

디스크 브레이크의 구조 및 열 해석

조재웅*, 한문식⁺

(논문접수일 2009. 10. 19, 심사완료일 2010. 2. 17)

Structural and Thermal Analysis of Disk Brake

Jae-Ung Cho*, Moon-Sik Han⁺

Abstract

Continuous contraction and expansion of disk brake can be due to friction and temperature difference at repeated sudden braking. As serious vibration at disk is produced, the braking force will be changed ununiformly and braking system can not be stabilized. Temperature and heat flux at disk brake are investigated by structural and thermal analysis in this study. The maximum equivalent stress and displacement are shown respectively at the ventilated hole and the lower part of disk plate. At thermal analysis of initial state, temperature on disk plate is distributed from 95.9°C to 100°C. The maximum heat flux of 0.0168W/mm² is shown at the inner friction part between disk plate and pad. At thermal analysis of transient state, temperature on disk plate is distributed from 95°C to 96.5°C after 100 second. The maximum heat flux of 0.0024W/mm² is also shown at the inner friction part between disk plate and pad. By comparing with initial state, the temperature on disk plate is more uniformly distributed and heat flux is more decreased by 7 times at transient state.

Key Words : disk brake(디스크브레이크), structural and thermal analysis(구조 및 열해석), equivalent stress(등가응력), initial state(초기상태), transient state(과도상태)

1. 서론

자동차의 대중화로 인하여 필연적으로 증가하고 있는 교통사고는 사회적으로 많은 손실을 야기하고 있으며, 교통 사

고 저감을 위한 자동차 제동장치의 중요성이 갈수록 증가하고 있는 실정이다. 자동차산업의 발전에 따라 자동차의 고출력화, 경량화, 고속화로 인하여 제동장치는 지속적으로 발전을 거듭하고 있으며, 최근에는 제동거리를 단축하기 위한 브

* 공주대학교 기계자동차공학부
+ 교신저자, 계명대학교 기계자동차공학부 (sheffhan@kmu.ac.kr)
주소: 704-701 대구광역시 달서구 달구벌대로 2800

레이크 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^(1,2). 제동장치는 주행하는 자동차의 운동에너지를 열에너지로 전환하여 감속이 이루어지게 하는 장치로서 자동차를 감속 또는 정지시키고 동시에 주차상태를 유지하기 위해 사용하는 중요한 장치이다. 일반적으로 자동차에서는 제동 안정성, 제동력 조절 편이성, 넓은 범위의 제동 토크 등의 이점 때문에 디스크 브레이크를 광범위하게 사용하고 있고 운동에너지를 되도록 단시간 내에 열에너지로 전환하는 장치이다. 제동시스템의 설계에 관한 인자로는 차량의 사양, 제동조건, 주행조건, 환경조건, 브레이크의 형상 및 물성치, 냉각조건 등이 복합적으로 영향을 미친다. 디스크 브레이크의 경우, 차량의 디스크와 패드의 높은 온도 압력 하에서, 고속의 미끄럼마찰을 함으로서 급격한 온도 상승이 유발되고, 금속의 물리적 변화와 마찰계수의 변화를 수반하게 된다. 정상주행 상태에서 브레이크는 제동과 주행을 반복하게 되면, 디스크와 패드 사이에 마찰이 발생함에 따라 마찰에 의해 고온의 열이 발생하게 되고, 많은 양의 열이 상대적으로 적은 시간 동안에 발생한다. 따라서 디스크 브레이크 시스템은 상당량의 열을 받게 된다^(3,4). 특히 반복적인 급제동시 마찰 표면과 외부에 발생하는 온도차에 의하여 수축과 팽창이 반복되어 적열점과 같은 국부적인 고온부의 형성은 열적 저더(Judder)라 불리는 심각한 진동을 유발하며 브레이크 제동 표면에 열변형 등의 열적문제를 발생시키고 브레이크의 제동력을 불균일하게 변화시키기 때문에 차량의 제동 안정성 확보 차원에서 제동장치 설계는 매우 중요한 문제이다⁽⁵⁻⁷⁾. 따라서 본 연구에서는 벤틸레이티드 디스크 브레이크(Ventilated Disk Brake)의 온도와 열 유속의 온도 관계를 초기 상태와 100초가 경과된 후의 상태를 비교하여 ANSYS 프로그램으로 해석하였다.

