

## 환경친화적인 제품 설계를 위한 효율적인 환경성평가 방법론 개발

권은선\*, 류지연, 이지용, 김익, 허탁

(건국대학교 화학생물공학부, \*환경마크협회)

### Development of the Methodology of Effective Environmental Assessment for Ecodesign

Eunsun Kwon\*, Jiyeon Ryu, Jiyong Lee, Ik Kim, Tak Hur

(School of chemical and biological engineering, Konkuk University, \*the Korea Environmental Labelling Association)

#### Abstract

To save time, effort and cost and at the same time to satisfy the quality of the research while conducting LCA, the study suggests a collection range of data regarding the process within a range of keeping the credibility of research. In order to do so, the paper first distinguished the Life cycle stages as exclusion degree on the basis of the simplicity of data collection. And it suggested six specific simplified LCA methodologies based on the streamlined LCA methods that were suggested by SETAC, and achieved validation about each method through the case studies applied to cell phone, vacuum cleaner, and computer. Improving research quality and efficiency of time and accuracy of expenses to enhance the ease of research conduct were considered when assessing each result according to different methods, and then priority was decided.

#### 요 약 문

본 연구는 LCA를 수행하는 동안 데이터를 수집하는데 드는 노력과 시간, 비용을 절감하는 동시에 연구의 질을 만족하기 위해 연구의 신뢰성을 지키는 범위에서 공정관련 데이터의 수집범위를 제안하고자 하였다. 이를 위해서 먼저 데이터수집의 용이성을 근거로 하여 전과정단계를 제외 수준으로 구별하였다. 그리고 SETAC에서 제안한 streamlined LCA 방법론을 토대로 6가지의 구체적인 simplified LCA 방법론을 제안하였으며, 휴대폰 및 청소기, 컴퓨터에 적용한 사례연구를 통해 각 방법론에 대한 타당성을 확보하였다. 또한 연구의 질을 향상시키기 위한 정확성 측면과 연구수행의 용이성을 향상시키기 위한 시간 및 비용의 효율성 측면을 기준으로 각 방법론별 결과를 반정량적으로 평가하여 우선순위를 결정하였다. 즉, 본 연구에서는 기존의 주요한 환경성 평가도구인 전과정평가가 가지는 단점인 시간소요부분을 보완하고 좀 더 에코디자인에 효율적인 환경성평가 방법론을 제안하고자 하였다.

#### 1. 서 론

본 연구에서 제안하는 환경성평가 방법론은 전자제품에 대해 환경친화적인 제품을 설계하는 과정에서 좀 더 용이하게 환경측면을 반영하도록 하는데 궁극적인

목적이 있다. 전자제품에 대한 전과정평가 수행시에 관련 데이터 수집할 때 많은 시간과 어려움이 따르는 전과정단계 또는 공정들이 존재하는데, 이들은 연구의 질과 연구기간을 좌우하므로 단계 또는 공정을 어떻게 처리할 것인가가 환경성평가 수행의 관건이 된다. 그러므로 본 연구에서는 기존의 주요한 환경성 평가도구

인 전과정평가가 가지는 단점인 시간 및 비용 소요부분을 보완하고 좀 더 에코디자인에 효율적으로 적용할 수 있는 환경성평가 방법론을 제안하고자 하였다. 이를 위해서 먼저 데이터 수집의 용이성을 근거로 하여 전과정단계를 제외 수준으로 구별하고, 6가지 simplified LCA 방법론을 제안한다.

## 2. 연구내용

연구수행절차는 크게 두 단계로 구성된다.

- 단계 제외 수준 정의
- 데이터 구분에 따른 방법론 제안

### 2.1. 단계 제외 수준 정의

하나의 제품은 수많은 부품들을 포함하기 때문에 그 부품 제조공정과 관련한 상위흐름 공급업체 (supply chain)들에 대한 충분한 이해와 정보를 파악하는 것이 중요하다. 전과정단계의 흐름을 세분화하면, 관련 상·하위 흐름의 모든 자료를 수집하지 않더라도 어느 수준까지를 고려하면 연구의 질을 떨어뜨리지 않는가를 판단하여 주요이슈를 규명할 때 데이터 수집 범위를 사전에 한정할 수 있게 한다. 그러므로 연구 수행자의 명확한 이해를 돕기 위해 각 단계별 제외 수준을 Table 1에 정의하였다.

