

Research Article

Open Access

## 전과정평가를 이용한 유채재배의 환경영향 평가

홍승길,<sup>1\*</sup> 남재작,<sup>2</sup> 신중두,<sup>1</sup> 옥용식,<sup>3</sup> 최봉수,<sup>4</sup> 양재의,<sup>3</sup> 김정규,<sup>5</sup> 이성은<sup>6</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원, <sup>2</sup>농업기술실용화재단, <sup>3</sup>강원대학교 자원생물환경학과, <sup>4</sup>농촌진흥청 국립식량과학원, <sup>5</sup>고려대학교 환경생태공학부, <sup>6</sup>(주)나노톡스텍

### Environmental Impact Assessment of Rapeseed Cultivation by Life Cycle Assessment

Seung-Gil Hong,<sup>1\*</sup> Jae Jak Nam,<sup>2</sup> JoungDu Shin,<sup>1</sup> Yong Sik Ok,<sup>3</sup> Bongsu Choi,<sup>4</sup> Jae E. Yang,<sup>3</sup> Jeong-Gyu Kim<sup>5</sup> and Sung-Eun Lee<sup>6</sup> (<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>2</sup>The Foundation of Agricultural Technology Commercialization and Transfer, Suwon 441-857, Korea, <sup>3</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, <sup>4</sup>Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>5</sup>Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea and <sup>6</sup>NANOTOX Tech., Ansan 426-901, Korea)

Received: 9 September 2010 / Accepted: 15 February 2011  
© The Korean Society of Environmental Agriculture

#### Abstract

**BACKGROUND:** High input to the arable land is contributed to increasing productivity with causing the global environmental problems at the same time. Rapeseed cultivation has been forced to reassess its positive point for utilization of winter fallow field. The Objective of this study was performed to assess the environmental impact of rapeseed cultivation with double-cropping system in paddy rice on Yeonggwang district using life cycle assessment technique.

**METHODS AND RESULTS:** For assessing each stage of rapeseed cultivation, it was collected raw data for input materials as fertilizer and pesticide and energy consumption rate by analyzing the type of agricultural machinery and working hours by 1 ton rapeseed as functional unit. Environmental impacts were evaluated by using Eco-indicator 95 method for 8 impact categories. It was estimated that 216 kg CO<sub>2</sub>-eq. for greenhouse gas, 3.98E-05 kg CFC-11-eq. for ozone layer depletion, 1.78 kg

SO<sub>2</sub>-eq. for acidification, 0.28 kg PO<sub>4</sub>-eq. for eutrophication, 5.23E-03 kg Pb-eq. for heavy metals, 2.51E-05 kg B(a)p-eq. for carcinogens, 1.24 kg SPM-eq. for smog and 6,460 MJ LHV for energy resource are potentially emitted to produce 1 ton rapeseed during its whole cultivation period, respectively. It was considered that 90% of these potential came from chemical fertilizer. For the sensitivity analysis, by increasing the productivity of rapeseed by 1 ton per ha, potential environmental loading was reduced at 22%.

**CONCLUSION(s):** Fertilization affected most dominantly to the environmental burden, originated from the pre-use stage, i.e. fertilizer manufacturing and transporting. It should be included and assessed an indirect emission, which is not directly emitted from agricultural activities. Recycling resource in agriculture with reducing chemical fertilizer and breeding the high productive variety might be contribute to reduce the environmental loading for the rapeseed cultivation.

**Key Words:** Environmental impact assessment (EIA), Life cycle assessment (LCA), Rapeseed

\*교신저자(Corresponding author):

Tel: +82-31-290-0228 Fax: +82-31-290-0206

E-mail: dewyhong@korea.kr

## 서론

유채는 겨울철에 재배 가능한 유지작물로서 식량작물과 농경지 경합이 적은 바이오 연료 작물이다. 유채를 재배함으로써 겨울철 농경지 피복효과와 함께 봄철 유채꽃에 의한 관광 유발 효과 등 부가적인 효과를 기대 할 수 있어 농촌지역 경제 활성화에도 도움을 줄 수 있다. 이러한 환경적 편익과 더불어 유채 바이오디젤(RME, Rapeseed Methyl Ester) 생산으로 인한 에너지 안보제고와 온실키 대체작물로의 가능성 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 정부에서는 유채-바이오디젤에 대한 경제성 분석연구를 통하여 1 ha 당 170만원의 보조금을 유채재배 시범사업에 참여한 재배농가에 직접 지불하고 있다(Lee *et al.*, 2005). 그러나 보리재배와 비교하여 여전히 수익성이 떨어지기 때문에(Kang, 2009), 유채재배의 경관 및 환경 기여에 대한 정당한 평가를 통한 지원확대가 요구되고 있다. 이를 위해서는 유채-바이오디젤의 경제적 가치 평가와 함께 환경개선 및 온실가스 배출감축 등에 대한 계량적 환경영향 평가를 통한 사회적 가치평가가 이루어져야 할 필요성이 있다(Bae, 2006).

