

부품 재사용 여부에 따른 폐컴퓨터에 대한 전과정평가(LCA)

임형순[†] · 양윤희* · 송준일 · 이건모

아주대학교 환경공학과 · *엘지전자 품질구매팀

(2006년 4월 3일 접수, 2006년 4월 25일 채택)

Life Cycle Assessment of Part Reuse/Recycling in the End-of-Life Stage of Personal Computers

Hyeoung-Soon Lim[†] · Yun-Hee Yang* · Jun-Il Song · Kun-Mo Lee

School of Environmental Engineering, Ajou University · *Quality/Supply Management Team, LG Electronics

ABSTRACT : Life Cycle Assessment(LCA) is an environmental assessment tool for evaluating environmental burdens associated with products, processes and activities from the raw material acquisition stage to the end-of-life stage. End-of-life stage as well as other processes requires a reliant database in order to increase the confidence in the LCA results. In this study, the flow of Personal Computer(as PC) in the end-of-life stage was examined and the database of two scenarios has been established, i.e. one is part reuse and the other is no part reuse, in the end-of-life phase of PC. Also, key environmental issues were identified by carrying out LCA on a PC in the end-of-life phase for eight environmental impact categories. The 'ozone layer depletion' contributes the highest environmental impact due to generation of Cl₂ gas during the incineration of waste plastics. In addition, the scenario 1(part reuse) is more environmentally sound than the scenario 2(no part reuse) when comparing two scenarios.

Key Words : Life Cycle Assessment, Personal Computer, End-of-Life, Recycle, Reuse

요약 : 전과정평가는 평가대상제품을 만들기 위한 원료물질의 채취, 운반, 제조, 사용 그리고 폐기단계에서 발생하는 환경부하를 정량화하고, 이들 각 단계에서의 환경에 미치는 영향을 평가하는 과정으로 이루어진다. 전과정평가 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 폐기단계에 있어서도, 다른 공정과 마찬가지로 신뢰성 있는 데이터가 요구된다. 본 연구에서는 PC(Personal Computer, 이하 PC로 표기) 폐기단계에서의 경로를 파악하였으며, 이를 토대로 부품을 재사용하는 경우와 재사용하지 않는 경우의 두 가지 시나리오를 구성한 후, 이에 대한 전과정 목록분석을 수행하였다. 이와 더불어 전과정 영향평가 기법을 통해 PC 폐기단계의 8개 영향범주에 대한 환경성 평가를 수행하여 주요 환경적 이슈를 규명하였다. 본 연구를 통해 PC 폐기단계가 가장 영향을 크게 미치는 범주는 두 개의 시나리오 모두에서 오존층고갈이었고, 폐기되는 합성수지의 소각에서 발생하는 Cl₂ 때문이었다. 또한 두 시나리오의 환경성을 평가한 결과 부품을 재사용하는 경우가 재사용하지 않는 경우보다 환경적으로 건전한 것으로 평가되었다.

주제어 : 전과정평가, 컴퓨터, 폐기단계, 재활용, 재사용

1. 서론

최근 전세계적으로 급속한 경제성장과 기술혁신으로 인해 대량의 공산품이 생산 및 소비되고 있으며 이 때문에 환경과 파괴가 가속화되고 있다. 국내에서도 이러한 대량생산 및 소비가 환경에 대해 큰 부담을 주고 있는 가운데 PC의 경우도, 1999년 이후 국민 PC정책으로 수요가 급증함에 따라 또 하나의 대량 생산 및 폐기 품목이 되었다. 한국전자산업환경협회에서 발간한 『폐컴퓨터의 회수·재활용 실태 평가 및 대책 마련을 위한 연구』 보고서¹⁾에 따르면, 1997년 68만5천여 대이었던 폐PC 발생량이 2005년에는 약 185만대가 발생한

것으로 추정되고 있다. 이러한 대량의 PC가 전과정에 걸쳐서 야기하는 환경영향 중에서, 폐기단계에서 발생하는 환경영향도 클 것으로 예상되고 있다. 따라서 본 논문에서는 전과정평가기법(Life Cycle Assessment; LCA)²⁾에 기초한 PC의 전과정 중에서 폐기단계의 전과정목록 DB³⁾를 구축하고, PC 폐기단계의 환경성을 평가하였다. PC 폐기단계의 전과정목록 DB 구축과 환경성평가는 두 개의 시나리오에 대하여 수행하였고, 이 두 개의 결과를 비교 및 분석하였다.

