

자동차 언더커버의 유니소재화 적용 및 전과정평가

윤혜리¹, 박유성², 유미진¹, 배하나¹, 이한웅^{1,*}

¹한국생산기술연구원 환경규제대응실
06211 서울시 강남구 테헤란로 322 한신인터밸리24 동관 18층
²(주)에이치아이피
08591 서울특별시 금천구 가산디지털1로 30, 1006호

(2016년 10월 28일 접수; 2017년 3월 3일 수정본 접수; 2017년 3월 27일 채택)

Application for Uni-materialization and Life Cycle Assessment of the Vehicle Undercover

Hyeri Yun¹, Yoosung Park², MiJin Yu¹, Hana Bae¹, and Hanwoong Lee^{1,*}

¹Korea Institute of Industrial Technology, Environmental Regulation Compliance Office
Hanshin Intervally 24 East B/D 18F 322, Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul 06211, Korea
²H. I. Pathway Co., LTD.

ACE High-End Tower 10th 10F 1006, Gasan digital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 08591, Korea

(Received for review October 28, 2016; Revision received March 3, 2017; Accepted March 27, 2017)

요 약

국내외 자원순환규제 대응 및 온실가스 저감을 위해 자동차산업에서는 부품의 소재 종류의 수를 줄여 재활용률 목표치를 달성하고, 폐기단계 또는 제조단계에서 발생하는 불량 및 스크랩을 순환자원으로 재활용하는 노력을 하고 있다. 또한 기존 제품의 성능은 유지하면서 온실가스 저감 목표치를 달성하기 위해 부품 경량화를 추진하고 있다. 기존제품의 폐기단계에서 100% 소각을 하던 제품을 개선제품에서는 제조전단계와 제조단계에서 발생하는 스크랩, 불량을 수거하여 90%의 재활용이 가능하도록 개선했다. 또한 기존제품 대비 56% 경량화를 통해 연비 개선효과를 나타냈다. 본 연구에서는 자동차 언더커버를 대상으로 유니소재화 제품 개발 적용가능성에 대한 사전평가를 실시하고, 개발된 시제품의 전과정평가를 통해 기존제품과 개발된 시제품의 환경영향값을 비교, 분석하고자 한다.

주제어 : 자동차 언더커버, 유니소재화, 재활용, 전과정평가

Abstract : In response to national and international regulations for resource circulation and to reduce greenhouse gas emissions, the automotive industry has tried to reuse scrap parts and defective products produced in the disposal or production stages as recycled resources. Attempts have been made to reach the target recycling rate by reducing the number of material types required for each part. Moreover, in order to achieve greenhouse gas reduction targets while maintaining the performance of existing products, lighter components are being developed. Existing products were 100% incinerated at the disposal stage, but the uni-materialized products were improved to be possible that it could be recycled 90% through scraps and the defective product in the pre-production and production stage. It also appears that the fuel efficiency improves through 56% lightweight compared to the existing product. In this paper, a preliminary assessment is conducted on the applicability of uni-materialized product development of car parts. The environmental impact values of existing products and developed prototypes are compared and analyzed through life cycle assessment.

Keywords : Uni-materialization, Vehicle undercover, Recycling, Life-cycle Assessment (LCA)

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: proteolee@kncpc.re.kr; Tel: +82-2-2183-1510; Fax: +82-2-2183-1519

doi: 10.7464/ksct.2017.23.3.256 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지구 온난화 및 자원고갈 등의 환경문제가 대두되고 있으며, EU, 미국 등 선진국을 중심으로 자국 산업을 보호하기 위해 다양한 정책, 제도, 법률의 제·개정이 확대 및 강화되고 있다. 근본적인 환경문제 해결책으로 ‘지속가능한 발전’ 개념이 도입되고 사후관리 정책에서 사전예방적 접근방법으로 오염원을 줄이는 방향이 제시되고 있다.

EU의 통합제품정책(Integrated Product Policy, IPP)을 중심으로 전기전자제품의 폐기물처리지침(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE), 폐자동차처리지침(End of Life Vehicle, ELV) 등 제품 및 물질에 관한 법률이 시행되고 있으며, 자원 및 에너지 사용을 최소화하고, 유해화학물질 배출을 억제하며, 순환자원 확보를 위한 다양한 정책이 개발되고 있다. 그 중 자원순환 효율성 증대를 위한 다양한 평가 방법, 가이드라인이 민간 또는 정부차원에서 시행되고 있다. 국내에서는 유니소재화 제품 개발을 통해 설계단계에서 소재 종류의 수를 줄이고, 재활용이 용이하도록 구조를 개선하여 재활용률을 높이는 정책이 수행되고 있다. 또한 전자제품 등 자원순환법에 대응하기 위해 기업에서는 자원순환을 고려한 제품 개발을 노력하고 있다. 그러나 자체 제품설계 가이드라인의 지침을 준수하기도 하지만 대부분은 자원순환을 고려한 제품 개발 방법과 가이드라인이 전무한 상태이다.

이에 본 연구에서는 자원순환을 고려한 유니소재 개념을 제시하고, 설계단계에서 유니소재화 적용가능성 여부를 판단하여 개발된 제품의 전과정 영향평가를 제시하고자 한다. 유니소재는 제품의 전과정에 걸쳐 환경 영향을 저감하고 자원순환을 촉진하기 위해, 소재 종류의 개수 저감, 제품의 구조 개선을 통한 단순화 또는 단일화된 소재로서 본 연구에서는 자동차 엔진룸 언더커버를 적용하였다[1,2].

자동차 엔진룸 언더커버는 바닥의 이물질 및 장애물로부터 엔진을 보호하고 차량의 고속주행시 하체 바닥면의 공기역학적 요소를 개선하기 위한 자동차부품이다. Figure 1의 (a)는 기존제품의 엔진룸 언더커버를 (b)는 개선 이후의 시제품의 제품을 설명하고 있다. 개선제품은 소재와 공정을 변경하였으며, 기존제품의 소재는 PP/Glass fiber와 TPU film으로 구성되어 있는 것을 bamboo resin sheet인 PP계 복합수지로 일체화하였고, 공정은 기존에 사출, 경화 및 가스제거, 탈형, 사향,

홀 펀칭을 하여 개발한 것을 프레스 성형을 하여 공정을 단순화하였다.

유니소재화 제품 평가 가이드라인을 통해 환경성, 경제성, 기술성 항목으로 자원순환형 친환경제품 개발의 적용가능성을 판단하고, 제품 전과정에 환경영향범주별 영향평가값을 비교·분석하도록 한다[3,4]. 본 연구개발에서 도출된 전과정 평가 결과는 최종 양산제품의 설계단계에 적용하여 하나의 의사결정을 할 수 있는 수단으로 활용하고자 하며, 이것은 환경성 개선여부를 판단할 수 있는 가장 적합한 방법으로 간주할 수 있다[5,6].

이에 설계단계에서 소재 및 구조개선을 고려하여 유니소재화 제품을 개발하고, 환경성 개선의 수단으로 전과정평가를 제시하고자 한다[7-9].

2. 실험방법

2.1. 유니소재화 제품 평가 가이드라인

2.1.1. 연구 목적 및 수행 범위

유니소재화 제품 평가의 목적은 제품 개발의 적용가능성을 사전에 평가하는 것으로 평가결과에 따라 제품개발에 신뢰성을 확보할 수 있다. 기존의 자동차 엔진룸 언더커버를 유니소재화 제품으로 적용이 가능한지에 대해서 평가할 수 있는 기초 자료로 활용된다.

적용 가능한 사전평가는 제품의 실현가능성 또는 개발 타당성을 사전 점검하는 자료로 제품 개발자에게 참고자료로 활용이 되며, 관련 분야 전문가들의 평가로 진행된다.

