

제품 개발단계에서의 환경성 평가를 위한 에코디자인 기법 연구

신유진, 이지용, 차경훈, *박희일, *김겸순, 허탁
건국대학교 화학생물공학부, *LG전자 환경전략팀

Study on Eco-design Tool for Environmental Assessment in the Product Design Process

Yoojin Shin, Jiyong Lee, Kyoungsoon Cha, *Heeil Park, *Kyeomsoon Kim, Tak Hur
Dept. of Chemical and Biological Engineering , Eco-product and System Lab., Konkuk Univ.
* Eco-strategy Team, LG Electronics Inc.

Abstract

This study aims at effectively integrate environmental attributes into the product design and development processes, using Life Cycle Assessment(LCA) and Eco-design Checklist which are crucial to identify the significant environmental aspects related to a product system within a relatively short period of time.

For this, a Simplified LCA method that can be applied to Electrical and Electronic Equipment(EEE) was developed to efficiently identify their significant environmental aspects for eco-design, since a Detailed LCA study is usually very detailed, expensive and time-consuming. The Eco-design Checklist is a method, which was also analyzed. Then, the usefulness of each method in eco-design processes was evaluated and compared using the case studies of the refrigerator systems.

In this study, it founded that the Simplified LCA and Eco-design Checklist would provide some information about environmental issues. The Simplified LCA generated more information on the environmental aspects of a product system so that it might be useful for whole product design procedure, when developing a completely new product. On the other hand, Eco-design Checklist would give some information on the potential aspects for improving a product so that it could be effectively used in product design process.

1. 서론

본 연구에서는 기업이 친환경 제품을 개발하는 과정에서 효율적으로 환경측면을 반영하도록 하는데 궁극적인 목적이 있으며, 이를 위해 환경성 평가 방법론을 제시하고자 하였다. 이는 제품 소비의 증가가 곧 환경오염유발 및 자원고갈의 원인이라는 인식으로 인해 점차 국제환경규제가 제

품에 초점을 맞추어 강화되고, 그에 대응하기 위해 기업들도 사전예방적인 청정생산개념에 부합하여 제품의 환경측면을 개발단계부터 고려하는 에코디자인을 적극적으로 도입하고 있기 때문이다. 에코디자인은 근본적으로 제품 개발단계에서 환경측면을 통합하여 고려하는 활동이다.¹⁾ 기업들은 에코디자인을 통해 환경과 관련한 국제적인 규제에 대응할 수 있으며, 타사 제품과의 차별화를 통해 경쟁우위에 도달할 수 있을 것이다. 또한 환경오염을 저감하고, 재활용 향상 등을 통해 환경을 개선할 수 있으며, 잠재적인 환경위험 감소 및 환경오염 처리 비용 저감 등을 통해 비용 및 그로 인한 리스크를 최소화할 수 있다. 특히 최근에는 기업의 생산 활동으로 인한 환경영향이 발생함에 따라 에코디자인을 통하여 지속가능한 생산 및 소비를 촉진할 수 있다. 이로 인해 제품의 환경측면에 대한 정량화 및 우선순위 적용이 가능한 다양한 환경성 평가 기법들이 요구되며, 이 기법들을 제품 개발단계에서의 환경성 평가를 위한 도구로써 폭넓게 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Simplified LCA 및 Eco-design Checklist를 적용하여 제품 개발단계에서 효율적으로 환경측면을 평가하는데 활용 가능한 에코디자인 기법을 제안하고자 하였다.






2. 연구 내용

2.1 Simplified LCA

본 연구에서는 Simplified LCA 방법을 적용하기 위해 제품 전과정 단계를 6개의 Level로 구분하였다. 여기서 Level은 전과정 stage를 세분화하여 나타낸 것으로 <표 1>과 같이 최종 제품이 생산되는 제조 단계인 Level 0을 기준으로 하여 상위흐름인 제조전 단계의 원료 채취 및 가공은 Level -2, 부품 생산은 Level -1로 구분하였다. 또한 하위흐름의 경우, 사용 단계는 Level 1, 폐기 단계에서의 부품 재활용은 Level 2, 물질 폐기는 Level 3으로 구분하였다.

