

# **The Digital Mock-Up Information System for New Car Development**

Sung Ki Min\* & Chul Woo Lee\*\*

Technical Center, Dae-Woo Motor Co.(DWMC)

## **Abstract**

Since Chrysler Motor Co. had experienced the digital development system in the beginning of 1990's, most of leading automobile companies are trying to apply a digital information system for their own business process reengineering based upon concurrent engineering system from product planning phase. This is called as virtual DMU(Digital Mock-Up) system instead of the traditional PMU(Physical Mock-Up) system. By using the virtual prototype, all of the design requirements and system specifications can be checked, changed and optimized more quickly and more efficiently.

This paper consists of five chapters for the DMU information system. In the 1<sup>st</sup> chapter, the principle of digital design system is suggested by using four basic modules such as product design module, process design module, manufacturing system design module and central control module. The basic scheme of DMU is introduced with the benefits of application in the chapter 2. In the chapter 3, a digital design process of new car development is explained with the detailed DMU design and design review processes. In the chapter 4, the practical DMU manufacturing techniques and applications are introduced as CAD/CAM analyses, DPA(Digital Pre-Assembly)reviews for development, production, operation and maintenance phases, digital tolerance analyses and digital factory analyses for assembling line simulation, automated robot welding processes, production jig & fixtures and painting process simulation. Finally, the activities of digital design support; CAS-styling, CAE-engineering and CAT-testing are summarized for design optimization in the chapter 5.

As today's automobile manufactures and related business organizations are struggling to compete in the global marketplace, they are concentrating on efficient use of DMU information system to reduce the new car development cost, to have shorten the delivery schedule and to improve product design quality. To meet the demand of those automobile industries on digital information systems, the CALS(Computer aided Acquisition and Logistics Support) and EC(Electronic Commerce)initiative has been focused as a dominant philosophy in defense & commercial industries, specially automobile industries .

---

\* Min, Sung Ki, Ph.D., Executive Managing Director, DWMC Tech. Center, Inchon, Korea

\*\* Lee, Chul Woo, Senior Researcher, Proto dept.1, Pupyung Technical Center, DWMC, Inchon, Korea

## 1. DMU 설계시스템

제품개발절차에서 상품을 기획하고 요구상품을 구상하는 제품개발 초기단계(Product Design Phase)에, 프로세스설계(Process Design) 및 제조시스템설계(Manufacturing System Design)에 대한 의사결정이 동시에 이루어질 수 있도록 하는 시스템이 곧, 컴퓨터를 활용한 디지털 설계시스템이다. 디지털 설계시스템에 입력되는 요소로서는 상품요구사항, 생산능력 및 그 회사의 향후개발, 생산 및 판매전략과 이에 따른 각종 제약사항이 포함되어 있다. 이를 바탕으로 제품설계시스템에서 기하학적 3D 도면을 이용하여 제품설계모델 DMU(Digital Mock-up)를 만들어 나간다. 각종 설계 요구사항을 종합한 다음 이를 최초 요구사항과 비교하여 분석 평가하게 된다. 그 결과를 피드백하는 과정을 통해 설계 시스템 최적화(Optimization)를 이루어 나간다. 동시에 생산공정에 관한 프로세스 설계 시스템으로 생산공정의 선택, 생산기계 및 장비의 선정, 치공구의 선정, 조립공정 및 조립장비의 선정 그리고 작업순서를 설계하게 된다. 이와 같은 제품설계와 프로세스설계를 바탕으로 기존 생산라인에서 발생하는 제반문제점을 미리 분석하고 사전 대책을 수립하기 위해 제조시스템을 설계하게 된다. 이를 위해 요구 생산시스템을 시뮬레이션하여 모델화 하고 이를 시험평가한 다음, 문제점 분석을 통해 최적생산라인을 구상하게 된다. 이와 같이 컴퓨터를 활용한 디지털 설계시스템에서 시작차를 제작하기 전에 최적의 제품 설계, 최적의 프로세스설계 및 최적의 제조시스템 설계를 도출함으로써 제품개발기간단축, 제품개발비용절감 및 제품품질향상을 위한 제반대책을 구상하게 된다. 상기 세 가지 설계시스템 즉, 제품, 프로세스 및 제조시스템 설계에 관한 독립적인 모듈을 서로 협력하여 조화를 이루어 최적화하기 위해 중앙 통제시스템을 활용하게 된다[1]. 디지털 설계시스템을 구성하고 있는 네 가지 모듈에 대하여 좀더 상세하게 살펴보기로 하자.

### 1.1. 제품 디지털설계모델

동시공학(Concurrent engineering)기법을 적용함에 있어서 무엇보다 중요한 것은 3D 모델링, 즉 DMU 를 컴퓨터로 만드는 기술이다. 일반적으로 제품 디지털설계모델에 있어서 3D 파라메트릭 설계시스템을 형성할 수 있는 설계지원시스템을 구성한다. 그림 1 의 요구된 설계사양(Design Specification)에 적합한 설계통합(Design Synthesis), 설계대안 평가, 그리고 설계최적화를 이루어 나가게 된다. 이는 제품형상에 기초한 기하학적 설계지원시스템으로 이루어진다. 이는 제품을 구성하고 있는 각종 서브시스템과 부품들의 형상에 관한 정보셋트를 활용하여 각종설계 요구특성과 제작에 관련된 사항들을 사전에 분석하여 최적화하는 활동을 말한다. 일반적으로 부품에 대한 형상기준 모델(Feature-based model)은 형상을 식별하는 것과 형상에 의해서 설계하는 두 가지 방법을 사용하고 있다. 그러나 이 두 가지 방법을 결합해서 사용하는 방법이 동시공학적 환경하에서 가장 효율적인 방안으로 사용되고 있다.

실제로 발생하고 있는 설계문제점 분석 시, 발생하는 문제점에 따라 여러 가지 다양한 형태의 형상이 요구되기 때문에, 그 문제에 적합한 새로운 형상 모델을 다양한 설계 형

상들로부터 도출하는 것이 바람직 하다. 이와 같이 형상 변환개념에 의해서 제안된 시스템은 사용자로 하여금 식별되어진 형상들을 사용하여 부품을 설계하거나, 형상도출 방법을 통해 다른 어플리케이션으로 형상을 식별할 수가 있다. 이러한 목적을 위해 형상의 정의와 분류에 있어서 국제 표준 모델로서 ISO10303의 STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data))을 일반적으로 널리 사용하고 있다.

설계지원시스템에 있어서 재설계 프로세스는 공식평가 절차에 따라 수행되어진다. 왜냐하면 개념설계가 제품설계 초기에 이루어지기 때문에 대부분의 실질적 문제점들을 미리 도출한 다음, 이를 재설계 프로세스 절차에 따라 조치해 나갈 수 있다. 만일 이러한 초기개념설계가 없다면 여러 가지 대안중에서 반복적 재설계 과정을 거쳐서 창출해 내어야 한다. 지식을 기반으로 한 수치적 최적화 접근방법을 사용할 때 반복적 재설계를 통한 설계평가는 더욱더 쉽게 이루어지게 된다. 이러한 과정을 통해 파라메트릭 형상 기준모델과 기타 연관된 어플리케이션에 사용되어지는 제반 설계 파라메타들을 얻을 수 있게 된다.

### 1.2. 제품프로세스 설계모델

제품 프로세스 계획을 수립하기 위하여 지식기반 접근법을 일차적 도구로 활용하게 된다. 그림 2-1에 프로세스 설계모델의 주요 활동사항을 예시하고 있는데 프로세스 계획 수립에 관한 지식이 체계적으로 도출되고, 분류되어지며, 생산요소 및 공정에 따라 체계화 되어진다. 서술해야 할 내용은 부품명과 이와 연관된 개별요소들로서, 일반적으로 원자재, 허용공차, 가공방법, 금형 및 치공구 등이 포함되어 있다. 생산 프로세스는 생산공정 즉, 작업방법, 기계 및 설비의 선정, 치공구의 선정, 가공 파라메타의 선정 및 공정순서의 선정 등이 포함되어 있다.

설계형상은 형상인식을 통해 프로세스 계획을 수립하기 위한 형상으로 변환되어진다. 그리고 3D 모델링 데이터로부터 개별형상들을 도출하기 위해서 페이스-에지 그래프(Face-edge graph)에 기초한 알고리즘을 사용한다. 또한 밀링, 드릴링 및 터닝과 같은 기계가공 공정방법은 제품형상인식을 통해 결정된다. 나아가 금형과 치공구는 원자재, 표면거칠기, 허용공차 및 칩수를 고려하여 선정 되어진다. 이와 같은 프로세스에서 가공커트의 깊이, 속도 및 이송 등의 가공 파라메타들은 상세 프로세스계획 수립을 위해 선정 되어진다. 이와 같이 작업공정순서를 포함한 모든 생산공정이 최종적으로 결정된 이후, 수립된 프로세스계획에 따른 작업지시서가 생산공장에 이관되어 검토되어 진다.

### 1.3. 제조시스템 설계모델

이에 대한 주기능은 생산공장 배치, 단위시간당 생산량, 설비활용 및 작업량과 같은 생산환경에 연관된 다양한 특성정보를 제공하는데 있다. 이 모델은 생산효율측정, 진단시스템 운용효과, 병목 프로세스발생여부에 관한 모든 자료를 분석한 다음, 이에 대한 최적공장시스템을 설계하게 된다. 이 모델의 주요기능은 그림 2-2에 나타난 바와 같이 제조 데이터베이스 통합, 효과분석, 출력 시뮬레이션분석, 경제성 분석을 실시한 후 최적 설계대안을 제시하는 절차로 되어 있다.

제조시스템에 대한 최초설계는 제조 데이터베이스로부터 연관 데이터를 분석한 다음, 이를 활용한 생산능력 및 생산효과 분석모듈을 이용하여 수행되어 진다. 이러한 효과분석을 위해 행렬식 네트워크에 기초한 분석기법과 시뮬레이션 모델링을 종합한 하이브리드 방법을 주로 사용하고 있다. 최종적으로 경제성 분석과 함께 제조프로세스의 병목현상을 점검한 다음, 최적 제조설계방안을 도출해 나간다.

#### 1.4. 중앙통제모듈

일반적으로 중앙통제모듈은 그림 3에 나타난 바와 같이 중앙에서 조종통제하는 관리자와 모든 현황을 종합기록한 게시판을 운영하게 된다. 이 모듈은 앞에서 언급된 세 가지 모듈에 대한 데이터베이스를 균형있게 배분할 수 있도록 상호협력 게시판시스템(Blackboard System)을 활용한다. 이렇게 함으로서 여러 가지 발생된 문제점에 대하여 종합적인 최적 안을 도출할 수 있다.

