

# 3차원 CAD와 CAE의 정보통합 기능 및 사례소개-CATIA를 중심으로

## Introduction of Data Integration Between CAD and CAE Based on CATIA V5



김진운\*

\*한국아이비엠(주) PLM 솔루션 사업본부 차장

### 요약문

CATIA V5 해석기능에 대하여 간략히 소개하고자 한다. 설계자용 해석 뿐만 아니라 전문 해석 분야까지 CATIA V5 환경 내에서 완벽하게 통합을 이루어, 설계-해석 두 프로세스 간에 피드백이 자연스럽게 이루어지는 등 설계-해석 주기(Cycle)를 극소화시킴으로써, 궁극적으로 품질 개선을 이루고 전체 개발기간을 단축시킬 수 있게 한다.

## 1. CATIA V5 Analysis

### 1.1 해석업무의 보편화 및 설계 생산성 향상을 위한 CAD/CAE의 통합

#### CAD와 CAE 데이터 통합

자동차, 항공기, 전기전자 및 기계장치 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 CATIA V5는 통합환경에서 동일한 CAD 데이터로 설계와 해석을 동시에 수행할 수 있도록 함으로써, 엔지니어들의 오랜 꿈이 현실화 되었으며 이에 따라 CAE의 대중화 시대가 활짝 열리게 되었다.

지난 10여년 동안 CAD/CAM/CAE 환경에서 해석 분야의 위치에는 많은 변화가 있었다.

과거의 엔지니어들은 도면을 참조하여 해석용 모델을 다시 생성하는 경우가 많았고, 이는 설계와 해석간의 데이터 인터페이스의 어려움 때문이었다.

또는 IGES 등의 표준포맷이나 전용툴을 이용하여 인터페이스를 시도하는 경우가 많았는데, 이 데이터 변환 과정에서 형상 데이터들이 손상, 왜곡되므로, 데이터 변환 후

보정하거나 해석툴을 사용하기 위해 형상을 간략화하는데 많은 시간과 노력이 소모되었다.

이런 작업방식들은 작업자에게 많은 부담을 주기도 하지만, 설계-해석 데이터 간에 연결성이 존재하지 않으므로, 해석결과를 반영하여 형상모델 수정하는 것도 쉽지 않고, 설계형상변경에 따라 해석 데이터를 자동 업데이트 하는 것도 곤란하므로 제작업을 수행해야 할 만큼 비효율적이었다.

이는 전체 제품개발프로세스의 관점에서 매우 바람직하지 못한 결과를 초래하여, 제품개발기간이 길어질 뿐만 아니라, 설계가 완료되는 시점에 해석을 시작해야 하므로 동시병행 프로세스를 구현하는 것도 곤란하였다.

결국, 오늘의 제품개발프로세스는 CAD와 CAE 툴의 통합을 절실히 요구한다고 볼 수 있고, CATIA V5는 이에 부응하여 통합환경을 제공함으로써 설계-해석의 유연한 연계가 가능하도록 하여

