



포장용기의 LCA 연구 사례와 시사점

최주섭 / (사)한국발포스티렌재활용협회 상무이사

1. 서언

전과정 평가(LCA)란 어떤 제품이나 공정, 활동의 전과정에 걸쳐서 소모되고 배출되는 에너지 및 물질들의 양을 계수화하여 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하고, 이를 통하여 환경개선의 방안을 모색하고자 하는 객관적인 환경영향 평가 기법을 말한다. LCA는 환경적으로 건전하고 지속 가능한 발전을 위하여 공업제품 및 서비스로 인한 환경 영향의 저감과 자원 및 에너지의 소비를 극소화하면서도 그 성과와 효과를 최대화하는 것이다. 또한 LCA는 새로운 제조, 공정, 제품, 포장 등을 선택할 때에 이것이 진정한 의미에서 환경 개선의 효과가 있는지 확인할 수 있다. 따라서 LCA는 기업 내부의 공정 설계, 제품 수정, 심지어 신제품의 개발 등에 사용할 수 있는 매우 값어치있는 도구가 되고 있다. 특히 제품 개선시 발생할 수 있는 종합적인 장단점(원료, 물질감소, 경량화, 재활용 물질의 사용이나 대체 물질 사용), 원료 물질 취득(농산물이나 화석 연료 유도체), 기술변화(공정상 또는 원료) 또는 새로운 폐기물 관리 방법 등을 제시한다는 점에서 그 사용이 중요하다. 포장용기의 LCA는 90년대 초 경합 관계에 있는 포장용기 간의 환경부하 정도를 비교하는 목적으로 연구하여 왔다. 그러나 최근에 와서는 스위스의 대형 체인 스토어 미그로스가 용기포장의 개선에, 미국 피

앤지 등의 자주적인 제품의 환경 평가에, 그리고 일본의 생활협동조합연합회에서 용기 포장재의 환경평가 등이 시도되면서 품목별로 요람에서 무덤까지 즉, 원료 조달, 생산, 유통, 사용 후 폐기 등 각 과정별 환경 부하량을 파악하여 개별제품의 환경성을 개선하는데 이용하고 있다.

2. 연구 사례

2-1. 최근 국내외 포장용기의 LCA 사례

전과정 평가(LCA) 기법을 이용한 EPS와 골판지(펄프몰드)의 환경 영향 비교연구(96. 5. 한국발포스티렌재활용협회)

2-1-1. 연구방법

본 연구에서는 최근까지 외국에서 수행된 두 제품에 대한 전과정 평가의 비교 연구 자료를 수집하여 객관적으로 분석하고, 이를 토대로 하여 각각의 환경영향을 평가하였다. 이 때 사용과 폐기단계 등과 같이 국내에서 입수 가능한 데이터를 부분적으로 적용시켜서 가능한 한 국내 실정에 근접한 결과를 도출하고자 하였다.

2-1-2. 가정

본 연구에서 사용된 자료는 대부분이 국외자료로서 국내의 실정에 잘 맞지 않을 수도 있음을 명심해야 한다. 즉, 원료취득 및 제조 단계는 모두 외국의 자료를 이용하였고, 수송단계는 국내에서 평가된 자료에 기초를 하였지만, 각 차량에



[표 1] 생산공정에서 EPS와 골판지의 배출량

OUTPUT (g)		EPS 발생량	골판지 발생량
Air	dust	1020	7722
	CO	480	7194
	CO ₂	360000	2443050
	SO _x	28000	13992
	Hydrogen sulphide	1	51
	NO _x	8600	8814
	HCl	8	15
	C _x H _v	4400	10581
	aldehydes	0	5.519531
	N ₂ O	0	723
	HF	0	0.011719
	ammonia	0	1.398047
	Cl ₂	0	0.005859
	mercury	0	0.023438
	H ₂ SO ₄	0	99
	methyl mercaptane	0	699
	Na ₄ SO	0	15
	Metals	4	0
Water	Suspended substances	260	846
	dissolved substances	64	4674
	fluorine	0	2.259375
	BOD	24	7245
	COD	540	32268
	AOX	0	900
	crude oil	60	66
	NH ₃	80	1.046484
	Cl ₂	0	30
	Acid as H ⁺	16	0
	C _x H _v	120	0
Other niutrogen	4	0	
Solid	produc. waste	2722.2002	308100

