

## 자연순환농업은 가축분뇨 자원화로부터

오인환

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부

# Using Animal Manure as Resources for the Recycling Agriculture

Oh, I. H.

Dept. of Biosystems Engineering, Konkuk University

### 서 론

국민들의 환경에 대한 인식이 깨이게 되고, 사육마리수가 증가함에 따라 가축분뇨발생량도 많아져서 1980년대 후반부터 가축분뇨 처리에 대한 관심이 높아졌다. 당시에는 유출되는 오수에 대한 처리방법으로 정화조를 묻었으나 용량이 적은 관계로 별 효과를 얻지 못하였다. 그 후에는 무방류시스템인 퇴비화 방법이 보급되었고 톱밥가격의 상승으로 인한 처리비용도 올라갔으며 대체재로 팽연왕겨 등이 등장을 하였다. 해양배출도 신경을 덜 쓰게 한다는 편의성 때문에 서서히 확산되었다. 그 후에는 처리방법 중 가장 경제적이라 할 수 있는 액비화 방법이 보급되었으며 정부에서는 액비저장탱크 등을 지원하고 있다. 이러한 과정에서 농림부와 환경부가 가축분뇨를 폐기물로 보지 않고 자원으로 보는 의견을 같이 하여서 자연순환농업이 대두되게 되었으며 그 세부시책이 추진되고 있다.

또한, 오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관

한 법률에서 가축분뇨 부분만을 발취 및 보완하여 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법을 제정하여 2006년 4월에 입법예고 되었다. 주요내용은 가축분뇨의 자원화를 근간으로 하여 크게 사전예방, 자원화처리, 이용촉진 및 사후관리로 구분하고 있다. 법이 제정되고 세부시책이 추진됨으로서 자원화체계를 구축하였다는 의미가 크다고 할 수 있다. 본고에서는 자연순환농업을 시행함에 있어서 주어진 과제를 살펴보고자 한다.

### 가축분뇨처리의 현황

가축분뇨는 연간 약 4,117만 톤이 발생하며 그 대부분인 80.5%가 자원화 방법인 퇴비액비로 활용되고 있으며, 정화처리 3.4%, 공공처리 5.7% 그리고 해양배출 5.7%로 나타나고 있다. 가축분뇨처리 지원으로 91년부터 올해까지 약 1조7백14억 원이 투입되었다.

해양배출은 가축분뇨를 처리하지 않아드 된다는 편의성 때문에 점차적으로 확대되어 '05년도에 274만톤이 배출되었으며, 해양수산

Corresponding author : Oh, I. H., Department of Biosystems Engineering, Konkuk University, Danwoldong 322, Chungju, 380-701 Republic of Korea. E-mail: ihoh@kku.ac.kr

표 1. 가축분뇨 발생량 및 자원화 현황('04년)

연간발생량 (천톤)	자원화 물량		정화방류	공공처리	해양배출	기 타
	퇴 비	액 비				
41,171 (100%)	32,661 (79.3%)	498 (1.2%)	1,398 (3.4%)	2,331 (5.7%)	2,346 (5.7%)	1,937 (4.7%)

산출근거: 농림부(2005)

표 2. 연도별 가축분뇨처리시설 지원실적 및 계획

구 분		'91~'03	2004	2005	2006	2007~2008
사 업 량		76,233	1,904	1,500	1,500	3,000
사 업 비	계	964,501	39,510	33,272	34,114	68,228
	보 조	477,400	15,584	15,533	17,251	34,502
	융 자	487,101	23,926	17,739	16,863	33,726

비고: 1. 지원액은 정부지원 및 지방비 포함.

2. 사업물량 중 일부는 개선사업비 포함(신규지원후 5년이상 경과된 노후시설은 50% 범위 내에서 추가지원 가능)

자료: 농림부(2006)

부에서는 배출량을 표 4에 나타낸 바와 같이 점차적으로 감소할 계획으로 있다. 일반적으로 축산농가에서는 계절에 따른 수급불균형을 맞추어주는 선에서 가축분뇨 발생량의 일부를 해양 배출하고 있지만 이는 자원의 낭비이고 배출해역 환경상태를 악화시킬 수 있

기 때문에 농장단위에서도 장기적으로는 중단하여야 할 것이다.

자연순환농업은 축산에서 발생하는 가축분뇨를 비료자원으로 경종농가 또는 원예농가에서 사용함으로써 토양의 비옥도를 높여 지력을 증진시키고 경종농가의 화학비료 사용

표 3. 가축분뇨 해양 배출량 현황

구 분	'97	'00	'02	'04	'05
전체물량(천톤)	5,591	7,104	8,475	9,749	9,929
가 축 분 뇨	52	765	1,626	2,364	2,745

자료: 해양수산부(2004)

표 4. 해양배출 물량 감축계획

년 도	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'12
목표량	9,929	9,000	8,000	7,000	5,000	4,500	4,000

자료: 해양수산부(2004)

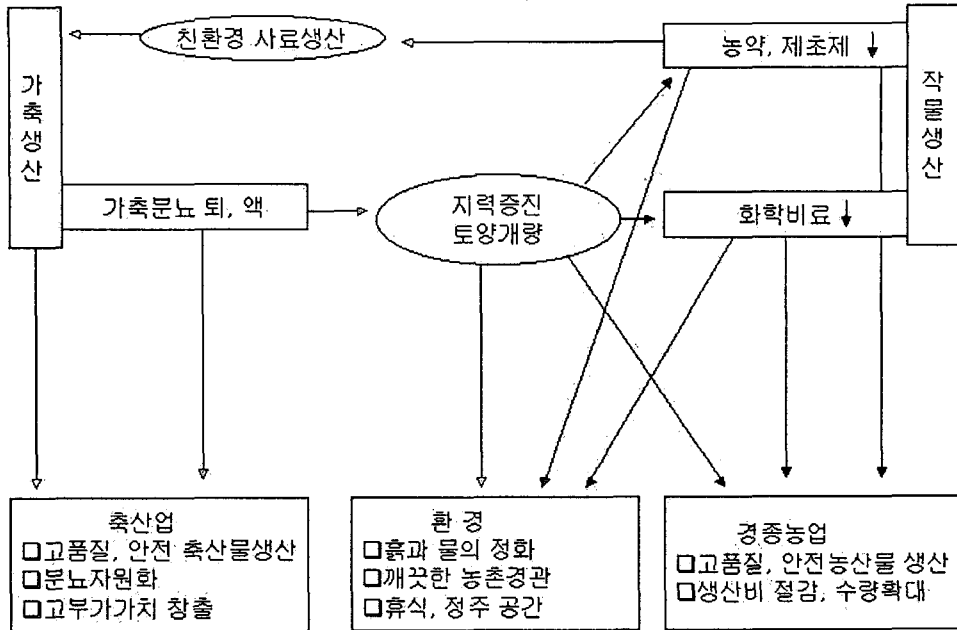


그림 1. 자연순환농업의 경종·축산·환경 연계성.

