자전거 디스크 브레이크 구멍 형상 변화에 따른 구조적 내구성 해석

한 문 식¹⁾ · 조 재 웅^{*2)}

계명대학교 기계자동차공학과 · 공주대학교 기계자동차공학부

Structural Durability Analysis due to Hole Configuration Variation of Bike Disc Brake

Moonsik Han¹⁾ · Jaeung Cho^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

(Received 31 October 2013 / Revised 31 December 2013 / Accepted 3 January 2014)

Abstract : As expansion and contraction of bike disk brake are happened continuously by temperature at repeated urgent braking. In this study, 3 kinds of model are designed according to configurations of holes and thermal durabilities on bike disk brake are investigated by comparing 3 models through temperature and thermal analyses. Maximum thermal stress happened at the disk contacted with pad and the connection part fixing disk rotor. Instead of initial state, the temperature is uniformly distributed at transient state. As the area of hole at disk rotor face becomes wider, thermal stress becomes lower at the initial state. On the other hand, in case the number of holes increases, thermal stress becomes lower at the elapsed time of 100 seconds. The thermal durability of bike disk brake can be improved by applying this study result with configurations of holes.

Key words : Configuration of hole(구멍의 형상), Thermal structural durability(열구조적 내구성), Temperature(온도), Thermal stress(열응력)

1. 서 론

자전거 브레이크는 자전거의 운동에너지를 열에너지로 변환하여 그 속도를 감소시키는 역할을 하며, 제동시 발생하는 열에너지로 인하여 브레이크의 마찰 부위를 중심으로 구조물의 온도가 상승하게 된다. 브레이크 구조물의 고온화는 마찰계수가 높은 브레이크 패드가 과열되어 마찰계수가 낮아지는 현상으로 브레이크의 성능을 저하시키는 브레이크 페이드와 열로 인한 크랙 등의 원인이 되므로 적극적으로 대응해야 하는 문제이다. 한편 마찰부의 온도 증가는 구조물의 부적절한 열변형을 야기하여 디스크와 패드간의 발생하는 불균일한 마찰의 원인

이 되며, 제동시 디스크와 패드 사이에 작용하는 불균일한 마찰력으로 인하여 발생한다.^{1,2)} 최근에는 제동거리를 단축하기 위한 브레이크 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 자전거의 제동시스템은 와이어에 의한 V-브레이크형식이었으나 디스크브레이크는 제동 안정성, 제동력 조절 편이성, 넓은 범위의 제동 토크 등의 이점 때문에 디스크 브레이크를 점차 사용하고 있고 운동에너지를 되도록 단시간 내에 열에너지로 전환하는 장치이다.^{3,4)} 따라서 디스크 브레이크 시스템은 상당량의 열을 받게 된다. 본 연구에서는 구멍의 형상에 따른 자전거 디스크 브레이크의 온도를 초기 상태와 시간이 경과된 후의 열응력 상태를 비교하여 ANSYS 프로그램으로 해석하였다.⁵⁻⁷⁾ 본 연구의 결

*Corresponding author, E-mail: jucho@kongju.ac.kr

과를 종합하여 자전거 디스크 브레이크의 설계 및 제작에 응용하여 자전거에 적용했을 때 파손 방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

2. 모델 및 해석

2.1 연구 모델 및 물성치

본 연구 모델의 Fig. 1은 자전거 디스크 브레이크를 형태에 따른 3가지로 나누었으며, A는 세로형 구멍형상의 디스크브레이크, B는 다공 형상의 디스크브레이크, C는 간헐적 구멍형상의 디스크브레이크

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 1 3 kinds of models as bike disk brakes

Table 1 Material property

Properties	Values
Young's Modulus	200000MPa
Poisson's ratio	0.3
Density	7850kg/m ³
Thermal Expansion	0.000012 1/°C
Tensile yield strength	250MPa
Compressive yield strength	250MPa
Tensile ultimate strength	460MPa

로 모델링하였다. 디스크 외경의 크기는 160mm이며 로터부분의 구멍의 형태에 따라 나눈 3가지 부품을 모델링하였다.

그리고 본 연구 모델의 물성치는 구조용 강으로서 Table 1에서와 같다.

