

인덕션 레인지의 유도가열 해석

H.O.T

2017026035 한지윤

2018016017 서예림

2018015887 김보민

Contents

01. 주제선정 동기

- 1) 주제 소개
- 2) 팀명 소개

02. 인덕션 레인지 원리

- 1) 유도가열 회로
- 2) MATLAB

03. 인덕션 레인지 COMSOL 해석

- 1) 모델링 비교
- 2) 코일 턴수 비교
- 3) 주파수 비교
- 4) 온도 상승 시간

04. 하이라이트 모델링

- 1) 모델링
- 2) 결과
- 3) 한계점

01

주제선정 동기

1. 주제 소개
2. 팀명 소개

“언택트 시대?! Heating도 Non-Contact!”

→ 인덕션 레인지

- 다른 레인지들에 비해 열효율이 좋음
- “유도가열” 방식을 통해 열을 용기로 바로 전달
- ‘전자기학’ + ‘열역학’ 이 더해진 Multiphysics
- LTspice, Simulink, COMSOL로 해석
- 하이라이트와 열전달 방식 비교

레인지 종류에 따른 장·단점 비교

	제품	가열방식	열효율 (자사 실험치)	장 · 단점	1L 물이 끓는 속도
인덕션		자기장 유도로 용기만 가열	90%	조리시간 단축 유해가스 · 냄새 없음 청소 용이 화상 위험 적음 사용 용기 제한	6분 30초
하이라이트		열선을 통해 직접 열 전달	65%	유해가스 · 냄새 없음 용기 제한 없음 청소 용이 조리 잔열로 화상 위험	9분
가스레인지		가스로 불꽃을 만들어 가열	40%	용기 제한 없음 가스 누출 · 폭발 위험 유해물질 발생 청소 어려움	10분 30초

H. O. T

Highfive Of Twenties

+

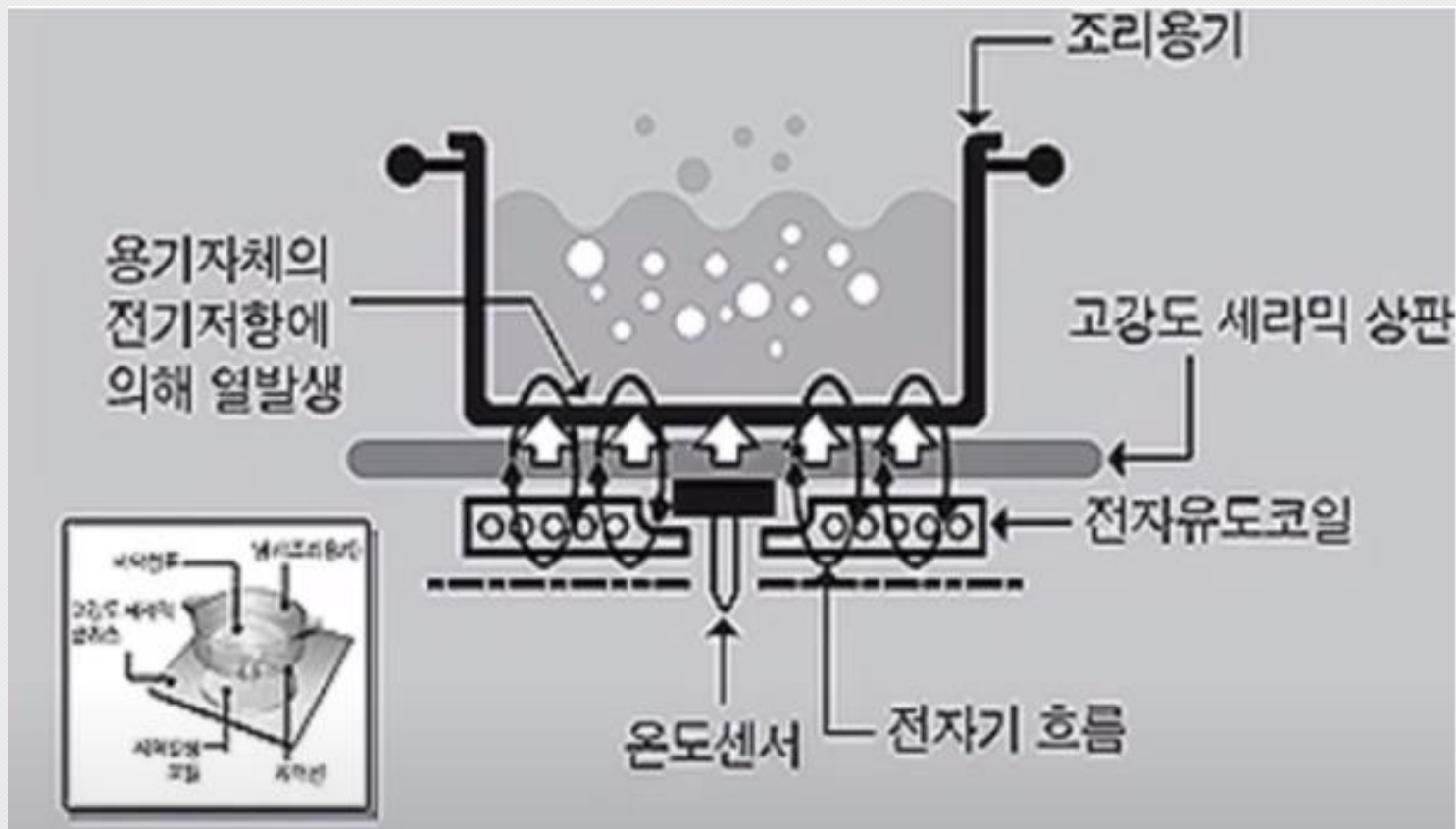
유도가 “열”

02

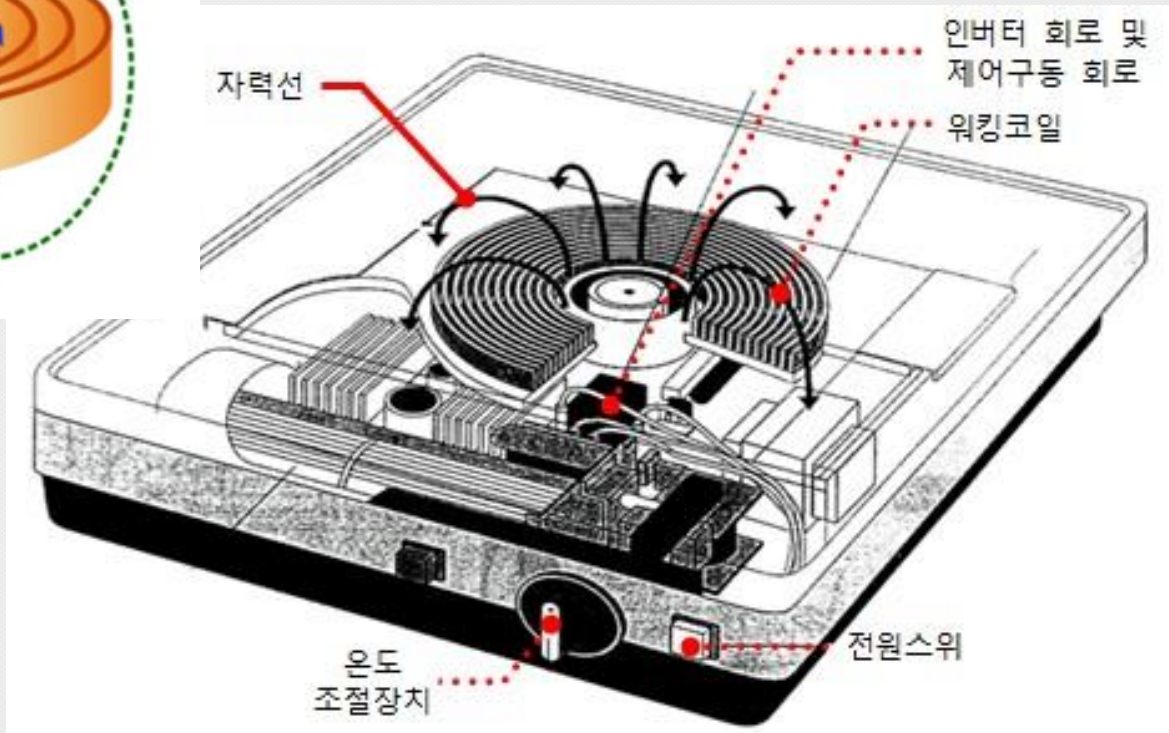
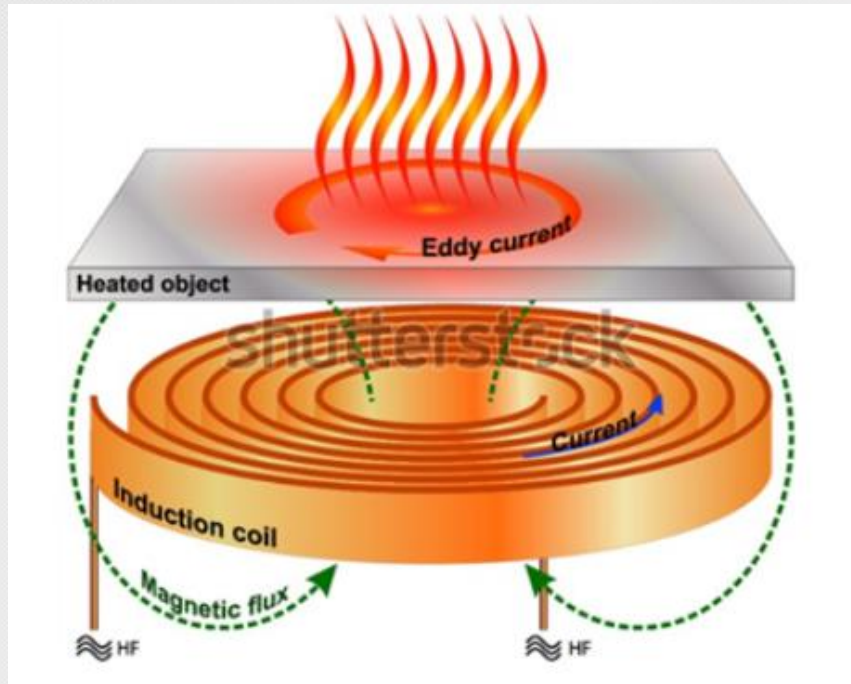
인덕션 레인지 원리

