

우리나라 쇠고기 소비 행태 변화에 의한 이산화탄소 배출 변화량 예측

Prediction of the Carbon Dioxide Emission Change Resulting from the Changes in Bovine Meat Consumption Behavior in Korea

여민주¹⁾ · 김용표^{1),2),*}

¹⁾이화여자대학교 환경공학과, ²⁾이화여자대학교 화학신소재공학과
(2015년 4월 14일 접수, 2015년 6월 8일 수정, 2015년 7월 2일 채택)

Min Ju Yeo¹⁾ and Yong Pyo Kim^{1),2),*}

¹⁾Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

²⁾Department of Chemical Engineering & Materials Science, Ewha Womans University

(Received 14 April 2015, revised 8 June 2015, accepted 2 July 2015)

Abstract

A consumption based study on the carbon dioxide (CO₂) emission change due to the changes in the bovine meat consumption behavior in Korea was carried out. It was found that if the consumption of bovine meat be reduced by half, the reduction amount of CO₂ emissions be over 0.8 MtCO₂e in all scenarios in 2023. This amount is equivalent to over 50% of the greenhouse gases (GHGs) emission reduction target in agriculture and forestry, and fishery, a significant reduction. It was also found that the CO₂ emission reduction amount in consumption-based approach was the largest when the consumption of the imported bovine meat be reduced, though the difference was not that large.

Key words : Meat consumption, Consumption-based approach, Carbon dioxide emission, National GHGs reduction target

1. 서론

최근 세계 인구의 급증으로 인한 식량의 지속가능한 공급에 대한 우려가 커지고 있다(WRI, 2013; Brown, 1998). 육류를 생산할 때 농작물에 비해 에너지 집약도

가 높으므로(Sanders and Webber, 2014) 육류 생산 및 소비에 따른 환경 영향에 관심이 높다. FAO (2006)에 따르면, ① 에너지, ② 산업, ③ 폐기물, ④ 토지이용, 토지이용변화 및 산림(Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF)과 ⑤ 농업의 5개 부문에서의 육류에 의한 인위적인 온실가스 배출량은 전체 온실가스 배출의 18%에 달한다. 전 세계적으로 인위적인 아산화질소 배출의 65%, 메탄 배출의 35~40%, 그리고 이산화탄소 배출의 9%에 해당하는 양이 가축부문에서

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3277-2832, E-mail : yong@ewha.ac.kr

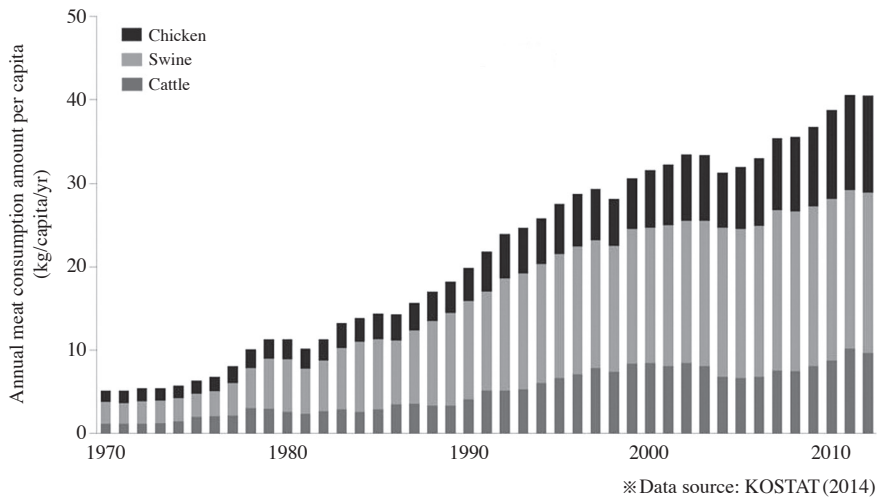


Fig. 1. Trend of the annual meat consumption amounts per capita in Korea.

기원한다. 앞으로 육류에 대한 수요는 전 세계적으로 증가할 것이므로 육류 소비에 의한 온실가스 배출 및 환경 영향 역시 전 세계적으로 가중될 것으로 보인다.

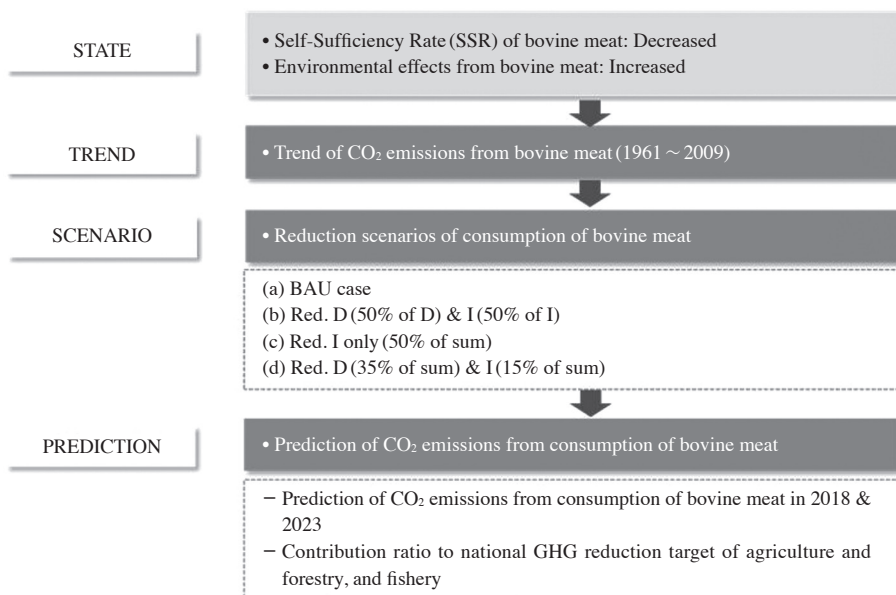
우리나라의 대표적인 육류 소비품인 닭고기, 돼지고기, 쇠고기의 일인당 소비량은 지난 40여 년간 그림 1과 같이 꾸준히 증가해왔다. 지난 50여 년간 한국인의 자연자원 소비에 의한 생태발자국(Ecological Footprint, EF) 추이를 살펴보면, 육류 소비를 대변하는 초지발자국이 지난 50여 년간 급격하게 증가하여 육류 소비에 의한 환경 영향이 증가해 왔다는 것을 예상할 수 있다(Yeo and Kim, 2014).

