

## 신기술과 기존기술간의 환경성 평가 사례 - 무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스템의 전과정평가 -

박선원, 강명휘\*, 윤주훈\*, 정정만\*

(KAIST, \*(주)에코프론티어)

## LCA for Environmental Impacts of an Alternative Technology - Detergent and Detergent-free Washing System -

Sunwon Park, Myunghwi Kang\*, Joohoon Yoon\*, Jungman Chung\*

(KAIST, \*Eco Frontier Co.)

### ABSTRACT

This study aims to review environmental impacts of an alternative technology in washing system with life cycle assessment. Homogeneous conditions were considered in system function, fundamental performance, reference unit, system boundary, and data collection of two systems to ensure the reliability of results as a comparative study. The reference unit for assessment was decided as 1,318 times washing based on life span of product and consumers' washing behavior. System unit included whole life cycle of washing system from reproduction to disposal phase. Primary data were used for major components and production phase and secondary data were done for remaining phases and components. There was no significant difference between two washing systems in resource depletion, global warming, ozone depletion, and photochemical oxidant creation. However, detergent-free washing system presented its environmental advantage of 20%~50% in acidification and eutrophication against conventional washing system with detergent.

Key Words : Life Cycle Assessment, Washing system, Alternative technology, comparative study, Environmental advantage

### 요 약 문

본 연구는 동일한 기능을 가지는 신기술과 기존기술간의 환경성 평가를 목적으로 이루어졌다. 본 연구는 세제를 사용하지 않고 세탁을 하는 무세제 세탁시스템과 세제를 사용하는 세제 세탁시스템에 대하여 동일한 방법론을 적용하여 평가한 전과정평가 사례이다. 대상제품을 선정함에 있어서는 제품생산 조건의 동일함을 고려하여 무세제세탁기를 생산하고 있는 기업의 제품을 채택하였다. 평가 시스템의 기준흐름은 세탁시스템의 사용수명을 고려하여 1,318회의 세탁회수로 결정하였다. 시스템경계는 세탁시스템에 대해 전과정을 모두 고려하는 것으로 범위를 정하여, 세탁시스템의 제조단계, 제조전단계, 사용단계, 폐기단계를 모두 포함하였다. 데이터수집 시에는 제조단계와 주요 부품에 대해서는 현장데이터를 필수적으로 수집하였고, 그 이외의 부품에 대해서는 재질 및 제조공정을 조사하여 LCI데이터베이스를 적용하였다. 결론적으로 4개 영향범주(자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성)에서는 환경영향 개선율이 10% 내외로 나타나 두 세탁시스템 사이의 우위를 쉽게 판단할 수 없었고, 산성화와 부영양화 영향범주에서는 무세제 세탁시스템이 세제 세탁시스템에 비하여 최소 20%에서 최대 50%의 환경영향 개선율을 나타내었다.

주제어 : 전과정평가, 세탁시스템, 기술 대안, 비교 연구, 환경영향 개선율

## 1. 서 론

국제 시장에서 제품에 대한 환경성은 선택 조건으로의 인식에서 필수 조건으로 점차 변경되어 가고 있다. 이러한 국제적 여건이 국내 산업계에도 파급을 미치고 있다. 국제적인 변화, 특히 EU를 중심으로 활발하게 움직이고 있는 폐가전지침, 폐차처리지침, 에코라벨 등은 국내 산업계의 환경정책 및 제품 개발에도 많은 변화를 요구하고 있다. 현대 산업사회의 특성인 대량생산, 대량소비, 대량폐기는 지구의 물질공급능력과 자정능력의 한계를 이미 넘어서고 있는 시점에서 지구가 지속가능한 발전을 이루기 위해서는 자연자원이 지속적으로 추출되어야 하고 제품폐기를 무제한으로 수용할 수 있어야 하나 현재의 시스템으로는 극복하기에 어려움이 있다. 이러한 특성을 반영하듯, 최근 유럽을 중심으로 기존의 환경관련 법규를 통합제품환경정책 (IPP: Integrated Product Policy) 이라는 틀에서 재편하고 있으며, 이는 당면한 환경문제를 제품과 시장원리로 해결하려는 의도, 즉 소비자와 공급자를 직접 이어주는 제품의 환경성에 초점을 맞추고 있다.

이러한 배경들에 의하여 최근 개발되는 제품들은 사용 단계에서의 에너지 사용 절감, 사용 및 폐기 단계에서의 환경오염물질 저감 등을 주요하게 고려하고 있다. 또한 제품생산에 있어 환경친화적인 제조과정으로 개선하는 한편, 제품에 재활용성이 높은 재료를 사용하고, 성능 및 안전성에 문제가 없는 범위 내에서 재활용된 재료를 사용하며, 조립 및 분해성을 고려한 제품개발이 이루어지도록 지속적으로 노력하고 있다.

