

LCA 수법을 이용한 농축산분야의 온실효과 가스의 정량적 평가

尹性二* · 柳德基**

Quantitative Valuation of Greenhouse Gas of a Agriculture Livestock Production Using LCA Technique

Yoon Sung-Yee* · Yoo Duck-Ki**

〈 목 차 〉

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| I. 서 언 | IV. 배출량 삭감을 위한 방안 |
| II. LCA수법 모델의 구축 | V. 결 언 |
| III. 농축산업 분야의 온난화가스 배출량의 추계 | |

I. 서 언

지구온난화 방지조약에 따른 각국의 이산화탄소 삭감방안이 강구되고 있다. 대부분의 국가가 에너지 공급시스템을 재구축하고 각산업에 성에너지 기술평가를 실시하고 더욱이 성에너지 기술의 선택과 투입을 진행시키고 있다. 이러한 움직임은 21C에 있어서 각 국가의 사활을 건 신 경제 패터이라고도 말할 수 있을 것이다. 한국의 경우 Annex I 그룹에 속해 있지않고 금융위기에 의한 국가경제의 어려운 여건 등으로 국제적 흐름에 전혀 대응하지 못하고 있는 실정이다. 특히 전력산업과 철강업등의 에너지 다소비 산업의 경우는 자체 경쟁력 향상을 위한 수단으로써 여러 가지 정책을 강구하고 있지만 그 외의 산업에 대한 대책에 대해서는 전무하다고 해도 과언이 아닐 것이다. 농축산 분야는 유기물질에 의한 토양오염과 수질오염 문제에 대부분의 환경적 연구가 집중하여 진행되었고 지구환경 문제에 대한 국가경쟁력 향상에 시점을 맞춘 연구 결과는 아직 접해본 적이 없다. 또한 지구환경 문제 뿐만이 아니고 각 작물별 생산비용절감을

*일본에너지경제연구소 전문연구원.

**동국대학교 생명자원경제학과 교수.

위해서도 생산에 필요한 정확한 연료소비량을 파악해야 한다. 그리고 연료절감을 위한 생산 저장 가공 유통 소비에 걸친 일련의 농축산물 경제활동 시스템을 재구축해야 할 것이다.

농업분야에 있어서의 에너지 소비증가를 또한 매년 증가일로에 있고 농작물의 생산 구성에 있어서도 에너지 다소비 작물생산으로 이동하고 있는 점을 보더라도 꼭 필요한 연구분야라고 본다. 따라서 본 연구는 우리나라의 식량공급 분야의 온실가스 배출량을 산업연관표를 사용하여 산출모델을 개발하고 LCA 수법을 사용하여 환경친화성 생산시스템 평가를 한다. 가축의 적정사육 두수 즉, BOD와 온난화 가스, 그리고 가스의 전력화와 경제성 등을 고려한 가축의 사육 두수를 결정하는 연구의 일환으로써 본 연구의 가치를 찾고자 한다. 이러한 LCA적 수법을 사용한 연구결과는 앞으로 Zero-Emission 생산시스템 구축, 예를들면 분뇨처리에 있어 공동관리¹⁾에 의한 처리시스템에서 잉여물질로 얻어지는 메탄을 전력과 열로 변환하여 온실의 냉난방에 사용할 수 있는 환경적 종합생산 시스템의 연구기반 조성에 기여하리라고 확신한다.

II. LCA수법 모델의 구축

1. LCA수법의 개요²⁾⁴⁾⁵⁾

Life Cycle Assessment(LCA)는 생애환경영향평가라고 번역되어 쓰여지고 있다. 이것은 상품, 제품에 대해서 그 원재료의 취득으로부터 가공, 제조사용, 폐기까지 그대상의 전생애에 있어서 각종 환경에의 모든영향을 분석평가 하는 것이다.

이와같은 LCA의 목적에는 환경영향평가라고 하는 면과 대상에 관계하는 전과정을 목적에 맞추어 종합적 평가를 하는 두가지 면을 생각할 수 있다. 라이프사이클의 평가로서는 구체적으로 어떤제품의 시계열적 단계 즉, 제품의 탄생으로부터 제조 이용 폐기물처리까지의 일련의 과정 전체를 평가하는 것이 이상적이고 그 중에서도 특히 환경에 영향을 미치는 요소에 중점을 두어 종합적인 평가를 하는 것이다.

LCA를 위한 기술적 검토 대상으로서는 인벤토리 분석, 영향평가, 개선평가를 생각할 수 있다. 이러한 대상은 목표설정과 영역설정 그리고 상호관련성을 유지하면서 검토 평가되어야 한다. 이러한 개개의 목표설정과 영역설정 프로세스의 구성요소에 관한 내용에 대하여 다음과 같이 정의한다.

1) LCA 목표정의와 영역설정

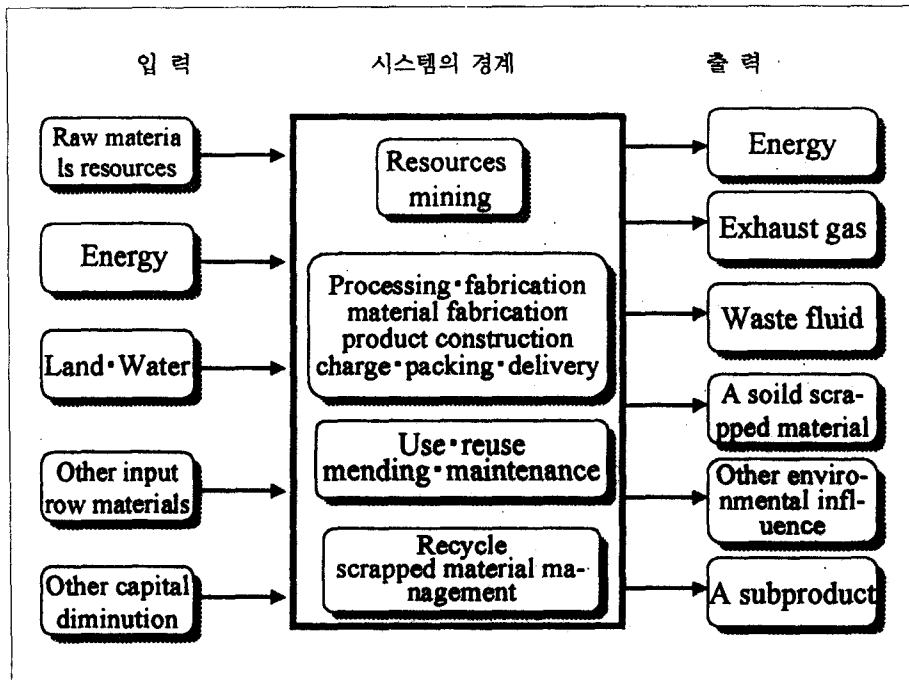
LCA를 실시할 때 그 목적에 따라 대상시스템의 경계, 데이터 수집의 범위 등이 틀려지기 때문에 이를 명확히 하는 것은 매우 중요한 사항이다. LCA의 목적은 대체 제품, 대체 프로세스 등을 환경적 측면에서 비교평가하는 데에 있기 때문에 그 분석범위를 비교 대상에 따라 차

이가 나는 범위에만 한정시키는 것이 바람직하다. 라이프사이클의 단계에 대한 경계 설정은 일반적으로 다음의 범위와 같이 구분된다.

