

환경경영을 위한 전과정평가(LCA)의 고찰 및 사례 연구

임 제 화

상지대학교 경영학과 교수
E-mail : jhim@mail.sangji.ac.kr

이 석 준

상지대학교 대학원 박사과정
E-mail : crco909@yahoo.co.kr

.....

최근들어 전세계는 지속적인 기술혁신과 경제성장을 바탕으로 대량소비를 추구하고 있으며 이러한 과정에서 환경파괴는 가속화되고 있다. 기업활동의 핵심인 산업활동 및 서비스의 증가는 이에 수반되는 제품 생산을 위하여 원자재의 취득에서부터 최종제품의 제조 및 폐기과정까지의 전과정에서 환경오염물질을 배출하고있다. 동시에 다량의 원자재를 사용함으로써 자원을 소모를 촉진시키고 있으며, 그 결과 지속가능한 개발에 장애요인이 되고 있다. 이에 환경보전을 위한 기업의 책임이 강조되고 있다. 그런라운드에 대비해야 하는 기업은 단순히 최종제품을 제조하여 판매하는 일뿐만 아니라 원료취득과 사용후의 폐기처리까지를 포함하는 제품의 전과정에 걸쳐 발생하는 환경영향을 고려하지 않으면 안되게 되었다. 국제적으로는 ISO의 TC207에서 전과정평가(Life Cycle Assessment : LCA) 기법이 표준화되고 있으며, 국내의 여러 기업에서 전과정평가 기법을 습득하여 기업활동에 적용하려는 작업이 활발히 진행되고 있다. 최근의 교토의정서 발효와 ISO 14000 시리즈 준비는 국가 간 또는 기업간 경쟁에 새로운 생존원칙을 제시하고 있다. 또한 개개의 제품에 대한 전과정평가는 단일 제품에 대한 경쟁력 향상뿐만 아니라 기업 전체의 이미지에도 큰 영향을 줄 것이다. 따라서 본 연구는 향후 기업의 운명을 좌우할 수 있는 전과정평가 기법에 대한 이론적 고찰과 그 기법을 이용하여 제품의 환경친화성 평가 및 미래에 경쟁력 있는 제품개발을 위한 몇 가지 사례를 살펴보고자 한다.

.....

<색인어> 환경경영, ISO 14000, 전과정평가, LCA

1. 서 론

21세기 들어서서 국제회의에서 가장 흔하게 등장한 용어로는 '지속가능발전(sustainable development)'을 꼽을 수 있을 것이다. 이는 지난 1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서

열린 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)에서 지구환경보전의 기본원칙을 담은 리우선언과 21세기를 향한 세부 실천과제인 의제 21이 채택된 것을 계기로 지구촌 번영의 중심 개념으로 부상하게 되었다. 그리고 10년만인 2002년 8월 26일부터 9월 4일간 남아프리카 공화국 요하네스버그에서 열린 '지속가능발전 세계정상회의(World Summit on Sustainable Development, WSSD)'에서는 UNCED 이후 국제 사회의 의제 21 이행 성과를 평가하고 날로 심각해져만 가는 빈곤과 환경문제를 해결하고 지속가능발전을 이루기 위해 무엇을 할 것인지를 논의하고, 향후 발전방향을 담은 'WSSD 이행계획'과 이에 대한 정치적 의지를 표명한 '요하네스버그 선언문'을 채택하였다.

지속가능발전에 대한 논의의 시작은 1970년대로 거슬러 올라간다. 1972년 로마클럽이 출판했던 '성장의 한계(The Limits to Growth)'에서 지구촌의 성장이 100년내에 한계에 도달할 것이라고 결론지은 바 있다. 20년 후인 1992년에 속편으로 출판된 '지구의 위기(Beyond the Limits)'에서도 현재의 추세가 계속될 경우 인류는 다음 세기 중에 파멸에 봉착하게 될 것임을 경고하였지만, 한편으로는 예상되는 미래상에 대한 선택에 따라 '지속가능한 미래(Sustainable Future)'의 실현이 가능하다는 결론을 제시한 바 있다. 또한 1987년 세계환경개발위원회(World Commission on Environment and Development, WCED)는 '우리 공동의 미래(Our Common Future)'라는 보고서에서 지속가능발전을 "미래 세대의 필요성 충족 능력을 손상하지 않으면서 현 세대의 필요성을 충족시키는 것"으로 제시하였다. Brundtland 보고서로 불리기도 하는 이 보고서는 1972년 스웨덴 스톡홀름에서 개최된 유엔인간환경회의(United Nations Conference on the Human Environment) 20주년을 계기로 환경(Environment), 개발(Development), 군국주의(Militarism)와 연계된 이슈를 논의하기 위한 회의의 개최를 권고하기도 하였다.

1992년 이후 진행된 이러한 주요 국제회의들과 더불어, WSSD와 그 준비과정에서는 여전히 리우선언과 의제 21의 실천이 중요함이 강조되었다. 특히 리우선언에 담긴 공통의 차별화된 책임(commom but differentiate responsibilities)에 관한 원칙은 지속가능하지 못한 소비와 생산 패턴의 변경, 지속가능한 에너지 정책 수행, 기후변화와 대기오염 대처 등에 있어 그 중요성이 부각되었다. 또한 사전 예방적 접근(precautionary approach)에 관한 원칙은 유럽연합과 미국 등 다른 선진국들간에 논쟁의 대상이 되기도 하였으나, 화학물질 안전관리와 각종 지속가능발전 의사결정에 있어서는 동 원칙의 중요성이 강조되었다. 2005. 2. 16일 발효된 교토의정서에는 온실가스 감축을 위한 협정이 국가간 체결되어 국가별 배

출물 총량제가 실시되고 또한 국가별 노력에 따른 감축분을 매매할 수 있도록 하는 등의 배출권 거래제도 실시될 예정이다. 이에 따라 앞으로 국제적 거래소가 생길 것이며 해외 물품교역에 있어 배출물 총량제에 따른 환경관세등과 같은 무역장벽이 새롭게 등장할 수도 있을 것이다. 우리나라는 교토의정서 체결 당시 개도국으로 분류되어 감축의무에서 제외되었지만 2013년 이후 감축의무 이행이 불가피할 전망이다. 대한상공회의소에서 동월 27일 국회 환경노동위원회에 건의문을 제출하여 “우리 산업계는 교토의정서 제2차 이행기간에 참여할 수 없으며 추후 자발적 방식으로 온실가스를 줄여 나갈 것”으로 입장을 밝혔지만 온실가스 규제사회의 도래는 거부할 수 없는 대세이며 정부와 기업의 선제적 대응이 필요한 시점이다.

더욱이 환경 문제의 해결을 명분으로 선진국 정부들이 국제환경 협약에 근거한 무역규제 조치들을 적극적으로 활용하기 시작함으로 국가 간의 이해가 첨예하게 대립되고 있다. 심지어는 국내적 환경문제로 국한된 경우에 있어서도 여러 국가들이 환경규제를 자국 산업의 보호를 위한 비관세장벽으로 활용하려는 움직임도 보이고 있다. 예를 들어 환경 기준은 그 국가가 처한 사회적, 경제적, 기술적 여건에 따라 다를 수밖에 없음에도 불구하고 많은 국가들이 자국의 국내 환경기준을 수입품 등 모든 상품에 일방적으로 적용하려 하고 있는 것이다. 이러한 움직임은 우리 나라와 같이 환경관련 기술 수준이 낮은 수출의존형 국가에게는 치명적인 문제가 될 수 있다. 사례를 살펴보면 2001년 11월 일본의 소니사 오락용 게임기인 “플레이스테이션 I”이 네델란드 세관에서 게임기의 컨트롤러와 본체를 연결하는 케이블 피복재에서 카드뮴이 기준치를 초과한 것으로 밝혀져 게임기 1백50만대가 리콜 당하였고 약 130억 엔의 매출 영향을 받은 것으로 평가되었다. 또한 현대자동차와 기아 자동차는 EU에서 제시한 폐차법규(End of Life Vehicle; ELV)의 실시에 따른 대비책으로 2002년 상반기 결산시 대규모의 충당금을 쌓은 것으로 알려져 있다.

