

샴푸의 전과정평가에 관한 연구

정헌창 · 김영운 · 조인식

(에경산업(주) 중앙연구소)

Life Cycle Assessment of Shampoo

Heon Chang Jeong · Young Woon Kim · In Sik Choi

(Aekyung Industrial Co., Ltd. Central Research Laboratories)

ABSTRACT

Life Cycle Assessment(LCA) of shampoo produced by Aekyung Industrial Co., Ltd. was performed to analyze its environmental properties. The procedure of LCA was followed to goal & scope definition, life cycle inventory(LCI), life cycle impact assessment(LCIA). At the end, the key issue was analyzed in each stage, impact category and unit process. As a result, raw material and package production was the highest environmental load among stages, freshwater eco-toxicity among categories and 1340J among raw materials. LCA results will be used as the basic data in the development of environmentally friendly shampoo. Furthermore, in consideration with economic aspect, we are going to study eco-efficiency.

Key words : life cycle assessment, shampoo, life cycle inventory, life cycle impact assessment, environmental indicator

요 약 문

에경산업에서 생산하는 샴푸에 대한 환경영향을 파악하기 위하여 전과정평가를 수행하였다. 전과정평가의 과정은 목표 및 범위 설정, 전과정목록분석, 전과정영향평가(가중치 부여)를 수행한 후, 단계별, 영향범주별, 단위 공정별로 key issue를 도출하였다. 그 결과, 원료/포장재 생산 단계가 환경영향이 가장 높게 나타났으며, 영향범주별로는 수중 생태계독성, 단위공정으로는 1340J 원료생산단계가 가장 높게 나타났다. 본 연구결과는 환경친화적인 샴푸 개발시 활용할 수 있는 기초자료로 사용이 될 것이며, 향후, 경제적인 측면을 고려하여, 샴푸에 대하여 eco-efficiency을 수행할 것이다.

주제어 : 전과정평가, 샴푸, 전과정목록표, 전과정 영향평가, 환경지수

I. 서 론

모발의 건강과 미용을 위해, 1930년대 John Breck에 의해서 샴푸가 등장하였으며, 국내에서는 1960년대 샴푸가 등장하였다. 샴푸의 기능은 초기에 모발세정이었으나, 비듬제거, 퍼머나 염색 등으로 인한 손상방지 등의 소비자의 요구가 증가됨에 따라 점차 고급화되었다.

샴푸의 다양한 기능을 실현하기 위하여 새로운 물질이 첨가되면서, 점차 제품화에 대한 개발이 가속화

되었다.

한편, 1990 년대에 합성세제, 샴푸 등에 사용되는 물질이 생분해도가 낮고, 인체에 유해하며, 수질오염의 주범으로 보도되는 등 사회적 문제로 등장하게 되었다. 최근에는 Wellbeing, LOHAS 등 건강 및 환경을 중시하는 사회적 풍토의 확산으로 환경 친화적인 제품에 대한 관심이 점차 고조되고 있다.^{1)~2)}

이에 따라 1990년대 이후 국내외에는 환경영향을 평가할 수 있는 수단으로 LCA를 이용한 연구가 활발

히 수행되고 있다.

그 결과를 바탕으로 청정생산 기술을 이용한 공정에서 생산된 제품에 대하여, 이를 과학적으로 입증하는 수단으로 활용되고 있다.

본 연구는 샴푸를 대상으로 ISO 14040 series 기준에 맞추어 목적 및 범위 정의, 전과정 목록 분석, 전과정 영향평가의 순서로 진행하였으며^{3)~6)}, 결과는 환경친화적인 샴푸를 개발하기 위한 기초자료로 활용하는 데 필요한 환경성을 평가하고자 한다.

LCA Software(S/W)는 환경성적표지 전용 S/W인 TOTAL(ver. 2.3.1)⁷⁾를 이용하였다.

