

◆특집◆ 역제조 기술

가전에 있어서 친 환경 제품 개발의 평가기술 연구현황

김영규*, 정상진**, 황종수***

A Survey of Current Practices and Tools in Environmentally Conscious Electrical Appliances

Young-Kyu Kim*, Sang Jin Jeong**, and Jong-Soo Hwang***

ABSTRACT

Development of environmentally conscious products in the electrical appliance industry is necessary, not only for environmental law and green consumer, but also for competitiveness by cost reduction. In this paper, the current trends of evaluation tools are described. And practices in the development of environmentally conscious products are explained, and improvement cases are presented by ways of design guides. The paper concludes with suggested future tasks which will need to be addressed in order that product designers can utilize the said tools effectively.

Key Words : Design (설계), Recycling (재활용), Environment (환경), Axiom (공리)

1. 서론

한국의 업계는 IMF 사태로 인하여 환경에 대한 인식과 대응이 2 선으로 후퇴되었으나, 세계적으로는 최근 몇 년 동안 환경 보호, 인류의 건강, 자원의 사용등에 대한 관심의 증가로 제품 설계 단계에서 환경 친화적인 제품을 개발하도록 유도하고 있다. 특히 세계적으로 선진 국가는 지구촌을 순환형 경제 사회 및 Zero Emission 시대로 이끈다는 명분으로 OECD, WTO 가 주축이 되어 무역거래와 환경 규제를 연결 하고자 하는 움직임이 있다. 또한 ISO9000 시리즈가 중요시되고 있을 때, 선진국들은 ISO14000 시리즈라는 새로운 국제적

인 표준을 제시하였다. ISO9000 시리즈는 제품 및 용역의 공정에 대해 품질을 인정해주는 것이며, ISO14000 시리즈는 공정뿐 아니라 환경과 관련된 기업경영의 전반을 평가하여 환경관련 규격들을 통일하여 상품 및 용역의 거래 시에 국제표준화기구에서 환경인증으로 수여하는 제도이다. 이 제도는 근본적으로 환경 보호라는 명분하에 환경 기술이 낮은 개발도상국으로부터의 수입을 억제하려는 선진국의 무역규제 수단으로도 사용될 수 있다. 이 표준 외에도 독일, 일본 등 선진 국가들은 자국의 환경문제를 해결하기 위하여 법 규정을 제시하여 자국과 외국 기업이 이 법을 준수하도록 규제를 가하고 있다. EU는 전기와 전기장을 이용하여 작동되는 제품을 대상으로 폐 전기 전자 제품의 배출량과 유해성을 감소하고, 재사용, 재활용, 재생의 촉진과 폐기 시에 환경에 미치는 위험과 영향을 최소화하기 위하여 생산자가 폐기물 방지

