

농업부문 에너지 소비의 CO₂ 배출량 분석*

김충실** 이현근***

Keywords

에너지산업연관표(energy input-output table), 환경산업연관표(environmental input-output table), CO₂ emission, 연료연소(fuel combustion activities)

Abstract

This paper aims to identify key production sectors of agriculture that are responsible for CO₂ emissions due to fuel combustion activities. For this purpose, we constructed an energy input-output and an environmental input-output table from a supply perspective. The former consists of three tables which contain data about energy input amount of money, energy input amount of substance, and energy input amount of calories based on input-output table. The latter is created by energy input-output table. This procedure reveals that certain sectors consume energy or emit CO₂ more than other sectors of agriculture. The agricultural sectors as a whole consume 1,826thousand TOE of energy and emits 2,259thousand tons of CO₂ due to fossil fuel combustion. Diesel oil (826,545TOE) is the most consumed in Agricultural sectors. The prime sectors of CO₂ emissions in agriculture are vegetables and rice sectors. The highest level of CO₂ emissions per unit of output is produced in floriculture (0.33ton-CO₂/million won).

차례

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. 서론 | 3. 농업부문 중심의 환경산업연관표 |
| 2. 농업부문 중심의 에너지산업연관표 | 작성 및 CO ₂ 배출량 분석 |
| 작성 및 에너지 투입구조 분석 | 4. 요약 및 결론 |

* 본 논문은 2008년 농촌진흥청 공동연구사업비(농업시설 및 에너지소비 행태별 온실가스 배출량 통계구축)를 지원받아 수행된 것임.

** 경북대학교 농업경제학과 교수

*** 경북대학교 농업경제학과 대학원

1. 서론

세계는 지금 지구 온난화로 폭염과 집중호우가 빈번해지고 동식물의 멸종위기, 심각한 식량난과 물 부족 등과 같은 사태에 직면하고 있다. 이러한 지구온난화를 방지하려면 2050년까지 이산화탄소 배출 규모를 2000년의 50~65% 수준으로 줄여야 한다는 보고가 있다(IPCC, 2007).

우리나라는 현재 기후변화협약 및 교토의정서상 개발도상국(Non-Annex I)으로 분류되어 온실가스 감축 의무가 없지만, 2007년 기준 세계 7위의 석유소비 국가이자 경제규모 세계 14위의 OECD국가임을 감안할 때, 향후 Post-Kyoto에는 온실가스를 의무적으로 감축해야 한다는 압력이 가중되고 있으며 이에 따라 다양한 대응책 마련이 필요하다.

Post-Kyoto체제에 따른 온실가스 의무감축에 대비하기 위해서는 국가온실가스 통계의 체계적인 정립이 필수적이며, 이러한 통계를 바탕으로 최근 이슈화되고 있는 「저탄소 녹색성장」과 「기후변화대응」 전략을 마련할 수 있다. 이에 따라 정부에서도 효과적인 국가대응체제 마련에 필요한 중요한 통계기반을 구축하고자 3개년 계획을 추진하고 있다(지식경제부 보도자료, 2009).

특히 농업부문은 온실가스의 배출기능과 흡수기능을 동시에 가진다. 이러한 특수성에 따른 농업부문 온실가스 감축에 따른 경제적 파급효과가 상당할 것으로 예상되므로 농업부문 온실가스 배출에 관한 정확한 통계정보가 필요하다. 그러나 공식적인 온실가스 배출통계에서 농업부문 온실가스 배출량은 메탄과 아산화질소의 배출량만을 추계하고 있으며 에너지 소비에 따른 온실가스(CO₂) 배출량에 대한 구체적인 정보를 제공하지 못하고 있다. 이것은 「저탄소 녹색성장」과 「기후변화대응」 농업부문 대책개발의 한계점으로 지적된다. 따라서 본 연구에서는 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스(CO₂) 배출량 정보를 체계적으로 구축하고자 한다.

기후변화협약에 따른 농업부문 대응전략 및 온실가스 배출 분석을 수행한 국내 선행 연구는 김창길 외(2006, 2007), 윤성이 외(1998, 2000)의 연구가 있다. 전자의 연구에서는 온실가스를 감축할 경우 농업부문에 미치는 파급영향을 분석하기 위하여 농업부문 온실가스 배출량을 분석하였으며 메탄, 아산화질소, 이산화탄소의 배출량 및 흡수량을 추정하였다¹. 후자의 연구에서는 LCA기법을 적용하여 농축산분야의 온실효과 가스의

¹ 이산화탄소 배출량은 화석연료, 비료, 기타에너지 등에 대해서 추정하고 있으며, 산업은 작물재배업, 화훼업, 축산업, 농업서비스업에 대해서만 추정하고 있음.

정량적 평가 및 요인분석을 시도하였다.

농업부문 온실가스 배출 등에 관한 해외연구는 D.R. Sauerbeck(2001), V. Manaloor (2006), Nobuhisa Koga et al.(2003) 등이 있다. Sauerbeck(2001)의 연구에서는 바이오 에너지 개발 등 토양을 이용한 온실가스 저감방안을 제시하고 있으며, 토양의 온실가스 저감효과에 대한 분석을 시도하였다. Manaloor(2006)의 연구에서는 캐나다의 에너지사용에 따른 온실가스를 줄이기 위해서 면세유 비중 감소와 유류가격 인상 등을 통한 온실가스 저감효과를 분석하였다. Nobuhisa Koga et al.(2003)의 연구에서는 홋카이도의 작부체계에 따른 온실가스 배출량을 분석하고, 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 작부체계를 조사 분석하였다.

