

전과정평가기법을 활용한 폐전선 재자원화 공정의 환경성 평가

장미선* · 서효수* · 박희원* · 황용우** · §강홍윤*

*인하대학교 일반대학원 글로벌산업·환경융합전공, **인하대학교 환경공학과

Environmental Analysis of Waste Cable Recycling Process using a Life Cycle Assessment Method

Mi-Sun Jang*, Hyo-Su Seo*, Hee-Won Park*, Yong-Woo Hwang** and §Hong-Yoon Kang*

*Program in Global Industrial & Environmental Technology Convergence, Graduate School, Inha University

**Department of Environmental Engineering, Inha University

요 약

전기·전자·통신 산업의 발전은 총 에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중을 증가시켰다. 2021년 「신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법」의 시행으로, 신재생에너지의 의무공급비율이 확대될 전망이며, 해당 산업에서 사용되는 케이블의 교체 및 폐기단계에서 발생하는 폐전선의 양도 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 전과정평가(LCA)기법을 통해 폐전선 재자원화 공정이 환경에 미치는 영향을 정량화하는 것을 목적으로 하였다. 연구결과, 폐전선 내 함유된 접착제의 함량이 높을수록 미세먼지와 온실가스의 발생량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 10가지 환경영향범주에 가중치를 부여한 결과, 해양생태독성(MAETP)과 인간독성(HTP)에서 가장 환경영향이 큰 것으로 확인되었다. 두 영향범주의 주된 원인은 폐전선에 포함되는 접착제(Glue)와 이를 세척하기 위해 사용되는 세척제의 성분인 헵탄(Heptane), 에탄올(Ethanol)로 파악되었다. 따라서 전선의 생산과정에서 접착제의 사용을 자제하고, 재자원화 공정에서 사용되는 폐전선 세척액의 사용량 감축 또는 대체물질의 사용을 통해 환경부하를 감축할 필요성이 있다고 판단된다.

주제어 : 전과정평가(LCA), 폐전선, 미세먼지, 온실가스, 환경부하

Abstract

The development of the electrical, electronic, and telecommunication industries has increased the share of electricity in total energy consumption. With the enforcement of the Act on the Promotion of the Development, Use, and Diffusion of New and Renewable Energy in 2021, the mandatory supply ratio of new and renewable energy is expected to expand, and the amount of waste cables generated in the stage of replacing and discarding cables used in the industry is also expected to increase. The purpose of this study was to quantify the environmental burden of waste cable recycling through the life cycle assessment (LCA) method. The results showed that the higher the amount of glue contained in the waste cable, the greater was the amount of fine dust and greenhouse gases generated. In addition, by assigning weights to 10 environmental burden items, it was confirmed that the marine aquatic eco-toxicity potential (MAETP) and human toxicity potential (HTP) had the greatest environmental burden. The main causes were identified as heptane and ethanol, which were the glue contained in the waste cable and the cleaning solutions used to remove them. Therefore, it is necessary to refrain from using glue in the cable

· Received : December 6, 2021 · Revised : January 10, 2022 · Accepted : January 14, 2022

§ Corresponding Author : Hong-Yoon Kang (E-mail : kanghy@inha.ac.kr)

Program in Global Industrial & Environmental Technology Convergence, Inha University, 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. 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.

production process and reduce the environmental burden by reducing the use of waste cable cleaning solutions used in the recycling process or using alternative materials.

Key words : Life Cycle Assessment (LCA), Waste Cable, Fine Dust, Green House Gases (GHG), Environmental Burden

1. 서 론

전기·전자·통신 산업의 발전은 국민 생활 수준의 향상과 국가 경제를 발전시켰으며 총 에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중을 증가시켰다. 또한, 2021년 「신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법」에 의하여 신재생에너지의 의무공급비율이 확대되었기 때문에 해당 산업에서 사용되는 케이블 제품의 교체 및 폐기단계에서 발생하는 폐전선의 발생량도 증가할 것으로 예상된다¹⁻⁴⁾.

2019년 기준 전선의 출고량은 157,133ton으로 집계되나 국내의 폐전선 배출량에 대한 자료나 조사는 체계적인 관리제도가 미비하여 현재까지 폐전선 발생량에 대한 정확한 집계는 어려운 실정이다. 전기·전자·통신 산업 등의 수명이 다한 전선에서 유효한 자원을 회수하여 재자원화하는 것은 자원순환 분야에서 중요한 문제이며 재자원화를 위해서는 폐전선을 구성하는 물질에 대한 환경 영향 분석이 선행되어야 한다⁵⁾.

