AOC 2019
컵 홀더 최적화

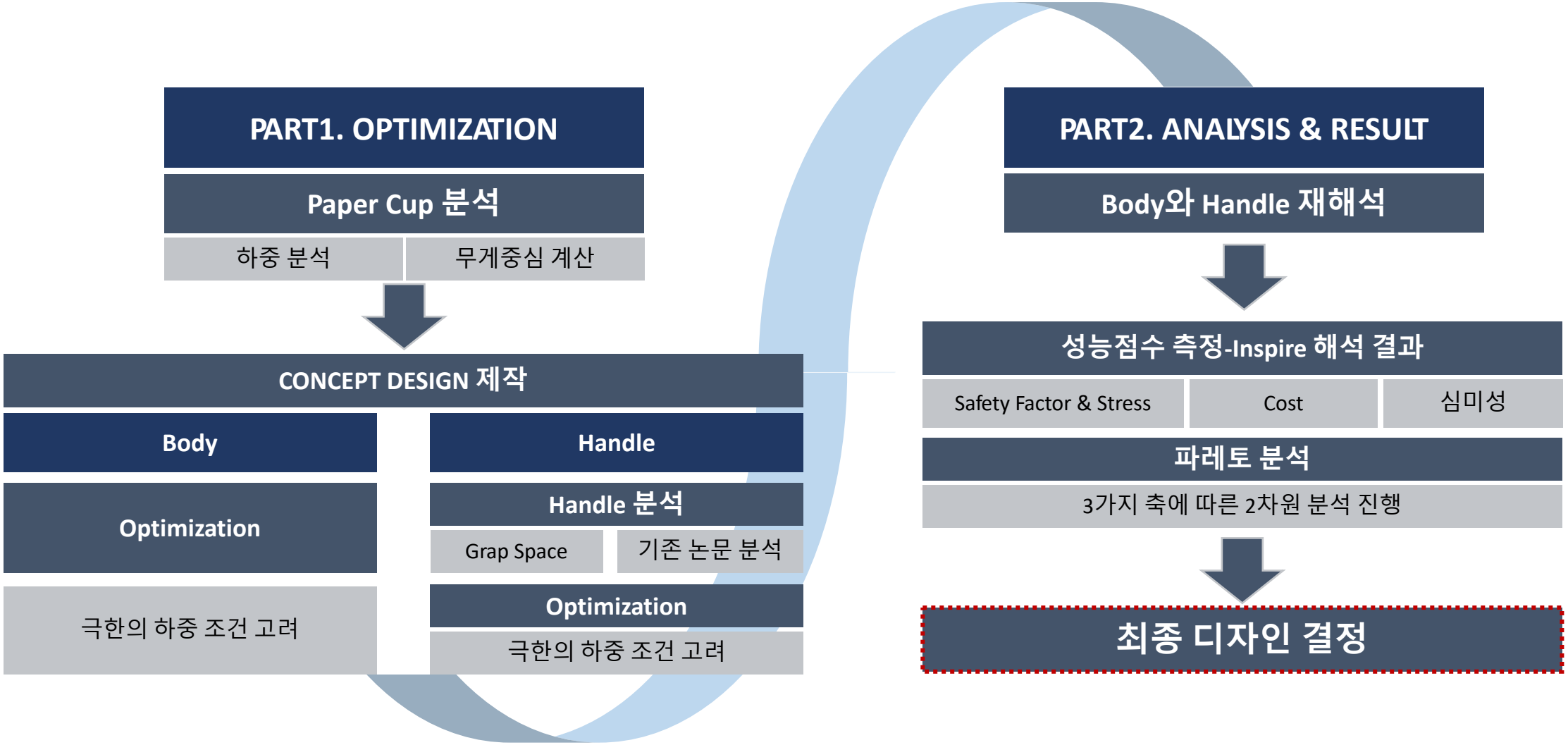
팀명 : Ah-Ha!
학교명 : 숙명여자대학교
학과 : 기계시스템학부
지도교수 : 강 남 우
박 윤 하 (학부3)
진 아 현 (학부3)

SOOKMYUNG WOMEN'S UNIVERSITY Altair

Index

- **최적화 설계 프로세스**
- **Part1. OPTIMIZATION**
  - 1.1 Paper Cup 분석
  - 1.2 Concept Design (Body / Handle)
  - 1.3 Optimization (Body / Handle)
- **Part2. ANALYSIS & RESULT**
  - 2.1 Evaluation (공학적 성능/ Cost/ 심미성)
  - 2.2 Pareto Analysis & 최종 설계안 결정
  - 2.3 향후 발전 계획 및 개발 사항

최적화 설계 프로세스


PART1. OPTIMIZATION
Paper Cup 분석
하중 분석
무게중심 계산
CONCEPT DESIGN 제작
Body
Optimization
극한의 하중 조건 고려
Handle
Handle 분석
Grap Space
기존 논문 분석
Optimization
극한의 하중 조건 고려
PART2. ANALYSIS & RESULT
Body와 Handle 재해석
성능점수 측정-Inspire 해석 결과
Safety Factor & Stress
Cost
심미성
파레토 분석
3가지 축에 따른 2차원 분석 진행
최종 디자인 결정

PART 1 : OPTIMIZATION

1.1 PAPER CUP 분석

✓ **하중 분석 : 무게 중심부에 Masses를 달아 중력을 가하고, 사람이 들어올리는 부분을 지지를 적용한다.**

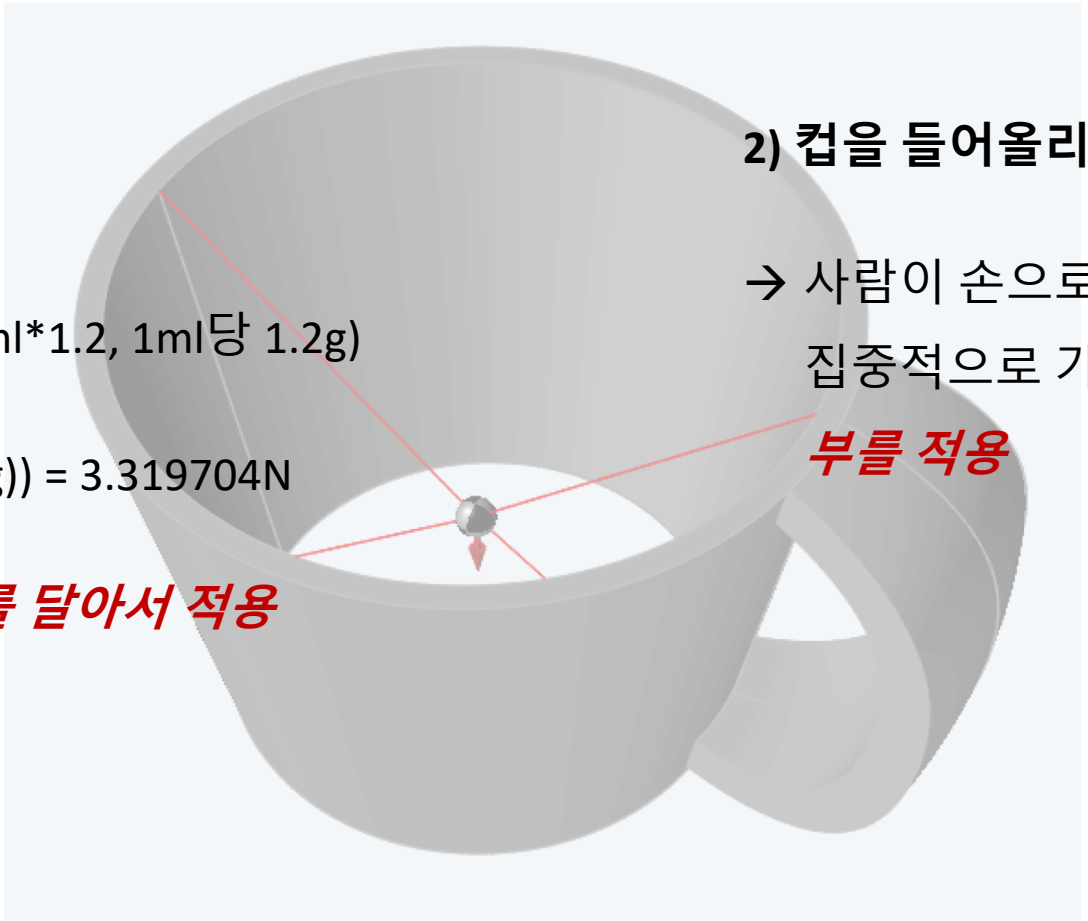
1) 중력

→ 종이컵 : 0.012kg

→ 커피 : 0.3264kg (272ml*1.2, 1ml당 1.2g)

>>9.81*(0.3264+0.012(kg)) = 3.319704N

무게 중심부에 Masses를 달아서 적용



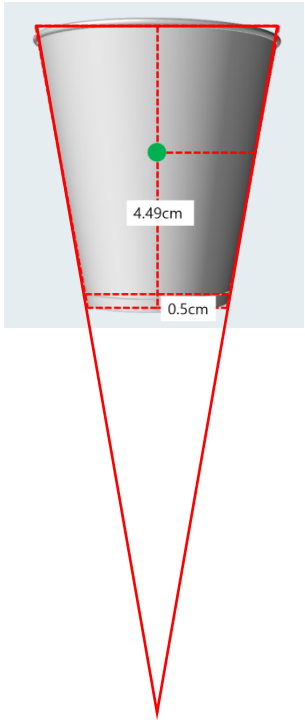
2) 컵을 들어올리는 힘

→ 사람이 손으로 들어올릴 때 하중이 집중적으로 가해지는 부분에 ***지지 부를 적용***

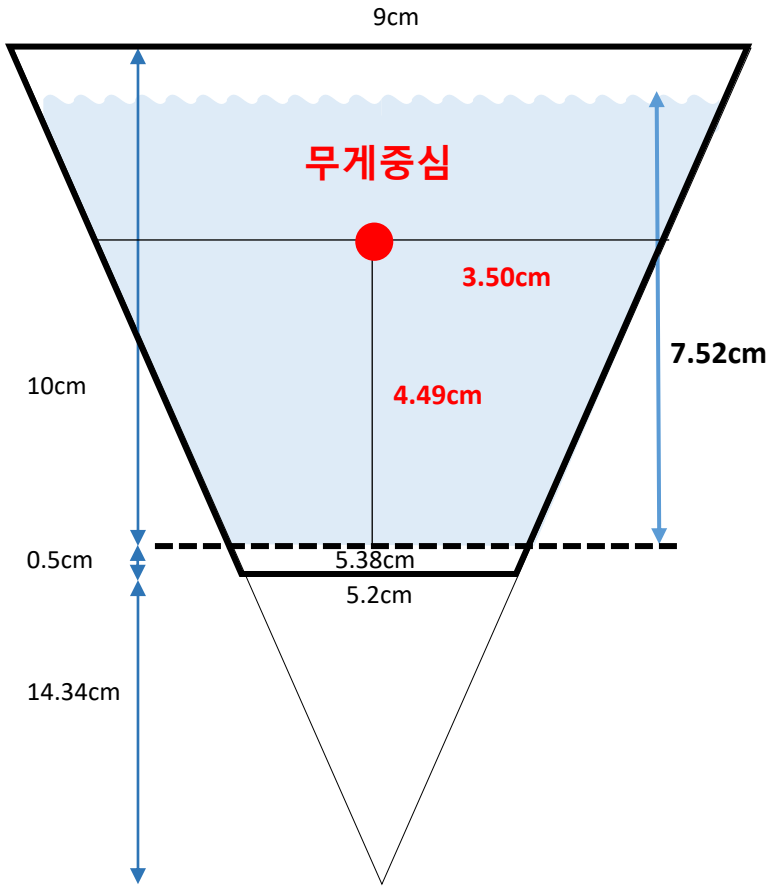
1.1 PAPER CUP 분석

✓ 무게중심부에 Masses를 달아 해석을 진행하기 위해, 무게중심 좌표를 구한다.