이 모듈에서 사용되고 있는 게시판 시스템은 모든 문제점과 각종 해결대책, 각종 제시안 및 관련정보에 대한 일종의 데이터보관 창고로서, 나아가 최근 발표된 각종 지식정보들을 유동적으로 적기에 활용할 수 있는 라이브러리 구축에도 유용하게 활용되어진다. 본 게시판에 대한 관리자는 동시병행적인 통제계획을 수립하여 각 모듈에 대한 중간검토 및 최종결과를 명료하게 관리함으로써 매우 효과적인 기능을 달성하여야 한다. 또한 중앙통제모듈 관리자는 재설계 프로세스를 일차 조종하고, 모듈상호간 활동을 실시간 협력 조종하며, 시스템의 문제점을 해결하기 위한 각종활동을 통해 요구된 지식정보와 데이터베이스를 찾아내어 식별해 주는 역할을 다해야 한다. 또한 세 가지 모듈 상호간에 발생할 수 있는 문제점을 동시설계에 반영하여 조기에 시스템 상호간의 마찰을 없애 주고, 각 단계에서 점진적인 향상을 통해 설계통합에 대한 최적안을 마련하는데 최선을 다해야 한다.

여기서 제시된 디지털 설계시스템은 제품을 설계하고 생산하는데 있어서 각종 고려사항들을 사전에 비교 검토하여 결과적으로 최초상품 요구내용에 부합된 최적시스템을 설계하는데 그 목적이 있다. 이는 기본적으로 동시공학개념이 근본적인 바탕을 이루고 있다. 이를 적용함에 있어서 각 회사마다 신제품 개발 절차에 따라 제품과 프로세스를 통합하여 각종의사를 결정하는 최적설계시스템을 만들어 품질, 비용 및 기간에 혁신적 전환의 뉴 패러다임으로 발전시켜 오고 있다.

## 2. DMU 기본구성요소

오늘날 선진 자동차회사들은 컨커런트 엔지니어링을 기반으로 한 자동차 개발 프로세스 혁신의 일환으로 제품개발초기부터 디지털 설계를 시도하고 있다. 이를 가리켜 DMU(Digital Mock-up)라고 부르고 있는데, 이는 컴퓨터를 이용하여 실물모형을 대신하는 가상모형을 만드는 것이라고 정의할 수 있다. 이를 '가상시작품'의 개념으로서 'Virtual Prototype'이라고도 부르고 있는데, 이와 반대로 '실제 시작차'를 제작하는 활동을 가리켜

PMU(Physical Mock-up)라고 부르고 있다. 일반적으로 차량개발절차에 따라 DMU 구성요소에 대한 기본적인 요소들을 도식하면 그림 4 와 같다.

DMU 요소에는 디지털 스타일링(Computer Aided Styling), 3D 디지털설계 및 제작(Computer Aided Design & Manufacturing), 디지털 조립(Digital Pre-Assembly)과 공차분석(Tolerance Analysis), 및 디지털 해석과 시험(Computer Aided Engineering & Testing) 그리고 생산공정과 조립순서를 설계 검증하는 디지털 생산공장(Digital Factory) 등이 있다. 이를 지원하기 위하여 각종 디지털 데이터를 생성하고 저장하며 관리하는 제품데이터관리(Product Data Management)시스템과 관련협력업체와의 상호협력지원 활동이 있다. 먼저 DMU 를 설계·제작하는 CAD/CAM 활동과 이를 조립하는 DPA 활동 및 공차분석, 디지털 생산공장 설계 및 검증활동을 제시한 다음, 디지털 스타일링(CAS), 해석 및 시험(CAE&CAT)에 관한 각종 설계지원활동을 기술하고자 한다. 그림 5 에 DMU 를 활용하여 신차를 개발하는 과정을 PMU 를 활용하는 경우와 서로 비교하여 설명하고 있다. 만일, 여러 가지 어려운 개발환경을 극복하여 그림 5 에서 처럼 DMU 사업을 추진하게 된다면, PMU 제작대수를 줄이고 시험횟수 감소를 통한 비용절감 효과와 함께 개발기간 단축효과를 함께 도모할 수 있다. 이외에도 개발관련 설계 및 설계검증 요원 상호간 실시간 업무처리 에 따라 투명성을 제고 시키고, 업무효율화 및 개발관련정보의 데이터베이스화로 제품개발이후 생산, 판매 및 서비스 활동에 부수적으로 매우 큰 효과를 가져오게 된다. 이에 대한 효과를 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

첫째, DMU 환경에서 여러 가지 다양한 새로운 제품개발 방법론을 도출하게 된다. 사용자는 시간이 오래 걸리고 제작비용도 비싼 시제품을 만들기 전에 눈앞에 놓여진 가상문제와 3차원 디지털 모델링을 이용 함으로서 보다 더 직관적인 방법으로 설계를 수행할 수 있게 된다. 이와 같이 컴퓨터 모델중심의 설계가 이루어질 경우, 개발관련 요원들은 보다 다양한 설계 및 생산 대안을 가상공간 내에서 적은 비용으로 비교 검토할 수 있다. 뿐만 아니라 기존의 설계단계, 시제품 제작 및 시험과정을 통해 수 없이 변경해 온 설계과정을 대폭적으로 줄여나가는 동시에 효율적인 최적설계를 보다 빨리 수행할 수 있다.

둘째, 설계품질의 원류적 접근 및 관리가 가능하다. DMU 를 통해 제조과정에서 나타날 수 있는 다양한 생산공차와 변형을 통계적인 표준산포에 따라 시뮬레이션 함으로서 그 결과를 다양하게 비교 검토해 볼 수 있다. 이를 통해 현재 설계내용이 제조과정에서 어느 정도의 오차분포를 가져올 것인가를 실제 생산에 들어 가기 전에 이를 분석, 이에 따른 품질문제점을 사전에 도출하여 수정하는 것이 가능하게 된다. 이와 같이 최상의 품질을 사전에 유도할 수 있는 설계가 가능하다.

셋째, 생산공정 및 조립의 사전 검증과 최적화가 가능하게 된다. DMU 를 생산공정에 적용하여 NC 가공, 프레스, 용접, 로봇트, 컴퓨터 제작, 조립 등에 대한 공정 시뮬레이션이 가능하게 된다. 이를 통해 사전 생산성 검증과 함께 문제부위에 대한 사전 수정도 가능하다. 더 나아가 제품과 생산 프로세스간의 사전 조율로 보다 빨리 최적화를 도모할 수 있다.

넷째, 실제 제품이 만들어지기 전에 고객참여로 고객만족(customer satisfaction)의 질을

향상시킬 수 있다. 생산이전에 제품의 완성된 모습을 가시화 할 수 있기 때문에 미래의 고객으로 하여금 초기 설계단계부터 제품평가를 수행하고 추가적인 고객 요구사항을 미리 반영할 수 있다. 이와 같이 DMU가 고객설계 참여의 기반을 제공해 주고 있다고 하겠다.

다섯째, 개발과정에서의 설계 및 설계검증 활동내용을 개발담당 요원별로 투명하게 관리할 수 있다. 기존의 방법과 절차에서 수록되기 어려운 데이터들이 DMU를 활용하게 되면 모든 데이터들이 실시간에 기록되어짐으로 누가 언제 어떻게 무엇을 수행했는지 그 과정에 대한 책임 소재가 분명히 나타나게 된다. 따라서 문제 발생시 그 원인을 규명하고 처방하는 활동도 보다 빠르고 분명하게 된다.

여섯번째, 개발관련 데이터 인프라를 구축함으로써 지나간 프로젝트에서 얻어진 각종 경험들을 다음 프로젝트에 반영하기가 쉬우며, DMU를 개발하는 과정에서 적용되어 온 각종 전문적인 지식과 경험을 체계적으로 축적할 수가 있다. 또한 개발과정에서 발생된 설계과정, 설계변경, 설계절차 및 프로세스 등을 디지털 데이터로 모두 기록 함으로서 종합적인 체계관리를 도모할 수 있다. 이와 같이 DMU 제품개발을 지속적으로 추진해 가면 갈수록 방대한 전문지식이 축적될 수 있을 뿐만 아니라, 이를 다음 프로젝트에 더욱 쉽게 적용할 수 있게 된다.

일곱번째, DMU 설계는 부품업체 협력설계로서 게스트 엔지니어링(Guest Engineering)을 활성화 하는데 큰 도움이 된다. 예를 들면, 설계도면에 익숙하지 않은 기획 및 판매부서 요원들과 생산공장 작업자들까지 3차원 DMU를 활용하여 보다 쉽게 직관적인 접근이 가능함으로 업무효율을 증진시키는데 매우 큰 도움이 된다. 이에 따라 현장업무 경험을 조기에 검토하여 적용할 수 있다.

여덟번째, DMU에서 생성된 각종 제품데이터 정보시스템을 구축함으로써 국내 생산 공장뿐만 아니라 해외 생산공장에 대한 생산, 판매 및 서비스 네트워크를 서로 연계 시킬 수 있게 된다. 특히, 지역적으로 서로 떨어져 있거나 업무 분야가 상이한 관련자 상호간의 효과적인 협의 증진을 위하여 그림 6에서와 같이 DMU 관련정보는 매우 큰 도움을 준다. 최근들어 인터넷을 활용한 WEB 화상회의가 날이 갈수록 더욱더 활발해지고 있다는 사실을 주목해야 한다.