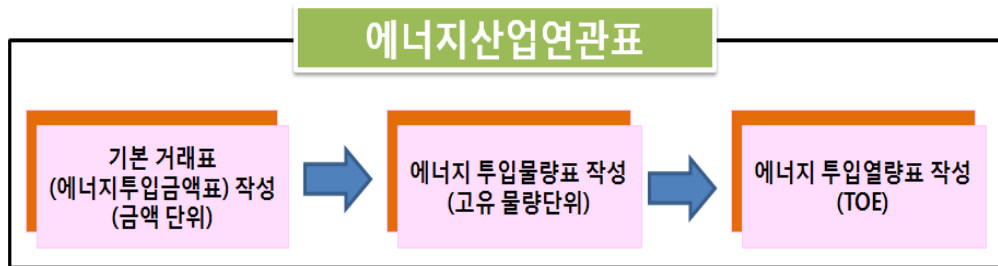
앞서 살펴본 선행연구들에서는 특정 산업 및 정책에 대하여 온실가스 저감방안을 제시하고 있으나, 전체적인 관점에서의 온실가스 배출량과 세부 산업 및 작물별 온실가스 배출량을 추정하지 못하는 한계가 있다. 그러나 본 연구에서는 산업연관표를 바탕으로 농업부문 「저탄소 녹색성장」과 「기후변화대응」 전략마련을 위한 기초정보를 제시할 수 있는 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스(CO₂) 배출량을 분석하고자 한다.

2. 농업부문 중심의 에너지산업연관표 작성 및 에너지 투입구조 분석

2.1. 농업부문 중심의 에너지산업연관표 작성기법

에너지산업연관표는 산업간 에너지의 흐름을 설명하기 위해 작성된 것이며 초기에는 에너지의 흐름은 Btus로 나타내고 비에너지의 흐름은 금액단위로 표시하는 소위 ‘복합단위’(hybrid units)의 에너지 산업연관표가 작성되었다(Miller & Blair, 1985). 본 연구에서는 한국은행에서 공표한 산업연관표 2003의 데이터를 근거로 하여 에너지산업연관표를 작성하였으며 에너지산업연관표는 기본거래표(에너지투입금액표), 에너지투입물량표, 에너지투입열량표로 구성된다.

그림 1. 에너지산업연관표 작성기법



에너지산업연관표 작성에 관한 수학적 모델을 설명하면 다음과 같다. 에너지산업연관표 작성의 최종 단계인 에너지 투입열량표 ϕ_{ij} 는 제 i 부문의 j 에너지 투입량 X_{ij} 를 j 에너지의 단위물량당 가격 P_j 로 나눈 값에 순발열량 NCV_j 를 곱하여 나타낸다. 맨 마지막 항의 10^{-7} 은 에너지원별 총발열량을 석유환산톤 TOE로 나타내기 위한 것이다.

$$(1) \phi_{ij} = (X_{ij}/P_j) \times NCV_j \times 10^{-7}$$

단, X_{ij} = j fuel consumption in i sector

P_j = Price of fuel j

NCV_j = Net Calorific Value of fuel j

2.1.1 기본거래표(에너지투입금액표)

기본거래표는 한국은행이 2007년에 공표한 산업연관표 2003의 기본부문 거래표를 공통분류에 따라 재집계한 것이다². 기본거래표에서는 내생부문이 대칭의 형태를 갖지만 에너지 산업연관표에서는 에너지들과 산업부문들로만 구성된다.

산업연관표를 공통분류에 따라 재집계하기 위해서는 연구목적에 따른 산업분류가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 전체 404개의 산업부문 중 농업부문은 기본부문의 산업을 그대로 적용하여 22개로 분류하였고, 기타 산업은 임수산업을 포함한 대분류의 기준에 따라 28부문으로 분류하여 총 50개 산업으로 재구성하였다.

² 한국은행은 매 5년마다 산업연관표 실측표를 발표하고 있으며, 그 사이 3년마다 연장표를 작성해오고 있음. 산업연관표 2003은 경제의 서비스화 진전 등에 따른 경제전반의 급격한 산업 및 생산기술 구조 변화 등을 반영한 새로운 산업연관표의 편제 필요성에 따라 작성된 것임.

표 1. 산업분류 및 분류번호

순번	산업분류	분류번호 (기본부문)	순번	산업분류	분류번호 (기본부문)
1	벼	001	26	섬유 및 가죽제품	087~117
2	보리	002	27	목재 및 종이제품	118~132
3	밀	003	28	인쇄 출판 및 복제	133~136
4	잡곡	004	29	석유 및 석탄제품	137~147
5	채소	005	30	화학제품	148~177
6	과실	006	31	비금속광물제품	178~193
7	콩류	007	32	제1차금속	194~214
8	감자류	008	33	금속제품	215~225
9	유지작물	009	34	일반기계	226~245
10	약용작물	010	35	전기, 전자기기	246~274
11	기타식용작물	011	36	정밀기기	275~280
12	섬유작물	012	37	수송장비	281~294
13	잎담배	013	38	가구 및 기타제조업	295~304
14	하훼작물	014	39	전력가스 및 수도	305~311
15	천연고무	015	40	건설	312~328
16	종자및묘목	016	41	도소매	329~330
17	기타비식용작물	017	42	음식점 및 숙박	331~332
18	낙농	018	43	운수 및 보관	333~345
19	한육우	019	44	통신 및 방송	346~351
20	양돈	020	45	금융 및 보험	352~357
21	가금	021	46	부동산 및 사업서비스	358~371
22	기타축산	022	47	공공행정 및 국방	372~373
23	임수산물	023~030	48	교육 및 보건	374~387
24	광산품	031~045	49	사회 및 기타 서비스	388~401
25	음식료품	046~086	50	기타	402~404

2.1.2 에너지투입물량표

에너지투입물량표는 각 산업부문이 사용하는 에너지 종류에 초점을 맞춘 것으로 각 에너지가 각 산업에 투입되는 정도를 각 에너지의 고유단위로 나타낸 것이다. 에너지 투입물량표는 산업연관표의 금액기준 에너지거래표를 단위물량당 가격을 추정하여 환산하는 방식으로 산정하며 이때, 단위물량당 가격은 산업연관표의 부속표인 “부문별품목별공급액표”를 이용한다. 에너지투입물량표를 작성하기에 앞서 에너지의 종류를 가능한 한 상세한 수준에서 분류하고, 이때 에너지는 무연탄, 유연탄, 원유, LNG, 연탄,

기타석탄제품, 나프타, 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, LPG, 윤활유제품, 기타석유정제품, 전력(수력, 화력, 원자력, 자가발전), 도시가스, 열공급업 등 21개 에너지원으로 분류한다.

