

냉장고 폐기단계의 환경성 및 비용분석

허영채, 황종수, 정연하, 최화주

(삼성전자)

A case study of the environmental and cost analysis of treatment system of a discarded refrigerator

Youngchai Heo, Jongsu Hwang, Younha Chung, Hwajoo Choi

(Samsung Electronics Co., Ltd.)

ABSTRACT

A systematic methodology for identifying improvement factors based on the analysis of environmental aspects with LCA and economic aspects with cost analysis during the disposal phase of a product was proposed in this study. The proposed methodology was applied to a discarded refrigerator. The improvement factors requiring highest priority include incineration of PUF and incineration of other plastics. Those requiring higher priority include recycling of steel and ABS with respect to the cost aspect, and refrigerant, R-134a to the environmental aspect. Weight of steel and ABS is the attribute of the refrigerator that causes problems in the cost aspects. Improvement strategies would include design for light weighted product and optimization for the waste disposal pathway. Global warming and recycling potential are two major attributes of refrigerant that cause problems in the environmental aspects. Improvement strategies would include the development of recycling technology, use of recyclable materials, and use of natural refrigerant that does not cause global warming.

Key Words : LCA, Cost analysis, DfE, Ecodesign strategy

요약문

이 연구는 전과정평가 및 비용분석을 통하여 제품을 구성하는 설계요소별(재질/부품 별)로 정량적인 값을 도출하고 환경/비용 분석도를 활용함으로써 제품 폐기단계에서 우선적으로 개선하여야 할 인자를 파악하는 과정을 제시하였다. 또한 아신 리사이클링 센터에서 처리되는 540ℓ급 냉장고 폐기과정의 환경성 및 비용흐름을 분석하여 우선적으로 개선되어야 할 요소를 파악하였다. 폐 우레탄의 소각, 기타플라스틱의 소각 등이 환경적 측면 및 비용 측면 동시에 가장 우선적인 개선인자로 파악되었고 냉매의 처리과정이 환경적 측면에서, Steel 및 ABS가 비용 측면에서 우선적인 개선 인자로 파악되었다. Steel 과 ABS의 중량은 운송과정의 비용요인과 밀접한 관계가 있으며 이를 위해 경량화 설계, 운송경로 최적화 등이 개선전략이 될 수 있다. 냉매인 R-134a 는 지구온난화에 영향을 미치면서 재활용은 불가능한 특성 때문에 환경측면의 개선인자로 분석되었으며 이를 위해 냉매 재활용기술의 개발, 대체재의 개발 등이 시급하다.

주제어 : 전과정평가, 비용분석, 친환경설계, 친환경 설계전략

1. 서론

기업의 환경대응 방식이 기존의 종말처리 중심에서

사전예방 중심으로, 동시에 사업장 관리 중심에서 제품 중심으로 변화되고 있다.¹⁾ EU를 중심으로 한 제품 환경 관련 규제의 강화 동향은 이와 같은 기업의 환경대응 변화를 유도하고 있다.²⁾ 현재까지 많은 기업

들이 제품중심의 환경대응을 위해 제품 설계 시 환경 측면을 고려하여 설계개선을 이루려는 시도를 하고 있지만 많은 개선 아이디어들이 원가절감이라는 대명제를 극복하지 못해 반영되지 않고 있다. 원가 절감이야말로 제품 디자인에서 가장 중요한 목적이 되어 왔기 때문이다.

그러나 원가 절감활동과 환경 친화적인 제품 설계 개선이 항상 상충되는 것은 아니다. 기업은 자사의 제품이 환경 친화적이지 못하기 때문에 발생하는 비용요인을 찾는 데 노력을 기울여야 환경 친화적이면서 원가 절감을 이루는 설계개선을 할 수 있다.

