



「환경영향평가」 조사결과 및 전망

Research on Survey result of LCA

일본 (사)플라스틱처리촉진협회 자료제공

1. 서론

지금 전 세계의 관심은 지구환경문제에 대해 집중되고 있고, 정부에서 시민에 이르기까지 넓은 범위로 정확한 대응을 필요로 하고 있다.

이 의미는 「유지성이 있는 것을 개발」, 「환경과 개발의 조화」의 테마로 개최된 작년의 지구환경 세미나는 예전과 비교하여 정보적으로 화학성, 객관성의 시점이 요구되었다.

또한 플라스틱의 분야에서도 지구환경에 좋은 재료, 시스템의 요망(要望)이 강하게 나타나서 「무엇을」, 「어떻게 하면」이라는 논의가 요구되어 원재료의 채취, 가공, 유통, 재생, 폐기의 전 공정에서 필요한 에너지와 발생하는 환경부하를 총합적, 객관적으로 평가하는 수법으로 관심이 높아져 왔다.

본 조사연구는 ① 에너지 소비와 환경영향의 정량적평가방법에 관한 컨셉 ② 계산 프로그램의 작성 ③ 포장재료 적용의 각 항목에 의해서 구성된 플라스틱, 종이, 유리, 금속의 성(省)재료에 대해서 평가, 고찰이 더해졌다.

본 사업은 당협회기술개발위원회의 환경영향평가 워킹 그룹이 기획, 입안(立案), 총합평가를 하고, 구체적인 데이터의 수집, 계산을 화학공학회에 위탁하여 실시했다.

본 조사연구가 플라스틱에 관련하여 문제대책의 기초 데이터로서, 지구환경에 우수한 제품의 자료로서 쓰였으면 한다.

1. LCA 필요성

최근 지구환경문제에 관심이 높아짐에 따라 자연환경을 유지하고 사회환경을 향상시키는 것에 관심이 높아져 '환경부하의 정도를 정온화(定溫化) 할 수 없을가' 라는 요망(要望)이 강하게 요구되고 있다. 1991년 제정된 리사이클법에서도 환경을 배려한 설계·재료의 사용이 요구되어 앞으로 제정(制定)이 예정되어 있는 환경기본법에 대해서도 환경 아세스먼트가 중요한 과제가 되고 있다

이 중에서 관심이 높은 플라스틱은 환경부적합재료로써 평가를 받는 일이 있다. 경량, 강도,

내수성, 화학적안정성 등 기존의 천연재료에 없는 우수한 특성의 플라스틱으로 존중되어 사회 환경 향상에 공헌하며 큰 성장을 해왔다. 그러나 이 특성은 자연으로 분해되지 않는 것으로 평가 되고 있다.

예를 들어 발포폴리스틸렌의 트레이나 컵은 하얗고 청결하고 내수성, 절열성, 가공성이 우수 하여 생산지에서 포장, 출하관리 냉장고에서 보존, 디스플레이성 경량, 단단함, 취급하기 쉬움, 위생성 등 많은 점에서 유통혁명을 해 왔지만, 우리들은 포장재료로서의 편리성, 우수성은 잊 어버리고, 다만 사용한 후에 쓰레기 상자 등이 하천 등지에 버려져 크게 문제가 되고 있는 점만 부각된다.

우리들은 모든 재료가 폐기 단계만이 아닌 원 료 채취에서부터 제조·가공·2차 가공·유통 을 포함하여 정확한 평가를 받아야 될 것이고 더욱이 그 평가가 정보적, 감정적이 아니라 과학적 처리를 기초로 하지 않으면 안 된다.

그 정량적 평가를 위한 수법이 「제품의 생산· 소비· 폐기에 이르기까지」의 생산에서부터 매 장까지 모든 과정에서 필요로 하는 천연자원· 에너지와 환경에 미치는 부하를 계산하여 판단 의 기준으로 하는 라이프 사이클(Life Cycle Assessment LCA)이다.

우리들은 이 새로운 수법을 이용하여 환경과 플라스틱의 관계를 이해하고 잘못된 오해를 풀 어야 한다.

LCA에는 여러 가지 사용방법이 있지만 재 료·시스템의 비교, 모든 과정에 대하여 각 유니 트의 문제점 지적, 리사이클이나 처리방법에 대 한 제안, 더욱이 이를 통하여 미래사회의 책정이

가능하게 된다.

후에 나오지만 아직까지 많이 해결해야할 문 제가 많지만 그 미력적인 가능성을 믿고 더욱 발 전시켜 나가야할 것이다.

본문은 LCA에 관한 내외의 정황과 금후의 방 향에 대하여 1991년도의 조사보고의 일부를 예 시한 논문이다.

2. LCA 역사와 배경

LCA의 역사는 2가지의 흐름으로 구성되어 있다.

첫 번째는 제조공장의 공정분석으로 시작한다. 원료에 에너지를 더하여 화학적, 물리적으로 변환하여 유용한 제품을 제조하는 생산공정에 의해서 에너지나 폐기물의 관리는 제품의 품질 향상과 같은 중요한 과제이고 현장의 기술자들 은 이 문제 해결을 위해 옛날부터 노력해 왔다.

특히 1960년대부터 1970년대에 걸쳐 석유파 동을 계기로 각사(協社)는 각각 자사(自社) 브 랜드의 플로차트 작성과 그것을 기초로 공정개 선을 해 왔다.

다른 한 가지는 포장용기를 평가하는 것으로 1970년 Midwest Research Institute(MRI)가 코카콜라를 위하여 각종 음료용기에 자원소비와 환경의 영향을 비교 조사했다.

그 후 1975년에 걸쳐서 W.E. Franklin에 의 하여 연구가 진행되어 REPA(Resource and Environmental Profile Analysis)로 명칭되 었다.

1975년 이후 특히 에너지와 환경문제에 대해 세론(世論)의 관심이 집중되어 수법(手法



methodology)에서도 현저히 진보 되었다.

이 시기에 유럽에서도 I.Boustead(영국)을 시작으로 북유럽 각국의 학자들에 의해 연구가 진행되었고, 1980년대에 들어와서 지구전체의 환경문제가 큰 관심을 끌게 되었다.

1988년 미국에서는 쓰레기가 사회 문제로 부각되어, 문제해결의 수단으로 LCA가 채택되었다.

이처럼 제조과정에서의 자원·에너지의 플로차트 분석, 포장재료의 기능해석, 그리고 지구환경부하(負荷)의 형태로 LCA 연구는 조금씩 이론구축이 실현되어갔다. 경험이 쌓이면서 유럽과 미국의 연구진들의 시선도 넓어지고 수준도 향상되었다.

제1회의 LCA 심포지움은 1990년 미국에서 열렸다. 이 워크샵은 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 주체로 정부·기업·학회·시민단체의 연구진들로 구성되어 당시의 목적은 LCA에 관한 정의와 용어를 명확히 하는 것이었지만, LCA 수법의 개선, LCA 사용의 전략전개 등이 추가되었다.

한편 유럽에서는 플라스틱에 대하여 APME(구주(歐洲) 플라스틱 제조사협회)/PWMI(APME의 환경부문)이 1990년 연구 그룹을 편성하여 조사연구를 시작하여 현재도 지속하고 있다.

연구는 전술(前述)의 Boustead 교수의 주관으로 스위스, 독일, 벨기에 등의 연구진이 협력하고 있다.

1991년 네덜란드의 라이덴대학에서 환경과학센터가 LCA 수법 매뉴얼을 작성하였고 더욱이 1993년 개정판이 출판되었다.

3. 일본 및 각국 현황

3-1. 일본

일본 LCA의 본격적 연구는 1981년 화학경제연구소의 에너지 분석으로 시작하여 그 후 일본기계공업연합회, 고분자소재센터의 「고분자계소재에 관한 보고서」, 플라스틱처리촉진협회/미츠비시총합연구소의 「폐플라스틱처리, 재자원화에 관한 보고서」가 계속 발표되었다.

기업에 있어서도 토요(東洋)제관, 아지노모토 등, 포장재료에 관한 LCA의 검토가 시작되었다.

특히 일본생활협동조합연합회는 최종적으로 에코로지컬·가이드라인 작성을 목적으로 네덜란드, 스위스의 정보를 입수 하는 등 1995년 6월에 중간보고를 발표했다.

이 해 5월21일에는 민간 조사기관인 일본 에코라이프센터가 기획하여 일본에서 처음으로 LCA 심포지움이 개최되고 미국에서 SETAC, P&C의 2건, 일본에서는 토요제관, 세이쿄우(生協), 플라스틱처리협회 3건의 사례보고가 발표되었다. 이 심포지움은 행정·기업·대학의 연구진을 시작으로 이 분야에 관심이 있는 사람들이 모였다.

