

폐제품의 재활용과 재생산을 위한 분해방법 Disassembly method for Recycling and Remanufacturing of useless products

김현정, 박준영
동국대학교 산업공학과

Abstract

최근, 환경오염에 대한 관심이 높아짐에 따라 폐제품의 처리 문제가 중요시되고 있다. 여러 선진국에서는 폐제품의 처리 문제를 해결하고자 환경에 대한 규제를 강화하고 있다. 그러므로, 폐제품에 대한 활용방안이 요구되고 있다. 기존의 폐제품에 대한 분해방법은 분해비용만을 고려하여 제품을 구성하고 있는 최하위부품까지 그 과정을 제시하였으나, 폐제품에 대한 활용성은 제시하지 않았다.

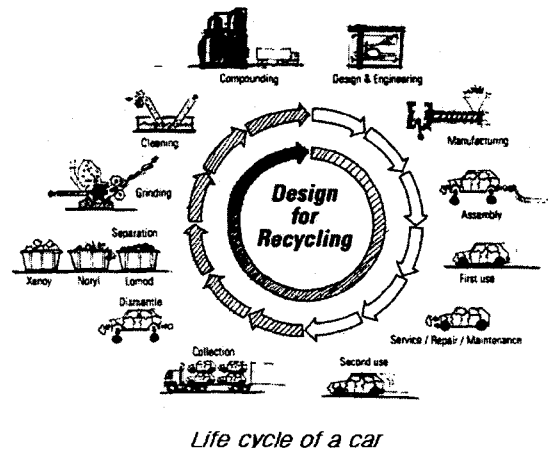
본 연구에서는 형상과 기능 그리고 오염물질, 분해비용을 고려하여 폐제품의 분해방법을 제시하고자 한다. 제시하는 방법에 따라 폐제품의 재사용(reuse), 재활용(recycling), 재제조(remanufacturing), 폐기에 대한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구는 폐제품의 활용성을 고려한 하나의 접근방법이라 할 수 있다.

중에 있다[9][11].

1. 서론

산업이 발달하고 인구가 증가함에 따라서 제품의 종류도 다양해지고, 제품에 대한 소비도 급속도로 증가하게 되었다. 이것으로 인하여 인류는 자원 고갈과 폐기해야할 제품의 처리를 고민하지 않을 수 없게 되었다.

오염된 지역과 천연자원에서 위험한 폐기물을 제거하는 것이 목적이었던 1970년대의 제 1차 환경혁명과 달리 제 2차 환경혁명은 제품의 근원적인 폐기물 감소를 제기했다. 현재 전세계의 각 나라들은 환경에 대한 중요성을 인식하고 환경과 재활용(Recycling)에 대한 방안을 연구하고 있다. 네델란드, 영국, 프랑스, 일본, 스웨덴, 벨기에, 독일과 미국 등 선진국에서는 전자제품의 경우 범플로써 수거를 의무화하고 있으며, 또 제품의 전과정 동안에서 환경에 대한 규제를 강화하고 있다. 이러한 이유로 제품을 설계나 생산 할 때부터 환경을 고려한 설계 및 제품의 재활용을 높이고 용이하게 하기 위한 설계인 재활용을 위한 설계(DFR: Design for Recycling)[그림 1], 제품의 단순화를 통한 분해의 용이성을 추구하는 설계로 분해를 위한 설계(DFD: Design for Disassembly), 자원의 재생과 부품의 재사용을 촉진시키기 위한 설계(Design for Recover and Reuse), 에너지 보존을 위한 설계(Design for Energy Conservation; 에너지 사용 감소 등을 위한 설계), 자원 보존을 위한 설계(Design for Material Conservation), 보건 및 안전을 위한 설계 등이 있고, 여기에 대한 연구도 진행

