ALTAIR 2019
1417

성균관대학교
오상현, 남가배

목차

CONTENTS

1. 개요

1.1 배경조사

1.2 설계목표

1.3 1차 모델 디자인

2. 해석 설정 조건

2.1 열 해석

2.2 구조해석

3. 해석 실행

3.1 진행과정

3.2 1차 해석 & 최적화

3.3 2차 모델 디자인

3.4 2차 해석 & 최적화

3.5 최종 모델 디자인

4. 결론

4.1 안전성 검토

4.2 제작성 검토

ALTAIR 2019

1417

1. 개요

1.1 배경조사

1.2 설계목표

- 기본적인 요건
- 경량화
- 열전달 최소화
- 최종목표

1.3 1차 모델 디자인

- 인체 공학적 디자인
- 열전달 최소화
- 최종 모델

1.1 배경조사

- 점점 수요가 늘어나는 테이크아웃 음료
  - 이에 따른 컵홀더의 수요 증가

현재 판매 중인 컵홀더들을 살펴보았다.

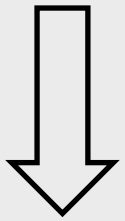
문제점

- 열전달과 구조적 성능을 고려하지 않은 제품들
- 다양하지 않고 비슷한 디자인들
- 손잡이가 없거나 제 역할을 하지 못하는 경우가 다수

1.2 설계목표

기본적인 요건

손잡이가 있어야 한다.
물이 담긴 12oz의 컵의 무게를 견딘다.
고온과 저온의 온도에서도 견뎌야 한다.



인체공학적인 설계

열전달을 최소화하는 설계

여러가지 하중에도 견디는 설계

1.2 설계목표 경량화

✓ 무게 목표 설정 기준

이 제품은 시중에 판매되는 컵홀더로 그 모양이 매우 간단하며 손잡이가 있어 우리의 모델과 비교 대상으로 알맞다.

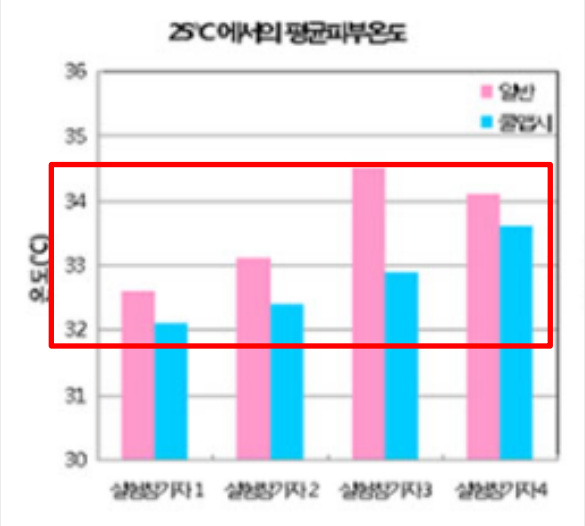
해당 제품의 무게는 **45g.**
따라서 컵홀더의 무게는 45g을 넘어서는 안된다.

따라서 무게는 61g에서 **45g 이하로**

경량화 되어야 한다.

1.2 설계 목표 열전달 최소화

뜨거울 경우 컵 표면 목표 온도 설정



자료=국립환경과학원

➢ 목표

사람이 직접 닿는 피부온도인 32.5~34.5℃의 평균인 33.5℃ 보다 낮은 온도로 손잡이와 컵 표면 온도를 맞추는 것

차가울 경우 컵 표면 목표 온도 설정

냉방병 : 온도차가 심할 경우에 인체가 잘 적응하지 못해서 발생하는 것으로, 가벼운 감기, 몸살, 권태감 같은 증상

자료 = 서울대학교 병원

예방방법 : 온도차를 5~6 ℃ 이하로 유지

➢ 목표

온도를 실내 대기 온도로 설정한 25 ℃ 에서 5 ℃ 를 뺀 20 ℃ 이상으로 설정

1.2 설계목표

최종 목표

무게 45g 이하 감소

표면온도 20~33.5℃

1.3 1차 모델 디자인

인체공학적 디자인

손잡이 모양 설계

자료1. 실험 결과

일자로 펴진 상태의 손목에서 좌우 또는 상하로 각도가 틀어질수록 불편하다.
여기서 틀어지는 각도와 느끼는 불편함은 선형적으로 비례한다. (약 2kg의 하중 하에서)

자료 출처
고려대학교 대학원 논문
'< 손목 자세 및 외부 부하에 따른 심물리학적 불편도 평가 모델 개발 >' 발췌

자료 2.
손목이 20도 이상 꺾이는 자세가 계속될 경우 편위에 따른 손목에 통증이 유발됨.

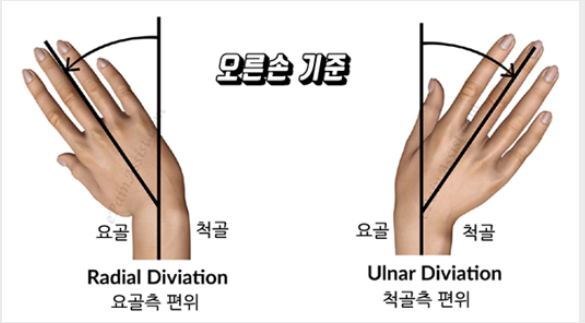
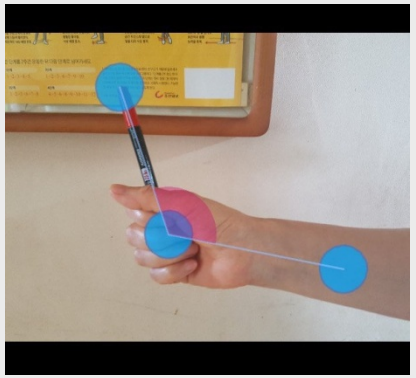
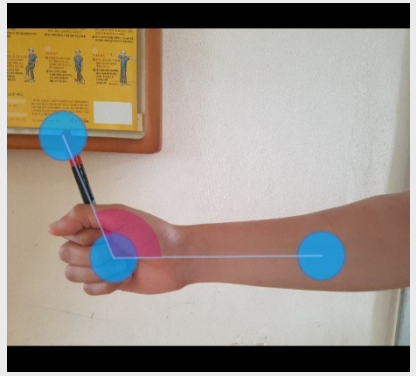
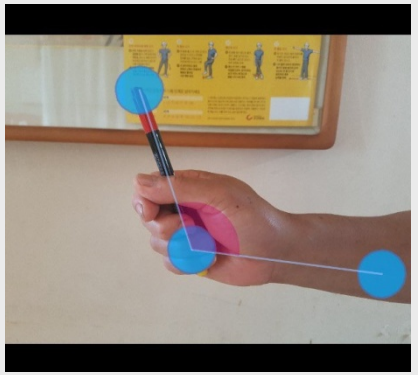


사진 출처
구글 척골측 편위 검색

손목이 일자로 펴진 각도를 측정하여
손잡이 디자인에 반영하자.

1.3 1차 모델 디자인

인체공학적 디자인

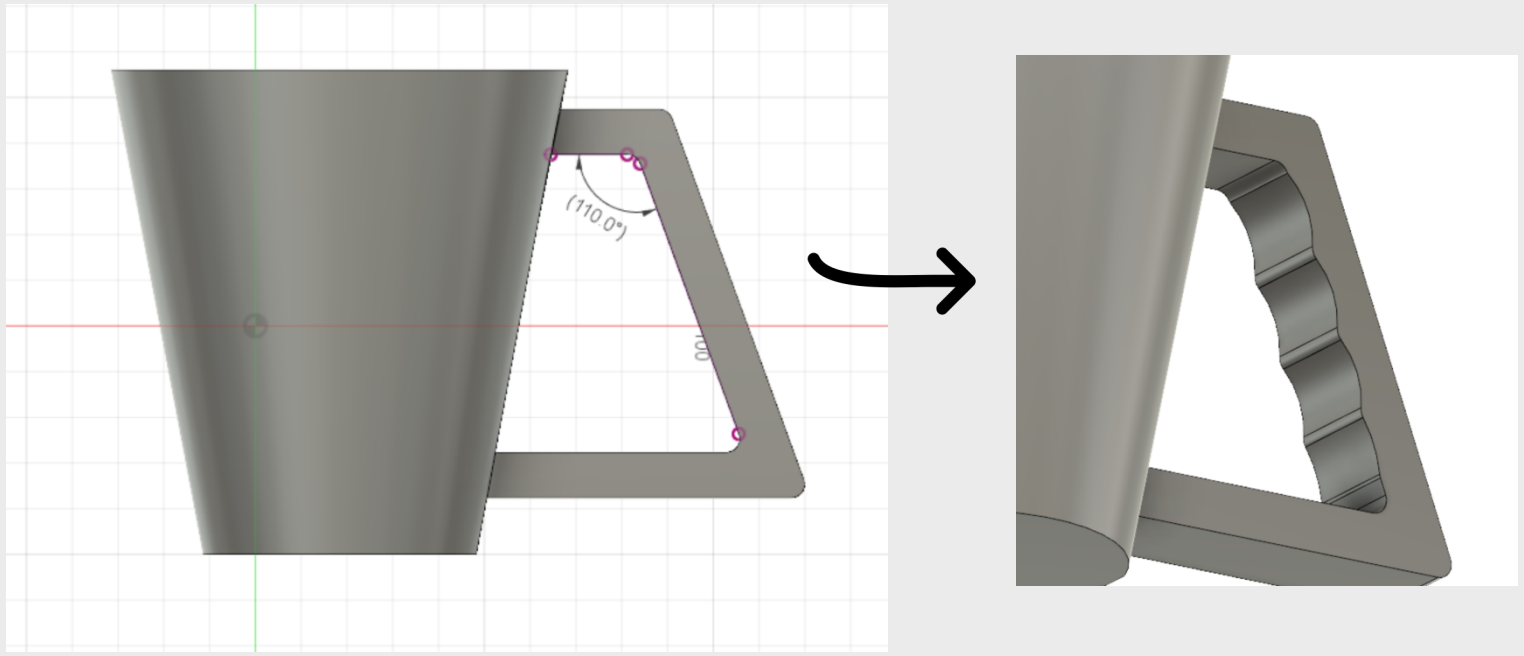
실험 내용
다섯명의 사람에게 동일한 펜을 쥐게 한 후 사진을 촬영한다.
각도를 측정하여 손잡이의 각도를 유도해 낸다.

실험 결과
평균은 110도가 나왔다. (105~120도)

따라서 **손잡이의 각도는 110°가 되도록 디자인한다.**

1.3 1차 모델 디자인

인체공학적 디자인



- 12oz 사이즈의 컵이 들어가게 설계하였다.
- 손잡이의 각도가 **110º**
- 손잡이에 **홈을 파 사용자 친화적**인 컵을 디자인하였다.

1.3 1차 모델 디자인 열전달 최소화

기본적인 온도 설정

	설정 온도(℃)
대기온도	25
Hot (뜨거운 경우)	80
Cold (차가운 경우)	0

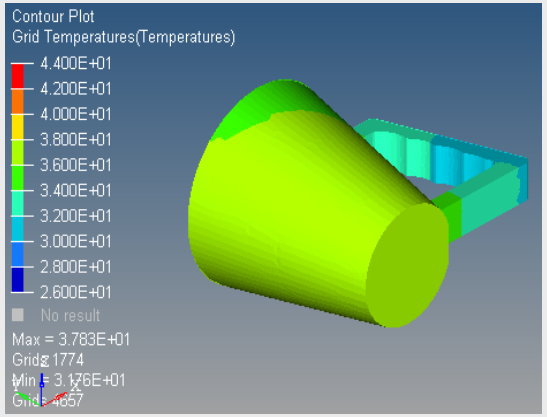
- SPC, Convection, Conduction 영역 설정은
  해석 설정 조건에 나오는 설정 사용

1.3 1차 모델 디자인

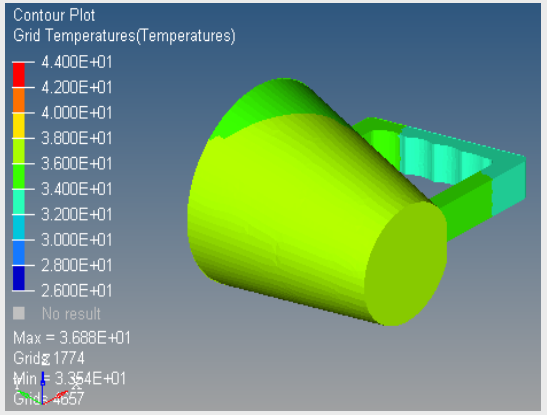
열전달 최소화

뜨거운 경우 재료별 온도 비교 분석

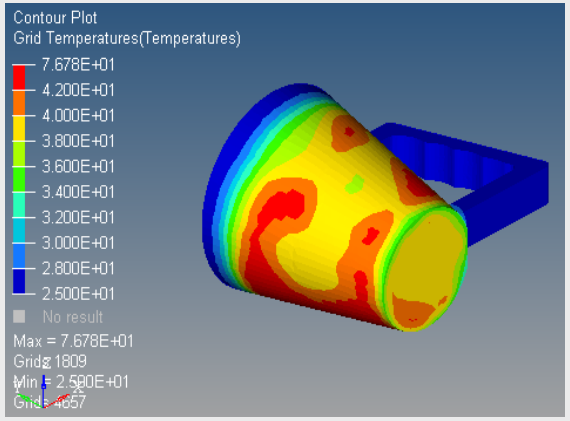
steel, aluminum, plastic을 각각 재질로 설정하여 같은 조건 하에서 해석 실행



