

고추의 무경운 재배에 따른 탄소저감효과 분석*

이길재** · 최윤실*** · 양승구**** · 이진홍***** · 윤성이*****

Analysis of Consumption of Homemade Organically Processed Food Analysis of The Carbon Emission Reduction Effect from No-Tillage in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivation

Lee, Gil-Zae · Choi, Yoon-Sil · Yang, Seung-Koo · Lee, Jin-Hong · Yoon, Sung-Yee

Korean type of no-tillage cultivation method which was applied on this study used the ridge and the furrow and constantly recycling them as it was suitable for Korea's weather and farming conditions. This no-tillage cultivation was reported to have little negative impact such as reduction of production (Kwon et al., 1997). In addition, it was found to have a lot of benefits as it requires less agro-materials and energy costs as well as shortened working hours because tillage operation is not needed. (Yang et al., 2012). According to an analysis, no-tillage cultivation can reduce greenhouse gas emissions by 344.7kgCO² (58%) in every 10a (1,000m²) compared to ordinary pepper farming technique (Korea averages). Direct-indirect reduction effects from using fertilizer and using less amount of energy were 92% and 44% respectively both of which can be considered very high. Besides the direct effects of no-tillage cultivation, soil management using no-tillage technique raises carbon sequestration effect on soil as time goes on (West & Marland, 2002), that is why the technique is expected to have constant carbon emission reduction effect. For these reasons, distribution and expansion of Korean type no-tillage cultivation are expected to play a role as major agro-green technologies for achieving our goal of reducing greenhouse gas emissions in agricultural sector.

* 본 연구는 농촌진흥청 연구과제 농식품부품 탄소이력추적 기반구축 연구(PJ0072622012)에 의해서 수행되었습니다.

** Corresponding author, 농업기술실용화재단(gilzae@efact.or.kr)

*** 농업기술실용화재단

**** 전라남도농업기술원 친환경연구소

***** 경기도농업기술원 작물개발과

***** 동국대학교 생명자원학과

Key words : *carbon emission reduction effect, no-tillage, pepper, LCA (Life Cycle Assessment)*

I. 서 론

산업혁명 이후 온실가스 증가에 따른 지구환경의 변화가 가속화되고, 최근 들어 이에 따른 피해 빈도는 증가하고 피해 정도는 점차 대형화되는 추세에 있다(Stern N., 2006). 세계 각국은 이에 따른 피해를 지연 또는 최소화하기 위하여 온실가스 저감정책의 개발 및 실행에 박차를 가하고 있으며, 한국도 이러한 변화에 민감하게 대응하고 있다. 우리나라는 저탄소 녹색성장 국가비전을 선포(2008.8) 하고 이어 녹색성장 5개년 계획 수립(2009. 7), 저탄소 녹색성장 기본법 제정(2010. 4), 온실가스·에너지 목표관리제 운영지침 제정(2011. 3), 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 제정(2012. 5) 등 지속적인 노력을 수행하고 있다. 이에 따라 한국은 온실가스 감축 목표를 2020년까지 BAU(Business As Usual) 대비 30%로 잡고, 농림어업부문은 2020년 까지 BAU대비 5.2%(≒1.52백만톤) 감축목표를 할당받았다.

농림어업부문에 할당된 감축목표는 비록 산업부문과 비교하여 상대적, 절대적인 수치에서는 작지만 농업의 구조적인 특성을 고려할 경우 5.2%의 온실가스 저감은 쉽게 달성 가능한 목표라고 보기 어렵다. 농업은 산업계와 비교하면 소규모이고 영세한 경영체계를 갖고 있으며, 무엇보다도 인간의 소비성향 및 건강과 직결되는 먹거리를 생산하고 있기 때문에 온실가스저감이나 에너지효율화 보다는 고품질의 친환경(내몸에 친환경) 제품 생산을 주요 목표로 성장, 유지되어 왔다. 이러한 특성으로 인하여 지금까지의 농업부문의 주요 국가 정책도 이에 맞추어 보조금 및 정책지원을 수행하여 왔다. 하지만, 최근의 국제적인 기후변화 대응 기조에 발맞추어 국내 농업부문도 관련 정책을 도입을 본격화 하기에 이르렀고, 이에 따라 식품기업의 온실가스·에너지 목표관리제(2011년~), 농업부문 탄소상쇄 시범사업(2012년~), 저탄소농축산물인증 시범사업(2012년~) 등이 현재 진행되고 있다.

농업생산과 관련하여 온실가스를 저감하는 방식은 크게 두 가지로 나뉘질 수 있다. 하나는 유류, 전기 등의 사용을 최소화하는 에너지효율화 방식과, 다른 하나는 토양의 온실가스 배출을 억제하거나, 자연자원의 순환 및 재활용을 극대화하여 기존의 온실가스 배출요인을 제거 또는 최소화하는 녹색농업기술 적용이다. 에너지효율화 방식으로는 다겹보온커튼, 지열히트펌프 및 펠릿보일러 활용 등이 있고, 녹색농업기술로는 담수관리(논), 녹비작물재배, 경축순환농법, 무경운농법 등이 대표적이다.

