

차량 개발 단계의 친환경설계 프로세스에 대한 연구

권재수, 이준하, 홍성준, 조희욱, 홍병권, 홍준희
현대자동차그룹

Study on Eco-design process in automobile development phase

Jae Soo Gwon, Joon Ha Lee, Sung Joon Hong, Hee Wook Cho, Byoeng Kwon Hong,
John Hee Hong
Hyundai Motor Group

Abstract

Recently the environmental regulations require automobile makers not only to set up the open loop resource recycling system by promoting the material recycling and remanufacturing in disposal phase, but also to apply Eco-design to their products in design phase. Hyundai Motor Group applies DfD(Design for Disassembly) and DfR(Design for Recycling) from conceptual design stage to production stage with the aspect of concurrent engineering. Eco-design guideline helps engineering designers to understand the necessity of Eco-design. The recyclability check sheets that include detailed design ideas classified by the polymer parts enable each designer to verify the product design by oneself. Furthermore, virtual recyclability inspection is performed in the digital product inspection stage which handles the virtual 3D modeling of products. All these activities became the official procedure in product development process. The DOROSY(Design fOr Recycling Optimizing SYstem) which is developed to help designers evaluate and modify their 3D design to generate the redesign alternatives and finally analyze the effect of environmental design change within a short time. Because DOROSY is based in CATIA which is familiar to engineering designers using the parametric designed template, engineering designer can apply the Eco-friendly idea to product design efficiently.

Key Word : Eco-design, DfD(Design for Disassembly), DfR(Design for Recycling), Concurrent engineering

1. 서론

최근 들어 급속도로 늘어나고 있는 폐자동차로 인한 환경오염 및 사회적 문제가 심각해짐에 따라 EU를 비롯한 일본, 중국 및 국내에서도 폐자동차 관련 법규가 제정되고 있다[1, 2]. 이러한 법규는 공통적으로 폐기 단계의 환경 부하 저감 및 재활용의 의무를 넘어서 생산자에게 설계 및 제조 단계의 친환경설계를 요구하고 있다.

하지만 지금까지의 친환경설계에 관한 학계와 기업체의 많은 연구는 제품의 완성 단계에서 환경

성을 정량적으로 평가 후 취약점을 분석하여 홍보나 후속 제품을 개선하는데 치중되어 왔다. Boothroyd의 DfS/DfE 프로그램, 삼성전자의 DfX, LG전자의 ATROID, BMW의 DAISY, 닛산의 OPERA, 르노의 AMETIDE 등이 대표적인 환경성평가 연구들이다. 하지만, 실제로 제품의 환경성을 향상시키기 위해서는 단순히 평가에만 그치지 않고 동시공학적 개념에서 환경성 개선이 가능한 설계 대안을 생성하고 적용하여야만 한다.

DfX는 설계 이후 발생하는 제품의 많은 특성들을 동시공학적 개념에서 설계 시 고려하는 것으로 정의할 수 있으며[3, 4], 이러한 설계 단계의 평가 및 개선을 통해 설계 기간은 다소 길어지지만 그 이후 제품 개발 프로세스 기간이 짧아지기 때문에 전반적인 제품 개발 일정 감소 및 비용 절감, 그리고 제품의 성능 향상에 큰 도움이 된다. 3D 기반의 CAD 기술이 발달함에 따라 설계 단계에 3D가상 제품을 구성할 수 있게 됨에 따라 점차 동시 공학적 설계, 즉 DfX는 확대될 전망이다. Fig. 1은 동시공학에서 주로 사용되는 DfX의 도식을 보여주고 있으며 많은 Design for X 중에서 본 논문에서는 환경 관련 부분인 DfR과 DfE[5, 6]등을 다루고자 한다.

