

폐자동차 처리 시스템에 대한 전과정평가

홍석진, 김 익, 허 탁, *홍존희, **윤주호, **김영명

(건국대학교 화학생물공학부, *현대·기아 연구개발본부, *자동차부품연구원소재기술개발본부)

Life Cycle Assessment of End of Life Vehicles Treatment System

Seok Jin Hong , Ik Kim, Tak Hur, *John Hee Hong, **Ju Ho Yun, **Young Myung Kim

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

ABSTRACT

In Europe, the final recycling rate of ELV(End of Life Vehicle) has been regulated by 95%(by 2015). To meet this satisfaction, countries such as Germany, Japan and Sweden are introducing various ways of system in dealing ELV. This study mainly focuses on providing the comparable information between the improvement of system processed by unit process and the environment-friendly system, which will be adopted later in ELV. It classifies a treatment system into fluid draining, disassembly, shredding & sorting and processes by including recycling process of each unit output into the system boundary. Also, it divides treatment scenario which is satisfied the recycling rate regulated by ELV directive into two parts; One is at the stage of disassembly and the other is at that of shredding & sorting so that they can assess the environmental effect on ELV by applying the improved scenario respectively. In conclusion, treatment system of ELV is an environmental profit derived from recycling outputs in unit process(-6.04E+01 Eco-indicator) and the gain from the old metal has a large portion of profit by 77%. For improvement in recycling and sanitary landfill, scenario 2 is inferior to scenario 1, in that it produces additional inputs/outputs. However, further examination on the environmental effect about landfill should be taken into account more clearly.

Key Words : LCA, ELV Treatment System, Key issue of environmental aspects, Alternatives

요 약 문

EU 폐차지령에서는 최종적인 재활용율을 95%로 규정하고 있으며, 이를 만족시키기 위해 독일, 일본, 스웨덴을 중심으로 다양한 폐자동차 처리 시스템이 도입되고 있다. 본 연구에서는 폐자동차 처리 시스템의 단위공정별 개선점과 차후 도입될 친환경적 폐자동차 처리 시스템의 비교자료를 제공하는 것을 목적으로, 폐자동차 1대를 기준흐름으로 하여 폐자동차 처리 시스템을 액상폐기물 회수공정, 해체공정(시나리오 1), 파쇄공정(시나리오 2)으로 분류하고, 각 단위공정별 산출물들의 재활용공정을 시스템 경계에 포함하여 수행하였다. 또한 폐차지령에서 규정하고 있는 재활용율을 만족할 수 있는 폐자동차 처리 시나리오를 해체단계와 파쇄단계 각각에 대한 개선 시나리오 적용을 통해 폐자동차 처리 시스템의 환경성을 평가하였다. 결론적으로 폐자동차 처리 시스템은 단위공정별 산출물들의 재활용을 통한 환경이득으로 -6.04E+01 eco-indicator를 나타내며, 이중 대당 구성비가 큰 고철재활용의 환경이득(77%)이 가장 크게 나타나고 있다. 재활용 향상 및 위생매립을 위해 추가적인 투입·산출이 발생하는 시나리오 2보다 시나리오 1의 환경성이 우수하게 나타나고 있으나, 매립에 대한 환경영향을 명확하게 규명하지 못한 점이 고려되어야 할 것이다.

1. 서 론

친환경적인 폐자동차의 처리와 재활용 증진을 위해 유럽을 중심으로 태동한 폐자동차 처리에 관한 규제는 자동차 산업에서 새로운 무역장벽으로 작용하고 있다. 폐자동차 관련 규제는 친환경적인 폐기의 책임을 자동차 제조업체에 전가하고 있어 폐자동차 처리에 대한 자동차 제조업체의 역할을 부각시키고 있다. BMW, Volvo, Toyota 등의 전세계 굴지의 제조업체에서는 이미 친환경적인 폐자동차와 관련된 연구가 수행되고 있으며 폐자동차 처리 시스템에 대한 환경영향과 개선점 도출 및 적절한 재활용공정 선택 등의 의사결정을 위해 전과정평가(Life Cycle Assessment)를 활용하여 분석하고 있다.

본 연구에서는 국내의 폐자동차 처리 시스템에 대한 전과정평가 수행을 통해 대상 시스템의 환경성에 대한 단일지수 산출 및 각 재활용산출물별 환경성에 대한 비교 분석과 EU 폐차지령의 재활용율에 따른 시나리오를 통해 폐자동차 처리 시스템을 분석하고자 한다.

