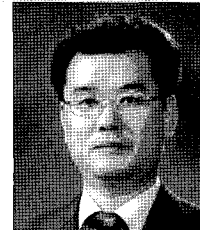


# 3차원 CAD와 CAE의 정보통합 기능 및 사례소개-Simdesigner를 중심으로

## Functions for Integration of 3D-CAD and CAE Data-Case Study of Sindesigner™



이 장 현\*



김 성 찬\*\*

\* 인하대학교 선박해양공학과 조교수  
 \*\* 인하공업전문대학 선박해양시스템과 부교수

### 1. 설계와 CAE의 형상 정보 활용

3차원 Solid 모델 정보를 유한요소해석에서 직접 이용하고, 해석에 의한 결과를 직접 3차원 CAD 정보에 반영하여 설계 변경을 실시할 수 있는 사용 유한요소해석 솔루션의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. Workbench(ANSYS 사), CATIA V5- Elfini Solver(Dassault Systemes 社), COSMOWorks(Solidwork 社), 그리고 SimDesigner (MSC 社) 등이 그 예이다. 이러한 설계 검증 환경은 3차원 모델이 가지는 Parametric design의 장점을 유한요소해석과 결합하여 해석과 설계 변경을 동시에 수행할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 대부분의 해석과 설계의 병합 모델은 3차원 solid 모델을 주요 대상으로 하고 있다. 물론 Hypermesh나 PATRAN 등과 같은 Pre/Post Processing 전용 소프트웨어들도 3차원 Solid 모델을 import하여 격자를 생성하고 해석할 수 있는 환경을 갖추고 있으나, 이는 3차원 CAD의 형상 정보를 변환하여 사용하는 Direct interface를 사용하고 있다.

대형 구조물에서 주로 사용하는 보(beam), 판(plate/shell)와 같은 구조 부재를 가진 3차원 CAD 모델을 유한요소해석 환경에서 직접 parsing하고 격자 생성에 활용하기 위한 환경은 현재까지 개발이 많이 진척되어 있지 않다. 유한요소해석 환경에서 3차원 모델링을 다시 수행하고

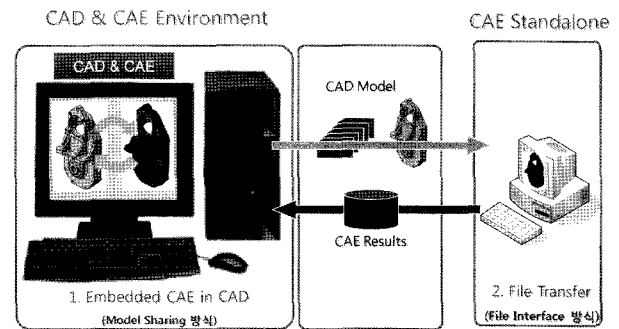


그림 1 3D CAD 와 CAE 통합 모델 예시

해석하는 절차를 활용하고 있다. 이러한 이유로 해석에 의한 설계 검증 결과를 직접 CAD 모델에 반영하는 작업은 수작업에 의하여 수행되고 있으며, 모델 생성에 많은 시간을 할애하는 현실적인 어려움이 있다.

본 기사에서는 MSC사의 SimDesigner가 제공하는 구조 부재의 3차원 설계모델을 유한요소해석에서 직접 활용하고 설계 변경을 실시하는 동시 병행 설계 사례를 소개하고 그 활용성에 대해서 검토해보고자 한다.