2. 연구 목적 및 범위 정의 (Goal and Scope Definition)

폐PC를 재사용/재활용하는 동안 야기되는 잠재적인 환경영향을 파악하기 위해서 연구 목적 및 범위 정위를 실시하였

[†] Corresponding author
E-mail: justdoiths@ajou.ac.kr
Tel: 031-219-2409

Fax: 031-215-5145

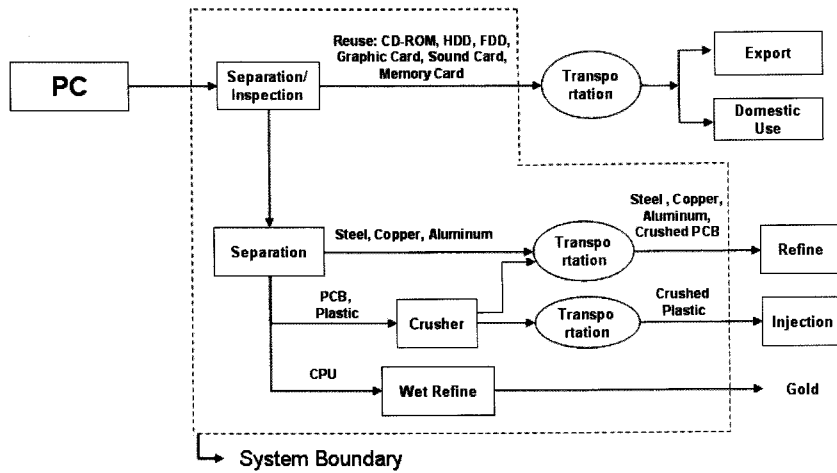


Fig. 1. Scenario 1: Flow Chart and System Boundary.

다. 영향평가는 ISO(International Organization for Standardization)에서 규정하고 있는 방법론(ISO 14041, 1998)⁴⁾을 이용하였다.

2.1. 연구의 목적

국내에서 사용된 PC의 회수, 재사용, 재활용 및 최종폐기 현황을 파악하고 이를 토대로 PC 대표모델을 선정하여, 두 개의 시나리오를 구성한 뒤 전과정평가 기법을 이용하여, PC 폐기단계에 대한 환경성을 평가하고 비교·분석하였다.

2.2. 연구의 범위

2.2.1. 기능

PC를 해체하여 부품을 재사용할 수 있게 하거나, 재질별로 재활용할 수 있게 하는 것.

2.2.2. 기능단위 및 참조흐름

폐기된 PC의 부품이 재사용되는 경우와 그렇지 못한 경우의 두 가지 시나리오로 나누어 연구를 진행하였다.

시나리오 1	재사용할 수 있는 부품(6개 부품)과 재활용할 수 있는 물질 및 폐기되는 물질을 포함하는 PC 1대
시나리오 2	재활용할 수 있는 물질 및 폐기되는 물질을 포함하는 PC 1대

2.2.3. 시스템 경계

본 연구에서는 PC의 전과정 중 폐기단계만을 시스템 경계로 정의하였고, 이를 Fig. 1과 Fig. 2에 명시하였다.

시스템 경계는 일련의 재활용 공정을 거쳐 나오는 산출물까지를 포함하고, 산출물이 다른 시스템 경계에 투입되는 것은 본 연구에서 제외하였다.

(1) 의사결정 기준

폐기되는 PC에서 재사용되는 부품과 재활용되는 물질을 얻기 위한 단위공정 및 관련 투입물/배출물을 연구대상으로 하였다. 부품 및 물질 생산과 직접적인 관련이 없거나 환경부하가 적을 것으로 판단되는 단위공정에 대해서는 연구 범위에서 제외하였다. 또한 누적무게, 누적에너지 및 환경 관련성 등을 cut-off 기준에 따라 본 연구에서 제외하였다. 이와 관련된 모든 의사결정 기준과 과정을 본문에 기술하였다.

(2) 단위 공정의 초기분석

두 가지 PC 폐기단계 시나리오에 대한 공정도를 Fig. 1과 Fig. 2에 도시하였다. 투입물로는 원자재, 부자재, 에너지 등이 존재한다. 원자재로는 폐기된 PC가 투입되고 부자재는 공정물질인 윤활유, 습식정련 공정에서의 염산, 질산, 가성소다 등이 투입된다. 에너지는 전력과 Diesel이 사용된다. PC 폐기 공정은 분리/해체, 검사, 파쇄, 습식정련 및 운송 등의 단위