일반적으로 폐전선의 구성은 구리 60~80%, 피복 20~40%의 비율로 이루어져 있다. 피복류의 한 종류인 PVC는 전선에 따라 중량 기준으로 30~70% 포함되어 있으며 연간 약 15만 ton이 배출되어 수거되고 있다^{6,7)}.

폐전선(전력·통신선)은 플라스틱 폐기물 회수·재활용 자발적 협약 대상 품목에 해당하며 2016년 기준 재활용률은 68%로 조사되었다⁸⁾. 현재 폐전선을 구성하는 구리, PVC, PE 등은 모두 재활용되고 있으므로 배출되는 폐전선은 모두 재활용 가능한 것으로 간주하고 있다^{7,9)}.

그러나 전선의 심지를 구성하는 주요 성분인 구리는 주기율표 11족 4주기의 구리족 원소에 속하며, 원소기호는 Cu로 비교적 무른 금속이기 때문에 가공하기 쉬우며 전성과 연성이 풍부하고 은(Silver) 다음으로 열과 전기가 잘 통해 실생활에 널리 이용되고 있고¹⁰⁾, 전력선의 피복류 PVC는 소각폐기 시, 환경오염물질이 발생하므로 적절한 처리가 요구된다^{11,12)}.

현재까지 폐전선을 재자원화하기 위한 폐전선의 수거 및 재활용 처리 관리제도가 미흡하였고, 개발된 재활용

기술의 환경 영향에 대한 별도의 관련 규정이 없어 정량화를 통한 체계적인 관리가 어려운 실정이다^{13,14)}.

이에 본 연구는 전과정평가(LCA) 기법을 통해 전과정 환경영향평가를 수행하여 폐전선 재자원화 공정이 환경에 미치는 영향을 정량화하는 것을 목적으로 하였다.

2. 폐전선의 재자원화 공정

폐전선 재활용 기술은 크게 폐전선 소각 기술, 폐전선 화학적 처리기술, 폐전선 물리적 분리기술의 3가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로, 폐전선 소각 기술은 소각과정에서 합성수지의 종류에 따라 다이옥신, 유독물질 등이 발생하여 후처리가 필요하며, 피복재의 재활용은 불가능하다. 두 번째로, 폐전선 화학적 처리기술은 화학약품을 이용하여 피복을 처리하는 과정에서 피복의 처리문제와 회수율이 낮은 문제가 있다. 끝으로, 폐전선 물리적 분리기술은 투입, 고압세척, 파쇄, 분쇄, 건조, 선별과정으로 구성되어 있다^{3,15,16)}. 그러나, 폐전선 소각 기술과 폐전선 화학적 처리기술은 폐전선 내의 구리 회수에만 초점이 맞추어져 있으며 피복의 회수 및 재활용은 고려되지 않았다. 반면에 폐전선 물리적 분리기술은 타 기술대비 간단한 공정으로 이루어져 있으며 연소과정 및 화학적 처리 과정이 없어 비교적 환경친화적인 기술이라고 볼 수 있다. 또한, 구리뿐만 아니라 피복재인 PVC 및 PE도 회수할 수 있어 부가가치를 낼 수 있는 장점이 있다.

이에 본 연구는 폐전선의 피복을 물리적으로 분리하는 기술을 활용한 재자원화 공정을 다루고자 하며, 폐전선의 재자원화 공정의 단계는 Fig. 1과 같다.

- ① Input(투입) : 원료 물질인 폐전선 및 재자원화 공정에 필요한 물질과 유틸리티가 투입되는 과정
- ② High pressure Washing(고압세척) : 폐전선에 세척제를 분사하여, 세척하는 과정
- ③ Crushing(분쇄) : 세척한 폐전선을 약 1mm~3mm 사이로 분쇄하는 과정

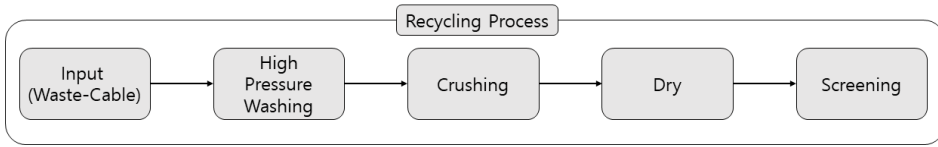


Fig. 1. Recycling process of waste cables.

