

## 겨울논 유채와 보리 재배시 전과정평가 방법을 이용한 환경영향 비교 평가

홍승길<sup>†</sup>, 신중두, 박광래, 안민실, 옥용식\*, 김정규\*\*, 김석철

국립농업과학원 농업환경부  
강원대학교 바이오자원환경학과\*  
고려대학교 환경생태공학부\*\*

## Comparative Evaluation for Environmental Impact of Rapeseed and Barley Cultivation in Paddy Field for Winter using Life Cycle Assessment

Seung-Gil Hong<sup>†</sup>, JoungDu Shin, Kwang-Lai Park, Min-Sil Ahn, Yong-Sik Ok\*, Jeong-Gyu Kim\*\*,  
Seok-Cheol Kim

Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences  
School of Environment, Kangwon National University\*  
Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University\*\*

(Received: Nov. 15, 2016 / Revised: Dec. 2, 2016 / Accepted: Dec. 6, 2016)

**ABSTRACT:** The application of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to assess the environmental impact of rapeseed cultivation in winter fallow after harvesting rice was investigated and compared with barley cultivation in crop rotation system. Data for input materials were collected and analyzed by 1 ton rapeseed and barley as functional unit. For the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) the Eco-indicator 95 method has been chosen because this is well documented and regularly applied impact method. From the comparison of impact categories such as greenhouse effect, ozone depletion, acidification, heavy metals, carcinogens, summer smog, and energy resources for 1 ton of final product, emission potential from rapeseed was higher than that from barley. The range from 65 to 96% of these potential came from chemical fertilizer. On the other hand, eutrophication potential from barley was higher than that from rapeseed, mainly came from utilizing the chemical fertilizer. During the cultivation of barley and rape, environmental burden by heavy metals was evaluated by 0.5 Pt, larger than points from other impact categories. The sum of points from all impact categories in barley and rapeseed was calculated to be 0.78 Pt and 0.82 Pt, respectively. From the sensitivity analysis for barley and rapeseed, scenario 1 (crop responses to fertilization level) showed the environmental burden was continuously increased with the amount of fertilization in barley cultivation, while it was not increased only at the optimum crop responses to fertilization in rapeseed (R3). With these results, rapeseed cultivation in winter fallow paddy contributed to the amounts of environmental burden much more than barley cultivation. It is, however, highly determined that environmental weighted point resulted from evaluating both cultivation was not significantly different.

**Keywords:** Life cycle impact assessment, Eco-indicator 95, Global warming, Eutrophication, Rapeseed, Barley, Winter paddy field

<sup>†</sup> Corresponding Author (e-mail: dewyhong@korea.kr)

**초 록:** 벼 수확 후 겨울철 휴경지에서 유채 재배 시스템의 환경영향을 평가하고 경쟁 작물인 보리 재배 시스템의 환경영향과 비교 분석하기 위하여 전과정 평가방법을 적용하였다. 투입물질에 대한 자료를 수집하고 유채 및 보리 1 ton을 기능단위로 하여 분석하였다. 전과정 영향평가를 위해서는 체계화가 잘 되어있고 규칙적으로 적용된 영향평가 방법인 Eco-indicator 95 방법을 사용하였다. 생산물 1 ton당 발생하는 영향범주별 비교에서는 온실가스 등 6개 영향범주에서 보리보다 유채의 포텐셜이 높게 나타났는데 이 중 화학비료 사용에 의한 환경 부하가 전체 발생량의 65-96%를 차지하고 있었다. 부영양화 포텐셜은 오히려 유채보다 보리에서 높게 나타났다. 보리와 유채 재배에서 중금속에 의한 부하가 0.5 Pt로 상대적으로 가장 크게 나타났으나 전체 영향범주값을 합산하게 되면 보리에서 0.78 Pt, 유채에서 0.82 Pt로 나타났다. 시비-수확량 반응 시험에 대한 평가에서 보리는 시비량이 증가할수록 환경부하가 계속 증가하는 것으로 나타났으나 유채는 시비량에 따라 증가하다가 최고 생산량을 보인 R3(80-65-65)에서는 오히려 감소하였다. 이와 같은 결과를 토대로 겨울 휴경지에 유채를 재배할 경우 환경 영향 범주 8개 중 6개 범주에서 기존의 보리를 재배하는 과정에 비해 환경부하량은 더 크다고 할 수 있지만 환경지수값으로 환산하게 되면 휴경지에서 유채와 보리 재배를 통한 환경영향에는 차이가 없을 것으로 판단되었다.

