

유리병 재사용에 대한 전과정평가

김형진,* 권영식, 최윤근,† 정찬교,‡ 백승혁,§ 김영우#

수원과학대학 환경보건과
445-742 경기도 화성시 정남면 보통리 산9-10

†(주)에코글로벌컨설팅
139-200 서울시 노원구 상계동 1267

‡수원대학교 환경공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2

§현대엔지니어링 화공사업본부
158-723 서울시 양천구 목1동 917-9

#호서대학교 자동차공학과
336-795 충남 아산시 배방면 세출리 165번지

(2009년 7월 28일 접수; 2009년 8월 27일 수정본 접수; 2009년 8월 28일 채택)

Life Cycle Assessment on the Reuse of Glass Bottles

Hyung-Jin Kim,* Young-Shik Kwon, Yoon-Geun Choi,†
Chan-Kyo Chung,‡ Seung-Hyuk Baek,§ and Young-Woo Kim#

Department of Environment and Health, Suwon Science College
San 9-40 Botong-ri, Jeongnam-myun, Hwaseong, Gyeonggi 445-742, Korea

†Eco-Global Consulting
1267 Sanggye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-200, Korea

‡Department of Environmental Engineering, The university of Suwon
San 2-2 Wau-ri, Bongdam-eup, Hwaseong, Gyeonggi 445-743, Korea

§Process Plant Division, Hyundai Engineering Co., Ltd.
917-9 Mok-1-dong, Yangcheon-gu, Seoul 158-723, Korea

#Department of Automotive Engineering, Hoseo University
165 Sechul-ri, Baebang-myun, Asan, Chungnam 336-795, Korea

(Received for review July 28, 2009; Revision received August 27, 2009; Accepted August 28, 2009)

요 약

본 연구에서는 유리병 재사용에 대한 환경영향을 알아보기 위하여 전과정평가를 수행하였다. 연구범위로 는 제품제조 및 원료수송 단계로 한정되었으며 360 mL 유리병 한 개를 기능단위로 사용하였다. 고려된 환경영향 범주는 6개로 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴 및 광화학산화를 생성 등이었다. 전과정평가 결과, 자원고갈이 48.63%, 지구온난화가 46.27%로 두 범주가 가장 큰 환경영향을 보였으며 나머지 범주들은 상대적으로 미미한 영향을 보였다. 전체 공정 중 신병제조공정에 사용되는 화학약품에 의한 환경영향이 71.24%로서 주요인으로 나타났고 전력사용은 16.74%, 수송은 11.8%로 다음을 차지하고 있다. 또한 신병제조공정에 투입되는 화학약품 중 규산나트륨에 의한 환경영향이 45.68%를 차지하고 있어 자원고갈 및 지구온난화에 대한 기여도가 가장 큰 것으로 보인다.

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kimhyun1@ssc.ac.kr

주제어 : 전과정평가, 환경영향, 지구온난화

Abstract : Life Cycle Assessment (LCA) has been studied on the reuse of glass bottles. The system boundary in this study encompassed from gate to gate such as production and transportation. A 360 mL volume of a glass bottle was selected as the functional unit. The environmental impact assessments was studied on 6 categories including abiotic resource depletion, acidification, eutrophication, global warming, ozone depletion, and photochemical oxidant creation. The results showed that the most significant impact categories were abiotic resource depletion (48.63%) and global warming (46.27%), and the rest categories revealed insignificant impacts. In the whole system, the chemicals used for the new bottle production revealed the major contribution to the environmental impacts (71.24%), followed by the use of electricity (16.74%) and transportation (11.8%). In addition, the environmental impact of sodium silicate to be put into the stage of the new bottle production was found to be 45.68%, causing severe influence on abiotic resource depletion and global warming.

Keywords : LCA, Environmental impact, Global warming

1. 서 론

최근 지구온난화에 따른 국제적인 환경문제들이 이슈화됨에 따라 지속가능한 발전에 많은 관심이 쏠리는 상황이다. 또한 RoHS, WEEE, REACH, EuP 등 국제 환경규제가 성립됨에 따라 수출에 의존하는 국가 들은 나름대로 대비책을 마련하느라 여념이 없다. 따라서 제품을 생산하는 기업체 입장에서는 품질관리 면에서만 신경을 쓰는 시대는 지났으며 제품의 전과정에 대한 환경성을 평가하고 그 결과를 제품에 반영해야만 기업의 경쟁력을 확보할 수 있는 여건이 되고 있다[1].

