a)			계분퇴비 시용시 (500 kg/10a)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
화분과 목초	14	-	-	8	-	5	8	-	8
혼과목초	6	-	-	-	-	5	-	-	8

자료 : 농문협, 축산환경대책대사전, 1995

3.2. 미국

미국은 국민의 경제적·사회적 후생을 지속적으로 증대시키기 위한 수단으로서 자연자원의 보존정책을 실시하고 있으며, 농업의 환경보전 기능을 강화하기 위한 수단으로서 경제적 인센티브의 제공과 규제를 적절히 혼합하고 있다. 가축분뇨의 경우 자연자원(Natural Resource)으로 규정하고 적절한 사용방법을 정립하여 계도하므로써 적극적인 환경보전제도를 채택하고 있다.

미국의 환경농업정책은 농무성을 비롯하여 환경처, 내무성, 육군 공병대가 함께 추진하고 있으며, 내무성과 육군 공병대의 프로그램은 주로 관개, 홍수조절, 습지보전 등 농업관련 용수관리에 치중되어 있고 환경처는 표면수의 수질관리, 음용수나 지하수의 보호, 농약사용과 관련된 프로그램을 추진하고 있다. 농무성에서는 토양과 물보전, 수질관리를 효과적으로 추진하기 위하여 기술지원과 교육, 비용분담과 인센티브 제공, 공공사업활동, 해당농경지의 휴경을 유도하기 위한 임차료 및 보상금지급, 환경보전 농업을 확대하고 발전시키기 위한 정보 및 연구개발, 지정된 환경보전 조치를 따르거나 농지사용을 변경할 경우 농무성이 제공하는 프로그램의 혜택제공 등 여섯가지의 접근방법을 채택하고 있으며, 주정부 차원에서는 환경보전과 수질관리를 위한 기술적인 지원을 하고 있다¹²⁾.

1. 농무성의 환경농업 프로그램

자연자원보전국이 정책을 담당하고 있으며 주정부와 밀접하게 연계하여 주정부가 지역의 환경보전 프로그램을 개발하고 수행하도록

12) 김은순, 권태진, 「국제환경농업 논의동향과 대응방안」, 한국농촌경제연구원, 정책연구보고, 1998

지원하고 지역보전국을 설치하고 자연자원보전국 소속의 서비스센터와 협력하여 환경보전업무를 추진한다. 이들이 추진하고 있는 프로그램중 수질오염 및 축산관련 프로그램은 다음과 같다.

가) 환경개선장려프로그램(Environmental Quality Incentive Program : EQIP)

1996년 처음 시행된 사업으로 농민과 목축업자를 대상으로 소유토지에 대해 토양, 물, 관련자원을 환경적으로 유익하고 비용절감적인 방법으로 사용하도록 기술적, 교육적, 재정적 지원을 하기 위한 것으로 자발적 프로그램이고 가입자는 5년 또는 10년 단위의 계약을 체결하며 환경개선비용의 지원을 받는다. 비용은 총비용의 75%범위 내에서 지급되며 연간 만달러, 총기간 5만달러 이내에서 지원받을 수 있다.

나) 습지보전계획(Wetlands Reserve Program : WRP)

1990년 농지법에서 승인되어 추진되는 습지복원을 위한 장기대책으로 영구적으로 습지를 보존할 경우 소유주는 농업적 가치를 전액 보상받고 복원에 소요된 경비 전액을 지원받는다.

다) 수질개선장려계획(Water Quality Incentive Projects : WQIP)

1992년부터 시행되었으며 지하수 수질보호를 위한 자발적 참여계획이다. 비점오염원으로서 농업공해감소를 목적으로 하며 참여농민은 일정액의 초기추진비용과 실행비용으로 연간 에이커당 20\$까지, 개인당 연간 3,500\$까지 지원받을 수 있다. 계약기간은 일반적으로 3년이다.

라) 환경보전농업 선택(Conservation Farm Option : CFO)

밀, 사료곡물, 면화, 쌀생산농가를 대상으로 시범사업의 하나로 추진되고 있으며, 토양, 물, 관련자원의 보전, 수질보전과 개량, 습지보호·환원·창출, 야생동물이 서식지 개발과 보호 등 다양한 목적을 가지고 있다. 참여대상은 농산물시장전환법에 따라 생산조정계약을 체결하여 일정 계약면적을 가지고 있는 농지소유자 또는 생산자로 국한되며 자발적 프로그램이다.

마) 농지보호프로그램(Farmland Protection Program)

생산력이 높은 농지를 계속 농업용으로 사용할 수 있도록 농민을 도와주는 자발적 프로그램으로 신청자는 적어도 30년간 보전계획을 수용해야 하며 영구보전계획을 가지고 있는 경우 우선권이 주어진다.

바) 홍수피해감소프로그램(Flood Risk Reduction Program)

홍수가능성이 높은 농경지를 대상으로 하는 자발적 사업으로 농경지의 이주를 장려하기 위한 프로그램이다.

사) 자원보호개발프로그램(Resource Conservation & Development Program)

자연자원의 보전과 개발, 이용을 추진하고 전반적인 경제활동수준을 증대시키며 해당지역 주민의 삶의 질과 환경증진을 도모한다.

아) 야생동물서식지장려프로그램(Wildlife Habitat Incentive Program)

사유지에 물고기나 야생동물을 위한 서식지를 개발을 위하여 경제적 유인책을 제공한다. 계약기간은 최소 10년으로 개발비용의 75%

까지 지원받을 수 있다.

자) 민감성침식지역보존계획(Highly Erodible Land Conservation Compliance : HEL)

1985년 Sodbuster란 이름으로 시작되었으며 토양침식이 심한 지역에서 경작하는 농민이 토양침식감소수단을 강구하여 승인된 보전계획을 따를 경우 농무성이 시행하는 농가지원프로그램의 혜택을 주나 그렇지 않을 경우 대부분의 농가지원프로그램의 대상에서 제외시킨다.

2. EPA의 환경농업 프로그램

가) 호수수질보호프로그램(The Clean Lakes Program)

주정부가 호수수질을 검사하여 등급을 매기고 수질회복을 위한 사업추진 및 타당성 검토를 하도록 EPA가 주정부에 자금을 제공한다. 주정부는 이를 위해 2년마다 EPA에 호수수질상태에 관한 보고서를 제출하여야 한다.

나) 비점오염원 프로그램(The Nonpoint Source Pollution Program)

“The Clean Water Act”에 의해 주정부와 EPA는 비점오염원에 의한 오염물질부하의 감소가 없이는 기준수질을 확보할 수 없는 항해가능 수계를 찾아내어 공동으로 평가보고서를 작성해야 한다. 이와 함께 비점오염원에 의한 오염물질 감소를 위한 관리계획도 마련해야 한다.

다) 연안정화프로그램(The National Estuary Program)

오염위험이 높은 전국 주요 연안에 대해 보전 및 관리계획을 세우고 이를 실천할 경우 주 또는 지역단위의 수질오염감시기관에 연방정부가 재정을 지원한다.

3. 가축분뇨 시비기준¹³⁾

미국 전역에서 발생하는 가축분뇨중 퇴비화량은 매년 6,100만톤(1996)으로 화학비료필요량의 질소는 15%, 인은 42%가 대체가능하고 가축분뇨의 퇴비화에 의한 경제적 부가가치는 매년 340억달러에 달한다. 농무부에서는 가축분뇨 및 부산물 재활용프로그램을 운영하고 있는데 이 프로그램의 목표는 다음과 같다.

- 악취 및 병원균 발생을 감소시키는 기술 개발
- 저장 및 처리과정에서 양분보존 및 환경보전을 위한 관리기술 개발
- 환경보호와 토양처리가 용이한 액상폐기물 관리기술 개발
- 미량중금속 등 토양과 환경내에서의 동태파악 및 예측기술 개발
- 목초지 및 비료로 이용하기 위한 최적의 관리 기술 개발
- 영양분 및 미량원소의 신속분석기술개발
- 수질보호를 위한 토양의 양분보유한계 기준설정
- 토양처리시 양분, 미량 중금속 및 병원균의 오염예방 관리기술개발
- 처리조건에 따른 악취의 발생형태 및 저감기술개발

13) EPA, 「Preliminary Study of the Livestock and Poultry Industry」, 09/30 /1998

<http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0207.html>

<http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0208.html>

- 퇴비품질과 부숙도판정지표를 포함한 품질유지를 위한 기술개발
- 가축분 및 부산물의 가치증진을 위한 기술 개발
- 발생량, 지리적 위치 및 화학적/물리적 특성을 포함한 D/B구축
- 가축분 및 부산물의 경제적 가치 분석
- 농업에 대한 적합성 및 환경보호 측면에서 처리방법 결정체계 구축
- 정책결정자에게 정보 및 자료 제공

미국의 일반적인 축분처분방법은 비료와 토양조절제로서 토양에 적용, 작물생산을 위한 수분보강을 위해 토양에 적용, 축분을 세정하고 이송하기 위해 사용된 물의 재사용, 깔집으로 만들어진 고형물의 재사용, 보조에너지원으로 사용, 가축사료로 재사용 등이다. 가축분뇨 관리과정은 1단계 가축분뇨 발생량 산정, 2단계 영양분 발생량/이용가능량 산정, 3단계 연간 시비율산정으로 정하고 있으며, 시비율 산정 방법은 다음과 같다.

- (a) 적정 시비법 결정
- (b) 식물이 이용 가능한 질소량 계산
- (c) 과거 시비에 의한 잔류질소량 측정
- (d) (b)의 결과에서 (c)을 제외한 실제 필요량 계산
- (e) (d)의 결과인 필요 질소량을 바탕으로 실제 연간 필요한 퇴비량 계산
- (f) 필요 P_2O_5 를 바탕으로 실제 연간 필요한 퇴비량 계산
- (g) 필요 K_2O 를 바탕으로 실제 연간 필요한 퇴비량 계산
- (h) (e)~(g)의 결과를 토대로 연간 퇴비율 계산

방법에서 알 수 있듯이 3성분 모두를 고려하여 퇴비량을 계산하고 이를 토대로 연간 퇴비율을 계산한다. 가축분뇨내의 이용가능한 영양

분 및 적정 시비율 산정은 상당한 시간이 소요되므로 보다 효율적이고 정확한 계산은 컴퓨터 프로그램을 이용해 산정하며 컴퓨터 입력 자료는 현장토양 실험자료, 퇴비분석자료, 재배작물 및 수확목표, 퇴비살포방법 및 시기, 일반적인 비료성분가격이며 출력자료는 재배작물의 영양물질 균형을 위해 살포되어야 하는 면적당 퇴비량, 퇴비살포비용, 추가로 필요한 화학비료량 분석이다.

<표 3-13> 미국의 축분내 영양물질 함량

가축 종류	분뇨 발생량 (ton/yr)	고형물 함량 (%)	영양분 함량						
			N	P ₂ O ₅ *	K ₂ O**	N	P ₂ O ₅ *	K ₂ O**	
			kg/ton			kg/m ³			
젖소	15	12.7	4.54	1.86	3.58	4.97	2.04	3.93	
식육용 소	11	11.6	5.13	3.91	4.31	5.44	4.04	4.58	
송아지	11.5	8.4	3.95	0.95	4.08	4.37	1.05	4.53	
돼지	어린돼지	11.9	9.2	6.26	4.90	4.90	6.54	5.12	5.12
	성돈(식용)	5.9	9.2	6.31	4.90	4.90	6.89	5.34	5.34
	성돈(암컷)	15.9	9.2	6.44	4.85	5.03	6.95	5.24	5.43
양	7.3	25.0	10.21	3.45	8.85	11.72	3.95	10.00	
염소	7.0	31.7	9.98	2.45	6.85	10.31	2.53	7.08	
말	8.2	21.0	5.49	2.09	4.08	5.80	2.20	4.31	
조류	산란용 닭	9.7	25.0	12.38	10.66	5.99	12.88	11.08	6.23
	식육용 닭	13.1	25.0	15.15	7.58	5.67	15.96	7.98	5.97
	칠면조	8.4	25.0	10.75	9.43	7.67	11.67	10.24	8.32

주) 연간 가축무게 1000ib(A.U)당 발생하는 가축분뇨 및 영양물질
 $P_2O_5^* \times 0.44 =$ 인 발생량, $K_2O^{**} \times 0.83 =$ 칼륨 발생량

<표 3-14> 미국의 시스템별 영양물질 조성비교

· 고상시스템

축종	깔개유무	발생량 (ton/yr)	건조물 (%)	총질소			
				(kg/ton)			
돼지	w/bedding	6.1	18	3.63	2.27	3.18	3.18
	w/o bed	6.1	18	4.54	2.72	4.08	3.63
육우	w/bedding	2.6	50	9.53	3.63	3.63	11.79
	w/o bed	2.5	52	9.53	3.18	1.81	10.43
젖소	w/bedding	9.1	21	4.08	2.27	1.81	4.54
	w/o bed	10.6	18	4.08	1.81	1.81	4.54
양	w/bedding	6.5	28	6.35	2.27	4.08	11.34
	w/o bed	6.5	28	8.16	2.27	4.99	11.79
가금류	w/litter	4.4	75	25.40	16.33	20.41	15.42
	w/o litter	7.3	45	14.97	11.79	21.77	15.42
말	w/bedding	3.7	46	6.35	1.81	1.81	6.35

주) 연간 가축무게 1000ib(A.U)당 발생하는 가축분뇨 및 영양물질,

* 퇴비살포용량 : 1bu = 40-60ib

· 액상시스템¹

축종	퇴비저장	1000 gal/yr	건조물	총질소	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
			%				
돼지	Liquid pit	6.5	4	4.32	3.11	3.23	2.64
	Lagoon ²	26.2	1	0.48	0.36	0.24	0.48
육우	Liquid pit	2.8	11	4.79	2.88	3.23	4.07
	Lagoon ²	30.6	1	0.48	0.24	1.08	0.48
젖소	Liquid pit	3.3	8	2.88	1.44	2.16	3.47
	Lagoon ²	26.2	1	0.48	0.30	0.48	0.60
가금	Liquid pit	6.0	13	9.58	7.67	4.31	11.50

주) 1. 살포전환인자 : 1000gal = 약 4톤 ; 27,154 gal = 1acre inch

2. 축사강우유출수를 포함

축분은 고품, 액상 또는 슬러리 형태로 존재하고, 고품의 분비물은 15~25%의 고품물 분율을 가지고 액상은 0~4%, 슬러리는 그 중간정도이다. 축분을 토양에 환원시키기 위해 토양의 수분침투속도, 수분보유능, 조직과 충교환능력을 실험분석하고, 영양물질량과 작물 요구량을 사전에 조사하고 있다.

<표 3-15> 저장 및 취급시 손실되는 질소량

저장 및 취급방법		질소손실량(%)
고상	매일 수거·운반	15-35
	퇴비단	20-40
	노천축사	40-60
	깊은웅덩이(가급류)	15-35
액상	지하저장조	15-30
	지상저장조	10-30
	지상웅덩이	20-40
	혐기성 라군	70-80

주) 일반적으로 저장 및 취급시에 가장 많은 손실이 일어난다. 이 손실량은 토양살포시에 발생하는 손실은 제외한 것임.

<표 3-16> 살포방법에 따른 질소이용율

살포 방법	육우			젓소			닭			돼지			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
널리 펴줌	12시간내	60	25	10	55	25	10	70	20	5	65	20	10
	4일내	45	25	10	40	25	15	55	20	5	45	20	10
	섞어주지 않음	25	25	10	25	20	15	40	25	5	25	20	10
주입	Knife	50	25	15	50	25	15	-	-	-	50	20	10
	Sweep	60	25	10	55	25	15	-	-	-	65	20	10
	Conering Disk	60	25	10	55	25	15	-	-	-	65	20	10

미국은 전통적으로 가축분뇨를 슬러리 액비로 초지에 살포하는 가축분뇨 관리방식을 채택하고 있다. 그러나 최근 축분뇨 과다살포에 의한 토양오염, 인근수계 오염 및 지하수 오염 등에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 각 주마다 지역실정에 알맞는 시용기준과 방법이 적용되고 있다. 그러나 공통적으로 적용할 수 있는 가축분뇨의 시용기준은 아래와 같은 단위면적당 축분뇨 수요량 산출식을 이용한다¹⁴⁾.

$$10a \text{ 당 질소 } 00 \text{ kg에 해당하는 가축분뇨 환산} = \frac{\text{FGN}}{(\text{NC})(\text{NR})(\text{A})(\text{D})}$$

여기서 FGN : 작물별 질소 시비량(kg/10a),

NC : 가축생분중 질소함량(kg N/1,000 kg),

NR : 분뇨 관리상태에 따른 질소 잔류비율,

A : 분뇨중 질소의 시용 연차별 유효화율,

D : 시용후 탈질량을 제외한 잔존질소의 비율이다.

이 기준은 질소의 대사특성, 즉 질소는 대기순환을 하는 성분임을 감안하여 매우 복잡한 지표들을 적용하고 있는 것이 특징이다. 이와 같은 복잡한 수식에 의한 사용량 결정방법 보완을 위해 일부 주에서는 축종별, 작물별 및 분뇨 형태별 사용량 조건표를 만들어 농가에서 이용하도록 하는 지역도 있다. 최근 미국의 가축분뇨 활용에 있어 과다살포에 의한 환경오염을 최소화 하려는 쪽으로 전환되고 있는 것이 특징이며 축분 시용량 산출식에서 시용 연차별 시용질소의 잔류량까지 차년도 시용량 결정시 고려하는 점을 예로 들 수 있다. 다음은 주립대학이 중심이 되어 이루어지고 있는 시비추천방법의 두가지

14) Miller, R. W. 「An Introduction to Soil and Plant Growth」, 6th Ed. Chap 11, Prentice-Hall, USA, 1990

사례이다¹⁵⁾.

- 미조리(Missouri) 주립대학

미조리 주립대학의 경우 토양개량을 위한 사용량과 시비량의 2가지로 나누어 추천하고 있으며 토양 형태적 특성에 따라 지역을 나누어 놓고 지역과 작물에 따라 추천기준이 달라지도록 되어 있다.

<표 3-17> 미국의 식용곡물과 사탕수수에 대한 질소추천시비량

지역	관개유무	토성	추천식
북부	비관개	식질	$Lbs\ N/A=68+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-10\times OM(\%)$
		미사양질	$Lbs\ N/A=68+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-20\times OM(\%)$
		사질	$Lbs\ N/A=68+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-30\times OM(\%)$
	관개	식질	$Lbs\ N/A=88+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-10\times OM(\%)$
		미사양질	$Lbs\ N/A=88+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-20\times OM(\%)$
		사질	$Lbs\ N/A=88+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-30\times OM(\%)$
남부, 동남부	비관개	식질	$Lbs\ N/A=60+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-10\times OM(\%)$
		미사양질	$Lbs\ N/A=60+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-20\times OM(\%)$
		사질	$Lbs\ N/A=60+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-30\times OM(\%)$
	관개	식질	$Lbs\ N/A=80+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-10\times OM(\%)$
		미사양질	$Lbs\ N/A=80+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-20\times OM(\%)$
		사질	$Lbs\ N/A=80+0.84\times\text{목표수량}(Bu./A)-30\times OM(\%)$

주) Lbs N/A : Acre당 건조 파운드, Bu./A : Acre당 생산량(Bushel),
OM(%) : 유기물함량

본 연구에서 대상으로 하는 것은 시비량이므로 시비량에 대해서만 살펴보면 목표수량에 따라 다르게 추천하고 있으며 질소의 추천량은 관개유무, 지역(토양특성), 토양의 유기물함량에 따라 결정된다.

15) Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International symposium - Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998

<표 3-18> 미국의 식용곡류와 사탕수수에 대한 인 추천시비량

토양중 인산함량 (mg/kg)	생산목표 Bu./A			
	100 Bu.	130 Bu.	160 Bu.	190 Bu.
	연간 시비량 Lbs. P ₂ O ₅ /A			
25	95	110	130	153
50	88	102	121	144
75	80	94	111	134
100	72	85	102	123
125	63	75	92	112
150	54	65	81	101
151 - 175	44	55	70	89
200	34	44	58	77
225	24	33	46	64
250	20	22	34	51

주) Bu. : Bushel

인산추천방법은 시비량을 토양중의 유효인산의 함량과 목표수량으로 결정하고 목표수량이 증가되면 인산시비량이 가중되어 증가되도록 되어 있고, 토양중의 인산함량에 따라서는 감소하도록 설정하고 있다. 또 토양중의 인산함량이 많더라도 20 Lbs. P₂O₅/A를 주되 사료용작물은 시비하지 않도록 되어 있다.

칼륨추천방법은 인산의 경우와 같으며 다음 표는 식용 곡류와 사탕수수에 대한 예이다. 칼륨추천방법은 토양중의 치환성 칼륨과 양이온 교환용량 그리고 목표수량으로 결정하고 토양중의 치환성 칼륨함량에 따라 일정하게 감소하고 양이온 교환용량과 목표수량이 증가되면 일정하게 증가되도록 되어 있다. 또 인산시비방법과 마찬가지로 추천시비량이 적을 때에도 20 Lbs K₂O/A를 주되, 사료용 작물은 주지 않도록 되어 있다.

<표 3-19> 미국의 식용곡류와 사탕수수에 대한 칼륨 추천시비량

토양중 칼륨함량 (mg/kg)	생산목표 Bu./A											
	100	130	160	190	100	130	160	190	100	130	160	190
	CEC 4				CEC 16				CEC 24			
	Lbs. K ₂ O/A											
120	75	96	116	136	96	116	136	157	109	130	150	170
160	66	86	105	124	84	103	123	142	96	115	134	154
200	57	76	94	113	72	90	109	127	82	100	118	137
240	48	66	83	101	60	77	95	112	68	85	103	120
280	39	56	72	89	48	64	81	98	54	70	87	103
320	30	46	61	77	36	52	67	83	40	55	71	87
360	21	36	50	65	24	39	53	68	26	41	55	70
400	20	26	40	53	20	26	40	53	20	26	40	53
440	20	20	29	41	20	20	26	39	20	20	24	37

주) CEC : 양이온 교환용량

- 콜로라도(Colorado) 주립대학

콜로라도 주립대학에서 제시한 토양관리방안에는 환경보호측면이 많이 강조되었으며 시비추천을 농약의 사용과 축분의 관리 등을 종합적으로 고려하도록 지도방향을 설정하고 있다. 시비추천은 첫째, 5년간 평균수량의 105%정도로 목표수량을 정하도록 하고, 둘째, 유효근권깊이에 잔존해 있는 질산성 질소를 측정하고 또한 토양유기물 등 질소원에 대해 평가한 후, 셋째, 완효성 질소비료와 질산화 억제제 그리고 경제적 질소분시 등 적절한 질소시비방법을 설정하여, 넷째, 토양과 지하수특성에 따라 시비량과 관리방법을 결정하여 수질을 보호하고 최대의 수익을 얻도록 하고 있다.

