

Size Optimization

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



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



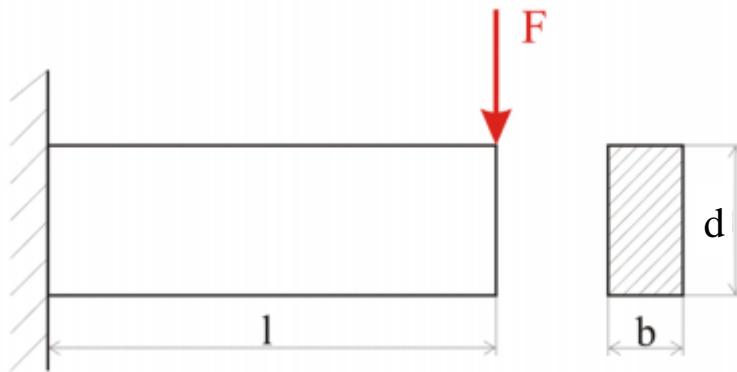
Computational
Design
Lab

목차

- 예제 문제
 - Beam design problem using MATLAB
 - 5 bar truss structure example:
volume minimization problem
 - 3 bar truss structure example:
topology + size optimization
- 해석 프로세스
 - 기하형상 생성
 - 재료 물성 및 특성 입력
 - 요소망 생성
 - 구속조건 설정
 - 하중조건 설정
 - 최적설계 문제 정식화 및 최적설계 실행
 - 후처리

BEAM DESIGN PROBLEM USING MATLAB

예제: BEAM DESIGN PROBLEM



$$M = 40kN$$

$$V = 150kN$$

$$(\sigma_a)_{bending} = 10MPa$$

$$(\tau_a)_{shear} = 2MPa$$

Minimize mass
 b,d

subject to

$$\begin{cases} g_1 = \sigma(b, d) \leq (\sigma_a)_{bending} \\ g_2 = \tau(b, d) \leq (\tau_a)_{shear} \\ g_3 = d \leq 2b \\ g_4 = b \geq 0 \\ g_5 = d \geq 0 \end{cases}$$



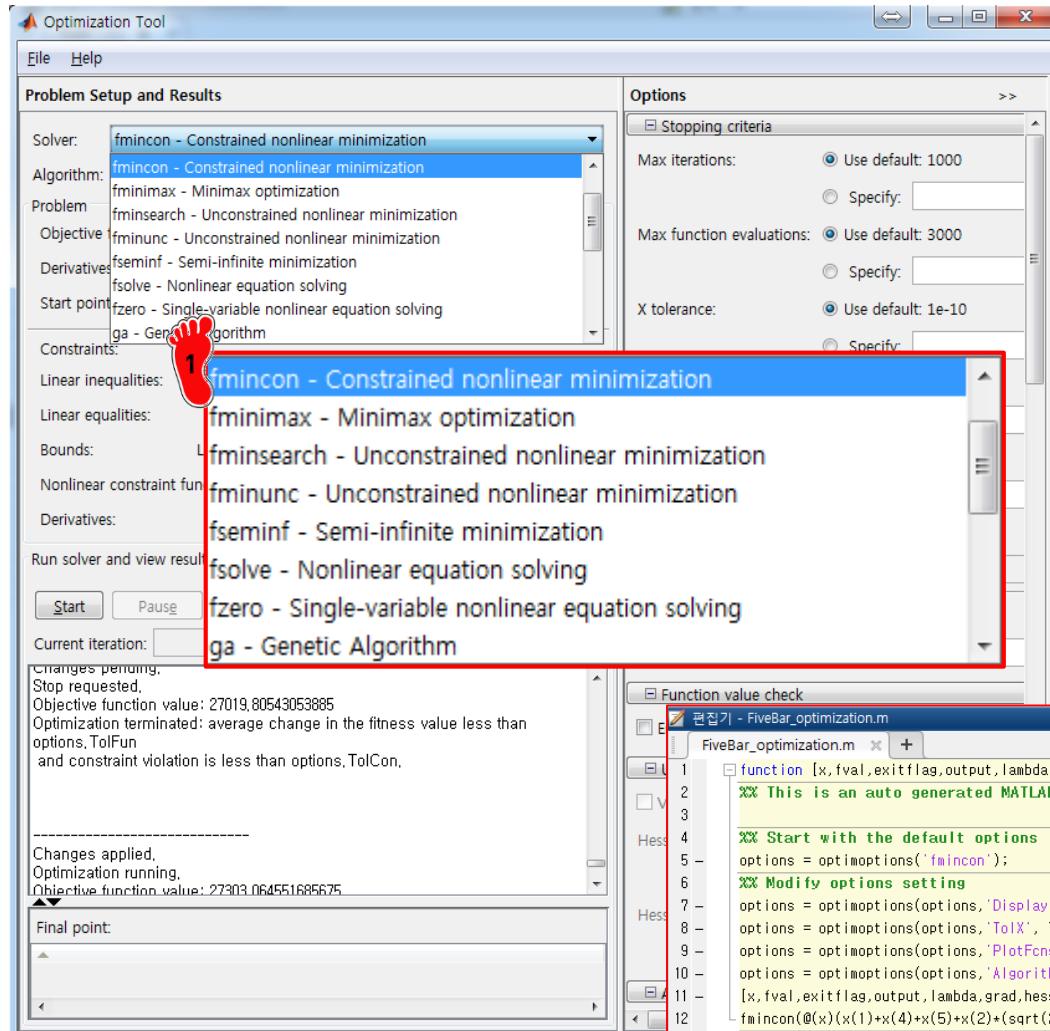
Minimize $f = bd$
 b,d

subject to

$$\begin{cases} g_1 = \frac{6M}{bd^2} - (\sigma_a)_{bending} \leq 0 \\ g_2 = \frac{3V}{2bd} - (\tau_a)_{shear} \leq 0 \\ g_3 = d - 2b \leq 0 \\ g_4 = -b \leq 0 \\ g_5 = -d \leq 0 \end{cases}$$

MATLAB을 이용한 최적화

- MATLAB의 Optimization tool 기능을 이용
(명령어 'optimtool' 또는 아이콘)

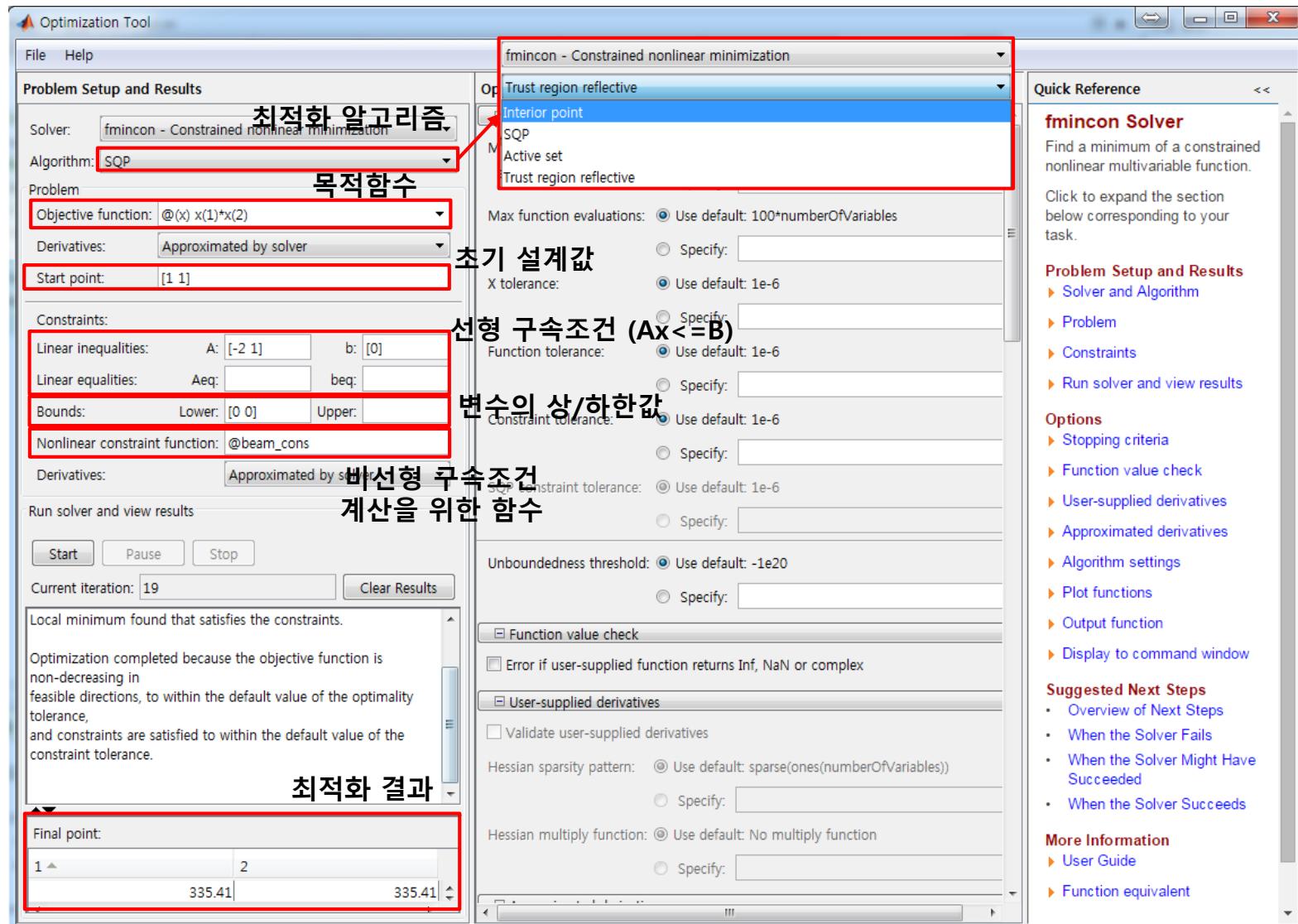


1 MATLAB의 Optimization Tool을 이용하면 다양한 솔버를 이용한 최적화 가능

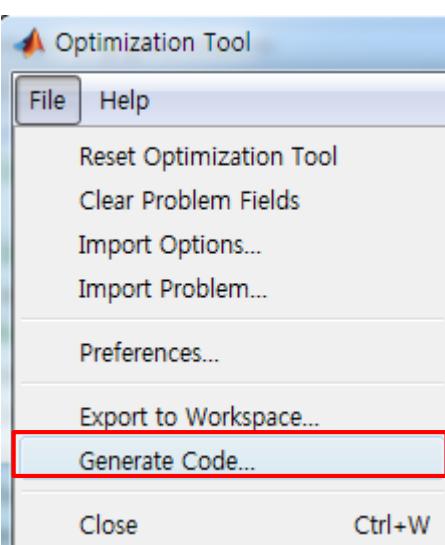
본 문제와 같이 제약조건이 있는 문제의 경우에는 민감도 기반의 'fmincon'을 많이 사용하며 민감도 계산이 어렵거나 전역 최적해가 필요한 경우 'GA (genetic algorithm)' 를 사용

File → Generate Code 기능을
통해 스크립트로 변환 가능

OPTIMTOOL 이용



GENERATE CODE 이용



```

function [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = untitled(x0,Aineq,bineq,lb)
%% This is an auto generated MATLAB file from Optimization Tool.

%% Start with the default options
options = optimoptions('fmincon');

%% Modify options setting
options = optimoptions(options,'Display','off');
options = optimoptions(options,'PlotFcn', { @optimplotx @optimplotfunccount @optimplotfval });
options = optimoptions(options,'Algorithm','sqp');
[x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = ...
fmincon(@(x)x(1)*x(2),x0,Aineq,bineq,[],[],[lb,[],@beam_cons,options]);

```

→ 일부 상수의 경우 넘어오지 않으므로 수정 필요



```

%% Start with the default options
options = optimoptions('fmincon');

%% Modify options setting
options = optimoptions(options,'Display','off');
options = optimoptions(options,'PlotFcn', { @optimplotx @optimplotfunccount @optimplotfval });
options = optimoptions(options,'Algorithm','sqp');
[x,fval,exitflag,output] = ...
fmincon(@(x)x(1)*x(2),[1 1],[-2 1],[0],[0],[0 0],[],@beam_cons,options)

```

MATLAB 최적화 결과값의 의미

```
>> untitled
```

```
x =
```

```
335.4102 335.4102
```

```
fval =
```

```
1.1250e+05
```

```
exitflag =
```

```
1
```

```
output =
```

다음 필드를 포함한 struct:

```

iterations: 19
funcCount: 60
algorithm: 'sqp'
message: 'Local minimum found that satisfies the constraints....'
constrviolation: 2.4825e-13
stepsize: 9.9144e-05
lssteplength: 1
firstorderopt: 3.1236e-06

```

All algorithms:

- 1 First order optimality conditions satisfied.
- 0 Too many function evaluations or iterations.
- 1 Stopped by output/plot function.
- 2 No feasible point found.

Trust-region-reflective, interior-point, and sqp:

- 2 Change in X too small.

Trust-region-reflective:

- 3 Change in objective function too small.

Active-set only:

- 4 Computed search direction too small.
- 5 Predicted change in objective function too small.

Interior-point and sqp:

- 3 Problem seems unbounded.

MATLAB 코드

최적화를 실행하는
메인 스크립트

```
%% Start with the default options
options = optimoptions('fmincon');
%% Modify options setting
options = optimoptions(options,'Display', 'final-detailed');
options = optimoptions(options,'Algorithm', 'sqp'); % 
x0 = [500 500]; % Start point
[x,fval,exitflag,output] = ...
fmincon(@(x) x(1)*x(2),x0,[-2 1],[0],[1],[0 0],[],@beam_cons,options)
```

`function [c ceq]=beam_cons(x)`

```
M = 4e7; % Nmm
V = 15e4; % N
sig_a = 10; %N/mm^2
tau_a = 2; %N/mm^2

b = x(1);
d = x(2);
```

```
c(1) = 6*M./b/d^2-sig_a; %g1
c(2) = 3*V/2./b/d-tau_a; %g2
ceq=[];
```

x: design variables
c: inequality constraint
ceq: equality constraint

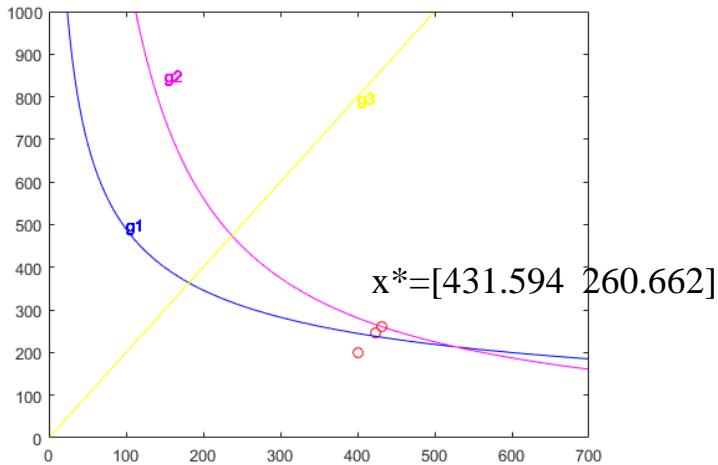
%% Plot

```
[bb,dd]=meshgrid(0:700,0:1000);
c1 = 6*M./bb./ (dd.^2)-sig_a;
c2 = 3*V/2./bb./dd-tau_a;
c3 = dd-2*bb;
contour(bb,dd,c1,[0 0],'b');text(100,500,'g1','color','b');drawnow;
hold on
contour(bb,dd,c2,[0 0],'m');text(150,850,'g2','color','m');drawnow;
hold on
contour(bb,dd,c3,[0 0],'y');text(400,800,'g3','color','y');drawnow;
hold on
plot(x(1),x(2),'o','color','r');drawnow;
```

