

◀ 주제 6 ▶

지속가능한 농업을 위한 농업자원의 효율적 이용 방안

- 기후변화협약에 따른 영향 및 대책 -

尹性二 · 柳德基
(동국대학교 생명자원경제학과)

1. 서언

최근 원유가격의 상승으로 국내의 산업별 생산비용 중 에너지사용에 의한 비용의 증가로 그 대응방안이 새롭게 대두되고 있다. 그리고 기후변화협약과 관련한 농업 분야의 문제 또한 대책이 시급한 국면에 있다고 할 수 있다. 이러한 두 가지 큰 현안은 지속가능한 발전이라는 틀 속에서 생각하면 그 해결방안이 결국 하나의 문제로 귀착된다는 것을 알 수 있을 것이다.

원유가격의 상승에 따른 비용증가에 대한 해결 방안은 단순히 에너지 사용비율을 저감 시키면 되지만 에너지 절약기술을 농업에 투입한다는 것이 그렇게 간단한 일은 아니다. 따라서 에너지를 줄이지 않으면서 에너지비용을 절감하고 지속적으로 균일가격에 안정적 공급시스템을 도입해야 한다는 것이 그 해결 방안이 될 것이다. 또 기후변화협약에 의한 농업부문의 온난화 가스배출량 저감에 대한 해결방안은 일차적으로 화석에너지원의 사용을 저감하는 방안이 가장 확실한 방법일 수 있다. 그러나 이러한 방안은 결국 농업생산량을 저하시키고 고부가가치 상품의 생산을 어렵게 만드는 요인으로 작용할 것이다. 따라서 이 문제 또한 화석연료를 적

게 사용하면서 에너지 사용의 절대량을 줄이지 않는 방안이 마련되어야 한다.

이상의 두 가지 해결방안은 지속 가능한 농업이라는 차원에서 농업생산에서 배출되는 자원을 유효하게 에너지화 하고 그 에너지를 다시 농업생산에 재 투입할 수 있는 시스템 개발과 현실 농업에의 적용이 될 것이다.

이러한 것은 결국 농업생산의 에너지 비용을 절감하고 지속적이고 안정적인 에너지의 자체공급을 가능하게 하고 온난화가스에 대한 대응 방안인 에너지원의 사용 저감 대체방안으로서 바이오 가스의 생산과 이용을 활성화하는데 있다.

바이오매스(biomass)라는 용어는 원래 생태학의 학술용어로 생물량 또는 생물 현존량을 나타내는 것이다. 지구상에 비추는 태양에너지를 고정화해서 주로 식물체의 바이오매스가 생성된다. 그 바이오매스는 태양에너지가 저장된 것으로 에너지를 필두로 식료 음료 그 외 기타 유용한 물질을 수없이 생산해 낸다. 바이오매스는 단순한 학술용어의 범위를 벗어나서 우리생활에 있어서 중요한 자원으로 자리하게 되었다. 25년 전 석유위기 이래 화석에너지 자원의 유한성이 확실해 지고 바이오매스도 청정에너지의 하나로서 각광을 받게 되었다.

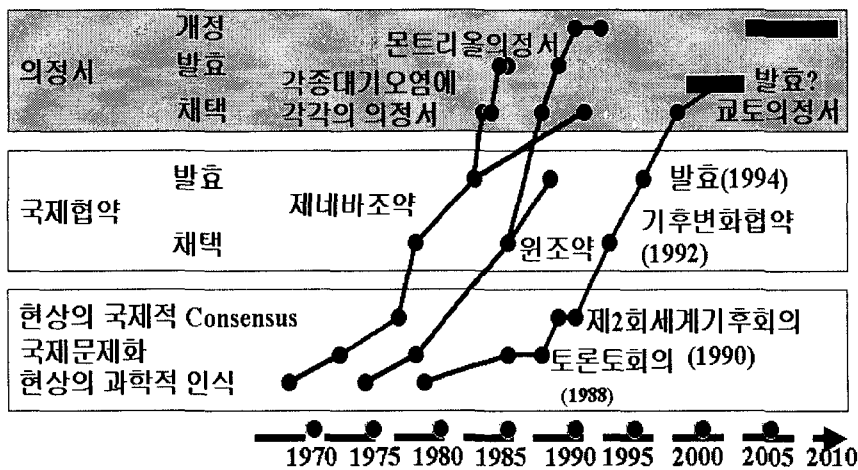
여기서는 이러한 농업부문에서의 에너지 사용량과 온난화가스의 배출량, 그리고 바이오 가스의 특징과 이용방법에 대해서 논의함으로써 농업의 환경 친화적인 지속 가능한 발전에 대한 방안을 강구해 보고자 한다.

2. 기후변화협약의 농업에 대한 영향 및 대책

1) 기후변화협약의 움직임

기후변화의 대책을 추진하는데 있어서 선진국과 개도국의 필연적인 문제해결을 위한 상호협력적 노력이 필요하고 이러한 노력들은 소위 MEAs(Multilateral

Environmental Agreements)라고 불리는 다자간환경협약의 형태로 현실화될 것이라고 대부분 인식하고 있다. 기후변화협약은 사용 및 제조에 관한 금지 등을 기본 작동 원리로 하고 있는 타 국제협약의 다자간환경협약의 형태와는 달리 메카니즘으로 대변되는 일련의 유연성(flexibility) 장치를 가지고 있다. 소위 교토메카니즘이라고 불리우는 청정개발체제(Clean Development Mechanism : CDM), 공동 이행제(Joint Implementation : JI), 배출권 거래제(Emission Trading : ET)의 3가지 메카니즘이 그것이다. 하지만 이러한 일련의 협약의 움직임이 의정서의 채택에까지 발전하고 개도국의 입장의 명확화가 어떻게 진행될까 하는 것은 금년 11월 네덜란드 헤이그에서 진행될 제6차 당사국 총회이다. 명목상 교토회의의 의정서와 관련된 세부 시행규칙의 최종 확정을 위한 회의로 되어있지만, 기후변화협약의 향후 진행 방향에 대한 잣대와 기후변화협약 자체의 향방과도 관련된 중요한 시점이라고 할 수 있다(〈그림 1〉 참조).



〈그림 1〉 기후변화협약의 진행과정

이렇게 아직 불확실한 부분이 많이 남아있기는 하지만 메카니즘의 선점을 위하여 벌써 세계각국은 움직이고 있다는 점에 우리는 주목해야 한다. 따라서 의정서의 채택 그 자체는 시간의 문제이지 존속의 여부에 관한 문제는 아니라는 것이다.

서론에서 언급한 바와 같이 의정서가 채택이 되면 국제 배출권 거래를 비롯한 유연성 조치에 관한 국제협력 사업이 구체화 됨은 물론 비준 및 발효를 거쳐 '97년 교토에서 합의한 의무 저감량이 국제법으로서의 효력을 발휘하게 된다. 그리고 또 2001년 모로코의 마라케쉬에서 열리기로 예정된 COP7에서 “개도국 의무부담 (Evolution of commitment)” 의제가 전면에 등장하여 선발개도국 및 고소득국가로 분류되는 우리나라의 향후 의무부담과 관련된 방안이 당분간 주요한 협상의제로 다루어질 것이다.

그러한 의미에서 기후변화협약에 관련한 시급한 국내대책의 필요성이 제기되고(일부 추진되고 있지만) 장기적 대응책 마련 및 통계체계 등 제반 인프라 구축이 필요하며 농업부문에 있어서도 그 심각성을 인식하고 유연하게 대처해야 할 것이다.

2) 기후변화협약과 농업

아직 우리나라의 의무 저감량이 책정되지 않은 상태에서 영향의 정량적 분석은 어렵다. 그렇기 때문에 의무 저감량을 가지면 선진국의 경험을 통하여 국민경제 전반에 걸쳐 많은 영향을 미친다고 하는 일반적인 인식을 공유하는 전제 하에 이산화탄소의 저감 대책을 농업부문을 중심으로 정리해 보고자 한다.