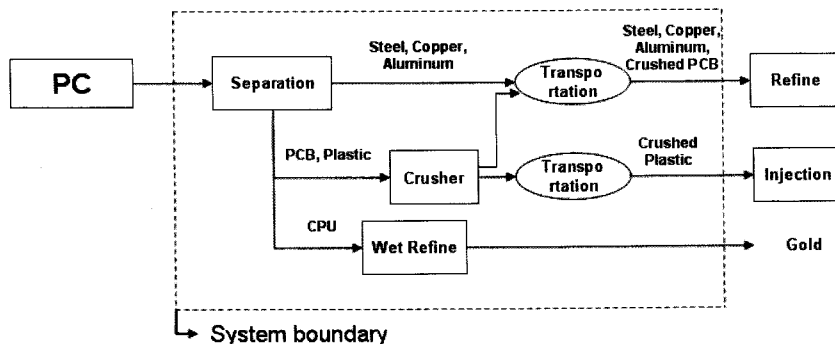


Fig. 2. Scenario 2: Flow Chart and System Boundary.

공정으로 구성된다. 이 과정에서 먼지, 염소 등의 대기배출물과 폐산/폐수 등의 수계배출물, 합성수지 등의 고형폐기물이 발생한다.

Fig. 1은 시나리오 1의 공정도와 시스템 경계를 나타내며, 폐기된 PC는 일련의 재활용공정을 거치면서 우선 재사용 될 수 있는 부품은 분리되어 국내에서 유통되거나 해외에 수출되고, 나머지는 분리/해체 공정을 통해 물질별로 분리되어 재활용된다. 이렇게 재사용 및 재활용되고 난 후의 나머지 부분은 폐기공정으로 넘어간다.

Fig. 2는 시나리오 2의 공정도와 시스템 경계를 나타내며, 폐기된 PC는 부품의 재사용 없이 바로 분리/해체 공정을 통해 물질별로 분리되어 재활용된다. 이렇게 재사용 및 재활용되고 난 후의 나머지 부분은 폐기공정으로 넘어간다.

(3) 데이터 품질의 요구 사항

1) 시간적 범위

폐기단계의 데이터는 2003년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 1년간의 데이터를 수집하였고, 기타 데이터베이스의 경우는 5년 이내의 데이터를 사용하였다.

2) 지역적 범위

지역적 경계는 투입되는 원/부자재의 경우 각 해당 생산지역이며, 폐기의 경우 대한민국으로 하였다.

3) 기술적 범위

기술적 경계는 대상제품을 폐기하는 업계의 공정 기술을 대상으로 하였다.

(4) 가정 및 제한사항

전과정평가 특성상 방대한 범위의 데이터 수집 및 가공 과정이 필연적으로 포함되기 때문에, 적절한 가정을 설정하면 데이터 수집 및 가공 과정에서의 노력 및 시간을 줄일 수 있다. 반면 수립된 가정이 얼마나 타당성 있게 설정되었는가에 따라 전과정평가 결과의 신뢰성이 좌우되므로, 본 연구에서는 가능한 한 합리적인 가정을 도출하고자 현장 기술자들의 의견을 최대한 수렴하여 가정들을 설정하였다.

3. 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)

목표 및 범위에서 정의된 제품 시스템에 대해 환경부하를 계산하기 위하여 전과정 목록분석⁴⁾을 아래와 같은 절차로 수행하였다.

3.1. 데이터 수집

데이터 수집은 재활용 공제조합에 등록된 6개 재사용 업체(수출업체 포함)와 6개 재활용 업체를 대상으로 설문조사, 데이터 검증을 위한 현장 조사 및 전화조사로 진행되었다. 설문서를 통해 조사된 데이터는 시간적 범위 안에서의 해당 공정 및 산출물에 대한 데이터이다. 데이터의 신뢰성과 정확

성을 위하여 업체 현장 방문, 유선통화 등을 통하여 잘못 기입된 데이터를 수정하거나, 할당을 수정하는 등의 과정을 반복 수행하였다. 현장 데이터를 수집할 수 없는 경우 데이터베이스 및 관련문헌을 조사하였다.

3.2. 단위 공정별 정량적/정성적 기술

3.2.1. 재사용 공정

폐PC는 다양한 회수경로를 거쳐 재사용업체로 모이고, 재사용 업체에서의 분리/검사 공정을 통해 다시 사용할 수 있는 부품은 재사용 부품으로 분류되어, 국내 및 해외로 유통된다. 분리/검사 시의 사용에너지는 전력으로 2개 재사용업체의 현장데이터를 토대로 각 재사용 부품 하나당 전력사용량을 산출하고, 물질수지를 이용하여 데이터검증을 하였다. 재사용 부품은 크게 Drive류(FDD, HDD, CD-ROM), 카드류(모뎀, 사운드카드, 그래픽카드, 메모리카드), 전기장치(케이블, 전원공급장치)로 구분된다. 재사용공정의 시스템경계에는 재사용 업체로 수집된 폐PC의 분리 및 검사가 포함된다. 운송부하의 경우 수집되는 부품 특성 및 상황에 따라 판매경로가 다양해서 불확실성이 큰 관계로 시스템경계에서 제외하였다.