1. 유도가열 회로
2. MATLAB

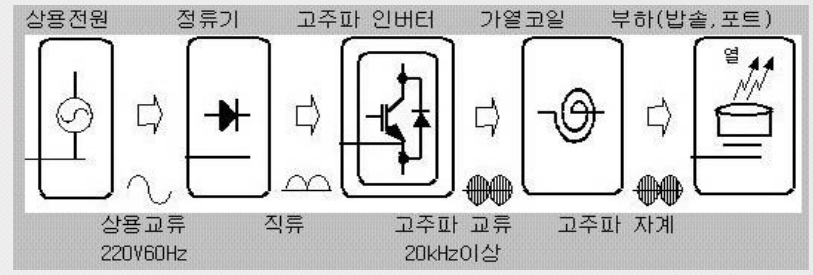
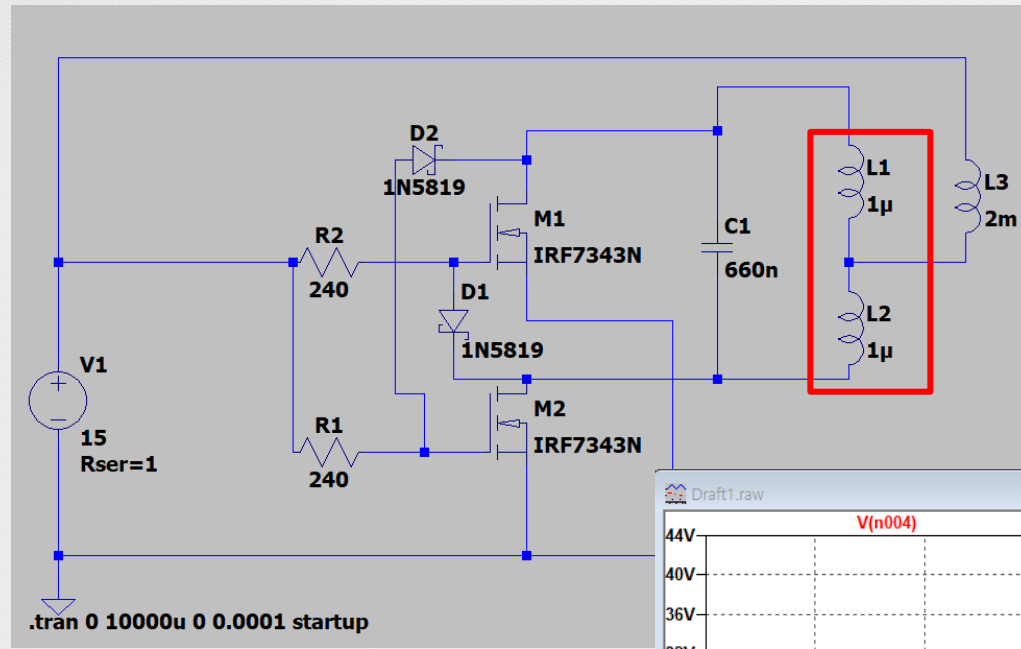
유도가열



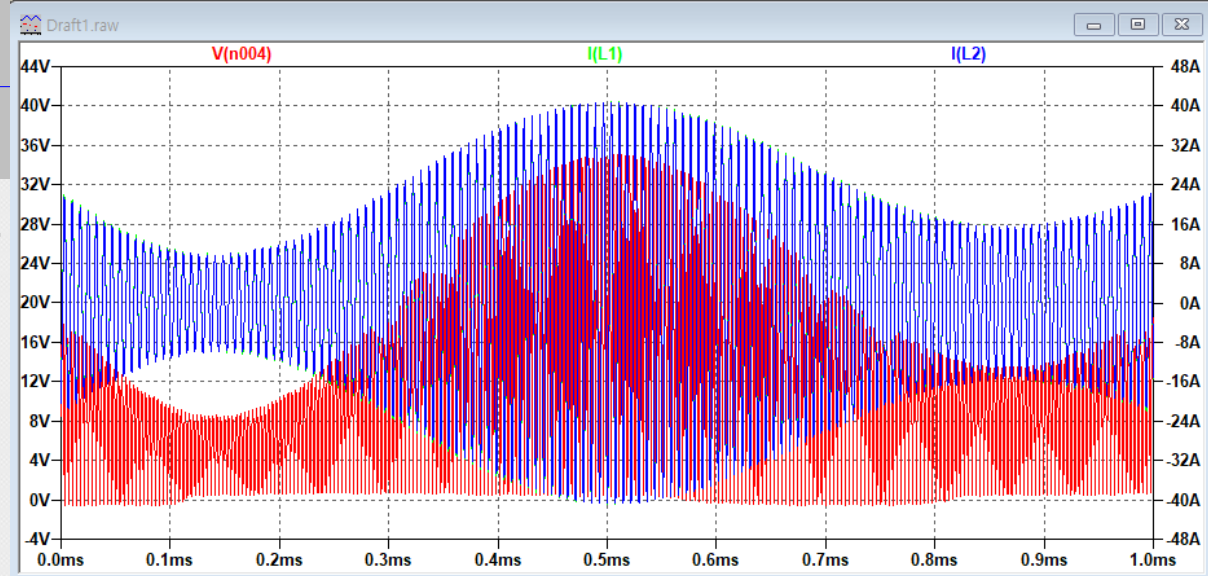
1. 유도가열 회로



1. 유도 가열 회로



▼ 가열 코일에 인가된 고주파 전류



▲ LTspice 로 구현한 유도 가열 회로

철손(Core Loss) = 와전류손 + 히스테리시스손

주파수 제곱에 비례

주파수에 비례

CoreLoss

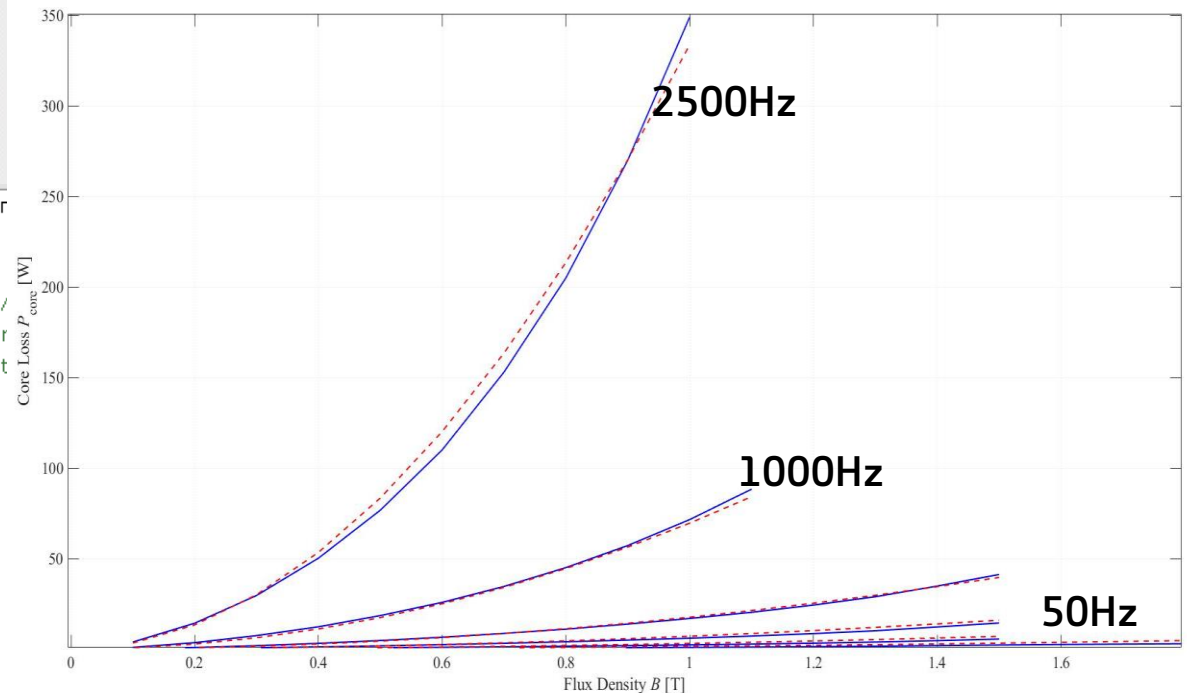
$$= K_h f B_m^2 + K_c (f B_m)^2 + K_e (f B_m)^{1.5}$$