경종부문의 전통적인 농업부문 탄소배출 평가는 토양 유래의 메탄(CH₄) 및 아산화질소(N₂O) 발생 등 농업생태계 자체에서 발생하는 온실가스만을 평가하여 왔다. 이러한 평가방식은 농업생태계 자체에서 배출되는 온실가스를 산출하는 데는 적합하나, 실질적으로 농업

생산물이 만들어지기까지의 온실가스배출을 평가할 수 는 없다는 단점이 있다. 즉, 필수 농자재인 비료, 농약 및 기타 농자재의 제작 및 사용에서 기인되는 온실가스, 농기계 운전에서 기인되는 온실가스, 각종 시설하우스의 냉난방 에너지사용에 따른 온실가스의 발생은 기존의 농업부문 온실가스 배출량평가에서 배제되어 있다. 그러나 논생태계를 제외하면 농업부문 온실가스 배출의 대부분은 농업생태계 자체의 온실가스 발생이 아닌 농자재 사용, 유류 및 전기에너지 사용에 따른 온실가스배출에서 기인하고 있다. 이러한 이유로, 농산물을 대상으로 하는 온실가스배출 평가는 각종 농자재, 유류 및 전기의 생산과 사용에 따른 온실가스배출을 포함한 평가방법의 도입이 필요하다.

본 연구는 농업부문 온실가스저감을 위한 녹색기술 발굴 및 이의 실질적인 온실가스저감 효과를 규명하기 위하여, 전과정평가(LCA: Life Cycle Assessment) 방법을 도입하여 고추를 대상으로 대표적인 저탄소 영농방식인 무경운농법의(Yang et al., 2012) 온실가스 저감효과를 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

연구대상지는 전남 나주시 남평읍 평사리에 위치하고 있으며, 2008년 12월 이후부터 무경운방식으로 고추를 재배하여 현재 4년째 동일 방식의 영농 방식을 수행중이다. 영농행태는 유기재배(무농약인증) 형태를 취하고 있으며 시험품종은 녹광, 재배면적은 90.76a 재식거리는 135×38cm, 10a 당 약 2,000주 정식, 영농기간은 3월 10일 정식, 5월 중순부터 7월 말까지 수확하였다. 토양은 미사질토양이며(미사 30.3%, 점토 14.7%, 모래 55.0%), 시비방식은 유기질 비료를 액비형태로 하여 시비하였다. 관수는 점적호스를 이용하여 생육상태에 따라서 관수하였다. 데이터수집 기간은 2011년 1~12월의 1년간 사용된 모든 농자재, 에너지를 대상으로 조사 및 분석하였다.

2. 무경운농법 수행 방법

연구대상지인 고추재배지에 적용된 한국형 무경운농법 수행 방식의 특징은 다음과 같다.

1) 최초 경운 수행

강수량이 풍부한 기후 특징으로 인하여 한국형 무경운은 작물의 뿌리생육 및 토양의 물빠짐을 원활히 하도록 최초 1회에 한하여 수작업 또는 관리기를 사용하여 이랑 및 고랑을

만들고 작물을 심었다. 단, 트랙터를 이용하여 최초 경운을 할 경우 토양의 심토가 다져져 경반층이 형성될 수 있으므로(Yang et al., 2012) 트랙터에 의한 경운은 수행하지 않는다.

2) 최초경운 후 두둑의 재활용

생성된 두둑은 지속적으로 재활용한다. 단, 작물 재배기간 중 물리적으로 두둑이 훼손된 경우 수작업 등으로 두둑을 복원한다.

3) 수확 후 작물의 처리

수확이 완료된 고추의 뿌리는 그대로 토양에 유지시키고, 줄기는 잘라 고추재배지 내의 토양으로 환원시키거나, 외부로 빼내어 제거한다. 이때, 초기에 사용된 멀칭비닐 등은 제거하지 않고 재활용 한다.

3. 탄소배출량 평가 방법

전과정평가(LCA) 방식은 국제표준화기구인 ISO-14040s에서 정의되고 있으며 대상시스템의 모든 과정에 걸쳐서 소모되는 자원과 발생되는 배출물의 양을 정량화하여, 이로 인한 잠재적인 환경영향을 종합적으로 평가하는 환경성평가 방법론이다. 본 연구에서는 전과정 평가 방법을 사용하여 고추의 재배과정에 투입되는 주요 농자재 및 에너지를 분석하고 이에 따라 배출되는 온실가스배출량을 정량화하였다.