### 3. DMU 설계 및 설계검증

신차 개발 절차에 따라 제품설계가 이루어질 때 사용되어지는 디지털 설계 프로세스는 그림 7과 같다. 상품기획단계에서 요구된 상품제반 내용을 근거로 구성품을 개발하는 모듈개발업체의 제안과 함께 차량개발업체는 일차 디지털 조립을 수행한다. 이때 기능적인 서브시스템을 제외한 스타일링 관련 서브시스템을 주로 대상으로 하게 된다. 여기에는 TLC(Top Level Collector)로 약 80여개 구성품이 관련되어 진다. 이들을 조합하여 차량 외형과 내장형상에 대한 1차 DPA(Digital pre-assembly)를 실시하게 된다. 이와 병행하여 모델제작업체에서 제작된 크레이 모델을 비교하여 1차 디지털 차량 설계검토를 수행하여

기본 방향을 결정할 수도 있다. 차량스타일의 기본방향이 결정되면 해당 모듈업체와 부품개발업체에서 기능 부품을 포함한 약 150여개의 TLC에 대한 세부형상을 제안한다. 차량업체는이를 조립하여 2차 DPA를 수행하게 된다. 이러한 DPA수행결과를 상품요구사항을 고려하여 제작된 상세모델을 비교 검토한 후 제품 스타일링을 확정하게 된다. 최종적으로 스타일링이 확정되면 제품개발절차상 선행개발단계 선행개발단계가 종료되어 진다. 이어 구성품 및 부품에 대한 상세설계가 이루어져 이를 조립한 3차 DPA를 실시하게 된다. 이때 제품의 각종 기하학적 조건과 차량해석 검증을 통해 각종 요구기능과 성능에 대한 설계검토가 함께 수행된다. 이와 병행하여 부품개발업체의 3D CAD 부품설계와 세부부품업체의 상세부품 3D CAD 설계가 수행되고, 각종 설계도면과 함께 생산 가능성을 진단하는 금형설계, CAM 가공 및 부품생산 공정검토가 이루어진다. 한편 차량개발업체는 DMU에 대한 설계검토와 함께 차량생산 공정설계, 생산용 지그 와 각종 금형준비 및 시작차 생산관련 준비활동을 수행한다. 이러한 과정에서 도출된 각종 데이터를 복합적으로 조합하여 디지털 차량 즉, 최종 DMU (Digital Mock-up)차량을 제작하게 된다. 그림 8에 24개월 신차 개발기간을 고려한 각 단계별 주간단위 활동내용 및 세부설계절차가 좀더 상세하게 도식되어 있다.

최초 상품제안 후 스타일링 확정 시까지 24주간 동안의 활동내용과 설계검토시기, 그리고 스타일링 확정 후 시작차 생산준비기간(MRD; Material Required Dates)까지 32주간의 활동내용과 설계검토시기를 제시해 주고 있다. 이 기간 중 시스템설계단계의 기본방향에 따라 설정된 초기 DMU 모델은 상세설계 시기부터 하나 하나 더욱 세부적으로 제작되어 간다.

### 3.1. DMU 설계검증

DMU 설계와 함께 설계검증활동이 이루어 진다. 설계자가 평상시 수행하는 일상설계 검토 및 평가활동이 가장 중요하게 이루어져야 한다. 그러나 시스템 상호간의 인터페이스 문제, 설계품질확인 및 사업진도 파악을 위하여 일정주기에 따라 여러 관련 전문가들의 공식설계검토를 수행하게 된다. 여기에서는 차량개발업체의 공식 DMU 설계검토 활동 사항을 제시하고자 한다. 일본 닛산 자동차의 경우, 그림 9- 1, 2에서와 같이 3 단계의 DMU 설계검토(DMDR; Digital Mock-up Design Review)절차를 설정하여 사전 공식설계검토를 수행한 후 최종 시작차 도면을 출도하고 있다. 이를 좀더 자세하게 살펴보면 다음과 같다.

첫째, DR#1 단계에서는 DMU 를 활용하여 1차 목표성능을 확인하고 이를 충족시키기 위한 달성수단과 방침을 확인한 다음 각각의 방안에 대한 과제검토를 실시한다. 그 다음 개략설계를 실시하게 된다. 여기에는 개략적인 시스템 기능 방침과 여러 가지 대안구상에 따라서 Layout 설계를 실시하게 된다. 그리고 각종 부품배치 및 형상에 대한 검토를 실시한다.

둘째, DR#2 단계에서는 구상 Layout 설계 결과를 입수한 다음 DMU 를 구성하게 된다. 이를 통해 목표성능 달성여부와 제조가능 형상여부를 확인하게 된다. 협의되어진 형상을 기초로 상세 Layout 설계를 실시하게 되는데, 이때 부품설계담당을 포함한 각종 제조

부품 요원을 포함하여 상세형상을 설계하게 된다. 이를 기초하여 3D 데이터 조립생산성을 확인하게 된다. 이때 상세 Layout 설계 데이터를 가지고 시작, 조립, 생산관련 요원들이 함께 설계내용을 검토한다. 이때 솔리드 CAD 도면과 이에 연계된 3D DMU 검증요원을 활용하여, 생산조립순서를 결정하고 사용조립공구를 선택하게 된다. 또한 실제 조립라인에서 사용될 치공구 및 생산설비 설계와 함께 작업성을 확인하게 된다. 검토내용은 조립체크리스트에 의하여 수행되며, 기타 조립 시 부품의 생산공정에 따라 작업공간 유무를 확인하고, 조립 치공구와 상호 간섭여부 등 실제 생산라인에서 수행되고 있는 절차와 동일하게 평가하게 된다.

검토결과 문제점이 발생한 부분은 네트워크 상에 지정된 홈페이지에 문제점 일람표를 등록하고, 설계담당자에게 이를 피드백하게 된다. 실제 피드백하는 절차는 그림 9에 나타난 개발 피드백 사이클과 같다. 이러한 솔리드 데이터를 사용해서 조립생산성 평가를 하는 활동을 가리켜 '데이터 UNITEC' 이라는 명칭을 사용하고 있다. UNITEC(UNIt trial production for TEChnical meeting)이란 기술검증을 위한 초도생산부품이라는 의미로서, 이는 실제부품을 가지고 조립성을 확인하고 개선해야 할 점들을 피드백하는 활동을 말한다. 이러한 활동들은 DMU 데이터 생성단계에 따라 별도로 실시되어진다.

셋째, DR#3 단계는 앞서 조립생산성을 3D 데이터에 의해서 확인한 다음, 제작된 형상의 각종 부품들이 기능적으로 신뢰성을 만족하고 있는지, 생산공장에서의 조립성과 장차 시장에서의 요구 정비성을 만족하고 있는지를 확인한 다음 부품형상을 승인하는 단계를 말한다.

### 3.2. 협력업체 설계검증

일반적으로 디지털 설계검토란 시작차 제작도면 배포이전에 부품협력업체와 함께 제작된 모델인 DMU를 활용하여 관련부서 책임하에 제품요구사항별 체크리스트에 따라 설계를 검토하는 DR(Design Review)활동이다. 이와 같은 설계검증이 이루어진 다음 각종 3D 설계도면이 최종적으로 확정되어지게 된다. 지금까지의 설계검토과정에서는 복잡하고 다양한 차종별, 시기별, 단계별 설계검증 내용을 빠뜨리거나, 촉박한 개발기간으로 수행하지 못하는 경우가 빈번하게 발생되어 왔다. 또한 정식도면 출도가 늦어질 경우, 후 공정 설계부서나 부품협력업체에서 선 작업을 진행시키기가 어렵다. 왜냐 하면 전 공정 설계자가 임의로 설계변경을 했을 경우, 이에 대한 대책이 없게 된다. 뿐만 아니라 후 공정 부서의 검토 및 관련 자료제출에 대한 책임명시가 없을 경우, 이에 대한 책임 소재도 불분명해진다. 이러한 모든 문제는 DMU 기술의 발달에 힘입어 기존의 협력업체 설계검증 절차를 보완할 수가 있으며, 이에 따라 차량개발업체와 부품협력업체 상호간 컨커런트 엔지니어링의 동시협력개발 인프라를 구축할 수가 있다.

미국 포드 자동차사의 경우, 1990년대 중반부터 디지털 설계검증 시스템을 운용해 오고 있다. 종래에는 설계검토를 완료한 다음 후 공정으로 부품업체에 설계 데이터정보를 배포해 오던 일괄 출도 방식에서 DMU 단계에 따라 단계별로 출도하는 방법으로 바뀌어 운영해 오고 있다. 후 공정 또는 협력업체에서 필요로 하는 모든 정보가 준비된 다음 일괄로 출도하는 것이 아니라, 꼭 필요로 하는 정보를 사전에 미리 배포 함으로서 후



공정 부서나 협력업체에서 앞서 필요한 작업을 진행할 수 있게 된다. 예를 들면, 금형소재로 사용되는 주물은 제작이 1개월정도 걸리는데, 3D 디지털 도면 완성 이전에 와이어 프레임(Wire frame) 모델에 대한 설계 정보를 미리 배포한 다음, 외주업체에 대한 제작주문을 수배하면 제작기간을 단축할 수가 있다.

준비되어진 3D DMU가 단계별로 완성되어 가면서 차량개발업체는 부품협력업체 참여 하에 CAE 기법을 활용한 엔지니어링 해석을 함께 검증하고, 기능과 성능면에서 설계 타당성을 평가하며, DPA 조립활동을 통해 부품 상호간의 간섭, 서비스, 조립 용이성, 그리고 생산성 등을 디지털로 검토 분석한다.

더 나아가 자동차 제품 뿐만 아니라 협력업체 생산설비까지도 3차원으로 데이터화 함으로서 제품을 가상 생산제조라인으로 흘러면서 생산공정설계를 검토하게 된다. 이와 같이 검토한 결과를 제품설계나 생산공정 설계에 피드백하여 시작차 제작 이전에 설계품질향상과 함께 시작차 댓수도 감소시킬 수 있다. 또한 제반 생산준비기간이나, 작업편의성, 공정능력, 로봇 프로그램, 생산설비제어 등 생산제조활동 전반에 걸친 사항을 최대한 시뮬레이션해 나가도록 노력하고 있다.

### 3.3. 생산제조 설계검증

최근 생산제조 관련사항을 검증하는 시스템으로 그림 10에 미국 QED사의 자동차 설계검증 내용을 소개하고 있다. 이는 상품기획단계의 모델선정 이후부터 디지털 DMU 차량이 승인되는 26주 기간동안 이루어지는 EMMA(Electronic Math Model Analysis)라고 부르는 제조설계검증활동이다[2].

EMMA 프로세스는 기본적으로 컨커런트 제품개발 절차에 따라 제품개발 업체와 부품 협력업체 상호간에 공유하고 있는 데이터 뱅크를 활용하여 그림 10의 사이클에 따라 인터페이스 문제를 해결하는 절차를 말한다.

이 사이클은 제시된 인터페이스 문제가 완전하게 해결될 때까지 각 설계검증 단계마다 반복해서 체크하여 나감으로서 차량설계오류를 최소화 시키게 된다. 이를 위해 제작승인 이전에 그림 11에 나타난 바와 같이 7단계 설계확인 절차를 수행하고 있다. 또한 시작차 생산을 위한 금형 설계 시 양산가능여부도 함께 확인토록 한다. EMMA는 기본적으로 제품개발기간을 24개월 미만으로 단축코자 할 경우에 이루어져야 할 필수 검증절차를 최대한으로 포함시키고 있다. 최근 QED사에서 이를 적용한 결과 42가지의 서브시스템 설계 품질 문제가 5가지로 감소된 효과를 가져왔고, 양산금형 설계변경 비용은 전혀 발생하지 않았다고 주장하고 있다.

