플라스틱 제품의 효율적 리사이클링을 위한 설계방법에 관한 연구

A STUDY ON THE METHOD OF DESIGN
FOR THE EFFICIENT RECYCLING OF PLASTICS

맹 형 재

1. 서론

2. 효율적 리사이클링을 위한 설계방법

2-1 재료의 연구

2-1-1 플라스틱 재료의 재활용범위

2-1-2 재활용을 위한 플라스틱 재료의 선택 및 활용

- 재료의 선택

- 재료의 활용

2-1-3 재활용을 위한 재료표시

2-2 구조의 연구

2-2-1 DFD를 위한 설계방법

2-2-2 접합 및 결합을 위한 설계

2-3 2차 가공의 연구

3. 리사이클링 설계를 위한 가이드라인

3-1 재료설계에 관한 가이드라인

3-2 구조설계에 관한 가이드라인

3-3 2차 가공설계에 관한 가이드라인

4 결론

논문 요약

환경을 고려하는 제품개발에 대한 시대적 요구는 자연스럽게 그린디자인 개념을 형성하게 되었고, 이러한 그린디자인에 대한 관심이 디자인의 가치기준을 근본적으로 변화시켜 나갔다. 또한 소비촉진을 부추겨 환경파괴에 일익을 담당했던 디자인은 환경문제를 고려한 새로운 디자인철학을 바탕으로 환경을 위한 실천노력이 요구되는 시점이다.

이에 본 논문에서는 환경문제를 고려한 실천노력의 하나로 플라스틱을 주요 소재로 사용하는 제품디자이너의 제품설계단계에서 폐기물을 사전에 줄이고, 발생된 폐기물 중 재생 및 재활용이 가능한 재료를 최대한 회수하여 효율적으로 자원화할 수 있도록 구체적인 재활용 설계방법을 모색해 보았다.

연구의 진행은 재활용 설계시 고려해야 할 요소를 재료에 관한 문제, 구조에 관한 문제, 2차 가공에 관한 문제로 나누어 진행하였다.

재료의 문제는 플라스틱 재료의 재활용 범위를 검토해보고 재활용을 가능하게 하는 재료의 선택 및 활용방법을 제시해 보았으며, 재활용 재료의 분류를 돕는 재료표시방법에 대하여 살펴보았다.

이어서 구조의 문제는 생산 및 재활용시 조립과 분해를 용이하게 하기 위한 임시고정구조와 영구조임구조의 디테일 설계방법을 정리하였고, 제품완성단계에서 필요한 2차 가공방법이 재활용에 미치는 영향을 검토해 보았다.

이상과 같이 세 가지 연구방향을 토대로 재활용 설계를 위한 종합적 가이드라인을 추출하여 제시하였다.

ABSTRACT

The demand of the times - the development of the products which consider environment - has brought the concept of such a kind of design that is naturally drawn. And concerns about the drawn design have fundamentaly transformed the standard of value. Also, the design, which had not considered the problems of environment, therefore bearing a part to destroy natural environment by means of encouraging more consumption of products, has changed its simple purpose of just designing to more comprehensive one that is to consider about human and natural environment, consequently bringing a new philosophy of design at the point of time when the efforts of practice given to preserving good environment are absolutely necessary.

Based on such considerations of environment, this study, as one of efforts given to the preservation of environment, intends to research into a design method through which some used plastic products can be recycled with a case

study of the designers who use plastic as a key meterial of their design and consider to decrease the waste of plastic even at the stage of design, planning to recover those used plastics, which can be recycled later, as much as possible in order to make those used plastics resourceful.

The contents of this study are, in the first place, the issue of the plastic material, in the second place, the issue of plastic structures, and in the third place, the issue of second processing.

In the issue of the plastic material, the scope of range of the recycling of plastic is reviewed, then

suggesting the choice or selection of the materials enabling to be recycled and the method to reuse with reference to list the materials which can be classified into the materials possible to be recycled.

In the issue of structure, the details and design of some temporary structures and semi-permanent structures which make their assemblage and disassemblage to be easy are reviewed and refined. Then it is reviewed and examined how the second processing method necessary to the stage of completing products affects recycling.

This study can be regarded as a research into a synthetic guideline to the design of recycling, based on those three issues just briefly described above.

1. 서론

우리 사회의 구조가 산업사회를 거쳐 탈산업사회, 정보화사회로 전환되어 가면서 정보가치의 중요성 이상으로 환경문제의 중요성이 강조되기 시작하였다. 또한 여러 환경문제 중 산업소비사회의 부산물인 폐기물의 문제는 심각한 사회환경문제를 유발하고 있다. 특히 폐기물을 대부분 매립에만 의존하여 온 우리나라는 늘어나는 폐기물의 양 때문에 더이상 매립할 곳이 없는 실정이다. 그러므로 폐기물의 재자원화가 절실히 필요한 시점이다.

그러나 여러 종류의 폐기물 중 재활용되지 못하는 폐기물의 대부분인 플라스틱은 매립장의 미비와 낮은 수준의 소각시설, 낮은 재활용비율 등으로 다른 재료에 비해 재활용률이 매우 낮다. 제품 디자이너가 주로 활용하는 재료인 플라스틱 재료는 다른 재료에 비해 재료의 특성 및 새로운 가공방법, 용도의 개발로 인하여 다양하게 그 사용범위가 넓어지고 있으나, 다른 재료에 비하여 거의 재활용이 되지 않고 있다. 이러한 이유는 처음부터 쉽게 재활용할 수 없게 설계되어 있음으로 인하여 구성부품들을 분리하는 데 너무 많은 시간이 소요되므로 재활용에 대한 경제성이 없기 때문이다.

즉 재활용시 많은 비용이 발생됨으로서, 플라스틱을 재활용하는 일은 손해를 보는 일이기 때문이다. 이러한 이유로 플라스틱의 리사이클링 시스템(recycling system)은 위기에 처해 있는 상태이다.