2.1.2. 사전평가

유니소재화 제품 개발의 적용가능성을 판단하기 위해서는 사전평가를 통해 검증하게 된다. 사전평가는 Table 1에서 제시하는 바와 같이 환경성, 경제성, 기술성에 대한 평가항목으로 구성된다[3].

평가항목의 방법론을 개발하기 위해서 기존에 유니소재화 제품 평가 가이드라인을 활용하였다[4]. Fulvio and Fabrice [10]는 자원효율성과 자원관리를 평가할 수 있는 항목을 제시하였으며, Shailendra et al. [11]는 재활용 및 재사용, 회수의 이득률, 재활용 소재 사용 등에 대한 항목이 제시되어 있으며, 유니소재화 평가 가이드라인의 환경영향 항목을 선정하



Figure 1. Under cover in engine room, (a) existing product, (b) uni-materialized product.

Table 1. Assessment category of preliminary assessment

Division	Weighting	No.	Assessment category
Environmental indicator	31.5%	A-1	Resource circulation
		A-2	Simplification
Economic indicator	44.6%	B-1	Market growth
		B-2	Market competitiveness
		B-3	Market accessibility
		B-4	Productivity
		B-5	Profitability and stability
		B-6	Industrialization of technology
Technical indicator	23.9%	C-1	Technical excellence
		C-2	Technical competitiveness
		C-3	Potential imitation of technology
		C-4	Stability of rights

는데 사전연구로 활용이 되었다. 경제성과 기술성 평가 항목은 산업통상자원부에서 개발한 기술가치평가 실무가이드라인을 사전 연구하였으며[12], 경쟁기술 대비 기술수준에 대한 항목과 시장진입 장벽, 국내외 시장 규모에 대한 기준 등을

참고하여 개발하였다.

사전평가는 기존제품 또는 경쟁 기술대비 유니소재화 제품 개선안을 비교하여 평가하되, 평가결과는 절대적 기준이 없으며 0~5점으로 수치로 체크하게 된다. 평가의 객관성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 사전평가는 이해관계자 최소 3명으로 구성하여 평가하게 되며, 이해관계자에는 해당제품의 담당자로 참여가 가능하다.

평가항목별 가중치는 각 산업별 이해관계자를 대상으로 계층분석(Alytic Hierarchy Process, AHP)을 수행한 결과값이며, 최종 평가 점수는 평가항목별 합산결과를 환경성, 경제성, 기술성에 대해 각각 100점을 기준으로 환산하고 가중치를 적용하여 합산된 값을 산출한다. Table 2는 사전평가 판단 기준에 대해 설명을 하고 있으며, 100점 만점 기준으로 최종 점수를 환산하여 아래 표를 통해 적용가능성 여부를 판단할 수 있다. Table 3~5는 평가 항목별 세부 기준 및 내용에 대해 제시하였다.

평가항목은 환경성, 경제성, 기술성으로 구분이 되며, 자원순환을 고려하기 위한 기준과 내용으로 구성이 된다. 환경성은 소재 자원순환성, 구조 단순화로 구성이 되며 평가 내용은 사용된 소재의 종류 수 및 구조의 단순화를 통해 자원순환성

Table 2. Criteria of preliminary assessment

Score	≥ 90	80 ≤ x < 90	70 ≤ x < 80	60 ≤ x < 70	50 ≤ x < 60	40 ≤ x < 50	40
Division	Excellent	Very suitability	Suitability	Normal	Low	Very low	N/A

Table 3. Assessment category and standard of environmental indicator

Division	Assessment category	Assessments and standard																				
Environmental indicator	Resource circulation	Assess whether resource circulation can be improved by unifying uni-materialized products or parts into recyclable materials or by simplifying the number of materials used. <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ A single material is used that is currently recyclable. Ⓑ A single material is used that is only technically recyclable (research and development stage). Ⓒ A few material types are used, most of which are recyclable. Ⓓ Many material types are used or materials that are difficult to recycle are used. Ⓔ The composition of material types used is complex and either recycling is impossible or composite materials are used. <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ⓔ</td><td colspan="2">Ⓓ</td><td colspan="2">Ⓒ</td><td colspan="2">Ⓑ</td><td colspan="2">Ⓐ</td> </tr> </table> ※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	Ⓔ		Ⓓ		Ⓒ		Ⓑ		Ⓐ	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0												
Ⓔ		Ⓓ		Ⓒ		Ⓑ		Ⓐ														
	Simplification	Assess whether a component can be easily disassembled by simplifying the structures of uni-materialized products and parts. <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ The integrated product structure does not need any additional disassembling (one disassembled part). Ⓑ Disassembly is relatively easy, because the product structure is simple (a few disassembled parts). Ⓒ The number of parts, and disassembling time, could be reduced by simplifying product structure. Ⓓ Product structure is somewhat complex, but the product can be disassembled with general tools. Ⓔ Due to complex product structure, the product is difficult to disassemble with common tools, or the number of parts increases. <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ⓔ</td><td colspan="2">Ⓓ</td><td colspan="2">Ⓒ</td><td colspan="2">Ⓑ</td><td colspan="2">Ⓐ</td> </tr> </table> ※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	Ⓔ		Ⓓ		Ⓒ		Ⓑ		Ⓐ	
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
Ⓔ		Ⓓ		Ⓒ		Ⓑ		Ⓐ														

Table 4. Assessment category and standard of economic indicator

Division	Assessment category	Assessments and standard																				
Economic indicator	Market growth	<p>Assess the future potential growth of the target market for uni-materialized products.</p> <p>(a) The target market is expected to greatly increase due to recent rapid economic growth. (b) The target market shows continuous growth, which is expected to continue in the long-term. (c) The growth rate of the target market is gradually increasing and this trend is expected to continue in the long-term. (d) The growth of the target market recently stalled; hence, its potential for future growth is uncertain. (e) The size of the target market is decreasing, and its potential for future growth is very uncertain.</p> <table border="1" data-bbox="456 545 1466 616"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0												
	e		d		c		b		a													
	Market competitiveness	<p>Assess the competitiveness of uni-materialization of products based on market structures, the types of market leaders, the potential for monopoly, and the potential for excessive competing products.</p> <p>(a) There is very high potential for industrialization, because there are almost no competitors or competing products in the target market. (b) There is high potential of industrialization, because there are few competitors and competing products in the target market. (c) There are many competitors and competing products in the target market, which is divided among the leading companies. (d) There is high competition among companies in the target market, and a strong competitor or competing product oligopolizes the market. (e) There is very high competition among companies in the target market, and a strong competitor or competing product monopolizes the market.</p> <table border="1" data-bbox="456 1037 1466 1108"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a	
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
e		d		c		b		a														
Market accessibility	<p>Assess the impact of critical external factors, such as economic scale, cost edge, business networks, technical competitiveness, and regulations and policies to enter the target market for uni-materialized products.</p> <p>(a) Considering economic scale, cost edge, and sales network, there is a low barrier to entering the market, and market entry would be easy due to legal and institutional support. (b) Considering economic scale, cost edge, and sales network, there is a low barrier to entering the market, and there is potential legal and institutional support. (c) Considering economic scale, cost edge, and sales network, there is not a high barrier to entering the market; there is neither legal and institutional support nor obstacles. (d) Due to one element among economic scale, cost edge, sales network, and legal and institutional aspects, there is a very high barrier to market entrance and therefore, there is a risk to industrialization. (e) Due to complex obstacles caused by economic scale, cost edge, sales network, and legal and institutional aspects, there is a very high barrier to market entrance and therefore, there is a very high risk to industrialization.</p> <table border="1" data-bbox="456 1532 1466 1604"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a		
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
e		d		c		b		a														
Productivity	<p>Assess the applicability of existing and new facilities to the production of uni-materialized products and the stability of procurement and supply of raw materials needed to industrialize the target technology.</p> <p>(a) Most existing production facilities can be used without modification and a significant portion of the raw materials can be domestically procured for industrialization. (b) Most existing production facilities can be used without modification and some of the raw materials can be domestically procured for industrialization. (c) Existing production facilities need to be supplemented or expanded and most of the raw materials (more than 60%) can be domestically procured for industrialization. (d) Existing production facilities need to be supplemented or expanded and some of the raw materials (30-60%) can be domestically procured for industrialization. (e) New facilities are essential, because existing production facilities cannot be used. Alternatively, only some of the raw materials (less than 30%) can be domestically procured.</p>																					

