



LCA이용한 폐기방법의 환경친화성 평가

김혁경 / 서울시립대학교 환경공학부 부교수

1. 서론

세계적으로 1970년대 이후에 이르러서는 환경문제에 대한 인식이 깊어지면서 모든 산업활동에 관해서 환경친화성도 비용이나 경제성과 같은 고려대상으로 삼기 시작했다.

우리나라도 80년대 후반부터는 환경문제에 대한 정부와 여론의 각성과 함께 환경친화적인 기업, 환경친화적인 상품에 대한 요구가 증대되어왔다. 그러나 환경친화성을 어떻게 평가할 것인가에 대한 답은 아직 명확하게 제시되지 못하고 있다.

환경친화성을 평가하는 방법으로 새롭게 등장한 도구가 흔히 일컬어지는 전과정평가이다. 다른 용어로 '요람에서 무덤까지 분석'이라고도 불려지는 이 기법은 제품의 원료취득에서부터 시작하여 생산과 제조, 수송, 유통, 폐기에 이르는 모든 단계에서 발생하는 환경적인 영향을 평가함으로써 환경개선의 방향을 모색하고자 하는 것이다.

1990년대에 들어서 환경독성학회가 중심이 되어, 이에 관한 여러차례의 워크샵과 방법론, 수용 가능한 전문적인 실행에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 뿐만 아니라 국제표준화 기구에서는 환경경영에 대한 국제적인 표준화 작업을 위한 환경기술위원회(TC207)를 93년 발족

시켜 이 전과정평가에 관한 연구를 적극적으로 추진하고 있다.

이런 전과정평가의 방법은 현재 세계적으로 사용되고 있는 몇가지 방법이 있으나 아직까지 그 불완전성으로 인해 논쟁의 대상이 되고 있다. 하지만, 이런 불완전성에도 불구하고 대부분의 연구자나 단체들은 전과정과 사용법, 폐기방법이 다른, 따라서 발생하는 환경문제도 다른 제품이나 공정들을 함께 비교하여, 어느 것이 더 환경친화적인가 하는 것을 제시할 수 있다는 점이 있다.

본 연구에서는 폐기단계에 있어서, 소각과 매립, 재활용에 따른 환경부담치를 분석했다.

그리고, 폐기에 따른 환경부담치를 최소화하기 위한 소각과 매립의 비율을 제시했다.

현재 환경부에서 추진하고 있는 소각까지를 포함한 골판지와 발포스티렌의 환경친화성을 평가했다.

따라서 본 연구의 목적은

1) 전과정평가기법을 이용한 폐기단계의 환경영향평가기법을 개발하고 2) 그 기법을 발포스티렌과 골판지 포장재의 환경친화성 비교에 적용하고 3) 각 폐기방법에 따른 환경부담치를 계산하고 4) 보다 합리적이고 효과적인 폐기물관리 시스템을 세우는데 활용될 수 있도록 하는데 있다.



2. 폐기단계 환경부담치 산출방법

본 논문에서는 모든 환경부담치를 금액으로 환산했으며 에너지 사용 등에서 오는 환경부담치는 현재 적용되는 내부 비용으로 추정했다.

폐기비용에 산정되지 않는다고 생각되는 외부 비용은 전과정평가기법 중의 하나인 EPS법을 부분적으로 따랐다.

EPS법은 환경에 대한 영향을 공중위생, 종의 다양성, 생산성, 자원, 미관의 5가지 항목의 영향평가를 통해서 나타내고 있다. 이 항목들의 수치화를 위한 작업은 각각의 가치평가를 위해 WTP(Willingness To Pay)값을 이용한다.

WTP란 환경적인 부담을 피하기 위해 혹은 더 나은 환경을 위해 얼마나 금액을 지불할 용의가 있는지를 나타내는 지불의사값이다.

그리고 이 EPS법은 자연자원, 영향물질, 재료, 제조공정, 수송, 유통, 폐기 등에 의하여 단위물질당 배출되는 양을 환경부하단위로 계산된 환경부하값으로 지표화하여 환경에 대한 영향을 정량적으로 표현한다.