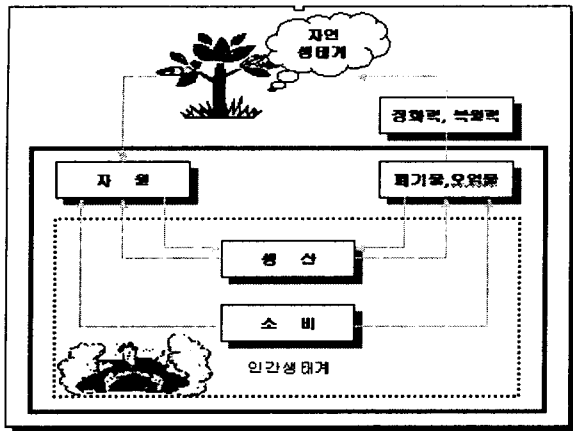


[그림 1] Design for Recycling

국내에서는 대부분의 자원을 해외로부터 수입하여 생산활동을 벌이고 있다는 점을 감안할 때 유한한 천연자원을 아껴야함은 매우 당연한 일이다. 이 자원의 절약과 폐기물에 의한 환경오염을 방지하는 처리·처분의 두 가지 문제를 새로이 인식한다면 우리들의 생활에서 발생한 폐기물을 재이용, 순환적인 재자원화하는 의의가 얼마나 중요한가를 알기도 남을 것이다. 현재 대기업 중심으로 이러한 것에 관한 연구를 계속해서 기술력은 보유하고 있지만 적용하기에는 여러 가지 요인으로 인해 아직

은 다른 나라에 비해서 많이 미약하다.

인간의 생활은 방대한 천연자원을 소비함으로써 성립되고 있다. 그러나 세계의 주된 천연자원은 무한하게 매장되어 있는 것이 아니다[그림 2].

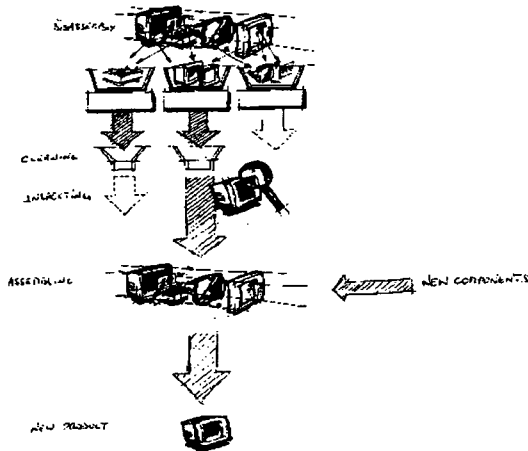


자연생태계 보존조건: 경회목(부실목)인간생태계, 폐기물(오염물)

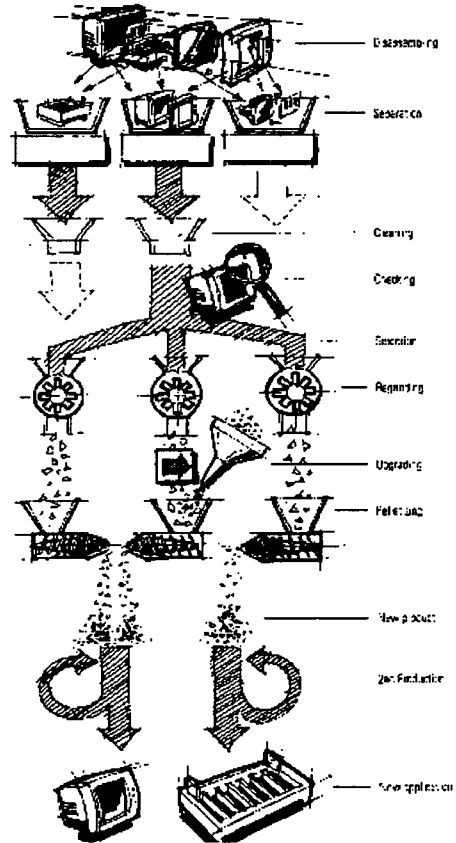
[그림 2] 생태계와 폐기물

현재 천연자원이 고갈의 위기에 직면하고 있다. 이러한 이유로 폐제품을 폐기함으로써 발생하는 환경 오염을 줄이고, 필요한 물질을 추출하여 다시 사용하고자 폐제품에 대한 분해 방법을 제시하고자 한다.