량을 절감케 하며 축산농가로 하여금 안전한 축산물을 생산하도록 하자는 것이 기본취지이다.

이러한 자연순환농업을 추진함에 있어서 우리나라의 양분수급을 살펴볼 필요가 있다. 질소와 인산을 기준으로 할 때에 수요량보다 공급량이 11%, 25% 많은 것을 알 수 있다. 이러한 초과되는 양은 화학비료 사용을 점차적으로 줄이고 그 차액을 가축분뇨로 대체함으로써 이루어질 수 있다.

### 양분관리

가축분뇨는 토양의 비옥도, 인간의 건강, 가축, 그리고 작물에 해가되지 않으며 자연에도 유해요소가 되지 않도록 사용하여야 한다. 이상적인 이용전략은 양질의 퇴·액비를 생산할 뿐만 아니라 토양과 작물에 대하여 적당한 살포방법을 전제조건으로 한다. 유기질비료의 효과에 대한 요구조건을 높게 세움으로서 이용가치가 없는 폐기물의 유입을 방지하고, 성분의 무해성에 대한 요구조건은

표 5. 양분 수요량

'03 기준	양분수요량 (천톤, A)	비료 공급량(천톤, B)			수요대비 공급량 비율(B/A,%)		
		계	화학비료	가축분뇨	계	화학비료	가축분뇨
질 소	441	490	331	159	111	75	36
인 산	215	268	128	140	125	60	65

산출근거: 1. 양분수요량: 농업과학기술원, 작물별 시비처방기준('99) 활용  
 2. 화학비료: '03 판매량은 '02 판매량 × 화학비료 감축율 적용, 추정  
 자료: 농림부, 환경부('04)

소비자 보호와 지속가능한 농업의 실현에 이바지 한다. 가축분뇨가 함유하는 양분 영양소는 표 5에서 살펴본 바와 같이 크며 농업에 활용함으로써 지대한 경제적인 효과를 얻을 수 있다.

유기질 비료의 양분효과에 대한 작용기구는 대단히 복잡하며 화학비료의 그것처럼 예측하기가 쉽지 않다. 유기물질의 분해성은 양분이 언제 자유롭게 분리되는 지 그 시기적인 경과에 의하여 영향을 받는다. 무기성분과 영양소의 생물학적인 제공에 지대한 영향을 미치는 미생물이 분해 가능한 유기성분 사이에 다양한 상호관계가 작용한다.

유기질비료는 흔히 장기간 사용한 후 토양에 축적이 되었을 경우에 큰 양분효과를 나타낸다. 이러한 현상은 70년대와 80년대에 시비현장에서 그다지 중요하게 생각하지 않았지만, 최근 10년에서 15년 사이에 관심이 증가하고 있다. 유기질비료의 최적화는 수계

와 대기의 부영양화라는 환경문제를 조절가능하게 한다.

유기질비료의 효과는 부식질과 양분효과로 나누어볼 수 있다. 부식질 효과로는 토양에 부식물을 형성하는 비료의 잠재능력을 말하고, 양분효과는 토양액에 있어서 작물에 공급가능한 양분의 공급을 의미한다. 좋은 부식질 효과를 가진 비료는 단기적으로 약한 양분효과를 나타낸다. 좋은 부식질 효과는 리그닌화 된 유기물, 일반적으로 낮은 질소함량(높은 C/N 비)에 기초를 둔다. 안정된 유기물은 퇴비화를 통해서 또는 발효과정을 통해서 형성된다. 쉽게 분해되는 물질은 이러한 과정에서 미생물에 의하여 변환된다. 신속한 양분효과(예, NPS)는 존재하는 양분요소와 무기결합된 양분요소와 밀접한 관련이 있다. 분해가능한 질소가 풍부하고 유기물질이 많은 유기물비료는 신속한 질소효과를 나타낸다. 예를 들면 콩과깻질, 가축체분말 등

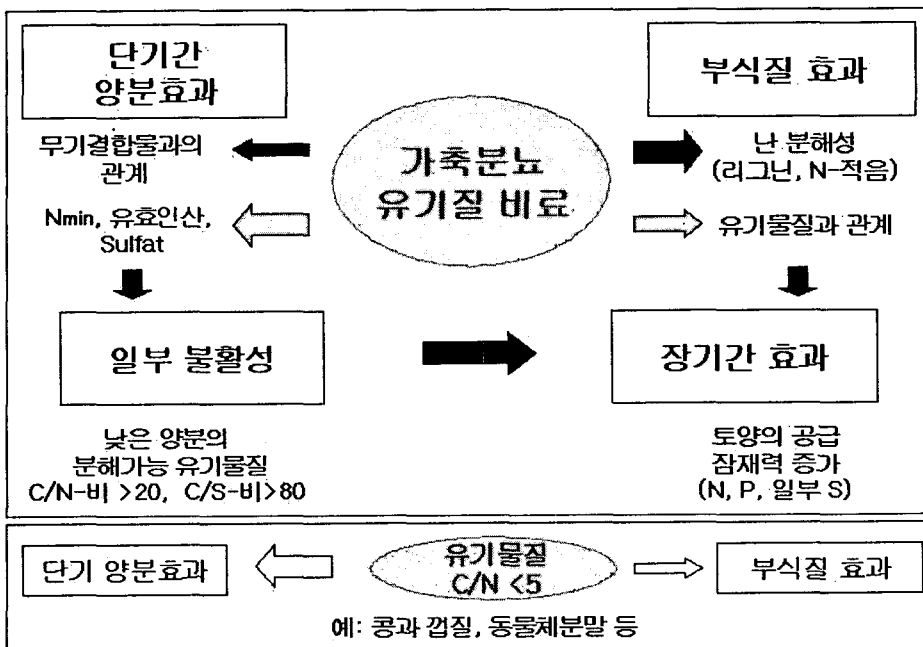


그림 2. 가축분뇨 유기질비료의 부식질 및 양분효과.