<표 1> 7가지 Simplified LCA 방법

		Simplified LCA 방법							
Life Cycle stages		Reference	Method 1	Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	Method 1+2	Method 3+4
제조전									
원료 채취 및 가공	Level -2								
부품 생산	Level -1								
제조	Level 0								
사용	Level 1								
폐기									
부품 재활용	Level 2								
물질 폐기	Level 3								

 외부 데이터베이스 사용
  현장 데이터 사용
  공정 Cut-off
  부품 Cut-off
  유사 데이터 사용

1) ECODESIGN Best Practice of ISO/TR 14062, 2002

LCA를 수행하기 위해서는 크게 공정 및 부품, 물질 등에 대한 데이터를 수집해야 한다. 이러한 데이터 수집을 위해서는 많은 시간과 노력, 비용이 요구되므로 이를 최소화하기 위해 본 연구에서는 다음 <표 2>와 같은 7가지 Simplified LCA 방법을 제안하였다.

<표 2> 7가지 Simplified LCA 방법

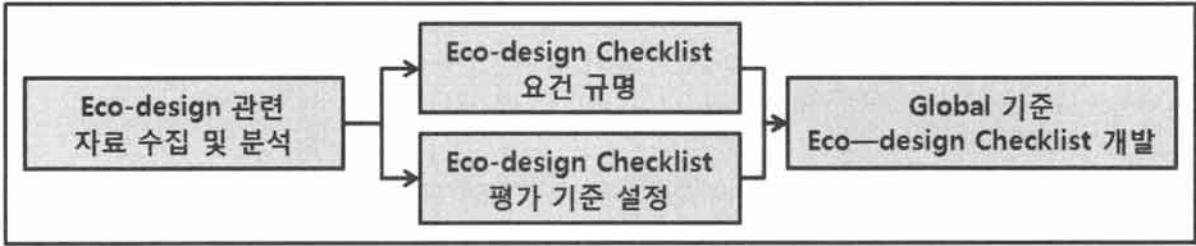
1. 데이터 수집 범위 축소	
Method 1)	누적 환경영향 95% 기준 부품 Cut-off
Method 2)	누적 환경영향 95% 기준 공정 Cut-off
Method 3)	환경영향 기여도 1% 미만 부품 Cut-off
Method 4)	환경영향 기여도 1% 미만 공정 Cut-off
Method 1+2)	누적 환경영향 95% 기준 부품 및 공정 Cut-off
Method 3+4)	환경영향 기여도 1% 미만 부품 및 공정 Cut-off
2. 유사 데이터 적용	
Method 5)	부품 공정에 대한 평균 데이터 적용

제시한 Simplified LCA 방법 중 데이터 수집 범위 축소의 개념은 제조업체로 투입되는 수많은 공정 관련 데이터를 수집하는 경우에 많은 시간 및 노력, 비용이 요구되기 때문에 연구수행자가 보다 효율적인 연구를 위해 데이터 수집 범위를 간략화하는 방법을 모색하는 데서 출발한다. 기본적으로 누적 환경영향기여도 95% 기준에 포함되지 않는 부품 및 공정에 대해서 Cut-off를 수행하며, 한 단계 더 추가적인 간략화를 위해 환경영향 기여도 1% 미만에 해당하는 부품 및 공정을 Cut-off 하는 방법을 제시하였다. 이는 전기전자제품의 경우, 수백개에 달하는 부품으로 구성되어 있기 때문에 수많은 부품 관련 정보를 제조 단계에서 모두 관리하기 어렵다는 현실을 반영한 것으로 보다 용이하며, 시간 및 비용 절감 효과를 동시에 달성할 수 있는 방법이 될 것이다.

