

# 자동차 리사이클링을 고려한 설계 카탈로그

이건상 (국민대 자동차공학 전문대학원)

## Design Catalogue for Recycling of Automobile Parts

LEE, Kun-Sang (Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University)

### ABSTRACT

The world faces a legacy of serious environmental problems such as exhaustion of natural resources and lack of landfill sites. To address these problems, recycling of materials and products has been proposed, but at present, it is realized only within a few fields. This is because most industrial products consist of various components made of different materials and their recycling are based on the assumption that they can be separated and classified easily, the actual situation however cannot satisfy this assumption. The issue in recycling the components and wastes of used cars, in turn, gives rise to emphasis on the disassembly process. For the efficient disassembly, the component materials and their easy separation as well as the recyclability must be taken into account as early as in the design process.

It should be developed an almost perfect design catalogue with existing technologies by analyzing design characteristics, manufacturing, assembly and disassembly processes for major parts and components of automobiles in terms of existing and newly proposed recycling technologies. Also it is essential to provide more technical know-how and application methods that may be helpful to utilize different components and component groups.

**Key Words :** Design Catalogue (설계 카탈로그), Design Process (설계순서), Recycling (리사이클링), Automotive (자동차), Disassembly (분해), Knowledge based Expert system (지식기반 전문가시스템)

### 1. 서론

현재 지구상의 자원은 점점 더 고갈되어가고 있으며, 폐기물 매립장은 더욱 더 부족해지고 있는 실정이다. 이에 대한 해결방안으로 재료와 제품(부품)의 리사이클링이 제기되고 있으나, 실제로는 매우 제한된 범위 내에서만 실현화되고 있는 실정이다. 그 이유는 대부분의 공산품은 다양한 재료로 이루어진 여러 가지 부품으로 구성되어 생산되므로, 이의 리사이클링을 위해서는 분해작업 및 분류작업이 용이하게 수행되어야만 효율적인 리사이클링을 실현할 수 있는데, 이러한 작업의 용이성 부족 때문이다.

특히 자동차는 소비재의 연간 폐기물량 중 가장 많은데, 국내에서만 1998년 말 약 56만대의 자동차가 폐기되었으며, 2000년 82만대, 2003년에는 100만대의 폐기가 예상된다. 현재 국내의 자동차

재활용률은 무게기준 약 80% 수준이다. 부품을 수작업으로 일일이 해체하여 재활용 가능한 상태로 만들 경우, 재활용률을 86%까지도 높일 수 있으나 이때 대당 15-16만원 정도의 추가비용이 필요하다.

또한 유럽연합 국가에서는 2005년부터 폐기되는 차량의 처리비용을 자동차 생산업체에 부담시키며, 재활용률 85% 미만의 차량을 규제하는 법안을 입법계획 중이다. 현재 일본의 도요다 자동차에서는 지금까지 매립을 통해 폐기해온 발포우레탄과 섬유유를 방음재로 활용하고, 수지류를 소각로의 연료로 이용함으로써 재활용률을 87%까지 향상시켰는데, 85% 이상의 목표를 달성한 회사는 도요다가 세계 최초이다. 미국에서는 대형 자동차 생산업체 3사를 중심으로 100% 재활용 가능한 차량의 개발을 위해 자동차 재활용 개발 센터를 설립하여 재활용 방안을 연구 중이다.

폐자동차 부품의 재사용과 폐기물의 재활용을 효과적으로 수행하기 위해서는 폐자동차의 해체가 가장 중요한 관건으로 대두되고 있다. 해체작업을 위해서는 우선 자동차의 개발 및 설계 시에 리사이클링, 특히 부품과 재질에 따른 분리가능성을 고려하여 설계작업이 진행되어야 한다. 설계공정은 일반적으로 정의되어 있으나, 특히 리사이클링을 고려한 설계를 진행시키는데 필요한 각 단계별 지침은 마련되어 있지 않으므로 이의 개발과 함께 리사이클링을 고려한 설계 카탈로그의 개발이 절실히 요구된다. 또한 분해에 적합한 결합기술을 적절히 선정하여야 하며, 해체작업이 용이한 새로운 결합기술을 개발해야 한다. 리사이클링성을 평가하기 위해서는 부품 및 결합요소에 대한 평가시스템이 필요하며, 특히 분해성과 분리성을 고려한 리사이클링성 평가기준 및 평가시스템을 개발하여야 한다.

