

인쇄회로기판의 전과정평가

박필주 · 이보삼* · 이건모

(아주대학교 환경·도시공학부, *한국품질환경인정협회)

Life Cycle Assessment on Printed Circuit Board

Pil-Ju Park · Bo-Sam Lee · Kun-Mo Lee

(School of Environmental & Urban System Engineering, Ajou University,
*Korea Accreditation Board)

ABSTRACT

Life Cycle Assessment on Printed Circuit Board produced in C Electronics Co. was carried out. The system boundary encompasses raw material acquisition to the manufacturing of PCB(or cradle to gate). The product is FR4 PCB used for a component of HDD. FR is a mixture of glass fiber and epoxy resin. Generally site specific data were applied. However, database were used when it is hard to get site specific data. Impact assessment was carried out consecutively as classification, characterization, normalization and weighting. Considered Impact categories are ARD, GW, OD, POC, Acid, Eut, ET, HT. Sensitivity analysis is accomplished to find out how the variation of unreliable data affects the result of LCA.

The PCB manufacturing was identified as the most contributing activity to all impact categories except OD. This is mainly due to the electricity consumed in the manufacturing phase. Even though the large amount of chemicals are used for PCB manufacturing in mass, environment impact of those chemicals is much less than they were consumed. The sensitivity of data method shows that the amount of electricity consumed in the PCB manufacturing is considerably sensitive to POC and GW. The sensitivity results of allocation method in the PCB manufacturing on the LCA indicate approximately 25% difference in all impact categories.

Keywords : LCA, PCB, HDD, Sensivity Analysis

요약문

C전자에서 제조되는 인쇄회로기판에 대하여 원료채취부터 제품생산까지의 cradle to gate 전과정평가를 수행하였다. 대상제품은 유리섬유 및 에폭시 수지를 이용하여 HDD용으로 제조되는 4층 도체패턴의 PCB이다. 데이터는 현장 데이터를 적용하였으며, 현장 데이터 취득이 어려운 경우 데이터베이스를 사용하였다. 영향평가는 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치부여 단계로 수행되었으며, 고려된 영향범주는 ARD, GW, OD, POC, Acid, Eut, ET 및 HT이다. 불확실한 데이터 값의 변화가 전체 결과값에 미치는 변화정도를 알아보기 위하여 민감도 분석을 수행하였다.

LCA 수행 결과 PCB 제조공정은 OD 범주를 제외한 모든 영향범주에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 PCB 제조시 사용된 전력에서 기인한 값이다. PCB 제조시 사용되는 화학약품은 질량기준 사용량은 많지만, 환경에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. 사용된 데이터에 따른 민감도 분석 결과 PCB 제조공정의 전력사용량은 GW 및 POC 범주에 매우 민감하게 나타났으며, 할당방법에 의한 분석 결과 전 영향범주에서 25% 이내의 차이를 나타냈다.

주제어 : 전과정평가, 인쇄회로기판, 하드 디스크 드라이브, 민감도분석

I. Introduction

인쇄회로기판(Printed Circuit Board: PCB)은 전기 절연성 기판 표면 또는 표면과 그 내부에 전기 설계를 근거로 하여 도체패턴을 도전성 재료로 형성하여 고착시킨 것이며, 최종 완제품 내부의 각종 부품들을 탑재하는 받침대 역할 및 부품들의 신호를 서로 연결시켜 주는 역할을 한다.¹⁾

PCB는 회로구성 층수에 따라 편면 PCB, 양면 PCB, 다층 PCB 및 특수 PCB 등으로 구분할 수 있다. 이중 편면 PCB는 기판 한쪽면에만 회로가 형성되어 있으며, TV, 세탁기 등의 가전제품에 많이 사용된다. 양면 PCB는 기판 양쪽에 회로가 형성된 경우로 자동차 계기판 등에 많이 사용된다. 다층 PCB는 4층 이상의 도체 패턴이 있는 것으로 양면 기판 위에 절연체와 도체를 덧씌운 것이다.¹⁾ 부드럽고 유연한 재질상에 회로가 형성되어 있는 특수 PCB의 일종인 Flexible PCB는 프린터나 카메라 cable과 같이 부드럽고 잘 휘어지는 부위 등 전자제품의 특수부위에 사용된다.²⁾