유사 데이터를 적용하는 방법은 공정 데이터를 직접 수집하지 않으면서 기존에 수집된 공정 데이터의 평균 데이터를 사용함에 따라 부품을 제조하는 공정에 대해 유사 공정을 적용하는 방법이다. 이 방법은 수많은 부품 공정에 대해 실측 데이터 수집이 어려운 경우, 결과에 영향을 주지 않는 범위 내에서 적용이 가능하다. 예를 들어, 부품 제조 공정에서 플라스틱 사출 공정이 주를 이루며 각 개별 부품에 대한 사출 공정 정보를 수집하기 어려운 경우, 이들 공정에 대한 국가공인 LCI 데이터베이스 혹은 기존에 보유하고 있는 다른 플라스틱 사출 공정의 평균 값을 적용하여 이를 유사 데이터로 적용하는 방법이 있다.

2.2 Eco-design Checklist

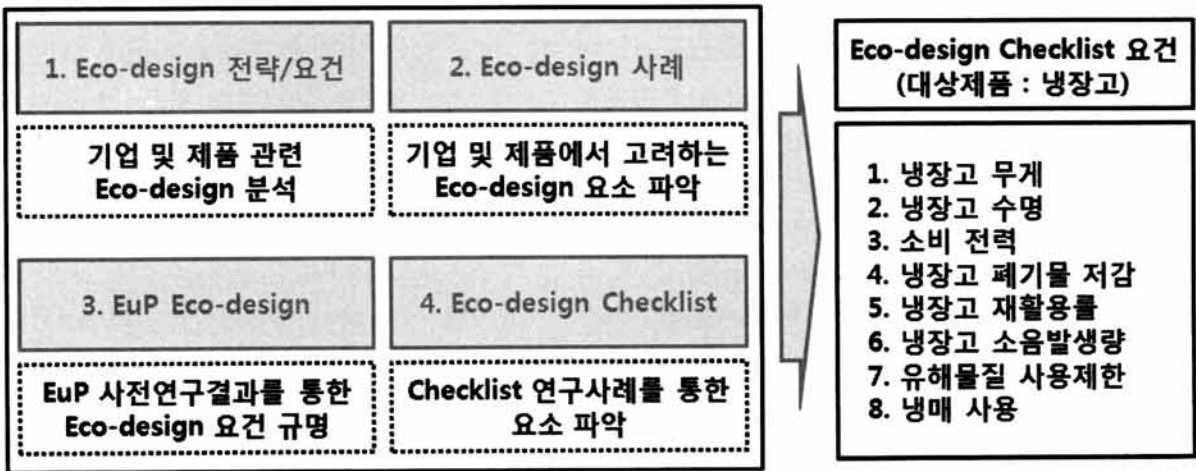
Eco-design Checklist는 짧은 시간 내에 제품 및 시스템 등을 정성적으로 평가하는 도구로써 사용되고 있다. 일반적으로 Checklist는 평가하고자 하는 대상과 관련한 주요 이슈들을 나타내는 평가 요소들을 기반으로 하여 일정한 평가 기준을 토대로 작성된다. 본 연구에서는 이러한 Checklist 기법을 근간으로 제품 개발단계에서 신제품 개발에 따른 에코디자인 개선안 도출을 위한 “Eco-design Checklist”를 다음 [그림 1]과 같이 개발하였다.



[그림 1] Eco-design Checklist 개발 단계

(1) Eco-design 요건 규명

제품 개발단계에서 환경측면의 고려를 목적으로 하는 Eco-design Checklist의 요건 규명을 위해 Fortune지에서 선정한 Global Top 10 기업²⁾의 환경보고서, EuP Directives 및 Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs 등 EuP 관련 자료, Eco-design Checklist 수행 사례 등을 벤치마킹하였다. 그 다음, Global 기업들의 Eco-design Trend와 각 제품 별 Eco-design 수행 시 고려되어야 할 요소들을 [그림 2]와 같이 분석하여 이를 Eco-design Checklist에 반영하였다.



