

LCA(Life Cycle Assessment)의 연구현황과 금후의 과제



김 병 관(창원대학교 공업화학과)

- '80 - '82 성균관대학교 화학공학(학사)
- '82 - '84 일본대학 공업화학(석사)
- '85 - '87 동경대학 공업화학(박사)
- '89.3 - 현재 창원대학교 공업화학과 부교수
- '95.2 - '96.1 동경대학 생산기술연구소 객원연구원

1. 서 론

인간활동은 모두가 환경에 부하(負荷)를 미치고 있다. 오늘날 지구환경문제가 눈에 띄게 심각함을 드러내고 있는 가운데, 인간활동 특히 경제활동에 있어서 환경에의 부하가 적게 미쳐야 한다는 필요성은 크게 인식되고 있다. 대표적인 예로써, 제조업측에서는 자원 및 에너지절약 대책이, 소비자측에서는 리사이클활동 등이 행해지고 있다.

온실효과(Greenhouse Effect)에 의한 지구온난화, 오존층파괴, 열대림파괴 등 심각한 지구환경문제는 지구상에서의 인류의 생존자체를 위협하고 있다. 이러한 상황에서, 1992년 6월 브라질의 리우데자네이로에서는 환경·개발에 관한 지구정상회담이 열렸으며, "의제21"의 채택과 함께 환경과 경제개발의 동시 발전을 모색한 "지속가능한 개발"이라는 캐치프레이즈를 들고 나왔다.

리우회담이후 우리들에게 요구되어지는 것은, 환경에의 부하가 적은 사회, 즉 지속가능한 사회구축의 필요성이다. 경제의 가장 중심주체인 사업자는 그 책무로써, 사업활동에 관계하는 환경부하저감을 위해 자원 및 에너지 절약에 최선을 다해야 하며, 더욱이 최종 사용자가 사용후 폐기에 있어서도 환경부하저하를 도모해야 한다. 사용자의 입장도 마찬가지이다. 제품의 올바른 사용에 따른 에너지효율을 높임과 동시에, 폐기단계에서는 무엇보다도 리사이클을 통한 자원의 낭비를 낮추고, 환경에서의 부하를 최소화한 성숙된 사회·경제·기술 시스템의 구조를 이룩해

야 할 것이다.

이러한 상황 아래, 제조업자나 소비자는 제조 ⇒ 가공 ⇒ 판매 ⇒ 사용 ⇒ 폐기 등 일련의 과정을 통하여, 보다 나은 환경부하저감을 인식해야 하고, 각기 대책을 생각해야 한다. 여기에 등장한 것이 LCA (Life Cycle Assessment)이다. 제품이나 프로세스 및 서비스 등의 라이프사이클 전반에 걸친 환경에의 부하를, 정량 및 객관적으로 파악할 수 있는 도구가 요구되며, LCA가 이를 충족시키는 도구로써 대단한 각광을 받고 있다.

필자그룹은 제품, 프로세스 및 서비스 등의 라이프사이클 전반에 걸친 환경부하의 정량적 파악이 요구되는 현실에서, LCA의 연구현황과 금후의 과제에 대해 검토해보고자 한다.

2. LCA의 역사 및 개요

2.1 LCA의 역사

LCA의 연구에서는, 대상으로 하고 있는 제품에 관계하고 있는 기업에서 얻어진 정보가 절대적으로 필요하다. 따라서, 공공 기관, 단체나 대학 등과 기업이 공동 작업으로 LCA의 연구를 추구하는 것이 일반적 방법이다. LCA에 관련한 연구로서는, 1969년 코카콜라 사(社)의 위탁에 의한 프랭클린 연구소의 음료 용기에 관한 환경영향평가 연구가 시초라 볼수 있다. 그 후, 1970년대에는 오일쇼크로 인해, 산업계에서 에너지 관련 연구가 광범위하게 이루어졌으며, 이 후, 생산 시스템의 분석, 전과정평가로 옮겨졌다. 즉, 1970년대 중반 이후, 지구 환경에 대한 관심의 높아짐과 동시에 본격적인 LCA 연구가 행해졌다. LCA의 역사를 정리하면 표 1과 같다.

네덜란드에서는 네덜란드 환경성의 지원 아래 라이덴대학 환경과학센터가 LCA의 실시 메뉴얼을 만들고, 제품의 라이프사이클에 걸쳐 자원 사용량, 에너지 사용량, 수질오염물질 배출량, 대기

표 1. LCA의 역사

년	내 용
1969	▶ MRI(현 프랭클린 연구소)는 코카콜라사의 위탁으로 음료용기에 관한 환경영향평가 연구를 실시하고, LCA 연구의 기초를 세웠다
1970~75	▶ 에너지 소비를 중심으로 해서 환경영향평가가 행해졌고, 미국 환경보호청(EPA)에서 REPA로서 종합했다
1978	▶ 서독에서 상품의 Eco-label 제도를 도입
1979	▶ SETAC 설립
1981	▶ (社)화학경제 연구소에서 신소재의 에너지 분석의 보고
1984	▶ 스위스·연방내무성(BUWAL)이 연구보고서「포장재료의 Eco-balance」을 발표
1985	▶ EC 환경위원회는 액체식용용기 지령 (EC Directive 85/339)를 가결
1988	▶ 미국에서 고미(먼지, 쓰레기)가 큰 사회문제화되고, REPA가 다시 보여진다
1990	▶ EPA, WWF 등의 주위에 의한 LCA 포럼 ▶ 미국 및 벨기에에서 SETAC 와 P&G의 주위에 의해 심포지움을 개최 ▶ Franklin & Associates社에서 폴리에틸렌펫 포장재에 관한 보고서 ▶ 스위스·미그로스에서 Eco-base에 관한 보고
1991	▶ 네덜란드·라이덴 대학·환경과학 센터가 LCA수법 메뉴얼을 작성 ▶ SETAC에서 LCA의 방법론을 발표 ▶ (社)플라스틱 처리 촉진 협회에 있어서 플라스틱 제품의 LCA 평가 ▶ 일본 생활공동조합 연합회가 용기·포장재에 관해 연구
1992	▶ 일본 LCA 연구회 발족 ▶ 환경청이 일본 Eco-Life Cycle Center에 위탁해 「환경에서의 부하의 평가에 관한 예비적 검사」를 실시 ▶ (社)화학경제연구소가 1981년 연구를 재해석에 착수
1993	▶ Eco-material 연구회 발족 ▶ 과학 기술청·Eco-material 연구 프로젝트로 발전 plant나 가전제품등의 재료에 관한 Eco-balance 연구를 개시 ▶ ISO·TC207의 회합을 캐나다에서 개최 ▶ (社)산업환경관리협회에 LCA분과회 발족 ▶ 환경청이 LCA 등에 관한 나라의 지위책 및 사례의 연구를 개시 ▶ new material·Eco-material 연구개발촉진을 위해 조사위원회의 발족 ▶ 우리나라 중소기업청과 통상산업부 TC 207 창립총회 참석
1994~95	▶ 중소기업청 주관 포장재에 관한 LCA 연구 및 각 산업계 LCA 적용에 관한 연구 진행
1997.12.	▶ 한국 전과정평가학회 창립

