

## 겨울 유채의 환경성 평가를 위한 전과정평가(LCA) 방법론

남재작\* · 옥용식<sup>1)</sup> · 최봉수<sup>1)</sup> · 임송택<sup>2)</sup> · 정용수<sup>3)</sup> · 장영석<sup>4)</sup> · 양재의<sup>1)</sup>

\*농촌진흥청 농업과학기술원, <sup>1)</sup>강원대학교 자원생물환경학과, <sup>2)</sup>고려대학교 식품자원경제학과,  
<sup>3)</sup>영광군 농업기술센터, <sup>4)</sup>농촌진흥청 작물과학원 목포시험장  
(2008년 6월 4일 접수, 2008년 6월 24일 수리)

### Methodology of Life Cycle Assessment (LCA) for Environmental Impact Assessment of Winter Rapeseed in Double-cropping System with Rice

Jae Jak Nam\*, Yong Sik Ok<sup>1)</sup>, Bong Su Choi<sup>1)</sup>, Song Tak Lim<sup>2)</sup>, Yong Su Jung<sup>3)</sup>, Young Seok Jang<sup>4)</sup>, and Jae E. Yang<sup>1)</sup> (Department of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, <sup>2)</sup>School of Food and Resource Economics, Korea University, Seoul 136-701, Korea, <sup>3)</sup>Yeonggwang Agricultural Technology Center, Yeonggwang 513-842, Korea, <sup>4)</sup>Mokpo Experiment Station, NICS, RDA, Muan 534-833, Korea)

**ABSTRACT:** Life cycle assessment (LCA) is acknowledged as a valuable tool to quantify the environment impact of agricultural practice as well as final product (biodiesel) considering whole life cycle of the target product. As a preliminary research of LCA study for rapeseed (*Brassica napus*L.) biodiesel, the methodological issues which have to be regarded with high priority were dealt with. No life cycle inventory (LCI) based on local data are currently available for LCA of rapeseed cultivation, crushing, and conversion to rapeseed methyl ester (RME) in Korea. In this paper, the life cycle of rapeseed and methodological factors which have to be measured for building LCI of each process are provided and discussed, which are including seed, fertilizer, energy use in rapeseed cultivation environment; and crushing, RME conversion, and transportation in biodiesel production.

**Key Words:** Biodiesel, Double-cropping, Environmental impact assessment, Life cycle assessment, Rapeseed

### 서론

에너지 가격 상승과 대기오염 문제, 그리고 온실가스 배출을 감축시키고자 하는 노력은 재생 가능한 바이오에너지에 대한 관심을 크게 불러일으키고 있다. 우리나라에서는 식량 작물과 경합 없이 재배가 가능한 겨울 유채(*Brassica napus* L.)가 바이오에너지 생산을 위한 핵심 작물로 주목 받고 있다. 유채를 원료로 한 바이오디젤의 경우 지방산 메틸 에스테르(Fatty acid methyl esters, FAMES)의 조성이 우리나라 겨울철 기온 조건에 적합하고, 부가적으로 유채꽃에 의한 농촌관광 활성화, 벌꿀 생산 등과 같은 경제적 가치를 가지고 있을 뿐만 아니라, 바이오디젤 연료 사용에 의한 대기오염 경

감 등과 같은 환경 편익도 제공하는 것으로 평가 받고 있기 때문이다<sup>2)</sup>. 미국 환경청(US EPA)의 연구보고서에 따르면 바이오디젤을 20% 함유한 BD20을 연료로 사용하는 경우 질소화합물(NO<sub>x</sub>)의 배출은 2% 가량 증가하였으나 미세먼지(PM)는 10%, 탄화수소(HC)는 21%, 그리고 일산화탄소(CO)는 11% 감소하는 효과가 있는 것으로 나타났다<sup>3)</sup>.

우리나라 정부에서는 기존의 겨울 보리를 대체하기 위한 작물로서 유채의 가능성에 주목하고 2007년 겨울부터 3년간 전국 1,500 ha에서 유채재배 시범사업을 실시하고 있다. 시범사업 지역은 전라남도, 전라북도 및 제주도에 각 500 ha씩 할당되었으며, 재배농가에는 정부 보조금 170 만원/ha이 지원되며 지방자치단체에 따라 자체보조금을 지원하는 경우도 있다. 농촌진흥청에서는 현재 유채 재배의 경제성을 확보하기 위한 품종개량 연구와 함께 유채 재배기술 개발, 기계화 연구 및 벼-유채 이모작 체계의 확립을 위한 연구와 유채-바이오디젤의 경제성 분석을 진행하고 있다.

