

세제 리필스테이션 운영에 따른 전과정 환경적 효과 분석

진경민¹ · 김영운¹ · 황용우²

¹인하대학교 대학원 글로벌산업·환경융합전공

²인하대학교 환경공학과

Analysis of Life Cycle Environmental Effect by Operation of Detergent Refill Station

Kyung Min Jin¹ · Young Woon Kim¹ · Yong Woo Hwang²

¹Program in Global Industrial & Environmental Technology Convergence, Graduate School of Inha University

²Dept. of Environmental Engineering, Inha University

ABSTRACT: This study aims at comparing the environmental impact of the previous sales system with the refill station sales system using life cycle assessment. Environmental categories were selected a resource footprint, carbon footprint, an ozone depletion, an acidification, and eutrophication and a photochemical smog. As a result of comparing the previous sales system with the refill station sales system about the environmental impact, the refill station sales system reduced a resource footprint of 2.55E-03 kg Sb eq., a carbon footprint of 1.71E-01 kg CO₂ eq., and an ozone depletion of 1.69E-05 kg CFC11 eq., acidification 4.77E-04 SO₂ eq., eutrophication by 1.55E-04 kg PO₄³⁻ eq., and photochemical smog by 1.64E-03 C₂H₂ eq. compared to the previous sales system.

Key words: Detergent refill station, LCA, Environmental effect

요약문: 본 연구는 전과정평가(LCA)를 이용하여 세제 기존 판매방식과 리필 스테이션 판매방식에 대한 환경영향을 비교하는 데 목적이 있다. 환경영향범주는 자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화 및 광화학스모그 등의 6가지 범주로 선정하였다. 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식간 환경영향을 비교한 결과는 리필 스테이션 판매방식이 기존 판매 방식에 비해 자원발자국 2.55E-03 kg Sb eq., 탄소발자국 1.71E-01 kg CO₂ eq., 오존층영향 1.69E-05 kg CFC11 eq., 산성비 4.77E-04 SO₂ eq., 부영양화 1.55E-04 kg PO₄³⁻ eq., 광화학스모그 1.64E-03 C₂H₂ eq. 정도 환경영향이 저감되는 것으로 나타났다.

주제어: 세제 리필 스테이션, 전과정평가, 환경적 효과

1. 서론

자원의 순환이 중요시되면서, EU에서는 순환경제 패키지를 제안하였다¹⁾. 순환경제로의 전환은 원료 생산, 생산, 사용, 폐기에 걸친 전과정에서 한정된 자원의 사용을 저감하면서 환경영향을 줄이는 효과가 있다^{2,3)}. 현재 국내에서 이슈가 되고 있는 플라스틱 폐기물을 저감하기 위해, 플라스틱의 사용량을 줄이기 위한 기술 개발이 이루어지고 있다⁴⁾. 본 연구의 대상인 세제는 내용물을 담는 용기가 필요한 제품으로, 그 용기의 상당수가 플라스틱이 이용되고 있다. 이로 인하여 플라스틱 사용량을 줄이기 위해 리필 스테이션 판매방식이 도입되고 있다^{5~8)}. 기존의 연구에서는 주방세제와 샴푸를 대상으로 플라스틱 용기를 포함하여 환경영향을 평가를 수행하였으나^{9~11)}, 리필 스테이션 판매방식으로 인한 효과분석을 연구한 사례는 없다. 따라서,

본 연구에서는 환경영향을 파악하는 방법론인 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 이용하여 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식에 대하여 원부자재 생산, 판매, 사용, 폐기단계에 이르기까지의 전과정에 대하여 환경성을 평가하고 두 가지 판매 방식 간의 환경적 효과를 상호 비교하였다.

2. 연구방법

본 연구는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 연구 대상 선정, 기능단위 및 시스템 경계 등의 범위 설정, 데이터 수집, 데이터 선정, 환경성 분석 등의 순으로 진행하였다. 도출된 환경영향 결과를 통해 세탁 세제의 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식을 비교 평가하였다. LCA S/W는 TOTAL를 이용하였다¹²⁾.