Table 4. Continued

Division	Assessment category	Assessments and standard									
Economic indicator	Productivity	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		e		d		c		b		a	
		* Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.									
	Profitability and stability	Assess the variation in profitability of related competitive companies in the market of uni-materialized products over the past five years.									
		(a) The business profit of competitive companies over the past five years is much higher than average for the associated industry, and is stable due to low fluctuation of business margins. (b) The business profit of competitive companies over the past five years is higher than average for the associated industry, and is somewhat stable due to low fluctuation of business margins. (c) The business profit of competitive companies over the past five years is similar to the associated industry average. (d) The business profit of competitive companies over the past five years is lower than average for the associated industry, or fluctuation of business margins is volatile (high uncertainty of generating revenue). (e) The business profit of competitive companies over the past five years is much lower than average for the associated industry, or fluctuation of business margins is very volatile (very high uncertainty of generating revenue).									
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		e		d		c		b		a	
		* Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.									
	Industrialization of technology	Assess the elements that must be overcome in the external environment, such as required time for commercialization of uni-materialized products from a technical perspective, cost, technical troubleshooting, and legal and institutional aspects.									
		(a) Mass production stage of business is immediately possible, because there are no technical problems. (b) Business is possible within a year, because there are almost no technical problems. (c) Business is possible within two years by supplementing technical aspects. (d) Technical problems need to be solved in order to start technology business. (e) Business is impossible without developing additional technology.									
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		e		d		c		b		a	
		* Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.									

Table 5. Assessment category and standard of technical indicator

Division	Assessment category	Assessments and standard									
Technical indicator	Technical excellence	Assess the relative technical excellence of the competition after understanding existence and level of competing technologies in the market of product uni-materialization.									
		(a) Compared to competing technologies, the unique attributes of the product are relatively very strong, and it is difficult to find comparable technology. (b) Compared to competing technologies, the unique attributes are relatively strong. (c) Compared to competing technologies, features and performance are similar. (d) Compared to competing technologies, the unique attributes are relatively insufficient. (e) Compared to competing technologies, the unique attributes are relatively weak.									
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		e		d		c		b		a	
		* Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.									
	Technical competitiveness	After understanding competing technologies, a number of related and similar technologies, and competitive and complementary relationships between technologies in the product uni-materialization market, assess whether competition or complementary relationships between similar or related technologies would positively or negatively impact the value of current technology.									

Table 5. Continued

Division	Assessment category	Assessments and standard																				
Technical indicator	Technical competitiveness	<p>(a) There is a very small risk to business associated with current technology, because there is almost no competition and technical excellence can be easily maintained with sufficient complementary technologies.</p> <p>(b) There is a small risk to business associated with current technology, because its technical excellence can be easily maintained and there are few similar technologies, although competition does exist.</p> <p>(c) Although the number of similar technologies and level of competition are typical, caution is required for business associated with current technology in the future.</p> <p>(d) There may be obstacles to business associated with current technology, because there are many similar technologies and strong competition.</p> <p>(e) There may be very high risks for business associated with current technology, because there are numerous similar technologies and strong competition.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0												
	e		d		c		b		a													
Potential imitation of technology	<p>Assess ability required to imitate technology, based on the potential to imitate uni-materialized products and current technology, and the potential to imitate based on external public data or through reverse-engineering.</p> <p>(a) Business risk is very small, because the accumulation of advanced technology makes it almost impossible to imitate for a considerable period.</p> <p>(b) Business risk is small for a considerable period, because technical imitation is difficult.</p> <p>(c) Technical imitation is not easy, and imitation would not greatly damage current profit and prospective future profits.</p> <p>(d) Prospective future profit may be reduced, because technical imitation is relatively easy.</p> <p>(e) Business establishment is dangerous, because technical imitation is easy.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a		
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
e		d		c		b		a														
Stability of rights	<p>Assess the legal stability of rights to patents related to uni-materialized products and current technology.</p> <p>(a) Stability of rights is very high, because there is no similar prior technology and even if there is, the risk of conflict regarding possessed rights is very low based on prior patent analysis.</p> <p>(b) Stability of rights is high, because based on prior patent analysis the risk of conflict regarding possessed rights is low although there are few similar prior technologies.</p> <p>(c) There are many similar prior technologies, and there is potential for limitation of possessed rights based on prior patent analysis.</p> <p>(d) There are many similar prior technologies and the risk of conflict regarding possessed core rights is high based on prior patent analysis.</p> <p>(e) There are many prior technologies identical to the current technology and the risk of conflict regarding possessed core rights is very high based on prior patent analysis.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">e</td><td colspan="2">d</td><td colspan="2">c</td><td colspan="2">b</td><td colspan="2">a</td> </tr> </table> <p>※ Where there are no data to evaluate, the given standard is zero.</p>	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	e		d		c		b		a		
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
e		d		c		b		a														

이 개선될 수 있는지 여부에 대해서 평가를 한다. 경제성은 해당 기술이 실현가능하여야 하며, 경제적 효과와 사업화 타당성 여부에 대해서 평가를 한다. 시장 성장성, 시장 경쟁성, 시장 진입성, 생산용이성, 수익성과 안정성, 기술 사업화 환경에 대한 평가 항목으로 구성된다. 기술성은 해당 제품을 개발할 수 있는 기술이 제품의 경쟁력 향상에 기여할 수 있는지를 평가하게 되며, 기술 우수성, 기술 경쟁성, 기술 모방용이성, 권리 안정성의 항목으로 구성된다.

2.2. 전과정평가

2.2.1. 목표, 범위, 기능단위, 시스템 경계의 정의 및 데이터 요구사항

전과정평가 연구의 목적은 유니소재화 기술이 자동차 엔진 부품 언더커버제품에 적용되었을 경우 환경적 개선 발생 여부를 파악하는 것이다. 기존 제품과 시제품의 전과정영향평가를 비교함으로써 환경영향개선 여부를 분석하려고 한다.

엔진룸 언더커버 제품을 제조하기 위해 원료물질 취득단계

부터 부품제조, 제품 조립, 운송, 사용, 폐기에 이르는 제품 1개당 전과정 환경영향을 산정하였다. 본 연구에서 산정한 환경영향범주는 자원소모, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층영향, 광화학적 산화물 생성의 6가지이다. 원료물질 취득, 부품제조, 제품 조립, 운송에 의한 환경영향은 제품 자체 명세서(bill of material, BOM) 분석 및 사업장의 현장데이터를 수집하여 산정하였다. 사업장의 현장데이터에는 원료 투입량, 에너지 사용량, 용수사용량, 폐기물 발생량, 불량률 등이 포함된다. 현장데이터 수집에는 ISO 14044 표준에서 제시한 기준에 따라 작성된 데이터 수집 양식을 활용하였다.

사용단계의 환경영향은 엔진룸 언더커버가 적용되는 차량의 휘발유 소비량을 기준으로 산정하였으며, 폐기단계는 개선 전/후 제품의 특성에 따른 시나리오를 통해 환경영향을 산정하였다.

이번 연구를 통해서 동일한 자동차에 적용되는 엔진룸 언더커버에 대한 비교평가기기 때문에 엔진룸 언더커버 제품 1개를 기능단위로 설정하였다.