## 2. 연구내용

### 2.1 개요

서론에서 언급되어진 국·내외 경향을 반영하여 본 연구에서는 세탁시스템이라는 대상을 선정하여 기술간의 전과정에 걸친 환경성을 평가하였다. 본 연구에서는 대상 기술로 결정한 신 기술인 무세제 세탁시스템과 기존 기술인 세제 세탁시스템에 대해서 동등한

방법론을 활용한 평가를 수행하였다. 무세제 세탁시스템은 세제 세탁시스템과의 차별성을 가지는 제품 개발 사례로 평가하기 보다는 본질적으로는 기존에 활용되는 기술에 대한 대안 기술 개발로서 평가되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 앞으로 다양하게 개발될 수 있는 기술 대안간의 환경성을 평가하는 기법으로 LCA (Life Cycle Assessment) 기법을 적용하는 사례를 보여주하고자 하였다. 기술 대안간의 환경성을 비교하기 때문에 전과정평가를 통하여 정량적인 결과 도출이 이루어질 수는 있으나, 그 결과에서 신 기술과 기존 기술의 상대적 우위성을 평가하지는 않았다. 단, 본 연구에서는 신 기술과 기존 기술의 성능에 대해서는 이미 관련 전문가들에 의해서 여러 가지 연구 및 분석이 이루어졌기 때문에 고려하지 않고 그 환경성에 대해서만 평가하는 것을 연구 범위로 설정하였다.

### 2.2 전과정평가 기준

#### 2.2.1 연구 대상 범위

연구의 대상이 되는 세탁시스템의 범위는 세탁물의 오염을 제거하기 위해 이루어지는 일련의 활동 및 관련된 활동을 모두 포함하는 것으로 세탁을 위한 모든 공정을 포함하는 범위라고 할 수 있다. 여기에는 세탁기 제조와 관련된 모든 공정, 세탁 수행과 관련된 모든 공정, 사용 이후 폐기의 모든 공정이 포함되며 이 모든 것들이 연구 대상이 된다.

대상제품을 선정하기 위한 기준은 무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스템간의 동등한 기능을 가지고 있는지 여부와 최근에 시장에서 수요가 있는 제품인지 여부를 고려하였다. 무세제 세탁시스템이 기존의 세탁시스템과 전혀 다른 특성을 가지고 있는 것이 아니라, 기존 세탁시스템에 세정수 제조 장치라는 특정 시스템을 부가적으로 부착하여 무세제 세탁기능을 수행할 수 있도록 한 시스템이기 때문에 기기적으로 가지고 있는 기능은 기존의 세탁기와 거의 유사하다. 따라서 결과의 비교·평가를 고려하여 동등한 기능을 가진 제품 시스템을 선정할 수 있도록 하였다. 두 번째로 고려된 시장 수요 여부는 보편적으로 사용되고 있는 제품을 대상으로 선정할 수 있도록 하기 위한 기준이다.

연구 대상 제품은 보편적으로 가정에서 많이 사용

되는 10kg급 세탁능력을 가진 세탁기 중에서 무세제 세탁기 1종과 일반세탁기 1종을 선정하였다1).

2.2.2 기능 및 기능단위

세탁시스템이 가지는 다양한 기능들 중에서 본 연구에서는 세탁물의 오염을 제거하는 세탁기능을 주요한 기능으로 고려하여 연구를 수행하였다. 기능단위는 정의된 제품시스템의 기능이 완료된다고 볼 수 있는 세탁기 1대가 가지는 수명동안의 세탁회수로 정하였다. 여기서 세탁기의 수명은 전자제품 부품보유연한 6년2)을 기준으로 적용하였고, 세탁회수는 연간 219.6회3)를 적용하여 연구 결과 산출의 기준으로 활용될 기준흐름을 결정하였다.

Table 1. 세탁시스템의 기능, 기능단위, 기준흐름

구분	설명
기능	세탁물의 오염을 제거하는 세탁 기능
기능단위	세탁기 1대가 수명동안 수행하는 세탁 회수
기준흐름	세탁 1,318회

2.2.3 시스템경계

본 연구의 시스템경계는 원료채취 단계에서부터 폐기 단계에 이르기까지 모든 전과정 단계를 포함하여 'Cradle to Grave'의 범위를 가지고 있다. 따라서 시스템경계내로 투입되는 모든 원료물질, 에너지와 시스템경계 외로 배출되는 모든 환경배출물들에 대한 환경성 분석 작업을 수행하였다. 시스템경계 부분에서 중요하게 고려되었던 사용단계, 폐기단계, 제외기준에 대한 사항은 다음과 같다.

■ 사용 단계

사용 단계에서는 세탁을 실제 수행하는데 관련한 모든 과정을 포함하였다. 사용 단계라고 하면 세탁을 함에 따라서 투입되는 전력, 용수, 세제에 의한 영향이 포함되어야 하고, 배출되는 세탁하수의 영향도 포함되어야 한다. 무세제 세탁시스템의 경우는 세제를 사용하지 않기 때문에 세제에 의한 영향은 제외되어지

나, 전해질로 사용되는 탄산나트륨 (Na2CO3)에 의한 영향이 추가되어진다. 따라서 사용단계의 영향은 전력 제조 시 영향, 용수 제조 시 영향, 세제 제조 시 영향, 전해질 제조 시 영향, 세탁하수 발생시 미치는 영향이 모두 포함되는 범위로 결정하였다.

