

전동차 의자의 재질에 따른 환경부하 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Environmental Impact with the Seat Material of Electric Motor Unit (EMU)

김용기† · 이재영* · 김보경** · 천윤영***

Yong-Ki Kim · Jae-Young Lee · Bo-Kyong Kim · Yoon-Young Chun

Abstract

Environmental problem is one of important global issues. Transportations are main pollutant emission sources. Although railroad is still an environmental-friendly transportation, its environmental impact has been increased continuously. Especially, because a large amount of environmental impact is released from vehicles and facilities, it is necessary to assess and to reduce their environmental impact. Life cycle assessment (LCA) is a representative method which can evaluate environment impact through the whole life cycle of a product or a process. In this study, the environmental impact of seat in the electric motor unit (EMU) was analyzed quantitatively with its material using life cycle assessment (LCA). As a result, the characteristics of environmental impact were investigated differently with the material of seat. Among ten impact categories, the seat with aluminum and FRP showed the highest ozone depletion (OD). On the other hand, in the seat with stainless steel and plastic, fresh water aquatic ecotoxicity (FAET) and marine water aquatic ecotoxicity (MAET) were high relatively. Therefore, the parts of EMU must be selected considering the characteristics of environmental impact in future.

Keywords : seat(의자), environmental impact(환경영향), life cycle assessment(전과정평가), life cycle inventory(전과정 목록)

1. 서론

환경문제가 범지구적인 관심사로 떠오르면서 각종 환경규제가 선진국을 중심으로 강화되고 있으며, 이는 무역시장에서 주요한 장벽으로 부각되고 있다. 특히 2005년 2월에 발효된 교토의정서는 온실가스의 배출량에 대한 보다 직접적인 규제로서의 움직임을 펼치고 있으며, 추가 가입대상국으로 우리나라와 멕시코가 우선순위로 고려되고 있다[1-6]. 결국 환경규제는 산업 전반에 걸쳐 심각한 제약을 유발하게 되므로, 지속가능한 발전을 위해서는 우선적으로 환경문제의 해결이 필요하다. 수송수단은 주요 환경오염물질 배출원으로써 전체 이산화탄소 배출량의 30% 이상을 차지하고 있으며, 지속적인 증가 추세에 있다[2,3]. 특히 철도는 대표적인 환경친화적 교통수단으로 인식되어져 왔으나, 환경 개선에 대

한 근본적인 접근의 부족으로 다양한 환경문제가 빈번하게 발생하고 있다[2-6].

철도선진국인 유럽과 일본에서는 철도의 설계 단계에서부터 환경성을 고려함으로써 환경친화적인 철도차량을 디자인(ecodesign)할 수 있는 툴을 개발하는 연구를 활발하게 진행하고 있다[4-6]. 이와 같이 환경성을 보다 객관적으로 고려하기 위해서 환경부하를 정량화할 수 있는 전과정평가(life cycle assessment, LCA) 기법을 도입하여 적용하였다. 전과정평가란 제품이나 공정의 설계단계에서부터 제작, 운영, 폐기단계의 전과정에 걸친 환경부하를 정량적으로 계산하고, 평가함으로써 환경개선 방안을 도출하는 기법이다[1,7-10].

전과정평가의 도입은 환경오염이 발생한 후 처리하는 사후처리 개념이 아니라 사전에 환경부하를 정량화하여 개선 방안을 적용함으로써 환경오염 예방의 효과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 대표적인 대중교통수단인 전동차의 주요 부품 중 의자를 대상으로 전과정평가 기법을 이용하여 재질에 따른 환경부하 특성을 살펴보았다. 전과정평가의 주요 4 단계(목표 및 범위정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가,

† 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀

E-mail : ykkim@krii.re.kr

TEL : (031)460-5382 FAX : (031)460-5319

*,** 한국철도기술연구원

*** 아주대학교

해석)에 따라 연구를 수행하였다.

2. 전동차 의자의 재질에 따른 환경성 평가

2.1 목표 및 범위 정의

현재 국내 전동차에 사용되고 있는 의자의 재질에는 주로 알루미늄(aluminum), 스테인레스 스틸(stainless steel), FRP, 플라스틱(polyester imide) 등 4 종류가 있다. 본 연구의 주요 목표는 전동차의 전과정에 걸친 환경성 평가를 수행하기 위해 전동차의 내장재 중에 하나인 의자를 재질별로 전과정 목록을 작성하여 DB를 구축하고, 주요 환경영향을 파악하는 것으로 정의하였다. 연구범위 선정을 위해 대상제품의 기능, 기능단위 및 참고호름을 Table 1과 같이 정리하였다.