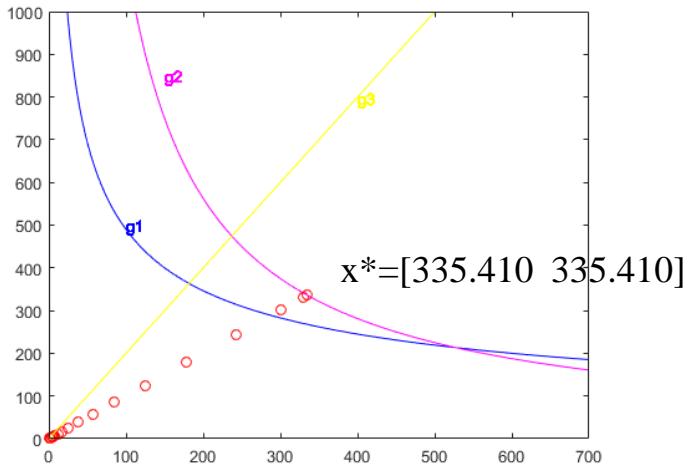
파라미터 및 제한조건의
계산이 포함된
함수 스크립트

최적화 결과

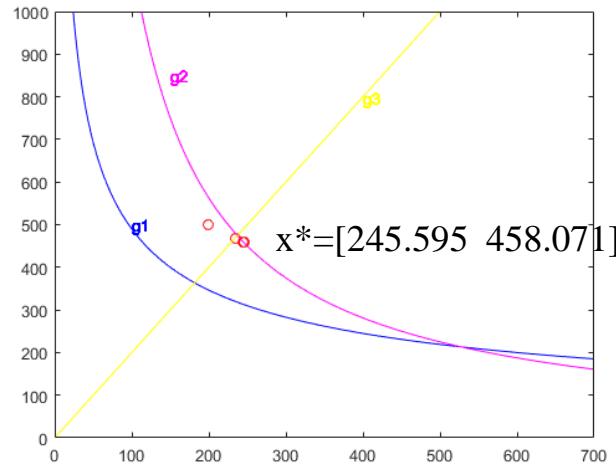
$$x_0 = [400 \ 200], f = 112500$$



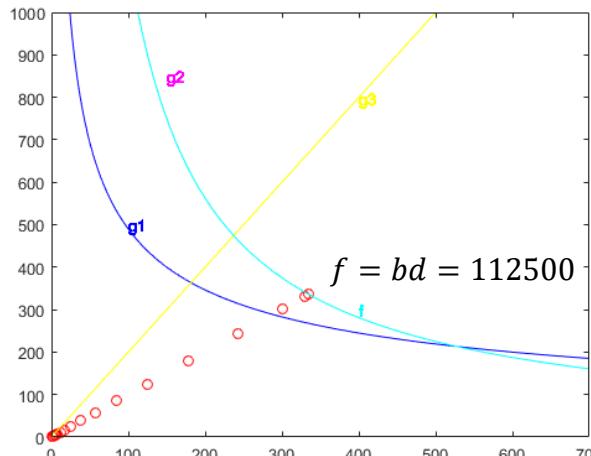
$$x_0 = [1 \ 1], f = 112500$$



$$x_0 = [200 \ 500], f = 112500$$



최종 수렴 위치에 대한 목적함수 그래프



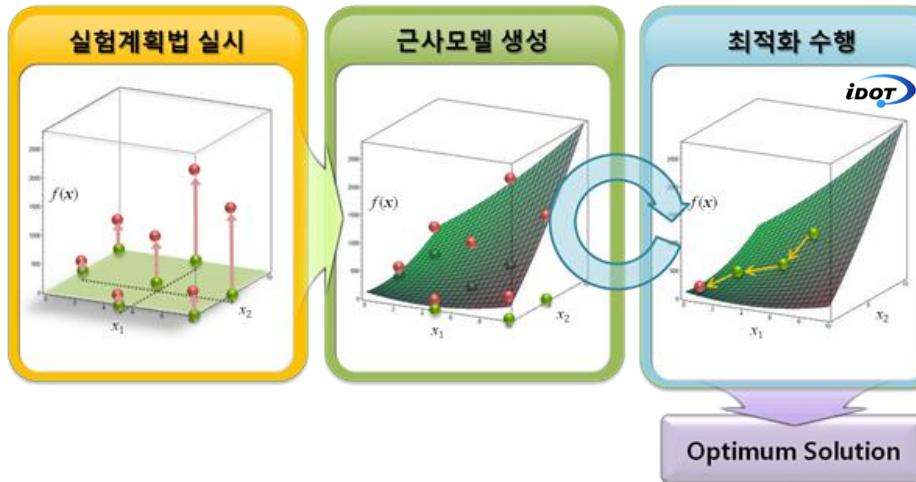
목적함수 그래프가 g_2 함수와 같아짐
→ 최적값을 갖는 결과가 다수 존재함

5 BAR TRUSS STRUCTURE (VOLUME MINIMIZATION PROBLEM)

로드 요소

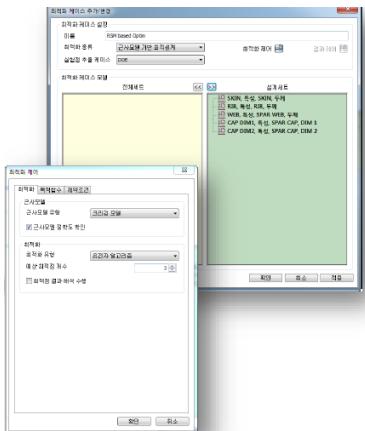
근사모델을 이용한 최적설계

- 해석된 데이터를 바탕으로 근사의 수학 모델을 만들어 최적화를 수행
- 설계자가 정한 시간 내에 적절한 설계안 도출 가능 → 실제 산업현장에서 많이 사용

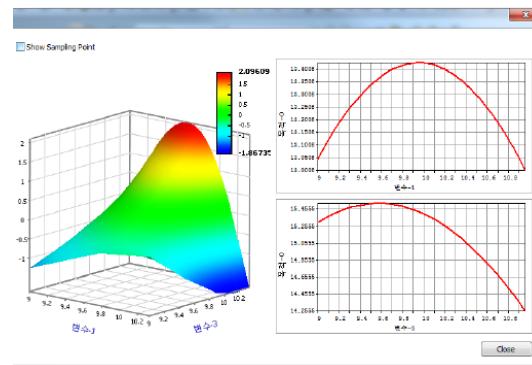


- NFX의 경우 근사모델 기반 최적화만 지원하고 있음

실험계획법 실시



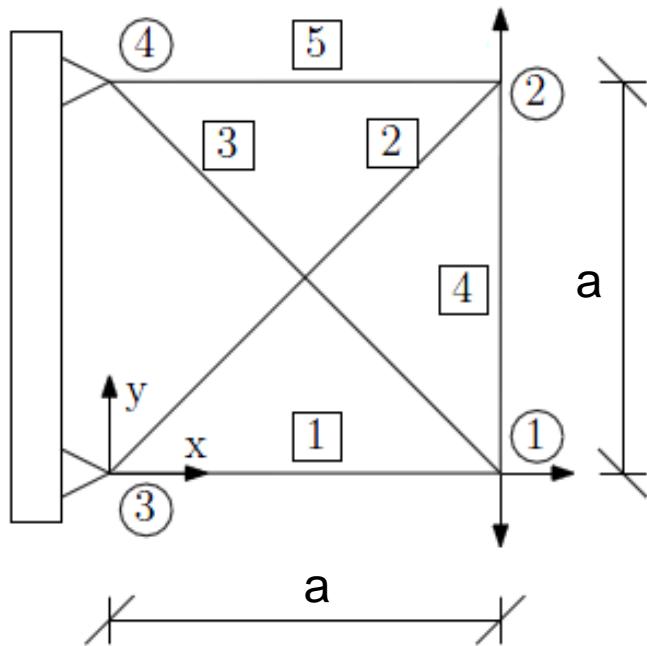
근사모델 생성



최적화 수행

설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계변수 1	설계변수 2	설계변수 3	최적설계
RSM	0.1	0.09	0.11	0.09	0.09	0.1	
KDN	0.04	0.03	0.05	0.049	0.05	0.04	
KOB	0.04	0.036	0.044	0.036	0.036	0.036	
WOB	0.2	0.18	0.22	0.18	0.18	0.2	
DF	0.1	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.091
SPK							
CAP							
CEM							

예제: 5 BAR STRUCTURE



Material : aluminum

탄성계수 : $6.895E4 \text{ N/mm}^2$

프와송비 : 0.3

질량밀도 : $2.77E-6 \text{ kg/mm}^3$

$$a = 254 \text{ mm}$$

$$F_{1x} = 22.241 \text{ kN}, F_{1y} = -13.344 \text{ kN}$$

$$F_{2y} = 4.448 \text{ kN}$$

문제정식화

설계변수 : 각 부재의 단면적

설계목적 : 부피 최소화

설계제약조건

부재 최대응력 413.684 MPa 이하

절점 최대변위(x, y 방향) 1.524 mm 이하

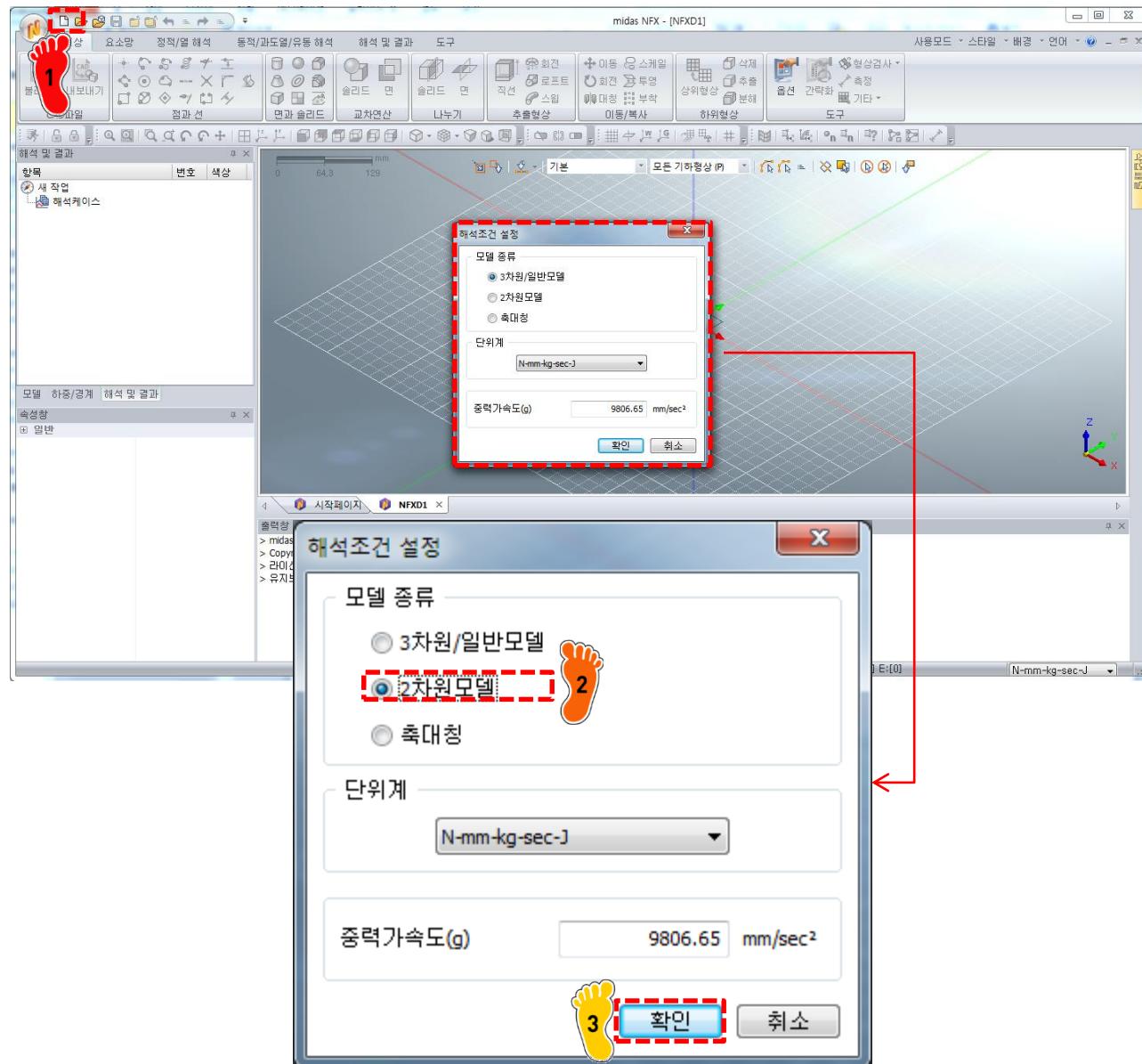
$$6.4516 \text{ mm}^2 \leq \text{부재 단면적} \leq 64.516 \text{ mm}^2$$

Referenced optimum values*

부재 번호	1	2	3	4	5
단면적 [mm ²]	32.26	6.45	30.39	10.77	6.45

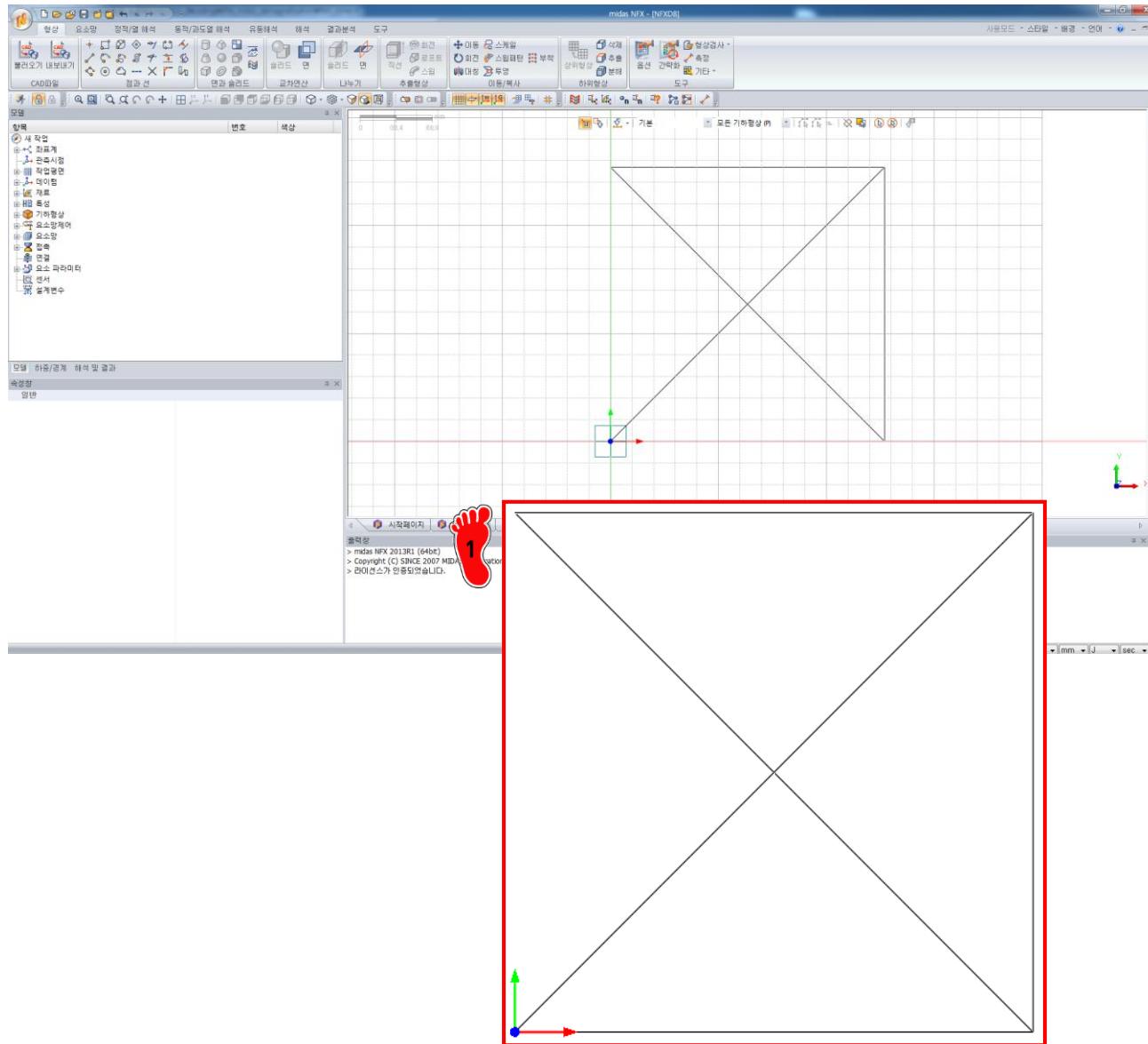
* A. Pospisilova and M. Leps, ACTA PLYTECHNICA, 2012

기하형상 생성 (1)



- 1 새로 만들기 클릭
- 2 2차원 모델 선택
- 3 확인

기하형상 생성 (2)



1 문제에 주어진 5-bar truss
생성

재료 물성 및 특성 입력



문제에 주어진 Aluminum
물성치 입력

5개의 로드요소 특성 생성
(초기 단면적 : 20 mm²)

1차원 특성 생성/변경

로드

번호	1	이름	Bar1	색상	
재료	1: Aluminum				
단면적	20 mm ²				
비틀림상수	0 mm ⁴				
비틀림응력계수	0 mm				
길이당 비구조질량	0 kg/mm				
<input type="button" value="단면형상..."/>		<input type="button" value="없음"/>			
<input type="button" value="확인"/> <input type="button" value="취소"/> <input type="button" value="적용"/>					