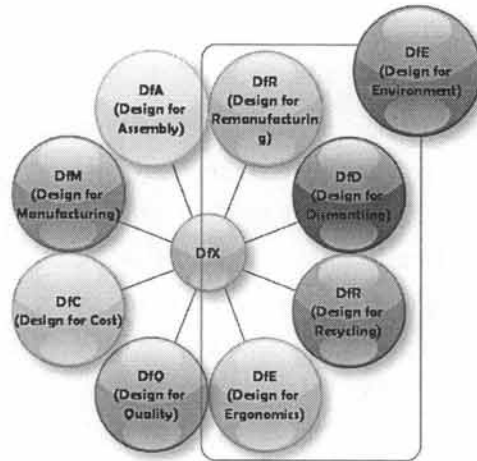


Fig. 1. Design for X 개념

2. 본론

Fig. 2는 차량 개발 전 단계에 걸쳐 수행되고 있는 친환경설계 프로세스를 보여주고 있다. 각 항목들은 가능한 이른 개발 시점으로 Front loading 되어 있으며, 이는 제품의 특성이 결정되는 가장 적절한 시점에 친환경설계에 대한 고려를 병행할 수 있도록 하기 위함이다.

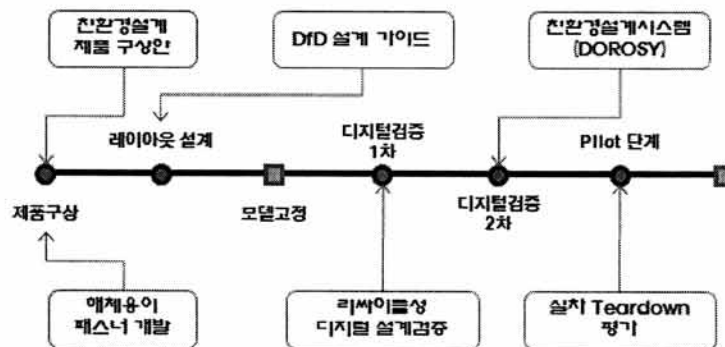


Fig. 2. 현대자동차의 개발 단계별 친환경설계 활동

2.1 친환경설계 제품 구상안

신차의 컨셉이 결정되는 제품 구상 단계에서 현대자동차에서는 친환경 차량을 개발하기 위하여 제품 구상안의 세부 항목 내에 환경 인자를 추가하여 조기에 타 항목들과의 비교, 분석을 통한 Trade-off가 이루어질 수 있도록 하고 있다. 본 구상안의 주요 내용은 부품의 재질 및 해체 특성에 관한 것이다. 부품의 구성 재질에 대한 논의는 대부분의 부품 재질이 결정되는 이 시점에 이루어지지 않는다면 적용이 어렵기 때문에 제품 구상안에 친환경재료에 대한 논의를 추가하여 이후의 상세 설계 시점에 그 재료에 맞는 설계를 할 수 있도록 하고 있다. 또한 해당 부품의 해체용이 설계안을 기존 차종을 기준으로 상세하게 제공하여 설계자에 의한 반영이 쉽도록 하고 있다. Fig. 3은 프라이드 후속 차종에 적용되었던 친환경설계 제품 구상안의 주요 내용이다.



Fig. 3. 친환경설계 제품 구상안

2.2 해체용이 체결 요소 개발

일반적으로 차량이나 부품의 해체 및 리사이클에서 체결요소의 해체성은 부품 전체의 해체성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 해체가 용이한 패스너를 개발함으로써 해체 시간을 줄여 사용 단계 이후에 발생하는 정비, 폐차 비용을 줄일 수 있도록 하고 있다.

Fig. 4는 해체성 개선품으로 선행 개발되어 현재 양산 적용 중인 신규 패스너를 보여주고 있다. 기존 패스너의 해체성을 개선하기 위하여 회전 후 탈거 방식이 아닌 원터치 해체 컨셉으로 설계되어 사용 공구를 줄여 해체 시간을 감소하고 장시간 사용 후 해체 시 패스너의 파손을 방지하여 재료비 절감에도 효과가 있어 현재 양산 차량에 확대 적용 중이다.

