

# Tricycle Modeling & Analysis



Moustache

미래자동차공학과

조계환 김동찬



# Tricycle

- DIANA Bike 'Butterfly'



# Contents

- Topology Optimization
- Size Optimization
- 2D Element Model
- Butterfly Modeling
- Fatigue Analysis
- Test
- Conclusion
- Q&A



# Topology Optimization

# 위상최적화

• Material : Al 6061-T6

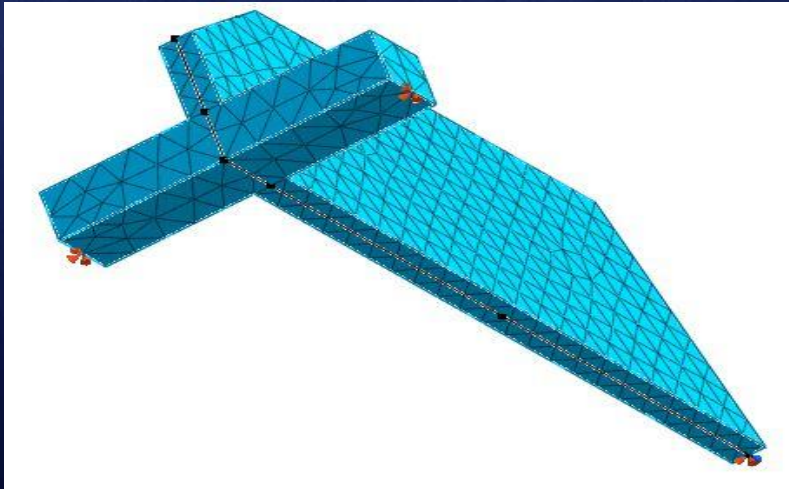
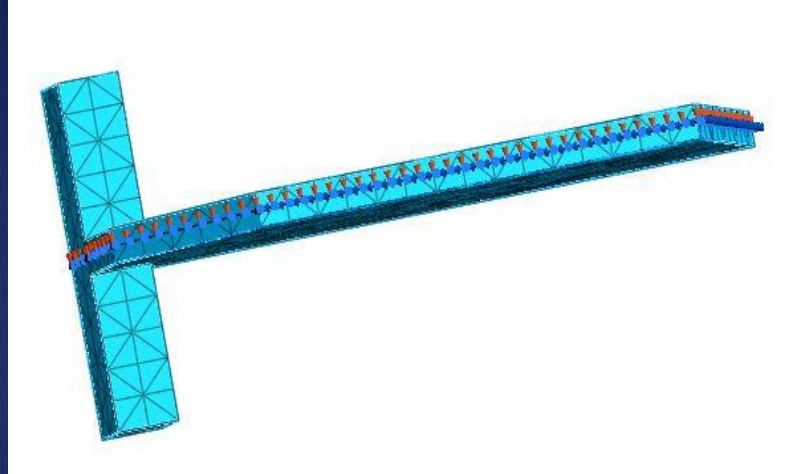
$E = 71000\text{MPa}$

$\nu = 0.33$

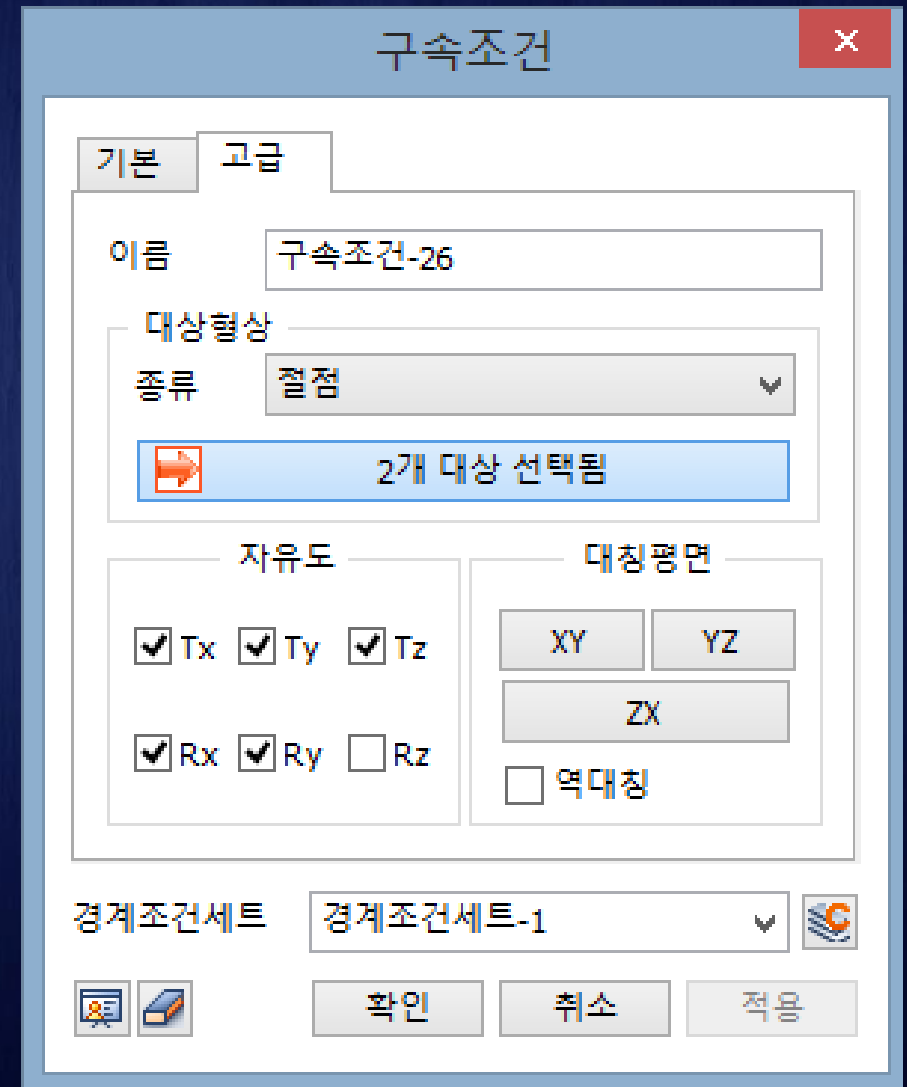
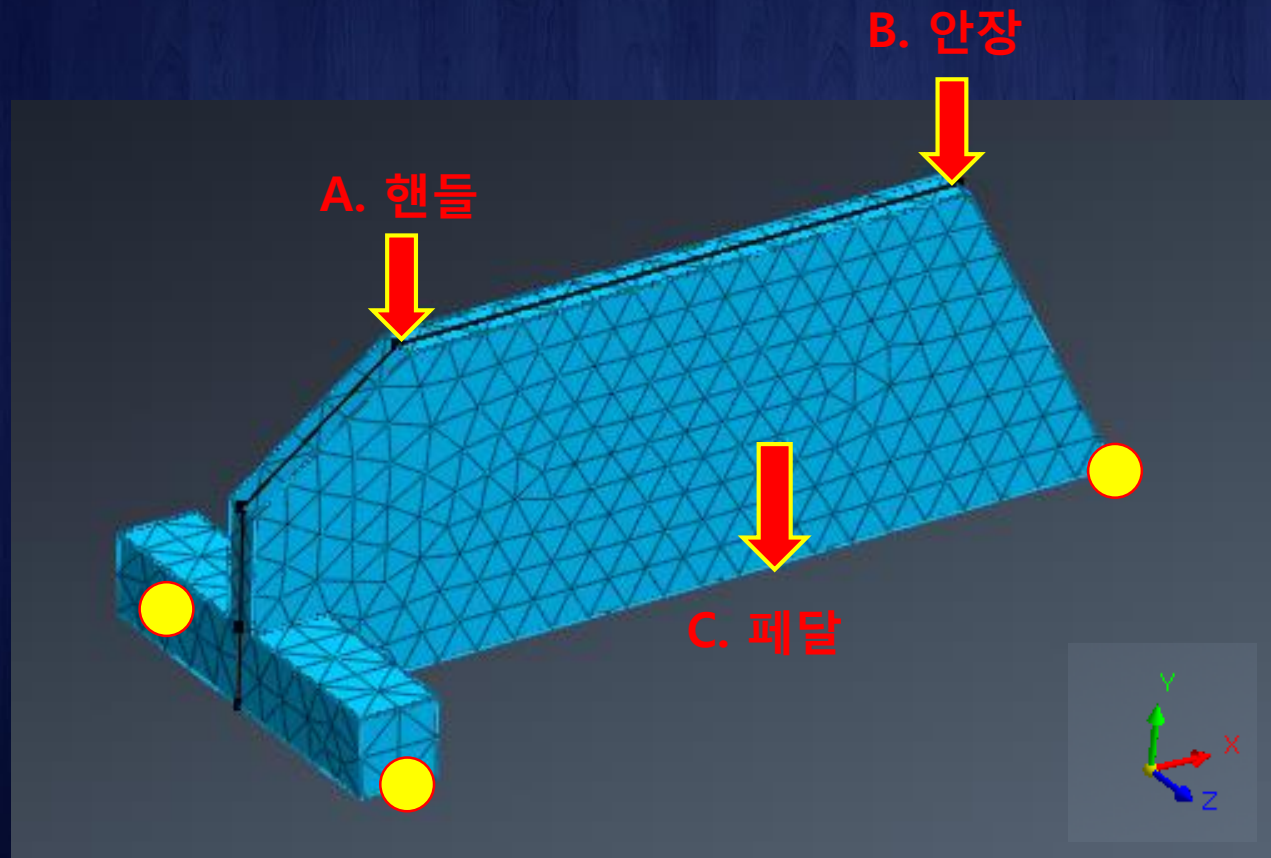
$d = 2.7\text{kg/m}^2$

