

친환경 설계로 제조된 주방세제의 탄소배출량 감축 효과

The Effects of Eco-friendly Design of Dishwashing Detergent on Product's Carbon Emission Reduction

김종석[†] · 김원찬* · 이용주* · 김흥식 · 박헌영 · 양봉식 · 김완수 · 박필주** · 홍은아**
Jong Seok Kim[†] · Won Chan Kim* · Yong Ju Lee* · Heung Sik Kim · Heon Young Park
Bong Sig Yang · Wan Soo Kim · Pil Ju Park** · Eun Ah Hong**

LG생활건강 HES팀 · *LG생활건강 기술연구원 · **한국환경산업기술원 탄소경영실
Health, Environment & Safety Team, LG Household & Health Care · *R&D Division, LG Household & Health Care
**Carbon Management Division, Korea Environmental Industry & Technology Institute

(Received September 11, 2014; Revised January 7, 2015; Accepted February 13, 2015)

Abstract : As negative effects of climate change have been visualized and its direct damages to economy have been realized, the global efforts to respond to climate change by reducing greenhouse gas emission were accelerated. Korea's Carbon Footprint Labeling gets a lot of attention as one of the effective methods to contribute to national GHG reduction goal, and for enterprises to show customers how much effort the company put into global warming prevention. Consumers' interest on low-carbon products has been increasing. This study uses Life Cycle Assessment method to calculate the amount of carbon emission of dishwashing detergent, LG Household & Healthcare, which reduced carbon emissions by using raw materials that has relatively lower environment load. Life Cycle Assessment Method is based on guidelines of Carbon Footprint Labeling, Ministry of Environment, and pre-manufacturing, manufacturing, and disposal phase are included while use phase of the product is excluded from assessment. In order to understand the effects of eco-design on carbon emissions, the dishwashing detergent's carbon emissions are compared before and after the change of main raw materials. The result shows the improvement from 0.47 kg CO₂eq/kg to 0.38 kg CO₂eq/kg per product, and this means the main raw materials' carbon emissions could be reduced by around 9.4%, which is equivalent to 916tons of GHG emissions per year.

Key Words : Dishwashing Detergent, Eco-design, LCA, Carbon Footprint Labeling, Low-carbon Products

요약 : 기후변화에 따른 부정적 영향이 가시화되고, 직접적인 경제적 피해가 현실화되면서 온실가스 배출을 줄여 기후변화에 대응하기 위한 범지구적 노력이 가속화되고 있다. 특히 국가의 온실가스 감축에 기여하고 기업의 지구 온난화 방지를 위한 노력을 소비자에게 보여줄 수 있는 효과적인 수단으로 탄소성적표지 제도가 주목을 받고 있으며, 탄소배출량이 상대적으로 적은 저탄소제품에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 추세다. 본 연구에서는 제품의 기존 원료물질을 환경부하가 상대적으로 적은 물질로 대체하여 탄소배출량을 줄인 주방세제의 탄소배출량에 대해 전과정평가(LCA) 기법을 활용하여 산출하였다. 전과정 평가기법은 환경부의 탄소성적표지 작성지침을 적용하여, 사용단계를 제외하는 제조 전 단계와 제조단계 및 폐기단계를 조사하였다. 그리고 친환경 제품 설계 도입이 제품 온실가스 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해 주방세제의 주요 원료 물질에 대한 변경 전후를 비교하였다. 그 결과 대상 주방세제 주요 원료물질의 온실가스 배출량이 0.47 kgCO₂eq/kg-제품에서 0.38 kgCO₂eq/kg-제품으로 개선됨을 알 수 있었으며, 이는 제품 주요 원료물질의 탄소배출량이 약 9.4% 감소되는 것으로 이를 통해 연간 약 916톤의 온실가스가 감축되는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