기업의 전통적 원가 절감 활동은 재료비 절감과 생산성향상 활동에 치중되어있고 수년 전부터 지속적인 원가절감 활동으로 인해 거의 원가절감이 한계에 이르렀다고 해도 과언이 아니다. 반면 최근 확대 생산자 책임제도의 시행국가가 늘어나면서 폐제품의 회수·처리에 상당한 비용부담이 발생될 것으로 예상되며 특히 전자산업의 경우 유럽에서는 이미 제품의 전과정에 대한 환경부하의 책임이 생산자에 전가되도록 법제화 되어있다.^{3,4)}

따라서 폐제품을 회수하여 처리하는 제품 폐기단계는 제품의 환경측면과 원가 측면에서 제품 디자인의 성패를 결정짓는 단계라고 할 수 있으며 제품이 폐기될 때 발생하는 환경성 및 비용을 분석하여 이를 개선하는 활동이 무엇보다 중요하다. 또한 제품설계단계부터 이를 접목함으로써 환경 친화적인 제품구조로 개선하는 활동이 적극적으로 전개되어야 할 것이다.

이를 실천하기 위한 수단으로 각 기업에서는 리사이클링센터를 건립하고 폐제품을 회수하여 처리하고 있으나 폐기단계의 환경부하나 비용의 흐름은 제대로 파악이 되지 않고 있어 제품 개발 단계에서 고려되기는 어려운 실정이다.

이 연구에서는 데이터 부재로 인하여 그 동안 개선 활동에서 등한시되었던 폐기단계를 중심으로 환경성 및 비용분석을 수행하였고 우선적인 개선인자를 규명하는 과정을 제안하였다. 또한 제안한 방법으로 삼성전자 아산 리사이클링센터를 중심으로 냉장고의 폐기공정 및 재활용공정을 시범사례로 분석하였다.

2. 방법론

2.1. 분석범위의 정의

소비자로부터 버려진 제품은 지자체나 대리점을 통해서 회수센터를 거쳐 리사이클링 센터로 운송된다. 리사이클링 센터에서는 폐제품을 분해, 파쇄하여 재질별 및 부품별로 선별 처리한다. 여기서 분류된 재질 및 부품은 운송과정을 거쳐 재활용되기 위하여 재활용 업체에 매각되거나 위탁처리업체에 위탁되어 소각 또는 매립된다.

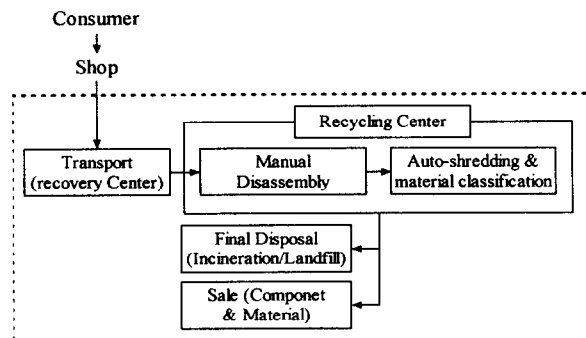


Fig. 1. System boundary of the disposal stage of a discarded refrigerator.

폐기단계의 환경성 및 비용을 분석하기 위해 폐기 단계를 대리점으로부터 회수센터를 거쳐 리사이클링센터까지의 운송단계, 리사이클링센터에서의 처리단계, 재활용업체에서의 재활용 또는 소각 및 매립에 의한 최종폐기단계로 구분하여 정의하였고 Figure 1에 도식화하여 나타내었다.