① 원재료의 취득: 원재료 취득단계에는 목재의 채벌이나 원유의 채굴과 같이 자연으로부터 원재료나 에너지 자원을 취득하는 것이 포함된다. 취득한 지점에서 가공되는 지점으로까지의 수송도 이 단계의 일부로 간주한다. ② 제조: 제조단계에서는 원재료를 가공해서 최종 제품으로 생산하고 이를 포장하여 소비자에게 수송한다. 따라서 제조단계는 재료의 가공, 제품의 조립, 포장, 수송, 배송 등 여러 단계(서브 스테이지)로 나누어진다. ③ 사용·재사용·유지, 보수: 이 단계는 제품의 실제 사용·재사용·보수, 유지를 포함한다. 제품의 저장과 소비에 필요한 에너지와 환경폐기물도 이 단계에 포함시킨다. ④ 리사이클·폐기물처리: 제품의 폐기에 관련되는 에너지와 환경폐기물이 이 단계에서서 분석 되어진다. 동시에 리사이클, 퇴비이용, 소각, 소비후의 폐기물처리에 대한 방법도 포함된다.

2) 인벤토리(Inventory)분석

인벤토리는 하나의 제품, 재화, 시스템에 대한 전체의 자원 투입을 입력(Input)으로 계산하고 환경에 영향을 미치는 배출물과 부산물을 포함하는 모든 생산물을 출력(Output)으로 하여 전체의 입출력을 수지표(Input-Output Table)로 정리하는 것을 말한다.



<그림 1> 라이프사이클 각단계와 입출력⁹⁾

제조공정의 세분화 단계에서 포장을 포함시키고 있는 것과 같이 모든 단계에서 자원의 소비와 발생하는 폐기물 처리를 포함, LCA의 기본 목적을 충분히 반영시켜야 한다. 기본적인 입력 자료로서는 각 형태별 투입 자원, 에너지, 대기, 용수, 토지 등의 천연자원과 이의 중간투입재를 포함한다. 이때 영역설정 에 따라서는 자원설비의 제조에 포함되는 자원(Material)도 포함된다.

인벤토리의 분석에는 크게 나누어 2가지 방법이 이용된다. 하나는 분석 대상인 제품이나 기술, 시스템이 어떻게 제조되고 폐기되는가를 제품, 기술, 시스템별로 구체적으로 추적해가는 평가 방법이다. 전 세계적으로 관심사항이 되고 있는 화학제품 등에 대해서는 상용 LCI 데이터베이스가 구축되어 있다. 또 다른 방법은 산업연관표(Input-Output Table)를 이용하여 각각 다른 산업의 투입, 산출(금액을 기준)이 자세하게 조사되어져 있는 통계표를 이용하는 방법이다. 전자는 상향식 분석(Bottom up)으로 불리우고 후자는 하향식 분석(Top down)법으로 불리우나 구체적으로는 산업연관분석법(Input-Output Analysis)으로 불리운다.

3) 영향평가

영향평가는 LCI단계에서 산정된 각 배출물 혹은 자원 이용이 환경에 미치는 영향을 ①분류(Classification), ②특정 파악(Characterization), ③가치 파악(Valuation)의 3단계로 구분하여 정성적(Qualitative), 정량적(Quantitative)으로 평가하는 단계이다.

4) 개선평가

개선평가는 LCA의 최종목표이다. 즉, 분석대상의 전, 후시스템(혹은 제품)의 인벤토리를 작성하고 영향평가를 수행한 뒤에 여러 현실적 제약을 고려하여 최적의 의사결정을 하는 것이다. LCA는 주로 환경 측면을 중시한 평가를 하는 것이기 때문에 이것만으로 모든 항목이 최적화된 완벽한 의사결정이라고 할 수는 없지만 환경 측면에서의 효과를 적절히 파악해두는 것만으로도 그 중요성을 갖는다고 할 수 있겠다. 따라서 평가 결과의 공평성과 투명성이 높은 방법론을 확립하여 제시하는 것이 매우 중요하다.

이상과 같이 목표설정으로부터 시작하여 전과정의 인벤토리 구축, 영향평가를 거쳐 개선평가까지의 단계를 분석함으로써 대상시스템(제품)에 대한 LCA를 완료하게 된다.

본 연구에서는 이상의 라이프사이클 어세스먼트의 분석수법중 산업연관표를 이용한 분석수법과 상향식 분석수법을 함께 이용하여 각 분석의 결핍된 부분을 보완하는 방법을 취한다. 그러면 먼저 분석에 있어서 논문의 목적에 맞추어 농수산업 부문의 문제점을 인식하고 환경오염에 어떠한 것이 직접적으로 관계하고 있는가를 분석한 후 LCA적 분석모델을 개발하고 환경부하량을 추정하기로 한다. 영향분석에 있어서는 온난화 문제가 직접 그 대상이기 때문에 본 연구에서는 생략하고 최종적으로 이산화탄소 배출량 삭감을 위해서는 어떠한 정책이 필요할 것인가 그 방안 에 대해서 제시하는 것으로 한다.

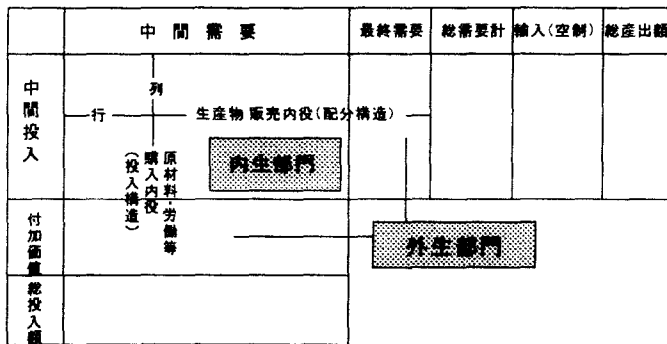
2. 환경 부하량 추정모델

연구의 있어서는 1990년을 기준으로 온난화 부하량을 추정한다. 추정에는 산업연관표와 농림 통계 등을 사용한다. 본연구에서는 연구의 목적에 맞추어 생산부문을 대상으로 하지만 특히 408기본 분류의 산업연관표를 171분류로 조정하고 농업부문은 93부문으로 조정하였다. 연구의 대상으로 되는 지역에 있어서는 한국의 국내배출에 한정하고 모델성립을 위한 기본가정은 생산 부문의 이산화탄소는 화석연료 등의 에너지사용에 의해서 발생하고 상품을 생산, 분배하는 전 과정에서 직접적으로 발생, 그리고 이산화탄소가 연료의 연소과정에서 발생하는 전량이 대기중에 방출된다고 가정한다. 여기에서 상정하고 있는 인위적 배출원로서는 석탄, 석유, 천연가스등 화석연료 기원의 배출, 화석연료이외의 연소에 따른 배출, 시멘트 제조를 위한 석회석 기원의 배출을 추계의 배출원으로 했다. 그리고 농축산업의 특징으로부터 담수논에서 배출되는 메탄과 초식동물의 분뇨, 그리고 제1위에서 발효되는 메탄의 양을 추계의 대상으로 했다. 연료 종류 및 배출계수의 설정에 있어서는 국내에서 실제로 공급 혹은 소비되는 연료종을 반영하고 가능한한 자세한 연료종의 성분분석에 기초해서 배출계수를 설정했다.