(1) 이산화탄소 배출억제 대책

이산화탄소의 배출은 기존의 산업구조특성과 많은 상관관계를 가지고 있다. 그리고 산업구조 정책에 따라서 앞으로의 배출특성 또한 변한다고 할 수 있겠다. 그렇기 때문에 새로운 전망에 따른 온실가스 배출특성에 따라 대응정책 마련이 필요하

다. 우리나라의 전망으로는 에너지 및 산업공정부문의 비중이 절대적이며 폐기물에서의 온실가스 배출비중이 점증하고 있고 농업부문의 배출량이 증가, 산림분야에서의 흡수기능이 저하하고 있다.¹⁾

그리고 조금은 오래된 연구결과이지만 1995년의 이산화탄소 배출량을 1990년 기준의 2%삭감을 이산화탄소 배출량을 기준으로 전 산업에 일정비율로 규제한 경우 농업부문의 총 부가가치가 약12% 감소했다. 그리고 같은 기준으로 이산화탄소 배출 유발계수 기준으로 본 경우는 무려 57% 감소했다.

■ 대책의 기본방향

기후변화협약에 따른 의무부담과 관계없이 온실가스 저감에 최대의 노력을 경주함으로써 대기오염을 획기적으로 개선하고 국제사회에서의 응분의 역할을 분담하고 매년 온실가스 배출현황을 분석하고 장기전망을 수정·보완하여 이에 적합한 대책을 발전시킨다는 것이 국가 기본방향으로 설정되어 있다. 농업부문도 마찬가지로 시급히 그 세부계획을 마련하여 구체적으로 추진해야 할 것으로 본다.

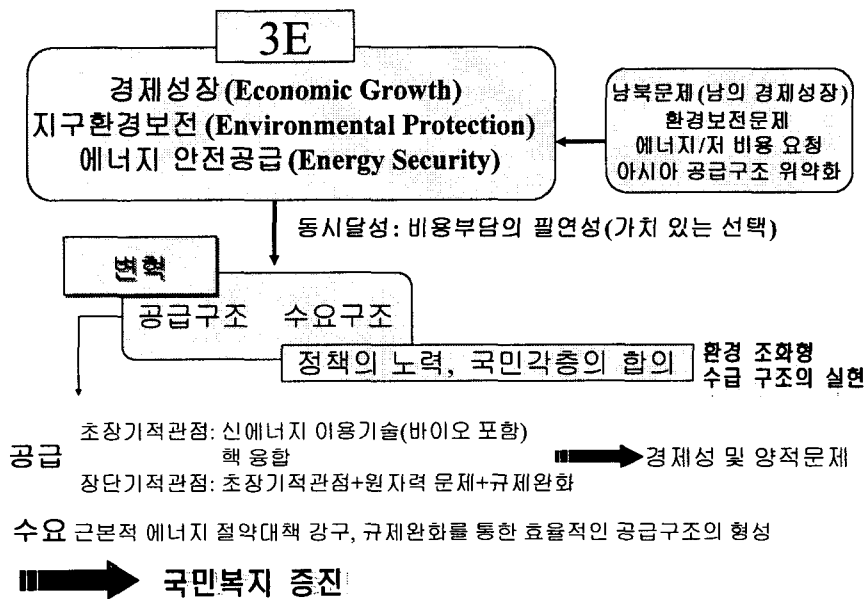
농업부문에서의 온난화가스의 배출은 화석연료의 소비로부터 발생하는 이산화탄소와 농업 고유의 성격에서부터 배출시키는 메탄가스, 그리고 비료사용에 따른 아산화질소가 대부분이다. 이들 온난화가스의 배출에 대한 대책으로 국가보고서에서 조차 아산화질소에 대한 대책은 개론적 언급조차 없는 것이 우리의 실정이다.

그나마 다행인 것은 이러한 산업별 구체적 대책이 제대로 추진되고 있지 않음에도 국가 에너지 장기계획은 이러한 경제성장과 환경정책(기후변화협약과 관련한 포괄적 의미의 환경정책), 그리고 에너지 정책을 입안하고 있고 추진 중에 있는 것으로 알고 있다.

에너지 장기정책은 <그림 2>와 같이 그 최종적인 목표가 국민복지 증진에 있다.

1) 한국에너지경제연구원, UN기후변화협약에 의거한 대한민국 국가보고서, 1998.

그리고 그 정책의 골격에는 경제성장과 지구환경보존 그리고 에너지 안전공급이라는 3대 축이 동시에 달성될 수 있도록 설정하고 정책을 유도하고 있다. 이러한 정책은 곧 농업부문의 공급에너지에 가격 전환되고 수량적 측면에서 영향을 미칠 것이고 결국 농업행정부서에서도 그 대응책을 수립하지 않을 수 없을 것이다.



〈그림 2〉 에너지 장기 기본계획

이와 같은 맥락에서 기본적인 농업부문 고유의 온난화 가스 배출의 저감 방안과 화석연료의 소비에 의한 배출 저감을 위한 대응책을 검토하고 그러한 정책의 궁극적인 목표는 지속 가능한 농업에 있어야 한다는 것을 주장하고자 한다.

먼저 농업의 고유의 문제로부터 발생시키는 메탄과 아산화질소의 배출 저감 방안에 대하여 구체적으로 살펴보기로 한다. 이것은 기후변동에 관한 정부간 파넬(Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC)이 권고하는 저감 방안을 기본으로 하고 IPCC가 계산한 저감 가능량의 비율을 한국에 적용한 경우 어느 정도

저감 가능한가에 대한 부분에 대해서 살펴보고자 한다.

(2) 미량 온실효과 가스의 저감 방안 검토

온실효과의 가스의 저감에는 토지변동과 관리(CO₂, CH₄, N₂O), 농지이용과 관리(CO₂, CH₄, N₂O), 식물고정 연료(CO₂), 가축 배설물 등의 재 이용(CO₂, CH₄, N₂O), 축산(CH₄), 수전 농업시스템(CO₂, CH₄, N₂O), 작물 영양관리(CH₄, N₂O), 전 질소 투여의 최소화(CH₄, N₂O) 등이 일반적 방법으로 알려져 있다. 이러한 옵션에 대하여 IPCC의 메탄, 아산화질소의 저감 추정량을 기초로 우리나라의 저감 방안 기술 및 가능량을 계산한 것이 <표 1>, <표 2>이다.²⁾

<표1> 가축의 내장, 분뇨 및 수전에서의 메탄 저감기술별 삭감 가능량

내역	저감기술	저감 가능비율	저감 가능량(10 ³ t-C)
가축	사료와 양분 바란스의 개량	17(7-24)	1,894(668-2,675)
	사료소화 능력의 증강	1(1-2)	111(0-222)
	생산-증가약품	1(1-4)	111(0-445)
	동물의 유전자의 개량	-	-
	재 생산 효율의 개량	-	-
가축 배설물	피복된 저류장	2(1-5)	222(111-445)
	소규모의 분해시설	1(0-1)	111(0-111)
	대규모의 분해시설	-	-
수전	물 관리	3(2-7)	334(222-668)
	양분관리	7(2-10)	668(111-1114)
	신 품종과 타 품종의 경작관리	3(2-7)	334(111-668)
총계			3,785(1,223-6,348)

주: 저감 가능량은 중간(최소-최대)를 나타내고, 비율은 IPCC 보고서로부터 추정.

이상에서 미량 온실효과 가스의 저감 가능량을 계산한 결과 메탄이 3,785천t-C, 아산화질소가 1,668천t-C로 5,453천t-C이었다. 이러한 저감 가능량은 우리 나라

2) 윤성이·유덕기, 농축산분야에 있어서 온난화 영향평가 및 요인분석, 한국유기농업학회지, 제8권 제2호, 2000.6.

의 농축산업에서 배출하고 있는 총 배출량의 25.5%에 달하고 미량 온실효과 가스 배출량의 27.5%에 달하는 수치이다. 또 메탄 배출량에 있어서는 33.95%, 아산화 질소의 배출량에 대해서는 19.17%에 달하는 수치이다.

