

전과정평가를 활용한 파종상 비료의 탄소배출량 산정 및 맞춤형화학비료와의 탄소배출량 비교

Carbon Footprint of Seeding Elution Control Type Coated Fertilizer
using LCA and Its Comparison with Customized Fertilizer

정순철, *이태교, 정재우, 허진호, *김윤섭
(주)엔비누스, *동부팜한농(주)

Soon chul Jung, *Tae gyo Lee, Jae woo Jeong, Jin ho Huh, *Yun seob Kim,
Envinus Co., Ltd, *Dongbu Farm Hannong CO., Ltd.

전과정평가를 활용한 파종상 비료의 탄소배출량 산정 및 맞춤형화학비료와의 탄소배출량 비교

정순철, *이태교, 정재우, 허진호, *김윤섭
(주)엔비누스, *동부팜한농(주)

Carbon Footprint of Seeding Elution Control Type Coated Fertilizer using LCA and Its Comparison with Customized Fertilizer

Soon chul Jung, *Tae gyo Lee, Jae woo Jeong, Jin ho Huh, *Yun seob Kim,
Envinus Co., Ltd.
*Dongbu Farm Hannong CO., Ltd.

Abstract

This study was developed in Dongbu Palm Hannong carbon emissions savings of Seeding Elution Control Type Coated Fertilizer(SECTCF) is a study to prove. So calculate to carbon emissions for the manufacturing phase of SECTCF and compared Customized fertilizers. In addition, when Crop planting are carbon emissions of SECTCF and customized fertilizers input were estimated and compared. Carbon footprint of SECTCF at the manufacturing phase was 0.8563 kg CO₂ eq. kg⁻¹. It 0.0906 kg CO₂ eq. kg⁻¹(12%) higher than customized fertilizers which was analyzed 0.7657 kg CO₂ eq. kg⁻¹. In addition, the carbon footprint of SECTCF and customized fertilizers for cultivation were 54.551 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, 111.760 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, respectively. This result leads to the conclusion that using the first fertilizer reduces 53.6% of carbon emission. The point of this study is to build practical base of low carbon agricultural strategy on the basis of SECTCF. For showing a correlation between SECTCF and another through additional study, we prove low carbon fertilizer effectiveness.

1. 서론

파종상 비료란 파종 전 육묘 시 비료 1회만을 주고 본답 시비를 완료하는 비료로, 타 복합비료 또는 맞춤형비료와 달리 본답에서 주는 밑거름, 가지거름, 이삭거름을 생략하여 비료 및 노동력을 절감하는 신개념의 비료라 할 수 있다. 동부팜한농(주)와 경기도 농업기술원의 공동 연구 결과 파종상 비료의 시용효과는 비료 시비량이 150 kg ha⁻¹에서 63 kg ha⁻¹로 시비노동력이 11.8 시간 ha⁻¹에서 2.5 시간 ha⁻¹로 각각 58%, 79% 절감되는 것으로 나타났으며, 온실가스(논에서 발생하는 메탄만을 적용)가 394 kg ha⁻¹ 년⁻¹에서 198 kg ha⁻¹ 년⁻¹으로 50% 감축된다고 보고되었다.

한편 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 질소수치는 2002년 현재 240 kg ha⁻¹로 OECD 평균인 76 kg ha⁻¹와 비교 시 3배를 넘는 등 단위면적당 많은 양의 화학비료를 사용하고 있는 실정이다 (KREI, 2009a, b). 이에 우리나라는 2010년부터 맞춤형화학비료 보조금 지원 정책을 도입하여 2009년 대비 14.5% 사용량을 절감하는 등의 노력을 기울이고 있으나 (농림축산식품부, 2011) 2013부터 맞춤형비료에 대한 정부 보조금 지원이 중단되어 다시금 화학비료 사용량이 늘어날 위험성이 존재하고 있다.