2. 모델 및 해석

2.1 연구 모델

본 연구 모델은 Fig. 1과 같이 지름이 300mm, 높이가 50mm인 디스크 브레이크로 구성 되어 있다. Fig. 2는 모델의 Mesh이다. Mesh의 절점수는 56256개이며, 요소수는 29402개로 구성되어 있다. 모델의 물성치는 구조용 강으로 서 Table 1과 같다.

2.2 구조 해석

모델의 경계조건은 Fig. 3과 같이 디스크 판 중심을 Fixed

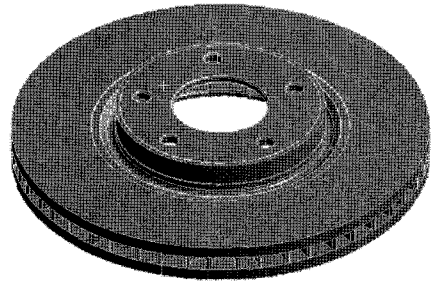


Fig. 1 Configuration of model

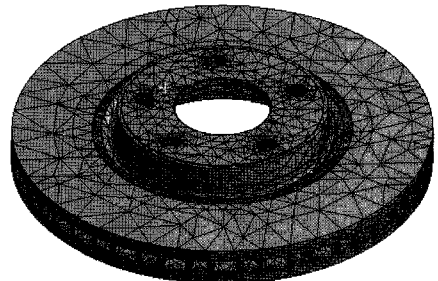


Fig. 2 Mesh of model

Table 1 Material property

Properties	Values
Young's Modulus	200000MPa
Poisson's Ratio	0.3
Density	0.00000785Kg/mm ³
Thermal Expansion	0.000012 1/°C
Tensile Yield Strength	250MPa
Compressive Yield Strength	250MPa
Tensile Ultimate Strength	460MPa

Support로 고정시키고, Fig. 4와 같이 디스크판과 패드가 마찰되는 부분에 100MPa의 압력을 주어 디스크 판이 제동시 일어나는 변형과 응력을 보고자 한다.

Fig. 5는 디스크 판이 받는 등가 응력을 나타낸 그림으로 환기 구멍이 있는 디스크 판의 부분에서 749.9MPa로 가장 응력이 높게 나타났다. Fig. 6은 변형량을 나타내는 그림으로 디스크 판의 아래 부분에서 0.089mm로 가장 큰 변형이 일어났다.

Fixed Support
Time: 1.3636 s
8/12/2009 오전 11:49

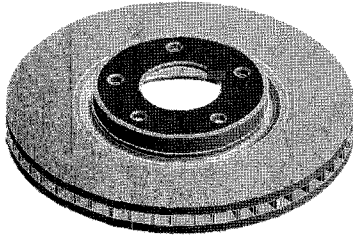


Fig. 3 Condition of fixed support

Pressure
Time: 1.3636 s
8/12/2009 오전 11:49

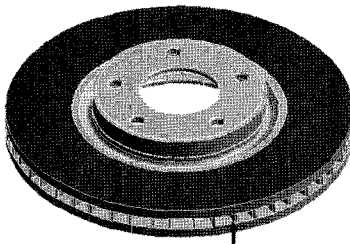


Fig. 4 Condition of pressure

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 5
8/12/2009 오전 11:27

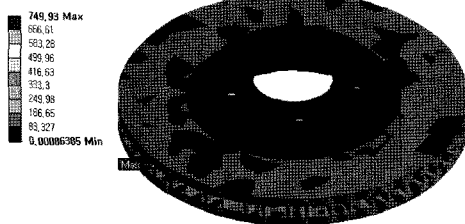


Fig. 5 Contour of equivalent stress

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 5
8/12/2009 오전 11:27

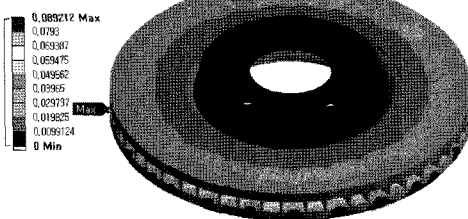


Fig. 6 Contour of total deformation

2.3 열 해석

디스크 판이 패드와 마찰시 일어나는 온도와 열 유속을 해석하기 위하여 다음과 같이 설정하였다. Fig. 7은 디스크 판의 면에 대류 조건으로 구속을 주었다. 그리고 Fig. 8은 디스크판과 패드가 마찰되는 부위에 $1 \times 10^4 \text{ W/mm}^2$ 로 열 유속 조건을 주었으며, Fig. 9는 디스크판과 패드의 결합부에서의 마찰온도를 100°C 로 설정하였다.