<표 3-20> 질소원별 유효질소량

질소원	유효질소량
토양유기물질	30Lbs/%OM
토양잔류질산성질소	3.6Lbs N/ppm NO ₃ -N
퇴비	10.0Lbs N/ton manure(dry wet)
관개용수	2.7×AF(Acre×Feet)×ppm NO ₃ -N
이전의 alfalfa/sweet clover	50~100Lbs N/acre
기타 이전의 콩과작물	30 Lbs N/acre

주) OM : 유기물 함량(%)

<표 3-21> 토양특성에 따른 관개용수내 질소함량의 권고치

토양중 NO ₃ -N (mg/L)	토양중 유기물 함량%		
	0~1.0	1.1~2.0	>2.0
	시비율, Lbs N/A		
0~6	115	85	65
7~12	95	65	45
13~18	75	45	25
19~24	55	25	0
25~30	35	0	0
>30	0	0	0

3.3. 독일

1. 환경농업 정책방향

독일은 환경문제의 중요성을 가장 먼저 인식한 국가중의 하나로서 1970년대 초부터 환경정책을 도입하였다. 환경정책의 주요과제로는 자연 및 경관보전, 안전한 식품의 생산, 환경보전적 농업생산이다. 1976년 자연보호 및 경관보전법을 제정하였으며, 1980년대 중반에는 저투입·조방화 농업이 등장하였고 1993년 1월에는 유기농업의 상표를 규정하는 에코링을 시행하였다.

2. 환경보전농업의 추진

지하수 오염이 심각하여 전국토의 11%정도가 수자원 보호구역으로 지정되어 있고 토지사용을 규제하고 있다. 독일은 OECD국가중 비료사용량이 가장 높은 국가로 수자원보호지역에서 농업활동제약에 따른 손실은 연방정부 수자원관리법에 의거 보상하고 있다. 농약의 경우 제조전 신고체제가 잘 구축되어 있고 축분의 최대농경지살포량은 170kgN/ha로 규제하고 있다. 가축분뇨 살포시에는 관할 행정기관에 사용계획을 제출하여야 하며 증거서류 첨부제출이 의무규정이며, 관할행정기관은 농용지면적, 가축사육두수기준, 분뇨비료 살포의 적정성을 판단하여 행정명령으로 분뇨비료살포를 제한하거나 금지할 수 있다. 비료성분을 초과하거나 작물의 비료성분 요구량을 초과하여 시용할 경우에는 분뇨를 폐기물로 간주하여 폐기물관리법에 의해 엄격히 관리하고 있다.

<표 3-22> 독일의 가축분뇨 관련법규

관련 법규	기 본 내 용
수질보전법	<ul style="list-style-type: none"> · 축산폐수의 직접방류 불허 - 처리된 방류수 BOD를 15~20mg/L으로 규정 - 저장하는 경우에는 유수에 의한 오염물질의 하천유입 금지
폐기물재활용법	<ul style="list-style-type: none"> · 액비의 살포와 이용에 관한 규정 - 시비할 수 있는 농경지의 면적에 따라 사육두수 제한 - 1ha당 3분뇨단위(1분뇨단위 : 총질소 80kg, 총인산 70kg을 함유하는 액비의 양)를 초과할 수 없도록 규정 - 질소성분이용이 저조한 겨울철에는 액비의 살포를 금지
대기오염방지법	<ul style="list-style-type: none"> · 악취문제 - 가축의 사육환경, 분뇨저장방법, 분뇨처리방법, 환기시설 등을 점수화하여 총점수와 사육규모에 따라서 주거지역과의 이격거리를 규정
비 료 법	<ul style="list-style-type: none"> · 살포되는 비료성분 함량이 흡수되는 양과 동일하도록 규정 · 유럽연합 질소지령(EU nitrate directive)의 지침이행을 위해 분뇨의 비료로서의 이용을 세부적으로 제한 - 총분뇨살포량을 초지 210kg/ha, 농경지 170kg/ha로 제한

자료 : 총리실 수질개선기획단, 「수질개선지원기관, '98 연구발표보고서」, 1999.

3. 환경농업지원 프로그램

환경보호 및 조방적 농업생산 프로그램이 5년단위로 자발적 신청에 의해 계약된다. 조방적 초지경영프로그램의 경우, 무비료, 무농약을 원칙으로 1.4AU¹⁶⁾/ha이하로 초지를 경영하는 농가가 자격이 있으며 초지의 10%를 방치(매년 순환), 초지수확을 지연, 초지관리 등의 프로그램이 있다. 조방적 농지경영프로그램은 무비료, 무농약을

16) 가축단위(animal unit)는 모든 각종 동물에 대한 통일단위로 육우와 사육소에는 1을 곱하고, 젖소에는 1.4를 곱하고, 25kg이상의 돼지는 0.4를 곱하고, 양은 0.1, 말은 2.0을 곱하여 더한다(자료 : 40 CFR §122.23 Concentrated animal feeding operations(applicable to state NPDES programs)).

원칙으로 하며, 2.0A.U./ha사육을 원칙으로 한다. 유기농업 프로그램도 무비료, 무농약을 원칙으로 하고 1.0A.U/ha의 축분을 농경지에 살포할 수 있는데 이 프로그램에 대한 보조금은 조방적 경영에 대한 보조금보다 높게 지원된다.

기타 환경농업관련 프로그램으로는 휴경제도(5년 : 농산물 잉여감축을 목적, 20년 : Biotope유지가 목적), 발가장자리 지원(Field Margin) 프로그램이 있으며 Field Margin Program의 경우 발가장자리 2~20m공간을 비료와 농약을 사용하지 않음으로서 생물종 서식처로 제공하는 것을 목적으로 하고 1년마다 계약갱신이 가능하다.

조건이 불리한 지역에 대한 보조로서 1975년부터 독일 전체 농업지역중 50.6%에 대해 55~250DM/ha범위로 토양의 척박도와 지역의 가축사육두수에 따라 지원을 하고 있다. 이 보조금의 25%는 EU에서 지원하고 나머지 75%의 60%는 연방정부예산, 40%는 주정부예산에서 지원한다.

4. 가축분뇨 시비기준

독일은 각 지역에서 집약적 축산이 번창하여 약 1,800만마리의 소와 2,700만마리의 돼지로부터 연간 1억 8천만~2억 m^3 의 분뇨가 발생하고 있다. 전체 농경지 면적이 넓으므로 가축분뇨발생량이 농경지 면적에 비하여 과다하지는 않으나 집약적 축산이 이루어지고 있는 지역이나 수자원 보호지역에서는 분뇨로 인한 문제가 심각하다. 앞서 살펴보았듯이 독일은 최대양분사용량을 80~200kgN/ha, 70~175kg P₂O₅/ha로 제한하고 있다.

<표 3-23> 독일의 축분내 영양물질 함량

(단위 : kg/두, yr)

구 분	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu
소 1두 (2세 이상)	72	35	100	-	14	0.09
번식돈 1두 (새끼포함)	25	18	18	-	6	0.05
비육돈 10두	95	65	65	-	20	0.44
채란계 100마리	68	60	41	100	14	0.07

자료 : G. Steffens and F. Lorenz, "Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt", (<http://envy.naist.go.kr/agricultural/>)

<표 3-24> 분뇨 중 질소 이용률(%)

작 물	퇴 비	슬러리
곡 류	20-25	60-80
엽 채	25-40	70-90
초 지	25	40-70

자료 : G. Steffens and F. Lorenz, "Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt", (<http://envy.naist.go.kr/agricultural/>),1999

분뇨 중 인, 칼륨, 마그네슘, 등의 이용효율은 알맞은 시용 조건 하에서는 화학비료의 이용효율과 같은 정도로 높다. 분뇨 중 암모니아성 질소는 약 10~25%, 슬러리에서는 약 50~70%이다.

분뇨시용량은 질소 함량만을 근거로 정하는 것은 부적절하며 분뇨에 포함된 양분을 알맞게 이용하기 위해서는 미량요소 요구량을 최소량으로 조달할 수 있는 양으로 시용량을 제한할 필요가 있다. 소의 경우에는 칼륨이 이에 해당하며, 돼지나 닭은 인이 이에 해당한다. <표 3-25>는 일반적인 경작형태에서 제한양분에 따라서 슬러리시용량을 계산한 경우 나머지 양분공급량이다. 다음은 곡류·근채의 윤작 및 일반적인 토양조건에서의 축분퇴비의 시용기준이다.

<표 3-25> 독일의 축분퇴비 시용기준

구분	슬러리 중 함량기준 (kg/ha/yr)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
우슬러리	100	50	140
돈슬러리	140	90	90

자료 : G. Steffens and F. Lorenz, "Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt", (<http://envy.naist.go.kr/agricultural/>), 1999

최대의 효과를 얻기 위해서는 다른 양분 특히 질소의 부족분을 화학비료로 보충할 필요가 있다.

3.4. 네덜란드

1. 농경지 자연보전정책

국토전체의 60%가 농경지이고, 농경지의 절반이 초지로서 1970년대 초반부터 농업과 환경간의 균형회복에 대한 요구가 급증하였다. 1975년 “농업과 자연보전에 관한 정책문서”를 발간하였는데 보전지역을 농업에 의해 이윤을 남기기 어려운 지역으로 보고 이에 대한 관리는 자연보전을 담당하는 부서가 주관하게 하였다. 1990년에는 자연정책계획을 발표하였고 이 계획에서 자연개발지역(농업지역으로서 새로운 자연지역으로 개발전망이 있는 지역)이라는 개념을 도입하였다. 농경지에 대한 자연보전지역중 준자연초지는 전체 초지면적의 2%미만으로 다양한 식물종이 분포하고 질소비료의 연간 사용량이 50kg미만인 경우 환경보전의 가치가 있는 초지로 본다. 또한 조류생육지역, 물새를 위한 월동지역도 자연보전지역에 해당한다.

2. 집약적 축산에 대한 환경부하 경감대책

네덜란드의 축산업은 집약적 특성을 가지며 배합사료의 80%가 해외에서 수입되고 있다. 1960년부터 1990년의 30년 동안 사료의 생산 및 소비량은 350% 증가하였고, 가축분뇨생산량은 180% 증가하였다. 이와 같은 집약적 축산은 영양염류의 지하수용탈과 표토층유실을 유발하였다. 이에 네덜란드는 암모니아 휘발에 의한 유실을 감소시키는 정책개발에 주력하고 있으며 2000년대의 영양물질 관리목표는 다음과 같다.

가) 질소관리목표

- ① 지하수를 음용수로 사용할 수 있는 지역으로 염분농도가 150mg Cl/L인 지역은 지하수 2m깊이에서 질산성질소함량이 11.3mg/L이하일 것.
- ② 정채된 지표수의 총 질소함량이 2.2mg/L이하일 것
- ③ 1995년까지 북해에 대한 총 질소배출량을 1985년 대비 50%수준으로 감축할 것
- ④ 전국토의 암모니아성 질소의 휘발량을 1980년 대비 70% 수준으로 감축할 것

나) 인관리목표

- ① 인산질 비료의 사용량을 식물체가 흡수하는 양과 불가피한 손실량을 합친 양으로 제한할 것.
- ② 정채된 지표수의 인산함량은 0.15mg/L이하로 할 것.
- ③ 북해의 총 인산배출량을 1995년까지 1985년 대비 50% 수준으로 감축할 것.

이상의 목표를 2000년까지 이루기 위해 1987년부터 수행하고 있는 3단계 정책은 다음과 같다.

- 제1단계(1987~1990) : (확립기) 퇴비생산 통제수단강구시기
- 제2단계(1991~1994) : (시용량감축기) 시용량 감소, 급이방법 개선, 사료구성 최적화 등
- 제3단계(1995~2000) : (균형기) 2000년까지 질소와 인산의 균형달성으로 영양소 균형시스템 완성

이상의 정부차원에서 정책외에 농가수준의 대책은 가축영양관리를 통한 배설물에 의한 영양소유실을 축소하는 방법과 가축분뇨를 경종농가에 수송하여 처분하고, 가축분뇨를 퇴비가공공장에 처분하여 고품질의 건조퇴비 펠렛으로 가공한 후 해외로 수출하는 방법이 있다. 또한 작물흡수율에 맞추어 시비하고, 암모니아 휘발을 낮출 수 있는 축사구조, 퇴비시용법, 퇴비처리 및 저장체계를 확립하고 방목 제한 및 작물경작법을 개선하고자 한다.

네덜란드에서는 처음부터 정부에서 여러 가지 엄격한 규제를 설정하였으나 이제 개별농가의 상황에 적합한 최적수단을 개발하여 선택할 수 있는 융통성 있는 정책으로 전환되고 있다.

3. 가축분뇨 시비기준

네덜란드는 농업국가로 경작지 ha당 질소부하량 507kg(축분에 의한 질소부하량 280, 화학비료 227)으로 좁은 면적에 많은 수의 가축을 사육하고 있다. 네덜란드는 한계시용량을 질소기준에서 인산기준으로 바꾸어 적용하고 있는데 연간 ha당 초지 250kg, 경작지 125kg으로 이 기준에 따라 적용하면 자국내 처리가능량 66백만톤중 16백만톤의 잉여량이 남는다¹⁷⁾.

네덜란드는 우리나라와 같이 경지면적에 비하여 가축사육밀도가 높은 나라이다. 발생하는 분뇨를 전량 농경지에 환원하여 왔기 때문에 유럽지역중 가축분뇨에 의한 토양중 양분집적과 지하수중 질산염 오염문제가 심각한 나라중의 하나이다. 따라서 네덜란드의 퇴비 품질 기준은 유럽의 다른 나라 보다 엄격하고 퇴비 시용기준 또한 매우 낮게 적용하고 있다.

17) 국립종축원, 「외국의 축산폐수 처리대책」, 농림수산부, 1992. 6

<표 3-26> 네덜란드의 일반퇴비 시용기준

퇴비등급	시용량	작물
일반퇴비	300 kg/10a	식용작물 및 옥수수
	150 kg/10a	초지

자료 : Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International symposium - Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998

이와는 별도로 토양중에 투입되는 인산함량을 근거로 작물별 최대 사용량을 결정하기도 하는데 이 기준은 농경지 토양에 인산의 집적을 효율적으로 감소시키기 위한 대안으로서 퇴비중의 인산성분을 근거로 시용량을 제한하는 것이다.

<표 3-27> 네덜란드의 인산기준 퇴비시용기준

토지 이용형태	P ₂ O ₅ 투입량(kg/10a)
식용작물	12.5
옥수수	'94. 12. 31 까지 15.0, '95. 1.1부터 12.5
목초	'94. 12. 31 까지 20.0, '95. 1.1부터 12.5

자료 : Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International symposium - Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998

3.5. 뉴질랜드

1. 환경농업정책

1991년의 자원관리법에 의하여 정책을 시행하고 있으며 환경정책의 기초는 지속가능한 자원관리, 예방적 원칙적용, 환경적 외부성의 내부화로 “환경 2010전략”에서 다음과 같이 구체화되었다.

- 지속가능한 토지이용전략개발
- 수질·대기의 보전 및 폐기물 관리
- 원시림 보호 및 생물다양성 보전
- 해충관리 및 수산자원 보호를 위한 어획한도 설정관리
- 이산화탄소발생량을 2000년까지 1990년 수준으로 회복
- 오존층 파괴물질 사용금지

2. 가축분뇨 시비기준

농업이 뉴질랜드 경제의 주요 산업으로 총생산액중 축산물생산이 73.7%, 화훼 12.6%, 경종 3.4%로 구성되어 있다. 자원관리법에 따라 토지 및 수자원관리, 병해충의 종합적 관리를 수행하고 있으며 비점오염원에 대한 대책은 미비한 상황이다. 인산사용이 일반적이고, 질소는 사용하지 않는다.

목초지가 주요 토지용도이므로 작물보다 오히려 목초지에 대해 자세한 시비추천량이 작성되어 있으며 목초지에 대한 추천방법은 기존 목초지와 신규 조성의 경우로 나누어져 있다. 기존 목초지의 경우

토양종류와 가축에 대한 인산의 손실요인을 정해놓고 가축에 대한 이용정도로서 인산의 부족량을 계산하여 보충하는 개념이며 신규 조성의 경우에는 토양의 인산보유능과 토양중 인산함량으로 추천하고 있다. 기존 목초지의 인추천량은 다음식과 같다.

$$P \text{ 시용량} = \log_{10}(100/[100-8550 \times SR / (CC \times PU)]) \times CC \times (0.005 \times CC + 0.275) \times (PU \times ALF \times 0.0301 + SLF \times 5.79)$$

여기서 ALF : 축종별 손실량(kg/P/Su)

SLF : 토양종류별 손실율

CC : 토지에 대한 가축수용능력(Carrying Capacity)¹⁸⁾

SR : 단위면적(ha)당 평균가축수

PU : 가축이 연간 소비하는 양/총생산량

SU : 수태지 40kg을 1로 했을 때의 비율

토양종류별 인손실인자의 범위는 0.1~0.40이다. 축종별 체중에 따른 가축단위 전환인자는 수태지 40kg을 1로 보고 축종별 무게 등에 따라 0.7~6.3의 인자를 정해 놓고 있다.

18) 가축수용능력(Carrying Capacity) : 목초생산이 최대수량의 95%를 유지하고 생산량의 90%를 이용하며 건물중으로 목초 550kg으로 1마리를 키울 수 있을 때 1ha당 키울 수 있는 가축의 수.

<표 3-28> 축종 및 토양종류별 손실인자

축 종	토양종류	손실인자(kg/P/Su)
양, 육우, 사슴 (조밀순환방목)	Border dyke irrigation	0.5
	Flat and rolling	0.5
	Easy hill	0.7
	Steep hill	0.9
양, 육우, 사슴	Border dyke irrigation	0.9
	Flat and rolling	0.7
	Easy hill	0.9
	Steep hill	1.1
젖소	Flat and rolling	0.9
	Easy hill	1.1
젖소 (낮/밤 소규모 목장 손실)	System, day paddock	1.1

3.6. 스웨덴

직접규제보다는 각종 경제적 수단을 사용하여 유도하고 있으며 환경정책은 인간의 건강보전, 생태계보호, 자연자원 및 경관관리를 기조로 하고 다음의 원칙을 따른다.

- 사전예방
- 자원의 재이용 및 재활용과 최소화를 위한 생태순환정책
- 유해물질을 환경친화적 물질로 대체
- 사용자 부담원칙에 의한 환경비용의 내부화
- 모든 경제분야에서 지속가능한 개발추진

1980년대 중반부터 자연경관미, 전통적 가치의 유지보존, 생물다양성보호, 농업의 환경적 피해의 최소화에 기본목표를 두고 있으며, 구체적인 목표는 다음과 같다.

- ① 1998년까지 국토의 19%에 해당하는 60만ha농경지를 자연경관보존 프로그램의 대상으로 설정
- ② 1995년까지 농업에 의한 질소비료 시용량을 1986년 대비 50% 수준으로 감축하고 2001년까지는 20%수준으로 감축(1980년부터 10% 비료세 도입)
- ③ 1994년부터 농약세를 도입하고, 농민교육을 필수화
- ④ 단위면적당 가축사육밀도를 젓소 1.6두/ha, 비육돈 10.5돈/ha, 산란계 100두/ha로 제한. 축분저장시설, 가축분뇨 농경지 살포 등에 관한 기술적 규제를 1995년 7월부터 시행
- ⑤ 2001년까지 농경지의 10%를 유기농업화

3.7. 덴마크

축산이 주력산업으로 축산으로 인한 오염에 대한 규제가 엄격하다. 축분자체농장 살포기준은 ha당 소는 2.3LU¹⁹⁾, 돼지 1.7, 기타 가축은 2.0이며 잉여퇴구비는 다른 농가로 이전하여 사용하도록 되어 있다. 시설기준으로는 31LU를 기준으로 기준미만의 농가는 환경적으로 적절한 방법으로 퇴구비 살포에 필요한 저장능력을 확보하여야 하고 기준이상의 농장은 가축배설물을 9개월간 저장한 능력을 확보하도록 하고 있다. 120LU이상의 퇴구비 저장시설 및 15LU이상의 축사가 이웃주택과 50m이내에 위치하거나 도시 또는 휴양지의 경계로부터 100m이내 위치, 육계5만수 이상 또는 기타 가금 1만수 이상을 사육하는 경우에는 환경승인을 받아야 한다.

<표 3-29> 덴마크의 가축분뇨저장 및 살포기준

항 목	세 부 기 준
자체농장 살포기준	<ul style="list-style-type: none"> · 소2.3LU/ha, 돼지 1.7LU/ha, 기타 혼합 2.0LU/ha이며, 잉여퇴구비는 다른 농가에 이전시켜 사용하도록 한다. · 살포후 12시간 이내에 경운작업 실시
저장시설 기준	<ul style="list-style-type: none"> · 31LU를 기준으로 기준미만의 농장은 6개월간, 기준이상은 9개월 이상의 저장용량 확보해야 함
살포시 제한규정	<ul style="list-style-type: none"> · 주거지로부터 50m이내에는 살포금지 · 지면이 얼어있는 상태에서는 살포금지 · 축사, 퇴비야적·저장은 공공용지로부터 최소 50m, 식품가공공장 25m, 하천, 호수, 농가, 공공도로, 이웃토지경계로부터 15m이상 이격거리를 두어야 한다.

자료 : 총리실 수질개선기획단, 「수질개선지원기관, '98 연구발표보고서」, 1999.

19) 1.0LU는 동물단위로 생체중량 500kg임. 가축종류별, 연령별 평가기준은 황소 1.2LU, 젃소 및 비육성우 1.0LU, 1년 미만의 육성우 0.7LU, 송아지 0.3LU, 종돈 0.3LU, 비육돈 0.16LU, 새끼돼지 0.02LU, 1년 이상의 양 0.1LU, 1년이하의 양 0.05LU, 산란계 0.02LU, 비육계 0.0017LU로 평가.

3.8. EU

육우의 경우 조방적 축산에 대한 보조를 시행하고 있으며 2LU/ha까지는 기본 보조금을 지급하고 1.4LU/ha까지는 추가로 보조금을 지급하고 있으며, 앞으로 1.0LU/ha에 대해서도 더 많은 추가보조금을 지급하고자 추진중이다. 양돈에 대해서는 보조금이 없으며, 2만마리 이상의 양돈농가는 사업개시전에 환경영향평가를 반드시 수행하여야 한다.