LCA 방법론적인 관점으로 볼 때 화학비료의 사용량 감소는 화학비료 원자재의 사용량 감소와 시비 시 토양기작에 의한 메탄 및 아산화질소 발생량 감소, 나아가 농작물의 탄소배출량 변화에까지 영향을 미치게 된다는 것을 기존 연구를 통해 알 수 있었다 (Jung et al., 2011). 따라서 본 연구에서는 전과정평가를 활용하여 동부팜한농(주)에서 개발한 롱스타 파종상 비료 (이하 파종상 비료)와 국내 맞춤형화학비료의 단위 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 및 농작물 재배 시 비료에 기인하여 발생하는 탄소배출량을 각각 산정하고 이를 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 목적 및 범위 정의

본 연구의 대상 시스템은 파종상 비료 생산 시스템으로, 기준흐름은 <Table 1>과 같이 ‘파종상 비료 1 kg’으로 설정하였다. 시스템 경계는 파종상 비료 1 kg 생산 과정에 사용되는 원료물질의 채취로부터 파종상 비료가 생산되기까지의 모든 과정을 포함한 cradle to gate의 범위를 가지고 있다.

Table 1. 대상 시스템, 기능, 기능단위 및 기준흐름

대상 시스템	동부팜한농(주) 파종상 비료 생산 시스템
기능	농작물의 성장 촉진 및 영양분 공급
기능단위 및 기준흐름	농작물의 성장 촉진 및 영양분 공급을 위해 사용되는 파종상 비료 1kg

파종상 비료는 맞춤형화학비료와 마찬가지로 [Fig. 1]처럼 원료물질 계량 후 투입, 분쇄, 혼합, 조립과정을 거쳐 1차 제품 생산, 그리고 건조 및 냉각, 선별 및 포장을 통하여 완제품이 생산된다. 생산과정에서 에너지가 투입되며 대기배출물, 폐기물이 발생하게 된다.

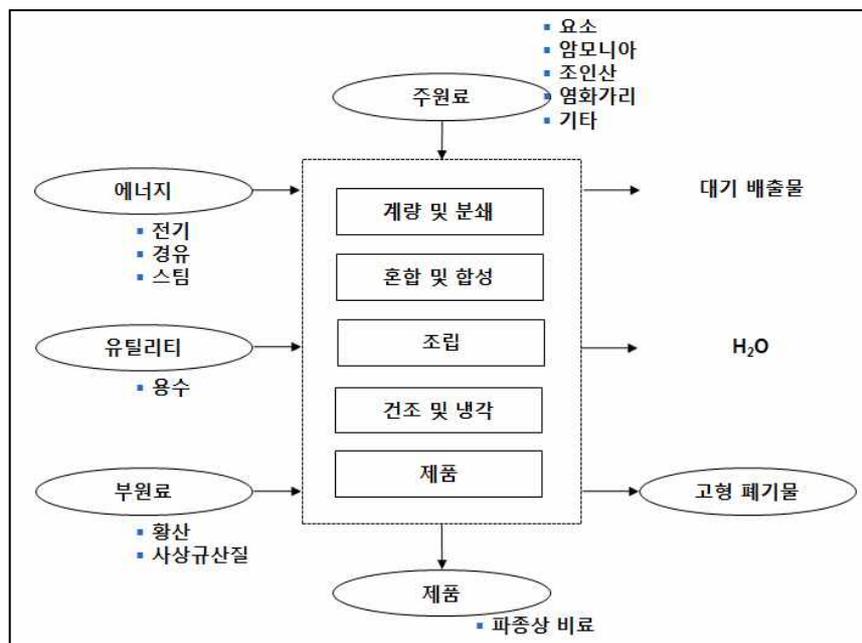


Fig. 1. 파종상 비료 생산 시스템의 시스템 경계

대상 시스템 내부의 시간적 경계, 지역적 경계, 기술적 경계는 각각 2011년, 동부팜한농(주) 울

산 사업장, 2011년 동부팜한농(주)에서 특허 받은 기술로 하였고³⁾, 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 파종상 비료 생산 시스템으로 투입되는 원료물질과 에너지, 그리고 이에 따라 산출되는 제품 및 대기배출물, 폐기물로 정의된다. 파종상 비료 생산 시스템에 대한 데이터는 동부팜한농(주)에서 실제 생산한 현장데이터이다. 데이터 품질 요건으로는 <Table 2>에 나타낸 것과 같이 해당 파종상 비료 생산과정인 시스템 내부와 원료 물질 생산 시스템 혹은 폐기물 처리 시스템 등의 대상 시스템 외부로 구분할 수 있다.