이러한 저감 가능량은 IPCC가 제안한 저감기술을 그들 기술에 대한 포텐셜로부터 계산한 것이다.

〈표 2〉 화학비료와 질소비료 이용방법의 개량에 따른 N₂O의 저감 가능량

기 술	삭감가능비율(%)	삭감 가능량(10 ³ t-C)
1) 작물 요구량에 맞춘 질소량 * 필요한 질소량의 토양/작물 진단 * 최적 시비계획	7.8	591
2) 질소순환의 관리 * 작물생산에 있어서 퇴비의 재 이용(축산-작물생산 복합 시스템) * 작물잔사 질소의 유지	4	347
3) 새로운 시비 기술의 활용 * 새로운 기능성 비료의 활용 * 硝化억제제의 활용	4.2	365
4) 최적경작/관개/배수	4.2	365
합 계		1,668

주 : 저감가능 비율은 IPCC 보고서의 계산결과로부터 추정된 것임.

그리고 이러한 기술 이외에도 메탄의 에너지화를 통하여 화석에너지의 삭감 분을 계산한다면 더욱 큰 수치를 제공할 것이다.

이상에서 기후변화협약과 농업부문의 영향, 그에 대한 국내대책에 대하여 개략적 설명을 하였다. 다음 장에서는 바이오매스의 자원적 특성과 우리나라 농업부문에 있어서의 기후변화협약과 관련한 제 현상에 대하여 자세하게 살펴보기로 한다.

3. 바이오매스의 자원적 특성과 농업의 제반 현상

1) 바이오매스의 자원적 특성

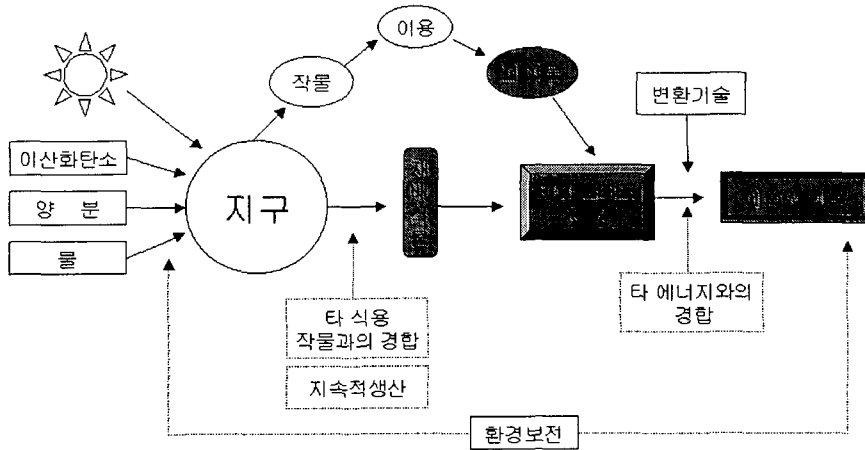
(1) 바이오매스의 생산과 이용

지구상에서 생산되는 바이오매스의 대 부분은 육상에서 생육하는 식물이다. 이들 연간 제 생산량의 범위 내에서 바이오매스를 이용한다면 지속적으로 이용 가능한 양이 된다. 바이오매스 생산으로부터 에너지이용에의 흐름을 <그림 3>에 나타낸다.

태양에너지와 이산화탄소와 물과 양분을 근원으로 해서 지구상에서 식물체가 생산된다. 그 일부분은 재배식물로서 그대로 바이오매스 자원으로 된다. 또 일부분은 작물로서 식료와 음료 등에 이용되는 것 중 폐기물로서 배출되고 이것도 바이오매스 에너지 자원으로 된다. 이중 바이오매스 에너지 자원에는 재배작물과 폐기물의 2종류가 있다.

더욱이 중요한 것은 바이오매스를 에너지로 이용하기 위해서는 특별한 변환기술이 필요하다. 목탄과 같이 건조 시켜서 직접 연소하는 것과 같이 간단한 변환기술도 있지만 미생물을 이용한 발효처리와 물리화학처리 등 복잡한 변환기술도 있다.

바이오매스의 이용기술에는 <그림 3>의 경합부분에서 나타나는 것과 같이 어느 정도의 제약이 있다. 그 하나는 에너지작물과 식용작물과의 경합의 문제이다. 세계의 인구에 대해서 식물은 부족하고 있고 식료생산은 우선되어야 한다. 다음으로 지속적 생산의 유지가 중요하고 그렇게 하기 위해서는 전술한 것과 같이 바이오매스의 재생 양과 균형적 이용을 유지할 필요가 있다. 세 번째는 에너지 이용에 있어서 다른 에너지와의 경합적 우위의 문제이다. 그리고 네 번째는 전체적인 환경적 관점이 중요한 문제이다. 구체적으로는 바이오매스 생산이 자연 파괴와 연결되지 않아야 한다는 것과 변환기술이 환경오염에 연결되어서는 안 된다는 것을 주의하여야 한다.



〈그림 3〉 바이오매스의 생산과 이용 및 제약조건

(2) 에너지로 이용 가능한 바이오매스의 종류

에너지로 이용할 수 있는 바이오매스의 종류는 <표 3>과 같다. 이것은 <그림 3>에서 이미 서술한 바와 같이 재배식물과 폐기물로 크게 나눌 수 있다.

〈표 3〉 에너지 이용 가능한 바이오매스의 종류

	종	류	주요 화학성분
재배식물	당질작물	사탕수수, 서류	당, 전분
	유료작물	해바라기 등	油脂(그리세라이드)
	석유식물	유카리	탄화수소, 精油
	수생식물	海藻	多糖類
	목재	신탄 목탄	세룰로스, 리그닌 탄소
폐기물	농업폐기물	作物殘渣 페프라스틱	세룰로스 염화비닐, 포리에틸렌
	임업폐기물	殘材	세룰로스, 리그닌
	쓰레기	종이	세룰로스
		프라스틱	프라스틱
		生쓰레기	세룰로스, BOD
	산업폐기물	오수, 동식물성 잔사	BOD, 세룰로스
	하수		BOD
축산폐기물	가축분뇨	BOD, 세룰로스	

① 재배식물

- 당질작물 : 당질작물에는 다량의 당과 전분이 포함되어있다. 이들을 알콜발효에 의하여 에탄올로 변환하고 액체연료로서 이용할 수 있다. 당질작물은 식료와 크게 경합한다. 그렇기 때문에 당질작물을 바이오매스로 사용하려고 할 때는 이러한 경합성을 잘 고려한 상태에서 결정해야 한다. 우리나라에서는 서류정도가 재배되는 정도이다.
- 油料작물 : 식물의 油脂는 발열량이 9,000kcal/kg 전후로 상당히 높고 디젤기관의 연료로서 유망하다.
- 석유식물 : 석유식물이라고 하는 것은 광합성의 연구에서 노벨상을 수상한 카르빈 교수가 제창한 명칭이다. 라텍스를 생산하는 토우다이구사과의 식물(Euphorbia spp.)로 대표된다. 라텍스에는 약 20%의 탄화수소가 포함되어 있고 발열량이 9,800kcal/kg으로 상당히 높다. 또 다른 하나의 식물은 유카리의 식물이다. 유카리는 오스트레일리아가 원산으로 성장이 빠르고 코아라의 식료로서 유명하다. 유카리의 잎에 포함되어 있는 유카리유(精油)은 향기가 있고 식품의 향료와 의약품의 원료 등으로 이용되고 있지만 발열량(9,500kcal/kg)과 옥탄가(약100)가 높기 때문에 내연기관의 연료로서 가능성이 높다.
- 수생식물 : 수생식물인 Eichhoria crassipes와 海藻 등은 수분을 많이 포함하기 때문에 메탄발효에 따라서 메탄가스를 생산하고 에너지로 이용할 수 있다.
- 목재 : 목재의 에너지이용은 옛날부터 사용되어져 오고 있는 신탄과 목탄의 이용법이 주이다.