대한 정보가 부족한 관계로 적재량을 톤수에 비례하여 설정하였다. 15kg의 프린터를 포장하는데 EPS와 골판지의 완충력을 계산하여 같은 완충력을 가질 수 있는 무게를 기능 단위로 계산하였다. 수송단계에서 전자대리점으로부터 각 가정으로 수송하는 단계는 제외하고 포장재 생산 공장에서 전자회사로까지의 수송만을 고려하였다. 이 때 EPS의 경우는 톤당 48.08kg을 싣는다고 가정하였고, 골판지의 경우 톤당 100kg을 싣는다고 가정하였다. 연비의 계산은 무게에 따른 비율을 적용하여 계산하였다. 재활용률은 EPS의 경우에는 21%(출처: 1994년도 KFRA 소개 및 활동)로, 골판지의 경우에는 55%(출처: 골판지 포장·물류 제 8호)로 가정하였다.

2-1-3. EPS와 골판지의 전과정 목록 비교

[표 1]은 EPS와 골판지의 제조 단계까지 나오는 배출물과 그 발생량을 보여주고 있는데, 기

능단위를 기준으로 하였을 때 EPS보다는 골판지에서 발생하는 배출물의 종류가 다양할 뿐만 아니라 그 양도 많은 것을 알 수 있다. 특히 CO₂의 경우는 지구 온난화에 크게 책임이 있다고 알려져 있는데, 그 배출량이 골판지의 경우에 EPS에 비해서 7배가 많이 배출되고, 다른 영향 인자에 비하여 훨씬 많은 영향을 주고 있어서 EPS와 골판지의 비교에 있어서 매우 큰 영향력을 차지하고 있다.

한편 NO_x의 경우는 EPS와 골판지의 경우에 거의 같은 양이 배출됨을 볼 수 있다. 그 외에 EPS에서는 배출되지 않는 aldehyde, N₂O, HF, ammonia, Cl₂, 수은, H₂SO₄, methyl, mercaptane, NaSO₄가 골판지의 제조 단계에서 발생함을 알 수 있다. 이 중에서 수은성분은 인체에 아주 유독한 것으로 소량으로도 치명적인 성분이므로 간과해서는 안된다. 대기배출물

[표 2] 사용 및 수송 단계에서 EPS와 골판지의 환경 배출물 비교

OUTPUT		EPS	골판지
		발생량(g)	발생량(g)
Air	dust	1,866.59	2,375.99
	CO	29,434.72	46,523.85
	CO ₂	4,774,170.00	7,545,939.00
	SO _x	3,948.56	6,241.00
	non methane VOC	17,948.00	28,368.20
	NO _x	96,919.20	153,188.28
	N ₂ O	122.05	192.90
	methane	3,230.64	5,106.27
	benzene	0.77	0.12
	benzene(a)pyrene	0.007	0.01
	Pb	0.36	0.57
	Cd	0.07	0.11
	Zn	0.22	0.35

중에서 유일하게 SO_x의 경우는 골판지 보다는 EPS에서 2배정도 많이 배출되고 있는데, 이 물질은 산성비의 원인이 된다. 그 외에 metal은 골판지에서는 배출되지 않는 반면에 EPS는 4g을 배출한다. 그러나 중금속 면에서는 골판지 쪽이 약간 많다. 수계배출물을 보아도 수질에 많은 영향을 주는 BOD, COD가 골판지의 경우에 상당히 높음을 볼 수 있다. 한편, 고형폐기물의 경우에 무게를 기준으로 비교하였을 경우에는 EPS의 경우에 상당히 적게 배출되고 있는데, 이는 부피까지도 고려해야 할 것으로 생각된다. [표 2]의 사용 및 수송 단계에서는 두 제품이 똑같은 수송경로를 가진다고 가정하고, 실제 무게비로 나타내었기 때문에 가벼운 EPS의 경우에 배출물의 발생량이 적게 나왔다. 수송 공정은 아직 정확한 데이터가 없는 관계로 대부분 가정하에서 이루어졌기 때문에 오차가 많을 수도 있음에 유의해야 할 것이다.