$S_{ut} = 310\text{MPa}$

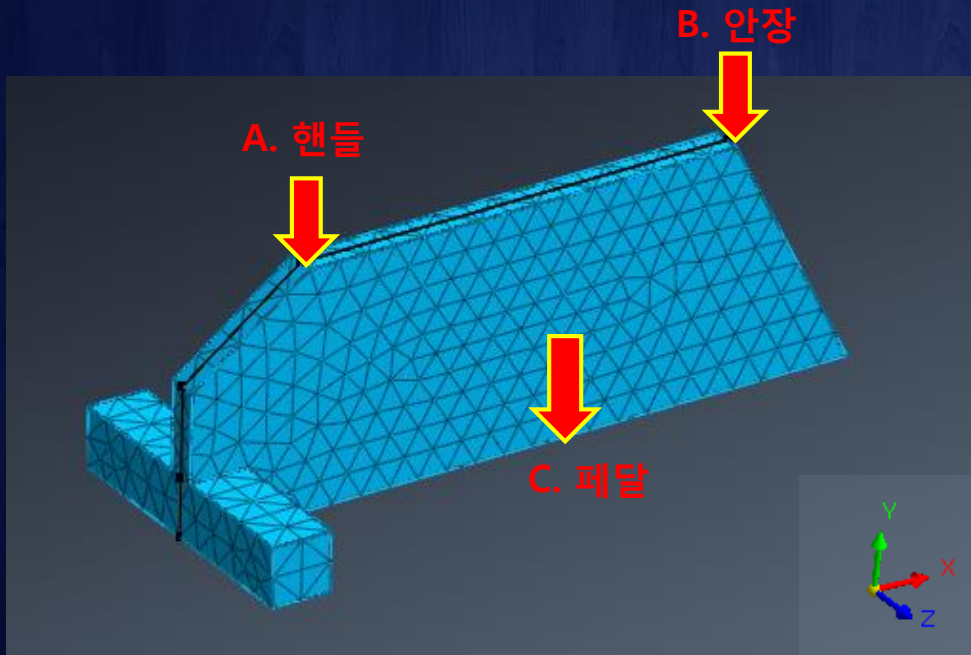
치수 1135 x 400 x 500 mm



# 구속조건 & 하중



# 하중세트 설명



## 일상 하중\_Set 1 & 2 & 3

- Set 1

안장에 체중을 싣고 앉아서 갈 때

$$A_y = -50N$$

$$B_y = -700N$$

$$C_y = -100N$$

- Set 2

페달에 체중을 싣고 핸들을 잡고 서서 갈 때

$$A_x = -50N$$

$$A_y = -100N$$

$$C_y = -750N$$

- Set 3

자전거를 타다가 급 브레이크를 밟았을 때

$$A_x = -300N$$

$$A_y = -300N$$

$$B_y = -400N$$

$$C_y = -150N$$

## 극한 하중\_Set 4 & 5

- Set 4

높은 곳에서 앞 바퀴로 떨어졌을 때

$$A_x = -500N$$

$$A_y = -500N$$

$$B_x = -500N$$

$$B_y = -500N$$

$$C_x = -1000N$$

$$C_y = -1000N$$

- Set 5

높은 곳에서 뒤 바퀴로 떨어졌을 때

$$A_x = 500N$$

$$A_y = -500N$$

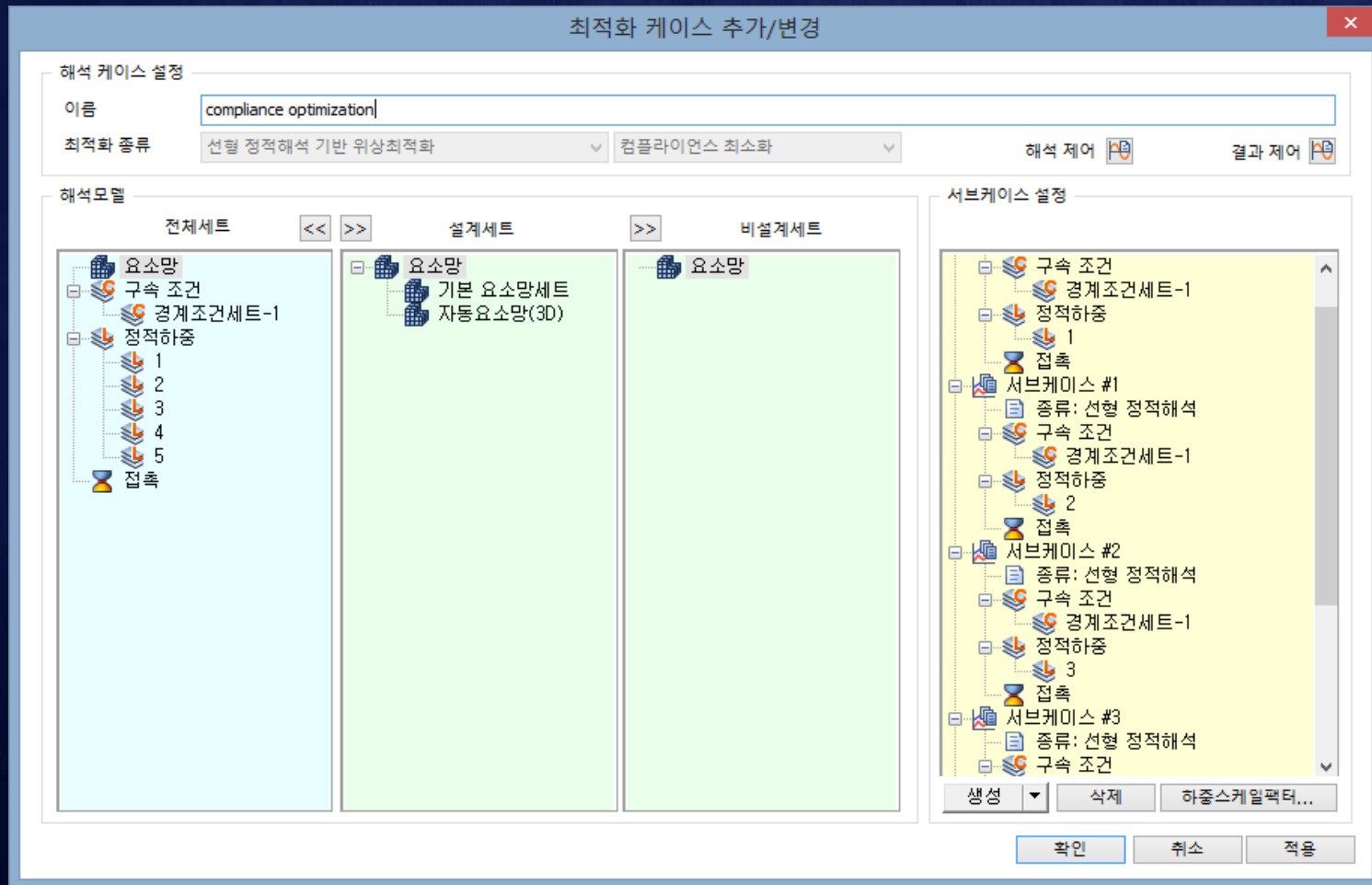
$$B_x = 1500N$$

$$B_y = -1000N$$

$$C_x = 2000N$$

$$C_y = -2000N$$

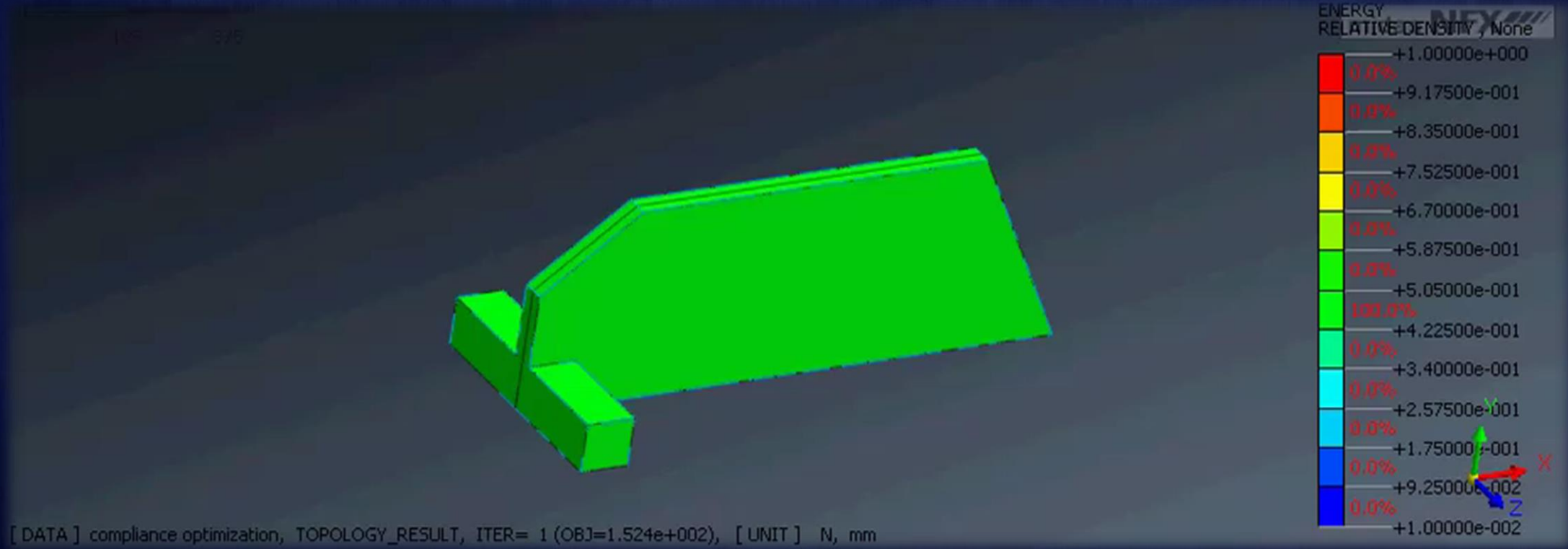
# 위상최적화



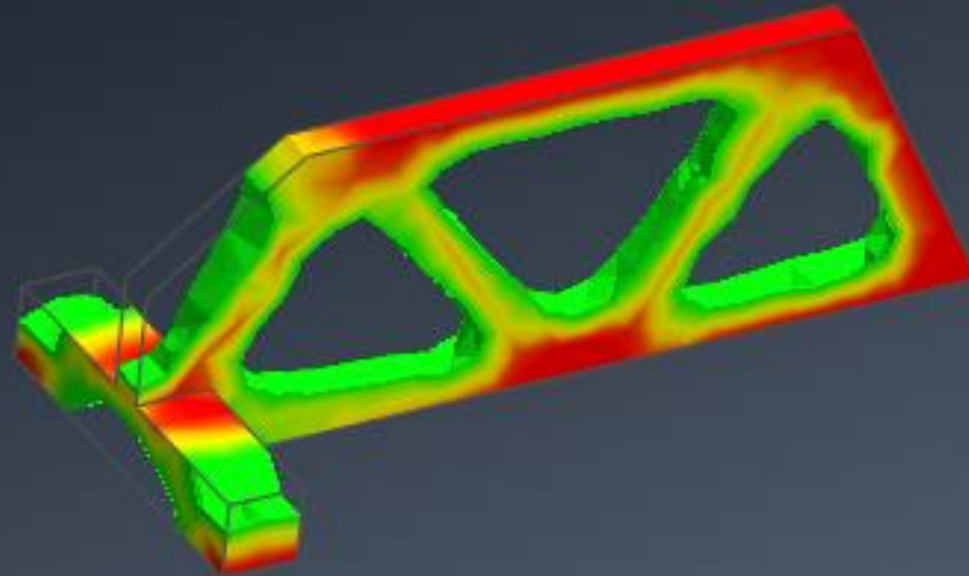
- 5개의 Case
- Compliance Minimization



# 위상최적화



# 위상최적화



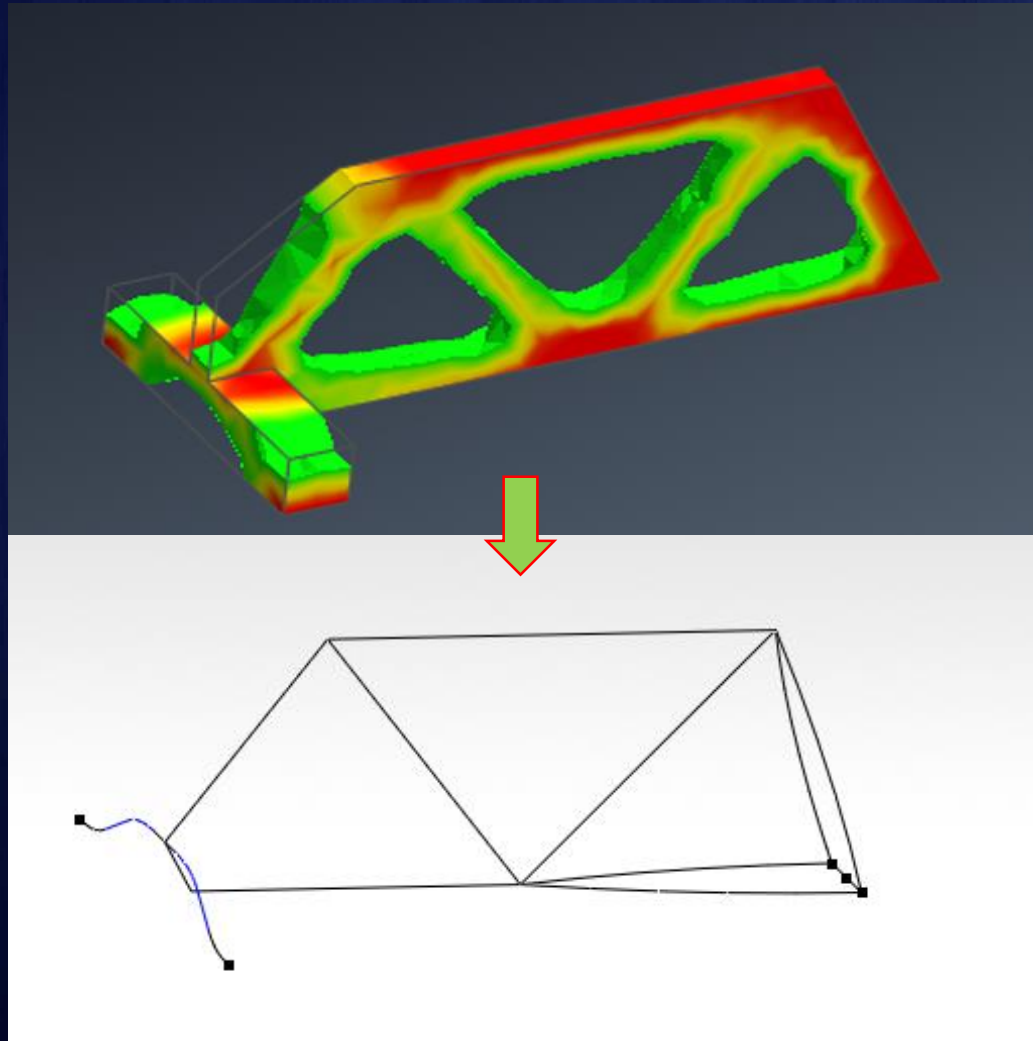
[ DATA ] compliance optimization, TOPOLOGY\_RESULT, ITER= 44 (OBJ=4.325e+001), [ UNIT ] N, mm



STROLL MX

# Size Optimization

# Modeling



# 치수최적화

설계변수 정의

전제세트

- 재료
- 특성
  - 1 (바)
  - 2 (바)
  - 3 (바)
  - 4 (바)
  - 5 (바)
  - 6 (바)
  - 7 (바)
  - 8 (바)
  - 9 (바)

설계세트

번호	이름	최소값	초기값	최대값	변수종류	이산값	설명
1	외경1	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 1, DIM 1
2	내경1	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 1, DIM 2
3	외경2	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 2, DIM 1
4	내경2	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 2, DIM 2
5	외경3	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 3, DIM 1
6	내경3	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 3, DIM 2
7	외경4	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 4, DIM 1
8	내경4	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 4, DIM 2
9	외경5	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 5, DIM 1
10	내경5	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 5, DIM 2
11	외경6	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 6, DIM 1
12	내경6	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 6, DIM 2
13	외경7	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 7, DIM 1
14	내경7	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 7, DIM 2
15	외경8	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 8, DIM 1
16	내경8	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 8, DIM 2
17	외경9	18.000000	20.000000	22.000000	연속	X	특성, 9, DIM 1
18	내경9	15.300000	17.000000	18.000000	연속	X	특성, 9, DIM 2

\*

1	외경1	18.000000	20.000000	22.000000
2	내경1	15.300000	17.000000	18.000000

변수범위 10 %

추가 삭제 확인 취소

- 18개의 설계변수 (외경9, 내경9)

