



Disc Brake

외부 요인에 의한 영향 분석

CAE 민승재 교수님

DIS.C Team

2014012424 김지송

2014012588 안성호

2015012888 정관영

Disc **I**is **SS**afety **CC**omponent

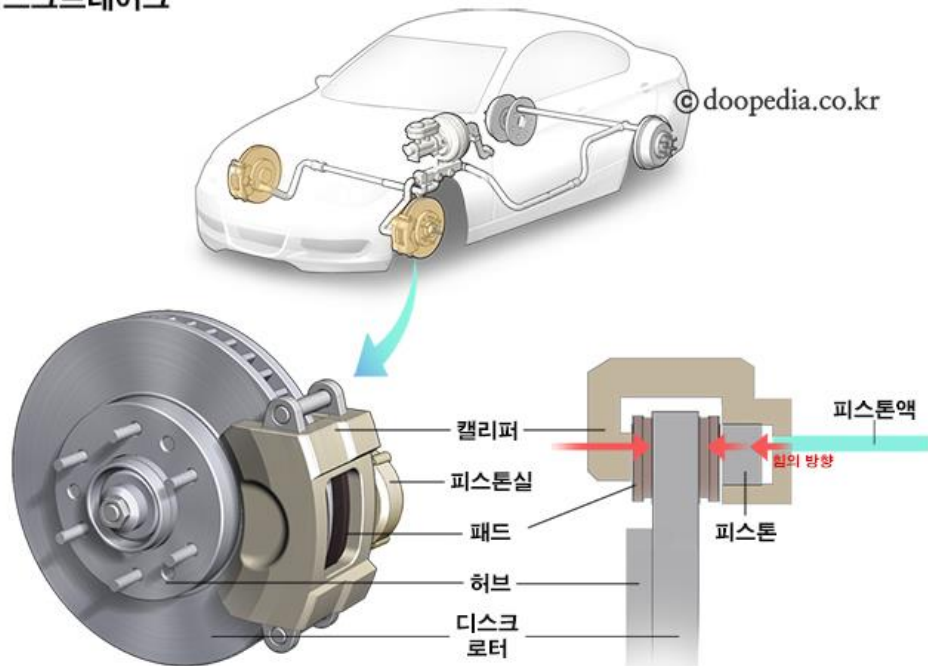


Contents

1. 서론 디스크 브레이크 정의
주제 선정 과정
2. 본론 Brake Disc 분석개요
분석에 필요한 Data 및 수식
Silmulink를 활용한 분석
Comsol을 활용한 분석
3. 결론 분석의 타당성
최종결론



디스크브레이크



Solid-Disc



Ventilated-Disc

Brake Disc 의 성능 결정 3요소



Geometry 와 Material

프로젝트 진행방향을 정확히 잡기 위해 문제를 푸는 방식으로 접근

- Q1) 초기속도가 100km/h 인 자동차가 있다. 이때 브레이크 디스크가 2Mpa로 2초간 작동했을 때 이 자동차의 나중 속도와 평균 가속도는?
- Q2) 이때 브레이크 디스크에 가해지는 열 분포와 응력분포는 어떻게 될 것인가? 또한 계산된 값들은 유효한가?

✓ Assumption

- 차량의 무게 (disc 무게를 뺀) : 1800kg
- 디스크 주변 온도 : 섭씨 25°C

제원 및 물성

디스크의 제원 및 물성

Table 3
Properties of candidate materials for brake disc [11, 13]

Properties	1	2	3	4	5
Material	Compressive Strength (MPa)	Friction coefficient (μ)	Wear rate ($\times 10^{-6}$ mm ³ /N/m)	Specific heat, Cp (KJ/Kg . K)	Specific gravity (Mg/m ³)
GCI	1293	0.41	2.36	0.46	7.2
Ti-6Al-4V	1070	0.34	246.3	0.58	4.42
TMC	1300	0.31	8.19	0.51	4.68
AMC 1	406	0.35	3.25	0.98	2.7
AMC 2	761	0.44	2.91	0.92	2.8

참조 : Material Selection Method in Design of Automotive Brake Disc

디스크 성능에 가장 효율적인 재료 2가지
선택

패드의 제원 및 물성

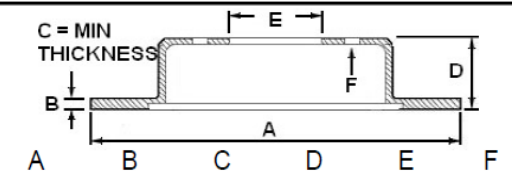
Properties	Brake pad (friction materials)	
	Asbestos	Nonasbestos organic aramid (Kevlar29)
Thermal conductivity (W/mK)	4	0.25
Density (kg/m ³)	2500	1440
Emissivity	0.82	0.82
Specific heat capacity (J/kgK)	1060	1400
Compressive strength (MPa)		
Friction coefficient		
Modulus of elasticity (GPa)	165	70.5

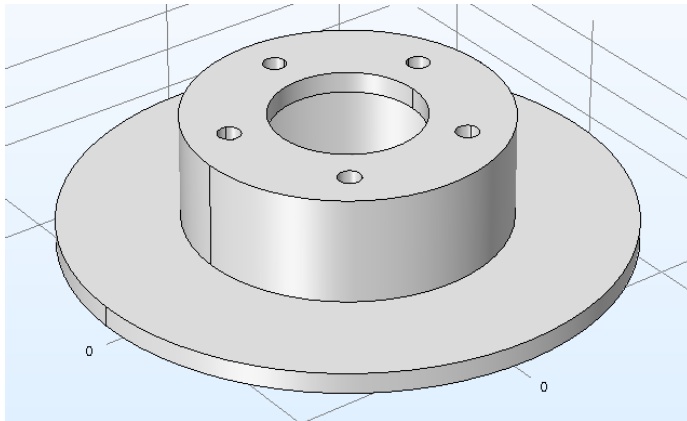
참조 : A Computational Study on the Use of an Aluminium Metal Matrix Composite and Aramid as Alternative Brake Disc and Brake Pad Material

이 중 Asbestos패드 로 선택

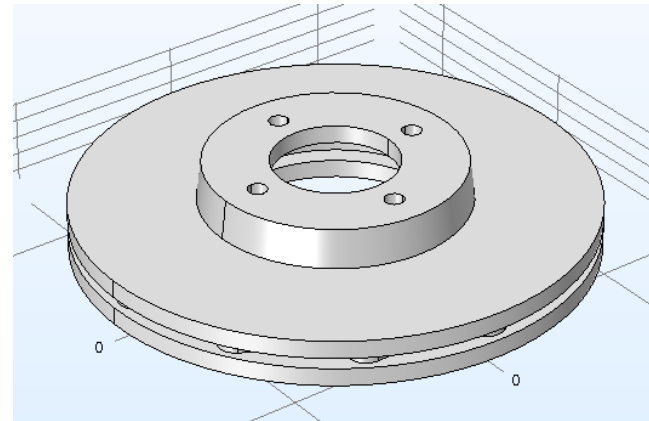
Disc 크기 데이터

현대자동차 2009 Sonata에 들어간 Disc 값으로 분석

Manufacturer & Model	Engine Size	Year	Solid Vented Drum	Disc / Drum Part Number						
					A	B	C	D	E	F
3.3i V6	3342cc	05 ->	F-V	NBD 1544	300.0	28.0	26.0	47.0	69.0	5+2
All Models Fitted 262mm Rear Disc		05 ->	R-S	NBD 1502	262.0	10.0	8.5	61.0	76.0	4+3



Solid Disc



V - Disc

2 본론 분석에 필요한 Data 및 수식

Equation sheet

Braking Torque

$$T = \mu P \frac{\theta_1}{3} (D^3 - d^3)$$

- T = Braking Torque
- μ = 마찰 계수
- P = Disc에 가해지는 압력
- θ_1 = Pad의 면적 각도
- D = Pad의 바깥 반지름
- d = Pad의 안쪽 반지름

