

구식PC에 함유된 유해물질에 관한 고찰 (Hazardous Substances in the old Personal Computer)

이 성호*
(Sung-Ho Lee)

요 약 컴퓨터산업은 일반적으로 청정분야로 알려져 있다. 그러나 컴퓨터는 납, 카드뮴, 수은, 6가 크롬, 프라스틱 등과 같은 고도의 유해물질로 구성되어 있다. 이 논문은 PC에 포함되어 있는 유해물질의 양을 추정하고, 구식 PC의 처리방법인 소각, 매립, 재활용의 문제점을 제시하였다. 또한 e-waste의 해결방안인 EPR가 소개되었다.

Abstract In general, computer industry is known as clean sector, but computer is a complicated assembly which is highly hazardous substances such as lead, cadmium, mercury, Hexavalent chromium, plastics etc. This paper was presented the quantity of hazardous substances in the personal computer and the problem of its disposition-incinerating, landfilling, recycling. Also EPR which is the solution of e-waste was introduced.

1. 서 론

유럽연합에서 추진하고 있는 제3차 전기전자설비에 관한 시안(WEEE : 1999, Aug.)에 따르면 2004년까지 새로운 전자제품에 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, 그리고 두 종류의 브롬처리 방염 화학물의 사용을 금지할 계획이다. 컴퓨터 제조업자에게 진부화된 컴퓨터 장비의 회수를 요구하고 있으며, 수명이 다한 제품의 폐기물 관리를 위하여 모든 전자장비의 생산자와 유통업자에게 재정적 책임을 부과하고 있다. 그리고 CRT가 부착된 모든 IT장비의 70%까지 리사이클을 요구하고 있다.

이러한 상황에서 AEA(the America Electronics Association)에서는 WEEE 시안에 대하여 유럽연합이 국제무역법을 위반하게 하고, 유럽연합에 수출을 하려는 외국 기업에게 그들의 규제안에 따르도록 강요하고 있으며, 유해물질의 금지는 WTO의 물량규제금지(제9조)와 GATT의 국가처리(제3조)에 의하여 사실상 불법이며, 그리고 유럽 밖에서의 폐기물 관리는 유럽의 폐기물 취급자와 동일하고 엄격한 환경기준에 부합시켜야 하고, 이 기준에 부합

시키지 못하는 국가와 기업들에게 불리하다는 이유로 반대의 입장을 취하고 있다.

그러나 이러한 주장을 펴고있는 미국 내에서도 현실적으로는 수명이 다한 전자제품, 특히 폐PC로 인한 폐기물이 엄청나게 증가하고 있으며[10], 우리 나라에서도 빠른 속도로 증가하고 있어서[1] 여기에 대한 대책이 시급하게 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 PC에 함유된 유해물질의 양을 추산하고, 현행의 폐PC의 처리방안에 대한 문제점을 살펴본 후, 실질적인 폐PC에 의한 e-waste(또는 e-scrap : 전기전자제품의 쓰레기 또는 폐기물) 처리 방안을 탐색하고자 한다.

2. PC에 함유된 유해물질

2.1. 유해물질의 영향

상대적으로 컴퓨터가 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. <부록1>은 desktop PC에 이용된 자재와

*상지대학교 산업공학과

현행 재활용 과정에서의 효율을 보여준다. <부록1>에서 알 수 있듯이 PC에는 많은 양의 중금속과 유해물질이 포함되어 있다. 컴퓨터에 사용하거나, 배출되는 주요 유해물질은 납, 카드뮴, 수은, 6가 크롬, PVC, 브롬처리 방염물질 등이다. 이들이 인체에 미치는 영향은 다음과 같다.

· 납 : PCB와 다른 부품의 납땀과 CRT의 유리패널에 들어있는 납은 인간에게 중추와 말초신경계, 혈관계, 그리고 신장에 치명적인 것으로 알려져 있다[9, 12, 16, 22].

내분비선에의 영향이 관찰되고 있으며, 어린이의 두뇌발달에 심각한 정도로 나쁜 영향을 미치고 있고, 생태계에 납이 축적되어 감에 따라 식물, 동물 그리고 미생물에 급성 또는 만성적으로 독성 영향을 미치고 있다. 특히 매립 시에 납이 음용수에 용해되거나 오염시킬 가능성이 매우 높다.

