

유한요소법을 이용한 드럼브레이크의 응력 및 온도 해석

함선균*(전북대 대학원 기계공학과), 이기수(전북대 기계공학과)

Stress and temperature analysis of a drum brake using FEM

S. K. Ham(Mech. Eng. Dept., CBNU), K. S. Lee(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

Brakes are one of the important safety parts in cars. The requirements of brakes in performance, in comfort, and working lifetime are high. This paper presents the static analysis on the stress and temperature of a automotive drum brake. The particular interest is the distribution of the contact pressure between brake lining and drum. The problems to be solved are the effects of friction coefficient, actuation force, temperature, and brake components' stiffness. The contact problem includes friction, and temperature, and is solved using the ABAQUS.

Key Words FEM(유한요소법), Drum brake(드럼 브레이크), Contact pressure(접촉압력), Brake factor(브레이크 계수)

1. 서론

계동장치는 주행중인 자동차의 속도를 감속 또는 정지시킴을 목적으로 자동차의 정지 상태를 유지하기 위해서도 사용되며, 일반적으로 마찰을 이용하여 작동하는 마찰식 브레이크가 사용된다. 또한 브레이크 감지는 각축이 확실하고 안정성, 신뢰성, 내구성이 우수하여야 하며 부품 들에 조각이 용이하여야 한다.

본 연구에서 해석되는 주요 문제는 브레이크의 마찰제어의 피스톤 사이의 접촉압력의 분포계산이다. 이 접촉압력은 응력 마모 소음 진동 온도분포의 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 매우 중요하다. 접촉압력은 드럼 라이닝, 슈의 단상계수, 작용력, 마찰계수, 그리고 열에 의한 변형에 의해 영향을 받으며, 접촉면 상에 비 균일하게 분포하게 된다.

라이닝/드럼의 접촉표면에서의 접촉과 압력분포의 문제는 슈와 드럼 유연성을 포함하는 브레이크 해석에 대한 기준으로서 경험적으로 이끌어낸 계수인 사임한 Miller⁽¹⁾에 의해 처음으로 제기되었다. Day⁽²⁾는 처음으로 유연한 슈의 강제드럼을 포함하는 슈 액션 계산을, 후에 드럼 유연성을 포함하는 것까

지 확장된 접근을 위한 유한 요소 방법을 소개하였다. 후에 두 가지 접근을 작용하는 문제를 설명하는데 있어서 특별히 효과적이었음이 관명되었다.^(4,5) Hohmann⁽⁶⁾은 ADINA를 이용하여 디스크/드럼 브레이크에 대한 접촉을 해석하였으며, Day⁽⁷⁾는 드럼브레이크에서 접촉압력에 대한 라이닝 마찰계수, 라이닝 압축률, 슈 탄성, 작용력 그리고 마모의 효과를, 그리고 Newcomb⁽⁸⁾은 접촉압력분포에 대한 열 효과를 기술하였다.

드럼식 유압 브레이크의 일반적인 구조는 브레이크 슈가 브레이크 드럼의 내측 방향으로 확장되는 내부 확장 식으로서 브레이크 페달을 밟으면 마스터 실린더 내의 피스톤이 이동하기 때문에 유압이 발생되면 브레이크 파이프 및 브레이크 호스를 통하여 휠 실린더에 전달된다. 이때 휠 실린더에 유압이 공급되면 휠 실린더 내의 피스톤이 양쪽으로 밀려나가 브레이크 슈를 브레이크 드럼에 입착시킴으로써 제동 작용이 이루어진다.

