

자동차 언더커버의 환경영향 감축 효과 산정방법 적용 및 사례 연구

윤혜리¹, 박유성², 유미진¹, 배하나¹, 이한웅^{1,*}

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

(2018년 1월 31일 접수; 2018년 3월 13일 수정본 접수; 2018년 1월 31일 채택)

Application of Calculation Method for Reduction Effect of Environmental Impact and Case Studies of the Vehicle Undercover

Hyeri Yun¹, Yoosung Park², Mi Jin 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.

10F 1006, Gasan digital 1-ro 30, Geumcheon-gu, Seoul, 08591, Korea

(Received for review January 31, 2018; Revision received March 13, 2018; Accepted January 31, 2018)

요 약

전 세계적으로 온실가스 배출량 저감을 위한 다양한 활동을 하고 있다. 국가별로는 UN에 개별 국가별 계획을 제출하기로 합의했으며, 기후변화와 관련한 제도를 운영하고 있다. 또한 기업들은 자체적으로 온실가스 배출량 산정 방법론 개발을 하고 있다. 본 연구에서는 환경영향 감축 효과를 산정하기 위한 방법론의 사전 연구를 수행하였고, 국제적, 국가별, 기업별로 구분하였다. 환경영향 감축 효과는 자동차 언더커버 제품과 유니소재화 제품에 적용하여 비교, 분석하였다. 제품 환경 발자국 감축 평가 방법에 따라 차이가 크게 나타났으며, 주요 원인으로서는 시스템 경계의 차이, 데이터 수집 범위, 기존제품 대체량 설정 기준의 차이이다. 방법론별 결과값에 차이가 발생하기 때문에 이해관계자는 제품 환경발자국 감축 결과에 신뢰하지 못하고 있다. 이에 이해관계자가 쉽게 이해할 수 있는 수준의 제품 환경발자국 산정 방법론을 상세히 공개하도록 해야 한다. 장기적으로는 제품 발자국 평가방법의 표준화로 감축 결과에 대한 비교가 가능하게 할 필요가 있다.

주제어 : 자동차 언더커버, 환경영향, 온실가스, 배출량, 환경 발자국

Abstract : There are various activities for reduction of the greenhouse gasses (GHG) emission around the world. The countries agreed to submit their's individual plans to the United Nations and have operated programs related to the Climate Change, in addition, the enterprises have spontaneously been developed individual calculation methodologies of GHG emission. This paper aims at examining methods for calculating the effect of the reduction of environmental impact, being divided into three categories; international standard, country, enterprise. The reduction effects of environmental impact were compared by applying an existing product of the vehicle undercover and the uni-materialized product and being selected six calculation methods of environmental footprint. There are significant differences according to the evaluation methods of product environmental footprint (PEF) reduction. Main factors of differences are a gap in system boundary, a scope of data collection and the replacement amount standard of existing products. Stakeholders are unreliable in the results of PEF reduction because of the differences in results by each methodology. Therefore, it is necessary to disclose in detail the methodologies of calculating the PEF reduction that relevant people can easily understand, also to enable comparisons of the reduction results by developing the standardization of evaluation methods of PEF in the long term.

Keywords : Vehicle undercover, Environmental impact, Greenhouse gas, Emission, Environmental footprint

* To whom correspondence should be addressed.

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

doi: 10.7464/ksct.2018.24.2.135 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

2015년 12월 파리기후변화협약 채택으로 국제사회는 교토 의정서 후속인 Post-2020(신기후체제)을 결정짓는 파리협정(Paris Agreement)이 타결되었으며 기후변화에 대한 정부의 대응이 법적 구속력이 갖게 되었다[1].

유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 가입국 간의 파리협정 이행을 촉진하기 위하여 완화, 적응, 자금, 역량배양과 관련한 자료의 측정 및 보고 과정에서의 투명성 확보를 주요 이슈로 규정하였다. 현재 국가간 온실가스 배출량 관련 정보와 달성여부를 산정하기 위한 합의된 방법론의 부재로 정보의 객관성과 투명성이 요구되고 있는 실정이다. 이에, 모든 정보의 투명한 공개를 통해 가입국 간 감축의무 이행상황에 대한 감시가 가능하도록 하기 위해 UNFCCC의 투명성 체계를 강화하도록 하고 있다[2].

국가별로 자국의 기후변화 대응 계획, 전략, 성과 등을 투명하게 공개하기 위한 노력은 시작되었으나, 아직까지는 초기 단계에 불과한 실정이다[3]. 특히 일반 소비자에게 제공되는 기업 및 제품의 기후변화 관련 정보 공개 체계는 그 정보의 신뢰성에 문제가 있는 상황으로 판단된다.

이것은 각 기업 및 단체가 인증제도에서 공개하고 있는 기후변화 대응 효과, 온실가스 배출 및 감축량 정보의 비교가능성이 담보되지 않고 있기 때문이다. 현재 공개되어있는 기후변화 관련 실적이 기업 간, 제품 간 비교할 수 없는 정보만을 제공하고 있기 때문에 소비자들은 해당 정보를 구매 의사결정에 활용하고 있지 않다. 이는 결국 기업의 저탄소 기술 도입 의지를 약화시키고 국가 전체 온실가스 배출량 감축에 대한 시장 원동력을 약화시킴으로써 정부 주도 사업만으로 현재 우리나라가 제출한 국가별 자발적 기여방안(Intended Nationally Determined Contributions, INDCs)의 감축목표를 달성해야 하게 될 우려가 있다. 실제로 국내 제조 기업에서도 기후변화 대응의 노력이 미흡하거나, 정보공개 투명성이 우려할 만한 수준으로 사회적 책임감을 갖고 노력을 해야 할 필요가 있다[4].

본 연구에서는 제품의 환경영향 감축 효과를 산정할 수 있는 방안으로 제품 환경발자국 개선 방법론을 조사·분석하고, 방법론별 평가 기준에 적용하고자 한다. 평가 대상제품은 소재 및 구조를 단순화한 유니소재화 제품으로 자동차 엔진룸 언더커버이다. 유니소재화 제품은 환경영향을 줄이고, 온실가스 배출량을 저감할 수 있는 친환경 설계 전략으로 환경발자국 개선 실적에 대한 정보의 투명성이 보장된다면 기후변화 대응 전략의 하나로 제시될 수 있다.

