

I. 논단 : 자동차용 부품의 전과정평가(LCA) 사례 연구

- 환경성평가의 수단으로 LCA를 적극 도입·채택하고 있는 해외 선진 자동차 업체들은 데이터베이스 구축, 자동차 LCA 지침서 개발 등 LCA 기법 개발을 위해 여러 업체간에 공동으로 노력을 경주하고 있음
- 현대환경연구원과 현대자동차는 공동으로 자동차용 부품에 대한 LCA 사례연구를 수행하였으며, 자동차 산업에서의 LCA 유용성 판단을 목적으로 서로 다른 재료를 적용한 부품의 LCA를 수행
- LCA 사례 연구를 통하여 재료 선정시 LCA가 유용한 도구로 적용될 수 있다는 사실을 확인
- LCA의 적용과 기법 개발은 자동차의 환경과 관련된 경쟁력 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단

1. 들어가는 말

선진 자동차 제조업체에서는 날로 강화되고 있는 국내외 환경규제에 적극 대응하여 환경의 중요성을 강화하고 있는 국제 시장에서 경쟁력을 확보하기 위하여 환경친화적인 자동차 개발에 전력을 기울이고 있다. 그 일환으로 대부분의 제조업체에서는 환경을 품질, 안전과 함께 중요한 자동차의 가치로 채택하고 있다.

환경원칙과 연구개발 동향을 살펴보면 대체연료 자동차의 개발, 폐자동차 회수 및 재활용성 향상과 함께 중요하게 다루고 있는 내용중의 하나가 전과정평가(Life cycle assessment : LCA, 이하 LCA라고 함)를 기반으로 하는 전체론적 접근방법(Holistic approach)을 채택하고 있다는 것이다. 재료의 선정, 폐자동차 회수 및 재활용 등에 LCA를 적용하고 있으며, 이를 마케팅에도 활용하고 있다. 최근 영국 통산부와 환경청에서는 폐자동차의 회수 및 재활용 목표에 대한 EC Directive를 LCA를 적용하여 검토하는 과제를 진행하였다.

본 고에서는 국내 업체의 LCA 도입에 일조하고자 이와 같은 해외 선진 자동차 업체들의 LCA 동향을 살펴보고, 자동차 부품에 대해 수행된 LCA 사례 결과를 소개하는데 초점을 두었다.

2. 해외 자동차 LCA 동향

(1) EUCAR 과제

유럽의 자동차 산업은 1980년대 말부터 LCA 연구 및 적용을 위한 활동을 시작하였으며, 1993년부터 EUCAR(European Council for Automotive Research and Development)를 중심으로 자동차 LCA 기법 개발을 위한 공동 노력을 진행하고 있다. 1단계 과제는 1993년부터 1995년까지 진행되었으며, 2단계 과제는 1996년 8월부터 1998년 7월까지 진행되었다. EUCAR LCA 과제의 주요 목적은 다음과 같다.

- 각국 및 EC 입법자들에게 실용적인 정보 제공
- 미래 자동차 개발을 위한 설계 지원
- 자원 보존과 폐기물 발생을 억제하기 위한 적합한 에너지/환경 및 재활용 전략 개발
- 자동차 부품 및 완성차 LCA를 위한 일반적인 LCA 방법론 개발과 기법에 대한 합의 도출
- 자동차 LCA 수행을 위한 지침서 개발

EUCAR LCA 과제에는 BMW, Daimler-Benz, Fiat, Ford, Opel, PSA, Renault, Rover, Volvo, Volkswagen 등이 참여하였다.

1단계 과제에서는 LCA 과정 중 목록분석 분야에 초점을 맞추어 수행되었으며, 다음과 같은 내용을 주요한 과제로 다루어 수행하였다.

- 원료 및 재료에 대한 일반적인 데이터베이스 구축 : 기존의 데이터베이스에 대한 조사 및 검토가 이루어졌으며, 유럽알루미늄협회(EAA), 유럽플라스틱제조협회(APME) 및 공급업체들과 협력관계를 구성하였다. 또한 데이터의 품질을 높이기 위한 방안을 모색하였다.
- 사례 연구 : 각 제조업체에서 사용하는 LCA 방법론과 데이터베이스의 차이를 확인하기 위하여 동일한 조건으로 PP 범퍼 cover를 대상으로 사례연구를 실시하였다.
- LCA 지침서 개발 : 연구 결과를 토대로 LCA 지침서를 개발하였다. 이 지침서는 LCA 수행자들에게 적합한 방법을 추천하고 있으며, 자동차 완제품과 부품 모두에 적용할 수 있는 표준과 일반적인 자동차 전과정 목록분석(LCI)의 parameter를 제시하고 있다.

