

ORIGINAL ARTICLE

LCA를 이용한 유리병 재활용의 환경영향 평가

백승혁 · 김형진* · 권영식¹⁾

현대엔지니어링 인프라환경사업본부, ¹⁾수원과학대학교 환경보건과

Environmental Impact Evaluation for Glass Bottle Recycle using Life Cycle Assessment

Seung-Hyuk Baek, Hyung-Jin Kim*, Young-Shik Kwon¹⁾

Infrastructure & Environmental Division, Hyundai Engineering Co., Ltd., Seoul 158-718, Korea

¹⁾Department of Environment and Health Science, Suwon Science College, Hwaseong 445-742, Korea

Abstract

Life Cycle Assessment(LCA) has been carried out to evaluate the environmental impacts of glass bottle recycle. The LCA consists of four stages such as Goal and Scope Definition, Life Cycle Inventory(LCI) Analysis, Life Cycle Impact Assessment(LCIA), and Interpretation. The LCI analysis showed that the major input materials were water, materials, sand, and crude oil, whereas the major output ones were wastewater, CO₂, and non-hazardous wastes. The LCIA was conducted for the six impact categories including 'Abiotic Resource Depletion', 'Acidification', 'Eutrophication', 'Global Warming', 'Ozone Depletion', and 'Photochemical Oxidant Creation'. As for Abiotic Resource Depletion, Acidification, and Photochemical Oxidant Creation, Bunker fuel oil C and LNG were major effects. As for Eutrophication, electricity and Bunker fuel oil C were major effects. As for Global Warming, electricity and LNG were major effects. As for Ozone Depletion, plate glasses were major effects. Among the six categories, the biggest impact potential was found to be Global Warming as 97% of total, but the rest could be negligible.

Key words : LCA, Glass bottle recycle, Environmental impact, Life cycle inventory

1. 서론

유리에 대한 역사는 B.C. 1700년 경 메소포타미아 문명에서 그 기록을 볼 수 있다. 유리는 액체가 되는 성질을 이용하여 여러 가지 다양한 모양을 손쉽게 만들 수 있으며, 녹슬지 않고 기체와 액체는 물론 소리와 전기가 통하지 않아 식품의 품질 보존 기능이 우수하여 상업적으로 많이 사용되고 있다. 특히, 우리나라에서는 유리제품의 원료가 되는 규석, 규사, 석회석, 및 백운석과 같은 천연

자원이 다량 존재하고 있어 전 세계 유리산업의 중추적인 역할을 하고 있다. 또한, 최근에는 지구온난화 이슈와 더불어 자원의 회수 및 절약 측면에서 유리병의 재활용에 큰 관심을 두고 있는 것은 주지하고 있는 사실이다.

유리병 재활용 공정은 폐 관유리, 폐 소주병을 수거한 후 사용 후 온전한 병은 세척 및 건조를 거친 후 반복적으로 재사용되며, 파손된 병은 파쇄 후 공정 내 유리원료로 재투입된다. 여기에 규사, 소다회, 석회석, 망초 등을 혼합·성형하여 유리병을 생산하게 되는데 유리병의 제조

Received 7 January, 2014; Revised 23 April, 2014;

Accepted 2 May, 2014

*Corresponding author: Hyung-Jin Kim, Department of Environment and Health Science, Suwon Science College, Hwaseong 445-742, Korea
Phone: +82-31-350-2452
E-mail: kimhyun1@ssc.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

공정과 아주 유사하다(Korea Glass Bottle Recycling Association, 2013).

이와 같은 유리병의 재활용을 촉진시키기 위하여 ‘자원의절약과재활용촉진에관한법률’에 따라 첫째, ‘생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)’가 시행되고 있고 이것은 생산자의 재활용 의무를 효과적으로 이행할 수 있도록 하는 제도이다(Korea Environment Corporation, 2013). 반면, ‘민용기보증금제도’란 반복적으로 사용가능한 유리용기의 회수 및 재사용을 촉진시키기 위해 운영되는 제도이다(Kim et al., 2009). 따라서 이 두 가지 제도가 상호 보완적으로 시행이 됨에 따라 유리용기를 친환경적으로 재사용 및 재활용 할 수 있는 기반이 마련되었다고 할 수 있다.