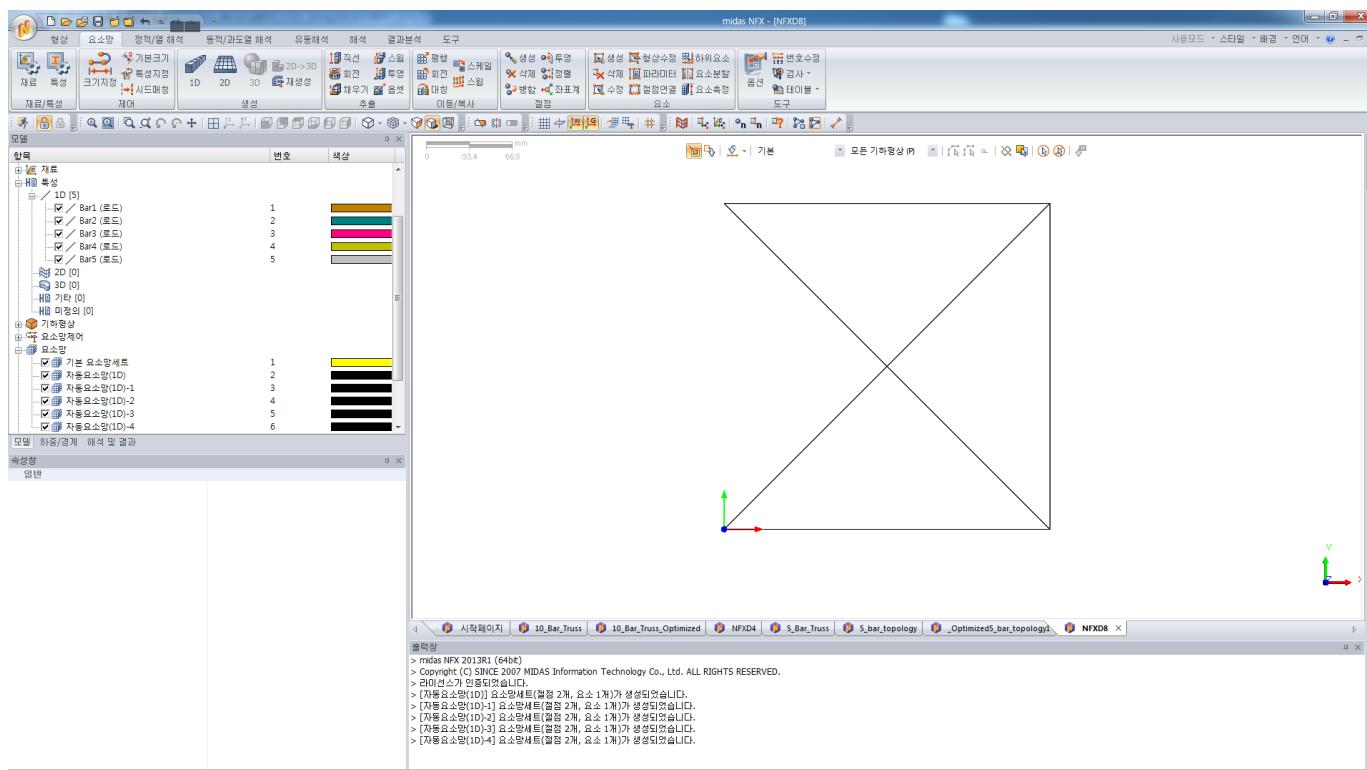
특성 추가/수정

번호	이름	종류	하위종류	
1	Bar1	1D	로드	<input type="button" value="수정..."/>
2	Bar2	1D	로드	<input type="button" value="복사"/>
3	Bar3	1D	로드	<input type="button" value="삭제"/>
4	Bar4	1D	로드	<input type="button" value="불러오기..."/>
5	Bar5	1D	로드	

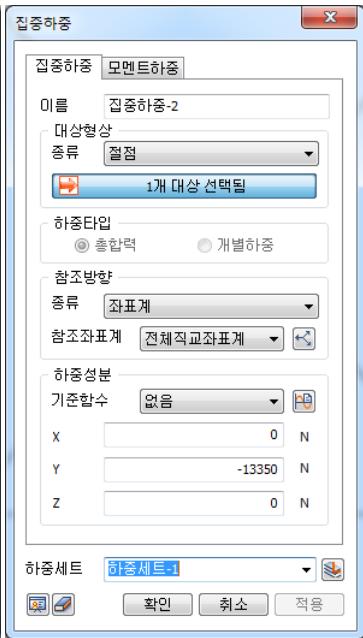
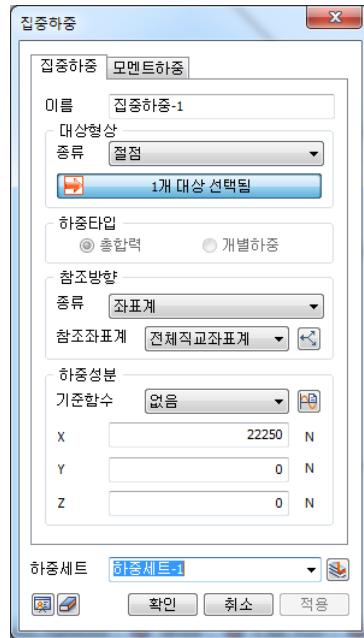
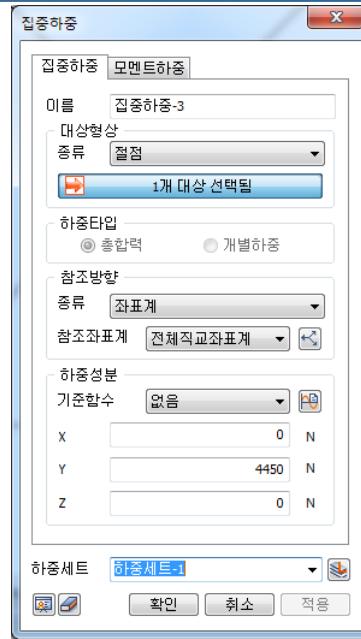
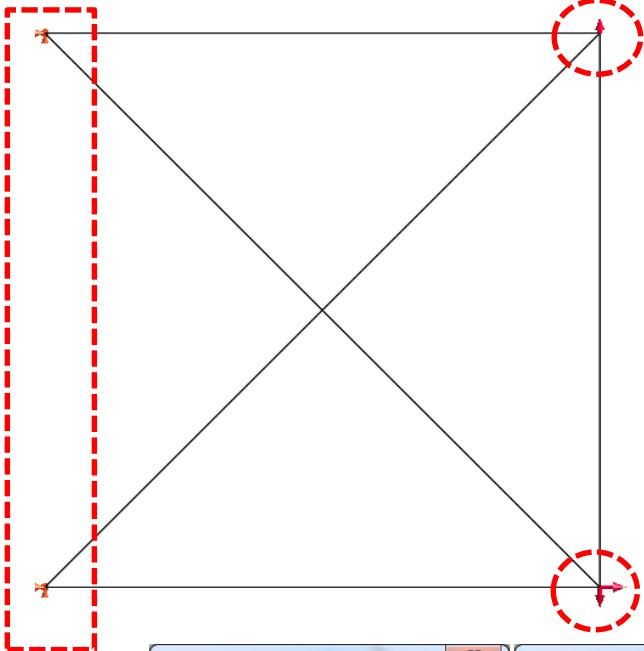
요소망 생성



