

# LCA를 통한 가전제품 폐기단계의 환경부하 및 주요 환경영향 규명

박필주 · 노재성 · 이진모

(아주대학교 환경 · 도시공학부)

## The Identification of Environmental Loads and Key Issue to the Home Appliances in the Disposal Phase by the LCA

Pil-Ju Park · Jae-Sung Noh · Kun-Mo Lee

(School of Environmental & Urban System Engineering, Ajou University)

### ABSTRACT

Life Cycle Assessment(LCA) is a procedure evaluating environmental burdens associated with a product, process, or activity from raw material acquisition to disposal. Disposal phase as well as manufacturing or use phase should be considered as an important process in order to evaluate confidence in the LCA results. In this study, we examined the application of management method involved with manpower-capital combined recycling technique on home appliances in disposal phase. Database, considered as national specific situation, recycling processes and incineration has been established. Also, we carried out the LCA on a refrigerator in the disposal phase and identified the key issues. Two methods for the identification of key issues were studied, one for impact category and the other for whole system. As a result, Identified key issues are disassembly, cabinet foam, urethane. So are coolant, PCB incineration. These are more than 50% of whole environmental burdens. Also, The value of global warming, human toxicity of air emission, and acidification are high.

**Keywords** : LCA, disposal phase, waste home appliance, Database, Key issue

### 요 약 문

전과정평가는 원료취득 및 가공, 제품제조, 사용 및 폐기단계에서 발생하는 환경부하를 정량화하고 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하는 과정으로 이루어진다. LCA 결과의 신뢰도를 제고시키기 위해서는 제조단계나 사용단계와 마찬가지로 폐기 단계도 중요한 공정으로 간주되어야 한다. 여기서는 노동-자본 결합형 재활용 기술을 적용한 폐가전제품 처리방법에 대해 조사하였으며, 재활용공정과 소각공정을 중심으로 국내 상황을 고려한 데이터베이스를 구축하였다. 또한, 냉장고의 폐기단계 LCA를 수행하여 주요이슈를 규명하였다. 주요이슈 규명은 각 영향범주별 주요이슈 규명과 전체 시스템의 주요이슈 규명의 두가지 방법에 의해 수행되었다. 수행결과 분해공정, Cabinet foam, 단열재공정이 주요 이슈로 규명되었으며, 냉매제의 대기 방출, PCB 소각 등으로 인한 환경부하가 전체의 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 지구온난화, 인간독성(대기), 산성화 등의 영향범주에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

**주제어** : 전과정평가, 폐기단계, 폐가전 제품, 데이터베이스, 주요이슈

## I. 서 론

전과정평가(Life Cycle Assessment)는 원료취득,

가공, 제품제조, 사용 및 폐기를 중심으로 사용되는 에너지와 물질 및 배출되는 폐기물을 규명하고 정량화 함으로서 제품 및 공정과 관련된 환경부하를 평가하는 과정이다.<sup>1)</sup> 여기서 환경부하란 자원으로 및

환경오염물 -수질 오염물, 대기오염물, 폐기물- 을 지칭한다.

기존까지 제품제조에 대한 전과정평가는 많이 수행되어 왔다. 그러나 사용 후 수명이 다한 제품의 폐기단계에 대한 연구는 미비하다. 그 이유는 다양한 종류의 오염물이 배출되는 폐기공정에 대한 전과정평가의 적용방법이 명확하게 정립되지 않았기 때문이다.<sup>2)</sup> 전과정평가 수행시 제품 및 공정의 전과정에 대한 환경부하를 정확하게 측정하고자 한다면, 제조단계나 배분, 사용단계와 마찬가지로 폐기단계에 대한 조사도 이루어져야 한다. 폐기단계의 재활용, 소각, 매립에 대한 규명 및 발생하는 환경오염물의 적절한 할당을 통하여 원인-결과 관계를 규명해야 한다. 이를 통하여 비로소 제품의 전과정에 대한 환경부하를 계산할 수 있으며 전과정평가 수행결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 사용 후 폐기되는 가전제품의 경우 중량과 부피가 크고 구성재질이 다양하여 단순 매립시 매립시 안정화 저해, CFC 등을 포함한 유해물질의 노출 등 많은 문제를 발생시킨다. 따라서 분해가 쉽도록 설계하는 것과 동시에 효과적인 재활용 및 최종처리에 대한 필요성이 증대되고 있다.