PCB의 제작은 높은 기술과 대형기계설비를 필요로 하는 복잡한 공정이며, 기판 종류에 따라 대략 20~50가지의 공정으로 구성된다. 기판에 회로를 형성하는 공정은 노광, 현상, 에칭, 박리, 수세 및 산처리 공정 등이 있으며, 이때 다량의 화학약품이 사용된다. 이는 PCB 제조시 환경부하가 클 것으로 판단되며, 이에 대한 정량화가 필요하다.

이 연구는 국내에서 생산되는 PCB를 대상으로 원료물질 취득에서 제조공정까지에 대한 전과정평가(LCA)를 수행하였다. 수행된 결과는 전과정 목록분석과 전과정 영향평가로 구분하여 표시하였다. 또한 사용된 데이터의 품질요건을 판단하기 위하여 사용된 데이터에 따른 민감도 분석과 PCB 제조공정의 할당방법에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

II. Methodology

1. 제품시스템

대상제품은 C전자에서 1년동안 지속적으로 생산되며, 유리섬유 및 에폭시 수지(Glass fiber - Epoxy resin; FR)를 이용하여 하드디스크 드라이브(Hard Disk Drive; HDD)용으로 제조되는 4층 도체패턴의 PCB이다. 에폭시 수지는 전기특성, 접착성, 내열성, 내습성, 내약성, 치수 안전성에 우수한 특성을 나타낸다.³⁾ 대상제품의 단면도를 Fig. 1에 나타내었다.

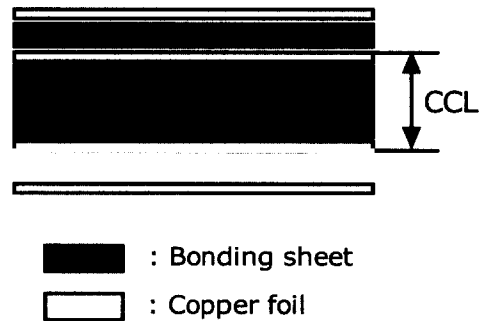


Fig. 1. Cross sectional view of PCB.

대상 PCB는 동박 적층판(Copper Clad Laminate; CCL), Bonding sheet, 동박(Copper foil), Solder, Ink(blue) 및 Ink(white) 등으로 구성되어 있다. CCL은 PCB를 제조하기 위한 원판으로 표면은 동박으로, 내부는 부도체 재질의 유리섬유 및 에폭시 수지로 제조한 Bonding sheet로 구성된다. Solder는 아연(63%)과 납(37%)으로 구성되어 있으며, 부품 삽입시 전기적 접속을 용이하게 한다. Ink(blue)는 PCB 표면에 코팅제로서 사용되며, Ink(white)는 삽입될 부품식별이 가능하도록 문자 인쇄시 사용된다. 각 물질별 구성비율을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Product Composition of PCB

| 구성물질 | Composition(%) |
|---------------|----------------|
| CCL | 42.6 |
| Bonding sheet | 24.6 |
| Copper foil | 19.6 |
| Solder | 9.1 |
| Ink(blue) | 4.0 |
| Ink(white) | 0.2 |

PCB 개략적인 공정흐름도를 Fig. 2에 나타내었다.

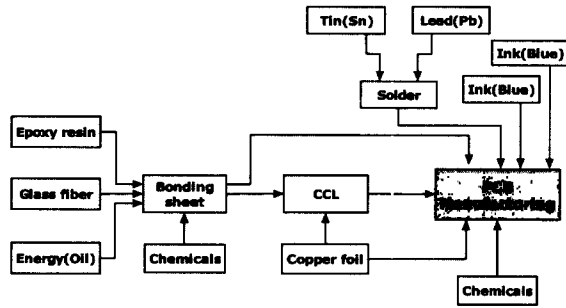


Fig. 2. Process schematic diagram for PCB production.