II. 샴푸 LCA 적용

1. 목표 정의 및 범위 설정

본 연구의 목적은 애경산업에서 생산되는 샴푸에 대하여 원료 수급 및 유틸리티를 고려한 생산단계, 제품의 운송, 사용, 폐기단계 등 각 단계별 Database(DB)를 구축하고, 환경영향범주별 환경영향을 정량화하여 해석하는 데 있다.

제품의 기능은 다음사항을 모두 고려한다.

- 두피 및 머리카락을 깨끗하게 세정하고, 비듬 및 가려움을 덜어준다.
- 머리카락을 부드럽게 한다.
- 두피 및 머리카락을 건강하게 유지시킨다.
- 머리카락에 윤기를 준다.
- 정전기의 발생을 방지하여 쉽게 머리를 단정하게 한다.
- 손상된 모발을 보호한다.

기능단위는 “상기 기능을 나타낼 수 있는 샴푸의 1회 머리를 감는 데 사용되는 샴푸의 양”인 5.93g으로 정하였다.

표 1에서 나타난 바와 같이 1회당 펌핑량과 설문조사결과에 의한 평균펌핑횟수를 반영하여 1회 사용량을 산정하였다.⁸⁾

기준흐름은 사용시 샴푸가 수계로 배출되기에, 손실이 없는 것으로 가정하여, 기능단위와 동일한 5.93g으로 정하였다.

Table 1. Functional Unit

펌핑횟수	panel수	비율(%)
1회	33	31
2회	51	47
3회	17	16
4회	4	4
5회	2	2
1~2회	1	1
계	108	100
평균 펌핑횟수	1.98	
회당 펌핑량	3g	
1회 사용량	5.93g	

그림 1에 나타난 제품의 시스템 경계는 원료물질 생산단계에서부터 폐기단계까지이며, 원료 및 포장재 생산, 제품생산, 제품운송, 제품사용, 제품폐기로 설정하였다.

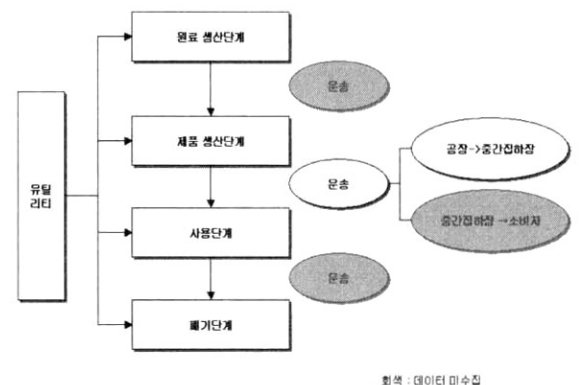


Fig. 1. System boundary of Shampoo

데이터 범주는 원료, 포장재, 유틸리티, 에너지, 대기배출물, 수계배출물, 고형폐기물로 분류하였다. 제품 생산에 직접 투입되는 원부재와 이의 생산에 필요한 모든 물질이 포함되고, 유틸리티는 제품생산에 사용되는 전기와 용수를 포함하였다. 에너지는 연료의 사용량을 고려하였다. 대기 및 수계배출물은 공장내에서 발생하는 배출물과 운송단계의 배출물 그리고 DB에 포함된 배출물 항목을 고려하였다.

데이터 품질의 경우, 시간적 범위는 1990년부터 2004년까지로 설정하였다. 원료 및 포장재생산은 DB^{9)~12)}에서 고려한 1990년 이후의 시점을 고려하였고, 제품

생산, 운송, 사용단계는 2004년 자료를 적용하였다. 폐기단계는 2003년 환경부 통계자료¹³⁾를 적용하였다. 지리적 범위는 원료의 경우, 국내외를 고려하였으며, 이외의 단계는 국내로 한정하였다. 기술적 범위는 제품생산, 운송, 사용, 폐기는 최신기술 및 사용습관을 고려하였다. 원료 및 유틸리티의 생산은 DB에서 선정한 자료를 활용하였다.

