

친환경적인 폐차처리시스템에 대한 전과정평가

정기모, 홍석진, 허 탁, *홍준희, **윤주호

(건국대학교 화학생물공학부, *현대·기아연구개발본부, **자동차부품연구원소재기술개발본부)

Life Cycle Assessment of an Environmentally friendly Treatment System for ELVs

Kee mo Jeong, Seok Jin Hong, Tak Hur, *John Hee Hong, **Ju Ho Yun

(Dept. of Chemical and Biological Engineering, Eco-product and system lab, Konkuk Univ., *Research & Development Division for Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation, **Organic & Inorganic Materials Engineering Lab Korea Automobile Technology Institute)

ABSTRACT

This study aims at evaluating the environmental impacts stemmed from an environmentally friendly treatment system for ELVs, using Life Cycle Assessment(LCA) methodology. In this study, both LCI and LCIA study were conducted with a perspective of gate to gate as well as gate to grave in order to figure out more detailed environmentally significant issues. For the purpose of making this study easier to be understood, the comparative approach with existing ELV treatment system were partly applied in this study. As one of the results from LCI study, use of electricity and environmental parameters such as CO₂, coal, NO_x and iron were found out to be the significant issue parameters. From the LCI and LCIA study, it was shown that the significant environmental aspects were related with the recycling process of ferro scrap, the shredding process of compressed car bodies and the dismantling process of end-of-life engines. In addition, a scenario analysis dealing with change of the environmental performance in case of 85% reuse & recycling rates was conducted. Based on these results, it was revealed that this environmentally friendly treatment system for ELVs have generally better environmental performance than existing ELV treatment system but still have some areas to cut down on environmental impact further.

Key words : Environmentally friendly treatment system for ELVs, LCA, significant issue parameter

요 약 문

본 연구는 전과정평가(LCA)를 활용하여 친환경적인 폐차처리시스템의 환경영향을 평가하는데 그 목적이 있다. 본 연구는 보다 자세한 환경적 주요이슈 규명을 위하여 gate to gate와 gate to grave 관점에서 LCI, LCIA 연구를 수행하였으며, 연구 결과에 대한 이해를 용이하게 하기 위하여 부분적으로 기존 폐차처리시스템의 결과를 비교하는 형태를 취하였다. LCI 연구 결과 전기의 사용과 CO₂, coal, NO_x, iron 등이 주요이슈로 규명되었으며, LCIA의 연구를 통해서 환경영향에 큰 기여를 하고 있는 공정으로는 고철재활용공정, 압축차체파쇄공정, 폐엔진해체공정 등이 있는 것으로 드러났다. 또한 재활용 가능성이 85%인 경우의 환경영향을 규명한 시나리오 분석에서 기존 폐차처리시스템에 비해 친환경적 폐차처리시스템의 환경성이 우수한 것으로 분석되었지만 환경영향을 더 감소시킬 수 있는 개선의 여지가 남아 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 친환경적 폐차처리시스템, 전과정평가, 주요이슈목록

1. 서 론

폐자동차의 급증으로 인한 폐기물 발생 및 매립지 부족 문제와 관련된 환경오염, 사회적 문제가 심각해짐에 따라 폐자동차의 관리의 중요성이 대두되었다. 따라서 EU에서는 폐자동차의 친환경적인 처리를 요구하는 EU 폐차처리지침(Directive 2000/53/EC on End of Life Vehicles)¹⁾을 2000년 10월 21일에 발표하였다. EU 폐차처리지침에서는 재활용 목표치(85% reuse & recycling, 95% recovery)를 2015년 1월 1일까지 만족하도록 규정하고 있고, 사전 예방 측면에서 자동차에 포함된 유해물질 Pb, Hg, Cd, Cr(VI)의 함량을 규제하고 있다. 또한 생산자책임확대제도(Extended Producer Responsibility : EPR)에 의거하여 자동차 폐기에 대한 책임을 자동차 제조업체에 부가하고 있다.

이에 따라 Benz, BMW, GM, Volvo, Toyota 등 해외 주요 자동차 제조업체는 기존의 재활용이 용이하지 않은 물질을 재활용이 용이한 물질로 대체하고 있다. 또한 해체가 용이한 설계(Design for Disassembly; DfD)를 통해 자사 차량의 환경성을 개선하고 동시에 폐기된 자동차를 친환경적으로 처리할 수 있는 기술과 재활용을 활성화 시킬 수 있는 시스템 구축에 박차를 가하고 있다. 특히 Benz, BMW와 같은 일부 자동차 제조업체는 이미 자동차 폐차업자들과 공동으로 폐자동차 해체시험공장을 가동함으로써 여러 가지 전문지식을 터득하였으며, 신차 개발에 응용하고 있다.²⁾