비료사용에 대한 규제로는 질산염에 대해 환경친화적 비료사용, 지하수·지표수 수질을 음용수기준(50mg NO₃⁻/L)으로 유지하는 것과, 시·공간적 규제로서 겨울에는 비료사용금지, 수원주변 20m내 비료사용금지가 있다. 또한 축산시설의 분뇨저장탱크 시설에 대해 3~6개월 저장용량(설치보조 없음)을 의무화하고 있다. 사용량에 대해서는 무기질비료는 상한규제가 없으나, 유기질비료는 최고 170kgN/ha.yr로 사용량을 규제하고 있다.

EU에서는 가축분뇨를 자연자원으로 정의하고 저장과 사용에 대한 기준을 정해 토양환원을 통하여 환경보전의 목표에 도달하고자 한다. 농경지에 살포할 경우 분뇨를 저장할 수 있는 시설을 갖추어야 하는데 다음은 저장시설의 용량규제기준이다.

<표 3-30> 가축분뇨 액비화를 위한 저장용량 규제기준

국 가	독 일	덴마크	네덜란드	영 국	프랑스
저장용량(개월)	6	6~9	6	4	1.5

제 4 장 환경용량을 고려한 가축분뇨 관리방안

이상 2장에서는 국토환경용량 실태와 가축분뇨 관리여건을 검토하였고, 3장에서는 외국의 가축분뇨에 대한 시비기준과 농업환경에 대한 기본정책을 살펴보았다. 본 장에서는 앞서 연구목적에서 밝힌 것처럼 우리나라 국토 환경용량의 측면에서 우리나라 국토가 수용할 수 있는 가축분뇨의 총량을 검토하고 이를 바탕으로 한 적정시비량을 산정하고자 한다.

4.1. 농지의 시비상태와 영양물질 관리실태

1. 현 시비상태의 평가

가) 우리 나라의 시비량 산정방법

(1) 시비량

시비량은 토양, 기후 등 환경조건 외에 작물종류, 품종에 따라 서로 다르다. 또한 비료의 가격 및 생산조건, 농산물의 가격에 따라 서로 좌우된다. 적정시비량을 구하는 방법은 일반적으로 다음과 같이 세가지가 있다²⁰⁾21). 외국의 경우도 시비기준은 주로 작물의 영양물질 소비량, 비료효율, 축분의 영양물질 함량 등을 고려하여 정해져 있으

20) 농협중앙회, 「비료사용안내」, 1995.

21) 정광용, 엄명호, “유기질 퇴비 사용기준과 금후 발전방향”, 「한국토양비료학회 워크샵 자료」, 1999. 5.

며, 유출 및 침투 등을 통해 수계로 유입되는 부분에 대해서는 고려되지 않고 있다.

① 시비기준(관행)에 의한 방법

현재 우리 나라에서는 중앙과 지방시험기관에서 작물별 및 지역별로 적량시험을 통하여 결정한 기준이 있으므로 이를 이용한다. 그러나 이 추천량이 항상 어느 곳에서나 적합한 것은 아니며 이를 기준으로 지역사정에 따라 조절하여야 한다.

② 3요소 적량시험에 의한 방법

현지에서 3요소 적량시험을 실시하여 최적량을 결정하는 방법이므로 가장 합리적이라 할 수 있다. 그러나 농민이 각자 할 수 없는 일이어서 현재 전문적인 시험기관에서 지역을 선정하여 실시하고 있다. 개간지나 새로운 작물을 도입한 곳에 적용한다.

③ 작물의 소요성분량으로 산출하는 방법

작물의 종류 또는 품종이 새로운 것이거나 지금까지 실시해 온 관행 시비량이 분명하지 않거나 간척지나 개간지와 같이 새로 경작을 하게 되는 지역에서는 양분의 소요량으로 시비량을 계산할 수 있다.

$$\text{시비량} = \frac{\text{소요(흡수)양분량} - \text{양분천연공급량}}{\text{비료의 이용율}} \times \text{면적}$$

일반적인 시비량의 산출법은 다음과 같다.

$$\text{시비량(kg/10a)} = [(Y \times N)/C_1 - R] / C_2$$

여기서 Y : 목표수량(kg/10a)

- N : 필요양분량(kg/kg)
 R : 토양잔류비료성분량(kg/kg)
 C₁ : 비료양분율
 C₂ : 시용비료의 성분함유율 이다.

이상은 총 비료주입량의 개념으로 접근한 시비량이고 축분퇴비의 시비기준은 다음과 같다.

④ 토양중 인산함량에 의한 방법

퇴비중의 성분량이 가장 높은 인산함량을 기준으로 토양중의 유효인산 함량으로서 퇴비사용량을 설정한다.

<표 4-1> 토양 인산함량에 따른 축분퇴비 사용기준

토양유효인산 (mg/kg)	101~150	151~200	201~250	251~300	301~350	351~400	400이상
가축분퇴비 (kg/10a)	1,287 ~ 1,106	1,102 ~ 922	918~737	734~553	549~368	365~184	0

자료 : 농과원, 「'97영농교본」, 1997.

$$\text{적용회귀식 : } y = -3.687x + 1,659.17(x=\text{토양중유효인산, mg/kg})$$

⑤ 퇴비중의 인산함량에 의한 방법

가축분 퇴비중 질소성분을 기준으로 사용량을 결정할 경우 가축분 시용에 따른 인산비료 과다투입 및 염류집적에 의한 작물 생육장애가 우려되어 작물별로 인산함량을 기준으로 하는 방법이며 기준 시비량을 적용할 때와 토양검정후 시비량을 적용할 때를 구분하여 다음의 계산식을 축분사용량을 결정할 수 있다. 작물별 기준시비량과 가축분 종류별 3요소 평균 성분함량을 이용하여 사용량을 결정할 때는 이미 제시된 가축분의 인산기준 사용량 조건표를 참조하면 된다.

<작물별 가축분 시용량 및 퇴비중 비료량 계산>

- 가축분 시용량(kg/10a)
 - = [작물별 기준시비량 ÷ 가축분중 성분량(%)] × 100
 - = [작물별 토양검정 시비량 ÷ 가축분중 성분량(%)] × 100

- 가축분중 비료량(kg/10a) =
 - = [가축분 시용량 × 가축분중 성분량(%)] ÷ 100

<표 4-2>은 인산을 기준으로 한 작물별 축분퇴비 사용기준으로 축분 퇴비중의 인산이 100% 가용화 되는 것으로 가정하고 작물별 시비량에 해당하는 인산을 퇴비로 공급한다는 개념하에 설정된 기준이다. 질소와 칼륨의 부족분은 화학비료로 보충할 수 있다.

<표 4-2> 인산기준 축분퇴비 작물별 시용량

작물	시비기준량(kg/10a)			퇴비중 질소성분량 (kg)	인산기준 퇴비사용 (kg/10a)	퇴비중 칼리성분량 (kg)
	질소	인산	칼리			
벼	11.0	7.0	8.0	3.5	345	2.2
고추	19.0	11.2	14.9	5.6	552	3.6
토마토	24.0	16.4	23.8	8.2	808	5.3
오이	24.0	16.4	23.8	8.2	808	5.3
참외	25.0	7.7	16.0	3.8	379	2.5
감자	10.0	8.8	13.0	4.4	433	2.8
배추	32.0	7.8	19.8	3.9	384	2.5
장미	58.0	58.0	48.0	28.9	2857	18.6
국화	22.0	22.0	20.0	10.9	1084	7.0
옥수수	20.0	15.0	15.0	7.5	739	4.8

주) 3개 축종 58개 작물에 대한 사용량 조건표

자료 : 농과원, 「'97영농교본」, 1997

⑥ 논토양에 대한 농토배양을 고려한 방법

1980년대 논토양에 대한 농토배양과 다수확을 위한 토양개량 기준으로 단위면적당 쌀의 증수를 목표로 하여 다수확 기준에서는 3,000 kg/10a를 추천하고 있으며, 농토배양기준은 토양중 유기물 함량을 기준으로 1,000 - 2,000 kg/10a로 구별하고 있다. 그러나 이 당시 추천되던 퇴비는 순수 축분퇴비만을 이용한 것이 아니므로 가축분뇨 퇴비에 이 기준을 적용하는 것은 무리가 있다.

<표 4-3> 논토양 농토배양 방법별 시비기준

구분	농토배양기준	다수확기준
작토심	18 cm	18 cm
퇴비	OM 함량에 따라 시용*	3,000 kg/10a
벼짚	-	500 kg/10a
규산	130 mg/kg 조절	180 mg/kg 조절
인산	100 mg/kg 조절	200 mg/kg 조절
칼리	CEC의 4% 조절	CEC의 6% 조절
아연	3 kg/10a	5 kg/10a

자료 : 박양호, “토양개량”, 「한토비지」, 31(별쇄본), 1998

주 : * OM 함량 1% 미만 : 2,000 kg/10a,
 OM 함량 1-2% : 1,500 kg/10a,
 OM 함량 2-3% : 1,000 kg/10a

⑦ 토양검정에 의한 시비처방기준

현행 토양검정에 의한 시비처방기준으로 설정된 퇴비사용량은 토양중 유기물 함량을 기준으로 하고 있으며, 토양 검정결과 토양 유기물 함량이 2.0% 미만인 경우는 퇴구비 1,600 kg/10a, 유기물 2.1 - 3.0%인 토양은 1,200 kg/10a, 유기물 함량 3.1%이상인 토양은 800 kg/10a의 퇴비사용을 권장한다. 이 기준은 과거의 벼짚퇴비를 기준으로 한 것이며, 가축분 퇴비 이용시에는 분뇨중의 양분 함량을 고려

하여 차별하여 적용토록 하고 있다. 우분퇴비는 볏짚퇴비와 동일하게 취급하나 돈분퇴비는 우분퇴비의 40% 수준, 계분퇴비는 35% 수준으로 사용량을 낮춰야 한다. 토양검정에 의한 시비처방서에 제시하는 퇴비 사용기준은 퇴비에 의한 양분공급효과는 고려하지 않기 때문에 화학비료를 가감할 필요가 없다.

이상 우리 나라에서 활용되고 있는 축분퇴비의 사용기준 중 토양 중 인산함량 및 퇴비중 인산함량을 기준으로 설정된 기준은 정확한 분석기술을 바탕으로 설정된 기준으로서 작물의 생산성 보다는 토양 환경 보존에 더 중점을 두고 있다. 이는 축분퇴비는 퇴비중에 비료성분을 포함하고 있으며, 포함된 비료성분은 농작물에 이용이 된다고 전제한다. 한편, 농토배양 기준과 시비처방기준은 퇴비를 토양개량제로 보고 작물이 필요로 하는 양분은 화학비료로 공급하는 것을 전제로 설정된 기준이다.

(2) 비료의 이용율(흡수율)

토양에 부족한 양분은 비료의 사용에 의해 보충된다. 그러나 시용한 비료가 작물에 모두 흡수·이용되지는 않는다. 이는 시용된 비료의 일부가 용탈·휘산 및 토양중에서 유기화·난용화되기 때문이다. 시용한 비료중 작물에 흡수·이용된 분율을 비료의 이용율이라 하며, 이는 성분별로도 차이가 있다.

① 질소

질소의 이용율은 시비량에 비례하여 소비구는 60%, 표준구는 51%, 다비구는 47% 정도이다. 생산량을 높이려면 질소비료를 많이 사용해야 하지만 고품질 농산물을 생산하려면 질소비료 사용량을 줄여야 한다. 일반적으로 토양미생물이 이용할 수 있는 유기물의 탄질비는 33%가 적합한데 질소가 부족하게 되면 토양중의 질소를 이용하게 되며 탄질율이 17%이하가 되면, 유기물은 질소를 방출하여 작

물이 질소성분을 흡수할 수 있는 상태가 된다. 질소이용율은 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{질소이용율(\%)} &= \frac{\text{「지소기비기 흡수량」} - \text{「모지소기 흡수량」}}{[\text{질소 시용량}]} \times 100 \\ &= \frac{\text{「지소기요소 흡수량」} - \text{「지소기요소 흡수량」}}{[\text{질소시용량}]} \times 100 \end{aligned}$$

즉 이용율 100%에서는 시용했던 비료양분의 전부가, 이용율 50%에서는 비료양분의 반이 작물에 흡수되었다는 것을 의미한다. 질소성분은 시비방법에 따라서도 이용율에 차이가 있다.

<표 4-4> 질소의 시용방법에 따른 이용율

시 용 방 법	질소흡수량g/0.5m ²	이용율%
1. 표면수에 시용	4.17	51
2. 표층에 시용	4.73	63
3. 낙수후 0~6cm의 토층에 시용	5.55	79
4. 깊이 3~6cm의 토층에 시비	6.03	89
5. 무질소	1.60	-

② 인산

인산의 흡수율은 14~20%이며, 따라서 시비량은 흡수량의 5~6배 정도가 된다. 인산은 발아직후부터 뿌리를 내리기까지 필요하고 성숙된 후에는 흡수가 대부분 중단된다.

인산의 이용율은 비료의 삼요소 중에서 가장 낮는데 이는 시비인산이 토양중에서 철, 알루미늄과 결합하기 때문이다.

③ 칼륨

칼륨이 요구되는 시기는 작물생육의 중기에서 후기이며 결핍시 병충해의 피해를 받기 쉽다. 한편 과다하게 집적되면 미량원소와 석회, 고토의 흡수가 방해되므로 작물의 품질이 떨어지게 된다.

칼륨은 토양중에서 암모니아와 함께 반응하므로, 용탈이 쉽게 일어나는 점토광물토양에서는 질소와 같이 나누어 사용하면 이용율을 높일 수 있다. 이상에서 축분퇴비의 이용율에 대해 축종별, 비료성분별로 정리하면 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 축분퇴비의 이용율

구 분		질 소	인 산	카 리
소	퇴비	30	60	90
	액비	55	60	95
돈퇴비		50	60	90
건계분		70	70	90

자료 : 농협영농자재부, 「공동퇴비제조장의 운영관리」, 1996. 1

(3) 시비방법 및 시기

시비는 시비량뿐 아니라 시비시기 및 방법도 중요하다. 시비방법을 선택하는데 있어 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 흡수될 때 흡수된 양분이 효율적으로 이용될 것
- ② 시비작업이 용이할 것
- ③ 토양의 생산력을 유지·향상시킬 것

시비시기로는 작물이 양분을 필요로 하고, 효율적으로 흡수되는 시기에 사용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 파종 또는 이식전에 사용하는 비료를 기비(밑거름)라 하고, 작물의 생육기간 중에 시비하는 것을 추비라 한다.

농작업의 부분에서는 기비로 끝나는 것이 이상적이나 실제로는

추비의 시기, 횟수, 양 등이 시비기술의 중요한 포인트이다. 적절한 시기의 추비는 흡수율과 생산능율도 높게 하고 비료로서 가장 효율적으로 이용된다. 주요작물별 시비기준을 살펴보면 다음과 같다.

<표 4-6> 주요작물별 시비기준(kg/10a)

작 물	구 분	토 양 시 비 용								
		기 비			추 비			계		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
벼	1 모작	5.5	7.0	5.6	5.5	0	2.4	11.0	7.0	8.0
	2 모작	7.7	7.0	5.6	3.3	0	2.4	11.0	7.0	8.0
보리	중북부	6	11	7	6	0	0	12	11	7
	남 부	5	11	7	7	0	0	12	11	7
옥수수	보통옥수수	9	15	15	9	0	0	18	15	15
	단옥수수	15	13	13	0	0	0	15	13	13

<표 4-7> 토양의 종류 · 작물의 이용율에 따른 시비배율

토양	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
사 토	1.5	1.8	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.2	1.5
사양토	1.2	1.5	1.8	0.5-3	0.8-4	1-6	0.5	0.8	1.0
양 토	1.0	1.2	1.5	0.5-3	0.8-4	1-6	0.5	0.8	0.8
식양토	0.8	1.0	1.2	0.5-3	0.4-4	1-6	0.5	0.5	0.8

주) 이용율(A, B, C)의 분류는 다음과 같다.

A : (높은 것) 토마토, 호박, 고구마, 무, 당근, 아스파라거스, 누에콩, 강남콩, 앵두,

B : (표 준) 오이, 가지, 순무, 양배추, 모란채, 딸기, 시금치, 양상치,

C : (낮은 것) 수박, 메론, 배추, 셀러리

2. 우리 나라의 시비관련규정

우리 나라는 축산폐수의 적정관리를 위하여 “사육두수 및 가축별 배출원단위”, “액비살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적”을 고시로 제정·운영하고 있다. “사육두수 및 가축별 배출원단위”는 앞서 살펴본 외국의 경우처럼 단위면적당 사육가능두수의 개념이 아니라 허가대상규모의 축산농가에서 방류수 수질기준을 초과할 경우 배출부과금을 부과하기 위한 근거마련의 차원에서 만들어진 것으로 배출부과금 산정시 축산폐수의 일일유량을 사육두수에 가축별 배출원단위를 곱하도록 규정하고 배출원단위에 대해 고시한 것이다. “액비살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적”은 우리 나라의 축분처리시설의 상당부분이 액비화시설인 것을 반영하여 액비화시설을 설치하고자 할 경우 확보하여야 할 초지, 농경지의 면적에 대한 규정으로 1999년 7월 8일부터 기존면적에 비하여 소·말은 42%, 젖소는 130%, 돼지는 72%로 조정되었다.

<표 4-8> 축종별 배출원단위

(단위 : ℓ/두/일)

축종	배출원단위
돼지	8.6(세정수 4.4)
소·말	14.6(세정수 0)
젖소	45.6(세정수 10)

자료 : 환경부고시 제1999-109호

<표 4-9> 액비살포시 농경지확보 요구면적

구분	초지	농경지	
		논	밭
한(육)우	520m ² 이상/두 (157평 이상/두)	990m ² 이상/두 (300평 이상/두)	640m ² 이상/두 (193평 이상/두)
젓소	1,610m ² 이상/두 (487평 이상/두)	3,080m ² 이상/두 (933평 이상/두)	1,990m ² 이상/두 (603평 이상/두)
돼지	340m ² 이상/두 (103평 이상/두)	640m ² 이상/두 (193평 이상/두)	420m ² 이상/ 두 (127평 이상/두)

자료: 환경부고시 제 1999-110호(1999. 7. 8).

<표 4-10> 가축두당 농경지 확보요구 면적

(단위 : 두/ha)

구분	우리나라	영국	덴마크	독일
소	11.7(젓소3.8)	6.25	2.3	4.5
돼지	18.2	25	5.1	10

주) 우리나라는 액비 살포기준임.

이것을 외국기준과 비교하기 위해 단위면적당 두수로 환산하면 농경지의 경우, 소는 11.7두/ha, 돼지는 18.2두/ha, 젓소는 3.8두/ha가 된다. 외국의 기준과 비교해 볼때 우리 나라의 기준도 외국의 범위내에 있는 수준으로 특히 과다하거나 과소하게 산정되지는 않았다. 그리고 우리 나라는 액비의 경우에 한정하고 있으나 우리나라의 액비가 축사의 구조상 고액분리가 사실상 어려운 상태이므로 외국의 살포기준과 비슷한 수준으로 설정된 것은 합리적이라 본다.

3. 현 토양중 영양분 축적 실태

농지에서 사용되는 시비량은 화학비료와 퇴비로 나누어 볼 수 있다. 대부분 적정 시비량을 산정할 때 퇴비를 고려하지 않으나 축분내에 상당량의 영양물질이 함유되어 있으므로 가축분뇨 사용량을 고려하여 화학비료의 사용량을 결정하여야 한다. 1998년 기준으로 가축분뇨에 의한 비료성분량은 <표 4-11>와 같다.

<표 4-11> 화학비료 사용량 및 축분에 의한 비료성분 발생량

구분	비료성분량(톤)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
화학비료사용량	447,276	187,064	125,977
축분발생량	207,561	185,083	178,615
축분자원화량	190,956	170,276	164,325
실제작물이용량	257,302	115,772	192,190

화학비료는 사용량이므로 실제 농지에 적용된 양으로 볼 수 있으나 가축분뇨의 경우 발생량이므로 모두 사용되었다고 보기는 어렵다. 그러나 앞서 살펴보았듯이 우리나라의 축분처리의 91%가 자원화이므로, 국토의 측면에서 보면 궁극적으로는 부하량이 될 것이므로 총 발생량의 91%는 국토에 대한 유입량으로 볼 수 있다. 따라서 축분에 의한 질소성분 발생량은 1998년에 191천톤, 인산은 170천톤, 칼륨은 164천톤으로 볼 수 있다. 그러나 가축분뇨가 수거되어 퇴비화되어 작물에 살포되기까지는 수거·운반과정에서 소실되고, 퇴비화, 저장, 살포시에도 소실되는 등 많은 손실이 발생한다. 따라서 최종적으로 작물에 이용되는 영양물질의 양은 질소의 경우 총발생량의 30%, 인산의 경우 60%로 보았다.

이와같이 국토에 유입된 부하량중 작물에 사용된 부분을 산정하기 위하여 토지용도별 살포기준을 가지고 농경지에서 소모된 양분의 양을 계산해 보았다. 앞서 살펴보았듯이 시비기준은 여러 가지가 있으며 크게 질소성분함량을 기준으로 하는 것과, 인산함량을 기준으로 하는 것으로 분류할 수 있다. 질소성분은 토양층을 통해 이동하며 식물의 이용율이 토양특성, 기후특성, 작물에 따라 차이가 크고 반응기작이 복잡할 뿐아니라, 수체에 대한 영향측면에서도 폐쇄성 수역에의 부영양화의 주요요인은 인성분이므로 인산함량을 기준으로 한 시비기준을 가지고 작물생산에 필요한 양을 산출하였다.

시비기준은 작물 및 토지종류별로 차이가 있으나 관행적으로 이루어지고 있는 경작이 논에서는 벼농사이고 밭에서의 야채재배이므로 토지용도를 논과 밭으로 대별하고 논에서는 주요작물을 벼, 보리로 보고, 밭에서는 여러 가지 작물이 재배되고 작물별로 시비기준이 다르지만 평균적인 시비기준을 가지고 있는 옥수수를 대상으로 하여 작물생산에 필요한 비료성분량을 산출하였다. 주요작물별 시비기준은 <표 4-6>과 같으며 인산을 기준으로 하면 논의 경우, 9kg/10a, 밭에서는 14kg/10a가 필요하다고 볼 수 있다.