2.2. 환경측면의 평가

냉장고의 폐기단계에서 야기되는 환경영향은 LCA 기법을 적용하여 분석하였다. LCA는 제품시스템의 전과정에 걸쳐 관련된 투입물과 산출물에 대한 목록을 작성하고 이들과 관련된 잠재적인 환경영향을 평가하며 연구목적과 관련해서 목록분석 결과와 환경영향 평가 결과를 해석함으로써 제품이 전과정동안 야기하는 잠재적인 환경영향을 정량적으로 평가하기 위한 기법이다.⁵⁾

이 연구에서는 제품 폐기단계를 연구 범위로 선정

하였으므로 폐기과정에서의 투입물과 산출물 및 에너지의 사용량을 정량화 하여 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하고 정량화 하였다. 전과정 평가의 결과로부터 폐제품이 폐기 될 때 야기하는 환경영향은 식(1)과 같이 단일 지수로 도출될 수 있으며 동시에 부품 및 재질 별로 각각 도출되어 환경측면의 개선인자를 파악할 수 있다.⁶⁾

$$W = \sum_i \left(\frac{CI_i}{N_i} \right) W_i \quad \text{식 (1)}$$

where, CI_i = characterized impact of the i th impact category

W_i = weight of the i th impact category

N_i = Normalization reference

2.3. 비용측면의 평가

제품 폐기 단계와 관련된 비용은 일반적으로 회수비용, 처리비용, 매각비용으로 구분되어진다. 폐제품을 대리점으로부터 회수센터를 거쳐 리사이클링 센터까지 운송하는데 소요되는 비용이 회수비용으로 정의된다. 처리비용은 리사이클링센터로 이송된 폐제품을 하차하는 과정에서부터 처리공정에 투입되어 부품 또는 재질 별로 최종 분류되기까지 소요되는 직간접인건비, 전력비, 시설투자비, 소모품비 등 제반 경비로 정의한다. 리사이클링 센터에서 수작업 또는 자동파쇄공정을 거쳐서 분류된 부품 또는 재질 등은 재활용 및 최종처리를 위해 전문업체에 매각되거나 위탁되는데 이때 수입 또는 지출이 되는 비용을 매각비용으로 정의한다.

폐기비용이란 이러한 회수비용, 처리비용, 매각비용을 합한 것으로 대리점으로부터 폐제품을 회수하여 리사이클링 센터에서 처리한 후 위탁처리 또는 재활용 업체에 매각하기까지 소요되는 비용으로 정의한다. 정의된 비용자료를 수집하여 제품 폐기단계의 비용측면을 분석하고 각각 부품 및 재질별로 폐기비용을 산정하여 비용측면에서의 개선인자를 파악한다.

2.4. 환경/비용분석도의 활용

환경/비용분석은 Tanaka에 의해 제안된 비용/가치 분석⁷⁾을 응용한 방법이다. 비용/가치 분석에서는 제품을 구성하는 부품의 생산비용과 부품이 지니는 가치를 이용하여 우선적인 설계 개선인자를 찾는 반면 환경/비용 분석에서는 구성부품 및 재질의 환경측면과 비용측면을 평가한 결과를 바탕으로 우선적인 설계개선인자를 파악하도록 하였다. 즉, 제품을 구성하고 있는 각 Assembly, 부품, 재질 등에 대하여 산정된 정량적 환경성 및 비용의 상대적 중요도를 산출하고 Figure 2 와 같이 좌표에 표기함으로써 수행된다. 여기서 환경측면과 비용측면의 상대적 중요도는 같다고 가정한다. 만일 상이하다고 가정하면 계산된 환경성 및 비용에 상대적 중요도인 기중치를 곱한 후 표기하면 된다.

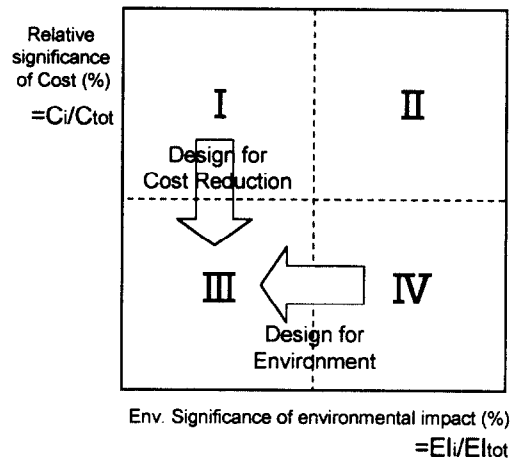


Fig. 2. Environment-cost analysis diagram.

