



푸드마일을 고려한 주요수입곡물의 운송단계별 환경영향 및 저감방안 분석

Analysis of Environmental Impacts and Alternative Scenarios of Transportation Stages on Food Miles for Major Imported Crops

김찬우* · 김솔희** · 정찬훈* · 서 교***,†

Kim, Chanwoo · Kim, Solhee · Jung, Chanhoon · Suh, Kyo

Abstract

Transportation and storage technologies, which are key drivers for trade, has increased global trade of agricultural products about 165% from 1995 to 2015. Korea imports 76.2% of grain from major food exporters such as USA, Australia, Brazil, and China. The expected long shipping distances from these countries can seriously cause environmental impacts on various environmental categories such as climate change, particulate matter, and acidification. The goal of this study is to assess the environmental implications focused on greenhouse gases (GHGs) and particulate matters (PMs) emissions of imported grains (wheat, corn, and bean) using food miles analysis and life cycle assessment (LCA). The environmental impacts of imported crops are estimated by transportation modes using the national LCI database provided by Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI). The results of this study are as follows; (1) Imported wheat comes from USA (29%), AUS (27%), and URK (20%), corn is imported from USA (34%), BRA (29%), and URK (16%), and bean comes from BRA (57%), USA (40%), and CHN (2%); (2) the food miles of imported crops (wheat, corn, and bean) are 3.62E+10, 1.30E+11, and 2.20E+10 ton · km, respectively; (3) the potential GHGs and PMs of wheat, corn, and bean are 5.02E+08, 1.67E+09, and 2.84E+08 kg CO_{2e} and 5.89E+05, 1.83E+06, 3.07E+05 kg PM_{10e}, respectively. The outputs of this study could provide environmental impacts and carrying distances of imported agricultural products for preparing a plan to reduce environmental impacts.

Keywords: Food miles; major imported grains; LCA; climate change; environmental impacts; transportation

1. 서 론

생산과 소비의 불일치에 따른 농식품의 국제적 교역량은 지속적으로 증가하고 있으며(Godfry et al., 2010; Porkka, 2013; Kim et al., 2016), 교역량이 증대됨에 따라 운송과정에서의 환경영향도 증가하고 있다(Smith, 2005; Wakeland, 2012). 전 세계적으로 인구가 증가하면서 농업 생산량도 함께 증가하였으나, 인구가 증가한 지역과 농업 생산이 발전한 지역의 상이로 인해 국가별 소비량과 생산량의 차이도 함께 증가하였다(Millstone and Tim, 2013). WTO(World Trade Organization)의 자료에 따르면 농식품의 교역수준은 전 세계

적으로 1995년부터 2015년까지 20년간 11,890억 달러에서 31,600억 달러로 약 165% 증가하였으며, 우리나라의 경우에도 1995년에 192억 달러에서 2015년에 439억 달러로 129% 증가하였다(WTO, 2016). 이러한 농식품 교역의 세계화는 생산지와 소비지간의 거리 확대를 야기하였으며, 운송거리가 확대됨에 따라 운송단계에서 환경에 미치는 영향에 대한 관심 역시 증가하고 있다(Kim, 2012).

우리나라는 주곡인 쌀을 제외하면 대부분의 곡물을 수입에 의존하고 있으며, 이러한 곡물 수입에 따른 운송량도 지속적으로 증가하고 있다(Yoon et al., 2010; MAFRA, 2016). 국내의 곡물 자급률은 1990년 43.1%에서 2015년 23.8%로 25년간 19.3%p 감소하였으며, 식량자급률의 경우에는 같은 기간 동안 70.3%에서 50.2%로 20.1%p 감소하면서, 곡물의 수입량은 지속적으로 증가하고 있다(MAFRA, 2016). 특히 주요수입곡물인 밀, 옥수수, 콩의 자급률은 2015년을 기준으로 각각 0.7, 0.8, 9.4%로 90% 이상을 수입에 의존하고 있다(MAFRA, 2016). 또한 국내 주요 수입곡물의 대표적 수출국이 미국, 호주, 브라질 등으로 비교적 원거리에 위치하고 있어(Korea Customs Service, 2016), 곡물 수입의 운송과정은 온실가스 저감을 위한 저탄소 녹색성장 정책의 주요 대상이 되고 있다(Lee et al., 2010).

* Master's Course, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University

** Researcher, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University

*** Associate Professor, Graduate School of International Agricultural Technology, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-339-5810 Fax: +82-33-339-5838

E-mail: kyosuh@snu.ac.kr

Received: January 23, 2018

Revised: February 12, 2018

Accepted: March 9, 2018

1994년 농식품의 운송량과 운송거리를 바탕으로 실제 농식품의 운송거리 문제를 파악할 수 있는 푸드마일(Food miles)의 개념이 등장한 이후로(Paxton, 1994), 농산물 수출입에 대한 운송과정의 푸드마일을 고려하여 온실가스 발생량을 분석한 연구들이 다수 진행되었다(Lang, 1999; Pretty et al., 2005; Coley et al., 2008; Wynen et al., 2008; Bernatz, 2009; Kissinger, 2012; Wakeland, 2012). 하지만 푸드마일과 관련한 대다수의 선행연구들이 수출국과 수입국 내에서의 운송은 포함하지 않은 한계를 지니고 있다. Ju et al.(2010)은 국내 수입 음식료품에 대해 상대국과의 해상운송에 따른 푸드마일과 탄소배출량을 분석하였으며, Saunders et al.(2008)은 영국에서 수입하는 뉴질랜드산 식품에 대해 푸드마일을 이용하여 이를 영국에서 직접 생산하는 경우 해상운송에 대한 환경저감 효과를 평가하였다. Suh(2012)는 중국으로부터 수입되는 마늘과 당근을 대상으로 수출국에서의 운송경로를 반영하여 푸드마일에 따른 탄소배출량을 분석한 바 있으나, 수입농산물의 생산지가 아닌 수출국의 수도로부터 운송경로를 구성하였다는 한계가 존재한다. 또한 운송과정은 온실가스뿐만 아니라 다양한 환경범주에 영향을 미치고 있으나(SEPA, 2001), 푸드마일을 바탕으로 환경영향을 평가한 연구들은 주로 온실가스 배출량에 대한 연구가 주를 이루어 왔다.

따라서 본 연구에서는 주요 수입곡물을 대상으로 운송단계별 푸드마일을 산정하고, 이를 바탕으로 운송과정에서 발생하는 온실가스(Greenhouse gases, GHGs) 발생량뿐만 아니라 미세먼지(Particulate matters, PMs) 배출량에 대하여 환경영향을 평가하고자 하였다. 실질적인 운송의 전과정을 고려하기 위하여 국가 간 해상운송뿐만 아니라 주수출국과 수입 이후의 국내 운송과정을 포함한 푸드마일을 산정하였다. 운송의 전과정에 대하여 운송수단별 단위무게거리(ton · km)당 GHGs

발생량과 PMs 배출량을 분석하고, 이를 바탕으로 주요 곡물별 푸드마일에 따른 환경영향을 평가하여 제시하였다. 또한 주요 수입곡물의 운송과정에서 발생하는 온실가스와 미세먼지의 저감방안을 평가하기 위하여 국내 쌀 소비량 변화를 바탕으로 주요 수입곡물로 전환하여 재배하는 방안과 푸드마일을 고려한 곡물 수출국의 다변화 방안에 대한 각각의 시나리오를 바탕으로 대안별 환경영향의 변화를 분석하고자 하였다.

