

## 액체 주방세제 전과정평가에 관한 연구

이재란, 안석원, 김한수\*, 노승호\*  
(LG화학기술연구원, \*LG생활건강 생활과학연구소)

## Life Cycle Assessment on Kitchen Detergents

Jae-Ran Lee, Suck-Won Ahn, Han-Soo Kim\*, Seung-Ho Noh\*  
(LG Chemical Research Park, \*LG Household & Healthcare Research Park)

### ABSTRACT

With the kitchen detergents produced by LG Household & Healthcare, we performed life cycle assessment to examine their environmental properties. Life cycle inventories of kitchen detergent were drawn, and the impact assessment on six categories including aquatic ecotoxicity, global warming, photochemical oxidant formation, human toxicity, acidification, and eutrophication was made using the inventories. As a result, it was found that environmental load is the highest at the end of life, and the worst impact category is aquatic ecotoxicity. We found the major ingredient determining environmental indicator and replaced it with more environmentally friendly material, so that the product of 18%-improved environmental indicator was developed.

Key words : life cycle assessment, kitchen detergent, life cycle inventory, impact assessment, environmental indicator

### 요 약 문

LG생활건강에서 생산되는 액체 주방세제의 환경성을 조사하기 위하여 전과정평가를 실시하였다. 제품별 전과정목록표를 도출하였으며, 이를 이용하여 수계생태독성, 지구온난화, 광화학스모그, 인간독성, 산성화, 부영양화에 대한 영향평가를 수행하였다. 그 결과, 제품 전과정 가운데 제품 폐기단계에서 환경영향이 가장 높게 나타났고, 특히 수계생태독성에 의한 영향이 높게 나타났다. 주방세제의 환경지수에 영향을 미치는 원인물질을 찾아내고 개선물질로 대체하여 환경지수가 18% 감소한 제품을 개발하였다.

주제어 : 전과정평가, 주방세제, 전과정목록표, 영향평가, 환경지수

### I. 서 론

시판되고 있는 주방세제는 액체형과 분말형의 두 가지가 있다. 식기세척기의 보급에 따라 분말형 세제의 사용이 점차 증가하고 있는 추세이지만 아직까지 대다수의 가정에서는 액체형 주방세제를 사용하고 있다. 그러나 많은 소비량과는 달리 주방세제의 환경성에 대한 규명은 아직까지 발표되지 않고 있다. 이

에 따라, 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 액체형 주방세제에 대한 환경성을 규명하고자 전과정평가(Life Cycle Assessment)를 실시하였다.

본 연구에서 수행한 액체 주방세제 제품에 대한 전과정평가는 ISO 14040 series 기준에 맞추어 목적 및 범위 정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가의 순서로 진행하였으며<sup>(1)</sup>, 대상 제품은 LG 생활건강에서 생산되는 용기형 액체 주방세제를 선정하였고, 데이터분석은 Ecobilan사의 TEAM™(버전

3.0)을 사용하였다.

## II. 연구 내용 및 결과

### 1. 목적 및 범위정의

본 연구의 목적은 LG 생활건강에서 생산되는 용기형 액체 주방세제에 대하여 전과정 목록분석 및 영향평가를 실시하고, 이 결과를 환경친화적인 제품 개발을 위한 내부적인 목적으로 사용하는 것이다.

제품의 기능은 식기 세척기능이며, 기능단위는 물 1000L에 회석시켜 오염물 1000gr을 제거할 수 있는 주방용세제의 양이다. 기준흐름은 제품 표준사용량<sup>(2)</sup>에 따라 주방세제 2kg으로 정하였다. 그림 1에 나타난 제품의 시스템 경계는 원료물질 채취에서부터 폐기단계까지(cradle to grave)이며, 전력 및 유틸리티 생산과정은 포함하였고, 제품수송공정은 생략하였다.

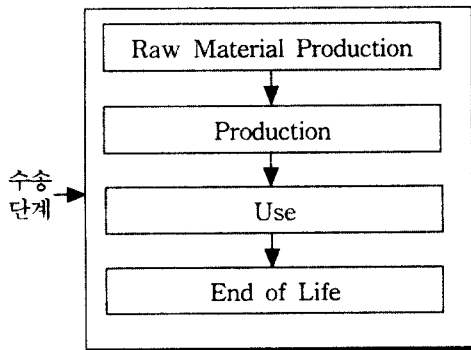


Fig. 1. System boundary of the product.