MATLAB 함수

```

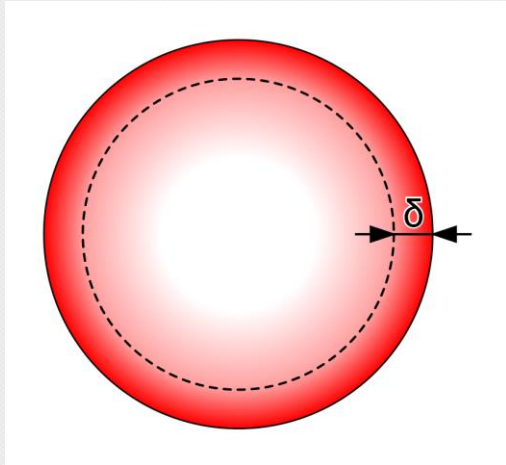
1 function [ P_core , P_h , P_e ] = core_loss_fur
2 % f is the frequency [Hz]
3 % B_m is the peak flux density [T]
4 % K_h is the coefficient of hysteresis loss [W/Ψ]
5 % K_c is the coefficient of classical eddy curr
6 % K_e is the coefficient of excess eddy current
7 % M is the mass [kg]
8
9 % Hysteresis Loss [W]
10 P_h = K_h * f .* B_m.^2 * M;
11
12 % Classical Eddy Current Loss [W]
13 P_c = K_c * (f .* B_m).^2 * M;
14
15 % Excess Eddy Current Loss [W]
16 P_e = K_e * (f .* B_m).^1.5 * M;
17
18 % Total Core Loss [W]
19 P_core = P_h + P_c + P_e;
20
21 end

```



▲ Electrical steel 235-35A

표피효과(Skin Effect) : 주파수가 높을수록 도체 표면으로 전류가 집중하는 현상



- 표면 깊이가 깊을수록, 저항이 약해짐
- 투자율이 높고, 표면 깊이가 얇아야 표면저항이 커서 강한 열 발생
- 투자율이 높으면, 표면 깊이를 낮춤

$$\delta(\text{skin depth}) = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}}$$

f : 주파수, σ : 도전율, μ : 투자율

	상대적 투자율	표면 깊이(mm)	상대적 표면 저항
구리	1	0.43	1
알루미늄	1	0.56	1.28
탄소강 1010	200	0.1	56.25
스테인리스강 402	200	0.18	87.5

▲ 24kHz(인덕션 레인지)에서의 표면 깊이

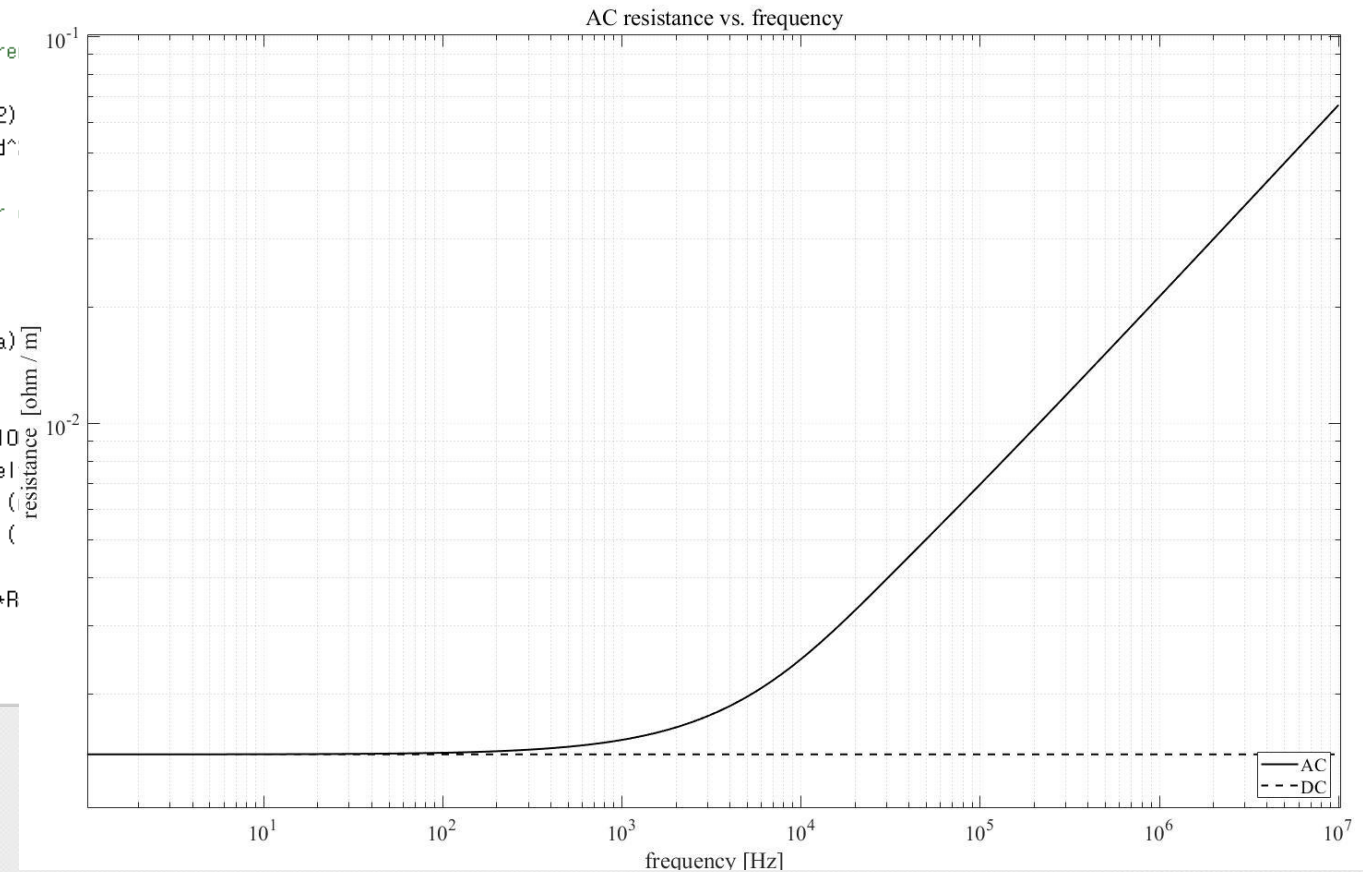
MATLAB 함수

```

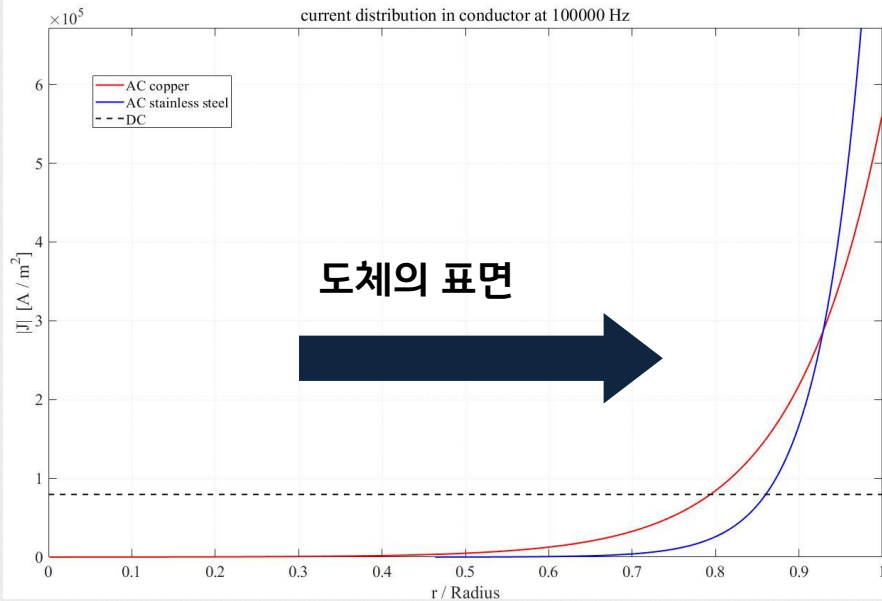
19
20 -   meu0 = 4*pi*1e-7; % [H/m] permeability
21 -   meu = meu0 * meu_r;
22 -   meu2 = meu0 * meu_r2;
23 -   I = 1; % [A] reference current
24
25 -   Rdc = 1/(sigma * pi * Rad^2)
26 -   Rdc2 = 1/(sigma2 * pi * Rad^2)
27
28 -   % compute AC resistance for
29 -   for ii = 1:length(freq)
30 -       f = freq(ii);
31 -       w = 2*pi*f;
32 -       delta = (2/(w+meu+sigma))
33 -       k = (1+j)/delta;
34
35 -       dr = min(delta, Rad) / 10
36 -       minR = max(0, Rad-10*del
37 -       r = (Rad-dr/2) : -dr : (
38 -       J = (I/(2*pi)) * k^2 / (
39 -       absJ = abs(J);
40 -       Rac_ii = Rdc * (2*pi^2*R
41
42 -       Rac(ii) = Rac_ii;
43 -   end