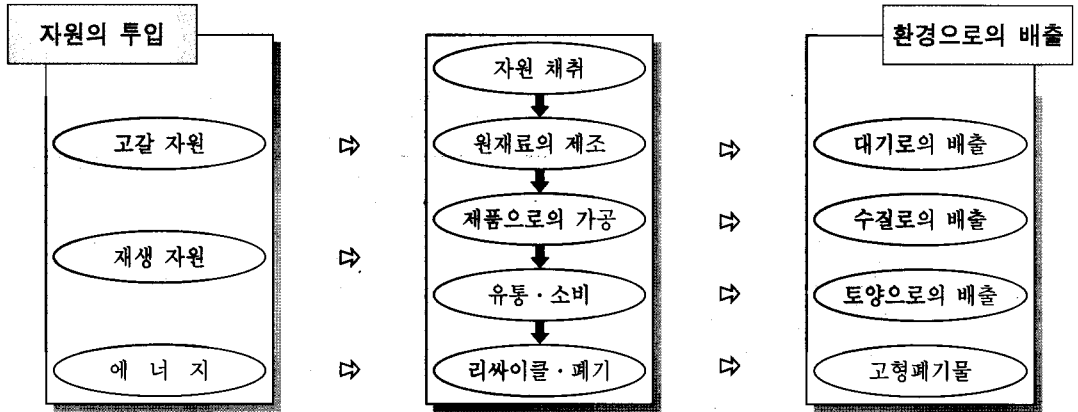


그림 1. Life Cycle 개념도

오염물질 배출량, 산성화 원인물질 배출량, 고형 폐기물 배출량 등의 환경부하항목에 관해서 데이터베이스화하고, LCA용 범용 소프트웨어 (software)를 개발하였다. 이것이 지금 현재 세계적으로 널리 퍼져 있는 시마프로이며, 약 십여년에 걸친 작업이었다. 스위스에서는 스위스연방내무성환경국 (BUWAL)이 국내 최대의 생활협동조합인 미그로스의 협력 아래 용기·포장재의 LCA를 행하고, 거기에 관련하는 데이터베이스를 개발, 공개하고 있다. 스웨덴에서는 스웨덴 환경연구소, 스웨덴 산업연맹 및 볼보사와 공동으로 LCA에 유사한 EPS (Environment Priority Strategies for Product Design)라고 말하는 환경 임팩트(Impact) 계산 시스템을 개발하고 있다. 미국에서는 미국 환경 보호국, 바텔 (vatel) 연구소 및 프랭클린 연구소와 공동으로 LCA 수법의 가이드 라인을 정리하고 있다. 일본에서도 최근 수년 사이에 지구환경문제를 중시하는 기업의 증가에 따라, LCA 연구가 활발히 이루어져 왔다. 플라스틱 처리촉진협회에서는 석유 제품의 LCA를 행하고 있고, 그 외 화학경제 연구소, 일본 생협, 일본 에코라이프센터 등에서도, 각 기업의 협력을 얻어 LCA 연구를 진행시키고 있다.

이러한 세계적 추세 속에 우리나라에서도 정부의 표준화 관장부서인 중소기업청과 통상산업부(현 산업자원부)에서 1993년 TC207 창립 총회

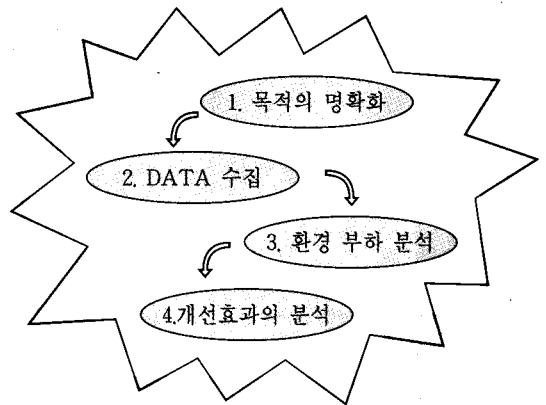


그림 2. LCA의 순서

에 참석 후, LCA에 깊은 관심을 갖게 되었다. 예로 중소기업청에서 1994년~1995년에 걸쳐 포장재에 관한 LCA 연구와 각 산업계의 LCA 적용에 관한 연구를 주관하였다. 통상산업부에서는 “환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률”을 제정하였고, 환경부에서도 “환경친화기업 지정”이라는 제도를 통하여 LCA 개념 도입을 독려했다. 더 나아가서는 학계·연구계 및 산업계를 중심으로 1997년 12월 1일 전경련회관에서 한국 전과정평가학회가 창립되게끔 되었다.

