

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.388>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Establishment of Basic Carbon Unit and LCI DB on Compound Fertilizers in Korea

Jong-Sik Lee\*, Gun-Yeob Kim, Hyun-Cheol Jeong, Eun-Jung Choi, Sun-Il Lee, and Jin-Ho Huh<sup>1</sup>

Division of Climate Change &amp; Agroecology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, 166 Nongsaeangmyeong-ro, Wanju 55365, Korea

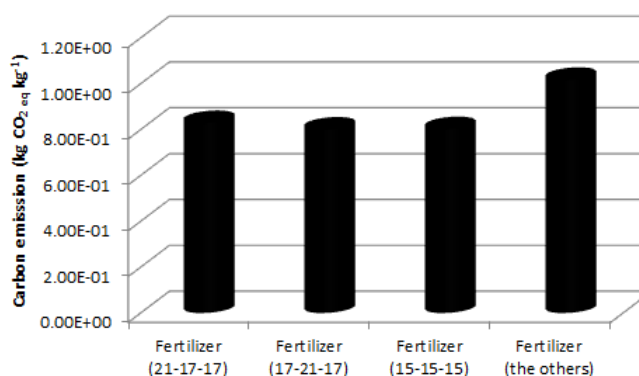
<sup>1</sup>Envinus Co. Ltd., 69 Gangnam-daero 34, Seoul 06738, Korea\*Corresponding author: [jongslee@korea.kr](mailto:jongslee@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** August 13, 2018**Revised:** October 17, 2018**Accepted:** October 17, 2018

To cope with climate change, all industry fields including agriculture endeavor to reduce carbon emissions. For calculating the amounts of carbon emission on agricultural products, establishment of LCI DB (Life Cycle Inventory DataBase) on agro-materials are needed. At this study, LCI DB on several compound fertilizers were established to supply basic informations for conducting sustainable agriculture. Average basic carbon unit for compound fertilizers was  $0.86 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}_{\text{fertilizer}}^{-1}$ , which ranged from 0.801 to  $1.02 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}_{\text{fertilizer}}^{-1}$ . With type of fertilizer, 21-17-17, 17-21-17 and 15-15-15 appeared similar value, but the rest showed about 20% higher values. As the result of life cycle impact assessment on fertilizer(17-21-17), the value of GWP (Global Warming Potential), MAETP (Marine Aquatic Eco Toxicity Potential) and HTP (Human Toxicity Potential) were  $0.801 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ , 0.458 and  $0.424 \text{ kg 1,4 dichlorobenzene(DCB)-eq kg}^{-1}$ , respectively. Basic carbon unit would be used to calculate the amounts of carbon emitted for production process of agricultural products. Also, environmental impact assessment could be served for improving the weakness in fertilizer industry through clear up the vulnerable factors.

**Keywords:** Basic carbon unit, Climate change, Compound fertilizer, Environmental impact, Life cycle inventory



Average basic carbon unit for compound fertilizers was  $0.86 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}_{\text{fertilizer}}^{-1}$ , which ranged from 0.801 to  $1.02 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}_{\text{fertilizer}}^{-1}$ . With type of fertilizer, 21-17-17, 17-21-17 and 15-15-15 appeared similar value, but the rest showed higher figure about 20%.



## Introduction

전 지구적으로 대기 중 온실가스 농도가 지속적 증가함에 따라 기후변화로 인한 질병 및 고온에 따른 스트레스 발생이 많아지고, 가뭄, 폭우 및 폭설과 같은 이상기상으로 인한 피해가 우리 생활에 이미 영향을 주고 있다. WTO (World Trade Organization)는 기후변화에 따른 주요 영향 중 하나로 농업환경 변화로 인한 영양실조를 포함한 식량문제를 지적하고 있으며, 식생활의 가장 기본이 되는 농업에서 모든 작물의 생산과정에 걸친 타격이 예상된다고 하였다 (WTO-UNEP, 2009). 이에 따라 국제사회는 온실가스로 인한 기후시스템의 변화를 방지할 수 있는 수준으로 온실가스 농도를 안정화하기 위하여 노력하고 있다.