Heat

$$q = \mu P(x, y, t) v(t)$$

$$\gamma = \frac{q_D}{q_D + q_p} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_p c_p k_p}{\rho_D c_D k_D} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$q_{disc} = q \gamma$$

참조 : A Computational Study on the Use of an Aluminium Metal Matrix Composite and Aramid as Alternative Brake Disc and Brake Pad Material

Heat

$$q_{diss} = -h(T - T_{air}) - \epsilon \sigma (T^4 - T_{air}^4)$$

$$h_{air} = \frac{0.037k}{l} \left(\frac{\rho l v}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{0.3 \epsilon}$$

- q_R : 디스크로의 열 유입량(W/m²)
- q_p : 패드로의 열 유입량(W/m²)
- R_p : 열 저항에 의한 패드로의 열전달
- R_R : 열 저항에 의한 디스크로의 열전달
- ρ_R : 디스크의 밀도(kg/m³)
- ρ_p : 패드의 밀도(kg/m³)
- c_R : 디스크의 비열(J/kg·K)
- c_p : 패드의 비열(J/kg·K)
- k_R : 디스크의 열 전도율(W/m·K)
- k_p : 패드의 열 전도율(W/m·K)

참조 : Study for Characteristic of Frictional Heat Transfer in Rotating Brake System

2가지 재료에 따른 V-Disc값 계산

```

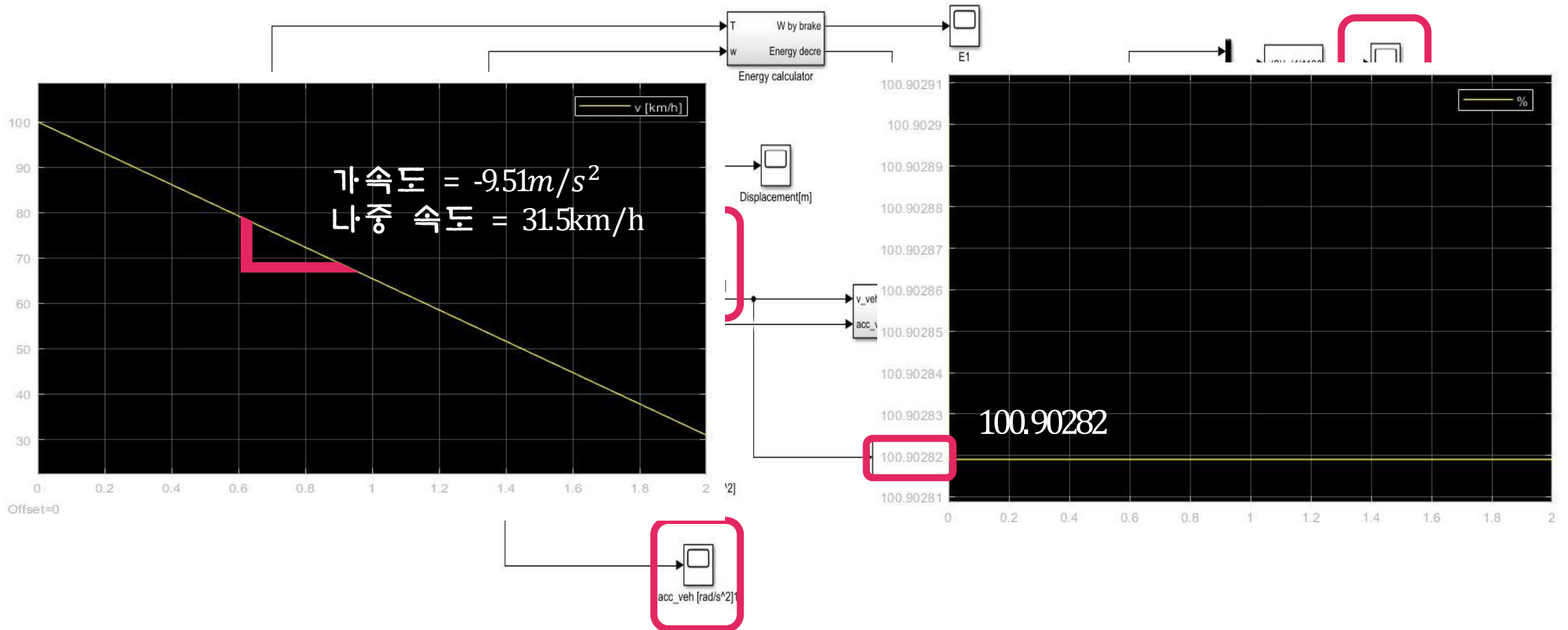
1 % v-disc_GC1
2 %% structure parameter
3 m_veh=1800; % mass_vehicle
4 m_disc=7.35; % mass_disc
5 R_tire=17*0.0254; % inch*0.0254=meter
6 M=m_veh+m_disc*4;
7 J=M*R_tire^2;
8
9 D_pad=0.26; d_pad=0.16;
10 A_pad=pi/6*(D_pad^2-d_pad^2)/4;
11 D_disc=0.33; d_disc=0.14;
12 P=2e6; % 2MPa uniform
13 %F=0.4e6; % braking force[N]
14 mu=0.4; % mu of disc and pad
15 theta=pi/3; % pad range
16
17 r_h1=0.004; % radius of hole
18 R_h1=0.2; % location of hole
19 R_h2=0.225;
20 R_h3=0.25;
21 R_h4=0.275;
22 R_h5=0.3;
23 N1=0; % num of holes
24 A_h=N1*pi*r_h1^2*5; % Area of holes
25 r_eff=2/3*(D_disc^3-d_disc^2)/(D_disc^2-d_disc^2);
26
27
28 rho_pad=2500;
29 C_pad=1060;
30 k_pad=4;
31
32 gamma = 1/(1+((rho_pad+C_pad+k_pad)/(rho_disc+C_disc+k_disc))^0.5)
33
34 gamma =
35
36 0.7965
37
38 fx >>

```

```

1 % v-disc_AMC2
2 %% structure parameter
3 m_veh=1800; % mass_vehicle
4 m_disc=7.35*(2700/7200); % mass_disc
5 R_tire=17*0.0254; % inch*0.0254=meter
6 M=m_veh+m_disc*4;
7 J=M*R_tire^2;
8
9 D_pad=0.26; d_pad=0.16;
10 A_pad=pi/6*(D_pad^2-d_pad^2)/4;
11 D_disc=0.28; d_disc=0.14;
12 P=2e6; % 2MPa uniform
13 %F=0.4e6; % braking force[N]
14 mu=0.4; % mu of disc and pad
15 theta=pi/3; % pad range
16
17 r_h1=0.004; % radius of hole
18 R_h1=0.2; % location of hole
19 R_h2=0.225;
20 R_h3=0.25;
21 R_h4=0.275;
22 R_h5=0.3;
23 N1=0; % num of holes
24 A_h=N1*pi*r_h1^2*5; % Area of holes
25 r_eff=2/3*(D_disc^3-d_disc^2)/(D_disc^2-d_disc^2);
26
27 A=pi*(D_disc^2-d_disc^2)-A_h; % contact area
28
29 rho_pad=2500;
30 C_pad=1060;
31 k_pad=4;
32
33 gamma=1/(1+((rho_pad+C_pad+k_pad)/(rho_disc+C_disc+k_disc))^0.5)
34
35 gamma =
36
37 0.8659
38
39 fx >>