- CAD 데이터 변환이 필요 없어졌으며
- 설계 초기에 설계검증을 할 수 있으며

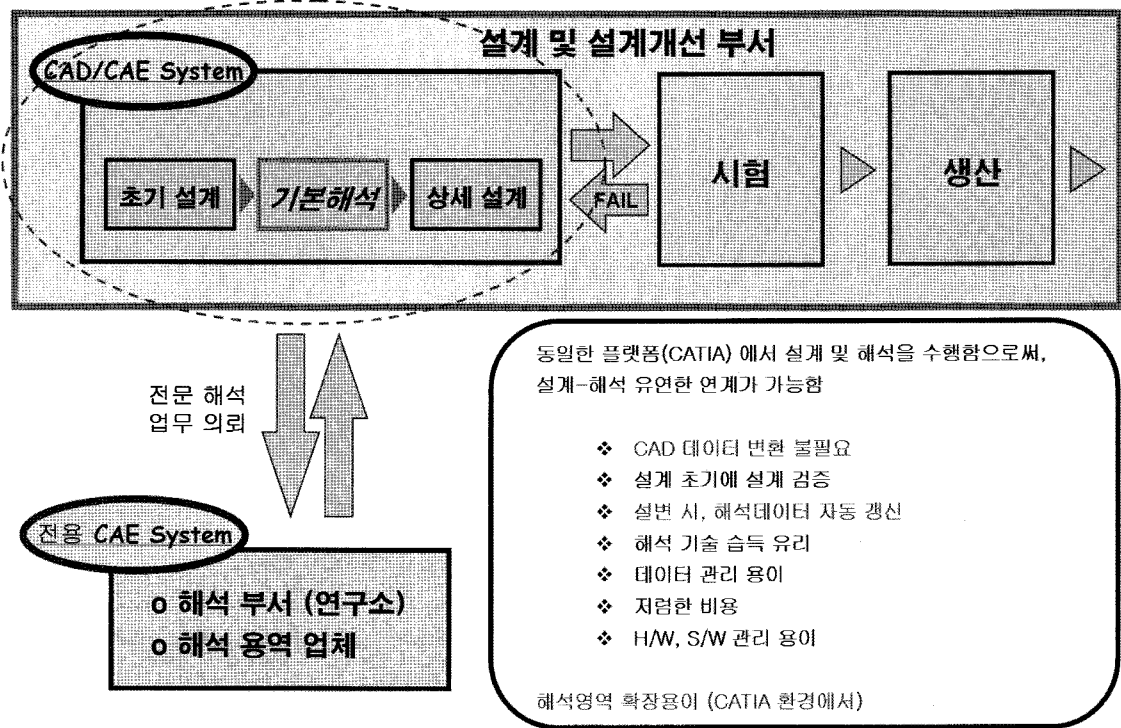


그림 1 CAD-CAE의 통합환경에서의 프로세스 개선

- 설계변경시 해석데이터 재생성이 필요없이 해석데이터는 자동 갱신되므로 설변에 대응이 빠르고
- 데이터 관리가 용이하며
- 하드웨어, 소프트웨어 도입비용이 저렴하며 관리도 용이하게 된다.

## 2. CATIA V5에서의 통합의 특징

CATIA V5는 설계자용 기본 해석뿐만 아니라, 전문 해석을 위한 확장된 기능도 완벽하게 통합된 환경에서 구현할 수 있도록 하고 있는 점에서 특히 차별성이 있다.

CATIA의 자체 솔버 Elfini는 응력, 좌굴, 열해석, 고유진동 및 강제진동해석 기능을 지원하여 CATIA 환경안에서 설계자용 기초 해석업무를 빠르고 쉽게 수행할 수 있도록 한다.

그 외의 전문해석 분야인 비선형, 충돌, 유체, 열전달, 성형해석 등을 위해서 전문해석 소프트웨어 메이커들과 CAA(CATIA Application Architecture) Partnership 관계를 맺어 이러한 전문 솔버와 완전한 통합이 가능하도록 하였다. 이러한 전문해석 기능들은 CATIA V5 환경 안에서 CATIA function인 것처럼 등록되므로, 사용하기 편리할 뿐만 아니라 CATIA 설계 데이터를 직접 활용할 수 있게 된다.

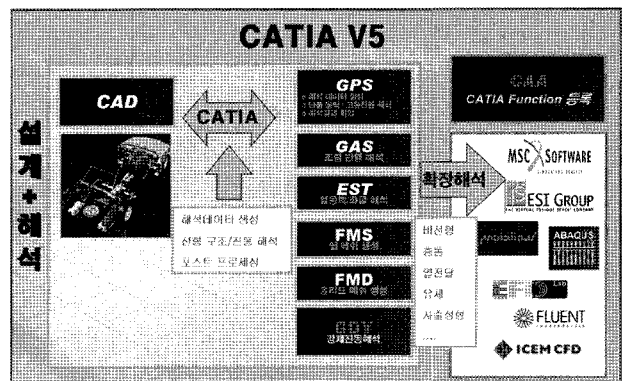


그림 2 CATIA 설계자용 해석 및 확장해석 솔루션

### 2.1 CATIA V5 해석제품 소개

CATIA V5 해석 기능은 계속 개발이 진행되어 Release-16까지 출시되어 있으며, 현재 선형 정해석(static analysis)을 바탕으로 설계자용 해석기능을 제공하고 있다.

CATIA의 설계자용 해석기능의 범위는 간략히 소개하면 다음과 같다.

- 프리프로세서
  - 자동/반자동 메쉬 생성
  - 재료 라이브러리 제공 및 편집
  - 다양한 구속 및 하중조건 부여

- 솔버

- 응력, 진동, 좌굴, 열응력 해석

- 포스트프로세서

- 강력하고 직관적인 해석 결과데이터의 화상처리

CATIA V5 해석 관련 제품은 현재 9개로 나뉘어져 있으며 다음과 같다.

