

폐식용유 재활용 제품의 환경성 평가

김태석 · 김동규 · 정용현[†]
(부경대학교)

Environmental Impact Evaluation of the Waste Cooking Oil Recycling Products

Tae-Suk KIM · Dong-Gyue KIM · Yong-Hyun CHUNG[†]
(Pukyong National University)

Abstract

In this study, Life Cycle Assessment(LCA) was applied to the production processes of waste cooking oil recycling products. Recycling products as defined in the Law of Saving of Resources and Recycling Promotion are biodiesel and soap. Weighting result of biodiesel production process showed that the most significant impact potential was abiotic resource depletion(84.17%) followed by global warming(13.93%). In the case of the soap, the most significant impact potential was also abiotic resource depletion(58.59%) followed by global warming(33.71%). In terms of the whole system of the biodiesel production process, methanol showed the largest environmental impact potential(87.35%). While in the case of the soap, sodium chloride showed the largest environmental impact potential(99.99%). This study suggests that there should be improvement of the methanol recovery system in the biodiesel production process and also appropriate use of the major environmental impact materials in both processes.

Key words : LCA, Waste cooking oil, Recycling, Biodiesel, Soap

I. 서론

최근 세계 여러 나라에서는 한정된 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 기술의 개발과 더불어 폐기물을 자원화하기 위하여 많은 노력들을 기울이고 있다.

특히 폐기물 자원화의 대상 가운데 폐식용유는 바이오디젤, 사료, 지방산, 비누, 절삭유, 난방유의 용도로 재활용되고 있으며(Korea bio-energy association 2013), 바이오디젤과 비누는 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률(Ministry of environment

2014)에 따라 폐식용유 재활용 제품으로 제조되고 있다.

이러한 움직임은 폐식용유의 수거율과 재활용 용도별 이용 비율에 영향을 주고 있다. 주로 가정이나 음식점, 식품제조업체 등에서 발생하는 폐식용유의 수거율은 2008년 62%에서 2012년 80%로 향상되었으며(Korea bio-energy association 2013), 정부에서도 폐식용유 이용 잠재량 대비 실제 이용량을 높이기 위해 폐식용유 수거 체계의 개선방안을 지자체와 함께 모색하고 있다(Bae Jeong-Hwan 2009). 특히 폐식용유 재활용 제품별

[†] Corresponding author : 051-629-6540, chungyh@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의해 연구되었음.

재활용 비율은 비누 제조의 경우 2007년 13.8%에서 2012년 5.6%로 줄어든 반면, 바이오디젤 제조의 경우에는 2007년 27.7%에서 2012년 56.3%로 증가하였다(Korea bio-energy association 2013). 또한 외국에서도 발생하는 폐식용유를 다양한 제품으로 재활용하고 있으며, 일부 국가에서는 전량 바이오디젤로 제품화하고 있다(Lee Yeong-Dong et al. 2012).

폐식용유의 자원화는 환경개선에 있어서 다양한 효과를 나타내고 있다. 먼저, 폐식용유를 원료로 바이오디젤을 생산하는 것은 화석연료의 사용으로 배출되는 온실가스 일부를 감축시킨다(So Jin-Yeong et al. 2012). 특히 폐식용유를 원료로 사용하는 것은 바이오메스 생산을 위한 추가적인 토지 개간과 비료사용을 줄임으로써 온실가스 발생을 감소시키고, 생물다양성 보전에도 기여한다(Joseph Fargione et al. 2008; G. Philip Robertson et al. 2008; Jörn P. W. Scharlemann and William F. Laurance 2008). 또한 바이오디젤은 매년 등을 크게 저감시킬 수 있으며, 액체로써의 운반기능, 유용성, 고열량, 저유황분, 낮은 방향족 함량 및 생분해성 등의 장점을 가지고 있다(Jeong Dong-Seok et al. 2009). 그리고 경제적 측면에서 BD5, BD20, BD100에 대한 총 대기오염 저감 가치를 추정한 결과 각각 4천 6백억 원, 1조3천억 원, 2조4천억 원의 환경적 편익을 얻을 수 있을 것으로 나타났다(Kang Man-Ok et al. 2007). 이러한 이유로 정부에서는 저탄소 녹색성장 기본법의 일환으로써 바이오디젤 혼합율을 2007년 0.5%부터 매년 0.5%씩 상향 조정하여 경유와의 혼합사용을 권장하고 있으며, 신재생연료의무혼합제도 도입을 준비하고 있다(Jeon Eun -Jin and Han Su-Hyeon 2014). 폐식용유를 재활용하여 비누로 제조 할 경우에는 폐식용유를 그대로 버릴 때 발생하는 BOD 영향의 약 1/700 이상을 줄일 수 있으며, 합성세제의 사용을 대체하여 수질오염 개선에 도움을 준다(Ha Geum et al. 1998).

