

자동차 재제조 부품에 대한 환경성 평가

홍성준, 조희욱, 홍존희, 권문식현대·기아자동차 연구개발총괄본부

Study of Environmental Assessment on Automotive Remanufacturing Parts

Sungjoon Hong, Heewook Cho, Johnhee Hong, Moonsik Kwon
R&D Division for Hyundai and Kia Motors

ABSTRACT

The remanufacturing, which is re-producing technology using by end of life product as raw material with same quality of new born product, is one of the most efficient way to reduce usage of energy and resource, and it is also known as 'ideal solution for environmentally sound and sustainable development (ESSD)'. The domestic research of environmental assessment on the remanufacturing product, however, is not been performed widely.

On this study, LCA (life cycle assessment) and eco-efficiency was performed for remanufacturing automotive parts, starter and alternator, to compare environmental profile between new born and remanufacturing products.

Key word : Remanufacturing, LCA, Eco Efficiency

요약문

'사용후의 제품을 신제품과 동등한 수준으로 다시 제조'하는 재제조(Remanufacturing)는 에너지, 천연자원의 절감 효과로 인해 자원순환의 이상적 방법으로 알려져 있으며, "환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally sound and sustainable development ESSD)" 방안으로 인식되고 있으나, 이에 대한 정량적 환경평가 연구 사례는 국내외적으로 미미한 상황이다. 이에 본 연구에서는 전과정평가(LCA)를 통해 재제조품의 환경성을 평가하였으며 신제품과의 비교를 통해 재제조품의 환경성을 비교하였고, 국내 재제조 제품 중 시장규모가 가장 크며 (약 22%) 자동차의 전자 부품을 구동 하는데 핵심적인 역할을 담당하는 알터네이터와 스타터를 대상 부품으로 선정하였다. 또한, 지속가능한 개발 측면에서의 경제성과 환경성 고려를 위해 환경효율(Eco-Efficiency) 평가를 실시하였다.

주제어 : 재제조(Remanufacturing), 전과정평가(LCA), 환경효율(Eco Efficiency)

1. 서론

급속한 차량 증가율과 비례하여 발생하는 폐차(ELV, End of Life Vehicle)의 양도 급속히 증가되고 있는 현실에서, 폐차로부터 발생하는 폐기물의 양을 줄이기 위한 리사이클 기술 개발 노력은 유럽 폐차 법규의 재활용가능률 목표를 중심으로 다양한 형태로 진행되고 있다. 자동차 산업에서 폐기물로서 발생하는 폐 부품을 본래의 기능 및 품질과 동등한 수준으로 다시 제조한다는 의미로 정의되는 재제조(Remanufacturing)는 폐기물 재활용이라는 환경친화적인 이미지에 상당한 수준의 경제적 이익에 부합함으로써 국내외의 많은 관심을 받고 있다. 유럽 및 미국에서는 이미 오래 전부터 사시 부품을 중심으로 하는 재제조 산업이 활성화 되고 있으며 그에 따른 경쟁이 심화되고 있는 실정이다. 한국에서는 본래 폐차 및 중고차 사업자를 중심으로 사용 가능한 폐부품을 단순 분리하여 외관상 이상없는 부품을 재사용(Reuse)하는 형태의 소극적이고 좁은 범위로 주로 진행 되었으나, 재사용 부품의 품질에 대한 불확실성으로 인해 소비자에게 불신으로 인해 음성적인 사업으로 진행되어 왔다. 하지만 최근 들어 품질을 일정기간 보증하며 신제품과 동일 성능을 보장하는 재제조의 중요성이 점차 확대되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 재제조 되어 생산되는 자동차 부품이 신규 제품에 비해 어떠한 환경영향을 가지는지 알아보기 위하여 차량 엔진의 핵심 부품인 스타터와 알터네이터를 대상 부품으로 선정하여 신제품과 재제조품에 대한 전과정평가(LCA) 및 환경효율(Eco Efficiency)을 비교 평가 하였다.