2.2 LCA의 개요

LCA란 제품, 공정 그리고 서비스 등을 대상

으로, 제조, 가공, 유통, 사용, 리사이클, 폐기에 걸쳐, 각 프로세스에 투입된 자원 및 에너지, 그리고 환경으로의 배출물질을 정량화하고, 이들

의 환경부하를 평가하는 기법이다.(그림 1) LCA는 다음의 4개의 순서에 따라 진행되어진다.(그림2)

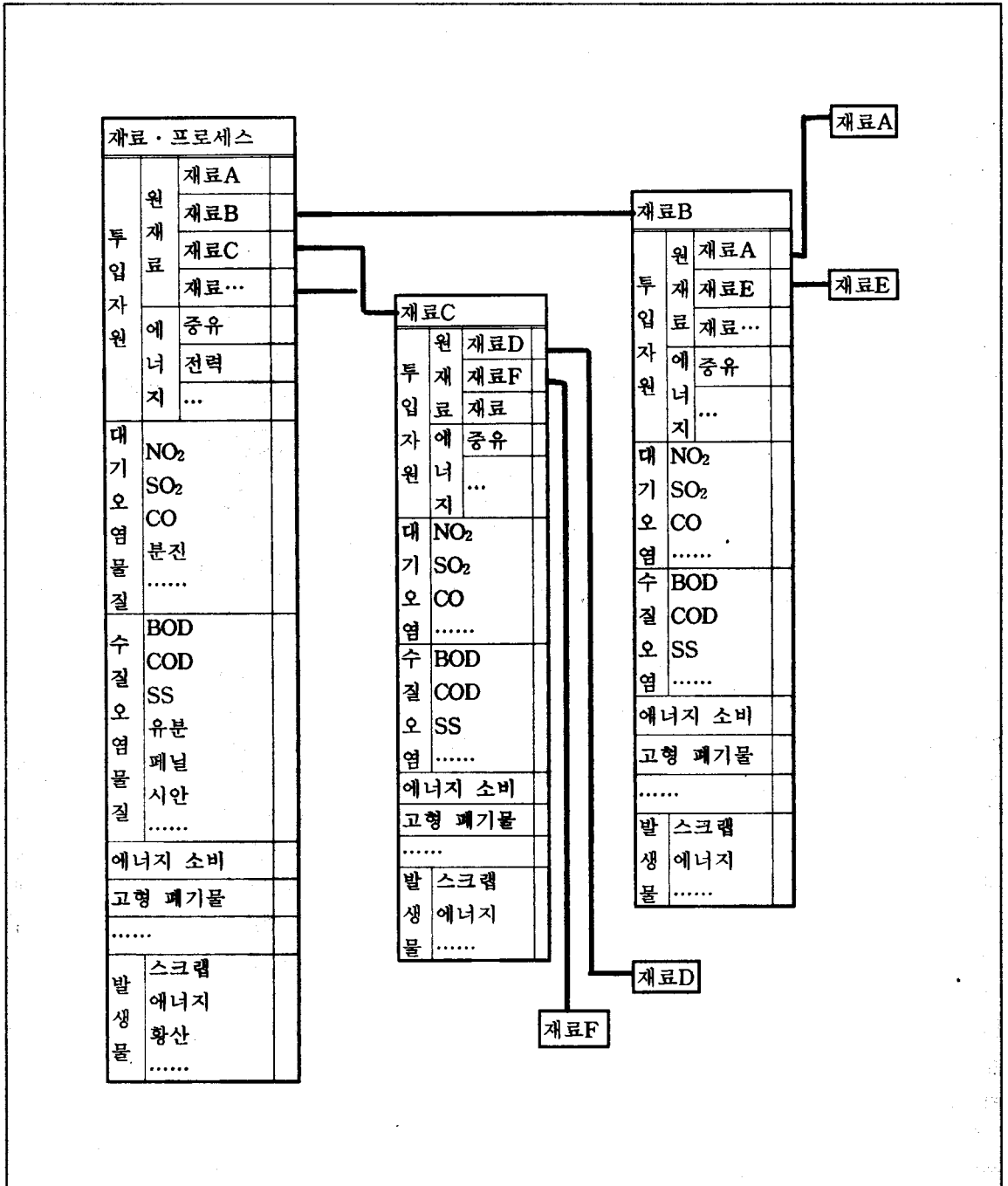


그림 3. 트리(Tree) 형식의 데이터베이스 예

표 2. 수집 자료의 일람표 예

Category	프로세스의 예		자원채취	원재료의 제조	제품에로의 가공	소비·사용	리사이클	폐기	운송	합계
	환경부하항목	단위								
대기 오염 물질	NO	g								
	SO	g								
	CO	g								
	분진	g								
									
수질 오염 물질	BOD	g								
	COD	g								
	SS	g								
									
에너지		kcal								
자원 OO		kg								
고형 폐기물		kg								
.....										

2.2.1 목적의 명확화(Goal Definition)

LCA를 실시하는 목적을 명확하게 하는 것이다. 예를 들면, 제품간의 비교, 개선의 평가, 개선점의 추출 등이다. 비교시에는, 비교 단위를 기능이나 성능으로 통일해서 기입하여야 한다. 표 2가 그 기입 예이다.

2.2.2 목록작성(Inventory)

소재나 제품을 생산하기 위해, 자원채취부터 폐기까지 리사이클을 포함해서 각 프로세스에서 물질수지, 에너지 수지에 관한 자료를 수집한다. 이 때, 어떠한 환경부하항목에 대하여 자료를 수집하는가, 또한 제품의 유통이나 물질의 흐름 안에 어떠한 프로세스까지를 대상으로 하는가를 명확하게 기입하는 것이 중요하다. 이것에 기초해 조사한 자료로 부터 프로세스 각각의 환경부하항목(category) 표가 작성되어진다.(표 3)

2.2.3 환경부하 분석(Impact Analysis)

환경부하항목, 즉 부하량이 집계되고, 인체로의 영향, 생태계로의 부하, 자원 고갈의 영향 등이 정량적으로 분석되어지고, 이들 분석 결과를

기초로 종합적인 환경영향평가가 행하여진다.