Convection
Time: 1. s
8/12/2009 오전 11:47

Convection: 22°C , $5 \times 10^{-6} \text{ W/mm}^2\text{C}$

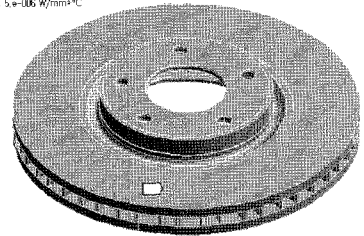


Fig. 7 Condition of convection

Heat Flux
Time: 1. s
8/12/2009 오전 11:51

Heat Flux: $1 \times 10^4 \text{ W/mm}^2$

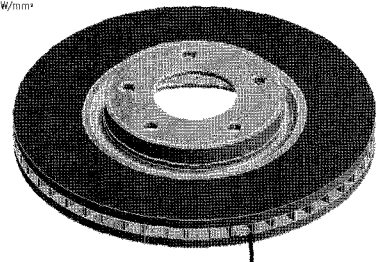


Fig. 8 Condition of heat flux

Temperature
Time: 1. s
8/12/2009 오전 11:51

Temperature: 100°C

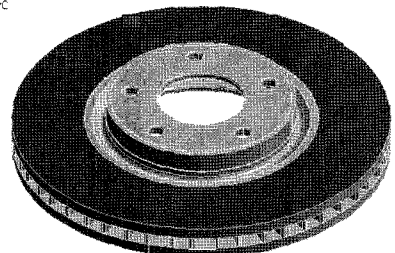


Fig. 9 Condition of temperature

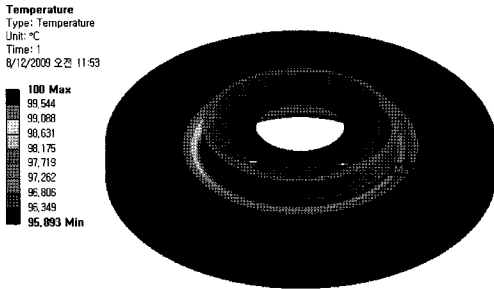


Fig. 10 Contour of Temperature at Initial State

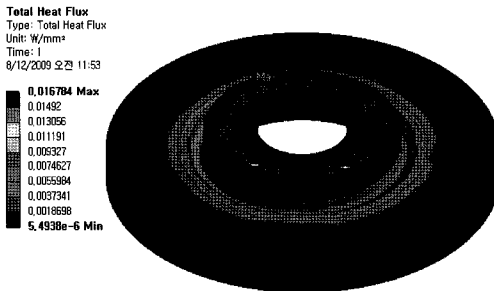


Fig. 11 Contour of total heat flux at initial state

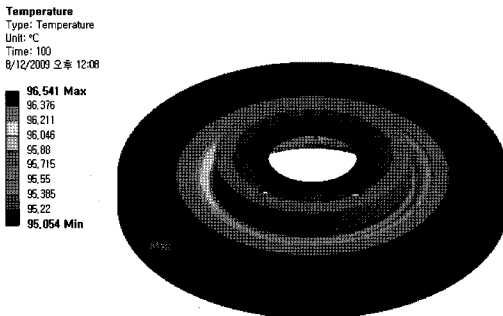


Fig. 12 Contour of temperature at transient state (elapsed time of 100sec)

Fig. 10은 초기의 상태에서의 디스크 판의 열 분포를 나타내는 그림으로 95.9에서 100℃의 온도분포를 나타내고 있다. 또한 Fig. 11은 역시 정상 상태에서의 열 유속을 나타내는 그림으로, 디스크판과 패드가 마찰되는 안쪽부분에서 최대 열 유속이 0.0168W/mm²으로 나타나고 있다.