2.3 DfR 설계가이드

차량 및 부품의 설계에는 제품의 기능, 내구성, 품질, 원가 등 많은 설계 인자들이 고려되게 된다. 현대자동차에서는 이러한 설계 인자에 해체 및 리사이클을 하나의 설계 인자로 추가할 수 있도록 각 설계자에게 DfR 설계가이드를 제공하고 있다. 본 가이드에는 부품별, 구성 재질별 체결 방법 및 위치에 대한 세부 내용이 포함되어 설계자가 직접 부품 설계 시 제품의 환경성 부분을 타 설계 인자와 동일하게 고려하여 설계할 수 있다.

예를 들어, 동일한 재질 혹은 리사이클 시 같이 처리할 수 있는 재질로 이루어진 부품간의 조립인 경우에는 별도의 체결요소를 사용하지 않고 Hot stack 용착을 통해 조립한다면 재활용 시에 부품 해체 시간을 상당 부분 절감할 수 있다. 반대로 상이한 재질간의 조립은 용착을 배제하고 체결요소를 사용하여 조립하여 리사이클 시에 재질 분리가 쉽도록 하는 등 구체적인 부품의 재질에 따른 조립 방법을 제시하고 있다.

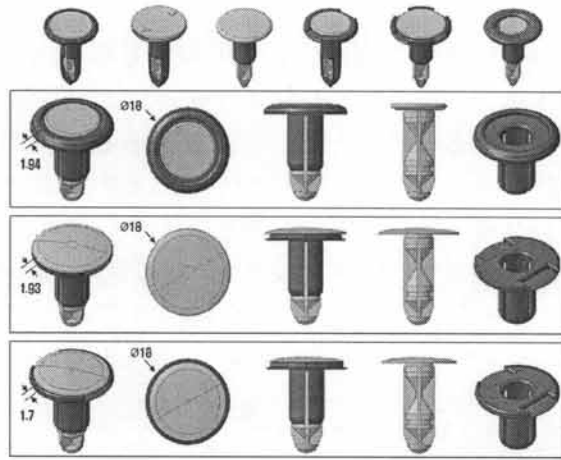


Fig. 4. 해체용이 체결 요소

Fig. 5는 RR BUMPER의 DfR 설계가이드의 주요 내용을 보여주고 있다. 부품간의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 DfR을 위한 가이드를 배포하여 각 설계자에게 친환경설계의 목적 및 필요성을 환기시키고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.

구분	부품명	설계 가이드 예시
UPD	Part No.	
		<p>중재</p> <p>BACK BEAM과 RR BUMPER COVER의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>구조</p> <p>설계 시점에서 COVER의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>재료</p> <p>THE ADDY TRIM을 위한 부속을 위한 가이드</p>
		<p>구조</p> <p>THE ADDY TRIM을 위한 부속을 위한 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>중재</p> <p>BACK BEAM에 체결되는 부속의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>구조</p> <p>BACK BEAM에 체결되는 부속의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>재료</p> <p>설계 시점에서 THE ADDY TRIM을 위한 부속의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>
		<p>구조</p> <p>설계 시점에서 THE ADDY TRIM을 위한 부속의 체결 부위가 구체화되는 상세 설계 시점에 배포되는 가이드를 통해 친환경 설계를 위한 목적을 명확히 하고, 이를 달성할 수 있는 구체적인 가이드를 제공하여 설계자가 직접 자신의 설계에 친환경적인 요소를 적용할 수 있도록 하였다.</p>

Fig. 5. DfR 설계 가이드

2.4 리사이클성 디지털 설계 검증

현대자동차에서는 3D 모델링을 통한 가상 차량을 구성하여 설계 단계에서의 차량 평가 및 개선을 할 수 있는 디지털 설계 검증 프로세스를 운영 중이다. 이러한 디지털 검증을 통하여 Prototype 제작에 소요되는 많은 비용을 줄이고 좀더 신속한 설계 검증 및 개선이 이루어질 수 있다.