사다리꼴을 원뿔로 변경
원뿔 부피 계산을 이용

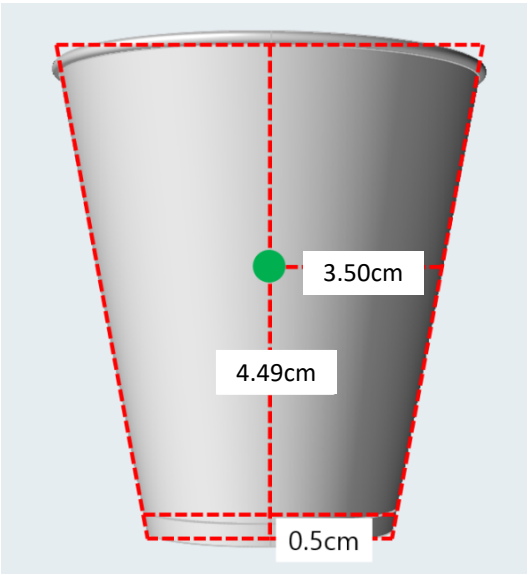


(원뿔부피공식 : $hr^2\pi\frac{1}{3}$, r : 반지름, h : 높이)



< 음료량 최대 80%(4/5) 272ml를 채웠을 때의 무게 중심>

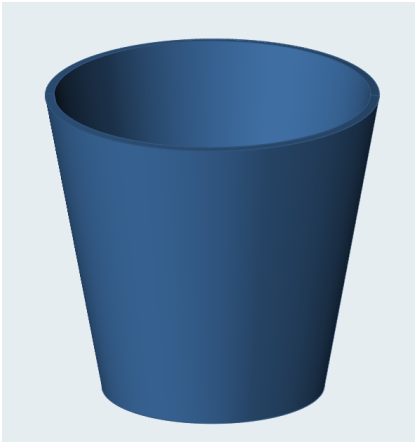
<종이 컵의 무게 중심>



1.2.1 BASIC BODY 분석

✓ 최적화를 진행할 Body Part **다섯 가지 기본 디자인** 생성

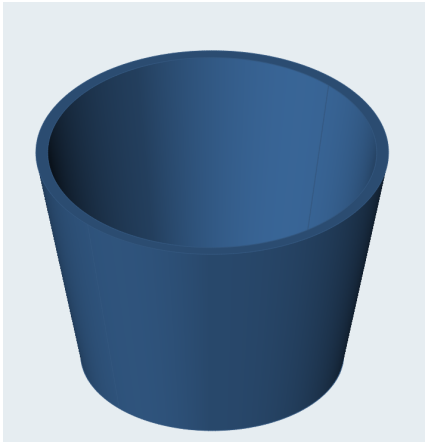
A Design



B Design

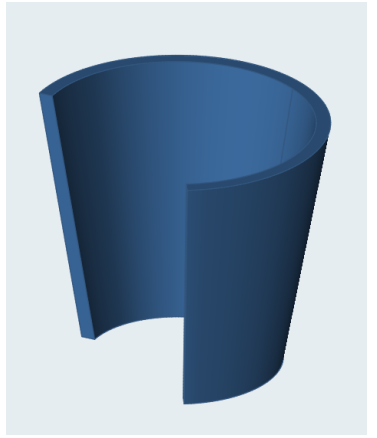
밑바닥 有

C Design



D Design

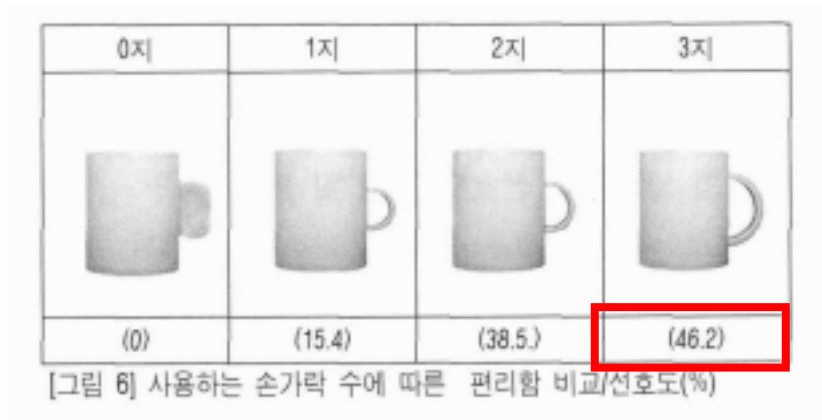
E Design



밑바닥 無

1.2.2 BASIC HANDLE 분석

✓ 컵 지지에 사용하는 손가락 수는 **3지를 선호**하는 것으로 나타남.
✓ 평균 반지 호수를 참고해 **안쪽 길이를 20mm로 정함**



[그림 6] 사용하는 손가락 수에 따른 편리함 비교/선호도(%)

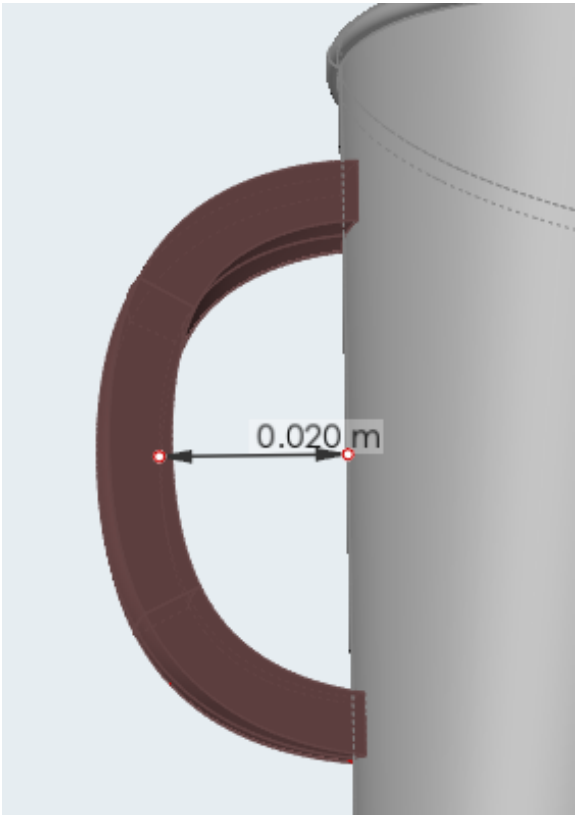
<사용하는 손가락 수에 따른 편리함>

출처 : 이지연 (2006). 도자기 컵 손잡이에 관한 연구. Archives of Design Research, 293-302

반지호수	안지름	반지호수	안지름
1호	13.1mm	16호	18.0mm
2호	13.6mm	17호	18.3mm
3호	13.8mm	18호	18.6mm
4호	14.2mm	19호	19.0mm
5호	14.5mm	20호	19.3mm
6호	14.7mm	21호	19.6mm
7호	15.0mm	22호	19.8mm
8호	15.4mm	23호	20.1mm
9호	15.8mm	24호	20.5mm
10호	16.0mm	25호	20.8mm
11호	16.4mm	26호	21.1mm
12호	16.6mm	27호	21.5mm
13호	17.0mm	28호	21.8mm
14호	17.2mm	29호	22.1mm
15호	17.7mm	30호	22.5mm

<반지 호수 표>

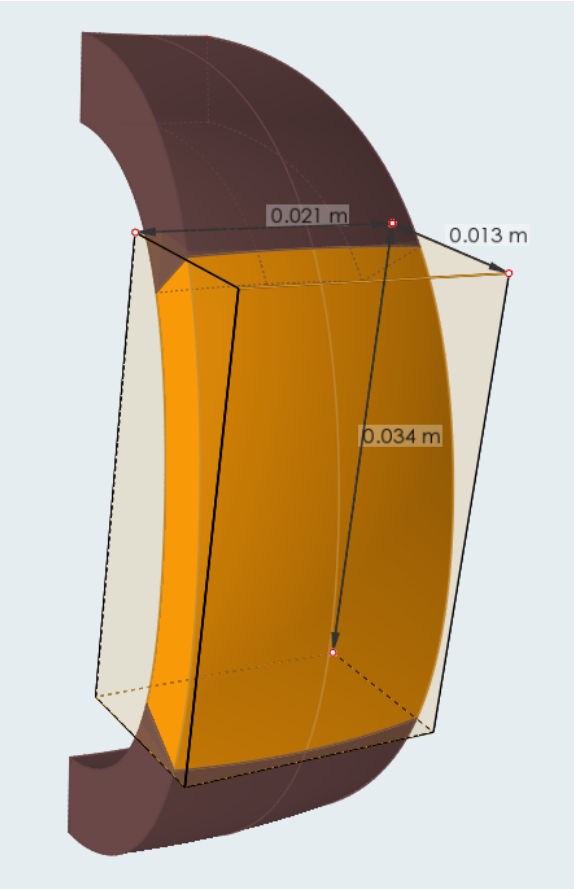
출처 : 매디컬리포트



<손잡이 안쪽 너비>

1.2.2 BASIC HANDLE 분석

✓ 두 마디가 안정적으로 지지할 수 있도록 0.034m를 Grab space로 남기고 최적화 진행



<손잡이 베이스 모델>

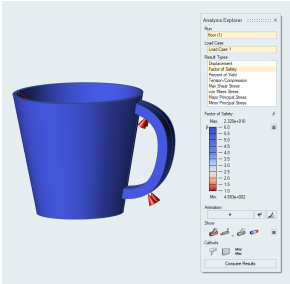
✓ HANDLE에서 사람의 손이 집중적으로 닿는 부분은 잡기 편하도록 남아 있어야한다.