그러므로 본 연구는 디자이너의 제품설계과정에서 플라스틱 재료의 효율적 재활용을 위한 재료의 활용 문제에서 구조를 통한 재활용 해결방법으로 조립과 분해를 위한 디테일 설계가공,결합방법 및 2차가공에 관련된 문제를 구체적으로 제시하고 이를 토대로 재활용 설계의 검토를 위한 가이드라인을 제안함으로써 디자인과 설계단계에서 폐기물 재활용을 돕고, 폐기물 발생을 사전에 줄일 수 있는 설계방향을 제시하려 한다.

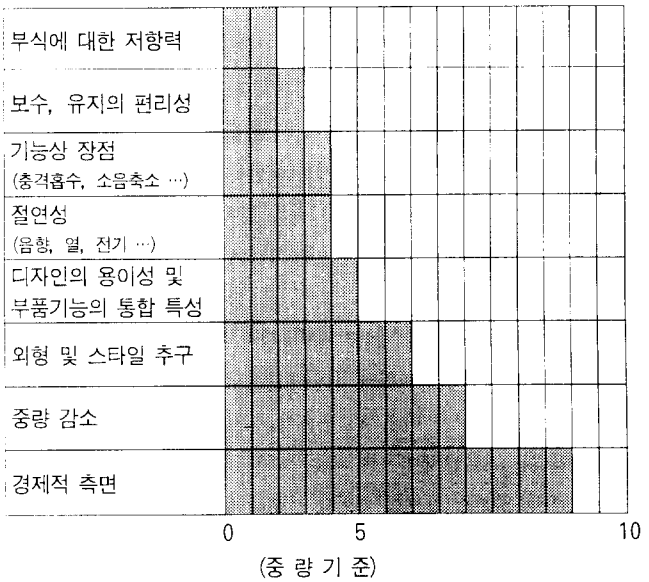
2. 효율적 RECYCLING을 위한 설계방법

2-1 재료의 연구

종이나 유리, 금속 등의 재료는 폐기물의 재활용시 재활용률이 높은 반면 플라스틱 재료는 재활용률이 매우 저조한 상태에 머무르고 있다. 그럼에도 불구하고 플라스틱 재료는 재료적 특성으로 인하여 사용량이 계속해서 증가하고 있는 추세이다.

이와같이 플라스틱 재료의 사용이 증가하고 있는 이유로 여러 요인을 들 수 있으나 플라스틱의 사용량이 점차 증가하고 있는 자동차에서 플라스틱 사용의 기준을 일례로 보면 다음과 같다.

(표 1) 자동차에서 플라스틱 사용에 관한 기준 (1)

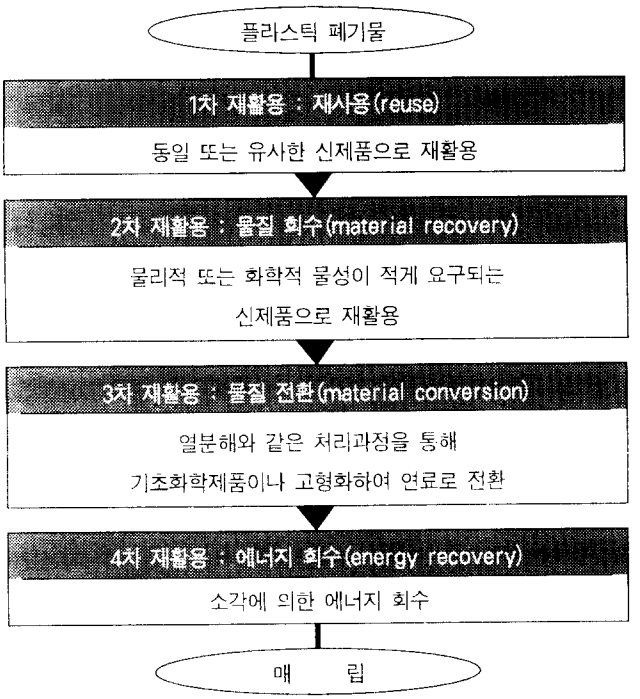


이와 같이 제품의 여러 분야에서 플라스틱 재료의 사용이 나날이 증가함에 따라 이에 비례해서 폐기물량 또한 많아질 수밖에 없다.

그러므로 제품의 디자인과 설계단계에서부터 재활용을 고려하지 않은 무분별한 재료의 선택을 지양하고 플라스틱 재료의 감량화와 재자원화, 처리의 용이화 촉진을 위한 재료의 선택, 즉 리사이클의 효율성이 높은 재료의 활용이 필요하다.

2-1-1 플라스틱의 재활용 범위

플라스틱의 재활용은 재생완제품이나 재생부산물에 따라서 다음과 같이 4단계의 범위로 분류할 수 있다.



(그림 1) 플라스틱의 재활용 범위

2-1-2 재활용을 위한 플라스틱재료의 선택 및 활용방법

(1)플라스틱 재료의 선택

여러 종류의 플라스틱 재료 중에서 제품의 사용용도가 재활용목적을 동시에 만족시켜 줄 수 있는 재료를 선택하는 것은 매우 어려운 일이므로 각 재료의 장단점을 고려해서 사용가능성을 검토할 필요가 있다.

이때 재료의 특성에 대한 요구항목과 플라스틱 재료 사이에 매트릭스(matrix)를 작성하여 평가한 후 우세에 따라 재료를 선택하는 방법은 좋지 않으며, 재료에 대한 요구 항목을 나열한 후 항목을 충족시키지 못하는 재료를 하나씩 지워나가는 소거법(消去法)을 활용하는 것이 재활용을 위한 재료 선택으로 좋은 방법이다. (2)

플라스틱의 종류별 유형에 따른 재활용 적합성에 대한 일반적인 기준을 보면, 열가소성 범용 플라스틱은 가열시 중요한 분자변화를 일으키지 않는 단일연쇄중합체(polym-er)(3)로 되어있어 2차 재활용에 가장 적합한 재료이며, 엔지니어링 플라스틱(4)은 융점이 높아 재가공시 현저한 융점의 강하로 재활용이 매우 어려운 재료이다. 또한 열경화성 수지는 교차 결합구조(5)로 되어있어 가열시 융해되지 않고 냉각시 다시 굳어짐을 방지하여 재활용에 부적합한 재료이다.

