

# 분해용이 설계기법을 이용한 제품의 분해성 평가

주해호\*, 이화조\*, 조광익\*\*

## Disassemblability Evaluation for the Products Using an Ease-of-Disassembly Design Method

Hae-Ho Joo\*, Hwa-Cho Yi\*, Kwang-Ik Cho\*\*

### ABSTRACT

In this paper, a disassemblability evaluation has been investigated quantitatively by using an ease-of-disassembly design method. Four categories such as recognizability, approachability, separability, and treatability have been analyzed in details. A simulation software for estimating the ease-of-disassembly design method has been developed and applied to door trim and spin basket respectively as an example.

**Key Words** : Disassemblability(분해성), Disassembly(분해), Environment(환경), Product structure(제품 구조), Influential factor(영향요소)

### 1. 서론

현재 폐제품 처리의 대부분은 매립에 의존한다. 하지만 매립을 위한 공간의 제한으로 매립비가 상승하고 있다. 따라서 날로 강화되는 각국의 법적 규제와 폐제품 처리를 위한 한가지 방법은 폐제품을 리사이클링(Recycling)하는 것이 필요하다.<sup>(1,2)</sup>

대부분의 제품이 단일 소재로 구성되어 있지 않기 때문에 폐제품의 효율적인 리사이클링을 위해서는 제품 폐기시에 재질별 혹은 재사용 부품의 분해 공정이 필수적이다. 분해공정은 아직까지 설계시에 충분히 고려되지 않았던 요소이기 때문에 현재 폐기되는 제품들은 분해가 상당히 곤란하거나 경우에 따라서는 불가능한 경우도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 제품을 설계할 때, 폐기시의

분해를 고려하여야 한다. 이때 설계자가 이러한 사항을 충분히 고려하여 설계하였는지를 자신 혹은 제3자가 평가하는 기준 즉 제품의 분해성을 평가하는 방법이 필요하다.<sup>(2,3,4)</sup>

분해용이 설계(DFD, Design for Disassembly)에 관한 연구는 1980년 중반 독일을 중심으로 한 유럽에서 시작되어 1990년대부터 본격화되기 시작하였다.<sup>(5,6)</sup> 또한 이때부터 DFD, 환경을 고려한 설계(DFE, Design for Environment)에 대한 개념들도 나타나기 시작했다.<sup>(7,8)</sup>

스웨덴의 Akermark는 제품의 구조를 정의하고 분해시간, 인식성, 공구의 관점에서 분해모델을 제시하고 평가하는 방법에 대하여 연구하였다.<sup>(9)</sup> 미국의 Thomas는 분해성 평가항목을 접근성, 위치, 분리력, 순수분해시간, 표준화의 여부로 분류

\* 영남대학교 기계공학부

\*\* 영남대학교 기계공학과 대학원

하고 난이도를 1(용이)에서 10(난이)으로 하여 제품의 분해성을 평가하였다.<sup>(10)</sup> 크라이슬러사의 Gerald Winslow는 제품을 재설 분리 등급과 재활용성 등급으로 분류하였다.<sup>(11)</sup> 일본 능률협회의 나카는 재활용의 개념과 제품 분해성 평가에 대한 연구로 분리방향 및 분리방법과 조건에 따라 별점을 부여하는 방법을 수행하였다.<sup>(12)</sup>

그러나 기존의 연구들은 제품의 분해에 영향을 끼치는 영향요소들의 수가 제한적이거나, 단지 분리등급 및 재활용 등급으로 분류함으로써 제품 재설계시 어떤 방향으로 제품을 설계해야 분해성이 좋아지는 지에 대한 구체적인 정보를 찾기가 용이하지 않다.

분해성평가에 관한 연구는 분해용이설계의 규칙들의 준수여부를 평가하는 방법과 제품의 구조와 연결요소들을 분석하여 비교적 정확한 분해소요시간 및 인건비 그리고 분해된 부품과 재료들의 판매 이익 혹은 처리비용 등을 계산하는 두 가지의 방법이 있다. 첫 번째 방법의 장점은 효과가 빠르고 평가시스템의 구축이 용이한 것이다. 두 번째 방법은 시스템의 구축이 어렵고 사용에 많은 시간이 소요되는 단점이 있으나 장기적으로 정확한 평가를 가능하게 하는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 제품의 분해에 영향을 끼치는 요소들을 세부적으로 분석하여 분해용이설계의 지침을 찾아내고 이를 이용하여 설계시 그 제품의 분해성을 설계자는 물론 제 3자가 쉽고, 빠르게 정량적으로 평가할 수 있는 평가방법과 소프트웨어를 개발한다.

## 2. 분해 영향요소 분석

### 2.1 작업분석

Fig. 1에서와 같이 하나의 제품은 다양한 부품들과 조립군들 그리고 체결요소들로 구성되어 있다. 이러한 구성요소들은 제품을 분해하는데 여러 가지의 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 먼저 제품을 분해하는데 영향을 끼치는 각종 영향요소들을 분석하였다. 분해성에 영향을 끼치는 영향인자들은 부품에 관련되는 것과 분해작업에 관련되는 요소들로 나눌 수 있다.

#### 2.1.1 부품관련요소

제품의 분해를 위해서는 구성요소들을 부품 혹은

조립군들로 분리해야 하는데 여기에 관련된 영향요소들은 크게 분리수행체, 분리기능, 분리대상으로 구분된다(Fig. 2).

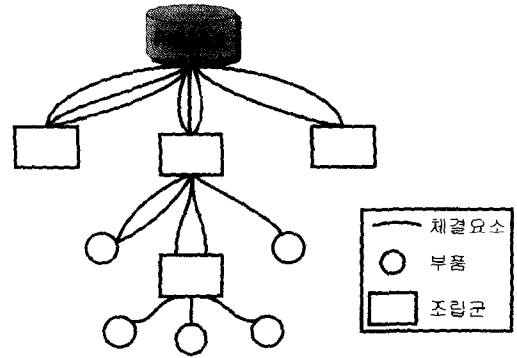


Fig. 1 Product structure

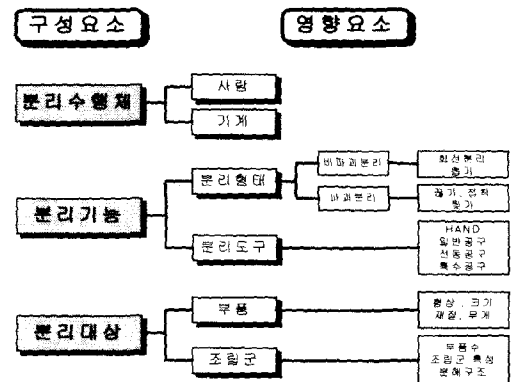


Fig. 2 Influential factors concerned to each components

제품을 분리하는 수행체는 사람과 기계로 구분된다. 현재 조립의 경우는 인건비, 납기기간 등으로 인해 대량생산의 경우 상당부분 자동화 혹은 부분 자동화가 된 상태이다. 하지만 분해의 경우 납땜, 용접과 같은 영구 체결형태, 오래 사용으로 부품의 마모, 노후 등과 같은 여러 가지 제약조건으로 인해 기계에 의한 자동화가 상당히 어렵다. 본 연구에서는 제품의 분해는 사람에 의한 수작업을 바탕으로 제품의 분해성에 영향을 끼치는 영향인자들을 도출하였다.