II. 연구자료 및 방법

1. 연구자료

가. 평가 대상곡물 선정

주요 수입곡물의 운송에 따른 GHGs와 PMs의 발생량을 평가하기 위하여, 대상 곡물은 자급률이 낮고 수입량이 지속적으로 증가하는 곡물인 밀, 옥수수, 콩으로 선정하였다. 2015년 기준 국내 곡물 자급률은 23.8%이며, 그중에서도 수입의존도가 높은 곡물의 자급률은 밀(0.7%)과 옥수수(0.8%), 콩(9.4%) 순으로 나타났다(MAFRA, 2016).

수입되는 곡물의 운송량과 운송거리를 반영하여 푸드마일을 산정하기 위해서 관세청에서 운영하는 수출입무역통계 포털의 2015년 기준 품목별 국가별 수출입실적 자료를 구독하였다(Korea Customs Service, 2015). 운송물량의 경우 2015년을 기준으로 국내에서 소비되고 있는 수입 밀의 총 수입량은 402만 톤이며, 주수출국과 주산지는 미국(Montana, 116만 톤)과 호주(Mellee, 107만 톤), 우크라이나(Odessa, 81만 톤)로 전체 밀 수입량의 약 76%를 차지하고 있다. 옥수수의 총 수입량은 1,035만 톤으로, 미국(Iowa, 354만 톤)과 브라질(Panama, 302만 톤), 우크라이나(Dnipro, 161만 톤)에서 총 옥수수 수입량의 약 79%의 비중을 차지하고 있다. 수입 콩은 총 130만

Table 1 Major exporting countries by grain and imports by usage

Grain	Nation	Imports(ton)				
		For edibility		For feed		Total
Wheat	USA	1,105,874	95%	58,178	5%	1,164,052
	AUS	1,041,947	97%	31,345	3%	1,073,292
	UKR	0	0%	810,942	100%	810,942
Corn	USA	461,423	13%	3,076,826	87%	3,538,248
	BRA	383,124	13%	2,635,867	87%	3,018,991
	UKR	274,584	17%	1,330,601	83%	1,605,185
Bean	BRA	178,995	24%	566,819	76%	745,814
	USA	127,115	24%	402,532	76%	529,648
	CHN	5,849	24%	18,522	76%	24,371

The United States(USA), Australia(AUS), Ukraine(URK), Brazil(BRA), and China(CHN)

톤이 수입되고 있으며, 주수출국은 브라질(Panama, 75만 톤) 과 미국(Iowa, 53만 톤), 중국(Hubei, 2만 4천 톤)으로, 전체 콩 수입량의 약 99%를 차지하고 있다(Table 1).

나. 운송경로 설정

운송거리의 경우 수입되는 곡물의 국외 주산지로부터 국내 소비지(가공시설 및 도매시장)까지를 수입경로로 선정하였다. 이를 위해 곡물별 주수출국의 주산지에서 수출항까지의 육로운송, 수출항에서 수입항까지의 해상운송, 수입항에서 소비지까지의 육로운송으로 나누어 단계별 경로를 구성하였다(Figure 1). 각 국가별 주산지와 수출항은 미국, 호주, 중국, 그리고 우크라이나의 경우 USDA(United States Department of

Agriculture)에서 제공하는 World Agricultural Outlook Board의 자료를 이용하였고, 브라질의 경우 The Van Trump Report의 자료를 사용하였다(USDA, 2014; USDA, 2016; TVTR, 2015). 주수출국 내에서 주산지로부터 수출항까지의 운송거리는 Google maps의 경로분석을 이용하였으며, 주산지의 중심점으로부터 수출항까지의 실제육로거리로 산정하였다. 수출항에서 국내 수입항까지의 해상거리는 Searates에서 제공하는 농산물의 항간운송거리를 적용하였다. 국내 수입항으로부터 곡물별 각 가공시설까지의 운송거리는 네이버지도에서 제공하는 ‘길찾기 기능’을 활용하여 최단거리를 계산하였다.