1단계 과제 of 수행 결과는 재료에 대한 데이터 품질을 높이기 위해 지속적인 노력이 필요하다는 사실을 보여주었으며, 사례연구는 동일한 조건임에도 불구하고 결과에 많은 차이가 있음을 나타내었다.

2단계 과제에서는 1단계에서 완성되지 못한 부분을 개선하는데 초점을 맞추어 수행되었다. LCA 지침에서 데이터베이스를 보다 개선하고, 보다 상세한 방법론의 발전과 개선에 중점을 두고 있다. 이 과제의 주요 내용은 다음과 같으며, 2단계 연구 결과를 이용하여 보다 상세한 자동차 LCA 수행 지침서를 개발하였다.

- LCA 데이터 출처와 품질
- 자동차 사용단계에서의 할당 및 데이터 처리 방법
- 폐자동차 재활용 시나리오
- 영향평가 방법
- 단순하고 신속한 LCA 방법

EUCAR LCA 그룹에서는 LCA 수행 지침서 개발 연구에 그치지 않고 자동차 산업에 대한 CO₂ 저감 및 재활용 증대 압력에 대응하기 위한 공동 연구 진행을 고려하고 있다.

(2) USCAR

미국의 USCAR(U.S. Council for Automotive Research)는 GM, Ford, Chrysler로 구성되어 있으며, 이 조직을 통하여 기술과 환경 분야에서 협력과 정보를 공유하고 있다.

USCAR 에서는 1997년 8월부터 1998년 말까지 미국의 전형적인 중형 승용차를 대상으로 전과정 목록분석 과제를 수행하였으며, 서로 경쟁관계에 있는 재료 공급업체들인 알루미늄 협회, 철강협회, 플라스틱 협회가 이 과제에 참여하였다. 이 과제를 통하여 중형 승용차의 생산, 사용 및 폐기에 사용되는 모든 자원을 포함하는 데이터베이스를 구축하였으며, 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하였다.

다음의 항목들이 정량화 대상으로 고려되었다.

- 원료를 취득하는데 사용되는 에너지 양
- 배출되는 오염물질
- 자동차의 수명동안 사용하는 에너지 양
- 재활용과 폐기

여기서 구축된 데이터베이스는 세 개의 자동차 회사가 소비자의 요구 충족과 자동차의 환경성을 지속적으로 개선하는데 사용되며, 설계단계에서 수행되는 재활용성 평가, 환경친화적인 재료 선정 등, 설계자들의 환경적인 의사결정을 지원하게 된다.

알루미늄, 철강, 플라스틱은 자동차 재료로써 서로 경쟁관계에 있으나 환경친화적인 자동차의 개발을 위하여 서로 협력하고 있으며, 자동차 산업과 협력하여 신뢰성이 있고 권위있는 데이터베이스 개발에 협력하고 있다.

(3) 자동차 제조업체 사례

각 자동차 제조업체들은 환경친화적인 재료의 선정, 재활용성 평가 등에 LCA를 적용하고 있으며, 각 회사들은 이미 상당한 경험을 축적하고 있다. 여기서는 1997년 SAE에서 발표된 자료를 토대로 대표적인 자동차 제조업체들의 사례를 간략하게 살펴보고자 한다.

1) 토요다 자동차

토요다 자동차에서는 “토요다 자동차 환경실행 계획”에 ‘합리적인 사전평가 시스템’으로 LCA 적용을 천명하고 있으며, 이를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

자동차 완제품에 대한 LCA를 위해서는 부품별 데이터베이스의 구축이 요구될뿐만 아니라 완제품 LCA는 환경영향에 대한 자세한 분석을 제공할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 부품별(part-by-part)로 LCA를 수행하여 데이터베이스를 구축함과 동시에 환경영향을 분석하는 것이 실용적이라고 판단하여 부품별 LCA 접근 방법을 이용하고 있다.

토요다 자동차에서는 연료탱크에 대한 LCA를 수행하여 LCA의 유용성과 실용성을 평가하고 설계단계에서의 적용을 위한 연구를 진행하였으며, LCA 단계중 전과정 목록분석만을 수행하였다.