이 연구는 가전제품의 폐기경로 조사, 폐기공정별 국내 데이터베이스 구축, 전과정평가를 통한 가전제품의 폐기단계 환경부하 규명을 그 목적으로 한다. 이를 위해 수행된 내용 및 방법은 다음과 같다. 첫째, 가전제품의 폐기경로 규명을 위해 노동-자본 결합형 재활용 기술을 이용하여 폐가전제품을 처리하는 공장을 조사하였다. 조사된 내용은 폐가전제품 처리방법 및 재질별 분리효율이다. 둘째, 재활용과 소각공정을 중심으로 단위공정별 국내 데이터베이스를 구축하였다. 재활용 공정은 폐기된 각 물질이 원료물질로 재활용될 때까지의 환경부하를 조사하였다. 소각공정은 측정된 대기오염물질별로 할당기준을 선정하였으며, 이를 투입물질별 화학조성에 기초하여 환경부하를 계산하였다. 셋째, 가전제품의 전과정평가 적용 및 폐기단계 환경부하 규명을 위해 case study를 수행하였으며 대상제품은 냉장고이다. 전과정평가 수행을 통해 환경부하가 큰 부품 및 목록지표를 주요이슈로 규명하였다.

## II. 국내 가전제품 폐기경로

세탁기, 냉장고 등의 대형 가전제품은 전자산업의 발전과 국민소득의 향상에 따라 80년대 이후 급속히 보급되기 시작하였다.<sup>3)</sup> 가전제품의 내구기한이 약 10년이라는 사실을 감안할 때, 앞으로 폐기물로서 대량 방출될 것으로 예상되며 그에 대한 적절한 처리가 이루어져야 한다.

폐기물로 배출되는 가전제품은 지방자치단체 또는 청소대행업자에 의한 공공부문에서의 회수와 유통업자, 생산업자, 재활용업자가 공동으로 참여하는 판매망을 통한 역회수 -신제품 판매시 구제품을 수거하는 형태- 에 의해 이루어지고 있으며, 일부 민간 수집상 또는 재활용업자에 의해 자체 회수되는 경우도 있다.<sup>4)</sup>

수거된 폐가전제품의 처리는 수리 및 재판매하는 방식(이하 재사용), 폐가전제품에 포함되어 있는 유가물을 회수, 재활용하는 방식(이하 재활용), 폐가전제품을 분해, 분리, 파쇄한 상태 또는 원형 그대로 소각 또는 매립시키는 방식(이하 최종처리) 등 3가지 유형이 있다.<sup>4)</sup> 폐가전제품 중 수리하여 사용이 가능한 경우는 지방자치단체 및 전국 가전·가구 재활용협의회에서 운영중인 재활용센터를 통하여 재사용되며, 수리가 불가능한 경우는 재활용 및 최종처리 과정을 거치게 된다.

재활용은 폐가전제품에서 유가물을 추출, 처리하는 방법에 의해 이루어지고 있으며 그 처리방법에 따라 3가지 유형 -첫째, 간단한 장비를 이용한 인력 위주의 분해, 분리에 의존하는 노동집약형 재활용 기술, 둘째, 폐가전제품의 해체 및 전처리인 인력에 의존하나 슈레다 등 대형 장비를 이용하여 재활용품을 추출, 가공하는 노동-자본 결합형 재활용 기술, 셋째, 폐가전제품의 전처리부터 유가물 추출, 잔재물 처리 등 일련의 과정이 기계화되어 있는 자본집약형 재활용 기술- 으로 나눌 수 있다. 민간 재활용업체 및 자원재생공사는 노동-자본 결합형 재활용 기술을 사용하고 있으며, 현재 가동중이거나 건설중인 권역별 리사이클링 센터는 자본집약형 재활용 기술로 분류될 수 있다.<sup>4)</sup>

전국폐가전재활용협의회 내부자료('96)<sup>5)</sup>에 의하면 폐가전제품의 70% 이상이 민간 재활용업체에 의해서 재활용이 이루어 졌으며 나머지는 자원재생공사 대형 폐기물 처리공장을 통해 처리되었다. 따라서 국내 가전제품은 대부분이 노동-자본 결합형 재활용기술을 이용하여 재활용 및 최종처리가 이루어지며, 이를 토대로 폐기경로를 조사하였다. 아울러 가동중이거나 건설중인 권역별 리사이클링 센터의 경우도 그 규모만 차이가 있을 뿐 처리방법 및 처리효율은 노동-자본 결합형 재활용 기술을 이용하는 업체와 크게 다르지 않을 것으로 생각된다.