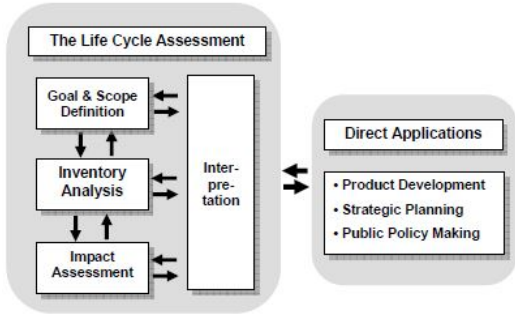


Fig. 2. Procedure of the study¹⁸⁾.

- ④ Dry(건조) : 세척 및 분쇄된 전선을 건조하는 과정
- ⑤ Screening(선별) : 분쇄·건조 후의 폐전선을 구리와 플라스틱으로 분리·선별하는 과정

3. 연구방법

본 연구는 Fig. 2에 나타난 절차에 따라 전과정평가기법(LCA)을 이용하여 수행하였다. 먼저, 연구대상을 선택하고, 선택한 대상에 대한 기능 단위, 시스템 경계 등의 범위를 설정하였다. 다음 단계로 설정된 범위 및 대상에 대한 데이터를 수집하여, 이에 대한 영향평가를 수행하였다. 마지막으로 산출한 영향평가 값의 해석을 통해, 폐전선 재활용 공정에서 발생하는 환경 영향을 정량화하여 분석하였다¹⁷⁾.

4. 연구결과 및 고찰

4.1. 연구목적 정의

본 연구에서는 폐전선의 기존 폐기공정 대비 재활용화 공정에서 발생하는 온실가스 배출 저감효과의 비교·분석을 위해 전과정평가 기법을 이용하여 연구를 수행하였다.

연구를 통해, 노후화로 인해 발생한 폐전선뿐만 아니라 제조·생산과정에서 발생하는 불량전선을 포함하는 폐전선의 재활용화 공정에서 발생하는 환경 영향을 정량화하

Table 1. Process, Product, Function, Functional unit and Reference flow

Process	Product	Function	Functional unit	Reference flow
Re-resource	Waste-Cable	Recycling of waste-cable	Recycling 1kg waste-cable	1kg Waste-Cable

였으며, 정량화한 데이터를 평가·분석하는 것을 이 연구의 목적으로 하였다.

4.2. 연구 범위 정의

4.2.1. 대상시스템의 기능

전과정평가에서 ‘기능(Function)’은 특정 제품이 제공하는 서비스를 말한다. 본 연구의 대상인 폐전선은 수명이 종료된 전선과 생산과정에서 발생하는 불량전선을 대상으로 하였으며, 특히 발생량이 가장 많은 전력·통신선을 주요대상으로 하였다. 여기서 기능은 폐전선의 재활용화로 정의하였다.

4.2.2. 기능 단위 및 기준 흐름

‘기능 단위(Function Unit)’는 규명된 기능을 정량화하는 것이고 ‘기준 흐름(Reference Flow)’은 주어진 기능 단위를 수행하는데 필요한 제품의 양을 의미한다. 본 연구에서 기능 단위는 Table 1에 나타난 바와 같이 폐전선 1kg 재활용화, 기준 흐름은 폐전선 1kg으로 정의하였다.

4.2.3. 시스템 경계

본 연구는 원료가 되는 폐전선을 투입하여, 고압세척, 분쇄, 건조공정을 거쳐 구리와 플라스틱(PVC, PE)을 선별하기까지의 공정을 시스템 경계로 하였으며, 각 단계에 대한 데이터의 수집에 한계가 있어, 해당 단계를 하나의 공정으로 설정하여 데이터를 산출하였다.

4.2.4. 데이터 품질 요건

본 연구의 시간적 경계는 폐전선을 재활용화하는 업체

의 2021년 공정운전데이터를 대상으로 하였다. 또한, 목록분석에서 사용된 유틸리티 정보는 국가 데이터베이스를 활용하였다.