주제어 : 주방세제, 에코디자인, 전과정평가, 탄소성적표지, 저탄소제품

1. 서론

지구온난화 및 기후변화에 대응하기 위한 기업의 적극적인 대응에 대한 중요성이 갈수록 강조되고 있다. 이에 따라 기업들은 자원 및 에너지 이용의 효율성을 제고하여 온실가스 배출을 줄이고 환경오염을 최소화 하여 기업의 사회적, 환경적 책임을 제고하기 위한 방안을 모색하고 있으며, 이를 기업 경영전략에 도입하고 있다. 즉, 기업이 환경규제에 대해 소극적 접근법을 구사하는 것보다는 장기적으로 환경적 책임에 대한 전략적 접근방법을 적용하면 경제적 편익이 발생할 수 있다는 기업 환경경영 사례가 확산되고 있다.¹⁾

지구온난화 문제는 심각한 환경문제로 인식되고 있으며, 이러한 온실가스 감축에 대한 소비자들의 관심은 생활용품 제조 산업에도 온실가스 배출량이 적은 친환경적이며 저탄소 제품 개발에 대한 요구로 확대되고 있다. 주방세제는 식생활에서 사용하는 그릇 등을 세척하는데 사용되는 대표적인 생활용품으로서, 조사기관에 따르면 국내에서 연간 약 45,000톤 정도가 L사, A사, C사 등에서 생산되어 유통되고 있다.²⁾

주방세제는 세척효과를 향상시키기 위해 음이온 계면활성제를 주성분으로 하고 있다. 이러한 주방세제와 관련한 환경이슈는 과거에는 주로 수질환경 오염문제에 관련해서 다

[†] Corresponding author E-mail: jongseok.kim@ccbkc.co.kr Tel: 031-8045-1534 Fax: 031-8045-1526

루어졌다. 1990년대는 낙동강 폐놀사건 등으로 인해 하천오염에 대한 관심이 큰 시기여서, 생활하수오염에 주방세제 등의 합성세제가 미치는 영향에 대한 관심이 증가하면서 친환경 주방세제의 연구 및 개발이 활발히 수행되었다.³⁾

이러한 전국민적인 관심으로 인한 주방세제 등의 제품 친환경성 평가에 대한 필요성이 제기되자, 우리나라는 1992년부터 환경마크(Korea Eco-Label) 인증 도입을 통해 환경성을 고려한 제품에 대한 정보를 제공하고 있다. 환경마크를 취득한 주방세제는 2014년 8월말 현재, 502품목으로 국내에 유통되는 주방세제 상당수가 환경을 고려한 제품설계가 된 것으로 파악된다.⁴⁾

그러나 최근에는 지구온난화 인식 확산에 따른 제품의 탄소배출량에 대한 관심도 증가하고 있다. 따라서 2009년부터 제품과 서비스의 생산 및 수송, 유통, 사용, 폐기 등의 과정에서 발생하는 온실가스의 배출량을 제품에 표기하여 소비자에게 정보를 제공하는 탄소성적표지 인증제도가 시행되고 있다. 이러한 탄소성적표지 인증은 1단계 탄소배출량 인증, 2단계 저탄소제품 인증, 3단계 탄소중립제품 인증으로 구성되어 있다. 탄소배출량 인증은 제품 전 과정에서 발생한 온실가스 배출량을 CO₂양으로 환산하여 제품을 인증하고, 그 양을 제품에 표시해 주는 것이다. 저탄소제품 인증은 저탄소기술을 적용하여 온실가스 배출량을 감축한 제품임을 정부가 인증한 제품이며, 탄소배출량 기준 및 탄소감축률 기준을 만족해야 취득할 수 있다. 마지막으로 탄소중립제품 인증은 저탄소제품 인증을 받은 제품 가운데 탄소배출량을 탄소배출권 구매 또는 기타 감축활동을 통해 상쇄함으로써 탄소배출량을 영(0)으로 만든 제품을 인증하는 것이다.⁵⁾

지구온난화 문제에 대한 관심이 확대됨에 따라 국내 주방세제 제조사에서는 제품 탄소성적표지 인증을 확대하고 있는 추세이다. 주방세제 제품의 탄소성적표지 인증현황은