- 연구의 목적
 - 환경영향을 감소시키는 도구로서, 부품별로 수행된 전과정목록분석(LCI)의 유용성과 실용성을 평가
 - 수행기간 동안의 문제점 도출과 이에 대한 대응책 연구
- 대상제품
 - 플라스틱 연료 탱크와 철재 연료 탱크의 환경영향 비교
 - 두 제품은 다른 물질로 제작되고 같은 기능을 수행
- 결과
 - 플라스틱 탱크가 철재 탱크보다 더 많은 에너지를 사용하고 있으며, 더 많은 CO₂ 배출

- 부품별 LCA의 수행은 완제품 LCA에서 평가할 수 없는 중요한 환경영향에 대한 정보를 제공하여 효과적인 개선방법 연구 가능성 확인
- 설계자들에게 유용한 정보 제공 가능성 확인
- LCA를 설계에 적용하기 위해 해결해야할 문제점 파악
- 부품에 대한 데이터베이스의 구축이 필요하며, 경험 축적을 통하여 수행기법 정착이 필요
- 두 재료간의 무게차이는 1.8 kg이며, 사용단계가 고려되지 않았으므로 사용단계가 고려될 경우 환경영향에 차이가 있을 수 있음

2) 벤츠

벤츠는 자동차에 대한 소비자의 요구 조건이 활동성, 안정성, 편의성, 실용성, 스타일 등 전통적인 가치에 생산, 운영 및 폐기단계에서 환경적인 조화까지도 동시에 만족할 것을 요구함에 따라 환경적인 요구를 전통적인 가치에 포함하여 환경과 관련된 다양한 활동들을 진행하고 있다. 자동차 개발의 초기단계에 기술, 경제, 환경간의 조화를 위한 노력을 진행하고 있으며, 환경과 관련된 정보를 지원하는 도구로 LCA를 적용하고 있다.

재료별·부품별 LCA를 수행하여 매우 많은 데이터베이스를 축적하였으며, 재료의 선정에 적용은 물론 재료별·부품별 환경성 개선을 위한 노력을 진행하였다. 이러한 데이터베이스를 이용하여 완제품 자동차에 대한 LCA 적용방안을 모색하고 있다.

완제품 자동차 LCA는 개발의 초기단계에 설계자들로 하여금 개발 자동차의 환경성을 평가할 수 있는 정보를 제공하게 된다. 그러나 개발 초기단계는 기간이 짧기 때문에 신속한 환경정보를 제공할 수 있어야 하므로, 기존의 LCA 방법을 단순화하여 보다 신속하게 적용할 수 있는 자동차 LCA 방법 개발을 진행하고 있다. 벤츠의 완제품 LCA 접근방법은 대표적인 물질 및 공정을 이용한 『대표성 접근 방법』이며, 재료별, 부품별로 수행된 결과를 이용하는 『모자이크 접근 방법』에 비하여 신속한 결과를 얻을 수 있다.

벤츠에서는 보다 신뢰성이 있고 신속한 환경정보 제공을 위하여 노력하고 있다. 지속적인 재료별, 부품별 전과정평가 데이터와 수행경험의 증가에 따른 know-how 축적으로 수행 기간 단축 및 데이터 품질 향상에 노력하고 있으며, 『모자이크 접근 방법』과 『대표성 접근 방법』의 조화를 통하여 보다 실용적인 LCA 기법의 개발을 진행하고 있다.

또한 전과정비용분석(LCC : Life Cycle costing)을 적용하여 경제적인 측면을 함께 고려함으로써 전과정 엔지니어링(Life Cycle Engineering, LCE) 달성을 위한 연구를 진행하고 있다.

3) BMW

BMW사는 환경과 조화를 이루는 자동차 개발을 위해 다양한 활동을 추진하고 있다. BMW에서는 “Requirements Catalogue Specification”을 이용하여 제품 개발과정에서 품질, 안전, 환경 등과 관련된 자동차 완제품의 요구사항을 설정하고 있으며, 환경 조화에 대한 규정도 개발과정의 초기 단계에서 설정하고 있다. 환경조화에서 고려하는 환경영향은 자동차의 ‘Life-Cycle’이라는 말로 표현하여 “자동차 완제품뿐만 아니라 모든 자동차 부품의 인간과 환경에 대한 생태적 영향”으로 정의되어 있다. 환경과의 조화를 위한 최우선의 요구사항은 예를 들어 규격에 ‘재활용에 적절한 부품’ 등과 같이 부품에 대하여 자세하게 설명하고 있다.

BMW의 목적은 기술, 경제, 생태적 기준에 따라 부정적인 영향을 최소화하기 위한 것이며, 이것은 “BMW의 환경 지침”에 따라 이루어진다.