PCB는 내층재단, 내층회로 형성, 내층 oxide 처리, 적층&Press, 드릴가공, 외층회로 형성, Photo Solder Resist 공정, 문자인쇄(marking), HASL, 외형가공 및 검사 등의 공정을 통해 제조된다. 내층, 외층 회로형성 공정은 정면(연마), Lamination, 노광, 현상, 에칭(Etching) 및 박리 등 세부공정으로 이루어진다.¹⁾

PCB 제조공정과 폐수처리공정에서 다양한 종류의 화학약품이 사용된다. 내층/외층회로 형성시 에칭공정에 주로 사용되는 알칼리 에칭액(Alkali etching solution), 전해/무전해 도금시 사용되는 Rack 박리액, 황산 및 CRU 그리고 폐수처리시 사용되는 KCC-1(주성분은 Limestone) 및 황산제일철 등이 그 예이다.

2. 기능단위

PCB의 고유기능은 전자부품을 탑재하고, 그 사이를 전기적으로 접속하는 것이다. 대상제품의 기능단위는 “HDD용 PCB 1m²(무게: 2.638kg)”로 선정하였다. 그 이유는 PCB 판매시 무게단위로 판매하지 않고 단위면적 기준으로 판매하기 때문이다. 또한 질량보다는 단위면적이 대상제품의 기능을 더욱 명확하게 나타내기 때문이다.

3. 시스템 경계

시스템 경계는 아래 4가지에 대해 정의하였다.

Boundaries within the product life cycle: 시

스템 경계는 원료물질 취득부터 HDD용 PCB 제조까지이다. 즉, 원료물질 취득, 원·부자재 생산 및 PCB 제조와 관련된 모든 과정을 포함하였다. Cut-off 방법은 PCB 제조시 사용된 총 투입물(원·부자재 및 폐수처리 약품)을 기준으로 누적무게 비율 99%까지 포함시키는 것으로 하였다. 단 cut-off된 물질이라도 유해화학물질관리법에 의해 유해화학물질로 규정된 투입물에 대해서는 투입량에 관계없이 연구범위에 포함시켰다. PCB 제조시 사용된 원·부자재 생산공정에 대한 cut-off도 동일한 기준이 적용되었다.

Boundaries toward other product life cycle systems: 원·부자재 제조시 사용된 원료물질은 자연으로부터 얻어진 elementary flow라고 가정하였다. 즉, 재활용된 물질은 사용되지 않는다고 가정하였다. PCB 제조공정 내에서 발생된 폐기물 중 재활용되는 물질은 열린 고리 재활용 시스템을 따른다고 가정하였다. 할당방법은 cut-off method⁴⁾를 사용하며, 재활용 공정은 시스템 경계 밖으로 간주하였다.

Geographical boundaries: 대상제품의 제조 및 국내에서 제조된 원·부자재에 대한 지역적 경계는 한국이다. 국내에서 제조되지 않고 수입되는 원·부자재와 관련된 지역적 경계는 해당 국가로 하였다. 문헌 데이터나 데이터베이스를 사용한 원·부자재의 지역적 경계는 사용된 데이터베이스에 따른다.

Temporal boundaries: 지구온난화 지수는 100년 평균값을 사용한다. 매립될 경우 surveyable time period는 100년으로 설정하고 그 이후는 자연으로 간주하였다.

4. 데이터

전과정 동안 발생하는 자원소모와 환경 오염물 배출목록을 작성하는데 필요한 데이터 범주는 에너지, 천연자원, 대기배출물, 수계배출물, 폐기물, 방사능 폐기물 및 Inflow not traced to the cradle로 선정하였다.

PCB 제조시 사용된 원·부자재 및 배출물에 대한 데이터는 1998년 1월 1일~12월 31일까지의 현장 데이터를 사용하였다. PCB 제조의 상위공정인

원재료 취득, 원재료 가공, 운송, 연료 에너지 중 일부는 현장데이터를 적용하였으며, 현장 데이터 취득이 어려운 경우 데이터베이스, 문헌 자료 및 유사공정의 데이터^{5),6)}를 사용하였다. 기타 전력 에너지는 1999년에 작성된 국내 전력 데이터베이스⁷⁾를 사용하였다.