그러면 본 연구를 위해서 사용한 산업연관표와 그로부터 개발한 산업연관표에 의한 LCA적 배출량 추계모델에 관해서 설명한다.

먼저 산업연관표에 대해서 설명하면 산업연관표는 국민경제 내에서의 재화와 서비스의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 종합적인 통계표이다.

국민경제를 구성하고 있는 각 산업부문은 서로 다른 산업부문으로부터 원재료 연료 등의 중간재를 구입하고 여기에 노동 자본 등 본원적 생산요소를 결합함으로써 새로운 재화와 서비스를 생산하여 이를 다른 산업부문에 중간재로 팔거나 최종소비자에게 소비재나 자본재 등으로 판매하게 된다. 산업연관표에서는 이와같은 재화와 서비스의 거래를 첫째, 산업상호간의 중간재 거래부분 둘째, 각 산업부문에서의 노동 자본 등 본원적 생산요소의 구입부분 셋째, 각 산업부문 생산물의 최종소비자에게로의 판매부분의 세 가지로 구분 기록한다.



<그림 2> 산업연관표의 기본구조⁶⁾

이상의 내용을 그림으로 나타내면 <그림 2>와 같다. 다음으로 모델식⁷⁾에 대해서 설명하면 제 i 부문의 생산액당 이산화탄소 배출계수 w_i 는 화석연료의 종류 j 에 j 연료의 이산화탄소 배출계수 ϵ_j 에 i 산업의 j 연료 사용량 ϕ_{ij} 을 곱해서 합산했다. 여기서 w_i

를 직접배출계수라고 정의한다. 더욱이 제 i 부문의 배출량 C_i 는 그 부문의 직접배출계수 w_i 에 그부문의 생산액 X_i 를 곱해서 구했다. 이러한 것을 식으로는 (식1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_i = \sum_j \epsilon_j \phi_{ij}, \quad C_i = w_i \times X_i \dots\dots\dots(1)$$

C_i : 각산업부문의 이산화탄소 직접배출량, X_i : i 산업의 총생산액,
 w_i : i 산업의 단위생산액당 이산화탄소 직접배출계수,
 ϵ_j : 화석연료의 이산화탄소 배출계수, ϕ_{ij} : i 산업의 j 연료 사용열량,

직·간접배출량(최종재를 생산할 때의 이산화탄소 직접배출량에 그 최종재의 생산을 위하여 투입된 중간재의 생산으로부터 배출되는 이산화탄소를 가산한 배출량)을 구하기 위해서는 레온티에프 역행렬 $(I-A)^{-1}$ 형을 사용하고 b_{ij} 를 $(I-A)^{-1}$ 의 제 ij 성분이라고 하면 제 i 부문의 직·간접 이산화탄소 배출계수(유발계수) t_j 는 (식2)로 표현할 수가 있다.

$$t_j = \sum_{i=0}^{\pi} b_{ij} w_i \dots\dots\dots(2)$$

t_j : j 부문의 생산액 단위당 직·간접 이산화탄소 배출계수

이 식으로부터 국내 최종수요 및 수출로부터 유발되는 이산화탄소 배출량 T_i 는 (식3)로 표시된다.

$$T_i = t_i Y_i + t_i E_i \dots\dots\dots(3)$$

T_i : 이산화탄소 배출량, Y_i : 최종수요, E_i : 수출

여기서 이논문의 직접배출계수와 간접배출계수의 의미를 정의하면 이산화탄소의 직접 배출계수가 직접 에너지의 소비에 의하여 발생하는 단위 생산액당 이산화탄소 배출량인데 대하여 간접배출계수는 그 산업에 투입된 원재료 혹은 중간재를 생산하기 위해서 발생한 이산화탄소까지를 고려한 배출계수이다.

메탄배출에 관해서는 이하와 같이 추정을 하였으며 III장에서 보다 자세하게 설명하겠다. 수도작의 경우 특정지역의 기후와 특히 온도와 물관리 방법(상시답수와 간단관개)의 2분류)에 따라서 메탄배출 계수(CH₄kg/ha/일)⁸⁾를 정하고 이메탄 배출계수에 연간 벼재배 면적을 기준으로 답수기간과 관련된 재배면적일수를 구하여 메탄배출계수를 곱함으로써 추정한다.

가축의 경우 메탄의 배출에 있어서는 반추가축의 소화에 의해서 발생하는 메탄배출과 전가축

의 배설물인 분뇨에 의해서 발생하는 메탄배출로 크게 구분할 수 있고 본 논문에서도 이러한 두가지 경우로 분리하여 추계한다. 반추동물에 의한 메탄의 배출계수($\text{CH}_4\text{kg/ha/일}$)는 가축의 종류, 사료의 양과 질에 따라 다르고 가축의 에너지 소모량에 따라서 다르다⁹⁾. 가축분뇨에서 배출되는 배출계수($\text{CH}_4\text{kg/ha/일}$)는 축산의 경영형태, 지역에 따른 연평균기온 등에 따라서 다르다⁹⁾. 축산부문에서 메탄을 추정하기 위해서는 위의 두 가지 경우의 메탄의 배출계수에 각각 사육두수를 곱하여 얻은 값을 합하여 구한다.

Ⅲ. 농축산업 분야의 온난화가스 배출량의 추계

1. 농축수산업 분야의 온난화가스 배출원

우리나라의 농축산업 분야에서 대기로 방출하고 있는 주요한 온난화 가스로서는 이산화탄소(CO_2)와 메탄가스(CH_4) 그리고 아산화질소(N_2O)이다. 이러한 온난화가스 중 이산화탄소는 식량공급 부문의 생산활동에 따른 에너지소비에 의해서 배출되고 메탄가스는 벼농사에 따른 담수의 논에서 산소가 없는 상태에서 미생물의 분해에 의해 배출되고 그리고 소와 양과 같은 반추동물의 소화과정에서 배출되며 모든 가축의 분뇨가 분해되는 과정에서 배출되고 있다. 이러한 각각의 배출과정을 거쳐서 배출되는 가스는 그 종류별 지구온난화포텐셜(GWP)이 틀린다. 이산화탄소를 기준으로 했을 때 적산연수를 100년으로 하면 이산화탄소의 21배에 상당하기 때문에 결코 무시할 수 없는 가스이다. 그리고 아산화질소는 적산연수를 100년으로 했을 때 환산계수는 310이 된다. 이와같이 대체로 그 배출량이 많은 온실가스 중 COP3에서 규제의 대상으로 결정된 가스를 그 분석 대상으로 한다.