- GPS (Generative Part Structural Analysis) : 해석데이터 생성, 해석결과 확인, 단품의 응력, 고유진동 해석
- GAS (Generative Assembly Structural Analysis) : 조립품의 응력, 고유진동 해석
- EST (ELFINI Structural Analysis) : 해석 고급 옵션, 열응력 해석, 좌굴 해석
- GDY (Generative Dynamic Response Analysis) : 강제진동 해석
- FMS (FEM Surface) : 쉘 메쉬 생성, 편집
- FMD (FEM Solid) : 솔리드 메쉬 생성, 편집
- PEO (Product Engineering Optimizer) : 해석 최적화
- ANR (DMU Engineering Analysis Review) : DMU 환경에서 해석 결과 검토
- TAA (Tolerance Analysis of Deformable Body) : 박판제품의 조립 후 공차량 예측

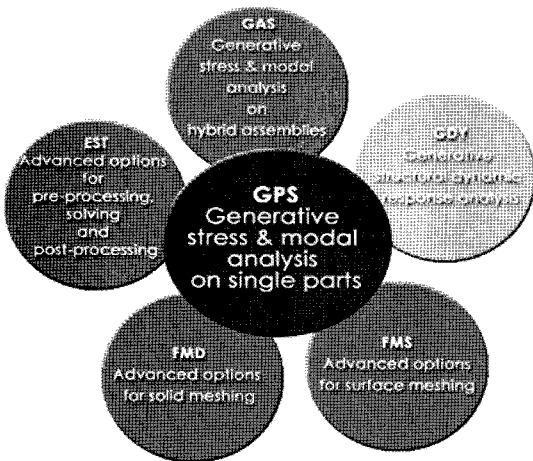


그림 3 CATIA V5 설계자용 해석 제품

(1) GPS (Generative Part Structural Analysis)

한 개의 단품 solid 모델 또는 surface 모델에 대하여 응력해석과 고유진동 해석을 할 수 있으며, 사용자는 이 결과를 확인하여 제품의 강도와 공진 발생 여부를 파악할 수 있다.

CAD 모델과의 완벽한 호환

CATIA CAD 모델과 완벽히 호환되고 Geometry 기반

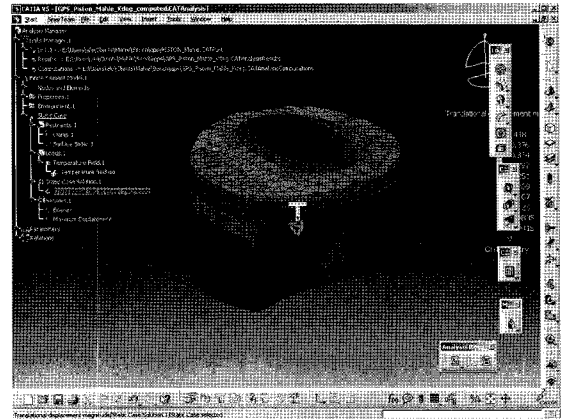


그림 4 GPS : 단품의 응력해석

의 해석이므로, 일반적인 CAE 프로그램과는 달리 경계조건, 하중 등을 절점(node) 또는 요소(element)에 지정하지 않고 CAD 모델의 면이나 모서리(edge)에 지정할 수 있도록 되어 있다. 계산시에 자동으로 메쉬(mesh)가 생성되면서 면이나 모서리에 주어진 하중과 경계조건을 각 절점에 전달시킨다. 그러므로 해석 경험이 없는 사용자들도 CAD 작업을 하듯 해석과정을 수행할 수 있으며, 설계변경이 되어도 다시 Pre-Processing 할 필요없이 다시 계산만을 수행하여 변경된 결과를 확인할 수 있다.

정확도 향상 기능

자동메쉬를 기반으로 하지만 전체모델에 대하여 또는 특정 면이나 모서리에 대하여 메쉬 크기를 지정할 수 있도록 하여 더 정확한 결과를 얻을 수 있도록 한다. 자동메쉬에서는 사면체 요소와 삼각형 및 사각형 요소를 제공하며, 정확도를 높이기 위하여 mid-node가 있는 parabolic요소 형태도 지원하고 있다. 또한 부분적인 반자동메쉬 기능과 adaptivity 해석을 이용하여 주요 부분의 요소간 결과값 차이(error)를 원하는 기준 이하로 프로그램이 요소의 크기를 자동 조절할 수 있다.

사용하기 쉬운 환경

기존 CAE 프로그램들의 복잡한 과정과는 달리 CATIA V5는 아이콘을 이용한 방식이다. 사용자는 해석에 필요한 사항들을 간단히 마우스 클릭으로 처리할 수 있다. 그리고 편리하고 다양한 post-process 기능을 지원하며, HTML 형식의 해석보고서를 자동으로 만들 수 있다.