Table 1. 단계 제외수준 정의

Level	Upstream	Downstream
0	Product manufacturing	Product manufacturing
1	Module or component manufacturing	Transportation, Use
2	Material Production & Sub-module manufacturing & Natural resource Acquisition	End of life
3	Elementary Flow	Elementary Flow

#### 2.1.1 단계 제외수준 재정의

(1) Level 0 : Product manufacturing

최종 전자제품에 대해 잠재적인 환경영향을 평가하

는 것은 궁극적으로 최종조립업체가 자사 제품에 대하여 환경을 고려한 제품설계를 통해서 환경친화적인 제품을 개발하기 위해서이다. 따라서, 제품의 환경성을 평가하는 수행자는 최종 제품 제조업체의 환경전문가, 엔지니어, 디자이너 등이 주축을 이루어 팀을 구성하게 되며, 환경전문가의 주도하에 이루어진다. 그렇기 때문에, 최종 제품의 제조단계를 제 0수준(level 0)으로 정의한다.

(2) Level 1 : Module or component manufacturing, Transportation, Use

최종 제품의 주요 부품군(module) 제조단계와 수송, 사용단계를 제 1수준(level 1)으로 정의한다. 이 단계들은 최종 제품 제조업체에서 발생하는 activity는 아니지만, 최종제조업체에서 관리가 상대적으로 용이한 단계이다. 즉, 상위흐름 중에서는 최종제조업체에서 통제가 가능한 공급업체들을 대상으로 하며, 하위흐름에서는 관리가 가능한 수송(유통), 사용단계를 포함한다.

(3) Level 2 : Material production & Sub-module manufacturing, End of life

상위흐름으로의 제2수준(level 2)은 원료를 채취하는 단계에서부터 주요 부품군(module) 제조단계 이전을 모두 가리킨다. 각 주요 부품군을 제조하기 위해서는 원료채취에서부터 주요 부품군을 구성하고 있는 하부부품 제조까지 많은 단계를 거치는데, 원료를 채취할 때의 환경부하뿐만 아니라 그 관련 공정물질들도 환경부담으로 작용하기 때문에, 그 주요 부품군(module)에 포함되는 하부 부품군(sub-module)들을 제조하는 단계까지를 제 2수준의 대상으로 한다. 제 2수준은 최종제품 제조업체가 직접적으로 실제로 통제하기 어려운 흐름으로서, 하위흐름에서는 폐기단계가 이에 포함된다. 폐전자제품의 경우 폐기단계가 환경적으로 문제가 될 소지가 있음에도 불구하고 현실적으로 많은 부분이 관리되지 못하며 어떤 과정을 거치는지조차 파악하는 것이 어렵기 때문에 폐기 단계가 이에 포함되는 것이다.

(4) Level 3 : Natural resource acquisition,

End of life

제3수준은 자연계에서 들어오는 흐름과 자연계로 나가는 흐름으로 원료부분과 배출물 부분을 가리킨다. 기술계와 구별하기 위하여 하나의 수준으로 나타내었다.

2.2 데이터 구분에 따른 방법론 제안

2.2.1 공정관련 데이터 수집 범위에 따른 방법론

LCA를 수행하기 위해서는 크게 공정관련 데이터와 물질정보 데이터를 수집해야 한다. 물질관련 정보보다는 공정관련 데이터가 실제 수집하기 어려우며 많은 시간이 소요되므로 각 수준별로 공정관련 데이터를 제외시키는 범위에 따라서 크게 세 가지 제외 접근법으로 구분하였다. 더 세부적으로는 상위흐름에 대해서 세 가지, 하위흐름에 대해서 두 가지, 상위 및 하위흐름에 대해서는 상위흐름 세 가지와 하위흐름 두 가지를 동시에 적용하므로 6가지 경우의 수로 구분된다.

