

MIDAS NFX 소개

(상용 유한요소해석 프로그램)

Computational Design Laboratory
Department of Automotive Engineering
Hanyang University, Seoul, Korea



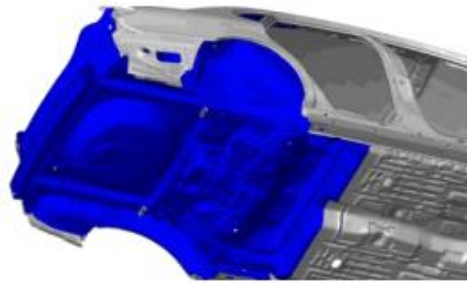
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



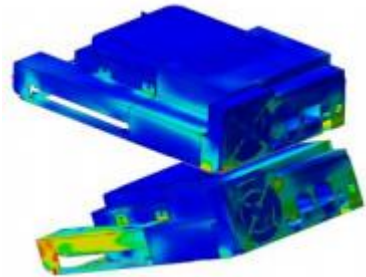
CDL

Computational
Design
Lab

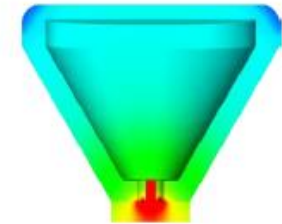
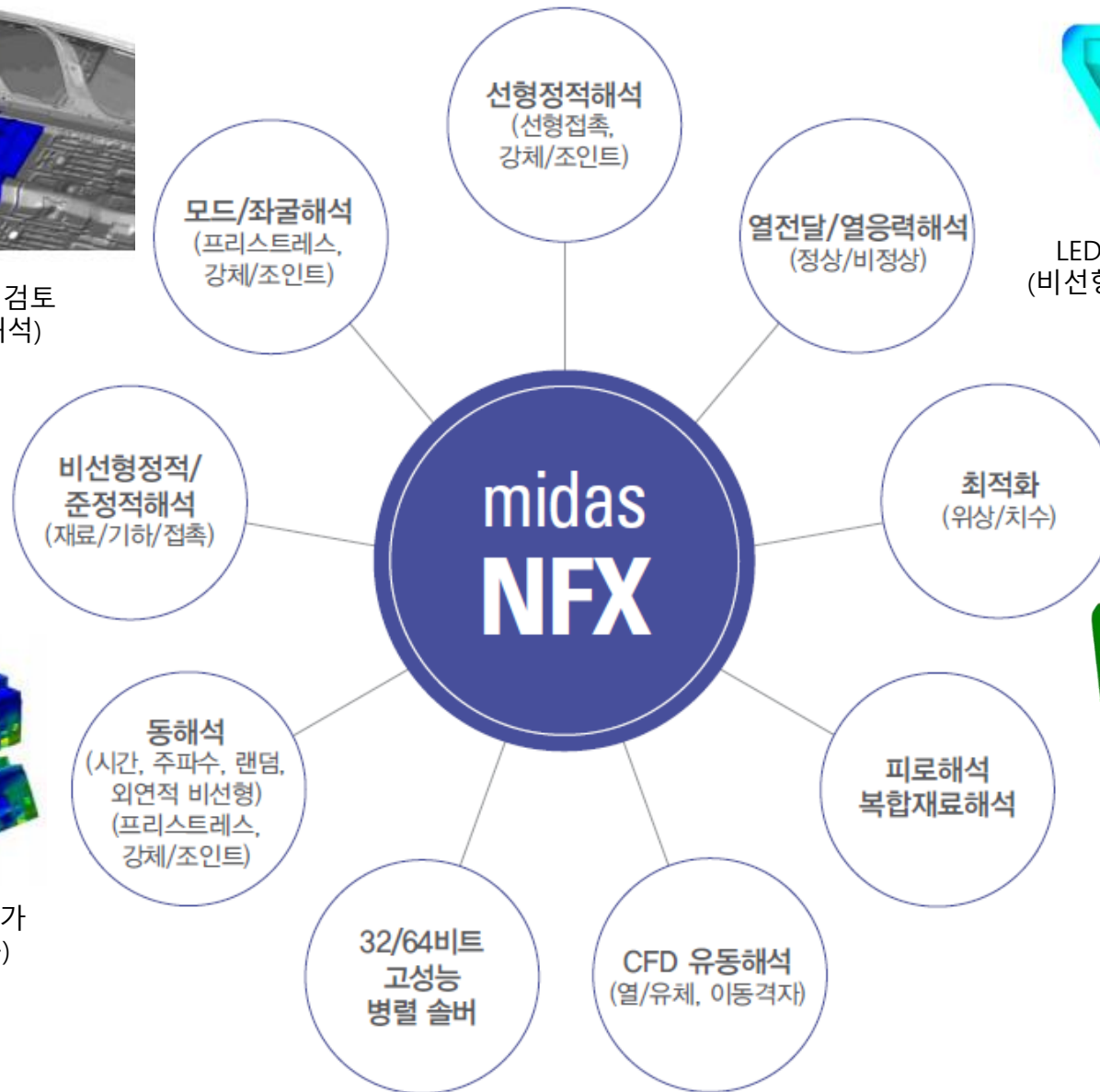
MIDAS NFX



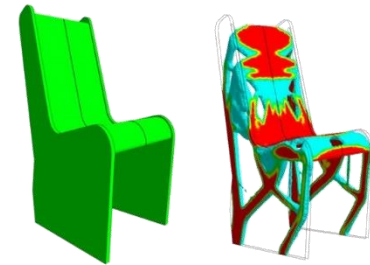
차체의 강도/내구 검토
(선형정적/피로해석)



하드디스크의 낙하 평가
(비선형 동해석, 접촉)