Steel



Aluminum



Plastic

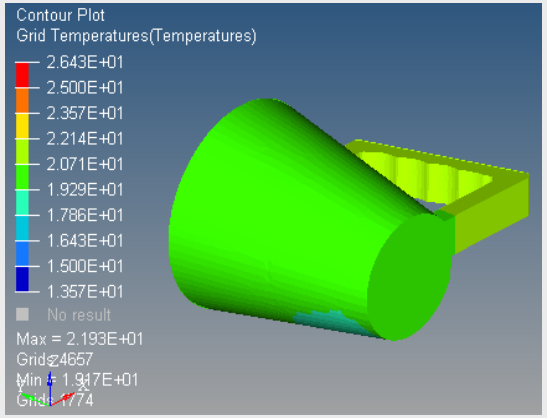
재질	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고온도(℃)	목표 설계 온도
Steel	34.1	불만족	37.8	불만족
Aluminum	35.2	불만족	36.8	불만족
Plastic	25(설정 대기 온도)	만족	42.2	불만족

1.3 1차 모델 디자인

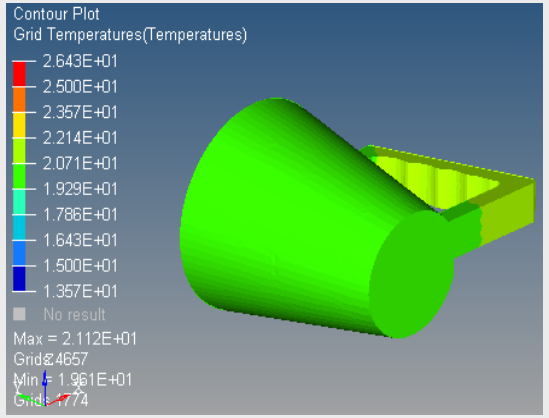
열전달 최소화

차가운 경우 재료별 온도 비교 분석

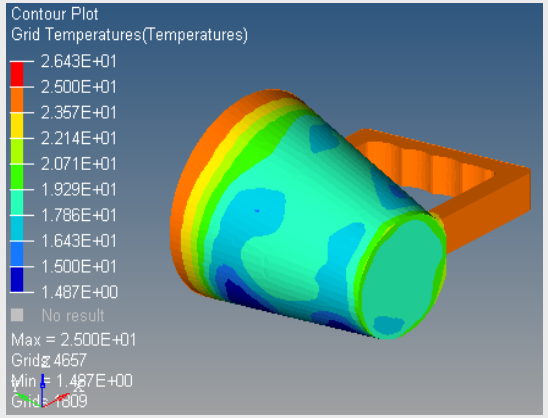
steel, aluminum, plastic을 각각 재질로 설정하여 같은 조건 하에서 해석 실행



Steel



Aluminum



Plastic

재질	손잡이 최저 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최저 온도(℃)	목표 설계 온도
Steel	20.7	만족	19.3	불만족
Aluminum	19.3	불만족	19.3	불만족
Plastic	23.6	만족	14.8	불만족

1.3 1차 모델 디자인

열전달 최소화

기본 모델 재료 선택

경우	목표 설계 만족 개수 (Hot)	목표 설계 만족 개수 (Cold)
Steel	0개	1개
Aluminum	0개	0개
Plastic	1개	1개

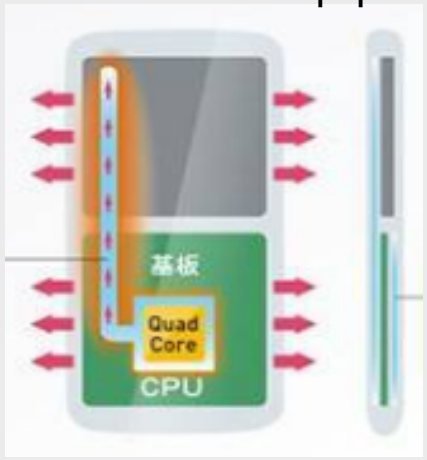
* 각 경우당 만족 개수는 최대 2개

➢ 만족 개수가 가장 많은 Plastic을 재료로 선정

1.3 1차 모델 디자인

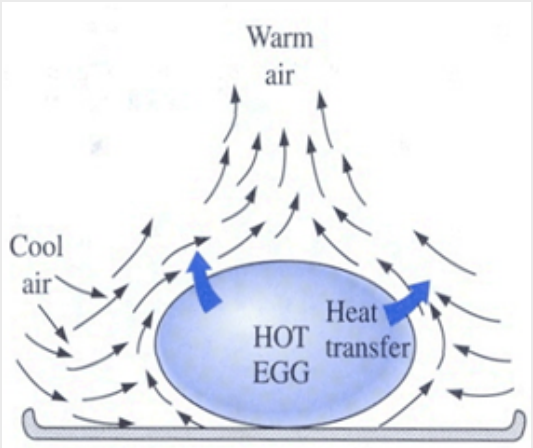
열전달 최소화

핸드폰 heat pipe



https://vrzone.com/articles/smartphones-in-2014-might-come-with-water-cooled-heat-pipes/38622.html

자연 대류



https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=cfd5964&logNo=20164925484&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

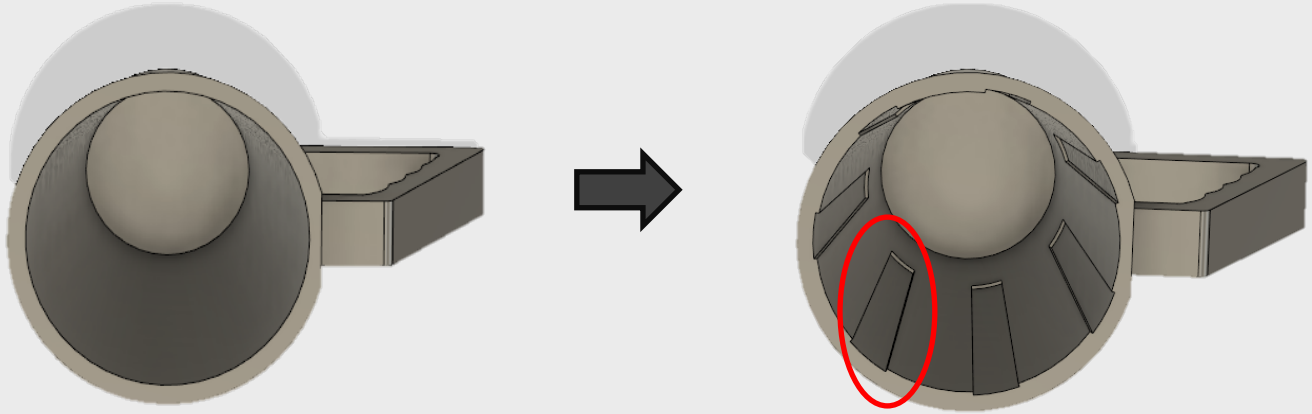
Design idea

- 핸드폰 heat pipe와 같이 컵 표면이 아닌 외부로 내부 열을 전달해 열전도 방해하고, 컵 홀더 일정 온도 유지
- Heat pipe를 통해 전달되는 열을 자연대류를 이용해 위로 대류 시켜 외부로 열 방출

1.3 1차 모델 디자인

열전달 최소화

열전달 최소화를 위한 디자인



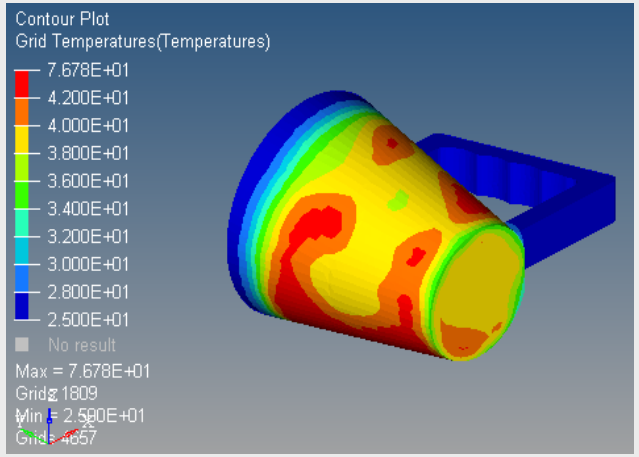
Design

- heat pipe와 같이 컵 내부 표면을 일정한 두께로 회전해서 깎는다
- 손잡이 부분은 큰 응력을 견뎌야 하므로 피해서 깎는다

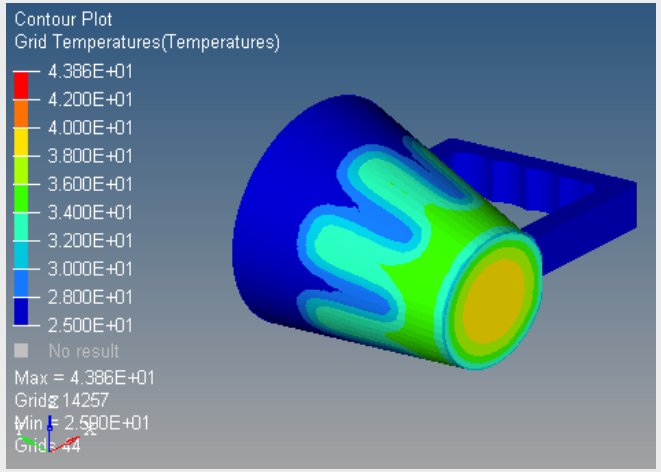
1.3 1차 모델 디자인

열전달 최소화

뜨거운 경우 온도 비교 분석



Plastic



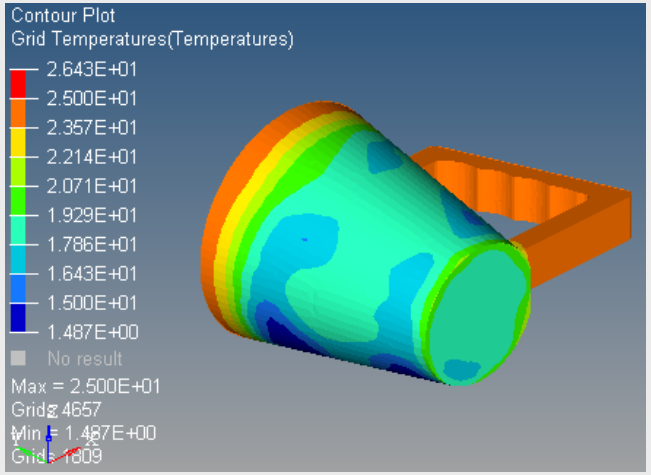
Plastic(heat pipe)

재질	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고온도(℃)	목표 설계 온도
plastic	25(설정 대기 온도)	만족	42.2	불만족
Plastic (heat pipe)	25(설정 대기 온도)	만족	33.3	만족

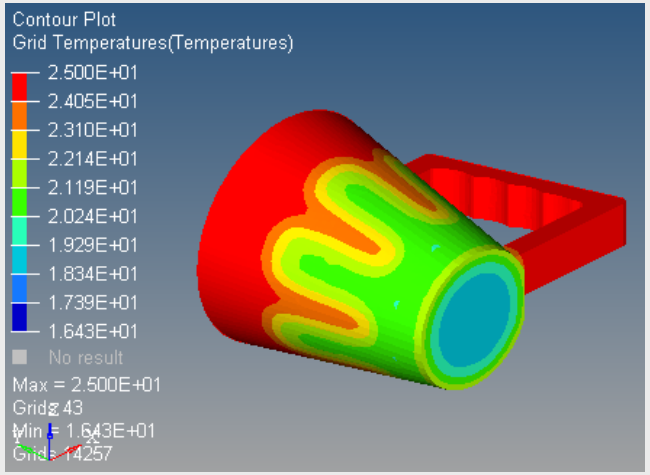
1.3 1차 모델 디자인

열전달 최소화

차가운 경우 온도 비교 분석



Plastic



Plastic(heat pipe)

재질	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고온도(℃)	목표 설계 온도
plastic	23.6	만족	14.8	불만족
Plastic (heat pipe)	25(설정 대기 온도)	만족	21.2	만족

1.3 1차 모델 디자인

열전달 최소화

Plastic(heat pipe)

경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	33.3	만족
Cold	25	만족	21.2	만족

➢ 네 가지의 목표설계 온도를 모두 만족

1.3 1차 모델 디자인

최종 모델

모델 스펙

무게	61g
재료	플라스틱

탄성계수(MPa) : 2,780

밀도(ton/mm3) : 3.57E-10

포아송 비 : 0.4

열팽창 계수(1/(degree C)) : 6.70E-05

열전도도(W/(m*K)) : 2.40E-01

1.3 1차 모델 디자인

최종 모델

실제 3-d 프린터기로 출력한 최종 초기 모델

- 후기: 컵을 쥘 때 불편함이 전혀 없었고, 장시간 사용에도 손목에 무리가 가지 않아서 좋았다.