■ 상위흐름 제외 접근법

- 1) 부분적 상위흐름 공정관련 제외
- 2) 대체공정 적용
- 3) 전체 상위흐름 공정관련 제외

■ 하위흐름 제외 접근법

- 4) 부분적 하위흐름 제외
- 5) 전체 하위흐름 제외

■ 상위 및 하위흐름 제외 접근법

- 1+4) 부분적 상위흐름 공정관련 제외 및 부분적 하위흐름 제외
- 1+5) 부분적 상위흐름 공정관련 제외 및 전체 하위흐름 제외
- 2+4) 상위흐름에서의 대체공정 적용 및 부분적 하위흐름 제외
- 2+5) 상위흐름에서의 대체공정 적용 및 전체 하위흐름 제외
- 3+4) 전체 상위흐름 공정관련 제외 및 부분적 하위흐름 제외
- 3+5) 전체 상위흐름 공정관련 제외 및 전체 하위흐름 제외

(1) 상위흐름 제외 접근법

상위흐름 제외 개념은 특히 전자제품군과 같이 제조업체의 상위흐름(supply chain)으로부터 수많은 공정관련 자료를 수집해야 하는 경우에 과도한 시간과 인력이 소요되므로, 연구수행자가 보다 효율적인 간략화 방법을 모색하는 데서 출발한다. 기본적으로 주요 부품군이 아닌 그 이전단계인 하부 부품군(Sub-module)의 제조공정관련에 대해서는 배제함을 전제로 한다. Full scale LCA 방법은 모든 공정 및 물질 데이터를 수집하여 그에 따른 잠재적 환경영향을 평가하는 것이므로, 연구범위는 0수준부터 제 3수준까지 포함한다. 본 연구에서는 간략화방법에 따른 정당성을 검토하기 위하여 full scale LCA를 기준으로 하여 각각의 방법론의 결과를 비교하고자 하였다. Table 2에서 상위흐름 제외접근법에 관한 네 가지의 고려수준을 나타내고 있다.

Table 2. 상위흐름 제외 접근법

Level	Full scale	1)	2)	3)
0	●	●	●	●
1	●	●	▲	×
2	●	×	×	×
3	○	○	○	○

(가) 부분적 상위흐름 공정관련 제외

Table 2의 1)에서 보는 바와 같이, 부분적 상위흐름 공정관련 제외 접근법은 제0수준부터 제1수준까지 고려하고 제 2수준과 3수준에 해당하는 상위흐름을 제외한다. 전자제품 최종 제조업체의 대부분이 제1수준에 해당하는 하부공급업체에 대한 공정 데이터 관리가 충분히 이루어지고 있다는 가정이 필요하다.

(나) 상위흐름의 대체공정 적용

대체공정을 적용하는 방법은 2)접근법과 같다. 즉, 부분적 상위흐름 공정관련 접근법처럼 제0수준과 1수준을 고려하나, 차이점은 좀 더 현실적인 대안으로 제 0수준까지인 제조단계는 실측데이터를 수집하고, 제1수준의 중요 공정에 대해서는 실측이 아닌 문헌자료나 현존DB로 대체하여 적용하는 부분이다. 즉, 공정데이터를 직접 수집하지 않으면서 제1수준에 대해 고려하

는 방법으로 기존의 문헌자료나 국가평균 데이터베이스를 사용하여 주요부품군을 제조하는 공정에 대해서 시간적, 기술적, 지역적, 물리/화학적으로 가장 유사한 공정을 적용하는 방법이다.

#### (다) 전체 상위흐름 공정 관련 제외

전체 상위흐름 공정관련 제외 방법은 3)접근법으로, 제2수준뿐만 아니라 제1수준까지 제외하고 제0수준의 공정에 대해서만 고려하여 평가하는 방법이다. 전체 상위흐름 공정을 모두 제외한다는 것은 제조단계에서 제품을 조립하기 위한 부품들에 대해서 순수 원료 물질사용으로 인한 환경영향만 고려하고 공정관련 환경 측면은 고려하지 않는 것을 의미한다. 일반적으로 상위흐름 제외 접근법은 전과정 단계에서

상대적으로 제조단계나 하위흐름이 중요한 잠재적 환경영향을 야기하는 경우에 적용할 수 있으며, 상위흐름의 공정들이 중요한 환경영향으로 고려될 소지가 있는 제품 혹은 서비스에 대해서는 적용할 때 주의가 기울여야 한다.

#### (2) 하위흐름 제외 접근법

Full scale LCA 방법은 하위흐름에 대해서도 모든 데이터를 수집하여 그에 따른 잠재적 환경영향을 반영하므로 제0수준부터 하위흐름의 제3수준까지 고려한다. 그러나 하위흐름에 속하는 수송 및 사용, 폐기단계에 대해서 경로가 복잡하고 다양하여 많은 full scale LCA에서 하위 2, 3수준을 고려하는 것이 용이하지 않으므로, 하위흐름 제외 방법을 활용하여 좀 더 간단하게 연구를 수행할 수 있다. Table 3에 그 두 가지의 고려수준을 나타내었다.