데이터 범주는 원료물질, 유틸리티, 에너지, 대기 배출물, 수계배출물, 고형폐기물로 분류하였다. 세부적인 데이터 범주를 살펴보면, 제품 생산에 직접 투입되는 제품 원료물질과 이들의 제조에 필요한 초기 원료물질이 포함되고, 유틸리티에는 제품의 제조 공정에서 사용되는 스팀과 압축공기를 포함시켰다. 에너지의 경우 전력과 연료로 나누어지며 이 때 열량은 진발열량(NCV, net calorific value)을 기준으로 하였다. 대기 및 수계 배출물의 경우 공장 내에서 발생하는 배출물을 포함시켰고, 데이터베이스를 사용

한 경우 데이터베이스에 포함된 배출물 항목을 전부 포함시켰다.

데이터 품질의 경우, 시간적 범위는 1998년 생산 자료를 기준으로 하였으며 지역적 범위는 국내에 한정하였다. 기술적 범위는 원료물질의 경우 업체 생산 데이터와 보유 데이터베이스 및 문헌자료를 사용하였고, 포장재 생산공정은 보유 데이터베이스를 사용하였다. 제품생산공정은 현장데이터를 사용하였다. 폐기단계에서는 보유 데이터베이스를 적용하였다. 제품별 원료물질 제조공정에 대한 조사는 누적질량비율 99%에 해당되는 물질들이 포함되었다.

Table 1. Selected Impact Assessment Methods for LCA

영향 범주	평가 방법
지구온난화 (1998)	IPCC (100years)
수계독성 (1992)	Heijungs et al
광화학스모그 (1991)	WMO (high NOx)
인간독성 (1992)	Heijungs et al
산성화 (1992)	Heijungs et al
부영양화 (1992)	Heijungs et al

Table 1은 본 연구에서 적용한 6가지 영향평가방법을 나타낸 것이다. 특히, 수계독성의 경우 삼푸원료성분의 수계독성인자에 대한 값을 구하기 위하여 detergent ingredients database(DID)<sup>(3)</sup>를 사용하였다.

### 2. 목록 분석

목록 분석에 필요한 자료를 수집하기 위하여 가장 먼저 당사의 내부공정자료를 수집하였다. 내부공정 데이터의 수집을 위하여 현장에서 수집한 자료와 공장 내에서 관리되고 있는 데이터를 이용하여 생산공정에 관련된 물질 및 에너지, 유틸리티의 투입량과 배출량을 조사하였다.

원료물질의 경우 생산공정에 관한 자료를 조사하기 위하여 원료물질 제조업체에 설문지를 배포하였다. 설문지는 당 연구팀에서 제작한 것으로 업체별 데이터 수집 시 일관성을 부여하고 데이터 해석 작

업의 편이를 위하여 사용하였다. 그러나, 수집된 원료업체의 공정자료 중에서 제조공정 데이터가 누락된 원료물질에 대해서는 당사에서 보유하고 있는 데이터베이스를 사용하여 대체하였고, 수집된 데이터는 당 연구팀 보유 데이터베이스나 평균 데이터와의 비교를 통하여 검증하였다. 수집된 생산 데이터는 질량 수치를 확인한 후 초기에 작성했던 당사의 제품생산 공정에 연결하였다. 원료물질 제조에 필요한 초기 원료물질에 대한 공정자료는 현장 데이터를 조사하지 않고 보유 데이터베이스를 사용하였다. 여기서 데이터베이스가 없는 경우에는 문헌조사를 통한 화학양론적 계산으로 투입물과 생성물을 산출하여 데이터베이스를 연결하였다. 이들 원료물질 제조에 필요한 에너지 및 유틸리티 사용량과 대기 및 수계 배출물에 대한 자료는 생략하였다.