2. 관련 현황

국내 자동차 수명은 평균 7~8년 정도로 미국, 일본 등의 자동차 선진국에 비해 수명이 짧은 편이며, 신모델 출시와 모델 수의 증가로 사용 교체 주기가 짧아지고 있어 향후 폐자동차 발생 대수의 급속한 증가가 예상된다. 1) 실제로 국내 폐자동차 발생 대수는 Fig. 1과 같이 꾸준히 증가되고 있으며 90년대 후반 경기 침체로 인해 잠시 감소되었으나 다시 증가 추세에 있다.

폐차 업체당 폐자동차 처리 대수는 연간 2000여대 정도로 경제적 수익을 창출하기에는 부족하며, 폐차 업체의 영세성으로 처리를 위한 시설투자 및 연구개발은 전무한 실정이다. 일반적인 폐자동차 처리 시스템은 엔진오일, 부동액 등을 회수하는 액상폐기물 회수공정과 재활용부품, 고철 및 고비철 등을 회수하는 해체공정, 나머지 차체를 압축하는 압축공정, 압축된 차

체에서 물질 회수를 위한 파쇄공정으로 나눌 수 있다.

폐자동차에서 회수는 주로 경제적 가치를 지닌 고철, 고비철 부품 및 물질 위주로 이루어지고 있으며 90% 이상의 회수율을 보인다. 나머지 소량 부품 및 물질의 경우 경제적 가치, 해체곤란, 재활용 기술 부재 등의 이유로 매립되고 있다.

Fig. 1 폐자동차 발생 대수

따라서, EU 폐차지령과 같은 규제에서 설정된 폐자동차 재활용율을 달성하기 위해서는 소량 부품 및 물질에 대한 회수가 이루어져야 하며, 어떤 부품과 물질이 얼마만큼의 환경영향을 갖는지에 대한 분석이 필요하다.

3. 목적 및 범위 정의

본 연구의 목적은 전과정평가 기법을 활용하여 국내 폐자동차 처리 시스템에 대한 환경영향을 규명하고 재활용율을 가정한 시나리오 분석을 통해 폐자동차 처리 시스템의 환경성 개선 기회를 모색하고자 한다.

Table 1은 폐자동차 처리 시스템에 대한 기능, 기능단위 및 기준흐름을 나타내고 있다. 대상공정의 기준흐름은 폐자동차 발생 대수 중 약 70%를 차지하는 승용차 중 중형 자동차를 대상으로 하였으며, 평균 무게는 대당 1,142kg으로 설정하였다.

Table 1. 기능, 기능단위 및 기준흐름

본 연구의 시스템경계는 폐자동차가 투입된 이후 액상폐기물 회수, 해체, 압축, 파쇄공정을 거쳐 최종폐기(Gate to Grave)까지로 설정하였으며, 재활용공정의 산출물에 대해서 열린 고리 재활용시스템의 할당방법 중 avoided impact approach 방법을 적용하여 전과정평가를 수행하였다. 고려된 영향범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물생성, 인간독성, 생태독성의 8가지이다.

4. 전과정목록분석

본 연구에서는 폐자동차 처리 시스템의 환경성평가에 필요한 데이터를 수집하기 위해 폐자동차 처리 시스템을 Fig. 2와 같이 폐자동차 해체공정과 재활용공정으로 크게 구분한 후에 각각에 대하여 아래와 같이 단위공정을 세분화하였다.

- 폐자동차 해체공정 : 액상폐기물 회수, 해체 및 압축, 파쇄
- 재활용공정 : 폐유정제, 폐부동액 소각, 폐배터리 재활용, 폐축매 재활용, 고철 재활용, 고비철 재활용

범위정의에서 설정한 데이터 요건에 따라 정의된 단위공정별로 2002년도 연간 공정 데이터 및 해체와 재활용공정의 산출물들에 대한 정량적인 데이터를 수집하였다. 이 과정에서 해체공정의 공정데이터와 재활용공정에 대한 공정 및 산출물 데이터 수집은 비교적 용이하였으나 폐자동차 해체공정에서 발생하는 산출물들에 대한 정량적인 데이터 수집은 현실적인 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 ACORD(Automotive Consortium on Recycling and Disposal)의 중형자동차 한 대 당 물질 구성비를 통해 해체공정에서 발생하는 산출물들의 정량적인 정보로 활용하였으며, 이를 활용하여 산출물들의 재활용에 따른 환경이득을 정량화하였다. 다음으로, 단위공정별로 수집된 데이터를 기능단위에 맞게 연결하여 최종적으로 폐자동차 처리 시스템에 대한 전과정목록분석 결과를 도출하였다.