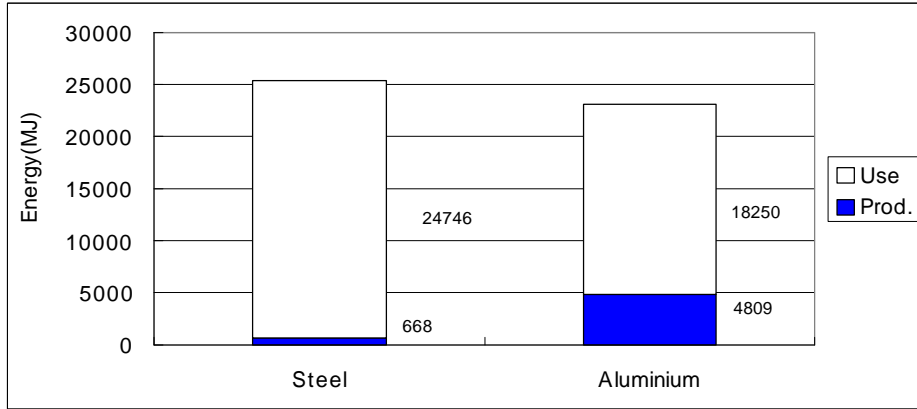
BMW에서는 환경지침에 따라 자동차 개발과정에 LCA를 적용하여 부품의 생태적인 평가를 수행하고 있으며, 보다 효과적인 수행을 위하여 계산 가능하고 현장 중심의 수단으로 적용할 수 있는 LCA 기법을 개발하고 있다. 연구는 부품의 전과정에서 원료물질 사용, 에너지 사용뿐만 아니라 오염물질의 배출 조사에 초점을 맞추고 있다. 축적된 물질, 에너지, 오염물질에 대한 정보를 이용하여 부품에 대한 생태적인 영향을 평가하고, 한 부품의 다양한 특성간의 균형을 고려하여 설계자들에게 추천하게 된다.

BMW에서 수행된 차축의 LCA 사례를 통하여 환경과 조화를 이루는 자동차 개발에서 LCA를 이용한 평가의 유용성을 확인할 수 있다. 여기서는 차축이라는 부품 전과정에서의 에너지 소비가 조사되었다. 수행조건은 다음과 같다.

- 대상제품
 - 철재 차축 부품 : 50 kg
 - 알루미늄 차축 부품 : 30 kg
- 평가 항목 : 전과정에서 사용하는 에너지
- 기능단위 : 수명이 200,000 km인 차축
- 기타 조건
 - 10% 무게 감소시 7% 연료 사용 절감 규칙 적용
 - 폐기단계에서는 파쇄작업에 의한 에너지만 고려

알루미늄 차축 사용에 따른 무게 감소는 사용단계에서 연료의 소비를 감소시키며, 이 결과는 <그림 1>과 같다. 그러나 재료 생산단계에서는 알루미늄을 생산하는데 소비되는 에너지가 철을 생산하는데 소비되는 에너지의 7배라는 사실을 보여주고 있다.

<그림 1> 철과 알루미늄 차축의 전과정 에너지



생산단계에서 상대적으로 높은 에너지를 소비하는 알루미늄 차축의 전과정 에너지 소비는 사용단계의 상대적으로 적은 에너지 소비 때문에 자동차 사용 기간이 증가할수록 자동차 사용단계의 에너지 소비 증가율이 철재 차축에 비해 보다 완만한 증가 곡선을 나타내며, 약 130,000 km에서 에너지 “break point”를 보여준다. 이 거리 이상에서 알루미늄 차축은 철 차축보다 보다 적은 에너지를 소비하고 있다.

4) Fiat 자동차

Fiat 자동차에서는 LCA를 이용하여 개발중인 전기자동차와 휘발유 사용 자동차의 환경성을 평가하였다. 연구는 전기 자동차와 전기자동차 부품의 환경성 평가를 목적으로 하고 있으며, 이 연구는 몇 가지 흥미로운 결과를 보여 주었다.

두 형태의 배터리인 Pb-gel pack과 Na/NiCl₂ pack 의 비교에서는 <표 1>과 같은 환경적인 특징을 갖는 것으로 나타났다.