조사된 D폐가전업체는 노동-자본 결합형 기술을 이용 폐가전제품을 처리하고 있으며, 냉장고와 세탁기는 동일한 공정에 의한 혼합처리가 이루어지고 있다. 이는 냉장고와 세탁기가 유사한 재질로 구성되어 있어 동일한 분리공정이 적용될 수 있기 때문이다. 처리공정은 수작업과 기계에 의한 작업으로 구분되어 이루어지고 있다. 수작업에 의해 분리가 쉬운 모터류, 폼프레사, 트랜스, 전선류 및 플라스틱류 등이 분리된다. 수작업 후 미분리된 물질은 파쇄기에 투입 파쇄되며 전자석 원리에 의해 고철과 알루미늄이 분리되며 나머지 물질들은 자체 보유중인 소각로에서 소각된다. 재질별로 분리된 물질은 재활용업체에 이송 재활용공정을 거쳐 원료물질로 재생된다. 분리공정에 사용되는 주 동력원은 전력이다. Fig. 1에 처리 공정도를 나타내었다.

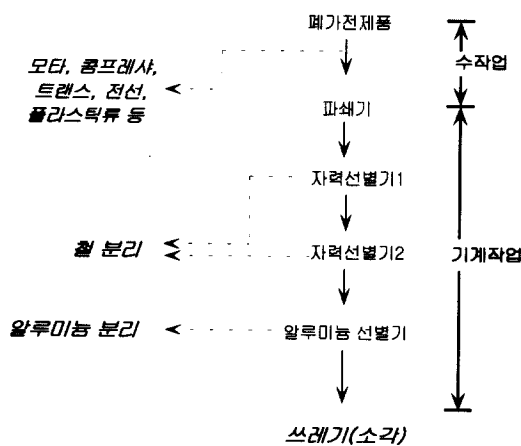


Fig. 1. Treatment diagram of waste home appliances in D company.

주요 재질별 분리방법 및 분리효율을 Table 1에 나타내었다. 국내에서 가동중인 대부분의 폐가전업체들의 처리공정과 분리방법은 동일하다. 따라서 다른 폐가전업체와 비교하여 각 재질별 분리효율은 Table 1과 큰 차이는 없을 것으로 예상된다.

Table. 1. Disassembly Method and Efficiency for each Material in D company.

재 질	분리방법	분리효율(%)
철	파쇄후 기계분리	100
알루미늄	수작업, 파쇄후 기계분리	95
구리	수작업	80
스테인레스	수작업	95-100
플라스틱	수작업	70
모터류	수작업	100

분리된 각 재질의 처리공정은 다음과 같다. 분리된 철은 고철을 재생하는 공정에 이송된 후 전기로에 용융되어 철근을 만드는 원료물질로 재활용된다. 구리 및 알루미늄은 용융 불순물을 제거한 후 괴 형태로 재활용된다. 플라스틱은 수작업에 의해 각 재질별로 분리되며, 파쇄 용융공정을 통해 펠릿(pellet) 형태의 원료물질로 만들어진다. 모터류는 절단공정에 의해 철과 구리로 분리되며, 폐오일이 폐기물로 발생된다.

분리후 남은 물질은 폴리우레탄 및 미 분리된 플라스틱이 주성분이며, 자체 보유중인 소각로에서 소각된다. 소각시 열 회수는 없으며, 단지 부피감량의 목적으로만 사용된다. 소각 후에는 소각로 투입전 질량의 5~10%가 재(ash)로서 발생되며 매립된다.

### III. 재활용 및 소각공정의 데이터베이스 구축

폐기단계의 세부시스템은 재활용, 소각 및 매립 등으로 나눌 수 있다. 이 중 각 물질별 재활용공정의 환경부하와 소각시 물질별 오염물 배출에 대하여 국내에서 적용가능한 데이터베이스를 구축하였다. 구

측된 데이터베이스는 전과정평가 수행시 국내실정에 적합한 데이터를 적용시킬 수 있으며, 전과정평가 결과의 신뢰성을 제고시킬 수 있을 것이다. 아래는 각 물질별 재활용과 소각공정의 데이터베이스 구축시 시스템 경계 설정방법 및 계산과정에 대해 나타내었다.

### 1. 재활용(Recycling)

재활용 공정에 대한 시스템 경계는 폐가전제품에서 분리된 부품 및 재질별로 분리된 물질이 가전제품이나 그 밖의 다른 제품의 생산활동에 부품과 원재료로 다시 활용되는 과정까지로 설정하였다.

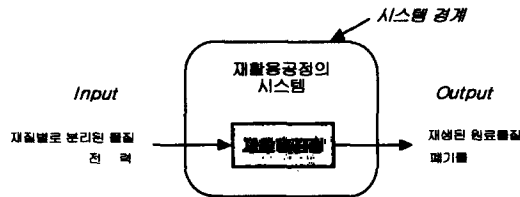


Fig. 2. System boundary for recycling process.

