

# Topology Optimization

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



한양대학교  
HANYANG UNIVERSITY



CDL

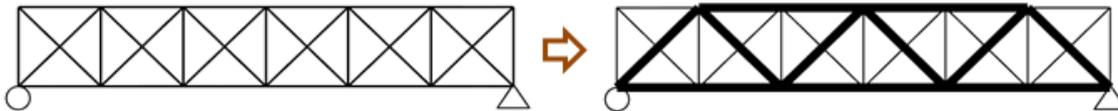
Computational  
Design  
Lab

# 목차

- 예제 문제
  - 2D structure example:
    - compliance minimization problem
    - volume minimization problem
    - eigenvalue maximization problem
  - Practical example: automotive control arm (with manufacturing constraint)
    - volume minimization problem
- 해석 프로세스
  - 기하형상 생성
  - 재료 물성 및 특성 입력
  - 요소망 생성
  - 구속조건 설정
  - 하중조건 설정
  - 최적설계 문제 정식화 및 최적설계 실행
  - 후처리

# TOPOLOGY OPTIMIZATION

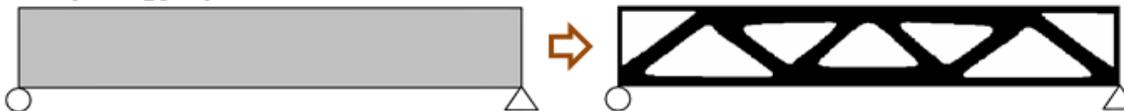
Size optimization



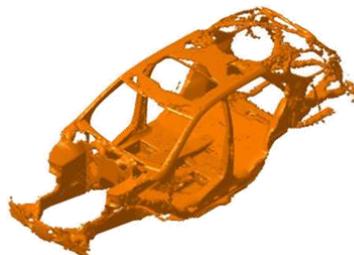
Shape optimization



Topology optimization



BIW design for weight reduction



Underbody design using light-weight material

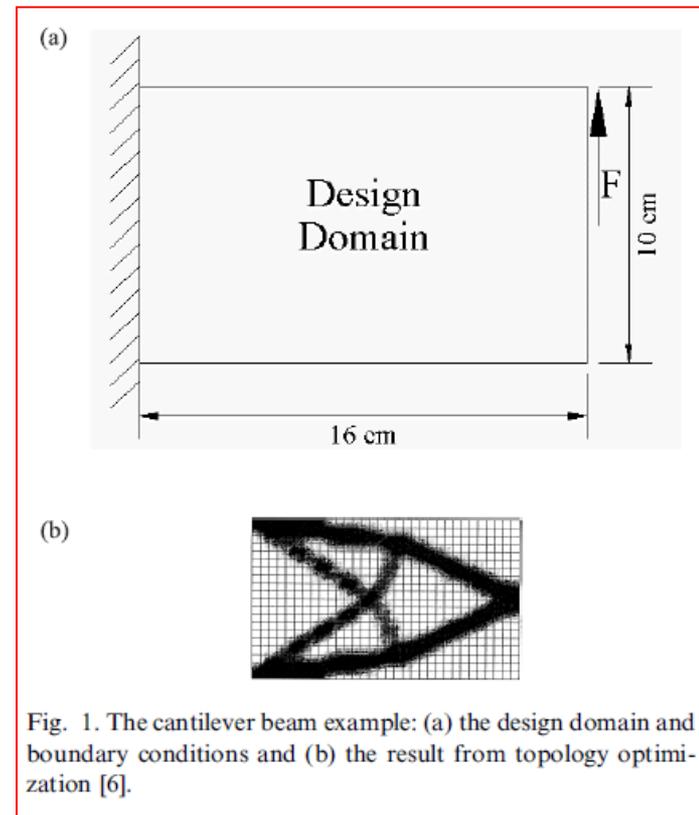
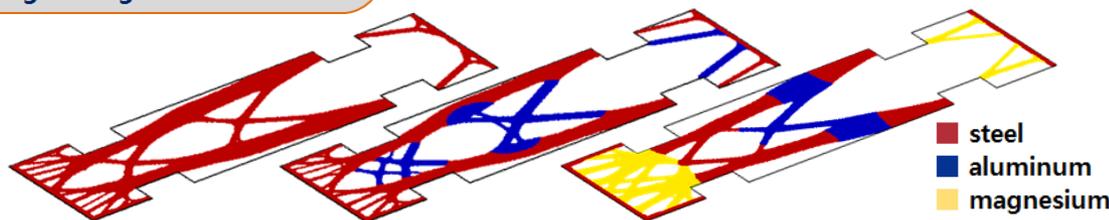
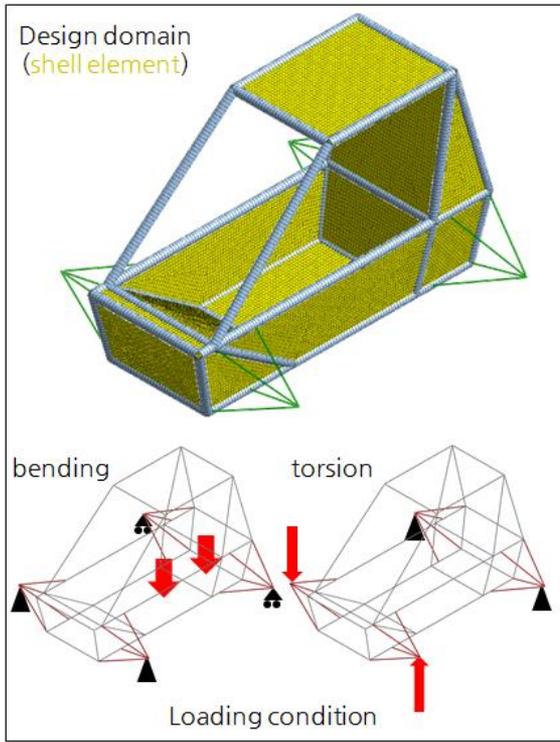
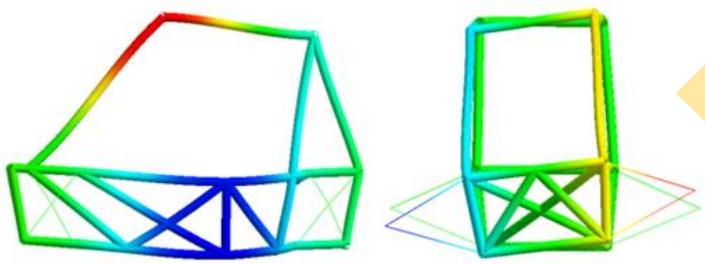


Fig. 1. The cantilever beam example: (a) the design domain and boundary conditions and (b) the result from topology optimization [6].

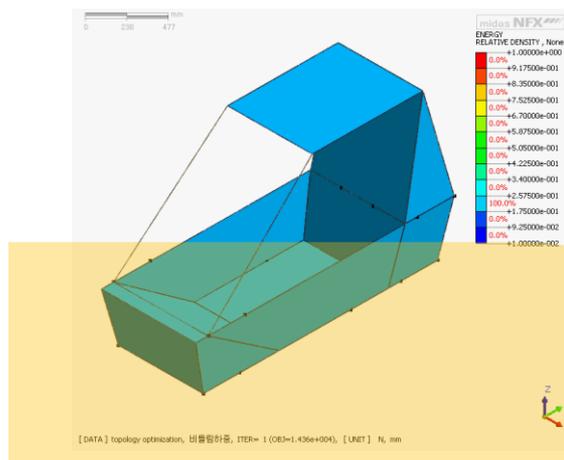
# DESIGN PROCESS



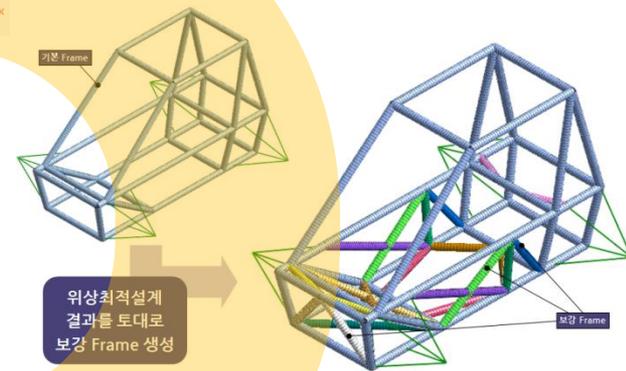
경계조건 파악



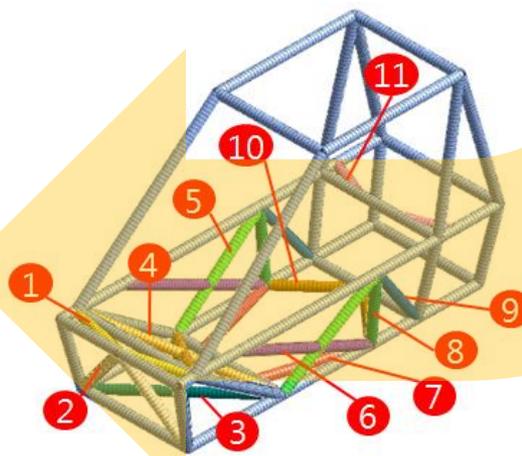
설계안 확정 및 해석검증



위상최적설계 (개념설계)



초기 설계

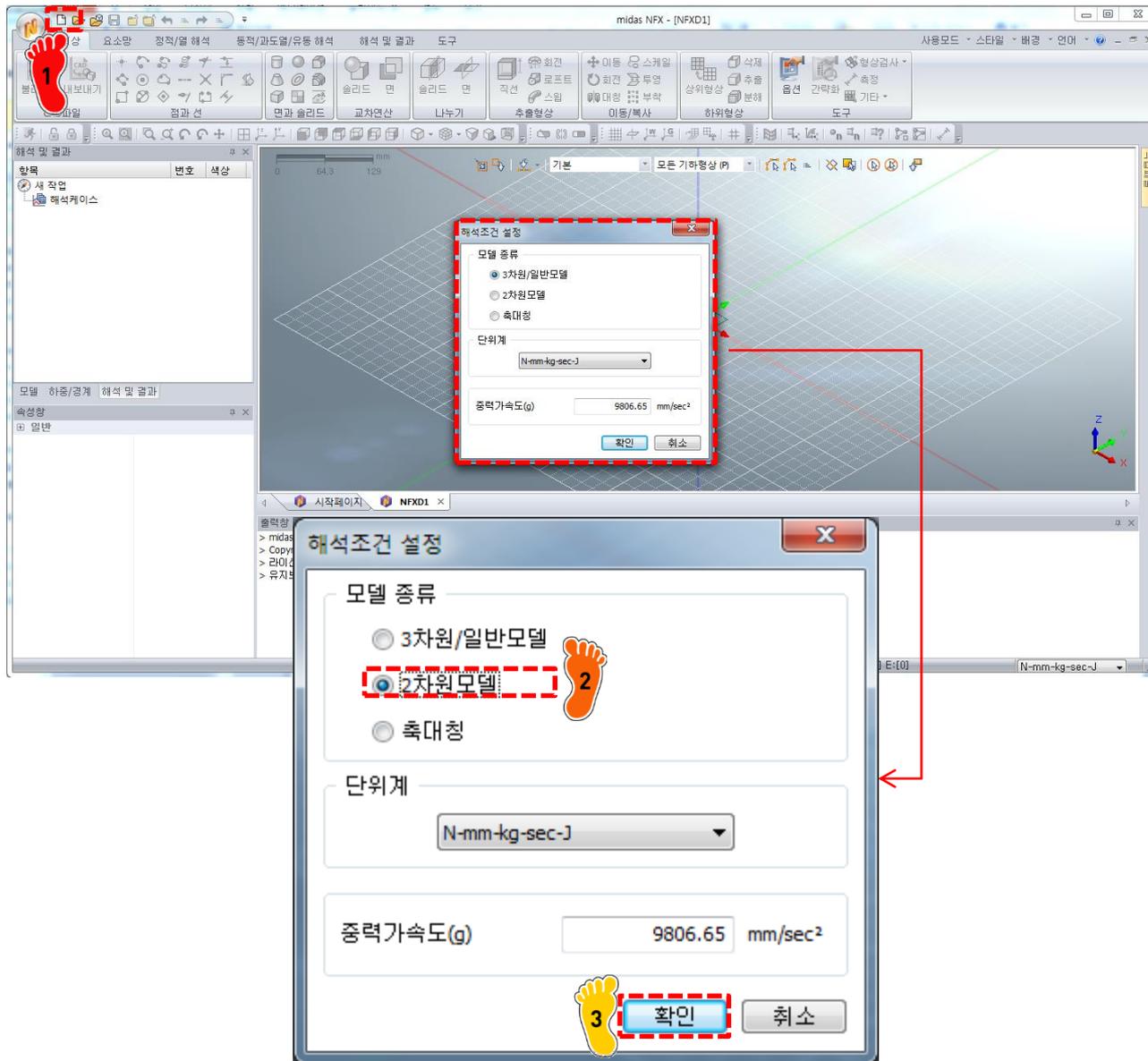


치수최적설계 (상세설계)