Table 2. 파종상 비료의 LCA 분석을 위한 데이터 품질 요건

시스템 내부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2011년 동부팜한농(주)의 현장 데이터 수집 ▪ 관련 대상 기업의 현장 데이터 수집
시스템 외부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 LCI 데이터베이스 활용 ▪ 국외 LCI 데이터베이스 활용

2.2 데이터 수집 및 분석

데이터 수집은 bottom-up method를 활용하여 (KAB, 1998), 해당 사업장을 방문하고 설명회를 통하여 수집 범위를 전달하는 등 2011년 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 (경유) kg, 스팀 J, 전력 kWh로 통일하였고, 이상치 및 누락치를 검토하였다.

2.3 데이터 계산

해당 사업장의 데이터를 수집한 후 투입물과 배출물의 물질수지를 계산하였다. 비료의 물질수지는 원부자재 투입량과 해당 물질의 유효성분량을 모두 고려하여 계산하였다. 만일 유효성분량을 고려하지 않을 경우 실제 원부자재 투입량과 제품 배출량의 심각한 불균형을 초래할 수 있으므로 계산 시 유의하여야 한다. 다음으로 연료 연소로 인한 직접대기배출량은 IPCC 배출계수 및 저위발열량 (IPCC, 1996)을 적용하였는데, 연료사용량 (1 yr^{-1})에 저위발열량 (MJ L^{-1}), 배출계수 (kg GHG TJ^{-1}), 단위전환계수 (10^{-6})를 모두 곱하여 계산하였다.

파종상 비료 제조 특성 상 제품 생산에 따른 부산물은 발생하지 않으므로 이에 따른 할당은 적용하지 않았다.

2.4 전과정 목록 분석 및 영향평가

수집된 데이터의 분석 및 계산 과정을 통해 gate to gate 목록을 기능단위인 파종상 비료 1 kg 기준으로 작성하였다⁴⁾. 다음 단계로 산업통상자원부에서 개발한 전과정평가 도구인 PASS (ver 4.1.3) software를 활용하여 상위/하위 데이터베이스를 연결시키고, 전과정 목록을 구축하였다. 환경부와 산업통상자원부의 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 ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. kg}^{-1}$)하여 나타내었다.

3) BB 타입 벼 파종상 용출제어형 피복비료의 제조방법(2011, 동부팜한농(주))

4) 파종상 비료 1 kg 기준 투입물과 배출물 목록 및 값은 업체 영업비밀 보장을 위해 공개하지 않음

2.5 가정 및 제한사항

N-P-K 관련 주요 원료의 경우, 유효성분 함량이 원료를 들여오는 시기와 판매업체에 따라 조금씩의 차이가 있으므로, 파종상 비료 생산 업체인 동부팜한농에서 제시한 유효성분 함량 값을 사용하였다. 또한 수송의 경우 대표적인 운송수단을 선정하여 적용하였다. 연료 사용으로 인한 직접 대기배출물은 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 분석한 결과 <Table 4>에 나타낸 것과 같이 파종상 비료 1kg 생산에 따른 탄소배출량은 0.8563 kg CO₂ eq. kg⁻¹로 나타났으며, 가장 큰 기여도를 보이는 온실가스는 이산화탄소 (86.4%)와 메탄 (13.2%)으로 분석되었다.

Table 4. 파종상 비료 생산 시스템의 6대 온실가스 배출량 (단위: kg CO₂ eq. kg⁻¹).

