

農畜産분야에 있어서 溫暖化 影響評價 및 要因分析

尹性二* · 柳德基**

An Emission Factor Analysis of GHG in a Farming in Korea

Yoon Sung - Yee* · Yoo Duck - Ki**

(목 차)

- | | |
|--------------------|----------------|
| I. 서 언 | IV. 환경부하량 저감방안 |
| II. 배출량 추정과 요인분석모델 | V. 결 언 |
| III. 추정결과의 분석 | 참고문헌 |

I. 서 언

세계기후변화협약에 관련하여 우리 나라의 각 산업은 온실효과 가스의 대응책이 시급한 상황에 있다고 본다. 농업산업분야에 있어서도 당연히 어떤 형태로든지 환경친화적인 생산기술대책을 취하지 않으면 안될 것으로 본다. 친환경농업기술을 추구하기 위해서는 농업활동에 의해 발생되고 있는 온실효과현상을 정확한 파악하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다. 향후 농축산분야에 있어서의 규제가 총량규제가 될 것인지 혹은 저감비용을 고려한 자유경쟁에 의한 감소형태로 진행될 것인지는 아직 예측하기가 쉽지 않지만 그 저감대책의 실시에는 현상의 정확한 분석이 필요하다는 것이다. 이에 대하여 선진농업국에서는 이미 기후변화협약에 따른 친환경농업을 구체화할 수 있는 기술개발을 해 놓은 상태이나 아직 우리의 경우 농업산업에 있어서 정부나 학계, 그리고 영농종사자들에 의해 소외되고 주목을 받지 못하고 있는 실정이다. 농업분야에서는 비농업부문과 비교하면 에너지절약 정책도 취약하며, 정확한 온실효과 가스발생량의 추정방법도 제시되지 못하고 있는 실정이다. 이는 농업산업의 특성에 따른 어려움도 존재한다고 하겠으나 급후 온난화 문제에 의한 농업분야의 대응책을 강구하기 위해서는 반드시 기초연구가 필요하다고 본다.

* 일본에너지경제연구소책임연구원.

** 동국대학교 생명자원경제학과 교수.

따라서 본 연구에서는 산업연관표를 이용하여 화석에너지 소비실태를 파악하고 농축산분야별 온실효과가스의 정량적 평가분석을 하며, 화석연료의 소비이외에 비료소비와 농축산분야의 특성에서 고려할 수 있는 온실효과가스의 발생량을 추정하고자 한다. 이를 통하여 화석에너지 사용에 의한 이산화탄소 배출량에 대한 요인분석을 함으로써 지금까지의 배출량 증가에 어떠한 요인이 작용하여 왔으며 어떠한 형태로, 어느 정도의 영향을 미치고 있는가를 분석하고자 한다. 또한 이러한 요인분석의 결과를 바탕으로 온실효과가스의 저감방안을 함께 제시하고자 한다.

II. 배출량 추정과 요인분석 모델

1. 온난화가스의 추정모델

본 장에서는 기후변화협약의 배출량 규제의 기준연도인 1990년을 기준으로 온난화 부하량을 추정하고자 한다. 추정에 필요한 자료는 산업연관표와 농림통계 그리고 IPCC 보고서와 OECD 보고서 등을 사용하였다.

연구의 목적을 달성하고자 생산부문을 대상으로 하였으며 특히 408 기본분류의 산업연관표를 171분류로 조정하고 농업부문은 93부문으로 조정하였다. 농업부문에서 배출되는 이산화탄소는 화석연료 등의 에너지사용에 의해서 발생하고 상품을 생산, 분배하는 전 과정에서 직접적으로 발생하며 이산화탄소가 연료의 연소과정에서 발생하는 전량이 대기 중에 방출된다고 가정하였다. 또한 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료 기원의 배출을 추계의 배출원으로 전제 하였다. 단, 이산화탄소 배출량 요인분석을 위한 산업연관분석에 있어서는 1985년 분석을 함께 하였다. 그리고 농축산업의 특징으로부터 담수 논에서 배출되는 메탄과 초식동물의 분뇨, 그리고 제1위에서 발효되는 메탄의 양을 추계의 대상으로 하였다. 연료종류 및 배출계수의 설정에 있어서는 국내에서 실제로 공급 혹은 소비되는 연료종류를 반영하고 가능한 구체적인 연료종류의 성분분석을 기초로 하여 배출계수를 설정하였다.

배출량산출모델을 이용하여 화석연료의 소비로부터 배출되는 이산화탄소의 총량 Y 는 $Y = \sum_i E_i w_i X_i$ 로 계산할 수 있다.

이 경우 i : 연료의 종류, E_i : 연료 i 의 발열량, X_i : 연료 i 의 소비량, w_i : 연료 i 의 배출계수이다.

그러나 이러한 모델산출을 하기 위해서는 작물별 에너지소비량이 데이터로서 정비되어 있지 않으면 불가능하다. 농업부문전체의 에너지 소비량 등은 통계로 수집할 수 있지만, 세부적 작물별 통계는 없는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 산업연관표를 이용해 이산화탄소의 배출량을 계산하였으며 메탄과 이산화질소에 관해서는 IPCC와 OECD의 원 단위를 이용하여 산출하였다.