[그림 2] Eco-design Checklist 요건 규명

(2) 평가 기준 설정

앞서 규명된 Eco-design Checklist에서 제시된 요건 별로 제품 및 디자인 컨셉들을 평가하기 위해서는 대상제품에 부합하는 평가 기준이 요구된다. Eco-design Checklist는 각 요건 별 평가 기준을 설정하기 위하여 요소 규명 시 분석한 Global Top 10 기업의 Eco-design 수준 분석 결과와 EU의 Eco-design Directive, 그리고 ECO SWAN LABEL 등 전기전자제품의 Eco-design 관련

2) Fortune지 선정 : GE, 삼성전자, 지멘스, 소니, 필립스, 도시바, 샤프, 파나소닉, 히타치, 미쯔비시

기준 및 가이드 등을 고려하여 아래 <표 3>과 같은 평가 기준을 설정하였다.

<표 3> Eco-design Checklist 평가기준

요건	평가기준
냉장고 무게	양문형 냉장고 무게 정보
냉장고 수명	EU ECO SWAN LABEL 부여 시, 냉장고 제품에 대한 기준 수명
소비전력	EuP 사전연구에서 제시하는 EU 지역에 출시된 냉장고의 소비전력 등급 - A++는 1%, A+는 17.4%, A는 62.9%, B는 18.2%, C는 0.4%
냉장고 폐기물 저감	EuP 사전연구에서 제시하는 PU, 유리 폐기량 12.442kg 기준
냉장고 재활용률	EuP 사전연구에서 제시하는 평균 재활용률 80%
냉장고 소음 발생량	EuP 사전연구에서 제시하는 EU지역 냉장고 소음 평균값
유해물질 사용제한	RoHS에서 적용하는 Class 1, 2, 3 대응 수준
냉매 사용	과거 R134a, 친환경 냉매 R600a, ISCEON 적용

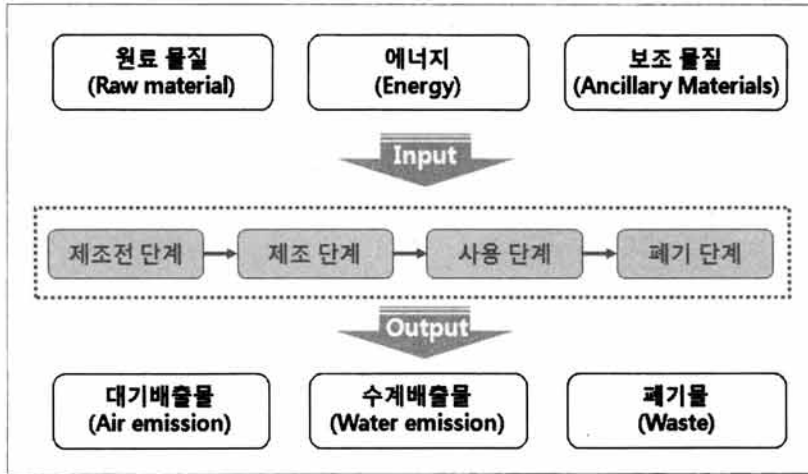
각 평가 기준 별로 Global 수준의 차이를 나타내기 위하여 1점부터 9점까지로 범위를 설정하였다. 각 점수가 나타내는 평가기준의 의미는 다음과 같다.

- 1점: 대상제품이 Global 기준의 Worst Case에 해당함.
- 3점: 대상제품이 Global 기준의 Worst Case와 평균값 사이에 해당함.
- 5점: 대상제품이 Global 기준의 평균값과 동일함.
- 7점: 대상제품이 Global 기준의 평균값과 Best Case 사이에 해당함.
- 9점: 대상제품이 Global 기준의 Best Case에 해당함.

3. 사례 연구

3.1 대상시스템

본 연구에서는 제시한 Simplified LCA 및 Eco-design Checklist의 적용 가능성 파악을 위하여 전기전자제품의 하나인 냉장고를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 대상 제품인 냉장고의 제품 전 과정 시스템은 다음 [그림 3]에서 나타나는 것과 같이 냉장고를 구성하는 부품을 제조하는 제조전 단계, 최종 제품인 냉장고를 생산하는 제조 단계, 소비자가 사용하는 사용 단계, 사용한 냉장고를 폐기하는 폐기 단계로 정의하였다.



