

PC 구성물질에 관한 LCA 사례연구

이 성 호²⁾

상지대학교 산업공학과

A LCA Case Study on Basic Materials of PC

Sung-Ho Lee

Dept. of Industrial and System Engineering, Sangji University

In this paper, the life cycle assessment(LCA) methodology is applied to Personal Computer's basic materials in order to analyze the impact to the environment. LCA data collection is carried out taking into account on main materials of PC's parts and component. And the impact assessment is the environmental burden on three factor into air emission(CO₂, SO_x, NO_x), five factor into water emission(BOD, COD, SS, N, P), and three factor on transported substance(Cl, NH₄, SO₄). According to the result, the environmental burden of PC's basic materials was proved to be used total energy 6,285Mj and emitted CO₂ 259.8kg, SO_x 3,571g, NO_x 330g, COD 1,328g, P 246g, N 2,434g. And this paper was presented the problems of its disposition-incinerating, landfill, and recycling.

Keywords : CA, basic materials, PC, disposition

1. 서 론

산업사회에서 정보화 사회로 접어들면서 휴대전화, TV, PC 등 각종 디지털 기기의 이용이 늘어남에 따라 이들 기기의 사용 후의 폐기물도 증가하고 있으며, 이들 폐기물이 인간의 건강을 위협하거나 자연환경을 오염시키고 있다. 특히 정보혁명의 선두 주자로 알려진 PC는 첨단제품이기 때문에 환경에 미치는 영향이 적을 것으로 인식되어 왔으나, 이들은 원자재 추출, 가공, 제품의 생산, 이용, 폐기의 모든 수명주기단계에서 많은 양의 유해물질을 사용하거나 배출하는 것으로 알려지고 있다. PC에는 많은 양의 중금속과 유해물질이 포함되어 있다. 컴퓨터에 사용되는 주요 유해물질은 납, 카드뮴, 수은, 6가 크롬, PVC, 브롬처리 방염물질 등이다[19]. 아울러 빠른 기술발전의 의하여 PC의 수명주기도 점차 단축되고 있기 때문에 발생하는 폐기량도 엄청나게 증가 할 것으로 예상된다.

이러한 문제를 해결하는 방안의 하나로 기업의 환경, 보

건, 안전에 대한 책임이 공장의 출구에서 이용, 폐기까지의 모든 단계에까지 확대되고 있는 것이 세계적 흐름이다. 자재선택, 가공처리, 그리고 제품설계에서의 환경적 고려뿐만 아니라 독성물질, 안전보건까지도 고려하는 경향으로 흐르고 있으며, 이에 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다. LCA에 관한 연구는 LCA의 방법론의 개발[2, 3, 8, 10], LCA에 이용되는 데이터 지표와 데이터 개발 및 구축[6, 9, 13, 15], 경제적으로 이용할 수 있는 LCA용 소프트웨어의 개발, 그리고 각 산업별로 LCA 사례분석[5, 11, 12, 14] 분야 등이 있다.

이러한 상황에서 환경에 큰 영향을 미치고 있는 PC에 대하여 원자재추출, 가공처리, 생산, 이용, 폐기단계에 대한 전과정평가가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 그러나 PC는 다른 전자제품과 마찬가지로 공급사슬이 복잡하기 때문에 모든 단계에서의 환경부하량을 정확히 산출하기가 어려운 실정이다(NEC에서 자사 PC에 대한 LCA를 CO₂ 배출량에 대해서만 실시한 바 있음(www.nec.co.jp/eco/en/donw-

* 본 연구는 2002년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의한 것임

load/pdf/annuale20)). 따라서 본 연구에서는 PC를 구성하고 있는 주요물질에 대하여 LCA 기법에 의하여 이들 물질이 환경에 미치는 부하량을 측정하고자 한다. 우리나라에는 이들 물질의 환경부하량에 대한 DB가 구축되어 있지 않으므로 지리적 특성과 공급사슬의 유사성을 감안하여 일본의 DB[17]를 이용하여 PC의 구성물질에 대한 LCA가 실시되어 질 예정이다. 아울러 이들 구성물질로 인하여 이용 후 수명이 다한 PC 처리 시의 문제점을 언급하고, 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있는 해결방안을 제시하고자 한다.

2. LCA 분석

2.1. 범위와 대상제품

본 연구의 목적은 PC 제조에 사용된 구성물질에 의해서 수반되는 환경영향의 입증과 평가에 있다. 연구를 행하는 주된 이유는 PC제조에 사용되는 물질로 인한 잠재적 환경영향 중에서 대기, 수계, 그리고 수송 중에 배출되는 물질을 파악하는 것이다.

