

친환경자동차 부품 개발을 위한 Ecodesign 방법 개발

정인태[†] · 송준일 · 이근모 · 홍준희*

아주대학교 환경공학과 · *현대-기아자동차 환경연구소

(2005년 11월 28일 접수, 2006년 3월 28일 채택)

Development of Ecodesign Methodology for Developing Eco-friendly Automobile Parts

Jeong In-Tae[†] · Song Jun-Il · Lee Kun-Mo · Hong John-Hee*

School of Environmental Engineering, Ajou University · *Eco-technology Research Institute, Hyundai-Kia Motors Corporation

ABSTRACT : Systematic improvement of the environmental performance of industrial products is a core element of good business. Improving the overall environmental performance of products is envisaged as one of the most important strategic goals and objectives in many company policies. This paper demonstrates an Ecodesign approach to develop a product in a systematic way. The objective of this research is two-folds-describing a systematic procedure of implementing Ecodesign in a company and giving a real case example to demonstrate the application of the proposed Ecodesign methodology. The methodology was based on Wimmer et al and consists of seven steps out of the twelve steps for integrating significant environmental aspects of a product and environmental issues resulting from the stakeholder requirements into product design and development. Together with the Ecodesign team of a major domestic car manufacturer the Ecodesign of a car fuel tank unit has been chosen for the case study presented in the paper.

The application of the proposed methodology to the fuel tank unit of a car indicates that practical target specifications of the fuel tank unit were derived systematically. This indicates that the seven steps approach can be a viable Ecodesign method for manufacturers to integrate environmental aspects of their products into their product design and development processes.

Key Words : Environmental Aspects, Ecodesign, Seven Steps Approach, Fuel Tank, Product Design and Development Process

요약 : 제품의 환경적 성과를 체계적으로 개선하는 것은 기업 경영의 핵심사항이 되고 있다. 그래서 제품의 전체적인 환경성과를 개선하는 것은 많은 기업 정책에서 중요한 전략적 목표 혹은 목적이 되고 있다. 이 논문에서는 제품에 Ecodesign을 적용하기 위한 체계적인 방법을 나타내었다. 이 연구의 목적은 첫째, 회사 내에서 Ecodesign을 이행하기 위한 체계적인 방법을 제시하고, 둘째, 제안한 방법을 토대로 실제적인 사례를 통해 이를 검증해 보는 것이다. 이 연구의 바탕이 된 Ecodesign 방법은 Wimmer 외 2에 의해 개발된 방법이며, 제품 설계 및 개발프로세스에 제품의 중요 환경성 측면과 이해관계자의 요구사항을 반영하기 위해 12단계의 접근 방법 중 7단계까지 이 연구에 적용하였다. 현대-기아자동차의 Ecodesign팀과 자동차 주요 부품 중 연료탱크로 사례연구를 수행하였다. 제안한 방법을 연료탱크에 적용하여 연료탱크 재설계를 위한 목표설계사항을 체계적으로 도출하였다. 이는 곧 제안한 7단계 접근방법이 제품의 환경적 측면을 기존의 제품 설계 및 개발 프로세스에 실제적으로 적용가능한 방법임을 입증하는 것이다.

주제어 : 환경성 측면, 에코디자인, 7단계 접근방법, 연료탱크, 제품 설계 및 개발 프로세스

1. 서론

현재 EU End-of-Life Vehicle(ELV) 지침(Directive)¹⁾과 같은 자동차 폐기와 관련된 국제법규와 ISO/TR 14062²⁾와 같은 친환경제품설계(Ecodesign)에 관한 국제표준 및 EU의 통합제품정책(Integrated Product Policy; IPP)³⁾과 같은 정책 등으로 제품의 전과정에 걸친 환경성 측면이 강조되고 있다. 이러한 주요 국제적 추세에 부응하기 위해 제품개발과 설계과정에서부터 제품의 환경적 이슈를 통합하여 제품을 친환경적으로 설계하는 것이 중요한 이슈가 되었다.

제품 설계단계에서 제품의 특성 및 성과가 대부분 결정된

다는 것은 주지의 사실이다. 최근에 주요 이슈가 되고 있는 제품의 환경성 및 환경성과 역시 예외가 아니다. Bhamra et al.⁴⁾은 가능한 제품설계 초기 단계에서 환경을 고려해야 하고, 그 이후의 단계에서 환경성과를 위해 제품특성을 바꾸는 것은 지극히 어렵다고 역설하고 있다. 즉 제품 설계 시 전과정(제조공정, 원·부자재 사용, 제품사용, 재활용 및 폐기)에 걸친 제품의 환경성 및 환경성과의 대부분은 제품 설계 단계에서 결정된다. 따라서 제품 설계단계에서 환경성 측면을 시스템적으로 통합하여 환경친화적 자동차 및 부품의 개발이 요구된다. 여기서 환경친화적 자동차 및 부품이라 함은 근본적으로 전과정에서 적은 양의 원·부자재를 사용하고 독성 물질을 사용하지 않거나 혹은 독성물질을 공정에서 배출하지 않고, 전과정에서 에너지소비가 적음을 의미한다. 또한 제품 폐기 시 재활용 및 재사용이 가능하고, 그 외 물질은 환

[†] Corresponding author
E-mail: ecobrain@ajou.ac.kr
Tel: 031-219-2409

Fax: 031-215-5145

경진화적으로 처분(매립 또는 소각)하는 것을 포함한다.