한편, 국내의 경우는 폐자동차 처리 기술과 관련하여 현대·기아자동차에서 독자적으로 개발한 폐자동차 해체 기술이 있으며, 산업자원부 청정생산기술 이전확산사업을 참여를 통해 친환경적 폐차 처리시스템을 구축하는 등 폐자동차의 재활용 증진 및 DfE 연구에 힘쓰고 있다.³⁾

이에 본 연구에서는 대상 시스템의 전과정에 걸친 투입물과 산출물을 정량화하고 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 총체적인 잠재적 환경영향을 평가함으로써 환경측면의 주요이슈를 규명할 수 있는 평가 도

구인 전과정평가⁴⁾(Life Cycle Assessment : LCA) 기법을 활용하여 새롭게 개발된 친환경 폐차처리시스템에 대한 환경성평가를 실시, 주요 환경측면을 규명하고 이를 토대로 추가적인 환경영향의 개선기회를 강구하고자 한다.

2. 전과정평가 수행

2.1 목적 및 범위정의

2.1.1 목적 정의

본 연구의 목적은 전과정평가를 수행하여 친환경 폐차처리시스템에 대한 환경영향을 평가하고 이 결과를 통해 친환경 폐차처리시스템의 환경성 개선 기회를 모색하고자 함에 있다.

2.1.2 범위 정의

2.1.2.1 기능 및 기능단위 설정

본 연구의 대상시스템은 폐차 처리시스템으로, 연구의 목적과 관련된 기능은 폐자동차의 해체와 물질 및 부품 회수로 정의하였다.

Table 1. Function, functional unit, reference flow

시스템	폐자동차 처리시스템
기능	폐자동차 해체, 물질 및 부품회수
기능단위	폐자동차 1대 처리
기준흐름	폐자동차 1,211kg

기준흐름은 폐자동차 발생 대수 중 약 70%를 차지하는 승용차 중 비교적 점유율이 높은 준중형차를 대상으로 하였으며 폐자동차 1대의 중량은 문헌자료를 통하여 1,211kg⁵⁾으로 선정하였다.

2.1.2.2 시스템경계 설정

본 연구의 시스템경계는 폐자동차가 친환경적인 해체시스템으로 입고되는 순간부터 처리되는 과정을 포함한 "gate to grave"의 범위를 가지고 있다. 따라서 차량의 원료채취, 생산, 사용 단계에서 발생하는 환경영향은 연구에 포함되지 않는다.

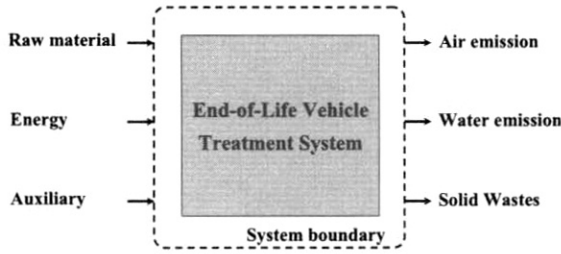


Fig. 1. System boundary of ELV treatment system

2.1.2.3 초기 데이터 품질 요건

본 연구에서는 초기 데이터 품질 요건을 친환경적인 해체시스템을 의미하는 대상업체 내부와 부품 및 물질의 재활용 및 폐기업체를 의미하는 대상업체 외부로 구분하였다.

Table 2. Time-related, geographical and technical coverage

대사업체 구분	대사업체 내부	대사업체 외부
시간적 경계	2005	①2002~2005 ②최근 5년 이내 데이터 ③가급적 최신 데이터
지역적 경계	친환경적인 해체시스템	①현장 데이터 ②국내 데이터 ③해외 데이터
기술적 경계	친환경적인 해체시스템 기술	①재활용 공정 ②동일공정 데이터 ③유사공정 데이터

2.1.2.4 할당

본 연구에서는 폐자동차에서 발생한 재활용 부품 및 물질에 대한 할당방법으로 회피효과방법(avoided impact approach)⁶⁾을 적용하였다. 이 방법은 시스템 경계를 모든 관련된 전과정 시스템으로 확장시켜 할당하는 방법으로, 재활용된 물질이 다음 단계에서 원료 물질로 사용되는 경우, 이 재활용된 물질의 사용으로 인해 감소된 환경영향에 대한 이득을 재활용시스템에 부여하는 방식이다.

2.1.2.5 영향범주 및 영향평가 방법론

본 연구에서는 영향평가 방법론으로 산업자원부 영향평가방법론⁷⁾을 적용하였다. 고려된 영향범주와 상응인자 단위는 Table 3과 같다.

2.1.2.6 가정 및 제한사항

본 연구에서 사용된 주요 가정과 제한사항은 다음과 같다.

- 친환경 폐차해체시스템을 비롯한 재활용 및 폐기 설비의 인프라를 구축하는데 발생하는 환경영향은 고려하지 않았다.
- 기술제로 투입되거나 산출되는 공정 데이터 중에서 상위 및 하위흐름 데이터베이스가 존재하지 않는 경우에는 기본흐름(elementary flow)으로 가정하였다.
- 재활용공정을 통해 생산되는 재활용물질의 품질 저하는 고려되지 않았다.
- 친환경해체시스템 내부수송을 제외한 각 단계별 외부수송으로 인한 환경영향은 고려되지 않았다.
- 친환경 폐차해체시스템으로 입고되는 자동차는 친환경냉매인 HFC-134a를 사용하는 차량이 대부분이므로 본 연구에서는 차량의 냉매로 HFC-134a를 선정하였다.