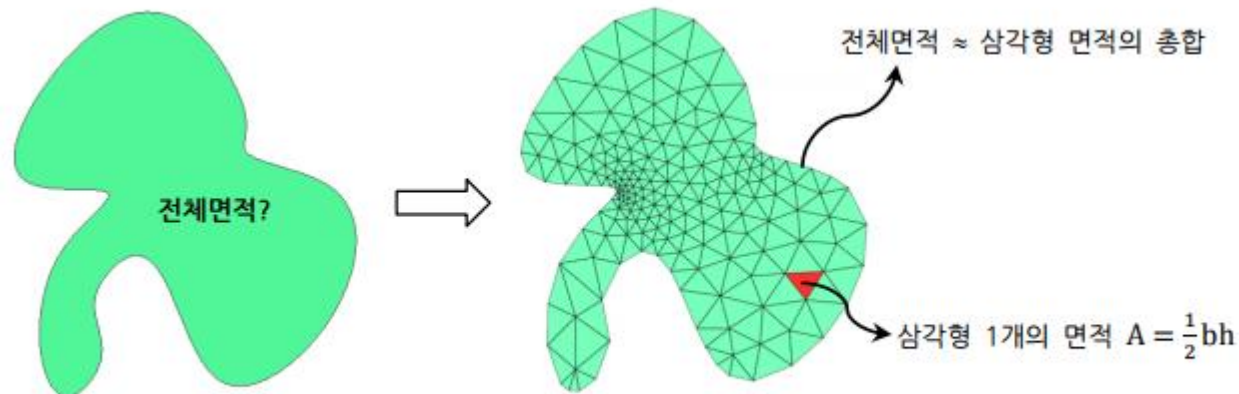
LED 램프내 온도분포
(비선형 열전달, 공동복사)



의자의 구조 최적 설계
(선형해석, 위상최적화)

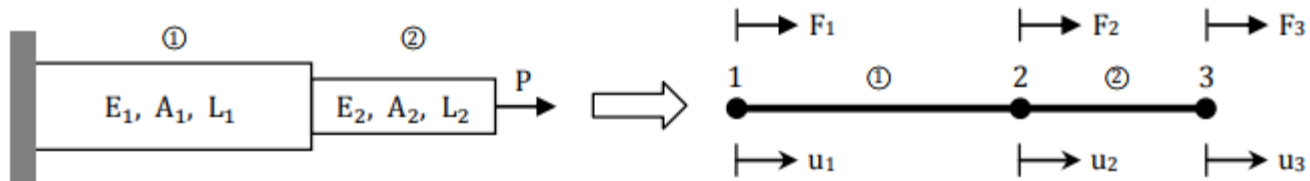
FINITE ELEMENT METHOD

- 유한요소법: 유한개의 요소를 이용하여 근사해를 구하는 수치해석기법



이론해가 없는 문제에 대한 근사해법 방식의 풀이 예

- 특성을 알고 있는 기본 요소들의 조합을 통해 모델 구성 및 해석 수행



2개의 봉요소로 구성된 구조물과 유한요소모델

ELEMENTS

• 3D 요소

▪ 일반 솔리드

사면체, 오면체, **피라미드**, 육면체

▪ 복합재 솔리드 (오면체, 육면체)

• 2D 요소

▪ **셸**, 평면응력, 평면변형률, 축대칭

▪ 복합재 셸, 표면요소

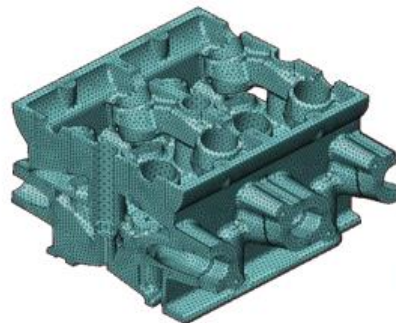
• 1D 요소

▪ 보, 봉(트러스), 파이프

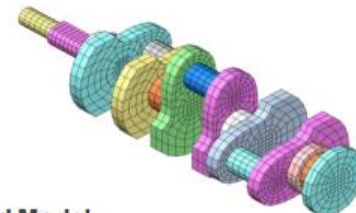
• 기타

▪ 스프링, 분포질량, 집중질량, 댐퍼

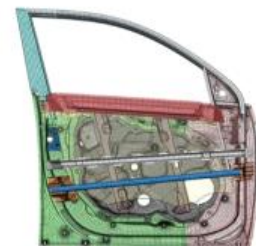
▪ 강체연결, 보간연결, 부쉬(Bush)



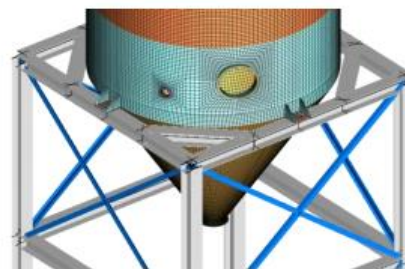
Solid Model



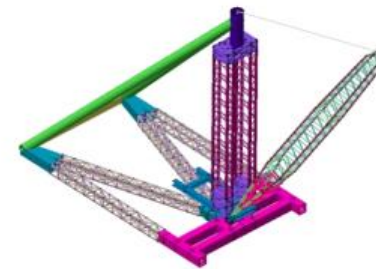
Shell Model



Hybrid Model (Shell/Solid/Mass/Link)



Hybrid Model (Solid/Shell/Frame)