· 카드뮴 : SMD chip resistor, infrared defectors와 반도체와 같은 구성품에 들어 있고, 플라스틱 안정제로 이용되는 카드뮴과 카드뮴 혼합물은 인체에 회복 불가능한 영향을 미칠 가능성이 있는 위험물질이다[2, 19, 22]. 이것은 30년이라는 긴 반감기로 인하여 신장과 간에 축적되어 급성 또는 만성 증상을 일으키며, 환경에 축적되어 질 수 있는 유해물질이다.

· 수은 : thermostats, sensors, relays, switches, 그리고 discharged lamp에 들어 있는 수은은 생태계에서 무기 수은으로 있다가 메틸 수은으로 변환되어 침전물 상태로 물에 잔류한다. 이것은 생체조직에 쉽게 축적되어 먹이 사슬을 통하여 농축되며, 뇌에 만성적인 손상을 입힌다[17, 22].

· 6가 크롬 : 비처리와 도금 강판의 부식방지, 그리고 강철 외피의 장식과 경화제로 이용되는 6가 크롬은 세포막을 쉽게 통과하여 세포 내에 흡수되며, 적은 농축량으로도 강한 알러지 반응을 보여 천식이나 DNA손상의 원인이 될 수도 있다. 또한 6가 크롬 혼합물로 오염된 쓰레기는 매립 시 용해되거나, 소각 시 fly ash를 발생시킨다[18, 22].

· PVC : PVC는 cabling과 컴퓨터 외피에 주로 이용되며, 현재는 대부분의 컴퓨터 몰딩은 ABS 플라스틱으로 교체되고 있으나, 여전히 방재 특성상 PVC cabling이 이용되고 있다. PVC cabling에 의한 분진은 치명적이기 때문에 안전상의 이유에서 저농도 폴리에틸렌과 열가소성 탄화수소로 대체되고 있다. PVC는 리사이클링이 어렵고, 리사이클링 과정에서 다른 플라스틱을 오염시킨다. PVC 제품은 소각시에 다이옥신과 퓨란이 발생한다[22].

· 브롬처리 방염 물질 : 이는 PCB, 커넥터, 플라스틱 커버, 그리고 케이블에 포함되어 있는 화학물질로 가연성 억제제로 쓰이고 있다. PBDE(Polybrominated Diphenylethers)는 내분비계의 교란인자로 알려져 있다. PBBs(Polybrominated Biphenyls)는 소화계와 림프계에 암 위험을 증가시킬 수 있다고 알려져 있다. 특히 PBBs는 정

수된 물보다 매립 침출수에 20배 정도 용해가 잘 되기 때문에 환경에서 생태계에서 먹이 사슬을 통하여 농축된다[8, 13, 20].

2.2. PC에 함유된 유해물질량

PC에 함유된 유해물질의 종류는 <부록 1>과 같다. <부록 1>, <부록 2>, <부록 3> 산출방식은 [1] 참조>을 근거로 하여 우리 나라의 1999년까지의 구식 PC에 의한 유해물질의 양을 추산하여 보면 <표 1>과 같다.

<부록 3>에서 알 수 있듯이 새 PC가 도입되어 구식 PC가 되는 시기를 기준으로 1988년부터 1999년까지 1,490,000대의 구식 PC가 발생하였다. 이들은 우선은 재사용, 저장, 재활용, 매립, 소각되고 있으나, 언젠가는 재활용, 매립, 소각의 형태로 처리되어 질 것이다. 결국 <표 1>와 같이 구식 PC의 총중량은 약 12만 7천톤으로 이들로 인하여 사용되었거나, 발생된 주요 유해물질인 납, 카드뮴, 수은, 6가 크롬, 플라스틱의 양은 각각 8,018톤, 1,196톤, 280톤, 802톤, 29,629톤으로 추정된다. 이들은 어떠한 형태로든 최종 처리되어 이미 대기, 수계, 그리고 토양 환경에 커다란 영향을 미치고 있거나, 미칠 것으로 예측되고 있다.