■ 폐기 단계

세탁기는 재활용센터를 거쳐서 처리되는 제품이기 때문에 이러한 폐기단계는 필수적으로 시스템경계에 포함되어야 하지만, 실제 이루어지는 과정을 포함하기에는 정확한 통계 자료들이 발표되지 않고 있기 때문에 표준 시나리오를 구성하여 적용하는 것이 더 타당할 것으로 판단하여 시나리오를 구성하는 것으로 결정하였다.

■ 제외기준

본 연구에서는 별도의 제외 (Cut-off) 기준을 설정하지 않고 100%를 포함하는 것으로 결정하였다. 그 이유는 제외기준을 사전 설정하게 되어도 데이터 수집이 불가능한 데이터누락이 발생되게 되는데 기준을 수립하기 보다는 100%를 포함하여 데이터 수집을 진행하고, 발생하는 데이터누락에 대해서 명확한 문서화 과정을 갖는 것이 전체 연구 결과의 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다.

2.2.4 데이터품질요건

■ 시간적범위

현장데이터를 수집하는 제조전 단계와 제조 단계에 대해서는 가장 최신의 데이터인 2002년 자료를 수집하는 것을 원칙으로 하였다. 기타 현장데이터가 아닌 LCI 데이터베이스를 적용하는 경우는 최근 10년 이내의 자료를 수집·적용하는 것으로 하였다.

■ 지역적범위

제조전 단계와 제조 단계에 대한 현장데이터 수집 시에는 실제 생산이 이루어지는 지역의 데이터를 수집하였으며, 기타 데이터베이스를 적용하는 경우에도 국내에서 개발된 데이터베이스를 우선 적용하는 것으로 기준을 설정하였다.

### ■ 기술적범위

세탁기제조와 관련된 기술적범위는 현재 연구 대상 제품의 실제 생산 기술에 적합한 데이터를 수집하였다.

#### 2.2.5 데이터수집 및 계산

결정된 시스템경계를 기준으로 하여 데이터 수집을 진행하였다. 데이터수집에 있어서는 현장데이터를 수집·적용하는 것을 우선으로 하였으나, 모든 부품 및 투입물질에 대해 모두 현장데이터를 적용하는 것은 불가능하기 때문에 현장데이터 적용이 불가능한 경우에는 일반데이터인 LCI 데이터베이스를 적용할 수 있도록 하여 환경영향 결과 산출에 있어서 누락을 감소시키도록 하였다. LCI 데이터베이스 적용 우선순위는 다음과 같다.

1. 대한민국 국가 평균 LCI 데이터베이스 : 산업자원부, 환경부 개발 LCI 데이터베이스
2. 국제 협회 등의 공인기관의 LCI 데이터베이스 : APME4), IISI5), BUWAL6) 등
3. 연구기관 보유 LCA 소프트웨어 내장 LCI 데이터베이스
4. 적합한 LCI 데이터베이스가 존재치 않을 경우 유사 LCI 데이터베이스 사용

### ■ 제조전 단계

제조전 단계의 데이터 수집 시 부품에 있어서는 일차적으로는 현장데이터를 우선 적용하고, 그 외에 데이터수집이 불가능하거나 직접 수집이 어려운 부품류 등에 대해서는 재질 및 공정을 확인하여 LCI 데이터베이스를 활용하는 것으로 기준을 설정하였다. 제조전 단계의 현장데이터를 수집하기 위해 연구 대상 제품에 대한 BOM (Bill of Materials) 자료를 사전 분석 후 연구 대상 제품에 대한 실제 분해 작업을 수행하여 각 부품별 질량을 측정하였다. 각 부품에 대해서 BOM 자료를 이용하여 재질을 파악하였고, BOM으로 확인 불가능한 자료에 대해서는 제조업체로부터 부품 승인원 자료를 추가적으로 입수하여 확인하는 절차를 가졌다. 1차 데이터 수집 진행 후 주요하고, 분해가 불가능한 부품류에 대해서는 부품 제조업체를 방문하여 각 부품에 대한 부족한 자료 수집을 진행하였고,

기타 방문이 불가능한 부품 제조업체에 대해서는 별도의 설문서를 발송하여 데이터 수집을 완료하였다.

### ■ 제조 단계

제조 단계에서는 세탁기의 각 부품들이 공급되고 조립, 검사, 포장 등으로 이루어지는 공정들의 영향을 포함하여 세탁기 1대를 제조하는데 소비되는 전력 및 기타 투입물들에 대해서 데이터를 수집하였다. 또한 검사공정에 투입되어 발생하는 폐수에 대해서도 그 처리에 대한 데이터를 수집하여 세탁기 1대를 제조하기 위한 투입물과 산출물에 대한 모든 데이터를 적용하였다.

### ■ 사용 단계

사용 단계의 데이터 수집 부분이 본 연구에서는 가장 민감한 사항이라고 볼 수 있다. 우선 사용 단계에 영향을 미치는 사항들을 구분하고 그에 대한 데이터를 수집하였다.