분할수 1인 1D 요소 5개 생성



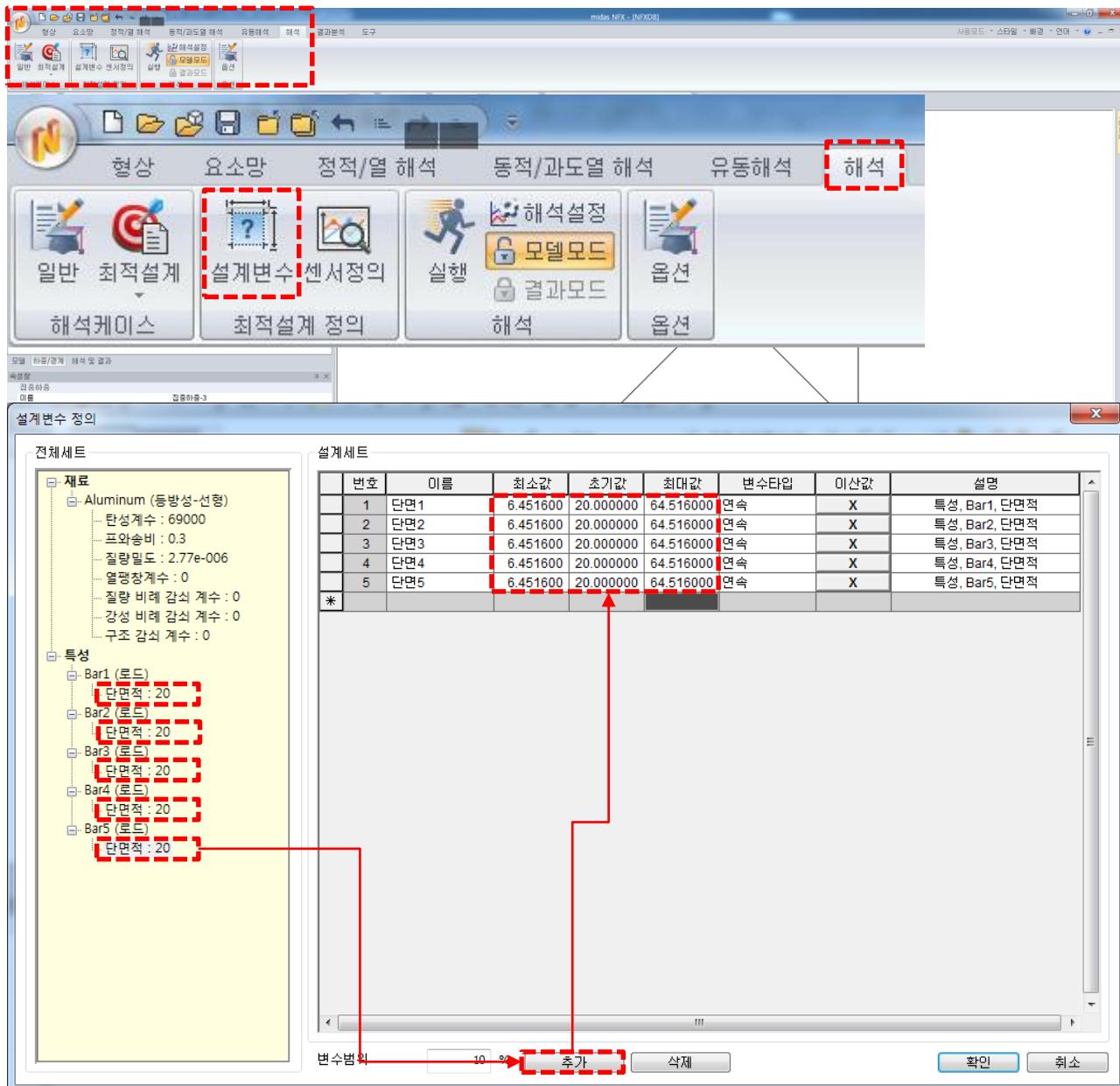
구속조건 및 하중조건 설정



핀구속

문제에 주어진 하중 입력

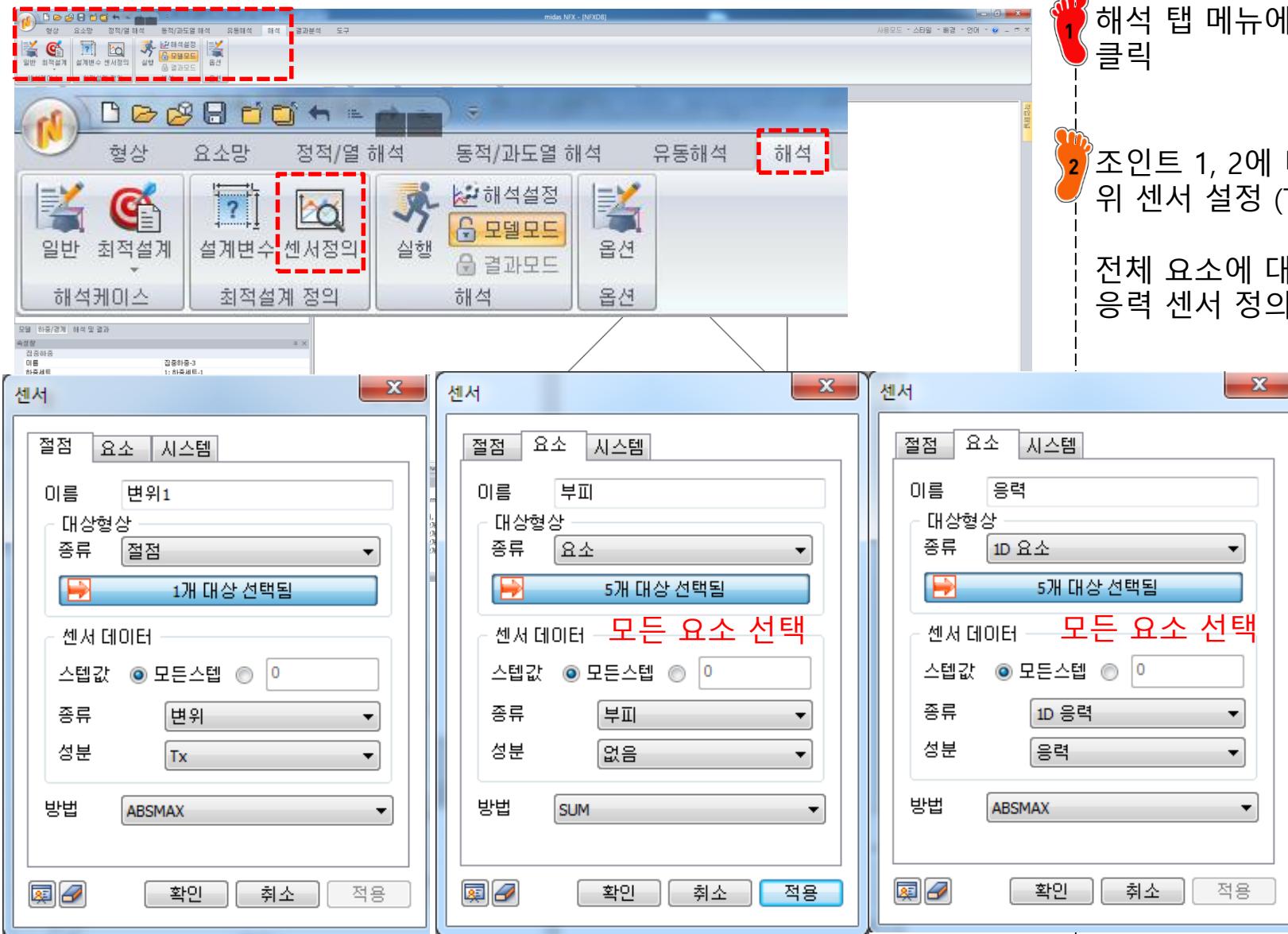
설계변수 설정



1 해석 탭 메뉴에서 설계변수 클릭

2 5개 부재의 단면적 설정 후, 최소값 (6.4516 mm^2)과 최대값 (64.516 mm^2) 설정

센서 설정

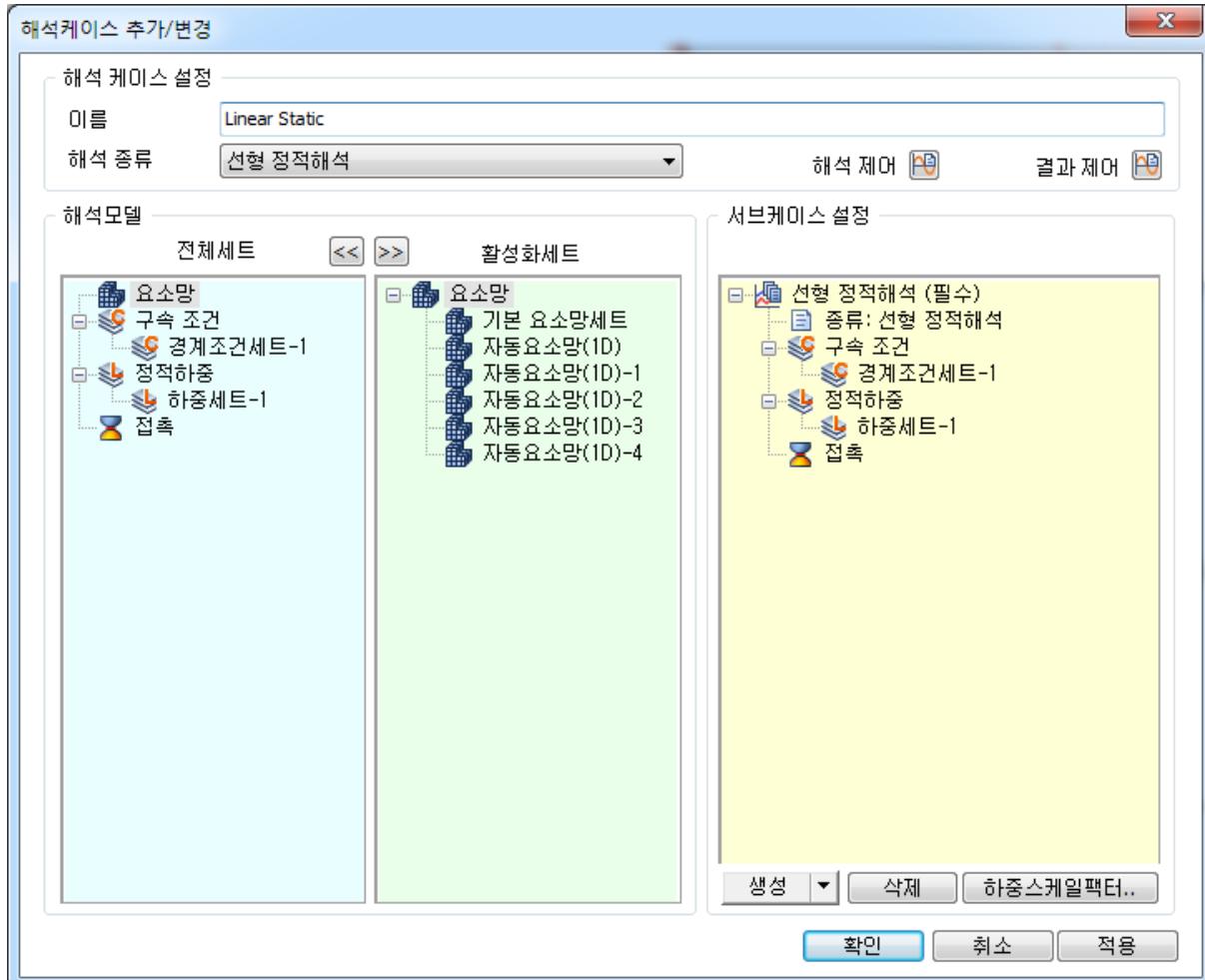


1 해석 탭 메뉴에서 센서정의 클릭

2 조인트 1, 2에 대한 절점 변위 센서 설정 (Tx, Ty.): 4개

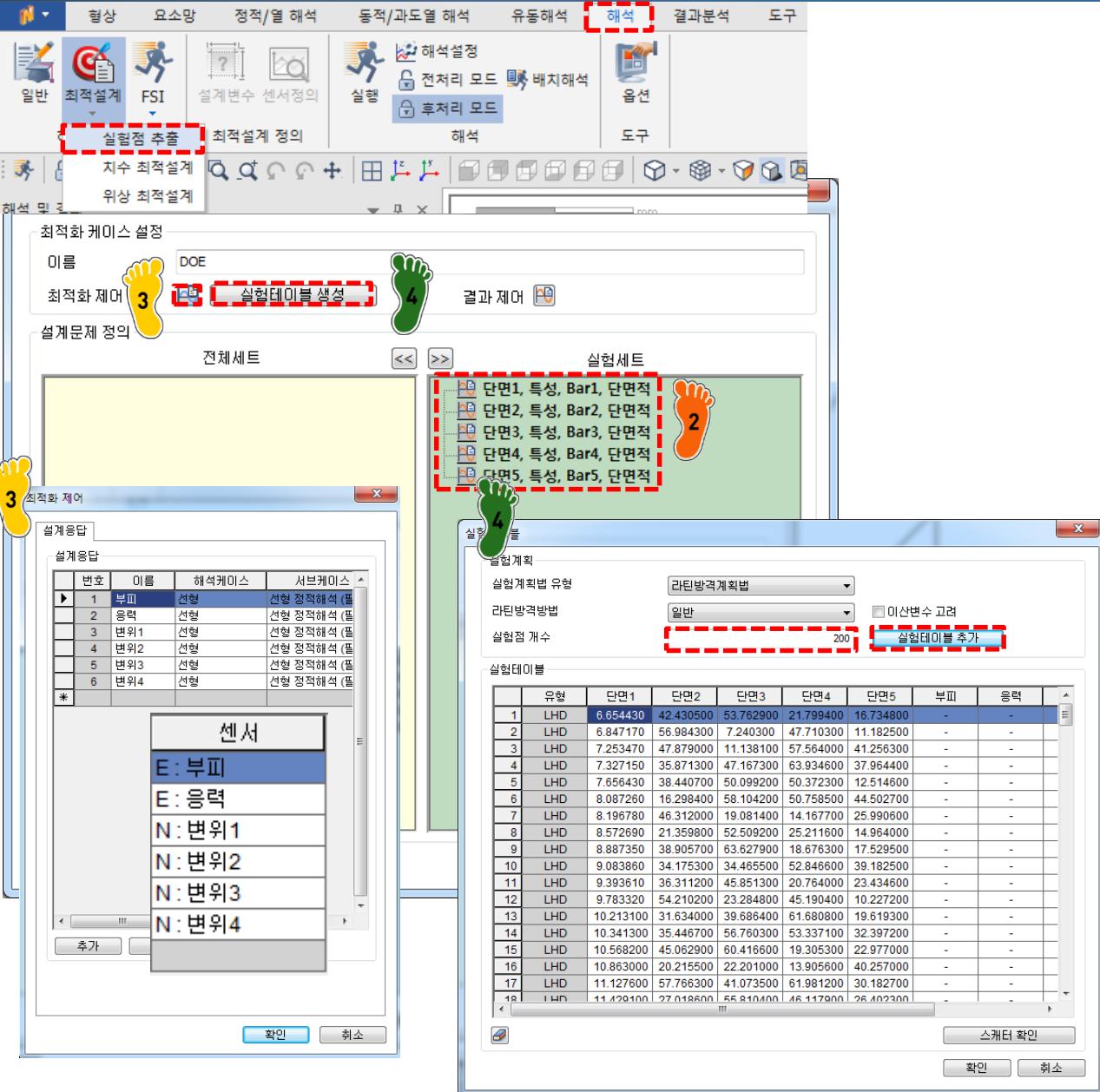
전체 요소에 대한 부피, 1D 응력 센서 정의

해석 케이스 정의 및 실험점 추출 (1)



1 해석 케이스
'선형 정적해석' 선택

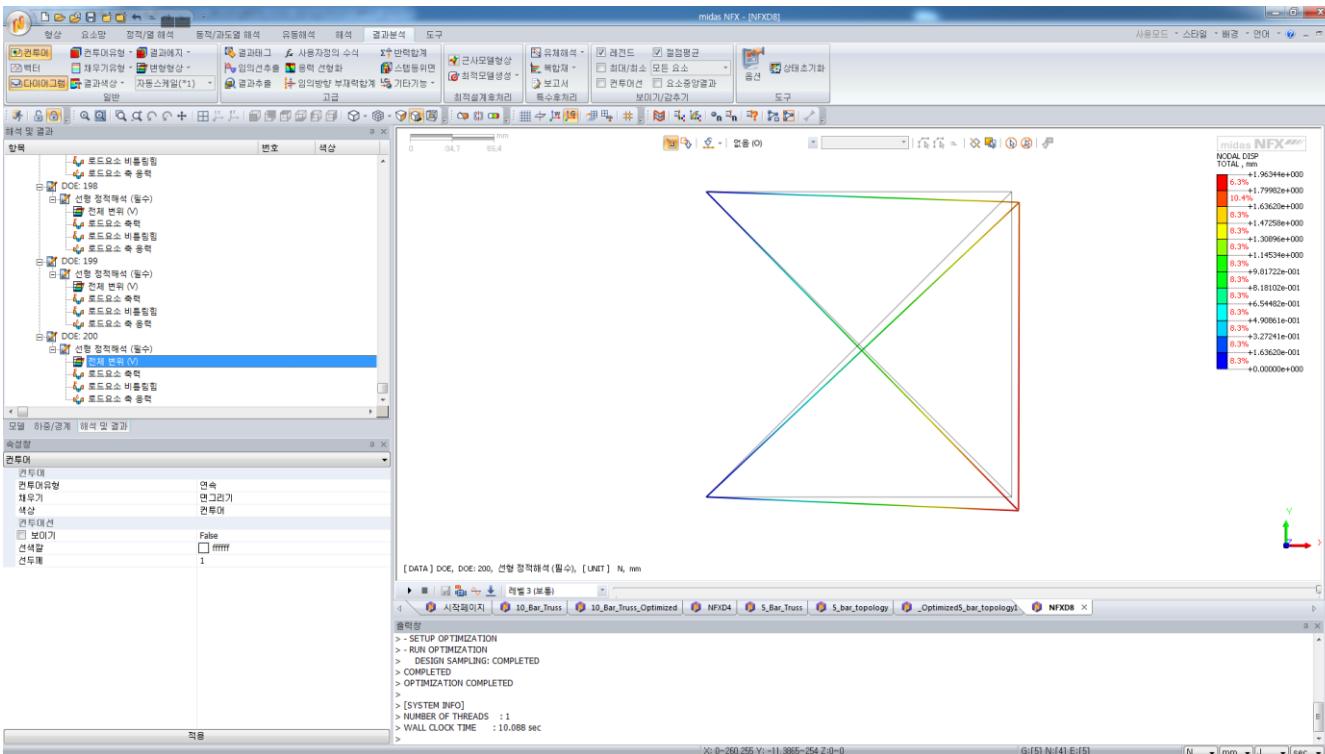
해석 케이스 정의 및 실험점 추출 (2)



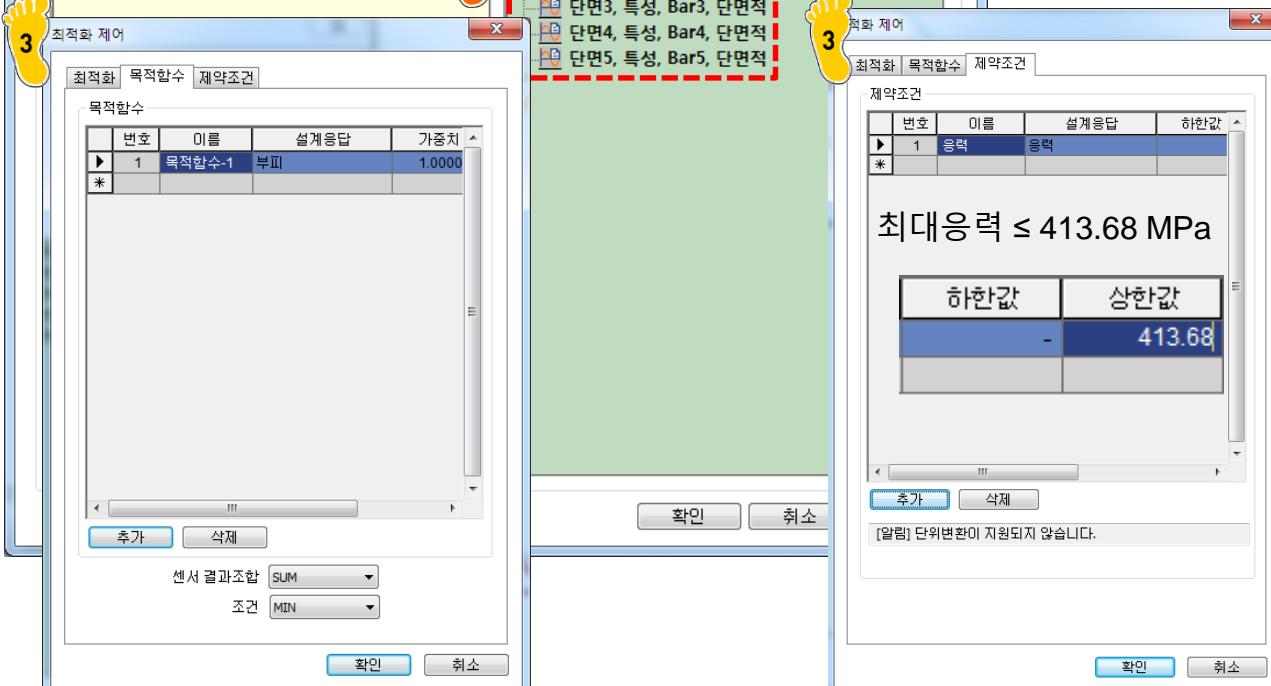
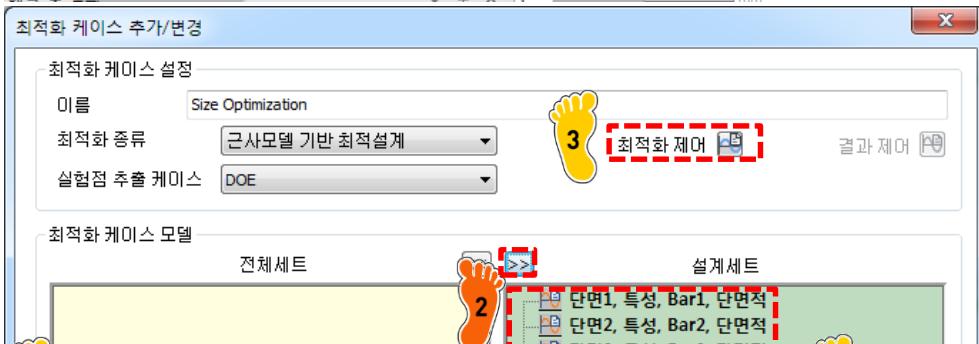
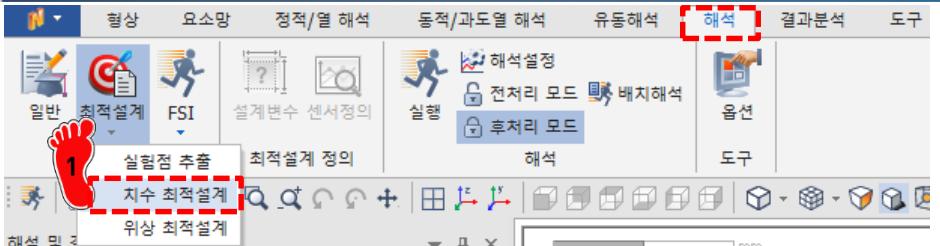
- 1 해석 메뉴에서 '최적설계' → '실험점 추출' 선택
- 2 정의한 설계변수를 실험 세트로 이동
- 3 최적화 제어 탭 클릭 후, 센서 6개에 대한 설계응답 설정
- 4 실험 테이블 탭 클릭 후, 라틴방적계획법 실험점 200개 설정하여 실험 테이블 생성

해석 케이스 정의 및 실험점 추출 (3)

1 실험점을 추출하기 위한 해석 수행



치수 최적화 설정: 응력 제약조건



1 최적설계 탭에서 치수최적 설계 메뉴 선택

2 설정한 설계변수를 설계 세트로 이동

3 최적화 제어 탭 클릭 후, 문제에 정의된 목적 함수와 제약조건 설정

최적화 수행

치수 최적화 결과 확인: 응력 제약조건

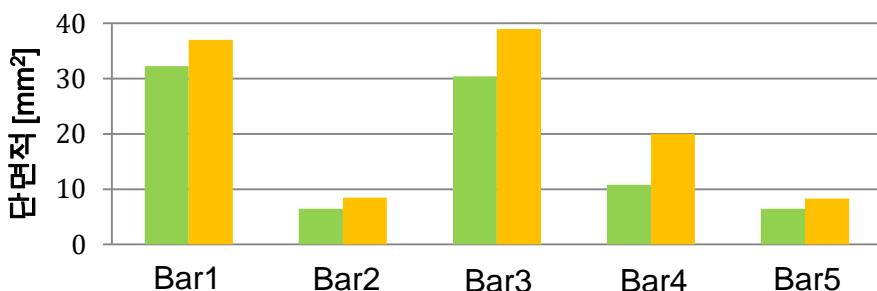
설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
설계변수-1	20	6.5	65	37	36	38	37
설계변수-2	20	6.5	65	8.5	8	6.5	8.5
설계변수-3	20	6.5	65	39	38	38	39
설계변수-4	20	6.5	65	20	20	19	20
설계변수-5	20	6.5	65	8.3	13	11	8.3

압력 (예상값 / 해석값)

목적함수 변화율 (%)	0	14	14	13	14	14
제약조건 최대위배율 (%)	74	0	0	0	0	0
목적함수-1	$3e+004$	$3.4e+004$	$3.4e+004$	$3.3e+004$	$3.4e+004$	$3.4e+004$
응력	$7.2e+002$	$4.1e+002$	$4.1e+002$	$4.1e+002$	$4.1e+002$	$3.6e+002$

사용자 설계안 확인

모델생성 대상 사용자 설계안 모델파일 경로 NFXD4_Optimized.nfx ...



