Vehicle Design Optimization

Final Project

변제건 서정현 장대호

Contents

출처 : https://autocatalogarchive.com/wp-content/uploads/2018/05/Mercedes-GLE-2018-USA.pdf

1. Formulation

1) 주제 선정 배경

수업에서 배운 개념을 활용 가능한 주제

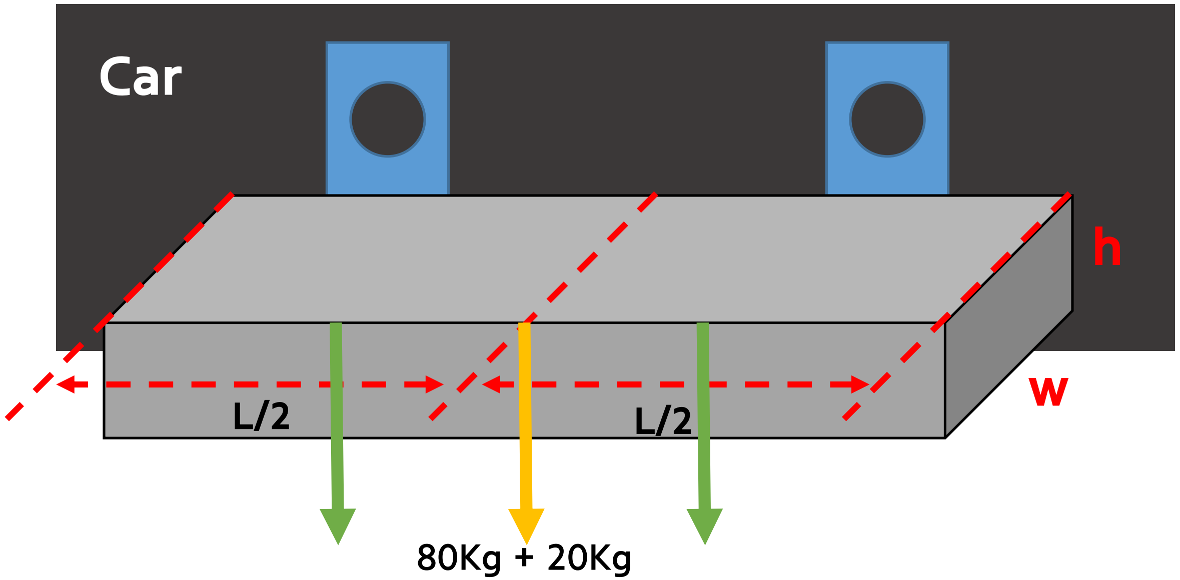
실생활에 쉽게 적용 가능한 기술 관련 주제

SUV 차량의 ‘사이드 스텝’ 형상 최적 설계

출처 : https://gccem.com.au/mechanical-services/auto-side-steps/

1. Formulation

2) 상황 가정



- L = 1000mm로 고정
- 200mm / 800mm에 50mm 폭을 갖는 Hinge로 사이드 스텝을 Fix
- 몸무게가 80Kg인 사람이 20Kg 정도의 짐을 나르는 상황 가정
- 한발로 중앙을 딛는 상황과 두 발로 모두 딛고 서있는 상황 고려
- 사이드 스텝에 보편적으로 활용되는 Aluminum 소재를 사용

→

최대 변위 : 10mm

안전 계수 :1.5

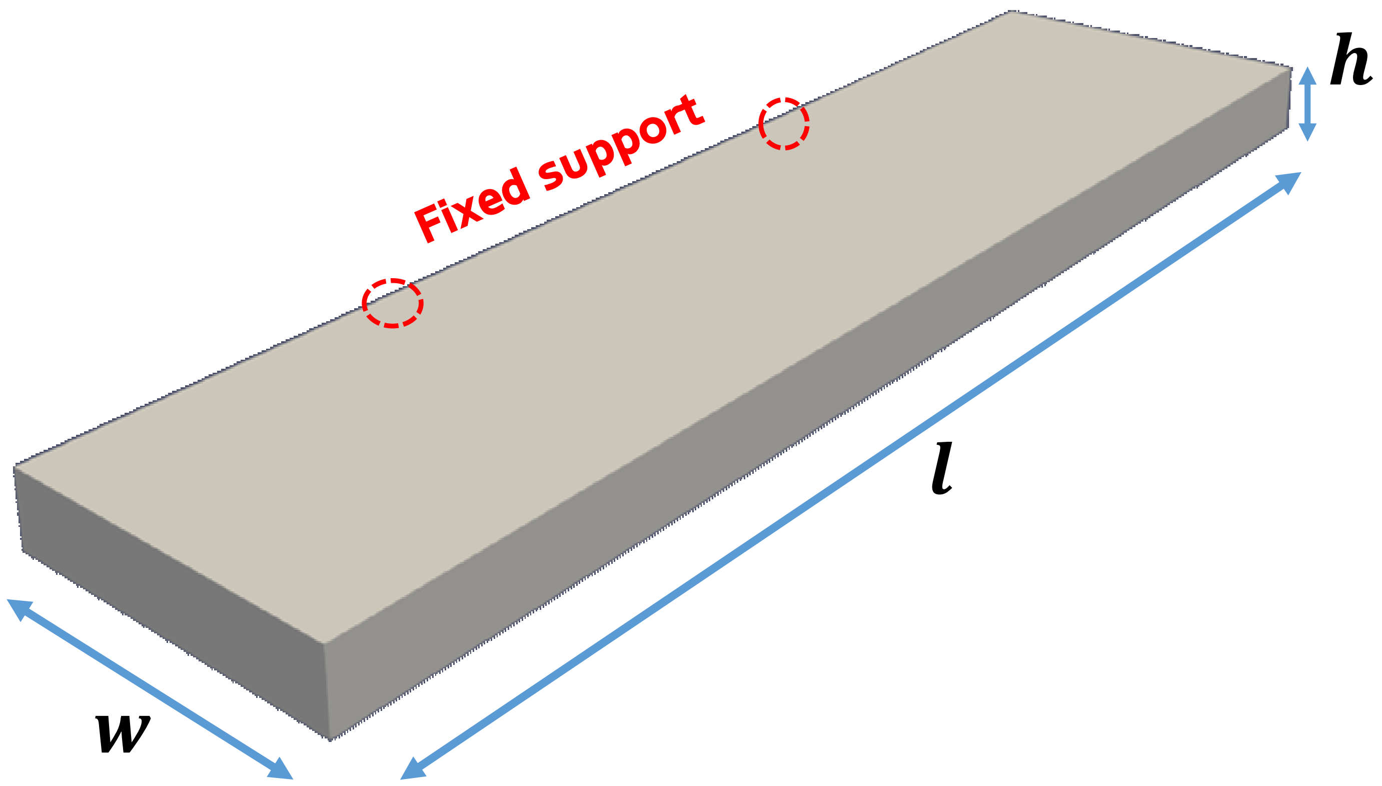
항복 강도 : 280MPa

위의 조건을 만족하는 형상 설계 목표

출처 : https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cd1edf33ac145ee93a0aa6fc666c0e0&ckck=1