이미 통산성은 과학기술청의 에코 머테리얼로 에너지 분석에 주력하고 있다.

또한 환경청은 환경기본법 규정에 관한 LCA 수법의 표준화를 목적으로 한 연구회 작업을 진행해 왔고 「환경 부하의 평가에 관한 예비적검토」가 일본 에코라이프센터에서 환경청에 대해 보고 되었다.

또 한 가지의 큰 움직임은 국제표준화기구

(ISO)와의 관련이었다. 환경관리(TC207)세미나가 1993년 6월 캐나다에서 개최되어 일본이 SC-5·LCA의 WG 협력 나라가 되어 일본규격 협회사무국으로서 환경관리규격심의위원회와 2개의 분과회, 5개의 WG가 발족했다.

또한 일반기업·단체에서도 LCA의 관심이 현저하게 높게 나타났다.

이처럼 1993년에 들어와서 새로운 움직임이 있지만 구미에 비교하여 늦은 감이 없다는 부정할 수 없지만 일본도 비약적인 발전을 한 것은 사실이다

3-2. 미국

조사·연구의 주체는 환경청(EPA)으로 전술(前述)의 SETAC에 의해 추진되어 여러 기업이 참가했다. 미국에서는 많은 경우 법률은 의원입법(議員立法)의 형태로 제출되고 도·시·주 단위로 공청회, 주민투표 등을 걸쳐서 제정된다.

1987년 사프옥에서 쓰레기문제를 계기로 플라스틱 포장이나 나쁜다는 것을 전제로 폴리스티렌, PVC 등 금지령을 정한 법률의 제정이 만들어졌고 플라스틱업계는 LCA의 의하여 반론을 제기하고 있다.

예를 들어 P&G를 시작으로 Kodak, 코카콜라, 셀, 3M 등 대기업이나 단체의 실제적인 예가 있고 최근에는 포드 등 자동차 메이커도 적극적으로 진행하고 있다.

전술의 조사회사 Franklin Associate 그밖에 화학관계의 정보분석에서 뛰어난 Chem System도 LCA에 관한 모든 실적을 가지고 있다.

미국의 특징은 법규제에 대응하기 위하여 각

종 포장재료의 비교사례가 많고 이것이 LCA에 관한 조사회사의 활발한 활동을 펼치고 있다.

3-3. 유럽

LCA의 학문적 백그라운드는 네덜란드 Leiden대학, 스위스 EHT(주립공업대학), 영국의 Open대학, 덴마크의 공과대학 등이고 이것을 진행하는 기관, 단체로는 독일의 Fraunhofer Institute, 프랑스의 Eco Bilan, 또한 플라스틱에 대해서는 메이커 단체로서 APEM(기타 환경부문 PMMI)이 있다.

특히 스위스에서는 연방내무성 환경국(BUWAL)이 1984년 「포장의 에코 밸런스」를 발간하고 90, 91년에 방법론, 데이터베이스의 개정을 하였다.

Migros는 이들의 결과를 기초로 하여 자사(自社)의 취급 상품에 환경부하를 LCA에 의해 평가하여 독자적인 채점(에코 포인트)을 하고 포장재료나 형태를 변경하여 눈으로 보이는 형태로 어필하여 사회적인 인פק트에 기여했다. 그 밖에 Bischof도 LCA를 이용하여 포장재료에 관한 독자의 컨설팅 서비스를 하고 있다.

BASF는 레진 메이커로서 종이·목재·금속·유리 등 다른 소재와의 비교에 대하여 플라스틱이 환경에 우수한 평가를 위한 실험을 하고 있다.

스웨덴 환경연구소(Swedish Environmental Research Institute)에서는 환경부하 유닛(ELU)이라는 환경 인덱스를 도입하여 원재료를 kg당 ELU을 정했지만 주관적인 요소가 많아 아직까지는 실험적인 단계이다.

그러면서도 불보는 이것을 차의 제품설계에



응용하는 수법으로 개발하여 앞으로 부분적으로 LCA 수법을 사용하는 실험이 진행되어 환경 비즈니스로서 발전되리라 예상된다.

이처럼 구미는 이론·실천, 산업계에서 받아들이는 자세 등 모든 면에서 많은 실험을 하고 있고 이미 일본과는 수년의 차이가 난다.

3-4. 기타

1992년 11월 교토에서 환경문제에 관한 플라스틱 국제회의(Global Meeting on Plastics in the Environment)가 개최되어 각국에서 사례 보고와 활발한 논의가 있었다. 특히 환경영향평가에 대해서는 다음과 같다.

① 유럽에서는 폴리올레핀, PS, PVC, PET에 대해서는 데이터 수집은 종료했고, 아크릴, 나일론, 우레탄에 착수했다. 앞으로 가공법, 폐기처리방법을 비교할 계획이다.

② 플라스틱 혹은 특정 플라스틱만이 나쁘다는 결론은 틀리고, 공개적인 업계내에서 조사가 필요하다

③ LCA의 과학성, 객관성에 더해져 그 성과를 행정, 시민에 어떤 식으로 전달하는 것이 좋을까라는 다음 단계로 가는 아주 중요한 과제에 대해서도 적극적인 토의가 진행되었다.

4. LCA 진행방법

우주선 지구호의 승무원에게는 「환경에 우수한 제품」, 「환경에 우수한 시스템」, 「환경에 우수한 라이프스타일」은 매우 중요하고 최대의 관심거리이다.

그러나 어떤 제품이, 어떤 시스템이, 어떤 생활이 좋은지는 그기준이 명확하지 않다.

LCA는 그 기준을 제공하는 한 가지의 수법이다.

구체적으로는 제품이 만들어져서 가공, 사용, 폐기되기까지의 전 공정에 대해서 필요한 천연 자원(원료) 및 에너지(연료)와 전 공정에서 발생, 배출되는 CO₂, SO_x, NO_x, 배수, 고형폐기물의 모든 것을 일괄적인 룰에 따라서 산출하는 것이다.

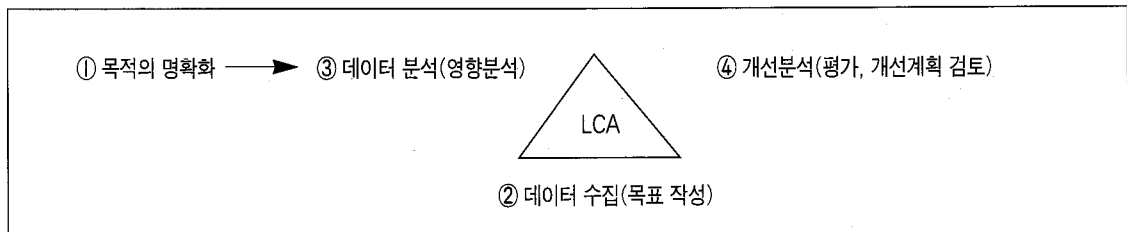
그 결과 코스트 절감이나 성능이 아닌 유한원료의 보전이나 환경보호의 측면에서 제품·시스템을 평가하는 것이 중요하다.

LCA는 데이터 수집·해석·개선분석의 3가지 요소에 따라서 구성되어 목표설정을 포함한 4단계의 스텝의 일반적인 생각이다.

① 목적의 명확성(Goal Definition)

작성하기 전에 목적, 지역, 시간, 기능단위에

(그림 1) 프레임 워크 작성 순서



대하여 명확한 설정을 하는 것이 가장 중요하다.

② 데이터 수집(Inventory)

위에서 설정한 범위에 따라서 필요로 하는 자원, 에너지 및 대기, 물, 배출물의 양을 산출한다.

단지 모든 자원, 폐기물을 한다는 것은 현실에서 불가능하기 때문에 가장 필요로 하는 것을 현실적인 항목에 대하여 진행하고 필요에 따른 범위를 넓히는 것이 된다. 환경부하에 대해서도 정량적측정이 곤란한 악취, 소음, 야생생물 등은 제외하고 있다.

③ 영향분석(Impact Analysis)

수집된 데이터에 대해서 정성적(定性的), 정량적 평가를 한다. 에너지소비와 환경부하의 각각의 항목에 대해서 프로세스, 유닛의 집계를 하여 총합계를 계산한다.

④ 평가와 개선분석

위의 결과를 기초로 하여 환경부하절감에 필

요한 대체재료, 프로세스, 기술 등 개선내용을 체계적으로 평가한다.