드럼식 유압 브레이크에는 리딩-드레일링 슈 형식 2-리딩 슈 형식, 듀오-시보 형식이 있으며, 본 연구에서 다루어지는 것은 리딩-드레일링 슈 브레이크의 한 종류인 앵커 플로팅 형식이다. 이것은 주로 일반 승용차의 뒤 브레이크에 사용되는 형식으로 앵커

가 평행으로 되어 있으며, 앵커에 대한 순수한 회전에 대해서 슈의 이동이 완전히 구속되지 않는 것이 특징이다

2. 유한요소 모델

2.1 모델링

본 연구에서 접촉압력분포의 계산에 사용되는 프로그램은 ABAQUS이다. 구속조건은 라이닝과 슈 모두 Z축 방향으로 구속시켰다. 슈의 선단에 휠 실린더의 압력을 적용하였으며, 앵거부분은 X축 방향으로 구속시켰다. 드럼의 경우 Z축을 중심으로 90° 회전시켰다. 라이닝 아크의 각도는 각각 100°이다.

Table 1 Material Properties

| | Drum | Lining | Shoe |
|--|---------|---------|---------|
| Young's modulus (N/m ²) | 1.2E11 | 3.7E8 | 2.0E11 |
| Poisson's ratio | 0.25 | 0.25 | 0.3 |
| Density (kg/m ³) | 7228 | 2034 | 7800 |
| Expansion coefficient (K ⁻¹) | 11.0E-6 | 10.0E-6 | 11.0E-6 |
| Specific heat (Nm/kgK) | 452 | 1256 | 452 |
| Conductivity (Nm/smK) | 48 | 1.16 | 48 |
| Initial temperature(K) | 300 | 300 | 300 |

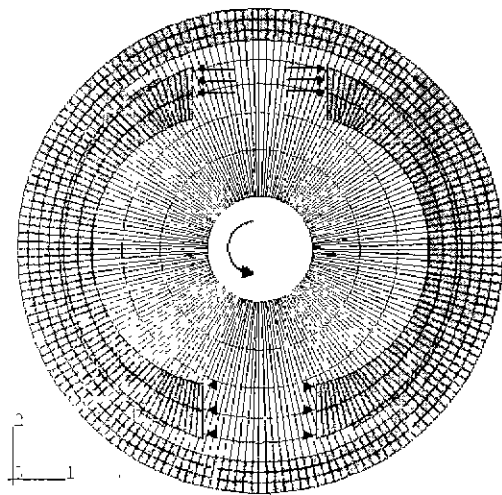


Fig 1 Boundary conditions and applied displacement and pressures

2.2 해석 방법

드럼브레이크에 대하여 두 개의 Step으로 나누어 해석하였다. Step1에서 휠 실린더의 압력을 슈에 적용하였고, Step2에서 드럼의 풀렌지를 Z축을 중심으로 회전하여 접촉압력의 분포를 해석하였다. 치량은 85km를 주행하는 것으로 가정하여 이에 상응하는 드럼을 정적으로 회전하였다. 드럼브레이크의 접촉압력의 측정을 위한 유한요소 해석 모델의 흐름도는 Fig 2와 같다.

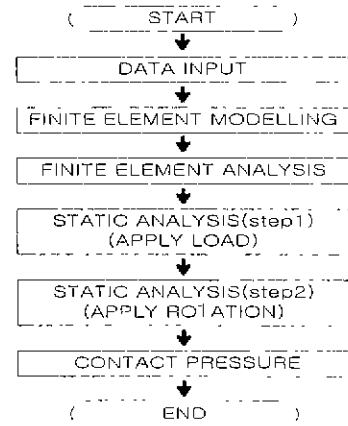


Fig 2 Flowchart

3. 해석 및 결과

휠 실린더에 의해 슈에 압력이 적용된 후 드럼을 회전시켰을 때, 드럼과 슈 어셈블리에서의 X축 방향 응력이 Fig 3에 보여진다. 휠 실린더와 앵거 쪽의 슈에서 큰 압축응력이 발생하고, 드럼에서는 인장응력이 발생하였다.