이상과 같이 폐기물의 자원화에 관한 법률적

조치와 노력들은 자원의 재활용과 더불어 다양한 환경개선효과를 나타내고 있지만, 산업 활동에서 생산되는 제품들의 환경영향과 이에 대한 공정개선을 위해서는 원료의 채취부터 제품의 폐기까지 관련된 전과정평가가 요구된다(Lee Kun-Mo et al. 1998). 이러한 기법을 이용한다면 연구 대상 시스템으로부터 발생하는 잠재적 환경영향들을 집계하고 정량화하여 평가 및 해석할 수 있으며, 도출된 데이터를 다양한 영향범주들과 연관시킴으로써 그 영향을 구체적으로 평가할 수 있다(Korea agency for technology and standards 2011).

따라서 본 연구에서는 현재 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률에 따라 생산되는 각각의 폐식용유 재활용 제품을 대상으로 그 제조 공정에서 발생하는 환경오염물질의 환경영향을 전과정평가로 분석하였다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 각각의 제품 제조 공정에서 잠재적 환경영향이 큰 물질을 규명하고, 보다 친환경적인 제조 방향으로 나아갈 수 있는 기반을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 목적 및 범위 설정

가. 기능, 기능단위, 기준흐름

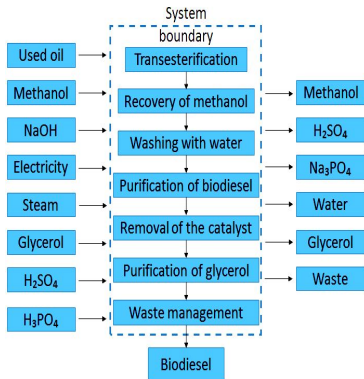
바이오디젤의 기능은 디젤기관의 연료로써, 기능단위는 폐식용유 1kg으로 만들어지는 바이오디젤로 하였으며, 이에 따른 기준흐름은 폐식용유 1kg으로 만들어지는 디젤기관의 연료로 정하였다.

비누의 기능은 세정제로, 기능단위는 폐식용유 1kg으로 만들어지는 비누로 하였으며, 이에 따른 기준흐름은 폐식용유 1kg으로 만들어지는 세정기능의 비누로 정하였다.

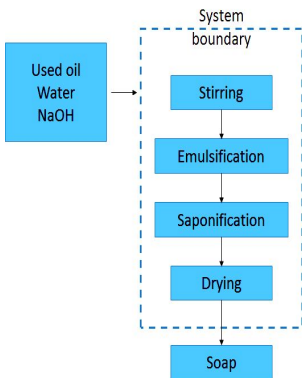
나. 시스템 경계

시스템 경계는 폐식용유 재활용 제품 각각의 제조 과정에 따른 원료취득에서부터 제품 출하

전까지(Cradle to Gate, CtG)로 설정하였다. 이에 대한 제조 공정은 바이오디젤의 경우 Marta G. Varanda et al.(2011)의 방법으로, 비누의 경우 송의 방법으로 하였으며(Song Bo-Young 2002), 다음 [Fig. 1]과 [Fig. 2]에 각각의 시스템 경계를 나타내었다.



[Fig. 1] System boundary of biodiesel production



[Fig. 2] System boundary of soap production

다. 데이터 및 전과정평가 방법

<Table 1> Selected impact category

Impact category	Equivalency factor
ADP (Abiotic resource Depletion Potential)	1/yr
AP (Acidification Potential)	kg SO ₂ eq/kg
EP (Eutrophication Potential)	kg PO ₄ ³⁻ eq/kg
GWP (Global Warming Potential)	kg CO ₂ eq/kg
ODP (Ozone Depletion Potential)	kg CFC- eq/kg
POCP (Photochemical Oxidant Creation Potential)	kg C ₂ H ₄ eq/kg

바이오디젤과 비누 제조 공정에 투입되는 투입물은 크게 원/부자재, 에너지, 유틸리티로 구분하였으며, 산출물은 제품/부산물, 폐기물로 분류하였다. 데이터는 문헌자료를 토대로 수집하였으며, 수집된 데이터는 추정치를 적용하여 원단위로 하였다. 이에 대한 전체 데이터의 환경부하는 환경부의 국내 데이터베이스를 사용하였다.

전과정 영향평가는 분류화(Classification), 특화(Characterization), 정규화(Normalization), 가중화(Weighting)의 단계로 수행하였다. 여기서 고려된 환경영향범주는 산업자원부에서 제시하고 있는 무생물자원고갈(ADP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 지구온난화(GWP), 오존층고갈(ODP), 광화학적산화물생성(POCP)이며, <Table 1>과 같다(Ministry of Commerce Industry and Energy 2000).

라. 할당

두 공정 모두 열린 고리 재활용 시스템으로, 타 시스템에서 발생된 폐식용유를 재활용하는 것이기에 폐식용유를 원료로 사용하는 것에 대한 환경부하는 cut-off 할당 방법을 이용하여 배제하였다.