\*연락처:  
Tel: +82-31-290-0231 Fax: +82-31-290-0206  
E-mail: jjnam@rda.go.kr

유채 재배는 그 자체만으로는 경제성이 부족한 것으로 평가되었지만, 환경 개선, 에너지 안보, 농촌관광자원 개발 및 보리 대체작물로서의 농가소득 안정 등 공익적 측면에서의 편익이 발생하는 것으로 분석된바 있다<sup>4,5)</sup>. 이와는 별도로 유채의 경제성 향상을 위한 연구에서 유채꽃을 이용한 벌꿀의 생산과 유채박을 바이오가스 원료로 사용함으로써 유채의 경제성과 환경성을 향상 할 수 있는 것으로 평가되었다<sup>6)</sup>. 우리나라에서 겨울 유채가 대체에너지의 하나로 자리잡기 위해서는 환경영향 및 비용편익에 대한 정량적 분석이 필요하다. 정부의 지원정책은 유채시범사업을 통해 얻어진 연구결과에 크게 좌우될 것이기 때문이다.

유채재배의 환경성 평가에는 먼저 재배과정, 비료 및 농기계용 연료사용, 착유과정 및 바이오디젤 제조 공정 전반에 걸쳐 이루어져야 한다. 이를 위해서는 각 단계별 물질수지 분석과 토양 및 생태계 영향 평가도 필수적이다. 그리고 이러한 결과를 휴경, 보리재배 등과 비교 평가할 수 있는 정량적 평가 도구의 도입도 요구되고 있다. 이 평가에는 유채재배, 바이오디젤 제조공정을 포괄하는 전과정(life cycle)에 대한 환경성 평가를 실시하는 것이 중요하다.

전과정 평가(life cycle assessment, LCA) 개념은 1960년대 말에 처음 도입된 이래로 공산품의 환경성 평가(environmental evaluation)에 광범위하게 사용되어 오고 있으며<sup>7)</sup>, 최근에는 바이오에너지의 환경성 평가와 농업 작부체계 및 유기농업과 같이 영농방법의 환경성 평가 분야에서도 활발히 이용되고 있다<sup>8-11)</sup>. 환경영향 평가(environmental impact assessment, EIA)를 이용한 환경성 평가 방법과의 차이점은, EIA에 기반한 환경성 평가가 시간적, 지역적 상황과 기존의 오염상태를 고려한 다양한 환경영향에 대해 포괄적인 분석을 통하여 의사결정을 지원하는 수단인 반면에, LCA에 바탕을 둔 환경성 평가는 시간적, 지역적 독립성을 가지며 생산시스템의 전과정을 포괄하는 환경영향 평가 도구이다<sup>12)</sup>. 이러한 차이점 때문에 EIA와 LCA는 각기 다른 분야의 과학자들에 의해서 발전되었고, 서로 다른 규정 및 법률에 따라 적용되기도 하였다. 1980년대 말부터 연료작물의 재배, 에너지화 공정 및 바이오 연료의 사용 분야에 이르기까지 전과정의 환경성을 평가하는 분야에 있어서는 EIA에 기반한 환경성 평가보다는 LCA를 이용한 환경성 평가 방법이 폭넓게 사용되고 있다<sup>1,12-15)</sup>.

본 논문에서는 겨울 유채의 환경성 평가를 위해 필요한 조사 및 분석 항목들에 대한 국내외 연구결과들에 대해 고찰하고, 우리나라 농업 환경에 적용하기 위한 방법론을 제시하고자 하였다. 또한, 이러한 평가항목들에 대한 객관적인 평가값을 제공하기 위해 전과정 평가 방법을 도입하는 방안에 대해 논의하고, 겨울 유채의 환경성 평가에 필요한 전과정 평가 구성 요소들에 대한 방법론적 접근을 시도하였다.

