인조진주안료 제품생산에 대한 부분적 LCA적용

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

김 형 찬

인조진주안료 제품생산에
대한 부분적 LCA적용

지도 정 용 교수

이 논문을 보건학석사 학위논문으로 제출함

2000년 6월 일

연세대학교 보건대학원
환경관리학과
김 형 찬

김형찬의 보건학 석사학위논문을 인준함

심사 위원 _____ 인

심사 위원 _____ 인

심사 위원 _____ 인

연세대학교 보건대학원

2000년 6월 일

감사의 글

대학원 입학 후 연구소에서의 1년 반 동안 그리고 연구소를 떠난 후에도 항상 한결같이 대해주신 정 용 선생님께 먼저 감사드립니다. 그리고 논문에 대해 큰 진전이 없을 때 큰 도움이 되어주신 정 재춘 선생님께 감사드리며, 한 단어, 한 문장까지 세심하고 차분하게 검토해주신 이 무춘 선생님께 너무나 감사드립니다. 다시 한번 세분의 지도 선생님들께 감사드립니다.

그리고 너무나 바쁜 가운데서도 성심을 다해서 도와주신 박 광호선생님, 김 준범선생님 그리고 김 중기 선생님께 진심으로 감사하다는 말 전합니다.

연구소시절 같이 동고동락했던, 지금은 미국에 계시지만 학문적인 것과 동시에 여러 가지 면에서 많은 가르침을 주신 김 용범 선생님 그리고 지금까지 형이지만 언제나 친구처럼 편안하게 대해준 찬용이 형, 지금 벤처기업에서 대박을 기다리는 용식이 형, 결혼소식을 꼭 듣고 싶은 찬혁이 형과 연주 그리고 미국에 있는 미즈 박이 생각납니다. 그리고 신 동천 선생님, 이 종태 선생님 이하 연구소에서 같이 지냈던 모든 분들이 그립습니다.

대학원 입학부터 졸업까지 하나하나 열거하기 어려울 정도로 개인적으로 많은 일들이 있었습니다. 투병중이신 아버지, 병 수발 드시느라 힘드신 어머니께 진심으로 사랑한다는 말 전해드립니다. 그리고 언제나 동생에게 신경써주는 윤정, 윤신이 누나도 사랑합니다.

부족한 남편을 언제나 잘 보필해주는 아내 남행이에게 고맙고 사랑한다고 전하며, 부모님의 사랑을 알게 해준 사랑하는 딸 규아에게도 고마운 마음이 듭니다. 마지막으로 나의 모든 것을 맡긴 하나님께 감사드립니다.

김 형 찬 사룀

목 차

표 목 차

그 림 차 례

국문요약

점차적으로 환경문제에 관한 관심이 기업은 물론 일반인들에게 까지도 고조되면서 환경경영시스템, 폐기물 감소 방안 등과 아울러 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)와 같은 과학적이고 체계적인 환경분석 기법들이 다수 발달되어 왔다.

최근에 환경문제 해결을 위한 접근방법과 환경정책도 크게 변화를 보이고 있는데, 과거 오염문제가 발생했을 때 사후 처리하는 형태로는 한계를 느껴 사전적인 접근방법을 사용하여 원료의 채취, 제품의 생산, 제품의 소비·폐기과정에서 제품의 생산과 폐기의 전 과정에 대해 자원과 환경을 고려하여 환경부하를 줄이려는 노력으로 발전되어 오고 있다.

LCA는 제품 또는 여러 제반 활동들이 환경에 미치는 영향을 "요람에서 무덤까지"라는 접근방법에 따라 체계적으로 평가하는 방법이다. LCA는 제품 및 서비스 등이 환경에 미치는 영향을 구체화하고 정량화하여 평가하는데 도움을 주는 체계적인 틀을 제공한다. LCA는 또한 기존에 존재하는 제품이나 서비스를 서로 비교하는 분석법이므로 기존 제품의 개선이나 새로운 디자인의 제품이나 서비스를 창출할 수 있는 가능성을 제시한다. 어떤 경우에는 전과정 중에서 환경적으로 가장 중요한 단계를 결정해야 할 때도 있다. 그로 인하여 가장 효과적인 환경개선 단계에 관심을 기울일 수 있게 될 것이다.

LCA는 대상품목에 따라, 각 나라의 여건에 따라 많은 차이가 존재하고, 아직도 표준화가 진행되고 있어 '객관적'으로 확립된 기법이 아니기도 하다. 하지만 국내외적으로 계속해서 그 연구성과가 축적되고 있으므로 앞으로 주요한 방법으로 떠오를 것이라 예상된다.

본 논문에서는 화학물질인 인조진주안료를 대상으로 LCA방법을 통하여

제품이 만들어져 소비된후 폐기될때까지 어떤 과정에서 환경오염에 많은 영향을 주는가를 정량적으로 나타나려 했다. 그러나 제품 원료의 획득부터 제품이 최종소비자로부터 쓰여진 후 폐기되는 과정까지의 축적된 데이터의 부족과 제품의 운송 및 소비 후 폐기까지의 추적이 불가능하였다. 그리하여 제품이 제조되는 생산공정과 공장에서 1차로 보내지는 곳의 운송부분까지를 포함하여 환경부하량을 산출하였다.

본 연구에 사용된 데이터들은 1998년, 1999년 인조진주안료를 제조하는 E사의 2년간의 실측데이터들이며, 제품생산시 사용되는 원·부자재양, 전력사용량, 버려지는 폐수들의 양, 용수량, 배출되는 폐수들의 측정값, 제품의 수송단계에서의 에너지소비량이다. 이 모든 데이터들을 모두 같은 단위로 환산하기 위하여 기능단위(FU)인 1kg으로 모두 환산하여 TEAM(Tools for Envorionmental Analysis and Managements) 3.0프로그램을 이용하여 환경오염지수를 보였다.

본 연구에서 사용된 TEAM 3.0 프로그램은 현재 상용화되어 있는 LCA 소프트웨어 중 38개의 영향평가방법들을 포괄적으로 정리해 놓은 것이다. 그 중 본 연구에서는 Eco-indicator 95방법과 환경문제분류(Environmental Theme Classification, ET)방법을 이용하여 인조진주안료의 제조공정에서의 환경영향을 파악하였다.

Eco-indicator 95방법은 제품의 환경영향을 하나의 점수로 나타낼 수 있어 환경 친화적 설계(DfE; Design for Environment)활동을 실시할 때 쉽고 유용하게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 영향범주 구분이 다소 모호하며 범주간 가중치가 우리나라 현실과는 다르다는 단점도 거론되고 있다.

ET방법은 어떠한 환경문제(본 연구에서는 요즘 가장 많이 구분되어지는 산성화, 생태오염, 인간독성 세가지 부분에 대하여 결과를 보였다)에 대하여 그 환경문제에 영향을 줄 수 있는 물질들을 구분하여 보여준다. 그러나 환경

영향을 범주별로 구분하여 각각의 범주에 대한 영향의 크기를 추산하는데 각 범주별 가중치를 부여하는 과정이 제외되어 있어 Eco-indicator 95와 같이 제품의 전체 환경영향을 하나의 점수로 표현하지는 못한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 두 가지 방법에 의한 영향평가를 수행하여 본 결과로 환경오염지수를 정량적으로 나타내었다.

Eco-indicator 95에 의한 대기측면에서의 환경오염지수(ELU)들은 Lead가 0.09729, Cadmium이 0.69894, Carbon Dioxide이 0.49954, Nickel이 1.21103, Sulphur Oxides가 1.54976 등으로 나왔으며, 수질측면에서는 Barium이 0.3545, Lead이 0.0638, Cadmium이 0.0017등으로 나왔다. 결과 중 주원료인 납의 오염수치가 예상보다 낮은 것은 프로그램상의 가중치에서 상대적으로 낮은 수치를 가지기 때문이다.

ET방법으로는 산성화, 생태독성, 인간독성의 세가지 측면에서 주된 오염물질들의 환경오염부하지수를 나타내었다. 산성화에 대한 결과치들은 Nitrogen Oxides이 0.2827, Sulphur Oxides이 1.5498로 높았고 생태독성에 대한 결과치는 Nickel이 1.2110, Cadmium이 0.6989, Chromium이 0.1267였고, 인간독성에 대한 결과치는 Nickel이 1.2110, Sulphur Oxides이 1.5498, Barium이 0.3545의 결과를 나타냈다.

이상에서 얻은 환경오염지수(ELU)들은 각각의 제품마다 공정마다 모두 다른 과정에서 LCA가 실시되고 있기 때문에 지수자체의 절대적인 의미는 없다. 또한 수치들간의 절대적인 비교도 의미가 없다. 만일 A물질의 ELU값이 0.03이고 B물질의 ELU값이 0.06이라고 해서 B물질의 환경오염에 미치는 영향의 정도가 2배다 라고도 할 수가 없다. 단지 LCA수행을 통해 보여진 오염물질들간의 환경오염정도의 비교가 가능하며, 또한 후에 LCA 수행과정중 다른 과정에서의 데이터들이 부가되었을 때 오염정도를 수치상으로 비교할 수가 있어서 객관적인 결과를 보여줄 수 있다.

Ⅰ. 서 론

1.1 연구의 배경

제품과 서비스의 환경성을 평가하는 평가기법은 환경경영 표준화분야의 궁극적인 목표로 인식되고 있다. 선진국에서는 이미 산업계에 적용하여 제품의 환경성을 평가하는데 활용하고 있으나 국내에서는 아직 초기 연구단계에 머물러 있다. 환경성을 제품 개발에 융화시키는 국제기준이 제정될 예정이기 때문에, 우리의 산업구조를 감안한 환경성 평가기법의 개발과 적용에 대한 실천적인 방안이 요구되고 있는 상황이다(한국품질환경인증협회, website).

사실 환경에 대한 평가기법은 환경관리 및 환경정책에 있어 매우 중요한 영역이면서 꾸준히 연구가 진행되고 있는 분야이다. 1992년 브라질 리우에서 열린 환경회의에서 천명한 '지속가능한 개발(ESSD: Environmentally Sound and Sustainable Development)'은 환경과 개발, 현세대와 미래세대를 조화시키고자 하는 의지를 담고 있는데, 이러한 개념을 실제화 시키기 위해서도 환경에 대한 평가기법들은 매우 중요하다고 할 수 있겠다. 그 동안 시행된 가장 대표적인 환경평가기법들은 개발시 환경에 주는 부하를 최대한 줄이기 위하여 시행되고 있는 환경영향평가, 경제적 관점에서 정책시행의 실효성을 따져보는 비용-편익 분석 등이 있다. 하지만 환경영향평가에 '개발의 면죄부'라는 별명이 붙어 있듯이 그 동안 시행된 환경영향평가들은 요식적인 행위이거나, 엄밀하게 적용되지 않은 평가였다(조혜진, 1998).

그러나, 이러한 비판이 환경평가기법들의 존재 여부를 위협하지는 않을 것 같다. 왜냐하면, 무슨 일이든 평가라는 것은 그 일의 시행여부를 결정짓는데 필수 불가결한 요소이기 때문이다. 좀 더 고민해야 할 부분은 환경평가

들을 좀 더 엄밀하고 정확히 적용해야 한다는 것과 논란이 되는 부분들은 계속 보완해야 한다는 것이다. 이러한 측면에서는 LCA(Life Cycle Assessment)도 예외는 아니다. LCA는 주로 상품의 환경친화성을 객관적으로 평가할수 있는 기준이 될 수 있다. 특히 ISO 14000시리즈 중 하나를 차지하면서 관심을 얻기 시작하여 근래에 활발히 연구가 진행되고 있는 평가기법이기도 하다(표 1-1 참고). 그러나, 대상품목에 따라, 각 나라의 여건에 따라 많은 차이가 존재하기 때문에 아직도 표준화가 진행되고 있어 '객관적'으로 확립된 기법이 아니라도 할 수 있다. 하지만 국·내외적으로 꾸준히 그 연구성과가 축적되고 있어 앞으로 주요한 기법으로 떠오를 것이라 예상된다.

<표 1-1> ISO 14000s 환경경영규칙 및 규격화년도

분 류	규 격	명 칭	규격화년도
SC1	14001	환경경영체제 : 세부치침	1996
	14004	환경경영체제 : 시스템, 원칙, 자원기법데 대한 지침	1996
SC2	14010	환경심사지침 : 환경경영체제의 심사	1996
	14011	환경심사지침 : 환경경영체제의 심사	1996
	14012	환경심사지침 : 환경심사 자격요건	1996
	14015	부지 및 조직체에 대한 환경평가	2001
SC3	14020	환경라벨화 선언 : 환경라벨링 기본원칙	1999
	14021	환경라벨화 선언 : 환경성 자기주장-용어 및 정의	1999
	14024	환경라벨화 선언 : Type 1 환경라벨링	1999
	14025	환경라벨화 선언 : Type 1 환경라벨링	1999
SC4	14031	환경성과평가	1999
SC5	**14040**	전과정평가 : 일반원칙 및 절차	1997
	14041	전과정 목록분석	1998
	14042	전과정 영향평가	1999
	14043	전과정 개선평가	1999
SC6	14050	용어 및 정의	1998

※ 1999년 12월 기준

1.2 연구의 목적

기업들은 생산제조원가를 얼마만큼 저감시키냐에 따라서 자사 이익에 많은 영향을 미치므로 최대한으로 생산원가를 저감하고 지정폐기물을 최소화, 재활용하여 친환경적인 기업이 되는 것이 중요하게 대두되고 있다. 친환경적으로 지속개발이 가능한 기업은 획일적으로 단순한 어느 한가지의 방법이나, 짧은 시간에 구축되지 않는다. 우리 인간의 모든 활동으로부터 발생하는 에너지 및 자원고갈과 모든 환경부하가 총체적으로 평가되고 그것을 최대한 억제시킬 수 있는 방향으로 개선시켜 나감으로 인해 우리의 사회, 기업 또는 우리 지구의 지속적인 개발이 가능해 진다고 볼 수 있다(대한상공회의소, 1995).

이러한 지속 가능한 그리고 친환경적 사회, 기업이 되기 위해서는 그 선행과제로서 총체적인 환경부하 평가가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 인조진주안료를 생산하는 과정을 중점으로 환경부하 평가기법 중 하나인 LCA를 적용하기 위하여 제품의 생산공정에서 투입되고 배출되는 가능한 한 모든 물질들을 정량화하여, 이들의 환경적 영향을 수치적으로 제시하고자 LCA프로그램중의 하나인 TEAM(Tools for Environmental Analysis and Managements) 3.0프로그램을 사용하여 환경오염부하지수를 얻은 후에 좀더 발전된 LCA를 수행할 때 기초데이터와 환경 친화적인 설계의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 결과는 추후 유사한 제품과의 환경성 비교 등에 사용될 수 있으며. 이 자료를 바탕으로 환경 친화적인 설계(DfE: Design for Environment)를 전개하여 제품의 환경성을 개선할 수도 있다.

1.3 연구방법론

본연구에서는 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정·소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 구체적으로 조사해 나가는 방법인 '개별적산법'을 기본바탕으로 하여 부분적 LCA(Streamlined LCA)를 실행하였다. 그 이유는 LCA를 수행하다보면 원료취득부터 폐기까지의 경로도 불분명하거니와 거기에 수반되는 데이터들의 신뢰성이 떨어진다. 그리고 LCA를 통하여 어떠한 결과를 얻고 싶어하는 하는 기관, 기업 등에 따라서 해석의 내용도 충분히 목적에 맞게 변화할 수 있는 것이다. 그리하여 부분적으로 LCA를 적용함으로써 목적에 따라서 좀 더 명확하고 자신들이 필요한 결과를 얻어낼 수 가 있다. 그리고 LCA를 수행함에 있어 기본이 되는 다음의 4단계에 따라서 연구를 추진하였다.

1단계 : 목적 및 범위의 설정(Goal Definition & Scope)
2단계 : 목록분석(Inventory Analysis)
3단계 : 영향평가(Impact Assessment)
4단계 : 결과해석(Interpretation)

본 연구는 위의 4단계를 거쳐서 인조진주안료생산공정 및 1차 운송과정중에 발생하는 환경오염물질들의 영향을 정량화하였다.

첫 번째 단계인 목적 및 범위의 설정단계에서는 이 연구의 목적을 명시하였으며, 또한 연구의 범위를 나타내었다. 두 번째 단계인 목록분석단계에서는 제품생산 및 운송을 위하여 필요한 각종 데이터들을 수집한 후 그 데이터들을 프로그램을 수행할수 있는 한 단위 즉 기본구성단위인 FU(Function Unit)로 모두 환산하여 데이터들을 정리하였다. 본 연구에서는 FU를 1kg으

로 정하였다. 그 이유는 1kg이 E사의 최소포장단위이며 또한 거의 모든 관련 자료들을 kg단위로 사용하기 때문이다. 목록분석단계에서 정리된 데이터들만 가지고서는 환경적인 영향을 알수가 없기 때문에 수치적으로 정량화하는 환경평가 단계에서는 목록분석단계에서 수집한 모든 데이터들을 이용하여 세번째단계인 영향평가를 LCA의 평가기법중 널리 쓰이고 비교적 좋은 장점을 많이 가지고 있는 TEAM 3.0 프로그램을 이용하여 환경오염지수(ELU)를 산출하였다. 그리고 마지막으로 네번째단계인 결과해석단계에서는 위의 단계들로부터 산출된 결과들에 대하여 해석을 하였다.

Ⅱ. LCA 연구동향

2.1 국내동향

우리 나라에서의 LCA의 시작은 1993년 경제정의실천연합 환경개발센터에서 유리병 재활용 활성화 방안에 관한 연구(한국 유리공업협동조합, 1993)를 수행하면서 이다. 그 후에 미국, 네덜란드, 스웨덴, 그리고 일본의 포장용기에 대한 전과정평가의 연구결과를 소개한 이후 점차적인 관심이 증가되고 있다.그러나 현재까지는 LCA를 잘 수행하는데 많은 어려움을 겪고 있으며 장기적인 계획 아래 실제적인 연구를 수행해야 하는 이슈가 대두되고 있다. 환경정책 분야에서도 LCA 수행기법의 개발과 국제적인 협력을 통하여 Database 구축과 객관성 및 신뢰성이 우선된다면 정책결정자들에게 공정하고 객관적인 의사결정수단으로 활용될 것으로 사료된다.

LCA는 기존의 환경정책이 갖는 한계를 다소 과학적이고 기술적인 방법으로 나타낼 수 있는 기법이라고 할 수 있지만, 현재까지 LCA에 대한 방법론을 비롯하여 사용되어지는 자료의 질과 신뢰성의 결핍, 인식의 부족 등으로 인해 LCA를 수행하는데 많은 어려움이 있는 실정이다.

통상산업부에서는 환경친화적인 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률의 시행을 계기로 환경정책에 있어서 제품의 전과정을 고려하는 LCA 개념과 방법론을 고려하고 있으며, 아울러 방법론의 개발 및 Database 구축에 많은 지원을 하고 있다. 환경부 또한 환경친화기업의 개념을 통하여 LCA 개념을 적극 권장하고 있으며, 최근 환경정책기본법에서는 ESSD의 개념을 법의 기본이념에 추가하여 환경친화적인 생산 및 소비체제로의 전환을 위한 근거를 규정하고 있다. 그러나 국내의 각 기관이나 기업들의 LCA에 대한 인식의 부

족과 방법론 및 Database의 미흡으로 인하여 아직까지 보편화가 이루어지지 않고 있다. 그러므로 장기적인 안목으로 LCA에 대한 정책적인 지원과 기술 개발, 홍보가 필요할 것이다.

2.2 외국의 동향

2.2.1 미국

미국의 전과정 평가의 특징은 법의 규제에 대한 대응을 위해 각종 포장재료의 비교사례가 많교, 이것이 전과정 평가에 관한 활발한 활동을 유도하고 있는 것이다. 미국 내에서 전과정 평가에 대한 연구의 주체는 환경청과 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)이며, 많은 기업체에서도 전과정 평가를 계획하고 있다. LCA는 제품이나 서비스의 전과정 환경부하를 가능한 한 정량적으로 또는 종합적으로 평가하는 기법으로서, 이러한 개념을 이용한 최초의 연구는 1969년에 코카콜라사의 의뢰로 미국 미드웨스트연구소(Midwest Research Institute : MRI)의 W. E. 프랭클린 등에 의해 수행된 음료용기를 대상으로 한 LCA였다. 코카콜라사는 자사 생산품중의 재이용을 위한 유리병(returnable bottle)을 대상으로 연구를 의뢰한 것으로 당시 쓰레기 문제가 그 직접적인 동기였다. 생산에서 폐기에 이르기까지 모든 과정을 대상으로, 특히 소비재를 대상으로 생산과 소비의 관계 및 환경영향을 다룬 연구는 이것이 처음으로, 프랭클린 등의 연구는 LCA 연구의 시초라고 말할 수 있다.

그 이후로, 1970년대 전반, 미국에서는 오일쇼크를 발단으로 에너지절약과 자원재활용에 대한 관심이 높아져 에너지절약이라는 관점에서 환경영향평가

가 실시되었다. 그 성과는 프랭클린연구소 및 미국환경보호청(U. S. EPA) 등에 의해 REPA(Resource and Environmental Profile Anaysis)로서 완성되었고, 나아가 재활용을 실행하였을 경우 에너지절약 효과, 대기오염물질의 감소효과 등의 분석에도 응용되었다.

위에서 소개된 사례에서도 알 수 있는 바와 같이 LCA와 관련된 연구사례는, 재활용에 의해 쓰레기도 감소되며 에너지도 절약되는가, 국부적인 에너지절약은 전체적인 에너지절약과도 일치하는 것인가 등의 인식으로부터 시작되는 것이고, 그러한 인식을 통해 필연적으로 제품의 제조공정에 대해 초점을 맞추는 것이다.

미국내에서 1980년대 후반에 다시 쓰레기 문제, 재활용 문제가 사회의 이슈가 되었는데 이 문제를 해결하기 위한 수단으로서 LCA가 부각되었으며, LCA에 관한 이론구축과 연구사례가 축적되어 음료용기 이외에도 플라스틱 업계와 세제업계 등에서 연구를 행하여 그 수준도 서서히 발전되었고, 마침내 1993년에 EPA(Environmental Pollution Association)에서 LCA지침을 발행하게 되었다.