마. 가정 및 한계

먼저 연구 대상 제품의 제조 방법은 문헌에 따르는 기술을 적용하였으며, 각각의 제품이 현재 국내에서 생산된다고 가정하였다. 또한 각각의 시스템 내에서 투입되는 물질들과 배출되는 물질들에 대한 환경부하는 국내 LCI 데이터베이스를 적용하였다. 그리고 연구 목적 상 운송에 대한 고려는 제외하였다.

2. 전과정 목록분석

가. Gate to Gate DB작성

각 공정별 기준 흐름에서 소모된 투입물의 량과 산출물의 량에 대한 Gate to Gate Data Base를 <Table 2>와 같이 작성하였다.

나. 전과정 목록분석

전과정평가에서 목록분석은 대상 시스템의 전

과정에 대한 투입 및 산출 데이터를 규명하고 정량화하는 과정이다. 작성된 데이터<Table 2>를 기초로 상위흐름 데이터베이스를 연결하여 최종적인 전과정 목록분석을 수행하였다. 그 결과 각각의 바이오디젤과 비누 제조 공정별로 총 280여개와 270여개의 환경배출 항목항목이 도출되었으며, 그 중 대표적인 항목들을 <Table 3>에 명시하였다.

<Table 2> Gate to gate data base

	Input				Output			
	Group	Name	Unit	Amount	Group	Name	Unit	Amount
Biodiesel production	Raw material	Used oil	kg	1	Product	Biodiesel	kg	1.012
		Methanol	kg	0.208		Glycerol	kg	0.103
		H ₂ SO ₄	kg	0.0092		Na ₃ PO ₄	kg	0.0045
		Glycerol	kg	0.012	Waste	H ₂ SO ₄	kg	0.0092
		NaOH	kg	0.0033		Water emission	kg	0.203
		H ₃ PO ₄	kg	0.0027				
	Energy	Steam	kJ	1.017				
		Electricity	KW	0.0027				
Soap production	Raw material	Used oil	kg	1	Product	Soap	kg	1.475
		NaOH	kg	0.167				
	Utility	Water	kg	0.309				

<Table 3> Result of life cycle inventory analysis

	Direction	Group	Materials	Distribution Media	Unit	Amount
Biodiesel production	Input	Resource	water	Water	kg	1.797E+00
		Resource	crude oil	Soil	kg	1.667E-02
		Resource	hard coal	Soil	kg	5.985E-02
		Resource	natural gas	Soil	kg	1.814E-01
		Raw material	ancillary material	Technosphere	kg	2.157E-01
	Output	Product	biomass energy	Technosphere	kg	1.012E+00
		Emission	carbon dioxide	Air	kg	1.011E-01
		Emission	exhaust	Air	kg	5.356E-03
		Emission	water emission	Water	kg	3.841E-01
		Waste	industrial waste	Technosphere	kg	1.642E-01
Soap production	Input	Resource	water	Water	kg	1.944E-01
		Resource	crude oil	Soil	kg	3.342E-02
		Resource	hard coal	Soil	kg	5.385E-02
		Resource	natural gas	Soil	kg	4.852E-02
		Resource	NaCl	Soil	kg	1.874E-01
	Output	Product	soap	Technosphere	kg	1.475E+00
		Emission	carbon dioxide	Air	kg	1.904E-01
		Emission	water emission	Water	kg	1.467E-01
		Waste	hazardous waste	Technosphere	kg	1.216E-02
		Waste	industrial waste	Technosphere	kg	1.040E-01

특히, 두 공정 모두 투입물의 대부분이 자원 및 광물, 산출물은 CO₂ 및 대기 배출 물질들로 나타남으로써 잠재적 환경영향 중 ADP와 GWP가 다른 환경영향범주보다 그 비중이 상대적으로 클 것으로 예상되었다.

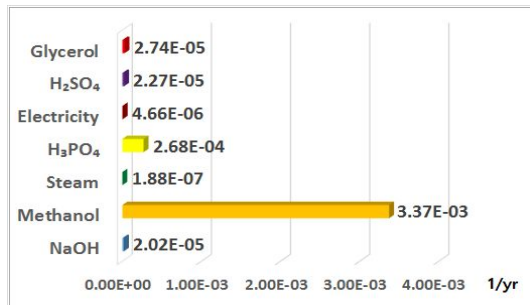
III. 결과 및 고찰

1. 전과정 영향평가

가. 특성화

특성화는 각각의 환경영향범주에 해당되는 목록항목들의 잠재적 환경영향과 이와 관련된 상응인자를 이용하여 정량화하는 과정이다. 따라서 본 연구에서는 두 공정에 대하여 분류화된 잠재적 환경영향들을 산업자원부에서 제시하는 상응인자들과 곱하여 특성화 결과 값을 산출하였다(Ministry of Commerce Industry and Energy 2000).

