



Optimization of Heat-pipe-based CPU cooler heat sink fin

Seoul National University of Science and Technology

Team name : CPU freinds

Mechanical Engineering **HyunWoo Baek**

Mechanical Engineering **HaeChan Jeong**

CONTENTS

1. 서론

- 1) 연구 배경
- 2) 연구 개요

2. 상용 모델 열유동 해석

- 1) Reference CPU Cooler
- 2) 해석 모델 및 조건
- 3) 해석 결과

3. 최적설계

- 1) 히트파이프 위치 최적화
- 2) DF(Design Feature) 추가

3-1. DF : Half-sphere

3-2. DF : Cone

4. 결론

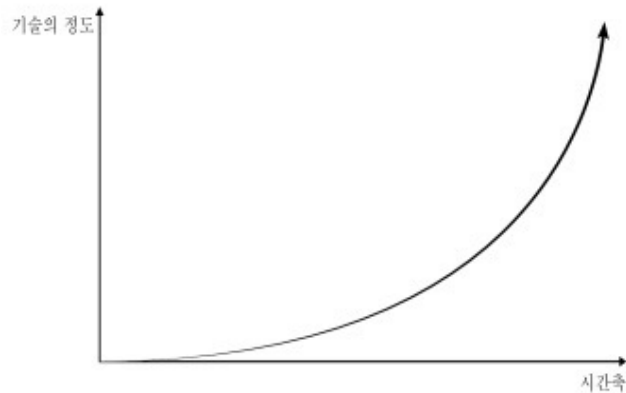
- 1) 최종 설계안
- 2) 최종 결론

01 서론

- 연구 배경
- 연구 개요

연구 배경

“효율적인 방열 기술의 필요성”

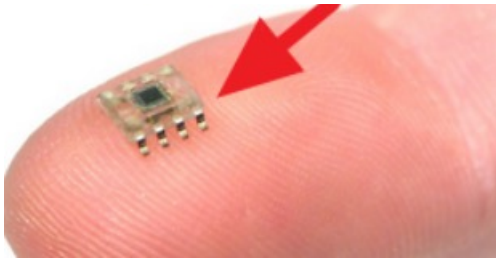


1. 무어의 법칙 그래프: 시간에 따른 기술력이 지수적 증가 형태

→ "고성능화"

2. 마이크로로봇 : 마이크로공학으로 인한 소형화

→ "고집적화"

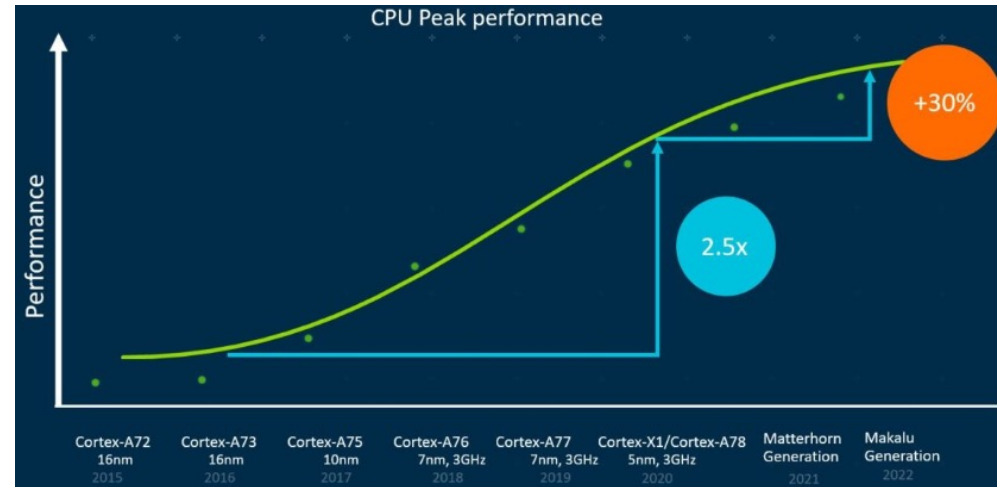


"주어진 공간, 최고의 방열 성능 필요"

연구 배경

“CPU의 고성능화로 인한 **발열량** 증가”

- 다양한 산업군에 고성능 CPU의 수요 ↑ (인공지능, 방송, 고성능 PC게임 등)
- CPU의 **발열**로 인한 성능 저감 및 안전성 감소 때문에 **CPU 쿨러의 수요 ↑**



< CPU의 발전 >

연구 개요

“고성능 프로그램 사용시 CPU의 발열량 증가”

- **200W** 기준으로 상용 CPU 쿨러 모델 사용시 심한 발열량을 보이며 여러 문제 발생 예상
- **CPU**의 발열이 한계치에 도달하면 동작 속도를 저하시키는 '쓰로틀링' 현상이 나타나 성능이 급격히 낮아지거나 시스템이 다운됨

- ✓ 56° C 이하: 적절한 온도
- ✓ 56° C ~ 65° C: 다소 높은 온도
- ✓ 66° C ~ 80° C: 높은 온도



“CPU 적정 온도 유지를 위한
방열 필요”

※출처 : <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=golzzang&logNo=221338752829>

연구 개요

“설계 목표”

-
- ✓ CPU의 방열을 위해 CPU 쿨러의 설계 필요
 - 공간적 제약에 따라, 추가 공간을 필요로 하지않는 설계 구상
 - ✓ 기존 상용 모델 열/유동 해석을 통해 CPU의 온도 분포 산출
 - 최적화 요소 평가를 위한 Reference Value 셋팅
 - ✓ 히트싱크 핀(Fin)의 최적화
 - 히트파이프 위치 조정
 - 핀 표면에 Design Feature 삽입

02 상용 모델 열유동 해석

- Reference CPU Cooler
- 해석 모델 및 조건
- 해석 결과

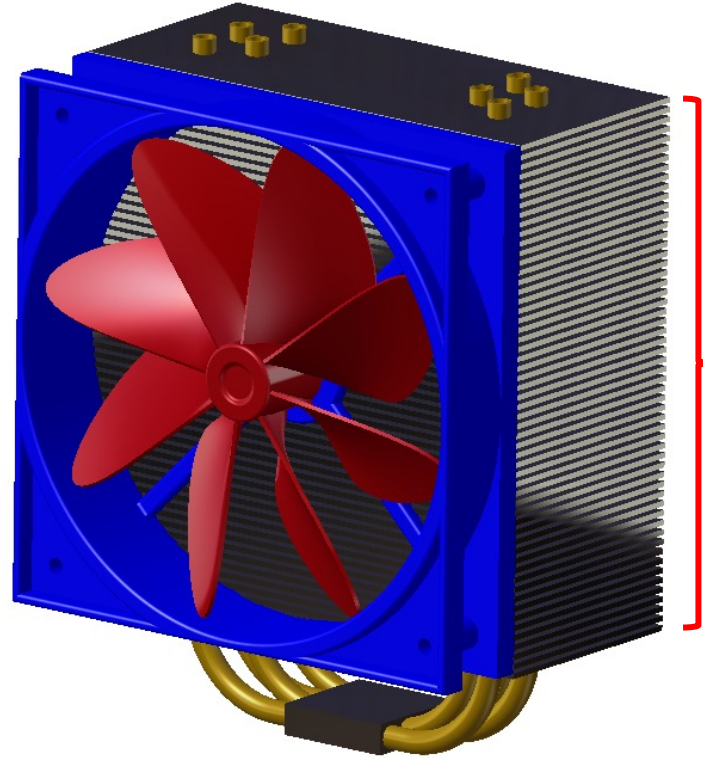


"Reference CPU cooler"



- ✓ 제품 유형 : 공랭식 CPU 쿨러 (잘만)
- ✓ 제품크기 : 130x52x157 [mm]
- ✓ 제품 무게 : 723 [g]
- ✓ 팬 회전속도 : 500~1500 [RPM]
- ✓ 팬 속도 : 2.49 [m/s]

“해석 모델”