제품별 원료물질 생산공정에 대한 조사는 원료물질에 대한 LCI DB를 수집하지 못한 원료를 제외한 나머지 물질의 누적질량비로 98.4%에 해당되는 물질에 대하여 적용하였다.

Table 2. Data Quality

단계	시간적 범위	지리적 범위	기술적 범위
원료/포장재 생산	1990년 이후	원료/포장재를 생산하는 지역	데이터베이스에서 선정한 기술
제품 생산	2004년	국내	당사의 샴푸 생산기술
운송	2004년	운송거리: 국내 데이터: 데이터베이스	데이터베이스에서 선정한 기술
제품 사용	2004년	국내	국내소비자 사용습관
폐기	2003년	폐기물 처리: 국내 데이터: 데이터베이스	데이터베이스에서 선정한 기술

표 3은 본 연구에서 적용한 8가지 영향범주¹⁴⁾을 나타낸 것으로, 산업자원부에서 개발한 영향평가 방법론에서 적용하는 범주를 대상으로 하였다.

Table 3. Selected Impact Categories for of Shampoo

영향 범주
자원 고갈 (Abiotic Resources Depletion Potential, ARDP)
산성화 (Acidification Potential, AP)
부영양화 (Eutropication Potential, EP)
수중 생태계 독성 (Fresh Aquatic Ecotoxicity Potential, FAETP)
지구온난화 (Global Warming Potential, GWP)
인간독성 (Human Toxicity Potential, HTP)
오존층파괴 (Ozone Depletion Potential, ODP)
광화학산화물생성 (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)

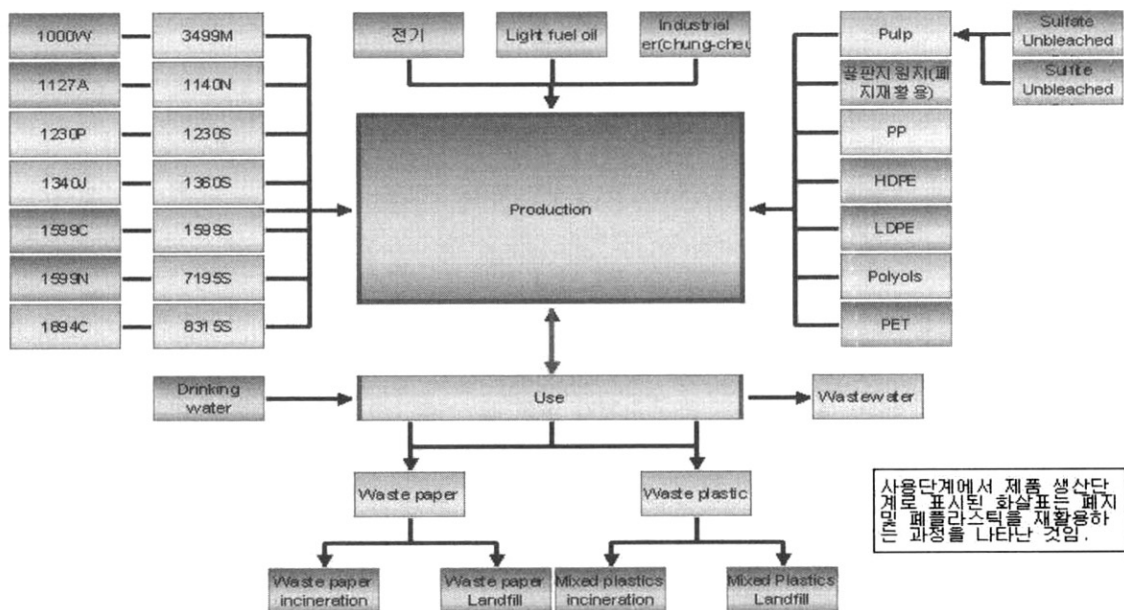


Fig. 2. System for Life Cycle Assessment of shampoo

2. 전과정 목록 분석

목록분석을 수행하기 위하여 각 단계별 원료, 포장재, 유틸리티 등의 투입물과 대기, 수계, 폐기물 등의 배출물에 대한 자료를 수집하였다.