5. 조사경위

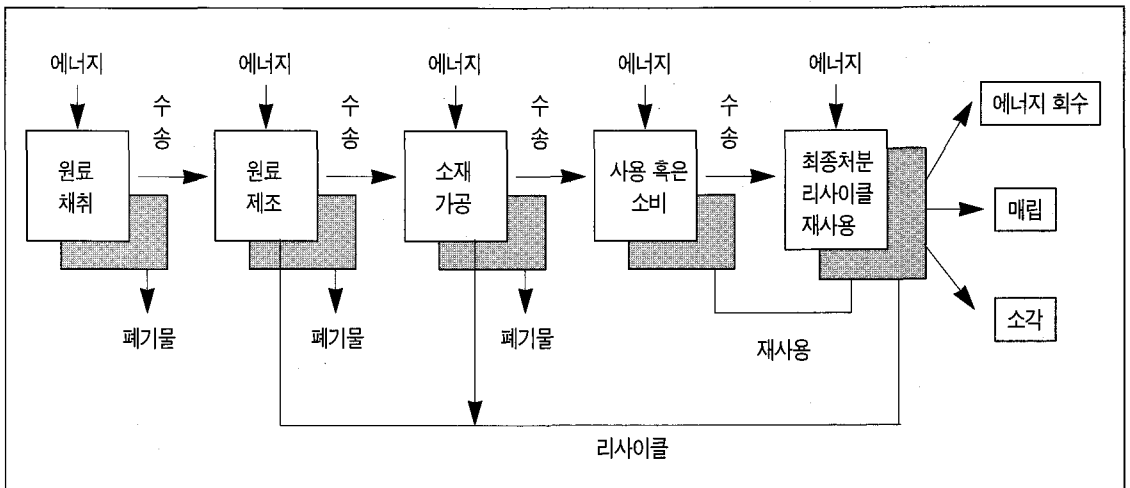
플라스틱 처리 촉진협의회에서는 1991년 플라스틱을 포함한 포장재료 16개의 품목에 대 LCA를 시작하여 지속적으로 실시를 하고 있으며, 1992년도의 조사보고서를 기초로 하여 연구의 내용 및 컨셉을 상기고 있다.

5-1. 목적

① 데이터베이스의 구축, 특히 플라스틱에 관한 행정, 타 업계의 LCA 연구진의 이용가능한 데이터를 충실히 한다.

② 플라스틱에 관한 객관적인 데이터를 제공하는 것으로 행정, 시민 그룹에서의 의문이나 문제해결에 도움을 준다.

[그림 2] 플로 과정





③ 원료취득·제조·유통·사용·리사이클·폐기의 전 공정에 걸쳐서 문제점을 지적하고 개선을 위한 지침으로 한다.

④ 조사결과를 기초로 하여 플라스틱의 바른 사용법을 제안한다.

⑤ 국내외의 연구기관과 협력하여 컨셉·평가수법의 표준화, 데이터베이스의 정도(精度)향상을 한다.

⑥ 환경, 환경관리, 환경관사 등의 법규제의 움직임에 대응한다.

이번년도는 국제적정합(整合)을 기초로 하여 계산수법의 확립을 목적으로 하고 전 산업분야를 커버하고 있는 화학공학회의 데이터베이스 구축력에 기대하여, 배수·고형폐기물이나 해외 원료에 대하여 어카운트가 없었던 작년(1991년)도의 조사를 보완했다.

5-2. 조사대상

플라스틱포장의 문제점을 원만히 하는 것을 목적으로 플라스틱을 포함한 16제품에 대하여 검토되었다.

사이즈·사양에 대해서는 시장에서 가장 다량

혹은 보편적으로 사용되고 있는 제품을 대상으로 했다(표 1).

5-3. 범위의 확정과 평가항목

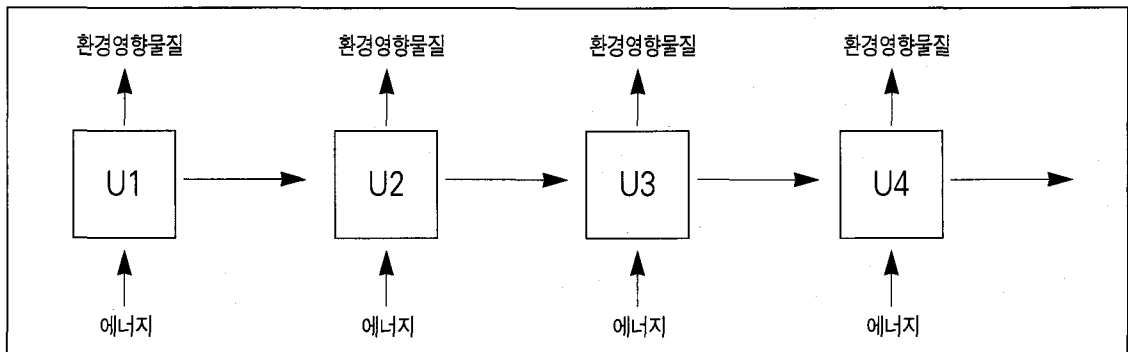
플로에 따라 가가 단계에서의 자원 및 에너지의 소비, 대기 및 물의 영향, 고형폐기물을 계산을 열거한다. (표 2)에 평가항목, (표 3)에 대표 이미지를 표시했다.

5-4. 데이터베이스

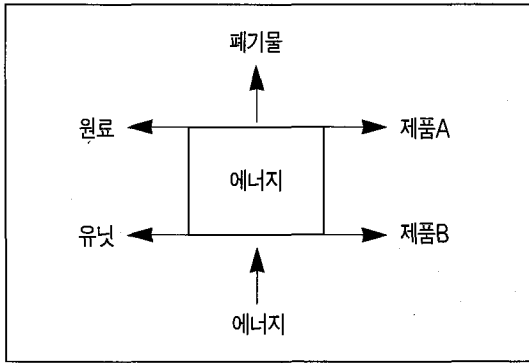
사용하는 데이터베이스를 어떤 특정의 조건(구체적인 입지, 공장, 운전조건)의 것으로 할 것인지, 평균치/대표치로 할 것인지는 목적에 맞춰서 논의가 갈리는 부분이 있으나 본 조사에서는 후자를 선택하였다.

데이터 수집은 화학공학회 및 지구환경프로젝트 H연구회가 실시하였다. 연구회는 고베대학의 나카니시교수를 중심으로 대학 및 각 업계의 23명의 멤버에 의해 구성되어 졌으며 스틸, 알루미늄, 유리, 종이 및 나무의 비(非)플라스틱의 조사 4개의 그룹과 원유증류, 나프타 분해, PVC, HDPE, LDPE, PET, PP, PS 및 EPS의

[그림 3] 플로작성



[그림 4] 에너지 공정



플라스틱 조정 8개 그룹, 합계 12개 그룹이 각각의 담당하는 분야에 대해서 문헌 및 내부 자료에서부터 데이터베이스를 작성하였다.

5-5. 플로

원료채집에서부터 수송(해외, 국내), 제조, 가공, 유통, 후처리, 폐기의 전 단계를 커버한다.

작업에 있어서 가장 중요한 것은 조사대상의 범위 및 영역을 명확하게 하는 것이다.

예를 들어

① PVC 보틀 : 공업업체조 - VCM - PVC - 보틀 성형 - 보틀 충전 - 소매점 - 가정 - (매립, 소각, 에너지 회수)

② HDPE 쇼핑백 : 원유 - 나프타분해 - 에틸렌 - HDPE - 백 성형 - 소매점 - 가정 - (소각, 발전)

③ 종이 트레이 : 원목벌채 (국내, 해외) - 칩 - 제지 - 제함(製函) - 소매점 - 가정 - (소각)(고지(古紙)회수를 포함)

④ 생선상자(木) : 원목벌채(국내) - 제판 - 생선상자공장 - 상자포장 - 시장 - (매립)

5-6. 평가의 순서

① 플로 작성

유닛U를 설정하여 플로 그림을 작성

[표 1] 제품마다 사용된 제품의 사양

제품	소재	사양			비고	
		크기·길이	단위에 맞는 총량	내용물		
트레이, 육류, 어류, 야채 등의 신선식품용	PSP	125×180×35mm	4.4g/매	식품		
	판지	125×180×35mm	21.9g/매	식품		
쇼핑백	HDPE	27cm(가로)×49cm(세로)×12cm	6.85g/매	-		
	크라프트지	23cm(가로)×39cm(세로)×12cm	21.0g/매	-		
보틀 혹은 캔	보틀	PET	1500ml	66g/병	탄산음료	수송형태: 플라스틱 케이스
		PVC	1800ml	85g/병	간장	수송형태: 골판지상자
		LDPE	1500ml	41.3g/병	음료	수송형태: 골판지상자
		PP	1500ml	40.5g/병	세제	수송형태: 골판지상자
	캔	스틸	350ml	28.9g/병	맥주	수송형태: 골판지상자
		알루미늄	350ml	15.4g/병	맥주	수송형태: 플라스틱 케이스
	병	유리	633ml	605g/병	맥주	
	팩	종이	1000ml	33.1g/개	우유	
어류	EPS	55cm×35cm×17cm(실내용량10kg)	225g/개	생선		
	목재	60cm×36cm×11cm(실내용량10kg)	1590g/개	생선		
텔레비전 제품	EPS	0.03(600g)	600g/개	텔레비전		
포장재료(완충재만)	골판지	8mm×2.625m ² (0.021)	2560g/개	텔레비전	이중골판지	