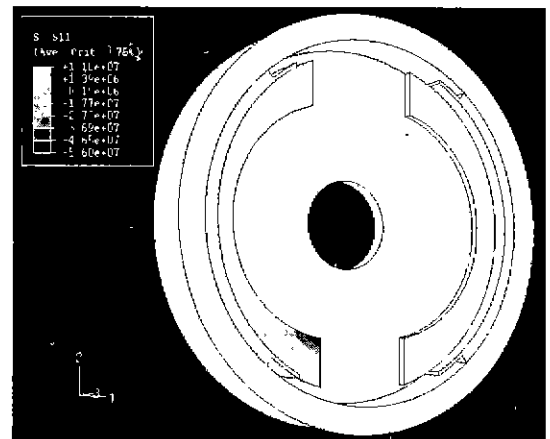


Fig 3 Stress for an applied brake pressure and a rotated drum(S11)

라이닝과 드럼사이의 접촉면에서의 압력은 비균일하게 분포되었다. 이 압력분포는 마찰계수, 드럼, 라이닝, 슈의 탄성계수, 그리고 온도 등에 의해 영향을 받는다. Fig. 4와 Fig. 5는 Table 1의 제언에서 접촉 표면상의 압력분포를 보여준다.

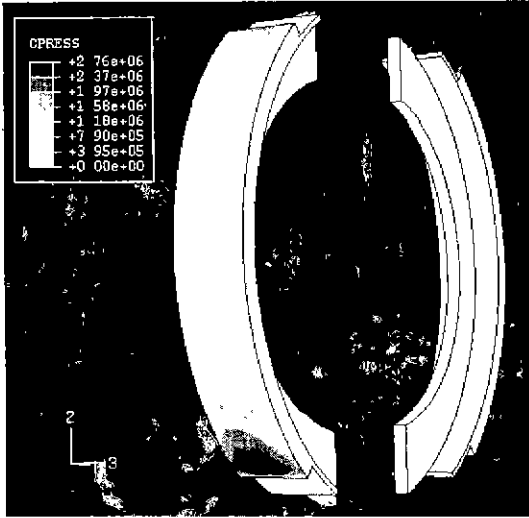


Fig. 4 Distribution of contact pressures on the interfaces between lining and shoe

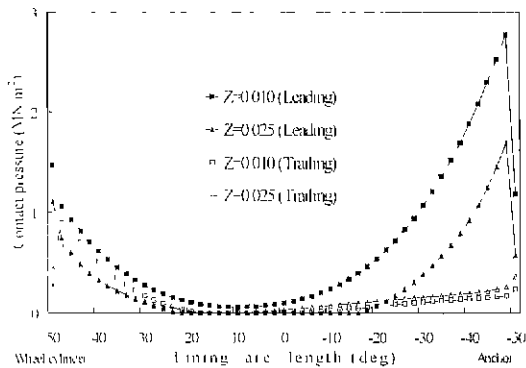


Fig. 5 Contact pressures on the interfaces

Fig. 4에 Fig. 5에서 보여지는 것처럼 접촉압력 분포는 0.1레일링 슈보다 리딩 슈에서 더 크게 나타나며 리딩 슈의 앵커 쪽 끝에서 가장 높은 압력을 나타내는 경향을 이룬다. 또한, Z축 방향으로 1/3 레일의 끝엔지로부터 1/3 부근(Z=0.01)에서 가장 높은 압력이 발생한다는 것을 알 수 있다.

접촉표면의 압력분포의 마찰계수와 드럼, 라이닝 슈의 탄성계수의 영향을 알아보기 위하여, 이들이 값의 변화에 따른 브레이크 팩터를 구하였다. 그 결과는 Table 2에 보여진다.