Table 4. Selected impact category

구분	영향범주	상응인자 단위
자원고갈	무생물자원고갈(ARD)	1/yr
생태건강	지구온난화(GW)	g CO ₂ -eq/g
	성층권오존층파괴(OD)	g CFC11-eq/g
	산성화(AC)	g SO ₂ -eq/g
	부영양화(EU)	g PO ₄ ³⁻ -eq/g
	광화학적산화물생성(POC)	g C ₂ H ₄ -eq/g
인체독성	생태독성(ET)	g 1,4-DCB-eq/g
	인간독성(HT)	g 1,4-DCB-eq/g

2.2 전과정 목록분석

2.2.1 데이터 수집 준비

단위공정흐름도는 친환경적인 해체시스템과 이 시스템을 통해 산출되는 부품 및 물질의 재활용 및 폐기흐름을 포함하는 친환경적인 폐차 처리시스템으로 구분된다.

본 연구에서는 친환경 폐차해체시스템으로 입고된 폐자동차의 해체단계인 폭발위험부품처리공정, 준비공정, 액상류회수공정, 외장부품회수공정, 내장부품회수공정, 엔진/배기계/샤시부품 회수공정, 차체압축공정을

단위공정으로 설정하여 데이터를 수집하였으며, 재활용 및 폐기시스템을 각각의 단위공정으로 선정하였다.



Fig. 2. Process flow diagram of ELV treatment system

Table 4. Explanation of data calculation

투입물	
구분	계산방법
전기	○ 실측데이터 전력량(kWh)=실측전력(kW)X운전시간(hr)
	○ 게이지데이터 전력량(kWh)=전압(V)X전류(A)X운전시간(hr)
	○ 계산데이터 전력량(kWh)=제원전력(kW)X운전시간(hr)X효율
경유	○ 문헌 및 계산데이터 Clark모델(7.2-19L/hr)을 기준으로 포크리프트 실제적업 시 연료소모량을 추정
산출물	
구분	계산방법
고철	○ 문헌데이터 현대자동차 차량 재질함유율 자료 참고 고철중량(kg)=0.63(고철분율)x1,211(kg)
비고철	○ 문헌데이터 현대자동차 차량 재질함유율 자료 참고 비고철중량(kg)=0.096(비고철분율)X1,211(kg)
페타이어	○ 문헌데이터 IDIS(국제해체정보 시스템)자료 참고 타이어중량(kg)=42(kg)
액상류	○ 문헌데이터 액상류회수시험 결과(회수율 98%) 참고
플라스틱	○ 문헌데이터 IDIS 자료 참조를 통한 재활용 대상 부품에 대한 재질 및 중량 정보 수집
대기 배출물	○ 문헌데이터 IPCC 1996년 대기배출물 계수 사용

2.2.2 데이터 수집

본 연구에서 사용된 친환경적인 해체시스템의 데이터는 2005년 현장데이터를 사용하였으며, 전기 및 경유와 같은 에너지의 상위흐름은 대한민국 산업자원부, 환경부에서 구축한 DB를 우선적으로 사용하였으며, 고철 및 비고철 재활용과 같이 국내에서 구축되지 않는 일부 하위흐름은 네덜란드 PRe Consultants에서 구축한 DB를 사용하였다.

Table 5. Gate to gate inventory

투입물			
구분	항목	단위	양
원재료	폐차 1대	kg	1.211E+03
에너지	전기	kWh	1.113E+01
	경유	kg	2.210E-01
화학약품	유압작동유	kg	5.100E-01
산출물			
구분	항목	단위	양
재활용 부품 및 물질	고철	kg	2.341E+02
	비고철	kg	6.736E+00
	압축차체	kg	7.356E+02
	페타이어	kg	4.200E+01
	페엔진	kg	1.300E+02
	폐유	kg	6.979E+00
	폐유기용제	kg	2.610E+00
	페연료	kg	1.520E+01
	페배터리	kg	1.270E+01
	페축매	kg	3.426E+00
	페플라스틱	kg	1.220E+01
	페전선	kg	8.000E+00
	폐작동유	kg	5.100E-01
	페냉매	kg	4.820E-01
폐기물	세정액	kg	1.700E+00
	대기배출물	NOx	kg
CH ₄		kg	1.768E-05
NM VOC		kg	5.171E-04
CO		kg	1.348E-03
N ₂ O		kg	1.326E-04
CO ₂		kg	7.011E-01

2.2.3 데이터 검증

본 연구에서는 수집된 데이터의 신뢰성을 평가하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

- 물질수지: 질량보존 법칙을 활용하여 검토 실시
- 인과관계의 파악: 폐차장 전문가 또는 재활용공정 전문가를 통한 각 목록의 투입 및 산출에 대해 검토를 실시
- 데이터 값의 누락여부: 국내외 관련 문헌자료를 참조하여 검토 실시

2.2.4 데이터 계산

본 연구는 차량의 제원과 관계된 내용에 대해서는 문헌자료를 활용하였으며, 해체시스템공정데이터 관련해서는 실측데이터, 게이지데이터, 계산데이터 등을 통해 투입물 및 산출물에 대한 계산을 수행하였다.

