

# 설계단계 적용을 위한 차량의 해체용이설계(DfD: Design for Disassembly) 통합시스템 개발

조종래#, 권재수\*, 흥병권\*, 흥준희\*, 권문식\*

## Development of Integrated System for DfD (Design for Disassembly) of Automobile in Design Phase

Jong Rae Cho#, Jae Soo Kwon\*, Byeong Kwon Hong\*, John Hee Hong\* and Moon Sik Kwon\*

### ABSTRACT

In order to improve the recyclability and to reduce the recycling cost and time, the disassembly technology should be systemized because the worn out products can be reused or recycled after disassembly processes. This paper attempts to propose the integrated CATIA-based DfD (Design for Disassembly) support system to promote the disassemblability of products. The system is composed of two modules; evaluation of disassemblability, generation of DfD alternatives. The disassemblability of current vehicle is evaluated to identify the weak point in terms of disassembly using the DELMIA and developed evaluation system. Furthermore a new expert system is developed to propose the optimal redesign rule and principle for generating the DfD alternatives. In order to generate the DfD alternatives, a CATIA-based design support system is implemented. The system can provide quick results and ensure consistency and completeness of the redesign alternatives.

**Key Words :** DfD (해체용이설계), Disassemblability (해체성), Disassembly (해체), Integrated system (통합시스템), Recycling (재활용)

### 1. 서론

최근 들어 폐기물 처리, 유해물질 의무회수 등을 규정한 EU의 폐차 처리에 관한 규정<sup>1</sup> 등과 같이 국내외 환경관련 법규가 강화됨에 따라 제품 설계단계에서부터 환경부하를 최소화하려는 노력이 강화되고 있다. 이에 따라, 폐차 (ELV: End-of-Life Vehicle)의 재활용률을 높이기 위한 재활용을

위한 설계(DfR: Design for Recycling), 중고부품의 재사용성을 향상시키기 위한 재제조 (Remanufacturing) 기술, 차량의 정비성을 높이기 위한 정비성을 위한 설계 (DfS: Design for Service) 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>2</sup> 이러한 재활용, 재제조, 정비 등을 위해서는 반드시 해체공정이 선행되어야 한다. 따라서, 설계단계에서 해체를 고려하여 추후 발생하는 시간 및 비용을 줄이기 위

접수일: 2006년 10월 31일; 게재승인일: 2007년 5월 21일  
# 교신저자: 현대기아 연구개발총괄본부 선행개발센터  
E-mail: muyoung@hyundai-motor.com Tel. (031) 899-3056  
\* 현대기아 연구개발총괄본부 선행개발센터

한 해체용이설계 (DfD: Design for Disassembly)에 대한 필요성이 증가하고 있다.

지금까지의 해체용이설계에 관한 연구는 학계와 기업체를 중심으로 제품의 해체성을 정량적으로 평가하여 취약점을 분석하는데 치중되어 왔다. Boothroyd<sup>3,4</sup>는 DfS, DfE (Design for Environment)와 관련하여 평가시스템을 개발하여 상용화하였고, 많은 학자들이 해체시간 추정 및 정량적 해체성 평가방법론에 대해 연구하였으나 평가 및 취약점 분석의 특성이 강하고 간략한 설계 가이드라인만을 제시하고 있다.<sup>5,6,7</sup> 기업체로는 삼성전자 및 LG 전자에서 각각 DfX 와 ATROID 를 개발하여 사용중에 있으며, 자동차 메이커로는 BMW 의 DAISY, 닛산의 OPERA, 르노의 AMETIDE, 현대자동차의 RAIS 가 대표적인 평가시스템이다. 하지만, 실제로 제품의 해체성을 향상시키기 위한 설계대안 생성 및 적용에 대한 연구는 상대적으로 미흡하였다. 해체성평가 결과만으로는 구체적인 설계대안을 생성하여 실제 적용할 수 없으며, 설계단계에서 적용하기 위해서는 CAD 모델링을 이용하여 실제 해체용이설계 대안을 생성하여 제공되어야 한다.

본 논문에서는 동시공학적 개념에서 설계 단계의 CAD 모델링을 분석, 평가하여 해체성을 향상시킬 수 있도록 실제 설계대안을 생성하는 통합 시스템을 개발하였다.

## 2. 해체용이설계 방법론

### 2.1 해체용이설계 절차

일반적으로 해체용이설계의 절차는 크게 두 단계로 구성된다. 첫째, 현재 제품의 해체성을 평가하는 단계이다. 이 단계에서는 기존의 정량적 평가가 아닌 CAD 모델링을 이용하여 해체시간, 구조도, 해체경로 등을 획득하여 해체성을 평가하는 방법론이 개발되었다.