2.2.2. 기존제품

기존 제품을 생산 판매하는 업체는 협력사에게 엔진룸 언더커버의 부품을 납품 받아 조립하는 형태로 생산되고 있다. 생산된 제품은 자동차 제조업체로 납품하여 사용되고 폐기단

계에서 소각되고 있으며 제조단계에서 발생한 불량은 전량 소각한다. Figure 2에서는 기존제품의 전과정 시스템 경계를 설명한다.

제품에 대한 데이터는 대상 제품을 생산하는 업체의 생산공장과 협력업체의 현장데이터를 수집하였다. 가장 생산량이 많았던 2012년 1월 1일 ~ 2012년 12월 31일까지 1년간의 누적 데이터를 적용하였다.

2.2.3. 시제품

소재의 종류 수를 저감하고, 공정을 단순화한 유니소재화 기술을 적용한 시제품은 기존제품과 달리 대나무를 이용해서 만든 복합수지인 대나무수지(Bamboo resin)만으로 이루어져 있으며 이에 대나무수지를 생산하는 업체로부터 대나무수지 시트(Bamboo resin sheet)를 공급받아 압출하는 형태로 엔진룸 언더커버를 생산하고 있다.

제조단계에서 발생한 스크랩과 불량은 분쇄하여 재활용하거나 스크랩은 다른 제품의 원료로 사용되는 열린고리 재활용 공정(Open-loop recycling process)에 해당되고, 불량은 대상제품인 엔진룸 언더커버를 생산하는데 다시 재투입되는 닫힌고리 재활용 공정(Closed-Loop Recycling Process)에 해당한다. Figure 3에서는 시제품의 전과정 시스템 경계를 설명한다.

해당 제품은 양산 중인 제품이 아니기 때문에 물질 투입량은

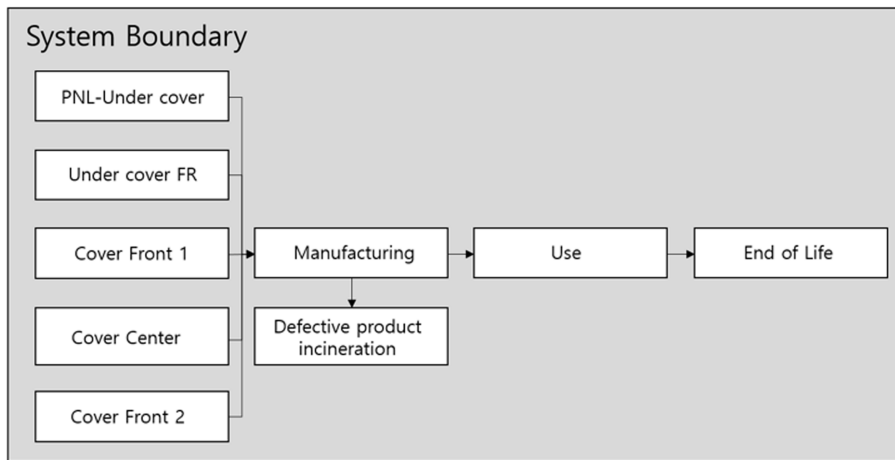


Figure 2. System boundary of the existing product.

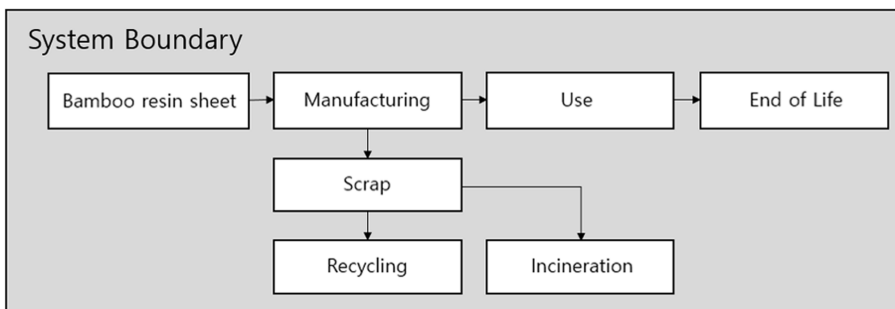


Figure 3. System boundary of the uni-materialized product.

BOM을 통해 산정하였으며 공업용수 및 윤활유 사용량은 양산중인 동일 공정의 2014년도 원단위 데이터를 사용하였다.

2.3. 전과정목록분석(Life cycle inventory analysis, LCIA)

2.3.1. 기존제품 세부 공정 및 투입/산출 데이터

기존 제품은 총 5개의 부품을 조립하여 최종 제품을 생산하는 방식을 채택하고 있다. 부품을 조립하는 공정은 수작업으로 이루어지기 때문에 별도의 에너지 및 유틸리티의 사용은 없다. 대신 부품을 생산하는 공정에서 전력, 용수, 윤활유 등이 사용되며 부품 제조 원재료로 polypropylene, glass fiber, polypropylene glycol 등 다양한 원재료가 사용된다.

제조전단계에 대한 현장 데이터는 기존 엔진룸 언더커버 제품에 대한 BOM 정보와 부품 생산업체에 대한 현장조사를 통해 수집하였다. 제조전단계에서 발생하는 스크랩은 현재 모두 소각 처리되고 있다.

제조단계에서 발생하는 불량률은 전체 생산량의 3%로 관리되고 있기 때문에 엔진룸 언더커버 제품의 무게를 통해 계산한 결과를 반영하였으며 발생하는 불량은 전량 소각 처리하고 있다. 그리고 투입 물질은 BOM을 통해 산정한 질량비를 기준으로 산출물(제품, 불량, 배출물 등)과 물질수지(mass balance)를 맞추기 위해 물질별 투입량으로 보정하였다. 아래 Table 6에 제조전단계와 제조단계의 투입/산출 데이터를 최종 제품 1개 기준으로 수록하였다.

사용 및 폐기단계는 시나리오를 통해 데이터를 산출하였다. 사용단계 시나리오는 해당 엔진룸 언더커버가 실제 적용되는 차량 모델 A와 B에 적용되는 제품으로써 두 모델의 평균 사용연한인 10년을 기준으로 작성되었다. 차량의 공인연비(9.05 km L⁻¹)와 교통안전공단에서 조사한 2012년도 자동차

연간 평균 주행거리인 15,914 km yr⁻¹를 통해 휘발유 사용 총량을 Equation (1)과 같이 산정하고 대상제품인 엔진룸 언더커버의 휘발유 사용 기여량을 산정하기 위해 Equation (2)와 같이 차량 총 무게인 1,950 kg에 대한 엔진룸 언더커버의 중량의 비율을 곱하고 중량단위로 환산하여 엔진룸 언더커버에 의한 휘발유 사용량을 추정하였다.

Total gasolin consumption =

$$10 \text{ year} \times \frac{15,914 \text{ km}}{\text{year}} \times \frac{L}{9.05 \text{ km}} = 17,584.53 L \quad (1)$$

Gasoline consumption of the product =

$$17,584.53 L \times \frac{2.844 \text{ kg}}{1,950 \text{ kg}} \times \frac{L}{0.75 \text{ km}} = 19.24 \text{ kg} \quad (2)$$

또한 휘발유 사용에 의한 대기 배출물 중 이산화탄소와 메탄, 아산화질소는 IPCC guideline 2006에서 제공하는 배출계수를 통해 산정하였고 일산화탄소와 VOC, NOx는 국립환경과학원에서 2015년에 발간한 ‘대기오염물질 배출계수-2012년 대기오염물질 배출량 기준’에서 제시한 도로이동오염원(대형 승용차)에 대한 배출계수 산정식을 활용하였다. 사용단계 배출물질산정에 있어서 IPCC guideline의 배출계수를 사용한 부분은 주요 온실가스에 대하여 국제적 대표성을 확보하기 위함이었다. 또한 온실가스의 경우 해당 연료의 사용처에 따른 배출량 변화가 비교적 적기 때문에 IPCC guideline의 배출계수를 사용하는 것으로 인한 오차발생 가능성이 현저히 적기 때문에 활용하였다.