그러므로 환경을 더 훼손시키는 제품일수록 환경부하값은 커진다. 한편, 폐기단계에서 재활용과 같이 사용이 끝난 제품을 원료물질로 다시 사용할 경우 자원의 측면에서 환경부담치는 음수가 된다. 이 EVL값은 현금으로 환산되므로, 폐기에 따른 다른 비용과 통합되어, 금전적인 손실로 보여줄 수 있다.

폐기에 따른 환경부담치의 계산방법은 다음과 같다.

1) 폐기단계는 매립과 소각, 재활용의 세 부분으로 분류했고, 전과정 환경영향평가를 계산하기 위해 기본적으로 필요한 자료는 [표 1]에 나타냈다.

2) 매립과 소각에 의해 발생하는 배출물의 양은 기존의 연구결과를 이용했고, 배출물에 따른 환경부담치는 EPS에서 제시한 값을 이용하여 금전적인 손실로 환산했다.

3) 재활용의 경우, 폐발포스티렌과 폐골판지가 다시 원료물질로 이용되는 경우이므로 자원의 측면에서 이득을 가져온다고 보았다. 이 값은 원료물질로 팔리는 가격을 이용했다. 재활용을 시키기 위한 공정에서 발생하는 환경부담치는 시스템에 포함시키지 않았다.

4) EPS법에 의해 산출되는 환경부담치는 원화로 환산했다. 즉, 1ECU의 WTP(Willingness to Pay)가 1ECU와 같으므로 1EURO를 1036WON으로 환산한다(한국은행, 96년 8월 20일 기준).

5) 프린터 1천대를 포장하기 위한 포장용 완충재 발포스티렌과 골판지의 기능단위를 각각 2백kg과 3천kg으로 하여 이용했다. 부피를 고려해야 할 경우는 발포스티렌과 골판지의 밀도를 이용해 기능단위를 부피로 환산했다.

6) 매립의 환경영향 계산시 매립지는 단위면적당 인구량이 가장 많은 서울 및 그 주변 지역을 기초로 그 지역의 쓰레기를 매립하는 수도권 매립지를 모델로 한다. 매립으로 인한 주민사업 지원비를 그곳 주민들의 생활에 불편을 주는 악취나 건강상에 있을 수 있는 피해 등의 보상비로 보았다. 토지보상비는 매립으로 인한 이용가능 면적의 감소로 보아 유용한 자연자원의 감소라는 환경부담치로 간주했다.

7) 매립의 환경영향 계산시 매립에 의한 생산량의 감소를 계산했다.

[표 1] Basic data for estimating environmental load associated with landfill, incineration and recycle.

Disposal Method	DATA	COST	REFERENCE
Landfill	Land cost (토지보상비)	4.5 x 10 ¹⁰ won	(7)
	Landfill area (매립지 면적)	2.075 x 10 ⁷ m ²	(7)
	Compensation cost for Potential Damage due to Landfill (매립지 주민 지원 사업)	8.4773 x 10 ⁸ won	(7)
	Landfill capacity (매립지 매립용량)	4.0962 x 10 ⁸ m ³	(7)
	Rice field area in Kyung-Gi Province('95) (경기도의 논면적)	114,914 ha	(1)
	Annual rice production in Kyung-Gi Province('95) (경기도 연간 쌀 생산량)	556,882 ton	(1)
	Rice field area in KIM-PO('95) (매립지부근 김포의 논면적)	8,987 ha	(1)
	Annual rice production in Kim-Po ^a (김포의 연간 쌀 생산량)	43,552 ton	
	Landfill area occupied by Waste Paper ^b (골판지 매립 차지면적)	0.24 m ²	
	Landfill area occupied by waste Expandable Polystyrene ^c (발포스티렌 매립 차지면적)	0.51 m ²	
	Market price fo rice ^d (시중 쌀 판매가격)	2,000 won/Kg	
Incineration	Cost for incinerating paper (골판지 대리소각비용)	50,000 won/m ³	(11)
	Cost for incinerating expandable polystyrene (발포스티렌 대리소각비용)	50,000 won/m ³	(11)
Recycle	Market price of waste paper (폐골판지 판매비용)	15 won/Kg	(13)
	Market price of waste expandable polystyrene (폐발포스티렌 판매비용)	0 won/Kg	(16)