친환경 폐차해체시스템에 대한 gate to gate 목록은 table 4에 제시되어 있다. 이는 재활용기능을 80%인 경우에 해당되는 목록이다.

2.2.5 목록분석결과

2.2.5.1 해체시스템 목록분석결과

본 연구에서는 해체시스템에서 발생하는 투입물 및 산출물 목록에 대한 분석을 실시하였다. 친환경 폐차해체시스템의 경우 기존 폐차해체시스템에 비해 전기사용량이 약 41%정도 높은 반면 경유 사용량은 기존 폐차해체시스템의 4.32%인 것으로 밝혀졌다. 또한 이에 따른 대기배출물의 양 또한 현저하게 저감된 것으로 나타났다.

Table 6. Comparison of inventory between existing and environmentally friendly ELV dismantling system

투입물	
구분	내용
전기 사용량	<p>kWh elec./f.u.</p> <p>기존: 7.92, 친환경: 11.32, 41%</p>
	○친환경 폐차해체시스템에서는 전기를 주에

너지원으로 사용 ○실내조명 및 차체압축공정 순서로 기여도가 높은 것으로 분석 ○실내조명의 사용을 줄이는 노력이 필요		
공정명	전력량	백분율
폭발물위험처리공정	2.001E-01	1.77%
준비공정	2.290E-01	2.02%
액상유 회수공정	3.597E-01	3.18%
외장부품 회수공정	1.284E-01	1.13%
내장부품 회수공정	1.007E-01	0.89%
엔진변속기/배기장치/샤시부품 해체공정	3.638E-01	3.21%
차체압축공정	2.200E+00	19.43%
대차이송공정	1.864E-01	1.65%
실내조명	7.273E+00	64.25%
기타	6.000E-02	2.47%
합계	1.132E+01	100.00%
경유 사용량	<p>kg diesel/f.u.</p> <p>기존: 5.09, 친환경: 0.22, 95.68%</p>	
	○기존 해체시스템에서는 경유를 사용하는 중장비 의존도가 높은 반면 친환경 해체시스템에서는 경유 사용의 의존도를 현저히 낮춤	
대기 배출물	○친환경 폐차 해체시스템의 전기사용량, 경유 사용량, 경유연소 등에 의해 발생된 대기배출물의 양을 기존 폐차 해체시스템의 대기배출물 양과 비교 한 결과, 친환경 폐차 해체시스템에서는 기존해체시스템에 비해 NOx 65.6%감소, CH ₄ 23% 증가, NMVOC 95.6%감소, CO 95.4%감소, N ₂ O 95.1%감소, CO ₂ 등이 기존 해체시스템에 비해 69.4% 저감	
냉매	<p>kg HFC-134a /f.u.</p> <p>기존: 0.48, 친환경: 0.48, 회수</p>	
	○친환경 폐차 해체시스템에서는 냉매(HFC-134a)를 흡입장치를 사용하여 전량 회수. 그러나 재활용 및 폐기 등의 처리방안은 현재 고려중에 있으므로 본 연구에서는 회수 공정부하만 고려	
폐유	<p>kg Waste oil/f.u.</p> <p>기존: 4.88, 친환경: 6.97, 43%</p>	
	○친환경 폐차 해체시스템에서는 기존의 중력식 액상유 회수에서 가압식, 흡입식 방식을 사용하여 액상유에 대한 회수율을 98%로 높인 것이 특징	

Table 6의 전기사용량에서 확인할 수 있듯이 전기 사용량은 친환경적인 폐차 해체시스템에서 더 높은 것으로 분석되었다. 그러나 이러한 전기사용량의 64%가 실내조명 사용에 기인한 것으로 나타났다. 실내조명 사용으로 인한 소비전력을 낮추는 방안으로 에너지절약형 조명으로의 대체, 조명의 탄력적 이용, 자연광을 활용한 천장 구조물 변경 등이 있을 것이다. 기여도가 두 번째로 높은 공정은 차체압축공정으로 19.43%에 이르는 것으로 드러났다. 차체압축공정에서의 전력사용량을 줄이는 방안으로는 현재 차피압축시간이 10분인 운전조건에서 향후 효과적인 파쇄와 더불어 운전시간을 줄이는 방안을 강구함이 요구된다.