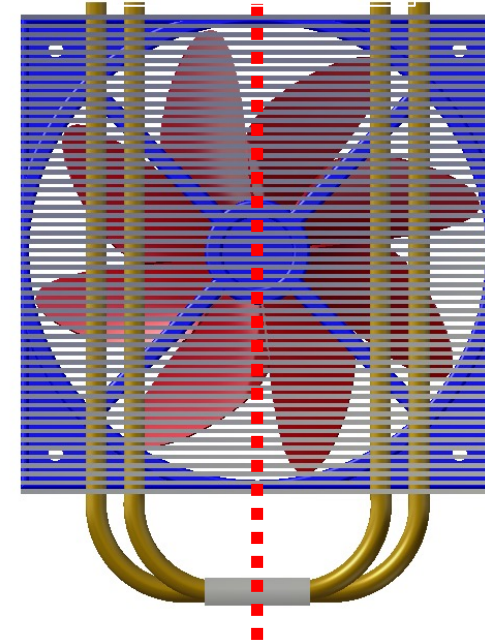


56개의 핀(Fin)

✓ 해석 모델

56개의 핀(Fin) 중 한 개의 핀을 해석 도메인으로 설정

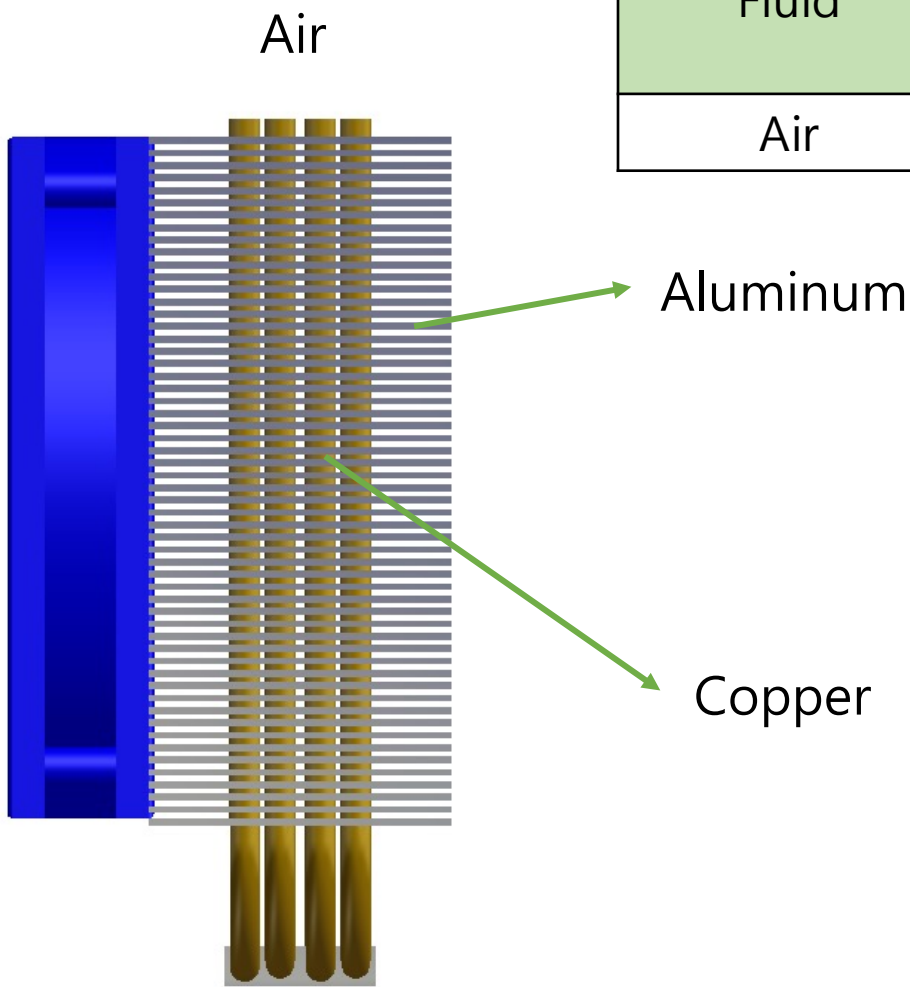
symmetric



✓ 해석 가정

- 1) CPU로부터 오는 열 유속은 각 히트파이프에 동등하게 부여
- 2) 각 핀에 히트파이프에 의해 전달된 열 유속 동등하게 부여
- 3) 팬에 의한 공기 유동은 모든 핀에 동등하게 부여
- 4) 핀 채널 입구 속도 동일
- 5) 주위 열 손실 무시
- 6) 좌우 대칭 형상 (1/2 모델)

“물성치”



<CPU 쿨러 측면>

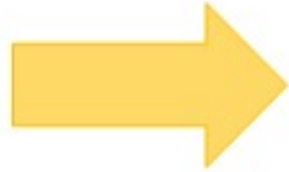
Fluid	Density	Specific Heat	Viscosity	Thermal Con ductivity
Air	1.225	1005	1.781e-05	0.02521

Solid	Density	Specific Heat	Thermal Con ductivity
Aluminum	2702	908	237
Copper	8960	386	401

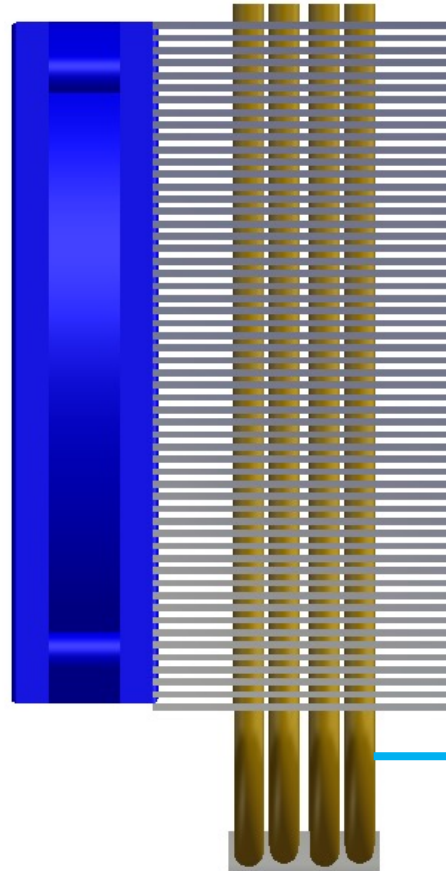
※ 출처 : <http://www.matweb.com/>

“해석 조건”

Inlet



- 유속 : 2.49 [m/s]
- 대기 온도 : 26.85 °C
(강제대류)



Outlet

Heat flux of Heat pipe

$$\dot{q}_A = \frac{\dot{Q}}{N_{HP}(N_f - 1)A_{HP}} = 16046 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

- ✓ 논문을 참고하여 난류 모델 : **Standard K-epsilon model**
- ✓ Boundary layer : **5**

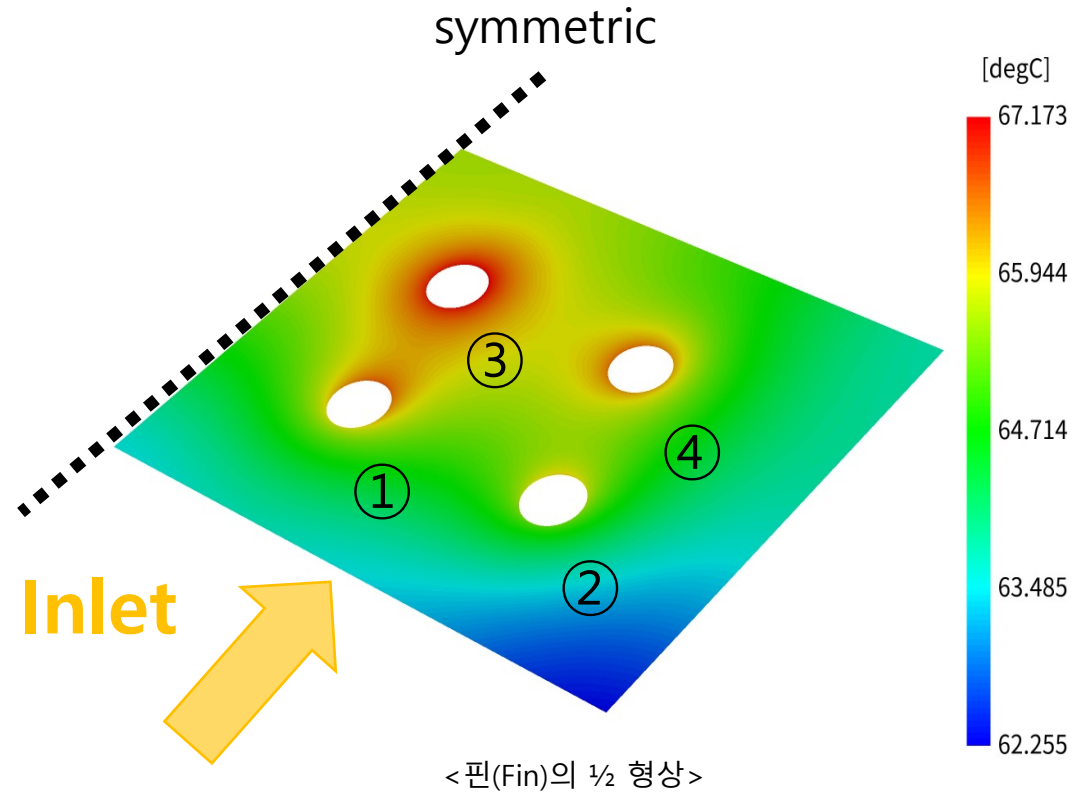
※ 출처 : Experimental and numerical heat transfer analysis of heat-pipe-based CPU coolers and performance optimization methodology/MaticMožeAljažNemaničPrimožPoredoš