1.2.3 CUP HOLDER 기본 해석

BODY HANDLE

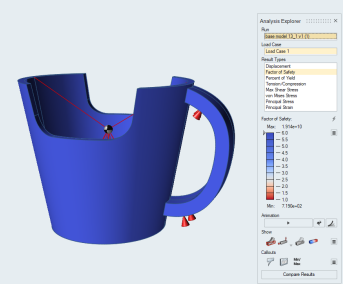
✓ 5가지 Body 디자인 모두 기본 디자인 손잡이와 결합해서 해석했을 때 **최소 안전 계수가 충분히 큰 결과**가 나옴.

A Design



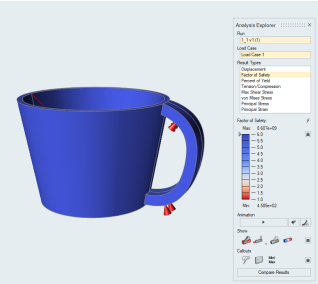
MAX : 2.32 e+10
MIN : 4.583 e+02

B Design



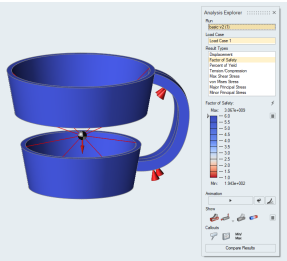
MAX : 1.914 e+10
MIN : 7.19 e+02

C Design



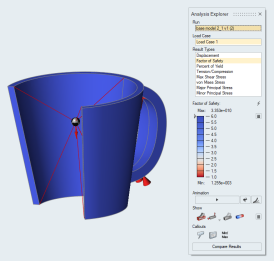
MAX : 8.607 e+9
MIN : 4.585 e+02

D Design



MAX : 3.067 e+09
MIN : 1.943 e+02

E Design



MAX : 3.353 e+10
MIN : 1.255 e+03

→ 여러 극한의 상황 가정을 통해 하중, 지지 조건을 주어 심미적으로 우수한 디자인을 도출해 내고자 함.

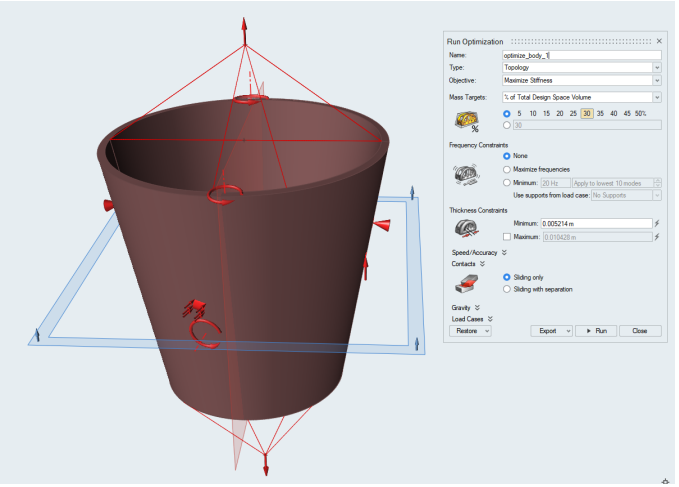
→ 최종 디자인을 일반적인 상황으로 재해석을 진행한 결과를 통해 좋은 성능의 디자인임을 평가.

1.3.1 BODY OPTIMIZATION

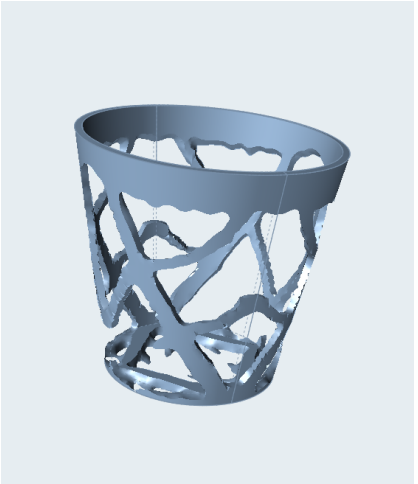
BODY HANDLE

✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 49.93 % **Aluminum**- 49.92 % **Plastic**- 49.93%

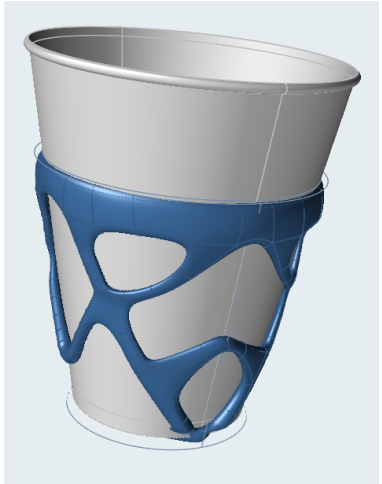
A Design



<BASE DESIGN>



<OPTIMIZATION MODEL>



<AFTER polyNURBS>

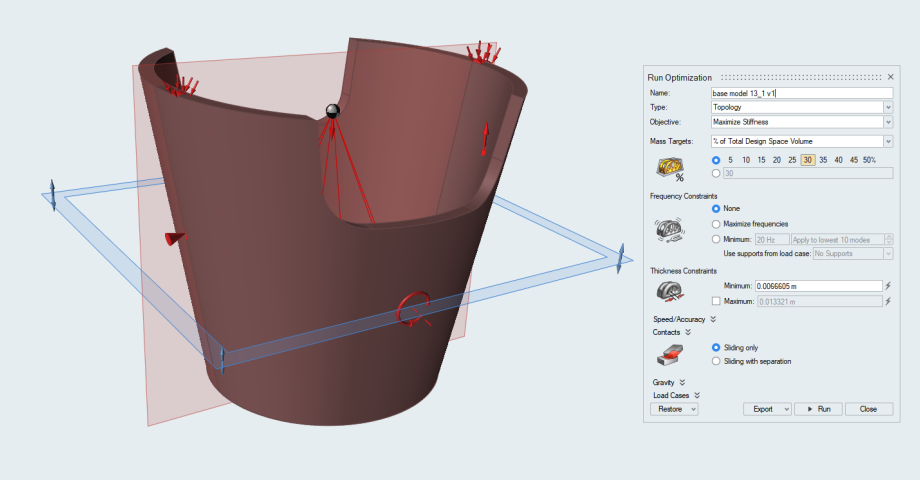
	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.29791kg	0.10694kg	0.013635kg
OPTIMIZATION MODEL	0.080647kg	0.028949kg	0.0036912kg
AFTER polyNURBS	0.14875kg	0.053395kg	0.0068082kg

1.3.1 BODY OPTIMIZATION

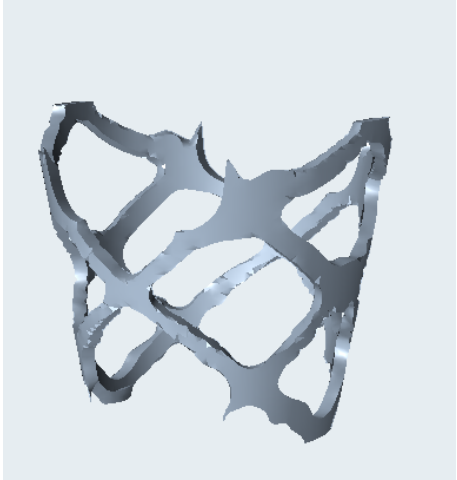
BODY HANDLE

✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 34.34% **Aluminum**- 34.34% **Plastic**- 34.34%

B Design



<BASE DESIGN>



<OPTIMIZATION MODEL>

<AFTER polyNURBS>

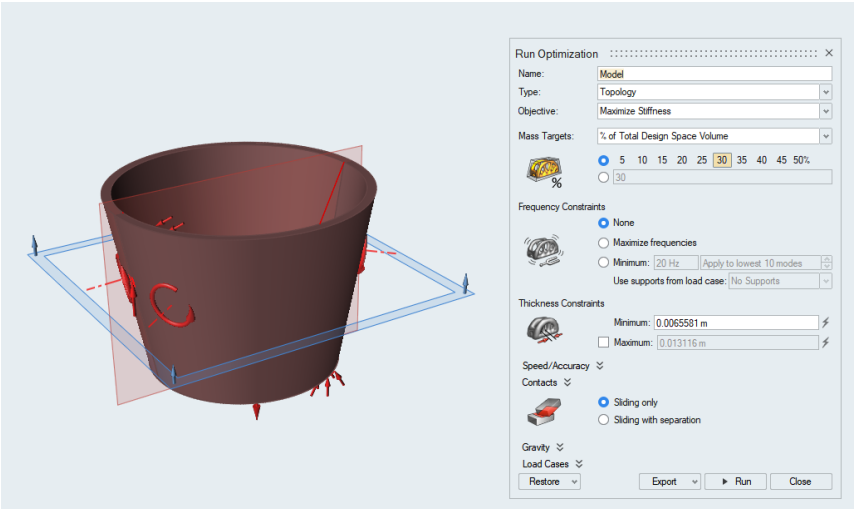
	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.32061kg	0.11509kg	0.014674kg
OPTIMIZATION MODEL	0.077694kg	0.027889kg	0.003556kg
AFTER polyNURBS	0.11012kg	0.039529kg	0.0050402kg

1.3.1 BODY OPTIMIZATION

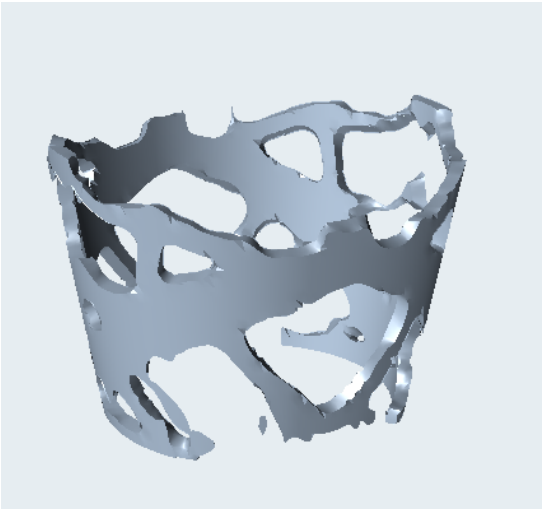
BODY HANDLE

✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 50.59% **Aluminum**- 50.59% **Plastic**- 50.59%