둘째, 평가결과 취약한 부품에 대해 실제 개선 대안을 생성하는 단계로, 기존 CAD 모델링을 수정하여 새로운 모델링으로 생성하였다. 이 단계에서는 CATIA 내에 해체용이설계 모듈을 추가 개발하여 손쉽게 기존 모델링을 변경가능 하도록 하였다.

### 2.2 해체용이설계 방법론 개발

Fig. 1 은 개발된 해체용이설계 통합시스템의 Flowchart 를 보여주고 있다. 본 통합시스템은 해체 경로 및 구조도생성시스템, DfD 모듈화 설계시스템, DfD 설계시스템 등과 같이 CATIA 환경에서 구동되는 시스템들과, 해체용이설계 시 최적의 설계원칙을 제시해주는 설계원칙 제시 전문가시스템, 시뮬레이션 전용 Tool 을 이용한 해체시뮬레이션 시스템으로 구성된다. 먼저 기존 제품의 해체성을

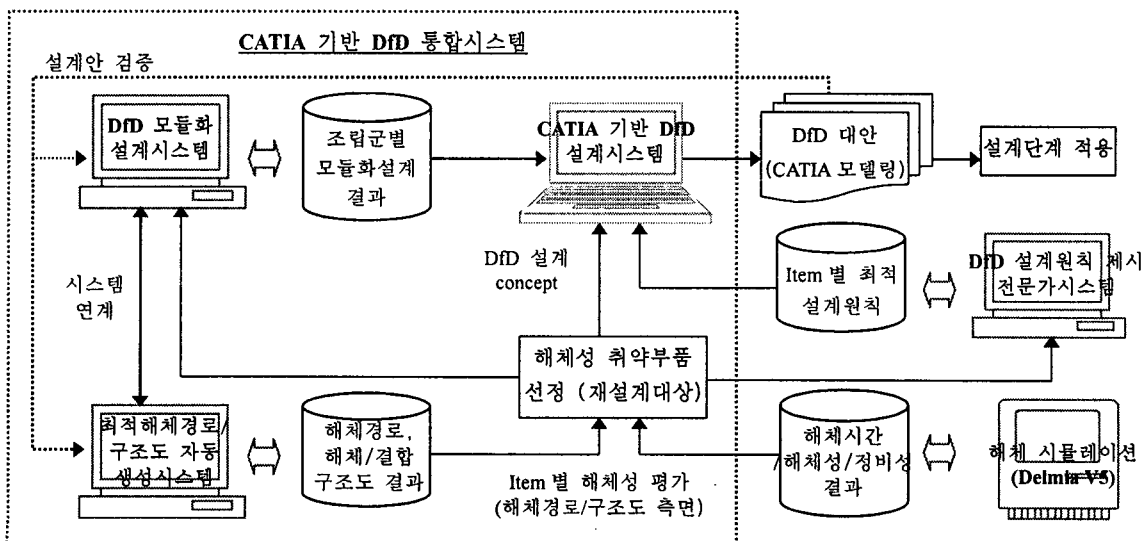


Fig. 1 Redesign flow chart for assemblability

평가하기 위해 CATIA 데이터를 이용하여 부품들간의 연관관계를 정의하여 최적해체경로 및 결합, 해체구조도를 자동생성할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또, Delmia s/w 를 이용한 해체시물레이션을 통해 해체시간, 해체성 및 정비성 결과를 도출하였다. 이러한 구조도 및 경로탐색 결과와 시물레이션 결과를 통해 해체성이 취약한 부품이 선정된다.

다음으로, 선정된 부품의 재설계를 지원하기 위하여 DfD 모듈화 설계지원 시스템과 DfD 설계원칙 제시 전문가시스템이 개발되었다. 모듈화설계시스템은 해체성을 향상시키기 위해 모듈을 재조정해주는 시스템으로 부품통합 및 부품 재그룹핑의 방향을 제시한다. 또, 전문가시스템은 해당 취약부품을 어떤 설계원칙으로 재설계할 것인지를 방향을 제시한다. 이러한 결과들을 활용하여 기존 모델링에서 개선 모델링을 생성하기 위하여 CATIA 기반 DfD 설계시스템을 개발하였다. 이 시스템은 해체성에 가장 영향을 미치는 ‘체결요소의 탐색’, 타부품과의 간섭여부를 체크하는 ‘공구간섭 체크’, 해체용이한 체결요소로 변경하는 ‘체결요소 변경’, 해체가 용이하도록 형상을 변경하는 ‘해체용이형상 추가’의 네 가지 기능으로 구성된다.

### 3. 해체용이설계 지원 통합시스템 개발

#### 3.1 해체시물레이션을 통한 해체성 평가

해체성을 평가하는 가장 좋은 방법은 실차 해체평가를 통해 취약점을 평가하는 것이나, 개발단계에 있는 제품의 개선을 위해서는 설계단계에서의 평가가 필요하다.<sup>8</sup> 따라서, 실차해체와 동일한 평가효과를 얻기 위해 Delmia s/w 를 이용한 해체시물레이션을 수행하였다. Fig. 2 는 시물레이션 및 평가결과를 보여주고 있다.