<표 1> 배터리의 환경적인 특성

구 분	Pb-gel pack	Na/NiCl ₂ pack
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 유지활동 감소 - 내구성 및 부식에 대한 강한 저항력 	<ul style="list-style-type: none"> - Pb-gel 배터리 보다 좋은 환경성을 가지고 있는 것이 확실 - 특히 CO₂ 배출에서 좋은 환경성을 가짐
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - 채광과 용융에서 납 대기오염물질이 발생 - 자동차에 사용된 납과 관련하여 재활용 과정에서 납 대기오염물질이 발생할 수 있는 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> - 니켈 폐기물은 인간과 환경에 독성을 가짐

전기자동차와 휘발유를 사용하는 자동차의 비교에서는 <표 2>에서 보는 바와 같이 전기 자동차가 더 많은 에너지를 사용하며, 더 많은 CO₂를 배출 하는 것으로 나타났다.

<표 2> 전기자동차와 휘발유 사용 자동차의 전과정 에너지 소비 및 CO₂ 배출

환경영향	휘발유 사용 자동차	전기자동차 (Pb-gel 배터리)	전기자동차 (Na/NiCl ₂ 배터리)
CO ₂ 배출 (75,000 km 사용)	5,540 kg	7,130 kg	5,950 kg
에너지 소비 (75,000 km 사용)	78 GJ	128 GJ	107 GJ

두 자동차의 배출 특징으로는 전기 자동차의 에너지 소비와 CO₂ 배출이 전력을 생산하는 플랜트에 집중되어 있으므로 관리가 용이하다는 것이며, 휘발유 사용 자동차는 자동차를 사용하는 장소로 분산되어 있어 관리가 용이하지 않다는 것을 들고 있다.

따라서 전기 자동차의 사용은 ‘대기오염 대체’의 한 종류로 전기 자동차로 대체한 지역에서는 깨끗한 대기 질의 유지가 가능하며, 오염물질의 관리를 분산된 곳에서 대형 전력 생산 플랜트로 전환시킨다는 특징을 가진다는 점을 강조하고 있다. 또한 이러한 결과를 토대로 다음과 같은 보다 환경친화적인 전기자동차의 연구 개발 부분을 도출하였다.

- 에너지 사용 절감을 위한 가벼운 배터리 개발
- 오염물질 배출 저감을 위한 혁신적인 기술 개발
- 배터리 재활용 및 폐기에 대한 연구

위에서 살펴본 자동차 제조업체 이외에도 거의 대부분의 자동차 제조업체에서 환경친화적인 자동차 개발을 위하여 LCA를 적용하고 있으며, 그 적용 기법이 정착되어 가고 있다고 판단된다.

3. 자동차용 부품의 LCA 사례

본 절에서는 자동차용 부품에 적용된 LCA의 실제 적용사례로서 현대환경연구원과 현대자동차가 공동으로 수행한 과제(1999년 5월에 완료 예정)의 주요내용을 개략적으로 소개하고자 한다.

(1) 목적 및 수행방법

본 연구는 LCA 기법을 이용하여 자동차 재료의 이론적이고 정량적인 환경성을 평가함으로써 향후 신규 차량에 적용될 부품의 재료 선정시 유용한 정보를 제공할 수 있는 지 여부 판단을 목적으로 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 자동차에 사용되는 서로 다른 재료를 대상으로 LCA를 수행하여 각 재료의 환경성을 비교하였다.

연구대상제품의 수명은 우리 나라 자동차 평균 수명의 1/2인 60,000 km로 설정하였으며, 비교 대상제품의 무게는 다음 <표 1>과 같다.

<표 3> 대상제품 무게(단위 : kg)

구 분	S1	S2
무 게	9.02	9.12
비 고	A 재료 사용	B 재료 사용

제품의 전과정은 원료물질의 채취 및 가공, 제품 생산, 유통, 사용 및 폐기단계로 구성된다. 폐기단계에는 재활용, 소각 매립 등이 포함된다. 본 연구에서는 재료이 운반과 제품의 분배를 포함하는 유통단계를 고려하지 않았으며, 폐기단계에서는 재활용을 고려하지 않고 모두 매립되는 것으로 가정하였다.

모든 영향평가 항목(분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여)을 수행하였다. 특성화 결과와 정규화 결과의 영향 범주간 환경영향을 각각 비교하고 가중치 부여 결과는 참고 자료로 사용하였다. 본 연구에 적용된 영향범주, 특성화 인자와 평가방법 및 적용된 특성화 값은 <표 4>와 같다.