3.2.2. 재활용 공정

(1) 분리/해체 공정

재사용 될 수 있는 부품들을 모두 분리한 후 남는 부분은 분리/해체공정으로 투입된다. 분리/해체 시의 사용에너지는 전력으로 업체의 현장데이터를 수집하여, 전력 상위공정에 대한 데이터베이스에 연결하였고, 각 대상 부품별 무게할당 방법을 수행하여 전력사용에 할당하고, 물질 수지를 이용하여 데이터검증을 하였다. 재활용될 수 있는 물질은 철, 구리, 알루미늄, PCB, 합성수지, 금 등이 있다. 분리/해체 공정을 거친 후의 잔여물질인 합성수지는 폐기된다.

(2) 파쇄 공정

PCB와 합성수지가 파쇄 공정으로 넘어간다. 본 연구에서는 6개 재활용업체를 현장 방문하여 업체의 현장데이터를 수집하고, 수집 데이터별로 기 구축된 데이터베이스에 연결하였다. PCB의 경우는 PCB에 대한 무게할당 방법을 수행하여 전력사용에 할당하고, 물질 수지를 이용하여 데이터를 검증하였다. 에너지로는 전력이 사용되었고 부자재로는 윤활유가 사용되었다. 합성수지 파쇄의 경우에는 업체조사의 어려움으로, '폐가전 제품 재활용 정보 개발'⁵⁾ 및 'LCA 기법연구'⁶⁾의 합성수지 파쇄 유사공정 데이터를 이용하였다.

(3) 운송

운송은 크게 업체 내에서 이루어지는 내부운송과, 분리/해체 및 파쇄 후 산출된 물질을 원료물질로 사용하는 생산업체까지의 외부운송으로 구분하였다. 내부운송은 업체에서 사용되는 경유량 데이터를 수집하여, 경유 연소에 대한 데이터베이스에 연결하여 환경부하를 산출하였다. 외부운송은 수

송에 관한 데이터 설문서를 바탕으로 1차 업체(분리/해체, 파쇄공정 업체)와 2차 업체(각 재질을 생산하는 업체, 또는 폐산/폐수의 위탁처리 업체)간의 거리, 사용되는 트럭용량, 적재량을 고려하여, 2차 업체까지의 One way 환경부하를 산출하였다. 외부운송의 경우 국가 데이터베이스의 불확실성으로 인해, 사용되는 경유 사용량을 계산한 후, 이를 경유 연소 데이터베이스에 연결하여 사용하였다.

(4) 습식정련

CPU로부터 금을 추출하는 현장의 데이터로부터 공정에 투입되는 원자재, 부자재 및 에너지와 공정으로부터 배출되는 폐산, 폐수 및 생산제품에 대한 정량적인 값을 산출하였다. 폐산 및 폐수는 위탁처리업체에 위탁처리 하고 있다. 폐산/폐수 위탁처리에 대한 국가 DB의 부재 및 현장데이터 수집의 어려움으로 인해, LCA 수행업체인 A사에서 구축해 놓은 폐산/폐수 유사 공정 자료를 이용하였다. 추후 폐산/폐수 위탁처리에 대한 업데이트 작업을 통해 보다 신뢰성 있는 LCA 값을 얻을 수 있다.

(5) 소각

분리/해체 공정에서 발생한 폐합성수지의 경우 1차로 사출업체로 운송된 후 75%는 재활용되고, 나머지 25%는 소각장으로 이송되어 처리된다. 소각공정의 경우 국가DB를 사용하였으며, 운송의 경우는 합성수지 분리/해체 업체로부터 사출업체까지의 운송은 고려하였으나, 합성수지 사출업체에서 소각장까지의 운송은 경로가 다양하고 불확실성이 큰 관계로 시스템경계에서 제외하였다. 플라스틱 소각에 대한 국가 LCI DB는 소각장 내부에서 일어나는 전력과 스팀 회수를 마이너스 환경부하로 고려하여 구축되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 플라스틱 소각에 대한 회피영향이 고려되었다.

3.3. 환경성목록 DB 구축 결과

각 시나리오별 LCI를 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 본 논문에서는 각 DB의 Parameter 중 Input 5개, Output 5개만을 명시하였다.