2. 전과정평가

2.1 연구 목적

본 연구의 목적은 신제품 공정을 거쳐 제조

된 스타터/알터네이터(이상 신제품 스타터/알터네이터)와 재제조공정을 통해 제조된 스타터/알터네이터(이상 재제조 스타터/알터네이터)의 전과정에 걸친 환경부하를 정량적으로 비교 평가하는 것이다.

2.2 연구 범위

2.2.1 제품기능

스타터의 기능은 차량에 장착된 배터리의 전기적인 힘을 이용하여 차량 엔진구동에 필요한 최초의 구동력을 창출하는 것이며 알터네이터의 기능은 구동중인 차량의 엔진에서 발생하는 동력을 교류 전기로써 전환시켜 배터리에 축적시키는 것이다.

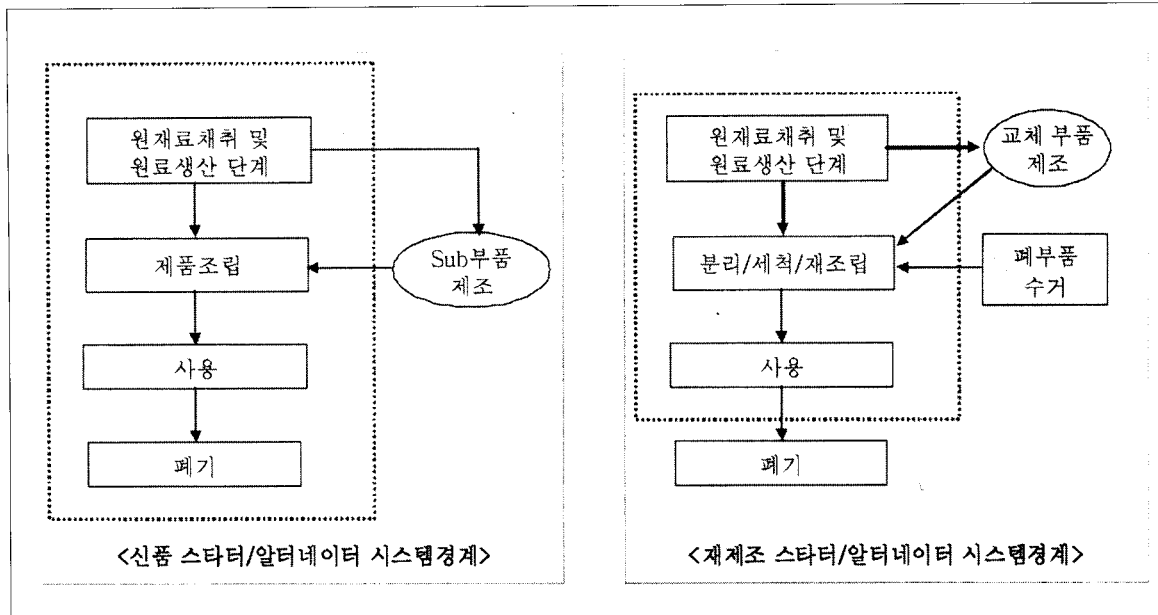
2.2.2 제품 기능단위

제품의 기능단위는 2,000 cc 가솔린 승용차의 A/S용으로써 무상보증기간인 2년, 4만 km 주행 동안 고장 없이 사용 가능한 스타터와 알터네이터 각 1개 썩이다.

2.2.3 제품 시스템

신제품 스타터/알터네이터의 경우 제품의 최종 조립공정에 투입되는 부품의 원재료 및 부재료의 원료 채취 및 제조, 사용, 폐기단계를 제품 시스템으로 정하였다. 재제조 스타터/알터네이터의 경우, 폐 스타터/알터네이터를 분리, 세척하여 사용 불가능한 sub부품을 교체한 후, 재조립하고 사용, 폐기하는 단계를 제품시스템으로 정하였다. 신제품과 재제조품에 대한 제품 시스템 및 시스템 경계는 <그림 1.>과 같다.