이와 같이 재활용 적합성에 대한 일반적 기준은 재료의 선택범위 설정에 도움을 줄 수 있고, 재료별 열분해성(6) 분석을 통하여 재활용을 위한 재료선택의 세부적인 기준으로 활용할 수 있다.

(표 2) 열분해에 의한 폐플라스틱 처리 가능성 (7)

종 류		수 지 명	열분해성
열가소성 수지	범용 plastics	PE (polyethylene)	◎ ○
		PP (polypropylene)	◎ ○
		PS (polystyrene)	◎ ○
		AS (acrylonitrilestyrene)	△
		ABS (acrylonitrilebutadienestyrene)	○
		PVC (polyvinylchloride)	×
	engineering plastics	PC (polycarbonate)	○
		POM (polyoxymethylene=polycetal)	○
		PA (polyamide=nylon)	×
		PET (polyethyleneterephthalate)	×
		PBT (polybutyleneterephthalate)	△
		PMMA (polymethylmethacrylate=acryl)	○
열경화성 수지		PF (phenol formaldehyde)	×
		PU (polyurethane)	×
		UF (urea formaldehyde)	×
		UP (unsatuated polyester)	×
		SI (silicon)	×

(◎:단체처리가능, ○:혼합처리가능,
△:연구조사 요함, ×:열분해처리불가)

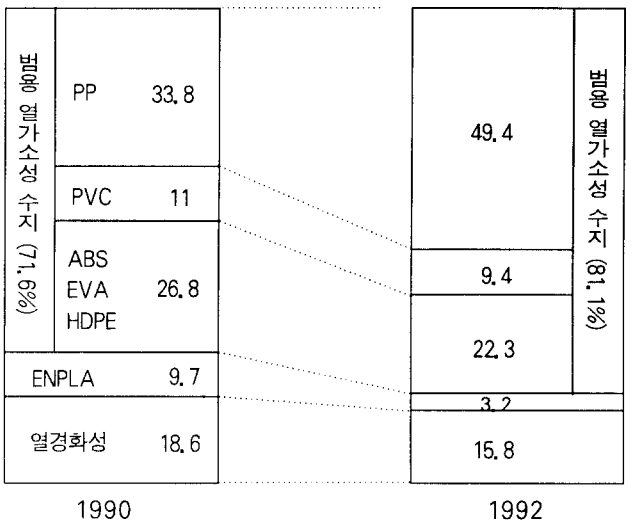
2) 플라스틱 재료의 활용

열가소성 플라스틱이나 열경화성 플라스틱 모두 제품의 설계시 필요한 재료이나 재활용을 위한 재료의 활용효과는 리사이클링이 용이한 플라스틱의 사용을 통해 이루어질 수 있다. 즉 리사이클링이 용이하다고 생각되는 열가소성 플라스틱의 사용비율을 넓힘으로써 보다 효율적인 재료의 재활용을 할 수 있다.

최근 제품생산의 여러 영역에서 열가소성 수지의 채용확대추세를 보이고 있으며 특히 자동차에서는 열가소성 수지의 사용률이 85% 정도에 이르면서 플라스틱 재료의 재활용률을 높이고 있다. (8)

또, 효율적 재료의 활용방법으로 플라스틱재료의 구조설계합리화를 통해 사용재료의 양을 줄일 수 있으며, 사용 플라스틱의 종류를 줄여줌으로써 유형의 다양성 감소를 통하여부품의 소재별 해체를 용이하게 할 수 있다.같은종류의 부품에는 같은 종류의 플라스틱을 사용하면 해체 후 재료별 분리를 쉽게 할 수 있다.

그러나 중합체 재료나 복합재료(9),신소재(10)는 재활용에 어려움이 있어 재료의 활용이 자제되며 특히 표면질감이나 강도보강을 위한 첨가물(11)혼합은 재활용에 큰 장애가 된다.



(그림 2) 리사이클에 대비한 열가소성 수지의 채용 확대

(NISSAN 자동차의 예)

2-1-3 재활용을 위한 재료의 표시

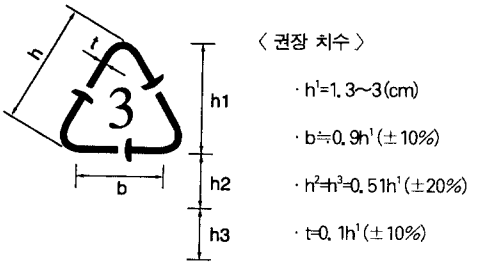
플라스틱 부품의 분해 및 재생이용을 위해서는 플라스틱과 플라스틱 복합체의 분리수집이 필요하다. 그러나 플라스틱은 육안으로 구별하여 분리하기가 매우 어려우므로 부품의 재료조성을 나타내는 마킹(marking)이 필요하다.

유럽에서 〈폴리머 재료의 부품 마킹에 대하여〉라는 VDA Recommendation 260은 ISO 기준을 토대로 해서 개발된 코드 체계로 1984년에 공표되었고, 이 코드는 현재 유럽에서뿐 아니라 일본 등지에서도 많이 채용되고 있다.(12)

우리나라에서는 93년 12월에 발표된 환경부 고시 〈2종 지정사업자의 재활용 지침〉에서 재료표시를 나타내는 마킹을 다음과 같이 하도록 지정하고 있다.

재 질	표시숫자	표시문자
polyethylene terephthalate	1	PETE
high-density polyethylene	2	HDPE
polyvinyl chloride	3	V
low-density polyethylene	4	LDPE
polypropylene	5	PP
polystyrene	6	PS
기타제품	7	OTHER

(표 3) 합성수지의 재질별 표시숫자 및 문자



(그림 3) 합성수지의 재질분류 표시

특히 100g 이상의 부품을 대상으로 하여 표기를 하면 플라스틱 부품 대부분이 조성이 명백해지므로 새로운 재활용기술의 적응시 대응하기 쉽게 된다.

2-2 구조의 연구

자동차나 가전제품, 컴퓨터 등의 산업제품들은 많은 양의 플라스틱 재료를 지니고 있으며, 매우 복잡하고 견고한 형태로 조립되어 있으므로 이러한 제품들은 구조적으로 분해-분류-재활용이 쉽고, 재활용시 비용도 적게 들도록 디자인되어야 한다.