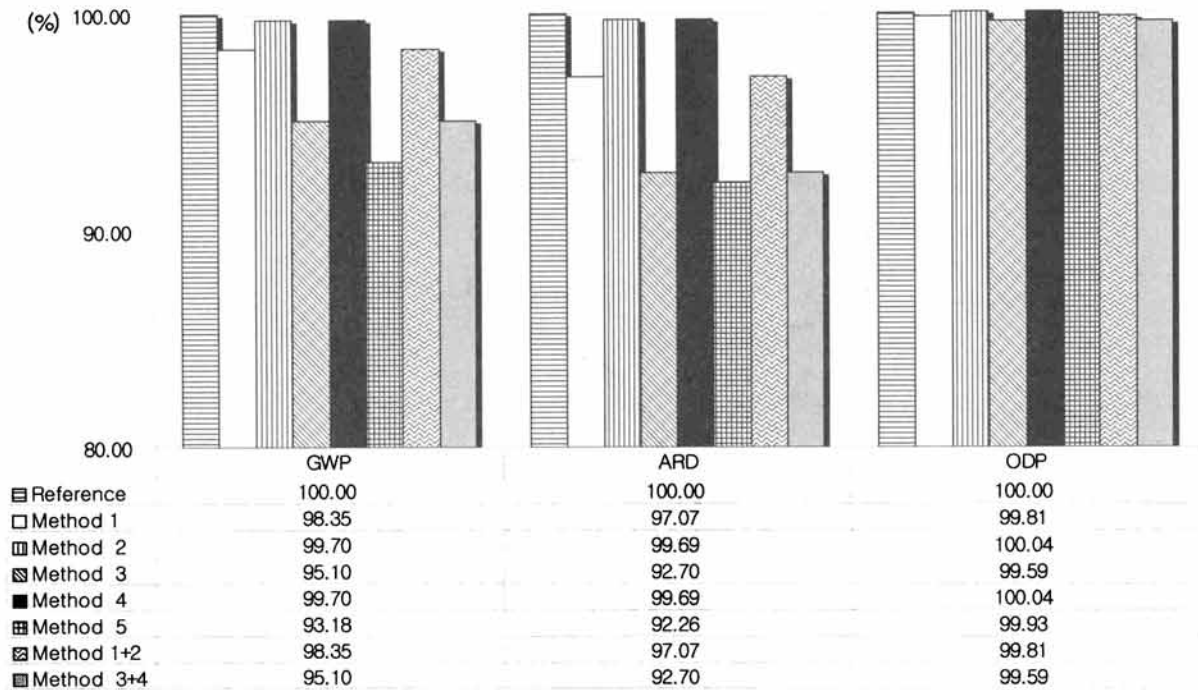
[그림 3] 대상시스템

3.2 Simplified LCA 결과

<표 2>에서 제시한 7가지 Simplified 방법 별 수행 결과 <표 4>에서 나타난 것과 같이 각 Simplified 방법 적용 시 평가에 요구되는 데이터, 즉, 부품 및 공정에 대한 필요 데이터가 다른 대체 데이터로 적용되거나 데이터 수집 범위가 축소되는 것을 알 수 있다.