조사된 각 물질별 시스템 경계는 다음과 같다. 고철의 경우 재활용공정과 다른 제품의 생산 공정이 동일한 공장에서 이루어진다. 즉, 냉장고와 세탁기에서 분리된 고철은 전기로에서 용융 불순물이 제거된 후 철근으로 만들어진다. 여기서는 원재료로 활용될 수 있는 공정까지 시스템 경계를 설정하는 것이 타당하다. 따라서 불순물을 제거하는 단계까지를 재활용공정으로 간주하였다. 알루미늄 및 구리는 용융하여 불순물을 제거한 후 괴 상태로 만드는 공정까지를 재활용공정으로 간주하였다. 플라스틱류는 재질별 분리 후 펠렛상태의 원료물질 생산공정까지 시스템 경계로 설정하였다. 부품으로 분리된 모터류 및 전선류는 분리공정에 의해 재질별로 분리된 후 재활용된다. 따라서 시스템 경계는 분리공정부터 각 재질별 재활용공정까지로 설정하였다.

각 재활용공정의 데이터 수집은 전력 사용량 및 발생하는 폐기물 중심으로 조사가 이루어졌다. 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 최소 1년간 축적된 자료를 중심으로 조사가 이루어져야 한다.<sup>6)</sup> 그러나 조

사된 재활용공장의 영세성으로 인하여 축적된 통계 자료를 보유하고 있지 않았다. 따라서 일정기간 동안의 처리량, 폐기물 발생량 및 모터용량을 기준으로 환경부하량을 계산하였다. 알루미늄 및 구리의 경우 재활용시 대기오염물질이 발생될 것으로 예상되지만 해당 자료가 없었다. 플라스틱 재활용 공정은 재질별로 용융온도의 차이가 있을 뿐 재활용이 동일한 공정으로 이루어진다. 따라서 플라스틱 재활용시 발생하는 환경부하는 종류에 상관없이 동일하다.

위의 조사를 통하여 철, 알루미늄, 구리, PVC, EPS와 PP, PS, ABS 등의 플라스틱 재활용시 발생하는 환경부하에 대한 데이터베이스를 구축하였다.

### 2. 소각(Incineration)

소각공정은 소각로 투입물질 및 배출물질을 기준으로 시스템 경계를 설정하였다. 조사된 소각로는 폐가전제품 분해후 발생하는 폐기물(미분리된 물질)을 소각 대상으로 하고 있다. 측정된 대기오염물질은 CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, TSP, 및 HCl이며, CO<sub>2</sub>는 화학량적 방법에 의하여 계산하였다.

소각로 투입물질은 분리 후 남은 가전제품 및 전력이다. 소각되는 물질은 폴리우레탄, 미분리된 플라스틱 및 기타 물질 등이다. 소각되는 모든 물질에 대한 화학적 조성을 파악하는 것은 불가능하다. 따라서 소각시 화학적 조성을 알 수 있는 물질만 대기오염물질을 배출하며, 나머지 부품들은 소각시 아무런 변화를 겪지 않는다고 가정하였다. 소각로 배출물질은 대기오염물질 및 소각후 발생하는 재(ash)이다.

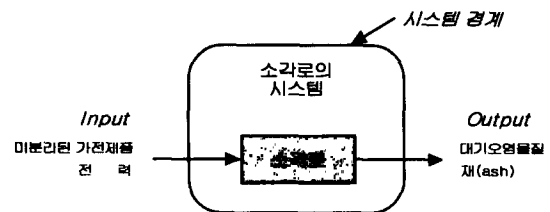


Fig. 3. System boundary of incineration process.

소각로는 여러 가지 물질이 혼합된 다중입력 (multi-input) 시스템이다. 다중입력 시스템은 배출

물질에 대한 할당이 필요하다. 이 때 가장 적절한 할당원리는 투입물질과 배출물질 사이의 인과관계(물리적/화학적 관계)에 기초하는 방법<sup>7),8)</sup>이다. 소각로에서 배출되는 물질은 물질에서 기인한(product-derived) 배출물과 공정에서 기인한(process-derived) 배출물로 나눌 수 있다.<sup>9)</sup> 조사된 대기오염 물질중 CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>는 물질에서 기인한 배출물로 분류하여 화학적 조성에 의한 할당이 이루어졌다. 이 방법은 배출되는 모든 화학물질은 투입되는 화학물질 성분에서 기인한다는 원리이다. 일례로 발생하는 CO<sub>2</sub>는 소각되는 물질 중에서 탄소를 포함한 물질에만 할당한다. SO<sub>2</sub>, TSP, HCl, 재 등은 투입물질 성분에는 없는 물질이므로 화학적 조성에 의한 할당이 불가능하다. 따라서 공정에서 기인한 배출물로 간주하고 모든 물질에 동일하게 적용하였다.

위의 조사를 통하여 PP, PS, ABS 등 플라스틱과 rubber, nylon, PU, EPS, PCB 등의 물질에 대하여 소각시 발생하는 환경부하에 대한 데이터베이스를 구축하였다.