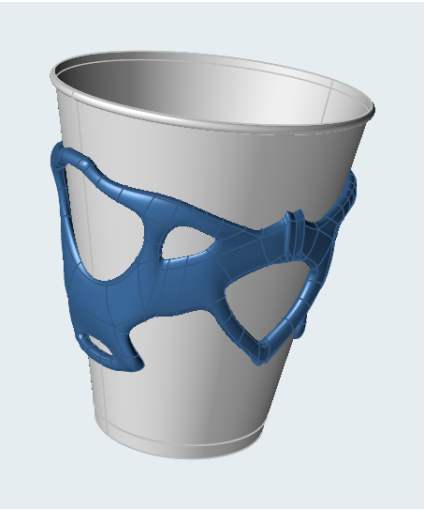
C Design



<BASE DESIGN>



<OPTIMIZATION MODEL>



<AFTER polyNURBS>

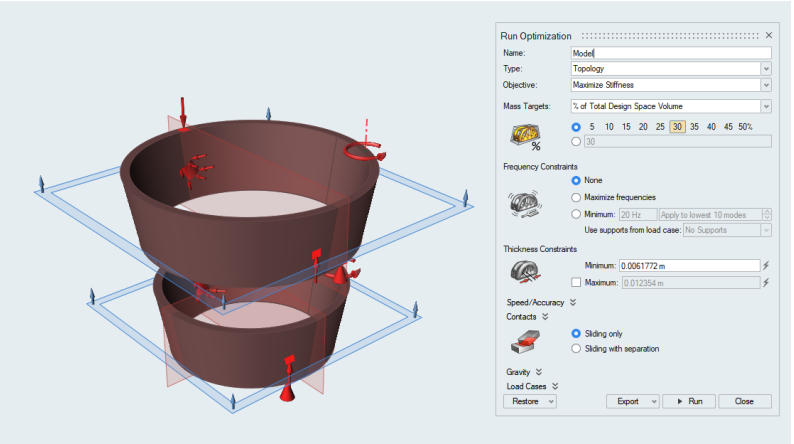
	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.32037kg	0.115kg	0.014663kg
OPTIMIZATION MODEL	0.12955kg	0.046502kg	0.0059292kg
AFTER polyNURBS	0.16209kg	0.058182kg	0.0074186kg

1.3.1 BODY OPTIMIZATION

BODY HANDLE

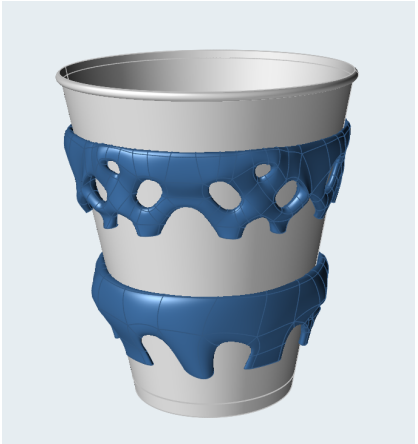
✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 53.38% **Aluminum**- 53.33% **Plastic**- 53.33%

D Design



<BASE DESIGN>

<OPTIMIZATION MODEL>



<AFTER polyNURBS>

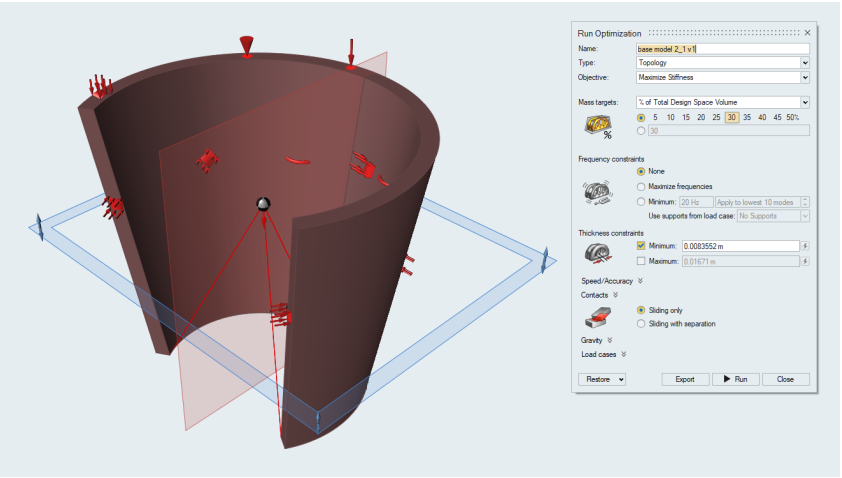
	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.26471 kg	0.095033 kg	0.0121173 kg
OPTIMIZATION MODEL	0.136116 kg	0.04886 kg	0.00623 kg
AFTER polyNURBS	0.141317 kg	0.050727 kg	0.0064678 kg

1.3.1 BODY OPTIMIZATION

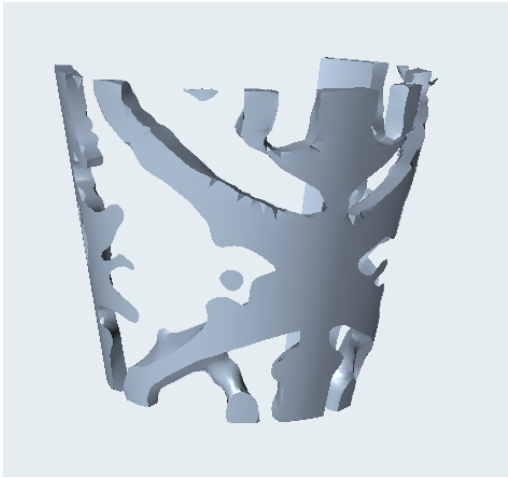
BODY HANDLE

✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 67% **Aluminum**- 67% **Plastic**- 67%

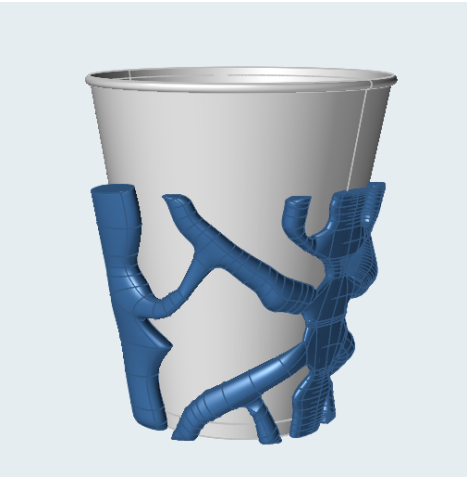
E Design



<BASE DESIGN>



<OPTIMIZATION MODEL>

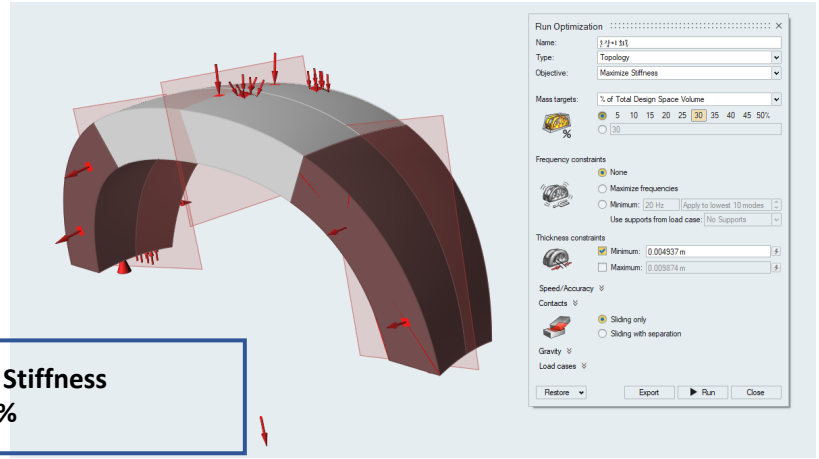


<AFTER polyNURBS>

	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.31022kg	0.11136kg	0.014198kg
OPTIMIZATION MODEL	0.14536kg	0.05218kg	0.0066532kg
AFTER polyNURBS	0.207kg	0.07424kg	0.00946kg

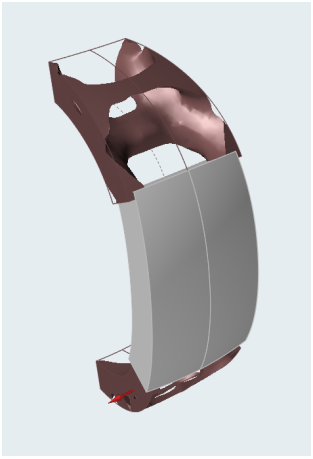
1.3.3 HOLDER OPTIMIZATION

✓ 초기 디자인 대비 무게감소비율 **Steel**- 48.6% **Aluminum**- 48.6% **Plastic**- 48.6%

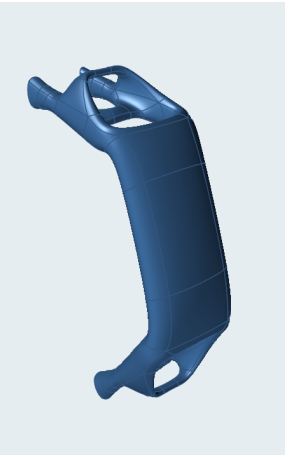


Objection : Max Stiffness
Mass Target: 30%

<BASE DESIGN>



<OPTIMIZATION MODEL>



<AFTER polyNURBS>

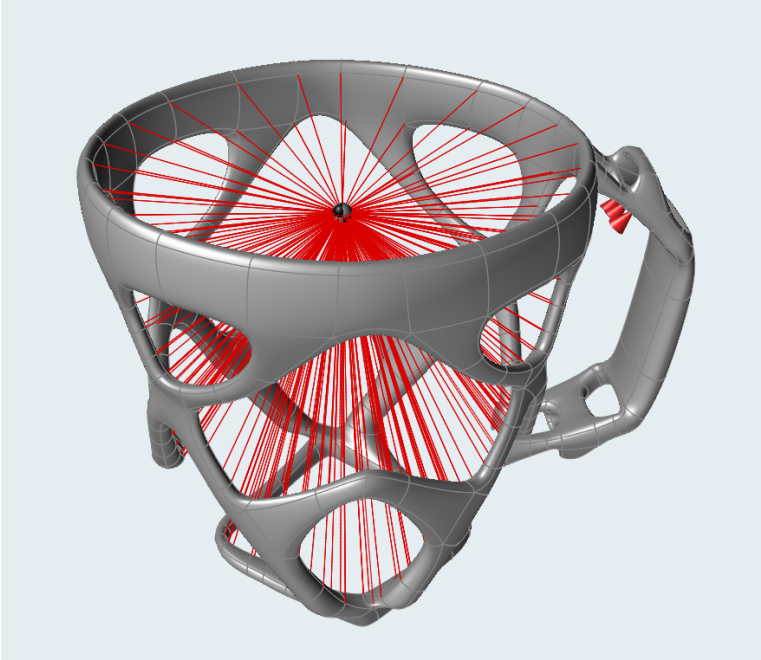
	STEEL	ALUMINUM	PLASTIC
BASE DESIGN	0.064004kg	0.0229773kg	0.00292941kg
OPTIMIZATION MODEL	0.0403988kg	0.0122955kg	0.00184905kg
AFTER polyNURBS	0.031111kg	0.011168kg	0.0014239kg