온실가스 저감 및 에너지 절약이 범지구적인 관심사인 만큼 생산자 및 소비자가 쉽게 유리병의 재활용에 대한 친환경성을 이해하기 위해서는 유리병의 제조에서 사용 및 폐기에 이르는 전과정에 대한 환경영향을 객관적으로 알 수 있어야 한다. 이러한 점에서 한 제품에 대한 무덤에서 요람에 이르는 모든 과정으로부터 발생하는 환경부하를 정량화하여 평가하는 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment) 기법이 활발하게 이용되고 있는 것은 좋은 현상이라 할 수 있다(Baek et al., 2011; Koo et al., 2002; Lim et al., 2006; Park et al., 2003).

본 연구에서는 시중에서 많이 사용되는 유리병의 일종인 소주병을 대상으로 LCA를 적용하여 환경에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 이러한 전과정평가 결과는 유리병 제품의 전과정에 걸쳐 발생하는 다양한 환경오염물질의 환경영향에 대한 정량화된 데이터베이스를 제시할 수 있도록 하며, 친환경적인 생산 시스템을 만들기 위한 대안을 제시할 수 있는 토대가 될 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구목적 및 범위 정의

2.1.1. 연구목적

본 연구의 목적은, 국내 전과정평가 방법론을 표준화하기 위해 산업통상자원부가 개발한 전과정평가 프로그램인 PASS를 사용하여, 360mL 소주병 1개를 재활용하는 과정의 환경에 미치는 잠재적 영향들을 정량적 및 정

성적으로 분석하는 것이다. 이를 통해 먼저 유리병 재활용 과정이 환경에 미치는 여러 영향들의 상대적인 중대성을 규명하고자 하며, 또한 환경영향에 대한 개선방향을 제시할 수 있는 기초 자료를 확보하는 데 그 의의가 있다.

2.1.2. 대상의 기능, 기능단위 및 기준흐름

본 연구의 대상은 유리병 재활용이므로 재활용되는 유리병에 국한하였고, 기능은 주류나 음료의 보관기능이며, 기능단위는 소주병 360mL로 설정하였다. 이에 따라 데이터 수집 및 계산의 기준이 되는 기준흐름은 ‘360mL 소주병 1개’로 정하였다.

2.1.3. 시스템 경계

본 전과정평가의 시스템 경계는 제조된 소주병이 재활용되는 과정 중에서 원료채취에서부터 출하하기 전까지(Cradle to Gate: CtG)로 설정하였다. 유리병 재활용 공정에서는 3%의 원료와 97% 유리병이 공정 내에 투입되어 재활용되며, 3%가 폐기처리 되는 것으로 가정하여 계산하고 시스템 범위를 설정하였다. 그리고 각 세부 공정별로 데이터를 수집하여 Fig. 1과 같이 시스템경계를 설정하였으며, 최종 완제품 생산 후 출하를 위한 포장공정은 포함시키지 않았다.

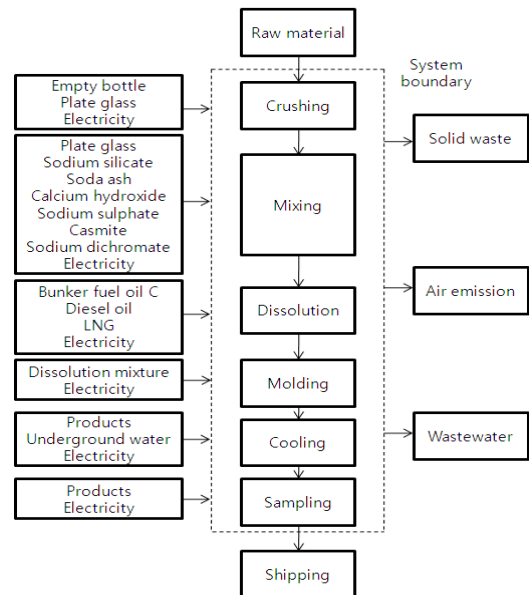


Fig. 1. System boundary of glass bottle recycle.

