

리사이클링 고려 설계시간 단축을 위한 설계카탈로그의 활용

이건상*(국민대학교 기계자동차공학부)

DfR(Design for Recycling) Period Reduction using Design Catalogue

K. S. Lee(Mech. and Automotive Eng. Dept., KMU)

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(설계카탈로그), Product Development Period(설계시간), Recycling(리사이클링)

1. 서론

21세기 들어 소비자들의 구매 취향은 날로 다양하고 빠르게 변화하고 있어 시장에 출시되는 제품의 종류를 더욱 다양하게 만들도록 부채질하고 있다. 이에 따라 제품의 수명주기는 점점 단축되고 있고, 바로 이러한 시장의 특성이 제품개발자에게 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 달성해야 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 있

는 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. 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 분리성을 고려한 평가기준과 평가시스템의 개발이 이루어져야 한다.

2. 리사이클링 고려 설계

설계가 진행되는 각각의 단계에서 제품의 기능과 성능 등을 충족시키기 위한 다양한 요구조건을 고려하는 것과 마찬가지로 리사이클링 관련 요구사항에 대한 고려 또한 함께 이루어져야 한다. 리사이클링 관련 고려사항이 기능이나 성능 관련 요구사항을 대체할 수 없음은 물론이다. 그렇다고 해서 리사이클링 관련 요구사항을 무시할 수도 없는 실정이다. 그들 사이에서 적절히 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. 리사이클링을 고려한 체계적 설계과정의 추진내용^{2,4)}을 설명하면 다음과 같다. 우선 제품의 기획단계에서 해야 할 첫 번째 과제는 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, 가능하면 재활용재료를 사용하고 다른 재료도 재활용재료와 조화를 이룰 수 있도록 재료특성을 조절해야 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 있다. 그 외에도 포장의 최적화를 위하여 운반과 수송에 적합한 형상을 지향해야 한다.

상세설계 단계에서는 재활용을 고려한 사용지침서를 작성하여 유지, 보수 방법, 운전수단과 재활용

을 위한 반환가능성 등에 대해 소개할 수 있도록 한다. 또한 수리가능성(마모 특성 명시), 재활용전략 및 재료를 제품에 표시할 수 있도록 준비한다.

3. 설계카탈로그의 개발

설계카탈로그는 특정 설계과제 또는 부분기능에 대한 알려지고 증명된 해결안의 모음집이며, 내용이나 접근가능성 및 구조의 관점에서 설계방법론에 적합하게 맞추어진 정보저장소^{2,3)}이다.

설계카탈로그는 기본적으로 분류기준, 해결안, 해결안 특성 및 비교의 4 가지 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 특징지어 주며, 사용목적에 적합하여야 한다. 해결안 특성은 응용분야에 매우 종속적이다. ‘비교’에는 카탈로그 내용의 출처와 보충설명 등이 포함된다.

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.

3.1 설계카탈로그의 구성

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, 새시, 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 협의의 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 제한조건 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. 1과 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.

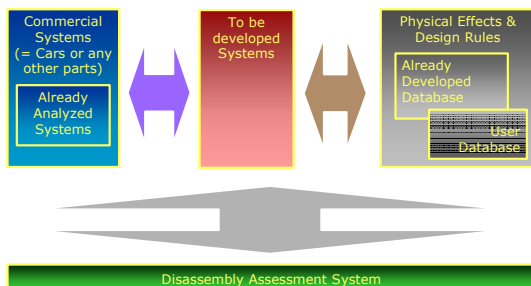


Fig. 1 Structure of design catalogue for recycling

3.2 기존 차량시스템의 분석자료 DB

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 활용할 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(Fig. 2).

3.3 작용원리 DB

추상적인 설계를 제품으로 구체화시키는데 가장 핵심적인 것은 작용원리의 선택이다. 작용원리는 개념적이고 추상적인 기능을 실제로 작동하도록 하는 광의의 물리적 법칙을 의미한다. 따라서 기능과 작용원리를 연결하는 데이터베이스의 구축은 설계 작업을 매우 신속하게 진행할 수 있도록 도와준다.

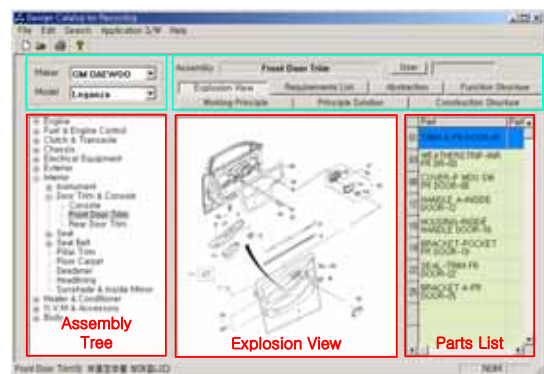


Fig. 2 Main window of design catalogue

설계에서 요구되는 작용원리를 탐색하기 위해 기본기능과 응용기능을 선택하는 메뉴창이 있으며, 기본기능에는 에너지, 물질과 정보가 있으며, 그 각각은 변환, 증가/감소, 방향전환, 전달/차단 등의 기능으로 나눌 수 있다. 또한 기본기능 중 “에너지 종류의 변환”을 가능하게 하는 작용원리를 탐색할 수 있으며, 여기서는 특히 입력 매개변수로서 “길이, 단면, 속도”를 가지며 출력 매개변수로서 “속도”를 갖는 기능에 대한 작용원리를 보이고 있다. 응용기능 중 하나인 “부품의 결합”에 대한 작용원리를 간략한 평가와 보여주고 있다. 결합의 종류와 그에 대한 특성

을 평가와 함께 나타내므로, 설계초기단계에서 분해
편이성에 대한 평가를 통해 리사이클링 고려 설계의
수행을 용이하게 만들어준다.