[표 2] 평가항목

평가항목		평가에 대한 생각 등	평가지표약호(略·)	
천연자원소비		· 플라스틱소재에서는 원유(리소스), 페플라스틱 소재에서는 중요한 천연 자원(예를 들어 알루미늄에서는 복사이트)을 사용한다.		
에너지 소비		· 원료채굴, 소재제조·가공, 제품제조·가공, 최종처분, 재생, 수송(각 단계)의 과정으로 나뉘어 산출한다(모든 평가항목은 공통). · 소비하는 전력, 원료 등의 선택은 일률적으로 이루어지지 않고 공장의 입지조건, 프로세스의 종류에 따라서 가장 현실적인 것을 선정한다.		
용수소비		· 재이용도 고려한다.		
환경영향평가	대기오염물질	CO ₂	· 에너지소비의 항목에도 기술한 것처럼 선정한 전력, 연료 등으로부터 CO ₂ 원료단위는 틀리기 때문에 그것에 맞는 산출을 한다.	∅CO ₂
		SO _x	· 소비하는 전력, 연료 등에 맞는 산출을 한다.	∅SO _x
		NO _x	· 상동	∅NO _x
		매연	· 상동	∅DST
		HCl	· 일부 소재의 연료에 발생하는 것으로 참고정도에 정도이다.	∅HCl
		다이옥신	· 상동	∅DKN
		프론	· 발생량	∅CFC
		탄화수소	· 상동	∅HC
	수질오염물질	BOD	· 각 프로세스의 BOD량을 산출한다(배수처리의 유무는 현재는 즉시 선정).	∅BOD
		COD	· 상동	∅COD
		전부유 물질	· 상동	∅SS
		염소계물질	· 배출의 유무를 명확히 한다.	∅Cl
		중금속	· 상동	∅HM
	고형폐기물		· 소재제조·가공, 제품제조·가공 최종처리의 과정에서부터 배출되는 주요한 고형폐기물 및 사용한 제품의 폐기물량(매립으로 처분)을 산출한다.	∅D

각 유닛마다 들어오는 중량과 나가는 중량을 일치시키지 않으면 안 된다.

② INPUT표의 작성

물질수지(收支), 에너지 수지(플로 그림)에서 INPUT표를 작성

③ 배출원단위의 계산

위의 INPUT표에 따라서 U1, U2, U3, U4의 배출원단위를 계산한다.

5-7. 계산에 적당한 기본사상

각 제품에 대하여 원료채취를 시작으로 제조, 가공, 유통, 처분에 이르기까지 조사를 위한 플

로차트를 만든다(본 조사에서는 원료채취에서 부터 일반가정까지의 범위로 시행되었다). 그리고 생산이나 가공 등의 프로세스 내부의 각 유닛에서의 물질, 에너지의 INPUT, OUTPUT를 kg, kWh 등 공통의 단위로 평가했다. 프로세스에 입력된 것은 원재료 및 에너지이고 출력되는 것은 제품(전력 등의 에너지도 포함) 및 폐기물(폐가스, 배수 등)이다.

여기에서 폐기물이라고 하는 것은 프로세스의 바깥에 폐기하는 경우이고, 예를 들어 이산화탄소라도 다른 프로세스나 유닛으로 재이용되는 경우에는 제품으로 취급한다.

[표 3] LCA분석 데이터의 이미지

구 분		A 원료채취	B 소재제조	C 소재가공	D 수송	E 소비	F 처분	합계
에너지 소비	전력(kWh)							
	중유(t)							
	경유(t)	()kcal	()kcal	()kcal	()kcal	()kcal	()kcal	()kcal
	증기(t)							
	⋮							
대기의 영향	CO ² (kg)	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg
	NO _x (kg)	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg
	SO _x (kg)	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg
	⋮							
수질에의 영향	COD(kg)	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg
	BOD(kg)	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg	()kg
	⋮							
자원 소비	원유(t)	()t	()t	()t	()t	()t	()t	()t
	원목(t)	()t	()t	()t	()t	()t	()t	()t
	⋮							
발생하는 고품폐기물량(t)		()t	()t	()t	()t	()t	()t	()t

- 원료 프로세스 에너지는 공정에 필요한 에너지 소비량 중에 각 생성물에 해당하는 에너지 소비량을 접분(接分)시켜 구한다.

- 출력으로서의 폐기물은 전제품에 대하여 중량비로 접분(接分)된다.

- 리소스 에너지는 카운터하지 않는다.

6. 결과의 고찰

6-1. 결과

본 고의 목적은 결과의 보고서보다는 LCA의 계산 사례를 예시하는 것으로 응용의 가능성이나 한계, 문제점을 제기(提起)하는 것에 있고, 16가지의 평가품목 중에서 트레이(종이, PSP),

쇼핑백(종이, HDPE)의 4가지 품목에 대해서 계산결과를 예시했다.

원유 및 원목채취에서부터 일반가정에 이르기까지 플로차트를 [그림 5]에, 나프타 분해의 플로를 [그림 6]에 예시했다. 더욱이 이들을 기초로 하여 계산한 1,000매에 해당하는 각 단계마다의 에너지, 환경부하의 계산결과를 [표 4~7]에 표시했다.

6-2. 고찰

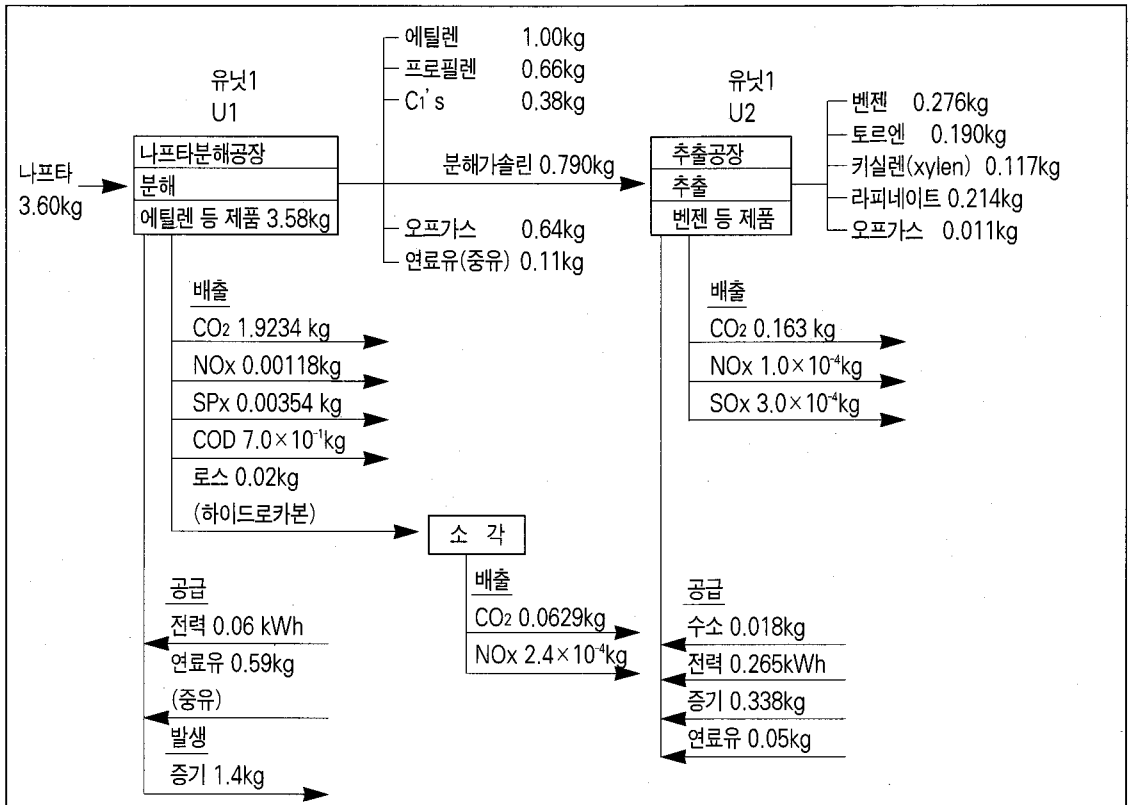
현 단계에서는 구축된 데이터베이스의 균질성(均質性)을 기대할 수 없기 때문에, 세부적인 고찰이 곤란한 부분이 있지만 같은 레벨의 데이터가 입수된 것과 같은 데이터로 비교를



