

고속 열화상 카메라를 이용한 제동특성 모니터링 Thermographic Monitoring of Braking Using High-speed Infrared Camera

*#김정국¹, 김민수¹, 윤성철²

*#J. Kim(jkim@krii.re.kr)¹, M. S. Kim¹, S.C. Yoon²

¹한국철도기술연구원 주행추진연구실, ²한국철도기술연구원 시험인증센터

Key words : Braking, Railway Wheel, Braking Shoe, Infrared Camera, Monitoring

1. 서론

철도차량의 고속화로 인한 안전성 및 신뢰성의 확보가 점점 더 중요한 이슈가 되고 있다. 철도차량의 안전한 운행을 위해서 주행 및 추진 장치와 함께 열차를 안전하고 정확하게 감속 또는 정지시키는 제동장치의 역할이 더욱 중요해지고 있다. 철도차량에 이용되고 있는 제동 방식 중 제동슈에 의한 제동은 대표적인 철도차량의 제동 방식으로 제동슈의 성능향상은 차량의 제동 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다.

적외선 카메라 (Infrared Camera)를 이용한 열화상 기술 (Thermography)은 물체의 표면에서 방사되는 적외선을 이용하여 대상체의 표면 온도 분포를 영상으로 볼 수 있게 하는 기술이며, 최근 비접촉식, 초고속(최고 20 kHz), 다양한 온도범위에서의 분해능 등과 같은 특성으로 인하여 단순한 온도 측정뿐만 아니라 검출된 적외선을 이용하여 비파괴 진단 및 검사, 고장분석, 응력해석, 의료분야에 이르기까지 다양한 분야에서 응용되고 있다.

본 연구에서는 적외선 카메라를 이용하여 KTX 차량의 마찰시험 중 차륜에 형성되는 온도분포를 모니터링하고 차륜 표면의 온도 프로파일을 관찰하여 분석하고자 하였다. 또한, 적외선 열화상 기술을 통하여 차륜에서 발생하는 핫스팟 현상에 대한 분석 결과를 소개하고자 한다.

2. 제동슈 온도 모니터링 및 해석평가

제동 시험은 실물크기(직경 920 mm) 제동시험기에서 수행되었는데, 현재 KTX에 사용되고 있는 차륜과 제동슈가 사용되었다.

제동시험은 제동 압부력을 15.5 및 5.9 kN으로 하여 패드 표면의 접촉이 80% 이상으로 하여 매회 시험 시작 시 차륜의 온도가 60°C 이하로 하여 순간 마찰계수 및 평균마찰계수를 측정하였으며, 제동 초속도 (km/h)는 160 및 300으로 하여 관찰하였다.

Fig. 1은 160 km/h의 제동 초속도에서 제동을 실시 후 관찰된 열화상 이미지를 나타내고 있으며 매 6.993초당 촬영된 이미지를 보여주고 있다. Fig. 1의 최초 이미지는 제동 초기의 열화상 이미지는 나타내고 있는데 비교적 저속에서 제동이 일어나기 전의 이미지를 나타내고 있어 차륜 표면상의 핫스팟이나 열밴드에 대한 관찰이 용이하지 못한 상태이다.

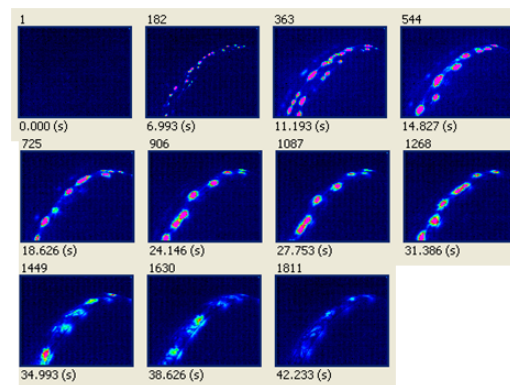


Fig. 1 The thermographic evolution photos during braking tests at the braking speed of 160 km/h

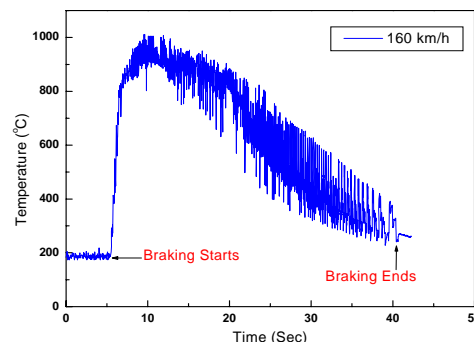


Fig. 2 Temperature profile during braking test for the initial braking speed of 160 km/h