우리나라도 2030년 배출전망치 (BAU, 온실가스를 감축하려는 특별한 노력을 하지 않을 경우 배출될 것으로 예상되는 미래의 온실가스 양) 대비 37% 감축이라는 국가 온실가스 감축 목표에 따라 각 산업 부문별로 감축을 추진 중에 있으며, 농업 비에너지 부문은 BAU 대비 4.8%에 해당하는 약 1백만 톤의 감축 목표가 할당 되어 감축을 위한 노력을 수행해 나가야한다 (The Related Government Ministries, 2016).

또한, 소비자들의 건강 및 환경에 대한 관심과 인식이 높아짐에 따라 농식품의 안전성 및 친환경성에 대한 소비자 요구가 높아지고 있다. 이에 대한 방안으로 영국, 일본 등 선진국을 중심으로 탄소성적표지제도가 점차 활성화 되고 있으며, 이 중에서도 식품분야가 대거 참여하고 있다. 이와 관련하여 국제적으로 농식품 관련 분야 LCI DB 구축은 1990년대부터 진행되기 시작하여, 현재 농식품에 대한 전과정평가를 추진하고 있다 (Blengini and Busto, 2009). 농업과 관련된 LCA는 식품산업과 연계되어 일본과 유럽을 중심으로 농식품에 관한 LCA 방법론이 개발되고 있다. 특히, 유럽은 덴마크와 스위스를 중심으로 농식품에 대한 LCI DB를 구축 하였으며, 지속적인 업데이트를 통해 데이터 정확도를 높이고 있다.

우리나라도 환경부에서 2009년부터 탄소성적 표지를 시행하여 현재 환경성적표지제도로 통합 운영되고 있다. 그러나 탄소성적표지 제도는 LCI DB (Life Cycle Inventory Database) 부재 및 온실가스 산정의 어려움 등의 이유로 1차 농산물을 인증대상에서 제외하고 있다. 현재 저탄소 농업정책 중 하나로 추진되고 있는 저탄소농산물 인증제는 다양한 작물 재배 과정에서 저탄소 농업기술을 적용하여 온실가스 배출이 적은 농산물 생산하고 인증, 표시함으로써 녹색기술 확산 및 보급 그리고 저탄소농산물 소비 활동을 유도함으로써 탄소배출 저감을 꾀하고 있으나, 농산물의 탄소배출량 산정을 위해서는 우리나라 실정에 맞는 농자재의 LCI DB 구축이 필요하다.

농산물 생산과정에서 양분 공급을 위해 투입되는 비료는 필수적인 농자재의 하나지만, 화학비료의 사용은 영양공급이라는 목적 외에 토양의 염류 농도를 증가시키고, 질소와 인과 같은 수용성 물질들의 수계 유입을 발생시켜 환경에 부하를 주고 부영양화를 일으키는 원인이 되고 있다 (Park et al, 2018). 뿐만 아니라, 비료를 생산하는 과정에서 투입되는 에너지 소비는 자원고갈 및 지구온난화와 같은 다양한 환경영향을 유발시키고 있다 (KAERI, 2007). 이러한 이유로 국내의 경우 화학비료의 탄소원단위 및 환경성에 대한 정량적인 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 원자재 및 원자재 비율이 다양한 복합비료 중 국내에서 주로 사용되는 비료에 대한 탄소원단위를 전과정평가를 통해 산정함으로써 우리나라 실정에 맞는 농자재의 LCI DB를 제공하고 구축된 LCI DB는 저탄소농산물 인증제도 추진을 위한 기초 자료로 활용이 기대된다. 또한, 부문별 환경영향 평가를 통해 비료산업의 기후변화 취약요인을 구명하고 환경성 개선을 위한 근거자료를 제공하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

탄소원단위는 품목별 조사대상 사업장 선정 및 현장 자료 수집을 수행하고 전과정평가를 통하여 산정하였다. 전과정평가(LCA; Life Cycle Assessment)란 대상 시스템의 원료 채취부터 생산, 사용, 운송 및 폐기 등 전과정에 걸쳐서 소모되는 자원과 발생하는 배출물의 양을 정량화하고, 이로 인한 잠재적 환경영향을 종합적으로 평가하는 환경성평가 방법을 말한다. 조사 대상 품목은 국내에서 주로 사용되는 질소-인산-칼륨 (N-P-K) 21-17-17, 17-21-17 및 15-15-15 등 3종의 복합비료와 그 밖의 복합비료를 기타로 구분하여 수행하였다. 평가를 위한 자료는 국내 생산량 통계자료를 토대로 조사 대상 비료의 품목별 대표성 있는 사업장을 선정하여 현장조사를 통해 관련 자료 (투입물, 산출물)를 수집하였다. 수집된 현장 데이터를 분석하여 전과정평가 방법론에 따라 산업통상자원부에서 보급하는 프로그램인 PASS를 활용하여 각 품목별 탄소원단위에 해당하는 지구온난화 영향평가 (GWP; Global Warming Potential)를 실시하였다. 본 연구에서의 전과정평가 대상 비료에 대한 LCI DB 구축 절차 및 내용은 다음과 같다.