골판지와 EPS의 폐기현황은 매립, 소각, 재활용으로 이루어진다. 페스티로폴의 경우 재활용률이 21%(94년도 기준)로써 제지류의 재활용률인 55%(94년 기준)에 비하면 아주 적은 양이다. 뿐만 아니라 폐EPS의 매립률은 62.2%나 되는데, 98%가 공기로 되어 있는 폐EPS는 부피를 많이 차지하여 매립시에 필요한 매립지가 매우 크다는 단점을 지니고 있다. 현재 계속 매립률을 낮추고 재활용률을 높이고는 있지만, 아직 개선의 여지가 많다. 국내에서 정책적으로 폐EPS가 분리수거가능 품목으로 지정되었고 앞으로 재활용 체제가 정비된다면 매립률은 더욱 낮아지고, 재활용률이 높아지리라 기대된다(97년 폐 EPS 재활용률 36.3%, 매립률 34%).

에너지의 회수를 병행하는 소각을 수행한다면, 폐EPS의 발열량은 1kg당 40.32MJ이고, 제

지류(골판지)의 경우는 15.96MJ이 나온다.

따라서 기능단위인 프린트 1천개를 포장하고 개발한 폐EPS를 현재의 소각 비율에 따른 소각시 약 2,975MJ이 회수될 수 있으며, 같은 기능단위의 골판지는 약 211MJ의 에너지를 회수할 수 있다. 또한 기능단위에 따른 제지류의 소각시 나오는 배출물의 종류가 다양하고 그 양도 페스티로폴의 경우보다 훨씬 많은 것으로 나타났다.

이상과 같이 전과정 목록을 비교·분석함으로써 다음과 같은 사항을 발견할 수 있었다. EPS의 경우에는 전과정에 걸쳐서 작은 양의 에너지를 필요로 하고, 적은 양의 배출물(SO_x는 예외)을 발생시키지만, 발포체로서의 특성으로 인해 매우 큰 부피의 고형폐기물을 발생시키므로 매립시에 상당한 토지 점유문제를 유발시킨다는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 폐EPS의 재활용률을 높이고, 재활용 하부구조를 구축시킴으로써 폐기되는 고형폐기물의 양을 감축시켜야 할 것이다.

한편, 골판지의 경우는 상대적으로 많은 에너지를 필요로 하며, 대기 및 수질오염 배출물의 양 또한 많이 발생시키므로 공정 개선을 통하여 환경부담을 감소시키도록 해야 할 것이다.

2-2. 용기 포장재의 환경평가에 관한 중간보고 (98. 6. 일본생활협동조합연합회)

2-2-1. 환경평가시스템 개발의 목적

본 연구는 LCA를 기초로 한 정량적인 평가에 정성평가를 추가하여 환경 평가시스템을 개발하여 그 시스템을 활용한 생태학적 지침을 책정하여 사용되는 상품 전체의 용기포장재를 더욱 환경과 친밀한 방향으로 개선하는 것을 목적으로 하였다(일본생활협동조합연합회의 환경평가시스템).

2-2-2. 환경평가 시스템의 구조(그림 1)참조)

환경평가 시스템은 조사, 분석, 종합평가, 가이드라인을 작성하는 순서로 구성되어 있다.

