

리사이클링 고려 설계시간 단축을 위한 설계카탈로그의 개발

이 건 상*

Development of Design Catalogue to Reduce the Design Period for Recycling

Lee, K. S.*

ABSTRACT

Today the tastes of consumers change rapidly and the kinds of the products become diverse. Therefore the product life cycle becomes shorter and shorter. Moreover the save of resources and the recycling for the environmental preservation are the essential theme. On this the necessary information for the product development increases enormously. For the right use of the information the design process should be supported by the proper design tool. For this the "design catalogue system for recycling" is suggested here. This system consists of four parts, that is, 'the existing automobile system database', 'working principle database', 'assessment system of the ease of disassembly' and 'one's own product development database'. By the use of this system the product development period could be reduced about 30% drastically.

Key words : Design Catalogue, Product Recycling, Material Recycling, Systematic Design Process, Auto Parts, Disassembly Assessment System, Design Period Reduction

1. 서 론

소비자들의 구매 취향은 날로 빠르게 변화하고 다양해지고 있어 시장에 출시되는 제품의 종류를 더욱 다양하게 만들도록 부채질하고 있다. 이에 따라 제품의 수명주기는 점점 단축되고 있고, 바로 이러한 시장의 특성이 제품개발자에게는 매우 큰 부담으로 작용하고 있다. 그러나 시장에서 성공하기 위해서는 신제품 개발기간의 축소가 필수적으로 해결되어야 할 문제다. 게다가 제품의 다양화에 따라 제품개발에 필요한 정보의 양은 폭발적으로 증가하고 있으며, 성공적 제품개발을 위해서는 이러한 정보의 관리를 체계적으로 하는 것 또한 반드시 해결되어야 할 과제다. 이러한 흐름 속에서 리사이클링과 관련된 정보도 반드시 관리되어야 할 내용으로 자리를 잡게 되었다.

이렇게 수많은 제품이 쏟아져 나오고 있는 상황의

뒤에는 해결해야 할 어려운 과제가 또 하나 존재하고 있다. 즉 지구에 남아있는 자원의 양은 점점 줄어들고 있을 뿐만 아니라, 이렇게 필요한 정도 이상으로 사용된 자원은 다시 폐기장 부족의 문제를 야기하고 있다는 것이다. 이에 대한 해결방안으로 재료리사이클링과 제품리사이클링이 제시되고 있으나, 실제로는 상당히 제한된 범위 내에서만 실현되고 있는 실정이다. 재료리사이클링의 관점에서 보면 대부분의 공업제품들은 서로 다른 다양한 재료로 이루어져 있으므로 제품의 분해 및 분리작업이 리사이클링 현실화의 관건이다. 제품리사이클링의 관점에서도 중고부품을 재생부품으로 활용하기 위해서는 일차적으로 분해작업이 중요한 역할을 하게 된다. 그러나 두 가지 경우 모두 분해작업의 용이성이 부족하므로 리사이클링의 한계가 만들어지고 있다. 현재 사용되고 있는 소비재 중 가장 많은 연간 폐기물량을 나타내는 것은 자동차이다. 국내에서만 1998년말 약 56만대의 자동차가 폐기되었으며, 이후 한해에 발생하는 폐자동차 대수는 50만~60만대 정도에 이르고 있으며, 자동차 등록대수가 꾸준히 늘어남에 따라 2010년경에는 100만대 이상의 폐차

*교신저자, 정희원, 국민대학교 기계자동차공학부
- 논문투고일: 2005. 10. 11
- 심사완료일: 2005. 12. 08

동차가 발생할 것으로 예상하고 있다. 현재 국내 자동차의 재활용률은 무게기준 약 80% 수준이다. 부품을 수작업으로 일일이 해체하여 재활용 가능한 상태로 만들 경우, 재활용률을 86%까지 높일 수 있으나, 이때 한 대당 15~16만원 정도의 추가비용^[11]이 필요하다.

유럽연합 국가에서는 2006년부터 폐기되는 차량의 처리비용을 자동차 생산업체에 부담시키며, 재활용률 80%, 회수율 85%로 규제하는 법안을 제정하였다. 일본의 자동차 회사에서는 지금까지 매립을 통해 폐기해온 발포우레탄과 섬유류를 방음재로 다시 활용하고, 수지류를 소각로의 연료로 이용하는 방법으로 재활용률을 87%까지 향상시켰는데, 85% 이상의 복표를 달성한 회사는 도요다가 세계 최초이다. 미국에서는 대형 자동차 생산업체 3사를 중심으로 100% 재활용 가능한 차량의 개발을 위해 연구 중이다.