## 유채 재배환경 분석

유채재배 환경성 평가에 있어서 투입되는 농자재, 토양의

질에 미치는 영향, 탄소 및 질소 수지, 그리고 온실가스(주로  $N_2O$ )의 배출 평가가 중요하다. 이외에도 농작업에 사용되는 농기계 사용시간과 수확 후 건조 및 운송에 들어 가는 에너지의 분석이 요구된다. 현재 유채 시범사업은 유채종자를 생산하여 착유과정을 거친 후 바이오디젤로 전환하여 수송용 연료로 사용하는 것을 목표로 하고 있다. 하지만 유지작물을 이용하여 최초로 인증된 CDM(Clean Development Mechanism, 청정개발체제) 방법론의 경우 유지작물을 생산한 후 착유하여 바로 수송용으로 사용하는 경로를 택하고 있다<sup>6)</sup>. 그러므로 유채의 전과정을 어떻게 결정하느냐 역시 환경성과 경제성을 결정하는 중요한 문제이므로 다방면에서의 고려가 필요할 것이다.

## 유채종자

현재 유채의 파종량은 1 kg/10a를 추천하고 있으나 대부분의 농가에서는 0.5~3.0 kg/10a의 종자를 실제 파종하고 있다. 유채의 파종량은 입모율, 파종시기 등을 고려하여 결정되고 있으나, 지역 및 농가 별로 약간의 차이가 있는 것으로 판단된다. 유채종자의 가격은 10,000 원/kg 정도로 유채수매 가격인 350 원/kg에 비해 30배 이상이다. 그러나, 실제 LCA 평가과정에서는 프로그램의 특성상 유채재배에 사용되는 종자의 양이 LCA 결과 값에 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다. 그 이유는 유채 종자의 경우 채종포에서 별도 생산되지만 농가의 유채재배 환경과 유사한 환경에서 재배되기 때문이다.

## 시비량

시비량은 토양의 비옥도와 토성에 따라서 다르므로 지역별 표준시비에 준하되 재배지의 토질에 맞추어서 결정하는 것이 중요하다. 현재 유채포장을 확보하고 있는 전라남도 영광군 영광기술센터의 경우 인산과 칼리는 전량 기비로 하고 질소는 기비 35~40%, 추비 60~65%로 나누어서 사용하도록 제안하고 있으며, 기비로 60 kg/10a(N-P-K=18-16-9)를 사용한다. 그리고, 유채는 월동직후 추대와 함께 급속한 영양생장을 하므로 이 시기에 추비로 1~2월경 16 kg/ha, 3월 중하순경 2.3 kg/ha의 질소비료를 사용하도록 추천하고 있다. 총 시비량은 질소 기준 291 kg/ha로 벼 또는 타 밭작물의 시비량과 유사한 수준으로 판단된다. 한편 붕소 함량이 낮은 사질계 토양에서는 붕사 20 kg/ha 사용이 유채 수량을 증대시켰다고 보고도 있다<sup>17)</sup>. 현재까지 우리나라에서는 비료생산과 관련된 LCI(Life Cycle Inventory)는 없는 실정으므로 국내 자료를 생산하기 전까지는 외국 자료를 활용해야 하는 실정이다.

유채재배 후 벼의 이앙 적기는 지역에 따른 차이는 있지만 6월 하순경이며, 표준 시비량은 논의 경우 N-P-K=14-10-10 kg/10a이며, 밭은 경우는 N-P-K=10-8-8 kg/10a이다. 그러나 벼-유채 이모작 작부체계에서는 전작물(前作物) 효과에 대한 시비량 변경을 고려해야 한다. 현재 벼의 경우 표준시비량에서 30% 감비(減肥)하는 것을 추천하고 있다.

비료의 사용량은 LCA 결과에 큰 영향을 미친다. 유채재배 기간 중에 사용된 비료와 유채 수확 후의 잔유물(유채대, 뿌리)의 영향으로 토양에는 유채재배 후 상당량의 영양분이 잔류하게 된다. 우리나라에서는 유채재배 논의 경우 벼 재배 시 비료 시비량을 30% 가량 줄이는 것을 추천하고 있지만 현재까지 유채재배 논에서 유채 잔유물의 무기화율, 토양 유기물 축적에 대한 분석을 수행한 국내 연구결과는 전무한 실정이다. LCA 과정에서도 비료 절감량은 중요한 항목이며 또한 외국의 자료를 재배환경과 기후조건이 다른 우리나라에 그대로 적용하기에는 상당한 오차를 동반할 것으로 판단되므로 사용에 주의가 요구된다.