육류 소비에 의한 환경 영향에 대한 연구가 최근 증가하고 있는데, 육식과 채식에 따른 환경 영향에 대한 비교 연구가 진행되었으며(Sanders and Webber, 2014; Tilman and Clark, 2014; Joyce *et al.*, 2012; Pimentel and Pimentel, 2003), 육식에 의한 환경 영향으로 인과 황 등의 오염물질 배출을 대상으로 연구한 사례도 있다(Williams *et al.*, 2006). DEFRA (2006)와 EWG (2011) 등은 식량 생산과 소비의 환경적인 영향에 대한 연구를 진행하였고, 산업 분야에서도 환경비용을 이용하여 사업 리스크를 분석한 결과가 있는데, TRUCOST (2013)에 의하면 소를 키우는 목축업이 환경비용이 가장 높은 산업의 하나이다. 하지만 아직 국내에서는 육류 소비에 의한 환경 영향에 대한 연구가 활발하지 않은 상

황이다.

육류 소비에 의한 환경 영향을 살펴보기 위해서는 소비 관점에서 환경 영향을 정량화할 필요가 있다. 이를 위해서는 국내 생산 활동에 의한 결과만 고려하는 것이 아니라, 수입과 수출까지 고려해야 한다(Davis and Caldeira, 2010). 하지만 현재 국내에는 소비 기반 연구가 활발하지 않고, 기존 인벤토리 체계 안에서는 소비 활동에 따른 결과를 살펴보기 어려운 상황이다. 국제적으로는 유럽 등에서 소비에 의한 온실가스 배출 인벤토리를 작성하고, 소비에 의한 환경 영향을 정량화하는 등 소비에 기반한 자료를 생산 및 정리하고, 관련 연구를 활발하게 진행하고 있다(Takahashi *et al.*, 2014; SEI, 2012, 2010; Davis and Caldeira, 2010; Peters, 2008).

우리 정부는 국가 온실가스 배출에 대해 2020년 BAU (Business As Usual) 대비 30% 저감을 목표로 제시하고 목표를 달성하기 위한 로드맵을 2014년 발표한 바 있는데, 농림어업부문에서는 가축 사육 증가 추세에 따른 온실가스 배출량 감축 방안 마련이 필요한 상황이다(KMOE, 2014). 로드맵에서는 가축 사육과 관련된 온실가스 배출 감축 수단으로 가축분뇨 처리시설 설치 등 사육 환경 개선에 대한 방안을 주로 제시한다. 하지만 지금과 같이 일인당 육류 소비량이 계속해서 증가하는 상황에서는 근본적으로 소비 행태 변화를 통해 환경 영향을 저감하는 방안에 대한 고려가 필요할



*Red.: Reduced, D: Domestic, I: Imported, sum: Domestic + Imported.

Fig. 2. Flow diagram of the research carried out in this study.

것이다.

육류 소비품 가운데 특히 쇠고기의 소비 행태 변화에 의한 환경 영향을 살펴볼 필요가 있다. 쇠고기는 돼지고기, 닭고기와 더불어 우리나라의 주요 육류 소비품인데, 동일하게 1 kcal의 동물 단백질 생산하기 위해 필요한 화석 에너지 투입량이 돼지고기, 닭고기, 쇠고기 중 쇠고기가 가장 많다(Pimentel and Pimentel, 2003). 따라서 동일한 에너지의 동물 단백질을 소비할 경우, 쇠고기가 온실가스를 가장 많이 배출한다. 또한 자급도 측면에서도 쇠고기가 다른 고기 소비에 비해 문제가 되는 상황이다. 우리나라에서는 고기 소비가 증가함에 따라 국내 생산을 통한 공급으로는 수요를 감당할 수 없어 수입에 의존하는 비율이 점차 커지는 추세이다. 2012년 우리나라에서의 돼지고기, 닭고기 자급도는 약 80%, 쇠고기는 48%로 쇠고기가 가장 낮으며(KREI, 2013), 앞으로 쇠고기 자급도는 더욱 하락할 것으로 보인다(KREI, 2014).

이에 본 연구는 육류 소비 행태 변화에 의한 환경 영향 변화를 살펴보기 위한 대상으로 쇠고기를 선택하여, (1) 지난 50여 년간 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출 추이를 살펴보고, (2) 우리나라에서 쇠고기 소비

를 줄이는 여러 경우에 대한 시나리오를 생성하여, (3) 시나리오별로 이산화탄소 배출량을 예측하고, (4) 이산화탄소 배출 저감량을 이용하여 국가 온실가스 배출 감축 목표에 기여하는 비율을 산정해 보았다. 그리고 이를 통해 소비 행동의 변화에 따른 파급력을 살펴보고자 하였다. 이산화탄소 배출량을 소비 관점으로 분석하기 위하여 국내 생산, 수입, 수출을 고려하여 최종적으로 소비에 따른 결과를 산정하였다.

2. 연구 자료와 방법

본 연구는 그림 2와 같이 진행하였고, 연구에 활용한 자료와 자료원을 표 1에 정리하였다. 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)의 쇠고기 생산량과 수입 및 수출량 자료(FAO, 2014a, 2014b)를 활용하였고, 국제생태발자국 네트워크(Global Footprint Network, GFN)의 국가발자국 계정(National Footprint Accounts, NFA)에서 제공하는 계수 및 변수 자료와 방법론을 주로 활용하였다.

Table 1. Data used in this study related with consumption of bovine meat for environmental effects.

Environmental effects	Data	Source
Trend of CO ₂ emissions by consumption of bovine meat	– Bovine meat amount by D & I (t yr ⁻¹)	– FAO (2014a, 2014b)
	– Embodied energy (GJ t ⁻¹)	– GFN (2014)
	– Annual carbon intensity (tCO ₂ GJ ⁻¹)	– GFN (2014)
	→ Total CO ₂ emissions by D & I (tCO ₂ e)	– Calculated
Prediction of CO ₂ emissions by scenario	– Bovine meat amount by scenario, D & I (t yr ⁻¹)	– KREI (2014) & calculated
	– Embodied energy (GJ t ⁻¹)	– GFN (2014)
	– Carbon intensity (tCO ₂ GJ ⁻¹) (applied 2009 value)	– GFN (2014)
	→ Total CO ₂ emissions by scenario, D & I (t yr ⁻¹)	– Calculated
Contribution ratio to the reduction of the GHG target	– Prediction of CO ₂ emissions (tCO ₂ e)	– Calculated
	– National GHGs reduction target of agriculture and forestry, and fishery (tCO ₂ e)	– KMOE (2014)
	→ Contribution ratio by scenario, D & I	– Calculated

*D & I: Domestic and Import, respectively.

2.1 소비에 의한 이산화탄소 배출량 산정 방법

쇠고기 소비로 인한 이산화탄소 배출은 다양한 경로에서 일어난다. 가축 사육, 도축, 가공 및 보관 과정에서의 연료 및 전력 사용, 가축의 장내발효 등이 있다. 이 과정에서 이산화탄소뿐만 아니라 메탄, 아산화질소와 같은 온실가스가 배출된다(EWG, 2011).