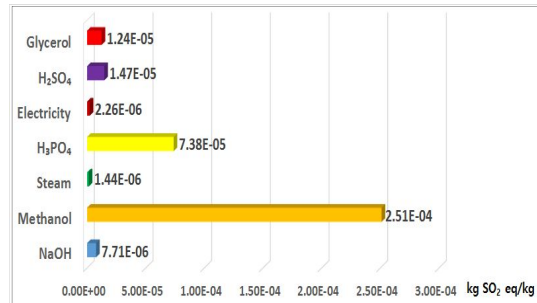
바이오디젤 제조 공정에 대한 ADP 영향범주에서는 Methanol(90.75%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₃PO₄(7.23%)로 나타났다. 이는 Methanol에 crude oil, hard coal, natural gas 등이 많이 사용되기 때문이다[Fig. 3].



[Fig. 3] Characterization result of biodiesel production (ADP)

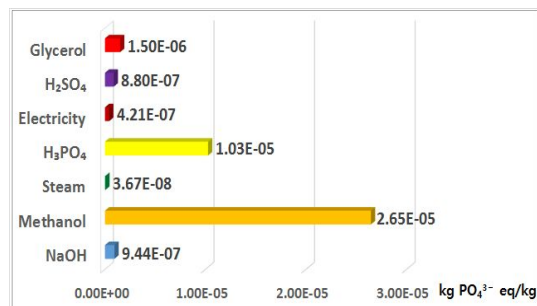
AP 영향범주에서는 Methanol(69.09%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₃PO₄(20.31%), H₂SO₄(4.04%)순으로 나타났다[Fig. 4]. 이는 Methanol과 H₃PO₄이 사용되는 과정에서

SO₂와 NO_x가 다른 요소들에 비해 상대적으로 많이 발생되기 때문이다.



[Fig. 4] Characterization result of biodiesel production (AP)

EP 영향범주에서는 Methanol(65.34%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₃PO₄(25.32%), Glycerol(3.71%)순으로 나타났다[Fig. 5]. 이는 Methanol과 H₃PO₄의 사용 과정에서 NO_x와 PO₄³⁻가 다른 요소들에 비해 상대적으로 많이 발생되기 때문이다.

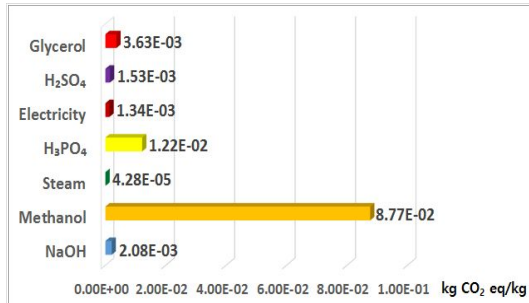


[Fig. 5] Characterization result of biodiesel production (EP)

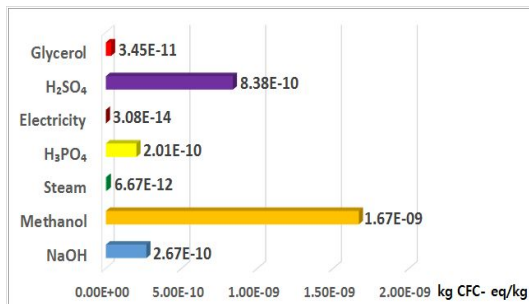
GWP 영향범주에서는 Methanol(80.84%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₃PO₄(11.21%)로 나타났다[Fig. 6]. 특히 온실가스 중에서 CO₂의 비중이 가장 컸으며, Methane, N₂O, Halon의 배출도 상당량 차지하였다.

ODP 영향범주에서는 Methanol(55.32%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₂SO₄(27.78%), NaOH(8.86%)순으로 나타났다[Fig.

7]. 이는 Methanol과 H₂SO₄이 사용되는 과정에서 CFC, Halon, HCFC이 상대적으로 많이 발생되기 때문이다.



[Fig. 6] Characterization result of biodiesel production (GWP)

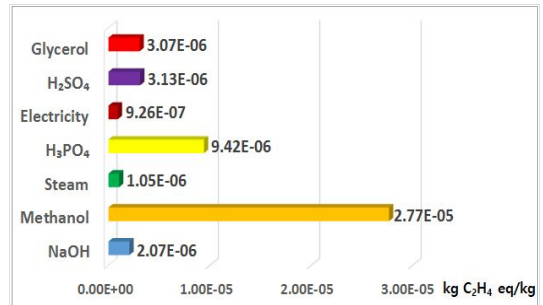


[Fig. 7] Characterization result of biodiesel production (ODP)

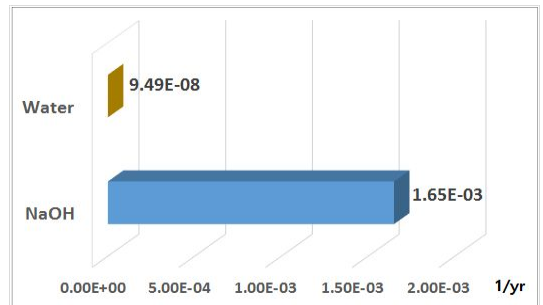
POCP 영향범주에서는 Methanol(58.45%)이 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었으며, 다음은 H₃PO₄(19.90%), H₂SO₄(6.62%), Glycerol(6.49%)순으로 나타났다[Fig. 8]. 이는 Methanol과 H₃PO₄가 사용되는 과정에서 광화학산화물생성 유발물질로 알려진 NMVOC과 hydrocarbon이 상대적으로 많이 배출되기 때문이다.

