

축산업의 에너지 소비 및 연료연소에 의한 온실가스 배출 특성

심성희* · 이보혜* · 박태식* · 정경화**†

에너지경제연구원*, 목포대학교 경제학과**

Energy Consumption and GHG Emissions from Fuel Combustion in Korean Livestock Sector

Shim, Sunghee*, Lee, Bo Hye*, Park, Tae Sik* and Jeong, Kyonghwa**†

*Korea Energy Economics Institute, Ulsan, Korea

**Mokpo National University, Muan, Korea

ABSTRACT

This study estimates Korea's livestock energy consumption and GHG emissions from Korean livestock sector. The results show that livestock energy consumption in 2013 is 474 thousand TOE, 19.0% of total energy consumption in agriculture sector. It is estimated that GHG emission of fuel combustion from livestock sector is 956 thousand tons of CO₂ equivalent while a total of 4,589 thousand tons of CO₂ equivalent is emitted from agriculture sector. The livestock GHG emission as a proportion of the total agriculture GHG emissions (20.8%) is higher than the livestock energy consumption as a proportion of agriculture energy consumption (19.0%). This is because coal and petroleum consumption in livestock sector as a proportion of the total livestock energy consumption is higher than that in agriculture sector.

Key words: *Energy Consumption, GHG Emissions, Fuel Combustion, Livestock Sector.*

1. 서 론

지난 2011년 정부는 2020년까지 BAU 대비 30% 감축이라는 국가 중기 온실가스 감축목표 달성을 위해 연도별, 부문별, 업종별 온실가스 감축 로드맵을 수립하였다. 국가 중기 온실가스 감축 로드맵은 우리나라 전 부문을 총 25개 업종으로 구분하여 각 업종별 감축목표를 제시하고 있는데, 이에 따르면 농림어업은 2020년까지 BAU 대비 5.2%를 감축하여야 한다. 2010년 기준 농림어업에서 배출한 온실가스 총배출량은 약 28백만 CO₂ 환산톤으로써 우리나라 전체 온실가스 배출량의 약 4.2%를 차지하였는데, 이중 연료연소에 의한 온실가스 배출량은 약 23.9%(6.7백만 CO₂ 환산톤)에 달하였다.

여기서 한 가지 당면한 문제는 농림어업을 구성하는 하위 업종에 대한 온실가스 배출량에 관한 상세한 정보가 부족하여 하위 업종별 특성에 부합하는 차별화된 맞춤형 온실가스

감축정책 수립에 애로를 겪고 있다는 것이다. 농림어업을 구성하는 농업, 임업, 축산업, 어업 등 하위 업종별로 주요 온실가스 배출원이 다를 수 있고, 그에 따라 온실가스 배출특성에 차이가 날 수 있다. 따라서 농림어업 부문에 주어진 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해서는 세부 업종별 온실가스 배출특성을 고려한 차별화된 감축정책을 수립·이행할 필요가 있다. 이를 위해서는 세분화된 하위 부문별 에너지 소비량과 온실가스 배출량에 대한 통계 자료 구축이 필수적이다. 그러나 온실가스 배출량을 산정하는데 기초자료로 활용되는 현행 우리나라 에너지 통계는 농림어업 부문 전체를 대상으로 에너지 사용량을 조사·집계하고 있어, 세분화된 하위 업종별 온실가스 배출량 통계를 구축하는데 어려움이 큰 실정이다.

본 연구는 농림어업 전체를 대상으로 산정, 구축되고 있는 온실가스 배출통계를 세분화하여 하위 업종인 축산업의 온실가스 배출량 산정 체계 구축의 일환으로 기획되었다. 여기서

† Corresponding author : jeongkyo@mokpo.ac.kr

Received October 1, 2015 / Revised November 5, 2015 / Accepted November 25, 2015

축산업만의 온실가스 배출량 산정 체계를 구축하기 위해서는 축산 부문의 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량을 별도로 산정하여 관리할 필요가 있다. 또한 축산부문의 온실가스 배출량 지도(livestock GHG emission map)를 개발하기 위해서는 축산부문의 에너지 사용량에 대한 정확한 파악이 선행되어야 한다. 이에 본 연구는 기존에 농림어업 전체로만 파악되던 에너지 소비 및 온실가스 배출량을 축산업을 대상으로 세분화하여 추정하고, 그 특성을 살펴보는데 초점을 둔다. 축산업에서 소비하는 에너지 소비량을 파악하고, 이를 활용하여 축산업에서 발생하는 연료연소에 의한 온실가스 배출량 및 주요 특성을 살펴보기로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 에너지 소비량 조사방법 및 온실가스 배출량 산정 방법에 대해 논의한다. 제3장은 축산업의 에너지 소비량 추정 결과와 주요 특징에 대해 설명한다. 제4장은 축산업 연료연소에 의한 온실가스 배출량 산정 및 특성에 대해 간략히 살펴본다. 제5장에서는 본 논문을 끝맺기로 한다.

2. 연구방법

2.1 에너지 소비량 조사방법

축산업의 에너지 소비 조사는 2014년도에 실시된 제12차 에너지 총조사의 농림어업부문 조사와 연계하여 수행하도록 기획하였다. 에너지경제연구원은 1981년부터 매 3년마다 우리나라 전 부문에 대한 표본조사 방식을 통해 국가 전체의 주요부문 에너지 소비실태를 파악해오고 있다. 농림어업 부문 조사는 농림어업 부문의 가구 및 사업체를 대상으로 에너지 소비량을 조사하여 에너지 소비 행태의 변화를 관찰하고, 이를 토대로 해당 부문 에너지 정책의 수립을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

제12차 농림어업부문에 대한 에너지 총조사는 2013년 1월 1일부터 동년 12월 31일까지 1년간 해당 부문 가구 및 사업체에서 사용한 에너지소비량을 표본 추출을 통해 조사하였으며, 표본에 대한 조사는 2014년 9월부터 11월까지 약 2개월에 걸쳐 에너지경제연구원에 의해 수행되었다. 그간의 조사에서는 전체 농림어업부문의 에너지 소비실태 조사과정에서 축산가구 표본이 일부 포함되기는 하였으나 축산업의 에너지소비 특성에 대한 조사를 별도로 수행하지 않았다. 그러나 2014년도 에너지 총조사에서는 축산업만의 에너지 소비 실태를 조

