



REVIEW PAPER

원저

**농촌형 녹색마을에 신재생에너지 보급을 위한 시설재배 및 농업기계의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석**

김중구, 유영선, 강연구, 김영화, 장재경, 김현태\*, 서광욱\*<sup>†</sup>, 이승기\*\*, 조희제\*\*, 강지원\*\*

농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과, 경상대학교 생물산업기계공학과(농업생명과학연구원)\*, 공주대학교 생물산업기계공학과\*\*

(2011년 3월 8일 접수, 2011년 3월 24일 수정, 2011년 3월 28일 채택)

**CO<sub>2</sub> Emission Analysis from Horticultural Facilities & Agricultural Machinery for Spread of New and Renewable Energy in Rural-type Green Village**

J.G. Kim, Y.S. Ryou, Y.K. Kang, Y.H. Kim, J.K. Jang, H.T. Kim\*, K.W. Seo\*<sup>†</sup>, S.K. Lee\*\*, H.J. Cho, J.W. Kang

Energy & Environmental Engineering Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Korea, Institute of Agriculture & Life sciences, Gyeongsang National University, Gyeongnam, Korea\*, College of Agriculture & Life sciences, Kongju National University, Yesan Campus, Korea\*\*

**ABSTRACT**

In order to reduce dependence on the fossil fuels and CO<sub>2</sub> gas emission in farming activities, the government has pushed ahead with making the self-sufficiency of farming energy up 40% level in green villages. The objectives of this study are to survey the energy consumption of horticultural facilities or agricultural machineries, and to analyze the reduced CO<sub>2</sub> gas emission level from fossil fuel to bio-diesel fuel.

For the implement of this study, it is necessary to analyze the energy consumption level in the various sector of farming activities, and available renewable energy sources should be selected.

Annual total CO<sub>2</sub> gas emission in the tillage farming sector was analyzed as 5,667,258 t-CO<sub>2</sub> and that in the horticultural facilities occupied 4,932,607 t-CO<sub>2</sub>, while the CO<sub>2</sub> gas emission level of diesel fuel was 3,105,707 t-CO<sub>2</sub>, and that of the heavy oil showed 1,370,578 t-CO<sub>2</sub>.

The average CO<sub>2</sub> gas emission level of horticultural facilities in the country was analyzed as 29,418 t-CO<sub>2</sub>/ha. Among the total energy consumption of agricultural machineries, tractor used 284,763kL, power tiller spent 221,314 kL, grain drier consumed 145,524kL and combine tractor expend 72,537kL.

From the comparison of CO<sub>2</sub> gas emission level between fossil fuel and bio-diesel fuel for the horticultural facilities or agricultural machinery in G-City, Jeonbuk Province, the CO<sub>2</sub> gas emission level can be reduced by 7% through replacing the fuel from fossil to bio-diesel.

Keywords : Renewable energy, Green village, Reduction of CO<sub>2</sub> gas emission

<sup>†</sup>Corresponding author : [skwangw@naver.com](mailto:skwangw@naver.com)

## 초 록

화석에너지 의존도를 줄이면서 CO<sub>2</sub> 배출량을 낮추기 위하여 정부에서는 녹색마을을 선정하고 에너지 자급률을 40% 수준으로 높이려는 계획을 추진 중이다. 본 연구는 각 농업 분야 중에서 농기계의 사용과 재배 시설에 있어서의 에너지 사용량을 파악하고 이를 바이오디젤로 대체하였을 때의 CO<sub>2</sub> 저감수준을 분석하고자 하였다.

이를 위하여, 농업 각 분야별 에너지 소비수준의 분석, 그리고 실천 가능한 신재생 에너지원의 선정이 요구된다. 경종재배의 전체 연간온실가스 배출량은 5,667,258 t-CO<sub>2</sub>이고, 그 중 시설 부문은 4,932,607 t-CO<sub>2</sub>인 것으로 분석되었으며, 농업시설 부문 중 에너지원별로 보면 경유가 3,105,707 t-CO<sub>2</sub>, 중유가 1,370,578 t-CO<sub>2</sub>를 배출하는 것으로 분석되었다.