[그림 5] 플로차트(flow chart)

PSP 트레이	해외 원유채굴 — 나프타(naphtha)분해 — PSP 제조공장 — 원반공장 — 성형공장 — 소매점 — 가정 — (청소공장 소각)																			
종이 트레이	<table border="0"> <tr> <td>국내원목벌채</td> <td>—</td> <td>국내 칩 공장</td> <td rowspan="3">} 제지공장 흑액회수</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">성형공장</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">소매점</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">가정</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">(청소공장 소각)</td> </tr> <tr> <td>해외원목벌채</td> <td>—</td> <td>해외 칩 공장</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>고지</td> </tr> </table>	국내원목벌채	—	국내 칩 공장	} 제지공장 흑액회수	—	성형공장	—	소매점	—	가정	—	(청소공장 소각)	해외원목벌채	—	해외 칩 공장			고지	
국내원목벌채	—	국내 칩 공장	} 제지공장 흑액회수	—										성형공장	—	소매점	—	가정	—	(청소공장 소각)
해외원목벌채	—	해외 칩 공장																		
		고지																		
HDPE 쇼핑백	해외 원유채굴 — 나프타(naphtha)분해 — 석화공장 — 봉투제조공장 — 소매점 — 가정 — 청소공장 전력회수																			
종이 트레이	<table border="0"> <tr> <td>국내원목벌채</td> <td>—</td> <td>국내 칩 공장</td> <td rowspan="2">} 제지공장 흑액회수</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">봉투제조공장</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">소매점</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">가정</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">(청소공장 소각)</td> </tr> <tr> <td>해외원목벌채</td> <td>—</td> <td>해외 칩 공장</td> </tr> </table>	국내원목벌채	—	국내 칩 공장	} 제지공장 흑액회수	—	봉투제조공장	—	소매점	—	가정	—	(청소공장 소각)	해외원목벌채	—	해외 칩 공장				
국내원목벌채	—	국내 칩 공장	} 제지공장 흑액회수	—										봉투제조공장	—	소매점	—	가정	—	(청소공장 소각)
해외원목벌채	—	해외 칩 공장																		

[그림 6] 나프타분해 흐름



[표 4] 공정별 환경영향평가(PSP 트레이 1,000장 (4.4kg)상당)

구 분			원료공정	해외수송공정	국내수송공정	제조공정	가공공정	합 계	
			원료채굴 ~나프타분해	원유수송	파렛트수송 ~트레이수송	모노머합성 ~중합	원반제조 ~진공성형		
천연자원소비	원유	kg	4.3967					4.3967	
보조재료	발포제	kg					0.1553	0.1553	
에너지소비	중유	kg	0.9845	0.1068	0.4809	0.6600	4.1452	1.7513	
	경유	kg						0.4809	
	전력	kWh	0.1888			1.2716		5.6057	
	증기	kg	-0.3529			14.1680		13.8051	
	석탄	kg							
	흑액	kg							
	1,000 Kcal		10.2746	1.1004	5.2895	20.9935	9.3268	46.9848	
대기오염물질	CO ₂	kg	3.5516	0.3504	1.6308	6.4893	2.5781	14.6002	
	NO _x	kg	0.0028	0.0022	0.0051	0.0041	0.0010	0.0152	
	SO _x	kg	0.0105	0.0088	0.0032	0.0502	0.0013	0.0740	
수질오염물질	BOD	kg	공정별 수치에 대해서 미계산(未計算)						
	COD	kg							
	SS	kg							
고형폐기물		kg					0.1936	0.1936	

[표 5] 공정별 환경영향평가 (종이 트레이 1,000장 (21.9kg)상당)

구 분			원료공정	해외수송공정	국내수송공정	제조공정	가공공정	합 계
			원목채벌 ~칩화	원목수송 ~칩수송	원목수송 ~트레이수송	종기 ~ 표백 ~제지	제합(製函)	
천연자원소비	일본원목	kg	5.2998					5.2998
	해외원목	kg	6.1101					6.1101
보조재료	고지	kg	17.6952					17.6952
에너지소비	중유	kg		0.2262	0.5909	2.9127	18.0018	3.1389
	경유	kg		0.0046				0.5955
	전력	kWh	0.6395			12.8772		31.5185
	증기	kg						
	석탄	kg				1.5308		1.5308
	흑액	kg				6.0006		6.0006
	1,000 Kcal		1.4388	2.3816	6.4995	94.6111	40.5040	145.4351
대기오염물질	CO ₂	kg	0.3497	0.7571	2.0045	31.6510	9.8469	44.6092
	NO _x	kg		0.0046	0.0061	0.0979	0.0031	0.1117
	SO _x	kg	0.0002	0.0188	0.0039	0.0548	0.0035	0.0812
수질오염물질	BOD	kg	공정별 수치에 대해서 미계산(未計算)			0.1007		0.1007
	COD	kg				0.3000		0.3000
	SS	kg				0.1007		0.1007
고형폐기물	오니	kg				0.7993	0.7993	



[표 6] 공정별 환경영향평가 (HDPE백 1,000장 (6.85kg)상당)

구분			원료공정	해외수송공정	일본수송공정	제조공정	가공공정	합계	
			원유채굴 ~ 나프타분해	원유수송	파렛트수송 ~ 백수송	중합 ~ 봉지포장	필름성형 ~ 봉지제조		
천연자원소비	원유	kg	7.0260					7.0260	
보조재료	공업용수	kg				20.5500		20.5500	
	헥산	kg				0.0343		0.0343	
에너지소비	중유	kg	1.2548	0.1708	0.0177			1.4433	
	경유	kg			0.0932			0.0932	
	전력	kWh	0.1312			2.8770	4.3155	7.3237	
	증기	kg	-2.7323			3.4250		0.6927	
	석탄	kg							
	흑액	kg							
	1,000Kcal	11.0336	1.7589	1.2076	9.2133	9.7099	32.9231		
대기오염물질	CO ₂	kg	3.8978	0.5599	0.3741	2.9563	2.3606	10.1487	
	NO _x	kg	0.0033	0.0035	0.0014	0.0010	0.0008	0.0099	
	SO _x	kg	0.0071	0.0141	0.0021	0.0112	0.0009	0.0354	
	탄화수소	kg				0.0069		0.0069	
수질오염물질	BOD	kg	공정별 수치에 대해서 미계산(未計算)						
	COD	kg							
	SS	kg							
고형폐기물		kg				0.2055	0.2055		

[표 7] 공정별 환경영향평가 (종이백 1,000장 (21.0kg)상당)

구분			원료공정	해외수송공정	일본수송공정	제조공정	가공공정	합계
			원목벌채 ~ 집화	원목수송 ~ 집수송	원목수송 ~ 백수송	증해(蒸解) ~ 제지	제대	
천연자원소비	일본원목	kg	20.0970					20.0970
	해외원목	kg	23.2050					23.2050
에너지소비	중유	kg		0.8593		1.6926		2.5519
	경유	kg		0.0176	0.6733			0.6909
	전력	kWh	2.4486			4.3890	4.5570	11.3946
	증기	kg						
	석탄	kg				0.8904		0.8904
	흑액	kg				21.3990		21.3990
	1,000 Kcal	5.5094	9.0447	7.4065	119.6721	10.2533	151.8859	
대기오염물질	CO ₂	kg	1.3394	2.8749	2.2844	42.4786	2.4927	51.4700
	NO _x	kg	0.0004	0.0179	0.0071	0.0928	0.0008	0.1191
	SO _x	kg	0.0004	0.0714	0.0046	0.0481	0.0008	0.1254
수질오염물질	BOD	kg	공정별 수치에 대해서 미계산(未計算)			0.0504		0.0504
	COD	kg				0.1302		0.1302
	SS	kg				0.1008		0.1008
고형폐기물	오니	kg			0.8001		0.8001	

