

한국과 유럽의 신선식품용 EPS박스에 대한 전과정 환경영향평가

김수연 · CHAROENSRI KORAKOT · 신양재* · 박현진

고려대학교 생명공학과

Environmental Impact Assessment of EPS Box for Fresh Food in Korea and Europe

SY Kim, CHAROENSRI KORAKOT, YJ Shin*, and HJ Park

Dept. of Biotechnology, Korea University

Abstract Expanded polystyrene (EPS) is the most commonly used fresh food refrigeration insulation in Korea and Europe. Moreover, as the use of disposable packaging materials has increased significantly along with non-face-to-face delivery services since the COVID-19 crisis, social issues related to waste disposal are also being raised. Therefore, in this study, the life cycle of EPS boxes for fresh food is focused on the factors that have a large difference between incineration and landfill including recycling in Europe and Korea in the disposal process after use, and raw materials and energy in the manufacturing process, which account for a large portion of the environmental impact value. We tried to compare the environmental impact of evaluation. Overall, the raw material production stage, box manufacturing stage, and packaging stage have similar processes in Europe and Korea, but unlike Europe, Korea, which lacks landfills and incineration facilities, has focused on expanding the recycling rate. It was necessary to do an environmental impact assessment. Data affecting the environment were derived based on 2019 and 2020 data for Korea and 2017 and 2020 data for Europe. In order to predict the future environmental impact assessment, assumptions about the disposal rate in 2025 and 2030 were introduced and evaluated. As a result of this study, it was found that the raw material production stage of EPS boxes, which have similar processes in both Korea and Europe, has the greatest effect on the global warming effect of Korean EPS boxes. However, Korea, which has a relatively high recycling rate in the disposal process compared to incineration and landfill, showed better environmental performance than Europe in most impact indicators except freshwater eutrophication. In particular, Korea has increased the overall recycling rate compared to Europe by replacing various recyclable materials such as building materials and sundries with XPS (extruded polystyrene) recycled materials. In conclusion, it was found that increasing the recycling rate rather than incinerating and landfilling EPS boxes for fresh food in the domestic EPS industry has relatively less environmental load compared to Europe.

Keywords EPS, Fresh food, Environmental impact, Recycling system, Life cycle assessment

서 론

EPS(expanded polystyrene)는 한국에서 식품 콜드체인 단열소재로 가장 많이 쓰이는 소재로 가격측면에서 매우 저렴하여 택배 등의 1회용 포장재로 널리 사용되고 있지만, 최근 정부의 환경정책에 의해 EPS사용량에 따라 기업 등 사용자는 많은 환경분담금을 내야하는 어려움이 있다.¹⁾ 특

히, COVID-19 발생 이후 비대면 배달서비스의 급증에 따라 EPS와 같은 일회용 포장재의 사용 문제가 사회적 이슈로 대두되고 있다²⁾ 이점은 생선 박스 등 식품포장에 사용되는 EPS의 비율이 전체 EPS 포장 중 25%로 상당량을 차지하고 있는 독일을 포함한 유럽의 경우도 마찬가지 상황이다³⁾. 한편, 재활용량에 있어 유럽은 33%(2017)인데 비해, 한국의 경우 2021년 한국환경공단의 통계에 따르면 EPS의 출고량 대비 재활용량은 2015년 25,334톤(82.8%), 2018년 36,792톤(84.2%), 2020년 50,148톤 (98.0%)로 유럽에 비해 높은 재활용률을 나타내고 있으며 지속적으로 증가하고 있다^{4,5)}. 한국의 경우 유럽국가들에 비해 상대적으로

*Corresponding Author: YJ Shin
Dept. of Biotechnology, Korea University
Tel: +82-2-3290-3759
E-mail: shinyj5912@gmail.com

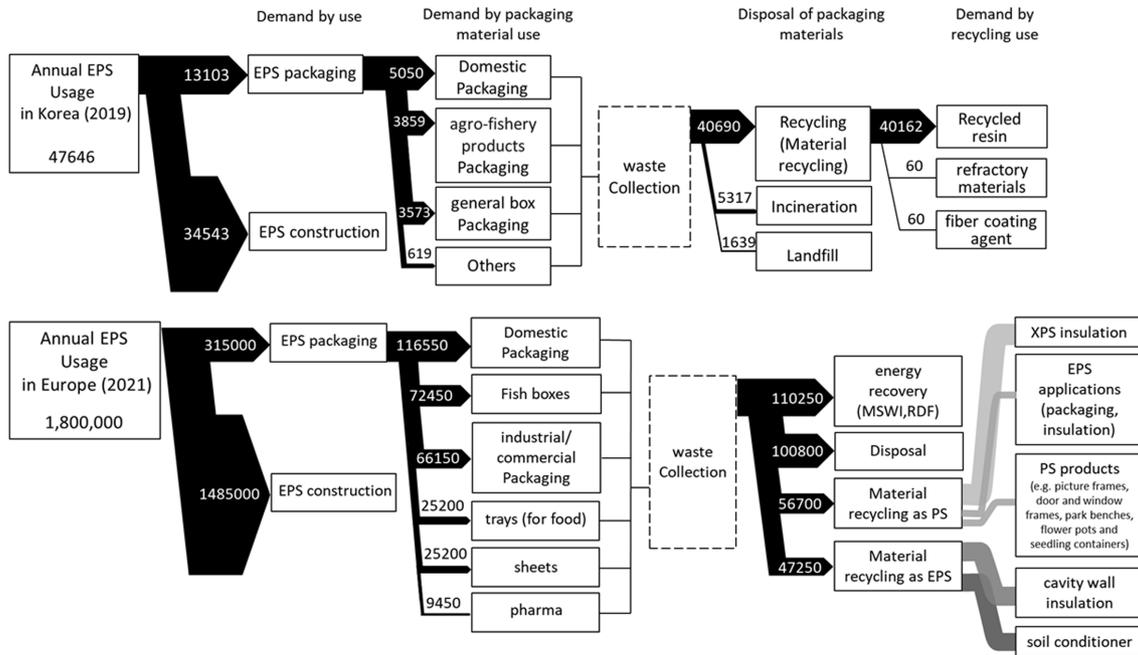


Fig. 1. Overall expanded polystyrene industry situation.