분리기능은 분리수행체가 분리대상에 분리력을 가해서 분리대상물을 분리할 하는 행위를 말한다.

분리행위는 크게 분리대상물을 분리하는 분리 형태와 이때 분리수행체가 분리력을 가하기 위해서 이용하는 분리도구로 구분한다. 분리형태는 분리대상물이 분리되는 형태에 따라서 크게 비파괴분리와 파괴분리로 구분된다(Fig. 3).<sup>(2,13)</sup>

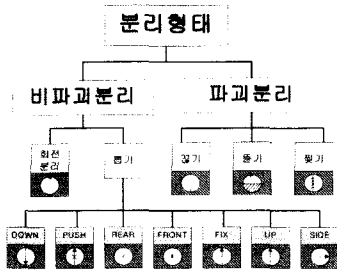


Fig. 3 Disassembly type and symbol

비파괴분리는 분리력을 가해 분리한 후 재결합이 가능한 것으로 회전분리와 뽑기가 있다. 파괴분리에는 분리력을 가해서 분리 후 재결합이 불가능한 것으로 끊기, 뜯기, 찢기가 있다.

분리행위는 독립적으로 행해지는 경우도 있지만, 두 나사 커넥터(컴퓨터 모니터 케이블의 경우)와 같이 회전분리와 위로 뽑기가 같이 복합적으로 행해지는 경우도 있다.

분리도구는 분리대상물의 분리형태가 어떤 형태인지에 따라서 분리공구가 필요한 경우와 필요 없는 경우로 구분된다. 분리형태가 커넥터, 뽑기 형태와 같은 경우는 분리대상물의 분리가 손에 의해서 행해지는 경우로 분리도구가 필요 없는 경우이다. 하지만, 볼트, 너트, 나사 등으로 체결된 경우는 분리공구가 필요한 경우이다.

분리도구는 일반공구, 전동공구, 특수공구로 분류할 수 있다. 일반공구로는 스크류 드라이버, 칼등을 들 수 있다. 전동공구는 전기 임팩트와 같은 종류의 공구로 취급시 두 손으로 다루어야 하는 번거로움이 있으나 분해작업의 속도를 증가시킬 수 있다. 특수공구는 기존의 공구로서는 분해가 불가능해 분해를 위해 특별히 제작된 공구를 말한다.

분리대상은 분리수행체가 분리작업을 할 대상물을 말하는 것으로 부품과 조립군으로 구분된다. 부품측면에서 제품의 분해성에 영향을 끼치는 요소들은 부품의 형상, 크기, 무게, 재질이 있다.

분리되는 부품이 어떤 형상이냐에 따라서 공구

의 접근성, 취급성 등에 많은 영향을 끼친다. 형상은 부품마다 다르며 복합적인 경우도 있기 때문에 정확히 어떤 형상이라고 규정하기가 어려운 경우도 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 부품을 완전히 둘러쌀 수 있는 가장 작은 원통형 또는 각주형 등의 외곽형상을 형상으로 규정하였다.<sup>(14)</sup>

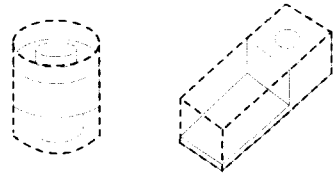


Fig. 4 The boundary shape of part

부품의 크기는 분리수행체의 인식성, 분리 후 취급성 등에 영향을 주는 요소이다. 특히 부품의 크기는 취급성에 많은 영향을 끼치는데, 보조장비가 필요한 경우와 필요 없는 경우로 구분된다. 보조장비가 필요한 경우는 그 크기가 너무 작아(최대 2mm이하) 핀셋, 클립과 같은 보조장비가 필요한 경우와 그 크기가 너무 커서 인력으로 취급하기가 힘들어 크레인과 같은 보조장비가 필요한 경우 등이 있다.<sup>(14)</sup>

부품의 무게는 작업자의 피로 및 취급성 등에 많은 영향을 주는 인자로 무게의 정도에 따라 작업자 혼자서 취급할 수 있는 경우, 2인 이상, 보조장치가 필요한 경우 등이 있다.

부품을 구성하고 있는 재질의 가지 수에 따라서 단일재질과 복합재질로 구분된다. 단일재질은 재활용 가능한 재질과 재활용 불가능한 재질로 구분된다. 재활용 가능한 재질에는 철금속, 비철 금속, 열가소성 수지 등이 있고, 재활용 불가능한 재질에는 열경화성 수지, 특정 폐기물을 함유하고 있는 재질 등이 있다.

조립군의 측면에서 제품의 분해성에 영향을 끼치는 요소들로는 조립군을 이루고 있는 부품의 개수, 조립군의 특성(크기, 무게, 형상), 제품구조가 있다.

부품 수는 조립군을 구성하고 있는 부품의 개수를 나타내는 것으로, 일반적으로 부품의 수가 적은 것이 분해성이 좋다고 할 수 있다. 조립군 특성(크기, 무게, 형상 등)은 부품의 분리시 취급성, 공구의 접근성 등과 같은 항목에 직·간접적으로 많은 영

향을 끼친다. 조립군에서 부품을 분리할 때 조립군의 구조는 제품의 분해성에 많은 영향을 끼친다. 제품의 구조는 하나 하나의 부품들이 분리되는 형태에 따라 병렬구조, 계층구조, 혼합구조로 구분된다(Fig. 5). 병렬구조는 하나의 부품에 여러 가지의 부품들이 병렬적으로 체결되어 있는 형태로 대표적인 예가 자동차의 도어트림(Door Trim)을 들 수 있다. 혼합구조는 계층구조와 병렬구조가 섞여 있는 형태로 분해가 어려운 구조이다.