## 2. 본론

### 2.1 설계 카탈로그의 필요성

제품 또는 부품의 리사이클링에 대한 개념은 제품의 개발 및 설계 시에 이미 고려되어야 한다. 일반적으로 공학제품의 설계공정은 제품기획 및 과제의 명확화, 개념설계, 구체설계 및 상세설계의 네 단계로 구분된다. 이때 각각의 공정에서 다루어야 할 일반적인 내용은 공학설계론<sup>1)</sup> 등의 문헌을 통해 잘 알려져 있으나, 특정 제품의 설계에 대해서는 사용자가 자신의 과제에 적절하도록 보완, 보충하여 사용하여야 한다. 리사이클링을 고려한 설계작업을 수행하기 위해서는 설계공정의 상세한 작업내용을 이 목적에 적합하도록 재정비하지 않으면 안 된다. 따라서 자동차 부품의 리사이클링을 고려한 설계공정을 정의하고, 이러한 설계작업을 지원할 수 있는 설계 카탈로그를 개발하여야 한다. 리사이클링 고려 설계공정의 개발 시 우선 각각의 설계공정에 따른 리사이클링 관련 추진 내용을 정립하고, 각 공정에서 다루어야 할 내용을 체계화시키며, 특히 구체설계의 지침을 마련하여야 한다. 이를 위해 자동차 부품 및 부품군의 기능구조와 구성구조를 리사이클링 관점에서 분석, 정리하여 데이터베이스에 저장하여, 리사이클링을 고려한 설계 시 활용하는 설계 카탈로그로 삼을 수 있도록 한다.

Fig. 1<sup>2)</sup>에서는 제품의 개발 및 설계 공정에서 요구되는 리사이클링 관련 추진내용을 개략적으로 나타내고 있다. 이러한 공정을 자동차 부품의 개발 및 설계에 적합하게 수정하여 리사이클링을 고려한

설계공정으로 확립하여야 한다. 자동차 개발은 고유설계의 개념보다는 대부분의 경우 기존의 부품 및 부품군을 개선하는 데에 초점을 맞추고 있으므로, 기존 부품 및 부품군에 대한 분석된 자료를 참고하는 경우가 일반적이다. 이러한 자료를 체계적으로 분석하여 제공하는 일반적인 설계 카탈로그에는 체결요소, 베어링, 동력발생, 치차상자 등에 관한 것이 있으나, 자동차의 주요 시스템, 특히 리사이클링을 고려한 자동차 부품용 설계 카탈로그는 전무한 실정이다.

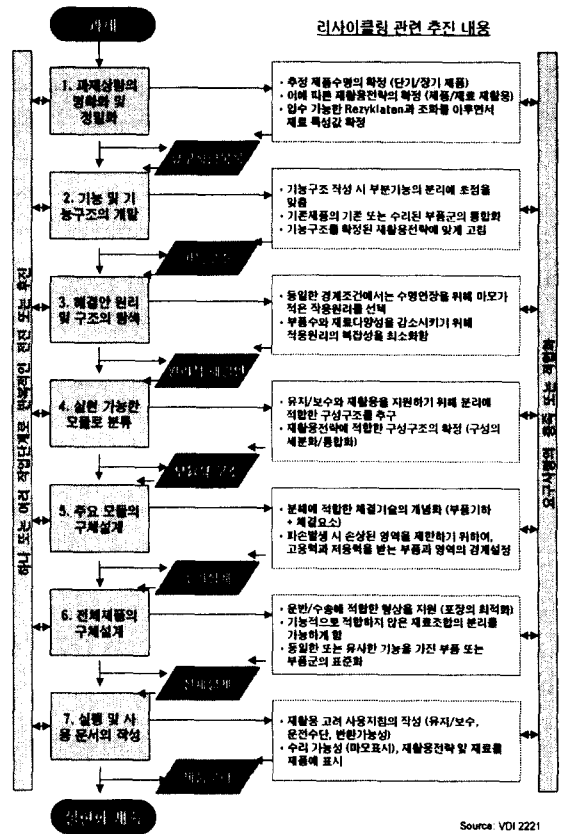


Fig. 1 Tasks for recycling during development and design processes

### 2.2 설계 카탈로그의 기본구조

설계 카탈로그란 설계문제에 대해 알려지고 검증된 해결안들의 모음집이다. 설계 카탈로그는 다음과 같은 특성을 지녀야 한다<sup>1)</sup>:

- 축적된 해결안이나 자료에 보다 신속하고 문제 지향적으로 접근할 수 있어야 한다.
- 가장 광범위한 범위의 가능한 해결안을 보유하거나, 최소한 후에라도 보완될 수 있는 가장 핵심

적인 해결안을 보유하여야 한다.

- 특정회사와는 무관하게 응용될 수 있어야 한다.
- 전통적인 설계방법 뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 방법에도 사용 가능한 자료의 형태로 구성되어야 한다.

Roth<sup>3)</sup>는 이러한 조건을 가장 잘 만족시키는 설계 카탈로그의 기본구조는 Fig. 2 와 같다고 제안하였다.