1) 데이터 수집 시스템 경계

고추생산에 따른 전과정 온실가스배출량을 평가하기 위한 데이터수집 범위를 재배단계(前단계 및 재배단계 포함)와 폐기단계의 2단계로 구분하였다. 재배단계는 고추 생산을 위한 정식부터 수확까지 재배를 위해 투입되는 종묘, 농자재 및 에너지의 자원채취부터 제조까지의 과정 및 사용단계에서 발생하는 온실가스 배출을 평가하기 위한 데이터를 포함한다. 폐기단계는 농자재의 폐기에 따른 온실가스 배출을 평가하기 위한 것으로 비닐 등 기타농자재만 대상이 되며 폐기물처리 시나리오에 따라 데이터를 처리하였다(Table 1). 본 연구에서는 농산물 재배에 따른 온실가스 배출에 초점을 맞추어 평가를 수행하였으며 농산물 저장 및 운송, 포장, 판매에 따른 온실가스 배출은 평가에서 제외하였다.

Table 1. The disposal scenarios of agricultural-materials

Contents	Disposal form	Processing rate(%)	Emission coefficient
Disposal plastic (plastic, vinyl strap, irrigation pipe)	Recycling	74.50	Recycling of mixed plastics
	Incineration	12.75	Incineration of mixed plastics
	Landfill	12.75	Landfill of mixed plastics

* MIFAFF(2004)

2) 조사데이터 신뢰도 확보

고추생산 데이터수집 단계별 조사된 비료, 농약, 농자재 및 에너지 투입량 데이터는 농가 영농일지, 농협 및 농자재상의 농자재 거래명세서, 면세유 구매목록, 한전의 농용전력고지서 등을 근거하여 조사 분석되었으며, 데이터 적용근거가 불충분한 데이터의 경우에는 농가 인터뷰 등을 활용하였다.

친환경농약의 경우 조사된 농약사용량의 유효성분 비율 및 적용배출계수를 알 수 없거나 연계 가능한 배출계수가 없는 경우 국내에서 시판된 전체농약을 성분별로 분석하여 도출된 평균 유효성분비와 이를 연계하여 도출된 평균 배출계수를 보수적으로 적용하여 배출량을 평가하였다(Table 2).

본 연구에서 조사된 농자재 및 에너지 사용량 데이터는 농산물의 생산량 기준이 아닌 재배면적 10a(1,000m²) 기준으로 투입량 분석 및 평가를 수행하였다.

Table 2. Active ingredient and carbon emission coefficient of pesticides in Korea

	Classification	Active ingredient (%)	Emission coefficient (kg CO ₂ /kg)
Pesticide	Herbicide	30.3	8.56
	Fungicide	37.6	9.15
	Pesticide	17.2	9.36
	Growth regulator	17.2	7.59

* KCPA(2007).

3) 적용배출계수

고추의 농자재 투입량에 따른 온실가스 배출량 산출에 적용된 배출계수는 농촌진흥청의 ‘농식품부문 탄소이력추적 기반구축 연구’(PJ0072622012)의 연구 성과 및 관련연구(So et al., 2010, Jung et al., 2011)에 근거하여 적용되었으며, 유류의 제조 및 사용관련 배출계수는

IPCC(2006) 가이드라인(Table 3), 비닐 등 기타 화학제품 등은 지경부 및 환경부의 LCI(Life Cycle Inventory) DB를 적용하였다.

Table 3. Conversion coefficient and carbon emission coefficient of energy

	Classification	Conversion coefficient	Unit	Emission coefficient by energy production (kg CO ₂ /kg)	Emission coefficient by energy use (kg CO ₂ /L or Nm ³ or kg)
Energy	Diesel oil	0.860	kg/L	0.068	2.67
	Kerosene	0.840	kg/L	0.253	2.52
	Heavy oil	0.950	kg/L	0.325	3.04
	Volatile oil	0.750	kg/L	0.083	2.20
	LPG	0.579	kg/L	0.596	3.65
	LNG	0.805	kg/m ³	0.595	2.58
	Briquette	3.75	kg/장	0.480	1.91
	Electricity	-	kg/kWh	0.495	-

* IPCC(2006).

4) 주요 배출원의 온실가스 배출량 계산식

고추 생산을 위한 주요 투입물의 온실가스배출량 계산 및 재배활동에 따른 토양의 온실가스배출은 다음의 수식에 의해서 계산된다.

(1) 비료의 온실가스배출량

고추 재배시 사용된 비료의 온실가스배출량은 비료사용량 및 비료사용에 따른 탄소배출 계수에 의해서 계산된다(수식 1). 비료의 탄소배출량 산출은 해당 비료의 제조 및 원료채취에 따르는 온실가스배출이 포함되며, 해당계수는 비료의 종류에 따라 각각 다르다(Table 5).

$$F_{i-Production} = \sum_i (M_i \times E_i) \text{ ----- [수식 1]}$$

$F_{i-Production}$: 비료 i의 생산 시 발생하는 온실가스 배출량(kgCO₂)

M_i : 비료 i의 사용량(kg)

E_i : 비료 i의 탄소배출계수(kgCO₂/kg)