수입곡물에 대한 푸드마일 산정 및 환경영향을 평가할 때, 가장 가까운 지점에서부터 곡물이 수입되어 국내에서 가장

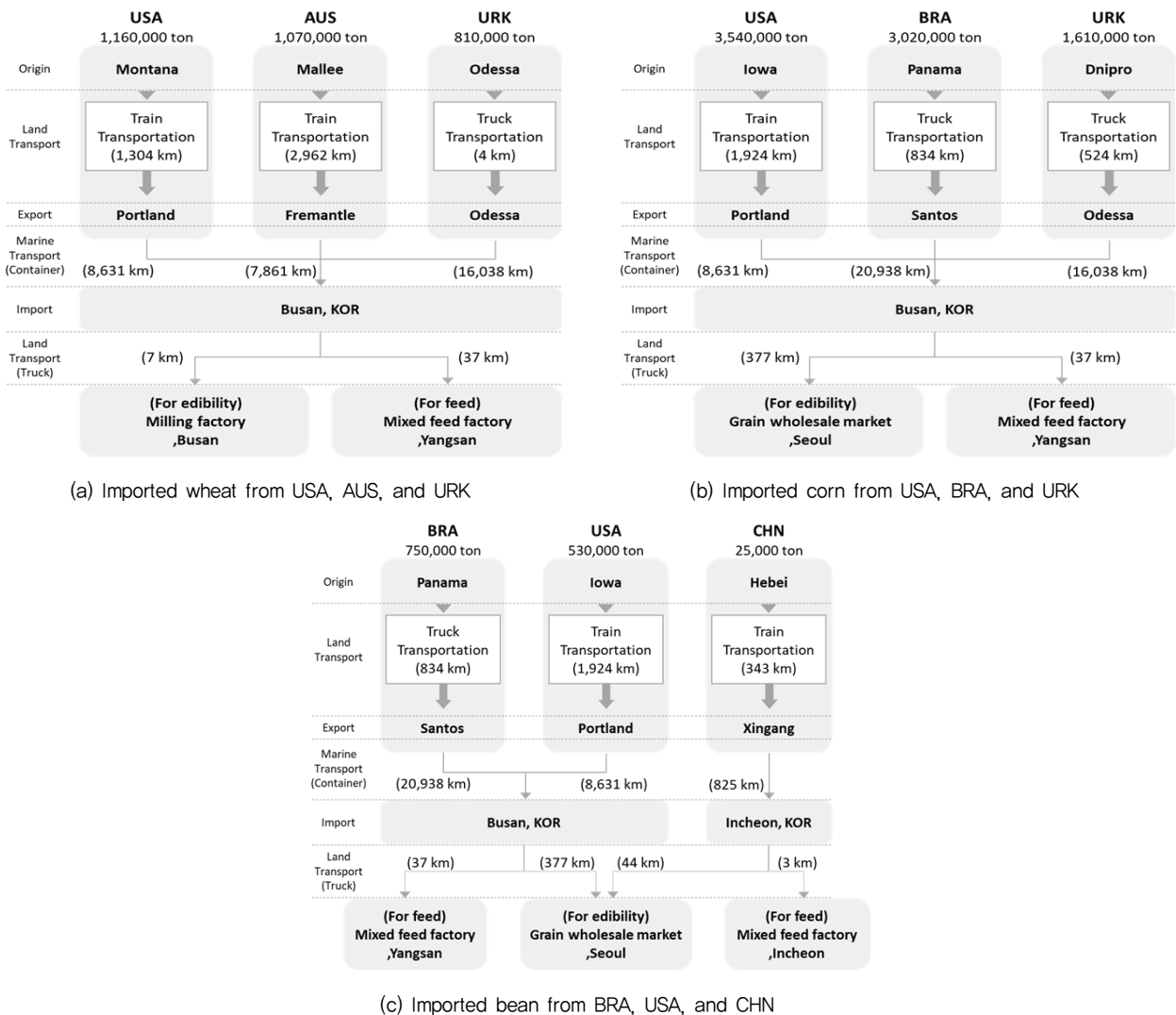


Fig. 1 Transportation processes of imported wheat, corn, and bean: Origin shows the major producing state of grains in export countries such as the United States (USA), Australia (AUS), Ukraine (URK), Brazil (BRA), and China (CHN), export and import show the major port of countries for agricultural products including grain

가까운 가공시설까지 운송한다는 가정 하에 최소한의 거리를 적용하였다. 이러한 가정은 수입되는 곡물의 각 주산지로부터 수출항까지의 거리 및 운송량에 대한 정보와 국내에서 수입되어 들어온 곡물의 유통경로가 명확하지 않으므로, 최소 거리를 산정하여 최소한의 푸드마일로 인한 환경영향을 평가하고자 하였다. 이를 위해 주수출국 내에서 해당 곡물의 생산 비중을 높게 차지하고 있는 지역 중 수출항에서 가장 가까운 생산지를 주산지로 선정하였다.

국내로 수입되는 밀의 59%는 식용, 41%는 사료용으로 사용되고, 옥수수의 용도는 식용이 21%, 사료용이 79%이며, 콩의 경우 24%는 식용으로, 76%는 사료용으로 사용된다(Korea Customs Service, 2015). 따라서 국내 육로운송단계에서는 수입곡물의 용도를 식용과 사료용으로 분류하여 식용은 제분공장(밀)과 도매시장(옥수수, 콩)으로, 사료용은 배합사료공장으로 유통되는 것으로 설정하였다. 제분공장의 경우 한국제분협회에 등록되어 있는 9개의 제분공장 중 국내 수입항에서 가장 근접하게 위치한 곳으로, 배합사료공장의 경우 한국사료협회에 등록되어 있는 69개의 공장 중 국내 수입항으로부터 가장 가깝게 위치한 곳으로 선정하였다. 먼저 밀 제분공장의 경우 한국제분협회에 등록된 공장 중 대한제분 부산공장이 부산항에서 7.06 km로 가장 근접하게 위치해 있다. 식용으로 사용되는 곡물의 도매시장은 양곡도매시장의 총 거래량 중 60% 이상이 수입곡물인 서울특별시 양재동 소재 양곡도매시장으로 선정하였으며, 부산항과 인천항으로부터 각각 376.7 km와 44.2 km의 거리에 위치해있다. 배합사료공장의 경우 한국사료협회에 등록되어 있는 공장 중 부산항에서 가장 근접하게 위치한 사료공장(경남 양산시 소재 ㈜한탑 사료공장)과의 거리는 36.8 km, 인천항에서 가장 가까운 사료공장(제일사료 인천공장)의 거리는 2.6 km로 파악되었으며, 이를 기준으로 수입곡물의 국내 육로운송단계에서의 푸드마일을 산정하였다.

2. 푸드마일 개념 및 산정방법

푸드마일은 일반적으로 식품을 대상으로 ‘재배에서부터 생산, 운송, 소비까지 전과정에서 소요되는 운송거리와 운송량을 고려한 식품의 수송에 소요되는 에너지’로 정의된다(Coley et al., 2008). 산정방법은 다음 식(1)과 같이 운송되는 식품의 중량에 수송거리를 곱하여 나타낼 수 있으며, 분석된 푸드마일에 따른 탄소배출량을 산출하여 식품의 운송에 따른 환경지표로도 사용된다(Coley et al., 2008; NRDC, 2007). 푸드마일을 산정할 때 전 과정에 대한 상세한 유통경로 분석을 기반으로 해야 하지만 농산물 유통과정의 복잡함과 자료 수집에 대한 어려움으로 인해 생산지로부터 소비자까지의 거리

를 사용하는 것이 일반적이다(Bernatz, 2009; Hill, 2008; Pirog et al., 2001).

$$FM_{ij} = V_{ij} \times D_{ij} \quad (1)$$

where, *i* means chief producing districts of imported crops

j means consumption place of imported crops

FM_{ij} means food miles from *i* to *j*

V_{ij} means import volume of grain from *i* to *j*

D_{ij} means transport distance of grain from *i* to *j*

여기서, V_{ij} 는 주산지 *i*에서 소비자 *j*까지의 운송량(Volume)을 의미하며, D_{ij} 는 *i*에서 *j*까지의 운송거리(Distance)를 나타낸다.

3. 운송에 따른 온실가스 발생량 및 미세먼지 지수 산정

곡물의 운송단계별 운송수단으로 기차와 트럭, 컨테이너선이 주로 사용됨에 따라(Envision Transportation, 2011), 한국환경산업기술원에서 제공하는 국내 전과정목록 데이터베이스(LCI DB) 중에서 기차(경유), 트럭(경유, 11.5 ton, 80 km/h), 컨테이너선(평균)을 선정하여 운송수단별 환경영향을 분석하였다(KEITI, 2017). 국가별 운송수단의 경우 주수출국 내의 육로운송단계에서 브라질은 낙후된 운송 인프라로 인해 트럭을 통해 운송이 이루어지고(Park, 2013), 우크라이나에서는 곡물 운송 시 일반적으로 트럭을 이용하며(CTS, 2014), 이를 제외한 국가에서는 기차를 이용하는 것으로 조사되었다(Sparger and Nick, 2015; Australian Government, 2009).