**목적 및 범위 정의** 연구의 목적, 이용분야 등 LCA를 수행하려는 목적과 결과를 어디에 적용할지를 정의하며, 전과정평가 수행을 위한 전반적인 범위를 제시한다. 연구의 전체적인 방향을 설정하는 단계로서 전체 연구결과에 큰 변화를 가져올 수 있기 때문에 매우 신중하고 정확하게 수행되어야 한다. 대상 시스템에 대한 정의, 기능 및 기준흐름 설정, 시스템 경계 설정 등을 수행하였다.

복합비료 LCI DB 구축 목적은 복합비료의 LCI DB 구축, 복합비료의 환경성 평가 및 복합비료의 탄소성적 산정으로 하였다. 이용분야는 환경친화적 농식품 생산 및 탄소성적표지제도와 같은 농업환경정책 수립을 위한 참고자료 제공으로 정의하였다. 연구 범위에 있어서 기능은 해당 제품이 어떤 요구 조건들을 만족하게 하는 지에 대한 설명으로 본 연구의 대상 품목인 복합비료는 농산물의 생산 촉진 및 영양분 공급으로 정의하였다. 기능 단위는 전과정평가 연구에 있어 기준 단위로 사용하기 위한 제품 시스템의 정량화된 결과를 의미하는 것으로 농산물의 생산 촉진 및 영양분 공급을 위해 사용되는 복합비료 1 kg으로 하였다. 기능단위 설정은 제품 시스템에 의해 전달된 서비스를 정량화하는데 그 목적이 있다. 기준흐름이란 기능 단위로 표현된 기능을 충족하는 데 필요한 제품 시스템 공정의 산출물을 정량

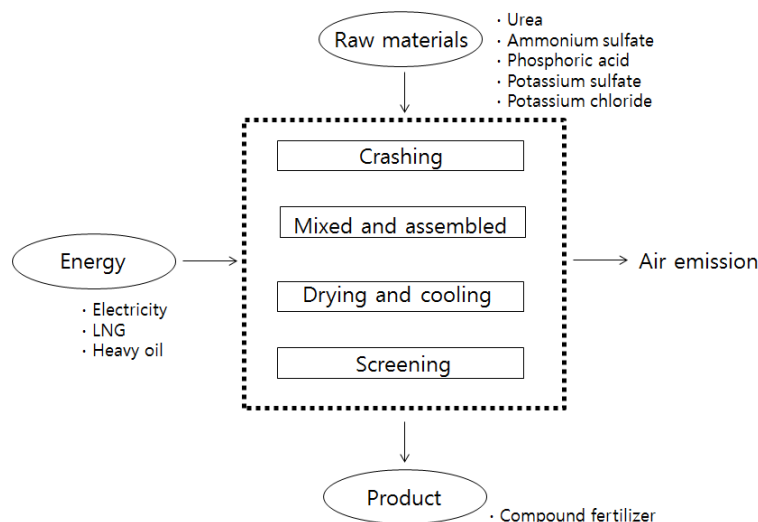


Fig. 1. System boundary of compound fertilizer production.

화한 결과로 정의할 수 있으며, 주로 제품의 양으로 표현된다. 본 연구의 경우에는 복합비료 1 kg에 해당한다. 복합비료 생산의 LCI 데이터베이스 구축을 위한 시스템 경계는 Fig. 1과 같이 설정하였다.