- 내경 ➤ 외경

- 외경 **내경**

# 치수최적화

센서

절점 요소 시스템

이름 부피

대상형상  
종류 요소

267개 대상 선택됨

센서 데이터

스텝값  모든스텝  0

종류 부피

성분 없음

방법 SUM

확인 취소 적용

센서

절점 요소 시스템

이름 stress

대상형상  
종류 1D 요소

267개 대상 선택됨

센서 데이터

스텝값  모든스텝  0

종류 1D 응력

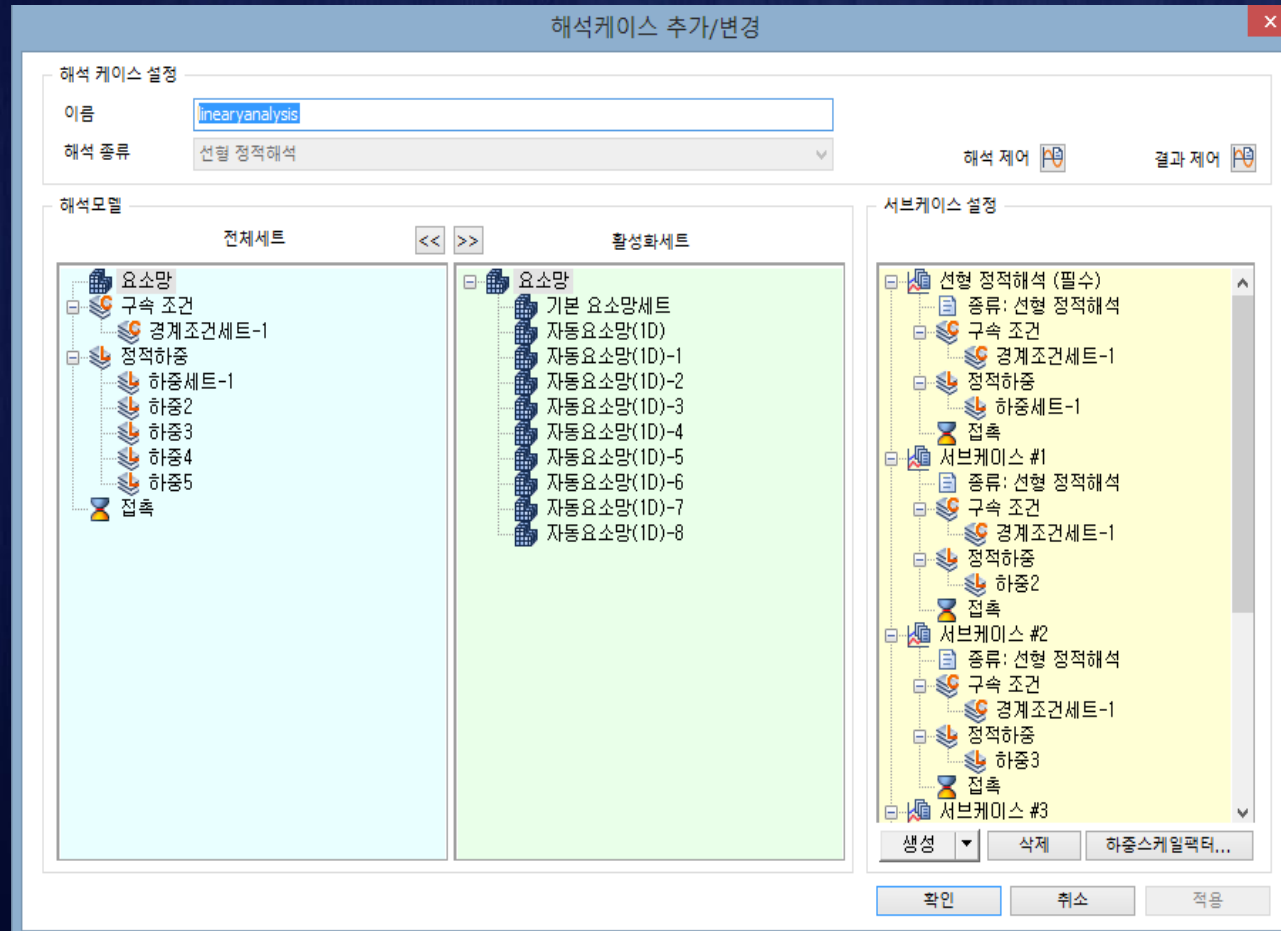
성분 응력

방법 ABSMAX

확인 취소 적용

- 18개의 설계변수 (외경9, 내경9)
- 6개의 센서 (부피1, 응력5)

# 선형정적해석



## • Set 1

$$\begin{aligned} A_y &= -50\text{N} \\ B_y &= -700\text{N} \\ C_y &= -100\text{N} \end{aligned}$$

## • Set 2

$$\begin{aligned} A_x &= -50\text{N} \\ A_y &= -100\text{N} \\ C_y &= -750\text{N} \end{aligned}$$

## • Set 3

$$\begin{aligned} A_x &= -300\text{N} \\ A_y &= -300\text{N} \\ B_y &= -400\text{N} \\ C_y &= -150\text{N} \end{aligned}$$

## • Set 4

$$\begin{aligned} A_x &= -500\text{N} \\ A_y &= -500\text{N} \\ B_x &= -500\text{N} \\ B_y &= -500\text{N} \\ C_x &= -1000\text{N} \\ C_y &= -1000\text{N} \end{aligned}$$

## • Set 5

$$\begin{aligned} A_x &= 500\text{N} \\ A_y &= -500\text{N} \\ B_x &= 1500\text{N} \\ B_y &= -1000\text{N} \\ C_x &= 2000\text{N} \\ C_y &= -2000\text{N} \end{aligned}$$

# 실험점 추출

최적화 케이스 추가/변경

최적화 케이스 설정

이름:

최적화 제어:  실험테이블 생성  결과 제어

설계문제 정의

전체세트 << >> 실험세트

설계변수-1, 특성, 1, DIM 1  
 설계변수-2, 특성, 1, DIM 2  
 설계변수-3, 특성, 2, DIM 1  
 설계변수-4, 특성, 2, DIM 2  
 설계변수-5, 특성, 3, DIM 1  
 설계변수-6, 특성, 3, DIM 2  
 설계변수-7, 특성, 4, DIM 1  
 설계변수-8, 특성, 4, DIM 2  
 설계변수-9, 특성, 5, DIM 1  
 설계변수-10, 특성, 5, DIM 2  
 설계변수-11, 특성, 6, DIM 1  
 설계변수-12, 특성, 6, DIM 2  
 설계변수-13, 특성, 7, DIM 1  
 설계변수-14, 특성, 7, DIM 2  
 설계변수-15, 특성, 8, DIM 1  
 설계변수-16, 특성, 8, DIM 2  
 설계변수-17, 특성, 9, DIM 1  
 설계변수-18, 특성, 9, DIM 2

확인 취소 적용

실험테이블

실험계획

실험계획법 유형: 라틴방격계획법

라틴방격방법: 일반  이산변수 고려

실험점 개수:  실험테이블 추가

실험테이블

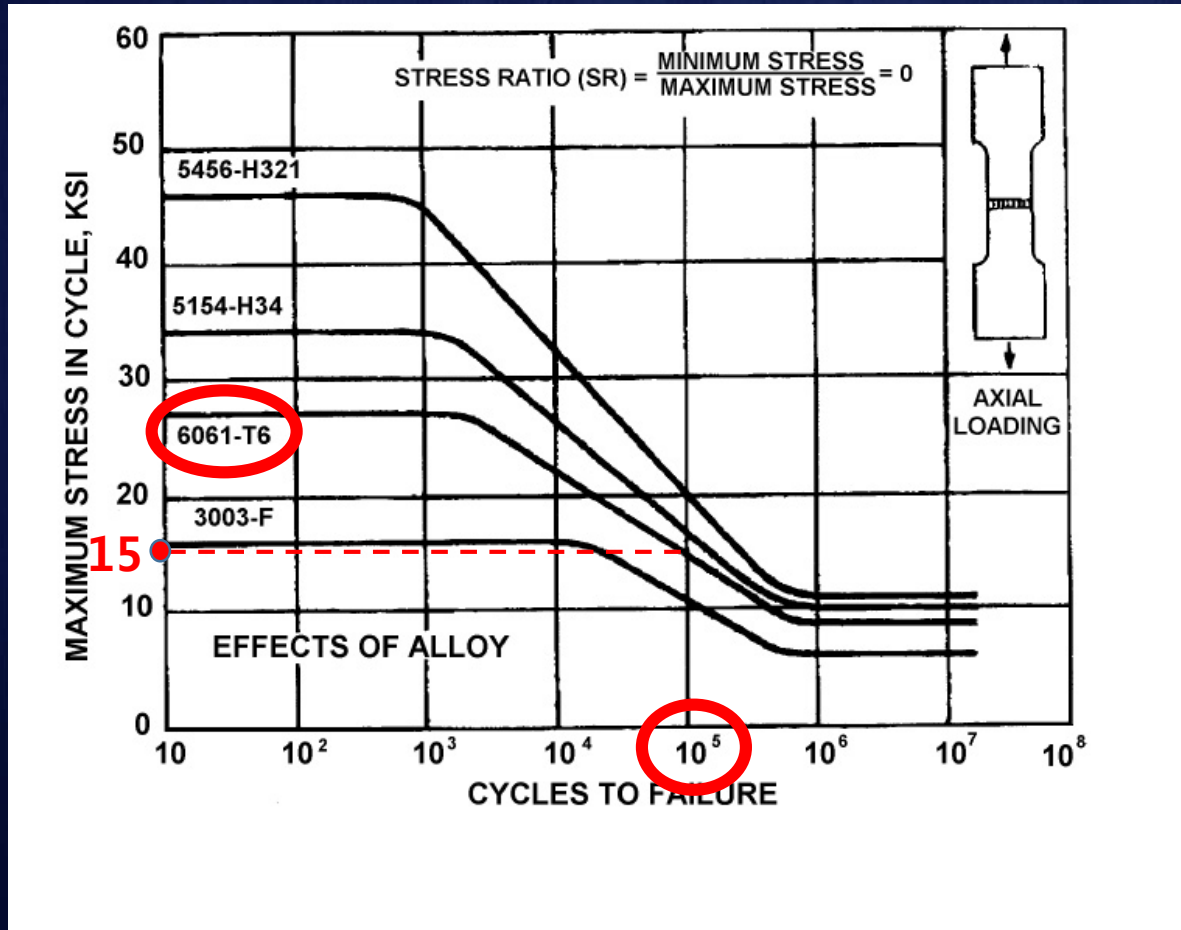
	유형	설계변수-1	설계변수-2	설계변수-3	설계변수-4	설계변수-5	설계변수-6	설계변수-7	설
1	LHD	18.004200	17.093200	21.012700	17.970300	18.713200	15.570200	18.985300	1
2	LHD	18.009500	16.647900	19.403200	15.743500	20.497000	17.762700	21.427000	1
3	LHD	18.022000	15.392400	20.260200	17.545100	19.329900	16.195300	19.692900	1
4	LHD	18.026800	16.397100	19.241800	17.241400	19.708300	16.717300	18.338500	1
5	LHD	18.034300	15.487700	21.368600	15.730500	19.265000	17.286200	19.295100	1
6	LHD	18.046900	15.808800	18.366400	17.838200	18.957100	16.690200	21.499800	1
7	LHD	18.049900	15.553100	18.818600	17.951600	18.508700	15.331300	18.759700	1
8	LHD	18.057900	16.817500	21.873000	16.787800	20.271900	15.429500	21.702700	1
9	LHD	18.064600	16.159600	18.478800	16.015600	19.793900	17.927100	21.439000	1
10	LHD	18.074200	16.111900	19.910000	15.582000	19.040800	16.704600	19.974700	1
11	LHD	18.081200	15.508200	21.313200	15.889200	21.477700	16.147400	20.411600	1
12	LHD	18.093700	16.305900	18.846700	16.509500	20.944800	16.094200	21.584000	1
13	LHD	18.100400	17.061100	18.083800	15.509400	21.317700	15.893000	21.479100	1
14	LHD	18.105500	15.897900	21.348100	17.244900	19.703400	17.234500	18.144100	1
15	LHD	18.114100	15.497500	20.507700	16.314300	18.128700	17.058800	18.176400	1
16	LHD	18.126000	15.814200	21.993600	16.322800	21.034200	15.837100	19.108400	1
17	LHD	18.136000	17.056400	18.178700	17.554900	18.322400	17.732000	20.899600	1
18	LHD	18.139800	16.896300	21.328500	16.107100	19.320600	16.111000	18.050000	1

스캐터 확인

확인 취소



# 치수최적화



최적화 제어

최적화 목적함수 제약조건

제약조건

설계응답	하한값	상한값
▶ 응답-2	-	74.000000
응답-3	-	74.000000
응답-4	-	74.000000
응답-5	-	74.000000
응답-6	-	74.000000
*		

추가 삭제

[알림] 단위변환이 지원되지 않습니다.