```

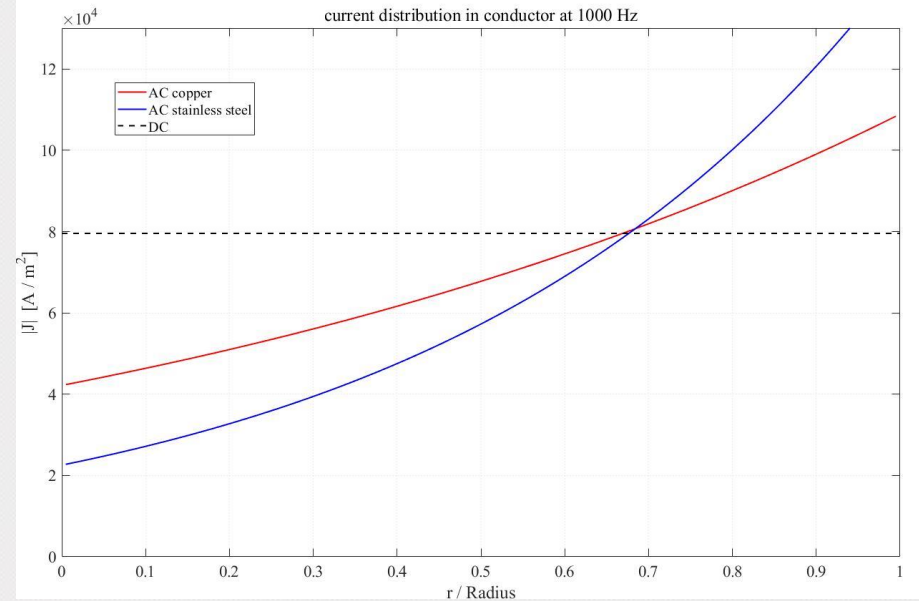
주파수가 커질수록 표면저항이 커진다.



구리 vs 스테인리스강 <고주파>



구리 vs 스테인리스강 <저주파>

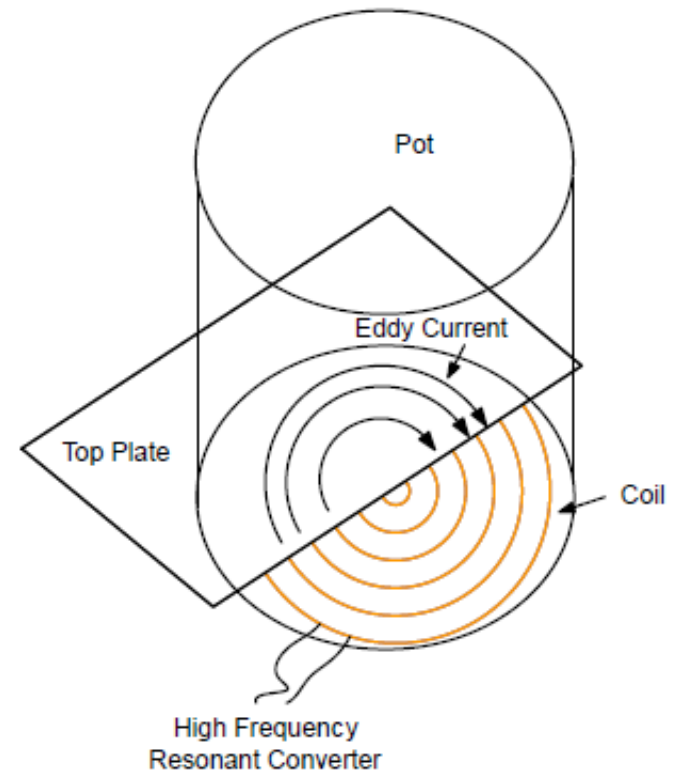
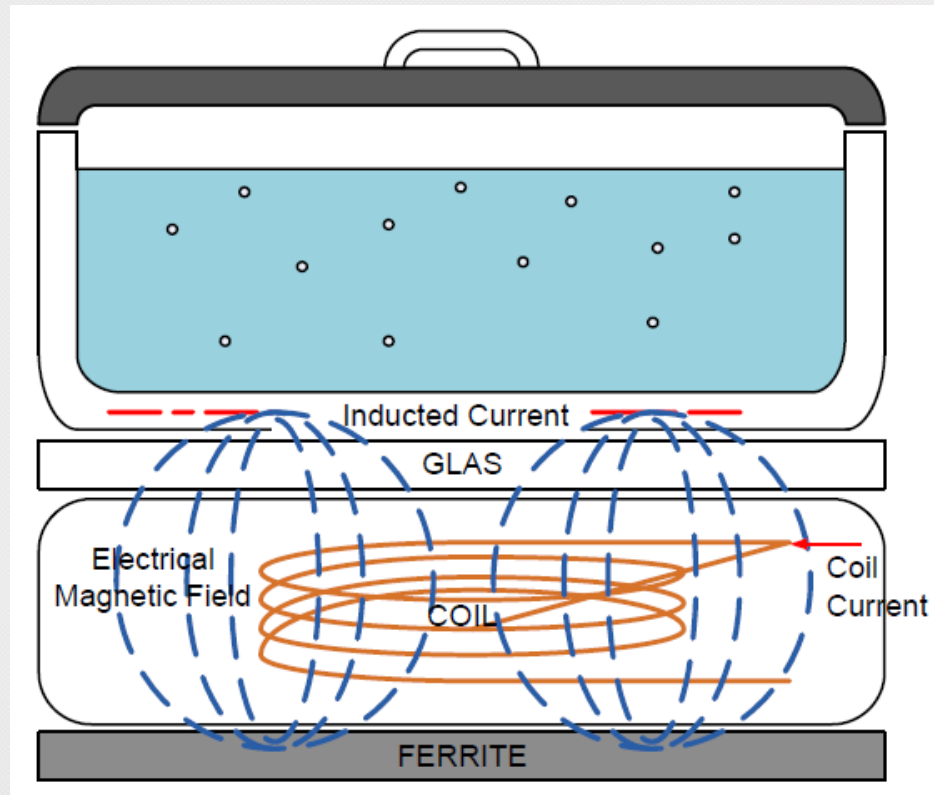


1. 고주파일수록 표피효과가 증가한다. (표면에 전류가 집중된다.)
2. 투자율이 높을수록(스테인리스강) 표피효과가 증가한다.