```

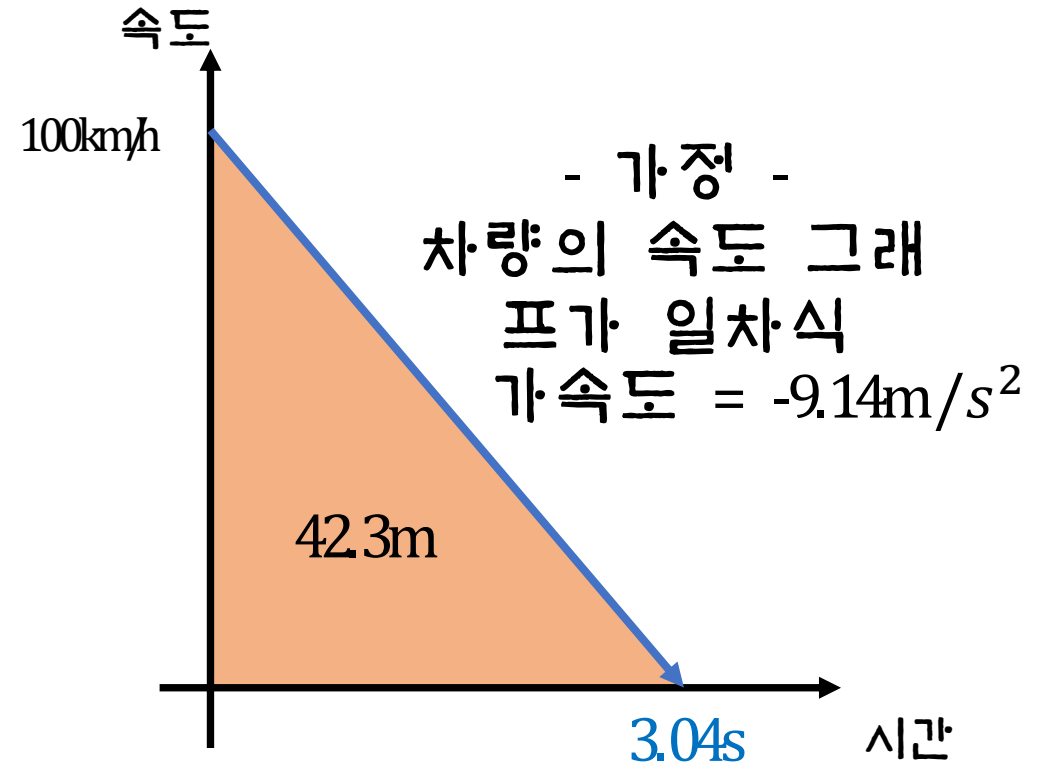


일반 자동차의 제동거리



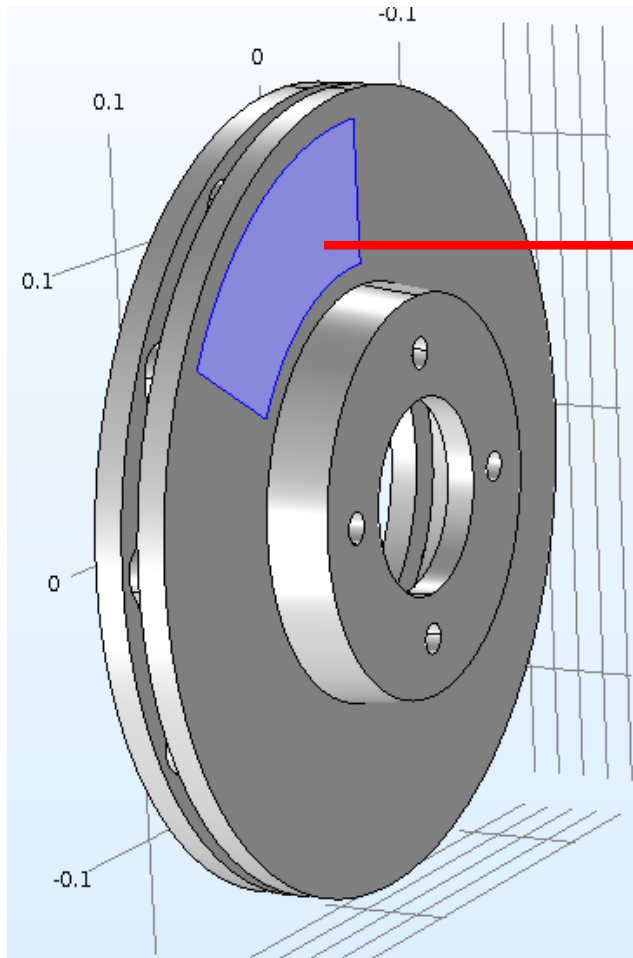
이외 자동차 80종의 데이터의 평균값 :

42.3m



Q1) 초기속도가 100km/h 인 자동차가 있다. 나중 속도가 31.5km/h 이고, 이때 브레이크 디스크가 2Mpa로 2초간 작동할 때 차량의 평균 가속도가 약 9.14m/s^2 이므로 유효하다. 가속도는 -9.51m/s^2