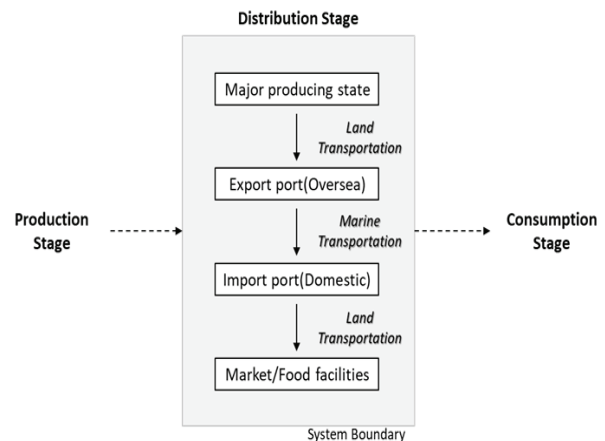


Fig. 2 System boundary of distribution stage: land and marine transportation perspective

본 연구는 곡물 수입단계의 푸드마일에 따른 환경영향을 평가하기 위하여 수입곡물의 운송단계에 초점을 맞추어 시스템경계를 설정하였다(Figure 2). 주요 수입곡물의 운송량과 운송거리에 따른 환경영향은 기후변화(온실가스, GHGs)와 미세먼지(PMs) 발생 잠재량 관점에서 평가하였다. 한국환경산업기술원에서 개발한 국내전과정환경영향평가 소프트웨어인 TOTAL 프로그램을 이용하여 운송수단별로 단위무게 거리(ton · km)당 온실가스 및 미세먼지 발생량을 분석하였고, 이에 푸드마일을 반영하여 운송단계에서의 기후변화 및 미세먼지 발생 잠재량에 대한 환경영향을 평가하였다.

4. 환경영향 저감을 위한 시나리오

수입되는 곡물에 대해 푸드마일에 따른 환경저감방안에 대한 평가를 위하여, 잉여 쌀 생산과 소비량 변화를 고려한 재배작물 전환 방안과 운송의 전과정을 고려한 수출국의 다변화를 통한 환경영향 저감방안에 대하여 시나리오를 구성하고 분석하였다. 시나리오 1은 국내에서 생산되는 쌀의 소비량 변화에 따른 자급률과 단위면적당 생산량 변화 등을 종합적으로 고려하여 다른 곡물생산으로 전환이 가능한 면적을 추정하고 해당면적에서 밀을 대체 재배할 경우로 설정하였다. 추정된 면적에서 생산 가능한 밀의 양을 통해 수입대체에 따른 환경영향 저감효과를 평가하였다. 시나리오 2에서는 푸드마일을 고려하여 곡물별 수입량의 10%, 20%, 30%가 가장 가까

운 국가로 수출국이 전환되었을 경우에 대하여 환경영향 범주별 발생량의 변화를 각각 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수입곡물의 푸드마일 산정

각 곡물별로 주수출국의 주산지에서부터 국내 소비지까지의 운송단계별 운송거리는 주산지에서 수출항까지의 주수출국 내 육로운송, 수출항에서 수입항까지의 해상운송, 수입항에서 소비지까지의 국내 육로운송으로 나누어 추정하였다(Figure 3). 단계별 운송거리를 살펴보면 수출국 내의 육로운송거리는 호주산 밀이 2,962 km로 가장 길고, 해상운송거리는 브라질의 옥수수과 콩이 20,938 km로 가장 긴 것으로 나타났다. 총 운송거리 또한 브라질로부터 수입되는 곡물이 가장 높은 것으로 분석되었으며, 각 국가별로 해상운송거리의 비중이 총 운송거리 중 70 - 99%의 범위를 차지하고 있는 것으로 확인되었다.

운송거리와 수입량을 고려하여 푸드마일을 산정한 결과(Figure 4), 전체적으로 브라질로부터 수입되는 옥수수의 푸드마일이 약 660억 ton · km로 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 브라질산 옥수수가 국내로 수입되기까지의 총 운송거리가 22,185 km로 다른 곡물의 운송거리에 비해 원거리이며,

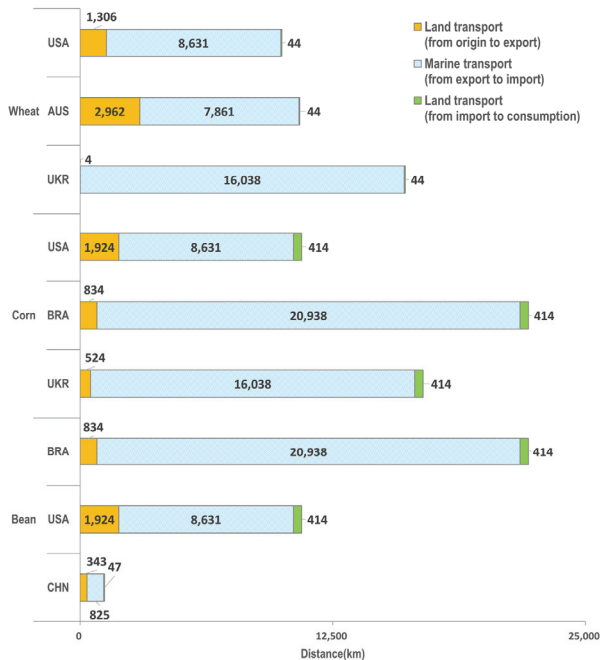


Fig. 3 Shipping distance for each transportation stage of imported wheat, corn, and bean

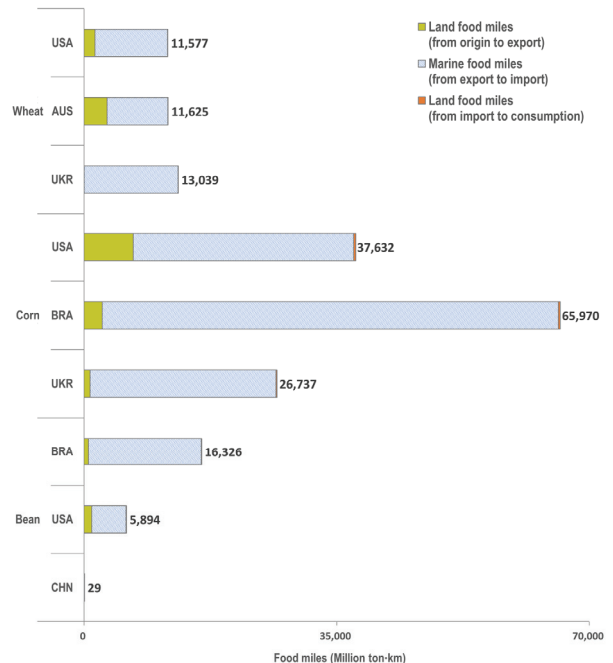


Fig. 4 Food miles for each transportation stage of imported wheat, corn, and bean

수입량 또한 302만 ton으로 상대적으로 많은 것에 기인한 것으로 판단된다. 밀의 경우 수입의존도가 99.3%로 가장 높은 데에 반해 다른 수입곡물에 비해 비교적 적은 수입량으로 인하여 푸드마일이 낮은 것으로 분석되었다. 국가별로 수입되는 콩에 대한 푸드마일은 브라질, 미국, 중국 순인 것으로 분석되었다. 이 결과를 통해 산정된 주요수입곡물의 1인당 푸드마일은 약 3,642 ton · km/인으로, 이는 Yoon et al.(2010)의 연구에 의한 2010년 기준 우리나라의 전체 수입 농식품에 대한 1인당 푸드마일인 7,085 ton · km/인의 51%에 해당한다(Yoon et al., 2010).