본 시스템 경계에서는 AS용 스타터와 알터네이터에 대해 100%신제품을 적용했을 경우와 모든 폐기된 스타터/알터네이터가 100% 재제조되는, 즉 이상적인 완전 자원순환형 시스템일 경우로 분리하여 비교 평가 하였다.



<그림1.> 신제품/재제조품 대상 시스템 및 시스템 경계

2.2.4 제품 정보

대상 제품은 경상북도 경주에 위치한 A업체에서 제조된 신제품 스타터/알터네이터와 경기도 시흥에 위치한 B업체에서 제조된 재제조 스타터/알터네이터이다. 제품의 중량 및 구성 재질은 신제품과 재제조품이 동일하며, 스타터의 중량은 4,102g, 알터네이터의 중량은 5,184g이다. 재제조품의 경우 사용이 불가능한 sub부품은 교체가 되며 이에 해당하는 sub부품은 알터네이터의 경우, 레귤레이터와 로터베어링, 스타터의 경우 마그네틱스위치와 오버러닝클러치 베어링 이다.

2.2.4 데이터 품질 요건

신제품 과 재제조품의 제조 데이터는 2005년 1년 동안을 기준으로 수집되었으며 sub부품 재질 데이터는 도면 구성 재질을 이용하였다. DB 사용은 국내의 환경부/산자부 DB를 우선적으로 사용 하였으며 가장 최신의 업데이트된 DB를 사용하였고 국내 DB가 없는 경우 외국 상용DB 및 유사DB를 사용 하였다.

2.3 전과정 목록분석

2.3.1 데이터 수집 및 계산 (제조단계)

신제품과 재제조품을 제조하는 A, B업체로부터 설문서를 이용하여 제품생산과 관련되어 투입되는 투입물(원.부자재), 에너지 (전기, LNG) 및 용수에 대해 현장 데이터를 수집하였다. Cut Off는 실시하지 않았으며 sub부품을 제외한 모든 데이터는 현장 데이터를 직접 수집하여 가공하였다. 시스템경계는 스타터/알터네이터의 신제품, 재제조품을 제조하는 A,B업체로 하였으며 sub부품을 납품하는 협력업체는 제외하였다. sub부품을 구성하는 재료의 경우 설계데이터를 이용하여 구성재질 원재료를 투입물로써 포함 시켰다. 할당은 기본적으로 중량 기준으로 실시하였고, 중량기준이 불가능한 경우 생산수량 기준으로 실시 하였다.