제품개발 프로세스에 제품의 환경성을 접목시키기 위한 다양한 접근방법이 시도되었다. ISO/TR 14062는 제품개발에 환경적 요소를 통합하기 위한 개념과 절차를 기술한 가이드로서 전형적인 제품설계 및 개발 프로세스 모델(제품계획→개념설계→상세설계→시험/프로토타입→생산/시장출시→제품검토)에 제품개발 시 환경적 요소의 통합을 위하여 각 단계에 필요한 정보 및 고려사항을 기술하고 있다. Brezet et al.⁵⁾는 7단계의 ecodesign 프로세스(ecodesign 프로젝트 구성→제품선정→ecodesign 전략 수립→제품아이디어 생성/선택→컨셉 상세화→제품 출시→평가)를 제시하고 각 단계에서 적용가능한 방법들을 나열하였다. Julio Rodrigo et al.⁶⁾는 5단계의 제품개발 프로세스 모델(시장요구→제품스펙→제품설계→프로토타입→생산)을 제시하였다. 여기에서 시장요구에 환경적 고려사항을 포함하였으며, 제품설계에서는 제품의 환경성 평가 및 가이드라인을 적용하였다.

상기 방법들은 제품개발 프로세스 전반을 다루지만 각기 다른 단계로 이루어져 있다. 또한 전과정평가(Life Cycle Assessment; LCA), MET matrix 등을 통하여 제품의 환경성 분석 결과를 토대로 개선전략을 찾는데 그친다. 설계자에게는 제품의 환경적 취약점을 찾아 이것을 그들의 기술언어인 설계사양으로 표현해 주어야 쉽게 의사전달을 할 수 있다. 하지만 상기 방법들은 제품의 환경성을 개선하기 위한 목표설계사양(target specification)을 도출하기까지의 방법이 미비하다. 따라서 이 연구에서는 제품설계 단계에 제품의 환경성을 시스템적으로 통합시켜 제품 설계자(designer)의 언어인 설계사양(specification)으로 환경성 개선 목표를 도출하는 방법을 제안하였고, 이를 자동차 연료탱크(fuel tank)에 적용하여 제안한 방법론을 검증하였다.

2. Ecodesign 방법론 개발

제품개발 프로세스는 기업이 제품을 고안해내고, 디자인하며, 상품화하기 위해 사용되는 연속적 단계 또는 활동으로 정의된다. 이러한 단계와 활동의 대부분은 물리적이라기보다는 지적이고 조직적이다. 제품개발 프로세스는 기업, 조직 또는 제품별로 다르기 때문에 모든 기업 또는 제품에 일반화된 제품개발 프로세스를 정의하는 것은 불가능할 수도 있다. 그러나 Ulrich and Eppinger⁷⁾는 일반적인 제품개발 프로세스를 Fig. 1과 같이 6단계로 정의하였다.

Fig. 1에 나타낸 일반적인 제품개발 프로세스의 각 단계별 업무를 Table 1에 기술하였다.

Table 1. Task for each phase in the general product development process

Phase	Activity
Phase 0 Planning	Begin with corporate strategy and include assessment of technology developments and market objectives.
Phase 1 Concept development	The needs of the target market are identified, alternative product concept are generated and evaluated, one or more concepts are selected for further development and testing.
Phase 2 System-level design	The definition of the product architecture and the decomposition of the product into subsystems and component are included.
Phase 3 Detail design	The complete specification of the geometry, materials, and tolerances of all of the unique parts in the product and the identification of all of the standard parts to be purchased from suppliers are included.
Phase 4 Testing & refinement	The construction and evaluation of multiple preproduction versions of the product are involved.
Phase 5 Production ramp-up	The product is made using intended production system.

제품의 환경성 측면을 기업 활동에 고려하기 위해서는 기존 제품개발 프로세스에 제품의 환경성 측면을 분석하고 이를 통합하는 과정이 필요하다. ISO/TR 14062에서는 제품 환경성을 제품설계 및 개발 초기에 통합해야 한다고 규정하고 있다. 이를 통해 제품 개선 및 변화에 최대한 유연성 있게 대처할 수 있으며, 추가적인 비용발생도 감소시킬 수 있다. 따라서 제품의 환경성 개선 활동의 통합 범위는 계획단계(Phase 0) 및 개념개발(Phase 1)단계까지가 적합하다.


따라서 Ulrich and Eppinger의 제품개발 프로세스와 계획 및 개념개발 단계에 제품의 환경성 측면을 통합을 위한 Ecodesign 로드맵⁸⁾을 접목시켜 Fig. 2와 같이 제시하였다. 이 연구에서는 에 해당하는 제품모델링에서부터 Ecodesign 과업도출까지를 대상범위로 설정하였다.

Fig. 2의 로드맵에서는 크게 두 가지 측면 - 제품의 환경성 측면과 이해관계자 요구사항 측면 - 에서 접근하고 있다. 상기 로드맵에서의 Ecodesign 실행을 위한 세부 접근방법 12단계⁸⁾를 Table 2에 나타내었다. 이 접근방법 12단계 중 7단계까지의 과업수행을 통해 대상제품의 목표설계사양(target specification)을 도출한다. 8단계에서 11단계까지의 과정을 통해 개선 아이디어 도출 및 이를 통한 상세설계가 이루어진다. 마지막으로 12단계에서는 개선된 제품의 환경성을 “Eco-product”로서 시장에 홍보하게 된다.