이산화탄소의 배출은 <표 1>에서도 나타내었듯이 주로 생산활동에 따라 투입되는 화석에너지의 사용이 대부분의 배출원이다. 이 부분에 있어서는 단순히 에너지 통계표로도 추계가 가능하지만 직접에너지 추계는 문제가 없더라도 간접배출량에 관해서는 1차 파급 혹은 2차파급과 같이 무한대의 파급을 함께 추계하는데는 에너지 통계표로는 도저히 불가능한 일이다. 그리고 농축수산 분야의 보다 자세한 산업분류 혹은 작물별 분류를 추계하는데는 더욱 어렵다. 따라서 추계에는 2장에서 개발한 모델로 산업연관표를 이용하여 추계한다.

메탄의 경우는 자연습지나 논같이 산소가 거의 없는 상태의 토양에서 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 배출되거나 이산화탄소가 환원되어 배출된다. 축산분야로 부터의 배출은 주로 반추동물을 비롯한 가축의 장내 발효와 분뇨가 분해되는 과정에서 메탄세균의 활동으로 생성되는 것이다.

<표 1> 농축산업 분야의 온난화가스 배출원

가스 종류	배출원		비고
이산화탄소 (CO ₂)	자연	식림, 산림의 성장에 따른 탄소고정량의 증가(마이너스 배출)	비고려
	인위	화석연료 기원의 배출, 화석연료 이외의 연소, 석회석 기원, 농업폐기물의 소각	농업폐기물의 소각은 비고려
메탄(CH ₄)	자연	저습지, 흰개미, 바다, 나수면, 메탄수화물	비고려
	인위	담수의 벼논, 반추가축 동물, 가축분뇨의 분해, 바이오 매스의 연소	바이오매스는 비고려
아산화질소 (N ₂ O)	자연	해양 섭윤산림 건조사바나 온대산림 초지	비고려
	인위	농경지, 바이오매스의 연소	농경지만 고려

출전 : 미나미 카츠유키, 일본 에너지자원학회 1998년도 강습회, 메탄아산화질소의 발생과 삭감기술

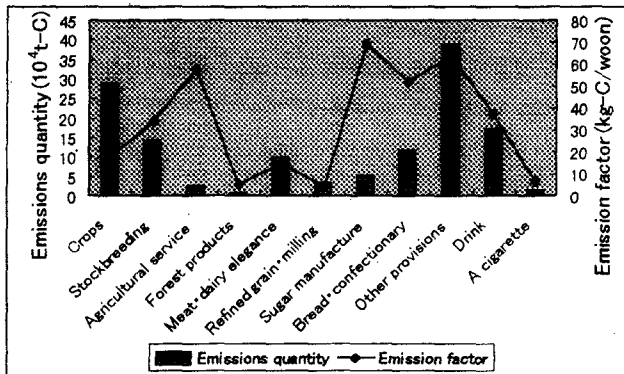
아산화질소는 농경지에서 주로 배출되지만 배출되는 아산화질소는 주로 질소질 화학비료를 농경지에 사용함에 따라 농작물에 이용되지 못하고 대기로 탈질하는 형태의 하나로 나타난다. 따라서 메탄과 아산화질소는 LCA의 기법중 Bottom Up수법으로 기본적인 통계자료와 참고문헌(IPCC자료)의 배출계수 등을 사용하고 이것을 간단한 연산식에 의해 추정한다.

이상과 같이 농축산 부문에서 배출되는 온실가스는 크게 이산화탄소와 메탄 그리고 아산화질소로 구분할 수 있다. 그 배출량은 작물의 종류, 영농방법, 반추동물의 사료, 화학비료 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 추계대상을 이와같은 이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄) 그리고 아산화질소(N₂O)를 그 대상으로 한다.

2. 환경부하량 추정결과

1) 이산화탄소(CO₂) 배출량 추계

산업연관표를 가지고 계산결과를 <표 8>과 같이 나타낸다. 그리고 보기 편하게 그림으로 나타낸 것이 <그림 3>이다. 여기서 보면 생산을 위한 직접적인 에너지의 사용에 의해서 배출한



<그림 3> 이산화탄소 배출량 및 배출원단위

이산화탄소의 양이 가장 많은 부문은 기타식품 부문이며 그 내역으로는 각종 가공품, 식용유, 조미료, 전분, 인삼식품, 두부 등이다. 이들 부문은 모두가 생산 이외에 수송에도 상당한 에너지소비를 하고 있는 산업부문이기도 하다. 그리고 이산화탄소 배출량 뿐만이 아니고 배출원단위 또한 단연히 높은 수치를 나타내고 있다. 그 다음으

로 많이 배출하고 있는 부문이 작물, 축산 등의 순이다. 배출원단위는 제당, 기타 식료품, 농업서비스 순으로 나타났다.

그리고 식량공급 분야의 총이산화탄소 배출량은 1309t-C으로 추계되었다. 그중 작물이 288t-C, 축산 142t-C, 임산물 8t-C, 육류 및 낙농품 97t-C, 정곡 및 제분 33t-C, 제당 52t-C, 빵 및 과자 116t-C, 기타식료품 387t-C, 음료품 170t-C, 담배 16t-C이었다. 그리고 93분류에서는 가장 많은 배출량을 보인 산업이 105t-C으로 쌀이 가장 많았고 그 다음이 67t-C으로 채소였으며 빵 전분 순으로 나타났다. 일반적인 관점으로 화학산업이 온실에서 사용되는 에너지 등으로 그 배출량이 많을 것으로 추측되었지만 14t-C으로 의외로 적은 배출량을 보였다.