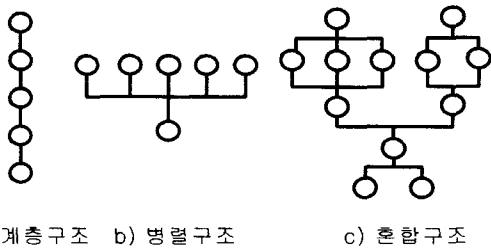


Fig. 5 Product structure

2.1.2 분해작업 관련요소

분해 작업과 관련된 영향요소를 도출하기 위해서 분해작업의 수행순서에 따라 평가항목을 분류하고 각각의 평가항목에 따른 영향요소들을 분석하였다(Fig. 6).

① 분리대상물의 인식

분리수행체가 분리대상물(부품, 조립군 등)에 대한 외곽형상, 크기, 위치 등(거시적인 정보)을 인식하는 단계로, 분리대상물의 크기, 형상, 재질, 위치 등에 영향을 받는다.

② 분리점(체결점) 인식

분리대상물이 어떻게 다른 부품 및 조립군들과 체결되어 있는 지, 체결점들의 위치 등에 대한 구체적인 정보, 체결형식, 분리공구는 어떤 것이 필요한 지에 대한 정보(미시적 인식)를 파악하는 단계이다. 여기서, 체결점에 대한 정보는 이 항목에서 중요하다. 즉 분리점이 한 개인지, 2개 이상인지 만약, 2개 이상이면 그 분포상태가 대칭적으로 분포되어 있는지, 비대칭적으로 분포되어 있는지를 파악하는 것으로 대칭적 분포가 비대칭 분포보다 체결점 인식이 더 좋다고 할 수 있다. 또 그 체결점의 위치도 분리공구의 접근 및 인식에도 분해성에 많은 영향을 끼친다.

③ 분리공구 선정

목표로 잡은 분리대상물을 분리하기 위해 어떤 분리공구가 필요 하는지를 판단하는 단계로, 분리공구가 필요 유무를 결정하고, 작업자는 분리공구가 필요하면 어떤 종류(일반공구, 특별공구, 전동공구 등)가 필요한지를 결정해야 한다.

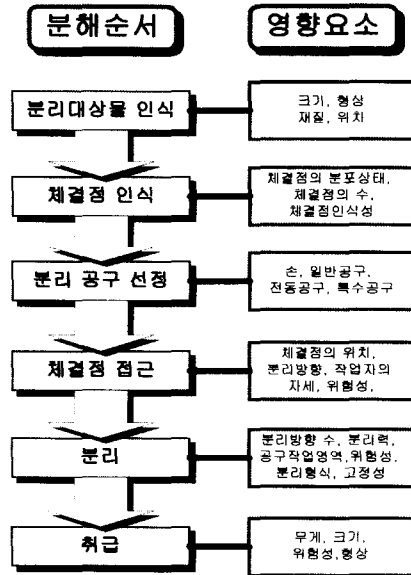


Fig. 6 Influential factors concerned to each disassembly step

④ 체결점 접근

분리수행체가 분리대상물을 분리하기 위해 체결점에 접근하는 단계로, 체결점의 위치, 분리방향, 작업자의 접근자세 등을 고려해야 하며 또한 접근시 작업자의 위험성 유무도 고려해야 한다.

⑤ 분리

분리수행체가 분리대상물에 분리력을 가해서 분리대상물을 분리하는 단계로, 분리 중 부품이 분리되는 방향수가 몇 개인지, 분리를 할 때 요구되는 분리력, 분리공구가 작업하기에 충분한 여유공간이 있는지 등을 고려해야 한다. 또한 부품을 분리시 작업자의 위험성의 여부와 부품이 어떤 형식으로 분리되는지 등도 고려해야 한다.

⑥ 취급

분리수행체가 분리대상물을 분리 후 분리대상물을 취급하는 단계로, 분리대상물의 무게, 크기, 위험성, 형상 등을 고려해야 한다.

## 2.2 평가항목 선정

제품의 분해성에 영향을 끼치는 영향요소들을 분해작업의 순서에 따라서 분해작업 전·중·후로 분류하였다. 그리고 이것들을 다시 4개의 평가항목(인식성, 접근성, 분리성, 취급성)으로 구분하고 각각의 평가항목에 대한 세부영향요소들을 선정하였다(Fig. 7).

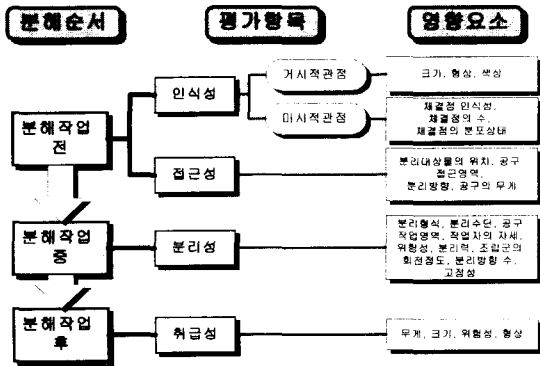


Fig. 7 Disassemblibility factors

인식성은 분리대상물에 관한 개략적인 정보를 파악하는 거시적 관점과 체결점등에 대한 구체적인 정보를 파악하는 미시적 관점으로 구분하였다. 거시적 관점의 영향요소로는 분리대상물의 크기, 형상, 색상으로 선정하였고, 미시적 관점의 영향요소로는 체결점 인식성, 체결점의 수, 체결점의 분포상태로 선정하였다. 접근성에 관한 영향요소로는 분리대상물의 위치, 공구 접근영역, 분리방향, 공구의 무게로 선정하였다. 분리성에 관한 영향요소로는 분리형식, 분리수단, 공구 작업영역, 작업자의 자세, 위험성, 분리력, 조립군의 회전정도, 분리방향의 수, 고정성으로 선정하였다. 취급성은 분리된 부품 혹은 조립군의 취급성을 의미하며 여기에 관한 영향요소로는 분리대상물의 무게, 크기, 위험성, 형상을 선정하였다.

## 2.3 분해용이 설계지침

분해작업을 분석하여 제품의 분해를 용이하게 설계하기 위한 설계지침을 구하였다(Fig.8). 이러한 설계지침들은 설계자가 제품 설계시 이를 반영함으로 분해가 용이한 제품을 설계할 수 있다.

## 3. 평가 알고리즘

2장에서 분석한 영향요소들을 정량화하기 위해 각 평가항목에 따른 분해용이 설계기법의 설계지침의 준수정도에 따라서 3단계(1점, 2점, 3점)로 구분하였다. 그리고 영향요소들이 그 평가항목에서 차지하는 중요도에 따라서 가중치를 부여하였다. 가중치 부여 방법은 영향요소들이 그 평가항목에 기여정도에 따라서 A, B, C 그룹으로 분류하고, A 그룹에 속하는 영향요소들의 가중치는 3, B 그룹은 2, C 그룹은 1을 각각 부여하였다. 여기서 A그룹은 영향요소가 그 평가항목에 많이 영향을 미치는 것이고, B 그룹은 보통, C 그룹은 적게 영향을 미치는 것이다.