$\dot{Q}$ = The CPU thermal load [200W]
 N_{HP} : denotes the number of heat pipes
 N_f = the number of fins
 A_{HP} = The internal surface area of each HP

"상용 모델 해석 - 결과"

✓ 방열 성능의 평가 지표 : 핀(Fin)의 표면 **평균 온도**

- 해석 결과 : **64.85 °C (62.25 °C ~ 67.17 °C)** - 높은 온도에 해당
(66° C ~ 80° C: 높은 온도)
- 해석 결과 분석
 - 1) 팬이 있음에도 적정 온도 기준치 초과
 - 2) ①히트파이프가 ③히트파이프를 위치상 막고 있어
③히트파이프에 충분한 팬에 의한 공기 유동이 전달되지
않은 것으로 보임



핀(Fin)의 방열 성능 향상 요구
→ 핀의 표면적을 증가시켜 방열 성능 향

03 최적설계

- 히트파이프 위치 최적화
- DF(Design Feature) 추가

“방열성능 최적화 개요”

✓ 해석 개요

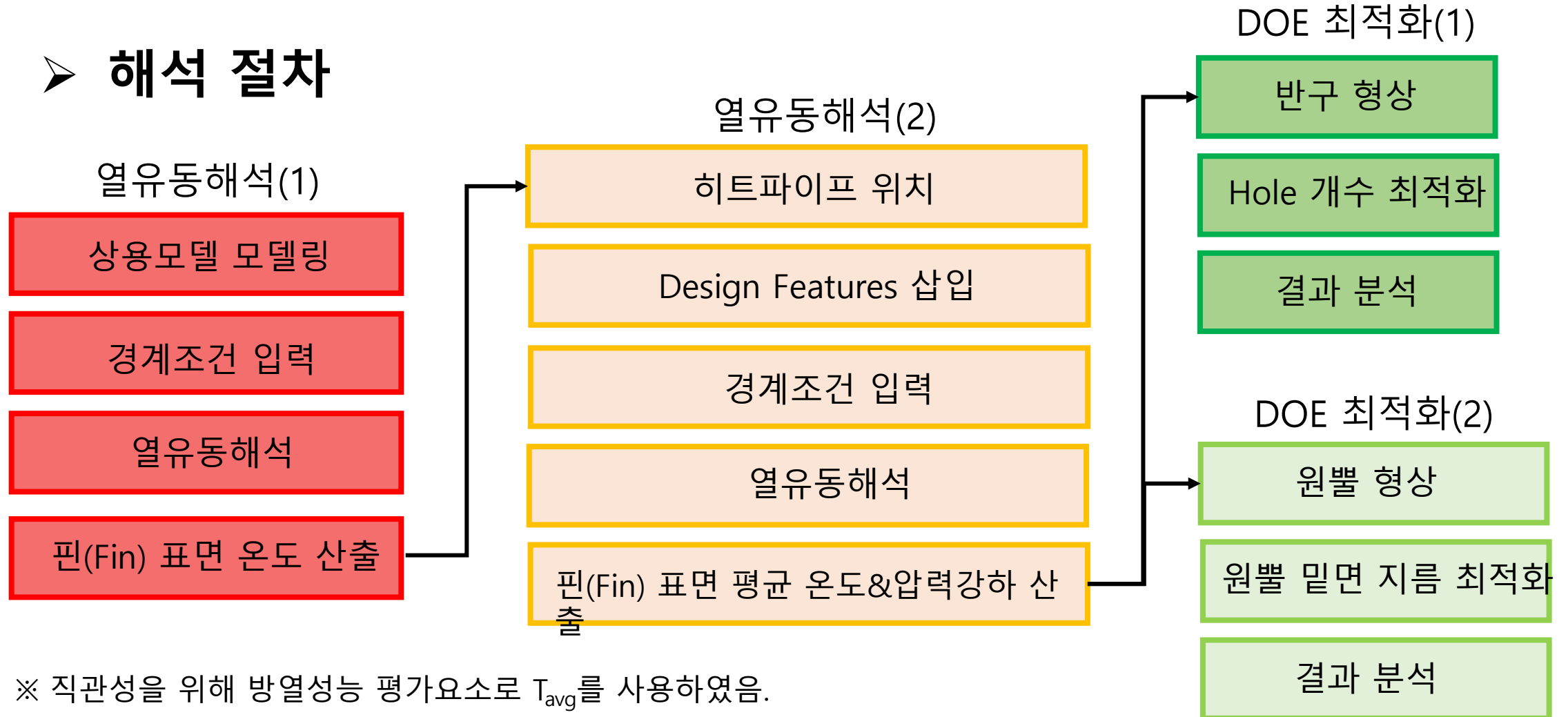
히트파이프 위치 및 특정 형상 삽입에 따른 새로운 히트싱크 핀(Fin)의 방열 성능 최적화

1. 히트파이프의 위치를 변경하여 핀의 방열성능 향상
2. 특정 형상을 삽입하여 핀의 표면적을 증가시킴으로써 방열 성능 향상
3. 특정 형상을 삽입함으로써 나타나는 입구, 출구의 온도차가 증가함을 방지하기 위한
Hole삽입 및 압력강하를 위한 특정 형상 최적화



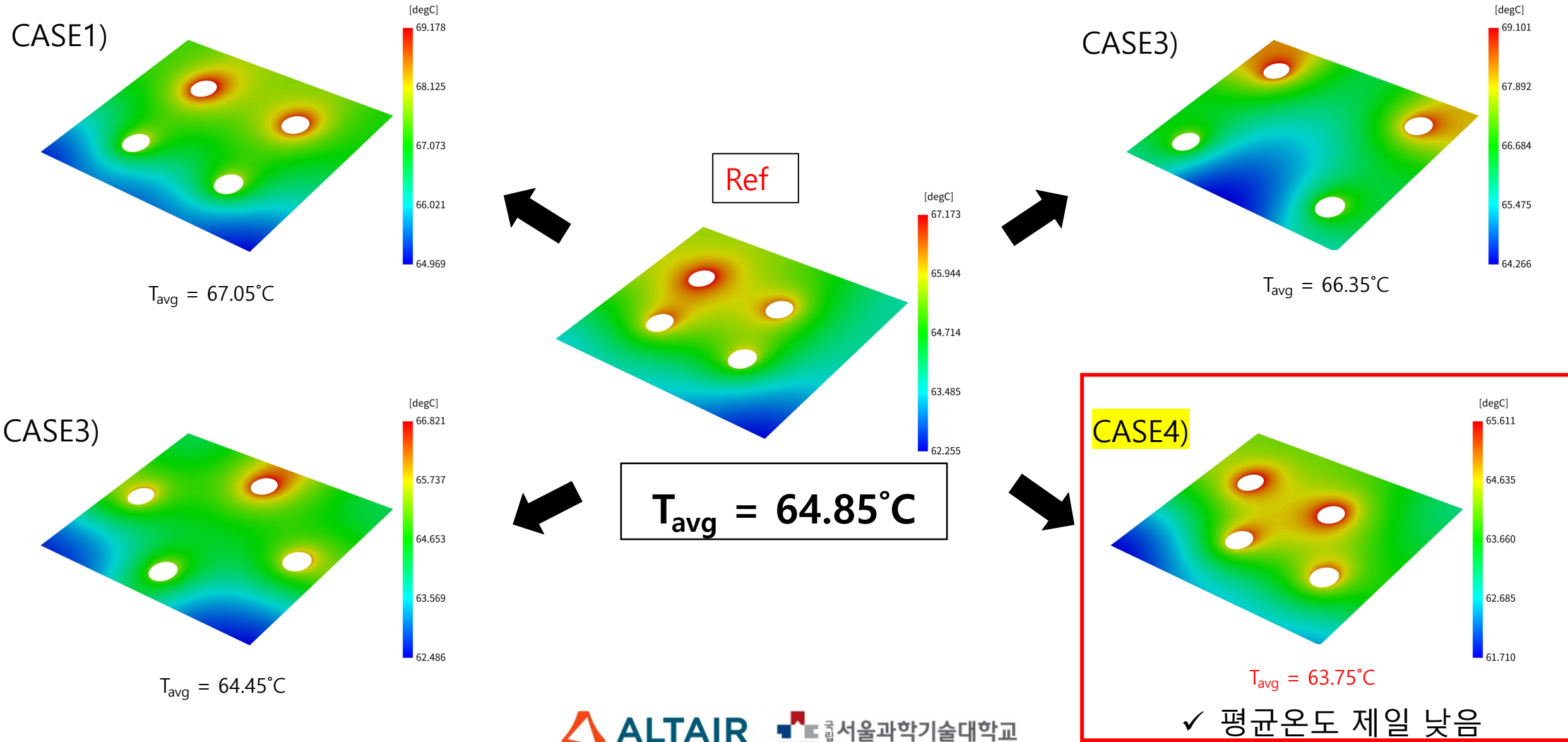
"방열성능 최적화 개요"