사하기 위해 축산업 모집단을 대상으로 별도로 표본추출 과정을 거쳐 조사가 진행되었다는 점에서 종전 조사와는 다른 특징을 가진다. 조사는 크게 가구부문과 사업체 부문으로 구분하여 진행되었으며, 부문별 세부 조사내용은 2014년도 에너지 총조사 보고서를 참조하기 바란다. 아래에서는 2014년도 농림어업부문 에너지 총조사의 개요에 대해 간략히 소개하기로 한다.¹⁾

2.1.1 가구부문 조사

에너지 총조사의 농림어업 가구부문 모집단은 전국 농림어가이며, 조사 모집단 및 표본들은 2010년도 농림어업 총조사의 가구명부를 활용하였다. 표본은 일차적으로 크게 농임가와 어가로 구분한 다음, 농임가의 경우 지역(시도별) 및 경영형태를 고려하여 설계하였다. 전체 농림가구의 에너지소비량 추계에만 초점을 맞추었던 종전과 달리 축산 가구에 대한 에너지소비량 추정의 정밀도를 높이기 위해 축산가구부문에 대해서는 시도별, 경영형태(육종형태)를 감안하여 200개 축산가구 표본을 별도로 추출, 조사하였다. 이에 따라 축산을 제외한 농임가는 910가구, 어가 410가구, 축산농가 200가구 등 총 1,520가구를 대상으로 조사가 수행되었다. 이에 반해 종전 에너지 총조사는 축산가구가 농림어업 가구 표본에 포함되어 있기는 하나, 축산업의 에너지 소비량을 별도로 추계하기 위해서라기보다는 전체 농림업 소비량 추계 차원에서 축산업 표본을 일부 포함시켰다. 예를 들어 2011년도 에너지 총조사에서는 2014년도 조사와 동일하게 총 910개 가구에 대한 표본조사가 수행되었으며, 이들 표본가구에는 총 20개 축산가구 표본을 포함하였다(MKE, 2011).

2014년도 에너지 총조사의 구체적인 표본 추출 과정은 다음과 같다. 먼저 농림어업총조사를 활용하여 시도별, 경영형태별, 어업형태 등을 고려하여 비례배분법 및 제곱근 비례배분방법을 절충하여 조사구를 배분하였다. 다음으로 조사구 당 표본가구수는 축산을 제외한 농임가의 경우 영농형태에 따라 6.5~7가구를 할당하였고, 축산가구의 경우에는 조사구 당 5개 가구를 할당하였다(MOTIE, 2014). 끝으로 각 조사구 당 표본가구는 지역, 거주형태, 난방형태비율 등의 순으로 정렬한 후 할당된 가구 수만큼 계통추출하였다. 이때 농림어업부문(축산포함)의 경우 가구 수가 적은 서울은 인천에 포함하고, 부산은 경남에, 대전은 충남에 포함하여 추출하는 방식을 취하였다.

1) 2014년도 농림어업부문 에너지 총조사에 대한 보다 상세한 설명 및 농림어업 부문 조사표에 대해서는 MOTIE(2014)를 참고하라.

2.1.2 사업체부문 조사

농림어업 사업체부문 조사에서 모집단은 2014년 기준으로 사업을 영위하는 전국 사업체 중 한국표준산업분류체계의 중분류 01(농업), 02(임업) 및 03(어업)에 해당하는 업체들을 대상으로 한다. 실제 조사 대상으로 삼은 조사모집단은 2013년 실시된 2012년 기준 전국 사업체 조사에 등록된 총 2,451개 업체를 대상으로 하였다. 사업체 부문 표본은 총 종사자 인원 및 한국표준산업분류체계의 세분류로 단계적으로 층화하여 580개 업체들로 구성된 표본을 구축하였다. 5인 미만 사업장의 경우 전수조사하고, 5인 이상 사업장은 종사자 인원수, 세분류, 지역에 따라 비례, 제곱근 및 네이만 배분법 등을 절충하여 할당하였다(MOTIE, 2014). 전체 표본의 수는 2011년도 조사와 동일하였으나, 2011년도 조사는 전체 모집단 2,302개 업체를 대상으로 조사가 이루어져, 모집단 대비 표본 수 비율은 2011년도 조사가 약간 높았다.

가구부문과 달리 사업체 부문의 경우 기존 에너지 총조사의 축산사업체 조사모집단 대비 표본수가 조사 결과의 정밀도를 기하기 위해 충분하여 종전과 동일한 조사 방식을 견지하였다. 축산사업체 부문 조사모집단은 산업세분류의 012(축산업), 013(작물재배 및 축산복합농업)에 해당하는 371개 업체를 대상으로 하였고, 동 조사모집단에서 총 76개 표본을 추출하여 조사를 진행하였다. 단, 산업세분류의 014(작물재배 및 축산 관련 서비스업)에 해당하는 업체의 경우 가금감별, 품종개량 및 혈통검사 등과 관련한 서비스업에 종사하는 업체들로서 축산업과 직접적인 연관성이 약하다고 판단하여 조사에서 제외하였다.

2.2 온실가스 배출량 산정 방법

본 연구는 축산업과 농림업의 연료 연소에 의해 발생하는 온실가스 배출량 산정에 한정하고 있다. 이에 따라 축산업 및 농림업의 연료 유형별 소비량에 온실가스 배출계수를 곱하여 이를 합산하는 부문별 접근법(sectoral approach)을 이용하였다. 또한 산정 방법론은 2006 IPCC 가이드라인의 Tier 1 방법론을 따르기로 하였다.²⁾ 산정 대상 배출 가스는 CO₂, CH₄, 그리고 N₂O 등 3대 온실가스를 대상으로 산정하며, 각 배출 가스별 온실가스 산정식은 다음과 같다.

• CO₂

$$E = \sum (TA_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times 44/12) \quad (1)$$

E : CO₂ 배출량(Gg CO₂ eq.)

TA: 총 연료 사용량(천 toe)

41.868 : Joule-toe 환산 계수(TJ/천 toe)

CF: 전환계수(순발열량/총발열량)

EA: 배출계수(t C/TJ)

i: 연료 유형

• CH₄ 및 N₂O

$$E = \sum (TA_{ij} \times 41.868 \times CF_i \times EF_{ij} \times 10^{-6} \times GWP) \quad (2)$$

E : 배출량(Gg CO₂ eq.)