3. 폐PC 처리의 문제점과 처리방안

3.1. 현행 폐PC 처리방법

현재 폐PC의 처리는 매립, 소각, 그리고 재활용 방법이 이용되고 있다. 그러나 이들 방법에 의한 처리는 유해물질의 배출로 인하여 수계, 토양, 그리고 대기 오염을 가속화시키고 있으며, 이로 인한 환경 문제가 심각하게 제기될 가능성이 매우 높다. (그림1)은 Fujitsu사의 PC폐기물 처리과정을 보여준다. 이 그림에서 알 수 있듯이 수명이 다한 대부분의 전기전자 제품의 폐기물 처리는 재사용을 포함하여 주로 재활용, 매립, 그리고 소각에 의존하고 있는 실정이다. 특히 폐PC를 포함하여 전기전자제품의 처리는 폐기물 자체에 많은 양의 유해물질이 포함되어 있기 때문에 신중을 기하여야 한다.

3.1.1. 소각처리의 문제점

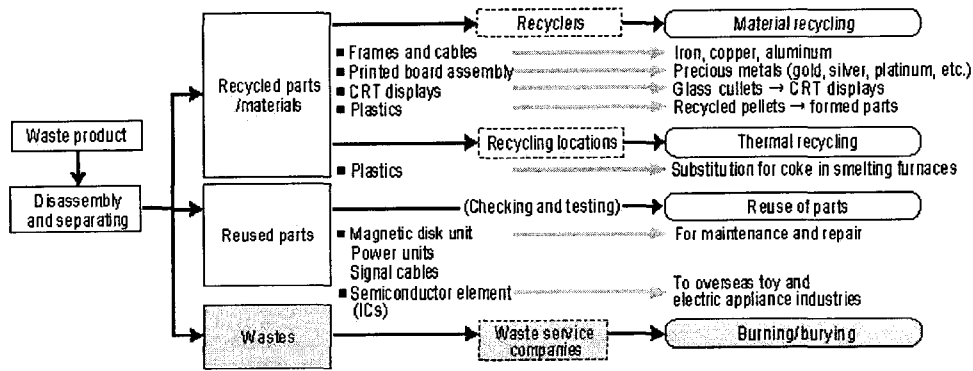
전자제품, 특히 폐PC의 폐기물에는 각기 다른 여러 종류의 물질이 포함되어 있기 때문에 소각하는 것은 매우 위험하다. 방염물질이 소각될 때 구리는 다이옥신 형성의 촉매 역할을 한다. 특히 600-800°F의 저온에서 브롬처리

방염제는 소각 시에 맹독성 PBDDs(Polybrominated dioxins)와 PBDFs(퓨란)을 발생시키기 때문에 큰 문제가 된다. 상당량의

의 70% 이상이 filter cake에 잔존한다. 지방자치단체의 소각은 다이옥신과 대기중의 중금속 오염의 주요 원천이다. 몇몇 생산자는 이들 폐기물을 연료 대체용으로 이용하기

< 표 1 > 구식 PC에 의한 유해물질 발생량

연도	구식 PC(대)	총중량 (Kg)	유해물질 발생량				
			납 6.2988%	카드뮴 0.0094%	수은 0.0022%	6가 크롬 0.0063%	프라스틱 22.9907%
1988	32,000	673,600	42,428.7	6,331.8	1,481.9	4,243.7	154,865.4
1989	65,000	1,368,000	86,168.6	12,859.2	3,009.6	8,618.4	314,512.8
1990	97,000	2,041,850	128,612.0	19,193.4	4,492.1	12,863.7	469,435.6
1991	129,000	2,715,450	171,040.8	25,525.2	5,974.0	17,107.3	624,301.0
1992	161,000	3,389,050	213,469.5	31,857.1	7,455.9	21,351.0	779,166.3
1993	194,000	4,083,700	257,224.1	38,386.8	8,984.1	25,727.3	938,871.2
1994	226,000	4,757,300	299,652.8	44,718.6	10,466.1	29,971.0	1,093,736.6
1995	685,000	14,419,250	908,239.7	135,541.0	31,722.4	90,841.3	3,315,086.5
1996	764,000	16,080,200	1,012,859.6	151,153.9	35,376.4	101,305.3	3,696,950.5
1997	911,000	19,176,550	1,207,892.5	180,259.6	42,188.4	120,812.3	4,408,823.1
1998	1,294,000	27,238,700	1,715,711.2	256,043.8	59,925.1	171,603.8	6,262,367.8
1999	1,490,000	31,364,500	1,975,587.1	294,826.3	69,001.9	197,596.4	7,210,918.1
총계		127,308,150	8,018,886.0	1,196,697.0	280,077.9	802,041.3	29,269,035.0



<그림 1> Fujitsu의 PC폐기물 처리 과정

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 수은

위하여 시멘트 고로로 보내는데, 이러한 용해 또한 소각과 같은 정도로 위험하다.

