

# 컴퓨터의 전과정평가

정연하 · 황태연 · 조희주\*

(삼성전자 중앙연구소 · \*컴퓨터사업부 개발팀)

## Life Cycle Assessment on Personal Computers

Younha Chung, Taeyeon Hwang, Heejoo Cho

(Samsung Electronics co. Ltd.)

### ABSTRACT

The life cycle assessment on a computer is performed in order to identify the environmental impacts during the life cycle of a computer and to establish the database to develop environmentally friendly computers. This article contains simplified results from the life cycle assessment on a computer.

A desktop PC set that consists of a PC mainframe (including Pentium II processor) and a monitor (having 17-inch screen) is chosen as the functional unit for this study. Site-specific data are collected for the component production processes and the assembly processes. Material production and energy related data are derived from literature since it is too difficult to collect site-specific data for those. The impact categories considered in this study are abiotic resource depletion, global warming, stratospheric ozone depletion, photochemical oxidant creation, acidification, eutrophication, human toxicity and eco-toxicity. The characterization results are integrated into single value through normalization and weighting.

The use phase in the life cycle of a desktop PC is the most major contribution as 54.8% of total impact assessment value. And other major contributing components in production are monitor, mother board, SMPS, modem, HDD and so on.

The results from the life cycle assessment on a computer are used to establish the strategy for improving environmental performance of computer and to provide environmental information of the product to customers.

**Keywords** : LCA, Computer, Desktop PC

### 요약문

본 논문은 삼성전자에서 수행한 컴퓨터의 전과정평가 결과를 요약한 것이다. 컴퓨터의 환경성을 정량적으로 분석하여 환경친화적인 제품의 개발을 위한 기초 데이터를 축적하기 위해 컴퓨터의 전과정평가를 수행하였다.

대상제품은 Pentium II 프로세서를 장착한 데스크탑 컴퓨터 본체와 17인치 모니터로 구성된 컴퓨터 1세트이다. 현장 데이터를 위주로 부품 및 제품 제조 공정 데이터를 수집하였으며, 현장데이터의 수집이 어려운 물질 생산 및 에너지 관련 데이터는 문헌 데이터를 활용하였다. 목록분석을 거쳐 무생물자원고갈, 지구온난화, 성층권내 오존감소, 광화학산화물 생성, 산성화, 부영양화, 인간독성, 생태독성 8개 영향범주의 환경영향을 정량화하였으며, 이를 정규화 및 가중치 부여를 통해 단일한 환경영향지수값으로 통합하였다.

컴퓨터의 전과정에 걸친 환경영향의 54.8%가 사용단계에서 기인하는 것으로 나타났으며, 모니터, 주기판(Mother Board), 전원공급장치(SMPS), 모뎀(Modem), 하드디스크(HDD) 등의 주요 부품의 제조로 인한 환경영향이 비교적 큰 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 컴퓨터의 환경성을 향상시키기 위한 방안 수립을 위한 기초 데이터로서 사용되고 있으며, 국내외 구매자에 대한 환경정보 제공을 위해 활용되고 있다.

**주제어** : 전과정평가, 컴퓨터, 데스크탑 PC

## I. 서 론

어떤 산업계에서도 마찬가지이지만, 특히 전자제품의 경우는 세계적으로 경쟁이 보다 가속화되어 가고 있으며, 기능 면에서는 선진업체와 후발업체 사이의 간격이 점차 줄어들고 있는 추세이다. 근래에는 유럽을 필두로 제품의 환경성에 대한 관심이 점차 고조되면서 각종 환경 관련 규제가 제정되고 있으며, 선진업체들을 중심으로 제품의 환경성을 제품 경쟁력의 한 측면으로서 활용하려는 움직임이 일고 있다. 생산 제품의 대부분을 수출하고 있는 우리 기업들도 제품의 환경성을 개선하기 위한 지속적인 연구와 노력을 통해 이에 대비하여야 할 것으로 보인다.

삼성전자는 친환경제품 개발을 위한 제품 환경성의 정량적이고 객관적인 평가의 필요성을 인식하여 1996년 전자랜드의 전과정평가를 시작으로 전과정평가 기법을 연구해오면서 생산 제품들에 대한 전과정평가를 꾸준히 수행해오고 있다. 다양한 전과정평가 결과를 토대로 제품의 환경성 분석 데이터를 축적하고 친환경제품 개발을 위해 개선이 시급한 분야를 위주로 제품 환경성을 개선하기 위한 노력을 기울이고 있다.