국토가 좁고 소각 설비, 매립지가 부족해 재활용에 주력하고 있으며 유럽의 EPS박스 재활용율은 2020년 기준 45%인데 비해 한국은 88%로 높게 나타났고, 소각, 매립의 경우 한국은 소각(9.17%), 매립(2.83%)로 유럽의 소각 (28.7%), 매립(26.3%)보다 낮은 것으로 분석되었다. 본 연구는 한국과 유럽의 재활용율과 소각,매립율의 차이 중심으로 전과정환경영향평가를 비교분석하고자 하였다. 폐기된 EPS박스는 분쇄 후 이중 벽 단열재, 토양개질제로 주로 사용되며 유럽의 경우 압축 후 주로 건축단열재인 XPS로 사용되는 반면 한국의 경우 압축 후 내부단열재, 건축 몰딩, 샌드위치 패널, 섬유코팅제,내화제, 액자, 욕실 발판 등 다양한 용도로 사용된다.^{6,7,8)} 한국과 유럽의 전체 EPS산업 현황에 대한 설명은 Fig. 1에 나타났다. 기존의 EPS의 환경영향에 관한 선행연구로는 어류를 포장하는 데 사용되는 EPS 박스 포장재를 골판지박스, PP(polypropylene)박스,PS(polystyrene) 박스 등의 포장 박스 소재와 전과정영향평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통해 비교 분석한 연구, 냉장도 포장에 사용된 EPS 포장재에 HIPS(High Impact PS)층을 추가하고 재활용과 재사용의 전후를 비교 분석한 연구, 그리고 전자제품용 EPS 포장재에 대해 싱가포르의 현행 폐기처리 정책에 따라 가상의 소각,매립 비율을 적용함에 따른 환경영향 비교분석 연구 등이 있으나, 이러한 연구는 주로 포장재의 재활용과 재사용은 없이 소각과 매립만을 한다고 가정해 분석한 수준이었다^{9,10,11,12)}. 따라서, 본 연구에서는 신선식품용 EPS박스에 대해 한국과 유럽의 재활용 시스템과 폐기처리 비율의 차이를 포함한 전과정환경영향을 비교하

고자 하였다. 또한 향후 예상되는 재활용 비율을 적용해 EPS박스의 재활용률이 높아짐에 따른 환경영향을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. Functional unit and system boundary

1.1. 기능단위(Functional unit)

본 연구의 LCA수행 목적은 한국과 유럽의 EPS박스의 생산부터 폐기 후 재활용까지의 환경영향을 비교해 평가 (cradle-to-cradle)함으로써, 한국의 신선식품용 EPS박스의 재활용 방법과 폐기처리 비율에 근거한 친환경성을 평가하고 분석하는 것이다. 본 연구에 사용된 한국의 EPS박스는 실제 EPS박스를 생산하는 회사를 대상으로 국내 신선식품 택배 유통에 가장 많이 사용되고 있는 박스로 선정하였으며 규격은 355 × 285 × 250 mm, 중량은 176g이었다. 유럽의 EPS박스는 프랑스에서 어류를 운송할 때 사용되는 박스를 데이터분석의 기준으로 하였으며 규격은 398 × 264 × 137 mm, 중량은 96g이었다⁹⁾. 전과정평가 수행을 위한 기능단위는 EPS 1kg이 1번 사용 후 폐기되는 사이클 1회로 설정하였다.

1.2. 시스템 범위(System boundary)

본 연구의 시스템 범위는 EPS 원료취득단계에서부터 원료생산단계, 박스제조단계, 포장단계, 폐기처리단계까지 구분하여 각 단계에서 발생하는 물자와 에너지, 그에 따른 배출물로 설정하였다^{13,14,15)}. 원료생산단계(EPS production)는

EPS원료를 생산하기 위한 제조 공정과 수송에 필요한 물자와 에너지, 그에 따른 배출물이 포함되었다. 박스제조단계(Polymer Foaming)는 원료를 발포해 EPS 박스를 생산하기 위해 필요한 원료, 물, 전력 및 가스가 포함되었다. 박스포장단계(Box Packaging)의 경우 EPS박스를 포장하는 데 사용되는 포장재(LLDPE(low density polyethylene) film, PP band, PE(polyethylene) plastic bag)가 포함되었다. 폐기처리단계(End of life)의 경우 EPS박스의 재활용, 소각 및 매립 공정이 포함되었으며 재활용 단계는 폐기된 EPS박스의 분쇄, 압축, 압출, 재활용품 제조 공정이 포함되었다. 국내 EPS 재활용업체 S사 조사서에 따르면 전체 EPS박스의 재활용 중 EPS 발포합성수지로 재활용 되는 비율은 50%이며 PS로 재활용 되는 비율은 50% 인 것으로 나타났다. EPS 박스의 사용 단계는 박스 제조 공장과 박스의 최종 사용장소까지의 거리는, 한국은 EPS 박스 제조처와 신선식품 공급처가 대부분 소비처인 서울에 중심하여 있고, 폐기처리도 서울근교인 일산 등에 소재해 있어, 박스의 원재료 생산처에서 박스 제조업체까지의 거리는 평균 378 km, 박스 제조업체에서 신선식품 제조업체까지의 거리는 평균 64 km, 신선식품 제조업체에서 소비자까지의 거리는 유통업체(온라인 택배, 식품판매업체, 농수산물 시장)의 비율에 따라 평균 41 km, 소비자에서 EPS박스 재활용업체까지의 거리는 평균

