

# 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르와 식물유 지방산 메틸에스테르의 전과정 환경영향 비교

안중우, 양인목, 최아란, \*임대재, \*\*조봉규, \*\*조영주  
성신여자대학교, \*이맥바이오, \*\*폐금속·유용자원 재활용기술개발사업단

A study on the environmental impact comparison of recycled fatty acid methyl ester from high acid value waste oil and vegetable oil fatty acid methyl ester

Joong Woo Ahn, Inmog Yang, Aran Choi, \*Daejae Im,  
\*\*Bong Gyoo Cho, \*\*Youngju Cho  
Sungshin Women's University, \*Emacbio, \*\*R&D Center for Valuable Recycling

## Abstract

This study has been conducted to evaluate environmental values of high acid value waste oil recycling technology and suggest improvement directions of the recycling technology. As the result of comparing with vegetable oil fatty acid methyl ester(FAME), total environmental impact of recycled FAME showed 96% of vegetable oil FAME. When considering each impact category, environmental impacts of recycled FAME appeared to 54%, 15%, 99% of resource depletion, global warming, and human toxicity. Reducing water usage and recycling waste water can lower the environmental impact of recycling process.

## 1. 서론

폐유지는 치킨집, 식품가공 공장, 군부대, 학교, 집단 급식소 등에서 대량으로 배출되는 폐식용유와 식용유 정제과정에서 발생하는 식용유 부산물로 연간 46만 톤 이상 발생되고 있는데 60% 이상이 소각 처리<sup>1)</sup> 되고 있다. 폐유지 중 저산가 폐유지는 지방산 메틸에스테르(바이오디젤), 동물의 사료 첨가제 등의 용도로 재활용되고 있으나, 고산가 폐유지(AV 5~180mg KOH/g)는 대부분이 소각 처리되고 있는 실정<sup>2)</sup>이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 동·식물류 폐자원 중 특히 고산가 폐유지의 모노머화를 통한 자원순환기술이 개발되고 있는데, 이 기술은 고산가의 폐식용유, 식용유 부산물, 바이오디젤 부산물 유분 등을 활용하여 전처리 공정, 포화·불포화분 분리공정 및 중합공정을 통하여 고순도의 다이머산 메틸에스테르로 재활용하는 것이다.<sup>3)</sup> 특히, 고순도 다이머산 메틸에스테르를 사용하여 폴리에스테르, 폴리우레탄, 폴리아마이드 및 폴리아크릴레이트 등의 고부가 바이오폴리머를 제조하는 연구를 포함하고 있으며 다이머산 메틸에스테르는 코팅제, 접착제, 윤활유 등 다양한 용도로 활용할 수 있어 향후 수요 증가가 예상된다.

본 연구는 현재 개발 중인 고산가 폐유지 재활용 기술에 의해 재생되는 지방산 메틸에스테르와 신재인 식물류로 제조한 지방산 메틸에스테르의 환경영향을 비교하기 위해 수행되었다. 지방산 메틸에스테르는 고산가 폐유지 모노머화 기술의 최종 성과물인 다이머산 메틸에스테르를 제조하기

위한 중간재이다.

## 2. 재생재 전과정평가 수행

### 2.1 목적 정의

본 전과정평가는 현재 연구 개발 중인 고산가 폐유지 재활용 기술에 의해 재생되는 지방산 메틸에스테르의 환경영향을 파악하고, 재생 자원과 신재의 환경영향 비교를 통해 재생 자원의 환경적 가치를 평가하기 위하여 수행되었다.

### 2.2 범위 정의

#### 2.2.1 기능 및 기능단위 설정

본 전과정평가의 기능, 기능단위 및 기준흐름은 Table 1과 같다.

