

“ OpenFOAM 응용 변압기 해석 사례 ”

2015년 09월 10일

Core기술1팀 열유동 TG

팬진기



1. 도입 배경

2. 소개

3. 프로그램 구성

4. 해석 결과

1. 도입 배경

- ❖ 해석을 진행하는 업무 중 해석 진행 방법에 있어 작업의 절차가 정립되어 범용 Software를 필요로 하지않는 상황임에도 상용 Licensed Software를 사용하여 과도한 License **비용** 발생
- ❖ 해석 작업의 절차가 정립되고 특정 기능만을 반복적으로 사용하는 경우 전용 Software를 구축하여 해석 준비에 소요되는 **시간을 절약**할 수 있는 방안이 요구



Open Source을 이용한 전용 Software를 도입하여

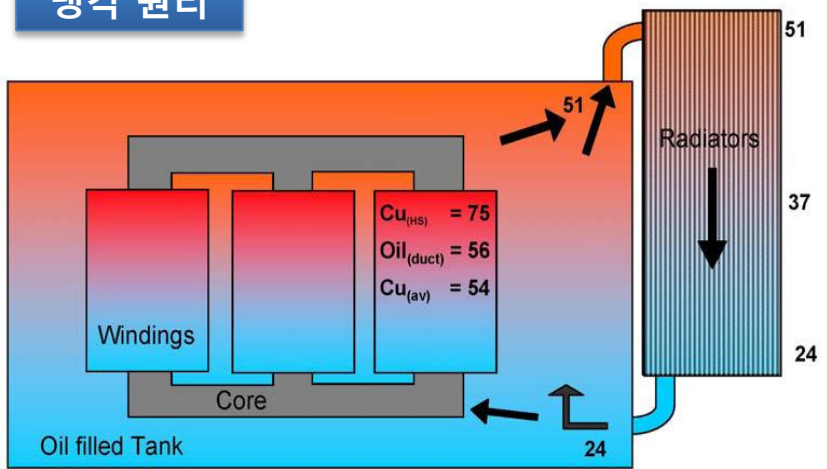
License 비용 절감



해석 생산성 향상

2. 소개(1/1)

냉각 원리



자연 대류에 의한 냉각

- 가열된 유체는 밀도가 낮아져 상승하고, 냉각된 유체는 밀도가 높아져 하강하는 원리를 이용
- 권선 쪽의 가열된 오일은 상승하여 방열기 쪽으로 이동하고 방열기 쪽의 냉각된 오일은 하강하여 변압기하부로 이동