# 2D STRUCTURE

목적함수: 컴플라이언스 최소화  
구속조건: 부피율

# 기하형상 생성 (1)

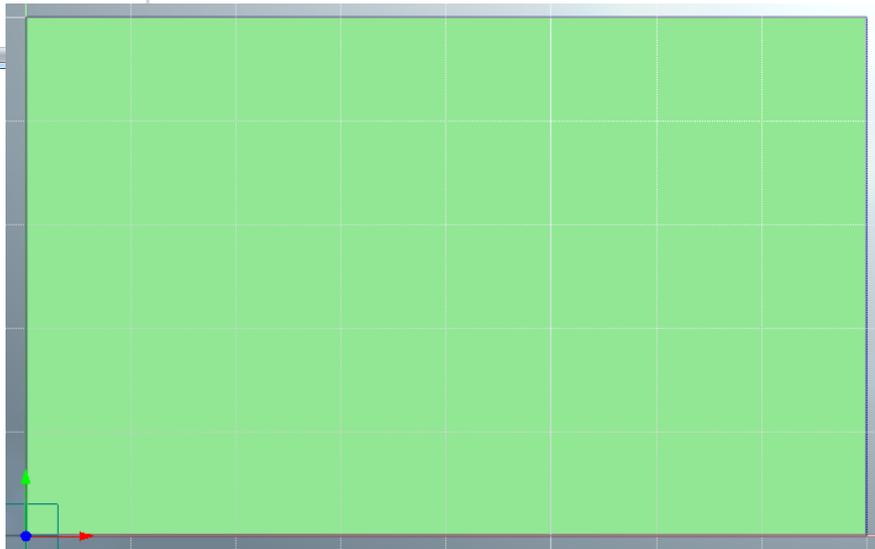
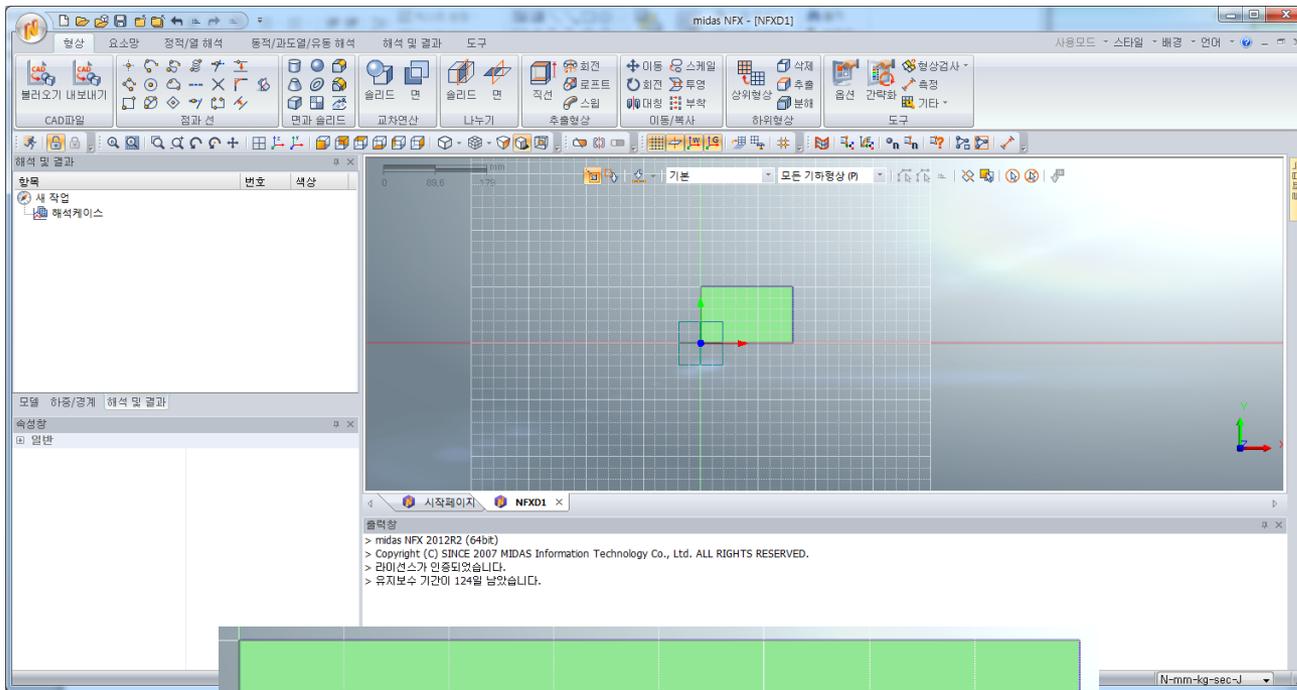


1 새로 만들기 클릭

2 2차원 모델 선택

3 확인

# 기하형상 생성 (2)



가로 160 mm  
세로 100 mm

직사각형 생성

# 재료 물성 및 특성 입력



두께 1 mm  
2차원 특성 생성

재료는 기본 재료인  
Alloy Steel 이용

2차원 특성 생성/변경

판

번호  이름  색상

재료

재료좌표계

좌표계

각도  [도]

두께

균일두께

기준함수

T / T1  mm T2  mm

T3  mm T4  mm

비구조질량  kg/mm<sup>2</sup>

면내회전자유도 포함

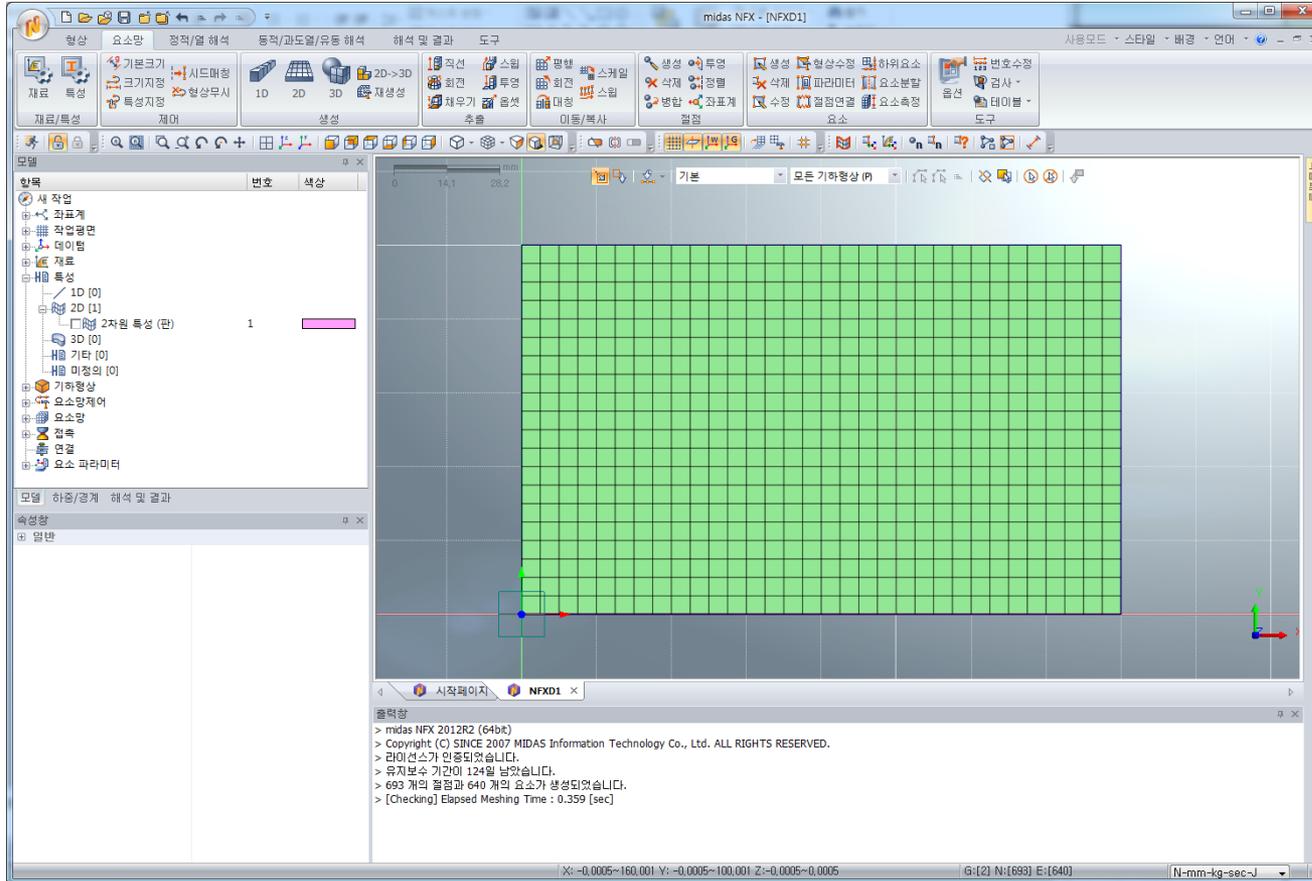
특성 추가/수정

번호	이름	종류	하위종류	생성
1	2차원 특성	2D	판	<input type="button" value="생성"/> <input type="button" value="수정..."/> <input type="button" value="복사"/> <input type="button" value="삭제"/>