Table 2 Brake factor

| μ | $E_{drum}(\text{Pa})$ | E_{lining} | E_{shoe} | Load(N) | BF |
|-------|-----------------------|--------------|------------|---------|------|
| 0.35 | 1.2E11 | 3.7E8 | 2.0E11 | 380.3 | 2.89 |
| 0.25 | - | - | - | - | 1.77 |
| 0.45 | - | - | - | - | 3.55 |
| - | 1.2E10 | - | - | - | 2.65 |
| - | 1.2E12 | - | - | - | 2.86 |
| - | - | 3.7E7 | - | - | 2.44 |
| - | - | 3.7E9 | - | - | 2.97 |
| - | - | - | 2.0E10 | - | 2.72 |
| - | - | - | 2.0E12 | - | 3.14 |
| - | - | - | - | 254.5 | 2.98 |
| - | - | - | - | 507.1 | 2.79 |

브레이크 팩터란 작용력에 대한 마찰저항력의 비이며, 해석 결과 브레이크 팩터와 마찰계수, 탄성계수의 관계는 비례관계에 있고, 그 중 마찰계수의 영향이 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. Fig. 6은 마찰계수의 변화에 따른 접촉표면 상의 압력분포를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, 마찰계수의 영향은 리딩 슈의 앵커 쪽에서 가장 크게 나타났다.

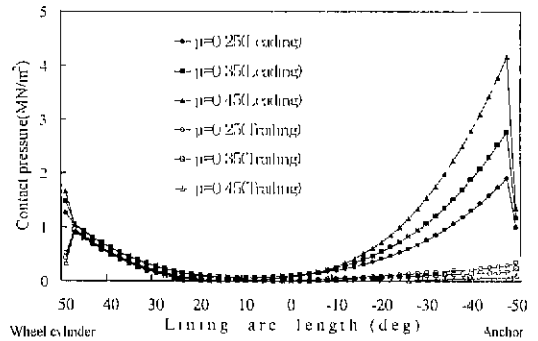


Fig. 6 Effect of lining friction coefficient

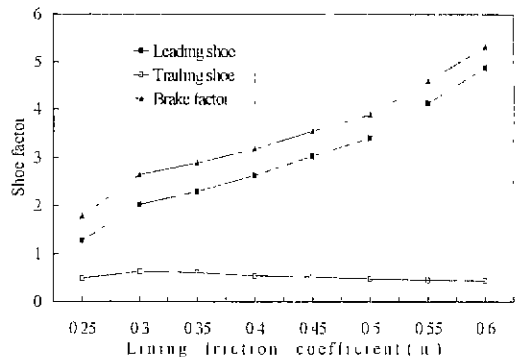


Fig. 7 Shoe factor (lining friction coefficient)

Fig 7은 마찰계수의 변화에 따른 슈 팩터를 나타낸 것이다. 슈 팩터란 리딩 슈와 트레일링 슈 각각에 대한 작용력과 마찰지향력의 비이다. 여기에서 알 수 있듯이 리딩 슈 팩터는 마찰계수와 함께 크게 증가하였으며, 트레일링 슈 팩터는 약간 감소하였다.

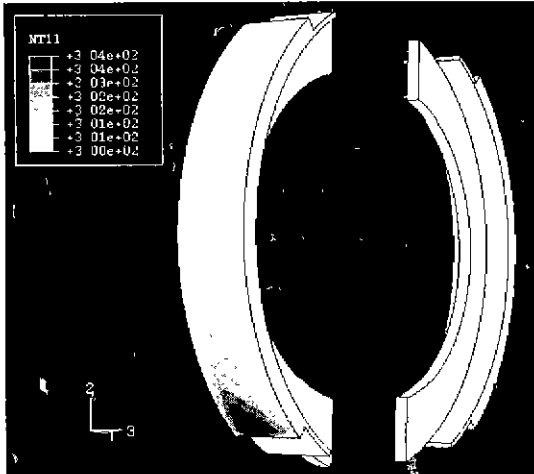


Fig 8 Isotherms of the lining surface

Fig 8은 90° 회전 시에 발생하는 온도분포를 나타낸 것이다. 접촉면에서의 온도는 접촉압력에 비례하여 발생하였고, 리딩 슈의 앵커 쪽에서 가장 높은 온도가 발생하였다. Fig 9는 브레이크가 정지할 때까지 감속도가 일정하다고 가정하였을 때, 온도가 가장 높은 Z=0.01 부분의 온도 분포를 나타낸다. 이와 같은 국부적인 열 발생은 국부적인 접촉압력에 기인하고, 브레이크의 국부적인 열팽창, 마모, 열점, 얼크러짐을 발생시킨다.

