

폐자동차 시트 재활용에 대한 환경성 평가

구희준, 정찬교*
환경청정기술연구센터, 수원대학교*

Application of Environmental Impacts to Seat Recycling of End-of-Life Vehicles

Hee Jun Koo, Chan Kyo Chung*
Center for Environmental & Clean Technologies, The University of Suwon

요 약

본 연구는 국제환경규제에 따라 폐자동차의 재활용을 향상을 위한 재활용 부품 우선순위를 도출하고, 폐시트 등 부품 재활용에 의한 환경성을 평가하기 위하여 폐차 해체시스템 전과정평가를 수행하였다. 연구결과 차피의 고철을 재활용 할 경우에는 지구온난화와 오존층파괴에 큰 환경이득을 얻을 수 있으나 폐시트를 폴리올 원료로 재활용할 경우에는 많은 자원의 사용으로 오히려 소각으로 인한 환경부하보다 지구온난화와 오존층파괴, 광화학산화물생성 등의 부하를 증가시키는 것으로 나타났다. 그러나 폐차의 95% 이상을 재활용 및 회수하기 위해서는 분해시간 및 시장성, 기술현황 등을 종합하여 고려하여야 하며 재활용이 곤란한 유리와 같은 다른 부품과 함께 시트의 물질재활용도 반드시 포함되어야 될 것으로 사료된다. 처리와 재활용에 따른 환경성을 비교한 결과 재활용이 필요한 부품은 시트와 유리가 가장 시급하며, 배터리, 혼합플라스틱도 재활용시 환경친화적 공정개발이 필요한 것으로 도출되었다.

1. 서론

유럽에서는 지속가능한 개발을 위하여 환경친화적 제품에 관련된 제품통합정책(IPP, Integrated Product Policy)을 추구하고 있으며 설계단계에서부터 환경부하를 최소화하기 위한 제품의 전과정적 사고를 통하여 사전오염예방 활동에 노력하고 있다. 이러한 패러다임의 변화에서 자동차 산업과 관련하여 태동한 것이 EU의 폐차처리지침(Directive 2000/53/EC)이다. 이 지침에 따라 폐자동차의 에너지회수를 포함한 재활용율을 2006년 85%, 2015년 95% 이상으로 규제하므로써, 재활용 문제가 큰 이슈가 되고 있다.

일반적으로 규모가 있어 재활용율이 비교적 높은 폐차장에 폐차가 입고되면 Fig. 1과 같이 해체사업자가 재사용 할 수 있는 부품과 원재료로서 이용하거나 재활용 가능한 부품을 해체하고 폐유, 폐타이어나 배터리 등을 분리하여 적절한 처리 및 재활용을 한 후 나머지 차피는 압축하여 슈레더업자에게 인도한다. 슈레더업자는 차피를 파쇄하여 선별하므로써 철, 비철금속 등 재이용 할 수 있는 금속 스크랩은 고철로 재활용하고 대략 차량 총 중량의 20% ~ 25% 가량을 차지하는 ASR(Automobile Shredder Residues)은 대부분 매립으로 처리하고 있으므로 환경에 미치는 폐해가 점차 증가되고 있는 실정이다.

