

맞춤형화학비료(맞춤 16호)의 탄소배출량 산정 및 단일비료와의 비교

정순철, *이덕배, 정재우, 허진호
에코네트워크(주), *국립농업과학원 토양비료관리과

Carbon Footprint of Customized Fertilizer, No. 16 and Its Comparison with Single Fertilizers

Soon Chul Jung, *Deog Bae Lee, Jae Woo Jeong, Jin Ho Huh

Eco-Solution Business Division, Econetwork Co., Ltd.

*Soil and Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science

Received: 31 August 2012 / Accepted: 19 September 2012

Abstract

The study for Carbon Footprint of inorganic fertilizers have been proceeding since 2010, this year the results of customized fertilizer devised. Customized fertilizer to be considered soli testing and nutrient balance, fertilizers are produced by the formulation at main ingredient (N-P-K). There are currently being produced 30 products. In case of Korea, nitrogen balance and the usage of chemical fertilizers are higher than in OECD countries, excessive use of fertilizers can be a problem. Accordingly, the government has been encourages the use of customized fertilizer. In this study estimate the carbon footprint for 1 kg production of customized fertilizer, No. 16 by using LCA. In addition, the carbon footprint were compared customized fertilizer with single fertilizer. The carbon footprint of No. 16 was $8.00E-01$ kg CO₂ eq. kg⁻¹. Next, customized fertilizer were analyzed 12.12% low-carbon than $9.11E-01$ kg CO₂ eq. kg⁻¹ for single fertilizer when compared carbon footprint for customized fertilizer and single fertilizer. These results will be considered contribute to the reduction of carbon emissions in agricultural sector.

1. 서론

맞춤형비료란 토양 상태를 검사해 작물 생육에 필요한 비료성분을 배합하여 만든 환경친화적 비료로, 일반 화학비료에 비해 질소, 인산, 칼리 함량이 낮고 토양에 부족한 미량 성분을 보강하여 생산되는 비료이다. 맞춤형 비료는 정부가 화학비료의 사용량을 절감시키기 위해 기존의 관행비료에 대한 보조 사업을 중단하는 대신 등장하게 되었다. 토양검정결과와 양분수지를 감안하여 주요 성분(N-P-K) 배합한 맞춤형화학비료는 화학비료 사용량 절감 및 농작물 품질 향상에 기여할 것으로 기대되어 2010년부터 총 31종이 생산되었다. 현재는 농가 신청물량이 적고 기술적으로 통합이 가능한 비종인 맞춤형비 31호가 2011년부터 폐지되어 30종이 생산되고 있다.

우리나라의 화학비료 사용량은 2006년 기준 315.7 kg ha⁻¹ 로 미국, 브라질, 영국, 프랑스, 인도 등 주요 국가보다 비교적 높은 수치를 기록하고 있다. 또한 OECD 농업환경지표 중 질소수지는 2002년 현재 240 kg ha⁻¹ 로 OECD 평균인 76 kg ha⁻¹ 와 비교 시 3배를 넘는 등 단위면적당 많은 양의 화학비료를 사용하고 있는 실정이다[1, 2]. 우리나라와 같이 화학비료 사용량이 많은 경우 맞춤형화학비료 보조금 지원 정책 도입으로 화학비료 사용량 감소의 큰 효과가 기대되는데, 2010년부터 맞춤형화학비료 및 완효성비료의 장려로 화학비료 사용량이 2009년 대비 14.5% 감소된 것으로 나타났다[3].

LCA 방법론적인 관점으로 볼 때 맞춤형화학비료의 효과는 화학비료의 사용량 감소에 머무는 것이 아니라, 원자재의 사용량 감소와 시비 시 토양기작에 의한 아산화질소 발생량 감소 등 농작물의 탄소배출량 변화에까지 영향을 미치게 된다[4, 5]. 하지만 맞춤형화학비료는 도입 초기로 이에 대한 연구와 평가가 정확히 이루어지고 있지 않아 그 결과를 정확하게 예측하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전과정평가를 활용하여 농작물 재배를 위해 투입되는 화학비료 중 맞춤형화학비료(맞춤 16호) 단위생산과정에서 발생하는 탄소배출량을 산정하였다. 또한 전과정영향평가를 실시하여 각 영향을 평가 하였다.