Table 1 재생 지방산 메틸에스테르의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분 \ 제품명	재생 지방산 메틸에스테르
기능	다이머산 메틸에스테르 제조를 위한 중간재
기능단위	재생 지방산 메틸에스테르 무게
기준흐름	재생 지방산 메틸에스테르 1,000kg

#### 2.2.2 시스템경계

일반적으로 재활용을 위해서는 재생 공정을 진행하기 전에 수집, 운송, 선별 공정이 필요하다. 본 연구의 대상 기술은 현재 개발 단계이기 때문에 본 연구의 시스템경계를 관련 데이터 수집이 가능한 재생 공정만으로 설정하였다.

#### 2.2.3 가정 및 제한 사항

본 연구에서는 현재 개발 단계의 한계로 인해 수집할 수 없는 데이터에 대해서 관련 기술 전문가의 자문과 검토 등을 통해 물질수지를 도출하였다. 원료 물질인 폐유지는 폐기물인 점을 감안하여 환경부하를 제외하였다. 또한 촉매는 데이터가 부재하여 유사 데이터베이스를 사용하였으며, 산촉매와 산화안정제는 Chemicals inorganic DB를 사용하였다.

#### 2.2.4 할당

본 재활용 공정에서 부산물로 글리세린과 핏치, 두 가지가 발생하였기 때문에 중량을 기준으로 할당을 수행하였다.

## 2.3 전과정 목록분석

### 2.3.1 공정흐름도

수집된 물질 흐름을 근거로 공정흐름도를 작성하였다. 단위 공정은 전처리 에스테르 반응, 전처리 정제, 중합, 2차 정제의 4개로 구분하였다. 대상 재활용 기술에 따라 구분한 공정흐름도는 Figure 1에 나타내었다.