(2) 농약의 온실가스배출량

사용된 농약의 온실가스배출량은 농약사용량, 해당농약의 유효성분 함유율(%), 해당유효성분의 탄소배출계수에 의해서 산출된다(수식 2). 농약의 탄소배출계수는 해당 농약의 제조 및 원료채취에 따르는 온실가스배출량을 포함하고 있으며, 배출계수는 농약의 유효성분에 따라 서로 다르다. 또한 농약의 경우 제품의 다양성으로 인하여 사용된 제품의 유효성분 함유율을 분석하기 어려운 경우가 많기 때문에 이러한 경우에는 농약의 분류에 따라 평균 유효성분 함유율 및 배출계수를(Table 2) 적용하여 온실가스배출량을 구한다.

$$P_{i-Production} = \sum_{i,j} (M_i \times AI_{ij} \times E_i) \text{ ----- [수식 2]}$$

- P_{i-Production} : 농약 i의 생산 시 발생하는 온실가스 배출량(kgCO₂)
- M_i : 농약 i의 사용량(kg)
- AI_{ij} : 농약 i에 해당하는 유효성분 j의 함유율(%)
- E_i : 농약 i의 탄소배출계수(kgCO₂/kg, 살균제, 살충제, 제초제, 성장조절제)

(3) 기타 농자재의 온실가스배출량

비닐, 비닐끈 및 점적호스 등 기타농자재의 온실가스배출량은 농자재의 사용량, 해당농자재의 단위환산계수 및 탄소배출계수에 의해서 산출된다(수식 3). 해당농자재의 단위환산계수는 농자재 사용단위를 kg 단위로 변환시키기 위한 계수로 해당 농자재의 밀도 등을 고려하여 작성된다. 본 연구에 사용된 농자재의 단위환산계수는 각각 멀칭비닐은 0.00925 (kg/m), 비닐끈은 1.5(kg/타) 등이 사용되었으나, 해당 농자재의 사용무게(kg)를 알 수 있는 경우에는 농자재사용량에 이를 직접 대입하여 계산하여도 무관하다.

$$A_{i-Production} = \sum_i (M_i \times C_i \times E_i) \text{ ----- [수식 3]}$$

- A_{i-Production} : 기타 농자재 i의 생산 시 발생하는 온실가스 배출량(kgCO₂)
- M_i : 농자재 i의 사용량(m or 개 or 타 or kg 등 농자재별로 상이)
- C_i : 농자재 i의 단위환산계수
- E_i : 농자재 i의 탄소배출계수(kgCO₂/kg)

(4) 에너지 생산 및 사용단계에 따른 온실가스배출량

화석연료의 경우 온실가스배출은 에너지 생산단계뿐만 아니라 사용단계에서도 온실가스 배출이 이루어진다. 때문에 전기를 제외한 화석연료 에너지는 생산단계의 배출계수와 사용

단계의 배출계수를 구분하여 적용한다(수식 4, Table 3). 전기에너지는 사용단계의 온실가스 배출이 없으므로 생산단계의 온실가스배출만을 평가한다.

$$En_i = \sum_i [(M_i \times C_i \times E_{i-Production}) + (M_i \times C_i \times E_{i-Use})] \text{ -----[수식 4]}$$

En_i : 에너지 i의 생산 및 사용 시 발생하는 온실가스 배출량(kgCO₂)

M_i : 에너지 i의 사용량(L or m³ or kWh)

C_i : 에너지 i의 단위환산계수(부속서 D 참조)

E_{i-Production} : 에너지 i의 생산 탄소배출계수(kgCO₂/kg or kWh)

E_{i-Use} : 에너지 i의 사용 탄소배출계수(kgCO₂/kg or L or m³)

(5) 질소비료 시비에 따른 토양 아산화질소(N₂O) 배출량

비료시비로 인하여 인위적인 질소성분이 토양으로 투입되게 되면 토양미생물의 작용에 의하여 아산화질소가(N₂O) 배출되게 되며, 인위적 요인에 의한 토양에서의 아산화질소 발생은 온실가스배출로 평가된다. 토양의 아산화질소배출은 비료사용량, 질소성분 함유율, 건조량, 토양배출계수, 지구온난화지수를 고려하여 산출된다(Table 4). 질소시비로 인한 토양의 아산화질소 배출계수는 유기비료의 경우 0.018(kgN₂O/kg), 무기비료의 경우 0.019(kgN₂O/kg)를 차등 적용하여 산출한다(수식 5).

$$S_{N_2O} = \sum_i (1.5714 \times M_{i-Fert.} \times AI_{i-N} \times WI_{i-Dry} \times E_{N_2O-Soil} \times GWP_{N_2O}) \text{ ----- [수식 5]}$$

S_{N₂O} : 질소 시비로 인한 아산화질소 토양 온실가스 배출량(kgCO₂)

1.5714 : N₂O 분자량/N₂ 분자량

M_{i-fert.} : 비료 i의 사용량(kg)

AI_{i-N} : 비료 i의 질소 유효성분 함유율

WI_{i-Dry} : 비료 i의 건조 중량을

E_{N₂O-Soil} : 비료 1kg 당 N₂O의 토양배출계수(kgN₂O/kg)