2.1.3 에너지투입열량표

에너지투입열량표는 에너지투입물량표를 열량단위로 환산한 표인데 각 에너지의 고유단위로 되어 있는 에너지투입물량을 열량단위로 환산하는 과정을 통해서 에너지원들이 갖고 있는 고유단위를 넘어서 에너지원간 비교와 합산을 할 수 있다. 에너지 단위의 환산시에 10^7Kcal 에 해당하는 TOE(Ton of Oil Equivalent)를 사용하였는데, 이것은 원유 1톤의 순발열량에 해당하는 것으로 에너지량(열량) 비교시 편리하게 이용할 수 있다는 장점이 있다.

IPCC에서는 온실가스 배출량을 산정할 때 순발열량(NCV: Net Calorific Value)³을 사용할 것을 권고하고 있다. 에너지품목별 물량단위당 순발열량은 2006년 개정된 “에너지이용기본법”시행규칙상의 “에너지 열량 환산 기준”을 참고하였으며, 본 연구의 기준연도인 2003년 자료를 적용하기 위하여 2006년 이전의 환산기준을 적용하였다(부록 표 10).

2.2 농업부문 에너지 소비구조

농업부문 중심의 에너지산업연관표 작성을 통하여 산업별 에너지 소비구조를 분석하였다(표 2). 경중부문이 소비한 에너지는 1,010천TOE로 392십억 원에 이르고 축산부문은 816천 TOE(340십억 원)를 소비한 것으로 분석되었다. 농업전체로 보면 에너지 소비물량은 1,826천TOE, 에너지 소비금액은 732십억 원인 것으로 분석되었다.

화력에너지를 중심으로 보면 경중부문에서는 경유의 소비가 497천TOE(237,619백만 원)으로 가장 많고, 축산 부문에서도 경유의 소비가 329천TOE(157,191백만 원)으로 가장 많은 것으로 나타났다. 전력 중에서는 경중 부문과 축산 부문 모두 화력과 원자력의 에너지 소비가 많은 것으로 나타났다.

³ 순발열량은 일반적으로 저열발열량(Lower Heating Value: LHV)으로 이해되기도 함.

표 2. 농업부문 에너지 소비구조(2003년)

구 분		경종		축산		총계	
		백만원	TOE	백만원	TOE	백만원	TOE
1	무연탄	-	-	-	-	-	-
2	유연탄	-	-	-	-	-	-
3	원유	-	-	-	-	-	-
4	천연가스(LNG)	-	-	-	-	-	-
5	연탄	13,067	115,047	1,604	14,122	14,671	129,169
6	기타석탄제품	-	-	-	-	-	-
7	나프타	-	-	-	-	-	-
8	휘발유	23,059	21,683	59,551	55,998	82,610	77,681
9	제트유	93	305	-	-	93	305
10	등유	2,313	5,038	7,370	16,052	9,683	21,090
11	경유	237,619	497,461	157,191	329,083	394,810	826,544
12	중유	4,379	4,449	998	1,014	5,377	5,463
13	액화석유가스	1,207	3	1,756	5	2,963	8
14	윤활유제품	598	7	4,546	57	5,144	64
15	기타석유정제품	265	6,998	1,738	45,895	2,003	52,893
16	수력	2,571	8,604	1,792	5,997	4,363	14,601
17	화력	65,289	217,915	59,455	198,443	124,744	416,358
18	원자력	39,424	132,178	44,648	149,693	84,072	281,871
19	자가발전	-	-	-	-	-	-
20	도시가스	2,198	3	-	-	2,198	3
21	열공급업	-	-	-	-	-	-
합계		392,082	1,009,691	340,649	816,359	732,731	1,826,050
총계대비 비중(%)		53.5	55.3	46.5	44.7	100	100
농업 산출액(백만원)		18,146,055		7,981,587		26,127,642	
산출액 대비 에너지소비비중(%)		2.2		4.3		2.8	

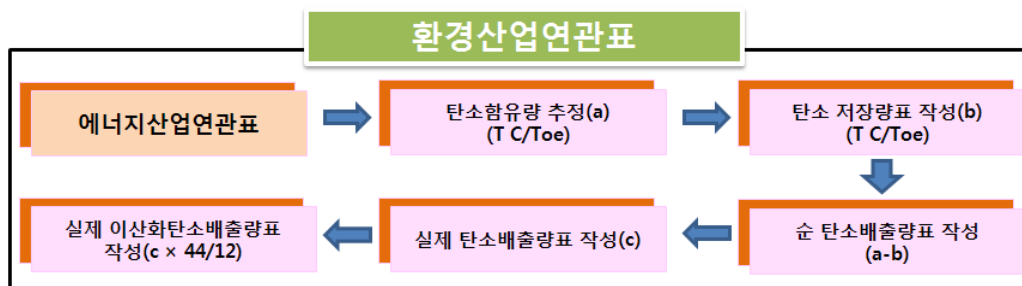
농업부문 총 에너지 소비액에 대한 경종과 축산부문의 소비비중은 각각 53.5%, 46.5%이며, 총 에너지 소비물량에 대한 비중은 각각 55.3%, 44.7%로 경종부문이 축산 부문보다 높게 나타났다. 그러나 농업부문 산출액을 기준으로 보면 경종부문 에너지소비액은 2.2%이고 축산부문 에너지소비액은 4.3%로 축산부문이 경종부문보다 에너지 집약도가 높은 것으로 나타났다.

3. 농업부문 중심의 환경산업연관표 작성 및 CO₂ 배출량 분석⁴

3.1 농업부문 중심의 환경산업연관표 작성기법

산업연관표에서 환경의 개념은 Leontief의 “공해의 파급과정과 산업구조 투입산출분석에 의한 접근”이라는 연설에서 처음 소개되었다. Leontief는 생산 및 소비과정에서 발생하는 대기오염물질에 주목하여 이에 대한 분석체계를 제시하였다(Leontief, 1970). 경제발전과 에너지 이용, 환경보전의 관계에 대한 실증분석을 위해서는 데이터의 제약성이 큰 문제가 되고 있는데, 에너지 및 환경산업연관표는 이러한 제약을 완화해 줄 수 있다고 평가하고 있다(김윤경, 2006)⁵.