2. Design Optimization

1) Size Optimization - Formulation



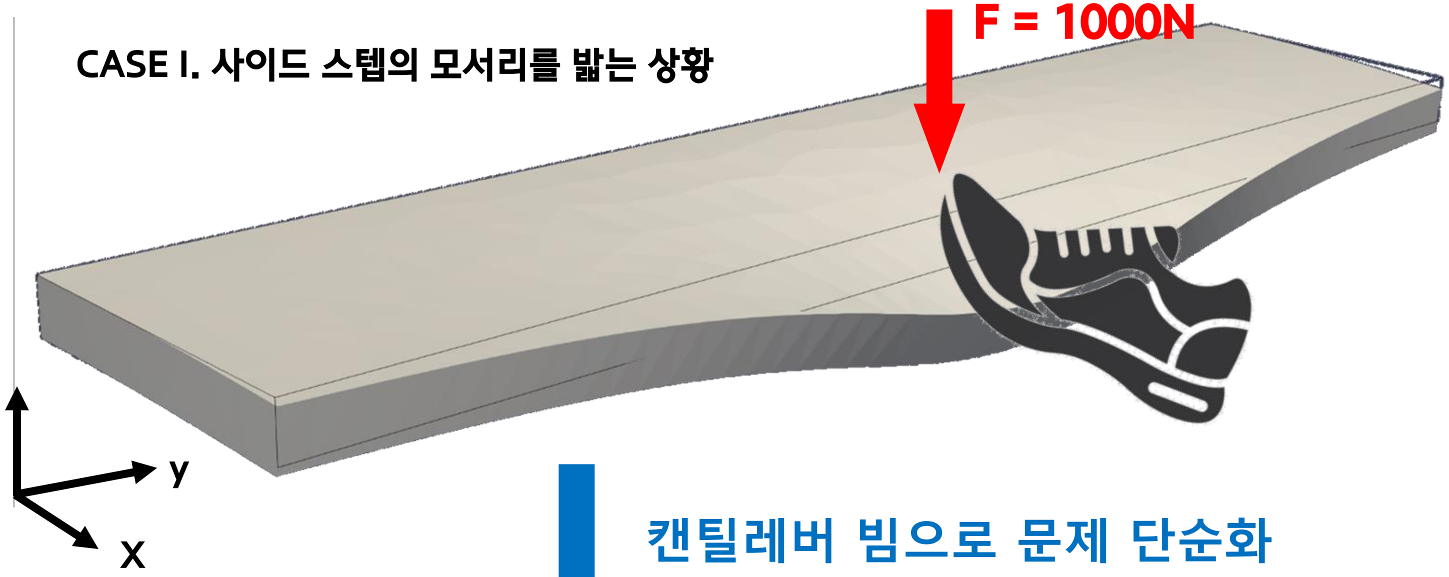
Design Variables : w, h

Objective Function : $V = w * h * l$

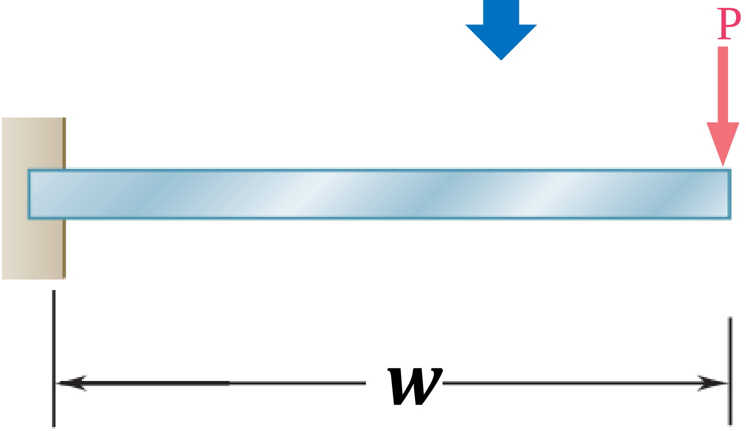
2. Design Optimization

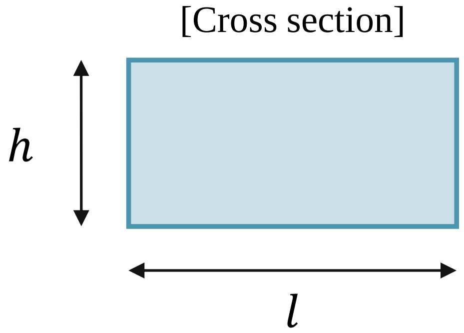
1) Size Optimization – Formulation

CASE I. 사이드 스텝의 모서리를 밟는 상황



캔틸레버 빔으로 문제 단순화





Constraint 1 : $\sigma_y = \dfrac{6Fw}{Lh^2} \le \sigma_{allow}$

- Bending stress는 y방향에서 최대
- Side step에 작용하는 최대 하중 계산
- 수식화 위해 캔틸레버 빔으로 가정

[Bending Stress formula]

$$\sigma_y = \frac{M_y x}{I_y} \quad \left(I_y = \frac{1}{12} l h^3\right)$$

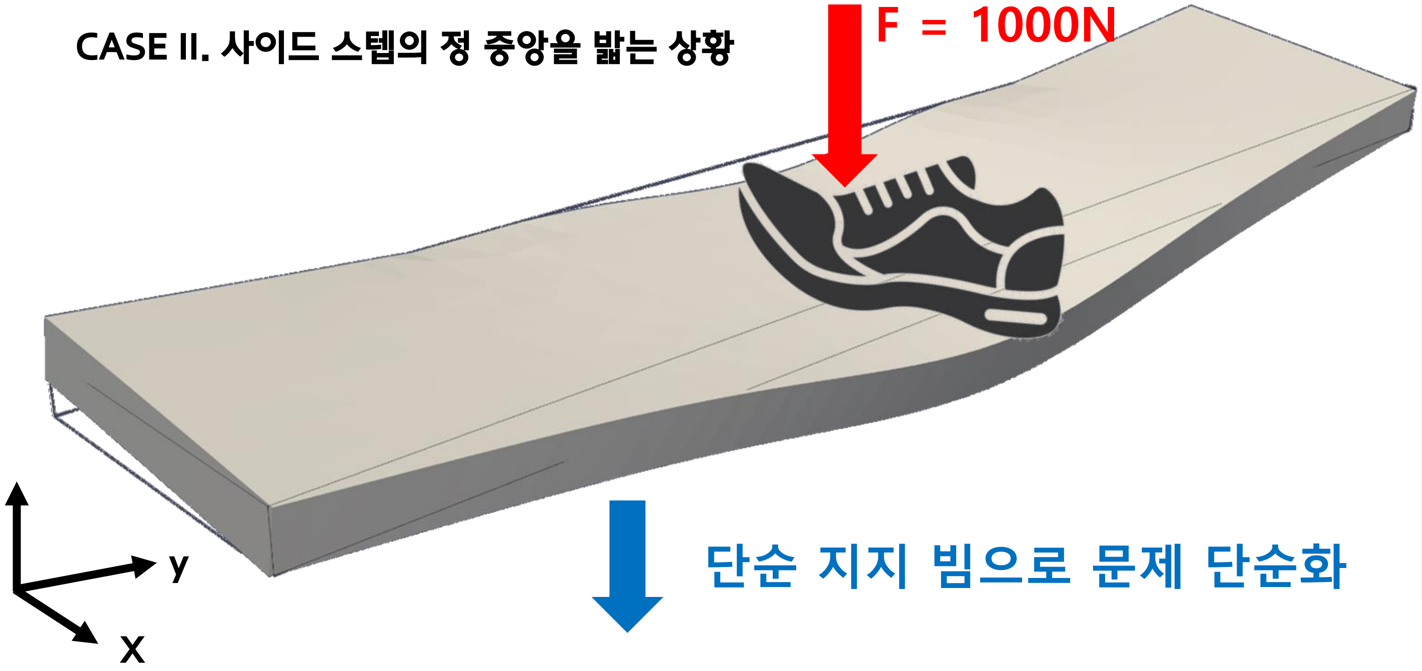
$$\sigma_y = \frac{12Mh}{2lh^3} = \frac{6Fw}{lh^2}$$

이때 허용응력 $\sigma_{allow} = \dfrac{\sigma_{yield}}{N} \quad (N: S.F)$

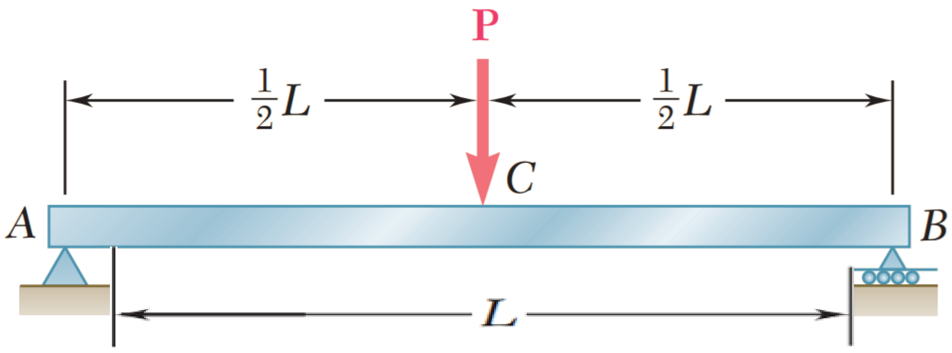
2. Design Optimization

1) Size Optimization - Formulation

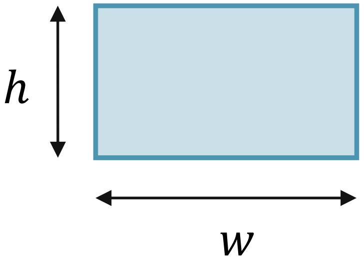
CASE II. 사이드 스텝의 정 중앙을 밟는 상황



단순 지지 빔으로 문제 단순화



[Cross section]



