

# 전동킥보드 브레이크 디스크의 열전달에 관한 융합 연구

최계광<sup>1</sup>, 조재웅<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 금형설계공학과 교수, <sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부 교수

## A Convergent Study on Heat Transfer at Brake Disc of Electric Kickboard

Kye-Kwang Choi<sup>1</sup>, Jae-Ung Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University

<sup>2</sup>Professor, Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

**요약** 본 연구에서는 전동킥보드 브레이크 디스크 열전달을 해석하였다. 브레이크 디스크의 패드 접촉면에 따라 다른 열이 전달된다. 접촉면에서 떨어진 부분에서는 온도가 작아지는 경향이 거의 일정하였으며 Model A가 Model B 보다는 약간 더 낮은 온도 분포를 보였다. Model A가 Model B에 비하여 그 최대 등가응력이 7% 정도 더 높다. 설계시에 타원형으로 패드와 접촉하는 Model B가 원형인 Model A 보다는 그 응력이 감소됨을 보였다. 접촉면 위쪽으로 열이 더 많이 전달되는 것으로 미루어 볼 때 설계시 브레이크 디스크의 모서리 부분을 고려하여 본다면 Model B가 Model A보다 그 강도가 더 크다고 사료된다. 본 연구 결과를 전동킥 보드의 설계에 활용한다면 더 강도가 좋은 브레이크 디스크 설계를 할 수 있을 것이라고 생각된다. 본 연구 결과를 전동킥보드 브레이크 디스크에 적용함으로써 열에 대한 브레이크의 내구성을 평가할 수 있고 그 결과가 강성 있는 브레이크의 설계와 미적인 융합이 될 수 있다고 보인다.

**주제어** : 전동킥보드, 브레이크 디스크, 열전달, 온도, 열응력, 융합

**Abstract** In this study, the thermal analysis on the brake disc of electric kickboard was analyzed. The different heat is transmitted depending on the pad contact surface of brake disc. The trend that the temperature decreases at the part away from the contact surface was almost constant. And model A showed a slightly lower temperature distribution than model B. Model A has a maximum equivalent stress of 7% higher than model B. By being applied with the higher heat transfer above the contact surface, it is thought that model B has a greater strength than model A if the design takes into account the corner of the brake disc. If this study result is utilized to the design of electric kickboard, the design of brake disc with better strength is considered to be established. The durability of brake against the heat can be evaluated by applying this study result to the brake disc of electric kickboard. And it is seen that the result can be the design of brake with strength and the aesthetic convergence.

**Key Words** : Electric kickboard, Brake disk, Heat transfer, Temperature, Thermal stress, Convergence

\*Corresponding Author : Jae-Ung Cho(jucho@kongju.ac.kr)

Received July 24, 2020

Accepted November 20, 2020

Revised August 11, 2020

Published November 28, 2020

## 1. 서론

전동키토보드 시장이 커지고 있고, 이를 활용한 사업이 늘어나고 있다. 이와 관련되어서 전동키토보드의 안전문제들 중에 중요한 것 하나는 제동이다. 확실한 제동력이 부족한 브레이크 문제로 인한 사고가 많아지고 있다. 실제로 전동키토보드를 도로보다는 인도에서 더 많이 타고 있으며 사람이 많이 다니므로 도로보다 브레이크를 사용할 상황이 많이 발생한다. 자동차나 자전거와 달리 전동키토보드는 바퀴의 크기가 현저히 작기 때문에 브레이크 디스크의 크기도 작을 수 밖에 없다는 것이다. 따라서 열에 의한 응력이나 변형이 더 쉽게 일어날 수 있기 때문에 열전달 문제는 매우 중요하다[1-5]. 브레이크 디스크의 크기에 따라 많은 모양의 패드를 사용할 수 있지만 본 연구에서는 대표적인 모양 두 가지를 이용하여 연구를 진행하였다. 원모양의 Model A, 긴 타원모양의 Model B의 두 가지의 브레이크 패드를 사용하여 브레이크를 작동했을 때, 브레이크 패드 모양에 따라 디스크에 작용되는 압력과 열로 인한 응력이나 변형량[6-10]을 해석하여 그 내구성을 연구하였다[11-15]. 본 연구의 해석 결과를 이용하면 실제적으로 전동키토보드 브레이크 디스크의 열발생에 따른 강도를 시험하지 않고서도 측정할 수 있다고 보인다. 그리고 그 결과가 강성 있는 전동키토보드 브레이크의 설계와 미적인 융합이 될 수 있다고 보인다.