* LG 전자 구매영상 1 공장 DDC 사업부
** LG 전자
*** 삼성전자 중앙연구소

및 분리수거, 처리, 재생, 비용부담, 고객에 대한 정보 제공, 처리시설에 대한 정보제공, 관리당국에 대한 정보 제공을 하도록 의무화하고 있다. 회수, 처리, 재생 및 친환경적 처분을 위한 비용부담 의무는 지침 시행 2년경과 후에 적용될 것이다. 일본은 에어컨, 냉장고, 세탁기, TV를 대상으로 가전 Recycle 법을 1998년 5월 제정하여 2001년 4월 실행할 계획이다. 이 법은 제조업자, 수입업자, 소매업자, 소비자의 역할을 정해 폐기물의 감량과 자원의 유효 이용을 통해 순환형 경제 사회를 실현하고자 하고 있고 폐가전품 수거 및 리사이클 의무를 위반하는 경우에 감독은 10만엔에서 50만엔 이하의 벌금을 부여할 수 있게 되어 있다. 이 법은 제품별로 제조업자가 달성할 리사이클율도 제시하고 있다. 또한 일본은 가전, PC, 복사기 등을 대상으로 재활용을 고려한 제품 설계를 촉진하기 위하여 통산성 재생자원 이용 촉진법(Recycle 법)을 개정할 예정이다. 국내에서도 이러한 환경문제를 인식하여 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 1992년 제정하는 것을 시작으로 하여 관련 법규 및 폐기물에 대한 연구가 진행되어 왔다. 이 법은 폐기물에 대한 회수, 처리의 비용을 생산자가 예치하도록 되어 있지만 2001년부터는 생산자가 처리하도록 함에 따라 폐가전제품의 리사이클링을 자체적으로 처리하기 위해 설비를 투자하여 리사이클링센터를 건립 운영하고 있거나 추진중이다. 국가별로 환경 친화적인 제품을 고객에게 홍보하기 위하여 환경 라벨링(Environmental Labeling)을 만들어 부착하기도 하고 있다. 이런 규정들 모두가 제품이 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위함이다. 그런데 친 환경 제품 개발과 생산에 많은 비용을 투입해야 할 기업으로서는 수익성 창출에 부담이 되지만 21세기에는 이러한 비용부담을 이겨내야 생존할 수 있다. 따라서 비용을 최소화한 친환경 제품의 개발력이 경쟁력의 핵심으로 대두되고 있다. 친환경 제품이란 재활용률이 높고, 재활용성이 용이하며, 폐기량 발생의 최소화와 유해물질 사용이 극소화되고, 에너지를 절약할 수 있는 제품이라 할 수 있다. 이러한 제품 개발을 위해서는 고유 기술 개발과 평가 설계 기술이 필요하다. 본 논문에서는 평가 설계 기술의 관점에서 살펴 본다.

2. 개발 동향

2.1 설계 평가 기술

2.1.1 DFE의 정의

Fiksel는 DFE(Design for Environment)란 제품의 전 생애와 프로세스에 걸쳐 환경적인 측면에서 건강성과 안전성에 관한 설계의 시스템적인 고려라고 정의했다. Lenox, Jordan, Wapman는 DFE란 회사가 환경을 고려하여 제품과 프로세스를 설계하는 조직적인 프로세스라고 정의했다. 따라서 DFE란 재료와 에너지의 자원 사용을 최소화하고 환경적이고 건강의 피해를 최소화로 설계, 제조, 분배, 사용, 처분되도록 환경 친화적으로 적합한 제품을 개발하는 것을 의미한다고 할 수 있다. 환경문제는 제품 디자인 단계에서부터 발생하고 있으므로 제품의 가격과 성능 및 품질을 만족하면서 동시공학적으로 해결해야 한다. 따라서 설계와 동시에 평가하여 설계 개선할 수 있는 설계 평가 기술이 중요하다.

2.1.2 설계 평가 기술 개발 동향

지금까지 연구 및 적용되고 있는 설계 평가 방법은 기준대비 비교하는 상대평가, 등급별 평가, 환경에 미치는 영향평가, 비용과 가치와 관계 평가, 이상값과 최저값 사이의 100분율로 산출하는 절대평가 등의 방법이 있다.

상대평가의 대표적으로 적용되고 있는 방법으로 가전제품의 제품 환경영향 평가 방법이다. 제품 환경영향 평가는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률의 제정이후에 가전 업체는 제품환경 영향 평가 기준을 94년도에 설정하여 개정을 거듭하면서 실시해 오고 있다. 제품 환경영향평가의 방법은 기준모델 대비하여 신제품을 상대적으로 평가하는 방법이다. 예로서 재활용 사용에 대한 평가는 기준 모델의 재활용중량 대비 평가 모델의 재활용된 중량으로 상대적 비교하여 계산한다. 평가 항목이 기준 모델에 대비하여 상대적으로 평가함으로써 인한 주요 문제점은 모든 신제품에 대해 객관적으로 판단하기 어렵다. 즉 평가 점수가 나쁘게 되면 분모인 기준모델을 바꾸면 점수가 좋게 나오게 하게 된다. 더욱이 어떤 부품이 재활용성이 떨어지는지 알 수 없어 개선과 즉각적으로 연계가 되지 않는다. 따라서 절대적인 점수로 재활용성을 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