2.2.2 유럽

유럽에서도 시기적으로 미국과 거의 같게 영국의 I. Boustead, 네덜란드의 G. Huppes에 의해 같은 연구가 시작되었다. 1980년대에 들어서 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 일회용 포장용기의 존재가 주목을 받아, 1984년 스위스 연방 내무성 환경국(BUWAL)이 쮜리히 공과대학 및 생활협동조합 미그로스(Migros)의 협력을 얻어 '포장재료의 에코발란스'를 발표하였다. 이로 인한 성과로 미그로스의 포장재료 선정을 위한 컴퓨터 소프트웨어 '에코베이스Ⅱ'에 이용되었고, 미그로스는 이 결과에 따라 초콜릿 포장을 알루미늄 포

장에서 종이로 바꾸었으며 폴리에틸렌 우유용기를 개발하기도 하였다.

그 후, 1985년에는 EU 위원회가 「액체식품용기에 관한 지령(EC Directive 85/ 339)」을 가결하여, 가맹국 기업은 용기에 관한 자원에너지 이용을 감시하는 것이 의무화되었기에 이를 계기로 LCA 연구가 활발히 진행되었다.

유럽에 있어 LCA 연구를 중점적으로 하는 곳은 여러 곳이 있으나, 역사가 길고 데이터베이스와 소프트웨어 등까지 개발한 조직으로서는 우선 네덜란드의 라이덴 대학 환경과학센터(CML)를 들 수 있다. CML에서는 1991년 '제품 라이프사이클 분석 지침'을 발표하였고, 그 이후로도 여러 번의 개정판을 발행하여 지속적으로 LCA에 대한 연구가 이루어지고 있다.

2.3 LCA의 향후 추세

국제표준화기구(ISO)에서는 부피성장위주의 경제활동을 지양하고 환경적으로 문제 발생을 저감하고 지속가능한 개발의 새로운 패러다임을 통해 ISO 지침을 정립하고 있다. 이 중 ISO 14040에서는 새로운 관리기법으로 부각되고 있는 LCA를 다룸으로써 기존의 사후처리 개념에서 벗어나 사전처리의 개념과 전체적인 환경영향을 고려하고 있다. 이에따라 환경관리정책에 있어서 LCA 방법론이 미흡하나 생산과정에서의 환경적 오염부하와 위험을 저감하고 자원의 보존, 기타 여러 사항을 고려한 장기적인 정책개발에 있어서 각 선진국에서 LCA를 통해 수행·연구하고 있다.

LCA의 표준화 작업은 그 자체로서 중요할 뿐만 아니라 환경경영체제(EMS)에서 인증, 환경라벨링(EL), 환경성과평가(EPE) 등 분과위원회의 활동과도 밀접한 관련을 맺고 있다. 종래에는 목록분석과 영향평가 단계가 전

과정평가에 있어 핵심적인 것으로 인식되었으나 최근 들어 전과정 해석의 중요성이 강조되고 있다. 경우에 따라서는 영향평가를 수행하지 않고 목록분석의 결과를 직접 해석함으로써 전과정평가를 수행할 수 있는 것이다.

TC 207이나 SC 5는 최대한 빠른 시일 내에 전과정평가에 대한 표준화를 완결시키려 하고 있으므로 그 동안 표준화 작업을 지연시킨 원인이 되었던 쟁점사항들 즉, 데이터의 질(Data Quality), 정밀 검토과정(Critical Review), 할당(Allocation), 재활용(Recycling), 영향지표(Impact Indicator) 등에 대해서는 기본개념이나 원리만을 표준화하고 그 구체적인 수행방법은 관련학회나 전문가들에 의해 개발되는 내용을 지속적으로 표준 개정시에 반영하겠다는 계획에 있다. 따라서, 세계의 각 LCA 관련학회 및 기관들은 이러한 세부사항들에 대한 구체적이고 객관적인 방법론을 지속적으로 연구하여 국제환경규격으로서의 LCA에 대한 표준화를 지속할 것으로 사료된다.

지금까지의 LCA연구는 하나의 제품에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있었으나 기업 또는 조직체를 Unit Process로 생각하면, 그 행동이나 활동에 의한 투입산출물을 계산하여 정량화 할 수 있다. 이러한 투입산출물에 대한 LCA 기법을 이용하면 어떤 시스템이나 도시와 같은 대상에 대한 분석이 가능하게 될 것이다. 현재의 ISO 규격은 단일의 공장 내에서의 환경관리(ISO 14000시리즈) 등으로 분산되어 있지만 이러한 것들을 통합할 수 있는 방법이 사회적으로 요구되는데, 이를 Social LCA라 칭할 수 있다. 1998년 4월에 개시된 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)의 Life Cycle Management 및 의사결정 작업반(Working Group)의 활동은 이러한 방향성을 나타내고 있다. 또한 단일 기업이나 조직체의 활동이 지역사회 및 사회전체에 미치는 영향을 평가하는 방법도 필요하게 될 것이다(박필주, 1999).

현재 수행되고 있는 LCA는 산업활동의 데이터에 기초하여 실시되므로

개발에 시간을 요하는 신기술의 평가로부터 폐기할 때까지의 시간이 필요한 내구성 제품의 평가에는 적합하지 않다는 것이 지적되고 있다. 여기에서 발전 등의 사회인프라 및 관련된 산업에 대한 장래기술변화의 시나리오 분석에 기초하여, 장기적인 제품 사용 및 기술개발을 평가하는 것을 'Dynamic LCA'라고 부른다. 산업전체에 확장되면 국내 전체의 자원사용량 및 배출물량의 장래추이를 분석할 수 있도록 발전시킬 수 있으며, 장기적인 CO_2 저감 시나리오 분석 등에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

ISO에서의 LCA는 제품단일의 환경영향을 평가하는 방법이지만, Social LCA는 사회활동으로 확장되는 것이고, Dynamic LCA는 장기적인 시나리오 분석으로 확장하는 개념이다. 또한 ISO에서 LCA를 수행하기 위해서는 개별 생산공정의 데이터에 기초를 두고 있지만, Social LCA 및 Dynamic LCA에서는 기업간, 산업간 데이터가 필요하게 될 것이다. 데이터로서 필요한 항목과 구조에 대하여 검토하고, 데이터베이스를 공용시스템화 한다면 더욱 효율적으로 LCA를 수행할 수 있을 것이다. 또한 공학적인 접근뿐만 아니라 사회학, 경제학 등의 관점에서 접근하는 것도 동반적으로 수행되어야 할 것이다.

Ⅲ. LCA의 이론적 방법론

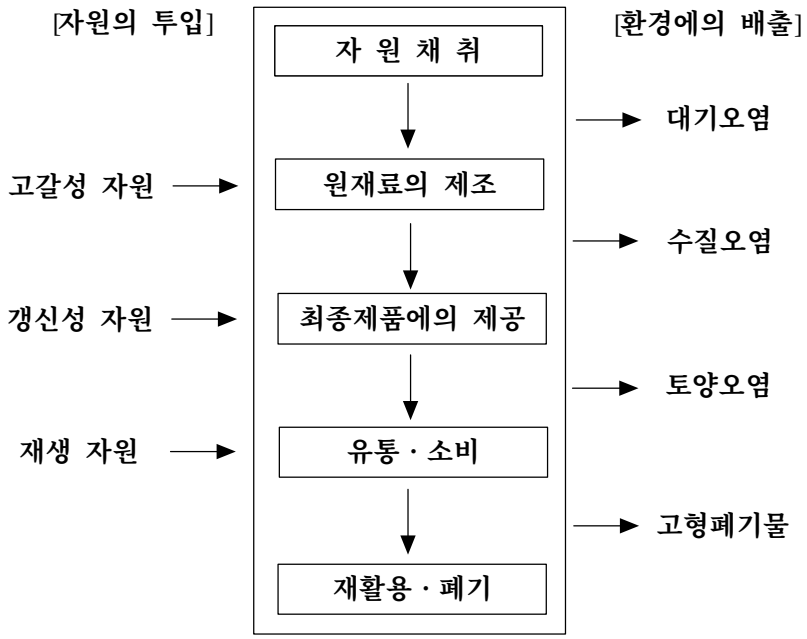
3.1 LCA의 개요

오늘날 전세계적으로 청정기업과 폐기물의 환경에 대한 영향에 대하여 관심이 집중되면서 특정 유해물질의 폐기나 처리의 용이성, 재활용 가능성 등 폐기단계의 환경영향에 중점을 둔 논의가 이루어지고 있다. 더욱이 오늘날 청정기업의 이미지가 부각되면서 기업들의 제품이 환경적으로 어떠한 영향을 주는 것은 직·간접적으로 기업의 유지를 결정할 정도가 될만큼 중요하게 되어가고 있다.

이러한 상황아래 기업들의 제품의 생산과정이나 유통과정을 통하여 환경적으로 주는 영향을 수치적으로 정량화할수 있는 LCA가 주목받게 되었다. 이는 결과치를 객관적으로 보여줄 수 있다는 장점이 있어서 제3자가 결과를 보고서 쉽게 판단할 수가 있기 때문에 LCA는 점점 발전되어오고 있다.

그러나 LCA수행을 통하여 얻어낼 수 있는 구체적인 환경부하 항목은 대기·수질·토양에 대한 배출물 및 고형폐기물에 거의 한정되고, 제품의 기능으로서의 효용이나 문화적인 가치 및 서비스 등은 포함되지 않는다. 각 환경부하 항목에 가중치를 두고 이들을 합산해서 종합적으로 평가하려는 시도는 연구자 이외의 제3자가 이해하기는 쉽지만 다소 주관적이어서 객관성이 결여되어 있다는 비판도 존재한다(서울시립대학교, 1997).

하지만 환경부하정도를 수치적으로 보여줄 수 있다는 장점과 제품생산을 위하여 모든 단계별로 환경에 주는 영향을 고려한다는 자체만으로도 크게 의의가 있다.



<그림 3-1> 제품에 대한 Life-Cycle 개념도

3.2 LCA 평가방법

LCA 적용기법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 「적산법」으로, 제품을 생산하는 각 공정의 단계에서 사용한 자원 · 에너지와 배출물을 상세하게 계산하여 집계하는 것이다. 이 방법은 제조단계에서의 환경부하를 구하는 것이며, 환경부하의 실체와 원인을 명확하게 하고, 대책의 검토와 효과를 평가할 수 있기 때문에, 유럽은 물론 일본에서도 널리 실시되고 있다. 또 한가지 방법은「산업연관법」으로 약 500항목에 걸친 산업연관표를 사용하여 부문간의 금액기준으로 특정제품에 관계되는 에너지와 부하를 산

정하는 것으로 거시적인 수준에서 분석할 수 있는 특징이 있다.

3.2.1 개별적산방식(Process Analysis)

개별적산방식은 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정·소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 구체적으로 조사해 나가는 방법이다. 이 방식은 주로 제품에 대한 LCA에 이용되며, 이를 위해 해외에서는 원단위 정보 등의 축적이 진행되고 있다.

이 방식은 SETAC과 미국환경보호청(U.S. EPA)에 의해 집중적으로 발전되었으며, 현재 ISO 14000s 환경관리기준에 포함시키기 위해 고려되고 있다. 가장 일반적인 LCA 방법론이라 할 수 있는 이 개별적산방식은 '평가', '분석', '개선'의 3 가지 부분으로 구성되어 있다.

개별적산방식은 각각의 제품이나 프로세스를 분석할 때, 분석범위가 어디까지인지를 결정하는 것이 중요하며, 각 단계는 평가와 분석, 그리고 개선의 3가지로 구분된다. 이들 각각에 대해 간략히 서술하면 다음과 같다.

'평가'부분은 라이프사이클(Life Cycle) 각 단계의 환경영향을 정량화하기 위한 목표를 가지고 있으며, 이 단계에서는 제품이나 프로세스의 각 라이프사이클 단계의 물질투입과 환경오염물질 배출은 명확한 프로세스 모델로 구분되어 있어 가능한 한 모든 환경부하를 파악하기 위해 노력한다. 그렇지만, 어느 제품이나 제품에 대한 프로세스는 전체 공급망이나 하위 이용을 통한 수십 또는 수 백개의 프로세스 모델을 갖출 수 있으므로 전체의 모든 프로세스에 대해 정량화하기에는 너무 많은 시간이 소요되고 비경제적이게 된다. 따라서 일반적으로 이 방식의 사용은 가장 중요하다고 생각되는 단지 몇 개의 프로세스나 물질에만 초점을 맞추어 평가하게 된다.

'분석'단계에서는 평가된 환경부하의 정도나 양상을 조사함으로서 "평가"의 결과로부터 결론을 도출해낸다.

'개선'단계에서는 제품이나 프로세스의 환경영향을 어떻게 낮출 수 있는가에 대한 개선사항을 유도해내기 위해 경계조건이 비슷한 다른 제품이나 공정에 대한 LCA 결과와 결론을 면밀히 조사하고 비교한다.

개별적산방식의 장점은 필요에 따라 상세한 부문구분이 가능하기 때문에 환경부하의 실체와 원인이 명확하고, 각 제품의 제조·유통·소비에 따른 환경부하대책의 정량적 검토와 평가가 가능하다는 것이다. 그러나 이 방식을 이용한 LCA의 수행은 다음과 같은 몇 가지 사항에 대해 비평되고 있다.

- 이 방식을 이용하여 LCA를 수행하기 위한 포괄적인 데이터가 부족
- 개별적산방식으로는 검토할 수 있는 프로세스에 한계가 있으며 프로세스 모두를 망라할 수 없음
- 사회의 복잡한 산업구조로부터 생산되고 있는 각종 소재와 부품의 원단위 계산이 어렵고 복잡함
- 이 방식을 이용하면 LCA를 위한 경계조건의 설정문제는 다소 논쟁을 야기할 수 있으며, 인위적이다. 경계조건을 다르게 설정할 경우 다른 결과가 나타날 수도 있음
- 검토범위를 어디까지 추가설정 하여야만 신뢰성 있는 LCA 결과를 얻을 수 있는지 불분명
- 이 방식의 LCA는 비경제적이며, 설계공정에 적용하기에는 시간이 너무 많이 소요됨
- 이 방식을 이용하고 있는 기존의 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 형식의 LCA는 일반적으로 간접적인 경제적인 경제적·환경적인 영향을 무시하고 있음

- 기존의 개별적산방식의 LCA 연구는 광범위한 환경부하에 대한 결과는 거의 통합하고 있지 않고 단지 몇 가지의 영향만 기술하고 있음
- 동등하게 신뢰할만한 분석은 다른 결과를 만들 수 있으므로, 어떠한 특정의 LCA 결과는 과학적으로 지지될 수 없음
- 새로운 제품이나 프로세스를 모델링하는 것은 어려우며, 비경제적임
- 이 방식의 LCA는 시장이나 기술의 동적인 변화를 파악할 수 없음
- 이 방식의 LCA 결과는 결과의 해석차이로 인해 환경라벨링(Eco-Labelling)에서 사용하기에는 부적합할 수 있음
- 기업과 정부기관, 연구기관의 각각 다른 입장에서 LCA 방법을 개발하고 있어 보다 신뢰성과 투명성이 있는 LCA 방법 개발이 필요함

3.2.2 산업연관법(Input-Output Analysis)

산업연관방식은 모든 경제부분에 있어서 통상 1년간에 이루어진 재화나 서비스의 산업상호간의 거래를 행렬로 나타낸 산업연관표를 이용하여 LCA의 목록분석표를 작성하는 것으로, 산업연관표상에 분류된 산업부문가운데 대상이 되는 산업부문의 생산품에 따라 에너지 소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이다. 구체적으로는 각 산업의 최종 수요액으로부터 역행렬표 등을 이용하여 궁극적으로 유발되는 생산액을 구하여 에너지소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이다(Duchin, 1985).

이 방식은 생산활동 등에 따라 직접적인 에너지소비량 및 환경부하량과 함께 간접적으로 소비되는 에너지 및 배출되는 환경부하량을 빠짐없이 추계할 수 있기 때문에 환경부하를 종합적으로 파악할 수 있고, 추계결과 또한 객관적이라는 점 때문에 개별적산방식의 결점을 보완할 수 있다. 또한 이 방

식은 매우 복잡한 제조공정에 대해 산업연관표를 이용하여 종합적인 분석을 수행할 수 있다는 등의 여러 장점을 갖고 있다. 이러한 산업연관표를 이용한 장점을 정리하여 나타내면 다음과 같다(Arpad, 1997; Elisa, 1996; 서상원, 2000).

- 분석결과에 객관성이 있음
- 분석범위의 확대가 가능
- 분석과 계산시간이 개별적산방식에 비해 상당히 짧음
- 분석과정의 노력이 상대적으로 절약됨
- 분석과정의 재현성이 높음
- 개별적산방식에 비해 보다 종합적인 분석을 수행할 수 있음

그러나 이 방식은 산업연관표 작성시 산업구조와 생산활동이 단순화·평균화되어 있기 때문에 각각의 제품과 기술분석에는 불충분한 점이 있으며 신기술과 재활용 등의 산업연관표에 나타나 있지 않은 항목은 분석할 수 없다는 단점도 있다.

이 방식에서 적용하는 역행렬에는 $[I-(I-M)A]^{-1}$형과 $(I-A)^{-1}$형이 있는데, 전자에서는 각종의 자원이 해외에서 채굴·정제되어 국내까지 수송되는 과정에서의 환경오염부하와 수입품이 해외에서 제조·수송되는 과정에서의 환경오염부하는 포함되지 않는다. 본래 환경오염부하의 발생억제를 검토할 때에는 국내에 더하여 해외를 포함한 지구전체를 대상으로 해야하지만 그에 따른 산업연관표가 각 나라마다 정비되어 있지 않은 것이 현실이다(일본통상성, 1998).

3.2.3 조합방식

조합방식은 개별적산방식과 산업연과표를 함께 이용한 방식인데, 개별적산방식으로 구분한 대상에 산업연관표 등으로부터 별도로 구한 에너지 원단위 등을 이용하는 방식이다. 특히, 건축물의 에너지·물질대사구조와 같은 다양한 제품이 조합되거나 시스템성이 있는 대상에 효과적으로 이용할 수 있다(박광호, 1999).

이 방식은 부문구분이 가능하며, 포괄적이라는 것이다. 그러나 앞서 기술한 개별적산방식과 마찬가지로 선정한 프로세스의 목록은 특정조건하의 값이기 때문에 객관성이 결여될 수 있으며, 설계자료와 견적서 등으로부터 소재를 추출하기 위해 정확성을 필요로 하므로 작업량이 방대해진다는 점을 들 수 있다(서상원, 2000).

3.3 LCA평가의 순서

LCA를 시행하기 위해서는 다음과 같이 4단계로 구분하여 절차적으로 추진된다.

1단계 : 목적 및 범위의 설정(Goal Definition & Scope)
2단계 : 목록분석(Inventory Analysis)
3단계 : 영향평가(Impact Assessment)
4단계 : 결과해석(Interpretation)

3.3.1 목적 및 범위의 설정(Goal Definition & Scope)

(1) 목적

연구를 수행하는데 있어, 그 목적 및 범위를 설정하는 것은 아주 중요하다. 제품간의 환경부하 크기를 단순히 비교하는 것인가, 제품 및 프로세스의 개량효과를 판정하는 것인가, 소비자에게 제품정보를 제공하는 것인가, 생활이나 생태계에의 환경부하를 밝히는 것인가, 나아가 경제성, 편리성, 안전성, 자원고갈의 문제까지도 포함하여 검토하는 것인가, 아니면 부하의 저감이나 영향의 최소화까지 의도하는 것인가에 따라 기법이나 수집하는 데이터의 수준 및 내용이 달라진다. 당연히 기업, 자치단체, 시민단체, 정부 행정기관 등 연구의 주체에 따라 목적은 달라진다.

(2) 대상의 설정

목적에 맞게 대상이 설정되는데, '제품'에 대한 것은 진행해나가는 것이 용이하나 '제품'이 아니라 간호나 교육과 같은 '서비스'를 대상으로 하는 경우 분석내용은 사물이 아닌 사람이 되기 때문에 복잡해진다. 실제로 제조, 유통 분야에서 종사하는 노동자의 일의 내용(노동환경)은 수치화 하기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 제품에 대한 부분적 LCA(Product-Streamlined LCA)라고 하는 분야에 한정해 설명한다. 제품이라고 하여도 종이팩, 플라스틱병, 알루미늄캔과 같은 단순소재의 것에서 자동차, 컴퓨터와 같이 소재가 복잡한 조합으로 이루어지는 것이 있으며, 대상이 복잡해질수록 분석도 복잡해진다. 대상에 대한 또 하나의 측면은 제품을 「에너지 소비형」과 「비에너지 소비형」으로 구분하는 방식이다. 에너지 소비형은 제품의 제조시에 필요한 에너지가 압도적으로 많은 형태로 자동차, 냉온방기 등이 해당되며 비에너지

소비형과는 명확한 차이가 있다.

(3) 범위의 설정

앞서 목적 및 대상의 설정에 이어 실행범위를 설정한다. 범위를 설정하는 것은 데이터들의 불확실성과 기타 여러 과정중에 발생할수 있는 불확실성을 최대한 배제하기 위하여서는 더욱 필요하다. 예를 들어, 폴리에틸렌 필름을 대상으로 한 경우, 원유채굴에서 유조선 수송, 원유증류·나프타 분해·중합이라는 제조단계로부터 필름가공, 식품도장, 도·소매점에서의 판매, 일반가정에서의 사용을 거쳐, 폐기, 자치단체에 의한 수거, 수각·매립에 이르는 일련의 흐름 중에서 '어디서부터 어디까지'를 연구의 대상으로 할 것인가를 결정해야만 한다. 우선 수평축으로 생각해 보면, 중동의 원유채굴을 출발점으로 할 것인가, 자국의 원유기지를 출발점으로 할 것인가를 결정해야만 한다. 또한 최종점도 리사이클을 포함한 최종처분까지 고려할 것인가, 일반가정에서의 구입까지 할 것인가 등을 결정해야 한다. 지구규모 또는 국제적 시야에서 생각하는 것이라면 해외의 인자를 포함해야 하고, 제조공정의 문제점과 파악이 목적이라면 제조단계에 한정해 검토해도 좋다. 이러한 것들 모두 당초에 설정한 목적·내용에 관계되어 있는 것은 말할 것도 없다.