TA: 총 연료 사용량(천 toe)

41.868 : Joule-toe 환산 계수(TJ/천 toe)

CF: 전환계수(순발열량/총발열량)

EA: 배출계수(kg CH₄/TJ, kg N₂O/TJ)

GWP: 지구온난화 지수

i: 연료 유형, *j*: 설비 유형

활동자료의 경우, 국내 에너지 통계가 총발열량을 기준으로 작성되는 점을 고려하여 GIR(2014)에서 제공하는 연료유형별 전환계수를 이용, 순발열량으로 전환하였으며, 배출계수는 IPCC(2006)에서 제공하는 기본 배출계수를 적용하였다. 단, 농림업에서 소비되는 휘발유와 경유의 경우, 대부분 수송용으로 사용된다는 점을 고려하여 휘발유, 경유의 CH₄, N₂O 배출계수는 이동연소 설비에 해당하는 값을 적용하였다. Table 1은 본 연구에 적용된 연료 유형별 전환계수 및 배출계수를 요약한 표이다.

현재 에너지 부문의 국가 온실가스 인벤토리는 소비부문에 대한 조사통계인 에너지 총조사가 아니라, 공급통계인 에너지 밸런스를 기초로 작성하는 하향식(Top-Down) 접근법을 따른다. 하향식 접근법의 경우 에너지공급사가 소비자에 공급한 자료를 활동자료로 활용함으로써, 국가 온실가스 배출총량의 관점에서는 높은 완전성과 정확성을 확보한다는 장점이 있다. 그러나 세분화된 업종별로 공급통계를 확보하기 용이치 않고, 에너지공급사가 가진 공급통계 정보와 실제 소비주체가 다른 경우가 종종 발생함에 따라 세부 업종별 온실가스 배출량 추정의 정확성을 담보하기 어렵다는 단점이 있다. 농림어업부문의 경우, 현행 공급통계를 활용하여 추가적인 세분화가 불가능하기 때문에, 하향식 접근법으로는 축산업 및 농림업의 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량을 산정하는데 많은 한계

2) IPCC 가이드라인에서 제시한 산정 방법론의 자세한 내용은 IPCC(2006)을 참조하라.

Table 1. Conversion factors and emission factors which are applied in this study

Fuel type	Conversion factor (Net calorific/gross calorific)	Emission factors		
		CO ₂ (t C/TJ)	CH ₄ (kgCH ₄ /TJ)	N ₂ O (kgN ₂ O/TJ)
Briquettes	0.989	26.8	300	1.5
Gasoline	0.925	18.9	25	8.0
Kerosene	0.933	19.6	10	0.6
Diesel oil	0.934	20.2	3.9	3.9
Bunker oil	0.944	21.1	10	0.6
Propane	0.917	17.2	5	0.1
City gas	0.905	15.3	5	0.1

Source: IPCC (2006) and GIR (2014).

가 존재한다. 따라서 여기서는 조사 통계를 활용하여 온실가스 배출량을 산정하는 상향식(Bottom-Up) 접근법을 따르기로 한다.

3. 축산업 에너지 소비량 추정 결과와 주요 특징

본 절에서는 2014년도에 수행된 제12차 에너지 총조사 중 축산업의 에너지소비량 추정 결과와 주요 특징에 대해 소개하기로 한다. 앞서 언급한 바와 같이, 종전 조사와 달리 축산 가구부분의 표본 수를 대폭 확대하여 전체 농림업과는 별도로 축산업만의 에너지 소비 특성을 파악하였다는 점에서 본 조사의 차별성이 있다. 에너지 총조사의 기본적인 목적은 농림업 전체의 에너지 소비 특성을 알아내는데 있으므로, 에너지 총조사 보고서에는 전체 농림업의 에너지 소비 구조만을 기술하며, 축산업의 에너지 소비량 추계 결과는 별도로 수록하지 않고 있다. 이에 본 논문은 축산업만의 에너지 소비량을 추계하고, 주요 특징을 소개하는 국내 최초의 문헌이라는 점에서 의의를 가진다.

3.1 축산업의 부문별·원별 에너지 소비량 추계 및 특징

지난 2013년도 전체 축산업의 에너지 소비량은 474.2천 toe에 이르는 것으로 나타났다. 전체 축산업 에너지 소비의 대부분은 가구부문에서 소비(전체의 93.3%)하였고, 사업체 부문에서 소비한 양은 전체 소비량의 약 6.7%를 차지하였다. 전체 농

림업(어업 제외)을 대상으로 하면 농림업 부문에서 총 2,496.8천 toe의 에너지를 소비한 것으로 나타나, 축산업이 전체 농림업 에너지소비량에서 차지하는 비중은 약 19% 수준인 것으로 추산된다. 전체 농림업을 대상으로 할 경우, 가구부문의 에너지 소비량은 2,353.0천 toe로 농림업 총 소비량의 94.2%에 달하였고, 사업체 부문이 5.8%를 차지하였다. 전체 에너지 소비량의 부문별 구성을 보면 농림업 전체를 대상으로 할 때에 비해 축산업의 가구부문 에너지 소비 비중이 약간 적었으나, 전반적으로 볼 때 총 에너지 소비의 90% 이상을 가구부문에서 소비하고 있다는 점에서 서로 대동소이한 것으로 나타났다.

에너지원별로 보면 연탄, 경유나 등유와 같은 석유류 제품, 그리고 전력이 축산업의 주요 에너지원으로 조사되었다. 석유류 제품의 소비가 전체 축산업 에너지 소비의 60.8%로서 가장 큰 비중을 보였고, 전력이 33.4%로서 뒤를 이었다. 농림업 전체와 비교할 때 대체로 유사한 에너지원별 소비구조를 가지고 있는 것으로 보이지만, 농림업에 비해 석유 소비 비중이 다소 높고, 전력 소비의 비중은 조금 더 낮았다. 농림업의 경우, 전체 에너지 소비에서 석유류 제품 소비가 차지하는 비중은 51.9%이었으며, 대신 전력 소비가 40.5%로 축산업에 비해 높았다. 도시가스의 경우 극히 미미한 수준이긴 하지만, 전체 농림업을 대상으로 한 조사에서는 농림사업체 부문에서 약 2천 toe 가량의 소비량이 있는 것으로 나타났으나, 축산업에서는 소비량이 없는 것으로 나타났다.