1) 이산화탄소의 배출량 추계모델^{1),2)}

산업연관표에 의한 배출량 추계모델에 관해서 살펴보면, 제 i 부문의 생산액 당 이산화탄소, 배출계수 w_i 는 화석연료의 종류 j 에 j 연료의 이산화탄소 배출계수 ϵ_j 에 i 산업의 j 연료사용량 ϕ_{ij} 을 곱해서 합산하였다. 여기서 w_i 를 직접배출계수라고 정의한다. 제 i 부문의 배출량 C_i 는 그 부문의 직접배출계수 w_i 에 그 부문의 생산액 X_i 를 곱하여 구한 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음 (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 : 각 산업부문의 이산화탄소 직접배출량, X_i : i 산업의 총생산액,
 w_i : i 산업의 단위 생산액 당 이산화탄소 직접배출 계수,
 ϵ_j : 화석연료의 이산화탄소 배출계수, ϕ_{ij} : i 산업의 j 연료 사용열량

직·간접배출량, 즉 최종 소비재를 생산할 때의 이산화탄소 직접배출량에 그 최종 소비재의 생산을 위하여 투입된 중간재의 생산으로부터 배출되는 이산화탄소를 가산한 배출량을 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 표시할 수가 있다.

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

t_j : j 부문의 생산액 단위당 직접·간접 이산화탄소 배출계수

이 식으로부터 국내 최종수요 및 수출로부터 유발되는 이산화탄소 배출량 Y_i 는 (식3)으로 표시된다.

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

Y_i : 이산화탄소 배출량, F_i : 최종수요, E_i : 수출

여기서 직접배출계수와 간접배출계수의 의미를 정의하면 이산화탄소의 직접 배출계수가 직접 에너지의 소비에 의하여 발생하는 단위 생산액당 이산화탄소 배출량인데 대하여 간접배출계

수는 그 산업에 투입된 원재료 혹은 중간재를 생산하기 위해서 발생한 이산화탄소까지를 고려한 배출계수를 의미한다.

2) 메탄배출량 설정기준

메탄은 자연적인 발생, 즉 습지, 흰개미, 해양 등에서 발생하고 인위적인 발생은 천연가스, 석탄광산, 석유광업, 석탄연소, 반추동물, 수도작, 바이오매스 연소, 매립지, 축산분뇨, 가정하수 등에서 발생하고 있다. 그러나 본 연구는 농축산분야의 인위적 발생원인 반추동물과 수도작 그리고 축산분뇨를 대상으로 하였다.

(1) 수도작의 메탄배출량^{3),4),5)}

메탄의 기원에는 산소가 없는 생태계에서 미생물의 움직임에 의해서 생성되는 것과 미생물에서 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, 수리관리 방법(상시담수와 간단 관개의 2분류), 재배면적에 의해서 그 크기가 결정된다. 이러한 기초 하에 메탄 배출량을 계산할 경우에는 배출원 단위(CH_4 -kg/ha/일)를 추정해야만 한다. 그러나 이러한 조건하에 계산된 정확한 실험치가 발표된 것이 국내에는 전무한 실정이며 농업 기술연구소의 연구결과가 있으나 아직 전국의 평균치로서 사용할 정도의 대표치를 공표하지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 IPCC의 배출원 단위를 사용하였다.

담수일수에 대해서는 조생종과 중생종 그리고 만생종으로 구분하여 조생종은 섭씨19℃, 중생종은 21℃, 만생종은 23℃로 설정하였다. 메탄배출 요인으로는 유기물의 종류, 시비량, 시비시기 등을 고려할 수 있으며 이들 요인에 의해 배출계수가 다르게 나타난다고 볼 수 있다. 메탄배출에는 물론 퇴비의 시비시기, 시비량, 시비방법, 유기물의 종류 등에 따라 각기 다르게 나타나겠으나 본 논문에서는 고려하지 않았다. 평균기온에 대한 설정에 있어서도 정확한 값을 추계하기 위해서는 우리 나라의 벼 생육기간의 평균기온과 담수일수를 적용하여야 하나 이 또한 IPCC의 통계자료를 사용하였다.

(2) 축산분뇨의 메탄배출량^{3),4),6)}

가축의 경우 메탄의 배출에 있어서는 반추가축의 소화에 의해서 발생하는 메탄배출과 가축의 배설물인 분뇨에 의해서 발생하는 메탄배출로 크게 구분할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 경우를 분리하여 추정하고자 한다. 반추동물에 의한 메탄의 배출계수(CH_4 -kg/ha/일)는 가축의 종류, 나이, 무게, 사료의 양과 질에 따라 다르고 가축의 에너지 소모량에 따라서도 다르게 나타난다. 축산분뇨에서 배출되는 배출계수(CH_4 -kg/ha/일)는 축산의 경영형태, 분뇨의 조성분과 지역의 연평균기온 등에 따라서 다르다. 축산부문에서 메탄을 추정하기 위해서는 이러한

두 가지 경우의 메탄 배출계수에 각각 사육두수를 곱하여 얻은 값을 합하여 산출하고 있다.