시물레이션의 유용성을 검증하기 위해 하나의 차종을 선정하여 실차해체와 시물레이션을 동시에 수행한 결과 해체시간 등의 결과가 거의 동일하게 도출되었다. 예로, 신형 아반떼의 외장부품인 프론트 휠가드, 프론트/리어 범퍼 등 3 개 조립군의 해체실험과 시물레이션 비교결과 각각 164 초, 167 초로 평균적인 해체실험의 시간편차(3~5%) 이내인 1.8%의 오차가 있는 것으로 나타났다. 이로 인해 실차가 존재하지 않는 설계단계에서는 시물레이션이 효과적인 대체수단으로 활용가능한 것으로 판명되었다.

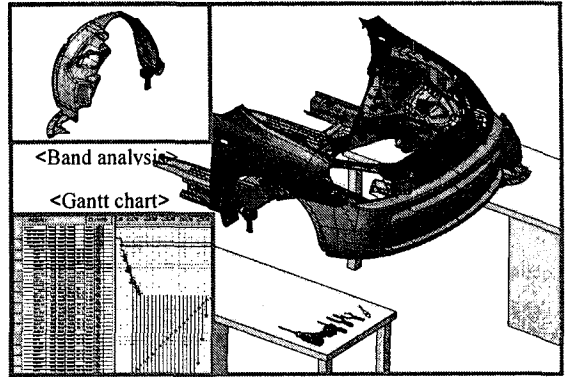


Fig. 2 Evaluation of disassemblability using Delmia

#### 3.2 최적해체경로 및 구조도 자동생성시스템

해체경로 및 구조도, 모듈화설계 여부는 해체 시간 및 비용을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 왜냐하면 이들은 제품의 구조적인 측면에서의 해체성을 평가할 수 있는 아주 유용한 도구이기 때문이다. 본 연구에서는 CAD 모델링 데이터를 이용하여 최적 해체경로 및 해체, 결합구조도를 자동생성하고 해체용이 모듈화설계를 지원할 수 있는 알고리즘을 Fig. 3 과 같이 개발하여 시스템화 하였다.

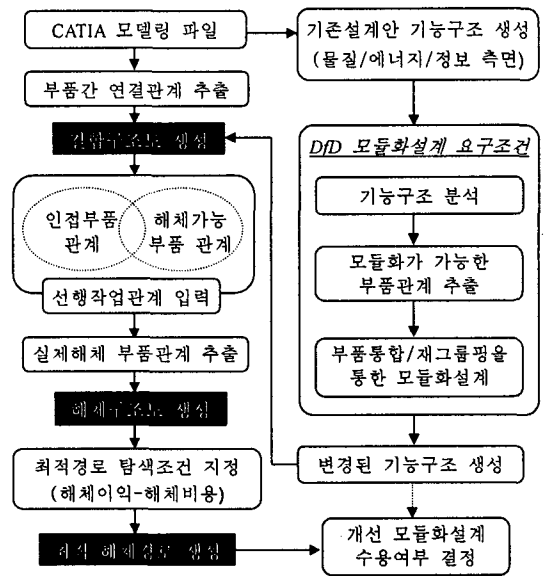


Fig. 3 System flowchart for structure diagram generation and DfD modular design

먼저, CATIA 파일에서 부품간 연결정보를 추출하여 결합구조도를 생성하며 해체가능 여부 및 선행작업 관계를 이용하여 해체구조도를 생성한다.

결합구조도는 Fig. 4 (a)에서와 같이 부품과 부품의 연결관계를 실선으로 표시한 것이며, 해체구조도는 부품들의 해체순서를 제품에서 최종 부품까지 Level 별로 표현한 것이다.

최적 해체경로는 가능한 모든 해체경로 중에서 해체 후 경제적인 측면에서 가장 이익이 많은 남은 경로로 정의하였으며 식 (1)의 정수계획법에 의해서 도출되었다.

$$\text{Max. } \sum_i \sum_j (T_{ij}r_j - c_j)x_j \quad (1)$$

$$\left( \sum_j T_{ij}x_j \geq 0, x_0 = 1 \right)$$

여기서,  $T_{ij}$ 는 전환 매트릭스,  $r_i$ 는 부품  $i$ 를 해체했을때의 이익벡터,  $c_j$ 는 비용벡터,  $x_j$ 는 해체공정  $j$ 의 수행여부를 나타낸다. 이익벡터는 해체 후 조립군 혹은 부품의 판매가격이며, 비용벡터는 해체 시간과 해체작업자의 임율에서 변환되는 부품별 해체비용이다. Fig. 4 의 (a)는 이러한 구조도 및 최적 해체경로를 자동 생성시키는 시스템을 보여 주고 있다.