아울러 석유류 소비의 세부 에너지원별 구성에서도 축산업과 전체 농림업간에 약간의 차이를 보였다. 유종간 소비 구성의 경우에는 경유, 등유, 휘발유 순으로 소비가 이루어지고 있었으며, 그러한 소비 구성의 순서는 축산업과 농림업간에 차이가 없었다. 다만, 전체 석유류 소비에서 경유 소비의 비중은 농림업에 비해 축산업에서 약간 낮은데 반해, 등유 비중이 다소 높게 나타났다. 축산업의 경유 소비는 전체 석유류 소비의 약 65.5%로 조사된 반면, 전체 농림업에서는 약 76.7%로 나타나, 축산업의 경유 소비가 다소 낮았다. 등유의 경우에는 축산업이 약 25%, 농림업은 약 15% 수준인 것으로 조사되었다. 이는 축산업의 경우 축사 난방용 등유 수요로 인해 전체 농림업을 대상으로 했을 때에 비해 등유 비중이 높게 나타났기 때문인 것으로 풀이된다. Table 2는 축산업과 농림업의 부문별·에너지원별 소비량 및 비중을 보여준다.

3.2 축산업의 용도별·원별 에너지 소비량 추계 및 특징

축산부문의 사용용도별 에너지 소비량을 살펴보면 ‘장비 및 설비용’ 에너지 소비가 77%(365.6천 toe)로 가장 많았고, ‘건물용’ 11.5%(54.6천 toe), ‘농기계용’ 11.4%(54.1천 toe)의 순이

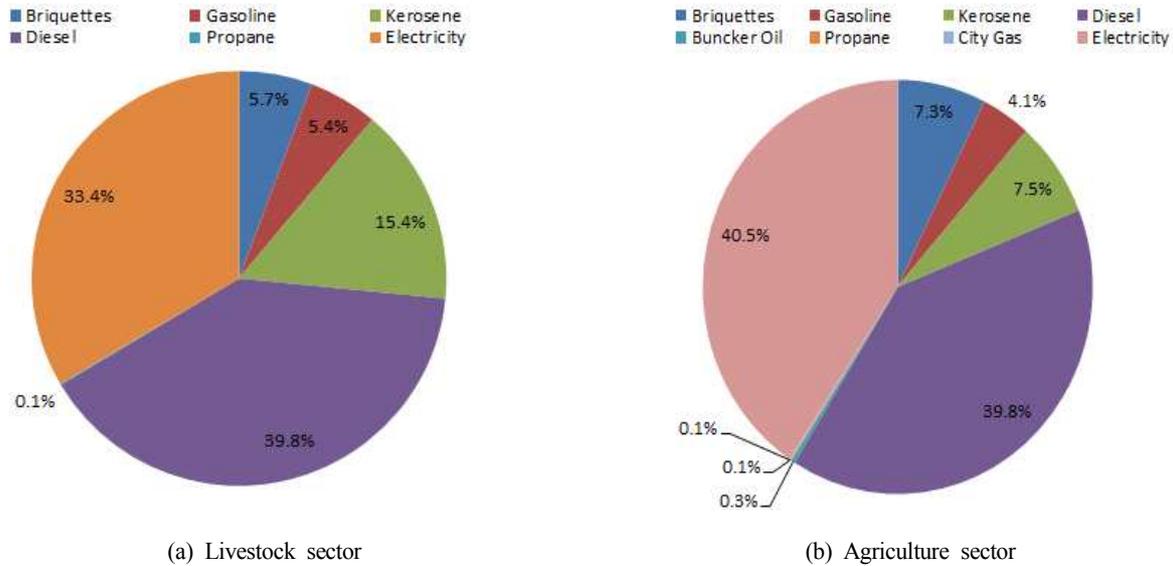


Fig. 1. The comparison of energy consumption by source between livestock and agriculture.

Table 2. Energy consumption by sources of livestock and agriculture sector in 2013 (Unit: toe, %)

	Livestock sector			Agriculture sector			
	Total	Household	Company	Total	Household	Company	
Total	474,239.9 (100)	442,675.3 (100)	31,564.6 (100)	2,496,845.6 (100)	2,352,960.4 (100)	143,885.2 (100)	
Briquettes	27,465.1 (5.7)	27,274.5 (6.2)	190.6 (0.6)	183,878.7 (7.3)	183,026.1 (7.7)	852.6 (0.5)	
Subtotal	288,375.2 (60.8)	281,007.9 (63.5)	7,367.4 (23.3)	1,297,555.7 (51.9)	1,254,624.2 (53.3)	42,931.5 (29.8)	
Oil products	Gasoline	25,882.4 (5.4)	25,879.6 (5.8)	2.8 (0.0)	103,554.4 (4.1)	102,915.1 (4.3)	639.3 (0.4)
	Kerosene	73,222.2 (15.4)	68,275.2 (15.4)	4,947.0 (15.7)	188,210.7 (7.5)	178,867.5 (7.6)	9,343.2 (6.4)
	Diesel	188,789.4 (39.8)	186,853.1 (42.2)	1,963.3 (6.1)	995,246.2 (39.8)	967,955.9 (41.1)	27,290.3 (18.9)
	Bucker oil	35.7 (0.0)	0.0 (0.0)	35.7 (0.1)	9,259.2 (0.3)	4,885.7 (0.2)	4,373.5 (3.0)
	Propane	445.5 (0.1)	0.0 (0.0)	445.5 (1.4)	1,283.1 (0.0)	0.0 (0.0)	1,283.1 (0.8)
	Butane	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	2.1 (0.0)	0.0 (0.0)	2.1 (0.0)
	City gas	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	1,985.4 (0.0)	0.0 (0.0)	1,985.4 (1.3)
Electricity	158,399.5 (33.4)	134,392.9 (30.4)	24,006.6 (76.1)	1,013,425.8 (40.5)	915,310.1 (38.9)	98,115.8 (68.1)	

Source : MOTIE (2014).

었다. 여기서 ‘장비 및 설비용’은 건조기, 온풍기, 보일러, 난로, 저온저장고 등에서 사용하는 에너지를 지칭하며, ‘농기계용’은 경운기, 트랙터, 이앙기, 관리기 등에 사용된 에너지를 말한다. 한 가지 주목할 만한 점은 축산업과 농림업의 부문별·에너지원별 소비 구조가 상당히 유사한 것과는 달리 용도별 에너지 소비 구조는 상당한 차이를 보이고 있다는 것이다.