폐자동차 부품의 재사용과 재활용을 효과적으로 수행하기 위해서는 폐자동차의 해체용이성이 가장 중요한 요소임은 다시 강조해도 부족함이 없다. 해체작업을 위해서는 우선 자동차의 개발 및 설계 시에 이미 리사이클링, 특히 부품과 재질에 따른 분리가능성을 고려하여 설계를 진행하여야 한다. 일반적으로 설계공정은 이미 잘 알려져 있으나, 리사이클링을 고려한 설계를 진행하는데 필요한 각 단계별 지침은 마련되지 않았으므로 이에 대한 연구와 함께, 분해나 해체가 용이한 제품구조와 결합기술의 개발이 필요하다. 또한 리사이클링 가능성을 평가하기 위해서는 부품 및 결합요소에 대한 평가시스템이 필요한데, 특히 분해성과 분리성을 고려한 평가기준과 평가시스템의 개발이 이루어져야 한다.

따라서 21세기 자동차의 개발은 지금까지 발전되고 확립된 여러 가지 설계방법에 리사이클링을 고려한 설계방법을 더하여야 하며, 이에 따라 급속하게 팽창하는 관련 정보를 적절히 활용하기 위해서는 리사이클링을 고려한 설계에 적합한 제품개발 도구가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 분리성 평가 시스템을 포함하는 리사이클링을 고려한 설계카탈로그를 개발하였다.

2. 설계카탈로그

설계카탈로그는 특정 설계과제 또는 부분기능에 대한 알려지고 증명된 해결안의 모음집이며, 내용이나 접근가능성 및 구조의 관점에서 설계방법론에 적합하게 맞추어진 정보저장소^[12]이다.

설계카탈로그는 Fig. 1과 같이 기본적으로 분류기

준, 해결안, 해결안 특성 및 비교의 4가지 항목으로 구성되어 있으나, 사용자의 필요에 따라 변경하여 사용할 수 있다. '분류기준'은 해결안 요소를 모순 없이 분류하고, 사용자가 완전성을 검사할 수 있는 가능성을 제시하는 근본적인 시각을 포함하고 있어야 한다. '해결안'은 카탈로그의 궁극적인 내용이며, 카탈로그의 종류에 따라 목적, 작용원리 또는 해결안을 포함하고 있다. '해결안 특성'은 설계카탈로그를 특징지어주며, 사용목적에 적합하여야 한다. 해결안 특성은 응용 분야에 매우 종속적이다. '비교'에는 카탈로그 내용의 출처와 보증설명 등이 포함된다. Fig. 2에서는 설계카탈로그의 한 예를 보이고 있다.

또한 설계카탈로그가 갖추어야 할 특성으로는 해결안 또는 정보에 대한 신속하고 과제지향적인 접근가능성, 해결안 모음의 완전성 및 보완가능성, 분야 또는 기업과는 독립적인 폭넓은 적용가능성, 그리고 일반적인 설계공정과 컴퓨터 도입 시 적용가능성 등을 들 수 있다.

분류기준			해결안			해결안 특성					비교		
1	2	3	1	2	No	1	2	3	4	5	1	2	3
					1								
					2								
					3								
					4								
					5								
					6								
					7								

Fig. 1. A structure of design catalogue.

설계카탈로그는 그 특징에 따라 Object, Operation, Solution 및 Relation Catalogue로 나뉘며, 그에 대한 정의와 예는 Table 1^[13]에 설명하였다.

1. Object Catalogue : 설계를 위해 필수적이고 기본적인 사실, 특히 물리적, 기술적 및 재료학적 특징을 제공하는 과제 독립적 설계카탈로그
2. Operation Catalogue : 방법론적 설계범주에서 필요한 공정단계, 공정 또는 법칙 그리고 그것들의 응용조건과 적용기준을 제공하는 설계카탈로그
3. Solution Catalogue : 특정한 기능이나 과제에 대해, 경우에 따라서는 경계조건을 제시하여, 거의 완벽한 수준의 해결안 스펙트럼을 제공하는 과제 종속적 설계카탈로그
4. Relation Catalogue : 하나의 기능이 두 개의 목표 사이에서 내용적으로 상관관계를 갖고 있는 설계카탈로그, 즉 특정한 목표들에 대한 경계를 가진 Solution Catalogue

분기 구분	해결안					해결안 특성										비고						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
표 본 화 상	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Fig. 2. An example of design catalogue.

기동 “기어를 사용하여 회전모멘트를 강화”에 대한 해결안

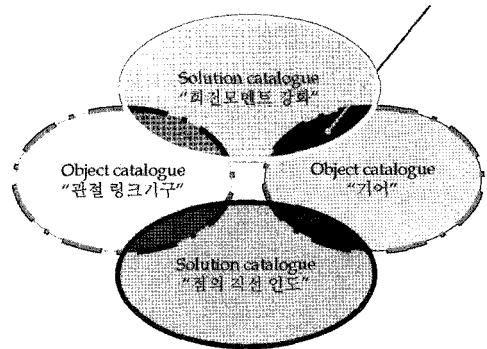


Fig. 3. Relationship between design catalogues.