[표 8] 1,000장 상당 트레이 비교

구분	PSP트레이	종이 트레이	종이 / PSP
중량	4.4 kg	21.9	5.0
천연자원	원유 4.40 kg	원목 11.4 kg	-
보조재료	발포제 0.155	고지 17.70	-
에너지소비	$47.0 \times 10^3 \text{kcal}$	$145.4 \times 10^3 \text{kcal}$	3.1
대기오염물질	CO ₂	14.60 kg	44.61 kg
	NO _x	0.015 kg	0.112 kg
	SO _x	0.074 kg	0.081 kg

[표 9] 1,000장 상당의 백 비교

구분	HDPE 백	종이 백	종이 / HDPE
중량	6.85 kg	21.0 kg	3.1
천연자원	원유 7.03 kg	원목 43.30 kg	-
에너지소비	$32.9 \times 10^3 \text{kcal}$	151.9	4.6
대기오염물질	CO ₂	10.15 kg	51.47
	NO _x	0.010 kg	0.119
	SO _x	0.035 kg	0.125

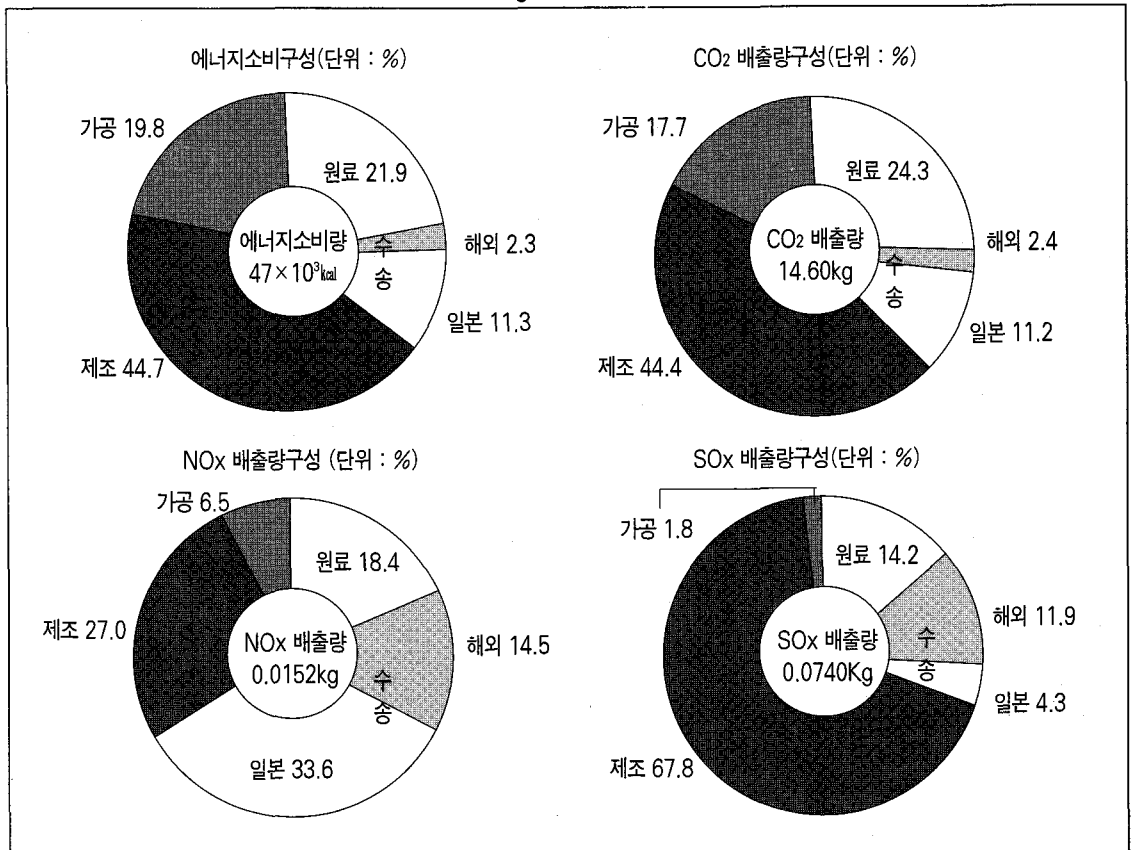
했다.

트레이, 봉투에 대해서는 [표 8~9]에 비교하

여 정리했다.

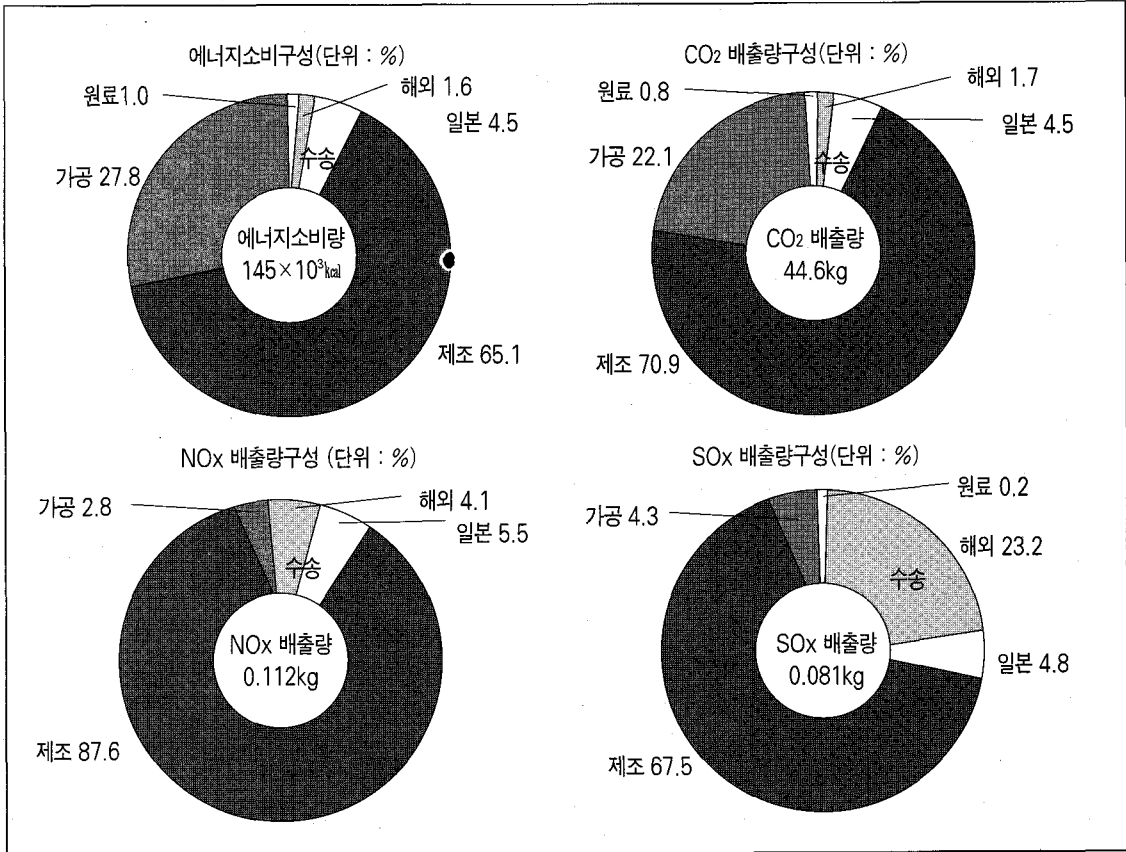
또한 각 공정마다의 비교를 [그림 7~10]에 예시했다.

[그림 7] 공정별 환경평가 (PSP 트레이 1000장, 4.4 kg상당)





[그림 8] 공정별 환경영향평가 (종이 트레이 1000장, 21.9kg상당)



6-2-1. 에너지소비와 환경영향

① 동일사양의 식품 트레이의 비교

(a) 에너지에는 종이는 PSP에 대해 약 3.1배가 필요하다

(b) 환경부하에서 종이는 PSP에 대해 CO₂에서 3.0배, NO_x에서 7.5배, SO_x에서 1.0배의 배출량이다

② 동일사양의 쇼핑백의 비교

(a) 에너지에서 종이는 HDPE 필름에 대해서 4.6배가 필요하다

(b) 환경부하에서 종이는 HDPE 필름에 대해

서 CO₂에서 4.8배, NO_x에서 11.9배, SO_x에서 2.8배의 배출량이다.