Frame Model

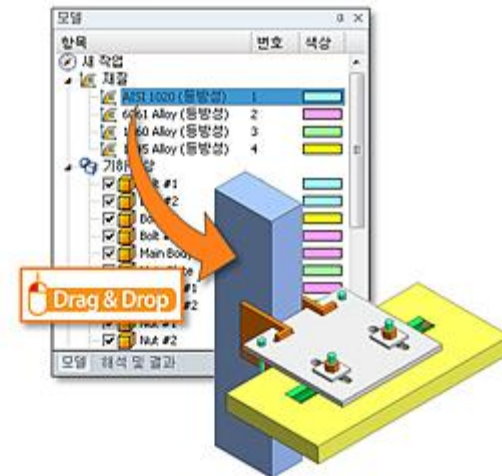
MATERIAL PROPERTIES



재료물성 DB

→ 강재, 합금, 알루미늄 합금, 플라스틱
KS를 포함한 국가별 표준강재 등

기본재질 등록으로
새 프로젝트 시작시
기본재질 자동 제공



KS 강재 포함, 총 1,000여개의 재료물성 DB 제공



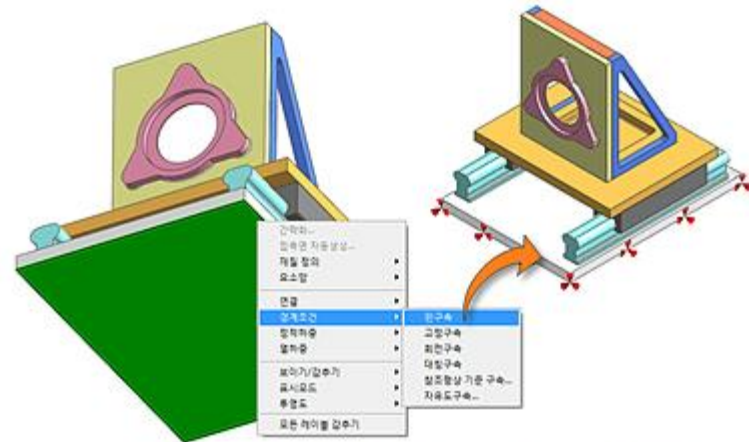
LOAD & BOUNDARY CONDITIONS

• 하중

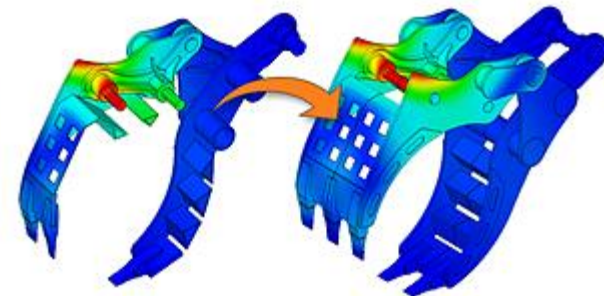
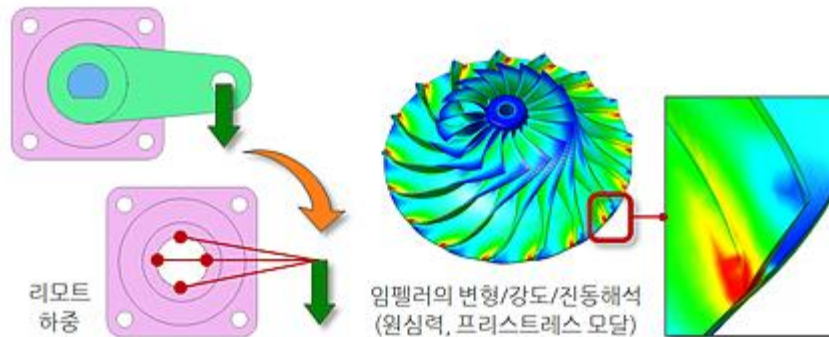
- 자중, 원심력, 집중하중, 모멘트, 온도, 압력, 보하중, 파이프 내압
- 리모트 하중, 베어링 하중

• 경계조건

- 고정/핀/회전구속, 자유도구속
- 대칭구속, 참조형상 기준 구속



대상 면 선택 후, 오른쪽 버튼 클릭으로 하중/경계조건 직접 부여



1/2 대칭모델에 대칭구속조건 해석 후, 전체모델의 결과 표현

LINEAR STATIC ANALYSIS

• 선형정적해석

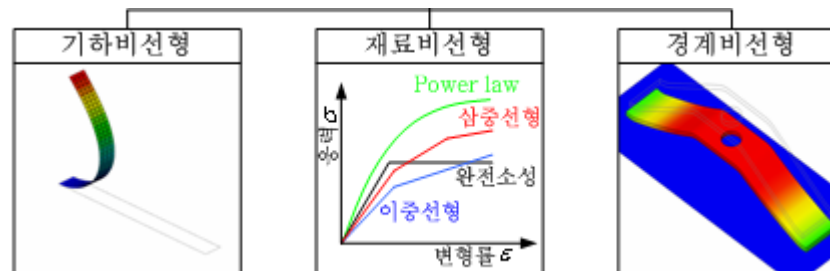
- 모든 해석의 기본이 되는 해석
- 힘, 온도, 자중 등의 작용하중에 대해 **변위, 응력, 안전율** 등의 응답 결과를 분석하여 구조물의 **변형 거동과 항복/파손여부** 등의 **강도 안정성**을 평가

• 정적해석의 조건

- 작용하중이 시간에 따라 변하지 않고 일정함 ($\leftrightarrow$ 동해석)

• 선형의 조건

- **재료물성이 선형 ($\leftrightarrow$ 재료비선형)**
재료물성이 탄성으로, 하중과 변위, 응력과 변형률이 선형비례 관계임
- **기하학적 형상이 선형 ($\leftrightarrow$ 기하비선형)**
변형에 의한 구조물의 강성 변화를 무시할 수 있을 만큼 변위가 작음
- **경계조건이 선형 ($\leftrightarrow$ 경계/접촉비선형)**
하중의 작용시점부터 최종 변형 상태까지 경계조건이 변하지 않음



MODAL ANALYSIS (1)