또한 국가간 환경규제 수준의 차이에서 생기는 생산비 차이가 결과적으로는 해당 산업의 국제경쟁력에 영향을 미치게 된다는 전제 하에서는 환경규제가 약한 개도국 상품들이 사실상 환경보조금의 혜택을 누리고 있는 상황이 된다. 따라서 선진국들은 이러한 상품의 수입에 대해 환경 상계관세와 같은 무역규제 조치를 취하려는 움직임도 보이고 있다. 최근 들어서는 급증하고 있는 세계무역, 특히 무제한적인 자유무역의 추구가 심각한 환경악화를 초래할 수 있다는 견해가 동시에 파급됨에 따라 환경의 보호를 위한 제한적인 무역, 즉 환경무역의 필요성도 대두되고 있다.

II. 환경경영(Environmental Management)의 개념

1. 환경경영의 정의

경영이란 조직의 생산성을 높이기 위해 여러 가지 생산 요소를 합리적으로 결부시켜 유기적 조직체를 형성시키는 활동이며, 환경경영이란 기존의 경영 분야에 환경을 추가하여 경영적인 개념을 도입한 것이다. 다시 말하면, "기업의 고유한 제품, 생산 및 서비스 활동에 의해 필연적으로 발생하는 부정적인 환경영향을 최소화하면서 환경적으로도 건전하고 기업 또한 지속 가능한 발전을 도모하고자 하는 활동"이며, 구체적으로는 최고 경영층에 의해 공식적으로 환경방침, 목표 및 책임 등이 정해지고 이를 달성하기 위해 전 종업원이 참가하는 전사적이고 자주적인 환경 보전 활동이다.

과거의 기업은 환경문제를 단순히 사회적 책임 차원에서 경영의 부수적인 활동으로 다루어 왔으나 오늘날에 와서는 기업의 지속적인 성장을 위해서는 환경을 고려한 기업 경영이 필수 불가결하게 되었다. 기업에서 환경문제는 더 이상 일부 환경관리 담당 부서만의 일이 아니며 기업의 모든 조직이 경영 활동에서 우선적으로 고려해야 하는 중요한 경영요소로 자리 잡아 가게 되었으며 조직, 기획, 구매, 생산, 판매, 연구개발 등 모든 측면에서 환경을 고려하는 환경 친화적 기업 경영을 해야만 하게 된 것이다.

삼성지구환경연구소(1995)에 의하면 환경 경영이란 조직의 경영 기능 전체 중에서 환경 방침과 목적을 개발, 성취, 유지, 검토하는 부분을 말한다고 정의하고 있다. 또 정헌배(1995)는 환경경영을 기업의 고유한 생산활동에 의해서 필연적으로 파생되는 환경훼손을 최소화하면서, 환경적으로 건전하고 지속적인 발전을 도모하는 것이라고도 말하고 있으며, 한국경영자총협회(1994)에서는 환경관리를 위한 목표와 방침을 정함에 따라 이의 달성을 위한 조직, 책임, 절차를 규정하고 인적, 물적 자원을 효율적으로 배분하여 조직적으로 관리하는 것을 환경경영이라고 말한다. 환경경영의 구체적 기능을 환경적 검토, 정책과목표의 개발, 전과정분석, ISO등 환경표준, 법규의 이행, 환경마크 적용, 폐기물 감소, 청정기술의 연구 개발 등으로 나누고 있다.

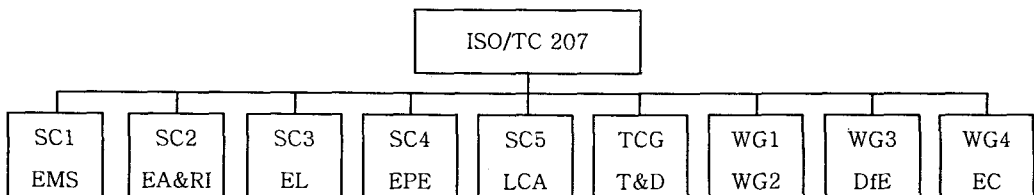
ISO14001(용어)에서는 조직이 전체 경영기능(계획포함)에서 환경 방침과 목표를 개발, 실행, 달성, 검토, 유지하기 위한 전반적인 활동이라고 정의하고 있는데, 즉 환경경영이란 최고경영자에 의해 공식적으로 환경에 대한 방침, 목표, 책임 등이 정해지고, 이를 달성하기 위해 전 종업원이 참가하는 총체적인 환경관리 활동을 말한다. 그러므로 환경경영이란 기업의 생산활동 과정 혹은 그 결과인 제품에 의해 나타나는 환경오염 및 이와 관련되어 나타나는 경영상의 제문제를 해결하고자 하는 모든 제반 활동으로 정의를 내린다.

2. ISO 14000 시리즈의 개요

국제표준화기구(International Organization for Standardization: ISO) 산하에 1993년 1월에 설치된 '환경경영에 관한 기술위원회(Technical Committee 207: TC 207)'는 환경경영에 관한 국제표준화 작업을 수행하기 위해 구성된 기술위원회로서, 국제표준화기구에서 환경경영과 관련된 제반 규격과 지침에 대한 표준화 작업을 담당한다. ISO에서 국제표준과 관련된 실무작업을 담당하는 조직은 기술위원회(technical committee: TC), 분과위원회(sub-committee: SC), 실무작업반(working group: WG) 등으로 구성되며, ISO/TC 207의 구조와 각각의 역할은 <그림 1> 과 같다.

ISO TC207에서 표준화하고 있는 규격들은 조직에 관한 규격과 제품에 관한 규격으로 구분할 수 있다. 조직에 관한 규격은 회사 또는 특정 관리부서의 환경경영 활동에 관련된 것들로 환경경영시스템 (EMS), 환경감사(EA), 환경성과평가(EPE) 등이 있으며, 제품에 관한 규격은 제품이나 서비스의 환경성을 측정하거나 개선하기 위한 것들로 환경라벨링(EL), 전과정평가(LCA), 환경을 고려한 설계(DfE) 등이 있다.