#### IV. 냉장고의 폐기단계 LCA 적용

위에서 가전제품의 폐기경로에 대해서 알아보았으며, 재질별 폐기시 데이터베이스를 구축하였다. 이를 토대로 냉장고의 폐기공정에 대한 전과정평가를 수행하였다. 연구 목적은 폐기공정의 주요이슈(key issue)를 규명하는 것이다. 주요이슈는 해당 시스템 내에 환경에 미치는 잠재적 영향이 큰 공정이나 재질들을 지칭한다.<sup>10)</sup>

##### 1. 시나리오 작성.

사용후 수명이 다한 냉장고는 폐가전업체로 유입된다. 유입되는 폐냉장고는 국내 S가전업체에서 생산되는 냉장고 모델(무게 : 106.525 kg)을 기준으로 하였다. 냉장고는 구성부분에 따라 9개의 부품으로 나누었다. 단열재의 경우 Cabinet foam, 냉동실 door, 냉장실 door 부분에 포함되어 있다. 그러나 여기서는 분리하여 한 개의 부품으로 간주하였다. Unit는 compressor, condenser, 모터 등을 포함한

다. 각 부품이 전체에서 차지하는 비율 및 주요 구성물질을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Composition and Major Materials of Components of a refrigerator.

부 품	구성비율(%)	재 질
Cabinet foam	32.59	Fe, Cu, ABS,
냉동실 door	4.49	Fe, ABS, PVC
냉장실 door	8.27	Fe, ABS, PVC
냉동실내부조립	3.19	PP, PS, 불분명재질
냉장실내부조립	3.13	PS
외부조립	2.66	PP, 불분명재질
Unit	13.42	Fe, Cu, 불분명재질
내용물	18.80	PS, ABS, Glass
단열재	13.45	PU

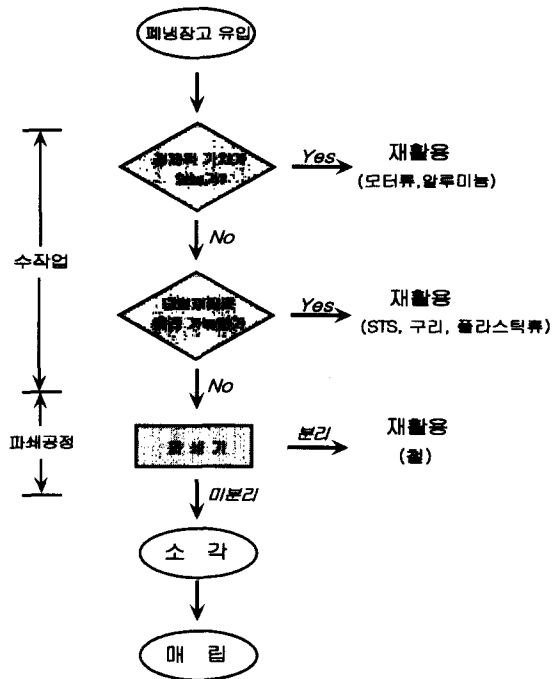


Fig. 4. Decision criteria on disassembly.

유입된 폐냉장고는 국내 폐가전업체의 폐기경로 - 1차 수작업, 2차 파쇄공정 - 를 따른다고 가정하였다. 각 부품의 재활용, 소각, 매립의 판단기준 및 처리경로를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4의 판단기준에 따라 폐냉장고의 재활용, 소

각, 매립의 비율을 결정하였다. 그러나 철의 경우 파쇄 후 분리되기 때문에 단일 재질로의 분리여부가 중요한 인자로서 작용하지 않는다. 따라서 기계 투입 시 100% 재활용된다고 가정하였다. Table 3에 각 부품별 처리비율을 나타내었다.

Table 3. Treatment methods of each component.

부 품	처리방법		
	재활용 (%)	소 각 (%)	매 립 (%)
Cabinet foam	93.1	3.1	3.8
냉동실 door	91.9	6.9	1.2
냉장실 door	96.1	3.7	0.1
냉동실 내부조립	61.4	4.8	33.8
냉장실 내부조립	56.6	11.5	31.8
외부조립	9.1	41.8	49.1
Unit	75.6	3.3	21.1
내용물	48.5	16.4	35.0
단열재	0.0	100.0	0.0
Total	65.7	6.8	27.6

## 2. 전과정 목록분석

냉장고의 폐기단계 공정도(process tree)를 Fig. 5에 나타내었다. 각 부품들은 물질별 재활용, 소각, 매립공정으로 구분되는 세부 공정도(sub process tree)로 구성되어 있다.