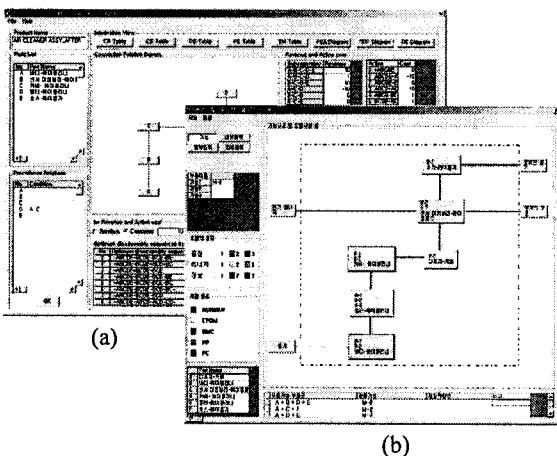


Fig. 4 Disassembly path and structure diagram and modular design system for DfD

3.3 해체용이 모듈화 설계지원 시스템

해체시간 및 비용은 해체하고자 하는 부품의 수와 모듈화 정도에 밀접한 관계를 가진다. 즉, 부품의 수가 적고 해체공정 수를 줄일 수 있도록 모듈화설계가 적절히 이루어진 구조에서는 해체성이 향상된다. 해체용이 모듈화설계는 기존 제품의 기능을 분석하여 물질, 에너지, 정보 측면에서 구조도를 작성한 후 해체용이 측면에서 모듈화가 가능한 부품관계를 이용하여 모듈화한다. 이 결과는 다시 구조도 및 해체경로 생성시스템에 입력되어 개선된 모듈화설계의 개선여부가 결정된다. 본 논문에서는 이러한 모듈화설계 지원시스템을 Fig. 4의 (b)와 같이 개발하였다.

3.4 해체용이 설계원칙 제시 전문가시스템

지금까지 설명한 해체성 평가관련 시스템을 통해 현재 제품의 해체 취약점을 분석하였고, 이러한 취약점을 개선하여 설계대안을 생성하기 위해서는 해당 부품의 개선을 위한 설계원칙이 제시되어야 한다.<sup>9</sup>

본 논문에서는 해체성을 정량적으로 평가하여 세부 설계원칙을 제시할 수 있는 전문가시스템을 개발하였다. 이 시스템은 해체목적을 운전자 측면, 정비 측면, Reuse 측면, Recycle 측면으로 분류하여 각각의 측면에서 부품별 특성에 맞게 대설계원칙과 세부원칙을 도출할 수 있는 시스템이다.

Fig. 5는 전문가시스템의 주요 Flow를 보여주고 있다.

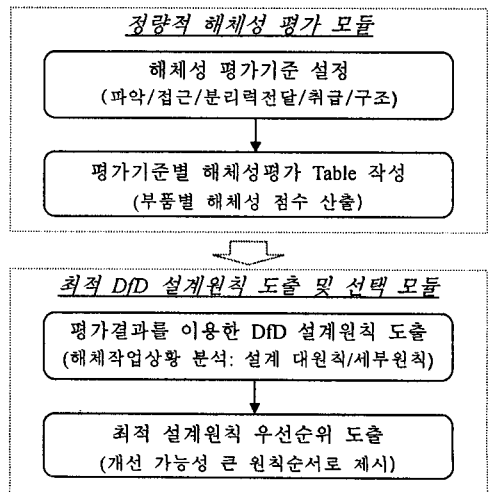


Fig. 5 Expert system for redesign rule generation

이 시스템은 정량적 해체성 평가 모듈과 최적 DfD 설계원칙 도출 및 선택 모듈로 구성되어 있다. 정량적 해체성 평가 모듈은 해체관련 평가기준을 설정하여 각 기준별로 해체성 점수를 가진 테이블을 작성하며, 이 점수 테이블을 이용하여 현재 제품의 해체성을 정량적으로 평가하여 해체성이 낮은 재설계 대상 부품을 선택한다. 최적 DfD 설계원칙 도출 및 선택 모듈에서는 점수 테이블에서 개선 점수를 향상시키는 방향으로 취약부품을 개선하고자 할 때 설계원칙으로 재설계방향을 제시하며, 해당 부품에 적절한 설계원칙들을 해체성이 개선되는 순서대로 우선순위를 결정하여 제시한다. 이렇게 제시된 설계원칙을 참조하여 우선순위가 높은 설계원칙의 순서로 실제 모델링 재설계가 이루어진다.

Fig. 6 은 최적의 설계원칙을 제시할 수 있는 전문가시스템을 보여주고 있다.