## 4. DMU 제작 및 활용

컴퓨터 기술을 응용하여 엔지니어의 설계와 제도(Drafting) 작업을 지원해 온 것이 CAD(Computer Aided Design)의 개념이다. 자동차 산업계의 CAD의 역사는 1950년대부터 시작된다. GM의 경우, 1950년대 영상표시장치를 이용하여 CAD 시스템 DAC-1와 NC 제

어용 INCA 를 사용하기 시작, 1970 년대 CADANCE, 80 년대 CGS 를 거쳐 오늘날 일반 상용프로그램을 사용해 오고 있다[3]. 일본 또한 1970 년대 및 80 년대에 닛산, 마즈다, 도요타사가 모두 사내용 자체 프로그램을 개발하여 사용해 오다가 1990 년대 들어서서 모두 상용프로그램을 사용하고 있다. 일반적으로 유한요소법(FEM; Finite Element Method)을 해석기법으로 정착시키는데 학계가 기여했던 것처럼, CAD 시스템 활용은 항공산업계의 선도적 역할에서 비롯된다.

1960 년대 및 70 년대 록히드사의 NC 제어용 CADAM 과 맥도넬더그라스사의 CADD, 닷소사의 CATIA 개발로 발전되어 왔고 미 공군에서는 형식통합을 위해 ICAM 프로젝트를 주도하게 되었다. 1980 년대 들어와 형식표준화의 필요성이 더욱 더 크게 대두되어짐에 따라 IGES(Initial Graphic Exchange Specification) 표준양식을 구축하기 시작, 1990 년대 들어서면서 CALS 사업을 추진하면서 제품의 제작과 거래의 전순기에 걸친 자료규격표준화 사업이 더욱 활발하게 진행되어 가고 있다. 이와 같은 과정을 겪으면서 종래의 제도설계 CAD(Computer Aided Drafting)개념은 1980 년대 와이어프레임, 서페이스, 솔리드모델 등 다양한 형상설계 CAD(Computer Aided Design)개념으로 바뀌게 된 것이다.

또한 CAD 로 정의된 형상은 제품가공에 필요한 각종정보가 추가된 CAM(Computer Aided Manufacturing)을 활용하여 NC 공작기계 가공데이터 작성, 로봇동작 지시데이터 작성, 가공정밀도 측정평가 등의 작업 수행이 가능하게 되었다.

한편 유한요소해석(FEA; Finite Element Analysis)에 의한 설계해석이나 평가영역이 확대되면서 CAE(Computer Aided Engineering)의 체계적 역할이 더욱더 크게 부각되기 시작했다. 이와 같은 설계해석 역할에 더하여 CAE 의 기능적 역할은 NC 장비의 자동수치 제어에 치우쳐 있던 CAM 분야를 1980 년대부터 공정설계와 공정제어, 시트메탈 포오밍(Forming), 단조(Forging), 금형설계(Die Design) 등의 분야까지 컴퓨터 시뮬레이션 영역을 확대하는 단계로 발전되어 가고 있다.

CAD/CAM 또는 CAE 로 시작한 설계부문의 컴퓨터 활용은 일관된 통합관리(CIM; Computer Integrated Management)시스템으로 발전되어 왔다. 이는 컴퓨터의 데이터베이스와 통신정보기능의 발전과 함께 실질적인 통합이 이루어질 수 있게 되었다. 더 나아가 CIM 에서는 단지 설계부문이나 생산부문 뿐만 아니라 영업부문과 전사관리부문을 포함한 회사 전반적인 경영정보시스템을 다룰 수 있는 기반을 구축하게 되었다. 여기에서는 CAD 3 차원 설계지원 컴퓨터시스템을 활용하여 기하학적 계산에 의한 제품형상모델(DMU; Digital Mock-up)을 형성하여 종전까지 시작차를 제작하기 이전에 사전검증이 어려웠던 제품형상 문제점이나 생산공정상의 문제점을 해결 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

먼저 제품형상의 간격, 단차, 충돌 등을 검증하는 DPA(Digital Pre-Assembly)와 제품기능 및 신뢰도에 매우 중요한 공차해석(Tolerance Analysis), 그리고 생산공정과 조립순서 등에 관한 디지털 공장(Digital Factory)에 관해 살펴 보기로 하겠다.

#### 4.1. DPA 활동

DPA(Digital Pre-Assembly)란 설계자가 작성한 3차원 CAD Model을 이용하여 컴퓨터상에서(Digital) 실물제작 이전에(Pre) 조립(Assembly)해 봄으로써 제품의 각종 문제점을

사전에 검증하는 활동을 뜻한다.

제품설계도면 출도 후 시작차량의 가공조립 시 발생한 문제점을 개선하기 위해서는 설계를 변경해야 한다. 이러한 설계변경을 위해서는 막대한 시간과 비용이 발생하며 이후 개발일정에도 큰 영향을 미치게 된다. 심지어 시작단계 초기에 발생한 문제점 개선이 양산단계 이후에도 개선되지 못하고 차기 제품개발 때까지 지연되는 경우도 종종 발생하고 있다.

DPA는 이러한 문제점들을 실물제작 이전에 해결하기 위해 그림12와 13에서와 같이 컴퓨터 가상 공간에서 사전 조립검증하는 활동이다. 그림12에서는 샤프트를 탈 장착하는 작업을 컴퓨터 가상조립을 통해 부품상호간의 간섭이나 정비성 분석을 수행하는 예를 들고 있다. 그림13은 도어작업자가 작업동작을 사전에 검증하는 활동을 하고 있는 예를 볼 수 있다. 이는 현재까지 DMU활동의 가장 중요한 활동의 하나라고 할 수 으며, DPA의 적용분야를 제시해보면 간섭 및 거리분석, 조립공정 순서분석, 자동조립 경로생성, 조립 작업 시뮬레이션, 정비 및 분해작업 분석 등이 있다. 현재 국내 자동차 회사들의 경우 부품간의 간섭 및 거리 분석 기능에서 출발하여 최근 들어 조립 작업성, 정비성 분석, 분해 및 재활용성 분석 등의 영역으로 확대해 나가고 있는데 앞으로 각 분야에서 활발한 적용 방법론의 개발이 예상된다.

#### 4.1.1. 간섭 및 거리 분석

DMU 전용 소프트웨어 기술의 발달로 CAD 모델은 DMU 인터프리터를 거쳐 DMU 내에서 이용될 수 있는 비교적 작은 용량의 모델로 바뀌게 된다. 이때 대부분의 경우 비선형 서페이스(Nonlinear surface)가 신속하게 시현 가능한 선형 페셋(Linear facet)모델로 바뀌게 된다. 사용자가 해당부위에 대한 상세한 분석을 하고자 할 경우, 그림 14와 같이 손쉽게 단면도를 시현하여 관련 설계 담당자에게 문서로 전송할 수 있다.

#### 4.1.2. 조립공정순서 분석

컴퓨터 상에서 대용량의 모델에 대한 경량화 처리기술 및 모델의 이동경로 구현 기술의 발달로 DMU를 통한 조립체의 조립공정순서에 대한 분석기술이 DPA의 주요한 기능 중의 하나로 발달하였다. 즉 컴퓨터 상에서 다수의 단품 모델을 조립 공정순서에 입각하여 부품저장위치에서 하나씩 조립되어질 위치로 이동시켜 조립을 시뮬레이션하는 방법이 가능해졌다. 여기에 앞서 논의 된 간섭 자동체크 기능이 결합하여 부품모델의 이동간에 상호 동적인 간섭이 자동적으로 체크될 수 있다(그림15 참조).

이를 통해 시작차량 조립작업 시에 공정 순서상 내재되어 있던 많은 문제들이 제작이전에 모델상태에서 검토됨으로서 양산이후 문제점에 대한 사전예방이 가능하다. 이 기능은 DMU를 이용한 정비성, 포장성, 재활용성 연구 등의 분야에 응용가능한 DMU활용 핵심기술의 하나이다. 조립체 조립공정순서 검토결과는 차량의 전순기 전반에 다양하게 활용 가능하다.

첫째로, 컴퓨터상에 저장되어진 조립체 조립공정순서 정보는 설계자들에게는 조립체 조립공정순서 검토결과를 손쉽게 파드백 할 수 있어 관련 설계자들이 문제를 쉽게 이해

할 뿐만 아니라 문제발생시 개선안 도출 및 검토시에도 매우 용이하게 활용할 수 있다.

둘째로, 조립체 조립공정순서 정보를 컴퓨터를 통해 쉽게 제시현 함으로서 생산 및 정비 작업자들의 사전 작업교육에도 활용되어 질 수 있다.

세째로, 조립체 조립공정순서 정보는 정비매뉴얼 작성에 사용할 수 있고 나아가 정비 매뉴얼의 전산화 및 페이퍼리스화에 기여할 수 있다.

네째로, 조립체 조립 공정순서 정보는 차기 제품개발 수행 시 약간의 수정만으로 재활용이 가능하여 연구개발의 중요한 자산이 될 수 있다.

#### 4.1.3. 자동조립 경로생성

실제 부품의 세계에서는 해당부품이 자유자재로 회전, 이동이 가능하며 작업자의 손 감각으로 주변과의 간섭여부를 쉽게 파악하여 이동경로를 직관적으로 생성할 수 있다. 그러나 컴퓨터 상에서 가상의 부품모델을 마우스와 키보드 조작만으로 복잡한 간섭을 피해서 원하는 방향과 위치로 이동시키기란 쉬운 일이 아니다. 이를 해결하기 위해 DMU에 자동 조립경로 생성기능이 개발되었다. 이는 컴퓨터 내부적으로 해당부품을 주변 부품들과 간섭 없이 다양한 조립 경로에 대한 시행착오 과정을 거쳐 조립 가능한 경로를 도출해 내는 것이다(그림16참조).

이 기능은 특히 가상공간에서 부품의 조립, 해체 '가능' 여부를 판단하는데 매우 유용하다. 실제로 가상환경에서 관련부품에 대한 설계변경을 뜻하는 부품의 조립 '불가능' 판단에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 이와 같은 자동 조립 경로 생성기능이 필요하다.

#### 4.1.4. 조립작업자 시뮬레이션

조립 작업자 시뮬레이션은 조립체 조립 공정순서 검토에서 한 차원 더 나아가 인체모형을 사용하여 컴퓨터 상에서 작업자의 동작을 가상으로 구현하는 기술이다. 작업자의 작업순서 및 동작을 함께 시뮬레이션 해야만 가상 조립작업 검토가 제대로 의미를 가질 수 있다. 그림 17에서 보듯 작업자 시뮬레이션 기술을 통해 작업자의 손 접근성, 작업자 공간 확보, 공구 접근성, 작업 시계 확보성 등을 검토 할 수 있다. 조립 작업자 시뮬레이션 기술은 더 나아가 작업자의 작업시간 분석, 하중한계분석, 에너지소비량분석, 신체 안전도 분석 등 인체모형에 대한 인체공학 해석 기술을 활용하여 실제 작업자의 작업상황을 현실성 있게 구현하고 해석해 내는 방향으로 발전하고 있다.