**유채 재배**

유채의 파종 시기로는 10월 중·하순경 벼 수확 직후를 추천하고 있으며 파종시기는 유채의 월동 안정성에 중요한 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 그러므로 가능한 조기에 유채를 파종하는 것이 유채의 입모율과 초기생육에 유리한 것으로 판단하고 있다. 유채는 10월 중·하순경에 파종하여 월동하며 이듬해 봄인 4월에 개화를 하고 5월중에 결실 및 등숙기를 거쳐 6월 중순에 수확한다(Fig. 1). 한편 유채는 다른 식물들과 달리 꼬투리가 신장하면서 광합성 활동을 하던 잎이 떨어지기 시작하고 꼬투리의 표피가 광합성을 대신하는 특성을 갖는다. 생육후기의 꼬투리와 줄기에서는 총 광합성량이 증가하여 등숙 중기에는 그 비율이 76%에 달하고, 등숙이 진행 될 수록 증가한다<sup>18)</sup>. 그리고 꼬투리의 위치가 광 흡수에도 유리하며, 표면적이 넓어 상대적으로 높은 광합성 효율을 갖는 것으로 판단된다. 따라서 국내 유채의 종실생산을 증대시키기 위해서는 단위면적당 꼬투리수의 증대가 중요한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

지금까지 우리나라에서 재배되었던 미유기, 아사히 등의 도입품종과 유달, 목포 11호 등의 장려품종은 문제가 되는 지방산인 Erucic acid가 20~30%로 다량 함유되어 있어 유채유의 품질을 저하시켰다. 그 후 1980년대에 육성된 탐라, 한라 등의 장려품종은 불량지방산인 Erucic acid를 함유하지 않으며, 깻묵을 가축사료로 이용할 때 독성물질로 작용하

는 Glucosinolate가 적게 들어 있는 무독박을 생산할 수 있게 되었다. 2000년대 들어 새로이 육성한 유채 품종인 선망의 경우 최대 성장하였을 때 초장의 길이는 145 cm 정도이며, 10a당 건물기중의 바이오매스 생산량은 유채종실 350 kg, 기타부위 696 kg으로 조사되었다. 이는 보리에 비해서는 2배 가량 바이오매스의 생산량이 많고, 밀과는 유사한 수준이지만, 옥수수, 고구마, 아주까리에 비해서는 50-70% 수준이다.

유채재배에 사용된 에너지를 분석하기 위해서는 표준농기계를 이용하여 농작업에 소요되는 표준작업 시간을 산출하고 이를 통한 연료 사용량의 계산이 필요하다. 농기계는 경운, 파종, 그리고 수확 시기에 주로 사용되며, 수확 후 건조작업에는 건조기가 사용된다.

**유채 수확**

유채의 수확은 5월 하순에서 6월 중순까지 행해진다. 수확과정에서 유채 뿌리와 줄기는 토양에 환원되고 종실만을 수확한다. 수확량은 200~450 kg/10a 범위에 있으나 월동조건과 입모율에 따른 영향을 많이 받는다. 유채 종실의 수확량과 종실 중 유지함량, 그리고 착유과정 후 남은 유채박의 활용도도 유채의 환경성을 평가하는데 있어서 중요한 항목이다. 종실 중 지방산의 비율은 45% 내외이며 품종에 따른 약간의 차이가 있다. 유채박은 주로 사료원료로 사용되며 일부는 퇴비원료로 사용되기도 한다.

국내에서 바이오디젤 원료의 안정적인 공급을 위해 유채 재배면적을 확대 시키기 위해서는 답리작 월동재배가 유리하지만 벼-유채재배와 같은 이모작의 경우 유채의 수확기가 벼 이앙시기와 맞물려 벼 이앙이 늦어지는 경우 벼의 수량감소를 가져온다. 이러한 단점을 줄이기 위해서는 유채 수확시기를 앞당기면서 유채의 수량이 저하되지 않도록 조숙성 품종 개발이 무엇보다 필요하다.

재래종 유채에서는 바이오디젤용 유채가 반드시 함유하고 있어야 하는 Oleic acid 함유량이 매우 낮았다. Oleic acid는 추운 겨울에도 견딜 수 있는 내한성 물질로 차량의 부동액 역할을 하는 것이다. 바이오디젤용 Oleic acid를 다량 함유한 조숙성의 품종 개발은 380~400 kg/10a 정도까지 수량