# 요소망 생성



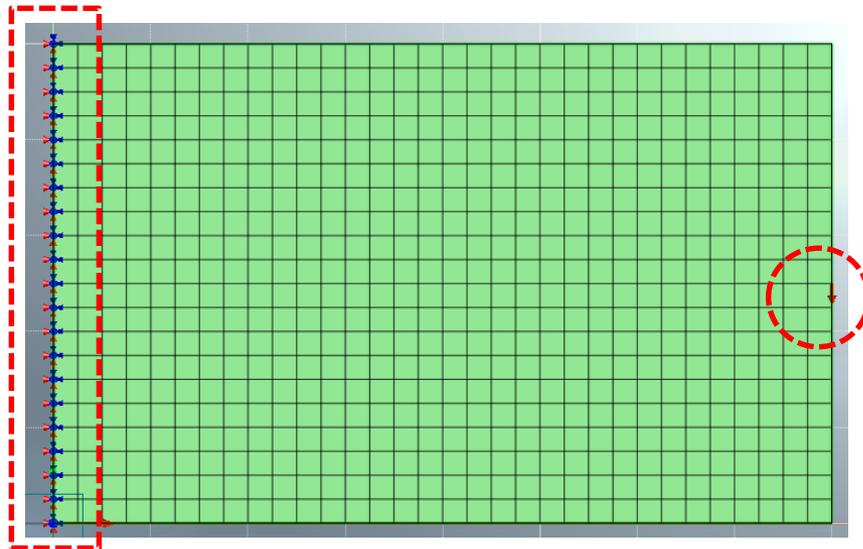
크기 5인 2차원 요소망 생성



# 구속조건 및 하중조건 설정

1 고정구속

2 가운데 절점에 단위하중 입력



집중하중

집중하중 모멘트하중

이름 집중하중-1

대상형상  
종류 절점

1개 대상 선택됨

하중타입  
 총합력  개별하중

참조방향  
종류 좌표계

참조좌표계 전체직교좌표계

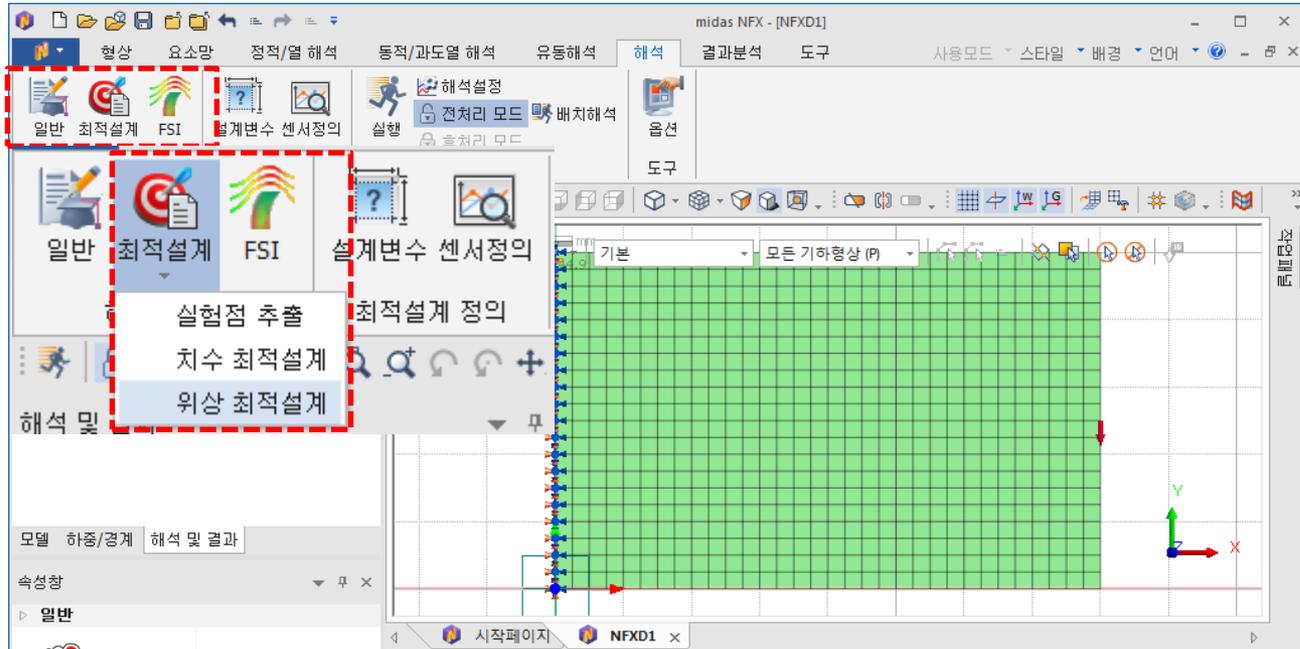
하중성분  
기준함수 없음

X	0	N
Y	-1	N
Z	0	N

하중세트 하중세트-1

확인 취소 적용

# 해석 케이스 정의 및 해석 실행

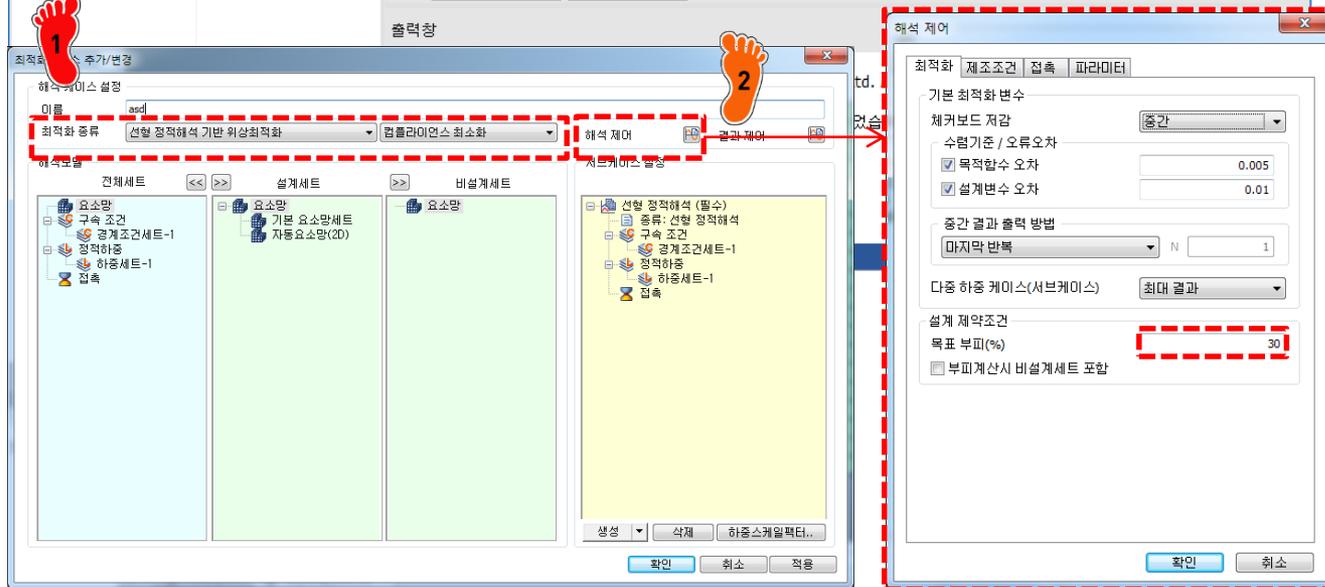


1 해석 케이스  
선형 정적해석 기반 위상최적화, 컴플라이언스 최소화 선택

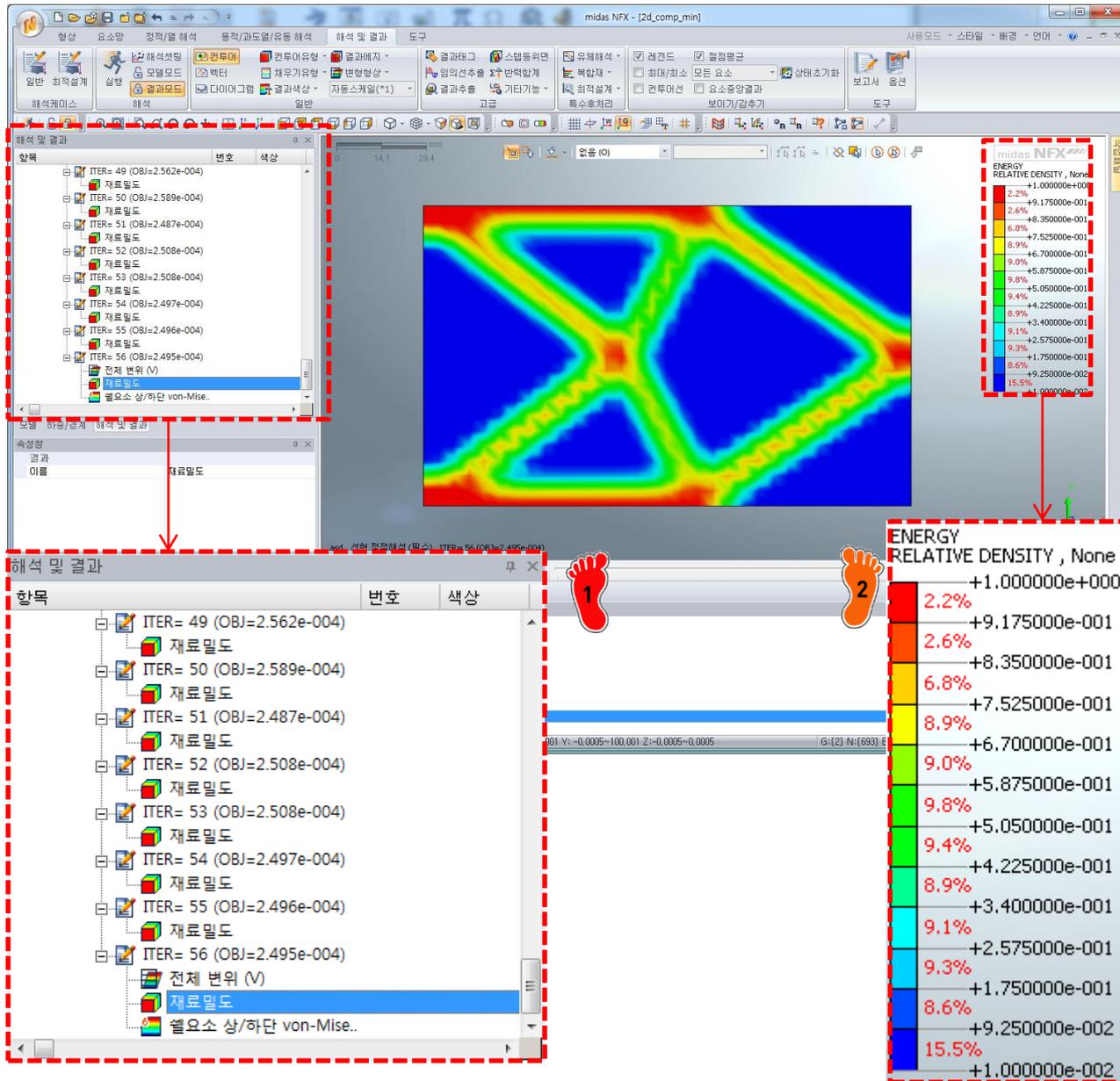


2 해석 제어에서  
설계변수 오차 체크 후 목표 부피 30% 변경

최적화 수행



# 후처리 (1)

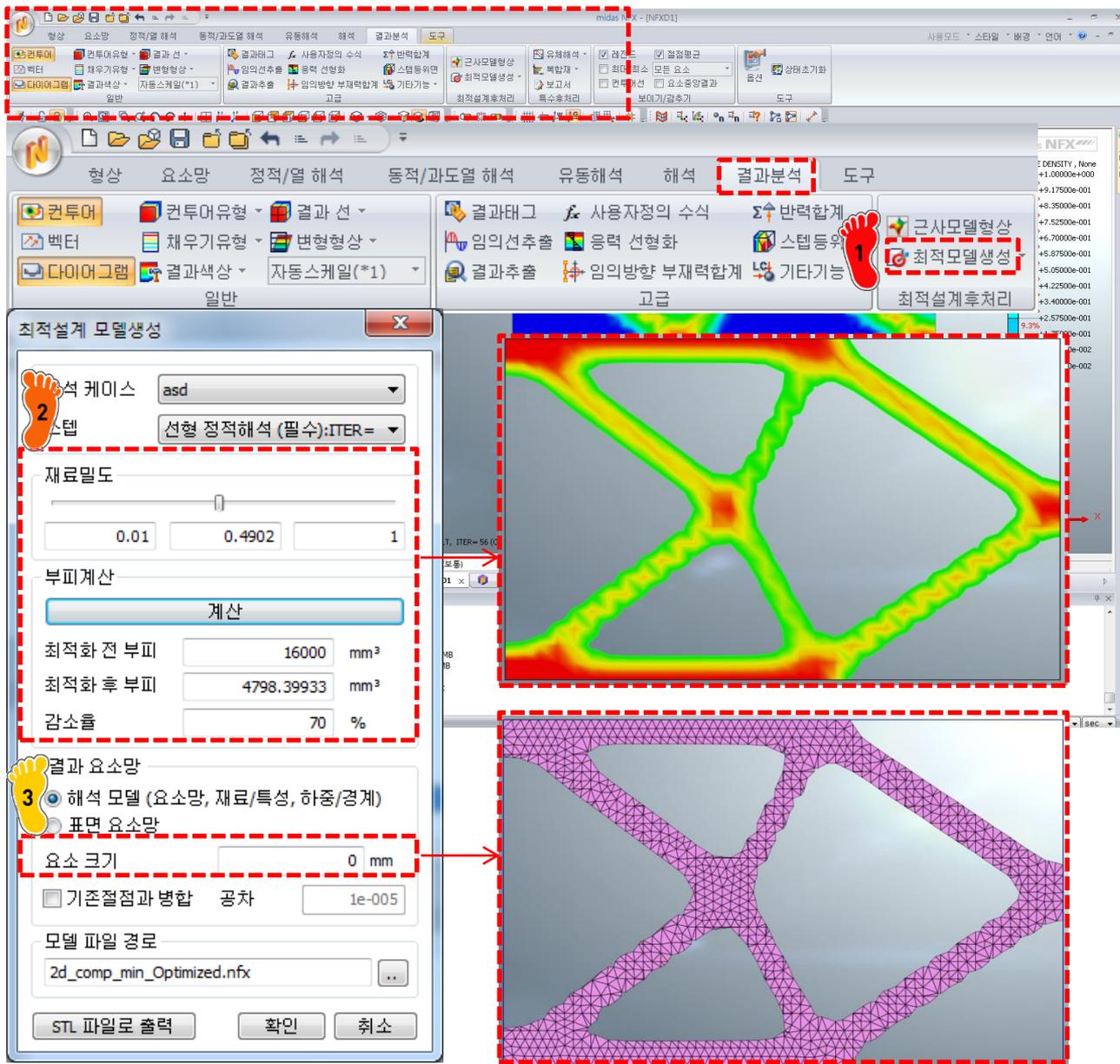


1 해석 및 결과 창에서 맨 마지막 결과의 재료밀도 클릭

2 결과를 살펴보면 빨간색으로 갈수록 재료가 있는 의미

주어진 30%의 부피제한조건을 만족하면서 강성을 최대화 할 수 있는 최적의 구조물

# 후처리 (2)



1 해석 및 결과 탭메뉴에서 최적설계후처리 선택, 최적설계 모델 생성 - 위상최적화 클릭

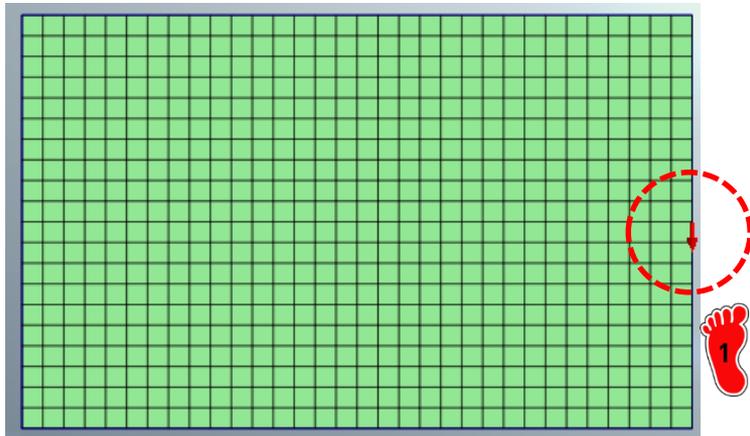
2 재료밀도를 조절하여 감소를 70%로 조정 후 계산 클릭  
형상 확인