연구대상 PC는 중량 60lb의 Desktop PC로 주요 구성물질과 이용되는 위치는 <표 1>과 같다. 구성물질별 PC 1대당 차지하는 중량은 Silica 14.9, Plastics 13.8, Iron 12.3, Aluminum 8.5, Copper 4.2, Lead 3.8, Zinc 1.3, Tin 0.6, Nickel 0.5lb를 차지하고 있다고 알려져 있다.[15]

일반적으로 다른 제품과 마찬가지로 PC의 투입-수명주기단계-산출은 <그림 1>과 같이 자재, 에너지, 자원이 투입되어 원자재 추출 및 취득, 자재가공처리, 제품 제조, 제품 이용, 유지, 수리, 최종 폐기단계의 수명주기를 거쳐, 제품과 폐기물이 산출된다. 이 과정을 단계별로 간단히 설명하면 다음과 같다.

- 자재 추출 및 취득: |재생물질의 채광, 생물자원 채취, 그리고 원자재의 처리시설까지의 수송을 포함한 천연자원의 취득과 관련된 활동
- 자재 가공처리: |조 단계의 준비를 위한 반응, 분리, 정제, 그리고 개조 단계에 의한 천연자원의 처리
- 제품 제조: |퓨터를 제조하기 위한 자재 처리와 구성부품 조립
- 제품 이용, 유지, 수리: |퓨터가 고객까지 운송되어 이용되고, 고객의 가정이나 서비스 센터 또는 제조 설비에서 유지와 수리
- 종폐기: |용수명이 끝나서 컴퓨터가 은퇴되어지고, 이용 가능한 부품의 재이용, 재활용이 경제적 타당성이 있다면, 제품은 적절한 시설로 수송되어 분해되며, 회수 불가능한 부품과 자재는 적절한 설비로 수송되어 처리된 후 폐기

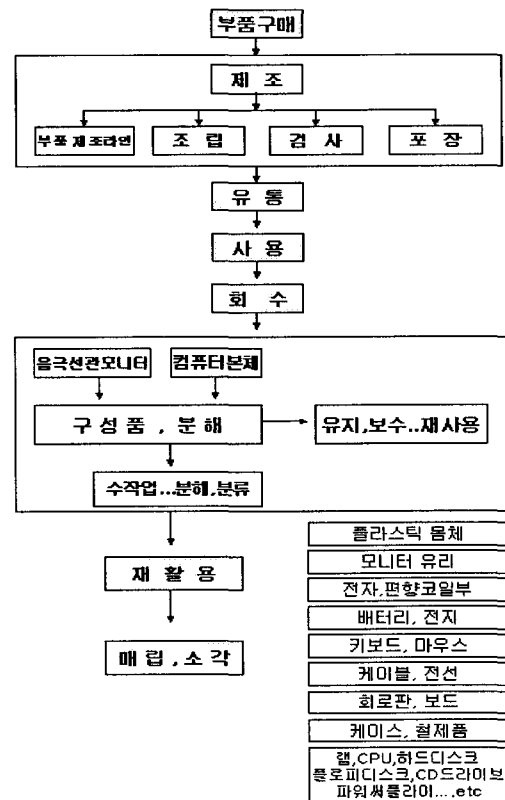
또한 PC의 생산에서 폐기에 이르는 과정은 <그림 2>와 같이 부품구입과정을 거친 후 제조되며, 유통, 이용, 회수의 주요단계를 거치고 있다. 일단 회수된 PC는 재활용, 매립, 소각하여 폐기되고 있다.

따라서 본 연구의 분석범위는 <그림 1>의 수명주기단계 이전에 PC를 제조하기 위하여 이용된 부품 또는 구성품을 구성하는 기초물질로 한정한다. 이 단계에서의 데이터는 현장에서 직접 측정된 것이 아니라, 일본의 DB를 이용하였다. 이러한 이유는 국내에는 관련 물질의 공급사슬에 대한 정확한 데이터를 확보하기가 어렵고, 기초물질에 대한 환경부하량 DB가 없기 때문이다.

INPUTS	LIFE-CYCLE STAGES	OUTPUTS	
Materials	원자재 추출 및 취득	→ Wastes	
	자재 가공처리		
Energy	제품 제조		→ Products
Resources	제품 이용, 유지, 수리		
	최종 폐기		

<그림 1> PC의 Life-cycle 단계

(source : zapagic, A.)