Table 1. Classification of design catalogue

설계카탈로그		
종류	정의	예
Object catalogue	설계를 위해 필수적이고 기본적인 사실, 특히 물리적, 하학적, 기술적 및 재료학적 특징을 포함하는 과제 독립적인 설계 카탈로그	- 중요 물체의 표면적과 부피, 무게 중심, 관성모멘트 - 재료의 물리적, 기술적 특성 - 물리적 효과 - linear guide - 치차 상자 - 볼 베어링
Operation catalogue	방법론적 설계 범주에서 필요한 공정 단계, 공정 또는 법칙 그리고 그것들의 응용조건과 적용기법을 포함하는 설계 카탈로그	- 다양한 기능구조 생성을 위한 법칙 - 설계법칙 - 구조 벽이를 위한 법칙 - 형상 벽이를 위한 법칙 - 해결안 선정 과정 - 상도개산 과정 - 편미분 방정식의 수치해석 과정
Solution catalogue	특정한 기능이나 과제에 대해, 경우에 따라서는 경계조건을 제시하여, 거의 완벽한 수준의 해결안 스펙트럼을 포함하는 과제양속적 설계 카탈로그	- “압력 제어” 또는 “기계적 출력 측정”과 같은 기능에 대한 다양한 블록 선도 - “전기적 에너지 저장”, “힘 생성”, “절의 직선 인도” 또는 “거리 측정”과 같은 기능에 대한 스케치를 사용한 해결안 원리 - “축의 회전 유연 결합”, “물체의 방진운동 인도” 또는 “축과 허브의 결합”과 같은 기능에 대한 설계와 유사한 해결안 원리
Relation catalogue	하나의 기능이 두 개의 목표 사이에서 내용적으로 관계를 갖고 있는 설계 카탈로그, 즉 특정한 목표들에 대한 경계를 가진 solution catalogue	- 축-허브 결합 - 관(筧) 결합

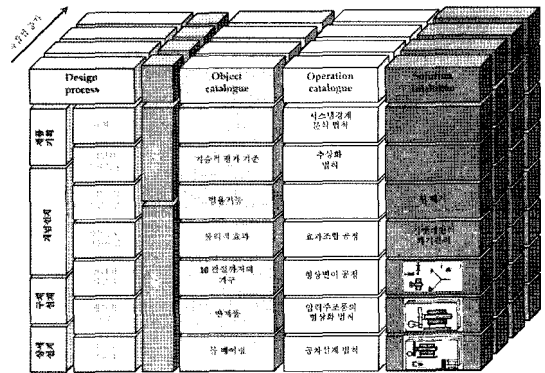


Fig. 4. Relationship between design process and design catalogues.

Fig. 3에서는 서로 다른 특성을 가진 설계카탈로그 사이의 관계미를 보여주고 있다.

일반적으로 설계는 제품기획, 개념설계, 구체설계 및 상세설계의 순서로 진행된다. 설계의 각 단계에서 활용할 수 있는 설계카탈로그를 예를 들어 설명하면 Fig. 4와 같다. 제품기획과 개념설계 초기 단계에서는 시스템경계를 분석하는 법칙을 활용할 수 있다. 이때 시스템경계에 대한 분석법칙은 Operation Catalogue에서 제공하는 내용이다. 개념설계 단계에서 작용원리를 탐색할 때, 예를 들어 힘을 배가하는 방법을 찾고자 할 때에는 Solution Catalogue를 참고할 수 있다. 또한 상세설계 단계에서 볼베어링을 선정할 때에는 볼베어링 카탈로그를 참조할 수 있는데, 이것은 Object Catalogue에 속하는 것이다.