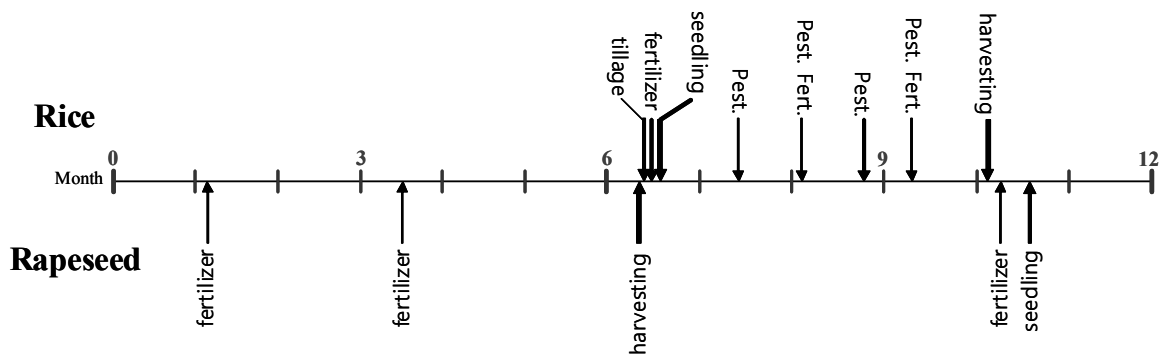


Fig. 1. The life cycle of rice-rapeseed double-cropping system.

증가를 가능하게 하여 바이오디젤 원료 생산원가를 절감하는 효과를 가져온다. 최근 보급되고 있는 선망 품종은 생산성이 400 kg/10a으로 유럽 품종에 버금가는 것으로 나타났다. 특히 선망 품종은 Oleic acid를 68%이상 함유하고 있고 이는 독일 품종 (68%), 프랑스나 스위스 품종(63%)에 비해 품질 면에서 전혀 뒤떨어지지 않는 것으로 나타났다.

**유채의 전과정 평가방법론**

유채의 환경성 평가를 위한 전과정 평가에서는 경유 제조 공정을 기준으로 환경성을 비교 평가하는 것이 일반적으로 받아들여지고 있는 방법이다. 유채에 대한 전과정 평가를 위해서는 유채재배, 착유공정, 바이오디젤 전환공정, 및 각 공정간 운송에 대한 분석이 이루어 져야 한다.

**유채-바이오디젤의 전과정 평가**

유채-바이오디젤(rapeseed oil methyl ester, RME)은 디젤연료에 비해 화석에너지 보존과 온실가스 배출감소 면에서는 유리한 것으로 평가되고 있으나 산성화, 토양 및 수계의 양분유입, 오존층 고갈 측면에서는 디젤에 비해 다소 불리할 것으로 예측되고 있다<sup>6)</sup>. IFEU의 보고서에 따르면 유채의 LCA 평가는 4가지 측면에서 다루어지고 있는데 전작물의 영향, 아산화질소의 배출, 벌꿀 생산, 유채박으로부터 바이오 가스 생산 등을 고려하였다<sup>6)</sup>.

유채재배의 전과정의 비교를 위한 기준 시스템으로 광유를 원료로 하는 디젤과 비교하는 것이 일반적이다(Fig. 2).

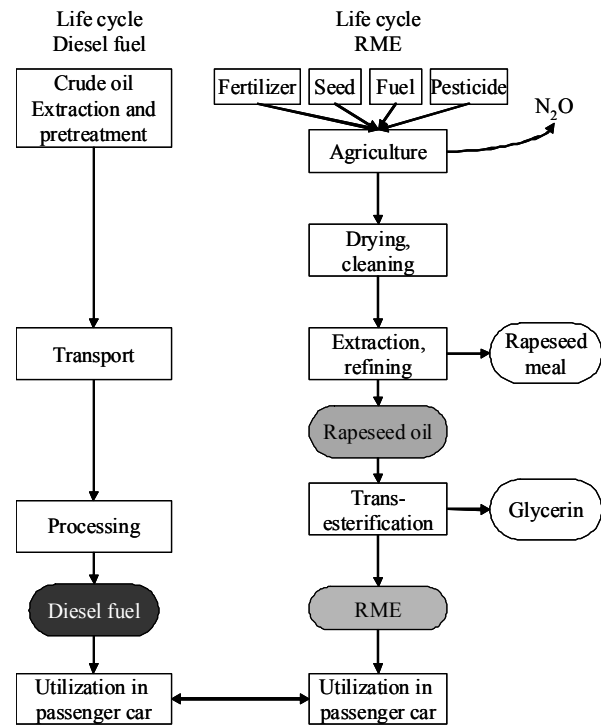


Fig. 2. Comparison of diesel and biodiesel system (adapted from Gartner et al., 2003).