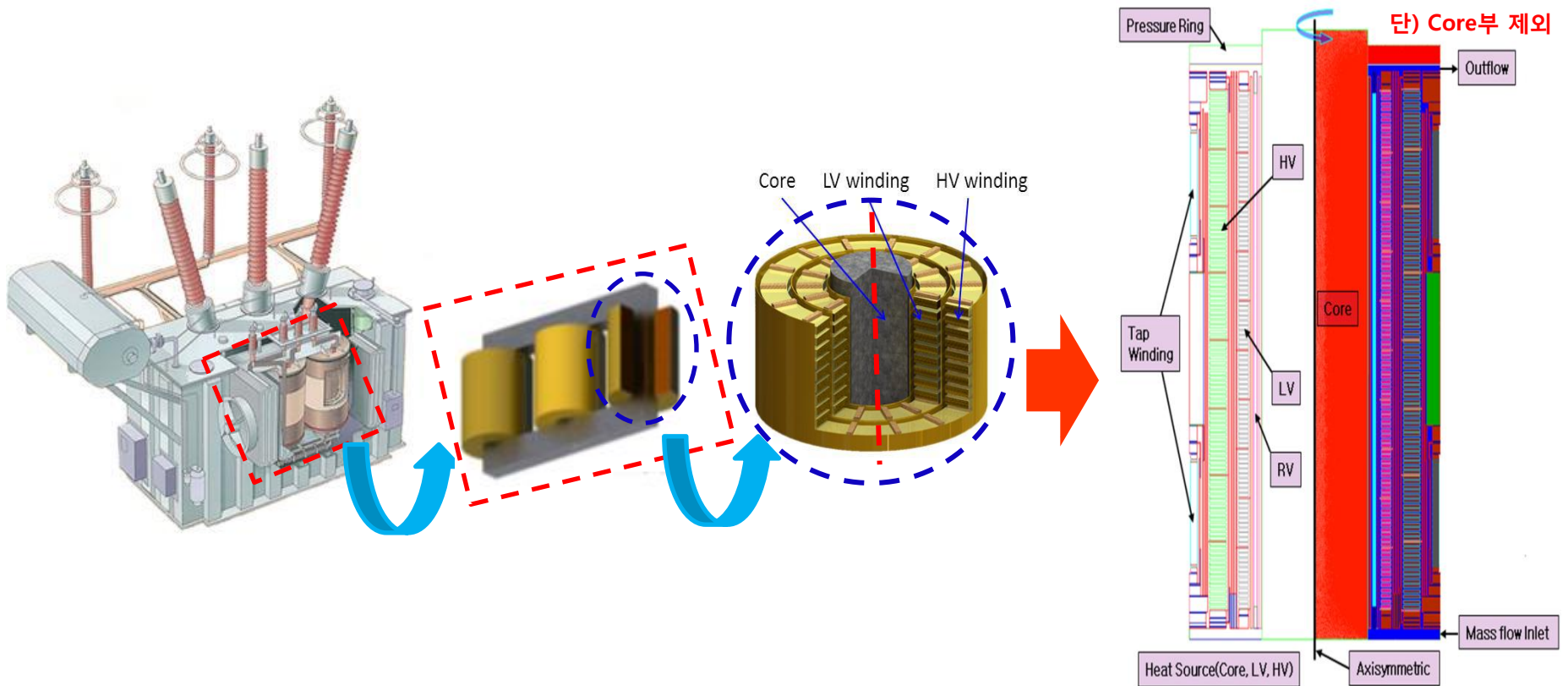
방열기

-전기 변환 하는 과정에서 생성 된 열은 오일 온도를 상승 시키는 원인이 된다. 열에 의한 오일의 온도상승은 변압기 각부의 절연물의 절연성능을 저하시키고 수명을 단축시키므로 허용온도를 넘지 않도록 적절한 냉각 장치의 사용은 필수적이다. 따라서 변압기 내부에서 상승 된 고온의 오일을 외부에 설치 된 방열기를 사용하여 **외부 공기와의 온도 차를 이용하여 냉각을 목적으로 하는 열 교환 장치**이다.



2. 소개(1/2)

- ❖ 컴퓨터 리소스 문제로 인해 2D축 대칭 해석모델 적용(하기 그림 참조)
- ❖ 2D축 대칭 해석 모델로 인해 외부방열기 모형을 고려한 수치모델 적용 불가
- ❖ 변압기 자연대류 해석 시 유량 예측이 어려움
외부냉각시스템 고려 없이, 권선부 손실에 의한 유량을 계산하여 입구유량으로 적용함
(외부냉각시스템 압력강하가 고려되지 않은 해석으로 인해 예측 유량이 실제와 차이가 발생할 수 있음)

