

## 야외용 가스보일러의 연소판 형상에 따른 열응력 해석

이석영<sup>†</sup>

인하공업전문대학 기계과

(2015년 11월 21일 접수, 2015년 12월 18일 수정, 2015년 12월 20일 채택)

### Thermal Stress Anaysis of Burning Plate by Configuration of Outdoor Gas Boiler

Suk Young Lee<sup>†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Inha Technical College

(Received 21 November 2015, Revised 18 December 2015, Accepted 20 December 2015)

#### 요 약

본 연구에서는 야외용 가스보일러 형상에 따른 연소판을 열응력 결과를 통해 분석하였다. 정상상태 모드로 계산한 결과, 최대 응력 및 변형은 A형상과 B형상에서 각각 666.8MPa, 0.20476mm로 분석되었다. 변형은 연소판 중심에서 바깥쪽으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 8가지 형상 중에서 최대 응력과 변형은 F와 C형상이 가장 안전함을 각각 보였다. 따라서, 8가지 형상 중에서 F형상이 강도 및 안전성 측면에서 가장 우수하다고 판단되었으며, 가스보일러의 연소판 형상에 따른 계산된 결과를 분석함으로써 보일러 시스템에 대한 안전한 구성요소 변수를 실질적으로 적용할 수 있는 모델을 설계할 수 있게 되었다.

**주요어** : 열응력, 열변형, 연소판, 야외용 가스보일러

**Abstract** - This study investigates the result of thermal stress analysis on burning plate by classes at outdoor gas boiler. In the analysis results at the steady state, the maximum stress and deformations are 666,8MPa at A type and 0.20476mm at B type respectively. The deformation becomes larger as the field goes on from the center to the outside at burning plate. As there are 8 types in the order of maximum stress and deformation, F and C type have safest among 8 types respectively. Therefore, F type becomes most excellent on strength and safety among 8 types. By using the analysis result of burning plate model at gas boiler, it is possible to design the model applied practically at the safe component parameters of boiler system.

**Key words** : Thermal stress, Thermal deformation, Burning plate, Outdoor gas boiler

#### 1. 서 론

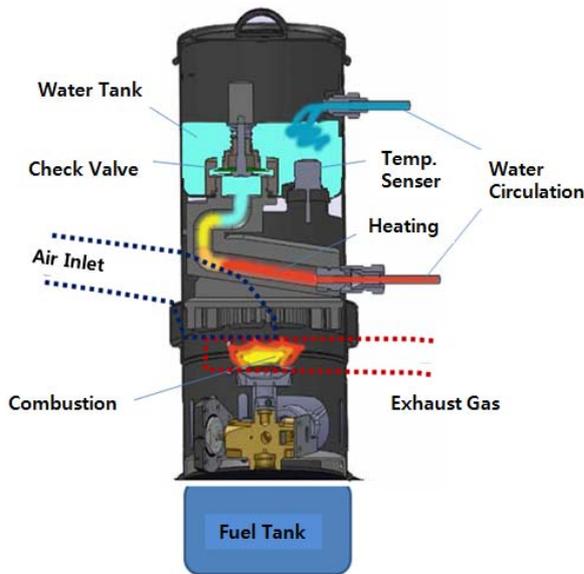
연간 온수매트 시장은 국외는 생활 및 환경, 문화적 차이로 아직까지는 미미한 편이지만, 국내는 2013년에 비해 2014년에는 237% 성장으로 연간 약 3,000억

원에 육박하고 있다.<sup>(1)</sup> 하지만, 대부분이 기존의 전기장판을 대체하는 가정용 전기가열 방식으로 야외용 가스버너 가열식 온수매트 시스템은 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서 개발품은 현재 가속화되고 있는 온수매트 시장과 맞물려 레저용품 사업화 선순환 구조와 함께 최단 시일 내에 캠핑용 온열매트시장이 활성화될 것으로 전망하고 있다. 본 야외용 가스버너식 온수매트는 국내뿐 아니라 해외에서도 개발되어진 적이

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
100 Inha-ro Nam-gu Incheon 402-752 South Korea  
Tel : 032-870-2131 E-mail: sylee@inhatc.ac.kr