➤ 해석 절차



※ 직관성을 위해 방열성능 평가요소로 T_{avg} 를 사용하였음.

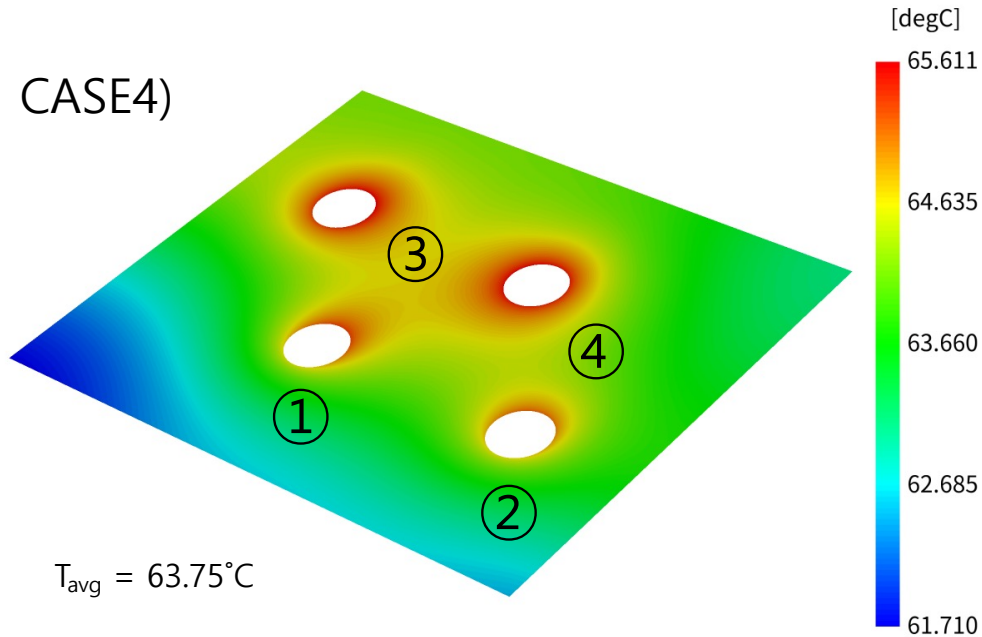
“히트파이프 위치 최적화”



“히트파이프 위치 최적화”

✓ CASE4의 핀의 평균온도가 가장 낮음

CASE4)



①히트파이프가 ③히트파이프를 위치상 막고 있는 것을 방지하기 위해 ①히트파이프의 위치를 변경함으로써 ③히트파이프에 충분한 팬에 의한 공기 유동이 전달되어 방열 성능이 향상됨

평균온도 $64.85^{\circ}\text{C} \rightarrow 63.75^{\circ}\text{C}$

“Design Features(DF) 추가 ” - 개요

✓ Design Features(이하 DF)란? : 히트싱크의 평판 핀에 추가된 "특정 형상"

- 평판 핀의 표면적 증가 : 방열 성능 향상
- 와류 발생기(Vortex Generator, VG)의 역할 : 점성 층류 경계층을 교란시켜, 핀 표면 근처에 난류를 형성
→ 대류 열전달 계수 증가 → 방열 성능 향상

※ 출처 : Numerical investigation and optimization of a heat sink having hemispherical pin fins/ Djamel Sahel a,* , Lahcene Bellahcene b , Aissa Yousfi c , Abdussamet Subasi

"Design Features(DF) 추가 " - 개요

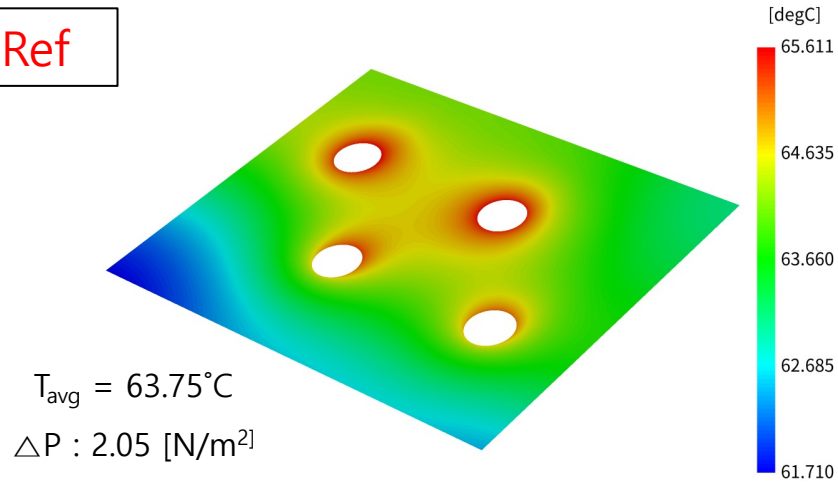
<강제냉각에 의한 방열성능 최적화 평가요소>

1. 핀 평균온도 T_{avg} : 평균 온도 감소 → 방열성능 증가
2. 입/출구 압력강하 ΔP : 압력 강하 감소 → 필요한 유량 감소 → Fan의 소모전력 감소

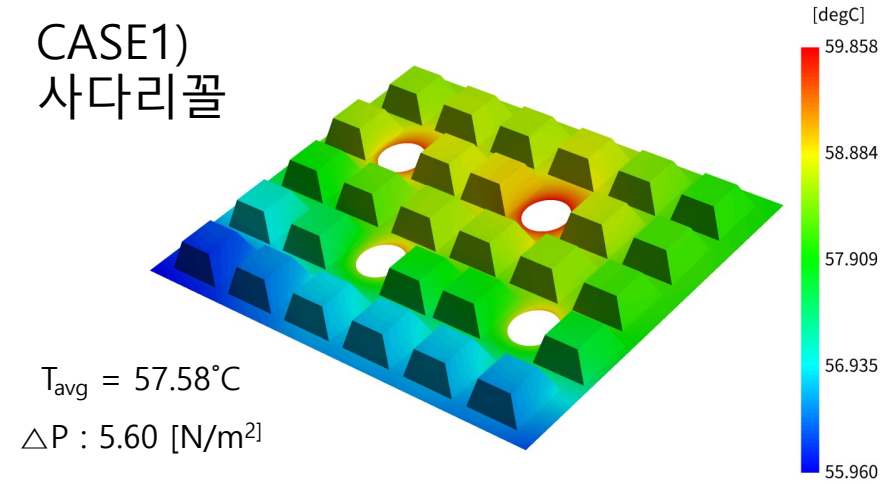
※ 출구 조건 Default ($P_{outlet} = 0$)로 설정했기 때문에, $\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} = P_{inlet}$

"Design Features(DF) 추가"