우리나라 시설작물의 단위 면적당 온실가스 평균배출량은 29,418 t-CO<sub>2</sub>/ha인 것으로 나타났다. 농기계별 2007년 총에너지소비량을 살펴보면 트랙터가 284,763 kL로 가장 높게 나타났으며, 동력 경운기 221,314 kL, 곡물건조기 145,524 kL, 콤팩트 72,537 kL 등의 순이었다.

전라북도 G시를 대상으로 이용 중인 시설재배와 농업기계의 이산화탄소 배출량을 비교분석한 결과, 바이오디젤로 전환하면 약 7% 정도의 CO<sub>2</sub> 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 신재생에너지, 녹색마을, CO<sub>2</sub> 저감

## 1. 서론

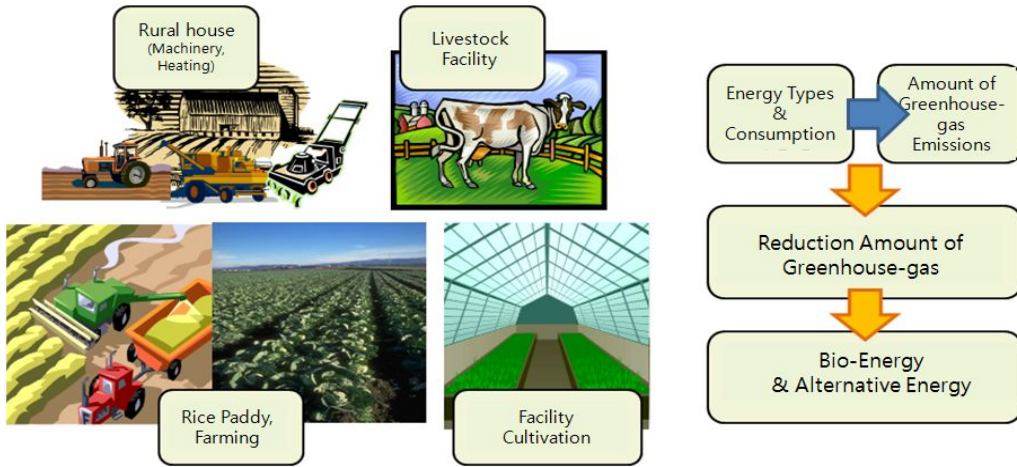
세계는 지금 지구온난화 방지를 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 2050년까지 이산화탄소 배출 규모를 2000년의 50~65% 수준으로 줄여야 한다는 보고<sup>1)</sup>가 있으며, 교토의정서에 의한 온실가스 감축 의무 이행 등을 위해 각국에서는 많은 노력과 연구를 수행하고 있다.

우리나라에서는 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청 등의 「저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획」이라는 합동 발표<sup>2)</sup>로부터 환경문제에 대한 해결 방안을 제시하였다. 2020년까지 저탄소 녹색마을 600개를 조성할 계획인데 신재생에너지를 활용한 구체적인 농촌공간설계 지침의 개발이 시급한 실정이다. 무엇보다 농산어촌의 경우 가축분뇨 등 바이오매스, 지열, 태양광 및 태양열, 소수력, 풍력과 같은 신재생에너지 가용자원의 잠재력은 크나 실제 에너지 활용률은 극히 저조한 편이기 때문이다. 에너지를 자립할 수 있는 녹색마

음이 2020년까지 600개소 설립되면 마을의 에너지 자급률을 40%까지 높일 수 있다는 구상을 세우고 완주지역의 농촌형, 광주지역의 도시형, 봉화지역의 산촌형, 공주지역의 도농복합형 등 유형별 녹색마을로 구분하여 2010년 최초 4개소의 시범마을을 선정하였으며, 2011년에는 거창지역의 도시형, 포천지역의 도농복합형 등 2개소를 추가 선정하여 조성할 예정이다<sup>3)</sup>.

농림업분야의 석유소비는 국내 총소비량의 2% 이하로 많은 양은 아니지만 석유의존 비중이 대단히 높으며, 바이오매스, 풍력, 태양열, 지열 등 잠재된 에너지 가용자원은 풍부하지만 실제 에너지로 활용되는 비율이 극히 저조한 실정이다<sup>4)</sup>. 따라서 농림업분야의 석유에너지 의존도를 낮추기 위해서는 CO<sub>2</sub> 저감을 위한 저탄소 에너지 최적 이용모델 개발이 필요할 것으로 판단된다. [Fig. 1]은 신재생에너지를 사용하는 녹색마을 조성을 위하여 농업 각 분야별 에너지 소비 분석 및 대체 에너지 적용을 위한 개념도를 나타낸 것이다<sup>5)</sup>.