별도로 분리하여 성형된 부품과 재료는 상호조합, 결합 등의 조립과정을 거쳐 완제품이 형성되는데 플라스틱 재료의 조립형태는 임시고정구조와 해체를 용이하게 하기 위한 구조, 재활용이 가능한 영구조임구조로 크게 나누어 볼 수 있다.

2-2-1 DFD를 위한 설계방법

분해를 위한 디자인(DFD : Design For Disassembly)은 효과적인 재활용을 위한 접근방법으로, 재료와 부품을 단일화하는 것을 포함

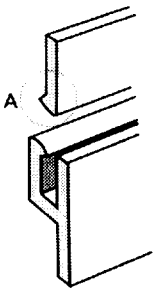
해서 제품을 가능한 한 폐소의 물질로 제작함으로써 제품에 활용되는 다양한 재료를 분리하거나 결합시키는 데 소요되는 시간을 줄이고 재료별 분리를 용이하게 하는 데 목적이 있다. 그러므로 제품을 빠르게 조립하도록 디자인하는 것보다 효율적으로 분해할 수 있도록 디자인하는 방법의 중요성은 앞으로 더욱 강조될 것이다.

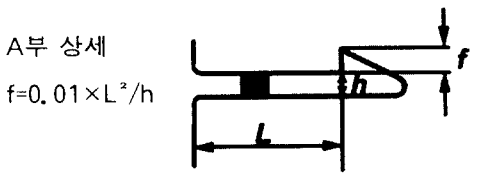
이를 위한 최선의 방법은 모든 부품의 완전한 전체분해방법보다는 필요부품의 선택적 분해 방법을 위한 DFD의 활용이라 할 수 있다. DFD 를 위한 설계방법에는 탁 들어가거나 탁 빠지는(pop-in, pop-out) 방식의 조립방법을 설계해야 하는데 이는 snap fit과 press fit을 이용한 설계방법과 재료의 탄성을 이용한 언더 캇(under cut)의 강제빼기(13)에 의한 조합설계방법으로 나누어 볼 수 있다.

(1) 스냅 핏(snap fit)과 프레스 핏(press fit) 설계

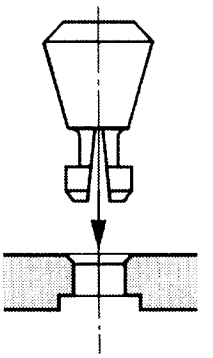
snap fit은 플라스틱의 탄성을 이용해 제품의 결합이나 조립에 이용하는 방법으로 탄성이 좋고 단단한 재료일 수록 효과가 좋다. snap fit을 이용한 성형품의 형상은 어떠한 경우든지 under cut이 필요하며 성형품을 빼낼때 강제빼기를 해야하므로 성형가능한 적합한 형상이 요구된다. 이때 under cut은 금형의 파팅라인(parting line)과 평행을 유지해야 snap fit기능을 유지할 수 있다. snap fit은 일반적 형상으로 under cut과 그에 맞는 돌기물의 조합과 형상(그림4), 캔틸레버(cantilever)다리의 용수철을 이용하여 이 다리를 성형품의 일부로 하는 것(그림5)의 2종류가 있다.

Under Cut과 돌기물의 조합형은 설치를 원하는 어느 곳에나 수에 관계없이 설치할 수 있고, 캔틸레버 구조의 snap fit은 구멍을 이용한 대칭형상에 주로 활용된다.





(그림 4) 언더 컷과 돌기물의 조합형의 SNAP FIT 구조



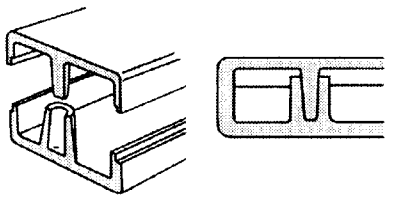
(그림 5) 캔틸레버 구조의 SNAP FIT 구조

snap fit을 끼우는 부위에 인도각을 만들어주면 부품간의 슬라이딩이 자연스럽게 될 수 있다. 이때 snap fit의 끼우기 각도는, 탈착형식의 부품은 인도각이 30° 정도가 기준이며 영구고정형식의 부품은 45° 정도가 바람직하다. 또한 snap fit에 요구되는 힘은 제품의 형상 및 재료 간의 마찰계수가 좌우한다. snap fit은 가능하면 작게 설계하는 것이 좋으며 각 모서리 부위에 적당한 크기의 R을 주면 조립 및 분해를 도울 수 있다.

또한 snap fit의 두개의 형이 만나는 틈새는 1mm까지는 허용이 되나 0.5mm~0.8mm가 가장 적당하다.

press fit은 snap fit 방식과는 달리 under cut 형상이나 플라스틱 탄성의 도움없이 보스(boss)의 빼내기 경사를 활용하여 플라스틱 상호부품을 강제로 밀어넣어 결합하는 임시고정방식이다.

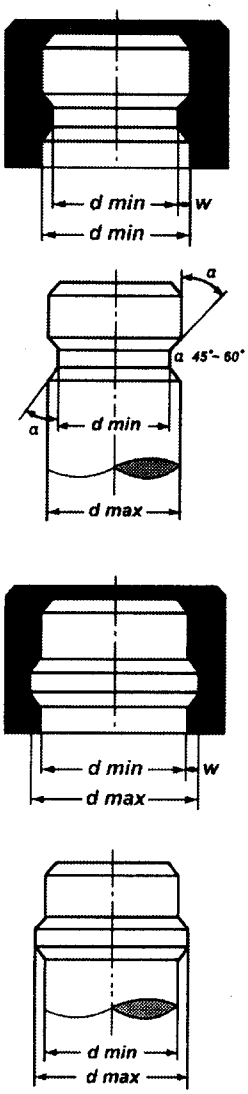
이 경우 플라스틱의 크리프(creep)(14)에 의한 체결력 감소가 있어 장시간 체결되는 제품에의 적용은 적합하지 않다. 그러나 소형부품의 체결에는 장시간 사용하여도 커다란 문제가 없다.