Table 3. 하위흐름 제외 접근법

Level	Full scale	4)	5)
0	●	●	●
1	●	●	×
2	●	×	×
3	○	○	○

#### (가) 부분적 하위흐름 제외 접근법

Table 3의 4)와 같이, 제2수준은 고려하지 않으며

제0수준과 제1수준을 고려한다. 이 접근법은 전자제품군과 같이 최종제품 제조업체에서 수송 및 사용단계에 대한 통계적인 정보를 보유하고 있다면 시나리오 적용이 가능하다고 제안하는 것이다. 즉, 사용 이후의 폐기흐름을 모르거나 그 경로가 무수히 많아서 실제 연구수행자가 데이터 수집시 많은 시간과 비용을 소요할 경우, 또는 데이터가 수집되더라도 불확실성이 클 경우에 대해서 적절할 것이다.

#### (나) 전체 하위흐름 제외 접근법

5)접근법은 제0수준만 고려하며 제1, 2수준을 제외한다. 즉, 제조단계 이후의 모든 하위흐름 - 수송 및 사용, 재활용이나 소각 매립 등의 폐기단계 - 에 관한 항목들을 포함시키지 않는 것이다. 이 접근법은 비교적 상위흐름이나 대상제품 제조단계에 비하여 하위흐름을 무시해도 될 만큼 그 영향이 미비할 경우에 적용가능하다. 이 접근법은 대부분의 전자제품군이 사용단계의 전기사용이 주요이슈로 규명되는 점을 감안할 때 full scale LCA결과와 차이날 수 있어서 연구의 불확실성을 증가시킬 위험성이 크다.

#### (3) 상위흐름 및 하위흐름 제외 접근법

Table 2와 3에서 언급했던 상위흐름 및 하위흐름을 각각 제외시키는 접근법들을 한번에 적용하는 것으로 좀 더 현실적인 simplified LCA를 수행하기 위해 제안하는 것이다. 그러므로, 상위 및 하위흐름을 동시에 제외시키는 접근법은 세부적으로 3×2의 6가지 경우의 수로 보여질 수 있다. 그러나, 모든 경우에 접근법이 적절하다고 할 수 없으므로 LCA를 수행하려는 제품이나 서비스의 일반적으로 예상되는 특성을 고려하여 상황에 따라 적용한다.

#### 2.2.2 물질관련 데이터 수집 방법론

물질정보 데이터를 수집하는 방법으로는 크게 직접 제품을 분해하고 측정하여 물질정보를 수집하는 방법과 BOM(Bill of Material)을 활용하는 방법 두 가지를 들 수 있다. 일반적으로, 체계적인 시스템이 구축되지 않은 기업의 제품에 대해서 환경성을 평가하기 위해서는 일일이 제품을 분해하여 부품 하나하나에 대

Table 4. SETAC의 streamlined LCA 방법론과의 특성 비교

	Streamlined LCA (SETAC)	본 연구에서 제안한 Simplified LCA
특성 비교	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반적으로 상황에 따라 어느 제품이나 서비스에 적용가능한 범용적인 제외방법을 제시</li> <li>- 데이터 수집에 따른 상위 및 하위흐름에 대한 제외 방법 및 여러 연구 상황에서 생길 수 있는 어려움에 대처할 수 있는 방법, 특정 환경 파라미터를 고려하여 분석하는 방법 등 간략화할 수 있는 모든 방법론에 대해서 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전자제품에 대한 제외 수준 및 접근법을 적용가능성을 중심으로 상세한 수준을 제안</li> <li>- 실질적인 공정관련 데이터 수집의 난점을 고려하여 상위 및 하위흐름의 공정데이터를 제외하는 수준에 대한 사항을 고려하여 연구수행자의 이해용이성 높임</li> <li>- 데이터를 물질과 공정으로 구분하여 방법론을 제안</li> <li>- 대상의 범위가 전자제품으로 한정적임</li> <li>- 공정관련 흐름에 대해서만 제외방법을 논하여 적용범위가 한정적</li> </ul>