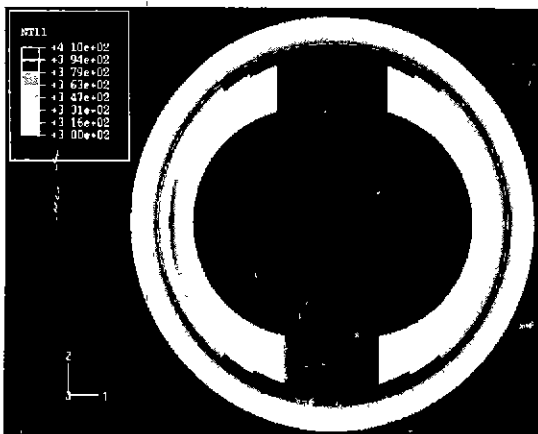


Fig 9 Isotherms of a drum brake, which Z is 0.01

4. 결론

본 연구에서는 일반 승용차의 드림 브레이크에 대하여 3차원 해석을 수행하였다. 앞의 결과에서 알 수 있듯이 라이닝과 드럼사이의 접촉표면에서의 압력이 큰 비중을 차지한다. 이 접촉압력은 브레이크 요소들의 탄성계수, 휠 실린더 압력, 마찰계수와 비례한다. 접촉압력의 분포는 라이닝의 아크를 따라서 U자 형상을 이루었고, 가장 높은 접촉압력은 플랜지로부터 1/3부근(Z=0.01) 리딩 슈의 앵커 쪽에서 발생하였으며, 이 부분에서 높은 온도발생, 기하학적 변형과 마모가 예상된다. 또한 접촉압력의 비 균일한 분포는 국부적인 기하학적 변형, 진동, 국부적인 열결핍을 발생시키게 되어 심각한 문제를 야기 시키게 되므로, 브레이크 접촉압력의 분포를 균일하게 설계하는 것이 중요하다.

참고문헌

1. Milner, N., and Parsons, B., "Effect of contact geometry and elastic deformations on the torque characteristics of a drum brake," Proc Instn Mech Engrs, 1973, 187, 317-331
2. Gerbet, G., "On pressure and load distribution in vehicle brakes," Machine Elements Division, Lund Technical University, Lund, Sweden, 1977.
3. Day, A. J., Harding, P. R. J., and Newcomb, T. P., "A finite element approach to drum brake analysis," Proc Instn Mech Engrs, 1979, 193, 4014-406.
4. Day, A. J., and Harding, P. R. J., "Performance variation of cam operated drum brakes," IMechE conference on Braking of road vehicles 1983, paper C10/83, 60-77(Mechanical Engineering Publications, London)
5. Day, A. J., "An analysis of speed, temperature, and performance characteristics of automotive drum brakes," Trans ASME, J. Tribology, 1988, 110, 298-305.
6. Hohmann, C., Schiffner, K., Oerter, K. and Reese, H., "Contact analysis for drum brakes and disk brakes using ADINA," Comput. struct, Vol 72 No 1, 1999, pp.185-198
7. Day, A. J., "Drum brake interface pressure distributions," Proc Instn Mech Engrs, Part D, 1991, 205(D2), 127-136
8. Newcomb, T. P., Day, A. J., and Tirovic M., "Thermal effects and pressure distributions in brakes," Proc Instn Mech Engrs, Part D, 1991, 205(D3)