확인 취소

# 치수최적화 결과

설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
설계변수-1	20	18	22	18	18	18	18
설계변수-2	17	15	18	18	18	18	18
설계변수-3	20	18	22	18	18	18	18
설계변수-4	17	15	18	18	18	18	18
설계변수-5	20	18	22	18	18	18	18
설계변수-6	17	15	18	18	18	18	18
설계변수-7	20	18	22	19	19	19	19
설계변수-8	17	15	18	18	17	17	18
설계변수-9	20	18	22	19	18	19	19
설계변수-10	17	15	18	18	17	17	18
설계변수-11	20	18	22	18	18	18	18
설계변수-12	17	15	18	18	18	18	18
설계변수-13	20	18	22	18	18	18	18

출 력 ( 예상값 / 해석값 )										
목적함수 변화율 (%)	0				-86	-86	-82	-86	-84	
제약조건 최대위배율 (%)	0				0	0	0	0	0	
목적함수-1	1.9e+006				2.7e+005	2.7e+005	3.3e+005	2.7e+005	3e+005	
제약조건-1	2.1		74	4.5	4.6	4.4	4.5	12		
제약조건-2	3.8		74	8.3	8.2	8.1	8.3	12		
제약조건-3	3		74	6.1	5.8	6	6.1	10		
제약조건-4	10		74	21	21	20	21	28		
제약조건-5	22		74	44	47	43	44	61		

# 치수최적화

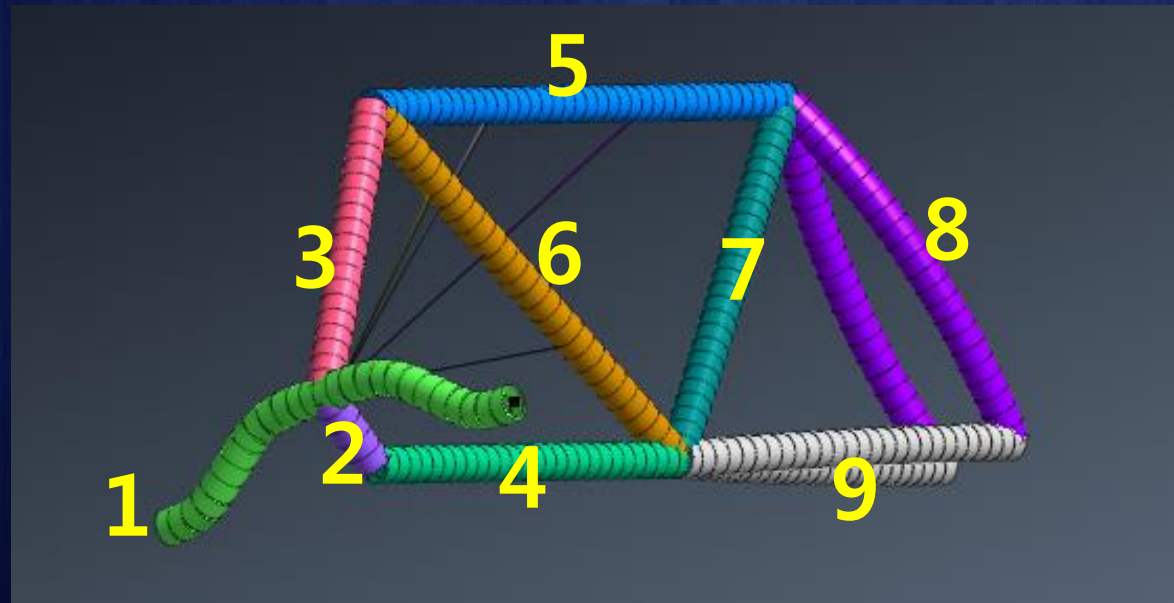
설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
입 력							
▶ 설계변수-1	16	14	17	16	16	16	16
설계변수-2	16	14	17	16	16	16	16
설계변수-3	16	14	17	17	17	17	17
설계변수-4	17	15	17	17	17	17	17
설계변수-5	16	14	17	17	17	17	17
설계변수-6	16	14	17	17	17	17	17
설계변수-7	16	14	17	17	17	17	17
설계변수-8	16	14	17	16	16	16	16
설계변수-9	16	14	17	15	15	15	15

목적함수 변화율 (%)	0				-23		-23		-23		-23	-24
제약조건 최대위배율 (%)	26				0		0		0		0	0
volume	1.1e+006				8.4e+005		8.4e+005		8.4e+005		8.4e+005	8.3e+005
s1	5.9	0	74	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
s2	11	0	74	10	9.5	9.4	9.4	10	10	10	10	10
s3	16	0	74	13	12	12	12	13	13	13	13	13
s4	93	0	74	74	74	74	74	74	74	74	74	71
s5	24	0	74	24	24	24	24	24	24	24	24	24

외경 18mm 고정  
내경 최적화 < 17mm

최종부피  $8.3 \times 10^5 \text{ mm}^3$

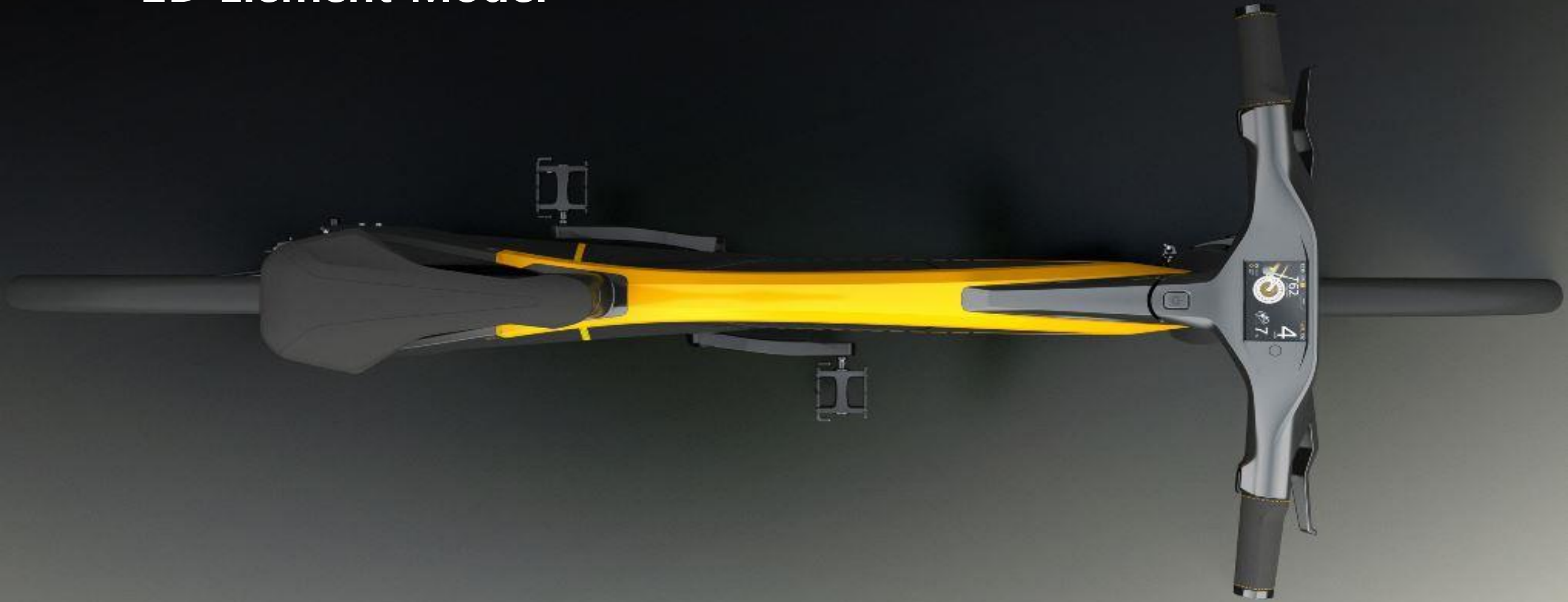
# 치수최적화 결과



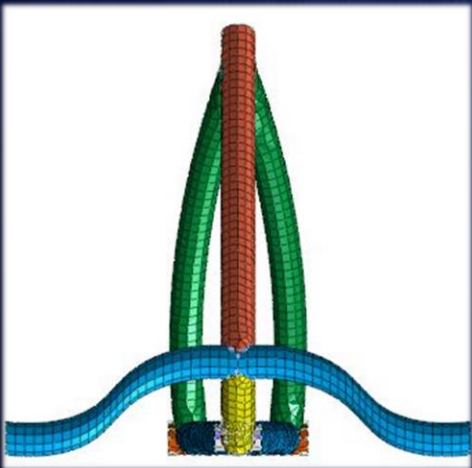
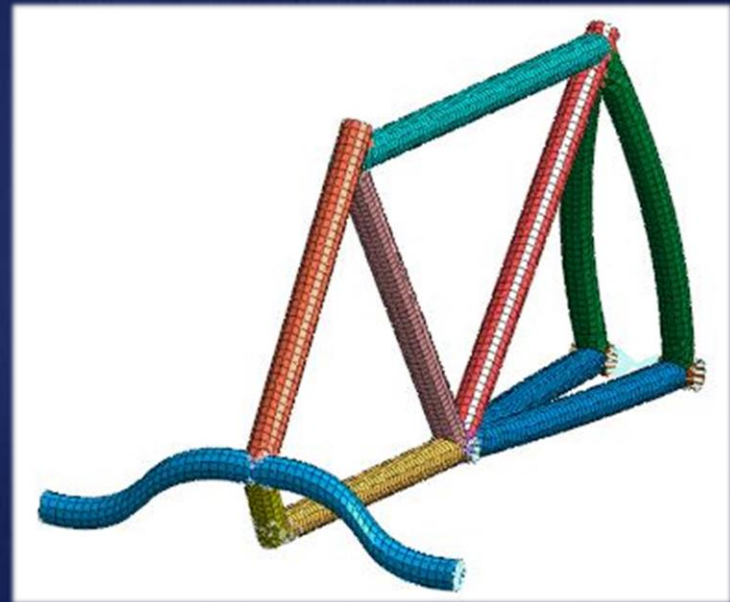
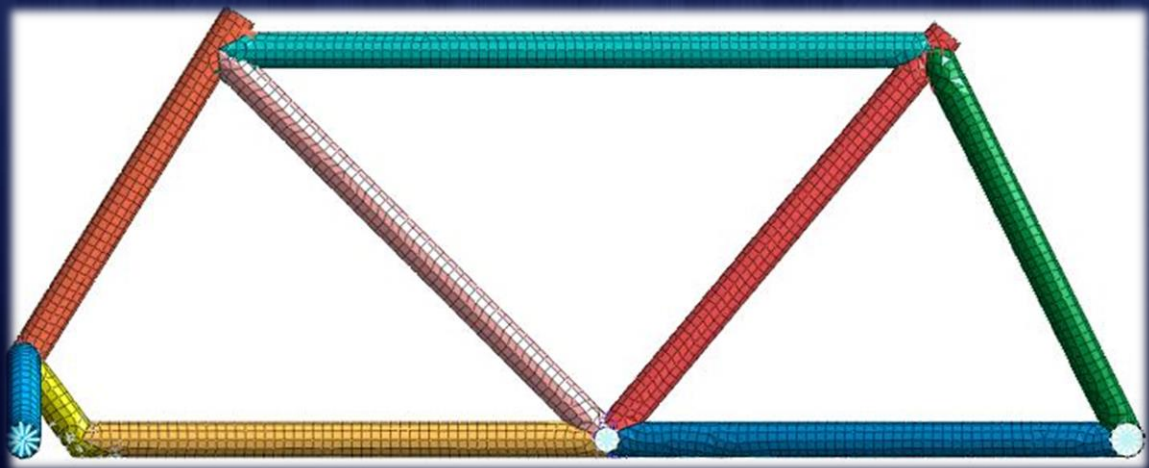
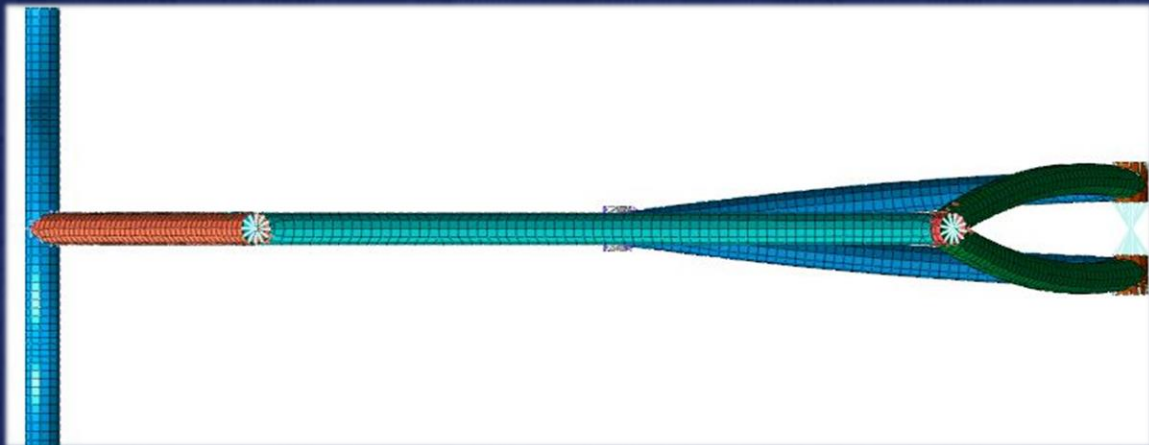
부피  $8.3 \times 10^5 \text{ mm}^3$

외경 (mm)	번호	내경 (mm)	두께 (mm)
18	1	15.9	2.1
	2	16.4	1.6
	3	17.0	1.0
	4	17.0	1.0
	5	17.0	1.0
	6	17.0	1.0
	7	17.0	1.0
	8	15.9	2.1
	9	15.2	2.8