먼저 반추가축의 장내 발효에 의해서 배출되는 메탄을 보면 IPCC가 정해 놓은 반추가축을 제외한 기타 가축의 장내발효에 따른 메탄배출계수는 가축의 나이, 무게, 사료 섭취량 등을 고려하지 않고 선진국과 개발도상국으로 구분하여 배출계수를 설정하였다.

반추동물로서 메탄의 배출량이 많은 소에 대해서는 지역별 배출계수를 고려하였다 젖소는 우유 생산량이 많으면 사료의 섭취량이 많아지며 에너지 소모량 역시 많아서 메탄배출량이 많아지게 된다. IPCC에서 제시하고 있는 아시아 지역의 젖소는 두당 평균우유생산량을 1,650kg/년을 기준으로 배출량을 추정하고 있으나 실제 우리 나라의 연평균 두당 우유생산량은 5,800kg(농촌진흥청 1994)으로서 아시아 지역의 Default Data를 적용하는 데에는 한계를 가지고 있다고 본다. 따라서 우리 나라의 경우는 IPCC가 정한 아시아지역의 기준을 적용하는 것보다 오히려 서유럽과 북아메리카의 중간수준에 해당된다고 할 수 있을 것이다. 우리 나라도 실제의 시험 연구를 거쳐서 메탄 배출계수를 정하여야 할 것이나 아직 이에 대한 실험 결과가 없기 때문에 IPCC의 Default Data와 같은 국제기관의 데이터를 기준으로 본 연구에 적용하였다.

IPCC는 가축분뇨의 분해과정에서 배출되는 메탄의 배출계수를 선진국과 개발도상국간에 차이를 두고 있다. 그 이유는 선진국은 축산업이 전업 또는 기업의 형태로 경영되므로 가축분뇨의 메탄배출이 많은 혐기 상태로 처리하기 쉽지만 개발도상국은 전업농이 적고 대부분 농가에서 소규모로 사육하며 작물재배용 유기질 비료로 사용하거나 건조시켜 똥감으로 사용하기 때문에 메탄의 배출량이 상대적으로 적게 나타나고 있다. 따라서 우리 나라는 IPCC가 정한 데로 개발도상국의 조건을 적용하였다.

가축분뇨가 분해되는 속도는 온도에 비례하고 그 분해 속도에 따라 배출계수는 높아지는 특성을 가지고 있다. 우리 나라의 연평균 기온은 제주도를 제외하고는 섭씨15도 이하이므로 Cool Climate 지역을 적용하였으며 소와 돼지는 IPCC의 아시아 지역조건의 Default Data를 적용하여 배출계수를 정하였다. 또한 지역특성에 따른 메탄배출계수의 차이를 보이는 것은 축산경영 형태와 가축분뇨의 사용과 그 처리 과정에 따라서 메탄배출량이 다르기 때문이다. 즉, 제한된 면적에서 대량으로 가축을 기르는 전업농 형태의 축산에서는 가축분뇨를 액상으로 탱크에 저장, 혐기상태로 처리되므로 메탄배출량이 많다. 그러나 복합영농형태에서는 소규모로 가축을 사육하거나 농경지에 단기간 시비하므로 메탄의 배출량이 적게 나타나게 된다.

3) 아산화질소 배출량 산출모델^{6),7),8)}

질소질 화학비료를 토양에 시비할 경우뿐만 아니라 토양내 유기물에서 생긴 질소성분도 미생물이 분해하여 아산화질소(N_2O)를 형성하여 대기중으로 방출하게된다. 아산화질소는 자연으로부터는 해양, 열대토양의 습지, 건조한 사바나, 열대토양의 삼림과 초지 등에서 발생하고 있으며 인위적으로는 농경지, 바이오매스 연소, 공업, 가축배설물의 유기성분 등에서 발생하고 있다. 아산화질소의 배출에는 토양의 온도, 강수량, 시용비료의 종류, 시비방법, 토양의 조건

등 다양한 요인들이 작용하게 된다. 그러나 본 연구에서는 추정을 위한 요인분석자료가 전무한 실정이므로 경제협력개발기구(OECD)에서 정한 배출기준치를 적용하여 비료 종류별 아산화질소의 배출율을 질소질 비료 성분함량에 곱하여 추정하였다. 즉 질소질 화학비료의 양에 따른 N₂O 배출량 추정은 농경지에 시비한 질소질 화학비료의 양에 OECD가 정해 놓은 비료종류별 N₂O 배출비율을 곱하여 계산하였다(식4).

$$N_2O = \sum (F_i \times E_i) \times \frac{44}{28} \dots\dots\dots (4)$$

F : 농경지에 사용한 질소비료의 성분량, *E* : 배출비율($N_2O - N / N_i$),
i : 비료의 종류

가축배설물의 유기성분에 의한 N₂O의 발생량 계산은 일본가축협회의 계산방법과 기타 자료(유더기)를 바탕으로 N₂O의 발생량을 추정하였다.