2. 실험방법

2.1. 제품 환경발자국 개선 평가 방법론 분석

이번 연구의 목적은 국제적, 국가별, 기업별 수준의 제품 환경발자국 산정 방법론을 조사하여 차이점을 분석하고, 대상 제품에 적용하여 제품 환경발자국 개선 평가 방법 표준화 필요

성을 규명하는 것이다.

Table 1은 제품 환경발자국 개선을 평가하는 인증제도 및 방법론에 대한 분석을 진행하고자 한다. 그러나 다양한 환경영향범주를 다루는 인증제도는 EU 환경발자국, 국내 환경성적표지인증제도, 스웨덴 환경성적표지인증(Environmental Product Declaration, EPD) 정도이며 환경영향범주의 종류도 각각 달라 방법론의 직접 비교가 어려운 상황이다.

이에 이번 연구에서는 현재 활발히 운영되고 있는 제품 환경발자국 인증제도의 산정 방법론을 분석하여 제품 환경발자국 개선 결과의 차이를 규명하고자 한다. 분석은 제품 환경발자국 산정 시스템경계 범위와 실제 제품 환경발자국 개선 제품의 기존제품 대체 효과 산출 기준을 중점으로 진행하였다. 우선 국제적 수준의 산정방법론에 대해 조사하였으며, 국가적으로 운영하고 있는 인증제도에 대해서도 조사하였다. 그 외에 타산업의 제조사에서도 자체적으로 운영하고 있는 방법론에 대해 서술하고자 한다.

2.1.1. 온실가스 배출량 산정 가이드라인(Intergovernmental Panel on Climate Change Guideline, IPCC Guideline)

제품에 포함되는 냉매는 1년 이내에 모두 배출되는 것으로 가정하여 온실가스 배출량을 산정한다. 단 사용단계에서 사용하는 냉매 이외에 해당제품의 생산 및 사용, 폐기에 의해 발생하는 직·간접적 온실가스 배출량은 산정범위에서 제외되고 있다[5].

2.1.2. 국제금융기구(International Finance Corporation, IFC) - IFC Greenhouse Gas Reduction Accounting Guidance For Climate Related Projects

IFC에서는 온실가스 배출량 저감량을 직접완화와 간접완화로 구분한다. 직접완화는 제품 생산자 통제하에 있는 활동 및 시설에 의한 온실가스 배출량의 감축을 의미하고, 간접완화는 제품 생산자 기준에서 직접적인 통제범위 밖인 사용단계와 폐기단계에서 발생하는 온실가스 배출량의 감축을 의미한다.

제품 사용에 의한 온실가스 배출 이외의 배출량은 제품 제조, 설치, 운송, 폐기에 의한 배출량을 의미하며, 개선제품의 온실가스 배출량이 더 클 것으로 예상되는 항목의 경우는 배출량을 산정해야 한다. 기존제품과 개선제품의 차이가 크지 않을 것으로 예상되는 경우 고려하지 않으며 개선제품이 기존제품을 대체하는 부분에 대해서만 감축량으로 인정하고 있다[6].

2.1.3. IEC/TR 62726

본 방법론은 전기전자 제품 대상의 국제표준으로 전기전자 제품의 및 전기전자시스템의 베이스라인을 기준으로 한 온실가스 배출 감축량 정량화 지침에 대한 기술보고서이다.

산정 방법은 단위제품 당 환경발자국 개선 정도를 산정할 수 있도록 제시하며, 해당 방법론을 통해 산출된 개별제품의

Table 1. Result for reviewing product carbon footprint methodologies

Methodologies	Target product	Scope	Estimation logic	Variables
1. IPCC Guideline	National greenhouse gas inventory	Fugitive emission from use stage	$\Delta GHG = GHG_{refrigerant, BL} \times EF_{refrigerant} \times P_{total, BL} - GHG_{refrigerant} \times EF_{refrigerant} \times P_{total}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction $GHG_{refrigerant, BL}$: Amount of refrigerant use in baseline year $EF_{refrigerant}$: GWP value of target refrigerant $P_{total, BL}$: Number of sold product in baseline year $GHG_{refrigerant}$: Amount of refrigerant use in target year P_{total} : Number of sold product in target year
2. IFC Greenhouse Gas Reduction Accounting Guidance for Climate Related Projects	Energy using product	Use and end of life stage	$\Delta GHG = (GHG_{BL} - GHG_{improved}) \times P_{substitution}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product $P_{substitution}$: Number of substituted products
3. IEC/TR 62726	Electrical and electronic equipments	Cradle to grave	$R_i(y) = B_i(y) - P_i(y)$	$R_i(y)$: Amount of carbon footprint reduction for improved product i $B_i(y)$: Carbon footprint in baseline product $P_i(y)$: Carbon footprint in improved product
4. Carbon Reduction Label - Carbon Trust (PAS 2050)	Product for certification	Cradle to grave	$\Delta GHG = GHG_{BL} - GHG_{improved}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product
5. Thailand Carbon Reduction Label	Product for certification	Cradle to grave (except use stage)	$\Delta GHG = GHG_{BL} - GHG_{improved}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product (baseline year: 2002) $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product
6. Switzerland Climatop	Product for certification	Cradle to grave	$\Delta GHG = GHG_{BL} - GHG_{improved}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Average carbon footprint of target product category $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product
7. South Korea Certification of Low Carbon Products	Product for certification	Cradle to grave	$\Delta GHG = GHG_{BL} - GHG_{improved}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product or benchmark value of carbon footprint of target product category $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product
8. HP - Carbon Accounting Manual	Compare one's products (computer, printer, sever)	Cradle to grave	$\Delta GHG = (GHG_{raw, BL} + GHG_{manu, BL} + GHG_{use, BL} + GHG_{dist, BL} + GHG_{EoL, BL}) \times P_{total, BL} - (GHG_{raw} + GHG_{manu} + GHG_{use} + GHG_{dist} + GHG_{EoL}) \times P_{total}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction $GHG_{raw, BL}$: Carbon footprint in baseline year (raw material acquisition) $GHG_{manu, BL}$: Carbon footprint in baseline year (manufacturing) $GHG_{use, BL}$: Carbon footprint in baseline year (use) $GHG_{dist, BL}$: Carbon footprint in baseline year (distribution) $GHG_{EoL, BL}$: Carbon footprint in baseline year (end of life) $P_{total, BL}$: Number of sold product in baseline year GHG_{raw} : Carbon footprint in target year (raw material acquisition) GHG_{manu} : Carbon footprint in target year (manufacturing) GHG_{use} : Carbon footprint in target year (use) GHG_{dist} : Carbon footprint in target year (distribution) GHG_{EoL} : Carbon footprint in target year (end of life) P_{total} : Number of sold product in target year
9. Mitsubishi Electronic-Environmental Report 2016	Energy using product	Use stage	$GHG_{reduction} = N_p \times E_p + N_f \times E_f$	N_p : Number of substituted products E_p : Carbon footprint in baseline product - Carbon footprint in improved product N_f : Number of energy efficiency facility E_f : Carbon footprint reduction for energy efficiency facility
10. Hitachi Group	Compare one's products	Cradle to grave	$\Delta GHG = GHG_{BL} - GHG_{improved}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product
11. Canon	Compare one's products	Cradle to grave	$\Delta GHG = (GHG_{BL} - GHG_{improved}) \times P_{sale}$	ΔGHG : Amount of carbon footprint reduction GHG_{BL} : Carbon footprint in baseline product $GHG_{improved}$: Carbon footprint in improved product P_{sale} : Number of sold product in target year