where,

C_i = disposal cost of i th component or material in a discarded refrigerator

C_{tot} = total disposal cost of a discarded refrigerator

E_{li} = environmental impact of i th component or material in a discarded refrigerator

E_{ltot} = total environmental impact of a discarded refrigerator

Figure 2의 좌표 상에 표기되는 Assembly, 부품,

재질 등에 대하여 우선적으로 개선되어야 할 순서는 II → I (또는 IV) → IV (또는 I) → III으로 볼 수 있다. 즉 환경부하가 크고 비용이 높은 영역 II에 표기되는 아이টে를 가장 우선적으로 개선을 해야 한다. 다음으로 제품개발전략에 따라 영역 I 또는 IV의 아이টে를 개선되어야 한다. 이때 영역 IV의 아이টে는 환경부하를 줄이는 방향으로 영역 I의 아이টে는 비용을 줄이는 방향으로 개선 아이디어를 찾도록 한다. 영역 III의 아이টে는 환경부하와 비용이 상대적으로 낮으므로 우선 순위가 낮다.

Figure 2의 좌표 상에 표기된 아이টে 중에서 우선적으로 선정된 개선대상 아이টে에 대하여 환경측면과 비용측면에서 차지하는 요인을 분석하고 개선목표를 달성하기 위하여 적용 가능한 여러 가지 개선아이디어를 도출할 수 있다.

3. 냉장고의 환경성 및 비용분석

3.1. 냉장고 폐기시의 환경영향 분석

아산 리사이클링 센터에서 범용적으로 처리되는 540ℓ 급 냉장고를 기준제품으로 선정하고 폐기 단계에 대한 LCA를 수행하였다. 각종 부품과 재질의 분리 및 재활용에 대한 데이터는 리사이클링센터, 재활용업체, 최종처리업체를 방문하여 조사하였고 자료조사가 용이하지 않을 경우 데이터베이스⁸⁾를 활용하였다. 재활용되는 물질의 경우 50/50 할당방법⁹⁾을 적용하여 재활용하여 얻어지는 환경이득을 고려하였다. 영향평가지 특성화인자는 CML¹⁰⁾, 정규화 기준값은 Chung¹¹⁾ 등의 연구결과를 인용하였고 영향 범주별 가중치는 삼성전자 내부용 가중치¹²⁾를 적용하였다.

540ℓ 급 냉장고 1대의 부품/재질별 가중치 부여된 환경영향 값과 상대적인 중요도를 Table 2에 나타내었다. 여기서 부품과 재질의 분류기준은 냉장고 폐기 시 사전에 수작업으로 분해되는 아이টে에 대해서는 부

Table 2. Relative Significance of the weighted environmental impact of the Assemblies, Components and Materials of a discarded Refrigerator

Item	material	Weighted Impact				
		Benifit		Impact		
		지수	상대적 중요도(%)	지수	상대적 중요도(%)	
수작업 분해 부품	악세사리(A)	HIPS	-1.29E-10	12.1%		
	악세사리(B)	PP	-3.89E-11	3.65%		
	유리선반	Mixed			6.02E-12	0.98%
	컴프레샤	Mixed	-1.02E-10	9.57%		
	모터	Mixed	-5.30E-12	0.50%		
	트랜스	Mixed	-1.52E-12	0.14%		
	PCB	Mixed	-4.84E-11	4.54%		
	전선류	Mixed	-4.25E-13	0.04%		
	가스켓	PVC	-3.26E-11	3.06%		
	냉매	R 134a			3.49E-10	56.81%
오일	Mixed			8.64E-13	0.14%	
발포제	Cyclopentane	-1.89E-11	1.77%			
자동과쇄 후 분류된 재질	Fe		-3.08E-10	28.89%		
	Cu		-7.01E-12	0.66%		
	Al		-6.93E-11	6.50%		
	STS		-2.38E-11	2.23%		
	우레탄				9.24E-11	15.04%
	ABS		-2.81E-10	26.36%		
합 계			-1.07E-09	100%	6.14E-10	100%