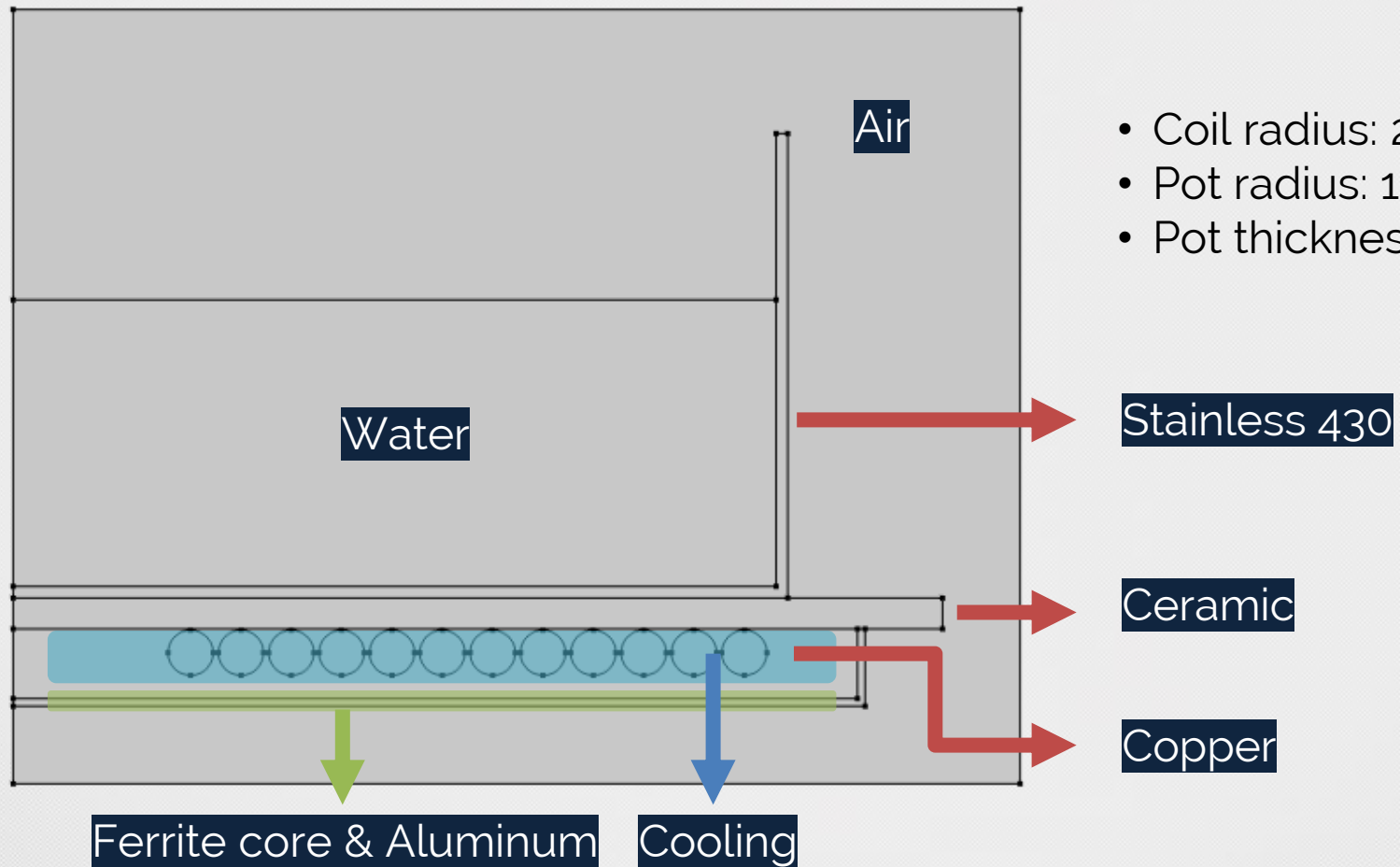
03

인덕션 레인지 COMSOL 해석

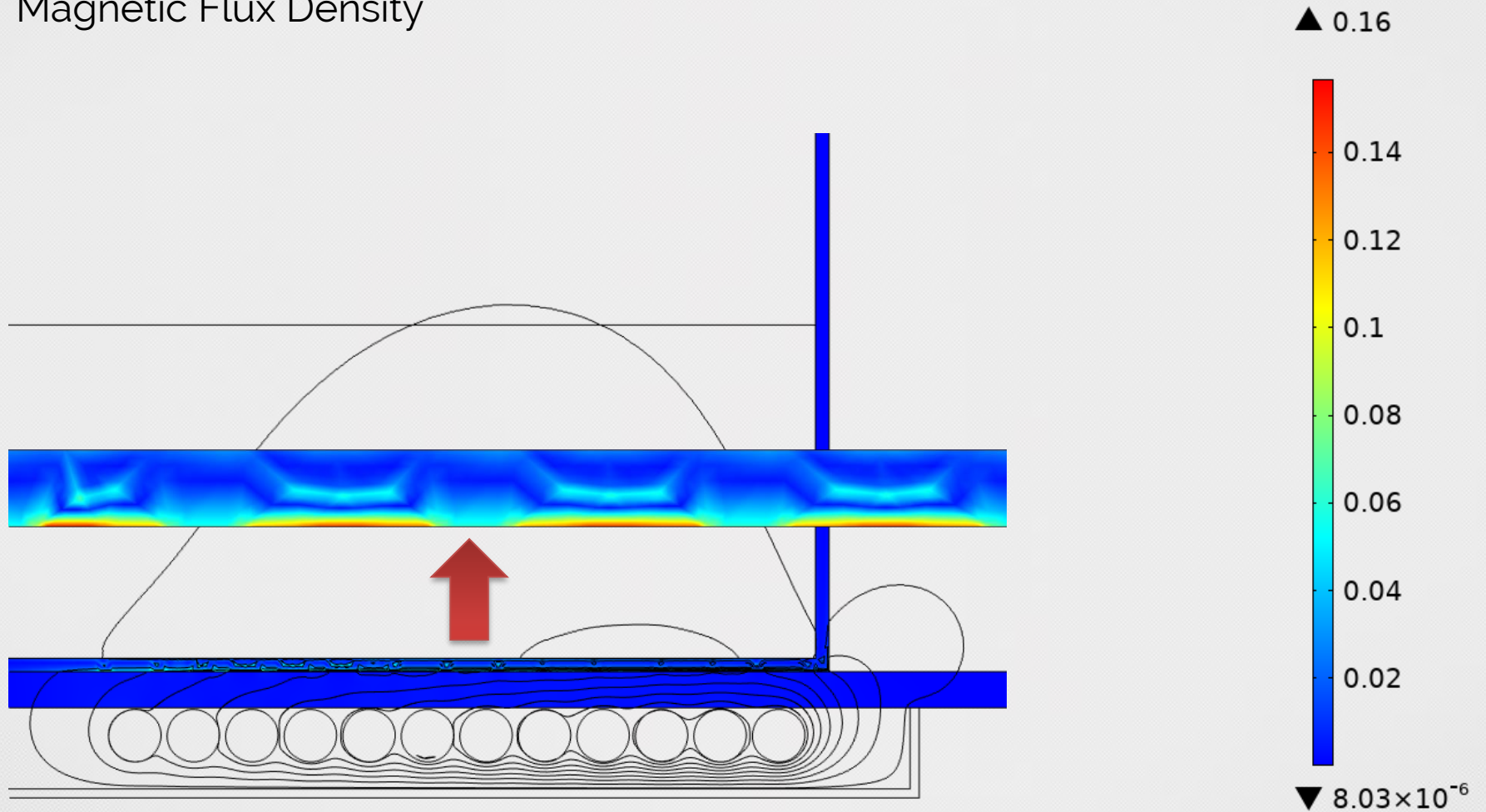
1. 모델링
2. 주파수 비교
3. 코일 턴수 비교
4. 온도 상승 시간