2.2.4 개선효과의 분석(Improvement Analysis)

상기 기록의 환경부하분석의 결과에 기초해, 환경부하를 저감하는 프로세스나 기술의 개선책 또한 재료변경에 관하여 지시하고, 그 효과를 분석한다.

3. LCA 연구현황

3.1 국외의 연구현황

LCA의 발전역사와 더불어 대표적인 연구현황은 표 1에서 살펴볼 수 있다. 현재에도 스웨덴의 볼보 자동차회사를 비롯하여 화학, 철강, 가전 등 수많은 분야에서 환경친화적 제품의 개발을 통한 지구환경보존을 위한 노력으로, 유럽 및 미국의 회사들은 헤아릴 수 없는 LCA 연구를 수행하고 있다.

일본 역시 가전부품 및 화학제품분야에서 플라스틱을 대상으로 적극적인 LCA가 수행되고 있으며, 전력 및 건설분야에서도 에너지 절약,

재료 및 부품의 리사이클을 중점으로 한 LCA 대응을 해오고 있다. 그리고, 유통업계에서는 식품용기에 대한 LCA 기법을 구사하여 환경부하 정도를 검토한 사례가 보고되어져 있다. 수많은 일본의 LCA 연구사례중에서 분야별 LCA 연구 사례를 취합한 것이 표 4이다.

3.2 국내의 연구현황

1980년대 중반 이후 기업활동에 따른 환경부하가 심각한 지구 환경문제의 원인으로 제기되면서, 국내 산업계의 환경적 대응노력도 보다 체

표 3. LCA의 접근 방법의 형식

<p>목표 한정, 영역화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rules for single functional unit ◆ Combined functional unit ◆ Definition
↓	
<p>목록분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 경제와 환경의 구조간 관계 ◆ 중요하지 않은 진행과정에 대한 규칙 제거 ◆ 복합적 처리의 할당 <ul style="list-style-type: none"> * Multi-output 공동생산 * Multi-input 폐기물 처리 * Recycling * combinations thereof ◆ 지식초기화(공정을 포함한 명명법, 제품/서비스, 중재 명명법) ◆ 처리자료의 양평가
<p>↓ 중재 ↓ also : 스트레스, 간섭 output : 부하, 방출</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 조정들(방사, 추출, 그외)은 환경문제형태와 관계하여 포함된다.)
<p>구별화+특성화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 주제들의 문제에서 위치의존 특성의 역할 ◆ 부분적 환경 모델링의 일반적 배치 ◆ 환경문제 주제에 대한 상위조작화 ◆ 표준화에 대한 상위조작화
<p>↓ 영향범주 also : 환경문제주제/형태 주제의 profile, 수치들의 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 환경적인 문제를 포함하는 것
<p>가치판단</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 다른 형식화된 비중있는 방법들간의 연관성 ◆ 환경문제 목에대한 조작장치 ◆ 방식과 data에 관한 감도분석 규칙 ◆ 신뢰성과 유효성 평가에 대한 조작방식
<p>향상평가 또는 향상분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 의미있는 부분들 내의 생산 구조 세분화 ◆ 최저분석의 해석 ◆ 선택성 유발? 다른 기술들?
<p>빠른 방식 또는 유선형방식, 단순화방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 단순화된 순서, 할당규칙에 관한예 ◆ 차이점 분석 ◆ Data접근 ◆ 신뢰성과 유효성 평가에 대한 조작방식
<p>도구들</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 일반과정에 대한 database ◆ Software, 전 방법론적 선택의 통합

표 4. 일본의 LCA 연구 성과·(일부)의 개요

평가 목적	프로세스의 예			
(1) 제품·제법 등의 변경·개선에 따른 환경부하의 평가	일본IBM, 坂本외(1991년)	컴퓨터 단말장치	사용 후 분해성	자사의 목표나 기준에 합쳐진 실용적인 방법
	武田약품, 中井(1992년)	사내 제품	유해물질의 발생	
	키야논, 左藤(1993년)	토너 카트리지	CO ₂ 배출량	
(2) 환경목표치·기준치에 대한 달성도의 평가	고베 생협, 寺下 외(1992년)	화학물 반도체의 갈륨, 비소, 폴라스틱 난연제의 인산 에스테르	화학물질의 위험 프로세스 변경의 곤란도	
(3) 환경부하 저감 면에서의 제품·제법 등의 개선점의 추출	국립 환경연, 森口 외(1992년)	자동차 소재(철, 알루미늄, 합성수지, 고무, 유리 등의 제품)	CO ₂ 배출량	CO ₂ 평가에 한정 Life Cycle 전체를 대상
	화학공학회 CO ₂ 연구회	태양광발전, 다결정 실리콘 셀 아몰퍼스 셀	에너지 량	
	시미즈 건설, 山口 외(1993년)	건축물(사무소)	에너지소비량 CO ₂ 배출량 폐기물 배출량	
(4) 제품간의 환경부하의 비교	플라스틱처리협회, (1992년)	플라스틱과 종이 tray 플라스틱과 종이 bag 플라스틱, 스틸, 알루미늄, 유리로 된 병과 관 플라스틱, 나무, 종이로 된 포장재	에너지 소비량 환경 영향 평가	환경부하의 상대 비교
	일본생활협회조합(1993년)	종이 용기, 스틸 관, PET 병, 알루미늄 관	물질고갈, 환경오염, 먼지 처리 부하	
	전증연, 内山(1993년)	화력, 원자력 자연 에너지의 각종 발전 플른트	CO ₂ 배출량	
(5) 유통·처리·리사이클 등의 사회 시스템의 검사 평가	京大(교토대), 寺島 외(1992년)	플라스틱 tray	에너지 소비량 경제 cost	사회 시스템의 미비를 지적
	關西大, 和田 외(1993 외)	식품용 PSP tray	에너지 소비량	
	국립 공중위생 원, 田中 외(1993년 외)	종이 쓰레기	소거시설에서의 부하 소거에 의한 환경부하·cost	
(6) Life Cycle의 평가	京大, 高月(1991년)	행주와 티슈, 종이와 형질 기저귀, 전전지와 축전지 등	cost 환경부하	일상 생활에서의 판단 기준을 목적한다.
	시스템 기연, 추尾(1993년)	카피용지와 OHP, 팩스밀리와, 서와 전자출판 등	에너지 소비량	
	慶応大學, 吉岡	일상생활에서 소비되어지는 재산	CO ₂ 배출량	