예를 들어 원유의 채굴에 있어서는 정상상태에서의 에너지 소비량만을 계산대상으로 할 것인가, 채굴설비의 제조에 필요한 에너지까지 계산할 것인가, 또는 그 유전을 만들기까지의 에너지는 어떻게 할 것인가 등과 같이 '정도'를 설정할 필요가 있다.

이와 같이 생각하면, LCA가 목적에 맞게 범위도 변화하고 있는 것은 이해할 수 있다. 즉 '요람에서 무덤까지(Cradle to Grave)'의 개념과는 다른 '한정된 범위의 LCA', '부분적LCA(Streamlined LCA)'라는 이름으로 자리를 잡아가고 있으며, LCA적 사고(Life Cycle Thinking 또는 Life Cycle

Approach)에 입각하고 있으면, 해석의 내용도 충분히 목적에 맞게 변화할 수 있는 것이다. 그러므로 중요한 것은 목적, 대상, 범위를 명확하게 하는 것이다.

3.3.2 목록분석(Inventory Analysis)

(1) 연구팀(전문가 집단-expert panel)의 구성

연구의 목적·범위의 설정은 기획주체 또는 스폰서가 정하는 것이고, 전문가 집단은 실질적인 실행을 지도하는 자문그룹이다. 예를 들어, 유럽 PEMI(플라스틱 제조업체·업계단체의 환경기관)에서는 연구를 감독·지도함과 동시에 데이터의 질, 기법의 결정 등 후술하는 많은 문제점을 해결하기 위해 영국 오픈대학의 I. Boustead 교수를 중심으로 하여, 스위스, 독일, 스웨덴의 각 전문가로 구성된 패널을 조직했다. 미국의 플라스틱 제조업 단체(APC)에 있어서도 I. Boustead 교수를 중심으로 하는 여섯명의 패널이 출범되었다. APC가 I. Boustead 교수를 선택한 것은 교수의 경험·견식은 물론, 유럽과 기법의 통일을 도모한 것이며, 각국에서도 향후 복잡한 문제해결을 위해 이와 같은 국제적 수준의 패널구성이 필요하게 될 것이다.

(2) 데이터의 질

자원채취에서 폐기에 이르는 각 공정을 통하여 에너지, 물, 광물, 나무 등의 자원이 투입되고, 대기, 수질, 토양 등 환경에 여러 가지 물질이 배출된다. 이 물질은 환경에 직접적으로 영향을 주는 것과 간접적으로 그 원인이 되는 것으로 구분할 수 있고, 대기오염, 수질오염, 토양오염 등 이외에도 방사성 물질, 악취, 소음, 야생동물의 손상, 생태계의 영향, 경관파괴, 공간소비 등 다양한 것이 포함되며, 연구의 목적에 따라 데이터의 질이 확정된다.

<표 3-1> 환경부하 항목

환경부하를 발생시키는 행위
-건강피해를 일으키는 대기오염물질 배출
-건강피해를 일으키는 수질오염물질 배출
-오존층 파괴물질의 배출
-산성화 영향물질 배출
-온실효과 가스의 배출
-생활환경 피해를 일으키는 수질오염물질 배출
-토양오염물질 배출
-토지형질 변경
-악취물질 배출
-소음·진동발생
-지하수 채취
-야생생물 그 외의 자연물 손상
-자연경관 훼손
-폐기물 투기·최종처분
환경부하의 원인이 되는 행위
-폐기물 배출
-에너지 소비
-광물자원의 소비
-희소생물자원의 소비

LCA방법중 특히 「적산법」에 있어서 데이터 수집은 가장 중요하며, 이 단계에서 연구성과가 거의 결정된다. 미국에서 LCA에 대해 주도적 입장에 있는 환경독성화학회(SETAC)는 데이터가 구비해야 할 조건으로 다음의 항목을 들고 있다.

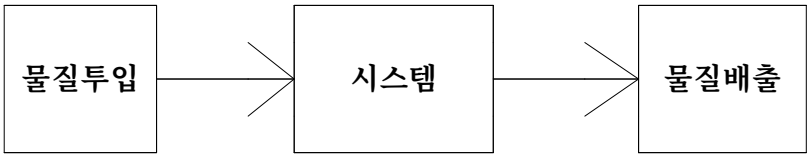
- 과학성 : 과학적 근거가 있는 분석
- 적절한 품질관리 : 최신 기기에 의한 측정, 불명확점의 준별(峻別)
- 적합성 : 연구목적 및 예상되는 효과에 맞는 수준
- 재현성 : 데이터 출처 및 기법에 대한 상세한 기술과 명확한 인용자료
- 포괄성 : 모든 자원, 에너지 및 환경부하를 포괄, 결여항목의 기록

다시말해 수집되는 데이터가 당초 설정한 연구의 목적 및 내용과 일치하는가, 현재의 상황을 표현하고 있는가, 과학성·객관성을 만족하고 있는가, 거기에 외부의 제 3자에 대해서도 설득력이 있는 것인가 등이 중요하지만, 연구자에 따라 특히 유의해야 할 것은 인용자료를 명확히 하여 불명확점이나 결여된 항목을 분별하여 기록·공개 등이 필요하다는 점이다. 이것을 데이터의 투명성이라고 하며, 제3자와의 토론을 가능케 함으로써 데이터베이스의 가치도 높아진다. 그러나 아무리 결론이 좋다 하더라도 그 기본이 되는 데이터의 과학성·투명성이 문제된다면 연구의 수준을 신뢰할 수 가 없다. 데이터에는 정량화하기 어려운 부분 또는 불확실성이 존재하는 것이 사실이고, 연구중이나 연구성과를 평가할 때 데이터의 질이 가장 중요하다. 라이덴 대학 그룹은 대상이 되는 공정·데이터를 명확히 하기 위해 다음의 10가지 항목을 유의하도록 정리하였다.

- 공정의 적용규모(전 세계, 국가, 지방 등)
- 공정의 적용시기(과거, 현재, 미래)
- 공정의 대표성
- 공정의 실재성
- 공정 정의의 명확성
- 공정의 현실성
- 데이터의 정확성
- 데이터의 완전성
- 데이터의 연대
- 데이터의 출처(1차, 2차, 독립 등)

(3) 데이터의 내용

영국 오픈 대학의 I. Boustead 교수는 <그림 3-2>와 같이 산업시스템(Industrial System)에 대한 개념을 도입하였다.



<그림 3-2> 시스템의 개념

위의 그림에서 시스템이라고 하는 것은 제품을 만들기 위한 몇 가지의 기능·조작의 집합체이고, 데이터의 수집이라는 것은 「상정한 시스템의 경계를 넘어 도입되는 에너지·자원 및 환경부하와 배출되는 그들 전체의 흐름을 수량적으로 기술한 것」이라고 정의하고 있다. 중요한 점은 이 시스템이 에너지 보존법칙이나 열역학법칙 등에 따르는 물리적 시스템으로 에너지 수지, 물질수지의 적용이 가능하다. 시스템은 기능·내용에 맞는 하부시스템(Sub-System) 또는 단위(Unit)로 구성되어, 각각의 단위에 대한 투입 및 산출이 측정·계산된다.

(4) 데이터의 수집방법

LCA실행을 위해 수집해야 할 항목이 결정되었다면 어떤 데이터가 필요한가, 누가 데이터베이스를 만들 것인가, 누가 관리하는가, 기밀 데이터의 취급은 어떻게 하는가 등의 문제에 대한 대응책을 검토한 후 작업을 개시한다. 목적 및 범위에 일치하는 데이터베이스를 용이하게 입수할 수 있는 방법은

다음과 같다. 그리고 <표 3-2>와 같이 모든 자료를 구분하고 정리한다.

- 공개·공식문헌의 활용 : 국가나 공적기관의 공식데이터, 업계단체에 의한 공개 데이터, 민간연구기관 데이터, 외국정부·연구기관의 데이터
- 자사 사업소의 조사 : 가장 신뢰도가 높은 데이터를 얻을 수 있다.
- 관련사업소에 대한 청문, 공장견학
- 관련기업·업계단체에 대한 청문
- 연구자·전문가의 자문

<표 3-2> LCA 자료목록

구 분		A	B	C	D	E	F	합 계
에너지 소비	전력(kWh) 중유(t) 경유(t) 증기(t)	( ) kcal	( ) kcal	( ) kcal	( ) kcal	( ) kcal	( ) kcal	( ) kcal
대기오염물질	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
	· · ·							
수질오염물질	COD(kg)	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg
	BOD(kg)	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg	( )kg
	· · ·							
자원소비	원유(t)	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t
	원목(t)	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t
	· · ·							
고형폐기물량(t)		( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t	( )t

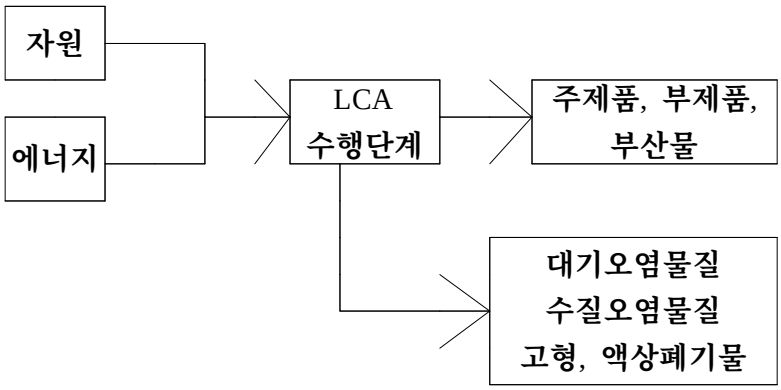
데이터베이스는 객관성을 높이기 위해 널리 인정되고 있는 자료를 활용하는 것이 현명한 방법이다. 각각의 데이터 출처에서 얻어진 데이터는 그 수준이 다르고 어떤 전제조건하의 편협적인 데이터에 지나지 않는다.

따라서 알루미늄, 폴리에틸렌과 같은 일반적인 재료와 일정 공정에 대해 논의가 되는 경우에서는 '평균치' 또는 '대표치'로서 데이터베이스화의 작업이 이루어지고, 그 목적을 위해서는 데이터의 수치만이 아니라 그 수치의 배경이나 전제조건을 가능한 한 상세하게 파악하여 명시할 필요가 있다.

제조공장의 경우 입지, 지역성, 제조기술, 생산능력, 평균가동율, 가동일수·시간, 대상플랜트공정과 주변설비의 관련, 흐름도, 동력플랜트·처리플랜트·공공시설 등을 중점적으로 조사한다. 유통에 관련해서도 차량의 크기, 차종, 연료의 종류, 운행거리, 빈도 등의 데이터가 필요하고, 이 데이터의 측정방법과 측정시기에 대한 기술도 중요하다. 그 후에 얻어진 데이터를 목적에 맞게 분류한다.

(5) 데이터 정리

초기 데이터의 집계·계산단계에서 필요한 것은 데이터 처리방식의 통일이다. 예를 들면, 부하의 「배분」에 대해서는 많은 논의가 이루어지고, 시스템 내의 공정에 있어 투입된 자원·에너지에 의해 생산되는 것이 단일제품이 아닌 주제품과 부제품, 폐기물인 경우, 사용한 자원·에너지, 배출은 일정한 규칙에 따라 배분된다. 간혹 경제적 가치를 기준으로 하기도 하지만 일반적으로는 중량비로 배분하며, 주·부제품에는 배분하고 폐기물에는 배분하지 않는다(그림 3-3 참조).



<그림 3-3> LCA에서의 배분 개념도

그러나 부제품이 스팀 등의 에너지일수도 있고, 철광 슬래그나 석유정제에 있어서의 유황 등과 같이 그 때의 정제상태에 따라 폐기물로 보기도 하고, 부산물로 보기도 하는 경우에 대해서는 논의가 엇갈린다.

이 밖에 부수 에너지의 자가사용 · 인접플랜트의 사용 · 외부로의 판매, 각각의 경우에 있어서의 배분규칙 등 연구가 진행됨에 따라 조정이 필요한 항목이 드러나고 있다.

이 모든것들을 통일된 방식하에서 하나씩 객관적, 합리적인 방식으로 처리해야만 한다. 이 작업을 통해 공정의 각 단계에서 에너지 · 환경부하 크기가 정량적으로 표현되어 향후 데이터 해석으로 유도된다.

3.3.3 영향평가(Impact Assessment)

현대의 지구환경문제는 장기적이면서 광범위하고 인류에 비가역적인 마이

너스 영향을 미치고 있다. 이러한 점에 있어서 선진국들과 개도국들 사이의 시간적인 상충성은 다소 있어도 환경보전이라는 본질적인 측면에서 보면 환경문제를 인류공통의 최대과제 가운데 하나로 보아도 타당하다.

지구온난화, 산성비, 오존층 파괴 등과 같은 대부분의 지구환경문제는 우리 사회 환경시스템과 밀접한 관련이 있으며, 현대 문명사회의 발전에 따른 불가피한 수반물이라고 할 수 있다. 따라서 이러한 지구환경문제의 해결을 위해서는 지금까지 인류가 추구해온 지구파괴적인 경제발전을 탈피하여 '지속가능한 발전'을 미시적인 관점에서의 청정기업경영으로 경제운영을 전환해 나갈 필요가 있다.

거시적 관점에서 본 '지속가능한 발전'을 미시적 관점에서의 기업경영으로 전환시킨 것이 '환경조화형 경영'인데, 이 환경조화형 경영을 실현해 나가기 위해서는 기업경영이나 기업에서 생산하는 제품이 환경과 조화를 이루도록 하는 것이 무엇보다 중요하기 때문에 제품 환경부하에 대한 객관적이고 과학적인 측정 또는 평가방법은 불가피하다.

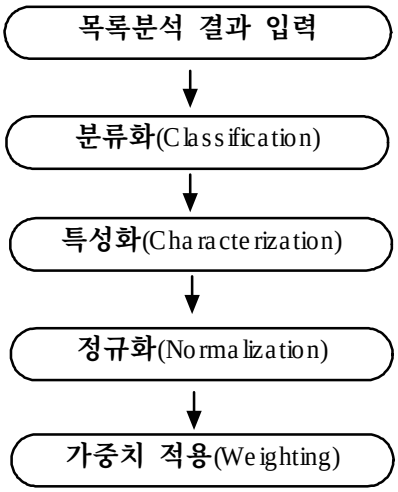
영향평가(Impact Assessment)는 LCA에서 제품이나 서비스, 대상 프로세스상의 전과정에서 환경부하를 가능한 한 과학적이고 객관적인 방법으로 산정하는 것으로서, LCA의 요소 가운데 가장 중요한 것이 현재 가장 많은 논의가 이루어지고 있는 부분이다.

(1) 영향평가 방법

영향평가는 전과정단계 중 목록분석단계에서 작성된 투입 및 산출 항목들을 생태계, 인간보건, 천연자원과 같은 영향범주에 미치는 영향에 연계시키는 과정이다. 일반적으로 환경영향평가는 다음과 같이 4가지의 부분으로 나누어 볼 수 있다(그림 3-4 참조).

- **분류화**(Classification)
- **특성화**(Characterization)
- **정규화**(Normalization)
- **가중치 적용**(Weighting)

LCA에서 환경영향평가 방법은 위의 4단계를 거치는 일련의 방법으로 목록분석 결과를 환경영향 항목에 연관시키거나 환경영향 항목으로서의 지표화가 가능한 것이면 기본적으로는 어떠한 방법을 사용하여도 상관없다. 중요한 것은 환경영향평가시 사용한 방법을 투명하고 명확히 해서 제3자가 동일한 순서를 통하여 같은 결과를 도출할 수 있어야 한다는 것이다.



<그림 3-4> 환경영향평가 실시 순서

LCA에서의 환경영향평가 단계 중 첫 단계인 분류에서는 자원소비와 배출물을 예상되는 환경영향의 종류에 기초한 환경범주로 할당하며, 특성화에

서는 배출물이 지정된 환경범주에 대해 미치는 역할을 상대적으로 평가하여 대상 환경범주 내에서의 역할을 수치화 한 값을 산출한다. 즉, 환경범주 내에서의 영향을 정량적인 수치로서 나타내는 것이다. 종합평가에서는 각각의 환경범주에서의 특성화 결과에 기초하여 시스템에 의한 여러 종류의 환경영향에 대한 중요성을 상대적으로 평가한다. 이 단계에서는 자연과학적인 것 이외에 정치적, 윤리적인 가치에 의한 평가도 동시에 이루어지게 된다.

이러한 평가 수행시 모든 환경영향범주를 고려할 경우, 이전 단계인 목록분석단계에서 요구되는 데이터가 너무 광범위해지기 때문에 정량적인 평가가 이루어지지 않을 우려가 있다. 따라서 환경영향범주에 대한 선택은 LCA의 초기단계인 목적 및 범위 설정단계에서 연구의 목표에 맞도록 환경영향범주를 선택할 필요가 있다.

① 분류화(Classification)

분류화단계에서는 목록분석 데이터와 환경영향 항목을 관련시키는 것으로서, 예상되는 환경영향의 형태를 토대로 하여 목록분석에서 도출된 항목을 해당 영향범주에 연결하고 영향범주 내의 모든 목록 항목들을 취합하는 과정이다. 이 때, 환경부하 항목(범주, 구분, 영역)으로는 지구규모의 기상변화(지구온난화), 인체(건강)의 영향, 산성비의 영향, 고갈성 자원소비, 호소의 부영양화, 생태계의 영향 및 오존층 파괴 영향 등을 들 수 있다.

각 평가단계를 통해 시스템에 도입된 에너지·환경부하의 데이터에 관한 상세한 기술을 환경문제로서 식별할 수 있는 형태로 해석하고, 각각의 수치가 갖는 의미나 상호관련성을 명확히 할 필요가 있다.

그러나 데이터의 측정 또는 산정은 가능하여도 환경영향과의 인과관계를 명확하게 하는 것은 쉽지 않다 라는 것이 1990년 버몬트에서 열린 제1회 LCA 회의에서의 결론이고, 이것은 현재까지도 바뀌지 않고 있다. CO_2, SO_x,

NO_x 등의 수치를 안다 하더라도 그것들이 얼마나 사람의 건강이나 생태계에 영향을 주는가를 연관짓는 것은 매우 어렵다. 더욱이 배출된 물질은 단독이 아니라 복합적으로 환경에 대해 복잡한 영향을 준다.

예를 들어, SO_x는 지구환경의 산성화나 독성과 관련되어 있는데, SO_x 그 자체보다는 물과 반응한 수소이온(H^+)의 형태로 작용하기 때문에 영향의 정도는 SO_x의 상태에 따라 현저히 좌우된다. NO_x도 산성화와 부영양화의 쌍방에 기여하고 있다. 메탄은 온난화에 영향을 주는 물질로 되어 있으며, 광화학 옥시던트의 생성에 관여하여 간접적으로 오존층 파괴에도 관련되어 있다. 목록분석을 위하여 수집한 측정물질은 거의 대부분이 1:1의 대응이 아니라 직·간접적, 또는 상호작용으로 또는 시간적인 차이를 가지면서 환경에 영향을 주고 있다고 생각된다. 연관성을 파악하는 것은 어렵고, 그 자체로서도 인과관계를 설명하는 데는 매우 불충분할 것이다. 그럼에도 불구하고 데이터 해석을 통해 배출물이 환경에 주는 영향을 연관지으려는 시도가 있다.

네덜란드 라이덴 대학의 그룹은 14가지 환경문제를 감소·오염·손해로 분류하고 「정량화 인자」를 설정하여 수치화 하고자 하였다(표 3-3 참조).

<표 3-3> 표준영향 정량화 모델에서 널리 인정되고 있는 환경문제

감 소	오 염	손 해
- 비생물자원의 감소 - 생물자원의 감소	- 사람에 대한 독성 - 온실효과 - 오존층 파괴 - 생태독성 - 광화학 옥시던트 생성 - 산성화 - 부영양화 - 폐열 - 악취 - 소음	- 생태계와 경관의 손상 - 오 염

예를 들어, 자원의 고갈은 원재료 사용량의 총합을 채취 가능한 총합에서 뺀 무차원수로 표현했다. 100년 이내에 매장량이 부족한 자원의 채취자원량을 <표 3-4>에 나타내었다.

<표 3-4> 비생물자원 고갈의 영향평가를 위하여 정량화 된 인자

물 질	채 취 자 원 량	단 위
원유	123,559	Mton
천연가스	109,326	$10^9 m^3$
우라늄(U)	1,676,820	ton
카드뮴(Cd)	0.535	Mton
구 리(Cu)	350.000	Mton
납 (Pb)	75.000	Mton
수 은(Ag)	0.005	Mton
니 켈(Ni)	54.000	Mton
주 석(Sn)	4,260.000	long Mton
아 연(Zn)	147.000	Mton

※ 주: 100년 이내 매장량이 부족하게 되는 비생물자원의 채취가능한 자원량

※ 자료: *World Resource Institute*(1990 1991)

생물자원 역시 코뿔소, 코끼리, 고래 등에 대한 고갈인자를 설정했다.

또 하나의 예로 오존층의 파괴에 대해서는 CFC-11(트리클로로메탄 CFC13)을 1로 한 오존층 파괴 포텐샬(ODP)을 설정했다(표 3-5 참조).

오존층 파괴에 대한 영향평가 계산은 다음식에 따라서 한다.