기능단위(functional unit)는 냉장고 1대(106.525kg)로 하였으며, 여기서는 냉장고 1kg 폐기 시의 환경부하를 나타내었다. 분해시 발생하는 냉매제는 수거하지 않고 대기중으로 방출된다. 따라서 분해공정에서 배출된다고 가정하였다. 재활용공정에 대한 시스템경계는 용융 후 다른 제품을 생산하기 전 단계까지로 설정하였으며, 운반에 따른 환경부하는 고려하지 않았다. 매립시 예상되는 배출물에 대한 조사는 제외하였으며 매립되는 질량만을 고려하였다. 적용된 데이터는 공정별 국내 실정을 고려한 데이터베이스를 사용하였다.<sup>11)</sup> 전력에 관한 데이터는 1994년 국내 전력 데이터베이스<sup>12)</sup>를 이용하였다.

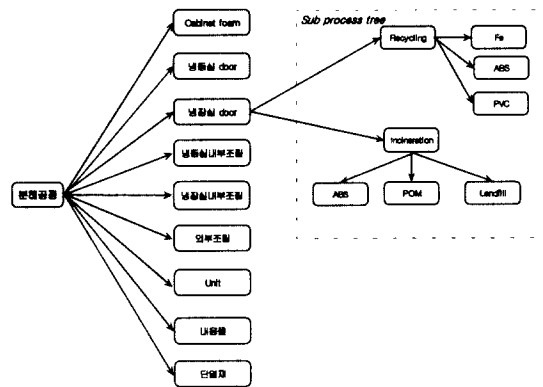


Fig. 5. Process tree of a refrigerator in the disposal phase.

## 3. 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치 부여 단계로 수행하였다.

주어진 시스템이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하기 위해서 선정한 주요영향범주는 천연자원, 생태계, 인간보건이다. 고려된 세부영향범주는 무생물자원고갈, 지구온난화, 오존층 고갈, 광화학 산화물 생성, 산성화, 부영양화, 생태계독성(수계) 및 인간독성이다.

특성화는 상응인자 모델을 이용하여 목록항목의 잠재적인 환경영향을 평가하였으며 정규화는 국내 정규화값<sup>13)</sup>을 사용하였다. 사용된 가중치 부여 방법은 전문가 집단에 의한 방법의 하나인 Delphi-like 방법<sup>14)</sup>을 이용하였다.

## V. 주요이슈 규명

### 1. 영향범주별 주요이슈

이 방법은 각 영향범주별로 특성화 결과를 matrix(열에는 목록지표, 행에는 activity)로 나타낸 후 matrix내 각 cell의 특성화 값을 전체 특성화 값으로 나누는 과정을 행한다. 이를 통해 목록지표 및 activity가 주어진 영향범주에 기여하는 정도인 기여도를 알 수 있다. 여기서 임의의 퍼센트 이상 기여하는 activity 및 목록지표를 주요이슈라고 정의하면, 각 영향범주별 주요이슈를 규명할 수 있다.<sup>10)</sup>

Table. 4. Key Issues for Each Impact Category based on Characterization result.

영향범주	주요이슈	
	activity	목록지표
AD	Cabinet foam(41.3%) Unit(15.4%) 분해공정(11.4%)	Crude oil(r)(68.2%) Natural gas(r)(21.3%) Coal(r)(10.4%)
GW	분해공정(70.4%)	HFC-134a(68.6%) CO <sub>2</sub> (30.5%)
POC	단열재(30.9%) 외부조립(18.1%) 내용물(16.9%) Cabinet foam(15.3%)	CO(81.5%) HC(15.1%)
Acidi.	Cabinet foam(34%) 단열재(19.4%) Unit(12.7%)	SO <sub>x</sub> (71.7%) NO <sub>x</sub> (27.4%)
Eutro.	Cabinet foam(33.7%) 단열재(23.2%) Unit(12.5%)	NO <sub>x</sub> (99.9%)
ETA	Cabinet foam(41.4%) Unit(15.4%) 분해공정(11.5%)	Phenol(aq)(63.6%) Oil(aq)(36.4%)
HCA	외부조립(32.9%) Cabinet foam(23.8%) 단열재(13.4%)	SO <sub>x</sub> (50.8%) NO <sub>x</sub> (18.0%) Pb(15.5%)
HCW	Cabinet foam(41.5%) Unit(15.5%) 분해공정(11.5%)	Phenol(aq)(92.6%)

AD:Abiotic Resource Depletion, GW:Global Warming, POC:Photochemical Oxidant Creation, Acid.:Acidification, Eutro.:Eutrophication, ETA:Ecotoxicity to Aquatic Emission, HCA:Human Toxicity to Air Emission, HCW:Human Toxicity to Water Emission

통상 1% 이상 기여하는 activity 및 목록지표를 주요이슈로 규정한다. 그러나 여기서는 각 영향범주 별 총 환경영향으로 나누어 10% 이상 되는 것을 주요이슈로 규정하였다. 아래 Table 4에 각 영향범주 별로 도출된 주요이슈 및 기여도를 나타내었다.