• 모달해석

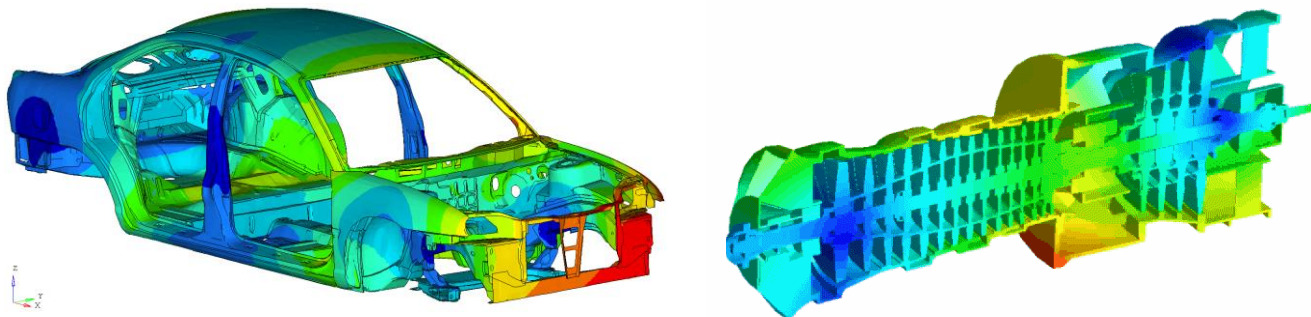
- 모든 동해석의 기본이 되는 자유진동해석
- 외력과 감쇠가 없는 조건에서 구조물의 강성과 질량에 의해 결정되는 고유 진동수와 고유 진동수별 고유 변형형상(모드형상)을 분석

• 구조물의 중요한 동적특성

- 고유 진동수(고유주기), 각 고유 진동수별 모드형상, 모드기여계수 등

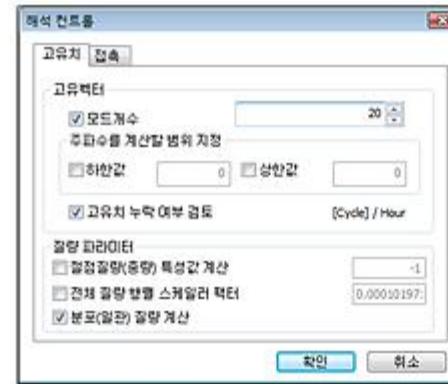
• 모달해석의 활용

- 진동이 발생하는 구조물에 장착되는 부품에 대해 공진을 피하도록 설계
→ 부품의 모달해석을 수행하여 부품의 고유진동수를 계산한 후, 구조물의 진동수 또는 작용하중의 진동수와 비교하여 안정성을 파악/개선
- 시스템의 운영 진동수에서의 변형형상을 파악/유도
→ 변형형상이 취약부에 영향을 미치지 않도록 하거나, 반대로 음향기기 같은 제품에서는 운영 진동수에서 원하는 동적변형이 발생하도록 유도
- 모드법 기반의 과도응답해석/주파수응답해석에서 기본 데이터로 활용

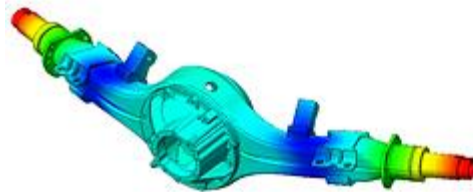


MODAL ANALYSIS (2)

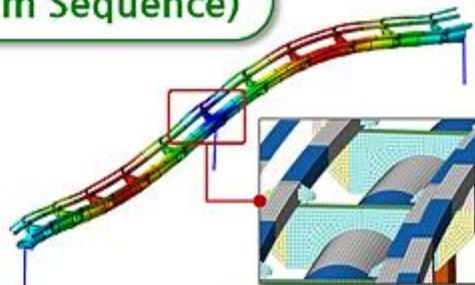
- 병렬 Block Lanczos 솔버
- 해석결과
 - 고유진동수, 모드형상
 - 모드참여율, 유효질량, 계산오차
 - 응력, 변형률, 변형에너지 등
- 분포질량, 집중질량
- 계산 진동수 범위 지정 가능
- 고유치 누락 체크 (Sturm Sequence)



모달해석 제어 대화상자



차축의 모달해석
(7차모드, 구속조건이 없는 강체모드해석)



웨도레일의 모달해석
(4차모드, 헬/프레임 모델)

REAL EIGENVALUES						
MODE NUMBER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	GENERALIZED MASS	GENERALIZED STIFFNESS	ORTHOGONALITY LOSS
1	1.18e+009	5.37e+004	5.27e+003	1.00e+000	1.18e+009	0.00e+000
2	1.18e+009	5.37e+004	5.27e+003	1.00e+000	1.18e+009	4.07e-010
3	2.10e+009	4.18e+004	7.10e+003	1.00e+000	2.10e+009	1.00e-011
4	6.40e+009	6.30e+004	1.20e+004	1.00e+000	6.40e+009	2.00e-010
5	7.57e+009	6.01e+004	1.42e+004	1.00e+000	7.57e+009	2.36e-011
MODAL EFFECTIVE MASS						
MODE NUMBER	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	2.70e+008	6.11e+003	0.00e+000	5.10e+001	1.68e+002	1.27e+001
2	6.11e+003	2.70e+008	0.00e+000	1.68e+002	5.10e+001	1.27e+001
3	0.00e+000	0.00e+000	0.00e+000	7.10e+011	2.00e+011	1.00e+001
4	0.00e+000	0.00e+000	0.00e+000	1.00e+001	1.00e+001	2.22e+011
5	3.40e+005	1.40e+003	0.00e+000	1.00e+001	2.54e+005	4.90e+000
TOTAL	5.19e+003	6.02e+003	6.01e+003	4.82e+001	4.61e+001	4.12e+001
TOTAL N MODELS	7.00e+003	7.00e+003	7.00e+003	0.00e+000	0.00e+000	0.00e+000
PERCENTAGE MODAL EFFECTIVE MASS						
MODE NUMBER	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	0.04%	65.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	65.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	76.45%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.44%	18.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

모달해석의 수치결과 테이블의 예

MODAL ANALYSIS (3)

