

제동디스크 온도변화 특성 분석

Characterization of Temperature Evolution in Railway Brake Disc

**김정국¹, 윤성철², 권성태³, 구병춘⁴

*#Jeongguk Kim(jkim@krii.re.kr)¹, S. C. Yoon², S. T. Kwon³, B.C. Goo⁴

¹ 한국철도기술연구원 주행추진연구실, ^{2,3} 한국철도기술연구원 시험인증센터, ⁴ 한국철도기술연구원 철도구조연구실

Key words : Railway brake disc, Infrared thermography, Temperature monitoring

1. 서론

최근 철도차량 고속화에 따라 철도의 안전과 신뢰성 확보가 중요한 이슈가 되고 있으며, 철도차량의 고속 운행을 위해서는 열차를 안전하고 정확하게 감속 또는 정지시키는 제동장치의 역할이 더욱 중요해지고 있다. 철도차량에 이용되는 제동 방식 중 제동 디스크 및 마찰재에 의한 기계적 제동은 대표적인 제동 방식이다. 따라서, 제동디스크의 품질은 차량의 제동 성능에 직접적인 영향을 미치게 되며, 신조 제동 디스크 개발을 위한 설계를 위해서는 디스크 표면의 열크랙 생성의 제어, 마찰계수, 디스크의 재질, 마찰재료의 재질, 디스크의 내구성, 마찰성능, 마찰재와 디스크간의 온도특성, 마멸량 등의 인자가 고려되어야 한다.

적외선 카메라(Infrared Camera)는 적외선 열화상기술(Infrared Thermography)을 활용하기 위한 카메라로서 물체의 표면에서 방사되는 적외선을 측정하여 대상체의 표면 온도 분포를 영상으로 볼 수 있게 하는 기술인데, 초기에는 비접촉 온도측정용 장비로 많이 활용되었지만 최근에는 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. 특히, 적외선 열화상 기술이 발열체의 온도측정 및 분석과 같은 기존의 Passive 방식에서 비파괴 검사로 활용될 수 있는 Active 방식으로 개발되면서 대상체의 표면 및 내부의 결함 또는 손상 감지를 위한 비파괴 평가분야에 다양하게 활용되고 있으며, 향후 비접촉 비파괴 검사기술로 기존 비파괴검사 기법의 단점을 보완하는 기술도 개발되고 있다. 이처럼 적외선 열화상 기술(Infrared Thermography Technology)은 다른 여러 가지 비파괴평가기술과 비교하여 비접촉식, 높은 결함 검출능력을 바탕으로 다양한 응용분야를 제공하고 있어 이에 대한 기초 및 응용연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 새로운 신조제동디스크를 개발하기위한 연구의 선행과정으로 기존 새마을/무궁화호에 이용되고 있는 제동디스크를 대상으로 제동시험중 제동디스크의 온도변화 특성을 고찰하고자 하였다. 온도변화의 측정에는 380 Hz급의 고속 적외선 카메라가 이용되었으며 제동디스크의 온도분포 및 제동중 온도 프로파일에 대한 분석 결과를 소개하고자 한다.

2. 제동디스크 및 제동시험

본 연구에 이용된 제동디스크는 현재 새마을호 및 무궁화호 열차에 이용되고 있는 객차용 제동디스크로서 12공 분할형으로 재질은 펄라이트(Pearlite) 기지조직에 흑연이 균일하게 분포된 회주철(Gray Cast Iron)로 구성되어 있다.

제동 시험은 실험크기(직경 860 mm) 제동시험기를 이용하였으며, 제동 라이닝은 비석면 디스크 브레이크 라이닝을 이용하였고, 제동시험기의 정면에 초고속 적외선 열화상 카메라가 장착하여 제동 디스크 표면의 온도측정과 온도변화를 모니터링 하였다. 그림 1은 본 제동시험에 사용된 제동시험기를 나타내고 있다.

제동 다이내모미터의 최대 회전수가 약 1,600 rpm 이상이 되므로 제동 디스크의 표면 온도 또는 표면에 형성되는 핫스팟 분석은 고속이 아닌 일반 적외선 열화상 카메라(100 Hz 이하)로는 분석이 용이치 않으므로 최고 속도 380 Hz의 고속 적외선

카메라가 본 연구를 위해 사용되었다. 제동 동작동안 제동 디스크 표면의 불균질 온도 분포를 300 Hz의 속도로 적외선 카메라를 이용하여 모니터링하였다.

본 시험에 이용된 적외선 카메라는 최고속도가 380 Hz, 즉 1초에 380 프레임의 이미지 관찰이 가능하며, 픽셀 사이즈는 320 × 256까지 나타낼 수 있으며, 공간 해상력은 약 5.4 μm이며, 온도 감도는 상온에서 0.015° C일 정도로 매우 민감한 카메라이다. 제동시험은 한국철도표준규격 ‘비석면디스크 브레이크 라이닝’에 따라 제동 압부력이 양압 2.5 ton, 라이닝 습동면의 접촉이 70%이상으로하여 매회 시험 시작시 브레이크 마찰면의 온도가 60° C 이하로 하여 순간 및 평균 마찰계수를 측정하는 과정으로 실시되었다. 제동초속도(km/h)의 순서는 65, 35, 95, 150, 65, 125, 95, 95, 35, 125, 65, 65, 150, 95, 125, 125, 35, 35, 150, 65, 140, 180, 80, 100, 180, 80 순으로 실시되었다. 다양한 제동초속도에 대한 제동시험이 있었지만 본 연구에서는 비교적 저속인 65 km/h와 고속인 180 km/h의 경우에 대하여 온도 모니터링결과를 소개하고자 한다.