본 연구는 폐제품을 분해를 하는데 있어서 크게 네 가지, 재사용(Reuse)와 재제조(Remanufacturing), 재활용(Recycling) 그리고 폐기해야 하는 부품으로 나눌 수 있다. 재사용은 사용한 제품이지만 형상이나 기능적인 면에서 부품을 다시 그대로 사용할 수 있는 것을 말하며, 즉 해체된 부품을 같은 용도로 재사용 하는 것이고, 폐제품을 고쳐서 다시 사용하는 재제조[그림 3], 그리고 부품을 원래의 상태대로 사용할 수 없어서 재활용[그림 4]하여 부품의 성질을 바꿔서 다른 부품으로 전환하여 사용하는 것이다. 폐기해야 할 제품에 대하여 재사용, 재제조, 재활용할 수 있는 부분을 추출하여 폐부품의 재활용 자원 낭비를 줄일 수 있도록 한다.



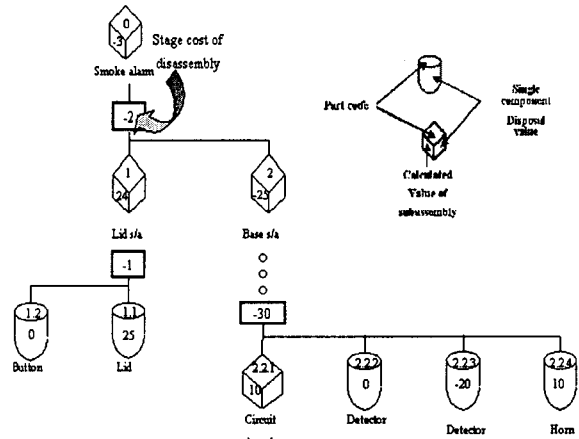
[그림 3] Remanufacturing process



[그림 4] Recycling process

4. 기존연구

Simon은 BOM tree를 역으로 이용하여 제품을 분해[그림 5]하는데 적용했다. 이 방법은 분해하는 과정을 보여주면서 부품들 간의 연결정보를 표기하였다. 기호의 왼쪽 여백에는 계산 값이 들어가고 오른쪽 여백에는 단위부품 분해가치로 나누어 계산한다[8]. Simon의 분해방법은 분해를 하는데 있어서 하위부품이 더 이상 분해되지 않을 때까지 분해를 한다. 폐제품에 대한 분해방법은 분해비용만을 고려하여 제품을 구성하고 있는 최하위부품까지 그 과정을 제시하였으나, 폐제품에 대한 활용성은 제시하지 않았다.



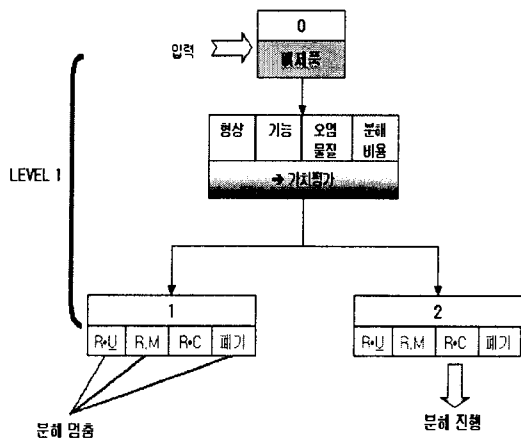
[그림 5] 분해를 위한 BOM

5. 폐제품의 분해 방법

재활용을 위한 제품 분해의 기본적인 2가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 조립을 역으로 하는 것으로 만일 두 부품을 조립 할 때 함께 맞물려 끼워진다면 그들은 재생하기 위해 분해할 때 조립 순서의 역으로 분해될 것이다. 서로 다른 플라스틱 부품을 녹여 붙인 것은 적용이 않된다. 두 번째 방법은 힘으로 분해하는 방법으로 금속과 플라스틱은 분쇄 후 금속과 플라스틱의 물리적인 차이 때문에 자성을 띤 분리기를 이용하여 쉽게 분리된다. 설계자는 설계단계 초기에 분해방법에 대한 결정을 해야하며, 설계를 준비할 때 그런 방법을 적용해야 한다. 또한 결합지점을 쉽게 접근할 수 있도록 만들기 위해 노력해야 한다.