• 프리스트레스 모달해석

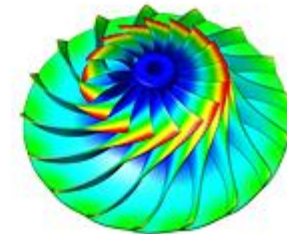
- 2개 서브케이스의 연속 해석
프리스트레스 조건 해석 후,
구조물의 강성에 반영/갱신하고
고유치해석 수행

• 선형접촉 지원

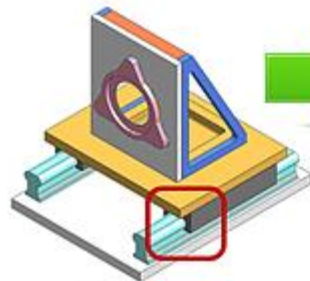
- 파트간 상대거동을 고려한 모드
- 일체거동, 슬라이딩, 보간연결



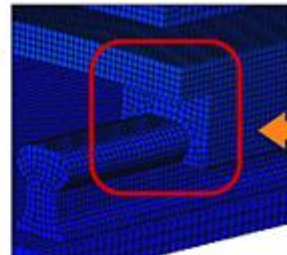
2개의 서브케이스로 구성된
프리스트레스 모달해석



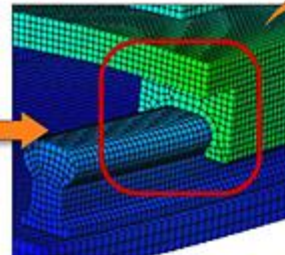
회전 조건에 대한 임펄스의 모달해석
(프리스트레스 모드, 원심력)



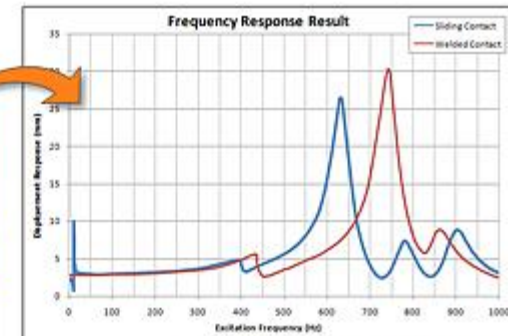
접촉거동 비교 (레일부의 거동)



일반적인 일체거동 접촉



슬라이딩 접촉 (상대거동)



주파수응답해석 결과 (최대응답 발생 주파수 상이)

BUCKLING ANALYSIS (1)

• 좌굴해석

- 구조물의 불안정성을 유발하는 **임계하중**을 찾고, **안정성을 검토**하는 해석
- **고유치 문제**
임계하중을 계산하기 위하여 작용하중(P_a)에 대한 계수(λ)를 구하며,
이 계수(λ)가 **고유치**임 $\rightarrow$ 임계하중은 둘의 곱으로 계산 ($\lambda \times P_a$)

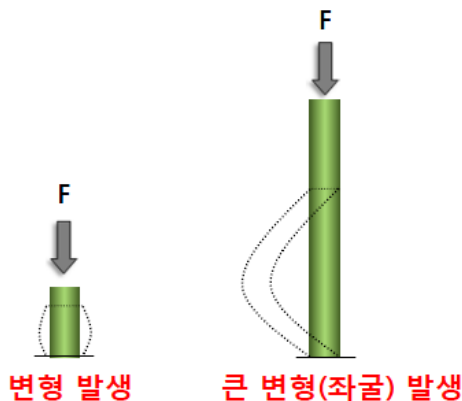
• 좌굴해석을 통한 안정성 검토가 필요한 경우

- 구조물이 크기가 큰 압축하중을 받는 경우
- 구조물의 형상이 길고 가는 경우, 구조물의 두께가 얇은 경우

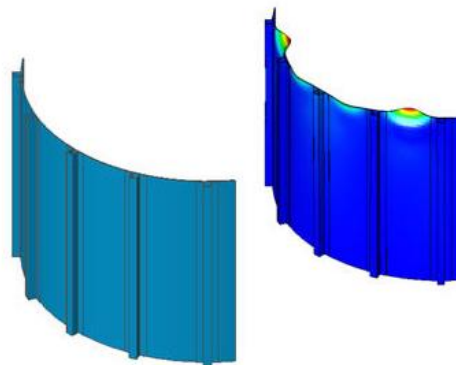
<예> 축방향의 압축하중을 받는 기둥, 외부압력을 받는 박판 원통 등



빔의 좌굴



얇은 판재의 좌굴



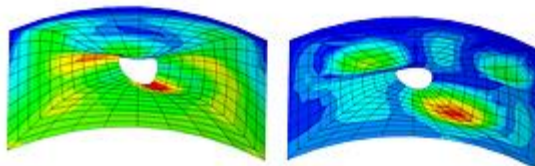
BUCKLING ANALYSIS (2)

- 병렬 Block Lanczos 솔버
- 복합재료 솔리드 등 모든 요소 지원
- 해석결과
 - 고유치(계수), 모드형상
 - 응력, 변형률, 변형에너지 등
- 계산 고유치 범위 지정 가능
- 고유치 누락 체크 (Sturm Sequence)
- 선형접촉 지원

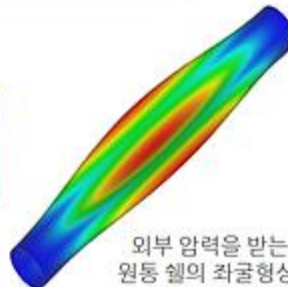


선형정적해석 수행 후,
계산된 재료/기하강성을
구조물의 강성에 반영하고
고유치해석 수행

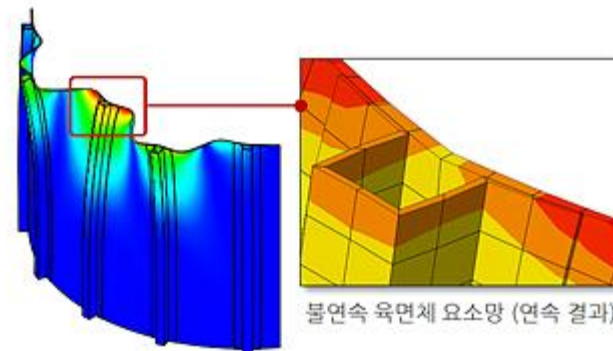
2개의 서브케이스로
구성된 좌굴해석



내부 구멍이 있는 복합재 패널의 좌굴형상
(복합재 쉘 요소 사용)