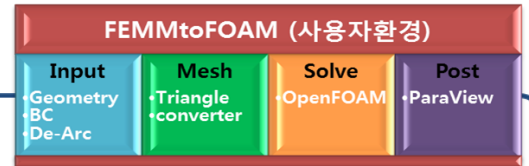


2D Axisymmetric 수치해석모델

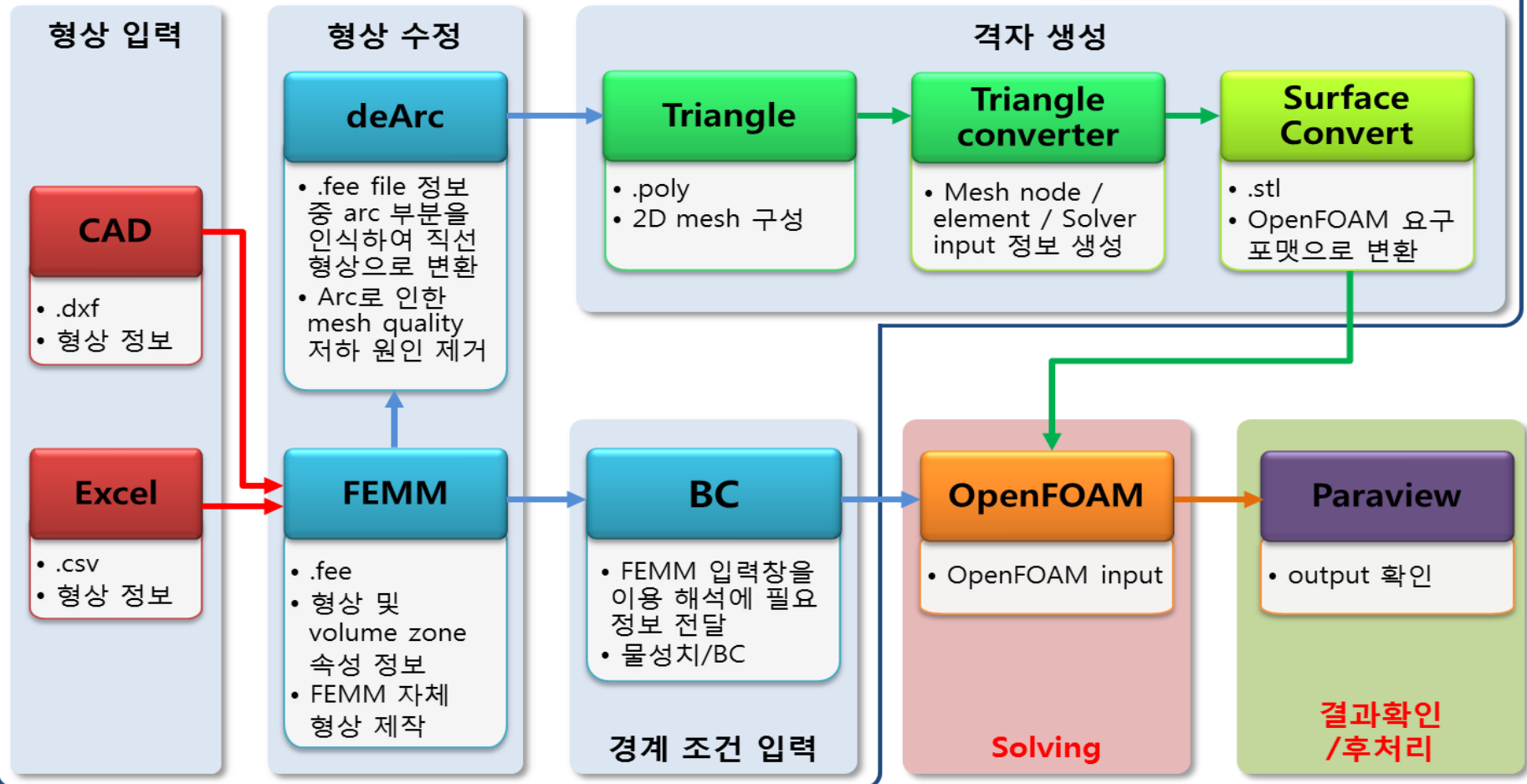
3. 프로그램 구성

❖ FEMM(전계해석)프로그램에 익숙한 설계자의 사용 편의성을 위해 FEMM프로그램을 수정정보만을 통한 열 및 유동해석 가능한 사용자 환경구축

FEMM (Triangle inside) + OpenFOAM (CHTMultiregionSimpleFoam)