한 물질 정보를 측정하여 데이터를 수집하게 된다. 그러나, 제품을 분해하고 측정하는 과정에서 완전하게 분해하지 못하는 데서 오는 오차의 가능성을 배제할 수 없으며 이는 수집하는 데이터의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 또한, 분해하여 데이터를 얻는 데 걸리는 시간이 전체 연구를 수행기간의 변수가 될 수도 있다. 그러므로, 본 연구에서는 물질정보 데이터를 수집하는데 가능한한 BOM(Bill of Material)을 적용하는 방법을 제안하는데, BOM이란 제품에 포함된 물질 및 일부 공정들에 대하여 기록한 문서로 이를 활용하면 1차 데이터를 수집하는데 걸리는 시간과 비용을 최소한으로 줄일 수 있을 것이다.

- 제품을 직접 분해하여 측정
- BOM(Bill of Material)을 활용

2.3 사례 연구

제안한 simplified LCA 방법론을 휴대폰을 대상 제품으로 하여 적용해 보았다. 제조단계(level 0)를 기준으로 하여 전과정 단계의 상위 및 하위흐름에 대해 Level을 1,2로 구분하였다. 1)부터 5)는 3.2에서 언급한 것과 동일하게 전과정 단계의 각 흐름을 제외하는 수준에 따라 화살표로 고려해주는 영역만을 나타내었으며, 크게 상위흐름에 관한 제외 접근법과 하위흐름에 관한 제외 접근법 두 가지 접근법으로 구분할 수 있다.

- 상위흐름 제외 접근법 - 1), 2), 3)
- 하위흐름 제외 접근법 - 4), 5)

각 접근법을 적용한 결과는 full scale LCA 결과와 비교하였으며, 그 비교 기준항목은 아래와 같다.

- 환경지수 비교
- 규명된 주요 이슈 순위 비교

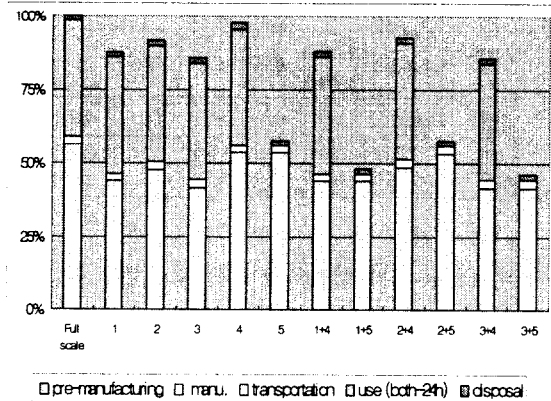


Fig. 1 Simplified LCA 방법론별 총 환경영향

Fig. 1은 총 환경지수를 비교한 그래프이다. 총 환경지수로 비교해볼 때 full scale LCA결과와 가장 근접한 결과를 나타내는 방법은 상위흐름의 제외부분의 2), 하위흐름 제외부분의 4), 동시에 상위 및 하위흐름을 제외하는 2+4)임을 알 수 있다. 1), 2), 3)은 그 편차가 20% 미만이지만 5)의 경우는 그 편차가 40%를 넘는 결과를 나타내었다. 상위흐름과 하위흐름을 동시에 제외하는 접근법 6가지 중에서는 5)의 하위흐름 제외 접근법과 맞물려 있는 결과의 편차가 매우 컸으므로 5)의 접근법은 휴대폰과 같이 사용단계가 중요한 전자제품군의 환경성을 평가하기에 부적절할 것으로 판단되었다.

두 번째 비교방법으로 각각의 제외 접근법 결과로 규명된 주요이슈를 full scale LCA 결과와 비교하여 그 편차를 Table 5, 6, 7에 나타내었다. Full scale LCA 결과 도출된 주요이슈 순위는 사용단계에서의 전기사용이 가장 큰 이슈이고 충전기, PBA, LCD, 배터리, 제조단계의 전기사용, 포장재, 충전기 폐기 순이었다.