5. 전과정평가 방법

전과정 목록분석 방법은 ISO 문서^{8),9)}에 기초하여 수행되었다. 할당은 공정의 특성 및 모든 물리적, 화학적 인과관계를 파악하여 할당인자를 설정하였다. 여기서는 가격 등의 경제적 가치와 중량, 부피, 면적 등의 물리적 특성에 의한 할당을 수행하였다. 목록분석 계산에 사용된 Software는 스웨덴의 LCAiT 3.0¹⁰⁾이다.

전과정 영향평가는 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치부여 단계로 수행하였다. 고려된 영향범주는 무생물자원 고갈(Abiotic Resource Depletion; ARD), 지구 온난화(Global Warming; GW), 오존층 고갈(Ozone Depletion; OD), 광화학 산화물 생성(Photochemical Oxidant Creation; POC), 산성화(Acidification; Acid), 부영양화(Eutrophication; Eut), 생태독성(수계)(Eco-Toxicity to water; ET) 및 인간독성(대기)(Human Toxicity to air; HT) 등 총 8개 영향범주이다. 특성화는 상응인자 모델을 이용하여 목록항목의 잠재적인 환경영향을 평가하였다. 정규화는 국내 정규화 기준값⁷⁾을 사용하였으며, 가중치 부여는 한국형 Ecoindicator 방법^{7),11)}을 이용하여 수행하였다.

6. 가 정

이 연구에서 데이터 수집 및 계산과정에서 사용된 주요가정은 아래와 같다.

① 원·부자재 중 일부물질의 제조공정에 대한 환경부하는 제조회사의 협조 거부 및 수입품으로 인한 제조회사 접촉 불가능 등의 이유로 데이터 갭(data gap)으로 처리하였다. 원·부자재 생산시 소모된 원료물질의 양은 조성비율을 이용하여 산출하였다. 조사된 원료물질에 대한 환경부하는 데이터베이스를

사용하였다.

② 부자재에 대한 할당은 가격을 기준으로 하였다. 즉, 총 부자재 사용량 중 HDD용 PCB에 투입된 부자재 양은 총 매출액에서 HDD용 PCB 매출액이 차지하는 비율을 곱하여 계산하였다

③ 전력은 사무실 운영 등 부대시설 사용시 소모된 전력 사용량이 포함된 값을 사용하였다.

④ 각 단계 사이의 운송에 대한 환경부하는 고려하지 않았다.

⑤ 폐기물은 상응인자 모델이 없는 관계로 환경영향을 파악할 수 없었다.

III. Result

1. 목록분석 결과

목록분석 결과 총 200여개 이상의 목록항목이 도출되었다. 이 중 주요 목록항목에 대한 원자재, 제조 공정 및 사용된 화학물질에 대한 기여도를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에 나타낸 물질들은 소모된 자원, 대기오염물 및 수질 오염물 중 고려된 8가지 영향범주에 대해 특성화 결과 각각 1% 이상 영향을 미치는 주요 목록항목이다.

Fig. 3에서와 같이 PCB 제조공정은 Copper ore(0.35% Cu)(r), Crude oil(r), Pb(r) 및 As 등 일부목록을 제외한 모든 목록항목에서 기여도가 크게 나타났다. 특히, 수질오염물의 경우 거의 모든 물질이 PCB 제조공정에서 발생되며, 이는 공정에서 사용된 전력에서 기인한 값이다. 즉, PCB 제조공정은 세척공정을 포함하고 있으며, 세척 후 기판건조시 많은 양의 전력이 사용되기 때문이다.

PCB의 원판으로 사용되는 CCL은 Copper ore(0.35% Cu)(r), Crude oil(r) 및 As(aq) 등의 목록항목에서 차지하는 비율이 크게 나타났다. 이는 CCL 제조시 경우 사용량에서 기인한 값이다.