제품의 간섭, 간극, 정비성 및 상품성 등의 평가를 설계 시점에 동시에 병행함으로써 후속 조치로 이루어지던 개선 작업을 Front loading하여 설계 이후의 개선 활동을 최소화하고 있으며, 앞서 언급된 항목에 리사이클성 체크를 추가하여 친환경설계 제품 구상안과 DfR 설계 가이드의 주요 내용이 각 부품에 반영되어 있는지 여부를 설계 시점에서 체크하게 된다. 제품의 형상이 결정되어 가고 있는 설계 시점은 설계 변경에 대한 자유도가 높기 때문에 여러 가지 원인으로 인한 설계 변경 항목에 리사이클 및 해체에 대한 고려를 추가할 수 있도록 하고 있다.

Fig. 6은 DR TRIM과 CLUSTER FACIA의 체결요소에 대한 해체 작업을 DELMIA로 시뮬레이

선한 결과를 보여주고 있다. CLUSTER FACIA의 경우 상방향 체결이며 작업 공간이 협소하기 때문에 개선이 필요한 사항이며 현재 출시되는 대부분의 차량은 본 부품의 해체/조립 방법이 개선되어 적용되고 있다.

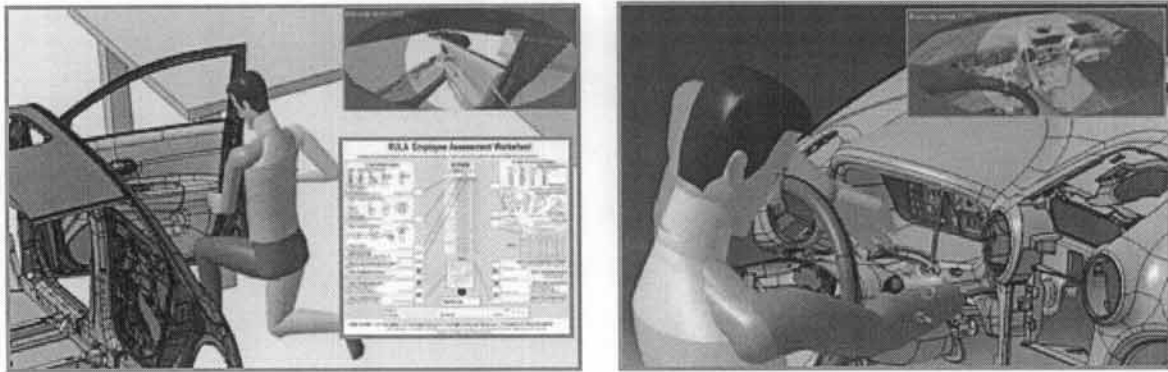


Fig. 6. DELMIA Human simulation

3D 모델링으로 구성된 가상의 차량에 DELMIA DPM Assembly를 적용하여 차량의 해체 순서 및 공정에 대한 검토를 실시하고 DELMIA Human을 통한 Rula(Rapid upper limb assessment) 분석을 통해 작업자의 해체 자세나 반복 실행 시의 몸에 피로도를 분석하여 공구 삽입이 어렵거나 해체가 난해한 부품의 체결점의 위치를 조정하고 있으며, 체결 방법에 대한 변경 또한 제시하고 있다.

DELMIA Human은 시뮬레이션 작업 시 속도와 시간의 Term을 선택할 수 있도록 되어 있어 평가자가 시뮬레이션을 통한 작업 시간 분석에 많은 어려움이 따르게 된다. 이에, 현대자동차에서는 Human 시뮬레이션과 실차 Teardown 평가를 비교 분석하여 실제 해체 작업과 동일한 Time Gap으로 시뮬레이션을 제작하고, 각 공정별 동작에 대한 속도를 DB화 하여 실제 해체 작업이 이루어지는 상황과 동일하게 해체시간을 측정할 수 있도록 하여 향후 실차 Teardown을 통한 해체용이성 평가를 설계 단계로 디지털화 할 수 있는 기반을 마련하였다.

또한 이를 토대로 실차 해체 공정을 시뮬레이션하여 향후 Digital ELV dismantling plant를 위해 업무 확장을 추진 중이다. 폐자동차의 해체 공정을 시뮬레이션함으로써 각종 해체 설비 개발하여 보급하고 이 과정에서 도출된 DfR, DfD 개선 아이디어들은 그대로 각 설계팀에 피드백되어 신차 개발 시에 적용될 수 있도록 하고 있다.