한편, 전기사용량과는 상이하게 친환경해체시스템에서의 경유사용량이 현저히 감소된 것으로 분석되었다. 이는 해체시스템 내 폐자동차의 이동 시, 인력으로 조작이 가능한 대차 사용에 기인한 결과이며, 각 설비의 에너지원이 전기인 점도 주된 경유사용 저감 원인으로 작용하고 있다.

또한 기존 폐차해체시스템과 비교하여 친환경 폐차해체시스템에서 CH₄를 제외한 NOx, CH₄, NMVOC, CO, N₂O, CO₂ 대기배출물 발생량이 감소된 것으로 나타났다.

2.2.5.2 gate to grave 목록분석결과

본 연구에서는 앞서 구축된 gate to gate 목록에 전기와 같은 일부 상위흐름과 해체시스템을 통해 발생하는 부품 및 물질의 재활용 및 처리에 관한 하위흐름을 연결하여 gate to grave 목록을 구축하였다. 구축된 목록 중에 발생 및 저감량이 많은 항목을 주요 목록 선정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Table 7은 목록을 발생량, 저감량, 순저감량으로 구분하고 있다. 발생량은 실제 친환경 폐차 처리시스템을 통해 중량이 1,211kg인 폐자동차 처리 시 실제로 대기 중으로 배출되는 양을 뜻하며, 이에 해당하는 목록은 CO₂, NOx 등이 있다. 한편 사용량은 폐자동차 처리와 관련하여 실제 사용된 자원의 양을 의미하며 Table 7에서는 coal, iron 등이 이에 해당된다.

Table 8. Gate to grave inventory about significant issues parameters

구 분	발생량 및 사용량	저감량	순저감량
CO ₂ (kg)	8.707E+02	-3.391E+03	-2.519E+03
Coal (kg)	1.354E+02	-9.967E+02	-8.610E+02
NOx (kg)	2.218E+00	-3.669E+00	-1.453E+00
Iron (kg)	3.379E-04	-1.538E+03	-1.538E+03

반면에 저감량은 실제로 존재하는 목록의 양이 아니라 재활용을 통해 저감될 수 있는 가상의 목록 값을 의미하며 본 연구에서는 이러한 저감량을 (-)값을 사용하여 표현하였다. 마지막으로 순저감량은 발생량과 저감량을 합한 값을 의미한다.

이러한 주요항목 CO₂, coal, NOx, iron 등은 주로 압축차체파쇄공정, 고철재활용공정, 폐엔진해체공정에서 주로 발생하는 것으로 분석되었으며 재활용을 통한 순저감량이 큰 것으로 나타났다.

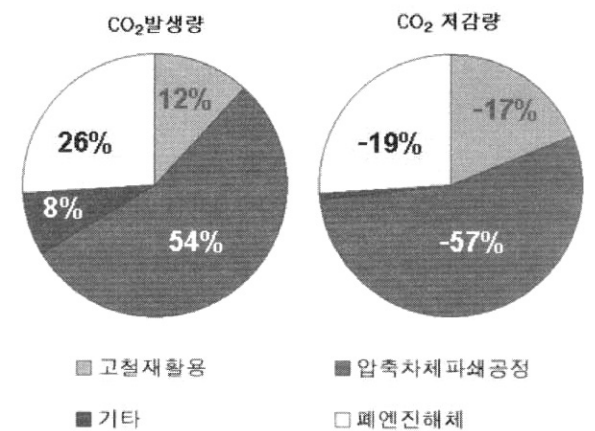


Fig. 3. Contribution of CO₂ to processes

Fig. 3은 폐자동차 1대 처리 시, 발생하는 CO₂ 발생량과 신재(virgin material) 생산 시 발생할 수 있는 CO₂가 재활용을 통해 그 발생이 저감되는 양을 나타낸다. 분석 결과, CO₂의 발생 및 저감량이 압축차체파쇄공정과 폐엔진해체공정, 고철재활용공정과 깊은 관련이 있는 것으로 드러났다.

2.3 전과정 영향평가

본 연구는 영향평가 방법론으로 대한민국 산업자원

부 영향평가방법론을 적용하여 친환경 폐차처리시스템의 잠재적인 환경영향을 정량적으로 도출하였으며 전과정 영향평가 단계는 특성화 단계까지만 수행하였다. 본 연구에서는 환경영향을 다음과 같이 구분하여 사용하고 있다.

• 환경부하(environmental burden):

폐자동차 해체와 폐자동차 부품 및 물질의 재활용에서 발생하는 공정부하가 환경에 미치는 negative한 환경영향을 의미한다. 단, 그 영향 값은 (+)값을 갖는다.

• 환경이득(environmental benefit):

재활용을 통해 원료물질(virgin material)의 사용을 대체함으로써 환경에 이득이 되는 positive한 환경영향을 의미한다. 단, 그 영향 값은(-)값을 갖는다.

본 연구에서는 전과정 영향평가를 해체시스템과 재활용 및 폐기단계를 포함한 처리시스템으로 구분하여 수행하였다.