PART 2 : ANALYSIS & RESULT

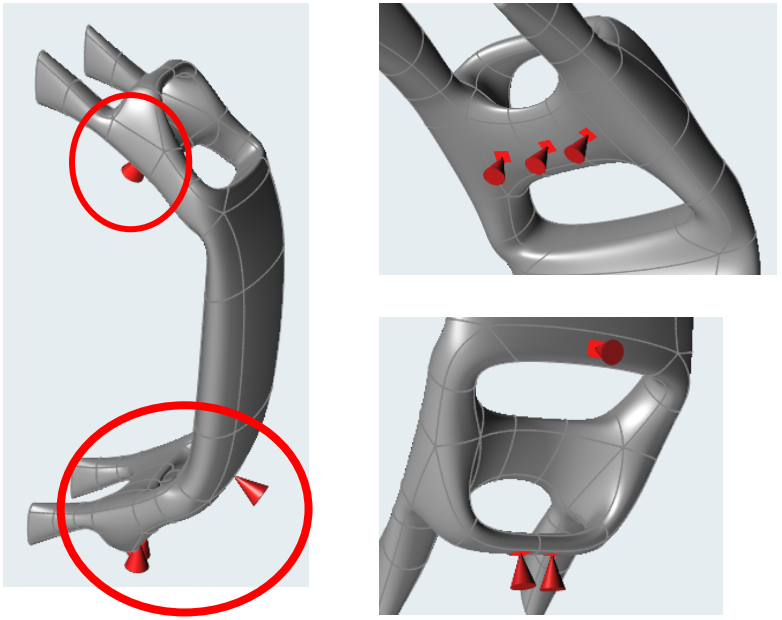
2.1 CUP HOLDER ANALYSIS

BODY HANDLE

- ✓ 무게 중심부에 masses를 설정
- ✓ 사람 손이 손잡이에 힘을 가하는 부분에 지지 적용



<전체 해석 예시 모델>

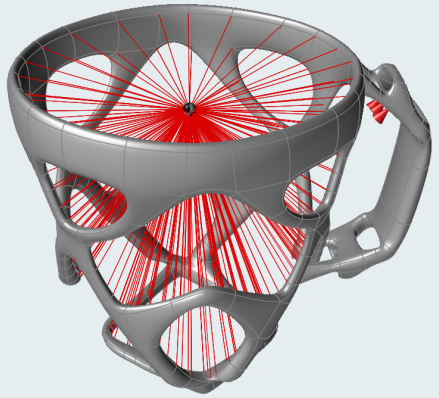


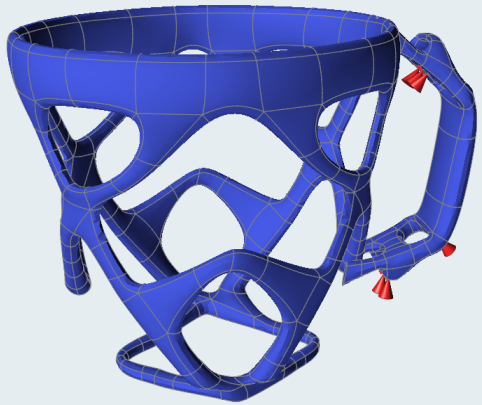
<손잡이 지지부>

2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

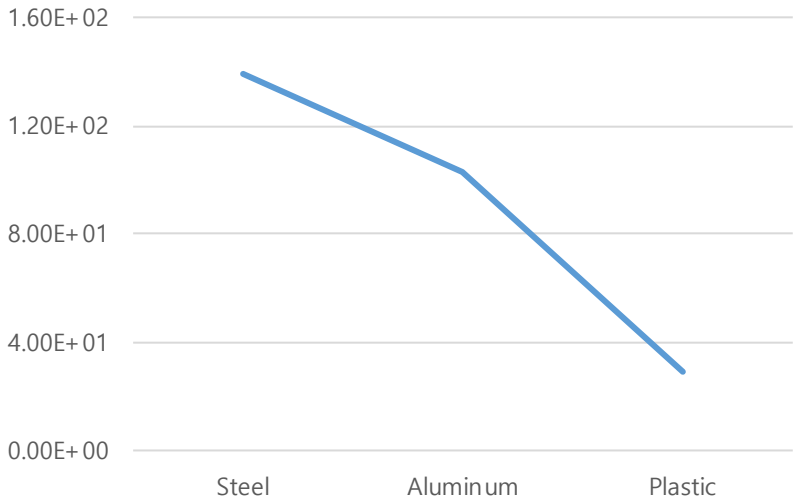
BODY HANDLE

A Design



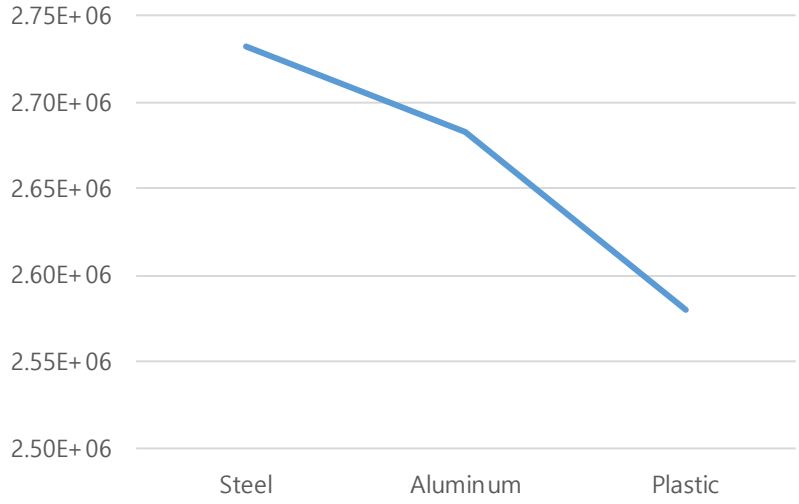


SAFETY FACTOR (Minimum)



Steel	Aluminum	Plastic
1.391 e+002	1.028 e+002	2.907 e+001

STRESS (Maximum)



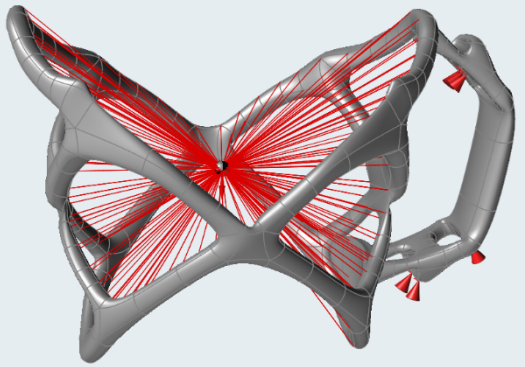
Steel	Aluminum	Plastic
2.732 e+006	2.683e +006	2.580e +006

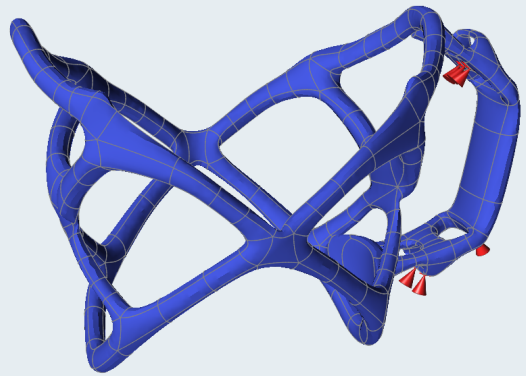
**세가지 물질 중 최소 안전계수가 가장 낮은 것은 플라스틱이다.
**플라스틱의 최소 안전계수인 29.07도 충분히 크다고 판단할 수 있는 수치이다.

2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

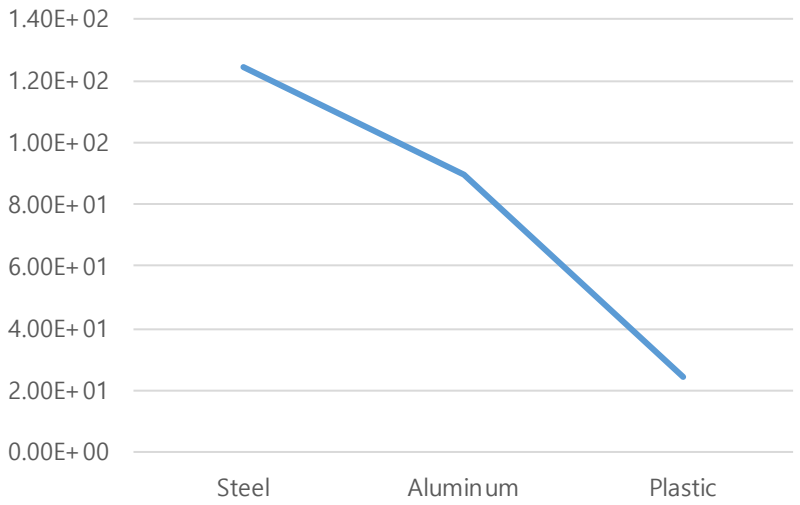
BODY HANDLE

B Design



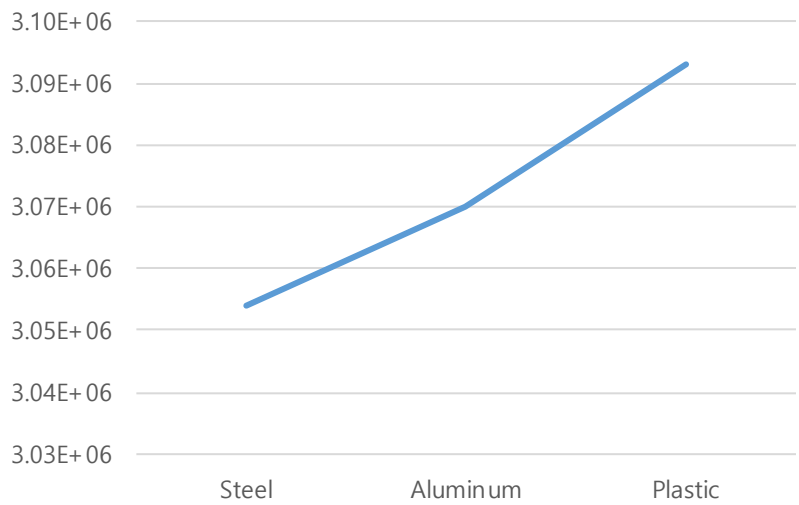


SAFETY FACTOR (Minimum)