2014년 9월 1일 현재 27품목이 취득한 것으로 파악되고 있으며, 지구온난화 문제에 대한 소비자 인식확산에 따라 점차 인증 제품수가 확대될 것으로 전망된다.⁵⁾

이러한 주방세제 제품의 탄소성적표지 인증은 점차 확대되고 있는 추세이나, 주방세제의 전과정평가를 통한 탄소배출과 관련한 국내외 연구사례는 찾기 어려운 실정이다. 그러나 탄소성적표지 인증지침을 기반으로 하는 다양한 연구사례가 발표되고 있다. Kim 등⁶⁾은 미네랄 페이퍼를 대상으로 탄소성적표지 적용사례를 발표하였다. Seo 등⁷⁾은 탄소성적표지 인증을 받은 건축자재들을 대상으로 하여 탄소배출 특성을 비교 연구하였다.

이러한 맥락 속에서 본 연구는 국내 주방세제 제품을 대상으로 하여 친환경성을 고려한 제품 설계(Eco-design)가 제품 탄소배출량 배출에 미치는 영향을 분석하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 주방세제 환경표지 인증기준 및 적용사례

Fig. 1과 같이 주방세제 제조공정은 주방세제를 만드는 제조공정과, 만들어진 주방세제를 플라스틱 용기나 리필 용기에 담은 포장공정으로 나눌 수 있다.

우선, 제조공정은 계면활성제를 포함한 원료물질(Raw Material)을 원료물질 제조업체로부터 공급받아 이를 제조사업장의 저장탱크(Storage Tank)에 보관한다. 이를 정량적으로 제조설비에 투입하여 원료물질들을 배합(Mixing)한 후, 품질기준을 만족한 주방세제 내용물은 별도의 저장시설에 보관한다.

포장공정은 플라스틱 용기나 캡, 리필 용기 등의 포장재에 제조공정에서 생산된 주방세제 내용물을 포장용기에 담

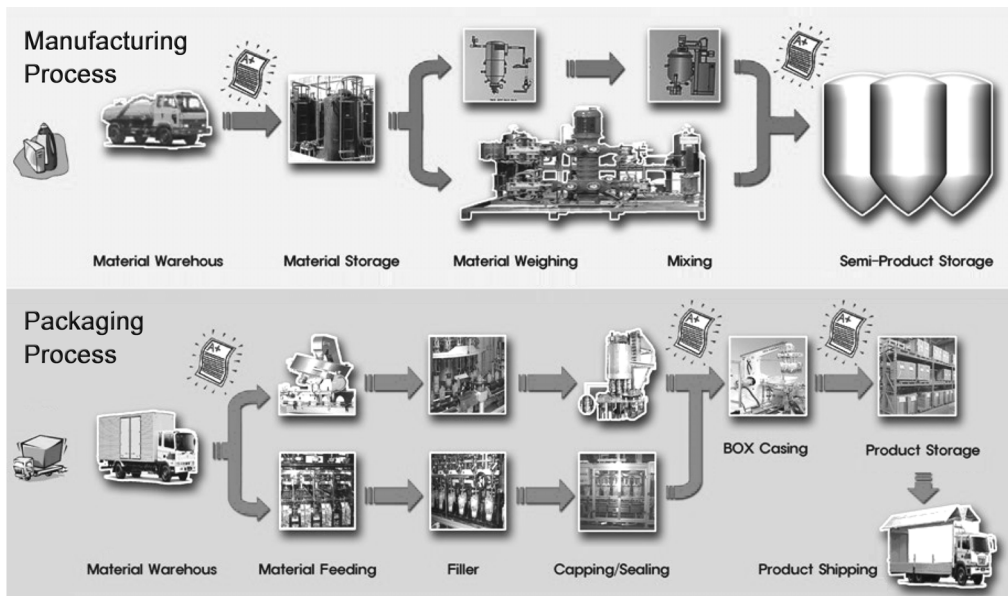


Fig. 1. General manufacturing process of dishwashing detergent.