#### ① 소비 전력량

소비 전력량의 산출 기준은 세탁 1회로 설정하였으며 실제 전력계를 사용하여 소비되는 전력량을 측정하였다. 단, 세탁 시의 기준은 전기세탁기 KS 규격 (KS C 9608)에 의거하여 세탁기의 표준코스로 10kg의 세탁물에 대한 세탁을 진행하여 그 과정 중 소비된 전력량을 측정하였다.

#### ② 용수 사용량

용수 사용량의 산출 기준은 소비 전력량 산출 기준과 동일하게 적용되었으며, 세탁수 투입구에 유량 측정계를 장착하여 투입되는 용수의 양을 누적치로 측정하였다. 실험은 최소 4회 이상의 규격내용을 따라서 진행하였다.

#### ③ 세제 사용량 혹은 전해질 사용량

세제 세탁기는 일반 세제를 사용하고, 무세제 세탁기는 전기 분해 시 전해질로서 탄산나트륨 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )을 사용하게 된다. 세제와 전해질은 모두 1회 세탁에 따라서 투입되어지기 때문에 각 사용량 데이터를 수집하였다.

- 무세제 세탁시스템 : 세정수 제조 장치에 생성되는 세정수의 양을 측정하여 용해되어 있는 전해질 양을 계산
- 세제 세탁시스템 : 사용 단계 실험 시 선정된 세제의 권장 사용량 적용

④ 세탁하수 분석

공인시험분석기관인 화학시험연구원을 통하여 사용 단계의 세탁하수에 대한 분석을 수행하였다.

■ 폐기 단계

제품시스템의 폐기 단계에서는 별도의 데이터 수집 과정이 이루어지는 것이 아니라 공통적으로 적용할 수 있는 시나리오를 수립하였다. 이 시나리오는 한국전자산업환경협회에서 발표한 자료(7)를 근거로 결정하였으며, 실제 재활용이 되는 비율이 재질별로 다르게 적용되기 때문에 각 재질별로 구분하여 적용하였다(8).

Table 2. 폐기 시나리오

재질	처리방식	폐기 시나리오
철강	재활용	재활용 공정 영향 + 재활용 이익 (재활용률 35.9 %)
스테인레스강		재활용 공정 영향 + 재활용 이익 (재활용률 35.9 %)*
플라스틱		재활용 공정 영향 + 재활용 이익 (재활용률 26.3%)
전선(구리)		재활용 공정 영향 + 재활용 이익 (재활용률 35.9 %)*
기타	소각	-

\* 스테인레스강, 구리에 대한 별도 재활용률이 산정되어 있지 않기 때문에 철강의 재활용 비율 적용

이러한 시나리오에 입각하여 연구 대상 제품을 재질별로 분리하여 폐기(처리)시 이루어지는 재활용공정에 의한 영향과 소각에 의한 영향으로 계산하였다. 기타 재활용이 되지 않는 부품류에 대해서는 소각처리가 되는 것으로 가정하여 평가 하였다.

2.2.6 영향평가

본 연구에서는 무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스

템간의 환경성 비교평가가 이루어져야 하기 때문에 아직 논란의 소지가 많은 정규화와 가중화 단계는 제외하고 특성화단계까지만 전과정 영향평가를 수행한 후 그 결과에 대해서 분석하는 것으로 결정하였다. 각 사항을 고려하여 자원고갈, 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성의 6가지 영향범주에 대해서 평가하는 것으로 결정하였다.

이때 일반 전과정평가 (LCA)연구에서 많이 사용하고 있는 영향범주 중 생태계독성과 인체독성에 대한 것은 아직 국제적으로 정립된 방법론이 부족할 뿐 아니라, 독성의 영향은 지역적 특성이 반영되어야 하는데 현재 방법론으로서는 이를 반영하는 것이 부족하기 때문에 본 연구의 평가에서는 제외하였다.

적용된 영향평가 방법론은 다음의 table 3.과 같다.

Table 3. 사용된 영향평가 방법론

범주	사용인자	단위
자원 고갈	Guinee, 1995 with modification for crude oil, natural gas, hard coal and soft coal.	kg Sb eq./kg
지구 온난화	IPCC(1994-95, direct effect), the Time horizon 100 years	kg CO2 eq./kg
산성화	Heijungs et al, 1992(updated with Hauschild & Wenzel, 1998)	kg SO2 eq./kg
부영양화	Heijungs et al, 1992(with some modifications)	kg PO4-3 eq./kg
오존층 파괴	WMO (World Metrological Organization 1999)	kg CFC-11 eq./kg
광화학 산화물 생성	Derwent et al, 1998(updated in Jenkin & Hayman, 1999 ; included inorganic substances Derwent et al, 1996), in high NOx	kg C2H4 eq./kg

\* 출처: CML 2001 보고서

2.2.7 제한사항

본 연구를 수행함에 있어서 대상 제품의 성능 및 품질에 대한 평가는 제외되었다. 이는 연구 과제의 성

격이 기존 기술과 신 기술의 전과정 환경성을 평가하는 것을 목적으로 하고 있었기 때문에 환경성 평가를 중심으로 수행하였다. 또한 기술의 성능 및 품질에 대해서는 기존의 연구 및 검토 과정이 있었기 때문에 이를 제외하고 전과정 환경성 평가를 진행하였다.