Fig. 1 Full-scale dynamometer and brake disc with high-speed infrared camera

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 65 km/h의 제동 초속도에서 제동을 실시후 관찰된 열화상 이미지를 나타내고 있다. 그림 2에서 최초 이미지는 제동 초기의 열화상 이미지는 나타내고 있는데 비교적 저속에서 제동동작이 이루어져 패드와 디스크의 마찰 현상의 결과로 나타나는 디스크 표면상의 핫스팟이나 열밴드에 대한 관찰이 용이하지 못한 상태이다. 그림 2에서는 최초 제동 동작후 일정한 시간 간격(약 1.03초정도)으로 나타난 열화상이미지를 나타내고 있다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 65 km/h의 비교적 저속 제동에서는 열크랙을 일으킬 수 있는 핫스팟 현상은 관찰되지 않았으며, 디스크 표면의 온도변화도 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 다만, 제동초속도 65 km/h의 시험조건에서는 제동이 진행됨에 따라 뚜렷한 핫스팟은 형성되지 않았지만, 디스크 중앙라인을 중심으로하여 열밴드(Thermal Band)가 형성되고 있음을 그림 2에서 볼 수 있다. 이 열밴드는 제동 초기에는 뚜렷한 형태를 보이지 않으나 제동이 진행됨에 따라 점점 뚜렷한 형태를 보이고 있으며, 완전한 제동이 이뤄지는 정지직전까지 지속됨을 알 수 있다. 이것은 이전의 연구에서 밝혀진 사항으로 제동 초속도가 낮은 제동에서는 핫스팟의 형성없이 열밴드의 형성만이 관찰되었다는 결과와 일치하는 사실이다.

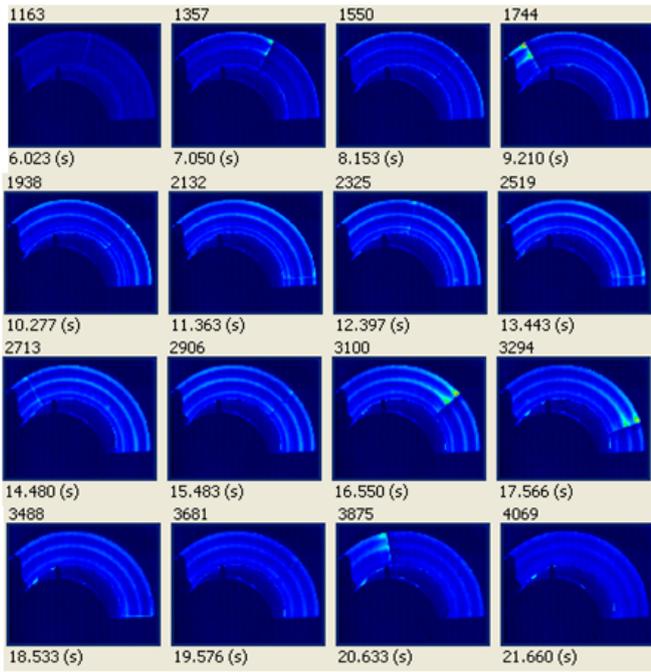


Fig. 2 The thermographic evolution photos during braking tests at the initial braking speed of 35 km/h

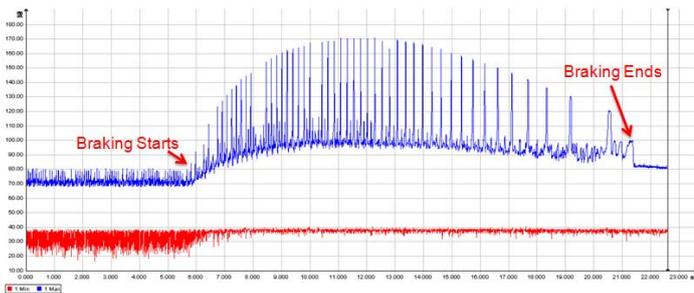


Fig. 3 Temperature profile during braking test for the initial braking speed of 65 km/h

그림 3은 65 km/h의 제동초속도에서 제동동안 제동디스크의 온도변화를 나타낸 그림이다. x-축에서는 제동동안의 시간(Sec)과 y-축에서는 온도(Temperature)를 나타내고 있는데, 그림 3의 제동동안 온도 프로파일은 열화상 이미지의 온도분석을 통해 도출되었다. 그림 2에서 나타난 열화상 이미지를 이용하여 일정한 면적에 대한 최대온도와 최저온도를 측정하여 나타낸 것이 그림 3의 결과이다. 제동시험은 디스크 표면의 온도가 60° C 이하로 떨어졌을 때 시작되어 제동초속도가 65 km/h가 되었을 때 제동동작이 이루어지는데, 그림 3에서 초기 제동시 대략적인 디스크 표면의 최대온도는 약 80° C 정도임을 알 수 있다. 이후 지속적인 온도증가를 관찰할 수 있으며, 최대온도 (약 170° C)에 도달한 후 점진적 온도하강이 이루어져 제동 디스크가 완전히 정지되었을 때는 제동디스크의 온도가 약 80° C 정도임을 알 수 있다. 이에 상응하는 열화상이미지는 그림 4에서 나타내었다.