주) 환경영향 중 (-)는 재활용으로 인한 환경이득을 나타냄

주) 상대적중요도(%) = $\frac{\text{구성부품 또는 재질 } i \text{의 환경영향 값, } EI_i}{\text{총 환경영향 값, } EI_{tot}} \times 100$

품으로 분류하였고, 자동파쇄 작업에 의해 처리되는 반영되었기 때문이다. 아이템은 재질로 분류하였다.

전체적으로 폐냉장고의 재활용을 통한 환경이득이 큰 것을 알 수 있다. 즉, 범용 플라스틱(PP, HIPS, ABS)에서부터 Aluminum, Fe 등 일반 재질의 처리에서 큰 환경이득을 갖는 것을 볼 수 있다. 또한 폼프레샤 같은 복합 재질로 구성된 부품 처리 시에도 환경이득이 나타나는 것을 볼 수 있다.

환경영향 측면에서는 냉매로 사용되는 R-134a가 환경에 미치는 영향이 가장 크게 나타났다. 이는 현재 추출분리 후 저장되어 있는 R-134a가 최종적으로는 대기 중으로 전량 방출되는 것(worst case)으로 가정하였기 때문이다. 또한 범용 플라스틱외의 기타 플라스틱을 처리할 때 환경영향이 큰 것으로 나타난 이유는 처리방법이 소각이기 때문에 이에 따른 환경영향이

3.2. 냉장고 폐기 시 비용분석

폐기비용은 소비자로부터 폐냉장고를 대리점으로부터 운반하여 리사이클링센터에서 처리한 후 최종폐기 또는 매각까지 발생하는 총 소요비용으로 정의하였다.

회수센터에서부터 리사이클링센터까지 운송과정에서 사용되는 운송수단은 8~11톤 트럭이 이용되고 있다. 이때 제품별로 운송되는 것이 아니라 세탁기, 에어컨, TV등과 함께 운송되므로 회수비용은 운송트럭의 용량, 제품별 평균수량과 중량, 이동거리에 따른 연료소모량 및 인건비에 대해 2000년 1년 동안의 실적을 바탕으로 산출하였으며 냉장고 1대당 4,500원이 회수비용으로 산정되었다. 또한 회수비용을 각 부품/재질의 무게비율로 할당하여 재질/부품별 회수비용으로 산정

Table 3. Relative Significance of the Cost of the Assemblies, Components and Materials of a discarded Refrigerator

구분	재질명	중량 (g)	회수 비용 (A), 원	처리 비용 (B), 원	매각 비용 (C), 원	폐기비용(A+B+C)					
						비용소모		비용이득			
						원	상대적 중요도(%)	원	상대적 중요도(%)		
수작업 분해 부품	악세사리(A)	HIPS	2,767	116	388	-91	413	1.05%			
	악세사리(B)	PP	3,246	137	455	-107	485	1.24%			
	유리선반	Mixed	13,040	549	1,827	2,738	5,114	13.04%			
	폼프레샤	Mixed	10,397	437	1,456	-1,612	281	0.72%			
	모터	Mixed	1,164	49	163	-237				-25	0.73%
	트랜스	Mixed	320	13	45	-108				-50	1.47%
	PCB	Mixed	303	13	42	-98				-43	1.26%
	전선류	Mixed	1,319	55	185	-695				-455	13.36%
	가스켓	PVC	1,466	62	205	-87	180	0.46%			
	냉매	R 12	160	7	22	-	29	0.07%			
오일	Mixed	59	2	8	-	10	0.03%				
발포제	Cyclopentane	614	26	86	-	112	0.46%				
자동파쇄 후 분류된 재질	Fe		36,497	1,536	15,145	-3,613	13,068	33.33%			
	Cu		1,471	62	610	-2,433				-1,761	51.72%
	Al		1,528	64	634	-1,752				-1,054	30.95%
	STS		45	2	19	-38				-17	0.50%
	우레탄		12,505	526	5,189	3,064	8,779	22.39%			
	ABS		10,033	422	4,164	-531	4,055	10.34%			
기타		10,018	422	4,157	2,104	6,683	17.04%				
합계		106,952	4,500	34,800	-3,496	39,209	100%		-3405	100%	

