

## 전과정평가(LCA)를 이용한 금속캔의 환경성 평가에 관한 연구

백승혁 · 김형진<sup>1)\*</sup> · 권영식<sup>1)</sup> · 김승섭<sup>1)</sup> · 최윤근<sup>2)</sup> · 정찬교<sup>3)</sup>

현대엔지니어링 인프라환경사업본부, <sup>1)</sup>수원과학대학 환경보건과, <sup>2)</sup>(주)에코와이즈, <sup>3)</sup>수원대학교 환경에너지공학과  
(2011년 7월 11일 접수; 2011년 9월 22일 수정; 2011년 11월 1일 채택)

### A Study on Environmental Impact Evaluation of Metallic Can Using Life Cycle Assessment

Seung-Hyuk Baek, Hyung-Jin Kim<sup>1)\*</sup>, Young-Shik Kwon<sup>1)</sup>, Seung-Sup Kim<sup>1)</sup>,  
Yoon-Geun Choi<sup>2)</sup>, Chan-Kyo Chung<sup>3)</sup>

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

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

<sup>2)</sup>Eco-Wise, Seoul 137-905, Korea

<sup>3)</sup>Department of Environmental and Energy Engineering, The university of Suwon, Suwon 445-743, Korea

(Manuscript received 11 July, 2011; revised 22 September, 2011; accepted 1 November, 2011)

#### Abstract

In this study, Life Cycle Assessment(LCA) has been carried out to evaluate the environmental impacts of a metallic can. A 360 mL volume of an aluminum can bottle was used as the functional unit. The results of Life Cycle Inventory(LCI) showed that iron ore and coal were the major parts of the input materials, whereas aluminum can products, carbon dioxide, wastewater, and hazardous wastes were those of the output ones. According to LCA weighting, it was observed that the most significant impact potential was found to be global warming(49.11%) followed by abiotic resource depletion(47.72%). In the whole system, cold rolled steel coil showed the largest environmental impact potential(86%), followed by electricity(14%). Meanwhile, lubricating oil and industrial water had the minor portion of the total environmental impact potentials. It was suggested that the use of cold rolled steel and electricity should be the main source for CO<sub>2</sub>, resulting in the big impact on global warming.

**Key Words** : LCA, Metallic can, Environmental impact, Life cycle inventory

#### 1. 서론

19세기 초 영국에서 금속용기로 된 통조림이 발명된 후로 ‘캔(can)’이라는 이름이 유래되었는데 가볍고 운반이 용이하며 장기간 안전하게 식품을 보관할 수

있는 특성으로 인해서 사람들에게 널리 사용되기 시작했다(한국금속캔자원협회, 2011). 우리나라에서도 농수산물 통조림을 보관하는데 사용되기 시작한 이후로 식음료, 주류 및 화장품 등에 확대 적용하여 대량 생산 및 대량소비의 단계에 이르게 되었다. 이러한 대량생산 및 대량소비는 필연적으로 환경에 큰 영향을 미치기 때문에 국내에서도 금속캔 자원의 재활용에 초점을 맞추어 회수 및 자원화에 노력을 기울이고 있다(구와 정, 2002; 김, 1997).

\*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

이와 같은 재활용을 촉진시키기 위하여 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’에 따라 생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)가 시행되고 있는데 폐기물 감량화 및 재활용에서 소비자보다는 상대적으로 유리한 위치에 있는 생산자가 주도적인 역할을 수행할 수 있도록 하는 제도이다(환경공단, 2011). 그 결과 국내의 금속캔 자원 재활용률은 2005년 71.5%로부터 시작하여 점점 증가하여 2009년에는 86.1%의 높은 비율을 보이고 있다(한국 금속캔자원협회, 2011).