온실가스	배출량
Carbon dioxide	7.39E-01
Methane	1.13E-01
Nitrous oxide	3.04E-03
HFC-134a	1.01E-05
HFC-152a	1.23E-08
HFC-23	3.51E-07
Sulfur Hexafluoride	3.62E-04
CFC-14	3.47E-04
총 합	8.56E-01

또한 파종상 비료의 생산 단계를 <Table 5>와 같이 제조전 단계 (주원료, 부원료, 에너지, 유틸리티 생산), 제조 단계 (에너지 사용, 폐기), 수송 단계 (해외, 국내 수송)로 분류하여 탄소배출량을 분석하였다. 그 결과 파종상 비료는 주원료 생산 (89.03%), 수송 (5.80%), 에너지 생산 및 사용 (3.50%) 순으로 온실가스가 배출되었는데, 여기서 탄소배출계수가 낮음에도 불구하고 수송의 기여도가 높은 이유는 우리나라 화학비료 생산 시스템 특성 상 주원료 및 부원료의 대부분을 중국, 베트남, 터키 등 해외에서 수입하고 있기 때문으로 파악되었다.

Table 5. 파종상 비료의 단계별 탄소배출량 및 기여도 분석 (단위: kg CO₂ eq. kg⁻¹, %).

	분류	탄소배출량	기여도
제조 전 단계	주원료 생산	7.62E-01	89.03
	부원료 생산	1.43E-02	1.67
	에너지 생산	1.97E-02	2.30
	유틸리티 생산	6.05E-06	0.00
제조 단계	에너지 사용(직접대기배출량)	1.03E-02	1.20
	폐기	-	-
수송 단계	해외 수송	4.93E-02	5.76
	국내 수송	3.17E-04	0.04

제조 전 단계에 해당하는 주원료 중 파종상 비료의 N-P-K (질량기준 30%-6%-6%)를 구성하는 3대 성분 탄소배출량은 0.661 kg CO₂ eq. kg⁻¹로 주원료의 86.70%이며, 파종상 비료의 77.19%에 해당하여 파종상 비료 탄소배출량의 대부분을 차지하는 것으로 분석되었다.

다음으로 파종상 비료와 기존 연구를 통해 산정된 맞춤형화학비료의 탄소배출량을 비교 하여 파종상 비료의 배출 정도를 가늠해보았다. 맞춤형화학비료의 탄소배출량은 농촌진흥청에서 실시한 국가 LCI DB 구축 및 탄소원단위 산정 연구 결과로, 특정 기업의 탄소배출량이 아닌 국가 평균 값이다.

Table 6. 파종상 비료와 맞춤형화학비료의 생산 시스템에 대한 탄소배출량 비교 (단위: kg CO₂ eq. kg⁻¹).

비종	파종상 비료	맞춤1호 20-18-15	맞춤7호 24-10-15	맞춤8호 21-12-22	맞춤10호 20-12-14	맞춤16호 22-10-8
탄소배출량	8.56E-01	5.76E-01	1.01E+00	8.94E-01	5.38E-01	7.99E-01
비종	맞춤17호 21-16-10	맞춤18호 21-13-9	맞춤19호 20-10-11	맞춤20호 19-10-8	맞춤23호 16-10-8	맞춤24호 13-10-8
탄소배출량	6.36E-01	7.20E-01	6.37E-01	7.40E-01	1.23E+00	5.45E-01
비종	맞춤28호 17-0-10	맞춤추비29호 13-0-10	맞춤추비30호 17-0-14	맞춤기타	맞춤형화학비료 평균	
탄소배출량	5.44E-01	7.80E-01	5.90E-01	1.24E+00	7.66E-01	

<Table 6>은 파종상 비료와 맞춤형화학비료 각 생산시스템의 탄소배출량을 비교한 결과이다. 비교 결과 파종상 비료 1 kg 생산 시스템의 탄소배출량은 맞춤형화학비료 15종의 평균 탄소배출량 0.7657 kg CO₂ eq. kg⁻¹ 보다 0.0906 kg CO₂ eq. kg⁻¹ (12%) 높았다. 이는 1회 시비로 본답시비를 완료할 수 있는 파종상 비료를 만들기 위해 맞춤형화학비료에는 투입되지 않는 특수 원료를 추가 사용하기 때문이라 사료된다.