GWP_{N₂O} : N₂O의 지구온난화지수 310(kgCO₂/kgN₂O)

Table 4. The percentage of active ingredient and dry weight in nitrogenous fertilizer

Classification		Items	Active ingredient of nitrogen(%)	Dry weight (%)
Organic matter	Organic fertilizer	Compost	1.49	56.93
Inorganic matter	Single fertilizer	Urea	0.46	Dry weight is treated as 100% at the case of inorganic fertilizers
		Ammonium sulfate	0.20	
		Potassium nitrate	0.132	
		Calcium nitrate	0.155	
		Phosphate of ammonium	0.12	
	Composite fertilizer	21-17-17	0.21	
		17-21-17	0.17	
		Etc.	0.177	

RDA research results (PJ0072622012)

4. 고추의 무경운농법 적용에 따른 탄소저감효과 평가방법

고추의 무경운농법 적용에 따른 온실가스배출량 평가 및 이의 정량화를 위한 비교데이터는(control) 국가 공식통계인 농축산물소득자료집의 투입량 데이터를 활용하였다(RDA, 2008~2011). 단, 농약의 경우 국내에 사용되는 농약의 다양성으로 인하여 노지고추 사용단계의 정확한 Bottom-up 통계조사가 불가하기 때문에 농약사용지침서(KCPA, 2007) 및 농약연보의 공급통계(Top-down) 데이터를 근거로 노지고추에 사용된 농약 투입량을 산출하여 적용하였다.

본 연구에서는 국가평균(Control)과 연구지 조사수집 데이터 사이의 비교분석 신뢰도를 최대한 확보하기 위하여 국가평균데이터의 경우 2006년부터 2010년까지의 공개되어 있는 최신 5개년의 투입량 평균 데이터를 사용하고, 연구대상지의 데이터는 근거자료 및 신뢰도 확보가 가능한 2011년 1월부터 12월까지의 1년간 투입량 데이터를 사용하였다. 국가평균과 연구지의 데이터수집 년도를 일치시키지 못한 이유는 농업현장의 데이터는 수집 및 근거자료의 확보가 어렵고, 무경운농법의 경우 적용 3년차부터 실질적인 토양구조의 차별화가 발현되는 특성이 있기 때문이다. 단, 본 연구에서는 연도별 온실가스배출량 산출오차를 최소화하기 위하여 생산량 기준으로 온실배출량을 평가하지 않고 면적(10a) 대비 투입량을 기준으로 평가를 수행하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 고추재배에 따른 주요 농자재, 에너지 투입량 분석

국가 평균 데이터에 근거한 노지고추의 농자재 투입량 분석결과 따르면 유기비료인 퇴구비의 사용량이 521.1(kg/10a)로 가장 많았고, 그 다음으로 화학비료인 복합비료와 요소의 사용량이 높았다. 농약은 살균제의 사용이 0.9(kg/10a)로 가장 높았는데, 이는 고추가 탄저병 등 균에 의한 병해충이 많은 것에 기인한다. 노지고추 재배에 투입되는 에너지는 경운(유류) 및 물공급(전기) 사용에 대부분 투입되었으며 제초 및 운송 등에는 소량이 사용된 것으로 평가되었다. 토양투입 질소량은 비록 퇴구비 사용량이 높았으나 순수 질소 투입량은 무기비료에 의한 투입량이 4배 정도 많은 것으로 평가되었다(Table 5).

Table 5. An average input of agricultural materials and emission of greenhouse gases on pepper cultivation from 2006 to 2010 in Korea

Classification	Items	Input (kg/10a or L)	Emission coefficient (kgCO ₂ /kg or L)	Emission rate (kgCO ₂ /10a)	Ratio
Energy production	Electricity(kWh/10a)	64.46	0.495	31.908	5.4%
	Diesel	12.40	0.068	0.843	0.1%
	Kerosene	42.45	0.253	10.739	1.8%
	Volatile	1.84	0.083	0.153	0.0%
Energy use	Diesel(L/10a)	14.42	2.670	38.501	6.5%
	Kerosene(L/10a)	50.53	2.520	127.336	21.6%
	Volatile(L/10a)	2.45	2.200	5.399	0.9%
Fertilizer production	Compost	521.12	0.034	17.510	3.0%
	Urea	6.06	1.010	6.121	1.0%
	Ammonium sulfate	0.40	2.650	1.060	0.2%
	Fused phosphate	0.44	0.725	0.319	0.1%
	Phosphate of lime	0.02	1.990	0.040	0.0%
	Potassium chloride	0.66	0.490	0.323	0.1%
	Agro-lime	30.48	0.050	1.521	0.3%
	Silicic acid	5.98	0.206	1.232	0.2%