② 폐기물

- 농업폐기물 : 농업폐기물의 대표적인 것이 작물수확 殘渣이다. 그리고 또 하나는 하우스 등에 이용되는 폐 플라스틱 필름이다. 바이오매스의 개념으로부터는 벗어나는 것일지 모르지만 발열량이 11,000kcal/kg으로

상당히 높은 수치를 가지고 있다.

- 임업폐기물 : 목재 제조때의 폐기물로서 樹皮가 대표적으로 주로 堆肥로 이용되고 있다.
- 쓰레기 : 쓰레기의 대부분은 소각처리 되고 있다. 그러므로 소각시설의 余熱을 유효 이용하는 것이 대단히 중요하다. 이용방법으로는 쓰레기발전, 난방, 給湯 등이 있다.
- 산업폐기물 : 가연물의 나무 조각과 종이, 유기함유량이 많은 동식물성 殘渣, 그리고 汚泥 등이 에너지로서 자원의 가능성을 가지고 있다. 나무 조각이나 종이는 직접연소가 가능하지만 동식물성 잔사는 수분이 많기 때문에 메탄발효 또는 퇴비화에 의해서 에너지로 이용된다.
- 하수 汚泥 : 하수 오니의 일부는 메탄발효(혐기성 消化)에 의해서 에너지로 회수되고 처리시설 내에서 이용되고 있는 예가 많다.
- 축산폐기물 : 축산업으로부터 배출되는 축산 분뇨량은 많은 예산을 투자하여 처리하고 있음에도 심각한 공해문제를 일으키고 있다.

(2) 에너지 변환방법과 바이오매스와의 관계

변환방법은 고체연료로서의 직접이용, 액체연료 또는 가스연료로 변환해서 이용하는 3가지 방법으로 크게 나누어볼 수 있다.

(1) 변환방법

- 고체연료로서의 이용 : 직접연소는 비교적 건조하고 저위발열량이 2000 kcal/kg정도의 바이오매스에 적용된다. 고체연료로는 취급하기 어려운 면도 있지만 변환코스트가 싸기 때문이다. 수분이 60%정도인 것은 콘포스트화에 따르는 발열량을 이용한다.
- 액체연료에의 변환 : 석유위기는 액체연료의 생산을 목적으로 한 변환기술이 주목되어 왔다. 석유식물과 알콜발효 등이 대표적인 예이다.

- 가스연료에의 변환 : 메탄발효는 수분이 95%전후의 슬러지 상태로 BOD를 많이 포함한 바이오매스로부터 메탄가스를 생산하는 방법이다. 열분해 가스화는 수분이 20%이하의 바이오매스를 열분해 하여 가스를 생산하는 방법이다.

(2) 바이오매스의 에너지이용의 이점과 문제점

① 이점

바이오매스는 태양에너지로부터 재생되는 것이기 때문에 그 생산량의 범위 내에서 이용한다면 재생 가능한 자원으로서의 이점이 있다. 대기중의 이산화탄소를 고정하여 식물체를 생산하기 때문에 바이오매스를 사용하여도 화석에너지와 같이 대기중의 이산화탄소 농도를 높이지 않는 이점이 있다. 또 석탄과 같은 중금속과 유해 원소를 포함하지 않고 있다는 점도 장점이다. 그 외에도 화석에너지와 같이 산출지가 한정되는 일이 적고 태양에너지가 있는 곳이면 어느 곳이건 그 지역에 맞는 바이오매스가 생산 가능한 것과 폐기물의 처리, 이용과 관련지어 에너지 이용이 가능하고 에너지 절약, 자원절약, 환경보전의 관점으로부터도 이점을 들 수 있을 것이다.

② 문제점

첫째로 에너지의 발생량이 적은 점이다. 단위 면적 당 에너지 생산량을 보면 화석연료에 비하여 극히 낮은 생산성을 보이고 있다. 따라서 바이오매스의 에너지 생산성은 대단히 낮고 현대의 소비구조를 충족시킬 수 있는 에너지로 평가받기에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 두 번째로 바이오매스의 수집과 에너지 변환에 드는 비용이 대단히 높다. 또 변환기술도 결코 효율이 좋다고 만은 할 수 없고 더욱이 시험연구의 발전을 필요로 하고 있다. 세 번째로 식물체가 주요한 바이오매스이기 때문에 기후와 환경변화 등에 생산량이 좌우된다. 네 번째로 식료생산과 경합하고

있다는 점을 들 수 있다. 물론 가축분뇨와 같은 것은 가축생산물과는 보완재의 관계에 있지만 재활용되지 못하면 오히려 생산의 비용을 증가시키는 압력을 가하는 요인으로 작용되는 경우가 많다.

4. 농업부문의 에너지 소비와 제 현황

1) 농업부문의 에너지 소비분석

〈표 4〉 농업부문의 에너지원별 소비구조

	합계	석탄류(N/T)			석유류(kl)						가스류			전력(MWh)	
		소계	연탄	기타 석탄	소계	휘발유	등유	경유	경질중유	중유	중질중유	소계 (N/T)	도시가스 (천m ³)		
소비물량	111	-	55568	-	-	297703	294034	3641048	371600	64084	155107	-	7789	554	3464740
소비열량 (천TOE)	4905.5	25	25	-	4572.4	247.1	255.8	3349.8	349.3	62.2	308.3	10.2	9.4	0.8	298
1995 원별구성비 (%)	100	0.5	0.5	-	93.2	5	5.2	68.3	7.1	1.3	6.3	0.2	0.2	-	6.1
농림업 (%)	46	100	100	-	43.3	92.3	99.3	43.9	-	45	-	50.8	55.3	-	82.5
수산업 (%)	54	-	-	-	56.7	7.7	0.7	56.1	100	55	100	49.2	44.7	100	17.5

자료 : 에너지경제연구원 홈페이지, 에너지데이터베이스 2000.10.10 현재.

〈표 4〉에서 보는 바와 같이 농림업 전체의 에너지소비는 2,257천TOE(석유환산 107kcal)이고 석탄이 25천TOE, 석유류가 1,980천TOE, 가스류가 5천TOE, 전력이 246천TOE이었다. 석탄에 있어서는 연탄이 석탄소비 전체를 차지하고 있고 석유류에서는 경유, 등유, 휘발유, 중유의 순으로 그 소비가 많았다. 결국 경운기 등의 농업기계의 운용에 따른 소비와 하우스 등의 난방용 연료소비가 많이 기인한다는 것을 알 수 있다. 그리고 가스는 그 소비비율이 극히 저조했으나 전력의 소비는 개별 연료 종으로부터 보았을 때 경유와 등유 다음으로 많은 비율을 차지하고 있다

는 것을 알 수 있었다.

이러한 연료의 소비형태와 각 작물별 에너지 소비실태 그리고 그들 작물별 생산 구성비를 비교함으로써 에너지의 절약이 얼마나 중요한가를 평가할 수 있겠지만 데이터의 부족으로 분석은 다음 기회로 돌리고자 한다.

2) 축산분뇨의 배출현황과 자원화 가능 포텐셜³⁾

〈표 5〉 가축의 사육현황과 가스의 배출량

가축종류	A 사육두수 (1,000마리)	B 분뇨분해배출계수 (CH ₄ kg/두/년)	C 분뇨분해배출량 (CH ₄ t/년)	탄소배출량 (t-C/년)
				D=C*환산계수
젖소	493	7	3,451	19,765
젖소(제주)	3	16	48	275
한육우	31,566	1	1,566	8,969
한육우(제주)	29	1	29	166
면양	2	0.10	0	0
면양(제주)	1	0.16	0	0
산양	207	0.11	23	132
산양(제주)	3	0.17	1	6
말	2	0.10	3	17
말(제주)	2	0.60	4	23
돼지	4,310	1	4,310	24,685
돼지(제주)	85	4	339	1,942
가금류	76,725	0.012	921	5,275
가금류(제주)	637	0.018	11	63
계			10,712	61,351

자료 : 윤성이·유덕기, 한국유기농업학회지 제7권 제1호 “LCA수법을 이용한 농축산분야의 온실 효과 가스의 정량적평가”, 1998. 12.