- : Reference ($\text{vol} = 2.6\text{e}4 \text{ mm}^2$)
- : NFX ($\text{vol} = 3.4\text{e}4 \text{ mm}^2$)

1 결과분석 탭에서 '최적모델 생성' → 치수최적화 선택

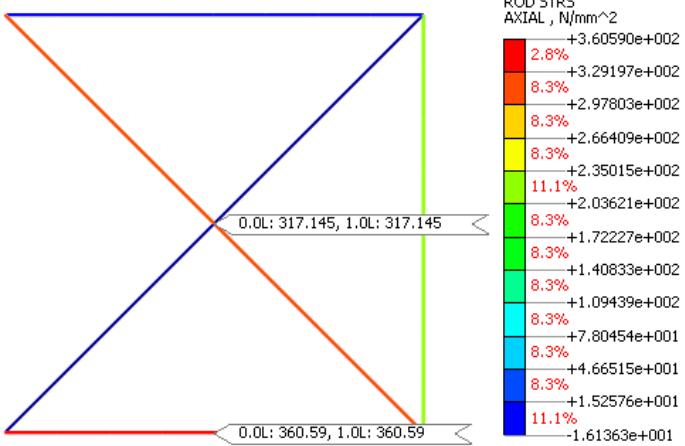
2 제시된 3개의 최적 설계안과 해석값 확인

3개의 최적 설계안을 이용하여 사용자 설계안 도출 및 해석값 확인

3 '확인'을 누르면 최적값을 기반으로 해석 모델 생성

후처리: 응력 제약조건

응력 결과

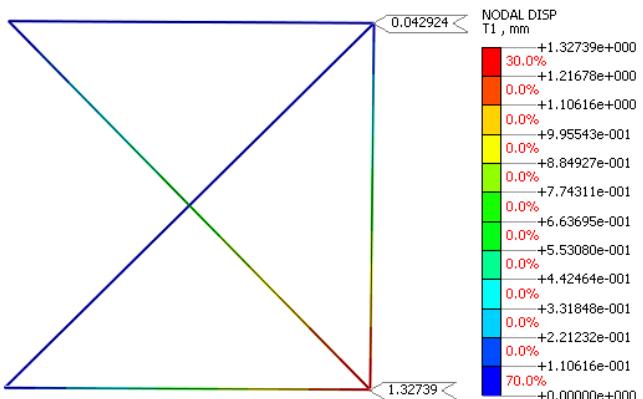


최적화 결과를 설계 모델에 반영하여 해석 수행 가능

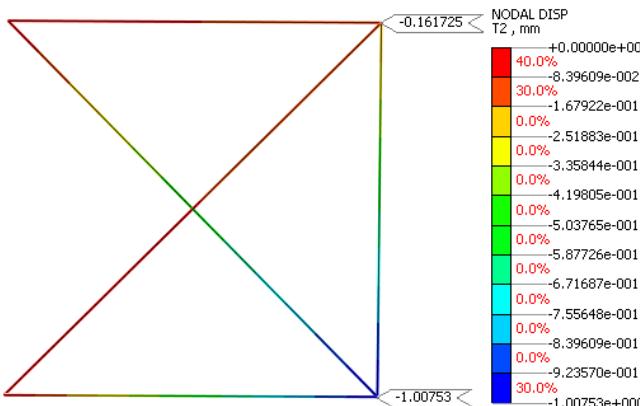
변위 제약조건을 부여하지 않음에도 절점 1,2의 변위를 모두 만족함

변위 결과

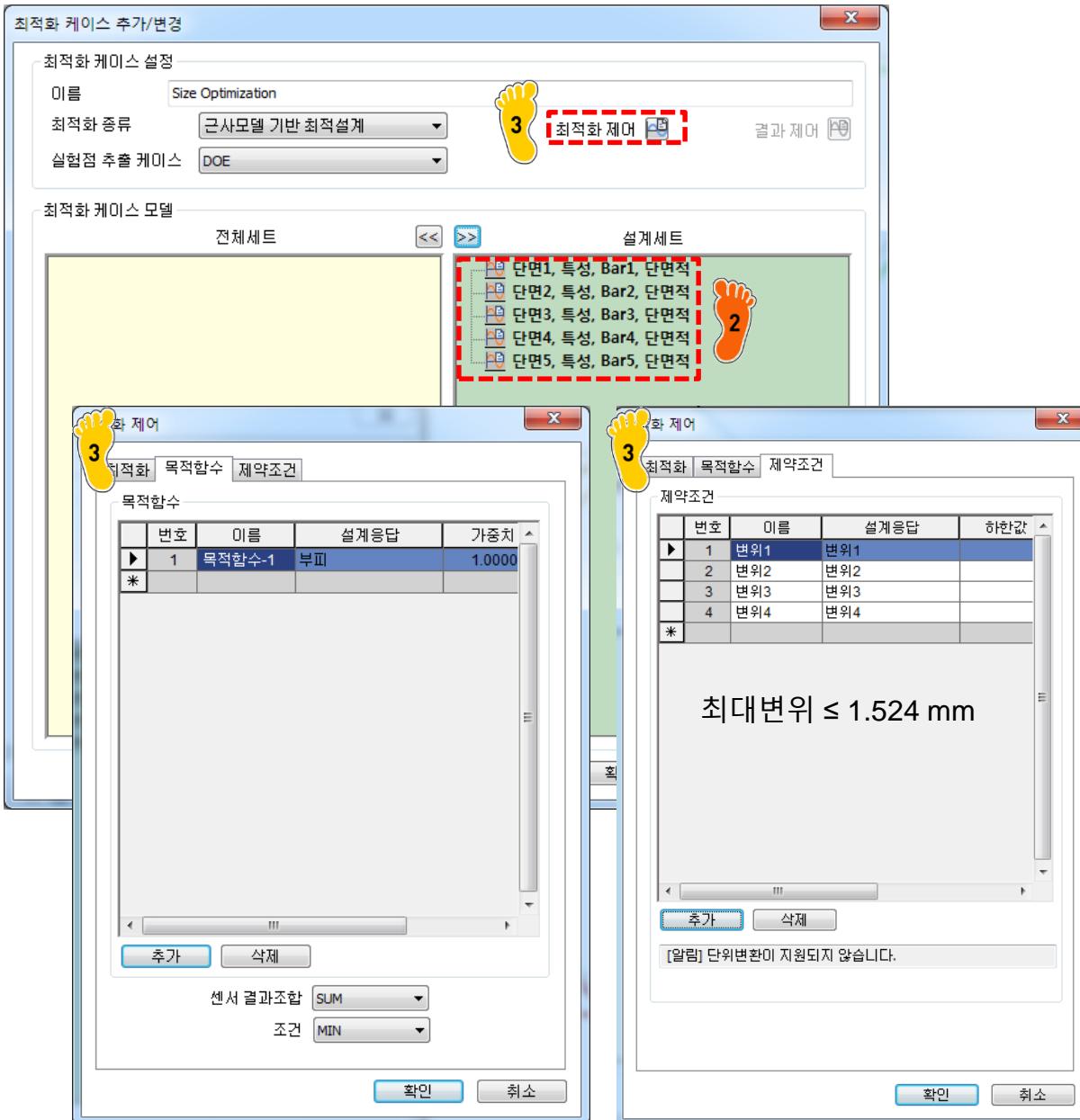
x 방향 변위



y 방향 변위



치수 최적화 설정: 변위 제약조건



- 1 최적설계 탭에서 치수최적 설계 메뉴 선택
- 2 설정한 설계변수를 설계 세트로 이동
- 3 최적화 제어 탭 클릭 후, 문제에 정의된 목적 함수와 제약조건 설정

치수 최적화 결과 확인: 변위 제약조건

The screenshot shows the midas NFX software interface. The top menu bar has tabs like '형상', '요소망', '정적/열 해석', '동적/과도열 해석', '유동해석', '해석', '결과분석', and '도구'. The left toolbar includes sections for '컨투어', '벡터', '다이어그램', '결과색상', '형상', '요소망', '정적/열 해석', '동적/과도열 해석', '유동해석', '해석', '결과분석', and '도구'. The main window displays a table of optimization results for five design variables (설계변수-1 to 설계변수-5) across three design cases (설계안 1, 2, 3). The table includes columns for initial value, minimum value, maximum value, and user-defined values. Below the table is a detailed table of optimization parameters and results. At the bottom, there's a 'Model Generation' section and a 'Results' section with a bar chart comparing 'Reference' and 'NFX' volumes for five bars.

설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
설계변수-1	20	6.5	65	33	33	33	33
설계변수-2	20	6.5	65	6.6	7.5	6.5	6.6
설계변수-3	20	6.5	65	35	35	35	35
설계변수-4	20	6.5	65	7.1	6.8	9.3	7.1
설계변수-5	20	6.5	65	6.5	7.2	6.9	6.5

목적함수 변화율 (%)	0	-9.2	-8.1	-8.1	-9.2	-9.2
제약조건 최대위배율 (%)	70	0	0	0	0	0
목적함수-1	3e+004	2.7e+004	2.7e+004	2.7e+004	2.7e+004	2.7e+004
변위1	2.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
변위2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3
변위3	0.17	0.27	0.26	0.26	0.27	0.22
변위4	0.82	0.57	0.55	0.55	0.57	0.83

모델생성
대상 [사용자 설계안] 모델파일 경로 NFXD4_Optimized.nfx [...]
[확인] [취소]



1 결과분석 탭에서 '최적모델 생성' → 치수최적화 선택

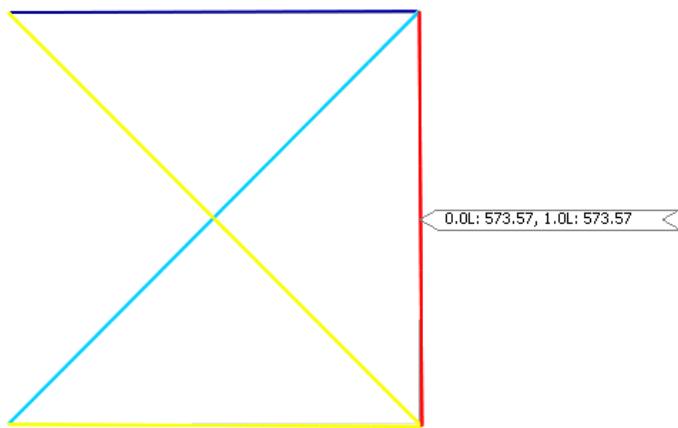
2 제시된 3개의 최적 설계안과 해석값 확인

3개의 최적 설계안을 이용하여 사용자 설계안 도출 및 해석값 확인

'확인'을 누르면 최적값을 기반으로 해석 모델 생성

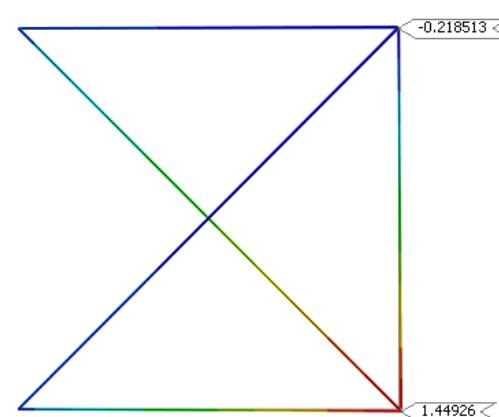
후처리: 변위 제약조건

응력 결과

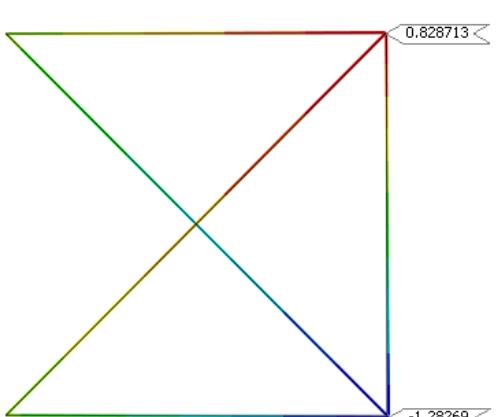


변위 결과

x 방향 변위



y 방향 변위



최적화 결과를 설계 모델에 반영하여 해석 수행 가능

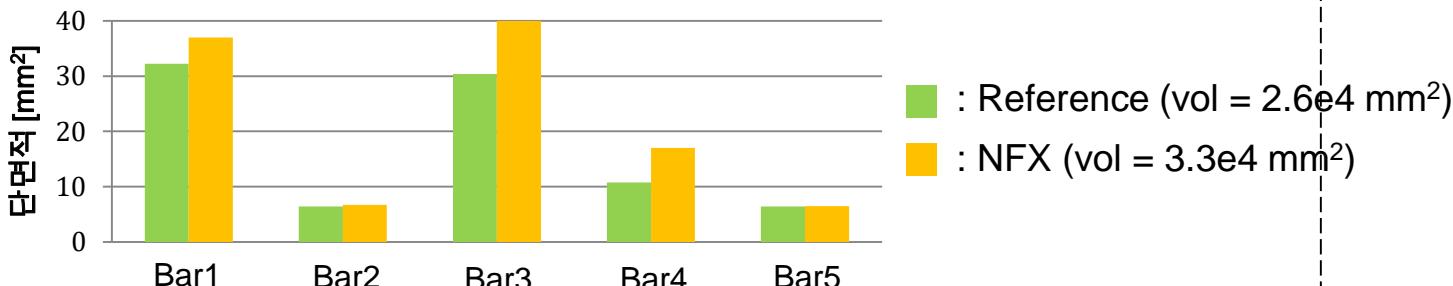
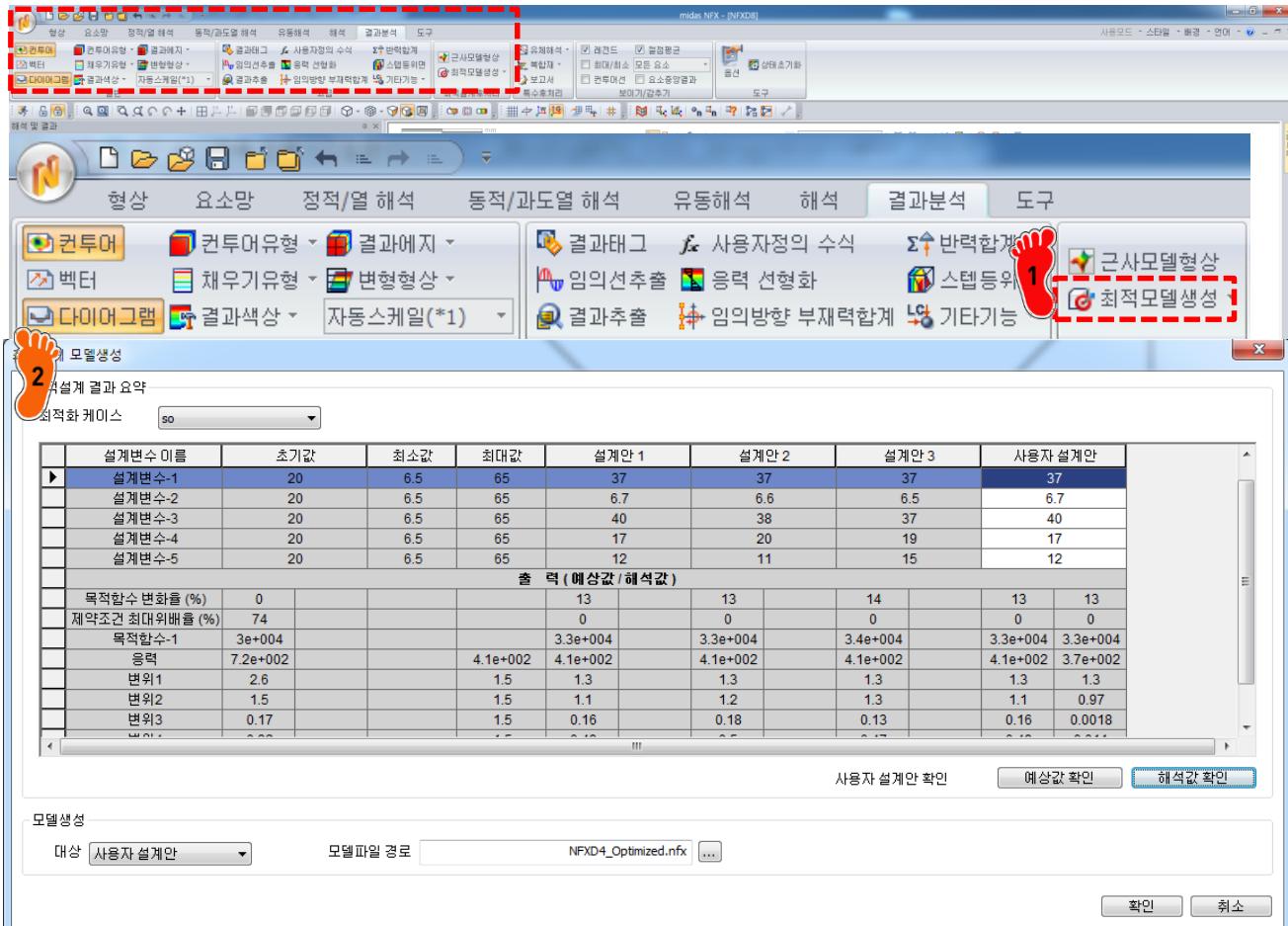
변위조건은 모두 만족하나 응력조건을 위반한 결과가 나타남