### 2. 설계와 해석 동시에 실시하는 병행 설계

그림 2은 현재 통용되는 CAD와 CAE의 정보 활용 절차이다. 현재는 3D CAD 모델을 변환하거나 또는 유한요

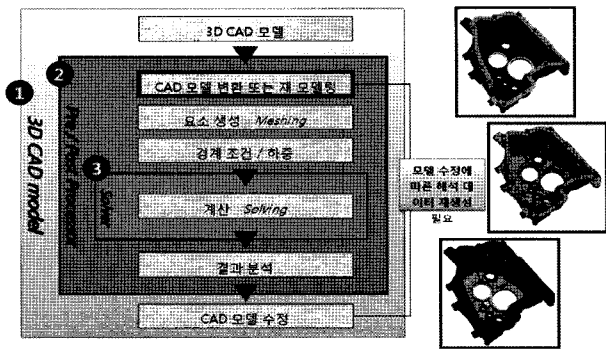


그림 2 현재의 CAE 절차

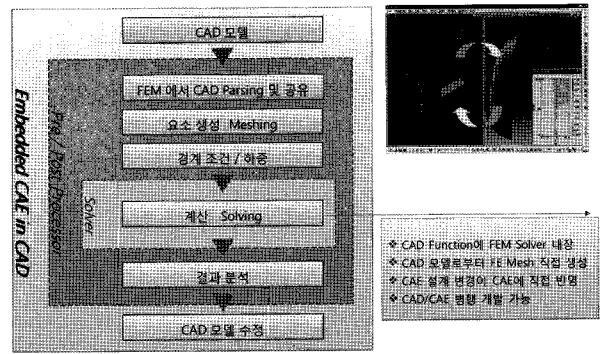


그림 3 CAD와 CAE의 모델 공유에 의한 병행 설계

소만을 위한 형상 모델을 재차 작성하여 CAE 해석을 수행하는 절차를 보인 것이다. 해석에 의한 설계 변경 요구 사항은 다시 3차원 CAD 모델에 적용해야 하는 절차이다. 따라서 3차원 모델 수정이 많을 경우 해석에 필요한 경계 조건 및 요소의 형태가 달라지므로 때로는 기존의 유한요소 모델을 다시 사용하기가 어려운 상황이 많다. 그림 3은 3D CAD의 모델정보와 CAE의 mesh 정보가 통합되어 CAD 모델의 수정에 따른 FEA 정보가 Update되며, FEA에서 설계 변경을 직접 수행할 수 있는 동시 설계가 가능한 절차를 보이고 있다. 이는 가상 제품 정보(Virtual Product Data)를 이용한 공유 환경을 통해서 가능하다.

일반적으로 설계와 해석이 병행되는 제품 개발에 있어서 설계 부서는 아래와 같은 현실적인 기능을 필요로 한

다. 그림 4는 CATIA V5와 연계된 CAE 통합 방법을 개념적으로 표현하고 있다.

- 3차원 형상 정보 통합 및 모델링: 3D CAD Model의 직접 활용, MSC.Nastran, MSC.Marc, LS-DYNA, ABAQUS, ANSYS, STEP AP209, MSC.Nastran BDF 등 기존 유한요소 모델 활용, 수동 mesh와 재료 물성 정의, 요소 ID 관리, 요소 grouping, mesh 변환 및 수정
- 진동 및 좌굴 해석: 좌굴 해석, Modal Analysis, 주파수 응답 해석
- 복합 재료 해석: 복합재 파트에 대한 개념설계, 직교 이방성 재료 등 재료 물성치 모델링, Failure Criteria 반영