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 물질, 제품 또는 서비스의 전과정 동안의 환경영향을 평가하고 분석하기 위한 방법이며, 환경영향을 정량화할 수 있는 가장 효율적인 도구로서 인정받고 있다. 전과정평가 수행 단계는 일반적으로 '목적 및 범위 설정(Goal & Scope definition)', '전과정 목록 분석(Life cycle inventory analysis, 이하 목록분석)', '전과정 영향평가(Life cycle impact assessment, 이하 영향평가)', '결과해석(Interpretation)'의 단계로 나눌 수 있으며<sup>1,2)</sup>, ISO에서 전과정평가를 위한 국제표준을 제정하는 작업이 진행중으로 조만간 표준이 완료될 예정이다.

본 논문은 ISO14040에 제시된 전과정평가 수행단계를 토대로 컴퓨터의 환경성을 정량적으로 분석하여 컴퓨터의 환경성을 향상시키기 위해 실시한 전과정평가의 수행 결과를 요약 정리한 것으로서, ISO 14040에서 정의하고 있는 모든 요소들을 기술하고 있지는 않다.

## II. 목적 및 범위 설정

목적 및 범위 설정 단계는 전과정평가의 수행 목적(Purpose), 기능단위(Functional Unit), 범위(Scope), 데이터 수집(Data Collection) 방법 등을 설정하는 단계로서 전과정평가를 실시하는 과정에서 상황에 따라 수정될 수도 있다.

본 연구의 목적은 컴퓨터와 관련한 기초 환경 데이터베이스를 구축하고, 컴퓨터 전과정에서의 주요 환경영향인자를 파악하여 컴퓨터의 환경성 향상을 도모하는데 있으며, Pentium II 프로세서를 장착한 데스크탑 PC 본체와 17인치 모니터로 구성된 컴퓨터 1세트를 기능단위로 하고 있다(이하 '컴퓨터'라 함은 컴퓨터 본체와 모니터로 구성된 세트를 칭함).

컴퓨터의 전과정은 컴퓨터부품을 구성하고있는 원료물질의 채취/가공에서부터 부품제조, 조립, 유통, 사용, 사용후 처리까지의 단계로 구분할 수 있으나 본 연구에서는 크게 세 단계 - 컴퓨터가 조립되어 완제품으로 생산되기까지의 과정인 '제조단계(Production phase)', 유통 및 제품 사용 과정을 포함한 '사용 단계(Use phase)', '사용후 단계(After use phase)' - 로 구분한다. 본 연구에서 설정한 컴퓨터의 사용 및 사용후 단계 시나리오는 Table 1과 같다.

Table 1. Scenario of the Use and After Use Phase.

단 계	시나리오
사용 단계 (Use phase)	· 사용시간 : 1.5hour/day · Life time : 7years
사용후단계 (After use phase)	· 기구물 ▷ 10g이상의 플라스틱/금속류 --> 재활용 · 회로물 ▷ 유가금속류 --> 재활용 ▷ 플라스틱 --> 소각

사용 단계 시나리오는 국내 및 외국 소비자에 대한 사용실태 조사를 토대로 설정하였으며, 사용 후 단계 시나리오는 문헌 조사 및 폐기업체 실태 조사 결과를 토대로 설정하였다. 기본적으로 제품폐기시

단일재질로 구성된 부품은 분리하여 재활용하고 복합재질로 구성된 부품은 소각하는 것으로 설정하였다. 단, 주기판(Mother Board)의 경우 유가금속류는 재활용하고 나머지는 소각되는 것으로 가정하였다. 이 때, 질(Quality) 저하가 거의 없는 물질(철, 알루미늄, 구리 등 금속류)은 50:50 할당방법을 이용하였으며 질 저하가 있는 물질(플라스틱, 종이류 등)은 질 저하를 고려한 Quality 할당방법을 이용하였다.<sup>3)</sup>

목록분석을 위한 데이터의 수집은 우선 각 부품 및 제품 제조공정 데이터의 수집을 원칙으로 하였으며, 현장데이터의 수집이 어려운 경우에는 문헌 데이터와 동종 업체의 데이터를 이용하였다. 현장 데이터의 취득을 위해서는 설문지 배포와 방문을 통한 데이터 취득 방법을 혼용하였다. 한편, 제품의 기종 변경이 자주 이루어지는 현실을 고려해서 데이터 산출 기간은 제품 실제 생산 기간을 기준으로 설정하였다. 그 밖에 물질 및 에너지, 운송 데이터 등은 현장 데이터의 취득이 실질적으로 불가능하므로 문헌이나 전과정평가 프로그램에 내장되어 있는 외국 데이터를 활용하였다.<sup>4)</sup>