<그림 2> PC의 생산 및 폐기과정

<표 1> Desktop PC의 구성물질

구성물질	총중량비 (%)	중량 (lbs)	리사이클링 효율(%)	이용/위치
Aluminum	14.1723	8.503	80	structural, conductivity/housing, CRT, PWB, connectors
Antimony	0.0094	< 0.1	0	diodes/housing, PWB, CRT
Arsenic	0.0013	< 0.1	0	doping agents in transistors/PWB
Barium	0.0315	< 0.1	0	in vacuum tube/CRT
Beryllium	0.0157	< 0.1	0	thermal conductivity/PWB, connectors
Bismuth	0.0063	< 0.1	0	wetting agent in thick film/PWB
Cadmium	0.0094	< 0.1	0	battery, glu-green phosphor emitter/housing, PWB, CRT
Chromium	0.0063	< 0.1	0	decorative, hardener/(steel) housing
Cobalt	0.0157	< 0.1	85	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Copper	6.9287	4.192	90	conductivity/CRT, PWB, connectors
Europium	0.0002	< 0.1	0	phosphor activator/PWB
Gallium	0.0013	< 0.1	0	semiconductor/PWB
Germanium	0.0016	< 0.1	0	semiconductor/PWB
Gold	0.0016	< 0.1	99	connectivity, conductivity/PWB, connectors
Indium	0.0016	< 0.1	60	transistor, rectifiers/PWB
Iron	20.4712	12.283	80	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Lead	6.2988	3.779	5	metal joining, radiation shield/CRT, PWB, connectors
Manganese	0.0315	< 0.1	0	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Mercury	0.0022	< 0.1	0	batteries, switches/housing, PWB
Nickel	0.8503	0.510	80	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Niobium	0.0002	< 0.1	0	welding allow/housing
Palladium	0.0003	< 0.1	95	connectivity, conductivity/PWB, connectors
Plastics	22.9907	13.794	20	includes organics, oxides other than silica
Platinum	0		95	thick film conductor/PWB
Rhodium	0		50	thick film conductor/PWB
Ruthenium	0.0016	< 0.1	80	resistive circuit/PWB
Selenium	0.0016	0.0001	70	rectifiers/PWB
Silica	24.8803	14.928	0	glass, solid state devices/CRT, PWB
Silver	0.0189	< 0.1	98	conductivity/PWB, connectors
Tantalum	0.0157	< 0.1	0	capacitors/PWB, power supply
Terbium	0	0	0	green phosphor activator, dopant/CRT, PWB
Tin	1.0078	0.605	70	metal joining/PWB, CRT
Titanium	0.0157	< 0.1	0	pigment, alloying agent/(aluminum) housing
Vanadium	0.0002	< 0.1	0	red phosphor emitter/CRT
Yttrium	0.0002	< 0.1	0	red phosphor emitter/CRT
Zinc	2.2046	1.323	60	battery, phosphor emitter/PWB, CRT

Desktop PC의 중량 : lbs기준

source : www.svtc.org/cleance/pubs/ppc-ttv1.pdf[18]

2.2 제품시스템 영역과 Fuctional unit(FU)

연구대상 PC의 시스템은 <그림 1>의 수명주기단계와 <그림 2>의 부품구입부터 최종폐기의 단계를 갖는 것으로 가정한다. 또한 본 연구에서 Inventory data를 위한 FU는 <표 1>의 60lb의 Desktop PC의 구성물질로 한정한다. PC의 주요 구성물질 중에서 98% 이상을 차지하는 주요 9종 물질, 즉 Silica, Plastics, Iron, Aluminum, Copper, Lead, Zinc, Tin, Nickel과 나머지 물질은 통합하여 기타물질로 분류하였고, 이들 구성물질의 중량기준으로 배출 물질을 할당하였다. 여기서 9종의 구성물질을 선정할 이유는 <표 1>의 자료에서 중량이 0.05%미만에 대해서는 정확한 중량이 제시되지 않았기 때문이다. 물론 9종 물질 이외의 기타 물질이 9종의 물질보다도 환경에 미치는 영향이 더 클 수도 있으나 여기에서는 기타물질로 분류하여 이들에 대한 환경부하량을 환산하는 방식을 택하였다.

2.3 영향평가 방법

본 연구의 영향평가과정은 먼저 PC의 구성물질을 파악하고, 이들 구성물질이 PC에서 차지하는 중량기준에서 부품이나 구성품에 사용되는 주요물질 사용량과 환경으로 배출하는 부하량을 산출하였다. 그리고 영향평가 범주는 에너지 사용량과 대기로의 배출물질 CO₂, SO_x, NO_x, 수계로의 배출물질 BOD, COD, SS, N, P, 그리고 수송 중에

발생하는 물질 NH₄, Cl, SO₄를 선정하였다.