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 제품이 생산되는 전과정동안에 투입되거나 환경으로 배출되는 물질목록(Life Cycle Inventory, LCI)을 구성하고, 이를 통해 환경 전반에 미치는 영향을 평가하는 방법으로(Haas *et al.*, 2001), 주로 공산품의 환경성 평가에 광범위하게 사용되고 있으며(Jensen *et al.*, 1997) 최근에는 농업과 같이 다양한 생산환경의 영향을 평가하는데 많이 사용되고 있다(Kaltschmitt *et al.*, 1997; Gartner *et al.*, 2003; Heller *et al.*, 2003). 국내 농업분야에서는 벼 재배에 있어 시비방법에 따른 환경영향을 평가하는데 LCA를 이용한 사례가 있으며(Shin *et al.*, 2003), 유채의 환경성 평가를 위한 방법론을 설정한 연구가 수행되었으나(Nam *et al.*, 2008), 실제 유채의 환경성은 평가되지 않았다.

본 연구에서 수행한 유채재배 전과정평가는 유채 재배과정 중 투입되는 자원들에 대한 전과정목록 분석을 통하여 유채의 단위수량에 따른 LCI를 작성하고, 유채재배 전과정에 대한 전과정환경영향평가(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)를 통하여 온실가스 감축효과 등 환경영향에 대한 계량적 평가를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 목적 및 범위 정의

본 LCA의 목적은 유채재배 과정 중에 투입된 비료와 농약 등의 농자재와 수송에 대한 분석을 통해 유채재배 전과정에 대한 환경영향을 평가하는데 있다. 본 연구에 사용된 전과정평가 범위는 벼를 수확하고 난 뒤 경운, 농약 및 비료 살포, 파종, 수확, 건조 등을 위해 사용되는 모든 농업 생산 활동을 포함하였다(Fig. 1). 수송은 유채 재배를 위해 농가와 농장간 농자재 및 수확물의 수송과 최종 생산물인 유채를 1차 집산

지로 이송하는 것까지를 포함하였다. 자료수집 단위를 의미하는 단위공정과 대상시스템은 논(벼-유채 이모작)으로, 유채의 기능은 유채유 및 바이오디젤 생산 원료로, 평가의 시스템을 정량화시킨 기능단위는 유채 1 ton의 생산으로, 자료계산의 기준이 되는 기준흐름은 “유채 1 ton”으로 각각 규정하였다.

### 전과정목록(LCI) 분석

겨울 유채생산 전과정 동안 온실가스 배출량을 평가하기 위하여 재배에 투입되는 농자재와 농작업, 그리고 수송을 포함하는 유채생산 전과정에 대한 전과정목록 분석을 수행하였다. 유채 품종은 선망을 기준으로 하였으며, 생산량은 3.5 ton/ha, 유지함량은 45%(wt/wt)를 기준으로 평가하였다. LCI 분석에서는 투입된 농자재(비료, 농약), 농기계 사용, 수송, 건조에 대한 사항은 포함하였지만 농기계와 같은 내구재의 생산에 소모된 물질 및 에너지에 대한 영향은 고려하지 않았다. 또한 노동력 투입, 인프라(도로, 수로, 토목건축물 등)에 대한 환경부하 역시 영구적으로 재사용이 가능하므로 고려하지 않았다.

### 유채재배 자료수집

유채재배에 직접 투입자원으로는 종자, 비료, 농약이 있다. 간접투입 자원으로는 농작업 과정 중 사용되는 농기계 연료와 건조과정에 사용되는 전기는 고려하였지만, 그 외 농기계 유지관리 및 수리에 사용되는 자원들은 그 양이 제외기준(Cut-off Criteria)에 포함되는 극히 적은 양이므로 고려하지 않았다. 유채 재배와 관련된 현장자료는 영광군농업기술센터