(2) GAS (Generative Assembly Structural Analysis)

조립체 모델에 대한 응력, 고유진동해석을 할 수 있으며, GPS를 기반으로 수행된다.

Assembly design의 조립 constraint와 연계

일반 해석작업에서 많은 시간이 소요되는 part간의 연결처

리를 CATIA Assembly design에서 사용된 조립 Constraint를 직접 해석에 이용하여, 매쉬된 part간의 접촉면들의 연결을 위한 1차원 요소로 자동 생성해 준다. 즉, GAS에서 fastener, slide, contact 등으로 접촉면 사이의 성질을 Assembly constraint에 지정하여 주면, incompatible 상태로 되어 있는 각각의 매쉬된 part들이 서로 자동으로 spider 요소라 불리는 1차원 kinematic요소로 연결된다.

**특수 체결 조건**

Assembly design의 constraint와 연계 해석의 응용으로 part가 서로 볼트로 연결되어 조립된 상태의 모델에 대하여 체결력에 의한 응력을 계산할 수 있다. 볼트가 모델링되어 있지 않은 경우도 볼트 hole을 이용하여 볼트체결에 의한 강도검토를 할 수 있다. Pressure fitting에 의하여 조립된 제품에 대하여도 부재간 압축에 의한 응력을 쉽게 계산할 수 있다.

**Surface 모델 또는 surface와 solid 혼합 모델의 조립 해석 지원**

Surface 조립체 뿐만 아니라, surface와 solid가 함께 모델링 되어 있는 것(Hybrid Modeling)도 해석이 가능하다. 또한 조립해석조건 중, 포인트를 이용하여 spot 용접 조건을 지정할 수 있는 기능도 제공하고 있다.

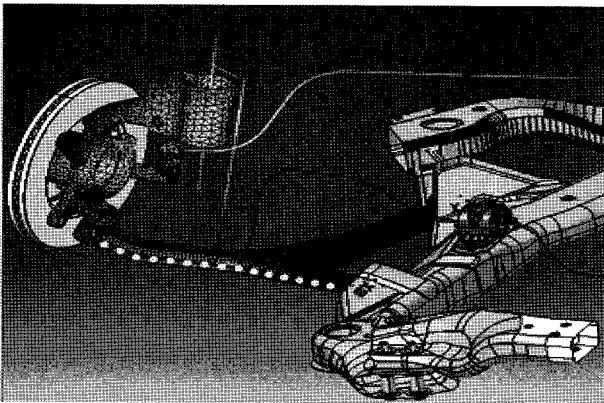


그림 5 GAS : 하이브리드 해석기법을 활용한 자동차 차시

**(3) EST (ELFINI Structural Analysis)**

좀 더 전문적인 해석을 위하여 GPS, GAS에 추가로 고급 옵션을 제공한다.

**고급 Pre-Process 옵션 제공**

면이나 모서리에 지정된 하중과 경계조건들을 자동매쉬가 된 후에 절점과 요소에 분포된 모습과 각각의 값을 확인할 수 있다. 원기둥 형상에 대하여 베어링 하중을 적용할 수 있으며, 실험 결과로부터 얻어지거나 외부 프로그램

에 의해 계산된 분포하중을 excel 이나 text 파일 형식으로 CATIA로 불러들여 모델에 적용할 수 있다.

**좌굴(buckling) 해석 지원**

압축하중에 의한 좌굴 발생 여부를 판단할 수 있는 기능을 제공한다. 선형 좌굴해석을 지원하여 설계초기단계에서 빠르게 검토할 수 있다.

**열 해석**

Temperature Field를 적용한 열 해석이 가능하다. 상온과 외부 파일로부터의 데이터 매핑 두 가지가 있는데, 외부 전문 Thermal Solver로부터 결과를 Import 할 수 있다. 이러한 해석 Case는 CATIA 내에서 보다 정교하고 정확한 시뮬레이션이 가능하게 한다.



그림 6 EST : Temperature Field를 적용한 실린더 헤드 및 실린더 블록

**고급 해석 관리 기능 제공**

하나의 모델에서 여러가지 다른 해석을 수행할 수 있다. 즉, 하나의 모델 파일 안에서 응력해석을 마친 후, 고유진동수해석을 추가로 할 수 있으며, 여러 가지 경계조건이나 하중도 각각의 해석 case로 계속 추가하여 수행할 수 있다. 다중 프로세스 시스템에 대한 병렬처리 기술과 고유진동해석을 위한 Lanczos 방법도 지원한다.