환경발자국 개선정도와 시장에 도입된 제품의 수를 곱하여 총 온실가스 배출량 및 감축량을 산정하도록 하고 있다[7,8].

2.1.4. 영국 Carbon Trust - Carbon Reduction Label

본 방법론은 PAS 2050:2011 표준에 따라 제품의 온실가스 배출량을 산정한 후 해당 제품에 대한 환경발자국 저감 활동을 통해 저감량을 산정하여 해당 저감량을 인정하는 제도이다.

온실가스 배출량 산정 범위는 제품 전과정을 다루고 있으며, 기존 제품 대비 환경발자국 감축량을 산정하기 때문에 개별 제품에 대한 공정 개선, 성능 개선 등을 통해 달성한 환경발자국 감축량을 확인할 수 있다[9].

이와 같이 개별 제품당 환경발자국 산정체계는 마련되어 있으나 개선제품 및 기존제품의 판매량 및 예상 판매량 등을 통해 해당 기업에서 생산하는 제품에 의한 온실가스 배출 저감 총량을 산정하여 이를 인증하는 체계는 마련되어 있지 않다.

2.1.5. 태국 Carbon Reduction Label

인증 대상제품은 주로 화학물질 및 식품으로 한정되어 있다. 온실가스 배출 감축량 산정을 위한 기준연도는 2002년으로 일괄 설정하여, 2002년도 기준 생산된 제품에 대한 온실가스 배출량 기준으로 감축량을 평가하여 공개하도록 하고 있다. 단, 2002년 이후 생산 제품의 경우 평가위원회 심의를 통해 기준연도를 설정하고 있다[10].

개별 제품당 온실가스 배출량 감축 실적은 평가하고 있으나, 판매량 및 판매 예측 데이터를 통한 전체 온실가스 감축량 산정 및 인증은 지원하지 않는다.

2.1.6. 스위스 Climatop Label

스위스 정부 산하 친환경 전문 인증기관인 클리마톱에서 운영하고 있는 저탄소 인증라벨로 유사 제품 간 비교가능성을 가지고 있다. 제품의 환경발자국 산정은 ISO 14040에 따라 제품 전과정에서 발생하는 온실가스를 대상으로 진행되며, 기능단위는 신청 제품별로 정해져 유사 제품별 비교가능성이 있다[11]. 그러나 인증 제품의 판매에 따른 온실가스 배출 저감량을 산정할 수 있는 체계는 마련되지 않은 점이 한계이다.

2.1.7. 한국 환경부 - 저탄소제품 인증

국내 환경부에서 개별 제품의 환경발자국 저감량을 산출하여 이 양을 인증하는 제도를 시행하고 있다. 최근 탄소성적표지 인증 사례가 증감함에 따라 인증 기준을 두 가지로 확대 운영하고 있다[12,13].

탄소성적표지 인증 사례가 많지 않은 제품군은 기존 탄소성적표지 인증 배출량 대비 4.24% 이상 감축한 제품에 대해 인증을 부여하고, 다른 기준의 경우는 저탄소제품 인증 제품을 설정하고 해당 제품의 환경발자국보다 낮은 제품에 대해 저탄소 인증을 부여하는 제품군도 있다. 또한 두 가지 기준을 모두 만족해야 저탄소제품 인증을 획득할 수 있는 제품군도 존재한다.

제품의 탄소성적표지 산정 기준은 ISO 14044를 기반으로

작성된 탄소성적표지 산정 지침에 따라 수행되며, 제품의 전과정을 포함한다.

개별 제품에 대한 환경발자국 저감량을 인증하고 있어 그 값을 신뢰할 수 있으나 환경발자국 저감을 유도하는 제품이 실제 시장에 판매됨에 따라 발생하는 온실가스 감축량은 인증하고 있지 않다. 하지만 저탄소제품 인증 사용 신고서를 통해 해당 제품의 판매량 정보를 수집하고 있어 해당 제품에 의한 온실가스 배출 저감량을 산정할 수 있는 최소한의 데이터는 확보하고 있는 실정이다.

2.1.8. 일본 Carbon Footprint

2008년부터 일본에서 시행하고 있는 제도로 ISO/TS 14067, ISO 14040, ISO 14044를 기반으로 제품의 환경발자국을 산정하고 있다[14]. 본 제도는 단위 제품당 온실가스 배출량을 산정하도록 되어 있어 동일 제품군간의 비교, 기존 자사 인증 제품 대비 개선 정도를 평가하는 체계는 없는 실정이다.

2.1.9. HP - Carbon Accounting Manual

HP는 자사제품을 기준으로 온실가스 배출량을 산정했으며, 컴퓨터, 인쇄기기, 서버제품으로 구분하였다. 인쇄기기는 자사 제품의 사용패턴 분석으로 도출된 제품 보장 수명기간내의 카트리지를, 종이 사용량에 대해 온실가스 배출량을 산정하였다[15].

서버 제품은 특성상 사용 시나리오를 매일 24시간 사용의 365일로 적용하고 사용 수명을 5년으로 적용하여 제품 환경발자국을 산정하고 있다.

폐기단계 시나리오는 지역별 시스템 현황을 반영하기 위해 판매 지역별로 적용되는 국가 평균 폐기물 처리 시나리오를 사용한다.