### 3. 결과

본 연구의 결과는 다각도에서의 분석이 이루어졌다. 결과는 전체적인 분석 결과와 세부적인 분석 결과로 구분하여 간략화 하여 제시하였다.

#### 3.1 전체 환경성 비교 분석

기존 기술이 가진 환경영향 값을 기준값으로 설정하고 신 기술에 의해 변화되어지는 변화율로서 기술간 환경성을 비교 하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 기술인 세제 세탁시스템이 가지는 값을 1로 설정하고 무세제 세탁시스템으로 인한 변화 값을 계산을 통해 환경성 개선율로 환산하였다.

그 결과인 Fig. 1을 보면 세제 세탁시스템의 기준선에 근접하게 결과가 나타난 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성의 범주는 세제 세탁시스템과 무세제 세탁시스템의 결과 차이가 크지 않음을

알 수 있다. 그러나 산성화 범주와 특히 수질과 직접적으로 관련되어 수계에 미치는 영향을 평가하는 부영양화 범주에서는 세제 세탁시스템에 비해서 무세제 세탁시스템의 환경영향 개선율이 20%~50%에 달하고 있기 때문에 의미 있다고 볼 수 있다.

하지만 이 결과만을 가지고 기존 기술과 신 기술간의 환경성을 단적으로 평가하기는 어려움이 있었으나, 분석 결과인 6개 영향범주에서 4개 영향범주에서는 각 세탁시스템의 환경영향이 비슷하게 나타나고 있고 2개 영향범주인 산성화, 부영양화에 있어서는 큰 차이를 나타내고 있음이 밝혀졌다.

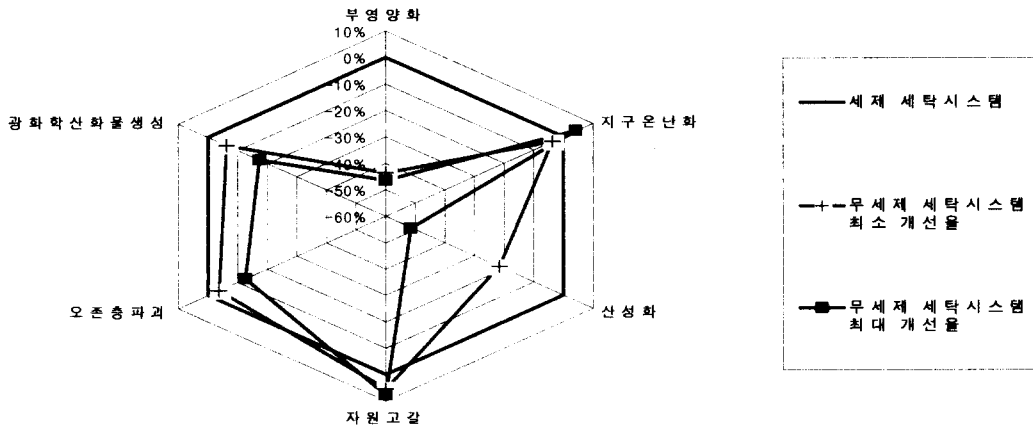
각 세탁시스템에 대한 전과정 단계별 환경영향은 다음 Table 4에서 보이는 바와 같다.

#### 3.2 기타 주요 결과 분석

##### 3.2.1 부품에 의한 환경성 차이 분석

무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스템 간에서 차이가 발생하는 부분 중 하나는 제조전 단계에서의 환경영향 차이라고 할 수 있다. 무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스템을 구성하는 부품 차이는 케이스, PCB part, 세정수 제조장치가 있었다.

세탁시스템별로 부품 구성이 차이가 있었기 때문에 제조전 단계에 대한 전과정 영향평가 결과에서도 차이



영향범주	개선율 (최소~최대)	영향범주	개선율 (최소~최대)
자원고갈	6%~8%	부영양화	-43%~-46%
지구온난화	-4%~4%	오존층파괴	-4%~-13%
산성화	-22%~-51%	광화학산화물 생성	-6%~-17%