15 km로, EPS박스원료의 생산부터 박스 폐기까지의 거리는 평균 434 km로 조사되었다. 유럽은 2017년도 자료⁹⁾에 의하면, 박스의 원재료 생산처에서 박스 제조업체까지의 거리는 평균 800 km, 박스 제조업체에서 항구까지의 거리는 평균 93 km, 항구에서 판매업체까지의 거리는 평균 600 km, 소비자에서 EPS박스 폐기처리장소까지의 거리는 평균 50 km로, EPS박스원료의 생산부터 박스 폐기까지의 거리는 평균 1543 km로 조사되었다. 한국이 다소 거리가 짧아 환경영향평가에 유리한 점이 있을 수 있으나, 유럽은 회사별, 국가별, 제조처 및 소비처별 수송단계가 복잡하고 편차가 커 한국과 직접 비교하는데 오차가 발생할 수 있고, 타 논문¹⁶⁾에서 보듯 수송에너지가 차지하는 비중이 매우 낮아 분석 범위에서 제외하되, 유럽과 한국간 크게 상이한 원료와 박스 제조 단계에서의 에너지 사용량과 폐기 단계(소각을, 매립을 그리고 재활용을)를 중심으로 LCA를 비교평가하였다. Fig. 2는 이번 전 과정 평가에서 분석한 한국과 유럽의 EPS박스 시스템의 범위를 설명하고 있다. Table 1,2는 각각 한국과 유럽의 유통 평균거리를 나타내었다.

2. 주요 설정 인자(Main assumptions)

다음과 같은 가정 및 제한 점들을 고려해 전 과정 모델과 실제 제품의 전 과정 사이의 차이를 줄이려고 했다.

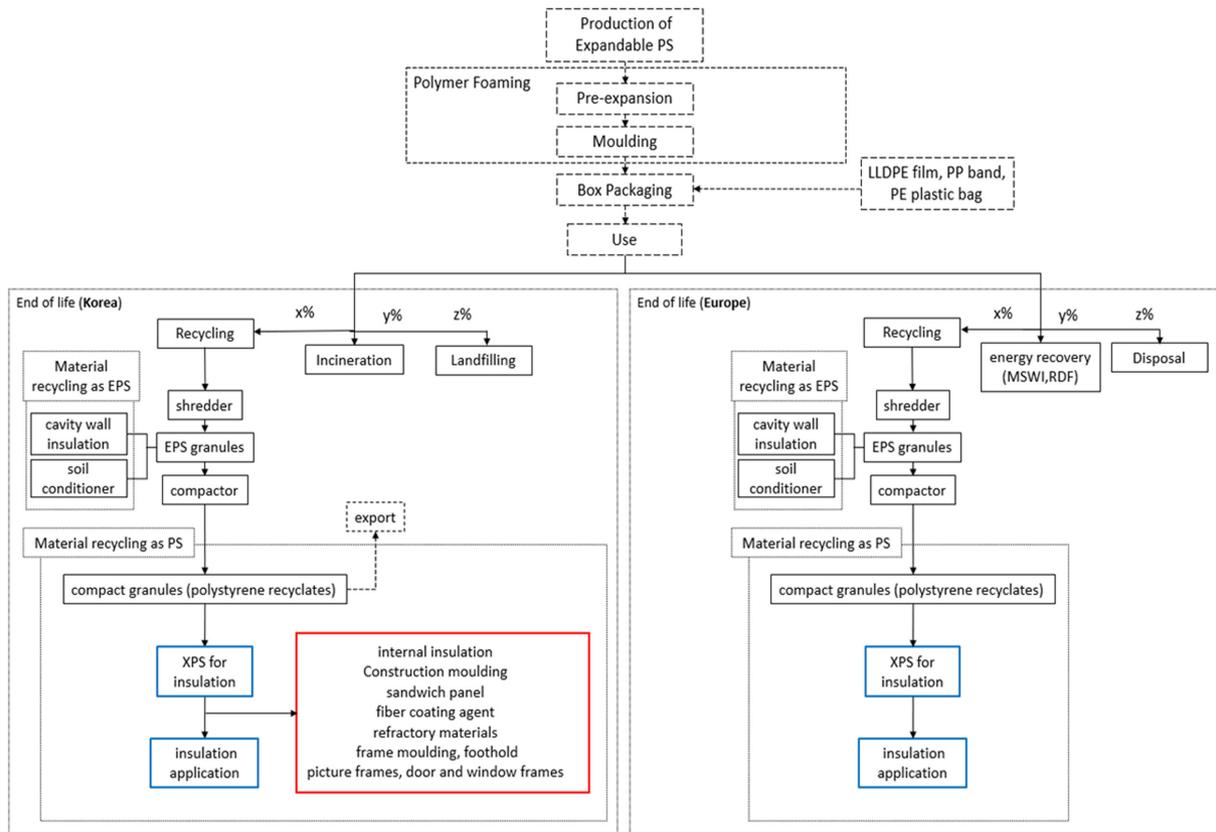


Fig. 2. System boundary of Korea and Europe EPS box.

Table 1. Distribution average distance in Korea (by truck)

Korea	km	Description
Transport of raw materials from supplier to transformation stage	378	From Yeosu Petrochemical Complex to EPS Box Manufacturing Plant in Gyeonggi-do
Transport of empty packaging from EPS box plant to fresh food manufacturing plant	64	From EPS Box Manufacturing Plant in Gyunggi-do to Fresh Food Manufacturing Plant in Gyeonggi, Incheon
Online (delivery service) average distance	150	From Gyeonggi, Incheon Fresh Food Manufacturing Plant to consumers by courier
Average distance through the seller	41	From fresh food manufacturing plants in Gyeonggi-do, Incheon, through Seoul, Gyeonggi-do, and Incheon market to consumers near the market
Average distance between Agricultural and Fishery Market and Consumers	14	From agricultural and marine products markets in Seoul, Gyeonggi, and Incheon to consumers near the market
Transport of empty packaging from fresh food manufacturing plant to customer (Average distance according to distribution ratio by distributor)	41	
Waste transport before treatment	15	From consumers to EPS box recycling company in Gyeonggi-do
Average distance from acquisition of raw materials to disposal of EPS boxes	498	

Table 2. Distribution average distance in Europe (by truck)

Europe	km	Description
Transport of raw materials from supplier to transformation stage	800	France, Denmark
Transport of empty packaging from plant to harbour	93	80 km (France), 100 km (Spain), 100 km (Denmark)
Transport of fresh fish from harbour to central market	600	300 km (France), 300 km (Spain), 1200 km (Denmark-France)
Waste transport before treatment	50	
Average distance from acquisition of raw materials to disposal of EPS boxes	1543	

· EPS박스의 출고 시 사용되는 포장재는 한국과 유럽이 동일하다고 설정하였다.