3.12. 매립처리의 문제점

모든 매립지가 누출되고 있다는 것은 일반적인 사실이

며, 비록 가장 최상의 상태의 매립지 일지라도 그들의 수명기간동안 완전하지는 않다. 이로 인하여 상당량의 화학물질과 금속물질의 침출이 발생된다. circuit breaker와 같은 전자장치의 파괴 시 수은이, 특히 콘덴서로부터 PCB가 침출된다. 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 재설계하기 위한 목적이 없다면, 리사이클링은 그릇된 해결 방안이다. 결국 폐PC에 포함된 유해물질은 리사이클링 과정에서 대기, 수계, 그리고 토양에 환경적 영향을 미친다. 또한 리사이클링 작업에 종사하는 작업자들에게 심각한 영향을 미칠 수도 있다[19].

32. EPR

현재의 산업생산시스템은 지구생태시스템과 양립되지 않고 있다. 자원은 지속가능하지 않게 소비되고 있으며, 불필요한 폐기제품이 비효율적으로 처리된 후 쓰레기 더미로 쏟아져 들어가고 있다. 생산공정에서 유해물질과 위험물질의 사용은 부산물과 최종제품에 포함되어 방출되고 있다. 소각과 같은 위험 폐기물 처리 기술은 소각재를 버릴 때 대기, 토양과 지하수 오염을 야기 시킨다.

향후 생산시스템은 자재, 물 그리고 에너지를 적게 사용하고, 보다 깨끗하게 할 수 있는 방향으로 재편되어야 하며, 생산공정에서도 비유해성물질을 사용하여 보다 깨끗하고 안전한 제품을 생산하여야 한다.

폐PC에 의한 폐기물과 유해물질의 발생량을 줄이고, PC 자체도 환경친화적인 제품이 되기 위한 모든 수명주기단계에서 처리방안은 이미 제시되어 있기 때문에[1], 여기에서는 제품책임의 개념을 보다 확대시킨 EPR에 대해서만 언급하기로 한다.

3.2.1. EPR의 의의와 책임 범위

EPR(Extended Producer Responsibility)은 생산시스템 보다는 제품시스템에 초점을 맞춘 오염방지 정책으로 지속 가능한 생산, 환경 정의와 기업 책임에 전지구적 네트워크를 구축하기 위한 책임있는 기술에 대한 국제적 운동의 일환인 깨끗한 생산 활동이다. 이의 목적은 생산자에게 제품 설계와 공정기술의 변경을 통하여 제품수명주기의 각 단계에서 오염을 방지하고, 자원과 에너지의 사용을 줄이도록 하는데 있다. 원자재의 선택과 제조공정까지의 상류, 그리고 이용과 폐기까지의 하류에 이르는 모든 단계에서 환경에 미치는 영향을 고려하는 것을 의미한다. 즉 생산자가 제품의 모든 수명주기 또는 소비 이후의 단계에서 그들의 제품에 대하여 책임을 지는 것이다.

EPR에서 생산자의 책임 범위는 물적 책임, 경제적 책임, 책무, 그리고 정보 책무로 나눌 수 있다[21].

- 물적 책임 : 생산자가 제품 또는 이용된 제품의 물적 관리, 기술개발 또는 서비스 제공을 통한 영향에 관여하도록 하는 것이다.
- 경제적 책임 : 생산자가 제품의 수명이 다한 상태에서 폐기물 관리(수집, 처리, 폐기)에 대한 비용의 전부 또는 일부를 부담하는 것을 의미한다.
- 책무 : 생산, 이용 또는 폐기 단계에서 제품에 의해 야기된 환경 손상에 대한 책임을 생산자가 진다는 것이다.
- 정보 책무 : 생산자가 제품의 여러 단계의 수명주기 동안에 걸쳐 제품과 그의 영향에 관한 정보를 제공하는 것이 요구된다는 것이다.