분류기준			해결안			해결안 특성					비고
1	2	3	1	2	No.	1	2	3	4	5	
					1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						

Fig. 2 The basic structure of Design Catalogue

카탈로그의 구조는 분류기준에 의해 결정되는데, 이는 카탈로그를 사용할 때의 용이성에 영향을 미치며, 특정 해결안의 복잡성 수준과 구체화 정도를 반영한다. 여기서는 가장 상위의 분류기준으로 자동차의 부분시스템을 적용한다. 자동차의 부분시스템에는 구동, 동력전달, 제동, 조향, 현가, 차체, 샤시, 전기전자 및 공기조화 시스템 등이 속한다. 이러한 부분시스템들은 다시 작용원리, 즉 물리적 효과, 작용기하, 작용운동 및 재료의 기본특성에 의해 분류된다.

해결안 열은 카탈로그에서 가장 중요한 부분인데, 여기에 제시되는 해결안은 추상화의 정도에 따라 스케치, 물리적 방정식 또는 완성도면 등으로 표현된다. 해결안의 특성은 해결안을 선정하는데 있어서 가장 중요한 부분이다. 선정에 이용되는 특성은 대표적 제원, 기능구조, 구성구조, 경계조건, 결합부, 결합요소, 조립공정, 해체공정, 해체공구, 해체비용, 해체시간 등 매우 다양한데, 여기서는 이러한 주요 특성 외에도 특히 부품 및 부품군의 리사이클링성에 중점을 두어 작성하게 된다. 예를 들어 Fig. 3<sup>4)</sup>의 왼쪽 그림에서와 같이 평행편을 제거할 때에는 수고가 많이 들며 파손되는 경우가 일반적이다. 따라서 오른쪽 그림에서와 같이 분해공정을 고려하여 평행편을 제거할 수 있는 반대편 구멍을 준비한다면 분해작업이 용이하게 된다. 해결안

의 특성에는 이와 같은 분해공정 상의 문제점을 제기하고 가능한 대안을 함께 제시할 수 있어야 한다.

비고란에는 자료의 출처와 추가적인 특기사항을 기록하게 된다.

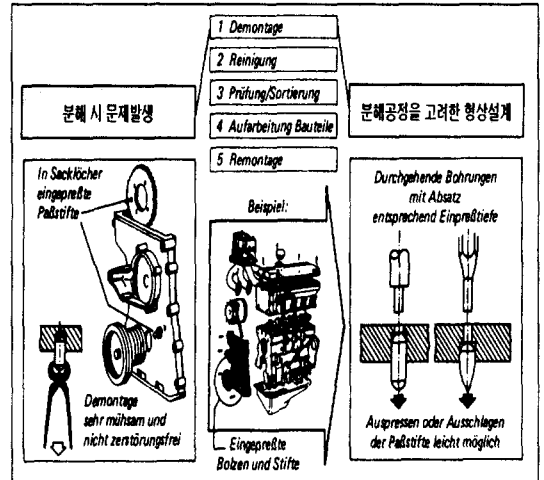


Fig. 3 Design change for disassembly process (Source: VDI 2243)

이러한 설계 카탈로그의 개발을 위해서 우선 분류기준을 확정하고, 해결안의 특성으로 표현될 수 있는 항목을 결정해야 한다. 이러한 항목들의 확정을 위해 기존 자동차의 부분시스템을 리사이클링 관점에서 분석하고, 이를 기초로 부분시스템에 대한 기능구조, 작용구조 등을 작성한다. Fig. 4<sup>2)</sup>에서는 개략적인 리사이클링성 평가기준을 제시하고 있는데, 이에 대한 분석을 통해 더욱 상세한 평가기준이 마련되어 설계 카탈로그에 포함되어야 한다.

### 2.3 자동차 부품의 리사이클링을 고려한 설계 카탈로그

자동차 부품의 리사이클링에서는 재료의 재활용 뿐만 아니라 부품 자체의 재활용을 함께 생각하여야 한다. 부품의 설계 시 재활용을 고려하여 설계 특징을 수정한다는 것은 부품 설계에 대한 각 분야의 다양한 내용을 수정하는 결과를 가져오므로 이를 위해서는 관련 설계부서와의 협의를 거쳐야 한다. 이러한 협의 과정을 거치기 전에 설계자는 자신의 고유한 설계영역 뿐만 아니라 타 부서의 다양한 설계내용 또한 숙지하고 있어야 협의과정을 최소화할 수 있다. 따라서 설계 카탈로그에는 리사이클링과 직접적으로 관련된 사항 뿐 아니라 작업자가 현재 직면하고 있는 설계과정 전후의 내용을 동

시에 참조할 수 있도록 하지 않으면 안될 것이다.