# 2D Element Model

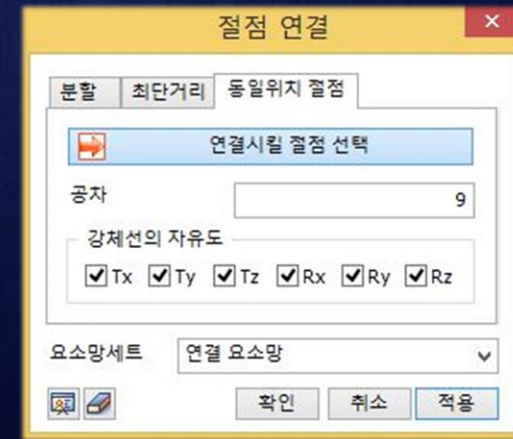
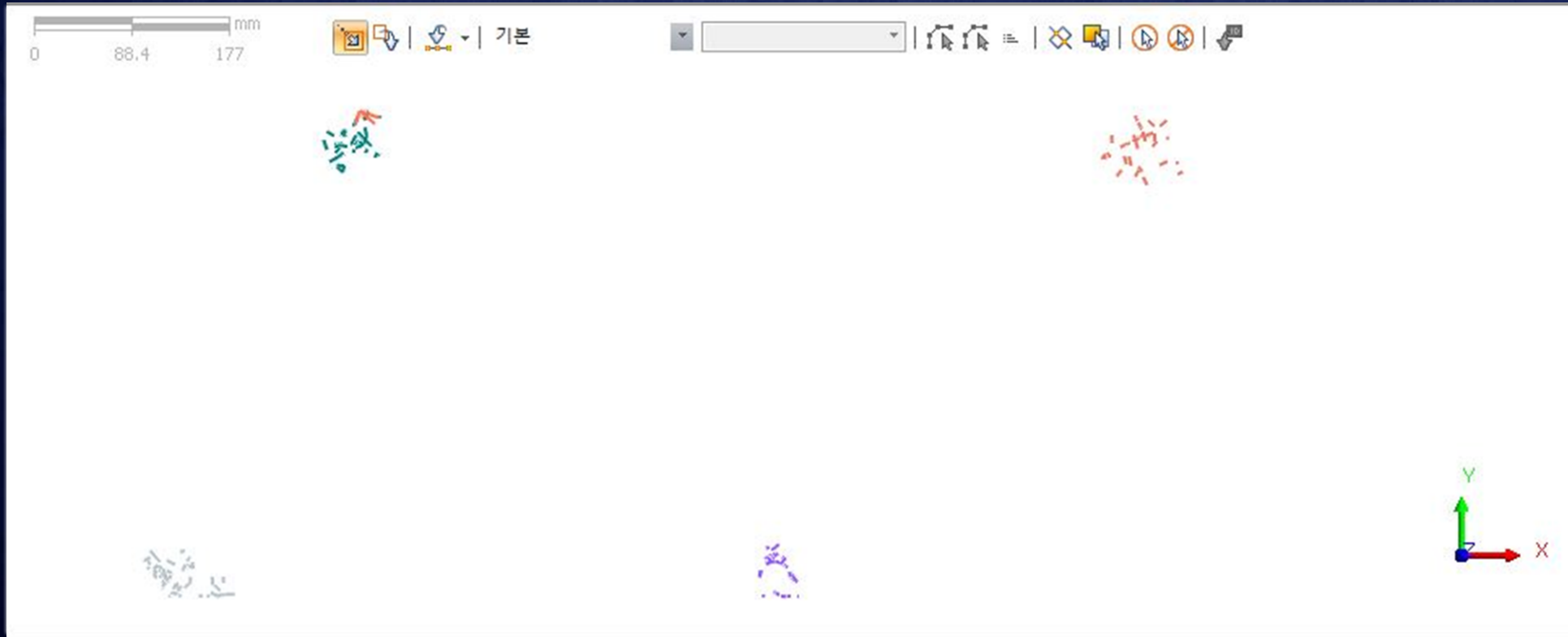


# 2D 요소 모델



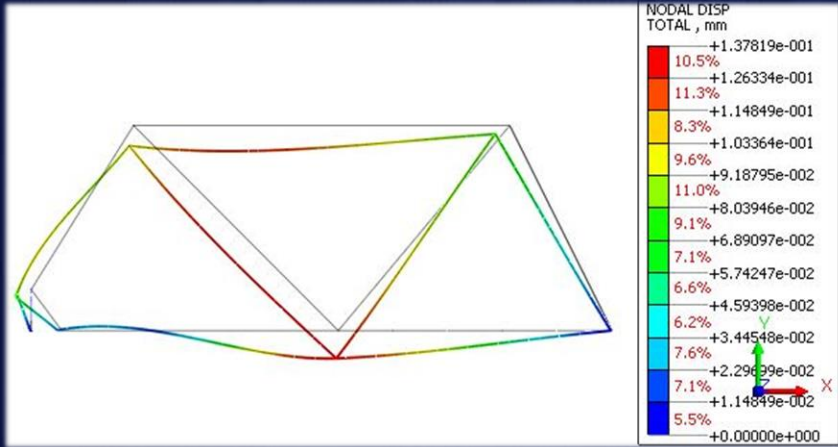
# 2D 요소 모델

-연결부위 용접

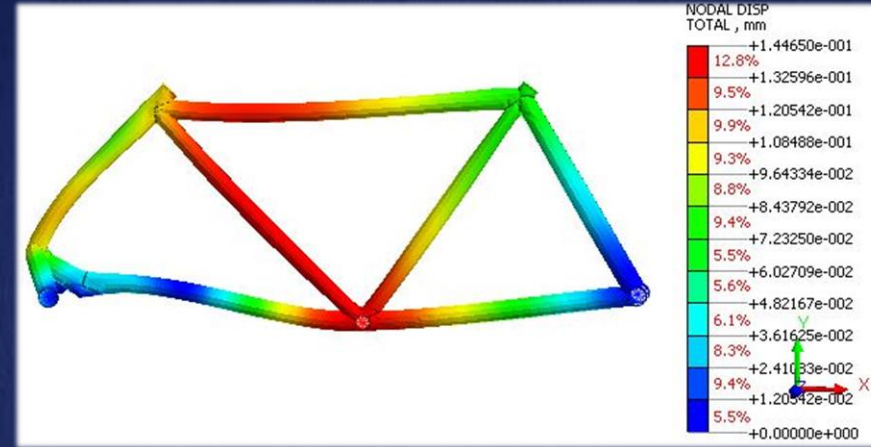


# 2D 요소 모델

## - 변위 비교(2<sup>nd</sup> 하중세트)

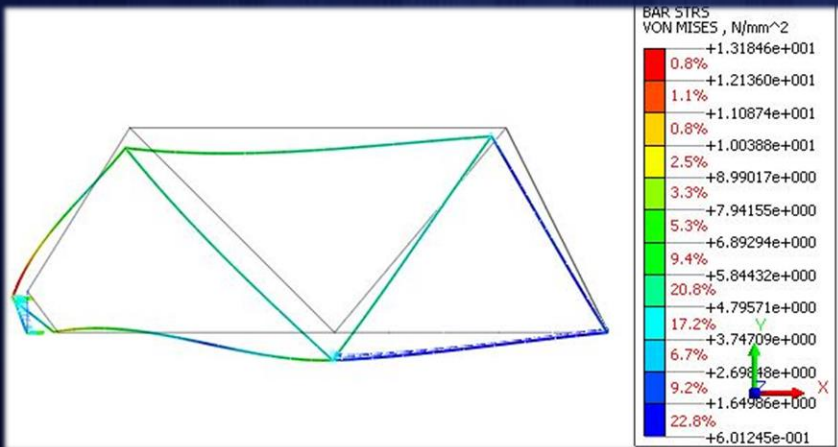


최대 변위 : 1.378e-1mm

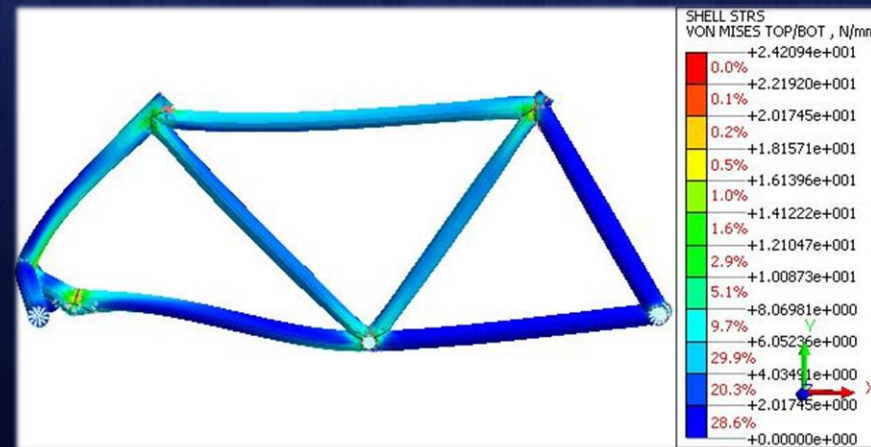


최대 변위 : 1.447e-1mm

## - von-Mises 응력비교 (2<sup>nd</sup> 하중세트)



바 요소 최대 von-Mises응력 : 13.18N/mm<sup>2</sup>



셸 요소 최대 von-Mises응력 : 24.20N/mm<sup>2</sup>



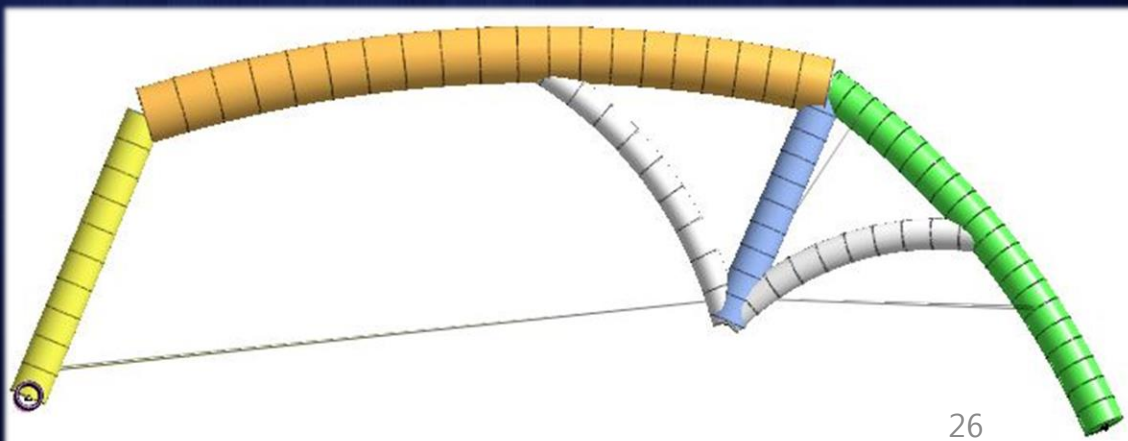
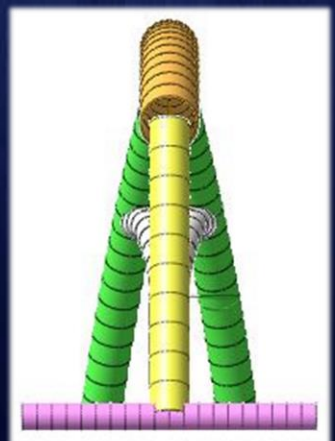
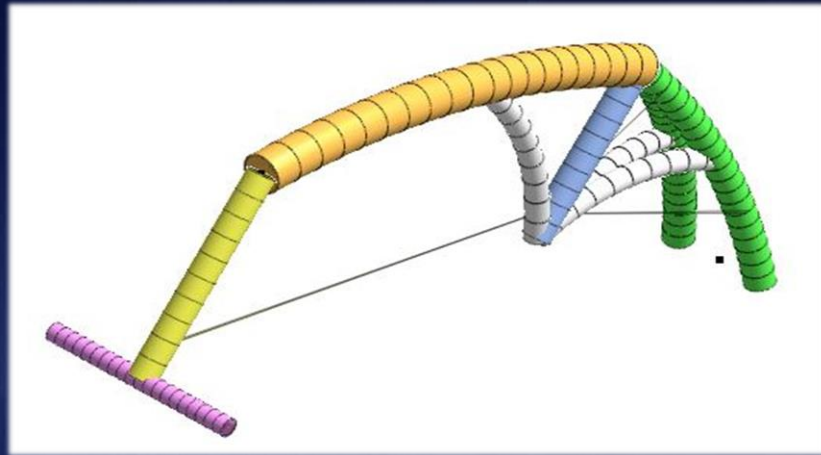


## Butterfly Modeling

# Butterfly 모델링

**DIANA BIKE**      발명특허 10-0889463호  
국내 특허 기술로 만들어낸 역삼륜 자전거 16'형

**BUTTERFLY**



# Butterfly 모델링

요소 측정

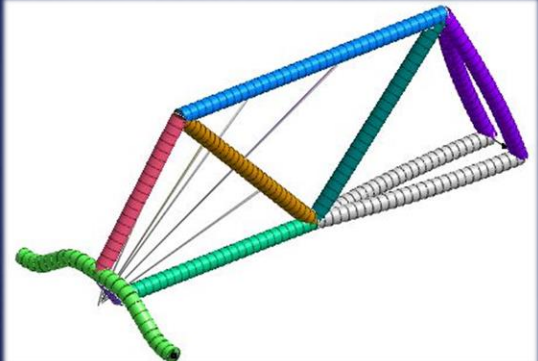
측정 요소형상 분석

267개 대상 선택됨

종류	총 합계
<input checked="" type="checkbox"/> 길이 (1D)	5367.37043 mm
<input checked="" type="checkbox"/> 면적 (2D)	0 mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 부피 (2D)	0 mm <sup>3</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 부피 (3D)	0 mm <sup>3</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 질량	2.94472541 kg
<input checked="" type="checkbox"/> 질량 중심	X 597.415365 mm
	Y 159.506436 mm
	Z 0.102534357 mm