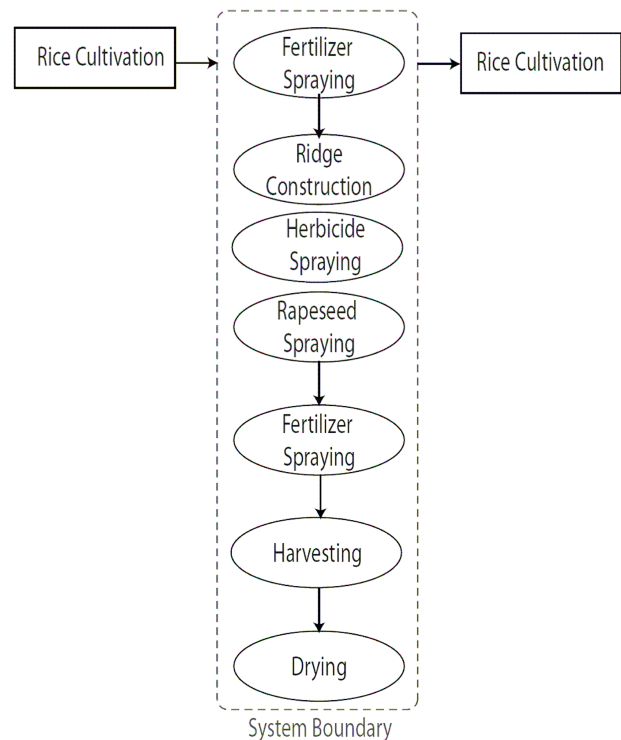


Fig. 1. The system boundary of rapeseed cultivation.

**Table 1. Fertilizer and pesticide used for rapeseed cultivation a ha**

	Fertilizer			Pesticide	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Acetanilide	Chloroacetanilide
Recommended	150 kg	80 kg	80 kg	3 L	15 kg

**Table 2. Working hours, fuel consumption rate, and energy use for rapeseed cultivation**

	Working hour	Fuel consumption rate	Required energy	Comments
Spraying fertilizer	0.5 hr/ha	diesel 4.6 L/ha	2.3 L/ha	Tractor (35 HP)
Spraying seeds	1.67 hr/ha	diesel 4.6 L/ha	7.68 L/ha	Tractor (35 HP) with fluted feed roll seeder
Ridge construction	0.83 hr/ha	diesel 5.7 L/ha	4.73 L/ha	No-tillage, 180 cm wide ridge Tractor with topdresser
Spraying herbicide	1.0 hr/ha	diesel 1.9 L/ha	1.9 L/ha	Cultivator
Harvesting	2.58 hr/ha	diesel 14.5 L/ha	37.41 L/ha	Combine(CT-2100AR)
Drying	5.67 hr/ton	kerosene 18.1 L/ton electricity 18.98 kWh/ton	63.35 L/ha 66.43 kWh	Circulation type HD32 (3.2 ton/hr) Dry temp.: 60°C
Total		Diesel 54.02 L/ha, Kerosene 63.35 L/ha, Electricity 66.43 kWh/ha		

**Table 3. Fuel consumption for hauling materials and farm product**

Operation	Truck size	Yield	Fuel efficiency	Fuel consumption rate <sup>1)</sup>	Distance	No. of times	Total consumption
	t	t/ha	km/L	L/km	km		L/ha
Hauling of materials	2.0	-	8	0.25	1	10	2.5
Hauling of farm product	4.0	35	5.5	3.18	10	-	31.8

<sup>1)</sup> Fuel consumption rate = 2 × (yield /truck size)/ fuel efficiency.

에서 수집하였다. 영광군에서 시범사업에 참여하고 있는 농가를 대상으로 한 영농지도 자료와 시범사업을 실시하면서 2005-2007년까지 영광군 일대에서 재배된 겨울철 유채재배 사업에서 도출된 자료를 사용하였다. 유채재배에 대한 전과정 분석을 위하여 재배과정 중 사용된 소모성 농자재에 대한 분석을 실시하였다. 유채(1대 잡종)에 대한 표준 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O에 대해 150-80-80 kg/ha로 조사되었다(NIAST, 2006)(Table 1). 농약으로는 아세트아니라이드계 (유효성분 s-metolachlor 2.5%) 농약 3 L/ha 또는 클로로아세트아닐라이드계 (유효성분 alachlor 5%) 농약 15 kg/ha를 일년생 잡초제어 목적으로 파종 후 살포하는 것으로 나타났다(Table 1).

농기계의 단위 작업별 소요시간은 전라남도 농업기술원의 실측 자료를 이용하였으며, 농기계 연료소모율 자료는 일본의 연구자료를 이용하였다(Koga *et al.*, 2003; 2006). 유채 건조기의 자료는 농가에 보급된 유채건조기의 사양을 참고하였다.