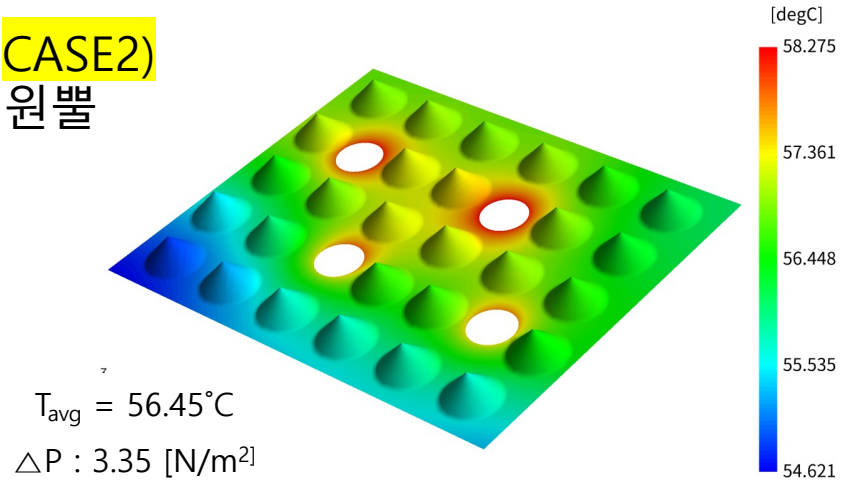
Ref



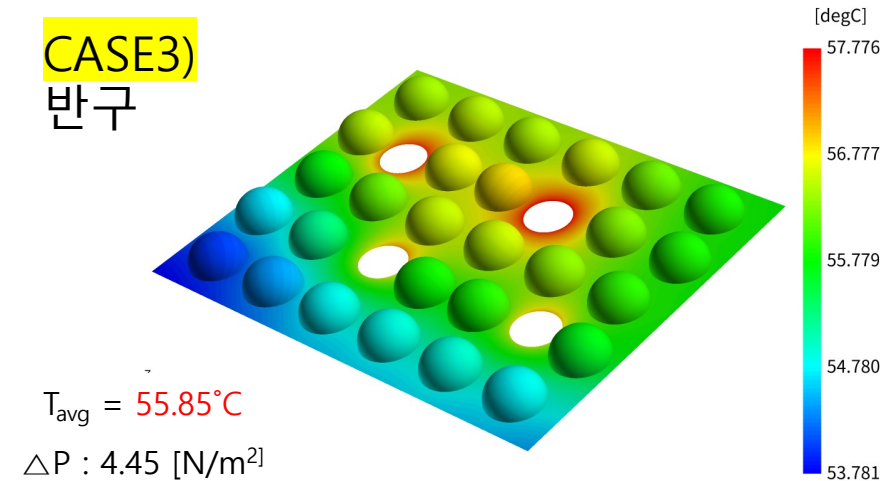
CASE1)
사다리꼴



CASE2)
원뿔



CASE3)
반구



"Design Features(DF) 추가 "

<해석 결과>

	Ref	사다리꼴	원뿔	반구
T_{avg} [°C]	63.75	57.58	56.45	55.85
ΔP [N/m ²]	2.05	5.6	3.35	4.45

DF의 형상 중,
"원뿔"과 "반구"에서
최적설계 가능성 확인

“Design Features(DF) 추가” – 최적화 전략

1) 반구형상을 삽입한 핀의 평균온도가 제일 낮지만 압력차가 비교적 큼

→ 압력강하를 위한 조치 필요 : 반구 형상에 구멍(Hole)을 뚫어 유동 경로를 만들어 입출구의 압력차를 줄임

2) 원뿔형상을 삽입한 핀의 평균온도는 반구형상과 0.6 °C의 비교적 작은 차이를 가지면서 압력차가 제일 작음

→ 원뿔 형상의 밑면 지름 · 높이 및 원뿔사이 거리에 의한 영향을 확인

03 - 1

DOE 최적설계

"Half-sphere"

"Half-sphere Hole"

DOE 단일변수 최적 설계(반구)

목적 함수 : Fin의 표면온도 최소화

설계 변수 : $0 < \text{Hole의 개수} < 7$

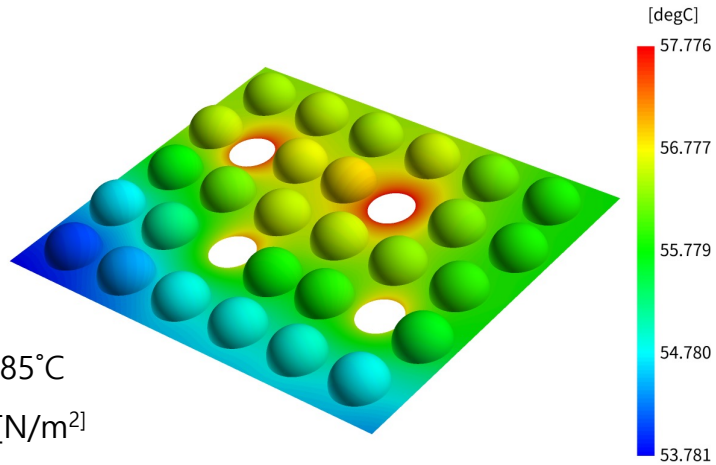
제한 조건 : Hole의 지름 $< 4\text{mm}$

※ 출처 : Numerical investigation and optimization of a heat sink having hemispherical pin fins/ Djamel Sahel a*, Lahcene Bellahcene b , Aissa Yousfi c , Abdussamet Subasi

"Half-sphere Hole"

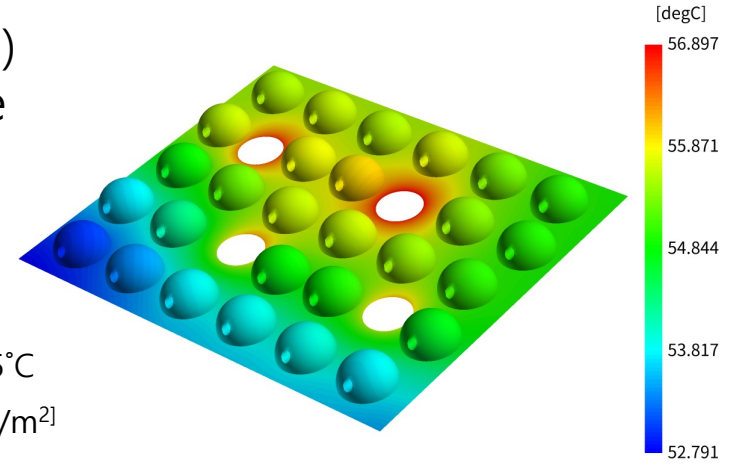
Ref

$T_{avg} = 55.85^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 4.45 \text{ [N/m}^2\text{]}$



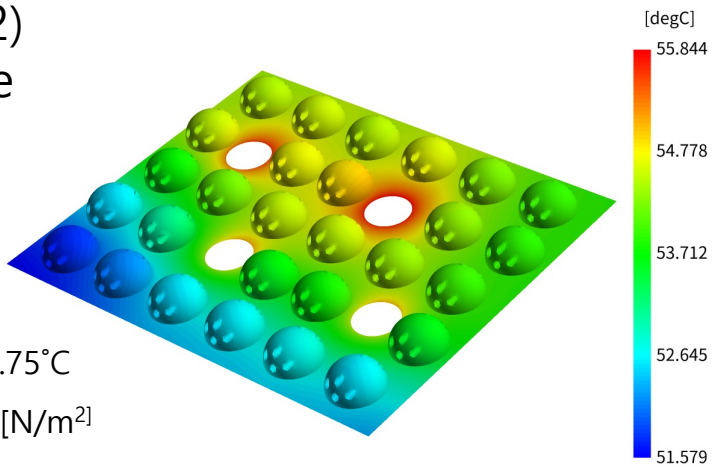
CASE1)
 1 Hole

$T_{avg} = 54.85^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 4.38 \text{ [N/m}^2\text{]}$



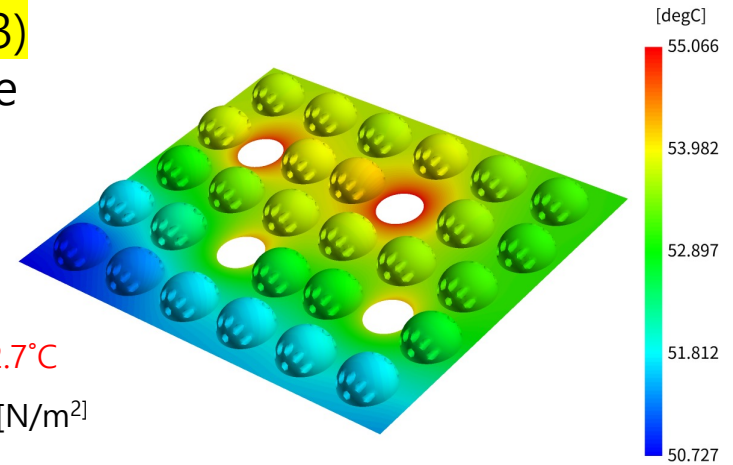
CASE2)
 4 Hole

$T_{avg} = 53.75^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 4.32 \text{ [N/m}^2\text{]}$