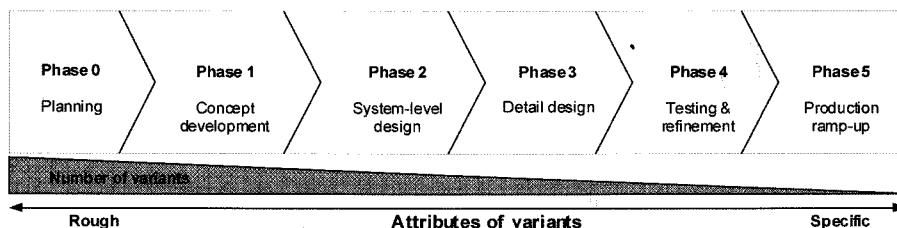


Fig. 1. General product development process and its design variants characteristics.

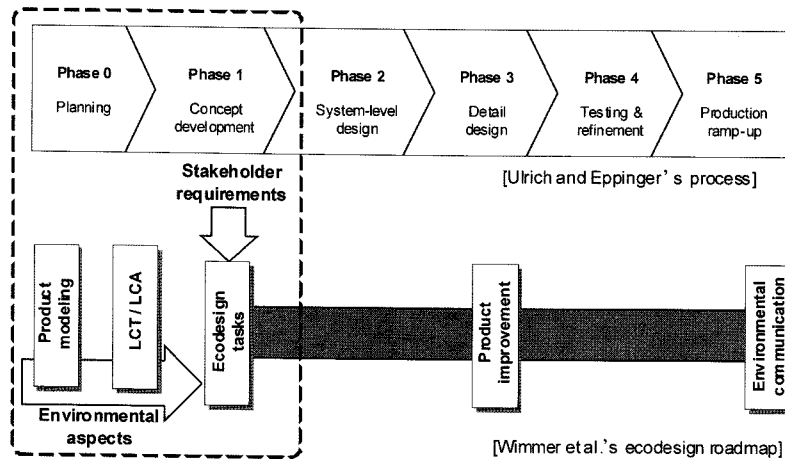


Fig. 2. Roadmap for implementing Ecodesign.

상기 접근방법에서 환경전문가의 역할은 기업 내 복합기능팀(Cross Functional Team; CFT)을 구성하고 제품의 환경성 개선을 위한 다양한 의견을 수렴하고 분석하며, 환경적 용어를 각 기능팀의 사용언어로 전환하여 주는 것이다. 따라서 여기서는 1단계부터 7단계까지의 과업에 초점을 맞추어 전개하였다. 이는 7단계까지의 결과로부터 제품의 환경성 개선을 위한 목표설계사양이 도출되며, 이를 바탕으로 설계자 및 기타 관련 전문가가 창의적 설계 아이디어를 도출하게 된다. 즉 환경전문가의 역할 보다는 설계자 및 관련 전문가의 역할이 8단계 이후의 과정에서 더 큰 비중을 차지하기 때문에 7단계까지로 연구범위를 한정하였다. 따라서 1단계부터 7단계까지의 접근방법 및 각 단계별 투입 및 산출 정보를 도식화하여 Fig. 3에 나타내었다.

환경을 고려하기 위한 재설계 대상제품이 선정되면, Fig. 3의 접근방법으로 과업을 단계적으로 수행한다.

1단계는 제품 모델링이다. 이 단계에서는 제품을 환경성 파라미터(environmental parameter)로 명확히 기술한다. 환경성 파라미터는 6개의 그룹 - 제품일반, 물질, 제조, 운송, 사용 및 폐기 - 으로 구성되어 있으며, 각 그룹은 2~7개의 하위 파라미터(예, 무게, 사용된 재질, 에너지 소비 등)로 구성된다. 제품 모델링은 다음 단계를 위한 사전 준비단계이며, 그 결과는 이후 단계에서 지속적으로 이용된다.

2, 3단계는 이해관계자의 요구사항분석이다. 이 단계에서는 제품과 관련된 다양한 이해관계자의 요구사항을 조사하고 이에 비추어 중요하게 고려할 환경성 파라미터를 도출한다. 2 단계에서의 환경성 품질기능전개(Environmental Quality Func-

Table 2. Twelve steps for implementing Ecodesign in industry

Step	Leading question	Task
1	What product is to be redesigned?	Describing the reference product with environmental parameters.
2	What are the stakeholder requirements? What is expected from the product?	Performing Environmental Quality Function Deployment(EQFD).
3	What are the strengths and weaknesses compared with competitor products?	Environmental Benchmarking(EBM) with the competitor's products.
4	What are the significant environmental aspects of the reference product throughout its entire life cycle?	Applying the Life Cycle Thinking or performing Life Cycle Assessment and interpretation of results.
5	How to combine stakeholder requirements and significant environmental aspects into improvement strategies?	Deriving common ECODESIGN improvement strategies.
6	Which ECODESIGN guidelines should be implemented in the product?	Applying ECODESIGN PILOT's checklists to determine redesign tasks.
7	What are the environmental product specifications to start with?	Starting product improvement.
8	How to modify the functional structure of the product?	Adding new functions to and/or modifying functions of the reference product.
9	How to generate new ideas for the functions of the product?	Performing creativity session and/or searching for patents.
10	How to generate and select the best product concept variants?	Assembling ideas corresponding to each function of the redesigned product concepts and evaluate them against criteria.
11	How does the improved product look like?	Continuing embodiment design and layout, prototyping and testing.
12	How to communicate the environmental improvement of the product to the market?	Performing Environmental Product Declaration or self-declared environmental claims.

tion Deployment; 이하 EQFD)⁹는 소비자, 환경과 관련된 법적 규제, 환경마크 및 제품표준 등에 비추어 중요한 파라미터 도출을 목적으로 수행한다. EQFD는 Table 3과 같이 5단계에 따라 수행한다.