단계별 점수 평가의 예로는 미국의 AT&T 사에

서 제품에 대한 디자인의 환경영향을 평가하는데 전과정을 고려한 그린 점수 시스템(Green Score System)을 도입하여 평가하는 방법이다. 이 방법은 그린 디자인의 등급을 5 등급으로 나누어서 반영하는 것으로 그린특성을 반영하면 5 점을 부여하고 부분적으로 반영하면 3 점을 주는 방법으로 하여 녹색제품의 최대 가능 점수는 100 점을 부여한다. 최종적인 녹색율(Green Ratio)은 실제적인 점수와 최대 가능한 점수와의 비로 나타낸다. 이 비율은 설계항목을 비교하는 데 편리한 방법이다.

환경에 영향을 미치는 영향 평가 방법의 대표적인 방법으로 Eco Indicator 가 있다. 네덜란드 Pre Consultants 가 개발한 것으로 환경영향의 각 부분에 가중치를 주어 환경 영향정도를 전체 합으로 수치화하여 평가한다. 전과정 평가(LCA: Life Cycle Assessment)에서는 전생애에 대한 자료의 수집, 검증이 어려운 점이 있지만 이 평가는 설계단계에서 간이로 평가하기 위해 실제로 많이 사용되고 있는 일반적인 재료와 공정에 대한 100 개 정도의 자료를 사용하여 평가하는 방법이다.

비용과 가치와 관계 평가는 분해시간, 재사용 및 재활용수익, ABC(Activity-Based Costing), 비용과 이익 분석 등이 있다. Tipinis 는 비용측면에서의 평가를 강조하였고 Dewhurst 는 분해시간, 순서를 정량적으로 평가할 수 있도록 개발하였다. SONY 는 분해 동작포인트와 분해시간으로 분해성을 설계구상 단계부터 분해 목적을 설정하여 조립과 동시에 제품개발에 반영한다.

이상값과 최저값 사이의 100 분율로 산출하는 절대평가 방법이란 제품이나 부품의 구조, 체결, 재료 등의 특성의 영향변수에 따른 이상치를 100 으로 한다. 영향변수에 따른 특성값을 함수로 설정하여 절대 평가한다.

이러한 평가 방법은 궁극적으로 취약점을 알려고 하는 데 있다. 따라서 설계의 취약점을 찾아주고 디자인을 개선 할 수 있는 가이드의 개발이 중요하다.

2.2 선진 평가 기술 적용 사례

NEC 는 Environmental Total System 을 위해 DFE 를 위한 ECO-Fusion System 을 개발하여 제품 개발 시 설계에 활용하고 있다. ECO-Fusion System 란 조립과 분해시간 평가, LCA 평가, 제품환경의 비교 평가로 구성되어 있다. 이는 제품 정보 데이터베

이스로 평가되어지는 특징을 가지고 있다. 적용한 주요 제품은 PC 로 하우징 재료로 플라스틱을 사용한 특징을 갖고 있다.

SONY 는 기존의 조립성 평가(Design for Assembly Cost Effectiveness)에서 분해성을 고려한 DAC(Design for Assembly and Disassembly Cost Effectiveness)로 확장하였으며 현재는 DFE 를 위해 전과정 평가(LCA)를 추가하여 DAE 로 전개, 개발한 DAC-LCA 로 "Greenplus" 제품을 개발하고 있다. 특히 설계단계에서 편리하게 적용하기 위하여 CO2 배출량으로 LCA 를 평가하는 데 필요한 항목만 정하여 평가하는 방법을 사용하고 있다. 적용한 제품으로 Green TV 로 결합부품을 동일 재질하고 분해 동작을 통일화 하여 분해성을 향상뿐만 아니라 전력화 시킨 제품이다.