Table 1. Korea Eco-label guideline and the evaluation results of the L company's dishwashing detergent

Item	Korea Eco-label guideline	L company's evaluation results
Limiting dilution (L/wash)	20,000	16,800
Content of the anaerobic non-biodegradable materials (g/wash)	20	10.43
Packaging Performance Index (g/wash)	30	6.16

아 중량검사 장비를 통해 검사하게 된다. 이렇게 완성된 제품은 박스포장 후에 운송 및 판매를 하게 된다.

소비자들은 친환경을 고려한 제품설계를 통해 주방세제가 제조되었는지에 대한 정보는 제품 환경마크 인증여부 확인을 통해 판단할 수 있다. 주방세제 제품이 친환경성을 고려한 설계가 되었는지에 대한 판단은 한국산업환경기술원의 주방세제 환경마크 인증기준(EL303)을 고려한 다음 3가지 항목에 대하여 기준을 만족하였는지를 통해 이루어진다.⁸⁾

- 첫째, 수계오염물질 및 유해물질 배출과 관련한 기능단위, 독성계수, 분해계수를 적용한 한계희석량(CDVtox)이 20,000 이하일 것
- 둘째, 혐기성 비생분해성 물질 함량(g/wash)이 20 이하일 것
- 셋째, 포장재 평가지수가 30 이하일 것

위의 세 가지 조건을 만족하여야 환경마크 인증, 친환경성을 고려한 제품 설계가 됨을 공식적으로 인정받게 된다. 본 연구에서의 조사대상은 이러한 국내 환경마크 인증을 받은 LG생활건강의 주방세제를 대상으로 하였다. 주방세제는 세척력을 높이고 거품을 잘 발생시키기 위해서 음이온 계면활성제를 주원료로 제조하고 있다. 이러한 음이온 계면활성제는 석유계와 식물계로 구분되며, 과거에는 주로 석유계 계면활성제를 사용하였다. 조사대상 주방세제는 석유계 계면활성제를 줄이고 대신 식물계 계면활성제 사용량을 증가시켰다.

그 결과 Table 1과 같이 연구대상 제품은 환경마크 인증 평가 항목인 한계희석량 기준인 20,000 L/wash 이하이나 16,800 L/wash로 환경마크 기준을 만족하며, 혐기성 비생분해성 계면활성제의 함량은 6.16 g/wash로 20 이하 기준을 만족시켰다. 포장재 평가지수 또한 10.43 g/wash으로 30 이하 기준을 만족시켰다.

2.2. 탄소성적표지 시스템 경계 설정 및 적용사례

주방세제 탄소성적표지 산정을 위한 전과정 단계는 제품 제조 전단계, 제품 제조단계, 제품 수송단계, 제품 폐기단계로 구분하였으며 제품 사용단계는 환경부 탄소성적표지 작성지침에 의해 고려하지 않았다.

제품 제조 전단계는 중량기준 95% 이내에 포함되는 계면활성제 등의 원료물질에 대해 데이터 산출범위로 설정하였다. 또한 제품의 포장재도 데이터 산출범위에 포함하였다. 그리고 원료물질 및 포장재를 제조단계 사업장으로의 운송

에 따른 탄소배출량도 제품 제조 전단계에 포함시켰다.

제품 제조단계는 제품을 제조하는 L사 사업장의 1년 데이터를 데이터 산출범위에 포함하였다. 제조단계의 에너지 데이터는 생산 라인별 및 제품별 사용량 측정이 불가능한 여건이므로 공장 전체의 연간 에너지 사용량에 대하여 대상제품 생산량을 배분하여 산정하였다.

제품 수송 단계는 제품을 제조한 사업장에서 전국의 물류 센터를 포함한 판매망으로의 제품이송 거리에 대하여 데이터 산출을 통한 탄소배출량을 산출하였다.

제품 사용단계는 환경부 탄소성적표지 작성지침에 의해 고려하지 않았다.