국제생태발자국 네트워크의 국가발자국 계정에서는 수입과 수출물품에 내재된 탄소발자국을 산정하는 과정에서 식 (1)과 같이 에너지와 탄소강도를 이용하여 이산화탄소 배출량을 산정한다. 쇠고기 소비량은 쇠고기 국내생산량에 수입량을 더하고 수출량을 제외하여 산정하는데, 본 연구에서는 쇠고기 수입에 의한 이산화탄소 배출량은 식 (1)을 이용하여 산정하였고, 국내생산의 경우에는 식 (2), 수출의 경우에는 식 (3)을 이용하여 산정하였다.

$$CO_2 emission_i^I = EN_i \times CI^w \quad (1)$$

$$CO_2 emission_i^P = EN_i \times CI^d \quad (2)$$

$$CO_2 emission_i^E = EN_i \times CI^m \quad (3)$$

여기서, EN 은 에너지(GJ yr⁻¹), CI 는 탄소강도(Carbon Intensity) (tCO₂TJ⁻¹), I 는 수입, P 는 국내생산, E 는 수출, i 는 소비품, t 는 전체소비품의 합, w 는 세계평균값, d 는 국내값, m 은 세계평균과 국내의 혼합값을 의미한다. 에너지(EN)는 식 (4)와 같이 물품량에 내재에너지(Embodied energy)를 곱하여 산정한다. 탄소강도는

총 1차에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 이용하여 산정하는데, 수입의 경우 식 (5)와 같이 세계평균값을, 국내생산의 경우 식 (6)과 같이 국내값을, 수출의 경우 식 (7)의 계산값을 사용하였다.

$$EN_i = Amt_i \times EmbEn_i \quad (4)$$

$$CI^w = \frac{CO_2 emission_i^I}{TPES^I} \quad (5)$$

$$CI^d = \frac{CO_2 emission_i^P}{TPES^P} \quad (6)$$

$$CI^m = \frac{CO_2 emission_i^I + CO_2 emission_i^P}{TPES^I + TPES^P} \quad (7)$$

여기서, Amt 는 양(t yr⁻¹), $EmbEn$ 는 내재에너지(GJ t⁻¹)를 의미한다. ‘내재에너지’는 재화나 서비스를 생산하는데 직간접적으로 필요한 에너지를 의미한다(Cleveland and Morris, 2009). 예를 들어, 쇠고기를 생산하는 과정에서 소를 사육할 때, 소를 먹이거나 관리하는 과정에서 요구되는 전력과 연료 등이 내재에너지에 포함된다. $TPES$ 는 총 1차에너지 공급량(Total Primary Energy Supply)을 의미한다.

위 식을 적용하기 위해서는 국내 생산과 수입 및 수출 쇠고기 소비량, 쇠고기의 내재에너지, 한국과 세계평균, 수출 탄소강도값이 필요하다. 한편, 쇠고기 수출의 비중은 매우 낮으므로(FAO, 2014b) 본 연구에서는 쇠고기 소비량을 산정할 때, 수출량은 고려하지 않고 국내 생산에 수입량을 더하여 산정하였다.

본 연구에서는 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출

Table 2. Variation of the domestic, imported, and reduced amount of bovine meat by scenario.

Year	Scenario	Domestic		Imported		Reduced		Sum**
		Amount (kt yr ⁻¹)	Ratio*	Amount (kt yr ⁻¹)	Ratio*	Amount (kt yr ⁻¹)	Ratio*	Amount (kt yr ⁻¹)
2009	Historic	283	56%	225	44%	—		508
2018	(a) BAU case	204	38%	330	62%	—		534
	(b) Red. D (50% of D) & I (50% of I)	102	19%	165	31%	267	50%	
	(c) Red. I only (50% of sum)	204	38%	63	12%	267	50%	
	(d) Red. D (35% of sum) & I (15% of sum)	17	3%	250	47%	267	50%	
2023	(a) BAU case	239	42%	333	58%	—		572
	(b) Red. D (50% of D) & I (50% of I)	120	21%	167	29%	286	50%	
	(c) Red. I only (50% of sum)	239	42%	47	8%	286	50%	
	(d) Red. D (35% of sum) & I (15% of sum)	39	7%	247	43%	286	50%	

※ 2009 data: GFN (2014), 2018 & 2023 data: KREI (2014).

※ Red.: Reduced, D: Domestic, I: Imported.

*Ratio (%) = (Amount/Sum)*100.

**Sum = Domestic + Imported + Reduced.

량을 지난 50여 년간 추이를 살펴보기 위해, 그리고 시나리오별 미래 쇠고기 소비에 의한 결과를 예측하기 위해 산정하였다. 전자는 FAO (2014a, b)에서 제공하는 쇠고기 국내생산량과 수입량을, 후자는 KREI (2014)에서 제공하는 2018년과 2023년 쇠고기 국내생산량과 수입량 예측 자료를 활용하였다. 쇠고기의 내재에너지와 탄소강도는 GFN (2014) 값을 활용하였다.

2.2 쇠고기 소비 시나리오

본 연구에서는 국가 온실가스 감축 목표를 제시하는 기준년도인 2020년 전망치 부재로 2020년과 가까운 시점인 2018년과 2023년에 대한 결과를 예측하였다. 2018년과 2023년의 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 BAU (Business As Usual) 경우와 전체 쇠고기 소비를 BAU 대비 50% 줄이는 방법을 3가지로 나누어 결과를 구하였다. (a) BAU는 2018년과 2023년 쇠고기 수급 예측량을 그대로 적용하는 경우를 의미한다. 쇠고기 소비를 BAU 대비 50% 줄이는 방법으로는 (b) 국내 생산과 수입 쇠고기 소비를 모두 동일하게 50%씩 줄이는 경우, (c) 전체 소비량의 50%를 수입 쇠고기 소비만으로 줄이는 경우, (d) 전체 소비량의 35%를 국내 생산 쇠고기 소비에서 줄이고, 나머지 15%를 수입 쇠고기에서 줄이는 경우로 나누어 결과를 살펴보았다. 표 2를 보면, 2018년과 2023년 모두 수입 쇠고기의 비중이 전체의 50%를 넘으므로 국내 생산만으로 전체 쇠고기

Table 3. Daily intake amount and ratio of energy and protein by bovine meat and total food consumption in Korea in 2012.

2012	Energy		Protein	
	Amount (kcal)	Ratio*	Amount (g)	Ratio*
Bovine meat	42.8	2.1%	4.1	5.7%
Total food consumption	1,994.2	100%	72.4	100%

※ Data from KCDCP (2013).

*Ratio (%) = (Amount/Total)*100.

의 50%를 줄이는 것은 불가능할 것으로 예상된다.