표 6. 가축분뇨의 화학비료에 대한 환경효과

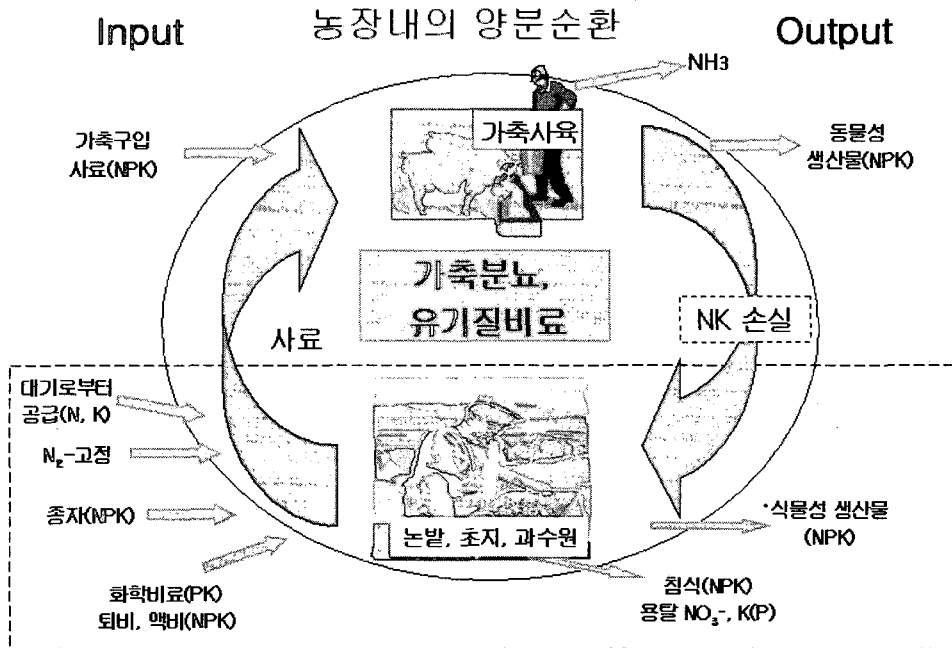
자원 관리	양분 관리	유해요소 관리	토 양 질	생물 다양성
++	-	0	++	0

화학비료에 대한 가축분뇨의 효과. 매우 좋음(++), 동일(0), 불리(-)

이 여기에 해당된다. 이러한 유형의 비료는 부식질 효과가 적다. 슬러리의 발효 또는 식물성 바이오매스는 무기질소의 공급을 높이고 단기성 질소효과를 좋게 한다. 양분 함량이 낮은 비료는 장기적인 효과가 크다. 토양에 축적됨으로 세월이 감에 따라 양분의 공급 잠재력이 증가한다. 특별히 유의하여야 할 것은 분해가능하며 양분이 적은 유기물질과 양호한 무기양분 사이의 상호작용이다. 불활성 양분으로 나타내어지는 과정은 일반적으로 빠르게 미생물의 몸체에 공급되는 좋은 양분으로 간주되고 장기간에 걸쳐서 무기

물화 된다. 질소 불활성 비료의 예로는 짚이 많은 고품분, 또는 신선한 발효가 되지 않은 콤포스트이다. 유기질비료의 부식질과 양분 효과는 다음의 요인들에 의하여 예측될 수 있다. 유기물질 함량, 유기물의 안정화, 영양소 함량(전체 그리고 용해된 무기물), 총비료량 또는 유기물질의 C/N 비 또는 C/S 비 등이다(Reinhold et al., 2006).

유기질비료를 토양에 공급해줌으로 부식질의 분해된 양을 대체해준다. 유기질비료의 부식질 재생산 성능은 물질의 구성과 살포된 유기물량에 좌우된다. 리그닌화 된 질소가



경종농가에서의 양분순환

그림 3. 생태농업시스템에서 양분순환.

적은 유기물질, 높은 C/N 비는 특히 부식질 재생산의 능력이 있다고 할 수 있다. 장기간의 실험에서 부식계수(부식질-C/유기질 비료-C)를 효율로써 나타낼 수 있다. 콤포스트와 축사고형분 C는 45~35%의 가장 높은 효율을 나타내고, 다음이 슬러리 C 22~17%이다. 퇴비화와 발효는 유기질비료 C의 효율을 높인다. 유기질비료의 C 함량은 쉽게 변환되는 유기물질의 미생물적 분해를 통해서 감소된다. 논이나 밭에 짚을 남겨놓는다면 슬러리 시스템은 고형분퇴비화 시스템처럼 동일한 부식질 효과를 얻을 수 있다.

가축분뇨유기질비료와 화학비료의 효과를 비교한 시험을 소개하고자 한다(Nemecek et al., 2005). 자원을 재활용함에 있어서 가축분뇨에 포함된 양분의 순환은 특히 무기태 인과 칼리 자원에서 두드러진다. 그 과정에서 화학비료는 부산물 또는 별로 쓸모없게 될 수도 있다는 사실이다.