1. Disc 열분포 분석 과정



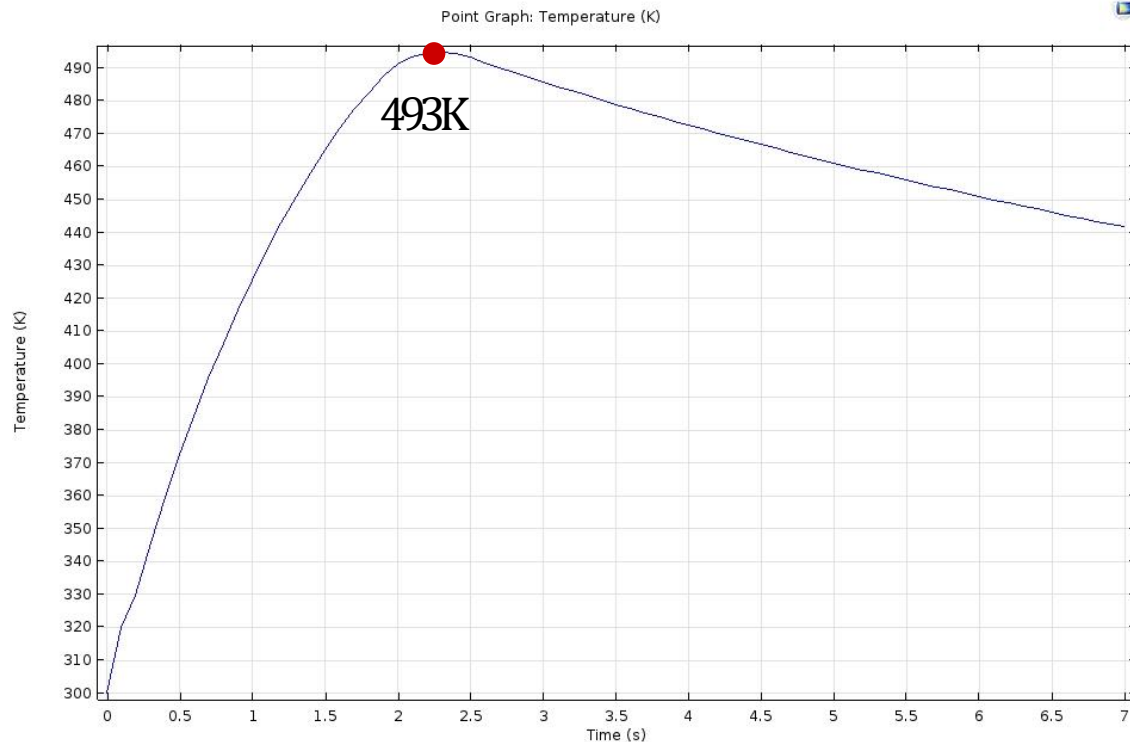
→ Simulink를 통해서 구한 값 대입

- 디스크의 각 속도
- 디스크로 들어가는 마찰열

GCI 열 분포 분석

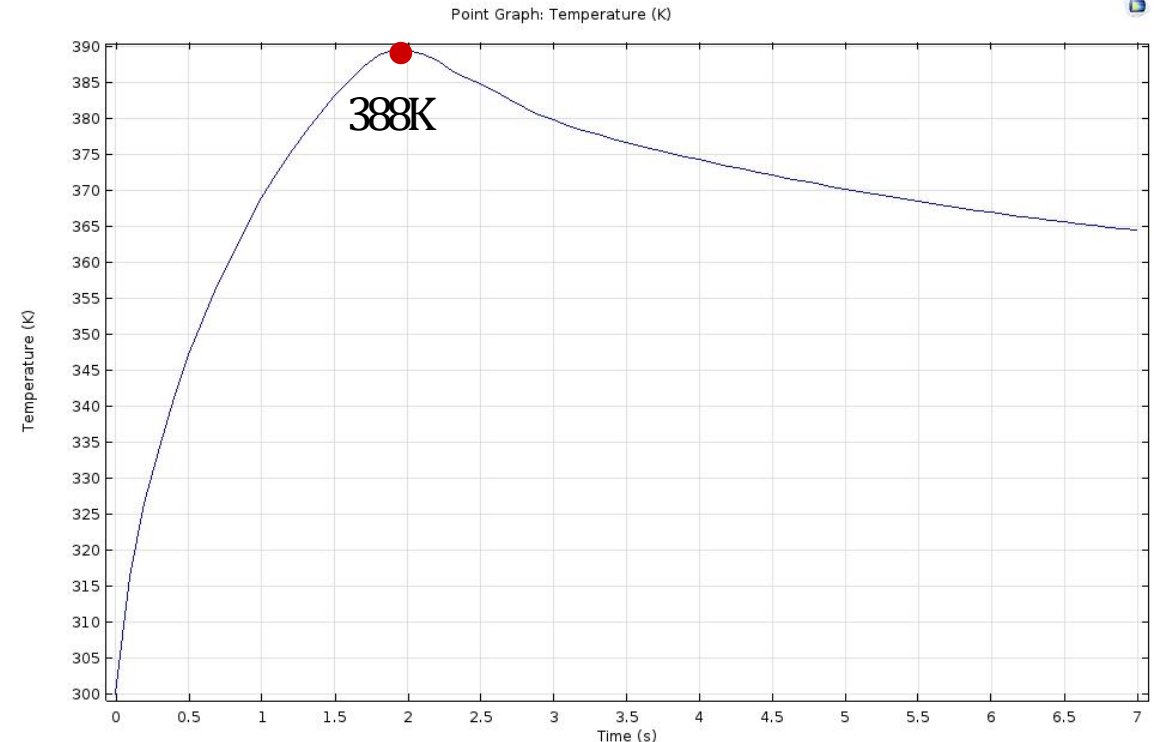
- heat -

Solid-Disc



Mesh = 21922개, average element quality 0.7103, DOF =5267

V - Disc



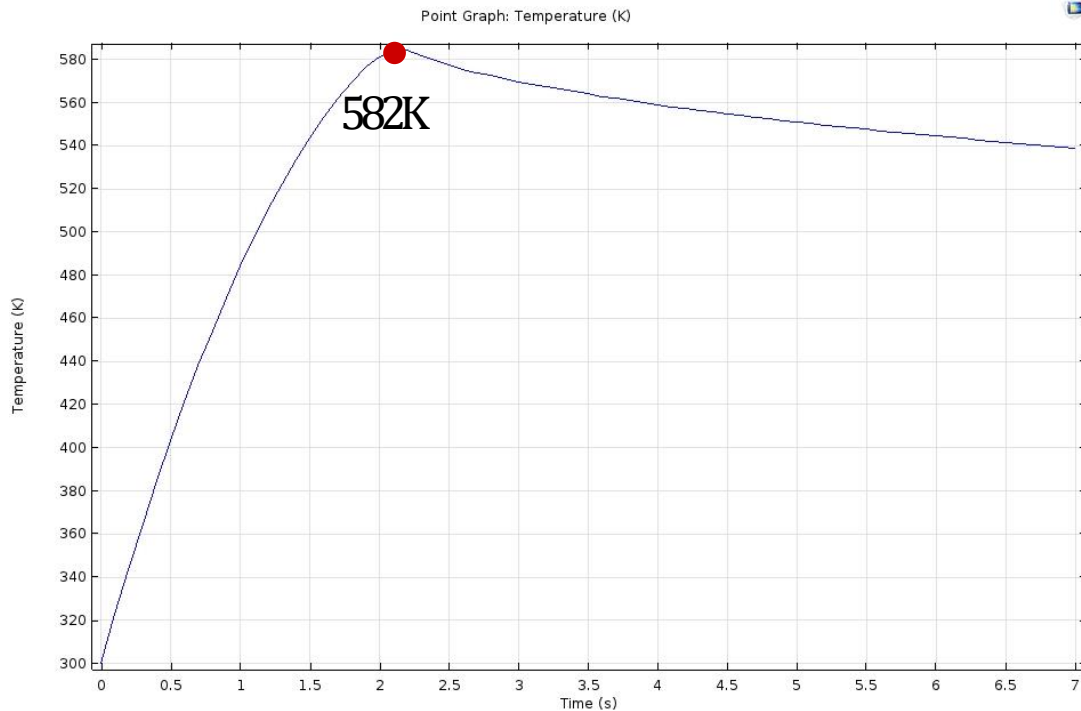
Mesh = 19266개, average element quality 0.6421, DOF =4913

V DISC가 Solid-Disc 보다 약 100K 낮은 것으로 보아 열을 잘 방출한다.