4.2.5. 가정 및 제한 사항

- ① 문헌 조사 결과 전선의 5%가량이 접착제임을 확인하였다. 그러나, 재자원화 업체의 운전데이터의 경우, 접착제의 양을 따로 산출하지 않아, 폐전선의 접착제 함량을 0%, 2%, 5%로 나누어 환경 영향을 정량화한 후, 평균값을 준용하였다.
- ② 재자원화 공정을 통해 산출되는 구리의 양은 폐전선마다 차이가 있다. 따라서, 재자원화 업체에서 산출한 데이터를 토대로 재자원화되는 폐전선의 양 중, 60%가 구리라고 가정하였다.
- ③ 공정별 세분화되지 않은 운전데이터로 인해, 전체 System을 하나의 공정으로 간주하여 목록분석 및 전과정평가를 수행하였다.

4.2.6. 영향범주 및 영향평가 방법론

본 연구에서는 폐전선의 재자원화 공정에서 산출되는 환경 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위해, 환경성적표지 영향평가 방법론을 이용하여 영향평가를 수행하였으며, 미세먼지 발생량과 지구온난화(GWP) 영향범주에 대한 환경 영향을 평가하였다.

4.3. 전과정 목록분석

본 연구에서는 폐전선의 재자원화를 통해, 구리 및 플라스틱을 추출하는 공정에서 발생하는 환경 영향에 대해 분석하였다. 목록은 Table 2에 나타난 재자원화 업체의 운전데이터와 국내의 LCI DB를 토대로 작성하였으며, 접착제 함량에 따라 0%, 2%, 5%의 세 가지 시나리오로 나누어 Tables 3~5에 나타내었다.

또한, 공정 투입물 중 폐전선 세척제는 혼합된 형태의 물질로, 물질안전보건자료에 명시된 헵탄(Heptane), 에탄올(Ethanol), 이소프로필 알코올(Isopropyl alcohol), 프로필 아세테이트(Propyl acetate) 4개의 성분으로 구분하여 목록분석을 수행하였으며, 함량은 세척제 40kg을 기준으로 각각 65%, 20%, 10%, 1%를 적용하여 투입량 데이터를 작성하였다.

먼저, 접착제의 함량을 0%로 가정한 첫 번째 시나리오

Table 2. LCI DB and Source

LCI DB	Source
Electricity	MTIE
Industrial water	MOE
Glue	MOE
Heptane	Ecoinvent
Ethanol	MOE
Isopropyl alcohol	MTIE
Propyl acetate	Ecoinvent

Table 3. [Scenario 1] Glue free (0% Glue-contained) content

Input/Output	Material	Value	Unit
Input	Waste Cable	2,000	kg
	Electricity	30	kWh
	Industrial water	2,000	kg
	Glue	0	kg
	Heptane	26	kg
	Ethanol	8	kg
	Isopropyl alcohol	4	kg
	Propyl acetate	0.4	kg
Output	Copper	1,200	kg
	PVC	560	kg
	PE	240	kg
	Waste water	2,038.4	kg

의 목록데이터를 Table 3에 나타내었다. 본 시나리오를 포함한 모든 시나리오의 투입량은 일정하며, 재자원화 공정에서 분리되는 접착제로 인하여 산출량에서 차이가 발생한다. 이에 따라, 접착제 양을 제외한 산출물질의 비율을 공정데이터를 토대로 분석한 결과 Copper(60%), PVC(28%), PE(12%)로 확인되었다.

두 번째로, 접착제의 함량을 2%로 가정한 시나리오의 목록데이터를 Table 4에 나타내었다. 투입량은 기존과 같으며, 접착제의 양을 제외한 산출물질의 비율을 공정데이터를 토대로 분석한 결과, Copper(60%), PVC(26.8%), PE(11.2%)로 확인되었다. 무게로 환산한 산출량을 아래 표에 작성하였으며, 접착제 성분의 경우 PVC 및 PE에 포함되어 있어서 접착제가 포함되지 않은 시나리오 대비, 두 가지 산출물에서 감소가 발생하였다.