2. 이산화탄소 배출 요인분석 모델^{9),10)}

여기에서는 이산화탄소 배출모델로부터 얻어진 결과를 사용해서 이산화탄소 배출의 요인에 대한 분석을 할 수 있는 모델을 살펴보고자 한다. 본 분석모델은 산업연관표를 사용하여 산업 부문별 성장요인분석인 M. Syrquin모델을 총 이산화탄소 배출량의 변화요인을 분석할 수 있도록 개량한 것이다. M. Syrquin모델은 산업연관분석의 수급균형식으로부터 외생변수인 국내 최종수요 및 수출변화에 대한 산출량추정이 가능한 장점을 가지고 있다. 이 외생변수 및 산출량의 변화를 측정하는 기준으로서 GDP의 성장배율 $\left(\lambda = \frac{GDP_{t+1}}{GDP_t} \right)$ 가 사용되고 있다.

즉 *t*期和 *t+1*期の 사이에 소비투자 수출과 같은 외생변수가 같은 기간의 GDP성장배율과 같은 비율로 변화하면 전 산업은 동일한 비율로 성장하는 것이 된다. 그러나 외생변수가 GDP 성장 배율보다 크게 증감하여 산업성장을 촉진하거나 산업성장을 저하시키는 경우에는 *t+1*期の 실제 산출량은 최종수요가 λ 배만큼 비례적으로 변화한 경우의 산출량과는 차이를 나타낸다. 이와 같이 외생변수의 변화와 GDP변화의 차이가 투입산출관계에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 보다 정확히 규명할 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉 GDP deflator를 사용하여 *t*연도의 실질 GNP를 구하지 않고 위에서 설명한 것처럼 산업연관분석의 수급균형식을 사용한 모델인 것이다. 그러나 본 연구에서는 경제분석에서 일반적으로 사용되고있는 GDP deflator를 사용하여 *t*연도의 불변가격 GNP를 구하고 *t*연도의 이산화탄소 총 배출의 밸런스식을 고려하

였으며 이를 산업연관분석의 수급균형식을 사용해서 모델화 하였다.

이산화탄소 배출량 변화에 영향을 미치는 요인은 유발계수와 최종수요로 크게 나눌 수 있다. 즉 비교연도의 최종수요 및 형태의 변화와 산업간의 기술적인 관계변화가 총 이산화탄소 배출량의 증감에 영향을 미친다는 것이다.

$t+1$ 期和 t 期の 산업별 이산화탄소 배출량의 차이를 δY 라고 하면 다음의 (식5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta Y = Y_{t+1} - Y_t \dots\dots\dots (5)$$

특정기간(t 期)의 산업부문별 이산화탄소 배출량은 (식6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_t = w_t \times X_t = w_t \times (I - A^d)^{-1} (F_t + E_t) \dots\dots\dots (6)$$

이때 최종수요의 수입의존도를 대각성분에 배치한 대각행렬 (M_j)을 대치시키면 위 식은 (식7)로 표현할 수 있다. 여기서 첨자 d 는 국내 생산분을 의미한다. F_t 는 수입을 포함한 최종수요를 의미한다.

$$Y_t = w_t (I - A^d)^{-1} \{(I - M_t) F D_t + E\} \dots\dots\dots (7)$$

w_t : 이산화탄소 직접배출계수, A^d : 국내 생산분의 투입계수,

M_t : 수입의 대각행렬, FD : 수입을 제외한 최종수요, E : 수출

여기서 대각행렬 M_t 의 대각성분 m_j 는 FD 와 FD^d 의 j 번째의 요소 $d_j \cdot d_j^d$ 을 이용해서 다음과 같이 표시한다.

$$m_j = (d_j - d_j^d) \div d_j \dots\dots\dots (8)$$

총 이산화탄소 배출량의 차이를 식으로 나타내면 다음과 같은 식으로 된다.

$$\begin{aligned} \delta Y &= Y_{t+1} - Y_t \\ &= w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_{t+1}) FD_{t+1} + E_{t+1}\} \\ &\quad - w_t (I - A_t^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

이식의 우변에 $w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\}$ 을 가감하여 정리하면 다음과 같은 변형식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta Y &= w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_{t+1}) FD_{t+1} + E_{t+1}\} \\ &\quad - w_t (I - A_t^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \\ &\quad + w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \\ &\quad - w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \\ &= w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_{t+1})(FD_{t+1} - FD_t) + (E_{t+1} - E_t)\} \\ &\quad + w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} \{(I - M_{t+1}) FD_t - (I - M_t) FD_t\} \\ &\quad + \{w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} - w_t (I - A_t^d)^{-1}\} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \\ &= w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (I - M_t) \delta FD + w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (I - M_t) \delta E \\ &\quad - w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (M_{t+1} - M_t) FD_t \\ &\quad + \{w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} - w_t (I - A_t^d)^{-1}\} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

(식9)의 우변의 4항에서 배출계수와 산업간의 기술적 관계를 나타내는 레온티에프 역행렬의 요인을 분리하여 분석하기 위해서는

$$w_t (I - A_t^d)^{-1} \{(I - M_t) FD_t + E_t\} \text{을 가감하면 다음과 같이 최종 정리된다.}$$

$$\begin{aligned} \delta Y = & w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (I - M_t) \delta FD + w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (I - M_t) \delta E \\ & - w_{t+1} (I - A_{t+1}^d)^{-1} (M_{t+1} - M_t) FD_t \\ & + w_t \{ (I - A_{t+1}^d)^{-1} - (I - A_t^d)^{-1} \} \{ (I - M_t) FD_t + E_t \} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