축산분뇨로부터 자원화해서 에너지로 전환할 수 있는 양은 위의 〈표 5〉에서 알 수 있는 바와 같이 돼지 12,000두 규모의 배출분뇨로 200kW의 발전출력(일반가정

3) 윤성이·유덕기, 농축산분야에 있어서 온난화 영향평가 및 요인분석, 한국유기농업학회지, 제8권 제2호, 2000. 6.

의 전기소비를 기준으로 하면 약 30가구에 공급 가능량)을 가진 연료전지를 가동할 수 있다고 한다면 축산분뇨로부터의 에너지 변환 가능 가능량은 대단한 것으로 계산 가능하다고 할 수 있겠다. 물론 여기서는 성분의 차이 그리고 가축종류별 발열량의 차이 등으로 인하여 정확한 수학적 수치는 제시하지 않지만 직관적으로 충분히 에너지원으로 활용 가능한 양이라고 하는 것은 짐작되리라 생각한다.

3) 농축산분야의 온난화 가스 배출량

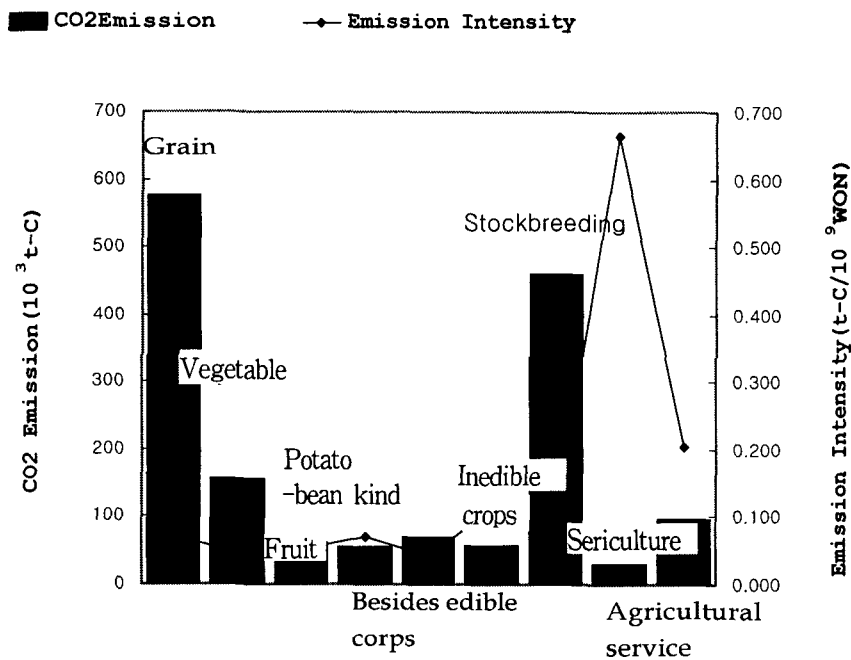
여기서는 가스배출량의 계산식 등에 대해서는 언급을 생략하고 유기농업학회지 제8권 제2호의 농축산분야에 있어서 온난화 영향평가 및 요인분석에 관한 논문을 참고해 주길 바란다.

(1) 이산화탄소(CO₂) 배출량

<그림 4>에서 알 수 있는 바와 같이 생산을 위한 에너지의 사용에 의해서 배출한 이산화탄소의 양이 가장 많은 부문은 곡물 부문이며 그 내역으로는 벼, 보리, 밀 등이다. 이들 부문은 화석에너지 이외에도 비료소비와 농약소비에 의한 간접배출도 많은 부문이기도 하다. 그리고 생산 이외에 수송에도 상당한 에너지소비를 하고 있는 산업부문이기도 하다. 그리고 이산화탄소 배출량 뿐 만이 아니고 배출원단위도 평균 이상의 높은 수치를 나타내고 있다. 그 다음으로 많이 배출하고 있는 부문이 축산, 야채, 농업서비스 등의 순이다. 배출원단위는 양잠, 농업서비스 축산 등의 순으로 나타났다.

이러한 각 부문의 배출량 및 배출원단위를 수치로 보면 곡물이 $575 \times 10^3 \text{t-C}$, $0.071 \text{t-C}/10^9 \text{won}$ 이고 야채부문이 $157 \times 10^3 \text{t-C}$, $0.043 \text{t-C}/10^9 \text{won}$, 과일부문이 $60 \times 10^3 \text{t-C}$, $0.051 \text{t-C}/10^9 \text{won}$, 감자 및 서류부문이 $54 \times 10^3 \text{t-C}$, $0.069 \text{t-C}/10^9 \text{won}$, 기타식용 부문이 $70 \times 10^3 \text{t-C}$, $0.040 \text{t-C}/10^9 \text{won}$, 비 식용 부문이 $57 \times$

10^3t-C , $0.110\text{t-C}/10^9\text{won}$, 축산부문이 $459 \times 10^3\text{t-C}$, $0.108\text{t-C}/10^9\text{won}$, 양잠부
 문이 $30 \times 10^3\text{t-C}$, $0.664\text{t-C}/10^9\text{won}$, 농업서비스 부문이 $96 \times 10^3\text{t-C}$, 0.205t-C
 $/10^9\text{won}$ 이었다. 이상의 농축산부문 전체의 총 이산화탄소 배출량은 $1,561 \times 10^3\text{t-C}$
 이었다.



〈그림 4〉 CO₂배출량 및 배출원단위의 추정결과

(2) 메탄(CH₄) 배출량

우리나라의 연간 벼논에서 배출하는 메탄의 양은 총 479천t-CH₄이었고 이것을 지구온난화 포텐셜 계수를 적용하여 환산하면 연간 2,749천t-C 이었다. 이것은 농축산 분야에서 화석연료 사용에 의한 전체 배출량의 약1.8배에 해당한다.

두 번째로 가축과 분뇨에 따른 메탄(CH₄) 배출량을 보면 우리나라의 축산부문에

서 연간 배출되는 메탄의 추정량은 가축의 경우 장내발효에 의한 메탄 배출량이 1,425천t-CH₄/년이고 메탄의 이산화탄소 환산계수를 적산연수 100년으로 가정하여 계산하면 8,165천t-C이었다. 가축분뇨에 의한 메탄배출은 40천t-CH₄/년이고 메탄의 이산화탄소 환산계수를 적산연수 100년으로 가정하여 계산하면 233천t-C/년이다. 이상의 결과를 나타낸 것이 <표 6>과 같다.

<표 6> 농축산 부문에 있어서의 메탄 배출량

	메탄배출량(10 ³ t-CH ₄)	탄소환산(10 ³ t-C)
벼논의 온실가스 배출량	479	2,749
분뇨의 온실가스 배출량	40	233
장내발효에 의한 배출량	1,425	8,165
합 계	1,944	11,147

(3) 아산화질소(N₂O) 배출량

우리나라 농경지에 시비한 화학비료의 질소 성분은 562,342톤이고 여기서 배출된 아산화질소는 최저 30.5천t-N₂O에서 최고 3,715천t-N₂O로서 그 중앙값은 97천t-N₂O로 계산된다. 따라서 우리나라의 농경지에 시비한 질소질 화학비료에서 배출되는 N₂O는 약 973톤으로 볼 수 있다. 이러한 결과를 이산화탄소 환산하여 계산하면 최저 2,578천t-C이며 최고 313,712천t-C로 그 중앙값은 8,227천t-C로 추정되어 우리나라의 농경지 질소질비료 시비에 의한 이산화탄소 배출량은 약 8,227천t-C로 볼 수 있을 것이다(<표 7> 참조).

그리고 가축의 배설물에 의한 아산화질소의 발생은 약5.56천톤이고 이것을 이산화탄소로 환산하면 470천톤인 것을 알 수 있다(<표 8> 참조).