비누 제조 공정에 대한 ADP 영향범주에서는 NaOH이 99.99%의 비중을 보였다[Fig. 9]. 이는 NaOH 투입 과정에서 crud oil, hard coal, natural gas 등이 많이 사용되기 때문이다.

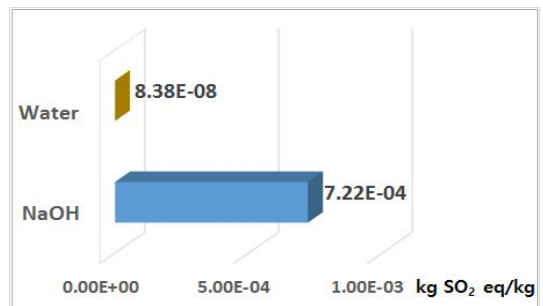
AP 영향범주에서는 NaOH이 99.99%의 비중을 보였다[Fig. 10]. 이는 NaOH 사용에 따른 NO_x, SO₂ 등의 배출이 Water보다 더 많기 때문이다.



[Fig. 8] Characterization result of biodiesel production (POCP)



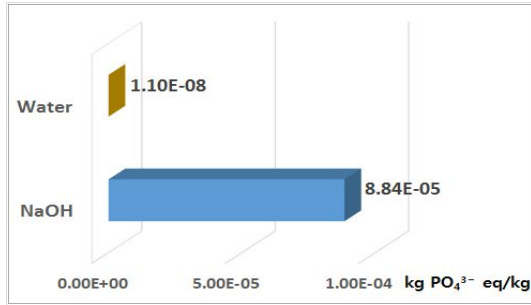
[Fig. 9] Characterization result of soap production (ADP)



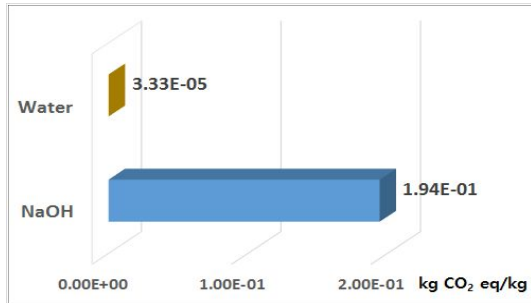
[Fig. 10] Characterization result of soap production (AP)

EP 영향범주에서는 NaOH이 99.99%의 비중을 보였다[Fig. 11]. 이는 NaOH 사용에 따른 NO_x 등의 배출이 Water보다 더 많기 때문이다.

GWP 영향범주에서는 NaOH이 99.98%의 비중을 보였다[Fig. 12]. 이는 NaOH 사용에 따른 CO₂, Halon, Methane, N₂O 등의 배출이 Water보다 더 많기 때문이다.

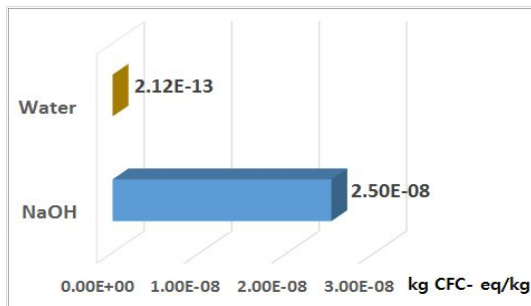


[Fig. 11] Characterization result of soap production (EP)



[Fig. 12] Characterization result of soap production (GWP)

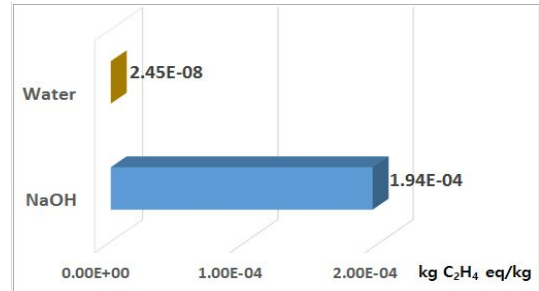
ODP 영향범주에서는 NaOH이 99.999%의 비중을 보였다[Fig. 13]. 이는 NaOH 사용에 따른 Halon, CFC, HCFC의 배출이 Water보다 더 많기 때문이다.