<표 4> Simplified LCA 수행 결과

구분	Simplified LCA 수행 결과
Method 1	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 부품 개수(100%) 중 GWP 24.19%, ARD 26.3%, ODP 2.15%로 고려 부품 개수 축소
Method 2	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 공정 개수(100%) 중 GWP 52.6%, ARD 52.6%, ODP 10.53%로 고려 공정 개수 축소
Method 3	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 부품 개수(100%) 중 GWP 16.13%, ARD 16.67%, ODP 2.15%로 고려 부품 개수 축소
Method 4	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 공정 개수(100%) 중 GWP 52.6%, ARD 52.6%, ODP 10.53%로 고려 공정 개수 축소
Method 5	- 사출 및 press 공정 평균 데이터 적용 ① 기존 공정 환경영향 기여도 : GWP 4.791%, ARD 3.577%, ODP 0.431% ② 평균 공정 환경영향 기여도 : GWP 2.159%, ARD 1.591%, ODP 0.062%
Method 6 (1+2)	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 부품 개수(100%) 중 GWP 24.19%, ARD 26.3%, ODP 2.15%로 고려 부품 개수 축소 : 전체 공정 개수(100%) 중 GWP 52.6%, ARD 52.6%, ODP 10.53%로 고려 공정 개수 축소
Method 7 (3+4)	- 데이터 수집 범위 축소 : 전체 부품 개수(100%) 중 GWP 16.13%, ARD 16.67%, ODP 2.15%로 고려 부품 개수 축소 : 전체 공정 개수(100%) 중 GWP 52.6%, ARD 52.6%, ODP 10.53%로 고려 공정 개수 축소

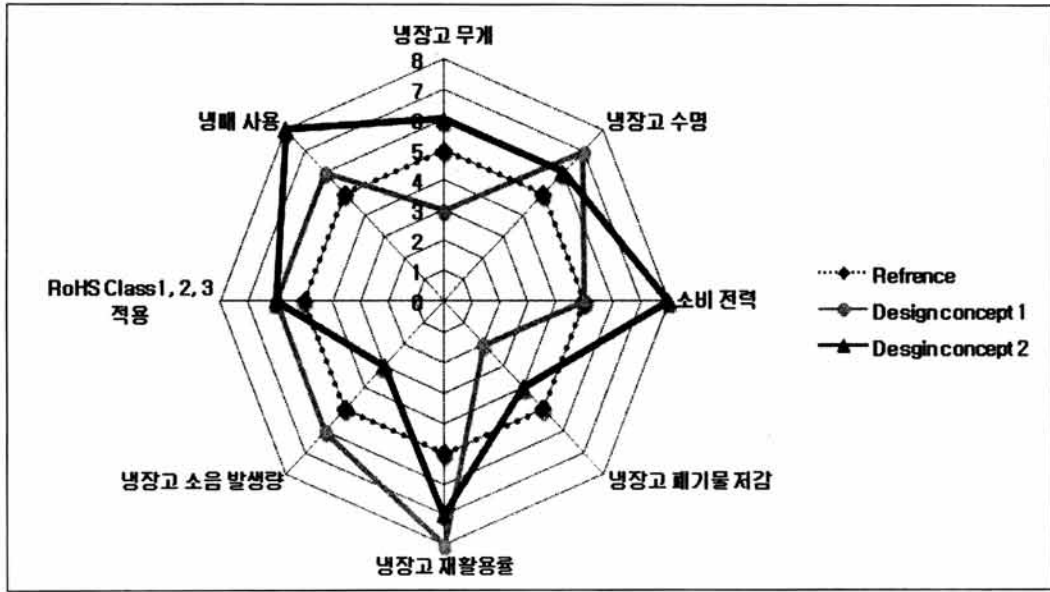


[그림 4] Simplified LCA 방법론 적용을 통한 전과정 환경영향 결과

[그림 4]는 제시된 각 방법들을 적용한 Simplified LCA 결과의 정확성 및 신뢰성을 검토하기 위해 Detail LCA 결과와의 비교결과를 나타낸 것이다. Detailed LCA 결과를 100%라고 하였을 때, 지구온난화 영향범주(Global Warming Potential, GWP)에서는 Method 5를 제외한 다른 방법에서 모두 95% 이상의 정확성을 확보하는 것으로 분석되었으며, 자원고갈(Abiotic Resource Depletion, ARD) 영향범주에서는 Method 1, 5, 3+4의 경우를 제외한 다른 Method에서 모두 95% 이상의 신뢰성을 갖는 결과를 도출할 수 있었다. 또한 오존층고갈(Ozone Depletion Potential, ODP) 영향범주에서는 7가지 방법 모두 Simplified LCA를 적용에 따른 Detailed LCA와의 결과차이가 미미한 것으로 나타났다.