전과정평가(LCA, life cycle assessment)는 어떤 제품이나 서비스의 전과정(원료채취, 제품생산, 사용, 폐기)에 걸친 환경부하 즉, 투입물에 의한 자원고갈, 배출물에 의한 환경영향을 평가하기 위해 투입, 산출물의 정량적 자료목록을 작성, 환경영향을 평가하여 환경성과를 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 할 수 있다. 환경영향평가(EIA), 위해성평가(risk assessment)등과 함께 환경관리기법 중 하나로 정립되어 가고 있고 ISO 14000 series의 기술적 근간을 이루고 있어 다른 기법에 비해 국제적으로 보다 중요시되는 기법이라 할 수 있다[2,3].

이러한 전과정평가 기법은 우리가 매일 사용하고 있는 유리병, 캔, 플라스틱 등 포장용기에 대한 적용 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 용기들은 자원의 절약 및 순환 측면에서 생산자책임재활용제도와 빈용기보증금제도에 의하여 법적·제도적 보완장치로 인하여 환경보호에 상당히 기여하고 있는 실정이다[4].

생산자책임재활용제도(EPR, extended producer responsibility)는 '자원의절약과재활용촉진에관한법률'에 따라 재활용이 가능한 폐기물의 일정량 이상을 재활용하도록 생산자에게 의무를 부여하고, 이를 이행하지 못할 경우 실제 재활용에 소요되는 재활용 부과금을 생산자에게 부과하는 제도이다. 이는 1992년부터 시행한 폐기물예치금제도가 재활용을 경제적 요인에만 맡겨 두는 결과를 초래함으로써 사회적으로 바람직한 재활용이 이루어지지 못함에 따라 이를 보완·개선하여 2003년 1월

1일부터 시행되고 있다[5].

한편 빈용기보증금제도에 반복적으로 사용 가능한 유리용기의 회수·재사용을 촉진하기 위하여 출고가격 또는 수입가격과는 별도로 빈용기보증금액을 포함하여 소비자에게 판매한 후 소비자가 공병을 소매점에 반환할 때 그 공병에 대한 보증금을 환불해 주는 제도이다. 자원재활용과 환경보호를 위하여 실시되고 있으며 빈용기보증금제도에 포함되는 제품의 제조업자 및 수입업자는 빈용기의 회수가 촉진될 수 있도록 빈용기를 취급하는 도매업자 및 소매업자에게 취급수수료를 지급해야 한다[6].

이러한 제도들이 활성화되기 위해서는 판매자는 물론 소비자의 유리병에 대한 친환경적인 인식제도가 절실히 필요하다. 그러기 위해서는 유리병 재사용에 대한 원료취득에서부터 폐기 단계에 이르기까지 전과정평가가 요구되고 그 결과에 따라 제품의 환경영향을 줄일 수 있는 방안을 강구할 수 있으며 유리병의 친환경 이미지 향상에 기여할 수 있게 된다.

따라서 본 연구에서는 시중에서 회수되어 세정 등 간단한 전처리를 통하여 반복적으로 사용되고 있는 재사용 유리병의 환경에 대한 영향을 평가하기 위하여 전과정 기법을 적용하여 그 결과를 도출해 보았으며 또한 환경부하를 감축하기 위한 방법을 모색해 보았다.

2. 연구 목적 및 범위 설정

2.1. 기능 및 기능단위

본 전과정평가에서의 유리병의 기능은 내용물 보관 기능으로 정했으며 기능단위는 유리병 중에 가장 많이 사용되는 360 mL 용량의 소주병으로 설정하였다. 따라서 기준 흐름은 360 mL 용량 소주병 1개 290 g으로 선정하였다.

2.2. 시스템 경계 설정

본 전과정평가의 시스템 경계는 제조된 유리병이 재사용되는 과정 중 원료가 일부 투입되고 재사용되어 출하하기 전까지(gate to gate) 제조공정으로 한정하였다. 각 세부공정별로