2. 연구 방법

맞춤형화학비료는 주요 성분을 토양환경과 농법에 맞게 배합한 비료로 맞춤 16호의 경우 N-P-K 성분비율이 22(%)–10(%)–8(%)로 이루어져 있다. 본 연구 대상인 맞춤 16호는 2011년도 맞춤형화학비료 30종 중, 총 신청 물량의 약 15%인 91,801 ton으로 가장 많이 사용되었다[3].

2.1 목적 및 범위 정의

본 연구의 대상 시스템은 맞춤형화학비료 생산 시스템으로, 기준흐름은 <Table 1>과 같이 ‘맞춤형화학비료 16호 1 kg’(이하 맞춤 16호)으로 설정하였다. 시스템 경계는 맞춤 16호 1 kg 생산 과정에 사용되는 원료물질의 채취로부터 맞춤 16호가 생산되기까지의 모든 과정을 포함한 cradle to gate의 범위를 가지고 있다.

Table 1. The target system, function, function unit and reference flow of the study.

The target system	Manufacturing system in domestic fertilizers
The function	Delivery of nutrients and growth promotion of crops
The functional unit and reference flow	Producing 1kg complex fertilizers on demand for delivery of nutrients and growth promotion of crops

맞춤 16호는 [Fig. 1]처럼 원료물질 계량 후 투입, 분쇄, 혼합, 조립과정을 거쳐 1차 제품 생산, 그리고 건조 및 냉각, 선별 및 포장을 통하여 완제품이 생산된다.

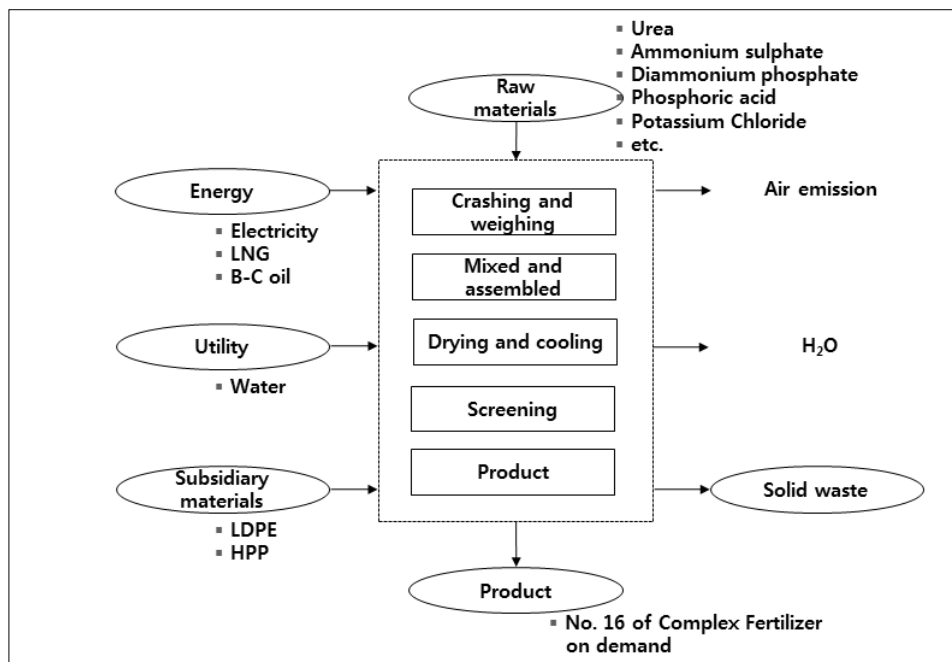


Fig. 1. System boundaries of customized fertilizer production system.

생산과정에서 에너지가 투입되며 대기배출물, 폐기물이 발생하게 된다. 대상 시스템 내부의 시간적 경계, 지역적 경계, 기술적 경계는 각각 2010년, 복합비료를 생산하는 국내 수위 업체, 현재 국내에서 상용화된 기술로 하였고, 대상 시스템 외부는 각각 최근 5년 이내의 최신 데이터, 국내 및 해외 데이터, 동일 및 유사 시스템에 대한 데이터로 하였다. 데이터 범주는 [Fig. 1]과 같이 국내 맞춤 16호 생산 시스템으로 투입되는 원료물질과 에너지, 그리고 이에 따라 산출되는 제품 및 대기배출물, 폐기물로 정의된다. 국내 맞춤 16호 생산 시스템에 대한 데이터는 한국비료공업협회 회원사 중 맞춤 16호를 생산하는 시장점유율 수위 6개 회사로부터 수집한 생산데이터이다. 데이터 품질 요건으로는 <Table 2>에 나타낸 것과 같이 해당 맞춤 16호 생산과정인 시스템 내부와 원료물질 생산 시스템 혹은 폐기물 처리 시스템 등의 대상 시스템 외부로 구분할 수 있다.