PCB 제조공정 및 폐수처리시 많은 양의 화학물질이 사용된다. 대상 PCB의 경우 원자재에 비해 질량기준 3배 정도의 화학약품이 사용된다. 그러나 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전체 발생량에서 차지하는 비율이 작게 나타난다. 이는 사용된 약품들이 대

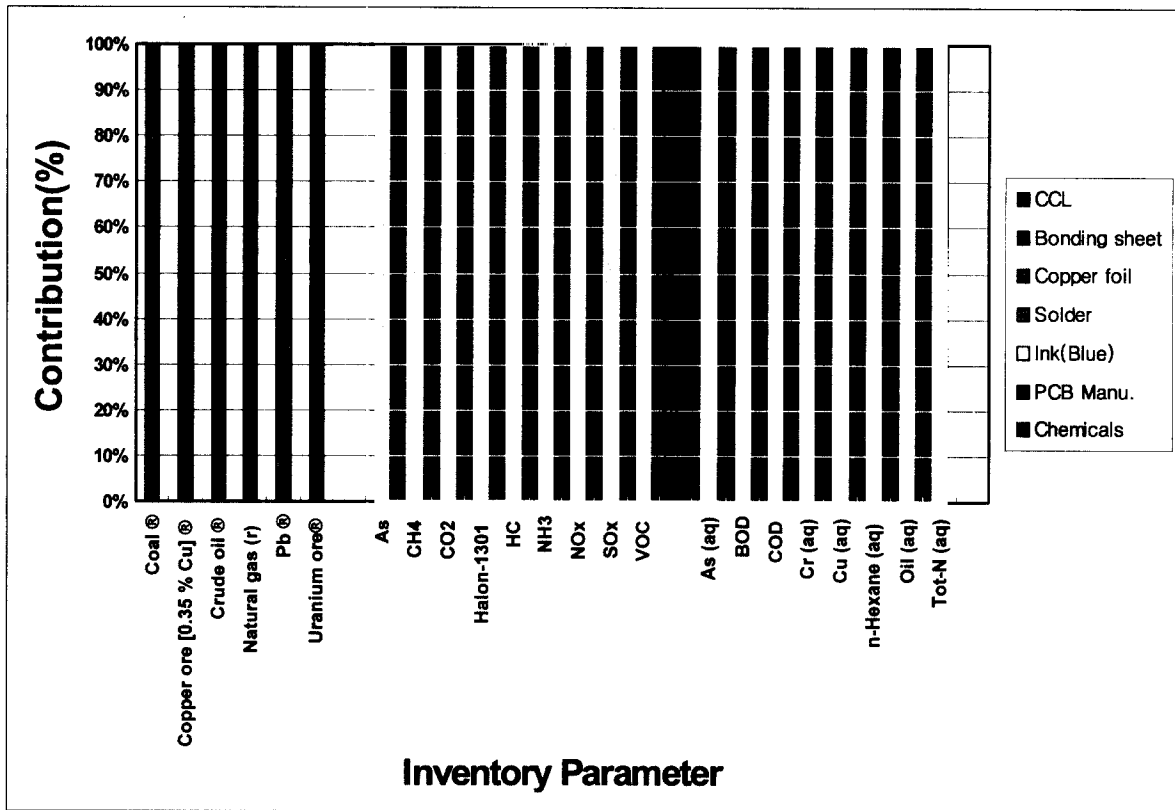


Fig. 3. Relative contribution of each process to key inventory items.

부분 물이 주성분이므로 실제 원액 사용량은 적기 때문이다.

2. 영향평가 결과

특성화된 환경영향 결과 ARD 범주에 큰 영향을 미치는 물질은 Crude oil(r), Coal(r) 및 Natural gas(r) 등이며 이는 에너지 사용으로 인해 소모된 양이다. GW 범주에는 CO2와 CH4가, POC 범주에는 Hydrocarbon이, 그리고 Acid 범주에는 SOx 및 NOx가 주요 영향물질로 나타났다. Eut 범주의 경우 대기 배출물인 NOx와 수계 배출물인 Tot-N (aq)가 부영양화 범주에 95% 정도를 차지한다. COD와 BOD는 발생량은 많지만 상응인자가 NOx 나 Tot-N(aq)에 비해 작으므로 특성화된 환경영향이 적은 것으로 나타났다. 또한 ET 범주에 주요한 영향을 미치는 물질은 Cu(aq)와 As(aq)이다.