Classification	Items	Input (kg/10a or L)	Emission coefficient (kgCO ₂ /kg or L)	Emission rate (kgCO ₂ /10a)	Ratio
Fertilizer production	21-17-17	18.02	1.250	22.525	3.8%
	17-21-17	0.32	1.220	0.390	0.1%
	Composite etc.	72.46	1.270	92.024	15.6%
Pesticide production	Fungicide	0.85	9.150	7.779	1.3%
	Pesticide	0.39	9.360	3.618	0.6%
	Herbicide	0.15	8.560	1.270	0.2%
	Growth regulator	0.03	7.590	0.240	0.0%
Soil emission of N ₂ O	Organic-N	4.65	8.768	40.752	6.9%
	Inorganic-N	19.23	9.256	178.029	30.2%
An average emission on pepper cultivation in Korea (2006~2010)				589.630	

* Source of input (RDA, 2006~2010)

연구대상지 무경운농법에 따른 농자재 투입량 분석결과 비료는 혼합유기질비료 사용량이 69.5(kg/10a)로 가장 많았으며, 화학비료의 투입은 없었다. 무경운농법은 파종 전에 경운에 의한 토양 교란을 발생시키지 않기 때문에 퇴비사용이 없거나, 액비 등을 사용하여 시비를 한다는 특징이 있으며, 이로 인하여 비료 요구량이 일반영농 방식의 80%이하로 소량의 시비만으로 재배가 가능하다는 특징이 있다(Yang et al., 2012). 농약의 사용행태는 관행과 비슷하게 살균제의 투입이 가장 많았으며, 친환경농자재 제품(에프포)의 사용 특성으로 인하여 사용량은 17.4(kg/10a)로 국가평균 보다 높았다(Table 6). 에너지사용은 경운에너지를 사용하지 않았기 때문에 유류사용은 없었고, 물 공급을 위한 양수기 사용에 따른 전기 사용량만 평가 되었다. Table 5와 6의 전기에너지 투입량을 비교하면, 무경운농법의 단위면적 당 전기사용량은 국가평균보다 높는데 이는 해당지역이 물 빠짐이 좋은 토양특성을 갖고 있어 관수량이 비교적 많고, 해당 농가의 농용전기의 사용행태(논과 공동사용) 적용에 있어서 본 연구의 데이터 수집기준이 보수적 방법론을 적용하고 있기 때문인 것으로 판단되었다. - 본 연구의 양수기 사용량에 따른 전기량 할당은 논과 밭의 차이를 인정하지 않고 면적배분으로 일괄 적용되었음-. 또한, 연구대상지의 투입항목 중 국가평균에는 없는 비닐 및 점적호스 등이 평가되었는데 이는 대상농가가 액비시비 및 관수 자동화설비, 비가림설비를 사용하고 있기 때문이다.

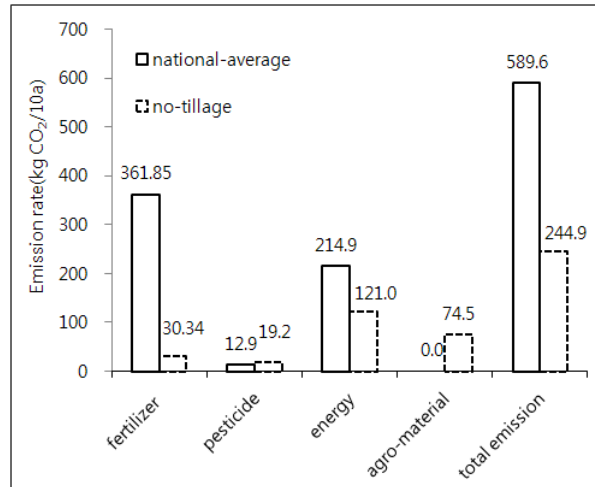


Fig. 1. Comparison of the greenhouse gas emission rates between national-average and no-tillage in pepper cultivation.

2. 주요 농자재, 에너지 투입에 따른 온실가스배출량 분석

국가 평균 데이터에 근거하여 산출된 온실가스배출량의 분석결과 노지고추 생산을 위한 온실가스배출은 589.6(kgCO₂/10a)로 평가되었으며, 각각의 기여도를 보면 비료 사용에 의한 온실가스 배출비중이 비료제조 24.3% 및 시비에 따른 토양 N₂O 배출 37.1%에 따라 전체 배출량의 61.3%를 차지하여 가장 높았으며, 이중 복합비료의 사용에 따른 온실가스배출이 가장 큰 비중을 차지하였다. 에너지사용에 따른 온실가스배출 비중은 36.4%로 두 번째로 높았으며, 에너지의 온실가스배출은 전기를 제외한 유류의 경우 에너지제조 및 에너지사용에 따른 온실가스배출을 모두 평가하여 분석되었다(Table 5). 고추의 경우 타 작물에 비해서 살균제의 요구량이 비교적 높은 편에 속하지만(KCPA, 2007), 농약의 탄소배출량 비중은 2.2%로 비교적 미미하였으며, 이는 다른 연구에서도 공통적으로 나타나는 일반적인 경향이다(So et al., 2010).