AMC_2 열 분포 분석

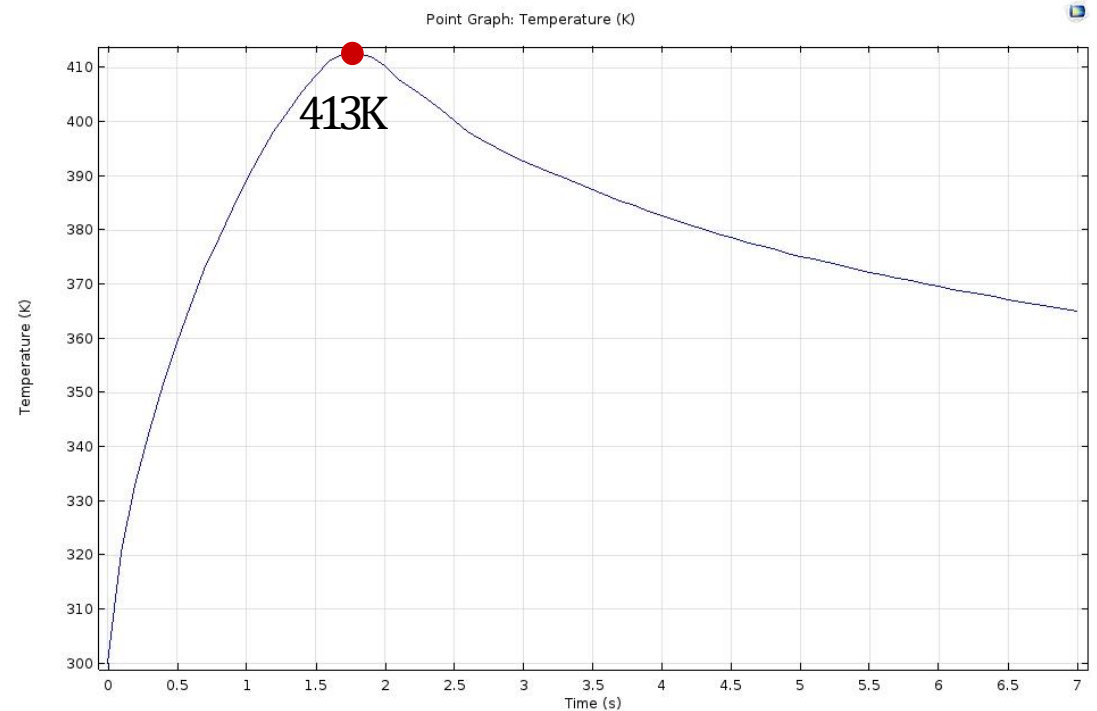
- heat -

Solid-Disc



Mesh = 22414개, average element quality 0.7134, DOF = 5342

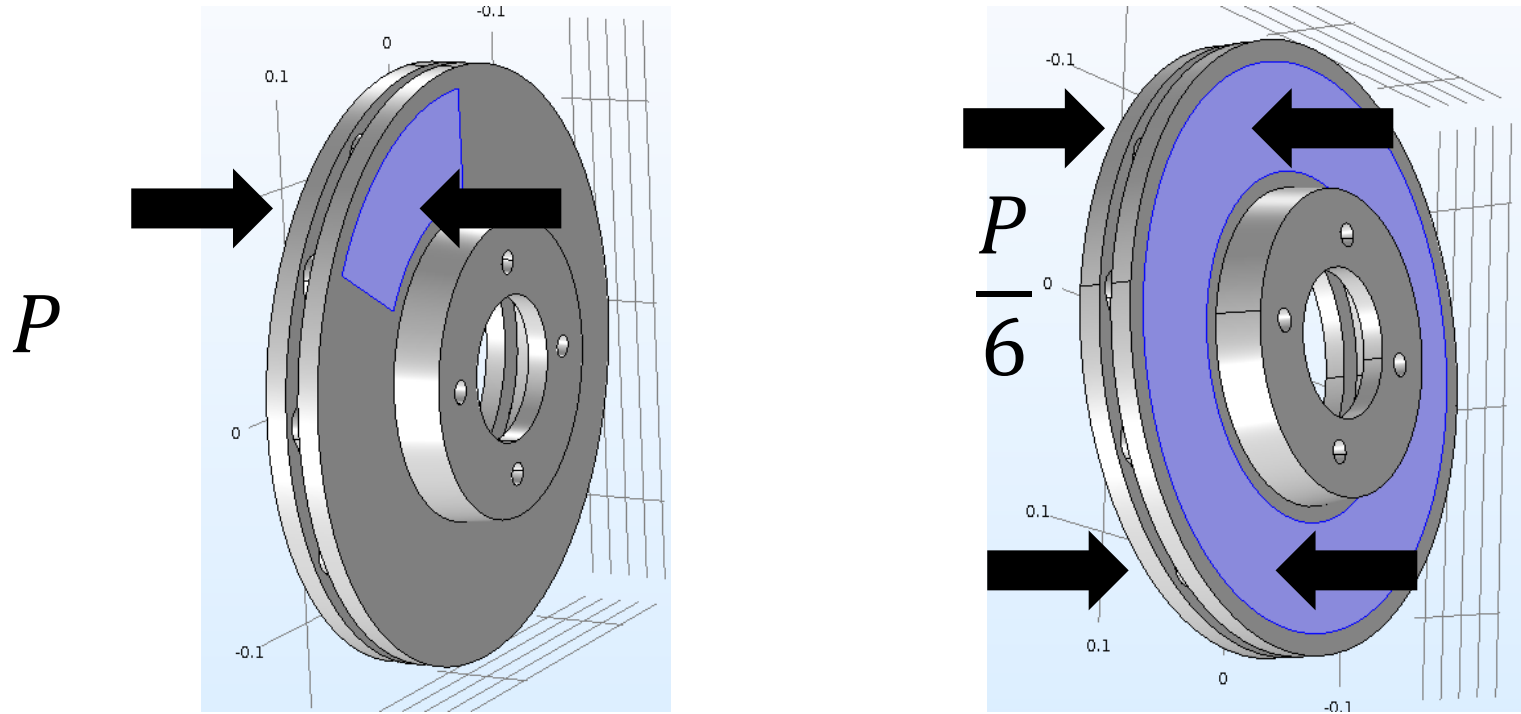
V - Disc



Mesh = 19357개, average element quality 0.6429, DOF = 4934

V DISC가 Solid-Disc 보다 약 169K 낮은 것으로 보아 열을 잘 방출한다.

2. Disc 응력 분석 과정



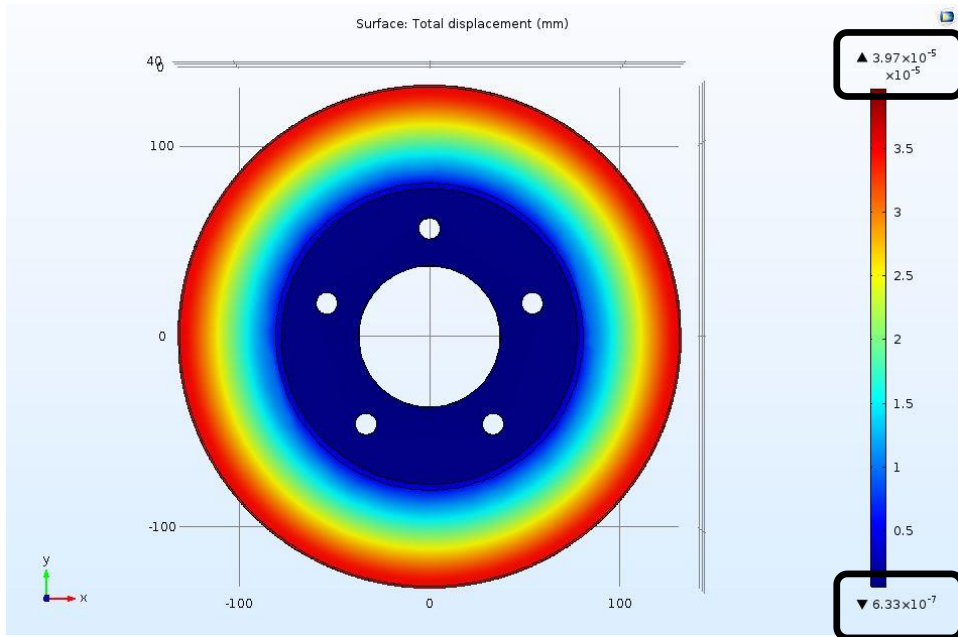
디스크가 빠르게 회전하고 있으므로
패드가 주는 $P/6$ 를 골고루 주는 형식으로
해석