또한, 제품 환경발자국 개선에 의한 효과 산정은 각 연도별 판매된 제품에 의해 발생한 환경발자국의 양을 기초로 산정하고 있으며, 제품 전과정을 고려한다.

2.1.10. Mitsubishi Electronic-Environmental Report 2016

미쯔비시사는 자사제품이 시장에 판매된 이후의 사용단계에서 발생하는 온실가스 배출 저감량을 산정하여 온실가스 배출 저감 기여도를 평가하고 있다. 또한 기존에 설치 및 판매된 제품을 개선제품이 대체한 부분에 대해서만 온실가스 배출 저감량을 산정하여 실질적인 온실가스 감축량을 산정하고 있다[16].

하지만 자사에서 생산한 제품의 전과정 측면의 온실가스 배출량이 아닌 사용단계만 고려한 부분이 방법론의 한계이다.

2.1.11. Hitachi Group

히다치 그룹은 자사에서 생산하는 단일 제품의 환경발자국 산정을 통해 기존 모델 대비 환경발자국 저감량만 평가하고 있으며 출시된 제품에 의한 전체 온실가스 배출 저감량은 산정하지 않는다[17,18].

2.1.12. Canon

캐논은 자사에서 판매한 복합기, 프린터 제품을 대상으로 온실가스 배출량 저감 실적을 사용단계 소비된 에너지 절감 효과로 평가하고 있다[19].

제품의 사용 시나리오는 5년으로 일괄적으로 가정하고 있으며, 적용 범위는 제품 전과정을 고려한다.

또한 사용 단계에서 발생하는 온실가스 배출량 산정을 위해 각 판매 지역 및 국가 전력 온실가스 배출계수를 적용하여 판매 제품에 의해 발생하는 온실가스 배출량을 산출하고 있다.

2.2. 자동차 부문의 LCA 연구 현황

현재 자동차 부문의 LCA 연구는 전기·전자제품 및 건축 자재 등 환경발자국 인증제도가 활발히 운영되고 있는 산업군에 비해 미진한 수준이다. 이는 현재까지 자동차와 관련된 환경적 이슈인 연비, 배기가스 오염물질 등 자동차 사용단계에서 발생하는 직접적인 환경영향에 대한 관심이 상대적으로 높기 때문으로 볼 수 있다. 하지만 최근 하이브리드 자동차 및 전기자동차 등의 개발 및 보급에 따라 사용단계의 직접 환경영향과 더불어 자동차 생산부터 폐기에 이르는 전과정에서 발생하는 환경영향 산정 연구가 진행중이다[20-22].

2.3. 사례연구

2.3.1. 연구대상 정의

Figure 1은 사례연구 대상제품으로 자동차 엔진룸 언더커버이며, 기존제품과 자원순환을 고려한 유니소재화 제품을 환경영향 감축 효과 산정방법을 적용하여 비교, 분석하였다.

기존 제품은 가장 생산량이 많았던 2012년 1월 1일~2012년 12월 31일까지의 1년간 누적데이터를 적용하였다.

유니소재화 제품은 현재 개발이 완료된 상태이나 양산되어 판매되지 않았다. 이에 유니소재화 제품의 제조 수율은 시제품 테스트 생산 과정에서 발생한 스크랩 발생량을 통해 산출하였다. 그리고 유니소재화 제품 생산에 사용되는 유틸리티 및 에너지에 대한 데이터는 향후 양산화가 진행된 이후의 데이터를 사용해야하나 해당 데이터 수집이 불가능한 상황이어서 시제품 테스트 생산을 진행한 공장의 2014년도 제품 생산

Table 2. Target products

Categories	Baseline product	Improved product
Product name	VI engine room undercover	Uni-materialized engine room undercover
Main raw materials	Polypropylene (PP_GF30)	Bamboo resin sheet
Data collection period	2012.1.1. ~ 2012.12.31 (12 months)	2015.1.1. ~ 2015.12.31 (12 months)

원단위를 양산시 투입되는 양으로 적용하여 환경영향을 산출하여 시험생산으로 인한 오차를 줄이고자 하였다.

또한 이 논문이 작성되는 시점 대비 기존제품은 5년 전 데이터를 사용하고 유니소재화 제품은 3년전 데이터를 사용함에 따라 최근의 데이터와의 차이가 발생할 우려가 있어 보인다. 하지만 각 제품을 생산하는 공장의 현장 조사결과 2012년 이후, 설비 증설사항이 없고, 생산수율과 에너지 원단위의 변동이 1% 미만으로 조사되어 생산 업체에 대한 최신 데이터 수집에 의한 연구 결과 변동이 미비할 것으로 판단되었다. 이에 기존에 수집된 데이터를 활용하여 연구 대상 제조업체의 업무 부담을 줄였다.

기존 제품은 가장 생산량이 많았던 2012년 1월 1일~2012년 12월 31일까지의 1년간 누적데이터를 적용하였으며, 유니소재화 제품은 현재 개발이 완료된 상태이나 양산되어 판매되지 않았기 때문에 제조 수율은 2015년도 시제품 제조현장 데이터를 그대로 적용하고, 유틸리티 및 에너지에 대한 데이터는 양산시의 2014년 원단위 데이터를 적용하였다. Table 2에서는 기존제품과 개선제품에 대한 내용을 설명한다.

2.3.2. 분석 대상 방법론

환경발자국 산정 방법론의 분석 대상은 전과정 고려 4종, 하위흐름(사용단계, 폐기단계)고려 2종을 선정하였다. 선정된 분석 대상은 Table 3에서 제시하고 있다. 기업의 제품 환경발자국 저감 실적 공개를 위한 산정 방법 2종과 현재 운영되고 있는 국내·외 환경발자국 인증 방법 2종, 국제금융공사

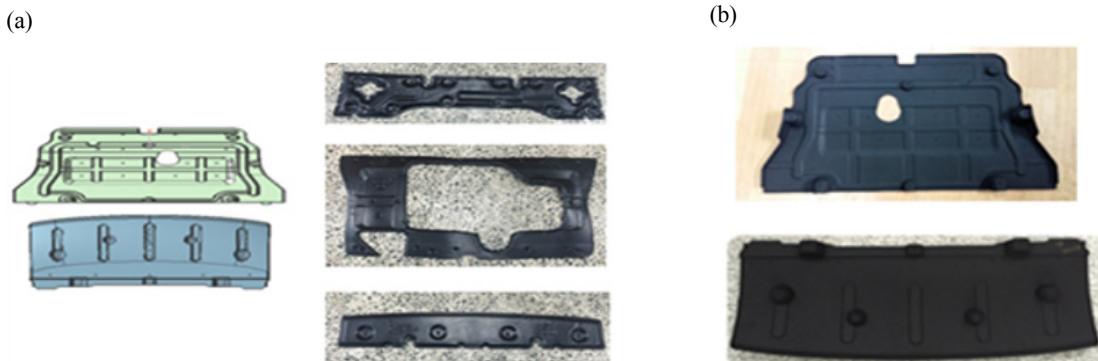


Figure 1. Under cover in Engine room, (a) existing product, (b) uni-materialized product.