- 1) 인식성 관련 설계지침
  - 분해대상 및 작업 내용이 쉽게 이해 가능할 것
  - 분해위치와 분해할 부품의 식별성을 최대화할 것
- 2) 접근성 관련 설계지침
  - 분해 준비 작업이 간단할 것
  - 접근 영역이 충분히 확보될 것
  - 부품 분해방향을 통일화할 것
  - 작업자와 분해 공구가 분해위치에 쉽게 접근할 수 있게 할 것
- 3) 분리성 관련 설계지침
  - 분해작업에 필요한 공간이 확보될 것
  - 적은 힘으로 분리가 되도록 할 것
  - 필요한 공구가 간단하고 수가 적을 것
  - 분해소요 시간이 짧을 것
  - 분리방향의 수가 많을 것
  - 분해 준비 작업이 간단할 것
  - 부품 결합 수를 최소화할 것
  - 분해작업 및 분해자의 안전도를 높일 것
- 4) 취급성 관련 설계지침
  - 분해될 부품이 소형 경량일 것
  - 취급에 대한 안전도가 높을 것

Fig. 8 A Guideline for the Easy-of-Disassembly Design

## 3.1 인식성

인식성은 분리수행체(작업자)가 분리대상물의 체결요소와 분리대상물을 인식하기 용이한 정도이다.

인식성에서 가장 중요한 사항은 체결점이 어떤

형태로 체결되어 있는 것과 그 수가 몇 개인지를 파악하는 것이다. 따라서 체결점의 인식성과 체결점의 수를 A 그룹으로 분류하였다. 체결점 인식이 난해한 경우는 체결점이 다른 부품에 의해 가려있어 파악이 힘든 경우나 체결점이 부품 내부에 있어 어떤 체결형식으로 체결되어 있는지를 파악하기 힘든 경우이다. 또한 부품을 체결하고 체결점의 수는 적을수록 인식성이 좋다.

B 그룹은 크기와 체결점의 분포상태로 선정하였다. 분리대상물의 크기는 방해물에 의해 숨겨진 경우를 고려해야 하기 때문이다. 또한 체결점이 하나 이상의 경우는 그것이 어떻게 분포되어 있는지도 다음 체결점을 예측하는데 중요하기 때문에 B 그룹으로 선정하였다. 여기서 크기는 분리대상물의 실제 크기를 의미하는 것이 아니라 노출된 부분의 크기를 나타낸다. 인식이 어려운 경우는 방해물이 있어 그 크기가 작아 인식이 힘든 경우와 부품 자체의 크기가 너무 작거나, 너무 큰 경우이다. 체결점의 분포상태는 체결점의 수가 적을수록 인식성이 좋고, 그 분포상태가 대칭인 것이 무작위로 섞여 있는 것보다 인식이 용이하다.

C 그룹은 형상과 색상으로 선정하였는데, 부품들의 형상이 복잡한 경우나, 색상이 주변 부품들과 같은 색으로 도색 되어있는 경우는 중요한 변수로 작용하나 일반적인 부품의 경우는 인식이 용이하기 때문에 C 그룹으로 선정하였다.

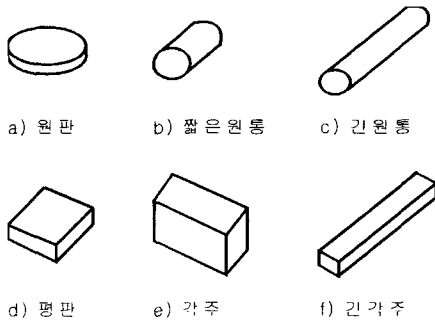


Fig. 9 The shapes of part

여기서 형상은 분리대상물을 완전히 둘러쌀 수 있는 외곽형상을 나타낸다.(fig.4 참조) 인식이 용이한 형상은 원판형, 평판형, 각주형처럼 크기가 적절한 경우이다. 하지만 짧은 원형처럼 그 형상이 작은 경우나, 긴 원형, 긴 각주형처럼 그 길이가 긴 경우는

인식이 용이하지 않은 경우이다.<sup>(5)</sup> Fig. 9는 분리대상물의 외곽형상의 종류를 나타낸다. Table 1은 인식성에 대한 세부 평가기준을 나타낸다.

인식성지수(RI; Recognizability Index)는 다음과 같이 계산된다.

$$RI = \frac{\sum P_i}{\sum P_{i \max}} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $P_i = W_i \times S_i$  : 항목의 점수

$P_{i \max} = W_i \times S_{i \max}$  : 항목별 가능 최고점수

W : 가중치

Table 1 The evaluation criteria of recognizability

영향 요소	가중치 W	세 부 기 준		점 수	
		평 가 치	$S_i$	$P_{i \max}$	$P_i$
크기	2	인식이 용이	3	6	
		인식이 보통	2		
		인식이 어려움	1		
형상	1	원판형, 평판형, 각주형	3	3	
		긴 원형, 긴 각주형	2		
		짧은 원형	1		
색상	1	불투명 1	3	3	
		불투명 2	2		
		투명	1		
체결점 인식성	3	체결점 파악이 용이	3	9	
		체결점 파악이 보통	2		
		체결점 파악이 난해	1		
체결점의 수	3	1개	3	9	
		2 ~ 3개	2		
		4개 이상	1		
체결점의 분포상태	2	체결점 한 개	3	6	
		2개 이상(대칭)	2		
		2개 이상(비대칭)	1		

### 3.2 접근성

접근성은 작업자가 분리공구를 가지고(분리공구가 없는 경우도 있음) 분리대상물에 분리력을 가하기 위하여 접근하기 용이한 정도이다. 따라서 작업자와 분해공구에 관한 사항들을 동시에 고려해야 한다.

분리대상물의 위치가 어느 곳에 위치해 있는냐에 따라서 작업자의 접근과 분리공구 접근에 많은 영향을 끼친다. 따라서 부품의 위치를 A 그룹으로

선정하였다. 분리대상물의 위치는 작은 제품 보다 큰 제품에 더 크게 영향을 미친다.