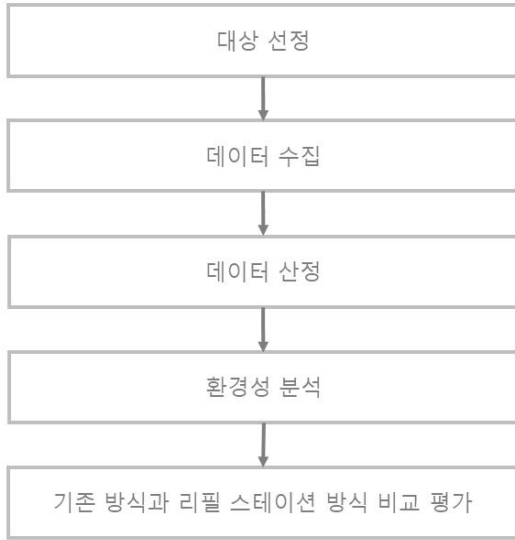


Fig. 1. Research procedure.

3. 세제 리필 스테이션 이용에 따른 환경적 효과 분석

3.1 목적 및 범위정의

3.1.1 목적 정의

전과정 평가 수행 대상은 세탁세제와 섬유유연제의 판매 방식으로 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식이다. 본 연구에서는 table 1에 나타난 바와 같이 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식과의 비교 분석으로 목적을 정의하였다.

3.1.2 범위 정의

(1) 기능 및 기능단위 설정

본 연구의 본 연구의 대상인 기존 판매 방식 시스템은 세탁 시 사용하는 세제, 섬유유연제를 담는 것을 주요 기능으로 설정하였다. 비교 대상 시스템인 리필 스테이션 판매 방식도 동일하게 적용하였다. 기능, 기능단위 및 기준 흐름은 table 2에 나타난 바와 같이 정의하였다.

(2) 시스템 경계

본 연구의 시스템 경계는 제조 전 단계, 제조단계, 유통 단계, 판매단계, 사용 및 폐기 단계의 전 과정에 설정하였다. 연구 대상 시스템인 기존 판매 방식 시스템은 생산, 유통, 판매, 사용 및 폐기의 공정을 거친다.

Table 1. Definition of research purpose

연구의 목적	• 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식과의 비교 분석
대상 청중	• 산업체 환경담당자 • 정부 기관의 환경담당자
연구의 이용 분야	• 국내 폐차처리 관련 정책 수립 • 환경친화적 폐차 처리를 위한 참고자료 • 지속 가능 폐차 처리시스템 구축

Table 2. Function, functional unit and reference flow

기능	• 세탁세제 및 섬유유연제를 담는 것
기능 단위	• 세탁세제 및 섬유유연제 3L 용기 1개
기준 흐름	• 세탁세제 및 섬유유연제 용기 3L, 용기 무게 183g

(3) 영향평가 방법론 및 영향범주 선정

본 연구의 영향범주는 환경성적표지 인증제도에서 제시하고 있는 자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화 및 광화학스모그 등의 6가지 범주로 선정하였다.

3.2 전과정 목록 분석

3.2.1 데이터 수집

목적 및 범위 정의에서 언급한 가정, 제한사항 및 데이터 품질 요건 등을 반영하여 데이터를 수집하였다. 각 시스템에 대해 수집한 현장데이터 및 일반데이터를 기능단위(세탁세제 및 섬유유연제 3 L 용기 1개) 기준으로 산정하였다.

기존 판매 방식 및 리필 스테이션 판매 방식에 대한 공정도를 Fig. 2, 3에 나타내었다. 두 판매 방식의 세탁세제 및 섬유유연제는 생산, 유통, 판매, 사용 및 폐기 단계를 거친다. 생산 단계의 경우 기존 판매 방식에서 3 L 용기, 포장박스, 리필 스테이션 판매 방식에서는 3 L, 25 L 용기 및 포장박스를 사용하고 있다. 유통단계에서는 두 방식 모두 운송 거리를 조사하였다. 판매단계에서는 기존 판매 방식에서 폐골판지, 리필 스테이션 판매 방식에서는 폐골판지, 25 L 폐용기를 사용하고 있다. 폐기 단계에서는 기존 판매 방식에서 두 방식 모두 3 L 폐용기가 폐기되고 있다. 생산, 유통, 판매, 소비, 폐기의 공정을 거치며 판매량은(포장단