**고급 Post-Process 옵션 제공**

결과 분석에서 각 결과를 contour, 화살표, text 형태 등으로 다양하게 표시할 수 있으며, 방향성분 별로 구분하여 표시할 수도 있다. 또한 원하는 부분에서의 결과값을 확인할 수 있으며, contour 레벨도 조정할 수 있다. 해석 보고서도 사용자가 원하는 결과들을 지정하여 만들 수 있도록 해준다.

**(4) GDY (Generative Dynamic Response Analysis)**

트랜지언트(Transient) 응답 해석 및 하모닉(Harmonic) 응답해석을 수행한다. Shock Spectrum 및 강제진동해석이 가능하다.

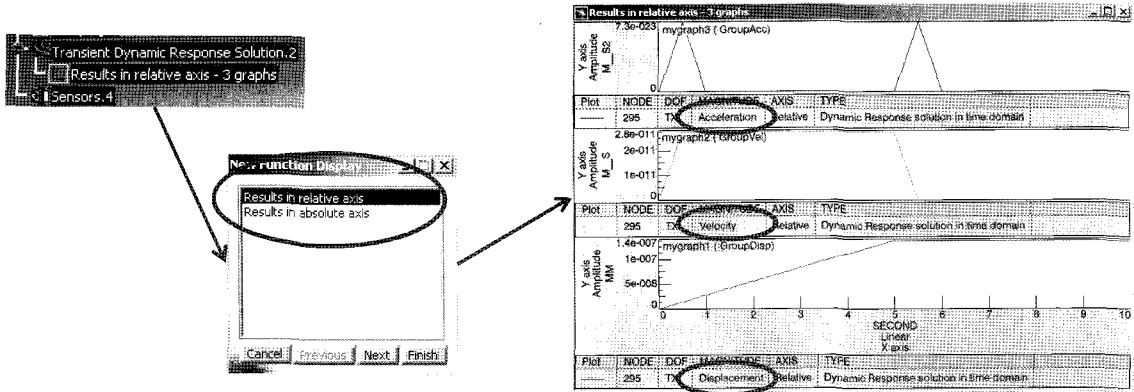


그림 7 GDY : 강제진동 해석

(5) FMS (FEM Surface)

CATIA V5 Surface 또는 V4의 Skin 모델에 면요소 (shell element)를 생성할 수 있다. CATIA CAD와 완벽히 호환되므로 복잡한 고차원 surface를 그대로 이용할 수 있는 장점이 있으며, 자동메쉬가 쉽게 생성된다.

메쉬 생성을 위한 Surface 처리 기능

FMS는 완벽한 CATIA surface 모델을 이용하므로, 곡이 심한 부분이나 형상이 복잡한 부분들이 메쉬 모양을 향상시키기 위하여 surface간의 경계가 조절되며 자동으로 단순화 처리된다. Surface가 서로 겹쳐진 부분이나 T형상으로 만나는 부분을 쉽게 공유할 수 있도록 하여, 요소와 절점 연결이 간편하게 된다. Spot 용접이나 기타 체결부분을 구현하기 위하여 그 부분에 포인트를 생성하면, 자동으로 그 위치에 절점이 위치되면서 메쉬를 생성한다.

강력한 mesh 검사, 수정 기능

자동메쉬가 완료된 후, 화면에 요소 quality에 대하여 색깔별로 표시하여 각 요소 형상의 문제점을 쉽게 파악할 수 있도록

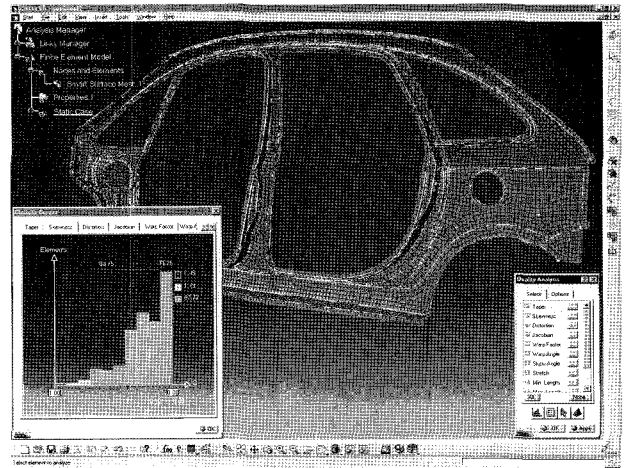


그림 8 FMS : 셸 메쉬 생성

해준다. Quality가 좋은 많은 요소는 자동으로 검색되어 화면 중앙에 나타내 주며, Dynamic 수정기능을 통하여 마우스 커서로 요소를 분할하거나 절점을 surface상에서 이동시켜 quality를 향상시킬 수 있다. 메쉬는 surface에 수직 방향으로 특정 거리만큼 offset 할 수 있다.