③ 각 제품의 단계간 비교

<PSP 트레이>

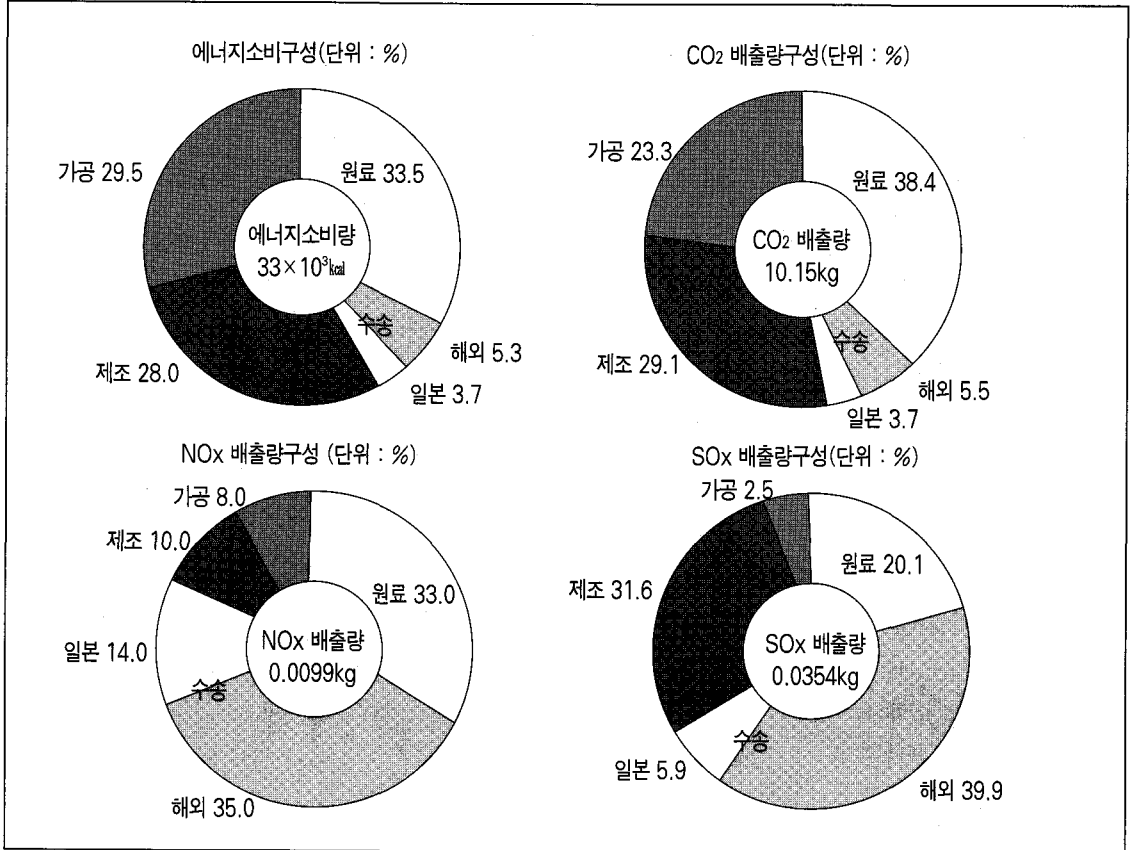
(a) 에너지의 44%가 스틸렌의 제조와 중합(重合)에 비용이 들고, CO₂ 배출에 대해서도 같다.

(b) SO₂ 배출에 대해서는 약 63%가 제조의 단계에서 재출된다

(c) NO_x 배출에서 약 33%가 국내수송에서 발생된다.

또한 NO_x, SO_x, 공통으로 10% 이상이 해외

[그림 9] 공정별 환경영향평가 (HDPE 팩 1000장, 6.85kg상당)



수송에서 발생하고 있다

(d) 원료단계에서 차지하는 비율이 에너지, NO_x, SO_x로 약 20%이다.

〈종이 트레이〉

(a) 원료단계에서 에너지소비, 환경부하의 비율이 극히 적고, NO_x에서 88%, SO_x에서 68%가 제조에서 발생하는 것은 현저한 특징이다.

(b) 에너지소비에서 65%, CO₂ 배출량에서 약 70%가 제조의 단계에서 발생한다.

〈HDPE 팩〉

(a) 원료단계와 해외수송 비율의 크기를 알 수

있다. 원료는 전 항목에 걸쳐서 30%~40%을 차지하고 NO_x, SO_x는 해외수송에서 30% 이상 배출된다

(b) 에너지소비는 가공단계(필름성형, 체대)에서의 비율이 큰 것은 앞으로 이 분야에서 개선되어야할 것을 나타내고 있다.

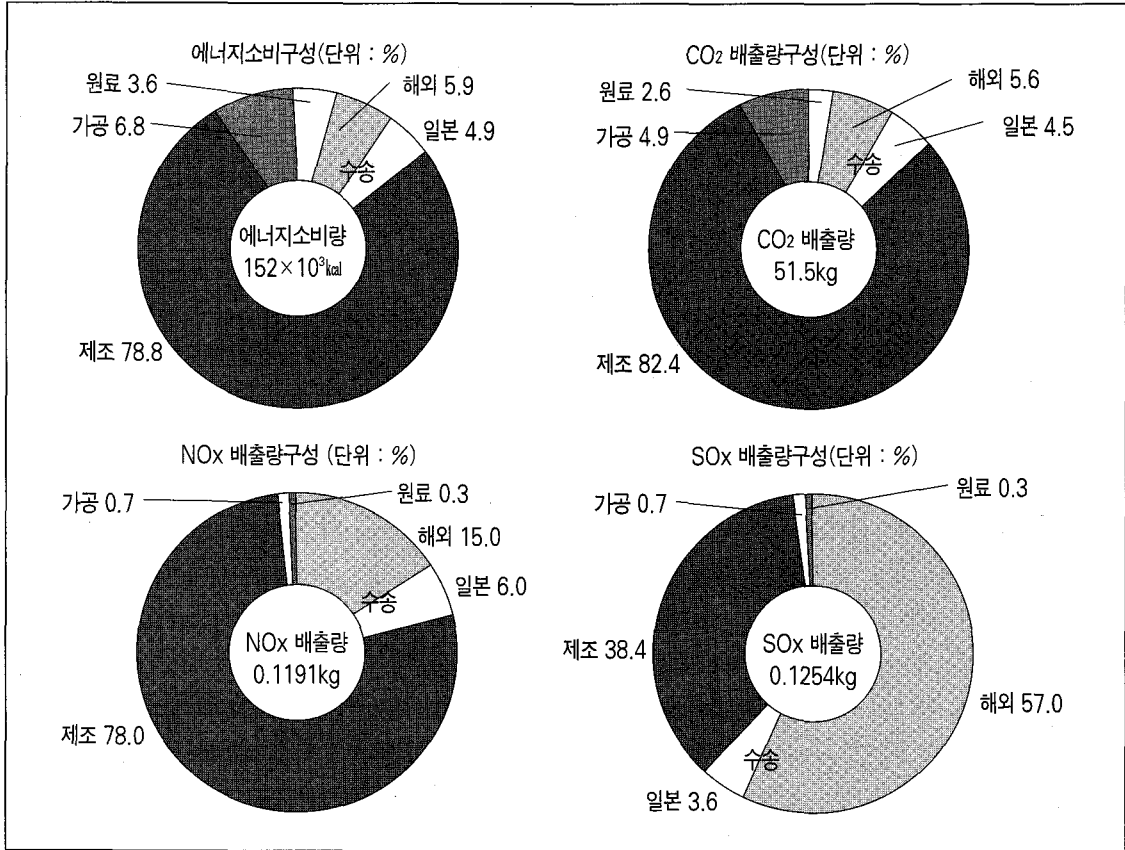
〈종이 팩〉

(a) 원료단계에서 에너지 소비, 환경부하의 비율이 적다.

(b) 에너지, CO₂, NO_x 배출량의 80% 가깝게 제조단계에서 발생하고, 이 단계에서 개선의 필



(그림 10) 공정별 환경영향평가 (종이 팩 1000장, 21.0kg상당)



요성을 나타내고 있다.

(c) SO_x 배출량은 해외수송에서 57%로 가장 크다.

7. 문제점과 앞으로의 전개

7-1. 데이터베이스

LCA를 진행함에 있어서 데이터입수의 단계가 가장 어려우며 번거롭다. 한편 LCA의 질은 사용하는 데이터의 정도(과학성, 객관성, 보편

성)에 따라 크게 좌우되어진다. 미국에서는 정부(Public)데이터는 정도가 낮고 새로운 기술의 경향을 반영하지 않기 때문에 정부데이터만을 인용한 LCA는 정도(精度)가 부족하다고 일컬어지고 있다.

이것은 업체단체가 상세한 데이터집계를 행하는 일본과의 상이성이 있다고 사료되어지나, 중요한 데이터의 수집이 기업에 의존하지 않으면 안되는 것은 완전히 일치하는 부분이다.