### III. 목록분석

목록분석은 전과정평가를 위하여 필요한 데이터를 수집·정리하는 단계로서 연구범위에서 선정한 시스템을 대상으로 모든 환경부하를 정량화하는 작업을 말한다. 본 연구에서는 필요한 데이터의 수집을 위하여 데이터 설문양식을 활용하여 현장 데이터를 수집하고 데이터의 신뢰성과 완전성을 검토한 후, 목록분석용 S/W를 사용하여 환경부하를 정량화하였다.

#### 1. 데이터 품질 평가

목록분석 과정에서 많은 양의 데이터가 사용된다. 이상적으로는 모든 데이터가 현장에서 조사되어 취합되어야 하나, 여러가지 제약들로 인해 현장 데이터의 취득이 어려운 경우에는 유사 공정의 데이터 또는 문헌데이터 등을 활용하였다. Table 2는 데이터의 품질(Data quality)을 평가하기 위하여 삼성전

자에서 자체적으로 설정한 데이터 품질 평가 지수이며, Table 3은 본 연구에서 사용한 데이터의 품질을 평가한 결과이다. 본 논문에서는 컴퓨터 본체에 대한 평가 결과만을 나타내었다.

Table 2. Indicators of Data Quality Assessment<sup>5)</sup>

Indicator	Meaning	
Raw material composition	1	Refer to data from the supplier
	2	Refer to the same product from the other supplier
	3	Refer to material composition data from the supplier
	4	Refer to material analysis data directly
	5	Refer to similar component
	6	Refer to the bill of material (BOM & document)
	7	Consider only the major raw materials
Process	1	Refer to data from the supplier
	2	Refer to data from similar process
	3	Refer to average data of similar processes
	4	No process data

Table 3. Results of Data Quality Assessment on Desktop PC

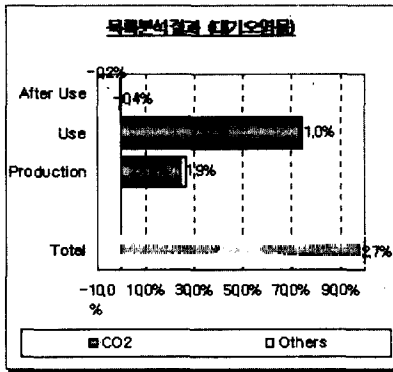
컴퓨터 본체		Process			
		1	2	3	4
Raw materials	1	29.6%			
	2		19.0%		
	3				25.1%
	4			1.6%	3.2%
	5		19.0%		
	6				2.0%
	7				0.4%

#### 2. 목록분석 결과

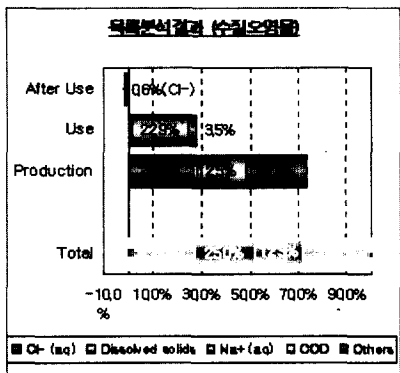
목록분석을 통해 총 400여 항목의 환경부하를 정량화하였으며, 주요 대기 오염물과 수질 오염물을 Fig. 1에 도시하였다. 이때, 각 단계별 발생량의 추이를 살펴보기 위해 제조, 사용, 사용후 단계로 결과

를 구분하였다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 대기오염물의 대부분은 이산화탄소가 차지하고 있으며, 이는 제품 사용 중에 소비하게 되는 전력의 생산과정에서 기인하는 것이다. 또한, 제조 단계에서 발생하는 이산화탄소의 대부분은 물질의 가공 및 부품 제조 등에 사용되는 전력 및 기타 에너지의 소비로 인한 것으로 볼 수 있다. 수질오염물의 경우는 제조단계에서 그 발생량이 가장 많으며 이는 컴퓨터 제조시 사용하는 자원의 채취 및 가공 과정에서 수질오염물이 많이 배출되기 때문이다. 한편, 사용후 단계에서는 환경부하 발생량이 ‘-’값을 나타내고 있는데 이는 컴퓨터의 폐기시 재활용에 의한 환경적 이득을 고려한 결과이다.