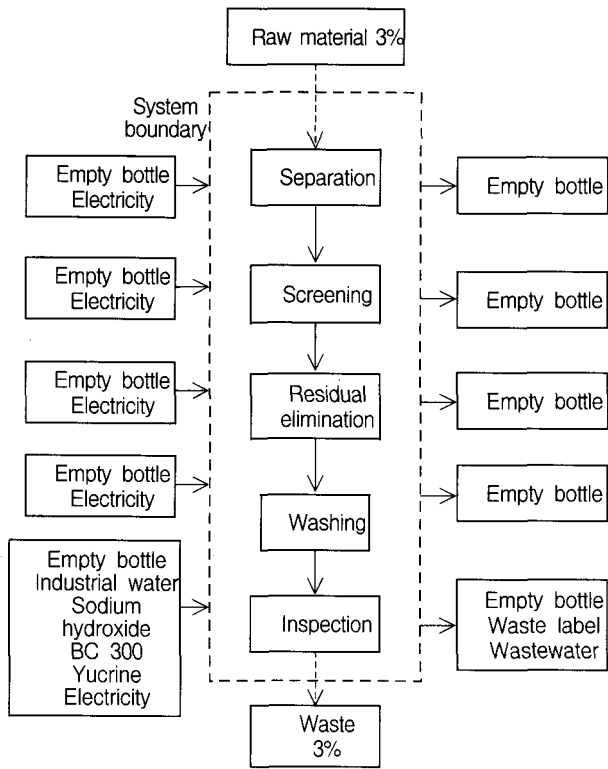


Figure 1. Process flow for the reused glass bottle.

데이터를 수집하여 시스템경계를 설정하였으며 최종 완제품 생산 후 출하를 위한 포장공정은 포함되지 않았다(Figure 1). 본 공정에는 원재료 공급이 3%를 차지하는데 신병제조공정에서 만들어진 새로운 유리병이 재사용공정으로부터 폐기되는 3%의 유리병을 보충하기 위하여 투입되는 것이다. 신병제조 공정에는 유리병의 주원료인 규산나트륨을 비롯하여 수산화칼슘, 수산화나트륨, 탄산칼슘 및 황산나트륨 등 화학약품들이 투입되고 전력이 일정부분 사용되었다.

2.3. 데이터 및 영향평가 범주

유리병 재사용 공정에 대한 전과정평가를 위하여 필요한 데이터 및 정보를 획득하기 위한 설문지를 작성한 후, 이전에 소재한 대상 업체를 직접 방문하여 데이터를 수집하였다. 데이터 수집기간은 2007년도 자료를 기준으로 하였으며 기술적 경계로는 2008년도 국내에서 사용되는 재사용 기술을 기준으

로 하였다.

공정은 크게 원료물질, 에너지, 유틸리티, 케미컬로 구분하였으며, 산출물은 제품, 수계배출물, 대기배출물, 폐기물로 분류하였다. 수집 데이터는 측정치, 계산치, 추정치로 구분하였으며, 전력생산을 포함한 전체 데이터의 환경부하는 지식경제부와 환경부의 국내 데이터베이스를 사용하였다. 본 전과정평가에서의 영향범주 및 영향평가 방법론은 산업자원부에서 개발한 영향평가 방법론을 사용하였으며, 고려한 영향범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층과파괴, 산성화, 부영양화, 광화학산화물 생성의 6가지로 통일하였다.

2.4. 할당

전력에 의한 할당을 제외한 모든 데이터는 실측치를 적용하였으며 세부 공정별 전력량은 실측이 불가하여 현장 실무자의 조언으로 전체 공정상의 전력을 할당하여 적용하였다. 즉 실제 제조 공장 내의 연간 전력량에서 재사용되어 출하된 유리병의 연간 생산량을 나누어 대상제품 1개를 생산하기 위하여 투입되는 전력 사용량을 산출하였다.

2.5. 가정 및 제한사항

먼저 유리병 재사용 공정은 3% 원료물질이 투입되고 유리병이 97% 반복적으로 사용되며 3%가 폐기되어 버려지는 것으로 가정하였다. 또한 세병공정에서 투입되는 BC 300과 유크린이라는 화학물질은 상위물질의 추적불가와 투입량이 매우 미량으로 cut-off 대상에 해당되어 제외시켰다. 그리고 세병 공정에 투입되는 공업용수의 사용으로 인해 발생하는 수계배출물은 자체 하수처리장을 통하여 배출하는 것이 아니라 지역 폐수중말처리장에서 포집하여 일괄 처리하여 배출함으로써 국내 수질환경보전법에 의거하여 방류수수질기준을 적용하여 산출하였다[7]. 유리병 원료물질의 수송은 각 공급업체에서 공장까지 거리를 계산하여 적용하였다.

3. 전과정 목록분석

3.1. 기능단위 당 gate to gate DB 작성

대상 제품은 유리병 중에 가장 많이 사용되는 360 mL 용량의 소주병으로서 2007년 한 해 동안 소모된 투입물의 양과 산출물의 양을 같은 기간 동안 생산된 제품의 양으로 나누어 제

Table 1. Gate to gate D/B

INPUT				OUTPUT			
Group	Name	Unit	Amount	Group	Name	Unit	Amount
Raw material	Glass bottle	g	2.90E+02	Product	Glass bottle	g	2.90E+02
	NaOH	g	1.75E+00		Water emission	Wastewater	g
Energy	Electricity	wh	6.49E+00				
Utility	Industrial water	g	4.68E+02				

Table 2. Upstream D/B for the reused glass bottle

Items	Upstream DB	Data source
NaOH	NaOH	Ministry of Environment (1999)
Electricity	Electricity	Ministry of Knowledge Economy (1998)
Industrial water	Industrial water	Ministry of Environment (1998)

품 1개당 투입물과 산출물의 사용량을 계산하여 gate to gate D/B를 작성하였다(Table 1).