**주제어:** 전과정영향평가, 지구온난화, 부영양화, 유채, 보리, 겨울 휴경지

## 1. 서론

최근 여러 가지 기상이변으로 인해 기후변화에 대한 관심과 이를 유발하는 것으로 알려진 온실가스 배출량을 줄이려는 노력이 국가적인 차원에서 진행되고 있다. 농업부문에서 발생하는 온실가스 배출량은 2013년 현재 20.7백만 ton CO<sub>2</sub>-eq.로 국가 총배출량의 2.98%를 차지하고 있다<sup>1)</sup>. 이 중 경종과 관련된 부분은 벼 재배, 농경지 토양, 작물 잔사 소각 등으로 10.9백만 ton CO<sub>2</sub>-eq. (52.7%)을 차지하고 있으며, CH<sub>4</sub>은 벼 재배, N<sub>2</sub>O는 농경지 밭 토양에서 주로 발생하는 것으로 알려져 있다.

작물을 재배하는 기간 동안 농경지는 배출원인 동시에 흡수원의 역할을 하게 되어 탄소중립(Carbon Neutral)으로 여겨지며, 재배 작물의 토양 피복효과는 강우 시 토양 유실에 의한 비점오염원 발생을 저감시킬 수 있다<sup>2)</sup>. 특히 유채와 보리는 벼를 수확하고 난 후 겨울철 논에 재배 가능한 작물로서 겨울철 농경지 피복효과와 함께 봄철 농촌 지역 관광 유발 효과와 같은 부가적인 효과를 기대 할 수 있어 농촌 지역 경제 활성화에도 도움을 줄 수 있다<sup>3)</sup>.

건전한 농업생태계를 유지하기 위해서는 농업생산 활동 전과정에 대한 환경 영향 평가가 필수적인데, 여기에는 농업생산에서 발생하는 전체적인 환경부하를 비교하거나 또는 농업활동의 전체 과정과 과정에서 파생되는 모든 환경요인들을 고려하여야 한다.

전과정평가(Life Cycle Assessment)는 1960년대 말에 처음 도입된 이래로 공산품의 환경성 평가(environmental evaluation)에 사용되어 오고 있으며<sup>4)</sup>, 국제표준화기구(ISO)의 표준화 작업을 통하여 신뢰성 있는 평가결과를 제공할 수 있는 것으로 인정받고 있다<sup>5)</sup>. 최근에는 바이오에너지 생산에 대한 환경성 평가나 농업 작부체계 및 유기농업과 같이 영농방법에 대한 환경성 평가 분야에서 농업활동에 의해 환경으로 유출되는 유·무기태 원소 및

환경부하원을 입증하고, 정량화하여 환경영향을 평가하는 방법으로 활발히 이용되고 있다<sup>6-10)</sup>. 농업은 생산력의 기초를 자연의 물질순환기능에 두고 있어, 산업 활동 전체가 환경에 부하를 미치는 것이 아니라 환경에 대해 적절한 작용을 함으로써 환경을 적극적으로 관리하고 있다고 말할 수 있다. 한편으로, 농약이나 화학비료 등 석유를 원료로 하는 자재의 다량투입, 기계화나 시설재배화가 진전되면서 에너지 투입량이 증대되고 그에 수반되어 환경에 미치는 부하가 해마다 증대되고 있다<sup>11)</sup>.

따라서 본 연구는 벼를 수확하고 난 후 겨울철 논에서 유채와 보리 재배의 전과정 평가를 수행하고 그 환경영향을 파악하기 위해 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 목적 및 범위 정의

본 LCA의 목적은 겨울철 휴경논에 유채재배 과정 중에 투입된 비료와 농약 등의 농자재와 수송에 대한 분석을 통해 유채재배 전과정에 대한 환경영향을 평가하고 경쟁작물인 보리의 환경영향과 비교하는데 있다. 본 연구에 사용된 전과정 평가범위는 벼를 수확하고 난 뒤 경운, 농약 및 비료 살포, 파종, 수확, 건조 등을 위해 사용되는 모든 농업 생산 활동을 포함하였다[Fig. 1]. 수송은 유채와 보리 재배를 위해 농가와 농장간 농자재 및 수확물의 수송과 최종 생산물인 유채와 보리를 1차 집산지로 이송하는 것까지를 포함하였다. 자료수집 단위를 의미하는 단위공정(unit process)과 대상시스템은 논(벼-유채 또는 보리 이모작)으로 평가의 시스템을 정량화시킨 기능단위(functional unit)는 유채 및 보리 1 ton의 생산으로, 자료계산의 기준이 되는 기준흐름(reference flow)은 “유채 1 ton”과 “보리 1 ton”으로 각각 규정하였다. 평균 기준 수량은 유채 3.5 ton, 보리 2.96 ton ha<sup>-1</sup>를 사용하였다.