3. 리사이클링 고려 설계방법론

설계가 진행되는 각각의 단계에서 제품의 기능과

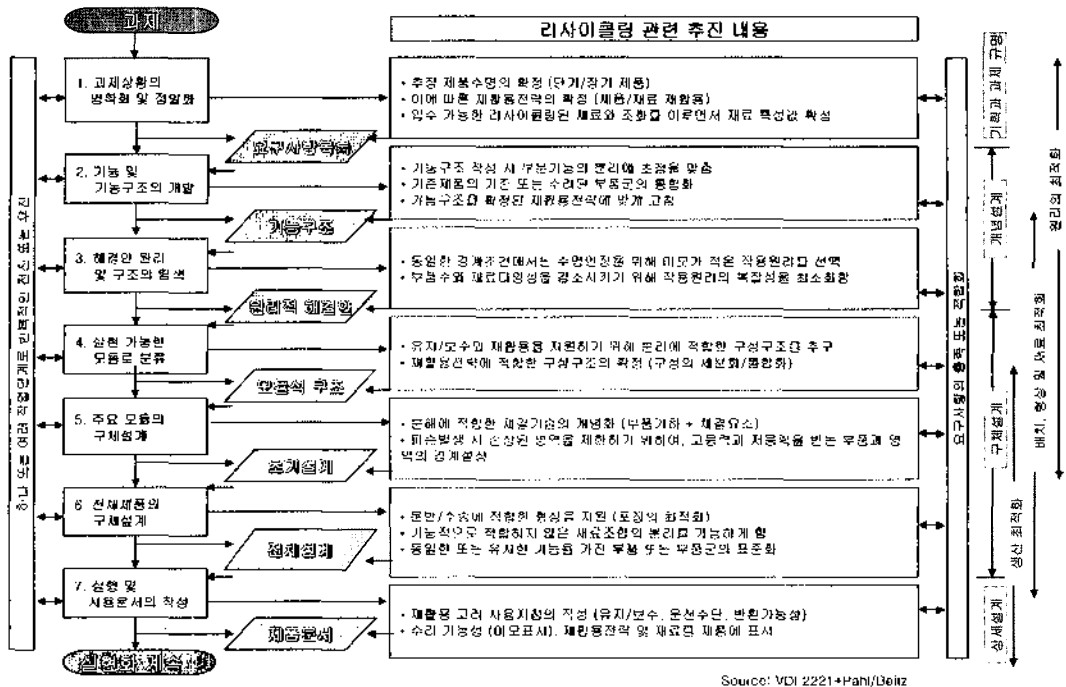


Fig. 5. Recycling oriented design process.

성능 등을 충족시키기 위한 다양한 요구조건을 고려하는 것과 마찬가지로 리사이클링 관련 요구사항에 대한 고려 또한 함께 이루어져야 한다. 물론 리사이클링 관련 고려사항이 기능이나 성능관련 요구사항을 대체할 수 없음을 물론이다. 그렇다고 해서 리사이클링 관련 요구사항을 무시할 수도 없는 실정이다. 그들 사이에서 적절한 균형 잡힌 조건을 찾아야 하는데, 이를 위해서는 다양하고 충분한 정보가 제공되지 않으면 성공적인 제품개발이 불가능하다. 또한 각각의 요구사항들을 빠짐없이 적절히 반영하기 위해서는 체계적인 접근방법에 근거하지 않으면 안 된다.

Fig. 5에서는 리사이클링을 고려한 체계적 설계과정의 추진내용^[2]을 보여주고 있다. 즉 이것은 VDI 2221에서 정의한 설계순서와 공학설계론^[4]에서 제안한 리사이클링 관련 작업을 각 설계 단계에 맞추어 수정, 통합한 것이다. 우선 제품의 기획단계에서 해야 할 것 번째 과정은 제품수명의 특징에 대해 전략적으로 결정을 해야 하는데, 단기제품인가 장기제품인가를 확정하는 것이다. 이에 따라 리사이클링 전략이 제품리사이클링 또는 재료리사이클링으로 결정된다. 또한 사용될 재료의 특성을 결정하여야 하는데, 가능하다면 재활용재료를 사용하고 다른 재료도 재활용재료와 조화를 이룰 수 있도록 재료특성을 조절해

야 한다.

개념설계 단계에서는 부분기능의 분리에 초점을 맞추어 기능구조를 작성하도록 한다. 이때 기능구조는 제품기획 단계에서 확정된 재활용전략에 맞도록 수정한다. 즉 부품리사이클링의 경우에는 부품 단위로 분리가 용이하도록 하고, 재료리사이클링의 경우에는 재료 사이의 적합성을 고려하여 기능구조를 조절한다. 리사이클링의 궁극적인 목표는 제품의 성능을 유지하면서 예상수명동안 사용하는 것이므로 동일한 조건 하에서는 제품수명의 연장을 위해 마모가 적은 작용원리를 선택하여야 한다. 또한 분리용이성에 초점을 맞추다보면 부품수와 재료다양성이 증가하게 되는데, 적절한 수준에서 이에 대한 조절이 필요하며 이는 작용원리의 복잡성을 최소화하는 방향에서 해결해야 한다.