<표 4> 영향범주 및 특성화 인자

영향범주	세부영향범주	정량적/정성적	특성화 인자	특성화 값
천연자원	비생물자원	정량적	Reserve-to-use base	Nordic guideline
생태계	지구온난화	정량적	GWP 100(CO ₂ as reference)	GaBi(IPCC,1996)
	오존층고갈	정량적	ODP (CFC-11 as reference)	GaBi(EPA, WMO,1995)
	산성화	정량적	AP(SO ₂ as reference)	GaBi(EDIP, 1998)
	부영양화	정량적	EP(PO ₄ ³⁻ as reference)	GaBi(DE LEEUV)
	광화학산화물 생성	정량적	POCP(ethene as reference)	GaBi(POCP mean value)

정규화 값은 1997년에 발표된 국내 정규화 값을 사용하였으며, 가중치 값은 국내에 공개된 값이 없으므로 GaBi 3.0에 포함되어 있는 값으로 유럽 조사 결과와 유럽의 전문가 조사 결과에 의한 값을 적용하였다.

(2) 결 과

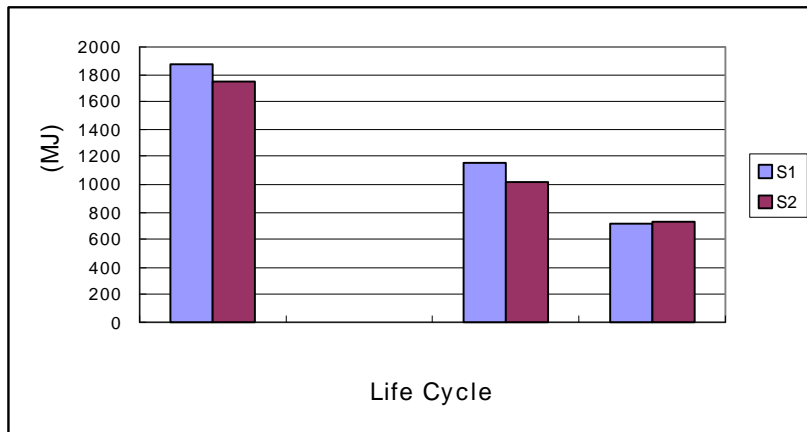
1) 에너지 사용량

에너지 사용량은 목록분석 결과이며, 자원고갈 영향범주에 포함되지만 별도로 살펴보는 것도 의미가 있으므로 각 대안별 에너지 사용량을 <표 5>와 <그림 2>에 나타내었다.

<표 5> 에너지 사용량

구 분		계	조 립	생 산	사 용
S1	사용량(MJ)	1879.8	0.7373	1159.05	719.98
	공헌도(%)	100%	0.04%	61.66%	38.30%
S2	사용량(MJ)	1745.9	0.7373	1017.21	727.93
	공헌도(%)	100%	0.04%	58.27%	41.69%

<그림 2> 단계별 에너지 사용량



<표 5> 및 <그림 2>에서 보듯이 B재료를 적용하는 경우(S2)가 A 재료(S1)를 사용하는 것보다 전과정에서의 에너지 소비량이 적은 것을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 생산단계에서 보다 적은 에너지를 사용하기 때문이다. 사용단계에서는 B 재료를 사용하는 부품의 무게가 약간 무겁기 때문에 A 재료의 에너지 사용량이 약간 적음을 보여주고 있다.

2) 특성화 결과

대상 부품의 영향범주별 영향평가 결과는 <표 6>과 같다. 각 영향범주별 특성화 결과를 비교해 보면 천연자원고갈, 지구온난화, 산성화, 부영양화 영향범주에서 B 재료(S2)의 환경영향이 A 재료(S1)보다 적은 것으로 나타나고 있으며, 단계별로는 사용 단계에서 B 재료의 환경영향이 A 재료보다 크지만 생산단계에서 A 재료의 환경영향이 큼에 따라 전체적인 환경영향은 A 재료가 큰 것으로 나타났다.

오존층고갈, 광화학산화물생성 영향범주에서는 B재료의 환경영향이 A 재료보다 큰 것으로 나타났으며 B 재료 생산단계의 환경영향이 증가하는 것을 알 수 있었다.