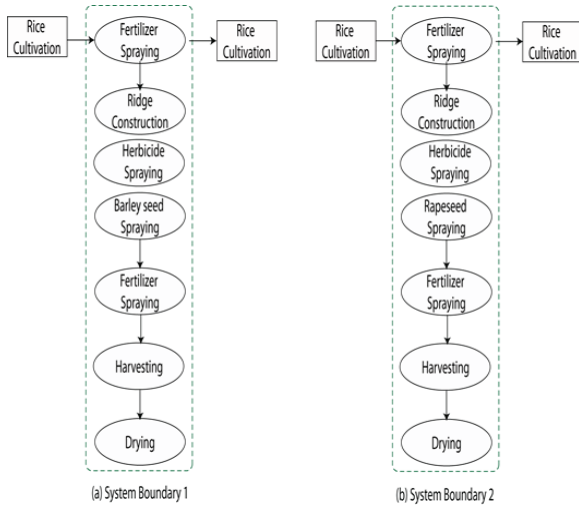


Fig. 1. System boundary of (a) barley and (b) rapeseed cultivation.

## 2.2 전과정 목록(Life Cycle Inventory)

겨울논에서 유채와 보리 생산 전과정 동안 환경 영향을 평가하기 위하여 재배에 투입되는 농자재와 농작업, 그리고 수송을 포함하는 전과정에 대한 전과정목록 분석을 수행하였다. 투입된 농자재(비료, 농약), 농기계 사용, 수송, 건조과정에 사용되는 전기는 포함하였지만 그 외 농기계 유지관리 및 수리에 사용되는 자원들은 그 양이 제외기준(Cut-off Criteria)에 포함되는 극히 적은 양이므로 고려하지 않았으며, 노동력 투입, 인프라(도로, 수로, 토목건축물 등)에 대한 환경부하 역시 영구적으로 재사용이 가능하므로 고려하지 않았다.

보리 재배 및 유채 재배와 관련된 현장자료는 영광군 농업기술센터에서 수집하였는데, 자료 수집 범위는 유채와 보리의 재배과정에서부터 수확한 종실을 건조하는 과정까지 포함하였다. 또한 민감도 분석을 통한 비교평가를 위해 농촌진흥청의 표준시비량 산정을 위한 실험 자료도 사용하였다<sup>12-14)</sup>.

농가의 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O에 대해 유채(1대 잡종)가 150-80-80 kg ha<sup>-1</sup>, 보리가 94-75-40 kg ha<sup>-1</sup>이었다[Table 1]. 농약으로는 보리에 대해 Chloroacetanilide계열, MCPA액제, Sulfonylurea 계열 등이, 유채에는 Acetanilide계열과 Chloroacetanilide 계열 등이 사용되었다.

농기계의 단위 작업별 소요시간은 전라남도 농업기술원의 실측 자료를 이용하였으며, 농기계 연료 소모율 자료는 일본의 연구자료를 이용하였다<sup>15-16)</sup>. 또한 운송과정에는 각 지역별 생산량을 고려하여 평균 운송거리를 산출하고 최종산물인 유채 kg당 운송에 소요되는 평균 에너지를 산출하였으며, 환경부에서 구축한 국가 LCI 데이터베이스를 기준으로 하였다.

## 2.3 전과정환경영향평가

### (Life Cycle Impact Assessment)

전과정환경영향평가는 물질수준에서의 잠재적 환경영향을 평가하기 위한 대표적 방법론인 Eco-Indicator 95 방법을 사용하여 평가를 실시하였다<sup>17)</sup>. 분석된 LCI 결과를 영향 범주별로 특성화 분석을 통해 평가하였다. Eco-indicator 95에서 고려한 영향범주는 온실 효과 (greenhouse effect), 오존층 파괴 (ozone layer depletion), 산성화 (acidification), 부영양화 (eutrophication), 중금속 (heavy metals), 발암물질 (carcinogens), 겨울 스모그 형성 (winter smog), 여름 스모그 형성 (summer smog), 에너지 자원 (energy resources) 등 모두 8개 영향범주이다.

Eco-indicator 95 절차에 따라 각각의 표준화된 기여도(normalized effect value)에 각각의 다른 환경 영향에 대해 설정된 가중요인(weighting factor)을 곱하여 가중절차로 나타내는데, 가중절차의 결과

Table 1. Application amount of fertilizer and pesticide used for rapeseed and barley cultivation (ha-1)

	Fertilizer (kg)			Pesticide (L)			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Acetanilide	Chloroacetanilide	MCPA	Sulfonylurea <sup>†</sup>
Rapeseed	150	80	80	3	1.5	—	—
Barley	94	75	40	—	3	3	0.07

<sup>†</sup>Sulfonylurea in kg

Table 2. Weighting factors according to the Eco-indicator 95 methods<sup>18)</sup>

Environmental effects	Unit	Normalization value	Uncertainty
Global warming	kg CO <sub>2</sub> -eq.	13,100.0	Small
Acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	113.0	Small
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> -eq.	38.2	Moderate
Heavy Metals	kg Pb-eq.	0.0543	Large

는 각각의 환경영향에 대한 하나의 생태지표 지수 (Eco-indicator value)이고 이러한 지수들을 합산하여 총 환경 부하율로 나타내었다[Table 2].