또한 조립 작업자 시뮬레이션 및 인체공학 기술은 모션캡처기술과 결합하여 가상현실 기술의 주요한 기반을 제공하게 된다.

#### 4.1.5. 정비 및 분해작업 분석

'90년대 중반이후 선진 자동차회사에서는 제품의 생산뿐만 아니라 생산이후 사용, 정비, 폐기 등 자동차의 전순기 전반에 걸친 라이프사이클시스템(Life Cycle System)을 고려하기 시작했다. 정비 및 분해 작업 분석 시 주변부품을 탈거하지 않은 상태에서 부품 탈거 및 장착성 검토, 부품재질의 일체화를 통한 분해 및 재활용 용이성 검토, 자동차 분해공장의 설비 시뮬레이션 검토, 분해작업시간 연구 등이 활발하게 고려되어지고 있다(그림

18 참조). DMU 기술을 이용하여 정비 및 분해를 통한 부품재활용성에 대하여 개발 설계 초기단계에서 사전 검토가 이루어질 수 있다.

## 4.2. 디지털 공차설계

제조 현장에서 각종 제조 공차 및 그 누적공차로 인하여 실물과 CAD 데이터가 가지는 기하학적 형상사이에 차이가 자주 발생한다. 특히 도면상의 각 단품 공차가 다수 누적되어 특정부위에 누적치로 나타날 경우, 개별도면이나 실물만으로는 누적공차로 인한 품질 문제의 근본원인을 밝히기 어렵다(그림 19 참조). 이에 따라 조립현장에서는 설계자와 생산자간에 항상 ‘도면’과 ‘실물’을 둘러싼 문제가 발생되고, 그 원인규명에 대한 다툼이 끊이지 않는다. 디지털 공차 해석은 먼저 각 단품의 공차를 누적시켜 특정 부위에 대한 공차 변위량을 분석한다(그림 19a 참조). 또한 이 변위량에 대한 각 단품 공차의 기여도 분석을 통해 주요 기여인자를 도출하여 중점 품질관리 항목을 지정할 수 있으며 나아가 최적공차 설정을 가능케 한다.(그림 19b 참조).

또한 DPA의 조립공정순서 분석기술을 이용하여 공정순서에 따른 누적공차의 영향을 분석함으로써 공차 분포를 안정화 시킬 수 있는 최적공정순서를 도출하게 된다(그림 20 참조). 이를 통해 제조품질에 대한 보다 근본적인 관리기준을 수립할 수 있다.

## 4.3. 디지털 생산공장

자동차 공장은 그림 21에서 보듯이 프레스/차체용접/ 도장공정, 기계부품가공/조립공정, 샤시/의장품 취부공정, COCKPIT INSTALL 공정, 타이어부착공정, 엔진 마운팅 공정 등 많은 작업공정으로 이루어져 있다. 전체 공정의 원활한 흐름을 통해 작업공정의 시간단축 및 작업불량을 최소화하기 위해서는 공정순서 및 공정별 작업시간 정보를 이용하여 공장 내 각 요소의 적절한 배치와 공정별 상태 관리가 필요하다. 특히, 신차 모델의 양산을 위해서는 생산공장설계 이전에 생산 제반 요소의 사전 검토 및 시뮬레이션이 중요하다. 디지털 생산공장은 컴퓨터 상에서 공장 환경의 변화에 따른 공정시간, 전체 공정의 진행상황 및 공정의 흐름을 미리 예측할 수 있도록 하는 통합환경을 말한다[4].

### 4.3.1. 3D 치공구 시뮬레이션

3D 치공구(Jig/Fix Fure) 시뮬레이션은 3차원으로 치공구를 모델링하여 치구와 작업 부품 상호간 동적, 정적인 간섭 및 간격을 사전에 점검하는 기술을 뜻한다. 그림 22에서 보듯이 3D 치공구 시뮬레이션을 통해 작업 공구 및 설비 접근성 검토, 치구 유닛트 작동성 검토, 부품의 로딩(Loading), 조립 및 언로딩(Unloading) 검토 등을 통해 작업 공정에 대한 가상환경에서의 사전 검토를 수행한다. 이러한 기술은 나아가 페인팅, 자동로봇, 조립시뮬레이션 등 디지털 공장 구현에 바탕을 이루는 기본요소기술이 된다.

### 4.3.2. 페인팅 시뮬레이션

도장공장 생산준비단계의 디지털환경에서 부품에 대한 페인팅 시뮬레이션을 수행하여 도장도료 특성, 스프레이와 피드장치와의 분사 거리 스프레이전 이동속도 등에 따른 도

장품질 특성을 사전 분석하여 최소 사이클타임을 갖는 도장로봇 작업경로를 생성할 수 있다(그림 23 참조). 또한 OLP(Off Line Programming) 프로그램을 통해 현업 가동장비의 다운타임을 최소화 할 수 있는 방안을 모색할 수 있다.

#### 4.3.3. 용접로봇 시뮬레이션

생산 준비 단계의 디지털환경에서 용접 시뮬레이션을 수행하여 최적의 로봇 위치 및 용접 건 경로의 선정 그리고 사이클타임 최적화를 도모할 수 있다. 또한 OLP 프로그램을 통해 로봇 훈련 시간을 50%이상 단축시킬 수 있어 신차 모델 생산준비 기간단축에 기여할 수 있다.

#### 4.4.4. 조립공장 시뮬레이션

자동차 조립라인은 일정한 속도로 움직이는 직렬 컨베이어에 의해 여러 종류의 자동차가 이동되고 컨베이어를 따라 여러 개의 작업스테이션들이 상호연결된 시스템이다. 컨베이어는 일정한 속도로 이동한다. 컨베이어가 자동차를 운반하는 과정에서 각 작업스테이션에서는 작업자들이 일정한 작업을 반복적으로 수행한다. 이때 각 작업장별로 조립해야 할 부품을 쌓아 놓은 랙이 바로 옆에 놓여 있다.

그림 24는 ABS를 장착하는 작업장, 자동차 문을 장착하는 작업장, 그리고 에어컨을 장착하는 작업장을 보여 주고 있다. 자동차 문을 장착하는 작업장에서는 컨베이어 옆에서 컨베이어와 같은 방향으로 차문을 달고 이동하는 오버헤드 크레인이 있어서 작업자는 크레인에서 차문을 내린 후에 컨베이어 위에 있는 자동차에 장착하게 된다. ABS를 장착하는 작업장과 에어컨을 장착하는 작업장에서는 컨베이어 위에 있는 자동차가 해당 작업장의 범위 내에 있을 때 작업자는 버퍼(Buffer)에서 부품을 가져와서 컨베이어 위에 있는 자동차에 에어컨을 장착하는 작업을 반복한다. 각 작업장에서는 작업자들이 정해진 사이클타임 내에 정해진 작업장 범위 내에서 작업을 마쳐야 한다. 이상과 같이 자동차 조립라인은 차체와 부품 외에도 작업자의 움직임, 컨베이어 이동, 오버헤드크레인 이동, 매니퓰레이터의 작동 등 제반 요소들이 동적으로 복합된 시스템이다.

이를 디지털공장 환경에서 그대로 구현하기에는 기술적으로 많은 어려움이 있다. 현재까지 많은 자동차 회사들이 차체용접 로봇, 프레스, 도장, 치공구 등에 대한 디지털화를 우선하였던 것도 이러한 이유에서 비롯된다.

현실적으로 자동차 조립라인에 대한 디지털구축 방안으로는 그림 25에 나타난 크라이슬러사의 DMU의 장라인 사례에서 보여지듯 엔진 Decking, I/P Decking 등 상대적으로 컨베이어 흐름과 독립되면서 라인 설비 의존도가 높은 공정을 우선으로 하여 구축하는 것이 바람직 하다. 컨베이어 작업 관련된 공정의 경우는 컨베이어 흐름을 디지털상으로 구현하려 하기보다는 이를 정지시킨 상태에서 작업자 예로공정 개선활동을 중심으로 제반 작업성을 검토하는 접근방법이 효과적일 수 있다.

또한 그림 24에서와 같이 앞뒤로 연속된 작업장 간에 가상조립을 하기 위해서는 공정을 흘러 해당 직장별로 부품을 장착하는 작업 라인과는 달리, 디지털 생산공정상에서 다수의 DMU 오퍼레이터에 의해 각 가상 직장별로 동시에 검토작업이 진행되어야 한다.

따라서 각 가상 직장별로 선행 공정부품을 미리 장착한 상태로 해당 직장별 부품 취부를 실시한 후 최종적으로 각 가상 직장별 작업내용을 종합하는 방안이 타당할 것이다.

## 5. 디지털 설계지원

앞서 그림 7에서 본 디지털 설계 프로세스에 따라 자동차 제작용체와 부품협력업체 간 상품기획에서 요구된 시스템의 성능, 기능 및 기타 공학적 요구사항을 기초로 개념설계를 시작하게 된다. 무엇보다 중요한 것은 기존차량에서 축적된 각종설계 파라메타에 관한 데이터 베이스를 활용하여, 신규차량의 변경요구사항에 대한 설계 최적화를 이루어 나가는 것이다.

이를 달성하기 위해서 컴퓨터를 이용한 외부(Exterior) 및 내부(Interior) 스타일링 콘 CAS 활동에서부터 시작차를 제작하기 전 각종 성능요구 조건에 적합한 엔지니어링 해석 CAE(Computer Aided Engineering)활동 및 CAT(Computer Aided Test)활동을 반복적으로 수행하여 설계 최적화를 마련해야 한다. 이를 위해 앞서 기하학적 설계 모델, DMU를 활용하면서 설계검증 활동과 함께 이를 수정 보완 해 나가게 된다.

시장환경에 적기 부응하기 위해서는 개발기간을 단축하여 누가 보다 빨리 최적설계차량을 생산하느냐에 달려 있기 때문에 디지털 설계와 연관된 기술동향과 최신 업무 프로세스를 파악하여 이를 반영하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 디지털 설계를 수행하는데 요구되는 참고사항을 몇 가지 제시해 보면 다음과 같다.