· 한국과 유럽의 폐기처리 시나리오는 재활용, 소각, 매립 비율을 다음과 같이 설정하였다.

K0은 한국환경공단의 국내 2019년 EPR대상 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량 통계값을 기준으로 분석하였으며 재활용, 소각, 매립 비율은 85.4%, 11.16%, 3.44%로 설정하였다¹⁷⁾.

K1은 한국환경공단의 국내 2020년 EPR대상 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량 통계값을 기준으로 분석하였으며 재활용, 소각, 매립 비율은 88%, 9.17%, 2.83%로 설정하였다¹⁸⁾.

2020년 한국의 EPS포장재 재활용률은 98%로 조사되었으나(21년 7월 한국환경공단 통보 기준) 잉고트에 PSP와 EPS가 혼입돼 통계치가 산출될 수 있는 점과 재활용의무생산자가 환경공단에 출고량을 신고하는 시점이 지연될 시 출고량 대비 재활용량이 높게 집계될 수 있는 점을 고려해 평균치인 88%로 설정하였다. K2는 한

국 환경부의 정책목표에 따라 2025년에 목표로 하는 재활용 비율을 참고하여 재활용률 100%를 가정하였다.

E0는 유럽의 2017년 EPS 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량 통계값을 기준으로 분석하였으며 재활용, 소각, 매립 비율은 33%, 35%, 32%로 설정하였다⁴⁾. E1, E2는 유럽의 EU 포장 및 포장 폐기물 지침(Directive)에 따른 2020년, 2025년 포장재 EPS의 재활용 비율을 적용하였다¹⁸⁾. E1은 2020년 재활용, 소각, 매립 비율을 45%, 28.7%, 26.3%로 설정하였으며 E2는 2025년 재활용, 소각, 매립 비율을 50%, 26.1%, 23.9%로 설정하였다. Table 3는 한국과 유럽의 폐기처리 비율 시나리오를 나타냈다.

· EPS박스를 재활용해 제작한 재활용품과 재활용품이 대체하는 신재는 한국의 경우 내부단열재는 XPS, 샌드위치 패널과 건축 몰드는 GPPS(general purpose polystyrene)를 대체하는 것으로 설정하였다. 유럽의 경우 XPS insulation은 XPS, 이중벽 단열재는 Polystyrene expandable, 토양 개질제는 perlite를 대표로 설정해 분석하였다. Fig. 3은 이번 전 과정 평가에서 분석한 2020년의 한국과 유

Table 3. Waste Disposal Ratio Scenario in Korea and Europe

%		K0 (as present)	K1	K2	E0	E1	E2
Recycling	x	85.4	88	100	33	45	50
Incineration	y	11.16	9.17	0	35	28.7	26.1
Landfill	z	3.44	2.83	0	32	26.3	23.9

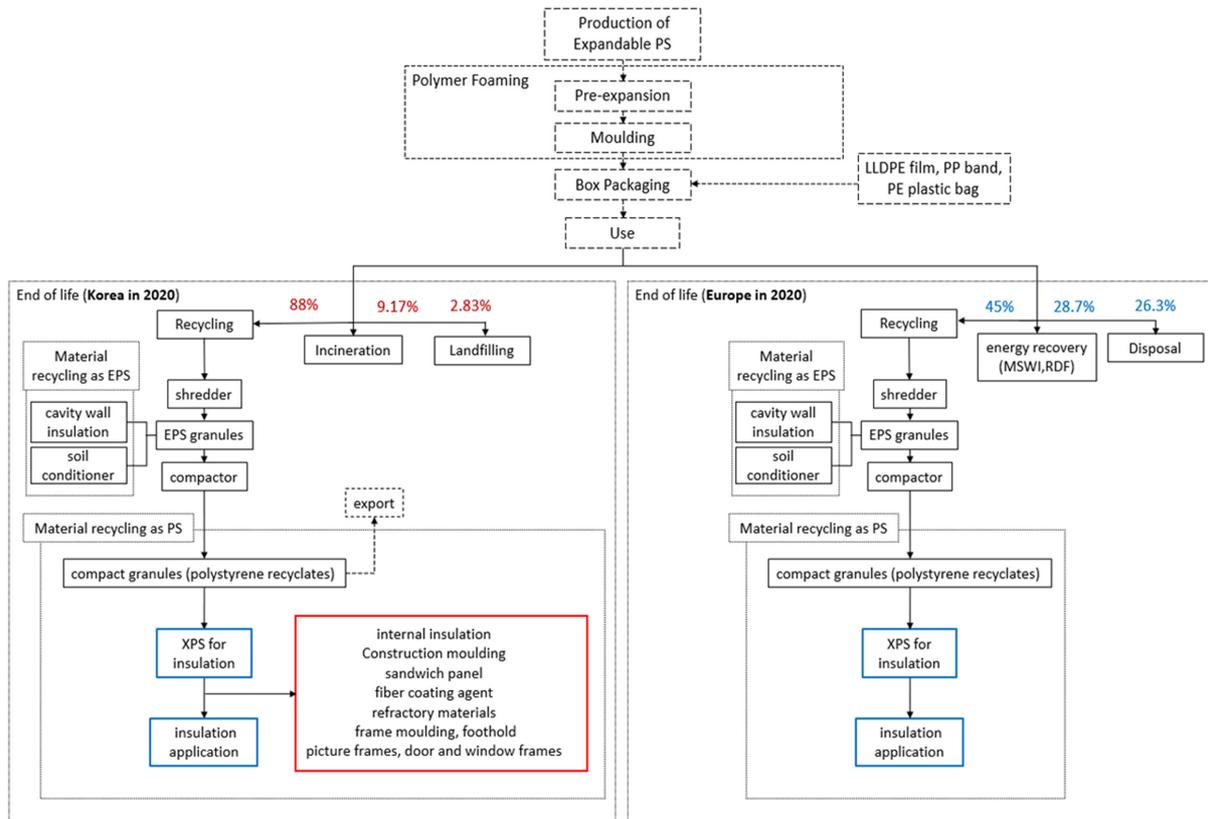


Fig. 3. Example of System boundary of Korea and Europe EPS box in 2020.