축산업과는 달리 농림업의 경우 ‘농기계용’ 에너지 소비가 52.4%(1,309천 toe)로 가장 많은 비중을 보였고, 다음으로 ‘장비 및 설비용’ 에너지 소비가 37.3%(931.6천 toe), ‘건물용’이 10.2%(256.2천 toe)을 차지하였다. 이처럼 축산업의 ‘장비 및 설비용’ 에너지 소비 비중이 높은 이유는 축산업 에너지 소비의 주요 원천인 축사 운영과 관련한 에너지 소비가 ‘장비 및 설비용’

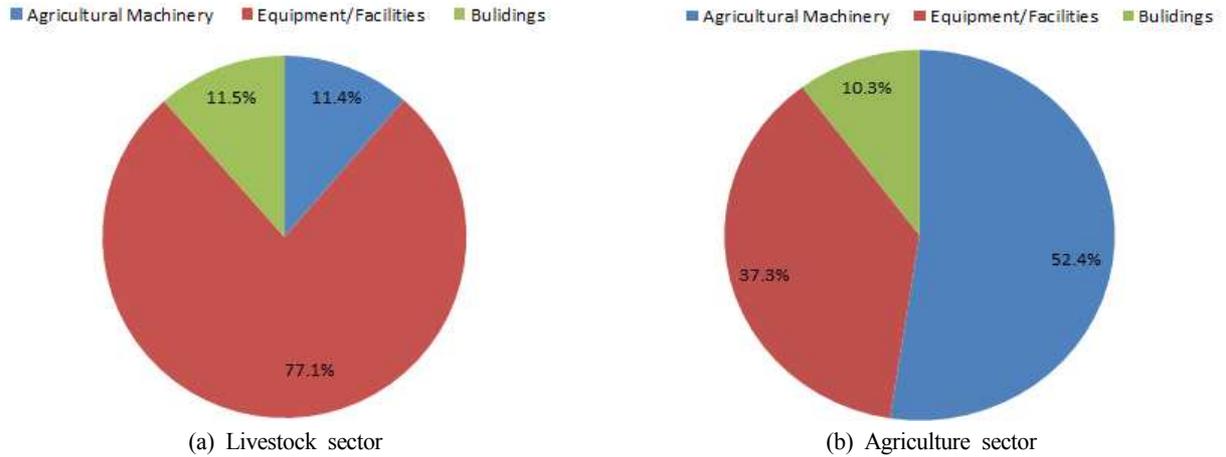


Fig. 2. The comparison of energy consumption by use between livestock and agriculture.

으로 분류되기 때문인 것으로 판단된다. 이에 반해 다양한 영농형태를 아우르는 농림업 전체의 경우 논벼 및 식량작물 재배에 종사하는 농가 비중이 높아, 경운기, 트랙터 등과 같은 ‘농기계용’ 에너지 소비가 상대적으로 높게 나타난 것으로 풀이된다.

축산부문의 용도별 에너지 소비의 원별 구성을 살펴보면 ‘농기계용’ 에너지 소비의 대부분이 석유류 제품 소비(99.3%)에서 비롯되는 것으로 나타났다. 반면, ‘장비 및 설비용’ 에너지 소비의 경우 석유류 소비 비중이 64.1%로 높게 나타나긴 했으나, 전력 비중 또한 28.3%로서 무시하지 못할 비중을 차지하였다. 한편, 농림업 전체에 대한 조사에서는 ‘농기계용’ 에너지 소비의 72.5%가 석유류 제품에서 소비되어 가장 큰 비중을 차지하였으나, 전력의 비중 또한 27.4%로 꽤 높았다. 특히 ‘장비 및 설비용’의 경우, 축산업과는 반대로 석유류 제품의 비중에 비해 전력 소비 비중이 훨씬 높은 것으로 나타나 대조를 이루었다. 이는 농산물용 전기전조기, 농업용 전기난

방기 및 전기온풍기 등 전기기기가 전체 농림업에 걸쳐 광범위하게 보급되었기 때문이다. Table 3은 축산업 및 농림업의 용도별·원별 에너지 소비를 보여준다.

3.3 축산업의 에너지원별 소비량 변화 추세

다음으로 축산업의 최근 에너지 소비 변화 추세를 살펴보기 위해 2011년도 에너지 총조사 원시자료(raw data)를 활용하여 2010년 축산업 에너지원별 소비를 추계하였다. 2011년도 에너지 총조사의 농림업 표본에 축산가구 표본 20개, 축산사업체 표본 87개를 포함하고 있어, 동 자료를 활용할 경우 지난 3년간 축산업의 에너지 소비량 변화를 살펴보는데 도움이 된다. 다만 2011년도 에너지 총조사는 별도로 축산업의 에너지 소비를 추계하기 위해 기획된 것은 아니므로, 추계의 정확성이 다소 낮다는 문제점은 있다. 그럼에도 불구하고, 축산업의 에너지 소비 변화 추이를 살펴보기 위한 국내 유일의 자료라는 점에서 학술적 가치를 가진다.

Table 3. Energy consumption by use of livestock and agriculture sector in 2013 (Unit : Kilo toe, %)

	Livestock sector				Agriculture sector			
	Total	Agricultural machinery	Equipment	Buildings	Total	Agricultural machinery	Equipment	Buildings
Total	474.2 (100)	54.1 (100)	365.6 (100)	54.6 (100)	2,496.9 (100)	1,309.0 (100)	931.6 (100)	256.2 (100)
Briquettes	27.5 (5.7)	0.0 (0.0)	27.5 (7.5)	0.0 (0.0)	183.9 (7.3)	0.0 (0.0)	183.9 (19.7)	0.0 (0.0)
Oil products	288.4 (60.8)	53.7 (99.3)	234.7 (64.1)	0.4 (0.0)	1,297.6 (51.9)	949.7 (72.5)	257.3 (27.6)	90.6 (35.3)
City gas	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	2.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.4 (0.0)	1.5 (0.0)
Electricity	158.4 (33.4)	0.3 (0.0)	103.5 (28.3)	54.6 (100)	1,013.4 (40.5)	359.3 (27.4)	490.0 (52.5)	164.1 (64.0)

Source : MOTIE (2014).