쇠고기 소비 저감이 한국인의 단백질 또는 에너지 공급에 영향을 주어 영양학적인 불균형을 초래할 가능성을 살펴보기 위해 쇠고기 섭취에 의한 단백질과 에너지 섭취 비중을 표 3에서 살펴보았다. 2012년 쇠고기 섭취한 단백질은 전체 섭취한 단백질의 5.7%에 해당하며, 에너지는 2.1%에 해당한다(KCDCP, 2013). 현재 한국인의 일인당 단백질 섭취량은 영양섭취기준의 150%에 달하는 상황이므로(KCDCP, 2013), 5.7%의 단백질을 제공하는 쇠고기 섭취를 줄인다고 하여도 문제가 되지 않을 것으로 보이며, 에너지의 경우에도 쇠고기 섭취가 차지하는 비중이 낮기 때문에 쇠고기 섭취를 줄인다고 하여도 문제가 될 것이라 보기는 어렵다. 2012년의 섭취 분율로 가정하면, 쇠고기 소비를 50% 줄일 경우, 단백질 섭취 감소량은 전체 섭취량의

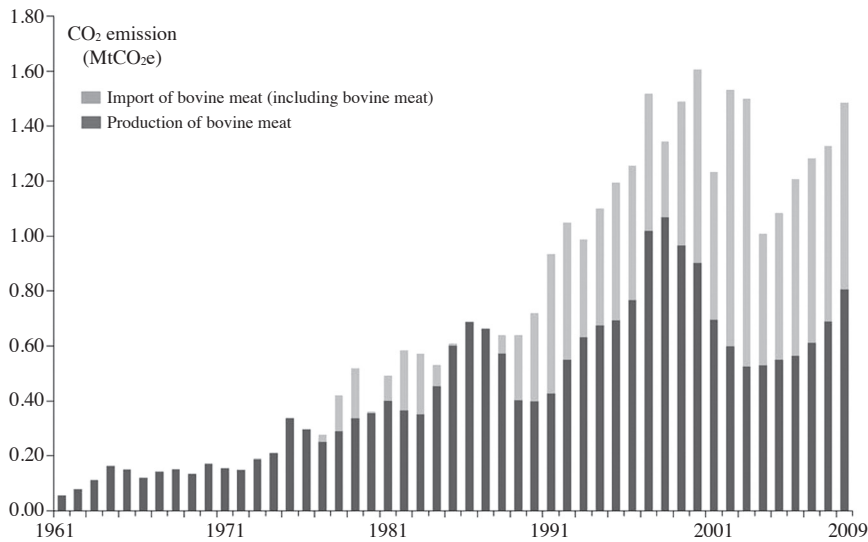


Fig. 3. Trend of the production and import of carbon dioxide emissions by bovine meat consumption between 1961 and 2009.

약 3%, 에너지 감소량은 전체 양의 약 1%가 감소된다.

2.3 국가 온실가스 감축 목표 기여율 산정방법

국가 온실가스 감축 목표는 2020년 BAU 대비 30% 감축하는 것으로, 2020년 국가 BAU 온실가스 배출량은 776 MtCO₂e이다(KMOE, 2014). 국가 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 로드맵에서는 국가 전반적인 온실가스 감축을 위해 산업, 수송, 건물 등에서의 온실가스 감축 계획을 제시하였다. 로드맵에서는 농림어업 부문에서의 온실가스를 2020년 BAU인 28.5 MtCO₂e 대비 5.2%에 해당하는 1.5 MtCO₂e만큼 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 농림어업 부문의 경우, 감축수단으로 배출원 관리와 에너지 이용 효율화 등을 제시하였다(KMOE, 2014).

시나리오별 이산화탄소 배출량이 국가온실가스감축 목표에 기여한 비율은 농림어업부문에서의 온실가스 감축 목표량인 1.5 MtCO₂e과 비교하여 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출

Table 4. Factors for calculating domestic and imported carbon dioxide emissions from consumption of 1 t bovine meat in 2009.

Factor	Domestic	Imported
Amount (t yr ⁻¹)	1	1
Embodied energy (GJ t ⁻¹)*	53	53
Energy (GJ yr ⁻¹)	53	53
Carbon intensity (tCO ₂ GJ ⁻¹)*	0.0537	0.0566
CO ₂ emission (tCO ₂ yr ⁻¹)	2.85	3.02

*Applied NFA values.

량 및 배출량의 비중 추이를 살펴보고, 시나리오별 이산화탄소 배출 저감량을 산정하여 국가 온실가스 감축 목표 기여율을 살펴보았다.

3.1 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 추이와 고찰

3.1.1 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 추이와 고찰

지난 50여 년간 우리나라의 국내 생산 쇠고기와 수입 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 추이는 그림 3과 같다. 이 결과는 1톤의 쇠고기를 소비할 때 이산화탄소 배출량에 쇠고기 소비량을 곱하여 산정하였

다. 표 4는 2009년 국내 생산과 수입 쇠고기를 동일하게 1톤 소비할 때 이산화탄소 배출량과 관련 자료를 정리한 것으로, 국내 생산의 경우 $2.85 \text{ tCO}_2\text{e}$ 이고, 수입의 경우 $3.02 \text{ tCO}_2\text{e}$ 로 수입 쇠고기의 값이 좀 더 크다는 사실을 알 수 있다.

표 4에서 다른 값은 모두 동일한데, 탄소강도값에만 차이가 있으므로, 국내 생산과 수입 두 값의 차이를 야기하는 것은 탄소강도라는 것을 알 수 있다. 지난 50여년간 국내와 세계 평균 탄소강도를 그림 4에서 살펴보면, 세계평균값은 지속적으로 감소하는 추이를 보이다 2000년대 중반부터는 변화가 거의 없다. 반면에 국내 값은 증가와 감소 변화가 뚜렷하게 나타나는 편이다. 국내값은 1970년까지 증가하다 이후 꾸준히 감소하는 추이를 보이며, 2000년대 이전까지는 세계평균값보다 큰 값을 보이다 이후 작은 값을 보인다. 그러므로 한국의 경우, 세계 평균보다 동일한 에너지를 소비했을 때 2000년 이전에는 더 많은 이산화탄소를 배출하였고 이후에는 더 적게 배출할 것이라고 예상할 수 있다. 따라서, 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 결과에서도 2000년 이전 결과에서는 그림 3의 쇠고기 소비량 중 국내 생산량의 비중보다 국내 생산에 의한 이산화탄소 배출량 비중이 크고, 반대의 경향을 보일 것이라 예상할 수 있다.