Table 2. Data quality requirements for LCA analysis of customized fertilizer, No. 16.

Internal system	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Field data acquisition of target companies in 2010 ▪ Field data gathering to targeting businesses
External system	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilization of domestic LCI database ▪ Utilization of foreign LCI database

2.2 데이터 수집 및 분석

데이터 수집은 bottom-up method를 이용[6], 해당 사업장 (남해화학, 동부한농, 조비, 풍농, 협화, KG케미컬) 방문과 설명회를 통하여 수집 범위를 전달하는 등 2010년 현장데이터를 수집하였다. 현장데이터는 주원료 및 부원료, 에너지, 유틸리티(용수) 그리고 제품, 배출물 및 폐기물 등 모든 Input과 Output의 물질 및 양을 포함한다. 또한 주원료 및 부원료의 수송에 관련된 데이터를 추가 조사하였다. 1차 수집된 데이터의 미비자료는 재방문 및 전화 등을 통해 보완하였다. 데이터 분석은 수집 데이터의 물질수지를 점검하는 과정을 통해 모든 단위를 물질 kg, 화석 에너지 (천연가스, 중유) kg, 전력 kWh로 통일하였고, 이상치 및 누락치를 검토하였다.

2.3 데이터 계산

참여업체 데이터를 통합함으로써 gate to gate 데이터베이스를 얻을 수 있다. 이러한 데이터를 통합하는 방법은 크게 수직적 합산방법과 수평적 합산방법 두 가지가 있다[7]. 본 연구에서는 업체별로 물질수지를 계산한 후 취합하는 수직적 합산방법을 사용하였는데 이는 수평적 합산방법에 비하여 계산과정이 비교적 용이할 뿐만 아니라 각 업체별로 자사 데이터 특성을 쉽게 판단할 수 있기 때문이다. 또한 참여업체가 6개로 LCI D/B 구축 권장사항인 3개 사 이상이므로 업체 기밀누설의 위험이 낮다[8]. 연료 연소로 인한 직접대기배출물 배출량은 IPCC 배출계수[9]를 적용하였다. 직접대기배출량은 연료사용량 (1 yr^{-1})에 <Table 3>의 저위발열량 (MJ L^{-1}), 단위전환계수 (10^{-6}), 배출계수 (kg GHG TJ^{-1})를 모두 곱하여 계산하였다.

화학비료 제조 특성 상 각 제품 생산에 따른 부산물은 발생하지 않으므로 이에 따른 할당은 적용하지 않았다. 맞춤형화학비료는 제품 종류와 상관없이 동일한 공정에서 생산되고 있으므로, 생산업체의 데이터 관리 상태에 따라 에너지 및 유틸리티 사용량은 생산량으로 나누어 적용하였다.

Table 3. Emission factors and low-heating value of each fuel. (IPCC, 1996)

Fuels	Emission factors(kg TJ ⁻¹)			Low-heating value (MJ L ⁻¹ , NM ³)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Light oil	74,100	3.9	3.9	35.4
Kerosene	71,900	3	0.6	35
Heavy oil	77,400	3	0.6	39.1
Gasoline(for vehicles)	69,300	33	3.2	31
Gas(Butane/LPG)	63,100	1	0.1	45.7
Natural gas	64,200	3	0.6	40
Anthracite	98,300	1	1.5	19.3

2.4 전과정 목록 분석 및 영향평가

수집된 데이터의 분석 및 계산 과정을 통해 gate to gate 목록을 기능단위인 맞춤 16호 1 kg 기준으로 작성하였다. <Table 4>는 맞춤 16호 1 kg 기준의 input과 output 값을 나타낸 것이다. 마지막 단계로 지식경제부에서 개발한 전과정평가 도구인 PASS (ver 4.1.3) software를 활용하여 상위/하위 데이터베이스를 연결시키고, 전과정 목록을 구축하였다. 환경부와 지식경제부의 국가 데이터베이스를 우선 연결하되, 연결 가능 항목이 없을 경우 해외 데이터베이스 (스위스 Ecoinvent database)를 연결하였다. 최종적으로 온실가스 배출량 산정은 도출된 전과정 목록에서 온실가스 지정 물질의 배출량에 해당 지구온난화지수를 곱한 후 이산화탄소 당량으로 정량화 (kg CO₂ eq. kg⁻¹)하여 나타내었다.