추가적으로, 농작물 재배 시 파종상 비료와 맞춤형화학비료 각각의 사용 시나리오를 통해 파종상 비료 시비 시 탄소배출량 절감 효과를 산정해보았다. 파종상 비료는 앞서 설명한대로 육묘상자에 종자 파종전 비료 1회만 주고 본답시비를 완료하는 비료이다. 그러나 맞춤형화학비료는 밑거름으로 기비5) 1종과 이삭거름으로 추비6) 1종을 각각 시비해야 한다. 이에 맞춤형화학비료 중 2013년 신청물량이 제일 많았던 기비 1종(맞춤 16호)과 추비 1종(맞춤추비 30호)을 기준으로 파종상 비료와 비교하였다.

<Table 7>은 파종상 비료와 맞춤형화학비료의 시비 비교 기준 및 사용 시나리오를 나타낸 표이다. 비교 기준은 비료 생산 단계, 비료 사용 단계(농작물 재배 시 시비로 인한 토양대기배출물 발생 단계)이며, 사용 시나리오는 벼 재배를 위한 표준 시비량7)으로 설정하였다. 비료 사용 단계에서는 시비로 인해 토양대기배출물이 발생하게 되는데, 비료 주요 성분 중 N 성분이 토양기작에 따라 N₂O로 배출되는 것으로, 토양대기배출물의 N₂O 배출계수는 IPCC 1996에서 제시하는 방법론을 토대로 0.02998) kg N₂O kg⁻¹ N ha⁻¹을 적용하였다.

Table 7. 농작물 재배 시 파종상 비료와 맞춤형화학비료의 시비 비교 기준 및 사용 시나리오

- 5) 基肥, 파종, 이앙 또는 식수를 하기 전에 주는 비료로 밑거름을 말함
- 6) 追肥, 작물의 생육상태에 맞춰 생육 도중에 주는 비료로 웃거름을 말함
- 7) 맞춤형화학비료의 경우 밑거름 30 kg/10a, 이삭거름 15 kg/10a이며, 개발된 파종상 비료의 경우 15 kg/10a 1회 시비하도록 설계되었음
- 8) 한국기후변화학회지 2012년 3권 2호에 게재된 '벼 생산단계에서 탄소발생량과 감축요서 평가(이덕배 외)' 참조

구분	비교 기준	사용 시나리오 (밀거름, 이삭거름)	
		비료량 (kg 10a ⁻¹)	질소함유율 (%)
파종상 비료	생산 단계	15, 해당없음	30, 해당없음
	사용 단계	15, 해당없음	30, 해당없음
맞춤형화학 비료	생산 단계	30, 15	22, 17
	사용 단계	30, 15	22, 17

* 맞춤형화학비료 비종은 밀거름의 경우 맞춤 16호, 이삭거름의 경우 맞춤추비 30호로 가정함

농작물 재배 시 탄소배출량 산정을 위해 사용되는 식은 다음과 같다.

- ① 농작물 재배 시 탄소배출량 = 비료 생산단계 탄소배출량 + 비료 사용단계 탄소배출량
- ② 비료 생산단계 탄소배출량 = 비료량 × 해당 비료 탄소배출계수
- ③ 비료 사용단계 탄소배출량 = 비료량 × 질소함유율 × N2O배출계수 × N2O GWP

위의 식을 통해 농작물 재배 시 발생하는 탄소배출량을 산정한 결과 파종상 비료의 경우 생산 단계에서 12.840 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, 사용단계에서 41.711 kg CO₂ eq. 10a⁻¹로 총 54.551 kg CO₂ eq. 10a⁻¹이 발생하는 것으로 계산되었다. 반면 맞춤형화학비료의 경우 밀거름과 이삭거름 모두 적용해야 하므로, 밀거름 생산단계에서 23.981 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, 사용단계에서 61.175 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, 이삭거름 생산단계에서 8.844 kg CO₂ eq. 10a⁻¹, 사용단계에서 23.636 kg CO₂ eq. 10a⁻¹로 총 111.760 kg CO₂ eq. 10a⁻¹이 발생하는 것으로 계산되었다.