## 2. 연구 모델들의 열해석

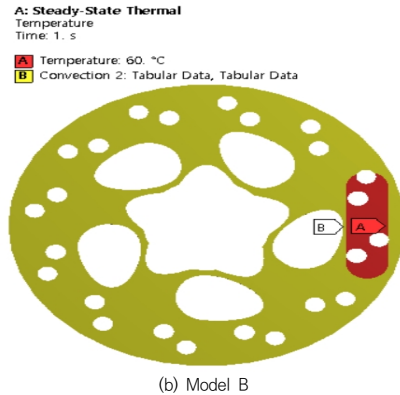
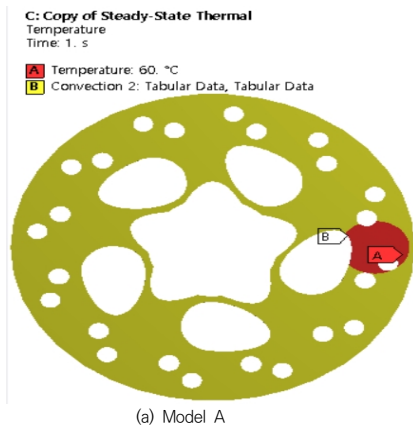


Fig. 1. Boundary conditions of thermal analyses

Table 1. Material property

| Parameter                        | Values                              |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Young's Modules                  | $1.9 \times 10^5$ MPa               |
| Poisson's Ratio                  | 0.31                                |
| Density                          | $7750 \text{ kg/m}^3$               |
| Tensile Yield Strength           | 207 MPa                             |
| Compressive Yield Strength       | 207 MPa                             |
| Tensile Ultimate Strength        | 586 MPa                             |
| Coefficient of Thermal Expansion | $1.7 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ |

Table 2. Meshes of models 1 and 2

|         | Numbers of Nodes | Numbers of Elements |
|---------|------------------|---------------------|
| Model A | 5994             | 2668                |
| Model B | 5693             | 2514                |

본 연구에 사용한 모델은 직경이 140 mm, 두께가 2 mm인 브레이크 패드를 설계하였다. 브레이크 디스크 모델들은 Fig. 1과 같고 열에 의한 경계 조건들을 Model A와 Model B에 대하여 나타내고 있다. 이 모델들을 사용하여 설계한 모델들은 직접적으로 브레이크 디스크와 접촉하는 부분을 구분하여 브레이크 디스크 모델에 원 및 긴 타원으로 총 두 가지 종류인 Model A와 Model B로 그려서 해석을 진행하였다. 완전히 밀착되어 있다는 가정을 했기 때문에 접촉한 압력과 열에 의한 응력을 해석하였다. 주위에 접촉하는 주위온도는 상온인 21°C이고 대류 열전달 계수는  $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 이다. 그리고 디스크에 접촉하는 원이나 타원에는 온도가 60°C로 가정하였다. 브레이크 디스크의 재질은 Stainless Steel로 하였으며 열전도율은  $15.1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 이고, 그 물성치는 Table 1과 같다. 또한 Model A와 Model B의 절점수와 요소수

들은 Table 2와 같다. 해석 모델은 ANSYS 프로그램을 사용하여 만들었다. 일반적인 실온에서 전동킥보드를 탄다는 조건을 주기 위하여 브레이크 디스크와 브레이크 패드의 기본 온도는 21℃를 주었고 대류 환경은 운행 시 바람은 고려하지 않았다. 브레이크를 걸었을 때 멈춘다는 가정을 했기 때문에 일반적인 대류 환경을 주었다. 유동이 없다는 가정하에 해석을 진행하였으며 브레이크 패드가 밀착되어 있어서 패드 모양에는 대류 환경을 주지 않았다. 브레이크 디스크에 있는 구멍에 따라 전달이 다를 것을 고려해서 같은 위치에 밀착되는 조건으로 해석을 진행하였다. Fig. 2는 Model A와 Model B에 대한 열 해석 결과이다. Fig. 2 (a), (b)에서 보면 접촉지점에서 열이 완벽하게 전달되는 것을 알 수 있다. 접촉지점 보다 위쪽으로 열이 확실하게 전달되는 것을 알 수 있으며 접촉지점과 멀어질수록 온도가 일정하게 낮아지는 것을 알 수 있었다. 접촉 지점과 제일 먼 쪽은 온도가 25℃ 정도 까지 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 2 (a)에서 가장 낮은 지점의 온도는 24.383℃이다. 그러나 Fig. 2 (b)에서는 가장 낮은 지점의 온도는 각각 25.239℃이다. 온도 분포도를 분석 해보면 Model A가 Model B보다는 약간 더 낮은 온도 분포를 보였다.