전처리



3. 프로그램 구성

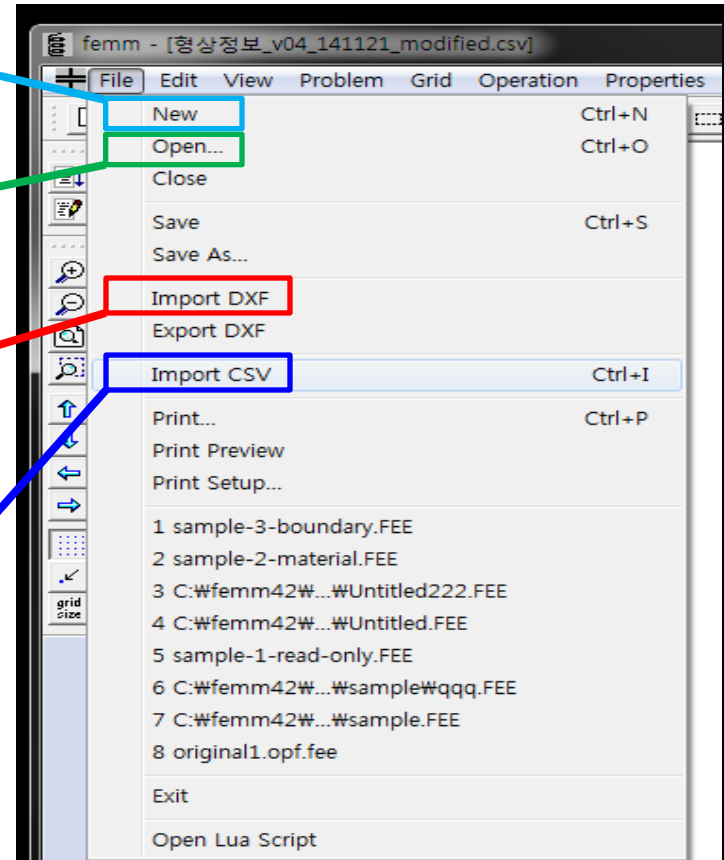
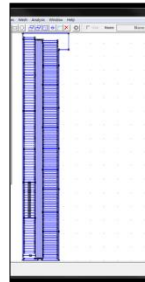
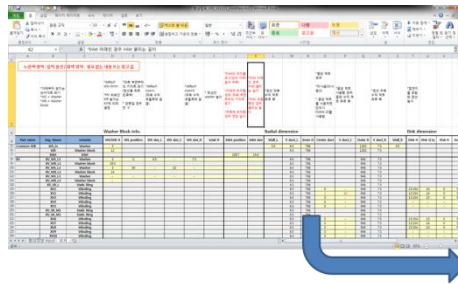
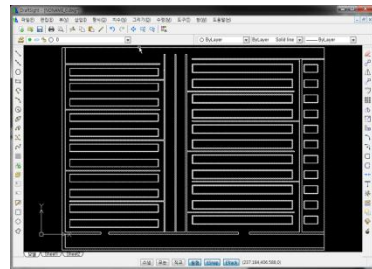
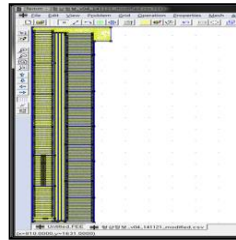
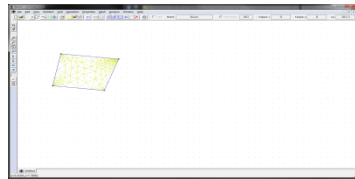
3.1 형상 구현

FEMM의 기능

FEMM read

★ DXF import

CSV import



3. 프로그램 구성

3.2 물성치

❖ 권선부 → [등가저항] 권선부 절연지 및 에나멜

Conductivity	LV [W/m-k]	HV [W/m-k]	Description
$k_{radial} = \frac{L_1}{k_r A} = \frac{x_1}{k_{enamel,epoxy} A} + \frac{x_2}{k_{paper} A} + \frac{x_3}{k_{copper} A}$			x_1 : total thickness of epoxy bonding in radial direction x_2 : total thickness of paper in radial direction x_3 : total thickness of copper in radial direction
$k_{axial} = \frac{L_2}{k_z A} = \frac{y_1}{k_{enamel,epoxy} A} + \frac{y_2}{k_{paper} A} + \frac{y_3}{k_{copper} A}$			y_1 : total thickness of epoxy bonding in z direction y_2 : total thickness of paper in z direction y_3 : total thickness of copper in z direction

❖ Fluid zone(oil) properties

Material property : 7th order polynomial fitting

$$a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2 + a_3 * x^3 + a_4 * x^4 + a_5 * x^5 + a_6 * x^6 + a_7 * x^7$$

	density	cp	k	visc
a0	-1.385263E+05	4.376213E+05	2.222472E+02	5.909602E+03
a1	3.183257E+03	-1.010106E+04	-4.944463E+00	-1.263469E+02
a2	-3.104178E+01	9.986413E+01	4.705880E-02	1.156770E+00
a3	1.677024E-01	-5.465539E-01	-2.482215E-04	-5.878328E-03
a4	-5.422013E-04	1.788944E-03	7.836922E-07	1.790462E-05
a5	1.049079E-06	-3.501767E-06	-1.481062E-09	-3.268489E-08
a6	-1.124753E-09	3.795534E-09	1.551363E-12	3.310931E-11
a7	5.154687E-13	-1.757299E-12	-6.948254E-16	-1.435655E-14

[참고자료]