기존 판매 방식

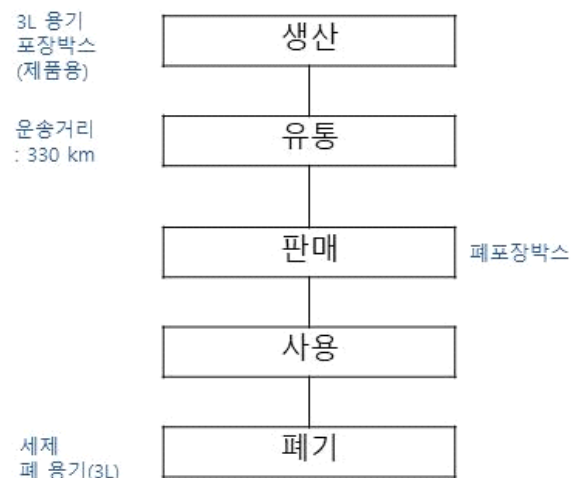


Fig. 2. Process of traditional detergent sales method.

리필스테이션 판매 방식

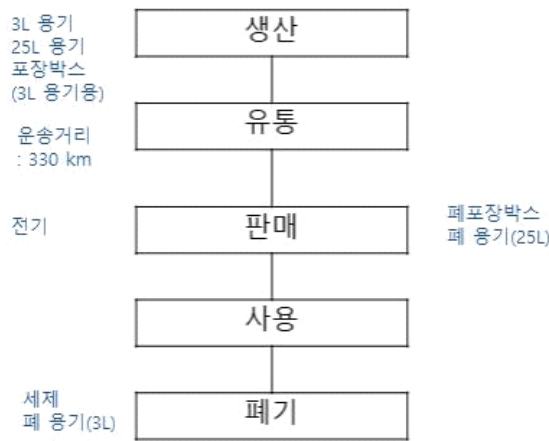


Fig. 3. Refill sales process.

위 기준, 운송량, 운송 거리, 운송 수단, 연비를 고려하였다. 포장재 사용량은 용기, 포장박스(세제 용량별 개수)를 고려하였다. 수집 데이터는 리필 스테이션 판매 방식에서의 판매량이며, 이 판매량을 기존 판매 방식으로 환산하여 판매하는 것으로 산정하였다.

수집된 데이터를 table 3에 나타내었다¹³⁾. 데이터 수집 기간은 2020년 9월 25일~2021년 3월 31일까지이며 3 L 용기의 모양과 무게는 기존 판매 방식에 사용되는 것과 리필 스테이션 판매 방식에서 사용되는 것이 동일하다. N세탁세제 및 S섬유유연제 1개, 3 kg (내용물)이며 판매 수량은 3,581개/월이다. 이중 3 L 용기를 사용한 판매량은 평균 2,904개/월이며, 고객이 제품을 다 사용 후 깨끗하게 세척한 3 L 용기를 다시 가져와 재리필하여 판매한 수량은 평균 677개/월이다. 3 L 용기의 무게는 용기 무게 150 g과

Table 3. Refill station operation basic data

판매량	11,800개 (세탁세제 6,528개, 섬유유연제 5,272개)
월평균 판매 수량	3,581개/월
재리필 수량	678개/월
3 L 용기 무게	150 g
3 L 용기 캡	33 g
25 L 용기 무게	1,414 g
25 L 용기 캡	30 g
3 L 용기 4개 포장 골판지 박스 무게	616 g
3 L 용기 20개 포장 골판지 박스 무게	1,200 g
운송수단	5~8 ton 트럭
운송거리	365 km
전력사용량	0.5 kW

용기 캡의 무게 33 g이다. 리필 스테이션 판매 방식에 사용하는 25 L 용기의 무게는 1,414 g과 용기 캡의 무게 30 g이다. 기존 판매 방식의 3 L 용기 4개를 포장하는 골판지 박스의 무게는 616 g이며, 리필 스테이션 판매 방식의 3 L 용기 20개를 포장하는 골판지 박스의 무게는 1,200 g이다. 운송트럭의 톤수는 5톤이상 8톤이하이며 운송거리는 365 km으로 가정한다. 리필 스테이션 판매 방식에서 전력 사용량은 220V, 0.5 kW이며, 연간으로 사용량을 산정한 후, 12개월로 나누어 월 사용량을 산정하였다.