연구대상지 무경운농법에 따른 온실가스배출량 분석결과 무경운 고추 생산에 따른 온실가스배출은 244.9(kgCO₂/10a)로 평가되었으며, 이 중 전기 사용에 따른 배출 비중이 49.4%로 가장 높았다. 단, 본 연구에서 적용된 전기사용량 값은 농용전기 사용(양수기)에 따른 작물별 수분요구량 등 특이성을 고려하지 않고 각각 물을 공급하고 있는 품목의 농지면적만을 기준으로 할당하였기 때문에 추후, 전기의 실질사용량 평가를 반영할 경우 밭에 사용된 에너지사용 배출량은 감소될 것으로 판단된다. 연구대상지의 경우 국가 평균 데이터에는 없는 비닐 및 점적호스 사용에 따른 온실가스배출량 등이 포함되어 있는데 이는 대상농가의 영농행태에 기인한 것이며, 기타농자재 사용에 따른 온실가스배출은 농자재 제조 23.0%,

Table 6. Input of agricultural materials and emission of greenhouse gases by no-tillage on pepper cultivation

Division	Classification	Items	Input (kg/10a)	Emission coefficient (kgCO ₂ /kg)	Active ingredient	Emission rate (kgCO ₂ /10a)	Ratio	
Cultivation stage	Energy	Electricity	244.4	0.495		120.958	49.4%	
	Fertilizer	Multi-organic	69.5	0.017		1.189	0.5%	
		Tuna amino	3.3	0.017		0.056	0.0%	
		EM	16.5	0.280		4.634	1.9%	
	Pesticide	Mu-Chon	0.3	9.360	17.2%	0.525	0.2%	
		Bio-natrol	1.3	9.360	17.2%	2.099	0.9%	
		F4	17.4	9.150	10.0%	15.907	6.5%	
		Toborutan	0.3	9.150	5.0%	0.149	0.1%	
		Pansis	0.2	9.150	2.4%	0.048	0.0%	
		Crean card	1.1	9.150	4.4%	0.437	0.2%	
	Agro-material	Plastic(LDPE)	0.1	1.860		0.209	0.1%	
		Plastic(LDPE)	4.4	1.860		8.197	3.3%	
		Irrigation pipe(PVC)	35.8	1.340		47.984	19.6%	
	Soil emission of N ₂ O	Organic-N	2.8	8.768		24.464	10.0%	
Division	Classification	Items	Input	Form	Emission coefficient (kgCO ₂ /kg)	Treatment rate	Emission rate (kgCO ₂ /10a)	Ratio
Disposal stage	plastic(LDPE)	0.1	Recycle	0.186	75%	0.016	0.0%	
			Incineration	2.350	13%	0.034	0.0%	
			Landfill	0.080	13%	0.001	0.0%	
	plastic(LDPE)	4.4	Recycle	0.186	75%	0.611	0.2%	
			Incineration	2.350	13%	1.321	0.5%	
			Landfill	0.080	13%	0.045	0.0%	
	irrigation pipe (PVC)	35.8	Recycle	0.186	75%	4.962	2.0%	
			Incineration	2.350	13%	10.729	4.4%	
			Landfill	0.080	13%	0.364	0.1%	
Emission on pepper cultivation in no-tillage(2011)						244.938		

농자재 폐기 7.4%로 평가되었다(Table 6). 비료사용량 절감은 무경운농법의 대표적인 특징(Yang et al., 2012) 중 하나로 본 연구대상지 역시 투입된 비료사용량은 국가평균과 비교하여 매우 적었고, 이에 따른 온실가스배출은 비료제조 5.9(kgCO₂/10a) 및 토양 N₂O 배출 24.5(kgCO₂/10a)로 국가평균과 비교하여 1/10 이하의 수준으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 대상 품목이 무경운농법 적용에 따른 비료사용량 절감에 부가하여 화학비료를 전혀 사용하지 않는 유기영농의 방식으로 생산되었기 때문으로, 두 가지 특성이 서로 상보적으로 작용된 것으로 사료된다. 투입 농자재 중 특이적으로 농약의 사용량은 본 연구지에서 국가평균 사용량보다 높았는데(국가평균 1.42kg/10a, 무경운농법 20.6kg/10a) 이는 친환경농자재인 에프포의 사용량 절대치가 높은 것에서 기인되었다.