금속캔 자원의 재활용은 대기오염 물질 및 고형폐기물 등 환경오염물질의 저감과 에너지 절약 면에서 큰 효과를 거두고 있다(곽과 허, 1997). 이러한 점에서 한 제품에 대한 원료채취부터 생산, 사용 및 폐기에 이르는 전과정을 조사하여 그 과정으로부터 발생하는 환경부하를 정량화하여 평가하는 기법인 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)가 환경규제에 대비한 기업의 경쟁력을 높이기 위해 다양하게 사용되고 있는 것은 주목할 만한 사실이다(고 등, 2005; 김 등, 2009; 박 등, 2003; 임 등, 2006).

본 연구에서는 시중에서 많이 사용되는 금속캔을 대상으로 LCA를 적용하여 환경에 미치는 영향을 전반적으로 분석 및 평가하였다. 이러한 전과정평가 결과는 금속캔 제품의 전과정에 걸쳐 발생하는 여러 가지 환경오염물질의 환경영향에 대한 정량화된 데이터 베이스를 제시할 수 있도록 하며 환경부하를 감축하기 위한 대안을 제시할 수 있는 기반을 마련할 수 있도록 할 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목적 및 범위 설정

2.1.1. 기능, 기능단위, 기준흐름

대상제품은 알루미늄 맥주캔으로서 기능은 주류나 음료의 보관기능이며 기능단위는 알루미늄캔 360 mL로 하여 360 mL 알루미늄 맥주캔 1개를 기준흐름으로 설정하였다.

2.1.2. 시스템 경계

시스템 경계는 알루미늄캔의 제조 과정 중 원료취

득에서부터 알루미늄캔의 출하 전까지(Cradle to Gate: CtG)를 시스템 경계로 설정하였다. 알루미늄캔은 캔 Body제품과 캔 End제품의 두 가지로 분류되어 출하가 되며 캔 End제품을 생산하기 위하여 캔 Tab이 제조되어 투입된다. 그러므로 각 세부제품별로 데이터를 수집하여 Fig.1과 Fig.2와 같이 시스템경계를 설정하였으며 최종 완제품 생산 후 인력만으로 진행되는 검수 과정과 출하를 위한 포장공정은 포함되지 않았다.

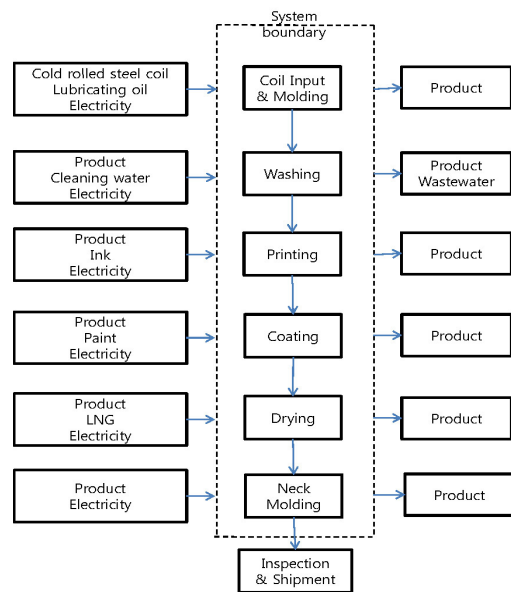


Fig. 1. System boundary of aluminum can body.

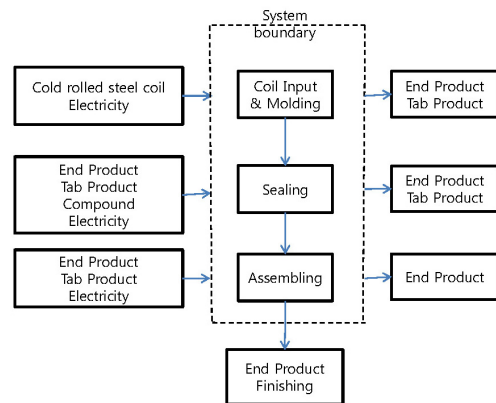


Fig. 2. System boundary of aluminum can end.