부영양화를 가능하게 하는 질소와 인을 함유하는 결합은 생태계에 예민하게 작용하며 이러한 면에서는 화학비료가 오히려 환경에 유리하게 작용을 한다. 화학비료의 살포에서 암모니아 휘산은 상대적으로 적다. 유해요소 측면에 있어서는 환경에 대한 영향으로 이렇다할 차이를 보이지 않는다. 유기질비료는 토양에 대해서 화학비료보다 유리하게 작용한다. 그 주된 효과는 유기물의 공급이다. C 함량뿐만 아니라 단립의 안정성, 미생물적 바이오매스, 그리고 활동성에 유리한 영향을 준다. 조사된 항목, 총생물체 종류 (Segetiflora, Graslandflora, 조류, 작은 포유동물, 양서류, 연체동물, 거미, 딱정벌레, 나비, 벌, 메뚜기 등)에서 화학비료와 유기질비료 사이에는 큰 차이가 없다. 중요한 것은 비료의 형태보다 공급되는 양분의 양이다.

투입되는 것과 배출되는 것의 수지균형에

관한 생각이 양분 수지의 기본개념이다.

인과 칼리는 우선 토양 속에 함유되어 있는 것으로 한다. 사료와 가축을 구입함으로써 그 농장에는 인과 칼리가 들어오게 된다. 경우에 따라서는 추가적으로 화학비료가 구입되어 공급된다. 그 농장을 인과 칼리가 축산물과 식물성 생산물로 떠나게 된다. 적지 않은 양은 침식으로 손실된다. 인과 칼리의 대부분은 가축분뇨로써 포장에 다시 공급이 된다.

## 앞으로의 주요과제

가축분뇨를 이용함에 있어서 휘산되는 온실가스를 줄이는 문제, 가축분뇨의 에너지적 이용, 가축분뇨의 양분관리에서 인 회수기술 등이 앞으로 연구되어야 할 주요과제라고 할 수 있다. 우리나라는 세계 9위의 온실가스 배출국이며 2013년부터는 온실가스를 감축해야 하는 2차 의무 이행국에 편입될 가능성이 높기 때문이다.

### 1. 살포기술

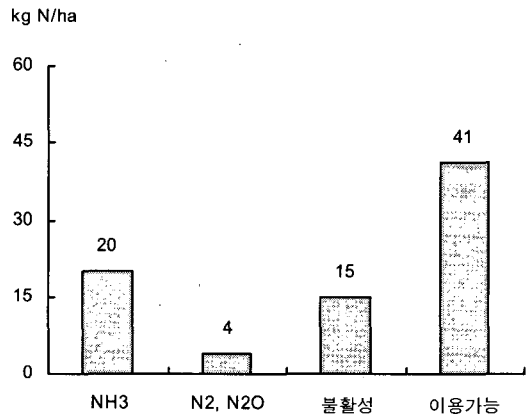
살포기술에서는 살포의 균일도와 대기오염의 관계를 살펴보아야 한다. 외국에서는 상향 충돌판식 살포기, 수직으로 서 있는 액비탱크의 살포장치, 희석되지 않은 슬러리의 살수장치 등은 사용을 금하고 있다. 살포기술은 3개의 그룹으로 나누어지는데 화학비료 살포기, 퇴비 살포기, 액비 살포탱크 등이다. 다양한 기술을 평가하기 위해서 가격이나 수리 등의 일반적인 것 외에도 특히 작업 폭, 중복살포 범위, 바람에 대한 예민성에도 관심을 가져야 한다. 중복범위는 가급적 작게 하는 것이 좋다. 바람에 대한 예민성도 작은

표 7. 살포기의 살포균일도에 대한 요구조건

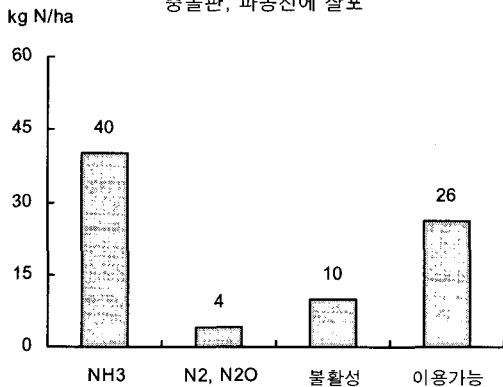
기 준	살 포 기 술		
	비료살포기	액비탱크, 살포기	퇴비살포기
비료종류	화학비료	액 비	퇴 비
양분요구도의 충족 정도	매우 높음 (~100%)	높음 (50~75%)	중간 (50% 이하)
질소의 효능	빠름	중간	느림
보다 정밀한 살포를 위한 기술적 비용	낮음	중간	높음
가로 살포에 대한 살포균일도	실제현장(CV)	<10%	<15%
	실험대(CV)	<5%	<10%
세로살포 균일도	실제와 실험대 공히	<5%	<5%

비료살포 : 80kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/ha  
작 물 : 옥수수

지표살포기, 고형물 분리된 슬러리, 생육작물



총돌판, 파종전에 살포



액비주입기, 고형물 분리된 슬러리, 생육작물

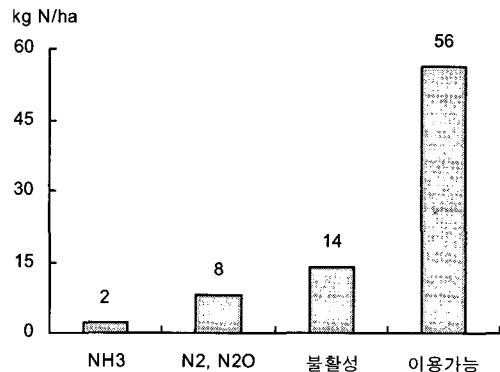


그림 4. 살포방법에 따른 슬러리의 무기태 질소의 분포.

것이 좋은데 살포 균일도를 높일 수 있다. 비료를 균일하게 살포하는 것은 어려움을 수반한다. 살포의 정확도를 나타내는 척도는 변이계수이다. 변이계수는 여러 위치에 살포된 비료량이 평균적으로 변이가 있는가를 나타낸다. 작으면 작을수록 살포는 균일하다. 수확손실을 가능한 적게 하기 위해서는 변이계수가 현장조건에서 10%가 되도록 하여야 한다. 전체면적에 대해서는 가로방향의 변이를 고려해서 전체 변위가 15%정도 되어야 한다.