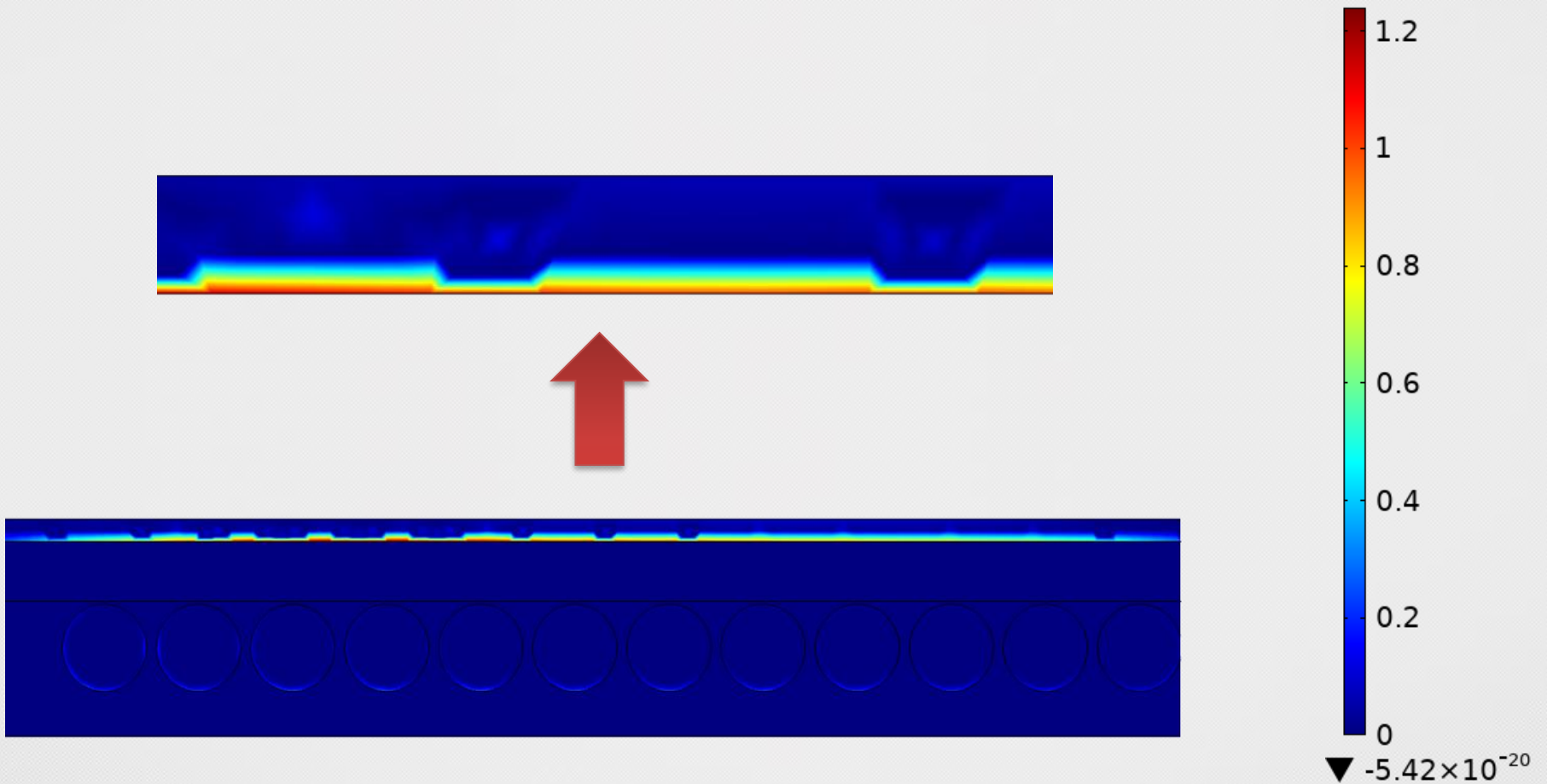
Geometry & Materials

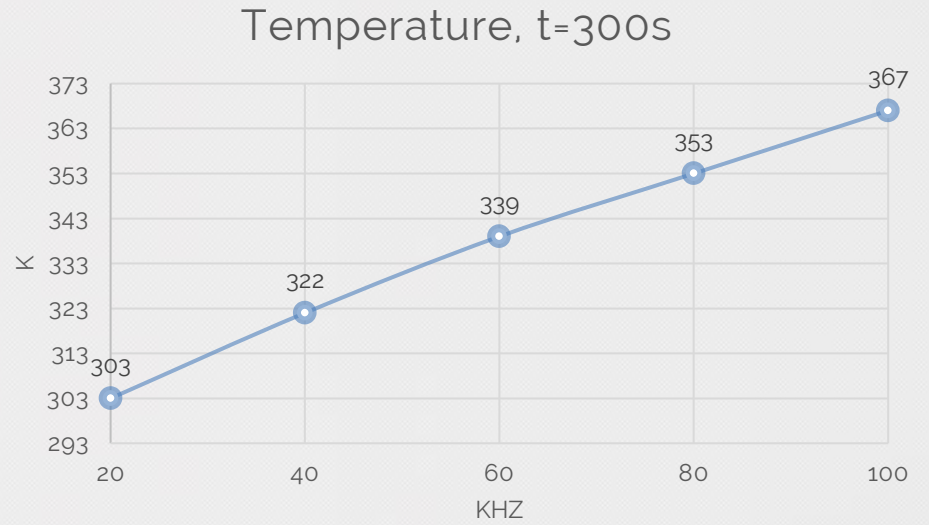
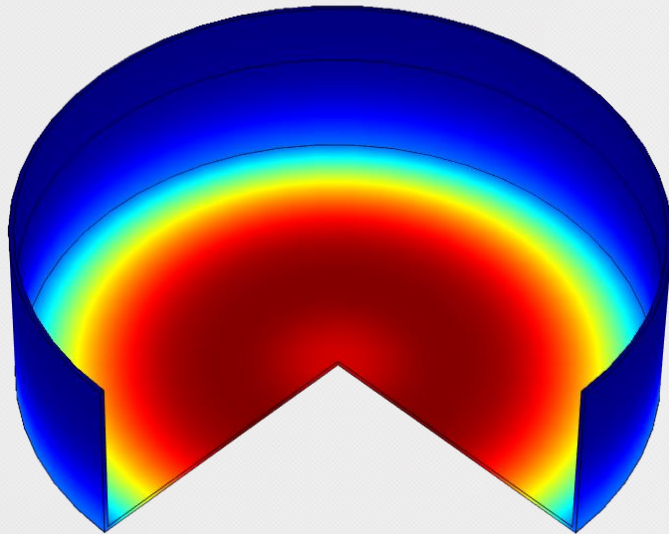


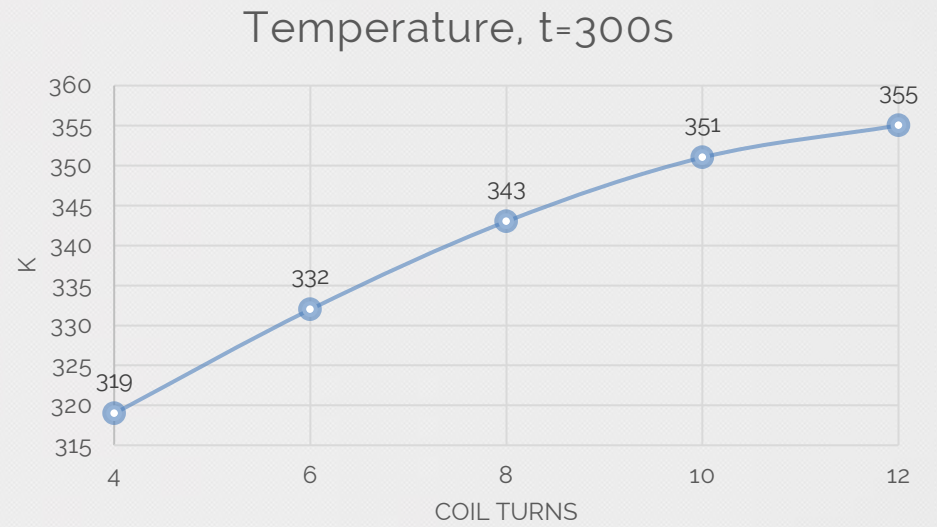
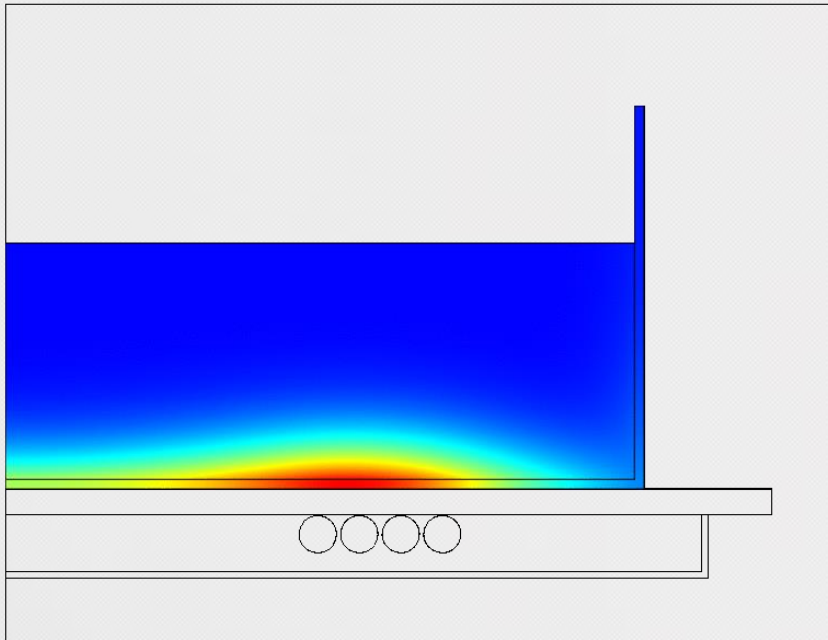
Magnetic Flux Density