3.3 Eco-design Checklist 결과

본 연구에서 제안된 Eco-design Checklist를 통해 제품 개발단계에서 도출된 디자인 컨셉들이 Eco-design 요건 별로 Global 기준과 비교하여 개선된 정도를 도출할 수 있다. 즉, Global 기준과 비교하여 디자인 컨셉의 Eco-design 수준이 어느 정도인지에 대한 결과 도출이 가능하다. 다음 [그림 5]는 Eco-design Checklist를 수행한 결과, 냉장고 무게 및 폐기물 저감이 제품의 개선안으로 도출되었고, 냉장고 수명, 재활용률 등은 Global 기준과 비교하여 환경적으로 더 우수한 위치에 있음을 제시하고 있다.



[그림 5] Eco-design Checklist 결과

3.4 Simplified LCA와 Eco-design Checklist 비교

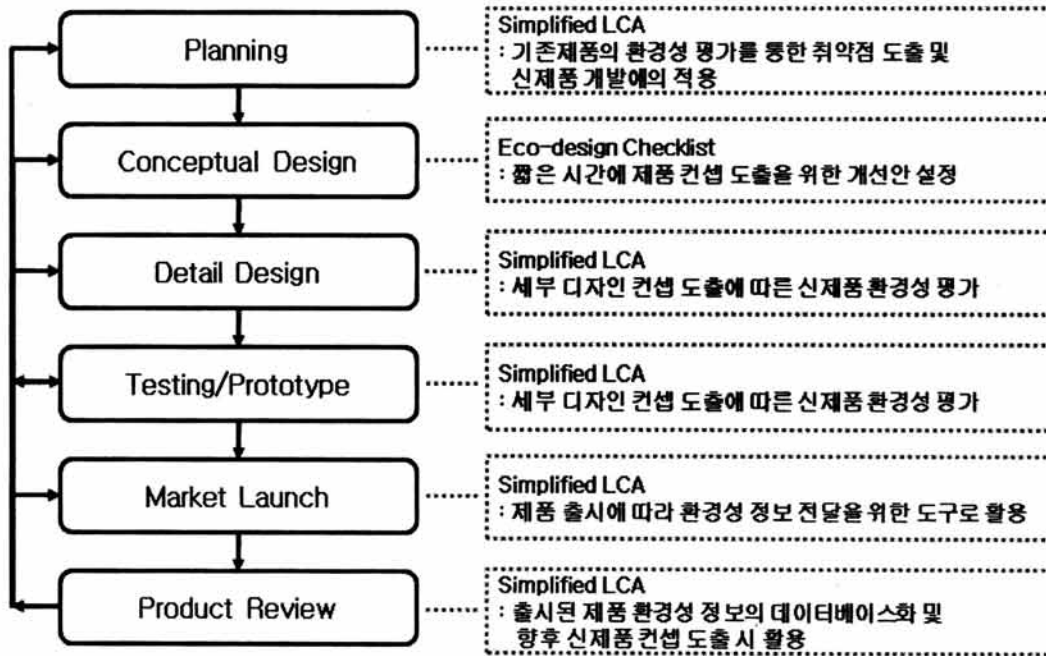
Simplified LCA는 제품에 대한 환경영향을 정량적으로 도출할 수 있다는 장점이 있으나 Eco-design Checklist 보다 많은 시간, 노력 및 비용을 필요로 한다는 단점이 있다. Eco-design Checklist는 짧은 시간에 제품에 대한 환경성 평가가 가능하지만 Simplified LCA와는 달리 거시적인 관점에서의 정성적인 개선안 도출이 가능하다. 다음 <표 5>는 Simplified LCA와 Eco-design Checklist의 비교 결과를 나타낸 것이다.