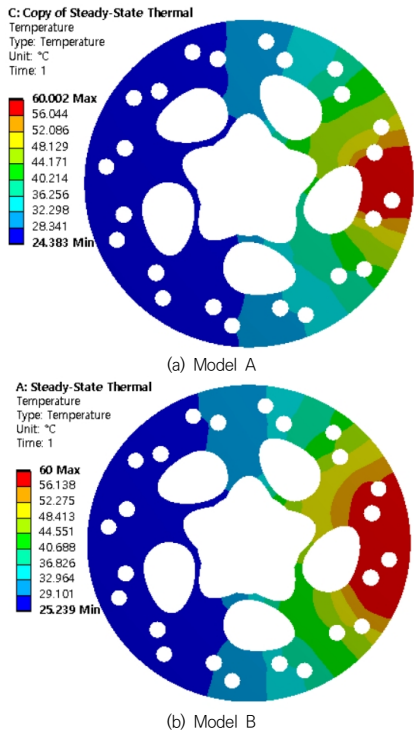


Fig. 2. Thermal analysis results of models

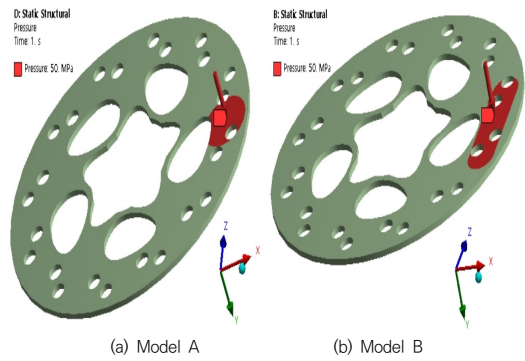


Fig. 3. Pressure conditions of models

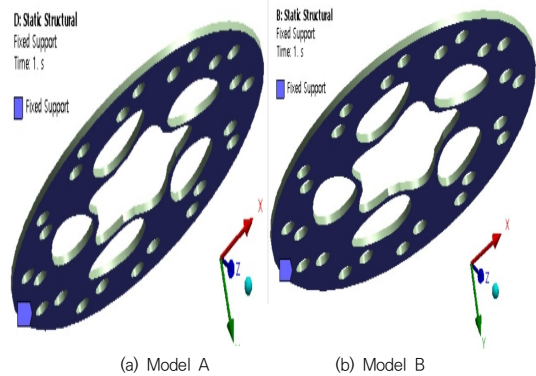
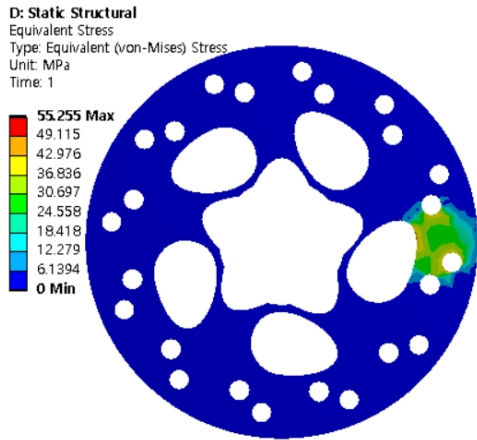