각 영향범주별 특성화된 환경영향에 대해 원자재, 제조공정 및 사용된 화학물질에 대한 기여도를 Fig. 4에 나타내었다.

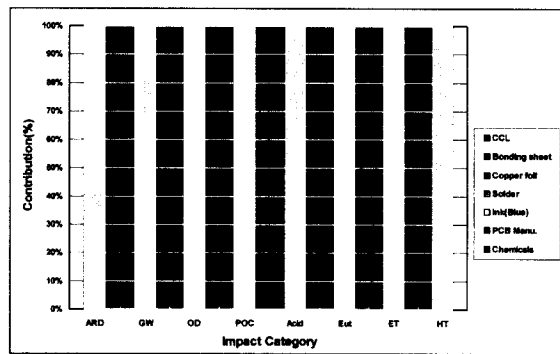


Fig. 4. Relative contribution of each process to key inventory items.

Fig. 4에 나타난 것처럼 PCB 제조공정이 OD를 제외한 모든 영향범주에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. CCL은 ARD와 ET 영향범주에, Bonding sheet는 ARD 범주에, 그리고 Solder는 Acid와 HT 범주에 영향이 큰 것으로 나타났다. 화학물질의 경우 OD를 제외한 모든 영향범주에서 5~10% 사이로 적게 영향을 미치는 것으로 나타났다. OD에 영향을 미치는 목록항목은 Halon-1301뿐이

며 발생하는 양도 극히 미비하다.

가중치 부여된 환경영향 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 가중치 부여결과 ARD 범주가 전체 영향의 60%로 가장 크며, 이 뒤를 HT, ET, GW, Acid, Eut 범주 순으로 나타났다. POC와 OD 범주의 영향은 미비하다.

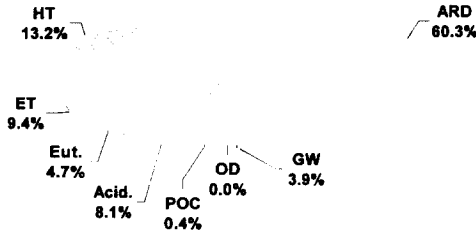


Fig. 5. Weighted impact of the PCB system.

IV. Sensitivity Analysis

민감도 분석의 목적은 투입물 및 배출물과 환경지표들에 대한 변화가 LCA 결과 값에 미치는 영향 정도를 규명하는 과정이다. 또한 사용한 데이터의 품질 요건을 판단하는 중요한 방법이다. 민감도 분석을 통해서 불확실한 데이터 값의 변화가 전체 결과 값에 미치는 변화 정도를 살펴볼 수 있다. 민감도 분석은 사용된 데이터에 따른 분석과 PCB 제조공정의 할당 방법에 따른 분석의 2가지 경우에 대하여 수행하였다.

1. 사용된 데이터에 따른 민감도 분석

Dominance Analysis를 통하여 주요이슈를 규명한 후 이를 바탕으로 민감도 분석을 수행할 목록항목을 선택하였다. 선택된 목록항목의 값을 변화시키기 전과 변화시킨 후의 값의 비를 계산하고, 이를 데이터의 변화(Change in Data; CD)로 나타내었다. 각 목록항목 값에 따라 결정된 결과값 즉 특성화된 환경영향 값의 변화전과 변화비를 계산하였다. 이를 결과 값의 변화(Change in result; CR)로 나타낸다. 마지막으로 선택된 목록항목의 민감도를 계산하였다. 민감도 지수는 탄력성(elasticity)으로 나타내며, 탄력성은 다음과 같이 표현된다.¹²⁾ 즉,

$$E(\text{Elasticity}) = \frac{C_R}{C_D}$$

영향범주의 특성화된 환경영향 값들의 변화비를 통해 목록항목의 신뢰도가 LCA 결과의 신뢰도에 미치는 영향을 평가할 수 있다.

