

열화상 이미지와 유한요소법에 의한 제동 디스크/패드의 접촉압력 해석

Contact Pressure Analysis Using Thermal Images and Finite Element Method

구병춘*[†] · 이찬우* · 김민수*Byeong-Choon Goo*[†] · Chan-Woo Lee* · Min-Soo Kim

초 록 제동 디스크와 패드 사이에서 발생하는 마찰·마모 특성을 정량적으로 파악하기 위해서는 디스크와 패드 사이에서 발생하는 접촉압력의 분포를 측정하는 것이 필요하나 아직까지 제동 중에 접촉압력을 직접적으로 측정할 수 있는 방법은 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 디스크 표면의 온도분포와 압력분포가 유사한 모양을 취한다는 가정 하에 열화상 카메라로 제동 중에 디스크 표면의 온도를 측정한 후 이와 유사한 열유속(압력) 분포를 입력조건으로 하여 유한요소법으로 열 해석을 수행하여 가정이 타당함을 보였고 이 결과로부터 마찰면의 압력분포를 간접적으로 평가할 수 있었다.

주요어 : 제동 디스크, 패드, 열화상 카메라, 접촉압력, 유한요소법

1. 서 론

디스크 제동장치는 캘리퍼가 제동 패드를 제동 디스크의 마찰면에 눌러 디스크와 패드가 미끄럼 마찰을 일으키면서 차량의 운동에너지를 열에너지로 소산시켜 차량을 멈춘다. 제동 중 디스크와 패드 사이에서 발생하는 접촉부의 위치와 면적, 그리고 압력의 크기는 디스크와 패드의 열·기계적 특성, 제동장치의 진동, 마찰계수의 변화, 불균일한 마모 등에 의해 변화가 크다[1]. 마찰을 일으키는 두 물체 사이의 접촉위치와 접촉부에서의 압력분포를 측정하는 것은 열응력을 계산하고 제동장치를 설계하는데 꼭 필요한 것이지만 아직 직접적으로 이들을 측정할 수 있는 방법은 아직 발견되지 않고 있다. 최근 열화상 카메라 기술의 발전으로 제동 중에도 디스크 표면의 온도를 실시간으로 측정하고 저장하여 마찰면의 온도분포를 알 수 있다.

다양한 열 유속을 입력조건으로 하여 유한요소 열 해석을 수행하여 열 유속의 분포와 온도의 분포가 유사한 형태로 표현되며 이로부터 마찰면의 압력분포를 간접적으로 유추할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

2. 제동 다이내모미터 시험

국내 도시철도 차량에 사용되고 있는 실물 제동 디스크와 패드를 제동 다이내모미터에 장착하여 실제 열차의 제동디스크가 부담하는 운동에너지와 유사한 크기의 운동에너지를 부가할 수 있게 관성 모멘트를 설정하고 150 km/h의 속도에서 제동을 체결하였다[2]. 제동 다이내모미터의 관성의 크기는 1,177 Kg-m²이고, 디스크의 양 면에 작용하는 캘리퍼의 총 수직력은 1,600 Kgf이다. 열화상 카메라는 Flir사의 ThermoVision A20M 모델을 사용하였고 7 Hz로 측정하였다. Fig 1(a) 제동 후 4.805 초 후 제동디스크 표면의 열화상 이미지이고, (b)는 (a)에 표시된 반경방향의 선을 따라 도시한 온도분포이다. 원주방향으로 세 개의 온도 띠가 관찰되었다. 이러한 분포는 Sawczuk의 연구[3]에서도 관찰되었다.

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 차세대철도차량 본부
(bcgoo@krri.re.kr)

*한국철도기술연구원 차세대철도차량본부

본 연구에서는 제동다이내모 시험 중 촬영된 열화상 이미지를 참고하여 디스크의 마찰면에

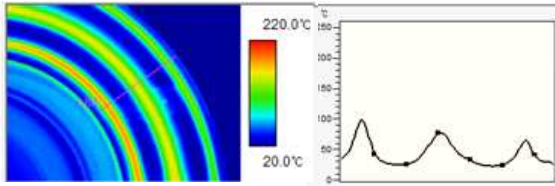


Fig. 1. (a) Thermal image of disc surface, 4.805s after brake application; (b) Temperature profile along the line

3. 해석결과 및 결론

Fig. 1의 결과를 해석으로 재현하기 위해서 우선 Fig 1(b)의 온도분포 $T(r)$ 을 6차 함수로 표현하였다. 그리고 유한요소 열 해석에서 디스크 표면에 열 유속, $q(r)$ 을 온도분포와 유사하게 적용하였다.

$$q(r)=0.8[T(r)-14] \quad (1)$$

이 조건에서 구한 온도분포를 Fig. 1(b)의 온도분포와 비교할 때 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 아래 관계로부터 압력분포를 추정할 수 있다.

$$q(r)=\mu p(r)\omega \quad (2)$$

여기서 μ 는 마찰계수, $p(r)$ 는 압력, ω 는 디스크가 장착된 축의 각속도이다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] D.J. Kim C.S. Seok J.M. Koo W.T. We B.C. Goo, J.I. Won (2010) Fatigue life assessment for brake disc of railway vehicle, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 33(1), pp. 37-42.
- [2] International Union of Railways (2010) Brakes-Disc brakes and their application-General conditions for the approval of brake pads, UIC 541-3.
- [3] W. Sawczuk (2015) The evaluation of a rail disc braking process by using a thermal camera. *Meas. Autom. Monit.* 61, pp.265-270.