럽의 EPS박스 시스템의 범위를 설명하고 있다.

- EPS박스의 조각 시 발생하는 열량 값은 40MJ로 설정하였다.²⁰⁾²¹⁾

3. Life cycle inventory analysis

국내 EPS박스 제조단계에서 사용된 물, 전력, 가스와 EPS박스를 포장하는 데 사용되는 포장재(LLDE film, PP band)의 데이터는 한국포장재재활용공제조합의 추천을 받아 국내 대표적 EPS박스 제조사인 D사의 2021년 사용량을 참고하였다. 박스의 재활용 단계에서 분쇄, 압축공정에 사용된 전력량은 국내 EPS 폐기물처리업체 S사의 데이터를 참고하였다. 유럽의 경우 EPS박스 제조단계에서 사용된 물, 전력, 가스와 재활용 단계에서 분쇄, 압축공정에 사용된 전력 데이터는 EUMEPS(European Manufacturers of Expanded Polystyrene)의 Life Cycle Assessment of the Industrial Use of Expanded Polystyrene Packaging in Europe Case

Study: Comparison of Three Fishbox solutions 보고서를 참조하였다⁹⁾. EPS박스를 포장하는 데 사용되는 포장재 (PE plastic bag)의 데이터는 EUMEPS의 Life Cycle Assessment of the Industrial Use of Expanded Polystyrene Packaging in Europe Case Study Packaging System for TV sets 보고서를 참고하였다¹²⁾. 한국과 유럽의 EPS박스 전과정에 투입된 물질은 Table 4에 설명하였다. 본 연구에서는 Simapro v9.4.0.2의 데이터베이스 ecoinvent v3 databases를 활용하였다.

4. Life cycle impact assessment

본 연구에서의 전과정영향평가 방법은 ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.05를 활용하였다²²⁾. 환경영향 결과는 지구온난화, 오존층 감소, 자원고갈, 미세입자 형성, 산성화, 생태독성 등 18가지 영향범주로 분류하여 분석하고 평가하였다.

Table 4. Input Materials in cradle-to-grave LCA of EPS box in Korea and Europe

		Simapro product name	Amount		Unit	Description
			Korea	Europe		
EPS production	Inputs from technosphere: material/fuels	Polystyrene, expandable {GLO} market for APOS, U	0.95	0.95		Aggregated data for all processes from raw material extraction until delivery at plant
Polymer Foaming	Inputs from nature	Water, unspecified natural origin, RoW	0.00253	0.015	m ³	
	Inputs from technosphere: electricity/heat	Electricity, medium voltage {KR} market for APOS, U	1.005		kWh	
		Electricity, medium voltage {FR} market for APOS, U			1.25	kWh
		Heat, district or industrial, natural gas {GLO} market group for APOS, U	24800	36000	kJ	
Polymer Foaming	Emissions to air	Pentane	0.015	0.015	kg	
		Water/m ³	0.000136	0.000136	m ³	
	Emissions to water	Water, RoW	0.000525495	0.000525495	m ³	
EPS box packaging	Inputs from technosphere: material/fuels	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for APOS, U	0.0329	0.0329	kg	LDPE film
		Polypropylene, granulate {GLO} market for APOS, U	0.009	0.009	kg	PP band
		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, U	0.00115	0.00115	kg	HDPE plastic bag (frecon bag)
Waste management	Outputs to technosphere : Avoided products	Perlite {GLO} market for APOS, U		x*0.225	kg	Replacement amount of soil conditioner per kg of EPS when recycling EPS in Europe
		Polystyrene, expandable {RoW} production APOS, U		x*0.225	kg	Replacement amount of cavity wall insulation per kg of EPS when recycling EPS in Europe
		Polystyrene, extruded {GLO} market for APOS, U		x*0.55	kg	Replacement amount of XPS insulation per kg of EPS when recycling EPS in Europe
		Polystyrene, extruded {GLO} market for APOS, U	x*0.34		kg	Replacement amount of internal insulation per kg of EPS when recycling EPS in Korea
		Polystyrene, general purpose {RoW} production APOS, U	x*0.66		kg	Replacement amount of construction moulding and sandwich panel per kg of EPS when recycling EPS in Korea
		Electricity, medium voltage {KR} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U	y*CV		kJ	Energy recovered from waste incineration in Korea
		Electricity, medium voltage {FR} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U		y*CV	kJ	Energy recovered from waste incineration in Europe

Table 4. Continued

		Simapro product name	Amount		Unit	Description
			Korea	Europe		
Waste management	Inputs from technosphere: electricity/heat	Electricity, medium voltage {FR} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U		0.27*EPS	kWh	consumption of electricity/kg of compaction and shredding of waste EPS packaging in Europe
		Electricity, medium voltage {KR} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U	0.3*EPS		kWh	consumption of electricity/kg of compaction and shredding of waste EPS packaging in Korea
	Outputs to technosphere : Waste and emissions to treatment	Waste polystyrene {RoW} treatment of waste polystyrene, municipal incineration APOS, U	y	y	kg	Incineration
		Waste polystyrene {RoW} treatment of waste polystyrene, sanitary landfill APOS, U	z	z	kg	Landfill

(functional unit : EPS 1 kg)