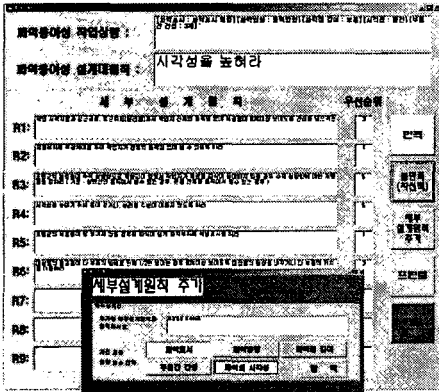


Fig. 6 Expert system for redesign rule generation

그림과 같이 해체공정 중에서 체결점 파악을 용이하기 위한 원칙의 예로, 대원칙으로 '시각성을 높혀라'가 제시되었으며 해당 대원칙을 위해 세부원칙들이 우선순위로 정렬되어 제시된다.

이러한 설계원칙은 앞에서 정의된 해체목적별로 도출되며 다음의 과정을 따른다. 먼저 네 가지 해체목적별로 대상부품을 선정한다. 다음으로 대상부품을 Fig. 5의 과정으로 평가하여 파악, 접근, 분리력 전달, 취급, 구조의 5 가지 평가기준별로 대원칙과 세부원칙을 도출한다. 이때 목적에 따라 평가기준별 점수테이블이 다르게 개발되어 있으므로 해당 목적의 부품을 평가하면 목적별로 서로 다른

설계 대원칙과 세부원칙이 도출된다. 예를 들면 신행 아반떼의 경우 해체목적 Recycle 대상인 범퍼의 '파악성'을 높이기 위해 '파악표시를 하라'의 대원칙과 '대상물의 형상이 유사하여 체결 유무를 알 수 없을 경우 대상물의 형상과 연결 부품간의 형상에 차이를 두라'라는 세부원칙이 도출되었으며, 해체목적 Reuse 대상인 얼터네이터의 경우 파악성을 높이기 위해 '시각성을 높혀라'라는 대원칙과 '대상물의 체결점이 타부품의 방해로 인해 1/2 만 보이는 경우 80%이상 보이도록 대상물의 형상을 바꾸거나 타부품의 위치를 이동하라'라는 세부원칙이 다르게 도출되었다.

### 3.5 CATIA 기반 해체용이설계 지원시스템

해체성 평가를 통해 어떤 부품의 어떤 부위를 어떤 설계원칙을 적용하여 재설계 해야 하는지에 대한 정보를 획득하였다.

본 논문에서는 이러한 정보들을 이용하여 재설계를 직접 수행할 수 있는 CATIA 기반의 해체용이설계 지원시스템을 개발하였다. CATIA 내에 CAA (Component Application Architecture)를 이용하여 해체용이설계 모듈을 별도로 추가하였으며, 이 시스템을 이용하여 해체용이 설계대안을 쉽게 생성할 수 있다.

Table 1 은 본 논문에서 개발된 해체용이설계 지원시스템의 범위 및 내용을 보여주고 있다. 이 시스템은 체결요소 탐색, 체결요소 변경, 공구간섭 체크, 해체용이형상 추가 등 네 가지 세부모듈로 구성된다. 체결요소 탐색은 CATIA 상의 해당 조립군의 체결요소 수와 종류, 해당 체결요소와 관련된 부품 및 해당 부품에 관련된 체결요소를 탐색

Table 1 Critical modules of CATIA-based DfD system

항 목	주요 내용
체결요소 탐색	- 체결요소의 종류 Listing - 각 체결요소에 속한 Part List - 각 Part에 속한 체결정보 List
체결요소 변경	- 신규 체결 요소의 생성 - 체결 요소의 이동 - 체결 요소의 교체
간섭 체크	- 시뮬레이션을 통한 공구간섭 Check
해체용이형상추가	- Self-location의 추가여부 판단(사용자) - 신규 Self-location 요소의 생성 - Self-location의 이동/ 교체

하여 조회하는 기능이다. 기본적으로 해체공정은 체결요소의 탈거에서부터 시작되며, 체결요소의 수, 종류, 형상 등에 의해 전체적인 해체성이 결정되기 때문에 이러한 체결요소 정보를 탐색하는 것은 해체성 평가 및 설계개선의 중요한 과정이다.

체결요소 변경모듈은 Fig. 7 과 같이 탐색된 체결요소 중에서 해체성이 취약한 부분을 신규 체결요소로 변경하거나 체결요소 수와 종류 축소를 위해 이동 및 교체 하는 기능이다.