여러 가지의 살포기술에서 살포정확도는 화학비료에서 요구조건이 가장 높고, 가장 낮은 것은 퇴비 살포기라 할 수 있다. 현장에서 비료살포기의 변이계수 10% 이하를 얻기 위해서는 실험대에서의 변이계수는 5% 이하가 되어야 한다. 왜냐하면 실제에서는 실험대보다 좋지 않은 결과를 얻기 때문이

다.

살포방법에 따라 슬러리 무기질소의 분포는 그림 4에서 보는바와 같다. 충돌판을 사용하였을 경우에 26kg N/ha 이었으며, 액비주입기를 사용함으로써 56kg N/ha로 이용가능량을 증가시킬 수 있다.

## 2. 가축분뇨 처리기술

사육규모가 확대되어 사육밀도가 높은 지역에서는 살포 면적이 충분하지 않을 경우가 많으며 처리에 투자와 생산비가 높게 된다. 슬러리는 수분 함량이 높아서 다른 지역에서 이용하기에는 물류비용이 많이 소요된다. 이러한 이유로 고형물을 분리하여 운반성을 높이고 슬러리의 용적을 줄이며 축사주변에서 암모니아, 먼지, 악취를 줄이는 기술이 개발되어 보급되고 있다.

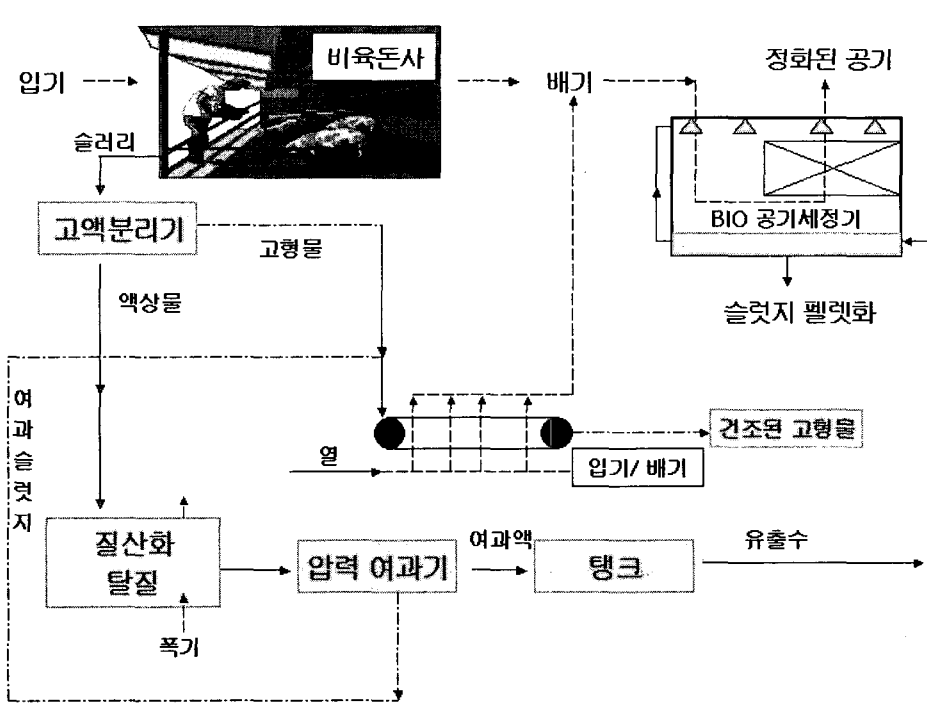


그림 5. 냄새감소를 겸한 가축분뇨처리방법.



돈사로부터 신선한 슬러리는 고액분리기를 통하여 고형물이 분리가 되고 건조장치를 통해서 고형물 함량 80% 이상의 입상으로 된다. 슬러리에 대한 펠렛의 중량감소는 90~95%에 달하며 이로 인하여 운반성이 증가된다. 분리된 액체는 바이오 리액터로 유입되며 질산화과정과 탈질과정을 거치면서 초과되는 질소는 대기 중으로 휘산된다. 생물학적 처리는 연속회분반응(SBR) 방법에 의하여 이루어진다. SBR 방식에 의해서 전체 질소는 약 90% 감소된다. 그 외에도 휘발성 지방산 등의 냄새성분이 완전히 없어진다. 생물학적인 단계를 거친 후에 냄새가 거의 없어지고 질소도 적게 된다. 암모니아 함량이 낮고(50 mg/L 이하) 냄새성분이 없기 때문에 액체는 공기와 접촉이 가능하며 추가적인 오염을 유발하지 않는다. SBR에서 나온 액체는 압력여과장치로 들어가게 된다. 여과액은 고형물이 거의 없으며 공기세정장치로 유입된다. 공기세정기의 넓은 면적은 배기로부터 암모니아와 악취성분이 액체에 흡수되도록 한다. 공기세정기의 필요한 수분은 바이오 리액터와 여과액으로 조달된다. 소량의 세정액이 슬러지로서 배출되어 고형물처리장치로 보내진다.

그 외에도 현재 우리나라에서 적용되고 있는 방법으로는 가압부상 활성오니법, 고효율 반응조, 막분리방법, 증발농축방법 등이 있다.

### 3. 바이오가스 생산기술

이전에는 고형분에서 메탄가스를 생산하였으나 사용의 불편함 등으로 현장적용이 그리 오래 지속되지는 않았다. 액비화가 보급되면서 바이오가스 기술이 접목될 수 있는 좋은 기회를 맞고 있다. 액비화가 되기 전에는 바이오가스 탱크에서 나오는 폐액을 정화

처리하여야 했으나 액비화와 접목을 시킬 경우에는 폐액을 액비로 이용할 수 있기 때문에 보다 경제적이라 할 수 있다. 유럽에서도 최근에 폭넓게 바이오가스 플랜트가 보급되고 있다. 음식물 쓰레기를 같이 처리함으로써 처리비용을 받게 되고, 또 바이오가스를 생성하기 위한 좋은 조건을 만들어 줄 수 있기 때문이다. 생산된 바이오가스는 발전기를 돌려 전기로 변환되며 지역 전기회사에서 사주기 때문에 투자비용을 3~4년에 환수할 수 있다고 한다. 이러한 방법은 가축분뇨를 에너지자원으로 이용할 수 있고 추가적인 이산화탄소 발생이 없어 온실가스를 저감하는 효과가 있다. 우리나라에서도 이러한 바이오가스 플랜트 보급은 가축분뇨 처리 및 농가소득 증대에 기여할 것으로 판단된다.