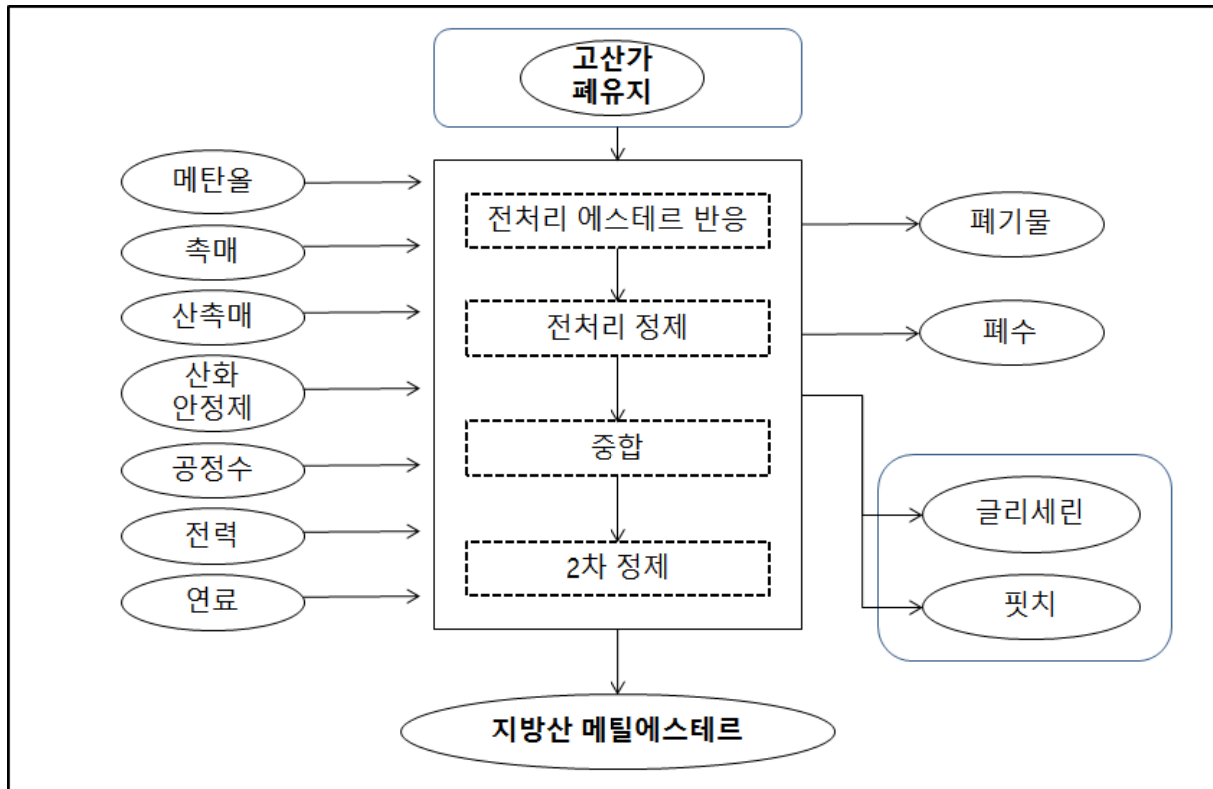


Figure 1 폐유지 재활용 공정 흐름도

### 2.3.2 데이터 수집 및 계산

#### 2.3.2.1 데이터 범주

본 연구의 데이터 범주는 원료물질, 보조물질, 용수, 에너지, 제품, 부산물, 대기배출물, 수계배출물 및 폐기물로 구분하였다.

#### 2.3.2.2 데이터 수집

데이터는 현장 데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 폐유지 재활용 기술을 개발하고 있는 대한민국 전라남도 순천시 소재 이맥바이오를 통해 2015년 현장 데이터를 수집하였다. 데이터 출처는 Table 2와 같으며, 데이터 값은 개발 중인 기술인 관계로 작성하지 않았다.

Table 2 폐유지 재활용 기술 데이터 출처

구분	물질명	용도	데이터 출처			비고
			실측	계산	추정	
투입	폐유지	원료	√			환경부하 “0”
	메탄올	원자재	√			
	촉매	촉매	√			
	산촉매	촉매	√			
	산화안정제	부자재	√			
	공정수	공정		√		
에너지	전기	공정		√		
	핏치(연료)	공정		√		제조 부산물
배출	재생 지방산 메틸에스테르	제품	√			
	글리세린	부산물	√			
	핏치	부산물	√			
	폐수	폐수		√		종말처리
	일반폐기물	폐기물		√		소각

원료물질, 보조물질, 에너지 등의 상위흐름 및 하위흐름의 연결을 위하여 LCI 데이터베이스를 활용하였으며 국내 LCI 데이터베이스는 환경부(메탄올, 용수, 폐수처리, 폐기물 소각)와 산업통상자원부(전기)에서 구축한 데이터베이스를 적용하였고, 해외 LCI 데이터베이스는 Ecoinvent에서 구축한 데이터베이스(촉매, 산촉매, 산화안정제)를 사용하였다.

## 2.4 전과정 영향평가

본 전과정 영향평가는 분류화, 특성화, 정규화 단계를 수행했으며, 특성화 값과 정규화 값은 산업부의 방법론을 적용하여 도출하였다.

### 2.4.1 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르 특성화 결과

폐유지 재활용 시 주요한 환경영향으로 나타난 물질은 원료물질로 투입되는 메탄올과 보조물질로 투입되는 촉매, 그리고 폐수처리로 나타났다. 메탄올은 산성화(28.5%)와 자원고갈(78.5%), 지구온난화(30.7%)에서 높은 영향을 나타내었다. 촉매는 오존층파괴(50.4%)와 산성화(31.6%), 지구온난화(25.3%)에서 높은 영향을 나타내었다. 폐수처리는 지구온난화(29.5%)와 인체독성(100%), 생태독성(100%)에서 높은 영향을 나타내었다. 물질에 의한 영향은 다음 <Table 3>과 [Fig. 2]에 나타내었다.