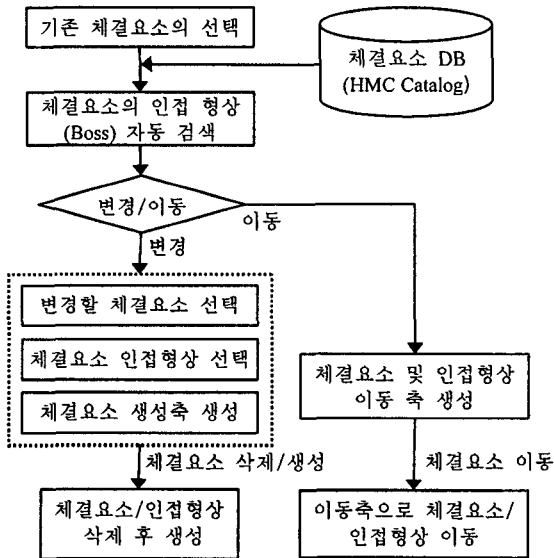


Fig. 7 Flowchart for change of fasteners

신규 체결요소 생성은 기존의 해체가 어렵거나 해체시간이 많이 걸리는 체결방법을 해체가 용이한 체결방법으로 변경하는 것이다. 가장 대표적인 해체용이 체결방법이 별도의 체결요소 없이 부품 자체 형상의 탄성에 의해 체결되는 Snap-fit 이다.

공구간섭 체크는 해체공정을 시뮬레이션하여 공구와 관련부품들간의 간섭정도를 표시하여 해당 제품의 해체를 위한 시각성 및 작업영역을 보여주는 기능이다. Fig 8 은 이러한 공구간섭 체크의 Flowchart 를 보여주고 있다. 해당 체결요소에 가장 적당한 공구가 자동선택 되어진 후 공구 작업반경을 계산하여 일정간격으로 회전하면서 공구와 부품간의 간섭여부를 체크하여 디스플레이한다.

해체용이형상 추가는 기존 모델링에 해체성을 높일 수 있도록 별도의 형상을 추가하는 것이다.

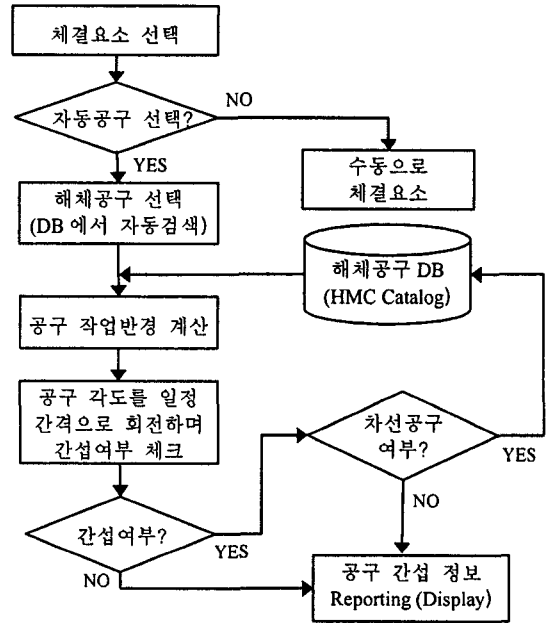


Fig. 8 Flowchart for interference check of tool

대표적인 해체용이형상이 Self-location 이며, 이는 해체하고자 하는 부품에 공구나 손이 쉽게 접근하여 분리력이 작용할 수 있도록 공간 혹은 형상을 추가하는 것이다.

이러한 설계지원시스템을 이용하여 실제 해체용이설계에 적용하기 위해서 당사는 주기적으로 당사 차종과 경쟁차종의 실차 해체평가를 통해 설계방향을 수립해왔다. Fig. 9 는 당사 및 도요타의 범퍼 실차해체 데이터를 보여주고 있다.

해체대상은 재활용과 관련있는 내외장 트림류 중에서 34 개 조립군으로 정하였으며, 이러한 실차해체 데이터는 차종별, 부품별 DB 형태로 축적되어 재설계 대안을 생성 시 재설계 방향을 설정할 때 사용된다.

또, 시스템을 이용한 체결요소 변경을 용이하게 하기 위하여 체결요소와 관련 있는 보스의 형상을 파라미터 설계를 통하여 관리하였다. 먼저 도면을 분석하여 체결관련 형상 중 일반적인 형태로 설계되어 모델링 재사용이 가능한 체결구조를 선택한 후 부품에 따라 변경되는 주요 파라미터를 결정하였다. 이렇게 선정된 파라미터를 기반으로 Relation 을 생성하여 파라미터 설계를 한 후 개발된 설계지원 통합시스템의 Dfd 카탈로그에 등록