주) 상대적중요도(%) = $\frac{\text{구성부품 또는 재질 } i \text{의 폐기비용, } CI_i}{\text{총 폐기비용, } CI_{tot}} \times 100$

주) 비용발생은 (+), 비용이득은 (-) 로 표기하였음.

하였다. 단, 이동거리의 경우 아산 리사이클링센터에서는 서울과 중부지역의 폐제품이 운송되므로 이 지역의 평균거리를 130 km 로 추정하여 계산하였다.

리사이클링센터에 입고된 폐냉장고를 수작업 해체와 자동파쇄공정을 거쳐 재질별로 분류되는 과정에서 소요되는 처리비용은 인건비, 전력비를 포함한 일반경비, 시설투자에 대한 감가상각비를 모두 고려하여 산정하였으며 수작업 분해부품의 경우 직·간접인건비, 일반경비를 무게비로 할당하였고 자동파쇄 후 분류된 재질은 투자비, 전력비, 설비수선비, 간접인건비, 일반경비를 무게비로 할당하였다.

리사이클링센터의 경우 냉장고 라인과 세탁기 및 기타제품 라인이 동시에 운전되고 있으므로 실무 담당자의 경험¹³⁾을 바탕으로 인건비의 50%, 경비에 해당하는 전력비의 70%, 설비수선비의 60%를 냉장고 라인에 할당하였다. 투자비에 대한 감가 상각은 5년 기준으로 하였으며 자산가액 기준으로 80%를 냉장고 라인에 분배하여 처리비용을 산출하였다.

또한 2000년 1년 동안 매각 및 위탁 처리 실적을 평균하여 매각비용(또는 위탁처리비용)을 산정하였다.

단, 냉매, 발포제 및 오일은 현재 저장탱크에 보관 중에 있고 재활용방법을 모색하고 있으나 거래실적이 없어 매각비용 산출대상에서 제외시켰다. 각 부품과 재질을 폐기하는 데 소요되는 비용 및 상대적 중요도를 산출하여 Table 3 에 나타내었다.

폐기비용 측면에서는 Fe 재활용, 우레탄 조각, 기타 플라스틱 조각, ABS 재활용등이 우선적인 개선인자로 도출되었다. Fe 및 ABS 의 경우 무게가 무거워 운송비용 및 처리비용의 소모가 매각에 의한 이득보다 크기 때문이며 우레탄 및 기타 플라스틱은 비용을 지불하며 위탁처리 하고 있기 때문이다. 반면 Cu, Al 등은 재활용 가치가 높아 매각비용이 운송 및 처리비용 보다 크므로 전체 폐기비용 산정에서 비용이득으로 작용하고 있다.

3.3. 환경성/비용분석 및 설계 개선인자 도출

냉장고를 구성하고 있는 각 부품과 재질로부터 환경측면 및 비용측면을 고려하여 우선적인 개선인자를 도출하기 위하여 각각의 상대적 중요도 값을 Figure