Table 1. LCI of Scenario 1

Direction	Group	Dist. Media	Parameter	Unit	Amount
INPUT	Resource	Soil	Crude oil	kg	2.18E-01
INPUT	Resource	Soil	Coal	kg	8.93E-02
INPUT	Resource	Soil	NaCl	kg	5.95E-02
INPUT	Resource	Soil	Natural gas	kg	4.55E-02
INPUT	Resource	Soil	Hard coal	kg	1.04E-02
OUTPUT	Emission	Air	CO ₂	kg	1.00E+00
OUTPUT	Emission	Air	Dust	kg	1.73E-03
OUTPUT	Emission	Water	SS	kg	1.21E-01
OUTPUT	Emission	Water	COD	kg	7.64E-02
OUTPUT	Emission	Water	BOD	kg	5.72E-02

Table 2. LCI of Scenario 2

Direction	Group	Dist. Media	Parameter	Unit	Amount
INPUT	Resource	Soil	Crude oil	kg	2.30E-01
INPUT	Resource	Soil	Coal	kg	1.01E-01
INPUT	Resource	Soil	NaCl	kg	5.99E-02
INPUT	Resource	Soil	Natural gas	kg	4.78E-02
INPUT	Resource	Soil	Hard coal	kg	1.04E-02
OUTPUT	Emission	Air	CO ₂	kg	1.22E+00
OUTPUT	Emission	Water	SS	kg	1.22E-01
OUTPUT	Emission	Water	COD	kg	7.69E-02
OUTPUT	Emission	Water	BOD	kg	5.75aE-02
OUTPUT	Emission	Water	Dissolved solids	kg	1.85E-03

시나리오 1은 부품을 재사용하는 경우로서 Table 1의 대표적인 Input Parameter로는 Crude Oil과 Coal, NaCl, Natural Gas 그리고 Hard Coal이 있다.

· 시나리오 2는 부품을 재사용하지 않는 경우로서 Table 2의 Output Parameter로는 CO₂와 SS, COD, BOD 그리고 Dissolved solids가 있다.

4. 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment)와 주요 이슈 규명

폐PC를 재사용/재활용하는 동안 야기되는 잠재적인 환경영향을 파악하기 위해서 영향평가를 실시하였다. 영향평가는 ISO(International Organization for Standardization)에서 규정하고 있는 방법론(ISO 14042, 2000)⁷⁾을 이용하였다.

4.1. 전과정 영향평가

전과정영향평가의 절차는 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여의 순서이고, 이 순서에 맞춰 환경영향을 도출하고 이를 토대로 주요이슈를 규명하였다. 영향평가 과정에서 분류화는 8개 세부 영향범주로 분류하였다. 무생물자원고갈(ARD), 지구온난화(GW), 오존층고갈(OD), 산성화(AD), 부영양화(Eut), 광화학산화물생성(POC), 생태독성(ET), 인간독성(HT)이 포함된다. 이 중 생태독성은 수계생태독성(FAET)만을 포함하고 그 외의 해양생태독성(MAET), 토양생태독성(TET)은 제외하였다. 특성화 단계에서는 상용인자 모델(Impact Potential Approach)을 바탕으로 각각의 환경부하에 해당하는 상용인자 값을 곱하여 잠재적인 환경영향을 파악하였고, 정규화 단계와 가중치 부여 단계에서는 국내에서 산출된 기준값과 팩터값⁸⁾을 사용하여 계산하였다.

4.2. 주요 환경적 이슈 규명

본 절에서는 각각의 시나리오별 환경영향의 기여도를 Dominance Analysis를 통해 규명하였다. 시나리오 1의 결과는 Table 3과 Fig. 3 그리고 Table 4에, 시나리오 2의 결과는 Table 5와 Fig. 4 그리고 Table 6에 나타내었다.

Table 3. Scenario 1 ; Contribution of each activity

Impact Category	Total	Reuse	Steel	Copper	Aluminum	Plastic	CPU	PCB
ARD	19.49%	0.03%	1.40%	0.05%	0.02%	0.11%	16.24%	1.65%
AD	0.57%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.01%	0.52%	0.05%
ET	4.56%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.74%	5.28%	0.01%
Eut	1.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.01%	1.76%	0.00%
GW	19.00%	0.06%	1.13%	0.04%	0.02%	11.54%	4.15%	2.07%
HT	1.07%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%	1.03%	0.01%
OD	53.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	49.65%	3.82%	0.00%
POC	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.08%	0.00%