(a) Overview



(b) System Component

Fig. 1. Burning System

없는 장치로 현재 시중에 유통되고 있는 일반 가정용 온수매트가 전기에너지로 가열되어지는 시스템에 비해, 본 개발품은 야외 오지에서조차 작동이 가능한 소형 휴대용 가스로 충분히 작동되는 무전원 시스템이다. 따라서 본 연구를 통해 장시간 사용가능한 연소시스템을 갖춘 가스버너식 야외 캠핑용 온수매트를 개발하게 되면, 국내뿐 아니라 해외에서도 실생활에 곧바로 사용가능하게 되어, 향후 관련 시장에서의 기술적 우위와 더불어 해외에도 많은 기여를 할 것으로 기대된다. 따라서, 본 연구를 통해 가스버너 온수매트의 주연소부를 개발하고자 하며 이에 대한 가능성을 검증하기 위해 상용 프로그램을 통해 연소로 인한 가열 연소부의 열응력과 열변형을 수치해석하였으며,<sup>(2),(2),(4)</sup> 이리

Table 1. Specification of Burning System

Items	Specification
Size(mm)	$\Phi 118 \times 246$
Weight(g)	1,120
Fuel(Butane) Consumption(g/h)	28.75
Output(W)	380

한 해석을 통해 기대 수명을 만족하는 야외 캠핑용 온수매트를 설계 및 제작하도록 하였다.

## 2. 해석대상

### 2-1. 구조 및 제원

본 야외 캠핑용 온수매트는 Fig. 1에서와 같이 크게 2가지 구성요소로 이루어진다. 첫째 전열부는 온수매트를 순환하는 순환수가 유입되도록 유입관이 형성되고 순환수가 저장되는 저수부로부터 공급되는 순환수가 일정한 유로관을 따라 유동하면서 열교환된 후에 유출관을 통해 온수매트로 순환수를 공급시키는 역할을 한다. 둘째, 가열부에서는 연료탱크로부터 공급되는 가스를 연소시켜 전열부 내부의 순환수를 가열하는 역할을 한다. 여기서 본 해석의 목표는 가열부에 해당되며 가열부를 구성하는 요소중에서 연소판 등의 연소시스템에 해당된다. Table 1은 이러한 전체시스템의 제원을 보여준다.

### 2-2. 동작원리

Fig. 1에서 보는바와 같이 연소시스템에서 구성요소인 저수부에서는 온수매트의 내부에 매설된 순환관의 일단부와 연결된 유입관과 순환수가 전열부 내부로 유입시키면서 저수부의 체크밸브가 개방될 때 순환수가 유입되면서 열을 흡수하는 유로관이 형성된다. 또한, 가열부에는 연료탱크로부터 공급되는 연료가스의 분출량을 조절하는 가스조절기와 유입된 연료가스를 연소시키는 연소기를 통해 순환수를 데우도록 구성되면서 온수매트에 필요한 열원을 공급하게 된다.

## 3. 수치해석

연소시스템의 열응력 해석을 수행하기 위하여 구조

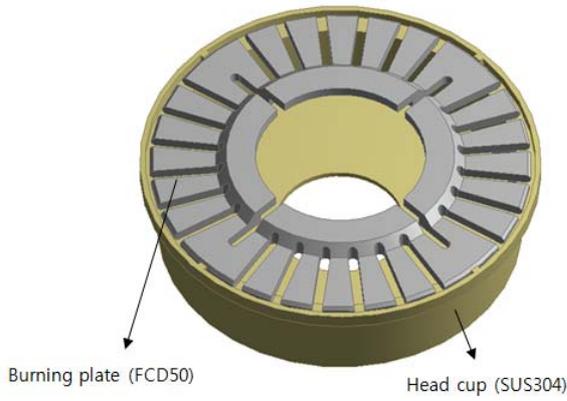


Fig. 2. Modeling



Fig. 3. Mesh generation

해석 상용프로그램인 ANSYS v15을 사용하였다. 또한, 연소시스템에 대한 모델링을 위해서 Fig. 2와 같이 연소시스템을 구조적으로 모델링 하였다. 본 해석은 Fig. 2와 같이 정상해석으로 진행하였고 Fig. 3과 같이 3D모델링을 위해 ANSYS 디자인모듈러를 사용하였으며, 정확한 계산을 위해 최소 100만개 이상의 격자를 생성하여 열응력 및 열변형 등을 계산하였다.<sup>(5),(6),(7)</sup>