그림 2. 환경산업연관표 작성 기법



환경산업연관표는 산업별·에너지품목별로 에너지 소비량과 대기오염물질을 추계할 수 있다. 따라서 환경산업연관표는 산업간의 관계에 따른 에너지 이용의 정도와 오염물질의 관계를 나타내는 것이라고 할 수 있다. 환경산업연관표는 앞서 작성한 에너지산업연관표를 근거로 작성되었으며, IPCC(1996)의 가이드라인에서 제시하는 방법론

4 환경경제통합계정 작성을 위해서는 CO₂, CH₄, N₂O 등의 모든 온실가스의 배출량을 추정하여야 하나, 본 연구는 에너지소비에 따른 온실가스 배출량을 추정하기 위한 것이므로 CO₂만을 대상으로 하였음.

5 환경과 관련된 연구는 많은 불확실성을 갖고 있으며 이것은 연구결과에 대한 신뢰성 저하를 가져온다고 보고 있음. 연구결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 정확한 데이터가 요구되며, 산업연관표와 환경을 접목한 환경산업연관표는 이러한 요구에 부응할 수 있다고 평가됨.

에 따라 온실가스 중 CO₂의 배출량만을 추정하였다. 환경산업연관표는 탄소함유량표(Carbon Content), 탄소저장량표(Carbon Stored), 순 탄소배출량표(Net Carbon Emissions), 실제 CO₂ 배출량표(Actual Carbon or CO₂ Emissions)로 구성된다.

환경산업연관표 작성 및 CO₂ 배출량 추정에 관한 수학적 모델을 설명하면 다음과 같다⁶. 앞서 살펴본 에너지산업연관표의 에너지 투입열량표에서 배출계수 ε_j 를 곱한다. 이 값에 탄소몰입율 σ_j 을 곱한 값을 차감하여, 이 값에 다시 탄소연소율 o_j 를 곱하여 연료별로, 산업별로 합산한다.

$$(2) \quad E = \sum_i \sum_j \{ \varepsilon_j \phi_{ij} - (\varepsilon_j \phi_{ij} \sigma_j) \} o_j$$

단, E= 실제 CO₂ 총 배출량
 ε_j = CO₂의 연료별 배출계수
 ϕ_{ij} = i 산업의 j연료 투입열량
 σ_j = 연료별 탄소몰입율
 o_j = 연료별 탄소연소율

3.1.1 탄소함유량표

탄소함유량표는 각 산업부문에서 발생하는 대기오염물질을 기록한 것이다. 즉, 에너지투입물량표의 에너지투입물량에 에너지별 탄소함유량을 이용하여 추정하는데 각 에너지별 탄소함유량은 그 원산지와 질에 따라서 다르게 나타나며 이에 관한 세부적인 자료를 얻기는 어려운 현실이다⁷. 따라서 많은 국가들이 자국의 지구온난화가스를 추정할 때는 IPCC가 제시하는 IPCC 탄소배출계수(IPCC Carbon emission factor)를 인용한다(부록 표 11).

3.1.2 탄소저장량표

탄소저장량표(Carbon Stored)는 모든 연료가 열에너지를 만들기 위해서 연소하지 않

⁶ 윤성이 외(1998, 2000)의 연구에서는 LCA기법에 의해서 농업부문의 CO₂, CH₄ 및 N₂O 배출량을 추정하고 있으나 CO₂의 경우, 석탄, 석유 및 천연가스만을 대상으로 하고 있으며 연료의 연소과정에서 발생하는 전량이 대기 중으로 방출된다고 가정함.

⁷ 현재 기후변화협약에 관련된 국가보고서 작성시 Tier 2 수준의 배출계수를 적용하기 위해서 산업별로 자체 배출계수를 개발하고 있으나 아직 실용화 단계에 이르지 못했으며, 농업부문은 자체 배출계수 개발도 미미한 수준임.

으며, 연료의 일부분은 플라스틱과 같이 상품을 만들기 위한 원료물질로 사용되기도 하고, 탄소의 배출 없이 비에너지 용도에 사용된다는 점에 착안한 개념이다(IPCC, 1996). 탄소저장량을 계산하기 위해서는 원료로 사용되는 연료에 대한 자료가 요구되지만 우리나라는 아직 이러한 자료에 대한 조사가 이루어지 않은 실정이다. 일본의 경우 400부문에 대하여 연료/연소비율을 조사한 것이 있으나 공개된 자료는 없다. 일반적으로 IPCC에서는 가능하면 국가고유의 자료를 이용할 것을 권고하고 있으나, 우리나라의 실정상 IPCC의 기본값을 이용하였다.

표 3. IPCC 탄소몰입율

Fuel Type	Fraction of Carbon Stored
Naphtha(나프타)	0.8
Lubricants(윤활유)	0.5
Bitumen(역청)	1.0
Coal Oils and Tars(from coking coal)	0.75
Natural Gas(천연가스)	0.33
Gas/Diesel Oil(경유)	0.5
LPG	0.8
Ethane(에탄)	0.8

자료: IPCC, "Revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories"

3.1.3 순탄소배출량표, 실제 CO₂ 배출량표

탄소저장량표가 작성되면 탄소함유량표와의 차이를 구하여 순탄소배출량표를 작성할 수 있다. 또한 순탄소배출량표에 탄소연소율을 곱하면 실제 탄소배출량을 구할 수 있다. 탄소연소율은 IPCC Guideline에서 제시하는 자료와 김윤경 외(2005)의 자료를 이용하였다.