2.1.3. 데이터 및 전과정평가 방법

알루미늄캔 제조 공정에 투입되는 투입물은 크게 원료물질, 에너지, 유틸리티, 케미컬로 구분하였으며, 산출물은 제품, 수계 배출물, 폐기물로 분류하였다. 2007년도 현장에서 운영되었던 데이터를 이용하였으며 현장 데이터 수집이 어려운 경우 관련 문헌자료의 데이터를 참고하였다. 수집 데이터는 측정치, 계산치, 추정치로 구분하였으며 전체 데이터의 환경부하는 지식경제부와 환경부의 국내 데이터베이스를 사용하였다.

전과정 영향평가는 분류화(Classification), 특성화(Characterization), 정규화(Normalization) 및 가중치 부여(Weighting) 단계로 수행이 되었으며 지식경제부에서 개발한 영향평가 방법론을 사용하였다. 주요 환경영향범주로 자원고갈(Abiotic Resource Depletion; ADP), 산성화(Acidification; AD), 부영양화(Eutrophication; EP), 지구온난화(Global Warming; GWP), 오존층파괴(Ozone Depletion; ODP) 및 광화학산화물 생성(Photochemical Oxidant Creation; POCP)의 6가지 지를 선정하였다.

2.1.4. 가정 및 한계

전과정평가를 수행함에 있어서 현실적으로 한계가 있으므로 다음의 사항을 가정하였다.

첫째, 세부 공정별 전력량은 실측이 불가하여 현장 실무자의 조연으로 전체 공정상의 전력을 할당하여 적용하였다.

둘째, 세척 공정에 투입되는 공업용수의 사용으로 인해 발생하는 수계 배출물은 자체 하수처리장을 통하여 배출하는 것이 아니라 지역 폐수종말처리장에서 포집하여 일괄 처리하여 배출함으로 국내 수질환경보전법에 의거하여 방류수수질기준을 적용하여 산출하

였다(정, 2010).

셋째, 전력 및 윤활유 사용량은 실제 제조 공장 내의 연간 전력 및 윤활유사용량에서 알루미늄캔의 연간 제품 생산량을 나누어 대상제품 1개를 생산하기 위하여 투입되는 전력 및 윤활유량을 산출하였다.

2.2. 전과정 목록분석

2.2.1. Gate to Gate 데이터베이스

본 연구에서는 2007년 한 해 동안 소모된 투입물의 양과 산출물의 양을 같은 기간 동안 생산된 제품의 양으로 나누어 제품 1개당 투입물과 산출물의 사용량을 계산하여 Gate to Gate(GTG) 데이터베이스를 작성하였다(Table1).

2.2.2. 전과정 목록분석

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, 1997). 그 결과, 총 480여개의 환경배출 목록항목이 도출되었으며 그 중 대표적인 항목을 Table 2에 명시하였다. 주요 투입물로는 철광석(Iron ore) 및 석탄(Coal)이 차지하였으며 산출물로는 제품으로서 알루미늄캔(Aluminum can) 및 부산물로 CO<sub>2</sub>, 폐수 및 유해폐기물이 발생하였다. 특히, 대기배출물로 CO<sub>2</sub>가 가장 많은 부분을 차지하고 있어서 잠재적인 환경영향으로 지구온난화가 다른 환경영향범주보다 상대적으로 비중이 크다는 것을 보여준다(곽 등, 1997).

Table 1. Gate to gate data base

Input				Output			
Group	Name	Unit	Amount	Group	Name	Unit	Amount
Raw material	Cold rolled steel coil	g	1.510E+01	Product	Aluminum can product	g	1.510E+01
	Lubricating oil	g	1.312E+00				
Energy	Electricity	Wh	1.158E+01	Water emission	Wastewater	g	9.031E+01
Utility	Industrial water	g	9.031E+01				