〈표 7〉 질소질 비료 소비량에 따른 N₂O의 연간 배출량

비료종류	{N} ₂ O-N			N ₂ O배출량(10 ³ 톤/년)			CO ₂ 환산(10 ³ t-C/년)		
	중앙값	최 저	최 고	중앙값	최 저	최 고	중앙값	최 저	최 고
유 안	0.12	0.02	1.5	1	16	0.2	110	1,375	18
요 소	0.11	0.07	1.5	47	639	30	3,963	54,047	252
복합비료	0.11	0.001	6.84	49	3,055	0.4	4,154	258,289	38
계	—	—	—	97	3,711	30.5	8,227	313,712	2,578

주 : 농업기술연구소(1994), 에너지경제연구소(1994)를 참조하여 계산함.

〈표 8〉 가축의 배설물의 유기성분에 따른 N₂O의 연간 배출량

	사육두수 (만 마리)	평균 분뇨 발생량		질소 함유량		질소 발생량 (10 ³ t-N ₂ O/yr)	CO ₂ 발생량 (10 ³ t-C/y)
		분(kg/d)	뇨(kg/d)	분(%)	뇨(%)		
젖 소	50	21.9	11.1	0.4	0.8	3.2	274.2
한 우	162	12.7	3.6	0.4	0.8	1.5	123.7
돼 지	453	2.4	4	1	0.5	0.8	68.3
가금류	7,519	0.14	—	2	—	0.05	4.2
합 계						5.56	470.4

주 : 유덕기, 가축분뇨의 공동이용과 환경친화적 적정사육 두수(1997).

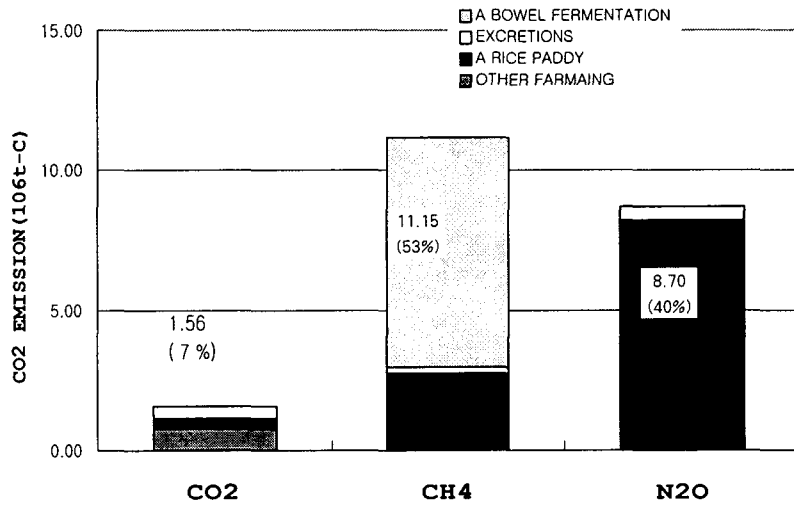
가축기술협회, 축산에 있어서 온실효과 가스의 발생제어 제3집(1998)의 자료로부터 계산.

이상에서 배출요인별 배출량 추정결과를 가지고 이산화탄소 환산계수를 곱하여 구한 이산화탄소 배출량은 <그림 5>에서 알 수 있는바와 같이 2,140만t-C이다. 그 결과 이산화탄소는 기타농업부문에서 773천t-C, 수전에서 356천t-C, 가축분뇨에서 432천t-C 배출되었고 메탄에 의한 이산화탄소 환산 배출량은 수전에서 2,749천t-C, 가축분뇨에서 233천t-C, 장내발효에 의한 것이 8,165천t-C이다. 아산화질소의 경우는 수전에서 8,227천t-C 배출하고 가축 배설물의 유기물에서 470.4천t-C 배출하고 있다.

또 농축산업 전체에서 배출 된 온실효과 가스 배출량 중 CO₂에 의한 것이 7%,

메탄에 의한 요인이 52%, 아산화질소에 의한 요인이 40%인 것을 알 수 있다.

그리고 이러한 농축산분야의 총 온실가스 발생량은 산업전체의 화석연료에 의한 배출량의 약 31.8%에 해당한다.



주: CH₄, N₂O는 이산화탄소 기준으로 환산한 것임.

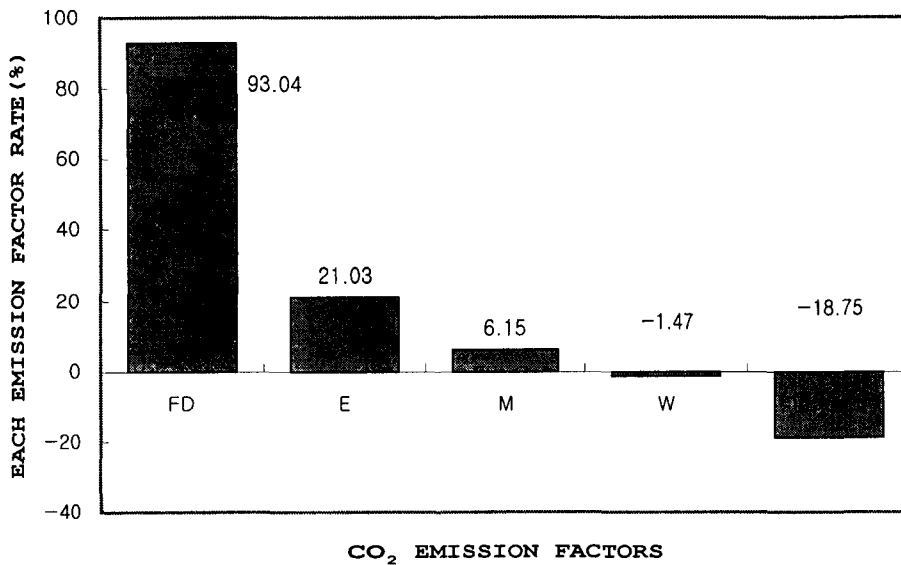
〈그림 5〉 각 가스의 환경부하 배출강도 내역

(4) 화석연료의 연소에 의한 배출(CO₂) 요인

1985년과 1990년 사이의 이산화탄소 배출변화의 요인을 보면 〈그림 6〉에서 보는 바와 같이 최종수요에 의한 것이 93.04%로 배출량 변화에 가장 큰 기여를 하고 있다. 그 다음이 수출에 의한 기여가 21.03%이고 수입대체가 6.15%의 기여를 하고 있다. 이상 3요인은 배출량 증가에 기여하고 있다. 배출계수와 기술변화에 의해서 는 -1.47%와 -18.75%를 나타내었다. 즉 이산화탄소 배출을 삭감하는데 기여한 것이 배출계수와 기술변화라고 할 수 있다. 바꾸어 말하면 분석기간 중에 있어서는 우리 나라 산업부문의 기술변화가 농업분야의 이산화탄소 배출 삭감에도 많은 기여

를 하고 있다고 볼 수 있으며 농업부문의 배출계수는 분석기간 중 그렇게 많은 변화를 가져오지 않았다고 할 수 있을 것이다. 그런 의미에서 향후 배출계수에 의한 정책을 고려해야 할 것이다. 예를 들면 석탄과 중유 혹은 경유와 휘발유 등의 석유 제품소비를 줄이고 도시가스나 LPG 등의 연료로 대체한다거나 농업부문에서 발생하고 있는 메탄가스를 재 이용 할 수 있는 에너지 절약에 관한 노력을 해야 할 것이다. 이러한 에너지 대체에 의한 삭감이 아닌 에너지 효율을 향상시키는 데에도 한층 힘을 기울여야 할 것이다.

이상에서 요인분석에 대한 결과를 살펴보았지만 일반 산업부문과 같이 요인분석의 해석이 선명하다고는 할 수 없지만 이상의 결과만으로도 정책적 대안 마련에 시사하는 점이 많다고 할 수 있겠다.



〈그림 6〉 화석연료 사용에 의한 CO₂ 배출요인

5. 농업자원의 유효이용 방안

1) 메탄발효가스의 유효이용

농업자원의 유효이용 방안이라고 함은 서론에서 설명한 바와 같이 지속 가능한 농업의 문제에 관한 인식 하에 메탄가스의 유효이용과 배설물로 인한 환경오염의 저감 및 그 이용을 의미한다. 각 농업생산, 특히 축산업에서 발생하는 온실효과 가스를 유효하게 이용할 수 있는 시스템 개발방안을 본 장에서는 제시해 보고자 한다. 특히, 메탄발효가스의 연료전지 발효시스템의 실용화에 관한 방안을 그 대상으로 하고자 한다.