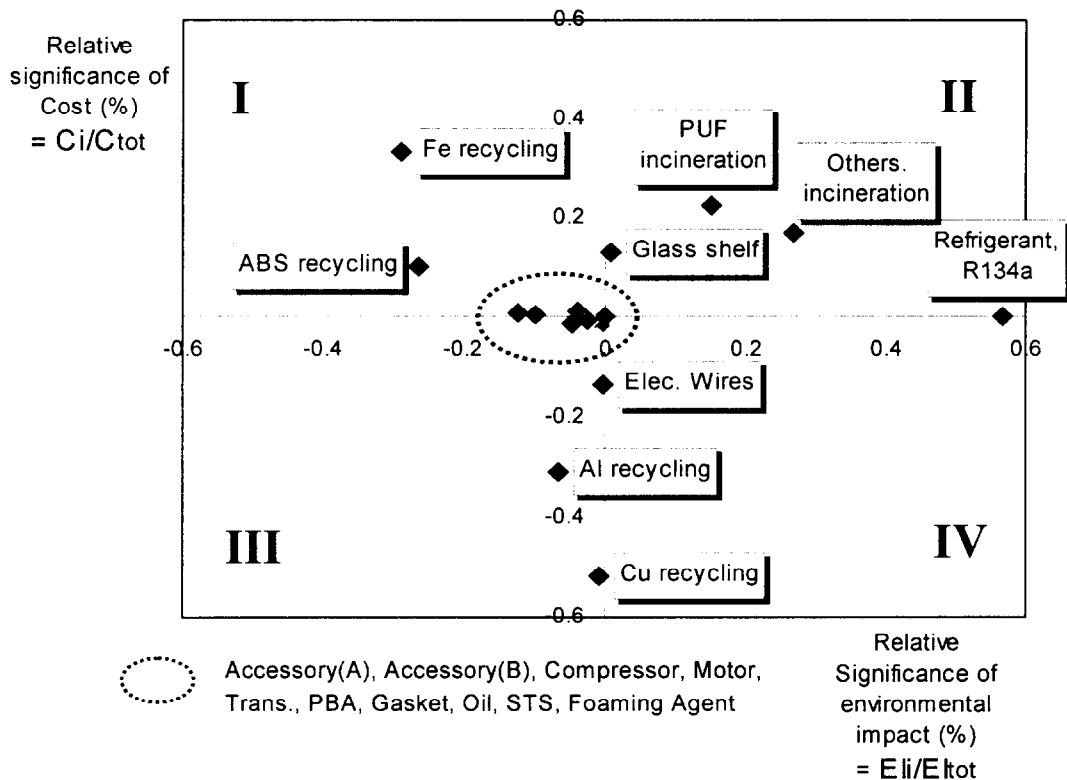


Fig. 4. Environment-cost analysis diagram of a discarded refrigerator.

4과 같이 환경/비용 분석도에 나타내었다.

환경/비용 분석도에서 가장 우선적으로 개선되어야 할 인자는 II 사분면에 위치한 인자로, 우레탄, 기타 플라스틱 등이 비용측면이나 환경성 측면에서 상대적으로 먼저 개선되어야 하는 것으로 도출되었다. 이는 이러한 아이템을 위탁소각 처리하기 때문으로 처리시 위탁비용을 지불해야 할 뿐만 아니라 소각에 의한 환경영향이 상대적으로 심각하기 때문이다. 따라서 재활용 기술개발, 재활용 가능 재질 또는 가벼운 재질로의 설계변경을 통해 III 사분면으로 이동하게 해야한다.

그 다음으로 우선적인 개선인자는 I 사분면이나 IV 사분면에 위치한 Fe, ABS, 냉매의 처리인 것으로 파악되었다. 환경측면에서는 냉매가 우선적 개선인자이며 비용 측면에서는 Fe의 재활용이 우선적 개선인자이다. 냉매는 환경영향이 심각한 반면 현재 처리기술이 없어 환경측면에서 상대적으로 중요한 아이টে이되며 Fe의 경우 냉장고 내에서 차지하는 무게가 무거워 처리비용 및 회수비용이 크기 때문에 비용측면에서 중요한 아이টে이 된다. 냉매의 경우에는 환경 친화적인 제품 설계 접근방법으로, Fe, ABS의 경우에는 원가절감을 도모하는 설계접근 방식으로 설계개선을 이룬다면 이러한 아이টে이를 III 사분면으로 이동하게 할 수 있다.