2.3.1 해체시스템 영향평가

기존 폐차 해체시스템과 친환경 폐차 해체시스템을 대상으로 영향평가를 수행한 결과는 table 8에 소개되어 있다. 분석결과 기존 폐차 해체시스템의 환경부하는 지구온난화영향범주에서 친환경 폐차해체시스템에 비해 상당히 높게 나타났는데 이는 미회수된 HFC-134a 냉매가 대기로 방출되어 지구온난화영향범주에서 미치는 영향으로 적절한 수집 및 파쇄 또는 재활용 방안이 고려되어야 할 것이다.

반면에 친환경 폐차 해체시스템은 기존 폐차 해체시스템에 비해 전반적으로 환경부하가 낮은 것으로 드러났다. 친환경 폐차 해체시스템에서는 환경이득 값이 존재하는데 이는 해체시스템에서 사용되는 유압작동유의 재활용으로 인한 이득으로 재활용에 대한 이득을 본 시스템에 부과하여 나타내었다.

Fig. 4는 Table 8에 제시된 환경부하와 환경이득 값을 합한 환경영향 값을 나타내고 있으며 기존 해체시스템의 환경영향을 100%로 설정하였을 때 발생한 친환경 해체시스템의 환경영향 값을 백분율로 정규화한 값이다.

Fig. 4에 제시된 바와 같이 친환경해체시스템의 환

경이득이 광화학산화물생성, 생태독성, 인간독성 영향범주에서 높은 것으로 드러났는데, 이는 중유 생산과 관련하여 대기 및 수계로 배출되는 halon-1301(a), V(a), benzen (w)등이 작동유의 재활용으로 인하여 그 발생이 저감되는 회피효과(avoided impact)에 기인한다.

Table 8. Characterization results of existing and environmentally friendly ELV dismantling system

영향범주	단위	기존해체		친환경해체	
		환경부하	환경이득	환경부하	환경이득
ARD	1/yr	3.89 E+01	0.00 E+00	3.07 E+01	-1.96 E+00
GW	g CO ₂ -eq	1.85 E+06	0.00 E+00	8.82 E+03	0.00 E+00
OD	g CFC11-eq	5.09 E-06	0.00 E+00	1.99 E-06	-4.23 E-04
POC	g SO ₂ -eq	9.13 E-01	0.00 E+00	8.80 E-01	0.00 E+00
AC	g PO ₄ ³⁻ -eq	3.95 E+01	0.00 E+00	2.44 E+01	0.00 E+00
EU	g C ₂ H ₄ -eq	1.20 E-02	0.00 E+00	2.34 E-02	-4.59 E-03
ET	g 1,4-DCB-eq	8.67 E+02	0.00 E+00	9.83 E+02	-8.71 E+03
HT	g 1,4-DCB-eq	2.66 E-01	0.00 E+00	3.94 E-01	-6.50 E+00

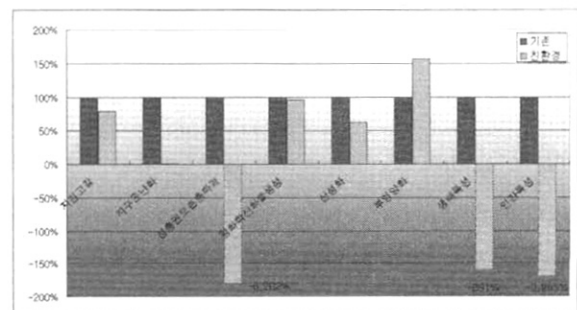


Fig. 4. Characterization results(%) of the different dismantling systems

2.3.2 처리시스템 영향평가

Fig. 5는 각각의 영향범주에서 발생한 환경부하의 값을 100%로 설정하였을 때 발생한 환경이득의 값을 백분율로 표현한 값이다. 분석 결과 특히, 자원고갈, 광화학적산화물생성, 산성화 등의 영향범주에서 환경

부하 값 발생 대비 환경이득 값의 생성이 높은 것으로 드러났다.

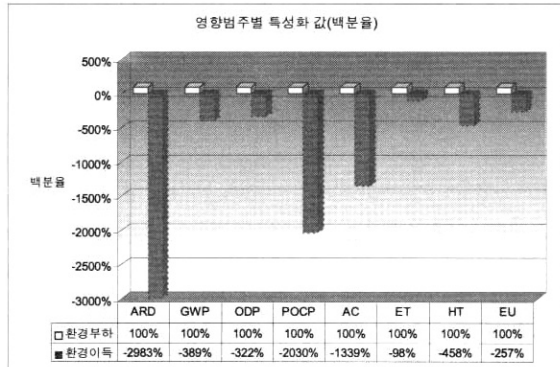


Fig. 5. Characterization results(%)

각각의 공정이 환경부하와 환경이득 값에 미치는 기여도 분석 결과는 Fig. 6에 제시되어 있다. 분석결과, 환경부하와 관련해서 대부분의 영향범주에서 압축차체파쇄공정, 고철재활용공정, 폐엔진해체공정 등의 순서로 높은 기여도를 갖는 것으로 드러났으며, 광화학적산화물생성, 산성화영향범주에서 특히 폐배터리재활용공정, 폐촉매재활용공정, 폐유정제재활용공정의 기여도가 높게 나온 것으로 드러났다.