<표 2> 식량공급 분야의 이산화탄소의 직접배출량 및 직접배출원단위

번호	산업구분	직접배출량	직접배출계수	번호	산업구분	직접배출량	직접배출계수	번호	산업구분	직접배출량	직접배출계수
00	작물	288.35	17.99	27	식용/임산물	0.81	3.77	67	빵류	62.28	56.78
01	쌀	105.68	15.43	28	신탄	0	0	68	사탕 과자	15.97	29.15
02	보리(소맥제외)	42.03	127.15	29	기타임산물	6.21	19.43	69	면류	37.78	63.85
03	소맥	0	0	00	수산물	0	0	00	기타식료품	387.24	63.73
04	잡곡	12.57	18.25	30	원양어업	483.88	573.10	70	과일야채가공	10.28	66.99
05	야채	67.01	18.48	31	연근해 어업	624.04	370.14	71	과일야채저장	16.59	57.28
06	과일	23.13	19.72	32	내수면 어업	1.08	31.15	72	동물성 기름	11.92	125.70
07	콩	5.23	10.21	33	해면양식	19.21	45.68	73	식물성 기름	38.21	43.83
08	감자류	4.03	14.47	34	내수면 양식	3.23	52.24	74	정제염	2.15	63.75
09	기름작물	1.05	3.02	00	육류/낙농품	96.66	14.53	75	발효조미료	37.42	257.11
10	섬유작물	0	0	51	도축	8.61	2.19	76	기타조미료	15.55	32.54
11	기호작물	7.89	22.39	52	가축농	5.77	13.63	77	간장류	9.35	60.18
12	약용작물	4.32	9.37	53	육 가공품	18.31	43.79	78	전분	55.33	201.92
13	꽃/꽃나무	13.94	57.65	54	우유	24.51	32.49	79	당분	47.31	221.97
14	천연고무	0	0	55	우유제품	24.61	37.02	80	커피 차	20.90	71.67
15	기타작물	0.04	1.65	56	아이스크림	14.84	32.22	81	인삼식품	8.78	32.13
16	종묘	1.44	15.41	00	수산가공품	77.19	43.20	82	홉	9.04	72.69
00	축산	142.30	33.93	57	어육	27.63	70.31	83	두부	32.43	188.95
17	낙농	52.38	61.50	58	수산 통조림	7.14	42.47	84	기타식료품	31.82	87.61
18	육우	31.70	36.50	59	수산 냉동품	7.72	12.81	85	배합사료	40.15	18.74
19	양돈	26.20	18.68	60	수산 저장품	8.90	34.44	00	음료품	170.97	37.40
20	가축	25.82	33.37	61	기타 수산식품	25.81	70.76	86	양조	46.31	148.63
21	양봉	2.01	35.73	00	정곡/제분	33.28	4.46	87	소주	5.09	9.14
22	기타축산	3.56	18.11	62	정미	18.00	2.65	88	탁주	16.63	101.49
23	양잠	0.63	13.96	63	정맥	0.68	3.17	89	맥주	46.18	32.07
00	농업서비스	27.23	58.02	64	제분	14.60	33.22	90	기타 주류	8.92	15.35
24	농업서비스	27.23	58.02	00	제당	52.45	69.22	91	청량음료	47.43	32.00
00	임산물	7.92	5.56	65	원당	0	0	92	어름	0.41	11.37
25	육림	0.76	15.94	66	정제당	52.45	113.12	00	담배	16.49	6.69
26	원목/자재	0.13	0.17	00	빵/과자/면	116.03	51.88	93	담배	16.49	6.69

주 : 직접배출량 단위(t-C), 이산화탄소 배출량원단위(kg-C/10³won)

2) 메탄(CH₄) 배출량 추계가. 논벼 재배에 따른 메탄(CH₄) 배출량

이산화탄소와 같은 온실효과 가스인 메탄은 현재 가정 주목되고 있는 가스 중의 하나이다. 메탄의 기원에는 산소가 없는 생태계에서 미생물의 움직임에 의해서 생성되는 것과 미생물에 유래하지 않는 과정에서 생성되는 것이 있다. 특히 논에서 배출되는 메탄가스는 산소가 없는 상태에서 미생물의 분해에 의해서 발생된다. 그렇기 때문에 메탄의 배출량이라고 하는 것은 담수의 조건, 기온, 재배기간, 재배면적에 의해서 그 크기가 결정된다. 이러한 기초하에 계산을 할 때에는 배출원단위를 추정해야만 한다. 그러나 이러한 조건하에 계산된 정확한 실험치가 국내에는 없고 농업 기술연구소의 연구결과가 있지만 아직 전국의 평균치로서 사용할 정도의 값을 공표하지 않고 있는 실정이다. 그래서 본연구에서는 IPCC의 원단위를 사용한다. 이러한 계산의 근거는 Greenhouse Gas Inventory Workbook, IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol.2) Module 4 Agriculture 와 기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구, KEEI, 그리고 기후변화협약 관련 일본국 국가보고서, 1994를 기본으로 하였다.

<표 3> 벼품종에 따른 재배기간, 재배면적, 재배면적일수 (1990년)

품종군	재배기간(일)	재배면적(천hectare-days)			재배면적(천hectare-days)		
		계	상시담수	간단관개	계	상시담수	간단관개
조생종	111	154	14	140	17,092	1,538	15,554
중생종	126	261	23	237	32,858	2,957	29,901
만생종	146	827	74	753	120,748	10,867	109,881
계	-	1,242	112	1,130	170,698	15,363	155,335

자료 : 농업기술연구소, 1994

<표 4> 벼생육 기간의 평균기온과 물관리 방법에 따른 메탄 배출계수

평균온도 (°C)	메탄배출계수(CH ₄ kg/ha/일)		평균온도 (°C)	메탄배출계수(CH ₄ kg/ha/일)	
	상시담수	간단관개		상시담수	간단관개
15	2.91	1.75	23	4.66	2.80
16	3.09	1.85	24	4.94	2.97
17	3.28	1.97	25	5.24	3.15
18	3.48	2.09	26	5.56	3.34
19	3.68	2.21	27	5.90	3.54
20	3.91	2.34	28	6.25	3.75
21	4.14	2.94	29	6.63	3.98
22	4.39	2.64	30	7.03	4.22

주 : IPCC Default Data

<표 5> 비품종군별 재배기간의 평균기온과 물관리에 따른 메탄의 배출계수

(단위 : CH₄kg/ha/일)

품종군	재배기간의 평균기온	메탄배출계수(CH ₄ kg/ha/일)	
		상시담수	간단관개
조생종	20	3.91	2.34
중생종	22	4.38	2.64
만생종	23	4.66	2.80

주 : IPCC Default Data

그리고 계산에 사용한 기본적 데이터는 <표 9>에 기초하고 여기에 <표 10>의 비생육 기간의 평균기온과 물관리 방법에 따른 메탄 배출계수를 곱하여 비논에서 배출되는 메탄의 양을 추계하였다. 메탄배출에는 퇴비의 사용시기 사용량 사용방법 유기물의 종류 등에 따라 각기 다르지만 본 논문에서는 고려하지 않았다. 평균기온에 대한 설정에 있어서도 정확한 값을 추계하기 위해서는 우리나라의 비 생육기간의 평균기온과 담수일수를 적용하여야 하나 이 또한 IPCC의 통계자료를 사용하였다.

이상에서 우리나라의 연간 비논에서 배출하는 메탄의 양은 총 498,806kg-CH₄이었고 이것을 지구온난화 포텐셜 계수를 적용하여 환산한 결과 연간 2640.712t-C이었다. 이것은 농축산 분야에서 화석연료 사용에 의한 전체 배출량의 약0.2%배에 해당한다.