제품폐기 단계에서는 제품 원료물질 누적질량 기여도 95%에 해당하는 구성재질별로 환경부 탄소성적표지 작성지침에 의거한 ‘제품 포장재별 재활용의무율’과 ‘전국 폐기물발생 및 처리현황’의 재활용, 소각, 매립 처리비율을 적용하여 탄소배출량을 산출하였다.⁹⁾ 폐기단계에서 포장재 수송에 따른 탄소배출량은 고려하지 않았다.

2.3. 탄소성적표지 인증제품 온실가스 배출량 산정방법론

제품 제조 전단계 및 제품제조 단계의 현장자료를 산정하였으며 이를 탄소성적표지 인증지침에 수록된 탄소성적표지 배출계수에 연결하여 온실가스 배출량을 산정하였다.⁹⁾

원료물질 생산에 따른 간접배출량 원료물질의 제조과정에서 발생하는 온실가스 간접배출량은 식 (1)을 적용한다.

$$G_j - \text{material(production)} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \quad (1)$$

- $G_{j-\text{material(production)}}$: 원료물질로 인한 배출량(kg CO₂/kg material)
- M_{ij} : j제품 생산시 i물질의 투입량(kg/yr)
- E_i : i원료물질 배출계수(kgCO₂/kg)
- P_j : j제품 연간 생산량(kg/yr) 또는 생산대수

연료 및 에너지 생산에 따른 간접배출량 공정중 사용한 연료 및 에너지의 제조과정에서 발생하는 온실가스 간접배출량은 식 (2)를 적용한다.

$$G_j - \text{energy(production)} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \quad (2)$$

- $G_{j-\text{energy(production)}}$: 연료로 인한 배출량(kg CO₂/kg material)
- M_{ij} : j제품 생산시 i연료의 투입량(kg/yr)
- E_i : i연료 배출계수(kgCO₂/kg)
- P_j : j제품 연간 생산량(kg/yr) 또는 생산대수

1차 협력업체 생산제품 또는 출하되는 제품의 수송은 식 (3)에 따라 산출한다.

$$G_j - \text{transportation} = \frac{\sum_k \sum_t (T_{jkt} \times E_k)}{P_j} \quad (3)$$

$G_{j-transportation}$: j제품 또는 1차 협력업체 생산제품의 수송으로 인한 배출량(kg CO₂/kg material)

T_{jkt} : j제품 또는 1차 협력업체 생산제품의 t구간동안 k수송모드에 의한 수송량(ton·km)

E_k : k수송모드별 ton·km당 배출계수(kgCO₂/ton·km)

P_j : j제품 연간 생산량(kg/yr) 또는 생산대수

폐기과정에서의 온실가스 간접배출량은 식 (4)를 적용한다.

$$G_{j-waste\ treatment} = \frac{\sum_k \sum_i (W_{jki} \times E_{ki})}{P_j} \quad (4)$$

$G_{j-waste}$: j제품 폐기과정에서 배출량(kg CO₂/kg material)

W_{jki} : j제품 폐기시 i폐재의 k처리방법별 발생량(kg)

E_{ki} : i폐재의 k처리방법별 배출계수(kgCO₂/kg)

P_j : j제품 연간 생산량(kg/yr) 또는 생산대수

3. 결과 및 고찰

3.1. 주방세제 전과정 탄소배출량 산정결과

데이터는 품질측면에서 현장에서 조사된 데이터의 신뢰수준이 가장 높고, 계산데이터, 유사 공공 데이터 및 추정 데이터 순서로 신뢰성이 높다.¹⁰⁾

Table 2에서는 주방세제 제품 1개(내용물 중량 1 kg/개) 생산에 필요한 투입물량과 산출물량의 유형 및 그에 따른 탄소배출량에 대해 나타냈다. Table 2에서와 같이 주방세제 제조를 위한 주요 원부자재는 식물계 및 석유계 계면활성제,

Table 2. Carbon emission for a dishwashing detergent (1 EA)