부품의 위치 다음으로 중요한 사항은 작업자가 분리대상물에 분리력을 가하기 위해 접근할 때 분리공구가 접근할 수 있는 여유공간을 나타내는 공구 접근영역이다. 분리수단이 손으로 행해지는 경우는 공구 접근영역에 많은 영향을 받지 않지만, 분리공구에 의해 작업이 행해지는 경우 공구 접근영역이 접근성에 중요하게 영향을 끼친다. 따라서 공구 접근영역을 B 그룹으로 선정하였다.

분리에 사용되는 공구들은 특별한 경우를 제외하고는 대부분 조립에 사용되었던 일반적인 공구들 즉 한 손으로 취급이 가능한 정도 무게의 공구들이 분리에 사용되기 때문에 공구의 무게는 C 그룹으로 선정하였다. 또한 부품들의 분리되는 방향을 나타내는 분리방향은 대부분의 경우 위쪽방향(+Z)으로 행해지는 경우가 많다. 만약 아래쪽 방향(-Z)으로 분리되는 부품이 많은 경우는 분해 작업시 조립군을 180도 회전을 시켜서 분해를 수행하므로 분리방향은 접근성에 많은 영향을 끼치지 않음으로 C 그룹으로 선정하였다. 공구의 무게 가볍고 작은 것이 취급이 용이하다. 접근성에 대한 세부 평가기준은 Table 2와 같다.

Table 2 The evaluation criteria of approachability

영향 요소	가중치	세부 기준		점수		
		평가치	$S_i$	$P_{i\max}$	$P_i$	
분리대상물의 위치	3	분리대상물의 위치가 용이	3	9		
		분리대상물의 위치가 보통	2			
		분리대상물의 위치가 난해	1			
공구 접근영역	2	모든 분리공구가 접근 가능	3	6		
		특정 분리공구만 접근 가능	2			
		어떤 분리공구도 접근 불가능	1			
분리방향	1	위쪽 방향(+Z)	3	3		
		측면 방향( $\pm X \pm Y$ )	2			
		아래쪽 방향(-Z)	1			
공구의 무게	1	한 손으로 취급 가능한 공구	3	3		
		두 손으로 취급 가능한 공구	2			
		보조장치가 필요한 공구	1			

접근성지수(AI; Approachability Index)는 다음과 같이 계산한다.

$$AI = \frac{\sum P_i}{\sum P_{i\max}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.3 분리성

분리성은 분리수행체가 분리공구(없는 경우도 있음)를 이용해 분리대상물에 분리력을 가하여 부품을 분리하기 용이한 정도이다.

부품이 체결되어 있는 형식이 어떤 형식이든 거기에는 그 부품을 분리하기 위한 분리수단이 필요하고, 이때 분리 공구의 작업영역에 따라서 분리성에 많은 영향을 끼친다. 따라서 분리형식, 분리수단, 공구 작업영역을 A 그룹으로 선정하였다. 분리형식은 작업자가 분리대상물을 분리시 그 분리대상물이 어떤 형식으로 분리되는 지를 나타낸다. 분리가 용이한 경우는 찢기, 뽑기, 끊기 등이고, 난해한 경우는 회전분리가 행해지는 경우이다. 분리수단은 분리대상물의 분리에 사용되는 수단으로, 분리가 용이한 순서는 손, 일반공구 1, 일반공구 2, 전동공구, 특수공구이다. 여기서 일반공구 1은 스크류 드라이버처럼 간단히 사용할 수 있는 경우이고, 일반공구 2는 소켓 라쳇트 렌치처럼 라쳇트에 소켓을 끼워야 사용이 가능한 경우이다. 공구 작업영역은 작업자가 분리대상물에 접근하여 분리공구를 가지고 분리기능을 수행하는데 충분한 작업영역이 있는지의 정도를 나타내는 것으로, 공구 작업영역이 충분한 경우가 분리성이 좋은 경우이다.

본 연구는 작업자의 수분해를 기초해서 분석한 영향요소들이기 때문에 작업자와 관련된 영향요소를 B 그룹으로 선정하였다. B 그룹에 속하는 영향요소들은 작업자의 자세, 분해작업에 사용되는 분해공구나 부품에 대한 작업자의 위험성, 작업자의 피로에 영향을 끼치는 분리력이 있다. 작업자의 자세는 분리대상물의 분리시 요구되는 작업자의 자세를 나타낸다. 작업자의 자세가 나쁜 경우는 분리대상물을 분리하기 위해 작업자가 몸을 구부리거나 엎드려야하는 경우이다. 위험성은 분리수행체가 분리작업을 수행하면서 분리대상물이나 분리공구 등에 의해 작업자가 위험을 받는 정도를 나타낸다. 분리력은 분리수행체가 분리대상물을 분리하기 위해서 요구되는 힘의 정도로, 적은 힘으로 분리가 되는 경우가 분리성이 좋은 경우이다.

C 그룹은 고정성, 분리방향 수, 조립군의 회전 정도로 선정하였다. 일반적으로 분리되는 부품들은 제품보다 더 큰 경우가 적기 때문에 제품에 고정되어 있는 경우가 많다. 또한 분리는 부품을 다른 부품에 고정되어 있는 것을 분리하는 것으로 분리방향 수는 대부분 1방향의 경우가 많고, 분리방향 수

가 많다고 해서 분리성에 직접적으로 많은 영향을 끼치는 경우가 적다. 분리대상물의 분리를 용이하게 하기 위해 조립군의 회전을 나타내는 조립군의 회전정도는 분리대상물이 큰 경우는 크게 영향을 끼치는데 일반적으로는 보조장치 필요 없이 쉽게 움직이므로 C 그룹으로 선정하였다. 분리방향수는 분리대상물이 분리되는 방향의 수로 분리방향의 수가 많을수록 분리성이 좋다. Fig. 10은 분리방향 수를 나타낸다.

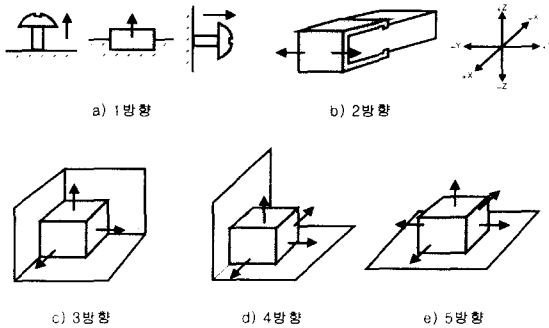


Fig. 10 The number of separation direction

조립군의 회전정도는 작업자가 분리대상물의 분리를 위해 조립군의 회전이 필요한지를 나타낸다. 조립군의 회전이 없이 분리가 되는 경우가 분리성이 좋은 경우이다. 고정성은 분리대상물이 얼마만큼 잘 고정되어 있는지의 정도를 나타낸다. 고정이 필요한 경우는 분리대상물의 크기가 너무 작거나 큰 경우에 분리대상물을 고정해 주어야 하므로 분리가 용이하지 않다. 분리성에 대한 세부 평가기준은 Table 3과 같다.