본 연구에서는 폐부품 또는 제품 분해의 기준을 형상과 기능, 오염물질 그리고 분해비용을 적용하여 재사용, 재제조, 재활용 및 폐기 중의 하나의 결과를 얻는다. 본 연구에서는 문제를 해결하는 방법에 따라서 부품을 끝까지 분해할 수도 있고, 또는 그렇게 하지 않을 수도 있다. 예를 들면 하위 부품의 결과가 재사용이나 재제조로 나올 경우에는 분해를 진행하지 않는다. 이것은 재사용은 폐부품을 현상상태에서 다시 사용 가능하고, 재제조의 결과가 나온 경우는 폐제품을 고쳐서 그 제품으로 사용할 수 있기 때문이다.

각각을 세 영역으로 나누고 맨 왼쪽 영역부터 재사용할 경우의 가치를 나타내고, 재제조, 재활용할 경우의 가치, 그리고 오른쪽 영역은 그 부품을 폐기할 경우의 가치를 계산한다[그림 6].



[그림 6] 제시한 분해 BOM tree

5.1 폐제품의 기능

폐제품의 정보를 입력받아 제품을 생성했을 때의 BOM data와 비교하면서 분해를 시작한다. 입력된 폐제품의 기능은 두 가지로 구분한다. 첫 번째는 해체된 부품을 같은 용도로 재사용 가능한 상태이고, 이것을 기호(○)로 표시하였다. 두 번째는 폐부품이 재기능을 할 수 없어서 고쳐서 사용해야 하는 상태로 기호(△)를 이용하여 나타내었다[표 1].

[표 1] 폐제품에 대한 기능

기 능	
○	폐제품을 다시 사용 가능한 상태
△	고장

5.2 폐제품의 형상

입력된 폐제품은 형상에 따라서 다섯가지 등급으로 분류하였다[표 2]. 등급1은 제품을 생성 했을 때의 제품과 형상이 동일한 형태이다. 등급2는 제품 또는 부품의 외관에 흠집이나 긁힘, 페인트가 벗겨져 있는 경우이고, 등급3의 경우는 부품 중 일부가 손상되거나 분실되어서 필요한 부분만 수리하는 것이다. 등급4는 부품의 형상이 수리로도 불가능 하지만 폐부품 또는 제품을 재활용 가능한 형태로 바꾸어 사용할 수 있는 것을 말한다. 마지막으로 등급5는 등급4 조차도 불가능한 형태를 가지고 있는 형상이다.

[표 2] 폐제품에 대한 형상

형 상	
등급1	생성시의 제품형상과 동일한 형태
등급2	흠집, 긁힘, 페인트 벗겨짐
등급3	수리(부품 중 일부 손상, 분실)
등급4	가공(상품성이 있는 물질 추출)
등급5	물질 추출이 불가능한 형태

5.3 오염 물질

현재 존재하는 환경이나 인체에 해로운 금속 또는 비금속류의 물질을 오염 물질이라고 한다. 환경이란 공기, 토양, 동식물, 인간 및 이들 요소들간의 상호관계 등을 포함하여 조직이 움직이고 있는 주위 여건으로 조직의 내부에서부터 전 지구적인 체제에 걸친 것을 말한다.

본 연구에서는 이러한 환경에 관한 모든 것을 고려하지 않고, 연구에서 진행되는 방향을 이용하여 분류하였다. 즉 형상의 등급1과 등급2의 경우는 다른 가공 절차가 필요하지 않고 재사용 가능하므로 오염물질을 고려하지 않아도 되고, 폐제품을 가공해야 하는 경우에 환경오염에 영향을 주지 않는 부분과 환경오염에 영향을 주는 부분으로 구분하였다. [표 3].