**데이터 수집 및 분석** 설정된 연구대상 시스템에 대하여 통계, 문헌자료 등을 통해 데이터를 수집하는 top-down 방식과 현장 데이터를 수집하는 bottom-up 방식으로 진행하였다.

데이터 수집 범주는 Table 1과 같이 입출력 데이터를 수집하였다. 입력 데이터로는 원료물질로 요소, 유안, 용성인비, 황산칼리와 염화칼리 그리고 에너지 투입량이 포함되었다. 원료물질의 경우 한국비료공업협회에서 공개하는 비료 생산 및 출하 실적 데이터를 수집·분석하였다. Top-down 방식으로는 통계, 문헌자료 등을 통한 데이터 수집과 비료 생산 및 출하 실적 등 통계자료가 포함 되었으며, bottom-up 방식으로는 생산/판매 현장 방문과 설문조사 등을 통하여 자료를 수집하였다.

**Table 1.** Data category for LCI DB establishment of compound fertilizer production

Classification		Materials
Input	Raw material	Urea, Ammonium sulfate, Phosphoric acid, Potassium sulfate, Potassium chloride
	Energy	Electricity, LNG, B-C oil
Output	Product	Compound fertilizer(21-17-17, 17-21-17, 15-15-15, the others)
	Air emission	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> O

데이터 품질에 대한 고려사항으로는 시간적 범위, 지리적 범위, 기술적 범위 등이 있다. 시간적 범위에서는 5년 이내의 데이터를 사용하였는지에 대한 데이터 최신성을 고려해야 한다. 지리적 범위는 연구의 목적을 만족시킬 수 있게 지역 특성에 맞는 데이터의 사용 여부를 명확히 해야 하며, 기술적 범위에서는 현 기술 수준에 맞는 데이터를 사용하였는지를 고려해야 한다. 복합비료의 대상 시스템을 내부와 외부로 구분하여 국내 자료가 없을 경우 국외 LCI DB를 활용하여 구축에 필요한 데이터를 수집하였다.

**데이터 계산** 본 단계에서 제품 시스템의 잠재적인 환경영향을 평가하는 과정으로 도출된 투입물, 산출물을 해당 영향범주에 연결하는 과정이며 특성화는 영향범주 내 분류된 항목들이 각각의 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 과정이다. 제품/부산물 간 할당 수행, 연료 연소에 따른 온실가스 직접배출량 계산, 기능단위별 데이터 환산, 단위공정간 데이터 통합/계산 및 상·하위흐름 DB 연결을 수행하였다. 할당이란 전과정 내의 공정 또는 운송에 의해 발생하는 환경부하에 대한 책임을 적절하게 분배하는 것으로 제품과 관련된 물질 및 에너지 흐름, 환경 배출물 등을 연구 대상 제품에 해당하는 양만큼 나누어서 정량화하는 과정이다. 복합비료 생산과정에서는 부산물이 존재하지 않기 때문에 LCI 구축을 위한 계산 과정에서 제품과 부산물에 대한 할당은 고려하지 않았다.

LCA 연구를 진행하는 과정에서 기능단위를 설정하거나 실제 데이터를 수집하여 전과정 목록분석을 수행함에 있어 이론적으로 생각하는 것과 같이 완벽한 연구를 수행하기란 불가능하다. 따라서 보다 단순화하기 위한 적절한 가설의 설정은 필수적이라 하겠다. 그러나 실제로 연구의 복잡성을 단순화시키기 위해서 사용되는 가정은 연구 결과에 중대한 영향을 미칠 수 있으므로 세심한 주의가 필요하다.

복합비료의 경우 원료의 투입량 계산이 매우 중요한 부분을 차지한다. 그러나 실질적으로 업체에서 생산하는 복합

비료의 종류가 많기 때문에 국내 복합비료 원료용 무기질 비료 소비 비율을 비료 생산 출하 실적 데이터를 통하여 계산하였다. 복합비료 내 유효성분량을 바탕으로 원료용 무기질비료의 사용량과 유효 성분 함량을 통해 복합비료 제조에 사용된 원료물질 사용량을 계산하여 적용하였다. 에너지의 경우에는 비료 생산과정에 화석연료가 투입되므로 B-C유, 경유, LNG로 인한 직접대기배출물 계산을 실시하였다. 복합비료 제조 시 투입되는 에너지량은 실제 복합비료 생산 업체에서 사용한 에너지량을 조사하여 적용하였고, 각각의 화석연료 사용량에 IPCC 배출계수를 곱하여 산정하였다.