Table 4. Scenario 1: Key parameters of each impact category

Impact Category	Parameter	CI	NI	WI
ARD	Crude oil	5.42E-03	2.18E-04	5.028E-05
	Coal	4.12E-04	1.65E-05	3.820E-06
AD	Nitrogen oxides(NOx)	8.45E-04	2.12E-05	7.576E-07
	Sulfur dioxide(SO ₂)	8.11E-04	2.04E-05	7.276E-07
ET	PAH	3.00E-03	8.30E-05	1.195E-05
	Phenol	6.55E-05	1.81E-06	2.607E-07
Eut	COD	1.68E-03	1.29E-04	4.884E-06
	Phosphate(PO ₄ ³⁻)	1.03E-07	7.92E-09	3.006E-10
GW	Carbon dioxide(CO ₂)	1.00E+00	1.81E-04	5.209E-05
	Nitrous oxide(N ₂ O)	9.11E-03	1.65E-06	4.739E-07
HT	PAH	3.06E-02	2.06E-05	2.166E-06
	Hydrogen fluoride(HF)	3.78E-03	2.55E-06	2.677E-07
OD	Chlorine(Cl ₂)	2.06E-05	5.08E-04	1.485E-04
	Halon-1301	2.20E-08	5.42E-07	1.585E-07
POC	Sulfur dioxide(SO ₂)	3.89E-05	3.28E-06	2.144E-07
	Carbon monoxide(CO)	3.72E-06	3.13E-07	2.047E-08

Table 5. Scenario 2: Contribution of each activity

Impact Category	Total	Steel	Copper	Aluminum	Plastic	CPU	PCB
ARD	17.46%	1.34%	0.04%	0.18%	0.11%	13.83%	1.95%
AD	0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.01%	0.44%	0.05%
ET	3.73%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.79%	4.50%	0.02%
Eut	1.49%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.01%	1.50%	0.00%
GW	19.56%	1.08%	0.03%	0.14%	12.31%	3.53%	2.46%
HT	0.92%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%	0.88%	0.01%
OD	56.25%	0.00%	0.00%	0.00%	53.00%	3.25%	0.00%
POC	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%	0.00%

그리고, 이 두 시나리오에 따른 데이터를 Table 7과 Fig. 5에서 비교하였다.

Table 3에서 시나리오 1이 가장 크게 영향을 미치는 곳은 오존층고갈(OD)이고, 이는 폐기되는 합성수지의 소각 때문이다.

Fig. 3에서 시나리오 1이 두 번째로 크게 영향을 미치는 곳은 무생물자원고갈(ARD)이다(CPU에서 금을 추출하기 위해 사용되는 약품제조에 많은 자원이 소비된다).

Table 4에서 시나리오 1의 오존층고갈(OD)의 영향은, 폐합성수지 소각시 발생하는 Cl₂에 의한 것이라는 것을 알 수 있다.

Table 5에서 시나리오 2가 가장 크게 영향을 미치는 곳이 역시 오존층고갈(OD)이고, 폐기되는 합성수지의 소각 때문이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에서 시나리오 2가 두 번째로 크게 영향을 미치는 곳은 지구온난화(GW)이고, 그 이유는 폐합성수지의 소각에 기인한 것이라는 것을 알 수 있다. 시나리오 1과 비교해 볼 때, 두 번째로 큰 영향 범주가 무생물자원고갈(ARD)에서 지구온난화(GW)로 바뀌었는데, 이는 시나리오 2에서 재활용 공정 중 발생하는 폐합성수지 처리량이 증가하여 CO₂ 발생량이 상대적으로 증가하였기 때문이다.

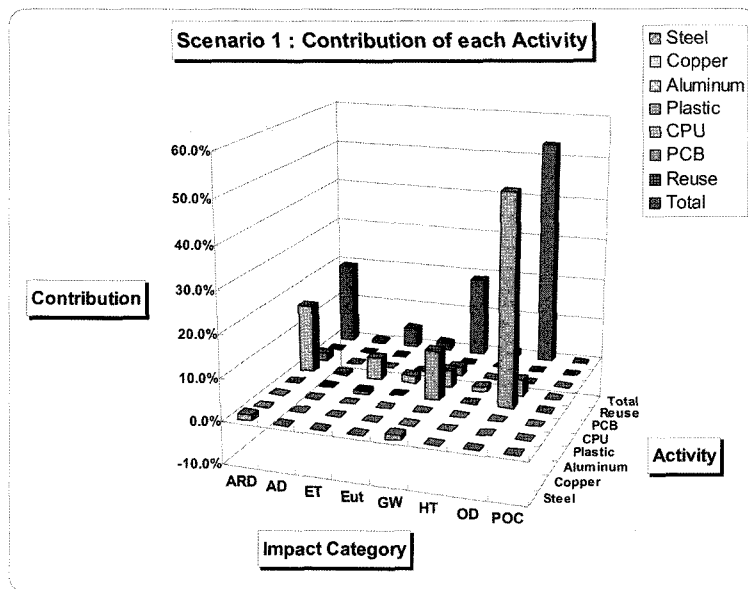


Fig. 3. Scenario 1: Contribution of each activity.