지난 2011년도 축산업 에너지 소비량은 454천 toe로 추계되었다. 따라서 최근 3년간 축산업 에너지 소비는 연 평균 1.5%씩 증가한 것으로 나타났다. 같은 기간 농림업 전체의 에너지 소비는 연 평균 증가율 1.2%를 보여 축산업의 에너지 소비 증가세가 농림업 전체에 비해 약간 높았다. 에너지원별로 보면 석탄(연탄), 석유의 소비 비중이 2010년도에 비해 줄어든 반면, 전력 소비 비중은 28.9%에서 33.4%로 크게 높아진 것으로 나타났다. 이러한 에너지원별 소비 구성비의 변화는 비단 축산업뿐만 아니라, 농림업 전체에서 공통적으로 나타나는 경향이었다. 동 기간 동안 축산업의 전력 소비 증가율은 전체 에너지 소비 증가율을 훨씬 상회하는 연 평균 6.5%를 나타내었고, 농림업 전체를 대상으로 할 경우 축산업에 비해 약간 낮기는 하지만, 여전히 6.3%의 높은 연평균 증가율을 보였다. 이는 최근 3년간 축산업을 포함한 농림업 전체에서 연탄 및 석유 등 에너지원에서 전력으로 에너지원별 대체가 급속하게 진행되고 있음을 시사한다. Table 4는 최근 3년간(2010~2013년) 축산업 및 농림업의 에너지 소비 변화 추세를 보여준다.

4. 축산업 연료연소에 의한 온실가스 배출량 산정 및 특성

4.1 직접배출량 기준

앞서 살펴본 축산업 에너지 소비량 추계 결과를 토대로 축산업의 연료연소에 의한 온실가스 배출량을 산정하였다. 2006 IPCC 가이드라인 방법론에 따라 2013년도 축산업의 연료연소에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과, 총 956천 CO₂ 환산

톤을 배출한 것으로 나타났다. 2014년도 에너지 총조사 기준으로 농림업 전체의 연료연소에 의한 온실가스 배출량은 4,589천 CO₂ 환산톤을 기록하였다.³⁾ 전체 농림업 배출량 중 축산업이 차지하는 비중은 약 20.8%에 달하였는데, 이는 전체 농림업 중 축산업 에너지 소비 비중 19%에 비해 높았다. 그 이유는 축산업의 총 에너지 소비 대비 연탄 및 석유류 제품 소비 비중이 농림업 전체에 비해 높았기 때문이다.

연료 유형별로는 석유류 제품 소비에 의한 온실가스 배출이 전체의 87.5%를 차지하여 가장 높았고, 연탄 소비에 따른 배출량은 12.5%이었다. 농림업 전체의 경우, 석유제품 소비에 의한 배출량 비중은 82.5%였고, 연탄이 17.4%를 차지하였으며, 도시가스에 의한 배출량 비중은 0.1%로 극히 미미하였다. 온실가스 종류별로 보면 CO₂가 전체 온실가스 배출량의 97.8%였고, CH₄가 0.9%, N₂O는 1.3%로서, 연료연소에 의한 온실가스 배출 특성 상 CO₂에 의한 배출이 대부분을 차지하였다. 이러한 경향은 농림업 전체에서도 거의 유사하였다.

한편, 2010년도 축산업 에너지원별 소비량을 토대로 산정한 온실가스 배출량은 총 976천 CO₂ 환산톤으로 나타나, 2013년도에 비해 오히려 약 2% 가량 많았다. 이처럼 동 기간 동안 축산업의 온실가스 배출량이 줄어든 이유는 앞의 Table 5에서 보여주는 바와 같이 연탄 및 석유류 제품의 에너지 소비가 줄어들었기 때문이다. 이와 유사하게 농림업 또한 2010년도 연료연소에 의한 온실가스 배출량이 4,822천 CO₂ 환산톤으로 나타나, 2013년도에 비해 5.1% 가량 높았으며, 그 원인은 축산업의 경우와 동일하다.

4.2 간접배출량 기준

Table 4. Energy consumption trend of livestock and agriculture sector (2010~2013)

(Unit: toe, %)

	2010 year		2013 year		Annual growth rate	
	Agriculture	Livestock	Agriculture	Livestock	Agriculture	Livestock
Total	2,408,987.1 (100.0)	453,957.0 (100.0)	2,496,845.6 (100.0)	474,239.9 (100.0)	1.2	1.5
Briquettes	185,742.6 (7.7)	27,744.0 (6.1)	183,878.7 (7.4)	27,465.1 (5.8)	-0.3	-0.3
Oil products	1,376,923.9 (57.2)	295,080.0 (65.0)	1,297,555.7 (52.0)	288,375.2 (60.8)	-2.0	-0.8
City gas	2,632.3 (0.1)	0.0 (0.0)	1,985.4 (0.1)	0.0 (0.0)	-9.0	0.0
Electricity	843,688.4 (35.0)	131,134.0 (28.9)	1,013,425.8 (40.6)	158,399.5 (33.4)	6.3	6.5

Source : MKE (2011) and MOTIE (2014).

3) 국가 온실가스 인벤토리상의 지난 2010년도 농림어업 부문 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 6,642천 CO₂ 환산톤이었다(GIR, 2014).

Table 5. GHG emissions trend of livestock and agriculture sector (based on direct emissions) (Unit: KtCO₂eq)

		2010 year		2013 year	
		Agriculture	Livestock	Agriculture	Livestock
Gas type	CO ₂	4,698.3	954.2	4,472.0	934.6
	CH ₄	56.8	9.1	54.9	8.9
	N ₂ O	67.1	12.4	62.0	12.5
	Total	4,822.3	975.7	4,588.8	956.0
Fuel type	Coal	808.0	120.7	799.9	119.5
	Oil	4,008.7	855.0	3,784.7	836.5
	LNG	5.6	0.0	4.2	0.0
	Total	4,822.3	975.7	4,588.8	956.0