<그림 1> ISO/TC 207의 구조



- SC1 : 환경경영시스템 (Environmental Management Systems: EMS)
- SC2 : 환경감사 및 조사 (Environmental Auditing & Related Investigations: EA&RI)
- SC3 : 환경라벨링 (Environmental Labeling: EL)
- SC4 : 환경성과평가 (Environmental Performance Evaluation: EPE)
- SC5 : 전과정평가 (Life Cycle Assessment: LCA)
- TCG : 용어 및 정의 (Terms and Definitions)
- WG1 : 제품표준에 관한 환경측면 (Environmental Aspects of Product Standards) -해산
- WG2 : 산림(Forestry) - 해산
- WG3 : 환경을 고려한 설계 (Design for the Environment: DfE)
- WG4 : 환경 의사소통 (Environmental Communications: EC)

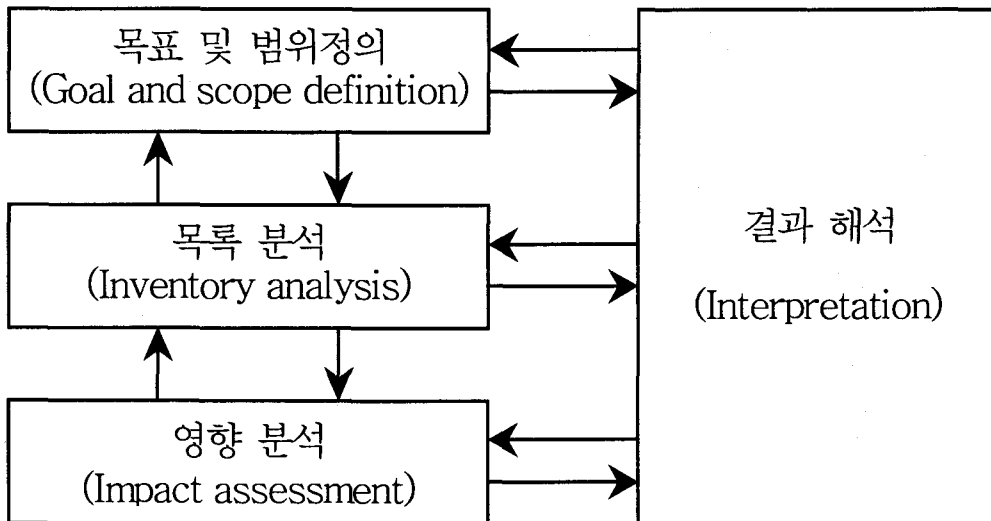
III. 전과정평가(Life Cycle Assessment)의 이론적 고찰

전과정평가는 제품의 전과정 동안에 제품(서비스 포함)에서 야기된 환경부하를 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 도구이다. 여기서 환경부하란 자원소모(resources consumption) 및 환경오염물 배출(environmental emissions) - 수질 오염물, 대기오염물, 폐기물 - 을 지칭한다.

ISO 14040에 의하면 LCA는 목표 및 범위정의(Goal and Scope Definition), 전과정 목록 분석(Life Cycle Inventory Analysis), 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment), 및 전과정 결과해석(Life Cycle Interpretation)으로 구성된다고 정의 된다.

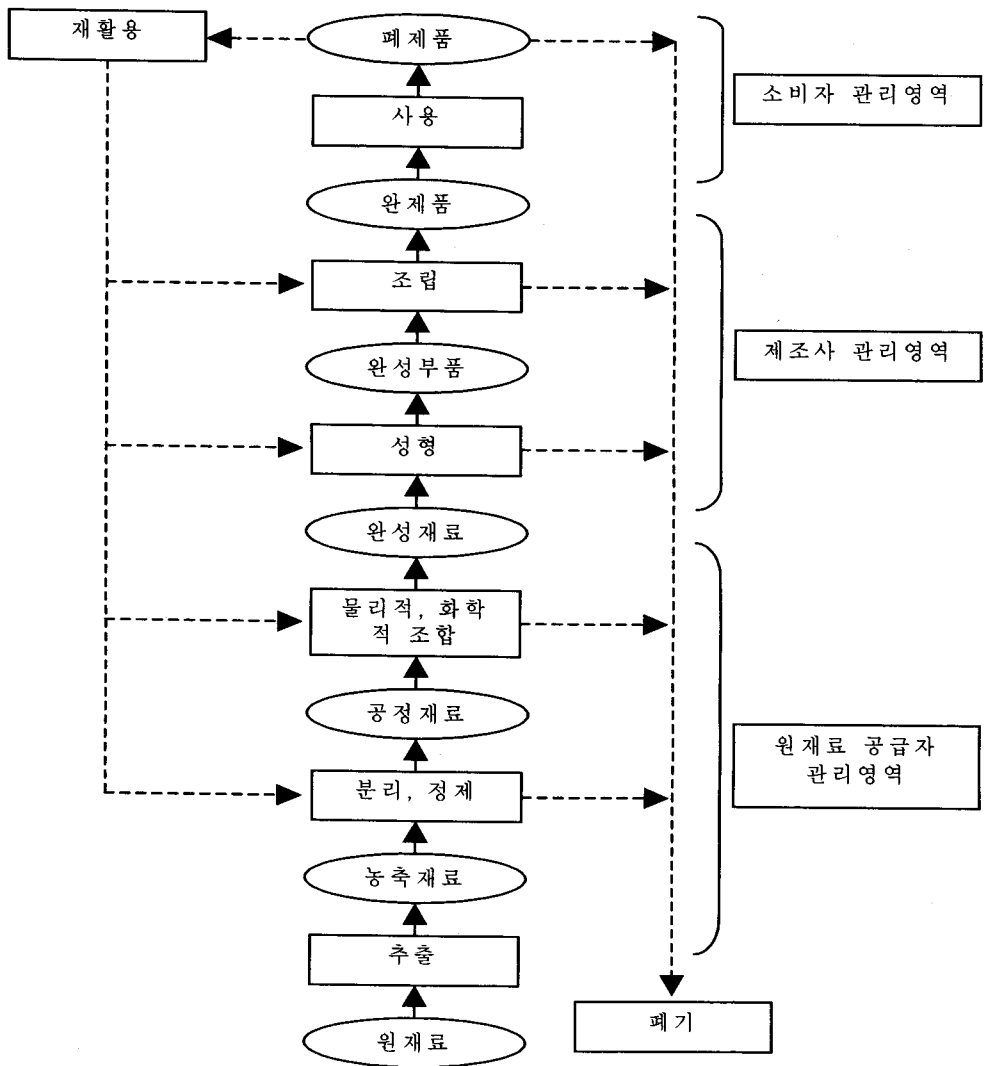
그러나 LCA 수행시 전과정 개선평가(Life Cycle Improvement Assessment)가 실제로 수행된다. 개선평가를 LCA 구성요소로 ISO 14040에 포함시키지 않은 이유는 개선평가는 각 제품마다 특수하기 때문에 표준화 대상이 아니라는 이유에서다. 아래에 LCA 구성요소들을 간략히 소개하기로 한다. 여기서는 개선평가도 포함시키기로 한다.

〈그림 2〉 전과정평가(LCA)의 구조도



자료 : Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC), Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice, Pensacola, FL, 1993

〈그림 3〉 제품 생산에서 폐기까지 총체적 산업자원의 사이클



자료 : Thomas E. Graedel, Streamlined Life-Cycle Assessment : Prentice Hall, 1998, p27.

〈그림 3〉은 원자재 추출에서 제품의 노후화 폐기에 이르기까지 전과정(Life-Cycle)에 대해 도식화 되어 있다. 원재료 공급자, 제조사, 소비자에 의해 관리되는 영역으로 나누어 각 단계별 폐기물의 발생과 재활용 자재들의 흐름을 나타내고 있다. 전과정평가 기법은 제품의 생산과 폐기에 이르는 전체적 과정에서 다음의 과정을 따라 평가의 절차를 진행시키고 그 결과를 이용하여 의사결정의 수단으로 이용할 수 있다.

1. 목표 및 범위정의(Goal and Scope Definition)

목표 및 범위정의(Goal and Scope Definition)는 LCA의 첫 번째 단계로 연구목적이 무엇이며, 결과를 어디에 적용할 것인가를 설정하는 과정이다. LCA는 사용목적에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과 등이 달라지기 때문에 먼저 LCA를 어떤 목적으로 사용할 것인지를 명확히 해야 한다.