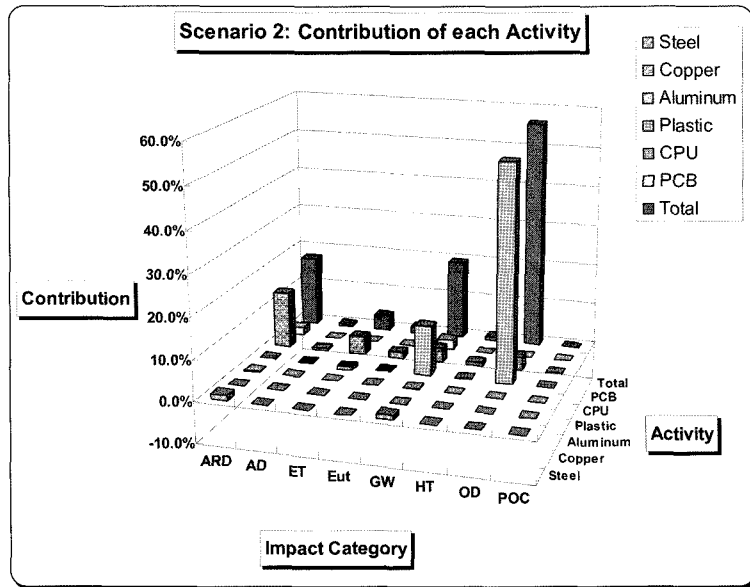


Fig. 4. Scenario 2: Contribution of each activity.

Table 6. Scenario 2: Key parameters of each impact category

Impact Category	Parameter	CI	NI	WI
ARD	Crude oil	5.71E-03	2.29E-04	5.29E-05
	Coal	4.68E-04	1.88E-05	4.34E-06
AD	Nitrogen oxides(NO _x)	8.59E-04	2.16E-05	7.70E-07
	Sulfur dioxide(SO ₂)	8.33E-04	2.09E-05	7.47E-07
ET	PAH	2.88E-03	7.96E-05	1.15E-05
	Phenol	6.65E-05	1.84E-06	2.64E-07
Eut	COD	1.69E-03	1.29E-04	4.91E-06
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	1.00E-07	7.65E-09	2.90E-10
GW	Carbon dioxide(CO ₂)	1.22E+00	2.21E-04	6.35E-05
	Nitrous oxide(N ₂ O)	9.20E-03	1.66E-06	4.78E-07
HT	PAH	2.80E+05	1.98E-05	2.08E-06
	Hydrogen fluoride(HF)	2.85E+03	2.76E-06	2.90E-07
OD	Chlorine(Cl ₂)	2.57E-05	6.32E-04	1.85E-04
	Halon-1301	2.11E-08	5.20E-07	1.52E-07
POC	Sulfur dioxide(SO ₂)	4.00E-05	3.37E-06	2.20E-07
	Carbon monoxide(CO)	3.81E-06	3.21E-07	2.10E-08

Table 6에서 시나리오 2의 오존층고갈(OD)의 영향은, 역시 폐합성수지 조각시 발생되는 Cl₂에 의한 것이라는 것을 알 수 있다.

Table 7에서 두 시나리오를 비교해보면 시나리오 1(2.78E-04)이 시나리오 2(3.29E-04)에 비해 환경부하가 16% 정도 작다는 것을 알 수 있다.

Table 7. Comparison of the environmental impact of the two scenarios

	Steel	Copper	Aluminum	Plastic	CPU	PCB	Reuse	Total
Scenario 1	7.10E-06	2.43E-07	1.09E-07	1.68E-04	9.14E-05	1.05E-05	2.38E-07	2.78E-04
Scenario 2	8.04E-06	2.45E-07	1.09E-06	2.12E-04	9.20E-05	1.48E-05		3.29E-04

Fig. 5에서 시나리오 1과 시나리오 2 두 경우 모두, 제일 크게 영향을 미치는 것은 합성수지에 의한 것(폐합성수지의 조각)임을 알 수 있다.

5. 결론

제품의 전과정을 통해 발생하는 환경영향이 중요한 이슈로 고려되면서, 특정 제품 및 공정의 환경성을 합리적으로 평가할 수 있는 방법론의 개발과 더불어, 제품 전과정에 걸쳐 투입/배출되는 물질 및 에너지에 대한 신뢰성 있는 데이터베이스 구축의 필요성이 증가하고 있다. 따라서, 시간, 공간, 기술적 변화에 따라 전과정 목록분석 데이터베이스를 업데이트시켜야, 구축된 데이터베이스를 토대로 PC 폐기단계에 대한 환경성 평가를 수행할 수 있다.