Table 3. Carbon footprint methodologies used in this study

Methodologies	Scope	Cut off criteria (%)
ISO 14044:2006	Entire Life cycle	-
South Korea Certification of Low Carbon Products	Entire Life cycle	95
HP - Carbon Accounting Manual	Entire Life cycle	95
UK Product Carbon Footprint (PAS 2050)	Entire Life cycle	95
IFC (International Finance Corporation)	Use stage, End of life stage	-
Mitsubishi Electronic	Use stage	-

에서 제시한 제품 환경발자국 저감량 산정 방법을 선정하였다. 마지막으로 LCA 국제 표준인 ISO 14044:2006을 기준 방법론으로 설정하였다.

2.3.3. 기능 및 기능단위

엔진룸 언더커버 제품은 엔진을 보호하는 기능을 가지고 있다. 기능을 정량적으로 나타낼 수 있는 기능단위를 제품 1개 무게로 설정하였다. 다음 Table 4는 기능 및 기능단위를 나타낸 것이다.

Table 4. Function and Functional unit

Categories	Contents	
Function	Engine protection	
Functional unit	VI engine room undercover	2.844 kg (1 EA)
	Uni-materialized engine room undercover	1.264 kg (1 EA)

2.3.4. 제품 시스템 정의

연구 대상 제품의 시스템은 Yun et al.[23]의 사례연구와 동일하다. 시스템의 경계는 엔진룸 언더커버의 원료물질 취득 단계부터 부품제조, 제품 조립, 운송, 사용, 폐기에 이르는 제품 1개당 전과정 환경영향을 산정하였다.

Table 5 ~ 6은 해당 제품 시스템으로부터 도출된 데이터를 기반으로 앞서 선정한 분석대상 환경발자국 산정 방법론을 적용하여 제품의 환경영향을 산출하였다.

Table 5에 기재된 VI 엔진룸 언더커버 제조단계에는 별도의 에너지 투입량이 없는 것을 확인 할 수 있다. 이는 VI 엔진룸 언더커버 제조는 수작업으로 이루어지고 별도의 에너지 사용 설비가 없기 때문이다.

2.3.5. 전과정 영향평가 방법론

VI 엔진룸 언더커버 제품과 유니소재화 제품에 대한 전과정 영향평가는 산업통상자원부가 개발한 방법론을 적용하여

특성화를 수행하였다.

영향평가 범주는 Table 7에서 제시하고 있으며, 자원고갈, 지구온난화, 산성화, 부영양화, 광화학적산화물생성의 5가지 범주로 선정하였다.

Table 5. Gate to gate data for VI engine room undercover (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	Quantity
Pre-manufacturing	Input	Homo-polypropylene	kg	1.828
		Glass fiber	kg	0.784
		Lubricant oil	kg	0.001
		PPG	kg	0.267
		ISO	kg	0.107
		TPU Film	kg	0.043
		Nut-speed	kg	0.065
		Adhesive	kg	0.052
		Cooling makeup water	kg	9.643
	Electricity usage	kWh	2.380	
	Output	Scrap	kg	0.150
		Waste lubricating oil	kg	0.001
		Vapor	kg	9.643
Total weight of components		kg	2.932	
Manufacturing	Input	PNL-UNDER COVER	kg	1.398
		UNDER COVER FR	kg	1.113
		INSULATOR-UNDER COVER_FRONT1	kg	0.180
		INSULATOR-UNDER COVER	kg	0.101
		INSULATOR-UNDER COVER_FRONT2	kg	0.087
		NUT-SPEED	kg	0.002
		Adhesive	kg	0.052
	Output	Under cover in engine room	kg	2.844
		Defective product	kg	0.088
Use	Input	Under cover in engine room	kg	2.844
		Gasoline	kg	19.650
	Output	Carbon dioxide	kg	54.460
		Methane	kg	0.020
		Nitrous oxide	kg	0.006
		CO	kg	15.890
		VOC	kg	0.280
		Nitrogen oxides	kg	2.870
Disposal	Input	Wasted under cover in engine room (Incineration)	kg	2.844

Table 6. Gate to gate data for uni-materialized product (/functional unit)

Life-cycle	I/O	Resource	Unit	Quantity	
Pre-manu-facturing	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	
		Defective product (Incineration)	kg	0.000	
	Manu-facturing	Input	Bamboo composite resin	kg	1.945
			Lubricant oil	kg	0.003
Electricity usage			kWh	0.520	
Output		Uni-materialized product	kg	1.264	
		Waste lubricating oil	kg	0.003	
Scrap and defective product	kg	0.681			
Use	Input	Uni-materialized product	kg	1.264	
		Gasoline	kg	8.549	
	Output	Carbon dioxide	kg	23.697	
		Methane	kg	0.009	
		Nitrous oxide	kg	0.003	
		CO	kg	7.059	
		VOC	kg	0.124	
Nitrogen oxides	kg	1.280			
Disposal	Input	Under cover in engine room (Recycling)	kg	1.138	
		Wasted Under cover in engine room (Incineration)	kg	0.126	

Table 7. Environmental impact categories

Environmental Impact Categories	Unit
Abiotic resource Depletion Potential (ADP)	1/yr
Acidification Potential (AP)	kg SO ₂ eq
Eutrophication Potential (EP)	kg PO ₄ ⁻³ eq
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq
Photochemical Oxidant Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq

3. 결과 및 고찰

3.1. 환경영향 감축효과 사례 연구 결과

3.1.1. ISO 14044:2006

2012년도에 기존 제품이 판매된 양(9,317대)과 개선 제품이 동일하게 판매된 것으로 가정하여 환경영향 저감량을 산정하였다. 이는 제품의 개선 없이 판매했을 때 발생할 수 있는 환경영향을 개선제품으로 대체하였을 때 유발되는 환경영향 저감량을 평가하는 것으로 결과는 Table 8에서 나타나고 있다.