3.2.2. EPR에 대한 요구

궁극적으로 ERP의 목적은 보다 효율적인 자원 이용과 자원 소비의 감소를 통하여 지속가능한 생산-소비 시스템의 개발을 촉진하는 것이다. 이것은 전반적인 폐기물 방지; 비유해물질과 공정의 이용; 폐쇄 자재 사이클의 개발; 보다 내구적인 제품의 개발; 보다 재사용과 리사이클을 할 수 있는 제품의 개발; 재사용, 리사이클 그리고 회복의 증가; Polluters Pay Principle과 일치하는 생산자에게 이용된 제품에 대한 폐기물 관리비용의 전가를 통하여 달성되어 질 수 있다.

이러한 대부분의 목표들은 제품의 수명주기를 통하여 자원 이용과 오염방출의 질과 양을 결정하는데 있어서 가장 중요한 단계인 제품설계에 고려되어 질 수 있다. 이렇게 함으로써 단순히 리사이클링 시스템의 구축이 아니라 보다 좋은 깨끗한 제품설계를 가능하게 할 수 있다. 그러나 EPR의 중간 수준에서는 공공부분이 담당하여야 할 사회적 부담으로 폐기물관리 비용을 전가시키는 방법으로 보여진다.

오늘날 이용된 제품의 처리 책임은 궁극적으로 생산자가 아니라 지방정부와 일반 납세자들에 의존한다. 그 동안의 규제 내용은 생산수명주기의 다른 단계에서 제기되는 오염을 고려하지 않고 각 개별 설비로부터의 오염 통제에 주안점을 두어왔다. 이러한 제한된 환경책임의 관점에서는 고체폐기물 관리는 개별 가정 또는 지방정부의 책임이 된다. 고체폐기물 부담량이 증가하고, 보다 엄격한 처리 규제가 고체폐기물 관리를 보다 비용이 많이 들어가게 하기 때문에, 지방 정부의 예산을 더욱 어렵게 하고, 지방 세액을 증가시킨다. 아울러 고체폐기물의 부지 및 설비 선정은 보다 정치적 쟁점이 되고 있다.

일반 소비자들 또한 최종적으로는 책임이 있으나, 오직 생산자만이 궁극적으로는 자재와 제품설계에 선택권이 있다. 소비자들은 사실 재사용 가능하고 수리 가능한 제품을 선호하나 그러한 제품은 점점 덜 이용되고 있다.

물론 제품의 제조에서 폐기까지의 책임에 대한 경제적 분석에서는 생산의 경제적 타당성과 단기간의 판매 기간의 단축, 진부화된 제품에 대한 폐기하기 좋은 제품의 설계에 대한 불가피한 문제가 제기된다. 아울러 이용된 제품에 포함된 유해물질의 재처리에 대한 경제적 타당성, 복수와 복합 자재의 이용, 그리고 재사용 할 수 없는 자원과 리사이클 할 수 없는 자재에 의한 제품설계의 문제가 제기된다.

보다 좋은 디자인에 의한 제품수명의 증가는 오염을 방지할 수 있다. 제품 수명의 배가는 원자재와 에너지의 생산을 반감시킬 수 있고, 부와 복지의 감축이 없이도 소비 이후의 폐기물을 반감시킬 수 있다. 이와 같은 방법에 의하면 추출산업에 의한 폐기물 매립과 환경 손상, 제조 유통의 폐기물, 리사이클링과 폐기물처리의 50%까지 줄일 수 있다. 이러한 문제는 기존의 기술로 달성 가능하며, 소비자에게 현재의 가격 또는 보다 낮은 가격으로 제품을 제공할 수가 있다.

3.2.3. EPR에 대한 정책방안

생산자에게 자발적이든 강제적이든, 상류이든 하류이든 보다 큰 책임을 부과하기 위하여 이용할 수 있는 정부의 정책적인 방안은 매우 광범위하다. EPR 원칙의 적용에 있어서 정책적 방안의 선택의 문제는 다음과 같은 결과를 가져올 수 있도록 명확하게 할 필요가 있다.