우변의 제1항은 국내수요의 변화에 따른 효과이다. 이것은 최종수요 항목 중에서 민간과 정부의 소비, 투자, 재고의 변화에 따라서 변화된 이산화탄소의 량을 의미한다. 제2항은 수출변화의 효과이다. 특별히 최종수요에서 분리시킴으로써 수출의 변화에 따라 이산화탄소량의 증감을 알 수 있다. 제3항은 국내수요의 수입대체 효과이다. 국내에서 생산하여 소비하던 것을 수입하는 것으로부터 이산화탄소의 배출량이 어떻게 변화하는가를 알 수 있다. 제4항은 이산화탄소 배출계수의 변화효과이다. 에너지 사용량과 종류에 따른 이산화탄소 배출을 명확하게 분석할 수 있다. 제5항은 산업간의 중간수요(기술변화)에 따른 이산화탄소의 변화를 나타내는 것이다.

이 모델을 1985년과 1990년간에 적용시켜서 이산화탄소의 변화가 어떠한 요인에 의하여 주도되었는가를 분석한 결과를 보면 다음과 같다.

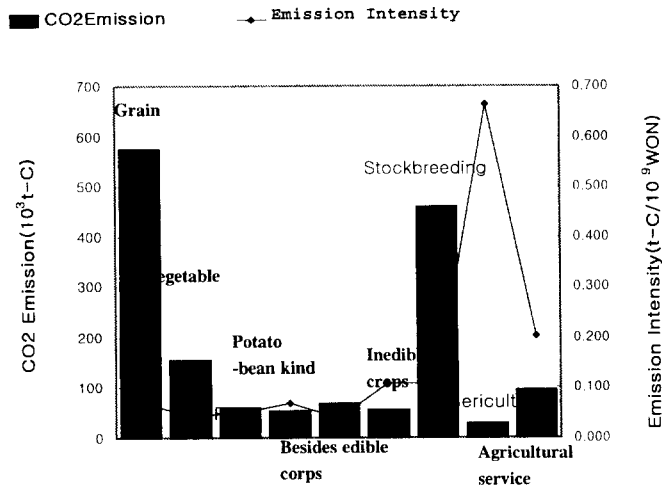
Ⅲ. 추정결과의 분석

1. 이산화탄소(CO₂) 배출량 산출

(그림1)에서 알 수 있는바와 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 순위로 나타났다.

이러한 각 부문의 배출량 및 배출원 단위를 수치로 보면 곡물이 575×103t-C, 0.071t-C/109won이고 야채부문이 157×103t-C, 0.043t-C/109won, 과일부문이 60×103t-C, 0.051t-C/109won, 감자 및 서류부문이 54×103t-C, 0.069t-C/109won, 기타 식용부문이 70×103t-C, 0.040t-C/109won, 비 식용 부문이 57×103t-C, 0.110t-C/109won, 축산부문이 459×103t-C, 0.108t-C/109won, 양잠부문이 30×103t-C, 0.664t-C/109won, 농업서비스 부문이 96×103t-C, 0.205t-C/109won이었다. 이상의 농축산부문 전체의 총 이산화탄소 배출량은 1,561×103t-C이었다.



(그림 1) CO₂배출량 및 배출원 단위의 추정결과

2. 메탄(CH₄) 배출량 추계

먼저 벼 재배에 따른 메탄(CH₄) 배출량을 이미 언급한 바와 같이 벼 생육기간의 평균기온과 물 관리 방법에 따른 메탄 배출계수를 곱하여 답작에서 배출되는 메탄량을 추정하였다. 그 결과 우리나라의 연간 답작에서 배출하는 메탄량은 총 479천-CH₄이었고 이것을 지구온난화 포텐셜 계수를 적용하여 환산 한 결과 연간 2,749천-t-C이었다. 이것은 농축산 분야에서 화석 연료 사용에 의한 전체 배출량의 약1.8배에 해당된 것이다.

두 번째로 가축과 가축분뇨에 따른 메탄(CH₄) 배출량을 앞에서 설명한 모델을 이용하여 추정한 결과, 우리나라의 축산부문에 연간 배출되는 메탄의 추정량은 가축의 경우 장내발효에 의한 메탄 배출량이 1,425천-t-CH₄/년이고 메탄의 이산화탄소 환산계수를 적산연수 100년으로 가정하여 계산하면 8,165천-t-C이었다. 가축분뇨에 의한 메탄배출은 40천-t-CH₄/년이고 메탄의 이산화탄소 환산계수를 적산연수 100년으로 가정하여 계산하면 233천-t-C/년으로 분석되었다. 이상의 결과를 나타낸 것을 보면 <표 1>과 같다.