2.4 목록분석

목록분석은 PC의 주요 구성물질의 종류와 양에 따라 에너지 소모량과 환경물질별 배출량을 산출하였다. 주요 구성물질별 대기, 수계, 수송에 관한 환경지표는 <표 2>와 같다. 주요 구성물질에 환경배출량은 일본의 DB[17]에서 주요 물질별로 1ton기준으로 산출된 배출량을 선택하여 실제로 PC에 이용된 구성물질의 중량을 기준으로 환산하여 계산하였다. 예를 들면, PC의 구성물질 중 24.89%를 차지하는 Silica의 경우 PC의 부품이나 구성품에 이용할 수 있는 형태의 자재로 만들기 위해서는 1ton당 에너지 433MJ이 필요하며, 대기로 CO₂ 29kg, SO_x 74g, NO_x 60g, 수계로 BOD 136g, COD 71g, SS 181g, N 45g, P 35g, 그리고 이 물질을 수송하는데 NH₄ 25g, Cl 60g, SO₄ 2141g이 배출된다.

2.5 영향평가 결과

PC 1대당 구성물질 기준에서 환경에 미치는 영향은 <표 2>의 구성물질별 환경지표를 근거로 1대의 PC에서 차지하고 있는 구성물질별 중량으로 환경부하량(CO₂ : 3, 나머지 :)이 계산되었다. 영향평가 결과는 <표 3>에서와 같이 1대의 PC를 제조하기 위한 구성물질을 만드는데 들어가는

<표 2> 주요 구성물질의 환경지표

구성물질	단위	에너지 (MJ)	대 기			수 계					수송된 물질		
			CO ₂ (kg)	SO _x (g)	NO _x (g)	BOD (g)	COD (g)	SS (g)	N (g)	P (g)	NH ₄ (g)	Cl (g)	SO ₄ (g)
Silica	ton	433	29	74	60	136	71	181	45	35	25	60	2141
Plastics	ton	58225	7153	12536	4965	69178	76600	802294	143397	13957	21344	50337	47811
Iron	ton	390978	32685	139909	45381	66589	140196	137112	271637	5615	6611	3278	12106
Aluminum	ton	35120	2760	14260	3440	4980	3200	8520	1300	2220	940	7140	32780
Copper	ton	54976	3950	442159	5235	8296	9605	9296	1801	3277	4845	6871	23768
Lead	ton	33685	3085	407841	3506	7148	4769	4447	962	1631	550	8346	4990
Zinc	ton	41363	3001	500382	3716	5986	5377	7602	1371	2158	791	13163	6609
Tin	ton	237495	16670	2170619	19085	66481	58317	79007	27749	14873	25684	64377	201945
Nickel	ton	150930	12160	952695	14156	51946	36388	62930	15964	18129	10889	32631	81322
others	ton	111467	9055	515608	11060	31193	37169	123487	51580	6877	7964	20689	45941
total	ton	1,114,672	90,548	5,156,083	110,604	311,933	371,692	1,234,876	515,806	68,772	79,643	206,892	459,413

source : : atabase of Environmental load of 4000 Social Stocks[17]

주) Aluminum은 DB에 가격 기준으로 제시되어 있으나, 이를 ton단위로 환산한 수치임.

others는 상위 9개의 구성물질 이외의 물질로 상위 9개의 평균값으로 환산한 수치임.

<표 3> 주요 구성물질의 부하량

구성물질	총 중량비 (%)	중량 (lbs)	중량(g)	에너지 (Mj)	대 기			수 계					수 승		
					CO ₂ (kg)	SO _x (g)	NO _x (g)	BOD (g)	COD (g)	SS (g)	N (g)	P (g)	NH ₄ (g)	Cl (g)	SO ₄ (g)
Silica	24.8803	14.928	6,771.22	2.93	0.20	0.50	0.41	0.92	0.49	1.23	0.31	0.24	0.17	0.41	14.50
Plastics	22.9907	13.794	6,256.85	3679.93	44.75	78.43	31.06	432.78	479.21	5019.15	897.09	187.32	87.32	133.53	299.11
Iron	20.4712	12.283	5,571.47	2177.75	182.09	779.29	252.77	370.90	780.89	763.71	1513.02	31.22	36.82	18.26	266.31
Aluminum	14.1723	8.503	3,856.89	135.423	10.64	54.99	13.27	19.20	12.34	32.85	5.01	8.56	3.63	27.53	126.40
Copper	6.9287	4.192	1,901.46	104.45	7.51	840.10	9.95	15.76	18.25	17.66	3.4	6.23	9.21	13.06	45.16
Lead	6.2988	3.779	1,714.12	57.27	5.25	693.33	5.96	12.15	8.11	7.56	1.64	2.77	0.94	14.19	18.48
Zinc	2.2046	1.323	600.10	24.82	1.80	300.23	2.23	3.59	3.23	4.56	0.82	1.30	0.48	7.90	3.97
Tin	1.0078	0.605	274.42	64.12	4.50	586.07	11.45	17.95	15.75	21.33	7.49	4.02	6.94	17.38	54.53
Nickel	0.8503	0.510	231.33	34.71	2.80	219.12	3.26	11.95	8.37	14.47	3.67	4.17	4.17	7.51	18.70
others	0.1950	0.083	37.65	4.19	0.34	19.39	0.42	1.17	1.40	4.64	1.94	0.26	0.26	0.78	17.27
total	100	60	27,215.52	6,285.593	259.88	3,571.45	330.78	886.37	1,328.04	5,887.16	2,434.39	246.09	149.94	240.55	864.43