참조 a. 김포의 연간 쌀 생산량은 경기도의 논면적과 쌀생산량의 비를 기초로 계산하였다.
 b. 골판지 매립시 차지하는 면적은 골판지의 기능단위 3000Kg의 부피인 4.81m³을 매립지의 높이로 나누어 도출하였다. 또한, 매립지의 높이는 매립지의 매립용량을 매립지의 면적으로 나누어 계산하면 19.74m가 계산된다.
 c. 발포스티렌의 매립시 차지하는 면적도 골판지와 마찬가지로 기능단위인 200Kg의 부피인 10m³을 매립지의 높이로 나누어 유도하였다.
 d. 1996년 8월 현재 시중에서의 포장 쌀 판매가격을 기준으로 한 것이다.



김포매립지의 경우, 농경지로 사용될 수 있는 땅을 매립지로 용도변경하여 조성된 것을 고려하여, 매립지로 사용됨으로 인한 생산량의 손실은 매립지 주변 김포의 평균 쌀 생산량에 기초해서 계산했다.

- 8) 소각에 필요한 에너지의 공급과 소각로의 설치 때문에 야기되는 환경부담치는 대리 소각비용에 포함되었다고 가정했다. 왜냐하면 소각장의 건설시 보상비 등으로 지급된 금액을 소각비용으로 회수된다고 볼 수 있기 때문이다.

3. 결과

3-1. 발포스티렌의 폐기단계의 환경영향평가 (표 2) 참조

3-2. 골판지의 폐기단계에 따른 환경영향 평가 (표 3) 참조

(표 2) 발포스티렌 폐기단계의 환경영향평가

폐기방법	항 목	ELV (원)	
소 각	배출물에 의한 환경부담치	37,806	
	대리 소각비용	500,000	
	합계	537,806	
매 립	배출물에 의한 환경부담치	0	
	이용가능면적의 감소에 의한 환경부담치	1,106 ^a	1,658 ^b
	지역주민보상비	21 ^a	
	농산물감소에 의한 손실	12,200	
	합계	13,858	
재활용	페발포스티렌 판매비	0	

a: 토지보상비와 주민사업 지원비를 적용했을 경우

b: 생활폐기물 반입료를 적용했을 경우

(표 3) 골판지의 폐기단계에 따른 환경영향 평가

폐기방법	항 목	ELV (원)	
소각	배출물에 의한 환경부담치	442,222	
	대리 소각비용	240,500	
	합계	682,722	
매립	배출물에 의한 환경부담치	7,436	
	이용가능면적의 감소에 의한 환경부담치	258 ^a	24,870 ^b
	지역주민보상비	10 ^a	
	농산물감소에 의한 손실	5,760	
	합계	13,734	38,066
재활용	페발포스티렌 판매비	45,000	

a: 농산물 감소에 의한 손실5,760합계13,73438,066재활용페발포스티렌 판매비45,000a: 토지보상비와 주민사업 지원비를 적용했을 경우

b: 생활폐기물 반입료를 적용했을 경우

4. 토의

4-1. 발포스티렌과 골판지의 폐기부분에 관한 중체적인 비교

본 연구에서 폐기부분에 관하여 계산한 결과는 생산과 수송에 따른 배출물에 따른 영향만을 평가했던 기존의 연구결과와는 달리 발포스티렌이 골판지보다 환경부담치가 더 크다는 결론을 도출했다.

이 환경부담치에 큰 영향을 주는 것은 폐기 단계 중 소각의 비율이다. 특히 대리소각비용이 부피기준으로 이루어지고 있기 때문에 부피가 큰 발포스티렌의 환경부담치가 높아짐을 알 수 있었다.