계적이고 구체적으로 전개되기 시작하였다. 1990년도 초에는 경제개발 이념이 “환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(ESSD)”로 바뀌면서 환경의 중요성이 강조되었으며, 국제 표준화 기구(ISO)는 환경에 대한 국제 표준화 작업을 시작

하였다. 이러한 국제 표준화의 본격적인 발효는 국제 무역질서에 광범위한 영향을 미칠 수 있으며, 무역과 연계를 전제로 하는 각종 국제 환경협약과 환경경영에 대한 ISO의 인증제도가 상호 결합될 경우, 환경문제가 기업활동에 미치는 파

장은 매우 클 수밖에 없다.

따라서, 우리 나라의 기업들도 앞으로 예견되어지는 제품의 투명성에 대한 규제시에 도구로서 활용되어질 수 있는 LCA에 관심을 갖기 시작하였다. 정부 및 환경단체뿐만 아니라 일반 고객들도 기업의 경영활동과 제품의 환경성에 대하여 관심을 갖게 되고, 기업간의 활동에서도 환경이 중요한 인자로 부각되고 있다. 또한, 국제적으로는 ISO에서 환경경영에 관련된 규격의 표준화가 진행 중에 있으며 세계 각국에서도 환경라벨링 및 환경경영에 대하여 관심이 고조되어가고 있다. 이러한 상황에서 기업에서는 종전의 "중말 처리적 방법(End of Pipe Treatment)"의 환경활동 외에 다른 관점에서의 환경활동이 필요하게 되었다. 대표적인 이런 분류의 환경활동으로서는 환경경영, 환경회계, 전과정평가 (Life Cycle Assessment : LCA), 환경친화설계 (Design for Environment : DfE), 전과정관리 (Life Cycle Management : LCM) 등이 있다.

그 중에서 전과정평가는 의사결정을 위한 환경성 측면에 대한 정보를 제공하는 평가 기법중의 하나이고, 전과정(Cradle to Grave) 개념 및 다양한 활용도(환경정책 수립, 정보제공, 친환경제품 개발유도, 교육, 환경 마크 : Type I/II/III 등) 때문에, 외국에서도 널리 사용되고 있다.

3.2.1 대우자동차(주)의 LCA 사례

그중 대우자동차(주)에서는 1994년부터 이에 대한 준비 작업을 시작하였다. 자동차는 수많은 부품으로 되어 있는 복잡한 시스템이기 때문에 우리 나라 LCA의 초기 단계였던 1995년에 자체적인 부품 선정을 통한 LCA를 산학협동으로 수행함과 동시에, 자동차 부품에 대한 LCA를 bumper와 cam cover에 적용하여 재질 특성에 따른 전과정 목록의 변화와 영향평가에 따른 주요이슈의 규명 및 대응방안을 검토하였다. 또한, 이런 과정을 통해 LCA 기법의 개발과 수행 방법을 습득하였으며, 관련 부품에 대한 데이터 베이스를 구축하였다. 이러한 경험을 토대로 차량 전체에 대한 LCA수행 방법론을 체계적으로 연구, 정립 중에 있다. 현재 협력업체와 주요부품 및 생산공정의 데이터베이스를 구축하고 있는 상태이며, 차량 전체에 대한 LCA 수행을 통해 효율적인 LCA 수행 방법론과 데이터의 신뢰성을 높이기 위한 데이터수집 방법, 영향평가 방법론 등을 구축하고자 하는 중에 있다. 21세기를 대비해, 경영기법의 투명성을 근간으로 하는 TLCM (Total Life Cycle Management)로 변화되어질 것으로 보고, 기존의 LCA 기법은 LCC (Life Cycle Cost)와 TQM (Total Quality Management) 등과 결합되어 새로운 의사결정법으로의 발전을 꾀하고 있고, 이에 대비하기 위한 기초 작업으로 LCA 수행뿐만 아니라 LCC와 TQM과의 연계방법을 모색하고 있다.

표 5. 대우에서의 LCA 적용 사례

평가 목적	수행 기간	수행 내용	수행방법
Bumper LCA	1995. 7.~1997. 12. (2년)	▶ LCA 수행 방법론 개발 ▶ Bumper LCA 수행 ▶ 주요 이슈규명 및 대응방안 검토	산학
Cam cover LCA	1997. 6.~1997. 12. (7개월)	▶ Cam cover LCA 수행 ▶ 주요이슈규명 및 대응방안 검토	독자수행
Complete car LCA	1998. 1.~1998. 6. 현재 (진행중)	▶ Complete car LCA 수행 방법론 개발 ▶ 대표부품 LCA 수행 ▶ 생산공정 LCA 수행 ▶ Complete car의 주요이슈규명 및 대응방안 검토 ▶ Complete car 관련 데이터베이스 구축	독자수행