규명된 주요이슈를 중심으로 결과값에 영향을 미치는 목록항목을 선택하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에는 선택된 목록항목의 선정이유와 선정된 데이터의 변화범위를 제시하였다. 여기서 주요 activity나 목록항목 자체는 변화시킬 수 없기 때문에 주요 activity내에서 목록항목에 영향을 미치는 일반적인 목록을 선택하였다. 즉, 전력, 경유 및 solder 사용량이 그것이다. Table 2에 나타난 평가항목에

Table 2. Parameters for Sensitivity Analysis.

| Activity | 평가항목 | 선택이유 | 변화범위 |
|---------------|------|---|---|
| PCB 제조공정 | 전력 | 모든 영향범주에서 주요 activity로 규명 전력 사용량은 가장 중요한 환경부하의 원인 | From 256 to 182 MJ/m ² (가격기준 할당 vs 질량기준 할 당) |
| CCL | 경유 | OD 범주를 제외한 모든 영향범주에서 주요 activity로 규명 연료사용량은 공정 및 제조방식별로 큰 차이가 있을 것으로 판단됨 | From 62.7 to 31.3 MJ/kg (실제 사용량 vs 이론적 필요량) |
| Bonding sheet | 경유 | OD, ET범주를 제외한 영향범주에서 주 요 activity로 규명 | From 177.3 to 88.9MJ/kg (실제 사용량 vs 이론적 필요량) |
| Solder | 소모량 | ARD, GW, Acid 및 HT 범주의 주요 activity | From 6500 to 7000kg/month (평균 사용량 vs 최고 사용량) |

대하여 민감도 분석을 수행하였으며 Table 3에 결과를 나타내었다.

Table 3. Elasticity of the Parameters for Sensitivity Analysis

| 영향범주 | PCB Manu (전력) | CCL (Oil) | Bonding Sheet(Oil) | Solder (사용량) |
|------|---------------|-----------|--------------------|--------------|
| ARD | 0.18 | 0.10 | 0.18 | 0.01 |
| GW | 0.78 | 0.01 | 0.01 | 0.03 |
| OD | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| POC | 0.90 | 0.00 | 0.01 | 0.03 |
| Acid | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.33 |
| Eut | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| ET | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.29 |
| HT | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.43 |

민감도 분석 결과 PCB 제조공정의 전력 사용량은 GW 및 POC 범주에 매우 민감하게 나타났으며 Solder 사용량은 HT 범주에 민감도가 크게 나타났다.

평가항목에 대해 탄력성이 크게 나타나면 평가항목의 사용 데이터에 의해 LCA 결과 값이 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다. 즉 탄력성이 크게 나타날수록 민감도가 크다는 것을 의미한다. Table 3에서 PCB 제조공정에 사용된 전력 및 CCL의 경우 사용량은 실측에 기초한 자료이다. 따라서 평가항목의 탄력성이 비교적 크더라도 사용된 데이터가 실측 데이터이므로 도출된 LCA 결과의 신뢰도는 높다고 판단된다.

2. 할당방법에 따른 민감도 분석

PCB 제조시 사용된 원·부자재의 사용량은 가격 기준 할당을 수행하였다. 따라서 민감도 분석에서는 질량기준 할당을 수행하여 LCA를 수행하였으며, 이를 통해 두 할당방법에 따른 민감도를 파악하였다. Fig. 6에 가격기준 특성화된 환경영향을 100%라고 할 때 질량기준 특성화된 환경영향의 비율을 나타내었다.

GW, OD 및 POC 범주는 25% 정도의 차이를 보이며 ARD와 ET 20% 이내, 그리고 나머지 영향

범주는 10% 이내의 차이를 보이고 있다. 일반적으로 목록항목 데이터의 변화 폭이 통상 100% 이상이므로 25% 이내의 차이는 오차범위 내에 포함된다고 판단된다. 따라서 할당방법의 차이에 따른 LCA 결과의 변화는 크지 않다고 판단된다. 즉, 여기서 사용한 할당방법의 민감도는 낮다고 판단되어 진다.