국가 온실가스 인벤토리의 산정은 원칙적으로 직접배출을 기준으로 이루어진다. 따라서 최종 소비자가 사용하는 전력, 열 등의 생산에 따른 온실가스 배출은 모두 에너지 산업, 즉 전환부문의 배출량으로 귀속된다. 그러나 전력과 열 등의 전환 에너지는 궁극적으로 최종 소비자의 수요를 충족시키기 위해 생산된다. 따라서 환경오염이 최종 소비자로부터 기인하므로 사용자가 관련 배출량을 관리해야 한다는 관점에서 접근할 필요가 있다. 이는 자원고갈 또는 환경오염을 일으키는 원인이 이용자에 있으므로 이용자가 관련 비용을 부담해야 한다는 사용자 부담의 원칙과 일맥상통한다(Jin and Kim, 2010). 이에 따라 전력 소비에 따른 간접 배출을 포함할 경우의 축산업 온실가스 배출량을 산정해 보았다. 전력소비에 따른 간접배출량 산정에 적용한 배출계수는 전력거래소에 발표한 2010년도 사용단의 전력배출계수를 적용하였다. 지난 2010년도 사용단 전력배출계수는 CO₂의 경우 0.4705 tCO₂/MWh, CH₄ 0.0054 kgCH₄/MWh, N₂O 0.0026 kgN₂O/MWh이었다(<https://epsis.kpx.or.kr/>). 다만, 2013년도 간접배출량은 당해연도 전력배출계수

를 적용하는 것이 타당함에도 불구하고, 전력거래소 홈페이지에 게재된 배출계수가 2011년까지밖에 없어서 2010년도 전력배출계수를 일괄 적용하였다.

전력소비에 의한 간접배출을 포함한 2013년도 축산업의 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 1,824천 CO₂ 환산톤에 이르렀다. 전력소비에 의한 배출량이 868.2천 CO₂ 환산톤에 달해 전체 온실가스 배출량의 47.5%를 차지했다. 같은 기간 농림업 전체의 간접배출을 포함한 총 온실가스 배출량(에너지 총조사 기준)은 10,154천 CO₂ 환산톤을 나타냈고, 이중 전력 소비에 의한 간접배출의 비중이 전체 배출량의 절반 이상인 54.8%에 이르는 것으로 나타났다.

특히 주목할 만한 사실은 직접배출만을 고려하는 경우와는 달리, 간접배출을 포함할 경우 지난 3년간(2010~2013년) 축산업 및 농림업의 온실가스 배출량이 증가하였다는 것이다. 축산업과 농림업의 총 온실가스 배출량은 2010년 이후 각각 2.5%, 2.4%의 연 평균 증가율을 보였다. 이는 직접배출만을 포함하는 경우 각각 연 평균 0.7%, 1.6%씩 감소하였다는 사실과

Table 6. GHG emissions trend of livestock and agriculture sector (incl. indirect emissions) (Unit: KtCO₂eq, %)

	2010 year		2013 year		Annual growth rate	
	Agriculture	Livestock	Agriculture	Livestock	Agriculture	Livestock
Total	9,455.6	1,694.5	10,154.3	1,824.3	2.4	2.5
Briquettes	808.0	120.7	799.9	119.5	-0.3	-0.3
Oil products	4,008.7	855.0	3,784.7	836.5	-1.9	-0.7
City gas	5.6	0.0	4.2	0.0	-9.1	0.0
Electricity	4,633.3	718.8	5,565.4	868.3	6.3	6.5

대조를 이룬다. 아울러 같은 기간 최종에너지 소비 증가율에 비해 거의 두 배 가까이 온실가스 총 배출량 증가율이 높게 나타났는데, 이는 전환 손실이 높은 전력 소비 비중이 크게 높아졌기 때문이다. Park and Kim(2014)은 전환부문으로 인해 최종에너지소비만으로 우리나라의 에너지 소비 변화요인을 분석할 경우 해석상 오류에 직면할 우려가 있음을 지적하였다. 본 연구의 결과는 그들의 연구가 제시하는 시사점과 맥을 같이 한다.

결국 동 기간 동안 낮은 농업용 전기 요금으로 인해 축산업을 포함한 농림업 부문 전체적으로 에너지원의 전력화(electrification) 현상이 두드러지게 되었고, 이로 인해 간접배출을 포함한 온실가스 총 배출량의 증가율이 에너지 소비 증가율을 상회함으로써 에너지 소비 단위 당 배출 집약도가 지속적으로 악화되었음을 의미한다. LMDI 방법론을 활용하여 업종별 에너지 소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석을 수행한 최근 연구에서도 농림어업의 에너지원단위는 개선되는데 비해, 에너지믹스 효과로 인해 온실가스 배출은 오히려 늘어나는 것으로 나타나, 본 연구의 결과를 뒷받침해 준다(Kim and Shim, 2013; Park and Shim, 2015).⁴⁾ 실제로 에너지통계연보의 전력 소비량을 기준으로 할 때 동 기간 동안 축산업 및 농림업의 전력 소비 증가율은 국가 전체(3%) 및 산업부문(4.8%)의 연 평균 증가율을 훨씬 상회하였다(KEEI, 2014). 이러한 결과는 축산업을 포함하여 전체 농림업 부문에서 광범위하게 진행되고 있는 에너지원의 전력화 현상에 대한 정책적 대응이 시급함을 시사한다.

5. 결 론

본 연구는 국내 축산업 부문에 대한 에너지 소비량과 연료연소에서 발생하는 온실가스 배출량을 추정한 국내 최초의 연구이다. 그 동안 에너지 총조사에서 국내 농림업 부문의 에너지 소비량은 농업, 임업, 축산업 등 세부적인 부분으로 분리되지 않고 수집되어 발표되는 관계로 국내 축산업의 연료연소로 인한 온실가스 배출량은 별도로 관리될 수 없는 여건이었다. 본 연구에서는 축산부문의 에너지 소비 조사의 정밀도를 높이기 위해 2014년도에 수행된 에너지 총조사와 연계하여 축산업의 에너지 소비량을 추계해내고, 이를 토대로 연료연소에 의한 온실가스 배출량을 산정하였다. 또한 2011년도에 수행된 에너지 총조사의 원시자료를 바탕으로 축산업의 2010년 에너지 소비 및 온실가스 배출량을 추산해보고, 지난 3년간 축

산업의 에너지 및 온실가스 배출 추이를 살펴보았다.

축산부문의 에너지 소비량을 추정한 결과, 2013년도 축산 부문 에너지 소비는 474천 toe로서 전체 농림업 에너지 소비량의 약 19.0%를 차지하였다. 에너지원별로 보면, 경유가 전체 축산부문 에너지 소비의 39.8%, 전력이 33.4%, 등유가 15.4%를 차지한 것으로 조사되었다. 용도별로는 장비 및 설비에서 가장 높은 소비(77.1%)가 이루어졌으며, 농기계용 11.4%, 건물용 11.5%로 사용되었다. 한편, 2010년도 축산업의 에너지 소비량 추계 결과와 비교할 때 축산업은 지난 3년간 연 평균 1.5%의 소비 증가율을 보인 것으로 나타났다. 이는 농림업 전체의 증가율 1.2%보다 다소 높은 것이었다. 에너지원별로는 석탄 및 석유류 소비는 줄어든 반면, 전력 소비는 연 평균 6.5%의 높은 증가세를 보였다. 이러한 경향은 농림업 전체에서도 공통적으로 나타난 특징이다.