시스템 경계는 대상제품의 전과정 중 원료취득부터 대상제품 제조공정까지(Cradle to Gate ; CtG)로 정의하였다. 전동차의 재질에 따른 공정도는 Fig. 1~Fig. 4에 나타내었다. 주요 의자부품은 판넬 하위 어셈블리(main panel sub ass'y)로서 쿠션(cushion), 등받이(back), 골조(frame) 외에 네오프렌(neoprene), 패드, 모켓(moquette)커버 및 철제 브래킷(bracket) 등으로 구성되어 있다.

대상공정의 제조단계에 대한 데이터는 공정 조사 및 전문가 협조를 얻어 2004년부터 2005년까지 1년간의 현장 데이터를 수집하여 사용하였으며, 상위공정은 문헌데이터 및 유사

Table 1. Function and functional unit of each product category

기능	전동차 내장재의 주요부품의 하나로 전동차의 객차 내에 설치되어 승객이 착석할 수 있는 의자 조립품
기능 단위	최종 형태의 각 재료별 전동차 의자 어셈블리(seat ass'y) 중 승객 한사람이 앉도록 구분된 부분 1개
기준 호름	최종 형태의 각 재료별 전동차 의자 어셈블리(seat ass'y) 중 승객 한사람이 앉도록 구분된 부분 1개

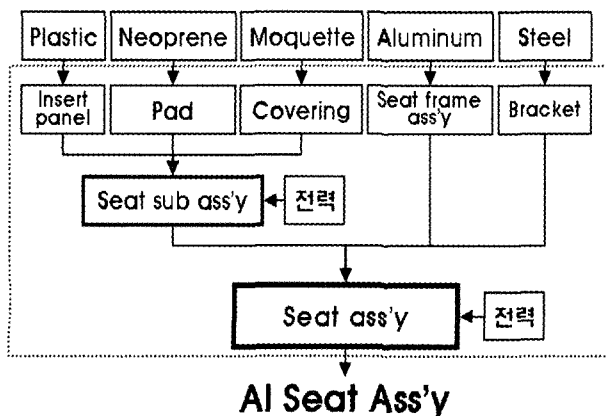


Fig. 1. Process tree of aluminum seat

공정의 자료 등을 차선으로 적용하였다. 출처를 추적하는 것이 불가능한 데이터는 데이터 갭으로 분류하였다. ISO 14041에 제시된 누적 무게, 누적 에너지 및 환경관련성 등의 기준을 적용하여 누적무게 96%, 누적에너지 99%까지의 투입물을 연구범위에 포함시켰다.