[Fig. 13] Characterization result of soap production (ODP)

POCP 영향범주에서는 NaOH이 99.99%의 비중을 보였다[Fig. 14]. 이는 NaOH 사용에 따른

hydrocarbon, NMVOC, SO₂ 등의 배출이 Water보다 더 많기 때문이다.



[Fig. 14] Characterization result of soap production (POCP)

나. 정규화

정규화는 대상 기능단위가 하나의 환경영향범주에 미치는 환경영향을 일정 지역, 일정 기간 동안 그 환경영향범주에 기여하는 총 환경영향으로 나누는 과정이다. 이러한 과정을 통해 각각의 제품에서 발생하는 환경영향들을 대상 환경영향범주에 미치는 상대적 크기로 나타낼 수 있으며, 환경영향범주들을 상대적으로 비교 할 수 있다. 본 연구에서는 각각의 환경영향범주별 특성화 결과 값을 산업자원부에서 제시하는 국내 정규화 기준 값으로 나누어 정규화 결과 값을 산출하였으며(Ministry of Commerce Industry and Energy 2000), 그 결과는 [Fig. 15]와 같다.

정규화 결과를 살펴보면 바이오디젤 제조 공정과 비누 제조 공정 모두 ADP에서 각각 80.35%와 48.93%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, GWP의 경우에는 각각 10.56%와 22.59%의 비중을 차지하였다. 그 외 환경영향범주에 대한 각각의 결과는 ODP(0.04%와 0.39%), EP(1.66%와 4.34%), POCP(2.47%와 12.08%), AP(4.92%와 11.66%)로써 상대적으로 낮은 기여도를 보였다. 특히 ADP를 제외한 모든 환경영향범주에서 비누제조 공정에 따른 환경부하가 바이오디젤 제조 공정보다 큰 것으로 나타났다.

다. 가중화

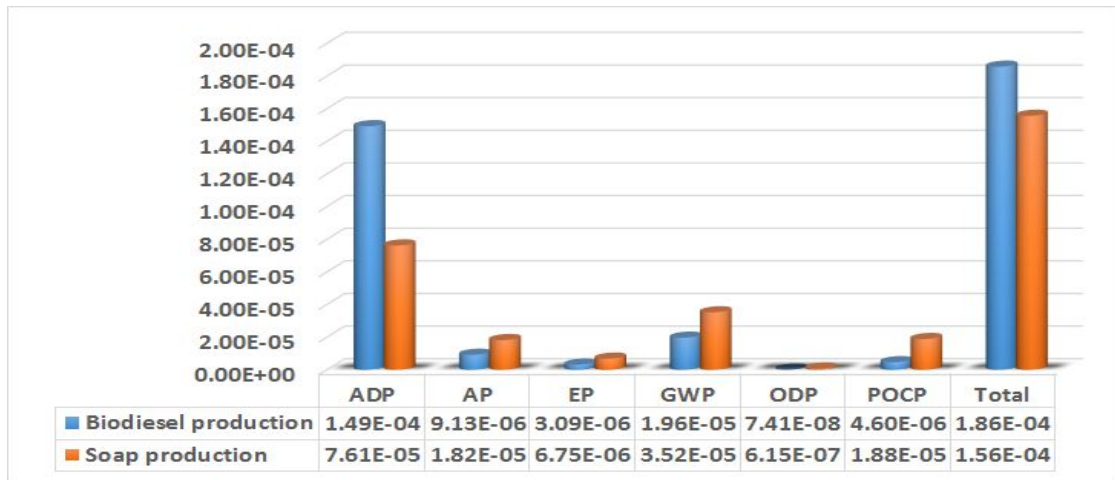
폐식용유 재활용 제품의 환경성 평가

가중화는 정규화된 각각의 환경영향범주에 상대적 중요도를 부여하는 과정이다. 여기서 환경영향범주별 상대적 중요도를 가중치라고 하며, 이를 각각의 정규화 결과 값에 곱하여 가중화 결과 값을 산출한다. 본 연구에서는 산업자원부에서 제시하는 가중치를 적용하였으며(Ministry of Commerce Industry and Energy 2000), 그 결과는 [Fig. 16]과 같다.