히다치에서도 조립성 평가 도구(AEM)에 분해성 평가를 추가하여 DEM 으로 확장 개발하였으며, 여기에 전과정 평가를 추가하여 친 환경 제품 개발에 활용하고 있다. 적용사례로 TV, 세탁기, 냉장고 등을 대상으로 재활용 가능성을 향상시키고 분해 시간을 단축한 사례가 있다. 세탁기의 드럼을 재활용할 수 있게 만들기 위해 세탁용 드럼 제조사에서 유리 섬유 강화 플라스틱을 스테인레스 스틸로 바꾸었다. 더구나 스테인레스 스틸로 만든 드럼은 강도가 높고 회전이 빠르며 젖은 천을 더 효과적으로 탈수 시키므로 에너지 소비도 줄일 수 있다. 또한 발포 합성 수지를 30% 이상 삭감하였다.

마쯔시다는 동경대, Cambridge 대와 공동으로 재료의 선정과 평가, 생산 프로세스 평가, 비용 효율을 평가할 수 있는 Green Design Software 를 개발하여 사용하고 있다. 제품 개발로는 냉장고의 재활용율을 향상시키고 소비전력을 40% 감소시켰으며, Motor 의 금속물을 100% 재 자원화한 사례와 TV 의 캐비닛과 백커버 부품의 체결용 나사를 없앴고 부품의 수를 20% 감소한 사례가 있다.

보쉬지멘스(Bosch-Siemens)는 설계가이드를 활용하여 청소기의 최적 분해와 재활용 재료의 선정으로 분해성을 향상시켰으며, 세탁기의 구조 설계 변경으로 플라스틱의 원재료의 재활용율을 향상시켰다.

일렉트로룩스(Electrolux)는 친환경 제품설계 핸드북을 참조하여 분해, 파쇄성이 향상된 냉장고를 개발하였고, 40% 이상의 재활용된 플라스틱을 사용한 청소기와 식기세척기를 개발하였다.

필립스(Pillips)는 분해 단위, 시간과 순서의 평가 도구를 적용하여 재활용된 재료를 사용하고, 제품 및 포장 무게를 감소한 TV를 개발하였다.

IBM사는 Equipment Collection Offering(ECO) 프로그램을 유럽에서 개발하고 있다. 재활용을 위해 수수료를 지불하고 구형컴퓨터를 수집하고 새로운 컴퓨터 케이스 부품과 키보드를 만들기 위해 그것을 재활용하고 있다. IBM은 이러한 방식으로 PVC를 사용함으로써 얻은 에너지 절약과 수지,자연 분해 방지제,윤활제 등을 포함하는 원자재의 소비를 줄이고 있다. IBM은 재활용된 재료가 원자재보다 더 경쟁력이 있다고 한다.

코닥(Kodak)은 자사 제품들이 제품 품질면에서 과잉설계된 사실을 발견하고 과잉설계를 제거하여 투입되는 재료비를 2% 감소시켰다.

3. 국내 가전업체 동향

3.1 L사

LG 전자는 94년, "지구환경보전을 바탕으로 모든 경영활동을 전개하며, 전 임직원은 각자의 활동 분야에서 환경보전을 앞장서 실천한다."는 내용의 환경선언을 한 이래 환경 친화적 기업활동을 위해 노력하고 있다. 이러한 활동은 환경이 경영활동의 필수적 요소임을 인식하고, 축적된 경험과 혁신적 기술 개발을 통해 환경을 개선시키어 나가고 있다. 전사 그린 라운드전략에 따라 환경기술을 분류하여 개발할 과제를 설정하였다. 이때 전과정 평가(LCA)는 도입하여 적용하고 DFE는 자체 개발하도록 하였다. 95년 LCA를 도입하여 냉장고에 적용하여 전체 라이프사이클에서 환경성을 30%개선하였고 제조공정에서 82%개선하였다. TV의 경우 98년 신제품개발에 적용하여 제품 라이프사이클의 각 단계를 분석하였다. 특히 사용단계에서 가장 환경부하가 높음에 착안하여 초절전회로 개발을 통해 소비전력이 대폭 감소시켰으며, 환경성 21% 및 재료비 2.27%를 개선하였다. 96년에는 DFE 평가 도구를 개발하였는데, 개발된 도구는 97년 TV와 Fig.1과 같이 에어컨을 대상으로 적용하여 분해용이설계 평가기술에 국산 신기술(Korean Technology Mark)인정을 받았다. LG 전자의 평가 기술의 특징은 첫째는 제품과 프로세스 평가를 동시공학적으로 한다는 것이다. 둘째는 실질적인 데이터베이스의 자동 산출이다. 셋째는 제품