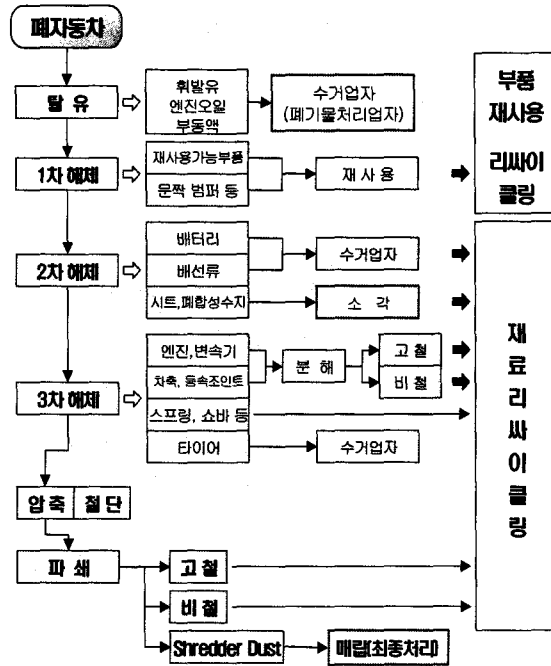


Fig. 1. Conventional dismantling & ASR treatment process of ELV

우리나라에서 발생하는 ASR은 연간 약 20만톤으로 현재 5개의 슈레더업체에서 극히 일부만이 소각과 시멘트 소성 Kiln의 열원으로 사용되고 있다. ASR을 최소화하기 위해서는 폐차 해체를 가능한 세부적으로 분리선별하고 재활용이 가능하도록 해체시스템을 운용하여야 한다. 해체시스템의 해체범위와 재활용 부품의 선별에 따라 후속공정인 ASR의 성상도 결정되므로 해체시스템의 환경친화적 처리가 무엇보다도 선결되어야 할 과제이며 해체시 어떠한 부품을 먼저 해체해야 되는지에 대한 중요도가 결정되어야 한다. 현재는 시트와 폐합성수지 및 유리는 재활용되지 않고 소각되거나 매립되고 있으며, 특히 시트는 Table 1에서처럼 재활용할 수 있는 기술들이 있으나 자동차에 사용되는 플라스틱 중에서 가장 재활용이 곤란한 재질로 평가되고 있다. 이는 시트에 사용되는 폴리우레탄은 주로 폴리우레탄폼으로 시트의 쿠션재에 사용되고 있으나 해체하면 용적이 증가되어 취급이 어렵고, 분해시간이 오래걸리며, 경제성 및 환경친화적 재활용 기술이 부재하기 때문이다.

Table 1. Recycling technology of waste seat(poly-urethane)

Recycling Tech.		Methods
MR	Rebonded Foam	분쇄후 접착제를 도포시켜 몰드 주입 가열 성형(쿠션, 방음재)
	탄성포장재	탄성체 분쇄후 접착제를 첨가하여 가열 성형(자동차 Floor Mat)
	열프레스 성형시트	연질폼 분쇄후 칩 제작후 가열프레스로 성형하여 시트 제조(자동차 Floor Mat)
	Pellet	연질폼 스크랩 분말화 후 열가소성수지와 혼합 펠렛화
	Filler	0.1mm이하 분쇄 후 시트쿠션용 폼 제조시 충전제로 사용
CR	열해중합법	하이드록시기를 갖는 물질을 폐폴리우레탄과 반응시켜 폴리올 제조(Glycolysis, Aminolysis, Hydrolysis, Alcolysis)
	열분해법	폐폴리우레탄을 저산소 또는 무산소 상태의 환원 분위기에서 (약 200℃ 이상) 서서히 분해시켜 모노머화(Hydrolysis)
ER	열회수	폐폴리우레탄의 발열량 회수 (6500 kcal/kg)

2. 전과정평가(Life Cycle Assessment)

2.1 목적 및 범위설정

가. 연구목적

본 연구의 목적은 폐자동차의 부품중 시트 재활용에 따른 환경영향을 분석하기 위하여 소형의 대표차종인 액센트를 기준으로 해체 시나리오(회수범위)에 따른 주요 환경영향을 분석하고, 이에 따른 처리와 재활용시의 환경부하 및 이득을 평가하기 위하여 수행하였다. 특히 폐차가 폐차장에 입고되어 시트를 해체하지 않고 처리하는 경우와 시트를 해체하여 재활용하는 경우를 비교하기 위하여 수행하였으며 이와 함께 폐자동차 부품중 재활용이 원활하지 않은 유리 및 플라스틱류의 재활용 우선순위를 도출하기 위해 연구하였다.

나. 연구범위

본 연구의 시스템 경계는 폐자동차가 해체시스템에 입고되어 부품 해체, 압축후 Shredding되는 공정까지의 Gate to gate로 설정하였다. 또한 해체후 재활용되는 공정의 환경부하를 비교하기 위하여 소각, 매립, 재활용의 시나리오를 작성하여 gate to grave까지의 환경영향을 비교하였다. 폐차장의 해체시스템은 대규모 회수의 경우 3단계 해체시스템, 중규모의 경우 2단계 해체시스템, 소규모의 경우 단일 해체시스템을 적용하여 비교하였다. 고려된 영향평가 방법론은 Eco-indicator 95를 이용하여 평가하였고 프로그램은 GaBi를 이용하여 해외DB 및 국가 LCI DB를 사용하였다.