<표 5> Simplified LCA와 Eco-design checklist 비교

구분	Cost and Time	Design Applicability	Quantitative Analysis
simplified LCA	+/-	+/-	+
Eco-design Checklist	++	+/-	+/-

++ : Very good, + : good, +/- : moderate - : little, -- : very little

Eco-design Checklist는 시간, 노력 및 비용을 최소화할 수 있다는 장점을 토대로 하여 단시간 제품의 컨셉을 설정해야하는 단계에서 활용도가 클 것이며, Simplified LCA는 Eco-design Checklist에서 도출된 결과를 활용하여 정량적인 환경영향을 보여줄 수 있다는 점에서 유용할 것으로 사료된다. 제품 개발단계에서의 환경측면 고려를 위한 Simplified LCA와 Eco-design Checklist의 활용도는 [그림 6]과 같이 제시될 수 있다.



[그림 6] 제품 개발단계에서의 활용

Planning 단계에서는 기존제품에 대한 Simplified LCA 결과를 활용하여 신제품 개발 시 환경적으로 취약한 부분에 대한 개선 포인트를 설정할 수 있고, Conceptual Design 단계에서는 Eco-design Checklist에서 도출된 기존제품의 Global 기준 대비 취약점에 대한 개선안을 적용함으로써 환경 요건들을 만족하는 신제품의 사양들을 고안할 수 있다.

또한 Detail Design 및 Testing/Prototype 단계에서는 세부 디자인 컨셉을 도출할 때 후보 디자인 컨셉별 Simplified LCA 수행을 통해 가장 친환경적인 디자인 컨셉을 최종 신제품 디자인으로 선정하는 근거 자료로의 활용이 가능하고, Market launch 단계에서는 신제품에 대한 Simplified LCA 수행 결과를 Green marketing에 활용하여 소비자에게 기업의 친환경적인 이미지를 보다 어필하는데 활용할 수 있을 것이다.

마지막으로 Product Review 단계에서는 기 평가된 제품의 환경성 정보를 데이터베이스화 하여 향후 신제품에 대한 컨셉을 설정하기 위한 지원 도구로써 활용될 수 있으며, 보다 효율적인 Simplified LCA 수행을 위한 기초 데이터로의 활용이 가능할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 전기전자제품의 개발단계에서 환경 측면을 고려하는 방법, 즉 에코디자인을 위한 평가 도구로써 Simplified LCA 및 Eco-design Checklist를 제시하였다. Simplified LCA는 시간과 노력, 비용의 절감효과를 낳고 연구결과의 정확성을 보다 높은 수준에서 만족할 수 있는 장점을

가지고 있으며, Eco-design Checklist는 거시적인 관점에서 Global 기준과 비교하여 신제품 디자인 컨셉의 에코디자인 수준이 어느 정도인지에 대한 정성적인 결과 도출이 가능하다.

따라서 본 연구에서 제시한 Simplified LCA와 Eco-design Checklist를 통해 기업은 신제품에 대한 디자인 프로세스 상에서 기존제품의 개선 포인트 도출, 신제품 사양 선정 지원, 최적의 디자인 컨셉 선정, Green Marketing 지원 등의 활동을 할 수 있을 것이다. 또한 Simplified LCA에 대한 범위 확장을 통해 TYPE III 및 탄소라벨링 인증, CO₂ inventory 구축 등 활용 범위를 확대할 수 있다. 본 연구 결과는 제품 개발단계에서의 환경성 평가를 위하여 제시된 에코디자인 기법이 제품의 환경측면을 규명하는데 있어서, 시간과 노력, 비용의 최대 절감효과를 낳고 연구 결과의 정확성까지 만족할 수 있으며, 기업이 이를 활용할 수 있는 대안을 제시하였다는 데 의의를 둘 수 있을 것이다.

Reference

- 1) 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회, 1998
- 2) 에코디자인 일반지침 및 지원 S/W 개발 최종보고서, 환경부, 2002
- 3) "Streamlined Life-Cycle Assessment : A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup", SETAC, 1999
- 4) How to do Ecodesign, German Federal Environmental Agency, 2000
- 5) Smart ecoDesign Eco-design Checklist For Electronic Manufacturers, 'Systems integrators', and Suppliers of Components and Sub-assemblies, CfSD, 2002
- 6) Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs(Tender TREN/D1/40-2005) LOT13: Domestic Refrigerators & Freezers Task 1~5, European Commission , 2007