2.2 모델의 경계조건

모델의 구속조건을 나타내는 Fig. 2는 대표적으로 Disk brake A로서 (a)는 디스크 브레이크의 패드 부분에 자전거 주행 중에 일어 날 수 있는 열 유속을 주었고 (b)는 디스크 브레이크의 양면에 대류 조건을 주었다. 또한 (c)는 디스크 브레이크의 양면에는 방사율 1로서 복사 조건을 주어 디스크 브레이크 열 해석을 할 수 있게 설정하였다. 그리고 Disk brake B 및 Disk brake C도 같은 구속 조건을 주었다.

2.3 초기 상태 및 100초 경과 후에서의 온도해석

자전거의 디스크 브레이크는 일반적으로 공기가 맞닿아 있다고 하여 초기에서의 열 해석과 100초의 시간이 경과된 후 열이 식는 것에 관하여 해석을 한 결과들을 나타낸다. Fig. 2와 같이 경계조건을 주면서 Heat Flux의 값을 2000 W/m^2 넣어 주었고 Convection은 22°C , $100 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 를 주어 해석하였다. 시간이 지나 갈수록 디스크브레이크 발생한 열이 감소하여 온도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 디스크 브레이크의 초기 상태의 온도 분포를 나타낸 것으로 Disk brake A의 온도를 보면 최고가 31.979°C 이며 Disk brake B의 온도는 최고온도가 32.521°C 이고, Disk brake C의 온도는 최고온도가 33.39°C 로 3가지를 비교한 결과 초기에는 3가지의 Disk brake 들이 비교적 비슷함을 알 수 있었다.

(a) Heat flux condition

(b) Convection condition

(c) Radiation condition

Fig. 2 Thermal constraint conditions of bike disk brake A

Fig. 4는 디스크 브레이크의 발생한 열이 100초의 시간이 흘러 온도가 얼마나 내려가 식어지는지에 대하여 3종류의 디스크의 온도를 비교한 것이다. Disk brake A의 최대온도가 24.688°C이며 Disk brake B의 온도는 24.815°C이고, Disk brake C의 온도는 25.212°C이다. 3가지의 디스크 브레이크가 공히 시간이 지나면서 약 7°C씩 내려 간 것을 볼 수 있었다.

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 3 Temperature distribution of bike disk brakes at initial state

2.4 초기 및 100초 경과 후에서의 열응력해석

디스크 판에 생기는 열응력을 해석하기 위해서 다음과 같이 설정하였다. Fig. 2에서 공기와의 접촉 조건으로서 (b)와 (c)만 적용하였다. 식는 과정이므로 (a)의 경우의 열 유속 조건은 생략하였다. 그리고 Fig. 5와 같이 안쪽 측면을 고정하였다. 일반적으로 공기가 맞닿아 있다고 하여 Heat Flux의 값을 2000 W/m²

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 4 Temperature distribution of bike disk brakes at the elapsed time of 100 seconds

Fig. 5 Fixed condition of bike disk brake

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 6 Thermal stress distribution of bike disk brakes at initial state

넣어주었고 Convection은 22°C , $100\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 를 주어 해석하였다.

Fig. 6은 초기 상태의 3종류의 디스크에 대하여 열응력을 해석하여 비교하였다. Disk brake A의 열응력의 최대값은 22.915 MPa이며, Disk brake B의 열응력의 최대값은 20.439 MPa이다. 그리고 Disk

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 7 Total deformation distribution of bike disk brakes at initial state

brake C의 열응력의 최대값은 5.0757 MPa이다. 열 발생에 의한 응력은 패드가 닿는 디스크부분과 디스크로터를 고정하는 연결부에 가장 많이 나타났다. Disk brake C가 구멍 개수는 작지만 구멍의 면적이 다른 두 개의 디스크에 비하여 구멍 면적이 넓어

(a) Disk brake A

(b) Disk brake B

(c) Disk brake C

Fig. 8 Thermal stress distribution of bike disk brakes at the elapsed time of 100 seconds

서 열응력이 덜 발생하였다. 따라서 디스크 로터면의 구멍 면적이 넓을수록 열적 응력과 변형이 줄어든다.