에너지 총사용량은 6,285Mj이며, 이들 구성물질을 만드는 과정에서 대기로의 배출물질인 CO₂ 259kg, SO_x 3,571g, NO_x 330g, 수계로의 배출물질인 BOD 886g, COD 1,328g, SS 5,887g, N 2,434g, P 246g, 그리고 수송과정에서 NH₄ 149g, Cl 240g, SO₄ 864g이 배출되는 것으로 나타났다. 배출물질 중에서 CO₂는 지구의 온난화, SO_x, NO_x는 토양의 산성화, 그리고 COD, P, N는 수질의 부영양화에 영향을 미치는 물질로 알려져 있다.

3. 개선 방안

PC의 구성물질에 대한 LCA 분석 결과에서 알 수 있듯이 에너지 사용량과 대기, 수계, 그리고 수송단계에서 배출하는 환경부하량 기준에서 환경에 커다란 영향을 미칠 것으로 추정된다. 또한 이러한 물질로 제조된 PC는 수명이 다한 후의 처리단계에서도 환경에 부담을 줄 것으로 예측된다. 현재 수명이 다한 PC의 처리는 <그림 2>와 같이 매립, 소각, 재활용 방법이 이용되고 있으나, 이들 방법에 의한 처리는 유해물질의 배출로 인하여 수계, 토양, 그리고 대기 오염을 가속화시키고 있으며, 이로 인한 환경 문제가 심각하게 제기될 가능성이 매우 높다. 따라서 먼저 수명이 다한 PC 처리방법의 문제점을 살펴보고, 다음으로 PC의 구성물질로 인한 환경영향을 감소시킬 수 있는 개선방안을 제시한다.

3.1. 수명이 다한 PC 처리방법의 문제점

3.1.1. 소각처리의 문제점

수명이 다한 PC의 폐기물에는 여러 종류의 물질이 포함되어 있기 때문에 소각하는 것은 매우 위험하다. 방염물질이 소각될 때 구리는 다이옥신 형성의 촉매제 역할을 한다. 특히 600-800°F | 저온에서 브롬처리 방염제는 소각 시에 맹독성 PBDDs(Polybrominated dioxins)와 PBDFs(플란)을 발생시키기 때문에 큰 문제가 된다. 상당량의 PVC가 포함된 전기전자제품은 flue 가스 잔존물과 대기 방출로 인하여 매우 위험하다. 또한 소각은 중금속을 포함하여 slag, fly ash, flue 가스, 그리고 filter cake에 포함된 금속을 농축시키는 결과를 초래한다. 이러한 상황에서 소각되는 카드뮴의 90% 이상이 fly ash에, 그리고 수은의 70% 이상이 filter cake에 잔존한다. 지방자치단체의 소각은 다이옥신과 대기중의 중금속 오염의 주요 원천이다. 몇몇 생산자는 이들 폐기물을 연료 대체용으로 이용하기 위하여 시멘트 코로로 보내는데, 이러한 과정은 또한 소각처리와 같은 정도로 위험하다.

3.1.2. 매립처리의 문제점

모든 매립지가 누출되고 있다는 것은 일반적인 사실이며, 비록 가장 최상의 상태의 매립지 일지라도 그들의 수명기간동안 완전하지는 않다. 이로 인하여 상당량의 화학물질과 중금속의 침출이 발생된다. circuit breaker와 같은 전자장치의 파괴 시 수은이, 특히 콘덴서로부터 PCB가 침

출된다. 브롬처리 방염 프라스틱 또는 카드뮴 코팅 프라스틱이 매립될 때, PBDE와 카드뮴이 토양과 지하수에 침출될 수도 있다. 매립지에서 CRT 유리가 깨지면서, 특히 산성수와 e-waste가 혼합되면서 상당량의 납이온이 용해된다.

수은의 침출은 특별한 문제점을 제기하며, 금속계 수은과 비금속계 수은의 기화는 매우 심각하다. 또한 매립지의 예기치 않고 통제되지 않은 화재는 할로젠 처리 방염 제품과 콘덴서에 포함된 PCB로부터 맹독성 다이옥신과 퓨란과 같은 금속과 기타 화학물질이 방출될 수 있다.