오존층 파괴(kg) = ODP × 대기중 배출(kg)

<표 3-5> **오존층파괴의 영향평가를 위한 정량화 팩터**

구 분 / 분자식	물 질	O D P	폭
	trichlorofluoromethane(CFC-11)	1.0	1.0 1.0
$CFCl_3$	dichlorodifluoroemthane(CFC-12)	1.0	0.88 1.06
$CFCl_2$	1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoroethane		
$C_2F_3Cl_3$	(CFC-113)	1.07	0.92 1.07
	1, 2-dichlorotetrafluoroethane(CFC-114)	0.8	0.57 0.82
$C_2F_4Cl_2$	chloropentafluoroethane(CFC-115)	0.5	0.29 0.5
C_2F_5Cl	chlorodifluoromethane(HCFC-22)	0.055	0.032 0.08
CHF_2Cl	1, 1-dichloro-2, 2, 2-trifluoroethane		
$CHCl_2CF_3$	(HCFC-123)	0.02	0.013 0.020
$CHFClCF_3$	1-chloro-1, 2, 2, 2-tetrafluoroethane	0.022	0.016 0.034
	(HCFC-124)	0.11	0.10 0.12
CH_3CFCl_2	1, 1-dichloro-1-fluoroethane(HCFC-141b)	0.065	0.035 0.07
CH_3CF_2Cl	1-chloro-1, 1-difluoroethane(HCFC-142b)	0.025	0.016 0.025
	HCFC-225ca	0.033	0.023 0.033
	HCFC-225cb	1.08	1.03 1.15
		0.12	0.11 0.13
CCl_4	tetrachloromethane(HC-10)	16	10.0 17.2
CH_3CCl_3	1, 1, 1-trichloroethane(HC-140a)	4	1.8 5.0
CF_3Br	bromotrifluoromethane(HALO-1301)	1.25	1.25 1.7
CF_2BrCl	bromochlorodifluoromethane(HALON-211)	7	5.9 10.2
	HALON-1202	1.4	1.4 1.4
$C_2F_4Br_2$	dibromotetrafluoroethane(HALON-2402)	0.25	0.25 0.4
	HALON-1201	0.14	0.14 0.3
	HALON-2401	0.6	0.44 0.7
	HALON-2311		
CH_3Br			

※주: CFC-11**을 기준으로 한 「오존층파괴 포텐샬**(ODP)」**폭을 포함한다**.

※자료: World Meterological Organization, 1991 : Scientific assessment of ozone depletion: 1991, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 25

따라서 오존층 파괴는 각각 관련된 물질이 대기중으로 배출되는 양에 ODP를 곱한 수의 형태로 계산할 수 있다. 마찬가지로 온난화 효과에 대해서도 CO_2를 1로 한 온난화 포텐샬(GWP)을 설정하고, 대기배출물질을 CO_2로 환산하여 표준화 할 수 있다. 그 외의 항목에 대해서도 마찬가지의 여러 가지 시도가 있으며, LCA 본래의 지구규모의 환경영향을 평가하는 데는 매우 큰 의미를 갖고 있다. 그렇지만 제품·공정의 비교 또는 단기간에 대한 논의를 위해서는 이제까지 계산이 필요하지 않은 경우도 있고, 목록분석의 단계에 그쳐 각 배출물질량의 상대비교로 논의하는 것이 많으며, 이런 경우를 LCA의 한 형태로서 전과정 목록분석(LCsI :Life Cycle Inventory)이라고 칭한다 .

(ⅰ) 전과정평가 조사표(Environmental Profile)

배출량을 그대로 제시하는 경우 LCI(Life Cycle Inventory)와 인과관계에 따라 예상되는 복수의 인자에 대해 표준화하여 집계하는 경우에 서술했지만 전자에서는 예를 들어, 전과정 중에서 SO_x 배출이 많은 것은 제조단계라든가, NO_x는 제조단계보다 육상운송단계에서 배출량이 많다든다 정보가 얻어져 차후의 개선분석으로 이어진다. 후자에서는 특히 환경영향과 그에 대응하는 표준화된 배출량의 목록을 작성하여 광범위한 논의를 전개하는 것으로 이 목록을 '전과정평가 조사표'라고 한다.

그러나 여기에서 빠뜨리기 쉬운 문제점은 숫자가 갖는 당연함이다. 정량성을 추구하기 위하여 과학적 데이터베이스에 기초하여 계산한다고는 하지만 본래의 전체 환경인자에 대해 적절하게 적용될 수 있는가, 표준화의 과정에서 채용한 가중치는 타당한 것인가 등의 의문은 해소되지 않는다. 가중치와 표준화는 계산결과에 재현성이 있고 현상에 있어서 가장 중요한 수단이지만, 자의적인 요소가 남아 있으며, 가중치를 제외한 라이덴 대학의 그룹조

차 '가중치를 누가 두고, 가중계수를 결정하는가는 방법론적 문제가 아니라 정책적 문제이다'라고 하고 있다.

그리하여 이 평가단계에서의 정량평가의 결점을 보완할 목적으로 숫자에 의한 가중치 대신에 전문가가 판단하는 정성평가(정성적 multi-criteria 분석)의 부가를 시도했다. 수치화 할 수 없어서 누락된 인자를 포함함으로써 보다 설득력 있는 평가가 가능하게 된 데 특징이 있다.

그러나, 이것은 상식적인 결론을 유도할 수 밖에 없기 때문에 충분한 주의가 필요하다. 또한 평가전후에 신뢰성 타당성을 점검하여 데이터에 포함되는 불확실성의 영향을 판단하거나, 데이터 처리단계에서 행한 '배분'규칙을 검정하여 결과의 타당성을 점검해 두어야만 한다.

(ii) 에코포인트, 에코팩터

데이터 수집(Inventory) 이후의 진행에 대해서는 많은 논의가 있지만, 동일목적으로 동일기능을 갖는 복수의 제품·공정을 비교하여 환경면에서의 인가, 제품정보, 환경라벨 등의 판단기준을 설정하는 것이 주목받고 있다.

예를 들어, 스위스에서는 어느 물질에 대한 스위스에서의 배출량과 배출기준을 기초로 한 팩터(에코포인트)를 정해 제품의 생산단계 등에서 실제로 배출한 양(m)에 이 팩터를 곱한 총 에코포인트(해당물질의 합계)를 계산한다. 에코포인트 값이 클수록 환경에 나쁜 영향을 미치는 것이 된다.

$$\text{총 에코포인트} = \sum \text{에코팩터}(i) \times m(i)$$

스위스와 유통업체인 'Migros'는 종이·금속·유리·플라스틱 등의 포장재료나 유통에 관한 에코포인트의 데이터베이스를 만들어 제품의 개발·개량에 이것을 사용함으로써 주목을 받았다.

이 방식은 '스위스의 배출기준'을 베이스로 하는데 특징이 있고, 정치적·사회적 판단이 이미 도입되어 있는 점에서 찬반양론이 있다. 즉 실제적으로 설득력이 있는 반면, 지역성이 지나쳐서 국제적 기준이 될 수 없는 점 때문에 논의의 대상이 되고 있다.

스웨덴에서는 환경영향을 환경부하치 ELU(Environmental Loading Unit)라는 수치로 표현하는 시도를 했다.

환경부하치 = 환경지수 × 양(또는 공정)

위의 식에 대한 예를 들어, 플라스틱(0.5kg) 용기를 새로 제조할 때 환경에 주는 영향은 다음과 같이 나타낼수 있다.

- 폴리프로필렌의 환경지수(0.95 ELU/ kg)×0.5 kg = 0.48 ELU
- 용기가공의 환경지수(0.05 ELU/ kg)×0.5 kg= 0.025 ELU
- 위 두 값의 합계인 0.51 ELU로 계산된다. 즉 0.51 ELU가 환경에 주는 영향인 것이다.

Volvo 자동차는 재료·공정의 개량을 도모함과 동시에 이것을 이용하여 자사제품의 환경부하를 고객에게 알리기도 했다. 스웨덴에서는 많은 소재, 가공공정에 대해 ELU의 데이터가 리스트업 되어 있고, ① 원재료, 토지, 에너지 사용량, ② 대기로의 배출, ③ 토지에의 배출, ④ 수중으로의 배출을 합계하는 것으로 누구라도 이것을 사용하여 환경에 대한 영향도를 계산할 수 있다(표 3-6).

<표 3-6> 환경지수의 영향도의 예

원 재 료	ELU/ kg	대기중으로의 배출	ELU/ kg
Co	12,300	CO_2	0.04
Cr	22.1	CO	0.04
Fe	0.38	NO_x	245
Mn	21	N_2O	0.6
Mo	4,200	SO_x	6.03
Ni	700	**수중으로의 배출**	ELU/ kg
Pb	262	BOD	0.0001
Pt	42,000,000	COD	0.00001
Rh	42,000,000	석 유	0.00001
Sn	4,200	DDT	10000
V	42	PCB	10000
석탄	0.168	다이옥신	100
석유	0.1		

그러나 환경지수의 산출방법(표 3-7 참조)은 생태학적인 여러 가지 요소를 포함하고 있기는 하지만, 객관성·투명성에 대해서는 문제가 있다.

<표 3-7> 환경지수의 계산요소

요 소	의 미
범 위	환경영향의 일반적인 범위
×	
분 포	영향을 받은 지역의 넓이
×	
빈도 또는 집중도	영향을 받은 지역의 환경문제의 빈도와 집중성
×	
지 속	영향의 지속성
×	
영향비율	전체적 영향에 대한 문제 물질 1kg의 배출이 갖는 의미
×	
회복 가능성	오염을 발생시키는 물질의 배출을 저감시키기 위해 필요한 상대비용
‖	
환경지수	

그 외 환경라벨링이라고 하는 것은 가전제품, 절연재료, 포장자재, 일용품 등을 대상으로 각국에서 여러 가지 예외가 있으며, 명칭도 다양하다. 최근, 특히 유럽에서 환경라벨에 대한 관심이 높기 때문에 일본의 제조업체가 수출이나 해외진출을 염두에 두고 유럽의 환경라벨링을 취득하는 경우가 두드러진다.

환경영향인자로서 자원·에너지·대기·물·고형폐기물을 선택하여 구체적 수치를 막대그래프로 표현하는 것이 특징이며, 상품에 이 그래프를 첨부할 계획에 있다. 당연히 소비자는 환경부하를 한 눈에 판단할 수 있으며, 앞으로도 시민 의식향상에 따라 이와 같은 기업차원의 시도가 활발해지겠지만, 환경인자 등의 조건이 다른 국내·국제적 표준화를 어떻게 이루어 나갈 것인가가 큰 과제이다(서울시립대, 1997).

② 특성화(Characterization)

분류화에서는 목록항목을 각각의 형태에 연결시켰으나, 아직 영향의 정도를 알 수 있는 것은 아니므로 영향의 정도를 파악하기 위하여 특성화 과정이 필요하다. 따라서 특성화는 어느 한 환경영향 항목에 할당된 목록분석 데이터 각각의 기여도를 산출하여 평가대상이 전과정에서 그 영향항목에 어느 정도의 기여도를 갖는가 평가하는 것이다.

③ 정규화(Normalization)

정규화는 목록항목이 영향범주 내에 미치는 영향의 크기를 정량화 하는 과정이다. 정규화를 수행하는 이유는 특성화 결과의 오류를 검토 가능하게 하며, 각각의 영향범주와 관계되는 영향크기의 해석을 용이하게 하며, 정규화 된 영향크기는 가치평가 단계에서 가중치의 시점으로 사용할 수 있기 때문이다. 한편 정규화의 문제점은 모든 영향범주가 다 같이 중요하다는 묵시

적인 가정을 한다는 것이다. 즉, 영향범주의 가중치가 '1'이라는 점이다. 또한 해당지역을 선정하는데 있어서 적지 않은 어려움이 따른다.

④ 가중치(Weighting)

LCA에서 영향평가의 마지막 단계는 가중치의 적용이다. 여기서의 가중치의 적용을 간단히 말하면 각 환경영향 항목마다 상대적인 가중계수를 설정하여 각 환경영향 항목의 특성화 결과에 그 가중계수를 적용하고 합하는 것이다. 즉, 이 가중치 적용작업에서 평가대상의 제품이 전과정에서 갖고 있는 환경적인 영향도를 평가하는 것이다.

ⅰ) 정성적 방법

정성적인 방법은 방법에 비해 보다 광범위한 관점으로 가중치를 구하는 방법으로서 다음과 같은 경우에 주로 이용된다.

- 해당시스템(Reference system)과 선택 대안(Alternative)을 비교할 경우
- 특정 전과정 단계의 특정 환경문제에 대하여 선택대안이 어떠한가를 평가할 경우

ⅱ) 정량적 방법

정량적인 방법은 '보다 좁은 관점(Narrow Perspective)으로서 그 결과는 단일 수치로 도출된다.

일반적으로 정량적인 방법으로 영향범주간의 가중치를 결정할 때 사용되는 것으로는 전문가 집단에 의한 방법, 비용환산에 의한 방법, Distance-to-Target에 의한 방법 등이 이용되고 있다.

3.3.4 결과해석(Interpretation)

윗 단계에서 실시한 LCA평가단계의 목록분석과 영향평가의 결과를 단독적으로 또는 종합적으로 평가·해석하는 단계이다. 결과의 해석은 LCA를 실시한 목적과 범위에 국한된 결론이 될 수 있고 환경개선을 위한 경우에 해당되는 조치는 이 결과해석을 기초로 하여 이루어진다.

Ⅳ. 인조진주안료제품의 생산과정 및 운송과정에서의 부분적 전과정 평가의 적용

4.1 인조진주안료제품의 생산 및 환경영향

(1) 공장

이 인조진주안료제품이 생산되어지는 곳은 I시 N공단내의 위치한 E사이다. 이공장이 위치한 N공단은 화학제품을 생산하는 다른 공장들이 많이 위치해 있고, 이 N공단은 기타 다른 공단들 보다 다소 늦은 시기에 형성된 곳이다.

E사의 총 부지는 1,700평이며, 총 부지중 이 제품을 생산하는 장소는 3층의 건물로 되어있으며 각 층의 평수는 1층이 108평 2, 3층이 60평이다.

E사의 총 직원수는 사무직, 생산직을 합하여 76명이며 이 제품생산을 위한 인원은 10명으로 구성되어있다.

제품생산은 1985년부터 가동되어서 다소 공장시설이 다소 노후 되었지만 제품공정의 특성상 기계적으로 연계된 자동화 시스템으로 되어있기 보다는 주로 각각의 시스템요소에 인력이 동원되므로 생산시설의 노후의 면에서는 그리 고려할 사항은 아니다.

E사는 외투기업으로서 많은 논쟁거리가 될 수 있는 환경문제 발생에 매우 많은 신경을 쓰고 있다. 자체 환경저감시설을 보유하고 있어서 생산시 배출되는 모든 폐수들은 일단 자체 정화시설을 통하여 처리된 후에 배출된다.

생산시 배출되는 폐수들을 처리하는 곳은 약 200평정도로 3층건물로 되어 있다. E사는 제품공정시 발생되는 폐수를 유기용제와 산화연 그리고 많은 메탄올폐수를 구분해서 처리하고 있지만, 제품에 사용되는 각종 유기물질

들의 처리는 자체적으로 수행하고 있지 않고 환경업체에 대행을 하고 있다. 그 이유는 자체처리하기 위하여 드는 비용보다 환경업체에 위탁하는 것이 비용적으로 더 낮기 때문이다.

이 제품에 대한 공장의 생산금액 및 생산량은 <표 4-1>에 나타내었는데, 공장에서 생산되는 인조진주안료제품의 생산금액과 생산량은 1998년에 5억 7천만원, 1999년에 7억 6천만원 정도가 제품생산을 위하여 사용되었다. 그리고 이 제품의 생산량은 1998년에 188톤, 1999년에 214톤이 생산되었다. 이 생산량은 전 세계적으로 경기가 좋아지고 있으므로 당분간은 지속적으로 늘어날 것으로 보인다.

<표 4-1> 연도별 인조진주안료제품 생산금액 및 생산량

단위: 원

년도	생산금액	생산량(kg)
1998년	574,807,450	188,464
1999년	767,684,750	214,275

(2) 제품

인조진주안료(Pearl Essence)란 화학적인 반응을 통하여 천연 진주 빛이 나도록 제조된 반고형 상태의 안료이다. 이 안료제품 자체만으로 어떠한 제품을 만들어 내지는 않고 다른 물질 혹은 제품과 혼합하여 장식 효과를 보기 위한 화학제품이다.

이 인조진주안료제품은 주로 패션단추를 만드는데 가장 널리 쓰이고 인조진주 목걸이, 귀걸이를 만드는데 쓰이며, 벽지, 장판, 자동차 등 본래 제품들의 부가적인 제품으로 쓰인다.

산화연을 주 원료로하여 제품을 만들어내는 방법이외에 진주 빛의 효과를 볼 수 있는 방법은 제조 원료 및 공법에 따라서 다수 존재하며 개발해내고 있지만 그 중 생산원가가 저렴하면서도 진주효과가 매우 좋은 산화연을 이용한 이 인조진주안료는 경제성과 시장성이 좋은 제품이라 알려져 있다.

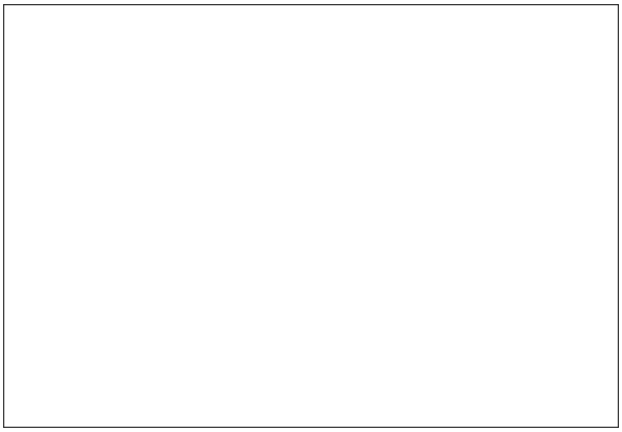
그러나 전세계적으로 환경적으로 영향을 많이 안 미치는 제품을 선호하는 경향이 있기 때문에, 이 제품은 산화연을 원료로 이용하기 때문에 제품생산이 점차적으로 줄어들 것으로 보이나, 현재까지는 제품생산량은 크게 달라지고 있지 않다.

<표 4-2> E사의 인조진주안료제품에 쓰인 원료의 종류 및 함량

원료의 종류	함 량(%)
산화연(납)	75 80
빙초산	15 22
에틸셀루로스 니트로셀룰로오스 알키드레진 등	3 5

※ 더 상세한 원료명는 원 · 부자재 표를 참고

이 제품의 품질의 질을 평가할 때 기본이 되는 입자의 모양은 눈의 입자같이 정육각형의 모양을 하면 좋은 제품으로 본다. 그리고 그 입자들이 잘 분산되었을 때 특유의 빛깔이 나올수가 있다. 그 입자의 기본입자모형은 <그림 4-1>과 같다.

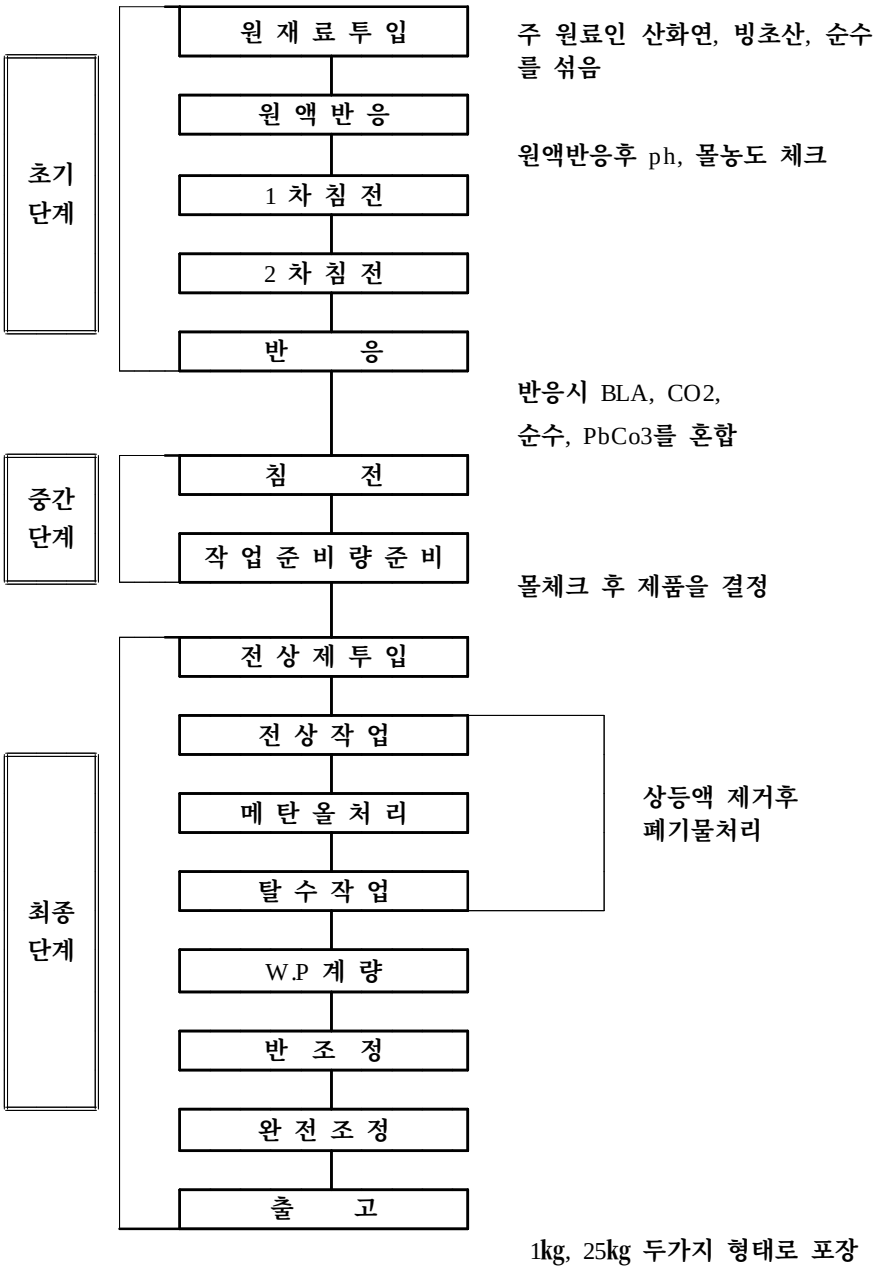


<그림 4-1> 인조진주안료제품의 기본입자모양

(3) 제품공정

산화연을 원료로 하는 인조진주안료제품의 세부생산공정은 <그림 4-2>과 같다. 크게 세부분으로 나눌수 있는데 첫째 제품의 기본이 되는 원료를 생산하는 과정인데, 이과정에서는 주 원료인 산화연, 빙초산, 순수를 섞어서 제품의 원료를 만드는 과정이다. 두번째로 제품의 기본입자를 만들어내는 과정으로서 화학물질들의 반응을 통하여 기본입자를 만들어낸다. 이 단계에서 제품의 질이 거의 확정이 된다. 마지막으로 만들어진 원료는 만들 제품의 성질에 따라서 각종 유기용제들과 반응을 통하여 제품을 만들어 진다.