1) 조사 : 조사대상이 되는 자료의 수집 및 계산이다. 정량평가항목에 있어서는 제품의 전과정 즉, 원료채굴부터 사용후 폐기까지의 각 단계에서 에너지, 자원, 물의 소비량, NO_x, SO_x, BOD, COD, SS, 고형폐기물, CO₂ 배출량을 조사하였다. 정성평가 항목에 있어서는 유해물질 체크에 있어 정량평가 항목에서 파악할 수 없는 물질의 발생·배출의 위험성을 체크하고 쓰레기 부담에 있어서 용기포장 자체의 재사용, 삭감, 리사이클, 쓰레기 처리작성을 분석하여 100점 만점의 쓰레기부담 점수를 산출한다. 그리고 생산단계에서 배출되는 쓰레기 부담에 있어서는 배출될 고형폐기물의 질을 처리방법과 관리방법 측면에서 정성적으로 체크한다.

2) 분석 : 정량분석에 있어 각 분석항목별 단위와 계산방법을 통일하고 계량화가 어려운 적성분석 항목에서는 감량 적성(본체나 외장의 삭

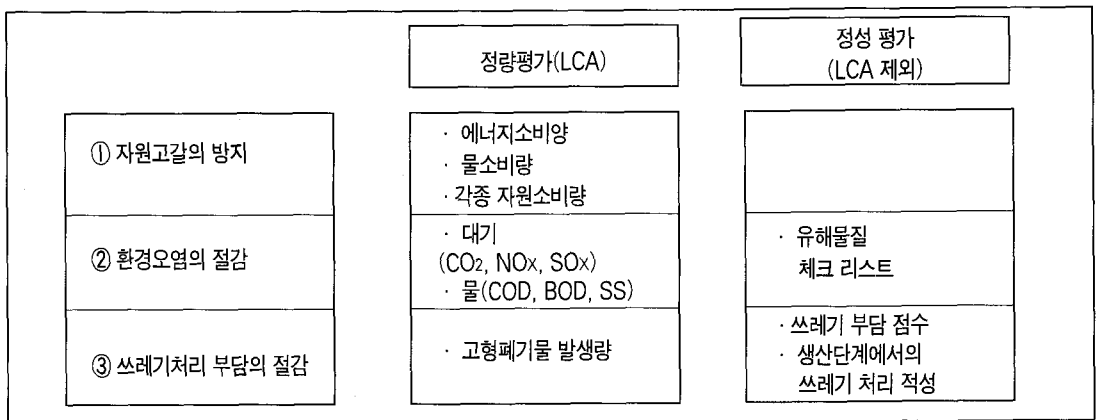
감 가능성), 재사용 적성(재사용 현황), 회수·재활용 적성(회수율, 운송시의 용적과 운송의 용이성, 분리의 용이성, 감용기술, 채산성, 수요량), 쓰레기 처리작성(운송시 용적, 운송시 위험성, 불연물의 혼입, 발열량, 소각시 영향, 감용의 용이성, 매립시의 용적, 매립후 안정성) 등을 체크하여 쓰레기 부담 점수를 산정한다.

3) 종합평가 : 환경성적표를 작성하고 자원 고갈, 환경오염, 쓰레기 부담 등 부분별 종합점수를 부과한 후에 전체적인 종합 점수를 산정한다. 그리고, 같은 기능을 가진 용기군 중에서 상호 비교를 함으로써 개선할 점을 도출한다.

4) 가이드라인의 작성 : 종합 평가를 기초로 문제점을 발견하고 개선책을 탐색하여 개선 효과를 시산한다. 다음에 개선책의 실현가능성을 고려하면서 가이드라인을 작성한다.