2. 전체 시스템의 주요이슈

이 방법은 가중치 결과를 이용하여 주요이슈를 규명하는 방법으로 개개의 activity 가중치 결과를 전체 시스템의 가중치 결과로 나눈다. 이를 통해 개별

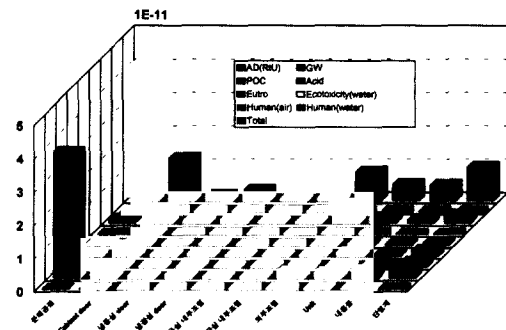


Fig. 6. Weighting results of each component.

activity 및 영향범주가 전체 시스템에 기여하는 정도인 기여도를 알 수 있다. 여기서 전체 시스템에 임의의 퍼센트 이상 기여하는 activity 및 영향범주를 주요이슈라고 정의하면, 전체 시스템의 주요이슈를 규명할 수 있다.<sup>10)</sup> 여기서는 각 영향범주별 총 환경영향으로 나누어 10% 이상이 되는 것을 주요이슈로 규정하였다. Fig. 6에 가중치 부여 결과를 나타내었다.

Fig. 6을 토대로 주요 이슈를 규명하여 Table 5에 나타내었다.

Table. 5. Key Issues of the System based in the Weighting Results.

주요이슈	
Activity	영향범주
분해공정 (48.18%)	Global Warming (61.85%)
Cabinet foam (14.70%)	Human Toxicity(air) (19.34%)
단열재(11.81%)	Acidification(10.10%)

### 3. 결과해석

앞에서 각 영향범주별 주요이슈 및 전체 시스템의 주요이슈를 규명하였다. 위에서 두 방법에 의해 규명된 주요이슈를 통해 냉장고 폐기시 어느 부품이 환경적으로 문제가 되는지, 또 어떤 영향범주에 큰 영향을 미치는지 알 수 있었다.

한편 각 부품의 환경부하는 각 부품의 질량과 연관이 있을 것으로 예상된다. 부품별 무게비 대 환경부하를 Fig. 7에 나타내었다.

Table 4과 5에 규명된 주요이슈와 Fig. 7을 참조하여 냉장고의 폐기시 각 부품의 환경부하의 원인을 분석하였다. 여러 부품 중에서 냉동실 내부조립, 냉장실 내부조립, 내용물은 다른 부품에 비해서 발생하는 환경부하가 적다. 이는 부품이 대부분 플라스틱으로 구성되어 있으며, 재활용률이 높기 때문이다. 환경적으로 문제가 되는 부품 및 공정은 다음과 같다.

분해단계는 전체질량 중 차지하는 비율이 미비함에도 불구하고 환경부하가 가장 크게 나타난다. 그

이유는 냉매로 사용되는 HFC-134a가 회수되지 않고 전량이 대기중으로 방출되기 때문이다. 실제로 전체 가중치 부여 결과의 42.37%을 차지한다. 따라서 냉장고의 폐기시는 냉매제의 적절한 회수 및 재사용이 가장 중요한 공정으로 간주되어야 한다.

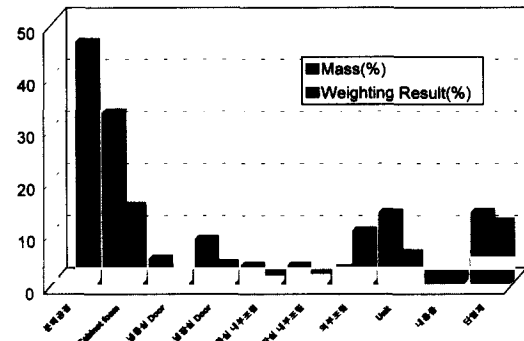


Fig. 7. The Contribution of each activity based on mass & environmental loads.

외부조립공정은 무게에 비해 발생하는 환경부하가 크게 나타난다. 그 이유는 PCB 소각으로 발생하는 중금속의 영향 때문이다. 발생하는 중금속은 인간독성(대기) 영향범주에 큰 영향을 미친다. 따라서 PCB의 적절한 회수, 재활용이 필요하다. 소각할 경우에는 발생하는 중금속의 적절한 회수가 가능한 산업폐기물 소각로에서 소각해야 한다.