LCIDB 구축을 위한 상·하위흐름 DB 연결 및 프로그래밍 작업으로 해당 물질에 대한 국가 DB를 우선 연결하되 국가 DB가 없는 항목에 대해서는 스위스 Ecoinvent의 DB를 연결하였다. PASS 소프트웨어를 통하여 최종 산출된 결과는 복합비료를 생산하기 위한 과정에서 투입되고 산출되는 모든 항목과 양에 대해 Fig. 2와 같은 엑셀 시트형태로 목록화 하였다.

Materials (unspecified)	Classification	Group	Environment	Unit	21-17-17	KCl	Electricity	LNG	Heavy fuel	Urea	Ammonium sulphate	phosphoric acid	potassium sulfate
1,1,1-Trichloroethane	INPUT	Resource	soil	kg	6.784E-14								6.784E-14
1-Amino-2-propanol	INPUT	Raw material	technosphere	kg	4.214E-14			4.214E-14		1.808E-25			1.546E-20
Activated carbon (recycled)	INPUT	Raw material	technosphere	kg	3.406E-05					3.406E-05			
Air	INPUT	Resource	air	kg	2.315E-01	4.039E-04		1.945E-06	2.358E-03	7.082E-02			1.579E-01
Aluminum (Al)	INPUT	Resource	soil	kg	4.715E-14					2.267E-15			4.488E-14
Aluminum ore	INPUT	Resource	soil	kg	5.518E-04					9.416E-05	9.456E-05	3.630E-04	8.532E-09
Aluminum sulfate	INPUT	Raw material	technosphere	kg	2.673E-05					2.673E-05			1.519E-11
Ammonia	INPUT	Raw material	technosphere	kg	3.999E-09					1.025E-10			3.897E-09
Ammonia	INPUT	Resource	soil	kg	3.578E-07								3.578E-07
Ammonium hydroxide	INPUT	Raw material	technosphere	kg	1.146E-03					1.146E-03			2.016E-12
Anhydrite	INPUT	Resource	soil	kg	1.128E-08					8.158E-09	3.338E-10	2.785E-09	8.586E-15
Asbestos	INPUT	Resource	soil	kg	1.038E-21								1.038E-21
Auxiliary material	INPUT	Resource	soil	kg	2.111E-11								2.111E-11
Barite	INPUT	Resource	soil	kg	6.370E-04	5.122E-06		4.296E-08	5.309E-05	1.508E-04	6.255E-05	5.125E-04	5.293E-05
Barium (Ba)	INPUT	Resource	soil	kg	2.855E-11								2.855E-11
Barium chloride	INPUT	Raw material	technosphere	kg	2.314E-09					2.144E-09			1.701E-10
Basalt	INPUT	Resource	soil	kg	3.15E-04					2.427E-05	2.387E-05	8.333E-05	6.038E-10
Bauxite	INPUT	Resource	soil	kg	4.562E-04	1.004E-05	3.536E-08	2.342E-11	2.049E-09	4.401E-04			6.032E-06
Bentonite	INPUT	Resource	soil	kg	1.373E-05	3.282E-07		2.758E-09	3.408E-05	6.596E-06			3.397E-06
Biomass	INPUT	Resource	soil	kg	2.362E-10	2.440E-15	7.148E-11	1.375E-14	2.568E-14	1.473E-10			1.737E-11
Borax	INPUT	Resource	soil	kg	4.848E-09					9.722E-10	8.181E-10	3.058E-09	1.669E-14
Boric acid	INPUT	Raw material	technosphere	kg	3.674E-06					3.674E-06			
Butane	INPUT	Resource	soil	kg	1.715E-03					1.715E-03			
Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%	INPUT	Resource	soil	kg	3.078E-07					1.894E-09	8.663E-09	2.974E-07	4.325E-14
Calcite	INPUT	Resource	soil	kg	1.376E-02					1.825E-03	1.755E-03	6.559E-03	1.620E-03
Calcium fluoride	INPUT	Resource	soil	kg	8.303E-12					5.541E-19			8.303E-12
Calcium hypochlorite	INPUT	Raw material	technosphere	kg	6.322E-13			6.322E-13		4.451E-18			2.318E-19
Calcium sulfate	INPUT	Resource	soil	kg	4.877E-12								4.877E-12
Caliche	INPUT	Resource	soil	kg	1.484E-06	1.543E-11	4.521E-07	8.695E-11	1.624E-10	9.430E-07			8.843E-08
Carbon (C)	INPUT	Resource	soil	kg	1.361E-08	4.719E-10		4.024E-12	4.966E-09	6.795E-09			1.378E-09
Carbon dioxide	INPUT	Resource	air	kg	6.621E-03					2.049E-03	1.121E-03	3.450E-03	2.149E-08
Carbon, in organic matter, in soil	INPUT	Resource	soil	kg	2.096E-07					1.794E-08	2.332E-08	1.683E-07	9.612E-13
Cellulose	INPUT	Raw material	technosphere	kg	4.391E-15					4.223E-15			1.679E-16