연구의 범위에는 시스템 경계, 기능단위(functional unit), 영향평가 방법, 데이터의 요구조건, 연구의 가정 및 제한요인 등이 포함된다. 연구범위의 폭과 깊이는 목표정의에서 설정한 바를 충분히 다룰 수 있도록 설정해야 하며, 모든 설정과 가정은 근거를 제시하여 투명성이 보장될 수 있도록 해야 한다.

기능단위란 제품시스템에 의해 발생하는 주요한 기능을 나타내는 단위를 말한다. 이 기능단위는 목록계산시 기준이 된다. 기능단위는 제품의 효율, 내구성과 수명 등을 고려하여 설정해야 한다. 기능단위의 예를 들면 페인트 시스템의 코팅 면적 (m^2 / kg), 1L의 음료를 담을 수 있는 포장용기 부피, 냉장고 1대 등이 있다.

시스템 경계 설정은 전과정평가의 결과에 영향을 미친다. 경계를 설정하는 표준화된 방법은 없지만 제품시스템에 관여하는 필요한 모든 투입/산출(input/output) 항목들이 포함되도록 시스템의 경계가 설정되어야 한다.

결과적으로 목표정의 및 범위 설정 과정을 수행하는 동안 다음과 같은 질문에 관한 답을 얻을 수 있다. 즉, LCA를 왜 수행하는가, LCA를 통해 얻고자 하는 것은 무엇인가, 연구하려는 대상제품은 무엇인가, 제품수명주기(Life cycle)의 정의는, 시스템 경계는 어디까지인가, 데이터의 수집과 수집방법은, 데이터 질의 목표는, 어떤 지표(parameter)를 사용할 것인가, 어떤 영향평가 방법을 사용할 것인가 등이다.

2. 목록분석(Inventory Analysis)

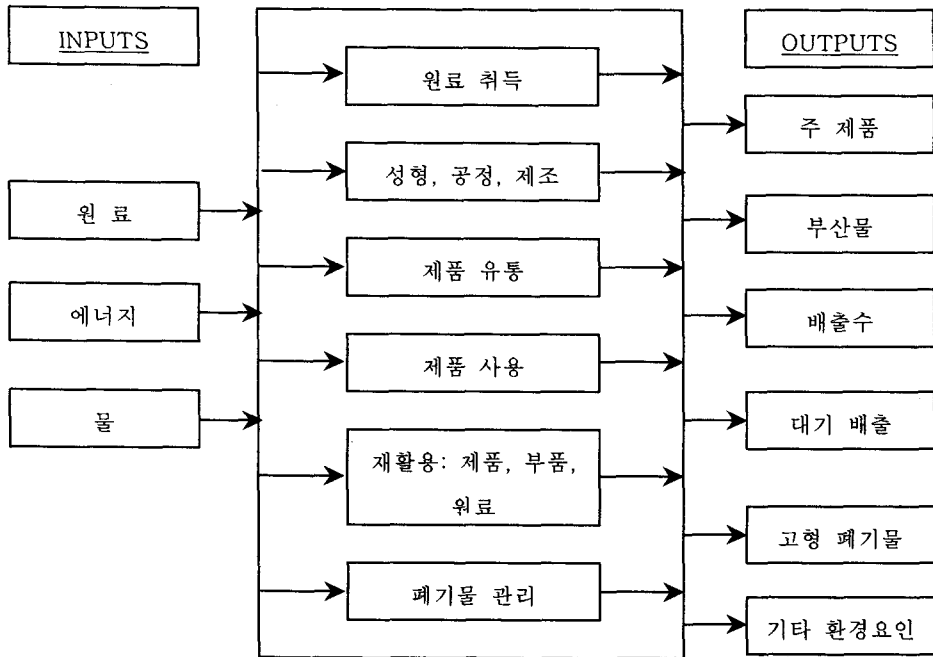
목록분석(Inventory Analysis)은 연구범위에서 설정한 시스템을 대상으로, 시스템으로 들어오고 나가는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물 및 환경오염물 등의 종류와 양을 기록하여 목록화하는 과정으로 환경부하를 계산하는 과정이다. 즉, 전과정 목록분석은 <그림 4>에 나타난 것처럼 시스템으로 투입되는 항목과 배출되는 항목을 정량화하는 과정이다. 목록분석 과정은 반복적이라는 속성을 지니고 있다. 즉, 목표정의 및 범위에 규정된 연구목적, 시스템 경계, 데이터 질 관련 제반 요건 등을 염두에 두고 목록분석이 이들 규정사항과 일치하는지의 여부를 지속적으로 검토하여야 한다. 예를 들어 수집된 데이터가 연구목표에 어긋날 경우 데이터 수집을 중단하거나 데이터 수정이 불가능하다고 판단될 경우에는 목표

및 범위 정의를 수정해야 한다.

목록분석 단계는 일반적으로 공정전개도(process tree) 작성, 데이터 수집, 각 공정별 환경부하 계산 및 합산 과정으로 이루어진다. 공정전개도(Process tree) 작성은 일반적으로 LCA 연구의 대상이 되는 제품의 제조공정을 시점으로 상위공정(upstream)과 하위공정(downstream) 공정들을 연계시키는 작업이다.

즉, 대상제품의 다른 구성 요소 - 원자재, 공급자, 사용 및 폐기 - 와 대상제품간의 연계 관계를 다이어그램으로 작성하는 것이다.

〈그림 4〉 전과정 목록분석의 구성요소



자료 : Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC), A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, Washington, D.C.,1991

공정전개도(Process tree)에 나타난 각 공정별로 투입과 산출 데이터를 수집해야 한다. 데이터의 수집에는 방대한 시간과 노력이 요구되기 때문에 현장데이터의 수집과는 별도로 대상제품의 제조공정과 유사한 제품의 문헌데이터와 데이터베이스를 활용한다. 만약 하나의 공정에 여러 개의 데이터 원천이 존재한다면, 최악의 경우로 간주한 데이터를 사용하는

것이 실용적이다. LCA에서 이용 가능한 데이터의 출처에는 실제 측정치, 인터뷰, 문헌자료, 이론적인 모델, LCA 소프트웨어의 자료 (데이터베이스) 및 법적 기준치 등이 있다.

각 공정별로 수집된 데이터는 해당공정의 제품기준으로 환경부하를 나타내야 한다. 이때 대부분의 경우 환경부하의 할당이 필요하게 된다. 할당은 다중투입(multi-input), 다중산출(multi-output)공정과 개방 재활용(open loop recycling) 경우에 발생된다.

각 공정별로 환경부하 계산이 종료된 후에는 목록 소프트웨어 프로그램을 이용하여 공정전개도(process tree)상의 모든 공정에 환경부하자료를 입력한다. 이들 환경부하 자료들에 각 공정이 최종 제품에 기여하는 정도를 곱한 후 합산한 것이 목록분석 결과이다. 목록분석 결과는 기능단위 기준으로 나타내며, 환경부하 즉 제품의 전과정 동안 소모된 자원사용량과 환경오염물 배출량 등을 지표별로 나타낸다.

경우에 따라서는 전과정 목록분석 결과를 의사결정의 보조 수단으로 활용하기도 한다. 그러나 비교할 수 있는 대안이 필요하다. 이 경우 "적을수록 좋다"라는 기준에 의거하여 비교한다. 시스템 전체로 볼 때 목록결과만을 가지고 어떤 제품이 환경적으로 친화적인가에 대한 판단을 할 수는 없다. 따라서 이들 결과만으로는 환경 (생태계, 인간보건 및 천연자원)에 미치는 영향을 파악할 수는 없다. 이것이 전과정 목록분석의 한계이다. 시스템 전체로 환경친화성을 평가하기 위해서는 목록분석 결과를 토대로 전과정 영향평가를 수행하여야 한다.