**Table 2.** Results of life cycle inventory analysis

Materials	Direction	Group	Distribution Media	Unit	Amount
Air	Input	Resource	Air	kg	2.27E-1
Coal	Input	Resource	Soil	kg	5.10E-3
Hard coal	Input	Resource	Soil	kg	6.61E-3
Iron ore	Input	Resource	Soil	kg	1.75E-2
Lime stone	Input	Resource	Soil	kg	3.48E-3
Pulverized coal	Input	Resource	Soil	kg	1.17E-3
Aluminum can	Output	Product	Technosphere	kg	1.51E-2
BOD	Output	Emission	Water	kg	2.01E-6
Carbon dioxide	Output	Emission	Air	kg	3.44E-2
Hazardous waste (domestic)	Output	Waste	Technosphere	kg	4.18E-3
Sulphur oxides	Output	Emission	Air	kg	2.25E-5
Waste water	Output	Emission	Water	kg	3.34E-3

### 3. 결과 및 고찰

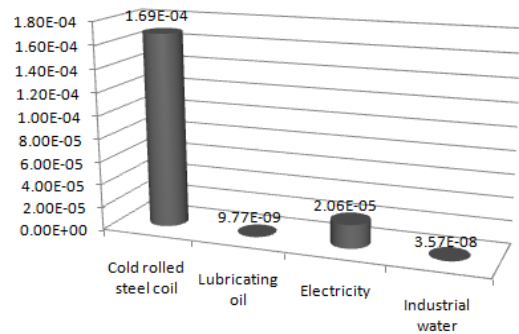
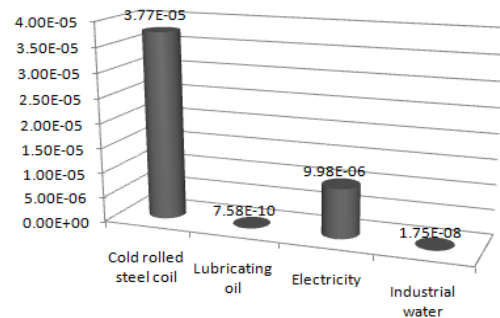
#### 3.1. 전과정 영향평가

##### 3.1.1. 특성화(Characterization)

특성화는 각 환경영향범주별로 분류된 목록항목들이 각각의 영향범주에 미치는 기여정도를 정량화하는 단계로서 각각의 환경부하에 대응하는 상응인자를 곱하여 잠재적인 환경영향을 산정하였다.

먼저 자원고갈 영향범주를 보면 냉연코일(Cold rolled steel coil)은 89.12%로서 가장 큰 환경영향을 차지하고 있으며 다음으로 전력이 10.85%의 비중을 보이고 있다. 그러나 용수와 윤활유는 거의 영향을 주지 않고 있음을 보여준다.(Fig. 3). 또한 냉연코일에는 자원소모의 주요소인 철광석(iron ore) 및 석탄(Coal)이 대부분 사용되고 있으며 공정의 각 단계마다 전력이 필요하므로 전력소모에 의한 환경영향도 무시할 수 없음을 알 수 있다.

산성화 영향범주에서는 자원고갈 영향범주와 유사하게 냉연코일이 79.00%로서 환경영향이 가장 크고 전력이 20.92%의 비중을 보이고 있다(Fig. 4). 특히 냉연코일이 사용되는 과정에서 발생되는 SO<sub>2</sub>와 NO의 영향으로 산성화에 대한 환경영향이 크게 나타났다.

**Fig. 3.** Characterization for Abiotic Resource Depletion (ADP).**Fig. 4.** Characterization for Acidification(AP).

부영양화 영향범주에서는 자원고갈 및 산성화 영향범주와는 약간 다르게 전력의 비중이 커져서 42.09%의 환경영향을 보이고 냉연코일이 57.83%로써 환경영향이 가장 높음을 알 수 있다(Fig. 5). 이는 부영양화 유발인자인 질소 및 인의 배출이 타 요소에 비해 상대적으로 많이 나타났기 때문이다.

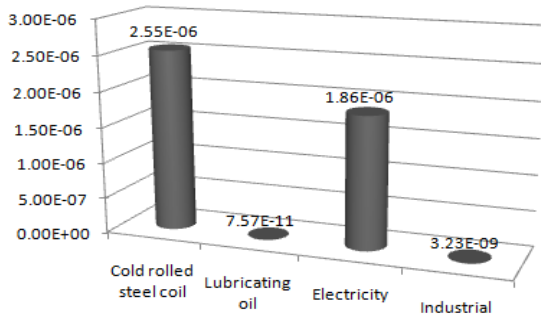


Fig. 5. Characterization for Eutrophication(EP).