첫째, 디지털 설계는 수많은 설계 파라메타들이 아직 구상단계에 있기 때문에 이를 확정해 나가기 위해서는 설계요원과 생산, 구매 및 서비스 요원들과의 헌신적이고 잘 조화된 팀웍으로 이루어져야 한다.

둘째, 최근 설계자가 구상하고 있는 스타일링 테마를 충족시키기 위해서는 구조면에 차량의 조형미와 패키징을 고려한 외형설계(Exterior Design)와 내부설계(Interior Design)를 동시에 진행시켜 나가야 한다.

셋째, 차량전체 스타일링을 한꺼번에 결정하는 것보다 부분적으로 순차적인 결정을 해 나갈 수 있는 크레이 모델을 장착하는 것이 더욱 바람직하다.

넷째, 디지털설계를 시작차로 검증하기 위해서는 차량구조 검증용 시작차와 성능 확정용 시작차를 이용한 단계별 검증방법이 바람직하다.

다섯째, 디지털 개발 프로세스에서 CAE 분석활동은 개발초기에 보다 광범위하게 이루어질 수 있도록 해야만 디지털 설계 최적화가 보다 빨리 달성되어질 수 있다.

디지털 설계지원활동의 내용으로서는 디지털 스타일링, 해석 및 시험을 대상으로 하고 있는데, 여기서는 이에대한 일반적인 사항을 소개하고자 한다.

### 5.1. CAS

종래의 고전적 스타일링 개발과정을 살펴보면 그림 26에서 보는 바와 같이 제품 아이디어를 스케치한 다음 렌더링(Rendering) 묘사과정을 거쳐 1/4 모형도면을 그린 다음 1/4 모

형 크래이를 제작한다. 이를 검토한 다음 1/1 모형 도면을 준비하여 실물크기의 크래이 모형을 제작한 다음 실측하여 비교하게 된다. 최종적으로 표면구조에 대한 유선형화(Skin Fairing)를 이룬 다음 서페이스 도면을 완성하게 된다. 이제 컴퓨터를 활용한 스타일링, CAS 활동은 렌더링 단계에서 수작업으로 하던 작업을 컴퓨터를 활용하여 3D 도면을 작성한 다음 확인 검증용 크래이 모델과 함께 최종적으로 설계를 확정 짓는 방법이다. 기존방식은 2D 스케치로부터 크래이 모델 제작 및 측정, 그리고 이는 서페이스(Surface) 데이터로 전환하는 모든 과정이 수작업으로 이루어지는 반면 CAS에서는 아이디어 스케치를 기본으로 렌더링 하는 과정에서 3D CAD/CAM을 활용하여 자동화 처리를 하게 된다. 따라서 기존방식은 스타일링 개발기간과 비용의 과다소요가 발생할 뿐만 아니라 스타일링 확정 이전 충분한 엔지니어링 검토 부족으로 개발이 진행되어 감에 따라 수많은 설계변경이 발생되고 있다. 이를 극복하는 길은 컴퓨터에 의해서 스타일링을 개발하고 서페이스를 생성함과 동시에 확인용 크래이 모델은 NC 기계로 직가공 함으로서 개발기간과 비용을 절감할 수 있다.

한편 기존방식에서 CAS 방식으로 전환되는 과정에서 나타난 1/4 및 1/1 크래이 모델 수를 축소하거나 없애기 위해서는 가상공간 내에서 내부(Interior) 스타일에 대한 VR(Virtual Reality)기술을 활용해야 한다. 이는 다양한 스타일링 대안들을 사용하여 실제감 있게 인간공학적인 검증을 수행할 수 있다. 이를 통해 스타일링 개발 시에 인체공학적 패키지 완성도를 사전에 높여 갈 수 있다.

## 5.2. CAE

차량 디지털 해석에 연관된 업무 프로세스를 살펴보자. 차량해석 업무활동을 크게 대별하면 일곱 가지로 나뉘어지는데, 구조강성 설계, 진동소음설계, 동력학설계, 열유체설계, 충돌설계, 승객안전도설계, 그리고 내구성 설계 등이 있다. 이들은 각 사별로 축적된 설계경험을 바탕으로 요구차량 설계 시 종합적으로 수행되어야 한다. 만일 개별적으로 이들 업무가 수행될 경우 요구차량에 대한 QCD(Quality, Cost, Delivery) 차원에서의 최적화를 달성하기가 어렵게 된다. 이를 해소하기 위하여 다음과 같은 종합적인 차량해석 기본원칙을 고려해야만 한다.

첫째, 모든 프로세스는 먼저 차량해석 CAE 활동을 통해 시스템 목표를 설정한 다음, 주어진 목표에 대한 설계개념 적합성을 평가하는 시스템 엔지니어링 기법을 기초로 하여 수행되어야 한다.

둘째, CAE 해석활동은 개발단계별 일정계획에 따라 차량성능 요구조건에 대한 기능의 정확도, 설계의 강건성, 개발기간 및 비용적합성 등 품질 관련사항과 함께 엔지니어링 의사를 조기에 결정 함으로써 개발 효율성 증진에 목표를 두고 수행되어야 한다.

셋째, 앞서 일곱 가지 CAE 활동분야는 반드시 공통설계 데이터를 활용할 수 있도록 '통합게이트(Integration Gates)' 를 사용해야 한다. 이를 통해 다양한 설계 대안과 여러 가지 예측사항들간의 비교절충 분석을 수행한 다음 엔지니어링 프로세스의 적합설계방향을 도출하게 된다. 이때 설계 엔지니어들은 CAE 활동분야 상호간에 마찰이 발생되어 있음에도 불구하고 조급하게 설계를 확정 짓는 일이 없도록 조심해야 한다.



넷째, 모든 CAE 분야별 활동은 반드시 데이터 통합게이트를 통해 종합되어지고 있지만, CAE 프로세스는 엔지니어링 프로세스 상호간 사전에 밀접한 협력이 지속적으로 이루어져야 한다.

다섯째, 차량개발 요구사항이나 우선순위 그리고 제약조건 등에 따라 차량개발 프로그램에 대한 수정요구나 고객주문 변경이 쉽게 이루어질 수 있어야 한다. 이와 같이 특정한 프로그램의 세부적인 수정요구사항에 대한 책임은 CAE 해석팀에 있다는 사실을 명심해야 한다. 종합적으로 볼 때 CAE 활동은 신규개발 요구차량에 대한 디지털 설계 프로세스에 있어서 시스템 최적화를 위한 가장 중요한 기본활동으로서 사실상 시스템 세부설계에 대한 1차적인 책임을 지고 있다.

이제 차량개발단계별 각종 CAE 분야별 활동사항을 살펴보면 그림 27-1, 2과 같다. 이러한 CAE 분야별 사전해석 및 검증활동을 위한 절차로서는 스타일링 및 개념설계 단계에서의 CVP(Concept Verification Plan) 활동과 시스템 및 세부설계 단계에서의 DVP(Design Validation Plan)활동, 그리고 시작차 제작 및 생산단계에서의 PVP(Parts Validation Plan) 활동이 있다. 각각의 검증 및 인증활동에서 시스템 사양을 비롯한 설계사양, 그리고 시험규격에 이르기 까지 각종 요구사항을 표준화한 다음 이에 대한 시험검증결과를 비교, 수정 보완하여 최적화 활동을 하게 된다. 한편 하드웨어 검증을 위해 개념설계 단계에서는 개념차량(Concept Car)을 제작하여 검증하고, 세부설계 단계까지 사전시험차량(Pre-test Car)을 제작하여 비교 확인한다. 또한 서브시스템 피로수명시험을 위해 로드 시뮬레이터를 비롯한 여러 가지의 피로시험장비를 사용한다. 최종적으로 시작차를 생산하여 CAE 해석결과와 실차 시험결과를 비교하여 이를 피드백하여 설계 최적화를 이루어 가게 된다. 모든 최적설계 결과를 확정 짓는 활동이 곧 ESO(Engineering Sign Off)라고 부른다. 이 활동에서 상품요구 사항에 대한 성능, 기능, 품질특성 설계가 확정되어진다.

### 5.3. CAT

컴퓨터를 활용한 디지털 시험(CAT; Computer Aided Test)은 차량개발 시 일반적으로 시작차량을 제작하여 시험하기 전, 디지털 설계차량(DMU; Digital Mock-up)를 활용하여 각종 시험을 디지털로 수행 함으로서 각종 설계인자와 성능을 조기에 최적화하는데 그 목적이 있다. 이러한 활동은 디자인, 해석 및 시험이 체계적으로 상호 연계되어 있어야 하기 때문에 최적화 과정을 설계초기 단계로부터 시작차량 시험시기까지 일관성 있게 추진되어야 한다. 이를 위해 실제 차량에서 측정 가능한 현상들이 설계인자와 어떠한 관계를 갖고 있는지 또는 여러 가지 설계 사양 중 대안 선택 시 어떠한 영향을 주게 되는지를 이해하는 것이 매우 중요하다. 또한 설계초기 단계에서 시스템 개념을 설정하는데 도움을 줄 뿐만 아니라 추후에 발생되어질 각종 설계오류를 방지하는데 큰 도움이 되고 있다.

CAE와 CAT와의 연관성을 살펴볼 때 해석과 시험은 바늘과 실의 역할처럼 어떠한 기능을 빼놓고서는 설명할 수 없는 불가분의 관계에 있다. 예를 들어, 차량내구평가를 위해서 사전에 시험장에서 사전시험차량을 가지고 주요 하드포인트에 미치는 하중특성을 시험 측정된 다음 이를 구조 해석용, FEM(Finite Element Method) 모델에 적용하게 된다.

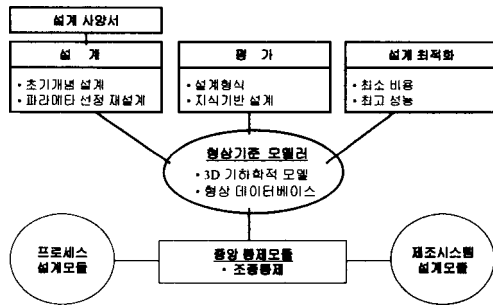
이와 같은 시험장에서의 하중이력은 시험시간과 해석시간을 단축시키기 위해 CAT 를 활용하게 된다. 각종 시그널 측정 데이터처리나 시험도로 조건의 가혹도 등을 평가 함으로서 설계인자를 도출하는데 도움을 준다. 또한 음향해석(Acoustic Analysis)의 경우, 기존의 FEM 방법은 진동과 음향 연성해석에는 한계가 있다. 따라서 고주파 영역에서의 음향 해석은 통계적인 에너지 분석, SEA(Statistical Energy Analysis) 기법을 사용하게 되는데, 이는 시험과 해석의 강력한 결합 없이는 이루어질 수가 없다. 이처럼 CAE 가 CAT 를 도와주는 것인지 아니면 시험이 해석을 도와 주는지를 따지는 것은 무의미하기 짝이 없다. CAE 와 CAT 의 연계는 FEM 모델을 디지털로 시험한 결과와 단순비교검증에 목표가 있는 것이 아니라, 디지털 설계단계에서 상호 연계분석을 통하여 사전에 설계최적화를 달성하는데 그 목적이 있다는 사실을 명심해 두자. 이를 기반으로 하여 실차 시험과 동일한 가상시험(Virtual Testing)으로서는 그림 28 에서 보는 바와 같이 구조강도시험, 내구시험, 진동소음시험, 충돌 및 안전시험, 성능 배기시험, 조향 안정성시험 등이 있다.