<표 6> 논에서 연간 배출하는 메탄(CH₄) 추계량

(1990년 재배면적 기준)

물관리 상태	품종군	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
		재배면적 (ha)	재배기간 (일)	재배면적 일수	배출계수 (CH ₄ kg/ha /일)	메탄배출량 (kg-CH ₄)	환산계수 (적산연수 :100년)	배출량 (t-C)
				C=(A×B)		E=(C×D)		G=(E×F)
상시담수	조생종	14	111	1,554	3.91	6,076	21	34.8
	중생종	23	126	2,898	4.39	12,722	21	72.864
	만생종	74	146	10,804	4.66	50,347	21	288.348
	소계	111	-	15,256	-	69,145	21	396.012
간단관개	조생종	14	111	15,540	2.34	36,364	21	20.824
	중생종	237	126	29,862	2.64	78,836	21	451.515
	만생종	753	146	110,522	2.80	309,462	21	1772.373
	소계	1,134	-	155,924	-	424,661	21	2244.712
총 계	-	1,245	-	171,180	-	493,806	21	2640.724

나. 가축과 분뇨에 따른 메탄(CH₄) 배출량

먼저 반추가축의 장내 발효에서 배출되는 메탄을 보면 IPCC가 정해놓은 반추가축을 제외한 기타 가축의 장내 발효에 따른 메탄의 배출계수는 가축의 나이, 무게, 사료 섭취량 등에 따른 구분없이 선진국과 개발도상국으로 나누어 배출계수를 정하였으나 큰 차이를 찾아볼 수 없다.

반추동물로서 대가축에 들며 메탄의 배출량이 많은 소에 대해서는 지역별로 나누어 배출계수를 나누어 정하였는데 젖소는 우유 생산량이 많으면 사료의 섭취량이 많으며 에너지 소모량이 많아서 메탄의 배출량이 많아진다. IPCC에서는 아시아 지역의 젖소는 연간 우유 생산량 1,650 kg을 기준으로 하였지만 실제로 우리나라에서는 5,800kg(농촌진흥청 1994)으로서 아시아 지역의 Default Data하고는 조금 차이가 있다.

따라서 우리나라 혹은 이론의 경우는 IPCC가 정한 추정방법과는 거리가 멀고 오히려 서유럽과 북아메리카의 중간에 가깝다고 할 수 있다. 그러므로 우리나라의 경우는 실제의 시험 연구를 거쳐서 메탄 배출계수를 정하여야 할 것이다.⁹⁾ 그러나 아직 실험결과치가 없고 연구의 목적에 비추어볼 때 IPCC의 Default Data와 같은 국제기간의 데이터가 적합하기 때문에 금번의 연구에서는 IPCC의 Default Data를 적용하였다.⁸⁾

<표 7> 우리나라 가축의 장내발효에서 배출되는 연간 온실효과 가스 배출량

가축종류	A 사육두수 (1,000마리)	B 장내발효배출계수 (CH ₄ /두/년)	C 장내발효배출량 (CH ₄ t/년)	D 탄소 배출량 (t-C/년)
			C=(A×B)	D=C×환산계수
젖소	493	56	27,625	158216
젖소(제주)	3	56	178	1019.45
한육우	31,566	44	68,909	394661
한육우(제주)	29	44	1,295	7417
면양	2	5	12	69
면양(제주)	1	5	4	23
산양	207	5	1,040	5956
산양(제주)	3	5	17	97
말	2	18	45	258
말(제주)	2	18	44	252
돼지	4,310	1.5	6,465	37207
돼지(제주)	85	1.5	127	727
가금류	76,725	-	-	-
가금류(제주)	637	-	-	-
계			105,760	605,716

주 : 메탄의 이산화탄소 환산계수는 적산연수 100년으로 가정하여 21로 계산하였음.

<표 8> 우리나라 가축분뇨에서 배출되는 연간 온실가스 배출량

가축종류	A 사육두수 (1,000마리)	B 분뇨분해배출계수 (CH ₄ kg/두/년)	C 분뇨분해배출량 (CH ₄ t/년)	탄소 배출량 (t-C/년)
				D=C×환산계수
젓소	493	7	3,451	19,765
젓소(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

주 : 1) 1Mg=1ton ; 1Gg=1,000ton

2) 우리나라는 연평균기온이 15℃ 이하로서 Cool지역에 들지만 제주도만 연평균 기온이 15℃ 이상으로 Temperate 지역으로 분류되므로 가축분뇨 분해에서 나오는 메탄배출계수에 차이가 있음.

3) 메탄의 이산화탄소 환산계수는 적산연수 100년으로 가정하여 21로 계산하였음

자료 : 농업기술연구소(에너지 경제연구소의 기후변화협약 국가보고서)

다음으로 가축분뇨의 분해과정에서 배출되는 메탄의 배출계수를 IPCC에서는 선진국과 개발도상국간에 차이를 두고 있는데, 그 이유는 선진국은 축산업이 전업 또는 기업의 형태로 경영되므로 가축분뇨를 메탄 배출이 많은 혐기 상태로 처리하기 쉽지만 개발도상국은 전업농이 적고 대부분 농가에서 작은 규모로 사육하며 작물 재배에 거름으로 쓰거나 말려서 뒀감으로 쓰기도 하기 때문에 메탄의 배출량이 적다. 따라서 우리나라는 IPCC가 정한대로 개발도상국의 조건을 적용하였다.

가축분뇨가 분해되는 속도는 온도에 비례하고 그 분해 속도에 따라 배출계수가 높아진다. 우리나라의 연평균 기온은 제주도를 제외하고는 섭씨15도 이하이므로 Cool Climate 지역을 적용하였다. 소와 돼지는 IPCC의 아시아 지역의 조건의 Default Data를 적용하여 배출계수를 정하였다. 지역특성에 따른 메탄배출계수의 차이가 있는 것은 축산의 경영형태와 가축분뇨의 사용과 그 처리 과정에 따라서 다르기 때문이다. 즉, 제한된 면적에서 대량으로 가축을 기르는 전업농 형태의 축산에서는 어쩔 수 없이 가축분뇨를 액상으로 구덩이나 탱크에 저장하여 처리하면 혐기 상태가 되므로 메탄의 배출이 많다. 그러나 복합영농의 형태에서는 소규모로 가축으로 쓰거나 농경지에 바로 거름으로 사용하므로 메탄의 배출이 적다.⁹⁾

이상의 방법으로 추정된 우리나라의 축산부문에서 연간 배출되는 메탄의 추정량은 <표 13>과 <표 14>에서 보는 바와 같이 가축의 장내발효에서 105,760Mg, 가축분뇨가 분해할 때 10,712Mg 로 모두 116,472Mg(약11만6천5백톤)이 배출되고 있다. 이것을 GWP로 환산해서 탄소 단위로 보았을 때 가축의 장내 발효에 의한 것이 약 605,716t-C/년이고 분뇨의 분해에서의 배출이 약 61,351t-C/년이다.