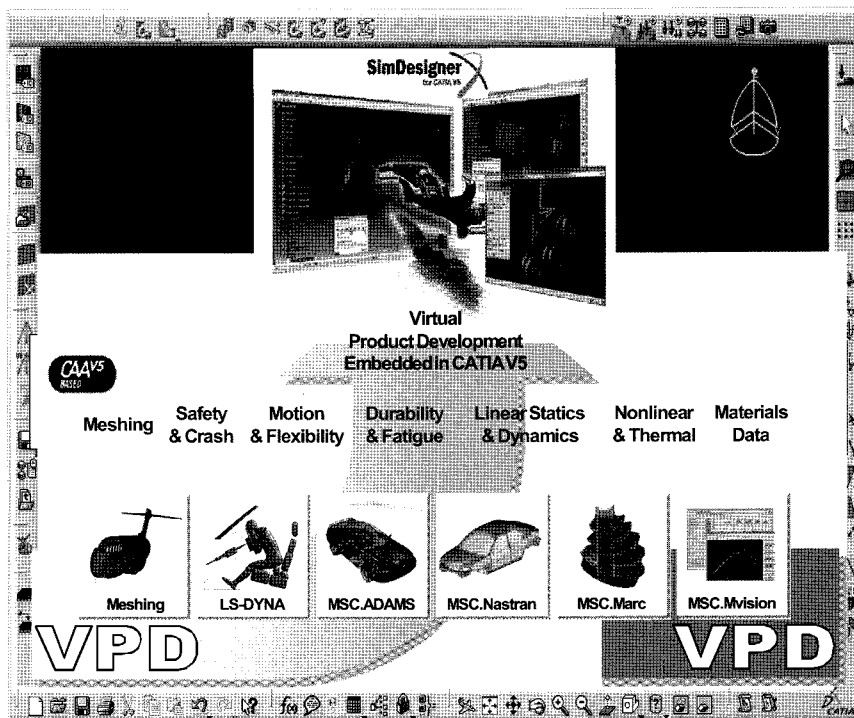


그림 4 VPD를 이용한 제품 모델 정보와 CAE 병행 설계 모델 예시 CATIA V5와 NASTRAN

- 재료 물성 DB: 재료물성 데이터베이스 연동
- 피로 해석: Strain-Fatigue Life, 다축 피로 요소 (Multi-axial Factor of Safety Options), 다중채널 시간이력 입력(Multi-Channel Time History), 손상(Damage)/안전계수 반영
- 비선형 및 대변형 해석: 접촉 및 대변형 해석, 기하학적 비선형 해석, 소성 재료 해석, Explicit Nonlinear Modeling
- 열전달 해석: 정상 및 과도 열전달 해석, 열-구조 연성 해석
- Dynamic Motion Simulation: Flexibility를 고려한 조인트와 파트 모션, 2D-3D 접촉, 자중, 마찰 영향, Adams 연동된 운동해석
- Flexible body의 운동 해석: 유연체(Flexibility) 모델링, MSC.Nastran와 MSC.ADAMS 등과 정보 연동-MMF file 자동생성 및 연계, DMU에 응력/변형 결과 적용
- Suspension 해석: 현가장치 모델, 현가 장치 설계 템플릿, 가상 테스트 Jig, 기구 동역학 해석, Load Cases 반영, Dynamic DMU(Digital Mock-Up)

### 3. 선체(ship hull)의 기본 설계를 통한 적용 사례 예시

선박 설계는 초기 설계, 기본 설계, 상세 설계, 생산 설계의 단계로 진행되며, 각 설계 단계 별로 선체(구조)와 의장(부품)의 설계가 동시에 진행된다. 특히 초기 및 기본 설계 단계에서 정의되는 선체 설계 정보는 다음의 그림 5와 그림 6에 보인 것과 같이 선형 정보(Hull Form), 구획 정보(Compartment) 정보를 비롯하여 선체 3차원 모델 정보가 주된 내용을 이루고 있다. 특히 기본 설계 단계에서는 현재는 2차원 도면으로만 형상 정보가 정의되고 있으므로 도면을 이용하여 별도의 3차원 유한요소해석 모델을 생성하고 선체 종강도 해석, 횡강도 해석, 고유진동 해석, 화물창 Hold 해석 및 피로 수명 해석을 수행하고 있다. 이러한 이유로 해석을 위한 모델링 시간이 많이 소요되며, 선체 종강도 해석 등에는 약 1개월 정도의 시간이 소요되고 있다. 또한 해석에 의하여 제시된 설계 변경 방안이 설계 도면에 반영되기 위해서는 도면 전체를 수정하여야 하는 번거로움을 가지고 있다. 이러한 이유로 선체 기본 설계 단계에서 3차원 모델링을 수행하고 그 정보를 CAE에서 직접 공유할 수 있는 설계 절차가 필요하다.