Step	Class	Materials	Carbon emission (kgCO ₂)	Contribution ratio (%)
Pre-manufacturing	Raw material	Surfactant from petroleum	1.54E-01	20.28
		Surfactant from plants 1	7.57E-02	9.95
		Surfactant from plants 2	4.53E-02	5.96
		Sodium Benzoate	1.04E-01	13.65
	Package	Plastic Bottle	1.79E-01	23.52
		Plastic Cap (Dispenser)	5.92E-02	7.78
Distribution	Raw material & Package	2.06E-02	2.70	
	Sub total	6.38E-01	83.85	
Manufacturing	Manufacturing	3.17E-02	4.17	
	Distribution	4.62E-02	6.08	
	Sub Total	7.80E-02	10.25	
	Disposal	4.50E-02	5.91	
	Total	7.61E-01	100.00	

Sodium Benzoate, 플라스틱 용기와 뚜껑으로 구성되어 있다. 제품 탄소배출량 기여도에서 제조 전단계가 전체 탄소배출량의 83.85%로 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 파악되어, 탄소배출량 감축을 위해서는 원료물질 및 포장재 생산에 대한 저탄소 제조기법을 고려한 설계가 중요함을 알 수 있다.

3.2. 주방세제 원료물질 변경에 따른 탄소배출량 비교

친환경 제품 설계 도입이 제품 온실가스 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해 주방세제의 주요 원료물질의 성분 구성에 대하여 저탄소제품 인증 전후를 비교하였다. 대상 주방세제가 저탄소제품 인증을 받은 2013년도 당시의 제품 원료물질 구성과 그 이전 년도의 제품 원료물질 제조비율을 비교하여 Table 3에 간단하게 명기하였다.

참고로 우리나라 탄소성적표지 인증규정에는 제품 원료물질의 현장데이터 수집 여부에 대하여 95% cut-off 기준을 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 조사대상 주방세제의 95% 누적중량기준에 해당되는 주요 원료물질 3가지에 대하여 저탄소제품 인증 전후의 원료물질 함량 변화에 따른 온실가스 배출량을 산출하여 비교하였다. Table 3과 같이 주방세제 원료물질 함량 중에서 친환경 원료물질인 식물계 계면활성제 함량은 0.184 kg/EA에서 0.194 kg/EA로 약 5.4% 증가되었으나, 석유계 계면활성제와 Sodium Benzoate 사용량은 각각 12.2%, 2.5% 감소하도록 제품 구성이 변경되었다.

그 결과 Table 4와 같이, 대상 주방세제 제품 주요 원료물질의 온실가스 배출량이 0.45 kgCO₂eq/kg-EA에서 0.38 kgCO₂eq/kg-EA으로 개선됨을 알 수 있었으며, 이는 제품 주요 원료물질의 탄소배출량이 약 9.4% 감소되는 것으로 이를 통해 연간 약 916톤의 온실가스가 감축되는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. CO₂ emission changes with raw material variation of dishwashing detergent

Main raw material	Content changes compared to the previous product (%)	Reduction of carbon emissions (ton/year)
1 Surfactant from petroleum	-12.2	870.1
2 Surfactant from plants	+5.4	-437.4
3 Sodium Benzoate	-2.5	483.8
Total		916.4

Table 4. CO₂ emission changes of a dishwashing detergent through product design variation

Main raw material	CO ₂ emission for a dishwashing detergent (kgCO ₂ eq/kg-EA)	CO ₂ emission for a dishwashing detergent by Eco-design (kgCO ₂ eq/kg-EA)
1 Surfactant from petroleum	0.22	0.15
2 Surfactant from plants	0.09	0.12
3 Sodium Benzoate	0.14	0.01
Total	0.45	0.38