기능단위는 폐차 1대 처리로 설정하였으나 기능단위에 의해 기술된 성능을 만족하는 제품의 정량화된 양인 기준흐름은 폐자동차 특성상 하나로 적용하기 매우 어렵다. 즉, 폐차 1대 처리의 기능단위에서 폐차 1대는 차종, 모델, 옵션 등에 따라 차이가 발생하며 더욱이 폐기시에는 사용자에게 의해 어떻게 변화되었는지를 일반화하여 정량화하기 어렵기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 전체 차량등록의 약 70%를 차지하고 있는 승용차를 대상으로 배기량에 따라 비교적 재활용율이 높은 대형 차종보다 등록대수가 많고 재활용이 원활치 않은 소형차종을 연구 범위로 제한하여 대상 차종을 액센트로 산정하였고, 액센트의 차량중량은 각 모델별 사양을 산술평균하여 기준흐름을 결정하였다.

폐자동차 처리를 위한 기능단위는 액센트 차량 1대로서 기준흐름은 액센트가 폐차에 입고되는 평균무게인 1011.465 kg이다. 부품회수는 대규모의 경우 대부분 수작업 해체로 진행되며 시트분리, 90%의 폐유분리수거, 유리해체 등 폐차장에서는 보통 차량이 5년 이하인 사고차로 부품회수율이 높은 차량에 해당된다. 중규모의 경우 수작업 해체와 산소절단 해체를 병행하며 시트를 재활용하지 않고 폐유 수거율이 낮으며(70%), 차피와 함께 유리도 압축하므로 유리매립 시나리오를 적용하고 혼합플라스틱은 ASR로 발생되어 소각되는 것으로 하였다. 소규모의 경우 대부분 산소절단 해체로 부품 회수율이 가장 낮고 대부분 연식이 오래된 차량으로 모든 플라스틱은 소각되고, 유리는 매립되는 것으로 시나리오를 작성하였다.

2.2 목록분석

액센트 차량의 부품회수율을 높이기 위한 대규모 해체공정의 세부 재질별, 품목에 따른 공정흐름도는 Pretreatment 공정-Disassembly 1(외관 및 내관 해체공정)-Disassembly 2(Engine Compartment 해체 공정)-슈레딩-ASR처리 공정으로 대별된다. 액센트 차량의 재질 및 함량 정보는 IDIS(International Dismantling Information System)의 함량과 차량 제원 등 현장과 문헌을 참고하여 데이터를 수집하였고, 단위공정별로 수집된 데이터를 기능단위에 맞게 연결하여 최종적으로 해체시스템 시나리오에 대한 목록분석 결과를 도출하였다. 시트의 재활용 방법은 Cascade recycling보다 수평 리사이클(동종 기능소재로 재활용)을 평가하기 위해 열해중합법에 의한 폴리우레탄 합성원료인 폴리올 원료로 재활용하는 것을 대상으로 하였으며 독일 데이터를 사용하여 비교하였다.

2.3 영향평가

영향평가 결과 해체시스템과 해체 및 Shredder를 포함한 대규모 회수시스템의 환경부하가 가장 적으며, 소규모 회수시스템에서는 발암성, 부영양화, 오존층파괴, 스모그에 큰 환경부하가 유발되는 것으로 나타났는데 이는 플라스틱류와 유리의 재활용 이득이 회수시 발생하기 때문이다. 각 공정별 환경부하는 Pretreatment 공정에서 많은 환경부하가 유발되고 있으며, 특히 냉매에 의한 지구온난화와 배터리에 의해 산성화와 중금속 오염이 발생되며, Shredding Process에서는 발암성, 부영양화, 스모그가 주요 환경부하를 유발시키고 있다.

Table 2. Comparative result of environmental impacts

Impact Categories	Dismantling system			Dismantling system and Shredder		
	minimum	medium	maximum	minimum	medium	maximum
AP	2.51E+00	2.50E+00	2.49E+00	2.59E+00	2.58E+00	2.57E+00
AETP	9.82E-01	9.67E-01	9.42E-01	1.01E+00	9.91E-01	9.66E-01
Carc.	1.57E-06	8.18E-07	2.11E-07	2.33E-06	1.58E-06	9.75E-07
EP	3.31E-03	2.02E-03	4.83E-04	9.99E-03	8.74E-03	7.18E-03
GWP20	2.25E+03	2.24E+03	2.23E+03	9.34E+02	9.24E+02	9.17E+02
HM	1.52E+00	1.52E+00	1.52E+00	2.29E+03	2.28E+03	2.27E+03
HTP	5.37E+02	5.35E+02	5.34E+02	3.39E+02	3.29E+02	3.22E+02
ODP	2.54E-07	2.52E-07	8.53E-09	1.53E+00	1.53E+00	1.53E+00
POCP	1.54E-02	1.53E-02	1.43E-02	5.50E+02	5.48E+02	5.47E+02
TETP	4.53E+04	4.48E+04	4.44E+04	7.51E+01	7.54E+01	7.52E+01
Smog	1.81E-03	1.35E-03	2.36E-04	7.74E-06	7.78E-06	7.51E-06