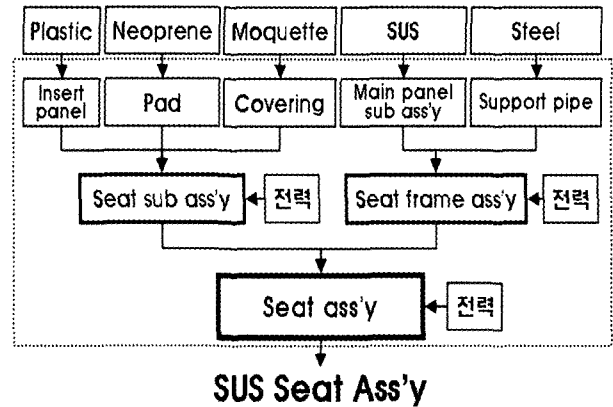


Fig. 2. Process tree of stainless steel seat

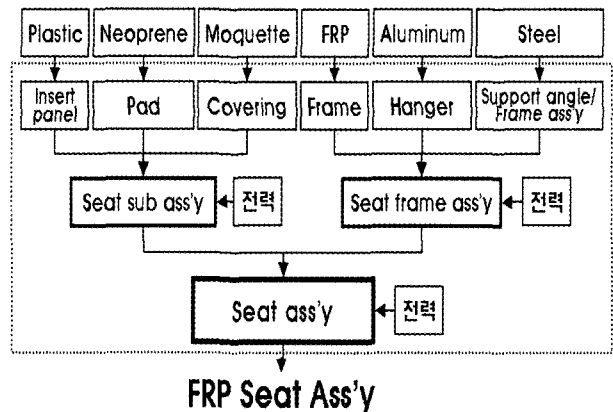


Fig. 3. Process tree of FRP seat

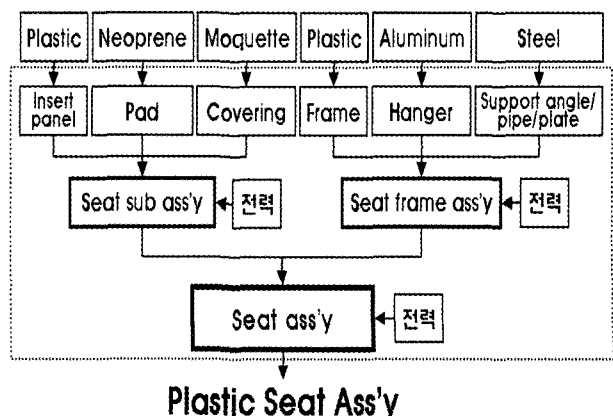


Fig. 4. Process tree of plastic seat

2.2 전과정 목록분석

전과정 목록분석은 ISO 14040과 14041 문서에 규정된 방법에 따라 수행하였다[8,9]. 설문서를 이용하여 데이터를 수집하고, 해당 단위공정의 특성을 고려하여 데이터 수집대상, 제품공정, 데이터 수집자 및 일시, 데이터 수집기간, 공정 상세 설명, 투입물(원자재, 부자재, 에너지, 운송)과 배출물(대기, 수계 및 육상으로의 배출) 항목, 사용량, 데이터 질 등을 내용에 포함하였다. 의자의 생산과 관련하여 정량화된 투입물 및 배출물 자료와 투입물에 대한 환경부하를 나타내는 데이터베이스를 PASS(Korea)에 입력하여 목록분석 결과를 도출하였다[2,3]. Table 2~Table 5에 재질에 따른 의자의 LCI

Table 2. Life cycle inventory of aluminum seat

주요 투입물(자원) 및 배출물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	투입	자원	Media
Bauxite(Al ₂ O ₃)	1.67E+01	kg	INPUT	Resource	Soil
Aluminium scrap	3.82E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Natural gas	3.18E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Crude oil	3.13E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	2.16E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Hard coal	2.05E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Carbon dioxide(CO ₂)	1.66E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Air	1.38E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Vapor	9.93E+00	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	5.82E+00	kg	OUTPUT	Emission	Air
Waste water	2.19E-01	kg	OUTPUT	Emission	Water
Chloride(Cl ₋)	6.93E-02	kg	OUTPUT	Emission	Water

Table 3. Life cycle inventory of stainless steel seat

주요 투입물(자원) 및 배출물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	투입	자원	Media
Air	1.98E+01	kg	INPUT	Resource	Air
Crude oil	2.42E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	2.16E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Hard coal	9.98E-01	kg	INPUT	Resource	Soil
Natural gas	7.36E-01	kg	INPUT	Resource	Soil
Coal	4.49E-01	kg	INPUT	Resource	Soil
Air	1.45E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Carbon dioxide(CO ₂)	1.29E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Vapor	1.06E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	5.92E+00	kg	OUTPUT	Emission	Air
Sulfur dioxide(SO ₂)	1.83E-01	kg	OUTPUT	Emission	Air

데이터베이스 중 주요구성 물질만을 선정하여 제시하였다.

2.3 전과정 영향평가 및 해석

전과정 영향평가는 ISO 14040과 ISO 14042에서 제시한 바와 같이 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치부여 단계를 거쳤다[8,10]. 고려된 영향범주는 무생물자원고갈(Abiotic Resource Depletion, ARD), 산성화(Acidification, AD), 수계생태독성(Freshwater Aquatic Eco Toxicity, FAET), 해양생태독성(Marine Aquatic Eco Toxicity, MAET), 토양생태독성(Terrestrial Aquatic Eco Toxicity, FAT), 부영양화(Eutrophication, Eut), 지구온난

Table 4. Life cycle inventory of FRP seat

주요 투입물(자원) 및 배출물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	투입	자원	Media
Air	1.93E+01	kg	INPUT	Resource	Air
Iron ore	2.5E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Crude oil	2.31E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	2.1E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Hard coal	1.16E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	2.98E+00	kg	INPUT	Resource	Water
Air	1.38E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Carbon dioxide(CO ₂)	1.31E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Vapor	9.88E+00	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	5.79E+00	kg	OUTPUT	Emission	Air
Waste water	2.86E-01	kg	OUTPUT	Emission	Water

Table 5. Life cycle inventory of plastic seat

주요 투입물(자원) 및 배출물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	투입	자원	Media
Air	8.6E+01	kg	INPUT	Resource	Air
Crude oil	4.7E+01	kg	INPUT	Resource	Soil
Coal	3.61E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Natural gas	3.28E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Iron ore	2.05E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	1.95E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Hard coal	1.25E+00	kg	INPUT	Resource	Soil
Water	2.02E+02	kg	INPUT	Resource	Water
Carbon dioxide(CO ₂)	3.44E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	3.1E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Air	2.57E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Vapor	1.95E+01	kg	OUTPUT	Emission	Air
Waste water	1.65E+02	kg	OUTPUT	Emission	Water
Chloride(Cl)	1.28E+00	kg	OUTPUT	Emission	Water