(a)



(b)

Fig. 1. Inventory analysis results of a computer. (a) air emission (b) water emission

#### IV. 영향평가

영향평가는 분류화(Classification), 특성화(Char-

acterization), 가중치 부여(Weighting)로 구분되며 경우에 따라서 정규화(Normalization)를 함께 고려하여 네 가지 구성요소로 구분하기도 한다.<sup>2)</sup>

본 연구에서 선정한 환경영향범주는 다음의 8가지이다.

- ▶ Abiotic Resource Depletion
- ▶ Ozone Layer Depletion
- ▶ Global Warming
- ▶ Photochemical Oxidant Creation
- ▶ Acidification
- ▶ Eutrophication
- ▶ Human Toxicity
- ▶ Ecotoxicity

본 연구에서는 위 8가지 환경영향범주별 환경영향값을 산출하고, 정규화 및 가중치 부여를 통해 단일 환경영향값을 산출하였다. 또한, EPS method (Environmental Priority Strategies method), ET method (Environmental Theme method), Eco-Scarcity method, Eco-Indicator method에 따른 환경영향값을 산출하여 영향평가 방법론에 따른 결과 변화를 살펴보았다.

Fig. 2는 본 연구에서 선정한 8가지 환경영향범주별 환경영향값(특성화결과)의 전과정 단계별 분포를 나타내고 있다. 지구온난화, 광산화물생성, 산성화의 경우 사용단계가 가장 큰 영향을 미치는데 이는 전력 생산시 유발되는 온실가스, 황산화물, 질산화물 등으로 인한 것이다. 자원고갈의 경우에는 제조단계에서의 자원소비가 대부분의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 한편, 사용후 단계에서는 재활용으로 인한 환경 이득 효과가 ‘-’값으로서 표현되어 있다.

환경영향범주별 환경영향값은 정규화 및 가중치 부여를 통해 단일 값으로 나타낼 수 있다. 제품의 개발자 또는 소비자와의 원활한 의사소통을 위해서는 다양한 환경영향값을 하나의 값으로 통합하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 Expert panel method를 사용하여 통합 환경영향값을 산출하였다. 정규화 과정에서는 국내정규화값을 이용하였으며<sup>6)</sup> 가중치 부여를 위해서는 국내 환경전문가를 대상으로 실시한 자체 설문조사를 통해 얻은 가중치를 사용하였다.

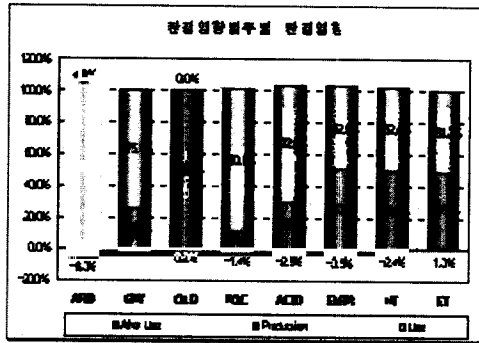


Fig. 2. Characterization results of a computer(ARD: Abiotic resource depletion. GW: Global warming, OLD: Ozone layer depletion POC: Photochemical oxidant creation ACID: Acidification, EUTR: Eutrophication HT: Human toxicity, ET: Eco-toxicity).

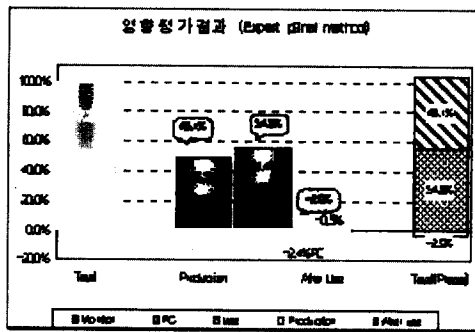


Fig. 3. Weighting results of a computer.