사용단계는 제품 사용에 관한 공정만 고려하였으므로 제품과 물 사용량만 고려하였다. 이때 사용되는 물의 온도는 상온으로 가정하였다. 폐기 단계는 세정 후 수계로 배출되는 물질들의 처리공정과 폐포장재의 처리공정을 포함한다. 수계로 배출되는 세제성분에 대한 생분해도는 국내 하수처리율을 30%로 가정하여 작성된 LF(Loading factor)값을 적용하였다.<sup>2)</sup> 제품 용기는 1회 사용 후 폐기하는 것으로 가정하였으며, 폐용기의 매립 및 소각에 따른 비율은 환경부 자료<sup>4)</sup>와 골판지협회의 통계를 따랐다. 이 자료에 따르면 폐골판지 상자는 100% 재활용되고 용기 제품은 매립 56%, 소각 9%, 재활용이 35%인 것으로 나

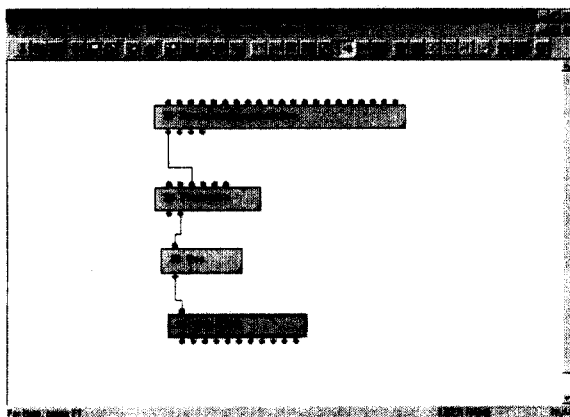


Fig. 2. Description of the kitchen detergent system in TEAM.

타났다. 조사된 각 공정별 자료를 TEAM™(버전 3.0)에 적용하였으며, 그 결과로 용기형 제품 2kg에 대한 전과정목표표를 작성하였다. 그림 2는 TEAM™에서 작성한 제품의 시스템 구성도이며 단계별 구성은 원료물질 생산단계, 제품 생산단계, 사용단계, 폐기단계로 분류하였다.

그림 3은 본 연구에서 수행한 제품 A의 전과정목표를 분석한 것으로 주요 대기배출물 3종과 주요 수계배출물 3종에 대하여 각 단계별 발생비율을 나타낸 것이다. 결과를 분석해보면 주요 대기배출물은 원료물질 생산단계에서 발생하며, 수계배출물의 경우는 원료물질 생산단계 및 폐기단계에서 발생함을 알 수 있다.

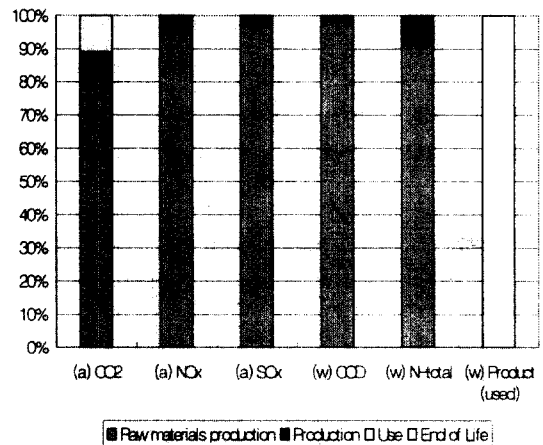


Fig. 3. Analysis of air and water emissions in product A.

### 3. 영향평가

목록분석 단계에서 작성된 투입물과 산출물들의 잠재적인 환경영향정도를 파악하기 위하여 본 연구에서는 ISO 14042에서 규정된 분류화와 특성화를 수행하였으며 이 결과를 이용하여 정규화 및 가중치 부여를 수행하였다. 가중치 부여는 당사 내부의 연구 목적으로만 사용하기 위하여 실시하였다. 목록분석 단계에서 작성된 전과정 목표표를 이용하여 6가지 영향범주에 대한 특성화를 실시하였다. 특성화는 TEAM™(version 3.0) Explorer를 사용하였다. 수계독성의 경우 제품 사용 후 수계로 배출되는 원료

성분에 대한 수계독성 평가를 고려해야 한다. 그러나 본 연구에서 채택한 Heijungs 등에 의한 수계독성 평가에서는 주방세제 원료성분의 수계독성에 대한 특성화 값이 정의되어 있지 않으므로 이 방법을 그대로 적용할 경우 정확한 평가가 이루어질 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 제품의 원료성분에 대한 수계독성을 올바르게 평가하기 위하여 원료 성분들의 특성화 지수를 산출하였다. 산출 방법은 화합물들의 독성 실험자료가 있는 DID List를 바탕으로 EPA의 provisional method에 따라 한계허용농도(MTC)와 특성화 인자인 수계생태독성인자(ECA)를 작성하였다.<sup>5)</sup> 그림 4는 특성화 결과로써, 각 영향범주에 대한 공정별 기여도를 나타내고 있다.