그후에 수분기를 제거하기 위하여 다량의 메탄올을 사용하여 완전히 수분기를 제거한 후 순수한 제품을 만들어 낸다. 모든 제품이 생산되면 포장 후 출고된다.



<그림 4-2> 인조진주안료의 생산공정

(4) **환경영향**

제조공정 중 제품생산에 사용되는 여러종류의 유기용제 들로 인하여 발생하는 냄새가 매우 혐오스러우며 무엇보다 주원료인 중금속 산화연을 다루기 때문에 작업자들의 건강피해도 배제할 수 없는 현실이며 환경오염에도 적잖은 영향이 있을 것으로 보아진다.

작업장 측정치의 결과로는 유해인자들로 인한 작업장 기준치를 넘는 항목은 없었다(표 4-3참고).

<표 4-3> **인조진주안료제조 작업장 측정치**

단위: ㎎/㎥

유해인자	측정치	작업장 기준치
산화연	0.014	0.05
Methanol	31.2	200
Isopropyl	7.55	400
Ethyl-Benzene	4.65	100
M.I.B.K	3.14	50
Toluene	6.44	100
N-Butyl Asetate	13.7	150
Xylene	17.89	100

※ 1998년, 1999년 2년간 실측치의 평균값임(길병원 산하 산업의학연구소 측정)

위의 '(1) 공장' 부분에서 설명한데로 E사는 자체 환경저감시설을 가동하고 있는데, 환경처리를 할 때에는 유기용제들은 따로 분리해 놓으며, 기타 폐수들은 자체 침전 및 여과과정을 통하여 배출한다. 그 때 배출되는 측정치는 다음<표 4-4>과 같은데, 결과치가 기준치를 넘는 항목은 없는 것으로 나타났다.

<표 4-4> E사에서 처리된 후 배출되는 폐수의 측정치

단위: ppm

년 도	COD	SS	N-Hexane	Pb
1998년	38.5	37.25	3.08	0.18
1999년	53.21	25.68	2.61	0.34
기준치	130.00	120.00	5.00	1.00

※ 한국화학시험연구원에서 측정실시

이 제품의 원료는 산화연과 빙초산 그리고 부가적으로 몇가지 유기용제들이 쓰여지지만 산화연이 많은 양이 함유되어 있으므로 관리가 이루어져야 한다.

또한 제품의 포장을 1kg 짜리 캔과 25kg짜리 드럼통으로 포장을 한다. 그러나 제품의 특성상 많은 양이 필요로 하지 않기 때문에 대부분의 이 제품을 사용하는 공장들은 1kg포장을 주로 사용하고 있는 실정이다. 1kg 포장은 많은 수의 캔이 사용되므로 제품이 사용되어진 후에 폐기과정에서 상당한 환경적으로 영향이 발생할 수가 있을 것으로 판단된다.

4.2 목적 및 범위설정

(1) 목적

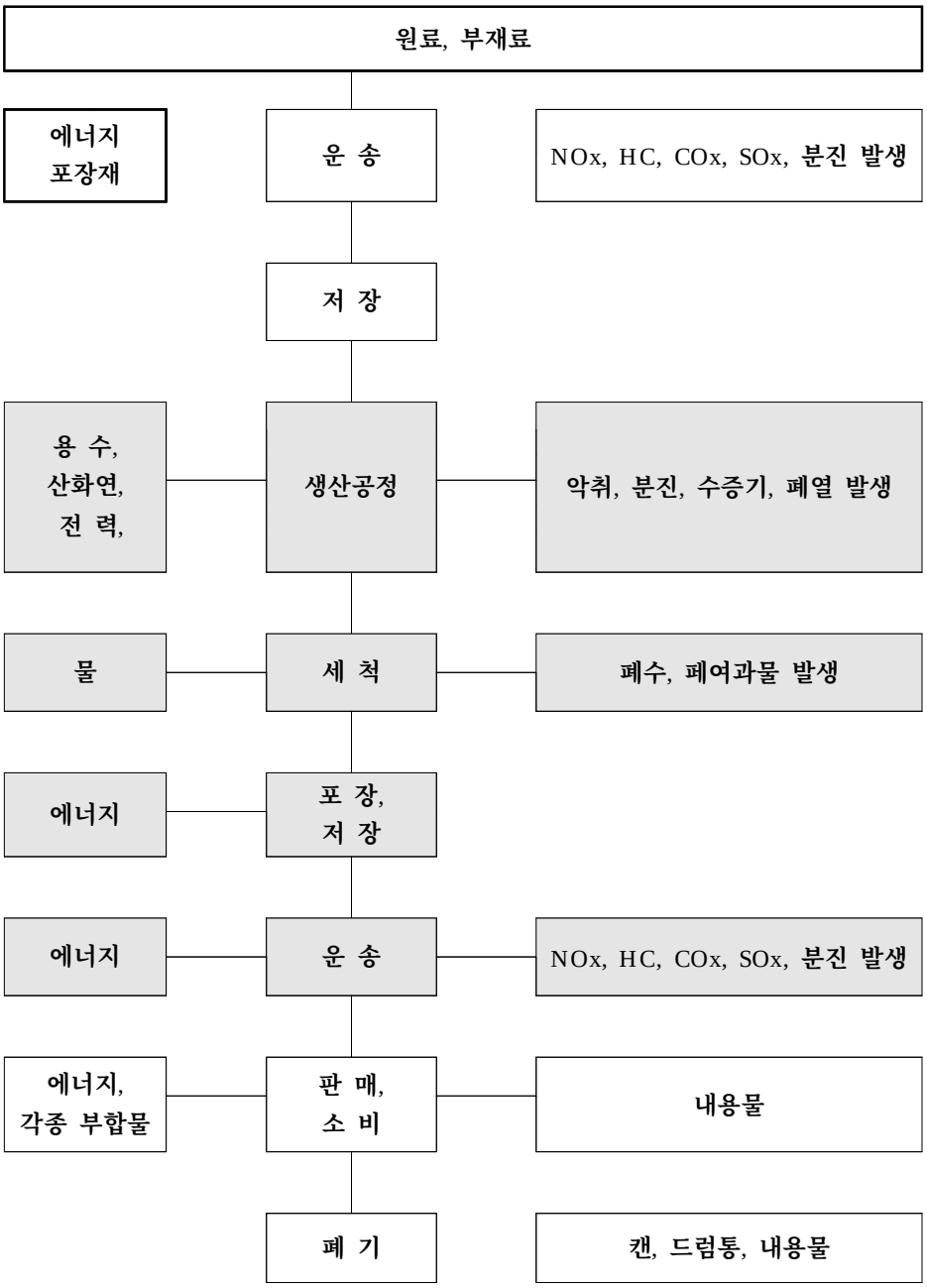
본 연구에서는 인조진주안료의 생산시의 환경영향을 LCA기법을 이용하여 정량적으로 파악하여 보았다. 이를 통해 환경 친화적인 설계의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. LCA결과는 목록평가를 바탕으로 추후 유사제품과의 환경성 비교 및 환경친화적인 설계의 전개 (DfE: Design for

Environment)를 전개하여 제품의 환경성을 개선할 수도 있으며, 인조진주안료제품의 생애의 현황 조사 및 추후 완전한 LCA평가를 위한 기초 자료제공를 제공할 수 있다.

(2) 대상

제품이나 서비스를 위한 LCA평가는 전과정의 각 단계, 즉 제품의 원료획득, 제조, 유통 및 수송, 제품의 사용 그리고 폐기단계를 모두 포함시켜야 한다. 그러나, 본 연구에서는 원료의 획득, 생산 후의 데이터 부족으로 인하여 제품의 원료물질, 제조단계, 그리고 생산 후 1차적으로 제품이 운송되는 곳까지 만을 고려한 부분적 LCA를 실시하였다.

<그림 4-3>과 같이 제품에 대한 전과정은 원료취득부터 폐기까지 총 9단계 정도로 나누어 볼수가 있는데, 본 연구에서 고려되어진 부분은 3단계에서부터 6단계 까지이다. 먼저 3단계인 생산공정부분에서는 제품생산을 위하여 사용되는 직·간적적인 자원 및 에너지의 투입과 그로 인하여 발생되는 악취, 분진, 폐열등의 환경적 영향을 나타내었다. 그리고 4번째 단계인 세척부분에서는 많은 양의 물이 사용된다. 왜냐하면 제품에 사용되는 재료의 성질들이 혼합되니 않도록 완전히 앞에서 사용된 재료의 성질을 제거해야하기 때문이다. 다음단계인 포장 및 저장단계에서는 포장시 전력에너지가 사용된다. 마지막으로 제품을 운송할 때는 트럭으로 운송을 하기 때문에 이때 트럭의 운용으로 인하여 에너지가 사용되며 이로 인하여 각종분진 및 오염물질들이 발생한다는 것을 나타내었다.



<그림 4-3> 인조진주안료에 대한 Life Cycle과정

(본연구에서는 색이 들어간 부분만 고려하였음)

4.3 목록분석

4.3.1 기본구성

LCA를 수행하기 위하여는 사용되는 모든 데이터들을 하나의 단위로 단일화시키는 것이 중요하다. 하나의 단위로 맞추어야 데이터들의 상관성을 알기가 쉽고 프로그램을 사용할 때 한 단위로 맞추어줘야 결과를 산출할 수가 있다.

그러한 단위를 기능단위(Functional Unit: FU)라고 하는데, 기능단위는 LCA를 수행하기 가장 용이하다고 판단되는 것으로 한다. 주로 1kg, 하나의 팔레트 단위가 사용된다.

본 연구에서는 기능단위(Functional Unit: FU)를 1 kg으로 하였는데, 그 이유는 제품의 최소 포장단위가 1kg이기 때문이며 제품관리를 kg단위로 하기 때문이다. 그리하여 본 연구에 이용된 모든 데이터들의 각각의 양들을 인조진주안료 1kg를 생산할 때 사용되는 양으로 모두 바꾸어서 나타내었다. 사용된 데이터들과 그에 따른 단위는 다음과 같다.

① 생산공정에 투입되는 원·부자재 부문: kg/ FU
② 생산공정에서 소비되는 전력사용량: MJ/ FU
③ 수질오염물질 측정 항목: g/ FU
④ 생산공정에서의 폐기물 발생량: kg/ FU
⑤ 제품의 수송에 필요한 연료소비량(대기오염물질 발생량): MJ/ FU

4.3.2 생산공정 및 운송에 대한 목록분석

본 연구에서는 생산공정에 투입되는 원·부자재 부문, 생산공정에서 소비되는 전력사용량, 수질오염물질 측정 항목, 생산공정에서의 폐기물 발생량, 제품의 수송에 필요한 연료소비량(대기오염물질 발생량)을 전과정 목록분석을 통하여 제품의 전과정을 통한 주요 투입물, 배출물을 규명할 수 있다.

(1) 생산공정에 투입되는 원·부자재 부문

인조진주안료를 생산하는데 투입되는 원재료와 부재료의 성분을 조사하여 <표 4-5>과 <표 4-6>에 각각 나타내었다. 이 자료는 E사의 1998년 1999년의 실지자료를 정리한 것이고, 표에서 알 수 있듯이, 주원료가 되는 산화연과 메탄올이 주류가 되고 있다. 월별 재료의 목록과 월별 생산량을 이용하여 인조진주안료 1kg을 생산하는데 소요되는 원·부재료 물질들을 파악할 수 있다. <표 4-7>과 <표 4-8>에 각각 나타내었으며, 최종적으로 <표 4-9>와 같이, 인조진주안료 1kg을 생산하기 위하여 투입되는 물질들을 평균값으로 나타내었다. ,

<표 4-9>에서, 인조진주안료의 주원료가 되는 산화연이 722 g으로 전체의 42.08 %를 차지한다고 할 수 있으며, 다음은 메탄올 286 g으로 전체의 16.63 %를 차지하는 것으로 나타났다. 이 두 물질이 전체의 58.71%를 차지한다. 이에 비하여 솔벤트 NaOH 등은 3 g정도로 사용량이 미비함으로 알 수 있다.

<표 4-5> **월별 인조진주안료의 총 생산시 투입되는 원·부재료 사용량 목록 (1998년)**

단위; kg/ FU

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
HCL	0.000	0.005	0.005	0.007	0.006	0.014
CH_3COOH(빙초산)	0.117	0.089	0.104	0.062	0.097	0.238
NaOH	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.007
$BaCL_2$	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.012
PbO(산화연)	0.752	0.567	0.774	0.456	0.638	1.466
Alkid Resin	0.087	0.056	0.042	0.067	0.047	0.065
Poly Ester	0.073	0.045	0.054	0.045	0.053	0.145
Nitro Cellulose	0.054	0.035	0.058	0.047	0.000	0.000
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.006	0.002	0.053	0.028	0.008	0.085
Xylene(C_8H_{10})	0.101	0.079	0.189	0.114	0.130	0.410
Solvent	0.000	0.000	0.010	0.006	0.000	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.030	0.073	0.079	0.080	0.095	0.345
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.043	0.034	0.082	0.051	0.046	0.124
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.017	0.000	0.000	0.017	0.000	0.005
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.131	0.069	0.159	0.130	0.116	0.261
Methyl Alcohol	0.333	0.401	0.211	0.200	0.368	0.000
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
HCL	0.011	0.003	0.007	0.003	0.004	0.006
CH_3COOH(빙초산)	0.192	0.083	0.117	0.098	0.121	0.080
NaOH	0.005	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003
$BaCL_2$	0.000	0.010	0.000	0.000	0.019	0.000
PbO(산화연)	1.094	0.575	0.812	0.663	0.732	0.535
Alkid Resin	0.071	0.081	0.063	0.052	0.061	0.065
Poly Ester	0.062	0.035	0.055	0.054	0.060	0.050
Nitro Cellulose	0.071	0.061	0.036	0.035	0.039	0.030
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.000	0.022	0.023	0.002	0.045	0.020
Xylene(C_8H_{10})	0.174	0.087	0.144	0.131	0.148	0.108
Solvent	0.001	0.004	0.000	0.000	0.009	0.002
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.073	0.056	0.120	0.068	0.130	0.087
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.069	0.024	0.068	0.041	0.081	0.037
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.017
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.170	0.088	0.140	0.116	0.153	0.109
Methyl Alcohol	0.259	0.383	0.361	0.174	0.389	0.406
총 합	1.69415					

※자료 : E**사의 자체 생산자료**

<표 4-6> **월별 인조진주안료의 총 생산시 투입되는 원·부재료 사용량 목록 (1999년)**

단위; kg/ FU

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
HCL	0.008	0.004	0.003	0.004	0.003	0.008
CH_3COOH(빙초산)	0.073	0.080	0.113	0.097	0.101	0.138
NaOH	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
$BaCL_2$	0.016	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
PbO(산화연)	0.467	0.502	0.717	0.645	0.684	0.881
Alkid Resin	0.050	0.050	0.066	0.042	0.049	0.080
Poly Ester	0.042	0.030	0.038	0.062	0.041	0.061
Nitro Cellulose	0.045	0.043	0.059	0.051	0.067	0.039
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.066	0.040	0.025	0.000	0.017	0.005
Xylene(C_8H_{10})	0.088	0.099	0.033	0.180	0.087	0.097
Solvent	0.007	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.108	0.074	0.055	0.075	0.061	0.059
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.058	0.052	0.014	0.058	0.049	0.039
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.109	0.090	0.070	0.135	0.105	0.090
Methyl Alcohol	0.154	0.215	0.148	0.303	0.335	0.251
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
HCL	0.005	0.010	0.006	0.003	0.004	0.003
CH_3COOH(빙초산)	0.114	0.172	0.091	0.116	0.084	0.097
NaOH	0.003	0.002	0.004	0.002	0.003	0.002
$BaCL_2$	0.008	0.000	0.007	0.013	0.010	0.000
PbO(산화연)	0.742	1.139	0.561	0.775	0.551	0.612
Alkid Resin	0.051	0.093	0.033	0.061	0.052	0.054
Poly Ester	0.074	0.090	0.021	0.067	0.042	0.034
Nitro Cellulose	0.107	0.120	0.053	0.029	0.025	0.067
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.007	0.025	0.024	0.018	0.042	0.024
Xylene(C_8H_{10})	0.070	0.168	0.072	0.126	0.087	0.124
Solvent	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.078	0.117	0.033	0.086	0.079	0.068
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.035	0.063	0.023	0.030	0.057	0.037
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.007	0.000	0.015	0.000	0.000
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.139	0.162	0.055	0.130	0.124	0.081
Methyl Alcohol	0.457	0.387	0.319	0.439	0.000	0.360
총 합	1.5767					

※자료 : E**사의 자체 생산자료**

<표 4-7> **월별 인조진주안료 1 kg 생산시 원·부재료 사용량 목록**(1998년)

단위; kg/ FU

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
HCL	0.000	0.005	0.005	0.007	0.006	0.014
CH_3COOH(빙초산)	0.117	0.089	0.104	0.062	0.097	0.238
NaOH	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.007
$BaCL_2$	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.012
PbO(산화연)	0.752	0.567	0.774	0.456	0.638	1.466
Alkid Resin	0.087	0.056	0.042	0.067	0.047	0.065
Poly Ester	0.073	0.045	0.054	0.045	0.053	0.145
Nitro Cellulose	0.054	0.035	0.058	0.047	0.000	0.000
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.006	0.002	0.053	0.028	0.008	0.085
Xylene(C_8H_{10})	0.101	0.079	0.189	0.114	0.130	0.410
Solvent	0.000	0.000	0.010	0.006	0.000	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.030	0.073	0.079	0.080	0.095	0.345
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.043	0.034	0.082	0.051	0.046	0.124
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.017	0.000	0.000	0.017	0.000	0.005
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.131	0.069	0.159	0.130	0.116	0.261
Methyl Alcohol	0.333	0.401	0.211	0.200	0.368	0.000
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
HCL	0.011	0.003	0.007	0.003	0.004	0.006
CH_3COOH(빙초산)	0.192	0.083	0.117	0.098	0.121	0.080
NaOH	0.005	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003
$BaCL_2$	0.000	0.010	0.000	0.000	0.019	0.000
PbO(산화연)	1.094	0.575	0.812	0.663	0.732	0.535
Alkid Resin	0.071	0.081	0.063	0.052	0.061	0.065
Poly Ester	0.062	0.035	0.055	0.054	0.060	0.050
Nitro Cellulose	0.071	0.061	0.036	0.035	0.039	0.030
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.000	0.022	0.023	0.002	0.045	0.020
Xylene(C_8H_{10})	0.174	0.087	0.144	0.131	0.148	0.108
Solvent	0.001	0.004	0.000	0.000	0.009	0.002
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.073	0.056	0.120	0.068	0.130	0.087
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.069	0.024	0.068	0.041	0.081	0.037
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.017
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.170	0.088	0.140	0.116	0.153	0.109
Methyl Alcohol	0.259	0.383	0.361	0.174	0.389	0.406
총 합	1.69415					

※자료 : E사의 자체 생산자료

<표 4-8> **월별 인조진주안료 1kg 총 생산시 원부재료 사용량 목록**(1999년)

단위; kg/ FU

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
HCL	0.008	0.004	0.003	0.004	0.003	0.008
CH_3COOH(빙초산)	0.073	0.080	0.113	0.097	0.101	0.138
NaOH	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
$BaCL_2$	0.016	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
PbO(산화연)	0.467	0.502	0.717	0.645	0.684	0.881
Alkid Resin	0.050	0.050	0.066	0.042	0.049	0.080
Poly Ester	0.042	0.030	0.038	0.062	0.041	0.061
Nitro Cellulose	0.045	0.043	0.059	0.051	0.067	0.039
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.066	0.040	0.025	0.000	0.017	0.005
Xylene(C_8H_{10})	0.088	0.099	0.033	0.180	0.087	0.097
Solvent	0.007	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.108	0.074	0.055	0.075	0.061	0.059
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.058	0.052	0.014	0.058	0.049	0.039
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.109	0.090	0.070	0.135	0.105	0.090
Methyl Alcohol	0.154	0.215	0.148	0.303	0.335	0.251
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
HCL	0.005	0.010	0.006	0.003	0.004	0.003
CH_3COOH(빙초산)	0.114	0.172	0.091	0.116	0.084	0.097
NaOH	0.003	0.002	0.004	0.002	0.003	0.002
$BaCL_2$	0.008	0.000	0.007	0.013	0.010	0.000
PbO(산화연)	0.742	1.139	0.561	0.775	0.551	0.612
Alkid Resin	0.051	0.093	0.033	0.061	0.052	0.054
Poly Ester	0.074	0.090	0.021	0.067	0.042	0.034
Nitro Cellulose	0.107	0.120	0.053	0.029	0.025	0.067
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.007	0.025	0.024	0.018	0.042	0.024
Xylene(C_8H_{10})	0.070	0.168	0.072	0.126	0.087	0.124
Solvent	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.078	0.117	0.033	0.086	0.079	0.068
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.035	0.063	0.023	0.030	0.057	0.037
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.000	0.007	0.000	0.015	0.000	0.000
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.139	0.162	0.055	0.130	0.124	0.081
Methyl Alcohol	0.457	0.387	0.319	0.439	0.000	0.360
총 합	1.5767					

※자료 : E**사의 자체 생산자료**

<표 4-9> **기능단위당 원·부재료 목록**

단위: kg/ FU

	1998년	1999년	평균	%
HCL	0.006	0.005	0.006	0.32
CH_3COOH(빙초산)	0.117	0.106	0.112	6.49
NaOH	0.003	0.002	0.003	0.16
$BaCL_2$	0.005	0.006	0.005	0.30
PbO(산화연)	0.755	0.690	0.722	42.08
Alkid Resin	0.063	0.057	0.060	3.49
Poly Ester	0.061	0.050	0.056	3.24
Nitro Cellulose	0.039	0.059	0.049	2.84
Methyl Isobutyl ($C_6H_{12}O$)	0.025	0.024	0.024	1.42
Xylene(C_8H_{10})	0.151	0.103	0.127	7.39
Solvent	0.003	0.003	0.003	0.16
O-Dichchiro Benzene($C_6H_4CL_2$)	0.103	0.074	0.089	5.16
N-Butyl Alcohol ($C_4H_{10}O$)	0.058	0.043	0.051	2.95
Ethyl Cellulose ($C_{24}H_{38}O_4$)	0.005	0.004	0.005	0.27
Dibuthyl Phyalate ($C_6H_{14}O_2$)	0.137	0.108	0.122	7.11
Methyl Alcohol	0.290	0.281	0.286	16.63
총 합	1.821	1.615	1.718	100.00

※자료 : E사의 자체 생산자료

(2) 전력부문

전력부문도 1998년과 1999년의 월별사용량 목록과 월별 생산량을 이용하여 인조진주안료 1kg을 생산하는데 소요되는 전력사용량을 파악할 수 있으며, 이를 <표 4-10>에 나타내었다. 년간 총 전력사용량은 1998년에 906,949MJ 이었고 1999년에는 1,629,021MJ이었다. 여기서, 월별 인조진주안료 생산량으로 월별 전력사용량을 나누어줌으로써, 구하고자 하는 기능단위당 평균 전력소비량을 산정할 수 있다. 결과로서, <표 4-11>와 같이 인조진주안료 1 kg을 생산하는데 필요한 전력은 1998년 5.47MJ, 1999년에는 8.11MJ 이었다.