Table 3 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르 특성화 결과 값

영향범주	오존층 파괴	산성화	자원고갈	지구 온난화	부영양화	광화학 산화물생성	인체독성	생태독성
단위	kg CFC11	kg SO2	1/yr	kg CO2	kg PO4 <sup>3-</sup>	kg Ethylene	kg 1,4 DCB	kg 1,4 DCB
메탄올	8.44.E-07	1.27.E-01	1.70.E+00	4.43.E+01	1.34.E-02	3.21.E-03	1.39.E+00	1.76.E+01
촉매	2.05.E-05	1.41.E-01	1.17.E-01	3.65.E+01	1.05.E-02	6.68.E-03	1.31.E+01	1.61.E+04
용수	3.21.E-12	8.86.E-08	1.61.E-05	8.07.E-03	2.23.E-06	3.28.E-08	1.24.E-04	1.75.E+00
전기	1.76.E-09	4.27.E-03	8.84.E-03	2.53.E+00	7.97.E-04	1.89.E-04	7.93.E-03	1.14.E+00
산촉매	8.86.E-06	3.40.E-02	1.01.E-01	1.01.E+01	5.30.E-03	3.83.E-03	7.49.E+00	1.49.E+03
산화안정제	2.57.E-08	9.85.E-05	2.92.E-04	2.93.E-02	1.54.E-05	1.11.E-05	2.17.E-02	4.32.E+00
폐수처리	9.90.E-06	7.90.E-02	2.00.E-01	4.26.E+01	2.01.E+00	2.86.E-02	3.55.E+05	7.37.E+08
일반폐기물	5.77.E-07	5.99.E-02	3.87.E-02	8.21.E+00	8.16.E-03	9.75.E-04	9.83.E-01	1.25.E+03
합계	4.07.E-05	4.45.E-01	2.17.E+00	1.44.E+02	2.05.E+00	4.35.E-02	3.55.E+05	7.37.E+08