2. 푸드마일에 따른 온실가스 발생량 및 미세먼지 지수 산정

가. 운송수단별 환경영향 평가

한국환경산업기술원에서 제공하는 TOTAL 프로그램을 이용하여 운송수단별로 단위 푸드마일(ton · km)당 온실가스(GHG)와 미세먼지(PMs) 지수를 분석하였다. 본 연구에서 적용한 운송수단은 육로운송에서 기차(경유), 트럭(경유, 11.5 ton, 80 km/h)이고, 항간운송은 컨테이너선(평균)으로 설정하였다.

운송수단별 단위 푸드마일(ton · km)에 대한 GHGs는 트럭의 발생량이 0.08 kg CO₂-equivalent(이하 eq.)로 가장 높으며, 기차와 컨테이너선은 각각 0.05와 0.01 kg CO₂-eq.로 분석되었다. 운송수단별로 발생하는 PMs의 크기는 기차, 트럭, 컨테이너선 순으로, 발생량은 각각 0.05, 0.05, 0.01 g PM₁₀-eq.로 분석되었다(Table 2).

Table 2 Environmental implications by transportation modes (per 1ton · km)

Category	Unit	Transportation mode		
		Land		Marine
		Train	Truck	Container
GHGs	kg CO ₂ -eq.	0.0494	0.0808	0.0084
PMs	g PM ₁₀ -eq.	0.0548	0.0516	0.0104

나. 수입곡물의 운송부문 온실가스 및 미세먼지 발생량 분석

주요 수입곡물의 운송단계에서 발생하는 환경영향을 분석한 결과(Figure 5), 옥수수의 경우 GHGs와 PMs의 발생량이 각각 1,669.9 Gg CO₂-eq.와 1,828.8 Mg PM₁₀-eq.로 주요 수입곡물 중 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 브라질에서 수입되는 옥수수가 GHGs와 PMs 발생량의 각각 45%와 44%로 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 밀은 수입단계

에서 발생하는 GHGs와 PMs가 각각 501.9 Gg CO₂-eq.와 588.7 Mg PM₁₀-eq.로 나타났으며, 밀의 주수출국 중 호주에서 차지하고 있는 비중이 GHGs의 경우 46%, PMs의 경우 45%로 가장 높다. 콩의 경우 다른 곡물 대비 적은 운송량으로 인해 운송단계에서 발생하는 환경영향 역시 다른 곡물에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이를 환경영향 범주별로 살펴보면 GHGs와 PMs에서 283.5 Gg CO₂-eq.와 307.2 Mg PM₁₀-eq.가 발생하는 것으로 평가되었으며, 콩의 수출국 중에서도 브라질의 경우 두 범주에서 각각 65% 이상의 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

3. 환경영향 저감을 위한 시나리오 분석

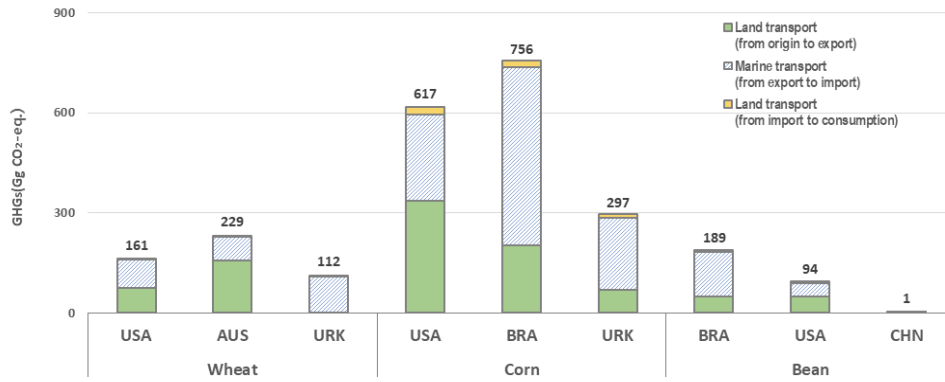
가. 쌀의 자급률을 고려한 잉여면적에서의 밀 생산시 수입대체효과

2016년을 기준으로 국내의 쌀 자급률은 105%로 수요량보다 생산량이 많으며, 이로 인해 매년 재고량이 지속적으로 증가하고 있다(MAFRA, 2016). 한국농촌경제연구원에 따르면 쌀 재고의 보관비가 10만 톤당 316억 원으로 175만 톤의 쌀 재고의 연간 보관비로 약 5,500억 원이 사용되고 있어 이에 따른 벼의 대체작물 재배의 확대가 검토되고 있다(Park et al., 2009).

밀은 논과 밭에서 모두 재배가 가능한 작물로 현재의 논에서 재배가 가능하며(Kim, 2014), 100% 자급을 위해 필요한 논 면적을 제외한 잉여면적을 대상으로 밀을 재배할 경우 발생하는 환경영향 저감효과를 분석하였다. 평가범위는 밀의 주수출국인 미국, 호주, 우크라이나로 부터의 수입량 중에서 국내에서 생산 가능한 밀의 양을 제외하고 수입할 경우의 운송단계에서 발생하는 환경영향을 대상으로 하였다.

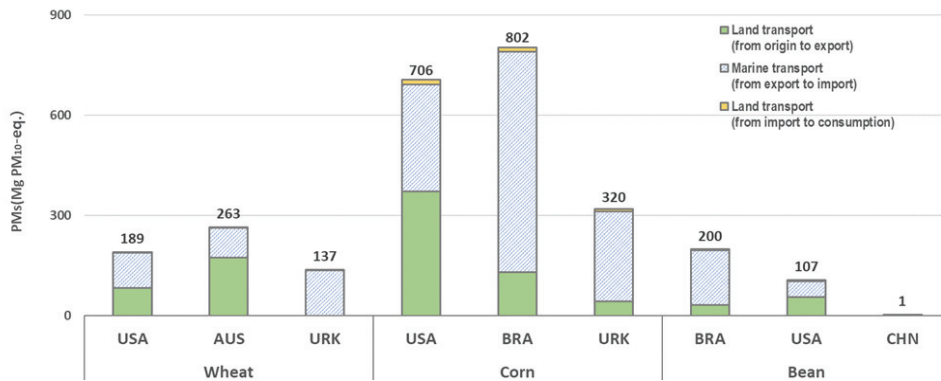
추정된 밀 재배가능면적은 연간 64,941 ha로 농림축산식품부에서 제공하는 ‘2016농림통계연보’에 고시된 쌀의 경작면적당 생산량 5.4 ton/ha와 2016년 기준 쌀 재고 발생량 35만 ton을 기준으로 산정하였다(MAFRA, 2017).