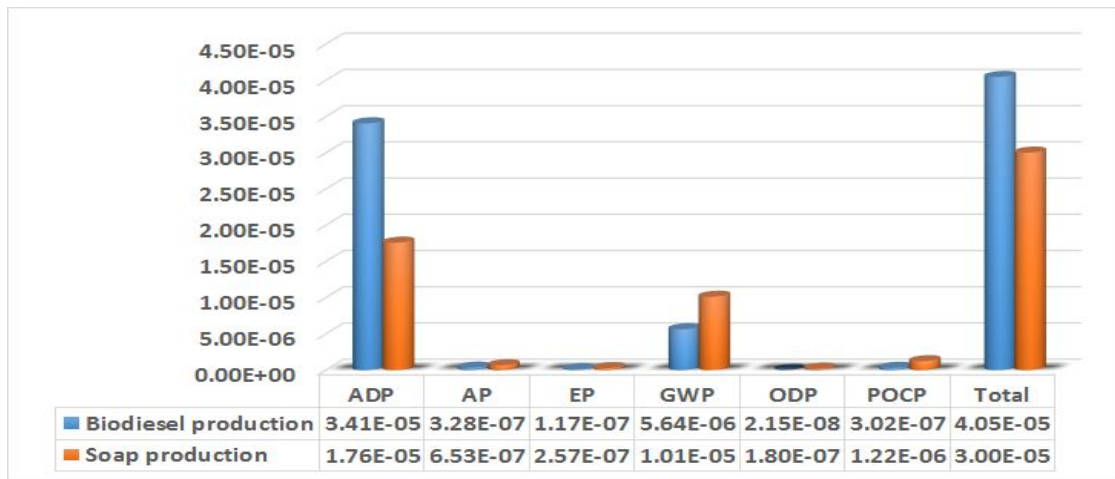
가중화 결과를 살펴보면 바이오디젤 제조 공정

과 비누 제조 공정 모두 전체 환경영향범주 중 ADP에서 각각 84.17%와 58.59%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, GWP의 경우에는 각각 13.93%와 33.71%의 비중을 차지하였다.

이는 ADP의 가중치가 GWP 가중치보다 작음에도 불구하고 두 공정 모두 ADP에 대한 정규화 결과 값이 더 크기 때문으로 판단되었다. 그 외 환경영향범주에서는 정규화 결과와 비슷한 양상을 나타내었다.



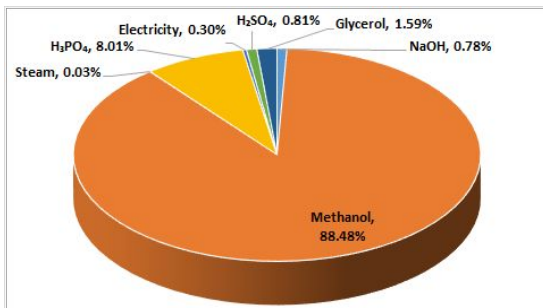
[Fig. 15] Normalization result of each production



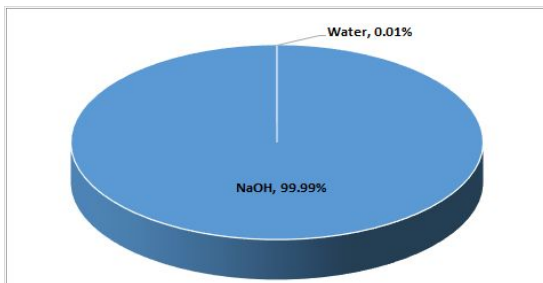
[Fig. 16] Weighting result of each production.

2. 전과정 결과해석

이러한 전과정평가 결과로부터 각 제조 공정에 대한 주요 원인을 파악하기 위하여 투입요인 중심으로 살펴보았으며, 그 결과는 각각 [Fig. 17], [Fig. 18]과 같다. 바이오디젤 제조 공정의 경우 Methanol에 의한 영향이 88.48%로 가장 높았으며, 다음으로 H₃PO₄에 의한 영향이 8.01%의 비중을 차지하였다. 반면에 나머지 요소들에 의한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.



[Fig. 17] Comparison of environmental impacts based on input elements in biodiesel production.



[Fig. 18] Comparison of environmental impacts based on input elements in soap production.

이는 바이오디젤 제조 공정에서 Methanol 사용에 따른 환경영향이 크다는 선행 연구와 유사한 결과를 나타내었다(Sérgio Morais et al. 2010). 이러한 결과와 문헌연구를 토대로 바이오디젤 제조 공정 내 Methanol 회수 공정이 환경영향 개선에 필수적인 것을 알 수 있었다. 이를 위해 현재

Methanol 회수를 위해 증류칼럼을 이용하는 재활용 공정이 산업적으로 적용되고 있으며(Choi Ju-Hwan 2012), 촉매 사용에 있어서도 화학 촉매제가 아닌 지방 분해효소인 리파아제를 이용한다면 알코올 사용량과 폐수의 양을 줄일 수 있다고 보고된 바 있다(Choi Myeong-Su 2012). 비누 제조 공정의 경우에는 NaOH에 의한 영향이 99.99%로 대부분을 차지하였으며, 비누 제조 시에 사용되는 NaOH의 양에 따라 BOD 수치가 달라진다는 선행 연구 결과를 참고한다면 친환경 재활용 제품 생산에 도움이 될 것이라고 판단된다(Ha Geum et al. 1998). 또한 두 제품 모두 제품 생산에 투입되는 물질들을 적절히 사용하면 환경부하를 줄임과 동시에 경제성도 고려 할 수 있을 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구를 통해 국내 폐식용유 재활용 제품들의 제조 공정에 대한 전과정평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

전과정 목록분석 결과, 바이오디젤과 비누 제조 공정에서 각각 280여개와 270여개의 환경배출 목록항목이 도출되었다. 이에 따른 주요 투입물은 Water, Crude oil, Hard coal, Natural gas, 산출물로는 각각의 제품과 CO₂, Water emission 등의 배출물질들로 나타났다.