3단계의 환경성 벤치마킹(Environmental Benchmarking; 이하 EBM) 기법은 경쟁사 제품과 자사제품의 비교를 통해 상대적으로 취약한 자사 제품의 환경성 파라미터를 도출하는데 목적이 있다. EBM은 각 환경성 파라미터에 대해 경쟁사 제품과 자사제품을 비교하고 그 결과를 각 파라미터별로 1에서 5점의 점수(매우 우수: 5, 우수: 4, 평균: 3, 나쁨: 2, 아주 나쁨: 1)를 부여한다. 이를 통해 자사제품과 경쟁사 제품간의 차이(Gap)를 분석하여 환경성의 차이가 큰 파라미터를 주요 환경성 파라미터로 도출한다.

4단계는 제품의 환경성 측면 분석이다. 이 단계는 환경성 분석기법(예: 전과정사고(Life Cycle Thinking; LCT), 전과정평가(full Life Cycle Assessment; full-LCA), 간략화된 전과정평가(Screening Life Cycle Assessment; S-LCA 등)를 활용하여 제품의 환경성 측면을 분석하며, 이를 통해 제품 전과정에서의 환경적 주요 이슈 및 취약점이 규명된다. 일반적으로 전과정평가(full-LCA)와 같은 환경성 분석기법은 많은 시간(수개월에서 1년 정도)과 비용이 소요된다. 그러나 제품개발 프로세스의 개념개발단계는 이보다 짧기 때문에 환경성을 제품개발 프로세스에 접목시키기 위해서는 환경성 분석 역시 빠른 시간에 이루어져야 한다. 따라서 전과정평가(full-LCA)에 비해 상대적으로 시간과 비용이 적게 소요되는 간략화된 전과정평가(S-LCA)를 이 연구에 적용하였다.^{10,11)}

5단계는 Ecodesign 과업 도출이다. 이 단계는 2, 3단계의 환경성 파라미터와 4단계의 환경적 주요 이슈를 제품의 환경성 개선전략과 연결시킨다. 환경성 개선 전략은 친환경제품 설계 시 제품의 설계 방향을 결정하는 중요한 요소이다. 이 연구에서는 Ecodesign PILOT¹²⁾의 환경성 개선 전략을 활용하였다.

6단계는 Ecodesign 체크리스트¹²⁾를 이용하여 대상제품과 관련된 주요 친환경 설계 개선전략 및 구체적인 이행방안을 도출한다. Ecodesign 체크리스트는 해당 전략과 관련된 가이드라인과 이행방안들로 구성되어 있다. 이들 이행방안들은 관련성(relevance), 이행정도(fulfillment), 비용(cost) 등에 따라 평가되고, 이를 토대로 제품 개선을 위한 이행방안의 우선 순위(priority)가 결정된다.

7단계는 재설계 과업 및 제품 목표설계사양(target specification) 도출이다. 6단계의 구체적인 이행방안을 토대로 제품의 목표설계사양이 도출된다. 목표설계사양을 도출하기 위해서는 제품설계, 생산 및 마케팅 등과 같은 관련 사내 조직의 적극적인 참여가 필요하다.

대기업에서도 환경요구사항을 통합하여 제품 설계와 개발에 통합시키고자 하는 경우 어떻게 해야 하는지 잘 모르는 경우가 종종 있다. 하지만 엔지니어와 개발자들은 상기 제안한 방법론을 토대로 Table 2와 Fig. 3에 나타난 1단계부터 7단계까지의 체계적인 접근방법을 사용하면 환경에 대한 새로운 요구사항이 생겨도 체계적으로 제품개발에 반영할 수 있다.

제안한 접근방법을 사용하여 재설계 프로세스의 목표설계 사양을 구체화하는 Ecodesign 사례를 통해 이런 사양들이 어떻게 체계적으로 도출되는지의 과정을 나타내었다.

3. ECODESIGN 사례 연구

현대-기아 자동차의 Ecodesign 팀과 함께 자동차 부품에 대한 Ecodesign을 수행하였다. 사례연구의 대상제품은 X 모델 자동차 연료탱크(재질: HDPE)를 선정하였다. 대상제품을 Fig. 4에 나타내었다. 연료탱크는 body shell, heat protector, reinforce, fuel pump 모듈, 그리고 기타 조립 부품들로 구성되어 있으며, 연료탱크의 주요 부품에 초점을 맞추어 개선을 하기 위해 연료탱크 중 세부부품을 연결하는 각종 파이프(pipe), 호스(hose) 및 튜브(tube)를 제외한 나머지 부품을 연구범위로 설정하였다.