Constraint 2 : $\sigma_x = \dfrac{3Fl_f}{2wh^2} \le \sigma_{allow}$

- Bending stress는 y방향에서 최대
- Side step에 작용하는 최대 하중 계산
- 단순 지지 빔으로 가정

[Bending Stress formula]

$$\sigma_x = \frac{M_x y}{I_x} = \frac{12M\frac{h}{2}}{wh^3} = \frac{3Fl_f}{2wh^2}$$

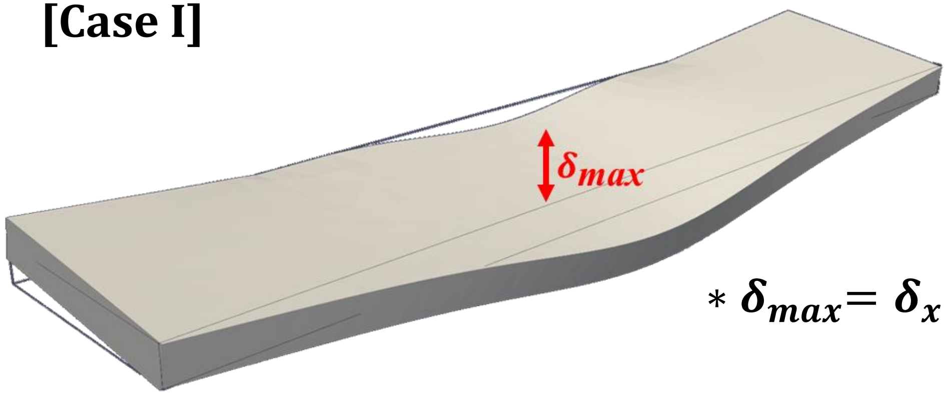
$$I_x = \frac{1}{12}wh^3$$

$$M_x = \frac{Fab}{l} = \frac{F\left(\frac{l_f}{2}\right)^2}{l} = \frac{Fl_f}{4}$$

2. Design Optimization

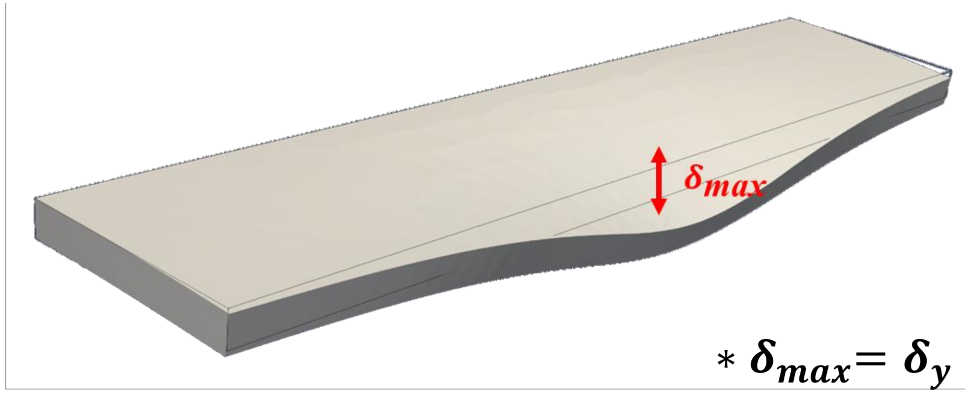
1) Size Optimization - Formulation

[Case I]



$$* \ \delta_{max} = \delta_x = \frac{Fw^3}{48EI_x}$$

[Case II]



$$* \ \delta_{max} = \delta_y = \frac{F(\frac{l}{2})^3}{3EI_y}$$

Constraint 3 : $\frac{F(\frac{l}{2})^3}{3EI_y} \leq \delta_{allow}$

- 사이드 스텝의 최대 변형량 10mm로 설정
- Case I

$$\delta = \frac{Fw^3}{48EI_x}$$

- Case II

$$\delta = \frac{F(\frac{l}{2})^3}{3EI_y}$$

δ_x와 δ_y의 비율을 고려,

$$\delta_{ratio} = \frac{\delta_x}{\delta_y} = \frac{48w^3 I_x}{3\left(\frac{l}{2}\right)^3 I_y} = \frac{128w^4}{L^4} = 128w^4$$

* w는 항상 0.05보다 작아야하므로 최대 δ_{ratio}는 0.016

→ Case II 이 항상 더 크므로 Case II를 고려

2. Design Optimization

1) Size Optimization - Formulation

국토교통부		보 도 자 료		보다 나은 정부
		배포일시	2019. 8. 8(목) 총 8매(본문 7매, 참고 1매)	
담당 부서	자동차정책과	담 당 자	· 과장 윤진환, 사무관 김영건, 주무관 박성준 · ☎ (044)201-3835, 3840, 3841	
보 도 일 시		2019년 8월 8일(목) 11:00 이후 보도하여 주시기 바랍니다. ※ 8월 8일(목) 석간 보도 가능		

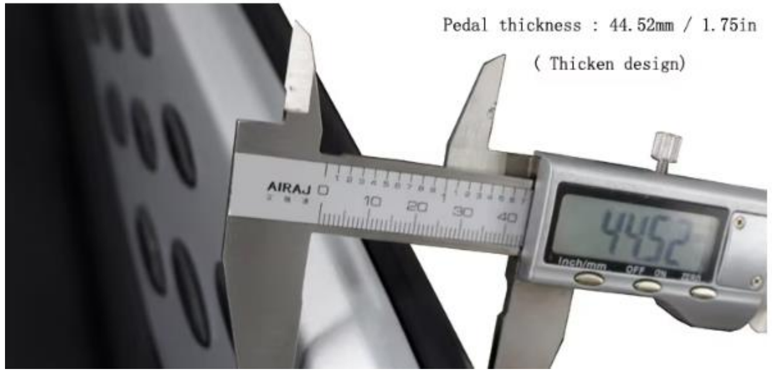
- (⑯루프캐리어, ⑰수하물운반구, ⑱안테나)
- (⑲자전거캐리어, ⑳스키캐리어, ㉑루프탑바이저*)
  - * 공기저항 감소 목적
- (㉒보조발판*, ㉓컨버터블탑용롤바**, ㉔유리운송지지대)
  - * 보조발판은 최외측부터 좌우 각각 50mm이내
  - ** 차량 전복시 차체 훼손 방지용
- (㉕루프탑텐트, ㉖어닝*) * 캠핑시 그늘막
- (㉗교통단속용 적외선 조명장치)

Constraint 4 : $w \leq 50mm$

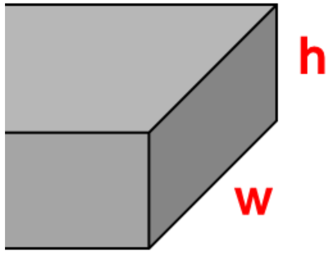
- 2019년 국토 교통부 '자동차 튜닝 활성화 대책' 참고
- 차량 전복 시 차체 훼손 방지 위해 최대 폭 제한
- 사이드스텝(보조 발판)의 최대 폭 = 50mm

2. Design Optimization

1) Size Optimization - Formulation



Constraint 5 : $\frac{w}{h} \geq 2.5$

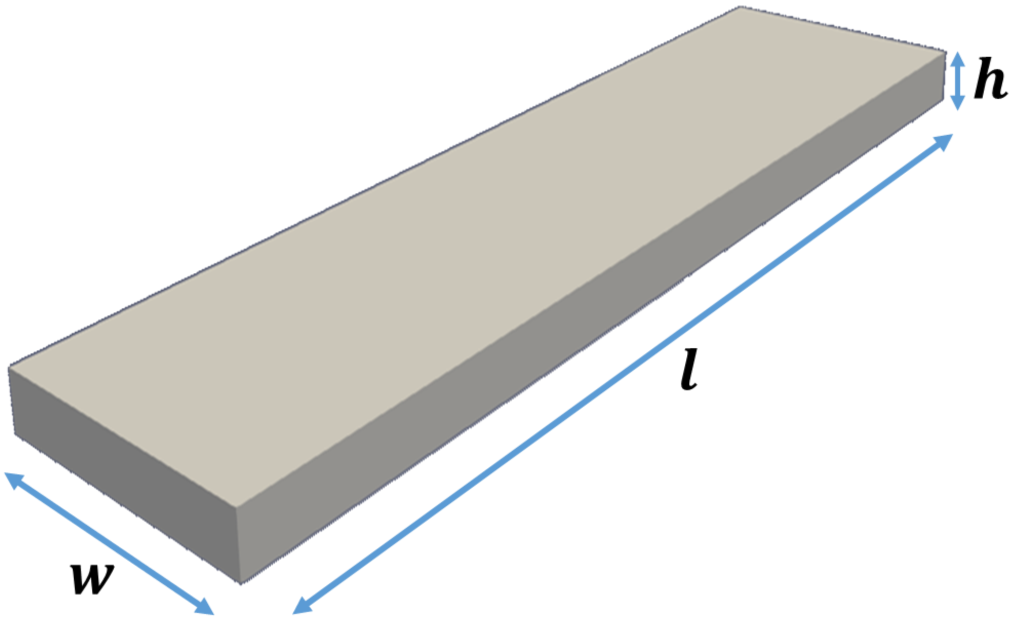


- 사이드 스텝 설계의 명확한 가이드라인 부재
- 시중에 판매되는 사이드스텝의 너비/두께 비 약 2.5
- 좁은 w는 안정감 부족, 얇은 h는 내구성 저하