수입의 경우는 세계 평균 탄소강도를 적용하였는데, 한국은 미국과 호주, 뉴질랜드, 멕시코에서 쇠고기를 수입하므로 이들 국가의 탄소강도도 살펴보았다. 2009년 미국과 호주, 뉴질랜드, 멕시코의 탄소강도는 각각 0.0572 , 0.0791 , 0.0426 , $0.0544 \text{ tCO}_2\text{GJ}^{-1}$ 로(IEA, 2013), 미국과 호주는 한국과 세계평균 탄소강도인 $0.0537 \text{ tCO}_2\text{GJ}^{-1}$ 과 $0.0566 \text{ tCO}_2\text{GJ}^{-1}$ 보다 큰 값을 보였고, 멕시코는 한국보다는 다소 높지만 세계평균보다는 낮은 값을 보였으며, 뉴질랜드는 가장 낮은 값을 보였다.

탄소강도는 국가 또는 세계에서의 일차에너지 투입량 대비 이산화탄소 배출량을 나타낸 것으로, 탄소강도가 낮다는 것은 동일한 양의 일차에너지를 소비했을 때 이산화탄소 배출량이 낮다는 것을 의미한다. 이는 투입한 일차에너지원 구성에서 동일한 열량을 생산할 때 이산화탄소 배출이 적은 청정 에너지원 비중이 높거나, 에너지 효율이 높다는 것 등을 의미한다. 우리나라와 세계, 미국, 호주, 뉴질랜드, 멕시코의 탄소강도를 살펴보면, 호주가 월등하게 값이 크고 뉴질랜드가 비

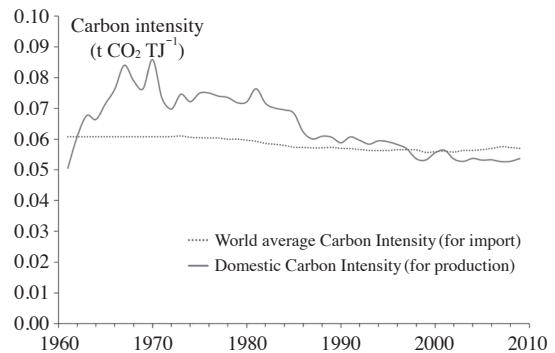


Fig. 4. Trend of world average and Korean domestic carbon intensity between 1961 and 2009.

교적 값이 작으며 나머지 네 국가는 크게 차이 나지 않는다.

BP(2014) 자료를 재구성하여 표 5와 같이 살펴보면, 우리나라와 세계, 미국, 호주, 뉴질랜드, 멕시코의 석탄, 석유, 천연가스의 세 에너지원의 합을 100%라고 할 때 2009년 기준으로 호주는 석탄의 비중이 45%로 가장 높고, 우리나라와 세계, 미국, 뉴질랜드, 멕시코는 석유가 각각 51%, 40%, 43%, 57%, 54%로 가장 높다. 호주의 경우 탄소강도가 높은 석탄의 비중이 높아서 탄소강도값이 크다는 것을 예상할 수 있다.

2009년 국내 수입 쇠고기 전체 양의 61%가 호주, 23%가 미국, 15%가 뉴질랜드, 나머지 1%만이 멕시코에서 수입되었는데(QIA, 2015), 탄소강도값이 높은 호주에서 수입된 비중이 가장 높고, 그 다음 탄소강도값이 높은 미국에서 수입된 비중이 높다. 이들 국가의 탄소강도를 반영하여 쇠고기를 1톤 소비할 때 이산화탄소 배출량을 각각 산정하면, 미국, 호주, 뉴질랜드, 멕시코의 결과가 각각 3.03 , 4.19 , 2.26 , $2.88 \text{ tCO}_2\text{e}$ 이다.

수입 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 산정할 때 국가별로 탄소강도값을 구분하여 적용하면, 탄소강도값이 큰 호주와 미국의 수입비중이 높으므로 세계평균값을 적용하는 경우보다 결과값이 더 크고, 쇠고기 1톤 소비량 당 국내 생산 경우와의 이산화탄소 배출량 차이도 더 클 것이다.

하지만 2018년과 2023년 이들 국가의 탄소강도와 국가별 수입 비중은 가변적이므로 불확도가 높은 상황이다. 그러므로 본 연구에서는 GFN(2014)과 동일하게 수입 쇠고기에 의한 이산화탄소 배출량 산정에 지난 50

Table 5. Primary energy consumptions of oil, natural gas, and coal of domestic, world, USA, Australia, New Zealand, and Mexico in 2009.

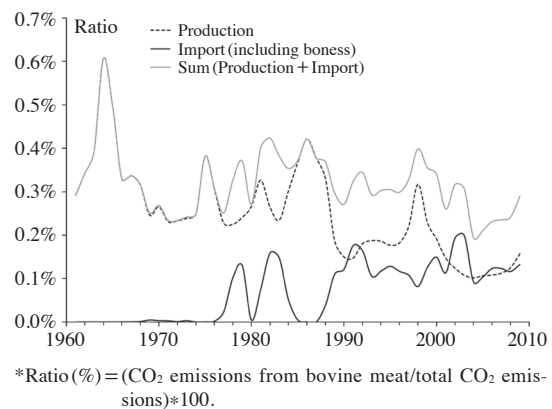
2009 data	Coal		Oil		Natural gas		Sum	
	MTOE	Ratio	MTOE	Ratio	MTOE	Ratio	MTOE	Ratio
Domestic	69	34%	104	51%	31	15%	203	100%
World	3,239	33%	3,925	40%	2,668	27%	9,832	100%
USA	496	26%	833	43%	590	31%	1,920	100%
Australia	54	45%	43	36%	23	19%	119	100%
New Zealand	2	13%	7	57%	4	30%	12	100%
Mexico	9	5%	89	54%	65	40%	162	100%

여 년간 변화가 크지 않은 세계평균 탄소강도값을 적용하였다.

국가발자국계정(GFN, 2014)과 본 연구에서는 국가 혹은 세계 단위로 전체 1차에너지 소비량 대비 이산화탄소 배출량에 근거하여 구한 하나의 탄소강도값을 이산화탄소 배출량 산정에 적용하였는데, 단계별로 세분화하여 연료 사용량과 에너지원별, 예를 들어, 석탄, 석유, 천연가스의 특성을 반영하여 에너지원별 탄소강도를 구하여 결과를 산정한다면 결과의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 이를 위해서는 쇠고기를 생산하는 과정에 투입되는 에너지원별 자료 구축이 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 표 4에 제시된 변수들 가운데 내재에너지로 동일한 값을 사용하였는데, 내재에너지는 연구자와 고려 범위에 따라 상이하다. 본 연구는 쇠고기 1톤 소비에 의한 온실가스 배출량을 산정할 때, 내재에너지(Embodied Energy)는 GFN (2014)에 제시된 것처럼 53 GJ t⁻¹을 적용하였다. Browne *et al.* (2008)은 쇠고기의 내재에너지를 74 GJ t⁻¹로 제시하였고, Williams *et al.* (2006)은 27.7 GJ t⁻¹를 제시하였다. 국내에도 농산물 및 식품에 내재된 에너지와 이산화탄소 배출량을 정리한 사례가 있는데(KMKE, 2010), 쇠고기의 에너지소모량을 52.1 GJ t⁻¹로 제시하지만 이 역시 우리나라 고유 값은 아닌 상황이다. 그러므로 향후 지역적, 국가적 특성 등이 반영된 우리나라 고유의 내재에너지 값을 구축하고 체계화된 접근을 통해 결과를 구할 필요가 있을 것이다.