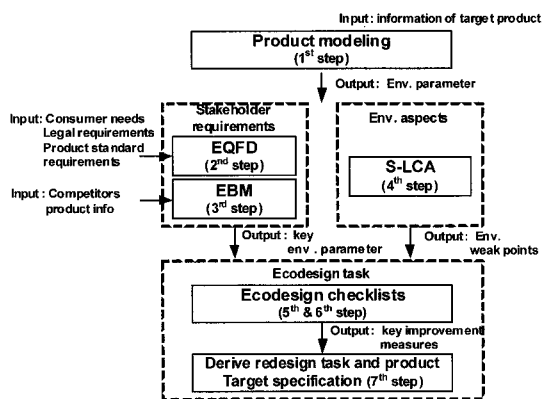


Fig. 3. Ecodesign approach of the seven steps.

Table 3. Five steps to carry out the EQFD

Step	Activity
1	Identifying Stakeholders requirements and translate them into Environmental Voice of Customer(EVOC).
2	Weighting EVOC with a scale from 0 to 10.
3	Define the relationship matrix between EVOC and environmental parameters with relationship factor(0, 1, 3, 9).
4	Each environmental parameter is multiplied by the relationship factor and summed up for every environmental parameter.
5	A relative importance is generated from step 4, from the result important environmental parameters can be identified.

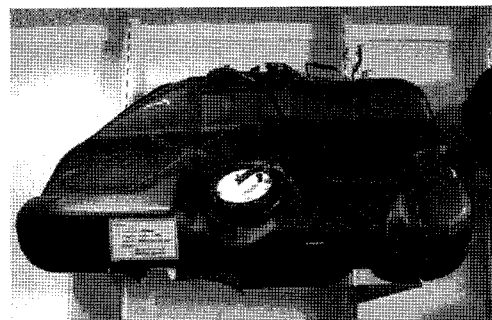


Fig. 4. Fuel tank unit.

Table 4. Environmental parameters for a fuel tank unit

Item	Environmental parameters	Note
General parameter	1. Weight	EP-1
	2. Volume	EP-2
	3. Lifetime	EP-3
	4. Functionality	EP-4
	5. Number of parts	EP-5
	6. Environmental performance of supply parts	EP-6
Use of raw materials	7. Materials used	EP-7
	8. Problematic materials	EP-8
Manufacture	9. Production technology	EP-9
	10. Production waste	EP-10
	11. Emissions(to air, water, land)	EP-11
Distribution	12. Type of packaging	EP-12
	13. Distance of transportation	EP-13
Product use	14. Usability	EP-14
	15. Energy consumption	EP-15
	16. Waste in use	EP-16
	17. Emissions(to air, water, land) in use	EP-17
	18. Noise and vibrations	EP-18
	19. Maintenance	EP-19
	20. Reparability	EP-20
End of life	21. Fasteners and joints	EP-21
	22. Time for disassembly	EP-22
	23. Rate of reusability	EP-23
	24. Rate of recyclability	EP-24

연료탱크에 대한 Ecodesign 이행 시 제안한 Ecodesign 12 단계 접근방법 중 7단계까지를 이 연구의 범위로 선정하였으며 각 단계별 세부사항은 다음에 기술하였다.

3.1. 1단계 : 제품 모델링

먼저 환경성 파라미터들을 도출한 후, 재설계 대상 제품(혹은 부품)을 이들 파라미터를 사용하여 모델링을 한다. 환경성 파라미터를 사용하여 제품 모델링을 하는 이유는 대상 제품의 환경적으로 중요한 설계 파라미터를 선택하기 위함이다. 제품 모델링 단계에서 Wimmer et al.⁸⁾에 의해서 제안된 일반적인 파라미터들이 사용될 수 있으며, 제품 또는 부품의 특성에 따라 특정 파라미터들이 추가 혹은 제거될 수 있다. 연료탱크와 관련된 환경성 파라미터들을 규명하여 Table 4에 나타내었다.

3.2. 2단계 : 환경성 품질기능전개(EQFD)

EQFD 단계는 이해관계자들의 요구사항을 파악하고 이들 요구사항을 관련 환경성 파라미터로 전환하여 설계자 및 개발자들이 이해할 수 있는 언어로 전환해 주는 단계이다. 예를 들면, 어떤 제품에 대한 이해관계자들의 요구사항이 “휴대가 용이할 것”이라면 “제품의 무게”, “제품의 부피” 그리고 심지어 “사용된 재질”도 관련 환경성 파라미터가 될 수 있다.

이 연구에서는 EU 폐차처리지침(ELV Directive), 현대-기아 자동차의 협력업체(suppliers)에 대한 요구사항, Japan Environmental Management Association for Industry(JEMAI)의 Voice of Customer(VOC) 및 ISO/TR 14062의 요구사항 등을 종합

Table 5. Environmental Voice Of Customer(EVOC)

Item	Environmental Voice of Customer	Note
1	Reduce raw material inputs in product life cycle	EVOC-1
2	Reduce emissions and waste in product life cycle	EVOC-2
3	Easy to transport and store in product life cycle	EVOC-3
4	Ensure the safety of the living environment for product user and working environment for manufacture(noise, vibration, odor, electromagnetic waves, etc)	EVOC-4
5	Improving the durability of product(and/or parts)	EVOC-5
6	Easy to reuse of product(and/or parts, packaging)	EVOC-6
7	Easy to recycle of product(and/or part)	EVOC-7
8	Reduce or eliminate the hazardous materials in product life cycle	EVOC-8
9	Improving the energy efficiency in product life cycle	EVOC-9

하여 EQFD에 필요한 이해관계자의 요구사항을 규명하였다. 이를 환경적 소비자 요구사항(environmental Voice of Customer; EVOC)의 형태로 작성하여 Table 5에 나타내었다.