악세(B), 모터, 트랜스, PCB 등등 환경/비용 분석도의 원점 부근에 모여있는 아이টে이들도 III 사분면으로의 이동이 바람직하나 개선 우선순위에 있어서는 II 사분면 또는 I, IV 사분면에 있는 아이টে이에 비하여 낮다고 볼 수 있다.

4. 결 론

이 연구는 냉장고 폐기 시 야기되는 환경영향과 비용의 흐름을 정량화하고 정량화된 결과를 바탕으로 환경영향 저감과 비용절감을 위해 우선적으로 개선되어야 할 인자를 파악하는 방법을 제안하고 있다. 즉, 전과정평가 및 비용분석을 통하여 제품을 구성하는 설계요소별(재질/부품 별)로 정량적인 값을 도출하고 환경/비용 분석도를 활용함으로써 우선적으로 개선하여야 할 인자를 파악하는 과정을 제시하였다.

또한 아산 리사이클링 센터에서 처리되는 540 톤급 냉장고 폐기과정의 환경성 및 비용흐름을 분석하여 우선적으로 개선되어야 할 요소를 파악하였다. 폐 우레탄의 소각, 기타플라스틱의 소각 등의 처리는 환경적 측면뿐 아니라 비용적 측면에서도 우선적인 개선인자로 파악되었으며 냉매 역시 재활용 기술이 없어 저장된 상태이므로 이러한 물질의 재활용 기술개발 및 제품의 설계개선이 시급하다고 할 수 있다.

또한 재활용을 하는 철이나 ABS의 경우 환경적 영향이 적다 하더라도 무게를 많이 차지하여 운송 시 비용요인으로 분석되었다. 또한 장기적으로는 유해물질이 함유된 인쇄 회로기판의 재활용기술 개발도 필요 한 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Fiksel, J. (Ed.)(1996), Design for Environment, Creating Eco-Efficient Products and Processes: Chapter 3. Towards sustainable development, McGraw-Hill.
- 2) European Commission (2001), Green Paper on Integrated Product Policy, Brussels.
- 3) OECD (1996), Legal and administrative approaches in member countries and policy options for EPR programs, Paris.
- 4) European Commission (2002), Directive of the European Parliament and the council on Waste form Electrical and Electronic Equipment and Directive of the European Parliament and of the Council on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, Belgium.
- 5) ISO (1997), Environmental Management ISO 14040: Life Cycle Assessment Principles and Framework.
- 6) Lee, Kun-Mo (1999), A Weighting Method for the Korean Eco-Indicator Int. Journal of LCA, Vol. 4, No.3, pp.161-165.
- 7) Tanaka, M. (1989), Cost Planning in the Design Phase of a New Product, Japanese Management Accounting, Mondem, Sakurai (Ed.), Productivity Press, Cambridge, MA, pp.49-71. (Quote from Martin, M.V., Kmenta, S. and Ishii, K. (1998), QFD and the Designer: Lessons from 200+ Houses of Quality, World Innovation and Strategy Conference, Sydney, Australia, WISC 98 Proceedings, ISBN 1-875760-97-0.)

- 8) CIT (1996), LCAiT software database, Chalmers Industriteknik, Sweden.
- 9) Nordic Council of Ministers (1995), Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, pp.63-65.
- 10) Heijungs, R. (Ed.)(1992), Environmental Life Cycle Assessment of Products Guide, MultiCopy, Leiden.
- 11) Chung, Y. H. et al. (1997), Determination of the Korean Normalization Scores for the Life Cycle Assessment, J. KSEE. 19, 2, pp. 269-279.
- 12) Calculated based on expert panel method for internal use in Samsung Electronics. Co., Ltd
- 13) Jung, C. (2001), director of Samsung Asan Recycling Center, personal communication