3. 영향평가 (Impact Assessment)

영향평가(Impact Assessment)는 목록분석 단계에서 작성된 지표(input/output 항목)들이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 과정이다. 영향평가는 분류화, 특성화 및 가치평가의 3단계로 구성된다.

분류화란 영향평가의 첫 번째 단계로서, 예상되는 환경영향의 형태를 토대로 목록분석에서 도출된 항목 중 유사한 환경영향을 나타내는 항목들을 하나의 환경영향범주로 모으는 과정이다. 이렇게 하는 것은 목록항목에 의해 야기되는 환경영향을 단순화하기 위해서이다. 여기서 가장 중요한 점은 영향평가에서 고려할 영향범주를 결정하는 일인데 크게 천연자원, 생태계 및 인간보건의 3가지의 영향범주로 나눌 수 있다.

특성화란 세부영향범주내로 분류된 항목들이 세부영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 과정이다. 정량화 과정에는 특성화모델이 사용되며, 이 모델은 목록항목이 세부영향범주에 미치는 영향을 정량화(또는 정성화)하는 도구이다. 상용인자 모델은 여러 종류의 특성화 모델중 하나에 불과하지만 정량적인 결과를 도출할 수 있고 사용상의 편리함 때문에 널리

사용되고 있다. 상관관계로부터 도출된 영향정도는 분석된 목록항목이 환경에 잠재적으로 미치는 영향의 크기를 나타낼 수 있어야 한다.

가치평가를 ISO 14040에서는 중요도부여(weighting)라 칭한다. 가치평가는 각각의 영향 범주들이 환경전반에 미치는 영향을 고려하여 영향범주간에 상대적인 중요도(weight)를 부여하는 과정이다. 가치평가는 서로 다른 영향에 대한 주관적인 평가를 하는 것으로 과학적인 사실에 근거하는 것이 아니라 환경영향에 주어지는 사회성, 정치성, 윤리성 등에 따라 가중치를 부여한다. 따라서 가치평가는 국가에 따라, 문화에 따라 다르며 또한 시간에 따라서도 다르다. 일반적으로 가치평가를 할 때에는 가역성(Reversibility), 시간(Time), 지역(Area), 예방(Precautionary) 등의 기준에 따라 가중치를 부여한다.

영향범주간의 가중치를 결정할 때 사용되는 접근방법으로는 전문가 위원회(Expert panels), 통용가치(Monetization), 환경표준(Environmental standards) 등이 있다. 대표적인 실제방법에는 Delphi-like method, ET method, Eco-Indicator method 및 Eco-scarcity method 등이 있다.

4. 결과해석

전과정 결과해석은 도출된 목록 결과 또는 영향평가 결과를 토대로 주요한 환경상의 이슈를 찾는 과정이다. 이를 주요 이슈 규명(key issue identification)이라 한다. 주요 이슈 규명은 dominance analysis를 통하여 수행된다. 민감도 분석(sensitivity analysis) 역시 결과 해석 시 수행된다. 민감도 분석은 사용된 데이터, 가정, 특성화 인자값 등이 LCA 결과에 미치는 영향을 파악하는 과정이다.

5. 개선평가

확정된 주요 이슈들은 해당제품의 전과정중 환경에 미치는 영향이 큰 공정들이다. 이들 공정들의 환경에 미치는 영향을 저감시키기 위하여 설계 엔지니어, 생산요원, 마케팅 요원 등 제품관련 요원들이 해당공정의 대안을 제시한다. 즉 새로운 재질 또는 새로운 생산공정을 제안한다. 이들 대안들을 토대로 해당공정의 환경성을 LCA를 통하여 평가, 환경에 미치는 영향이 가장 적은 대안을 선택하게 된다. 이것이 개선평가 과정이다. 여기서 대안은 반드시 제품의 기능과 성능, 가격경쟁력 등 제품 본연의 특성을 지녀야 한다. 아무리 환경경적으로 우수하다 하여도 제품 본연의 속성인 질이 저하되거나 가격경쟁력이 낮아지는 것은 대안이 아니다. 결과적으로 환경적으로 친화적이면서도 동시에 제품 본연의 속성이 유지되거나 개선된 재질과 공정을 개발하는 것이 개선평가의 궁극적인 목표가 된다.

6. 전과정평가의 용도

전과정평가 기법을 적용하고 싶어하는 주체는 많다. 제품을 개발하고 제조하는 기업들은 제품설계단계에서부터 제품의 환경성을 평가하고 싶어한다. 즉 새로운 재료, 제조공정, 포장재, 재활용시스템, 폐기처분 특성 등을 제품설계단계에서부터 고려하여 환경친화적 제품 제조에 관련된 제반요인을 알고 싶어한다. 소비자 단체는 동종 또는 유사제품간의 환경친화성을 평가하는 데 전과정평가 기법을 사용하여 시장압력이 기업에게 가해질 수 있기를 기대한다. 정책 입안자들은 환경정책개발과 환경법규 및 규제시행수단으로 전과정평가를 사용하고 싶어한다.

Sullivan(1991)은 북미의 26개 대기업을 대상으로 기업들이 전과정평가를 수행하려는 주된 이유가 무엇인가를 질의하였는데 이들 기업들이 제시한 이유는 다음과 같다. 첫째, 사업상의 전략적인 기회를 파악하고자 한다. 둘째, 제조공정 및 제품개선에 관한 결정을 내리고자 한다. 여기에는 신제품과 신공정 설계 및 개발이 포함된다. 셋째, 기존제품 및 공정개선에 관한 결정을 내리고자 한다. 한편, 북구 여러나라의 기업담당자들도 이와 비슷한 답변을 제시하였다(Finnveden 및 Lindfors(1991)).

전과정평가의 가장 기본적인 용도는 기업 또는 정부내의 의사결정권자들에게 그들이 취하는 행동이 환경에 어떤 영향을 미치는가를 이해할 수 있는 정보를 제공하는 데 있다. 즉 의사결정권자가 여러 대안 중 하나를 선택할 때 경제적, 기술적, 사회적 측면 이외에도 환경적 측면을 고려한 후 최종 결정을 내릴 수 있도록 하는 것이다. 결론적으로 전과정평가는 의사결정의 보조수단이라고 볼 수 있다.

IV. 사례연구

1. 사례1: 전과정평가 기법을 이용한 전기자동차와 가솔린자동차의 비교

(1) 개요

이 연구는 전기자동차(Electric Vehicles(EV))와 가솔린자동차(Gasoline Vehicles(GV))의 CO₂ 배출량에 대해 ISO 14040의 기준을 발전시킨 Process-relational model 이라는 수학적 모델을 이용하여 비교 평가하였다. 일반적인 전과정평가 기법은 평가 시스템의 하나의 공정에서 모든 투입과 산출 결과를 모으고 다음의 공정의 결과를 합산하여 결과를 도출하지만 Process-relational model 을 이용한 평가기법은 상호 연관성을 가진 공정들 간의 복잡한 관계를 고려하여 확장한 분석 방법이다.

EV와 GV에 대한 전과정평가는 많이 있으나 이 연구는 선행 연구와 비교하여 다음과 같은 실질적 측면을 반영하였다.