(그림 6) BOSS를 이용한 PRESS FIT의 예

(2) Under cut의 강제빼기에 의한 조합설계

snap fit과 press fit 방식은 주로 단단한 플라스틱에 적용하는 구조이나, under cut의 강제빼내기에 의한 결합은 연한 플라스틱에 주로 적합한 조합방식이다.



(그림 7) UNDER CUT의 강제빼기에 의한 조합 형상

(표 4) 강제빼기 가능한 재료별 허용 UNDER CUT 량(W)

재 료	최대 언더 컷 량W
GPPS, SAN, PMMA	1~1.5
HIPS, ABS, POM, PC, 경질 PVC	2~3
PA	4~5
PP, HDPE	6~8
LDPE, 연질 PVC	10~12(%)

$$W\ (\%) = \frac{d\ max - d\ min}{d\ max} \times 100$$

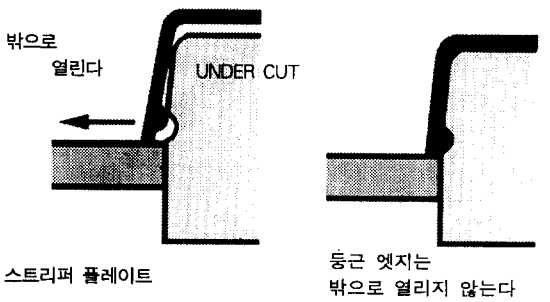
위의 공식과 허용 (%)를 이용해서 LDPE에 적용해보면,

$$10\sim12\ (\%) = \frac{d\ max - d\ min}{d\ max} \times 100$$

이 되고, D max=φ100일 경우

$$10\sim12\ (\%) = \frac{100 - ?}{100} \times 100$$

그러므로 한쪽에 최대 5~6mm까지의 under cut은 강제빼기가 허용된다. 또한 강제빼기에 사용되는 성형품의 추출방법은 스트리퍼 플레이트(stripper plate)에 의한 방법이 주로 사용되므로 성형품의 엣지(edge)면이 강제빼기에 적합한 각이 있는 형상을 유지하여야 한다.



(그림 8) 강제빼기에 적합한 제품의 edge면의 설계

2-2-2 접합 및 결합을 위한 설계

플라스틱 제품의 설계과정에서 DFD를 위한 설계방법이 효과적인 재활용을 위한 방법으로 권장할 만한 방법이지만 필요에 따라서 금속의 인서트(insert)방식에 의한 나사체결구조나 접착제를 사용한 영구조임구조가 필요한 경우가 있다. 그러나 나사못이나 접착제에 의한 방법은 DFD의 가장 커다란 장애물이 된다.

특히 인서트 방식은 플라스틱 제품의 내부에 금속구를 매입한 후 성형하는 방식으로 제품의 분해시 많은 노동력을 필요로 하며, 재생재료의 자그마한 금속조각이 혼합되더라도 재성형시 재생기계나 제품에 치명적인 영향을 주므로 재활용이 거의 불가능한 방식이라 할 수 있다. 또한 접착제의 혼합은 재료의 재생시 재료의 순도를 떨어뜨려 저급재생재로만 재생이 가능해 재활용시 경제성을 낮게 하는 문제점이 있다.

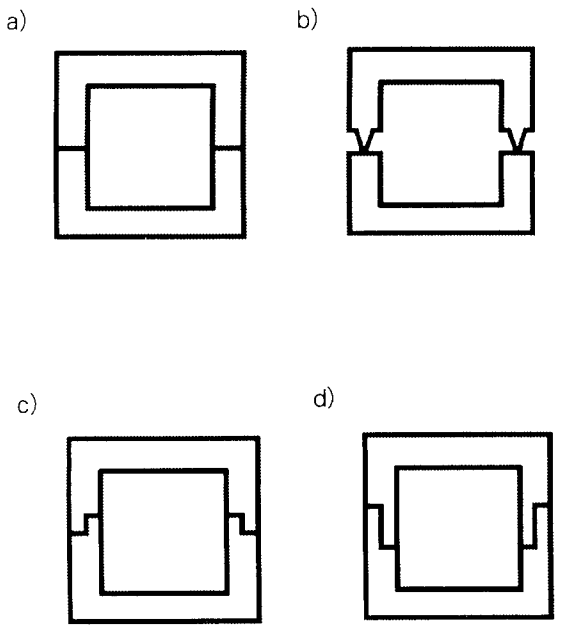
그러나 접착제에 의한 접합방법은 초음파(15) 용착(ultrasonic welding)방법을 이용함으로써 문제해결이 가능하다. 초음파 용착이란 전기에너지가 진동자를 통하여 기계적 에너지로 변환된 후 초음파 용착기구인 혼(horn)을 통하여 가공물의 접합면이 용해접착되어 강한 분자적 접착이 이루어지는 현상이다.

이러한 초음파 용착의 특징은 접착제나 용제의 사용없이 제품을 변형시키지 않고 순간적으로 접착이 가능하므로 생산성이 좋고, 재활용을 위한 재료의 분해가공시 접착제 등에 의한 잔여이물질이 없어 순도

높은 고급재생재를 가공해 낼 수 있다. 특히 초음파 용착은 열가소성 수지에 적용되며 PS, ABS, PC, POM등의 단단한 플라스틱(hard plastic)에 용착력이 좋다. 또한 재료 간의 상용성(相溶性)이 있으면 다른 재료 사이의 용착도 가능하다.(16)

(표 5) 열가소성 수지의 초음파 용착 특성표

■ 가장 우수 excellent ▒ 우수 good	ABS	AS	PMMA	PS	PC	POM	PA	PP	PE	PVC	NORYL	SAN
ABS	■	▒	▒		▒							▒
AS	▒	■	▒									
PMMA	▒	▒	■		▒							▒
PS				■							▒	▒
PC	▒	▒			■							
POM						■					▒	
PA							■					
PP								■				
PE									■			
PVC										■		
NORYL				▒	▒						■	▒
SAN	▒		▒	▒							▒	■



(그림 9) 초음파 접합면의 설계 TYPE

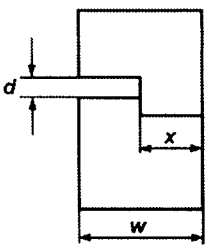
(a) 평면끼리 맞추려면 초음파 진동에 의해 상하부품이 엇갈리기 쉬고, 접촉면에 많은 에너지를 필요로 한다. 또한 전면에 균일하게 용착이 이루어지거나 용착면에 공기가 들어가 수밀성이 좋지 않게 된다.