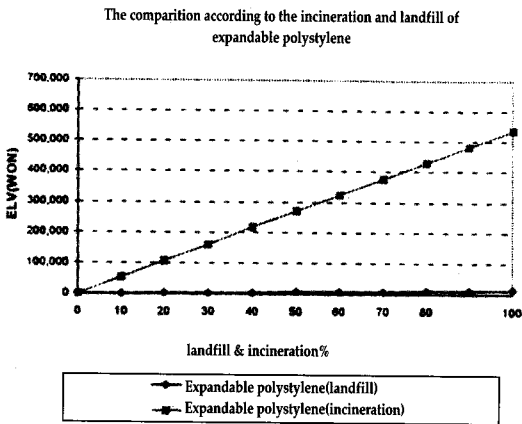
그리고 발포스티렌과 골판지 모두 환경부담치가 매립의 % 증가율에는 큰 영향을 받지 않고, 소각의 %가 높아질수록 큰차이를 보이며 높아지는 것을 알 수 있다(그림 1, 2).

그 이유는 현재 소각로 건설비용이 매립보다

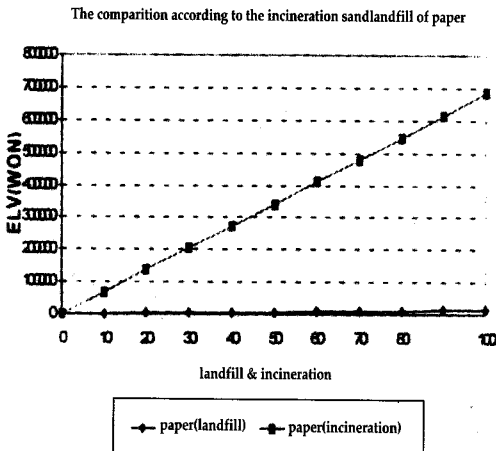
대단히 비싸고 또 대리소각비용이 소각열의 재회수가 없어서 가격이 비싸기 때문이다.

1993년의 폐기방법을 %별로 살펴보면 발포스티렌의 경우는 매립, 소각, 재활용이 각각 67.2%, 18.8%, 14%이고, 골판지는 매립, 소각, 재활용이 각각 38.5%, 6.5%, 55%이다. 발포스티렌과 골판지의 매립률은 약 2배 정도의 차이가 나타나지만, 매립의 총 환경부담치에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

그러나 소각의 경우, 발포스티렌이 골판지보
(그림 1) 발포스티렌의 환경부담치



(그림 2) 골판지의 환경부담치



다 소각율이 3배정도 높고 소각에 따른 환경부담치의 증가율은 매립에 비해 매우 높기 때문에 총 환경부담치의 크기 증가에 큰 영향을 미친다. 재활용의 경우는 발포스티렌이 0원의 환경부담치를 나타내지만 상대적으로 골판지는 -25,000원의 값을 가지기 때문에 발포스티렌과 골판지의 폐기에 따른 1993년도 총환경부담치의 차이는 더욱 커지게 됨을 알 수 있다((그림 3)).

1998년의 각 폐기방법의 예상%에 따르면 발포스티렌과 골판지 포장재의 환경부담치 차이는 1993년보다 더욱 큰 값을 나타낸다. 그 결과를 살펴보면 골판지의 환경부담치는 -24,000원의 값을 가진 반면 발포스티렌은 270,000원으로 나타났다((그림4)). 그 이유는 골판지의 경우 환경부담치에 음수가 되는 재활용률이 93년에서 98년까지 높은 성장률을 보이고 각 폐기방법 중 가장 환경부담치가 큰 소각의 비율이 떨어지는데 반해 발포스티렌의 경우 높은 재활용률의 증가를 보이고는 있으나 그에 비하여 환경부담치가 큰 폐기방법이다. 이러한 상황에서 현재 정부가 추진하고 있는 소각의 %를 높이는 정책을 위해서는 소각열의 재회수나 소각로 설치비용 절감을 위한 기술개발 등으로 소각비용을 절감하는 것이 절실히 요구된다.