분리성지수(SI; Separability Index)는 다음과 같이 계산한다.

$$SI = \frac{\sum P_i}{\sum P_{i \max}} \times 100 \quad (3)$$

### 3.4 취급성

취급성은 작업자가 분리한 부품을 다루기 용이한 정도이다. 취급성에 영향을 크게 미치는 것은 분리한 부품의 무게와 부피가 어느 정도인지에 따라서 취급성에 직접적으로 영향을 끼친다. 따라서 분리한 부품의 무게, 크기에 대한 영향요소를 A 그룹으로 선정하였다. 무게는 분리한 분리대상물의 무게로, 그 양이 적은 경우가 취급이 용이한 경우

이다.<sup>(15)</sup> 크기는 보조장치가 없이 한 손으로 취급이 가능한 정도의 크기가 취급성이 좋은 것이다.

Table 3 The evaluation criteria of separability

영향 요소	기중치	세 부 기 준			점 수
		평 가 치	$S_i$	$P_{i \max}$	
분리형식	3	용이(뿔기, 뽑기, 끊기)	3	9	
		보통(뜯기)	2		
		난해(회전 분리)	1		
분리수단	3	Hand	3	9	
		일반공구	2		
		진동공구, 특수공구	1		
공구 작업영역	3	모든 분리공구가 작업가능 한 영역	3	9	
		특정 분리공구만 작업가능 한 영역	2		
		어떤 분리공구도 접근불가 영역	1		
작업자의 자세	2	작업자의 자세 용이	3	6	
		작업자의 자세 보통	2		
		작업자의 자세 난해	1		
위험성	2	없음	3	6	
		주의	2		
		위험	1		
분리력	2	적은 힘이 요구되는 경우	3	6	
		보통의 힘이 요구되는 경우	2		
		큰 힘이 요구되는 경우	1		
조립군의 회전정도	1	회전 불필요	3	3	
		90도 회전	2		
		180도 회전	1		
분리방향 수	1	3 방향 이상	3	3	
		2 방향	2		
		1 방향	1		
고정성	1	고정이 필요 없는 경우	3	3	
		일정량의 고정력이 요구되는 경우	2		
		큰 고정력이 필요한 경우	1		

분리된 부품들은 파괴분리 등과 같은 여러 가지 원인으로 인해 조립 때처럼 완전히 매끄러운 형태를 갖지 못하고, 버(bur)와 같은 날카로운 부분이 발생할 수 있다. 따라서 분리한 부품의 취급시에 위험성을 고려해야 함으로 위험성은 B 그룹으로 선정하였다.

분리한 부품의 형상은 잡형성에 영향을 줄뿐 취급성에 적게 영향을 끼치므로 C 그룹으로 선정하였다. 취급이 용이한 형상은 짧은 원형처럼 그 형상이 작은 경우이고, 취급이 난해한 형상으로 긴 원형, 긴 각주형처럼 그 길이가 길어서 취급이 용이하지 않는 경우이다. 취급성에 대한 세부 평가기준은 Table 4와 같다.

취급성지수(TI; Treatability Index)는 다음과 같



이 계산한다.

$$TI = \frac{\sum P_i}{\sum P_{i \max}} \times 100 \quad (4)$$

Table 4 The evaluation criteria of treatability

영향 요소	가중치	세 부 기 준		점 수	
		평 가 치	$S_i$	$P_{i \max}$	$P_i$
부재	3	4.5kg 이하의 부재	3	9	
		4.5kg ~ 9kg	2		
		9kg 이상, 보조장치 필요한 경우	1		
크기	3	손가락 또는 한 손으로 취급이 가능	3	9	
		양손으로 취급이 가능	2		
		핀셋, 플라이어, 톨립 공구 등으로 취급이 가능한 경우, 2인 이상이나 보조 장치가 필요한 경우	1		
위험성	2	위험성 없음	3	6	
		주의가 필요한 경우	2		
		위험한 경우	1		
형상	1	짧은 원형	3	3	
		긴 원형, 긴 각주형	2		
		원편형, 평편형, 각주형	1		

### 3.5 분해성 지수

분해성 평가는 제품 전체를 대상으로 하여야 한다. 4개의 평가항목이 분해성에 영향을 끼치는 정도에 따라서 가중치를 부여하여 제품의 분해성지수를 산출하였다. 제품의 분해에서 가장 중요한 평가항목은 그 제품이 어떻게 빨리, 어떤 형태로 분리가 되느냐를 나타내는 분리성이다. 따라서 분리성을 A 그룹으로 선정하였다. 분리성 다음으로 중요한 평가항목은 제품이 어떻게 체결되어 작업자가 쉽게 인식하느냐를 나타내는 인식성이다. 따라서 인식성을 B 그룹으로 선정하였다. 분리대상물에 대한 인식이 끝나면 분리대상물의 접근과 분리한 부품의 취급에는 많은 시간이 소요되지 않으므로 C 그룹으로 선정하였다.

제품의 분해성이 얼마만큼 좋은지 나쁜지를 나타내는 제품의 분해성지수(PDI; Product Disassembly Index)는 다음과 같이 계산한다.

$$PDI(\%) = \frac{(2 \sum RI + \sum AI + 3 \sum SI + \sum TI)}{7} \quad (5)$$

여기서, RI ; 인식성지수, AI ; 접근성지수  
SI ; 분리성지수, TI ; 취급성지수

### 4. 분해성 평가 소프트웨어

지금까지 개발한 평가방법을 사용이 용이한 평가 소프트웨어를 개발하였다. 본 연구에서 부품의 분해는 최적의 분해순서에 따라서 분해된다고 가정한다. 먼저 평가할 제품이 입력되면, 최적의 분해순서에 따라서 부품을 분리하여 기본적인 자료들(분리대상물의 타입, 부품 고유번호, 부품이름)을 워크시트(Worksheet)에 입력한다(Fig. 11).