이에 따른 특성화 결과를 살펴보면 바이오디젤 제조 공정은 ADP, AP, EP, GWP, POCP에서 Methanol과 H₃PO₄ 사용에 따른 환경영향의 기여도가 높게 나타난 반면 ODP에서는 Methanol과 H₂SO₄ 사용에 따른 환경영향의 기여도가 높은 것으로 나타났다. 비누 제조 공정의 경우에는 모든 환경영향범주에서 NaOH 사용에 따른 환경영향이 대부분을 차지하였다.

다음으로 정규화를 거친 가중치 부여 결과, 두 공정 모두 전체 환경영향범주 중 주요 환경영향 범주는 ADP와 GWP로 나타났다. 이에 대한 기여

도는 바이오디젤 제조 공정의 경우 각각 84.17%와 13.93%. 비누 제조 공정의 경우 각각 58.59%와 33.71%의 비중을 보였다.

또한 가중화 결과를 토대로 전체적인 환경영향 범주에 대한 환경영향을 투입요인별로 살펴본 결과, 바이오디젤 제조 공정의 주요 요인은 Methanol(88.48%)로 나타났으며, 비누 제조 공정의 경우에는 NaOH(99.99%)로 나타났다.

따라서 두 제품 제조 간에 공정개선과 투입물질의 적절한 사용이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 또한 두 제품의 제조 공정의 가중화 결과값을 토대로 보았을 때 전체적인 환경영향은 바이오디젤 제조 공정이 비누 제조 공정보다 더 많은 것으로 나타났지만, 세계적 이슈로 부각되고 있는 지구온난화 측면에서 살펴본다면 바이오디젤을 제조하는 것이 더 유리할 것으로 판단된다.

References

- Bae, Jeong-Hwan.(2009), Economic and environmental assessment of the biodiesel supply policy, 09-01, Korea energy economics institute, Uiwang
- Choi, Ju-Hwan(2012), BioDiesel, Yu, A. R., Chung, G. H., Naeha, 379~407
- Choi, Myeong-Su(2012), Highly efficient transformation of waste oil to Biodiesel, M. S. in Chemical & Environmental Engineering, Gachon University, Seongnam
- G. Philip Robertson et al.(2008), Sustainable Biofuels Redux, Science, Vol. 322, 49~50
- Ha, Geum et al.(1998), A study on the property and the skin irritability of the reclaimed soap, Journal of the Korean Home Economics Association, 36(1), 1~11
- Jeon, Eun-Jin and Han, Su-Hyeon(2014), Bioenergy issues analysis and policy recommendations, No.2, Green technology center
- Jeong, Dong-Seok et al.(2009), Characteristics of Iodine Values and Viscosities by blending of Waste Vegetable Oil and Diesel Oil, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 10(7), 1648~1653
- Jörn P. W. Scharlemann and William F. Laurance (2008), How Green Are Biofuels?, Science, Vol. 319, 43~44
- Joseph Fargione et al.(2008), Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, Science, Vol. 319, 1235~1238
- Kang, Man-Ok et al.(2007), A study on environment & economic analysis of biofuels(biodiesel, bioethanol) and expansion plan, Korea environment institute, Sejong
- Korea agency for technology and standards(2011), KS I ISO14040:2011 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- Korea bio-energy association(2013), http://www.kbea.or.kr/board/bbs/board.php?bo_table=kba01_13
- Lee, Kun-Mo et al.(1998), Theory and guidelines for environmental life cycle assessment (LCA), Korea Accreditation Board
- Lee, Yeong-Dong et al(2012), Investigate of waste cooking oil generation amount and greenhouse gas emission reductions effect, Jeonbuk green environment center, Jeonju
- Marta G. Varanda et al.(2011), Life cycle analysis of biodiesel production, Fuel Processing Technology, 92, 1087~1094
- Ministry of Commerce Industry and Energy(2000), Environmental management standardization project for environmentally friendly industry-based building
- Ministry of environment(2014), Law of saving of resources and recycling promotion
- Sérgio Morais et al.(2010), Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils, Journal of Cleaner Production, 18, 1251~1259
- So, Jin-Yeong et al.(2012), Bioenergy Life Cycle Assessment(LCA) for Sustainability Assessment : Biogas mainly, 12~17, Korea energy economics institute, Uiwang
- Song, Bo-Yeong(2002), Modification of manufacturing process for recycled solid laundry soap, M. S. in Environmental Engineering, Ajou University, Suwon

-
- Received : 02 February, 2015
 - Revised : 23 March, 2015
 - Accepted : 27 March, 2015