Table 2는 폐자동차 처리 시스템의 전과정에서 야기되는 주요 파라미터들에 대한 공정별 순발생, 순저감, 실제부하량에 대한 기여를 나타내고 있다. 여기서 폐자동차 처리 공정은 폐자동차 해체공정의 각 단위공정의 산출물에 대한 재활용공정을 포함한다. 순발생량은 폐자동차 해체공정과 재활용공정에서 투입되는 물질로 인해 야기되는 환경영향을 말하며, 순저감량은 이들 공정에서 재활용을 통해 얻을 수 있는 환경이득을 나타낸다. 실제부하량은 이들을 합한 것이다. 실제부하량은 해체 및 압축공정과 파쇄공정에서 대부분의 기여를 보이는 것을 볼 수 있으며, 지구온난화에 영향을 미치는 CO₂ 파라미터의 경우 해체 및 압축공정에서 고철 및 고비철에 의한 큰 순저감량을 나타내고 있으나, 해체 및 압축공정에서 순발생량이 다른 공정들에 비해 상대적으로 현저하게 크므로, 오히려 파쇄공정의 실제부하량이 가장 낮음을 확인할 수 있었다.

5. 전과정영향평가

폐자동차 처리 시스템에 대한 잠재적인 환경영향을 파악하기 위하여 산업자원부의 영향평가 방법론을 적용하였으며, 특성화, 정규화, 가중화 단계를 통해 평가되었다.

먼저 Fig. 3과 같이 폐자동차 처리 시스템에 대해

Fig. 2 폐자동차 처리 시스템

Table 2. 폐자동차 처리 시스템에 대한 주요 파라미터별 전과정목록표

영향범주별 각 단위공정의 환경영향을 평가하였다.

폐자동차 해체 및 재활용공정에서 발생하는 환경영향과 단위공정별 재활용산출물들에 대한 환경이득이 나타나고 있다. 자원고갈 영향범주에서 가장 큰 환경이득을 나타내고 있으며 다음으로 생태독성, 지구온난화 순으로 큰 환경이득을 나타내고 있다.

Fig. 3 영향범주별 각 단위공정의 환경영향

이들 영향범주는 해체 및 압축과 파쇄 공정에서 고철 및 고비철의 재활용으로 인한 환경이득이 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 전과정목록분석 결과, 고철 재활용의 Iron, Crude oil에 의한 환경이득과 고비철 재활용의 Crude oil, Natural gas 등의 파라미터에서 큰 환경이득을 보이는 것으로 나타났다. 다른 영향범주에서도 고철 및 고비철 재활용을 통한 환경이득이 비교적 큰 것으로 나타나고 있어 폐자동차 처리 시스

템에서 고철 및 고비철의 회수가 가장 중요하다는 것을 알 수 있다.

또한, 현재 폐자동차 처리 시스템의 친환경적 개선 기회를 모색하고자, 재활용산출물들이 갖는 환경영향을 비교하였다. Fig. 4와 같이 재활용산출물별 폐자동차 1대당 환경영향과 산출물별 1kg당 환경영향을 도식화하였다. 또한 짙은 색의 그래프는 폐전선, 폐플라스틱, 폐유리 등의 잠재적 회수 가능성을 갖는 재활용 부품 및 물질들로, 이들에 대한 환경영향도 도식화 하였다. 고철의 환경이득은 폐자동차 1대당 환경영향에서 가장 크게 나타나고 있지만, 재활용산출물 1kg당 얻을 수 있는 환경이득은 폐축매, 고비철, 폐전선 등의 순으로 가장 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

고철 및 고비철 재활용의 경우 회수율이 90% 이상임을 고려한다면, 추가적인 회수를 통한 환경성 개선에 한계가 있음을 알 수 있다.

따라서 폐자동차 해체 공정에서의 회수율을 높이려는 노력보다는 재활용공정의 환경 개선을 통해 폐자동차 처리 시스템의 환경이득 증대 시킬 수 있을 것이다. 따라서 각 재활용공정의 환경영향을 Fig. 5와 같이 단위공정별 avoided impact을 제외한 폐자동차 1대당, 그리고 재활용산출물 1kg당 환경영향을 분석하였다.