<표 4-10> **월별 전력사용량 및 제품 생산량**(1998 1999)

단위: MJ, kg

1998년	전력사용량	제품생산량	1999년	전력사용량	제품생산량
1월	72,509	9,313	1월	121,605	15,539
2월	113,686	28,673	2월	72,102	13,946
3월	76,673	18,989	3월	144,776	20,230
4월	66,378	17,007	4월	92,991	19,771
5월	47,354	9,790	5월	129,539	17,919
6월	51,126	4,281	6월	234,816	17,960
7월	58,408	11,202	7월	164,629	13,139
8월	61,195	19,561	8월	199,204	11,628
9월	75,593	16,616	9월	127,724	18,800
10월	99,496	17,269	10월	161,389	20,481
11월	92,260	15,438	11월	112,897	24,029
12월	92,271	20,325	12월	66,349	20,833
총합	906.949	188,464	총합	1,629,021	214,275

※자료 : E**사의 자체 생산자료**

<표 4-11> **월별 인조진주안료** 1kg **생산시 전력사용량**

단위 : MJ / FU

1998년	전력사용량	1999년	전력사용량
1월	7.79	1월	7.83
2월	3.96	2월	5.17
3월	4.04	3월	7.16
4월	3.90	4월	4.70
5월	4.84	5월	7.23
6월	11.94	6월	13.07
7월	5.21	7월	12.53
8월	3.13	8월	17.13
9월	4.55	9월	6.79
10월	5.76	10월	7.88
11월	5.98	11월	4.70
12월	4.54	12월	3.18
평 균	5.47	평 균	8.11
총 합	65.64	총 합	97.37

※자료 : E**사의 자체 생산자료**

(3) 수송부문

생산공정을 통하여 생산된 인조진주안료는 상품화되어 다른 지역으로 유통되는데, 이 때 수송수단인 트럭에 의하여 연료(주로 경유를 사용)를 소비하게 된다. 수송지역은 국내의 전국이 대상이 되며 및 해외도 전세계로 수송된다. 그러나 본 연구에서는 해외로 운송을 할 경우의 에너지사용량 및 오염물의 배출에 관한 데이터의 부족으로 국내에서 운송되는 부분만을 고려하였다.

먼저 제품이 공장으로부터 출고가 되면 1차 판매지로 모든 제품이 운송이 되는데, 현재 E사가 위치한 I시에서 서울로 90%이상이 수송되고 나머지 일부는 부산, 창원, 청주 등으로 수송된다. 물론 그 후에도 2. 3차 판매지가 있겠지만 모든 지역을 고려하지 않았다.

이에 본 연구에서는 생산량의 90%이상을 차지하는, I시에서 서울로 수송되는 것만을 고려대상으로 하였으며, 그 수송량은 기존 E사의 데이터를 이용하여 2일에 160 kg정도가 된다고 가정하였다.

한편, 이 제품의 수송을 위하여 사용되는 트럭은 대부분이 1톤 소형트럭이므로, 모든 1차 운송이 1톤 트럭으로 운송된다고 가정하여 이로 인한 에너지소비량을 정량화 하였다. 수송거리는 왕복 80㎞로 잡았고 일반적인 1톤 수송트럭의 수송연비를 10 km/ L로 보면, 1일 수송량과 1일 수송거리를 이용하여 제품 1 kg을 수송하기 위한 에너지 소비량을 산정할 수 있다. 이를 정리하여 <표 4-12>에 나타내었다.

결과로써, 제품 1 kg을 수송하는데 3.85MJ/kg의 에너지가 소비되는 것을 알 수 있다.

<표 4-12> 수송단계에서의 에너지소비량

구분	수송거리	수송차량 연비	연료 사용량	에너지 환산	에너지 사용량	일일 수송량	1kg수송시 에너지사용량
단위	km(왕복)	km/ L	L*/ day	MJ/ L	MJ/ day	kg/ day	MJ/ kg
1톤 트럭	80	10	8	38.52	308.15	80	3.85

※ 에너지원은 경유

※ 자료 : 표준품생, 건설부

(4) 수질오염물질 부문

수질오염물질에 대한 자료는 폐수처리 대행 위탁업체의 자료(1998 1999년)를 이용하여 <표 4-13>에 정리하여 나타내었다. 이 측정된 폐수는 E사내의 환경정화시설을 거친후 최종적으로 배출되는 폐수를 측정한 것이다. COD는 20 122 ppm 의 값을 나타내 큰 폭으로 변화함을 알 수 있었지만 COD 배출기준치인 130 ppm을 넘지 않는 수치임을 알 수 있다. 그리고 기타 다른 항목들도 기준치를 넘지 않는 것으로 나타났다.

또한, <표 4-14>에서는 본 연구의 기능단위(제품 1 kg)당 원단위를 산출하기 위하여 월별 생산량과 처리수량을 고려하여 나타내었다. COD는 평균 1998년에 0.00467ppm이었고 1999년에는 0.00225ppm 이었다. 그리고 납의 경우는 1998년 1999년 2년간의 측정치가 수치상으로도 매우 적은 수치임을 알 수가 있다.

<표 4-13> **수질항목 측정결과**

단위 : ppm

단위 : ppm

1998년	COD	SS	N-Hexane	Pb
1월	21.8	61.0	2.3	0.00
2월	110.6	14.3	1.7	0.29
3월	44.7	101.0	4.5	0.36
4월	67.0	48.5	2.8	0.10
5월	73.3	79.0	2.7	0.37
6월	85.9	22.1	2.8	0.00
7월	41.8	19.5	2.0	0.00
8월	50.8	34.5	4.4	0.23
9월	55.4	25.3	4.3	0.41
10월	51.1	15.7	3.8	0.35
11월	67.8	10.5	3.1	0.00
12월	26.5	15.6	2.5	0.00
총합	696.7	447.0	36.90	2.11
1999년	COD	SS	N-Hexane	Pb
1월	44.9	9.0	1.7	0.87
2월	36.9	16.0	1.7	0.04
3월	72.5	12.3	3.0	0.27
4월	84.7	11.2	3.5	0.66
5월	29.2	16.0	2.6	0.00
6월	69.3	50.0	3.6	0.36
7월	55.7	65.4	3.0	0.00
8월	29.3	22.7	2.0	0.00
9월	28.1	7.2	1.7	0.40
10월	122.2	15.4	3.8	0.97
11월	45.7	51.8	2.5	0.45
12월	20.0	31.2	2.2	0.00
총합	638.5	308.2	31.3	4.02

※자료 : E사의 자체 환경자료

<표 4-14> **제품의 기능단위당 수질오염물질**

(**단위** : g / FU)

1998년	COD	SS	N-Hexane	Pb
1월	0.00176	0.00491	0.00019	0.00000
2월	0.00891	0.00037	0.00004	0.00001
3월	0.00360	0.00399	0.00018	0.00001
4월	0.00540	0.00214	0.00012	0.00000
5월	0.00590	0.00605	0.00021	0.00003
6월	0.00692	0.00387	0.00049	0.00000
7월	0.00337	0.00131	0.00013	0.00000
8월	0.00409	0.00132	0.00017	0.00001
9월	0.00446	0.00114	0.00019	0.00002
10월	0.00412	0.00068	0.00017	0.00002
11월	0.00546	0.00051	0.00015	0.00000
12월	0.00213	0.00058	0.00009	0.00000
평 균	0.00467	0.00467	0.00017	0.000008
총 합	0.05612	0.02687	0.00213	0.0001
1999년	COD	SS	N-Hexane	Pb
1월	0.00217	0.08833	0.00008	0.00004
2월	0.00198	0.02307	0.00009	0.00000
3월	0.00269	0.11233	0.00011	0.00001
4월	0.00321	0.05519	0.00013	0.00003
5월	0.00122	0.09920	0.00011	0.00000
6월	0.00289	0.02769	0.00015	0.00002
7월	0.00318	0.03339	0.00017	0.00000
8월	0.00189	0.06676	0.00013	0.00000
9월	0.00112	0.03028	0.00007	0.00002
10월	0.00447	0.01725	0.00014	0.00004
11월	0.00143	0.00983	0.00008	0.00001
12월	0.00072	0.01685	0.00008	0.00000
평 균	0.00225	0.04834	0.00011	0.00001
총 합	0.02697	0.5802	0.00134	0.00017

※자료 : E**사의 자체 환경자료**

(5) 폐기물 부문

<표 4-15>에는 제품생산시 월별 폐기물 발생량을 정리하여 나타내었다. 여기서, 액상폐기물은 메탄올과 유기용매 그리고 물의 성분을 가지고 있으며, 고형 폐기물은 제조공정에서 사용되고 남은 산화연을 말한다. 1998년에는 고형폐기물 즉 산화연의 평균 폐기물양이 140톤이었으나, 1999년에는 108톤으로 감소하였다. 그러나 액상폐기물의 양은 반대로 증가되었다. 이렇게 고형폐기물의 양을 줄일수 있었던 이유는 생산공정 중 폐기물을 배출하는 단계에서 인조진주안료의 산화연 물질을 않은 손실없이 효과적으로 배출했기 때문으로 생각된다.

<표 4-15> 월별 폐기물 발생량

단위: kg

1998년	액상 폐기물	고형 폐기물	생산량 (kg/mon)	1999년	액상 폐기물	고형 폐기물	생산량 (kg/mon)
1월	5,950	-	9,313	1월	8,110	-	15,539
2월	20,850	-	28,673	2월	11,080	16,240	13,946
3월	11,170	14,670	18,989	3월	17,830	-	20,230
4월	9,250	50,150	17,007	4월	5,870	10,530	19,771
5월	9,570	14,450	9,790	5월	11,180	15,960	17,919
6월	-	11,720	4,281	6월	8,980	7,330	17,960
7월	5,790	9,000	11,202	7월	10,640	7,250	13,139
8월	11,710	6,460	19,561	8월	19,480	-	11,628
9월	10,720	9,680	16,616	9월	8,550	25,640	18,800
10월	5,670	6,870	17,269	10월	17,530	-	20,481
11월	11,430	8,770	15,438	11월	11,880	24,930	24,029
12월	11,050	9,100	20,325	12월	11,790	-	20,833
평균	10,287	14,087	15,705	평균	11,910	15,411	17,856
총합	113,160	140,870	188,464	총합	142,920	107,880	214,275

※자료 : E사의 자체 환경자료

한편, <표 4-15>에서 나타낸 월별 생산량으로 각 폐기물 발생량을 나눠줌으로써, 인조진주안료 1 kg을 생산하고 배출되는 폐기물의 양을 산정할 수 있다. 즉, 1 kg 생산함으로써 배출되는 폐기물의 양은 액상폐기물이 1998년 0.57kg 이였고 1999년에는 0.71kg이었다. 고형폐기물은 1998년 0.71kg이었고, 1999년에는 0.50이었다(표 4-16 참고). 1998년에 비해 1999년에 액상폐기물은 증가하였으나 고형폐기물은 반대로 감소한 것을 볼 수 있다.

<표 4-16> 월별 폐기물 1kg당 발생량

단위: kg

1998년	액상 폐기물	고형 폐기물	1999년	액상 폐기물	고형 폐기물
1월	0.64	0.00	1월	0.52	0.00
2월	0.73	0.00	2월	0.79	1.16
3월	0.59	0.77	3월	0.88	0.00
4월	0.54	2.95	4월	0.30	0.53
5월	0.98	1.48	5월	0.62	0.89
6월	0.00	2.74	6월	0.50	0.41
7월	0.52	0.80	7월	0.81	0.55
8월	0.60	0.33	8월	1.68	0.00
9월	0.65	0.58	9월	0.45	1.36
10월	0.33	0.40	10월	0.86	0.00
11월	0.74	0.57	11월	0.49	1.04
12월	0.54	0.45	12월	0.57	0.00
평균	0.57	0.92	평균	0.71	0.50
총합	6.85	11.06	총합	8.47	5.95

※자료 : E사의 자체 환경자료

(6) 총괄목록표

앞에서 사용된 사용된 생산공정에 투입되는 원·부자재 부문, 생산공정에서 소비되는 전력사용량, 수질오염물질 측정 항목, 생산공정에서의 폐기물 발생량, 제품의 수송에 필요한 연료소비량(대기오염물질 발생량)의 데이터들을 총괄적인 목록표를 만들면 다음과 같다.

<표 4-17> 총괄목록표

구 분	항 목	단 위	LCA 단계	
			생 산	운 송
에너지 소비량	전력	MJ/FU	81.51	-
자원 소비	산화연 유기용제	kg/FU	1.6355	-
대기오염 물질	경유	MJ/FU	-	3.85
수질오염 물질	SS COD	g/FU	0.3035 0.0415	-
폐기물	고형 액상	kg/FU kg/FU	0.7271 0.5853	-

※ FU는 이 연구수행을 위해 설정한 기본단위로 1kg을 말함

※ 모든 값은 1998년, 1999년값의 평균값

4.4 영향평가

목록분석에서 얻은 결과는 단순히 투입물과 배출물의 종류 및 양을 나타낼 뿐이므로 이들이 환경에 미치는 영향을 알기 위해서는 영향평가 단계를

거쳐야 한다. 영향평가 과정에서는 목록 자료들과 여러 가지 영향평가 방법을 이용하여 환경에 미치는 잠재적인 영향의 크기를 파악한다.

연구기관이나 기업들이 조사하는 시스템의 정의, 적절한 질의 데이터의 확인 및 수집 그리고 많은 자료들의 수행을 용이하게 수행하기 위하여 LCA 용 소프트웨어를 개발하였으며, 현재는 영향평가 및 해석 단계까지 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 있다. 이러한 LCA 소프트웨어는 데이터베이스부분과 계산을 수행할 수 있는 부분으로 나누어지며, 소프트웨어 개발자들은 지속적으로 데이터베이스에 들어가는 데이터를 추가함으로써 사용자가 편리하게 전과정평가를 수행할 수 있도록 다양한 기능들을 추가하고 있다.

현재 상용화되어 있는 LCA 소프트웨어는 약 37가지의 소프트웨어가 사용되고 있으며, 이 중에는 목록분석, 영양평가 및 결과해석을 모두 수행할 수 있는 소프트웨어가 있는 반면 목록분석만을 수행할 수 있는 데이터베이스와 다양한 기능을 내장하고 있는 Gabi, Sigmapro, TEAM 등이 있다. 여러 가지 소프트웨어 중에서 본 연구에서는 영향평가방법들을 포괄적으로 정리해 놓은 TEAM 3.0을 이용하여 수행하였다.

4.4.1 TEAM 3.0 프로그램설명

TEAM 3.0은 10개의 영향범주와 38개의 영향평가방법을 이용한다. 이 프로그램은 Article, Atomic, Module, Atomic Node, System Node 등을 사용하여 전과정시스템을 만들기에 Moduel수에 제한을 받지 않는 장점이 있지만 다른 소프트웨어와 달리 목록분석 및 영향평가를 분리해서 수행해야한다. 이 프로그램은 SigmaPro와 같이 데이터 보호기능이 있기 때문에 사용자가 사용하기에 편리한 환경을 제공하며, 500개 이상의 모듈을 포함하고 있어 각

영향범주별로 다양하게 적용할 수 있다. TEAM 3.0은 장래의 LCA의 새로운 기법과 컴퓨터 프로그래밍상의 발전에 적응할 수 있도록 개방형 구조인 C++언어로 개발되었다. TEAM 3.0의 기술적 특성은 다음과 같다.

- 사용자 편의성: TEAM 3.0은 Window방식의 소프트웨어로 사용하기 쉬운 특성을 가지고 있음은 물론, 시스템의 서로 다른 부분들간에 한번 연결이 이루어지면, TEAM 3.0은 자동적으로 모든 입력과 출력과 시스템을 구성하고, 컴파일한다. 또한 생성된 많은 양의 정보를 분류하고 순위를 매기기 위하여 template를 만들수도 있다.
- 투명성: 자료와 가정들이 지정된 영역에 문서화 될 수 있다.
- 유연성: 어떤 산업 시스템의 모형화도 가능하다.
- 신뢰성의 처리: 수 개의 사용자의 신상을 정의하고 데이터베이스를 보호사고 그의 사용을 제한 할 수 있다.
- 강력함: 복잡한 형태를 다룰 수 있다.
- 최적화 알고리즘: 계산은 상호 연결되고 시스템 전체로 파급되어, 사용자는 전체 시스템이 어떤 흐름 값이라도 선택할 수 있다.
- 데이터베이스: 펄프와 제지, 석유화학, 플라스틱, 무기화학, 철강, 알루미늄, 유리, 에너지 변화, 수송과 폐기물 관리 선택에 대한 자료를 포함한 많은 데이터베이스를 사용할 수 있다.

목록분석에서 얻은 결과는 단순히 투입물과 배출물의 종류 및 양을 나타낼 뿐이므로 이들이 환경에 미치는 영향을 알기 위해서는 영향평가 단계를 거쳐야 한다. 영향평가 과정에서는 목록 자료들과 여러 가지 영향평가 방법을 이용하여 환경에 미치는 잠재적인 영향의 크기를 파악한다. 본 연구에서는 Eco-indicator 95방법과 환경문제분류(Environmental Theme

Classification, ET)방법을 이용하여 인조진주안료의 제조공정에서의 환경영향을 파악하였다. ET방법은 환경영향을 범주별로 구분하여 각각의 범주에 대한 영향의 크기를 추산하는데 각 범주별 가중치를 부여하는 과정이 제외되어 있으므로 Eco-indicator 95와 같이 제품의 전체 환경영향을 하나의 점수로 표현하지는 못한다. ET방법이 Eco-indicator방법에 비해 환경영향범주를 구분함에 있어 좀 더 합리적이라는 견해도 있으나, Eco-indicator 95방법의 경우 제품의 환경영향을 하나의 점수로 나타낼 수 있어 환경 친화적 설계(DfE: Design for Environment)활동을 실시할 때 쉽고 유용하게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 영향범주 구분이 다소 모호하며 범주간 가중치가 우리나라 현실과는 다르다는 단점도 거론되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 두 가지 방법에 의한 영향평가를 수행하여 보았다.

Eco-indicator 95방법에서는 투입물질의 각각의 성분분석 후 이들 각각의 지수값을 소프트웨어에 있는 값들을 이용하여 실제 공정에서 나오는 배출물질의 양을 곱해줌으로써 각각의 영향지수를 구할 수 있다. 그리고 이렇게 해서 나온 영향지수를 가지고 ET방법을 이용하여 각각의 영향범주 즉 산성비, 인간독성, 생태독성 이렇게 3가지 범주로 나누어 각각의 범주에 영향을 주는 물질들을 분류하여 영향지수를 구하였다.

4.4.2 LCA 소프트웨어

연구기관이나 기업들이 조사하는 시스템의 정의, 적절한 질의 데이터의 확인 및 수집 그리고 많은 자료들의 수행을 용이하게 수행하기 위해 LCA용 소프트웨어를 개발하였으며, 현재는 영향평가 및 해석 단계까지 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 있다. 이러한 LCA 소프트웨어는 데이터베이스

부분과 계산을 수행할 수 있는 부분으로 나누어 지며, 소프트웨어 개발자들은 계속해서 데이터베이스에 들어가는 데이터를 추가하고 있으며 사용자가 편리하게 전과정평가를 수행할 수 있도록 다양한 기능들을 추가하고 있다. 현재 전세계적으로 37가지의 소프트웨어가 사용되고 있으며, 이 중에는 목록분석, 영향평가 및 결과해석을 모두 수행할 수 있는 소프트웨어가 있는 반면 목록분석만을 수행할 수 있는 소프트웨어도 있으며, 광범위한 데이터베이스와 다양한 기능을 내장하고 있는 GaBi, KCL-ECO, LCAiT, SimaPro, TEAM 등이 주로 사용되고 있다. 상술한 소프트웨어에 대해서 정리하면 다음과 같다.