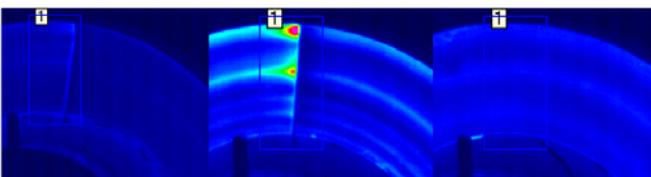


Fig. 4 Thermographic images of brake disc at the (a) beginning stage, (b) max temperature, and (c) ending stage, from left to right

그림 5는 제동초속도 180 km/h에서 제동이 이뤄진 제동 동안의 온도변화를 나타내고 있다. 그림3에서 나타난 비교적 저속에서의 제동과는 다소 다른 양상을 나타내고 있는데, 제동초속도 65 km/h의 경우 (그림 3), 초기 제동후 완전한 온도상승을 나타내고, 최고온도 도달후 역시, 완전한 온도하강을 나타내는 것과 비교하여, 고속인 180 km/h의 제동초속도에서는 초기 제동후, 급작스런 온도상승으로 1차 최대온도 도달후 낙타 등(Hump) 형태의 온도프로파일을 나타내며, 이후 2차 최대온도를 보인후 점진적인 온도하강을 나타내어 최종적으로 완전한 제동으로 시험이 끝나는 다소 상이한 결과를 나타내고 있다.

총 제동시간의 경우에 있어, 65 km/h의 경우, 약 16.14초의 제동시간이 소요되었지만 180 km/h의 경우에는 1.063초에 시작되어 37.588초에 완전한 제동이 이루어져 총제동시간이 36.525초 정도인 것으로 나타났다.

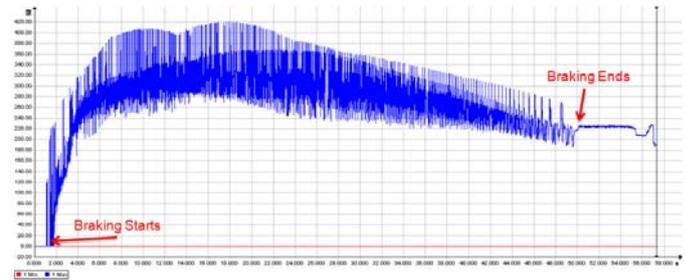


Fig. 5 The thermographic evolution photos during braking tests at the initial braking speed of 180 km/h

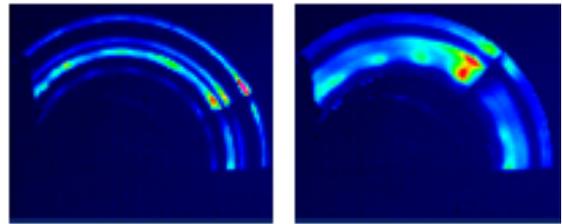


Fig. 6 Thermographic images of brake disc at the (a) beginning stage and (b) max temperature, from left to right

그림 6에서는 그림 5에서 나타난 온도프로파일에 대하여 열화상 이미지를 나타내고 있으며, 제동 초기의 온도상승영역에서는 열밴드의 형성을 나타내고 있으며, 오른쪽 그림은 최고온도 부근의 열화상 이미지로 국부적인 핫스팟이 형성된 이미지를 나타내고 있다. 그림 5와 6에서 관찰된 제동디스크의 최고온도는 약 420° C 인 것으로 관찰되었다.

4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 고속 적외선 카메라를 이용하여 제동시험 동안의 디스크 온도분포 관찰이 소개되었으며, 국내에서 이용되고 있는 새마을호 제동디스크에서 제동초속도가 비교적 낮은 65 km/h와 최고속도 180 km/h에 대한 디스크의 온도변화와 모니터링 결과를 비교하여 관찰하였다. 제동온도 프로파일에 있어 다른 양상을 나타내었으며, 이러한 결과는 열화상이미지를 통해 간접적으로 증명할 수 있었고, 온도측정도 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김정국, "적외선카메라를 이용한 제동디스크 열크랙분석," 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2008.
2. 김정국, "적외선카메라를 이용한 제동디스크 온도 모니터링," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 2008.
3. S. Panier, P. Dufrenoy, D. Weichert, An experimental investigation of hot spots in railway disc brakes, Wear, 256, 764-773, 2004.