3 요소 크기를 입력한 후 확인을 누르면 최적설계 결과가 유한요소모델로 자동 생성

# 2D STRUCTURE

목적함수: 부피 최소화  
구속조건: 변위

# 하중조건 변경



하중 크기를 -500 N 으로 변경

집중하중

집중하중 모멘트하중

이름 집중하중-2

대상형상  
종류 절점

1개 대상 선택됨

하중타입  
 총합력  개별하중

참조방향  
종류 좌표계

참조좌표계 전체직교좌표계

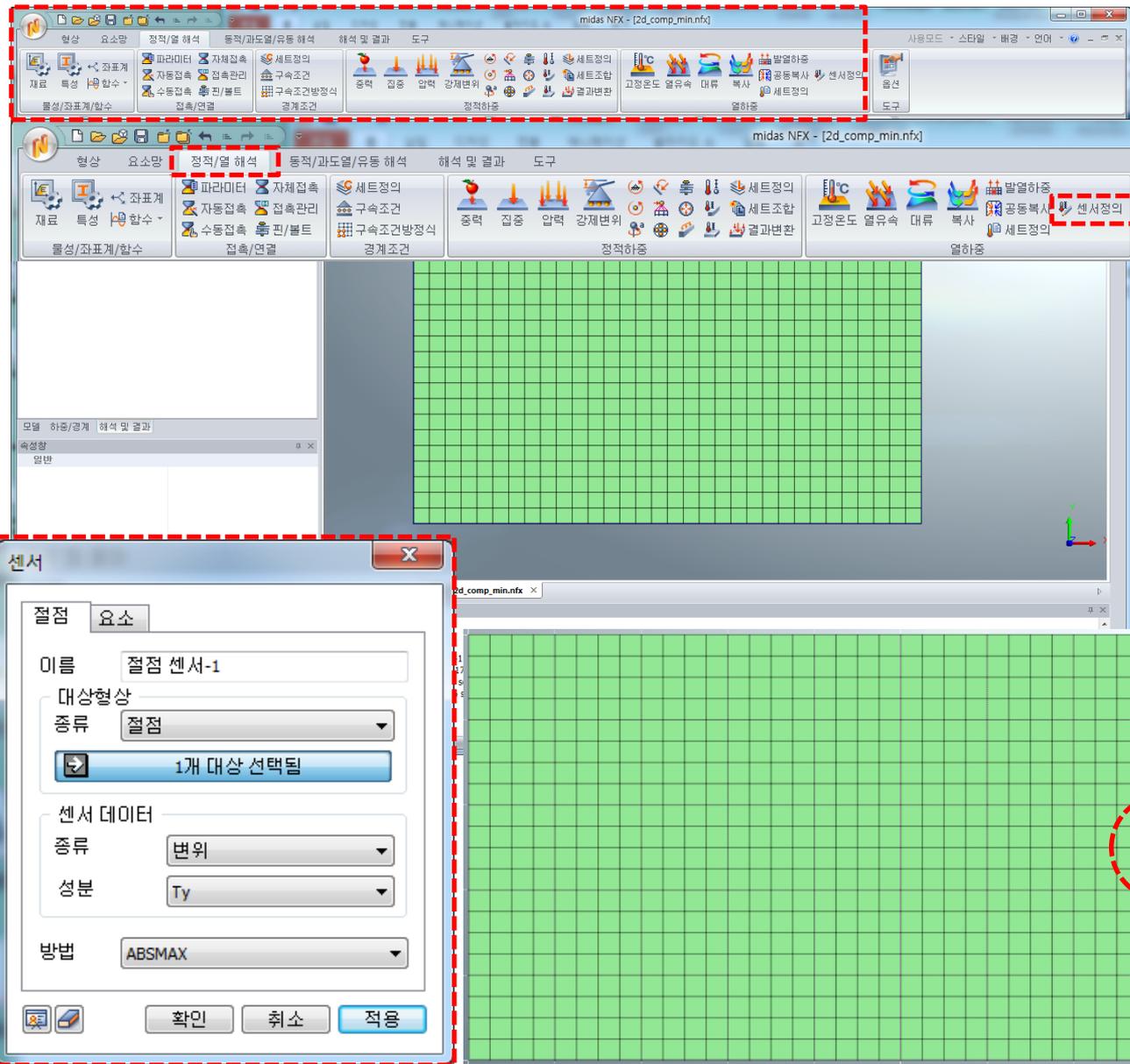
하중성분  
기준함수 없음

X	0	N
Y	-500	N
Z	0	N

하중세트 하중세트-1

확인 취소 적용

# 센서 추가



1 정적/열 해석 탭 메뉴에서 열하중 메뉴의 센서정의 클릭

2 하중점 선택 후 변위, Ty, ABSMAX 선택 확인

# 해석 케이스 변경: 변위제한조건

최적화케이스 추가/변경

해석 케이스 설정

이름: asd

최적화 종류: 선형 정적해석 기반 위상최적화

부피 최소화

해석 제어

결과 제어

해석모델

전체세트

설계세트

비활세트

서브케이스 설정

서브케이스 제어

서브케이스 결과

종류: 선형 정적해석

구속 조건

경계조건세트-1

정적하중

하중세트-1

접촉

해석 제어

설계 제약조건

제약조건 타입

응력

변위

변위제약조건

센서	조건	값
1: 절점 센서-	1: 이하 (<=)	0.1000

확인

취소

1 최적화 종류  
선형 정적해석 기반 위상최  
적화, 부피 최소화 선택

2 서브케이스 제어에서 제약  
조건 타입 변위 선택

절점 센서 입력  
조건 이하로 입력  
값 0.1 입력

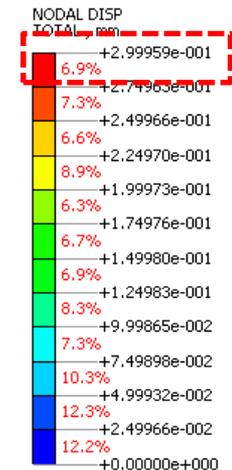
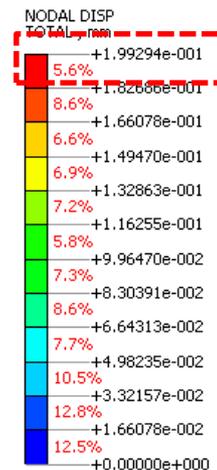
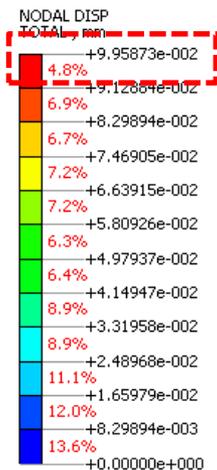
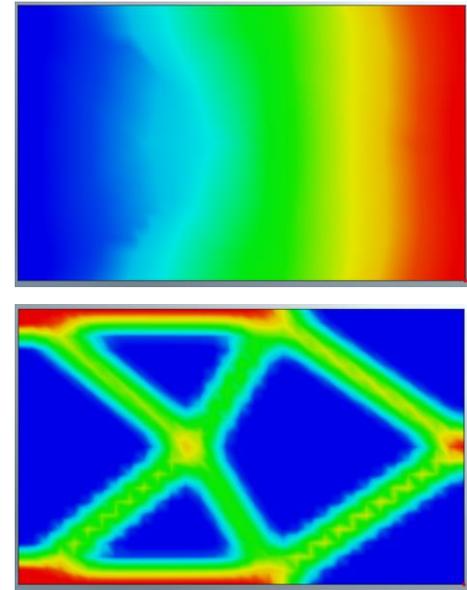
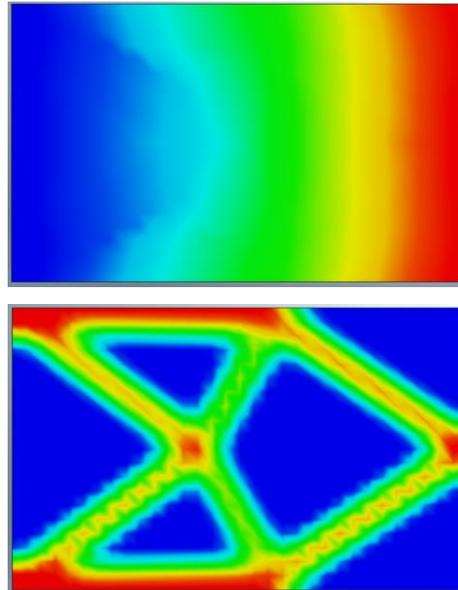
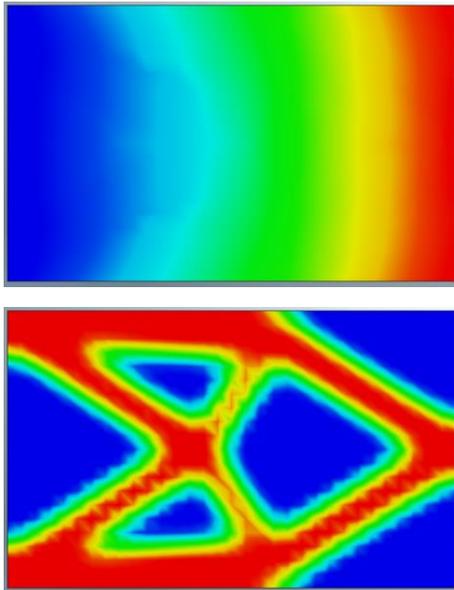
최적화 수행

# 후처리

변위 제약조건 0.1  
→ 부피율: 50.8%

변위 제약조건 0.2  
→ 부피율: 32.5%

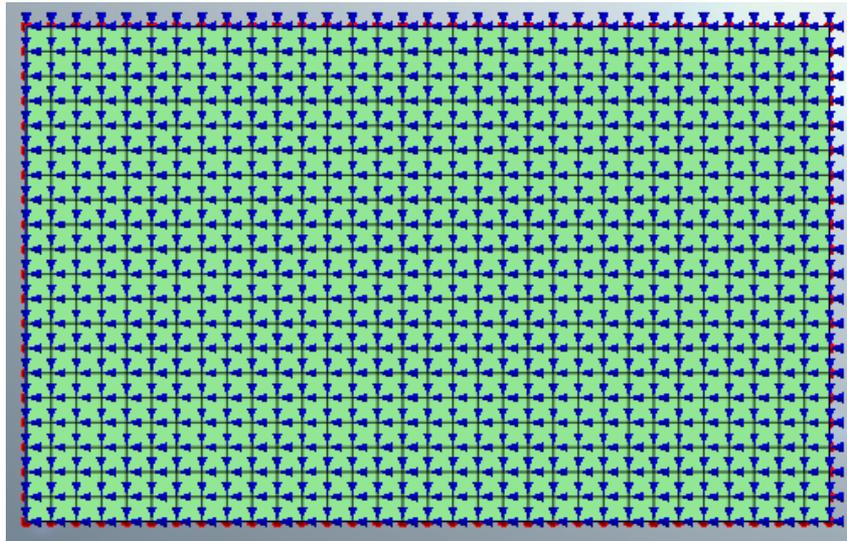
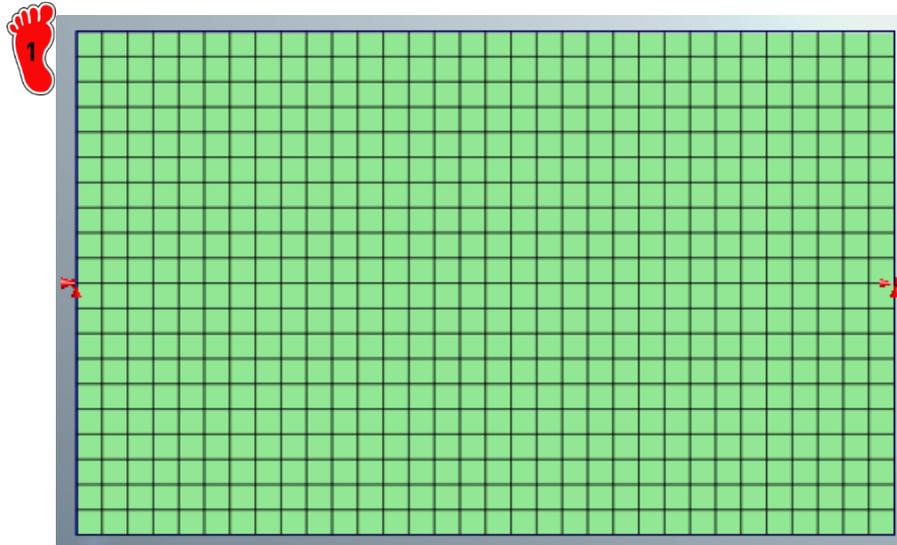
변위 제약조건 0.3  
→ 부피율: 26.7%