반면에 온실가스가 아닌 기타 배출물의 경우 국내 연구결과를 활용하였다. 이는 자동차 주행에 따른 실질적인 배출물질 발생량을 반영하기 위함이다. 배출물질의 배출량은 국내 도로 상황과 주행 속도와 밀접한 관련이 있으며 국내에 적용되는 자동차 배기가스용 촉매기술에도 영향을 받는다. 때문에 국내에서 생산되고 사용되는 차량에 대한 사용단계 배출물질 산정에 국내에서 연구된 산정식을 활용하여 실질적인 사용단계 특성을 반영하도록 하였다. Table 7에 사용단계에서 발생하는 온실가스를 제외한 기타 배출물질의 양을 산정하기 위한 산정식을 제시하였다.

Table 7에 제시한 산정식에 따르면 주행속도가 배출물질 배출량 산정식의 변수임을 알 수 있으며 국내 차량의 평균

Table 6. Inventory data of pre-production and production in existing product (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	Quantity
Pre-production	Input	Homo-polypropylene	kg	1.83
		Glass fiber	kg	0.78
		lubricant oil	kg	0.0007
		PPG	kg	0.27
		ISO	kg	0.11
		TPU Film	kg	0.04
		Nut-speed	kg	0.002
		Adhesive	kg	0.05
		Cooling makeup water	kg	9.64
	Electricity usage	kWh	2.38	
	Output	Scrap	kg	0.15
		waste lubricating oil	kg	0.00
		Vapor	kg	9.64
Total weight of component		kg	2.932	
Production	Output	Under cover in engine room	g	2.844
		Defective product	g	0.088

Table 7. Emission coefficient passenger car (large) in pollution source [13]

Pollutant	Velocity	Calculation
CO	V ≤ 65.4 km h ⁻¹	1.4082 × V ^(-0.7728)
	V > 65.4 km h ⁻¹	(8 × 10 ⁻⁵)V ² - 0.0127 V + 0.5751
VOC	V ≤ 65.4 km h ⁻¹	0.0633 × V ^(-1.0484)
	V > 65.4 km h ⁻¹	(1.32 × 10 ⁻⁶)V ² - 0.000188 V + 0.0077
NOx	N/A	(-3.5 × 10 ⁻⁶)V ² + 0.00033V + 0.0112

Table 8. Inventory data of use in existing product (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	Existing product
Use	Input	Under cover in engine room	kg	2.844
		Gasoline	kg	19.24
	Output	Carbon dioxide	kg	53.32
		Methane	kg	0.02
		Nitrous oxide	kg	0.01
		CO	kg	15.89
		VOC	kg	0.28
		Nitrogen oxides	kg	2.87

주행속도를 산정해야 한다. 이에 국내 광역지자체에서 조사한 차량통행속도 조사보고서에서 제시한 평균 주행속도 중 2014년도 평균 주행속도(30.7 km h⁻¹)를 활용하여 기타 배출물질의 배출량을 산정하였다.

Table 8에 기존 제품 사용 단계에 대한 투입/산출 데이터를 수록하였다. Table 8에 제시한 투입/산출 데이터는 기존제품 총 중량과 앞서 Equation (1)과 (2)에서 산정한 휘발유 사용량, IPCC guideline 2006에서 제공하는 휘발유 연소에 의한 온실가스 배출계수 그리고 Table 7에 기재한 차량 오염물질 배출량 산정 식을 통해 산출하였다.

폐기 단계 시나리오의 경우 기존 제품에 대한 폐기는 현재 국내 H사 A모델 차량에 대한 폐차 시스템 현황을 반영하여 전량 소각되는 것으로 설정하였다.

2.3.2. 시제품 세부 공정 사양 및 투입/산출 데이터

시제품은 기존제품과 달리 유니소재화 기술을 적용하여 단일 소재(Bamboo resin)로 제조된 제품이다. 제조전단계인 bamboo resin sheet를 생산하는 공정과 sheet를 압출해 최종 제품을 생산하는 제조단계는 각 물질 및 제품을 생산하는 업체의 현장 데이터를 수집하였다. 하지만 해당 제품은 현재 양산화 단계가 아니기 때문에 실제 판매될 시기의 데이터와는 차이가 있을 것으로 예상되었다. 이에 수집 데이터를 양산화 단계에서 예상되는 투입/산출 데이터로 보정하는 작업을 수행하였다. 보정 대상 데이터는 투입되는 전력 및 용수 사용량이며 기존에 유사한 공정을 통해 생산되는 제품에 대한 전력 및 용수 사용량을 적용하여 환경영향을 산정하였다.

우선 공정전문가 인터뷰를 통해 bamboo resin sheet 생산하는 사출 공정의 경우 투입되는 물질의 종류에 따라 전력 및 냉각수 소비량의 차이는 거의 없음을 파악하여 현재 해당 공장에서 생산하는 다른 유사제품을 생산하는데 투입되는 전력 및 냉각수 사용량 데이터를 활용하였다.

또한 bamboo resin sheet 생산의 불량률의 경우, 상용화하였을 때를 가정한 불량률을 적용하기 위해 현재 생산업체의 전체 생산제품에 대한 불량률 5%를 적용하여 환경영향값을 산정하였다. bamboo resin sheet 생산 중에 발생한 불량률의 경우, 접착된 부직포를 제거한 후 전량 bamboo resin sheet 생산

공정으로 재투입(Closed loop recycling)되며 폐 부직포는 소각처리하고 있다.

프레스 공정을 운영하는 업체의 전력 및 윤활유 투입 원단위 정보를 통해 확인한 결과, bamboo resin sheet를 통해 최종 제품을 만드는 프레스 공정의 경우도 사출공정과 마찬가지로 투입되는 resin sheet의 물성에 따른 전력 및 윤활유 투입량의 차이가 평균 기준 ± 10% 이내로써 전과정 환경영향에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단하여 현재 운영되고 있는 프레스 공정의 전력 및 윤활유 사용량 데이터를 적용하였다. 프레스공정에서 발생한 스크랩의 경우 평균적으로 투입되는 bamboo resin sheet 무게대비 35%로 측정되었으며 발생 스크랩은 다른 제품의 원료물질로 재활용(Open loop recycling)되고 있다. Table 9에 제조전단계와 제조단계의 투입/산출 데이터를 최종 제품 1개 기준으로 수록하였다.

사용 및 폐기단계는 앞선 기존제품과 마찬가지로 시나리오를 통해 데이터를 산출하였다. 해당 엔진룸 언더커버는 기존 제품과 같이 10년간 운행되는 차량에 적용되는 제품으로써

Table 9. Inventory data of pre-production and production in uni-materialized product (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	Quantity
Pre-production	Input	Polypropylene	kg	0.885
		EPDM	kg	0.316
		Bamboo	kg	0.316
		CaO	kg	0.076
		Graft polypropylene	kg	0.126
		Bamboo charcoal (activated carbon)	kg	0.063
		Magnesium silicate hydroxide (TALC)	kg	0.051
		Sodium silicate	kg	0.051
		Etc (4 materials)	kg	0.058
		Non woven	kg	0.004
		Defective product (recycling)	kg	0.102
		Cooling makeup water (industrial water)	kg	0.350
		Electricity usage	kWh	0.668
	Output	Bamboo composite resin	kg	1.945
		Vapor	kg	0.350
Defective product (recycling)		kg	0.102	
Production	Input	Defective product (Incineration)	kg	0.0004
		Bamboo composite resin	kg	1.945
		Lubricant oil	kg	0.003
	Output	Electricity usage	kWh	0.52
		Under cover in engine room of uni-materialized product	kg	1.264
		Waste lubricating oil	kg	0.003
Scrap and defective product	kg	0.681		

Table 10. Inventory data of use in uni-materialized product (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	uni-materialized product
Use	Input	Under cover in engine room	kg	1.264
		Gasoline	kg	8.549
	Output	Carbon dioxide	kg	23.697
		Methane	kg	0.009
		Nitrous oxide	kg	0.003
		CO	kg	7.06
		VOC	kg	0.12
		Nitrogen oxides	kg	1.28

휘발유 사용량은 기존제품과 같은 방법으로 산정하였으며 구체적인 계산 과정은 Equation (3)과 (4)에 기재하였다.