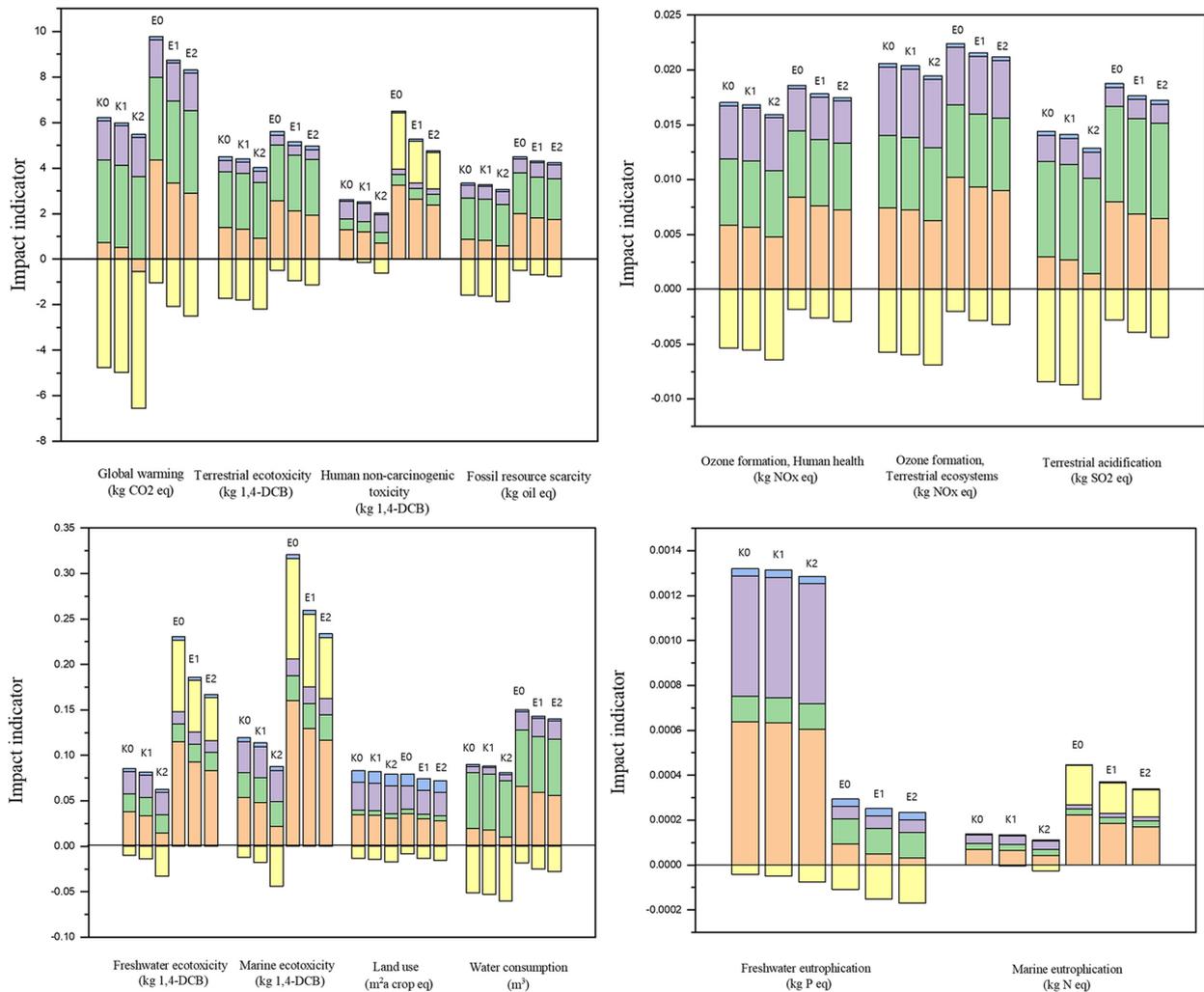


Fig. 4. Potential impact results for Korea and Europe scenarios.

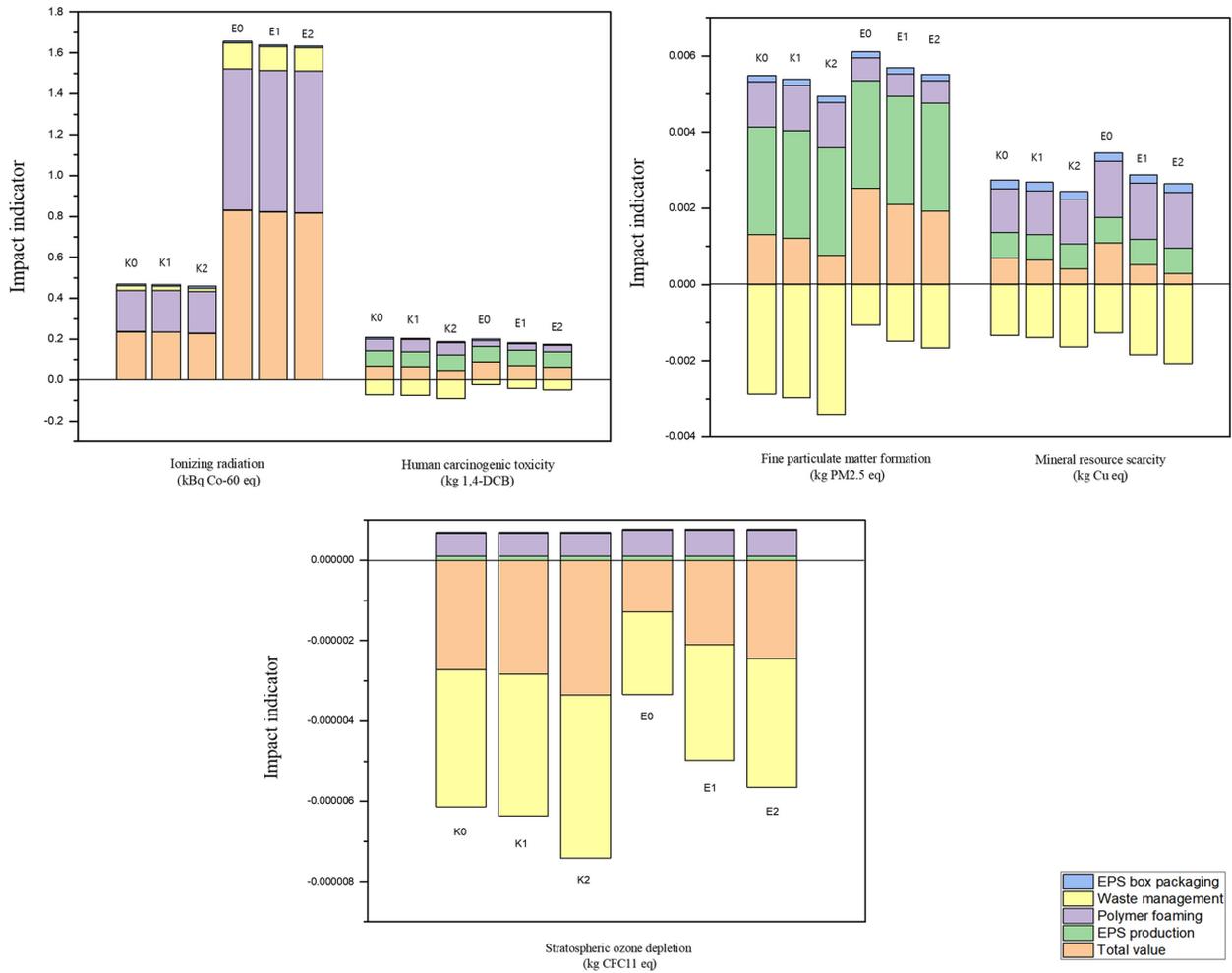


Fig. 4. Continued.