2.1.4. 데이터 수집

소주병 재활용 공정은 크게 원료물질, 에너지, 유틸리티, 케미컬로 구분하였고, 산출물은 제품, 수계배출물, 대기배출물, 및 폐기물로 분류하였다. 수집 데이터는 측정치, 계산치, 추정치로 구분하였으며, 전력생산을 포함한 전체 데이터의 환경부하는 산업통산자원부와 환경부의 국내 데이터베이스를 사용하였다.

2.1.5. 가정 및 제한사항

- 재활용 공정에서는 사용 후 유리병의 97% 재활용되고, 나머지 3% 폐기처리 되는 것으로 가정하였다.
- 폐 판유리의 수송은 폐 판유리를 건설현장에서 수거하여 보관하는 중간집하장에서 공장까지의 거리를 계산하여 적용하였다.
- 규사, 소다회, 석회석, 망초 등 신병을 만드는 원료 수송은 각 공급업체에서 공장까지의 거리를 계산하여 적용하였다.
- 원료혼합 공정에 투입되는 석회석, 규사, 망초 등은 데이터의 부재로 환경부의 유사 데이터를 대체하여 적용하였다.
- 서냉 공정에서 증발되는 증발수는 환경부하에 속하지 않으므로 Cut off하였다.
- 세부 공정별 전력량은 실측이 불가하여 현장 실무자의 조언을 바탕으로 전체공정에 쓰이는 전력량을 할당하여 적용하였다.
- 폐수는 국내 ‘수질및수생태계보전에관한법률’에 따라 전량 방류수배출기준에 맞게 처리되는 것으로 가정하였다.

• 병커C유와LNG로 인하여 배출되는 대기 배출물은 실측치가 존재하지 않는 관계로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 정한 방법론을 근거로 계산하였다.

2.2. 전과정 목록분석 및 영향평가

2.2.1. 데이터 입력

전과정 목록분석을 계산함에 있어 필요한 투입물 및 산출물의 값을 얻기 위하여 수도권 Y시의 유리병제조 공장의 한 해 운영데이터를 활용하였다. 즉, 1년간 소모된 투입물의 양과 산출물의 양을 같은 기간 동안 생산된 제품의 양으로 나누어 제품 1개당 투입물과 산출물의 사용량을 계산하였다(Table 1).

2.2.2. 전과정 목록분석표 작성

전과정평가에서 목록분석은 시스템 내에서 투입물과 산출물의 데이터를 정성적, 정량적으로 정리하는 단계이다. 작성된 투입물과 산출물의 데이터를 기초로 상위흐름 데이터베이스를 연결하고, ISO 14048의 원칙에 의거하여 최종적인 전과정 목록분석을 수행하였다(ISO, 1998). 그 결과, 약 290여개의 환경배출 목록항목이 도출되었으며 그 중 대표적인 항목을 Table 2에 명시하였다. 주요 투입물로는 용수(Water), 재료(Materials), 모래(Sand) 및 에너지원(Crude oil, LNG, Hard coal)이 차지하였으며, 산출물로는 폐수, CO₂, 및 폐기물이 발생하였다. 특히, 대기 배출물로는 CO₂가 가장 많은 부분을 차지하고 있어서 잠재적인 환경영향으로 지구온난화가 다른 환경영향범주보다 상대적으로 비중이 크다는 것을 알