따라서 설계 카탈로그에는 이전 단계에서 이루어진 설계내역이 하나의 경계조건 또는 제한조건인 형태로 주어지게 되고, 설계의 특징들이 어떤 이유에 의해 생성되었는가를 제시해 주면 설계시간을 매우 단축시킬 수 있을 것이다. 이것들 뿐만 아니라 가공, 조립 및 분해 시의 문제점 또는 유의사항을 제시해 줌으로써 설계 시의 지침으로 삼을 수 있다.

또한 공업제품의 재료 및 구성구조는 가능한 한 손실이 적은 제품 및 재료 순환주기를 실현하기 위한 재사용, 계속사용, 재활용 및 계속활용에 결정적인 영향을 준다. 재료 및 구성구조의 결정 시 적절한 결합기술의 선택은 결합성에 영향을 미치며, 더 나아가서는 리사이클링과 유지/보수를 지원하기 위한 분해성에 있어서 점점 더 결정적인 역할을 담당하게 된다. 결합기술은 제품의 기능을 운전상태에서 보장하는 것 이외에도 생산원가와 분해 및 리사이클링 비용에 많은 영향을 준다. 이에 따라 결합기술은 분해를 고려한 제품설계를 추구함에 있어서 중심적인 역할을 하고 있다. 따라서 기존의 결합기술을 분해 및 리사이클링의 관점에서 분석하여 적절한 결합방식을 제안할 수 있는 소프트웨어의 개발이 요구된다.

한데, 각각의 단계에서 수행해야 할 내용과 각각의 단계에서 발생하는 산출물을 명확히 함으로써 설계 과정의 진척도를 확인하며, 다음 단계로 진행할 수 있게 한다.

설계가 진행됨에 따라 리사이클링을 고려하여, 설계특징을 바꾸어나가게 되는데, 이때 변경하는 근거와 이러한 변경이 설계의 다른 부분에 미치는 영향, 이와 관련된 추가적인 변경사항 및 이유 등이 하나의 지식으로 저장되고 관리되어야 한다. 이러한 지식들은 축적되고, 이를 체계적으로 관리하여 또 다시 새로운 지식을 창출해낼 수 있어야 한다. 이를 통해 결국 지식기반의 전문가 시스템이 구성되어야 한다. 그러나 이의 실현은 다양한 분야의 수많은 전문가들의 의견이 종합되어야 가능하며, 이를 위해 많은 시간과 노력이 뒷받침되어야 한다.

### 3. 결론

고갈되어가고 있는 자원과 부족한 매립장으로 인해 공업제품의 리사이클링은 더 이상 가볍게 받아들일 수 있는 상황이 아니다. 이러한 리사이클링을 위해서는 무엇보다도 분해공정이 용이한 제품의 개발이 필요한데, 리사이클링에 대한 고려는 이미 설계공정의 초반부터 시작되어야 한다. 설계 카탈로그는 설계문제에 대해 검증된 해결안들의 모음집인데, 이의 적극적인 활용을 통해 설계공정을 매우 단축시킬 수 있다.

따라서 자동차 부품의 리사이클링에 초점을 맞춘 설계 카탈로그의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 새로운 개념의 설계 카탈로그는 각각의 설계특징이 생성된 근거를 지식의 형태로 저장, 관리하고 이들 지식을 체계화시켜 새로운 설계지식을 창출할 수 있는 지식기반 전문가 시스템의 개념을 기초로 한 설계 카탈로그의 형태를 지녀야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 한동철, 천길정, 이진상 공역, "공학설계론," 동명사, 1998.
2. G Pahl, W. Beitz, "Konstruktionslehre," Springer 1997
3. K. Roth, "Konstruktionskataloge," 1994.
4. VDI, "Konstruieren recyclinggerechter Produkte," VDI 2243, Blatt 1, Oktober 1993.

리사이클링성 평가기준	
제품 리사이클링	재료 리사이클링
기능제한적 제품구조 모듈식 구조 복잡성 예비분해성 분해성 (재료 리사이클링 참조) 비파괴 분해성 세척가능성 시험평가성 인식성 분류성 후가공성 제조업성 교환성 구조에 매우 중요한 부품 미모인식 표준규격부품의 사용 작업공정의 자동화 가능성	<b>분해성:</b> 분해공정의 수 분해방향의 수 상이한 분해조작의 수 체결요소의 수 상이한 체결요소의 수 집근성 분해의 자동화 가능성 분리에너지 장치에 대한 수고 필요한 분해공구의 수  <b>분리성:</b> 필요한 분리공정단계의 수와 수고 필요한 특수처리단계의 수와 수고 재료인식 가능성 분리재료의 수 활용불가능 재료의 수  <b>활용성:</b> 재사용 계속사용 필요한 수리공정 회수정도 품질저하 오염정도

Fig. 4 Evaluation criteria for Recyclability

이외에도 설계과정에 대한 명확한 정의가 중요