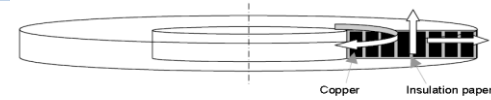


Figure 3 - Scheme of windings anisotropic thermal conductivity

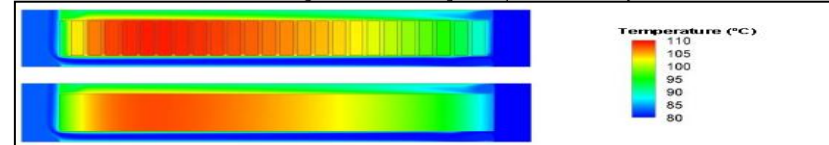


Figure 4 - Comparison of the thermal behavior of the high voltage winding with a detailed geometrical description (up) and with a simplified model (down). These tests show that the simplified model can predict the temperature variation in the windings. The anisotropic thermal conductivities used in the CFD model are those presented in Table 1.

Table 1 - Anisotropic conductivities used in the low and high voltage windings

Thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Low voltage	High voltage
Tangential	388.5	388.5
Axial	3.9	288.9
Radial	0.9	0.6

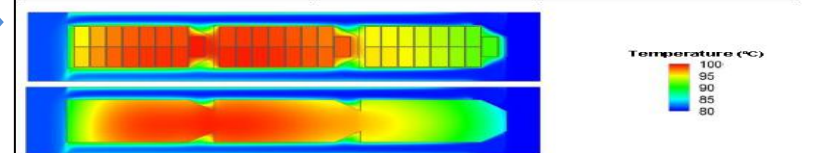
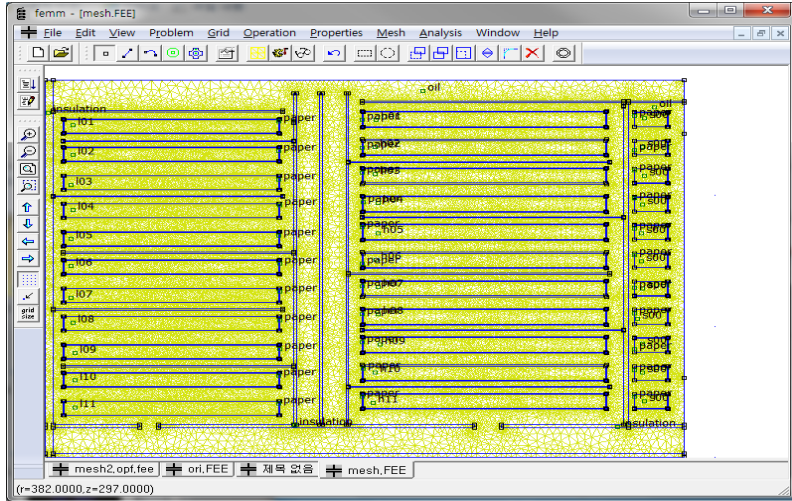


Figure 5 - Comparison of the thermal behavior of the low voltage winding with a detailed geometrical description (up) and with a simplified model (down).

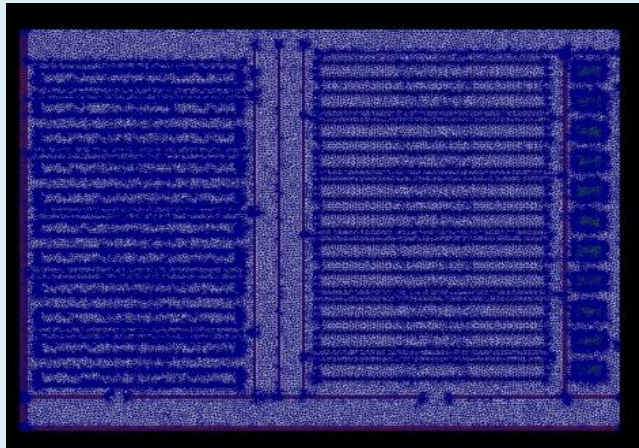
	Energy source	cp	k	rho
HV	200	383.2	(6.53 0.464 0)	8954
LV	220	383.2	(5.17 3.48 0)	8954
TAP	0	383.2	(5.17 3.48 0)	8954
paper	0	2310	0.173	700
insulation	0	2310	0.173	700