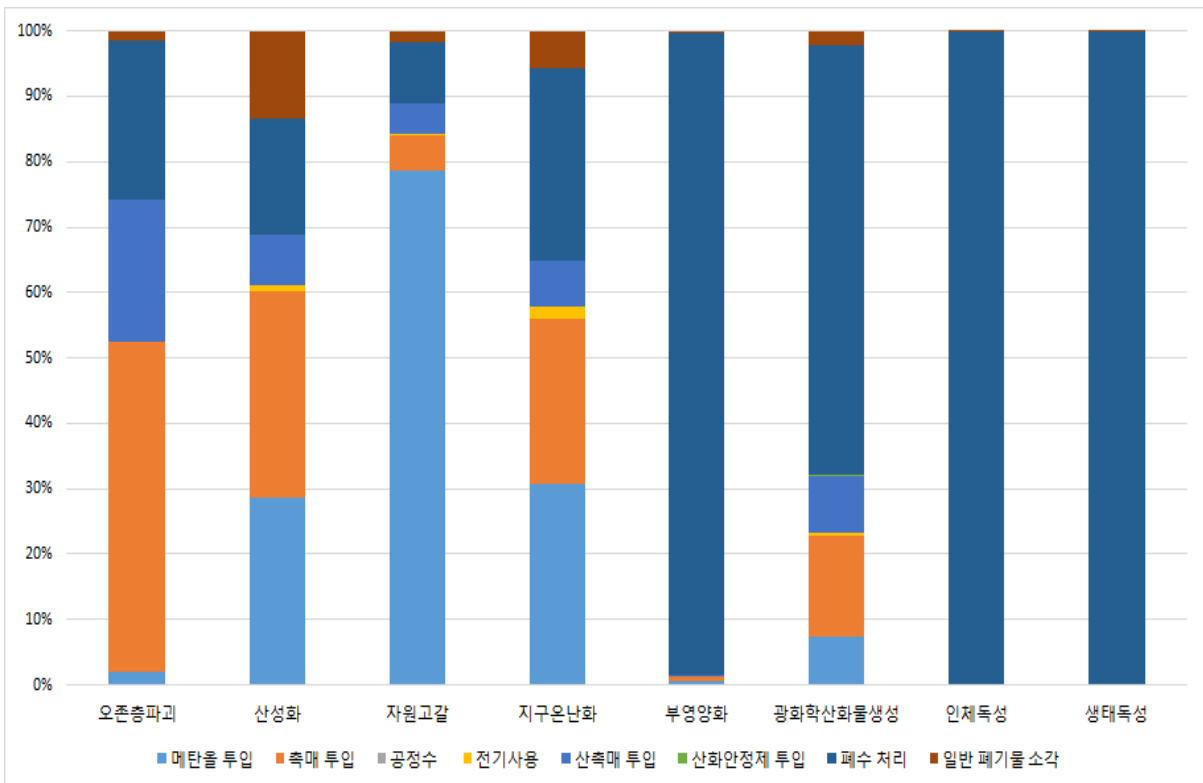


Figure 2 고산가 폐유지 재활용 공정 물질 별 환경영향

#### 2.4.2 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르 정규화 결과

고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르의 정규화 계산 결과, 환경영향 범주에서 생태독성이 99.03%를 차지하여 가장 영향이 큰 범주로 나타났다. 물질별 영향은 폐수처리가 99.85%를 차지하는 것으로 나타났다. 정규화 결과는 <Table 4>에 나타내었다.

Table 4 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르 정규화 결과 값

영향 범주	오존층 파괴	산성화	자원 고갈	지구 온난화	부영양화	광화학 산화물 생성	인체 독성	생태 독성	합계	%
메탄올	2.08E-08	3.19E-06	6.85E-05	8.03E-06	1.02E-06	3.11E-07	9.38E-07	7.85E-05	1.61E-04	0.001%
촉매	5.04E-07	3.53E-06	4.71E-06	6.61E-06	7.98E-07	6.49E-07	8.86E-06	9.36E-04	9.62E-04	0.003%
용수	7.89E-14	2.22E-12	6.46E-10	1.46E-09	1.71E-10	3.19E-12	8.37E-11	2.30E-08	2.54E-08	0.000%
전기	4.33E-11	1.07E-07	3.55E-07	4.58E-07	6.08E-08	1.83E-08	5.36E-09	1.66E-07	1.17E-06	0.000%
산촉매	2.18E-07	8.53E-07	4.04E-06	1.83E-06	4.05E-07	3.72E-07	5.06E-06	1.47E-04	1.59E-04	0.001%
산화 안정제	6.32E-10	2.47E-09	1.17E-08	5.3E-09	1.17E-09	1.08E-09	1.47E-08	4.25E-07	4.62E-07	0.000%
폐수처리	2.44E-07	1.98E-06	8.03E-06	7.71E-06	1.53E-04	2.77E-06	2.40E-01	2.91E+01	2.94E+01	99.995%
일반 폐기물	1.42E-08	1.5E-06	1.56E-06	1.49E-06	6.22E-07	9.46E-08	6.65E-07	6.80E-05	7.39E-05	0.000%
합계	1.00E-06	1.12E-05	8.72E-05	2.61E-05	1.56E-04	4.22E-06	2.40E-01	2.91E+01	2.94E+01	100%
%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.82%	99.03%	100%	

### 3. 신재 전과정평가 수행

#### 3.1 목적 정의

본 전과정평가는 식물유로 제조되는 신재 지방산 메틸에스테르와 현재 연구 개발 중인 고산가 폐유지 재활용 기술에 의해 재생되는 지방산 메틸에스테르의 환경영향을 비교하기 위해 수행되었다.

#### 3.2 범위 정의

##### 3.2.1 기능 및 기능단위 설정

식물유 신재의 기능은 재생재와 같이 다이머산 메틸에스테르 제조를 위한 중간재이며, 기능단위와 기준흐름은 식물유 지방산 메틸에스테르 1,000kg이다.

##### 3.2.2 시스템경계

신재 전과정평가의 시스템 경계는 재생재와 같이 제조 공정만으로 설정하였다.

##### 3.2.3 가정 및 제한 사항

신재 전과정평가의 가정과 제한사항은 산 촉매를 제외하고 재생재와 같다. 신재 제조 공정에서는 산촉매가 투입되지 않는다.

##### 3.2.4 할당

신재 제조 공정에서도 부산물로 글리세린과 찌꺼기, 두 가지가 발생하기 때문에 중량을 기준으로 할당을 수행하였다.