## 2D STRUCTURE

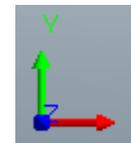
목적함수: 고유주파수 최대화  
구속조건: 부피율

# 구속조건 변경

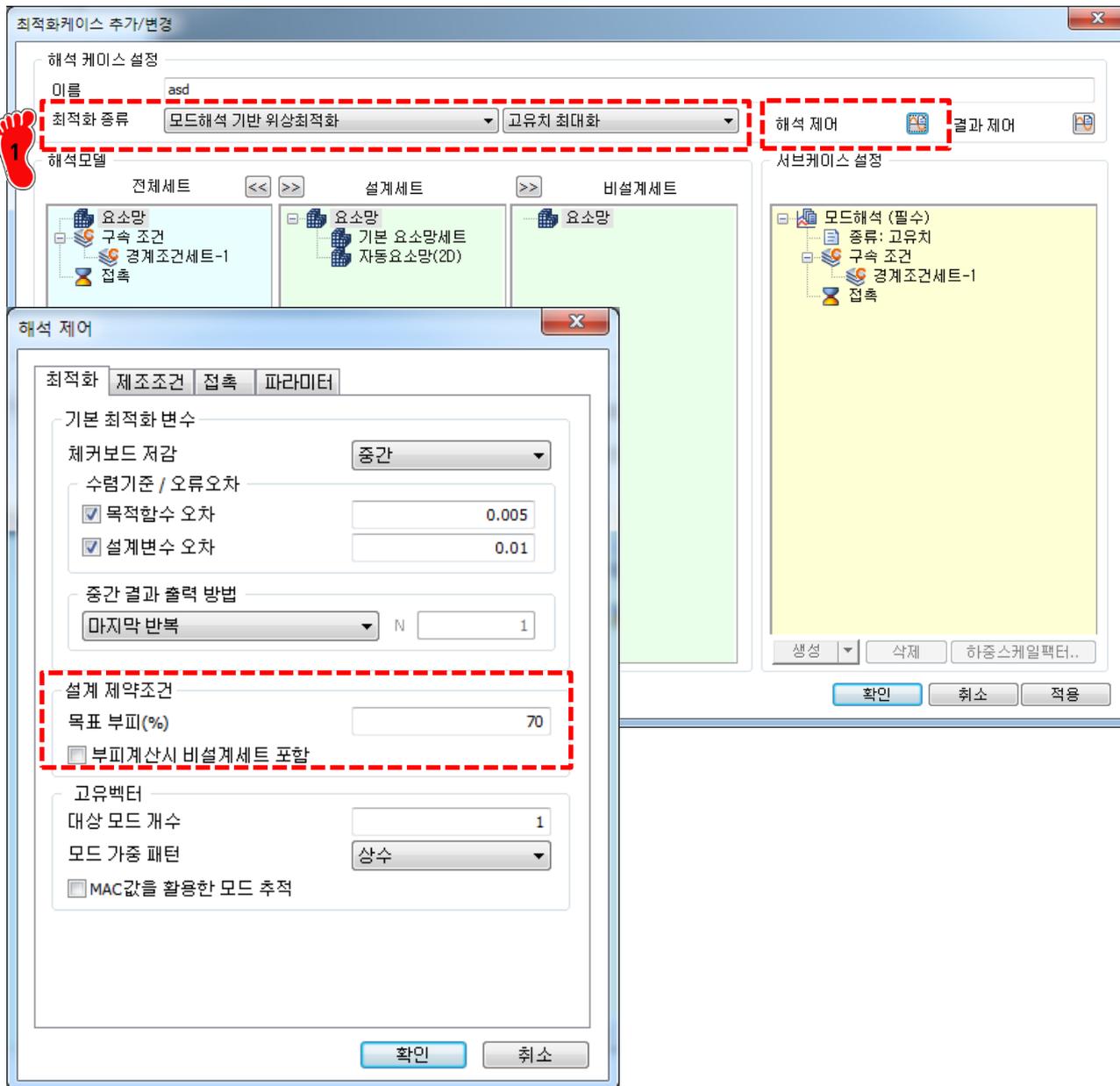


1 양 끝 가운데 절점을 핀지  
로 구속조건 설정

2 전체 절점  
Tz, Rx, Ry 구속



# 해석 케이스 변경



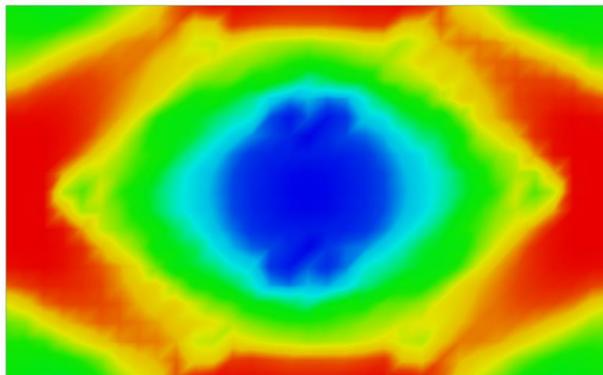
1 최적화 종류  
모드해석 기반 위상최적화,  
고유치 최대화 선택

2 해석 제어에서 목표 부피  
70% 입력

최적화 수행

# 후처리

최적화 결과



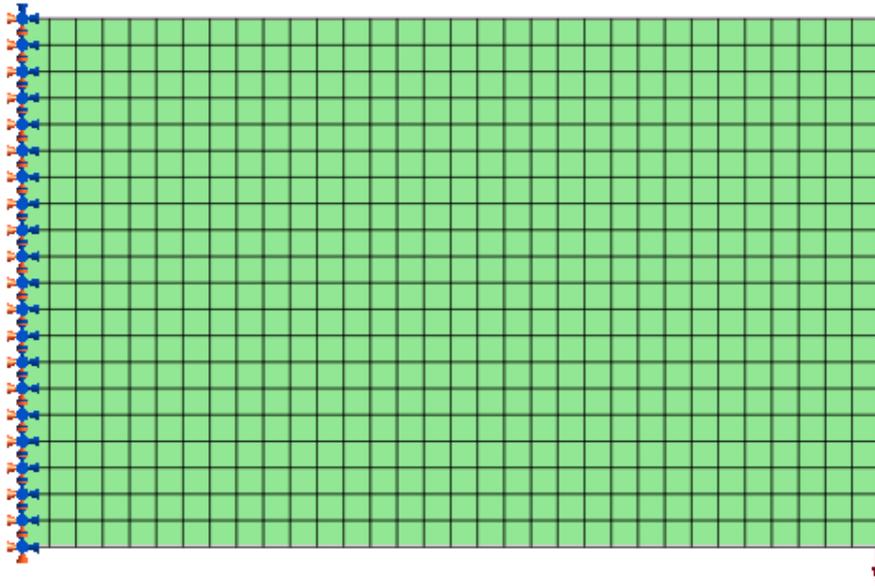
모드 차수	1차	2차	3차
변형 형상			
고유주파수	7182	8244	8340

## 2D STRUCTURE

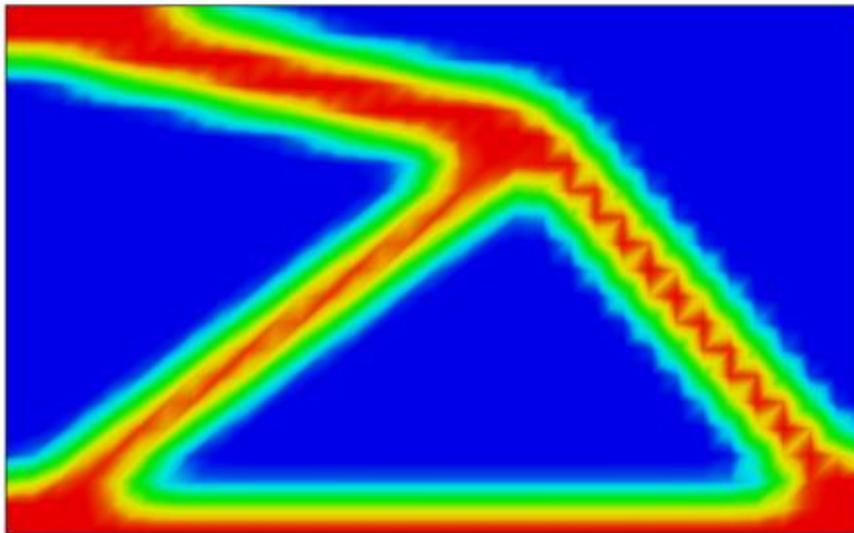
목적함수: 컴플라이언스 최소화  
구속조건: 부피율 + 대칭조건

# 구속조건 변경

1



2



1

한쪽면 고정구속

하단 끝점 집중하중(1N) 부여

2

최적설계 결과 확인  
(부피30%)

# 제조조건 입력



해석 제어 메뉴에서 제조조건 탭 메뉴 클릭

반복조건 체크  
 종류: 대칭면  
 참조좌표계: 전체직교좌표계  
 면선택: XZ

입력

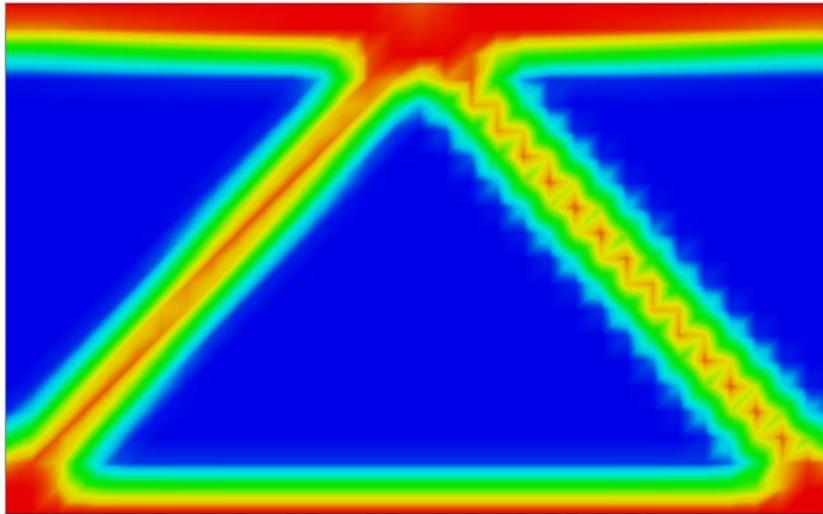
최적화 수행

# 제조조건 입력

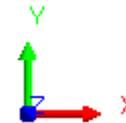
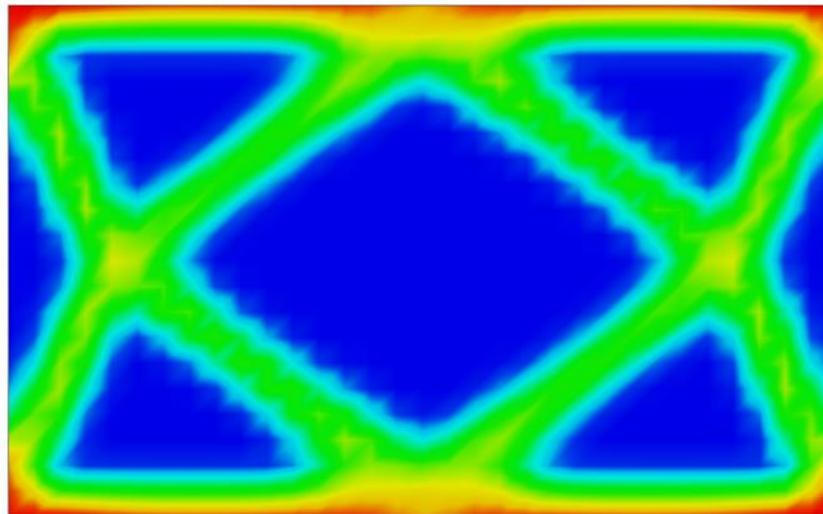


YZ, YZ+ZX 대칭에 대해 수행

YZ 대칭



YZ+ZX 대칭



# 3D STRUCTURE AUTOMOTIVE CONTROL ARM

목적함수: 부피 최소화

구속조건: 변위 + 성형 방향 고려

# 서스펜션의 종류

## Hotchkiss

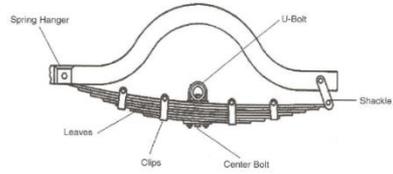
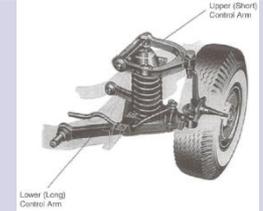
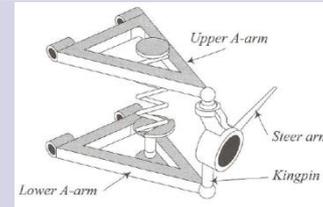


Figure 8.17. A multi-leaf spring. Adapted from TM 9-8000 (1985).



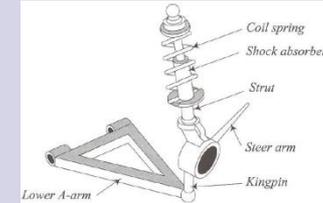
## Double wishbone



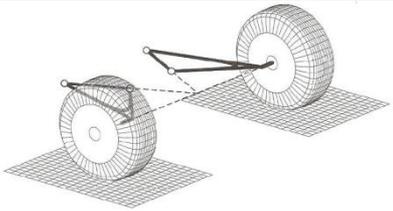
## Trailing arm with twisted(torsion) beam



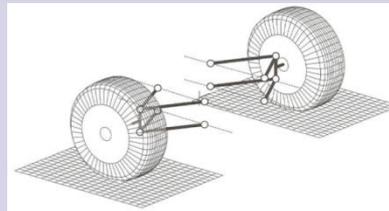
## MacPherson



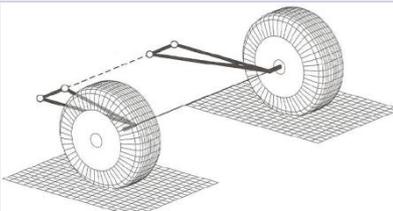
## Semi-trailing arm



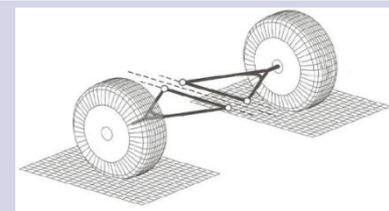
## Multi-link



## Trailing arm



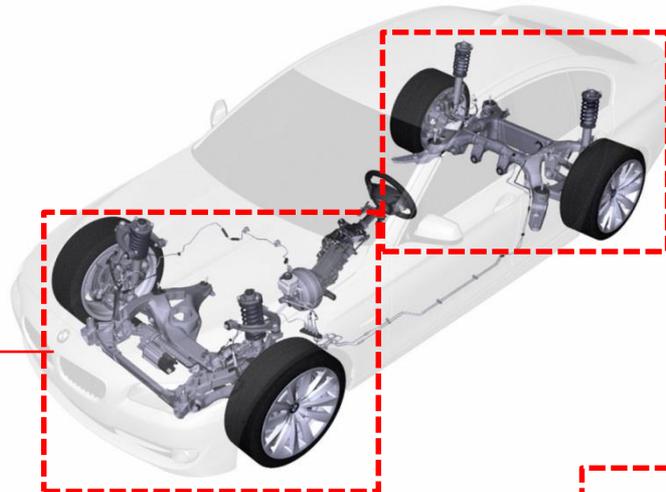
## Swing(space) arm



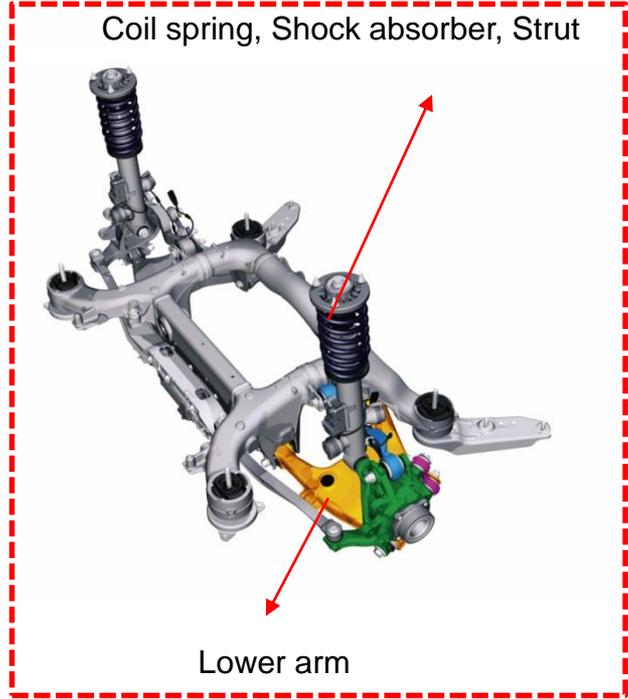
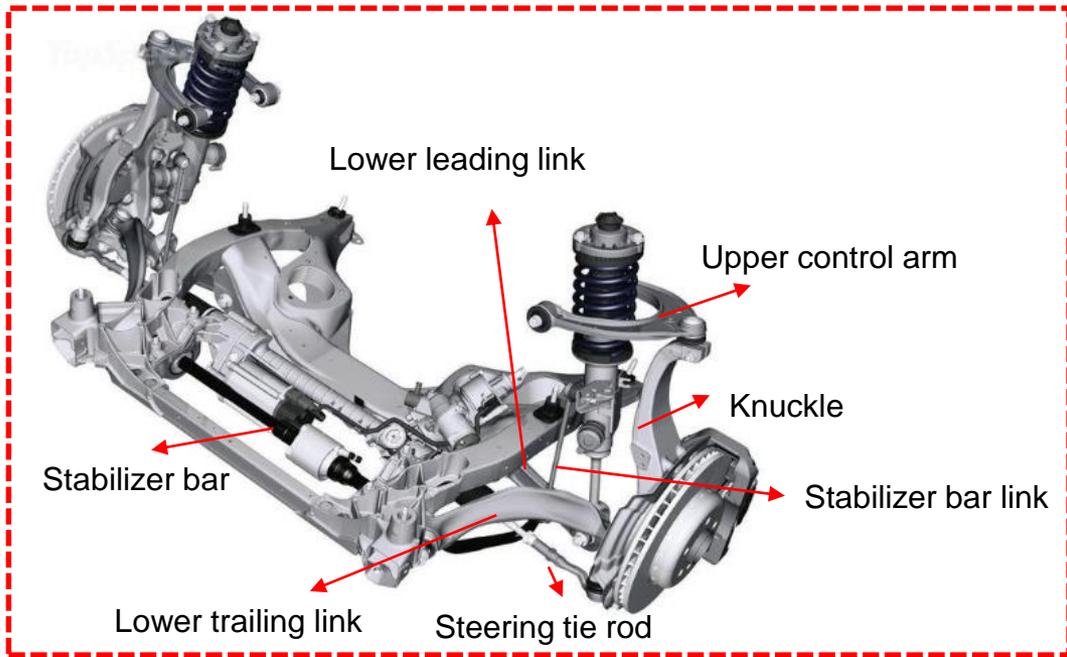
# BMW NEW 5 SERIES