Fig. 7은 DELMIA로 시뮬레이션된 자동차 해체 공정을 보여주고 있다.

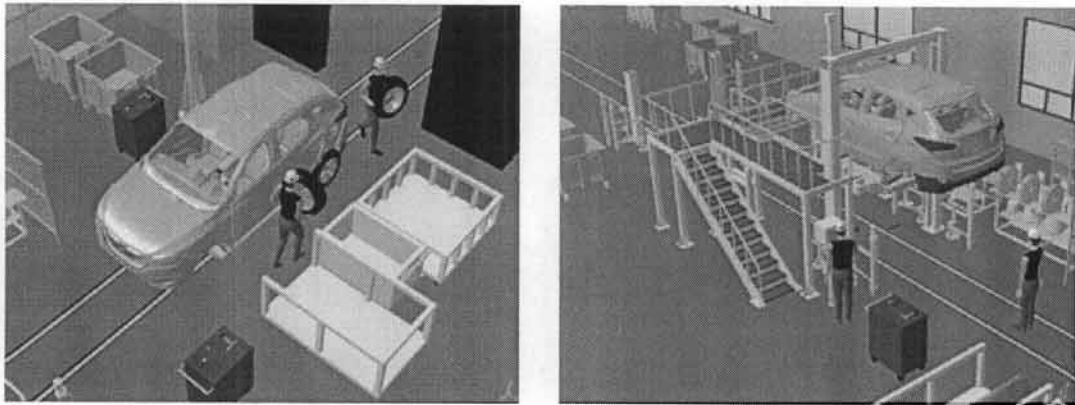


Fig. 7. Digital ELV dismantling simulation

2.5 친환경설계지원시스템(DOROSY) 개발

일반적으로 친환경설계 관련 시스템은 웹 기반이나 상용 언어로 제작되어 있으며 대부분 설계자 보다는 전문적인 평가자에게 적합하도록 알고리즘이 제작되어 있다. 이는 시스템 상에서 많은 입력 데이터를 필요로 할뿐만 아니라 최종 결과물은 개선에 대한 방향성을 제시할 뿐 구체적인 설계 대안을 제시하지 못하는 한계를 가지고 있다. 현대자동차는 세계 최초로 CATIA 기반의 친환경설계지원 시스템(DOROSY : Design fOr Recycling Optimization SYstem)을 개발하였다. 본 프로그램은 3D CAD 기반으로 모든 기능들이 CAA(Component Application Architecture)로 코딩되어 CATIA 내에 삽입되어 있기 때문에 기존 시스템들과는 달리 평가자 이외에 설계자가 직접 활용이 가능하며 추가적인 입력이 필요 없이 3D CAD 모델링을 입력하여 분석/재설계/평가를 거친 3D 모델링이 결과물로 제공된다는 것이 가장 큰 특징이다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 본 시스템은 크게 3가지 모듈로 구성되어 있다.