[표 3] 오염물질

오염물질	
x	오염물질을 고려하지 않아도 됨
⊙	환경오염에 영향을 미치지 않음
●	환경오염에 영향을 미침

5.4 분해비용

분해비용은 제품의 전과정에 걸쳐 환경에 영향을 미치는 원재료와 배출물, 에너지소비를 규명하고 정량화 하는 LCA(Life Cycle assessment) 방법을 이용한다.

입출력되는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물 및 환경오염 배출물들의 종류와 양을 정량화하여 이를 항목별로 분류하고 특성화를 거쳐 정규화한 다음 가치를 평가한다[5][6]. 특성화는 동일 범주에 속하는 목록항목들이 기여하는 영향정도를 수치화한 것이다. 정규화는 환경영향범주에 대한 각기 다른 단위를 동일한 단위로 전환시킨다. 특성화결과를 정규화인자로 나누어 변환시킨다. 정규화인자를 계산하는 방법은 전지구적, 지역적, 국가적, 혹은 국지적인 정해진 지역의 총배출량 혹은 자원사용량(기준기간동안 정해진 지역의 영향범주와 관련된 환경배출물 혹은 자원의 규명량과 배출량 및 사용량에 관한 데이터수집, 특성화인자를 이용하여 변환, 변환된 값을 취합, 가치평가와 연계성)을 이용한다. 가치평가(가중화)는 각각의 영향범주들이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 고려하여 영향범주별로 상대적 중요도를 결정하는 과정이다.

6. 결론 및 추후 연구

본 연구는 폐제품에 대하여 재활용과 재생산이 가능한 부품을 추출하기 위하여 형상과 기능, 비용, 오염물질의 평가 기준을 제시하였다. 기존의 분해 BOM방법은 분해를 하는데 있어서 하위부품이 더 이상 분해되지 않을 때까지 분해를 하였고, 분해비용만을 고려하여 제품을 구성하고 있는 최하위부품까지 그 과정을 제시하였으나, 폐제품에 대한 활용성은 제시하지 않았다. 따라서 본 연구는 네 가지 항목을 이용하여 나온 결과에 따라 폐제품 분해를 끝까지 분해할 수도 그렇게 하지 않을 수도 있다.

이러한 방법에서 추출된 재사용, 재제조, 재활용 부분은 용도에 따라서 폐제품을 다시 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 김상용 외 공저, "환경 전과정 평가", 시그마프레스, 1998
 [2] 김철원, 조규갑 "제품의 분리성을 고려한 비용 평가 방법", 산업공학회, '98 추계학술대회 논문집, pp284-287, 1998

[3] 한국자원리사이클링 학회, "자원리사이클링의 실제", 동화기술, 1994
 [4] Chris McMahon and Jimmie Browne, "CAD/CAM", ADDISON-WESLEY, 1998
 [5] Field, F.R., Isaacs, J.A, Clark, J.P. "Life-Cycle Analysis and Its Role in Product and Process Development", International Journal of Environmentally Concious Design and Manufacturing, pp.13-20, 1993
 [6] Jean-Jacques Andreu "The Remanufacturing Process" Department of Mechanical Engineering, Design and Manufacture , The Manchester Metropolitan University, 1995
 [7] M.R.Johnson and M.H.Wang "Economical evaluation of disassembly operations for recycling, remanufacturing and reuse", Department of Industrial Engineering, University of Windsor, Ontario, Canada.
 [8] M. Simon, B. Fogg and F. Chambellant "Design for Cost-effective Disassembly", Department of Mechanical Engineering, Design and Manufacture , The Manchester Metropolitan University, 1991
 [9] OTA(Office of Technology Assessment), Green Design Guidebook, USA, 1995
 [10] Sherif D. El Wakil, "Processes Design for Manufacturing", PWS Publishing Company, 1998
 [11] T.E. Graedel, B.R. Allenby, DESIGN FOR ENVIRONMENT, AT&T, 1996