Table 1. Input and output data base

| INPUT | | | | OUTPUT | | | |
|--------------|-------------------|----------------|----------|----------------|-----------------|------|----------|
| Group | Name | Unit | Amount | Group | Name | Unit | Amount |
| Raw material | Plate glass | g | 2.49E+02 | Product | Glass bottle | g | 2.90E+02 |
| | Sodium silicate | g | 2.49E+01 | | SO _x | g | 2.40E-01 |
| | Soda ash | g | 8.19E+00 | | NO _x | g | 4.70E-01 |
| | Sodium hydroxide | g | 7.94E+00 | | CO ₂ | g | 3.00E-02 |
| | Sodium sulphate | g | 7.32E-01 | | Air emission | Dust | g |
| Electricity | Wh | 4.88E+01 | | | | | |
| Energy | Bunker fuel oil C | L | 3.00E-02 | | | | |
| | LNG | m ³ | 4.00E-02 | | | | |
| Utility | Underground water | g | 1.50E+02 | Water emission | Waste water | g | 7.49E+01 |

Table 2. Results of life cycle inventory analysis

| Materials | Direction | Group | Distribution Media | Unit | Amount |
|---------------------------------|-----------|--------------|--------------------|------|----------|
| Water | INPUT | Resource | water | kg | 1.47E+00 |
| Waste water | OUTPUT | Emission | water | kg | 1.19E+00 |
| Carbon dioxide | OUTPUT | Emission | air | kg | 3.23E-01 |
| Non-hazardous wastes (domestic) | OUTPUT | Waste | technosphere | kg | 1.44E-01 |
| Materials (unspecified) | INPUT | Raw material | technosphere | kg | 9.31E-02 |
| Sand | INPUT | Resource | soil | kg | 7.03E-02 |
| Crude oil | INPUT | Resource | soil | kg | 5.51E-02 |
| Sodium chloride | INPUT | Resource | soil | kg | 5.16E-02 |
| LNG | INPUT | Resource | soil | kg | 4.81E-02 |
| Hard coal | INPUT | Resource | soil | kg | 4.36E-02 |
| Aluminum sulfate | INPUT | Raw material | technosphere | kg | 3.90E-02 |
| Wood | INPUT | Resource | soil | kg | 3.88E-02 |
| Air | INPUT | Resource | air | kg | 3.17E-02 |
| Calcium hydroxide | INPUT | Raw material | technosphere | kg | 2.36E-02 |
| Limestone | INPUT | Resource | soil | kg | 2.35E-02 |
| Soil | INPUT | Resource | soil | kg | 2.18E-02 |
| Exhaust | OUTPUT | Emission | air | kg | 2.06E-02 |
| Coal | INPUT | Resource | soil | kg | 1.85E-02 |
| Chloride (Cl) | OUTPUT | Emission | water | kg | 1.52E-02 |
| Steam | OUTPUT | Emission | air | kg | 1.32E-02 |

수 있다.

2.2.3. 전과정 영향평가(영향범주 및 영향평가 방법론)

본 연구에서는 산업통상자원부에서 개발한 프로그램인 PASS를 사용하였으며, 대표적인 환경영향범주인 자원고갈(Abiotic Resource Depletion; ADP), 산성화(Acidification; AP), 부영양화(Eutrophication; EP), 지구온난화(Global Warming; GWP), 오존층파괴(Ozone

Depletion; ODP) 및 광화학산화물 생성(Photochemical Oxidant Creation; POCP)의 6가지를 선정하였다(Table 3). 전과정 영향평가의 첫 번째 단계인 특성화는 각 환경영향범주별로 분류된 목록항목들의 각각의 영향범주에 미치는 기여정도를 정량화하는 단계로서, 이 특성화 값에 각각의 환경부하에 대응하는 상응인자를 곱하여 잠재적인 환경영향을 산정할 수 있다.