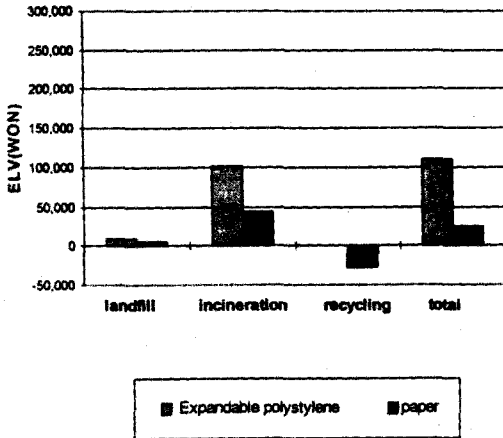
4-2. 토지보상비와 주민사업 지원비의 적용

본 고에서 이용한 토지보상비와 주민사업 지원비는 김포매립지의 조성 당시인 1987년 경이다. 10년간 이윤을 10%로 잡으면 2.8배정도 더 큰 가격이라고 할 수 있다. 그러나 매립에 의한 가격은 소각에 비해서 매우 낮기 때문에 3배정도로 높아지는 것이 결과에는 큰 영향을 미치지 않는다.



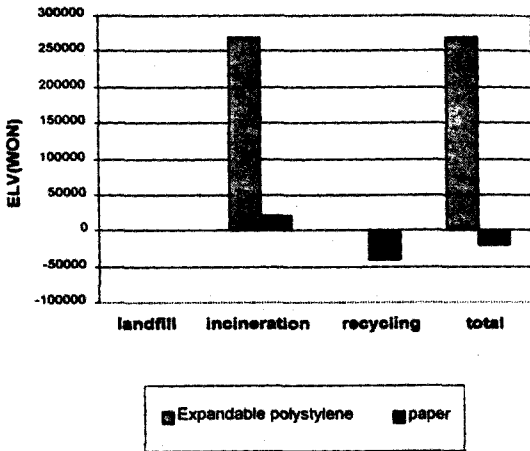
[그림 3] 발포스티렌 골판지 폐기시 총환경부담치

1993(Expandable polystyrene:landfill67.2%, incineration18.8%, recycling14%
paper:landfill38.5%, incineration6.5%, recycling55%)



[그림 4] 발포스티렌 골판지 환경부담치값

1998(expandable polystyrene:landfill10%,
incineration50%, recycling50%
paper:landfill7%, incineration3%, recycling90%)



다만, 지난 10년간 환경에 대한 국민의식의 변화와 함께 주민사업 지원비와 토지보상비는 이윤을 고려한 상승률보다도 훨씬 더 높은 가격 일 수 있다.

이에 대한 현재가를 알기 위해서는 별도의 연구가 필요하다.

4-3. 안정화 매립지 조성에 의한 땅의 생산성 감소

수도권 매립지에 매립이 마무리될 예정기간인 25년으로 잡았다.

이것은 매립이 마무리된 후 매립지를 공원이나 건물부지같은 용도로 이용할 수 있기 때문이다.

그러나 사실상 이 기간은 매립지 사용이 끝난 후 매립지를 다른 용도로 이용할 수 있을 때까지 매립지안정화 기간이 고려되지 않은 기간이다.

LFG(LandFill Gas) 발생을 고려한 매립지의 안정화 기간인 20년 정도가 걸린다는 보고도 있으나, 아직 많은 연구가 필요한 분야이다.

그러나 1993년 현재 혹은 1998년의 각 폐기 방법의 %에 따른 환경부담치를 볼 때, 매립지를 농경지로 사용하지 못함으로써 발생하는 손실은 상대적으로 적다.

따라서 LFG발생을 고려한 매립지 안정화기간동안의 손실도 큰 영향을 미치지 않는다.

4-4. 대리 소각비용소각의 경우

매립과는 달리 소각장의 건설비용을 빼고 환경부하를 계산했다.