#### 2.4 이용성 분석

민감도 분석은 목록분석이나 영향평가의 각 단계에서 수행된 분석 결과를 검토하기 위하여 수행하는 과정으로 시나리오 지표를 설정하고 시나리오에 따른 LCA결과 도출 주요 이슈를 규명하여 주요 이슈가 시나리오에 따라 바뀌는지 여부를 판정하게 된다.

유채와 보리 재배의 기준 시나리오는 단위면적당 투입되는 비료, 농약의 양은 지역과 농가에 따라 다를 수 있지만 작업시간은 동일한 것으로 가정하였다. 보리와 유채의 3요소 시험 결과를 토대로 시비량 변화에 따른 생산량 변화에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

보리와 유채 재배 전과정에서 누적 에너지 수요를 비교 분석한 결과에서 보면[Fig. 2], 비재생에너지원의 수요가 재생에너지원의 수요보다 월등히 높게 나타났으며, 가장 많은 에너지 수요는 역시 비재생에너지원인 화석연료로 보리에서 4.80E+03 MJ, 유채에서 5.63E+03 MJ에 해당하는 것으로 나타났다. 재배 단계별로 보면 화석연료는 보리와 유채 모두 시비과정에서 전체 화석연료 수요량의 약 65%에 해당하는 3.06E+03 MJ와 3.73E+03 MJ가 사용되는 것으로 나타났으며, 건조에서 각각 7.96E+02 MJ와 8.03E+02 MJ, 수확에서 4.12E+02 MJ와 4.50E+02 MJ로 많은 양의 에너지가 사용되었다.

생산물 1 ton 당 보리 재배 과정에서의 온실가스 배출량은 1.85E+02 kg CO<sub>2</sub>-eq.로 유채 재배 과정에서 배출되는 2.16E+02 kg CO<sub>2</sub>-eq.보다 약 15%

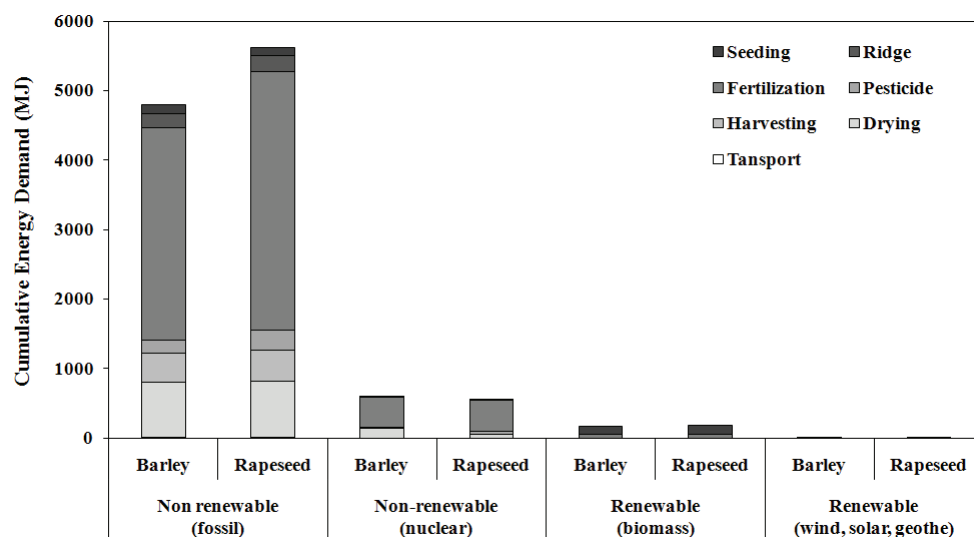
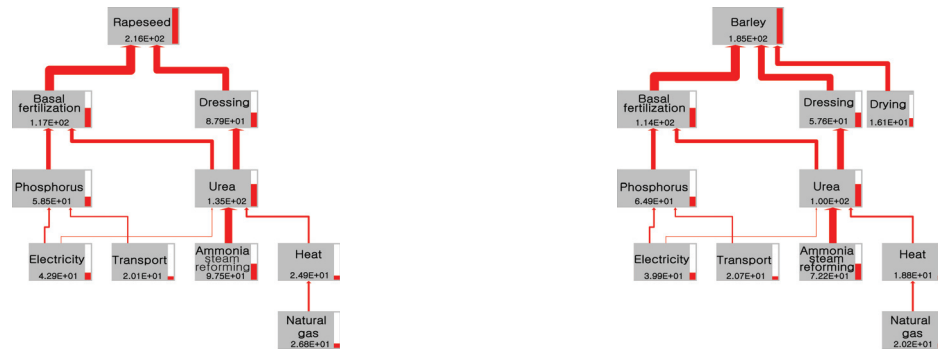
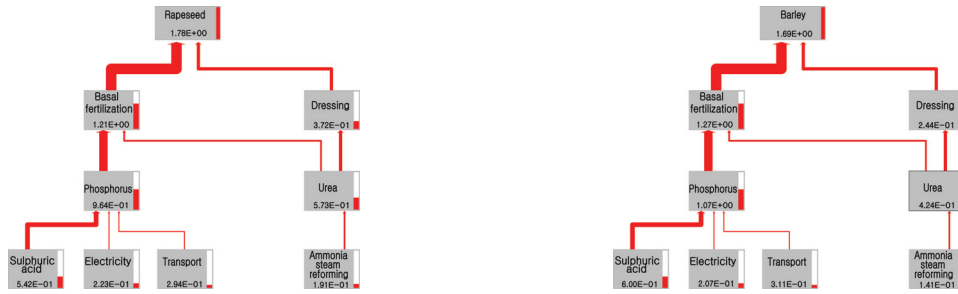