<표 1> 농축산 부문에 있어서의 메탄 배출량

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

3. 농경지의 아산화질소(N₂O) 배출량 추계

우리 나라 농경지에 시비한 화학비료의 질소성분은 562,342톤이고 여기서 배출된 아산화질소는 최저 30.5천t-N₂O에서 최고 3,715천t-N₂O로서 그 중앙값은 97천t-N₂O로 추정되었다. 따라서 우리 나라의 농경지에 시비한 질소질 화학비료에서 배출되는 N₂O는 약 973톤으로 파악된다. 이러한 결과를 이산화탄소로 환산하여 계산하면 최저 2,578천t-C이며 최고 313,712천t-C로 그 중앙값은 8,227천t-C로 추정되어 우리 나라 농경지의 질소질비료 시비에 의한 이산화탄소 배출량은 약 8,227천t-C로 볼 수 있을 것이다(〈표 2〉 참조).

그리고 가축의 배설물에 의한 아산화질소의 발생은 약5.56천톤이고 이것을 이산화탄소로 환산하면 470천 톤인 것으로 나타나고 있다.

〈표 2〉 질소질 비료 소비량에 따른 N₂O의 연간 배출량

| 비료종류 | N ₂ O-N 배출율(%) | | | N ₂ O배출량(10 ³ 톤/년) | | | CO ₂ 환산(10 ³ t-C/년) | | |
|------|---------------------------|-------|------|------------------------------------------|-------|------|-------------------------------------------|---------|-------|
| | 중앙값 | 최저 | 최고 | 중앙값 | 최고 | 최저 | 중앙값 | 최고 | 최저 |
| 유안 | 0.12 | 0.02 | 1.5 | 1 | 16 | 0.2 | 110 | 1,375 | 18 |
| 요소 | 0.11 | 0.07 | 1.5 | 47 | 639 | 30.0 | 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 계산한 것임.

〈표 3〉 가축의 배설물의 유기성분에 따른 N₂O의 연간 배출량

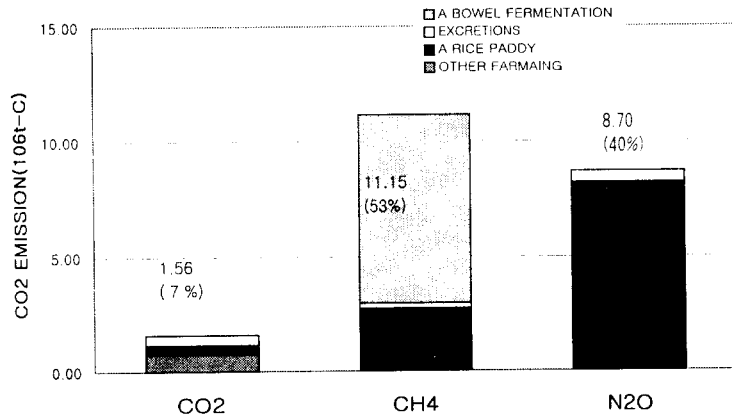
| | 사육두수 (만 마리) | 평균 분뇨 발생량 | | 질소 함유량 | | 질소 발생량 (10 ³ t-N ₂ O/yr) | CO ₂ 발생량 (10 ³ t-C/y) |
|-----|----------------|-----------|---------|--------|------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | | 분(kg/d) | 뇨(kg/d) | 분(%) | 뇨(%) | | |
| 젖소 | 50 | 21.9 | 11.1 | 0.4 | 0.8 | 3.2 | 274.2 |
| 한우 | 162 | 12.7 | 3.6 | 0.4 | 0.8 | 1.5 | 123.7 |
| 돼지 | 453 | 2.4 | 4.0 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 68.3 |
| 가금류 | 7,519 | 0.14 | - | 2.0 | - | 0.05 | 4.2 |
| 합계 | | | | | | 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 나타난 이산화탄소 배출량은 〈그림 2〉에서 알 수 있는 바와 같이 2,140만t-C로 산출되었다. 그 결과 이산화탄소는 기타 농업부문에서 773천t-C, 논에서 356천t-C, 가축분뇨에서 432천t-C이 각각 배출되었으며 메탄에 의한 이산화탄소 환산 배출량은 논에서 2,749천t-C, 가축분뇨에서 233천t-C, 장내발효에 의한 것이 8,165천t-C이었다. 아산화질소의 경우는 논에서 8,227천t-C 배출하고 가축 배설물의 유기물에서 470.4천t-C 배출하였던 것으로 나타나고 있다.

또한 농축산업 전체에서 배출된 온실효과 가스 배출량 중 CO₂에 의한 것이 7%, 메탄에 의한 요인이 52%, 아산화질소에 의한 요인이 40%인 것으로 나타나고 있다. 이러한 농축산분야의 총 온실가스 발생량은 산업전체의 화석연료에 의한 배출량¹⁴⁾의 약 31.8%에 해당되고 있는 것이다.



주) CH₄, N₂O는 이산화탄소 기준으로 환산한 것임.