현재 디젤에 대한 LCI는 우리나라에서 구축이 되어 있으며, 유채재배에 대한 전과정 분석은 이루어지지 않았다. 디젤과 유채유 바이오디젤의 전과정에 관한 모식도는 Fig. 2에 나타내었다. 유채재배는 비료, 농약, 종자, 그리고 경작을 위해 사용되는 농기계의 연료 등이 투입요소이며, 재배과정 중에 발생하는 아산화질소(N<sub>2</sub>O)의 대기 중 방출이 있다. 유채 수확 후에는 건조와 정제과정을 거쳐 착유과정을 통해 유채유가 생산되며 부산물로 유채박이 생산된다. 유채유는 메틸 에스테르화 반응을 거쳐 바이오디젤로 전환되는데 이때 글리세린이 부산물로 발생하게 된다. 글리세린 역시 다른 산업의 원료 물질로 사용되고 있다. 생산된 바이오디젤은 경유와 혼합하거나 그 자체로 자동차나 농기계의 원료로 사용될 수 있다.

경유에 대한 LCI는 국내에서 생산된 것을 사용할 수 있지만, 유채재배와 바이오디젤 전환공정 등에 대한 LCI는 새롭게 작성될 필요가 있다. 먼저 유채재배과정, 건조, 정선 과정 등 원료생산 공정에서의 LCI와 착유 및 바이오디젤 합성 공정의 LCI 자료의 생산이 유채재배의 LCA를 위해서 기본적으로 필요하다.

**바이오디젤 전환 공정**

유채유의 바이오디젤 전환 공정은 세부적으로는 각 공장마다 약간씩의 차이는 있지만 일반적으로 Fig. 3과 같이 도식화 할 수 있다. 바이오디젤 생산 공정에는 주원료인 유채유, 메탄올/에탄올 (메틸 에스테르화 반응의 기질로 사용됨), 그리고 촉매로 NaCl/KCl이 사용된다. 메틸에스테르화 반응은 주로 60-70℃에서 이루어지며, 물을 이용하여 촉매로 사용된 염을 정제하고 반응하지 않은 과량의 메탄올을 회수한다. 유지의 바이오디젤 전환율은 1시간 이내에 93~98%로 매우 안정적인 것으로 평가되고 있다<sup>9)</sup>. 바이오디젤의 전환율은 식 (1)로 분석된다.

$$Conversion(\%) = \frac{\text{moles of biodiesel}}{\text{moles of oil} \times 3} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

유채유의 바이오디젤 전환공정에 대한 전과정분석에 대한 개략도는 Fig. 4에 나타내었다. 투입물로는 유채유, 메탄올, 촉매, Mineral Acid 등이 직접원료로 사용되며 있으며, 보

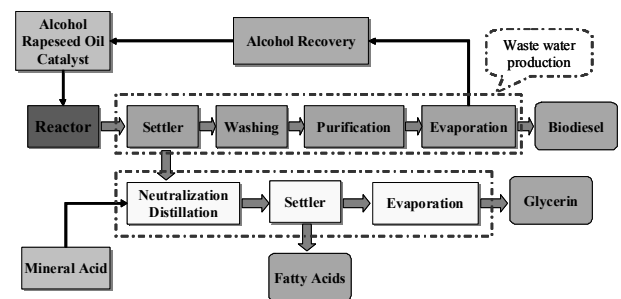


Fig. 3. Conventional biodiesel synthesis process.

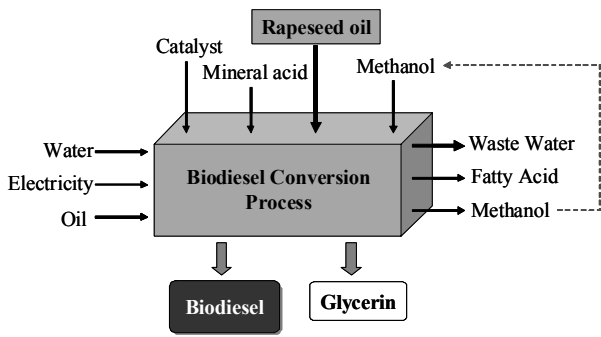


Fig. 4. Overview of life cycle analysis of rapeseed oil to biodiesel conversion process.