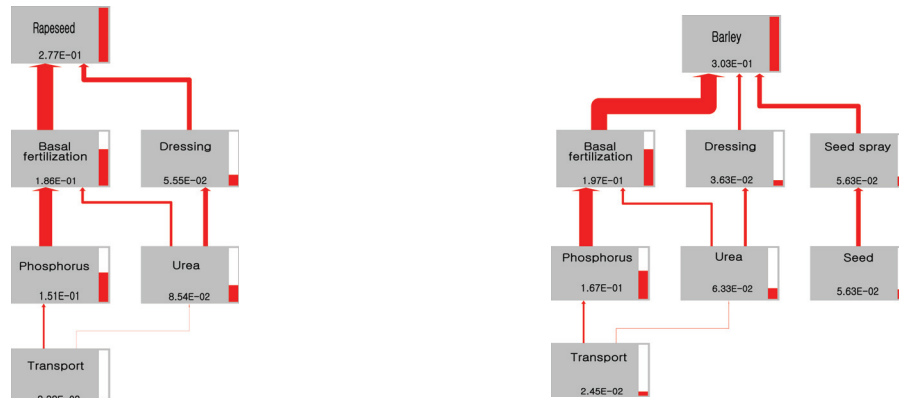
Fig. 2. Comparisons of cumulative energy demand of barley and rapeseed during their cultivation periods.



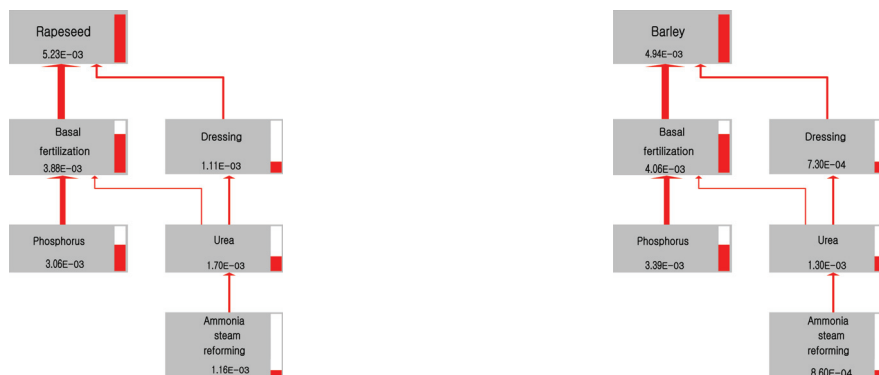
(a) Greenhouse gas



(b) Acidification



(c) Eutrophication



(d) Heavy Metal

Fig. 3. Process network showing major flows and cumulative potential for (a) greenhouse gas, (b) acidification, (c) eutrophication, and (d) heavy metal during 1 ton rapeseed (left) and barley (right) production (node cut-off at 8%).

적은 것으로 나타났다[Fig. 3]. 시비 과정을 통한 온실가스 배출량은 보리가  $1.71\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ , 유채가  $2.04\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 로 전체 재배 과정에서 발생하는 양의 약 93 %에 이른다. 이를 1 ha의 면적으로 환산하여 보면 보리에서  $5.48\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ , 유채에서  $7.56\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 의 온실가스가 배출되고 있는 것으로 나타나 그 차이는  $2.08\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq. ha}^{-1}$ 로 커지게 된다.