결과 및 고찰

전과정평가 분석 결과 Global warming, Stratospheric ozone depletion, Ionizing radiation 등 총 18가지 환경영향 범주에서 K0가 E0 대비 낮은 값이 나왔다. Global warming 범주에서는 K0 (0.73 kg CO₂ eq)가 E0 (4.36 kg CO₂ eq) 대비 약 6배 낮은 환경영향 값을 가진 것으로 분석되었다. Global warming 범주에서 가장 큰 차이점으로는 E0의 Waste management 단계에서 소각에 따른 배출물들이 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 하지만 Freshwater eutrophication 범주에서는 K0가 E0에 대비하여 더 높은 값이 나왔으며 구체적으로는 국내 EPS박스의 polymer foaming 공장에서 Hard Coil 채굴 중 발생한 폐기물의 매립이 가장 큰 기여를 한 것으로 분석되었다. Fig. 4은 한국과 유럽의 6개 시나리오에 대한 잠재적인 환경 영향 결과값을 나타냈으며 Table 5의 경우 환경 영향 모델에 따라 계산된 한국 EPS박스와 유럽 EPS박스의 각 환경 영향 범주 별 비교

값을 나타냈다.

Global warming 범주에서 단계별로는 K0의 경우 EPS production, Polymer foaming, EPS box packaging, Waste management 순으로 영향을 미쳤으며 E0과 K1, K2, E1, E2도 동일한 순으로 영향을 미친 것으로 나타났다. 세부적으로 K0, E0의 경우 EPS production 단계에서 EPS 생산이 가장 큰 기여를 하였다. Polymer foaming 단계에서는 K0의 경우 Hard Coil 채굴시 사용된 전기의 생산, E0의 경우 러시아의 전기와 열 생산이 가장 큰 기여를 하였다. Global warming 영향 범주에서 환경영향은 korea1의 경우 재활용률이 85.4%에서 88%, 100%로 증가함에 따라 각각 40%, 174% 감소하는 것으로 분석되었다. Europe1의 경우 재활용률이 33%에서 45%, 50%로 증가함에 따라 각각 24%, 33% 감소하는 것으로 분석되었다. K2의 경우 재활용률 100%를 가정하였으며 Global warming 범주에서 배출된 CO₂ 값은 -0.54 kg으로 나타났다. 이는 EPS박스 폐기물로 제조되는 재활용품의 환경이득이 높기 때문인 것으로 분석되었다.

Table 5. Potential impact results for Korea and Europe scenarios

Impact category	Unit	K0	K1	K2	E0	E1	E2
Global warming	kg CO ₂ eq	7.30E-01	5.04E-01	-5.40E-01	4.36E+00	3.33E+00	2.90E+00
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	-2.72E-06	-2.83E-06	-3.36E-06	-1.28E-06	-2.10E-06	-2.44E-06
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	2.35E-01	2.34E-01	2.29E-01	8.28E-01	8.20E-01	8.17E-01
Ozone formation, Human health	kg NO _x eq	5.82E-03	5.63E-03	4.76E-03	8.39E-03	7.59E-03	7.26E-03
Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} eq	1.31E-03	1.21E-03	7.64E-04	2.52E-03	2.10E-03	1.93E-03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x eq	7.41E-03	7.21E-03	6.28E-03	1.02E-02	9.35E-03	9.00E-03
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	2.97E-03	2.69E-03	1.42E-03	7.98E-03	6.88E-03	6.43E-03
Freshwater eutrophication	kg P eq	6.39E-04	6.33E-04	6.05E-04	9.31E-05	5.01E-05	3.22E-05
Marine eutrophication	kg N eq	6.89E-05	6.43E-05	4.30E-05	2.24E-04	1.86E-04	1.70E-04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1.39E+00	1.31E+00	9.10E-01	2.56E+00	2.11E+00	1.92E+00
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.80E-02	3.39E-02	1.49E-02	1.15E-01	9.29E-02	8.36E-02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5.39E-02	4.82E-02	2.20E-02	1.60E-01	1.30E-01	1.17E-01
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	6.86E-02	6.51E-02	4.87E-02	8.89E-02	7.13E-02	6.39E-02
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1.30E+00	1.19E+00	7.02E-01	3.25E+00	2.64E+00	2.38E+00
Land use	m ² a crop eq	3.48E-02	3.42E-02	3.10E-02	3.57E-02	3.05E-02	2.83E-02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.00E-04	6.48E-04	4.09E-04	1.10E-03	5.27E-04	2.90E-04
Fossil resource scarcity	kg oil eq	8.78E-01	8.28E-01	5.98E-01	2.00E+00	1.81E+00	1.73E+00
Water consumption	m ³	1.95E-02	1.79E-02	1.05E-02	6.60E-02	5.90E-02	5.61E-02
Total		4.77E+00	4.28E+00	2.04E+00	1.35E+01	1.11E+01	1.01E+01

Table 6. Environmental Impacts in each life cycle stage in Korea and Europe scenarios in Global warming impact category and environmental loads and environmental gains in waste management stage Unit: kg CO₂ eq