표 4. 탄소연소율

Fuel Type	Fraction of Carbon Oxidised
Coal	0.98
Oil and Oil products	0.99
Gas	0.995
Peat for electricity generation	0.99
LPG	0.99
화목	0.99
전기 및 열	1.0
COG 및 BFG	0.99

자료: IPCC(1996), 김윤경 외(2005)

3.2. 농업부문 CO₂ 배출구조

산업연관표 2003을 이용한 에너지산업연관표를 근거로 환경산업연관표를 작성하여 CO₂ 배출량을 추정하였다. 먼저 경제부문별 에너지소비 구조를 보면 중간수요부문은 총 351,539천TOE(91.4%)로 대부분을 차지하고 있으며, 그 중 농업부문은 1,826천TOE(0.5%)인 것으로 나타났다.

CO₂ 배출량은 중간수요부문이 438,070천톤(90.4%), 최종수요부문이 43,951천톤(9.1%)인 것으로 분석되었다. 농업부문 CO₂ 배출량은 2,259천톤(0.5%) 수준인 것으로 나타났으며, 전체 산업에서의 CO₂ 발생 비중이 매우 낮음을 알 수 있다⁸.

표 5. 경제부문별 에너지소비량 및 CO₂ 배출량

산업		에너지소비		CO ₂ *	
		열량(TOE)	비중	배출량(톤)	비중
중간 수요 부문	농업부문	1,826,052	0.5%	2,259,516	0.5%
	임수산업	1,526,796	0.4%	2,536,936	0.5%
	비농업부문	348,186,877	90.5%	433,274,447	89.9%
	계	351,539,725	91.4%	438,070,901	90.9%
최종수요부문(민간소비)		33,101,302	8.6%	43,951,783	9.1%
합계		384,641,027	100.0%	482,022,683	100.0%

주) *: 에너지투입에 대해 실제 연료로 사용된 부분만 추계한 것임.

⁸ 본 연구의 농업부문 CO₂ 배출량은 에너지소비에 따른 것으로 에너지관리공단 및 에너지경제연구원의 온실가스 통계 자료에 의거하여 볼 때 에너지부문에만 포함되는 것이므로 동 자료에 있는 농업부문의 온실가스 배출량과는 범위가 틀림.

농업부문 에너지원별 소비량을 살펴보면 다음 (표 6)과 같다. 농업부문에서 가장 많이 소비되는 화석 에너지는 경유가 826,545TOE이며, 이로 인한 CO₂ 배출량은 1,256천 t-CO₂인 것으로 분석되었다. 경유 다음으로 연탄의 소비량이 129,169TOE로 가장 많고 이로 인한 CO₂ 배출량은 511천 t-CO₂인 것으로 분석되었다.

한편 전력부문을 중심으로 보면 화력과 원자력이 각각 416,358TOE, 281,871TOE로 농업부문 전체 에너지 소비의 34%를 차지하고 있다. 전력부문은 CO₂ 배출계수가 없기 때문에 CO₂ 배출량은 없는 것으로 분석되었다.

표 6. 농업부문 에너지원별 소비량 및 CO₂ 배출량

에너지원	농업부문		에너지원	농업부문	
	TOE	t CO ₂		TOE	t CO ₂
무연탄			중유	5,463	17,351
유연탄			액화석유가스	8	4
원유			윤활유제품	64	97
천연가스(LNG)			기타 석유정제품	52,892	191,999
연탄	129,169	510,561	수력	14,602	
기타 석탄제품			화력	416,358	
나프타			원자력	281,871	
휘발유	77,681	220,792	자가발전		
제트유	305	894	도시가스	3	4
등유	21,090	62,164	열공급업		
경유	826,545	1,255,650	계	1,826,052	2,259,516

농업부문 CO₂ 배출량을 세부 작물별로 보면 다음 (표 7)과 같다. 경종부문을 중심으로 보면 채소부문(552천 CO₂톤, 24.4%)의 CO₂ 배출량이 가장 많고, 벼(342천 CO₂톤, 15.1%)가 2번째로 많은 것으로 추정되었다. 채소의 경우 시설재배로 인한 난방을 위하여 연탄, 경유 등의 에너지 투입량이 높기 때문인 것으로 판단된다. 벼의 경우는 벼 재배의 전 과정에 걸쳐서 농기계의 사용시간이 많고 그에 따른 에너지(경유)의 투입량이 압도적으로 높기 때문인 것으로 판단된다.

축산과 관련된 부문에서는 한육우(521천 CO₂톤, 23.1%)와 낙농(230천 CO₂톤, 10.2%)의 CO₂ 배출량이 높은 것으로 추정되었다. 이 두 산업의 경우 타 축산부문보다 휘발유와 경유의 투입량이 높게 나타나며 이에 따라서 온실가스 배출량이 높은 것으로 판단된다. 그러나 산업 전체적인 관점에서 볼 때 경종과 축산부문의 CO₂ 배출비중은 매우 낮은 것으로 나타났고 벼, 채소 및 한육우 산업부문만 전체 산업에서의 비중이 0.1% 정도인 것으로 나타났다.

표 7. 농업부문 에너지 소비에 따른 작물별 CO₂ 배출량

단위: 톤, %

구분		CO ₂		구분		CO ₂	
		배출량	비중			배출량	비중
1	벼	341,720	15.1	14	화훼작물	172,277	7.6
2	보리	47,888	2.1	15	천연고무	0	0.0
3	밀	2,735	0.1	16	종자및묘목	4,751	0.2
4	잡곡	14,420	0.6	17	기타 비식용작물	26	0.0
5	채소	551,694	24.4	경종 계		1,327,385	58.7
6	과실	121,164	5.4	18	낙농	229,920	10.2
7	콩류	9,973	0.4	19	한육우	521,202	23.1
8	감자류	9,733	0.4	20	양돈	124,498	5.5
9	유지작물	1,185	0.1	21	가금	36,654	1.6
10	약용작물	27,487	1.2	22	기타 축산	19,857	0.9
11	기타 식용작물	5,538	0.2	축산 계		932,131	41.3
12	섬유작물	66	0.0	농업 계		2,259,516	100.0
13	잎담배	16,728	0.7				

3.3. 농업부문 환경원단위(CO₂)⁹ 분석

환경원단위의 개념은 에너지원단위의 개념을 환경에 적용한 것이다. 에너지원단위는 단위당 제품과 금액을 생산할 때에 필요한 에너지의 크기를 나타내는 지표로서, 에너지 이용 현황, 에너지 생산성 향상의 정도, 에너지 절약 추진의 성과 등을 알려준다. 환경원단위는 단위당 제품과 금액을 생산할 때 필요한 에너지를 사용하여 배출시킨 CO₂ 배출량으로 정의할 수 있다(김윤경, 2006).