그림 2는 TOTAL(ver. 2.3.1)에서 수행한 제품의 시스템 구성도이며, 단계별로 원료 및 제품 생산, 운송, 사용, 폐기로 분류하였다.

(1) 원료 및 포장재 생산

원료 및 포장재와 관련된 LCI DB는 Tenside 등의 문헌자료와 TEAM, Simapro 그리고 환경부 및 산업자원부에서 구축한 DB를 이용하였다.

(2) 제품생산

대상제품의 생산단계의 자료는 원료, 포장재, 유틸리티 등의 투입물과 대기 및 수계, 폐기물 등의 배출물간의 물질수지를 고려하였다. 한편, 대상물질의 비중은 생산량을 기준으로 대상물질의 비중을 고려하였다.

(3) 운 송

생산공정으로부터 소비자의 사용환경을 모두 고려하여나 하나, 데이터 수집이 현실적으로 불가능하므로, 당사 제품의 국내 지역별 시장점유율과 거리를 고려하여 산정하였다.

(4) 사 용

1회 머리를 감을 때 사용하는 샴푸의 양은 소비자 설문자료인 1.98회의 펌핑수와 1회당 펌핑량인 3g을 적용하여 5.93g으로 산정하였다.

용수는 샴푸 1.5g을 사용하여 머리를 감을 때, 2L를 사용하는 것으로 가정하였다. 1회 샴푸사용량인 5.93g을 이용할 시, 용수사용량은 회당 8L로 가정하였다.

사용자가 샴푸를 사용 후, 샴푸는 용수와 혼합되어 폐수처리장으로 유입되어 처리된다.

BOD, COD 등의 수계배출량은 전국하수종말처리장에서 처리된 후 배출되는 평균수질농도와 소비된 샴푸와 용수가 혼합된 폐수배출량을 이용하여 산정하였다.¹⁵⁾

사용한 LCI DB는 환경부에서 구축한 충청지역의 Drinking water DB이다.

(5) 폐기

포장재의 경우, 환경부에서 발표한 2003년도 폐기물 현황을 근거로 폐지 및 페플라스틱의 조각, 매립, 재활용 비율을 적용하였으며, 재활용횟수는 1회로 가정하였다. 사용한 LCI DB는 환경부에서 구축한 폐지 및 페플라스틱의 조각 및 매립 DB이다.

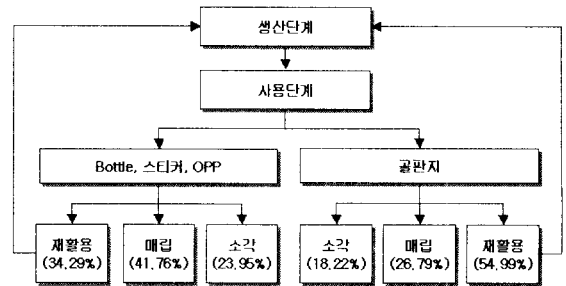


Fig 3. Waste Treatment ratio

3. 전과정 영향평가

목록분석단계에서 규명된 투입물과 산출물의 환경영향을 파악하기 위하여 ISO 14042에서 규정된 분류화와 특성화 및 가중치부여를 수행하였다.

(1) 분류화

목록분석 단계에서 작성된 투입물 및 배출물항목들을 자원고갈, 산성화, 부영양화, 수중 생태계독성, 지구온난화, 인간독성, 오존층 파괴, 광화학 산화물 생성의 8가지 영향 범주별로 구분하여 정리하였다.