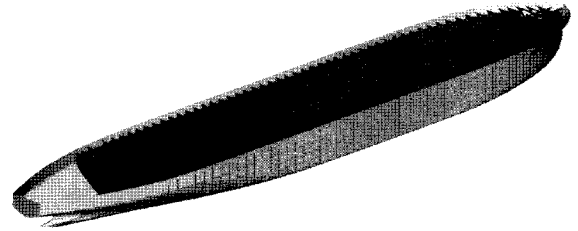


그림 5 선박의 선형(Hull form)과 구획(Compartment) 예-Surface 모델

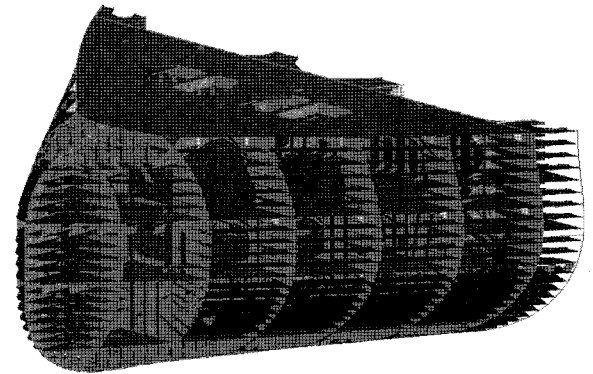


그림 6 선박의 선수 형상 정보 예-Surface (Plate) 모델

그러나 선박뿐만 아니라 교량, 토목 구조물과 같은 대형 구조물의 기본설계는 통상 3차원 Solid 요소를 이용할 필요는 없으며, 보(Beam)과 판(Plate)의 형상 정보와 속성 정보(두께, 단면 특성, 재료 특성 등)를 동시에 정의하는 보와 판의 복합 구조물을 가진 3차원 형상 정보가 효과적이다. Solid 요소를 이용한 3D CAD 정보를 CAE에서 사용하는 경우 현재의 전산기 환경으로는 해석이 현실적으로 불가능할 뿐만 아니라 Girder와 Frame과 같은 주요 부재의 응력 수준을 파악하기 위한 목적에도 위배되기 때문

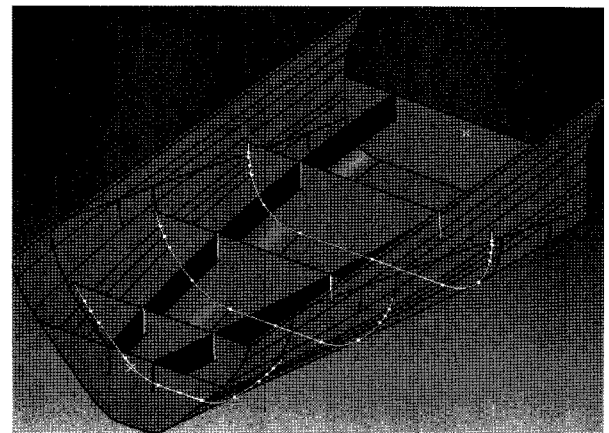


그림 7 선체 블록의 3D CAD 형상 모델 (Beam과 Plate의 복합 모델)

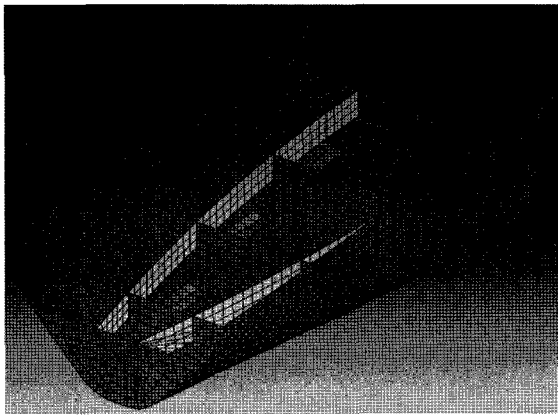


그림 8 선체 블록의 유한요소 모델 (Beam과 Plate의 복합 모델)

에 3D CAD 환경에서는 보와 판의 복합(Hybrid) 모델을 생성하고 CAE환경에서 직접 활용하는 것이 바람직한 방향이다. 그림 7은 보와 판의 복합 요소를 이용한 3차원 CAD의 정보 예시를 보이고 있으며, 그림 8은 동일한 3차원 CAD정보를 공유한 직접 요소 분할 예시를 보인 것이다.

### 3.1 보와 판의 복합 구조물 3D CAD 정보 생성

다음의 그림 9와 그림 10은 기본 설계 단계에서 Plate와 Beam으로 구성된 3차원 CAD 정보의 예를 든 것이다. 기존의 Surface 모델과는 달리 Beam과 Plate의 구조 모델을 직접 활용하여, 단면 형상 정보, 재료 속성 정보를 3D CAD 모델에 정의한다. 그림 11와 그림 12는 기본 설계의 정보를 바탕으로 상세 구조물의 모델을 생성하는 과정이며 주로 solid model을 이용하고 있다.

따라서 Beam과 Plate로 구성된 복합 CAD 모델을 CAE 환경에서 모델 정보를 직접 공유할 경우 별도의 모델을 추가하지 않고 직접 요소를 생성할 수 있는 장점이 있다. 또한 유한요소해석 결과에 따라서 제기된 설계 변경을 직접 수행할 수 있으므로 설계 해석의 동시 진행이 가능한 장점이 있다. 그림 13은 Beam과 Plate 객체를 바탕으로 인스턴스(Instance)를 생성하는 방법으로 정의된 구조물의 예를 보인 것이다. 특히 Beam과 Plate와 같은 객체를 이용한 CAD 정보의 경우 아래와 같은 장점을 가지고 있다.