3.2. 전과정 목록분석표 작성

작성된 gate to gate DB를 기초로 상위흐름 DB를 연결하고, ISO 14048의 원칙에 의거하여 최종적인 전과정 목록 분석표를 작성하였다. 사용된 상위흐름 DB는 Table 2에 기술하였다.

4. 전과정 영향평가

4.1. 분류화 및 특성화

영향평가 결과는 분류화, 특성화, 정규화, 가중화로 나눌 수 있다. 일반적인 연구는 분류화, 특성화까지 진행하며 정규화와 가중화는 선택사항이다. 정규화와 가중화는 객관성 증명에 어려움이 있어 선택사항으로 했으며 분류화와 특성화는 인과관계가 명확하여 전과정평가 연구의 필수사항이다.

영향평가의 첫 번째 단계로서 분류화는 목록분석에서 도출되는 항목들을 예상되는 환경영향의 형태를 토대로 해당 범주에 연결하고 취합하는 과정으로서 잠재적인 환경영향을 단순화하기 위해서 수행한다. 본 연구에서는 환경영향평가 방법론에서 비교적 공통적으로 사용되고 있는 자원고갈(abiotic resource depletion; ADP), (acidification; AD), 부영양화(eutrophication; EP), 지구온난화(global warming; GWP), 오존층파괴(ozone depletion; ODP) 광화학산화물 생성(photochemical oxidant creation; POCP)의 6가지를 환경영향범주로 설정하였다.

특성화란 영향범주 내로 분류된 목록항목들이 각각의 영향 범주에 미치는 영향을 정량화하는 과정을 말한다. 이번 연구에 사용된 특성화 방법론은 상응 인자 모델, 즉 상응인자를 이용하여 주어진 영향범주 내로 분류된 목록항목의 잠재적인 영향을 평가하는 방법이다. 아래 표현한 식은 일반적으로 상응인자(equivalency factor) 값을 이용하여 환경영향을 계산하는 방법을 나타낸다.

$$\text{Potential Impact} = \frac{\text{Environmental Load} \times \text{Equivalency Factor}}{\text{Equivalency Factor}} \quad (1)$$

상응인자 모델은 여러 종류의 특성화 모델 중 하나에 불과하지만 정량적인 결과를 도출할 수 있고 사용상의 편리함 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 상응인자의 개발은 아직 완료되지 않았으며, 서식지 변화, 생물종 다양성 등에 미치는 상

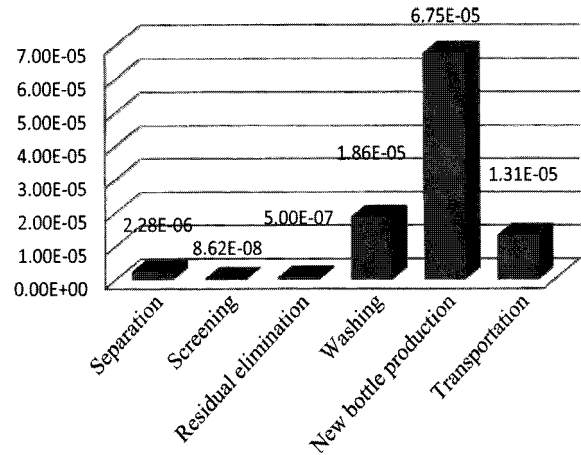


Figure 2. Characterization of the reused glass bottle (abiotic resource depletion; ADP).

응인자의 개발은 힘들 것으로 판단된다. 본 연구에서는 산업 자원부에서 개발한 환경영향평가 방법론 및 특성화 인자를 사용하였다.