3. 프로그램 구성

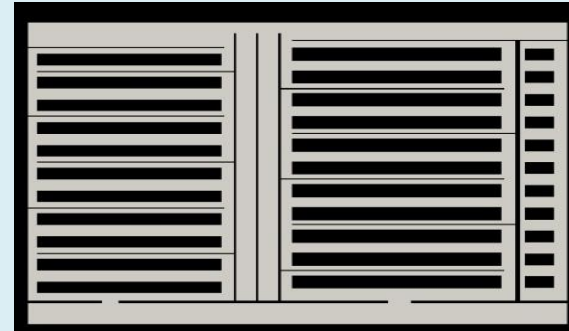
3.3 FEMM mesh 작성



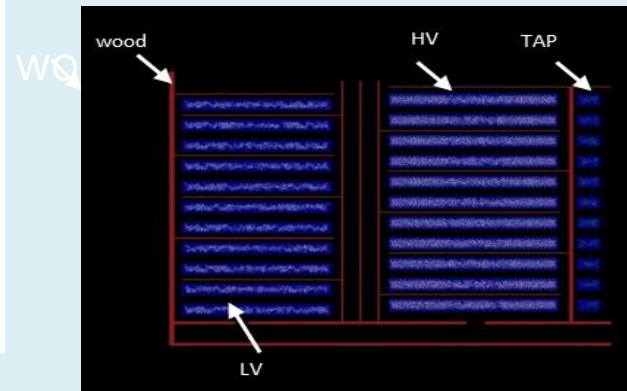
3.4 Converted mesh



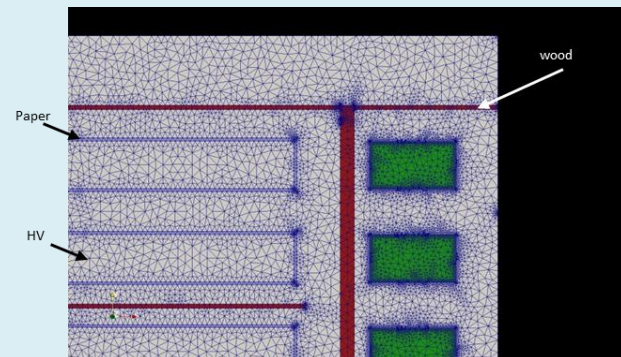
❖ Fluid region



❖ Solid region mesh



❖ Combined multi region mesh



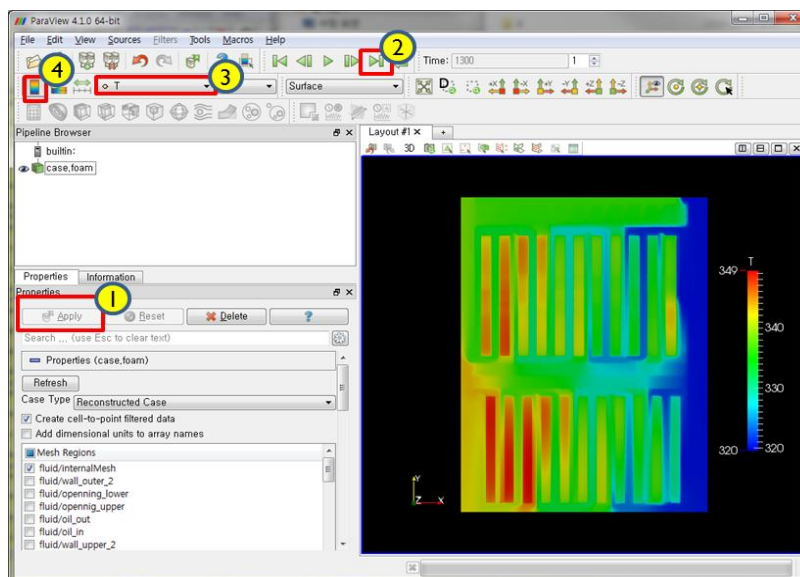
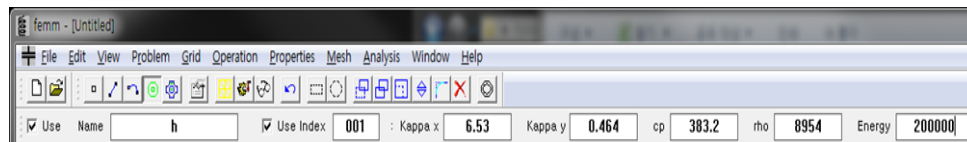
3.5 Solver 실행