Steel	Aluminum	Plastic
1.244 e+002	8.984 e+001	2.425 e+001

STRESS (Maximum)



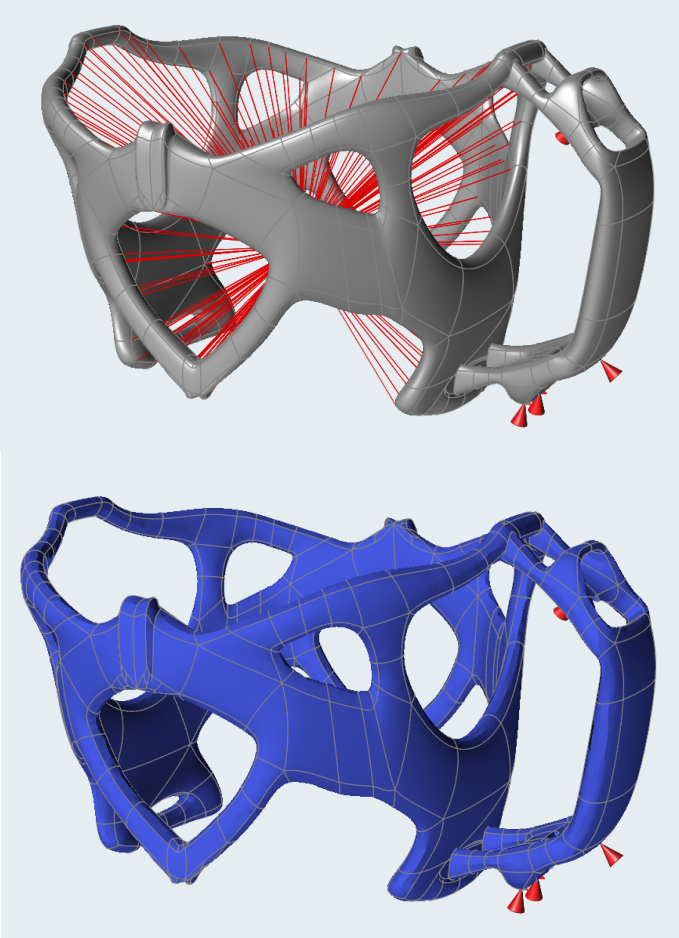
Steel	Aluminum	Plastic
3.054 e+006	3.070 e+006	3.093 e+006

**세가지 물질 중 최소 안전계수가 가장 낮은 것은 플라스틱이다.
**플라스틱의 최소 안전계수인 24.25도 충분히 크다고 판단할 수 있는 수치이다.

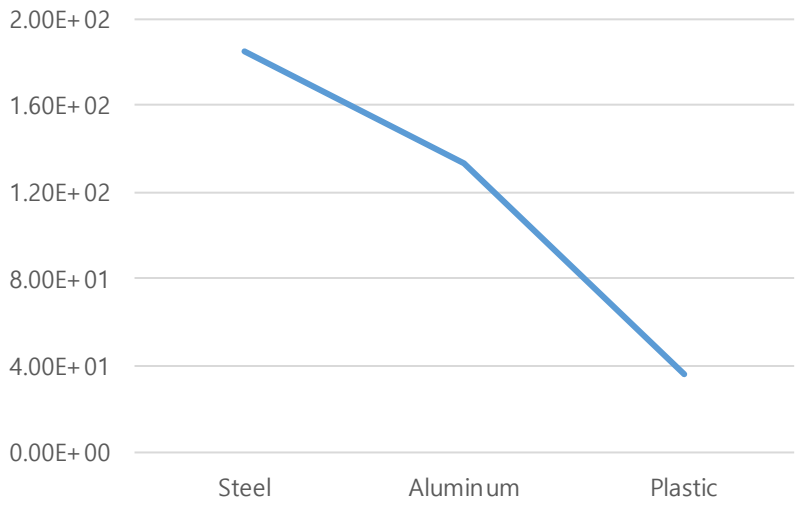
2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

BODY HANDLE

C Design

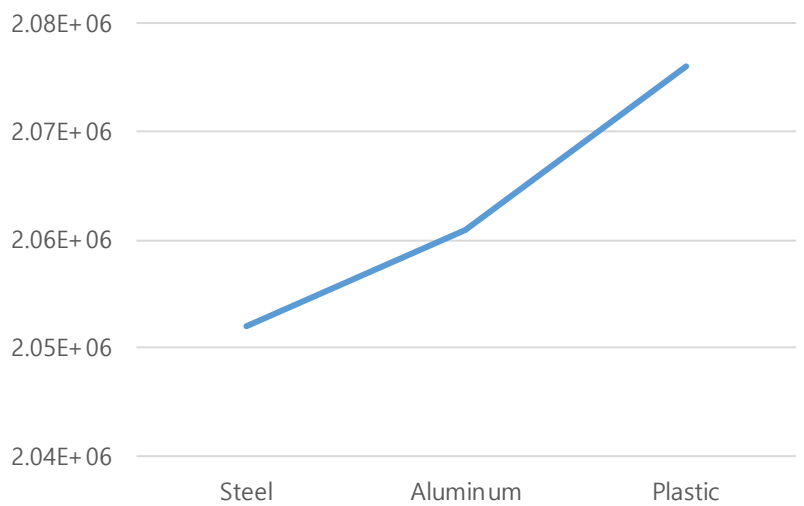


SAFETY FACTOR (Minimum)



Steel	Aluminum	Plastic
1.852 e+002	1.338 e+002	3.613 e+001

STRESS (Maximum)



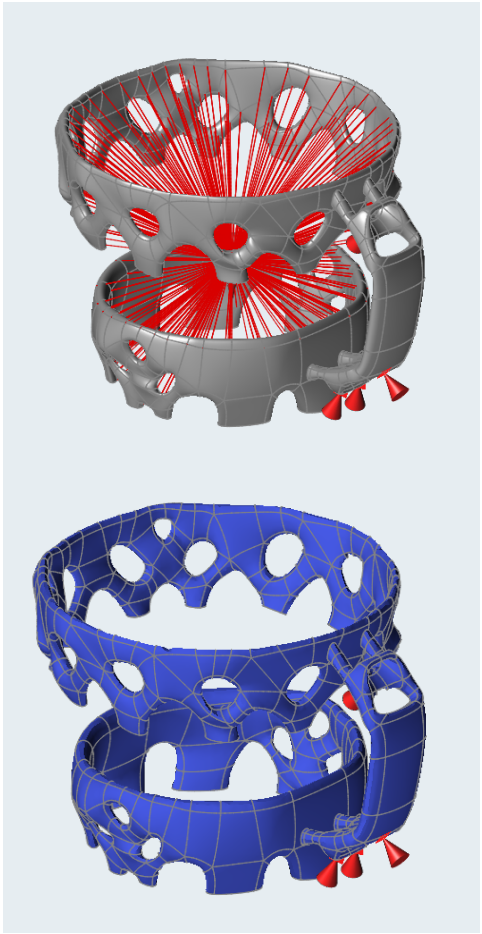
Steel	Aluminum	Plastic
3.054 e+006	3.070 e+006	3.093 e+006

**세가지 물질 중 최소 안전계수가 가장 낮은 것은 플라스틱이다.
**플라스틱의 최소 안전계수인 36.13도 충분히 크다고 판단할 수 있는 수치이다.

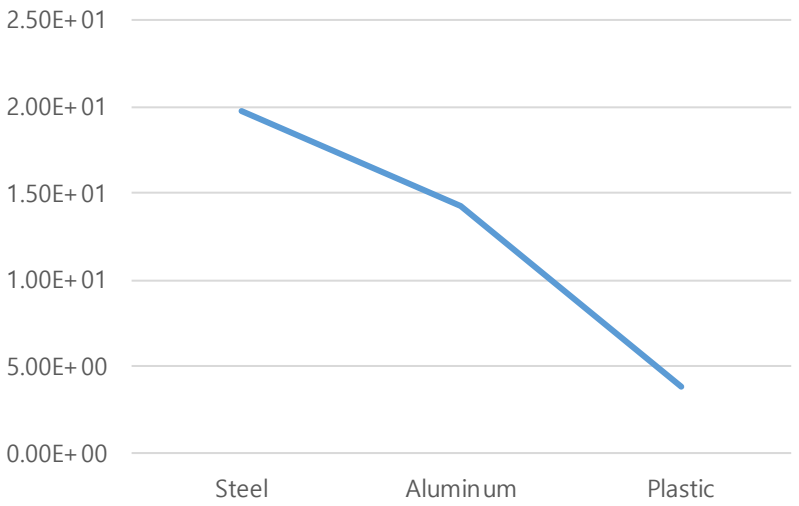
2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

BODY HANDLE

D Design

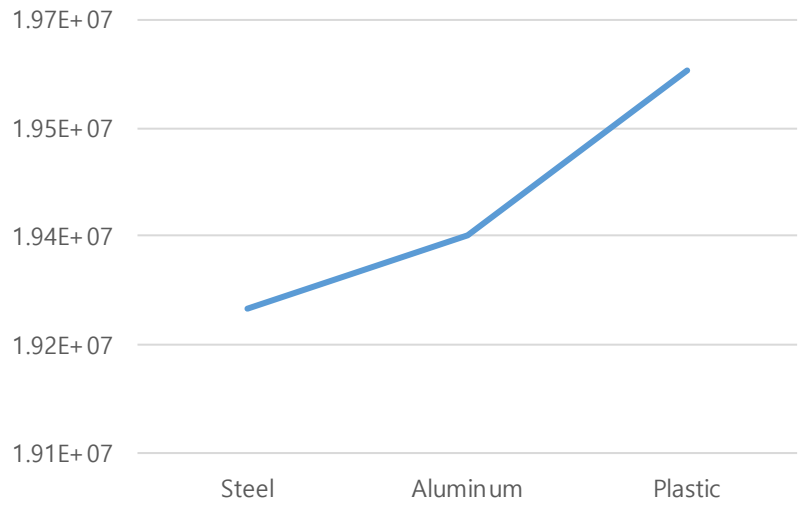


SAFETY FACTOR (Minimum)



Steel	Aluminum	Plastic
1.974 e+001	1.426 e+001	3.831 e+000

STRESS (Maximum)



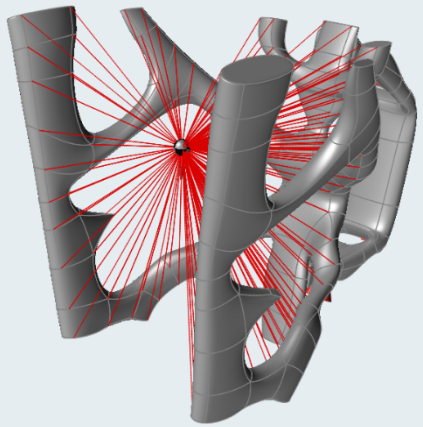
Steel	Aluminum	Plastic
1.925 e+007	1.935 e+007	1.958 e+007

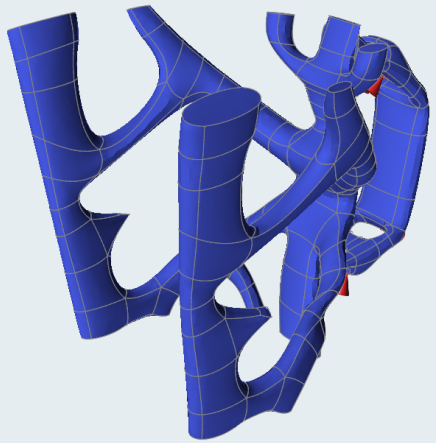
**세가지 물질 중 최소 안전계수가 가장 낮은 것은 플라스틱이다.
**플라스틱의 최소 안전계수인 3.831도 충분히 크다고 판단할 수 있는 수치이다.