(b) 홈기형의 접합으로 (a) 타입의 결함이 제거되기는 하지만 초음파 진동에 의해 엇갈려 접합되기 쉽다.

(c) 높낮이가 낮은 경우 : 접합력이 약하다.

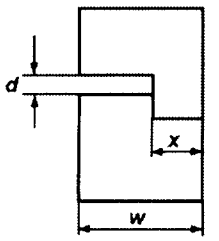
(d) 높낮이가 높은 경우: 접합력이 좋고 엇갈리지 않는다.

이상과 같이 초음파 접합시 기본형 설계는 높낮이가 같은 계단형의 형상이 가장 이상적임을 알았다. 또한 접합의 목적에 따라 접합의 용도에 맞는 접합면의 설계가 필요한데, 접합용도에 따른 디테일 설계방법은 다음과 같다.



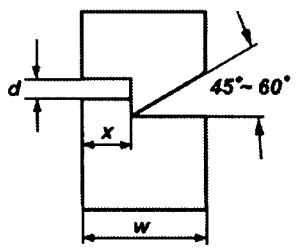
a) 일반적인 방법

x=w/2
d=0.2~0.5mm



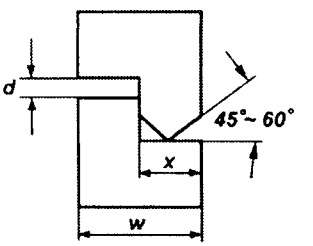
b) 벽두께가 얇은 경우

x=w/3
d=0.3~0.5mm



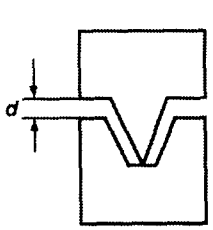
c) 수밀성의 용착이나 내형 성형품을 균일하게 용착하는 경우

x=w/3
d=0.3~0.8mm



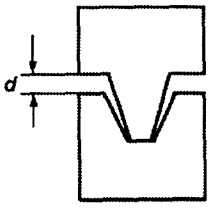
d) 수밀성을 요하고 외부의 팽창이나 크랙을 방지할 경우

x=w/2
d=0.3~0.8mm



e) 수밀성과 강도를 필요로 할 때

d=0.3~0.6mm



f) 용착강도를 크게 하고 싶은 경우

d=0.2~0.5mm

(그림 10) 접합목적에 따른 접합면의 디테일 설계

2-3 2차 가공

플라스틱이 갖는 성형성, 경량성 등의 특징에 아름다운 외관과 특수한 기능을 갖게 하는 2차 가공기술인 표면처리효과는 제품의 디자인 효과에 많은 영향을 주어 제품 디자이너의 주요표현수단이 되었다. 또한 이로 인하여 제품의 부가가치 형성에 도움을 주고 소비자의 기호를 만족시켜주면서 널리 사용되어 왔다.

그러므로 최근에는 플라스틱 자체만으로 상품화되는 경우는 거의 없이지고, 다양한 형태의 2차 가공을 거쳐 제품이 완성되어 왔다. 그러나 2차 가공은 어떠한 형태라도 플라스틱 재활용을 방해하는 부정적인 요인으로 제품설계시 충분한 고려가 필요하다. 주로 사용되는 2차 가공방법으로는 도장, 금속, stamping, 인쇄 등이 있다.

플라스틱 도장에 의한 도막혼합재생재료를 사용한 성형가공에서는 도막조각이 용융수지의 유동성을 저해하므로, 제품의 표면에 weld line이나 기포 등의 성형불량을 발생시키는 원인이 되며, 도막조각이 혼합된 재활용재료의 경우 강도가 낮아져 신재료의 80%정도 밖에 되지않는다.

그러므로 부득이 도장을 하여야 하는 경우를 제외하고 플라스틱 도장 대신 재료별 표면색상과 질감을 활용하고, 금형의 표면가공부식에 의한 질감처리 등의 방법을 사용하여 플라스틱 자체 색상으로 성형할 수 있도록 유도해야 한다.

플라스틱 도금은 생산공정에서부터 심각한 공해요인을 안고 있어 플라스틱을 메탈라이징(metalizing)하는 방식으로 습식도금방식에만 의존하지 않고 건식도금방식(17)인 증착방법이나 금속전사지 호일(foil)을 이용한 핫 스탬핑(hot-stamping)등의 금속질감 표현방식이 개발되어 사용되고 있다.

습식도금의 경우 모든 종류의 플라스틱이 도금이 가능한 것이 아니고 범용 열가소성 플라스틱은 PP, ABS가 사용되나, PP의 경우 전사처리의 어려움과 성형품 도금후 플라스틱 재료와 도막 사이에 수축율의 차이로 거의 사용되지 않고 있으므로 플라스틱 도금의 90%이상이 ABS를 사용한다.

또한 Enpla는 도금가능한 재료의 폭이 넓어 거의 모든 재료가 도금이 가능하지만 주로 변성(18)PPO(=Noryl)가 Enpla의 도금을 대표하는 재료로 사용되고 있다. 건식도금은 어떠한 플라스틱 재료에도 적용이 가능하므로 응용범위가 매우 넓다.

건식법은 용제나 액체를 사용하지 않으므로 습식법보다 환경오염물질 사용을 줄일 수 있다. 그러나 재활용을 위해서는 가능한 한 도금 처리를 자제하여야 하며 필요한 경우에는 건식도금이나 hot-stamping 처리가 습식도금을 사용하는 경우보다 좋으며, 구조설계시 2차 가공된 도금부위를 분해, 조립이 쉽게 설계함으로써 효율적인 메탈라이징 효과와 재활용 처리에 도움을 줄 수 있다.