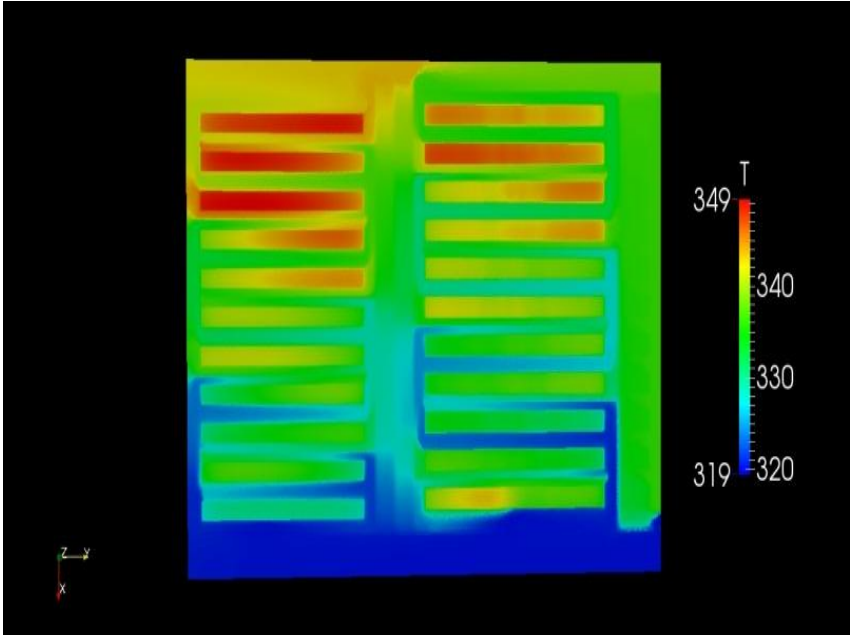
```
18 application      chtMultiRegionSimpleFoamHS; ↵
19 ↵
20 startFrom        startTime; ↵
21 ↵
22 startTime        0; ↵
23 ↵
24 stopAt           endTime; ↵
25 ↵
26 endTime         5; ↵
27 ↵
```

3.6 Solver 수행 후 Paraview 확인

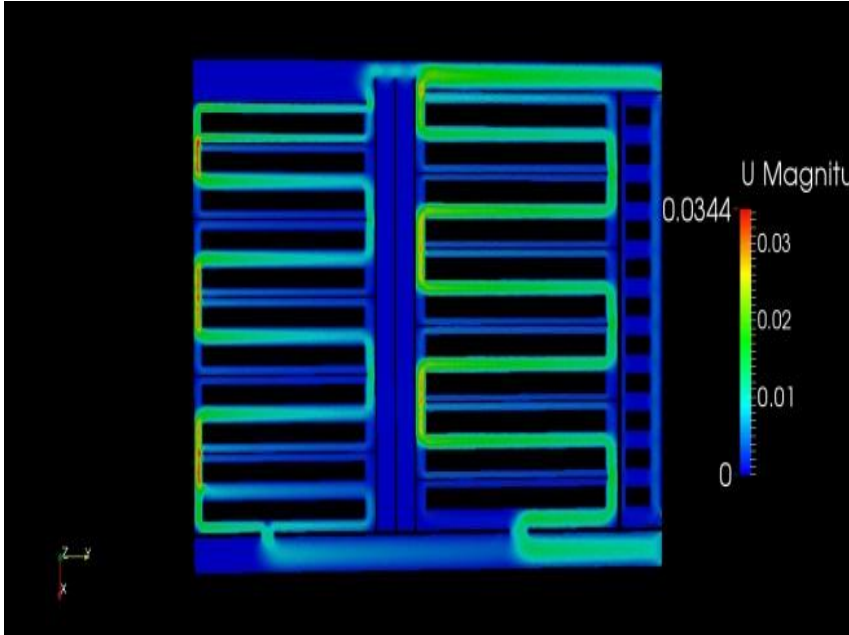
1. Apply button click
2. 맨 마지막 time이동
3. 온도 display 선택
4. Legend 표시



4. 해석 결과



	Temp. Min	Temp. Max
HV	328.38	347.07
LV	326.35	349.47
Oil	320	347.38



	velo. Min	velo. Max
oil	0	0.0344