〈그림 2〉 가스별의 환경부하 배출강도 내역

IV. 환경부하량 저감방안

1. 화석연료의 연소에 의한 배출량(CO₂) 요인분석

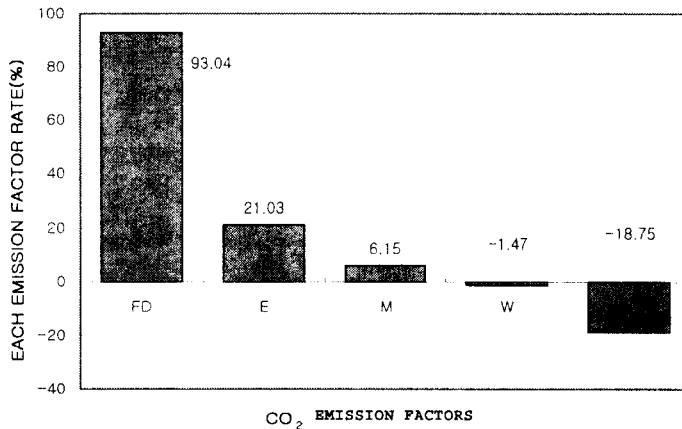
지금까지 탄산가스 배출량 요인분석 모델을 이용하여 1985년과 1990년 사이의 이산화탄소 배출변화의 요인을 분석하였다.

그 결과를 보면 〈그림 3〉에서 살펴볼 수 있다.

그림에서 나타난바와 같이 최종수요에 의한 것이 93.04%로 배출량에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 그 다음이 수출에 의한 배출량이 21.03%이고 수입대체가 6.15%의 영향을 미치고 있다. 배출계수와 기술변화에 의해서는 -1.47%와 -18.75%를 나타내었다. 즉 이산화탄소 배출을 감소하는데 기여한 요인이 배출계수와 기술변화라고 할 수 있다.

바꾸어 말하면 분석기간 중에 있어서는 우리 나라 산업부문의 기술변화가 농업분야의 이산화탄소 배출 감소에도 많은 영향을 주고 있다고 볼 수 있으며 농업부문의 배출계수는 분석기간 중 그렇게 많은 영향을 주지 않았다고 할 수 있을 것이다.

따라서 향후 배출계수에 의한 환경친화적 연료정책을 고려해야 할 것으로 본다. 예를 들면 석탄과 중유 혹은 경유와 휘발유 등의 석유제품소비를 감소시키고 도시가스나 LPG 등의 연료로 대체한다거나 농업부문에서 발생하고 있는 메탄가스를 재활용 할 수 있는 에너지 절약에 관한 기술개발연구와 함께 에너지 대체에 의한 에너지 효율성을 향상시키는 데에도 주력해야 할 것이다.



〈그림 3〉 화석연료 사용에 의한 CO₂ 배출량 요인분석

이상의 요인분석에 따른 결과를 보면 일반 산업부문과 같이 보다 세부적인 요인분석이라고는 할 수 없지만 이상의 결과만으로도 정책적 방안과 분석모델개발 및 향후 연구에 큰 의미를 가지고있다고 할 수 있겠다.

2. 미량 온실효과 가스의 저감방안 ^{6),11),12),13)}

온실효과의 가스저감에는 토질변화와 관리(CO₂, CH₄, N₂O), 농지이용과 관리(CO₂, CH₄, N₂O), 식물고정 연료(CO₂), 가축 배설물 등의 재 이용(CO₂, CH₄, N₂O), 축산(CH₄), 수도작 경작시스템(CO₂, CH₄, N₂O), 작물 영양관리(CH₄, N₂O), 전작 질소 투하의 최소화(CH₄, N₂O) 등을 생각 해 볼 수 있다. 이러한 옵션에 대하여 IPCC의 메탄, 아산화질소의 저감 추정량을 기초로 우리 나라의 저감 가능량을 계산한 것이 <표 4>와 <표 5>이다.

이상에서 미량 온실효과 가스의 저감 가능량을 계산한 결과를 보면 메탄이 3785천t-C, 아산화질소가 1,668천t-C로 5453천t-C이었다. 이러한 저감 가능량은 우리 나라의 농축산업에서 배출하고 있는 총 배출량의 25.5%에 달하며 이는 미량 온실효과 가스 배출량의 27.5%에 달하는 수치이다.

〈표 4〉 가축의 내장, 분뇨 및 논에서의 메탄 저감기술별 삭감 가능량

| 내역 | 저감기술 | 저감가능비율 | 저감가능량(10 ⁴ t-C) |
|--------|-----------------|----------|----------------------------|
| 가축 | 사료와 양분 바란스의 개량 | 17(7-24) | 1894(668-2675) |
| | 사료 소화능력의 증강 | 1(1-2) | 111(0-222) |
| | 생산-증가약품 | 1(1-4) | 111(0-445) |
| | 동물의 유전자의 개량 | - | - |
| | 재생산 효율의 개량 | - | - |
| 가축 배설물 | 피복된 저류장 | 2(1-5) | 222(111-445) |
| | 소규모의 분해시설 | 1(0-1) | 111(0-111) |
| | 대규모의 분해시설 | - | - |
| 수도작 | 물 관리 | 3(2-7) | 334(222-668) |
| | 양분관리 | 7(2-10) | 668(111-1114) |
| | 신품종과 타 품종의 경작관리 | 3(2-7) | 334(111-668) |
| 총계 | | | 3785(1223-6348) |

주) 저감 가능량은 중간(최소-최대)을 나타내고, 비율은 IPCC 보고서로부터 추정된 것임.