2.5 가정 및 제한사항

N-P-K 관련 주요 원료의 경우, 유효성분 함량이 원료를 들여오는 시기와 판매업체에 따라 조금씩의 차이가 있으므로, 맞춤 16호 생산 업체에서 제시한 유효성분 함량 최고치와 최저치 사이의 적합한 값을 사용하였다. 또한 수송의 경우 대표적인 운송수단을 선정하여 적용하였다. 연료 사용으로 인한 직접대기배출물은 IPCC 배출계수를 통해 도출하였다. 용수의 경우 제품 조립수와 기타 용도로 사용되거나 전량 공정에 재투입되고 있으므로, 100% 증발된다고 가정하였다.

3. 결과 및 고찰

구축된 전과정 목록을 토대로 교토의정서에서 규정한 6대 온실가스 배출량에 대해 <Table 5>과 같이 분석한 결과 맞춤 16호 1kg 생산에 따른 탄소배출량은 0.800 kg CO₂ eq. kg⁻¹로 나타났으며, 가장 큰 기여도를 보이는 온실가스는 이산화탄소 (90.4%)와 메탄 (8.9%)으로 분석되었다.

Table 4. Input and output amount of customized fertilizer, No. 16.

Input			Output		
Parameter	Unit	Amount	Parameter	Unit	Amount
Urea	kg	3.16E-01	Product	kg	1.00E+00
Ammonium sulfate	kg	3.09E-02	CO ₂	kg	1.65E-02
Diammonium phosphate	kg	3.85E-02	CH ₄	kg	6.90E-07
Phosphoric acid	kg	9.97E-02	N ₂ O	kg	1.38E-07
Potassium chloride	kg	1.26E-01	Dust	kg	6.33E-06
Dolomite	kg	4.03E-03	H ₂ O	kg	4.75E-02
Borax	kg	4.37E-03	SOx	kg	1.88E-06
Complex fertilizer (Unspecified)	kg	1.15E-03	NOx	kg	1.53E-06
Silicate fertilizer	kg	1.30E-01	NH ₃	kg	2.82E-06
Silica sand	kg	5.56E-04	LDPE waste	kg	6.89E-09
Bentonite	kg	2.23E-04	HPP waste	kg	1.09E-07
Gypsum	kg	1.08E-03	Unspecified waste	kg	1.33E-04
Lubricating	kg	8.01E-04			
Talc	kg	3.30E-02			
Antifoaming agent	kg	1.14E-04			
Ferric oxide	kg	4.33E-05			
Ammonia	kg	8.01E-02			
Sulfuric acid 93%	kg	1.33E-01			
Electricity	kWh	4.51E-02			
B-C oil	kg	3.26E-03			
LNG	kg	1.93E-03			
Water	kg	4.75E-02			
LDPE	kg	7.63E-04			
HPP	kg	6.29E-06			

The amount of all parameters were calculation based on product 1 kg

<Table 6>는 맞춤 16호 생산을 크게 제조전 단계, 제조 단계, 수송 단계로 대분류한 후 제조전 단계는 주원료 생산, 부원료 생산, 에너지 생산, 유틸리티 생산으로, 제조 단계는 에너지 사용, 폐기로, 수송 단계는 해외 수송, 국내 수송으로 소분류하여 탄소배출량을 분석한 결과이다. 기비1)인 맞춤 16호는 주원료 생산 (84.61%), 수송 (10.05%), 에너지 생산 및 사용 (5.16%) 순으로 온실가스가 배출되었는데, 특이하게 탄소배출계수가 낮음에도 불구하고 수송의 기여도가 높은 이유는 원료 수입처 대부분이 원거리인 해외이기 때문으로 분석되었다.

Table 5. Major greenhouse gas emissions of customized fertilizer No. 16 production system (unit: kg CO₂ eq. kg⁻¹).