**3-1. 모델링 및 격자생성**

2D설계도를 분석하여 3D모델링을 통해 생성된 격자를 Fig. 3에서 보여주며 이러한 과정은 ANSYS 자체에 내장된 디자인모듈러와 격자생성툴을 사용하여 진행하였다. 격자는 계산의 정확성과 신속성을 위해 노드

Table 2. Material property

Items	Burning plate	Head cup
Material	FCD50	SUS304
Young's modulus(Gpa)	110	193
Poisson's ratio	0.28	0.31
Density(kg/m <sup>3</sup> )	2,770	3,200
Tensile yield strength(Mpa)	240	207
Compressive yield strength(Mpa)	240	207
Tensile ultimate strength(Mpa)	280	230
Thermal expansion coefficient(°C-1)	1.1E-5	1.1E-7



Fig. 4. Supposition of boundary condition

수(Nodes)는 72만개, 엘리먼트수(Elements)는 113만개를 생성시켰으며, 해석에 30분이 소요되었다.

**3-2. 경계조건**

가스 연소에 의한 화염이 버닝 플레이트와 헤드컵에 미치는 영향이 다르므로 각각 1,000, 400°C로 가정하였고 대류조건은 0.3m/s의 공기속도를 가정하여 10W/mm<sup>2</sup>을 부여하였다. 또한, 물체의 재질은 Table 2와 같고 외부기압과 온도는 각각 1atm, 20°C로 설정하였다.

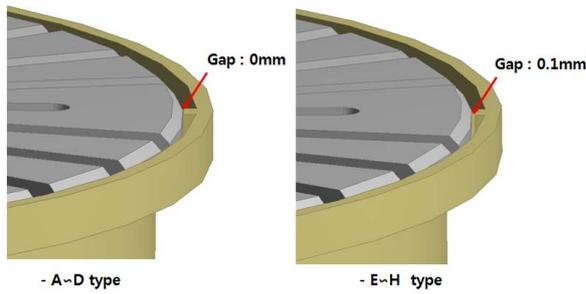


Fig. 5. Gap between burning plate and head cup

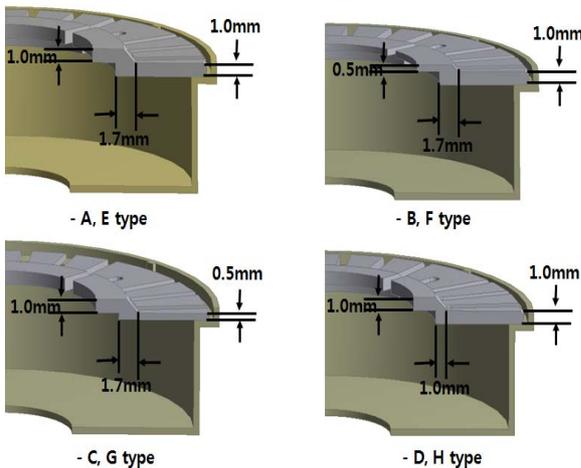


Fig. 6. Configuration of burning plate

### 3-3. 형상변수 조건

전체 조건은 8가지 변수이며 헤드컵과 버닝플레이트 사이의 지지부 4개소에 대한 Gap을 변수조건으로 하여 각각 0, 0.1mm로 Fig. 5와 같이 정하였다. 또한 버닝플레이트 형상에 따라 Fig. 6과 같이 4개의 변수로 정하여서 총 8가지 변수를 정하였다.

## 4. 해석결과 및 분석

Fig. 5와 6에서 보여준 바와 같이 버닝 플레이트와 헤드컵 사이의 간격에 따라 A에서 D까지는 간격이 0mm, E에서 H까지는 0.1mm로 크게 나누었으며 각각의 간격에 대하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 버닝 플레이트 형상에 따라 4가지로 구분하였다. 따라서, 8가지 형상변수 조건에 따른 해석을 결과값을 다음과 같이 분석하였다.