3. 무경운농법의 주요 온실가스 저감효과 분석

고추의 온실가스배출량 분석결과 무경운농법은 국가평균과 비교하여 10a당 344.7 kgCO₂ (58%)의 온실가스저감 효과를 갖는 것으로 평가되었으며(Fig. 1), 이 수치는 기존의 밭 토양에서 수행된 연구 결과(FACT, 2011)와 유사한 저감 효과를 보였다. 단, 연구대상지의 농약 사용량은 국가평균과 비교하여 48% 높았는데 이는 전술한바와 같이 친환경농자재의 사용 특성으로 인한 결과로 분석되었다. 또한, 기타농자재사용량은 국가평균 통계에서는 사용되지 않는 것으로 조사되었기 때문에 동 항목에 의한 온실가스배출은 무경운농법에서만 평가되었다. 비료사용 및 이에 따른 토양 N₂O 배출은 무경운농법에서 국가평균 대비 92%의 저감효과를 보였는데 이는 비료사용량 절감과 화학비료를 사용하지 않는 유기농의 특징이 배가되었기 때문인 것으로 분석되었다. 무경운농법은 경운을 하지 않는 특징으로 인하여 유류사용량은 없기 때문에 농기계사용과 관련된 온실가스저감 효과는 100%이다. 다만, 대상연구지의 경우 물 공급을 위한 양수 전력이 사용되었기 때문에 전체 에너지사용과 관련된 온실가스 저감효과는 국가평균 대비 44%로 10a 당 93.9kgCO₂가 저감된 것으로 평가되었다. 동 저감효과는 해당 연구지의 전기사용량 할당 방식이 실질사용량으로 변경될 경우 더욱 증가될 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 무경운농법의 경운에너지 및 비료사용량 절감에 기인하는 온실가스저감 효과는 매우 높은 것으로 판명되었으며, 농약의 경우 무경운농법에 기인된 효과는 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 무경운에 따른 토양의 탄소격리 효과는 고려되지 않았는데 West & Marland(2002)에 의하면 밭 토양에서의 탄소격리는 48±13(kgCO₂/10a)로 보고되었고, 이를 고려할 경우 고추의 무경운농법에 의한 탄소저감량은 392(kgCO₂/10a)로 추가적인 감축량이 인정 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 무경운에 의한 토양물성 변화 및 탄소격리 특징을 고려 할 경우 탄소저감량은 무경운농법 적용 년 수가 늘어날수록 추가적인 탄소감축 효과가 고려될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 적 요

본 연구에 적용된 한국형 무경운(no-tillage)농법은 한국의 기상특성 및 농업현실에 맞도록 초기 두둑을 형성한 후 이를 지속적으로 재활용하는 방식을 적용하였다. 한국형 무경운농법은 생산량 저하 등 부정적인 영향이 거의 없는 것으로 보고되었으며 경운작업 등 농자재사용은 크게 절감되는 효과로 인하여 에너지 및 농자재 비용의 절감과 노동시간 단축 등 긍정적인 효과가 높은 것으로 보고되었다(Yang et al., 2012).

무경운농법에 의한 고추재배는 일반적인 고추재배 방식과(국가평균) 비교하여 10a (1,000 m²)당 344.7 kgCO₂(58%)의 온실가스저감 효과를 갖는 것으로 분석되었다. 이 중 비료절감에 의한 직·간접효과가 92%, 에너지사용 절감에 의한 효과는 44%로 높은 탄소저감효과를 나타내었다. 또한, 무경운농법의 직접적인 효과에 부가하여 무경운방식의 토양관리는 일반적으로 시간이 흐를수록 토양의 탄소격리 효과가(carbon sequestration effect) 높아지는 특징을 갖고 있기 때문에 연속적인 무경운농법을 수행할 경우 연구대상지의 지속적인 탄소저감 효과가 기대된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 한국형 무경운농법은 농업부문 국가온실가스 저감목표 달성을 위한 주요한 녹색농업기술(agro-green technologies)로서 역할을 수행할 것으로 기대되며, 관련기술의 보급 및 확대를 위한 국가적 차원의 노력이 절실히 요구된다.

[논문접수일 : 2012. 9. 26. 논문수정일 : 2012. 10. 26. 최종논문접수일 : 2012. 11. 24.]

참 고 문 헌

1. FACT (Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer). 2011. The guidebook of agro-green technologies. Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer. Su-won, Korea.
2. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
3. Jung S. C., J. A. Park, J. H. Huh, and K. H. So. 2011. Estimation of greenhouse gas emission of complex fertilizers production system by using life cycle assessment. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(2): 256-262.
4. KCPA (Korea crop protection association). 2007. Agrochemical use guide book. Korea crop protection association. Seoul, Korea.

5. MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2004. A study on establishing effective management system for equipped agricultural input wastes. C2004-A1. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul, Korea.
6. RDA (Rural Development Administration). 2007. 2006 Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
7. RDA (Rural Development Administration). 2008. 2007 Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
8. RDA (Rural Development Administration). 2009. 2008 Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
9. RDA (Rural Development Administration). 2010. 2009 Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
10. RDA (Rural Development Administration). 2011. 2010 Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
11. So K. H., J. A. Park, J. H. Huh, K. M. Shim, J. H. Ryu, G. Y. Kim, H. C. Jeong, and D. B. Lee. 2010. Estimation of carbon emission and LCA from Pepper (*Capsicum annuum* L.) production system. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(1): 904-910.
12. Stern, N. 2006. Stern Review on the Economics of Climate Change, UK Treasury.
13. West, T. O. and G. Marland. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems and Environment 91: 217-232.
14. Yang S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2012. Properties of Pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. Korean J. Organic Agri. 20(3): 411-422.