치수 최적화 설정: 응력 & 변위



- 1 최적설계 탭에서 치수최적 설계 메뉴 선택
- 2 설정한 설계변수를 설계 세트로 이동
- 3 최적화 제어 탭 클릭 후, 문제에 정의된 목적 함수와 제약조건 설정

치수 최적화 결과 확인: 응력 & 변위



1 결과분석 탭에서 '최적모델 생성'→치수최적화 선택

2 제시된 3개의 최적 설계안과 해석값 확인

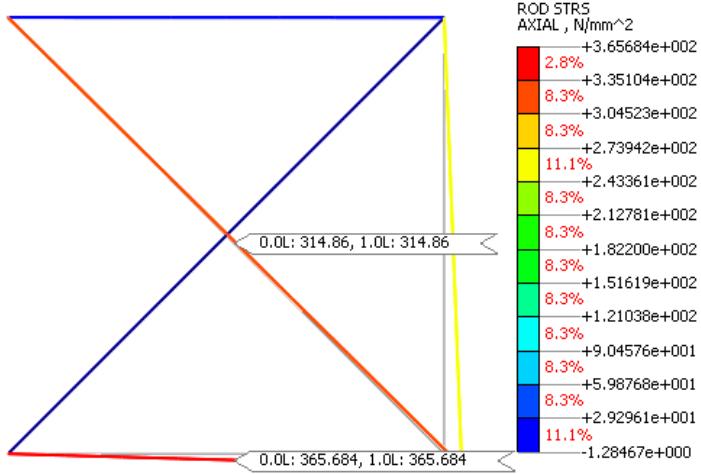
3개의 최적 설계안을 이용하여 사용자 설계안 도출 및 해석값 확인

'확인'을 누르면 최적값을 기반으로 해석 모델 생성

후처리: 응력 & 변위

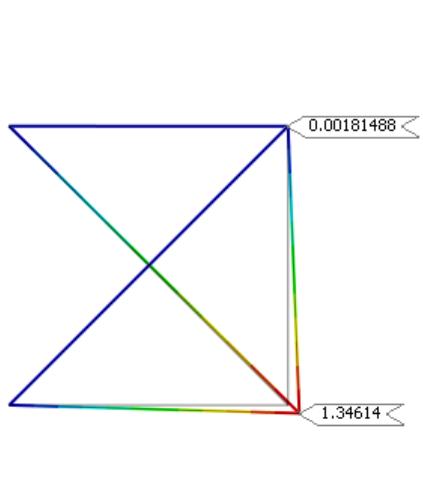
최적화 결과를 설계 모델에 반영하여 해석 수행 가능

응력 결과

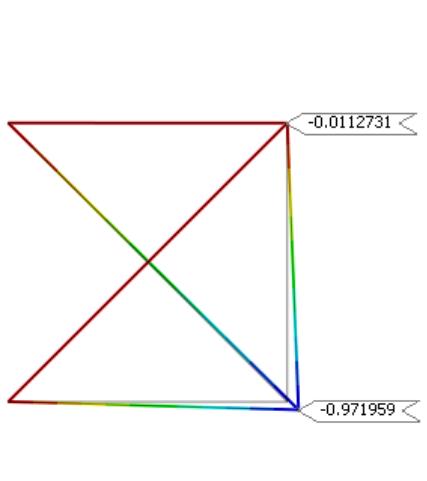


변위 결과

x 방향 변위



y 방향 변위



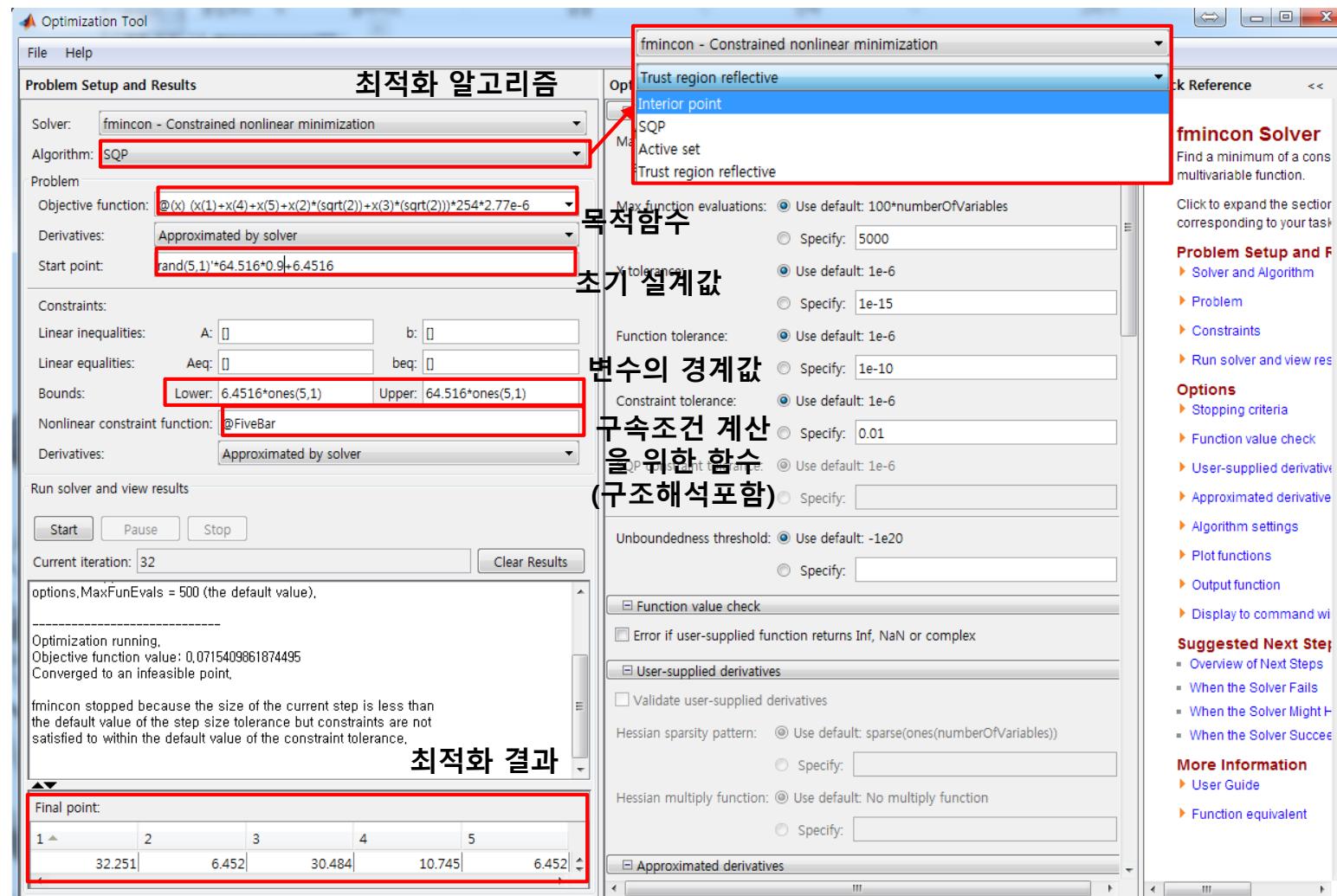
치수 최적화 결과

		최적화 문제			
		참고 문헌	응력 제약	변위 제약	응력 & 변위
부피[mm ³]		2.6e4	3.4e4	2.7e4	3.3e4
최대 응력[MPa]		414.09	360.59	573.57	365.68
변위 [mm]	절점 1,x	1.52	1.33	1.45	1.35
	절점 1,y	-1.52	-1.01	-1.28	-0.97
	절점 2,x	0.001	0.04	-0.22	0.002
	절점 2,y	-0.004	-0.16	0.83	-0.01
변수 [mm ²]	A1	32.26	37	33	37
	A2	6.45	8.5	6.6	6.7
	A3	30.39	39	35	40
	A4	10.77	20	7.1	17
	A5	6.45	8.3	6.5	12

NFX를 이용한 치수 최적화의 경우 참고 문헌의 결과 대비 제약조건에 여유가 있는 상태로 결과가 도출된 것을 알 수 있음

MATLAB을 이용한 최적화: fmincon

- 최적화 세팅



MATLAB을 이용한 최적화: fmincon

		최적화 문제			
		참고 문헌	응력 제약	변위 제약	응력 & 변위
부피[mm ³]		2.6e4	2.6e4	2.5e4	2.6e4
최대 응력[MPa]		414.09	413.68	632.33	414.70
변위 [mm]	절점 1,x	1.52	1.52	1.52	1.52
	절점 1,y	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52
	절점 2,x	0.001	3.92e-7	-0.21	-8.30e-6
	절점 2,y	-0.004	-1.50e-6	0.81	3.19e-5
변수 [mm ²]	A1	32.26	32.26	31.37	32.26
	A2	6.45	6.45	6.45	6.45
	A3	30.39	30.41	31.67	30.41
	A4	10.77	10.75	6.45	10.75
	A5	6.45	6.45	6.45	6.45

MATLAB의 fmincon 솔버의 경우 민감도를 이용한 알고리즘을 사용하며 크게 4가지 방법을 사용

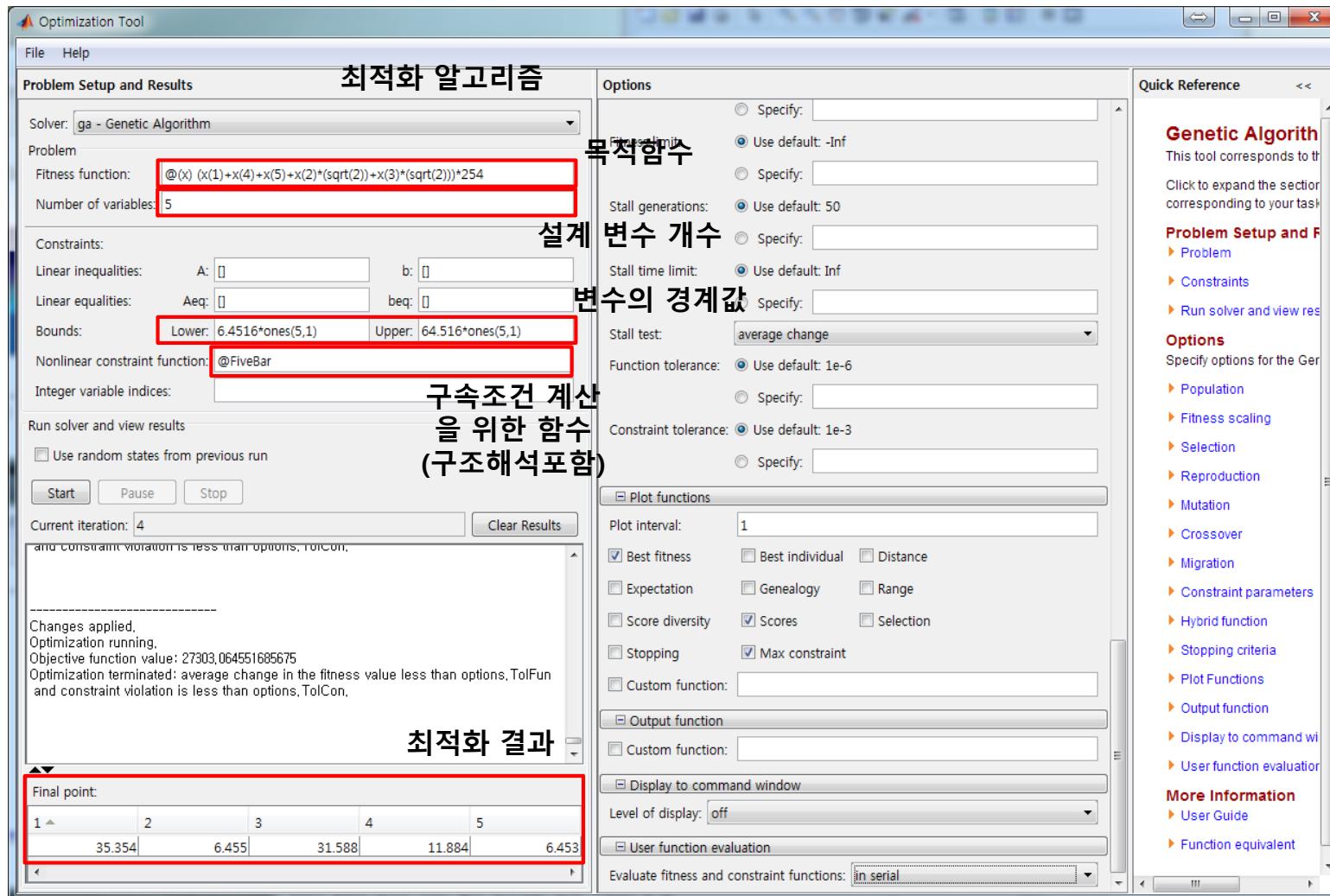
본 문제에 적용 가능한 방법은 'Interior point', 'SQP', 'Active set' 3가지이며, 본 문제의 경우 결과에 큰 차이가 없으므로 기본으로 되어 있는 'Interior point'를 이용한 결과 이용함

참고 문헌의 결과와 유사한 결과를 나타냄

응력 제약 문제의 경우 GA 결과와 마찬가지로 변위 제약조건을 고려하지 않음에도 변위 제약조건을 만족하는 것을 알 수 있음

MATLAB을 이용한 최적화: GA

- 최적화 세팅



MATLAB을 이용한 최적화: GA

		최적화 문제			
		참고 문헌	응력 제약	변위 제약	응력 & 변위
부피[mm ³]		2.6e4	2.6e4	2.7e4	2.6e4
최대 응력[MPa]		414.09	414.02	593.93	414.10
변위 [mm]	절점 1,x	1.52	1.52	1.39	1.52
	절점 1,y	-1.52	-1.52	-1.39	-1.52
	절점 2,x	0.001	9.0e-7	-0.21	1.71e-5
	절점 2,y	-0.004	-3.4e-6	0.8	-6.53e-5
변수 [mm ²]	A1	32.26	32.23	34.45	32.23
	A2	6.45	6.45	6.45	6.45
	A3	30.39	30.39	34.78	30.38
	A4	10.77	10.74	6.87	10.74
	A5	6.45	6.45	6.45	6.45

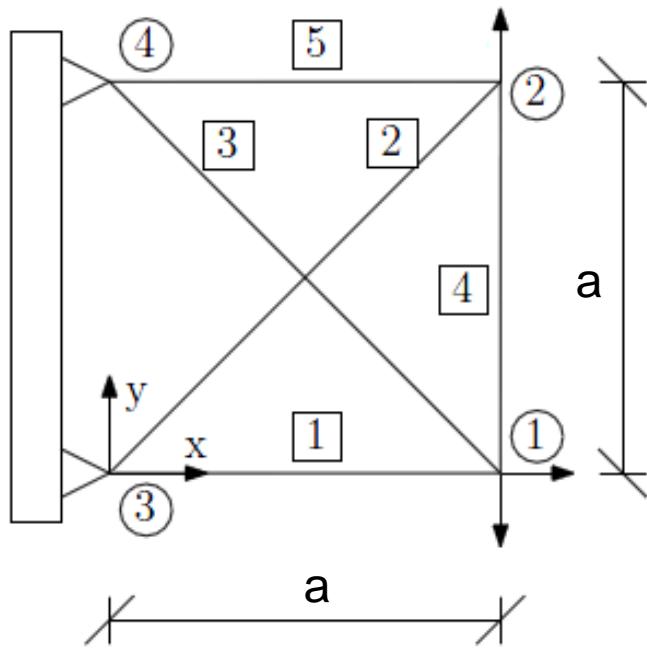
GA의 경우 최적화 계산과정에서 랜덤 요인이 포함되기 때문에 100번을 수행하여 제일 좋은 결과를 도출함