Total gasolin consumption =

$$10 \text{ year} \times \frac{15,914 \text{ km}}{\text{year}} \times \frac{L}{9.05 \text{ km}} = 17,584.53 L \quad (3)$$

Gasoline consumption of the product =

$$17,584.53 L \times \frac{1.264 \text{ kg}}{1,950 \text{ kg}} \times \frac{L}{0.75 \text{ km}} = 8.549 \text{ kg} \quad (4)$$

휘발유 사용에 의한 대기 배출물은 휘발유 사용량에 근거하여 기존제품에서 사용한 산정방법 및 시나리오를 통해 배출량을 산정하였다. 이는 엔진룸 언더커버를 교체하는 것이 차량 운행 경향을 바꾸는 요소는 아니기 때문이다.

Table 10에 유니소재화 제품 사용 단계에 대한 투입/산출 데이터를 수록하였다. Table 10에 제시한 투입/산출 데이터는 기존제품 총 중량과 앞서 Equation (3)과 (4)에서 산정한 휘발유 사용량, IPCC guideline 2006에서 제공하는 휘발유 연소에 의한 온실가스 배출계수 그리고 Table 7에 기재한 차량 오염물질 배출량 산정식을 통해 산출하였다.

기존제품의 폐기와 달리 개선제품은 재활용이 가능하며 폐제품의 경우 질량대비 90%까지 재활용이 가능하며 나머지 10%는 소각 처리한다.

2.4. 전과정영향평가(Life cycle impact assessment, LCIA)

이 연구에서 적용한 환경영향범주는 자원소모[14-17], 지구온난화[18], 오존층영향[19], 산성화[20,21], 부영양화[20], 광화학적 산화물 생성[21,22]의 6가지이다.

기본적으로 국내 산업통상자원부에서 제안한 영향평가방법론을 활용하였으나 최근 전세계적 이슈로 떠오름과 동시에 지속적인 영향평가 방법론의 갱신이 이루어진 지구온난화의 경우에만 최신 방법론인 IPCC 2013 영향평가 방법론을 적용하였다.

본 연구에서 전과정평가는 기존제품의 전과정 환경영향을 분석하여 환경영향 주요 이슈를 규명하여 제품 개발 목표 중 환경성 개선 부문에 대한 방향성을 제시하는 역할을 수행하였으며, 개선 제품이 갖는 전과정 환경영향도 분석하여 실질적인 환경성 개선 효과가 나타났는지 평가하기 위한 도구로도 활용되었다.

최종적으로 유니소재화 평가 가이드라인을 적용하여 개발한 제품이 전과정 측면에서 환경성 개선이 실질적으로 발생하는지 여부를 판단하기 위한 과정에 전과정평가가 활용되었고, 향후 유니소재화 평가 가이드라인의 환경성 개선 효과를 정량적으로 입증할 수 있는 자료를 제공하는 역할을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유니소재화 평가 가이드라인 적용

Table 11은 기존제품과 개발제품의 소재 및 구조 개선에 대해서 설명한다. 기존제품의 자동차 엔진룸 언더커버는 5개의 부품으로 구성되어 있으며, 주요 구성소재는 Glass fiber (GF)가 포함된 polypropylene (PP)와 thermoplastic poly urethane (TPU) 필름으로 구성되어 있다. 부품 생산 공정은 Glass fiber가 포함된 PP는 사출하고, TPU 필름을 발포, 경화, 가스제거를 하여 탈형을 하고, 사상을 통해 가위로 정리한 후 사출된 부품에 홀 펀칭 작업을 하여 제품을 개발한다. 반면에 개발한 시제품은 2개의 부품으로 구성되며, 하나의 PP계 대나무 복합수지로 구성된다. 시제품 생산 공정은 프레스 성형을 통해 공정이 단순화된다.

유니소재화 제품 개발을 통해 소재의 종류의 수를 저감하고, 공정 단순화가 가능하며, 기존에 폐기단계에서 소각하는 제품을 재활용이 가능하도록 할 수 있다.

자동차 엔진룸 언더커버의 유니소재화 제품 개발을 위한

Table 11. Changes of the existing product and uni-materialized product

Component	Improvement of material		Improvement of structure	
	before	after	before	after
PNL under cover	PP + GF30	Bamboo composite resin composed PP	Injection molding	Press forming
Under cover front	PP + GF30			
Insulator-under cover front 1	PP /Isocyanate /TPU Film		Shot, hardening, gas removal, de-moulded, hole punching	
Insulator-under cover center				
Insulator-under cover front 2				

Table 12. Results of assessment category in preliminary assessment

Division	Weighting	No.	Assessment category	Score (/5 points)	Score (weight consideration)
Environmental indicator	31.5%	A-1	Resource circulation	2.67	0.42
		A-2	Simplification	4.50	0.71
Economic indicator	44.6%	B-1	Market growth	3.67	0.27
		B-2	Market competitiveness	4.00	0.30
		B-3	Market accessibility	4.67	0.35
		B-4	Productivity	4.67	0.35
		B-5	Profitability and stability	2.50	0.19
		B-6	Industrialization of technology	4.00	0.30
Technical indicator	23.9%	C-1	Technical excellence	3.67	0.22
		C-2	Technical competitiveness	3.83	0.23
		C-3	Potential imitation of technology	3.50	0.21
		C-4	Stability of rights	4.33	0.26
Score of 100 points				76.67	75.83
Result				Suitability	

적용가능성 여부는 2.1.2. 사전평가에서 제시한 바와 같이 유니소재화 제품 평가 가이드라인의 사전평가를 통해 판단한다 [4]. 기존제품의 소재 및 공정을 단순화하는 유니소재화 제품 개발 여부는 환경성, 경제성, 기술성의 항목을 통해 평가된다.

Table 12는 사전평가 결과를 나타내며, 유니소재화 적용가능성 여부는 100점 기준 76.67점으로 가중치를 고려한 환산 점수는 75.83점으로 평가된다. 평가항목별 점수는 환경성 71.67점, 경제성 78.33점, 기술성 76.67점으로 경제성 항목이 다른 항목에 비해 높은 수치가 나타났다.

환경성은 재활용이 불가한 부품을 소재 변경으로 자원순환성을 향상시키고, 부품의 수를 줄여 구조를 단순화하였으며, 개발된 제품의 폐기단계 및 스크랩, 불량률 재활용할 수 있는 인프라가 구축되어 있는 만큼 추가적인 연구개발이 필요할 것으로 보인다. 경제성은 기존제품 대비 경량화를 통해 연비 규제에 대응이 가능할 것으로 보이며, 원가절감을 통해 생산 용이성, 수익성 등이 높은 것으로 나타났다. 기술성은 유사 특허분석 결과 권리안정성이 높은 것으로 판단되며, 개선된 소재의 재활용 기술에 대해 구체적인 연구개발이 필요하다고

판단된다.

결론적으로 본 유니소재화 평가 가이드라인의 사전평가 결과 본 제품은 적용가능성이 적합함으로 판단되어 유니소재화 시제품을 개발하여 전과정영향평가를 시행하게 되었다.

3.2. 전과정 영향평가

3.2.1. 환경영향범주별 환경영향평가 결과

앞서 “2.4 전과정영향평가(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)” 단락에서 기재하였듯이 이번 연구에서 적용한 환경영향범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광화학적산화물생성의 6대 영향범주이며 각 환경영향범주별로 적용한 환경영향평가방법론은 Table 13에 기재하였다.