Table 3. Impact category, characterization factor, and model source

| Impact Category | Characterization Factor (Unit) | Model Source |
|--------------------------------|---|---|
| Abiotic Resource Depletion | Abiotic Resource Depletion Potential; ADP(1/yr) | EIA, International Energy Annual (2000,2002) U.S. Geological Survey (USGS) (2001~2002) |
| Acidification | Acidification Potential; AP(kg SO ₂ -eq/kg) | Problem oriented approach (CML, 1999) AP (Hauschild & Wenzel (1998) |
| Eutrophication | Eutrophication Potential; EP(kg PO ₄ ³⁻ -eq/kg) | Heijung et al.(1992) |
| Global Warming | Global Warming Potential; GWP(kg CO ₂ -eq/kg) | IPCC(1996) |
| Ozone Depletion | Ozone Depletion Potential; ODP(kg CFC11-eq/kg) | UNEP(2002) |
| Photochemical Oxidant Creation | Photochemical Oxidant Creation Potential; POCP(kg C ₂ H ₄ -eq/kg) | POCP(Jenkin & Hayman, 1999; Derwent et al. 1998; high Nox) |

3. 결과 및 고찰

3.1. 특성화 결과(범주지표 결과 계산)

3.1.1. '자원고갈' 영향범주에 대한 특성화 결과

먼저 360mL 소주병 1개의 재활용이 여러 영향범주 중 자원고갈에 미치는 영향을 계산하여 그 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 자원고갈에 영향을 미치는 인자의 크기는, 병커C유(47.78%), LNG(41.46%), 전력(6.21%), 판유리(2.55%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 그러나 규사, 석회석, 소다회, 망초 등 화학약품들과 운송부분은 1% 내외의 미미한 영향을 주고 있음을 보여준다. 병커C유 및 LNG 사용이 자원고갈에 가장 많은 영향을 미치는 이유는 판유리의 용해공정에 다량의 에너지가 소모되기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 한편, 지하수 사용은 지하수를 구성하는 물은 지구 상에서 계속 순환되므로 자원고갈이라고 볼 수 없는 것으로 고려할 수 있다.

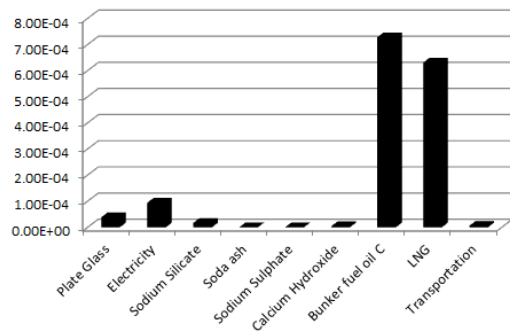


Fig. 2. Characterization for Abiotic Resource Depletion(ADP).

3.1.2. '산성화' 영향범주에 대한 특성화 결과

360mL 소주병 1개의 재활용이 산성화에 미치는 영향을 계산하여 종합한 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 산성화에 영향을 미치는 인자의 크기는, 병커C유(46.79%), LNG(25.91%), 전력(13.26%), 판유리(8.73%), 규사(2.09%), 운송(1.77%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 반면에 석회석, 소다회, 망초 등은 1% 미만의 영향을 주고 있음을 보여준다. 산성화에 영향을 미치는 인자에 있어서는 병커C유 및 LNG 사용이 대부분의 영향을 차지하는 것으로 분석되었는데, 이

것은 채굴, 수송, 및 생산 등의 과정에서 발생하는 SO₂의 영향으로 산성화에 대한 환경영향이 크게 나타난 것으로 해석된다.

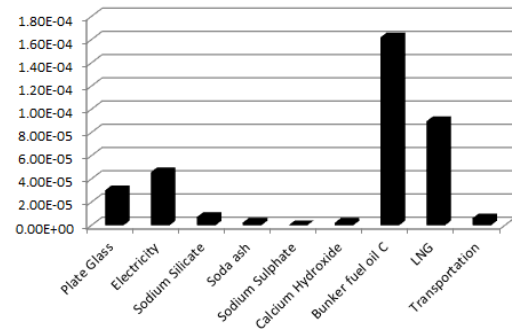


Fig. 3. Characterization for Acidification(AP).