개선한 문제점의 추출에 있어 용기간의 상호 비교를 실시하여 예를 들면, 특정 용기의 에너지 소비량이 크고, 이 에너지소비량이 재료 제조시에 소비되는 비율이 높은 경우에는 회수·재활

(그림 1)일본생활협동조합연합회의 환경평가시스템



생태학적·지침(Ecological Guideline)의 작성



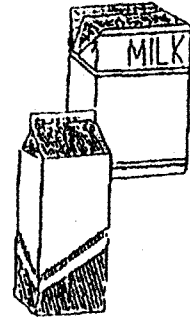
[표 3] 환경성적표

[종이용기(폴리에틸렌 라미네이트 · 대용량)]

【 사양 】

〈구조〉종이의 양면에 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)을 라미네이트
 〈재질〉총중량: 29.9g
 표백지: 26.5g
 LDPE: 3.4g
 〈용량〉 1000ml
 〈외장에 들어가는 수: 20팩〉 플라스틱
 (폴리프로필렌)제 상품 배달용 상자
 〈회수율〉 4%(91%년 실적)
 〈가격〉 11~15엔

〈기능성〉
 · 경량으로 운반하기 쉽고 폐기시 처리가 용이하다.
 · 강도가 약하고 내압성이 낮아 탄산음료를 충전하는 것이 불가능하다.
 · 금속캔과 유리병에 비해 내용물의 보존기간이 짧다.
 · 주로 우유, 유음료와 과즙음료 등의 냉장을 필요로 하는 제품에 사용된다.

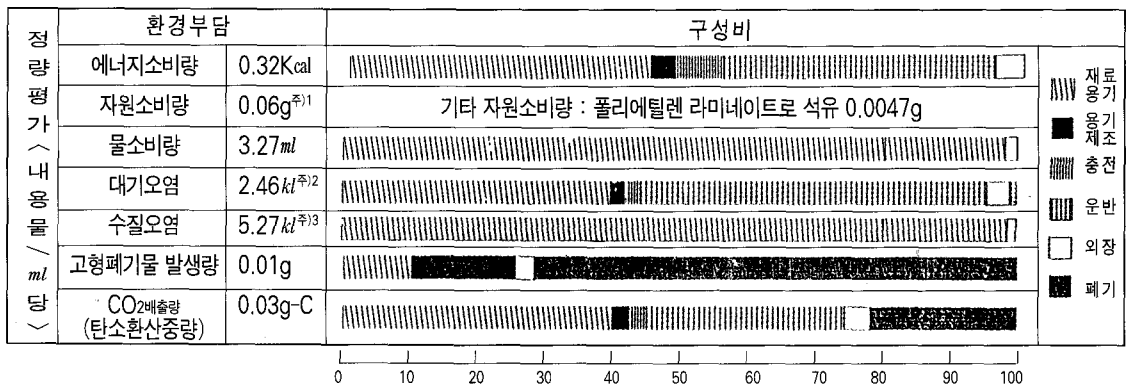


【 환경부담과 관련된 특징 】

- 다른 용기에 비해 자원소비량 및 에너지 소비량이 적다.
- 용기는 소각할 수 있기 때문에 고형폐기물 발생량을 억제할 수 있다.
- 라이프 사이클 전체를 생각하면 펄프제조에서 발생하는 대기오염 · 수질오염에 대한 환경부담이 크다.
- 냉장수송(컨테이너 내부를 0℃ 전후로 유지해서 하는 수송)하기 때문에 운반시에 대기오염 등의 환경부담이 크다.
- 플라스틱제의 상품배달용 상자로 운반하기 때문에 외장에 의한 환경부담이 작다.
- 종이의 원료가 되는 삼림의 보전에 배려할 필요가 있다.
- 소각 후의 용기 회수율이 낮다.

【 환경부담과 관련된 개선방향 】

- 재생용도의 확대 등에 의한 리사이클의 촉진.
- 펄프 제조시 배수처리에 철저
- 페이퍼 슬러시의 적절한 소각 실시



주1) 펄프의 원료가 되는 펄프(칩)의 중량

주2) 배출된 NOx의 SOx의 중량(mg)에 대해 환경기준(농도)을 초과하지 않게 하는데 필요한 공기의 양

주3) 발생한 SS의 중량(mg) 또는 BOD, COD와 관련되어 발생하는 물질에 대한 탄소요구량(mg)에 대하여 환경기준(농도)을 초과하지 않게 하는데 필요한 물의 양(리터)

[표 4] 환경성적표

(종이용기(폴리에틸렌 라미네이트 · 대용량))