이 시스템은 미 이용자원(메탄가스, 분뇨)의 활용, 청정발전(연료전지 발전)의 실시 및 배수의 정화라고 하는 농축산 분야에 기인하는 각종의 문제를 해결하기 위한 종합시스템으로서 정의할 수 있다. 이 시스템의 종합적 분석을 위해서는 각 지역에 있어서 에너지 수급상황 및 자원이용의 현상을 파악하고 이하의 절에서 설명하는 시스템을 보급하는데 필요한 요건을 검토해야 한다. 그렇지만 본 연구에서는 그러한 세부적인 시스템도입을 위한 F/S는 다음연구과제로 남겨둔다.

따라서 향후 이러한 시스템을 적용하여 실용화하기 위해서는 메탄발효기술, 연료전지 발전기술, 배수처리기술 및 비료화기술 등의 개별기술 및 시스템 전체의 최적 조합과 보급요건의 검토가 주요한 내용이라고 할 수 있겠다.

본 절에서는 이러한 방안을 도입하는데 있어서 어떠한 기술적 문제를 해결해야 하고 앞으로 검토 혹은 조사해야 할 항목은 어떠한 것이 있는가에 대해서 검토하고자 한다.

2) 메탄발효가스 유효이용의 개별기술

(1) 기술검토

① 메탄발효기술

- 가스발생량, 가스성분 변동에 적응 가능한 발전기술을 연구해야 한다.
- 발생가스 비율을 높이기 위해 발효조 가온 기술을 연구하고 메탄가스 발효장치에의 연료전지 배열이용기술을 연구해야 한다.

② 연료전지 발전기술

- 한국에 있어서 연료전지의 운전, 보수방법의 최적화를 고찰해야 한다.
- 검토지역의 바이오매스 가스 발생원을 조사하고 가스발생 장치와 연료전지를 종합한 발전시스템의 개념 설계인 검토지역에 적합한 연료전지 적용형태의 연구가 선행되어야 한다.
- 타 전원과의 연계(계통문제를 포함) : 태양광 발전시스템과 기동용 발전기 등을 포함한 다른 전원과의 계통연계의 가능성을 연구해야 할 것이다.
- 연료전지 배열의 유효이용 : 근린 주민과 열 필요 재배단지에서의 열 공급 등 배열의 유효이용 방법, 보급요건을 연구해야 한다.

③ 배수처리 기술

- 수 처리 기술 : 현재 개발되어 가동 중에 있는 기술 중에서 연료전지 발전량의 최적화를 고려해서 방류 가능한 수 처리 기술 중 전력의 최소 소비를 달성할 수 있는 연구를 해야 한다.

④ 비료화 기술

- 호기성 발효 프로세스의 고 효율화 : 비료 효율이 높은 콤포스트를 고효율로 제조할 수 있는 조건을 연구한다.

- 콘포스트의 유효이용 : 농지환원에 의한 지력 향상을 위한 조건을 충족할 수 있는 콘포스트의 연구가 필요하다.
- 유기질 비료의 토지환원 최적 양과 토지에의 환원을 위한 기계개발을 연구.

⑤ 전체시스템의 최적 조합

- 전체시스템의 최적조합 : 전체시스템을 안정되게 운전하고 최대 유효이용전력을 얻기 위한 조건을 연구
- 메탄발효기술, 연료전지발전기술, 배수처리기술, 비료화 기술을 각 방식으로부터 최적조합을 선정해서 System Up을 기할 수 있는 연구.

(2) 시스템 보급요건의 검토

- 검토지역에 있어서 축산 배설물의 각종 통계조사(축산배설물에 의한 재사용가능자원의 상황)
- 검토지역에 있어서 축산의 배설물의 밸런스(배설물과 재이용의 비)의 과제검토
- 검토지역에 있어서 환경문제, 수질에 관한 환경문제
- 농축산업에 있어서의 에너지 소비조사
- 메탄발효가스 연료전지 발전시스템의 실용화와 그 보급요건의 검토(자연적 요건, 환경적 요건, 경제적 요건, 사회적 요건)

3) 연구개발의 목표

금후 연구개발을 하는데 있어서의 최종목표는 아래와 같은 내용에 중점을 두어야 한다.

- 검토지역에 있어서 에너지수급 및 바이오에너지 자원이용의 현상을 파악하고

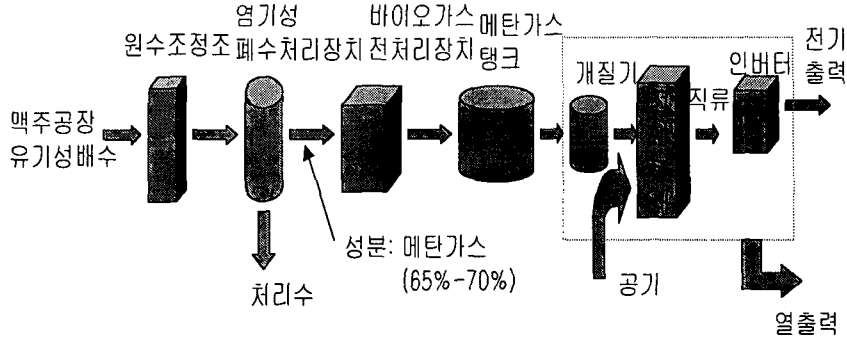
농업의 지속 가능한 발전을 위한 시스템구축(제로 폐기물 : 에코 농축산업)을 실현한다.

- 검토지역에의 메탄가스 연료전지 발전시스템 보급을 위한 지식을 습득한다.
- 시스템의 실용화에 관련된 엔지니어링 노우하우를 축적한다.
- 시설의 안전운전을 실증하고 유효이용 가능한 전력량과 열량을 파악한다.
- 발생가스의 연료전지에의 적합성을 검증하고 설비의 최적조합을 확립한다.
- 연구설비의 정비 : 메탄발효설비, 연료전지발전설비, 배수처리설비, 비료화설비 및 부대설비를 포함한 종합시스템을 설치하고 가동시킨다.

4) 연료전지 적용의 구체적 사례

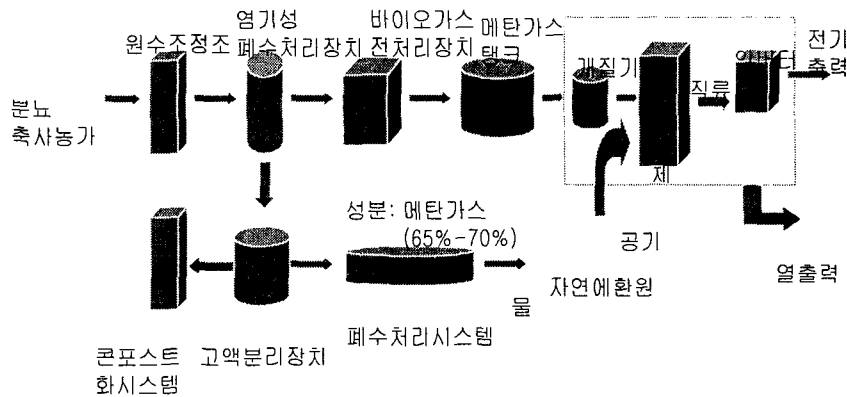
여기서는 연료다양화의 사례소개로서 식품공장의 배수로부터의 바이오가스 반도체 세정용 메탄을 다이옥신 발생을 대폭 억제한 쓰레기 熔融爐로부터의 쓰레기가스, 화학공장 등에서 발생하는 부생수소를 이용한 시스템 구성에 대해서 설명한다. 이와같이 연료전지 시스템은 다양한 가스를 원료로서 사용하는 것이 가능하지만 연료처리 하부 시스템은 이들 사용연료의 종류에 따라서 구성도 일부 달라진다. 순환 사회로의 전환에 대한 욕구로부터 이와 같은 연료다양화 시스템은 금후 더욱 도입될 수 있을 것으로 기대한다.