출처 : https://ko.aliexpress.com/item/1005006024843398.html

2. Design Optimization

1) Size Optimization - Formulation



$$\textit{Minimize}\ \ V(w,h) = w \cdot h \cdot l$$

$$\textit{subject to}\quad \frac{6Fw}{Lh^2} \le \sigma_{allow}$$ (x-direction bending stress)

$$\frac{3Fl_f}{2wh^2} \le \sigma_{allow}$$ (y-direction bending stress)

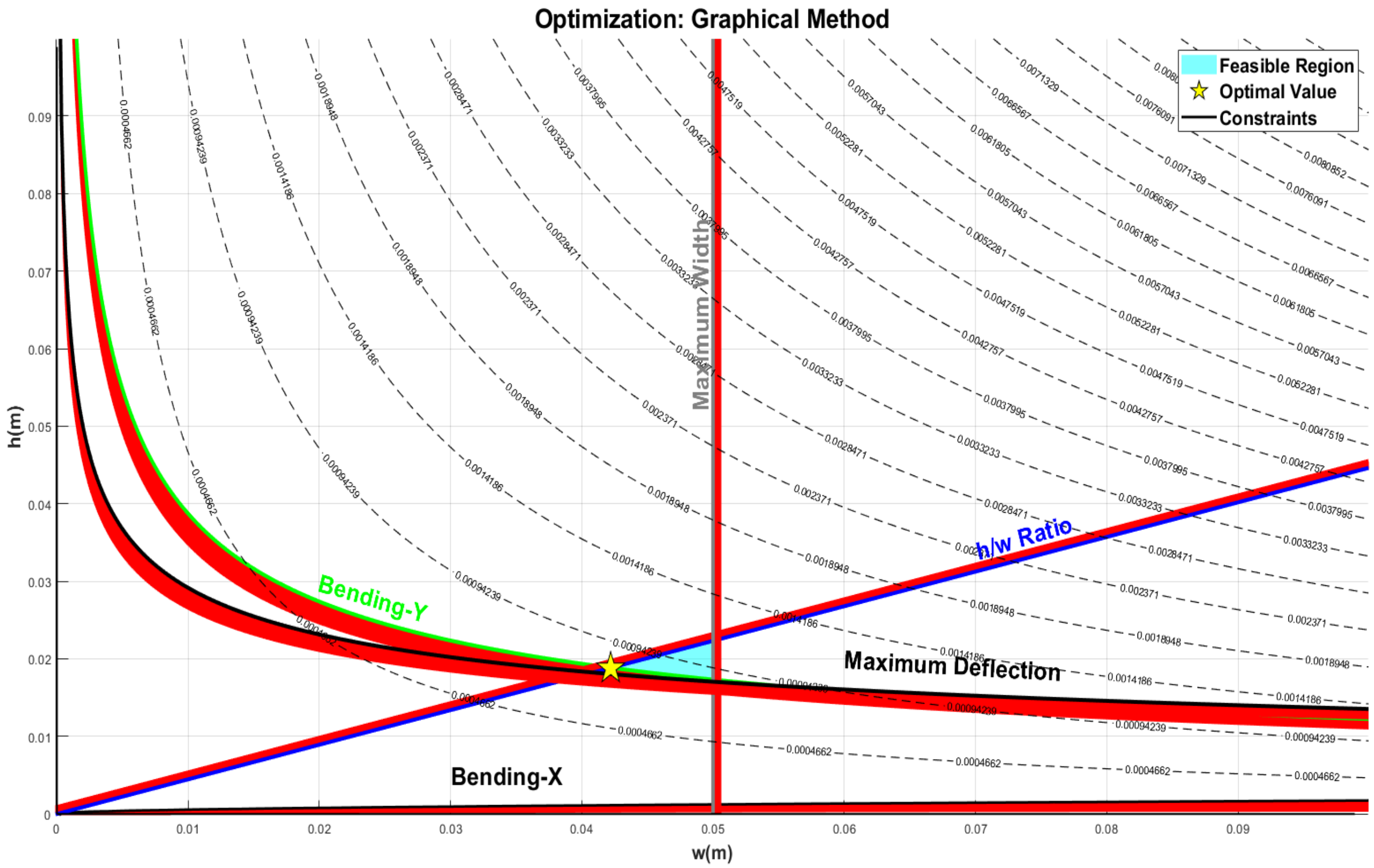
$$\frac{FL^3}{3EI} \le \delta_{allow}$$ (Maximum deflection)

$$\frac{w}{h} \ge 2.5$$ (width/height ratio)

$$w \le 0.05$$ (Maximum width)