ALTAIR 2019

1417

2. 해석 설정 조건

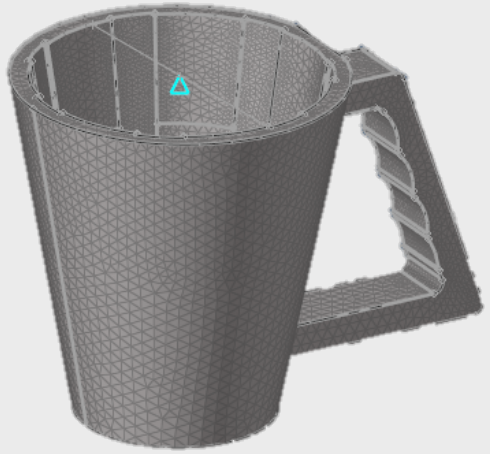
2.1 열 해석

- 대기온도 & SPC
- Convection
- Conduction Area
- Steady State Conduction
- Transient Conduction

2.2 구조해석

- SPC 설정
- Force 설정
- Free Diagram

2.1 열해석 대기온도 & SPC

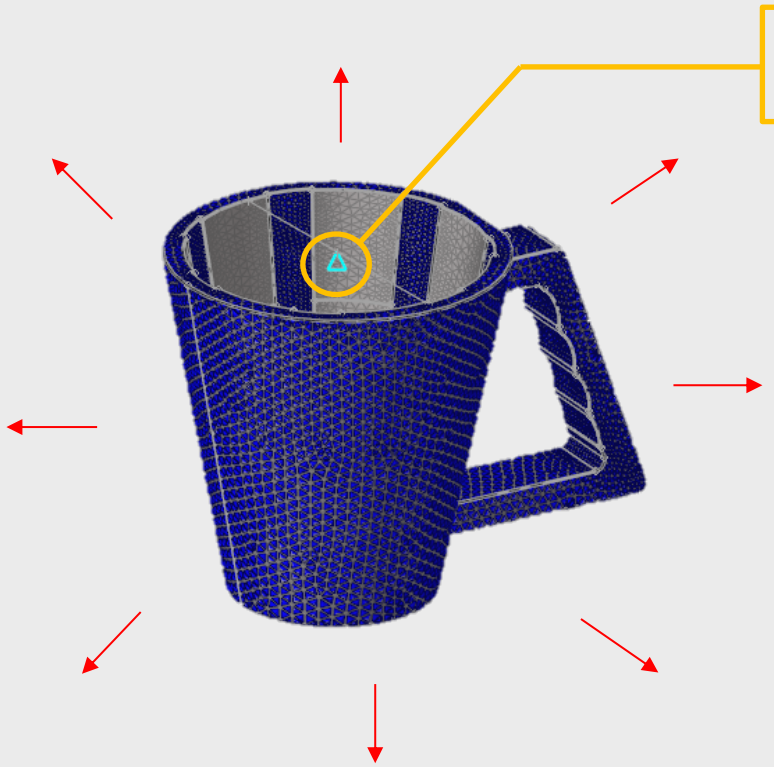


Card Image

	SID	G	D
SPC	3	19361	25.000

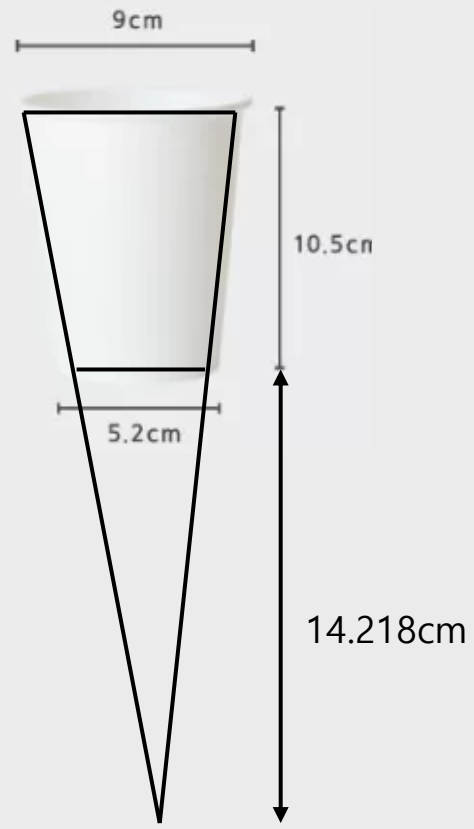
- 컵 윗 부분에 선을 만든 후 가운데 부분을 SPC로 설정
- 대기온도를 25℃ 로 설정

2.1 열해석 Convection



- 컵 내부 중 컵 표면이 닿는 부분을 제외하고 대기온도와 자연 대류 하도록 설정

2.1 열해석 Conduction Area



종이컵의 부피	$425638.68mm^3$
커피 양 (종이컵의 4/5)	$425638.68mm^3 \times \frac{4}{5} = 340510.94mm^3$
커피 반지름(R)	$\sqrt[3]{340510.94mm^3 \times \frac{45mm}{248.68mm} \times 3 \times \frac{1}{\pi}} = 42.44mm$
커피 높이	$248.68mm \times \frac{42.44mm}{45mm} - 143.68 = 90.9mm$

- 삼각뿔과 닮음을 활용해서 커피의 양을 계산
- 커피의 높이가 컵에서 conduction을 받는 부분

2.1 열해석 Steady State Conduction

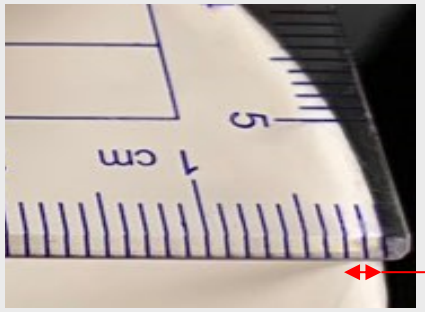
Steady State Conduction flux

커피 종이 컵

커피 온도 — 플라스틱 온도

k_c = 0.011W/mk

ΔL_c = 0.0015m



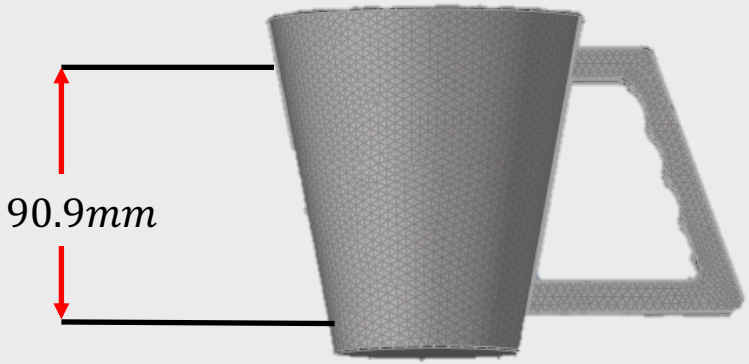
0.0015m

$$flux = k \times \frac{\Delta T_{diff}}{\Delta L}$$

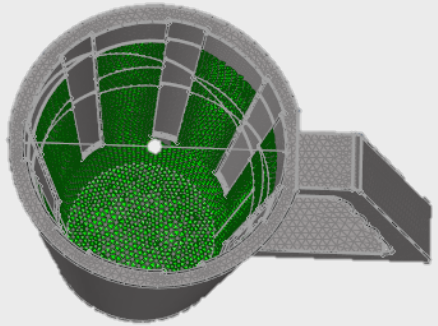
$$flux(hot) = 0.011 W/mk \times \frac{80℃ - 25℃}{0.0015m} = 403\ W/m^2$$

$$flux(cold) = 0.018 W/mk \times \frac{0℃ - 25℃}{0.0015m} = -183\ W/m^2$$

2.1 열해석 Steady State Conduction



- 커피의 높이인 90.9mm 만큼 컵과 접촉되는 면적에 커피의 열이 종이 컵을 통해 컵 홀더로 열이 전도되도록 설정

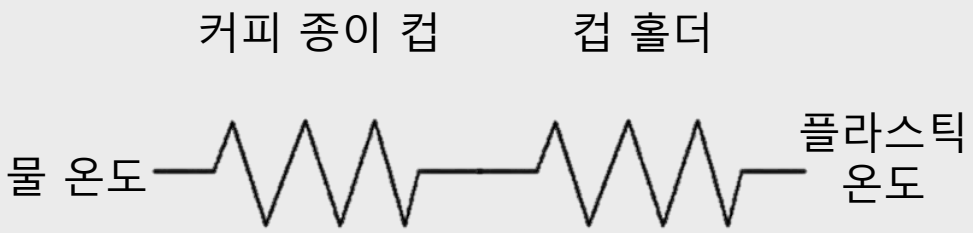


- 뜨거운 경우는 403W/mk, 차가운 경우는 -180W/mk flux를 conduction 부분에 적용

2.1 열해석 Transient Conduction

시간에 따른 flux를 구하기 위해 실험

1. 컵 내부 커피 온도와 컵 홀더 외부 온도 측정
2. 10초 씩 총 60번 반복
3. 측정 된 온도 차를 이용해 매 시간 flux를 계산



k_c = 0.011W/mk k_p = 0.24W/mk

ΔL_c = 0.0015m ΔL_p = 0.005m

$$\frac{kt}{\Delta L} = \frac{1}{\frac{\Delta L_c}{k_c} + \frac{\Delta L_p}{k_p}} = 6.361$$

$$flux = \frac{kt}{\Delta L} \times \Delta T_{diff}$$

2.1 열해석 Transient Conduction

Transient 설정

TSTEP_NUM =

	N	DT
1	60	10.0

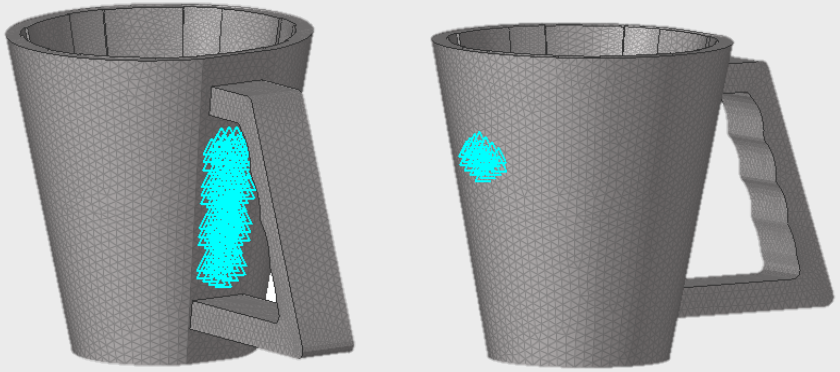
- X = (Time Step = x)/10
  총 TSTEP이 600 이므로 10초에 한번씩 보기 위해서 10으로 나눠준다.

Card Image	TABLED1
User Comments	Hide In Menu/Export
XAXIS	LOG
YAXIS	LINEAR
TABLED1_NUM =	2
Data: x, ...	

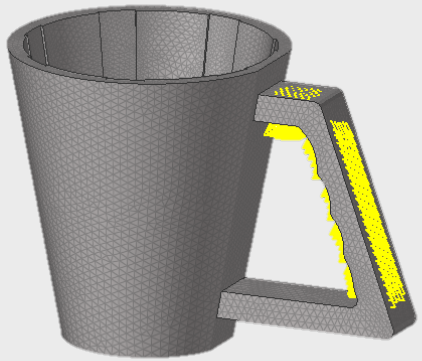
- Log 함수로 설정
  x = 1 일 때 y 값
  x = 600 일 때 y 값 대입

2.2 구조해석 SPC 설정

1. 손으로 표면을 쥘 때 (grab)



2. 손잡이를 잡을 때 (handle)



- 컵의 표면을 쥘 때와 손잡이를 잡을 때 경우를 나누었다.
- 두 가지 상황 속 spc를 각기 손모양에 맞게 지정하였다.

2.2 구조해석 FORCE 설정 (+grav)

✓ 힘의 종류는 **force**를 택하였다.

기준이 되는 340ml에서 **힘은 5N**으로 한다.

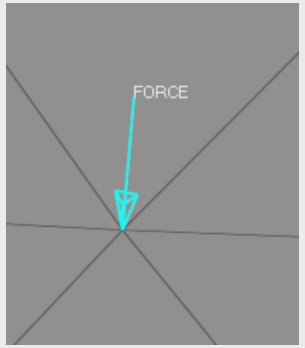
✓ 평행한 상태, 마시는 상태, 붓는 상태로 상황을 나누어 주었다.

parallel, drinking, watering

✓ **분포하중**으로 주기 위하여 힘을 받는 node를 모두 택한다.

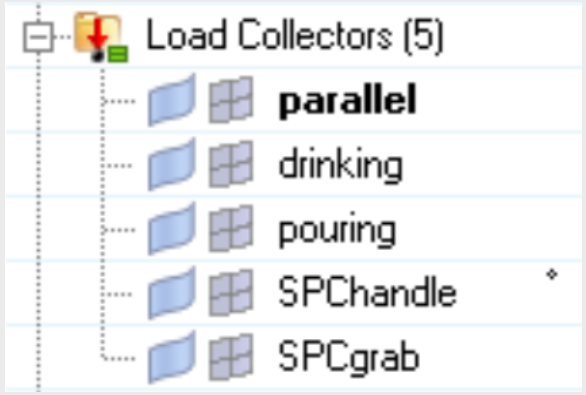
✓ 힘의 방향은 컵홀더 안쪽에 적용되며 screen normal 한 방향으로 준다.

(* 추가적으로 힘에 중력(grav)카드를 지정한다.)



Card Image	GRAV
User Comments	Hide In Menu/Export
CID	<Unspecified>
G	9800.0
N1	0.0
N2	-1.0
N3	0.0

9800 mm/s^2



2.2 구조해석 FORCE 설정 (+grav)

실험 내용

컵을 드는 여러 상황을 가정하여 실험을 진행하였다.

크기가 12oz인 종이컵으로 실험한다.

1. 물은 컵의 4/5 만큼 넣어준다.
2. 평행하게 들 때의 높이를 측정한다.
3. 내용물이 바깥에 나오기 시작하는 지점에서 낮은 부분의 높이를 측정한다.
   (마시는 경우를 생각해서.)

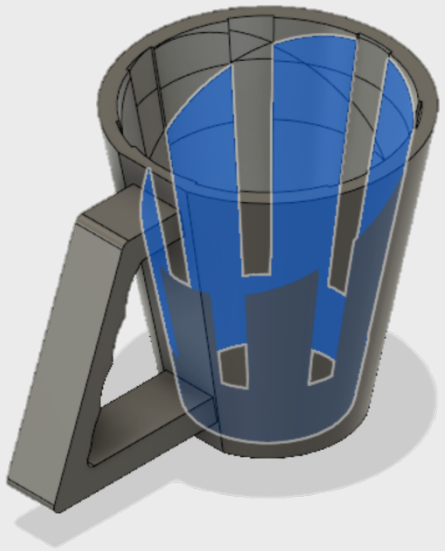
실험 결과를 바탕으로 **힘을 주어야 하는 부분**을 지정한다.