Table 8. 농작물 재배 시 파종상 비료와 맞춤형화학비료의 시비 비교 기준 및 사용 시나리오

구분	비교 기준	탄소배출량(kg CO ₂ eq. 10a ⁻¹)		
		밀거름	이삭거름	총합
파종상 비료	생산 단계	1.28E+01		5.46E+01
	사용 단계	4.17E+01		
맞춤형화학비료	생산 단계	2.40E+01	8.84E+00	1.18E+02
	사용 단계	6.12E+01	2.36E+01	

생산 단계, 사용단계별 파종상 비료와 맞춤형화학비료의 탄소배출량 발생량을 비교한 결과 파종상 비료가 맞춤형화학비료 대비 생산 단계에서 39.1%, 사용 단계에서 49.2%만을 배출하였으며, 생산 단계와 사용 단계를 종합 계산한 결과 파종상 비료가 맞춤형화학비료 대비 46.4%를 배출하는 것으로 분석되었다. 파종상 비료의 탄소배출량이 맞춤형화학비료에 비해 약 50% 이상 낮은 이유는 밀거름과 이삭거름의 구분 없이 1회 시비만을 하여 시비 절대량의 큰 차이를 보이기 때문이다. 따라서 생산단계에서의 탄소배출량이 적게 되고 사용단계의 아산화질소 배출량이 연쇄적으로 적게 되는 것이다. 이렇듯 파종상 비료의 가장 큰 특징은 농작물 재배 시 시비량을 절대적으로 줄여주는 것이라 할 수 있으며, 이에 따라 탄소배출량 감축 효과를 크게 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 시비량 절감은 영농비 및 노동력 절감 등 농가에 실제적인 도움을 줄 수 있는 여러 장점을 지니고 있다고 하겠다.

4. 결론

2013년 현재 농업기술실용화재단에서 시범사업으로 진행하고 있는 저탄소농축산물 인증제도에서는 농산물 생산 시 녹색농업기술을 토대로 국가평균 배출량보다 낮은 배출량을 나타내는 경우 저탄소 인증을 부여하고 있다. 과중상 비료는 기존의 비료에 비해 탄소배출량을 낮춰줄 것으로 기대되고 있으며, 영농비 및 노동력을 획기적으로 절감시킬 수 있는 녹색농업기술로 인정되고 있다. 따라서 농가에서는 많은 자본이나 어려운 기술을 이용하지 않고 비료만을 교체하여 저탄소 농산물 생산을 할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 맞춤형화학비료 역시 저탄소 농산물 생산을 위한 녹색농업기술로써 일반 단일비료 및 복합비료에 견줄 때 저탄소임이 연구를 통해 증명되고 있으나 (Jung et al, 2012), 2013년부터 보조금 중단 등의 이유로 영농비 증가 등의 문제점이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구의 중요성은, 과중상 비료를 통한 저탄소 농업 전략의 실제적인 근거 기반을 마련했다는 점에서 연구의 의미가 있다고 하겠다.

그러나 본 연구는 농작물 재배 시 과중상 비료와 맞춤형화학비료의 탄소배출량 비교의 경우 비교 대상이 되는 맞춤형화학비료를 맞춤 16호, 맞춤추비 30호 2종에 한정되었다. 이에 과중상 비료가 모든 맞춤형화학비료보다 저탄소로써의 효과가 좋다는 결론에는 한계가 있을 수 있으므로 향후 모든 맞춤형화학비료와의 비교를 통하여 과중상 비료의 저탄소 효과성을 입증하여야 하겠다.

참고문헌

- [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] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva. Switzerland. (1996)
- [9] Lee D.B., S.C. Jung, K.H. So, H.C. Jung, G.Y. Kim, S.B. Lee. Evaluation of Mitigation technologies and Footprint of Carbon in Unhulled Rice Production. Korean J. Climate Change Research. 3(2):129-142 (2012)
- [10] Jung, S.C., D.B. Lee, J.W. Jeong, J.H. Huh. Carbon Footprint of Customized Fertilizer, No. 16 and Its Comparison with Single Fertilizers. Korean J. Life Cycle Assessment. 109-119 (2012)