환경적 소비자 요구사항의 중요도를 산정하기 위해서 Rank-order Analytic Hierarchy Process(AHP) 기법을 적용하였다.¹³⁾ 여기서 산정된 환경적 소비자 요구사항에 대한 중요도 및 환경성 파라미터를 이용하여 EQFD를 수행하였으며, 이에 대한 간략화된 모식도를 Fig. 5에 나타내었다.

연료탱크에 대한 EQFD 수행 결과 최종적으로 부품의 환경성(8.6%), 사용된 재질(8.3%) 및 재활용율(7.9%)의 세 가지 파라미터가 중요 환경성 파라미터로 도출되었다.

3.3. 3단계 : 경쟁사 제품과의 환경성 벤치마킹(EBM)

타사의 설계안과 자사 설계안을 비교하기 위하여 환경성 파라미터를 다시 사용한다. EBM을 통하여 경쟁사 제품과 비교하여 자사 제품의 환경적 취약점을 파악하였다.

벤치마킹 대상제품 1은 현대-기아 자동차의 XX모델로 철(steel) 재질의 연료탱크를 선정하였으며, 벤치마킹 대상제품 2는 B사의 YY모델 연료탱크로 기준제품과 같은 플라스틱 재질의 연료탱크를 선정하였다. EBM 대상제품을 Fig. 6에 나타내었다.

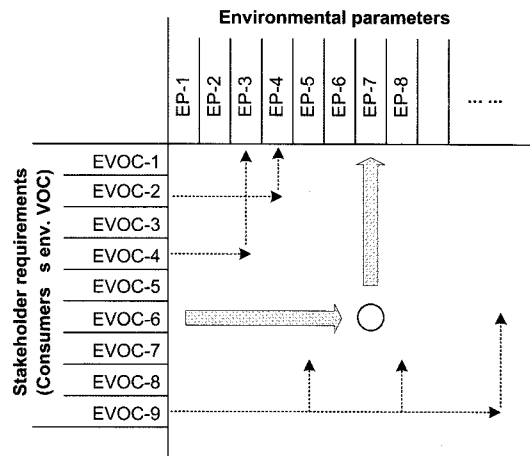
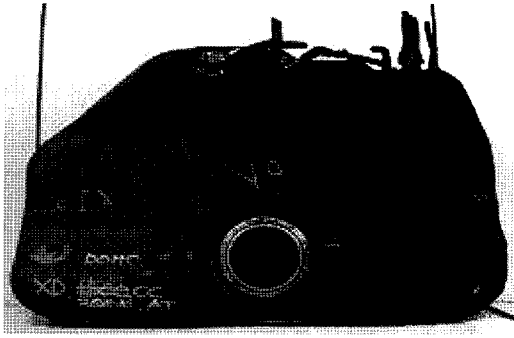
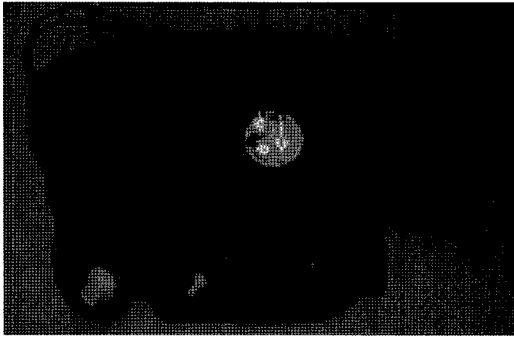


Fig. 5. Translating stakeholder requirements into environmental parameter with EQFD.



Fuel tank 1(steel)



Fuel tank 2(plastic)

Fig. 6. Environmental benchmarking products.

EBM 수행과정 및 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 제품 간 비교결과는 각 환경성 파라미터 별로 경쟁사 제품에 비해 매우 우수하면 5점, 우수하면 4점, 평균이면 3점, 나쁘면 2점, 매우 나쁘면 1점을 부여하였다. 이를 통해 자사 제품과 경쟁사 제품간의 차이(gap)가 큰 환경성 파라미터를 도출하였다.

EBM을 통해 최종적으로 도출된 중요 환경성 파라미터는 부품수, 체결구조 및 재활용율의 세 가지 파라미터이다.

3.4. 4단계 : 간략화된 전과정평가(S-LCA)

연료탱크에 대한 중요 환경성 측면을 파악하기 위해 S-LCA를 수행하였다. 연료탱크의 전과정에 걸친 환경영향을 고려

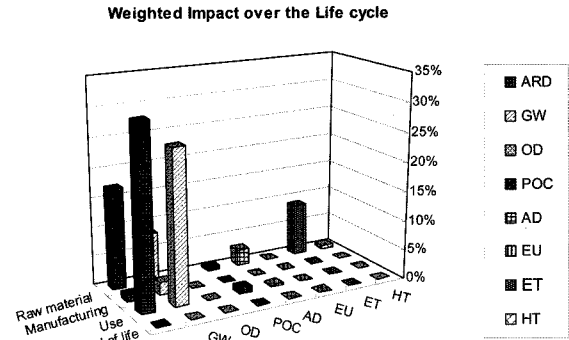


Fig. 8. Weighted environmental impact for the fuel tank unit.