2.2 구조해석

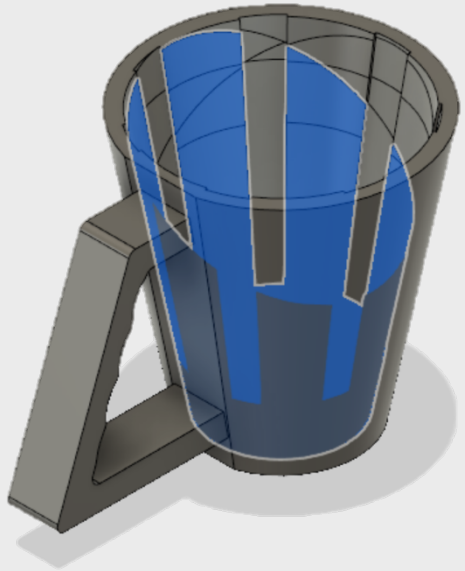
FORCE 설정 (+grav)

힘이 가해질 노드를 보다 쉽게 잡기 위해서 우선 모델링

앞서 진행한 실험결과를 바탕으로 경계선을 생성



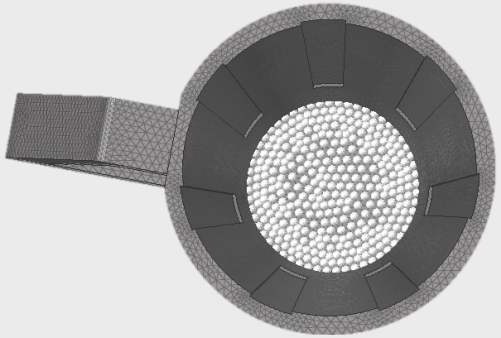
drinking



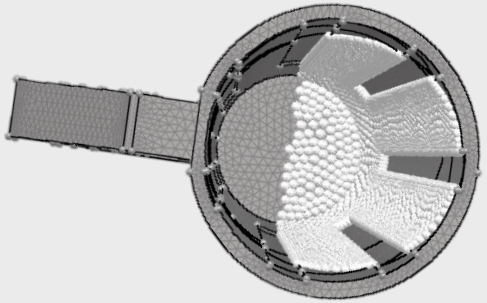
watering

2.2 구조해석

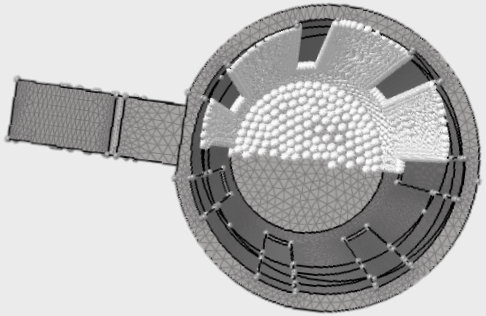
FORCE 설정



1.parallel 하중이 가해지는 노드

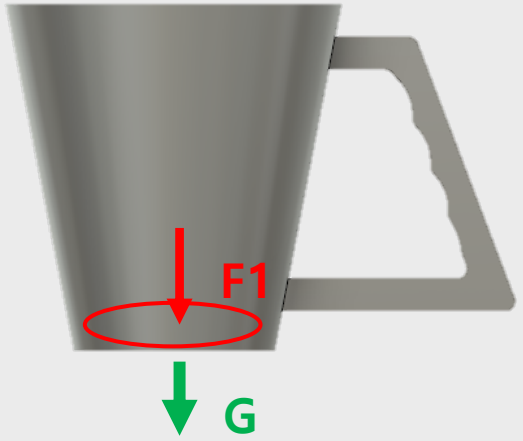
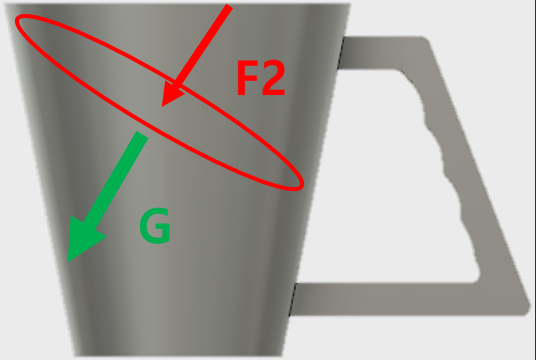
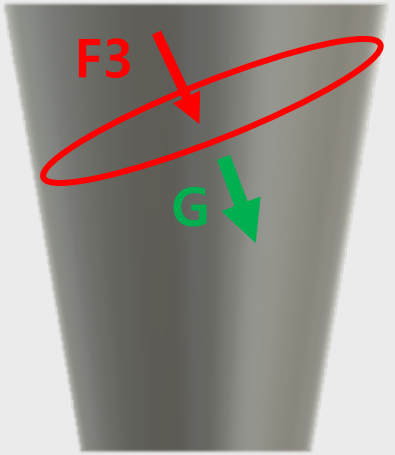


2. drinking 하중이 가해지는 노드



3.watering 하중이 가해지는 노드

2.2 구조해석 FREE BODY DIAGRAM

	Parallel	drinking	watering
			
Force	F1	F2	F3
G	9800mm/s^2		

ALTAIR 2019

1417

3. 해석 실행

3.1 진행과정

3.2 1차 해석 & 최적화

- 열해석 결과
- 구조해석 결과
- 최적화

3.3 2차 모델 디자인

3.4 2차 해석 & 최적화

- 열해석 결과
- 구조해석 결과
- 최적화

3.5 최종 모델 디자인

3.1 진행과정

1 Steady(Hot, Cold), Transient(Hot)
세가지 경우로 analysis 진행

2 2 SPC * 3 FORCE = 6 loadstep
여섯가지의 경우로 analysis 진행.

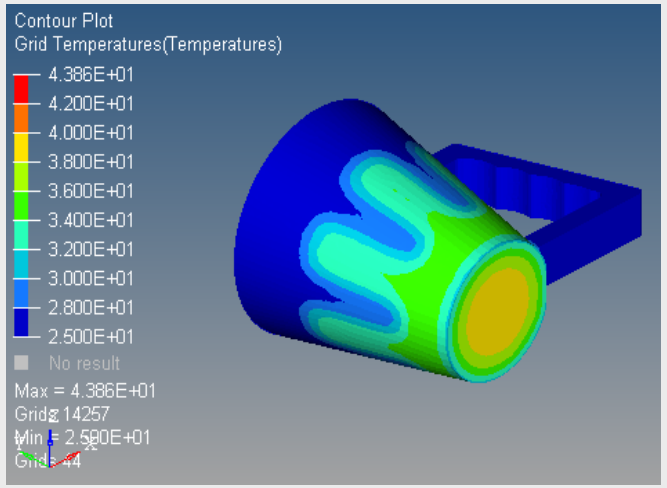
3 6 case * 2 responses = 12 constraints
최적화 조건 설정

4 무게 45g 이하
경량화를 목표로 최적화 진행.

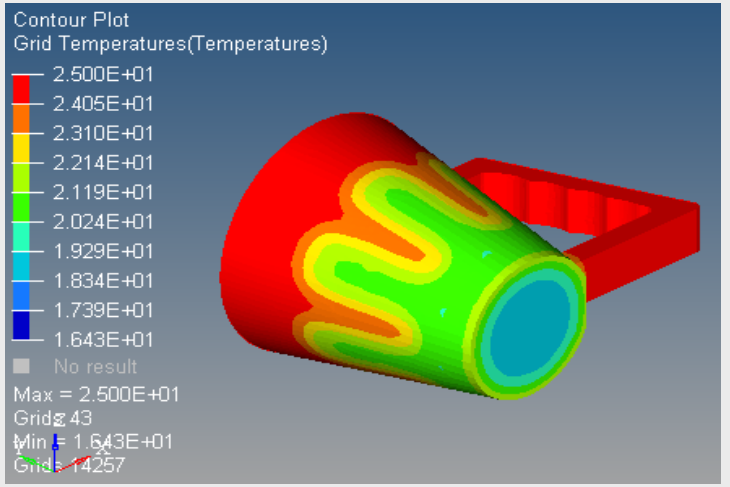
3.2 1차 해석 & 최적화

열해석 결과

Steady State



Hot



Cold

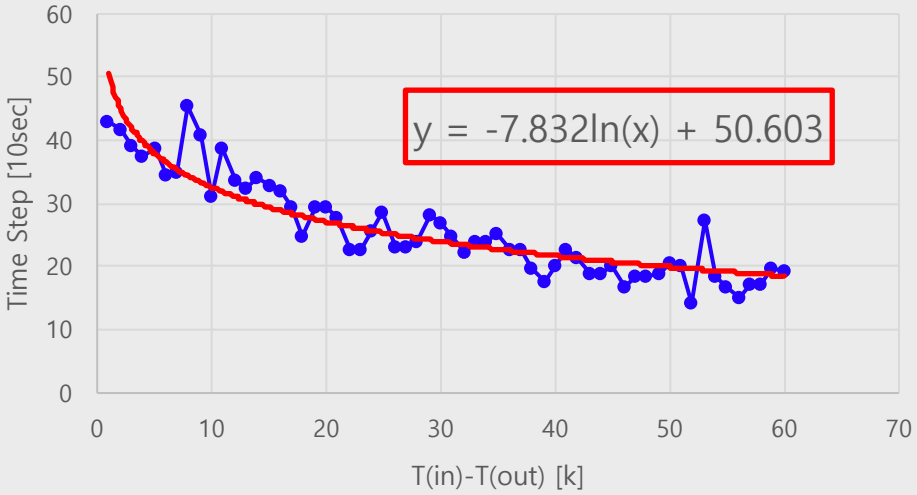
경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	33.3	만족
Cold	25	만족	21.2	만족

3.2 1차 해석 & 최적화

열해석 결과

Transient

1차 모델 ΔT_diff = T(in)-T(out)



- 시간에 따른 flux를 구하기 위해 실험을 통해 얻은 데이터 및 추세선

$$y = -7.832\ln((Time\ Step)/10) + 50.603$$

$$flux = \frac{kt}{\Delta L} \times \Delta T_{diff} = 6.361 \times y$$

*6.361은 슬라이드 28에서 설명한 플라스틱과 종이컵의 열 저항도이다.

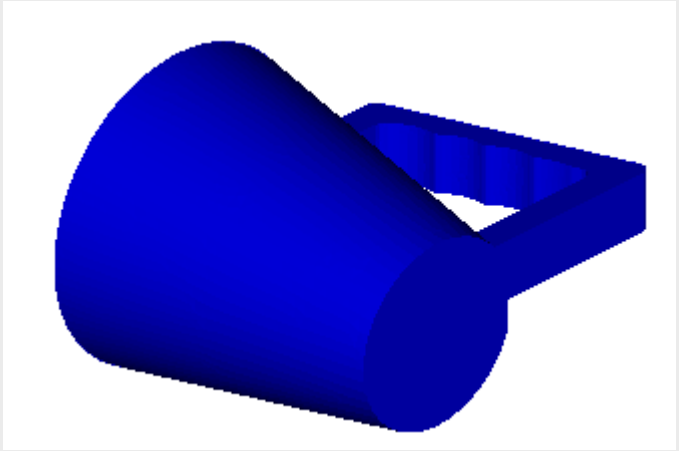
Time Step	flux
1	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.832 \times \ln\left(\frac{1}{10}\right) + 50.603\right) k = 436.60\ W/m^2$
600	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.832 \times \ln\left(\frac{600}{10}\right) + 50.603\right) k = 117.91\ W/m^2$