우리나라의 총 농경지 면적은 1,910천ha이고 이중 논이 1,157.3천ha, 밭이 752.8천ha이므로 논에서 필요한 인산의 양은 104,157톤이 되고, 밭에서 필요한 인산의 양은 11,615톤이 된다. 이를 합하면 우리나라 총농경지에서 필요로 하는 인산의 양이 115,772톤이 된다. 축분에 의해 발생하는 인산중 이용가능한 부분이 60%라고 하면 자원화된 축분중 비료로서 이용될 수 있는 인산성분의 양은 102,165톤이 된다. 화학비료사용량과 합하면 1998년에 농경지에 대한 인산의 부하량은 289,229톤이 되고 이는 작물이 필요로 하는 양의 2.50배에 해당한다. 시설재배나 과수 등에는 더 많은 비료가 사용되는 것이 현실이지만 기존의 퇴비화되어 사용되지 않고 적체되어 있는 부분까지 고려한다면 우리나라에서 발생하는 축분만으로도 모든 영양성분 필요량을 충족시킬 수 있음을 알 수 있다.

4.2. 시비량과 비료의 유실

농업에 이용된 비료 중 식물에 이용되지 않은 부분이 배출수에 의해 하천으로 흘러 들어오게 되며 이것이 시비효율에 있어서는 손실량이 되고 하천으로는 오염원의 유입이 된다. 우리 나라보다 강우의 집중도가 낮은 일본의 경우 농경지에서의 인, 질소 비료의 유실률은 시비량의 30% 내외를 제시하고 있다. 우리 나라의 자료에서는 농경지에서 유출되는 물의 농도를 관측한 자료들이 많이 있으나 대부분이 강수량 0~50mm 수준에서 측정되어 우리 나라의 풍수기 유출수의 대표농도로 보기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 밭에서의 유실율을 측정하고 실제 시비량에 따른 하천오염부하의 측면에서 부하량은 어느정도가 되는지 살펴보고자 한다.

1. 현장조사 추진

축산에 의한 하천·호소에의 영향정도를 파악하는 일은 용이하지 않다. 특히 소규모 축산의 경우, 처리방법별, 축종별, 주변환경조건에 따라 유출양상이 상이하다. 그러나 축분발생량의 약 90%가 토지에 환원되고 있는 상황에서 축분에 의한 오염부하량을 파악하는 것은 필수적이며, 하천·호소수질보전에 시급한 사안이라 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 시범지역을 선정하여 질소함량을 기준으로 하여 최소, 적정, 최대의 비료 및 축분을 시용했을 때 유출량을 비교함으로써 순수하게 축분에 의한 강우시 오염부하량을 조사하고, 축분과 화학비료의 시용특성을 살펴보고자 한다.

작물은 옥수수를 단일작물로 사용하였다. 실험은 대조군, 화학비

료 시용지, 축분 시용지로 나누어, 대조군에는 화학비료와 축분을 모두 시용하지 않았고, 화학비료 시용지에는 우리 나라의 보편적인 옥수수 농사시 사용되는 화학비료의 양을 사용하고, 축분 시용지는 두 가지로 나누어 하나는 기준기비량을 질소함량을 기준으로 하여 시용하고, 나머지 하나에는 기준기비량의 세배를 시용하였다. 각 실험군에 대한 시비량은 다음과 같다.

- ① 대조군 - 무비료
- ② 재래농사에서 사용되는 화학비료시용($3\text{kg}/30\text{m}^2$)-> $15\text{kg-N}/10\text{a yr}$
- ③ 질소함량 $10\text{kgN}/10\text{a.yr}$ 이 되도록 축분시용(축분 $60\text{kg wet.wt}/30\text{m}^2$),
- ③ 질소함량 $30\text{kgN}/10\text{a.yr}$ 이 되도록 축분시용(축분 $180\text{kg wet.wt}/30\text{m}^2$)

시험에 사용된 축분은 인근 농장에서 발생한 우분으로 함수율은 68%, 질소함량은 건중량으로 1.6%였다.

분석항목은 시용축분에 대해 BOD, COD, T-N, T-P, $\text{NH}_4\text{-N}$, TKN, $\text{PO}_4\text{-P}$ 를 조사하였고, 매달 토양시료를 채취하여 T-N, T-P, 유기물함량을 조사하고 있으며 강우시 유출수와 침출수에 대해 유량, pH, SS, BOD, TOC, T-N, T-P, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 를 조사하였다. 강우사상에 대해서는 10mm이상 강우를 대상으로 피크가 출현할 때까지는 20~30분 간격으로 채수하고 이후에는 1~2시간 간격으로 채수하여 수질을 분석하였다.

2. 유출특성 비교 및 모델링

가) 유역현황

시험기간은 1999년 4월부터 10월까지였으며 기간내 총 강우량은 1,557mm로 예년에 비하여 8, 9, 10월에 많은 양의 비가 내렸다. 실험

지역인 춘천지역의 월별강우량은 <표 4-12>와 같았다.

<표 4-12> 춘천지역 월별 강수량, 1999

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	합계(mm)
강수량 (mm)	5.6	1.3	47.2	75.0	103.8	93.4	226.1	563.0	348.3	93.1	1,556.8

시험포장은 입경분석결과 점토가 5%, 모래가 80%로 양질사토에 속하는 투수성이 높은 토양으로 구성되어 있다. 그러나 표토층 70cm 밑에는 붉은 점토층이 형성되어 있어 차수기능을 하고 있다. 시비전 유기물함량은 약 0.82%, 총질소는 400mg/kg, 유효인산은 92.5mg/kg이었다.

나) 항목별 유출특성

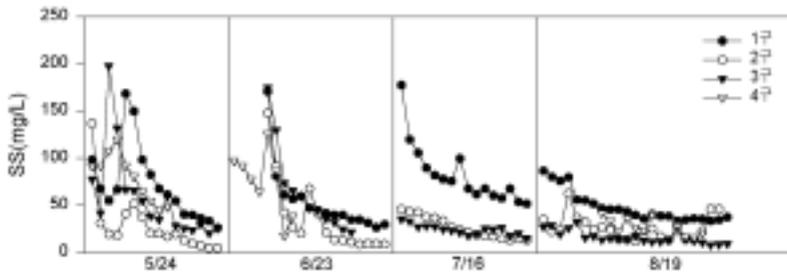
각 항목에 대하여 5, 6, 7, 8월의 대상강우를 중심으로 유출특성을 살펴보았다. 각 강우사상의 일반특성은 <표 4-13>와 같았다.

<표 4-13> 시험구역의 대표강우사상

날짜	강수량	선행무강우일수	선행강우량
5/24	27.8mm	3 days	36.5mm
6/23	34.6mm	1 days	27.3mm
7/16	43.8mm	4 days	26.9mm
8/19	47.7mm	14 days	474.2mm

(1) SS

SS유출량은 5, 6월에는 1구가 가장 높고 다음으로 4구, 3구, 2구 순이었으나 7월이후 3구가 가장 낮은 농도를 나타내었다. 1구가 가장 높은 농도를 나타낸 것은 작물의 성장이 미비한 것이 원인이 되었으며, 3, 4구의 경우 축분비료 살포에 의한 토양개량효과로 시간이 지날수록 유출이 적어졌다. 4구의 경우 작물의 성장이 미비하였으나 축분에 의한 토양지지력으로 SS의 유출이 7월이후 감소하였다. 2구의 경우 화학비료를 살포하여 작물성장에 의한 토양지지효과외에는 월별로 큰 변동이 없는 것으로 나타났다.

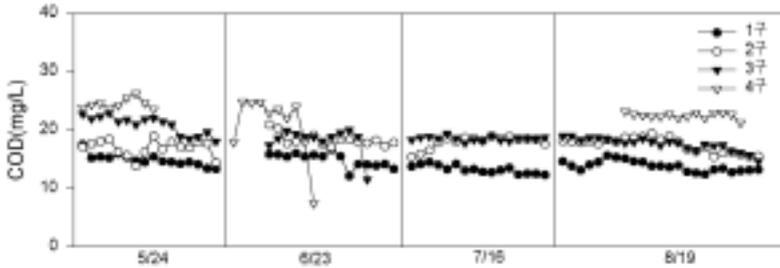


<그림 4-1> 월별 SS 농도변화

(2) COD

COD는 4구 3구, 2구 1구의 순으로 유출농도가 높은 것으로 나타났으며, 강우량이 증가함에 따른 변동이 크지 않은 것으로 나타났다.

5월부터 8월의 분석기간동안 유출량은 시비량이 많은 구에서는 많이 유출하고 시비량이 적은 구에서는 적게 유출하여 시비량에 따라 결정되는 것으로 나타났다.

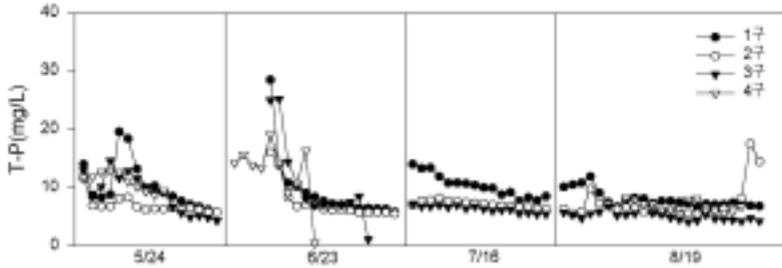


<그림 4-2> 월별 COD 농도변화

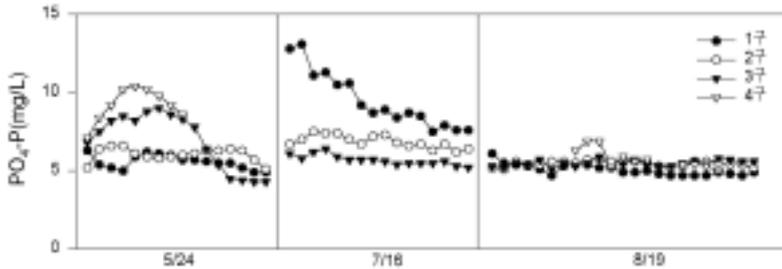
(3) 인

T-P는 1구에서 유출농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 시간이 경과됨에 따라 3구와 4구의 유출농도가 감소하였다. SS와 유사한 양상을 나타내었으나 강우량에 따른 변동폭은 SS에 비하여 적었으며, 화학비료를 살포한 2구와 축분을 살포한 3, 4구의 유출량이 별 차이가 없는 것으로 나타나 비료종류에 따른 변동은 크지 않았으며 토양 내 함유량과 작물성장에 따른 토양지지력의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.

PO₄-P는 5월에는 3, 4구가 높고 7월에는 1구가 높았다가 8월에는 1, 2, 3, 4, 구가 모두 유사한 유출농도를 나타내었다.



<그림 4-3> 월별 T-P 농도변화

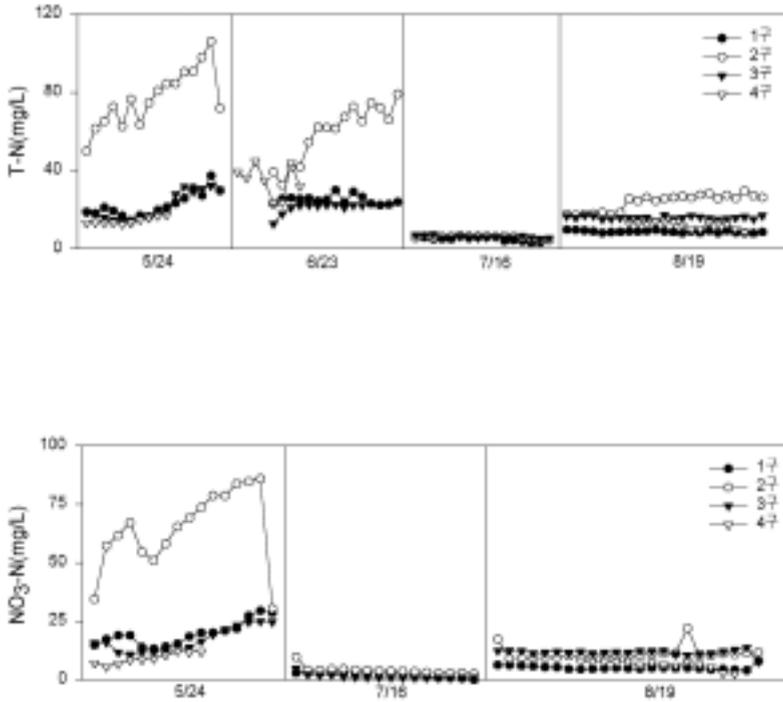


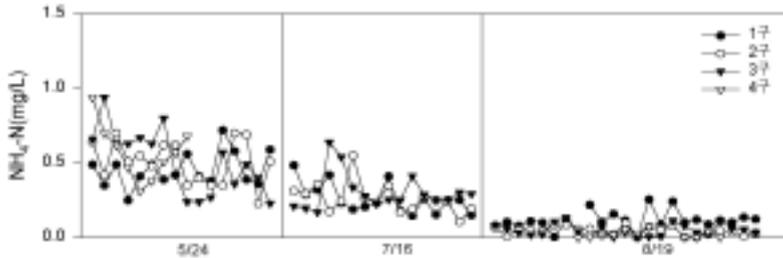
<그림 4-4> 월별 PO₄-P 농도변화

(4) 질소

T-N은 화학비료를 시비한 2구의 유출농도가 현저하게 높은 것으로 나타났다. 3구와 4구의 경우 시비량에 있어서는 3배의 차이가 있음에도 불구하고 유출량은 거의 근사한 것으로 나타났다. 이는 축분 퇴비의 무기화가 진행되지 않았기 때문으로 생각된다. NO₃-N은 T-N

과 유사한 경향을 나타내었으며, NH₄-N은 1, 2, 3, 4구가 모두 변동 폭이 적고 거의 유출되지 않는 것으로 나타났다.





<그림 4-5> 월별 T-N, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도변화

이상에서 입자형 오염물질인 SS, T-P는 1구가 가장 유출농도가 컸으며, T-N과 COD는 살포량에 따라 유출량이 결정되는 것으로 나타났다으며, 특히 T-N은 화학비료 유출율이 높은 것으로 나타났다.

T-N과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 유출양상이 거의 유사하였으며 T-N의 상당부분이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

다) 유량과 부하량과의 관계

실측유량과 부하량과의 관련성에 대한 검토 결과, 강우사상마다 유량과 그에 따른 부하량의 관계식은 각각 다르지만 시험기간동안 양자간에는 강한 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 일반적으로 누가유량과 누가유출부하량의 값을 양대수지상에 plot하면 $\Sigma L = a(\Sigma Q)^b$ 의 관계가 있으며, 유역면적의 영향을 배제하기 위하여 양변을 A로 나누면 $\Sigma L/A = a(\Sigma Q/A)^b$ 으로 표시할 수 있다. 여기서 Q는 mm/km^2 , L은 kg/km^2 으로 나타낼 수 있다.

이 관계식을 이용하여 시비량에 따른 유출부하량을 산정할 수 있다. 식에서 b의 값이 클수록 유출부하량이 크다고 할 수 있으며, 실험포장에서는 화학비료 포장이 유출부하량이 가장 큰 것으로 나타났

다. 각 구별로 항목별 유량과 부하량의 관계는 <표 4-14>과 같다. 축분시비량이 3구에 비해 3배가 되는 4구의 경우 3구와 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 축분퇴비의 경우 과잉시비에 대해 토양이 완충능을 발휘하는 것으로 나타났다.

<표 4-14> 유량과 부하량의 관계

항목	1구		2구		3구		4구	
	관계식	결정계수 (R ²)	관계식	결정계수 (R ²)	관계식	결정계수 (R ²)	관계식	결정계수 (R ²)
BOD	a = 2.1124 b = 1.0188	0.75	a = 2.1937 b = 1.0764	0.63	a = 2.4726 b = 0.9813	0.87	a = 3.6607 b = 1.0564	0.65
COD	a = 10.153 b = 0.8207	0.96	a = 11.584 b = 0.9256	0.71	a = 12.692 b = 0.8873	0.97	a = 10.335 b = 0.7685	0.81
SS	a = 45.693 b = 0.8817	0.74	a = 21.424 b = 1.1074	0.71	a = 14.463 b = 0.7756	0.77	a = 7.9507 b = 0.4274	0.23
T-N	a = 11.545 b = 0.6398	0.55	a = 47.393 b = 0.8885	0.80	a = 7.3678 b = 0.7855	0.88	a = 5.2116 b = 0.6969	0.69
	a' = 6.1088 b' = 1.0843	0.95	a = 18.572 b = 1.7347	0.82	a = 10.244 b = 1.1177	0.95		
NO ₃ -N	a = 14.617 b = 0.8791	0.70	a = 25.232 b = 0.7201	0.52	a = 5.0657 b = 0.7352	0.82	a = 2.1405 b = 0.6382	0.64
	a' = 3.9074 b' = 1.4190	0.80	a = 8.432 b = 1.6246	0.70	a = 10.007 b = 1.6517	0.81		
T-P	a = 6.8899 b = 0.8651	0.78	a = 4.4773 b = 0.8796	0.75	a = 4.5325 b = 0.8665	0.91	a = 3.5827 b = 0.6866	0.69
PO ₄ -P	a = 4.5501 b = 0.8449	0.83	a = 3.8824 b = 0.8922	0.70	a = 4.1396 b = 0.8951	0.95	a = 3.0864 b = 0.7303	0.71

주) a, b는 $L=aQ^b$ 에서 각 상수임.

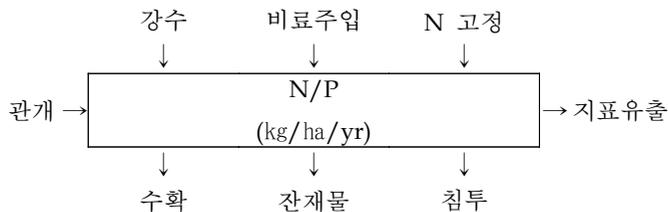
‘ 실험기간을 7월전후로 나누어 분석한 결과임

3. 영양염류 물질수지

우리나라 밖에서는 특별한 경우를 제외하고는 물질수지에 영향을

미칠 정도로 관개하는 일이 없으므로 비점오염원 유출과 관련된 유출입 경로로는 비료 및 강수와 강하분진에 의한 유입과 지표유출 지하침투에 의한 유출로 구성된다. 이 중에서 지표면 유출량은 매우 작고, 지하침투량은 시비량과 관계가 있지만 강우량이 많을수록 많아진다. 國松²²⁾의 연구결과에 따르면 강수에 의한 영양물질 유입량은 질소가 10kg/ha/yr, 인이 0.38kg/ha/yr이고 비료에 의한 유입량은 질소가 198kg/ha/yr, 인이 73kg/ha/yr으로 나타났다. 또한 질소고정에 의한 질소유입량도 무시할 수 없으며 56kg/ha/yr에 이른다고 하였다. 유출로는 수확, 잔사, 표면유출과 지하침투로서 수확에 의한 질소의 유출량은 132kg/ha/yr, 인은 17.3kg/ha/yr이고 잔사에 의한 것은 질소가 72kg/ha/yr, 인이 12kg/ha/yr이며, 지하침투는 질소가 62kg/ha/yr, 인이 0.79kg/ha/yr, 표면유출은 질소가 5.1kg/ha/yr, 인이 0.35kg/ha/yr로 지하침투에 비하여 적은 것으로 나타났다.

본 실험에서는 시비량에 따른 유출량과 침투량의 차이에 초점을 맞추어 물질수지를 세워보고자 하였으며 영양염류의 유출입에 관계하는 인자들은 <그림 4-6>과 같다.



<그림 4-6> 농업지역에서 영양물질의 순환에 대한 영향인자

22) 國松孝男, 武田育郎, “農林地からの汚濁負荷とその計測方法”, 「水質汚染研究」, Vol. 11. No. 12. 1988

옥수수를 대상작물로 하였으므로 질소고정분은 거의 없으며, 관개 용수에 의한 유입량도 없었다. 따라서 4개의 시험구에 대한 물질수지 식은 다음과 같이 볼 수 있다.

$$\text{시비량} + \text{강하물} = \text{식물흡수량} + \text{침투량} + \text{유출량} + \Delta\text{토양함유량}$$

여기서, Δ 토양함유량은 기존토양의 함유량에서 수확후 토양함유량의 차이를 나타낸다.

이상의 항목에 대해 나누어 조사한 결과는 다음과 같다.

가) 시비량

대조구에는 인공적으로 화학비료와 축분퇴비를 모두 첨가하지 않았다. 2구에는 화학비료를 4, 5, 6월에 각각 1, 1, 1.2kg을 살포하였으며 사용한 비료는 복비 17:21:17이다. 3, 4구에는 짓소의 분뇨를 사용하였으며 시비당시 분뇨의 초기 질소함량은 18mg/g(dry wet.), 인함량은 26mg/g(dry wet.)이었다. 각 구별 시험기간동안 투입된 영양물질량은 <표 4-15>과 같다.

<표 4-15> 비료주입량

	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)
1구	0	0
2구	181.3	224.0
3구	113.8	164.3
4구	341.3	493.0

나) 작물흡수량

5월에 과중하여 8월말에 옥수수를 수확하였으며 각 구별 수확량과 수확물에 포함되어 있는 영양염류의 양은 <표 4-16>와 같다. 옥수수내 질소와 인의 함량은 문헌조사를 근거로 하여 옥수수의 수분함량은 91%, 건조물당 질소함량 3.98%, 인함량 0.45%로 계산하였다²³⁾.

<표 4-16> 수확량과 수확물내 영양물질 함량

	1구	2구	3구	4구
수확량(kg/30m ²)	7.4	15.7	7.8	3.6
N 함량(kg/ha)	8.84	18.73	9.27	4.30
P 함량(kg/ha)	1.00	2.13	1.03	0.50

수확량은 화학비료를 시비한 2구가 가장 많았으며 4구가 가장 저조하였다. 4구의 경우 미숙성된 퇴비의 시용에 의해 작물성장장해가 일어난 것으로 추정된다.

다) 토양내 잔류량

시비전부터 수확후까지의 토양분석결과는 <표 4-17>와 같다.