2. Design Optimization

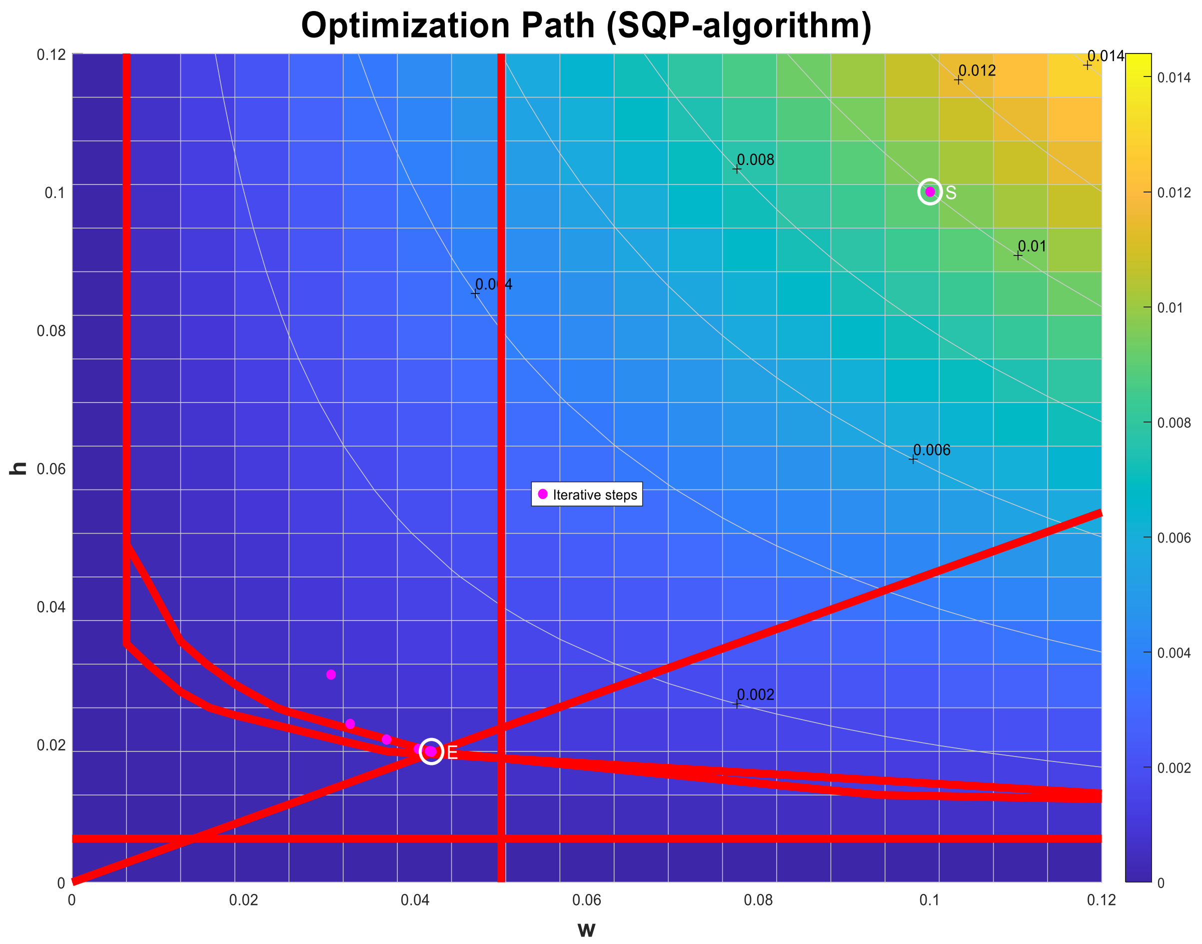
2) Size Optimization – Graphical Method

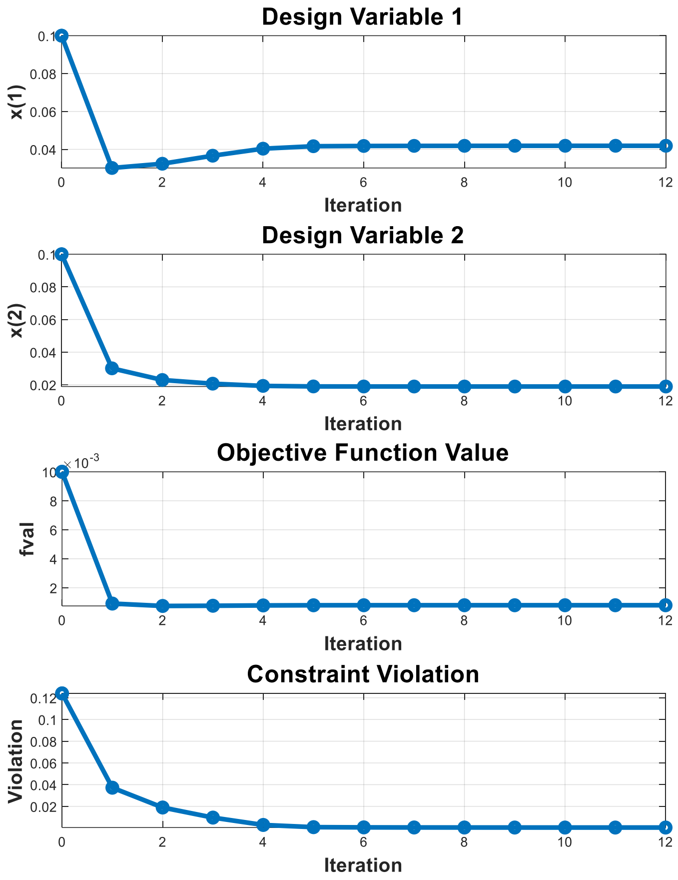



```
<stopping criteria details>

x =

    0.0422    0.0188
```

2. Design Optimization

2) Size Optimization – Numerical Method

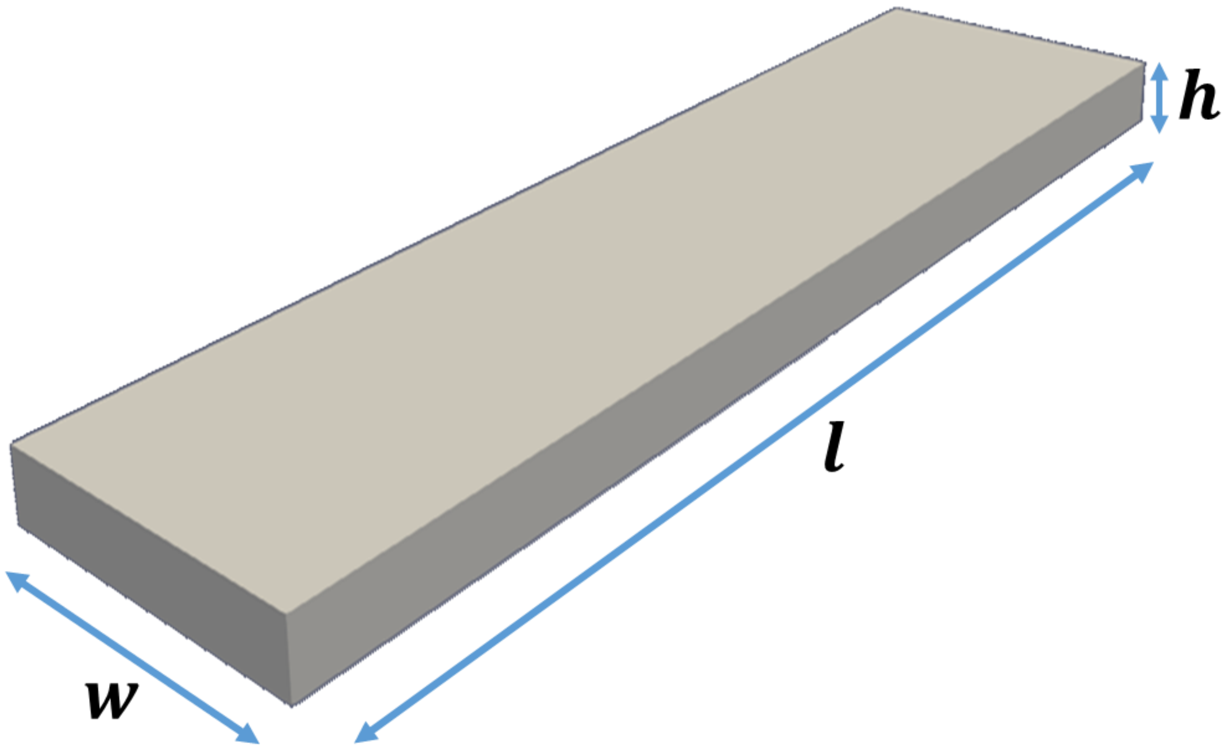





```
Local minimum found that satisfies the constraints.

Optimization completed because the objective function is non-decreasing in
feasible directions, to within the value of the optimality tolerance,
and constraints are satisfied to within the value of the constraint tolerance.

<stopping criteria details>

x =

    0.0422    0.0188
```

2. Design Optimization

2) Size Optimization Result



Objective Function

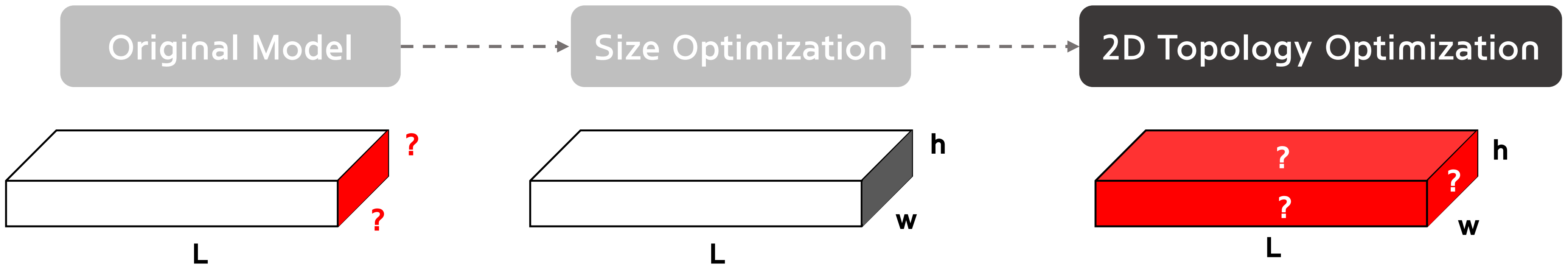
Iter	Func-count	Fval	Feasibility	Step Length
0	3	1.000000e-02	1.240e-01	1.000e+00
1	7	9.070255e-04	3.719e-02	7.000e-01
2	12	7.428104e-04	1.896e-02	4.900e-01
3	17	7.571259e-04	9.671e-03	4.900e-01
4	21	7.790079e-04	2.901e-03	7.000e-01
5	25	7.903497e-04	8.704e-04	7.000e-01
6	32	7.916566e-04	6.614e-04	2.401e-01
7	41	7.921448e-04	5.836e-04	1.176e-01
8	52	7.923561e-04	5.500e-04	5.765e-02
9	64	7.924955e-04	5.278e-04	4.035e-02
10	78	7.925610e-04	5.173e-04	1.977e-02
11	97	7.925718e-04	5.156e-04	3.323e-03
12	131	7.925718e-04	5.156e-04	2.326e-03