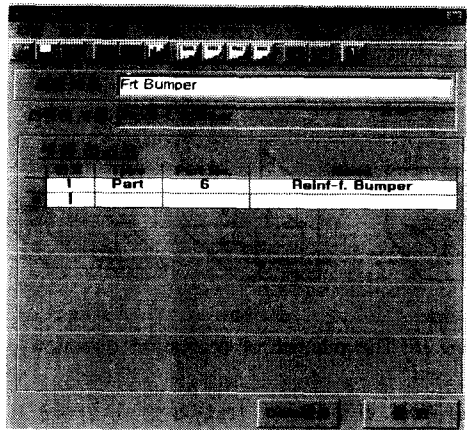


Fig. 11 Worksheet

워크시트에 하나의 부품을 입력한 후, 그 부품을 두 번 누르면 그 부품에 대한 분해성 평가 질문창이 나타난다. 분해성 평가질문 창은 4개의 평가항목(인식성, 접근성, 분리성, 취급성) 탭을 가진 질문창으로 구성되어 있다. 평가자는 4개의 평가항목의 각 영향요소에서 적절한 답을 선택하면 그 부품에 대한 분해성 평가에 관한 평가자료들을 입력한다. 이러한 순서로 제품에 대한 하나 하나의 부품을 입력하면 평가에 대한 입력은 완료된다. Fig. 12는 인식성의 분해성 평가 질문 창이다.

제품의 분해성 평가결과는 평가항목 결과그래프와 영향요소 결과그래프로 나타낸다.

Fig. 13은 제품의 분해성 평가결과에 대한 평가항목 결과그래프로, 4개의 평가항목과 제품의 분해성지수(PDI)를 나타낸다. 평가자는 평가항목 결과그래프를 통해 어떤 평가항목이 그 조립군의 분해성에 어떻게 영향을 미치는지를 파악할 수 있다. 따라서 낮게 나타난 평가항목을 높이는 방향으로 제품을 설계함으로써 제품 전체의 분해성지수를 높

일 수 있다.

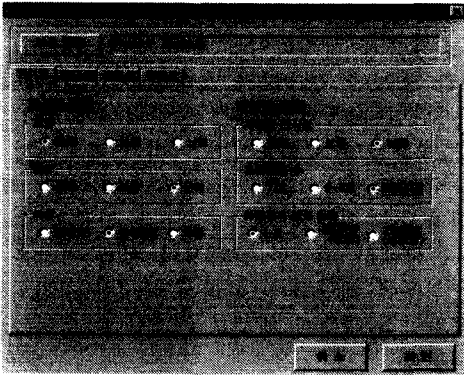


Fig. 12 The question window for recognizability evaluation

파악할 수 있다.

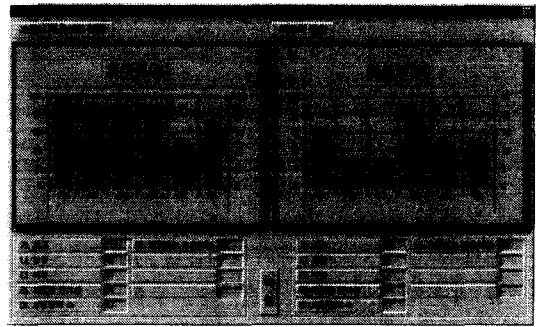


Fig. 14 The results of recognizability factor

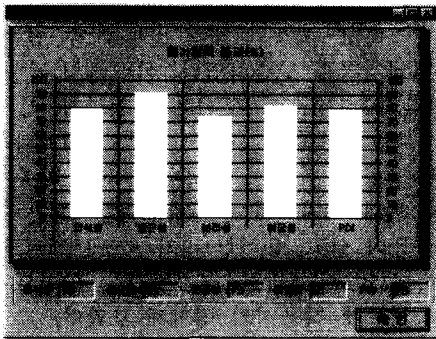


Fig. 13 The results of evaluation category

Fig. 14는 평가항목 중 인식성에 대한 영향요소 결과그래프이다.

영향요소 결과그래프는 각 평가항목의 해당 영향요소들을 나타내는데 가중치를 적용하지 않은 것과 가중치를 적용한 결과그래프를 나타낸다. 가중치를 적용하지 않은 결과그래프를 통해 평가자는 어떤 영향요소가 그 평가항목에 어떻게 영향을 미치는지를 파악할 수 있다. 따라서 낮게 나타난 영향요소를 높이는 방향으로 설계를 해줌으로서 해당 평가항목의 분해성 지수를 높일 수가 있다. 가중치를 적용하지 않은 결과그래프의 점수의 총합은 해당 평가항목의 점수를 의미한다. 평가자는 평가항목 결과그래프를 통해 제품의 분해성에 대한 전체적인 정보를 파악할 수 있고, 영향요소 결과그래프를 통해 제품의 분해성에 대한 구체적인 정보를

### 5. 적용사례

본 연구에서 개발한 평가 방법을 제품의 생산량이 많고, 폐기처리 단계에서 처리 난이도가 높은 자동차부품(국내업체의 소형차 도어트림)과 가전제품의 부품에(10kg급 세탁기의 스펀 바스켓) 적용시켰다. 도어트림의 경우 1차 해체(차체에서 분리하는 것)에 대해서는 고려하지 않았다.

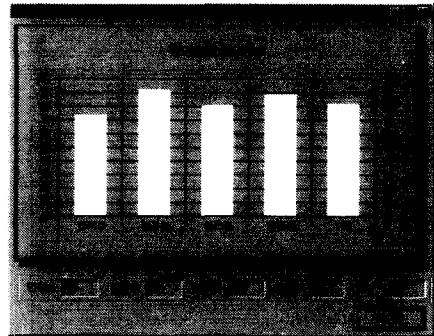


Fig. 15 The results of evaluation category of door trim

도어트림은 내장 부품 중에서 가장 다양한 재료 및 성형공법이 채용되고 있는 부품으로 현재 재료 리사이클링이 불가능하여 전량 폐기되는 실정이다.<sup>(16)</sup> 도어트림의 분해성을 평가한 결과 인식성 73%, 접근성 92%, 분리성 80%, 취급성 88%이고, 제품의 분해성지수는 81%로 나타났으며, 평가항목 중 인식성이 가장 낮게 나타났다(Fig. 15). 도어트림의 경우 작은 부품들이 많아 이들의 체결점과 관련

된 영향요소들을 인식하는데 어려움이 많았다. 따라서 도어트립의 분해성을 높이기 위해서는 작은 부품을 다른 부품들과 통합하여 부품의 수를 줄여 인식성지수를 높이는 방향으로 제품의 설계를 개선하면 분해성이 좋아질 것으로 기대된다.

스핀 바스케트는 세탁기 내부에서 회전하는 금속류의 원통인데 분해성을 평가한 결과 인식성 77%, 접근성 73%, 분리성 59%, 취급성 83%이고, 제품의 분해성지수는 70%로 나타났으며, 분리성에 대한 결과가 가장 낮게 나타났다(Fig. 16).