Fig. 3은 통합 환경영향값의 각 단계(제조, 사용, 사용후)별 분포와 컴퓨터 본체와 모니터의 기여율을 도시하고 있다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 컴퓨터의 전과정 동안의 환경영향은 사용단계가 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 소비자가 제품을 사용하는 동안 소비되는 전력에 의한 것이며, 컴퓨터 본체보다 모니터가 더 많은 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있다. 이는 본 연구 대상으로 선정된 모니터의 대기 전력이 PC보다 크기 때문이다. 한편, 사용단계의 기여율이 타 가전제품(TV 또는 냉장고 등)의 전과정평가 결과에서의 사용 단계 기여율(약 60%)보다 낮은 것을 볼 수 있는데, 이는 컴퓨터의 사용 시간이 일반 가전제품에 비해 적기 때문인 것으로 추정할 수 있다. 단, 각 단계별 환경 영향의 기여율은 시나리오에 따라 바뀔 수 있다는 점을 고려하여야 한다.

## V. 결과해석

전과정평가의 마지막 단계인 결과해석은 목록분석과 영향평가 결과를 이용하여 연구목적에 부합되는 결론과 연구결과의 활용방안을 도출하는 단계이며, 본 논문에서는 제품 개선에 활용하기 위하여 영향평가 결과를 토대로 환경에 큰 영향을 미치는 공정 및 부품(Significant Issues)을 분석하고, 영향평가 방법에 따른 영향평가 결과의 변화를 살펴보았다.

### 1. 주요 환경영향인자 파악

본 연구에서는 가중치 부여를 통해 산출한 통합 환경영향값의 1% 이상을 차지하는 부품 및 공정을 주요 환경영향인자로 정의하였다. 파악된 주요 환경영향인자는 제품의 환경성을 향상시키기 위해 우선적으로 개선 또는 연구가 필요한 부분으로서 장/단기에 걸친 개발 전략의 수립이 수반된다.

본 연구에서는 사용단계가 54.8%로 환경영향을 가장 많이 유발하는 요인으로 나타났으며, 모니터, 주기판(Mother Board), 전원공급장치(SMPS), 모뎀(Modem), 하드디스크(HDD) 등의 주요 부품의 제조로 인한 환경영향이 큰 것으로 분석되었다.

주요 환경영향인자로 규명된 각 부품마다 세부 분석을 통해 환경영향 유발 원인을 분석하고, 개선점을 도출하는 작업을 수행하였다. 예를 들어 모니터의 경우는 CDT, PCB Board, Cover, Solder, 포장재, Shield 등의 구성부품으로 인한 환경영향이 큰 것으로 분석되었다.

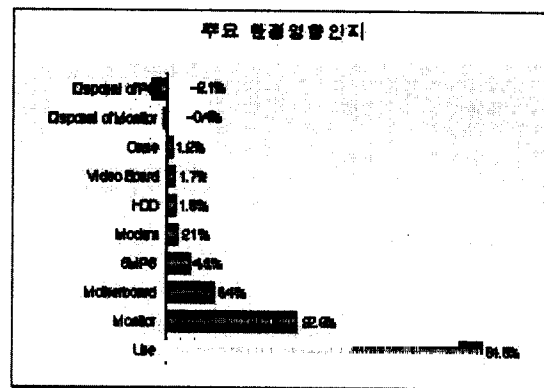


Fig. 4. Key issues on a computer.

부품별 분석 결과는 그 양이 방대할 뿐더러 상당히 기술적인 내용들을 담고 있으므로 본 논문에서는 도시하지 않았다.

## 2. 영향평가방법에 따른 결과 비교

환경영향을 평가하기 위한 방법은 전과정평가의 수행목적에 따라 또는 주변 상황에 따라 여러가지가 있을 수 있다. 각 영향평가 방법에 따라 영향평가지 수의 산출을 위한 배경이나 이론적 근거가 다르기는 하지만, 영향평가 방법에 따른 결과의 변화를 살펴봄으로써 본 연구에서 도출한 영향평가 결과의 신뢰성을 가늠해 보고자 하였다. 여기에서는 다음에 나열한 4가지 정량적 평가방법에 의한 전과정평가 결과를 추가로 도출하여 각 영향평가 방법별 결과를 비교하여 보았다.

- ▶ EPS(Environmental Priority Strategies) Method
- ▶ ET(Environmental Theme) Method
- ▶ Eco-Scarcity Method
- ▶ Eco-Indicator Method

영향평가방법에 따른 결과는 Table 4와 Fig. 5에 나타내었다.