저탄소 에너지를 적용한 녹색마을 조성의 목적은 바이오매스 등 신재생에너지를 에너지원으로



[Fig. 1] Energy consumption and alternative energy analysis in green village using renewable energy.

친환경 농업생산기술을 확립하는데 있다. 이를 위해 농업분야에서는 바이오매스 등을 에너지원으로 전환 및 확대보급을 위하여 보다 체계적인 연구가 진행되어야 한다<sup>6)</sup>.

온실가스 소비 및 배출에 관한 연구로서 김충실 등<sup>7)</sup>은 에너지 소비에 따른 농업부문 온실가스 배출량을 산업별 분류를 수행한 후 IPCC 가이드라인에서 제시한 방법론에 의거하여 추정하였다. 김창길 등<sup>8)</sup>은 농업부문에 있어서 온실가스를 감축할 경우 농업부문에 미치는 파급영향을 분석하기 위하여 온실가스 배출량을 분석하였으며 메탄, 아산화질소, 이산화탄소의 배출량 및 흡수량을 추정하였다. 상기 연구에서 보는 바와 같이 그동안 CO<sub>2</sub>를 비롯한 다양한 온실가스의 배출에 관한 연구가 심도있게 이루어졌지만, 실제 지역에 적용하여 분석한 연구 사례는 거의 없다.

본 연구에서는 농촌형 녹색마을 내 농기계의 사용과 재배 시설에 있어서의 에너지 사용량을 조사하고 바이오 에너지로 대체하였을 때의 CO<sub>2</sub> 저감량을 분석하였다. 농업부문에서 가장 많이 사용되는 에너지원인 경유의 사용에 대한 대체 에너지로써 바이오디젤의 사용에 의한 CO<sub>2</sub> 저감량을 실제 농촌지역에 적용함으로써 신재생에너지 보급을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

CO<sub>2</sub>의 배출량은 한국은행에서 공표한 산업연관표 2003의 데이터를 근거로 한 에너지산업연관표의 에너지투입열량표에 의해 산출하였다<sup>7)</sup>. 각 부문별 에너지투입열량은 에너지원별 총발열량을 기준으로 석유환산톤(toe)으로 나타내며, 각 석유환산톤을 근거로 에너지원별 탄소 배출량을 계산하였다. 이를 위해서 IPCC에서 권고하는 탄소 배출계수<sup>9)</sup>를 적용하였으며 [Table 1]과 같다.

[Table 1]에서 계산된 탄소배출계수에 의해서 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산하기 위해서는 분자량 계산에 의해서 다음과 같이 변환된다.

$$T = M \times C \times 44/12$$

where, T : Amount of CO<sub>2</sub> Emission [t-CO<sub>2</sub>]

M : Ton of Oil Equivalent [toe]

C : Coefficient of TOE [t-C/toe]

### 2.1 시설재배의 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 분석

국내 전체 경종재배에 있어서 2007년 전체 연간 온실가스 배출량은 5,667,258 t-CO<sub>2</sub>이고, 그 중 농업시설 부문은 4,932,607 t-CO<sub>2</sub>인 것으로

[Table 1] Carbon Emission Coefficient<sup>9)</sup>

Energy	Coefficient(ton C/toe)
Diesel	0.837
Petroleum	0.812
Heavy oil(crude petroleum)	0.875
Gasoline	0.783
Gas	0.637
Briquette	1.059

분석되었으며, 농업시설 부문 중 에너지원별로 보면 경유가 3,105,707 t-CO<sub>2</sub>, 중유가 1,370,578 t-CO<sub>2</sub>를 배출하는 것으로 분석되었다<sup>4),10)</sup>.