외부 압력을 받는
원통 쉘의 좌굴형상



불연속 육면체 요소망 (연속 결과)

일체거동 접촉조건을 적용한 좌굴해석과 좌굴형상

NONLINEAR ANALYSIS

- **선형해석과 비선형해석의 차이**

- **선형해석:** 선형근사에 의한 비교/경향을 파악하는 해석
- **비선형해석:** 보다 정확한 결과와 성능 파악을 목적으로 하는 해석
- 작동조건/결과 등이 선형근사해석으로 충분하지 못할 경우, 비선형해석 수행

- **재료비선형**

- 응력-변형률의 관계가 선형탄성이 아닌 재료물성에 대한 해석
 <예> 항복응력을 넘어 소성영역까지 고려한 해석, 고무 등의 해석

- **기하비선형**

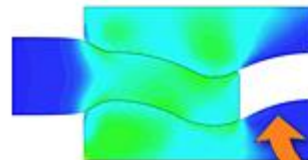
- 구조물의 강성변화를 유발할 수 있는 대변형 거동에 대한 해석

- **접촉비선형**

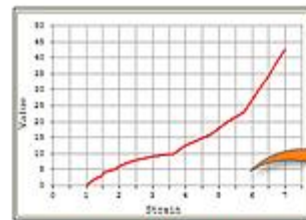
- 하중이 작용하는 동안 경계조건/접촉조건이 변하는 거동에 대한 해석
 <예> 파트간 접촉면에서 충돌, 미끄러짐, 분리 등의 거동이 발생하는 경우

MATERIAL NONLINEAR

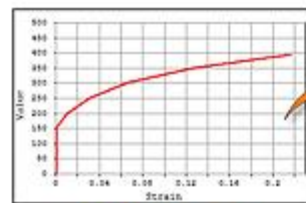
- 탄소성/초탄성 재료모델
- 탄소성 재료모델
 - 소성경화 곡선 정의
 - 응력-변형률 곡선 정의
- 초탄성 재료모델
 - 비압축성
 - Mooney-Rivlin, Ogden
 - Neo-Hookean Polynomial
 - 압축성 (Blatz-Ko)
 - 시험데이터 직접 입력 가능
- 경화거동
 - 등방, 이방, 혼합



고무의 압입해석

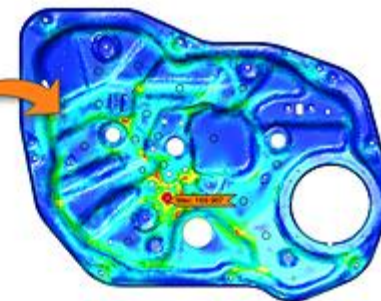


고무 시험데이터 직접 입력

시험데이터 직접 입력
(탄소성, 진응력-진변형률)

변형상수 자동계산	
A10	A01
1.608	0.1451
A20	A11
-0.007963	-0.000239
A30	A21
0.000326	0.000186

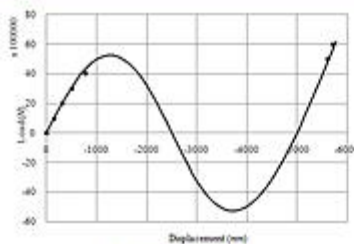
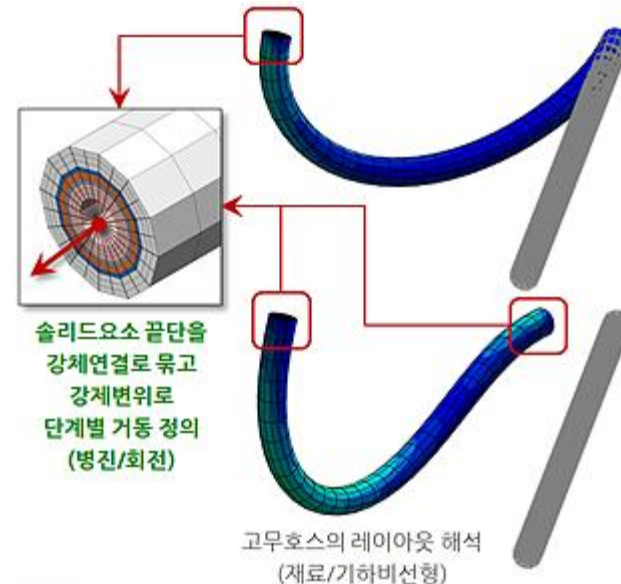
초탄성 재료모델 정의 대화상자



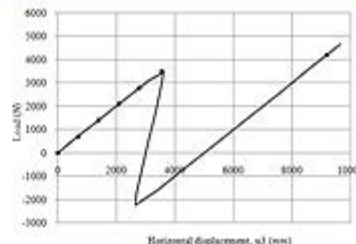
도어모듈의 강도/변형해석

GEOMETRY NONLINEAR

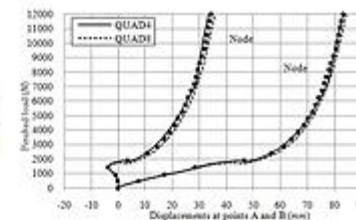
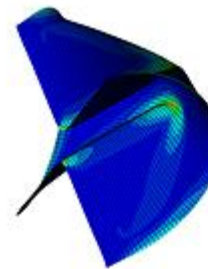
- 전체요소의 Updated Lagrangian 정식화
- 대변위/대회전 고려
 - 강체연결요소의 대변위/대회전 지원
- 종동력 (Follower Force)
 - 집중하중, 압력, 중력, 원심력
 - 보하중
- Arc-Length법 지원
 - Snap-through, Snap-back