Fig. 1 세제 세탁시스템 대비 무세제 세탁시스템 환경성 개선율

Table 4. 세탁시스템의 전과정단계별 환경영향평가 결과

영향범주	구분	제조전 단계	제조 단계	사용 단계	폐기 단계	재활용 이익
자원고갈	무세제세탁시스템	2.9E+01	8.6E-04	3.9E+00	7.8E-02	-5.7E+00
	세제세탁시스템	2.9E+01	8.6E-04	1.4E+00~2.0E+00	7.0E-02	-6.2E+00
지구온난화	무세제세탁시스템	5.0E+02	1.3E-01	2.0E+02	2.1E+01	-3.0E+01
	세제세탁시스템	4.6E+02	1.3E-01	2.1E+02~2.7E+02	1.9E+01	-2.7E+01
산성화	무세제세탁시스템	2.2E+00	6.6E-04	9.1E-01	8.9E-02	-1.2E-01
	세제세탁시스템	1.5E+00	6.6E-04	2.6E+00~5.0E+00	7.5E-02	-1.1E-01
부영양화	무세제세탁시스템	2.0E-01	5.2E-04	7.8E-02	1.0E-02	-2.6E-02
	세제세탁시스템	1.3E-01	5.2E-04	3.8E-01~4.0E-01	8.8E-03	-2.4E-02
오존층파괴	무세제세탁시스템	9.3E-05	3.7E-12	2.3E-06	1.5E-06	-1.3E-05
	세제세탁시스템	8.9E-05	3.7E-12	1.1E-05~2.1E-05	1.4E-06	-1.3E-05
광화학적산화물 생성	무세제세탁시스템	9.5E-01	2.4E-05	5.8E-02	8.4E-03	-5.5E-03
	세제세탁시스템	9.1E-01	2.4E-05	1.7E-01~3.1E-01	7.7E-03	-3.7E-03

가 나타나고 있다. 주로 차이가 발생하는 부품은 케이스, PCB part, 특수부품이고, tub 조립체, 구동부는 동일한 부품을 사용하고 있기 때문에 그 결과에서 차이가 발생되지 않았다.

각 부품에 대해 수집된 데이터에 대해서 각 영향범주별로 비교·분석을 시행한 결과 자원고갈, 지구온난화, 산성화, 부영양화 범주에서 영향을 나타내고 있었다. 그 중 주요한 영향범주로 구분되는 자원고갈과 지구온난화에 대한 결과를 다음 Fig. 2에 제시하였다.

세탁시스템별로 지구온난화 범주의 특성화 결과를 분석하면 PCB part에서는 약 2배의 영향차이를 보이고 있고, 특수 부품에서도 큰 차이를 보이고 있다. 무세제 세탁시스템의 특수 부품인 세정수 제조 장치 자체는 tub 조립체가 미치는 영향의 1/2만큼의 환경영향을 미치는 부품임을 알 수 있다. 따라서 세정수 제조 장치에 사용되는 재질 등에 대해서도 환경영향을 고려하여 선정을 하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

세탁시스템에 따라 달라지는 부품의 차이로 인해 환경영향이 얼마나 달라지는지에 대해서 분석을 수행한 결과에 의하면 부품에 의한 환경영향을 평가하는 제조전 단계에서는 세제 세탁시스템이 무세제 세탁시스템 보다 환경성이 좋은 것으로 나타났다. 분석된 결과에 의하면 단지 부품 추가에 의해서 결과가 달라지는 것도 있지만 사용된 재질에 따라서도 영향차이가 달라질 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 2 세탁시스템별 제조전 단계의 자원고갈, 지구온난화 특성화 비교

### 3.2.2 세제 사용과 전해질 사용에 대한 환경성 차이 분석

무세제 세탁시스템과 세제 세탁시스템에 있어서 가장 큰 차이점은 세제 사용과 전해질 사용에 있다. 보편적으로 사용되는 세제 세탁시스템의 경우는 세제를

Table 5. 세제 사용과 전해질 사용에 따른 환경성 차이

영향범주	단 위	전해질 DB1	전해질 DB2	세제1	세제2	세제3	세제4
자원고갈	kg Sb eq.	2.4E-03	6.2E-04	8.4E-04	5.2E-04	3.9E-04	4.0E-04
지구온난화	kg CO <sub>2</sub> eq.	7.4E-02	1.2E-01	1.0E-01	1.1E-01	6.3E-02	9.5E-02
산성화	kg SO <sub>2</sub> eq.	2.9E-04	4.1E-04	2.9E-03	3.3E-03	1.4E-03	2.8E-03
부영양화	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq.	3.0E-05	7.3E-05	6.1E-05	6.1E-05	4.0E-05	5.3E-05
오존층파괴	kg CFC11 eq.	1.7E-09	2.5E-08	1.5E-08	1.6E-08	8.4E-09	1.4E-08
광화학산화물 생성	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	3.0E-05	1.2E-05	1.9E-04	2.2E-04	1.1E-04	1.9E-04

전해질 DB1 : 환경부, Solvay법

전해질 DB2 : 유럽, Synthetic법

세제1 : 환경표지 대상제품 및 인증기준의 지표세제

세제2 : 합성세제 시험방법 (KS M 2709)의 지표세제

세제3 : 가정용 세탁기의 성능시험방법 (JIS C 9811)의 Reference detergent C

세제4 : 가정용 세탁기의 성능시험방법 (IEC 60456)의 Reference detergent C

사용하고, 무세제 세탁시스템에서는 세정수 제조 시 전기 전도율을 높이기 위한 목적으로 전해질이 사용된다. 전해질이 사용 단계에 투입되기 때문에 본 연구에서는 세제와 전해질에 대해서 상대적인 환경성 차이를 분석하였다.