농기계운영에 소모되는 연료량 분석을 위하여 단위 작업별 소요시간과 농기계 연료소모량을 구하고 이를 이용하여 단위 면적당 연료사용량을 구하였다(Table 2). 유채재배 및 건조과정 중 전체 에너지소모량은 재배과정 중 경유 55 L/ha가 소모되었고, 건조과정에서 등유 63.4 L/ha와 전기 66.4 kWh/ha가 소모되는 것으로 분석되었다. 농자재 운반을 위한 작업은 농가에서 농장간 이동거리 1 km를 2톤 트럭으로 10회 이동하는 것으로 하였으며, 농가로부터 최종 생산물인 유채의 지역 집산지 이동은 10 km를 1회 이동하는 것으로 가정하여 분석하였다(Table 3).

유채대의 비료효과는 유채 수확 후 유채대를 파쇄 경운하여 토양에 환원 할 경우 후작물인 벼 재배시 절감되는 비료량으로 하였다. 유채 재배시 1 m<sup>2</sup>당 바이오매스를 통하여 14.4 g/m<sup>2</sup>의 질소가 토양에 환원될 수 있는 것으로 분석되었으며 (Choi *et al.*, 2010), 관행시비량 기준으로 33 kg N/ha에 해

당하는 유채의 녹비효과에 의한 질소비료 회피효과를 유채재배의 환경영향에서 차감하였다.

### 민감도분석(Sensitivity analysis)

단위면적당 투입되는 농자재(비료, 농약 등)의 양은 지역과 농가에 따라 다를 수 있지만 작업시간은 동일한 것으로 가정하고, 유채재배의 기준 시나리오를 바탕으로 단위면적당 유채생산 수량에 따른 영향을 분석하였다.

현재 농가에서 많이 사용하고 있는 선망 품종은 시험포에서 재배시 최고 4.5 ton/ha까지 생산이 가능하며 평균 생산량은 4.0 ton/ha로 보고되었다(Jang, 2008). 하지만 현지 농가에서는 벼 수확 후 유채를 재배하기까지 시간이 지연되고 또한 시험포와 같은 조건과 관리가 이루어지지 않기 때문에 일반적으로는 3.5 ton/ha를 수확하고 있다. 유채 생산량 조건을 기존 3.5 ton/ha에서 4.5 ton/ha로 변경하여 민감도분석을 수행하였을 때의 재배 과정에서 환경 부하를 평가하였다.

### 전과정평가 소프트웨어

전과정평가에는 SimaPro 7(Pre, Netheland)을 이용하여 기본적인 분석을 수행하였으며, 전과정목록 DB는 환경부와 산업자원부에서 구축한 국가 LCI DB를 기본적으로 이용하였고, 국내 DB가 없을 때에는 SimaPro에서 제공하는 외국의 전과정목록 DB를 사용하였다.

### 전과정 환경영향평가

전과정 환경영향평가는 잠재적 환경영향을 평가하기 위한 대표적 방법론인 Eco-Indicator 95 방법을 사용하여 실시하였다(Goedkoop and Spriensma, 2001). 분석된 LCI 결과를

영향 범주별로 특성화 분석을 통해 평가하였다. Eco-indicator 95에서 고려한 영향범주는 온실효과(greenhouse effect), 오존층과괴(ozone layer depletion), 산성화(acidification), 부영양화(eutrophication), 중금속(heavy metals), 발암물질(carcinogens), 겨울스모그형성(winter smog), 에너지자원(energy resources) 등 모두 8개 영향범주이다.

## 결과 및 고찰

### 전과정평가 수행

투입요소와 수송을 고려한 전과정 목록분석을 실시하고 Eco-Indicator 95의 영향평가 범주별 특성화 분석을 수행하였다(Table 4). 유채 수확량이 3.5 ton/ha일 때 건조된 유채 종실 1 톤을 생산하기 위해서는 유채재배 전과정 동안 216 kg CO<sub>2</sub>-eq.의 온실가스가 대기 중으로 배출되고 있는 것으로 평가되었는데, 우리나라에 비해 시비량(N 70, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20 kg/ha)과 수확량(1.2 ton/ha)이 적은 호주 서부 지역의 평가 결과에 비해 65% 수준으로 나타났다(Grant *et al.*, 2008).