지구온난화 범주에서는 냉연코일이 82.99%, 전력이 16.99%로써 대부분 환경영향을 차지하고 있으며 나머지 요소는 거의 영향이 없었다(Fig. 6). 온실가스 중 CO<sub>2</sub>의 비중이 가장 높았으며 N<sub>2</sub>O와 CH<sub>4</sub>의 영향도 나타났다.

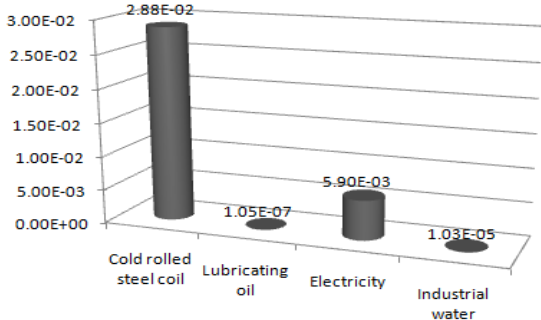


Fig. 6. Characterization for Global Warming(GWP).

오존층파괴 영향범주에서는 냉연코일이 98.81%의 압도적인 환경영향 기여도를 보이고 있다(Fig. 7). 오존층 파괴의 주범으로 알려진 Chlorine, CFC, HCFC 및 Halon 등이 냉연코일에서는 골고루 배출되었지만 전력으로부터는 Chlorine 및 Halon이 상대적으로 낮게 배출되었다.

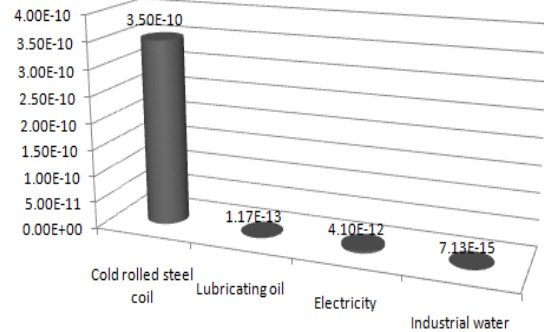


Fig. 7. Characterization for Ozone Depletion(ODP).

광화학산화물생성 영향범주에서는 냉연코일이 전체 광화학산화물생성 환경영향의 99.54%의 비중을 차지하고 있다(Fig. 8). 이는 냉연코일의 사용과정 중 광화학산화물생성 유발물질로 알려진 SO<sub>2</sub>, NO, Aldehyde, Benzene, Toluene 등이 다양하게 배출되기 때문이다.

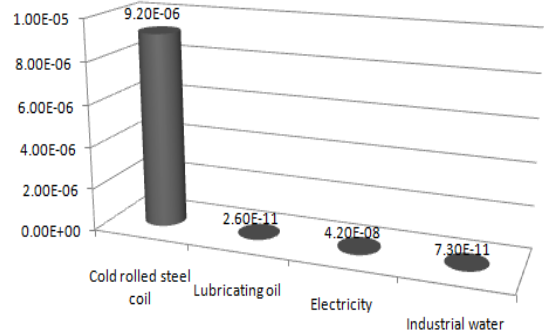


Fig. 8. Characterization for Photochemical Oxidant Creation (POCP).

3.1.2. 정규화(Normalization) 및 가중치 부여(Weighting)  
정규화는 환경영향범주간의 상대적 비교를 위하여 하나의 영향범주에 미치는 환경영향을 해당 지역에서 일정 기간 배출되는 총 환경영향으로 나누는 과정을 말한다. 전체 환경영향범주 중 자원고갈 범주가 46.59%로써 가장 기여도가 크며 지구온난화 범주는 38.45%이며 산성비, 광화학산화물생성, 부영양화, 오존층파괴 범주는 상대적으로 낮은 7.34%, 5.49%, 2.06% 0.05%의 기여도를 보였다(Fig. 9).