Fig. 2. PASS computation of compound fertilizer(21-17-17) production.

**데이터 검증** 입력데이터, 적용 방법론 및 출력데이터 검증을 실시하여 전과정 영향평가 결과를 체계적으로 분석하는 단계로 환경 측면의 주요 이슈를 규명, 민감도와 일관성 등을 평가, 개선 전략 계획이나 정책 수립 등에 활용, 그리고 권고 사항과 보고의 결론으로 구성된다. 본 연구에서도 DB의 신뢰도를 높이기 위한 입·출력 데이터 검증, 상·하위흐름 연결 DB의 적절성 검증, 적용 방법론 검증을 실시하였다.

## Results and Discussion

**복합비료에 대한 탄소원단위 산정** 복합비료 4개 (21-17-17, 17-21-17, 15-15-15, 기타)에 대한 탄소원단위 산정 결과 값은 Table 2에 나타냈다. 복합비료 LCI DB의 output 항목 중 지구온난화 물질 (IPCC, 2007)을 선택하여 각각의 배출량에 온난화지수를 곱한 값의 합으로 탄소원단위를 산정하였다 (Ryu et al, 2011). 복합비료 생산에 따른 온실가스 배출은 이산화탄소가 가장 높았으며, 그 다음으로 메탄과 아산화질소 순으로 나타났다.

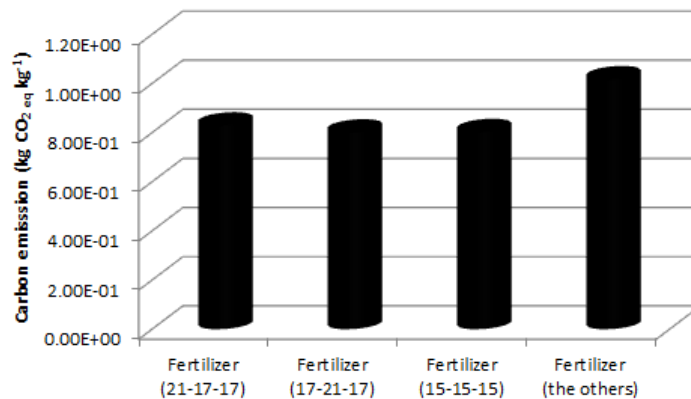


**Table 2.** Basic unit of different greenhouse gases caused by the production of compound fertilizer.

Compound fertilizer	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC-134a	HFC-152a	HFC-23	SF <sub>6</sub>	CFC-14	Total
Fertilizer (21-17-17)	7.66E-01	5.68E-02	4.95E-03	5.50E-04	9.95E-09	6.79E-07	2.84E-04	7.40E-04	8.29E-01
Fertilizer (17-21-17)	7.48E-01	4.60E-02	5.21E-03	6.26E-04	9.00E-09	6.77E-07	2.56E-04	7.48E-04	8.01E-01
Fertilizer (15-15-15)	7.46E-01	5.02E-02	5.00E-03	5.78E-04	9.27E-09	6.64E-07	2.64E-04	7.30E-04	8.02E-01
Fertilizer (the others)	8.87E-01	1.26E-01	3.32E-03	7.26E-05	1.62E-08	6.98E-07	4.71E-04	7.03E-04	1.02E-00

Fig. 3은 탄소원단위를 비교한 것이다. 산정 결과 복합비료의 탄소원단위 범위가 0.801-1.02 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sub>fertilizer</sub><sup>-1</sup>이며, 평균 0.86 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sub>fertilizer</sub><sup>-1</sup>로 나타났다. 본 결과는 전과정평가를 통해 무기질 비료인 맞춤형비료 16호 생산 과정에서 배출되는 탄소량 0.800 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>와 유사하며 (Jung et al, 2012), 국내 부속비료의 온실가스 배출량 산정 결과 (Yun et al, 2015a)와 비교할 때, 계분비료는 0.636 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>와 유사한 수치이나 우분퇴구비 0.211 및 돈분액비 0.026 보다는 상대적으로 많은 탄소가 배출되는 것으로 나타났다.