GCI 응력 분석 결과

- Displacement -

Solid-Disc

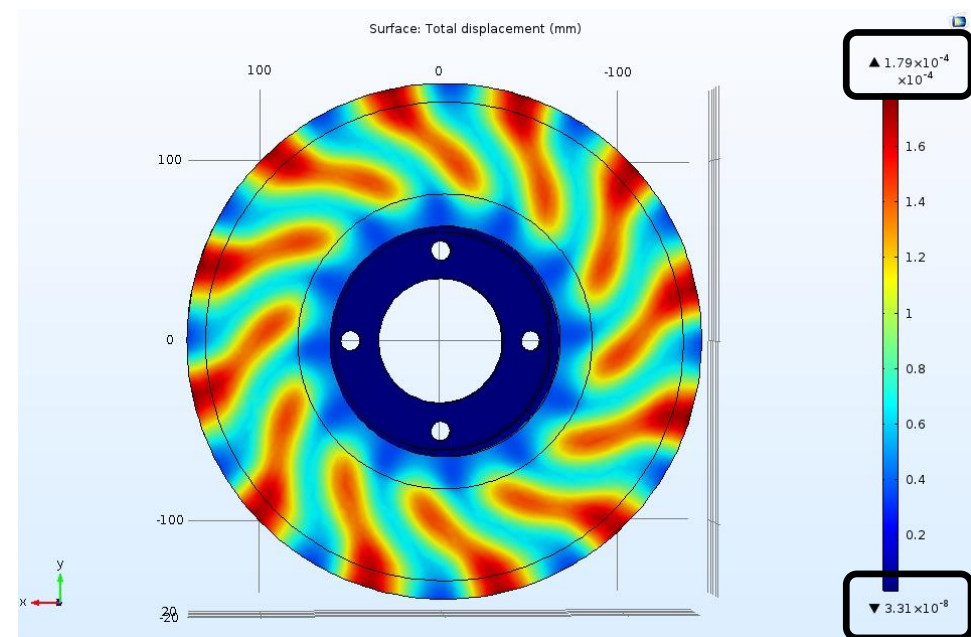
Max : 39.7nm



Mesh = 137545개, average element quality 0.7267, DOF = 636498

V - Disc

Max : 179nm



Mesh = 54642개, average element quality 0.6807, DOF = 258543

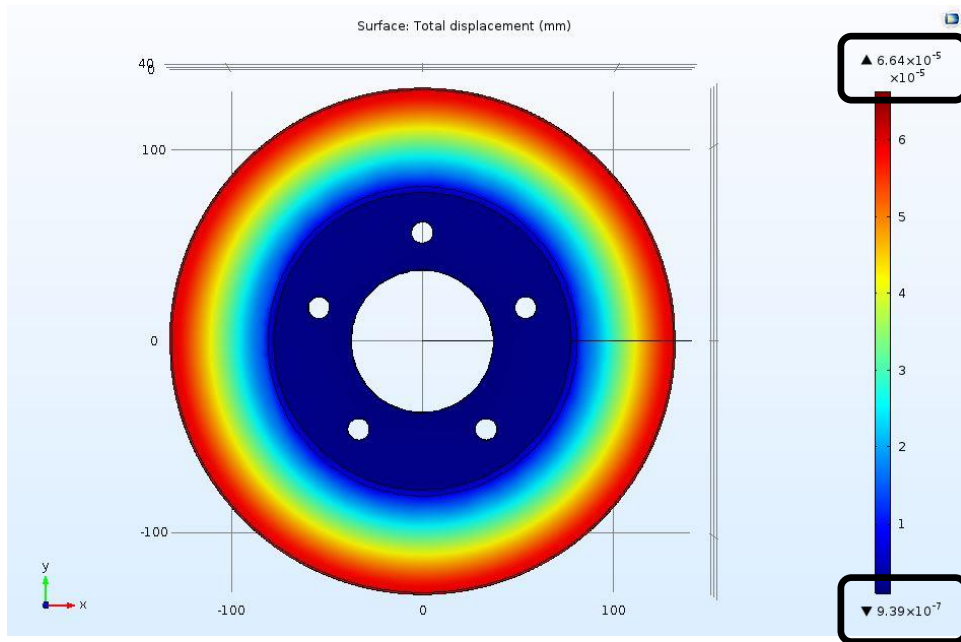
Solid-Disc가 V-Disc보다 변형이 적게 된다.

AMC_2 응력 분석 결과

- Displacement -

Solid-Disc

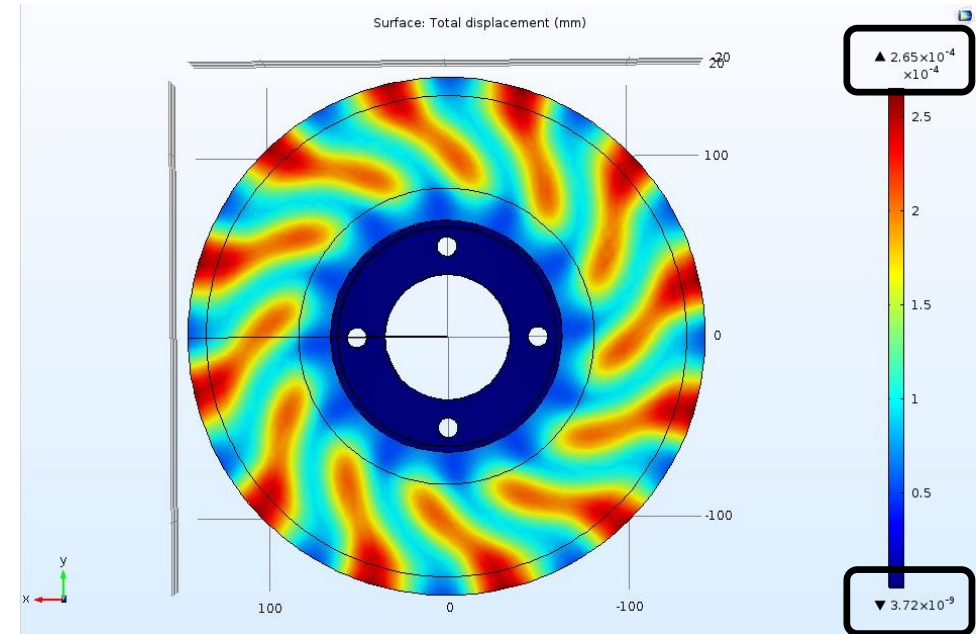
Max : 66.4nm



Mesh = 136030개, average element quality 0.7283, DOF = 629859

V - Disc

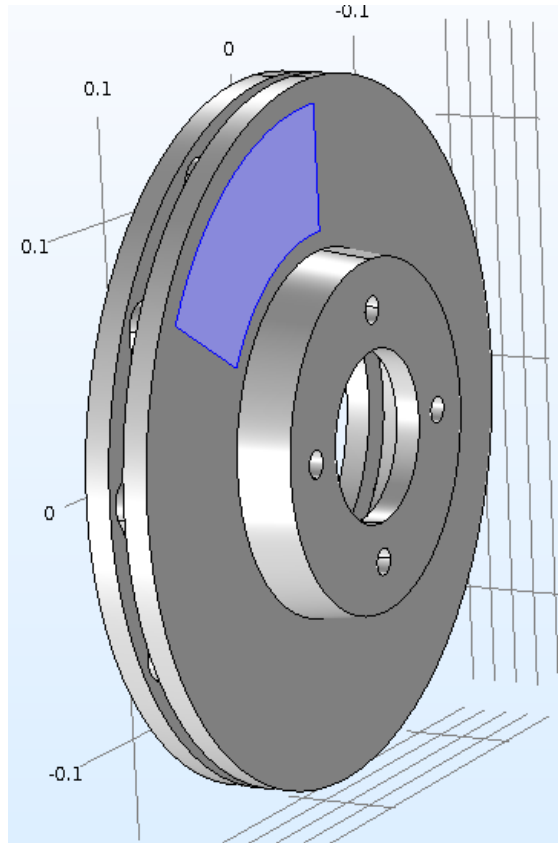
Max : 265nm



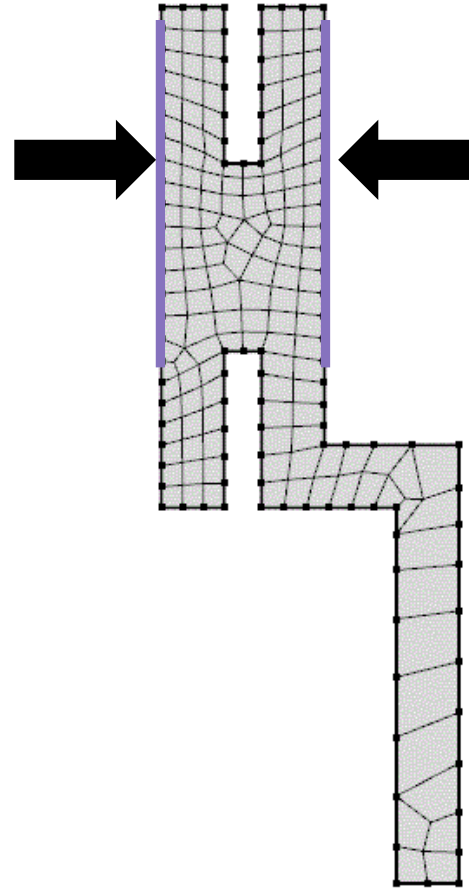
Mesh = 54692개, average element quality 0.6796, DOF = 258678

Solid-Disc가 V-Disc보다 변형이 적게 된다.