- 일정한 속도로 운행하여 분석한 것이 아니라 도교의 실질적인 교통상황에 맞추어 운전형태에 따른 측정 분석
- EV의 경우 리튬 이온 축전지와 납 축전지로 나누어 분석
- 다양한 운행형태에 따른 CO2 배출량 측정

EV와 GV의 CO2 배출량을 모델을 통해 제조과정과 차량운행과정에서 발생하는 양을 산정하여 측정하였다. 측정결과 EV의 배출량이 훨씬 적은 것으로 나타났으나 교통상황에 따라 배출량의 추세가 현저히 바뀌는 것을 확인하였다. 이 배출량의 차이는 차량의 평균운행속도가 느리면 크게 나타나고 빨라지면 줄어드는 것으로 나타났다. 또 EV의 경우 운행속도가 빨라지면 총 CO2 배출량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

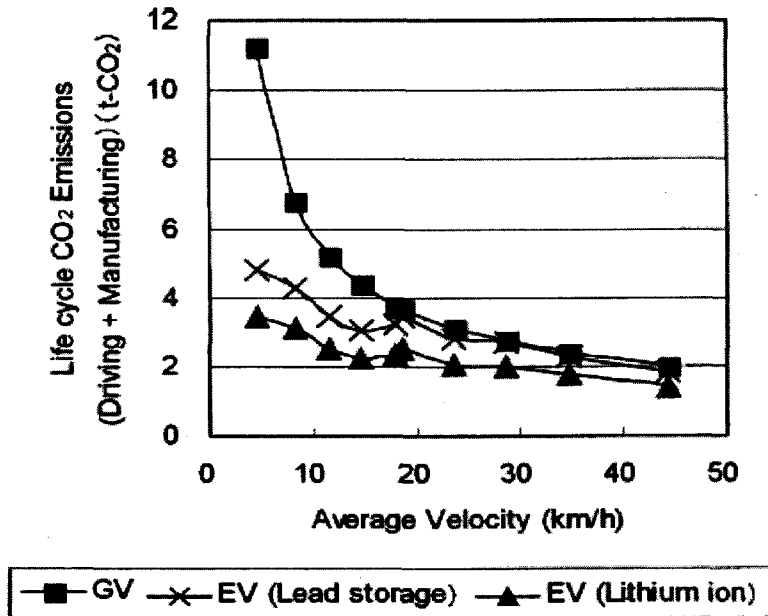
(2) 분석결과

〈그림 5〉는 실질적인 차량운행형태에 따른 평균속도와 연간 CO2 배출량에 대한 관계를 보여주고 있다. GV의 경우 비록 가솔린 생산의 정유과정과 처리과정에서도 CO2의 배출량이 발생하지만 가솔린의 연소가 주된 부분을 차지하고 있다. 반면, EV의 경우 전력생산시설이 화석연료를 사용하기 때문에 대부분은 발전소에서 CO2가 배출된다. 〈그림 5〉에서 보듯이 CO2의 배출량은 평균속도가 증가함에 따라 감소한다는 것을 알 수 있다. 예외적으로 14.6km/h와 18.5km/h에서는 증가하는 것으로 보인다. 이 예외적인 경우는 실제 운행형태에 따른 것으로 판단된다. 또한, CO2 배출량의 감소 부분은 GV와 EV(납 축전지와 리튬이온 축전지) 모두에게서 동일하게 나타난다. GV와 EV의 차이가 크게 나타나는 부분은 저속에서이다. 저속에서 발생한 이 차이 분은 EV의 독특한 이득 때문인데 EV의 경우 정체 시 혹은 차량이 멈추었을 경우 에너지의 사용이 필요치 않기 때문이다.

(3) 결 과

EV가 GV보다 환경친화성이 높다는 결과들은 많이 있으나 실제 운행형태에 따른 결과치는 없다. 연구결과를 바탕으로 저속일 경우에는 EV가 GV보다 CO2의 배출량이 운행 뿐만 아니라 제조과정에서도 훨씬 적은 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 전기식과 연속식이 결합된 하이브리드 방식의 차량을 개발할 수가 있는데 EV와 GV가 환경적으로 CO2 배출량이 교차되는 지점을 정확히 찾아낼 수 있기 때문에 가장 환경친화적인 제품설계가 이루어질 수 있으며 기타 환경적인 비용의 산출에도 이용할 수 있다.

〈그림 5〉 평균속도 차이에 따른 차량의 운행과 제조공정에서 배출되는 연간 CO₂ 배출량의 측정치



자료 : Ryuji Matsushashi, Yuki Kudoh, Yoshikuni Yoshida, Hisashi Ishitani, Michifumi Yoshioka and Kanji Yoshioka (2000) "Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model" Int. J. LCA 5 (2000)

2. 사례2: 미래 기술에 대한 전과정평가의 적용

(1) 개요

도심의 대기환경 개선, 기후 변화에 대한 우려, 그리고 재생산이 불가능한 자원에 의존하지 않으려는 의도 등이 연료전지(Fuel Cell)기술의 개발과 연료전지 기술을 이용한 연료전지자동차 개발에 주요한 동기부여가 되었다. 새로운 혹은 혁신적인 자동차기술의 급속한 발전은 곧 새로운 연료 기반산업의 구축을 필요로 하게 될 것이다. 수소가 연료전지 차량의 연료로 직접 사용될 수 있을 뿐 아니라 메탄올과 같은 대체 연료의 형태로 탄화수소 연료들이 수소의 운반체로 사용될 수 있다. 이런 중대하고 혁신적인 기술의 변화는 전체 활동의 전과정에서 환경적 유해요인의 위험성에 대한 상당한 이해를 필요로 하게 될 것이다. 이러한 위험성에 대한 이해는 1차적으로 발생하는 문제뿐만 아니라 2차적으로 차후에 발생할 수 있는 문제들을 방지하고 정책수립을 위한 최선의 사회적 전략을 선택하며 정부

혹은 기관들의 보조금의 할당과 기업의 R&D프로그램의 운영에 도움을 줄 수 있을 것이다.

전과정평가 기법은 의사결정자가 하나의 제품이나 서비스를 도입하는데 대한 전체 시스템을 완전히 이해하도록 지원하는 중요한 경영도구으로써의 잠재성을 지니고 있다. 그렇지만 새로운 제품이나 서비스의 도입 상황에서 공통적인 특징은 '청정 기술'은 항상 미래에 지속적으로 발생할 것이며, 또한 기존의 평가방법을 적용시키기 어려운 새로운 제품이나 서비스의 형태가 나타날 수 있기 때문에 분석상에 어떤 주관적 성향을 내재하고 있을 수 있으며 전과정평가 방법에서 상당히 정량적이고 객관적이라 여겨지는 목록분석에 까지도 주관성이 개입되게 된다

미래의 기술, 제품, 자원에 대한 전과정평가는 항상 요구되는 투입요소에 대하여 가정이 필요하며 이 가정에 주관적 성향이 영향을 줄 수 있다는 동일한 문제점에 직면하게 된다. 그렇지만 매우 정량적 측정과정이 이루어질 수 있는 현재의 제품이나 서비스의 목록분석 단계에서조차도 그 평가단계에서 생물다양성 감소나 재생산이 불가능한 자원의 고갈과 같은 다양한 환경적 영향을 설정하는데 주관적 결정이 필요하다.

(2) 평가의 일반과정

미래에 대한 투입요소의 가정을 설정하기 위한 가장 좋은 방법은 이 설정과정을 두개의 문제로 처음부터 분할하는 것이 확실히 필요하다.