마지막으로, 접착제의 함량을 5%로 가정한 시나리오의 목록데이터를 Table 5에 나타내었다. 투입량은 기존과

Table 4. [Scenario 2] 2% Glue-contained content

Input/Output	Material	Value	Unit
Input	Waste Cable	1,960	kg
	Electricity	30	kWh
	Industrial water	2,000	kg
	Glue	40	kg
	Heptane	26	kg
	Ethanol	8	kg
	Isopropyl alcohol	4	kg
	Propyl acetate	0.4	kg
Output	Copper	1,200	kg
	PVC	536	kg
	PE	224	kg
	Waste water	2,078.4	kg

Table 5. [Scenario 3] 5% Glue-contained content

Input/Output	Material	Value	Unit
Input	Waste Cable	1,900	kg
	Electricity	30	kWh
	Industrial water	2,000	kg
	Glue	100	kg
	Heptane	26	kg
	Ethanol	8	kg
	Isopropyl alcohol	4	kg
	Propyl acetate	0.4	kg
Output	Copper	1,200	kg
	PVC	490	kg
	PE	210	kg
	Waste water	2,138.4	kg

같으며, 접착제의 양을 제외한 산출물질의 비율을 공정데이터를 토대로 분석한 결과, Copper(60%), PVC(24.5%), PE(10.5%)로 확인되었다. 무게로 환산한 산출량을 아래 표에 나타내었으며, 접착제 성분의 경우 PVC 및 PE에 포함되어 있으므로 접착제가 포함되지 않은 시나리오 1과 대비, 두 가지 산출물에서 감소가 발생하였다.

4.4. 전과정 영향평가

전과정 목록분석을 통해 수집한 데이터를 바탕으로 전과정 영향평가를 수행하였다. 영향평가는 환경성적표지 영향평가 방법론을 이용하며, 접착제의 함량에 따라 세

[Unit: kg]

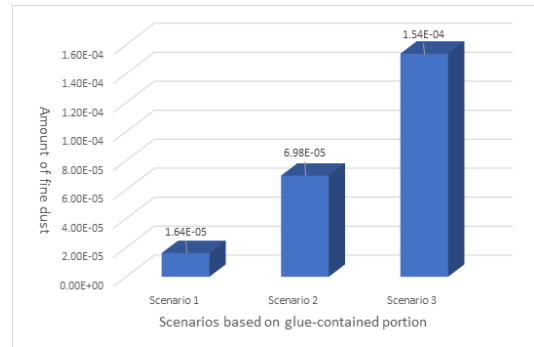


Fig. 3. Fine dust generation versus 3 scenarios(different glue-contained portion).

가지 시나리오로 나누어, 재자원화 공정으로 인해 발생하는 미세먼지 및 온실가스에 대해 규명하였다.

4.4.1. 미세먼지

Fig. 3은 시나리오별 재자원화 공정에서 발생하는 미세먼지 양을 비교한 결과이다. 시나리오별 미세먼지 분석 결과, 시나리오 1은 1.64×10^{-5} kg, 시나리오 2는 6.98×10^{-5} kg, 시나리오 3은 1.54×10^{-4} kg의 미세먼지가 발생하는 것으로 나타났으며, 이를 통해, 접착제 함량비율에 따른 미세먼지 발생 정도의 차이를 확인할 수 있었다.

4.4.2. CO₂ 배출량

Fig. 4와 Table 6에서는 폐전선 재자원화 공정에 투입되는 물질별 CO₂ 배출량을 시나리오별로 정리하여 비교하였다. CO₂값은 특성화를 통해 산출한 지구온난화(Global Warming Potential, GWP) 영향범주로부터 확인하였으며, 이를 통해, 접착제 및 폐전선 세척에 사용되는 세척액으로 인해 CO₂의 발생량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4.4.3. 가중치 부여

가중화는 각각의 영향범주가 환경 전반에 미치는 영향을 고려하여 영향범주 간의 상대적 비중을 평가하는 것이며, 가중치 결과는 환경성적표지 영향평가 방법론을 통해 산출한 10가지 환경 영향범주(자원고갈; Abiotic resource Depletion Potentials(ADP), 탄소발자국; Global Warming Potentials(GWP), 오존층 영향; Ozone layer Depletion

[Unit: kg CO₂-eq/kg]

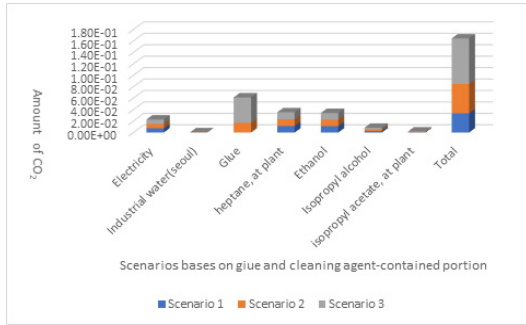


Fig. 4. Emissions caused by 7 different materials in 3 scenarios.