(1) GaBi

물질과 생산공정을 12가지 주체로 나눈 GaBi 3.0은 사용자의 인터페이스가 가장 윈도우 시스템에 가깝게 만들어졌으며, ISO 14040에서 규정한 절차에 따라 구성되어 있다. 또한, “drag & drop" 기능 등 사용자를 위한 편리를 최대한 도모하였다. 또한 할당작업을 쉽게 할 수 있으며, 영향평가는 정규화와 가중치값을 산정한 후 가능하며, 여러 변수에 대한 민감도 분석(Sencitivity Analysis)을 수행할 수 있다. 하지만, 이 프로그램은 두 가지 이상의 시스템을 비교하는 기능이 없다는 단점이 있다.

(2) KCL-ECO

200개 이상의 모듈을 포함하고 있는 KCL-ECO 3.0은 동일한 화면에서 전과정평가 결과를 동시에 검토하면서 작업을 할 수 있다. 할당은 모듈에서 적합한 식을 이용하여 수행하며, 그 결과를 출력할 수 있다. 한편, 영향평가는 분류화, 특성화 및 가중치부여를 하나의 단계로 통합한 지수 방법(Index method)을 사용하며, 이 때, 가중치는 생태적 희소성 판단법, 환경우선전략

에서 사용하는 값을 인용하였으며, 사용자의 편의에 따라 영향범주의 상응인자를 입력할 수 있다는 장점이 있다. 이 프로그램을 이용한 민감도분석은 불확실한 변수 및 방정식에 대해 불확실성을 지정할 수 있으며 비정규분포도 가능하다. 하지만, 데이터의 보호기능이 설정되어 있지 않기 때문에 주의할 필요가 있으며, 전과정평가결과를 출력할 수 없다는 단점이 있다.

(3) LCAiT

화학제품, 플라스틱, 펄프/ 종이, 및 유리제품에 대한 전과정 결과가 내장되어 있는 LCAiT 3.0은 KCL-ECO와 마찬가지로 데이터를 보호하는 기능이 없으로 주의가 필요하다. 또한, 지정된 환경부하의 단위가 사용되기 때문에 모든 환경부하 데이터를 소프트웨어에 적합한 단위로 수정해야 한다는 단점이 있으며, 할당 및 영향평가를 수행할 수 있는 기능도 없다.

(4) SimaPro

환경성 디자인(Eco-design)과 전과정평가 등에 광범위하게 사용되는 SimaPro 4.0은 데이터의 입력이 간편하여 초보자도 쉽게 사용가능하다. KCL-ECO와 LCAiT와는 달리, SimmaPro 4.0은 데이터 보호 기능외에 SPOLD 형식의 입력방식이기에 차후에 이미 작성된 데이터베이스를 이용할 시, 데이터베이스의 상세한 내용을 알 수 있기에 설정된 목적과 범위에 적합한 데이터베이스를 선택할 수 있다. 이 프로그램의 할당방법은 시나리오를 선택하여 각 데이터베이스를 작성하게 되며, 모든 공정들이 데이터베이스로 연결되어 있는 단일화된 공정의 성격을 띠고 있으므로 데이터 변환시 각 공정들의 값에 영향을 줄 수 있는 단점이 있다. 영향평가는 지수 방법뿐만 아니라 분류화, 특성화 및 가중치부여 순으로 수행할 수 있으며, 사용자가 상응인자(Equivalency factor), 정규화값(Normalization reference) 및 영향범주

의 가중치를 넣어 새로운 영향평가 데이터베이스를 구축하여 사용하거나 또는 이미 입력되어 있는 Ecopoint, SimaPro 및 Eco-indicator 95 값들을 사용할 수 있다.

(5) 프로그램 비교

(1) (4)까지에서 상술한 4가지의 소프트웨어와 TEAM 3.0 프로그램을 8가지 항목에 대하여 평가해서보면 다음 <표 4-18>와 같다.

TEAM 3.0은 Graphic Interface와 Comparison of Results, 이 두항목에 대해서만 '좋음' 이었고 나머지 6가지 항목, Data Protection, Impact Assessment 항목등에 대해서는 '아주좋음' 이었다.

그리하여 본 연구에서는 프로그램중 LCA영향평가를 수행하는데 있어서 가장 좋은 프로그램을 사용하고자 TEAM 3.0을 사용하였다.

<표 4-18> 프로그램들의 비교

프로그램 / 항 목	GaBi	KCL-ECO	LCAiT	SimaPro	TEAM 3.0
Graphic Interface	매우좋음	좋음	좋음	매우좋음	좋음
Data Protection	-	-	-	매우좋음	매우좋음
Unit Flexibility	매우좋음	매우좋음	나쁨	매우좋음	매우좋음
Use of Formuls	매우좋음	매우좋음	-	-	매우좋음
Uncertainty Analysis	-	매우좋음	-	-	매우좋음
Impact Assessment	매우좋음	좋음	좋음	매우좋음	매우좋음
Comparison of Result	-	-	-	매우좋음	좋음
Graphical Display of Result	매우좋음	-	좋음	매우좋음	매우좋음

※ 프로그램들을 '매우좋음', '좋음' '나쁨'으로 구분

※ 자료 : 전과정 평가의 기법 개발과 국내산업에의 적용, 환경부

4.4.3 Eco-indicator방법에 의한 영향평가

앞 과정에서 목록분석한 항목, 즉 인조진주안료의 제조공정에서 원·부재료 물질, 수질오염물질, 폐기물, 에너지 소비(전력, 수송에너지)에 대한 목록을 이용하여 <표 4-19>와 <표 4-20>과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

<표 4-19>의 대기부분은 주로 수송부분과 전력사용시 발생하는 오염물질들에 대한 것이며, <표 4-20>의 수질부분은 폐기물양, 수질측정치값들로 구한 값들이다.

앞 절에서 목록분석한 항목, 즉 인조진주안료의 제조공정에서 원·부재료 물질, 수질오염물질, 폐기물, 에너지 소비(전력, 수송에너지)에 대한 목록을 이용하여 <표 4-19>와 <표 4-20>과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 쓰이는 Coefficient는 TEAM 3.0의 자체에 가지고 있는 환경지수인데, 이는 전문가, 일반인, 기업인 등에게 설문을 조사하여 중요도정도를 조사한 것과 프로그램제조사의 연구의 결과를 총망라하여 산정해낸 수치이다.

또한 ELU는 Environmental Loading Unit으로 환경부하지수를 말하는데, 그 지수의 구하는 방법은 프로그램에서 가지고 있는 환경지수와 제품의 생산, 운송 및 폐기단계에서 발생되는 오염물질들의 총합을 곱한 값이다. 즉 정량화 되어있는 프로그램상의 값에다 연구되어진 제품의 FU, 즉 기능단위로 환산된 모든 발생량을 곱한 것이다. 그 식은 다음과 같다.

Coefficient(프로그램상의 환경지수) × 배출량 = ELU(환경오염지수)

<표 4-19> Eco-indicator방법에 의한 대기 환경부하지수

Output	coefficient	배출량(g)	ELU
Acetaldehyde (CH_3CHO)	0.0249	0.0006	0.00002
Acetylene (C_2H_2)	0.0235	0.0055	0.00013
Aldehyde (unspecified)	0.0620	0.0001	0.00000
Ammonia (NH_3)	0.2108	0.0022	0.00047
Arsenic (As)	40.3670	0.0003	0.01044
Benzo(a)pyrene ($C_{20}H_{12}$)	917.4312	0.0000	0.01553
Cadmium (Cd)	4559.3135	0.0002	0.69894
Carbon Dioxide (CO_2, fossil)	0.0002	2615.3910	0.49954
Chromium (Cr III, Cr VI)	403.6697	0.0003	0.12670
Ethanol (C_2H_5OH)	0.0375	0.0012	0.00005
Ethylbenzene (C_8H_{10})	0.0101	0.0002	0.00000
Ethylene (C_2H_4)	0.1399	0.0466	0.00653
Formaldehyde (CH_2O)	0.0589	0.0026	0.00016
Hydrocarbons (except methane)	0.0582	0.9844	0.05730
Hydrocarbons (unspecified)	0.0658	0.0064	0.00042
Hydrogen Chloride (HCl)	0.0784	0.5038	0.03949
Hydrogen Fluoride (HF)	0.1425	0.0186	0.00265
Lead (Pb)	91.1863	0.0011	0.09729
Manganese (Mn)	91.1863	0.0002	0.02024
Mercury (Hg)	91.1863	0.0000	0.00284
Methane (CH_4)	0.0031	7.2987	0.02247
Nickel (Ni)	403.6697	0.0030	1.21103
Nitrogen Oxides (NO_x as NO_2)	0.0794	3.5590	0.28273
Nitrous Oxide (N_2O)	0.0515	0.0363	0.00187
Particulates (unspecified)	0.0529	8.0136	0.42355
Pentane (C_2H_{12})	0.0571	0.0102	0.00058
Phenol (C_6H_5OH)	0.1065	0.0000	0.00000
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	917.5377	0.0000	0.00266
Propane (C_3H_8)	0.0588	0.0484	0.00284
Propionaldehyde (CH_3CH_2CHO)	0.0844	0.0000	0.00000
Propylene (CH_2CHCH_3)	0.1441	0.0064	0.00092
Sulphur Oxides (SO_x as SO_2)	0.1419	10.9187	1.54976
Tars (unspecified)	0.0101	0.0000	0.00000
Toluene ($C_6H_5CH_3$)	0.0788	0.0029	0.00023

※ELU는 환경오염부하지수로서 프로그램상의 환경지수와 배출량을 곱한값

※ 모든 값은 소숫점 네자리까지로 함

<표 4-20> Eco-indicator방법에 의한 수질 환경부하지수

Output	coefficient	배출량(g)	ELU
Ammonia (NH_4^+, NH_3, as N)	0.0552	0.0127	0.0007
Arsenic (As_3^+, As_5^+)	91.1863	0.0000	0.0016
Barium (Ba^{++})	12.7661	0.0278	0.3545
Boron (B III)	2.7356	0.0002	0.0005
Cadmium (Cd^{++})	273.5588	0.0000	0.0017
Chromium (Cr III, Cr VI)	18.2373	0.0000	0.0010
COD (Chemical Oxygen Demand)	0.0029	0.0423	0.0001
Copper (Cu^+, Cu^{++})	0.4559	0.0000	0.0000
Lead (Pb^{++}, Pb_4^+)	91.1862	0.0007	0.0638
Manganese (Mn II, Mn IV, Mn VII)	1.8237	0.0026	0.0047
Mercury (Hg^+, Hg^{++})	91.1863	0.0000	0.0000
Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	12.7661	0.0001	0.0008
Nickel (Ni^{++}, Ni_3^+)	45.5931	0.0001	0.0035
Phosphates (PO_4^{3-}, HPO_4^-, $H_2PO_4^-$, H_3PO_4, as P)	0.4005	0.0000	0.0000
Phosphorus (P)	0.4005	0.0000	0.0000

※ELU는 환경오염부하지수로서 프로그램상의 환경지수와 배출량을 곱한값

※ 모든 값은 소숫점 네자리까지로 함

4.4.4 ET방법에 의한 영향평가

ET방법은 지구적 차원의 환경문제, 예를 들면 지구온난화, 오존층 파괴현상, 광화학 스모그, 산성화, 부영양화, 유독성 물질의 확산, 쓰레기 처분, 자연자원의 고갈 등을 계량화하는 방법이다. 이 방법에서는 지역적 규모의 환경문제는 제품의 LCA과정 속에 이미 포함되어 있고 기존의 농도(background concentration)도 이미 지구적 차원에서 고려된 것으로 가정하

고 지구적 규모의 환경문제에 미치는 부하만을 계량화하고 있다. 다음에 ET 방법에 의한 영향평가 결과를 나타내었다. 우선, <표 4-21>과 <그림 4-4>에는 산성화물질에 대한 영향평가를 나타내고 있다. 산성화의 영향범주에서 암모니아, NO_x, SO_x 등의 물질들의 가중정도를 coefficient로 나타내었고 각 물질들의 배출량을 곱해줌으로써, 환경부하지수(ELU)값을 얻을 수 있다. 결과로서, SO_x의 ELU값이 1.5498로 가장 많은 비율을 차지했고, NO_x의 ELU값이 0.2827로 그 다음을 차지하였는데, 이는 인조진주안료의 제조공정에서 사용되는 에너지 소비(전력, 수송에너지)에 의한 결과라는 것을 알 수 있다.

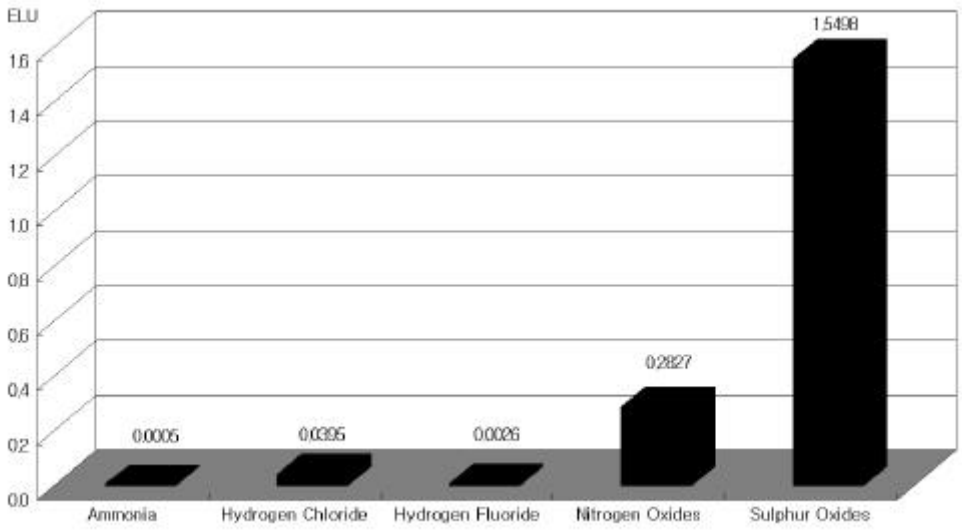
<표 4-21> ET방법에 의한 환경부하지수 (산성화)

항 목	coefficient	배출량(g)	ELU
*Ammonia (NH_3)	0.2108	0.0022	0.0005
Hydrogen Chloride (HCl)	0.0784	0.5038	0.0395
Hydrogen Fluoride (HF)	0.1425	0.0186	0.0026
Nitrogen Oxides (NO_x as NO_2)	0.0794	3.5590	0.2827
Sulphur Oxides (SO_x as SO_2)	0.1419	10.9187	1.5498
총 합	0.6531	15.0023	1.8751

※ELU는 환경오염부하지수로서 프로그램상의 환경지수와 배출량을 곱한값

※ 모든 값은 소숫점 네자리까지로 함

* 암모니아를 중화하기 위하여 산을 첨가하는 과정에서 산성화에 미치는 영향이 나타남



<그림 4-4> 산성화에 대한 환경부하지수

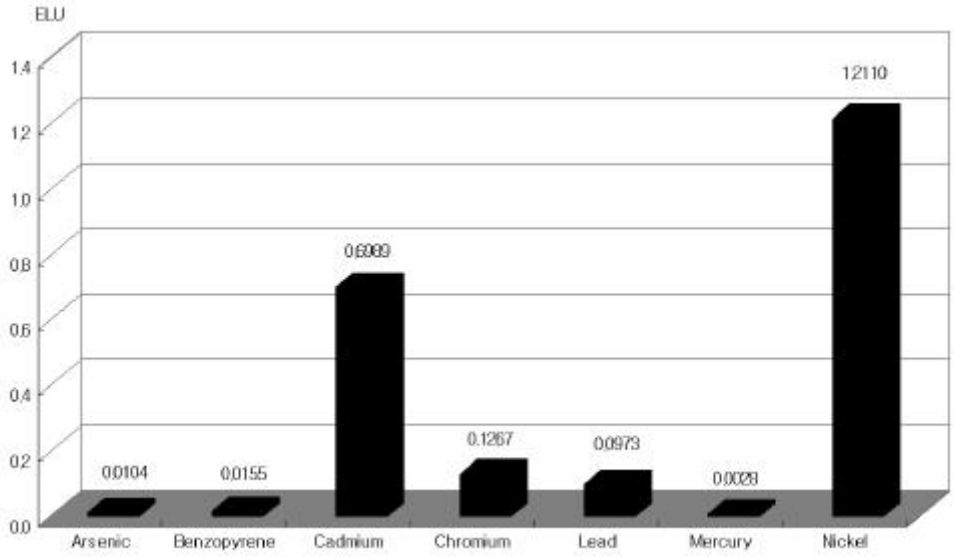
앞에서 나타낸 것과 마찬가지로, <표 4-22>와 <그림 4-5>에는 생태계에 영향을 미치는 물질들에 대한 환경부하지수를 나타내었다. 생태독성의 영향 범주에서 Nikel의 ELU값이 1.2110으로 가장 많은 비율을 차지했고, 그 다음은 Cadmium으로 ELU값이 0.6989를 나타내었다. 여기서, 인조진주안료의 제조공정에서 가장 많은 양이 사용되는 산화연, 즉 납성분의 경우, 기능단위당 0.0011g이 사용되어 가장 많은 배출량을 나타내었지만 부하지수 결과로보면, 0.0973으로 Cadmium과 Nikel과 같은 물질 보다 적은 값을 나타내었는데, 그 이유는 가중계수값에 비해 미미한 값이 적용되므로 환경부하지수는 이들 중금속보다 작은 값을 나타내고 있다.

<표 4-22> ET방법에 의한 환경부하지수 (생태독성)

항 목	coefficient	배출량(g)	ELU
Arsenic (As)	40.3670	0.0003	0.0104
Benzo(a)pyrene ($C_{20}H_{12}$)	917.4312	0.0000	0.0155
Cadmium (Cd)	4559.3135	0.0002	0.6989
Chromium (Cr III, Cr VI)	403.6697	0.0003	0.1267
Ethylbenzene (C_8H_{10})	0.0101	0.0002	0.0000
Lead (Pb)	91.1863	0.0011	0.0973
Mercury (Hg)	91.1863	0.0000	0.0028
Nickel (Ni)	403.6697	0.0030	1.2110
Phenol (C_6H_5OH)	0.1065	0.0000	0.0000
Toluene ($C_6H_5CH_3$)	0.0788	0.0029	0.0002
총 합	6,507.0191	0.0080	2.1628

※ELU는 환경오염부하지수로서 프로그램상의 환경지수와 배출량을 곱한값

※ 모든 값은 소숫점 네자리까지로 함



<그림 4-5> 생태독성에 대한 환경부하지수

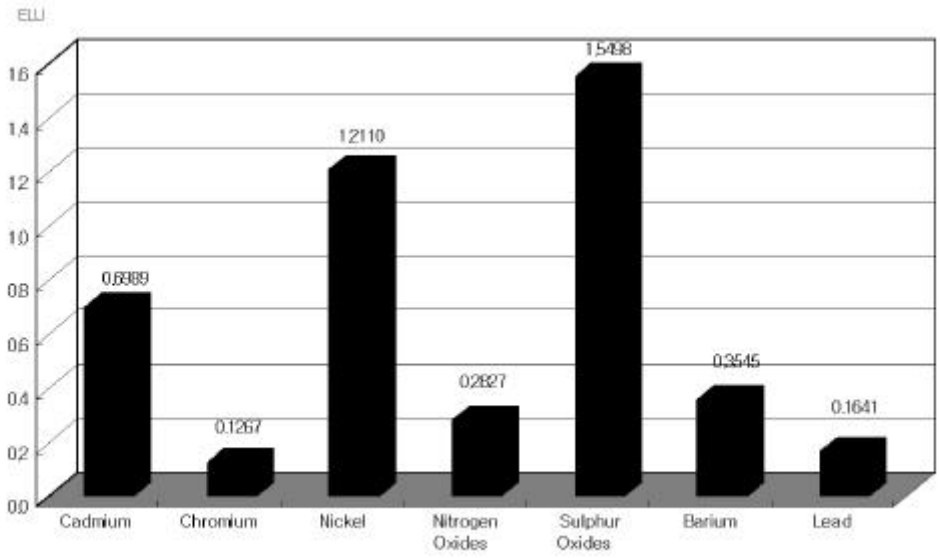
인간독성에 대한 환경영향은 SO_2가 1.5498로 ELU값이 가장 크게 나타났고, Nikel, Cadmium등에 의한 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 인간독성에 대한 환경영향을 <표 4-23>과 <그림 4-6>에 정리하여 나타내었다.

<표 4-23> ET방법에 의한 환경부하지수 (인간독성)

항 목	coefficient	배출량(g)	ELU
Ammonia (NH_3)	0.2108	0.0022	0.0005
Arsenic (As)	40.3667	0.0003	0.0104
Benzo(a)pyrene ($C_{20}H_{12}$)	917.4312	0.0000	0.0155
Cadmium (Cd)	4559.3135	0.0002	0.6989
Chromium (Cr III, Cr VI)	403.6697	0.0003	0.1267
Ethylbenzene (C_8H_{10})	0.0101	0.0002	0.0000
Lead (Pb)	91.1863	0.0018	0.1641
Manganese (Mn)	91.1863	0.0002	0.0202
Mercury (Hg)	91.1863	0.0000	0.0028
Nickel (Ni)	403.6697	0.0030	1.2110
Nitrogen Oxides (NO_x as NO_2)	0.0794	3.5590	0.2827
Phenol (C_6H_5OH)	0.1065	0.0000	0.0000
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	917.5377	0.0000	0.0027
Sulphur Oxides (SO_x as SO_2)	0.1419	10.9187	1.5498
Toluene ($C_6H_5CH_3$)	0.0788	0.0029	0.0002
Ammonia (NH_4^+, NH_3, as N)	0.0552	0.0127	0.0007
Arsenic (As_3^+, As_5^+)	91.1863	0.0000	0.0016
Barium (Ba^{++})	12.7661	0.0278	0.3545
Cadmium (Cd^{++})	273.5588	0.0000	0.0017
Chromium (Cr III, Cr VI)	18.2373	0.0001	0.0010
Copper (Cu^+, Cu^{++})	0.4559	0.0000	0.0000
Mercury (Hg^+, Hg^{++})	91.8627	0.0000	0.0000
Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo, VI)	12.7661	0.0001	0.0008
Nickel (Ni^{++}, Ni_3^+)	45.5931	0.0001	0.0035
Phosphates (PO_4^{3-}, HPO_4^{--}, $H_2PO_4^-$)	0.4005	0.0000	0.0000
총 합	8,883.0231	14.5296	4.4493

※ELU는 환경오염부하지수로서 프로그램상의 환경지수와 배출량을 곱한값

※ 모든 값은 소숫점 네자리까지로 함



<그림 4-6> 인간독성에 대한 환경부하지수

4.5 결과해석

LCA(전과정평가)의 목적이 영향평가를 하여 그로 인하여 개선점을 찾고 어떤 상품의 선택권을 주는 데에도 의미가 있지만, 전과정에 걸친 환경영향평가를 하여 개선점을 찾고 환경적으로 더 나은 방향으로 나아가는 데에 그 의의가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 인조진주안료제품의 생산과정 및 운송부분에서만 LCA를 수행하였는데, 이 연구에 사용된 데이터들은 생산공정에 투입되는 원·부자재 부문, 생산공정에서 소비되는 전력사용량, 수질오염물질 측정 항목, 생산공정에서의 폐기물 발생량, 제품의 수송에 필요한 연료소비량(대기오염물질 발생량)이였다. 먼저 목록분석과정에서 연구를 위해 이용된 모든 데이터들을

기능단위(FU) 인 1kg으로 모두 환산하여 환경영향평가에 이용된 TEAM 3.0 프로그램에 적용시킬 수 있도록 하였다. TEAM 3.0프로그램에 포함되어 있는 방법들 중에서 Eco-Indicator 방법과 ET방법을 사용하여 산성화, 생태독성, 인간독성 세가지 측면에서 영향을 살펴보았다.