특성화 결과, 무생물 자원고갈 범주에서 신병제조 공정이 66.18%로서 가장 큰 환경영향을 차지하고 있고 다음으로 세병 공정이 18.23%, 수송과정이 12.87%를 보여 주고 있다(Figure 2). 신병제조 공정에는 규산나트륨을 비롯한 수산화칼슘, 황산 나트륨 등 화학약품이 차지하는 비중이 크고 또한 전력이 사용됨으로써 환경영향이 높게 나타남을 알 수 있다. 나머지 공

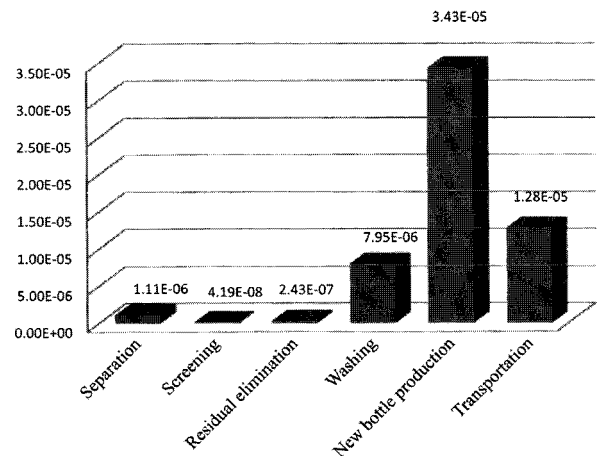


Figure 3. Characterization of the reused glass bottle (acidification; AP).

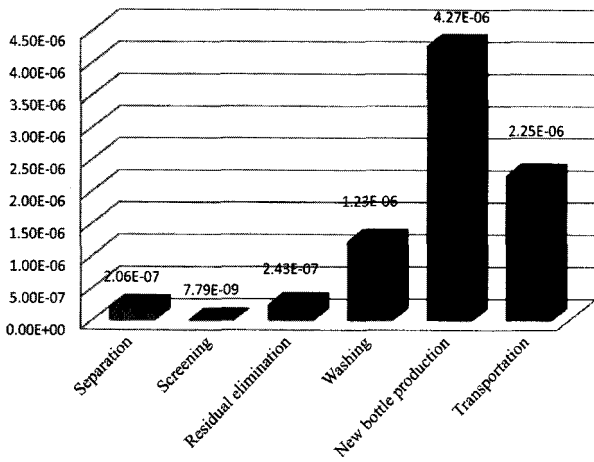


Figure 4. Characterization of the reused glass bottle (eutrophication; EP).

정들인 공병분리 선별 및 불순물 제거 공정은 상대적으로 환경영향이 낮은데 이는 전력만이 공정에 사용됨으로써 환경부하가 크지 않음을 보여준다.

산성화 범주에서는 신병제조 공정이 60.83%로서 환경영향이 가장 크고 수송과정이 22.6%, 세병공정이 14.09%로 그 뒤를 따르고 있다(Figure 3). 특히 수송과정에서는 대기오염물질인 질소산화물의 배출부하가 상대적으로 세병공정보다 커서 산성화에 대한 환경영향이 높게 나타났다. 한편 나머지 공병분리, 선별 및 불순물제거 공정에서는 전력만이 사용됨으로써 산성화에 대한 주요 오염물질인 황산화물이 배출되지 않음으로 인해 환경영향 기여도가 낮게 나타났다.

부영양화 범주에서 역시 신병제조 공정이 50.67%로서 환경영향이 가장 크며 수송과정이 26.76%, 세병공정이 14.55%의 기여도를 보이고 있다(Figure 4). 특히 신병제조 공정에서는 화학약품들에 기인한 부영양화의 주요 물질인 암모니아성질소 배출이 현저하고 타 공정에서는 보이지 않았다. 한편, 불순물제거 공정은 2.88%, 공병분리 공정은 2.44%의 낮은 환경영향 기여도를 보이며 선별공정은 거의 무시할 수 있는 수준이었다.

지구온난화 범주에서는 신병제조공정이 66.23%로 가장 큰 환경영향을 보이며 세병공정이 19.75%, 수송과정이 9.27%의 기여도를 보였다(Figure 5). 온실가스 중 이산화탄소에 의한 영향이 차지하는 비중이 컸으며 상기 공정들에서는 대부분의 온실가스에 의한 환경영향이 나타났다. 하지만 전력만이 사용되는 공병분리, 선별 및 불순물제거 공정에서는 CFC에 의한 영향은 없었으며 이산화탄소에 의한 기여도 역시 낮아 지구온난화에 대한 영향은 미미했다.