단위 소비량당 이산화탄소 배출량 결과를 제시하는 연구도 있는데, 이산화탄소 배출량도 연구자에 따라 결과가 상이하다. 쇠고기 1톤 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 Williams *et al.* (2006)은 15.8 tCO₂e이고, EWG

**Fig. 5. Ratio of carbon dioxide emissions from bovine meat to total carbon dioxide emissions between 1961 and 2009.**

(2011)에 따르면, 농장에서의 사육 단계(farmgate)에서의 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 14.8~30 tCO₂e사이로 다양하다. KMKE (2010)에서는 쇠고기 1톤 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 44.7 tCO₂e로 제시한다. 이산화탄소 배출량도 어떤 범위를 고려하는지에 따라 배출량에 차이가 있을 수 있다. EWG (2011)에 의하면, 1 kg의 쇠고기가 생산될 경우, 농장에서는 33.6 tCO₂e, 이후 처리 과정, 국내에서의 운송, 냉동 및 냉장 등 보관, 가정 내 요리, 폐기물 처리 단계에서 6.1 tCO₂e가 배출되어 39.7 tCO₂e가 배출되는 것으로 연구되었다.

3. 1. 2 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 비중 추이와 고찰

쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량의 비중 추이를 살펴본 결과는 그림 5와 같다. 쇠고기의 국내 생산

Table 6. Domestic, imported, and reduced carbon dioxide emissions by scenario.

Year	Scenario	Domestic		Imported		Reduced		Sum**
		CO ₂ (tCO ₂ e)	Ratio*	CO ₂ (tCO ₂ e)	Ratio*	CO ₂ (tCO ₂ e)	Ratio*	CO ₂ (tCO ₂ e)
2009	Historic	805,753	54%	678,995	46%	—		1,484,748
2018	(a) BAU case	580,826	37%	997,069	63%	—		1,577,895
	(b) Red. D (50% of D) & I (50% of I)	290,413	18%	498,534	32%	788,947	50%	
	(c) Red. I only (50% of sum)	580,826	37%	190,349	12%	806,719	51%	
	(d) Red. D (35% of sum) & I (15% of sum)	48,687	3%	755,053	48%	774,155	49%	
2023	(a) BAU case	680,477	40%	1,006,133	60%	—		1,686,610
	(b) Red. D (50% of D) & I (50% of I)	340,239	20%	503,067	30%	843,305	50%	
	(c) Red. I only (50% of sum)	680,477	40%	142,007	8%	864,126	51%	
	(d) Red. D (35% of sum) & I (15% of sum)	110,471	7%	746,895	44%	829,244	49%	

※Red.: Reduced, D: Domestic, I: Imported.

*Ratio (%) = (CO₂ emissions/Sum)*100.

**Sum = Domestic + Imported.

에 의한 이산화탄소 배출량이 전체 소비에 의한 이산화탄소 배출량 가운데 차지하는 비중은 지난 50여 년간 전반적으로 감소하는 추세이다. 수입의 경우 1980년대 전후와 1980년대 후반 이후, 특별한 증감 추이를 보이기보다는 일정 비중 이상을 차지하는 양상을 보인다. 국내 생산과 수입 두 경우를 모두 합한 경우에는 전반적으로 감소하는 추이를 보인다.

이는 앞의 그림 3에서 제시한 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량이 지난 50여 년간 증가하는 추이를 보이는 것과는 상이한 결과인데, 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량 증가보다 전체 소비에 의한 이산화탄소 배출량 증가가 더욱 급격하기 때문이고, 다른 부문 또는 소비품의 소비가 쇠고기 소비보다도 더 가파르게 증가해왔다는 것을 의미한다.

3.2 시나리오별 이산화탄소 배출량 및 고찰

표 2에 제시된 2018년과 2023년 시나리오별 쇠고기 소비량과 표 4에 제시된 쇠고기의 내재에너지 및 탄소강도를 활용하여 시나리오별 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 시나리오별 결과는 표 6과 같이 국내 생산과 수입 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량과 저감된 이산화탄소 배출량으로 제시하였다.

우리나라 탄소강도의 경우 에너지원 구성비와 에너지원별 탄소강도에 따라 해마다 변하지만, 그림 4에서 볼 수 있듯이 2000년 이후 탄소강도값은 크게 변하지

않고 있으므로 이 추세가 유지되어 10여 년 후에도 2000년대 값이 유지된다고 가정하여 2009년 값을 2018년과 2023년 결과 산정에 적용하였다. 수입 쇠고기의 경우 지난 50여 년간 변화가 크지 않았던 세계평균 탄소강도값을 적용하였다.

표 6에서 이산화탄소 배출 저감량과 BAU 경우의 이산화탄소 배출량 대비 이산화탄소 배출 저감 비율은 수입 쇠고기를 주로 줄이는 (c) 시나리오에서 가장 크며, 국내 생산 쇠고기 소비를 주로 줄이는 (d) 시나리오에서 가장 작다. 두 시나리오에서 이산화탄소 배출 저감량의 차이는 2018년 32,564 tCO₂e, 2023년 34,882 tCO₂e로 표 6의 (a) BAU 배출량의 약 2%에 해당한다.

시나리오별로 결과 차이를 보이는 이유는 동일한 양의 쇠고기를 소비할 때, 수입 쇠고기를 소비할 경우 이산화탄소 배출량이 더 큰 데서 기인한 것으로, 국내에서 생산한 쇠고기를 소비하는 것이 수입한 쇠고기를 소비하는 것보다 이산화탄소 배출량을 좀 더 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 차이가 유의미하게 크다고 보기는 어렵다.

쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 고려한 범위와 조건에 따라 상이한데, 본 연구에서는 쇠고기 생산 이후, 운송과 보관 등에서의 에너지 사용을 반영하지 않았다. 수입의 경우, 해외에서 국내로 쇠고기를 운송하는 데 사용되는 연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량도 있는데, 이런 것까지 고려한다면 수입 쇠고기 소비 저감에 의한 이산화탄소 배출 저감 효과는 더욱

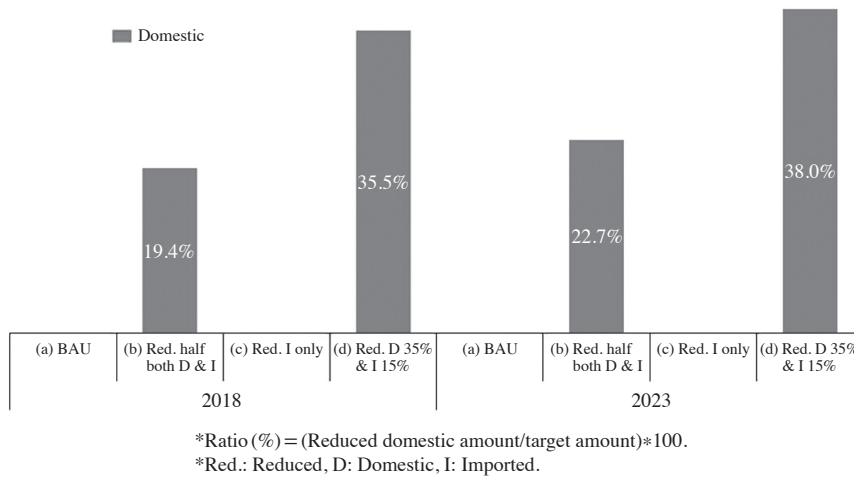


Fig. 6. Ratio of reduced carbon dioxide emissions from the changes of bovine meat consumption to the national greenhouse gases reduction target in agriculture and forestry, and fishery.

커질 수 있다.

3. 3 국가 온실가스 감축 목표 기여율 및 고찰

본 절에서는 표 6에서 제시된 시나리오별 이산화탄소 배출 저감량이 농림어업부문의 국가 온실가스 감축 목표에 기여하는 비율(이하 ‘기여율’)을 산정하였다. 로드맵에서는 농림어업부문에서의 온실가스에 대해 2020년 BAU인 28.5 MtCO₂e 대비 5.2%에 해당하는 1.5 MtCO₂e 감축을 목표로 제시하였다(KMOE, 2014).

모든 시나리오에서 이산화탄소 배출 저감량은 2023년 0.8 MtCO₂e보다 컸고, 이 양은 국가 농림어업부문의 온실가스 감축 목표량의 50% 이상에 해당한다. 다시 말해, 우리나라 국민이 모두 쇠고기 소비를 50% 줄이면 국가 농림어업부문의 온실가스 감축 목표량의 50% 이상에 해당할 만큼의 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다.

하지만 국가 온실가스 배출량은 국내 생산에 근거하여 산정되고, 목표 감축량 역시 국내에서의 온실가스 배출량에 기반하여 설정된다. 그러므로 수입 쇠고기 소비 저감에 의한 이산화탄소 배출 저감량은 사실상 국가 온실가스 감축량으로 고려할 수 없는 상황이다.

국내 생산에 기반한 결과를 그림 6과 같이 살펴보면, 기여율이 국내 생산 쇠고기 소비를 주로 줄이는 (d) 시나리오의 경우 2023년 38%, 2018년 약 36%로, 가장

높게 기여하는 것을 알 수 있다. 국내 생산과 수입 쇠고기 소비를 동일하게 줄이는 (b) 시나리오의 경우 2023년 약 23%, 2018년 약 19%이다. (c) 시나리오의 경우 이산화탄소 배출 저감량은 가장 많지만 국내에서의 저감량은 없으므로 국가 온실가스 감축 목표에는 기여하지 않는다.

정책적으로 국가 온실가스 감축 목표 기여도만을 본다면 국내 생산 쇠고기 소비를 집중적으로 줄이는 것이 가장 의미 있을 것으로 보인다. 하지만 국가 온실가스 배출량은 산정 경계나 범위 등에 따라 달라질 수 있으며, 자급도 측면에서는 수입 쇠고기 소비를 줄이는 것이 자급도를 높여 식량 수급 안정에 기여할 수 있을 것이다. 본 연구에서 살펴보고자 한 소비 행태 변화가 환경에 미치는 영향을 고려한다면, 실질적으로 쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해서는 국내 생산과 수입을 구분할 필요가 없이 쇠고기 소비를 줄이는 행위 자체가 의미가 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라에서의 쇠고기 소비 행태 변화에 의한 환경 영향의 변화를 이산화탄소 배출량을 통해 정량적으로 살펴보았다. 우리나라에서 쇠고기의 소비량을 50% 줄일 경우, 모든 시나리오에서 이산화탄

소 배출 저감량은 2023년 0.8 MtCO₂e보다 컸고, 이 양은 국가 농림어업부문의 온실가스 감축 목표량인 1.5 MtCO₂e의 50% 이상에 해당한다.

하지만 국내에는 기존의 생산 기반 인벤토리만 구축이 되어 있으므로 이 체계 안에서는 소비 활동에 의한 결과를 살펴보기 어려운 상황이고, 국내 온실가스 감축 목표는 국내 생산에 대해서만 고려한다. 따라서 국내 생산에 근거하여 시나리오별 이산화탄소 배출 저감량이 국가 농림어업부문의 온실가스 감축 목표량에 기여하는 비율을 산정하면 국내 생산 쇠고기 소비를 주로 줄이는 (d) 시나리오에서 38%로 가장 높게 나타났다.

본 연구는 소비에 기반하여 국내 생산뿐만 아니라 수입의 경우도 고려하여 결과를 제시하였다. 국내 생산과 수입을 구분하여 이산화탄소 배출량을 산정하였고, 2018년과 2023년 쇠고기 소비 행태 변화 시나리오에서도 국내 생산과 수입 쇠고기 소비를 줄이는 것을 구분하였다. 시나리오별 이산화탄소 배출 저감량과 배출 저감 비율은 수입 쇠고기를 주로 줄이는 (c) 시나리오에서 가장 크며, 국내 생산 쇠고기 소비를 주로 줄이는 (d) 시나리오에서 가장 작다. 하지만 두 시나리오에서 저감량의 차이는 2018년 32,564 tMtCO₂e, 2023년 34,882 tMtCO₂e로 BAU 경우 배출량의 약 2%에 해당하여 차이가 유의미하게 크다고 보기는 어렵다.

국내 생산과 수입의 경우 동일한 쇠고기를 소비할 때 이산화탄소 배출량이 상이한 이유는 탄소강도에 의한 것이고, 탄소강도는 에너지 구성비와 효율 등에 따라 달라질 수 있다는 점에 유의해야 한다. 향후 지역적, 국가적 특성이 반영된 내재에너지 값을 구축하는 등 보다 체계화된 접근이 필요할 것이다.

본 연구는 사람들의 소비 행동의 변화, 쇠고기 소비를 줄이는 것이 환경에 미치는 영향을 이산화탄소 배출량 결과로 정량화하여 보여주고, 그 결과가 실제로 온실가스 감축 목표에 기여하는 정도 등을 제시하여 행동의 변화에 따른 파급력이 있다는 것을 보여주고자 하였다. 5천만 명의 한국인이 2023년 쇠고기 소비의 절반을 줄이면 저감된 소비 기반 이산화탄소 배출량은 농림어업부문의 온실가스 감축목표의 50% 이상 기여할 만큼 식 소비와 관련된 행동 변화에 따른 파급력은 의미가 있다.