3 RECYCLING 설계를 위한 GUIDELINE

3-1 재료설계에 관한 GUIDELINE

- 재생자원으로 이용이 가능한 재료의 사용
  - 범용 플라스틱 사용 권장
  - Enpla나 열경화성 수지 사용 절제
  - 공중합체(共重合體)(19), polymer blend(20)재료의 사용 절제
  - 신소재 사용절제
  - 복합소재 사용의 단일 소재화
  - 첨가물 · 혼합재료 사용의 절제
- 사용 플라스틱의 종류를 적게 한다
  - 2종류 이상의 재질로 접합된 구조는 단일 재료로 개선
- 같은 종류의 부품에는 같은 종류의 플라스틱을 사용
  - 호환성 재료의 선택
- 사용 플라스틱의 양을 적게 한다
  - rid 설계나 round 설계 등의 강도보강 설계효과로 재료의 사용량 감소
- 재활용이 어렵거나 폐기 처리시 환경에 악영향을 주는 플라스틱은 대체재료로 대체한다
  - 생분해성 플라스틱(biodegradable) 사용의 확대
- 재활용을 위한 재료표시(marking)로 해체시 분리효율을 높이도록 한다
- 재생재료 사용의 확대

3-2 구조설계에 관한 GUIDELINE

- 조립 및 해체가 쉬운 구조로 설계한다.
  - 임시고정 system의 활용

- Snap fit
  - Press fit
  - 강제빼기와 Under cut에 의한 결합구조 설계
- 재활용이 가능한 조임 system의 활용
  - 초음파 접착설계
- 부품별 module 설계적용
- 작은 부품들은 조립품 상태로 분리할 수 있도록 단위화
- 분해가 용이하도록 하는 부품의 lay-out

· 회수 및 운반을 쉽게 할 수 있는 설계

· Insert나 outsert 방식에 의한 결합구조 지양
- 플라스틱 재료 자체의 구조설계로 금속의 보강제 사용 억제

· 접착제나 나사못에 의한 영구결합구조 지양

3-3 2차 가공설계에 관한 GUIDELINE

· 도장, 도금 등 기타장식요소의 설계시 위치설정에 대한 배려

· 도장에 의한 표면처리는 플라스틱 자체 색상과 질감을 활용하거나 금형표면의 무늬처리에 의한 질감표현으로 대체

· Metalizng은 지양하고 효과상 꼭 필요한 경우 hot-stamping 등의 소극적 방식을 이용하고 도금부위를 구조 설계시 탈착부위로 설정

· 제품별 도금소재를 범용도금소재인 ABS나 Noryl로 제한하여 통일하고 분리하기 쉬운 구조로 설계

4. 결론

최근 환경을 고려하는 디자인의 중요성과 관심이 점차 높아져가고 있으나 이에 비례해서 만족할만한 해결점을 찾지 못하고 있다. 그러나 환경에 관한 문제는 아무런 노력 없이 성취되는 것이 아니다.그러므로 디자이너에게 요구되는 노력은 환경의 중요성에 대한 인식보다 환경을 위한 실천노력을 구체화하는 데 노력을 기울여야 할 시점에 있다. 디자이너의 환경에 대한 자그마한 문제해결 노력이 환경 전체에 막대한 도움을 줄 수 있기 때문이다.

그러므로 환경을 위한 실천노력인 재활용설계의 활용은 디자이너의 환경문제해결을 위한 필수적인 요소이다. 재활용설계를 활용하는 방법으로 재활용설계를 위한 가이드라인을 업체별 혹은 제품별로 정할 필요가 있으며, 이에 대한 평가기준을 설정하여 제품의 설계시점, Test 시점, 양산시점에 걸쳐 수시로 평가할 필요가 있다. 그리고 이러한 재활용설계의 평가기준에 미달된 경우에는 생산을 자제하도록 유도해야 할 것이다.

또한 제품의 설계 및 모델링 단계에서 해체실험을 통한 해체효율성의 검토가 필요하며, 이에 따른 제품 각 부분의 분해방법 및 재질표시 등이 되어있는 해체시방서 작성을 통하여 해체에 대한 객관적 기준을 설정할 필요가 있다.

이상과 같이 환경을 고려한 재활용 설계방법 및 활용방법에 대하여 살펴 보았다.

그러나 환경을 고려한 디자인은 제품에 관한 기술, 생산에 관한 측면과 더불어 경제적 측면, 생태학적 측면 등 여러 요소의 특징과 영향을 종합적으로 검토하여 조화를 이룰 때, 환경을 위한 디자인으로서 진정한 의미가 있다.

참고문헌

- Dorothy Mackenzie, Green Design, Lawrence King, 1991
- Paul Burrall, Green Design, The Design Council, 1991
- Augusto Morello & Anna Castelli Ferrieri, Plastic Design, Arcadia Edizoni, Milano, 1988
- R.E.F Brown, Design and Manufacture of Plastic Parts, N.Y, John Wiley & Sons Inc, 1988
- Semours, Schwartz, Sidney H, Goodman, Plastic Material & Process, Van Nostrand Co, 1982
- 中村次雄 , Plastic Design Note, 日本工業新聞社, 1983
- 日本文部省, Design材料, 東京 電氣大學出版局
- 홍명웅, 사출성형기술(1),(2), 기전연구사, 1989
- 홍명웅, 플라스틱 성형품설계, 홍익제, 1991
- 임무생, 플라스틱 제품설계,홍익제, 1989
- 정기현, 플라스틱 이론과 실제, 보진제, 1988
- Peter C, Powell, 이장우 역, 고분자의 공학적 이용 (Engineering with Polymers)
- 本多淳裕, 한상욱, 이길철 역, 일석이조 쓰레기 재활용, 예경, 1992
- Alan Thein Durning, 구자건 역, 소비사회의 극복, 따님, 1994
- 한국자동차공업협회, 자동차재활용기술, 1993
- 백종근, 플라스틱 표면가식기술의 개발현황, 산업정보기술원, 1991
- 최대성, 플라스틱 사출성형품의 설계, 산업정보기술원, 1991
- 임기철, 환경친화적 기술혁신 패러다임의 모색, 과학기술 정책관리 연구소, 1994
- 신희덕, 자원리사이클을 위한 분리기술의 발전과 응용, 산업정보기술원, 1994
- 노태업, 플라스틱 제품의 재순환경로개발에 관한 연구, 동아대 경영대학원, 1993
- 홍주희, 재활용을 고려한 가구디자인에 관한 연구, 홍익대 산업미술대학원, 1994
- 유명진, 폐가전제품의 재활용에 관한 연구, 서울시정연구소, 1993
- 김영빈, 폐플라스틱의 재자원화 대책, 자원 리사이클링 Vol.2,