참고 문헌의 결과와 유사한 결과를 나타냄

응력 제약 문제의 경우 변위 제약조건을 고려하지 않음에도 변위 제약조건을 만족하는 것을 알 수 있음

3 BAR TRUSS STRUCTURE (TOPOLOGY + SIZE OPTIMIZATION)

예제: 5 BAR STRUCTURE



Material : aluminum

탄성계수 : $6.895E4 \text{ N/mm}^2$

프와송비 : 0.3

질량밀도 : $2.77E-6 \text{ kg/mm}^3$

$$a = 254 \text{ mm}$$

$$F_{1x} = 22.241 \text{ kN}, F_{1y} = -13.344 \text{ kN}$$

$$F_{2y} = 4.448 \text{ kN}$$

문제정식화

설계변수 : 각 부재의 단면적

설계목적 : 부피 최소화

설계제약조건

부재 최대응력 413.684 MPa 이하

절점 최대변위(x,y방향) 1.524 mm 이하

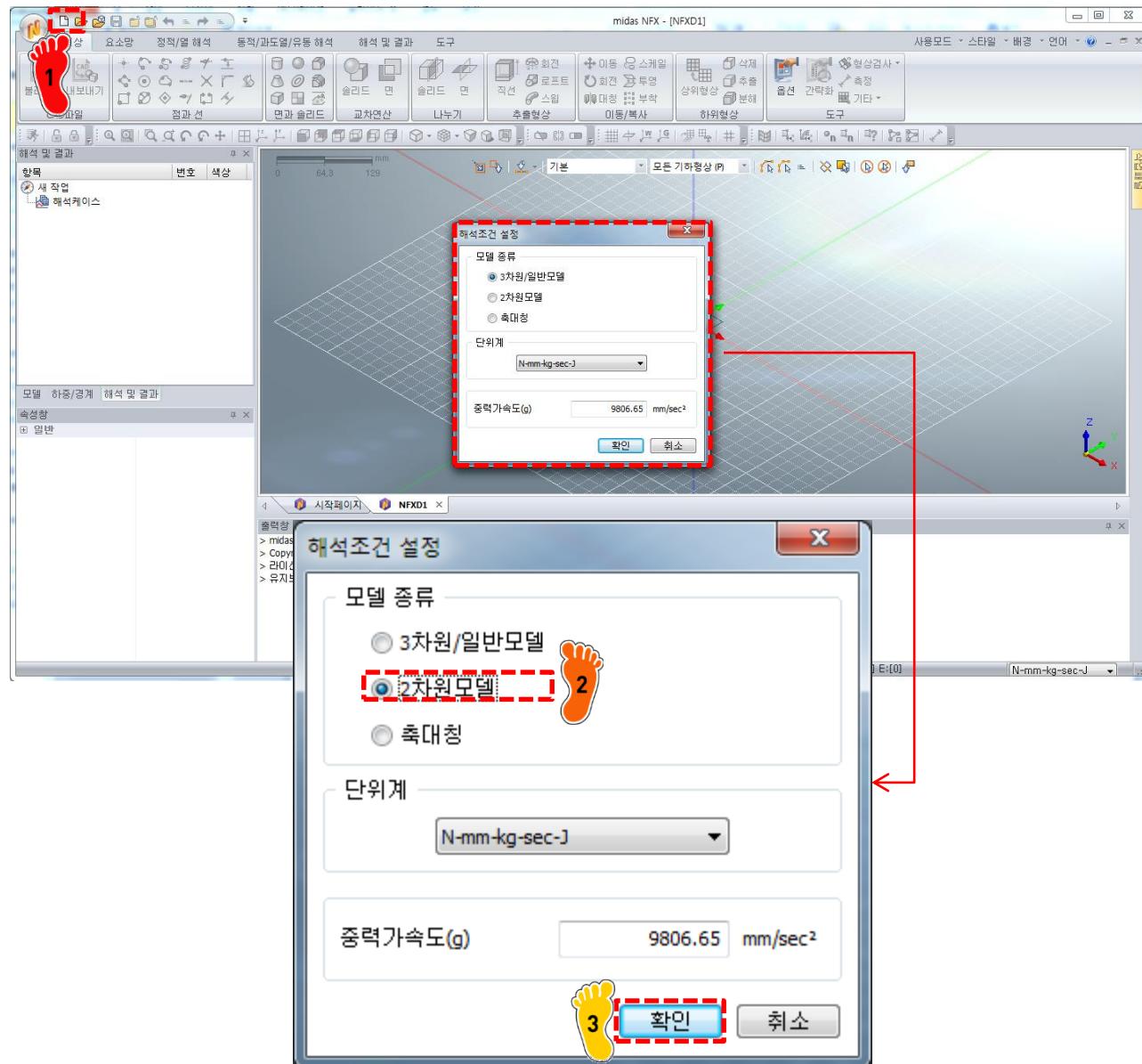
$6.4516 \text{ mm}^2 \leq \text{부재 단면적} \leq 64.516 \text{ mm}^2$

Referenced optimum values*

부재 번호	1	2	3	4	5
단면적 [mm ²]	32.26	6.45	30.39	10.77	6.45

* A. Pospisilova and M. Leps, ACTA PLYTECHNICA, 2012

기하형상 생성 (1)



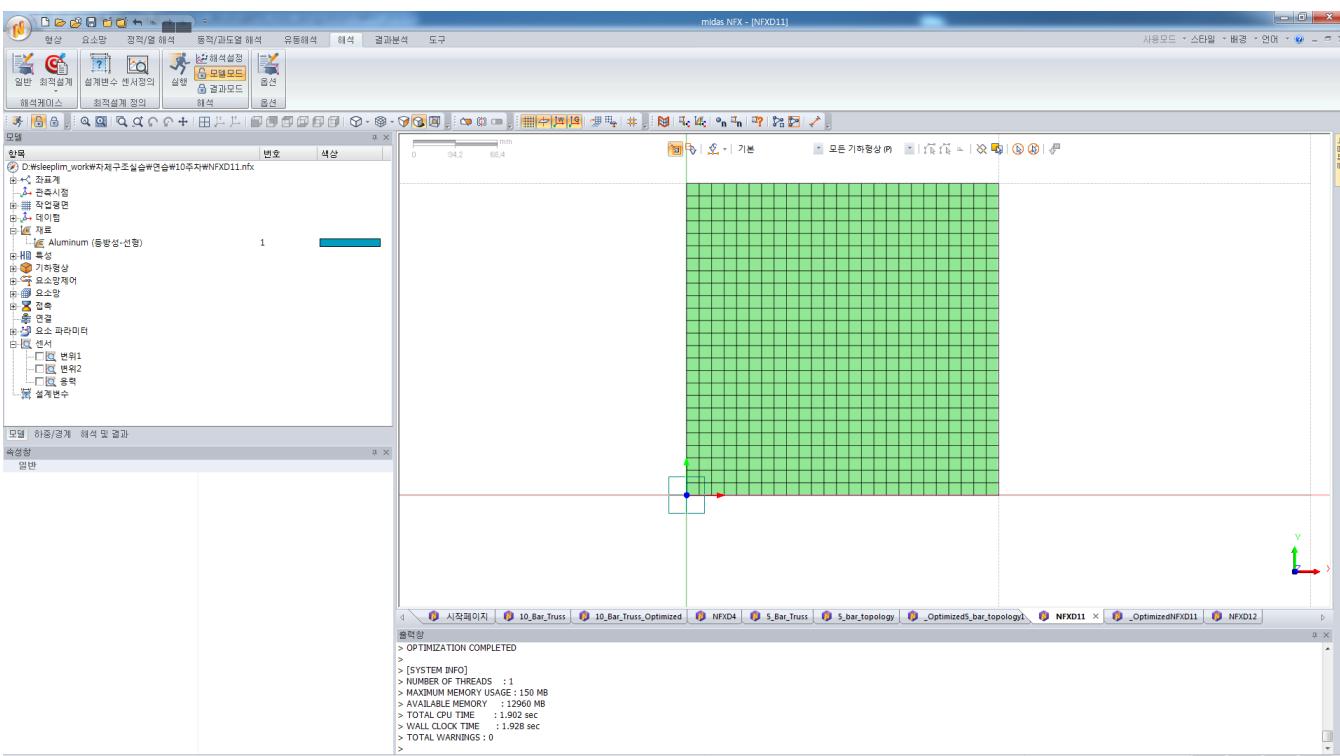
- 1 새로 만들기 클릭
- 2 2차원 모델 선택
- 3 확인

기하형상 생성 (2)

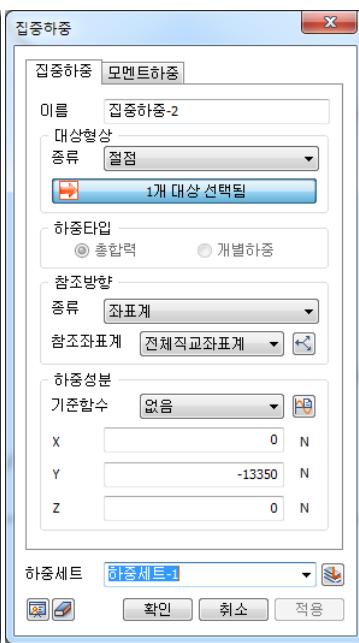
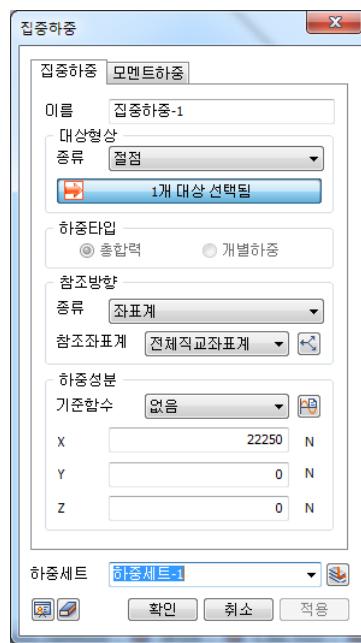
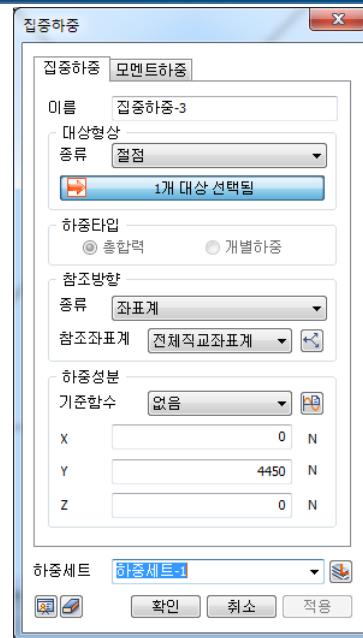
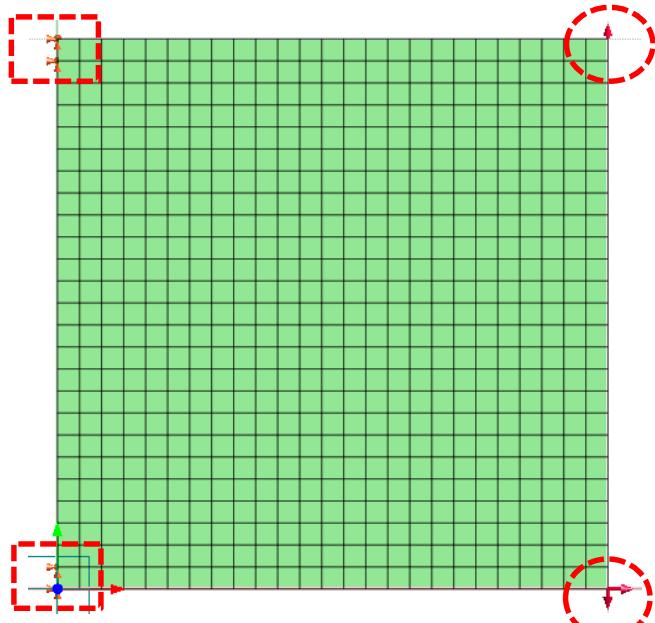


254*254 평면 생성
(설계영역)

재료 aluminum
두께 5.5 mm, 요소 크기 10
mm인 판 요소 생성



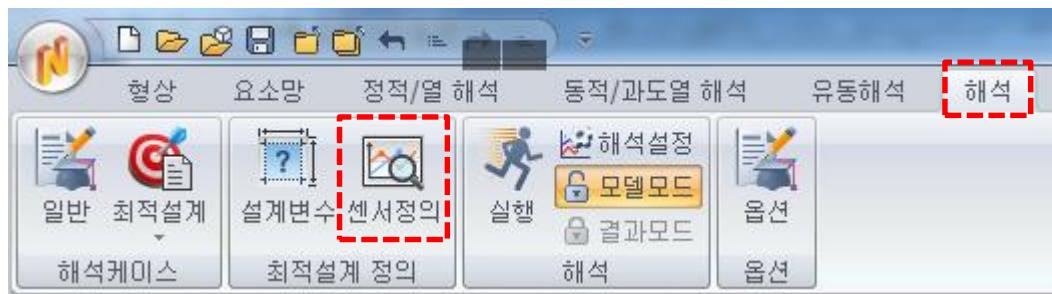
구속조건 및 하중조건 설정



1 핀구속

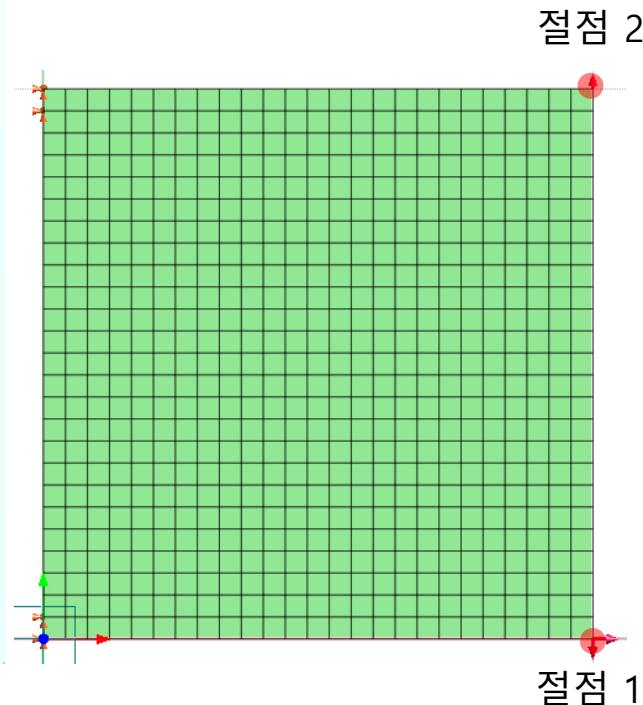
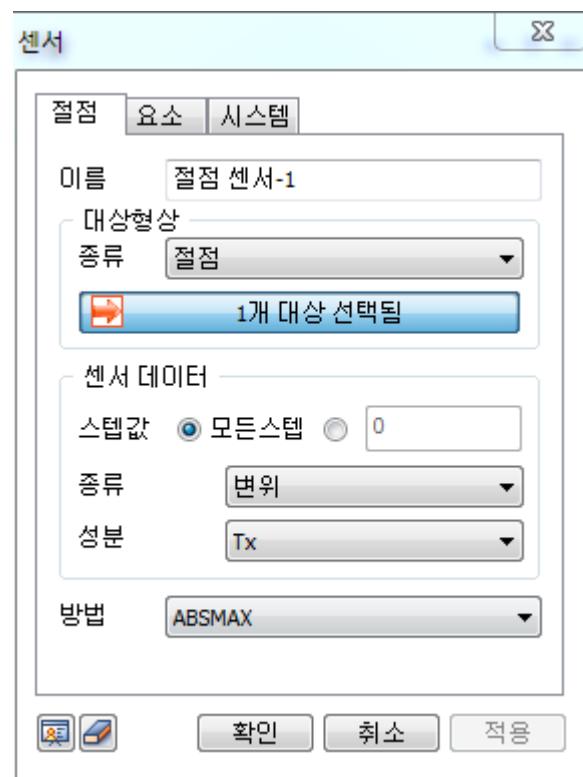
2 문제에 주어진 하중 입력