- 생산자에게 제품의 설계를 변경할 수 있는 목적이 있는가?
 - 제품의 수명이 다한 후 제품의 관리에 생산자의 전문적 기술을 이용할 수 있게 조장하는가?
 - 비용 변동의 수단으로서 폐기물관리에 대한 재정적 부담을 지우느냐?
- 현재 각국에서 이용되고 있는 EPR 조장 방안은 재활용,

재사용에 대한 예치금제도, 제품부담금, 폐기물처리 부담금, 강제적 규제에 연계된 자발적 동의 등이 있다. 이들을 간략하게 설명하면 다음과 같다.

· 예치금제도 : 이 방안은 제품의 재사용을 조장하기 위한 것으로 재충전 가능한 유리병에 대한 광범위하게 이용되는 표준적인 관행이다. 많은 국가에서 채택하고 있는 방안으로 유리병과 캔의 상당량에 대한 재사용과 리사이클링을 조장케 한다.

· 제품부담금 : 이 방안은 이용되는 자재의 형태에 영향을 미쳤으며, 이로 인하여 소비자 행위에 변화를 가져왔다.

· 폐기물처리 부담금 : 이는 이용된 제품의 폐기처리 비용을 부담하는 것으로 환경 프로그램에 배정되던 또는 배정되지 않던 간에 일반 소비자는 이러한 부담금을 거의 인식하지 못하지만 생산자가 정부에 지불하는 부담금이다. 이 방안은 소비자의 참여를 조장하고, 인식의 제고하기 위하여 이용되는 대안이다.

· 강제적 규제에 연계된 자발적 동의 : 소비자 인식은 보다 나은 재활용성을 위하여 어떤 자재를 단계적으로 제거하기 위하여 또는 제품을 재설계하기 위한 자발적 동의를 조장한다. 이 방안은 현장에서의 적용을 강제하지 않기 때문에 정부의 규제가 필요하다.

그러나 EPR 원칙의 구체화를 위해서는 다음과 같은 방안이 병행되어야 한다.

- 규제 방안 : 강제적 회수, 최저 리사이클 량 표준, 2차 자재 이용률 요구량, 에너지 효율 표준, 폐기 금지 및 제한, 자재 금지 및 제한, 제품 금지 및 제한
- 경제적 방안 : 폐기물처리 부담금, 새 자재에 대한 세금, 새 자재에 대한 보조금 철폐, 예치금 제도, 환경친화적 제품조달 선호
- 정보적 방안 : 환경 레이블링 인증, 환경정보 레이블링, 자재의 전수명주기에 대한 제품환경 정보, 제품위험 경고, 제품 내구성 레이블링제

4. 결 론

환경 친화적인 제품의 생산 문제가 개별 기업과 국가경제에 미치는 영향이 매우 크기 때문에, PC를 포함한 모든 전기전자제품에 대한 새로운 원자재, 생산방법, 처리방법을 일괄적으로 적용하기는 현실적으로 어렵다. 그러나 정부에서는 실행가능한 제도와 이를 준수할 경우에 대한 유인책을 마련하여야 하며, 개별 기업에서도 장기적인 관점에서 환경친화적인 제품의 생산이 궁극적으로는 기업의 생존 가능성과 경쟁력을 제고시킬 수 있다는 사고로의 전환이 요구된다. 따라서 개별 기업에서는 그들 기업과 제품이 지구

온난화 방지, 자원의 효율적 이용, 자원의 재사용, 환경경영, 지역사회에 대한 환경정보의 제공 등의 구체적인 실행 프로그램을 마련하고, 그 실행 결과를 투명하게 공개하는 방안을 고려하여야 한다.