오존층파괴 범주에서는 신병제조공정이 62.29%로 환경영향이 가장 크며 수송과정이 24.89%, 세병공정이 12.68%를 보이고 있다(Figure 6). 나머지 공병분리, 선별 및 불순물제조 공정은 거의 무시할 수 있는 기여도를 보였다. 전력으로부터는 오존층파괴 물질로 알려진 CFC물질이 배출되지 않았으며 chlorine 및 halon 물질이 상대적으로 미미한 수준으로 배출되었다. 화학약품 및 수송과정에서는 CFC 및 기타 오존층파

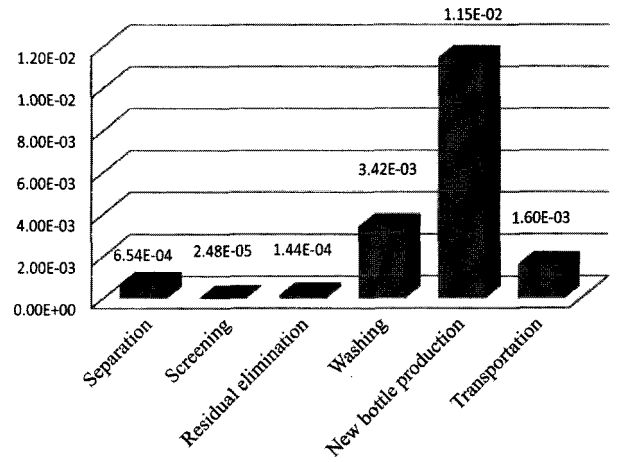


Figure 5. Characterization of the reused glass bottle (global warming; GWP).

괴 물질이 모두 배출되었으며 화학약품 중 특히 규산나트륨에 의한 오존층 파괴 기여도가 가장 높게 나타났다.

광화학산화물 생성 범주에서 신병제조공정은 전체 광화학산화물 생성 환경영향의 66.60%로 가장 큰 기여도를 보였으며 수송과정이 27.32%, 세병공정이 5.75%로 나타났다(Figure 7). 신병제조공정에 사용되는 규산나트륨 및 수산화칼슘에 의한 환경영향이 컸으며 전력에 의한 영향은 상대적으로 낮게 나타났다.

4.2. 정규화 및 가중화

정규화란 특성화와 가중치 부여 단계 사이에 포함되는 단계로 대상 기능단위가 하나의 영향범주에 미치는 환경영향을 일

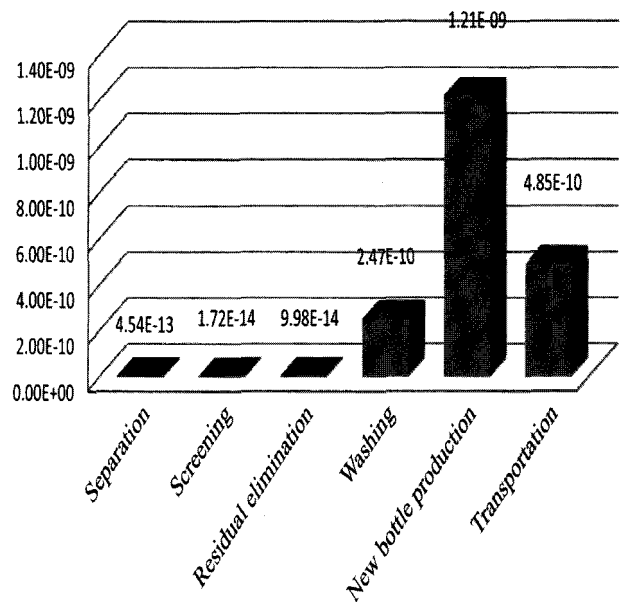


Figure 6. Characterization of the reused glass bottle (ozone depletion; ODP).

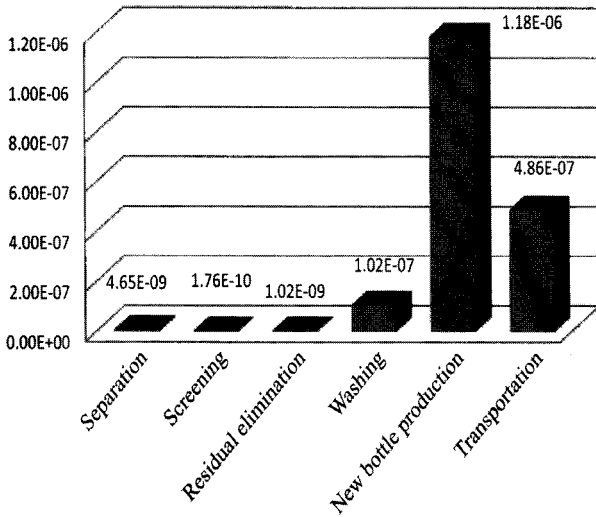


Figure 7. Characterization of the reused glass bottle (photochemical oxidant creation; POCP).