- x-axis 는 Log로 y-axis는 Linear로 설정 후 heat flux 1과 600 flux 값 대입

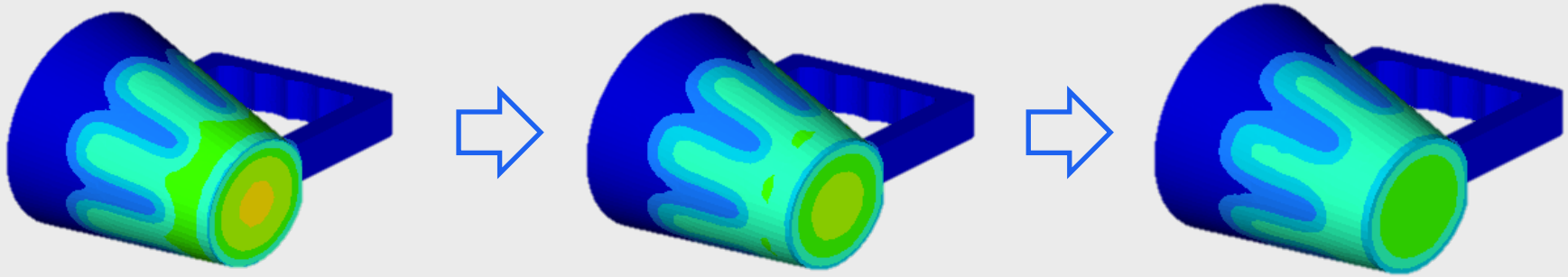
3.2 1차 해석 & 최적화

열해석 결과

Transient



경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	29.5	만족



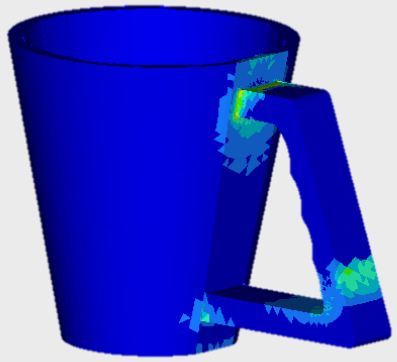
3.2 1차 해석 & 최적화

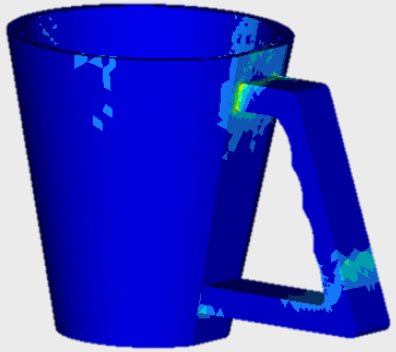
구조해석 결과

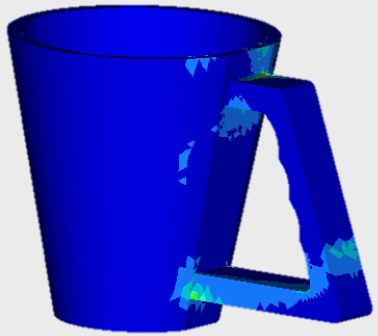
1.handle_stress

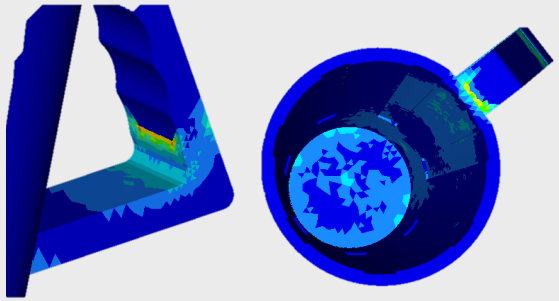
High Stress — **low Stress**

parallel	drinking	watering









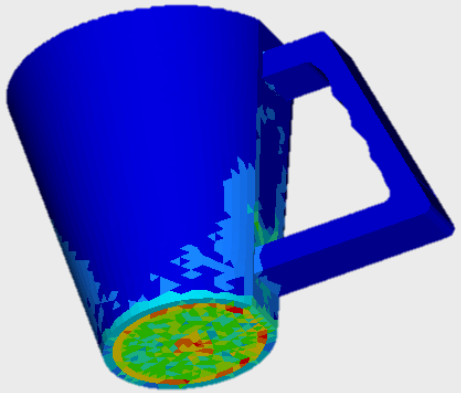
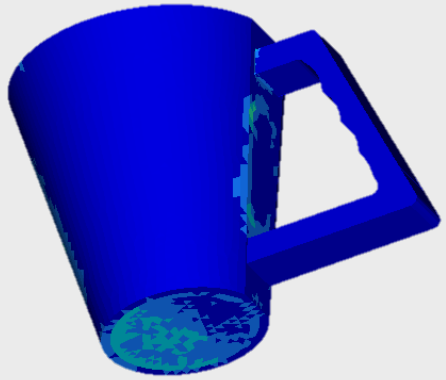
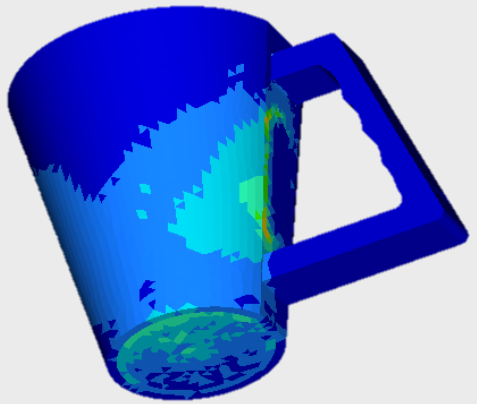
Maximum von mises stress	
parallel	0.1853 Mpa
drinking	0.2727 Mpa
watering	0.2309 Mpa

3.2 1차 해석 & 최적화

구조해석 결과

2.grab_stress

High Stress — **low Stress**

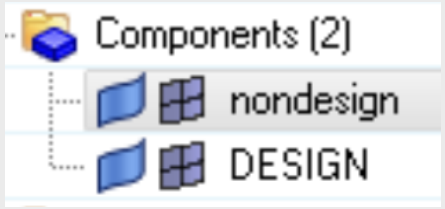
parallel	drinking	watering
		

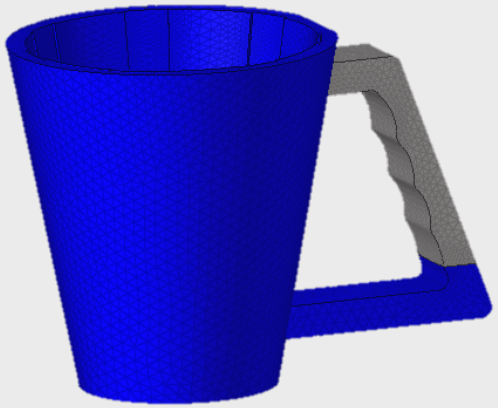
Maximum von mises stress	
parallel	0.05246 Mpa
drinking	0.03880 Mpa
watering	0.03685 Mpa

3.2 1차 해석 & 최적화

최적화

1. Design 영역





손잡이를 제외한 본체만
디자인 영역으로 지정하였다.
(*손잡이 형상을 유지하고자)

2. objective 지정

최종 목표인 경량화를 위하여 부피를 줄이는 것을 목적으로 지정한다.

- ✓ **Responses** : 디자인 영역의 volumefrac
- ✓ **Objective** : minimization of volumefrac

3. constraints

1.변위 : **강성설계**를 하기 위하여 변형량을 줄일 필요가 있다.

- 변위에 제한을 둔다.

2.응력 : **강도설계**를 하기 위하여 응력을 낮출 필요가 있다.

- von misses stress 에 제한을 둔다.

여섯가지의 해석 결과를 토대로 제한 요건을 만든다.

한 load step 당 displacement, stress 제한 요건이 하나씩 생긴다.

3. constraints

여섯가지의 해석 결과를 토대로 제한 요건을 만든다.

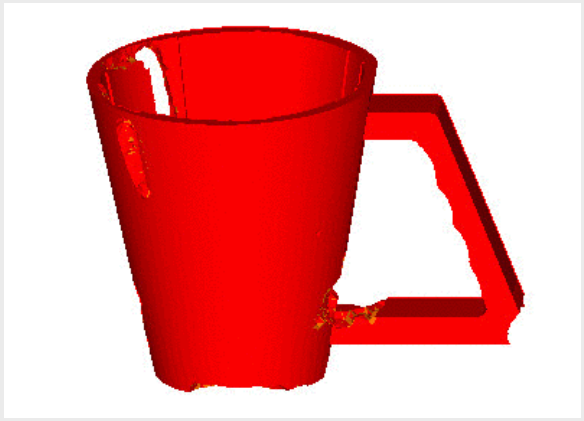
1. 변위 제한 : displacement 해석결과 magnitude 가 max 인 node를 잡는다.
해당 node 에 static displacement constraints 설정.
(크기는 해석 결과값을 보통 반올림하였다.)

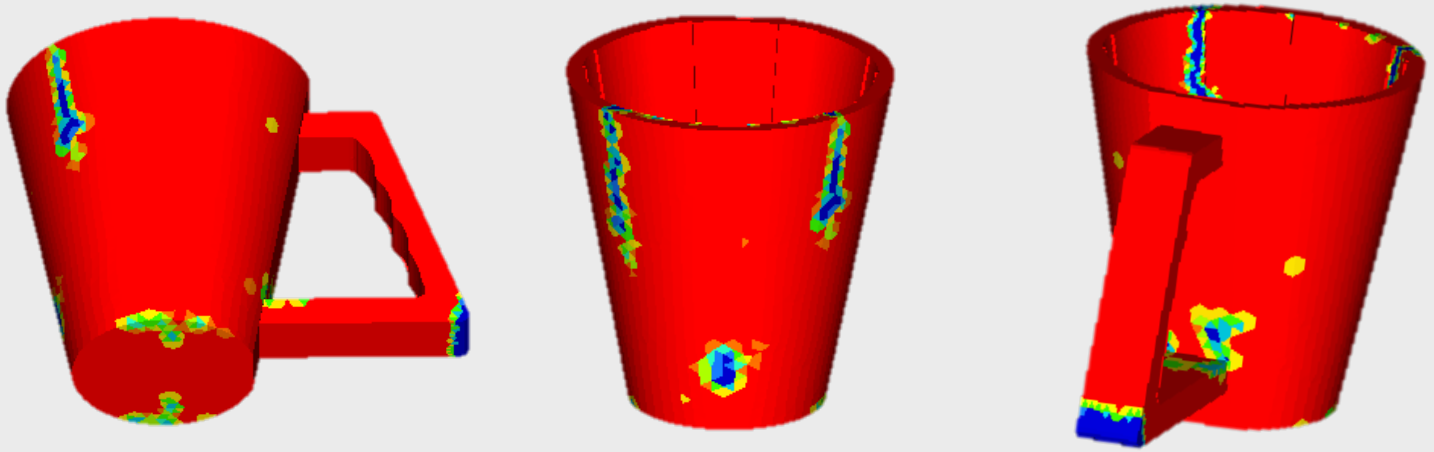
2. 응력 제한 : von mises 해석 결과 maximum 인 element를 잡는다.
해당 요소에 static pressure (von mises) 설정.
(크기는 해석 결과값을 보통 반올림하였다.)

hwdisp	1	DISPLACEMENT	LB -0.01 UB 0.01
hddisp	2	DISPLACEMENT	LB -0.012 UB 0.012
gpdisp	3	DISPLACEMENT	LB -0.0017 UB 0.0017
gwdisp	4	DISPLACEMENT	LB -0.00047 UB 0.00047
gddisp	5	DISPLACEMENT	LB -0.00061 UB 0.00061
hpdisp	6	DISPLACEMENT	LB -0.00062 UB 0.00062
hdstress	7	STRESS	LB -0.24 UB 0.24
hwstress	8	STRESS	LB -0.28 UB 0.28
gpstress	9	STRESS	LB -0.053 UB 0.053
gwstress	10	STRESS	LB -0.039 UB 0.039
gdstress	11	STRESS	LB -0.037 UB 0.037
hpstress	12	STRESS	LB -0.19 UB 0.19

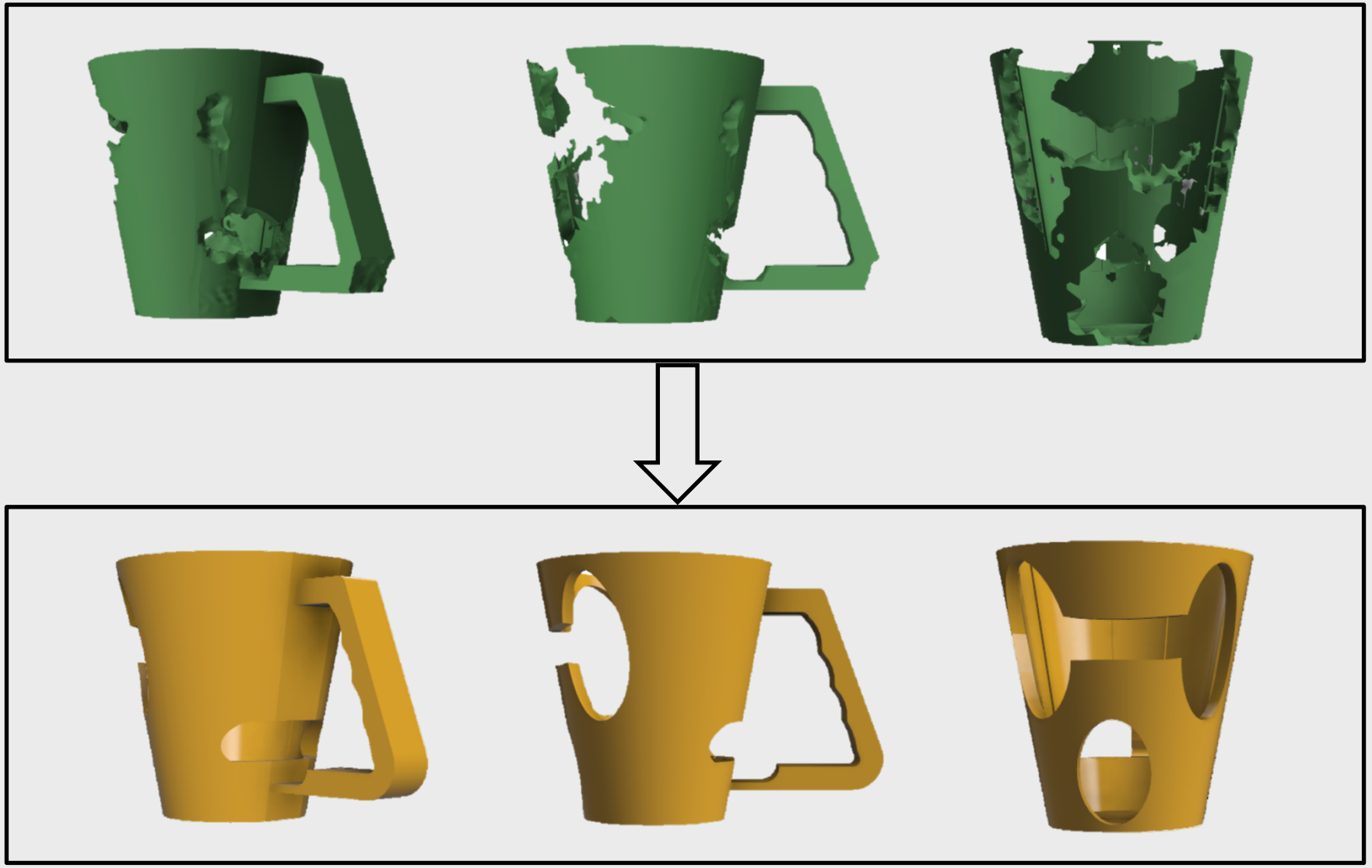
12 가지
constraints 생성

1차 최적화 결과





3.3 2차 모델 디자인



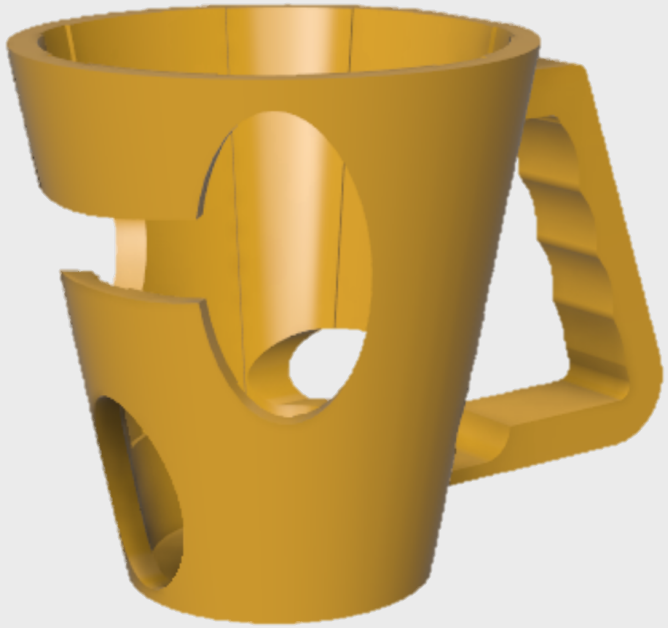
3.3 2차 모델 디자인

제품을 제작성을 높이기 위하여 2차 모델 디자인을 진행함

실제로 제작할 때를 생각하여 최대한 형상을 간단하게 하려했다. 또한 3-d 프린팅을 통해 제작 가능성을 검토함

3-d 프린터기로 실제 뽑은 모델.