3.2.2 데이터 산정

수집된 기존 판매 방식의 원부자재 투입량은 table 4에 나타냈다. 3 L 용기의 원부자재 투입량은 판매수량 3,581개와 3 L 용기 무게 150 g을 계산한 537 kg이다. 3 L 용기 캡의 원부자재 투입량은 판매수량 3,581개와 3 L 용기 캡의 무게 33 g을 계산한 118 kg이다. 3 L 용기 4개가 포장되는 골판지 박스의 양은 골판지 박스 무게 616 g에 판매수량 3,581개를 4개씩 포장할 때의 투입량을 계산한 551 kg이다.

수집된 리필 스테이션 판매 방식의 투입물은 table 5에 나타냈다. 3 L 용기의 원부자재 투입량은 월평균 판매수량 3,581개 중 3 L 용기를 사용하여 판매한 수량 2,904개를 3 L 용기 무게 150 g을 계산한 436 kg이다. 3 L 용기 캡의 원부자재 투입량은 판매수량 2,904개와 3 L 용기 캡의 무게 33 g을 계산한 96 kg이다. 25 L 용기의 원부자재 투입량은 판매수량 3,581개를 3 L 용기에 넣어서 판매할 때의 총용량 10,743 L로 이에 필요한 25 L 용기 수량은 430개로 이며, 25 L 용기를 10회 재사용 한다는 가정을 하여 43개가 필요하고, 25 L 용기 무게 1,414 g으로 계산한 원부자재 투입량은 61 kg이다. 25 L 용기 캡의 원부자재 투입량은 25 L 용기의 원부자재 투입량 계산 방식과 같이 43개

Table 4. Traditional sales input

투입물	단위	양
3 L 용기	kg	537
3 L 용기 캡	kg	118
3 L × 4개 골판지 박스	kg	551

Table 5. Refill station sales method input

투입물	단위	양
3 L 용기	kg	436
3 L 용기 캡	kg	96
25 L 용기	kg	61
25 L 용기 캡	kg	1
3 L × 4개 골판지 박스	kg	174
전기	kWh	365

를 25 L 용기 캡 무게 30 g으로 계산한 원부자재 투입량은 1 kg이다. 3L 용량 20개씩 포장하는 골판지 박스의 원부자재 투입량은 골판지 박스 무게 1,200 g과 판매수량 3,581개를 20개씩 포장할 때의 수량을 계산한 원부자재 투입량 174 kg이다. 전력사용량은 220V, 0.5kW 이며 24 시간 가동을 가정하여 사용일수 365일을 산정 후, 12개월로 나누어 월 사용량으로 산정한 결과 전력사용량은 365 kWh이다.

본 연구에서 이용한 LCI DB는 table 6에 나타내었다.

3.3 전과정 영향평가

3.3.1 기존 세제 판매 방식

기존 판매 방식의 전과정에 걸친 환경영향 범주별 평가 결과를 table 7에 나타내었다. 6개 모든 영향범주에서 제조전단계가 높게 나타났으며, 재활용의 영향으로 인하여 산성비, 부영양화, 광화학스모그는 (-)값이 나타났다.