유채 재배과정의 단계별로 분석하여 보면 화학비료에서 204 kg CO<sub>2</sub>-eq.의 온실가스가 배출되어 유채 재배 전과정에서 배출되는 전체 온실가스 배출량의 93%가 질소, 인산, 칼리 등의 화학비료에서 유래하는 것으로 평가되어 온실가스 배출량에 결정적인 역할을 하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3에 전체 과정 중에서 온실가스 배출에 대한 기여도가 1% 이상인 공정을 높은 기여도 순으로 배열하였다. 전체 과정중 요소비료를 제조하는 암모니아 증기 개질 공정이 43.6 kg CO<sub>2</sub>-eq.로 기여도가 가장 높았으며, 그 다음으로 운송공정이 14.4 kg CO<sub>2</sub>-eq., 요소 비료 제조 공정에 사용되는 천연가스

Table 4. Potential environmental impacts of 1 ton rapeseed production using Eco-indicator 95 method

Impact category	Total	Seeding	Ridge Construction	Fertilization	Herbicide	Harvesting	Drying	Transport
Greenhouse (kg CO <sub>2</sub> )	216E+02	-8.96E+00	3.13E-01	2.04E+02	8.65E+00	6.19E-01	1.05E+01	6.84E-01
Ozone layer (kg CFC11)	3.98E-05	3.65E-07	7.72E-10	2.61E-05	2.39E-06	1.53E-09	1.05E-05	3.41E-07
Acidification (kg SO <sub>2</sub> )	1.78E+00	5.51E-02	7.76E-04	1.58E+00	5.52E-02	1.54E-03	8.55E-02	6.80E-03
Eutrophication (kg PO <sub>4</sub> )	2.77E-01	2.10E-02	3.64E-05	2.42E-01	3.75E-03	7.21E-05	9.20E-03	1.20E-03
Heavy metals (kg Pb)	5.23E-03	3.72E-05	1.44E-09	4.98E-03	1.28E-04	2.85E-09	7.68E-05	1.32E-07
Carcinogens (kg B(a)P)	2.51E-05	5.24E-07	2.52E-12	2.37E-05	5.25E-07	4.99E-12	3.74E-07	8.21E-10
Winter smog (kg SPM)	1.24E+00	6.45E-03	5.82E-04	1.13E+00	4.65E-02	1.15E-03	6.09E-02	3.73E-04
Energy source (MJ LHV)	6.46E+03	2.60E+02	2.28E+02	4.32E+03	3.33E+02	4.51E+02	8.54E+02	1.07E+01

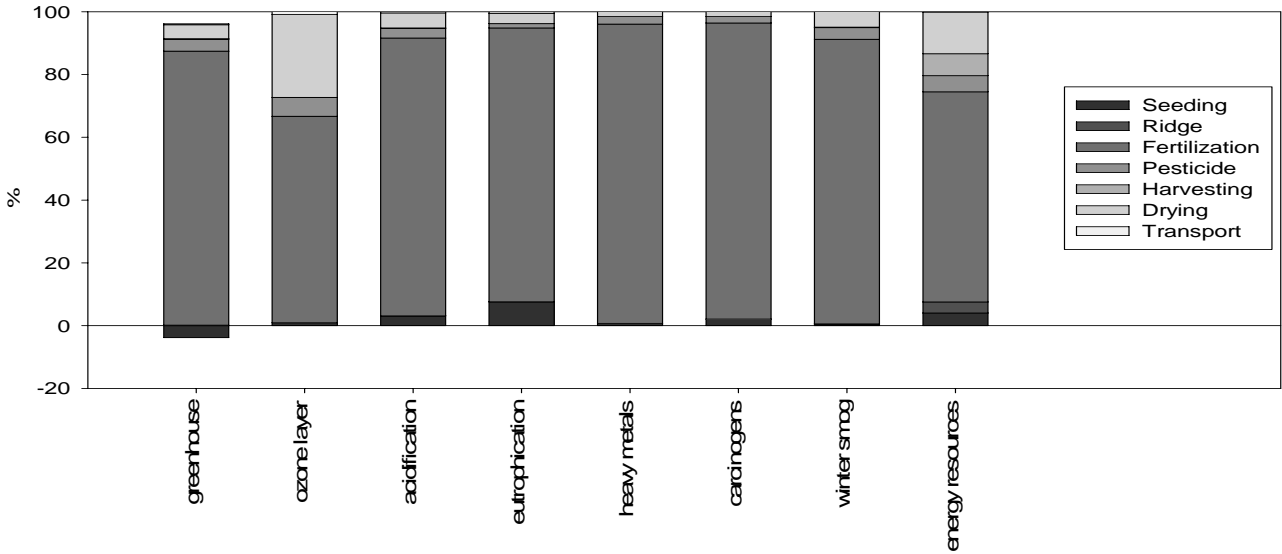


Fig. 2. Contribution of agricultural inputs to the environmental impacts of 1 ton rapeseed production with Eco-indicator 95. The total impact is shown as 100%.