3.1.3. '부영양화' 영향범주에 대한 특성화 결과

Fig. 4에는 360mL 소주병 1개의 재활용이 부영양화에 미치는 영향을 제시하였다. 부영양화에 영향을 미치는 인자의 크기는 자원고갈 및 산성비 범주와는 다르게, 전력(34.70%), 병커C유(33.86%), LNG(13.21%), 판유리(7.74%), 운송(4.39%), 규사(3.15%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 그 외 석회석, 소다회, 망초, 수산화칼슘 등은 상대적으로 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 부영양화에 영향을 미치는 인자에 있어서는 전력 및 병커C유 영향이 크게 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 부영양화 유발인자인 질소 및 인이 화학약품 등 타 인자들에는 전혀 함유되어 있지 않은 반면에 전력 및 병커C유에는 채굴, 운송, 및 생산 과정에서 질소 및 인의 배출 가능성이 상대적으로 높기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

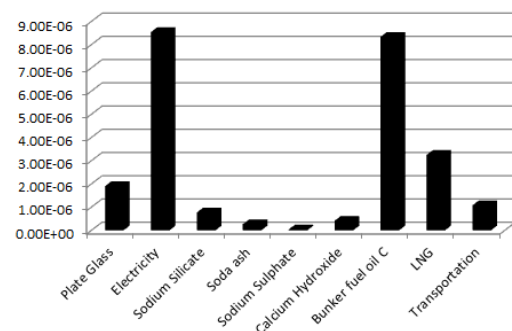


Fig. 4. Characterization for Eutrophication(EP).

3.1.4. '지구온난화' 영향범주에 대한 특성화 결과

360mL 소주병 1개의 재활용이 지구온난화에 미치는 영향을 계산하여 종합한 결과는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 지구온난화에 영향을 미치는 인자의 크기는, 전력(45.19%), LNG(28.35%), 병커C유(11.33%), 판유리(7.22%), 규사(4.87%), 운송(1.28%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 그 외 소다회, 석회석, 망초 등의 환경영향은 미미한 것으로 나타났다. 지구온난화에 영향을 미치는 인자에 있어서는 전력, LNG 및 병커C유 영향이 크게 차지하는 것으로 분석되었는데, 이는 판유리의 용해공정에 이들이 대부분 열원으로 필요하며, 그 결과 다량의 이산화탄소가 발생하기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

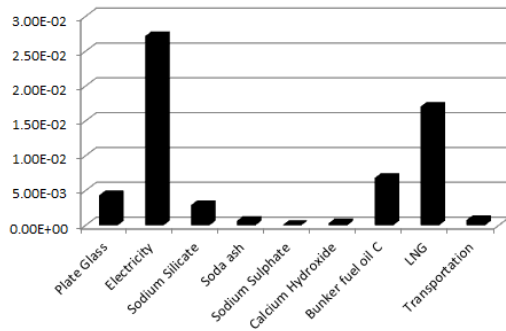


Fig. 5. Characterization for Global Warming(GWP).

3.1.5. '오존층파괴' 영향범주에 대한 특성화 결과

360mL 소주병 1개의 재활용이 오존층파괴에 미치는 영향을 계산하여 종합한 결과는 Fig. 6에 나타난 바와 같다. 오존층파괴에 영향을 미치는 인자의 크기는, 판유리(53.30%) 병커C유(15.69%), 규사(14.90%), 운송(8.91%), LNG(4.32%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 그 외 소다회, 석회석, 망초 등의 환경영향은 미미한 것으로 나타났다. 오존층 파괴의 주범으로 알려진 Halon, Chlorine, CFC, HCFC 등이 판유리 제조 및 병커C유 사용으로 인한 대기오염물 형태로 골고루 배출된 것으로 보인다.