구체설계 단계에서는 유지, 보수와 재활용을 원활하게 지원할 수 있도록 분리에 적합한 구성구조(또는 부품구조)를 추구하여야 한다. 앞서 결정된 재활용전략에 적합하도록 구성구조를 확정하여야 한다. 즉 구성의 세분화인가 통합화인가를 결정하여야 한다. 또한 사용 시나 분해 시에 파손이 발생할 경우에 손상된 영역을 최소한으로 제한하기 위해서는 고응력과 저응력을 받는 부품과 영역의 경계를 설정할 필요가 있

다. 그 외에도 포장의 최적화를 위하여 운반과 수송에 적합한 형상을 지향해야 한다.

상세설계 단계에서는 재활용을 고려한 사용자침서를 작성하여 유지, 보수 방법, 운전수단과 재활용을 위한 반환가능성 등에 대해 소개할 수 있도록 한다. 또한 수리가능성(마모 특성 명시), 재활용전략 및 재료를 제품에 표시할 수 있도록 준비한다.

이와 같이 리사이클링 관련 설계진행 사항을 적절한 단계에서 수행하고 그 결과에 대해 단계별로 평가할 수 있고, 또한 필요한 정보를 참조하고 비교, 평가할 수 있는 설계보조시스템이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서 개발한 리사이클링에 초점을 맞춘 설계카탈로그를 소개한다.

4. 리사이클링 고려 설계카탈로그의 개발

4.1 설계카탈로그의 구조¹¹⁾

설계카탈로그의 구조는 분류기준에 의해 결정되는데, 이는 설계카탈로그를 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, 배기, 전기전자 및 공기조화 시스템 등이 속한다.

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. 해결안의 특성에는 경우에 따라 분해공정 상의 문제점도 제기한다. 비교란에는 자료의 출처와 추가적인 특기사항을 기록하게 된다.

자동차 부품의 리사이클링을 고려한 설계카탈로그의 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. 자동차 부품의 리사이클링에서는 재료의 재활용뿐만 아니라 부품 자체의 재활용을 함께 생각하여야

한다. 부품의 설계 시 재활용을 고려하여 설계특징을 수정한다는 것은 부품 설계에 대한 각 분야의 다양한 내용을 수정하는 것이다. 그리고 이것은 부품 설계에 대한 각 분야의 다양한 내용을 수정하는 결과를 가져오므로 이를 위해서는 관련 설계 부서와 협의를 거쳐야 한다. 설계자는 자신의 고유한 설계영역 뿐만 아니라 타부서의 다양한 설계 내용 또한 숙지하고 있어야 협의과정을 최소화 할 수 있다.

설계카탈로그에는 리사이클링과 직접적으로 관련된 사항 뿐 아니라 작업자가 현재 직면하고 있는 설계과정 전후의 내용을 동시에 참조할 수 있도록 하지 않으면 안 될 것이다. 따라서 설계카탈로그에는 이전 단계에서 이루어진 설계내역이 하나의 경계조건 또는 제한조건외의 형태로 주어지게 되고, 설계의 특징들이 어떤 이유에 의해 생성되었는가를 제시해 주면 설계시간을 매우 단축시킬 수 있을 것이다. 이것들뿐만 아니라 가공, 조립 및 분해 시의 문제점 또는 유의사항을 제시해 줌으로써 설계 시의 지침으로 삼을 수 있다.

본 연구에서 개발한 설계카탈로그는 Fig. 6과 같이 크게 4가지 영역으로 구성되어 있다. 첫 번째는 기존 시장에 출시된 자동차를 리사이클링을 고려한 설계측면에서 분석하여 데이터베이스로 구성한 부분이고, 두 번째는 개발하고자 하는 시스템의 개발과 설계 내용을 담을 수 있는 기본틀을 제공하는 부분이며, 세 번째는 물리적인 법칙과 설계법칙 등을 제공하여 설계 시 활용할 수 있도록 구성한 부분이다. 네 번째는 리사이클링에 적합한가를 평가하는 평가기준의 하나인 분리성을 이용하여 설계를 리사이클링 측면에서 평가하는 모듈이다. 물론 각각의 내용은 설계가 진행되면서, 또한 전문분야의 발전에 따라 추가되고 확장될 수 있다. Table 2에서는 일반적인 설계과정과 그 각각의 단계에 대응하는 설계카탈로그를 활용한 리사이클링 고려 설계활동을 보여주고 있다. 괄호 안의 숫자는 설계카탈로그의 관련 부분시스템을 나타낸다.

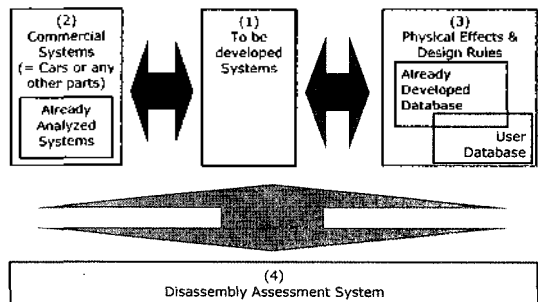


Fig. 6. The structure of design catalogue for recycling.