Cabinet foam, 냉동실 Door, 냉장실 Door에 포함되어 있는 단열재는 독립된 activity로 분리하여 환경부하를 계산하였다. 단열재는 전체 무게 중 차지하는 비율도 높을 뿐 아니라 발생하는 환경부하도 크다. 현재 대부분이 소각되는 단열재를 분리 재활용하는 기술의 현장 적용은 냉장고 폐기단계의 환경부하를 줄이는데 크게 기여할 것이다. 실제로 일부 국내업체에서 페우레탄을 분리 재활용<sup>15)</sup>하고 있으나 그 비율은 극히 작다.

## VI. 결 론

가전제품의 폐기단계에 대한 조사, 폐기공정별 국내 데이터베이스 구축, 그리고 냉장고의 폐기단계 전



과정평가를 통하여 냉장고 폐기단계의 환경부하의 정량화 및 주요이슈를 규명하였다. 이 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 폐기되는 국내 가전제품은 유가물을 회수하는 방법에 의해 폐기가 이루어지며 전과정평가 수행시 노동-자본 결합형 재활용 기술을 적용해야 한다.

2. Fig. 7에서와 같이 각 부품에서 발생하는 환경부하는 질량에 비례하여 증가하지 않으며, 각 부품의 구성재질에 크게 영향을 받는다. 따라서 재사용 및 재활용이 가능한 재질로 대체하는 노력이 필요하다. 이는 환경을 고려한 설계(Design for Environment; DfE) 등의 방법을 통해 이루어져야 한다.

3. 냉장고의 폐기단계에 대한 전과정평가를 수행 결과 activity에서는 분해단계, Cabinet foam, 단열재 공정이 주요이슈로 규명되었으며, 냉매제로 사용되는 HFC-134a, PCB 소각시 발생하는 중금속이 주요목록지표로 규명되었다. 규명된 주요이슈를 중심으로 대체물질 개발, 분해가 쉽게 설계 등의 개선평가를 수행해야 한다.

4. 분해공정, 외부조립공정, 단열재 부품은 질량에 비해 발생하는 환경부하가 크게 나타난다. 이는 부품의 질량과 발생하는 환경부하의 연관관계를 보여준다. 폐기단계에서는 부품의 질량과 더불어 구성재질, 분해의 용이 여부 등에 따라 발생하는 환경부하가 다르게 나타난다. 따라서 개선평가 수행시 주요이슈 방법과 더불어 질량 대 환경부하의 관계도 고려되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Frank C., David A., Ian B., etc., Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice, SETAC, pp. 5~6(1993)
- 2) Hiroyuki MIURA et al, "Quantification Method of LCA Focused on Recycling and Disposal Process of the Product", Proceedings of the second International Conference on Eco-balance, pp.391~396 (1996)
- 3) 한국전력공사, 전국가전기기 보급율 조사연구(1994)
- 4) 장기복, 폐자원 재활용의 경제적 분석-폐가전제품을 중심으로-, 한국 환경기술 개발원, 서울, pp.3~25(1996)
- 5) 전국폐가전재활용협의회, 내부자료(1996)
- 6) Lars-Gunnar Lindfors et al, LCA/NORDIC Technical Reports No 5 Data Quality, Nordic Council of Ministers, Copenhagen(1995)
- 7) Sundqvist, J.O., A.-C., Albertsson, J. Berendson, E. Eriksson, . Finnveden, L.O. Hogland and S. Karlsson, Life Cycle Assessment and Solid Waste -research report, Swedeish Waste Research Council, Stockholm, (1993)
- 8) Eggels, P. and B. van der Ven, "Allocation model in case of multiple waste handling.", proceeding of the European Workshop on Allocation in LCA under the auspices of SETAC-Europe, Febuary 24~25, Leiden, (1994)
- 9) Jeroen B. Guinee, Development of a methodology for the environmental Life-cycle assessment of products, with a case study on margarines, CML, Leiden, pp. 120~128(1995)
- 10) 노재성, 이진모, 김승도 "전과정평가에서 주요 이슈 규명에 관한 방법론", 대한환경공학회지, 19 (10), pp. 1233~1244(1997)
- 11) LCA 기법연구(II), 삼성전자(1997)
- 12) LCA 기법연구(I), 삼성전자(1996)
- 13) 정연하, 김승도, 문정호, 이진모 "전과정평가용 국내 정규화값 결정", 대한환경공학회지, 19(2), pp. 269~279(1997)
- 14) Linstone, Harold A., Murray Turoff. The Delphi Method:Techniques and Applications. Reading MA: Addison-Wesley Publishing Company.(1995)
- 15) 월간 자원재생, 자원재생공사, 189호, pp. 10~15(1997)