Table 6. CO₂ Emissions by 3 different scenarios(Unit: kg CO₂-eq/kg)

Material	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Electricity	7.43E-03	7.58E-03	7.82E-03
Industrial Water	1.14E-04	1.16E-04	1.20E-04
Glue	0.00E+00	1.72E-02	4.42E-02
Heptane	1.15E-02	1.18E-02	1.21E-02
Ethanol	1.11E-02	1.13E-02	1.17E-02
Isopropyl alcohol	2.73E-03	2.78E-03	2.87E-03
isopropyl acetate	6.17E-04	6.30E-04	6.50E-04
Total	3.35E-02	5.14E-02	7.95E-02

Potentials(ODP), 산성화; Acidification Potentials(AP), 부영양화; Eutrophication Potentials(EP), 광화학스모그; Photochemical Oxidant Creation Potentials(POCP), 수계 생태독성; freshwater aquatic ecotoxicity potential(FAETP), 해양생태독성; Marine aquatic ecotoxicity potential(MAETP), 토양생태독성; Terrestrial ecotoxicity potential(TETP), 인간독성; human toxicity potential(HTP))에 대한 비교분석을 통해 Fig. 5와 Table 7에 나타내었다. 분석을 위해, 영향 평가를 완료한 시나리오 3가지를 산술평균하였으며, 분석 결과 해양생태독성(MAETP)과 인간독성(HTP)에서 가장 많은 영향이 발생하는 것으로 확인되었다.

4.5. 결과해석

결과해석은 목록분석 및 영향평가를 통해 산출한 데이터를 목적과 범위에 맞게 해석하는 단계로, 데이터의 특성과 품질을 평가하고 개선한다.

접착제의 함량에 따라 세 가지 시나리오로 나누어, 발

[Unit: kg eq/person-yr]

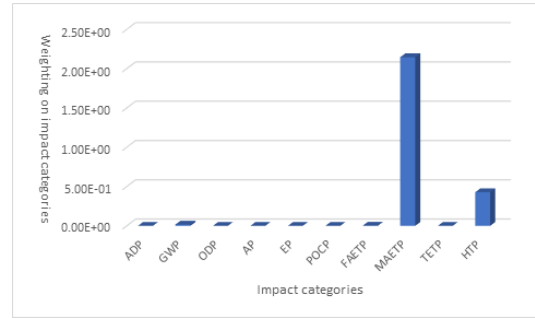


Fig. 5. Weighted impacts by 10 environmental impact categories.

Table 7. Environmental impacts caused by waste cable

Impact factor	Scenario
ADP	1.77E-04
GWP	1.58E-02
ODP	2.91E-09
AP	8.47E-06
EP	6.28E-05
POCP	9.30E-06
FAETP	1.65E-03
MAETP	2.15E+00
TETP	9.06E-06
HTP	4.28E-01
Total	2.59E+00

생한 미세먼지와 온실가스의 영향을 규명한 결과, 접착제의 함량이 가장 높은 시나리오 3에서 가장 많은 영향이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 영향평가를 완료한 시나리오 세 가지를 산술평균하여, 가중치를 부여한 결과, 해양생태독성(MAETP)과 인간독성(HTP) 영향범주에서 가장 많은 환경 영향이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

해양생태독성(MAETP)의 경우, Table 8에 나타난 수치와 같이 헵탄(47%), 접착제(glue 33%), 에탄올(17%), 이소프로필 아세테이트(2%)순으로 환경 영향을 발생시키는 것으로 확인되었다.

또한, 인간독성(HTP)의 경우, Table 9에 나타난 수치와 같이 에탄올(99.75%), 헵탄(0.16%), 접착제(0.09%) 순으로 환경 영향을 발생시키는 것으로 확인되었다.