3.1.2. 한국 저탄소 인증

환경부 저탄소 인증 기준의 경우, 개선된 제품의 판매량 정보를 수집하고 있다. 이에 개선제품의 2014년 판매량으로 환경영향 개선정도를 평가해야 하는 것이 원칙이다. 하지만 개선제품의 경우 제품 단가문제로 판매가 이루어지지 않은 상태이기 때문에 유사제품의 2014년 판매량을 기준으로 환경영향 개선정도를 평가하였다. Table 9는 환경부 저탄소 인증 제도를 고려한 결과이다.

3.1.3. HP

HP에서 운영하고 있는 온실가스 배출량 변화량 산정 방법을 적용할 경우, 환경영향은 개선 전 제품의 판매량과 개선 후 제품 판매량을 각각 적용하여 발생한 환경영향 총량을 비교하는 방법을 사용한다. 즉, 기존제품은 실제 판매된 수량인 9,317대에 대한 환경영향을 산정하고 개선제품은 개선제품이 판매된 수량에 대한 환경영향을 산정하여 이 둘을 비교하는 방법이다. 단, 앞서 설명하였듯이 개선제품의 경우 제품 단가 문제로 판매가 이루어지지 않은 상태이기 때문에 유사제품의 2014년 판매량인 8,487대를 기준으로 환경영향 개선정도를 Table 10에서 평가하였다.

Table 8. Environmental footprint of case study (ISO 14044:2006)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	5.60E+03	1.41E+02	2.46E+01	6.07E+05	4.06E+03
Uni-materialized product (Improved product)	2.67E+03	5.42E+01	1.04E+00	2.72E+05	1.82E+03
Baseline product - Improved product	2.93E+03	8.66E+01	2.36E+01	3.36E+05	2.24E+03

Table 9. Environmental footprint of case study (certification of low carbon product in South Korea)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	7.69E+02	1.07E+02	2.19E+01	6.68E+04	5.20E+01
Uni-materialized product (Improved product)	5.03E+02	3.99E+01	7.11E-01	3.15E+04	3.85E+01
Baseline product - Improved product	2.65E+02	6.72E+01	2.12E+01	3.53E+04	1.35E+01

Table 10. Environmental footprint of case study (HP)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	5.60E+03	1.41E+02	2.46E+01	6.07E+05	4.06E+03
Uni-materialized product (Improved product)	2.43E+03	4.93E+01	9.45E-01	2.48E+05	1.66E+03
Baseline product - Improved product	3.17E+03	9.14E+01	2.37E+01	3.60E+05	2.41E+03

3.1.4. 영국 PAS 2050

영국의 Carbon Footprint는 온실가스 배출량 저감을 입증하는 체계는 없으나 각 기업이 인증 제품에 대한 온실가스 배출량 저감 활동 및 효과를 자체적으로 공개할 수 있게 하고 있다.

Table 11의 배출량 산정은 PAS 2050 기준에 따라 산정하며 현장데이터 수집 대상에 대한 정의가 달라 기존 국내에서 운영되고 있는 탄소성적표지제도와 배출량 결과에 차이가 있을 것으로 예상된다. 비교한 결과에 대해서는 결과해석의 Table 15를 통해서 자세히 설명하도록 하겠다.

3.1.5. IFC

IFC 방법은 실질적으로 기존제품이 개선제품으로 대체된

경우에 환경영향 저감이 발생한 것으로 인정하고 있다. 하지만 이번 연구 대상제품인 엔진룸 언더커버의 경우, 제조 기업 내에 판매된 제품이 기존제품을 대체하였는지 확인할 수 있는 시스템이 구축되어있지 않아 대체율을 파악할 수 없다. 즉, IFC 방법을 원칙적으로 적용할 경우, 환경영향 변화가 없는 것으로 결과가 도출된다. 이에 Table 12에서는 2014년에 판매된 유사제품 수량의 50%에 해당하는 4,244대가 기존제품을 개선제품이 대체한 것으로 가정하여 환경영향 개선정도를 평가하였다.

기존제품을 개선제품으로 대체한 수량은 전체 2014년도에 생산된 제품의 판매처를 기준으로 가정한 사항으로써 총 생산량 중 완제품 업체에 납품된 양과 정비 및 반제품 업체에 납품된 양의 비율을 적용하여 결과를 산정하였다.

Table 11. Environmental footprint of case study (PAS 2050 of UK)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	7.19E+02	1.04E+02	1.76E+01	5.52E+04	5.14E+01
Uni-materialized product (Improved product)	4.85E+02	3.92E+01	7.04E-01	2.78E+04	3.84E+01
Baseline product - Improved product	2.34E+02	6.46E+01	1.69E+01	2.75E+04	1.30E+01

Table 12. Environmental footprint of case study (IFC)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	2.17E+03	1.35E+01	2.74E-01	2.45E+05	1.83E+03
Uni-materialized product (Improved product)	9.64E+02	4.84E+00	1.18E-01	1.08E+05	8.09E+02
Baseline product - Improved product	1.21E+03	8.67E+00	1.57E-01	1.37E+05	1.02E+03

Table 13. Environmental footprint of case study (Mitsubishi Electronic)

Categories	ADP	AP	EP	GWP	POCP
VI engine room undercover (Baseline product)	2.16E+03	1.05E+01	2.63E-01	2.43E+05	1.82E+03
Uni-materialized product (Improved product)	9.63E+02	4.71E+00	1.17E-01	1.08E+05	8.09E+02
Baseline product - Improved product	1.20E+03	5.83E+00	1.46E-01	1.35E+05	1.02E+03

3.1.6. Mitsubishi Electronic

미츠비시 전자에서 활용되고 있는 방법도 IFC와 동일하게 실질적으로 기존제품이 개선제품으로 대체된 경우에 환경영향 저감이 발생한 것으로 인정하고 있으나 연구 대상제품의 시스템이 구축되지 않아 대체율을 파악할 수 없다. 이에, Table 13에서는 IFC 방법과 동일하게 2014년에 판매된 유사제품 수량의 50%에 해당하는 4,244대가 기존제품을 개선제품이 대체한 것으로 가정하여 환경영향 개선정도를 평가하였다.