3.3 2차 모델 디자인



61g

47g

질량 23% 감소

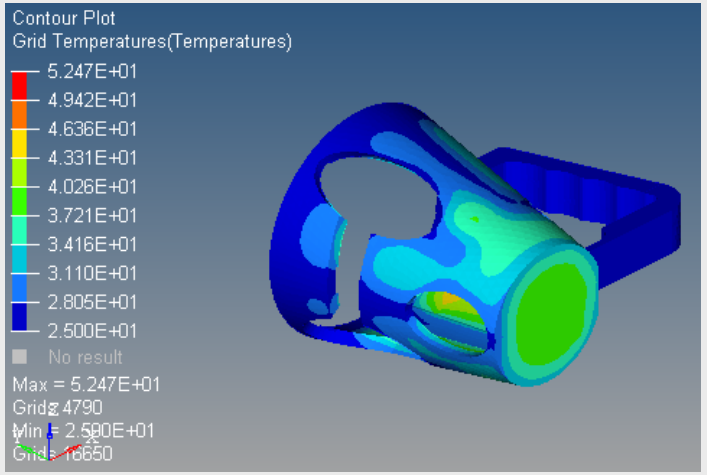
경량화 목표 불만족

추가로 최적화를 진행

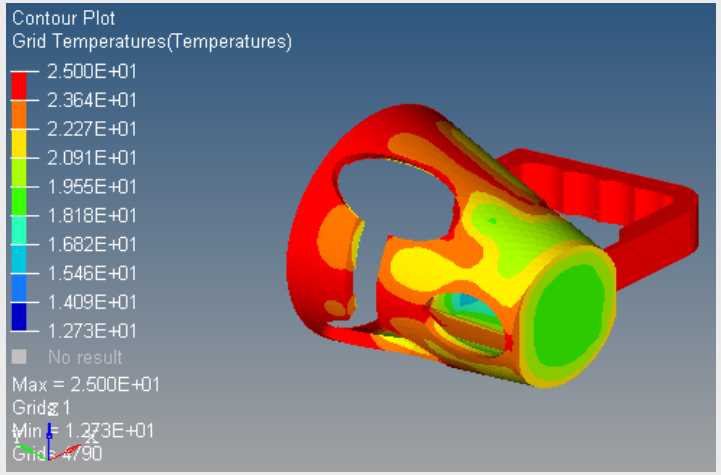
3.4 2차 해석 & 최적화

열해석 결과

Steady State



Hot

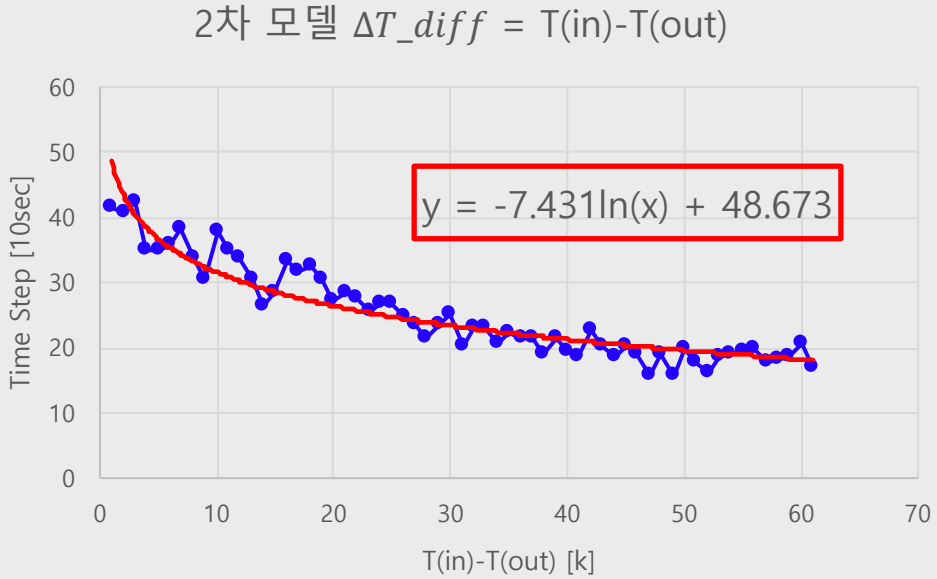


Cold

경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	32.5	만족
Cold	25	만족	21.6	만족

3.4 2차 해석 & 최적화 열해석 결과

Transient



➢ 시간에 따른 flux를 구하기 위해 실험을 통해 얻은 데이터 및 추세선

$$y = -7.431\ln((Time\ Step)/10) + 48.673$$

$$flux = \frac{kt}{\Delta L} \times \Delta T_{diff} = 6.361 \times y$$

*6.361은 슬라이드 28에서 설명한 플라스틱과 종이컵의 열 저항도이다.

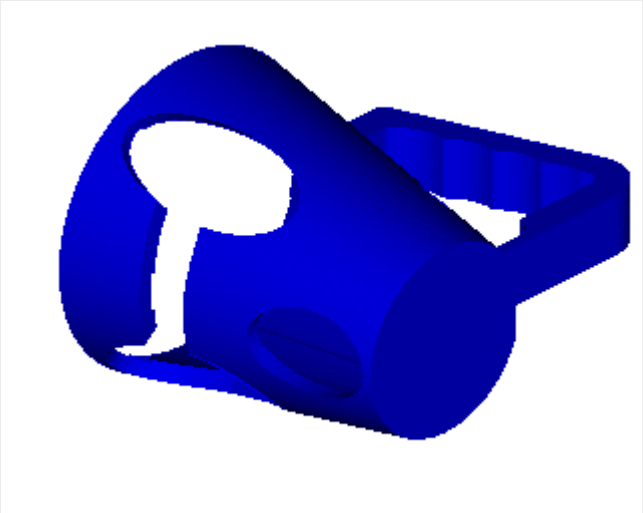
Time Step	flux
1	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.431 \times \ln\left(\frac{1}{10}\right) + 48.673\right) k = 418.45\ W/m^2$
600	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.431 \times \ln\left(\frac{600}{10}\right) + 48.673\right) k = 116.09\ W/m^2$

➢ x-axis 는 Log로 y-axis는 Linear로 설정 후 heat flux 1과 600 flux 값 대입

3.4 2차 해석 & 최적화

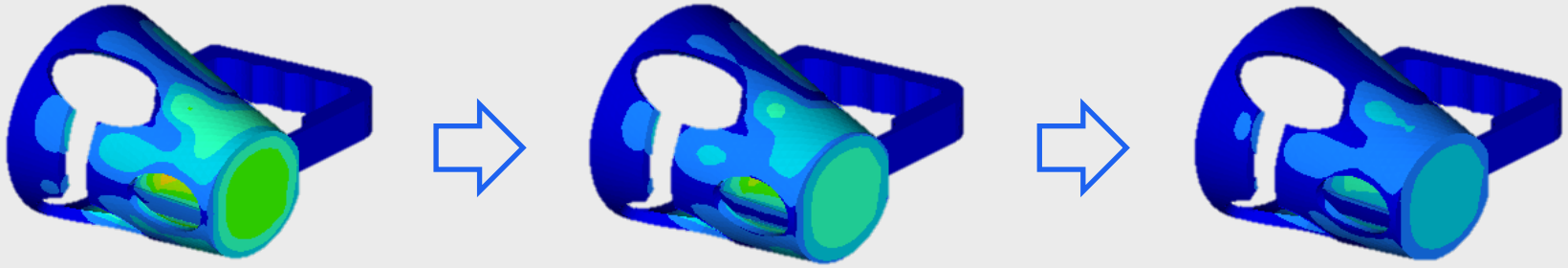
열해석 결과

Transient



경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	32.5	만족

➢ 최고 온도는 Steady State와 같은 온도를 보였다.



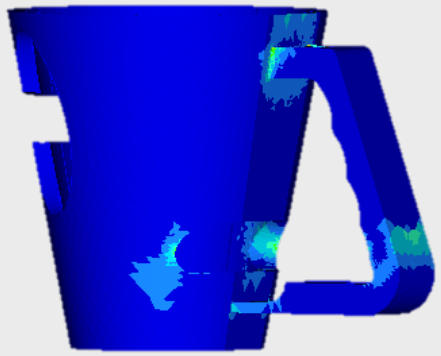
3.4 2차 해석 & 최적화

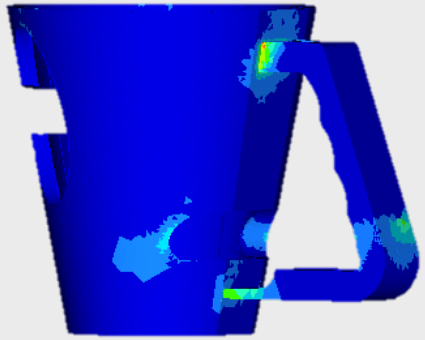
구조해석 결과

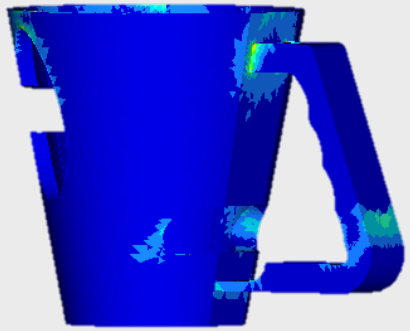
1.handle_stress

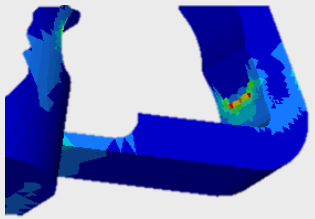
High Stress — **low Stress**

parallel	drinking	watering









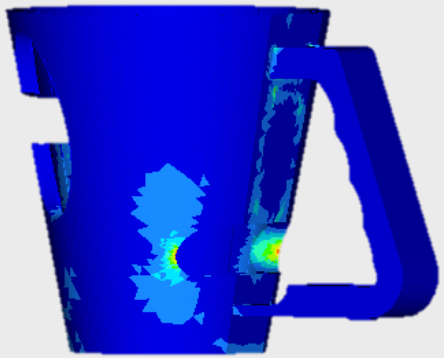
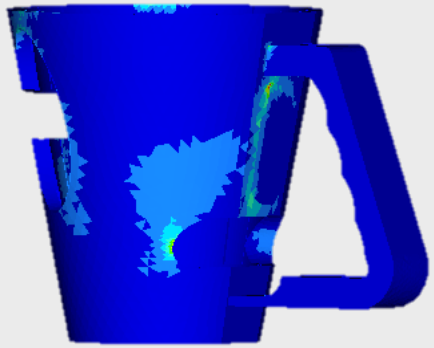
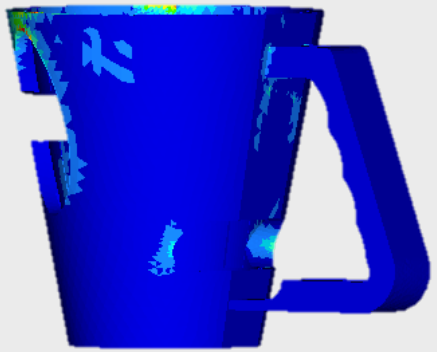
Maximum von mises stress	
parallel	0.3473 Mpa
drinking	0.3865 Mpa
watering	0.4062 Mpa

3.4 2차 해석 & 최적화

구조해석 결과

2.grab_stress

High Stress — **low Stress**

parallel	drinking	watering
		

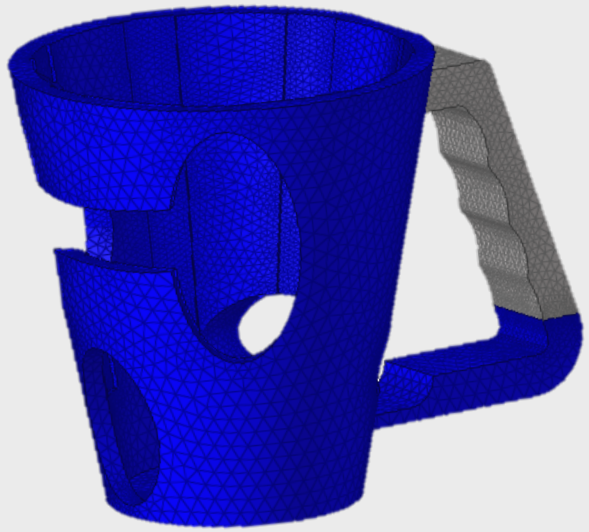
Maximum von mises stress	
parallel	0.1372 Mpa
drinking	0.1977 Mpa
watering	0.2021 Mpa

3.4 2차 해석 & 최적화

최적화

1. Design 영역

손잡이를 제외한 본체만 디자인 영역으로 지정한다.