2.3.2 수송 단계

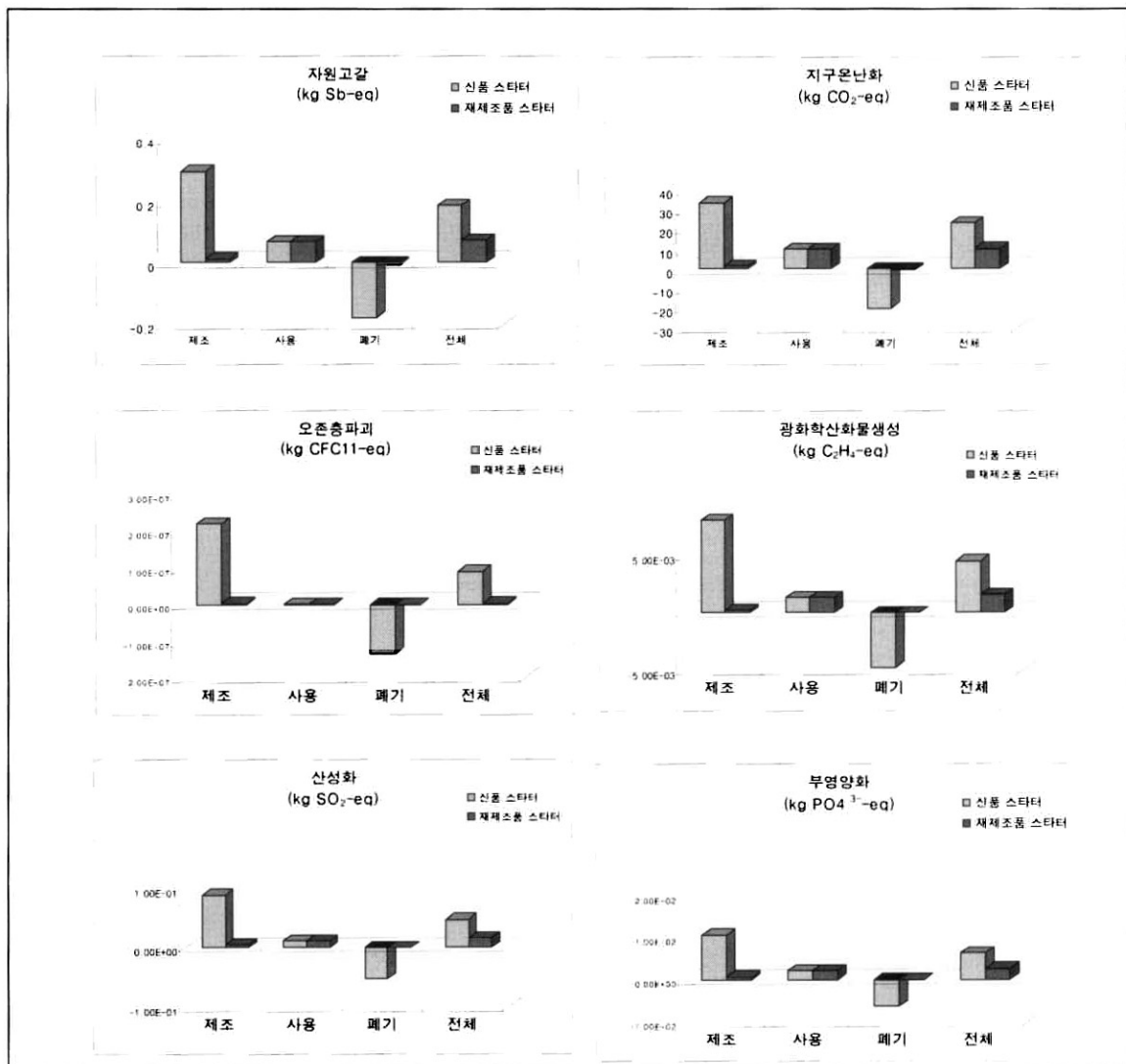
본 연구에서 수송단계는 제외 하였다.

2.3.3 사용/폐기 단계 시나리오

사용 단계의 경우, 스타터/알터네이터가 장착된 차량이 2년 40,000km 동안 주행하기 위해 소모되는 가솔린의 양과 배기가스를 해당차종의 인증 연비/배기가스 데이터를 이용하여 산출하였고 엔진오일, 타이어 등의 유지보수품과 소모품등은 영향이 미비할 것으로 판단되어 제외 하였다. 전체 가솔린 사용량과 배기가스 배출량에 대한 스타터/알터네이터의 할당은 EUCAR 프로젝트에서 소개된 자료를 참조하

여 전체양의 2/3는 열손실, 마찰손실 등에 의한 실제 차량구동과 관계없는 손실로 고려되고 전체양의 1/3만이 차량구동과 관계 한다는 이론을 이용하였다. 전체양의 1/3에 대해 스타터/알터네이터의 차량전체 중량에 대한 무게비로 할당 하였다.

폐기 단계의 경우, 신품 스타터/알터네이터는 현재의 재활용 기술을 고려하여 금속의 경우 재료 재활용되고 나머지 재질의 경우 매립되는 것으로 가정하였다. 재료재활용의 경우 환경



<그림2.> LCA 결과 (신품 스타터 vs. 재제조품 스타터)