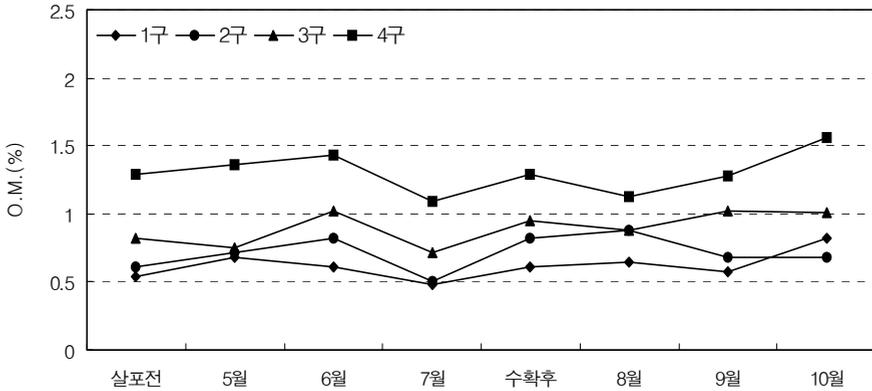
23) 농진청, 「표준영농교본」, 1989

<표 4-17> 토양분석결과

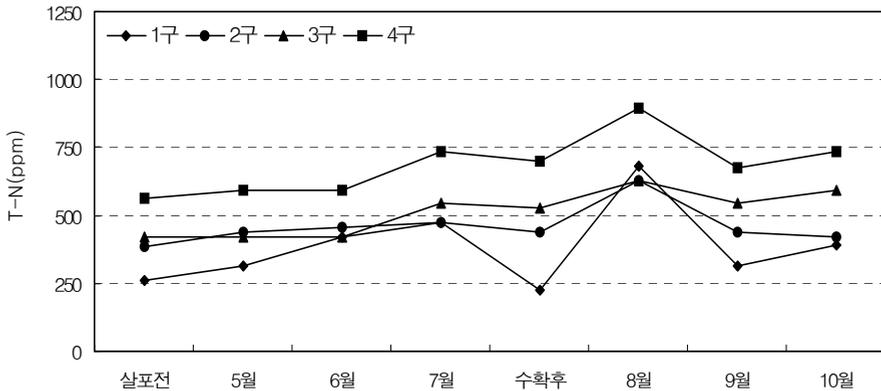
		비료 주입전	5월	6월	7월	수확후	8월	9월	10월
유기물함량 (%)	1구	0.544	0.681	0.612	0.476	0.612	0.647	0.579	0.817
	2구	0.612	0.715	0.817	0.51	0.817	0.885	0.681	0.681
	3구	0.817	0.749	1.021	0.715	0.953	0.885	1.021	1.004
	4구	1.293	1.361	1.429	1.089	1.293	1.122	1.276	1.565
T-N (mg/kg)	1구	263	315	420	473	228	683	315	394
	2구	385	438	455	473	438	630	438	420
	3구	420	420	420	543	525	630	546	595
	4구	560	595	595	735	700	893	674	735
T-P (mg/kg)	1구	177	208	219	182	167	216	77	80
	2구	195	234	286	216	321	277	129	120
	3구	245	202	267	196	203	186	103	98
	4구	224	291	331	241	233	236	113	117

<표 4-17>에서 알 수 있듯이 토양유기물함량은 낮으나 질소와 인의 농도는 우리나라 밭토양의 일반적인 수치를 나타내었다. 시비와 작물재배에 따라 달마다 유기물과 T-N은 유사한 변화양상을 나타내었으며, 4구가 가장 높고 1구가 가장 낮았다. T-P는 대부분 4구가 높고 1구가 낮은 경향을 보였으나 8월이후 2구가 계속 상승세를 나타내었고 수확후에는 4개의 시험구 모두에서 농도가 낮았다. 이는 화학비료를 6월까지 시비한 것의 영향을 받은 것으로 생각된다.

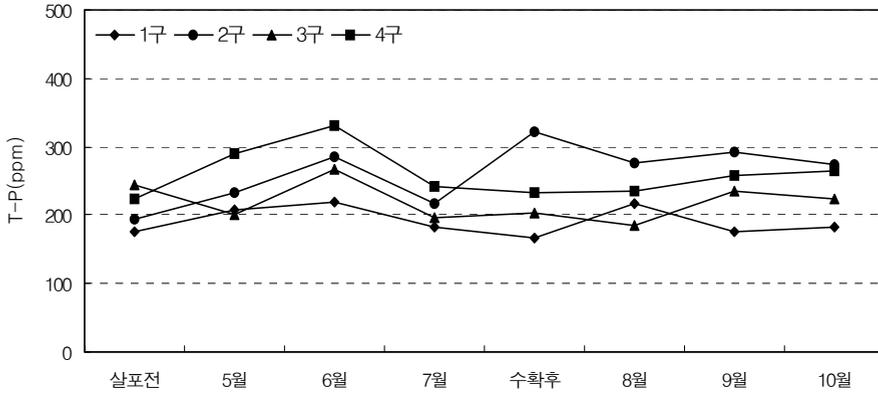
질소의 경우 시비를 하지 않은 대조구에서도 농도의 변화가 있었으며 이는 질소고정 및 분해미생물에 의한 변화와 강수에 포함되어 포장으로 유입되는 질소량에 기인한 것으로 볼 수 있다. <표 4-17>을 이용하여 유기물, T-N, T-P에 대한 토양중의 함량변화를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



<그림 4-7> 월별 토양중 유기물 함량변화



<그림 4-8> 월별 토양중 T-N 농도변화



<그림 4-9> 월별 토양중 T-P 농도변화

라) 유출량과 침투량

작물을 파종해서 수확까지의 기간을 대상으로 유출량과 침투량을 산정하였다. 4구의 경우 다량의 퇴비시용에 따른 성장장애로 인해 정상적인 유출 및 침투작용이 진행되지 못하였다. 따라서 1, 2, 3구에 대해서만 유출량과 침투량을 산정하였다.

유출량은 시험포장의 하단에서 직접 채취한 시료의 수질조사결과와 같은 장소에서의 유량측정결과를 이용하였으며, 시험기간동안 총 6회의 강우사상에 대해 측정된 결과이므로 유량가중평균농도를²⁴⁾ 이용하여 시험기간 4월 말 파종일부터 8월 9일 수확일까지의 유출량과 침투량을 산정하였다. 유출량 및 침투량 분석에 사용한 대상강우사상은 <표 4-18>과 같다.

24) 유량가중평균농도 : FWMC(flow-weighted mean concentration)로서 $L_k/Q_k = \sum c_i q_i t_i / \sum q_i t_i$ 로 산정됨. 오염물질의 유출이 있을 경우 비점오염원의 평균농도를 가장 잘 나타냄.

* 유량가중평균농도 : FWMC(flow-weighted mean concentration)로서 $L_k/Q_k = \sum c_i q_i t_i / \sum q_i t_i$ 로 산정됨. 오염물질의 유출이 없을 경우 비점오염원의 평균농도를 가장 잘 나타냄.

<표 4-18> 시험포장의 대표강우사상

강우지속기간	강우량(mm)
5월 18일~19일	36.5
5월 24일	27.8
6월 1일~2일	30.8
6월 24일	34.6
7월 16일	43.8
7월 22일	20.0

유량가중농도를 구하기 위하여 5월에서 8월의 수확일까지 작물 성장기간 동안의 10mm이상의 유효강우를 사용하였으며 그 결과는 <표 4-19>과 같다.

<표 4-19> 재배기간동안 총유출량

(단위 : kg/ha)

	SS	BOD	COD	T-P	PO ₄ -P	T-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
1구	185.39	6.36	30.49	22.38	13.88	24.85	17.81	0.50
2구	70.64	5.12	20.42	9.81	9.04	32.19	24.59	0.37
3구	29.53	3.75	14.31	5.47	5.85	10.86	9.41	0.17

대조구와 2, 3구를 비교해보면, 대조구가 T-N을 제외한 모든 항목에서 가장 많은 유출을 발생시키는 것으로 나타났다. 화학비료 시비구와 축분 시비구의 경우, 축분시비구의 유출이 현저하게 적었으며 이는 기존의 연구결과에서도 밝혀진 축분퇴비의 완효성과 토양개선 기능 때문으로 생각된다.

침투량에 대한 조사결과는 <표 4-20>과 같다.

<표 4-20> 재배기간동안 총침투량

(단위 : kg/ha)

	SS	BOD	COD	T-P	PO ₄ -P	T-N	NH ₄ -N
1구	118.59	3.28	15.94	6.22	2.71	19.43	0.31
2구	35.66	3.00	29.38	5.30	4.37	25.88	0.40
3구	18.37	0.00	9.04	1.10	0.82	1.15	0.03

NO₃-N에 대한 조사결과는 결측치가 많아서 제외하였다. 결과를 살펴보면, 1구가 COD, 질소류를 제외한 모든 항목에서 가장 많이 침투한 것으로 나타났으며, 전반적으로 1, 2구는 차이가 적었으나 3구의 경우 침투량이 현저하게 적게 나타났다. 이는 축분시비로 인한 토양의 수분함유능의 증진 등 토양개량효과뿐 아니라, 수확이 8월 9일 이루어졌으므로 가장 비가 많이 오던 시기여서 수분이 토양층을 빠져나올 수 있는 충분한 시간이 없었던 것도 원인이 되었다.

이상의 항목에 대해 3개의 시험구에서의 측정결과를 요약하면 <표 4-21, 22>과 같다. 토양의 경우 분석을 위한 토양시료채취를 30cm 깊이까지 하였으므로 이를 작물이 이용하는 토양층으로 보고 영양물질의 함량을 산정하였다.

<표 4-21> 질소의 물질수지

	유입량 (kg/ha/yr)	토양함량 (kg/ha/yr)	작물동화량 (kg/ha/yr)	침투량 (kg/ha/yr)	토양잔류량 (kg/ha/yr)	유출량 (kg/ha/yr)
1구	0	263	8.84	22.38	228	24.85
2구	181.3	385	18.73	9.81	438	32.19
3구	113.8	420	9.27	5.47	525	10.86

<표 4-22> 인의 물질수지

	유입량 (kg/ha/yr)	토양함량 (kg/ha/yr)	작물동화량 (kg/ha/yr)	침투량 (kg/ha/yr)	토양잔류량 (kg/ha/yr)	유출량 (kg/ha/yr)
1구	0	177	1.00	6.22	167	22.38
2구	224.0	195	2.13	5.30	321	9.81
3구	164.3	245	1.03	1.10	203	5.47

이상에서 화학비료를 시용한 포장의 유실율은 질소가 23.2%, 인이 6.8%인데 반하여 축분퇴비를 시용한 포장의 유실율은 질소가 14.4%, 인이 4.0%로 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 수질오염에 미치는 영향은 동일분량의 비료를 사용하였을 경우, 화학비료가 훨씬 큰 것으로 나타났다.

이상의 자료를 이용하여 물질수지를 작성해보면, 1구와 3구에서 대기강하물에 의한 포장으로의 질소유입량이 16.8~21.07kg/ha/yr로 산정된다. 축분시용구의 경우 NH₄-N의 형태로 유입된 질소의 상당부분이 휘발될 것으로 예상하였으나, 분석결과 휘발부분이 크지 않았으며, 2구의 경우 input보다 output이 적은 것으로 나타났다. 대체적으로 질소성분의 물질수지가 잘 맞지 않았으며 이는 질소가 토양과의 결합력이 적어 토양층을 통해 이동하고 토양미생물에 의해 질소성분이 가스상태로 대기중으로 기화된 것 등이 원인으로 생각되며, 이에 대한 명확한 반응기작을 도출하기 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

4.3. 적정시비량 산정과 최적가축밀도 제시

1. 적정시비량 산정

농지에서 축분퇴비를 적량 시용하면 지력이 증진되어 수확량의 증가를 기대할 수 있지만 과도하게 시용하면 질소과다로 농작물이 넘어지거나 수확량이 감소하고 농작물의 맛도 떨어진다. 또한 생분이나 건조분, 미숙퇴비 등의 미분해성 유기물을 많이 포함하고 있는 것을 다량 시용하면 토양 중 미생물이 급격히 증식하여 토양 중의 산소를 소비하여 토양이 환원상태가 되어 뿌리에 장애가 오고 생육저해물질이 생산된다. 그리고 가축분이나 퇴비를 연용하는 경우에는 화학비료에 비해 분해가 느리므로 토양 중에 축적되어 질소방출률이 해마다 증가한다는 점에 주의해야 한다. 축분중에서도 돈분과 계분은 분해가 용이하여 연용하더라도 토양 중에 그다지 축적되지 않지만 우분은 분해가 느리기 때문에 토양 중에 축적되어 질소방출률이 해마다 증가된다. 따라서 매년 같은 양의 퇴비를 시용하더라도 토양 중으로 방출되는 질소량은 점차 증가하기 때문에 병용하는 화학비료의 양을 줄여야 한다.

야채는 일반적으로 다량의 양분과 각종 미량원소를 필요로 하기 때문에 가축분뇨 처리물의 시용은 이들 양분공급의 의미로 중요하다. 그러나 과잉으로 시용하면 미네랄 균형이 변화되어 결핍증이 발생하기도 하고 토양의 통풍성이나 투수성이 불량해 질 수 있다. 야채는 종류가 많고 시용기준을 일률적으로 정할 수 없기 때문에 야채종류에 따라 소비형·중비형·다비형으로 구분하여 기준치를 정하고 있다.

목초·사료작물은 과잉의 비료에 대한 적응력이 있고, 시비량이

생산량에 직접적으로 반영되기 때문에 과다하게 사용하는 경향이 있다. 그러나 지나치게 사용한 경우에는 작물체 내의 질산성 질소농도가 상승되고 미네랄 균형이 무너진다. 또한 질산성질소에 의한 지하수 오염 등 수환경에 대한 영향도 고려해야 한다.

농지에서의 축분퇴비 사용기준은 화학비료에 대한 비효율은 우분을 30~40%, 돈분을 60~70%, 계분을 70%정도이고, 화학비료 대체율은 우분 30%, 돈분·계분 60%이다. 이들 기준은 축종별로 함유량을 근거로 산정하면 다음과 같다.

<표 4-23> 가축분뇨에 의한 질소발생량중 유효량

(단위 : 톤)

	우분뇨 (한우+젖소)	돈분뇨	계분뇨	합계
발생량	85,815	57,825	63,922	207,562
비효율	35%	65%	70%	-
유효량	30,035	37,586	44,745	112,366

주) 1998년 기준

<표 4-24> 가축분뇨에 의한 인산발생량중 유효량

(단위 : 톤)

	우분뇨 (한우+젖소)	돈분뇨	계분뇨	합계
발생량	32,402	92,520	60,162	185,084
비효율	60%	60%	70%	-
유효량	19,452	55,512	42,113	117,077

주) 1998년 기준

이와같이 우리나라의 농지에서 환경용량에 적합하게 살포하기 위

한 가축분뇨의 화학비료대체율을 50%로 볼 경우, 인산염은 현 축분 발생량으로도 이미 과잉이며, 질소분 기준으로는 다소 여유가 있다고 볼수 있다. 지하수를 수원으로 사용하는 국가에서는 질소분을 기준으로 사용할 수 있으나 우리나라는 지하수를 수원으로 사용하지 않으므로 호수의 부영양화에 초점을 둘 경우 질소분 보다는 인산염을 기준으로 산정함이 바람직 하다. 따라서 인산염을 기준으로 산정할 경우 현재의 농지환경용량상 적정량은 115,772톤/yr이나 현재 농지에 살포되는 영양분은 화학비료와 가축분뇨를 합하면, 1998년을 기준으로 304,141톤/yr로 환경용량을 초과하고 있다. 따라서 발생한 축분을 전부 농지에 환원할 경우 대체율을 50%라고 하면, 현재의 화학비료 사용량을 70%정도 감소시켜야 국토환경용량의 적정선을 유지할 수 있다.

2. 최적가축밀도 제시

외국의 축산에 따른 축분살포기준을 정리하면, 단위면적당 사육두수규제기준과 축분내의 비료성분함량규제기준으로 나눌수 있다. 사육두수를 직접 적용하는 국가로는 영국, 스웨덴, 덴마크가 있고, 독일과 네덜란드는 가축분중의 비료성분(질소, 인)으로 규제하고 있다. 분뇨의 사용방법은 토양주입법, 초지관개법, 토양혼합법 등으로 농경지에 살포할 수 있는 양도 엄격히 제한되어 있다.

<표 4-25> 국가별 가축분뇨 살포기준

	살포기준		비고
	사육두수규제 (두/ha)	질소규제 (kg/ha/년)	
독 일	소 4.5두 돼지 10두	160~240	- 지방자치단체마다 규정이 다름 · 기본규정: 중앙정부 · 시행규정: 지방정부
덴 마 크	소 2.3두 돼지 5.1두	-	- 소 2.3, 돼지 1.7, 기타 가축 2.3 LU/ha를 살포가능
네덜란드	소 3두	160(경지) ~ 240(초지)	- 가축분뇨 사용기준을 질소기준에서 인산기준으로 전환
영 국	소 6.25두 돼지 25두	170	- 소 1마리는 0.16ha, 돼지 1마리는 0.04ha에 분뇨살포 가능
프 랑 스	-	210 170	- 1999. 1. 부터 적용 - 2003. 1. 부터 적용

우리나라의 경우 화학비료와 가축분뇨가 동시에 사용되고 있으나, 앞서 살펴보았듯이 축분내 영양물질 함량이 상당하고 91%가 자원화되고 있는 상황이며, 발생량 제어의 측면에서 사육두수규제가 보다 효과적일 것으로 생각된다. 환경용량을 고려한 사육두수를 산정함에 있어 축분내 비료성분함량을 고려하여야 하는데 부영양화 등 수질에 미치는 영향은 질소보다 인성분이 더 크므로 인산함량을 기준으로 사육두수를 산정하고자 한다. 따라서 앞서 살펴본 현 토양중 영양분 축적실태와 토양유실에 대한 현장조사결과를 가지고 토지면적당 환경적으로 사육할 수 있는 가축의 밀도를 살펴보자.

현장조사결과 시비기준대로 시비하였을 때 유실율이 4%이었으며 이는 밭에서의 유실율이나 일반적으로 논에서의 유실율이 더 크므로 전 농경지로 확대적용하는데 있어 과대평가의 우려는 없을 것으로 생각된다. 이 유실분을 고려하면 우리나라 농경지에 필요한 인산의

양은 123,964톤이 된다. 모두 축분내 인산성분으로 공급한다고 하면 인산량은 65kgP₂O₅/ha가 필요하다. 그러나 현 수준에서 모든 화학비료를 가축분뇨로 대체하는 것은 어려우므로 화학비료 대체율을 50%로 가정하였다. 이 경우 가축분뇨 배출원단위(표 2-2참고) 및 축종별 인산함량(표 2-5참고)을 이용하여 축종별로 사육가능한 두수로 환산하면 다음 <표 4-26>와 같다.

<표 4-26> 국토환경용량을 고려한 사육가능한 가축두수

축종	축산폐수 배출원단위 (kg/두/일)	P ₂ O ₅ 함량 ¹⁾ (g/두/일)	P ₂ O ₅ 배출량 (kg/두/yr)	단위농경지당 사육두수 (두/ha/yr)	
				발생량기준	화학비료대체율 (50%) 고려
한우	14.6	40.3	14.7	4.42	8.9
젖소	45.6	107.8	39.3	1.65	3.3
돼지	8.6	38.1	13.9	4.68	9.4
닭	0.12	1.5	0.5	130	260

주 1) 일본의 분뇨성상자료를 이용함(<표 3-6> 참고).

외국의 기준과 비교하면 영국의 규제기준과 비슷한 수준이다. 이를 앞서 “액비살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적”에 근거하여 산출한 사육가능한 두수, 소 11.7두/ha, 돼지 18.2두/ha, 젖소가 3.8두/ha와 비교하면 타당한 수치라 할 수 있다.

또한 1998년에 우리나라에서 사육되고 있는 가축수를 가축단위로 환산하면, 6,902LU가 되고 우리나라 농경지에 환원시킬 수 있는 가축분뇨를 기준으로 산정한 수용가능한 가축두수는 6,308LU이다. 따라서 가축사육 두수를 현 수준으로 유지해도 국토 환경용량 차원에서 적합하다고 볼 수 있으나 이는 전국의 농경지에 균일하게 살포한다는 가정을 기초로 산정된 것이고, 실제로는 발생지역이 밀집되어 있고, 논에서는 축분사용을 기피하는 점등을 고려하면 일부 과밀사육지역의 경우 사육두수를 규제하는 것도 타당하다.

제 5 장 결론 및 정책건의

가축분뇨는 예로부터 농경지의 주요한 영양원으로 적용되어 왔으며, 합성비료가 사용되기 전까지만 해도 농작물생산을 위한 질소, 인 등의 주요 공급원이었다. 가축분뇨는 농작물과 초지에 영양물질을 제공할 뿐 아니라 투과성 증진, 강우유출수량 감소, 토양침식성 감소 등 토양의 물리적 성상도 개선시킨다. 앞서 토양유실에 대한 현장조사에서 밝혀졌듯이 화학비료의 유실율은 질소가 23.2%, 인이 6.8%인데 반하여 축분퇴비의 유실율은 질소가 14.4%, 인이 4.0%로 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 수질오염에 미치는 영향은 동일분량의 비료를 사용하였을 경우, 화학비료가 훨씬 큰 것으로 나타났다.

그러나 가축분뇨를 작물에의 유용성보다 처분성을 강조하여 토지에 적용할 경우 질소, 염, 기타 화학물질을 토양에 축적시키고 지하침출에 기여하여 지하수를 오염시킨다. 즉, 잘못된 관리에 의해 초래되는 잠재적 오염은 화학비료사용에 의한 것보다 높을 수 있다. 따라서 가축분뇨의 농지환원에 있어서는 단순한 가축분뇨의 처리를 목적으로 할 것이 아니라 국토환경용량이 고려된 화학비료와의 균형있는 적용이 요구된다. 뿐만아니라 농작물에 적용되는 각종 비료는 궁극적으로 농작물의 생산과 질에도 영향을 미치므로 적절한 관리가 더욱 필요하다. 농경지에 축분을 시용하는 방법과 양은 토양종류, 지형, 기후조건, 지하수위, 표면배수로와 작물종에 따라 달라진다.

1970년대 까지만 해도 가축분뇨는 농지의 중요한 퇴비자원으로서 활용되었고 가축사료도 농업부산물 등의 자가사료에 의한 것으로 국토의 환경용량 손상이 거의 없었다. 그러나 전업형의 대규모 가축생산 방식으로 바뀌면서 대량의 사료곡물이 수입되었고 가축분뇨의 배설량이 급증하였으나, 이에 대응한 적절한 순환체계가 확립되지 않아

가축분뇨는 주요한 오염원으로 대두하게 되었다. 가축분뇨는 다량의 유기물을 함유하고 있어 적절하게 처리하면 작물생산에 필요한 비료 성분을 공급하는 유용한 자원으로서 활용될 수 있으나 부적절하게 처리되는 경우, 지하수나 지표수의 오염, 토양오염, 악취발생 등 환경오염원으로 작용하게 된다. 1990년대 초부터 환경오염 부하를 줄이기 위해 농림부에서는 가축분뇨 처리시설지원 사업을, 환경부에서는 축산폐수 공공처리사업 등을 적극적으로 추진하고 있음에도 불구하고 가축분뇨처리는 아직도 미흡하고 국민은 주요 수질오염원으로 인식하고 있다.