Fig. 5의 폐자동차 1대당 환경영향에서 부품 및 물질의 경우 고철, 폐축매, 고비철 재활용공정순으로 환경영향이 크게 나타나고 있으며, 해체 및 압축공정과 파쇄공정의 고철 재활용공정에서 상당히 큰 환경영향을 나타내고 있다. 1kg당 환경영향에서는 폐축매를 제외하고 폐유, 폐배터리, 고철 재활용 공정의 환경영

Fig. 4 폐자동차 재활용산출물별 환경영향

Fig.5 단위공정별 환경영향 (avoided impact 제외)

향이 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

환경성 개선을 위해 환경영향이 현저하게 큰 폐촉매 재활용공정의 개선이 우선적으로 필요할 것이다. 그러나 폐자동차 처리 시스템의 환경성 개선 효과의 증대를 위해서는 대당 2~3kg에 불과한 폐촉매 재활용공정의 개선보다는 고철 재활용공정의 개선을 통해 얻을 수 있는 환경이득이 더 클 것이다. 따라서, 고철 재활용공정의 환경영향을 살펴보면, 공정 내에서 에너지 사용으로 인한 CO₂(25%), NO_x(7%), SO_x(5%) 등의 에너지 관련 대기배출물에 의한 영향이 큰 것으로 나타나고 있다. 즉, 고철 재활용공정의 에너지 효율 개선과 친환경적 연료 사용으로 재활용의 환경이득을 극대화 할 수 있을 것이다.

또한 Fig. 4에서 폐전선, 폐플라스틱, 폐유리 등의 잠재적 재활용 가능성을 갖는 부품 및 물질들은 현재

처리 시스템에서 회수 및 재활용의 가능성이 있지만 경제적인 문제로 인해 버려지고 있는 폐기물들로, 이들의 추가적인 회수를 통해 환경이득을 창출 할 수 있을 뿐만 아니라 파쇄단계의 매립량 감소에 따른 환경이득도 얻을 수 있을 것이다. 1kg당 환경이득이 비교적 큰 폐전선과 폐플라스틱²⁾을 살펴보면, 폐자동차 대당 10kg 정도의 폐전선과 100kg 정도의 폐플라스틱이 발생하는 것을 감안하면 최적의 환경이득 창출 및 재활용율 달성에 폐플라스틱의 회수가 우선시 되고 할 수 있을 것이다.

6. 시나리오 분석

현재 폐자동차 재활용율은 약 70~80% 정도이며 EU 폐차지령에서는 2006년까지 85%의 재활용율을

Table 3. 시나리오별 주요파라미터들에 대한 전과정목록표

요구하고 있다.3) 폐자동차 재활용 향상을 위한 연구는 부품 및 물질 개선과 회수 및 재활용공정을 통한 해체단계(액상폐기물 회수공정 포함)의 회수 물질 증가와 파쇄단계의 2차 선별 및 매립폐기물(ASR; Automobile Shredder Residue)의 재활용에 중점을 두고 있다.

본 연구에서는 해체단계(시나리오 1)와 파쇄단계(시나리오 2)의 재활용 향상을 통한 잠재적인 환경영향을 분석하고자 한다.

시나리오는 문헌 데이터를 토대로 가정되었으며, 시나리오 1은 액상폐기물 회수, 해체공정에서 회수 가능 부품 및 물질의 추가적인 회수를 가정한 것으로 페플라스틱, 폐전선, 폐유리, 액상폐기물 등의 추가적인 회수가 고려되었다.4) 여기서 파쇄단계는 현재 파쇄공정(reference)과 동일하게 설정하였다. 시나리오 2는 파쇄공정에서 고철 및 고비철의 회수 이후 매립폐기물에 대한 2차 선별과 나머지 폐기물의 열에너지 재활용공정이 포함되며, 이 과정에서 전기, LPG 등의 투입물과 CO₂, SO_x, NO_x 등의 대기배출물이 발생한다.5) 파쇄 이전 액상폐기물 회수와 해체 및 압축단계는 현재 공정(reference)과 동일하게 설정하였다. 시나리오 1, 시나리오 2와 같은 폐자동차 처리 시스템을 통해 85%의 폐자동차 재활용율을 달성할 수 있다.