3.1.3. 재활용 처리의 문제점

유해한 제품의 리사이클링은 환경에 이롭지 못하며, 궁극적으로 폐기되어야 할 2차 제품으로 유해성을 단순히 옮겨갈 뿐이다. 비유해성 자재를 이용하기 위하여 제품을 설계하기 위한 목적이 없다면, 리사이클링은 문제가 있는 해결방안이다. 결국 수명이 다한 PC에 포함된 유해물질은 리사이클링 과정에서 대기, 수계, 그리고 토양에 환경적 영향을 미친다. 또한 리사이클링 작업에 종사하는 작업자들에게 심각한 영향을 미칠 수도 있다[19].

3.2 개선방안

PC의 구성물질로 인한 환경영향을 줄일 수 있는 방안중의 하나는 PC의 설계단계에 모든 직능과, 부서를 동시에 참여시키어 설계단계에서부터 모든 수명주기단계를 고려하는 설계방법이다. 즉 동시공학적 환경을 고려한 설계(Design for Environment by Concurrent Engineering)이다. 동시공학에서는 제품개발과정에 참여하는 모든 구성원들이 동시에 제품개발과정에 투입되기 때문에 발생가능성이 있는 문제점들을 조기에 발견하여 해결할 수 있는 시간을 줄여주고, 해결할 수 있는 확률을 높여주기 때문에 이로 인하여 결과적으로 PC의 구성물질로 인한 환경영향을 감소시켜 줄 수 있다. Ha와 Porteus[7]는 동시공학의 이점을 구성원의 정보교환에 의한 평행개발과 도입되기 전의 결점발견에 의하여 후에 재설계가 요구되는 시간과 자원의 절감을 들고 있다. 제품개발과정은 모든 구성원들의 참여에 의해 발생 가능한 요인을 동시에 고려하기 때문에 환경친화적인 제품의 설계에 적용이 가능하다[3]. 따라서 환경을 고려한 제품설계에서 모든 관련 부서와 환경 부서의 팀웍이 중요하다. 동시공학의 개념을 도입하여 PC의 구성물질인 원재료의 조달, 제조, 유통, 사용, 폐기의 모든 단계에서 환경을 고려하여 PC를 설계하는 것이다. 물론 이러한 개념은 모든 전자제품의 설계에도 고려되어야 한다.

3.2.1 원재료 조달단계

환경친화적인 제품설계 시 원재료의 조달단계에서부터

이를 고려하는 것이 중요하다. 이 단계에서는 환경부하가 낮은 자재를 이용하여 채취단계에서의 자원고갈을 방지하고, 제조단계에서 환경부하를 줄일 수 있으며, 폐기단계에서 재사용과 재자원화를 고려하여야 한다.

이는 제품개발 시 환경을 배려할 수 있는 조치, 재생자원을 이용한 시장개척, 재생자원 사용 촉진을 위한 기술개발, 미이용 자원, 대체원료의 이용확대 방안을 강구하는 것이 요구된다. 연료의 선택에도 환경부하가 적은 에너지를 선택해야 한다. 연료를 선택할 때 환경배려의 관점에서 에너지의 연소 시 환경오염을 적게 수반하는 에너지, 그리고 에너지 사용량을 저감시킬 수 있는 신에너지, 재생가능 에너지, 폐기물의 에너지화를 통한 환경에의 영향을 최소화할 수 있는 방안이 고려되어야 하며, 동시에 이들 연료의 수송에 따른 환경부하를 저감시키는 대책이 설계단계에서 수립되어야 한다.

3.2.2 제조단계

대부분의 환경배출물질은 주로 이 단계에서 발생하며, 환경적 배려에 의하여 배출량의 감량화를 고려하여야 하며, 만일 발생 시 이의 효율적인 처리방안도 강구되어야 한다. 제조단계에서 환경부하 저감을 위해서는 제조공정에서 배출된 오염물질의 처리에 의존하기 보다는 제조공정의 자체의 혁신에 의하여 에너지의 소비와 배출물의 근본적인 감량화를 유도하는 방식으로 추진되어야 한다.

제조공정의 개선과 혁신을 통한 사용 에너지의 절약, 폐열과 미이용 에너지의 이용극대화, 그리고 고효율 에너지 시스템의 도입 등에 의하여 근본적으로 에너지 사용 총량을 줄이는 방안이 설비의 설계와 제품설계에 반영되어야 한다. 공정내 재자원화, 이를 위한 발생물 재생기술, 발생물의 재자원화에 의한 용도의 확대 등에 의하여 제조단계에서 배출 폐기물의 저감과 이들의 유용한 이용방안이 강구되어야 한다. 제조공정의 개선을 통하여 공정에서 대기와 수계로 배출되고 있는 오염물의 제로화 방안도 고려되어야 하며, 제조단계에서 사용되는 유해물질의 사용량을 저감시키기 위한 노력과 기술의 개발이 설계단계에서부터 고려되어야 한다.