정부에서는 지난 8월 ‘오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률’을 개정하여 축산폐수처리에 있어 규제미만 축산농가에 대해서도 처리의무를 부과하였고, 축산폐수 공공처리구역내에서는 발생하는 가축의 분과 노를 분리저장할 수 있는 시설의 설치를 의무화 시켰다. 그리고 상수원수질에 직접 영향을 줄 우려가 있는 지역에는 가축의 사육을 제한하도록 하였으며, 2000년 부터는 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준도 영양물질인 질소와 인의 기준을 새롭게 도입하였고 BOD와 SS의 방류수 수질기준도 약 2배로 강화토록 하였다. 이와 같은 직접규제수단의 강화는 이때까지 다른 오염원에 비해 상대적으로 높은 배출기준을 허용함으로써 국토환경을 열악하게 하는 원인을 제거하고 오염저감비용의 적절한 배분을 통해 발생원에서 오염을 저감시키기 위한 바람직한 조치로 판단된다.

최근 지속가능한 개발의 개념이 ‘환경용량 범위내에서의 성장’이라는 개념으로 인식되면서 통합적인 환경용량 산정 및 환경용량에 기반한 환경관리가 요구되고 있다. 그러나 ‘환경용량’이라는 개념이 아직도 애매모호하여 정립되어가는 과정으로서 활용분야별로 다양한 개념과 접근방법 등이 존재하고 있어 현 단계에서 가축분뇨 환경용량을 산정하고 이에 바탕을 둔 관리방안 도출에는 많은 한계를 갖는다고 판단된다. 이와같은 한계를 극복하기 위해서는 가축분뇨의 농지 적용량과 유출, 농작물의 생장에 대한 신뢰성 있는 데이터베이스 구

축을 전제되어야 한다. 특히 환경용량이라는 개념이 절대적인 한계치를 결정하는 것이 아니라, 자연환경의 조건, 경제 및 주민의 인식수준, 기술 및 관리의 수준에 따른 상대적인 수용능력을 표현하는 개념이므로 절대적인 값으로 나타내질 수는 없다고 본다. 따라서 본 연구에서는 축산관리에 있어 국토환경용량의 측면에서 접근하고자 하였으며 축분이 가지고 있는 영양물질 함량과 이용율에만 근거한 살포기준외에 수질오염에의 기여정도를 고려하여 관리방안을 도출한 점이 의의가 있다. 앞서 살펴보았듯이 환경용량을 평가하기에는 기존연구기반이 취약하고 사용할 수 있는 자료가 제한되어 결론을 도출하는데 어려움이 있었지만 본 연구에서 제안하는 주요정책건의는 다음과 같다.

□ 국토의 환경용량범위내에서의 가축사육

국토의 환경용량, 특히 농지의 축분사용한도내에서 가축사육이 이루어지도록 축산정책이 추진되어야 하겠다. 이를 위해 농지의 살포가능량에 바탕을 두고 가축사육을 허가하고, 농지의 정화용량을 초과하는 경우는 반드시 처리하도록 하고 처리비용은 오염자 부담원칙에 의해 다른 산업과 동일한 수준으로 규제하여야 한다. 이제는 축산이 농가부업으로서 소규모, 영세성을 지니는 규모는 그 비율이 점차 줄어들고 기업화, 전업농 및 대규모화 하고있는 추세이므로, 농지 환경용량을 초과하는 오염원에 대해서는 다른 산업과 동일한 수준으로 규제하여야 할 것이다. 특히 소규모의 영세규모는 대부분이 산재해 있으므로 이를 수거하여 처리하는 것도 현실적으로 어려우므로 이들은 반드시 농지에 기반을 두도록 지도하여야 한다. 그리고 농지환경용량을 초과하는 경우 처리강화, 에너지원이용 등 다양한 방법의 축분처리방안을 고려하여야 하고 이러한 방법에 의해서도 환경용량을 초과하는 경우에는 가축사육을 금지시켜야 한다.

우리나라의 “액비살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적”에 근

거하여 산출한 사육가능한 두수, 소 11.7두/ha, 돼지 18.2두/ha, 젓소가 3.8두/ha이고, 농경지에 화학비료와의 적절한 비효를 고려해 살포가능한 두수는 소 8.9두/ha, 젓소 3.3두/ha, 돼지 9.4두/ha, 닭 260두/ha 이다. 1998년에 우리나라에서 사육되고 있는 가축수를 가축단위로 환산하면 6,902LU가 되고 우리나라 농경지에 환원시킬 수 있는 가축분뇨를 기준으로 산정한 수용가능한 가축두수는 6,308LU이다. 따라서 가축사육 두수를 현 수준을 유지하는 것이 국토 환경용량 차원에서 적합하다고 할 수 있으나, 이는 전국의 농경지에 균일하게 살포한다는 가정을 기초로 산정된 것이다. 그러나 현실적으로 전국의 농토에 균일하게 살포한다는 것은 비현실적이므로 지자체별로 발생축분과 논·밭에서 수용할 수 있는 영양물질의 양을 고려한 환경용량을 도출하고, 환경용량에 맞추어 사육두수를 관리하는 것이 바람직하다. 특히 상수원 등 수질보호를 위해 민감한 지역은 지자체별 농지용량을 산정하여 적정규모로 가축사육이 이루어 지도록 하여야 한다.

□ 축산퇴비의 활용시스템구축

축산농가에서 생산된 퇴비의 활용을 촉진하기 위해서는 경작농가와 연계시키는 것이 필요하다. 이를 위해서는 축산농가에서 생산된 가축분뇨를 농가와 연계하여 적정농지를 확보한 경우에만 사육허가를 하고, 지역차원에서 가축분뇨 자원화시설자와 가축사육자, 농협, 농민 등의 관계자 협의체를 구성해 생산되는 퇴비를 경작농가에 연계시키는 활용체계를 구축하여야 한다. 또한 대량의 수입사료에 의존하는 국내 축산여건상 국내의 적정용량을 초과하는 경우에는 가축분뇨를 이용한 축분비료의 수출도 적극적으로 확대하여야 한다. 축분퇴비와 액비의 이용확대를 통해 토양환경을 개선하고, 경제적이며 고품질의 농산물을 생산하기 위하여 축분퇴비의 토양환원 프로그램을 개발·보급하고, 도별로 생산자단체인 지역축협과 농협을 연계한 「축분퇴비유통센터」를 설치하여 이 센터를 통해 축분퇴비와 액비의 생

산·수요·판매량·가격 등 유통정보를 양축농가와 경종부문의 이용농가에 안내하여 축분퇴비의 판매와 이용을 활성화해야 할 것이다.

□ 작물별 가축분뇨 살포기준 확립

작물별·계절별 축분퇴비와 액비의 사용량과 경지면적의 기준을 설정하여 이를 농작물 재배농가에 보급해 적정량의 가축분뇨 살포가 이루어 지도록 하여야 한다. 최근 퇴비 시용기준은 주로 가축분을 대상으로 하고 있으나 축분 퇴비도 축종, 자원화 방법, 토양종류 및 작물종류가 각각 상이하여 획일적인 시용기준을 설정하기 곤란하다. 따라서 정밀농업 기술의 활용과 정확한 분석기술을 도입하여 농지별, 작물별, 축종별 살포량 등을 정확하게 산정하여야 한다. 특히 농지별 비료성분지도를 작성하여 토양특성에 맞는 작물종과 시비량도 제시 되도록 하여야 한다. 농경지에 대한 과학적 경작을 위하여는 이와같은 작업이 하루빨리 시작되어야 한다. 그리고 농지에서 영양물질이 얼마나 사용되었는가에 대한 평가방법으로 영양균형지표를 개발하여 비료가 꼭 필요한 양만큼 공급되도록 하여야 한다. 이와같은 지표를 개발하여 각 유역단위로 영양물질을 관리하는 방안도 유역관리차원에서 고려하여야 한다. 또한 이러한 지표를 바탕으로 각 지역에 축분퇴비살포지침²⁵⁾을 마련하여 농경에 도움이 되도록 하는 것이 좋을 것이다.

□ 축분퇴비품질 향상 및 등급화

퇴비 제조의 목적은 분해되기 쉬운 유기물이 토양 중에서 분해되는 과정에서 나타나는 작물 피해를 최소화하고, C/N율이 높은 재료

25) 미국의 위스콘신주에서는 축분퇴비 살포지침을 마련하여 농민들에게 제시하고 있으며 자세한 내용은 부록1에 제시하였다.

에 의한 토양중 질소기아를 완화시키며, 취급이 용이하도록 부숙시키는데 있다. 이탈리아에서는 완숙퇴비 제조를 유도하기 위해 퇴비 품질기준에 humified - C을 건물기준 50% 이상이 되어야 한다고 제안을 하고 있다. 또한 일부 국가에서는 퇴비의 안전성을 고려하여 퇴비 부숙온도를 규제하거나 최종제품에 대한 생물학적 지표를 기준으로 적용하는 사례도 있다. 우리 나라는 생물학적 기준이 미비할 뿐만 아니라 무허가 제품으로 유통되고 있는 대부분의 퇴비는 부숙도에 대한 기술적 개념도 없이 생산되고 있다. 현재 퇴비는 밭에서는 어느 정도 수용할 수 있으나 논에서는 농민이 액비나 퇴비의 살포를 꺼려하고 있다. 이의 원인 중의 하나가 퇴비를 균일하게 뿌리기가 어렵고, 액비를 살포했을 경우 벼마름 등의 피해를 우려하기 때문이다. 따라서 가축분뇨의 퇴비의 품질을 개량하고 균일 살포방법 등을 개발하여 농민이 안심하고 편리하게 사용할 수 있어야 한다.

유럽지역의 일부국가들은 퇴비의 품질관리 기준에 중금속농도 뿐 아니라 물리적, 화학적 및 생물학적 특성들도 함께 적용하고 있다. 특히 오스트리아와 이탈리아는 유기물, 다량 및 미량요소, 물리화학적 성, 이물질 혼입량 및 병원성 미생물까지 퇴비 품질관리 기준으로 적용하고 있다. 우리 나라도 다양한 퇴비수요를 충족시키기 위해서는 현행 공정규격외에 국내외 사례들을 수집 분석하여 좀더 실용적인 퇴비 공정규격이 만들어져야 한다. 또한 공정규격으로 관리하기 어려운 항목은 생산업체에서 포장면에 3요소 성분함량을 포함하여 실용적인 정보를 소비자에게 서비스 할 수 있는 제도의 도입도 고려할 필요가 있다고 생각한다. 농경지에 유해물질이 함유된 폐기물의 유입을 차단하여 농경지를 보호하고 유기성 폐기물 자원화 확대를 위해서는 퇴비품질을 등급화하고 용도를 지정하여 농경지 보호와 폐기물 자원화를 동시에 추구하는 방안이 있다. 1등급(농경지용)은 주로 비료대용으로 사용할수 있는 것으로 가축분뇨를 중심으로 인분뇨, 음식물 폐기물 등으로 하고, 2등급(비농경지용)은 제조업 폐기물, 판매업 폐기물, 폐수처리 오니, 생활하수처리 오니, 등으로 토지개량제로 사용할 수

있도록 하여야 한다.

□ 축분 저장시설의 효율적 이용

퇴비가 토지에 사용되기 전에 혐기성 라균에 저장되었을 경우 인과 질소의 80%까지 이용될 수 없거나 손실된다. 따라서 소규모 축산농의 경우 축분저장시설을 효율적으로 이용하여 오염원을 저감할 수 있는 방안도 고려해 볼 수 있다. 이는 수질오염을 저감하기 위해 축분비료공장이나 처리시설을 시공하는 것이 경제적으로 부적합할 경우 저장시설을 설치하여 퇴비화합과 동시 자연적인 성분의 감축을 유도하는 방안이다. Mostaghimi(1997)의 연구에 의하면 연간 오염물질 감소효과를 시뮬레이션한 결과 축분저장시설을 설치한 경우 입자형 오염물질과 영양염류의 감소율이 크게 상승한 것으로 나타났으며, 비경작농법을 사용하고 축분저장시설을 설치할 경우 감소율은 고형물질이 53%, T-N이 60%, T-P가 57%인 것으로 나타났다²⁶⁾. 따라서 적절한 용량의 축분 저장시설을 설치하도록 시설자체에서 과도한 영양분이 자체 정화될 수 있도록 일정규모 이상의 축분저장시설을 갖추도록 하여야 한다.

□ 오염자부담원칙의 철저한 시행과 축산업 입지규제 확대

가축분뇨관리정책의 기본방향은 오염원인자 부담에 기초한 정책을 추진하여야 한다. 이제는 우리나라의 가축사육도 농가생계유지차원을 지나 전업이든 부업이든 수익을 위주로 사육되고 있고, 대규모화 되고 있기 때문에 이들의 관리비용은 축산물의 생산비용에 반드

26) S. MOSTAGHIMI, S. W. Park et al., "Assessment of Management Alternatives on a Small Agricultural Watershed", Wat. Res. Vol. 31, No. 8, pp. 1867~1878, 1997

시 포함되도록 하여야 한다. 중장기적으로는 가축사육농가에 대해 대상농가가 보유하고 있는 환경용량을 초과하여 무기 양분을 배출시키는 경우 부담금을 부과하도록 하는 방안도 검토하여야 한다.

오염원 발생자가 부담하는 원칙에 의한 자원화 및 정화처리를 유도하되 발생된 축산분뇨는 지역 자체에서의 해결을 원칙으로 해야 한다. 이에 부합되는 정책수단으로는 지역단위수급 시스템의 개발과 분야별 자원화 기술개발, 그리고 이를 촉진할 수 있는 관련제도의 정비와 적절한 재정지원을 들 수 있다. 보다 적극적인 대책으로서 환경용량을 초과하는 경우에 축산을 규제하는 정책도 적극적으로 도입하여야 한다.

참 고 문 헌

- 1) 국무총리수질개선기획단, 수질개선지원기관 '97 연구보고서, 1998
- 2) 국립종축원, 외국의 축산폐수 처리대책, 농림수산부, 1992. 6.
- 3) 김용웅, "환경농업을 위한 제언", 상수원수질보전을 위한 환경농업, 광록회, 1997
- 4) 김선희, "도시성장관리를 위한 환경용량평가의 의의", 서울시 환경용량평가의 의의 및 추진방향에 관한 워크샵, 1999
- 5) 김은순, 권태진, 국제환경농업 논의동향과 대응방안, 한국농촌경제연구원, 1998. 8
- 6) 농림부, 축분퇴비 이용확대를 위한 농·축·임협 협의회 구성운영 계획, 1999. 2
- 7) 농림부, 축산분뇨 처리 및 자원화 대책, 1999. 6
- 8) 농문협, 축산환경대책대사전, 1995
- 9) 농업과학기술원, "가축분뇨의 특성과 처리이용의 기초지식", 1999.
(<http://envy.naist.go.kr>)
- 10) 농협영농자재부, 공동퇴비제조장의 운영관리, 1996
- 11) 농협중앙회, 비료사용안내, 1995
- 12) 신상철, 이인선, "한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술개발 (II-1) - 수질오염물질발생 및 배출원단위 산정", 국립환경연구원보 제14권, 1992
- 13) 정광용, 엄명호, "유기질 퇴비 시용기준과 금후 발전방향", 한국토양비료학회 워크샵 자료, 1999. 5.
- 14) 제주도, 제주도 친환경개발을 위한 환경지표설정, 1997
- 15) 총리실 수질개선기획단, 수질개선지원기관 '98 연구발표보고서, 1999
- 16) 최지용, 신은성, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정

책 · 평가연구원, 1998

- 17) 환경부, 환경백서, 1999
- 18) 환경부, 환경통계연감, 1999
- 19) EPA, Preliminary Study of the Livestock and Poultry Industry, 09/30/1998
- 20) Hams, Tony et al., Greening Your Local Authority, England : Longman Group Ltd, 1994
- 21) <http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0207.html>
- 22) <http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0208.html>
- 23) Jung, K. Y., K. D. Woo, "The use of organic wastes for the organic fertilizer in Korea", International seminar on the use of microbio and organic fertilizer in agricultural production, R.D.A., 1994
- 24) Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International Symposium, Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998
- 25) OECD, Environmental Indicator-Towards Sustainable Development, 1998
- 26) Richard Lowrance et al., "Water Quality Functions of Riparian Forest Buffers in Chesapeake Bay Watersheds", Environmental Management, Vol. 21, No. 5, pp. 687~712, 1997
- 27) S. MOSTAGHIMI, S. W. Park et al., "Assessment of Management Alternatives on a Small Agricultural Watershed", Wat. Res. Vol.31, No. 8, pp. 1867~1878, 1997
- 28) USEPA, Best Management Practices Agricultural Nonpoint Source Control, 1981
- 29) 羽賀 清典, "家畜ふん尿の農耕地利用", 用水と廢水, Vol. 35, No. 10, 1993

- 30) 徐 開欽 et al., "畜舎排水の性狀と原單位", 用水と廢水, Vol. 39, No. 12, 1997
- 31) 原田靖生, 山口武則, "家畜畜糞の堆肥に品質實態と問題占, 環境保全と新しい畜産", 農林水産技術情報協會, 1997
- 32) 白石太郎, 森 大二, 古川陽一, 尾崎厚一, "ふん尿施用方法の遠いが傾斜草地の植生と流去水に及ぼす影響", 岡山縣酪農試驗場研究報告書 17号, 1980

부록 1. 위스콘신주의 퇴비시용에 대한 기본지침

◇ 퇴비혼합

- 주입 또는 살포 3일내에 잘 섞어준다.
- 주입 또는 섞어주지 않을 경우 1년동안 고행젓소퇴비로 25tons/acre 이상 살포불가.
- 비경작지에는 5년동안 고행젓소퇴비로 25tons/acre이상 살포불가.

◇ 작물의 영양물질 요구량과약

- 3~4년마다 토양성분분석

◇ 과다살포를 피하기 위한 유효퇴비질소성분

- 작물의 질소요구량에 맞게 퇴비살포
- 콩류의 N성분을 포함하여 과잉살포를 피하기 위해 모든 질소원을 고려

◇ 인농도가 높은 토양에 대한 시비

- 토양분석결과 인농도가 75mg/L(150lbs/acre)이상이면 인을 많이 필요로 하는 알파파 같은 작물을 심고, 강우유출수 감소시설을 설치하고, 퇴비살포량을 줄인다. 유기질 토양과 모래성 토양에서 토양 분석결과 인함량이 120mg/L이상이면 인감소방안이 필요하다.
- 토양분석결과 인농도가 150mg/L이상이면 퇴비살포를 중단해야 한다. 유기질 토양과 모래성 토양에서 인농도가 240mg/L이상이면 퇴비살포를 중단해야 한다.

◇ 지하수로의 질산성 질소의 침출유발방지

- 모래 또는 롬성 토양에서는 작물이 심겨진 곳에만 또는 토양온도가 50°F이하가 되는 10월 31일 이후 시비가 가능하다. 질산화 억제제가 사용될 경우에는 9월 중순이후 시용할 수 있다.
- 갈라진 반암 상부에 토양층 두께가 25cm미만인 경우 시용불가. 반암 상부의 토양층 두께가 25cm미만이면 퇴비시용이 불가하고 25~50cm인 경우에는 3일내에 반드시 섞어주어야 하고, 25ton/acre이상 시용할 수 없으며, 토양이 동결시에는 시용하지 않는다. 추비의 경우 10월 31일 이후에 시용하거나 질산화 억제제를 함께 시용한다.

◇ 지표수체로 직접 유출될 우려가 있는 곳은 퇴비시용금지

- 3일내에 토양과 섞어줄 수 없다면 하천과는 100m의 이격거리를 두고, 호수와는 300m의 이격거리를 두어야 한다. 10년빈도로 주기적으로 범람되는 범람원에는 퇴비를 시용하지 않는다. 이 지역에서는 토양이 동결시 퇴비시용을 금지한다.
- 식생수로, 흙둑으로 막은 수로, 개방형 지표배수로 또는 유수가 집중될 수 있는 곳에는 퇴비를 시용하지 않는다.
- 동결토양에의 시비는 지하수 오염을 유발할 우려가 있으므로 피해를 최소화하기 위해 6%미만의 경사를 지닌 경작지에만 살포한다. 우회로, 둑, 식생수로같은 보호시설이 구비된 경우에는 12%경사면까지 시비할 수 있다²⁷⁾. 12%이상의 경사면에서는 겨울에 시비를 금지한다.