Greenhouse gases	Emission
Carbon dioxide	7.24E-01
Methane	7.15E-02
Nitrous oxide	4.38E-03
HFC-134a	1.80E-05
HFC-152a	9.26E-09
HFC-23	3.75E-07
Sulfur Hexafluoride	2.70E-04
CFC-14	3.80E-04
Total	8.00E-01

Table 6. Greenhouse gas emissions and contribution of customized fertilizer, No. 16. (Unit: kg CO₂ eq. kg⁻¹).

Parameter		Carbon Emission, Contribution
Pre-manufacturing phase	Raw materials	6.77E-01
		84.61%
	Subsidiary materials	1.43E-03
		0.18%
	Energy	2.41E-02
		3.01%
Utilities	4.71E-06	
	0.00%	
Manufacturing phase	Direct Air Emissions	1.72E-02
		2.14%
	Disposal	1.63E-05
Transporting phase	Foreign	7.88E-02
		9.84%
	Domestic	1.68E-03
		0.21%

1) 씨를 뿌리거나 모종하기 전에 주는 비료로 밑거름이라고도 한다.

[Fig. 2]는 맞춤형 16호 탄소배출량의 84.61%로 대부분을 차지하는 주원료 중 N-P-K의 근원이 되는 요소, 유안, 인산이암모늄, 인산, 염화加里, 암모니아, 황산(93%) 총 7개 원료에 대한 온실가스 및 기여도를 분석한 것이다. 분석 결과 요소가 0.318 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 유안이 0.082 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 인산이 0.076 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 암모니아가 0.033 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 황산이 0.027 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 인산이암모늄이 0.024 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 염화加里가 0.003 kg CO₂ eq. kg⁻¹ 온실가스를 배출하였다. 이들 온실가스의 합은 주원료의 83.35%이며, 맞춤형 16호의 70.52%에 해당하는 값으로 7개의 원료가 맞춤형 16호 탄소배출량의 대부분을 차지하였다.