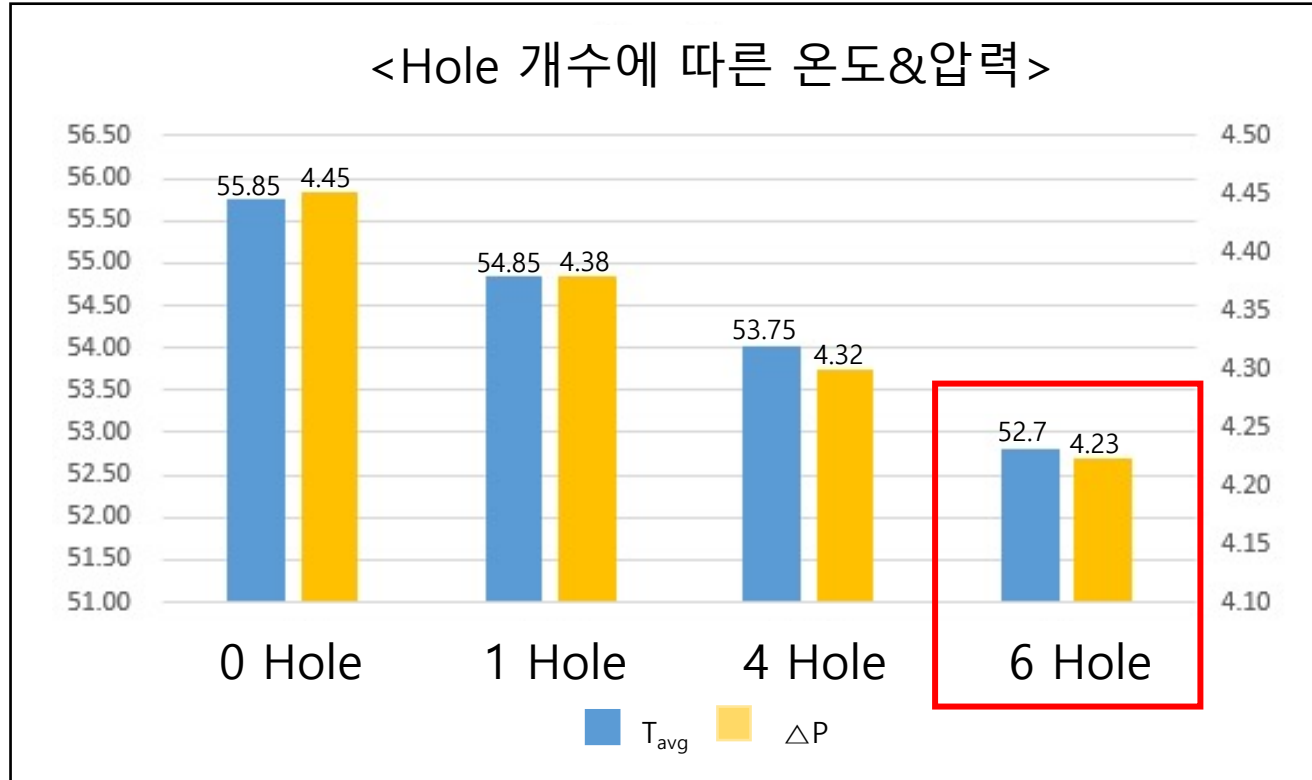


CASE3)
 6 Hole

$T_{avg} = 52.7^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 4.23 \text{ [N/m}^2\text{]}$



"Half-sphere Hole



➤ 최적화 결과

- Hole 개수 : 6개
- 핀의 표면 평균 온도 : **52.7°C**
- 압력 강하 : 4.23 [N/m²]

➤ 최적화 결과 분석

Hole의 개수 증가함에 따라
평균온도, 압력강하가 **모두 감소**

<원인>

- ① 반구 뒤에 발생하는 와류와 코어 유동의 혼합
- ② 구멍을 뚫음으로 인해 공기와 맞닿는 표면적 추가 확장

※ 출처 : Numerical investigation and optimization of a heat sink having hemispherical pin fins/ Djamel Sahel a*, Lahcene Bellahcene b, Aissa Yousfi c, Abdussamet Subasi

➤ 해석 결과 비교 및 분석

	평판 핀 (히트파이프 위치 최적화)	원뿔	반구
T_{avg} [°C]	63.75 ($T_{ref.avg}$)	56.45	55.85
ΔP [N/m ²]	2.05 (ΔP_{ref})	3.35	4.45
$ T_{ref.avg} - T_{avg} $	-	7.2 (11.3%)	7.9 (12.4%)
$ \Delta P_{ref} - \Delta P $	-	1.3 (63.4%)	2.4 (117%)

✓ 표면적 : 반구 > 원뿔

T_{avg} 는 각각 원뿔: 7.2, 반구: 7.9 감소.

ΔP 는 각각 원뿔: 1.3, 반구: 2.4 증가.



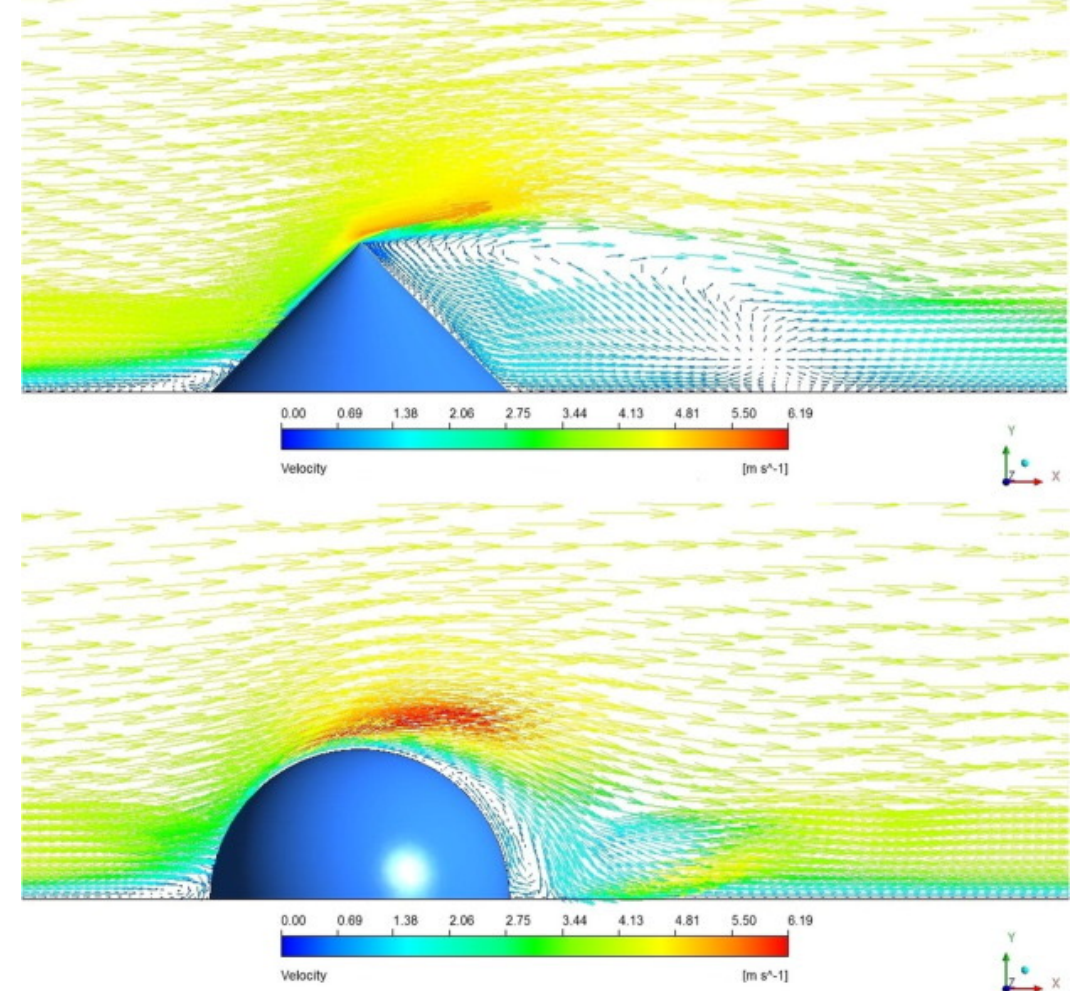
✓ 원뿔 vs 반구

반구: 온도 측면에서는 우월,
압력 측면에서는 열등

<원인>

- ✓ **원뿔DF** : 날카로운 꼭짓점에 의해 강한 "재부착" 형성
 - 하위 층류 교란 + 강한 "난류" 형성
 - 표면 근처 흐름과 코어 흐름 혼합
 - ✓ **반구DF** : 매끄러운 표면으로 인해 약한 재부착 형성.
 - (표면적 : 원뿔 < 반구 임에도)
- 원뿔 형상의 구조적 방열 성능 우월