[Table 2]는 에너지원별 실제 소비량과 에너지 소비에 따른 CO<sub>2</sub> 발생량을 나타낸 것이다. 또한, 시설 작목별 에너지 소비량을 바탕으로 온실가스 배출량을 추정하였으며, 시설작물의 단위 면적당 온실가스 평균 배출량은 29,418 t-CO<sub>2</sub>/ha인 것

으로 나타났다. [Table 3]은 대표 시설 작물의 1ha 면적당 CO<sub>2</sub> 배출량을 보여주고 있으며, 농촌진흥청 보고자료<sup>10)</sup>를 이용하였다.

## 2.2 농기계 사용에 따른 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 분석

국내 전체에서 경종에 쓰이는 농기계는 크게 기본적으로 사용되는 7종으로 분류하였다. 농가

[Table 2] Agricultural Greenhouse Gas Emissions due to Fossil Energy Consumption

Items	Amount Consumed(toe)	CO <sub>2</sub> Amount Emitted(t-CO <sub>2</sub> )
Light oil(Diesel)	1,011,960.6	3,105,707.2
Petroleum	8,310.4	24,742.8
Heavy oil(crude petroleum)	427,193.2	1,370,578.3
Gasoline	6,189.6	17,770.3
Gas	6,809.9	15,905.6
Briquette	102,473.0	397,902.6
Summation	1,562,936.7	4,932,606.8

[Table 3] Greenhouse Gas Emissions for Products of protected Agriculture

Items	t-CO <sub>2</sub> /ha	Items	t-CO <sub>2</sub> /ha
Watermelon	309	Unripe corn	529
Musk melon	1,303	Potato	1,151
Pumpkin	2,6141	Cabbage	317
Pumpkin(inhibition)	622	Sedum	777
Radish	389	Leek	2,338
Pepper	72,047	Lettuce	2,584
Pepper(inhibition)	4,398	Spinach	133
Mandarin	376,463	Chwi sprout	334
Persimmon	36,188	Eggplant	64,406
Grape	23,588	Sweet pumpkin	193
Chrysanthemum	31,258	Butterbur	1,726
Mean			29,418

에서 가장 많이 보유하고 있는 농기계는 동력 경운기로, 동력 경운기는 다양한 복합적 용도로 농업에 이용되고 있다. 트랙터는 소형, 중형, 대형으로 분류하였으며, 동력 이앙기는 보행형과 승용형이 있는데, 보행형이 많이 사용되고 있지만 사용시간은 승용형이 더 긴 것으로 나타났다.

각 농기계별 2007년 총에너지소비량을 살펴보면 트랙터가 284,763,814L로 가장 높게 나타났으며, 동력 경운기 221,314,680L, 곡물건조기 145,524,757L, 콤팩인 72,537,080L 등의 순으로 나타났다<sup>4),10)</sup>. 농기계 사용에 의한 이산화탄소 배출량을 구하기 위해 총에너지 소비량과 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 탄소배출계수를 이용하였다. 농기계별 이산화탄소 배출량은 트랙터가 738,479.4 t-CO<sub>2</sub>로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 동력 경운기 573,936.5 t-CO<sub>2</sub>, 곡물건조기 361,785.2 t-CO<sub>2</sub>, 콤팩인 188,110.8 t-CO<sub>2</sub> 등의 순으로 나타났다. [Table 4]는 농기계별 총에너지소비량 및 온실가스 배출량을 나타낸 것이다. toe는 원

유 1톤이 발열하는 칼로리를 기준으로 표준화한 단위이며 각각의 환산 계수를 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

저탄소 녹색마을에 적용 가능한 에너지원은 바이오디젤 및 바이오가스, 태양열, 지열, 태양광, 풍력, 수력, 연료전지 등으로 구분할 수 있으며, 이중 가장 활용도가 높은 경우를 대체할 수 있는 바이오디젤의 활용 가능성을 알아보았다. 에너지 소비량 추정 및 에너지 활용 가능성 분석을 위하여 전북지역 G시를 적용지역으로 선정하였다. 자료는 전라북도 농업기술원 통계연보<sup>11)</sup>를 이용하였다.