3.2. 결과 해석

앞에서 선정된 6가지 방법론에 따라 제품의 환경영향 감축량을 비교하였다. 비교 연구는 제품의 환경영향 산정 시스템 경계의 차이, 데이터 수집 범위의 차이, 개선제품의 기존제품 대체량 설정 기준 차이로 총 세 가지 기준으로 진행하였다.

첫째 환경영향 산정 시스템 경계의 차이 발생 요인은 다음과 같다.

대상제품의 경우, 차량에 사용되는 엔진룸 언더커버 제품으로써 제품이 직접 에너지를 사용하지는 않으나 차량의 연비에 영향을 주는 부품으로 에너지 연관제품으로 분류할 수 있다. 이에 Yun et al. [23]에 사용되었던 ISO 14044:2006 방법에서는 사용단계를 고려하도록 시스템 경계를 설정하였으며 HP의 방법의 경우에도 자사 제품에 대한 사용시나리오를 설정하기 때문에 사용시나리오를 적용하여 환경영향 개선량을 산출하였다.

반면 환경부에서 운영하는 저탄소제품 인증과 영국 환경발자국에서는 대상제품이 직접 에너지를 사용하는 제품이 아닌 부품이기 때문에 사용단계와 폐기단계를 시스템경계에서 제외하도록 규정하고 있어 이를 제외한 원료물질 제조와 제품 제조단계, 제품 유통단계만을 전과정 환경영향평가 대상으로

삼았다.

IFC에서 제시한 방법의 경우 사용단계와 폐기단계를 시스템 경계로 설정하도록 하고 있으며 미츠비시 전자에서 활용한 방법은 사용단계만을 시스템 경계로 설정하도록 하여 각각 환경영향산정에 적용하였다.

Table 14에서는 환경영향 산정 시스템 경계의 차이에 의해 발생하는 환경영향 결과의 변화를 파악하기 위해 모든 방법론에 대하여 대체제품의 수를 개선제품 생산량인 9,317대로 일괄 적용하여 도출된 방법론별 환경영향의 차이를 비율로 나타내었다. Table 14를 통해 환경영향 산정 시스템경계 설정의 변화에 따라 실제로 산출되는 환경영향 저감량의 차이가 확연히 드러나는 것을 확인할 수 있다. 특히 이번 연구 대상 제품인 엔진룸 언더커버는 에너지 관련 제품으로 사용단계의 포함 여부에 따라 자원고갈, 지구온난화, 광화학적산화물생성 영향에서 최대 99.4% (POCP 환경영향범주의 HP와 UK간의 차이)의 차이를 보일 정도로 결과값의 차이가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면 산성화, 부영양화와 같이 사용단계의 기여도가 비교적 높지 않은 부문은 원료물질 사용단계와 제조단계를 제외하는 IFC 제안 방법과 미츠비시의 방법에 있어서 과소평가되는 경향을 보인다.

둘째 데이터 수집 범위 차이의 발생 요인은 다음과 같다.

영국 환경발자국 산정 기준인 PAS 2050:2011은 대상 제품 대비 온실가스 배출량 기여도가 10% 이상인 부품 및 물질에 대해서만 현장데이터를 수집하도록 하고 있다. 연구 진행 당시(2017년 8월) 기준으로 대상제품에 대한 시스템경계가 영국 환경발자국과 동일한 저탄소제품 인증제도와 차이가 있는 부분으로써 현장데이터 수집 범위의 차이에 의한 환경영향 저감량의 차이를 분석하였다.

Table 15에서는 총 환경영향 저감량 결과를 기준으로 적용

Table 14. Environmental impact reduction result comparing (system boundary)

Methodologies	Environmental impact ratio (%)					System boundary
	ADP	AP	EP	GWP	POCP	
ISO 14044:2006	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	Entire life cycle
HP	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
South Korea, Certification of Low Carbon Products	9.9	85.2	98.6	11.5	0.7	Raw material and manufacturing stage
UK, Product Carbon Footprint (PAS2050)	8.8	81.9	78.5	9.0	0.6	
IFC	90.5	22.0	1.5	89.4	99.4	Use and EoL stage
Mitsubishi Electronic	90.1	14.8	1.4	88.5	99.3	

Table 15. Environmental impact reduction result comparing (data collection target)

Methodologies	Environmental impact ratio (%)					Data collection target
	ADP	AP	EP	GWP	POCP	
South Korea, Certification of Low Carbon Products	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	Site specific data collection for supplier
UK, Product Carbon Footprint (PAS2050)	88.2	96.1	79.6	77.9	96.2	Secondary data use for supplier (less than 10% of weight contribution of target product)

Table 16. Environmental impact reduction result comparing (definition of alternative product)

Methodologies	Environmental impact ratio (%)					Definition of alternative product
	ADP	AP	EP	GWP	POCP	
ISO 14044:2006	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	Number of baseline product selling
HP - Carbon Accounting Manual	108.1	105.6	100.4	107.2	107.2	Number of baseline product and improved product selling

방법론별 환경영향의 차이를 비율로 나타내었다. Table 15를 통해 데이터 수집 범위 차이에 따라 일부 환경영향범주에서 산출되는 환경영향 저감량의 차이가 드러나는 것을 확인할 수 있다. 특히 지구온난화와 부영양화의 경우 20% 이상의 차이를 보이고 있다. 부영양화의 경우, 현장에서 사용하는 일부 미량 원료(부식포)의 사용량이 현장데이터 수집으로 이루어지지 않아서 환경영향 산정 대상에서 제외됨에 따라 발생하였다.

지구온난화 영향은 질량기여도 10% 이내의 원료에 대한 현장데이터 수집이 이루어지지 않음에 따라 원료물질 공급업체의 에너지 사용량이 과소평가되는 부분에 의해 발생한 차이로 분석되었다.

셋째 개선제품의 기존제품 대체량 설정 기준 차이로 각 방법론 별로 대체제품에 대한 정의가 다르다.

이 기준에 대한 비교를 위해 환경부에서 운영하는 저탄소 제품 인증 방법론의 대상제품인 엔진룸 언더커버를 에너지사용제품으로 규정한다고 가정하여 비교 평가를 진행하였다. 이는 개별 제품에 대한 환경영향 산정 시스템경계를 동일하게 함으로써 개선제품의 기존제품 대체량 설정 기준 차이에 의한 환경영향 저감량 차이만을 보기 위한 조치이다.