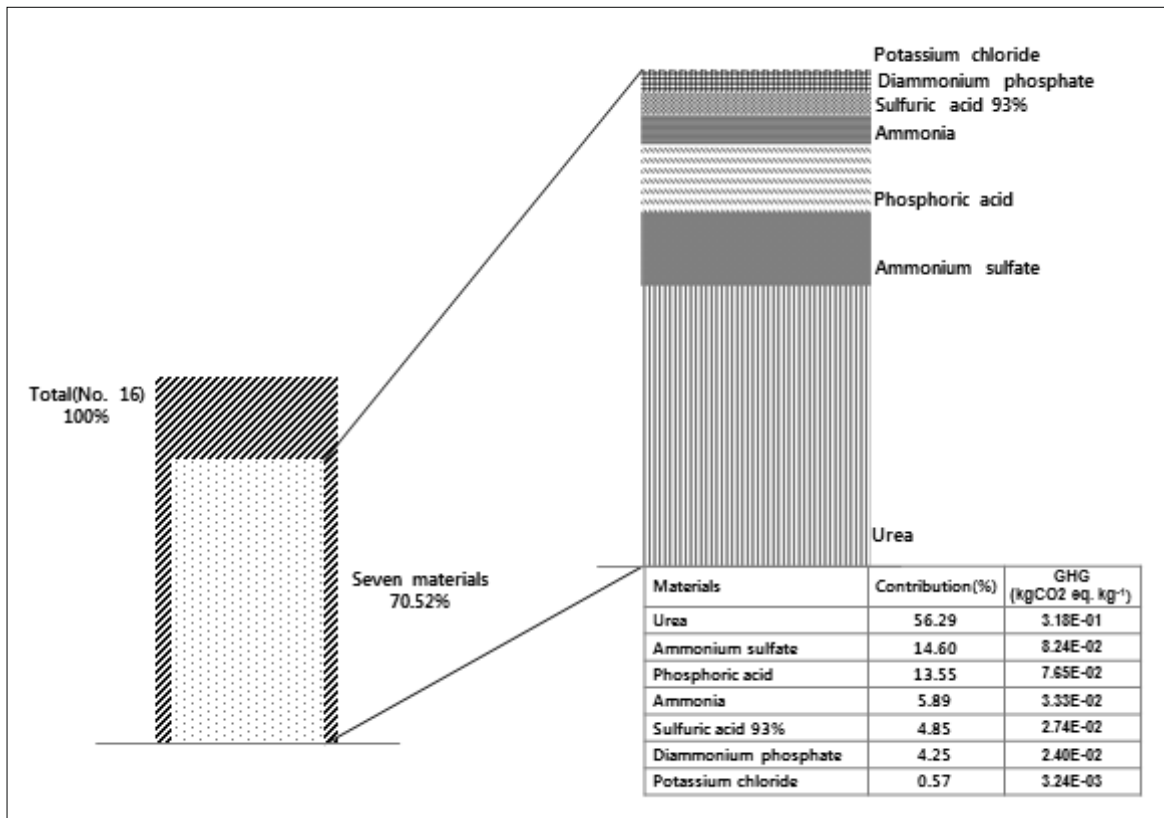


Fig. 2. Greenhouse gas emissions and contribution of seven materials in customized fertilizer, No. 16. (Unit: kg CO₂ eq. kg⁻¹).

분석을 토대로 맞춤형 16호의 탄소배출량을 줄이기 위한 방안을 강구해볼 때, 주원료, 수송, 에너지 부분에 대한 검토를 들 수 있다. 탄소배출량의 가장 큰 기여도를 보인 주원료의 경우, 맞춤형 16호에 사용되는 원료의 종류와 양은 큰 변동이 없으므로 온실가스 감축이 어려울 수 있다. 수송의 경우도 마찬가지로, 업종 영업상의 이유로 원자재를 국제 거래가격에 따라 구입하고 있으며, 현재 국내에는 원자재를 생산하는 업체가 지극히 제한적이므로 수송에 대한 탄소배출량 감축은 현실적으로 어려운 실정이다. 다만 에너지의 경우, 노후한 생산 설비의 교체 및 생산 규모에 맞는 공정 개선 등의 노력을 통해 사용량 절감할 수 있을 것으로 보인다. 여기서, 에너지 절감과 탄소배출량 감축과의 상관관계를 알아보고자 에너지 절감량을 10%로 가정하였다. 연구 결과 탄소배출량은 0.795 CO₂ eq. kg⁻¹로 나타나 에너지 절감을 위한 노력에 비해 감축 정도가 미미(1% 미만)한 것으

로 분석되었다. 결국 업종 특성 상 업체만의 노력으로는 탄소배출량을 감축하기 어렵다는 점에서, 탄소원단위가 낮은 대체 주원료 사용과 개발이 이뤄질 수 있도록 정부의 정책 지원이 필요하리라 사료된다.

다음으로 맞춤 16호의 N-P-K 성분과 동일한 효과를 발휘하도록 단일비료 각각의 사용량을 설계하고, 이를 맞춤 16호 탄소배출량의 정도와 비교해보았다. 단일비료 N 성분에는 요소비료를, P 성분에는 용성인비를, K 성분에는 염화가리를 기준으로 하였으며 맞춤 16호의 22-10-8 성분량과 동일한 효과를 발휘하기 위해 요소비료 (요소비료의 N 유효성분 46%) 0.478 kg²), 용성인비 (용성인비의 P 유효성분 17%) 0.588 kg, 염화加里 (염화가리의 K 유효성분 60%) 0.133 kg이 투입된다고 가정하였다. <Table 7>에서 보는바와 같이 맞춤 16호의 탄소배출량은 단일비료 0.911 kg CO₂ eq. kg⁻¹보다 12.12% 탄소배출량이 적은 것으로 분석되었다.

Table 7. Comparative analysis for Greenhouse gas emissions of single fertilizers and customized fertilizer No. 16. (unit: kg CO₂ eq. kg⁻¹)

Kinds of fertilizer		Carbon Emission
GHG of customized fertilizer No. 16. (A)		8.00E-01
GHG of Single fertilizers	Urea	4.81E-01
	Fused phosphate	4.26E-01
	Potassium chloride	3.43E-03
	Sum (B)	9.11E-01
Ratio (A/B, %)		87.88

비료는 농작물 생장에 필수적으로 사용되는 농자재인 동시에, 농작물의 주요 온실가스 배출원이 다[4, 5]. 따라서, 단일비료를 각각 사용하는 것보다 맞춤 16호를 사용하는 것이 저탄소 농산물 생산에 유리할 것으로 판단된다. 이러한 결과는 정부의 맞춤형화학비료 정책과 저탄소 농업 전략이 직접적인 연관성을 가지고 있음을 보여주는 증거로써, 실제적인 근거 기반을 마련했다는 점에서 본 연구의 의미가 있다고 하겠다.