27) USDA Natural Resource Conservation Service's Nutrient Management Standard 590 : 9%이상의 토양에 시비하고자 할 경우 보존시설을 구비하도록 규정하고 있음

◇ 시비를 위한 토지면적의 확보여부를 확인하기 위한 퇴비시용계획

- 겨울에 살포가능한 지역(동결시) :
 - 하천에서 100m, 호소에서 300m이격거리 확보
 - 반암 상부의 토양층 두께가 50cm이상
 - 6%미만의 경사
 - 보전방안이 설치되어 있다면 6~12%미만의 경사

- 가을에 살포가능한 지역(10월 31일 전)
 - 중미세 조적의 토양지역(모래나 유기질 토양제외)
 - 반암상부의 토양층 두께가 50cm이상

- 3일이내 토양과 섞어주지 않는다면 퇴비살포가 금지되는 지역
 - 하천에서 100m, 호소에서 300m거리내 지역
 - 반암 상부의 토양층 두께가 25~50cm인 지역

- 퇴비살포가 절대 금지되어야 하는 지역
 - 습하거나 자주 범람되는 지역(10년 빈도)
 - 식생수로, 흙으로 둘러싸인 수로, 개방형 지표배수로 기타 유수집중지역
 - 반암상부의 토양층 두께가 25cm미만인 지역

부록 2. 유출수질 및 유량조사 결과

<표 1> 1구 강우시 수질조사 결과

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (μ S/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
5/18	03:15	3.7	6.6	597.0	38.5	-	-	6.0	-	-	-	29.4
	03:45	3.5	6.7	592.0	36.5	-	-	7.8	-	-	-	32.9
	04:15	2.9	6.7	589.0	37.2	-	-	7.2	-	-	-	37.1
	04:45	2.3	6.8	591.0	36.1	-	-	7.1	-	-	-	31.1
	05:15	1.8	6.8	596.0	39.2	-	-	7.2	-	-	-	34.5
	05:45	1.4	6.7	604.0	40.8	-	-	6.8	-	-	-	34.5
	07:00	-	-	-	47.3	37.8	1.1	8.8	5.9	383.3	-	-
5/24	14:30		7.0	380.0	18.9	14.9	0.5	14.1	6.3	98.7	2.7	17.6
	15:00	45.0	7.1	386.0	18.3	17.4	0.4	8.6	5.4	68.0	2.0	15.3
	15:30	89.2	7.2	395.0	21.3	19.1	0.5	8.4	5.2	55.4	1.5	15.5
	16:00	95.7	7.2	405.0	19.6	19.1	0.3	8.9	5.0	67.0	0.9	15.3
	16:30	110.0	7.2	316.0	17.1	14.0	0.4	19.7	5.9	168.7	1.9	16.0
	17:00	144.7	7.1	296.0	14.4	13.4	0.5	18.5	6.2	150.0	1.7	15.4
	17:30	480.0	7.2	322.0	17.2	14.4	0.4	13.3	6.1	98.7	1.1	14.8
	18:00	280.0	7.2	337.0	16.5	15.5	0.4	10.0	6.0	83.0	0.6	14.6
	18:30	258.0	7.2	392.0	19.8	18.6	0.6	10.4	5.7	68.0	1.0	15.5
	19:00	220.0	7.2	411.0	21.4	20.3	0.4	9.2	5.7	61.8	0.6	14.7
	19:30	190.0	7.2	426.0	23.5	20.3	0.4	8.6	5.6	55.0	0.9	14.6
	20:00	160.0	7.2	446.0	26.0	21.1	0.7	7.8	5.5	40.8	0.9	14.3
	20:30	128.0	7.2	454.0	31.2	22.0	0.6	7.2	5.5	40.0	0.8	14.6
	21:00	100.0	7.2	465.0	27.3	27.5	0.4	6.8	5.2	36.7	1.0	14.2
21:30	89.0	7.2	485.0	37.5	29.6	0.4	6.3	4.9	33.7	0.9	13.5	
22:00	85.0	7.2	500.0	29.8	28.7	0.6	5.9	4.9	26.5	0.5	13.4	
6/2	02:30	-	7.0	117.0	7.1	4.3	0.4	7.8	1.2	1666.7	8.5	18.8
	07:30	200.0	7.0	215.0	9.8	9.5	0.3	10.4	6.4	116.7	5.6	15.1
	08:00	215.0	7.0	205.0	12.1	8.7	0.6	9.9	6.5	97.5	5.4	14.7
	08:30	190.0	7.0	222.0	10.6	9.9	0.7	8.7	6.1	93.5	4.3	14.3
	09:00	196.0	7.0	226.0	11.4	10.3	0.7	7.4	5.9	74.0	4.6	13.9
	09:30	180.0	7.0	247.0	11.6	11.7	0.5	8.1	5.6	66.2	4.1	14.8
	10:00	220.0	7.0	250.0	11.7	11.1	0.5	8.4	5.6	73.3	4.6	14.9
	10:30	196.0	7.7	269.0	15.4	12.6	1.0	7.7	5.8	67.7	4.4	15.3

<표 1> 1구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
6/2	11:00	140.0	7.4	301.0	27.5	13.9	0.6	7.5	5.8	57.3	4.2	14.7
	11:30	125.0	7.3	320.0	17.2	15.2	0.6	7.0	5.6	56.0	4.1	15.4
	12:00	100.0	7.2	332.0	35.6	15.6	0.2	7.3	5.4	51.4	3.8	14.9
	12:30	77.5	7.4	343.0	19.6	16.3	0.9	6.4	5.2	51.2	4.1	15.4
	13:00	62.0	7.3	359.0	39.7	16.7	0.6	5.9	5.1	46.7	2.6	14.9
	13:30	50.0	7.3	359.0	35.2	16.7	0.5	5.9	5.0	46.7	1.7	14.7
	14:00	52.0	7.3	364.0	35.2	17.0	0.1	5.7	5.2	43.0	2.5	14.7
	14:30	43.0	7.4	361.0	36.7	17.3	2.3	5.6	5.2	41.0	2.4	14.3
	15:00	31.7	7.5	381.0	38.3	18.1	0.7	6.5	5.3	39.2	3.1	16.7
	15:30	35.0	7.5	380.0	43.0	18.4	0.5	6.0	5.3	41.0	3.2	14.3
6/23	22:00	306.0	6.7	240.0	23.2	15.7	0.3	28.6	5.1	371.1	3.8	15.9
	22:30	342.0	6.7	356.0	25.6	20.7	0.2	14.0	6.0	81.3	3.7	15.9
	23:00	285.0	6.6	384.0	26.1	23.0	0.2	10.9	5.9	61.5	2.7	15.5
	23:30	256.0	6.5	376.0	25.6	27.2	0.2	10.3	5.5	57.1	3.2	16.1
	24:00	390.0	6.6	382.0	26.0	23.0	0.3	9.2	5.6	60.0	2.5	15.5
	00:30	198.0	6.5	373.0	24.6	23.1	0.2	8.5	5.2	47.5	2.7	15.8
	01:00	186.0	6.5	376.0	25.3	22.3	0.3	7.8	5.2	45.0	3.0	15.6
	01:30	186.0	6.6	369.0	30.1	21.7	0.2	7.3	4.9	42.0	3.2	16.7
	02:00	165.0	6.6	364.0	23.9	21.0	0.3	7.2	4.9	40.0	2.3	15.6
	02:30	150.0	6.6	367.0	29.2	24.7	0.3	7.0	4.9	40.0	2.4	12.2
	03:00	144.0	6.6	368.0	26.7	21.2	0.2	6.6	4.8	35.0	2.6	14.2
	03:30	138.0	6.6	361.0	23.2	21.0	0.3	6.6	4.9	35.0	3.5	14.1
	04:00	135.0	6.7	362.0	22.5	21.0	0.3	6.5	4.9	31.8	2.5	14.0
04:30	123.0	6.7	360.0	22.9	21.4	0.3	6.4	4.7	26.7	1.5	14.2	
05:00	123.0	6.7	370.0	24.1	22.6	0.2	5.9	4.5	30.0	2.8	13.4	
7/16	09:00	570.0	6.8	162.0	6.3	3.1	0.5	14.1	12.8	177.8	2.6	13.9
	09:30	600.0	6.7	168.0	6.0	3.0	0.3	13.4	13.1	120.0	1.6	14.3
	10:00	510.0	6.6	174.0	5.1	2.8	0.3	13.5	11.1	106.0	1.4	14.6
	10:30	438.0	6.5	178.0	5.2	3.0	0.4	12.0	11.3	90.0	1.2	14.1
	11:00	450.0	6.5	185.0	5.2	3.3	0.2	10.9	10.5	82.2	1.4	13.4
	11:30	324.0	6.6	186.0	6.9	3.1	0.2	10.9	10.6	78.0	1.3	14.3
	12:00	408.0	6.6	188.0	6.3	3.0	0.2	10.8	9.2	76.0	1.3	13.1
	12:30	414.0	6.6	190.0	6.3	3.4	0.2	10.5	8.7	100.0	1.1	13.4
	13:00	276.0	6.6	193.0	6.2	3.1	0.4	10.1	8.9	68.0	1.6	12.9
	13:30	252.0	6.7	195.0	6.3	2.5	0.2	10.0	8.4	62.0	1.0	12.8

<표 1> 1구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
7/16	14:00	144.0	6.7	196.0	4.2	1.9	0.1	8.9	8.7	68.0	1.5	13.2
	14:30	210.0	6.7	197.0	4.5	1.7	0.3	9.3	8.5	60.8	1.2	13.6
	15:00	186.0	6.7	197.0	3.9	-	-	7.8	7.5	58.0	1.8	12.5
	15:30	162.0	6.7	196.0	3.2	1.0	0.2	8.4	7.9	68.0	1.4	12.6
	16:00	150.0	6.7	195.0	3.3	1.1	0.3	7.9	7.6	54.0	0.8	12.6
	16:30	132.0	6.7	196.0	4.6	0.8	0.3	8.6	7.6	67.0	1.1	12.4
	17:00	120.0	6.8	198.0	4.6	0.2	0.9	7.9	7.6	52.0	1.3	12.5
7/22	10:00	1008.0	6.8	113.5	6.3	3.7	0.1	21.4	8.6	132.0	3.5	11.547
	10:30	426.0	6.7	153.0	8.9	5.4	0.3	17.9	10.1	92.0	2.7	12.281
	11:00	246.0	6.8	165.0	8.1	5.8	0.2	16.5	11.2	102.0	2.2	12.499
	11:30	192.0	6.8	167.1	7.1	5.3	0.2	16.6	9.7	102.0	1.8	12.261
	12:00	162.0	6.8	168.5	7.8	5.1	0.3	14.5	9.0	92.0	2.3	11.646
	12:30	126.0	6.8	167.4	7.1	4.6	0.2	14.1	9.2	94.0	1.6	11.21
8/19	06:40	780.0	6.8	153.9	9.9	6.5	0.1	10.2	6.1	86.9	4.5	14.7
	07:00	1008.0	6.9	160.2	9.8	6.4	0.1	10.6	5.5	80.5	4.5	13.9
	07:20	696.0	6.7	159.9	9.5	6.1	0.1	10.9	5.4	76.2	4.0	13.2
	07:40	720.0	6.8	164.3	9.1	6.0	0.1	12.0	5.3	80.0	4.3	14.1
	08:00	888.0	6.7	172.4	8.2	5.5	0.1	9.2	5.1	56.3	4.5	14.6
	08:20	1008.0	6.8	174.8	8.6	5.5	0.0	7.6	4.7	55.6	5.3	15.7
	08:40	936.0	6.7	179.3	8.7	4.8	0.1	6.8	5.3	52.0	4.9	15.4
	09:00	972.0	6.6	183.3	9.0	4.6	-	8.0	5.4	47.0	5.6	15.2
	09:20	1032.0	6.6	182.5	8.9	4.8	0.2	8.3	5.4	46.0	5.4	14.7
	09:40	900.0	6.6	183.0	9.2	5.1	0.1	8.2	5.2	46.0	5.4	14.6
	10:00	804.0	6.8	185.5	9.9	5.1	0.2	7.4	5.2	43.9	4.3	13.9
	10:20	840.0	6.7	189.1	9.0	5.0	0.1	7.8	4.9	40.0	4.7	13.9
	10:40	912.0	6.8	190.0	8.7	4.8	0.0	7.8	4.9	36.0	2.8	13.7
	11:00	780.0	6.7	188.2	8.1	5.2	0.3	7.6	5.0	40.8	3.5	14
	11:20	816.0	6.7	191.6	9.0	5.2	0.1	7.4	4.8	39.2	3.5	12.9
	11:40	780.0	6.6	190.6	8.3	5.1	0.2	6.8	4.7	38.8	3.3	12.7
	12:00	840.0	6.6	196.6	9.3	5.2	0.1	7.3	4.7	33.8	2.1	12.5
12:20	960.0	6.6	199.6	8.2	5.0	0.1	7.2	4.7	35.0	2.8	13.3	
12:40	1020.0	6.6	197.1	9.3	4.6	0.1	7.2	4.7	36.2	2.0	13.5	
13:00	1068.0	6.8	192.8	8.4	4.7	0.1	7.5	4.9	35.7	1.7	12.8	
13:20	840.0	6.7	192.5	8.3	4.4	0.1	7.8	4.8	33.8	1.7	13.1	
13:40	888.0	6.7	188.7	8.1	4.2	0.1	7.0	4.7	35.0	1.7	13.2	
14:00	780.0	6.7	182.4	8.7	8.1	0.1	6.9	4.9	37.9	1.7	13.3	

<표 2> 2구 강우시 수질조사 결과

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
5/18	07:00	-	7.2	267.0	3.4	-	-	90.1	-	-	-	44.6
	14:30	-	7.4	554.0	50.1	34.7	0.6	11.7	5.2	137.0	2.8	17.2
5/24	15:00	40.0	7.6	893.0	61.6	57.4	0.4	7.0	6.4	31.4	-	17.7
	15:30	53.7	7.7	959.0	65.5	61.9	0.7	6.9	6.6	20.0	-	18.1
	16:00	61.3	7.7	1014.0	72.8	67.3	0.5	6.9	6.6	18.5	1.0	18.5
	16:30	139.5	7.8	853.0	62.8	54.9	0.6	8.2	6.1	41.5	1.4	16.3
	17:00	151.3	7.8	792.0	76.6	51.1	0.5	8.4	5.9	52.1	2.0	15.7
	17:30	294.0	7.8	882.0	63.7	58.3	0.6	6.8	5.8	37.6	3.4	13.9
	18:00	200.0	7.7	1004.0	74.7	65.5	0.6	6.3	5.9	20.5	3.1	16.3
	18:30	148.0	7.7	1077.0	80.8	69.3	0.4	6.5	6.0	20.5	0.6	19.0
	19:00	120.0	7.6	1126.0	84.7	73.8	0.4	6.4	6.1	17.3	1.0	16.8
	19:30	115.0	7.6	1165.0	84.7	78.8	0.4	6.6	6.3	20.0	1.2	18.0
	20:00	75.0	-	-	90.5	-	-	6.3	-	13.3	-	17.2
	20:30	70.0	7.7	1287.0	90.8	83.9	0.7	6.6	6.4	9.6	0.4	17.0
	21:00	67.0	7.7	1313.0	98.2	84.8	0.7	6.3	6.3	7.6	0.6	18.0
	21:30	59.0	7.7	1347.0	106.2	86.0	0.2	5.9	5.7	5.2	0.9	17.8
	22:00	58.0	7.8	1360.0	72.0	30.5	0.5	5.9	5.1	-	-	14.5
6/2	02:30	-	6.9	225.0	15.3	13.1	0.6	6.8	1.5	1930.0	7.3	21.2
	06:30	80.0	7.6	893.0	35.3	-	-	6.3	-	0	6.5	21.7
	07:00	8.1	7.3	587.0	35.8	-	-	6.6	-	-	5.3	14.9
	07:30	2.9	7.5	583.0	32.8	23.6	1.0	9.5	6.3	62.7	6.3	14.9
	08:00	300.0	7.6	546.0	32.4	18.1	0.4	7.8	7.2	74.3	4.4	13.7
	08:30	46.0	7.7	612.0	36.7	22.6	1.6	7.7	7.1	38.0	2.7	15.0
	09:00	102.0	7.7	652.0	38.2	27.0	1.5	7.3	7.1	28.3	4.6	14.5
	09:30	96.0	7.8	717.0	40.8	27.2	1.1	7.1	6.9	18.7	4.1	14.0
	10:00	130.0	7.6	790.0	55.6	33.6	1.5	7.0	6.8	17.0	5.9	12.7
	10:30	120.0	7.6	885.0	62.5	45.4	1.6	6.5	6.4	28.7	3.8	13.8
	11:00	82.0	7.8	960.0	90.2	54.2	1.3	6.8	6.6	12.8	1.2	14.2
	11:30	66.0	7.8	1013.0	71.5	59.0	1.5	7.0	6.5	11.0	1.9	15.0
	12:00	57.5	7.8	1048.0	72.6	62.8	1.0	6.6	6.4	9.7	2.4	15.5
	12:30	51.0	7.8	1090.0	82.3	66.1	1.5	6.5	6.4	8.9	1.8	15.4
	13:00	50.0	7.9	1162.0	96.2	72.3	1.5	6.6	6.3	8.9	-	15.2
13:30	41.3	7.8	1183.0	88.4	69.8	1.6	6.4	6.2	7.2	-	15.5	
14:00	38.3	7.9	1216.0	83.4	79.6	1.4	6.3	6.2	7.1	-	15.8	
14:30	34.0	7.9	1244.0	89.9	80.7	1.2	6.2	6.1	5.5	-	15.7	
									6.0			

<표 2> 2구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
6/2	15:00	31.7	8.0	1261.0	92.8	83.4	1.3	6.2	6.0	7.3	-	15.8
	15:30	31.7	8.0	1294.0	104.1	86.3	1.3	6.0	5.9	5.0	-	15.8
6/23	22:00	46.0	7.2	566.0	39.5	-	-	16.1		148.0	-	21.0
	22:30	44.0	7.4	517.0	32.9	-	-	14.2		92.0	5.5	20.3
	23:00	22.3	7.6	550.0	41.9	-	-	8.4		42.5	-	17.8
	23:30	19.3	7.7	601.0	41.9	-	-	6.9		27.1	-	18.1
	24:00	26.3	7.7	700.0	54.7	-	-	7.2	-	20.6	-	18.5
	00:30	30.0	7.7	75.0	62.3	-	-	7.1	-	68.1	-	19.2
	01:00	31.4	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	01:30	30.0	7.7	799.0	61.6	-	-	6.2	-	21.7	-	17.1
	02:00	28.0	7.7	825.0	67.5	-	-	6.3	-	13.9	-	18.5
	02:30	22.5	7.7	849.0	72.7	-	-	6.1	-	13.3	-	18.4
	03:00	20.3	7.7	839.0	65.4	-	-	5.8	5.7	11.5	-	18.0
	03:30	19.5	7.7	860.0	74.7	-	-	5.8	5.6	9.0	-	17.8
	04:00	17.0	7.9	888.0	72.3	67.1	0.2	5.8		-	-	18.3
	04:30	13.8	7.9	891.0	66.1	65.0	0.4	5.8		-	-	17.3
05:00	13.5	7.9	912.0	79.2	-	-	5.6		-	-	17.9	
7/16	09:00	720.0	6.9	381.0	5.7	9.9	0.3	7.1	6.7	46.0	1.3	15.4
	09:30	492.0	7.0	388.0	6.6	4.3	0.3	7.8	7.0	43.3	1.6	15.9
	10:00	300.0	7.0	403.0	6.0	4.2	0.4	7.9	7.5	42.9	1.4	16.6
	10:30	306.0	7.0	432.0	6.3	4.7	0.2	8.3	7.4	37.8	1.7	17.9
	11:00	168.0	7.1	458.0	6.4	4.7	0.2	7.8	7.4	37.0	1.5	18.6
	11:30	204.0	7.1	470.0	6.7	4.4	0.6	7.7	7.0	34.0	1.8	18.1
	12:00	180.0	7.1	479.0	5.8	4.2	0.3	7.5	6.7	26.7	1.3	18.8
	12:30	162.0	7.1	488.0	6.1	3.9	0.2	7.4	7.2	24.2	0.4	18.7
7/16	13:00	138.0	7.2	493.0	6.6	3.9	0.3	7.3	7.3	21.7	0.9	18.3
	13:30	120.0	7.3	500.0	6.3	3.8	0.2	7.1	6.8	19.2	1.4	19.1
	14:00	114.0	7.3	505.0	6.6	3.6	0.2	7.0	6.6	18.1	1.7	18.7
	14:30	105.0	7.5	504.0	6.3	3.3	0.3	6.9	6.7	17.3	1.2	18.9
	15:00	66.0	7.5	504.0	5.9	2.9	0.3	6.8	6.3	15.0	0.9	18.5
	15:30	48.0	7.6	491.0	5.1	2.9	0.2	6.8	6.7	13.7	2.4	18.6
	16:00	48.0	7.1	488.0	4.5	3.0	0.1	6.5	6.2	14.8	3.2	18.5
	16:30	36.0	7.6	480.0	4.5	2.7	0.2	6.5	6.4	13.5	4.3	17.7
7/22	10:00	972.0	7.1	195.0	6.4	2.9	0.2	11.1	5.8	74.0	3.5	12.5
	10:30	282.0	7.2	185.3	6.5	1.7	0.2	7.9	6.2	53.3	2.0	11.9
	11:00	135.0	7.3	185.6	6.1	1.3	0.2	9.1	6.6	45.7	1.9	12.6

<표 2> 2구 강우시 수질조사결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (μ S/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
7/22	11:30	60.0	7.4	190.3	6.9	1.6	0.2	8.0	6.5	42.9	-	12.0
	12:00	27.0	7.5	195.8	6.9	2.2	0.4	7.5	6.3	35.7	-	12.7
	12:30	9.0	7.4	188.8	7.4	-	-	7.4	-	-	-	16.6
8/19	06:40	510.0	6.9	332.0	17.9	17.5	0.1	6.4	5.2	35.3	5.6	18.2
	07:00	642.0	6.9	341.0	17.3	9.3	0.0	5.6	5.1	22.5	2.0	18.1
	07:20	480.0	7.0	349.0	18.0	9.5	0.1	6.0	5.6	24.0	2.2	17.9
	07:40	540.0	7.1	296.8	18.1	9.3	0.1	9.8	5.4	62.9	5.5	18.1
	08:00	708.0	7.1	292.7	18.8	9.6	0.0	7.4	5.4	37.3	5.6	17.7
	08:20	720.0	7.2	311.6	17.6	9.6	0.1	7.2	5.6	32.7	5.9	18.4
	08:40	816.0	7.2	312.4	18.6	10.2	0.1	6.4	5.6	24.5	5.0	18.1
	09:00	840.0	7.2	316.5	25.8	9.8	0.1	6.7	5.5	27.5	5.9	18.8
	09:20	780.0	7.3	318.9	24.6	10.1	0.1	6.7	5.7	24.5	5.5	18.8
	09:40	708.0	7.3	321.4	26.5	9.9	0.0	5.9	5.8	14.4	5.5	18.9
	10:00	720.0	7.3	325.5	24.7	10.3	0.0	5.9	5.6	14.0	5.2	19.5
	10:20	672.0	7.2	323.9	25.9	10.3	0.1	5.7	5.7	12.4	5.3	18.4
	10:40	624.0	7.2	328.0	26.4	10.3	0.0	5.9	5.6	17.4	4.4	19.0
	11:00	588.0	7.2	336.2	27.1	11.2	0.1	5.6	5.5	25.6	4.6	18.0
	11:20	540.0	7.2	343.6	26.2	11.3	0.1	5.7	5.3	17.2	3.9	16.8
	11:40	492.0	7.2	344.4	27.7	11.3	0.1	5.6	5.2	14.0	3.5	16.4
	12:00	624.0	7.2	344.4	28.4	22.2	0.0	6.5	5.3	22.8	3.4	17.1
12:20	684.0	7.3	346.9	25.8	10.6	0.0	6.3	5.6	15.1	2.9	15.5	
12:40	696.0	7.3	344.4	27.5	10.6	0.0	6.5	5.6	14.6	3.0	16.2	
13:00	600.0	7.3	348.5	26.0	11.2	0.0	6.4	5.5	22.9	3.2	16.3	
13:20	504.0	7.3	349.3	29.7	11.1	0.0	8.3	5.4	46.4	3.3	15.9	
13:40	456.0	7.3	354.2	27.3	11.6	0.0	17.6	5.4	46.4	2.3	15.5	
14:00	372.0	7.3	355.9	26.4	11.9	0.0	14.6	5.2	134.0	2.3	15.6	