2. objective 지정

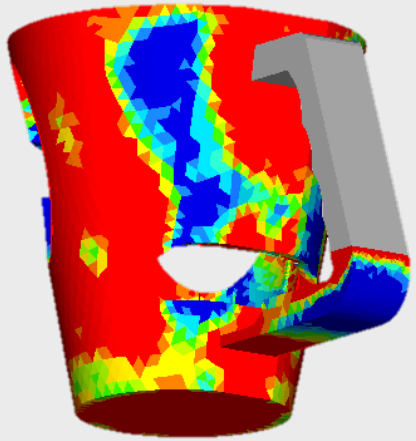
- ✓ **Responses** : 디자인 영역의 volumefrac
- ✓ **Objective** : minimization of volumefrac

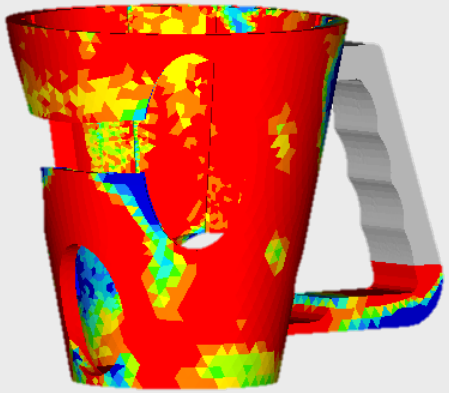
3. constraints

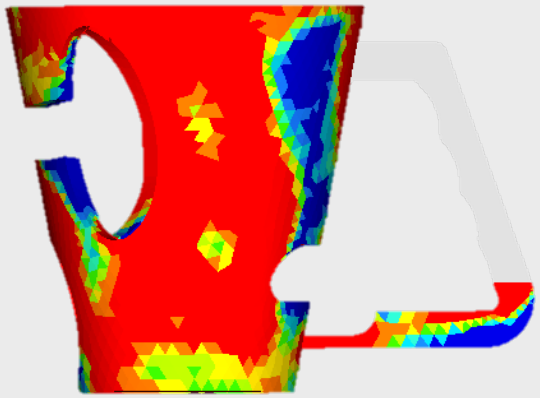
DISPLACEMENT	LB -0.0025 UB 0.0025
DISPLACEMENT	LB -0.14 UB 0.014
DISPLACEMENT	LB -0.0056 UB 0.0056
DISPLACEMENT	LB -0.0091 UB 0.0091
DISPLACEMENT	LB -0.025 UB 0.025
DISPLACEMENT	LB -0.015 UB 0.015
STRESS	LB -0.15 UB 0.15
STRESS	LB -0.22 UB 0.22
STRESS	LB -0.23 UB 0.23
STRESS	LB -0.36 UB 0.36
STRESS	LB -0.4 UB 0.4
STRESS	LB -0.43 UB 0.43

총 12가지의 constraints.

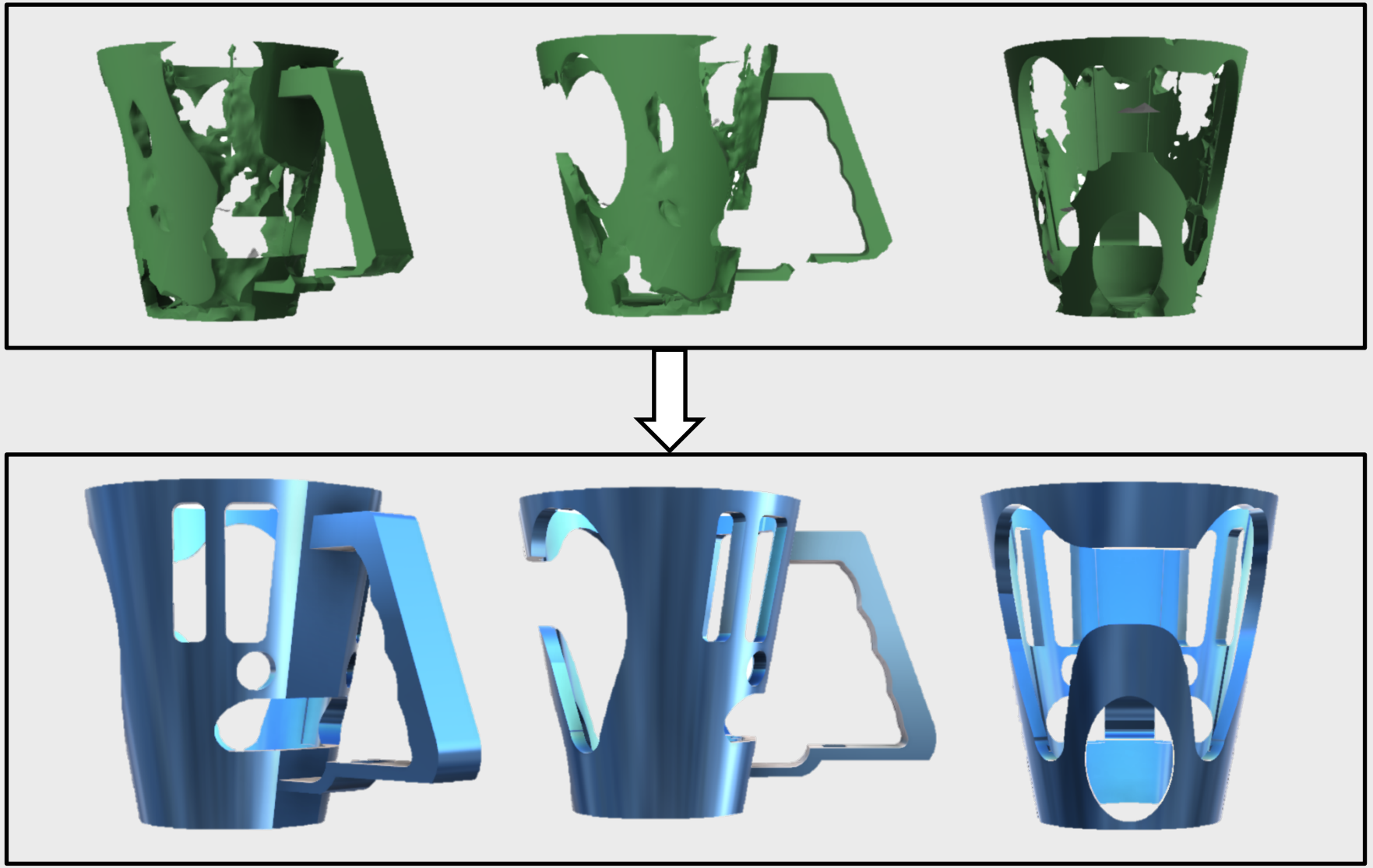
2차 최적화 결과



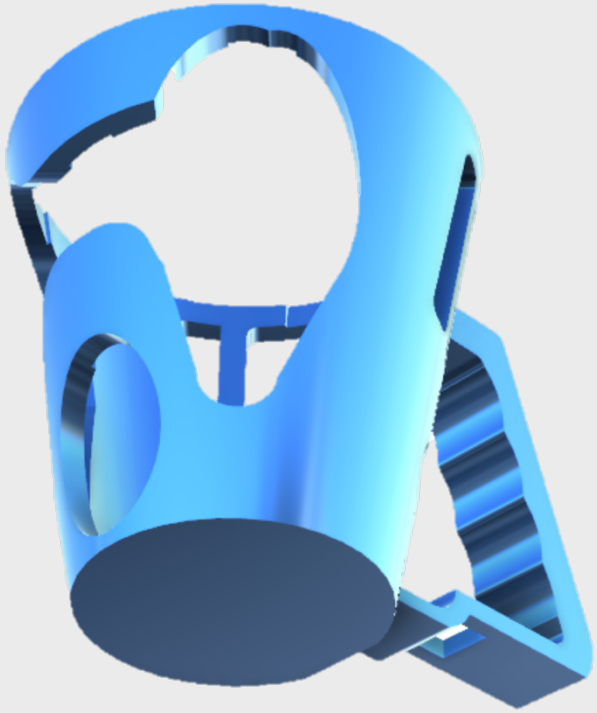




3.5 최종 모델 디자인



3.5 최종 모델 디자인



61g

39g

질량 36% 감소
경량화 목표 만족

ALTAIR 2019

1417

4. 결론

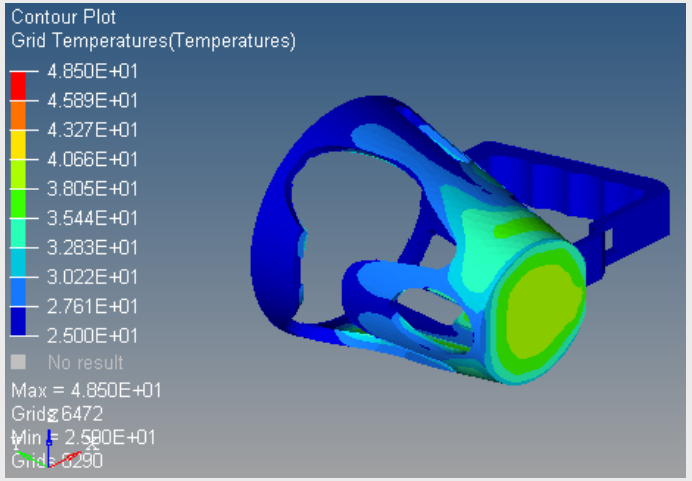
4.1 안전성 검토

- 열해석 결과
- 구조해석 결과
- 충돌테스트

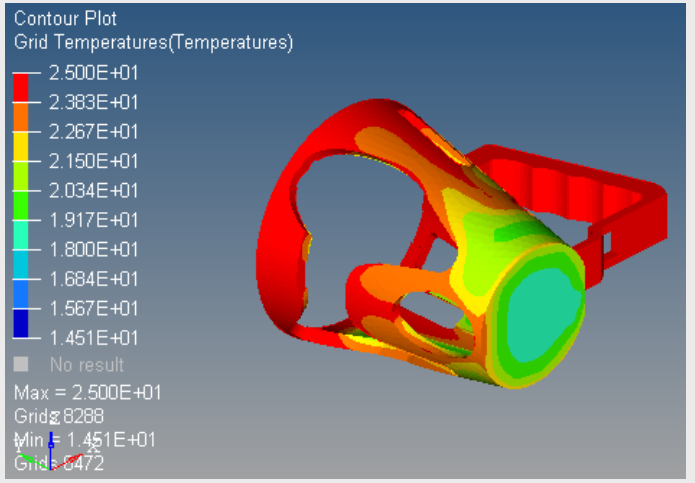
4.2 제작성 검토

4.1 안전성 검토 열해석 결과

Steady State



Hot



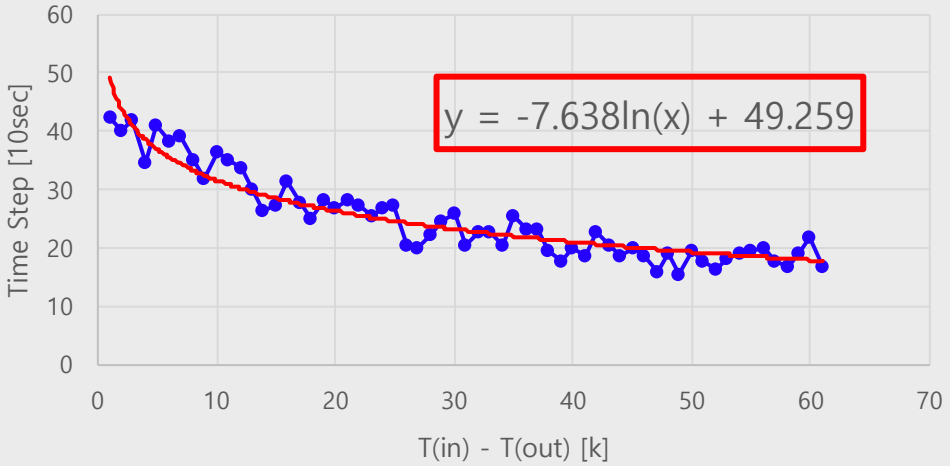
Cold

경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	31.6	만족
Cold	25	만족	23.2	만족

4.1 안전성 검토 열해석 결과

Transient

3차 모델 ΔT_diff = T(in)-T(out)



➢ 시간에 따른 flux를 구하기 위해 실험을 통해 얻은 데이터 및 추세선

$$y = -7.638\ln((Time\ Step)/10) + 49.259$$

$$flux = \frac{kt}{\Delta L} \times \Delta T_{diff} = 6.361 \times y$$

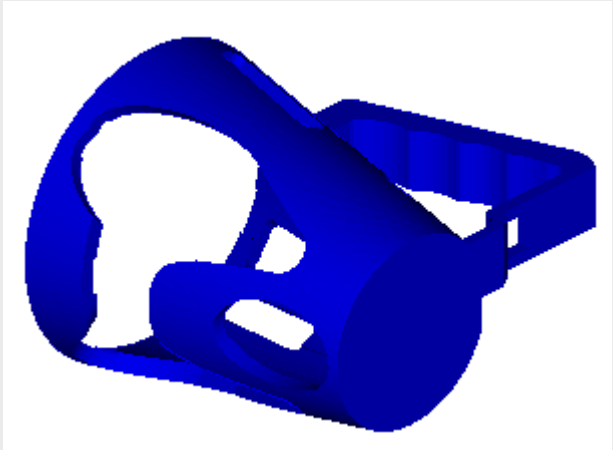
*6.361은 슬라이드 28에서 설명한 플라스틱과 종이컵의 열 저항도이다.