3.3. 포장 형태에 따른 탄소배출량 비교

포장 형태가 제품 온실가스 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해 L기업 주방세제 500 g 리필 포장재와 용기 포장재의 제조에 의한 탄소배출량을 비교하였다. 리필 포장재의 주요 성분은 LDPE이며 1개당 무게는 약 15.5 g이며, 용기 포장재의 주요 성분은 PET이며 1개당 무게는 51.6 g이다. 포장 형태에 따른 제품 온실가스 배출량 산정결과 리필 포장재는 30 gCO₂/EA, 용기 포장재는 170 gCO₂/EA로 산출되었다. 즉, 동일한 주방세제를 같은 함량의 제품 포장 사용형태에 따른 탄소배출량을 비교한 결과, 리필용기에 비해 PET 용기 포장재의 탄소배출량이 약 5.7배 증가됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 친환경 제품설계가 제품 탄소배출량에 미치는 영향에 대해 전과정평가(LCA) 기법을 활용하여 주방세제를 대상으로 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 본 연구 조사대상인 저탄소제품 인증을 받은 주방세제 제품의 제조 전단계의 평균 탄소배출량 기여도는 83.85%로 파악되었다. 이는 제조 전단계인 주방세제 원료물질 제조 및 포장재 제조가 전체 제품 탄소배출량에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 입증하고 있는 것이다. 따라서 주방세제 원료물질에 대한 친환경 설계 및 포장재의 경량화가 제품 탄소배출량을 감축할 수 있는 주요 방안이 되는 것으로 파악되었다. 주요 주방세제 원료물질 및 포장재는 주로 협력업체에서 공급을 받고 있으므로 협력업체의 기술지원이 제품 탄소발자국 감축에도 도움이 될 수 있다.

2) 친환경 제품 설계 도입이 제품 온실가스 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해 대상 주방세제의 주요 원료물질에 대한 저탄소제품 인증 전후, 즉 친환경 설계기법 도입 전후에 대해 비교하였다. 주요 설계 변경사항은, 주방세제 원료물질 함량중에서 친환경 원료물질인 식물계 계면활성제 함량은 증가하였으나 석유계 계면활성제와 Sodium Benzoate

사용량은 감소하도록 변경하였다. 그 결과 제품 주요 원료물질의 온실가스 배출량이 0.45 kgCO₂eq/kg-EA에서 0.38 kgCO₂eq/kg-EA로 개선됨을 알 수 있었으며, 이는 제품 주요 원료물질의 탄소배출량이 약 9.4% 감소되는 것으로 이를 통해 연간 약 916톤의 온실가스가 감축되는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 제품의 탄소관련 인증제도의 활성화 및 다각화는 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 효과적인 정책수단으로 활용될 수 있다. 또한 온실가스 감축 문화를 조성하여 이를 확산시키는데 활용될 수 있기를 기대한다.

KSEE

References

1. Kim, J. D. and Yon, B. M., "A Case Study of LG Chemical's Environmental Management System and Strategies," *Korean J. Business Administrat.*, **18**(4), 1807~1833(2005).
2. 2013 Nilson Consumer Index(2013).
3. Lee, J. R, Baek, D. W. and Lee, M. H., "Change of Bacterial Population in Activated Sludge upon Surfactant Biodegradation," *Korean J. Micro.*, **32**(6), 586~592(1994).
4. Korea Environmental Industry & Technology Institute, [http://el.keiti.re.kr/service/page_view.do\(Eco-Label\)](http://el.keiti.re.kr/service/page_view.do(Eco-Label)).
5. Korea Environmental Industry & Technology Institute, [http://www.edp.or.kr/carbon/carbon_intro.asp\(Carbon Footprint\)](http://www.edp.or.kr/carbon/carbon_intro.asp(Carbon Footprint)).
6. Kim, B. J, "Carbon Footprint Analysis of Mineral Paper using LCA Method," *J. Korean Climate Change Res.*, **4**(3), 201~210 (2013).
7. Seo, S. M, Chae, C. U. and Lee, K. H., "The Study on Certification Status and Carbon Emission Characteristic of Building Products among Carbon Labeled Products," *J. Korean Inst. Ecol. Arch. Environ.*, **14**(1), 101~111(2014).
8. Korea Environmental Industry & Technology Institute, Eco-Label Certification Criteria-EL303. Household Detergent.
9. Korea Environmental Industry & Technology Institute, Carbon Footprint Certification Criteria.
10. Park, P. J. and Kim, Y. D., "Development of National Life Cycle Inventory Database on Irrigation Water by Agricultural Dam," *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **53**(3), 59~64(2011).