한편, 환경이득에서도 전반적으로 각각의 공정의 기여도가 환경부하와 동일한 경향을 갖는 것으로 밝혀졌다. 대부분의 영향범주에서 압축차체파쇄, 고철재활용, 폐엔진해체공정 등의 기여도가 높은 것으로 분석되었다.

2.4 시나리오 분석

현재 본 친환경적 폐차 해체시스템의 재활용가능율은 80%로써 2006년 1월 1일까지 EU ELV directive에서 요구하는 reuse·recycle 80%, recovery 85%의 기준을 부합하기 위해서는 5%의 추가적인 재활용이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 5%를 충족시킬 수 있는 추가적인 부품의 회수를 통해 재활용을 하였을 시 증가되는 환경이득을 시나리오 분석을 통해 규명하였다. 본 시나리오 연구에서 사용한 재활용방법은 물리적 재활용방법으로 이는 화학적 재활용, 열적 재활용방법 보다 재활용 효율과 경제성이 높은 방법인 점에 착안하여 선정하였다.⁸⁾

재활용가능율 5% 증가 시 추가적으로 투입되는 물질은 전기사용량 1.90E-01kWh이며, 추가적으로 산출되는 물질은 비고철 5.00E+00kg, 페플라스틱 2.82E+01kg, 폐유리 2.988E+01kg 등이다. 이 중에서 비고철, 페플라스틱 등은 국내에서 재활용이 원활하게 이루어지고 있으나 자동차 폐유리는 재활용이 비활성화 되어 있는 것이 현실이다.

Table 9. Characterization results of scenarios

영향범주	R.80%			R.85%		
	환경부하	환경이득	환경영향	환경부하	환경이득	환경영향
ARD	7.95 E+02	-2.37 E+04	-2.29 E+04	8.50 E+02	-2.42 E+04	-2.33 E+04
GW	9.09 E+05	-3.54 E+06	-2.63 E+06	9.41 E+05	-3.64 E+06	-2.70 E+06
OD	4.44 E-02	-1.43 E-01	-9.85 E-02	4.49 E-02	-1.44 E-01	-9.92 E-02
POC	1.11 E+02	-2.26 E+03	-2.15 E+03	1.15 E+02	-2.32 E+03	-2.21 E+03
AC	3.02 E+03	-4.05 E+04	-3.75 E+04	3.10 E+03	-4.08 E+04	-3.77 E+04
EU	4.74 E+01	-1.22 E+02	-7.45 E+01	5.10 E+01	-1.24 E+02	-7.30 E+01
ET	4.69 E+08	-4.57 E+08	1.15 E+07	4.75 E+08	-4.60 E+08	1.48 E+07
HT	5.19 E+04	-2.38 E+05	-1.86 E+05	5.24 E+04	-2.39 E+05	-1.86 E+05

현재 자동차 폐유리는 일부 영세 재활용업체를 통해 유리블럭 생산의 형태로 재활용이 이루어지고 있다. 그러나 연간 승용 폐자동차 유리 발생량이 11,398ton정도임을 고려해 볼 때, 자동차 폐유리 공급량을 수요할 수 있는 잠재적인 재활용 공정으로 유리섬유 생산공정을 선정하였다. 이러한 선택은 국내 유리섬유생산업체 공정 전문가의 의견에 기초한 것으로써 충분한 물량확보를 통한 채산성 확보와 공정조건변화에 따른 설비변경 등이 선결된다면 실현될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 국내 유리 생산 공정과 관계된 실제 공정에 대한 DB를 아직 구축하지 못한 관계로, 유리섬유 생산과 관련된 네덜란드 PReConsultants 사의 glass recycling DB를 활용하여 환경이득을 고려하였다.

시나리오별 특성화 값은 table 9에 제시되어 있다.

환경부하와 환경이득 값의 합인 환경영향을 기준으로 각 영향범주별 개선도를 파악한 결과, 자원고갈에서 환경성 2%증가, 성층권오존층파괴에서 1%증가, 광화학산화물생성에서 3%증가, 산성화에서 1%증가, 부영양화에서 2% 저하, 생태독성에서 29%저하, 인간독성에서 동일한 결과를 보이고 있다. 대부분의 영향범주에서 재활용가능율의 증가에 따라 환경성이 증가되는 것으로 분석되었다. 한편, 생태독성에서 환경성이 저하된 원인으로는 고비철재활용공정에서 대기로 배출되는 HF에 의한 공정부하인 것으로 드러났다. 그러므로 고비철재활용공정의 경우 대기오염물질 저감장치를 통한 HF 저감 방안에 대한 개선이 요구된다.