특성과 구조와 연계된 독창적인 평가 알고리즘과 설계 개선 가이드에 있다고 할 수 있다. 이러한 평가 기술은 계속적으로 발전되어 개발되어 지고 있다. 특히 개발자의 활용성을 높이고자 보완하고 있다.

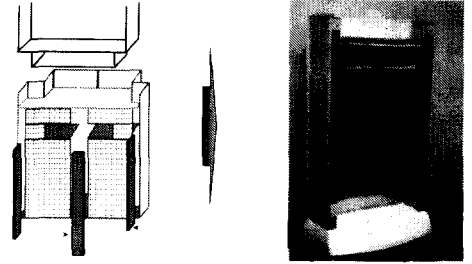


Fig. 1 에어컨 제품의 설계개선

98년부터는 세탁기, 냉장고, 모니터등에 적용하여 환경성, 재활용성 향상 및 원가 절감의 효과를 보였다. 모니터는 세계최초로 유럽 환경 마크(EU Eco-label)를 17인치 플랫론을 대상으로 취득하였다. 또한 대기전력의 소비전력을 대폭 감소시킨 절전형 플랫론 모델은 2000년 6월 최근 국내최초로 국내환경마크를 취득하였다.

2000년 말에는 제품환경 인터넷 사이트가 개설되어, 제품의 각종 환경관련 규제 및 관련 정보 등이 데이터베이스 뱅크로 축적되어 인터넷상에서 활용되고 관리되도록 할 계획이며, 또한 신 제품 개발 시에 반드시 평가되어야 하는 제품의 환경성을 인터넷 상에서 온라인으로 제품개발자가 쉽게 평가하고 활용 할 수 있도록 하는 도구를 개발 중에 있다.

3.2 S사

삼성전자는 '96년 5월 녹색경영을 선포하였고 이를 구현하기 위한 실천목표 중의 하나로 제품의 기획단계부터 폐기처리까지의 제품 전과정 책임주의를 실천하는 "제품의 녹색화"를 공약하였으며 실천전략으로서 제품의 설계초기단계부터 환경성 평가와 문제점 개선을 통하여 환경친화적인 제품 개발을 위한 노력을 지속적으로 전개하고 있다.

전과정 평가(LCA)를 '96년 전자렌지에 처음으로 적용을 하였으며 매년 적용제품을 확대하여 대부분의 제품에 LCA를 수행함으로써 재료, 부품, 제품레벨의 환경부하 데이터베이스를 구축해 나가고

있다. 또한 원류단계에서 환경성 개선을 지원하기 위해 설계초기단계에서 LCA 평가가 가능한 소프트웨어 SPEED(Simplified LCA Program for Effective Eco-Design)를 개발하였다. 이 소프트웨어의 특징은 BOM(Bill of Materials)Import 기능을 추가하여 평가 소요시간의 단축과 실시간 평가 결과를 확인할 수 있도록 하였다. '99년부터 SPEED의 활용을 통하여 설계 개선을 위한 활동을 전개하고 있으며 재활용성을 높이기 위해 포장재의 완충재로 사용되는 페스티로폼을 이용하여 RESH (Recycle Ethylene Styrene HIPS)라는 재활용 신소재를 개발하였으며 에어컨의 기능성 부품에 적용되고 있고 국내의 특허출원, 심사 중에 있다. 또한 RESH는 Virgin HIPS와 비교 LCA를 수행한 결과 약 60%의 환경개선과 약 42%의 원가절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, 제품의 생산성뿐만 아니라 폐기단계에서 폐기이윤의 극대화, 재활용을 향상 및 제품의 수명연장을 위해 설계초기단계에서 활용 가능한 DfX 소프트웨어를 개발하였으며 이는 제품의 조립성, 분해성, 재활용성 및 서비스성을 평가할 수 있는 모듈로 구성이 되어 있다. 본 평가 시스템은 클라이언트 서버시스템으로서 평가시간 단축 및 사용 효율향상을 위하여 PDM(Product Data Management), 3D-CAD 시스템과 인터페이스 되어 있어 동일 데이터의 중복입력을 배제 시켰으며 제품별로 주요과제에 대하여서는 CE (Concurrent Engineering)팀의 일원으로 참여하여 SPEED의 활용과 함께 제품의 환경성 개선을 하고 있다. 현재 SPEED와 DfX 소프트웨어를 이용하여 친환경제품 개발을 위한 활동을 하고 있지만 제품의 수명주기가 짧아지고 있을 뿐만 아니라 개발기간도 점차 줄어들고 있음을 감안한다면 이러한 평가 도구를 보다 효율적으로 활용될 수 있는 방법이 필요하다.