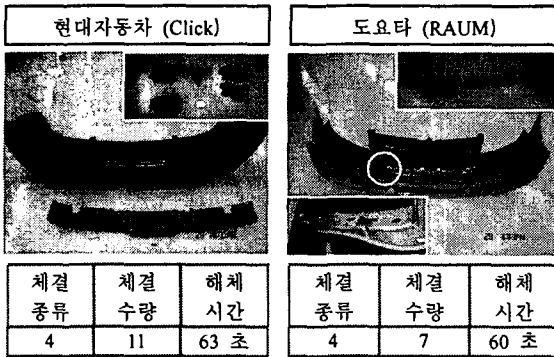


Fig. 9 Disassembly experiment of real car

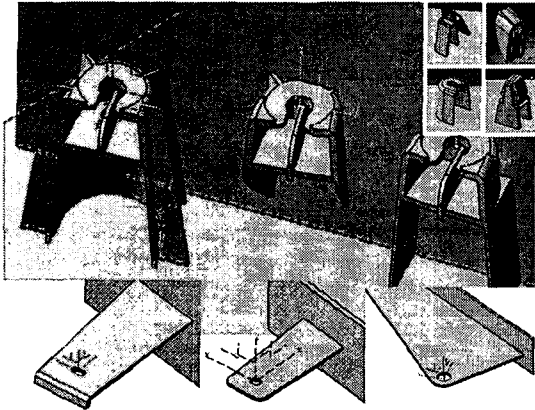


Fig. 10 Parameter design of boss

하여 체결요소 변경 시 호출하여 사용하였다

Fig. 10 은 본 논문에서 생성한 여러형태의 보스와 그 보스를 사용하여 설계된 파라미터 예를 보여주고 있다.

이렇게 생성된 UDF(User Define Feature)는 시스템내의 ‘체결요소 변경’ 모듈에서 호출하여 적용시키면 부품의 주변형상에 따라 최적의 형태로 자동 생성되어 위치하게 된다.

본 논문에서는 리싸이클을 위한 해체대상인 사시부품인 연료탱크, 내외장 트립류인 도어트림, 테일게이트 트림, 필라류, 램프류, 휠가드류, 범프류 등의 부품에 적용가능한 UDF 를 개발하여 적용하였다.

Fig. 11 은 CATIA 기반 해체용이 설계지원 시스템의 네 가지 기능이 CATIA 상에 구현된 모습을 적용 예와 함께 보여주고 있다. 체결요소 탐색에서 범퍼 조립군에 대한 체결요소 탐색결과를 조회하여 체결요소별, 부품별 정보가 생성된다. 이렇게 생성된 정보는 엑셀로 다운로드 가능하며 체결요소 변경 및 공구간섭 체크 등을 위한 기본정보로 사용된다.

체결요소 변경 모듈에서는 도어트림 조립군에 대하여 기존의 체결요소를 해체성이 용이한 위치로 이동하여 다른 체결방법으로 변경하는 예를 나타내고 있다. 변경하고자 하는 체결요소를 선택한 후 해체성이 좋은 체결요소를 DB 에서 호출하면 파라미터 설계된 보스중에서 최적의 보스가 자동

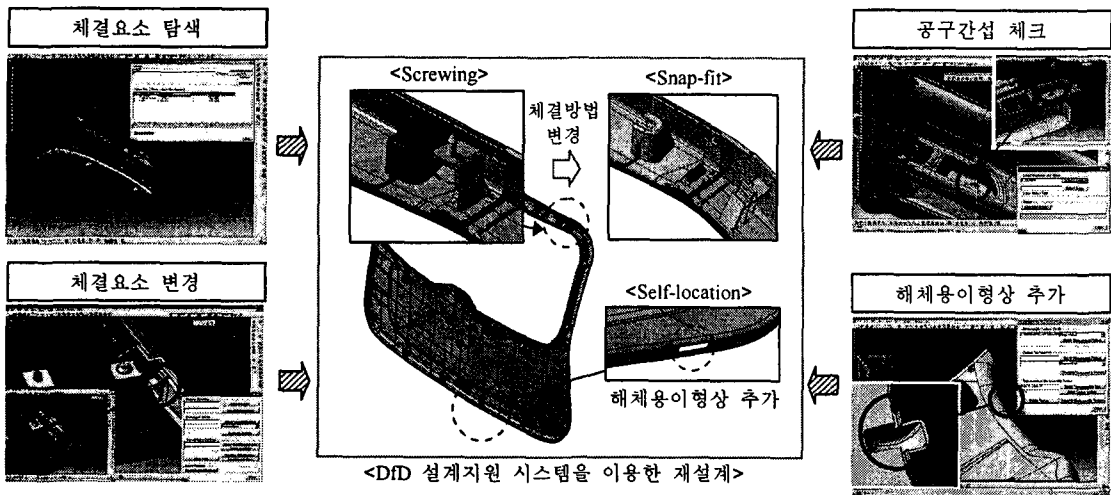


Fig. 11 DfD redesign using CATIA-based DfD system

적으로 선택된다. 본 논문에서는 이러한 보스를 패스너 보스, 스크류 보스, 스틸 클립 보스 등 총 14 가지 종류로 개발하였고, 체결요소의 예상 체결력, 형상 등에 따라 사용 가능한 보스의 종류를 1 차적으로 미리 설정하였다. 다음으로 특정 체결요소가 선택되면 특성값에 가장 근접한 파라미터값을 가진 보스가 자동으로 연결되며, 보스를 바꾸고자 할 경우에는 수동으로 특정 보스를 지정할 수도 있다. 최종적으로 선택된 보스가 주변 부품형상에 맞게 변경되어 체결요소와 함께 정해진 좌표상에 위치하게 된다.