3) 농경지의 아산화질소(N₂O) 배출량 추계

질소질 화학비료를 토양에 사용할 때 뿐만 아니라 토양에 들어 있는 유기물에서 생긴 질소 성분도 미생물이 분해하여 아산화질소(N₂O)로 만들어 대기 중으로 보낸다. 아산화질소의 배출에는 토양의 온도 강수량 사용하는 비료의 종류 시비방법 토양의 조건 등 몇가지 요인이 작용한다. 그러나 본연구에서는 요인에 따른 추정이 현재로서는 불가능하므로 경제협력개발기구(OECD)의 정해진 값을 적용하였다. 비료 종류별 아산화질소의 배출율을 질소질 비료 사용 성분량에 곱하여 추정하였다.

농경지에 사용한 질소질 화학비료의 양에 따른 N₂O 배출량 추정은 아래와 같은 방법으로 하였다⁸⁾.

$$N_2O-N\text{Emission}(t\ N_2O-N) = \sum (F_f \times E_f) \dots\dots\dots (4)$$

F : 농경지에 사용한 질소비료의 성분량
E : 배출계수(*N* 사용량 *t*에 대한 N₂O-N배출량 *t*)
f : 비료의 종류. N₂O = N₂O-N × 44/28

농경지에 사용한 질소질 화학비료의 양에 따른 아산화질소 배출량은 1990년도 질소질 비료 소비량을 기준으로 삼았다. 비료종류별 N₂O 배출비율은 OECD가 정해놓은 값을 적용하였다.

<표 9> 비료종류에 따른 N₂O-N의 배출 비율

비료 종류	N ₂ O-N 배출비율(%)	
	중앙값	범위
황산암모니아(유안, Ammonium Sulfate)	0.12	0.02-1.5
요소(Urea)	0.11	0.07-1.5
복합비료(Complex Fertilizers)	0.11	0.001-6.84

주 : OECD(1991) Fertilizer derived N₂O emission by fertilizer type

이상과 같은 추정방법으로 계산한 결과 <표 16>과 같이 우리나라 농경지에 사용한 화학비료의 질소성분은 562,342톤이고 여기서 배출된 아산화질소는 최저 304.95톤에서 최고 37,106.06톤으

로서 그 중앙값은 973.13톤으로 추정되었다. 따라서 우리나라의 농경지에 시용한 질소질 화학비료에서 배출되는 N₂O는 약973톤으로 볼 수 있다. 한편 N₂O에 포함된 질소의 양으로 보면 최저 194.06톤에서 최고 23,612.95톤으로 그 중앙값은 619.27톤이 배출되는 것으로 추정되었다.

<표 10> 질소질 비료 소비량에 따른 N₂O의 연간 배출량

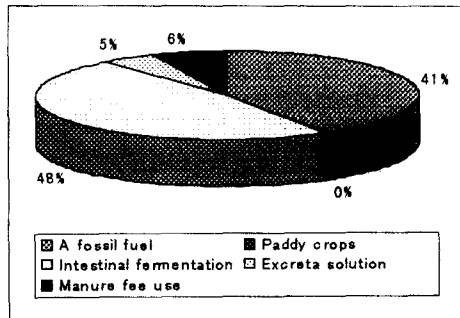
비료 종류	소비량 (N톤/년)	N ₂ O-N 배출율 (%)			N ₂ O-N배출량 (톤/년)			N ₂ O배출량 (톤/년)		
		중앙값	최저	최고	중앙값	최저	최고	중앙값	최저	최고
유 안	6,901	0.12	0.02	1.5	8.29	1.38	103	13.02	2.17	162
요 소	271,205	0.11	0.07	1.5	298.33	189.94	4,068	468.80	298.32	6,392
복합비료	284,227	0.11	0.001	6.84	312.65	2.84	19,441	491.31	4.46	30,055
계	562,342	-	-	-	619.27	194.06	23,612	973.13	304.95	37,106

이러한 결과를 가지고 이산화탄소 환산계수를 곱하여 구한 이산화탄소 배출량은 82,273.72t-C로 계산되었다. 그 결과 식량공급분야에서 배출되고 있는 총 이산화탄소 배출량은 <표 17>과 같이 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량이 1,309t-C이고 농축산분야의 메탄 배출량으로부터 구한 값이 69,705t-C, 비료사용에 따른 N₂O의 배출량으로부터 구한 값이 82,273t-C으로 그 총 배출량은 153,287t-C이었다.

<표 11> 식량공급 분야의 온실효과 가스 총배출량

배출원	배출량
화석연료의 직접연소에 의한 배출	1,561만t-C
논벼의 미생물 분해에 의한 배출	2,640.7t-C
가축의 장내 발효에 의한 배출	605,716t-C
가축 분뇨의 분해에 의한 배출	61,351t-C
질소질 비료의 시용에 의한 배출	82,273t-C
계	1636만t-C

주 : 메탄가스의 탄소환산 계수는 21이며 이산화질소의 탄소환산계수는 310으로 계산했다.



<그림 4> 온실효과 가스의 배출원별 분포

IV. 배출량 삭감을 위한 방안

이상에서 농축산분야 온실효과량의 양을 추계하였다. 본장에서는 이러한 배출량을 어떻게 하면 저감이 가능할 것인가, 그방책을 제시한다.

먼저 이산화탄소 배출량 저감방안을 정리해 보면 가장먼저 성에너지를 생각할 수 있다. 즉, 농축산분야에 있어서 적절 투입에너지에 대한 종합적인 에너지 효율 향상을 시도함으로써 이산화탄소 배출량의 저감을 가져올 수 있을 것이다. 이것을 표로서 나타내면 <표 17>과 같다.

<표 12> 농축산 분야에 있어서 이산화탄소 배출량 저감방안

저감 방안	구체적 내용
에너지 획득 중대기술의 개발	광합성 효율이 높은 우량품종의 육성 미생물의 이용 등에 따른 질소고정의 중대 생산환경의 제어 기술의 향상 환경스트레스, 병충해 저항성 품종의 육성
자원의 순환이용 [획득에너지(유기물)의 유효이용]	유기물 리사이클 시스템의 고도화 (농약, 도시의 폐기물의 사료화, 비료화 등) 가축분뇨 등의 가스화 이용 유통, 가공, 소비과정의 로스 및 품질저하의 감소
화석에너지 소비의 삭감	농업기계 시설의 에너지 효율의 개선 농업기계, 비료, 농약제조에 있어서 에너지 효율의 개선 농업기계화등 내구자재의 내구성의 향상 발전소등 온배수의 활용(특히 원자력등) 액화가스의 냉열이용 시스템의 개발보급
자연에너지 활용	태양, 풍력, 지열, 수력 에너지의 활용 생물에너지의 활용
에너지 소비 시스템의 종합적 개선	적지 적작의 장려 시행 작물재배 체계의 개선 종합방제법의 도입 지역 에너지의 소비 시스템의 개선