전과정 영향평가 결과 각 환경영향범주별로 환경영향의 개선이 일어났음을 확인할 수 있으며, 각 범주별로 환경영향을 Table 14에 수록하였고, Figure 4에서는 개선율을 나타내었다.

전과정 목록분석 결과와 각 영향범주별 특성화 계수(Cha-

Table 13. Life Cycle Impact Assessment methodology

Impact categories	Unit	Impact assessment methodology
Abiotic Resource Depletion (ADP)	kg yr ⁻¹	EIA, International Energy Annual 2000, 2002, U.S. Geological Survey (USGS) 2001~2002
Global Warming (GWP)	kgCO ₂ -eq	IPCC 2013
Ozone layer Depletion Potential (ODP)	kgCFC11-eq	UNEP, 2002
Acidification (AP)	kgSO ₂ -eq	Approach: Problem oriented approach (CML, 1999), reference: AP (Hauschild & Wenzel (1998))
Eutrophication (EP)	kgPO ₄ ³⁻ -eq	Heijung et al, 1992
Photochemical Ozone Creation Potentials (PCOP)	kg ethylene-eq	POCP (Jenkin & Hayman, 1999; Derwent et al. 1998; high NOx)

Table 14. Results of environmental impact assessment in existing product and uni-materialized product

Total environmental impact	Existing product	Uni-materialized product
ADP (1/yr)	6.01E-01	2.86E-01
AP (kg SO ₂ -eq)	1.51E-02	5.81E-03
EP (kg PO ₄ ³⁻ -eq)	2.64E-03	1.11E-04
GWP (kg CO ₂ -eq)	6.51E+01	2.92E+01
ODP (kg CFC 11-eq)	1.56E-03	3.25E-07
POCP (kg ethylene-eq)	4.35E-01	1.91E-01

racterization Factor)를 통하여 Table 14에 기재되어있는 환경영향범주별 환경영향을 산정하였다. 이를 전과정평가에서 특성화(Characterization)이라고 하며 아래 Equation (5)를 통해 결과를 산출한다.

$$CI_i = \sum CI_{i,j} = \sum Load_j \times eqv_{i,j} \quad (5)$$

CI_{ij} = j번째 목록항목이 i번째 영향범주에 미치는 특성화된 환경영향(characterized impact)의 크기, g x-eq/ku
 fu = 기능단위
 Load_j = i번째 목록항목의 양(환경부하량), g/fu
 eqv_{ij} = i번째 영향범주에 속한 j번째 목록항목의 상응(특성화 계수)인자 값, g x-eq/g

특히 최근 이슈가 되고 있는 기후변화 영향은 55.2%, 자원고갈은 52.4% 개선율을 보이고 있으며, Figure 4에서는 두 영향범주에 대한 기존제품과 시제품의 환경영향을 그래프로 자세히 나타냈다.

Figure 4를 통해 기존제품 대비 시제품의 자원고갈 및 지구온난화 영향이 개선되었음을 확인하였다. 특히 사용단계에서 환경영향이 크게 개선된 점을 확인할 수 있으며, 이는 기존제품 대비 시제품의 무게가 55.6%로 경량화되어 차량 연비개선에 영향을 준 요인이라고 할 수 있다. 즉, 차량 연비가 개선됨에 따라 휘발유 사용량이 감소되었으며, 이는 자원고갈과 지

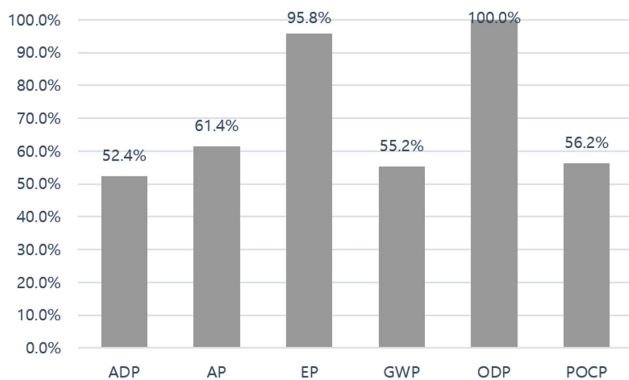


Figure 4. Rate of improvement of environmental impact category.

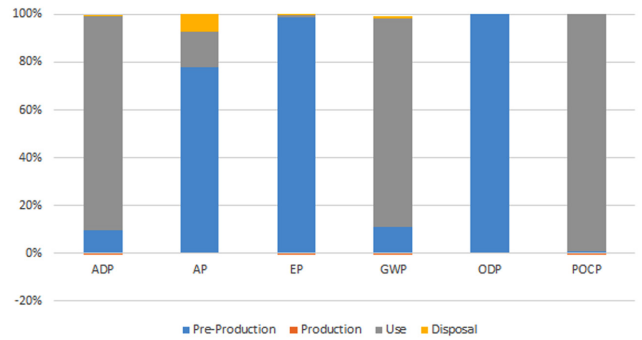


Figure 5. Contribution analysis of the environmental impact based on life-cycle.

구온난화의 환경영향 개선에 큰 역할을 한 것으로 분석된다.

다음 Figure 5는 환경영향범주별 환경영향 개선에 대한 각 전과정 단계별 기여도를 나타내는 그래프이다.

환경영향 개선이 발생한 주요 전과정단계는 제조전단계와 사용단계로 나타났다. 산성화의 경우 폐기단계에 의한 환경영향감소가 7.2%로 두드러지게 나타났다.

제조전단계는 환경영향범주 중 산성화, 부영양화, 오존층 파괴에서 개선기여도가 크게 나타났다. 이 환경영향범주에서 환경영향 개선이 크게 나타난 것은 대나무 수지 사용에 따른 기존 화학물질 사용량 및 제품 성능 확보에 필요한 물질 투입량 감소를 주요 원인으로 분석된다. 시제품 1개를 생산하기 위해 투입되는 원료의 양은 1.954 kg으로 기존제품 대비 33.7% 감소하였으며, 유리섬유, PPG, ISO, TPU Film을 사용하지 않고, 폴리프로필렌 사용량을 줄여 천연물질인 대나무 복합수지로 제품을 개발하여 환경성이 개선된다.

제조단계의 경우는 기존제품의 제조단계에서 수작업으로 조립하여 전력사용량이 발생하지 않았으나, 시제품 개발시에는 프레스 공정으로 제품을 개발하였기 때문에 전력 사용량이 다소 증가한다. 그러나 용수사용량이 크게 줄어들고 불량에 대한 자체 재활용 시스템(Closed Loop Recycling) 활용으로 환경영향 개선에 기여를 한다. 하지만 그 양은 다른 전과정 단계에 비해 적은 수준이다.

사용단계는 환경영향범주 중 자원고갈, 지구온난화, 광화학스모그에 가장 큰 개선 기여도를 보인다. 이 환경영향범주의 개선 요인은 기존제품 대비의 휘발유 사용량이 감소된 만큼 차량 연비가 개선되었으며, 연비개선을 통해 자원고갈, 지구온난화 영향이 줄었다. 광화학 스모그는 배출가스 중 일산화탄소 배출량 저감에 의해 환경영향 개선효과를 나타냈다.

3.2.2. 결과 해석

본 연구에서는 경량화로 인해 사용단계의 환경영향이 크게 감소된 점도 중요하나, 유니소재화 제품 개발을 통해 불량, 스크랩, 폐기단계에서의 제품의 재활용성 향상에 초점을 맞춰야 한다. 기존제품은 소각으로 처리하는 방식이었으나, 시제품에서는 재활용을 통해 자원순환을 구현했으며, 환경영향 개선이 발생하였음을 확인하였다.