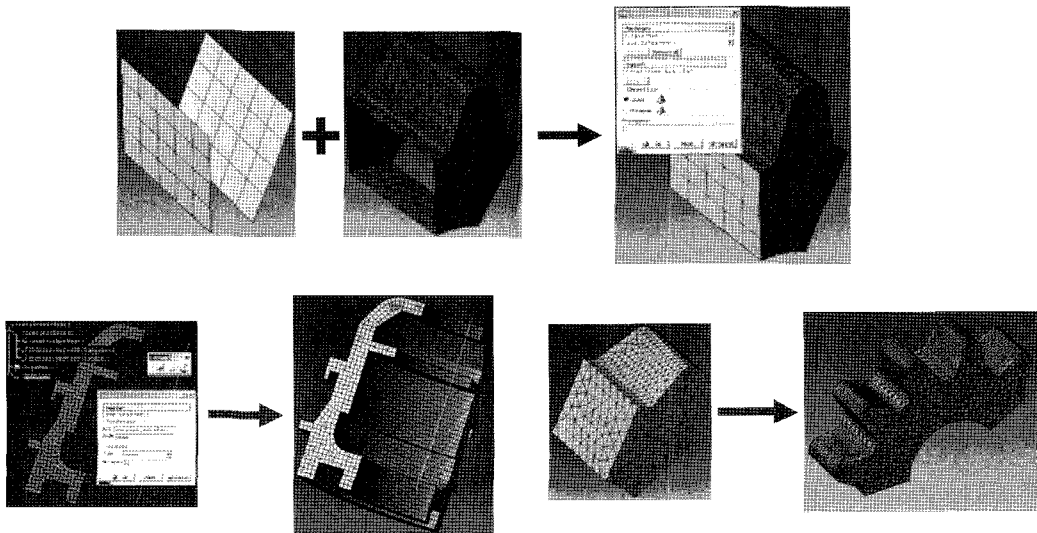


그림 9 FMD : 솔리드 메쉬 생성

NASTRAN interface 제공  
 생성된 메쉬를 NASTRAN bulk 데이터 형식으로 export 할 수 있다.

GPS와 연계 해석

FMS에서 생성된 메쉬를 GPS에서 이용하여 응력, 진동, 좌굴, 열 해석을 할 수 있다.

(6) FMD (FEM Solid)

CATIA V5 Solid 또는 V4의 Solid 모델에 솔리드 메쉬 생성할 수 있다. Solid 형상데이터를 그대로 이용할 수 있는 장점이 있고, Tetrahedron Filler, Extrusion 등의 다양한 메쉬 생성 기능을 제공한다.

(7) PEO (Product Engineering Optimizer)

PEO는 최적화 해석 제품으로서 CATIA V5의 모든 영역에 적용될 수 있는데, 해석에 대해서는 원하는 해석결과에 맞도록 제품형상을 최적화해주는 기능을 제공한다.

다양한 목적 함수 지원

GPS, GAS에서 계산된 해석결과 중, 최대응력, 최대변위, 공진주파수, 반력(reacton), 좌굴 factor 등을 목적 함수로 지정할 수 있다. 설계변수(design or free parameter)는 제품 모델링 시에 사용된 각 부분의 치수가 되며, PEO는 이 치수들을 Conjugate Gradient Method, Simulated Annealing Method 등의 최적화 기법을 이용하여 변경하면서 원하는 목적 함수의 값을 찾아가도록 한다.

자동 설계 변경

치수들이 변경되어 목표값에 도달한 경우, 그 치수들은 자동으로 모델에 적용이 되므로 최적화 결과를 반영하기 위한 별도의 모델링 작업을 할 필요가 없다. CATIA V5는 완벽한 CAD/CAE 시스템을 지원하므로 형상 모델링, 구조해석, 최적화가 서로 연속적으로 연결되어 별도의 변

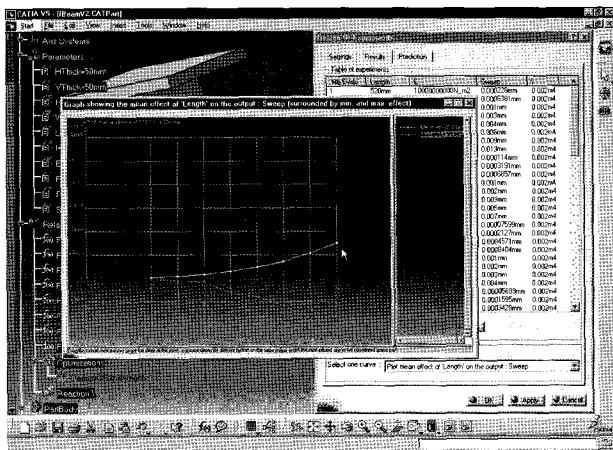


그림 10 PEO : 최적화

환 없이 간단하게 모든 과정을 CATIA 내에서 순환하며 최적의 형상을 찾아준다.