#### 3.3 전과정 목록분석

신재 제조에 대한 공정흐름은 폐유지 대신 식물유 원료가 투입되고, 산촉매 투입이 제외되는 것

이외에는 재생재 제조 공정과 같다. 신재 데이터는 재생재 데이터 출처와 동일한 대한민국 전라남도 순천시 소재 이맥바이오를 통해 2015년 현장 데이터를 수집하였다. 데이터 값은 제공자의 요청에 따라 작성하지 않았다.

### 3.4 전과정평가 영향평가

지방산 메틸에스테르 신재 원료로 대두유와 팜유가 가장 일반적으로 사용되고 있다. 따라서 본 전과정 평가에서 원료는 대두유와 팜유가 5:5임을 가정하였다. 지방산 메틸에스테르 신재 1,000kg 생산에 대한 전과정평가의 특성화 결과 값과 정규화 결과 값은 Table 5,6과 같이 나타났다.

Table 5 지방산 메틸에스테르 신재의 특성화 결과 값

영향범주	오존층파괴	산성화	자원고갈	지구온난화	부영양화	광화학 산화물생성	인체독성	생태독성
단위	kg CFC11	kg SO <sub>2</sub>	1/yr	kg CO <sub>2</sub>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	kg Ethylene	kg 1,4 DCB	kg 1,4 DCB
대두유	1.87.E-04	3.68.E+00	3.78.E+00	1.20.E+03	1.34.E+01	1.83.E+00	3.59.E+05	7.43.E+08
팜유	3.81.E-03	8.07.E+00	4.20.E+00	7.75.E+02	5.67.E+00	4.11.E+00	3.59.E+05	7.43.E+08
신재	2.00.E-03	5.87.E+00	3.99.E+00	9.88.E+02	9.54.E+00	2.97.E+00	3.59.E+05	7.43.E+08

Table 6 지방산 메틸에스테르 신재의 정규화 결과 값

영향범주	오존층파괴	산성화	자원고갈	지구온난화	부영양화	광화학 산화물생성	인체독성	생태독성
대두유	4.60.E-06	9.23.E-05	1.52.E-04	2.17.E-04	1.02.E-03	1.78.E-04	2.43.E-01	2.94.E+01
팜유	9.36.E-05	2.02.E-04	1.69.E-04	1.40.E-04	4.33.E-04	3.99.E-04	2.43.E-01	3.13.E+01
신재	4.91E-05	1.47E-04	1.60E-04	1.79E-04	7.28E-04	2.88E-04	2.43E-01	3.03E+01
%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.79%	99.20%

## 4. 재생재와 신재의 환경영향 비교

고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르 공정의 환경부하를 신재 지방산 메틸에스테르와 비교하였다. 고산가 폐유지 재생 지방산 메틸에스테르는 신재에 비해 산축매가 추가되며, 신재는 원료인 대두유와 팜유의 환경영향이 추가된다. 재생재와 신재의 품질은 기술전문가의 자문을 통해 동등한 것으로 적용하였다. 재생재와 신재의 환경영향을 비교한 결과는 Table 7, 8과 같다.

Table 7 재생재와 신재의 특성화 결과 비교

영향범주	오존층 파괴	산성화	자원고갈	지구온난화	부영양화	광화학 산화물생성	인체독성	생태독성
단위	kg CFC11	kg SO <sub>2</sub>	1/yr	kg CO <sub>2</sub>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	kg Ethylene	kg 1,4 DCB	kg 1,4 DCB
고산가재생	4.07E-05	4.45E-01	2.17E+00	1.44E+02	2.05E+00	4.35E-02	3.55E+05	7.37E+08
신재대비	2%	8%	54%	15%	21%	1%	99%	99%
신재	2.00E-03	5.87E+00	3.99E+00	9.88E+02	9.54E+00	2.97E+00	3.59E+05	7.43E+08

재생재와 신재의 환경영향을 비교한 결과 주요 영향 범주인 자원고갈과 지구온난화, 인체독성 범주에서 재생재가 신재의 54%, 15%, 99%를 나타내었다. 추가적으로 산성화는 8%, 광화학산화물 생성은 1%의 매우 우수한 결과를 보여주고 있다.