Table 2. The actions of design catalogue for recycling in accordance with design processes

기본적 설계 과정	리사이클링 고려 설계카탈로그를 활용한 설계 활동
제품 기획 및 과제 정의	- 기 분석된 시스템을 참고하여 요구사항저작 작성(1, 2)
개념설계	- 기 분석된 시스템을 참고하여 기능구조 작성(1, 2) - 물리적 원칙과 설계규칙을 참고하여 각용원리 탐색(1, 3) - 리사이클링 평가도표를 활용한 개략적 평가(1, 4)
구체설계	- 기 분석된 시스템을 참고하여 구성구조 작성(1, 2) - 기 분석된 시스템을 참고하여 배치 확정(1, 2) - 기 분석된 시스템을 참고하여 취약부 제거 및 최적화(1, 2) - 리사이클링 평가도표를 활용한 상세 평가(1, 4)
상세설계	- 기 분석된 시스템을 참고하여 도면 및 부품표 작성(1, 2) - 기 분석된 시스템을 참고하여 각종 지원서 작성(1, 2)

4.2 기존 차량시스템 분석 및 데이터베이스 구축

여기서는 리사이클링을 고려한 자동차 부품이나 시스템을 설계하기 위한 도구로 사용하는 것을 목표로 설계카탈로그를 개발하였다. 그런데 설계 작업 중 80% 이상은 기존설계의 개선을 위한 설계 작업으로 수행되고 있다. 즉 기존 제품에 대한 분석과 평가가 설계 시 참고자료로 주어지지 않으면 개선된 제품을 개발할 수 없다. 본 연구에서는 이미 양산되어 판매되고 있는 자동차의 내외장재만을 분석하여 비교, 평가의 자료로 활용될 수 있도록 연구의 범위를 제한하였다. 그 외의 자동차 부품에 대해서는 유사한 방법으로 분석하여 그 정보를 추가하고 활용할 수 있다. 여기에 포함된 내용으로는 요구사항목록, 문제의 정식화와 추상화, 기능구조, 결합구조, 분해구조, 원리적 해결안 등이다. 그 외에도 부품들에 대한 결합 및 분해관련 정보와 결합방식 및 결합부의 기하학적 특징 등을 분석하여 포함시켰다.

기존 차량시스템의 내외장재를 분석하여 정리한 자료의 예가 Fig. 7에 나타나 있다. 분석 대상 차량은 D사에서 제공한 승용차로서 국내의 대표적인 중형차의 하나이다. 설계카탈로그 프로그램을 시작하면 초기화면에는 빈 여백으로 나타나지만, 차량의 제작사와 차종을 선택하면 분석되어 저장된 내용이 Fig. 7과 같이 나타난다. 화면 아래 왼쪽의 Assembly Tree에서 참고하고자하는 부분시스템을 선택하면 그 오른쪽에 Explosion View와 Parts List가 나타난다. 여기서는 Front Door Trim을 선택하였다. 다시 그중에서 부품 TRIM A-FR DOOR-01을 선택하면 Fig. 8에 그 상세한 부품형상과 리사이클링 관련 정보가 나타난다. 재료, 가공공정, 리사이클링 전략, 분해공구 및 분해시간, 결합요소와 결합부위의 특성 등이 기본적으로 제공된다.

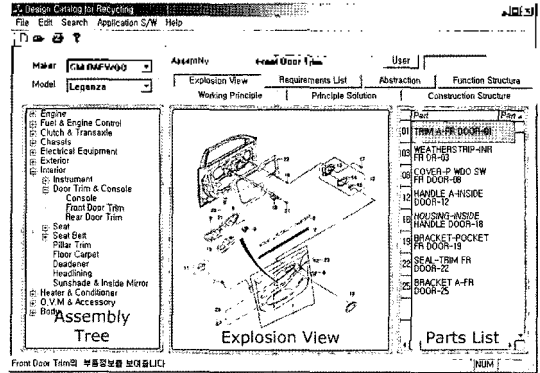


Fig. 7. Main window of design catalogue for recycling.

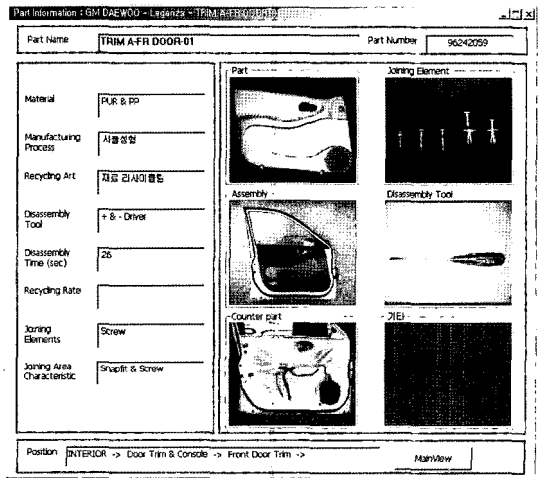


Fig. 8. Window of part and its recycling related information.