3.2.2 철강업계의 LCA 연구동향

포철 등의 철강업계에서는 세계철강협회(International Iron and Steel Institute : IISI)의 환경분과위원회에서 1994년 당시 철강업계와 경쟁관계에 있던 알루미늄업계가 간단한 형태의 초기 LCA 작업결과를 근거로 알루미늄이 철강보다 더 환경친화적이라고 발표하고 이를 마케팅 활동에 적극 활용한 것을 계기로, 이러한 알루미늄업계의 공세에 대응하기 위하여 세계 철강업계는 LCA 작업반(Working Group)을 구성해 ISO에서 개발하고 있는 표준 규격을 근거로, 보다 체계적이고 신뢰성이 높은 LCA 연구를 공동으로 추진하게 되었다. 여기에 다른 요인으로 금속 캔이나 자동차업체가 LCA 연구를 추진하면서 철강업계에 관련 자료를 요청한 것도, 이러한 작업의 착수를 촉진한 요인이 되었다. 이에 따라, IISI가 ① 철강제품에 대한 LCI 데이터베이스 구축 및 대고객 정보제공, ② 경쟁관계에 있는 소재업체로부터의 환경친화성 공세에 대한 대응, ③ IISI 회원사 간의 환경관련 벤치마킹(Benchmarking) 및 환경개선 지원 등 세 가지를 LCA 연구의 목표로 설정하였다. 1995년 12월부터 1998년 2월까지 2년 넘게 진행된 1차 작업으로는, 주로 LCI(Life Cycle Inventory) 작업을 4종의 철강 중간제품과 12종의 최종제품이 그 대상으로 행하였다. 총 37개국에서 55개국의 제철소가 참여하였으며, 참여회사의 조강생산총량은 2.26억톤(1995년 기준)으로 구소련 및 중국을 제외한 전세계 조강 생산량의 약 40%에 해당하고, 수집된 자료수만 해도 2,000만개 이상에 달하는 방대한 작업이었다. 이러한 과정을 거쳐 제시된 작업결과는 ① 세계적·지역적 평균치, 최대·최소치, 표준편차 등을 담은 제품별 LCI 자료 Spreadsheet, ② 작업의 기술적인 세부사항 및 결과분석 내용을 담은 LCI 기술보고서, ③ LCI/A 용 S/W인 TEAM의 성능개선 및 일괄 구입(희망 회원사) 등이다. 아울러 IISI는 참여 회원사 별로 LCA 경영자를 선정하도록 하고 향

후 주기적인 업데이트(update) 및 평가를 지속적으로 실시하기로 하였다. 이 연구에 초기부터 참여하였던 포항제철은 이와 같은 작업결과를 바탕으로 누락된 공정이나 제품에 대한 LCI 작업, 환경관리 우선순위결정 및 타 제철소와의 환경성결과비교, 환경경영체제와의 연계, 수요업계에 대한 정보제공, 철강제 캔 및 철강제 주택의 마케팅 등 다양한 후속작업과 활용방법 개발을 추진하고 있다. 또한, IISI와의 긴밀한 관계를 유지함으로써 지속적인 기술습득 및 정보교환을 도모하고 있으며, 이 작업에 참여하지 않은 국내 철강업계에도 관련 Know-How를 제공할 계획을 세우고 있다.

참고로 IISI에서 추진한 본 작업의 진행일정을 살펴보면 표 6과 같다.

표 6. 철강업계의 현황

▶ 환경분과위원회에 Working Group 구성 : '94
▶ 연차총회에서 IISI의 LCA Policy 및 Guidelines 채택 : '95
▶ LCI 작업을 위한 Expert Group 구성 : '95. 11
▶ 프랑스 Ecobilan사에 연구용역 실시 : '95. 12~'97. 6
- 용역비 US\$880,000는 조강 생산량비로 회원사 부담
- 각 단계 완료시마다 외부 전문가로 구성된 Critical Review Panel(CRP)의 정밀검토를 거침
▶ 보고서 발간 및 대외 자료공개 지침 작성 : '97. 6~'98. 2

3.2.3 LG의 LCA 연구동향

LG그룹은 1997년 그룹차원에서의 LCA Skill 습득 및 LCA추진핵심요원 양성을 위하여 LG전자 등 총 10여개 자매사가 참여한 LCA TFT를 구성하여, 공동으로 LCA를 수행한 바 있다. 이 과정을 통해 LG는 최종 소비제품인 LG전자의 컴퓨터모니터와 이 제품의 주요 원료인 LG화학의 ABS수지에 대한 LCA를 동시에 실시하였고, 그룹LCA 표준메뉴얼작성을 행하여 그룹 내 각사가 LCA 수행시 도움이 되도록 하였으며, 그룹 LCA 표준 절차와 양식 사용을 통해 그룹사 간의 LCA데이터의 교환 및 활용이 용이하게 되었다.

금년에는 그룹TFT 활동을 통해 취득한 기술

을 바탕으로 LG전자는 세탁기, 냉장고, 에어컨, 모니터 및 TV 등에 관한 LCA를, LG반도체는 반도체, LG산전은 엘리베이터, LG기계는 트랙타, LG화학은 세탁세제 및 석유화학제품에 대한 LCA를 현재 수행중에 있으며, 제품의 설계단계에서부터 LCA기법을 적용하여 환경친화성을 고려한 제품개발을 도모하고 있다. 또한, 그룹내 각 사가 LCA 추진과정에서 습득한 Know-how 및 최신정보를 공유할 준비를 하고 있다.