Heat transfer enhancement in solar air heater duct with conical protrusion roughness ribs (2017)



T_{avg} , ΔP 두 가지 모두 고려하면, "원뿔 형상의 최적화 가능성 존재"

03 - 2

DOE 최적설계

"Cone"

DOE 최적 설계(원뿔)

목적 함수 : 압력강하 최소화

설계 변수 : 밑면 지름 (D), 높이 (H), 간격 (G)

제한 조건 : Fin 표면 평균 온도 < 65°C

※ 출처 : Heat transfer enhancement in solar air heater duct with conical protrusion roughness ribs/TabishAlamMan-HoeKim



"Cone"

Iteration	D	H	G
1	8	2	2
2	8	2	2.25
3	8	2	2.5
4	8	1.5	2
5	8	1.5	2.25
6	8	1.5	2.5
7	8	1	2
8	8	1	2.25
9	8	1	2.5
10	4	1	1
11	4	1	1.25
12	4	1	1.5
13	4	0.75	1
14	4	0.75	1.25
15	4	0.75	1.5
16	4	0.5	1
17	4	0.5	1.25
18	4	0.5	1.5
19	2	0.5	0.5
20	2	0.5	0.75
21	2	0.5	1
22	2	0.3	0.5
23	2	0.3	0.75
24	2	0.3	1
25	2	0.15	0.5
26	2	0.15	0.75
27	2	0.15	1

각 인자 당, 3개의 수준을 부여한다고 가정하면
총 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 회의 해석 필요

1. ΔT_{avg} 최대화

DF의 최대 개수, 최대 크기

2. 생산성 고려

$$H/D \leq \frac{1}{2}$$

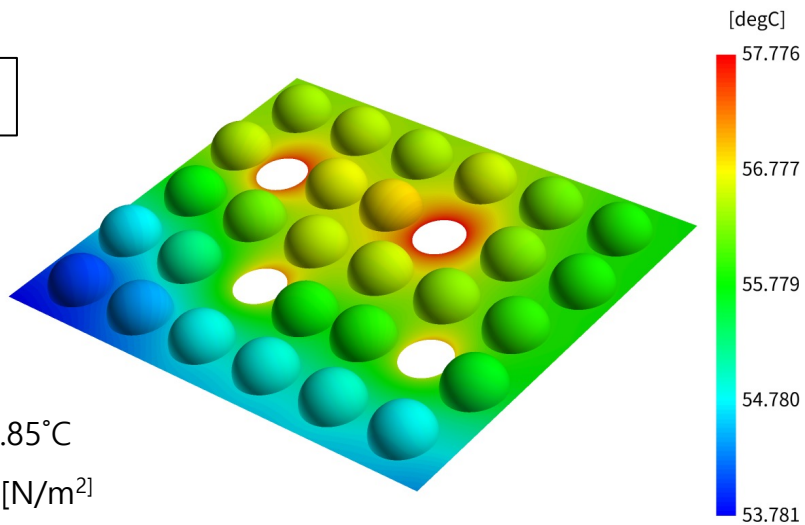
프레스 박판 성형시 밑변에 비해 높이가 크면 가공이 어렵기 때문에 (높이/밑변)값이 $\frac{1}{2}$ 을 넘지 않도록 제한조건을 주었음

<직교 배열표>

"Cone"

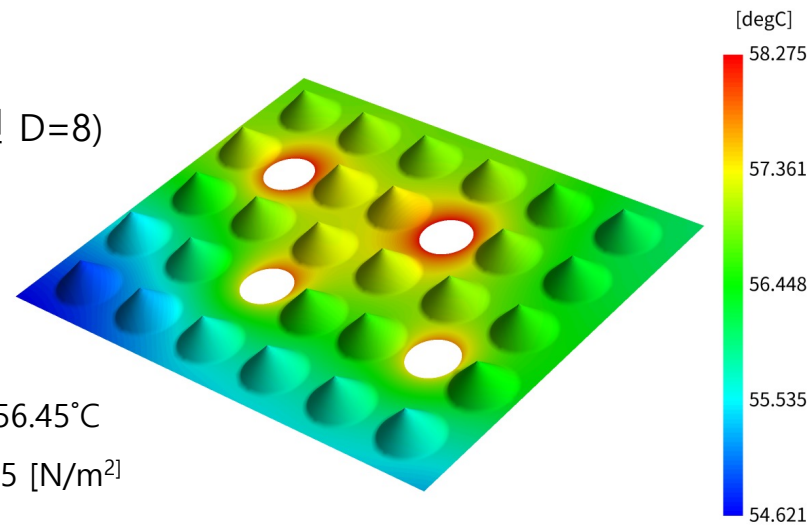
Ref

$T_{avg} = 55.85^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 4.45 \text{ [N/m}^2\text{]}$



CASE1)
 원뿔(밑면 D=8)

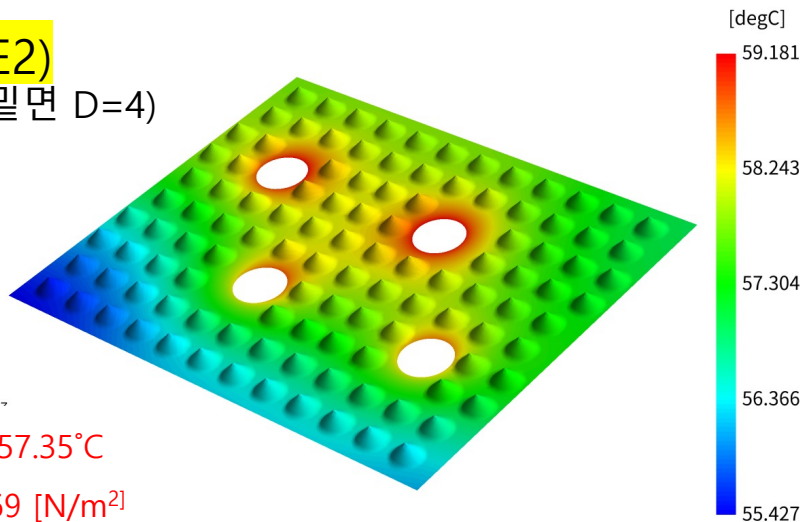
$T_{avg} = 56.45^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 3.35 \text{ [N/m}^2\text{]}$



CASE2)

원뿔(밑면 D=4)

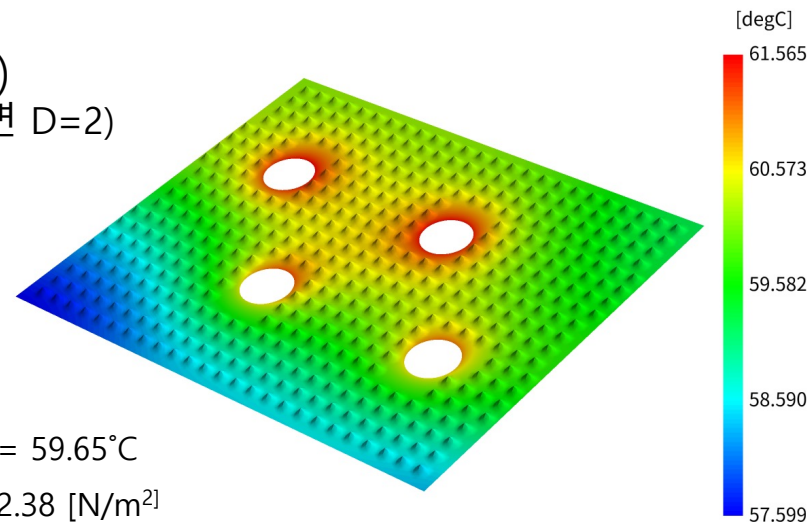
$T_{avg} = 57.35^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 2.69 \text{ [N/m}^2\text{]}$