그러므로 앞으로 LCA와 DfX 평가시스템을 하나로 통합하여 적용될 수 있는 방법론 개발과 함께 평가시스템의 활용성을 높이도록 개선을 추진해 나갈 것이다.

3.3 설계 가이드

평가란 개선을 위하여 하므로 취약점이 정확히 지적되어야 하고 설계자가 취약점으로부터 개선을 해야 한다. 따라서 평가 기술의 연구는 설계 가이드의 연구와 같이 되어야 한다.

본 논문에서는 L사에서 개발하여 활용하고 있는 예를 설명한다. 개선의 가이드는 설계 원칙으로부터 나와야 한다. 더욱이 이러한 원칙과 가이드는 개발 프로세스상에서 자연스럽게 이루어져야 한다. 왜냐하면 설계자는 기능, 구조, 품질, 원가 등을 동시에 고려해야 한다. Fig.3는 부품재료, 부품구성, 제품조립에 있어서 재활용성을 높이는 설계원칙의 예이다.

설계구분	설계항목	설계원칙
재활용 (DFR)	부품재료	사용 재료의 종류수를 감소 시킨다.
		재료가 호환성이 높은 재료를 사용한다.
		Plastics 재료의 재활용성을 높인다.
		재질표시로 재활용이 쉽도록 한다.
		재료의 유해성 표시로 재활용이 용이하도록 한다.
		재료 재활용 가능성을 향상 시킨다.
부품구성	부품구성	재활용 가능량을 증가 시킨다.
		재활용 가능성이 좋은 재료를 사용한다.
		유해물질의 사용을 최소화 한다.
제품조립	제품조립	분리가 쉬운 체결방법을 사용한다.
		재활용 가능성이 높은 체결방법을 사용한다.
		부품 세 사용이 가능한 체결방법을 사용한다.
		분해단위의 재활용 가능성을 높인다.

Fig. 3 재활용성 설계원칙

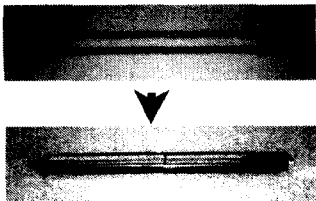


Fig. 2 RESH 적용 Spacer tray drain 부품

다음 단계로 설계 방법의 가이드이다. Fig.4는 재질표시로 재활용이 쉽도록 하는 설계 원칙에 대하여 동일 재료로 동일 색상을 사용한다는 설계 가이드의 예이다.