<표 6> 특성화 결과

구 분		제품의 전과정			
		계	조립	생산	Use
천연자원 고갈	S1	0.80012	0.00014731	0.41213	0.38785
		100%	0.02%	51.51%	48.47%
	S2	0.75134	0.00014731	0.35906	0.39213
		100%	0.02%	47.76%	52.19%
지구 온난화	S1	94.329	0.037442	40.947	53.345
		100%	0.04%	43.41%	56.55%
	S2	91.159	0.037442	37.786	53.936
		100%	0.04%	40.79%	59.17%
오존층 고갈	S1	3.317E-06	8.100E-09	3.3087E-06	
		100%	0.25%	99.75%	
	S2	3.820E-06	8.100E-09	3.812E-06	
		100%	0.21%	99.79%	
산성화	S1	0.35513	0.00025	0.23896	0.11592
		100%	0.07%	67.29%	32.64%
	S2	0.33846	0.00025	0.22100	0.11721
		100%	0.07%	66.30%	34.63%
부영양화	S1	0.035727	1.2254E-05	0.0172324	0.018483
		100%	0.03%	48.23%	51.73%
	S2	0.033151	1.2254E-05	0.0144511	0.018687
		100%	0.04%	43.59%	56.37%
광화학산 화물생성	S1	0.13117	1.2915E-05	0.06196	0.069199
		100%	0.01%	47.24%	52.76%
	S2	0.14034	1.2915E-05	0.070359	0.06997
		100%	0.01%	50.13%	49.86%

3) 정규화 결과

정량화 결과는 특성화 결과로 나타난 환경영향이 각 영향범주별 일정지역의 전체 영향에서 차지하는 정도를 나타낸다. 따라서 영향범주간의 상대적인 값을 파악할 수 있다. 정규화 결과를 <표 7>에 나타내었다. 각 영향범주의 전체 환경영향에 미치는 정도를 보면 천연자원고갈에 미치는 정도가 가장 크며, 오존층고갈 영향범주에 미치는 영향이 가장 적은 것으로 나타났다.

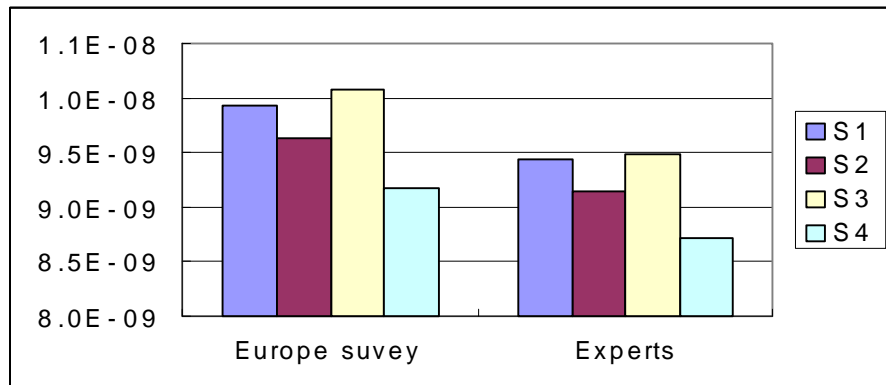
<표 7> 정규화 결과

구분	천연자원고갈	지구온난화	오존층고갈	산성화	부영양화	광화학산화물생성
S1	6.72E-10	2.02E-10	1.21E-13	1.46E-10	9.95E-11	5.61E-10
S2	6.31E-10	1.96E-10	1.39E-13	1.39E-10	9.23E-11	6.00E-10

4) 가중치 부여 결과

유럽 조사 결과와 전문가 조사에 의한 가중치를 적용한 결과는 <그림 3>과 같다. 가중치 부여 결과는 환경영향을 한 숫자로 표현할 수 있다. 유럽조사의 가중치를 적용하였을 경우에는 B 재료의 환경영향(S2)이 A 재료(S1)보다 -3% 정도 적음을 보여 주고 있다. 특성화 결과에서는 오존층고갈과 광화학산화물생성 영향범주에서 B 재료의 환경영향이 높은 것으로 나타났으나 정규화와 가중치 부여를 통하여 전체적인 환경영향을 평가한 결과는 B 재료의 환경영향이 적은 것으로 나타나고 있다.

<그림 3> 가중치 부여 결과



(3) 결과 해석

1) 제한점

본 연구의 결과는 사용된 데이터와 데이터 수집의 문제점 등으로 인하여 여러 가지 제한점을 가지고 있다. 데이터의 대부분이 유럽의 자료를 사용하였으므로 우리나라 현실과 차이를 나타낼 수 있을 것이다.

데이터 수집의 어려움으로 데이터 gap으로 처리된 부분은 결과에 많은 영향을 줄 가능성이 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 제품의 전과정 중에서 폐기단계를 고려하지 않았으므로 재활용을 고려할 경우 결과에 영향을 줄 수 있다.

영향평가단계에서 사용한 가중치 값은 유럽지역의 자료이며, 가중치 값은 국가의 여건과 문화에 따라 차이가 있으므로 우리나라의 현실과 괴리가 있을 수 있다.