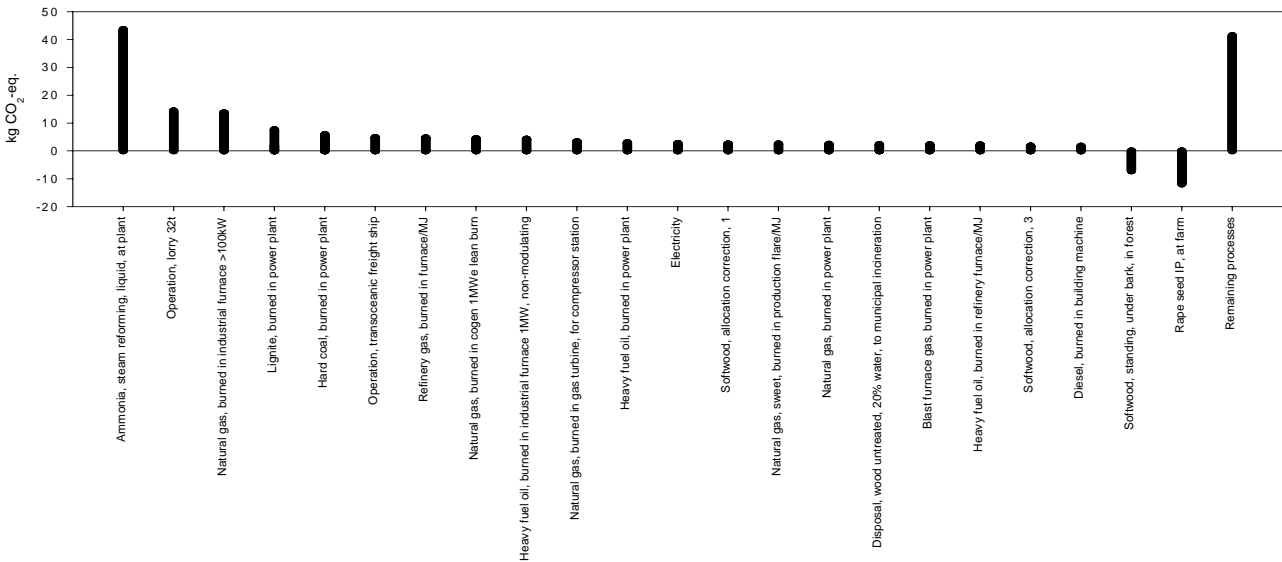


Fig. 3. Contribution of agricultural inputs to the greenhouse gas emission as kg CO<sub>2</sub>-eq. during 1 ton of rapeseed cultivation.

소모에서 13.7 kg CO<sub>2</sub>-eq. 순으로 나타났다(Iriarte *et al.*, 2010).

유채재배 전과정 동안 산성화 물질 1.78 kg SO<sub>2</sub>-eq.와 0.28 kg PO<sub>4</sub>-eq.의 부영양화 물질, 5.23E-03 kg Pb-eq.의 중금속도 배출되고 있는 것으로 평가되었는데, 이를 단계별로 보았을 때 가장 큰 비중은 역시 화학비료로 산성화 물질 1.58 kg SO<sub>2</sub>-eq.와 0.24 kg PO<sub>4</sub>-eq.의 부영양화 물질, 4.98E-03 kg Pb-eq.의 중금속을 배출하는 것으로 나타났다.

이를 영향범주별 기여도의 백분율을 분석한 결과를 보면 (Fig. 2), 온실가스의 94%, 오존층 고갈의 66%, 산성화 유발 물질의 89%, 부영양화 유발물질의 87%, 중금속의 95%, 발

암물질의 94%가 질소, 인산, 칼리 등의 화학비료에서 유래하는 것으로 나타났다. 특히 질소비료는 온실가스 배출량, 오존층 고갈, 발암물질 및 에너지자원 고갈에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 인산비료는 산성화, 부영양화, 중금속 및 겨울철 스모그에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

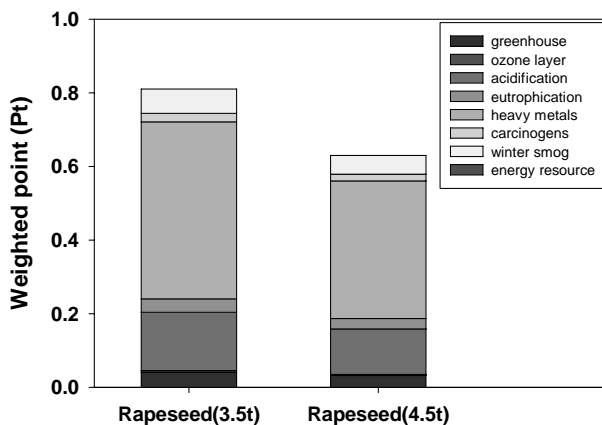
전체 과정 중에서 각 영향범주별로 기여도가 가장 큰 물질들을 Table 5에 나타내었다. 온실가스에 가장 영향을 주는 물질은 화석연료 사용으로 발생하는 이산화탄소이며, 산성화와 스모그에는 이산화황, 부영양화에는 인산염, 중금속에는 카드뮴, 발암물질에는 PAHs, 그리고 에너지 자원에는 원유가 영향범주별로 기여도가 가장 큰 것으로 나타났다.