센서 설정

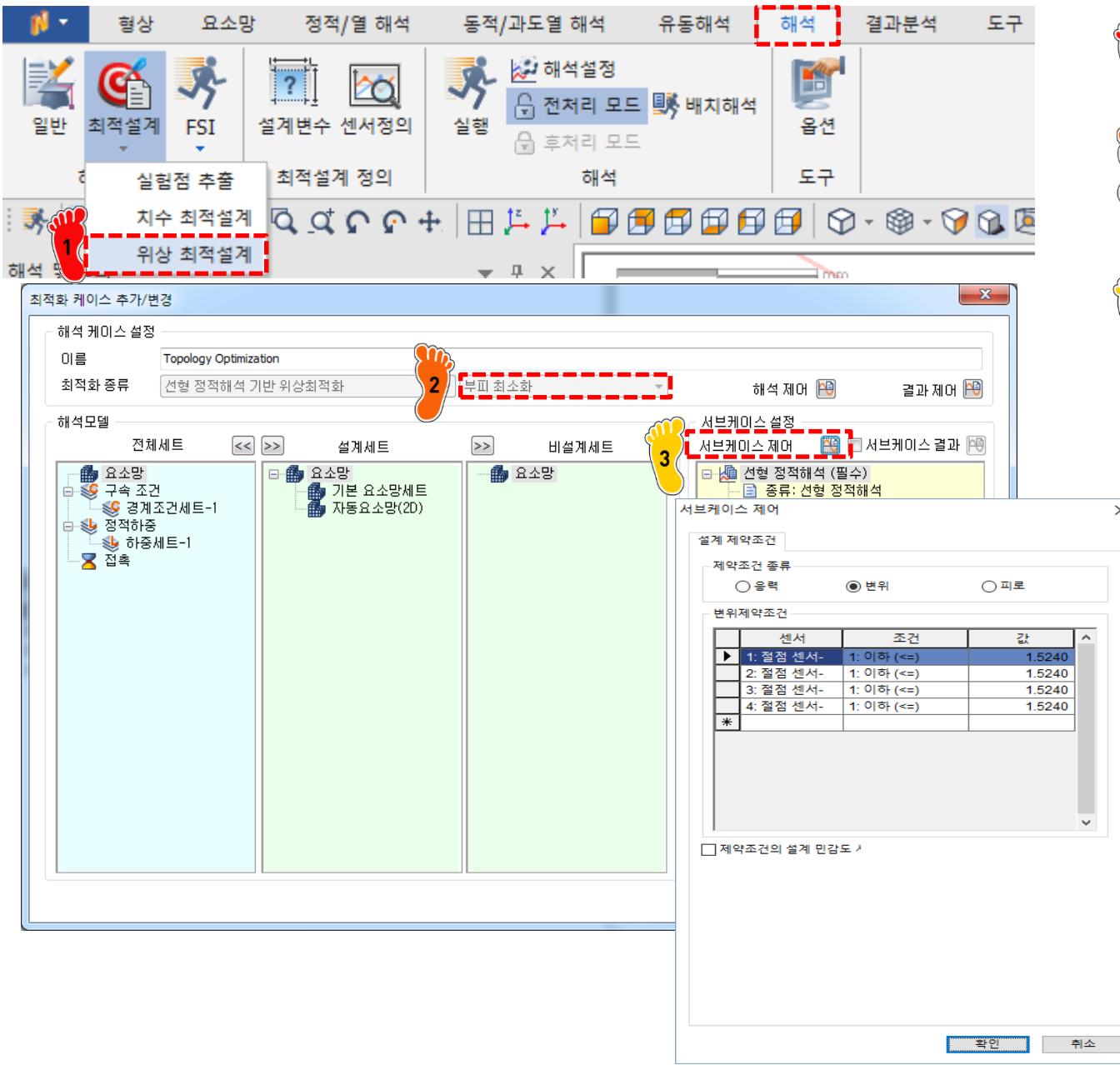


1 해석 탭 메뉴에서 센서정의 클릭

2 절점 1, 2에 대한 절점 변위 센서 설정 (T_x, T_y)



해석 케이스 정의



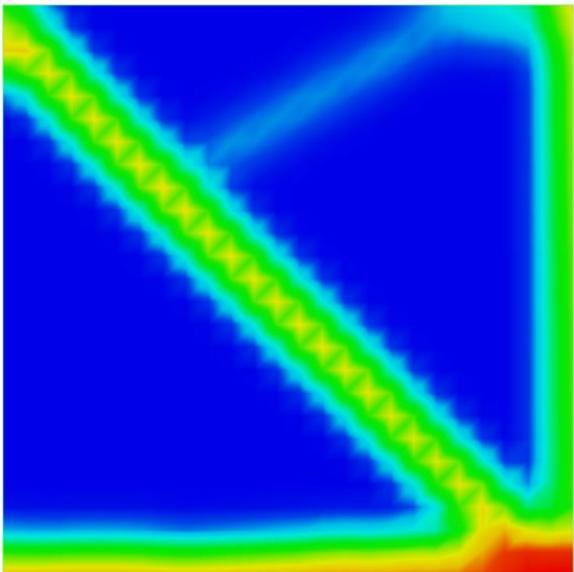
1 해석메뉴에서 최적설계 → 위상최적설계 선택

2 해석 케이스
선형 정적해석 기반 위상최적화 → 부피최소화

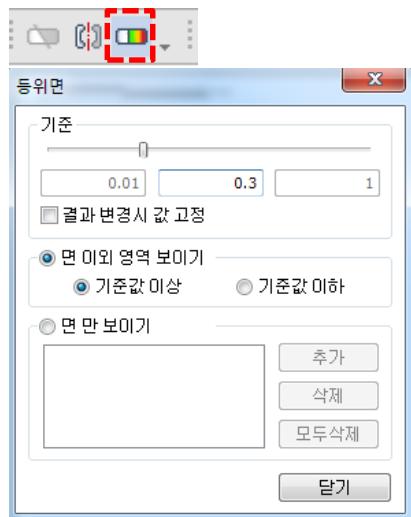
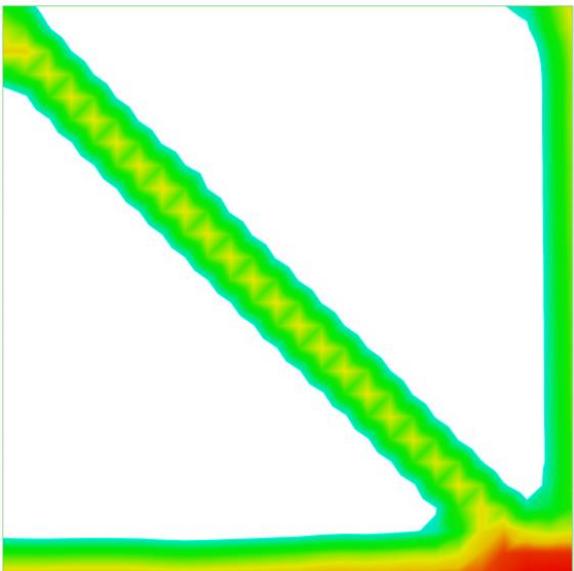
3 서브케이스 제어에서 변위
구속조건 부여

최적화 수행

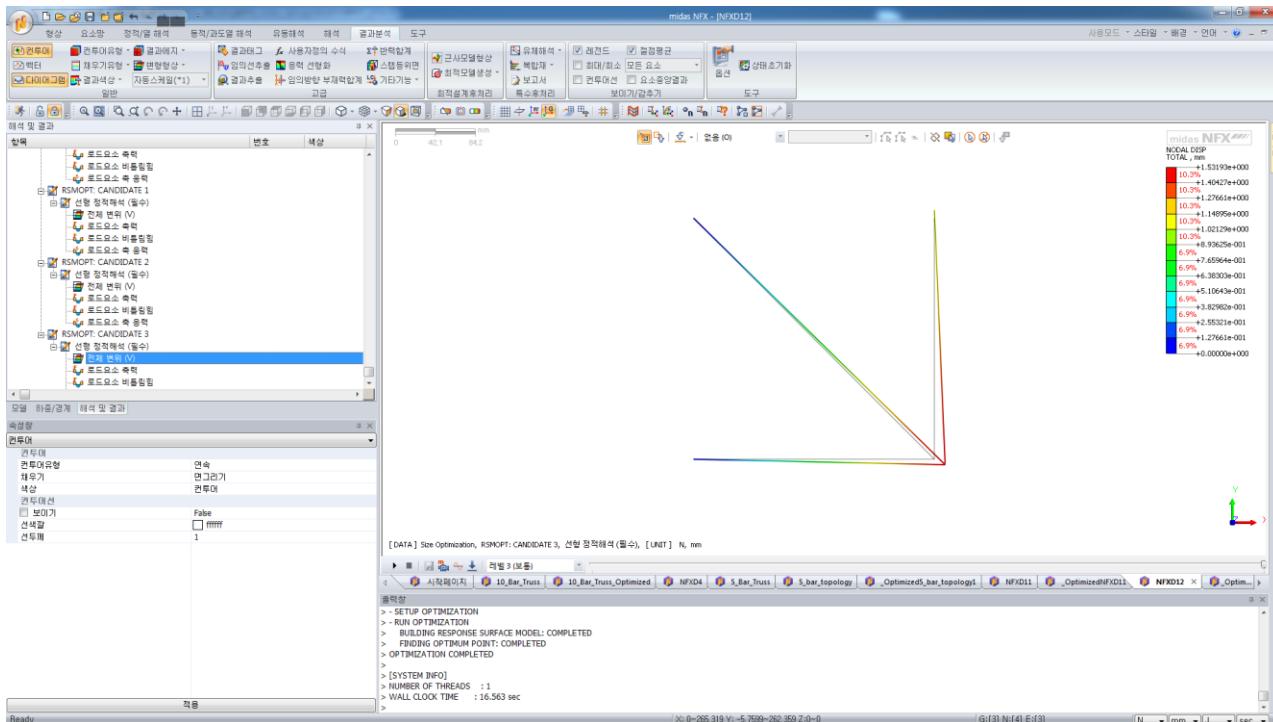
위상 최적화 결과 확인



1 재료밀도 0.3 이상인 결과 확인 시
1, 3, 4번 부재만 표현되는 것을 확인



치수 최적화 설정



위상최적화에서 도출된 1, 3, 4번 부재만을 모델링하여 치수최적설계 수행

재료 물성치, 단면적 모델링, 경계조건 설정 등은 앞선 실습 예제와 동일하게 설정

치수최적설계 모델링 후, 최적설계 수행

치수 최적화 결과 확인

최적설계 모델생성

최적설계 결과 요약

최적화 케이스 : so

설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
설계변수-1	20	6.5	65	39	40	40	39
설계변수-3	20	6.5	65	43	34	35	43
설계변수-4	20	6.5	65	7.3	16	16	7.3
총 력 (예상값/해석값)							
목적함수 변화율 (%)	0			58	53	54	58
제약조건 최대 위배율 (%)	71			0	0	0	47
목적함수-1	$1.7e+004$			$2.7e+004$	$2.6e+004$	$2.7e+004$	$2.7e+004$
제약조건-1	$7.1e+002$			$4.1e+002$	$4.1e+002$	$3.9e+002$	$4.1e+002$
제약조건-2	2.5			1.5	1.2	1.2	1.2
제약조건-3	2.1			1.5	0.92	1.4	0.92
제약조건-4	0			1.5	0	0	0
제약조건-5	1.1			1.5	0.52	0.18	0.52

모델생성

대상 : 사용자 설계안

모델파일 경로 : NFXD4_#bar_Optimized.nfx

사용자 설계안 확인 예상값 확인 해석값 확인

확인 취소



근사모델의 정확도 및 치수
최적화 결과 확인

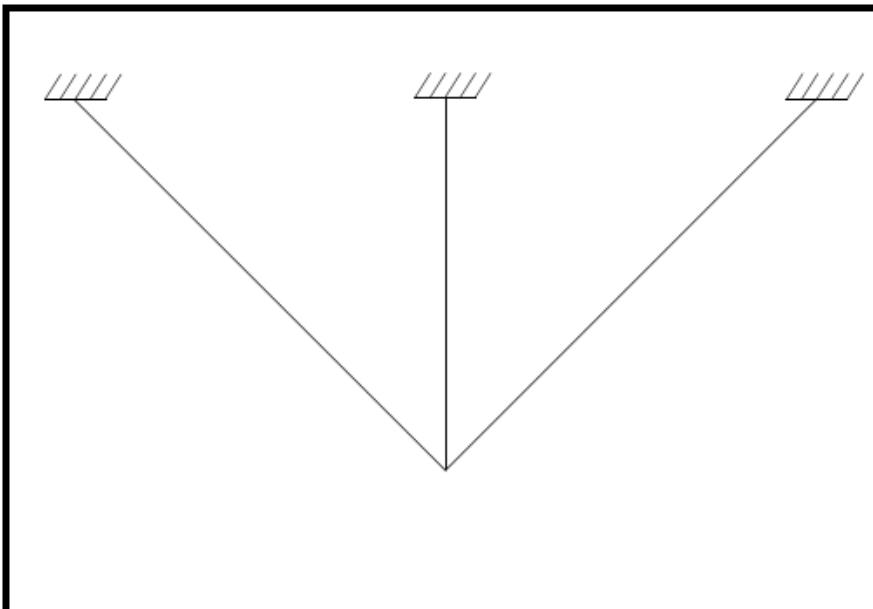
'사용자 설계안'의 경우 근
사모델 내에서는 제약조건
을 만족하나 실제 해석 값이
만족하지 못하는 것을 확인
할 수 있음

치수 최적화 결과

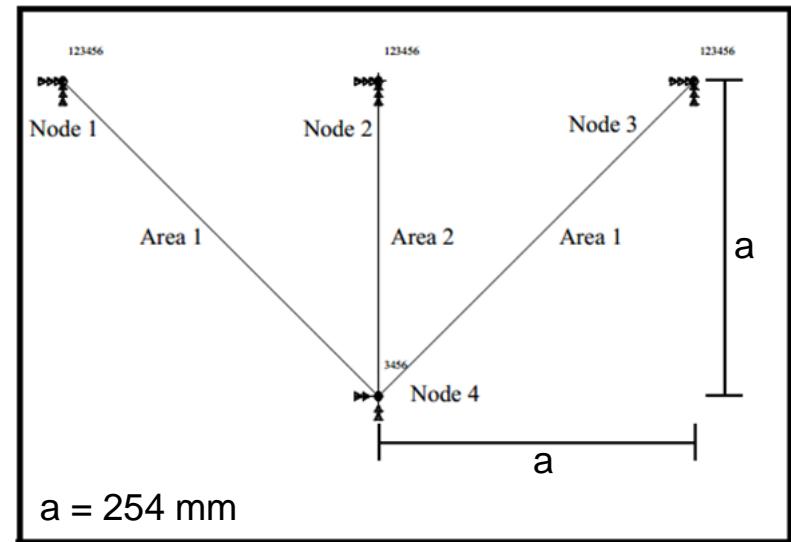
		최적화 문제				응력 제약조건 문제의 경우 근사모델 상에서는 응력이 만족하였으나 실제 해석 결 과에서는 응력과 변위 모두 만족하지 못함
		참고 문헌	응력 제약	변위 제약	응력 & 변위	
부피[mm ³]		2.6e4	2.3e4	2.1e4	2.7e4	
최대 응력[MPa]		414.09	437.71	689.19	367.07	
변위 [mm]	절점 1,x	1.52	1.24	1.52	1.24	변위 제약조건 문제의 경우 변위는 만족하나 응력은 만 족하지 못함
	절점 1,y	-1.52	-1.98	-1.47	-1.47	
	절점 2,x	0.001	0	0	0	
	절점 2,y	-0.004	-0.45	1.07	-0.44	
변수 [mm ²]	A1	32.26	40	32	40	응력, 변위를 모두 고려한 경우 제약조건을 모두 만족 하며, 앞서 5-bar 문제에 비 해 부피도 감소한 것을 알 수 있음 (3.3e4→2.7e4)
	A2	6.45	-	-	-	
	A3	30.39	29	31	34	
	A4	10.77	11	6.5	16	
	A5	6.45	-	-	-	

숙제: EIGENVALUE 최적화

- Weight (volume) minimization of a three bar truss



Modeling



Objectives :

Minimize the weight of the truss

1st eigen frequency must be between
1,500 Hz – 1,550 Hz
(모드해석 케이스 필요)

Material : aluminum

Initial value of each area

Area 1 : 645.16 mm^2

Area 2 : 1290.32 mm^2

Upper and lower bound of section area

$64.516 \leq \text{Area 1 or 2} \leq 6451.6$