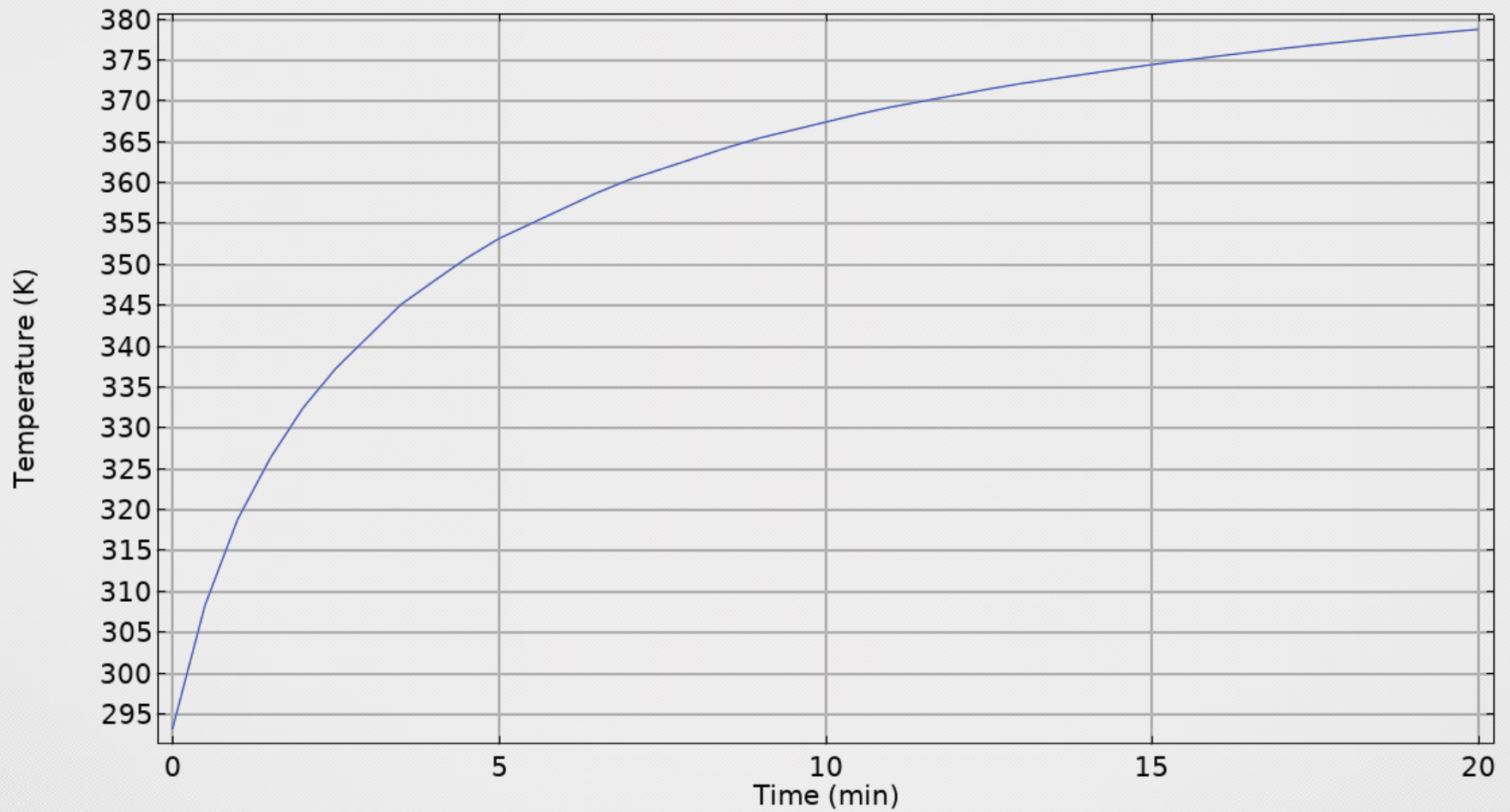
Volumetric loss Density







Temperature

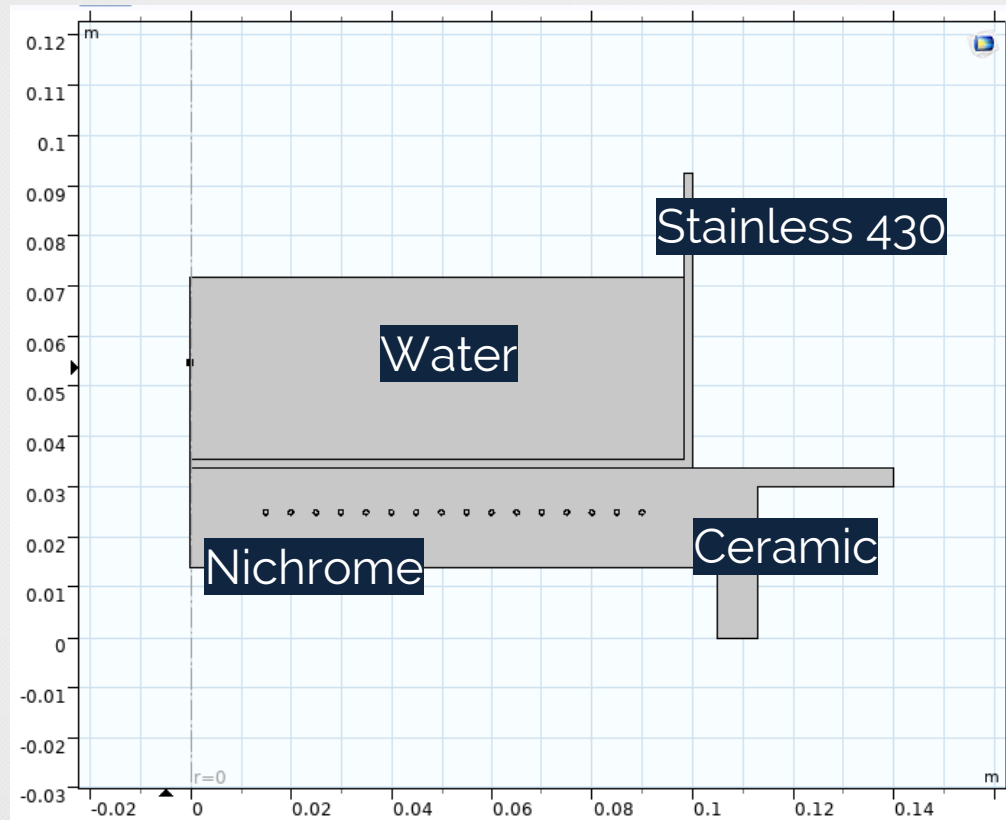


04

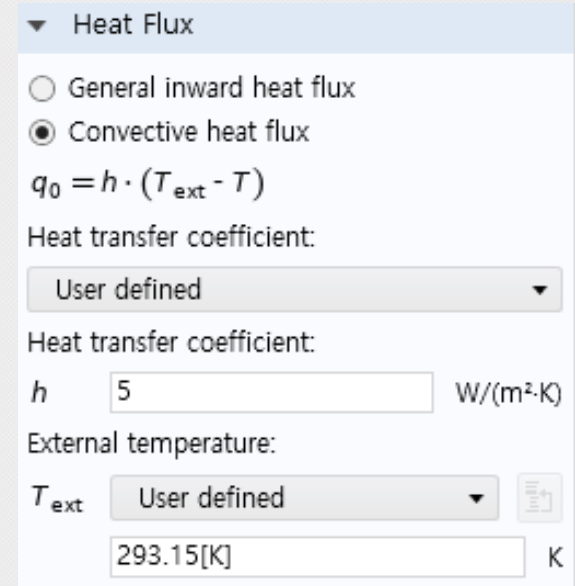
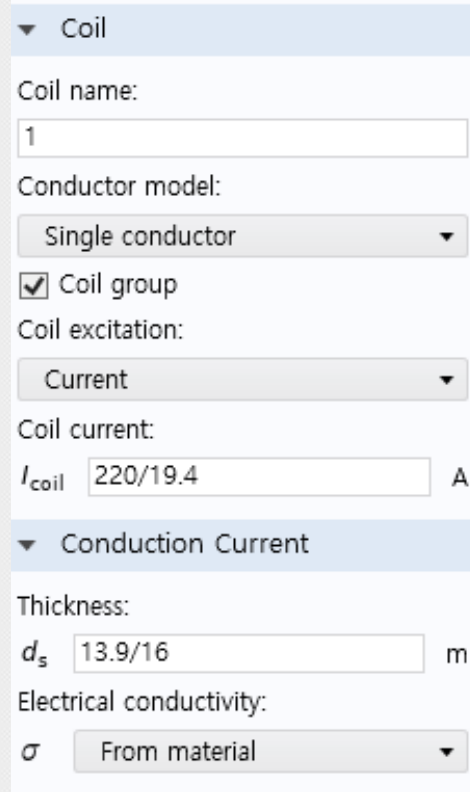
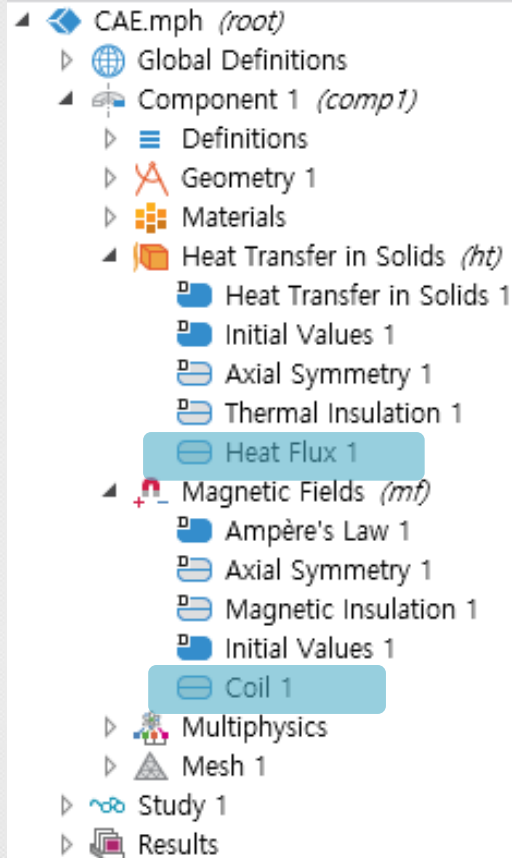
하이라이트 COMSOL 해석