추정된 면적에서 생산 가능한 밀은 경작면적당 생산량 3 ton/ha를 기준으로 연간 194,823 ton이며, 미국으로부터 수입되는 밀을 국내에서 생산한 밀로 대체하는 경우 발생하는 GHGs와 PMs는 133 Gg CO₂-eq.와 157 Mg PM₁₀-eq.로 각각 17% 정도의 저감이 가능한 것으로 나타났다. 국내에서 생산된 밀로 호주에서 수입되는 밀을 대체하는 경우는 GHGs와 PMs 발생량이 187 Gg CO₂-eq.와 215 Mg PM₁₀-eq.로 각각 18% 정도 감축되며, 우크라이나에서의 수입량을 대체할 경우 GHGs 발생량이 84 Gg CO₂-eq., PMs 발생량이 103 Mg PM₁₀-eq.로 각각 24%의 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.(Table 3).



Grain	Exporting Country	Land transport (from origin to export)	Marine transport (from export to import)	Land transport (from import to consumption)	Subtotal (%)	Total (%)
Wheat	USA	75.13	84.69	0.80	160.02 (31.9)	501.86 (100)
	AUS	157.15	71.12	0.69	228.96 (45.6)	
	URK	0.25	109.62	2.41	112.28 (22.4)	
Corn	USA	336.43	257.41	23.18	617.02 (36.9)	1,669.90 (100)
	BRA	203.36	532.80	19.49	755.65 (45.3)	
	URK	67.92	217.00	12.31	297.23 (17.8)	
Bean	BRA	50.24	131.62	7.13	188.99 (66.7)	283.54 (100)
	USA	50.36	38.53	5.06	93.95 (33.1)	
	CHN	0.41	0.17	0.02	0.6 (0.2)	

(a) GHGs emissions by transportation stage of imported wheat, corn, and bean (Gg CO₂-eq.)



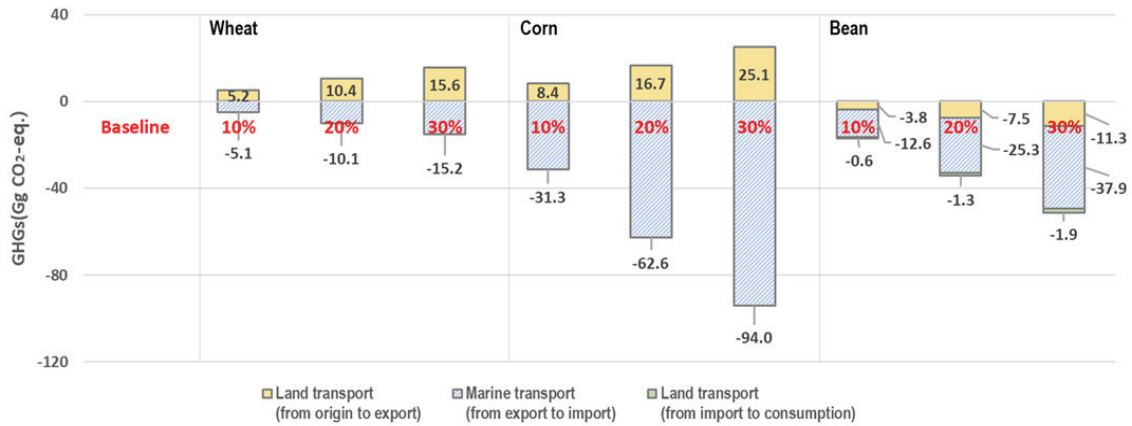
Grain	Exporting Country	Land transport (from origin to export)	Marine transport (from export to import)	Land transport (from import to consumption)	Subtotal (%)	Total (%)
Wheat	USA	83.23	104.89	0.51	188.63 (32.0)	588.74 (100)
	AUS	174.10	88.09	0.44	262.63 (44.6)	
	URK	0.16	135.78	1.54	137.48 (23.4)	
Corn	USA	372.71	318.82	14.82	706.35 (38.6)	1,828.78 (100)
	BRA	129.99	659.92	12.46	802.37 (43.9)	
	URK	43.42	268.77	7.87	320.06 (17.5)	
Bean	BRA	32.11	163.03	4.56	199.7 (65.0)	307.15 (100)
	USA	55.79	47.73	3.24	106.76 (34.8)	
	CHN	0.46	0.21	0.02	0.69 (0.2)	

(b) PMs emissions by transportation stage of imported wheat, corn, and bean (Mg PM₁₀-eq.)

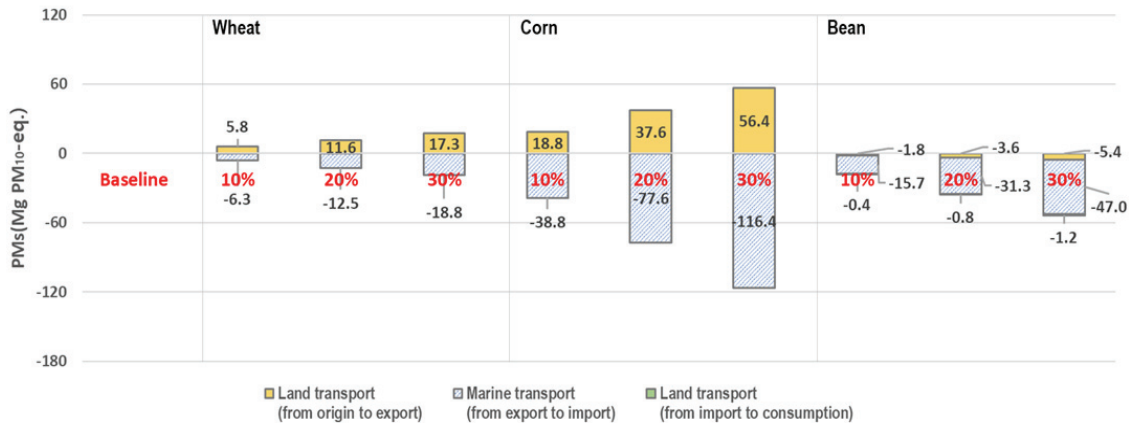
Fig. 5 Environmental implications by foodmiles for each transportation stage of major imported grain

Table 3 Potential reductions of GHGs and PMs for scenario 1.

	GHGs(Gg CO ₂ -eq.)			PMs(Mg PM ₁₀ -eq.)		
	Baseline	Scenario	Reduction(%)	Baseline	Scenario	Reduction(%)
USA	159.8	133.1	17	188.1	156.6	17
AUS	228.3	186.8	18	262.2	214.6	18
URK	109.9	83.5	24	135.9	103.3	24



(a) GHGs reductions of wheat, corn, and bean (Gg CO₂-eq.)



(b) PMs reductions of wheat, corn, and bean (Mg PM₁₀-eq.)