Fig. 7은 초기 상태에서의 3종류의 디스크 판에서의 전변형량 분포를 본 것이다. Disk brake A의 최대값은 $2.3076 \times 10^{-5} \text{m}$ 이며, Disk brake B의 최대값은 $1.6732 \times 10^{-5} \text{m}$ 이다. 그리고 Disk brake C의 최대값은

$5.7399 \times 10^{-6} \text{m}$ 이다. 전변형량의 경우는 그 변형이 미미하게 나타났다.

그러나 Fig. 8은 초기 상태에서부터 100초 지난 후의 3종류의 디스크 판에 대하여 열응력을 해석하여 비교하였다. Disk brake A의 열응력의 최대값은 5.2422 MPa이며, Disk brake B의 열응력의 최대값은 4.3603 MPa이다. 그리고 Disk brake C의 열응력의 최대값은 23.492 MPa이다. 열 발생에 의한 응력은 패드가 닿는 디스크부분과 디스크로터를 고정하는 연결부에 가장 많이 나타났다. 초기에는 Disk brake C가 다른 디스크 브레이크에 비하여 구멍 면적이 넓어서 열응력이 가장 작았지만 100초가 경과된 후에는 오히려 응력이 더 크게 나타났다. 디스크가 식는 과정에 있어서는 구멍 개수가 작으면 그 열을 다 방출시킬 수 없는 것으로 사료되어 Disk brake C의 경우가 Disk brake A나 Disk brake B의 경우보다 오히려 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 100초가 경과한 후에서의 전변형량의 경우도 초기 상태와 마찬가지로 그 변형은 미미하게 나타났다.

3. 결 론

본 연구에서는 구멍의 형상에 따른 자전거 디스크 브레이크의 온도를 초기 상태와 시간이 경과된 후의 상태와를 비교하여 해석하였다. 디스크 브레이크의 온도와 열응력 해석을 통한 결론은 다음과 같다.

- 1) 열 발생에 의한 응력은 패드가 닿는 디스크부분과 디스크로터를 고정하는 연결부에 가장 많이 나타났다.
- 2) 열을 받은 디스크는 시간이 지나 갈수록 온도가 감소함으로서 초기 상태에 비하여 과도 상태에서의 디스크 판의 온도분포는 전반적으로 골고루 분포되었다.
- 3) 초기에는 Disk brake C가 다른 디스크 브레이크에 비하여 구멍 면적이 넓어서 열응력이 가장 작았지만 100초가 경과된 후에는 오히려 응력이 더

크게 나타났다. 디스크가 식는 과정에 있어서는 구멍 개수가 작으면 그 열을 다 방출시킬 수 없는 것으로 사료되어 Disk brake C의 경우가 Disk brake A나 Disk brake B의 경우보다 오히려 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

- 4) 본 연구의 결과를 종합하여 자전거 디스크 브레이크의 설계 및 제작에 응용하여 자전거에 적용했을 때 파손 방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

Reference

- 1) J. T. Park and N. S. Choi, "Robust Design of the Disc Brake Pad Shape for Reduction of Uneven Wear," Transactions of KSAE, Vol.20, No.1, pp.77-87, 2012.
- 2) S. W. Lee and W. H. Jang, "An Algorithm for Predicting Frictionally-excited Thermoelastic Instability in Brake," KSAE06-L0045, KSAE, pp.10-15, 2006.
- 3) S. M. Jeon, C. Kim, Y. C. Lee, M. J. Cho and N. J. Jeon, "Design Optimization of a Brake Disc considering Frictional Clamping Conditions," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1739-1740, 2011.
- 4) S. P. Jung, T. W. Park and W. S. Chung, "Analysis of Hot Judder of Disc Brakes for Automotives by Using Finite Element Method," Journal of KSME-A, Vol.35, No.4, pp.425-431, 2011.
- 5) K. M. Munisamy, "Heat Transfer Enhancement on Ventilated Brake Disk with Blade Inclination Angle Variation," Int. J. Automotive Technology, Vol.14, No.4, pp.569-577, 2013.
- 6) J. U. Cho and M. S. Han, "Structural and Thermal Analysis of Disk Brake," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.19, No.2, pp.211-215, 2010.
- 7) J. Swanson, Ansys 11.0, Ansys Inc., USA, 2008.