2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

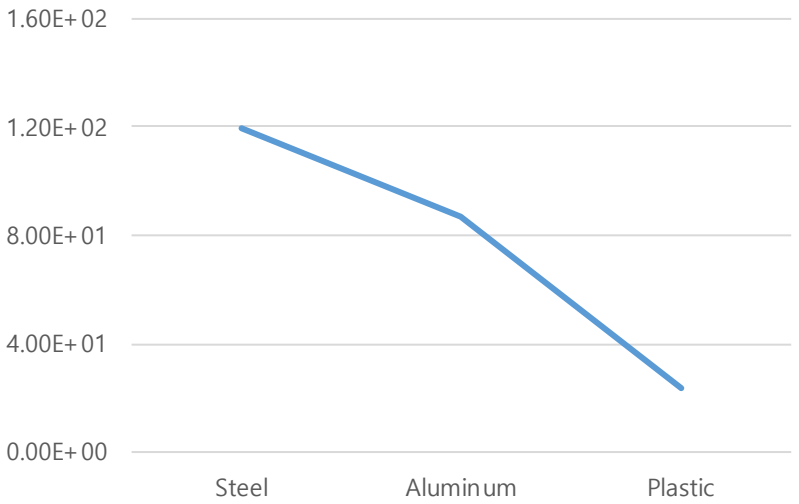
BODY HANDLE

E Design



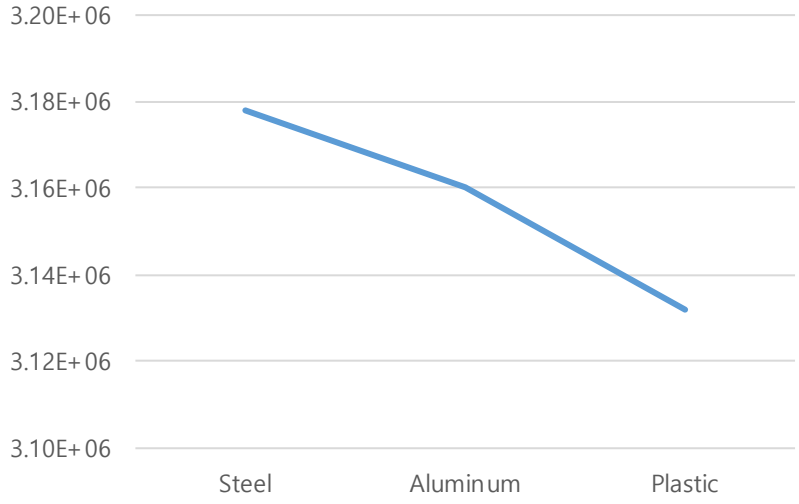


SAFETY FACTOR (Minimum)



Steel	Aluminum	Plastic
1.196 e+002	8.728 e+001	2.359 e+001

STRESS (Maximum)



Steel	Aluminum	Plastic
3.178 e+006	3.16 e+006	3.132 e+006

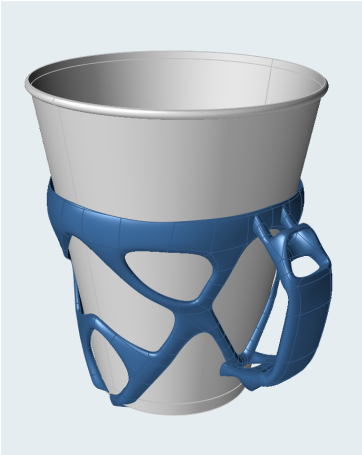
**세가지 물질 중 최소 안전계수가 가장 낮은 것은 플라스틱이다.
**플라스틱의 최소 안전계수인 23.59도 충분히 크다고 판단할 수 있는 수치이다.

2.1.1 CUP HOLDER ANALYSIS _ 공학적 성능

BODY HANDLE

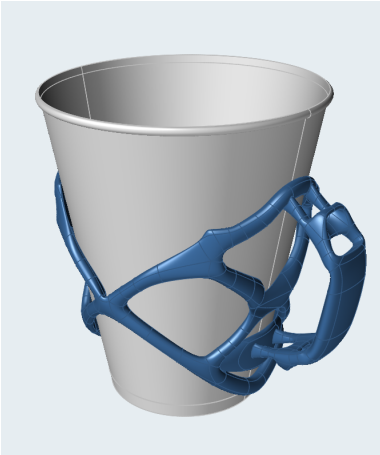
→ 극한의 상황을 가정해서 최적화를 진행했던 과정의 문제가 없음을 확인.

A Design



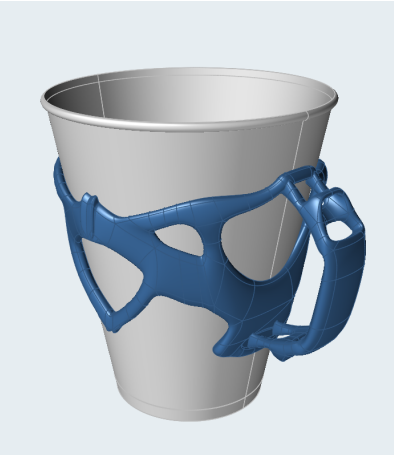
Safety factor
Steel 1.391 e+002
Al 1.028 e+002
Plastic 2.907 e+001

B Design



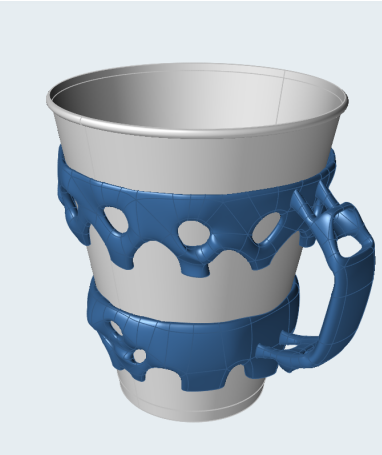
Safety factor
Steel 1.244 e+002
Al 8.984 e+001
Plastic 2.425 e+001

C Design



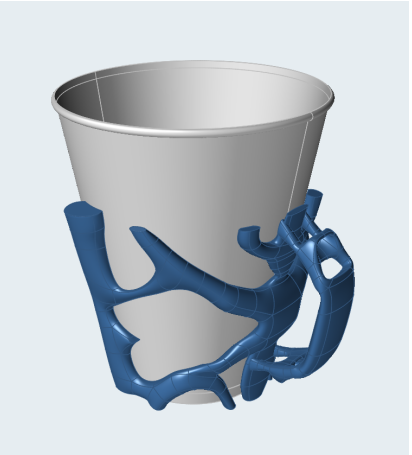
Safety factor
Steel 1.852 e+002
Al 1.338 e+002
Plastic 3.613 e+001

D Design



Safety factor
Steel 1.974 e+001
Al 1.426 e+001
Plastic 3.831 e+000

E Design



Safety factor
Steel 1,196 e+002
Al 8.728 e+001
Plastic 2.359 e+001

✓ 극한의 상황(무작위 하중)을 가정한 후 최적화가 진행된 다섯가지 모델을 모두 일반적인 상황으로 재해석을 진행했다.

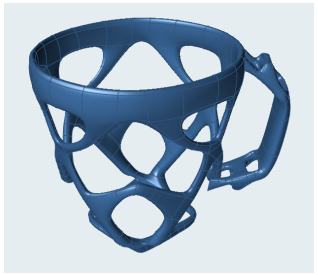
→ **안전계수 값이 상당히 높아 성능적 문제가 없다고 판단**할 수 있다.

2.1.2 CUP HOLDER ANALYSIS _ 재료비 (COST)

BODY HANDLE

→ 각 모델의 부피당 재료비(Cost)를 계산함. 재료비는 Aluminum이 가장 비싸고, Plastic이 가장 싸다.

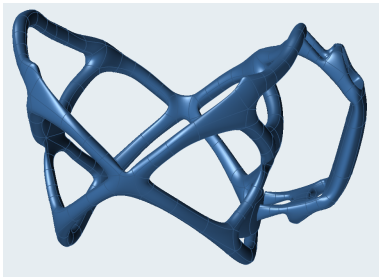
A Design



Steel : 약 211원
Aluminum : 약 1056원
Plastic : 약 33원

부피 : 2.54672 e-05 m^3

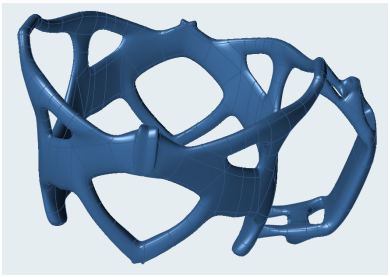
B Design



Steel : 약 174원
Aluminum : 약 872원
Plastic : 약 27원

부피 : 2.10398 e-05 m^3

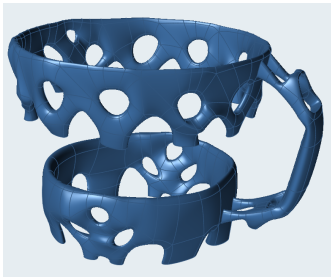
C Design



Steel : 약 228원
Aluminum : 약 1142원
Plastic : 약 36원

부피 : 2.75424 e-05 m^3

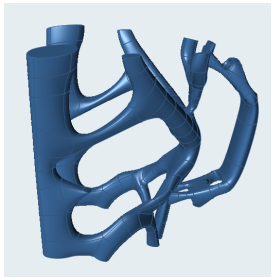
D Design



Steel : 약 277원
Aluminum : 약 1387원
Plastic : 약 43원

부피 : 3.34458 e-05 m^3

E Design



Steel : 약 273 원
Aluminum : 약 1363원
Plastic : 약 43원

부피 : 4.52039e-06 m^3

Al판 8월 가격 (공장도가격 : 현금, 공장상차도 가격)