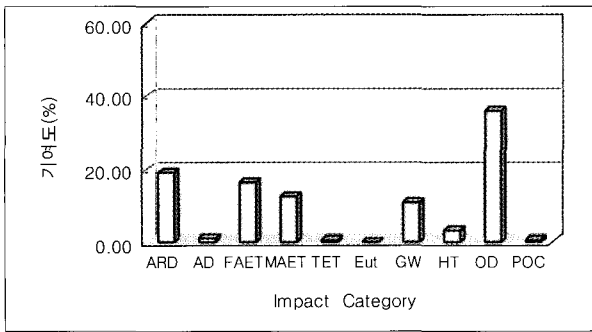


Fig. 5. Contribution of environmental impacts with impact category in aluminum seat

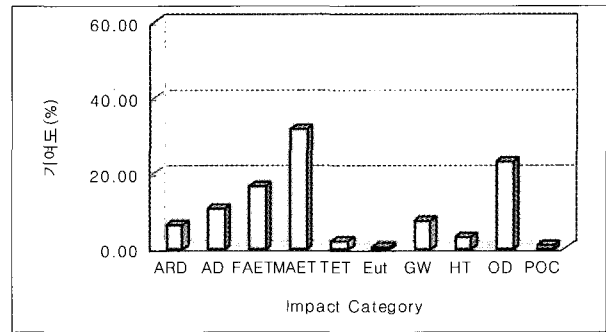


Fig. 6. Contribution of environmental impacts with impact category in stainless steel seat

Table 6. Key inventory parameter with impact category in aluminum seat

Impact Category	Materials	CI	NI	WI	Contribution(%)
무생물 자원 고갈 (ARD)	Bauxite(Al_2O_3)	9.012E-02	3.619E-06	8.360E-07	10.399
	Crude oil	7.774E-02	3.122E-06	7.212E-07	8.971
	Coal	1.740E-03	6.989E-08	1.614E-08	0.201
산성화 (AD)	Nitrogen oxides(NO_x)	6.680E-02	1.678E-06	6.042E-08	0.752
	Sulfur dioxide(SO_2)	1.489E-02	3.740E-07	1.346E-08	0.167
	Hydrogen sulfide(H_2S)	9.178E-05	2.306E-09	8.302E-11	0.001
수계 독성 (FAET)	PAH	3.063E-01	8.462E-06	1.218E-06	15.156
	Nickel(Ni)	7.733E-03	2.136E-07	3.076E-08	0.383
	Vanadium(V)	5.905E-03	1.631E-07	2.349E-08	0.292
해양 독성 (MAET)	Hydrogen fluoride(HF)	3.047E+02	3.932E-06	6.055E-07	7.531
	Hydrogen fluoride(HF)	1.356E+02	1.750E-06	2.695E-07	3.353
	Vanadium(V)	3.244E+01	4.186E-07	6.447E-08	0.802
토양 독성 (TET)	Vanadium(V)	1.768E-03	1.486E-07	3.209E-08	0.399
	Arsenic(As)	1.876E-04	1.576E-08	3.405E-09	0.042
	Nickel(Ni)	5.989E-05	5.032E-09	1.087E-09	0.014
부영양화 (Eut)	COD	1.546E-04	1.180E-08	4.484E-10	0.006
	Phosphate(PO_4^{3-})	1.816E-05	1.386E-09	5.268E-11	0.001
	Ammonium(NH_4^+)	1.604E-05	1.224E-09	4.652E-11	0.001
지구 온난화 (GW)	Carbon dioxide(CO_2)	1.660E+01	3.001E-06	8.644E-07	10.752
	Methane(CH_4)	4.354E-01	7.873E-08	2.267E-08	0.282
	Nitrous oxide(N_2O)	8.330E-02	1.506E-08	4.338E-09	0.054
인간 독성 (HT)	PAH	3.119E+00	2.093E-06	2.198E-07	2.734
	PAH	6.292E-01	4.223E-07	4.434E-08	0.552
	Benzene	6.351E-02	4.262E-08	4.475E-09	0.056
오존층 파괴 (OD)	Chlorine(Cl_2)	4.097E-04	1.009E-05	2.946E-06	36.649
	Halon-1301	2.153E-06	5.302E-08	1.548E-08	0.193
	CFC-114	6.137E-09	1.512E-10	4.414E-11	0.001
광화학 산화물 생성 (POC)	Carbon monoxide(CO)	1.577E-03	1.325E-07	8.615E-09	0.107
	Toluene	1.521E-03	1.278E-07	8.307E-09	0.103
	Sulfur dioxide(SO_2)	7.145E-04	6.005E-08	3.903E-09	0.049

화(Global Warming, GW), 인간독성(Human Toxicity, HT) 오존층 파괴(Ozone Depletion, OD), 광화학 산화물 생성(Photochemical Ozone Creation, POC)으로 총 10개이다. 특성화는 상응인자 모델을 이용하여 목록항목의 잠재적인 환경영향을 평가하였다. 정규화 인자 및 가중치부여 인자를 적용하여 무차원 단일지수로 잠재적인 환경영향값을 산출하였다.