정 지역, 일정 기간 영향범주에 기여하는 총 환경영향으로 나누는 과정이다. 왜냐하면 특성화단계에서는 각 환경영향 범주간의 단위가 같지 않기 때문에 환경영향의 상대적 비교가 어렵기 때문이다. 정규화는 모든 영향범주가 똑같이 중요하다는, 즉 영향범주의 가중치가 모두 1 이라는 것으로 목시적인 가정을 바탕으로 계산된 값이다. 따라서 좀 더 정확한 결과를 얻기 위하여 각 영향범주별 중요도를 적당한 인자를 써서 계산한 가중화 단계가 수행되었다. 정규화 및 가중화 단계에 사용된 인자는 Table 4에 나타냈다.

가중화 결과로부터 각각의 영향 범주들이 환경 전반에 미치는 영향을 고려하여 영향범주간의 상대적 중요도를 보여줌으로써 어떤 환경이 가장 중요한지를 알 수 있다(Figure 8). 전체적으로 보면 유리병 재사용 공정에 의한 투입산출물의 영향은 자원고갈과 지구온난화가 각각 48.63% 및 46.27%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 다음으로는 산성화 2.62%, 부영양화 1.25%의 기여도를 보였으며 오존층파괴 및 광화학물생성은 1% 미만으로 환경영향이 상대적으로 낮게 나타났다. 자원고갈에서는 화학약품의 사용으로 인한 영향이 상당부분을 차지하고 있으며, 이는 지구온난화 범주에서도 많은 부분 기여하고 있다.

4.3. 전과정 해석

유리병 재사용공정에서 주요 환경영향 요인을 규명하기 위하여 각 영향범주별로 기여도가 높은 공정과 모듈 중심으로 비교하였다(Figure 9). 전체 공정에 사용되는 화학약품에 의한 환경영향이 71.24%로 가장 높고 전력에 의한 환경영향이 16.74%, 수송에 의한 환경영향이 11.8%이며 공업용수에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다.

재사용 공정 중 원재료의 3%가 투입되는 신병제조공정에 여러 종류의 화학약품 들이 투입되어 환경영향에서 차지하는 부분이 증가된 것으로 보아 화학약품에 대한 각 종류별 환경영향에 기여도를 알아보았다(Figure 10). 유리병의 원료로 사

Table 4. Normalization and weighting factors for impact categories

Impact categories	Ni	Ni/Ti ¹⁾	fi ²⁾	Wi ³⁾
ADP	2.49E+04	1.06	0.218	0.231
GWP	5.53E+06	1.05	0.274	0.288
ODP	4.06E+01	1.71	0.171	0.292
AP	3.98E+04	1.05	0.034	0.036
EP	1.31E+04	1.46	0.026	0.038
POCP	1.19E+04	1.09	0.06	0.065

1) Reduction factor, 2) Relative significance factor, 3) Weighting factor

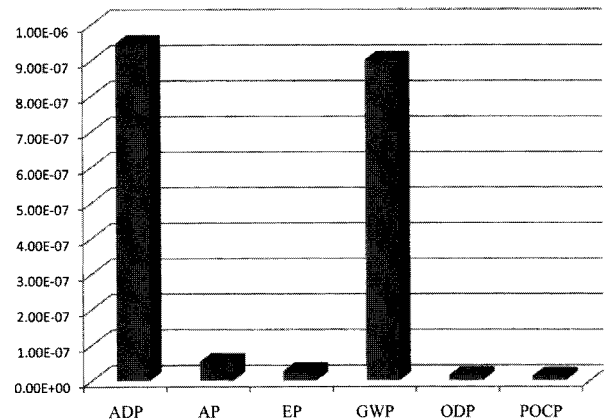


Figure 8. Weighting of the reused glass bottle.

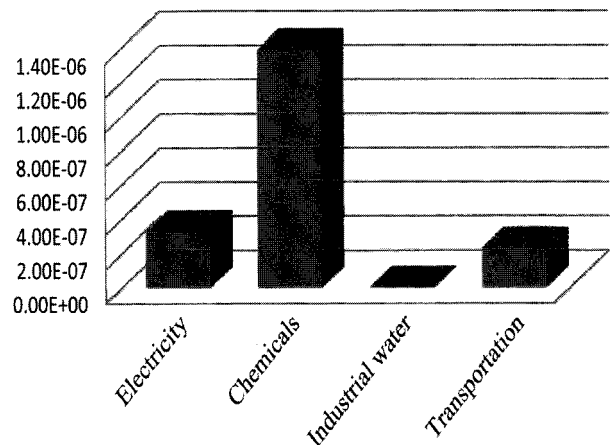


Figure 9. Comparison of environmental impacts based on elements.