(8) ANR (DMU Engineering Analysis Review)

DMU 환경에서 GPS, GAS의 해석 결과를 검토할 수 있는 기능을 제공한다. DMU에서 구현된 전체 제품 안에서 해석된 부분의 결과를 불러들여와 하중에 의한 변형으로 인한 주변 부품들과의 간섭발생 및 조립시 문제점을 검토해 볼 수 있다. 그러므로 제품의 비작동 상태 외에 작동 상태에서의 DMU 관련 검토, 분석이 가능하므로 사용하는 한 차원 높은 DMU를 구현할 수 있다. 결과분석 시, 다양한 형태의 post-processing 기능과 애니메이션, 보고서 작성 기능도 지원한다.

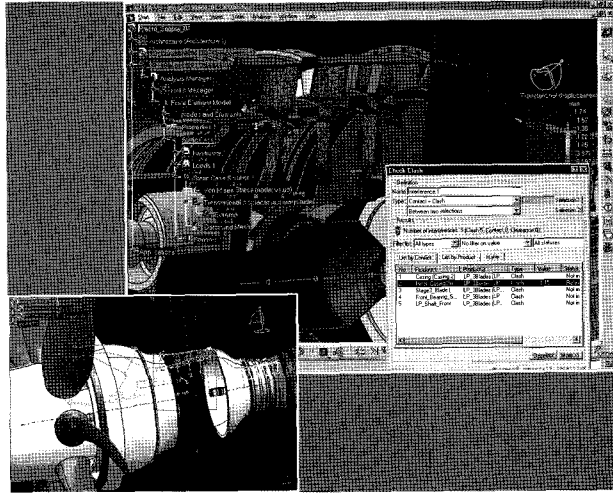


그림 11 ANR : DMU 리뷰

(9) TAA (Tolerance Analysis of Deformable Body)

박판조립제품에 대하여 조립과정에서 발생하는 최종 공차(tolerance)를 예측할 수 있다.

다양한 공차 발생 원인 고려

각 부품이 가지고 있는 기하학적인 공차 외에 용접, 리벳, 볼트, 접착 등의 체결에 의해 발생할 수 있는 변형 및 잔류응력 등을 유한요소해석을 이용하여 예측할 수 있다. 그러므로 실제 조립 과정을 구현할 수 있다.

간단한 조립 과정 정의

각 조립 조건을 아이콘을 이용하여 쉽게 지정할 수 있어 빠른 시간 안에 시뮬레이션이 가능하다.

공차 발생 원인 분석 기능

민감도 해석(sensitivity analysis)를 통하여 조립 과정에서 최종 공차에 문제를 발생시키는 주요 원인을 분석할 수 있다.