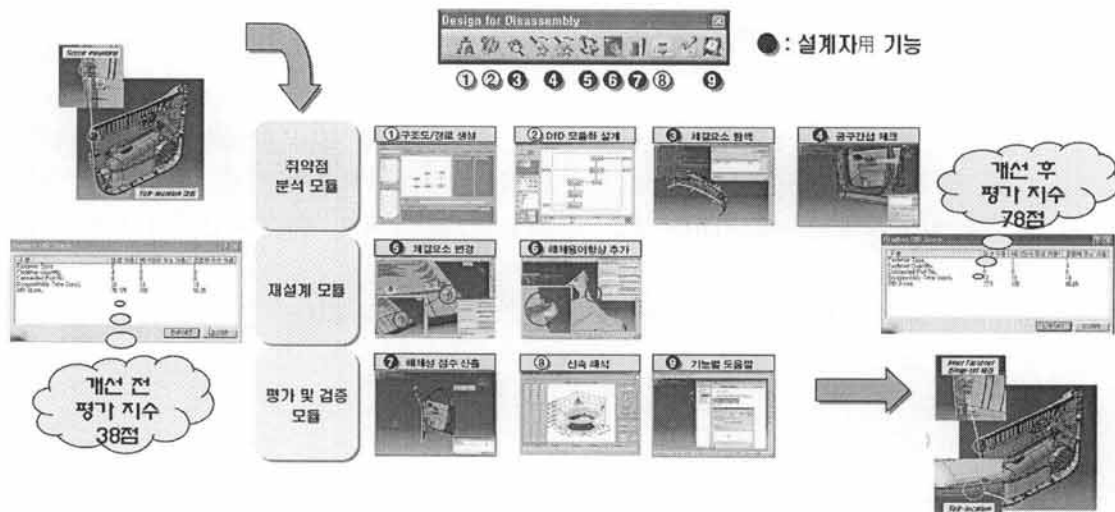


Fig. 8. 친환경설계 지원시스템(DOROSY) 개요

첫째, 기존 모델을 입력 받아 환경성(해체용이성)을 평가하여 취약점을 분석할 수 있는 분석 모듈이다. 본 모듈은 해당 부품군의 Entity 간의 거리를 측정하여 각 부품간의 연결 관계 및 체결 정보를 자동 산출하는 체결요소 탐색과 탐색된 체결요소에 대하여 자동으로 공구를 회전하며 간

쉽 체크를 실행할 수 있는 공구 간섭 체크 기능으로 구성되어 있다.

두번째로 취약점으로 분석된 모델링을 변경할 수 있는 재설계 모듈로, Parametric 모델링을 활용하여 체결요소와 Boss 및 체결 Hole 등의 체결 인접 형상을 연결한 뒤 체결요소를 통해 인접형상이 동시에 변경될 수 있도록 제작된 체결요소 변경 기능과 부품의 해체를 시작할 수 있도록 해체 시작점(Self-location)을 삽입할 수 있는 해체용이형상 추가 기능으로 구성되어 있다.

마지막으로 평가 모듈은 이렇게 재설계된 전체 모델링의 개선 결과를 평가할 수 있는 모듈이며, 개선 모델링을 입력하여 해체와 관련된 각 항목을 평준화하여 제공되는 해체성 평가지수를 자동 산출할 수 있는 기능과 신속 해석 기능으로 이루어져 있다.

더불어 본 시스템은 체결 형상에 대한 Parametric 모델링을 통해 반복적으로 진행되는 부품 설계의 특정 체결 형상 모델링 시에 설계자가 최소한의 입력 값으로 특정 형상을 삽입하고 편집할 수 있도록 되어 있어 플라스틱 부품 설계 시 많은 활용이 이루어지고 있다.

DOROSY는 현대자동차 전 설계팀 및 협력사에도 배포가 완료되어 완성차뿐만 아니라 각 부품까지 친환경설계가 적용될 수 있도록 하고 있다.

Fig. 9는 DOROSY를 활용하여 실차 모델링을 개선한 예를 보여주고 있다. 외부 체결 요소를 통한 부품 조립을 최소화하고 하단부에 해체 시작점을 적용하였다.

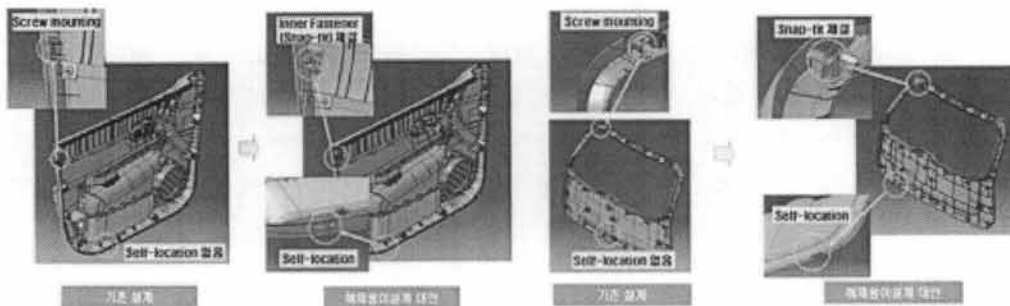


Fig. 9. 실차 모델링 개선

2.6 실차 Teardown 리사이클성 평가

차량 개발이 진행되어 Prototype 차량이 제작되는 시점에는 실차 Teardown 분석을 통해 디지털 시뮬레이션으로 검증하기 어려운 세부적인 해체 및 리사이클성 평가하고 있다.