Fig. 9에서는 선택된 부분시스템에 대한 요구사항목록을 나타내며, Fig. 10에서는 기능구조를 표시하고 있다. Fig. 11에서는 결합구조를, Fig. 12에서는 분해구조를 보여주고 있다. 여기서 나타낸 정보들은 기존 차량을 분석하고 실제로 분해하여 얻어진 것이다. 새로운 차량시스템의 개발 시에 참고 및 비교하는 것이 그 목적이다. 사용자는 여기 주어진 분석자료 이외에 벤치마킹하고자 하는 차량들을 다수 분석하여 데이터베이스에 저장하여 활용하여야 한다. 풍부한 분석자료 없이 성공적인 설계는 불가능하다.

Fig. 9의 요구사항목록에서는 기하, 에너지, 물질, 안전에서부터 가공, 사용, 유지보수, 리사이클링 등 제품의 탄생과 사용, 폐기에 이르는 제품수명주기 전체 과정에 걸쳐 요구되는 조건을 모아놓은 것이다. 기존 부분시스템에 대해 분석해 놓은 이 자료는 새로운 시스

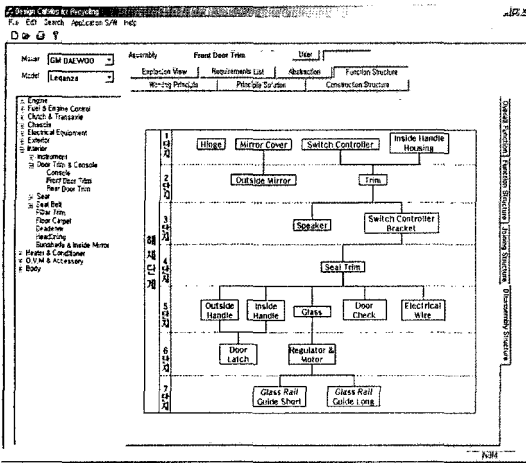


Fig. 12. Window of disassembly structure.

기능기준	변환	정의
대내시	변환	에너지 종류의 변환
감압	증가/감소	물리적 양(힘, 용력, 변위 등)이 가지고있는 스칼라 값의 변화
감보	방향/반향	물리적 액터 양의 방향 변화
분포기준	진동/저진	에너지의 장소 이동 허용/제동 억제
고장/불안	진압/분리	에너지의 점성적 흐름/시류
User 정의	온화/냉류	어느 특정한 특성 차이에 따라 에너지값 향상/냉류

Fig. 13. Window of basic functions and their definitions.

Input Parameter	Input Parameter	Output Parameter
1 길이 단면, 두께	길이 단면, 부피	속도
2 질량		
3 개속도		
4 힘, 압력, 기계적 에너지		
5 열량, 열전도도, 열도		
6 시간, 주파수		
7 기계적 회동		
8 온도, 열		
9 전압/전류		
10 전압, 전류, 전계장		
11 Capacitance		
12 저항, inductance		
13 전계장(외, 흡수)		

Physical Effect	Principle Sketch	Formula	Example
연속성		$v_1 A_1 = v_2 A_2$	노즐(Nozzle) 2.5
질점		$F = m \cdot a$	3.0
Torricelli 법칙		$v = \sqrt{2gh}$	4.0
운동량 변화		$F = \frac{dp}{dt}$	4.0

Fig. 14. Window of working principles for the basic function "Energy Conversion".

4.4 분리성 평가시스템¹¹⁾

여기서는 설계단계에서 분리를 결정하는 요소를 취급, 구조, 체결의 세 요소로 나누었다. 먼저 각 부품과 조립군에 대한 취급정보를 구한다. 다음으로 나머지

결정요소인 구조와 체결에 대한 세부 영향요소를 도출한다. 총 분리성은 각 부품의 결정요소별 분리성 정도의 합으로 계산된다. 평가결과 분리성이 낮은 부품의 취약특성을 파악하여 분해 고려 설계원칙을 적용하여 전체적인 제품의 분리성을 향상시킬 수 있다. 각 결정요소의 분리성은 미리 정의되어 있는 Table 3을 사용하여 구한다.