전동차 알루미늄 의자에 대한 전과정평가를 수행한 결과, Fig. 5와 Table 6에 영향범주별 환경영향 기여도 및 주요 영향인자를 나타내었다. Fig. 5에서 알루미늄 의자는 오존층 파괴가 약 36.6%로 가장 높은 기여도를 보였으며, 무생물 자원 고갈이 19.3%, 수계생태독성이 16.2%, 지구온난화가 11%의

순으로 나타났다. 각 영향범주의 주요 영향인자를 분석한 결과, Table 6에서 볼 수 있듯이 오존층 파괴의 주요 물질은 염소(Cl₂)였으며, 이는 공정별 분석결과에 따라 원재료인 알루미늄의 제조과정에서 염소가 대다수 발생함을 확인할 수 있었다(data not shown).

마찬가지로 무생물 자원고갈은 알루미늄의 원료인 보크사이트(bauxite)와 부자재인 합성고무(polybutadiene rubber)의 제조공정에서 원유(crude oil)의 사용으로 환경영향범주 기여도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 합성고무는 PAH(polyaromatic hydrocarbon)와 HF(hydrogen fluoride)를 배출하여 수계생태독성 및 해양생태독성에 영향을 미쳤다.

Table 7. Key inventory parameter with impact category in stainless steel seat

Impact Category	Materials	CI	NI	WI	Contribution(%)
무생물 자원 고갈 (ARD)	Crude oil	6.000E-02	2.410E-06	5.566E-07	6.654
	Iron ore	3.322E-03	1.334E-07	3.082E-08	0.368
	Coal	2.071E-03	8.315E-08	1.921E-08	0.230
산성화 (AD)	Hydrogen chloride(HCl)	8.541E-01	2.146E-05	7.725E-07	9.236
	Sulfur dioxide(SO ₂)	1.828E-01	4.592E-06	1.653E-07	1.976
	Nitrogen oxides(NO _X)	6.866E-02	1.725E-06	6.211E-08	0.742
수계 독성 (FAET)	PAH	3.045E-01	8.413E-06	1.211E-06	14.482
	Nickel(Ni)	1.941E-02	5.363E-07	7.723E-08	0.923
	Vanadium(V)	1.921E-02	5.308E-07	7.643E-08	0.914
해양 독성 (MAET)	Hydrogen fluoride(HF)	1.061E+03	1.369E-05	2.108E-06	25.204
	Hydrogen fluoride(HF)	1.391E+02	1.794E-06	2.763E-07	3.303
	Vanadium(V)	1.313E+02	1.694E-06	2.609E-07	3.119
토양 독성 (TET)	Vanadium(V)	7.155E-03	6.013E-07	1.299E-07	1.553
	Nickel(Ni)	1.925E-03	1.617E-07	3.493E-08	0.418
	Arsenic(As)	1.856E-04	1.559E-08	3.368E-09	0.040
부영양화 (Eut)	COD	1.018E-03	7.774E-08	2.954E-09	0.035
	Phosphate(PO ₄ ³⁻)	3.601E-05	2.749E-09	1.045E-10	0.001
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	1.635E-05	1.248E-09	4.743E-11	0.001
지구 온난화 (GW)	Nitrous oxide(N ₂ O)	1.221E-01	2.208E-08	6.360E-09	0.076
	Methane(CH ₄)	2.586E-01	4.676E-08	1.347E-08	0.161
	HCFC-22	2.577E-06	4.660E-13	1.342E-13	0.000
인간 독성 (HT)	PAH	3.101E+00	2.081E-06	2.185E-07	2.612
	Nickel(Ni)	5.810E-01	3.899E-07	4.094E-08	0.489
	Selenium(Se)	1.166E-01	7.825E-08	8.217E-09	0.098
오존층 파괴 (OD)	Chlorine(Cl ₂)	3.067E-04	7.555E-06	2.206E-06	26.372
	Halon-1301	2.530E-06	6.231E-08	1.819E-08	0.217
	CFC-114	6.669E-08	1.642E-09	4.796E-10	0.006
광화학 산화물 생성 (POC)	Sulfur dioxide(SO ₂)	8.773E-03	7.372E-07	4.792E-08	0.573
	Toluene	1.509E-03	1.268E-07	8.242E-09	0.099
	Carbon monoxide(CO)	1.482E-03	1.245E-07	8.095E-09	0.097