Table 15. Environmental impact of production (waste treatment) and disposal

Total environmental impact	Production (waste treatment)		Disposal	
	Existing product	Uni-materialized product	Existing product	Uni-materialized product
ADP (1/yr)	5.12E-05	1.43E-05	1.66E-03	9.02E-05
AP (kg SO ₂ -eq)	2.21E-05	1.95E-06	7.16E-04	3.12E-05
EP (kg PO ₄ ³⁻ -eq)	8.44E-08	1.03E-07	2.73E-06	1.25E-07
GWP (kg CO ₂ -eq)	1.10E-02	4.15E-03	3.57E-01	2.07E-02
ODP (kg CFC 11-eq)	7.77E-10	7.39E-12	2.51E-08	1.10E-09
POCP (kg ethylene-eq)	1.31E-06	3.09E-08	4.25E-05	1.88E-06

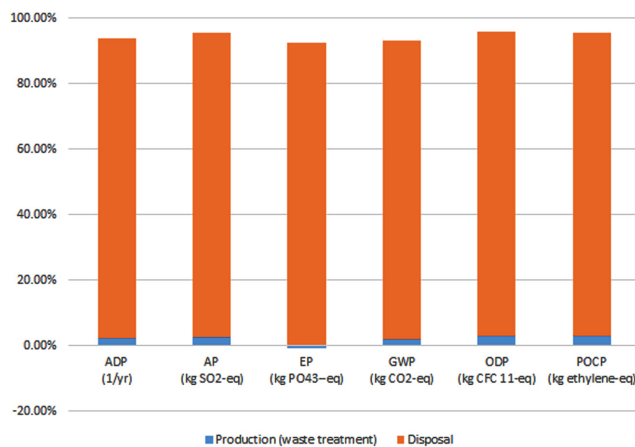


Figure 6. Rate of improvement of the production (waste treatment) and disposal.

전체적으로 환경영향 개선의 기여도는 높지 않으나, 불량, 스크랩, 폐제품 처리의 단계로만 확인하면 기존제품 대비 환경영향이 90% 이상 개선되었음을 확인할 수 있다. Table 15는 기존제품과 시제품에서의 폐기 및 재활용 관련 전과정 단계의 환경영향을 나타내고 있으며, Figure 6은 기존제품 대비 개선율을 나타낸 것이다.

Figure 6에서 알 수 있듯이 폐 제품의 재활용성 향상에 의해 폐기단계의 환경영향 개선 기여도가 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 제조공정상에서 발생하는 불량 및 스크랩의 양 대비 폐 제품의 양이 많기 때문으로 사료된다.

4. 결론

유니소재는 제품의 전과정에 걸친 환경 영향을 저감하고, 자원순환을 촉진하기 위함이 목적이며, 제품 본래의 기능을

유지하면서 환경적 측면의 개선이 요구되는 것을 의미한다.

본 연구에서는 자동차 엔진룸 언더커버를 유니소재화 제품으로 적용하기 위한 가능성을 사전평가를 통해 판단하고, 개발된 시제품의 전과정영향평가를 수행했다.

기존 제품 대비 부품의 수를 저감하고, 공정을 단순화하여 재활용률 제고 및 원가절감의 효과를 예상하였다. 기존제품의 폐기단계의 100% 소각을 개선제품에서는 제조전단계와 제조단계에서 발생하는 스크랩, 불량까지도 자체 수거하여 90%의 재활용이 가능하도록 개선했다. 이에 폐제품의 재활용성 향상으로 폐기단계의 환경영향 개선 기여도가 높은 것을 확인했다.

또한 사용단계에서 기존제품 대비 55.6% 경량화를 통해 휘발유 사용량을 저감하고 연비개선 효과를 나타냈다. 이는 연비개선을 통해 자원고갈, 지구온난화에 환경영향값이 감소됨을 확인했으며, 기후변화 영향은 55.2%, 자원고갈은 52.4%의 개선율을 나타냈다.

기존제품 대비 재활용률이 제고되었지만, 체계적인 자체 재활용시스템이 구축되어야 폐기물 발생량을 줄이고, 순환자원 확보가 증가될 것으로 판단된다. 차기 연구에서는 체계적인 자가 재활용 시스템의 인프라 구축 및 순환자원으로 활용되는 재활용소재 개발 및 활용방안 연구가 필요할 것이다.

감사

본 연구성과는 글로벌전문기술개발사업의 성과물로 제출하는 것이며, 본 연구개발 수행에 데이터 수집에 협조를 해주신 신기인터모빌, 한양소재, 청하에 감사의 뜻을 전하고 싶다.

본 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업(청정생산기반전문기술개발사업)으로 지원된 연구임(No. 10051183-과제번호).

References

1. KS I 7003:2015, "Environmental Management - Uni-materialization - Definition and General Principles," Korean Agency for Technology and Standards (2015).
2. <http://www.kncpc.or.kr/clean/material.asp>.
3. KITECH., "Guideline for Assessment of Uni-materialized Product," (2013).
4. Ju, H. S., Yun, H. R., Yeon, S. M., and Ko, K. T., "Case Study on the Target Products for Applicable Uni-materialization," *Clean Technol.*, **19**(2), 173-183 (2013).
5. Chang, D., Lee, C. K. M., and Chen, C. H., "Review of Life Cycle Assessment Towards Sustainable Product Development," *Clean Technol.*, **83**, 48-60 (2014).
6. ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework, ISO, Italy (1997).
7. Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W. Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Choi, J. K., Kim, H., and Thurston, D., "Integrated Sustainable Life Cycle Design: A Review," *J. Mech. Des.*, **132**(9), 091004 (2010).
8. Leroy, Y., Cluzel, F., Zaraket, T., Lasvaux, S., and Bentos,

- M., "Integrating LCA-based Models into Design Process for Buildings: a Study of the Existing Practices in France," The 6th International Conference on Life Cycle Management in Gothenburg (2013).
9. Gregory, A. K., "The Application of Life Cycle Assessment to Design," *J. Clean. Prod.*, **1**, 3-4 (1993).
 10. Fulvio, A., and Fabrice, M., "Integration of Resource Efficiency and Waste Management Criteria in European Product Policies-Second Phase, European Union (2012).
 11. Shailendra, M., Benoit, T., Alvaro, D. P. T., Thibault, F., Karsten, S., Marina, P., Justus, V. G., and Jens, T., "Material-efficiency Ecodesign Report and Module to the Methodology for the Ecodesign of Energy-related Products (MEErP)" part 1, EC-DG Enterprise and Industry (2013).
 12. Guideline for Technology Value assessment, Ministry of Trade, Industry and Energy (2014).
 13. Emission Factors for Air Pollutants, National Institute of Environmental Research, ISBN: 978-89-6558-278-6 (2015).
 14. Annual Energy Review 2000, Energy Information Administration (2001).
 15. Annual Energy Review 2002, Energy Information Administration (2003).
 16. Minerals Year Book 2001, U.S. Geological Survey (2001).
 17. Minerals Year Book 2001, U.S. Geological Survey (2002).
 18. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change (2016).
 19. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2001, United Nations Environment Programme (2002).
 20. Heijungs, R., Guinée, J. B., Huppes, G., Lankreijer, R. M., Udo de Haes, H. A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A. M. M., Eggels, P. G., Duin, R. van, and Goede, H. P. de, "Environmental Life Cycle Assessment of Products: Guide and Backgrounds," CML, Leiden University, Leiden
 21. Hauschild, M. Z., and Wenzel, H., "Environmental Assessment of Products" Springer (1998).
 22. Jenkin, M. E., and Hayman, G. D., "Photochemical Ozone Creation Potentials for Oxygenated Volatile Organic Compounds: Sensitivity to Variations in Kinetic and Mechanistic Parameters," *Atmos. Environ.*, **33**(8), 1275-1293 (1999).
 23. Derwenta, R. G., Jenkina, M. E., Saunders, S. M., and Pillinga, M. J., "Photochemical Ozone Creation Potentials for Organic Compounds in Northwest Europe Calculated with a Master Chemical Mechanism," *Atmos. Environ.*, **32**(14-15), 2429-2441 (1998).