Disc 열과 응력에 의한 Displacement

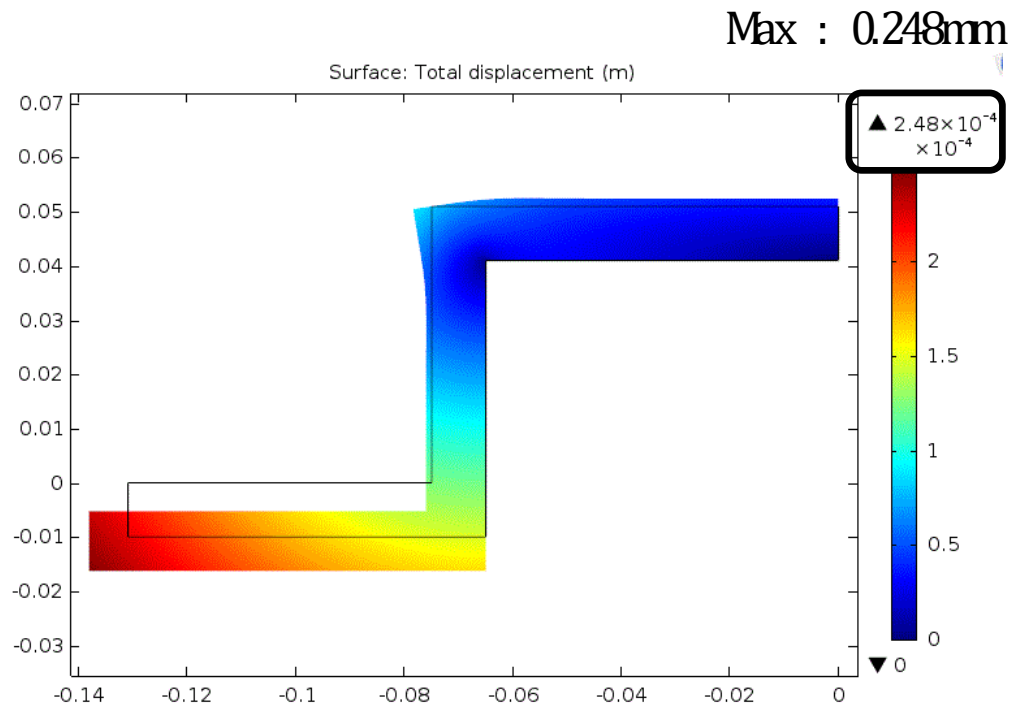


P
T at 2s

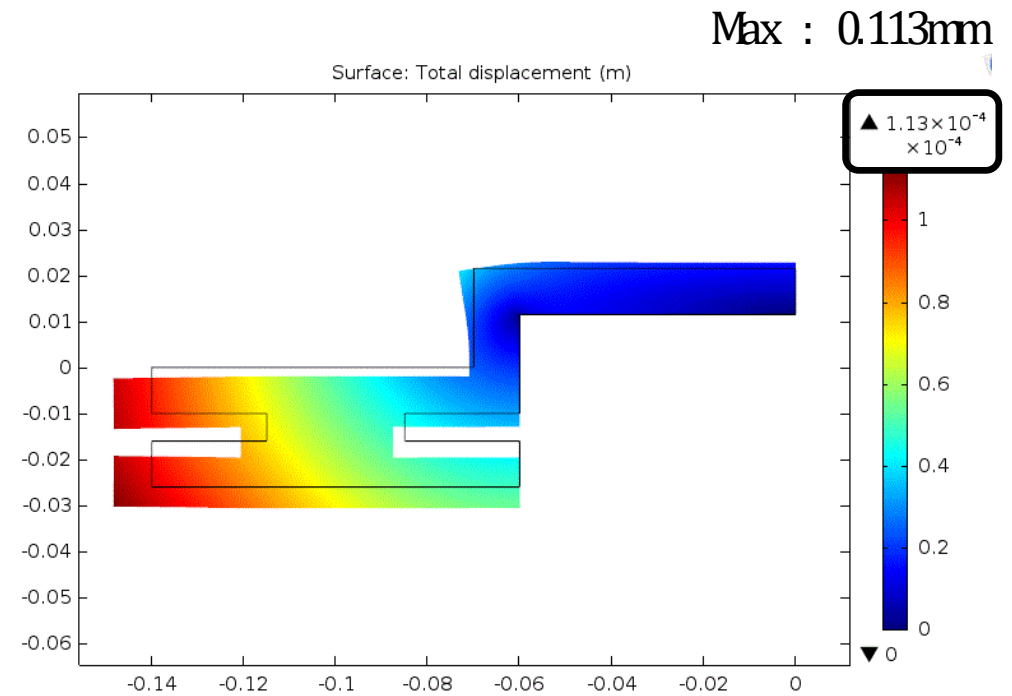


GCI Disc 열과 응력에 의한
Displacement

Solid-Disc



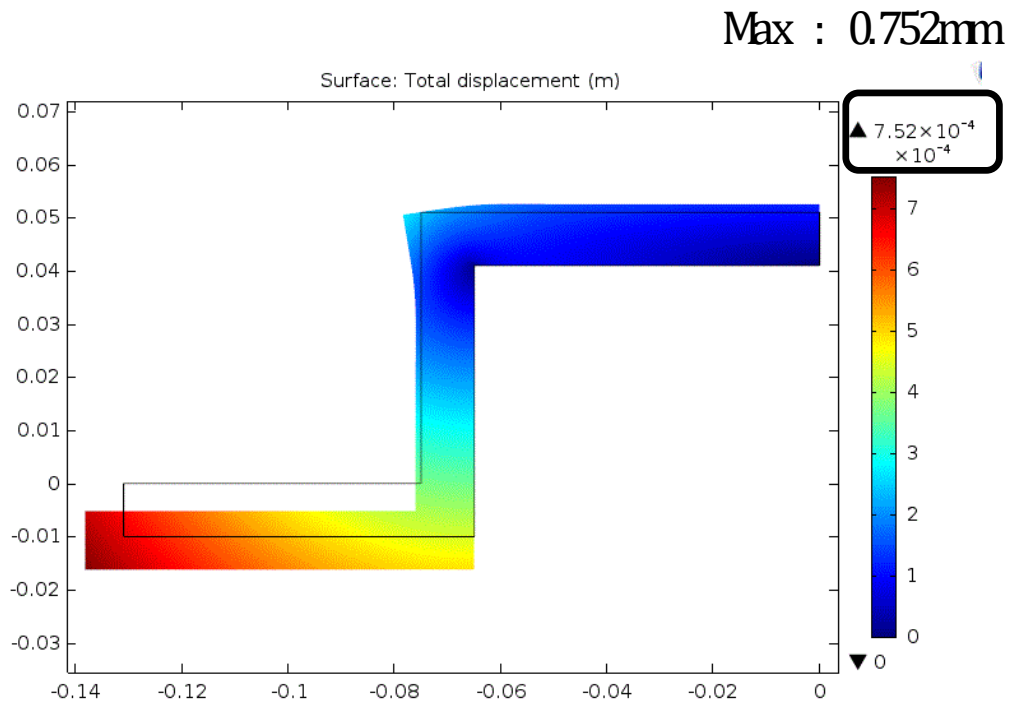
V - Disc



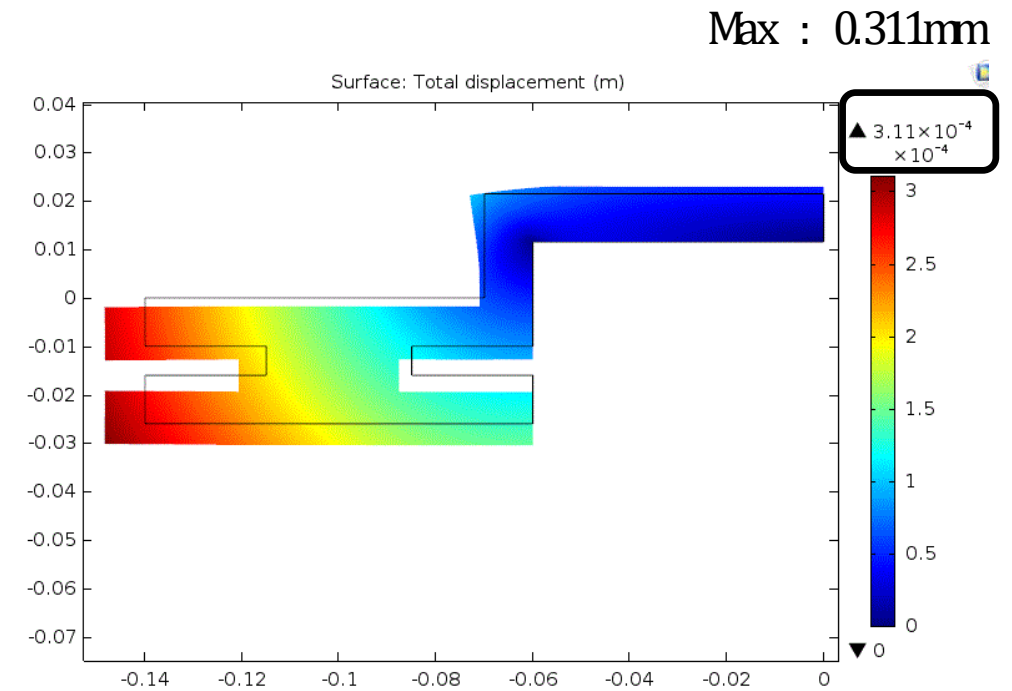
열을 고려한 결과 V-Disc가 Solid-Disc 보다 변형이 적게 된다.

AMC-2 Disc 열과 응력에 의한 Displacement

Solid-Disc

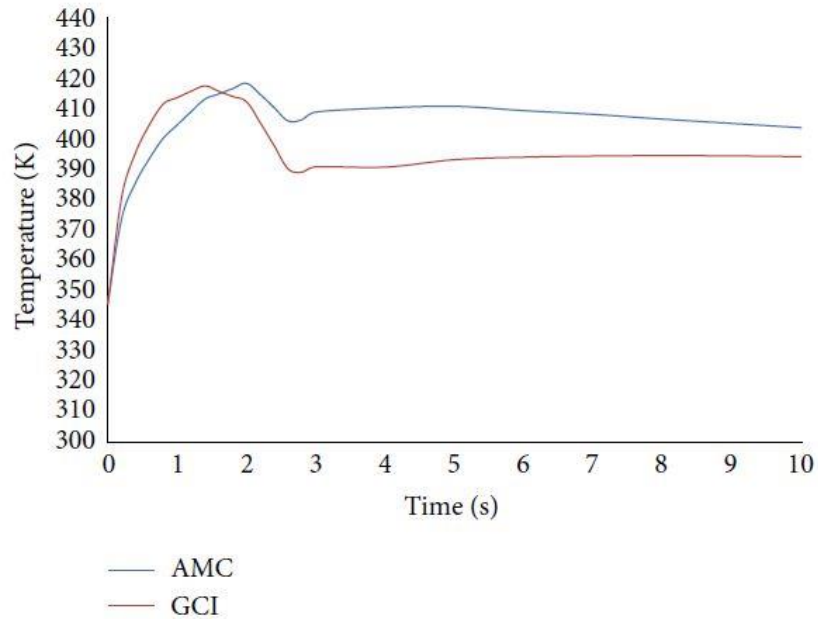


V - Disc



열을 고려한 결과 V-Disc가 Solid-Disc 보다 변형이 적게 된다.

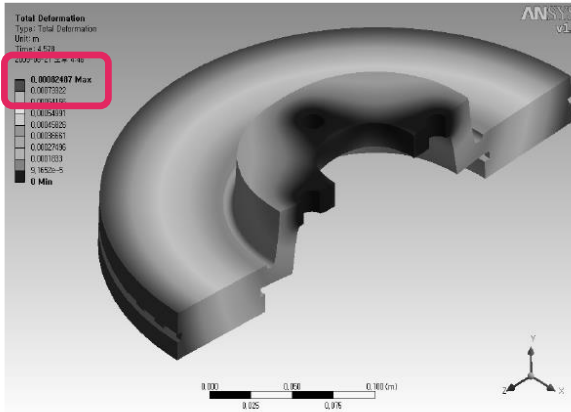
Q2) 이때 브레이크 디스크 열변과 변형에 대한 타당성 조사 결과 분포는 어떻게 될 것인가?
또한 계산된 값들은 유효한가?



참조 : A Computational Study on the Use of an Aluminium Metal Matrix Composite and Aramid as Alternative Brake Disc and Brake Pad Material

	논문	DISC Team
소재	GCI	GCI
마찰계수		유사
초기속도	25m/s	27.78m/s
가속도	-10m/s^2	-9.51m/s^2
패드 접촉 시간		2s
2s 온도	417K	388K

응력 분포 분석 타당성 조사

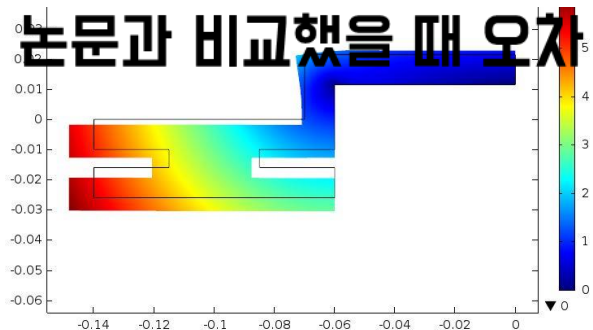


Max : 0.825mm

$$E \propto \frac{1}{\epsilon} \text{ (동일한 압력 } P, \text{ 같은 disc 두께)}$$

$$0.606 \times \frac{180}{125} = 0.875$$

논문과 비교했을 때 오차 6%



Max : 0.606mm

	논문	DISC Team
소재	GCI	GCI
Young's modulus	125e9	180e9
초기속도	97km/h	100km/h
가속도		$-5.89m/s^2$