환경원단위는 산출액 및 열량을 기준으로 작성할 수 있는데, 본 연구에서는 연료로 사용된 에너지투입열량은 계산할 수 없기 때문에 산출액 기준으로 살펴보고자 한다¹⁰. 산출액 기준 환경원단위는 다음 식에 의해서 정리할 수 있다.

⁹ 환경원단위는 산출액 대비 CO₂ 배출량을 말하며, 톤/백만원임.

¹⁰ 환경원단위는 에너지원단위와 정(正)의 상관관계를 가지기 때문에 산출액은 중간투입액을 기준으로 하였음(김윤경, 2006).

$$(3) \quad \text{환경원단위} = \frac{CO_2 \text{배출량}}{\text{Output}}$$

경제부문별 환경원단위를 보면 다음 (표 8)과 같다. 농업부문 환경원단위는 0.09로 가장 작으며, 임수산업은 0.52로 비농업 0.46보다 높게 나타났다. 임수산업은 산출액 비중에 비해 CO₂ 배출 비중이 높기 때문인 것으로 분석된다. 최종수요부문의 환경원단위는 0.10으로서 전체의 환경원단위 0.34보다 낮게 나타났으며 임수산업이나 비농업부문은 전체보다 높게 나타났다.

표 8. 경제부문별 환경원단위

구분		산출액		CO ₂ 배출량		환경원단위
		백만원	비중	톤	비중	톤/백만원
중간 수요부문	농업부문	26,127,642	1.8%	2,259,516	0.5%	0.09
	임수산업	4,914,500	0.3%	2,536,936	0.5%	0.52
	비농업 부문	942,925,043	66.3%	433,274,447	89.9%	0.46
	계	973,967,185	68.4%	438,070,900	90.9%	0.45
최종수요부문(민간소비지출)		448,959,106	31.6%	43,951,783	9.1%	0.10
합계		1,422,926,291	100.0%	482,022,683	100.0%	0.34

작물 및 산업별 환경원단위를 보면 다음 (표 9)와 같다. 환경원단위는 산업별로 큰 차이를 보이는데 석유 및 석탄 제품(2.1), 비금속광물제품(2.3), 전력 가스 및 수도(5.3), 운수 및 보관(1.2), 공공행정 및 국방(4.3)이 높은 것으로 나타났다.

농업부문에서는 채소(0.25), 과실(0.30), 화훼작물(0.33) 부문에서 환경원단위가 높게 나타났다. 채소와 화훼작물은 대부분 시설농업의 형태로 이루어지고 있어 그에 따른 에너지소비량이 많기 때문인 것으로 파악된다. 과실의 경우 재배하는 과정 전반에 걸쳐 농기계 및 기타 기계의 사용량이 많기 때문인 것으로 파악된다. 이 3가지 산업 모두 산출액에 비해 에너지 집약적인 산업이라고 할 수 있다.

반면 가장 낮은 환경원단위를 보이는 작물 및 산업은 섬유작물, 천연고무, 기타 비식용작물인 것으로 분석되었고 유지작물과 잡곡의 경우 각각 0.006, 0.011의 환경원단위를 보여주고 있다.

표 9. 작물 및 산업별 환경원단위

순번	구분	CO ₂ 배출량 (톤)	산출액 (백만원)	환경원단위 (톤/백만원)
1	벼	341,720	9,255,986	0.037
2	보리	47,888	247,341	0.194
3	밀	2,735	708,628	0.004
4	잡곡	14,420	1,272,898	0.011
5	채소	551,694	2,211,208	0.249
6	과실	121,164	400,564	0.302
7	콩류	9,973	769,400	0.013
8	감자류	9,733	155,565	0.063
9	유지작물	1,185	184,512	0.006
10	약용작물	27,487	671,905	0.041
11	기타 식용작물	5,538	212,015	0.026
12	섬유작물	66	489,267	0.000
13	잎담배	16,728	392,622	0.043
14	화훼작물	172,277	517,810	0.333
15	천연고무	0	392,179	0.000
16	종자 및 묘목	4,751	130,799	0.036
17	기타 비식용작물	26	133,356	0.000
18	낙농	229,920	1,559,365	0.147
19	한육우	521,202	2,098,630	0.248
20	양돈	124,498	2,674,258	0.047
21	가금	36,654	1,362,193	0.027
22	기타축산	19,857	287,141	0.069
23	임수산업	2,536,936	4,914,500	0.516
24	광산품	837,293	44,158,978	0.019
25	음식료품	1,908,850	32,600,770	0.059
26	섬유 및 가죽제품	1,740,390	20,403,218	0.085
27	목재 및 종이제품	1,240,780	20,199,831	0.061
28	인쇄출판 및 복제	356,728	11,016,613	0.032
29	석유 및 석탄제품	93,250,927	43,999,706	2.119
30	화학제품	24,070,974	99,763,101	0.241
31	비금속광물제품	55,887,143	24,728,664	2.260
32	제1차금속	55,887,143	84,601,882	0.661
33	금속제품	21,015,667	25,082,497	0.838
34	일반기계	2,060,645	33,358,972	0.062
35	전기전자기기	2,391,018	88,390,831	0.027
36	정밀기기	162,594	6,603,638	0.025
37	수송장비	2,981,693	38,678,043	0.077
38	가구 및 기타제조업	820,163	5,558,046	0.148
39	전력가스 및 수도	153,318,062	28,839,219	5.316
40	건설	6,458,191	11,409,697	0.566
41	도소매	3,911,427	31,567,151	0.124
42	음식점 및 숙박	3,809,549	20,950,309	0.182
43	운수 및 보관	40,082,490	34,022,277	1.178
44	통신 및 방송	487,261	24,639,654	0.020
45	금융 및 보험	926,450	45,600,232	0.020
46	부동산 및 사업서비스	3,311,051	102,266,626	0.032
47	공공행정 및 국방	3,113,674	711,640	4.375
48	교육 및 보건	4,632,404	20,854,977	0.222
49	사회 및 기타서비스	2,477,227	6,586,438	0.376
50	기타	811,650	36,332,033	0.022

4. 요약 및 결론

본 연구는 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스 배출량을 추정하고자 하였다. 주요 분석기법으로 한국은행에서 공표하는 산업연관표 2003의 데이터를 근거로 에너지 산업연관표를 작성하였으며, 에너지산업연관표를 바탕으로 환경산업연관표를 작성하였다.