(2) 특성화

Classification 과정을 거쳐서 분류된 각 영향 범주들의 환경 영향정도를 파악하기 위해서 각각의 영향범주별로 input 및 output 항목들에 대해 각 영향범주들의 기준물질과 비교한 특성화인자(CF, Characterization Factor)를 곱하여 해당 영향범주 내에서 통합하였다.

그림 4에 나타낸 특성화 결과는 log scale로 표현한 것으로, 단위가 각 환경영향범주별로 상이하기에 특성화값을 비교할 수는 없다.

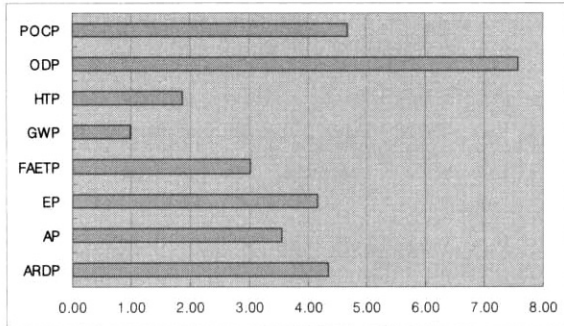


Fig 4. Characterization ratio of Shampoo.

표 4는 각 영향범주별 단위를 나타낸 것이다.

Table 4. Unit each impact category

영향범주	단 위
ARDP	l/yr
AP	kg SO ₂ -eq/kg
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq/kg
FAETP	kg 1,4 DCB eq./kg
GWP	kg CO ₂ -eq/kg
HTP	kg 1,4 DCB eq./kg
ODP	kg CFC11-eq/kg
POCP	kg ethylene eq./kg

(3) 정규화 및 가중치 부여

정규화 및 가중치 부여는 특성화 결과를 토대로 산업자원부에서 구축한 한국형 지수를 이용하여 수행하였다.¹²⁾

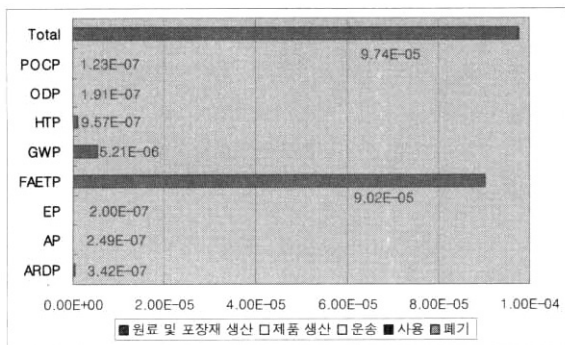


Fig. 5. Weighting

그림 5에 나타난 각 단계에 대한 영향범주별 가중치 결과를 살펴보면, 수중 생태계독성, 지구 온난화,

인간 독성 순으로 환경영향이 높은 것으로 나타났다.

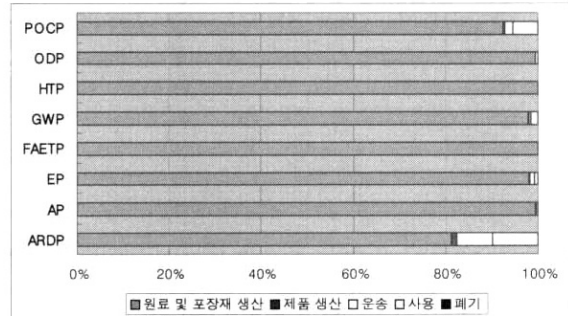


Fig. 6. Weighting ratio

그림 6은 각 영향범주별 가중치를 산정하여 그 값을 백분율로 나타낸 것으로, 각 단계별로 미치는 환경영향을 살펴본 것이다. 모든 영향범주에서 원료 및 포장재 생산단계에서 환경에 미치는 영향이 높은 것으로 나타났다. 특히, 수중 생태계 독성, 인간 독성, 산성화 등은 원료 및 포장재 생산단계가 주요 원인이며, 자원 고갈 및 광화학산화물생성은 원료 및 포장재 생산단계 다음으로 사용단계나 운송단계에서 환경지수가 높게 나타났음을 알 수 있었다. 이는 용수 및 연료의 소비로 기인한다고 볼 수 있다.