공구간섭 체크 모듈에서는 도어트림의 암레스트 부분의 나사를 드라이버로 해체할 때 다른 부품과의 간섭정도를 시뮬레이션하여 그래픽적으로 보여주고 있다. 마지막 해체용이형상 추가 모듈에서는 테일게이트 트림에 해체가 용이하도록 손가락이나 공구가 쉽게 들어갈 수 있는 Self-location 을 추가하는 것을 보여주고 있다. 이러한 Self-location 은 자주 사용되는 형상을 미리 파라미터 설계한 후 카탈로그에 DB 로 저장하여 특정 부품의 특성에 맞게 호출하여 사용하였다.

그림 중앙의 해체용이 설계대안은 신형 카렌스 차종의 테일게이트 트림에서 나사에 의한 조립을 Snap-fit 에 의한 조립으로 체결방법을 바꾸어서 해체성을 향상시키고 체결요소 수를 줄인 사례이다. 또, 아래 부분에 해체를 위한 형상인 Self-location 을 부여하여 해체시간을 줄이고 부품의 손상을 최소화하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 최근 강화되고 있는 국내의 환경관련 법규에 대응함과 동시에 폐차처리 비용을 줄이기 위해, 동시공학적 개념에서 설계 단계의 CAD 모델링을 분석, 평가하여 해체성을 향상시킬 수 있는 실제 설계대안을 생성하는 통합 시스템을 개발하였다.

본 논문의 해체용이 설계지원 통합시스템은 현 제품의 해체성 평가를 통한 재설계 방향 설정 부분과 취약 부품에 대한 해체용이 재설계 대안 생성의 두 부분으로 구성되었다. 해체성 평가에서는 해체 시뮬레이션을 통하여 도출된 해체시간, 해체 순서 등의 정보로 해체 취약 특성을 파악하는 부분과 CAD 모델링 데이터를 이용하여 최적의 해체

경로와 해체 및 결합 구조도를 자동 생성하여 해체 취약특성을 파악하는 부분으로 구성되었다.

해체용이 설계대안 생성 부분에서는 최적의 설계원칙을 제시하는 전문가시스템과 해체용이 모듈화설계 지원시스템을 통해 재설계 방향을 설정하고, 해체용이 설계지원 시스템을 통해 실제 재설계 모델링을 생성한다.

향후 차량개발 시 본 논문에서 개발한 통합시스템을 통하여 해체성을 평가하고 새로운 해체용이 설계대안을 제공함으로써, 설계단계에서 해체성을 고려하여 추후에 발생하는 관련 비용을 최소화하고 환경관련 법규에도 능동적으로 대처할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 청정생산기술사업 지원에 의하여 수행되었음.

#### 참고문헌

1. European Parliament and of the Council, "Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on End-of-Life Vehicles," Official Journal of the European Communities, 2000.
2. Johnson, M. R. and Wang, M. H., "Operations for Recycling, Remanufacturing and Reuse," International Journal of Production Research, Vol. 36, pp. 3227 - 3252, 1998.
3. Boothroyd, G., Dewhurst, P. and Knight, W. A., "Research Program on the Selection of Materials and Processes for Component Parts," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 98 - 110, 1991.
4. Dewhurst, G., "Design for Disassembly - the Basis for Efficient Service and Recycling," Report No. 63, Dept. of Industrial Engineering and Manufacturing Engineering, University of RI, Kingston, 1992.
5. Simon, M. and Dowie, B., "Quantitative Assessment of Design Recyclability," International Forum on DFMA, Rhode Island, USA, 1992.
6. Mok, H. S., Moon, K. S., Park, H. S., Sung, J. H. and Choi, H. W., "Determination of Design Parameters



- for Automobile Parts Recycling,” Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 159 - 171, 2003.
7. Yi, H. C., Joo, H. H. and Park, Y. C., “A Study on the Method of Disassembly Time Evaluation of a Product,” Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 5, pp. 232 - 240, 2003.
  8. Srinivasan, H., Shyamsundar, N. and Gadh, R., “A Virtual Disassembly Tool to Support Environmentally Conscious Product Design,” Proceedings of IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp. 7 - 12, 1997.
  9. Spicer, J. and Wang, M., “A Software Tool of End-of-Life-Cycle Consideration within A DSS Approach to Environmentally Conscious Design and Manufacturing,” Computers & Industrial Engineering, Vol. 29, Issues 1-4, pp. 501 - 505. 1995.