패드 접촉 시간		4.578s
온도		500°C
4.578s 변위	0.825	0.606

형상에 따른 Disc의 성질

GCI

	Solid-Disc	V-Disc	Compare
Max heat	493K	388K	V-Disc
Max displacement	39.7nm	179nm	Solid-disc
Heat displacement	0.248mm	0.113mm	V-Disc

AMC - 2

	Solid-Disc	V-Disc	Compare
Max heat	582K	413K	V-Disc
Max displacement	66.4nm	265nm	Solid-disc
Heat displacement	0.752mm	0.311mm	V-Disc

V-Disc가 Solid-Disc에 비하여 무게가 1.5배 정도 더 나가지만 제동력의 차이는 거의 없고 열에 대한 성능이 훨씬 우수함

Disc의 온도가 높으면 *Thermal judder* 현상이 발생하여 제동력이 감소

따라서 V-Disc가 Braking 성능이 좋음

- A Computational Study on the Use of an Aluminium Metal Matrix Composite and Aramid as Alternative Brake Disc and Brake Pad Material
- A Study on Thermal Analysis in Ventilated Disk Brake by FEM
- Thermal Stress Analysis of Ventilated Disc Brake
- Study for Characteristic of Frictional Heat Transfer in Rotating Brake System
- Coupled Thermo-Mechanical Analysis of Brake Discs Considering Nonlinear Coefficient of Friction
- Numerical Simulation of Thermoelastic Contact Problem of Disc Brake with Frictional Heat Generation
- Thermal Analysis of Disc Brake Using Comsol



Thank you

Brake Disc

외부 요인에 의한 영향 분석
D.I.S.C team