1. 모델링
2. 결과
3. 한계점

Geometry & Materials

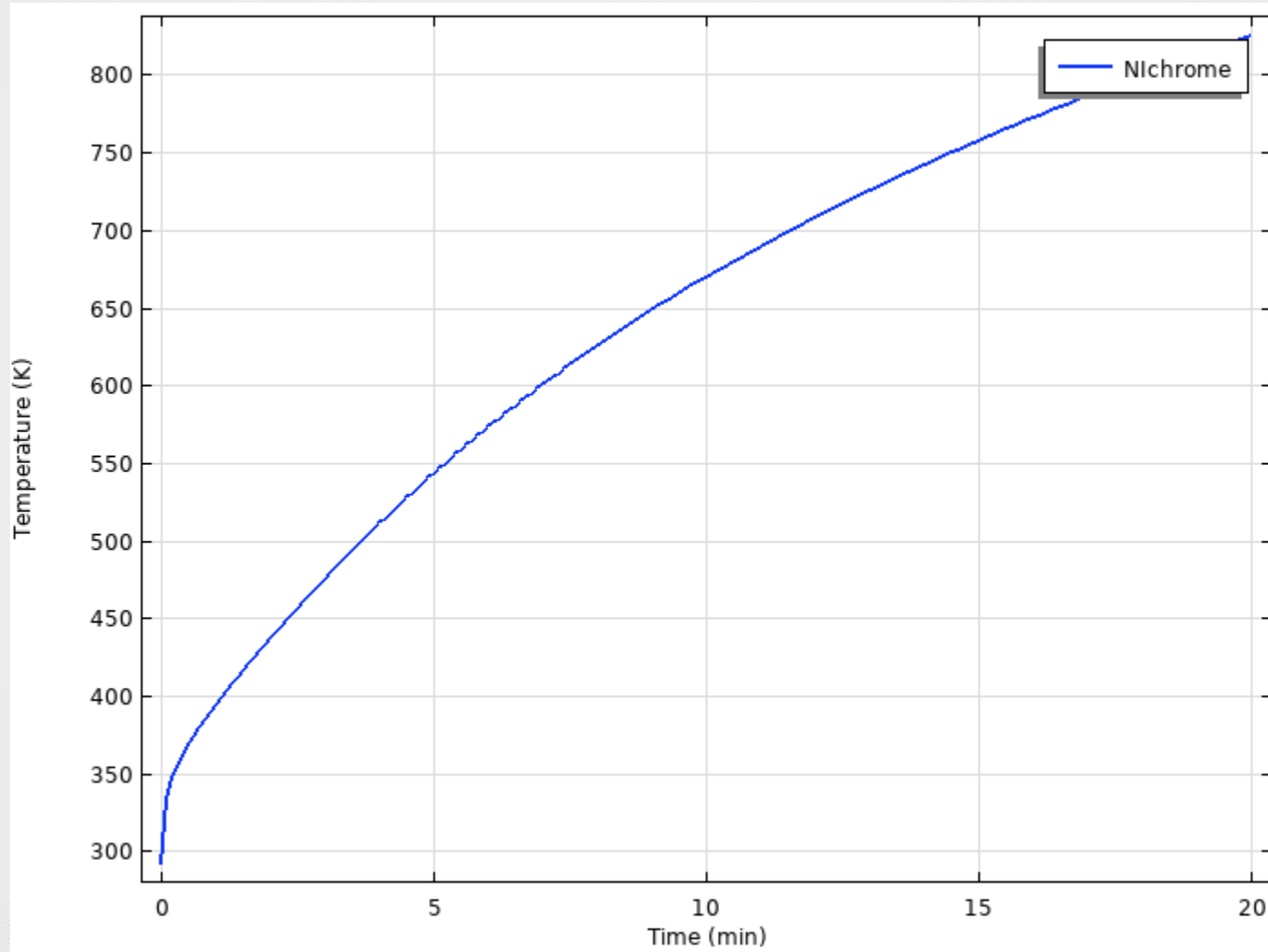


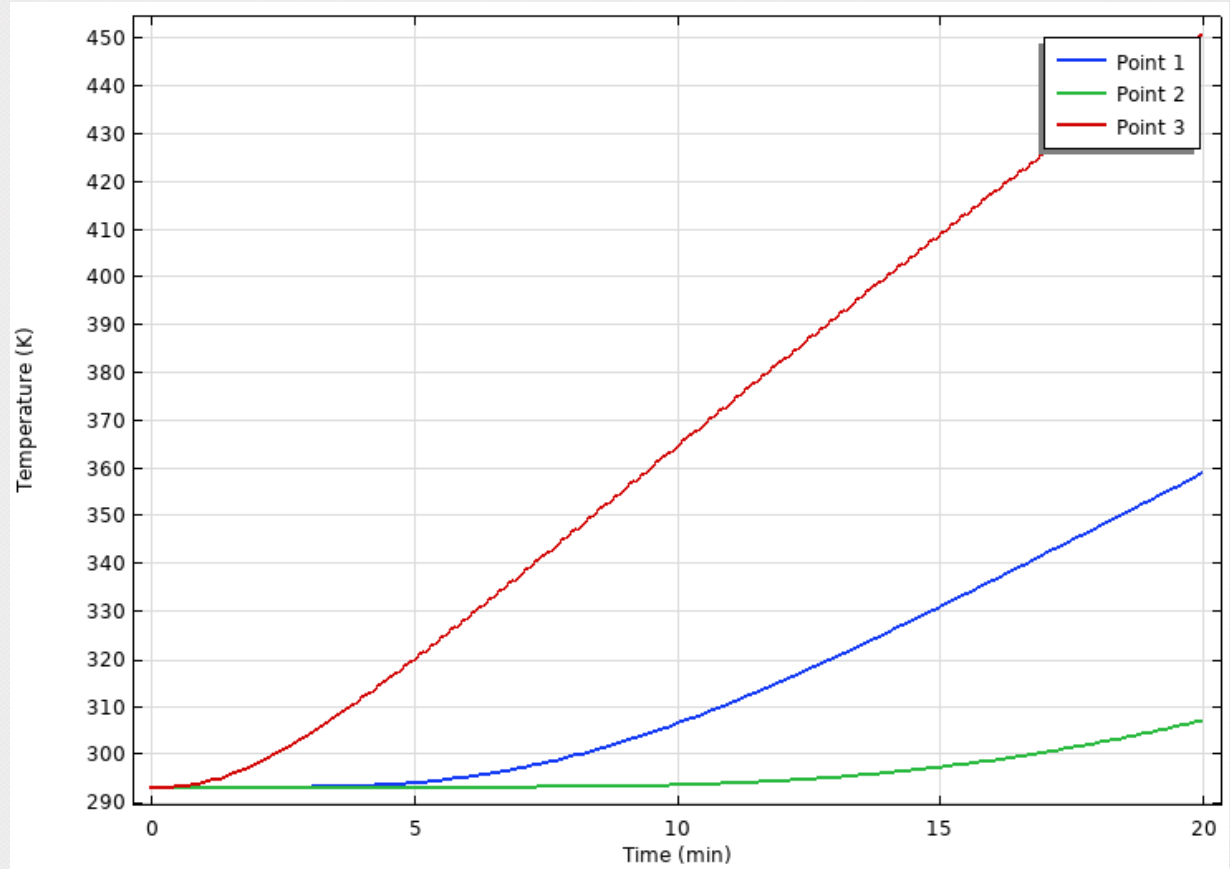
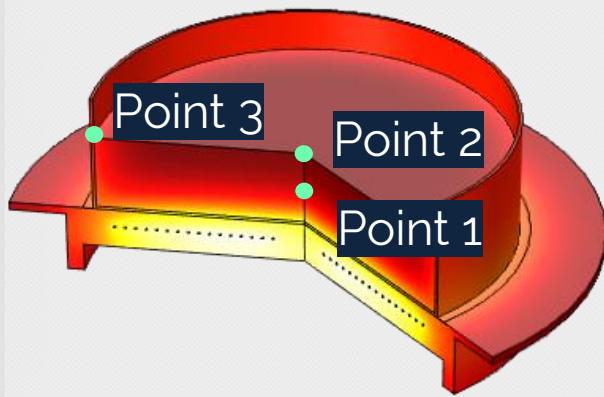
2500W, 220V
1mm Nichrome



```
>> P=2500;
>> V_in=220;
>> R=V_in^2/P;
>> I=V_in/R;
>> A=(0.5E-3)^2*pi;
>> L=R*A/1.09E-6;
```

A	7.8540e-07
I	11.3636
L	13.9498
P	2500
R	19.3600
V_in	220





$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_{\text{ref}} [1 + \alpha(\mathbf{T} - \mathbf{T}_{\text{ref}})]$$

Where,

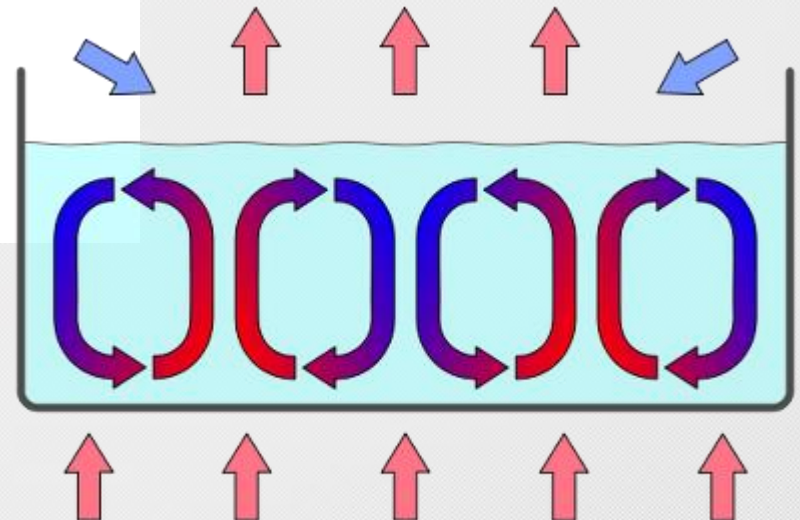
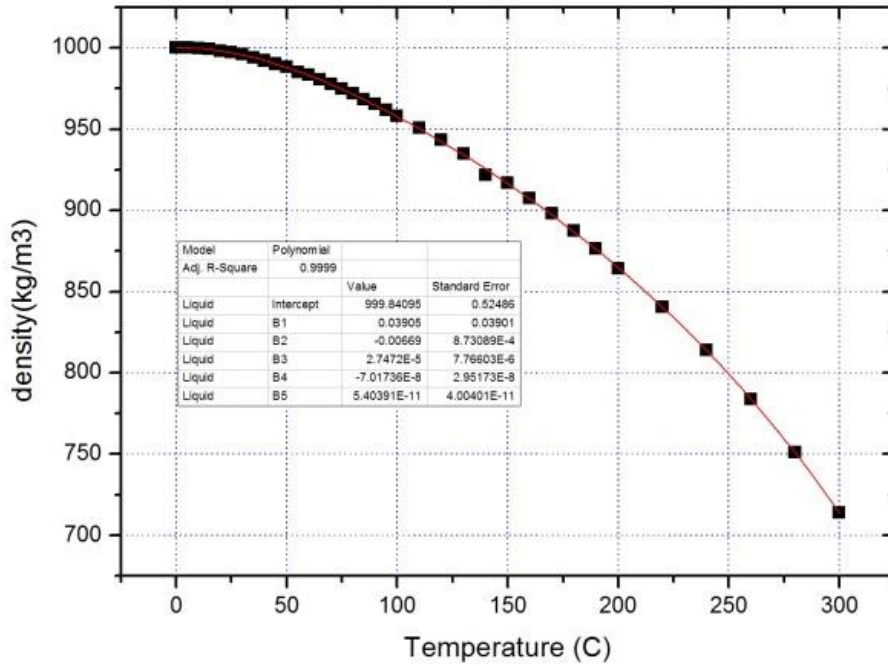
R = Conductor resistance at temperature “T”

R_{ref} = Conductor resistance at reference temperature
T_{ref} , usually 20°C, but sometimes 0°C.

α = Temperature coefficient of resistance for
conductor material. Nichrome : 0.0004

T = Conductor temperature in degrees Celcius.

T_{ref} = Reference temperature that α is specified at
for the conductor material



- 인덕션 히터 http://www.korea-hf.co.kr/techinfo/tech_05.html
- 표피 효과 <https://hoze.tistory.com/1827>
- AND9166/D Induction Cooking.pdf (<http://onsemi.com>)
- Heating Circuit

https://www.comsol.com/model/download/817661/models.heat.heating_circuit.pdf

감사합니다