에너지산업연관표는 기본거래표(에너지투입금액표)를 작성한 후, 에너지원별 단가를 이용하여 고유물량단위로 나타낸 에너지투입물량표, 순발열량을 이용하여 공통에너지단위로 나타낸 에너지투입열량표를 작성하여 구성하였다. 환경산업연관표는 에너지 산업연관표에서 IPCC의 탄소배출계수를 적용하여 탄소함유량표를 작성, 제품에 몰입되어 있는 탄소량인 탄소저장량표, 탄소함유량표와 탄소저장량표의 차이인 순탄소배출량표, 탄소연소율을 곱한 실제 대기오염 배출량표 작성을 통하여 완성되었다.

온실가스 배출량 분석을 위한 자료로서 2003년도 산업연관표상 404개의 기본부문을 농업부문 22개 산업, 기타 산업 포함 50개 산업으로 재분류하였고, 에너지원은 21개로 분류하였다. CO₂ 배출량은 IPCC 가이드라인에서 제시하는 방법론에 의거하여 추정하였다.

농업부문 에너지 소비구조 및 CO₂ 배출량 분석 결과는 다음과 같다.

먼저 산업별 에너지소비 구조를 열량단위로 살펴보면 중간수요부문은 총 351,539천 TOE(91.4%)로 대부분을 차지하고 있으며, 농업부문은 1,826천TOE로 0.5%에 그치고 있다. 그 중 경종부문은 1,010천TOE(55.3%), 축산부문은 816천TOE(44.7%)를 투입하는 것으로 나타났다. 농업 산출액 대비 농업부문 에너지 소비비중을 보면 경종부문은 2.2%, 축산부문은 4.3%로 축산부문이 경종부문보다 에너지를 많이 소비하는 것으로 분석되었다.

농업부문에서 가장 많이 소비되는 화석 에너지는 경유가 826,545TOE이며 이로 인한 CO₂ 배출량은 1,256천 t-CO₂인 것으로 분석되었다. 경유 다음으로는 연탄의 소비량이 129,169TOE로 가장 많고 이로 인한 CO₂ 배출량은 511천 t-CO₂인 것으로 분석되었다. 한편, 전력부문을 중심으로 보면 화력과 원자력이 각각 416,358TOE, 281,871TOE로 농업부문 전체 에너지 투입의 34%를 차지하고 있다. 전력부문은 CO₂ 배출계수가 없기 때문에 CO₂ 배출량은 없는 것으로 분석되었다.

경제부문별로 살펴본 CO₂ 배출량은 중간수요부문이 438,070천톤(90.9%), 최종수요부문이 43,951천톤(9.1%)를 차지하고 있다. 중간수요 중 농업부문은 2,259천톤(0.5%)

수준으로 분석되었다. 농업부문 CO₂ 배출량을 세부 작물별로 보면 채소부문(552천 CO₂톤)의 CO₂ 배출량이 가장 많고, 벼(342천 CO₂톤)가 2번째로 많은 것으로 추정되었다. 이는 시설재배 시 난방을 위하여 연탄, 경유 등의 에너지 투입량이 많고 농기계의 투입에 따른 경유의 소비량이 많기 때문인 것으로 판단된다.

환경원단위는 산업별로 큰 차이를 보이는데 석유 및 석탄 제품(2.1), 비금속광물제품(2.3), 전력 가스 및 수도(5.3), 운수 및 보관(1.2), 공공행정 및 국방(4.3)이 높은 것으로 분석되었다. 농업부문에서는 채소(0.25), 과실(0.30), 화훼작물(0.33) 부문에서 환경원단위가 높게 나타났다. 채소 및 화훼작물은 시설농업이 많고 과실은 농기계의 사용량이 많아 그에 따른 에너지소비가 높기 때문인 것으로 판단된다.

기존의 개발 성장 위주의 발전전략을 대체하는 「저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)」의 새로운 국가 발전 패러다임이 제시되고 있다. 또한 UNFCCC에서는 Annex I 국가에게 국가 인벤토리 시스템의 구축과 매년 국가 인벤토리 보고서(NIR)의 제출을 의무화하고 있는데, 우리나라의 국가 온실가스 통계는 에너지경제연구원이 유관기관에 의해 작성된 부문별 통계를 집계하여 유엔(UNFCCC)에 보고하고 있다(국무총리실, 2008).

그러나 이 현행 체계는 제3자의 검증 체계 미구축 등으로 국제기준에 미달하고 있으며 농림 등 기타부문의 부문별 온실가스 통계작성을 위한 시스템이 아직 구축되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 새로운 국가 발전 전략에 부응할 수 있는 기초연구로서 농업부문을 중심으로 에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량을 분석한 연구라는 점에서 의의가 있다고 하겠다.

본 연구에서는 농업부문의 온실가스 흡수기능과 간접적인 에너지투입에 대한 고려는 하지 않았으며, 경종부문의 메탄과 아산화질소, 축산부문의 가축분뇨와 장내발효과정의 메탄과 가축분뇨처리과정의 아산화질소 등은 본 논문의 범위를 벗어나는 것이므로 유의해야 한다.

한편 본 연구는 Top-down 방식으로 산업연관표에 기초하여 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스 배출량을 추정하였다. 이는 에너지 공급중심의 온실가스 배출량으로서 향후 실제 에너지 소비 중심의 온실가스 배출량 즉, Bottom-up 방식의 온실가스 배출량을 추정하는 것이 긴요한 연구과제가 될 것이다.