조 투입물로는 플랜트의 운전을 위한 에너지원으로 사용되는 유류와 전기와 냉각 및 세척에 사용되는 용수가 있다. 산출물로는 바이오디젤과 글리세린이 있다. 폐기물로는 폐용수와 지방산이 있는데 지방산의 경우 재사용이 가능하므로 산출물로 잡을 수도 있다. 메탄올의 경우 과량 첨가되어 반응하지 않은 것은 회수하여 재사용한다.

**유채의 착유 공정**

현재 우리나라에서 유채유를 바이오디젤 원료로 사용하기 위해 전문적으로 착유하는 시설을 가동하고 있는 곳은 없다. 착유 방식으로는 기계적 추출방법(mechanical extraction method)과 용매추출방법(solvent extraction method)이 사용되고 있는데, 미국의 경우 대부분은 용매추출 방식이 사용되고 있다<sup>13)</sup>. 착유공정에 대한 전과정 항목들은 Fig. 5에 나타내었다. 착유공정의 투입물로는 유채, 산출물로는 유채유, 유채박이 있다. 공정 중 에너지와 용매 회수를 위해 증기가 사용되며 이 과정에서 폐수가 발생한다. 국내에서 바이오 연료를 생산하기 위한 목적으로 가동 중인 착유시설은 아직 없다. 하지만 국내에도 바이오 연료 생산 목적의 착유시설이 조만간 완공될 예정이므로 이에 대한 분석이 우선적으로 실시되어야 할 것이다.

**운송**

유채재배 농가에서 유채를 수확 후 수매, 착유, 그리고 바이오디젤 생산 공장으로 이송에 대한 분석이 운송에 들어가는 에너지를 분석하는데 필요하다. 착유 시설은 현재 전라북도 정읍에서 건설 중에 있는데, 유채 산지로부터 착유시설까지의 운송거리를 분석하기 위한 모델의 개발이 필요하다. 분석을 단순화하기 위해서는 각 농가에서 수매 시설까지의 운송은 재배과정에 포함시키고, 수매 후 집산지로부터 착유시설까지 운송을 착유공정 운송 거리로 하는 것이 타당할 것이다. 이를 바탕으로 각 지역별 생산량을 고려하여 평균 운송거리를 산출하고, 이를 바탕으로 최종산출물인 유채유 바이오디젤의 kg당 운송에 소요되는 평균 에너지를 산출하는 것이 타당한 방법으로 판단된다.

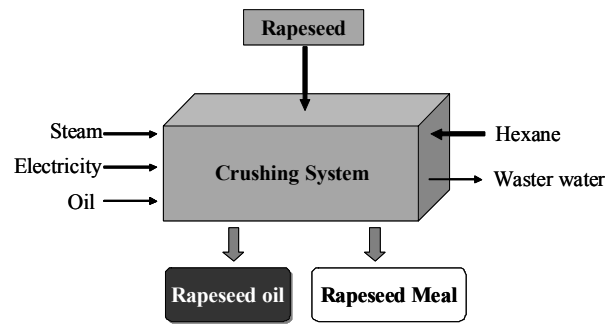


Fig. 5. Rapeseed crushing system description.

착유시설로부터 바이오디젤 제조 공장까지의 운송거리 분석은 비교적 간단한데, 이는 착유시설과 바이오디젤 생산 공장으로의 경로가 단순하고 수량의 파악도 용이하기 때문이다. 현재 우리나라에서는 운송과 관련된 국가 LCI 데이터베이스가 만들어져 있다. 하지만 유채유의 수송의 경우 운송수단이 화물수송을 고려한 국가 LCI 자료와는 차이가 있을 수 있으므로 민감도 분석을 통한 수송의 영향을 고려하여 필요시 각 목적에 부합하는 환산계수의 적용도 고려해 볼 수 있을 것이다.