재활용 대상 부품의 전체 해체 평가를 통해 부품별 체결요소의 정보, 해체 시간 및 해체 작업성을 평가하여 해체 및 리사이클 관련 raw data를 산출하고 이러한 data는 Web 기반의 해체성평가 DB 시스템을 통해 차량별로 관리되며 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법으로 평준화하여 차량별로 산출할 수 있고 이렇게 산출된 결과 및 리사이클성 개선 사항을 각 차종별로 정리하여 설계자에게 제공함으로써 환경성 개선의 기초 데이터로 활용되고 있다.

위와 같은 산출 프로세스는 Web기반 시스템으로 제작되어 평가자 및 설계자에게 제공되고 있으며 Fig. 10은 해체성평가 DB 시스템의 화면을 보여주고 있다.

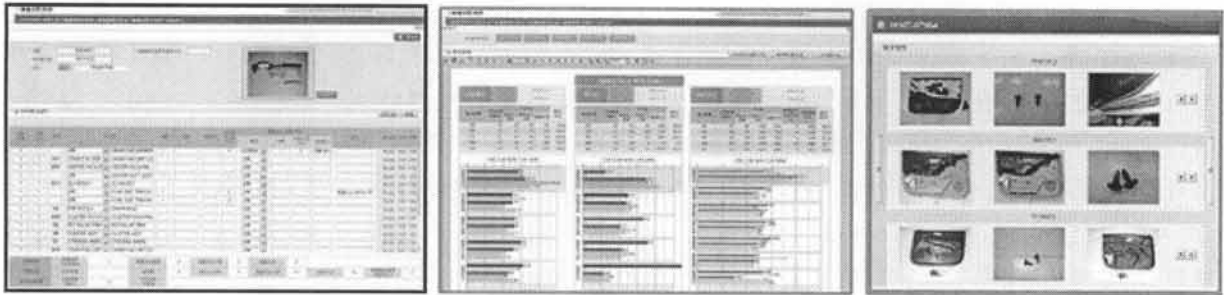


Fig. 10. 해체성평가 DB 시스템

3. 결론

자동차는 많은 부품의 조립체로 각 부품 및 그 구성품은 전체의 기능 및 내구성을 유지하기 위한 각각의 요구 사항을 갖고 있으며 그러한 부품에 대한 변경은 부가적으로 많은 검증 및 평가를 수반하게 된다. 현대자동차는 '03년도부터 친환경적인 자동차를 만들기 위한 연구를 지속하였으며 그 결과 본 논문에서 언급된 많은 활동들이 제품 설계 단계에서 활발하게 이루어지고 있고 이러한 개선 활동의 결과물은 현재 생산되고 있는 현대자동차에 그대로 반영되고 있다.

이러한 제품 개발 단계의 친환경설계 활동을 통해 국내외로 강화되고 있는 폐자동차 관련 환경 법규에서 요구하고 있는 폐자동차의 재활용 및 재회수율을 만족시키며, 그에 소요되는 각종 비용을 최소화함으로써 궁극적으로 폐자동차 관련 폐기물을 제로화하여 자원 재순환을 이룩할 수 있을 것으로 생각된다.

Reference

- [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] 환경부, "전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률", 환경부, 2007
- [3] Tsai-C, Kuo., Samuel H, Huang., Hong-C, Zhang., "Design for manufacture and design for 'X':concepts, applications, and perspectives", Computers & Industrial Engineering, Vol. 41, pp 241-260, 2001.
- [4] Boothroyd, G., Radovanovic, P., "Estimating the cost of machined components during the conceptual design of a product", Annals of the CIRP, Vol 38(1), 157.
- [5] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. A., "Research Program on the Selection of Materials and Processes for Component Parts", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 6, pp. 98-110, 1991.
- [6] 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.