Fig. 6은 스테인레스 스틸 의자의 영향범주별 환경영향기여도를 나타낸 것으로 해양생태독성이 31.87%로 가장 높은 기여도를 보였으며, 오존층 파괴와 수계생태독성이 23.27%, 16.32% 순으로 나타났으며, 산성화는 11.95%의 기여도를 보였다. Table 7에서 나타낸 각 기여도의 주요 영향인자를 살펴보면 해양생태독성의 주요 원인물질은 HF(hydrogen fluoride)이었으며, 주로 스테인레스 스틸의 원자재인 스테인리스 냉연코일의 상위공정에서 발생함을 알 수 있었다. 스테인레스 스틸의 세척공정에서 사용되는 산으로 인해 발생하는 염화수소(hydrogen chloride)가 산성화의 기여도를 높이는 주요 물질로 나타났다. 오존층 파괴의 주요 물질은 염소였으며, 공정

분석 결과 이것은 대부분 SUS의 상위공정인 원료의 제작 공정에서 발생함을 알 수 있었다. 수계생태독성의 주요 영향물질은 부자재로 사용되는 합성고무에 의한 PAH로 조사되었다.

Fig. 7은 전동차 폐놀계 FRP 의자의 영향범주별 환경영향기여도를 나타낸 것으로 오존층 파괴가 가장 높은 58.82%, 수계생태독성이 10.77%, 해양생태독성이 8.58%, 지구온난화가 6.24% 순으로 나타났다. Table 8에 나타낸 영향범주별 기여도의 주요 영향인자를 살펴보면, 오존층 파괴의 원인은 FRP 원자재 제조공정으로부터 발생하는 염소의 영향이 큰 것으로 확인되었다. 수계생태독성과 해양생태독성은 폐놀계 FRP 원자재 제조공정과 의자 제작시 수지의 적층공정 및 도

Table 8. Key inventory parameter with impact category in FRP seat

Impact Category	Materials	CI	NI	WI	Contribution(%)
부생물 자원 고갈 (ARD)	Crude oil	5.726E-02	2.300E-06	5.312E-07	4.853
	Iron ore	1.889E-02	7.587E-07	1.753E-07	1.601
	Bauxite(Al ₂ O ₃)	3.904E-03	1.568E-07	3.622E-08	0.331
산성화 (AD)	Nitrogen oxides(NO _x)	3.032E-02	7.618E-07	2.743E-08	0.251
	Sulfur dioxide(SO ₂)	1.268E-02	3.186E-07	1.147E-08	0.105
	Ammonia(NH ₃)	1.737E-04	4.365E-09	1.571E-10	0.001
수계 독성 (FAET)	PAH	2.964E-01	1.188E-06	1.179E-06	10.772
	Vanadium(V)	1.451E-02	4.010E-07	5.774E-08	0.527
	Nickel(Ni)	1.068E-02	2.951E-07	4.250E-08	0.388
해양 독성 (MAET)	Hydrogen fluoride(HF)	4.727E+02	6.100E-06	9.394E-07	8.582
	Hydrogen fluoride(HF)	1.351E+02	1.744E-06	2.685E-07	2.453
	Selenium(Se)	4.050E+01	5.227E-07	8.049E-08	0.735
토양 독성 (TET)	Vanadium(V)	1.683E-03	1.415E-07	3.056E-08	0.279
	Nickel(Ni)	7.787E-05	6.544E-09	1.413E-09	0.013
	Arsenic(As)	6.367E-05	5.350E-09	1.156E-09	0.011
부영양화 (Eut)	COD	1.534E-04	1.171E-08	4.450E-10	0.004
	Phosphate(PO ₄ ³⁻)	2.947E-05	2.250E-09	8.551E-11	0.001
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	1.561E-05	1.192E-09	4.528E-11	0.000
지구 온난화 (GW)	Carbon dioxide(CO ₂)	1.311E+01	2.372E-06	6.832E-07	6.242
	Methane(CH ₄)	2.287E-01	4.137E-08	1.192E-08	0.109
	Nitrous oxide(N ₂ O)	5.386E-02	9.741E-09	2.805E-09	0.026
인간 독성 (HT)	PAH	3.018E+00	2.026E-06	2.127E-07	1.943
	Selenium(Se)	8.950E-02	6.007E-08	6.307E-09	0.058
	PAH	6.984E-02	4.688E-08	4.922E-09	0.045
오존층 파괴 (OD)	Chlorine(Cl ₂)	9.186E-04	2.263E-05	6.607E-06	60.357
	Halon-1301	2.111E-06	5.201E-08	1.519E-08	0.139
	CFC-114	6.186E-09	1.524E-10	4.449E-11	0.000
광화학 산화물 생성 (POC)	Toluene	1.467E-03	1.233E-07	8.017E-09	0.073
	Carbon monoxide(CO)	1.414E-03	1.189E-07	7.729E-09	0.071
	Sulfur dioxide(SO ₂)	6.087E-04	5.115E-08	3.325E-09	0.030