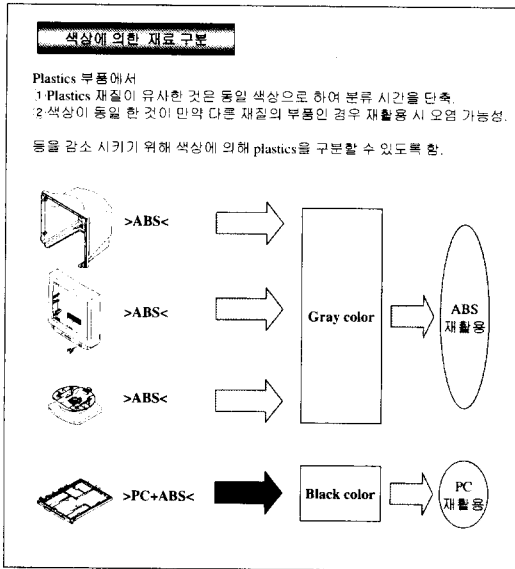


Fig. 4 재활용성 Guide 예

4. 결론 및 향후 연구 과제

첫째 규제, 법률의 관점에서 환경적 고려 설계를 체계적으로 할 뿐 아니라 고객이 친 환경 제품을 요구하므로 친 환경 제품을 개발해야 한다. 둘째 설계 평가의 연구 동향으로 볼 때 가전의 환경영향 평가는 절대 평가하여 취약점의 지적으로 개선과 연결되어야 한다. 셋째 설계자가 활용하는 설계 가이드는 실제로 개발 프로세스상에서 좋은 설계를 하기 위하여 제품 구조, 기능과 연계하여 적용 가능토록 방법의 연구가 필요하다. 넷째 지금까지는 알고리즘적 방법으로 평가하여 왔으나 앞으로는 개발 단계에서 좋은 설계를 하기 위하여 QFD, 공리적 접근 방법과 연계된 활용 방법이 필요하다. 다섯째 환경에 대해서 국제사회에서 따라가는 대응의 차원에서 함께 나아가는 전략과 연구 개발이 더 요구된다고 할 수 있다.

참고문헌

1. T. Kamei, "Product Life Cycle of Electrical Appliances," International journal of Environmentally Conscious & Manufacturing, Vol. 4, No. 1, pp. 43-63, 1995.
2. C. Mizuki, P. Sandborn, and G. Pitts, "Design for

Environment- A Survey of Current Practices and Tools," IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp. 1-6, 1996.

3. M. J. Hrinyak, and B. Bras, "Enhancing Design for Disassembly: A Benchmark of DFD Software Tools," Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, 1996.
4. Y. K. Kim, Y. J. Kim, J. Hesselbach, and M. Kuhn, "Assessment of the Product and Process to Improve Disassembly and Recyclability for Design for Environment," CARE INNOVATION, pp. 116-121, 1996.
5. 김영규, 조규갑, 권성우, "재활용성 향상을 위한 분해성 평가 방법에 관한 연구," 한국 경영과학회/대한산업공학회'97 춘계공동학술대회, 1997.
6. Y. K. Kim, S. W. Kweon, J. Hesselbach, and M. Kuhn, "Assembly Tool for Recycling Oriented Product Design and Disassembly Process Planning," 4th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems: IMS '97, pp. 141-145, 1997.
7. H. Srinivasan, and N. Shyamundar and R. Gadh, "A Virtual Disassembly Tool to support Environmentally Conscious Product Design," IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp. 7-12, 1997.
8. P. Gu, M. Hashemian, and S. Sosale, "An Intergrated Modular Design Methodology for Life-Cycle Engineering," Annals of the CIRP, Vol. 46, No.1, pp. 71 - 74, 1997.
9. 김영규, 서정원, 조규갑, "친환경 제품개발을 위한 DFE 평가기술 개발," 대한산업공학회 98 추계학술대회, 1998.
10. S. Brink, J. C. Diehl and A. Stevels, "ECO- QUEST, An Ecodesign Self Audit Tool for Suppliers of The Electronics Industry," IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp. 129-132, 1998.
11. P. Sheng, and E. Hertwich, "Indices for Comparative Waste Assessment in Environmentally Conscious Manufacturing," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 120, pp. 129-140, 1998.
12. H. C. Zhang, and S. Y. Yu, "A Quantitative Approach in Environmentally Conscious Product Design

Support,” IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp. 280-285, 1999.

13. S. Siddhaye and P. Sheng, “Environmental Impact and Design Parameters in Electronics Manufacturing- A Sensitivity Analysis Approach,” IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp. 39-44, 2000.