Fig. 4. Fixed conditions of models

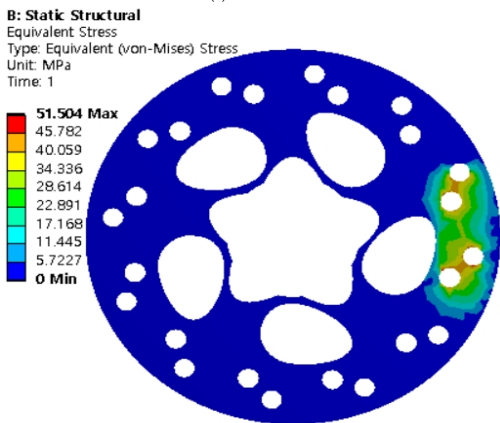
### 3. 연구 모델들의 구조 해석

구조해석 조건으로서는 Fig. 3과 같이 패드와 접촉하는 면인 Model A나 Model B의 원형이나 타원면 에 수직으로 50 MPa을 가하였으며 Fig. 4와 같이 Model A와 Model B의 브레이크 디스크의 아랫면을 각각 고정하였다. 열응력 해석 결과로서는 Fig. 5와 같이 등가응력에 대한 등고선들을 나타낸다. 모델 A의 원모양 패드에서는 압력이 최대 응력이 55.255 MPa까지 올라갔지만 Model B에서는 51.504 MPa로 다소 작았다. 열전달에서는 모델 B에서는 넓게 분포되었는데 응력에서는 모델 A에 가장 강한 응력이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. Model A가 Model B에 비하여 그 최대 등가응력이 7% 정도 더 높다. 또한 아래쪽이 아닌 모서리 부분으로 더 강하게 응력이 걸렸고 그로 인하여 아래쪽보다는 바깥쪽, 즉 모서리 방향으로 응력이 많이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 Model A와 B에 대한 전변형량의 등고선들을 나타낸다. Model A와 B의 변형량들은 작아서 그

영향은 적다. Model A가 Model B에 비하여 그 변형량이 약간 더 크다.

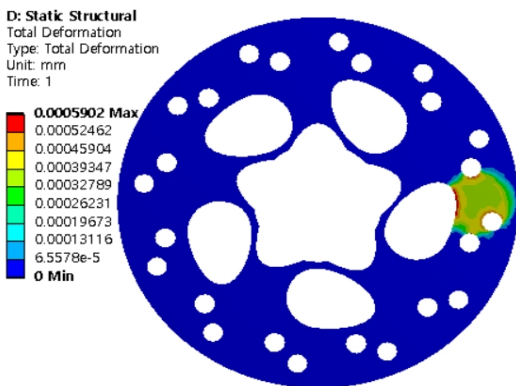


(a) Model A

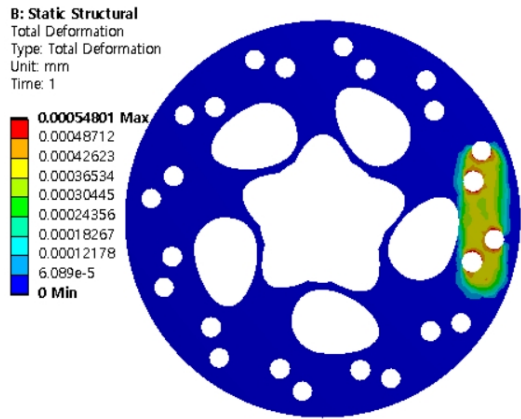


(b) Model B

Fig. 5. Equivalent stress contours of models



(a) Model A



(b) Model B

Fig. 6. Total deformation contours of models

#### 4. 결론

본 연구에서는 전동키보드 브레이크 디스크 열전달을 해석을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 브레이크 디스크는 패드 접촉면에 따라 다른 열이 전달되는 것을 알 수 있다. 이 때 접촉면에서 멀어질 경우 온도가 작아지는 정도는 거의 일정하였으며 Model A가 Model B보다는 약간 더 낮은 온도 분포를 보였다.
2. Model A가 Model B에 비하여 그 최대 등 가응력이 7% 정도 더 높다. 또한 모서리 부분으로 더 강하게 응력이 걸렸고 그로 인하여 바깥쪽, 즉 모서리 방향으로 응력이 많이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 설계 시에 타원형으로 패드와 접촉하는 Model B가 원형인 Model A 보다는 그 응력이 감소됨을 알 수 있었다.
3. 브레이크 디스크는 회전을 하기 때문에 항상 같은 지점에 열이 전달되지는 않는다. 하지만 접촉면 위쪽으로 열이 더 많이 전달되는 것으로 미루어 볼 때, 설계 시 브레이크 디스크의 모서리 부분을 고려하여 본다면 Model B가 Model A가 그 강도가 더 크다고 사료된다.
4. 본 연구 결과를 전동키 보드의 설계에 활용한다면 더 강도가 좋은 브레이크 디스크 설계를 할 수 있을 것이라고 생각된다. 그리고 그 결과가 강성 있는 전동키보드 브레이크의 설계와 미적인 융합이 될 수 있다고 보인다.