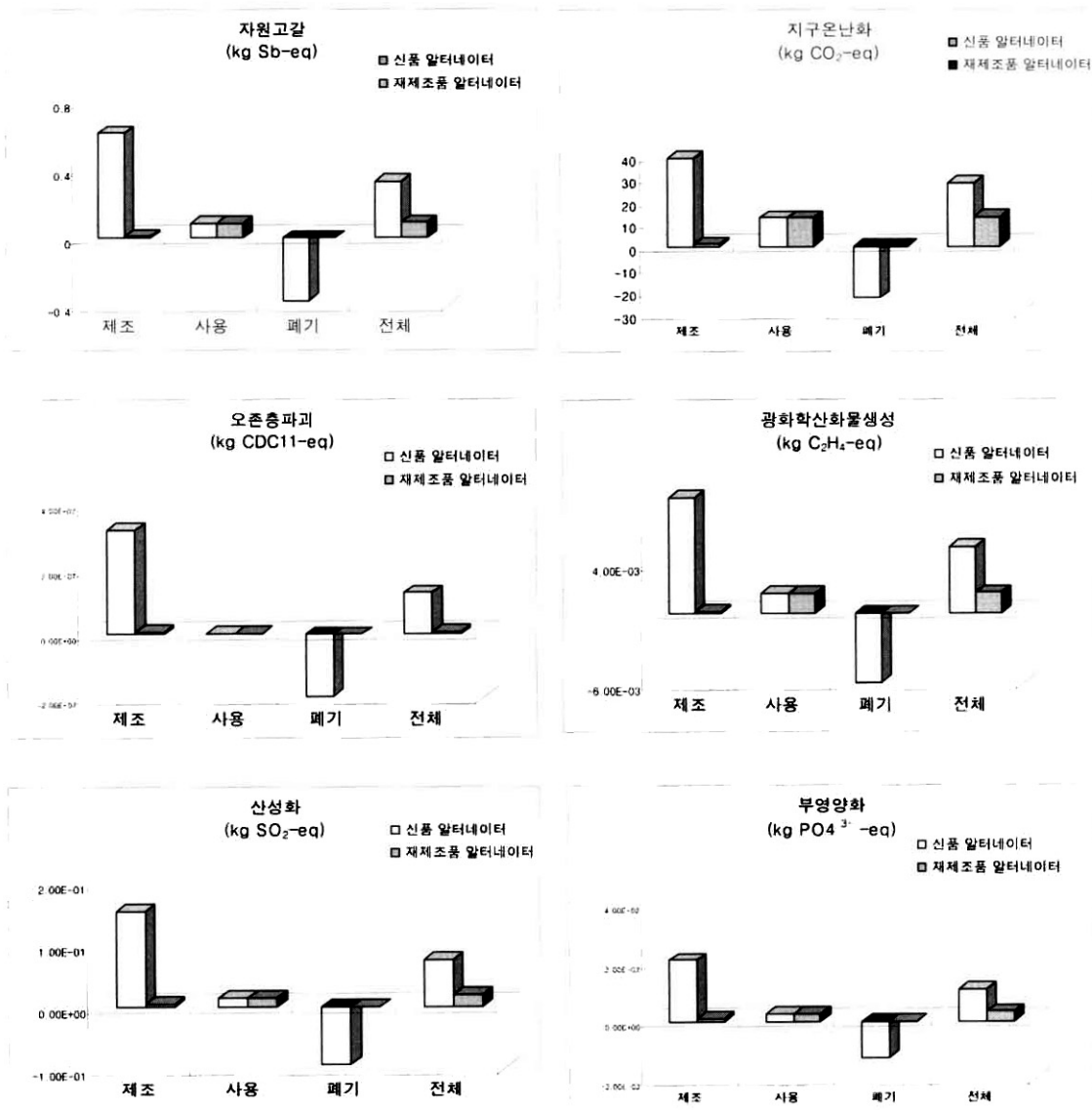
에 폐기단계에서 발생하는 환경영향이 없다고 가정하였다. 또한 재제조 스타터/알터네이터의 재제조 가능회수 및 재제조 실행률에 관한 유용데이터의 확보가 불가능하므로 완전 자원 순환 시스템이 지향하는 AS용 부품의 완전한 재제조 시스템, 즉 모든 폐기 부품의 100% 재제조를 가정하였다.