계산

닫기



우리 조 모델 → 질량 : 2.9447kg

요소 측정

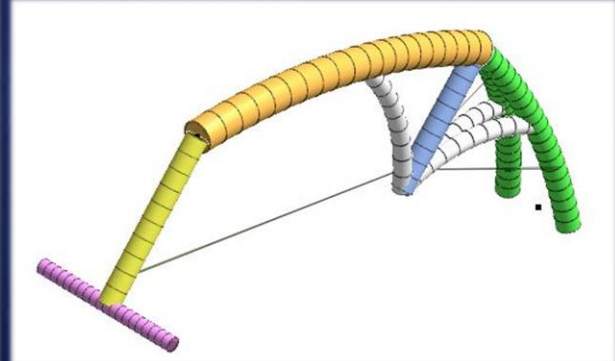
측정 요소형상 분석

130개 대상 선택됨

종류	총 합계
<input checked="" type="checkbox"/> 길이 (1D)	3537.82759 mm
<input checked="" type="checkbox"/> 면적 (2D)	0 mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 부피 (2D)	0 mm <sup>3</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 부피 (3D)	0 mm <sup>3</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> 질량	2.96398729 kg
<input checked="" type="checkbox"/> 질량 중심	X 484.107277 mm
	Y 243.95122 mm
	Z 2.99656622e-01 mm

계산

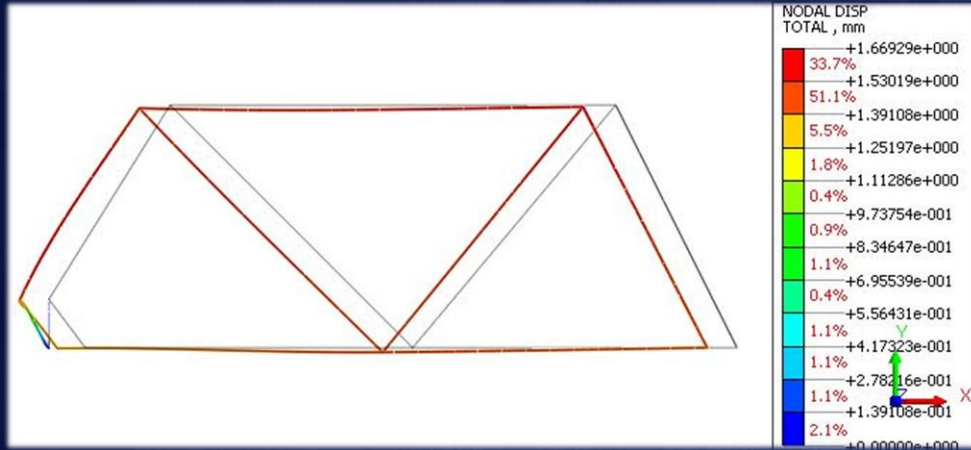
닫기



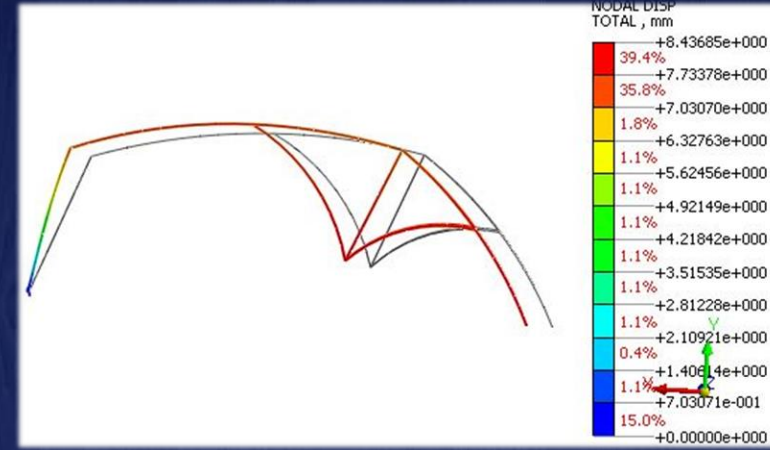
비교 모델 → 질량 : 2.9640kg

# Butterfly 모델링

-변위 비교(4<sup>th</sup> 하중세트)

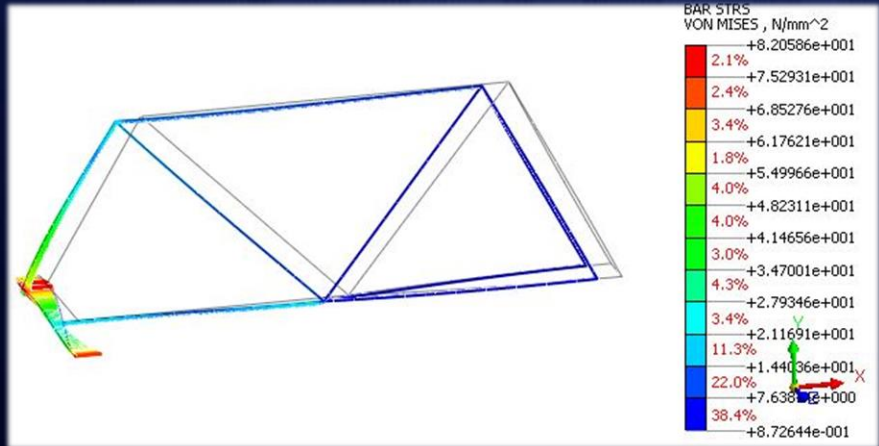


최대 변위 : 1.669mm

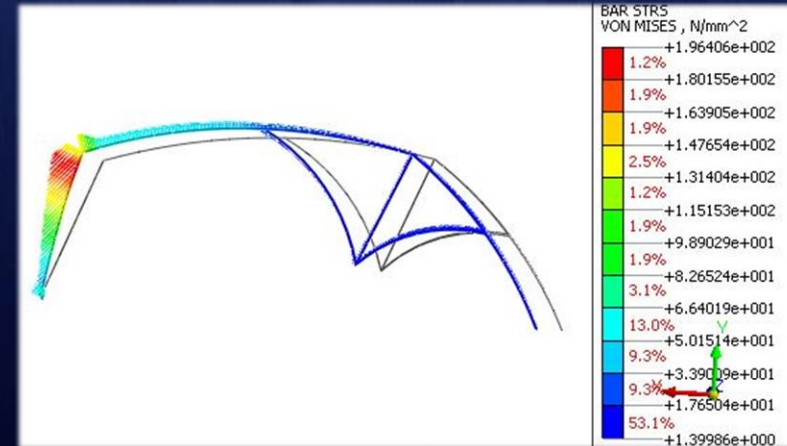


최대 변위 : 8.437mm

-von-Mises 응력 비교(4<sup>th</sup> 하중세트)



바 요소 최대 von-Mises응력 : 82.059N/mm<sup>2</sup>

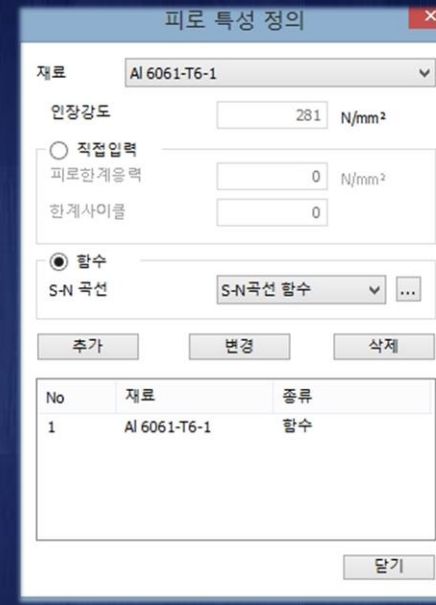
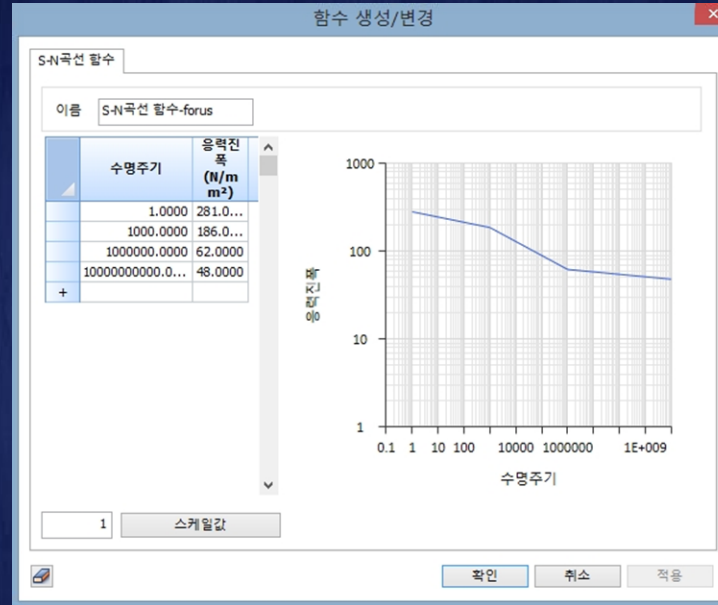
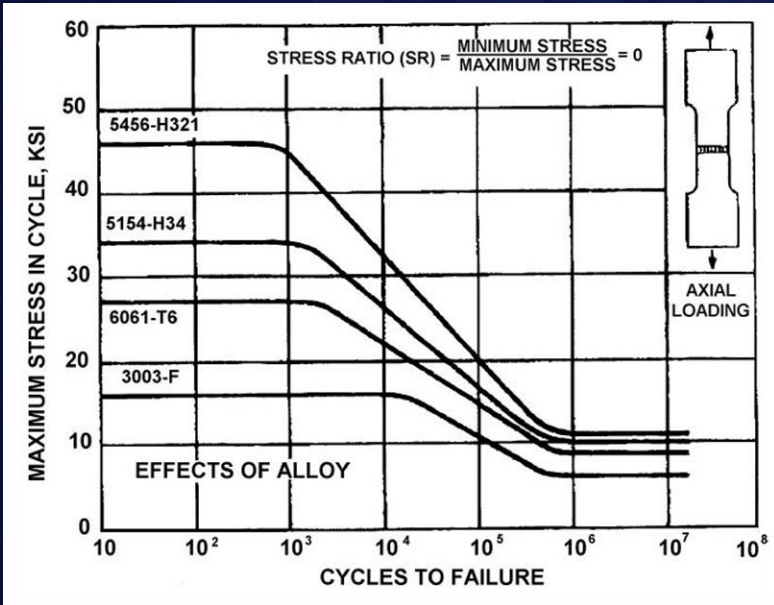


바 요소 최대 von-Mises응력 : 196.406N/mm<sup>2</sup>



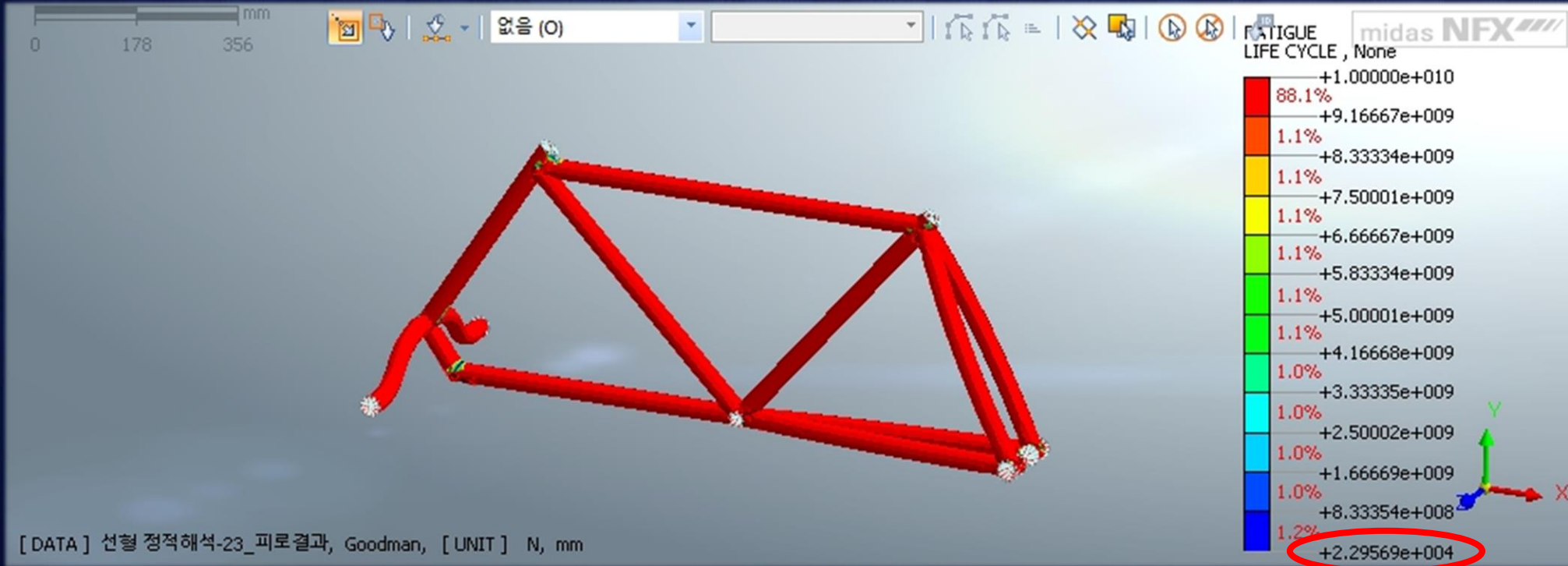
# Fatigue Analysis

# 피로 해석



- Al 6061-T6의 S-N곡선에 따른 피로해석을 진행

# 피로 해석



- Severe한 4<sup>th</sup> 하중세트 → Fatigue Life Cycle : 22956 Cycles



**Test**



# 내구성 Test

## 자전거 프레임 규격(안) 제정

2006. 12

책임 연구자 : 권 경 태 (체육과학연구원)  
공동 연구자 : 안 병 화 (체육과학연구원)  
장 기 원 (체육과학연구원)  
정 성 균 (서울산업대학교)