3.2.4 삼성전자의 LCA 사례

삼성전자는 1995년부터 LCA 연구를 시작하였다. 제품에 대한 전과정평가를 실시함으로써, 제품의 환경성 측면을 단편적으로 파악하는 데에서 발전하여, 제품의 전과정에 대한 환경성 측면을 향상시키는데 기여하고 있다. 수행목표는 표 7과 같으며 근본적인 목표는 제품의 환경성을 향상시키기 위한 환경친화설계 기법개발에 있다고 말하고 있다. 도입초기에는 전자제품에 적합한 전과정평가 수행방법론의 개발과 데이터베이스 구축(물질 및 에너지)에 중점을 두었다. 그 결과로서 Screening LCA, Streamlined LCA 및 Detail LCA의 개념을 복합·변형시킨 전과정평가 수행방법론을 개발하였으며, 제조공정에 대한 전과정평가 데이터, 국내 전력시스템 및 국내 정규화값 등에 관한 데이터를 아주대학교와 공동으로 조사하여 데이터베이스를 구축하였다.

1995년부터 해당제품군을 선정하여 활발하게 전과정평가를 실시하고 있다. 연도별 전과정평가를 실시한 제품군 및 전과정평가의 방법론은 표 8에 나타났다. 해당제품에 대한 모든 전과정평가 결과는 전과정평가 전문기관에서 정밀검토(Critical review)를 받았다. 1997년도부터 자체 전과정평가 교육프로그램을 개발, 4차에 걸쳐 종업원들을 대상으로 하여 전과정평가 교육을 실시하였으며, 전과정평가 실무지침서를 제작하여 활용하고 있다.

그 밖에 전과정평가 수행 방법론뿐만 아니라 목표 및 범위정의, 목록분석, 영향평가, 해석 및

표 7. 삼성전자의 전과정평가 수행 목표

- ① DfE(Design for Environment) 프로그램 개발
 - ▶ LCD/DfX(Design for X) 등의 기법을 이용한 DfE 프로그램 개발
- ② 환경경영 Tool로서 활용
 - ▶ 환경경영에서의 전략적 의사결정 도구로 활용
- ③ 제품의 환경성 측면 파악
 - ▶ 제품의 전과정에서의 환경적 주요인자 파악
- ④ 제품에 대한 LCI(Life Cycle Inventory) 데이터베이스 구축
 - ▶ 물질, 공정(제조 및 폐기), 운송 및 에너지 데이터 등
- ⑤ 연구방향 설정
 - ▶ 파악된 환경적 주요인자를 토대로 환경적 개선 연구방향 설정
- ⑥ 전자제품에 적합한 전과정평가 방법론 개발 및 적용
 - ▶ 전자제품에 대한 가장 효율적인 전과정평가 방법론 개발
- ⑦ 각종 환경규제에 대한 능동적 대응
 - ▶ 환경 마크(Type I/II/III), EPR(Extended Product Responsibility) 등
- ⑧ 종업원 교육
 - ▶ 환경교육
 - ▶ 전과정적 사고(Life Cycle Thin) 고취
- ⑨ 정보제공
 - ▶ 정부, 환경단체 및 소비자에게 제품의 환경성 정보 제공

표 8. 전과정평가를 수행한 제품군

연도	대상제품	수행 방법론	Critical Review
1995-1996	전자레인지	Screening LCA/Detail LCA	○
1997	냉장고	Screening+Streamlined LCA/Detail LCA	○
	세탁기		○
	에어컨		○
	모니터		○
	Color TV		○
	반도체		실시예정

전과정평가의 활용방안에 대해서 꾸준히 연구하고 있으며, 전과정평가에서 중요한 물질, 공정, 에너지 등에 관한 데이터를 수집하여 데이터베이스화하고 있다. 또한, DfE(Design for Environment) 기법을 위한 다른 평가 기법도 현재 연구 중에 있으며, 동시에 이런 평가기법을 통합한 총체적인 DfE 기법이 개발 중에 있다.

4. LCA 연구의 문제점과 금후과제

4.1 LCA 연구의 문제점

제품, 공정 및 서비스까지 포함한 이들의 전과정과정을 통한 환경부하평가는, 많은 연구자와 연구기관을 통해 독특한 관점에서 LCA 기법을 구사하고 있다. 그러나, LCA 수법의 만능기법만은 아니다. 제품에 관한 LCA만을 살펴보더라도 아래 사항에서 여러 가지 문제점을 제기할 수 있다.

- (1) 평가제품의 제조단계에 있어서 고려할 점
 - 소재 및 부품의 다양성에의 대응한계
 - 소재의 원산지가 불명확한 경우
 - 노동 및 통근수단의 다양성 등 인간이 관여해 오는 경우
 - 수입품 등 세계적 규모의 데이터가 요구되는 경우 등
- (2) 평가제품의 사용단계에 있어서 고려할 점
 - flow 상태와 stock 상태의 차이에의 대응
 - 제조시와 사용시의 time lag에의 대응 등
- (3) 평가제품의 폐기 및 리사이클 단계에 있어서 고려할 점
 - 내구소비재 등의 경우, 제조시와 폐기시의 time lag에의 대응
 - 지역적 폐기시스템이나 리사이클시스템의 차이에의 대응
 - Material Recycle, Chemical Recycle 및 Thermal Recycle 등 리사이클 방법의 차이에의 대응 등
- (4) 데이터 수집에 관한 문제
 - 기업 기밀부분의 데이터를 얻는 문제
 - 제품원가에 관한 데이터의 획득 문제 등
- (5) 기타
 - 사용편리성 등 정량화가 어려운 요소의 처리
 - 제품의 가격결정에 관여하는 감각적 항목 등에 대한 평가 등

4.2 LCA 연구의 금후 문제

현시점에서 LCA 연구는 시행착오단계의 부분이 많다고 볼 수 있다. LCA를 보다 강력한 평가도구로 이끌기 위해서는 해외데이터의 입수, 평가목록의 공유화 및 처리데이터의 표준화, 데이터베이스의 구축 등의 과제를 해결해내어야 한다. 이밖에도 제품생산에 관련한 프로세스가 대단히 복잡한 경우와, 이를 평가할 경우, 어떻게 대처해야 하느냐 하는 점이다. 뿐만 아니라, 개별 기업에서부터 지역사회 등의 미묘한 환경조건을 어디까지 고려해야 하는지를 명확히 해야 할 필요가 있다.