3.2.3 유통단계

유통단계를 고려한 제품의 설계에서는 제품의 포장재와 완충재의 사용의 합리화와 물류단계에서의 에너지 사용량의 저감방안이 고려되어야 한다.

이 단계에서는 포장재와 완충재 사용량의 절감, 이들을 사용한 후의 회수 및 재이용, 그리고 이들에 환경부하가 적은 자재의 사용 등에 의하여 포장재 및 완충재의 합리화 방안이 고려되어야 하며, 물류분야에 소비되는 에너지의 사용과 오염원 배출을 개선시키기 위한 방안도 함께 고려

되어야 한다. 물류분야의 개선은 발주시스템 등의 물류수요단계에서의 합리화, 수송의 대규모화와 효율화를 통한 수송시스템의 개선, 그리고 물류거점의 효율적 설치와 관리에 의한 적절한 배송시스템의 운영의 합리화를 제품의 설계단계에서 고려하여야 하며, 아울러 유통산업 분야 자체에서의 환경부하 저감방안도 추진되어야 한다.

3.2.4 이용단계

제품의 이용단계에서의 환경부하를 저감시키기 위해서는 그 제품의 이용 시에 수반할 수 있는 환경의 영향을 예측하여 평가한 후에 그의 저감대책을 고려하여 소비자가 이용하는 제품이 환경친화형의 제품이 될 수 있도록 개발되어져야 한다.

이 단계를 고려한 제품설계에서는 제품의 에너지 소비효율의 개선을 통하여 에너지소비를 효율화할 수 있는 제품을 개발하고, 소재의 고기능화와 경량화를 통하여 최종제품 사용 시에 에너지소비를 절감시킬 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 제품 성능의 개선에 의해 오염 배출물을 절감시킬 수 있는 대책이 수립되어져야 한다. 또한 제품의 사용 시 고장 및 유지관리에 발생하는 폐기물의 발생을 억제하고, 유해물의 억제와 회수방안도 고려해야 한다.

3.2.5 폐기단계

제품설계 시에 제품이 그 역할을 다한 후에 폐기물화에 따른 환경부하의 저감을 위하여 이들의 상황을 예측하여 용이한 재자원화, 폐기물의 감량화, 제품수명주기의 확대, 유해물질의 발생억제 등의 대책을 수립하여야 한다.

먼저 제품의 재자원화를 수월하게 하기 위하여 제품의 분해에 소요되는 시간을 단축하고, 분리·처리가 가능하게 해야 하며, 재자원화가 용이한 재료를 사용해야 한다. 또한 이것과 병행해서 제품의 소재가 재자원화를 촉진할 수 있도록 소재 중에 포함되어 있는 각종 함유물 등을 적극적으로 저감시킬 방안도 제품설계 시 고려되어야 한다. 그리고 제품수명주기의 확장과 모델변경주기의 적정화를 통하여 환경친화형 제품의 개발이 이루어질 필요가 있다. 물론 모델변경주기 분해도 자원의 유용한 이용을 위하여 신중하게 고려되어야 한다.

4. 결 론

정보화 시대의 총아라 할 수 있는 PC는 원자재추출 및 취득단계에서 최종폐기까지의 모든 수명주기단계에서 환경에 커다란 영향을 주고 있다. 아울러 빠른 기술발전에 의하여 PC의 수명주기도 점차 단축되고, 수요도 증가하고 있기 때문에 환경에 미치는 영향도 무척 커질 것으로 예상된

다. 이러한 문제를 해결하는 방안의 하나로 제품에 관련되어 원자재 취득부터 생산, 사용 그리고 폐기까지의 모든 단계에서의 환경적 측면과 잠재적 영향을 평가하기 위하여 보다 정확한 LCA가 요구된다.

본 연구에서 60lb의 Desktop PC의 주요 구성물질 중에서 98% 이상을 차지하는 주요 9종 물질, 즉 Silica, Plastics, Iron, Aluminum, Copper, Lead, Zinc, Tin, Nickel 과 기타물질에 대하여 중량기준으로 배출 물질을 할당하여 LCA를 실시한 결과, PC 1대당 구성물질 기준에서 환경에 미치는 영향은 에너지 총사용량이 6,285MJ이며, 환경부하량은 대기로의 배출물질인 CO₂ 259kg, SO_x 3,571g, NO_x 330g, 수계로의 배출물질인 BOD 886g, COD 1,328g, SS 5,887g, N 2,434g, P 246g, 그리고 수송과정에서 배출되는 물질인 NH₄ 149g, Cl 240g, SO₄ 864g으로 나타났다. 배출물질 중에서 CO₂는 지구온난화, SO_x, NO_x는 산성화, 그리고 COD, P, N는 부영양화에 영향을 미치는 물질로 알려져 있다. 이로 인하여 수명이 다한 PC의 소각, 매립, 재활용에 의한 처리 시에도 문제점이 발생할 가능성이 있기 때문에 PC의 설계단계에서 원재료 조달, 제조, 유통, 이용, 폐기단계까지를 고려하는 것이 요구된다.