- 각각의 부재가 속성을 가지는 의미(Semantic) 있는 CAD 모델링이 가능하다.
- Mesh 생성 시에 CAD 데이터의 변환 없이 보 요소와 판 요소로 적절히 분할할 수 있다.

- Parametric Modeling이 가능하므로 CAD 모델의 설계 변경 정보가 FE Mesh에 자동으로 Update 될 수 있다.

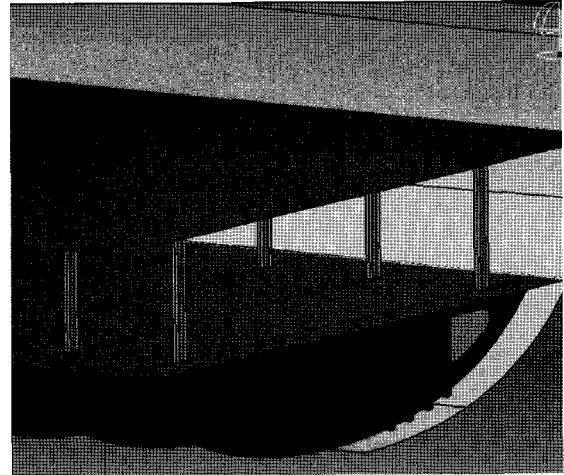


그림 9 판과 보의 복합 구조-3D CAD 모델 예시1



그림 10 판과 보의 복합 구조-3D CAD 모델 예시2

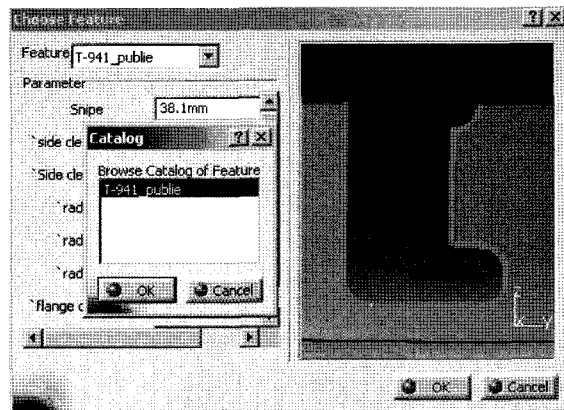


그림 11 Slot 및 Hole 등의 형상 모델링을 위한 속성 정의

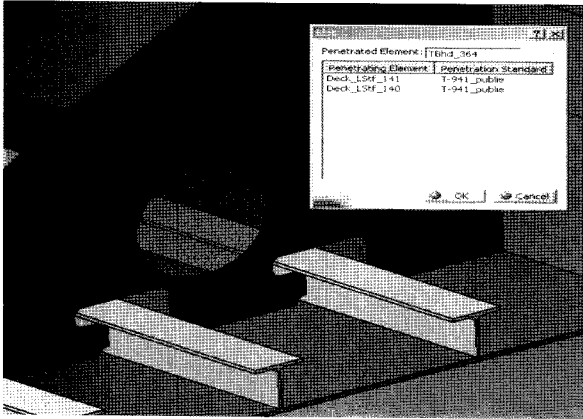


그림 12 Slot 및 Hole의 상세 설계 모델 예시

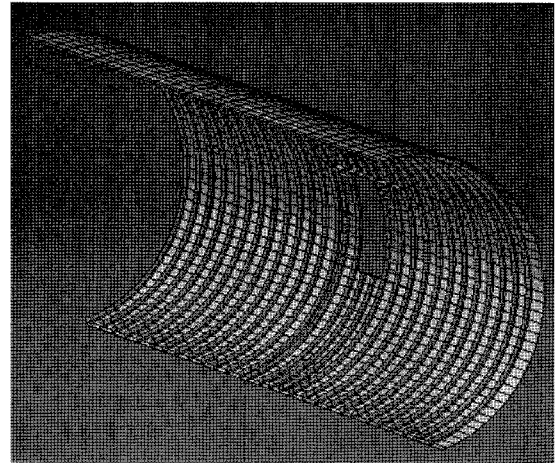


그림 15 보와 판이 결합된 3차원 CAD 모델로부터 생성한 요소 예

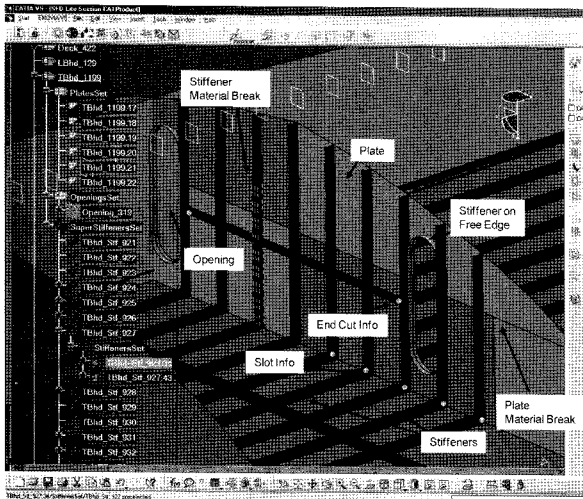


그림 13 Beam과 Plate를 이용한 구조물의 Semantic model 정보 예

### 3.2 보와 판의 복합 구조물 3D CAE

다음의 그림 14는 각각 Plate 객체를 이용한 선박 블록

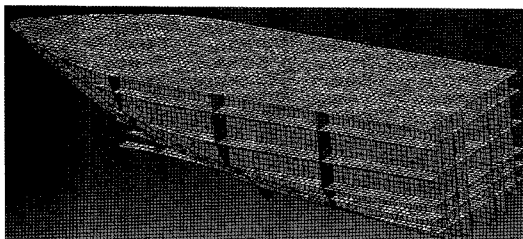
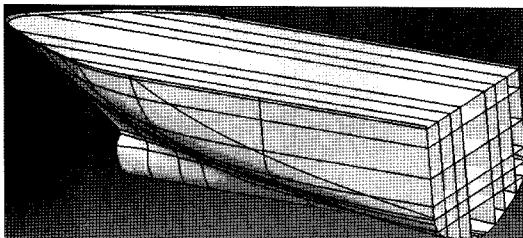


그림 14 3D CAD으로 부터 직접 생성한 요소 예