2.4 전과정 영향평가

본 연구에서 평가된 영향범주는 국내 환경성

적표지제도에서 규정하고 있는 영향범주인 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물 생성, 산성화, 부영양화 등 총 6가지이다. 영향범주별 평가모델은 CML-IA(2002)를 이용하였다.

<그림2.>는 스타터에 대한 신제품과 재제조품의 비교평가 결과이고, <그림3.>은 알터네이터에 대한 신제품과 재제조품의 비교평가 결과이다. 스타터와 알터네이터 모두 재제조품이 6개 영향범주 모두에서 최대 90% (오존층파괴),



<그림3.> LCA 결과 (신제품 알터네이터 vs. 재제조품 알터네이터)

최소 25% (지구온난화)에 걸쳐 환경적으로 우수한 것으로 나타났다. 두 제품간의 환경영향 차이의 주원인은 신제품 제조시 투입되는 전기 및 원자재였으며 특히 전기의 경우 재제조품 제조에 비해 약 10배 이상 차이가 발생했다.

3. 환경효율 (Eco Efficiency)

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development)에 의하면 "환경효율은 인간의 요구와 삶의 질을 만족하기 위해 제공되는 서비스와 제품의 가격이 생태영향과 자원영향에 어떠한 발전을 이루었는지에 대한 것을 파악함으로써 성취될 수 있다" 라고 정의되어 있다.

환경효율(Eco Efficiency)=제품가치/환경영향

환경효율 계산을 위한 제품가치는 여러 항목으로 나타낼 수 있겠지만, 본 연구에서는 제품 가격으로 평가하였으며, 환경 영향은 전과정의 CO₂ 배출량으로 평가 하였다. 재제조품의 가격은 현재 판매가격이 확정되지 않아 유럽지역 가격을 고려하여 신제품 대비 약 60%의 예상가격으로 평가 하였다. 환경효율 평가 결과만으로는 의미가 없기 때문에 신제품과 재제조품의 환경효율 비교를 위해 Factor X를 계산 하였으며, 이 Factor X 결과를 통해 신제품과 재제조품의 환경효율성을 비교하였다.

스타터의 Factor X값은 1.13, 알터네이터는 1.11로 계산되었다. 스타터와 알터네이터 모두 기존 제품인 신제품 대비 환경효율성이 약간 개선 됨을 알 수 있었지만, 이는 제품 가격과 CO₂ 배출량으로 평가한 결과로 제품가치 및 환경영향을 어떤 인자로써 정의하는가에 따라 결과 값에는 변화가 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 연구가 좀 더 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

스타터와 알터네이터의 신제품과 재제조품에 대한 환경성평가를 위하여 전과정평가와 환경효율 기법을 수행하였다. 본 연구에서 채택한 6가지 영향범주에 대해 재제조품이 신제품에 비해 상대적으로 적은 환경영향 부하를 갖는 것으로 나타났으며, 이는 사용 후의 제품을 다시 제조하는 재제조품의 특성상, 신제품의 원재료 사용이 재제조품에 비해 상대적으로 많아 재제조품의 환경영향이 신제품에 비해 좋을 것으로 예상한 것과 동일한 경향을 보였다.

신제품 스타터의 경우 전 영향범주에서 제조단계가 가장 큰 환경영향을 차지하고 있었다. 사용단계의 환경영향이 제조단계 대비 작은 것은 (4~45%) 대상부품을 보증기간 2년 4만km의 A/S용 스타터와 알터네이터로 설정하였고, 열손실이나 마찰손실 등에 의해 소모되는 연료 소모량을 전체 연료 사용량의 2/3를 제외한

| | | | | |
|----------------|---|---|---|------|
| 스타터 Factor X | = | $\frac{\text{재제조 스타터 가격/재제조 스타터 CO}_2\text{배출량}}{\text{신제품 스타터 가격/신제품 스타터 CO}_2\text{배출량}}$ | = | 1.13 |
| 알터네이터 Factor X | = | $\frac{\text{재제조 알터네이터 가격/재제조 알터네이터 CO}_2\text{배출량}}{\text{신제품 알터네이터 가격/신제품 알터네이터 CO}_2\text{배출량}}$ | = | 1.11 |