Front: Double wishbone type

Rear: Macpherson type



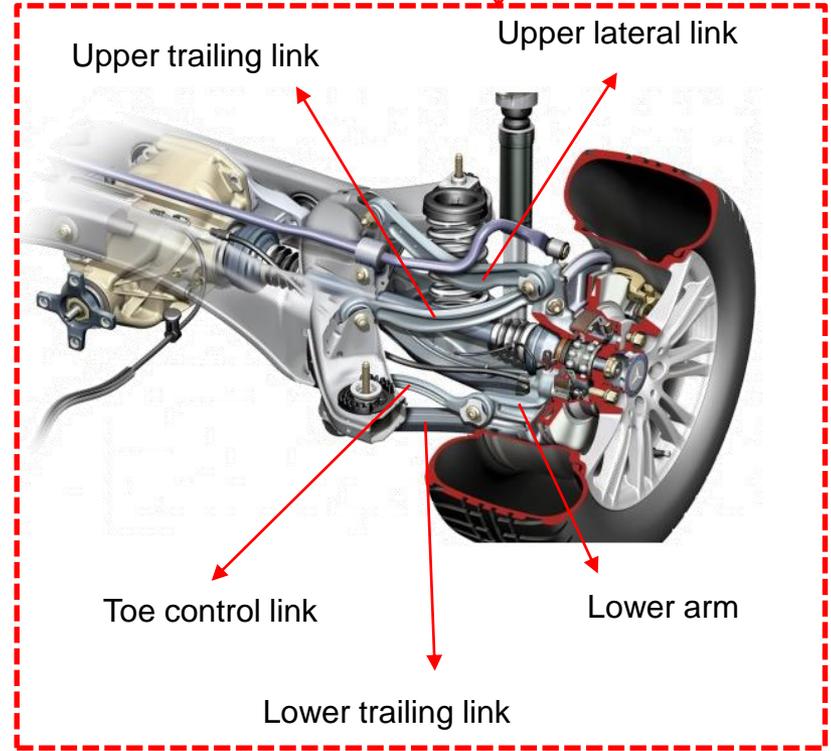
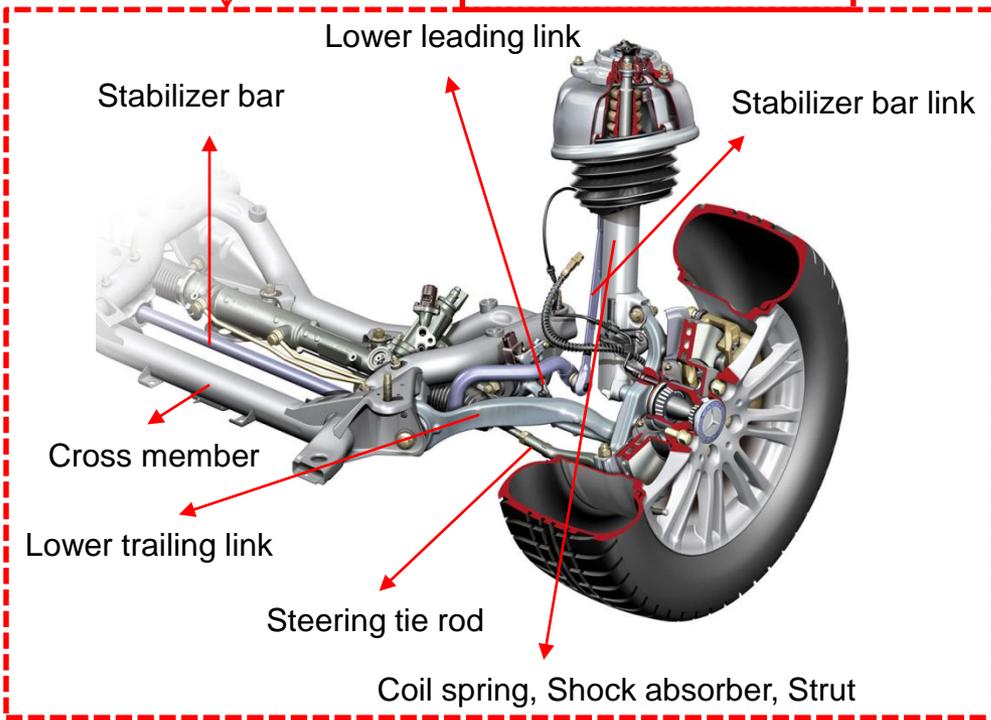
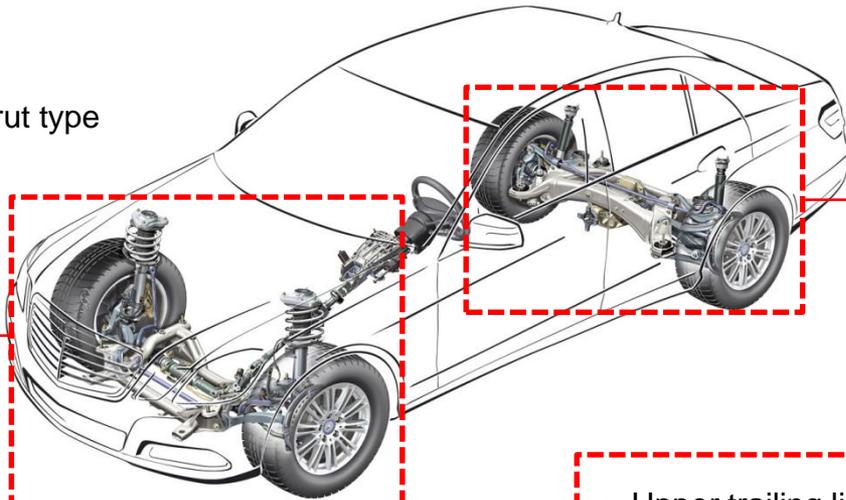
Coil spring, Shock absorber, Strut



# BENZ E CLASS

Front: Modified Macpherson strut type

Rear: Multi(5) link type



# 예제: AUTOMOTIVE CONTROL ARM

기하 형상, 하중 및 경계조건

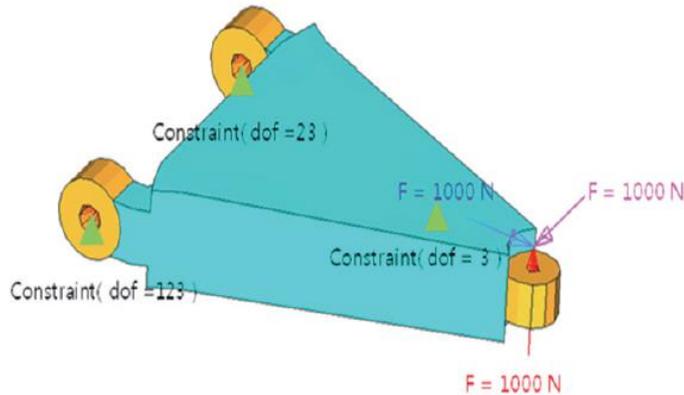


Fig 1 Finite element analysis

최적화 결과

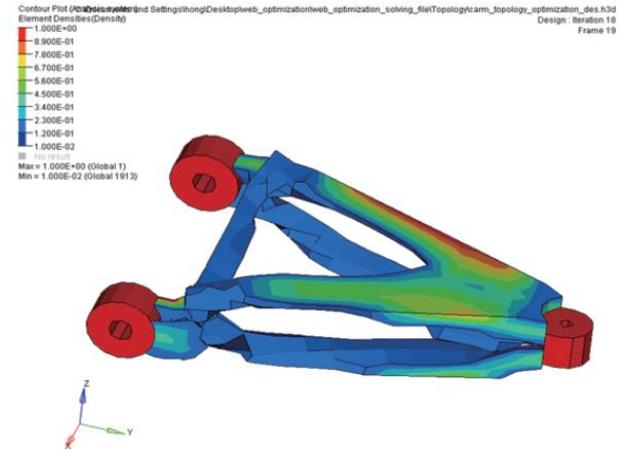
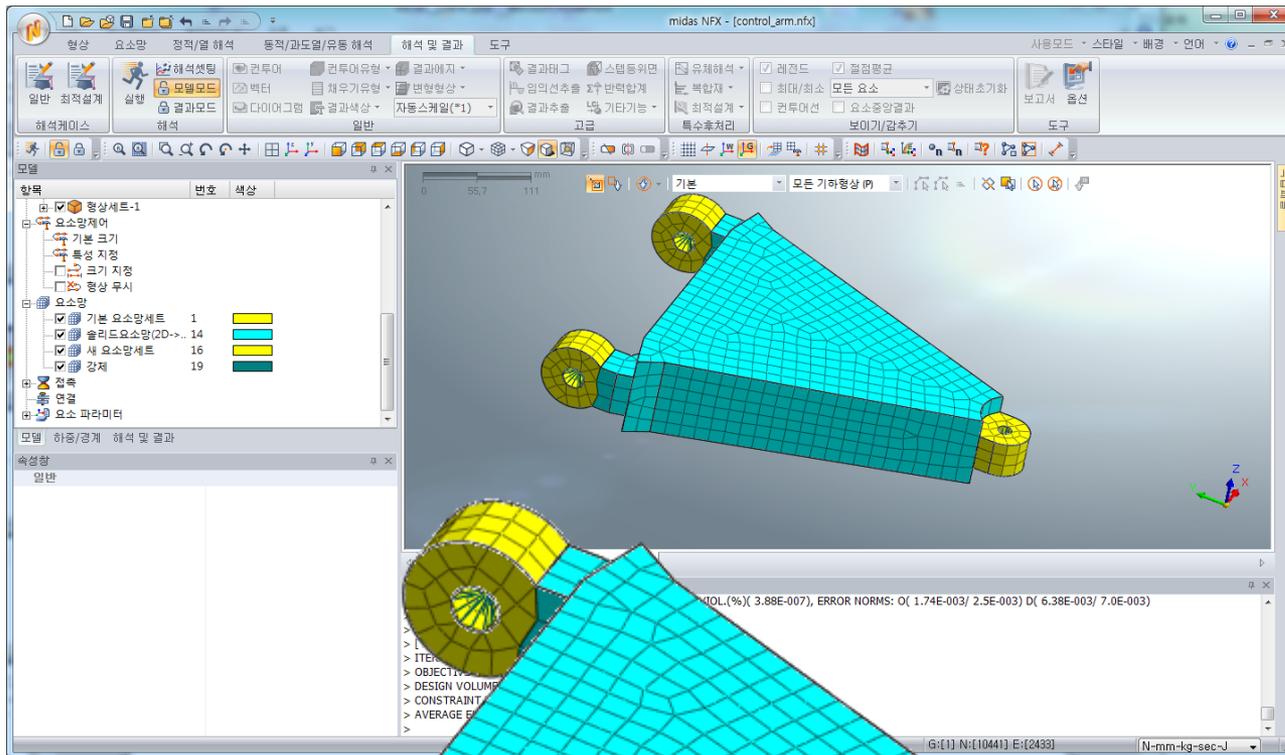


Fig 2 results of the Topology optimization

## 최적설계 문제 정식화

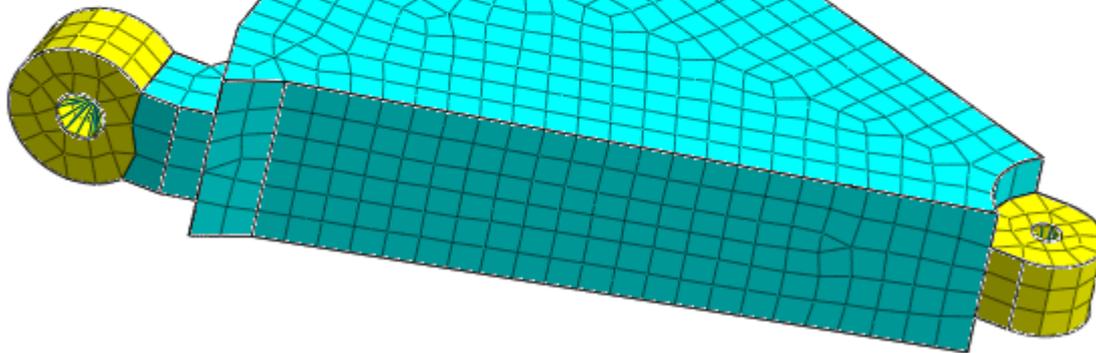
<b>Objective:</b>	Minimize volume.	
<b>Constraints:</b>	SUBCASE 1 -	The resultant displacement of the point where loading is applied must be less than 0.05mm.
	SUBCASE 2 -	The resultant displacement of the point where loading is applied must be less than 0.02mm.
	SUBCASE 3 -	The resultant displacement of the point where loading is applied must be less than 0.04mm.
<b>Design variables:</b>	Element density (and corresponding stiffness of the element) of each element in the design space.	