Table 5. 상위흐름 제외 접근법 결과와 full scale LCA의 주요이슈 순위 비교

	Full scale	[mpt]	1)	%	2)	%	3)	%
1	사용단계 전기사용	3.948E-01	사용단계 전기사용	0	사용단계 전기사용	0	사용단계 전기사용	0
2	충전기	3.654E-01	충전기	24	충전기	24	충전기	24
3	PBA	1.139E-01	PBA	26	PBA	26	PBA	26
4	LCD	3.463E-02	LCD	23	배터리	+108	제조단계 전기사용	0
5	배터리	2.432E-02	배터리	1	제조단계 전기사용	0	LCD	45
6	제조단계 전기사용	2.393E-02	제조단계 전기사용	0	LCD	44	포장	9
7	포장	1.604E-02	포장	0	포장	0	배터리	43
8	충전기 폐기	1.035E-02	충전기 폐기	0	충전기 폐기	0	충전기 폐기	0

우선 Table 5의 상위흐름 제외 접근법의 4가지 결과를 보면, 주요 이슈의 순위가 가장 full scale LCA 결과와 유사한 방법은 1)임을 알 수 있다. 나머지 2),3)의 방법론은 3위 이후의 순위가 바뀐 원인은 3)의 경우 상위흐름 전체의 공정정보를 무시한 결과이고, 2)의 경우 상위흐름의 제1수준 공정 정보를 유사 데이터로 대체함에 있어서 보유하고 있는 데이터의 유사성이 불완전함에도 불구하고 대체된 것이 원인이었다. 즉, 배터리 제조공정의 데이터를 대체 적용할 때, 시간적, 지역적 유사성이 떨어지는 데이터만이 존재하여 기술적 유사성만 고려하여 적용하여 배터리의 환경영향이 108% 더 크게 규명되었다. 그에 따라 상대적으로 LCD와 제조단계의 전기사용이 환경영향이 하위로 밀려난 것이다.

다음으로 Table 6에서 하위흐름 제외 접근법 2가지 결과를 보면 4)의 경우 주요 이슈 순위가 Full scale LCA 결과와 동등하나, 5)의 결과는 수송과

사용단계를 제외함으로써 1순위가 바뀐 것을 알 수 있다.

Table 6. 하위흐름 제외 접근법 결과와 full scale LCA의 주요이슈 순위 비교

	Full scale	[mpt]	4)	%	5)	%
1	사용단계의 전기사용	3.948E-01	사용단계의 전기사용	0	충전기	0.01
2	충전기	3.654E-01	충전기	0.2	PBA	26.1
3	PBA	1.139E-01	PBA	0.2	LCD	0.01
4	LCD	3.463E-02	LCD	0.2	배터리	0.01
5	배터리	2.432E-02	배터리	0.2	제조단계의 전기사용	0
6	제조단계의 전기사용	2.393E-02	제조단계의 전기사용	0	포장	0.01
7	포장	1.604E-02	포장	0.2	충전기폐기	0.21
8	충전기폐기	1.035E-02	충전기폐기	0.2	하우징	

Table 7의 상위 및 하위흐름 제외 접근법은 상위흐름 3가지 방법과 하위흐름 4)방법에 대해서만 동시에 적용한 결과를 나타내었다. 주요 이슈의 순위로만 본다면 1+4)가 가장 full scale LCA와 유사하고 그 다음으로 2+4), 3+4)순으로 나타났다. 2+4)의 배터리의 환경영향이 매우 크게 나타난 원인은 2) 방법론의 원인과 동일하다.

Table 7. 상위 및 하위흐름 제외 접근법 결과와 full scale LCA의 주요이슈 순위 비교

	Full scale	[mpt]	1+4)	%	2+4)	%	3+4)	%
1	사용단계 전기사용	3.948E-01	사용단계 전기사용	0	사용단계 전기사용	0	사용단계 전기사용	0
2	충전기	3.654E-01	충전기	24	충전기	24.3	충전기	24.4
3	PBA	1.139E-01	PBA	26	PBA	26.4	PBA	26.2
4	LCD	3.463E-02	LCD	23	배터리	-108	제조단계 전기사용	0
5	배터리	2.432E-02	배터리	1	LCD	15.0	LCD	45
6	제조단계 전기사용	2.393E-02	제조단계 전기사용	0	제조단계 전기사용	0.0	포장	8.8
7	포장	1.604E-02	포장	0	포장	0.3	배터리	43
8	충전기 폐기	1.035E-02	충전기 폐기	0.21	충전기 폐기	0.2	충전기 폐기	0.21