현재 우리나라 화학비료의 사용량은 다른 OECD 국가에 비해 높은 실정이다. 정부의 맞춤형화학비료 정책으로 화학비료 사용량이 감소될 것으로 예상되는 가운데, 화학질소비료의 사용량 감소는 토양기작에 의한 아산화질소 배출량 감소로 이어지므로, 맞춤형화학비료의 사용 장려는 우리나라 농업분야 온실가스 감축에 크게 기여할 것으로 판단된다. 그러나 이번 연구는 맞춤형화학비료 30종 중 맞춤 16호에 한정되어 해석의 한계가 존재하므로, 추가적인 연구를 통해 맞춤형화학비료의 탄소배출량 감축 효과에 대한 심도 깊은 논의가 필요 할 것이다. 또한 농업분야의 온실가스 감축과 화학비료 사용량 저감과의 상관관계 및 정확한 데이터 구축을 위해선 농자재 등의 탄소배출계수 산정이 필수적으로 선행되어야 할 것이며, 농림수산식품부가 앞장서서 산업분야에 비해 부족한 농업분야의 탄소배출량 산정 연구에 더욱 힘을 쏟아야 할 것으로 사료된다.

2) 맞춤형화학비료 16호 1kg에는 N 성분을 0.22 kg 함유하고 있으므로, 단일비료인 요소비료 설계량은 0.22 kg을 0.46으로 나눈 0.478 kg이 된다.

4. 요약

맞춤형화학비료의 사용은 화학비료의 사용량 감소를 가져왔으며, 이는 원자재 생산 및 시비 시 토양직접대기배출물 (N_2O)에 영향을 주어 탄소배출량의 감소로 이어지게 된다. 지금까지 맞춤형 화학비료 관련 연구 부족으로 정확한 데이터를 얻을 수 없었으나, 본 연구를 통해 예측 가능한 결과를 확인할 수 있었다. 맞춤형화학비료인 맞춤 16호 1 kg 생산 시 발생하는 탄소배출량은 0.800 kg CO_2 eq. kg^{-1} 로 나타났다. 다음으로 맞춤형화학비료의 N-P-K 유효성분과 같은 효과를 발휘하도록 설계한 단일비료인 요소, 용성인비, 염화가리의 탄소배출량과 비교 시 맞춤 16호가 12.12% 탄소발생이 적은 저탄소비료인 것으로 예측됐다. 이러한 결과는 정부의 영농정책에 반영되어 농업 분야의 탄소배출량 감축에 기여할 수 있을 것이며, 농업분야 온실가스 산정을 위한 중요한 기초 자료로 활용될 것이라 사료된다.

사사

본 연구는 2011년 농촌진흥청 공동연구사업 “농식품 부문 탄소이력추적 기반구축 연구”과제번호 PJ0072622011을 수행하면서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다. 과제 수행에 힘써주신 농촌진흥청 연구책임자 및 관계자, 또한 연구가 수월하게 진행되도록 협조하여 주신 관련 기관 및 국내 비료 생산업체 관계자에게 깊은 감사를 드립니다.

Reference

- [1] KREI (Korea Rural Economic Institute). The World Agriculture Statistics (Major Agriculture Statistics in OECD countries). Seoul, Korea. (2009)
- [2] KREI (Korea Rural Economic Institute). A Comparative Study of Korean Agriculture based on International Agricultural Statistics. Seoul, Korea. (2009)
- [3] 농림수산식품부, 보도자료('11년 맞춤형화학비료 가격, 전년 대비 19.2% 인하) (2011)
- [4] Jung, S.C., J.A. Park, J.H. Huh, K.H. So. Estimation of greenhouse gas emissions of complex fertilizers production system by using life cycle assessment. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(2):256-262 (2011)
- [5] Jung, S.C., J.W. Jeong, J.H. Huh, D.B. Lee. Estimation of Carbon Footprint for Production of Main Crops and Contribution Analysis of Inorganic Chemical Fertilizers. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1279-1285 (2011)
- [6] KAB (korea Accreditation Board). Theory and Guidelines of Life Cycle Assessment. Seoul, korea. (1998)
- [7] ISO (International Organization for Standardization). ISO 14040:2006(E) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework. (2006)
- [8] 환경부, 2003. LCI 데이터베이스 표준지침서 (2003)
- [9] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva. Switzerland. (1996)