바이오가스의 주성분은 메탄(CH<sub>4</sub>) 55~70%, 탄산가스(CO<sub>2</sub>) 29~43%이며, 그 나머지는 유화수소(H<sub>2</sub>S)로 되어 있다. 슬러리로부터의 바이오가스 생산은 연료의 목적 외에도 많은 가치 있는 부수적인 효과를 갖게 한다. 즉, 악취의 감소, 유체성질과 균일성의 개선, 비료성분의 손실방지, 작물에 대한 슬러리 적용성의 개선, 그리고 병원성균과 잡초씨앗의 감소 등을 들 수 있다.

일반적으로 바이오가스시설은 30~35℃ 사이에서 운전되고 있다. pH 값은 약알카리 범위인 7.5이어야 한다. 소화조의 부하는 무엇보다도 온도, 유기건물 함량, 그리고 체류기간에 따라 달라진다. 35℃에서 소화조 부하는 일반적으로 2~3kg 유기건물/m<sup>3</sup>·일이며, 그것은 소화조용적 m<sup>3</sup>당 매일 2~3kg의 유기건물을 투입하고 처리한다는 것을 의미한다.

대략적으로 생체중 500kg의 가축이 하루에 배설하는 분뇨로부터 1m<sup>3</sup>의 바이오가스(약 22.7MJ)를 얻는다. 소의 슬러리에서는 하루에 1.5m<sup>3</sup>, 돼지슬러리에서는 대가축단위인 체중

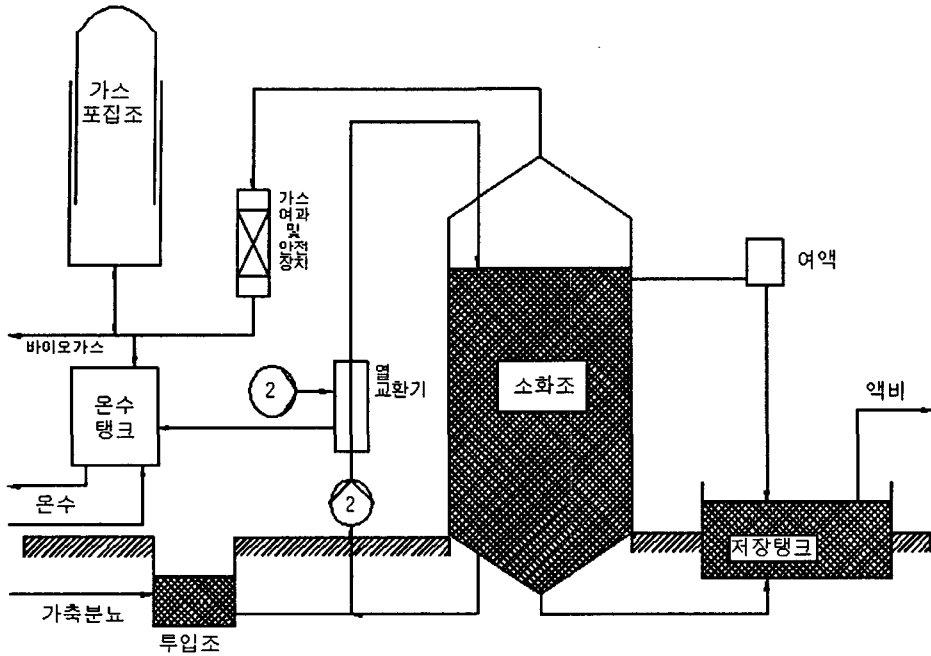


그림 6. 바이오가스 생산을 위한 연속 공정.

(500kg)으로 환산하였을 때 약 0.8m<sup>3</sup>가 된다. 가능한 가스생산은 가축사육수와 직접적으로 비례한다. 이때 발효기간은 약 3주가 된다. 가스생산은 변화가 매우 심할 수 있다. 어떠한 환경조건이 지배하느냐, 즉 pH 조절, 온도변화 뿐만아니라 수많은 기질성분, 그리고 생성되는 중간, 최종산물도 소화과정에 영향을 주기 때문이다.

농업현장에서는 다음과 같은 처리공정이 행하여지고 있다. 투입조에서 교반기로 혼합, 필요하다면 폐유기부산물의 첨가, 펌프성질 개선을 위한 희석, 그리고 소화조로의 유입 등이다. 소화조는 일정한 기간동안에 약알카리의 환경에서 가축배설물과 그외의 남은 유기물이 가스를 생성하며 썩는 용기이다. 그때 기질의 혐기성 상태가 유지되어야 한다. 물질은 교반되거나 혼합되어야 하고 온대성 기후지역에서는 대부분 적당한 온도가 되도록 해주어야 한다. 이때 이상적인 건물 함량은 전체 소화물질량의 3~10%가 된다. 온대

성 기후지역에서는 물질의 가열을 위하여 생산된 바이오가스의 약 15~40%가 소비된다.

순 가스생산은 총량에서 공정에너지를 빼고 이용에 남는 것을 뜻한다. 전제조건으로 연중걸쳐서 가스를 100% 이용한다면 최신의 현대식 시설에서는 일반적으로 65~70%의 가스 생산이 이용가능하다. 공정에 필요한 에너지소비를 낮게 유지하기 위하여는 물질의 건물함량을 가능한 높게 하여야 한다. 가축분뇨인 슬러리로 운전을 할 경우에 건물함량이 6% 이상은 되어야 한다.