Table 2. Summary of calculated results

Type	Max. Stress (Mpa)	Max. Deformation(mm)
A	666.8	0.17434
B	657.6	0.20476
C	602.4	0.16411
D	643.7	0.17205
E	0.0001063	0.19378
F	0.000105	0.19377
G	0.000258	0.19348
H	0.000106	0.19378

### 4-1. 열응력(Thermal stress)

Fig. 7은 형상변수 8가지 조건에 대한 정상상태에서의 열응력분포를 보여주고 있다. 버닝 플레이트와 헤드컵 사이의 간격 유무에 따라서 열응력값의 차이가 크게 나타남을 알 수 있으며, 최대응력값이 나타나는 부위는 조건과는 관계없이 거의 일정함을 알 수 있다. 최대 열응력값은 A type에서 666.8MPa이 나타나는데 Table 2에서 보는 바와 같이 버닝 플레이트 재질의 인장 항복강도가 240.2MPa임을 고려하면 파괴된다고 판단할 수 있다. 한편 E에서 H type까지의 4가지 조건에서는 열응력값이 거의 미치지 않음을 고려할 때 헤드컵에 버닝 플레이트를 장착하기 위한 4군데 지지부에서의 서로간의 간격은 반드시 필요하다고 판단된다.

### 4-2. 열변형(Thermal deformation)

Fig. 8은 형상변수 8가지 조건에 대한 정상상태에서의 열변형을 보여주고 있다. 최대 열변형은 Type B에서 0.20476mm로 나타났으며, 최소 열변형은 Type D에서 0.17205mm로 나타남을 알 수 있다. 이러한 열변형은 8가지 조건에 따라 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있으며 열변형값도 연소시스템 성능에 미치는 영향이 거의 없을 정도이므로 열변형에 대한 설계 검토는 후순위에 포함된다고 판단할 수 있다.