스핀 바스케트의 경우 대부분의 부품들이 한 방향으로 분리가 행해졌으며, 분리형식도 회전분리가 많아 분리형식의 값이 낮게 나타났다. 또한 회전분리로 인해 부품들의 분리에 많은 힘이 요구되어 분리력도 낮게 나타났으며, 작업자의 자세도 좋지 않아 이에 대한 영향요소들도 낮은 값을 나타냈다. 따라서 스핀 바스케트의 분해성지수를 향상시키기 위해서는 체결점의 수를 줄이고, 분리형식이 회전분리가 아닌 분리형식이 좋은 뿔기형태 등으로 개선하여야 한다. 또한 분리시 작업자의 자세와 위험성 등에 대한 영향요소들도 개선하는 방향으로 제품을 설계해야 한다.

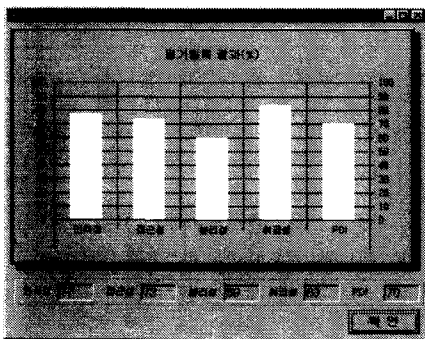


Fig. 16 The results of evaluation category of spin basket

## 6. 결론

본 연구에서는 분해용이 설계기법을 이용하여 제품의 분해성을 평가할 수 있는 평가방법을 개발하였다.

기술적인 문제의 해결에는 과학적이며 공학적인 지식을 적용할 뿐만 아니라 법적, 환경적인 관계 및 인간과의 관계 등에 의해 발생하는 요구조건

과 제한 내에서의 해결안을 최적화 하여야 한다.<sup>(17)</sup> 이때 설계자는 주어진 제약조건을 지키면서도 창의력을 발휘하여 본래의 기능을 침범 받지 않는 장래성 있는 제품을 설계하여야 한다. 만약 기능과 법적규제를 동시에 만족하지 못하는 제품의 개발이 불가능하다면 제품의 개발은 중단되어야 할 것이다. 일부제품들의 재활용성이 이미 선진국에서 법적으로 규제되거나 계획중인 점을 고려하면, 제품의 재활용성은 하나의 제약조건으로 간주할 수 있다. 이 논문에서 제안한 분해용이 설계 지침은 일반적인 경우에 해당한다. 따라서 이러한 지침의 적용이 불가능한 특수한 제품도 존재할 수 있는 것임을 밝혀둔다.

제품을 분해하는데 영향을 끼치는 영향요소들을 부품과 관련된 것과 분해작업에 관련된 것으로 나누어서 분석하였다. 이 결과로 분해성 평가항목(인식성, 접근성, 분리성, 취급성)과 각각의 영향요소들을 선정하고, 제품 설계시 반영할 수 있는 분해용이 설계지침을 도출하였다. 이렇게 선정된 영향요소들을 세부적으로 분석하여 정량화 시키고, 가중치를 부여하였다. 그리고 각각의 평가항목이 분해성에 영향을 끼치는 정도에 따라서 가중치를 부여하여 분해성 지수를 산출하였다. 이러한 평가방법을 사용이 쉽고, 용이한 평가 소프트웨어도 개발하였다. 그리고 개발한 평가방법을 도어트립과 스핀 바스케트에 적용시켜 평가해 보았다.

본 연구에서 개발된 설계지침은 제품 설계시 반영하면 분해가 용이한 제품을 설계가 가능할 것이다. 그리고 평가방법은 제품 설계시 설계된 제품의 분해성이 얼마만큼 좋은지 나쁜지를 정량적으로 평가할 수 있다. 하지만 아직 그 제품의 폐기 비용을 계산하는 기능은 없다. 따라서 추후 향후 연구과제로는 제품 폐기시 분해 비용을 평가할 수 있는 방법에 관한 연구가 있어야 할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Hans-Jochen Lueckefett and Frank Orlandella, Holbrook Larry; "A Grobal Perspective on Environmentally Related Product Legislation and Regulations," IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp. 88~92, 1997.
2. 조광익, 이화조, 주해호, 이기동, "환경성을 고려한 분해용이성 평가," 한국자동차공학회 1997년

- 춘계학술대회, Vol 1. pp. 585 ~ 591, 1997.
3. 이화조, "자동차 Recycling을 위한 분해기술." 대한기계학회지, 제36권 제2호, 1996. pp. 120~136.
  4. 이화조, "폐자동차 회수 · 처리기술," 자동차공학회지. Vol 19, No. 6, pp. 34~44, 1997.
  5. Wilder, J., "Designing for Disassembly; Durablegoods Makers Build in Recyclability," Modern Plastics, pp. 67, 16~17, 1990.
  6. Constance, J., "Can Durable Goods Be Designed for Disposability?," Mechanical Engineering. pp. 114, 60~62. 1992.
  7. Bakerjian, R., "Environmentally Responsible Product Design. Design for Manufacturability," Vol. 6. in the Tool and Manufacturing Engineers Handbook Series, 4th ed., SME. Dearborn, Michigan. pp. 10.61~10.64. 1992.
  8. Thurston, D.L. and Blair, A., "A Method for Integrating Environmental Impacts into Product Design," Proceedings of IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp.94~99, 1993.
  9. Akermark, A.-M., "Design for Disassembly and Recycling," 4th International Seminar on Life Cycle Engineering, pp. 327~338, 1997.
  10. Thomas, A. Hanft and Ehud Kroll, "Easy-Of-Disassembly Evaluation In Design For Recycling," Design for X. pp. 318~334, 1996.
  11. Gerald Winslow, Susan Tester and Stewart Coulter, "Preferred Design for Recycling Practices for Bumper Fascia System," Society of Automotive Engineers. Inc., pp. 43~ 46, 1997.
  12. 中村 茂弘, "製品の分解しやすき点数で平價改善案も検索できね分解容易化 技術," NIKKEI MECHANICAL, 1994. 1. 10.
  13. Hari Srinivasan, N. Shyamsundar and Rajit Gadh, "A Virtual Disassembly Tool to Support Environmentally Conscious Product Design," Proceedings of th 1997 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp.7~12, 1997.
  14. Boothroyd G., Poli C. and Murch L.; "Automatic Assembly," Marcel Dekker. Inc., 1982.
  15. Boothroyd G., Dewhurst, P. and Knight, W., "Product Design for Manufacture and Assembly," Marcel Dekker. Inc., 1994.
  16. 임양수, "자동차 부품의 리사이클링 현황," 월간 제기분. pp. 65~81, 1986. 7.
  17. Pahl, G., Beitz, W., "Engineering Design: A Systematic Approach," Springer-Verlag, 1996.