분리성에 영향을 미치는 평가항목 중 '체결'에 대한 영향요소로는 체결요소의 개수, 체결요소의 종류, 체결요소의 분포, 체결요소의 제거방향, 체결요소의 제거방향수, 체결요소의 체결지수를 사용하였다. '구조'에 대한 영향요소로는 분리대상물의 분리방향, 분리대상물의 운동성, 분리대상물의 경로, 도구작업공간, 선행작업구조단계를 사용하였고, '취급'에 대한 영향요소로는 형상, 크기, 무게를 사용하였다. 이런 요소들에 대해 각각 세부 영향요소를 정량화하여, 각각의 항

Table 3. The influence factors for disassemblability assessment

분리 부분	영향요소(비중)	1	0.5	0
취급 (0.1)	분리대상물의 무게(0.02)	4.5kg 미만	4.5 ~ 9kg	9kg 초과
	분리대상물의 크기(0.03)	한 손으로 취급가능	두 손으로 취급가능	무손상시 완료
	분리대상물의 형상(0.05)	원형, 각주형	원반형, 만형	복합형

분리 부분	영향요소(비중)	1	0.5	0
구조 (0.7)	분리대상물내 분리방향(0.035)	Top	Side	Bottom
	분리대상물내 회전성(0.035)	Linear	Rotating	Combined
	분리대상물내 경로(0.168)	Zero	Short	Long
	도구작업 공간(0.042)	충분	나쁜 도구 이용	공기 확보 불성
선행작업 구조단계(0.42)	1/log ₂ (선행작업 개수) → 0~2 : 1, 4 : 0.5, 16 : 0.25			

분리 부분	영향요소(비중)	1	0.5	0
체결 (0.2)	체결요소의 종류(0.042)	1개	2개	3개 이상
	체결요소의 분포(0.014)	1개	2개 이상[대칭]	2개 이상[비대칭]
	체결요소의 제거방향수(0.03)	1방향	2방향	3방향
	체결요소의 제거방향(0.03)	1/log ₂ (Top요소 개수) + 0.6 + 1/log ₂ (Side요소 개수) + 0.3 + 1/log ₂ (Bottom요소 개수) + 0.1		
	체결요소의 개수(0.014)	1/log ₂ (체결요소 개수) → 0~2 : 1, 4 : 0.5, 16 : 0.25		
체결요소의 체결지수(0.07)	1/log ₂ (체결지수평균) → 0~2 : 1, 4 : 0.5, 16 : 0.25			

에 대한 리사이클링 관련 정보를 용이하게 관리하고 신속하게 활용하여, 신제품 개발에 적절히 응용할 수 있으며, 동시에 리사이클링 관련 평가를 수행하여 설계에 즉시 반영할 수 있으므로, 리사이클링 관련 제품 개발기간을 30% 이상 단축할 수 있다.

참고문헌

1. Lee, K. S. *et al.*, "Development of Design Catalogue for Automobile Parts", Final Report of Cleaner Production Program, 2004.
2. Pahl, G. and Beitz, W., *Konstruktionslehre*, 4. Auflage, Springer Verlag, 1997.
3. Wende, Andreas, *Integration der recycling- orientierten Produktgestaltung in den methodischen Konstruktionsprozess*, p. 28, Ph. D. thesis, VDI Reihe 1 Nr. 239, VDI-Verlag GmbH, Duesseldorf, 1994.
4. Roth, K., *Konstruieren mit Konstruktions- katalogen*, Band III Verbindungen und Verschlusse Loesungsfindung, 2. Auflage, Springer Verlag, 1996.
5. Lee, K. S. *et al.*, A Development of Design Process for Recycling, *The KSME Annual Fall Conference Proceedings*, pp. 1289-1295, April 23-25, 2003.
6. Lee, K. S. *et al.*, An Analysis of Joining Structure for the Design for Recycling, *The KSAE Annual Spring Conference Proceedings*, pp. 931-936, May

22-24, 2003.

7. Lee, K.-S. *et al.*, A Study on the Method of Disassembly Time Evaluation of a Product using Work Factor Method, 2003 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, SMC 2003 Conference Proceedings, pp. 1753-1759.
8. Boothroyd, G., Dewhurst, P. and Knight, W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, p. 6, Marcel Dekker, Inc., 2002.



이 건 상

1982년 서울공대 기계공학과 공학사
1991년 독일 Berlin 공대 기계공학과
Dipl.-Ing.

1993년 독일 Berlin 공대 기계공학과
Dr.-Ing.

1987년~1991년 Innovative Production
System (INPRO) 연구원(독일
Berlin 소재)

1991년~1993년 독일 Berlin 공대 기계공학과 연구원

1991년~1993년 Solid state laser 연구소 강사(독일 Berlin 소재)

1994년~1995년 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원

1995년~현재 국민대학교 기계자동차공학부 부교수

2004년 7월 1일~2005년 8월 31일 University of Iowa Visiting
scholar