용되는 규산나트륨에 의한 환경영향이 45.68%로 가장 높고 전력은 16.74%, 수산화칼슘 8.85%, 수산화나트륨 8.20%, 탄산칼슘 6.44%, 황산나트륨 2.06%의 환경에 대한 기여도를 보였다. 결과적으로 규산나트륨 및 전력에 의한 자원고갈과 지구온난화를 주요 환경이슈로 도출 할 수 있다. 재사용된 유리병 1개를 생산하기 위하여 투입되는 규산나트륨에 의한 자원

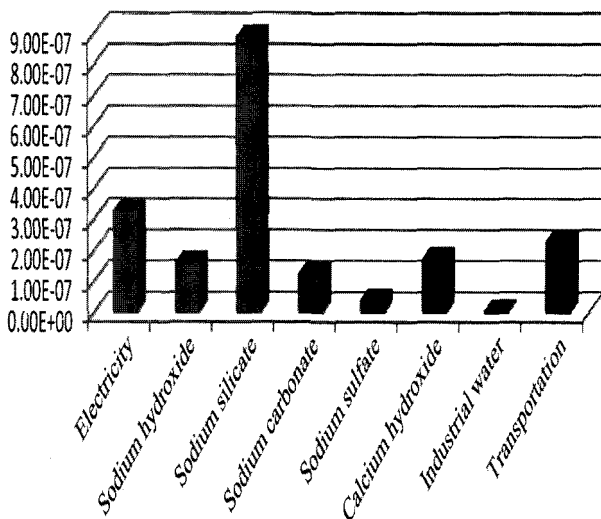


Figure 10. Comparison of environmental impacts based on detailed elements.

고갈에 대한 환경영향에 가장 많은 부분을 차지하고, 화학약품 및 전력사용으로 인한 지구온난화가 그 다음으로 높은 영향을 미치고 있다.

유리병의 재사용 공정에 의한 환경영향을 줄이는 방법은 환경영향이 가장 높게 나타난 신병제조공정에 사용되는 원료인 규산나트륨 사용량의 감소를 들 수 있다. 즉 원재료 투입량을 줄이고 재사용의 비율을 증가시키면 전체적인 환경영향을 감소시킬 수 있다. 또한 신병제조 공정을 제외한 다른 환경부하 원인 중 전력만이 주요 환경요인을 차지하고 있기 때문에 유리병은 친환경적인 용기라 볼 수 있다. 만약에 전체 공정상에 투입되는 전력을 세병공정에서 사용되는 용수를 이용한 터빈 발전으로 전력을 생산하여 공정상에 재활용 한다면 유리병 재사용 공정상의 환경부하 감소에 가장 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 반복적으로 재사용되는 유리병에 대한 전과 정평가를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 290g 유리병 1개를 생산 시 발생하는 환경영향에 대한 6 개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 자원고갈과 지구온

난화가 각각 48.63% 및 46.27%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고 산성화 2.62%, 부영양화 1.25%의 기여도를 보였으며 오존층파괴 및 광화학산화물 생성은 1% 미만으로 환경영향이 상대적으로 낮게 나타났다.

- (2) 환경영향에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 신병제조공정으로서 원료로 사용되는 화학약품에 의한 환경영향이 71.24%로 가장 높고 전력에 의한 환경영향이 16.74%, 수송에 의한 환경영향이 11.8%이며 공업용수에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다.
- (3) 유리병의 원료로 사용되는 규산나트륨에 의한 환경영향이 45.68%로 가장 높고 전력은 16.74%, 수산화칼슘 8.85%, 수산화나트륨 8.20%, 탄산칼슘 6.44%, 황산나트륨 2.06%의 환경에 대한 기여도를 보였다.

감 사

본 논문은 한국용기순환협회의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. Na, K.-J., Yang, H.-J., Byun, I. H., Kim, J. S., and Jung, Y. M., "Life Cycle Assessment of Tap water, Industrial water, and Bottled water," *Korean J. LCA*, **9**(1), 7-19 (2008).
2. Chung, C. K., and Koo, H.-J., "A Study on Methodology and Application of Life Cycle Assessment - Concerning Semiconductor," *Clean Technol.*, **2**(2), 201-213 (1996).
3. Chung, C. K., and Koo, H.-J., "Study on the Application of Cleaner Production using Life Cycle Assessment in the Can Industry," *Clean Technol.*, **8**(4), 205-215 (2002).
4. Korea Society of Waste Management, "Study on LCA of Plastic Containers," *The Monthly Packing World*, 122-147 (2005).
5. Kim, S.-B., "Introduction of Extended Producer Responsibility," *Economic Bulletin, KDI*, **14**(2), 82-85 (2003).
6. Korea Environment & Resources Corporation, *Resource Recycling Book*, 2007.
7. Donghwa Technology Editorial Board, *Environmental Laws*, Donghwa Technology Publishing Co., 2008.