Design Variables

Variables	Initial	Final
w	100mm	42.2mm
h	100mm	18.8mm

2. Design Optimization

2) Shape Optimization



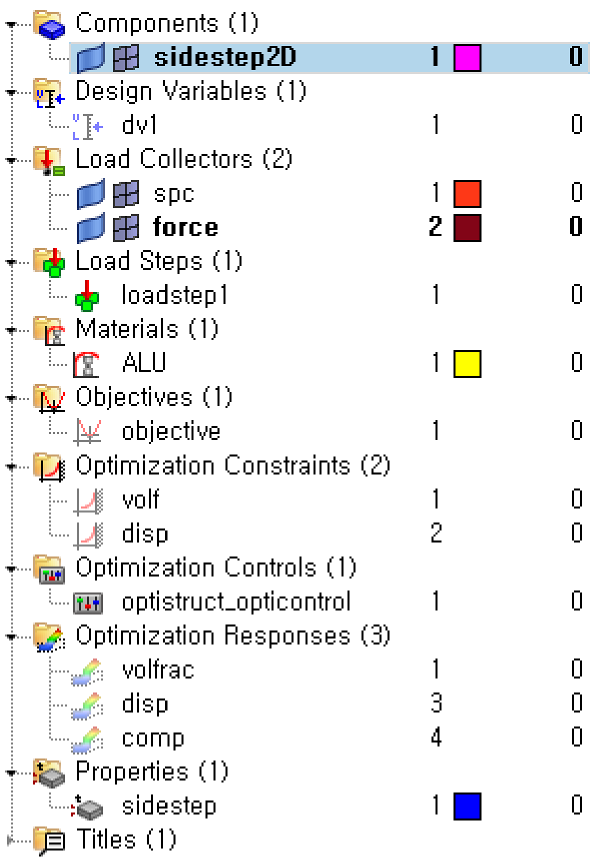
Size Optimization을 통해 확정한 치수를 바탕으로

주어진 최대 변위 조건 $(\delta < 10\ mm)$ 을 만족하면서

부피를 최소화하는 형상 설계를 위해 2D & 3D 위상 최적화 진행

2. Design Optimization

2) Shape Optimization – *w-h 단면 위상 최적화*



Material

Aluminum Alloy
E : 71GPa
ν : 0.33

Property

Card Image : PSHELL
Thickness : 1000

Response

Volume Fraction
Compliance
Displacement

Objective

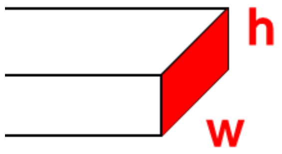
Minimize Compliance

Constraints

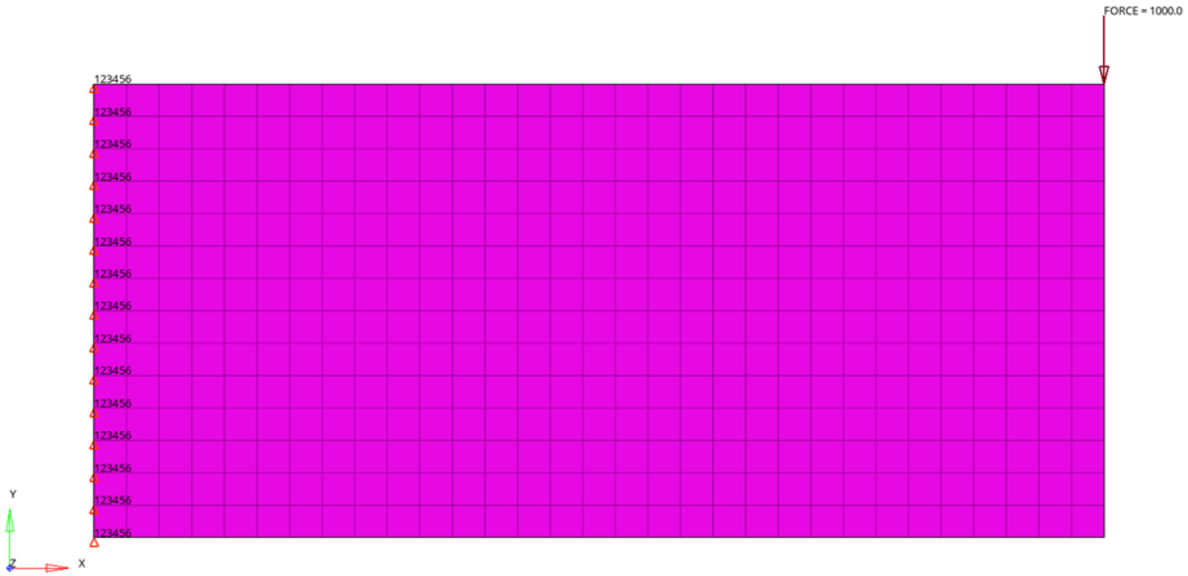
Volume Fraction up to 70%
Displacement up to 1mm