Table 10. Variation on characterization results with recyclability rate change from 80% to 85%

영향 범주	전기 사용	고비철재 활용	페플라스틱재 활용	폐유리 재활용	환경 영향
ARD	2.42 E-01	-2.97 E+02	-1.87 E+02	-4.95 E+01	-5.33 E+02
GW	9.69 E+01	-5.55 E+04	-6.06 E+04	-6.04 E+02	-1.17 E+05
OD	2.42 E-09	3.56 E-04	-4.37 E-04	2.51 E-07	-8.09 E-05
POC	6.06 E-04	-3.00 E+01	-5.29 E+01	-4.31 E-02	-8.30 E+01
AC	1.57 E-01	-5.87 E+02	-1.14 E+02	-3.33 E+01	-7.35 E+02
EU	1.70 E-04	-3.54 E-01	-1.39 E+00	1.78 E-02	-1.73 E+00
ET	1.09 E+01	2.35 E+06	-2.62 E+05	1.31 E+03	2.09 E+06
HT	1.94 E-03	-7.12 E+01	-4.34 E+01	1.96 E-01	-1.14 E+02

Table 10은 재활용가능율 5% 향상에 따른 각 주요 공정의 특성화 값 변화량을 나타낸 것이다. 여기서 전기사용은 고비철, 페플라스틱을 추가적으로 회수하는데 소요되는 공정부하를 의미하며 비고철재활용, 페플라스틱재활용, 폐유리재활용은 각각의 공정을 통해 추가적으로 발생하는 환경영향 값을 나타낸다. 연구 결과 폐유리의 경우 재활용에 따른 환경이득이 적은 것으로 분석되고 있다. 그러나 승용자동차 중량의 약 3%를 차지하는 자동차 유리의 재활용은 EU ELV

directive에서 요구하는 재활용율을 충족하는데 필수적인 항목으로 부각되고 있다. 이러한 문맥에서 향후 폐유리 재활용 방법 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는 폐차 해체시스템과 폐차 처리시스템에서의 환경성과 개선사항을 좀 더 명확하게 도출하기 위하여 연구 범위를 친환경 폐차 해체시스템과 처리시스템으로 구분하여 수행하였다. 또한 전과정 목록분석과 전과정 영향평가 단계에서 기존 폐차처리시스템에 대한 자료를 사용하여 친환경 폐차 해체 및 처리시스템에 대한 평가결과 이해를 용이하게 하도록 하였다. 한편, 전과정 해석 단계에서는 재활용가능율 5% 증가에 따른 환경성 변화 추이를 관찰하였다. 이러한 평가에 대한 결과는 다음과 같다.

우선 친환경 폐차해체시스템에서 전기사용량이 기존 폐차해체시스템에 비해 41% 증가되는데 비해 경유사용량이 95.68%, 대기배출물 NOx 65.6%, N₂O 95.1%, CO₂ 95.4%가 감소된 것으로 나타났다. 특히 친환경 폐차처리시스템의 경우 전기사용과 관련하여 실내조명의 유연한 사용으로 전기사용량을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. Gate to grave 분석에서는 CO₂, NOx, coal, iron 등이 주요 환경파라미터로 도출되었으며 이러한 항목은 고철의 재활용과 깊은 관련이 있는 것으로 밝혀졌다.

전과정 영향평가 단계에서는 친환경 해체시스템이 대부분의 영향범주에서 기존 해체시스템에 비해 환경성이 우월한 것으로 분석되었으며 특히, 지구온난화, 성층권오존층파괴, 생태독성, 인간독성 영향범주에서 많은 환경성 개선이 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 한편, 폐차 처리시스템 관점에서는 고철재활용공정의 영향이 큰 것으로 나타났다.

마지막으로 고려된 시나리오 분석에서는 재활용가능율을 85%로 증가함에 따라 발생하는 환경성 변화를 도출하였다. 그 결과 부영양화, 생태독성 영향범주를 제외한 대부분의 영향범주에서 환경이득이 더 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 청정생산이전 확산사업의 지원받아 수행한 연구결과이며 연구비를 지원해주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) TEWARTEU, "Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council" (2000.9.18)
- 2) 이화조, "폐자동차 회수·처리기술", *자동차공학회지*, 19(6), pp.34~44(1997).
- 3) 현대자동차, "현대자동차 지속가능성 보고서: The Road to Sustainability", pp.44~45(2002/2003).
- 4) ISO 14040: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework (1997).
- 5) <http://www.hyundai-motor.com/index.html>
- 6) 이진모, 허탁, 김승도, "환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침", 한국품질환경인증협회, pp.80~81(1998).
- 7) 산업자원부, "환경친화적인 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화산업"(2003).
- 8) 이혜진, "폐플라스틱재활용에 대한 전과정평가와 비용편익분석에 관한 연구" pp. 66, 76(2002)