Snap-through



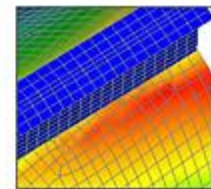
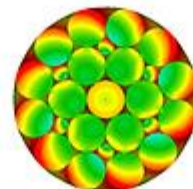
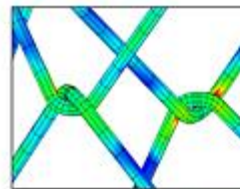
Snap-back



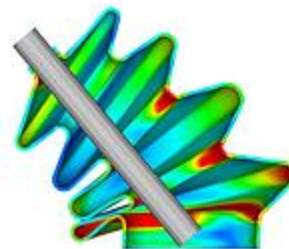
Pinched Shell의 기하비선형해석

CONTACT NONLINEAR

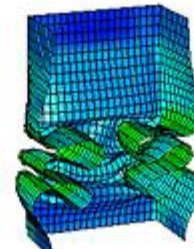
- 접촉면 자동탐색 및 정의 지원
 - 3차원 면-면, 점-면 접촉
 - 단일면 접촉
- 접촉거동
 - 일체거동, 보간연결, 거친접촉
 - 슬라이딩, 일반접촉
- 마찰계수, 강성계수, 셸 두께 고려 (셸의 양면 접촉 지원)
- 제공 결과 (접촉력, 접촉응력 등)
- 열접촉 지원



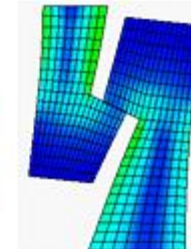
자동 접촉정의 기능을 활용한 복잡한 접촉의 정의 예



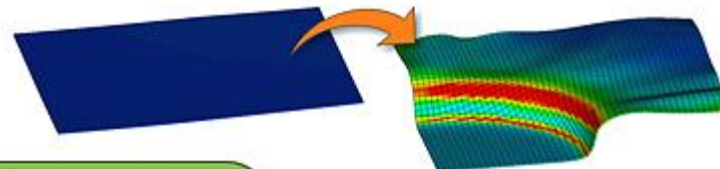
부트썰의 접촉해석
(단일면 접촉)



박스의 접촉해석
(단일면 접촉)



억지 끼워맞춤 해석
(일반접촉)



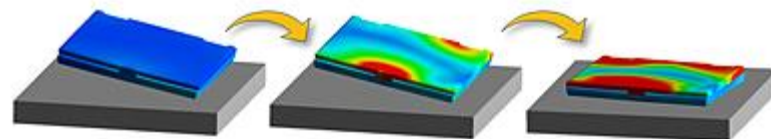
셸의 양면 접촉기능을 이용한
프레스 성형해석



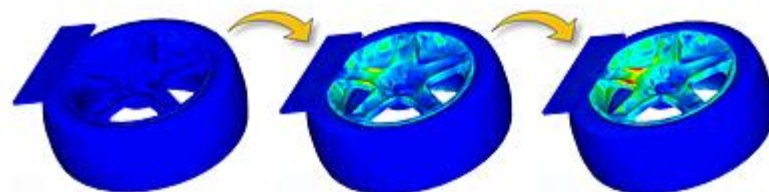
재료/기하비선형 및 Explicit 해석과 연계한 다양한 실무활용 가능

CRASH ANALYSIS (1)

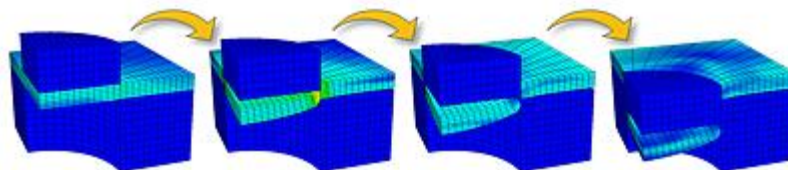
- **다양한 요소 지원**
(육면체, 고차사면체, 피라미드 등)
- **재료비선형**
 - 탄소성 (경화거동)
 - 초탄성 (압축성, 비압축성)
- **기하비선형**
 - Updated Lagrangian 정식화
 - 종동력 (Follower Force)
- **접촉비선형**
 - 3차원 면-면, 단일면 접촉
 - 일체거동, 보간연결, 거친접촉
슬라이딩, 일반접촉 (마찰)
 - 매 스텝 자동 재검색/업데이트



노트북의 낙하해석



휠의 충격하중 테스트 (고무재료, 고체 사면체요소 사용)



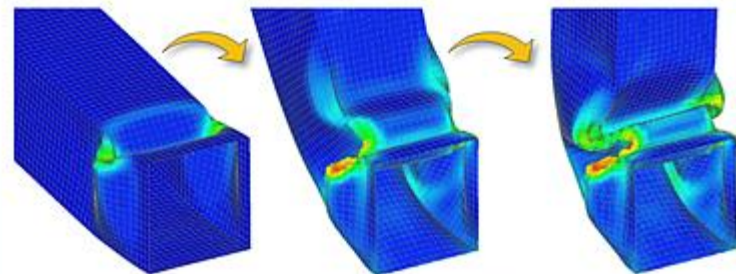
성형 및 생산공정의 시뮬레이션



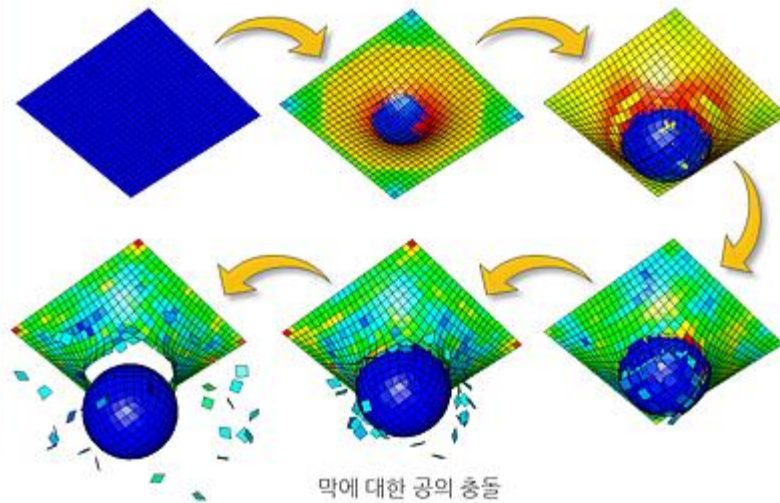
단일제품에서 단일모델을 활용한 **Explicit 해석**

CRASH ANALYSIS (2)