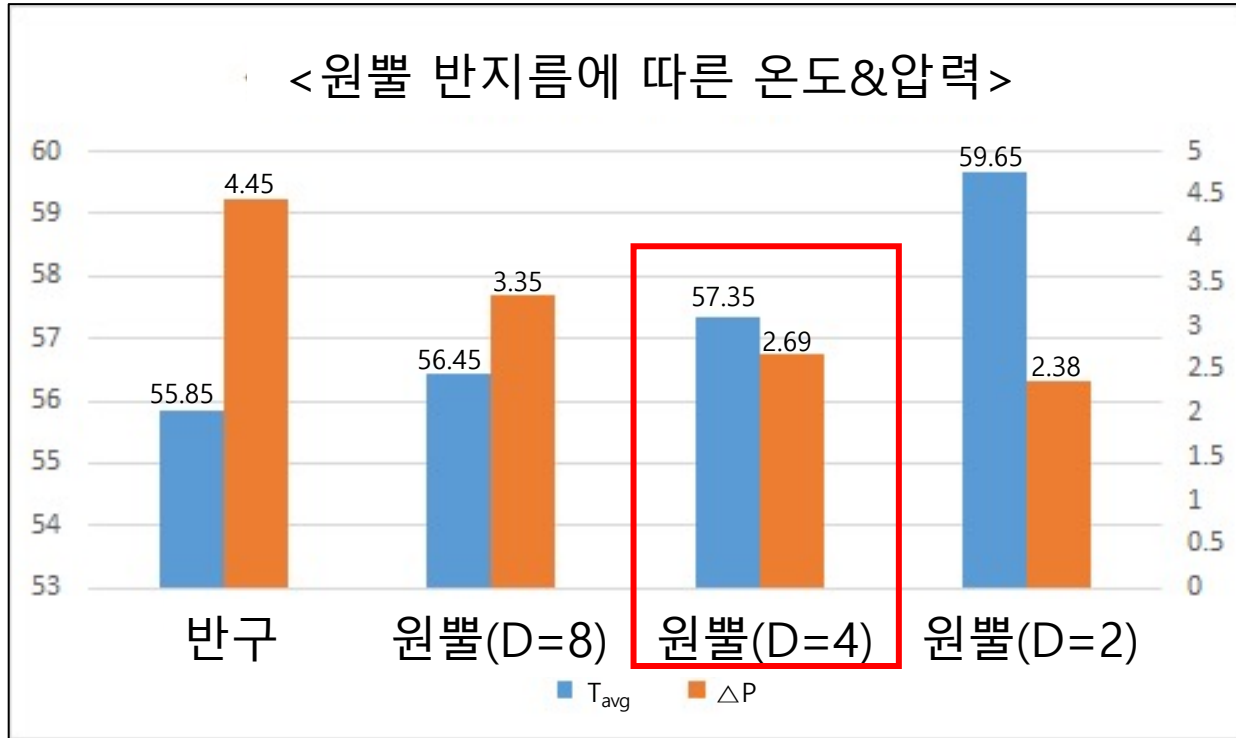
CASE3)

원뿔(밑면 D=2)

$T_{avg} = 59.65^{\circ}\text{C}$
 $\Delta P : 2.38 \text{ [N/m}^2\text{]}$



"Cone"



➤ 최적화 결과

- 원뿔 반지름 : 2mm
- 핀의 표면 평균 온도 : 57.35°C
- 압력 강하 : 2.69 [N/m²]

➤ 최적화 결과 분석

원뿔 밑면의 반지름이 감소할수록

평균온도 증가, 압력강하 감소

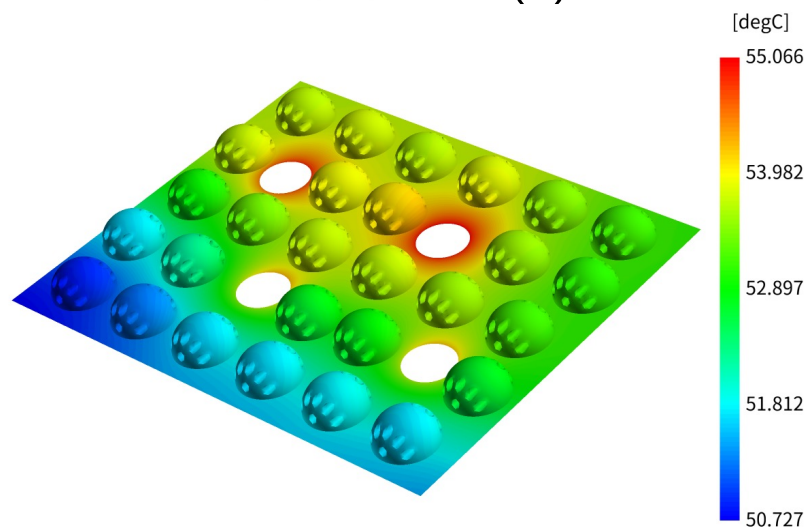
CASE3을 최적화 모델로 선정하기에 압력강하는 제일 작지만
평균온도가 비교적 큰 편이므로 CASE2(R=2)을 최적화 모델로 선정

04 결론

- 최종 설계안
- 최종 결론

"최종 설계안"

➤ 최적화 모델(1)

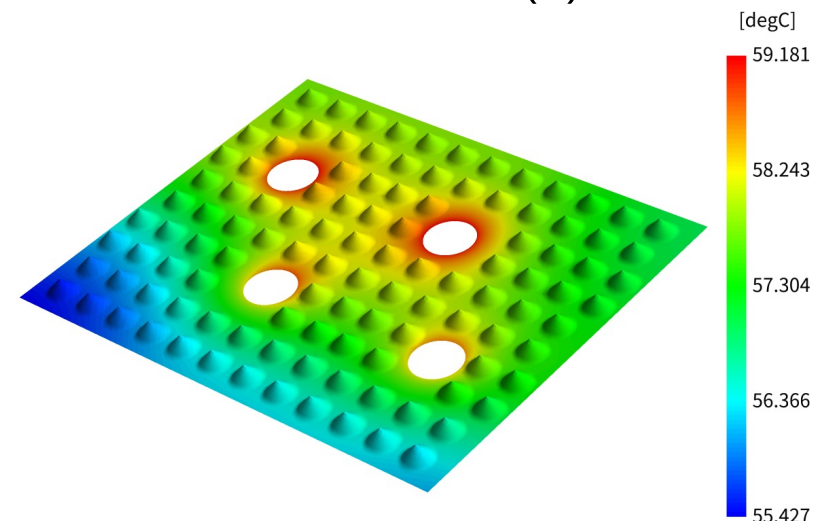


- 핀의 표면 평균 온도 : **52.7°C**
- 압력 강하 : **4.23N/m²**

"고성능 방열 CPU 쿨러"

- 압력차이가 높아 소비전력이 큼.

➤ 최적화 모델(2)



- 핀의 표면 평균 온도 : **57.35°C**
- 압력 강하 : **2.69N/m²**

"소비전력 적은 CPU 쿨러"

- 준수한 방열 성능.

“최/종 결론”

➤ 최적화 결과 비교

	기존 상용 모델	최적화 모델(1)	변화량
핀 표면 평균온도	64.85°C	52.7°C	-12.15°C
입/출구 압력차이	2 N/m ²	4.23 N/m ²	+2.23 N/m ²

	기존 상용 모델	최적화 모델(2)	변화량
핀 표면 평균온도	64.85°C	57.35°C	-7.5°C
입/출구 압력차이	2 N/m ²	2.69 N/m ²	+0.69 N/m ²

히트싱크 핀의 특정 형상을 삽입하면서 표면적이 증가하여 핀의 **표면온도는 감소**,
삽입된 형상에 의해 공기 유동이 방해받기 때문에 **입/출구 압력차 증가**

➡ 본래 목적인 **핀(Fin)의 방열성능 향상**의 연구 목적 달성





-
- ✓ 추가 공간을 필요로 하지 않고 CPU의 온도를 낮출 수 있는 설계 및 최적화 제안하였음.
 - ✓ 추후, 생산성을 고려하여 프레스 박판성형 공정의 추가로 최적 설계된 핀 생산성 확보 가능.
-

2021 Altair Optimization Contest

감사합니다.

2021 Altair Optimization Contest

Q&A