환경부담		내역 · 내용				
정성평가	소비부담 쓰레기부담 포인트 ^{주1)}	삭감 적성	재이용 적성	리사이클 적성	쓰레기처리 적성	
		25.0	0.0	11.3	22.6	
	생산단계의 쓰레기 처리 상황	①슬러시	안정형	관리형	차단형	· 공정에서 나오는 배수는 생산처리와 응집침적 등의 처리로 오염된 부분을 제거하고, 발생한 슬러시는 탈수 후에 소각하고 있다. · 소각재는 산업폐기물로 관리형 최종 처분장에 매립된다. 일부는 토양개량제와 광물공장에서 용제로 재생 이용된다. · 무기질 폐기물은 펄프제조공정에서 발생한다. 주성분은 탄산칼슘, 이것도 관리형 최종 처분장에서 매립한다.
		②진흙	① ②			
유해물질의 체크	· 배출물질: 펄프제조 과정에서 유기화합물(극히 소량의 다이옥신 포함)이 발생할 가능성이 있다. 또 폐기물 소각시에도 다이옥신 발생이 우려된다. · 관리상황: 업계가 자주적으로 다이옥신을 감소시키기 때문에 AOX치(흡착가능 유기 할로겐량)의 배출기준을 설정했다. (93년 말까지 펄프 1t당 배수중의 1.5kg 이하)					

주1) 점수가 높을 수록 쓰레기처리 적성이 높다. 100점 만점이다. 삭감 적성, 재이용 적성, 리사이클 적성, 쓰레기 처리적성에 각각 25점씩 배점하고 있다.

(수송에 관한 전제)

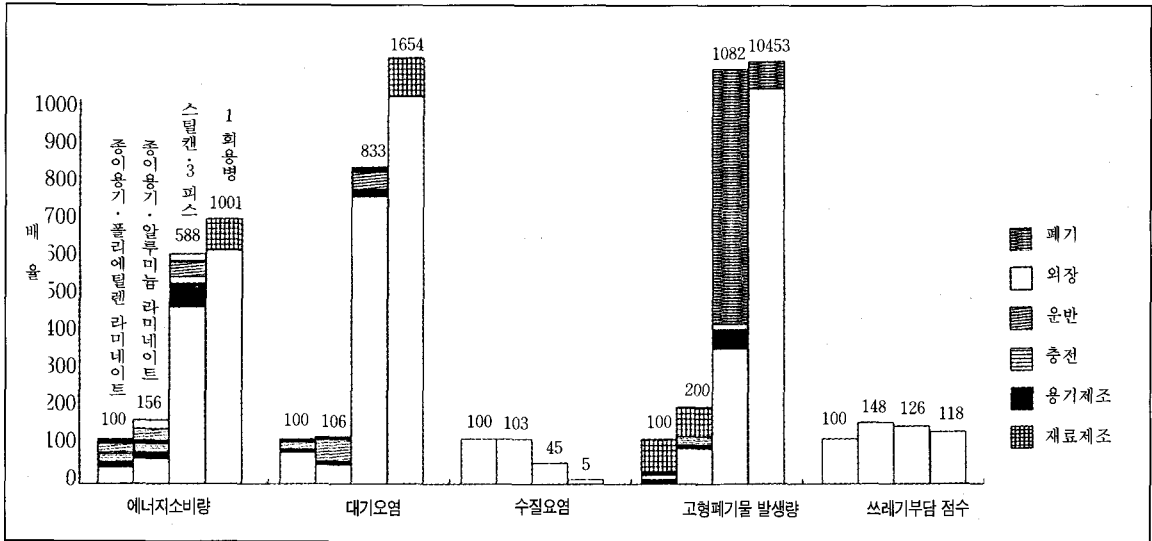
	(용기수송)			〈쓰레기처리 · 리사이클〉					기타
	용기제조 → 충전 → 배달거점 ^{주2)} → 점포			리사이클(4%)		소각(48%)		매립(9%)	
	점포 → 중간처리 ^{주3)} → 제조업체	소각장 → 매립장	가정 → 매립장	점포	중간처리 ^{주3)}	제조업체	소각장	매립장	
외장	파렛트	플라스틱제 배달상자	플라스틱제 배달상자	-	-	-	-	-	〈연비〉 · 10톤 차: 3.5km/l · 4톤 차: 5.5km/l · 4톤 냉장차: 2.8km/l 〈열량원단위〉 · 9,200kcal/l (경유)
수송차	10톤 차	4톤 냉장차	4톤 냉장차	4톤 차	4톤 차	4톤 바카차	10톤 차	4톤 바카차	
수송거리	300km	60km	60km	왕복 60km	왕복 200km	15 km	25 km	25 km	
적재형태	편도적재	편도적재	편도적재	편도적재	편도적재	-	-	-	
적재량	14만개/대	0.4만개/대	0.32만개/대	95.7kg/대	3887kg/대	478.4kg/대	10톤/대	478.4kg/대	
비고				배달할 때와 같은 수량을 적재한다.	종이용기를 펼쳐서 모은다. 1t차(20㎡)에는 13만장을 적재할 수 있다.	1/3은 남기고 적재할 수 있다고 가정		1/3은 남기고 적재할 수 있다고 가정	