4.2.1 해외데이터의 입수

자국내에서 행해지고 있는 프로세스일 경우는 데이터의 입수가 가능하고, 데이터의 정밀도도 일정 수준까지는 확보 가능하다. 이것에 대해 해외에서 행해지고 있는 프로세스에 관해서는 정보량이 절대적으로 적고, 입수도 용이하지 않다. 또, 나라별로 데이터의 정밀도가 다르고, 데이터의 편차도 클 수 밖에 없다. 이들 과제해결은 대단히 어렵지만, ISO 등 국제기구 등의 적극적 관여가 요구되어지고 있다.

4.2.2 평가목록의 공유화 및 처리데이터의 표준화

제품 등의 라이프사이클 전체에 걸쳐 목록평가를 행한 경우, LCA를 실시한 연구자의 평가결과와 기업체의 평가결과가 달라진다면 문제이다. 이러한 문제가 생겨나지 않도록 하기 위해서는, 누가 목록평가를 실시하더라도 같은 결과가 얻어질 수 있도록, 데이터 및 데이터 처리방식의 표준화를 도모하여야 한다.

4.2.3 데이터베이스의 구축

제품 등의 라이프사이클 전체에 걸친 LCA를 위해서는, 제품생산의 상위부분에 위치한 완제품

생산기업체로부터 하위부분에 위치하는 부품기업체나 지방자치단체에 이르기까지 많은 관계자가 관련하여 데이터를 수집할 필요가 있다. 그러나, 현실적으로는 이들 모든 관계자가 공동참여를 한다해도 충분히 만족할 수 있는 데이터를 수집하는 것은 곤란하다. 그러므로, 정밀도 및 신뢰성을 갖는 데이터를 얻기 위해서는 공적(公的)기관이 관여하여 데이터를 수집하여야 하고, 이를 바탕으로 데이터베이스화하여야 한다.

5. 결 론

21세기를 눈앞에 둔 오늘날, LCA는 당면한 지구환경문제의 심각성과 더불어 환경문제를 해결하고, "지속가능한 개발"을 성취하기 위한 환경부하의 정량적 평가방법으로 주목을 받고 있다.

LCA의 등장은 원료조달에서부터 생산, 유통, 사용 및 폐기에 이르는 라이프사이클에 대한 기업의 환경적 책임을 부과하게 되었으며, "ISO 14000"이라는 국제표준의 등장과 함께 기업의 "환경경영"이라는 새로운 기업경영 패러다임을 탄생시켰다. 이러한 큰 변화는 LCA 기법에 의해 계량화가 가능하고, 이와 함께 LCA 연구는 유럽, 미국, 일본 등 선진국 기업에서는 필수적 개념으로 자리잡고 있으며, 수많은 연구사례와 데이터 축적이 이루어지고 있다.

그러나, 아직까지 많은 연구는 시행착오적 수준에서 이루어지고 있으며, 데이터처리의 표준화, 고신뢰성을 갖는 데이터베이스 구축은 아직까지 요원한 현실이다. 특히, 우리나라의 LCA는 걸음마 단계에 있으며, 데이터의 획득에서부터 데이터베이스 구축에 이르기까지 산·학·관에서 수행해내어야 할 일이 산적해 있다. 이러한 현실은 ISO 표준화 대응은 물론, 규제요인으로 작용하는 환경문제를 뛰어넘을 수 있는 환경경영체제 구축까지는 요원한 길임을 보여주고 있다.

결론적으로 우리는 우리의 실정에 맞는 방법의 개발, 표준화, 데이터베이스 등을 어떻게 구

축하느냐 하는 것이다. ISO14000이라는 국제표준을 부응해 나가는 선진국 LCA 연구를 잘 지켜봄과 아울러, 우리 자체의 연구사례를 쌓아서, 한 걸음씩 꾸준히 진행해 가는 것이 바람직한 일이라 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Canadian Standards Association, "Life Cycle Assessment : Environmental Technology" 1994.
- [2] B.R.Allenby, D.J.Richards, "The Greening of Industrial Ecosystems", 1994.
- [3] 허탁, 안주웅, 정재춘, "전과정평가의 기본 원리", 한국경영자총협회, 1995.
- [4] 八木 晃一·山本 良一 : 라이프사이클アセスメント, 日本における 研究の 現状と 課題 金屬 1994年 6月 p. 35~42
- [5] 日本エコライフセンター編: 環境への負荷の 評価に関する豫備的検討, 1993年 9月
- [6] Gualt Huppes : Recent developments in the methodology of Life Cycle Assessment Centre of Environmental Science, Department Substances and Products Leiden University P.O.Box 9518, 2300 RA Leiden, The Netherlands
- [7] ISO/DIS 14040, "Life Cycle Assessment: General Principles and Practices", 1996.
- [8] Hiroyas SAKAMURA, Futoshi UTSUNO and Itaru YASUI : Evaluation of Environmental Impact by LCA Method, 生産研究 第 46卷, 第 6 (1994年 6月), p. 320~326 東京大學 生産技術 研究所
- [9] T.E.Gradel, B.R.Allenby, "Industrial Ecology", 1995.
- [10] G.ran Finnveden, "Treatment of Solid Waste in Life Cycle Assessment", 1995.
- [11] J.Sundberg, "Municipal Solid Waste

Management with the Mimes/Waste model", 1995.

[12] J-O Sundqvist, G Finnveden, "Life Cycle Assessment and Solid Waste", 1994.

[13] Sheldon K. Friedlander "Environmental Issue : Implications for Engineering

Designand Education", 1989.

[14] Jacques Besnainou, " Life Cycle Assessment : Effects on Integrated WasteManagement", 1996.

[15] Hanne L.Erichsen, Michael Hauschild, "Waste treatment in PLCA", 1995.