그렇지만 기업의 비밀에 속하는 데이터라고

[표 10] 플라스틱처리촉진협회에 있어서의 LCA 연구 스케줄

구분		1991	1992	1993	1994	1995
단계		준비단계	포장재료	중량전개	수평전개	←
대상(objectives)		포장재료 트레이, 백, 캔, battle, 발포스티로폼 포장재	←	←	자동차, 가전	←
소재	플라스틱 (Plastics)	HDPE, LDPE, PP, PET, FS, PSP, PVC	←	←	HDPE, PP, PVC, 그 밖의 플라스틱	←
	타 소재 (materials)	종이, 나무, 스틸, 알 루미늄, 유리	←	←	←	←
범위 (boundary)		일본 수입이후 제조, 가공, 유통, 사용, 처분장까지 미츠비시총합연구소의 허어링(voluntary)	해외 및 일본 ←	← 리사이클 소각, 열회수 (熱回收) 비교를 포함 함.	←	←
데이터 (data)		미츠비시총합연 구소	화학공학회 WG멤버에 의한 수집	각사의 데이터 공개로 활동을 개시(조직적)	←	←
부 록 작 업	에너지 (energy)	프로세스가공, 수송, 회수	←	←	←	←
		자원에너지	카운트 하지 않음	←	←	←
	환경부하(environs- mental load)	대기 (CO ₂ , NO _x , SO _x)	←	←	←	←
카운트 하지 않음		폐수(BOD, COD, SS)	←	←	←	←
카운트 하지 않음		그 밖의 유해폐기물	←	←	←	←
영향분석 (impact analysis)		에너지 Kcal / 개 배출량 kg 또는 g / 개	에너지 Kcal / 개 배출량 kg 또는 g / kg 및 kg 또는 g / 개	←	←	←
특기사항			데이터 수집	리사이클 데이터 수집	←	←
공동연구처		미츠비시총합연 구소	화학공학회	←	-	-

하는 것, 기업 간, 공장 간의 의사 및 경험에 차이가 있으며 '사용가능한 형태로 정리되어진 동질의 데이터'를 얻는 것은 대단히 어렵다. 유럽 PWMI는 APME(Association of Plastics Manufacturers in Europe; 유럽플라스틱제조자협회)의 산하(傘下) 각사와 비밀유지계약을 체결하여 집계결과로써의 데이터베이스가 데

이터를 제공한 각사에 이용가능하게 하는 것으로 유효, 유익한 데이터베이스의 구축에 성공하였다.

이것은 키바슨으로써 I. Boustead 교수의 인격과 역량에 따른 부분이 많다고 추측되고 있지만 당 협회도 앞으로 회원 각사에 대해서 LCA의 의의, 중요성, 인식을 높이는 노력을 시작되



리라 보고 있다. 포장재료, 자동차, 가전 등의 광범위한 재료를 비교 검토하는 경우에는 타 업계의 데이터베이스가 꼭 필요하며, LCA의 연구라는 하나의 목적을 위해서 업종을 넘어선 작업이 필요하다.

우리들은 우선 플라스틱 관련분야에 대해서 정확한 데이터베이스를 구축하여 그것을 외부에 제공하는 단계에서 타 업계와의 데이터교환 및 공개를 추구해 가려고 한다.

그런 면에 있어서 통산성과 환경청 등의 행정지도 및 조정을 기대한다.

7-2. 계산수법

데이터베이스와 함께 중요한 것이 계산수법의 문제이다. 이번의 조사에 관련하여,

- 누적배출원단위
- 리소스 에너지 (잠재(inherent)에너지)
- 프로세스에 있어서 배출물의 제품으로의 안분(allocation)
- 목재에 있어서의 바이오마스
- 리사이클

의 각 항에 대해서 충분히 논의할 필요가 있으며, 적어도 일본연구기관에서의 조정이 필요할 것이다.

7-3. 종합평가 및 소재 비교

앞의 항에서 기술한바와 같이 스웨덴에서는 ELU 등의 인덱스를 설정하여 종합평가를 하고 있다.

그밖에도 Tellus Institute가 시도해 보았으나 인자(因子)가 복잡하여 좌절하였다.

Franklin은 'LCA는 방침결정(decision

making process)방법의 일부가 아닌 중요한 수법(tool)이지만 항상 모든 사항을 커버하고 있지 않은 이상 만병통치약(panacea)이라고 생각해서는 안 된다' 라 하고 있다.

종합평가에 관해서는 이 생각이 대세를 이루고 있으며 특히 '플라스틱에 비해 종이도 친환경적이다' 또는 그 반대와 같은 '안이한 소재간의 비교'는 새로운 문제를 일으킬 소지가 있다.

그렇지만 LCA의 발전을 위해서는 어느 정도의 리스크도 필요하다는 생각도 설득력이 있다.

5월에 개최된 LCA 심포지엄에서도 'LCA의 잘못된 응용에 의한 악영향을 두려워해서 행동에 옮기지 못하는 것보다는 더욱더 적극적으로 응용사례를 늘려나가는 것으로 'LCA의 가능성과 한계'를 알아보자는 의견이 대세였다.

다른 소재간의 비교에 관해서는 그것이 전부의 조건에 확대하여 언급하는 것이 없다면 동일 목적, 동일사이즈, 동일형태, 동일루트에서 사용되는 범위에서 객관성이 있다. 결국에는 LCA는 적용한 환경조건의 범위 안에서만 유효하며, 데이터 제시 및 공표에 있어서는 항상 이 점을 명확하게 할 필요가 있다.

7-4. 데이터수집 범위

이번의 조사를 포함해서 LCA는 에너지 및 자원고갈(Resource Depletion)과 비교적 정량화하기 쉬운 환경보전(Ecological Health)의 항목에 한정되어 왔으나 이 조사의 작업을 통하여 소음, 이취(異臭), 종업원의 건강, 경관의 파괴라고 하는 정량화하기 힘든 항목(Human Health 등)이 예상의외로 중요하다는 것을 알게

되었다. 이 문제의 대처가 앞으로의 과제가 될 것이다.

7-5. 리사이클, 소각 등

이 조사에서는 전부의 조사항목에 관해 항상 동일레벨, 동일범위의 데이터베이스가 얻어지지 못했기 때문에 예시한 4품목에 대해 원료채집부터 일반가정까지의 범위로 한정하였으나, 앞으로는 리사이클, 소각 등에 관한 구체적인 데이터의 수집, 시뮬레이션 프로그램의 구축 등의 작업을 추진한다.

7-6. 전개

① 1991년에 시작된 당 협회에 의한 LCA 연구의 경과와 스케줄을 (표 10)에 나타내었다. 앞에서 기술한 바와 같이 1991년(MITSUBISHI 총합연구소 의탁)은 해외인자, 폐수인자를 고려하지 않았었다. 말하자면 준비단계라고 말할 수 있다. 1992년은 화학공학회에 위탁하여 내용에서 진보는 있었으나 방법론과, 특히 데이터베이스의 질에 있어서 불만이 남는 내용이었다.

그러나 이것은 미국 및 유럽의 예를 들 필요도 없이 장기적인 시야로 봐야하는 것이다. 성급히 성과를 기대하지 않고 계획성, 지속성, 정합성을 고려한 착실한 작업이 필요한 것이다.

② (표 10)에 가리킨 바와 같이 1993년 이후는 리사이클, 처리방법의 비교에 중점을 두어 환경 어세스먼트(assessment)제정과도 관련하여 포장 이외의 타 분야로의 수평전개를 시도하고 싶다.

③ LCA의 성과는

- 소재, 제품, 생산 공정개선의 효과평가

- 제품설계로의 응용
- 리유즈(reuse), 리사이클의 평가
- 유통형성의 평가
- 소재, 제품, 시스템의 비교

등의 광범위응용이 기대되어지나 그렇기 위해서는 데이터베이스구축과 평가수법, 계산프로그램의 개량 등에 관한 지속적 작업이 필요하며, 앞으로 일본 에코라이프센터, 환경청, 통산성 등 LCA 연구기관과의 정보교환, 공동연구를 하고 싶다는 바램이다. 또한 국제회의나 PWMI, SETAC와의 정기회합을 통해 국제적 정합을 시도해 나가고 싶다. ☐

독 사 컬 럼 모 집

월간 포장계는 독자여러분들의
의견을 수용하기 위해 다양한 의견의
독자컬럼을 모집합니다.

어떠한 의견이라도 좋습니다.
포장인의 독설을 펼칠 지면을 할애하니
많은 참여 기다립니다.
필자는 밝히지 않겠습니다.

월간 포장계 편집실
TEL : (02)835-9041
E-mail : kopac@chollian.net