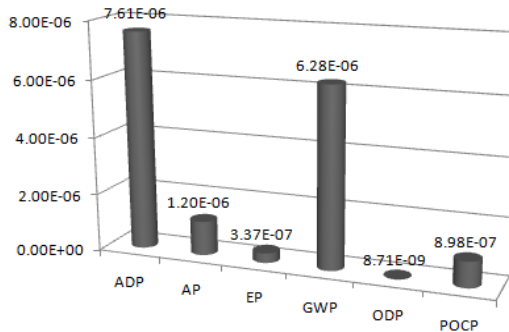


Fig. 9. Normalization of aluminum can.

가중치 부여는 정규화를 거친 각각의 환경영향 범주간의 상대적 중요도를 고려하여 전체적인 순위를 보여주는 과정이다. 정규화 결과와는 다르게 지구온난화 범주가 49.11%로서 더 큰 비중을 차지하고 있으며 자원고갈 범주가 47.72%로서 그 뒤를 따르고 있다 (Fig. 10). 그 이유는 가중치요인에서 지구온난화는 0.288로서 자원고갈 0.231보다 상대적으로 높은 값을 보이기 때문이다. 전과정 영향평가 방법으로 Eco-Indicator 95를 적용한 선행연구와 비교해 보면 알루미늄캔 제조공정에서 지구온난화가 가장 큰 환경부하로 도출된 점에서 유사한 결과를 보여준다(고, 2002). 한편, 나머지 범주들은 거의 영향이 없을 정도로 낮게 나타났는데 광화학산화물생성 1.58%, 산성비 1.17%, 부영양화 0.35%, 및 오존층파괴 0.07%의 기여도를 보이고 있다.

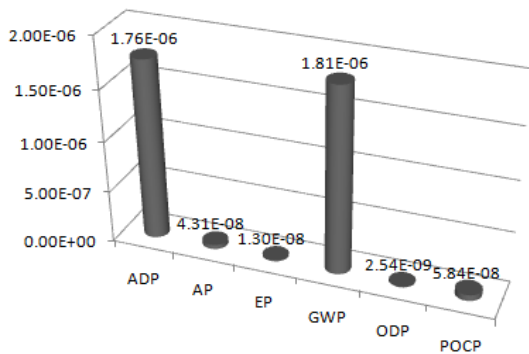


Fig. 10. Weighting of aluminum can.

### 3.2. 전과정 결과해석

이러한 전과정평가 결과로부터 금속캔 제조공정 중 전체 환경영향범주에 대한 주요 요인을 파악하기 위하여 투입요인 중심으로 살펴보았다. 전체 공정에 투입되는 요인 중 냉연코일에 의한 환경영향이 86%로 가장 높고 전력에 의한 환경영향이 14%이었으며 나머지 윤활유 및 공업용수에 의한 환경영향은 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 11).

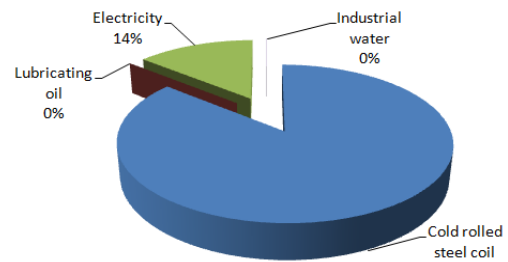


Fig. 11. Comparison of environmental impacts based on input elements.

또한 알루미늄코일의 원재료인 냉연코일 사용으로 인한 자원고갈과 냉연코일 생산 시 발생하는 대기오염물질을 주요 환경이슈로 도출할 수 있었다. 현재 공정 중 발생하는 소량의 스크랩을 제외하고는 모두 시스템경계 밖에서 고철로 재활용 되고 있다. 따라서 알루미늄코일에 의한 환경영향을 줄이는 방법은 환경영향 중 가장 큰 부분인 알루미늄코일 사용량의 감소이나 이는 제품생산에 위하여 필연적 소모이기에 폐기되는 알루미늄캔의 시스템 경계안의 재활용 방법 및 알루미늄코일보다 환경부하가 적은 대체물질의 개발에 대한 연구가 지속적으로 필요하다는 것을 알 수 있었다.