그것은 대리소각이 행해지고 있는 상황에서 소각 대행업자가 경제적인 이득을 얻기 위해서는 그 대리소각비용에 소각장의 건설비용에 따르는 손실비용이 고려되어 있을 것이라는 추정에서였다.

또한 본 논문에서는 현재 소각열의 회수가 전혀 이루어지지 않고 있는 현실을 감안하여 소각열을 회수하므로 얻을 수 있는 이득을 계산에 포함하지 않았다.

앞으로 소각열의 회수가 활발하게 이루어진다면 대리소각 비용의 감소로 인해 전체적인

소각에 따른 환경부담치가 내려갈 수도 있을 것이다.

4-5. 폐골판지 및 폐발포스티렌 재활용

본 고에서는 재활용을 하기 위한 공정에서의 환경부담치는 무시됐다. 재활용은 자원을 회수하는 것으로 보고, 폐골판지나 폐발포스티렌의 판매비만을 고려했다.

따라서 좀 더 정확한 전과정평가를 위해서는 이 재활용을 위한 공정에서의 환경영향평가가 이루어지도록 연구개발하는 것이 보다 환경친화적으로 제품을 생산하도록 하는데 중요한 인자가 될 것이다.

4-6. EPS의 한국에의 적용

본 논문에서 이용한 EPS방법은 스웨덴에서 개발되어 여기서 평가되는 환경부담치는 유럽의 가치체계를 반영한다.

그리고 그 가치체계는 시간과 장소에 따라 가변적이므로 한국에서의 환경부담치는 다른 값을 가질 것이다. 환경에 대한 국민의 인식과 WTP는 그 나라의 경제적인 상황과 밀접한 관계를 가진다. 오늘날 대부분의 WTP가 한국에서도 같다고 보기는 어려울 것이다.

EPS의 연구자들은 GDP에 따라 WTP가 무엇에 따라 달라지는지에 대한 연구가 더 필요하다고 보여진다. 즉 그 나라의 환경의식에 지표를 알 수 있도록 하는 방법의 개발도 앞으로 이루어져야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 우선 폐기단계의 환경영향평가

를 환경부하치를 원화로 환산하여 가장 이해하기 쉬운 경제적인 가치로 환산하는 기법으로 제시했다.

뿐만 아니라 폐기단계에서 중량과 부피 모두를 고려한 환경영향 평가를 수행했다. 그리고 이 방법을 이용하여 발포스티렌과 골판지 포장재의 각각의 폐기단계의 비율에 따른 환경부담치를 살펴보았다.

먼저 각 폐기단계의 100%를 적용시켰을 경우 발포스티렌은 소각에서 약 540,000원, 매립은 폐기물 반입료를 적용한 경우와 안한 경우가 모두 약 13,000원~14,000원을 나타냈고, 재활용은 0원을 나타냈다.

그리고 골판지의 경우는소각에서 약 680,000원, 매립은 폐기물 반입료를 적용시켰을 경우에는 약 40,000원, 그렇지 않은 경우에는 약 13,000원, 재활용의 경우는 -45,000원의 환경부담치를 나타냈다. 그리고 1993년과 1998년의 폐기방법의 예상 %를 적용해 보면 기존의 연구와는 달리 발포스티렌이 골판지보다 더욱 환경부담치가 크다.

현재 우리나라의 환경정책은 좁은 국토면적을 고려해 매립의존형에서 점차로 소각의 비율을 높이는 방향으로 바꾸어 가려 하고 있다.

그러나 본 연구에서 보여준 결과를 살펴보면 발포스티렌의 경우 소각의 환경부담치가 매립의 경우 약 2,300배가량 높게 나타났고, 골판지의 경우는 약 90배 높게 나타났다.

따라서 소각에 의한 폐기처리의 비율을 높이기 위해서는 소각열을 회수하는 효과적인 방안의 모색과 보다 실용적인 기술개발이 이루어져야 할 것으로 보인다. ☐