3.1.6. '광화학산화물생성' 영향범주에 대한 특성화 결과

360mL 소주병 1개의 재활용이 광화학산화물생성에 미치는 영향을 계산하여 종합한 결과는 Fig. 7에 제시되었

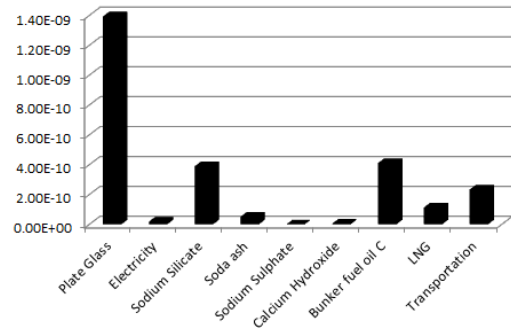


Fig. 6. Characterization for Ozone Depletion(ODP).

3.1.6. '광화학산화물생성' 영향범주에 대한 특성화 결과

다. 광화학산화물생성에 영향을 미치는 인자의 크기 360mL 소주병 1개의 재활용이 광화학산화물생성에 미치는 영향을 계산하여 종합한 결과는 Fig. 7에 제시되었다. 광화학산화물생성에 영향을 미치는 인자의 크기는, 병커C유(62.52%), LNG(24.06%), 판유리(8.11%), 규사(1.75%), 운송(1.44%), 전력(1.19%) 등의 순서인 것으로 나타났다. 반면에 석회석, 소다회, 망초 등은 환경영향이 미미한 것으로 나타났다. 광화학산화물생성에 영향을 미치는 인자에 있어서는 병커C유 및 LNG 사용이 대부분의 영향을 차지하는 것으로 분석되었는데, 이것은 자원의 채굴, 수송, 및 사용 등의 단계에서 광화학생성물이 타 인자에 비해 압도적으로 많이 발생한다고 해석할 수 있다.

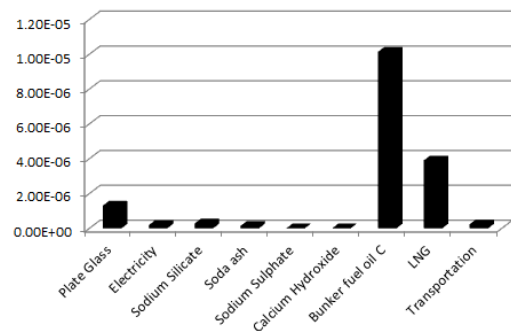


Fig. 7. Characterization for Photochemical Oxidant Creation (POCP).

3.2. 전과정 해석

이러한 전과정평가 결과로부터 유리병 재활용 공정에 미치는 전체 환경영향범주의 상대적인 크기는, 지구온난

화(97%)가 압도적인 비중을 차지하였으며 무생물자원 고갈(2%), 산성화(1%) 등의 순서인 것으로 나타났다 (Fig. 8). 반면에 오존층파괴, 부영양화, 및 광화학산화물 생성 범주는 환경영향이 미미한 것으로 간주되었다.

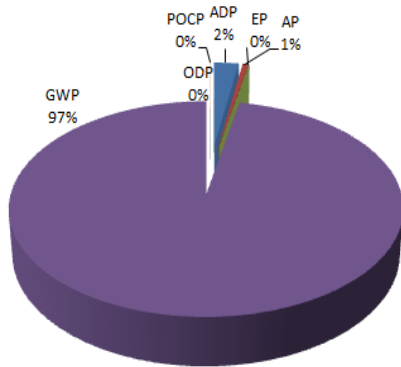


Fig. 8. Comparison of environmental impact categories.

이러한 결과를 볼 때, 원료의 용해공정에서 병커C유와 LNG의 사용으로 인한 자원고갈과 전체 공정에 전력과 판유리, 규사의 사용에 의한 지구온난화가 환경이슈로 도출될 수 있다. 소주병 재활용 공정으로부터 환경영향을 줄이기 위해서는 여러 인자 중 가장 큰 부분을 차지하는 병커C유와 LNG 사용량을 줄이고 원재료인 판유리와 규사의 사용량을 줄이는 방법을 모색할 수 있다. 그러나 원재료는 제품생산을 위하여 필연적으로 소모해야하기 때문에 원재료의 사용량을 줄이는 것보다는 원료의 용해로에서 사용되는 병커C유와 LNG의 사용량을 줄이거나 환경부하가 적은 다른 종류의 에너지로 대체하는 것이 바람직하다. 또한 전체 공정에서 사용되는 전력이 지구온난화에 많은 영향을 주기 때문에 용해공정에서 터빈을 이용하여 폐열을 전력으로 재활용하면 환경부하가 많이 감소될 것으로 예상할 수 있다.