- ① 현재의 불확실성과 평가과정의 수치정보를 이해하고 확인
- ② 미래의 불확실성에 대한 수치정보를 측정한다.

폭 넓고 심도 깊은 문헌적 조사는 현재의 평가과정에 대한 특징을 근본적으로 분석하여 이루어질 수 있다. 궁극적으로 출간된 문헌에서 데이터를 활용하기 위해서는 산업에 대한 조사가 선행되어야 하며 기업의 데이터 공개 의지, 자원, 필요성에 따라 달라진다.

평가방법론에 대한 이해와 기존 데이터의 분석을 통하여 조사연구가 매우 중요성을 가지게 된다. EPA의 대기배출측정(EIIP 1996) 기구에서 진행한 불확실성에 관한 연구에 따르면 기존 문헌에는 데이터의 불확실성에 대한 정보가 부족하기 때문에 전문가의 분석으로 이 평가방법론과 기존 데이터를 보충하는 것이 바람직하다고 밝히고 있다. 이 EPA의 보고서는 전문가의 판단을 기존 데이터의 불확실성을 정량화 하는 우선적인 방법으로 사용하도록 추천하고 있다.

다른 한편으로 미래에 대하여 기존 정보로 추정하기 위한 기술적 예측에 관한 문헌은 다음의 기법들을 채택하고 다양한 방법으로 분류하였다(Sullivan and Claycombe 1977, Armstrong 1985, Porter and Rossini 1987, Porter et al. 1991 and Al-Alawi and Islam

1996). Porter와 Rossini (1987)는 흥미로운 5가지 예측을 위한 주요 기법들의 요약을 제시하였다.

- A. Monitoring: 미래의 예측을 위해 개략적으로 정보를 모으고 정리한다. (정밀 예측과정 이 아니라 단순예측기법)
- B. Expert opinion: 데이터가 부족하고 상황을 모델링하기가 어렵거나 불가능할 경우에 사용, 타인보다 핵심적인 정보를 더 많이 알고 있는 전문가 혹은 개인들의 아이디어를 기초로 한다.
- C. Trend analysis: 시간의 경과에 따른 상당한 분량의 양질의 데이터가 있을 때 통계적 기법을 적용한다. 과거의 경향은 미래에도 반복될 것이라 가정한다.
- D. Judgment-based models: 수용할 수 있는 한계에 대한 이론적 체계가 가능할 때 복잡한 시스템을 처리할 수 있도록 복잡성을 제거한다.
- E. Scenario construction: 다양한 자원과 기법들을 이용하여 예측에 따라 일관적인 상황으로 현실성 있는 미래를 구성, 현실성이 없으면 환상에 지나지 않는다.

(3) 전문가 네트워크

전문가 네트워크를 구성하여 국제 혹은 국내 전문가 위원회의 동의를 얻어 선출된 발생 결과에 관심을 가지고 있는 전문가들과 지속적인 협력으로 프로젝트에 대한 전문가들의 합의를 이끌어내게 된다. 전문가 네트워크에 대한 개념은 프로젝트 초기에 구상하여 실행하는 것이 유익하다. <그림 6>은 연료전지차량 개발 프로젝트에 채택된 전문가 네트워크에 대한 구성이다.

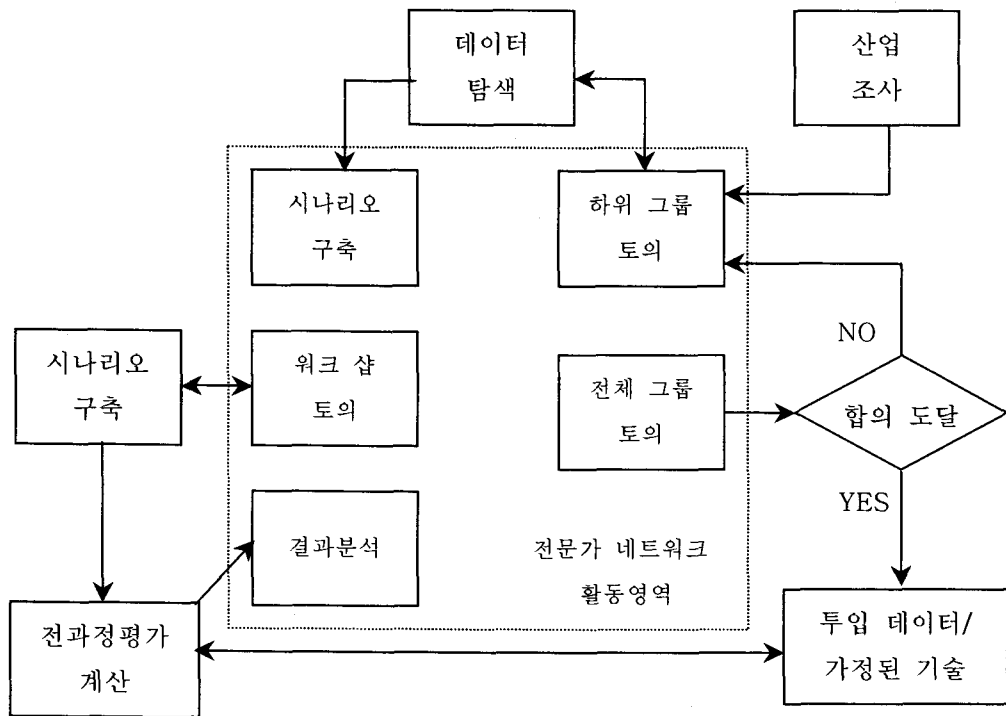
전문가 네트워크 구성을 위한 첫 단계로 연구에 흥미를 가지고 있는 후원 조직의 전문가들을 참여 시키는데 화석연료와 석유정제산업을 대체할 에너지원인 수소의 사용을 연구하기 때문에 에너지기업 혹은 정유기업 등의 지원으로 처음 2년간은 25-30명의 전문가들이 관여(수소, 메탄올, 탄화수소 연료와 장비)하고 검토 단계에서는 비영리단체들인 학교, 정부기관, 국립연구소, NGO등이 참여하여 평가하게 된다.

(4) 결 과

전과정평가는 모든 요인들을 전부 고려할 수 없기 때문에 다소간의 주관적 판단과 불확성을 내포할 수 있으며 특히, 미래의 기술, 제품, 서비스에 대한 영향분석 뿐만 아니라 목록 분석에도 주관적 판단이 내포되어 있을 수 있다. 새로운 기술이나 제품의 평가에는 데이터가 부족하기 때문에 관심을 가지고 있는 기업, 정부, 민간단체, 학교 등의 참여를 높여

불확실성과 데이터 부족에 대한 가정을 얻기 위해 확률분포를 얻어내는 것이 필요하다. 분석결과가 나오는 최종단계에 대한 비판보다 모든 단계에 관심을 가지고 있는 분야들의 참여를 높여 기술적 신뢰도를 높인다. 분석단계와 분석결과에 대한 합의를 도출하기 위해 EPA와 같은 정부기관 혹은 데이터 수집기관이 데이터의 불확실성에 대한 더 정확한 정보를 제공할 수 있도록 자극을 주어야 한다. 전문가 네트워크를 통한 그룹의 결정은 단일 조직이나 개인들에 의해 얻어진 결정보다 더 많은 정보를 제공하기 때문에 미래기술을 평가하기에는 더 뛰어나다. 전문가 네트워크를 이용한 전과정평가 기법의 주요 단점은 단일 연구자나 기관이 문헌에서 얻은 단지 몇 포인트의 데이터를 이용하는 것 보다 조사 수행에 필요한 자료와 시간에 대해 상당히 높은 비용이 소요된다.