2006 IPCC 가이드라인 방법론을 적용하여 2013년도 축산업의 연료연소에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과, 총 956천 CO₂ 환산톤을 배출한 것으로 나타났다. 농림업 전체의 연료연소에 의한 온실가스 배출량은 4,589천 CO₂ 환산톤이었다. 전체 농림업 배출량 중 축산업이 차지하는 비중은 약 20.8%에 달하였는데, 이는 전체 농림업 중 축산업 에너지 소비 비중 19.0%에 비해 높았다. 그 이유는 축산업의 총 에너지 소비 대비 연탄 및 석유류 제품 소비 비중이 농림업 전체에 비해 높았기 때문이다. 반면, 전력소비에 따른 간접배출을 포함할 경우에는 2013년도 축산업의 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 1,824.3천 CO₂ 환산톤으로 산정되었다. 이중에서 전력 소비에 의한 배출량이 868.3천 CO₂ 환산톤에 달해 전체 온실가스 배출량의 47.6%에 달했다. 반면, 농림업 전체의 배출량(에너지 총조사 기준)은 10,154.3천 CO₂ 환산톤으로, 이중 전력 소비에 의한 간접배출의 비중이 전체 배출량의 절반 이상인 54.8%에 이르렀다.

축산업의 총 온실가스 배출량은 2010년 이후 2.5%의 연 평균 증가율을 보였는데, 이는 직접배출만을 포함하는 경우인 연 평균 0.7%, 감소와 대조를 이루었다. 그 이유는 전체 에너지 소비에서 전환 손실이 높은 전력 소비의 비중이 크게 높아졌기 때문이다. 이러한 현상은 농림업 전체를 대상으로 할 때에도 유사한 것으로 나타났다. 동 기간 동안 전력 소비 비중이 높아진 까닭은 낮은 농업용 전기 요금으로 인해 축산업을 포함한 농림업 부문 전체적으로 에너지원의 전력화(electrification) 현상이 나타났기 때문이다. 이러한 결과는 축산업을 포함하여 전체 농림업 부문에서 광범위하게 진행되고 있는 에너지원의 전

4) LMDI 요인 분해분석 방법론에 대해서는 Ang(2004, 2005)를 참조하라.

력화 현상에 대한 정책적 대응이 필요함을 시사한다.

본 연구는 국내 축산부문에서 소비한 에너지 소비량을 추정하여 온실가스 배출량을 처음으로 산정했다는 점에서 그 의의가 있다. 특히 2013년 소비량의 경우 정밀도 제고를 위해 기존 축산업의 가구표본을 20개에서 200개로 늘려 조사한 통계를 사용하였다. 축산 사업체의 경우 모집단 대비 표본 수의 비율이 상당히 높아 현재 표본만으로도 전체 모집단을 대변 하는데 큰 문제가 없을 것이다. 그러나 한육우, 닭, 오리 등 세부 영농 형태별 분포를 고려하기엔 여전히 표본수가 적다는 한계는 존재한다. 따라서 향후 조사에서는 지역별, 세부 영농 형태별 분포를 대변할 수 있도록 표본의 수를 확대하여 추정의 정밀도를 제고할 필요가 있을 것이다. 또 다른 문제점은 에너지 총조사가 매 3년마다 실시되므로, 총조사 결과를 이용하여 축산부문 에너지 소비량을 추계할 경우 시계열이 단절된다는 데 있다. 따라서 축산업에서 발생하는 온실가스 배출량의 시계열자료를 안정적으로 구축하기 위해서는 에너지 총조사(3년 주기)의 에너지실태조사에서 축산업을 별도로 분리하여 용도별, 연료별 소비량을 수집하고 관리하되, 에너지 총조사가 이루어지지 않는 연도에 대해서는 간이실태조사를 실시하여 시계열 자료가 확보될 수 있도록 통계 수집체계를 갖추어야 할 것이다. 끝으로 본 연구에서는 IPCC 2006 기본 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였으나, 최근 각 연료 유형별 국가 고유 배출계수 개발이 본격화되고 있는 추세이다. 예를 들어 연탄의 경우 국내 특화 연료로서 IPCC 기준과는 탄소함유량 및 산화계수 등에 큰 차이를 보일 가능성이 있다. 따라서 각 연료유형별로 개발되는 국가 고유 배출계수를 적용하여 연료연소에 의한 온실가스 배출량을 산정할 필요가 있으며, 이는 향후 과제로 남겨두기로 한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청연구사업(세부과제명: 축산부문 온실가스 통계 개선을 위한 에너지 통계 연구, 세부과제번호: PJ-00931103)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Ang BW. 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method. *Energy Policy* 32:1131-1139.
- Ang BW. 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. *Energy Policy* 33:867-871.
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2014. 2014 National greenhouse gas inventory report of Korea.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jin SH, Kim WS. 2010. A fundamental study on local greenhouse gas emissions in electricity sector. Seoul Development Institute.
- KEEI(Korea Energy Economics Institute). 2014. 2014 Yearbook of Energy Statistics.
- Kim CH, Shim SH. 2013. A method for disaggregation of national GHG inventory in industrial sectors. Research report, Ministry of Trade, Industry & Energy (in Korean).
- KPX(Korea Power Exchange). <https://epsis.kpx.or.kr/>
- MKE(Ministry of Knowledge Economy). 2011. 2011 Energy consumption survey.
- MOTIE(Ministry of Trade, Industry & Energy). 2014. 2014 Energy consumption survey.
- Park SJ, Kim JS. 2014. A comparison of decomposition analyses for primary and final energy consumption of Korea. *Environmental and Resource Economic Review* 23(2): 305-330. (in Korean with English abstract).
- Park NB, Shim SH. 2015. Decomposition analysis of energy consumption and GHG emissions by industry classification for Korea's GHG reduction targets. *Environmental and Resource Economic Review* 24(1):189-224. (in Korean with English abstract).