요소 비료는 국내에서 가장 많이 사용되고 있으며<sup>19)</sup>, 유채와 보리 재배 과정에서 분사되고 있다. 유채 1 ton을 생산하기 위해서는 기비를 통해  $4.71\text{E}+01 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 가 배출되고 추비를 통해서  $8.79\text{E}+01 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 가 배출되며 보리 1 ton을 생산하는 데에는 기비를 통해  $4.24\text{E}+01 \text{ kg}$

$\text{CO}_2\text{-eq.}$ 가 배출되고 추비를 통해  $5.76\text{E}+01 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 가 배출되는 것으로 나타났다. 따라서 질소 비료에 의한 총 온실가스 배출량은 유채가  $1.35\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 로  $1.00\text{E}+02 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ 인 보리에 비해 35% 높은 것으로 평가되었다. 이는 전체 온실가스 배출량 중에서 유채에서 63%, 보리에서 54%가 질소질 비료인 요소에서 유래한다는 것을 의미한다.

유채와 보리 재배 단계별로 전체 영향범주의 기여도는 다르지만 전체적으로 시비과정에서의 기여도가 높음을 알 수 있다. 온실가스의 93%, 산성화 유발물질의 89%, 중금속의 95%가 화학비료에서 유래하는 것으로 나타났다[Fig. 4]. 유채 종실 1 ton을 생산하기 위해서는 유채재배 전과정 동안  $2.16\text{E}+02$

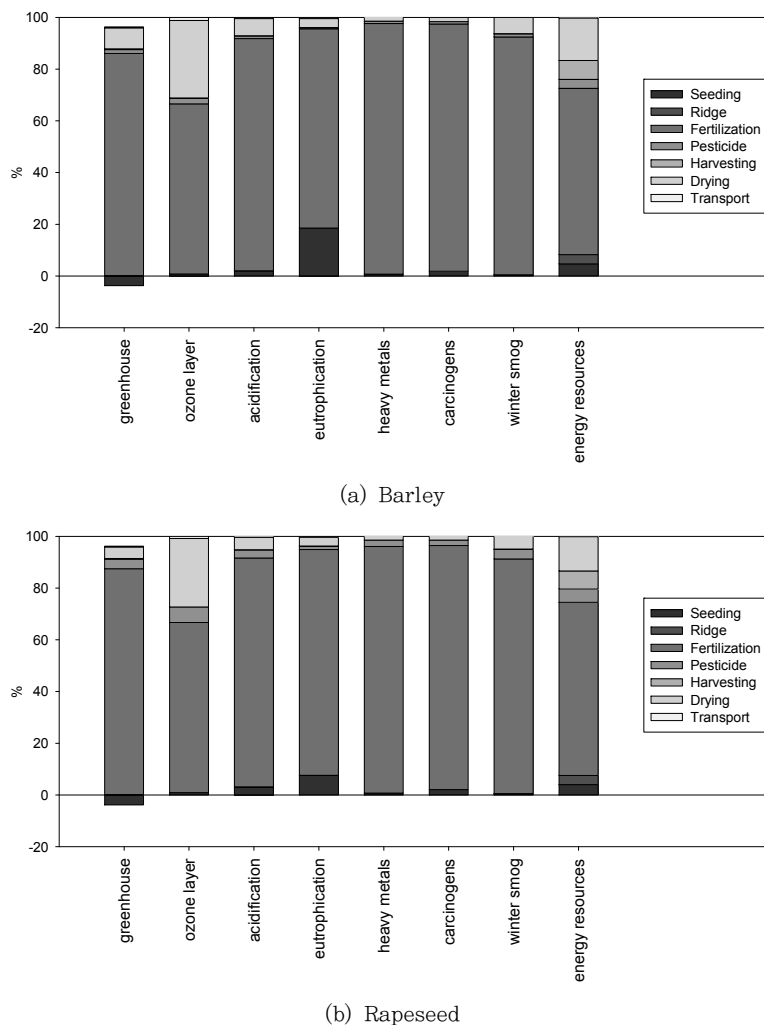


Fig. 4. Contributions of agricultural activities to the environmental impacts for 1 ton barley and rapeseed production.