- 정적 강도 시험
- 페달링 하중 시험
- 수직 하중 시험
- 수평 하중 시험



# 정적 강도 시험

## 가. 독일 (DIN 79100 : 2000)

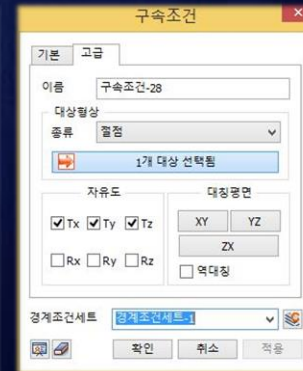
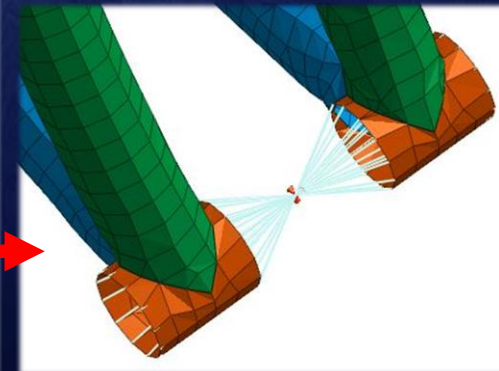
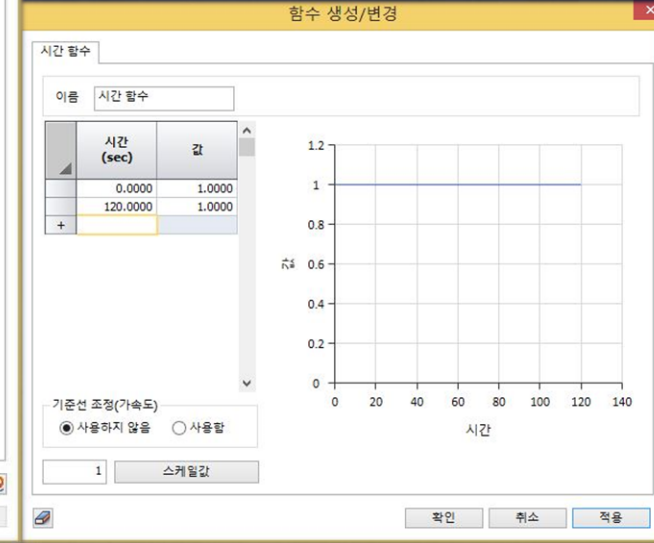
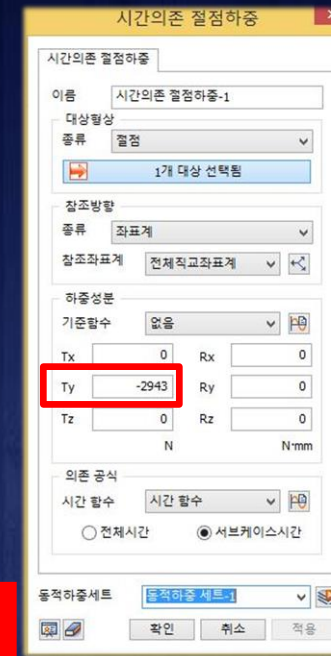
### 1. 적용범위

이 규격은 일반도로에서 사용하는 자전거의 안전 요구사항을 규정한다.

### 2. 차체시험

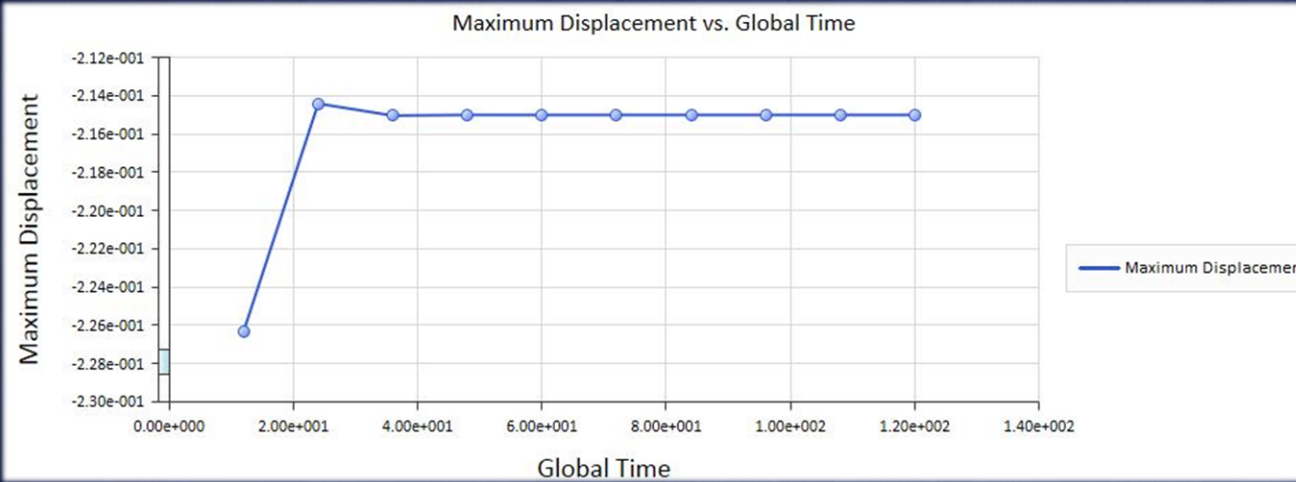
#### 2.1 정적강도 시험

차체를 뒤차축부를 회전이 가능하도록 고정시키고 앞차축부를 부드러운 표면위에서 움직일 수 있도록 시험대 위에 위치시킨다. 300 kg의 중량을 시트필라에 2분 동안 걸어둔다. 이때 차체의 현저한 파손이나 크랙이 없어야 하고 영구변형은 10 mm 이하이어야 한다. 또한 완전제동을 할 수 있어야 한다.

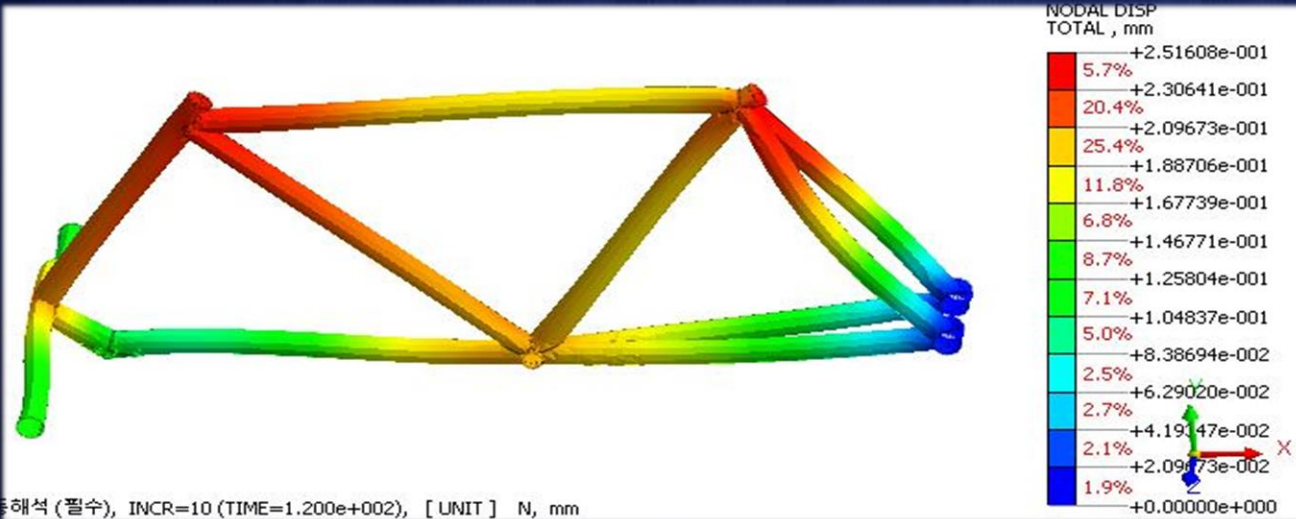


# 정적 강도 시험

- 내연적 비선형 동해석



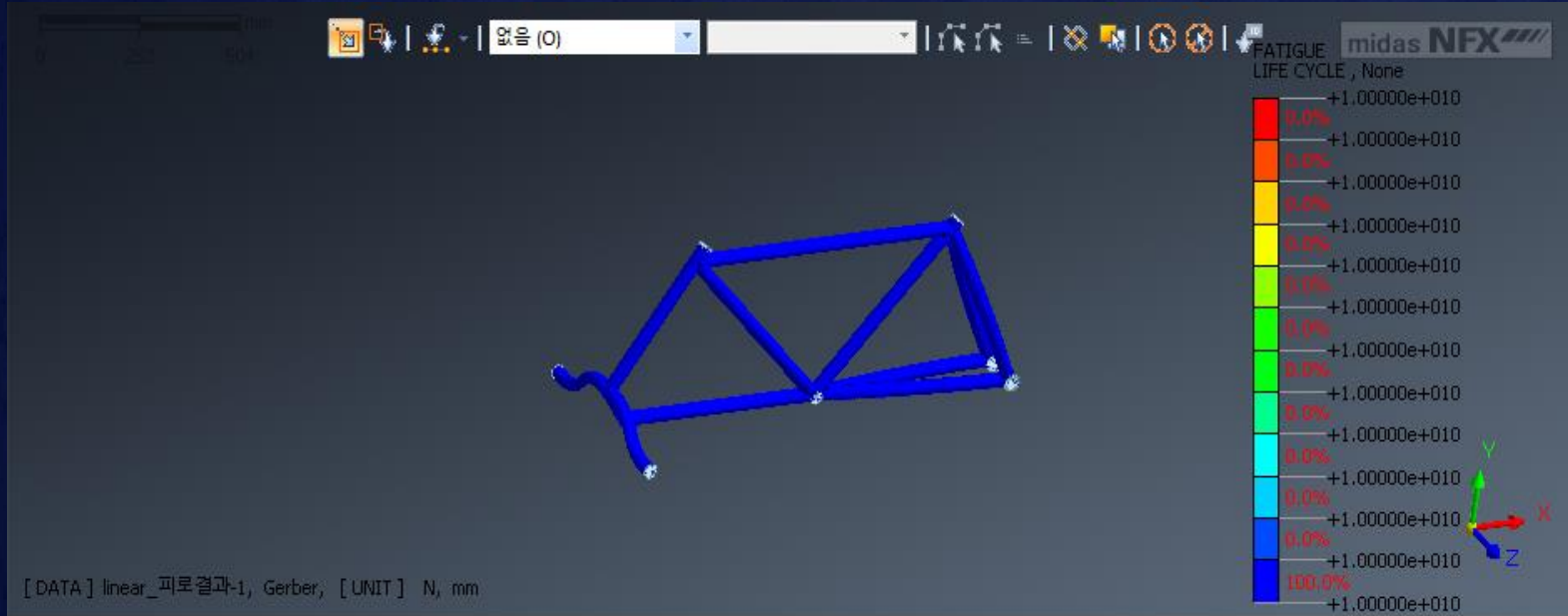
- 변위



2.516e-1mm < 10mm(기준)

→ 정적 강도 시험 통과

# 페달링 하중 & 수직 하중 시험



<표 8> 페달링 하중 시험조건

등급	산악 자전거(M)	도로용기 자전거(H)	산악자전거(S)
Top Performance(TP)	1300 N	1300 N	1150 N
High Performance(HP)	1200 N	1200 N	1050 N
Standard Performance(SP)	1100 N	1100 N	950 N

<표 9> 수직 하중 시험조건

등급	산악 자전거(M)	도로용기 자전거(H)	산악자전거(S)
Top Performance(TP)	1400 N	1100 N	1100 N
High Performance(HP)	1300 N	1050 N	1050 N
Standard Performance(SP)	1200 N	1000 N	1000 N

- 페달링 하중 시험



Fatigue Life Cycle :  $1e10$  >  $1e5$ (기준)



Top Performance 등급(무한 수명)