## REFERENCES

- [1] S. H. Chang. (2015). A Consider Mechanical Rock Excavation Focusing on TBM and Roadheader. *Journal of Korean Society Mineral Energy Resources Engineers*, 52(5), 531-548.  
DOI: 10.12972/ksmer.2015.52.5.531
- [2] C. W. Park. (2011). Injection Molding and Structure Analysis of Inline Skate Frames Using FEA. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 35(11), 1507-1514.  
DOI: 10.3795/ksme-a.2011.35.11.1507
- [3] K. S. Moon, K. S. Jung, J. H. Sang & J. P. Gyung. (2007). Structural analysis and optimization of a low-speed vehicle body. *Journal of Automobile Engineering*, 221(3), 313-326.  
DOI: 10.1243/09544070JAUTO36
- [4] Z. Y. Guo, D. Y. Li & B. X. Wang. (1998). A novel concept for convective heat transfer enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41(14), 2221-2225.  
DOI: 10.1016/S0017-9310(97)00272-X
- [5] M. C. Jung, S. G. Yoon, D. J. Yoon & J. S. Suh. (2020). Numerical Analysis of Heat Transfer Characteristics inside a Solenoid Motor System. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 19(4), 99-104.  
DOI: 10.14775/ksmp.2020.19.04.099
- [6] Y. S. Yang & K. Y. Bae. (2020). Analysis of Thermal Stress and Fatigue Life in the Steel Shell of a Cupola Furnace. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 9(2), 47-54.  
DOI: 10.14775/ksmp.2020.19.02.047
- [7] K. J. Kim & S. T. Won. (2020). Coupled Simulation of Thermal Stress by using Input Values Through Temperature Distribution by Thermal Conduction After Heat Transfer Analysis for 2.9 Liter Indirect Injection Engine Piston. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 22(3), 463-468.  
DOI: 10.17958/ksmt.22.3.202006.463
- [8] E. T. Swartz & R. O. Pohl. (1989). Thermal boundary resistance. *Reviews of Modern Physics*, 61, 605-668.  
DOI: 10.1103/RevModPhys.61.605
- [9] B. S. Oh & J. U. Cho. (2020). Convergent Analysis through Durability by Thermal Stress at Drum Brake. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(5), 139-144.  
DOI: 10.15207/JKCS.2020.11.5.139
- [10] G. G. Choi & J. U. Cho. (2017). Convergence Study due to the Configuration of Radiant Heat Panel of Automotive LED Heat Lamp. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(3), 199-204.  
DOI: 10.15207/JKCS.2017.8.3.199
- [11] H. H. Hyeon, B. H. Jeong, J. W. Kim & K. Y. Lee. (2019). A Comparison of Performance on the Orthogonal and Refraction Heat Exchanger Shape in Air Ventilation System. *Journal of the Korea Convergence Society*, 10(7), 281-287.  
DOI: 10.15207/JKCS.2019.10.7.281
- [12] S. C. Han & B. G. Lee. (2018). A Study on Convergence Contact Behavior of Friction Heat and Pad on Disk Brake. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(1), 283-289.  
DOI: 10.15207/JKCS.2018.9.1.283
- [13] J. H. Lee & J. U. Cho. (2015). Convergence Technique Study through Simulation Thermal Analysis due to the Shape of Electric Heater. *Journal of the Korea Convergence Society*, 6(6), 241-246.  
DOI: 10.15207/JKCS.2015.6.6.241
- [14] G. G. Choi & J. U. Cho. (2019). Convergence Study on the Thermal Stress According to the Structure of Automotive Heating Seat. *Journal of the Korea Convergence Society*, 10(7), 169-174.  
DOI: 10.15207/JKCS.2019.10.7.169
- [15] B. S. Oh & J. U. Cho. (2020). A Convergent Investigation on Structural Analysis with Thermal Stress at the Shape of Brake Disk for Racing Car. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(6), 209-213.  
DOI: 10.15207/JKCS.2020.11.6.209

## 최 계 광(Kye-Kwang Choi)

[정회원]



- 1993년 2월 : Pusan University of Technology Metal mold Engineering (공학사)
- 1995년 8월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 2005년 8월 : (주) 현대배관 기술부장
- 2006년 5월 ~ 현재 : 공주대학교 금형설계공학과 교수
- 2013년 1월 ~ 현재 : 공주대학교 글로벌 금형 기술 연구소 소장
- 관심분야 : 3D CAD, CAM Programming
- E-Mail : ckkwang@kongju.ac.kr

## 조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석
- E-Mail : jucho@kongju.ac.kr