의 기본 설계 형상 모델과 그에 대응하는 유한요소 모델의 정보를 보인 것이다. 그림 15는 Beam(Frame)과 Plate 객체가 결합된 구조물의 3D CAD 정보와 그에 대응하는 요소의 예를 보인 것이다.

#### 기능 요구 사항

Shell/Plate, Beam 구조로 직접 생성된 CAD 모델로부터 CAE 모델 생성하기 위해서는 특히 아래와 같은 기능 요구 사항이 구현되고 있다.

1. Automatic constraint algorithm과 Parametric Design에 의한 FE Model Update
2. Bema, Plate의 속성 정보를 FE Model에 반영
3. Intersection Line에서 보 요소와 판 요소의 절점 자동 생성
4. 설계 변경 정보의 FE Model Update

그림 16은 CAD의 Plate 구조를 FE Mesh로 직접 생성하는 과정을 보인 예이다. 특히 Frame과 Stringer 객체와 같이 Beam 객체와 교차선 등에서 자동 mesh 등의 기능을 보이고 있으며, 교차선의 이동 등 설계 변경에 따라서 교차선에서 자동으로 절점이 생성되는 과정을 보이고 있다. 그림 17은 CAD 정보에 정의된 보 요소의 속성(단면 형상, 재료 특성 등)을 별도의 지정 없이 FE Mesh에서 자동으로 이용하며, 속성 항목의 변경을 통하여 FE Model의 변경을 자동으로 갱신하는 예제를 보이고 있다.

### 3.3 구조 부재를 포함하는 3D CAD 모델과 FE Model 통합의 장점

현재 구현된 시스템의 장점은 아래와 같이 요약될 수 있다.