바이오가스는 상대적으로 균일하면서도 저장가능한 에너지 형태이다. 바이오가스를 밀폐된 통에 넣어두면 그 속에 함유된 화학적으로 결합된 에너지는 오랜 기간동안 저장할 수 있고 손실없이 이용할 수 있다. 바이오가스의 주된 단점은 용적에 대하여 에너지 밀도가 상대적으로 낮다는 점이다. 1m<sup>3</sup>의 바이오가스는 난방유 0.6~0.7ℓ 정도의 에너지를 갖고 있다. 열적으로 이용하는 것 외에도 바

표 8. 바이오가스의 연소기술상 특성(조성 : 메탄 60%, 이산화탄소 38%, 미량가스 2%)과 다른 연소가스와의 비교

가 스	단위	바이오가스	천연가스	프로판	메탄	수소
발열량	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
밀도	kg/m <sup>3</sup>	1.2	0.7	2.01	0.72	0.09
공기에 대한 밀도비율		0.9	0.54	1.51	0.55	0.07
점화온도	℃	700	650	470	650	585
공기중에서 최대점화속도	m/s	0.25	0.39	0.42	0.47	0.43
점화한계 공기중의 가스비율	%	6~12	5~15	2~10	5~15	4~80
이론적 공기소요	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	5.7	9.5	23.9	9.5	2.4

이오가스는 내연기관을 작동하게 한다. 그래서, 동력을 얻거나 열병합발전시설(Cogenerator)로부터 열과 전기생산이 가능하다. 바이오가스의 전형적인 적용범위는 공간의 난방, 온수, 조리, 곡물건조 그리고 전기 생산이다. 필요한 조처를 취한다면 천연가스관과의 연결도 가능하다.

바이오가스를 열적으로 이용하는데 있어서는 천연가스나 도시가스에 적합한 기구들이 사용되어야 한다. 연료로서 CO<sub>2</sub> 함량이 상대적으로 높기 때문에 발열량은 천연가스보다 약간 낮다. 바이오가스의 낮은 점화성은 노즐의 선택과 유입공기의 조절로 보완할 수 있다. 주물 난방보일러가 내부식성이 좋기 때문에 다양한 금속 재질의 것보다 유리하다.

동력과 열병합시설에 바이오가스를 적용한다면 이용가능성을 다양하게 제시할 수 있다. 독일에서는 신생 에너지원으로부터 전기를 생산할 때 상대적으로 유리한 약관때문에 일반적으로 바이오가스 시설에서도 전기가 생산되고 있다.

#### 4. 인의 회수기술

인의 소비와 자원은 지난 5년간 과학자들의 최대의 관심사가 되었다. 지금까지 알려진 인산광산은 이미 많은 양이 소진되었다. 그래서 인은 부족자원으로 간주된다. 산업국가에서는 현상유지 수준이지만 개발도상국에서는 인의 수요가 인구의 증가에 따라서 증가한다. 특히 중국, 브라질, 인도에서는 세계 시장에서 수요가 증가하고 있다. 슬러리에서 이미 인 회수기술이 개발되었고 성공적으로 실험이 수행되었다.

슬러리에서 인의 양을 보면 소슬러리에서 0.8kg P/m<sup>3</sup>, 돼지슬러리에는 약 1.1kg P/m<sup>3</sup>가 함유되어 있다. 인의 회수는 대규모 사용하는 슬러리양이 많은 곳이 좋다. 슬러리로부터 인을 회수하는 방법에서는 액체상태에 녹아있는 인을 얻을 수 있기 때문에 우선 고형물 분리를 하여야 한다. 고형물에 연합되어 있는 인을 분리함으로써 슬러리에 함유되어 있는 인의 55%를 회수할 수 있다. 인 회수 방법은 화학적인 침전에 의하는데 인제거 방법과 유사하다. 인의 회수는 침전으로 가능

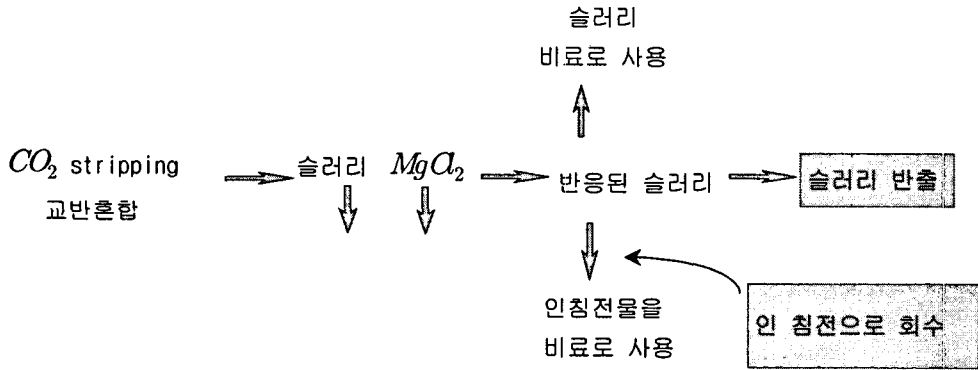


그림 7. 가축분뇨슬러리로부터 인 회수과정.

한데 인산 침전오니로서 생물학적인 오니로부터 분리되어 얻게 된다. 인의 순환목적에서 마그네슘과 알루미늄산염을 사용하는 것이 효과적이다. MAP 방법은 침전방법 또는 결정화 방법으로 구분된다. MAP는 magnesium ammonium phosphate를 뜻하며 결정화 산물을 나타낸다. MAP염은 3가지 성분 마그네슘, 암모니움 그리고 인산이 화학량 비로 1:1:1을 포함한다. 일반적으로 마그네슘과 인은 서로 다른 농도로 하게 되는데 용액에서 균형을 얻기 위함이다. 인회수를 목적으로 한다면 오직 마그네슘을 인산과 균형을 이루도록 공급한다. 오염부하가 높은 오수에서는 몰비 Mg:P 1.5:1을 이상적이라 할 수 있다. MAP 염은 pH 8~10 사이에서 용해성이 가장 낮다. 반응시간은 최대한 1시간 이내이다. MAP 결

정체는 쉽게 수분이 제거되며 바로 비료로서 농업에 사용될 수 있다. 결정화방법은 오수나 슬러지로부터 인을 회수하는데 적용될 수 있다. 생활하수처리장에 이 방법을 쉽게 적용할 수 있다. 반응조에서 화학첨가제를 통하여 인산이 결정화되고 연이어서 분리된다. 생물학적인 단계 다음에 수산화칼슘 (Ca(OH)<sub>2</sub>)을 첨가함으로써 인의 회수가 이루어진다. 이러한 방법을 통해서 하수처리장에서 인의 42%를 회수할 수 있다.