**Table 5. Potential Substances for each impact category contributing most dominantly to the environmental impact of 1 ton rapeseed production system using Eco-indicator 95 method**

Impact category	Substances	Total	Seeding	Ridge construction	Fertilization	Pesticide	Harvesting	Drying	Transport
Greenhouse (kg CO <sub>2</sub> )	Carbon dioxide (fossile)	2.16E+02	2.08E+00	-	1.98E+02	8.32E+00	-	7.23E+00	-
Ozone layer (kg CFC11)	Halon 1301	2.69E-05	3.19E-07	7.72E-10	1.37E-05	2.15E-06	1.53E-09	1.05E-05	3.41E-07
Acidification (kg SO <sub>2</sub> )	Sulfur dioxide	1.02E+00	4.43E-03	4.47E-04	9.19E-01	4.31E-02	8.85E-04	4.85E-02	3.73E-04
Eutrophication (kg PO <sub>4</sub> )	Phosphate	1.07E-01	2.61E-03	3.00E-09	1.04E-01	4.67E-04	5.94E-09	1.31E-04	9.73E-07
Heavy metals (kg Pb)	Cadmium (air)	1.29E-03	1.03E-05	2.04E-10	1.18E-03	7.63E-05	4.02E-10	2.86E-05	8.43E-08
Carcinogens (kg B(a)P)	PAH	1.56E-05	4.35E-07	1.13E-12	1.47E-05	1.70E-07	2.22E-12	2.66E-07	4.89E-10
Winter smog (kg SPM)	Sulfur dioxide	1.02E+00	4.43E-03	4.47E-04	9.19E-01	4.31E-02	8.85E-04	4.85E-02	3.73E-04
Energy source (MJ LHV)	Crude oil	2.87E+03	1.11E+02	2.15E+02	1.16E+03	2.09E+02	4.25E+02	7.39E+02	1.02E+01

**Table 6. Comparison of impact categories for rapeseed cultivation by increasing productivity**

Impact category	Unit	Rapeseed (3.5 t/ha)	Rapeseed (4.5 t/ha)
Greenhouse	kg CO <sub>2</sub>	2.16E+02	1.68E+02
Ozone layer	kg CFC11	3.98E-05	3.09E-05
Acidification	kg SO <sub>2</sub>	1.78E+00	1.39E+00
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub>	2.77E-01	2.15E-01
Heavy metals	kg Pb	5.23E-03	4.07E-03
Carcinogens	kg B(a)P	2.51E-05	1.95E-05
Winter smog	kg SPM	1.24E+00	9.68E-01
Energy resources	MJ LHV	6.46E+03	5.03E+03



**Fig. 4. Weighted impact points for rapeseed cultivation by increasing productivity.**

**민감도분석**

생산량이 3.5톤에서 4.5톤으로 1톤 증가하게 되었을 때 재배과정에서 발생하는 환경부하가 8개 영향범주에서 약 25% 정도 감소하였으며(Table 6), 전체 환경부하에 대한 가중화를 고려한 환경지수값도 0.82 Pt에서 0.64 Pt로 약 22% 감소하였다(Fig. 4). 재배과정에서는 같은 시비량을 사용하였다더라도 기능단위로 설정한 단위 생산량 기준으로 산정하기 때문이다. 이 결과를 통해 유채의 수량이 LCA 평가에 큰 영향을 미친다고 판단할 수 있었다. 다수확 품종을 사용하거나 시험포장과 같이 재배관리를 철저히 하여 단위면적당 유채 생산 수량을 늘림으로써 환경부하를 경감하고 유채재배의 환경성을 크게 개선할 수 있을 것으로 예상되었다.

## 제한사항

유채대의 비료회피 효과를 평가할 때 본 연구에서는 30%의 질소소비 감축 효과만 가지는 것으로 평가되었으나 유채대의 향후 잔효에 대한 영향 연구는 없는 실정이고 또한 유기태 질소의 온실가스 배출량 영향 역시 고려하지 않았다. 질소비료에 의한 온실가스 배출량은 IPCC의 기본 배출계수를 사용하였으므로 우리나라의 겨울철 배출량의 적절한 평가로는 맞지 않을 것으로 추정되므로 이 부분에 대한 연구는 계속 진행이 될 필요가 있을 것이다.