요약하면, 규명된 주요이슈들간의 순위만 봤을 때 1)과 4), 1+4)가 가장 타당한 결과인 것처럼 보이지만, 휴대폰이 제조전 단계에서의 데이터 수집에 가장 많은 시간과 노력을 필요로 한다는 사실을 감안할 때 적절하다고 볼 수 없다. 오히려 보유한 데이터를 대체 공정으로 적절히 적용한다면 2) 및 2+4)가 연구의 질적인 측면이나 시간/비용적 효율측면까지 만족시킬 수 있으므로 simplified LCA를 제안하는 본 연구의 목적에 더 부합하는 방법론일 수 있다. 즉, 휴대폰 같은 전자제품군에 대한 simplified LCA를 수행할 경우는 상위흐름을 제0수준까지 실제 데이터를 적용하고 제1수준은 기술적, 시간적으로 유사한 공정으로 대체하여 적용하는 2)나 그에 더하여 하위흐름에 대해서 부분적으로 제외하여 고려하는 2+4)가 유용할 것이다.

Table 8은 컴퓨터와 청소기에 대해서도 방법론 적용한 것으로, 1위에서 8순위까지의 주요이슈와 차지하는 환경영향 비율을 나타내었다. 그 결과 컴퓨터 및 청소기의 사례에서도 2)와 2+4) 방법론이 full scale LCA와 주요이슈 순위가 동일함을 확인할 수 있었으므로 연구의 질적인 측면을 충분히 반영하는 동시에 시간/비용적 절감효율 측면을 만족하는 점에서 방법론에 대한 타당성을 부여할 수 있을 것이다.

Table 8. 컴퓨터, 청소기의 방법론 적용 결과와 full scale LCA의 주요이슈 순위 비교

컴퓨터	Full scale	%	2)	%	2+4)	%
1	메인보드	32	메인보드	29	메인보드	31
2	전원공급장치	16	전원공급장치	15	전원공급장치	16
3	사용단계전기 사용	11.3	사용단계전기 사용	11.3	사용단계전기 사용	11
4	케이스	7	케이스	6	케이스	6
5	모뎀카드	6	모뎀카드	6	모뎀카드	6
6	CD-ROM	6	CD-ROM	6	CD-ROM	6
7	그래픽카드	5	그래픽카드	5	그래픽카드	5
8	사운드카드	4	사운드카드	4	사운드카드	4
9	HDD	4	HDD	4	HDD	4

청소기	Full scale	%	2)	%	2+4)	%
1	VC모터	16	VC모터	16	VC모터	16
2	파이프	8	파이프	8	파이프	8
3	VC PBA	6	VC PBA	4	VC PBA	4
4	VC케이스	3	VC케이스	3	VC케이스	3
5	코드	3	코드	3	코드	3
6	집진탱크	3	집진탱크	3	집진탱크	3
7	호스	2	호스	2	호스	2
8	벨트 노즐	1	벨트 노즐	1	벨트 노즐	1
9	포장	1	포장	1	포장	1

이상으로 본 연구에서 제안하는 simplified LCA 접근법을 휴대폰에 적용시킨 결과를 환경지수 및 규명된 주요이슈의 순위 비교를 통해서 분석하고 그 결과를 다음 Fig. 2에 반정량적으로 나타내었다.

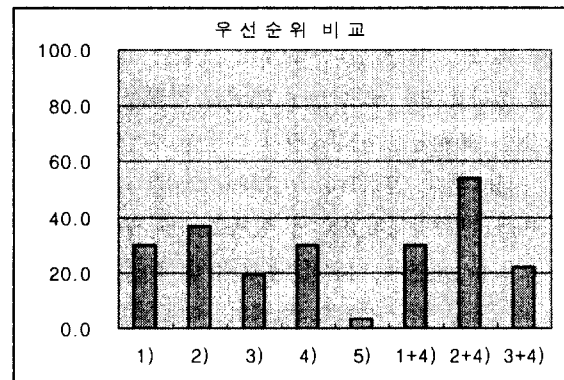


Fig. 2 정확성 측면 및 시간/비용/인력 절감효율 측면을 기준으로 방법론별 순위 비교

$$\text{점수} = (\text{기본값}) * (\text{정확성 측면 가중치}) * (\text{시간} \cdot \text{비용} \cdot \text{인력의 절감효율 측면 가중치})$$