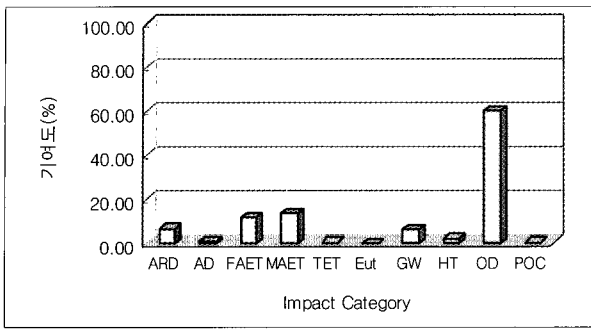


Fig. 7. Contribution of environmental impacts with impact category in FRP seat

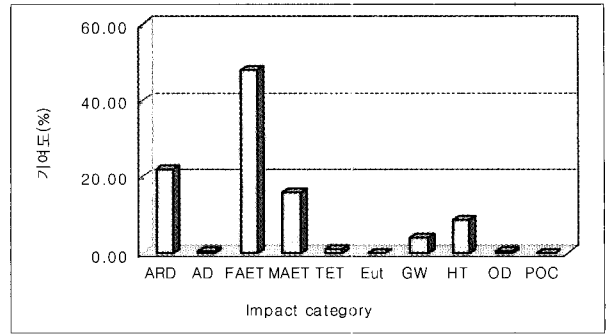


Fig. 8. Contribution of environmental impacts with impact category in plastic seat

Table 9. Key inventory parameter with impact category in plastic seat

Impact Category	Materials	CI	NI	WI	Contribution(%)
무생물 자원 고갈 (ARD)	Crude oil	1.167E+00	4.690E-05	1.083E-05	21.442
	Coal	1.666E-02	6.694E-07	1.546E-07	0.306
	Baryte(BaSO ₄)	1.553E-02	6.240E-07	1.442E-07	0.285
산성화 (AD)	Nitrogen oxides(NO _x)	1.150E-01	2.891E-06	1.041E-07	0.206
	Sulfur dioxide(SO ₂)	6.925E-02	1.740E-06	6.264E-08	0.124
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	5.382E-04	1.352E-08	4.868E-10	0.001
수계 독성 (FAET)	PAH	6.032E+00	1.666E-04	2.400E-05	47.490
	Phenol	6.125E-02	1.692E-06	2.437E-07	0.482
	Vanadium(V)	4.782E-02	1.321E-06	1.902E-07	0.377
해양 독성 (MAET)	Hydrogen fluoride(HF)	3.365E+03	4.343E-05	6.688E-06	13.236
	Vanadium(V)	3.367E+02	4.345E-06	6.691E-07	1.324
	Barium(Ba)	1.802E+02	2.325E-06	3.581E-07	0.709
토양 독성 (TET)	Vanadium(V)	1.834E-02	1.542E-06	3.331E-07	0.659
	Barium(Ba)	1.123E-03	9.440E-08	2.039E-08	0.040
	Nickel(Ni)	8.113E-04	6.818E-08	1.473E-08	0.029
부영양화 (Eut)	COD	4.564E-03	3.485E-07	1.324E-08	0.026
	Phosphate(PO ₄ ³⁻)	2.041E-04	1.558E-08	5.922E-10	0.001
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	2.381E-05	1.818E-09	6.910E-11	0.000
지구 온난화 (GW)	Carbon dioxide(CO ₂)	3.444E+01	6.228E-06	1.794E-06	3.550
	Methane(CH ₄)	2.885E+00	5.219E-07	1.503E-07	0.297
	Nitrous oxide(N ₂ O)	1.758E-01	3.181E-08	9.161E-09	0.018
인간 독성 (HT)	PAH	6.142E+01	4.123E-05	4.329E-06	8.567
	Benzene	5.278E-01	3.543E-07	3.720E-08	0.074
	Nickel(Ni)	2.449E-01	1.644E-07	1.726E-08	0.034
오존층 파괴 (OD)	Halon-1301	4.437E-05	1.093E-06	3.192E-07	0.632
	Chlorine(Cl ₂)	9.591E-07	2.362E-08	6.898E-09	0.014
	CFC-114	1.288E-07	3.174E-09	9.269E-10	0.002
광화학 산화물 생성 (POC)	Sulfur dioxide(SO ₂)	3.324E-03	2.794E-07	1.816E-08	0.036
	Carbon monoxide(CO)	2.367E-03	1.990E-07	1.293E-08	0.026
	Toluene	1.363E-03	1.146E-07	7.447E-09	0.015

장처리에 의해 발생하는 PAH가 주요 영향인자임을 알 수 있었다.