- ① 식품배수로부터 얻어진 바이오 가스의 유효이용 : <그림 7>은 시스템 전체 구성의 한 모델이다. 전력과 열의 생산이 가능하고 폐기물 발전에 따른 리사이클의 추진과 에너지 사용량의 저감에 기여할 수 있는 모델이라고 할 수 있겠다. 이 모델은 직접 농가와는 큰 관계가 없겠지만 식료라고 하는 차원에서 생각하면 때로는 무시할 수 없는 부분이기도 하다.



〈그림 7〉 바이오 가스이용의 사례

- ② 메탄을 이용 : 리사이클 시스템에 따른 자원의 유효활용과 에너지 안전보장의 향상, 경제적 이익증대와 같은 요인에 의하여 도입이 기대된다.
- ③ 쓰레기처리 熔融爐 가스의 이용 : 쓰레기 폐기물의 유효이용과 쓰레기를 연료로 하는 폐기물발전 시스템의 실현을 도모한 것이다.
- ④ 가축분뇨 消化가스 이용 : 〈그림 8〉은 시스템 전체의 구성을 나타낸 것이다. 가축 등의 분뇨로부터 회수되는 소화가스의 유효이용, 온실효과가스의 삭감, 토양오염방지 등의 효과를 볼 수 있다.



〈그림 8〉 메탄발효가스 대응기의 구성

5) 농업부문의 종합적 대책에 관한 제언

이상에서 농업분야의 각종 현황과 온실효과가스 등에 관하여 분석하였다. 여기서는 이러한 제반 여건을 감안한 종합적 대책에 관한 특히 기술적 저감에 방안에 대하여 정리하는 것으로 한다(〈표 9〉 참조).

〈표 9〉 농업부문에 있어서 기후변화협약 대응방안

대응방안	구체적 내용
에너지 획득 증대기술의 개발	1) 광합성 효율이 높은 유량품종의 육성 2) 미생물의 이용 등에 따른 질소 고정의 증대 3) 생산환경의 제어 기술의 향상 4) 환경 스트레스, 병충해 저항성 품종의 육성
자원의 순환이용 (획득에너지(유기물)의 유효이용)	1) 유기물 리사이클 시스템의 고도화 (농약, 도시의 폐기물의 사료화, 비료화 등) 2) 가축분뇨 등의 가스화 이용 3) 유통, 가공, 소비과정의 로스 및 품질저하의 감소
화석에너지 소비의 삭감	1) 농업기계시설의 에너지 효율의 개선 2) 농업기계, 비료, 농약제조에 있어서 에너지 효율의 개선 3) 농업기계화 등 내구자재의 내구성의 향상 4) 발전소 등 온·배수의 활용(특히 원자력 등) 5) 액화가스의 냉열 이용 시스템의 개발과 보급
자연에너지의 활용	1) 태양, 풍력, 지열, 수력에너지의 활용 2) 생물에너지의 활용
에너지 소비 시스템의 종합적 개선	1) 적지 적작의 장려 시행 2) 작물재배 체계의 개선 3) 종합방제법의 도입 4) 지역 에너지의 소비 시스템의 개선

종합적 대책이라고 하는 것은 지속적 발전 가능한 농업을 위한 대책이고 이것은 곧 기후변화협약에 대응하기 위한 온난화가스의 저감 방안을 효율적으로 추진함으로써 가능하다는 것을 의미한다. 특히 이러한 방안은 에너지 절감과 온난화 가스

저감, 국제협약에의 대응이라는 3가지 축을 동시에 달성함으로써 농업환경의 정비, 궁극적으로는 농업경쟁력 향상으로서 농업소득의 증대에 있다고 하겠다.

6. 결론

농업에 있어서 에너지가 생산비에 미치는 영향을 최소화하고 기후변화 협약과 관련한 온난화 가스의 배출량 억제를 위한 방안으로서 생물에너지의 유효한 이용이라는 방책에 대해 살펴보았다.

이러한 방책은 지속가능한 발전이라는, 비단 농업문제만이 아니고 인류사회 전체의 대명제로 부각된 과제에 대한 한 부분의 방안이라고 해도 과언은 아닐 것이다.

앞으로 우리의 생산과 소비체제는 이러한 지속 가능한 차원의 시스템으로 유도 발전되어야 할 것이다.

바이오매스의 문제점에서 지적된 경합과 한계점 등이 바로 지속 가능한 발전의 범위 혹은 한계가 아닌가 라고 생각할 수도 있을 것이다.

물론 이러한 바이오매스 이외에도 태양열, 지열, 풍력 등 각 지역에 맞는 에너지 시스템이 개발 보급되고 그러한 청정에너지가 확대됨으로써 지속 가능한 발전의 한계(범위)는 보다 확장 될 수 있을 것이다. 따라서 본론에서 제시한 바이오의 유효 이용은 어떤 의미에 있어서는 야구에서 말하는 중간투수 요원이지 궁극적인 의미의 마무리 투수로까지의 자리 매김은 어려울 것이다. 이러한 중간투수의 역할이 환경적 차원에서 아직도 자연의 용량이 충분할 때는 안심하고 투입할 수 있지만 그렇지 못할 때는 기술적 이노베이션이 동반하지 않으면 마무리 투수의 등장이란 없을 것이다.

한시라도 빨리 지속 가능한 농업시스템을 개발하고 보급해야 한다. 본론의 가축

분뇨의 유효이용은 이러한 관점에서 시급히 현지조사나 도입에 따른 편익비용 분석, 그리고 에너지 전환 가능한 포텐셜, 도입을 위한 법률적 문제, 도입의 촉진을 위한 보조적 정책 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이고 산업, 정부, 연구기관이 일체가 되어 추진하여야 할 것이다.

참고문헌

- 1) Yuichi Moriguchi & Hirochi Shimizu, "Analysis of the Structure and the Trend of Carbon Dioxide Emission Using the Input-Output Table and Evaluation of Errors Originating from Sectoral Aggregation," *Energy and Resources*, Vol. 2. 1994.
- 2) SungYee Yoon et al, "Analysis of Regulating CO₂ Emissions in Industrial Sectors in Korea," *Energy and Resources*, Vol. 19. 1998.
- 3) Greenhouse Gas Inventory Workbook, IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol.2) Module 4 Agriculture.
- 4) 기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구, KEEI, 1994.
- 5) 기후변화협약 관련 일본국 국가보고서, 1994.
- 6) 재단법인 축산기술협회, 축산에 있어서 온실효과 가스의 발생제어 제3집, 해외 조사보고 제3보, 1998.
- 7) A.R. Mosier et al, "Assessing and Mitigating N₂O Emissions from Agricultural Soils," *Climatic Change* 40 : 7-38, 1998.
- 8) OECD(1991). Estimation of Greenhouse Gas Emission and Sink. Part 2. Emissions from Agriculture, 5. D. Nitrous Oxide Emissions Fertilizer

Use and Nutrient Runoff. (N₂O Emission Methodology).

- 9) 한국산업은행, 2000년의 산업구조 전망, 1989.
- 10) 김경아, 지구온난화 국제협약에 따른 이산화탄소 배출규제에 관한 연구, 서울 환경대학원 석사논문, 1992.
- 11) Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Contribution of WG1 to the Second Assessment Report of IPCC : Eds. J. T. Houghton et al., Cambridge University Press(1996).
- 12) Climate Change 1995, Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change : Scientific-Technical Analyses, Contribution of WG2 to the Second Assessment Report of IPCC : Eds. R. T. Watson et al., Cambridge University Press(1996).
- 13) Climate Change 1995, Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of WG3 to the Second Assessment Report of IPCC : Eds. J. P. Bruce(1996).
- 14) 윤성이, 이산화탄소 배출량 산출을 위한 분석방법의 비교분석, 한국에너지공학 회지, 1998. 제7권 제2호.