이와 같은 시험을 수행하기 위한 가상시험 환경적 요소로서는 시험항목, 시험조건, 시험방법, 시험목적 및 목표, 데이터베이스 등의 입력요소와 이를 기반으로 해서 얻어진 시험결과로서는 특성곡선, 법규기준, 표준규격, 최적화도구 및 데이터베이스 등의 출력요소가 있다. 이들 입력 및 출력요소들은 강건설계 프로세스과정을 통해 다기능적 최적화 설계를 도모할 수 있다.

### **참고자료**

- [1] Oh, Chi-Jae et al, "A Concurrent Engineering System for New Product Development", SERI, KIST, 2<sup>nd</sup> CALS International Conference & Exhibition, Seoul, Korea, Sept. 1995
- [2] 한국과학기술원의 7 개위탁기관, 신차개발기간 단축을 위한 자동차 개발기술 기반구축, 산업자원부 및 과학기술부, 1998. 10.
- [3] Armstrong, David, "E.M.M.A.for Manufacturing," QED Inc., 1997
- [4] Bainstow, J., "GM's Automation Protocol," High Technology, Oct. 1986
- [5] Technomatix, "Digital Factory," Mar. 1999

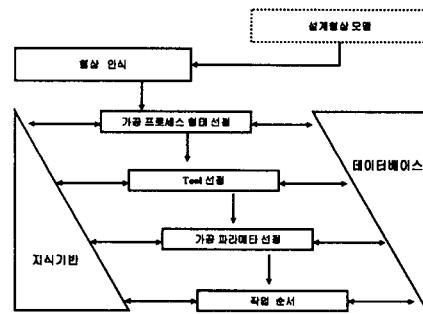
그림 1. 제품 Digital 설계 모듈



-1-

DWMC PROTO Dept.

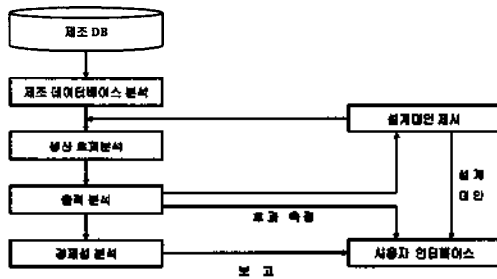
그림 2-1. 프로세스 설계 모듈



-2-

DWMC PROTO Dept.

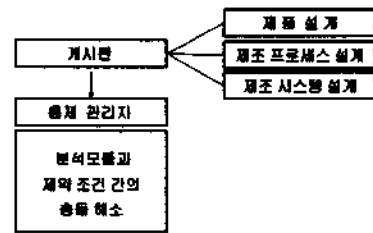
그림 2-2. 제조 시스템 설계모델



-3-

DWMC PROTO Dept.

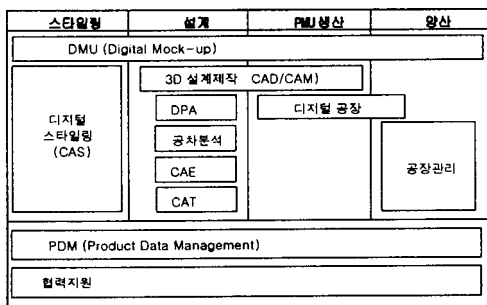
그림 3. 중앙 통제 모듈



-4-

DWMC PROTO Dept.

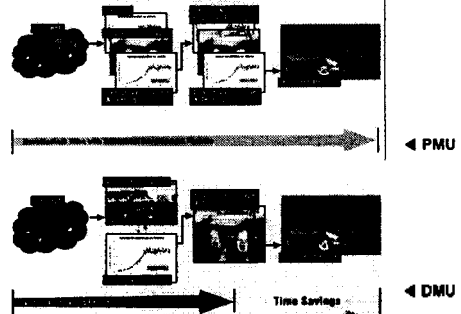
그림 4. Digital Mock-Up 기본구성 요소



-5-

DWMC PROTO Dept.

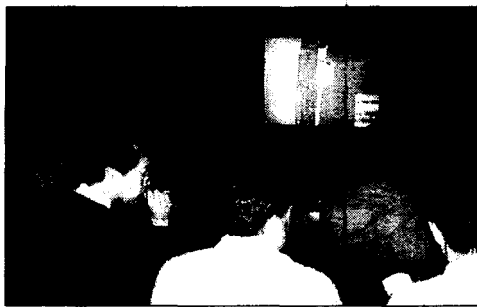
그림 5. PMU와 DMU 개발과정 비교



-6-

DWMC PROTO Dept.

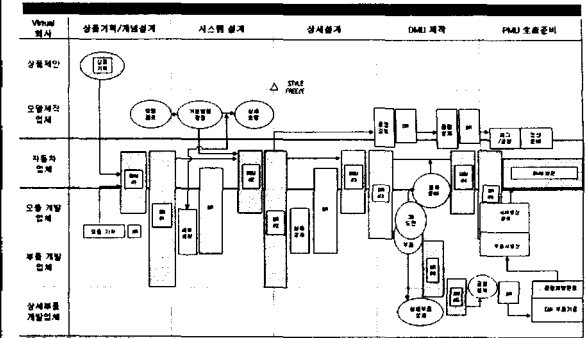
그림 6. DMU 활용 Digital Conference



-7-

DWMC PROTO Dept.

그림 7. 디지털 설계 프로세스



-8-

DWMC PROTO Dept.

그림 8. DMU 단계별 세부 설계 절차

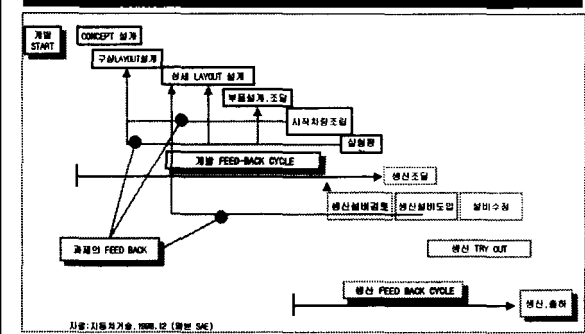


단위	상용기억/개발설계				시스템설계				상세설계				DMU 제작				PMU 조립공부			
주요	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
발주내용	상세	모듈	DR	DR	상세	DR	DR	DR	부품	DR	DR	DR	DMU	공급	부품	부품	PMU	공급	부품	부품
설계종류	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세	상세
가간	상용기억후 스키맷팅 확정 (14주)								스키맷팅 확정후 사적자 생산로마 (12주)								HRD			

-9-

DWMC PROTO Dept.

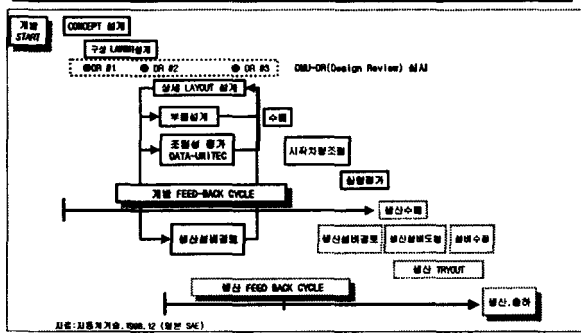
그림 9-1. 종래 순차적 개발 절차-니산 자동차



-10-

DWMC PROTO Dept.

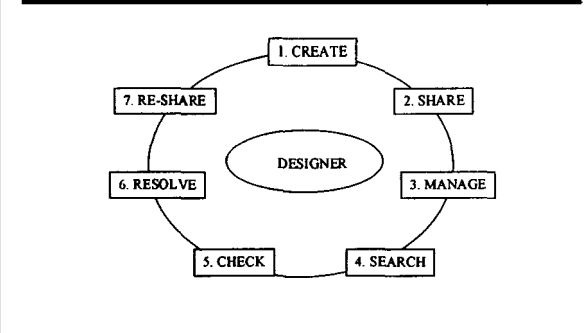
그림 9-2. DMU-Design Review 절차-니산 자동차



-11-

DWMC PROTO Dept.

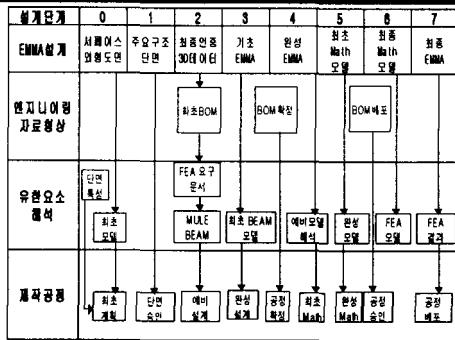
그림 10. EMMA 프로세스 - QED 사



-12-

DWMC PROTO Dept.

그림 11. 설계 단계별 EMMA 절차 - QED사



- 13 -

DWMC PROTO Dept.

그림 12,13. DPA 적용사례

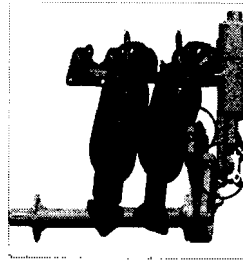


그림 12. DPA 시공-사후로 할당된 작업



그림 13. DPA 시공-도어 작업자 시공완료시

- 14 -

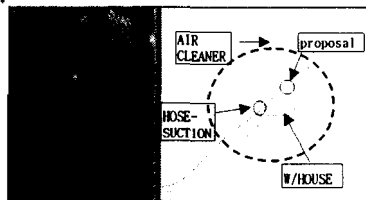
DWMC PROTO Dept.

그림 14. 자동 간섭 체크 및 간섭부위 자동 단면 전시



- Collision / Clearance Check
- Automatic collision / clearance check
- Easy Display & Report
- Auto Sectioning

- ▶ 간섭 문제 예방
- ▶ 부품 품질 향상
- ▶ 제작 기간 단축
- ▶ 원가 절감



- 15 -

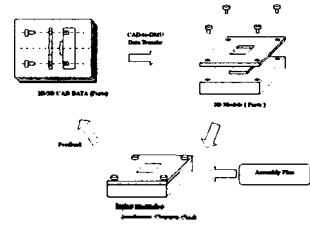
DWMC PROTO Dept.