주2) 桶川市の B본 생활협동조합연합회 물류센터를 전제로 했다.

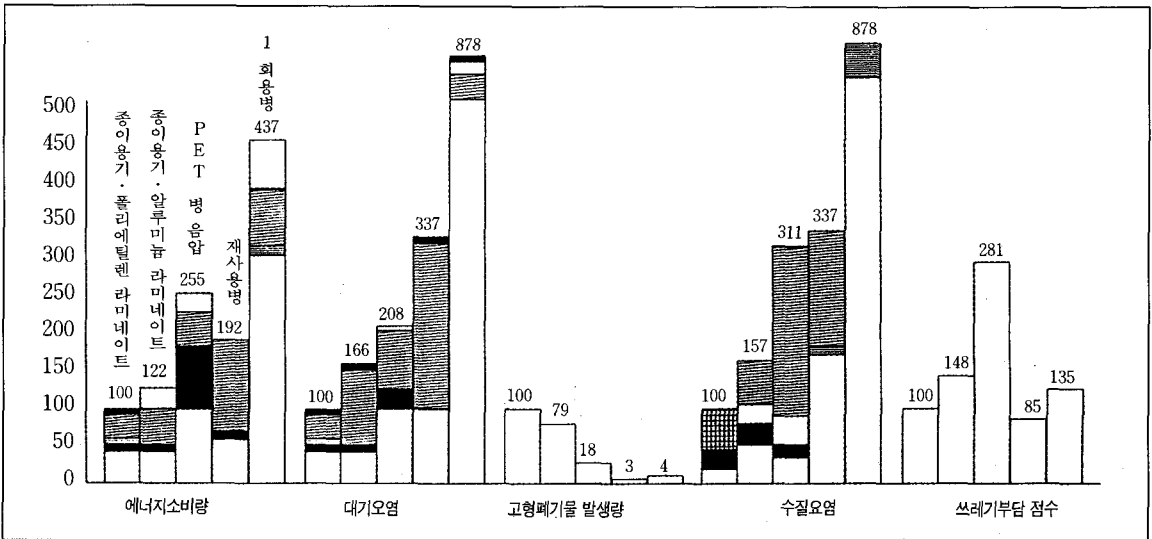
주3) 桶川市の B본 생활협동조합연합회 리사이클 실험센터를 전제로 했다.