Table 6. LCI DB for use of this study

명칭	LCI DB	
	DB명	출처
용기(HDPE)	Home-polypropylene	산업통상자원부
캡(PP)	HDPE (통합)	산업통상자원부
박스	골판지 (EDP2013)	환경부
전기	전기	산업통상자원부
폐골판지	폐골판지 재활용	Ecoinvent
폐용기	플라스틱 재활용 (Waste Plastics Recycling)	환경부
폐수	하수처리	환경부

Table 7. Impact assessment result of the existing sales method

영향범주	제조 전단계	제조 단계	사용 단계	폐기 단계	합계
자원발자국 (kg Sb eq. /3 L 세제)	6.35E-03 (415%)	0(0%)	1.01E-04 (7%)	-4.92E-03 (-322%)	1.53E-03 (100%)
탄소발자국 (kg CO ₂ eq. /3 L 세제)	4.08E-01 (409%)	0(0%)	1.85E-02 (19%)	-3.27E-01 (-327%)	9.98E-02 (100%)
오존층영향 (kg CFC11 eq. /3L 세제)	2.54E-05 (100%)	0(0%)	2.06E-09 (0%)	-8.88E-09 (0%)	2.54E-05 (100%)
산성비 (kg SO ₂ eq. /3 L 세제)	5.97E-04 (498%)	0(0%)	9.15E-05 (76%)	-8.09E-04 (-674%)	-1.20E-04 (100%)
부영양화 (kg PO ₄ ³⁻ eq. /3 L 세제)	1.16E-04 (82%)	0(0%)	1.69E-05 (-12%)	-2.75E-04 (193%)	-1.42E-04 (100%)
광화학스모그 (kg C ₂ H ₄ eq. /3 L 세제)	9.65E-04 (39%)	0(0%)	3.00E-05 (-1%)	-3.47E-03 (-140%)	-2.47E-03 (100%)

3.3.2 리필 스테이션 판매 방식

리필 스테이션 판매 방식의 전과정에 걸친 환경영향 범주별 평가 결과를 table 8에 나타내었다. 사용단계에서 사용한 전기의 영향으로 인하여 자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향 이외의 산성비, 부영양화, 광화학스모그에서는 사용단계에서 높게 나타났으며, 재활용의 영향으로 인하여 오존층영향을 제외한 나머지 영향범주에서 (-)값이 나타났다.

3.3.3 기존 세제 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식의 영향평가 비교

table 9에 기존 세제 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식

Table 8. Impact assessment result of refill station sales method

영향범주	제조 전단계	제조 단계	사용 단계	폐기 단계	합계
자원발자국 (kg Sb eq. /3 L 세제)	2.61E-03 (255%)	0(0%)	3.59E-04 (35%)	-3.99E-03 (-390%)	-1.02E-03 (100%)
탄소발자국 (kg CO ₂ eq. /3 L 세제)	1.36E-01 (192%)	0(0%)	5.75E-02 (81%)	-2.65E-01 (-373%)	-7.09E-02 (100%)
오존층영향 (kg CFC11 eq. /3L 세제)	8.54E-06 (100%)	0(0%)	6.52E-10 (0%)	-7.20E-09 (-0%)	8.53E-06 (100%)
산성비 (kg SO ₂ eq. /3 L 세제)	-5.76E-05 (10%)	0(0%)	1.16E-04 (19%)	-6.55E-04 (-110%)	-5.97E-04 (100%)
부영양화 (kg PO ₄ ³⁻ eq. /3 L 세제)	-9.55E-05 (32%)	0(0%)	2.16E-05 (7%)	-2.23E-04 (-75%)	-2.97E-04 (100%)
광화학스모그 (kg C ₂ H ₄ eq. /3 L 세제)	-1.31E-03 (32%)	0(0%)	9.84E-06 (0%)	-2.81E-03 (-68%)	-4.11E-03 (100%)

Table 9. Reduction of environmental impact due to refill station sales method

영향범주	기존 판매 방식	리필 스테이션 판매 방식	저감량 (저감률, %)
자원발자국 (kg Sb eq. /3 L 세제)	1.53E-03	-1.02E-03	2.55E-03 (167%)
탄소발자국 (kg CO ₂ eq. /3 L 세제)	9.98E-02	-7.09E-02	1.71E-01 (171%)
오존층영향 (kg CFC11 eq. /3L 세제)	2.54E-05	8.53E-06	1.69E-05 (66%)
산성비 (kg SO ₂ eq. /3 L 세제)	-1.20E-04	-5.97E-04	4.77E-04 (398%)
부영양화 (kg PO ₄ ³⁻ eq. /3 L 세제)	-1.42E-04	-2.97E-04	1.55E-04 (109%)
광화학스모그 (kg C ₂ H ₄ eq. /3 L 세제)	-2.47E-03	-4.11E-03	1.64E-03 (66%)