<표 3> 3구 강우시 수질조사 결과

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (μ S/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
5/18	07:00	-	7.2	180.0	10.7	-	-	33.6	-	-	-	77.1
	14:30	-	7.8	378.0	19.0	15.8	0.7	12.9	6.8	78.0	2.3	22.8
5/24	15:00	8.3	7.8	469.0	18.3	16.2	0.9	9.0	7.5	42.1	-	22.0
	15:30	1.0	-	420.0	16.1	-	-	10.2	-	698.0	-	-
	16:00	10.0	8.0	395.0	14.8	10.8	0.6	14.7	8.5	131.9	-	22.9
	16:30	125.0	7.9	400.0	14.4	11.9	0.7	11.7	8.2	67.0	1.9	21.5
	17:00	153.3	7.8	391.0	13.2	11.8	0.6	12.9	8.8	66.3	1.5	21.8
	17:30	147.0	7.8	402.0	15.2	12.5	0.8	11.6	9.0	55.0	0.7	21.0
	18:00	78.0	7.9	440.0	16.7	12.3	0.4	10.2	8.6	39.0	1.8	21.9
	18:30	39.0	8.0	469.0	17.6	14.0	0.2	9.2	8.3	35.0	3.3	22.1
	19:00	23.0	8.0	491.0	19.1	16.6	0.2	9.5	7.8	60.0	1.2	21.5
	19:30	24.0	8.0	522.0	27.9	19.5	0.3	6.8	6.4	28.7	-	21.0
	20:00	14.4	7.9	529.0	31.8	21.6	0.6	5.7	5.4	25.8	-	18.9
	20:30	11.2	8.0	548.0	29.3	23.3	0.4	5.0	4.5	24.0	-	18.6
	21:00	10.3	8.0	562.0	30.8	24.7	0.5	5.2	4.4	30.0	-	18.9
	21:30	8.3	8.0	565.0	32.3	25.1	0.4	4.9	4.3	20.8	-	19.7
	22:00	7.3	8.0	578.0	30.2	24.8	0.2	4.4	4.3	26.0	-	18.1
	6/2	02:30	-	7.4	318.0	8.6	7.1	1.4	10.0	3.4	1910.0	5.8
06:00		14.0	7.6	336.0	9.3	7.7	0.8	12.5	11.8	300.0	5.0	23.3
06:30		36.7	7.8	333.0	9.9	8.0	0.5	12.9	9.2	90.0	5.6	21.1
07:00		32.8	7.8	317.0	8.5	7.8	0.5	11.9	9.4	76.0	5.7	21.7
07:30		133.3	7.7	315.0	7.8	6.4	0.8	11.7	8.8	93.3	2.9	19.9
08:00		142.0	7.6	303.0	7.1	6.4	0.6	11.6	8.6	63.3	3.1	19.3
08:30		113.7	7.6	322.0	8.0	7.0	0.7	10.6	8.4	57.0	3.0	19.1
09:00		86.7	7.6	341.0	10.4	7.7	0.6	10.4	8.2	46.0	3.4	19.1
09:30		54.7	7.8	361.0	9.1	8.6	0.6	8.3	7.6	71.0	3.2	19.4
10:00		86.7	7.7	372.0	12.3	9.2	0.3	9.7	7.5	42.0	-	18.6
10:30		43.7	8.0	397.0	11.4	10.5	0.5	7.7	6.7	41.0	5.8	18.7
11:00		24.0	8.0	419.0	13.5	12.0	1.0	6.7	5.7	32.0	-	18.1
11:30		14.7	8.0	437.0	13.5	-	-	5.9	-	25.0	-	18.0
12:00		13.3	8.0	457.0	15.5	-	-	5.6	-	18.0	-	18.4
12:30		11.7	8.0	461.0	15.7	-	-	5.2	-	20.0	-	18.0
13:00		12.0	8.0	466.0	16.5	-	-	5.6	-	21.0	-	17.4
13:30	11.7	8.0	480.0	17.1	-	-	4.9	-	13.0	-	18.0	
14:00	7.2	8.0	502.0	18.4	-	-	5.0	-	-	-	17.6	

<표 3> 3구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
6/2	14:30	5.9	8.0	481.0	17.4	-	-	5.0	-	-	-	17.7
	15:00	8.7	8.1	504.0	17.4	-	-	4.4	-	-	-	17.1
6/23	22:00	123.0	7.7	298.0	12.8	12.6	0.3	25.1	8.0	375.0	-	17.5
	22:30	85.0	7.6	340.0	18.0	15.0	0.3	25.3	8.0	130.0	-	18.6
	23:00	24.3	7.6	372.0	21.1	17.9	0.3	14.5	7.8	74.0	-	19.9
	23:30	13.0	7.8	400.0	22.3	-	-	10.8	-	66.0	-	19.4
	24:00	8.3	7.9	408.0	22.5	-	-	8.1	-	60.0	-	19.0
	00:30	6.2	7.9	401.0	22.2	-	-	7.0	-	48.0	-	18.9
	01:00	3.9	7.9	395.0	22.5	-	-	7.1	-	-	-	18.1
	01:30	2.8	7.9	394.0	22.7	-	-	7.2	-	-	-	18.9
	02:00	1.9	7.9	383.0	21.1	-	-	7.1	-	-	-	19.6
	02:30	1.7	7.9	396.0	22.3	-	-	7.6	-	-	-	20.0
	03:00	1.2	7.9	385.0	22.3	-	-	8.6	-	-	-	
7/16	09:00	342.0	7.3	243.0	7.1	4.9	0.2	7.3	6.1	35.7	0.7	18.4
	09:30	246.0	7.2	241.0	6.9	2.3	0.2	6.8	5.8	33.6	1.0	18.8
	10:00	228.0	7.2	243.0	7.5	2.0	0.2	6.8	6.2	27.3	1.0	18.9
	10:30	180.0	7.4	248.0	5.6	2.2	0.6	7.0	6.4	28.2	1.7	18.6
	11:00	144.0	7.3	241.0	5.8	1.5	0.5	6.7	5.9	28.0	1.0	19.4
	11:30	126.0	7.5	243.0	6.3	1.2	0.3	7.0	5.7	25.0	6.3	18.7
	12:00	162.0	7.4	247.0	5.6	1.1	0.3	6.5	5.7	23.6	0.8	17.8
	13:00	120.0	7.4	249.0	5.9	1.1	0.3	6.4	5.6	18.2	0.9	18.2
	13:30	108.0	7.4	251.0	6.2	1.0	0.3	6.1	5.4	20.0	1.7	19.1
	14:00	78.0	7.4	256.0	5.7	0.9	0.4	6.2	5.5	25.8	2.2	18.3
	14:30	90.0	7.5	256.0	5.7	0.9	0.3	6.3	5.5	24.7	6.4	18.2
15:00	60.0	7.5	259.0	6.7	1.0	0.3	5.6	5.5	26.5	2.7	18.7	
7/16	15:30	90.0	7.6	259.0	5.9	0.9	0.3	5.7	5.6	18.2	1.6	18.6
	16:00	72.0	7.5	260.0	5.1	1.0	0.3	5.5	5.3	20.6	6.3	18.5
	16:30	57.0	7.5	263.0	5.6	1.0	0.3	5.5	5.2	15.4	-	18.8
7/22	10:00	300.0	7.3	136.5	10.3	8.6	0.2	10.5	4.2	75.0	-	12.033
	10:30	34.0	7.3	160.3	11.3	8.6	0.2	7.4	4.7	46.4	-	13.113
	11:00	18.0	7.4	174.3	11.6	9.0	0.3	6.5	5.0	40.6	-	14.402
	11:30	7.2	7.4	178.7	10.7	-	-	6.1	-	-	-	16.157
8/19	06:40	360.0	7.3	220.6	16.7	12.5	0.1	5.8	5.3	27.5	7.7	19.1
	07:00	504.0	7.2	224.7	15.9	12.6	0.1	5.4	5.2	29.1	6.5	19.1
	07:20	432.0	7.2	232.1	17.1	12.4	0.0	4.8	5.5	20.0	6.2	18.4
	07:40	492.0	7.2	232.1	17.0	11.3	0.0	5.6	5.4	26.2	6.9	18.8

<표 3> 3구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
8/19	08:00	630.0	7.2	231.2	15.0	11.7	0.0	5.9	5.7	33.0	6.3	18.8
	08:20	660.0	7.1	226.3	15.4	12.1	0.1	6.9	5.1	16.0	6.3	18.5
	08:40	648.0	7.1	237.8	15.9	11.7	0.1	5.3	5.5	17.5	5.5	18.2
	09:00	684.0	7.0	239.4	15.8	12.2	0.0	5.4	5.3	13.8	5.6	17.8
	09:20	552.0	7.0	243.5	15.8	11.5	0.0	5.6	5.5	15.2	5.6	18.0
	09:40	432.0	7.0	246.0	16.2	11.7	0.1	8.2	5.9	14.8	5.1	18.6
	10:00	480.0	7.1	246.8	14.4	12.0	0.0	5.7	5.3	14.4	4.7	18.1
	10:20	648.0	7.1	247.6	17.3	11.7	0.0	5.5	5.4	18.0	4.8	17.4
	10:40	480.0	7.1	250.1	15.6	12.4	0.0	4.9	5.7	12.9	4.6	18.1
	11:00	420.0	7.1	252.6	16.0	12.5	0.0	4.6	5.4	11.6	8.0	17.9
	11:20	420.0	7.1	258.3	17.0	12.6	0.0	4.2	5.3	12.0	4.0	17.0
	11:40	390.0	7.1	256.7	16.2	11.0	0.1	4.4	5.3	13.3	3.5	16.6
	12:00	540.0	7.1	251.7	15.6	10.6	0.1	5.4	5.5	26.0	3.9	17.7
	12:20	636.0	7.1	250.1	15.2	11.2	0.0	4.7	5.6	14.0	4.1	17.4
	12:40	480.0	7.1	251.7	15.6	11.4	0.0	4.6	5.4	12.8	3.9	17.5
	13:00	420.0	7.2	255.8	15.9	12.3	0.1	4.5	5.8	10.8	4.0	16.5
	13:20	360.0	7.1	259.1	16.4	13.0	0.1	4.3	5.7	8.4	3.1	16.2
	13:40	288.0	7.1	260.8	15.2	13.8	0.1	4.8	5.6	9.0	2.7	15.8
14:00	240.0	7.2	264.9	17.0	7.7	0.0	4.3	5.6	9.4	-	14.7	

<표 4> 4구 강우시 수질조사 결과

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond. (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
5/18	19:45	13.5	7.2	3520.0	41.5	21.5	1.3	28.5	9.6	200.0	-	27.7
	20:15	0.9	7.6	883.0	29.4	-	-	-	-	-	-	-
	21:45	9.6	7.7	658.0	22.2	13.5	1.0	32.0	10.3	213.3	-	27.9
	22:15	13.5	7.8	624.0	19.6	12.1	1.2	30.4	12.0	190.0	-	26.9
	22:45	13.5	7.4	663.0	20.8	-	-	25.4	-	173.3	-	26.5
	23:15	4.9	7.9	699.0	22.4	-	-	21.3	-	136.7	-	26.8
	23:45	9.5	7.8	689.0	21.5	13.1	0.7	20.5	10.2	136.7	-	27.8
	00:15	10.4	7.9	653.0	21.5	11.9	-	22.7	9.5	153.3	-	26.7
	00:45	4.3	8.0	693.0	18.2	-	-	18.1	-	-	-	26.4
	01:15	4.1	8.1	701.0	20.6	-	-	17.1	-	-	-	26.8
	01:45	2.6	8.1	685.0	18.7	-	-	15.8	-	-	-	26.1
	22:15	-	8.0	736.0	30.5	14.7	1.6	6.5	-	297.1	-	-
	07:00	-	-	-	19.7	12.4	0.8	10.9	9.0	377.6	-	24.7
5/24	14:30	-	8.1	380.0	13.3	7.2	0.9	11.9	7.1	91.7	-	-
	15:00	3.7	-	602.0	13.5	-	-	11.9	-	-	1.0	23.9
	15:30	5.0	-	-	13.2	-	-	-	-	-	2.5	24.4
	16:00	24.0	-	-	13.4	8.5	0.5	12.9	10.2	-	3.7	24.6
	16:30	62.7	8.1	594.0	12.6	8.5	0.3	12.7	10.4	92.0	4.1	23.8
	16:30	83.8	8.1	589.0	13.5	9.1	0.4	11.1	10.2	80.8	3.4	24.3
	17:00	214.0	8.1	656.0	14.8	10.6	0.5	10.2	9.8	65.0	2.0	25.6
	17:30	51.0	8.2	718.0	15.9	12.3	0.6	9.4	9.2	55.0	1.0	26.3
	18:30	26.0	8.3	792.0	17.0	11.9	0.7	8.8	8.6	45.0	0.5	24.7
	19:00	9.0	8.3	788.0	17.3	-	-	9.5	-	49.0	-	-
19:30	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6/2	02:30	-	7.2	330.0	11.6	7.8	1.0	8.6	-	2780.0	-	24.9
	04:00	3.3	7.7	410.0	13.7	-	-	12.6	-	0	-	22.0
	06:00	23.2	7.9	445.0	12.6	-	-	21.3	13.6	490.0	5.4	25.1
	06:30	26.0	8.0	445.0	10.5	7.6	0.5	16.7	13.7	164.0	7.6	25.4
	07:00	26.6	8.2	451.0	10.3	-	-	12.9	-	118.0	5.7	25.3
	07:30	106.7	8.1	459.0	10.5	6.9	0.6	13.9	13.2	91.4	5.5	25.2
	08:00	58.3	8.0	481.0	9.9	7.6	0.7	19.8	13.4	112.0	5.3	25.1
	08:30	49.5	8.0	521.0	10.1	8.4	0.6	13.8	12.8	108.7	4.4	24.9
	09:00	35.7	8.0	528.0	10.8	-	-	12.3	-	82.0	-	24.9
	09:30	21.0	8.1	566.0	11.6	-	-	11.2	-	-	-	24.8
10:00	46.2	-	-	11.9	9.2	0.5	12.8	12.1	60.0	3.0	24.8	
									70.0			

<표 4> 4구 강우시 수질조사 결과(계속)

	조사 시각	유량 (ml/min)	pH	Cond (uS/cm)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
6/2	10:30	13.0	8.2	572.0	11.7	-	-	11.2	-	56.7	-	25.5
	11:00	4.3	8.2	592.0	11.7	-	-	9.3	-	-	-	24.9
6/23	19:00	18.8	7.7	549.0	39.3	-	-	14.3	-	97.5	-	18.0
	19:30	9.3	7.8	521.0	36.3	-	-	15.8	-	92.0	-	24.9
	20:00	1.1	7.8	530.0	44.8	-	-	13.9	-	-	-	24.7
	21:30	29.0	7.7	574.0	35.1	-	-	13.4	-	65.0	6.4	24.9
	22:00	180.0	7.6	447.0	23.5	16.8	0.5	19.2	10.5	126.2	-	23.0
	22:30	175.0	7.7	528.0	23.7	20.3	0.5	14.4	10.4	87.0	-	23.6
	23:00	45.0	7.9	760.0	43.9	-	-	9.1	-	18.0	4.0	22.1
	23:30	49.5	7.9	616.0	32.0	-	-	10.8	-	39.0	-	24.1
7/16	16:46	1.1	7.5	311.0	6.0	1.5	0.6	5.0	4.8	36.4	-	19.7
7/22	10:00	195 ml	6.9	176.7	17.6	-	-	28.7	-	-	-	20.2
8/19	09:00	120.0	7.3	227.1	13.0	7.7	0.0	8.4	6.3	42.1	-	23.3
	09:20	72.0	7.1	230.4	13.5	7.7	0.0	8.0	6.9	34.0	-	22.7
	09:40	60.0	7.4	228.8	12.6	7.6	0.0	7.3	6.9	23.0	-	22.6
	10:00	54.0	7.4	230.4	14.1	7.5	0.0	7.2	5.3	36.7	-	22.4
	10:20	48.0	7.5	231.2	13.5	7.7	0.1	6.2	5.9	26.5	-	22.4
	10:40	36.0	7.5	231.5	13.8	6.3	0.0	6.3	5.6	24.0	-	22.8
	11:00	30.0	7.6	226.3	11.9	7.5	0.1	6.5	5.7	40.0	-	22.1
	11:20	18.0	7.7	206.6	9.9	-	-	8.1	-	-	-	22.4
	11:40	12.0	7.7	214.0	10.1	-	-	8.2	-	-	-	23.0
	12:00	30.0	7.6	238.6	13.5	7.8	0.0	6.2	5.4	28.6	-	22.1
	12:20	54.0	7.6	259.1	13.0	6.5	0.0	6.0	5.4	16.8	-	23.0
	12:40	42.0	7.6	256.7	12.6	5.5	0.0	5.7	5.3	16.0	-	23.0
	13:00	36.0	7.7	245.2	10.3	2.9	0.0	5.9	5.0	20.8	-	22.7
	13:20	18.0	7.7	225.5	8.6	-	-	6.8	-	-	-	21.3

<표 5> 침출수질 조사결과

	시험구	Flow (ml/min)	Cond. (μ S/cm)	pH	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
5/24	1	3400	-	-	56.2	50.88	0.88	1.9	0.8	64.2	1.3	11.2
	2	1200	-	-	90.29	79.53	0.79	1.5	0.7	59	4.4	13.2
6/23	1	-	-	-	24.92	-	0.37	8.9	2.8	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	7.529
7/17	1	850	327	6.9	41.55	-	-	8.3	2.5	94	6.5	15.029
	2	870	1947	6.6	-	-	-	3	0.6	36	3	11.995
	3	125	-	-	7.98	-	-	1.6	-	-	-	21.67
7/22	1	1800	111.7	6.85	4.59	11.93	0.138	20.9	3.8	182	1.8	7.284
	2	1230	185.6	6.46	-	-	0	2.8	0.8	44.3	-	23.136
	3	750	189.7	7.71	2.99	6.11	0.218	6.5	3.8	52.4	-	11.993
7/30	1	3820	19.9	6.55	-	-	0.153	3.2	2.1	-	2.3	-
	2	4030	229	6.65	-	-	0.395	2	1.6	-	1.3	-
	3	925	83.8	5.84	-	-	0.035	0.4	0.4	-	-	-
8/2	1	3260	73.1	7.14	3.71	-	0.003	3.1	2.6	169	-	-
	4	-	224	7.12	11.29	-	0.84	8.7	7.2	385.7	-	-
8/6	1	3450	83.4	6.25	4.31	-	0.014	3	2.4	63.3	1.3	-
	2	3390	213	6.65	7.1	-	0.048	7.9	7.8	20.7	2.9	-
	3	640	63.4	6.35	1.12	-	0.003	1.5	1.4	36.7	-	-
	4	200	26.9	6.18	3.65	-	0.832	0.4	0.3	-	-	-
8/19	1	1580	58.9	7.15	-	-	-	3.3	1.4	9.1	8.2	-
	2	1350	191.9	6.99	-	-	-	3.2	2.3	42.4	-	-
	3	26	-	6.36	-	-	-	0.4	-	-	-	-
	4	1640	300.1	7.15	-	-	4.1	3.7	-	43.3	2.3	-

참 고 문 헌

- 1) 국무총리수질개선기획단, 수질개선지원기관 '97 연구보고서, 1998
- 2) 국립종축원, 외국의 축산폐수 처리대책, 농림수산부, 1992. 6.
- 3) 김용웅, "환경농업을 위한 제언", 상수원수질보전을 위한 환경농업, 광록회, 1997
- 4) 김선희, "도시성장관리를 위한 환경용량평가의 의의", 서울시 환경용량평가의 의의 및 추진방향에 관한 워크샵, 1999
- 5) 김은순, 권태진, 국제환경농업 논의동향과 대응방안, 한국농촌경제연구원, 1998. 8
- 6) 농림부, 축분퇴비 이용확대를 위한 농·축·임협 협의회 구성운영 계획, 1999. 2
- 7) 농림부, 축산분뇨 처리 및 자원화 대책, 1999. 6
- 8) 농문협, 축산환경대책대사전, 1995
- 9) 농업과학기술원, "가축분뇨의 특성과 처리이용의 기초지식", 1999.
(<http://envy.naist.go.kr>)
- 10) 농협영농자재부, 공동퇴비제조장의 운영관리, 1996
- 11) 농협중앙회, 비료사용안내, 1995
- 12) 신상철, 이인선, "한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술개발 (II-1) - 수질오염물질발생 및 배출원단위 산정", 국립환경연구원보 제14권, 1992
- 13) 정광용, 엄명호, "유기질 퇴비 시용기준과 금후 발전방향", 한국토양비료학회 워크샵 자료, 1999. 5.
- 14) 제주도, 제주도 친환경개발을 위한 환경지표설정, 1997
- 15) 총리실 수질개선기획단, 수질개선지원기관 '98 연구발표보고서, 1999
- 16) 최지용, 신은성, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책·평가연구원, 1998

- 17) 환경부, 환경백서, 1999
- 18) 환경부, 환경통계연감, 1999
- 19) EPA, Preliminary Study of the Livestock and Poultry Industry, 09/30/1998
- 20) Hams, Tony et al., Greening Your Local Authority, England : Longman Group Ltd, 1994
- 21) <http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0207.html>
- 22) <http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/agf-fact/0208.html>
- 23) Jung, K. Y., K. D. Woo, "The use of organic wastes for the organic fertilizer in Korea", International seminar on the use of microbio and organic fertilizer in agricultural production, R.D.A., 1994
- 24) Kim, Yoo Hak et al, "Modeling of efficient fertilizer application for precision farming", International Symposium, Chungnam Nat'l Univ., Taejon, Korea, 1998
- 25) OECD, Environmental Indicator-Towards Sustainable Development, 1998
- 26) Richard Lowrance et al., "Water Quality Functions of Riparian Forest Buffers in Chesapeake Bay Watersheds", Environmental Management, Vol. 21, No. 5, pp. 687~712, 1997
- 27) S. MOSTAGHIMI, S. W. Park et al., "Assessment of Management Alternatives on a Small Agricultural Watershed", Wat. Res. Vol.31, No. 8, pp. 1867~1878, 1997
- 28) USEPA, Best Management Practices Agricultural Nonpoint Source Control, 1981
- 29) 羽賀 清典, "家畜ふん尿の農耕地利用", 用水と廢水, Vol. 35, No. 10, 1993
- 30) 徐 開欽 et al., "畜舎排水の性狀と原單位", 用水と廢水, Vol. 39,

No. 12, 1997

- 31) 原田靖生, 山口武則, “家畜畜糞の堆肥に品質實態と問題占, 環境保全と新しい畜産”, 農林水産技術情報協會, 1997
- 32) 白石太郎, 森 大二, 古川陽一, 尾崎厚一, “ふん尿施用方法の遠いが傾斜草地の植生と流去水に及ぼす影響”, 岡山縣酪農試験場研究報告書 17号, 1980