비교에 있어서 전해질은 환경부 개발 LCI 데이터베이스와 공법이 다른 LCI 데이터베이스를 활용하였고, 세제는 4가지의 세제 조성비 시나리오를 활용하였다. 세탁을 1회 하는데 세제는 81.5g, 전해질은 72g 이 사용되어지고 있으므로 1회 사용시 발생하는 영향을 기준으로 환경성의 차이를 분석하였다.

그 결과는 Table 5에 상세히 나타내었다. 세제 사용과 전해질 사용에 따른 환경성 차이는 영향범주별로 차이가 있지만 자원고갈 범주만 제외하고는 모두 세제보다는 전해질에 의한 영향이 작은 것으로 나타난다.

그러나 이 결과는 실제 전해질과 세제에 대해서 현장데이터가 수집되어 평가된 결과가 아니라 기존의 LCI 데이터베이스를 이용한 것이기 때문에 한계성이 있다. 실제 이 평가에 활용한 세제의 경우는 조성비에 대한 문헌 자료만 수집되었기 때문에 한정된 원료물질에 의한 영향만 평가되었고, 세제를 제조하는 과정중의 영향은 누락되었다. 또한 세제 조성비에는 실제 투입되는 다수의 원료물질들이 누락되어 있기 때문에 그 영향 또한 제외되었던 것이다.

### 3.2.3 전력, 용수 사용에 따른 환경성 분석

세탁시스템의 사용 단계에 투입되는 전력과 용수에 대하여 별도로 그 차이점과 영향을 분석하였다.

Table 6. 세탁시스템 투입 전력, 용수량 - 1회 사용 기준

구분	소비 전력량 (Wh/회)	용수 소비량 (L/회)
무세제 세탁시스템	129	152
세제 세탁시스템	145	241

세탁 1회 시의 전력은 무세제 세탁시스템이 16 Wh 적게 사용하고, 용수는 89 L 적게 사용하는 것으로 나타났다. 소비 전력량의 경우는 세탁기 자체가 가지는 특징이고, 두 세탁시스템 모두 에너지소비 효율 등급이 1등급이기 때문에 차이가 발생하는 것으로 보기 어렵다. 용수의 경우는 무세제 세탁시스템이 행굼을 1회만 수행하고 있기 때문에 보통 2회 행굼이 이루어지는 세제 세탁시스템에 비하여 89 L가 절감될 수 있다. 이것이 바로 무세제 세탁시스템이 가지고 있는 강점이라 할 수 있다. 이를 세탁기의 수명이 다하는 6년을 기준으로 환산하였을 때는 용수 절감량이 117,302 L가 된다. 이렇게 세탁시스템에 투입되는 전력과 용수의 환경성 차이를 분석해 보면 무세제 세탁시스템이 세제 세탁시스템에 비하여 자원을 적게 사용



하기 때문에 환경영향을 작게 미친다고 판단할 수 있다.

3.2.4 전과정 목록결과 비교·분석

세탁시스템의 특성상 배출되는 물질들 중에서 수계로 배출되어지는 BOD, COD, SS, T-N, T-P는 고려되어야 하는 파라미터이기 때문에 추가로 분석을 수행하였다.

물 중에서 또 주요하게 살펴 볼 수 있는 파라미터는 전과정 영향평가의 방법론에서는 영향 정도가 측정되지 않는 음이온 계면활성제이다. 이 음이온 계면활성제는 무세제 세탁시스템에서는 수치가 전혀 나타나고 있지 않으나 세제 세탁시스템에서는 나타나고 있는데 이는 세제의 성분 중 계면활성제가 존재하기 때문이다.

Table 7. 무세제 세탁시스템 주요 배출물

물질	제조전 단계	제조 단계	사용 단계	폐기 단계	재활용 이익
BOD	2.9E-01	3.5E-04	2.8E-01	1.1E-02	-8.7E-03
COD	1.7E-01	6.7E-04	2.9E-01	3.1E-02	-3.3E-01
SS	3.1E-02	1.8E-04	2.1E+02	2.2E-02	-2.6E-01
T-N	1.1E-01	2.4E-04	7.5E-04	1.2E-04	-2.3E-03
T-P	7.2E-03	1.2E-04	1.8E-04	3.7E-06	-2.1E-04

Table 8. 세제 세탁시스템 주요 배출물

물질	제조전 단계	제조 단계	사용 단계	폐기 단계	재활용 이익
BOD	2.4E-01	3.5E-04	3.8E-01~4.0E-01	8.1E-03	-8.5E-03
COD	1.1E-01	6.7E-04	1.3E+01	3.0E-02	-3.3E-01
SS	7.5E-02	6.5E-06	1.6E+01	2.5E-03	-2.5E-01
T-N	3.7E-02	2.4E-04	2.3E-03~6.7E-03	1.1E-04	-1.5E-03
T-P	5.9E-03	1.2E-04	2.3E-04~2.4E-04	3.6E-06	-1.6E-04