시나리오에 따라 Table 3과 같은 시나리오별 주요 파라미터들에 대한 실제부하량에 대한 전과정목록표와 Fig. 6과 같은 시나리오별 환경영향을 비교하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 시나리오 1에서 회수율이 증가된 폐부동액 소각으로 인해 reference의 액상폐기물 회수단계에 CO₂의 증가와 SO_x의 감소가 나타나지만 대부분의 주요 파라미터들에서 환경성이 우

Fig. 7 시나리오별 환경영향 비교

수하게 나타나고 있다. 시나리오 2에서 2차 선별과 열에너지 회수과정의 투입·배출물로 인한 파쇄단계의 CO₂, Crude oil의 감소를 볼 수 있으며, CO₂ 파라미터의 경우 재활용 향상이 CO₂ 배출량의 증가로 연결되는 단계가 있는 것으로 나타난다.

Fig. 6과 같이 시나리오 1이 시나리오 2에 비해 모든 공정에서 환경적으로 우수하게 나타나고 있으며, 해체 및 압축 공정의 회수물질의 재활용으로 인한 환경이득과 더불어 매립폐기물의 감소를 통한 파쇄단계의 환경이득도 나타나고 있다. 시나리오 1에서 재활용을 통한 환경이득의 경우 페플라스틱에 의한 추가적 환경이득이 크게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 시나리오 2의 경우 파쇄단계의 2차선별과 열에너지 회수를 통해 매립폐기물이 감소하지만 공정에서 발생하는 투입·배출물의 영향으로 환경이득이 시나리오 1

에 비하여 적은 것으로 나타난다. 그러나 시나리오 1의 경우 추가적 회수를 위한 액상폐기물 회수 및 해체 단계에서 다른 투입물 및 배출물로 인한 환경영향이 발생할 수 있으며, 시나리오 1과 2의 경우 다양한 물질의 매립과 토지사용으로 인한 매립의 환경영향이 완전히 반영되지 못한 점이 추후 연구에서 고려되어야 할 것이다.

7. 결 과

자동차 특성상 폐기단계에서 많은 산출물이 발생하고 이들의 처리 경로 또한 매우 다양하다. 본 연구에서는 폐자동차 처리 시스템의 환경성을 규명하기 위해 폐자동차 처리 공정을 폐자동차 해체공정과 재활용 공정으로 구분하고 각각에 대해 세분화된 단위공정을 설정하였다.

재활용공정들에 대해 avoided impact approach 방법을 활용하여 폐자동차 처리 시스템에 대한 전과정 영향평가를 수행하였다. 여기서 고철 및 고비철의 재활용을 통한 환경이득이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 폐자동차 처리 시스템에 대한 환경 개선점의 도출을 위해 산출물들의 환경이득을 제외한 환경영향과 1kg당 환경영향 비교하였다. 고철 재활용공정의 환경 개선과 페플라스틱 회수를 통해 환경이득을 증대시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 EU 폐차지령에 준수한 폐자동차 처리 시스템의 재활용 부품 및 물질 회수의 가정을 통해 시나리오를 설정하고 이에 대한 분석을 통해 환경영향에 대한 변화를 분석하였다. 결과적으로 액상폐기물 회수와 해체공정에서의 회수율 증가를 통한 재활용율을 향상 시키는 것이 파쇄단계에서의 재활용율을 향상하는 것보다 환경적으로 더 큰 이득을 얻을 수 있을 것으로 분석되었다. 그러나 재활용율 향상을 위한 추가적 투입·산출물과 매립, 토지사용 등과 같은 고려되지 못한 환경영향의 규명이 필요하다.

사 사

본 연구는 청정생산기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 오재현, 자동차 리사이클링 기행, 미디어 출판사, 2003
- 2) 임송택, 생활폐기물 소각 및 매립 공정에 대한 전과정 평가 연구, 건국대학교 석사학위 논문, 2003
- 3) 자동차 산업의 선진국 환경규제 대응시스템 개발, 산업자원부 기술표준원, 2002
- 4) 폐기물 감량을 위한 자동차 부품 해체시스템 기술개발에 관한 연구, 현대자동차(주), 1999
- 5) Funazaki Atsushi and Taneda Katsunori, Life Cycle Assessment on Automobile Shredder Residue Treatments of a 2002-year End-of-life Vehicle, JARI(Japan Automobile Research Institute), 2001