#### 3.1 바이오디젤의 적용에 따른 농업기계의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석

전라북도 G시 농가에 보급되어 있는 농기계 중 경우를 사용하고 있는 기체는 동력 경운기, 트랙터, 콤팩인, 관리기 등 총 18,454대가 있으며,

[Table 4] Total Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions by Agricultural Machine

Machine type	Number of retention (EA)	Total energy consumption (L)	Energy source	Ton of oil equivalent (toe)	Carbon emission factor of energy source (t-C/toe)	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> )
Power cultivator	819,684	221,314,680	Diesel	0.845	0.837	573,936
Tractor	total	227,873	284,763,814	Diesel	0.845	738,479
	small	71,719	28,831,038	Diesel	0.845	74,768
	medium	119,415	146,450,556	Diesel	0.845	379,791
	large	36,739	109,482,220	Diesel	0.845	283,921
Power rice transplanter	total	332,393	35,421,466	Gasoline	0.740	75,254
	walking type	276,983	20,327,782	Gasoline	0.740	43,187
	riding type	55,410	15,093,684	Gasoline	0.740	32,067
Combine	total	86,825	72,537,080	Diesel	0.845	188,111
	3 row	30,183	17,189,822	Diesel	0.845	44,578
	4 row	48,477	33,332,785	Diesel	0.845	86,442
	5 row	8,165	22,014,473	Diesel	0.845	57,090
Farm master	392,505	26,062,332	Diesel	0.845	0.837	67,588
Speed sprayer	38,790	45,384,300	Gasoline	0.740	0.783	96,421
Grain dryer	70,363	145,524,757	Kerosene	0.835	0.812	361,785

이로 인한 총 에너지 소비량은 [Table 5]에서 보는 바와 같이 9,112,434L, 석유 환산 톤으로 계산하였을 경우 7,700,007toe 이며, 농업기계에 사용 중인 경유를 바이오디젤로 대체하였을 경우 이산화탄소 배출량은 약 7% 정도 줄어드는 것으로 분석되었다.

### 3.2. 바이오디젤의 적용에 따른 시설재배의 CO<sub>2</sub> 배출량 비교

전라북도 G시에서 시설재배를 하고 있는 재배종은 봄무, 봄배추, 상추, 썬갓, 부추, 수박, 오이, 호박, 방울토마토, 토마토, 딸기, 풋고추, 가지, 결구, 상추, 파프리카, 시설포도 등이 있으며, 전체 재배면적은 201.3ha이다. [Table 3]을 기준으로 CO<sub>2</sub> 발생량과 전체 에너지원을 바이오디젤로 환산했을 때의 CO<sub>2</sub> 발생량을 비교분석하여 [Table 6]에 나타내었으며, 농업기계의 경우에서 마찬가지로 약 7%의 CO<sub>2</sub> 발생량의 감소를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 요약 및 결론

농촌의 녹색마을 조성에 있어서 신재생 에너지의 적용은 농촌의 에너지 자립 및 온실가스 감소를 위하여 대단히 중요하다. 현재 농촌에 적용

가능한 대체 및 신·재생 에너지는 태양열, 지열, 풍력 등의 자연에너지와 바이오가스 및 바이오디젤 등의 화석연료 대체 에너지로 구분할 수 있다. 본 연구는 이러한 다양한 에너지원을 농촌에 적용하기 위하여 분야별로 현재의 에너지 사용량과 CO<sub>2</sub> 발생량 등을 분석하였다. 먼저, 현재 농촌에서 에너지 소비가 가장 큰 부분은 작물의 시설재배를 위한 난방에너지와 농작업을 위한 농업기계이다. 이 두 부분에 있어서 에너지 사용량을 조사하여 에너지 사용량을 면적 및 개체 수에 따른 원단위로 산정하였다. 이와 같이 분야별로 에너지 소비를 분석함으로써 실천 가능한 신재·생 에너지원의 선정이 가능하게 된다.

경종재배에 있어서 연간온실가스 배출량은 5,667,258 t-CO<sub>2</sub>으로 나타났고, 그 중 시설 부분은 4,932,607 t-CO<sub>2</sub>인 것으로 분석되었으며, 농업시설 부문 중 에너지원별로 보면 경유가 3,105,707 t-CO<sub>2</sub>, 중유가 1,370,578 t-CO<sub>2</sub>를 배출하는 것으로 분석되었다.