No.1, 1992
- 신희덕, 폐가전제품의 리사이클링 현황, 자원 리사이클링 Vol.2, No.3,1993
- 이상호, 폐플라스틱의 분별 및 유화기술, 자원 리사이클링 Vol.3, No.4, 1994
- 이원걸, 산업의 발전과 재활용대책, 자원 리사이클링 Vol.1, No.1, 1992
- 高木義文, 일본폐가전품 리사이클링 물질의 회수에 관하여, 자원 리사이클링 Vol.3, No.4, 1994
- 高木義文, 일본에서의 폐가전제품 처리현황 및 문제점, 자원 리사이클링 Vol.3, No.4, 1994
- 플라스틱 연구회, 플라스틱 편람, 성안당, 1993
- 한국 플라스틱 기술정보센터 편수실 역, 플라스틱 용어 대사전, 한국 플라스틱 기술정보 센터, 1990
- 양유성 외, 최신 플라스틱 성형기술 대사전, 코플래드 바우, 1995
- 노재균, 플라스틱 성형기술 용어사전, 가가, 1990
- Victor Papanek, 생태계와 환경보호를 위한 디자인, KSID 창립 20주년 초청강연회, 1992
- 환경부, 재활용 지정사업자의 재활용 지침, 환경부 고시, 1993.12.

후주

1) 한국자동차공업협회, 자동차 재활용기술, p.89,
1980년대초 독일의 Schaper가 에너지 및 자원소모절감의 견지에서 플라스틱 위주의 경량제조의 장점들을 설명함
2) 中村次雄 , Plastic Design Note, 日本工業新聞社, 1983, p.16
3) 단일분자의 형태가 동일구조로 반복되면서 형성된 고분자로 재료표시의 앞부분이 poly(多)로 되어있는 구조
4) 부품 및 하우징 류에 주로 금속 대신 사용하는 플라스틱 류를 총칭으로 하는 재료로, 성능이나 기능면에서 특정한 용도에 적합하도록 물성이 조성된 플라스틱
5) 열경화성 수지가 지닌 분자구조로, 3차원으로 복잡하게 결합된 입체망상구조이다. 교차결합구조의 고분자의 서로 굳게 결합하고 있어 온도가 상승하여도 녹지 않는다.
6) 플라스틱이 열에 의해 화학적으로 분해되는 것.
열분해의 결과로 간단한 화합물의 생성 및 물리적, 화학적 변화가 일어난다.
7) 이상호, 폐플라스틱의 분별 및 유화기술, 자원 리사이클링, Vol.1, No.1, p.10
8) 한국자동치공업협회, 자동차 재활용기술, p.10
9) 물리적, 화학적으로 다른 2종류 이상의 재료를 혼합하거나 결합함에 의해 단체(單體)에서는 부족한 유용한 특성을 발견하는 재료로, 입자강화 복합재료와 섬유강화 복합재료로 분류된다.
섬유강화 플라스틱(FRP), 섬유강화 금속(FRM), 섬유강화 세라믹(FRC)이 있고, 플라스틱과 플라스틱, 셀로판, 종이, 알미늄 호일 등과의 라미네이트도 복합재료의 일종이다.
10) "금속, 유기, 무기의 원료 및 이들을 조합한 원료를 새로운 제조기술 또는 상품기술을 접합시킴으로써 과거에 없었던 물리적 가치(성능, 기능, 특성)와 사회적 가치(용도)를 산출하는 소재"
- 日本新素材研究會
일본의 경우는 新素材로 용어가 통일되어 사용되고 있으나 미국에서는 〈Advanced Materials〉, 〈High-tech Materials〉, 〈High Performance Materials〉로 혼용해서 사용하고 있음
11) 플라스틱에 첨가해서 가공성, 물성을 향상시키는 소재로 기소제, 열안정제, 난연제, 발포제, 충진재, 대전방지제 등이 있다.
12) 한국자동차공업협회, 자동차 재활용기술, p.75
13) 금형으로부터 성형품을 밀어낼 때 UNDER CUT이 있으면 취출이 어려우나, 탄성이 있는 재료는 강제돌출시키면 성형품을 변형시키지 않고 빼낼 수 있다. 돌출방법으로는 필히 striper plate 에 의한 돌출을 해야만 한다.
14) 플라스틱에 일정한 하중을 가해서 방치하면 변형이 시간과 함께 증가하는 현상으로, 금속재료는 고온상태에서 주로 발생되는 현상이나 플라스틱은 상온에서도 일어난다.

15) Supersonic Wave - 초가청음파의 약자로 진동수 40,000 cycle 이상의 음으로서 귀에 들리지 않는 음파

16) 동아초음파, 1992 제품 catalog. p.12

17) 진공상태에서 금속을 가열·증발하거나 이온으로 석출(析出)하여 피도금물 실에 부착시키는 방법

18) 변성(變性)수지란 천연수지나 고무류 등을 첨가해서 가공성, 물성 등을 개선한 수지를 말하는데, 변성PPO는 폴리페닐렌 에테르(PPE)에 PS나 PA 등을 blend하여 실용성이 우수한 PPE를 Enpla로 활용한 재료

19) Copolymer라 하면 2종 이상의 단량체로 구성되어있는 합성체를 말한다.

20) 서로 성이 다른 고분자소재를 혼합, 분산해 역학적, 열적, 광학적 등의 실용면에 있어서 특징있는 재료를 말한다.