본 연구는 LCA분석이 PC의 부품이나 구성품을 구성하는 물질로 한정하였고, 주요 구성물질에 대한 목록데이터가 현장에서 직접 측정된 것이 아니라 일본의 DB를 이용하였기 때문에 해석의 일반화에 무리가 따를 수도 있다. 또한 오늘날의 PC는 성능은 비약적으로 좋아지고 있으나, 크기는 점점 작아지고 있기 때문에 60lb의 PC를 기준으로 환경부하량을 계산하는 과정에 다소 무리가 따를 수도 있다. 그러나 이 문제는 PC 관련 주변기기가 점차 증가하고 있기 때문에 어느 정도 상쇄될 것으로 사료된다.

향후의 연구가 모든 수명주기단계를 포함하여 보다 정확한 LCA 분석이 이루어지기 위해서는 다음의 두 가지 사항이 선행되어야 할 것이다. 첫째, 현재 구축되어있는 국가 LCI 종합정보망(www.kncpc.re.kr/lci)의 정비를 포함하여 정부차원에서 기초물질에 관한 환경부하량의 데이터베이스가 구축되어야 한다. 둘째, 관련 산업 또는 기업차원에서 공급자에서 고객에 이르는 모든 공급사슬단계에서의 관련 데이터 정보가 교환되어야 하며, 이에 따른 공급사슬 환경관리(SCEM)가 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Azapagic, A., "Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization", Chemical Engineering Journal, Vol. 73, 1999, pp.1-21.
- [2] Duda, M. and Shaw, Jane S., "Life cycle assessment", Society, 1997. Vol. 35, No. 1, pp.38-43.

- [3] Conrad, D., "Taking new technologies to the marketplace", In Business, Vol. 17, no. 5, 1995, pp.22-25.
- [4] Erixon, M., Practical Strategies for Acquiring life Cycle Inventory Data in the Electronics Industry, Chalmers University of Technology, 1999.
- [5] Frey, S.D., et al., "Environmental Assessment of Electronic Products using LCA and Ecological Footprint", Joint International Congress and Exhibition. 2000, Berlin, Germany, 11-13, September, pp.253-258.
- [6] Graedel, T. E. and Alleby, B. R. and Comrie, "Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment, Environmental Science & Technology, 1995, Vol. 29. No. 3, pp.134a-139a.
- [7] Ha, A. Y., and Porteus, E. L., "Optimal Timing of Reviews in Concurrent Design for Manufacturability", Management Science, Vol. 41, No. 9, 1995, pp.1431-1447.
- [8] Jensen, A. A. et al., Life Cycle Assessment(LCA) : guide to approaches, experiences and information sources, The European Environment Agency, 1997.
- [9] Karlsson, R. and Banacu, C. S., "Life Cycle Thinking as a Conceptual Framework for Sustainability Assessments of Industrial Activities", The 6th Conference on Management of Technology, Gotebork Sweden, June 25-28, 1997. pp.685-697.
- [10] Lewis, H., "Data Quality for Life Cycle Assessment", National Conference on LCA, Melbourne Australia, Feb. 29-Mar. 1, 1996.
- [11] Lopes, E., et al., "Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry", Journal of Cleaner Production, Vol. 11, 2003, pp.51-59.
- [12] Nagel, M.H., "Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry : ore than application of the concept of cleaner production", Journal of Cleaner Production, Vol. 11, 2003, pp.11-26.
- [13] Ross, S., and Evans, A., "Use of Life cycle Assessment in Environmental Management", Environmental Management, 2002, Vol. 29, No. 1, pp.132--142.
- [14] Seppala, J., et al., "The Finnish metals industry and the environment", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, 2002, pp.61-76.
- [15] Sheng, P. and Hertwitch, E., "Indices for Comparative Waste Assessment in Environmentally-Conscious Manufacturing", Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1998, Vol. 120, pp.129-140.
- [16] Vesey, J. T., "The New Competitors : hey think in terms of Speed to Market", PIM Journal, Vol. 33, No. 1, 1992, pp.71-76.
- [17] www.nims.go.jp/ecomaterial/ : atabase of Environmental; load of 4000 Social Stocks
- [18] www.svtc.org/cleancc/pupdfbs/ppc-ttv1
- [19] www.svtc.org/cleancc/ecc/htm, "Just say no to e-waste : Background document on hazards and waste from computer".