### 4. 결론

최근에 자원재활용으로 중요하게 여겨지는 포장용기 중의 하나인 금속캔을 가지고 전과정평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 이끌어 낼 수 있었다.

전과정 목록분석결과 약 480여개의 환경배출 항목 항목이 도출되었으며 주요 투입물로는 철광석(iron ore)

및 석탄(Coal)이 차지하였으며 산출물로는 제품으로서 알루미늄캔(Aluminum can) 및 부산물로 CO<sub>2</sub>, 폐수 및 유해폐기물이 발생하였다.

전과정 영향평가 중 특성화 결과를 보면 자원고갈, 산성화, 부영양화 및 지구온난화 영역에서는 냉연코일이 가장 기여도가 높으며 그 다음으로 전력이 높은 비중을 차지하고 있다. 반면에 오존층파괴 및 광화학산화물 생성 영역에서는 냉연코일 한 가지만 압도적인 기여도를 보이고 있으며 전력을 비롯한 나머지 유탄유 및 공업용수는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

정규화를 거쳐 가중치 부여 결과, 360 mL 알루미늄 맥주캔 1개를 생산할 때 발생하는 환경영향에 대한 6대 환경영향 범주간 기여도를 보면, 지구온난화와 자원고갈 영역이 각각 49.11% 및 47.72%로 큰 비중을 차지하고 있다. 반면에 나머지 환경영향범주에서는 광화학산화물생성 1.58%, 산성비 1.17%, 부영양화 0.35%, 및 오존층파괴 0.07%의 거의 미미한 환경영향을 보이고 있다. 환경영향에 미치는 영향을 투입요인별로 보면, 냉연코일에 의한 환경영향이 86%로 가장 높고 전력에 의한 환경영향이 14%이었으며 나머지 유탄유 및 공업용수에 의한 환경영향은 거의 없는 것으로 나타났다

### 참 고 문 헌

고광진, 2002, LCA를 이용한 알루미늄캔 제조공정의 환경성 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 수원대학교.

고광훈, 황용우, 박광호, 조현정, 제무성, 2005, LCA 기법을 이용한 발전시스템의 환경성 평가, 대한환경공학회지, 27(7), 704-711.

곽종명, 허탁, 1997, 음료용 스틸캔의 전과정평가기법의 적용, 건국기술연구논문지, 제22집, 223-236.

구희준, 정찬교, 2002, 캔 산업의 전과정평가를 통한 청정생산 적용에 관한 연구, 청정기술학회지, 8(4), 205-215.

김성우, 1997, 금속용기(캔) 기술개발 동향과 스틸 캔의 수요확대 방향, 대한금속학회보, 5, 547-559.

김형진, 권영식, 최윤근, 정찬교, 백승혁, 김영우, 2009, 유리병 재사용에 대한 전과정평가, 청정기술학회지, 15(3), 224-230.

박광호, 황용우, 조병묵, 김형진, 2003, 제지 및 지류포장 제품의 환경영향 평가, 대한환경공학회지, 25(11), 1411-1419.

임형순, 양윤희, 송준일, 이진모, 2006, 부품 재사용 여부에 따른 폐컴퓨터에 대한 전과정평가(LCA), 대한환경공학회지, 28(5), 494-500.

정우용, 2010, 환경관계법규, 동화기술서적, 449-582.

한국금속캔자원협회, 2011, [http://www.can.or.kr/can\\_story\\_develop.asp](http://www.can.or.kr/can_story_develop.asp).

한국환경공단, 2011, <http://www.epr.or.kr/MAIN1.jsp?&Goto=/SYS/INT/INTRO&txtDutyType=2&menu=0101>.

ISO(International Organization for Standardization), 1997, Environmental Management - Life Cycle Assessment ; Principles and Framework.