특성화 결과를 살펴보면 수계독성을 제외한 대부분의 영향범주에서 원료 생산에 따른 환경부하가 높게 나타난 반면, 수계독성에서는 폐기단계에서의 환경부하가 가장 높게 나타났다. 이는 제품 성분의 수계 배출로 인한 환경영향이 크게 나타났기 때문이다.

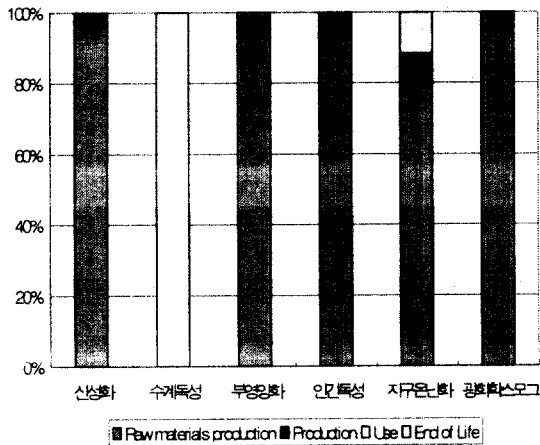


Fig. 4 Result of characterization

특성화를 통하여 제품 전과정에 대하여 영향범주별 환경부하 정도를 파악하였으며, 이 결과를 이용하여 제품내 공정별, 영향범주별 상대적인 기여도를 분석하기 위하여 정규화 및 가중치 부여를 수행하였다. 본 연구에서 적용한 가중치 인자는 2000년 아주대에서 발표한 "한국형 환경영향평가지수 개발"에 명시한 방법들을 적용하였다.<sup>6)</sup>

그림 5는 제품 전과정에 대한 가중치 부여 결과를

나타낸 것이다. 제품 전과정 중 폐기 단계에서의 환경지수가 가장 높게 나타나며 특히, 수계독성에 의한 기여도가 가장 높게 나타났다. 이는 세정 후 수제로 배출되는 세제 성분으로 인한 환경부하가 높기 때문임을 알 수 있다. 다음으로는 원료물질 생산단계의 기여도가 높게 나타났으며 제품 생산공정 및 사용단계의 환경지수는 낮게 나타났다.

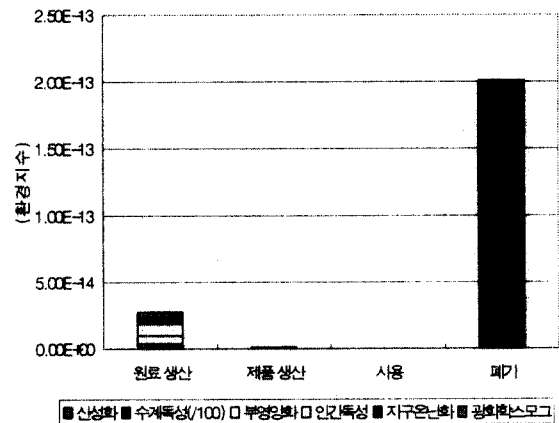


Fig. 5. Result of weighting of product A

#### 4. 개선안 도출

지금까지 가중치 부여 결과를 통하여 폐기단계에서의 수계독성에 의한 환경부하가 가장 높은 것을 알게 되었다. 그러므로 이러한 결과를 이용하여 제품의 환경성을 개선하기 위해서는 가장 먼저 수계독성에 대한 기여도가 높은 원료물질을 분석하여야 한다. 이를 위하여 전체 환경지수에 영향을 주는 각각의 구성요소에 대한 환경적 기여도를 분석하였고 그 결

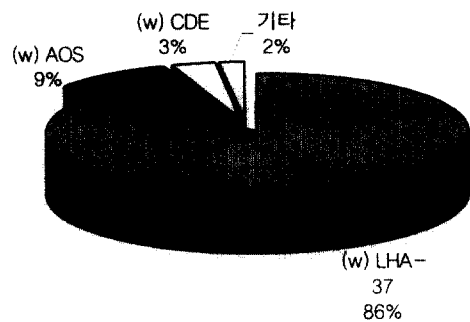


Fig. 6. Analysis of the contribution to environmental index of a kitchen detergent.