나머지 1/3에 대해 스타터/알터네이터의 중량 비로 할당했기 때문이다. 차량 제조단계의 영향범주별 주요 원인은, 자원고갈 및 산성화 영향범주에서는 제조단계의 환경부하가 큰 알루미늄 소재 사용으로 인해 “알루미늄 생산공정”이 가장 큰 환경부하(각각 65%, 30%)를 차지하였다. 지구온난화, 광화학산화물생성 및 부영양화 영향범주에서는 냉연코일 (각각 38%, 49%, 34%), 오존층파괴 영향범주에서는 구리(50%)의 환경부하가 가장 크게 나타났다.

재제조품의 제조단계 환경부하는 신제품 대비 약 1.4 ~ 5.8%으로 제조단계의 환경부하는 신제품 대비 영향이 미미한 것으로 평가되었으며, 이는 재제조품이 제조 시에 일부 Sub 부품만이 교체됨으로 인해 원재료 제조단계 및 제조 공정의 환경영향이 적음에 따른 것으로 판단된다. 폐기단계는 전체 구성성분의 약 90%를 차지하는 철 및 비철 등의 금속류는 재활용으로, 플라스틱 및 ASR (Automotive Shredder Residue) 등 기타 소재는 현 국내 상황을 적용하여 매립으로 간주하여 시나리오를 작성하였다.

신제품 알터네이터의 경우에도 신제품 스타터와 유사하게 사용단계가 제조단계 대비 환경영향이 적은 것은(6~46%) 평가되었다. 차량 제조단계의 영향범주별 주요 원인은, 자원고갈, 산성화, 지구온난화 영향범주에서는 제조단계의 환경부하가 큰 알루미늄 소재 사용으로 인해 “알루미늄 생산공정”이 가장 큰 환경부하(각각 81%, 45%, 35%)를 차지하였다. 광화학산화물생성 영향범주에서는 냉연코일(37%), 부영양화 영향범주에서는 빌레트(약 52%), 오존층파괴 영향범주에서는 전기동생산 및 알루미늄 생산공정(각각 39%, 34%)의 환경부하가 가장 크게 나타났다. 재제조품의 제조단계 환경부하는 신제품 대비 약 1.0 ~ 3.7%으로 제조

단계의 환경부하는 신제품 대비 영향이 미미한 것으로 평가되었다.

또한, 제품가격 및 CO₂ 배출량으로 산정한 Factor X 계산을 통한 환경효율 평가 결과, 재제조품의 환경효율성이 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 환경성 뿐만 아니라 경제성을 고려한 지속가능한 개발이라는 관점에서도 재제조품의 적용이 유용함을 객관적으로 보여주는 결과라 할 수 있으며, 재제조의 기본 정의인 "사용후의 제품을 신제품과 동등한 수준으로 다시 제조"라는 개념에 맞게 지속적인 재제조기술 개발을 통해 신제품수준의 품질 및 내구성에 대한 안정성을 확보할 수 있다면 재제조사업의 확대를 통해 친환경적이고 지속 가능한 폐차 리사이클의 한 분야를 완성시킬 수 있을 것이라는 결론을 얻게 되었다.

이러한 결론을 통해 알터네이터/스타터에 대한 신제품수준의 품질, 내구성 달성 및 불량률을 낮추기 위한 sub 부품의 신뢰성 검사 및 가공방법에 대한 기술개발, 그리고 다른 기능부품을 대상으로 하는 재제조사업의 확대를 진행할 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1. Rolf Steinhilper, 재제조 자원순환의 이상적 형태, 국가청정지원센터
2. ISO 14040 시리즈
3. WBCSD 홈페이지, www.wbcsd.org
4. EUCAR Project R3: Life Cycle Analysis Data and Methodologies, Phase 2, Final report Sept. 1998
5. 홍석진, 폐차 처리 시스템의 환경 친화적인 관리방안 연구, 건국대학교, 2005
6. Eco-efficiency Indicator Handbook for Products, JEMAI, 2004