# 기하형상 불러오기

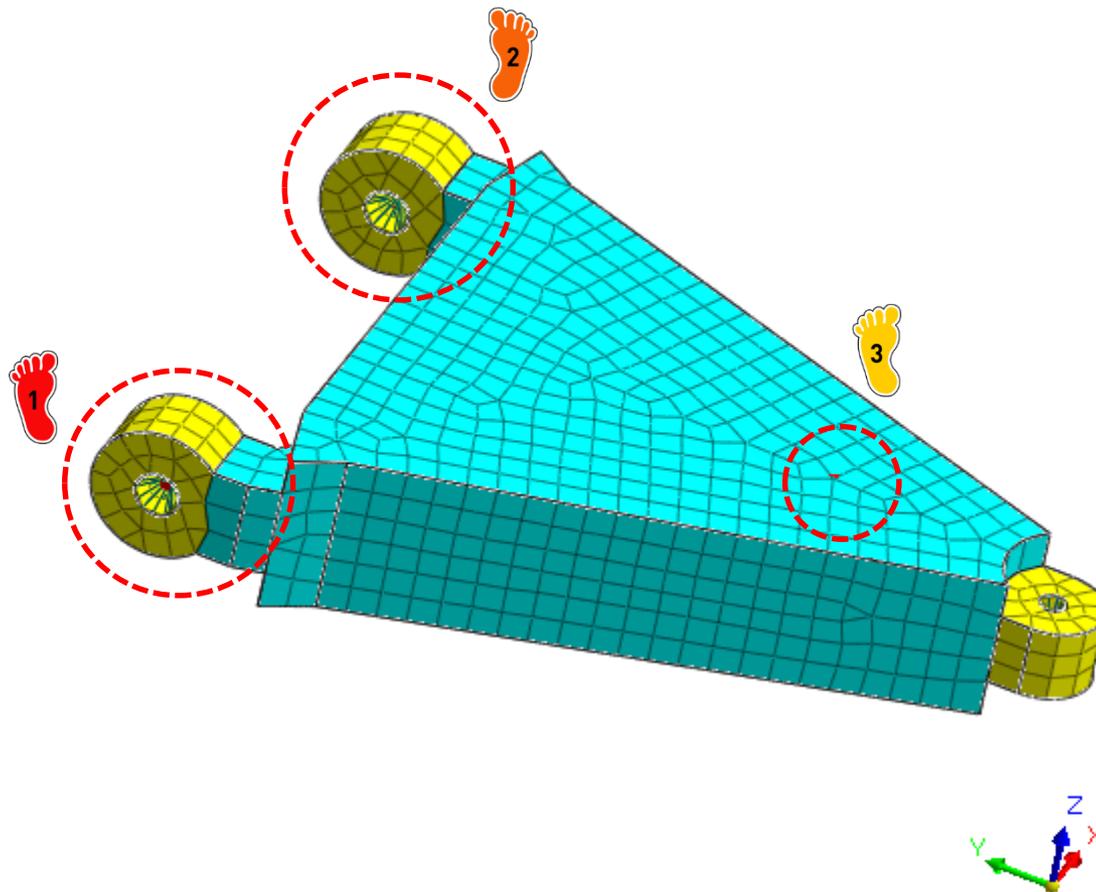


제공한 모델 파일을 열어서  
기하형상 확인

메시, 재료 물성 및 특성은  
입력되어있는 상태



# 구속조건 및 하중조건 설정 (1)



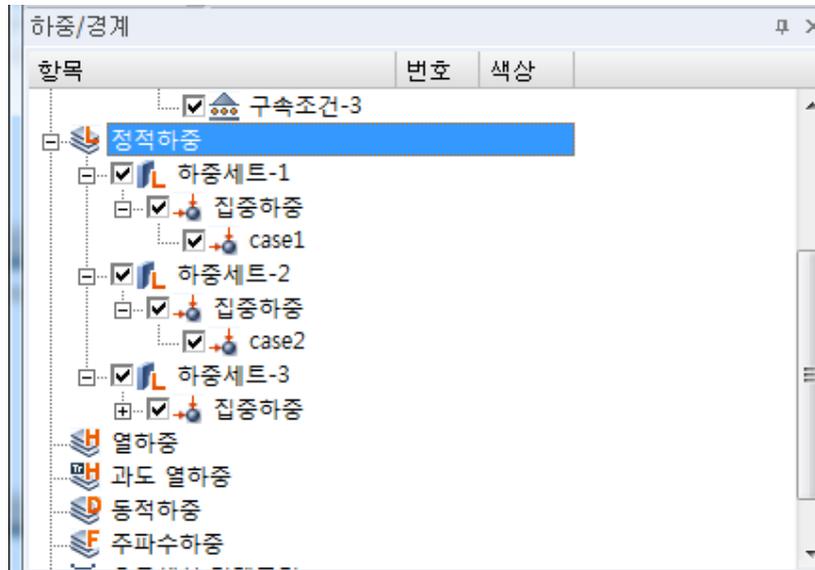
1  $T_x, T_y, T_z$  구속

2  $T_y, T_z$  구속

3  $T_z$  구속

강체요소가 있을 경우 강체  
요소 가운데 절점을 구속조  
건으로 설정

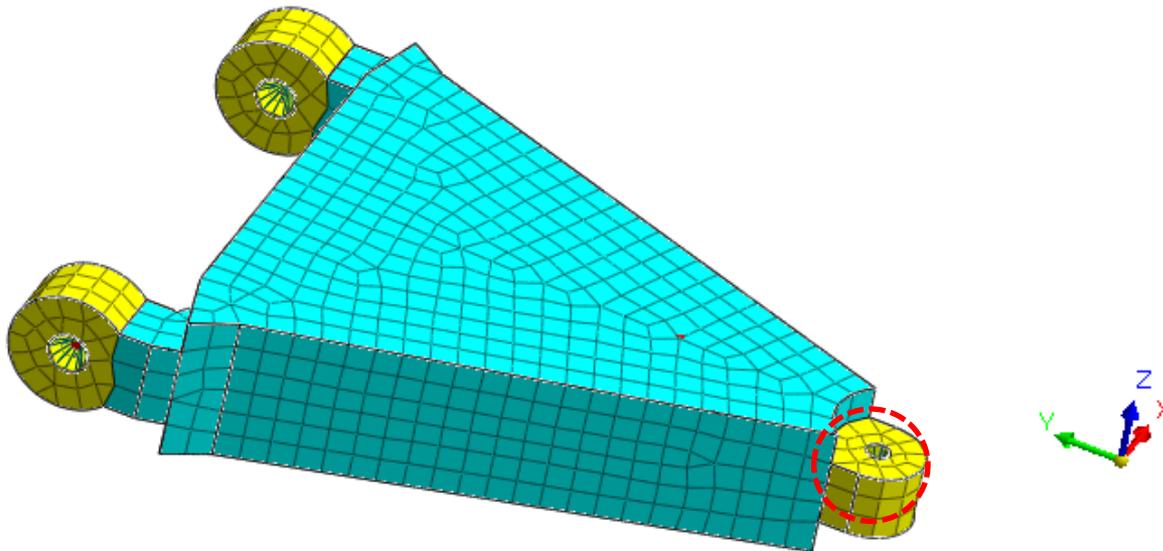
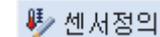
# 구속조건 및 하중조건 설정 (2)



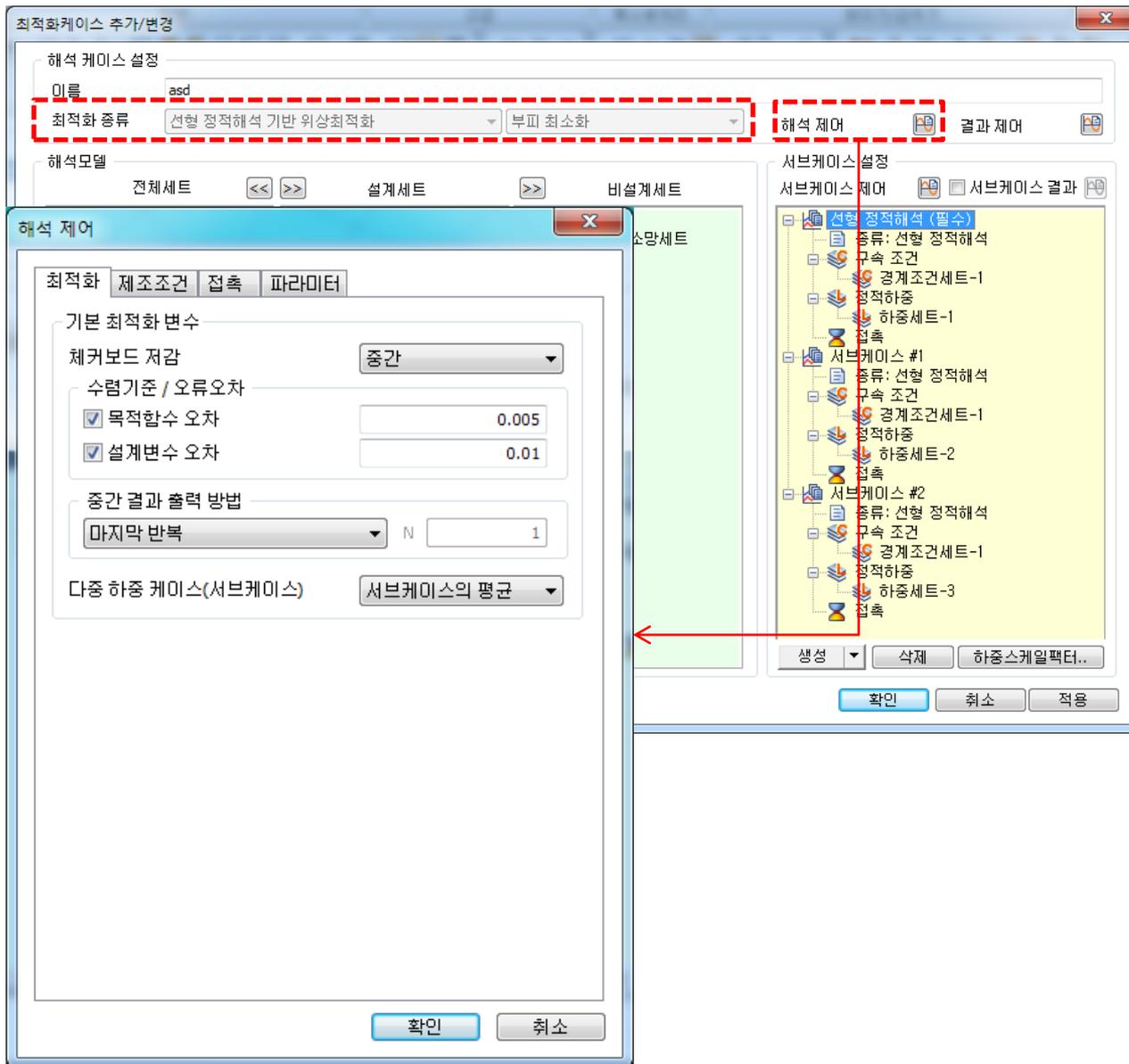
하중조건인 경우 하중세트를 구별하여 총 3가지의 하중을 생성

case1: x 방향 -1000 N  
 case2: y 방향 -1000 N  
 case3: z 방향 1000 N

구속조건을 입력할 센서 생성



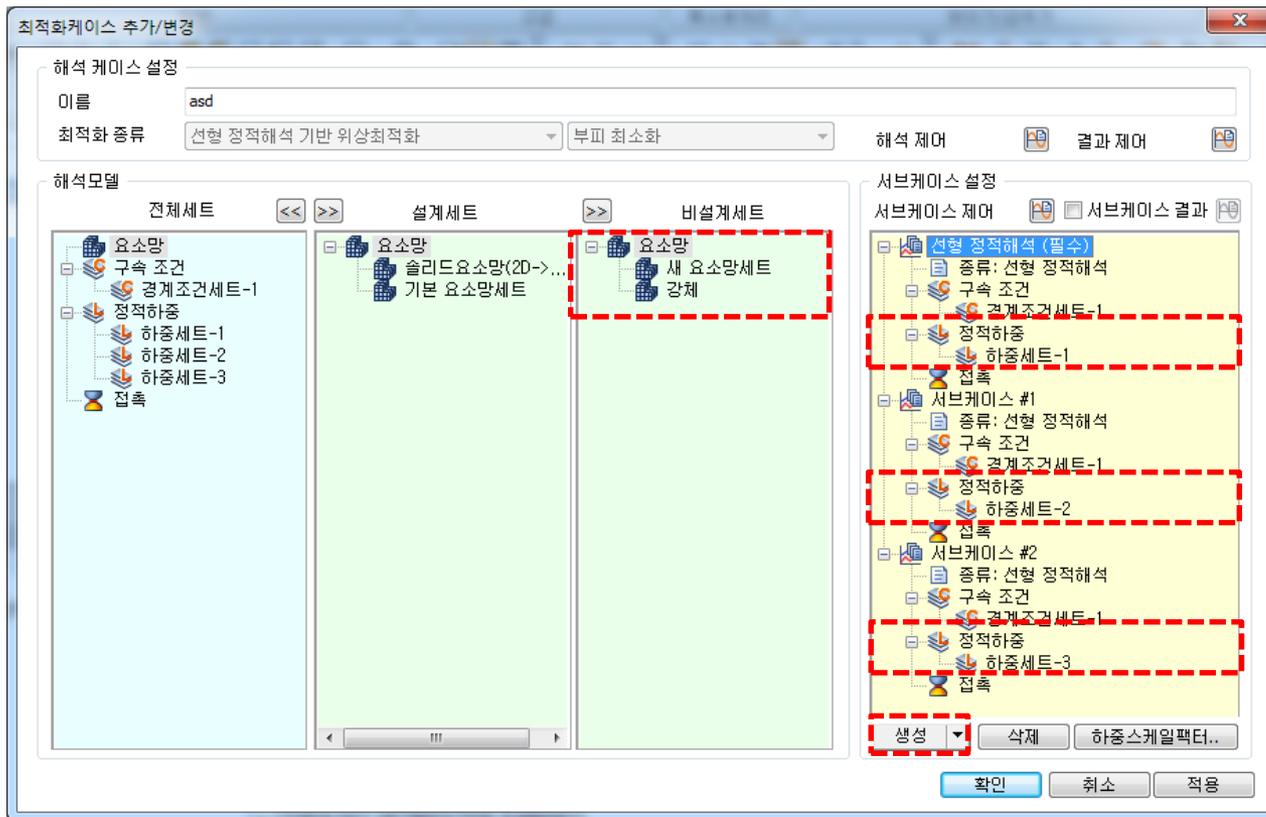
# 해석 케이스 정의 및 해석 실행 (1)