그림 15. 가상조립 개념도



- Assembly Sequence
- Sequence Verification

- ▶ 공정 문제 사전 예방
- ▶ Line Balancing



- 16 -

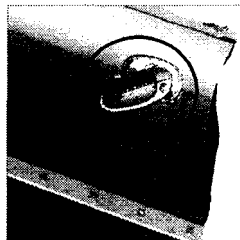
DWMC PROTO Dept.

그림 16. Door Handle 팔장작성 자동 검증작업



- Automatic Path Planning

- ▶ 팔장작성 경로 자동 생성
- ▶ 팔장작성 자동 검증



- 17 -

DWMC PROTO Dept.

그림 17. 조립 작업자 SIMULATION



- Worker Simulation
- Ergonomics Analysis

- ▶ 예외공정 개선
- ▶ Line Balancing
- ▶ 생산성 향상



- 18 -

DWMC PROTO Dept.

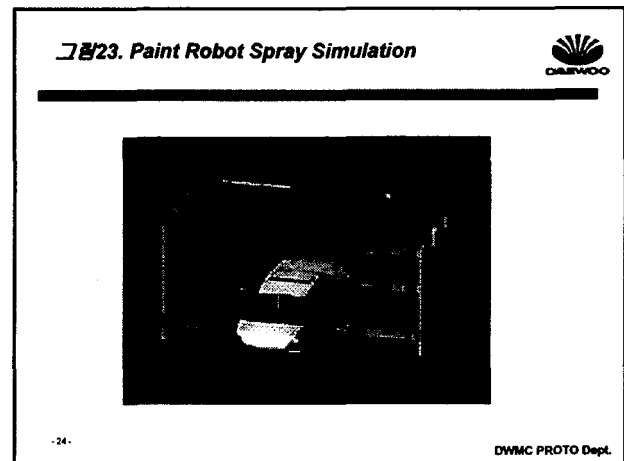
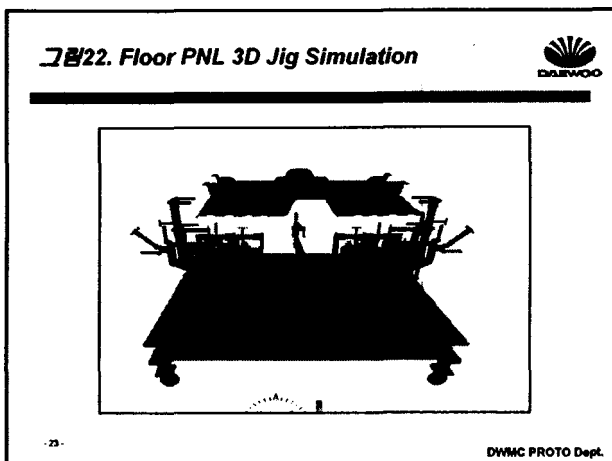
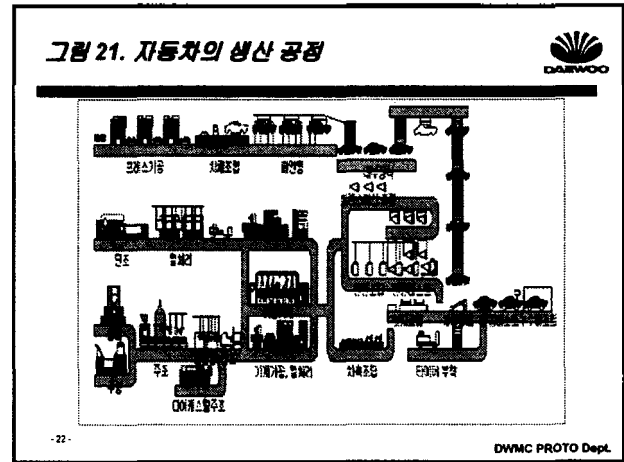
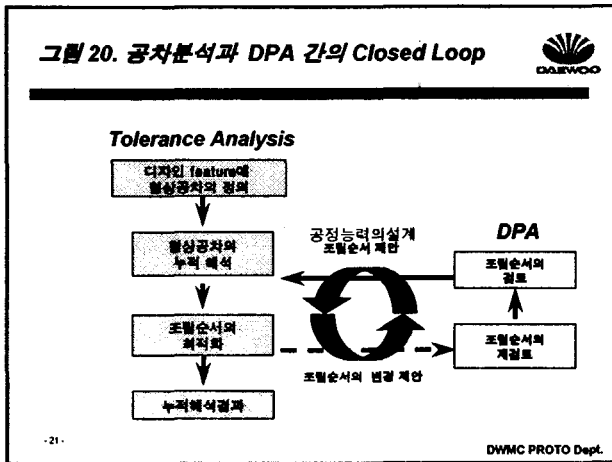
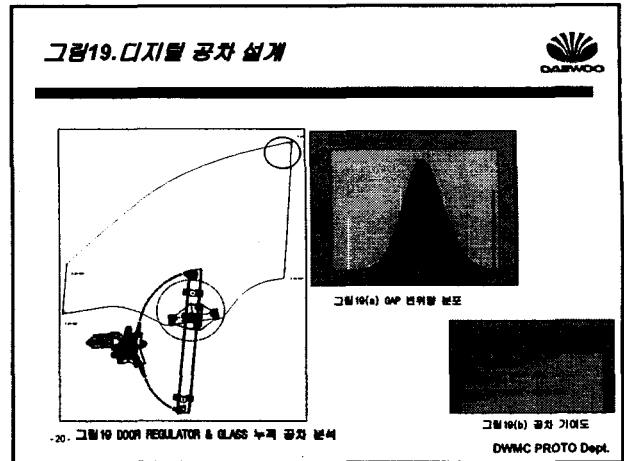
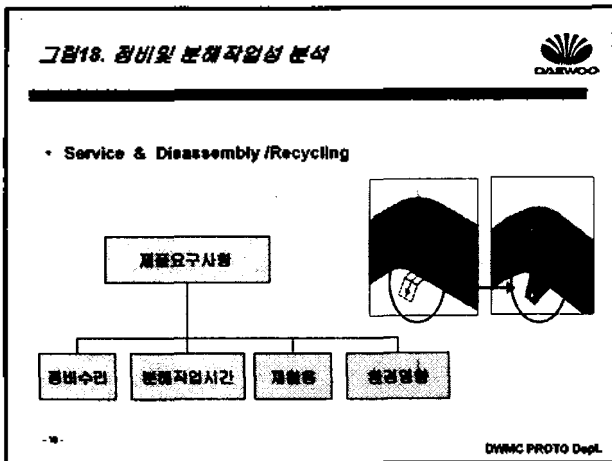
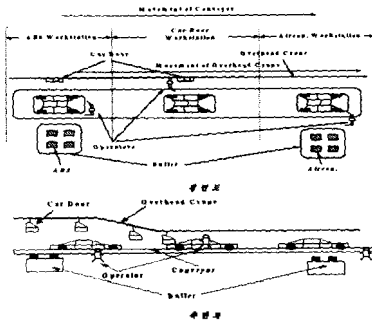


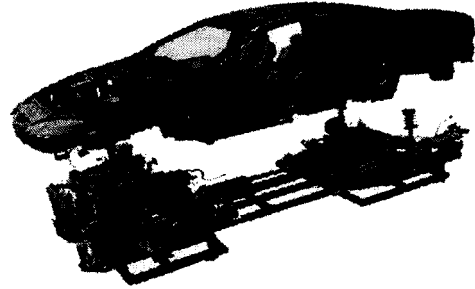
그림 24. 자동차 의장 조립라인 (00)



25

DWMC PROTO Dept.

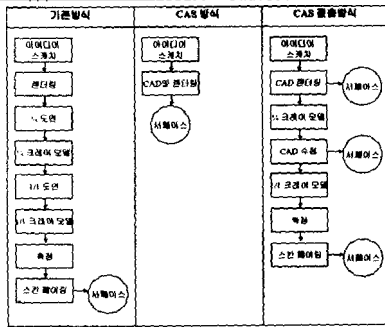
그림 25. DMU 자동차 조립 라인 (00)



26

DWMC PROTO Dept.

그림 26. 디지털 스타일링



27

DWMC PROTO Dept.

그림 27-1. 차량설계 CAE 업무활동



CAE 분야	스업 형태	주요 업무	시스템/하부설계
구조강성	정규업	단면 및 공간응답에 대한 유한요소해석	차체단면 및 유한요소 모델링, 유한요소 해석, 유한요소 해석 결과의 시각화
진동소음	정규업/특별업 정규업/특별업 특별업/특별업	제동시 발생하는 진동/소음의 원인 분석	진동/소음 해석, 차량/차체 해석, 유한요소 해석, 유한요소 해석 결과의 시각화, 유한요소 해석 결과의 시각화
충돌	정규업/특별업 특별업	충돌 시 차량의 변형/파괴에 대한 유한요소해석	충돌 시 차량의 변형/파괴에 대한 유한요소해석, 유한요소 해석 결과의 시각화, 유한요소 해석 결과의 시각화

28

DWMC PROTO Dept.

그림 27-2. 차량설계 CAE 업무활동(cont.)

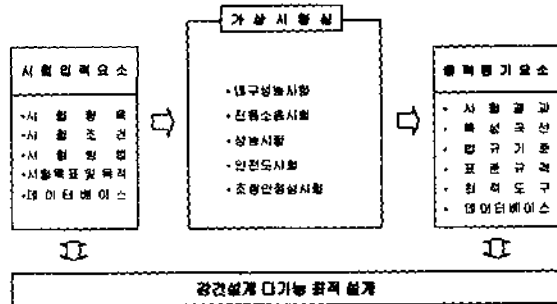


CAE 분야	스업 형태	주요 업무	시스템/하부설계
공력안정도	정규업	공력안정도 해석	공력안정도 해석을 위한 유한요소해석, 유한요소 해석 결과의 시각화
내구성	정규업	내구성 해석	내구성 해석을 위한 유한요소해석, 유한요소 해석 결과의 시각화
열유동	정규업/특별업	열유동 해석	열유동 해석을 위한 유한요소해석, 유한요소 해석 결과의 시각화
충격량	정규업/특별업	충격량 해석	충격량 해석을 위한 유한요소해석, 유한요소 해석 결과의 시각화

29

DWMC PROTO Dept.

그림 28. CAT 가상 시험



30

DWMC PROTO Dept.