본 연구에서는 PC 폐기단계에 대한 국내 현황 및 폐기경로 조사, 재사용 및 재활용되는 물질별/재질별 국내 데이터베이스 구축, 그리고 부품 재사용 유무에 따른 두 가지 시나리오에 대한 환경성 평가를 수행하여, PC 폐기단계의 환경부하를 정량화하고 주요 이슈를 규명하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

PC 구성부품(CD-ROM, HDD, FDD, 사운드카드, 그래픽카드, 메모리카드)은 재사용을 위해 분리한 후 잔여 부분을 재질별로 재활용하고 폐기할 때(시나리오 1)와, 부품 재사용 없이 물질별로 재활용하고 폐기할 때(시나리오 2) 두 경우 모두, 오존층고갈(OD)에 많은 영향을 미친다. 이는 합성수지의 폐기공정인 조각으로 인한 Cl₂의 발생량이 많기 때문이다.

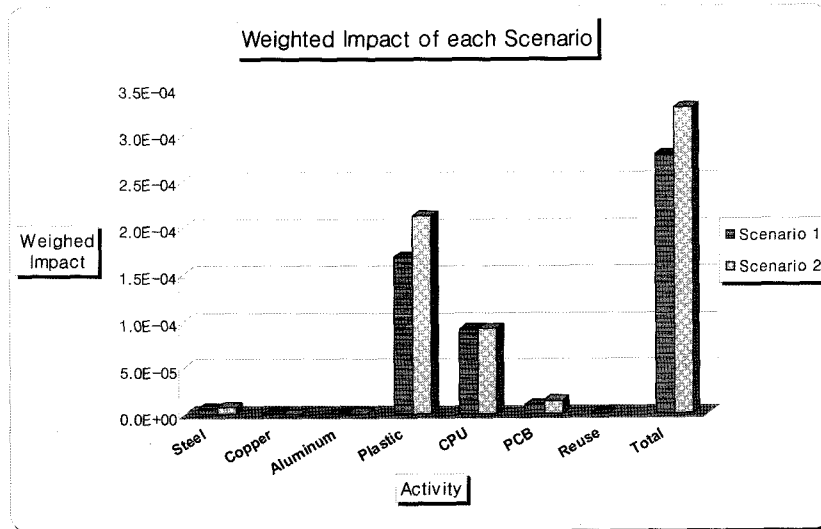


Fig. 5. Comparison of the environmental impact of the two scenarios.

즉, 합성수지 조각공정이 key activity로 규명되었으며, Cl₂가 key parameter로 규명되었다. 규명된 주요 이슈를 기반으로 합성수지의 재사용 가능성 증대 강구, Cl₂ 발생이 적은 합성수지 사용 등의 개선책을 수립하고 개선평가를 수행해야 한다.

각각의 시나리오를 비교해보면 시나리오 1(2.78E-04)이 시나리오 2(3.29E-04)에 비해 환경부하가 16% 정도 작음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 설정한 시스템경계 내에서 부품을 재사용(분리)하는 공정이 물질을 재활용하는 공정보다 적은 환경영향을 야기하기 때문으로 분석된다. 차후 연구로 시스템경계를 넓혀 부품 재사용과 물질 재활용에 대한 마이너스 환경영향까지 고려한다면, 부품을 재사용함으로써 그만큼 부품생산 공정에서의 물질 및 에너지 사용량이 감소되고, 이로 인한 재료 생산공정에서의 환경부하도 감소되므로 두 시나리오의 환경영향 차이는 더 커질 것으로 예상된다. 또한, 환경성 지수에 경제성 지수까지 고려한 Eco-efficiency 방법론을 이용해 환경성과 경제성을 동시에 고려하면, 지속가능성의 정도를 정량적으로 파악할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 『폐전기전자기기의 토달리싸이클링 기술개발사업』의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 한국전자산업환경협회, 폐컴퓨터의 회수·재활용 실태 평가 및 대책 마련을 위한 연구(2002).
2. Lee, K. M. and Atsushi Inaba, "Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series"(2004).
3. 국가청정생산지원센터, 국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리·보급확산 방안(2004).
4. ISO 14041, Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (1998).
5. 산업자원부, 폐가전 제품 재활용 정보 개발(2002).
6. 삼성전자 기술총괄 생활시스템연구소, LCA 기법연구(1997).
7. ISO 14042, Environmental management - Life cycle assessment - Life Cycle Impact Assessment(2000).
8. 산업자원부, 환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화사업(2003).