최적화 종류는 선형 정적해석 기반 위상최적화, 부피 최소화 선택

해석 제어메뉴에서 설계변수 오차 체크 후 다중 하중 케이스(서브케이스)를 서브케이스의 평균로 변경

# 해석 케이스 정의 및 해석 실행 (2)



1 아래 생성 메뉴를 이용하여 서브케이스 2개 추가 생성

하중 세트를 구별해서 입력

비설계세트에  
새 요소망세트 및 강제 요소  
입력

# 해석 케이스 정의 및 해석 실행 (3)

최적화케이스 추가/변경

해석 케이스 설정

이름: asd

최적화 종류: 선형 정적해석 기반 위상최적화

부피 최소화

해석 제어

결과 제어

해석모델

전체세트

설계세트

비설계세트

서브케이스 설정

서브케이스 제어

서브케이스 결과

선형 정적해석 (필수)

종류: 선형 정적해석

구속 조건

경계조건세트-1

정적하중

하중세트-1

접촉

서브케이스 #1

종류: 선형 정적해석

구속 조건

경계조건세트-1

정적하중

하중세트-2

접촉

서브케이스 #2

해석 제어

설계 제약조건

제약조건 타입

음력

변위

변위제약조건

센서	조건	값
1: 절점 센서-	1: 미하 (<=)	0.0500

확인

취소

해석 제어

설계 제약조건

제약조건 타입

음력

변위

변위제약조건

센서	조건	값
1: 절점 센서-	1: 미하 (<=)	0.0200

확인

취소

해석 제어

설계 제약조건

제약조건 타입

음력

변위

변위제약조건

센서	조건	값
1: 절점 센서-	1: 미하 (<=)	0.0400

확인

취소

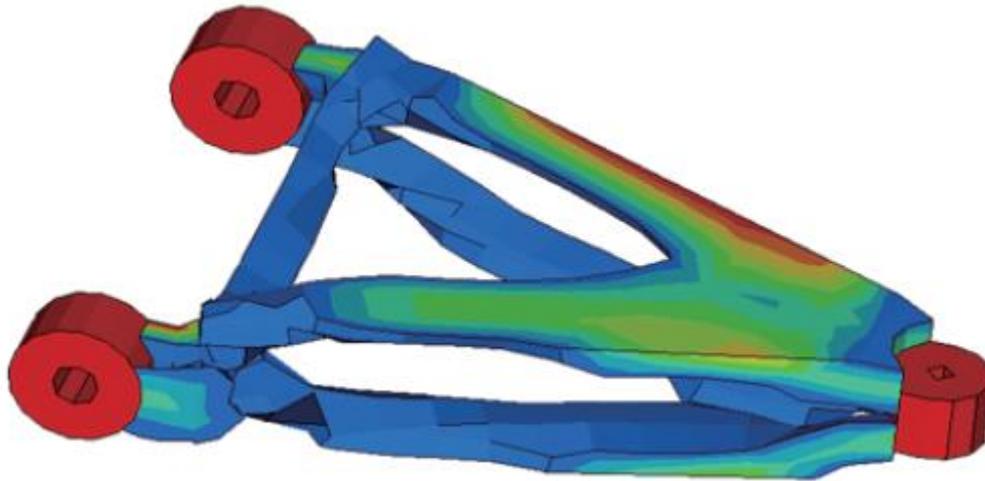


서브케이스 별로 서브케이스 제어 메뉴를 통해 변위 제약조건 입력

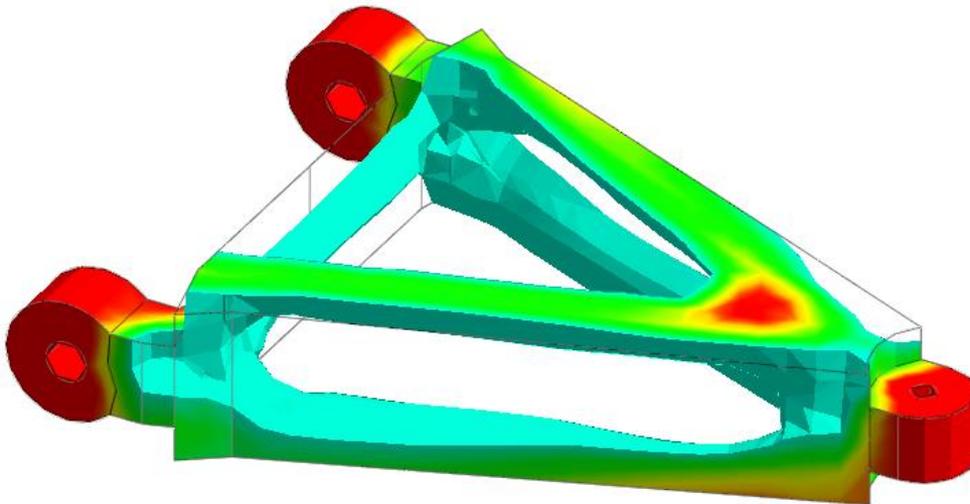
최적화 수행

# 후처리

Hypermesh: Optistruct



Midas NFX



결과 형상 확인

# AUTOMOTIVE CONTROL ARM (VOLUME MINIMIZATION PROBLEM) 제조 조건 추가

# 제조조건 입력



해석 제어 메뉴에서 제조조건 탭 메뉴 클릭

성형방향 체크

종류: 단방향

참조좌표계: 전체직교좌표계

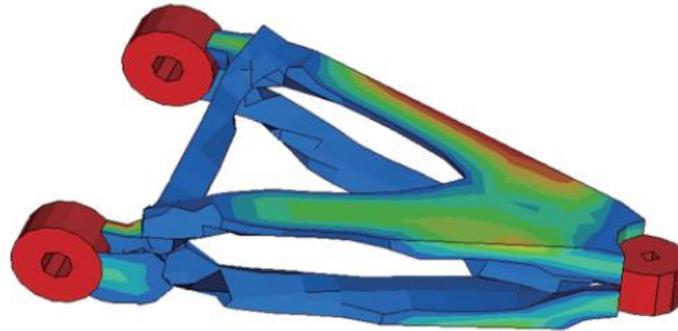
방향선택: Z

입력

최적화 수행

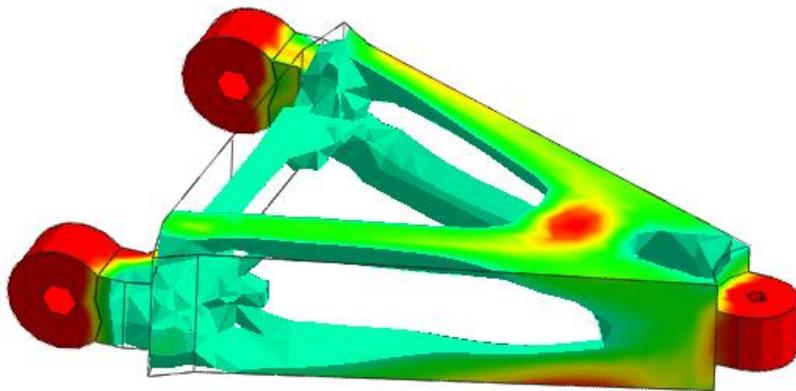
# 후처리

Hypermesh: Optistruct

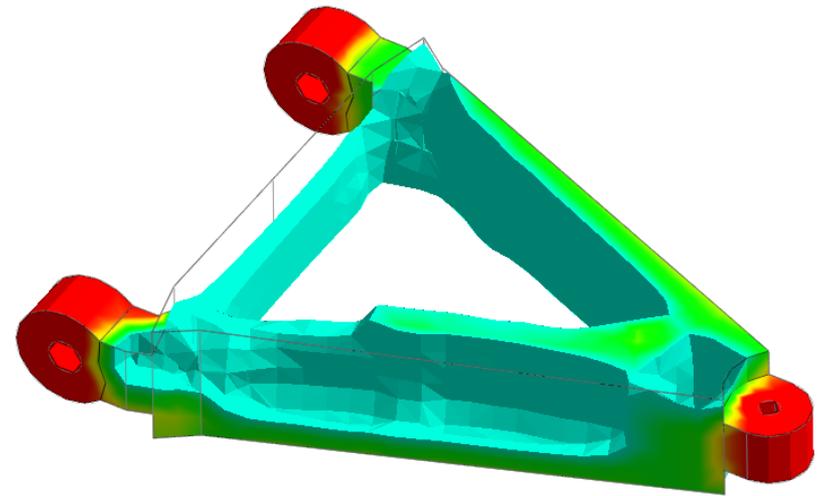


Midas NFX

제조조건 X

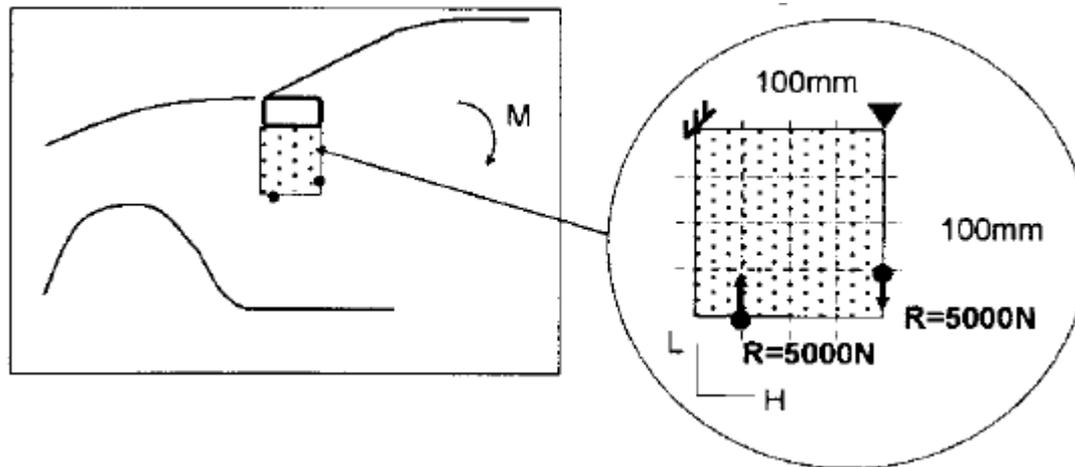


제조조건 O



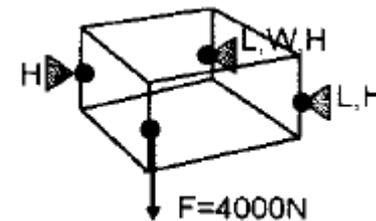
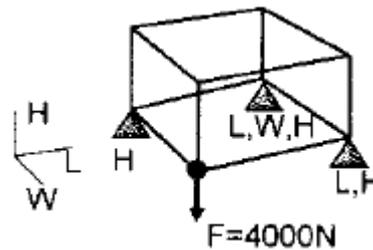
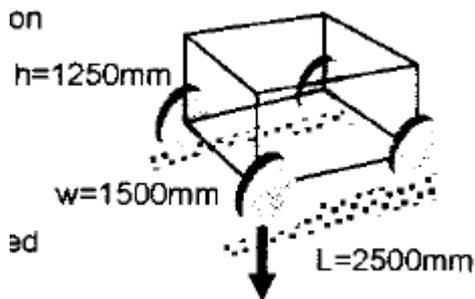
# 숙제: 2D 문제

- The steering column bracket holds the steering column at two points (the solid black circle above). When the maximum moment is applied to the steering column, the bracket must react loads at the attachment  $R$  as shown.
- Determine the optimal shape of the steel bracket to maximize the stiffness under loads  $R$ . The bracket is flat ( $w=0$ ) and at most 100mm x 100mm



# 숙제: 3D 문제

- The van shown is supported on three wheels with the fourth wheel unsupported. This condition applies a force downward at the left front suspension ( $F=4000\text{N}$ ). We wish to maximize the stiffness under this load condition for a fixed volume of structural material. The structure is made of a set of interconnected steel beams which are enclosed by the area shown.
- Determine the optimal shape for the four conditions shown below.



Suspension attachment: (1) at corners (2) mid-way up edge