Fig. 8은 전동차 플라스틱 의자의 영향범주별 환경영향기여도를 나타낸 것으로 수계생태독성이 가장 높은 47.49%, 무생물 자원고갈이 21.44%, 해양생태독성이 13.23%. 인간 독성이 8.56%, 지구온난화가 3.5%순으로 나타났다. 플라스틱 의자는 폴리에스터 이미드를 주원료로 사용하여 제작하므로 원료물질 획득공정에서 다양한 오염물질을 배출하여 환경영향 기여도를 높이는 요인으로 작용하고 있다. Table 9에서 영향범주별 주요 영향인자를 살펴보면, 폴리에스터 이미드의 원료 제작 단계에서 수계생태독성은 PAH, 무생물 자원고갈은 폴리에스터 이미드 원료 제작공정에서 사용되는 원유(crude oil)가 주요 원인으로 작용하였다. 또한 해양생태독성과 인간 독성은 각각 동일한 공정 단계에서 발생한 HF와 PAH가 주요 영향인자임을 알 수 있었다.

3. 결론

전동차의 의자에 대한 재질별 환경영향 특성을 살펴보기 위해 전과정목록 분석 결과를 바탕으로 영향범주별 환경영향 기여도를 평가하였다. 목표 및 범위정의에서 각 대상제품별 제품시스템, 기능단위, 시스템경계, 데이터 범주 및 데이터 질을 정의하였다. 이를 토대로 대상기업의 1년간 데이터를 현장방문 및 설문서 조사 등의 방법으로 수집하였다. 수집된 데이터는 ISO 14040시리즈 요건에 맞게 전과정평가를 수행하고 이를 토대로 환경영향평가 결과를 도출하였다.

1. 알루미늄 의자의 주요 환경영향범주는 오존층파괴와 무생물자원고갈, 수계생태독성 및 해양생태독성으로서 알루미늄의 원자재 및 부자재의 제조공정에서 배출되는 물질의 환경영향에 높게 기여하는 것으로 판단된다.
2. 스테인레스 스틸 의자는 해양생태독성과 오존층 파괴, 수계생태독성이 주요 환경영향범주로 나타났으며, 스테인레스 스틸 제작시 산세척 공정에 의해 발생하는 염소가 오존층 파괴와 산성화 및 해양생태독성에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.
3. 페놀계 FRP 의자는 오존층 파괴 수계생태독성 및 해양생태독성의 기여도가 높았으며, 페놀 및 FRP 원자재의 생산공정에 의한 염소와 FRP 의자 제작시 수지적층 및 도장공정이 주로 영향을 미치는 것으로 나타났다.
4. 플라스틱 의자는 수계생태독성, 무생물 자원고갈, 해양생태독성 및 인간 독성이 주요 환경영향범주로 나타났으며, 원재료로 사용하는 폴리에스테르 이미드의 원료물질 획득

공정에서 발생하는 오염물질이 주로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구에서 제조공정에 대한 데이터는 통계자료에 기반한 현장데이터를 조사한 것으로 데이터의 신뢰성이 높으나, 원자재 및 부자재 등의 상위공정에 대한 데이터는 외국의 데이터베이스 및 문헌 데이터를 활용함으로써 향후 국내에 전과정목록 데이터베이스의 추가 구축을 통하여 데이터베이스의 신뢰성을 제고시킬 필요가 있다. 또한 의자의 재질에 따른 환경부하 특성을 살펴봄으로써 전동차 설계시에 친환경성을 고려하기 위한 근거자료로 활용가능하다.

후 기

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김상용외 공역 (1998), "환경 전과정평가", 시그마프레스
2. 김용기, 이재영, 목재균, 정인태 (2005), "간략화 전과정 평가(S-LCA) 기법을 이용한 전동차 구체의 환경성 평가", 한국철도학회논문집 제8권 제6호.
3. 이재영, 김용기, 윤희택, 양윤희 (2005), "간략화된 전과정 평가를 이용한 전동차 대차의 환경영향 진단", 한국철도학회논문집 제8권 제6호.
4. Hiroshi UEDA, Taro Tsujimura, Hideyuki Takai and Manabu Emoto (1999), "Fundamental Investigation of LCA of Cross Tie", QR of RTRI, Vol.40, No.4.
5. Toru Miyauchi, Takafumi Nagatomo, Taro Tsujimura and Hiroshi Tsuchiya, "Fundamental Investigation of LCA of Shinkansen Vehicles", QR of RTRI, Vol.40, No.4.
6. Naoki AIHARA, Taro Tsujimura (2002), "Basic Study on Environmental Aspect of Tokaido Shinkansen Line by LCA Methods", RTRI Report, Vol.16. No.10.
7. Kun-Mo Lee, Atsushi Inaba (2004), "Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series", Asia Pacific Economic Cooperation, Ajou University, Korea.
8. (1997), "ISO 14040, Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and frame work", ISO.
9. (1998), "ISO 14041, Environmental Management-Life Cycle Assessment. Goal and scope definition and inventory analysis", ISO.
10. (2000), "ISO 14042, Environmental Management-Life Cycle Assessment-Impact Assessment", ISO.