2. Design Optimization

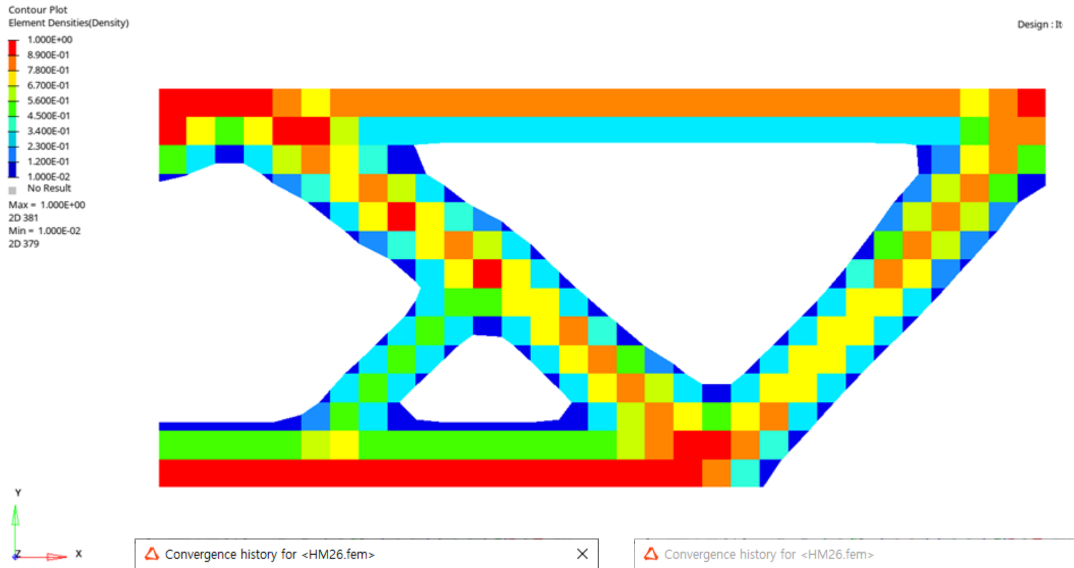
2) Shape Optimization - *w-h 단면 위상 최적화*

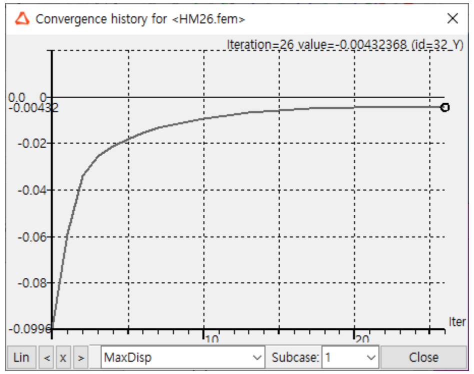


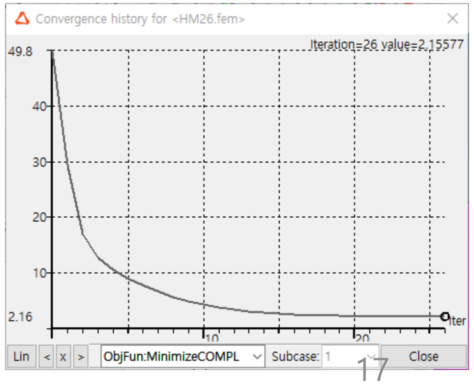
LoadStep 설정



Topology Optimization 결과

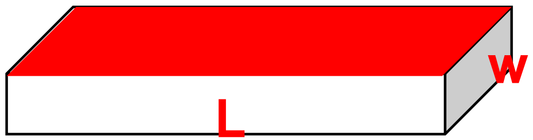




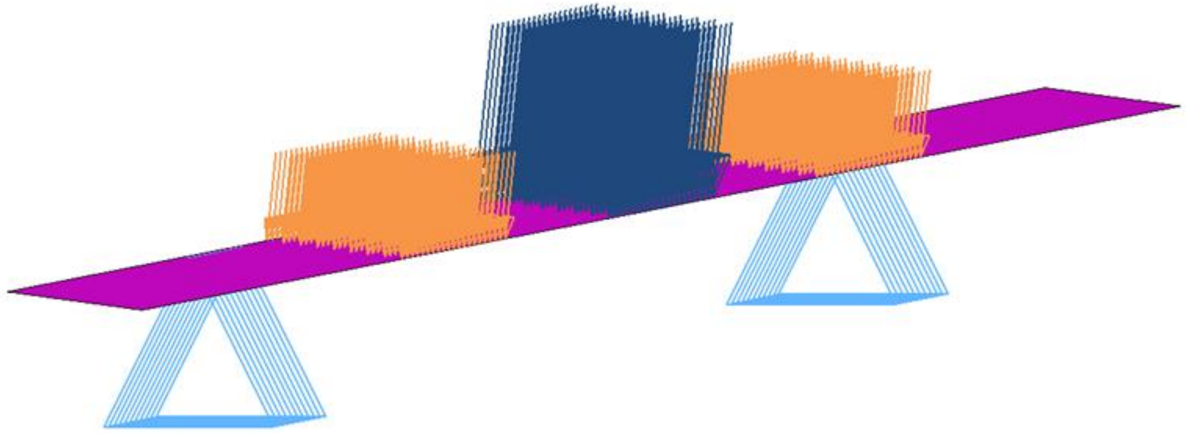


2. Design Optimization

2) Shape Optimization - *w-L 단면 위상 최적화*



LoadStep 설정

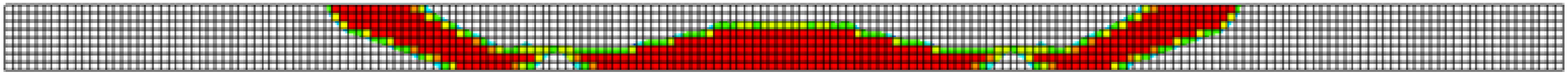


두 발로 서있는 상황과 한 발로 서있는 상황에 대해

두 가지의 Load Step 형성 후,

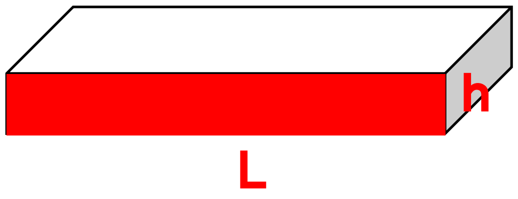
Weighted Compliance를 Objective로 설정

Topology Optimization 결과

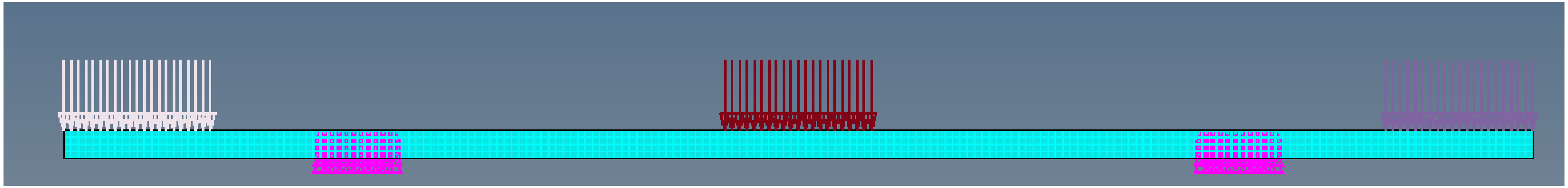


2. Design Optimization

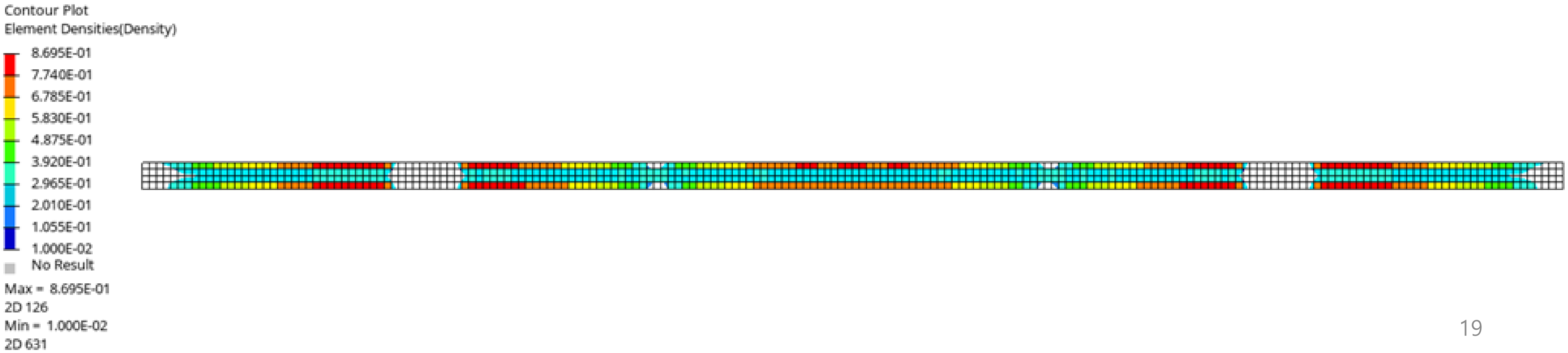
2) Shape Optimization –*h-L 단면 위상 최적화*



LoadStep 설정