하였으며, 특히 사용단계에서 연료탱크 중량에 의해 소비된 연료의 연소에 의해 발생된 환경부하를 고려하였다. 자동차 사용단계에서의 평균 주행거리는 140,000 km로 가정하였다.

S-LCA결과로부터 연료탱크의 전과정 단계 중 원료물질취득 단계 및 사용단계가 각각 전체 환경영향의 39% 및 58% 유발하는 것으로 파악되었으며, 이를 Fig. 8에 나타내었다. 사용단계에서의 주요 영향은 총 주행 거리에 따른 연료탱크의 중량에 의해 유발되는 것으로 파악되었다. 각 부품에 대한 가중치 부여된 환경영향(Weighted Impact; WI)에 대한 기여도를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Weighted environmental impact of materials used in the fuel tank unit

Parts	Materials	WI	Contribution(%)
Body shell	HDPE	4.59E-06	46.75
	Nitrogen	1.82E-06	18.54
Heat protector & reinforce	Cold rolled steel	1.24E-06	12.63
Module fuel pump	POM & others	1.17E-06	11.92
Pad	PBL	7.77E-07	7.91
Other assembly components	POM	2.21E-07	2.25

Environmental Benchmarking matrix	General information					Material	Manufacture			Distribution	Use						End of life						
	Weight	Volume	Lifetime	Functionality	Number of parts	Part's environmental performance	Materials used	Problematic materials	Production technology	Production waste	Emissions (to air, water, land)	Packaging type and materials	Distance	Usability	Energy consumption	Waste in use	Emissions (to air, water, land) in use	Noise and vibration	Maintenance	Reparability	Fasteners and joints	Time for disassembly	Rate of reusability
Fuel tank(own product)	4	-	-	3	1	-	5	3	5	3	3	-	-	-	-	3	-	-	-	2	-	1	1
Fuel tank 1 (steel)	3	-	-	3	1	-	4	1	3	1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	1	5
Fuel tank 2 (plastic)	5	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	5	-	1	1
Total	1	-	-	0	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	3	-	0	4

Fig. 7. Environmental benchmarking of the fuel tank against the competitor's products.

Body shell, heat protector 및 reinforce가 원료물질취득 단계에서 가장 큰 환경영향을 나타내었다. 원료물질취득 단계 및 사용단계에 의해 야기된 환경영향의 분석을 통해 제품 개선 전략을 도출하였다. 이때 도출된 제품 개선 전략은 “물질 투입량 저감”과 “적합한 재질 선정”이다.

3.5. 5단계 : Ecodesign 개선 전략 도출

ECODESIGN 개선 전략을 도출한다는 것은 먼저 이해관계자들의 요구사항을 환경측면과 결합하는 것을 의미하고, 그 결과 규명된 환경성 파라미터를 Ecodesign 전략과 연결시킨다는 것을 의미한다. 여기서는 ECODESIGN PILOT 프로그

Table 7. Deriving Ecodesign improvement strategies from stakeholder requirements and environmental aspects

Item	Environmental parameters	Ecodesign improvement strategies (from ECODESIGN PILOT)
EQFD	Environmental performance of supply parts	Selecting the right materials
	Materials used	Selecting the right materials
	Rate of recyclability	Recycling of materials
EBM	Number of parts	Reducing material inputs
	Fasteners and joints	Improving disassembly
	Rate of recyclability	Recycling of materials
S-LCA	Raw materials (key life cycle stage)	Reducing material inputs Selecting the right materials

램에서 환경성 파라미터에 상응하는 Ecodesign 개선 전략을 추출하여 사용하였으며, 이를 Table 7에 나타내었다.

3.6. 6단계 : Ecodesign 체크리스트 적용

ECODESIGN PILOT 프로그램에 있는 모든 Ecodesign 개선 전략에는 체크리스트가 있다. 상기 Ecodesign 개선전략으로부터 도출된 4개의 전략과 연관된 체크리스트를 통해 연료탱크의 Ecodesign 이행방안을 도출하였고, 이를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Ecodesign measures to implement for the fuel tank unit

No.	Ecodesign measures
1	Use of materials with a view to their environmental performance
2	Avoid or reduce the use of toxic materials and components
3	Reduce material input by aiming at optimum strength
4	Reduce material input by integration of functions
5	Use easily detachable connections
6	Ensure labeling of materials conforming to standards
7	Ensure simple extraction of harmful and valuable substances
8	Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances

Table 9. Redesign task for fuel tank unit

No.	Ecodesign measures	Ecodesign task(redesign task)
1	Use of materials with a view to their environmental performance	Use the lower environmental impact plastic(e.g. recycled plastic)
2	Avoid or reduce the use of toxic materials and components	No use four toxic materials(Hg, Pb, Cd, Cr ⁶⁺) which is restricted in ELV directive
3	Reduce material input by aiming at optimum strength	Reduce material by optimizing thickness
4	Reduce material input by integration of functions	Reduce material input by adding function and integration of functions
5	Use easily detachable connections	Change fasteners and joints to Snap-fit
6	Ensure labeling of materials conforming to standards	Mark the material label Mark the point of disassembly
7	Ensure simple extraction of harmful and valuable substances	Eliminate lead(Pb) Change the structure design which can extract easily without disassembly
8	Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances	Change the structure design which can extract easily