Fig. 1에서 나타난 바와 같이 160 km/h의 초속에서는 제동 초기에 핫스팟과 같은 열 반점들이 관찰되다 제동이 이어짐에 따라 작은 핫스팟이 결합되는 형상의 제동 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2는 160 km/h의 제동초속도에서 제동동안 차륜의 온도변화를 나타낸 그림이다. Fig. 2의 제동동안 온도 프로파일은 열화상이미지의 온도분석을 통해 도출되었다. Fig. 1에서 나타난 열화상 이미지를 이용하여 일정한 면적에 대한 최대온도와 최저온도를 측정하여 나타낸 것이 Fig. 2의 결과이다. 제동시험은 차륜의 온도가 60°C 이하로 떨어졌을 때 시작되어 제동초속도가 160 km/h가 되었을 때 제동동작이 이루어지는데, Fig. 2에서 초기 제동시 대략적인 차륜 표면의 최대온도는 약 200°C 정도임을 알 수 있다. 이후 지속적인 온도증가를 관찰할 수 있으며, 최대온도 (약 1,000°C)에 도달한 후 점진적 온도하강이 이루어져 차륜이 완전히 정지되었을 때는 차륜의 온도가 약 250°C 정도임을 알 수 있다.

Fig. 3은 300 km/h의 제동 초속도에서 제동을 실시 후 관찰된 열화상 이미지를 나타내고 있으며 때 4.753초당 촬영된 이미지를 보여주고 있다. Fig. 3에서 나타난 바와 같이 300 km/h의 제동초속도에서는 제동 초기에 작은 핫스팟이 차륜의 표면에 관찰되고 있는데 어느 정도 제동이 이뤄진 상태에서는 형성된 핫스팟이 서로 결합되어 대형 핫스팟으로 형성되어 작은 핫스팟이 성장하는 형태를 보여주고 있으며, 제동시간이 길어짐에 따라 이후 핫스팟이 소멸되어지는 형태의 제동 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 제동초속도 3000 km/h에서 제동이 이뤄진 제동 동안의 온도변화를 나타내고 있다. Fig. 2에서 나타난 제동초속도 160 km/h에서의 제동과는 다소 다른 양상을 나타내고 있는데, 제동초속도 160 km/h의 경우 (Fig. 2), 초기 제동 후 급격한 온도상승을 나타내고, 최고온도 도달 후, 점차 온도가 하강되는 형상을 나타낸 것과 비교되며, 고속인 300 km/h의 제동초속도에서는 초기 제동 후, 급작스런 온도상승으로 1차 최대온도 도달 후 낙타등(Hump) 형태의 온도 프로파일을 나타내며, 이후 2차 최대온도를 보인 후 점진적인 온도하강에 이어 3차에 걸친 최대 온도에 도달 후 다시 몇 차례의 온도 상승, 하강을 거친 후 제동시작 후 약 60초 이후에 이르러 최종적으로 완전한 제동으로 이르기까지 서서히 차륜의 온도가 하강되는 앞서 160 km/h의 제동초속도와는 다소 상이한 제동특성의 결과를 나타내고 있다.

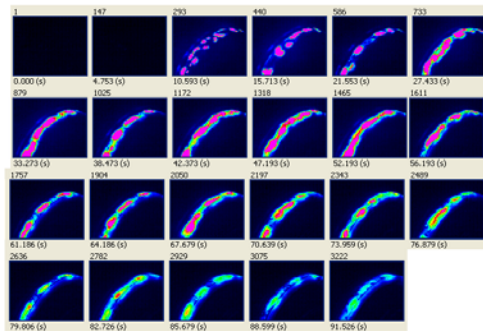


Fig. 3 The thermographic evolution photos during braking tests at the braking speed of 300 km/h

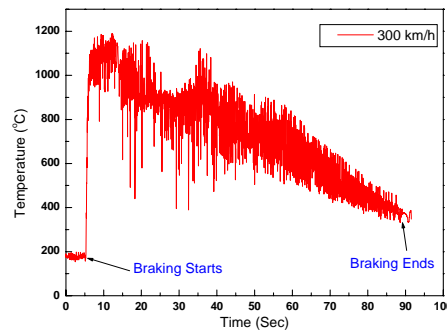


Fig. 4 Temperature profile during braking test for the initial braking speed of 300 km/h

4. 결론

본 연구에서는 철도차량 차륜의 표면 온도 모니터링이 열화상적 분석을 통하여 이루어 졌다. 적외선 열화상 기법은 초고속 열화상 카메라가 고속이며, 철도 차량 차륜의 표면을 비접촉 스캔할 수 있다는 장점으로 철도 차륜의 온도 모니터링 및 핫스팟 관찰 연구 분석에 매우 효율적으로 적용될 수 있음이 소개되었다. 제동 초속도가 비교적 낮은 경우에도 핫스팟이 차륜 표면에서 관찰되었으며, 예견된 바와 같이 속도가 증가할수록 표면의 온도는 높아지고 차륜 표면의 국부적 핫스팟이 관찰되었다. 본 기초연구를 통하여 향후 차륜의 온도해석 관련 다양한 연구활동이 기대된다고 할 수 있다.

참고문헌

1. S. Panier, P. Dufrenoy and D. Weichert, "An experimental investigation of hot spots in railway disc brakes," *Wear*, 256, 764-773, 2004.