산성화측면에서의 결과를 보면 SOx 가 가장 높은 ELU수치를 보였고 NOx가 그 다음으로 높은 수치를 보였다. 이 과정은 주로 운송부분을 통하여 배출되는 오염물들과 전력에너지를 생산해낼 때 발생하는 오염물질들 중 나타날 수 있는 물질들이다. 이 부분에서는 제품의 운송시 잦은 트럭의 운용으로 인하여 물질들의 발생에 기인한 것으로 보인다. 그러므로 제품을 운송할 때 다량의 양을 운송하여 운송횟수를 줄이는 것이 이루어져야 한다고 본다.

생태독성과 인간독성의 측면에서 보면 연구에 사용된 모든 데이터들로부터 나온 결과이다. 먼저 생태독성부분에서는 Mercury가 가장 높은 ELU수치르 보였고 그 다음으로 Cadmium이 높은 수치를 보였다. 그리고 인간독성의 측면에서 보면 SOx가 가장 높은 ELU값을 보였고, Nickel과 Benzo(a)pyrene이 그 다음으로 높은 ELU값을 보였다. 비록 인조진주안료제품의 원료가 산화연이지만 그 사용되는 양이 엄청나게 많은 양은 아니기 때문에 오히려 제품생산시 산화연에 의한 영향보다 다른 물질들이 높은 ELU수치를 보였다. 그러므로 제품의 생산공정의 개선과 제품유통의 개선이 필요할 것으로 보인다.

Ⅴ. 고 찰

어떠한 제품생산으로부터 발생되는 환경오염정도에 대해서 보다 객관적이고 체계적이고 과학적인 방법으로 결과를 산출해 내는 것은 친환경성을 지향하고 있는 현시점에서 매우 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구에서 인조진주안료제품이 중금속물질인 산화연을 주로 사용하므로 환경오염에 적지않은 영향을 줄것으로 여겨져 이 제품에 대하여 전과정평가(LCA)를 적용하여 제품생산시 원료의 취득부터 최종소비자로부터 사용된 후에 폐기될 때까지의 모든 과정에서 환경오염부하지수를 구한 후, 체계적으로 어느 단계에서 어느정도의 환경부하가 발생하며 경제적인 측면에서는 어떠한 영향들이 있는지를 살펴보려 하였다.

그러나 실제 환경부하의 평가에 있어서 모든 단계와 인자를 포함하여 수행한다는 것은 거의 불가능할 뿐만 아니라, 각 인자의 중요성 및 영향도를 모두 고려할 수 없는 것이 현실이다(박광호,1999).

구체적인 환경부하 항목은 대기·수질·토양에 대한 배출물 및 고형폐기물에 거의 한정되고, 제품의 기능으로서의 효용이나 문화적인 가치는 포함되지 않는다. 그리고 각 환경부하 항목에 가중치를 두고 이들을 합산해서 종합적으로 평가하려는 시도는 주관적인 요소가 크다는 의견이 많다(서울시립대학교, 1997). 본 연구에서는 주관적인 요인은 최대한으로 배제하고 객관적인 결과를 얻으려 하였다.

본 연구에서 고려되어진 제품생산공정과 운송부분까지의 데이터들, 즉 생산원·부재료량, 전력사용량, 운송시 발생하는 에너지량, 공장내 배출되는 폐수의 양, 수질오염측정치 등의 데이터들을 가지고서 LCA 프로그램중 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있는 TEAM 3.0을 이용하여 환경오염지수들을 얻었다. 이 프로그램은 현재 상용화되어 있는 LCA 소프트웨어 중 38개의 영향평가

방법들을 포괄적으로 정리해 놓은 것이다. 그 가운데 본 연구에서는 Eco-indicator 95방법과 환경문제분류(Environmental Theme Classification, ET)방법을 이용하여 인조진주안료의 제조공정에서의 환경영향을 파악하였다.

Eco-indicator 95방법은 제품의 환경영향을 점수로 나타낼 수 있으나, 영향범주 구분이 다소 모호하며 범주간 가중치가 우리나라 현실과는 다르다는 단점도 거론되고 있다.

ET방법은 어떠한 환경문제에 대하여 그 환경문제에 영향을 줄 수 있는 물질들을 구분하여 보기에는 용이하나, 환경영향을 범주별로 구분하여 각각의 범주에 대한 영향의 크기를 추산하는데 각 범주별 가중치를 부여하는 과정이 제외되어 있어 Eco-indicator 95와 같이 제품의 전체 환경영향을 하나의 점수로 표현하지는 못한다. 그리하여 본 연구에서는 먼저 환경영향을 수치로 구할수 있는 Eco-indicator 95방법으로 환경오염지수를 구한 후, 요즘 많이 시행되고 있는 산성화, 생태독성, 인간독성 세가지의 범주를 구분해서 보기 용이한 ET방법을 같이 이용하여 두 방법의 단점을 보완하려 하였다.

그러나 이러한 수치들은 그 자체가 어떠한 의미를 가지고 있는 것이 아니다. 어느정도의 수치가 나오면 환경오염에 많은 영향을 미치고 어느정도의 수치를 보이면 악영향을 덜 준다는 식의 해석은 의미가 없다. 단지 여러물질들에 있어서 어떠한 물질이 더 환경오염에 많은 영향을 미치는가를 비교하는데 의미가 있다(에코경영컨설팅, 1998).

본 연구는 비록 인조진주안료제품에 대하여 진정한 의미의 LCA를 수행하지는 못했지만 LCA를 수행하기 위하여 기반을 제공한다는 점에서 의의를 찾을수 있다.

더 나아가 전과정 중에서 환경오염을 저감시킬 수 있다고 판단되는 부분, 예를 들어 제품공정과정에서 발생되는 폐기물 양을 줄이거나. 폐기물을 재사용을 했을 때 환경오염저감 정도를 수치적으로 결과를 보여줄 수 있으므로

명확한 결과를 나타낼 수 있다고 여겨진다.

실질적으로 본 연구에서 수행한 인조진주안료의 환경영향평가를 통하여 다음과 같은 두가지 방향으로 환경개선의 기회를 모색해 볼 수 있다.

- 제조공정상의 용수의 재이용: 인조진주안료의 제조공정(표 4-1참조)에서 알 수 있듯이, 원재료인 산화연, 빙초산, 순수의 세가지 물질을 혼합하여 침전시키는데 이 과정에서 사용되는 물은 침전되는 물질위에 상등액으로 남게 된다. 이것은 그대로 버려져 산화연과 메탄올 등이 섞인 채로 폐수처리시설로 보내지게 된다. 원재료의 혼합비와 제품의 생산량으로 감안할 때 이러한 물을 재이용 또는 재사용 한다면 그만큼의 환경부하를 줄일 수 있을 뿐 아니라 기업에서의 원가절감면에서도 유용하리라 생각된다.

- 고형폐기물의 재활용: 본 연구의 대상인 인조진주안료는 주원료로서 산화연을 사용하고 있다. 이는 제조공정에서 많은 고형폐기물(산화연 성분)을 발생시킨다. 본 연구에서는 제시하지 않았지만, 회사내에서의 실험결과에 의하면, 제조공정 후 발생되는 고형폐기물 중 산화연의 함유율이 95%를 상위하며 그 성분도 원재료와 거의 같은 상태를 나타냈다. 이모든 폐기물을 재활용 또는 재이용 한다면, 본 연구의 결과로 제시한 바 있는(표 4-16, 그림 4-4 참조) 인간독성에 대한 산화연의 환경부하지수(ELU)인 0.1641의 양만큼 환경적 영향을 저감시킬수 있으리라 생각된다.

앞으로 이 데이터들을 바탕으로 LCA수행의 각 단계에서 비교 가능한 결과를 나타낼수 있는 더 발전된 LCA를 수행할 수 있다고 사료된다.

Ⅵ. 결 론

본 연구에서는 환경부하 평가기법 중 하나인 LCA기법을 이용하여, 제품의 생산공정에서 투입되고 배출되는 가능한 한 모든 물질들을 정량화하여, 이들의 환경적 영향을 제시하고자 하였다. 기존의 LCA방법론에서 적용하는 제품의 각 단계별 환경부하량을, 본 연구에서는 인조진주안료의 제조공정과 운송부분만을 고려하였다. 즉, 제조공정에서의 원·부재료 물질, 수질오염물질, 폐기물, 에너지 소비(전력, 수송에너지)만을 고려대상으로 하였다. 이는 제품의 다른 각 단계들과의 비교를 할 수 없으며, 인조진주안료 단일 제품만을 평가대상으로 하였으므로 다른 제품과의 비교평가를 행할 수 있는 결과를 제시할 수 없다. 하지만, 아직 환경영향 평가를 수행한 사례가 없는 대상에 대한 평가를 시도했다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있을 것이다. 또한, 제품의 생산공정에서 투입되고 배출되는 가능한 한 모든 물질들을 정량화하여, 이들의 환경적 영향을 제시함으로써, 환경 친화적인 설계의 기초자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 본 연구의 결과는 추후 타 제품과의 환경성 비교 등에 사용될 것으로 생각된다. 그리고 이 자료를 바탕으로 환경 친화적인 설계(DfE: Design for Environment)를 전개하여 제품의 공정 개선, 폐기물 재활용 등의 환경성 개선, 원가절감 등을 도모할 수 있는 자료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

강광하, 산업연관분석론, 비봉출판사, 1991

공업진흥청, 전과정환경분석기법(LCA)연구발표, 1995

국립기술품질원, 한국품질환경인증협회, ISO/ TC 1997; 176-207.

김선희, Life Cycle Assessment의 방법론 및 그 적용에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 박사논문, 1994

김선희, 지속가능한 소비형태와 LCA(Life Cycle Assessment), 1996

김영운, 황용우, 서성원, 쓰레기 수송시스템의 LCA를 위한 기초적 접근, 대한환경공학회 '99춘계학술연구발표회, 1999

김익수, 생태도시 조성을 위한 통합폐기물 관리방안 - 전과정평가(LCA) 기법의 응용 - 서울대학교 대학원 협동과정 조경학전공, 1998

김재환, 민감도분석의 전과정평가에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문, 1997

김중기, 박용남, 정재춘, 강희복, PET(Polyethylene terephthalate) 제품의 LCA를 이용한 환경성 평가, 한국환경위생학회지 1999; Vol. 25, No. 4, pp. 80-90.

김중기, 제지산업에 있어서 전과정평가(LCA) 적용에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위논문, 2000

김태용, 기업 환경보고서가 갖는 의미와 최근 동향, 삼성지구환경연구소, 1999

노재성, 전과정평가에서 주요 이슈 규명에 관한 연구, 아주대학교 대학원 석사학위논문, 1997

대한상공회의소, 선진환경경영기법과 기업의 대응-전과정평가(LCA)를 중심으로-, 1995

맹승주, LCA의 영향평가 기법개발에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 1995

박광호, 고속도로의 전과정에 따른 환경부하 평가를 위한 데이터베이스 구축, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 1999

박태순, 에너지투입산출모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 산정과 탄소세 영향분석, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1993

박필주, 전과정평가 중급, 1999

백창현, 그린 라운드(Green Round)의 파고를 넘는 한국의 기업들, 1994

서상원, Integrating Cost Information into Alternative Evaluation System for Pollution Prevention, 아주대학교 대학원 석사학위논문, 2000

손태청, 기업에서의 폐기물감량화 현황과 과제, 쓰레기 감량화 촉진을 위한 제2회 연구세미나, 1998

안정림, Life Cycle Assessment의 방법론 및 그 적용에 관한 연구 - 샴푸를 대상으로 - 연세대학교 보건대학원, 1995

에코경영컨설팅, 알기쉬운 LCA, 1998

이동훈, 지속가능한 사회의 구축과 자원재활용, YMCA환경문집1: 환경사회 건설을 위한 시민운동, 1998

이미홍, LCI 기법을 이용한 폐종이우유팩 처리 방법 평가, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1997

이미홍, LCA(Life Cycle Assessment)의 소개와 사례, 쓰레기 감량화 촉진을 위한 제1회 연구세미나, 1998

이병욱, 기업의 청정생산과 폐기물 최소화, 쓰레기 감량화 촉진을 위한 제2회 연구세미나, 1998

이정전, 쓰레기 종량제와 재활용 산업의 육성, 1998

정용, 김용범, 지속가능한 개발 지표 도출을 위한 기본적 구성, 환경영향평가

제5권 제2호 1996; 79-91

정재우, 허탁, 안중우, 전과정평가 기법을 이용한 폐발포폴리스티렌의 관리, 한국공업화학회 '97추계학술연구발표회, 1997

정재춘, 김중기포장용기의 재활용 증진 방향 및 정책, 대한환경공학회 '98춘계학술발표연구회, 1999

조혜진, 전과정평가를 이용한 음식물쓰레기 처리방식 평가, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1998

한국표준협회, LCA(전과정평가)기법, 1995

한순금, 전과정평가 기법에 있어서 감도분석에 관한 고찰, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 1995

허탁, LCA의 개념 및 국내외 현황, 미래지향적 기술산업 추진전략 심포지움, 건국대학교 1996; 193-194.

허탁, 안중우, 정재춘, 전과정평가의 기본원리, 한국경영자총협회, 1995

환경부, 전과정 평가의 기법 개발과 국내산업에의 적용, 1995

Aldrich J. R., A Primer for Financial Analysis of Pollution Prevention Project, U. S. EPA/ EPA/ 600/ R-93/ 059, 1993

Azapagic A., R. Clift, Allocation of Environmental Burdens in Multiple-Function Systems, Journal of Cleaner Production, 1999

Boyd J., Searching for the Profit in Pollution Prevention, Case studies in the Corporate Evaluation of Environmental Opportunities, U. S. EPA, 1998

Breedveld L., M. Lafleur, H. Blonk, A Framework for Acutualising Normalization Data in LCA, Experience in the Netherlands, Int. J. LCA4(4), 1999

Canadian Standards Association, Design for Environmental(DfE)

-Environmenatl Technology 1995; Z62-95

Cohan D., Integrated Life-Cycle Management, in Fiksel, J., Design for Environment : Creating Eco-Efficient Product and Processes, McGraw Hill, 1996

Consoli F., D. Allen, I. Bounstead, J. Fava, W. Franklin, A. A. Jensen, N. de Oude, R. Parish, R. Perriman, D. Postlethwaite, B. Quay, J. Séguin, Guidelines for Life-Cycle Assessment, A ‘Code of Practice, SETAC, 1993

Curren, M. A., Environmental lifr-cycle assessment, McGraw-Hill, 1996

David T. Allen, Frank J. Consoli et al. Public Policy Applications of Life-Cycle Assessment, 1994

Economics, Trade and Environment Unit(ETEU), The Application of Economic Instruments in Environmental Policies in Brazil, China and South Korea, UNEP 1997; Paper No. 24.

Ecobilan, TEAM™ User's Manual, 1999

Fava J. A., Consoli F., R. Denison, K. Dickson, T. Mohin, B. Vigon, A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment, SETAC, 1993

Goedkoop M., The Eco-Indicator 95, Final Report, Pré Consultants, Netherlands, 1995

Goedkoop M., R. Spriensma, : The Eco-Indicator 99 : A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology & Methodology Annex, Pré Consultants, Netherlands, 1999

Guineé, J. B., : Development of a Methodology for the Environmental Life-Cycle Assessment of Products : with a case study on

margarines, Ph.D Thesis, Leiden Univ., Netherlands, 1995

Hendrickson, C., A. Hovarth, S. Joshi, L. Lave, :Environmental Life Cycle Assessment, Environmental Science & Technology 1998; 32(7).

James A. Fava, Battelle, Richard Denison et al A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, 1994

James Fava, Roy F. Weston et al, Life-Cycle Assessment Data Quality: A Conceptual Framework, 1994

Organization For Economic Co-Operation And Development, The Life Cycle Approach: An Overview Of Product/ Process Analysis, 1995

R. Heijungs, Guineé, J. B., : The Flux-Puls problems in LCA, SETAC-Europe News 1994; 4(3), p.6.

R. Heijungs, Guineé, J. B., G. Huppes, R. M. Lankreijer, H. A. Udo de Haes, A. W. Sleeswijk, A. M. M. Ansems, P. G. Eggels, R. van Duin, H. P. de Goede, :Environmental Life Cycle Assessment of products, Guide & Backgrounds, CML, Leiden, Netherlands, 1996

일본 日刊工業新聞, 일본통산성, '98**년부터 5개년 계획으로** LCA **프로젝트 개시**, 1998

Internet website

- http:/ / www.apme.org/
- http:/ / www.leidenuniv.nl/ interfac/ cml/
- http:/ / love.kaist.ac.kr/ ~kcr/ links.htm
- http:/ / www.ec.gc.ca/ ecocycle/
- http:/ / www.ecosite.co.uk/
- http:/ / www.insead.fr/ Encyclopedia/ Environment/ lca.htm

- http:/ / www.unite.ch/ doka/ lca.htm
- http:/ / www.leidenuniv.nl/ interfac/ cml/ lcanet/
- http:/ / www.pre.nl/
- http:/ / www.setac.org/ lca.html
- http:/ / www.trentu.ca/ faculty/ lca/
- http:/ / www.paper.or.kr/ default_main.htm
- http:/ / www.kab.or.kr/
- http:/ / www.nier.go.kr/
- http:/ / www.detr.gov.uk/
- http:/ / www.ei.jrc.it/
- http:/ / www.rco.on.ca/
- http:/ / www.doe.ca/
- http:/ / www.koreco.or.kr/
- http:/ / www.ecobrief.com/
- http:/ / www.moenv.go.kr/
- http:/ / www.cciw.ca/ environmetrics/
- http:/ / www.epa.gov/
- http:/ / www.gemi.org/ message.htm
- http:/ / www.iso.ch/
- http:/ / www.nih.gov/
- http:/ / www.oecd.org/
- http:/ / www3.green.co.kr/ right.shtml
- http:/ / cgmp.kaist.ac.kr/ lca/ index.htm
- http:/ / www.kosenv.or.kr/ cgi-bin/ bbs/
- http:/ / www.xpert.co.kr/

Abstract

Application of Streamlined LCA in Production of Imitation Pearl Essence Products

Hyung Chan Kim
Dept. of Environmental Management
Graduate School of
Health Science and Management
Yonsei University

(Directed by Professor, Yong Chung, Ph.D.)

More and more interest of company and public for environmental problem is growing up. As a result of, some scientific and systemic environmental analysis methods like life cycle assessment(LCA) were developed, besides environmental management system, waste reduction plan.

In the latest, approach method and environmental policy were changed in many parts to solve the environmental problem. But it is limited to do it with post-treatment, so some methods are developing to do it by pre-approach method.

LCA is systemic approach method meant "cradle to grave" to environmental problem led by products or any other sub-activity. LCA can supply the flame to

concrete and fixed quantity environmental impact. Even though LCA is good method, it is not spread. Because databases for LCA application could not supported sufficiently. But more and more accumulated much data, so we can expect promotion in the future.

In this paper, try to apply LCA method in imitation pearl essence products made lead carbonate, but confronted lack data. Even though failed apply LCA, but it is significant to supply database to apply LCA in the future.

This paper covers production process and transportation length and use team 3.0 program. This program has 38fields, Eco-indicator method and ET(Environmental Theme Classification)method are used among the program in this paper. Eco-indicator method is benefit to get digit for environmental loading and ET method can divide the categories(in this paper take care acid rain, Ecology-toxity, human toxity fields). The result of this study are as follows;

1. In result of Eco-indicator method, environmental loading units(ELU) in atmosphere field are 0.09729 for lead, 0.69894 for Cadmium , 0.49954 for Carbon Dioxide, 0.21103 for Nickel, 1.54976 for Sulphur Oxides.

In water field 0.3545 for Barium, 0.0638 for Lead, 0.0017 for Cadmium. Even though lead is major raw material, comparatively the digit is lower than other material due to low weighting.

2. In result of ET method, 0.2827 for Nitrogen Oxides, 1.5498 for Sulphur Oxides in acid rain impact field. and 1.2110 for Nickel, 0.6989 for Cadmium, 0.1267 for Chromium in Ecology toxity field. Finally 1.2110 for Nickel, 1.5498 for Sulphur Oxides, 0.3545 for Barium in human field.

Those digit does not have any meaning by themselves, but it is very useful to compare the difference among the material. It is possible which material more impact to environment among those material. Also it is very useful to supply clear results with digit whenever adds some data will be input in other process.