본 연구에서 가정된 쇠고기 소비를 50% 줄이는 것

은 현실적으로 적용가능성에 대한 논란의 여지가 있을 것이다. 사람들의 소비는 단순히 환경 영향과 식량 자급도에 의해 결정되지 않을 것이고, 국가 정책 역시 마찬가지다.

또한 사람들이 실제로 쇠고기 소비를 50% 줄이게 되더라도 대체제로 다른 식품을 소비할 수 있다는 점을 고려할 필요가 있을 것이다. 육식을 선호하는 사람들은 다른 육류 제품을 더 많이 섭취하고, 단백질 섭취를 중요하게 생각하는 사람들은 다른 육류 제품뿐만 아니라 콩, 어류 등 다른 단백질 섭취원의 소비를 증가시킬 가능성이 높을 것이므로 이에 대한 고려가 필요하다.

그럼에도 본 연구는 행동 변화에 따른 파급력을 정량화하여 보여준 것에 의미가 있고, 다른 대체 식품을 고려하더라도 에너지 소비강도가 높은 쇠고기 소비를 줄이는 것은 이산화탄소 배출을 줄이는 데 기여할 것이라 예상할 수 있다.

쇠고기 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 고려한 범위와 조건에 따라 상이한데, 향후 쇠고기뿐만 아니라 특정 소비품에 의한 환경 영향을 살펴보기 위해서는 우리나라 실정에 맞는 자료를 구축하고 체계적으로 관리하는 것이 필요할 것이다. 그리고 기존의 생산 기반 접근으로 도출되는 결과는 정책 수립에 유용하고 체계적이지만 최근 국제적으로 소비 기반 접근이 증가하는 상황이고, 우리나라에서도 자원 소비량 자체가 증가하는 상황이므로 소비에 기반한 정책적 접근과 이를 위한 정량화 작업이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2009-0083527; NRF-2014M3C8A5030894).

References

- BP (British Petroleum) (2014) Statistical Review of World Energy. UK.
- Brown, L.R. trans. Edith K.H. Ji, I.W. Lee, S.S. Han, and S.M. Kim (1998) Who will feed China?, Ddanim, Korea.

- Browne, D., B. O'Regan, and R. Moles (2008) Use of embodied energy and ecological footprinting to assess the global environmental impact of consumption in an Irish city-region, *J. Environ. Plan. Manag.*, 51 (3), 447-470.
- Cleveland, C.J. and C.G. Morris (2009) *Dictionary of energy*, 1st Ed., Amsterdam.
- Davis, S.J. and K. Caldeira (2010) Consumption-based accounting of CO₂ emissions, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 107(12), 5687-5692.
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs) (2006) Environmental impacts of food production and consumption, UK.
- EWG (Environmental Working Group) (2011) *Meat eaters guide: Methodology*, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2006) *Livestock's long shadow: environmental issues and options*, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2014a) Production of livestock primary, http://faostat3.fao.org/download/Q/*E, accessed November 04, 2014.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2014b) Trade of crops and livestock products, http://faostat3.fao.org/download/Q/*E, accessed November 04, 2014.
- GFN (Global Footprint Network) (2014) *National Footprint Account*, 2012 edition, Oakland, USA.
- IEA (International Energy Agency) (2013) *CO₂ emissions from fuel combustion highlights*, 2013 edition, Paris.
- Joyce, A., S. Dixon, J. Comfort, and J. Hallett (2012) Reducing the environmental impact of dietary choice: Perspectives from a behavioural and social change approach, *J. Environ. Public Health*, 978672, 1-7.
- KCDCP (Korea Center for Disease Control and Prevention) (2013) *Korea Health Statistics 2012: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANESV-3)*, Korea. (in Korean)
- KMKE (Korea Ministry of Knowledge Economy) (2010) *Study on the energy consumption and the greenhouse gas emissions of food*, Korea. (in Korean)
- KMOE (Korea Ministry of Environment) (2014) *Roadmap for achieving the national GHGs reduction target*, Korea. (in Korean)
- KOSTAT (Statistics Korea) (2014) Annual livestock consumption amount per capita, http://www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdxSearch.do?idx_cd=2747&stts_cd=274712&clas_div=&idx_sys_cd=620&idx_clas_cd=1, accessed July 17, 2014. (in Korean)
- KREI (Korea Rural Economics Institute) (2013) *Food balance sheet 2012*, Korea. (in Korean)
- KREI (Korea Rural Economics Institute) (2014) *Future agriculture 2014 (I)*, Korea. (in Korean)
- Peters, G.P. (2008) From production-based to consumption-based national emission inventories, *Ecol. Econ.*, 65(1), 13-23.
- Pimentel, D. and M. Pimentel (2003) Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment, *Am. J. Clin. Nutr.*, 78, 660S-663S.
- QIA (Animal and Plant Quarantine Agency) (2015) Status of import of bovine meat by country, <http://www.meatwatch.go.kr/cs/dst/bds/selectNvrqsNatReport.do>, accessed May 29, 2015. (in Korean)
- Sanders, K.T. and M.E. Webber (2014) A comparative analysis of the greenhouse gas emissions intensity of wheat and beef in the United States, *Environ. Res. Lett.*, 9, 044011, 1-9.
- SEI (Stockholm Environment Institute) (2010) A consumption approach for emissions accounting - the REAP Tool1 and REAP Data for 2006, Sweden.
- SEI (Stockholm Environment Institute) (2012) *Low-greenhouse-gas consumption strategies and impacts on developing countries*, Sweden.
- Takahashi, K., K. Nansai, S. Tohno, M. Nishizawa, J. Kurokawa, and T. Ohara (2014) Production-based emissions, consumption-based emissions and consumption-based health impacts of PM_{2.5} carbonaceous aerosols in Asia, *Atmos. Environ.*, 97, 406-415.
- Tilman, D. and M. Clark (2014) Global diets link environmental sustainability and human health, *Nature*, 515, 518-522.
- TRUCOST (2013) *Natural capital at risk: The top 100 externalities of business*, UK.
- Williams, A.G., E. Audsley, and D.L. Sanders (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities, Main Report, Defra Research Project IS0205, Bedford: Cranfield University and Defra.
- WRI (World Resources Institute) (2013) *Creating a sustainable food future: A menu of solutions to sustainably feed more than 9 billion people by 2050*, USA.
- Yeo, M.J. and Y.P. Kim (2014) Trend and prediction of the ecological footprint in Korea, *J. Environ. Impact Assess.*, 23, 364-378. (in Korean with English abstract)