본 논문은 제한된 자료에 의하여 구식 PC에 포함된 유해물질량을 추정하였으므로 실제 발생량과는 차이가 있을 수 있다. 향후에는 보다 정확한 자료에 의한 구식PC 발생량의 추정과 유해물질의 발생량에 대한 추정이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 이성호, "폐PC 처리방안에 관한 고찰", 한국산업정보학회지, Vol. 4, No. 3, 1999, pp.28-29.
- [2] Bortoli A., M. Gerotto, M. Marchiori, F. Mariconti, M. Palonta, and A. Troncon, " Determination of Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, and Zn by Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy of Flame Atomic Absorption Spectrometry after On-line Preconcentration and Solvent Extraction by Flow Injection System", *Microchemical Journal*, Vol. 54, 1996, pp.402-411.
- [3] Danse, I. R., et al., "Position Paper of the American Council on Science and Health: Public Health Concerns about Environmental Polychlorinated Biphenyls", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 38, 1997, pp.71-84.
- [4] Dowie, W. A., D. M. McCartney and J. A. Tamm, "A case study of an institutional solid waste environmental management system", *Journal of Environmental Management*, Vol. 53, 1998, pp.137-146.
- [5] Eens M., Rianne Pinxten, R. F. Verheyen, R. Blust, and L. Bervotets, "Great and Blue Tits and Indicators of Heavy metal Contamination in Terrestrial Ecosystems", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 44, 1999, pp.81-85.
- [6] Fryxell, G. E., and M. Vryza, "Managing environmental issues across multiple functions: an empirical study of corporate environmental departments and functional co-ordination", *Journal of Environmental Management'* Vol.55, 1999, pp.39-56.
- [7] Fullerton, D., "Policies for Green Design", *Journal of environmental Economics and Management'* Vol. 36, 1988, pp.131-148.
- [8] Hardy, M. L., "Regulatory status and environmental properties of brominated flame retardants undergoing risk assessment in the EU", *Polymer Degradation and Stability*, Vol.64, 1999, pp.545-556.
- [9] Juberg, D. R., Cindy F. Kleiman, and Simona C. Kwon, "Position Paper of the American Council on Science and Health: Lead and Human Health", *Ecotoxicology and Environmental Safety*", Vol. 38, 1997, pp.162-180.
- [10] Matthews, H, S. et al., Green Design Initiative Technical Report #97-10: Disposition and End-of-Life Options for Personal Computer, Carnegie Mellon University, July 7, 1997.
- [11] Pitts G., and Jerry Fowler, "Collaboration and Knowledge Sharing of Environmental Information: The EDEN Project", *MCC-EDEN*, 2, 1988.
- [12] Socolof, M. L, Mary B. Swanson, and Lori E. Kincaid, " An Environmental Life-Cycle Design Tool for Assessing Impacts of CRT and LCD Monitors" *IEEE*, 1999, pp.232-237.
- [13] Walter, M. D., and Mark T. Wajer, "Overview of Flame Retardants Including Magnesium Hydroxide", *Proc. of the International Conference on Additive for Polyloefins(US)*, 2, 1998, pp.173-178.
- [14] Werner C. M., and Eeva Makela, "Motivation and Behaviors that support Recycling", *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 18, 1998, pp.373-386.
- [15] Westlake, K., "Sustainable Landfill-Possibility or Pipe-Dream?", *Waste Management & Research*, Vol. 15, 1997, pp.453-461.
- [16] <http://www.epo.cdc.gov/wonder/prevguid/p0000017/p0000017.htm>, "Case Studies in Environmental

Medicine: Lead Toxicity".

[20]www.mst.dk/199908pubs/87-7909-416-3/kap03_eng.htm, "Danish EPA: Brominated Flame Retardants".

[17]sofia.usgs.gov/metadata/sfwww/metkrabb.html, "Mercury Studies in the Florida Everglades".

[21] www.svtc.org/cleancc/strat.htm, "Strategies to promote clean production".

[18]www.environment.gov.au/npi/context_info/context/chromiumvi.html, "National Pollutant Inventory: Chromium(VI) compounds".

[22] www.svtc.org/cleancc/eccc.htm, "Just say no to e-waste: Background document on hazards and waste from computer".

[19]www.gov/Preamble/Cadmium_data/CADMIUM5.html, "OSHA Preambles-Occupational Exposure to Cadmium".