Table 4. Comparison of impact assessment results according to different methodologies

Valuation Method	Total	Production	Use	After Use
Expert Panel	100.0%	48.0%	54.8%	-2.95%
EPS	100.0%	123.0%	1.3%	-24.3%
ET	100.0%	29.3%	72.5%	-1.8%
Eco-Scarcity	100.0%	77.4%	17.4%	5.2%
Eco-Indicator	100.0%	53.5%	44.1%	2.4%

영향평가 방법에 따라 중요하게 생각하는 환경부하의 종류가 다르기 때문에 전과정 단계별 분석 결과는 상당한 차이를 보인다. 특히 자원을 중요시하는 EPS method는 다른 평가 방법과는 아주 상이한 결과를 보인다. 하지만, 각 영향평가 방법별 주요 환

영향인자는 방법에 상관없이 상당히 유사하다. 따라서, 제품의 환경성 개선을 위한 분석을 목표로 하는 경우에는 환경영향평가 방법에 따른 차이는 무시할 수 있는 수준으로 볼 수 있다.

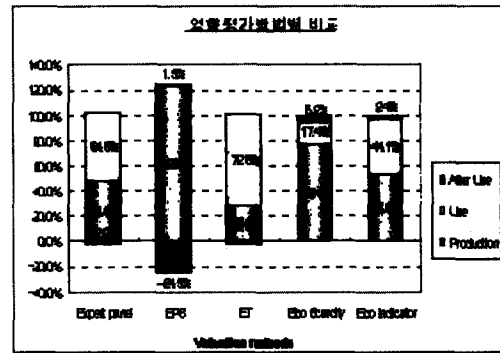


Fig. 5. Comparison of impact assessment results according to different methodologies.

Table 5. Significant issues according to different methodologies

주요 환경영향인자	Expert Panel	EPS	ET	Eco-Scarcity	Eco-Indicator
Use phase	●		●	●	●
Monitor	●	●	●	●	●
Motherboard	●	●	●	●	●
SMPS	●	●		●	●
Modem	●	●	●	●	●
HDD	●	●	●	●	●
Video Board	●	●	●	●	
...					

## VI. 결론 및 요약

본 논문은 ISO14040에 준한 방법으로 수행한 컴퓨터의 전과정평가 결과를 요약하고 있다. 연구 결과, 다른 전자제품과 마찬가지로, 컴퓨터의 사용단계가 전체 환경영향에 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났으며, 모니터를 비롯하여 유가금속과 유해금속이 많은 기관류의 환경영향이 크다는 사실을 알 수 있었다.

목록분석 과정에서 사용한 데이터에 대해, 자체적으로 설정한 평가지수에 따라 데이터 품질에 대한 평가를 실시하였으며, 주요 환경영향인자를 분석함으로써 향후 컴퓨터의 환경성을 향상시키기 위해 개선이 필요한 부분을 규명하였다. 또한, 영향평가 방법에 따른 민감도 분석을 실시하여 영향평가 방법에 상관없이 제품의 개선을 위한 주요 항목은 동일하다는 결론을 얻었다.

본 연구의 결과는 해외 및 국내 구매자에게 제품의 환경정보를 전달하기 위해 활용하고 있으며, 제품의 환경성 개선 정도를 자체적으로 평가하기 위한 기본 데이터로서 활용하고 있다. 현재, 제품의 소비 전력을 감소시키는 동시에 제품의 크기를 최적화하는 연구를 통해 환경영향의 29%(본체 기준)를 줄인 신제품이 개발되어 시판 중이다.

제품의 환경성을 개선하기 위해서는 제품에 대한 정확한 분석과 자발적이고 적극적인 노력이 필수적이다. 특히 각 기업에서 제품의 설계부서로부터 생산 부서에 이르기까지 제품의 환경성을 향상시키기 위한 지속적인 노력이 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- 1) ISO/ISO14040; Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework(1997)
- 2) Lars-Gunnar Lindfors, Kim Christiansen, Lief Hoffman, Yrjo Virtanen Anne Ronning, Ostfold Research Foundation and Tomas Ekvall, *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, AKA-PRINT, ARHUS(1995)
- 3) S.Kim, T.Hwang, K.Lee, "Allocation for Cascade Recycling System", Int. J. LCA, Vol2, No.4, pp217-222(1997)
- 4) 삼성전자 중앙연구소, 전과정평가 지침서(1998)
- 5) Samsung Electronics Co. Ltd., Life Cycle Assessment of a Monitor(1997)
- 6) 정연하, 김승도, 문정호, "전과정평가용 국내정규화 값 결정", 대한 환경공학회지, 19권, 2호(1997)