2) 해석

여러 가지 제한 조건을 가지고 수행된 본 연구의 결과를 살펴보면 전반적으로 B 재료를 사용하는 것의 환경영향이 A 재료보다 적음을 보여 주고 있다.

특성화 결과를 토대로 한 영향범주별로 환경영향의 차이를 <표 8>에 나타내었다. <표 7>의 정규화 결과에 의하면 대상 제품의 환경영향 중 오존층고갈 영향범주에 미치는 영향은 다른 영향범주에 비해 매우 적음을 알 수 있다. 따라서 여기서 오존층고갈 영향범주는 비교 대상에서 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

<표 8> 영향범주별 환경영향 차이

영향범주	S1(기준)	S2(비교대상)	차이(%)
천연자원고갈	0.80012	0.75134	-6.1
지구온난화	94.329	91.159	-3.4
산성화	0.35513	0.33846	-4.7
부영양화	0.035727	0.033151	-7.2
광화학산화물생성	0.13117	0.14034	7.0

광화학산화물생성 영향범주를 제외하고는 모든 영향범주에서 B 재료의 환경영향이 적은 것으로 나타났다. 그러나 광화학산화물생성에서 환경영향이 증가하므로 A 재료의 환경영향과 B 재료의 환경영향사이에는 trade-off 관계가 있음을 볼 수 있다.

가중치 부여 결과는 B 재료의 환경성이 좋다는 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 국내 데이터베이스의 부재, 데이터 수집의 어려움 등으로 인하여 유럽의 데이터 사용과 여러 가지 가정의 설정 등 많은 제한 조건을 가지고 수행되었지만 자동차 부품에 대한 전과정평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 같은 기능을 수행하는 대안의 두 재료에 대한 전과정 평가를 실시한 결과, 전체적인 환경성에서 B 재료의 환경성이 좋은 것으로 평가되었다.
- 2) 부품의 환경성은 생산단계에서는 재료의 종류, 사용단계에서는 중량에 의해 많은 영향을 받는 것으로 평가되었다. 따라서 부품을 선정할 경우 B 재료를 사용하고 부품의 중량을 최대한 감소시킨다면 환경성이 향상될 것으로 판단된다.
- 3) 본 연구를 통해 자동차 부품의 전과정평가 수행기법을 습득할 수 있었다.
- 4) 후속 차종의 부품 재료 선정시 본 평가기법을 이용한다면 환경적 측면에서 보다 효과적이고 정량적인 정보를 바탕으로 하는 재료선정이 가능할 것으로 판단된다.
- 5) 또한 환경경영체계(EMS, ISO 14001)의 효과적인 운영에 기여 할 수 있으며, 유럽, 미국 등 선진국의 자동차 관련 환경규제가 LCA를 바탕으로 이루어지고 있으므로 이러한 규제에 적극적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 자동차와 환경에 대한 이슈가 점차 증가하고 있으며, 선진 자동차 회사들이 LCA를 바탕으로 자동차의 환경성 개선에 경주하고 있는 상황에서 LCA의 적용과 기법 개발은 자동차의 환경과 관련된 경쟁력 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 참고문헌

1. 정연하 외, “전과정평가중 국내 정규화값 결정”, 대한환경공학회지 제 19권, 제 2호, 1997
2. ENDS Report 288
3. Hans-Martin Beyer, “Life Cycle Assessment-Combined Efforts of the European Automotive Industry”, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference-Life Cycle Management and Assessment, SAE, 1997
4. Lynne Ridge, “EUCAR-Automotive LCA Guidelines-Phase 2”, SAE Technical Paper Series 982185, SAE, 1998

5. Masako Yamato and Yoshihito Mituhara, “*Life Cycle Inventory Study of Automotive Fuel tank*”, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference–Life Cycle Management and Assessment, SAE, 1997
6. Caudius Kaniut, etc., “*Life Cycle Assessment of a Complete Car–The Mercedes–Benz Approach*”, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference–Life Cycle Management and Assessment, SAE, 1997
7. Harald A. Franze and Ultich Neumann, “*Design for Environmental Compatibility of Automobiles–New Life–Cycle Management Tools in the BMW Product Development Process*”, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference–Life Cycle Management and Assessment, SAE, 1997
8. Augusto Balestrinin and Alessandro Levizzari, “*An Application of Life Cycle Analysis on the Electric Car*”, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference–Life Cycle Management and Assessment, SAE, 1997
9. www.uscar.org

이광원 (환경경영개선팀, 선임연구원)