우리나라의 경우에는 농경지 중 논 40.4%, 밭 51.6%, 시설재배지 79.9%, 과수원 18.7%에서 유효인산 함량이 적정수준을 초과하고 있다. 실제로 가축분뇨를 많이 활용하는 밭작물 시설재배지는 염류집적에 의한 피해도 나타나고 있는 형편이다.

표 9. 우리나라 농경지의 양분(유효인산)분포

	평균함량 (mg kg <sup>-1</sup> )	적정함량 (mg kg <sup>-1</sup> )	분포비율 (%)		
			적음	보통	많음
논	128	80~120	38.3	21.3	40.4
밭	577	300~500	21.0	27.4	51.6
시설재배지	1,092	350~500	12.7	7.4	79.9
과수원	780	200~300	42.4	38.9	18.7

## 결론

가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법이 제정되고 자연순환농업팀이 발족되어 자연순환농업이 추진됨으로서 가축분뇨처리에서 새로운 전환기를 맞이하게 되었다. 일단 방향이 정해짐으로서 가축분뇨를 자원으로 활용하는 범위가 확대될 것이며, 이는 바람직한 현상이라 할 수 있다. 자원으로 활용함으로서 얻게 되는 이점으로는 토양비옥도를 증진하고 화학비료를 절감하며 안정적으로 축산업을 영위할 수 있는 점 등이다. 다만, 자원화 하는데 문제로 대두되고 있는 살포농경지 확보, 냄새를 줄이는 기술, 양질의 퇴·액비를 생산하는 기술 등이 해결되어서 경종농가의 필요를 충족시켜주어야 할 것이다. 특히 대기오염을 시키지 않도록 가축분뇨에서 발생하는 온실가스를 감축하는 기술도 아울러 고려되어야 한다. 더욱이 가축분뇨를 이용하는데 있어서 부식질과 양분관리에 관한 작용기구도 연구 분석하여 실제 사용에 적용하여야 한다. 앞으로의 선결과제로는 살포농경지를 확보하는 제도, 냄새를 최소화하는 살포기술의 개발도입, 생력화 살포방법, 가축분뇨의 에너지 자원화를 하는 혐기성 소화에 의한 바이오가스 생산기술의 확립도 필요하다. 액비화의 보급 확대와 아울러 접목하기에 유리한 조건이 형성되고 있다. 양분수지 차원에서 토양에 염류의 축적을 방지하는 인회수 기술도 주요한 과제라 하겠다. 이와 같이 함으로서 가축분뇨의 자원화, 즉 자연순환농업이 확고히 자리를 잡을 것이다.

## 인용문헌

1. 오인환, 정우철, 박찬근, 갈원홍. 2000. 호스지표살포기의 살포균일도 분석, 축산

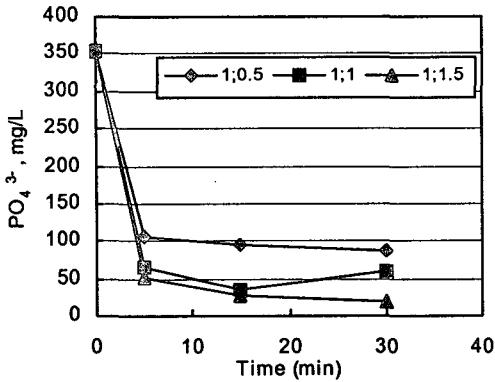


그림 8. 비육돈사 액비에서 pH조정구의 용해인 농도.

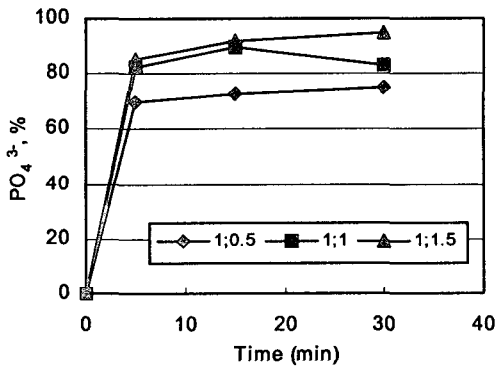


그림 9. 비육돈사 액비에서 pH조정구의 용해인 회수율.

인을 제거하고자 시험을 수행하였으며 그 내용은 다음과 같다(오 등, 2006). 비육돈사의 액비에서 인을 회수하고자 마그네슘(MgCl<sub>2</sub>)을 인 대비 물비를 0.5, 1.0, 1.5로 하여 주입하였을 때 그림 8, 9에서 보는 바와 같이 제거효율이 75%, 83%, 95%로 나타났다. 이 반응에서 암모니아질소도 5~9% 정도 감소된 것으로 나타났다. 이와 같은 방법으로 토양에 따라 맞춤형 액비를 조제하여 사용함으로써 토양의 염류축적을 방지할 수 있겠다.

- 시설환경학회지 6(1) 37-44.
2. 오인환, 김기덕. 2001. 호스지표살포기의 악취감소효과 분석. 축산시설환경학회지 7(2) 119-126.
  3. 오인환, 이종현, 최병현, R. T. Burns. 2006. 양돈액비에서 Struvite 형성으로 연속적 인의 회수기술. 축산시설환경학회지 12(2):95-100.
  4. 농림부 자연순환농업팀. 2006. 가축분뇨를 활용한 자연순환농업 추진대책(안).
  5. 한국축산연감. 2006. 농수축산신문
  6. Gutser, R., Ebertseder, T., 2006. Die Naehrstoffe in Wirtschafts- und Sekundaerrohstoffduengern-ein unterschaeztzes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. KTBL-Tagung vom 19. bis 20. April 2006 in Osnabruck.
  7. Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Gaillard, G. 2005. Oekobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58, 155.