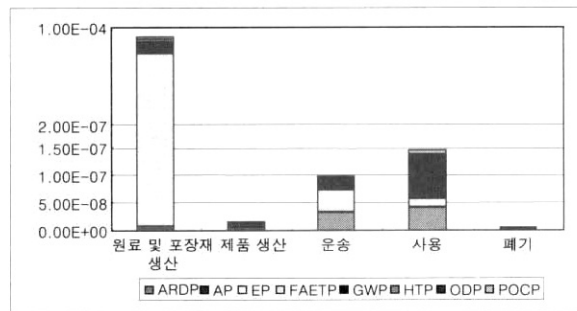


Fig. 7. Weighting in each stage.

그림 7로부터 각 단계별로 가중치 결과를 살펴보면, 원료 및 포장재 생산단계에서 가장 높게 나타났으며, 다음으로 사용단계, 운송단계, 제품생산단계, 폐기단계 순으로 나타났다. 사용단계와 운송단계에서는 지구 온난화, 자원고갈, 수중 생태계 독성에서 환경영향이 높게 나타나고 있는데, 이는 용수 및 연료의 소비로 인한 원인으로 볼 수 있다.

Table 5. Weighting in each material

물질명	1340J	8315S	3499M	7195S	1360S	Polyols
중량(kg)당 환경지수*	0.211	0.151	0.151	0.145	0.144	0.140

* 환경지수는 $-\log(\text{Env. ind.})$ 로 산정

표 5는 원료 및 포장재 생산단계에서 환경에 영향을 주는 주요물질의 가중치 결과를 나타낸 것이다. 1340J가 환경에 미치는 영향이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 8315S, 3499M, 7195S 순으로 나타났다.

III. 결 론

샴푸의 전과정평가를 통하여 샴푸가 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 영향평가결과 원료 및 포장재 생산, 제품의 생산단계, 제품의 운송단계 순으로 환경영향이 높은 것으로 나타났다. 영향범주별로는 수중생태계 독성이 가장 높게 나타났으며, 지구온난화, 인간독성 순으로 나타났다. 이러한 결과는 샴푸를 개발할 때 기초자료로 활용이 될 것이다.

향후 과제는 환경뿐만 아니라 경제적인 측면을 고려한 샴푸의 eco-efficiency를 산정할 필요성이 있다.

참고문헌

- 1) 데일 존슨, 모발과학 지침서 Hair care, (2004)
- 2) 안정림, 연세대 석사학위논문, Life Cycle Assessment의 방법론 및 그 적용에 관한 연구 - 샴푸를 대상으로 - (1995)
- 3) ISO, ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (1997)
- 4) ISO, ISO 14041, Environmental management - Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (1998).
- 5) ISO, ISO 14042, Environmental management - Life Cycle Assessment - Impact Assessment (1998).
- 6) ISO, ISO 14043, Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation (2000)
- 7) 환경부, TOTAL ver.2.3.1. (2006)
- 8) 애경산업, 샴푸 사용습관에 대한 설문결과(2004)
- 9) "European Life-Cycle Inventory for Detergent Surfactants Production", Tenside Surfactant Detergent, 32(2), (1995)
- 10) Silvio Dall'Acqua, Dr. Matthias Fawer, Renato Fritschi, Caroline Allenspach, EMPA, EMPA Report No 244 - LCI for the Production of Detergent Ingredients, pp. 65~88(1999)
- 11) 환경부, 환경부 LCI Database (2005)
- 12) 산업자원부, 산업자원부 LCI Database (2005)
- 13) 환경부, 2003 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (2004)
- 14) 산업자원부, 환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화 사업, p.92 (2004)
- 15) 환경부, 2003 하수도통계 (2004)