<부록>

표 10. 에너지원별 순발열량표

제품	단위	순발열량			석유환산계수 (2006년 기준)
		kcal		MJ 환산	
		2006년	2006년 이전		
원 유	kg	10,100	10,000	42.3	1.010
휘 발 유	ℓ	7,400	8,300	31.0	0.740
실 내 등 유	ℓ	8,200	8,700	34.3	0.820
보일러등유	ℓ	8,350		35.0	0.835
경 유	ℓ	8,450	9,200	35.4	0.845
B - A 유	ℓ	8,750	9,400	36.6	0.875
B - B 유	ℓ	9,100	9,700	38.1	0.910
B - C 유	ℓ	9,350	9,900	39.1	0.935
프 로 판	kg	11,050	12,000	46.3	1.105
부 탄	kg	10,900	11,800	45.7	1.090
나 프 타	ℓ	7,450	8,000	31.2	0.745
용 제	ℓ	7,350	-	30.8	0.735
항 공 유	ℓ	8,200	8,600	34.3	0.820
아 스 팔 트	kg	8,350	-	39.1	0.835
윤 활 유	ℓ	8,650	-	36.2	0.865
석 유 코 크	kg	7,850	6,500/ ℓ	32.9	0.785
부생연료1호	ℓ	8,350	-	35.0	0.835
부생연료2호	ℓ	9,200	-	38.5	0.920
천연가스(LNG)	kg	11,750	13,000	49.2	1.175
도시가스(LNG)	Nm³	9,550	10,500	40.0	0.955
도시가스(LPG)	Nm³	13,800	15,000	57.8	1.380
국내무연탄	kg	4,600	4,500	19.3	0.460
수입무연탄	kg	6,400	6,000	26.8	0.640
유연탄(연료용)	kg	5,950	6,600	24.9	0.595
유연탄(원료용)	kg	6,750		28.3	0.675
아 역 청 탄	kg	5,000	-	20.9	0.500
코 크 스	kg	7,000	6,500	29.3	0.700
전 력	kWh	2,150	2,500	9.0	0.215
신 탄	kg	-	4,500	-	-

표 11. IPCC 연료별 탄소배출계수

연 료 구 분			탄소배출계수	
			t C/TJ	Ton C/TOE
액 체 화 석 연 료	1차연료	원유	20.00	0.829
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630
	2차연료	휘발유	18.90	0.783
		항공가솔린	18.90	0.783
		등 유	19.60	0.812
		항공유	19.50	0.808
		경 유	20.20	0.837
		중 유	21.10	0.875
		LPG	17.20	0.713
		납 사	(20.00)	0.829
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912
		윤활유	(20.00)	0.829
		Petroleum Coke	27.50	1.140
		Refinery Feedstock	(20.00)	0.829
고 체 화 석 연 료	1차연료	무연탄	26.80	1.100
		원료탄(점결탄)	25.80	1.059
		연료탄(Cocking Coal)	25.80	1.059
		갈 탄	27.60	1.132
		Peat	28.90	1.186
	2차연료	BKB & Patent Fuel	(25.80)	1.059
		Coke Oven/Gas Coke	29.50	1.210
		Coke Oven Gas	13.0	-
		Blast Furnace Gas	66.0	-
기체화석연료		LNG(dry)	15.30	0.637

자료: IPCC, "Revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories"

<부록> 작물별 에너지원별 환경산업연관표

단위: T-CO₂[illegible]

참고 문헌

- 국무총리실 · 기후변화대책기획단. 2008. 「기후변화대응 종합기본계획/세부이행계획」.
- 김윤경. 2006. “환경산업연관표 작성 및 분석방법에 관한 연구.” 한국은행.
- 김윤경, 이원우, Tsujimura Kazusuke. 2005. 「동북아 주요국의 에너지효율 비교 분석 연구」. 에너지경제연구원.
- 김창길, 김태영, 신용광. 2006. 「기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김배성, 김태영, 김만근, 자슨 앤더슨. 2007. 「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략」. 한국농촌경제연구원.
- 김충실. 1980. “농업용 에너지 소비구조의 변화.” 『농촌경제』 제3권 제4호. pp. 127-133. 한국농촌경제연구원.
- 윤성이, 유덕기. 2000. “농축산분야에 있어서 온난화 영향평가 및 요인분석.” 『한국유기농업학회지』 제8권 제2호. pp. 1-16.
- _____. 1998. “LCA 수법을 이용한 농축산분야의 온실효과 가스의 정량적 평가.” 『한국유기농업학회지』 제7권 제1호. pp. 17-34.
- 지식경제부 보도자료(지식경제부 고시 2008-16호). 2009. 1. 「녹색성장 추진을 위한 에너지통계 전면 개선키로-국가에너지통계 3개년 개선 로드맵 마련-」. 지식경제부.
- 한국은행. 2007. 「2003년 산업연관표」.
- D.R. Sauerbeck. 2001. “CO₂ emissions and C sequestration by agriculture - perspectives and limitations.” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 60. pp. 253-266.
- IPCC. 1996. “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.”
- IPCC. 2007. “Fourth Assessment Report: Climate Change 2007-Synthesis Report.”
- Leontief W. W. 1970. “Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-output approach” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3. pp. 262-271.
- Marta Alexandra Sousae Silva. 2001. “Environmental Input-Output Analysis: Application to Portugal.”
- Nobuhisa Koga, Haruo Tsuruta, Hiroyuki Tsuji, Hiroshi Nakano. 2003. “Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 99. pp. 213-219.
- Osman Karkacier et al. 2005. “Input-output analysis of energy use in agriculture.” *Energy Conversion & Management*.
- Ronald E. Miller, Peter D. Blair. 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall.
- Varghese Manaloor. 2006. “CO₂ Emissions from Central Canadian Agriculture: Meeting Kyoto targets and its implications.” International Association of Agricultural Economists Conference. Gold Coast, Australia, August 12~18.

원고 접수일: 2009년 3월 18일

원고 심사일: 2009년 4월 3일

심사 완료일: 2009년 4월 17일