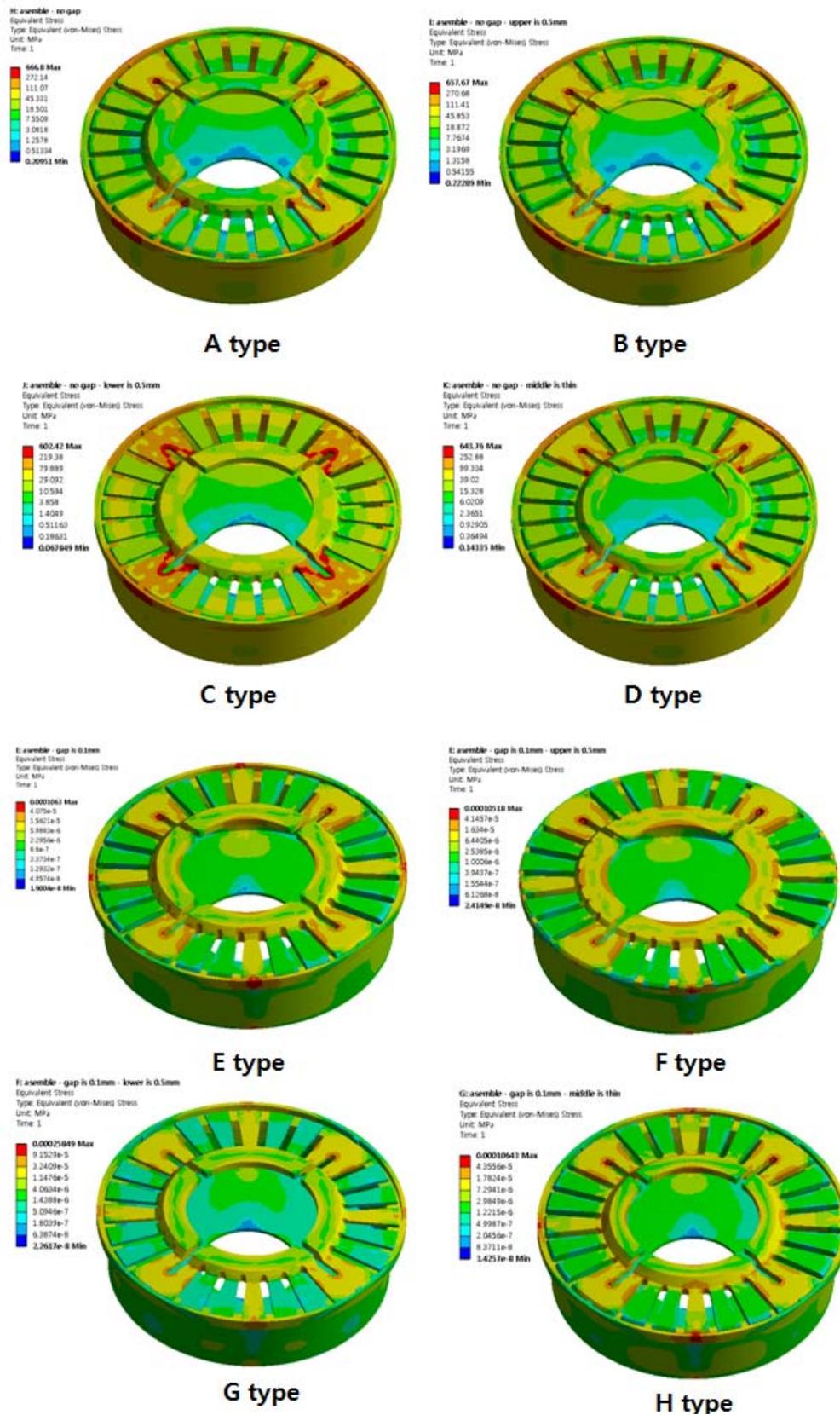


Fig. 7. Distribution of thermal stress for 8 type

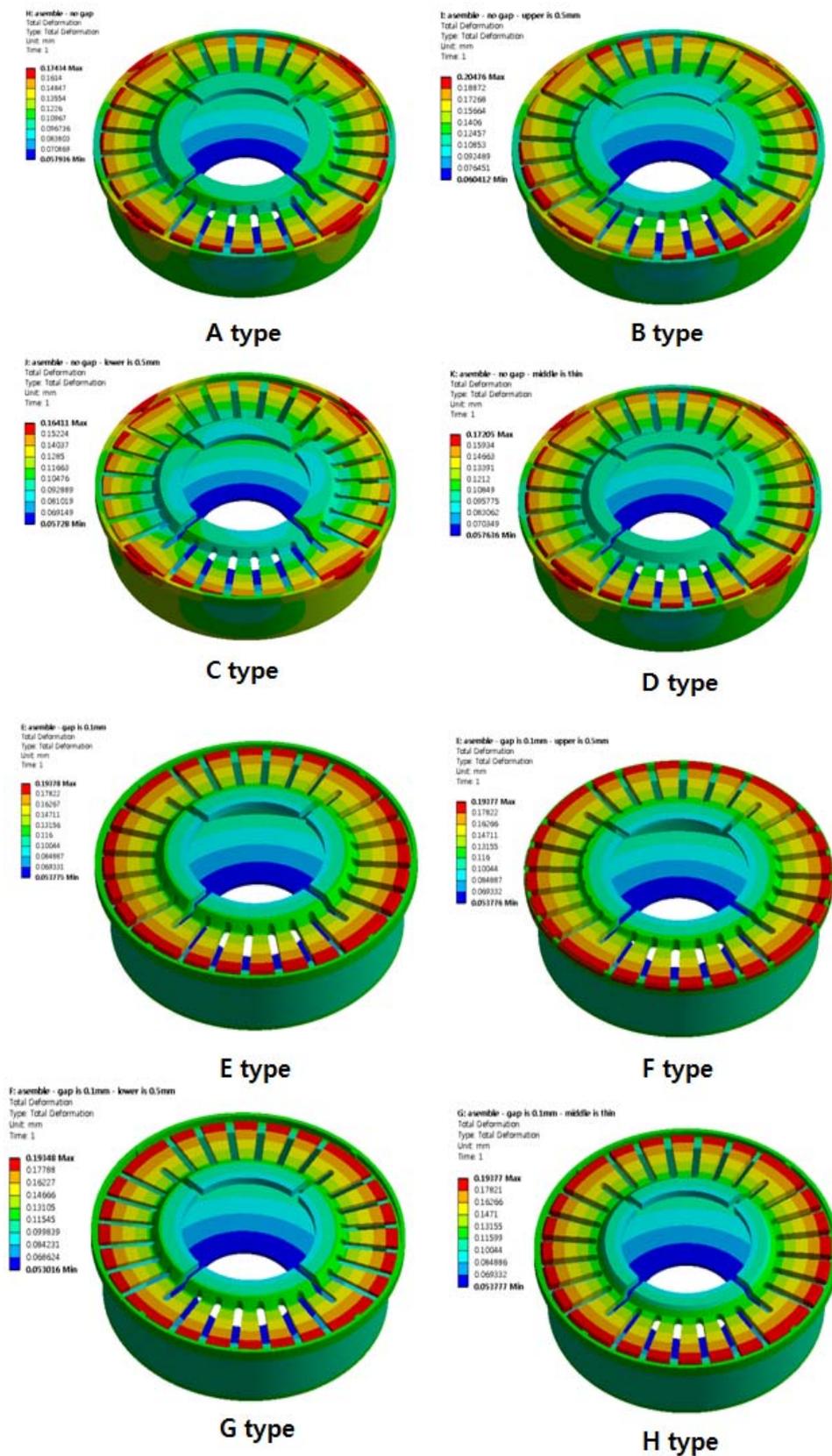


Fig. 8. Distribution of thermal deformation for 8 type

## 5. 결 론

야외 캠핑용 온열매트 가열부를 구성하는 버닝 플레이트와 헤드캡의 최적화 설계를 위하여 구조해석을 상용 프로그램인 ANSYS v15를 사용하여 3D모델링 한 후 정상상태로 유한요소법 해석을 8가지 형상별로 수행하여 분석하였다.

- (1) 해석결과, 열응력은 버닝 플레이트와 헤드캡 사이의 간격 유무에 따라서 크게 차이가생성됨을 알 수 있으며, 이 때 크게 나타나는 열응력값은 버닝 플레이트 재질의 인장 항복강도보다 크게 나타남으로 안전상 문제가 있다고 할 수 있다. 따라서, 헤드캡에 버닝 플레이트를 지지부에서 장착하기 위해서는 간격이 필요하다고 판단하였다.
- (2) 열변형은 8가지 조건에 따라 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있으며 열변형의 크기도 온열매트 가열부의 성능에 미치는 영향이 무시할 정도이므로 설계를 위한 열변형 검토는 후순위로 미루어도 된다고 판단할 수 있다.
- (3) 8가지 형상별 조건에 따라 온열매트 가열부 설계 시 우선적으로 고려할 사항은 열응력이며 버닝 플레이트와 헤드캡 사이의 간격에 따라 안전성이 크게 좌우 된다고 할 수 있다.

## References

1. <https://cuk.or.kr/index00.html>, Consumers union of Korea, 2013
2. S. K. Lee, B. Y. Sung and S. K. Ha, "Optimal Design of Ventilated Disc Brake Rotor," Transaction of KSME-A, Vol.24, No.3, pp.593-602, 2000
3. J. U. Cho and M. S. Han, "Analysis of Fatigue Damage at Wheel under Variable Load," Journal of the KSMTE, Vol.19, No.6, pp.753-759, 2010
4. H. Y. Kim, S. K. Lee and Y. J. Shin, "Analyses of Deployment Process and Sled Test for Designing Airbag Module," Transactions of KSAE, Vol.6, No.2, pp.118-128, 1998
5. Woong-Cheol Lee, Soon-Seok Hong, Jae-Deok Jang, In-Sik Joo, "A Study on Disc Spring Shape for Hysteresis Optimization of Torsion Damper", KSAE 2012
6. Han-Goo Cho, Un-Yong Lee, Se-Won Han, Seok-Sou Kim, "The Temperature Distribution and Thermal Stress Analysis of Pole Mold transformer", journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic material Engineers. Vol.14. No.4, pp. 297~301, 2001
7. ANSYS, "Ansys Workench" TAE SUNG SOFTWARE & ENGINEERING, Inc., 2010