Table 8 재생재와 신재의 정규화 결과 비교

영향범주	오존층 파괴	산성화	자원고갈	지구 온난화	부영양화	광화학 산화물생성	인체독성	생태독성	합계
고산가 재생	1.00.E-06	1.12.E-05	8.72.E-05	2.61.E-05	1.56.E-04	4.22.E-06	2.40.E-01	2.91.E+01	2.94.E+01
신재대비	2%	8%	55%	15%	21%	1%	99%	96%	96%
신재	4.91.E-05	1.47.E-04	1.60.E-04	1.79.E-04	7.28.E-04	2.88.E-04	2.43.E-01	3.03.E+01	3.05.E+01

정규화 비교 결과에서는 재생재는 신재의 96%의 환경영향을 미치는 것으로 나타났다. 독성 범주가 전체 비교 결과에 미치는 영향이 너무 지배적이어서, 독성 범주를 제외하고 재생재와 신재의 환경영향을 비교해 보았다. 비교 결과는 재생재가 신재 대비 18%로 나타났다. 본 정규화 비교는 영향범주별 가중치가 적용되지 않은 값을 밝힌다.

## 5. 결론

고산가 폐유지 재활용 기술을 통해 재생되는 지방산 메틸에스테르의 환경영향을 신재인 식물유 지방산 메틸에스테르와 비교한 결과 영향 범주별로 자원고갈 54%, 지구온난화 15%, 인체독성 99%, 산성화 8%, 광화학산화물 생성 1%의 결과를 보여주고 있다. 현재 소각되고 있는 폐유지의 10%만 재활용하더라도 연간 22,700톤 이상의 이산화탄소 배출이 저감될 것으로 계산되었다.

재활용 기술 공정에서 주된 환경영향은 폐수 처리가 99% 이상 차지하여 가장 비중이 높게 나타났다. 독성을 제외한 환경영향에서도 폐수 처리가 61%로 가장 높은 비중을 차지했으며 다음으로 메탄올이 28%를 차지하는 것으로 나타났다. 용수 사용량을 줄이고 폐수를 재생할 수 있도록 하는 것이 재활용 공정의 환경성과를 보다 개선할 수 있을 것이다.

본 연구에서 재활용 기술이 개발 중이어서 데이터가 변할 수 있는 점, 전과정평가 시 데이터베이스가 부재하여 유사 데이터 및 Chemicals inorganic 데이터를 사용한 것, 폐수 데이터베이스의 신뢰도가 낮은 것은 한계점이다. 재활용 기술이 최종 개발되면 공정의 효율화가 진행되어 재생재의 환경영향이 본 연구 결과보다 우수할 것으로 예상된다. 더하여, 고산가 폐유지 재활용이 이루어진다면 폐유지의 소각을 회피할 수 있으므로 이로 인한 환경영향의 개선도 포함될 수 있을 것이다.



## 6. 사사

본 연구는 폐금속·유용자원재활용기술개발사업단의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 7. 참고문헌

1. 환경부, 폐기물 발생 및 처리 현황, 2011.
2. 김정옥, 김미형, 유향란, 폐식용유의 활용방안, 2007.
3. 임대재, 동·식물유 폐자원의 화학원료화 재활용 상용화기술 개발, 폐금속·유용자원재활용기술개발사업단, 웹진 8호, 2015. [http://hosting.kaist.ac.kr:8074/webzine8/sub/sub03\\_2.php](http://hosting.kaist.ac.kr:8074/webzine8/sub/sub03_2.php)
4. 환경성적표지 LCI 데이터베이스, [www.edp.or.kr](http://www.edp.or.kr)
5. Eco-invent 데이터베이스, 2007.
6. ISO 14040, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
7. ISO 14044, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guideline.