4. 결론

전과정평가(LCA) 기법을 유리병 재활용 공정에 적용하여 전과정목록분석(LCI) 및 전과정영향평가(LCIA)를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 먼저, 전과정 목록분석 결과 약 290여개의 환경배출 목록항목이

도출되었다. 주요 투입물로는 용수(Water), 재료(Materials), 모래(Sand) 및 에너지원(Crude oil, LNG, Hard coal)이 차지하였으며, 산출물로는 폐수, CO₂, 및 폐기물이 발생하였다. 특히, 대기 배출물로 CO₂가 가장 많은 부분을 차지하고 있어서 잠재적인 환경영향으로 지구온난화가 다른 환경영향범주보다 상대적으로 비중이 크다는 것을 알 수 있었다.

전과정 영향평가는 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성의 6개 환경영향범주로 나누어 수행하였다. 이 중 자원고갈에 영향을 미치는 주요 인자는 병커C유(47.78%) 및 LNG (41.46%) 이었으며, 산성화에 영향을 미치는 주요 인자는 병커C유 (46.79%) 및 LNG(25.91%) 이었다. 또한 부영양화에 영향을 미치는 주요 인자는 전력(34.70%) 및 병커C유 (33.86%)이었으며, 지구온난화에 영향을 미치는 주요 인자는 전력(45.19%) 및 LNG(28.35%),이었다. 한편, 오존층파괴에 영향을 미치는 인자의 크기는 판유리 (53.30%), 병커C유(15.69%), 규사(14.90%) 순서 이었으며, 광화학산화물생성에 영향을 미치는 인자의 크기는 병커C유(62.52%), LNG(24.06%), 판유리(8.11%) 등의 순서를 보여주었다.

유리병 재활용 공정에 미치는 전체 환경영향범주의 상대적인 크기는, 지구온난화(97%)가 압도적인 비중을 차지하였으며 무생물자원고갈(2%), 산성화(1%) 등의 순서인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Baek, S. H., Kim, H. J., Kwon, Y. S., Kim, S. S., Choi, Y. G., Chung, C. K., 2011, A study on environmental evaluation of metallic can using life cycle assessment. J. of the Environmental Sciences, 20(11), 1395-1401.
- ISO 14041 : 1998, Environmental management - Life cycle assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis.
- ISO 14042 : 1998, Environmental management - Life cycle assessment - Impact Assessment
- Koo, H. J., Chung, C. K., 2002, Study on the application of cleaner production using life cycle assessment on the can industry. Clean Technology, 8(4), 205-215.
- Kim, H. J., Kwon, Y. S., Choi, Y. G., Chung, C. K., Baek, S. H., Kim, Y. W., 2009, Life cycle assessment on the

- reuse of glass bottles. *Clean Technology*, 15(3), 224-230.
- Korea Glass Bottle Recycling Association, 2013, <http://www.kgbra.or.kr/>.
- Korea Environment Corporation, 2013, <http://www.epr.or.kr/MAIN1.jsp?&Goto=/SYS/INT/INTRO&txtDutyType=2&menu=0101>.
- Lim, H. S., Yang, Y. H., Song, J. I., Lee, K. M., 2006, Life cycle assessment of plant reuse/recycling in the end-of-life stage of personal computers. *K. J. of Environmental Engineers*, 28(5), 494-500.
- Park, K. H., Hwang, Y. W., Jo, B. M., Kim, H. J., 2003, Environmental impact evaluation for paper & pulp industry. *K. J. of Environmental Engineers*, 25(11), 1411-1419.