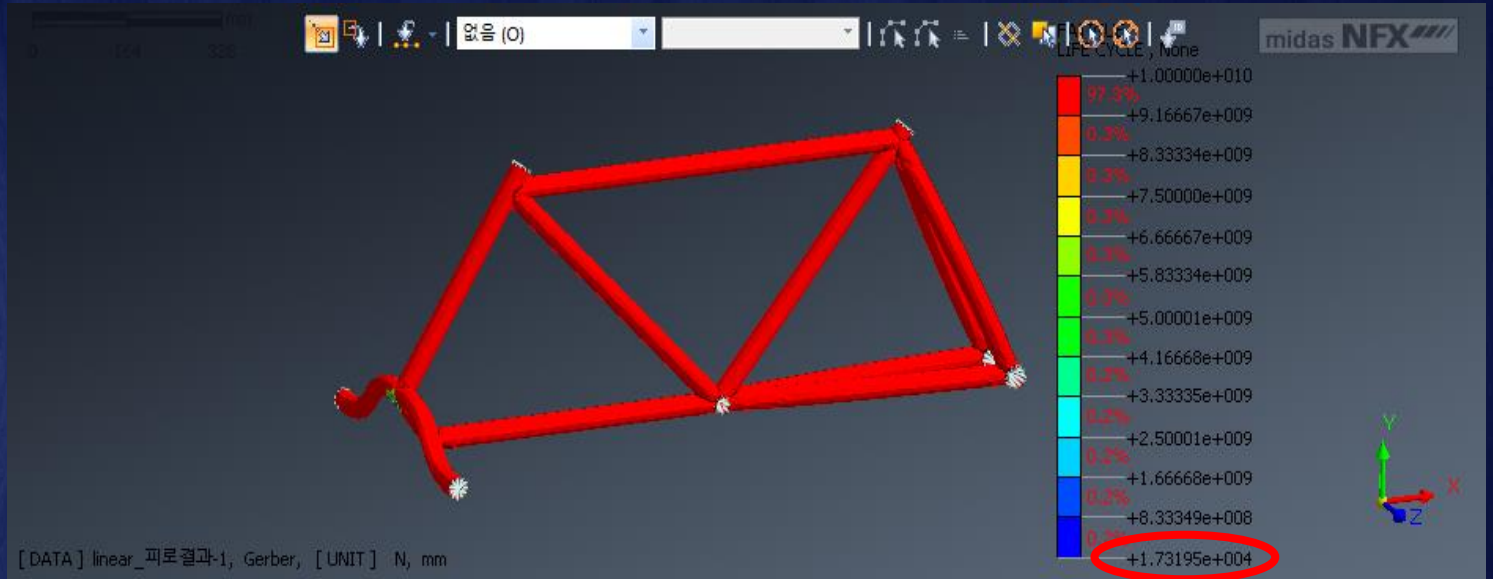
- 수직 하중 시험

# 수평 하중 시험

하중/응력 이력 정의

번호	이름	집중계수	피로 하중 함수
1	1: 선형 정적해석 (필수)	1	+ 절반 반복
2	2: 서브케이스 #1	1	- 절반 반복

피로 하중 함수 정의    초기화    확인    취소



<표 10> 수평 하중 시험조건

종류	선적 자전거(OM)	도보자전거 자전거(P)	산악자전거(B)
Top Performance(TP)	+900/-450 N	+800/-400 N	+700/-350 N
High Performance(HP)	+800/-400 N	+700/-350 N	+600/-300 N
Standard Performance(SP)	+700/-350 N	+600/-300 N	+500/-250 N

- Top Performance : +700N/ -350N

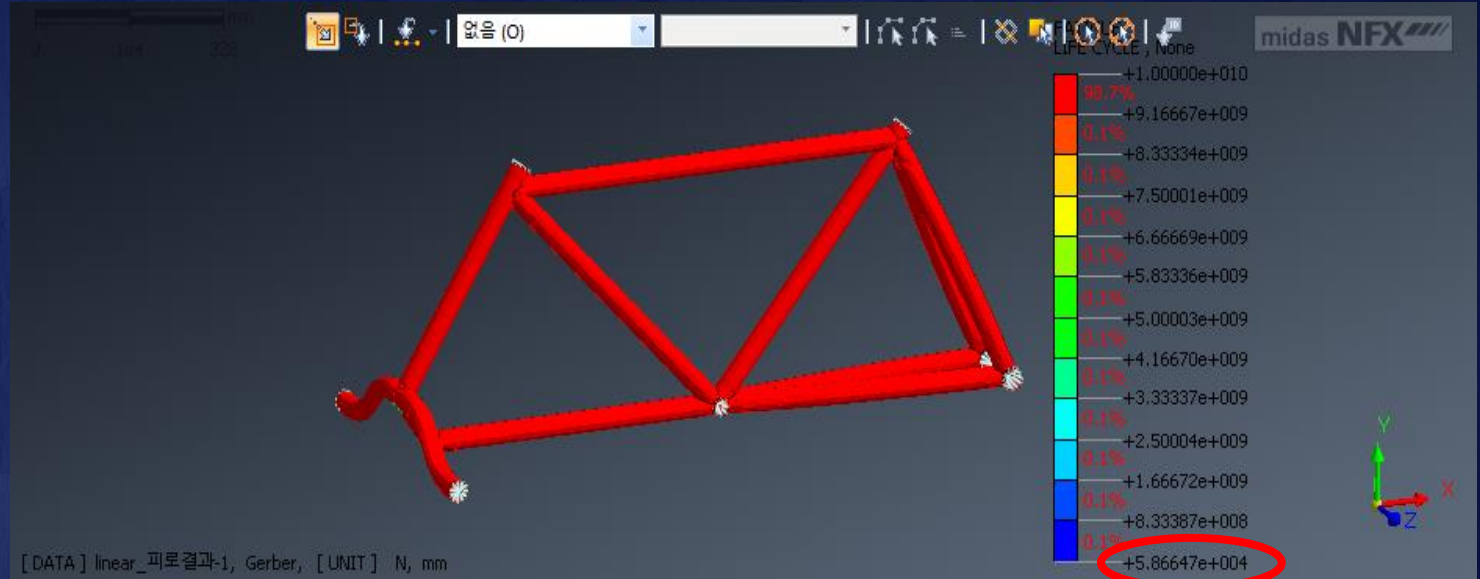
➡ 앞 바퀴 축을 x 방향의 전방으로 700N, 후방으로 350N 반복

➡ Gerber해석에 따르면 1.732e4 cycle만에 피로파괴 발생 ➡ 1e5 번 만족 X ➡ Top Performance X

# 수평 하중 시험

하중/응력 이력 정의

번호	이름	집중계수	피로 하중 함수
1	1: 선형 정적해석 (필수)	1	1: + 절반 반복
2	2: 서브케이스 #1	1	2: - 절반 반복



<표 10> 수평 하중 시험조건

등급	산악 자전거(MD)	도보용 자전거(P)	상용 자전거(S)
Top Performance(TP)	+900/-450 N	+800/-400 N	+700/-350 N
High Performance(HP)	+800/-400 N	+700/-350 N	<b>+600/-300 N</b>
Standard Performance(SP)	+700/-350 N	+600/-300 N	+500/-250 N

- High Performance : +600N/ -300N

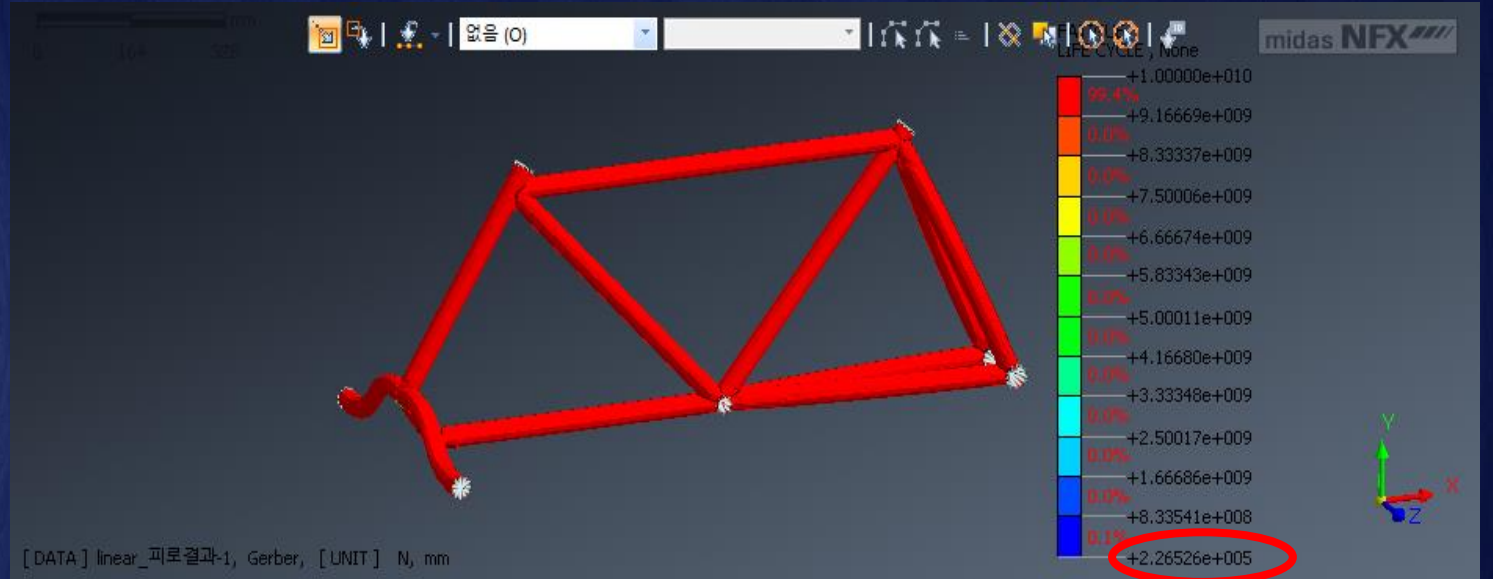
➡ 앞 바퀴 축을 x 방향의 전방으로 600N, 후방으로 300N 반복

➡ Gerber해석에 따르면 5.866e4 cycle만에 피로파괴 발생 ➡ 1e5 번 만족 **X** ➡ **High Performance X**

# 수평 하중 시험

하중/응력 이력 정의

번호	이름	집중계수	피로 하중 함수
1	1: 선형 정적해석 (필수)	1	1: + 절반 반복
2	2: 서브케이스 #1	1	2: - 절반 반복



<표 10> 수평 하중 시험조건

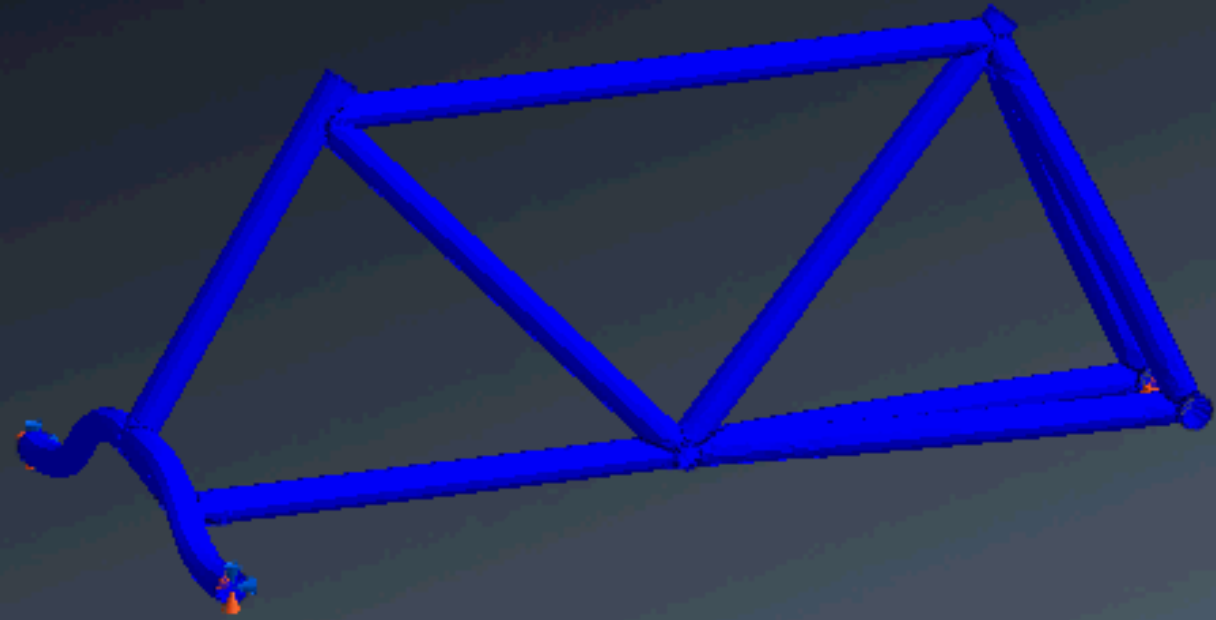
등급	상역 자전기(MD)	도보자기 자전기(F)	승용자전기(S)
Top Performance(TP)	+900/-450 N	+800/-400 N	+700/-350 N
High Performance(HP)	+800/-400 N	+700/-350 N	+600/-300 N
Standard Performance(SP)	+700/-350 N	+600/-300 N	<b>+500/-250 N</b>

- Standard Performance : +500N/ -250N

➡️ 앞 바퀴 축을 x 방향의 전방으로 500N, 후방으로 250N 반복

➡️ Gerber해석에 따르면 2.265e5 cycle만에 피로파괴 발생 ➡️ 1e5 번 만족 ○ ➡️ **Standard Performance ○**

0 164 328 mm



midas NFX

NODAL DISP  
TOTAL, mm



[ DATA ] linear, 선형 정적해석 (필수), [ UNIT ] N, mm



# Conclusion



# 결론

Property	Moustache(1-d 요소)	Butterfly(1-d 요소)
질량	2.945kg	2.964kg
프레임 외경	18mm	14~31mm
프레임 내경	15.873~17mm	12~28mm
최대 절점 변위	1.669mm	8.437mm
바 요소 최대 von-Mises 응력	82.059Mpa	196.406Mpa

Test-Moustache (2-d 요소)	Grade
정적 강도 시험	Pass
페달링 하중 시험	Top Performance
수직 하중 시험	Top Performance
수평 하중 시험	Standard Performance

# Q & A