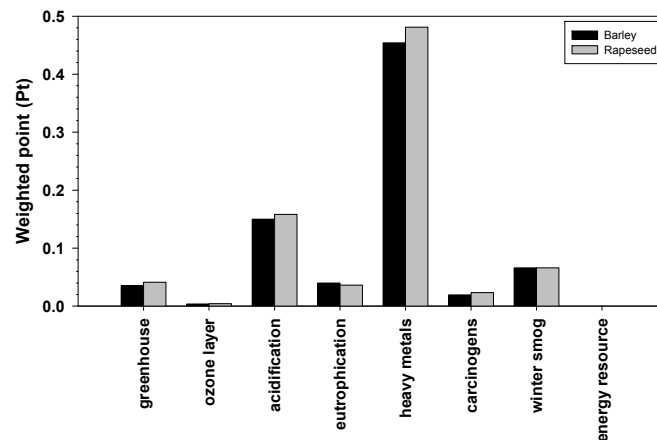


Fig. 5. Comparison of weighted impact points for 1 ton barley and rapeseed cultivation.

kg CO<sub>2</sub>-eq.의 온실가스가 대기 중으로 배출되고 있음을 보여주고 있다. 이는 보리 1 ton을 생산하는 과정에서 배출되는 온실가스 1.85E+02 kg CO<sub>2</sub>-eq.에 비해 약 20% 높은 값을 나타내고 있다.

또한 산성화 유발 물질 1.78E+00 kg SO<sub>2</sub>-eq.을 배출하여 보리 재배 과정에 비해 10% 높게 배출되고 있는 것으로 나타났으나, 부영양화 유발 물질 2.77E-01 kg PO<sub>4</sub>-eq.은 보리 재배 과정의 3.03E-01 kg PO<sub>4</sub>-eq.에 비해 오히려 10% 낮게 배출되고 있어 유채 재배 과정이 산성화에 기여하고 보리 재배 과정이 부영양화에 기여하고 있는 것으로 평가되었다.

재배 과정에서 유채 1 ton을 생산하기 위해서는 기비를 통해 5.90E-04 kg Pb-eq.가 배출되고 추비를 통해서 1.11E-03 kg Pb-eq.가 배출되며 보리 1 ton을 생산하는데는 기비를 통해 5.70E-04 kg Pb-eq.가 배출되고 추비를 통해 7.30E-04 kg Pb-eq.가 배출되는 것으로 나타났다. 따라서 질소 비료에 의한 총 중금속 포텐셜 배출량은 유채가 1.70E-03 kg Pb-eq.로 1.30E-03 kg Pb-eq.인 보리에 비해 24% 높은 것으로 평가되었다.

따라서 작물 재배에서 온실가스 배출, 산성화, 부영양화, 중금속에 대한 기여도가 가장 높은 것은 비료 제조 공정으로 나타났으며 원부하를 감안할 때 농업활동에 의한 직접 배출이 아닌 간접 배출량으로 평가하여야 할 것으로 판단되었다<sup>20)</sup>.

표준화된 기여도에 가중치(weighting values)을

곱하여 주었지만, 이러한 가중치는 여전히 과학적 논란이 되고 있지만, 전과정평가의 가중치는 환경의 우위를 결정하는데 필수적이다<sup>18)</sup>. 환경영향 표준화된 기여도에 대한 가중치가 Eco-indicator 95 method에 이용되어 각기 다른 환경영향에 대해 공평하게 통합을 가능하게 하므로 본 연구에서는 전과정평가의 결과를 도출하기 위하여 유채와 보리 재배에 따른 시비방법별로 환경의 우위를 평가하기 위해서 ISO범주 외의 것<sup>21)</sup>에 비중을 두었다.

[Fig. 5]에는 보리와 유채에 대해 각각의 영향범주에서 얻은 결과를 토대로 Eco-indicator 95에서 설정된 환경지수값을 고려한 결과를 보여주고 있다. 환경지수 1 Pt는 평균적으로 1명의 유럽 거주자가 1년간 발생시키는 환경부하량의 1,000 배라고 알려져 있는데<sup>17)</sup>, 보리와 유채 재배에서 중금속에 의한 부하가 0.5 Pt로 상대적으로 가장 큰 것으로 나타났다. 전체적으로 합산하게 되면 보리에서 0.78 Pt, 유채에서 0.82 Pt로 큰 차이를 보이지는 않아 휴경지에서의 재배에 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