Time Step	flux
1	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.638 \times \ln\left(\frac{1}{10}\right) + 49.259\right) k = 425.21\ W/m^2$
600	$6.361\frac{W}{m^2k} \times \left(-7.638 \times \ln\left(\frac{600}{10}\right) + 49.259\right) k = 114.41\ W/m^2$

➢ x-axis 는 Log로 y-axis는 Linear로 설정 후 heat flux 1과 600 flux 값 대입

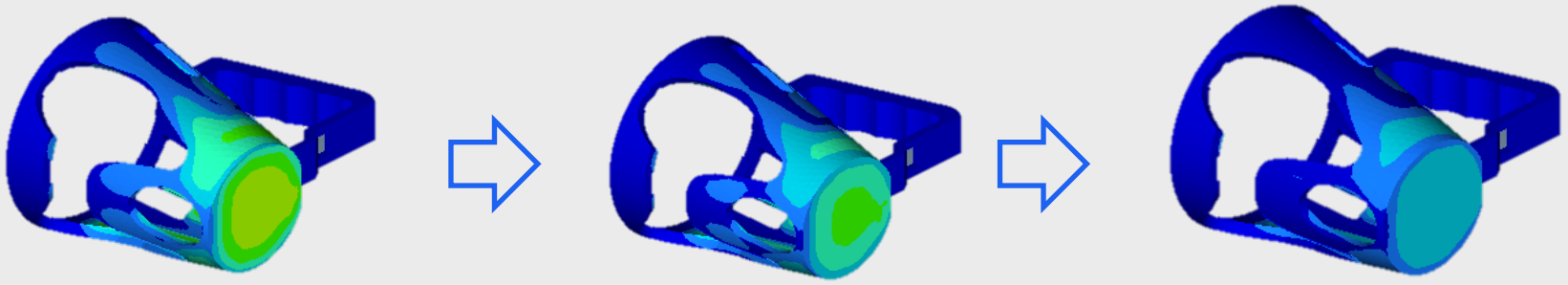
4.1 안전성 검토 열해석 결과

Transient



경우	손잡이 최고 온도(℃)	목표 설계 온도	컵 표면 최고 온도(℃)	목표 설계 온도
Hot	25	만족	31.6	만족

➢ 최고 온도는 Steady State와 같은 온도를 보였다.



4.1 안전성 검토 구조해석 결과

✓ 기준 설정

전단변형 에너지설을 사용하여 연성재료인 플라스틱의 안전성을 검토

✓ 항복응력의 경우 비슷한 물성치 값을 가진 plastic(NYLON)의 값을 사용한다. (75Mpa)

해석의 결과값으로 나온 von mises stress 최대값이

75 Mpa 보다 낮으면 파손되지 않는다.

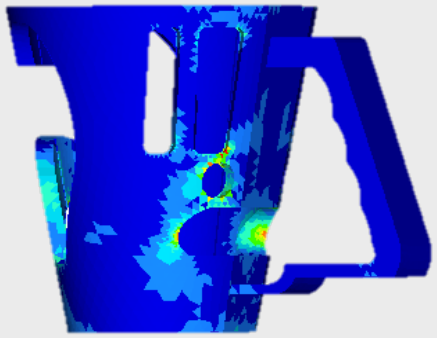
4.1 안전성 검토

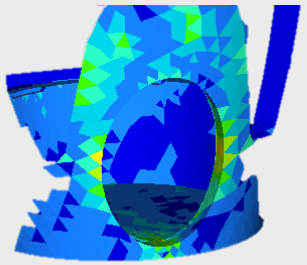
구조해석 결과

1.handle_stress

High Stress — **low Stress**

parallel	drinking	watering





Maximum von mises stress	
parallel	0.1419 Mpa
drinking	0.5864 Mpa
watering	0.2682 Mpa

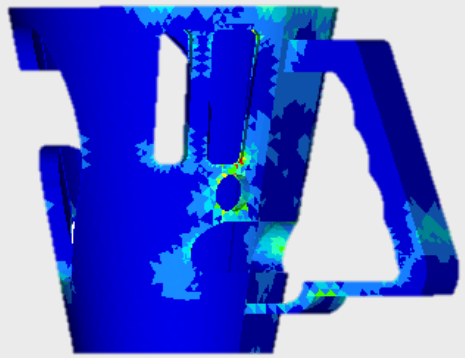
4.1 안전성 검토

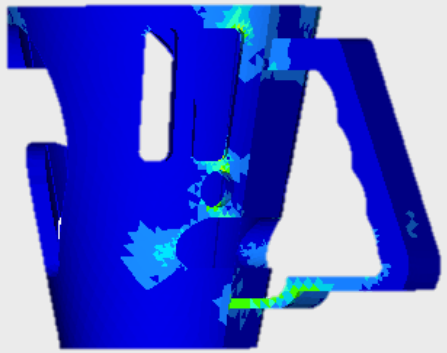
구조해석 결과

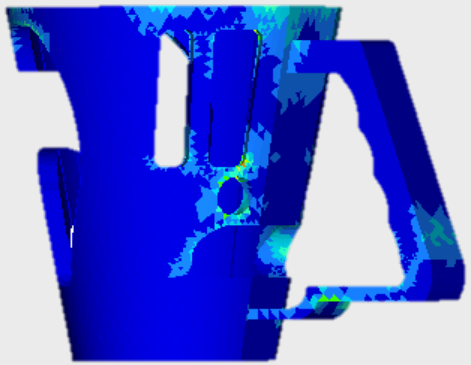
2.grab_stress

High Stress — **low Stress**

parallel	drinking	watering





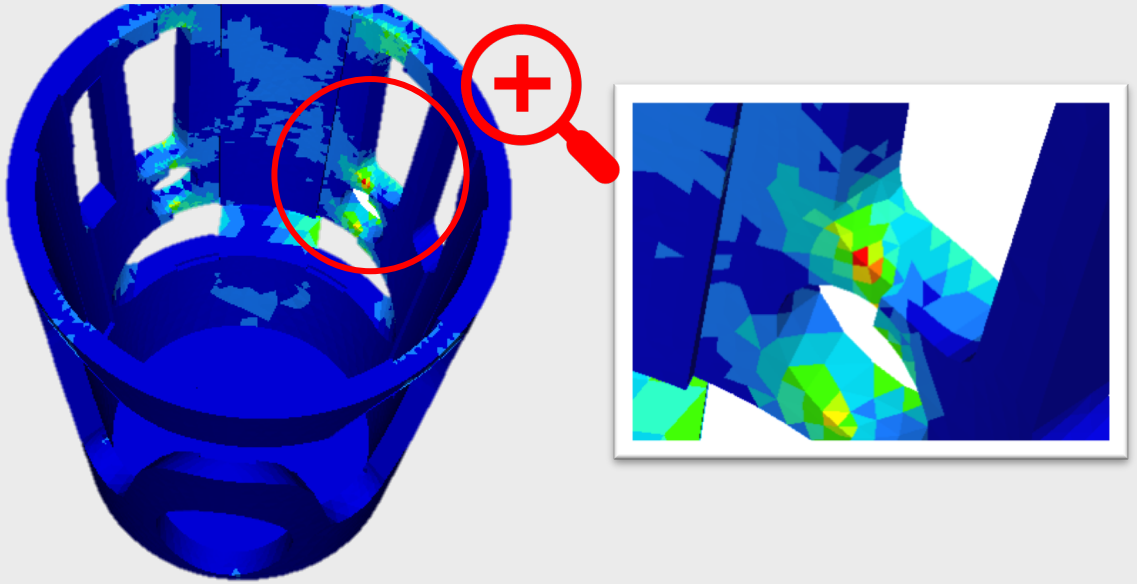


Maximum von mises stress	
parallel	0.369 Mpa
drinking	1.327 Mpa
watering	0.7309 Mpa

4.1 안전성 검토 구조해석 결과

Maximum stress : 1.327 Mpa

➢ 최종모델의 최대응력은 2.grab_stress 의 drinking의 경우에 발생



Maximum stress 값은 **75Mpa**에 한참 못 미치는 값이다.

Safety factor 를 측정해볼 경우 무려 **56**이 넘는 값이다.

따라서 평상시의 경우 최종모델은 파손될 **위험이 매우 적다**고 볼 수 있다.

4.1 안전성 검토 구조해석 결과

보다 확실한 안전성 검토를 위하여 다른 플라스틱과 비교해본다.

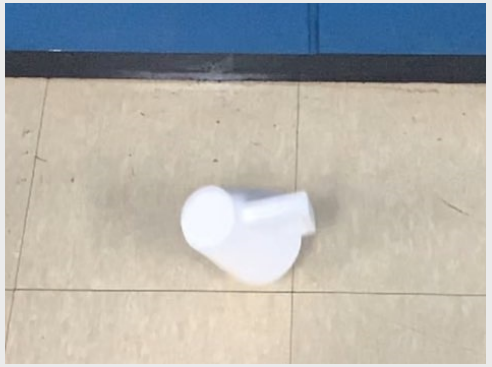
(1.327Mpa 기준)	항복응력(Mpa)	**Safety factor**
Plastic(PP)	48	**36**
Plastic(SAN)	70	**52**
Plastic(ABS)	35	**26**

모두 10을 훌쩍 넘는 안전계수를 갖고 있기에

충분히 안전한 제품이라고 볼 수 있다.

4.1 안전성 검토

충돌 테스트



충격량을 실험을 통해 측정한다.

무게	3.10E-05 t
거리	1120 mm
낙하시간	0.45 sec
충돌시간	0.07 sec
속도[(거리)/(낙하시간)]	$\frac{1120mm}{0.45sec} = 2488.89\frac{mm}{sec}$
운동량(무게*속도)	$0.000031\ t \times 2488.89\ \frac{mm}{sec} = 0.0772\frac{t*mm}{sec}$
충격량(운동량/충돌시간)	$0.0772\frac{t*mm}{sec} \times 0.07sec = 1.1N$

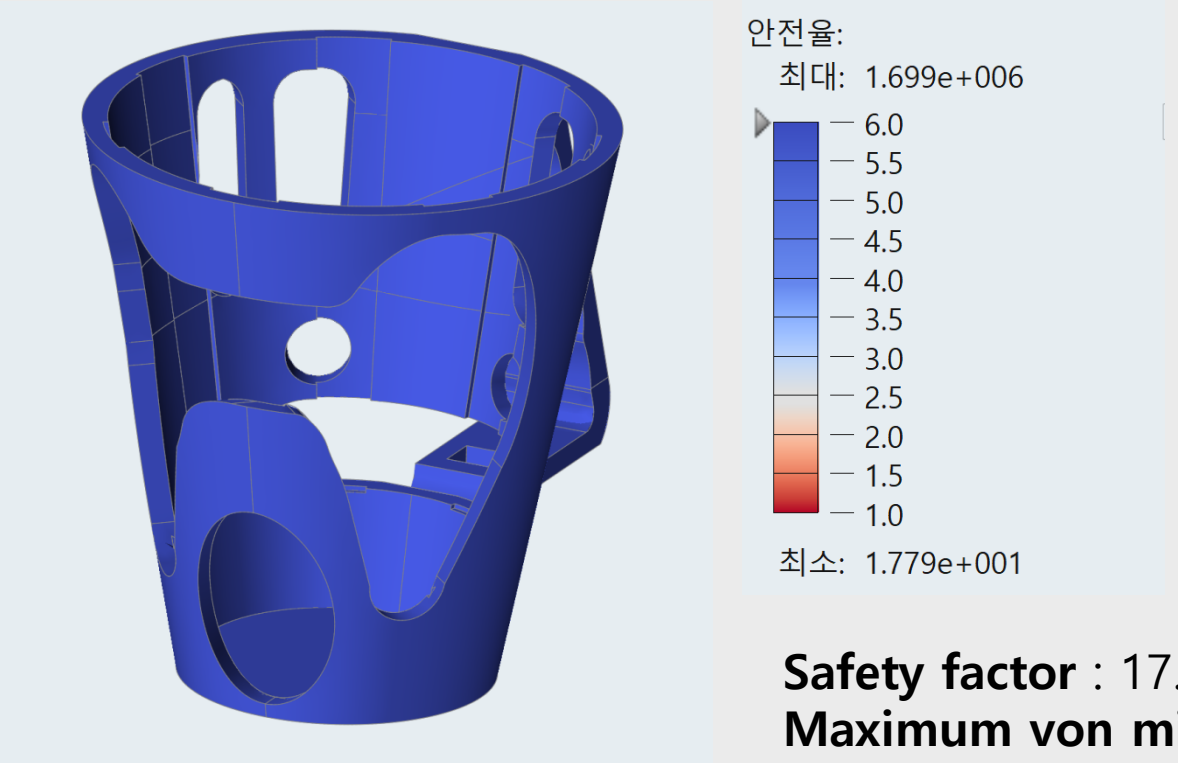
(*인스파이어 mesh 진행중 해당 최적화 모델이 다소 두꺼운 관계로 두께를 1mm 줄여 진행함.)

← 낙하하는 순간

4.1 안전성 검토

충돌 테스트

충돌 해석 결과 (INSPIRE)



Safety factor : 17.8
Maximum von mises stress: 4.2Mpa

안전 계수가 **10** 이상으로 , **충돌시에도 제품은 안전하다**.

4.2 제작성 검토

최종 모델을 3-d 프린터로 뽑은 모습

플라스틱 필라멘트로 출력하였을 때 오류 없이 제작되었다.

- **최적화된 최종 디자인은 제작하는 데에 전혀 무리가 없다.**

감사합니다.