폐전선은 주요 심지 부분인 구리와 피복재, 그리고 두

Table 8. Marine aquatic ecotoxicity potential(MAETP)

	Ethanol	Glue	Electricity	Heptane	Industrial water	Isopropyl acetate	Isopropyl alcohol
Scenario 1	3.63E-01	-	5.45E-04	9.92E-01	6.24E-03	4.61E-02	4.87E-04
Scenario 2	3.70E-01	5.90E-01	5.56E-04	1.01E+00	6.37E-03	4.70E-02	4.97E-04
Scenario 3	3.82E-01	1.52E+00	5.74E-04	1.04E+00	6.57E-03	4.85E-02	5.12E-04
Mean	3.72E-01	7.04E-01	5.58E-04	1.02E+00	6.39E-03	4.72E-02	4.99E-04
Ratio(%)	17%	33%	0%	47%	0%	2%	0%

Table 9. Human Toxicity Potential(HTP)

	Ethanol	Glue	Electricity	Heptane	Industrial water	isopropyl acetate	Isopropyl alcohol
Scenario 1	4.17E-01	-	1.74E-07	6.65E-04	3.21E-07	1.95E-05	5.10E-06
Scenario 2	4.25E-01	3.12E-04	1.78E-07	6.79E-04	3.27E-07	1.99E-05	5.21E-06
Scenario 3	4.39E-01	8.04E-04	1.83E-07	7.00E-04	3.37E-07	2.05E-05	5.37E-06
Mean value	4.27E-01	3.72E-04	1.78E-07	6.81E-04	3.28E-07	1.99E-05	5.23E-06
Ratio(%)	99.75%	0.09%	0.00%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%

부분을 연결하는 접착제로 구성되어 있다. 현재, 접착제가 포함된 전선의 경우, 접착제 내의 기름 성분으로 인해 재활용에 어려움이 있으므로 사용량을 줄여나가고 있는 것으로 알려져 있으나, 기존에 생산된 전선은 여전히 접착제 성분이 포함된 상태이다. 따라서, 폐전선의 재자원화 시, 고압세척을 통해 접착제를 제거하는 공정을 거치는데, 이때 사용되는 세척제의 성분인 에탄올과 헵탄이 주요한 환경부하를 발생시키는 원인으로 파악되었다. 따라서 해당 물질에 대한 사용을 줄이거나 대체물질 사용 등을 통해, 환경부하를 감축하려는 노력이 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 전선의 재자원화 공정에서 산출되는 환경 영향을 평가하기 위해 TOTAL Software ver. 6.6.0을 활용하였으며, 미세먼지 및 지구온난화를 포함한 10개 환경 영향범주의 환경성에 대해 연구하였다.

연구결과, 미세먼지는 접착제의 함량이 큰 시나리오일수록 높게 나타났으며, 온실가스의 양 또한 접착제(Glue)의 함량과 비례함을 확인할 수 있었다. 또한, 가중화 결과, 10가지 환경 영향범주 중 해양생태독성(MAETP)과 인간독성(HTP)에서 가장 큰 환경부하가 발생하는 것을 확인

할 수 있었으며, 해당 영향범주들의 주된 원인은 폐전선에 포함되는 접착제(Glue)와 이를 제거하기 위해 사용되는 세척제의 성분인 헵탄(Heptane)과 에탄올(Ethanol)로 파악되었다. 따라서 전선의 생산과정에서 접착제의 사용을 자제하고, 재자원화 공정에서 사용되는 폐전선 세척액의 사용량 감축 또는 대체물질의 사용을 통해 환경부하를 감축할 필요성이 있다고 판단된다.

본 연구의 한계로는 폐전선 재자원화 공정에 투입되는 에너지 및 물질에 대한 자료가 부족하여 국내 폐전선의 재자원화 공정 실정에 맞게 선행연구의 데이터를 가공하여 사용한 것과 공정별로 세분화하여 영향평가를 수행하지 않은 점이다. 따라서, 향후 폐전선 물질구성비율에 대한 추가연구 및 공정별로 세분화한 영향평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0008421, 2021년 산업전문인력역량강화사업).