#### 4. 결론

벼 수확 후 겨울철 휴경지에서 유채 재배 시스템의 환경영향을 평가하고 경쟁 작물인 보리 재배 시



스텝의 환경영향과 비교 분석하기 위하여 전과정 평가방법을 적용하였다. 전과정 영향평가 방법인 Eco-indicator 95를 이용하여 8가지 영향 범주의 영향과 가중치를 적용한 평가를 병행하였다. 보리보다 유채의 환경부하 잠재력이 높게 나타났는데 이 중 화학비료 사용에 의한 환경 부하가 전체 발생량의 65~96%를 차지하고 있었다. 부영양화 잠재력은 오히려 유채보다 보리에서 높게 나타났다. 보리와 유채 재배에서 중금속에 의한 부하가 0.5 Pt로 상대적으로 가장 크게 나타났으나 전체 영향범주값을 합산하게 되면 보리에서 0.78 Pt, 유채에서 0.82 Pt로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 겨울 휴경논에 유채를 재배할 경우 환경 영향 범주 8개 중 6개 범주에서 기존의 보리를 재배하는 과정에 비해 환경부하량은 더 크다고 할 수 있지만 환경지수값으로 환산하게 되면 휴경지에서 유채와 보리 재배를 통한 환경영향에는 차이가 없을 것으로 판단되었다. 하지만 Tsuruta<sup>22)</sup>가 제시한 것처럼 담수여부와 관계없이 겨울 휴경논에 작물을 재배하는 것이 온실가스 배출을 30~60% 줄일 수 있고, 경관을 고려한다면 방치하는 것보다는 유채와 보리를 재배하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

## 사 사

This study was carried with the support of "Research Program for Agricultural science & Technology Development(Project No. PJ0120932016)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

1. GIR, "National greenhouse gas inventory report of Korea", Greenhouse Gas Inventory and Research Center (2015).
2. Shin, M.H., Choi, Y.H., Jang, J.R., Lee, S.I. and Choi, J.D., "Estimation of NPS pollution loads from upland field by climate change impact", Annual meeting on Korea water resources association, pp. 197~201. (2013).
3. Kang, H.C., "Assessment and outlook for feasibility of Korean biofuel - cost/ benefit analysis", SERI (2007).
4. Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B. T., Schmidt, A., Christiansen, K., Eikington, J. and van Dijk, F., "Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources", European Environmental Agency. (1997).
5. ISO. "Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006)". International Organization for Standardization(ISO). (2006).
6. Brentrup, F., Ksters, J., Kuhlmann, H. and Lammel, J., "Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers", European Journal of Agronomy 14(3), pp. 221~233. (2001).
7. Casey, J. W. and Holden, N. M., "Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system", Agr. Syst. 86, pp. 97~114. (2005).
8. Cowell, S. J. and Clift, R., "A methodology for assessing soil quantity and quality in life cycle assessment", Journal of Cleaner Production 8, pp. 321~331. (2000).
9. Gartner, S. O., Reinhardt, G. A., and Braschkat, J., "Life cycle assessment of biodiesel: update and new approach", Institute for Energy and Environmental Research (IFEU): Heidelberg, Germany. (2003).
10. Heller, M. C., Keoleian, G. A. and Volk, T. A., "Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system", Biomass and bioenergy 25, pp. 147~165. (2003).
11. NIAES, "Life Cycle Assessment for Environmentally Sustainable Agriculture", Report on the Environmental Research Project, NIAES (National Institute for

- Agro-Environmental Sciences), Ibaraki, Japan. (2003).
12. Kye, B.M. and Min, K.S., "Field Trial for proper application of NPK for barley", Research Project Report in 1969(Field Crop), RDA, pp. 978~987. (1969).
  13. Kye, B.M. and Lee, J.I., "Field Trial for proper application of NPK for rapeseed cropping after rice harvest", Research Project Report in 1968: Special Crop, RDA, pp. 878~908. (1969).
  14. Kye, B.M. and Lee, J.I., (1969b) "Field Trial for proper application of NPK for rapeseed cultivation in upland", Research Project Report in 1968: Special Crop, RDA, pp. 909~938. (1969).
  15. Koga, N., Sawamoto, T., Tsuruta, H., "Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan", Soil Science & Plant Nutrition, 52, pp. 564~574. (2006).
  16. Koga, N., Tsuruta, H., Tsujia, H., Nakano, H., "Fuel consumption-derived CO<sub>2</sub> emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan", Agriculture, Ecosystems & Environment, 99, pp. 213~219. (2003).
  17. Goedkoop, M., Spriensma, R., "The Eco-indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment", Methodology report, PRe, Amersfoort. (2001).
  18. Goedkoop, M., "The Eco-Indicator 95, Final report", National Reuse of Waster Research Programme, Pre Consultants, Amersfoort. (1995)
  19. Lee, I.G., "Status and outlook of chemical fertilizer", Symposium on development of the fertilizer industry for environmental-friendly agriculture practice. (2010).
  20. Flynn, H.C. and Smith, P., "Greenhouse gas budgets of crop production – current and likely future trends", International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France. (2010).
  21. Udo de Haes, H.A., and Joliet, O., "How does ISO/Dis 14042 on life cycle impact assessment accommodate current best available practice?", Int. J. LCA, 4(2) pp. 75~80. (1999).
  22. Tsuruta, H., "Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields", 17th World Congress of Soil Science, 14–21 August 2002, Thailand. (2002).