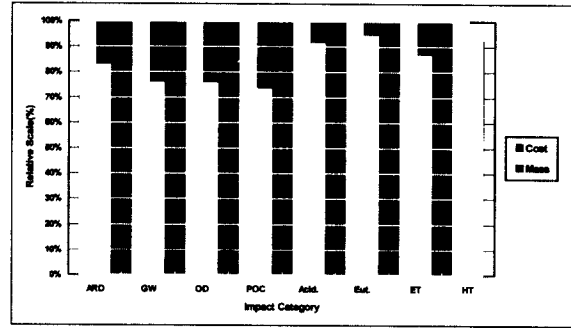


Fig. 6. Comparison of characterized impacts on allocation method.

V. Conclusion

국내에서 생산되는 HDD용 PCB의 LCA를 수행하였다. 이 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 목록분석 결과 PCB 제조공정이 주요 목록항목의 목록분석값의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 PCB 제조시 전력 사용량이 많기 때문이다.
2. PCB 제조시 많은 양의 화학물질이 사용된다. 그러나 대부분의 화학약품 주성분은 물이다. 따라서 화학약품 사용량은 많지만 전체 환경영향에 차지하는 비율은 낮은 것으로 나타났다.
3. 특성화된 환경영향 결과 PCB 제조공정이 OD를 제외한 모든 영향범주에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 화학물질의 경우 OD를 제외한 모든 영향범주에서 5~10% 사이로 적게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 가중치 부여된 환경영향결과 ARD 범주가 전체 영향의 70%로 가장 크게 나타났다.
4. 탄력성을 이용한 민감도 분석 결과 PCB 제조공정의 전력 사용량은 GW 및 POC 범주에 매우 민감하게 나타났으며 Solder 사용량은 HT 범주에 민감도가 크게 나타났다. 그러나 실측에 기초한 데이터를 사용하기 때문에 LCA 결과의 신뢰도는 높다

고 판단된다.

5. HDD용 PCB의 할당시 가격기준 할당방법을 사용하였으며, 질량기준 할당결과를 비교하여 민감도 분석을 수행하였으며, 모든 영향범주에서 25% 이내의 차이를 나타냈다. 따라서 할당방법에 따른 민감도는 낮다고 판단된다.

“Environmental Consideration on Battery-Housing Recovery”, The International Journal of LCA, 4(2), pp. 107~112, 1999.

사 사

이 연구를 수행하는데 있어서 재정적 지원은 산업자원부의 산업기반기술 조성사업에 의해 제공되었다.

참 고 문 헌

- 1) 인쇄회로기판 제작-직업훈련교재-, C전자 주식회사 내부자료, 1995.
- 2) 전태보 외, “시뮬레이션을 이용한 PCB 제조시스템의 수행능력 분석”, 산업공학회지 6(2), pp. 133~137, 1993.
- 3) <http://www.enet.co.kr/KCC/>.
- 4) Lindfors, L. et al “LCA Nordic-Technical Report No. 7: Allocation”. Nordic council of Ministers, Copenhagen, 1994.
- 5) CIT. LCAiT software Database, Chalmers Industriteknik, Sweden, 1996.
- 6) The Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape(SAEFL), Life Cycle inventories for packaging Vol. I, II, Swiss, 1998.
- 7) 환경 친화적 산업기술기반조성에 관한 보고서(1차년도 중간보고서), 산업자원부, 1999.
- 8) ISO 14040, Environmental management -Life cycle assessment- Principles and framework, 1997.
- 9) ISO 14041, Environmental management -Life cycle assessment- Goal and scope definition and inventory analysis, 1998.
- 10) CIT, LCA inventory tool 3.0, Chalmers Industriteknik, Sweden, 1998.
- 11) Kun M. Lee, “A weighting Method for the Korean Eco-Indicator.” The International Journal of LCA, 4(3), pp. 161-166, 1999.
- 12) Wulf-Peter Schmidt, Hans-Martin Beyer,