Table 16은 개선제품의 기존제품 대체량 설정 기준 차이에 따라 환경영향범주에서 산출되는 환경영향 저감량의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 자원고갈, 지구온난화와 광화학산화물생성의 경우 최대 8% 이상의 차이를 보이고 있다. 실질적으로 기존제품을 대체하는 제품의 수를 정확히 파악하기는 불가능한 경우가 대다수이며, 시장에 판매되었거나 판매될 것으로 예상되는 제품의 수를 기준으로 총 환경영향 저감량을 산정할 수밖에 없는 실정이다.

또한, 앞선 분석결과를 통해 개선제품의 기존제품 대체량의 설정에 따라 총 환경영향 저감량에 차이가 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있으며, 각 기업 또는 연구기관은 연구목적에 따라 개선제품 대체량에 대한 정의를 바꿈으로써 발표하는 결과의 신뢰성 및 비교 가능성의 저하를 야기한다.

판매된 개선제품에 대하여 전량 기존제품을 대체하는 것으로 가정한 결과를 공개할 경우, 실제 환경영향 저감효과가 과대평가된 수치를 제공하여 소비자로서 하여금 해당 제품이 환경적으로 실제보다 더 우수한 것으로 인식하도록 하는 악영향을 미칠 수 있다. 그렇다고 하여 표준 및 제도를 통해 일률적인 대체율을 적용할 경우, 개선제품 생산 기업으로 하여금 기존제품의 수거 및 대체량 추적 등의 결과 투명성 확보 노력의지를 저하시킬 수 있는 상황이다.

4. 결론

본 연구를 통해 선정된 6가지 제품 환경발자국 감축 평가 방법에 따른 환경영향 개선 평가 결과 도출 및 비교분석을 진행하였다. 그 결과, 제품 환경발자국 감축 평가 방법에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 6가지 방법론별로 적용한 기준 중에서 시스템 경계의 차이, 데이터 수집범위의 차이, 개선제품의 기존제품 대체량 설정 기준 차이가 가장 큰 원인인 것으로 판단된다.

이와 같이 각 제품 환경발자국 감축 평가 방법론에서 정의하고 있는 시스템경계, 데이터 수집범위, 개선제품의 기존제품 대체량 기준에 따라 결과값에 차이가 발생하기 때문에 이해관계자는 제품 환경발자국 감축 결과에 대하여 신뢰하지 못하고 있다. 이는 의사결정 과정에서 활용되지 못하는 정보로 취급되고 있는 주요한 원인으로 판단된다.

따라서 환경성 개선 제품을 통한 제품 환경발자국 감축 결과에 대한 정보를 공개할 경우에는 단기적으로는 이해관계자가 쉽게 이해할 수 있는 수준의 제품 환경발자국 산정 방법론을 상세히 공개하도록 해야 한다. 또한 장기적으로는 판매 제품을 통해 발생한 제품 환경발자국 개선 평가방법의 표준화를 통해 제품 생산자가 공개하는 제품 환경발자국 감축 결과의 비교가능성을 담보하도록 해야 할 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

- Kim, K. D., Ko, H. K., Lee, T. J., and Kim, D. S., "Comparison of Greenhouse Gas Emissions from Road Transportation of Local Government by Calculation Methods," *J. KOSAE*, **27** (4), 405-415 (2011).
- Deprez, A., Colombier, M., and Spencer, T., "Transparency and the Paris Agreement: Driving Ambitious Action in the New Climate Regime," *DDRI SciencesPo Working Paper* (2015).
- Bolwing S., and Gibbon P., "Counting Carbon in The Marketplace: Part I - Overview Paper," *Oecd Global Forum on Trade*

- (2009).
4. Kim, D. S., Sung, Y. J., Lee, J. W., Kim, S. B., and Park G. S., "Investigation into Methods for reducing Greenhouse Gas Emission in Paper Industry with Development of Greenhouse Gas Inventory," *J. Korea TAPPI*, **44**(2), 49-57 (2012).
 5. Carbon accounting manual, Hewlett-Packard Development Company (2015).
 6. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K., "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," IGES, Japan (2006).
 7. IEC TR 62726: Guidance on Quantifying Greenhouse Gas Emission Reductions from the Baseline for Electrical and Electronic Products and Systems, IEC, Switzerland (2014).
 8. KS TR 62726:2014, "Guidance on Quantifying Greenhouse Gas Emission Reductions from the Baseline for Electrical and Electronic Products and Systems," Korea Industrial Standards Commission (2014).
 9. IFC Greenhouse Gas Reduction Accounting Guidance For Climate-Related Projects, IFC Climate Business Department (2013).
 10. Mitsubishi Electric Issues Environmental Report 2016, Mitsubishi Electric Corporation (2016).
 11. Hitachi Group Sustainability Report 2013, Hitachi, Ltd., (2013).
 12. Hitachi Sustainability Report 2016, Hitachi, Ltd., (2016).
 13. <http://www.tei.or.th/carbonreductionlabel/about-e.html>
 14. Carbon Trust - Carbon Reduction Label, International Trade Centre and Carbon Trust Footprinting Company (2011).
 15. <https://www.myclimate.org/corporate-clients/climatop-label/>
 16. Low-Carbon Product Certification Guidelines, Korea Environmental Industry & Technology Institute (2017).
 17. Environmental Product Declaration, Korea Environmental Industry & Technology Institute (2017).
 18. <http://global.canon/en/environment/low-carbon/product.html>
 19. Japanese CFP project, Japan Environmental Management Association for Industry (2016).
 20. Yoann Le Petit, Electric Vehicle Life Cycle Analysis and Raw Material Availability, Transport & Environment (2017).
 21. Swedish Life Cycle Center, <https://www.lifecyclecenter.se/projects/lca-and-vehicles/>
 22. Linda Ager-Wick Ellingsen, Anders Hammer Stromman, Life Cycle Assessment of Electric Vehicles, NTNU Industrial Ecology 12th Concawe Symposium (2017).
 23. Yun, H. R., Park Y. S., Yu, M. J., Bae, H. N., and Lee, H. W., "Application for Uni-materialization and Life Cycle Assessment of the Vehicle Undercover," *Clean Technol.*, **23**(3), 256-269 (2017).