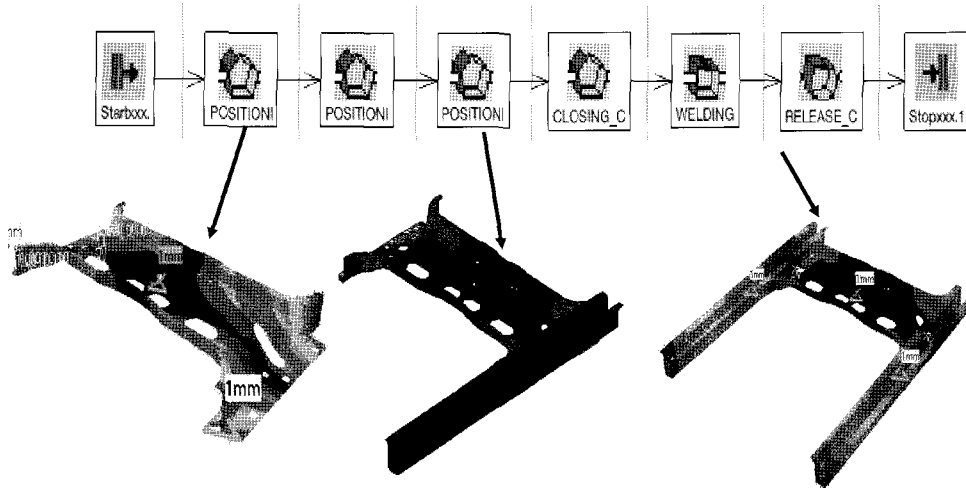


그림 12 TAA : 공차해석의 샘플 프로세스

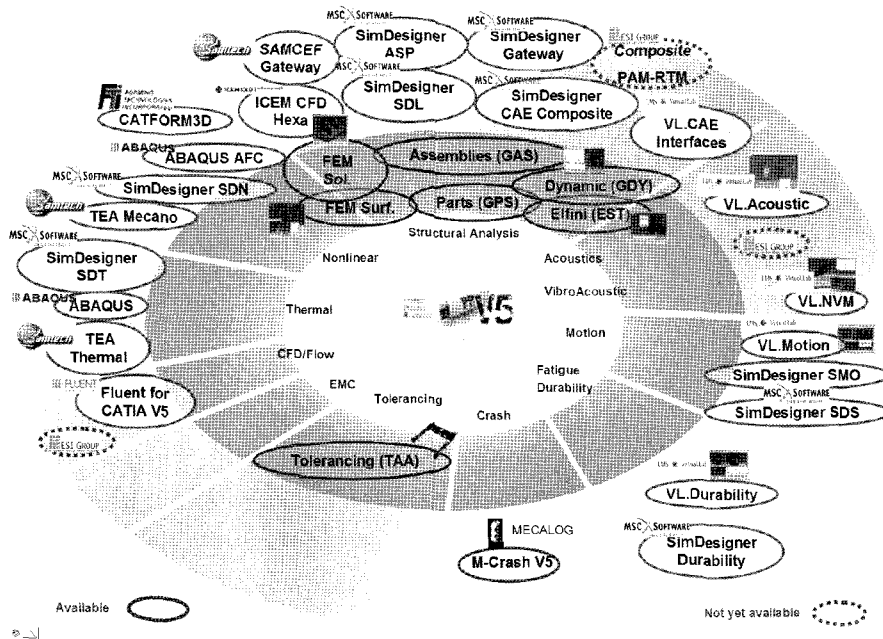


그림 13 CATIA 환경에서 통합되는 전문 솔버

### 3. CATIA 확장 해석제품 소개

CATIA V5는 대단히 편리하고 경제적인 방법으로 CATIA 환경에서 전문 솔버를 사용할 수 있도록 한다. 예를 들면 저렴한 AFC (ABAQUS for CATIA) 만을 추가로 구입하면 기존에 사용하던 ABAQUS 기능들을 CATIA function 으로 등록하여 예전처럼 사용할 수 있게 되는 것이다.

이러한 확장 해석 제품들은 전문해석 소프트웨어 메이커들과 Partnership 관계로 개발되고 있는데, CATIA R16 현재 개발된 통합 전문 솔버는 다음 그림과 같으며 계속 추가 개발되어 그 영역을 넓혀가고 있다.

### 4. 결 론

CATIA의 해석 기능은 오래 전부터 항공기 설계를 위해 개발된 것으로서, 일반 상용 프로그램으로 소개된 지 오래되지는 않았지만, 그동안 Daimler-Chrysler, BMW, Volvo, Scania, Fiat, Boeing, Avions, BAE, Bell, Dassault 등 수많은 자동차 및 항공기 업체에서 적용되어 그 신뢰성을 검증받았으며 정확도 뿐만 아니라 계산속도에 있어서도 타 솔루션에 비해 탁월함이 입증되고 있다.

뿐만 아니라, CATIA V5에 이르러 CAD와 설계사용 해석 및 전문해석 영역을 완벽한 통합환경으로 구현하였으

므로 제품개발의 이상적인 환경에 접근할 수 있게 되었다고 본다.

향후의 제품설계 프로세스는 3D 마스터 모델을 중심으로, 관련된 프로세스들이 통합되어 동시 병행되는 CE(Concurrent Engineering) 방식이어야 경쟁력을 가질 수 있을 것인데, 이를 위하여 업무 프로세스가 개선되어야 함은 물론이며 CAD/CAM/CAE 툴의 적절한 지원이 필수불가결하다.

특히 툴의 입장에서 보면, 비용, 시스템의 처리속도, 사

용상의 편이뿐만 아니라 통합 여부가 대단히 중요한 관건이 되고 있다.

결국 해석업무는 설계와 분리하여 생각할 수 없는 것이므로 양 프로세스 간에 피드백이 자연스럽게 이루어지는 등 설계-해석 주기(Cycle)를 극소화시킴으로써, 궁극적으로 품질 개선을 이루고 전체 개발기간을 단축시킬 수 있게 될 것이다. 