- 설계 성능에 대한 즉각적인 피드백 가능

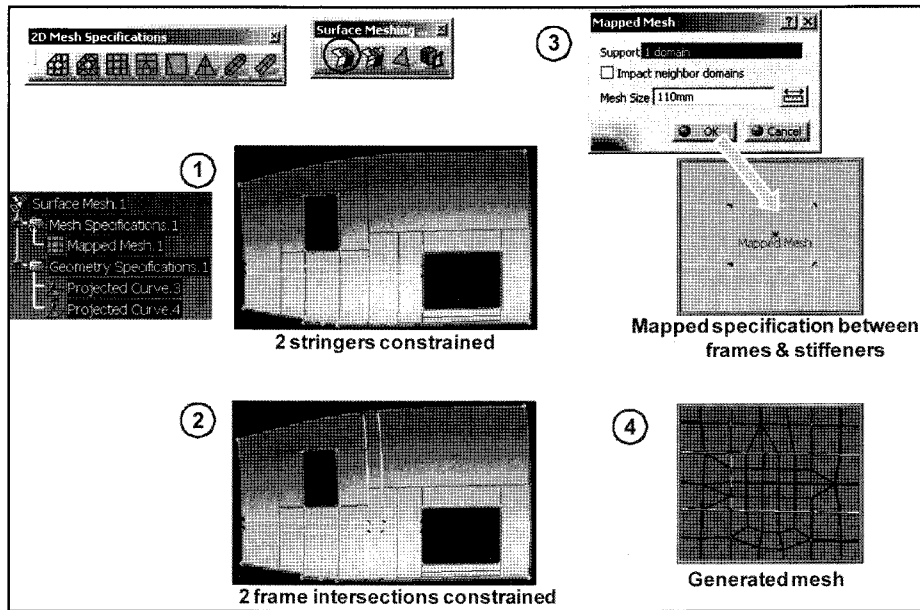


그림 16 Plate를 포함하는 CAD 모델의 FE Mesh 생성 절차 예

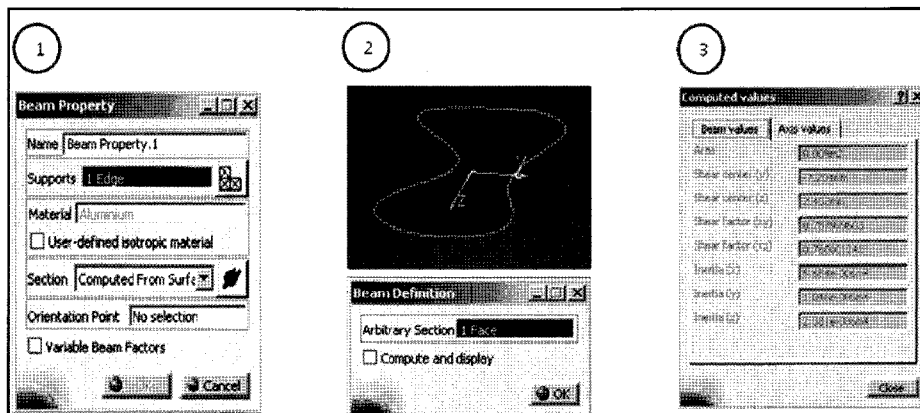


그림 17 Beam을 포함하는 CAD 모델의 FE Mesh 생성 절차 예

- 설계 초기단계에서의 해석을 통한 설계 개선 시간 단축
- 단일 Virtual Product Data(CAD 정보)와 CAE 핵심 기술과의 연동 가능
- 물리적인 Prototyping 비용 절감
- 설계 단계상에서 보다 빨리 가치 있는 정보데이터 획득
- 다양한 설계인자를 고려한 설계 대안의 CAE 해석 가능
- 설계자와 CAE 엔지니어들 사이의 효율적인 협업주도
- 통합된 시뮬레이션 환경을 통해 설계성능에 대한 즉각적인 피드백
- 설계 초기단계에서 복잡한 비선형 분석을 통한 설계 개선
- CAD-CAE 통합환경에서의 시뮬레이션을 통한 설계 및 제품 성능향상
- 사용자의 PLM 시스템에 대한 투자 이익 기대
- 해석 프로세스를 설계 프로세스 내부로 통합 가능

- 기존의 CAE 도구 및 프로세스 표준화 가능

#### 4. 맺음말

본 기사에서는 Beam과 Plate를 이용한 3차원 CAD 모델 정보로부터 FE Mesh 정보를 직접 생성하여 CAE에 사용하는 예를 살펴 보았다. 그 예로써 Beam과 Plate 객체를 이용한 구조 모델과 유한요소해석 모델의 정보 공유를 보였다.

#### 감사의 글

본 기사의 작성을 위하여 한국 IBM, 다쏘 시스템, 한국 MSC, 그리고 RAONX社에서 그림과 예제를 제공하셨습니다. 자료를 협조해 주신 기관에 감사 드립니다. ☞