- 모든 2D/3D 요소의 감차적분 지원
- 감쇠
 - 질량/강성 비례 감쇠
 - 구조감쇠
- 질량스케일
 - 요소 그룹별 스케일
 - 시간스텝 기준 질량 조절
- 요소별 안전 시간스텝 계산/적용
- 해석 수행중 수렴 진행상황과
중간스텝 결과 제공
- Explicit, Implicit 해석의 연계활용
(Generalized Coupled Analysis)



박스형 튜브의 Post-Buckling 해석

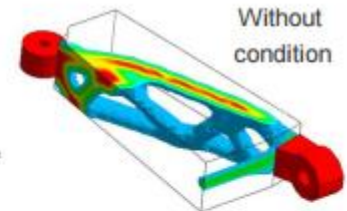
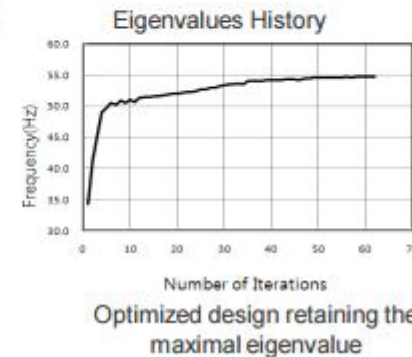
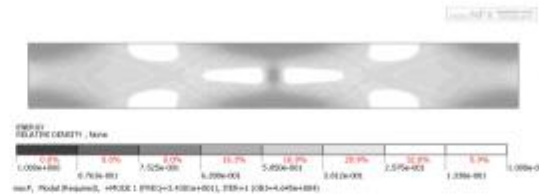
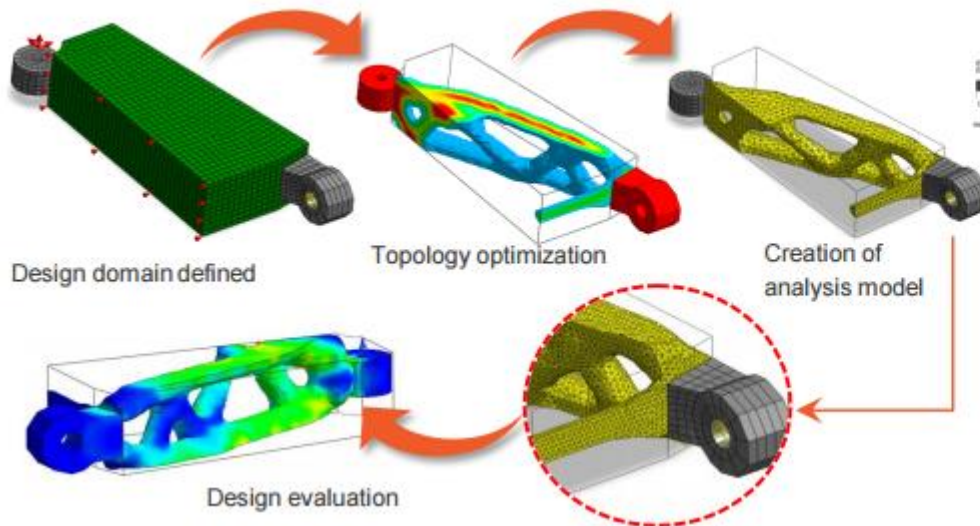


막에 대한 공의 충돌

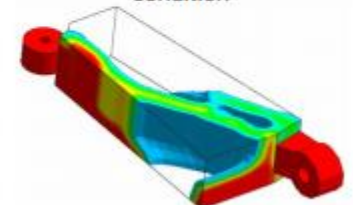
TOPOLOGY OPTIMIZATION

- 정적해석 및 동적해석을 연계한 최적화 해석 기능
 - 선형정적해석
 - 모드해석
 - 주파수응답해석
- 제작 공정 조건을 고려한 해석 기능
 - 응력, 변위, 부피, Draw Direction, 대칭조건 등의 설계 제한/제약 조건 설정 가능
- 다양한 가동조건/하중조건을 고려한 동시 최적화 해석 수행 가능
- 별도의 CAD 작업 없이 해석모델 자동 재생성 기능 및 Mesh Smoothing 기능
- 기타 실무 편의 기능
 - 모드추적, 설계/비설계 영역지정, 초기값 설정

Process of using topology optimization design



Manufacturing (Draw direction) condition



SIZE OPTIMIZATION

- 모든 종류의 열/구조 해석을 치수최적화와 연동
- 특성 및 재료의 설계변수
 - 직관적인 치수최적설계변수 지정기능
 - 단면 치수 및 두께, 복합재료 적층 두께 및 각도, 스프링 강성, 감쇠, 질량, 탄성계수 등
- 실험점 추출 (Design Sampling)
 - 다양한 실험계획법 (FFD, CCD, OA, LHD) 및 1차원 파라미터 스터디
 - 설계변수와 응답의 연관성(Correlation) 분석
- 근사모델 기반 치수최적설계
 - 근사모델 기법(Kriging model, Polynomial Regression model)
 - 근사모델 형상 분석을 위한 2D/3D 그래픽 툴
 - 최적설계안 예측 및 설계안에 대한 실제해석결과 확인
 - 설계안에 대한 자동 모델 생성