비중별로 복합비료 (21-17-17, 17-21-17, 15-15-15)는 유사한 온실가스 배출량을 나타냈으나, 복합비료 기타의 경우 약 20% 높은 배출량을 보였는데, 이는 N 성분을 나타내는 요소 및 유안의 투입량이 기타 복합비료에서 많기 때문인 것으로 분석되었다.

**Fig. 3.** Carbon emission with different greenhouse gases caused by the production of compound fertilizer.

앞에서 언급한 바와 같이 복합비료는 그 구성 성분비에 따라 다양한 비중이 생산되고 있다. 원자재 및 원자재 비율이 다양함에 따라 비료 사용으로 인한 온실가스 발생량 정량화에 어려움이 있다. 이러한 문제점에 따라 생산에 투입되는 원자재 구성에 따른 온실가스 배출량을 용이하게 산정하기 위하여 무기질 비료의 N-P-K 유효성분비만으로 탄소 배출량을 자동으로 계산할 수 있는 간편한 방법론이 개발되어 보고되었다 (Yun et al., 2015b).

**복합비료 (17-21-17)에 대한 전과정 영향평가** 탄소원단위를 구축한 복합비료 중에서 복합비료 (17-21-17)에 대하여 전과정 영향평가를 수행하였다. 무생물자원고갈 (ADP; Abiotic Depletion Potential), 지구온난화 (GWP; Global Warming Potential), 오존층고갈 (ODP; Ozone Depletion Potential), 산성화 (AP; Acidification Potential), 부영양화 (EP; Eutrophication Potential), 광화학산화물생성 (POCP; Photo-chemical Oxidant Creation Potential), 인간독성 (HTP; Human Toxicity Potential), 담수생태독성 (FAETP; Fresh Water Aquatic Eco Toxicity Potential), 해수생태독성 (MAETP; Marine Aquatic Eco Toxicity Potential), 토양생태독성 (TETP; Terrestrial Eco Toxicity Potential) 등 총 10가지 영향범주별 환경영향을 정량화하였다. 대상 비료에 대한 전과정 영향평가 결과, Table 3에 나타난 바와 같이 범주별로는 지구온난화(GWP) 값이 0.801 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>으로 나타났으며, 해수생태독성(MAETP) 및 인체독성(HTP)이 각각 0.458 및 0.424 kg 1,4 DCB-eq kg<sup>-1</sup>의 결과를 보였다. 전과정 영향평가 범주 중에서 독성 평가는 생태독성 인자인 1,4-dichlorobenzene (DCB)-eq로 전환하여 평가하고 있다. 본 조사에서 나타난 복합비료 (17-21-17)의 영향평가 결과는 농업분야에서 토양개량 및 작물생육용 자재로 사용되는 포도당의 GWP 값 1.24 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> 보다 낮은 값이나 MAETP 및 HTP가 0.125와 0.139 보다는 상대적으로 높은 값을 보여 농자재별로 미치는 환경영향 범주가 상이함을 보였다 (Kim et al, 2016). 이와 같이 전과정영향평가기법을 이용하여 환경성 개선을 위한 영농에 사용되는 농자재들의 품목별 주요 요인을 도출함으로써 기후변화 대응 방안 모색에 기여 할 수 있을 것이다. 본 연구 결과를 통해 국내 비료에 대한 생산 시스템에서의 환경성 개선을 위한 연구분야 설정에 기초자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

**Table 3.** Environmental impacts of different influence categories caused by the production of compound fertilizer (17-21-17).