〈그림 6〉 미래 기술에 대한 환경 평가를 위한 네트워크 구성도



자료 : J. Fernando Contadini, Robert M. Moore and Patricia L. Mokhtarian(2002) "Life Cycle Assessment of Fuel Cell Vehicles A Methodology Example of Input Data Treatment for Future Technologies" Int J LCA 7 (2), p76. (2002)

V. 결 론

환경에 대한 국제적 관심과 제도들이 21세기를 들어서며 더욱 확고히 되고 있다. 경제적 개발과 대치되는 개념의 환경보호문제는 아직까지 국제적 합의가 완전 도출된 것이 아니기 때문에 실천에 있어 여전히 문제를 남겨두고 있다. 유럽과 일본의 정부기관들과 기업들은 환경에 대한 보호규제를 현실화 하고 있으며 이 현실화 과정을 정량적으로 해결하는 방법으로 전과정평가를 선택하고 있다. 전과정평가 기법은 이제 제품생산이나 차기 제품개발에서 가장 선행적이며 확실한 환경적 선택도구가 될 것이다. 이미 전과정평가를 이용하여 환경과 개발의 대립을 합리적인 접근법으로 상충하려는 시도는 많이 이루어지고 있지만 그 시도를 받아들이는 사회적 합의는 아직 잘 이루어지지 않고 있다. 그렇지만 세분화된 내용에서의 합의는 이루어지지 않고 있지만 궁극적인 합의는 이미 오래 전부터 국제적으로 이루어지고 있다. 또한 제품생산에 대한 환경적 규제는 이미 상당부분 파괴된 지구환경을 구하기는 미미하다고 볼 수 있다. 그래서 이를 강력히 규제화 하여 국가간 무역장벽과 새로운 제도들이 속속 선보이고 있다.

사례연구에서 보듯이 전과정평가를 이용하여 미래기술발달에 대한 선행적 환경평가와 이를 통하여 제품개발에도 이용하는 방안이 널리 적용되고 있다. 또한 소비자들이 기업들의 이러한 노력을 가격 경쟁력이나 기술 경쟁력보다 우선적으로 평가할 시기도 곧 돌아올지 모른다. 그렇지만 전과정평가는 중소기업이나 소기업들이 진행하기에는 비용이 많이 들고 국가적 지원 없이는 진행하기가 어려우며 또한 기업의 기밀이 담겨있기 때문에 공개를 꺼려하는 것도 사실이다. 국가적 지원과 소비자 인식의 변화가 이루어지면 모든 기업의 생산활동이 전과정평가를 바탕으로 이루어질 것이기 때문에 전과정평가의 기법과 그 결과를 활용하는 경영적 실천 즉, 환경경영이 필요하며 앞으로 더 큰 발전이 이루어질 것이다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

- 산업자원부&한국생산기술연구원 (2003), 「중소기업을 위한 환경경영개요-ISO14000 중심」.
산업자원부 (2002), 「환경경영 실천 및 확산방안」, 연구보고서.
산업자원부 (2004), 「산업자원백서」.
삼성지구환경연구소 (1995), 「녹색경영보고서」.
오수길, 진상현, 남원석 (2002), 「지구환경보고서」, 도서출판 도요새.
정헌배 (1995), 「기업경영 446-환경경영인가?: 기업의 환경경영전략」, 한국생산성본부.
환경부 (2002), 「환경백서」.
환경정책연구회 (2002), 「바이탈 사인」, 도서출판 도요새.

<국외 문헌>

- Al-Alawi S M, Islam S M (1996) "Principles of Electricity Demand Forecasting. Part 1: Methodologies," *Power Engineering Journal*, June, pp.139-143.
Armstrong JS (1985), *Long Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer*. 2nd ed., Wiley-Interscience Publication, New York.
Finnveden, G. and L.G. Lindfors, (1991) "LCA in Different applications-demands and expectations," *Proceedings from Product Life Cycle Assessment-Principles and Methodologies*, Copenhagen, Denmark: Nordic Council of ministers, pp.105-131.
Harvard Business Review on Business and the Environment (2000), HBS Press.
Henrik Wenzel, Michael Hauschild and Leo Alting (1997), *Environmental Assessment of Products* Volume 1, Kluwer Academic Publishers.
J. Fernando Contadini, Robert M. Moore and Patricia L. Mokhtarian (2002) "Life Cycle Assessment of Fuel Cell Vehicles A Methodology Example of Input Data Treatment for Future Technologies," *Int. J. LCA*, 7 (2), pp.73-84.
Karin Edvardsson (2004) "Using Goals in Environmental Management: The Swedish System of Environmental Objectives," *Environmental Management*, Vol. 34, No. 2, pp.170-180.
P.Frankl and F.Rubik, (2000) *Life Cycle Assessment in Industry and Business*.
Springe Porter AL, Rossini FA (1987), *Technological Forecasting*, in Singh, MG (ed)

- Encyclopedia of System and Control, Oxford: Pergamon, pp.4823-4828.
- Porter AL, Roper AT, Mason TW, Rossini FA, Banks J (1991), *Forecasting and Management of Technology*, Wiley Series in Engineering & Technology Management, New York, USA: Wiley Interscience publication.
- Ryuji Matsuhashi, Yuki Kudoh, Yoshikuni Yoshida, Hisashi Ishitani, Michifumi Yoshioka and Kanji Yoshioka (2000) "Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model," *Int. J. LCA*, 5.
- Sullivan WG, Claycombe WW (1977), *Fundamentals of Forecasting*, Reston Publishing Company, Virginia, USA: Reston.
- Sullivan, M. S (1991), *Environmental Life-Cycle Framework : Industry Management of Product innovation and environmental impact*, Department of Chemical Engn, MIT.
- Thomas E. Graedel (1998), *Streamlined Life-Cycle Assessment*, Prentice Hall.
- Thomas E. Graedel and B.R. Allenby (2000), *Industrial Ecology*, Prentice Hall.

A Study on the Life–Cycle Assessment and the Case Study for the Environmental Management

Jae-Hwa Lim, Seok-Jun Lee

Abstract

recently, world is progressing large quantity consumption with continuous Innovation and economic growth and pollution is accelerated at these process. Increase of industry activity and service that is point of corporation activity is discharging environmental pollutants at whole process to manufacture of end product and exhaust process from acquisition of raw material for accompanied product production hereupon. At the same time, being promoting resources consumption by that use much raw material, As a result, is becoming obstacle factors in sustainable development. So, corporation's responsibility for environmental protection is emphasized. Corporation which must prepare in green round or environmental problems should consider environmental effects that is happened over whole life of products that include waste treatment after raw material acquisition and use as well as selling end product simply. A Life Cycle Assessment techniques is normalized and standardized in International Standard Organization for technical committee 207(TC 207) world widely, and effort to apply in corporation's activity because mastering LCA techniques in domestic several corporations is undergone actively. Coming into effect of Kyoto's Protocol and International Organization for Standard 14000 series revision are presenting new survival principle in competition between country or corporation. LCA technique may become very useful means to corporation which wish to attempt environment management in real condition that awareness for environment is important. Also, An LCA to each product is going to cause big effects in corporation's whole image as well as competitive power raising for single product. Therefore, this research wishes to examine some instances for the future competitive product development at the estimation of environmental friendliness using LCA techniques and more theoretical considerations of the LCA techniques that can dominate corporation's fate.

〈Key Words〉 environmental management, ISO 14000, LCA