Fig. 6 Comparing the reduction of environmental impacts of imported grain based on scenario 2

나. 푸드마일을 고려한 곡물별 수출국 전환에 따른 GHGs와 PMs의 저감효과 분석

푸드마일은 운송거리가 가장 큰 영향을 미치는 요인이므로 국내 주요수입곡물에 대해 운송거리를 고려하여 수입량의 10%, 20%, 30%를 가장 가까운 국가로 수출국이 전환되는 경우 GHGs와 PMs 발생량의 변화를 분석하였다(Figure 6). 운송 거리를 고려하여 가까운 국가로 수출국을 전환할 시 밀의 경우 우크라이나(16,085 km)에서 미국(9,981 km)으로, 옥수수는

브라질(22,185 km)에서 미국(10,968 km)으로, 그리고 콩의 경우 브라질(22,185 km)에서 중국(1,215 km)으로 변경된다.

수출국 전환에 의해 밀은 미국에서 수입할 경우 총 운송거리가 6,104 km 감소하지만, 전체적인 GHGs 발생량은 오히려 0.1 Gg CO₂-eq.(10% 변화 시)에서 0.4 Gg CO₂-eq.(30% 변화 시)까지 증가하는 것으로 나타났다. 이는 운송단계별로 나누어 살펴보면 수출국까지의 거리에 의해 컨테이너선을 이용하는 해상운송단계에서 감소하는 GHGs보다 기차를 이용한 미

국의 육로운송단계에서 발생하는 GHGs가 상대적으로 더 많기 때문이다. 옥수수는 브라질에서 미국으로 수출국을 전환할 경우 전체 운송과정에서 22.9 Gg CO₂-eq.(10% 변화 시)에서 68.8 Gg CO₂-eq.(30% 변화 시)까지 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 콩은 브라질에서 중국으로 수출국을 변경하는 경우, 국내 수입항이 부산항에서 인천항으로 변경되며 이에 따라 국내 육로운송단계에서도 추가적인 저감효과가 있는 것으로 평가되었다. 콩의 수출국 전환에 따른 저감효과는 수입량의 10%, 20%, 30%를 전환하는 경우 각각 17.0, 34.1, 51.1 Gg CO₂-eq.의 GHGs를 감축시킬 수 있는 것으로 예상되었다 (Figure 5-(a)).

PMs 발생량의 경우 GHGs와는 다르게 밀의 수출국이 전환됨에 따라 0.5 Mg PM₁₀-eq.(10% 변화 시)에서 1.5 Mg PM₁₀-eq.(30% 변화 시)까지 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 기차와 트럭의 단위 푸드마일 당 발생하는 GHGs와 PMs의 차이에 의한 것으로 판단된다. 옥수수는 수출국을 전환할 경우 수입량의 10% 변화 시 20.0 Mg PM₁₀-eq.에서 30% 변화 시 60.0 Mg PM₁₀-eq.의 PMs를 감축시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 콩의 수출국을 전환하는 경우 국내 육로운송단계에서 추가적인 감축효과가 나타나면서, 수입량의 30% 변화 시 53.6 Mg PM₁₀-eq.의 저감시킬 수 있는 것으로 평가되었다 (Figure 5-(b)).

IV. 결 론

본 연구는 국내 주요수입곡물인 밀, 옥수수, 콩을 대상으로 운송단계별 푸드마일을 산정하고, 이에 따른 운송단계의 온실가스(GHG)와 미세먼지(PMs) 발생량에 대한 환경영향을 평가하였다. 또한 분석된 결과를 바탕으로 국내 쌀 소비량 변화에 따른 자급률을 고려하여 대체곡물인 밀을 재배하는 경우와 푸드마일을 고려한 곡물별 수출국 전환에 따른 환경영향 변화를 살펴보고자 하였다.

우리나라의 주요 곡물별 수입비중은 밀의 경우 미국(29%), 호주(27%), 우크라이나(20%) 순으로, 옥수수는 미국(34%), 브라질(29%), 우크라이나(16%) 순으로 수입되고, 콩의 경우 브라질(57%), 미국(40%), 중국(2%) 순으로 나타났다. 운송단계는 주수출국 내의 육로운송(기차, 트럭), 수출항과 국내 수입항 사이의 해상운송(컨테이너선), 국내의 육로운송(트럭)으로 구성되며, 각 운송단계별 푸드마일을 산정하였다.

주요 수입곡물의 총 푸드마일은 1,886억 ton·km이며, 이를 곡물별로 살펴보면 옥수수가 1,303억 ton·km로 가장 높은 것으로 분석되었다. 운송수단별 단위 푸드마일에 대한 환경영향은 GHGs의 경우 트럭은 발생량이 0.08 kg CO₂-eq.로

기차와 컨테이너선에 비해 각각 38.8%와 89.6% 정도 더 발생하는 것으로 나타났으며, PMs의 경우 기차의 발생량이 0.05 g PM₁₀-eq.로 다른 운송수단에 비해 상대적으로 높게 발생하는 것으로 나타났다.

수입단계에서 발생하는 환경영향은 옥수수의 경우 GHGs와 PMs의 발생량이 각각 1,670 Gg CO₂-eq.와 1,829 Mg PM₁₀-eq.로 다른 곡물에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 특히 브라질에서 수입되는 옥수수가 두 범주에서 각각 40% 이상으로 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 밀의 경우 운송단계에서 발생하는 GHGs와 PMs가 각각 502 Gg CO₂-eq.와 589 Mg PM₁₀-eq.로 분석되었으며, 밀의 주수출국 중 호주에서 수입될 때의 환경영향이 가장 높은 것으로 나타났다. 콩은 주요 수입곡물 중 발생하는 환경영향이 가장 적으며, GHGs와 PMs 두 범주에서의 발생량이 각각 284 Gg CO₂-eq.와 307 Mg PM₁₀-eq.로 평가되었다.

국내 쌀 자급률을 고려한 잉여면적에서 밀을 생산하는 경우 곡물수입에 따른 운송단계에서 발생하는 GHGs와 PMs를 수출국가별로 각각 17-24%까지 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 푸드마일을 고려하여 곡물별 수입량을 가장 가까운 국가로 수출국을 전환하는 경우 환경영향 저감효과를 분석한 결과, 밀의 경우 수출국 전환에 의해 전체 운송거리와 PMs 발생량은 감소되는 반면에 육로운송거리의 증가로 인해 GHGs 발생량은 0.4 Gg CO₂-eq.까지 증가하는 것으로 나타났다. 옥수수의 경우는 수출국 전환에 따라 GHGs와 PMs에 대한 환경영향이 각각 68.8 Gg CO₂-eq.와 60.0 Mg PM₁₀-eq. 감축되는 것으로 분석되었고, 콩의 경우는 수입항이 변경되면서 국내 육로운송단계에서 추가적인 저감효과가 발생하여 GHGs와 PMs이 각각 51.1 Gg CO₂-eq.와 53.6 Mg PM₁₀-eq. 저감되는 것으로 예상되었다.