References

1. Marie Bonnin, Catherine Azzaro-Pantel, Serge Domenechm, et al., 2015 : Multicriteria optimization of copper scrap management strategy, Resources, Conservation and Recycling, 99, pp.48-62.
2. Liqun Li, Gongqi Liu, Dean Pan, et al., 2017 : Overview of the recycling technology for copper-containing cables, Resources, Conservation and Recycling, 126, pp.132-140.
3. Yong Jung, Tae-Hyo Im, Joon-Oh Jung, 1994 : Recovery of Copper from Waste Wire Using Pyrolysis, KSWM, 12(1), pp.93-98.
4. Sun-Kyu Choi, Kyu-Young Lee, Young-Ho Moon, et al., 2021 : A Study on the New Power Distribution Voltage Insulation Design for Large-Scale Distributed Power Acceptance, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 653-654.
5. I. Janajreh, M. Alshrah, S. Zamzam, 2015 : Mechanical recycling of PVC plastic waste streams from cable industry: A case study, Sustainable Cities and Society, 18, pp.13-20.
6. Cansu Celik, Cuneyt Arslan, Fatma Arslan, 2019 : Recycling of Waste Electrical, Science & Engineering International Journal, Cables, 3(4), pp. 107-109.
7. Hi-Sun Lee, Jeong-Hun Woo, Jae-Chun Lee, 2014 : The Activation Plan of Resource Circulation of Copper through Analysis of Waste Resources Circulation Flow, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 23(2), pp.26-36.
8. Hi-Sun Lee, 2012 : A Study on the Improvement of Circulation Rate of Metal Resources through Material Flow Analysis, Korea Environment Institute, pp.63-66.
9. Woo Hyun Jung, Ki Bok Chang, Hyun Ju Moon, et al., 2012 : Voluntary Agreements in Korea: Current Status and Effective Utilization, Korea Environment Institute, pp. 84-86.
10. Hong-Yoon Kang, 2018 : Material Flow Analysis through Whole Life Cycles of 63 Metal Resources, Center for Resources Information and Management, KITECH, p.31.
11. Tai-Gyun Kim, 2019 : Copper recovery by reverse flotation of Cu-bearing plastic waste generated through air-table separation of the end-of-life copper wires, University of Science and Technology, Master's thesis.
12. Yong-Sik Jung, Yoon-Hyun Cho, Soon-Deok Kwon, et al., 2016 : A Study on the Copper and Plastic Resin Recovery from Waste Thin Wires, Proceedings of the 2016 Autumn Conference of the Korea Society of Waste Management, p.36.
13. Chae-Gun Phae, Oh-Jin Jung, 2012 : Investigation on Material Flow Diagram for PVC(poly vinyl Chloride) Profile Based Production, Generation, Recycling and Treatment, Elastomers and Composites, 47(2), pp.129-140.
14. KEWIC, 2019 : Status of achieving goals for 2019 voluntary agreements(1~4Q), last modified Mar 12, 2020, accessed Nov 1, 2021, http://www.koreacable.or.kr/WZ_CMS/board/view.asp?seq=50&page=2&tbcode=BOARD11&code=&ViewType=
15. Sa Xiao, Wei Xiong, Lijun Wang, et al., 2015 : The Treatment Technology of Recycling Scrap Wire and Cable, Proceedings of the 2015 4th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering(ICSEEE 2015), pp.500-503, Atlantis Press, <https://www.atlantispress.com/proceedings/icseee-15/25849765>.
16. Mu-Jung Lee, Min-Young Kim, Jae-Ik Kim, 1996 : Recycling of Used Electrical Wire and Cable, The Polymer Society of Korea, pp.626-630.
17. Ka-Young Shin, Seong-Yu Lee, Hong-Yoon Kang, 2021 : Analysis of Resource and GHG Reduction by Recycling Palladium in Plated Spent Catalyst Solution, Resources Recycling, 30(3), pp.47-54.
18. ISO 14040, 1997.

장미선

- 공주대학교 사범대학 환경교육과 학사
 - 현재 인하대학교 글로벌산업환경융합전공 석사과정
-

서효수

- 한국교통대학교 환경공학과 학사
 - 현재 인하대학교 글로벌산업환경융합전공 석사과정
-

박희원

- 인천대학교 환경공학과 학사
 - 현재 인하대학교 글로벌산업환경융합전공 석사과정
-

황용우

- 일본 동경대학교 도시공학 박사
- 한국전과정평가학회 회장
- 한국환경경영학회 부회장
- 산업부 자체평가위원회 평가위원
- 현재 인하대학교 환경공학과 교수

강홍윤

- The University of Queensland 토목환경공학 박사
 - (前)한국생산기술연구원 수석연구원
 - 현재 인하대학교 대학원 글로벌산업환경융합전공 교수
 - 현재 한국환경경영학회 회장
 - 당 학회지 제28권 4호 참조
-