〈표 5〉 화학비료와 질소비료 이용방법의 개량에 따른 N₂O의 저감 가능량

| 기술 | 삭감가능비율(%) | 삭감가능량(10 ³ t-C) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| 1) 작물 요구량에 맞춘 질소량 * 필요한 질소량의 토양/작물 진단 * 무기질소의 축적을 제한하는 최소 휴경기간 * 최적 시비계획 * 과잉생산 지역에 있어서 감산을 위한 시비체계 | 7.8 | 591 |
| 2) 질소순환의 관리 * 작물생산에 있어서 퇴비의 재이용(축산-작물생산 복합 시스템) * 작물잔사 질소의 유지 | 4 | 347 |
| 3) 새로운 시비 기술의 활용 * 새로운 기능성 비료의 활용 * 시비위치의 검토 * 엽면살포의 검토 * 硝化억제제의 활용 * 강우기간에 적합한 시비체계의 확립 | 4.2 | 365 |
| 4) 최적경작/관개/배수 | 4.2 | 365 |
| 합계 | | 1668 |

주) 저감가능 비율은 IPCC 보고서의 계산결과로부터 추정된 것임.

또 메탄 배출량에 있어서는 33.95%, 아산화질소의 배출량에 대해서는 19.17%에 달하는 수치이다.

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

그밖에 이러한 기술 이외에도 메탄가스의 에너지화를 통하여 화석에너지의 삭감분을 계산한다면 더욱 큰 감소효과를 가질 수 있을 것이다.

V. 결 언

농축산업에 있어서 온난화가스의 배출량을 GWP 적산연수 100으로 환산한 결과를 보면 화석연료 에너지 사용을 포함한 논에서의 배출량이 전체의 52.94%정도를 나타내고 있고, 가축에 의한 것이 43.45%, 기타가 3.61%이었다. 이 중 논에서의 배출량 중에는 CO₂가 3%, CH₄가 24%, N₂O가 73%를 나타내었다. 가축의 경우는 CO₂가 5%, CH₄가 95%, N₂O가 5%를 나타내었다. 그리고 전체 배출량중 CO₂가 7%, CH₄가 53%, N₂O가 40%를 나타내었다.

이상의 농축산분야의 분석결과에 의하면 직접화석연료의 연소에 의한 배출은 타 산업에 비교해 보면 상대적으로 적은 량으로 나타나고 있다. 그러나, 바이오매스(biomass)계의 배출량을 고려하면 결코 무시할 수 없는 배출량이라고 본다(전체의 31.8%). 따라서 농수산분야의 정책 방안으로서는 단기적으로는 바이오 에너지를 리사이클 함에 따라 화석에너지를 대폭삭감 할 수 있는 정책방안을 마련하여야 할 것으로 본다. 장기적으로는 농축산분야의 생산단계에 있어서 각 온실효과가스의 배출계수를 감소할 수 있는 생산시스템과 유기적 조직운영을 위한 연구를 추진하는 것을 들 수 있다.

본 연구에 적용, 분석한 각 배출원단위는 아직 그 정밀성이 높다고는 할 수 없다. 따라서 매크로적인 정책의 신뢰성을 높이기 위해서 각 년도별 정확하고 세부적인 가스의 배출원단위의 실험지표치를 설정하는 연구는 필수 불가결한 것으로 본다. 그리고 농축산분야에 새롭게 투입되는 설비와 생산시스템에 대한 LCA(Life Cycle System)적 환경친화성 영향평가도 함께 연구되어야 할 것이다. 이렇게 함에 따라 생산 및 증산중심으로 진행되어온 시스템에서 탈피하여 보다 환경부하가 적은 농업생태시스템으로 전환할 수 있는 농업환경인프라를 구축할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

- 1) 윤성이, 이산화탄소 배출량 산출을 위한 분석방법의 비교분석, 『한국에너지공학회지』, 제7권 제2호, 1998.
- 2) 유덕기, 가축분뇨의 공동이용과 환경친화적 적정사육두수, 『한국유기농업학회지』, 제5권 2호, 1997.
- 3) 김경아, 지구온난화 국제협약에 따른 이산화탄소 배출규제에 관한 연구, 『서울환경대학원』 석사논문, 1992.
- 4) 기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구, KEEI, 1994.
- 5) 기후변화협약 관련 일본 국가보고서, 1994.
- 6) 재단법인 축산기술협회, 축산에 있어서 온실효과 가스의 발생제어, 제3집, 『해외조사보고』 제3보, 1998.
- 7) 한국산업은행, 2000년의 산업구조 전망, 1989.
- 8) 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.
- 9) SungYee Yoon et al, "Analysis of Regulating CO₂ Emissions in Industrial Sectors in Korea," Energy and Resources, Vol. 19. 1998.
- 10) Greenhouse Gas Inventory Workbook, IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol.2) Module 4 Agriculture.
- 11) A.R. Mosier et al, "Assessing and Mitigating N₂O Emissions from Agricultural Soils," Climatic Change 40 : 7-38, 1998.
- 12) 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)
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.