특히 이들 방안 중에서 서언에서 언급했듯이 가축분뇨의 공동관리를 통한 가스생산 등 자원의 순환이용은 직접투입 에너지를 대량 삭감하는데 가장 효과가 있는 것으로 보여진다. 예를들면 공동관리 대상의 경기지역에 국한 시켜서 보더라도 경기지역의 가축의 사육두수¹⁾로서 계산하면 가축분뇨 배설물이 총10,135톤이고 이 배설물에 유기물 함량을 일률적으로 10%, 유기물1톤에 대해서 300m³의 메탄이 발생한다고 하면 발열원단위 6,000 kcal/m³로 계산했을 때 석유환산으로 1.824×10¹⁰kcal/년이 얻어진다. 이것은 우리나라 산업전체 가스류 소비량의 0.6135%에 해당하는 것이 된다. 또 산업 전체의 도시가스 소비량의 1.138%에 해당하며 농림수산업에서 1년간 소비하는 석탄의 0.73%, 석유의 0.1305%, 가스의 121.6%에 해당한다. 그리고 산업부문의 프로판 가스의 2.07%에 해당하는 에너지이다. 만약에 우리나라 전체의 가축분뇨를 에너지로 환산하면 보다 큰 수치를 나타낼 것이다.

메탄 배출량에 있어서는 농업기술 연구소의 연구결과에 의하면 볏짚을 모내기 바로 전에 주는 경우보다 가을에 주는 경우 27%의 메탄 저감효과가 있으며 볏짚을 퇴비로 만들어 주는 경

우 38.5%의 메탄 저감이 가능한 것으로 분석하고 있다. 질소질 비료 시비에 있어서도 이러한 영농기술의 개방에 의해 충분히 그효과는 중대하리라고 보여진다. 또 메탄 저감비 품종의 선발과 육성이 요구되며 현재 농업진흥청에서 실시하고 있는 메탄배출 저감 기술지도 또한 지속적으로 하여야 할 것이다.

마지막으로 축산 분야의 메탄 배출저감 방안에 있어서도 환경오염을 고려한 축종별 적정사육두수를 결정하여 과잉사육으로 인한 메탄 배출량 혹은 BOD의 상승을 억제하여야 할 것이다. 또 조사료의 품질개선과 가축생산성 향상 그리고 질산나트륨 이온투과성 계통 반추위 발효조제 등에 의한 반추위내 메탄생성 미생물 군 수의 억제 등을 생각할 수 있다.

가축에 의한 메탄 발생의 또하나의 큰 요인인 분뇨의 분해에 의한 발생에 있어서는 메탄억제도 중요하지만 발생의 전환으로 재이용에 의한 효율화 상승을 시도하고 가축분뇨 처리시설 개발 보급정책 개선을 지속적으로 추진해야 할 것이다.

V. 결 언

이상 농축산 분야에 있어서 지구온난화 가스의 배출량을 추계하고 분석 하였다. 이 분야에 있어서의 직접 화석연료의 연소에 의한 배출은 타 산업에 비해서 아주 미미한 것으로 나타났다. 이러한 의미에 있어 국가 전체의 배출량 삭감을 위한 정책을 추진 할 때에는 농업분야의 배출량 삭감을 극히 어려울 것이라는 것을 밝혀두고자 한다. 그렇지만 바이오 계통의 배출량을 감안하면 결코 무시할 수 없는 분야이기도 하다. 그렇기 때문에 농축산 분야의 정책방안으로서 바이오 계통의 가스를 리사이클 하므로써 화석 에너지의 대폭적인 삭감이 가능하게끔 정책을 추진 하여야 할 것이다. 이렇게 하기 위해서는 아직까지 비용이 많이드는 공동관리 및 가스의 전력화 등에 관한 정부의 지원과 설비 및 운용에 있어서 비용을 절감할 수 있는 기술개발에 전력투구 하여야 할 것이다. 그리고 이러한 거시적 정책의 신뢰성 향상을 위한 기초연구로서 작물별 액상퇴비의 적정 살포량, 면적당 가축의 종류별 적정 사육두수 등이 법률에 의존하지 않고 보다 정확한 실험치로서의 연구결과가 필요하다. 또한 농축산 분야에 새롭게 투입되는 설비에 대한 LCA적 환경친화성 영향평가도 병행되어야 할 것이다. 또한 지금까지 행해져 온 기술과 정책 그리고 생산이 전부 독립개체로서 연구되고, 인식, 평가되어 온 것을 새로운 종합적 시스템의 구축, 예를들면 석유화학의 콤비넨트와 개념을 같이하는 농가, 가축사육, 메탄가스 발전, 에너지 소비 생산시설(유리온실, 화확단지 등), 소비자와의 근거리등의 종합적으로 집단화 된 농업시스템이 개발되어야 할 것이다. 이러한 새로운 농업시스템은 지속가능한 농업이라는 전제를 만족하는 시스템으로 발전시켜야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 유덕기, 「가축분뇨의 공동이용과 환경친화적 적정사육두수」, 『한국유기학회지』, 1997.6.
- 2) 윤성이, 「지구적 관점에서 본 각 화석연료의 환경친화성 평가」, 『한국자원경제학회』, 1998.6.
- 3) 신에너지 산업기술종합개발기구, 『LCA조사 연구』, 1994.
- 4) Society of Environmental Toxicology and Chemistry, A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment, 1993.
- 5) 社団法人 産業環境管理協會, 『LCA日本フォーラム報告書』, 1997.
- 6) 한국은행, 『산업연관분석 해설』, 1987.9.
- 7) 윤성이, 「韓國における産業部門別二酸化炭素排出量の算出および削減に関する研究」, 『エネルギー資源學會』, 1998.9.
- 8) Greenhouse Gas Inventory Workbook, IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(Vol.2)Module 4 Agriculture.
- 9) 상공자원부, 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」, 『에너지경제연구원』, 1994.12.
- 10) 한국은행, 『1990년 산업연관표』, 1993.
- 11) 農林水産大臣官房調査課, 『農林漁業を中心とした産業聯關表』, 昭和59.3
- 12) 농림수산부, 『도표로 본 한국농업』, 1991.
- 13) 농림수산부, 『농림수산통계연보』, 1992.
- 14) 종합연구개발기구, 「식량공급분야におけるエネルギー-소비구조」, 『북해도ビジネスオートメーション 주식회사(HBA)』, NIRA, OUTPUT. 昭和55.5
- 15) 川井一之, 『省エネルギーと農業』, 明文書房, 1975.
- 16) 동력자원부, 『에너지 총조사 보고서』, 1990.
- 17) 기후변화협약에 관련한 일본국 국가보고서, 일본정부, 1994.