과를 그림 6에 나타내었다. 즉, 원료물질 및 내부공정, 폐기단계의 구성요소들에 대한 기여도를 평가한 결과, 주요 원료성분에 의한 기여도가 98%인 것으로 나타났다. 특히, LHA-37에 의한 기여도가 86%로 높게 나타났다.

이 결과에 따라 제품의 환경성을 개선하기 위하여 가장 기여도가 높은 LHA-37을 환경부하가 적은 물질로 대체하고자 하였다. 대체 원료 선정에 앞서서 LHA-37과 유사한 기능을 가지면서 환경적으로 개선된 물질을 찾기 위하여 물질별 환경지수를 파악하였으며, 그 중에서 수계독성에 대한 기여도가 낮은 원료물질을 선택하여 제품 전체에 미치는 가중치 결과의 변화를 분석하였다. 분석 결과는 그림 7에 나타내었으며 6가지 영향범주와 제품 전체의 환경지수 변화를 보여주고 있다. 이때 수계독성의 가중치는 18% 감소하였고, 광화학스모그도 4% 감소하였다. 반면, 지구온난화의 경우는 가중치가 5% 증가하였고, 부영양화 및 인간독성의 경우에도 가중치가 1~3% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 제품 전과정에 대하여 통합하여 평가한 전체 환경지수는 18%까지 개선된 것으로 나타났다. 이는 수계독성이 제품 전체의 환경지수에 미치는 기여도가 높기 때문이며, 지구온난화 및 산성화의 기여도는 낮음을 의미한다. 이에 따라 원료물질을 대체하여 적용함으로써 기존 제품보다 환경친화적인 제품을 개발할 수 있었다.

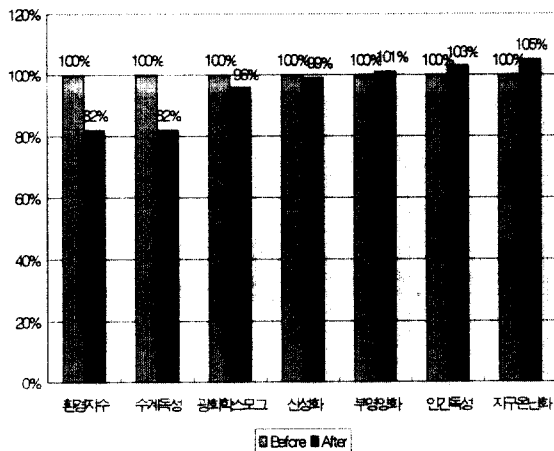


Fig. 7. Comparison of environmental index between before and after environmental improvement

### III. 결 론

주방세제 제품의 전과정평가를 통하여 주방세제가 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 영향 평가결과, 제품 폐기단계에 의한 환경부하가 가장 높게 나타났으며, 세제 성분들의 수계배출에 따른 수계독성의 영향이 높은 것을 알 수 있었다. 또한 연구 결과를 이용하여 제품의 환경성을 개선하기 위하여 수계독성을 줄일 수 있는 원료물질로 대체하였다. 그 결과로써 환경지수가 개선된 환경친화적인 제품을 개발할 수 있었다. 본 연구의 결과는 향후 활성화되는 환경성적표시제에 대한 대비책으로 활용할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- 1) ISO 14041, Environmental management — Life Cycle Assessment — Goal and scope definition and inventory analysis (1998).
- 2) 국내 세탁세제 환경마크 작성 기준, 환경마크 협회 (1998).
- 3) Detergent Ingredients Database, EU Ecolabelling Criteria for Laundry Detergents (1994).
- 4) 환경부, 처리방법별 일반 폐기물 처리현황, 폐기물 자원국, 생활(산업)폐기물과, (1998).
- 5) R. Heijungs, Environmental Life Cycle Assessment of products, CML, Leiden, the Netherlands (1992).
- 6) 아주대, "환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화 사업 — 한국형 환경영향평가지수 개발, 2차년도 요약보고서", 산업기술기반 조성에 관한 보고서(2000).