저탄소 녹색마을에 적용 가능한 에너지원 중 가장 활용도가 높고 온실가스 발생량이 높은 경유를 대체할 수 있는 바이오 디젤에 의한 활용 가능성을 분석한 결과 바이오 디젤을 사용하면 경유에 비하여 약 7%의 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 나타내었다.

[Table 5] Carbon and Greenhouse Gas Emissions by Agricultural Machine Types in the Retention of G-City in Jeonbuk Province

Machinery	Total no. of retention (EA)	Total energy consumption (L)	Ton of oil equivalent (toe)	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> ) : Diesel use	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> ) : Bio-diesel use	Carbon dioxide reduction (t-CO <sub>2</sub> )
Power cultivator	7,544	2,036,880	1,721	5,282	4,912	370
Tractor	4,321	5,399,954	4,563	14,004	13,023	980
Combine	1,610	1,344,994	1,137	3,488	3,244	244
Farm master	4,979	330,606	279	857	797	60
Total	18,454	9,112,434	7,700	23,631 (100)	21,976 (93)	1,654

[Table 6] Comparison of Carbon Dioxide Emissions by Greenhouse Cultivation of G-City in Jeonbuk Province

Plant	Cultivation area (ha)	production yield (ton)	Number of farm house	Standard of unit area load		Total emissions	
				Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> /ha) : Diesel use	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> /ha) : Bio - diesel use	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> ) : Diesel use	Carbon dioxide emissions (t-CO <sub>2</sub> ) : Bio - diesel use
Spring radish	1.3	55.5	11	389	363	506	472
Spring cabbage	5.1	216.9	19	317	296	1,617	1,510
lettuce	18.7	797.9	50	2,584	2,413	48,321	45,125
Crown daisy	7.0	134.4	18	29,418	27,472	205,925	192,304
Leek	4.3	22.1	6	2,338	2,183	10,053	9,388
Watermelon	10.8	333.1	34	309	289	3,337	3,116
Cucumber	20.0	1,842.7	47	101,584	94,865	2,031,680	1,897,294
Pumpkin	1.2	78.3	2	26,141	24,412	31,369	29,294
Cherry tomato	24.0	1,650.1	49	60,410	56,414	1,449,840	1,353,940
Tomato	7.1	436.0	19	52,494	49,022	372,707	348,055
Strawberry	3.5	107.9	13	4,377	4,087	15,320	14,306
Unripe pepper	13.2	486.6	64	72,047	67,281	951,020	888,115
Aubergime	1.5	135.0	9	64,406	60,146	96,609	90,219
Crisphead lettuce	2.6	83.4	3	401	374	1,043	974
Paprica	7.9	1,177.5	6	29,418	27,472	232,401	217,028
Grape	73.1	1480.0	126	23,588	22,028	1,724,283	1,610,230
Total	201.3	9,037.4	476	470,221	439,117	7,176,030 (100)	6,701,369 (93)

**참고문헌**

1. IPCC, "Fourth Assessment Report : Climate Change 2007-Synthesis Report", (2007).
2. 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청, "저탄소에너지 생산 보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획", pp. 144~172, pp. 273~274 (2009).
3. 김상범 외, "탄소저감을 위한 농촌어메니티 마을 계획 매뉴얼", 농촌진흥청 (2010).
4. 에너지경제연구원, "에너지통계연보", (2009).
5. 김중구 외, "시설재배 및 농업기계 CO<sub>2</sub> 배출량 분석", Proceedings of the KSAM 2011 Winter Conference, pp. 430~434 (2011).
6. 도인환, 황은진, 홍수열, 배재근, "저탄소 녹색마을 활성화를 위한 유형분류 및 기술적용 방안 검토", 유기물자원화, 18(1), pp. 13~23 (2010).
7. 김충실, 이현근, "농업 부문 에너지 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석", 한국 농촌경제, 32(1), pp. 41~61 (2009).
8. 김창길, 김태영, 조경엽, "온실가스 의무감축 이행의 농업부문 파급영향 분석", 농업경제연구, 49(2), pp. 1~30 (2007).
9. IPCC, "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", (1996).
10. 농촌진흥청, "농업기계 및 농업시설 에너지 소비량 보고 자료", (2009).
11. 전라북도농업기술원, 통계연보, (2007).