<부록 1 > Desktop PC의 구성물

구성물 명	총중량 비 (%)	중량 (lbs)	리사이클링 효율(%)	이용/위치
Plastics	22.9907	13.8	20	includes organics, oxides other than silica
Lead	6.2988	3.8	5	metal joining, radiation shield/CRT, PWB, connectors
Aluminum	14.1723	8.5	80	structural, conductivity/housing, CRT, PWB, connectors
Germanium	0.0016	< 0.1	0	semiconductor/PWB
Gallium	0.0013	< 0.1	0	semiconductor/PWB
Iron	20.4712	12.3	80	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Tin	1.0078	0.6	70	metal joining/PWB, CRT
Copper	6.9287	4.2	90	conductivity/CRT, PWB, connectors
Barium	0.0315	< 0.1	0	in vacuum tube/CRT
Nickel	0.8503	0.51	80	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Zinc	2.2046	1.32	60	battery, phosphor emitter/PWB, CRT
Tantalum	0.0157	< 0.1	0	capacitors/PWB, power supply
Indium	0.0016	< 0.1	60	transistor, rectifiers/PWB
Vanadium	0.0002	< 0.1	0	red phosphor emitter/CRT
Terbium	0	0	0	green phosphor activator, dopant/CRT, PWB
Beryllium	0.0157	< 0.1	0	thermal conductivity/PWB, connectors
Gold	0.0016	< 0.1	99	connectivity, conductivity/PWB, connectors
Europium	0.0002	< 0.1	0	phosphor activator/PWB
Titanium	0.0157	< 0.1	0	pigment, alloying agent/(aluminum) housing
Ruthenium	0.0016	< 0.1	80	resistive circuit/PWB
Cobalt	0.0157	< 0.1	85	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Palladium	0.0003	< 0.1	95	connectivity, conductivity/PWB, connectors
Manganese	0.0315	< 0.1	0	structural, magnetivity/(steel)housing, CRT, PWB
Silver	0.0189	< 0.1	98	conductivity/PWB, connectors
Antimony	0.0094	< 0.1	0	diodes/housing, PWB, CRT
Bismuth	0.0063	< 0.1	0	wetting agent in thick film/PWB
Chromium	0.0063	< 0.1	0	decorative, hardener/(steel) housing
Cadmium	0.0094	< 0.1	0	battery, glu-green phosphor emitter/housing, PWB, CRT
Selenium	0.0016	0.0001	70	rectifiers/PWB
Niobium	0.0002	< 0.1	0	welding allow/housing
Yttrium	0.0002	< 0.1	0	red phosphor emitter/CRT
Rhodium	0		50	thick film conductor/PWB
Platinum	0		95	thick film conductor/PWB
Mercury	0.0022	< 0.1	0	batteries, switches/housing, PWB
Arsenic	0.0013	< 0.1	0	doping agents in transistors/PWB
Silica	24.8803	15	0	glass, solid state devices/CRT, PWB

* plastics에는 polybrominated flame retardants 포함되어 있음.
 수 많은 종류의 첨가제와 안정제는 개별적으로 분리시키지 않음.
 desktop PC의 중량 : 60lbs
 (source : Microelectronics and Computer Technology Corporation(MCC), 1996.

< 부록 2 > PC의 중량과 부피

기종	중량	부피
Desktop	23.00Kg	0.10 m^3
Notebook	3.5 Kg	0.005 m^3
기중평균(90/10) : 중량 21.05Kg		
부피 0.09 m^3		
(Desktop vs. Notebook = 90 : 10으로 가정)		

< 부록 3 > 구식PC의 발생량 추산 (단위 : 1,000대)

연도	신PC 판매량	구식 PC	구식 PC의 처리				제사용 PC의 처리		
			제사용	재활용	저장	매립	제사용	저장	매립
1983	32								
1984	65								
1985	97								
1986	129								
1987	161								
1988	194	32	14.40	1.60	14.40	1.60			
1989	226	65	29.25	3.25	29.25	3.25			
1990	685	97	43.65	4.85	43.65	4.85			
1991	764	129	58.05	6.45	58.05	6.45	4.88	7.20	1.44
1992	911	161	72.45	8.05	72.45	8.05	11.70	14.63	2.92
1993	1,294	194	87.30	9.70	87.30	9.70	17.46	21.83	4.36
1994	1,490	226	101.70	11.30	101.70	11.30	23.22	29.03	5.80
1995	1,654	685	308.25	34.25	308.25	34.25	28.98	36.23	7.24
1996	1,890	764	343.80	38.20	343.80	38.20	34.92	43.65	8.73
1997	2,158	911	409.95	45.55	409.95	45.55	40.68	50.85	10.17
1998	2,465	1,294	582.30	64.70	582.30	64.70	123.30	154.13	30.17
1999	2,815	1,490	670.50	74.50	670.50	74.50	137.52	171.90	34.38



이 성 호

청주대학교 경상대학 경영학과(학사)
 청주대학교 대학원 경영학과(석사)
 청주대학교 대학원 경영학과(박사)
 현재 상지대학교 산업공학과 부교수
 관심분야 : 자료처리, LCA, ERP