Fig. 12는 과도 상태로서 100초가 경과 후 디스크 판의 열 분포를 나타내는 그림이다. 디스크 판의 온도는 95에서 96.5℃로 분포하고 있다. Fig. 13은 과도 상태로서 100초

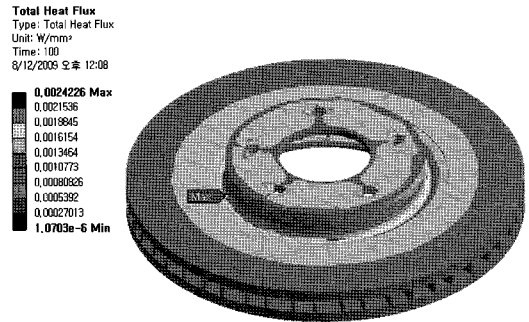


Fig. 13 Contour of total heat flux at transient state (elapsed time of 100sec)

경과 후의 디스크 판의 열 유속을 나타내는 그림으로, 디스크판과 패드가 마찰되는 안쪽 부분에서 최대 열 유속이 0.0024W/mm²로 나타나고 있다. 100초가 경과 된 경우와 초기 상태를 비교하면, 디스크 판의 온도 분포는 전반적으로 골고루 분포되고 열 유속도 7배 이상으로 상당히 감소되어 안정성을 보이고 있었다. 이 결과로서 디스크 브레이크 설계의 안정성을 검증할 수 있다고 사료된다.

3. 결론

반복적인 급제동시에 마찰과 온도 차이에 의하여 계속적인 디스크 브레이크의 팽창과 수축이 일어남으로서 심한 진동이 생기고 제동력이 불균일하게 변화되어 제동장치는 안정될 수가 없다. 본 연구에서는 디스크 브레이크의 온도와 열 유속 관계를 구조 및 열 해석을 통한 결론은 다음과 같다.

- (1) 구조해석에서는 디스크 판의 환기 구멍이 있는 부분에서 최대의 등가 응력이 749.9MPa로 나왔으며, 디스크 판의 아래 부분에서 0.089mm로 최대의 변형량이 나왔다.
- (2) 초기 상태에서의 열 해석에서는 디스크 판의 온도 분포는 95.9에서 100℃로 분포했으며, 디스크판과 패드가 마찰되는 안쪽부분에서 최대 열 유속이 0.0168W/mm²로 나타났다.
- (3) 과도 상태에서의 열 해석에서는 100초 경과 후 디스크 판의 온도 분포는 95에서 96.5℃로 분포 됐으며, 디스크판과 패드가 마찰되는 안쪽 부분에서 0.0024W/mm²의 최대 열 유속이 나타났다.
- (4) 초기 상태에 비하여 과도 상태에서의 디스크 판의 온도

분포는 전반적으로 골고루 분포되고, 열 유속도 7배 이상으로 상당히 감소되어 안정성을 보이고 있다.

참고 문헌

- (1) Floquet, A. and Dubourg, M. C., 1996, "Realistic Braking Operation Simulation of Ventilated Disc Brakes," *Journal of Tribology*, Vol. 118, No. 3, pp. 466~472.
- (2) Choi, Y., Choi, J. W., Kim, H. M., and Seo, Y. W., 2004, "Thermal Dissipation Performance of the Ventilated Brake Disc having Helical Grooved Vent," *Journal of KSPE*, Vol. 21, No. 3, pp. 117~123.
- (3) Kang, S. W., Kim, C. J., Lee, D. H., and Kim, H. S., 2003, "The Thermal Analysis of Brake Disc using the Solid Model and 2D Coupled Model," *Transactions of the KSAE*, Vol. 11 No. 1, pp. 93~100.
- (4) Kim, C. K. and Sung, B. Y., 1998, "Thermal Behavior Analysis of Disc Brake System During Quick Braking," *Trans. of KSME(A)*, Vol. 22, No. 6, pp. 1106~1113.
- (5) Baughn, J. W. and Yan, X., 1991, "Liquid Crystal Methods in Experimental Heat Transfer," *Proceedings of 32'nd Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute*, pp. 15~40.
- (6) Yun, Y. H., Jang, B. C., and Lee, S. C., 2003, "Active Handling Control of the Differential Brake System Using Fuzzy controller," *Journal of KSPE*, Vol 20, No. 5, pp. 82~91.
- (7) Ryu, M. R., Juen, H. Y., Lee, S. J., Kim, Y. H., and Park, H. S., 2006, "A Study on Friction Coefficient and Temperature with Ventilated Disk Hole Number of Motorcycle Disk Brake," *Proceedings of the KSME 2006 Fall Annual Conference*, pp. 57~62.