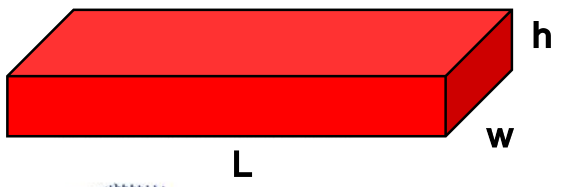


Topology Optimization 결과

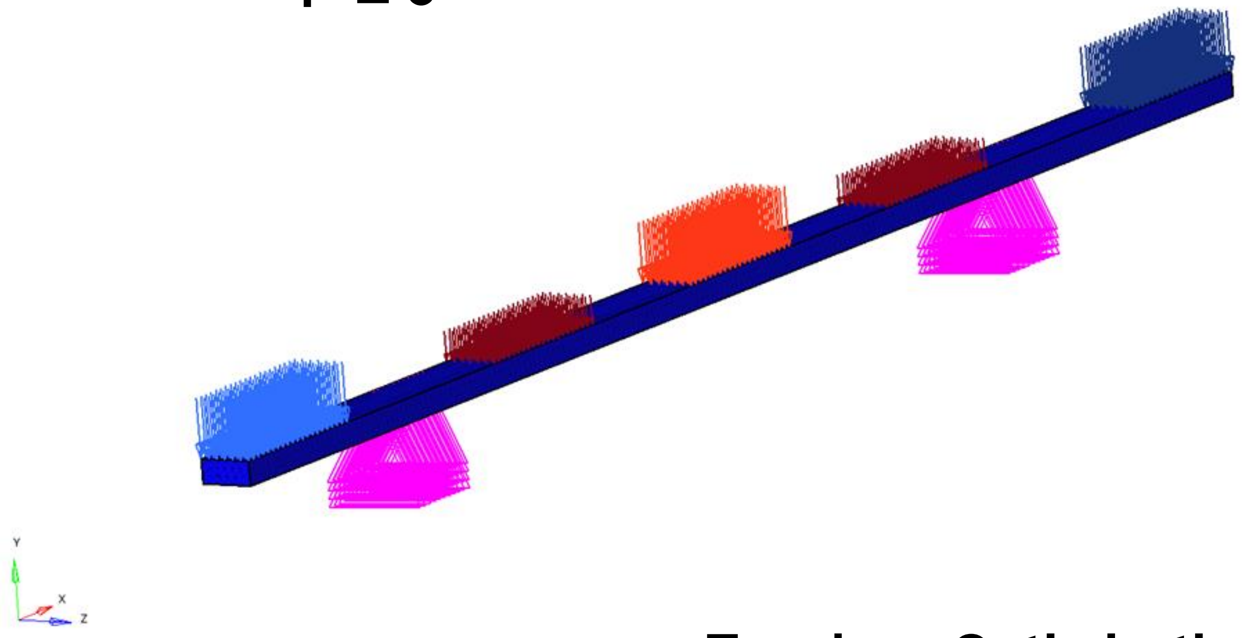


2. Design Optimization

2) Shape Optimization –*3D 위상 최적화*

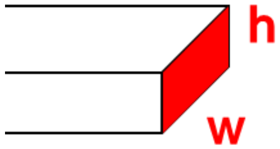


LoadStep 설정

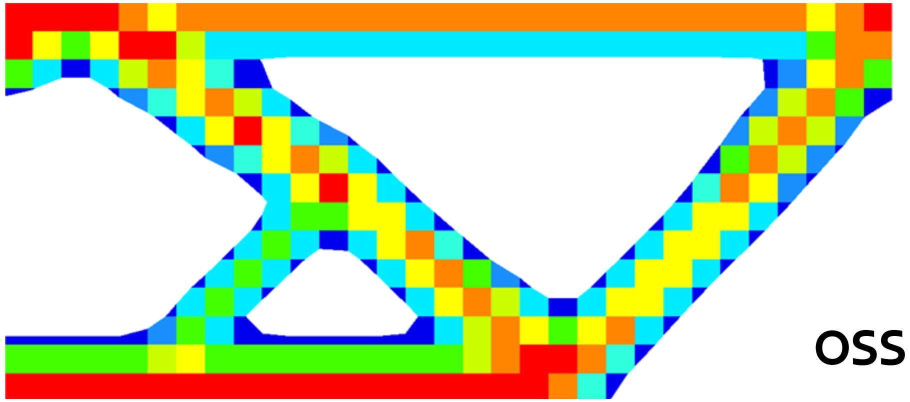


Topology Optimization 결과

3. Result

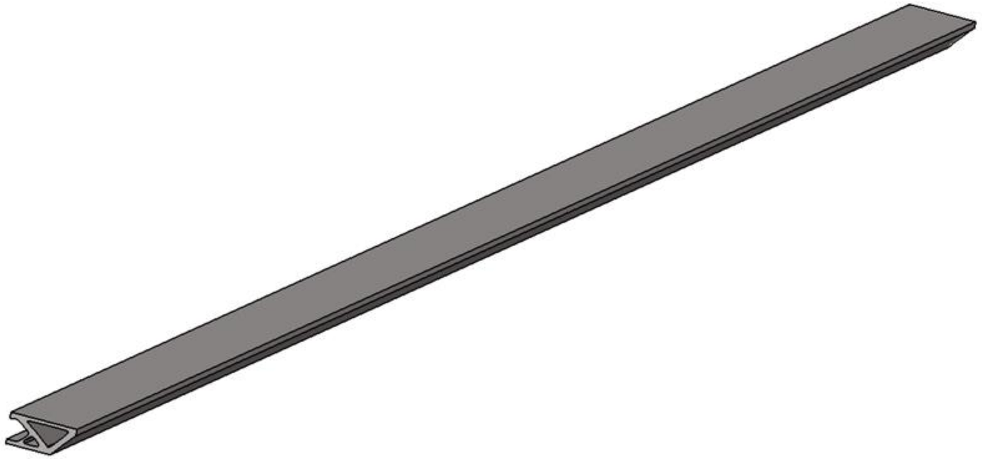


w-h 단면 **위상 최적화 결과 채택**

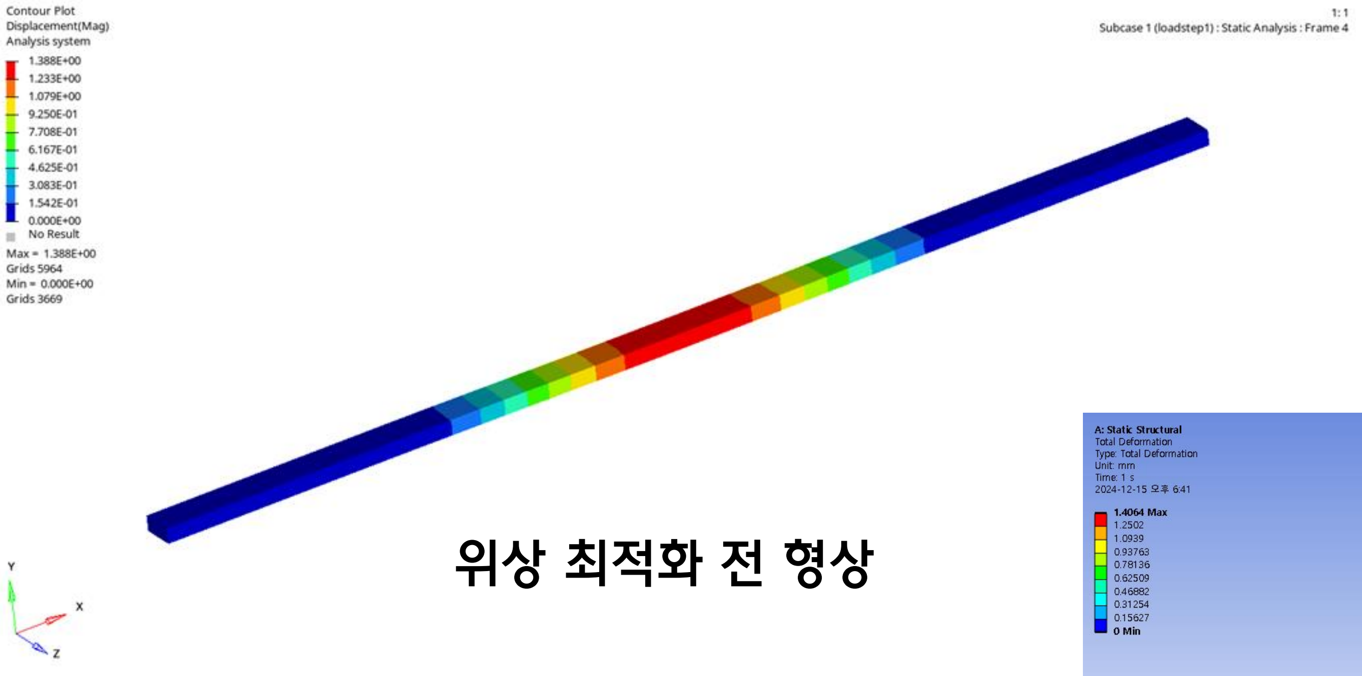


OSSmooth 활용 Export 후

Geometry 형성

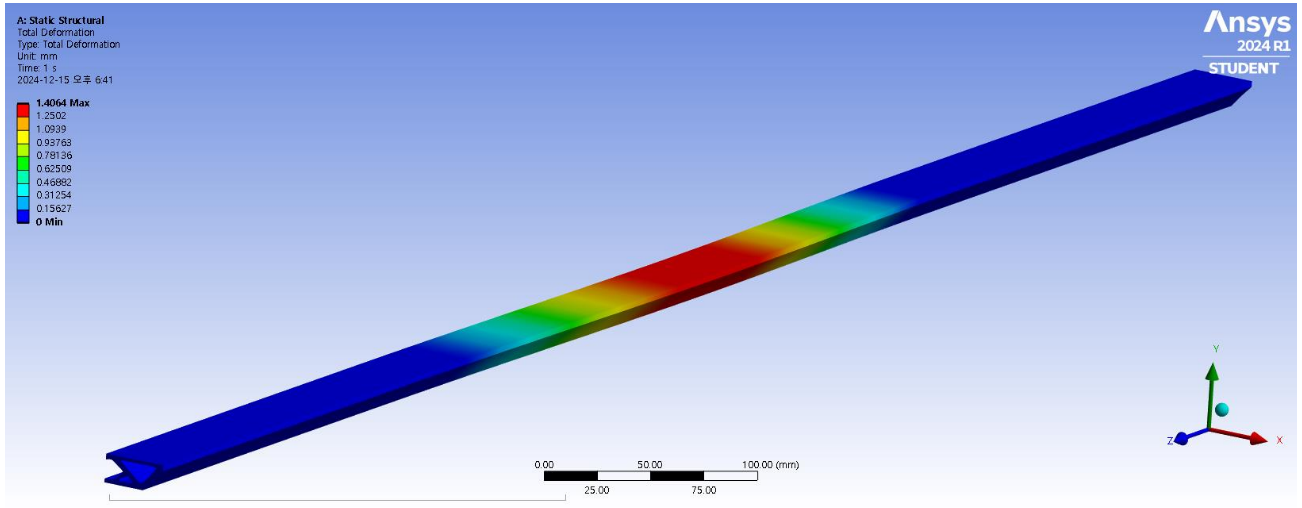


3. Result



위상 최적화 전 형상

위상 최적화 후 형상



3. Result

최대 변위 조건 : $\delta < 10\ mm$, 안전 계수 1.5, 허용 응력 280 MPa

	Displacement (mm)	Stress (MPa)	Mass (Kg)
위상 최적화 전	1.388	122.8	1.1974
위상 최적화 후	1.406	186.4	0.5099
	1.297 % 증가 최대 변위 조건 충족	51.69 % 증가 안전 계수 고려 시 허용 응력 조건 충족	56.91% 감소