재활용에 따른 영향을 분석하기 위해 고철과 시트의 재활용을 avoided impact를 고려하여 할당한 결과 고철 재활용으로는 지구온난화와 오존층파괴 등 대부분 환경적 이득을 얻을 수 있었으나 시트를 재활용한 결과 오히려 소각하는 것보다 환경에 부하를 유발시키는 것으로 나타났다. Table 3의 마이너스는 재활용에 따른 환경이득으로 원료 제조시의 환경부하에 재활용시의 환경부하를 차감한 순저감량을 나타낸다. 시트 재활용의 환경성이 나쁜 원인은 폴리우레탄을 폴리올로 재활용하기 위해서는 많이 전력과 열원 및 원료가 투입되는데 이에 기인하는 환경부하가 높은 반면에 고철은 원료채취 공정의 환경부하가 매우 높기 때문에 순저감량이 높게 나타난 것으로 분석되었다. 그러므로 시트의 물질 재활용을 향상시키기 위해서는 환경친화적으로 재활용 할 수 있는 기술개발이 먼저 선결되어야 하며, 원활한 시트분리와 재활용을 향상을 위한 에코디자인 도입과, PU Foam 분리 선별 방식을 개발하고 적절한 Foam 전용 분리기 및 세척기가 필요할 것으로 사료된다.

Table 3. Result of environmental impacts about scrap iron and seat recyclability

Impact categories	scrap iron	waste seat
Eco-Indicator 95	-8.52E+02	2.96E+01
Global warming potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	-8.31E+02	3.25E+01
Ozone depletion potential (ODP, catalytic) [kg R11-Equiv.]	1.13E-03	2.14E-03
Acidification potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	-1.45E+01	-1.97E+00
Eutrophication potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	-5.38E-01	-1.41E-01
Photochemical oxidant potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-4.97E-01	8.63E-02
Winter smog (EI 95) [kg SO2-Equiv.]	-5.27E+00	-
Carcinogenic substances (EI 95) [kg PAH-Equiv.]	-3.07E-04	-9.47E-01
Heavy metals (EI 95) [kg Pb-Equiv.]	9.10E-03	1.92E-05

3. 결과

차피의 고철을 재활용 할 경우 재활용 품질의 질저하를 고려하지 않았을 때 지구온난화와 오존층 파괴에 큰 환경이득을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 현재 재활용이 곤란한 부품들은 환경친화적 재활용 공정개발이 필요한 것으로 도출되었다. 배터리의 경우 재활용시 황산의 중화처리와 납의 재활용 효율 저하로 산성화와 인체독성을 유발시키며, 혼합플라스틱을 재활용하지 않고 후속공정으로 인계되면 소각시에는 발암성, 부영양화, 스모그를, 매립시에는 생태독성에 주요 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 유리의 경우 매립시에는 오존층파괴와 스모그를, 소각시에는 부영양화를 유발시킨다. 유리는 열 재활용시 회분이 높아 감량이 적으므로 재활용율을 저감시키고, 기술적으로 소각시 저융점 물질 위주로 열회수부에 폐쇄가 일어나며, 파쇄시에는 크러셔(Crusher)의 마모를 유발하므로 우선적인 물질재활용이 필요하다. 그러나 물질 재활용시 경제성이 없으므로 이를 해결하기 위해서는 발포유리, 다공성세라믹, 인조대리석 등 고부가가치 제품으로 재활용 될 수 있도록 해야 한다. 시트의 경우 액센트 중량의 1.07%를 차지하고 있어 물질재활용이 요구되나 재활용이 소각보다 환경부하를 더 많이 유발시키는 것으로 나타났다.

그러므로 재활용율과 분해시간 및 시장성을 고려할 때 현재 제대로 재활용되지 못하고 있는 유리(중량의 2.4%)와 시트가 환경성에 의한 폐차의 재활용에 가장 필요한 부품으로 도출되었다.

감사의 글

본 논문은 자원재활용기술개발사업단과 수원대학교 환경청정기술연구센터의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) International Symposium on End-of-Life Vehicles' Recycling, 2005
- 2) Hitoshi Ohya, Shigehisa Endoh, Atsushi Inaba, Environmental Impact Assessment for Recycling, International Symposium on Green Technology for Resources & Materials Recycling, 2004 11. 24 ~ 27