본 연구에서는 주산지과 소비지를 항구에서 가장 가까운 곳으로 가정하여 푸드마일을 산정하였기 때문에 실제 발생량은 산정된 결과보다 더 증가될 수 있다고 판단된다. 향후 수입 농산물의 푸드마일에 따른 환경영향의 보다 현실적인 평가를 위해서 시장가격이나 실제 주산지에 대한 정보의 분석이 필요할 것으로 사료된다. 또한 운송단계에서 발생하는 환경영향의 범주를 GHGs와 PMs 이외에 보다 더 다양한 범주에 대한 환경영향평가가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 개인연구사업(전략과제)의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2017R1E1A1A01078227)

REFERENCES

1. Bernatz, G., 2009. Apples, bananas, and oranges: Using GIS to determine distance travelled, energy use, and emissions from imported fruit. *Journal of Resources Analysis* 11: 1-15.
2. Centre for Transport Strategies, 2014. Ukraine-Agricultural Trade, Transport, and Logistic Advisory Services Activity. World Bank.
3. Coley, D., M. Howard, and W. Mihael, 2008. Local food, food miles and carbon emissions: A comparison of farm shop and mass distribution approaches. *Journal of Food Policy* 34(2): 150-155. doi:10.1016/j.foodpol.2008.11.001.
4. Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government. 2009. Road and rail freight: competitors or complements?. Australian Government.
5. Envision Transportation, 2011. The transportation of grain. Center for Transportation Research (CTR).
6. Godfray, H., J. Beddington, I. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. Thomas, and T. Camilla, 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Journal of Science* 327(5967): 812-818. doi:10.1126/science.1185383.
7. Hill, H., 2008. Food Miles: Background and Marketing. National Center for Appropriate Technology (NCAT).
8. Ju, O., J. Lee, M. Seong, S. Kim, J. Ryu, D. Kim, and Y. Hong, 2010. Estimation of Food Miles and CO₂ Emissions of Imported Food. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 26(1): 57-68 (in Korean). doi:10.5572/KOSAE.2010.26.1.057.
9. Kim, T., 2012. Management of Food Mileage and realization of low carbon society. Korea Rural Economic Institute (KREI).
10. Kim, S., Y. Son, J. Park, T. Kim, and K. Suh, 2016. Analysis of Influencing Export Factors of Major Agricultural Products for ASEAN using Panel Gravity Model. *Journal of the Korean Society of Rural Planning* 22(4): 103-114 (in Korean). doi:10.7851/ksrp.2016.22.4.103.
11. Kim, S., 2014. Cultivation Technology of Wheat. National Institute of Crop Science (NICS).
12. Kissinger, M., 2012. International trade related food miles-The case of Canada. *Journal of Food Policy* 37(2): 171-178. doi:10.1016/j.foodpol.2012.01.002.
13. Korea Customs Service, 2016. Available at: <http://www.customs.go.kr/>
14. Korea Environmental Industry and Technology Institute (KEITI), 2017. Available at: <http://www.keiti.re.kr/>
15. Korea Statistics, 2016. Available at: <http://www.kostat.go.kr/>
16. Korea Statistics, 2017. Available at: <http://www.kostat.go.kr/>
17. Lang T., 1999. The Complexities of Globalization: The UK as a Case Study of Tensions within the Food System and the Challenge to Food Policy. *Journal of Agriculture and Human Values* 16: 169-185. doi:10.1023/A:1007542605470.
18. Lee, H., H. Kim, G. Lee, and Y. Lee, 2010. The Effects of Urban Agriculture on Greenhouse Gases Reduction and Its Policy Proposals. Korea Environment Institute (KEI).
19. Millstone, E., and L. Tim, 2013. The Atlas of Food with a New Introduction.
20. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017. Available at: <http://www.mafra.go.kr/>
21. Natural Resources Defense Council (NRDC), 2007. Foodmiles: How far your food travels has serious consequences for your health and the climate. Natural Resources Defense Council (NRDC).
22. Park, S., 2013. Transport infrastructure problems as grain production increases in Brazil. Korea Trade-Investment Promotion Agency (KOTRA).
23. Park, D., M. Kim, T. Kim, J. Song, T. Kim, and I. Choi, 2009. A Study on Ways to Balance Rice Supply and Demand. Korea Rural Economic Institute (KREI).
24. Paxton, A., 1994. The Food Miles Report: the Dangers of Long Distance Food Transport. London: Safe Alliance.
25. Pirog, R., T. Pelt, K. Enshayan, and E. Cook, 2001. Food, Fuel, and Freeways: An Iowa perspective on how far food travels, fuel usage, and greenhouse gas emissions. Leopold Center for Sustainable Agriculture.
26. Porkka, M., M. Kummu, S. Siebert, and V. Olli, 2013. From Food Insufficiency towards Trade Dependency: A Historical Analysis of Global Food Availability. *Journal of Public Library of Science* 8(12): e82714. doi:10.1371/journal.pone.0082714.
27. Pretty, J. N., A. S. Ball, T. Lang, and M. James, 2005. Farm Costs and Food Miles: An Assessment of the Full Cost of the UK Weekly Food Basket.
28. Roach, A., 2014. Brazil Corn & Soybean Production by state. The Van Trump Report.
29. Saunders, C., and B. Andrew, 2008. Carbon Footprints, Life Cycle Analysis, Food Miles: Global Trade Trends and Market Issues. *Journal of Political Science* 60(1): 73-88.

- doi:10.1177/003231870806000107.
30. Smith, A., 2005. The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development. Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA).
 31. Sparger, A., and M. Nick, 2015. Transportation of U.S. Grains. United States Department of Agriculture (USDA).
 32. Suh, K., 2012. An Analysis of Food Miles and CO₂ Emission of Major Agricultural Products. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 28(6): 706-713 (in Korean). doi:10.5572/KOSAE.2012.28.6.706.
 33. Swedish Environmental Protection Agency, 2002. Environmental impact from different modes of transport-Method of comparison. Swedish Environmental Protection Agency.
 34. The Van Trump Report (TVTR), 2015. Brazil Soybean Production by State.
 35. United States Department of Agriculture (USDA), 2014.
 36. United States Department of Agriculture (USDA), 2016.
 37. Wakeland, W., S. Cholette, and V. Kumar, 2012. Food Transportation Issues and Reducing Carbon Footprint. Green Technologies in Food Production and Processing, Food Engineering Series, Springer. doi:10.1007/978-1-4614-1587-9_9.
 38. World Trade Organization (WTO), 2016. Available at: <http://www.wto.org/>
 39. Wynen, E., and D. Vanzetti, 2008. No Through Road: The Limitations of Food Miles. Asian Development Bank (ADB) Institute.
 40. Yoon, B., R. Jeong, G. Lee, H. Woo, and J. Park, 2010. The study on food mileage relating to nations' dietary life. Ministry of Environment (in Korean).