## 요약

유채 재배 전과정이 환경에 미치는 영향을 전과정평가 기법으로 분석하였다. 유채재배 과정을 평가하기 위해 비료, 농약, 농기계 사용에 따른 에너지 소비량, 작업시간 등을 조사하여 평가의 기준 단위인 유채 1톤을 기준으로 분석하였다. Eco-Indicator 95방법으로 8개 영향범주에 대해 전과정영향을 평가한 결과 유채 1톤을 생산하는데 온실가스 216 kg CO<sub>2</sub>-eq., 오존층 고갈 3.98E-05 kg CFC-11-eq., 산성화 1.78 kg SO<sub>2</sub>-eq., 부영양화 0.28 kg PO<sub>4</sub>-eq., 중금속 5.23E-03 kg Pb-eq., 발암물질 2.51E-05 kg B(a)p-eq., 스모그 1.24 kg SPM-eq., 에너지자원 6,460 MJ LHV의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 중 90%가 화학비료에서 기인하는 것으로 분석되었다. 유채 생산량이 1톤 증가하였을 경우에 대한 민감도 분석에서는 배출량은 동일하였으나 단위 면적당 생산량이 증가하여 유채 1톤에 대한 환경 부하는 22% 감소하는 것으로 평가되었다. 따라서 친환경농업 또는 자원순환농업을 통하여 화학비료의 사용량을 줄이면 유채 재배에 있어 농업부문 온실가스 배출량이 상당부분 감소될 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

- Bae, J.H., 2006. Prospect of biofuel application and its social cost-benefit analysis, Korea Energy Economy Institute, Seoul, Korea.
- Choi, B.S., Sung, J.K., Lee, S.S., Nam, J.J., Hong, S.G., Kim, R.Y., Yang, J.E., Ok, Y.S., 2010. Effects of rape residue as green manure on rice growth and weed suppression, *Korean J. Environ. Agric.* 29, 109-114.
- Gartner, S.O., Reinhardt, G.A., Braschkat, J., 2003. Life cycle assessment of biodiesel: update and new approach, Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), Heidelberg, Germany.
- Goedkoop, M., Spriensma, R., 2001. The Eco-indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, Methodology report, PRé Consultants b.v., Amersfoort, The Netherlands.
- Grant, T., Beer, T., Campbell, P.K., Batten, D., 2008. Life cycle assessment of environmental outcomes and greenhouse gas emissions from biofuels production in Western Australia, KN29A/WA/F2.9, Department of Agriculture and Food, Government of Western Australia.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment, *Agric. Ecosys. Environ.* 83, 43-53.
- Heller, M.C., Keoleian, G.A., Volk, T.A., 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system, *Biomass Bioenergy* 25,147-165.
- Jang, Y.S., 2007. R&D status and outlook of rapeseed for bioenergy, *Rural Env. Eng. J.* 95, 90-104.
- Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B.T., Schmidt, A., Christiansen, K., Eikington, J., van Dijk, F., 1997. Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources, European Environmental Agency.
- Kaltschmitt, M., Reinhardt, G.A., Stelzer, T., 1997. Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects, *Biomass Bioenergy* 12,121-134.
- Koga, N., Sawamoto, T., Tsuruta, H., 2006. Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan, *Soil Sci. Plant Nutr.* 52, 564-574.
- Koga, N., Tsuruta, H., Tsujia, H., Nakano, H., 2003. Fuel consumption-derived CO<sub>2</sub> emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan, *Agric. Ecosys. Environ.* 99, 213-219.
- Lee, S.H., Kim, C.S., Park, J.H., Jeon, S.E., 2005. Study on the economic analysis and governmental support of crops for bioenergy, *Fut. Agr. Res. Assoc.*, p. 156.
- Lehuger, S., Gabrielle, B., Gagnaire, N., 2009. Environmental impact of the substitution of imported soybean meal with locally-produced rapeseed meal in dairy cow feed, *J. Clean. Prod.* 17, 616-624.
- Nam, J.J., Ok, Y.S., Choi, B.S., Lim, S.T., Jung, Y.S., Jang, Y.S., Yang, J.E., 2008. Methodology of life cycle assessment (LCA) for environmental impact assessment of Winter rapeseed in double-cropping system with rice, *Kor. J. Environ. Agric.* 27, 205-210.
- Shin, J.D., Lim, D.K., Kim, G.Y., Park, M.H., Ko, M.H., Eom, K.C., 2003. Application of the life cycle assessment methodology to rice cultivation in relation to fertilization, *Korean J. Environ. Agric.* 22, 41-46.