식의 영향평가 비교 결과를 나타내었다. 기존 판매 방식과 리필 스테이션 판매 방식의 환경영향범주 수행결과 3 L 세제 1개 기준으로 자원발자국은 리필 스테이션 판매방식으로 인해 2.55E-03 kg Sb eq.로 167% 저감되었다. 탄소발자국은 1.71E-01 kg CO₂ eq.로 171% 저감되었다. 오존층 영향은 1.69E-05 kg CFC11 eq.로 66% 저감되었다. 산성비는 4.77E-04 kg SO₂ eq.로 398% 저감되었다. 부영양화는 1.55E-04 kg PO₄³⁻ eq.로 109% 저감되었다. 광화학스모그는 1.64E-03 kg C₂H₄ eq.로 66% 저감되었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 판매방식과 리필 스테이션 판매방식에 대해 환경영향을 비교평가 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

환경영향평가 결과, 기존 판매 방식은 세계 3 L 1개 기준으로 제조전단계가 모든 환경영향범주에서 환경영향이 높게 나타났다. 반면에 리필 스테이션 판매 방식은 오존층 영향을 제외한 5개 환경영향은 재활용으로 인하여 -값이 나타나고 있다. 투입되는 용기의 원료로 인하여, 자원발자국, 탄소발자국, 오존층 영향은 제조전단계가 높게 나타났으며, 전기의 사용으로 인해 산성비, 부영양화, 광화학스모그는 사용단계에서 높게 나타났다.

두 판매 방식을 비교한 결과, 리필 스테이션 판매 방식이 기존 판매 방식에 비해 자원발자국은 167%, 탄소발자국은 171%, 오존층영향은 66%, 산성비는 398%, 부영양화는 109%, 광화학스모그는 66%로 저감되었다.

본 연구는 플라스틱 사용량 저감이라는 측면에서 플라스틱 사용량이 많은 세계 제품의 판매방식에 대해 환경영향을 파악하였다는 점에서 의미가 있다. 본 연구결과는 플라스틱 사용량을 저감하기 위해 리필 스테이션 판매 방식

의 활성화하는 정책의 자료로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(P0008421, 2021년 산업혁신인재성장지원사업)입니다.

REFERENCES

- 1) European Commission, "Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe", Brussels, 2.7. (2014).
- 2) European Commission, "A European Strategy for Plastics in a Circular Economy", pp.1 ~ 18 (2018).
- 3) Kotra website, EU, 2021년 1월 1일 플라스틱세 전격 도입, 2020.12.17 <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244&dataIdx=186491>.
- 4) 환경부, 제1차 자원순환기본계획, p.39 (2018).
- 5) 환경부 보도자료, 세탁제, 이제 매장에서 다시 채워서 쓰세요 (2020.9.23.).
- 6) Ecostore website, <https://korea.ecostore.com/>
- 7) 아로마티카 website, <https://aromatica.co.kr/>
- 8) 고금숙, 제로웨이스트숍 https://map.kakao.com/?map_type=TYPE_MAP&folderid=4049789&target=other&page=bookmark.
- 9) 김종석, 김원찬, 이용주, 김홍식, 박현영, 양봉식, 김완수, 박필주, 홍은아, 친환경 설계로 제조된 주방세제의 탄소배출량 감축 효과, 대한환경공학회지, Vol.(37) No.2 (2015).
- 10) 정현창, 김영운, 조인식, 샴푸의 전과정평가에 관한 연구, 한국전과정평가학회지, Vol.(7) No.1 (2006).
- 11) 이재란, 안석원, 김한수, 노승호, 액체 주방세제 전과정평가에 관한 연구, 한국전과정평가학회지, Vol.(3) No.1 (2001).
- 12) 한국환경산업기술원, LCA Software TOTAL ver.6.5.5.
- 13) B사, 내부자료 (2021).