이 중에서 대표적인 수질오염물질 측정 지표인 COD는 무세제 세탁시스템의 사용단계에서 세제 세탁 시스템보다 적게 발생되고 있는데, 이는 실제 사용 단계의 세탁하수 분석 결과에서 나타난 차이였다. T-N, T-P도 사용 단계에서 주요하게 분석되어야 하는 항목이지만 세탁하수 분석에서는 결과치가 없었기 때문에 표에 제시된 영향은 전력, 용수 사용에 의한 결과이기 때문에 용수 사용량이 상대적으로 적은 무세제 세탁시스템에서 낮은 결과가 나타난다. 이 외에 배출

4. 결론

본 연구에서는 무세제 세탁시스템의 전과정 동안에 발생하는 환경영향에 대한 평가를 수행하였다. 무세제 세탁시스템의 전과정에 대한 환경성을 평가함에 있어 새로운 세탁시스템 도입에 따른 환경성의 개선 정도를 단계별로 파악하기 위해 현재 국내에 보급되어 있는 세탁기의 거의 대부분을 차지하고 있는 세제 세탁시스템에 대한 전과정평가를 무세제 세탁시스템과 동일하게 수행하였다.

각 세탁시스템의 전과정에 걸친 환경성을 평가한 결과를 살펴보면 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성의 영향범주에서는 제조전 단계가 미치는 영향이 크게 나타나고, 산성화와 부영양화 범주에서는 사용 단계의 영향이 크게 나타나고 있었다. 일반적으로 전기·전자 제품의 경우는 사용시 에너지 소비가 다량 일어나기 때문에 환경성을 평가하게 되면 사용 단계에서 미치는 영향이 가장 크게 나타나는 경우가 많다. 그러나 본 연구의 대상인 세탁시스템의 경우는 소비 전력량이 크지 않고 연속적으로 사용하는 제품이 아니기 때문에 그러한 현상과 유사한 결과는 나타나지 않았다.

사용 단계에서는 무세제 세탁시스템의 경우에 행금의 역할이 감소하게 됨에 따라서 사용되어야 하는 용수량이 줄어드는 특성이 있고, 세정수 제조 장치에서 전기분해가 이루어져야 하기 때문에 전력 소비가 증가하게 된다. 그러나, 사용 시의 전력과 용수에 대한 별도의 평가 결과를 보면 연구 대상인 두 세탁시스템이 모두 에너지소비효율 1등급을 받고 있는 제품이기 때문에 소비 전력에 있어서는 특별히 큰 차이를 보이지 않았다. 반면에, 용수의 경우에는 무세제 세탁시스템의

사용량이 크게 감소되었다. 실험결과 1회 세탁시 89 L 정도의 용수가 절약되는 것으로 나타나고 있기 때문에 무세제 세탁시스템이 수자원 관리 차원에서는 강점을 가지고 있다고 판단된다.

결과적으로 4개 영향범주(자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성)에서는 환경영향 증감률이  $\pm 10\%$  내외로 나타나 두 시스템 사이의 우위를 쉽게 판단할 수 없는 반면 산성화와 부영양화의 영향범주에서는 무세제 세탁시스템의 경우에 최소 20% 선에서 최대 50%까지 영향이 감소되어 상당한 개선으로 볼 수 있다. 따라서 이번에 평가된 무세제 세탁시스템은 범지구적인 영향범주인 지구온난화나 오존층파괴에서는 별다른 개선이 나타나지 않은 반면 국지적인 이슈인 산성화와 부영양화에 미치는 영향은 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사 사

본 논문은 산업자원부에서 시행한 청정생산기술 이 전확산사업 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 대상제품은 (주)대우일렉트로닉스의 제품으로 선정하여 연구를 수행하였음.
- 2) 품목별 소비자 피해보상규정, 소비자보호원, 2000.12
- 3) 기기별 전력사용 행태분석 보고서, 한국전력거래소, 2002
- 4) Association of Plastics Manufactures in Europe
- 5) International Iron and Steel Institute
- 6) Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape
- 7) 폐전자제품 회수 및 재활용 실태조사, 한국전자산업환경협회, 2001.12
- 8) 품목별 발생 및 재활용 현황, 환경부, 2002
- 9) 분말 세탁세제 제조공정에 따른 LCA study, 정현창, 박병덕, 전과정평가학회지, 1999
- 10) 세제와 세탁의 과학(개정판), 김성련, 2000
- 11) 세탁세제 LCA, 안석원, 이재란, 한국전과정평가학회지, 1998. 11
- 12) 탈취 및 세정처리 용도의 물을 제조하는 장치 및 방법, 공개특허공보 특2001-0052908
- 13) 폐전자제품 회수 및 재활용 실태조사, 한국전자산업환경협회, 2001.12

- 14) 품목별 발생 및 재활용 현황, 환경부, 2002
- 15) 품목별 소비자 피해보상규정, 소비자보호원, 2000.12
- 16) 환경성적표지 작성지침 및 인증기준 - 가정용 드럼 세탁기, 환경부, 2003
- 17) 환경표지 대상제품 및 인증기준, 환경부, 2002. 6
- 18) KS C 9608 전기 세탁기, 한국표준협회, 2002