ADP	GWP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	FAETP	MAETP	TETP
l/yr	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CFC11eq	kg SO <sub>2</sub> eq	kg PO <sub>4</sub> eq	kg ethylene eq	kg 1,4DCB eq			
1.28E-02	8.01E-01	1.56E-06	3.77E-03	3.94E-03	1.84E-04	4.24E-01	4.22E-02	4.58E-01	6.41E-03

ADP (Abiotic Depletion Potential), GWP (Global Warming Potential), ODP (Ozone Depletion Potential), AP (Acidification Potential), EP (Eutrophication Potential), POCP (Photo-chemical Oxidant Creation Potential), HTP (Human Toxicity Potential), FAETP (Fresh Water Aquatic Eco Toxicity Potential), MAETP (Marine Aquatic Eco Toxicity Potential), TETP (Terrestrial Eco Toxicity Potential).

## Conclusions

기후변화에 대응하기 위하여 농업을 포함한 전 산업분야에서 탄소 배출을 줄이기 위한 노력이 진행되고 있다. 농산물의 탄소 배출량 산정을 위해서는 우리나라 실정에 맞는 농자재의 LCI DB 구축이 필요하다. 본 연구는 농산물의 탄소 배출량을 산정하고 부문별 환경영향 평가를 통해 비료산업의 기후변화 취약 요인을 구명하고 환경성 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 국내에서 사용되고 있는 복합비료에 대한 LCI DB를 구축하였다.

복합비료 4개 (21-17-17, 17-21-17, 15-15-15, 기타)에 대한 탄소원단위 산정 결과, 탄소원단위 범위가 0.801-1.02 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sub>fertilizer</sub><sup>-1</sup>이며, 평균 0.86 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sub>fertilizer</sub><sup>-1</sup>로 나타났다. 비종별로 복합비료 (21-17-17, 17-21-17, 15-15-15)는 유사한 온실가스 배출량을 나타냈으나, 복합비료 기타의 경우 약 20% 높은 배출량을 보였다. 복합비료 (17-21-17)에 대한 전과정 영향평가에서는 지구온난화(GWP) 값이 0.801 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>으로 나타났으며, 해수생태

독성 (MAETP) 및 인체독성 (HTP)이 각각 0.458 및 0.424 kg 1,4dichlorobenzene (DCB)-eq kg<sup>-1</sup>의 결과를 보였다. 이러한 전과정영향평가 결과를 이용하여 각 품목별 환경성 개선을 위한 요인을 도출하고 기후변화 대응 방안 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012460)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Blengini G.A. and M. Busto. 2009. The Life Cycle of Rice: LCA of Alternative Agri-food Chain Management Systems in Vercelli. *J. Environ. Manage.* 90:1512-1522.
- IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Reports. IPCC, Switzerland. p.141.
- Jung, S.C, D.B. Lee, J.W. Jeong, and J.H. Huh. 2012. Carbon footprint of customized fertilizer, No. 16 and its comparison with single fertilizers. *J. Korean Soc. Life Cycle Assess.* 13:109-119.
- Kim, Y.H., J.H. Hur, J.S. Lee, and E.J. Choi. 2016. Study on the life cycle assessment of glucose. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 17:536-541.
- Korea Atomic Energy Research Institute. 2007. A Conceptual Study on the Sustainability of Nuclear Power. KAERI/TR-3421/2007. p.5.
- Park Y.E., T.J. Lim, J.M. Park and S.E. Lee. 2018. Long-term effects of chemical fertilizer and compost applications on yield of red pepper and soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(2):111-118.
- Ryu, J.H., K.H. Kim<sup>1</sup>, G.Y. Kim, K.H. So, and K.K. Kang, 2011. Application of LCA on lettuce cropping system by bottom-up methodology in protected cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1195-1206 (in Korean).
- The Related Government Ministries. 2016. The 1<sup>st</sup> Basic Planning for Coping with Climate Change (in Korean).
- WTO-UNEP. 2009. Trade and Climate Change WTO-UNEP Report. WTO Publications. pp.16-24.
- Yun, S.J., K.H. Kim, D.H. Lee, J.H. Huh, E.J. Choi, J.S. Lee, and H.C. Jeong. 2015a. Estimation of life-cycle greenhouse gas emissions of decomposed manure fertilizer in Korea. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 16:397-402.
- Yun, S.J., K.H. Kim, D.H. Lee, J.H. Huh, E.J. Choi, J.S. Lee, and H.C. Jeong. 2015b. Greenhouse gas calculating methodology by the ratio of available ingredients in inorganic fertilizer. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 16:403-406.