**결 론**

본 논문에서는 국내 자료를 기반으로 한 유채의 환경성 평가를 수행하기 위한 LCA 방법론과 그에 따라 수반되어야 할 우선적인 분석항목들에 대해 살펴보았다. 분석결과 일부 LCA 평가항목들에 대한 기반 조성이 국내에서도 진행되고 있기는 하지만 농업분야에서는 이용 가능한 자료들이 많이 부족할 실정이다. 우선적으로 외국의 LCI 자료를 이용한 LCA 분석을 고려해 볼 수 있지만, 이는 국내 생산환경과 규모가 전혀 다르다는 것을 감안한다면 합리적인 결과를 도출해 내기는 어려울 것이다. 그러므로 우선적으로 본 논문에서 제기된 항목들에 대한 조사 및 분석이 필요하다. 그러나 국내 자료의 생산이 쉽지 않거나, 외국의 자료를 사용하여도 큰 차이가 발생하지 않을 항목들에 대해서는 외국의 가장 근사한 자료를 이용하는 것도 하나의 대안이 될 수 있다. 이런 경우 반드시 민감도 분석을 실시하여 LCA 전체 결과에 미치는 영향을 분석하고, 이를 통하여 합리적인 추론이 가능하도록 하는 것이 중요하다.

LCA는 바이오 연료 작물의 환경성을 평가하는데 있어서 폭넓게 받아들여지고 있는 방법론으로 인정받고 있으며, 그 활용 범위도 점차로 넓어지고 있다. 특히나 농업분야와 같이 생산과정이 단순하지 않고 투입되는 원료가 다양하여 환경성을 평가하기가 쉽지 않은 분야에 있어서는 그 중요성이 더욱 커져가고 있다. 국내에서도 관련분야의 연구가 활성화 되고 이용 가능한 LCI가 확충될 수 있도록 많은 연구와 투자가 필요할 것이다. 이를 통해 농업 생산활동 방법간의 환경성을 평가하는 합리적인 척도를 제공 할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

## 사 사

본 연구는 2008년 농촌진흥청 농업과학기술개발공동연구 사업 '유채재배 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 환경성 및 경제성 평가 연구'의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Shapouri, H., Graboski, M. and Tyson, K. S. (2000) An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles; NREL/TP-580-24772, National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).
2. 장영석 (2007) 바이오 에너지 유채의 연구개발 현황 및 추진방향. *농어촌과 환경*, pp 90-104.
3. U.S. Environmental Protection Agency (2002) Comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions: Draft Technical Report; Report No. EPA420-P02-001; October.
4. 배정환 (2006) 바이오연료의 보급전망과 사회적 비용-편익 분석; 수시연구보고서 06-04, 에너지경제연구원.
5. 강희찬 (2007) 한국형 바이오 연료의 가능성 평가 및 시사점 - 비용/편익 분석을 중심으로, 삼성경제연구소.
6. Gartner, S. O., Reinhardt, G. A., and Braschkat, J. (2003) Life cycle assessment of biodiesel: update and new approach; Institute for Energy and Environmental Research (IFEU): Heidelberg, Germany.
7. Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B. T., Schmidt, A., Christiansen, K., Eikington, J. and van Dijk, F. (1997) Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources; European Environmental Agency.
8. Brentrup, F., Katers, J., Kuhlmann, H. and Lammel, J. (2001) Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers, *Eur. J. Agron.* 14, 221-233.
9. Casey, J. W. and Holden, N. M. (2005) Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system, *Agr. Syst.* 86, 97-114.
10. Cowell, S. J. and Clift, R. (2000) A methodology for assessing soil quantity and quality in life cycle assessment, *J. Clean. Prod.* 8, 321-331.
11. Heller, M. C., Keoleian, G. A. and Volk, T. A. (2003) Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system, *Biomass Bioenerg.* 25, 147-165.
12. Tukker, A. (2000) Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment, *Environ. Impact Assess. Rev.* 20, 435-456.
13. Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, H. (1998) Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus; NREL/TP-580-24772, National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).
14. Rafaschieri, A., Rapaccini, M. and Manfrida, G. (1999) Life Cycle Assessment of electricity production from poplar energy crops compared with conventional fossil fuels, *Energ. Convers. Manage.* 40, 1477-1493.
15. Kim, S. and Dale, B. E. (2005) Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel, *Biomass Bioenerg.* 29, 426-439.
16. CDM-Excutive Board (2007) Plant oil production and use for transport applications; CDM - Excutive Board: p 7.
17. Park, N. J., Lee, K. H. and Park, C. S. (1971) The effect of boron on rape with application of lime and compost, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 4, 143-147.
18. Inanaga, S. and Kumura, A. (1974) Studies on matter production of rape plant (*Brassica napus* L.): I. Changes with growth in rates of photosynthesis and respiration of rape plant population, *Jpn. J. Crop Sci.* 43, 261-266.
19. Hong, Y. K. and Hong, W. H. (2007) Biodiesel production technology and its fuel properties, *Korean Chem. Eng. Res.* 45, 424-432.