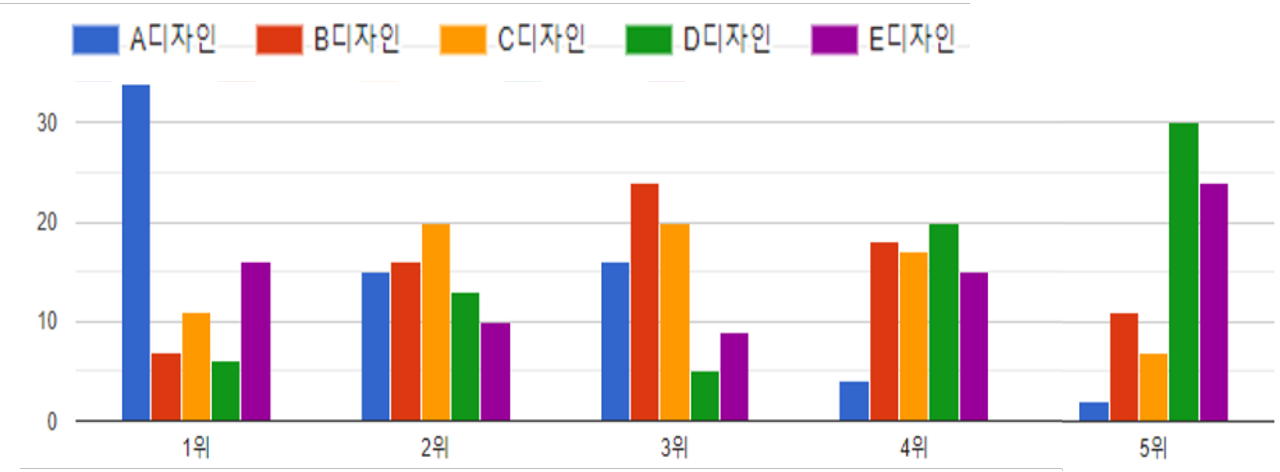
제품명	규격(크기)	공장도 가격
	0.2×400×1200㎜	3,980

철의 비중(7.876)은 알루미늄 비중(2.7)의 약 3배 (2.92배)
동일 무게로 비교했을때 철의 가격은 알루미늄 가격의 7% 수준 (6.74%)
동일 부피로 비교했을때 철의 가격은 알루미늄 가격의 20% 수준 (19.66%)

재료비 참고 자료

2.1.3 BODY 심미적 디자인 고객 대상 설문

✓ 잠재적 고객 **74명**에게 5가지 Body 디자인에 대한 선호도 조사를 실시해 심미성에 대한 순위를 매겼음.

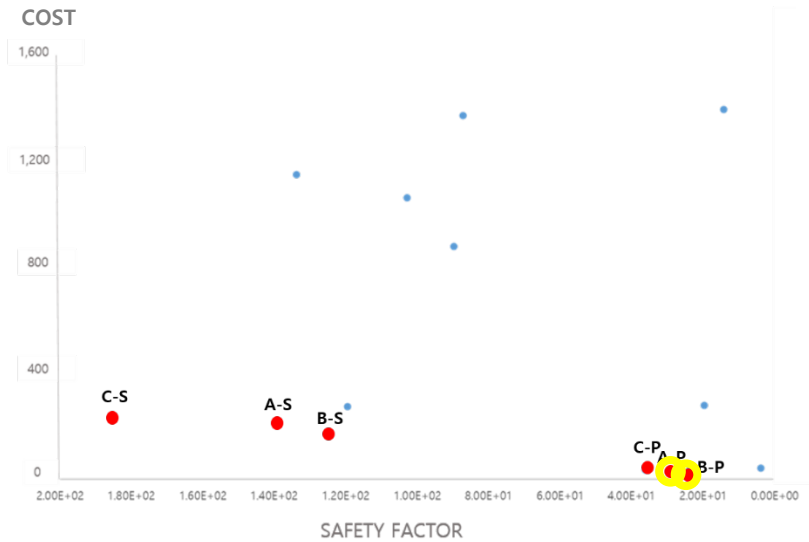


디자인	1위	2위	3위	4위	5위	합계	순위
A	34	15	16	3	2	**288**	**1**
B	7	16	24	18	11	**218**	**3**
C	11	20	20	17	7	**236**	**2**
D	6	13	5	20	30	**167**	**5**
E	16	10	9	15	24	**201**	**4**

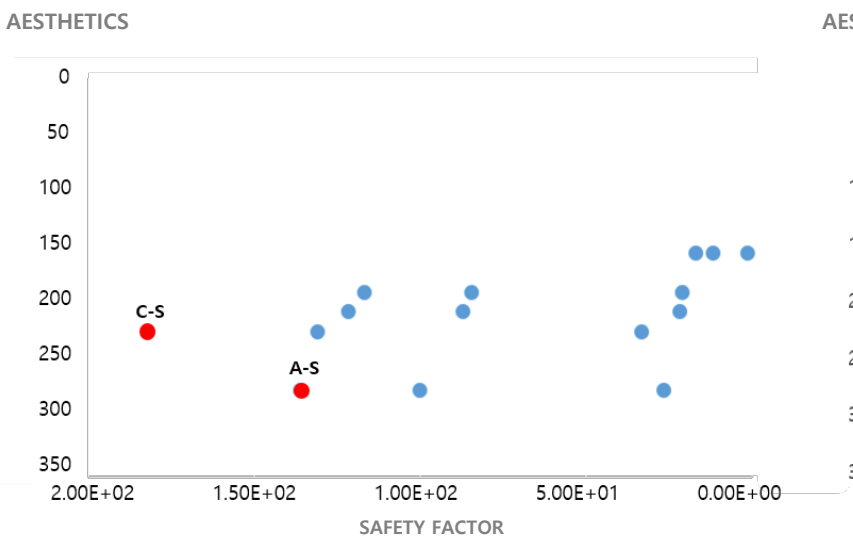
합계 계산 방법 → 1위 : 5점, 2위 : 4점, 3위 : 3점, 4위 : 2점, 5위 : 1점의 각 스케일을 적용

2.2 결과 _ 파레토 분석

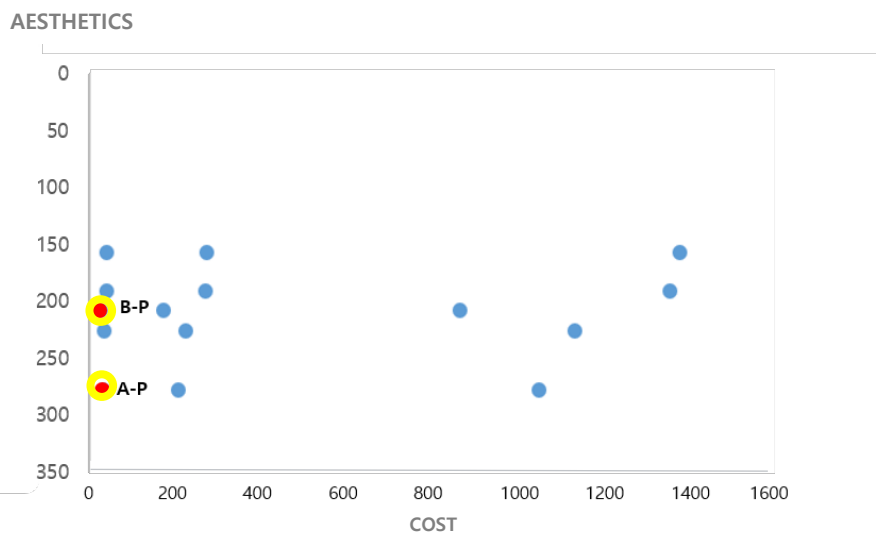
→ 파레토 곡선 분석은 각각 디자인 별 재질에 따른 Cost, Safety Factor, Aesthetics 값들로 2차원 분석을 통해 곡선 상 가장 좋은 값들을 추출.
→ 분석 결과, 세개의 파레토 곡선 상에 A design의 Plastic, B design의 Plastic, A design의 Steel, C design의 Steel의 모델이 선정이 됨.
→ Safety Factor를 제외한 Aesthetics-Cost 파레토 분석에 포함된 설계안인 A design의 Plastic, B design의 Plastic를 최종 모델로 선정.



< Cost - Safety Factor 파레토 분석>



< Aesthetics - Safety Factor 파레토 분석>

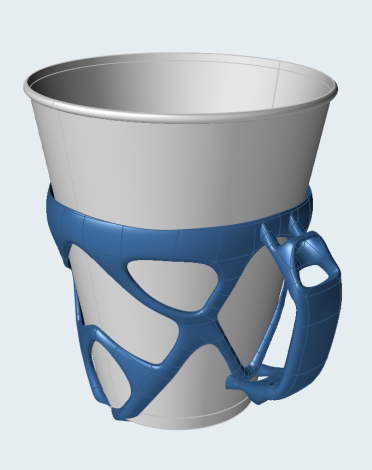


< Aesthetics - Cost 파레토 분석>

S : Steel
P : Plastic
A : Aluminum

2.3 향후 발전 계획 및 개발 사항

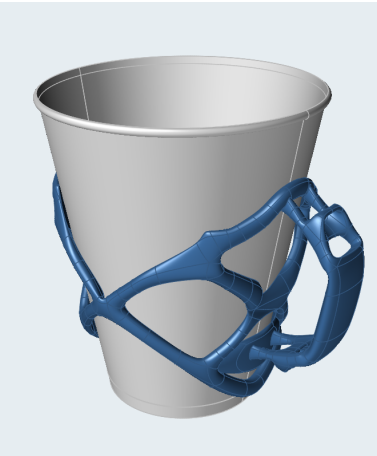
A Design _ Plastic



최종 모델 A_P 특징

초기 디자인 대비 무게감소비율
: 49.93%(Body)+48.6%(Handle)
예상 재료비
: 약 33원
최소 안전 계수
: 29.07
심미성 순위 : 1위

B Design _ Plastic



최종 모델 B_P 특징

초기 디자인 대비 무게감소비율
: 34.34%(Body)+48.6%(Handle)
예상 재료비
: 약 27원
최소 안전 계수
: 24.25
심미성 순위 : 3위

최종 설계안
Ver.2

향후 개발 사항

- 열전달 해석
- 손잡이 디자인 다양화
- 환경적 요인 확인

THANK YOU