가중치를 부여하는 과정은 full scale LCA 결과를 기준(100)으로 보고 순위 차이를 고려하여 중요한 이슈(1위~4위)순위 변동에 가장 큰 가중치를 부여하였으며, 하위 이슈(5위~8위) 변동에 대해서는 동일한 가중치를 부여하여 순위가 높은 쪽의 변동에 대해 높은 가중치를 주었다. 그리고나서 시간/비용/인력의 절감효율 측면을 반영하는 가중치를 부가적으로 부여하

여 결과를 산출하였다. 가중치를 부여하는 데는 휴대폰 및 컴퓨터, 청소기 LCA를 수행한 연구자들의 판단을 기초로 하였으므로 좀 더 현실적인 가중치를 반영한 결과라고 할 수 있다. 그러나, 가중치 부여시의 반정량적인 측면은 향후 보완해야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 정확성 측면과 시간/비용/인력의 절감측면을 모두 적절하게 만족하는 방법론으로 2)와 2+4)가 도출되었다. 2)는 상위흐름 공정관련 제외 접근법으로 제조단계(제0수준) 이후의 모든 상위흐름을 제외하나 주요부품군(제1수준)에 대해서는 문헌이나 기존 데이터베이스를 활용하여 빠르고 쉽게 환경영향을 고려하며, 2+4)는 상위 및 하위흐름 제외 접근법으로 2)와 4)의 방법을 동시에 적용시킨 결과를 보여준다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 에코디자인에 적용하기 위해 제품의 환경측면을 규명하는데 있어서, 시간과 노력, 비용의 최대 절감효과를 낳고 연구 결과의 정확성까지 만족할 수 있는 효율적인 환경성평가 기법을 개발하고자 하였다. 이를 위해 SETAC의 streamlined LCA 방법론 8가지를 벤치마킹하였으며, 실제로 전자제품에 적용하여 full scale과의 비교를 통해 검증 작업을 수행하였다. 본 연구에서 제안한 방법의 수행절차는 크게 두 단계로 구성된다. 먼저 공정데이터를 제외하기 위해 전과정단계를 수평적인 세 가지 수준으로 정의하였으며, 그 다음으로 공정관련 데이터 수집 범위에 따른 세 가지 제외접근법 및 물질관련 데이터 수집 방법론을 제안하였다. 또한, 연구를 수행하는데 있어서 실질적인 적용을 염두에 두어 가능한 데이터관리 및 수집용이성을 최대한 고려하였다. 제안한 방법론은 휴대폰 및 컴퓨터, 진공청소기에 적용한 후 full LCA를 통해 규명된 주요 환경측면과 비교하여 제안한 방법론을 검증하고, 그 결과 휴대폰 및 컴퓨터, 진공청소기의 환경측면을 규명하고자 하는 상황에 적절한 방법론을 모색하고자 하였다.

점점 더 전기전자제품에 대한 환경규제가 강화되는 현실과 여러 환경정책 및 제도에 사전대응하기 위해서

는 제품의 환경성 규명이 모든 대응방안에 토대가 되어야 한다. 특히, 사전대응방안이라는 점에서 에코디자인이 부각됨에 따라 더욱 신속한 제품의 환경성평가가 중요하게 되었다. 그런 관점에서 본 연구의 결과는 제품의 환경측면을 규명하는데 있어서 기존의 환경성평가 방법론의 단점인 시간소요부분을 보완하여 신속성과 정확성을 동시에 만족시킬 수 있는 대안을 제시하였다는 데 의의를 둘 수 있을 것이다.

### 사 사

본 논문은 청정생산기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) ISO 14040 series : Life cycle assessment
- 2) 이진모, 허탁, 김승도, 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회, 1998
- 3) 허탁·안중우·정재춘, 전과정평가의 기본원리, 한국경영자총협회, 1995.
- 4) R. Heijungs, Environmental Life Cycle Assessment of Products, CML, 1992.
- 5) K. Christiansen, Simplifying LCA:Just a Cut?, SETAC-Europe, 1997
- 6) Mary Ann Curran, Streamlining Life-Cycle Assessment, US EPA, 1997
- 7) ELECTRONICS GOES GREEN 2000+, VDE VERLAG, 2000
- 8) SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry), "Streamlined Life-Cycle Assessment : A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup", 1999
- 9) Robert G. Hunt, Terrie K. Boguski, Keith Weithz, Aarti Sharma, "Case studies Examining LCA Streamlining Techniques", Int.JLCA 3(1) 36-42(1998)