3.4 분리성 평가시스템 모듈

분리성에 영향을 미치는 평가항목 중 ‘체결’에
대한 영향요소로는 체결요소의 개수, 체결요소의 종
류, 체결요소의 분포, 체결요소의 제거방향, 체결요
소의 제거방향수, 체결요소의 체결지수를 사용하였
다. ‘구조’에 대한 영향요소로는 분리대상물의 분리
방향, 분리대상물의 운동성, 분리대상물의 경로, 도
구작업공간, 선행작업구조단계를 사용하였고, ‘취급’
에 대한 영향요소로는 형상, 크기, 무게를 사용하였
다. 이런 요소들에 대해 각각 세부 영향요소를 정량
화하여, 각각의 항목별로 가중치를 부여하였다. 그리
고 그 가중치에 따라 분리성 점수를 산출하였다.

3.5 사용자 개발시스템

리사이클링을 고려한 설계카탈로그의 궁극적인
목표는 리사이클링 측면에서 경쟁력 있는 새로운 제
품을 개발하는 것이다. 앞서 언급한 기존 모델을 분
석한 '기존 차량시스템 데이터베이스'나 '작용원리 데
이터베이스' 그리고 '분리성 평가시스템 모듈'은 모두
신제품을 개발하기 위한 도구의 역할을 하는 것으로
서, 사용자는 앞서 언급한 정보를 활용하여 신제품
을 개발하여야 한다.

여기서는 특히 리사이클링 관련 설계시간에 초점
을 맞추었으므로 설계의 다른 모든 고려사항을 포함
한 경우는 아니다. 그러나 설계카탈로그의 데이터베
이스에 저장된 정보나 형식을 사용함으로써 리사이
클링 관련 설계시간 중 많은 부분을 단축시킬 수 있
다. 전통적인 설계에서 단계별로 소요되는 시간을
백분율로 표시⁷⁾하고, 설계카탈로그를 이용한 개선효
과를 나타내면 Fig. 3과 같다. 기획과 과제규명 및 개
념설계 단계에서 설계카탈로그에 포함되어 있는 기
존의 요구사항목록, 기능구조, 작용원리 데이터베이
스 그리고 리사이클링성 평가모듈 등을 활용하면 약
10%의 시간단축이 가능하다. 구체설계 단계에서는
기존 구성구조, 데이터베이스 및 리사이클링성 평가
모듈을 사용하면 약 19%의 시간단축이 가능하다. 마
지막으로 상세설계 단계에서는 기존 부품표와 지침
서를 활용함으로써 약 4%의 시간단축이 가능하다.

4. 결론

본 연구에서는 리사이클링을 고려한 설계, 특히
자동차 부품의 개발 및 설계 시에 필요한 여러 가지
정보를 신속하고 원활히 활용할 수 있는 설계도구로
서 설계카탈로그를 개발하였다. 이를 통해 기존 시
스템에 대한 리사이클링 관련 정보를 용이하게 관리

하고 신속하게 활용하여, 신제품 개발에 적절히 응
용할 수 있으며, 동시에 리사이클링 관련 평가를 수
행하여 설계에 즉시 반영할 수 있으므로, 리사이클
링 관련 제품개발기간을 30% 이상 단축할 수 있다.

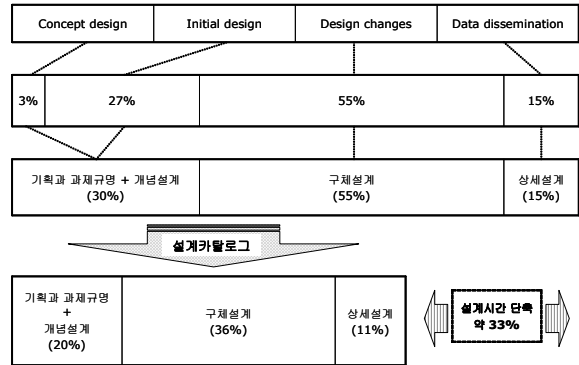


Fig. 3 Reduction of DfR (design for recycling) period

후기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 청정생산기술
사업의 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

1. K. S. Lee, "Development of Design Catalogue for Automobile Parts", Final Report of Cleaner Production Program, 2004
2. G. Pahl and W. Beitz, Konstruktionslehre, 4. Auflage, Springer Verlag, 1997
3. K. Roth, Konstruieren mit Konstruktions- katalogen, Band III Verbindungen und Verschluesse Loesungsfindung, 2. Auflage, Springer Verlag, 1996
4. K. S. Lee et. al., A Development of Design Process for Recycling, The KSME Annual Fall Conference Proceedings, pp 1289-1295, April 23-25, 2003
5. K. S. Lee 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
6. Kun-Sang Lee 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
7. G. Boothroyd, P. Dewhurst, W. Knight, Product Design for Manufacture and Assembly, p.6, Marcel Dekker, Inc., 2002