[표 5] 용기간 상호 비교 (소용량 비탄산용 용기)



[표 6] 용기간 상호 비교 (대용량 비탄산용 용기)



- 배출: 상대적으로 환경부담이 작은 용기에 대한 각 용기의 환경부담 크기를 「배출」로 나타냈다. 용기의 내용물 1ml당 환경부담으로 환산했다.
- 대기오염: 배출된 NOx 와 SOx의 중량(mg)에 대해 환경기준(농도)을 초과하지 않게 하기 위해 필요한 공기의 양(kg)
- 수질오염: 발생한 SS의 중량(mg) 또는 BOD, COD와 관계된 발생물질에 대한 탄소요구량(mg)에 대하여 환경기준(농도)을 초과하지 않게 하는데 필요한 물의 양(리터)
- 고형폐기물 발생량: 생산단계와 소비단계에서 발생한 고형폐기물을 합계한 것의 중간처리 후의 최종 처분량(중량g)
- 쓰레기 부담 점수: 「환경성적표」에 기재한 100점 만점의 쓰레기 부담 점수의 역수, 수치가 높을수록 부담이 크다.
- 유리병(재사용, 1회용)의 경우 「용기제조공정」은 「재료제조공정」에 포함된다.

용 축진을 검토한다. 개선 효과의 시산에 있어서는 회수·재활용률의 증가에 따라 환경오염 유형별 부하 또는 에너지 소비량의 삭감 효과를 비교한다.

2-2-3. 음료 용기의 환경평가시스템 사례

비탄산음료인 우유, 유산균 음료, 과즙 음료 등의 용기를 비교한다.

- 1) 환경 성적표 : 비탄산 음료 용기 중 폴리에틸렌 라미네이트 종이 용기의 대용량(1000ml, 1500ml)의 환경성적표는 [표 3]과 같다.
- 2) 용기간 상호 비교 : 소용량 비탄산음료용 기군과 대용량 비탄산음료 용기군을 비교하였다. 상호간 비교는 [표 4], [표 5]와 같다. 경합을 이루는 대상 용기들의 사양은 [표 6]과 같다.
- 3) 기타 : 음료용기의 LCA연구를 시도한 국내연구 자료는 1993년도에 경제정의 실천시민연합 환경개발센터의 '유리병 재활용 활성화 방안'에 관한 연구', 1994년도 한국

환경과학연구협회의 '재사용 용기의 사용확대를 위한 조사·연구', 1995년도 아주대 이진모 교수의 '음료수용기전과정 평가' 등이 있다.

3. 시사점

포장용기의 LCA 연구에 있어 몇가지 애로사항과 개선의견을 제시하고자 한다.

▲애로사항- 국내 기업의 관련자료의 미비: 동종업종의 대표성 여부: 관련재료의 빈곤과 부정확성: 자료의 공개 기피- 평가항목의 범위 설정 문제: 환경오염 항목의 종류- 종합평가의 계량화 한계: 정량평가와 정성평가: 평가항목별 가중치- 전제 및 가정의 설정

▲시사점- 산업계의 환경부하 평가자료의 표준화, 기록 보존- 소비자의 알 권리 확보 : 정보공개원칙의 준수- LCA 목록 작성 및 종합평가 방법의 표준화 ☐

[표 7] 대상 용기의 사양

구분	용 기	재질 중량
소용량	종이용기, PE라미네이트 200ml	종이 5.2g, LDPE 1.7g
	종이용기 알루미늄 라미네이트 200ml	종이 5.3g, 알루미늄 0.5g LDPE 5.7g
	스틸캔 3피스, 350ml	양철판(몸체) 45g, TFS(바닥) 9.1g 알루미늄(뚜껑) 4.5g
	1회용병, 200ml	유리 200g
대용량	종이용기, PE라미네이트, 1,000ml	종이 26.5g, LDPE 3.7g
	종이용기, 알루미늄 라미네이트, 1,000ml	종이 20.1g, 알루미늄 1.4g, LDPE 5.6g
	PET병, 음압, 1,500ml	PET 59.0g
	재 사용병, 1,000ml	유리 310g
	1회용병, 1,000ml	유리 305g

※ 재사용병의 회수율은 94%, 재자원화율은 포트라 카펫트를 제외한 91.2%, 재이용 회전수는 11.3회전을 전제로 하였음