Table 10. Target specifications* of the fuel tank unit

Metric	Value	Improvement point
Thickness of fuel tank body	Less than 3T(mm)	Reduction of material and weight
Regrinding materials content	40%	Environmentally friendly materials use
Reinforcement bar	Not use	Reduction of material and weight
Suction pipe	Not use	Reduction of material and the number of part
Lead(Pb) used	Not use	Eliminate toxic substances
Fasteners	Snap-fit	Easy disassembly
Fuel collection drain point	Mark drain point	Easy fuel collection from ELV

* Specification is consists of a metric and value.
(e.g.: metric : average time to assemble, value : less than 75 seconds)

3.7. 7단계 : 재설계 과업 및 목표설계사양 규명

제품 설계팀 및 Ecodesign 팀과 Table 8에 도출된 이행방안을 가지고 내부 전문가 워크숍을 수행하였다. 이를 통해 제품 개선을 위한 재설계 과업을 도출하였으며, 이를 Table 9에 나타내었다.

재설계 과업으로부터 연료탱크에 대한 최종 목표설계사양을 도출하였다. 이 때 최종 목표설계사양은 재설계 과업을 토대로 실행 가능한 아이디어들을 수집하고 전문가와의 협의를 통하여 도출하였으며, 이를 Table 10에 나타내었다.

4. 결론

이 연구에서는 기업이 Ecodesign을 이행하기 위한 시스템적인 접근방법을 제안하였으며, 자동차 연료탱크에 이를 적용한 사례를 통해 실제적인 접근방법을 보여주었다. 이 연구에서 제안한 친환경 제품설계를 위한 7단계 접근방법을 통해 제품의 환경성 측면과 이해관계자의 요구사항을 계획 및 개념설계 단계에 체계적으로 통합하였다. 또한 세부적으로 제품의 환경적 취약점을 최종적으로 설계자들이 쉽게 이해할 수 있는 목표설계사양의 형태로 전환하였다. 또한 이러한 접근방법은 다음과 같은 시사점을 갖는다.

1) 제품설계 및 개발의 초기에 제품의 환경적 개선사항을 통합하여 다양한 환경성 개선 대안의 도출이 가능함을 보여준다.

2) 제품 그 자체 요구사항 뿐만 아니라 이해관계자의 요구사항 및 제품의 중요 환경성 측면을 기존의 제품개발 프로세스에 체계적으로 통합하였다.

3) 연료탱크 사례연구를 통해 실제적으로 제안한 방법론의 적용 가능성을 평가하였다. 이로써 향후 기업 내에 Ecodesign 시스템을 구축하여 운영할 경우 자사 제품의 환경적 성과를 높이는데 이 연구에서 제안한 Ecodesign 방법이 적용가능함을 보여주었다.

사 사

이 연구는 현대-기아자동차 환경연구소의 연구용역 사업으로 수행되었으며, 환경연구소 연구원 및 여러 분야의 전문가들에게 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. EU, End-of-Life Vehicle(ELV), "DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 September 2000 on end-of life vehicles" (2004).
2. ISO, ISO/TR 14062: Environmental management-Integra-

ting environmental aspects into product design and development, ISO(2002).

3. EU, Integrated Product Policy, Building on Environmental Life-Cycle Thinking, Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, European Communities(2003).
4. Bhamra, T. A., Evans, S., McAloone, T. C., Simon, M., Poole, S., and Sweatman, A., Integrating Environmental Decisions into the Product Development Process: Part 1 - The Early Stages, In *Ecodesign '99 1st International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing* conference proceedings, Waseda University International Conference Center, Tokyo, Japan (1999).
5. Brezet, H. and Hemel, C. V., ECOCODESIGN-A Promising Approach To Sustainable Production and Consumption, UNEP(1997).
6. Julio Rodrigo and Francesc Castells, Electrical and Electronic; Practical Ecodesign Guide, Universitat Rovira I Virgili(2002).
7. Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, Product design and development, McGrawHill, pp. 14~18(2000).
8. Wolfgang Wimmer, Rainer Züst, Kun-Mo Lee, Ecodesign Implementation-A Systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development, Springer(2004).
9. Masui, K., Environmentally conscious design support tool in early stage of product development-Quality Function Deployment(QFD) for Environment, ECP newsletter No. 20, Japan(2002).
10. Todd, J. A., Curran, M. A., Weitz, K., Sharma, A., Vigon, B., Ed Price, Norris, G., Eagan, P., Owens, W., Veroutis, A., Streamlined Life-Cycle Assessment: A final report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup, Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC foundation for environmental education(1999).
11. Christiansen, K., Simplifying LCA: Just a cut? Final report from the SETAC-EUROPE LCA Screening and Streamlining Working Group, Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC-EUROPE(1997).
12. ECOCODESIGN Online PILOT, <http://www.ecodesign.at/pilot/> (2005).
13. Noh, J. S., Lee, K. M., "Application of Multiattribute Decision-Making Methods for the Determination of Relative Significance Factor of Impact Categories," *Environmental Management*, 31(5), 633~641(2003).