	Total	EPS	Polymer foaming	EPS box packaging	Waste management	a	b	c			
K0	0.73	3.62	1.73	0.13	-4.75	Incineration of waste polystyrene	0.35	PS production	-2.14	XPS production	-1.22
K1	0.50	3.62	1.73	0.13	-4.97	Incineration of waste polystyrene	0.29	PS production	-2.21	XPS production	-1.26
K2	-0.54	3.62	1.73	0.13	-6.02	Electricity production used in hard coil mining	0.12	PS production	-2.51	XPS production	-1.43
E0	4.36	3.62	1.66	0.13	-1.05	Incineration of waste polystyrene	1.11	XPS production	-0.76	EPS production	-0.75
E1	3.33	3.62	1.66	0.13	-2.07	landfill of waste polystyrene	0.04	XPS production	-1.04	XPS production	-0.30
E2	2.90	3.62	1.66	0.13	-2.50	Incineration of waste polystyrene	0.83	XPS production	-1.15	XPS production	-0.33

a: The most environmentally responsible factor
 b: The most environmentally beneficial factor
 c: The second most environmentally beneficial factor

Table 6는 Global warming 영향범주에서 한국과 유럽의 각 단계별 환경 영향 및 waste management 단계에서 환경 부하 및 환경 이득을 나타냈다.

결론

이번 연구에서는 신선식품의 포장재로 많이 활용되고 있

는 있는 EPS박스에 대해 한국과 유럽간에 전과정에 대한 환경영향 평가를 하였다. 특히, 본 연구에서는 한국과 유럽간에 환경영향에 큰 값을 보이고 있는 원료 및 박스 제조 공정의 에너지와 폐기단계에서 큰 비율 차이를 보이고 있는 소각열, 매립열 및 재활용열에 대해 중점을 두고 전과정의 환경 영향을 비교 분석하고 평가했다. 또한 한국과 유럽의 환경정책에 따라 향후 예상되는 재활용 비율을 적용

해 재활용률이 높아짐에 따른 환경영향에 대해서도 분석하고자 하였다. 한국은 유럽에 비해 상대적으로 EPS박스의 매립, 소각보다 재활용의 비율이 높으며, 폐 EPS박스로 제조되는 재활용품은 openloop 재활용으로 건축 단열재 이외에도 다양한 용도로 사용돼 LCA결과 한국의 EPS박스 재활용에 따른 환경이득이 유럽 EPS 박스 대비 높은 것으로 나타났다. 2020년 폐기처리 비율을 기준으로 유럽의 EPS박스 재활용율(45%), 소각율(28.7%), 매립율(26.3%)에 대해 상대적으로 높은 한국의 재활용율(88%)과 낮은 소각율(9.17%), 매립율(2.83%)에 의해 한국의 Global warming 범주에서 배출된 CO₂값은 0.504 kg로 유럽의 CO₂ 배출량 3.33 kg에 비해 약 6.6배 낮은 것으로 분석되었다. 유럽의 신선식품용 EPS박스와의 비교와 2025년 예상 재활용 비율적용결과를 바탕으로 한국에서 신선식품용 EPS박스를 재활용했을 때의 부가가치는 높은 것으로 분석되었다. 결론적으로 현재 국내 EPS산업에서 신선식품용 EPS박스의 재활용은 유럽에 비해 상대적으로 환경부하가 낮은 것으로 분석된다.

감사의 글

이 논문은 2021년 산업통상자원부의 클린팩토리 기술개발사업 (과제번호: 20015687)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- Kim, S.-H., et al. (2021). "Packaging Design of EPS Cooling Box by Theoretical Heat Flow and Random Vibration Analysis." Korean Journal of Packaging Science and Technology 27(3): 175-180.
- 한국농촌경제연구원. 2021 농소모 활동보고서. 2021.12.
- Jakob Strand, Louise Feld, and Lis Bach, Aarhus University. 2019. SURVEY OF POLYSTYRENE FOAM (EPS AND XPS) IN THE BALTIC SEA . 2019.2.
- Christoph Lindner Julia Hein Elena Fischer. 2018. EPS Post-Consumer Waste Generation and Management in European Countries 2017. 2018.7.
- 한국환경공단, 2018년 EPR대상 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량.
- 최주섭, 2013, EPS수급 및 재활용 동향, 포장계(한국발포스티렌재활용협회).
- 최주섭, 2006, EPS 소비동향, 포장계(한국발포스티렌재활용협회).
- 김동섭, 2014, 재활용 관점에서 본 EPS 포장재 수급 동향 및 전망, 포장계(한국발포스티렌재활용협회).
- The European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) association, Packaging section. 2011. Life Cycle Assessment of the Industrial Use of Expanded Polystyrene Packaging in Europe Case Study: Comparison of Three Fishbox solutions. 2011.11.
- Ross, S. and D. Evans (2003). "The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system." Journal of Cleaner Production 11(5): 561-571.
- Tan, R. B. and H. H. Khoo (2005). "Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios." J Environ Manage 74(3): 195-205.
- European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS). 2001. Life Cycle Assessment of the Industrial Use of Expanded Polystyrene Packaging in Europe Case Study: Packaging System for TV sets. 2001.8.
- (사)자원순환연대, 2007, 발포합성수지 포장재 사용 및 처리 실태 조사, 47-48.
- 김동섭, 2014, 재활용 관점에서 본 EPS 포장재 수급 동향 및 전망, 57-61.
- (사)한국발포스티렌재활용협회, 2008, 발포스티렌(EPS) 포장재 사용규제의 문제점과 개선 건의안, 환경사랑, Vol.52, 12-13.
- Stuart Ross and David Evans (2003). "The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system." Journal of Cleaner Production 11: 561-571.
- 한국환경공단, 2019년 EPR대상 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량.
- 한국환경공단, 2020년 EPR대상 포장재 폐기물 발생량 및 재활용량.
- European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS). The future of EPS packaging in the European circular economy. 2022.1.
- Vencel Resil Ltd Technical Services, EPS Technical Information (2015).
- 한국발포스티렌재활용협회, 1995, 포장재료의 환경영향 비교, 64.
- Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. and van Zelm, R. 2016. ReCiPe 2008 (revised) - A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level.

투고: 2022.11.17 / 심사완료: 2022.12.05 / 게재확정: 2022.12.08