제동디스크 소재의 마찰-마모특성 시험

A test for friction and wear characteristic of brake disk materials

임충환† 구병춘*

Lim, Choong-Hwan† Goo, Byeong-Choon*

ABSTRACT

In the braking of a railroad car, mechanical brake systems using wheel tread and brake disk are applied as well as electrical brake systems by regenerator and rheostat. It is very important to consider the frictional characteristic because kinetic energy of the vehicle is dissipated as converted thermal energy through friction between disk and brake pad during disk braking. A friction coefficient and wear characteristic are decided from the interrelationship of disk and friction material in the disk brake system.

Lab-scale dynamometer test on developed brake disk materials for increasing heat resistance was performed in this study. Each candidate material was tested at various braking speeds and pressures and we obtained the friction coefficient and wear characteristic. And we executed comparative evaluation of the result from the test.

1. 서 론

철도차량의 제동에는 전기의 회생, 발전을 이용하는 전기적 제동장치와 함께 차륜 답면 및 디스크를 사용하는 기계식 제동장치가 사용된다. 특히 브레이크 디스크의 작요에 있어서 디스크와 마찰패드와의 마찰에 의해 열차의 운동에너지가 열에너지로 전환 및 소멸되기 때문에 디스크-패드 사이의 마찰특성은 제동 성능에 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 따라서 디스크 브레이크 시스템에서 디스크 및 마찰패드의 마찰계수 및 마모특성은 각각의 재료특성에 따라 결정되며 그러한 특성에 따라 제동시스템의 성능이 좌우된다.

본 연구에서는 브레이크 디스크의 내열성 향상을 위하여 개발된 후보재질들에 대하여 Lab-scale dynamometer 시험을 수행하였다. 시험은 현재 새마을호 및 무궁화호 열차의 디스크 제동에 사용되는 마찰패드가 동일하게 적용되어 수행되었고 각 제동초속도 및 제동압력 조건에서의 실험을 통해 각 후보재질에 대한 디스크-패드간의 마찰 및 마모특성 데이터의 비교평가를 실시하였다. 본 실험의 결과는 고내열성 디스크 후보재질에 대한 실제 적용성 평가 시 선택여부의 결정에 기여할만한 데이터로써 반영될 수 있을 것이다.

2. 시험기 및 시험시편

2.1 소형 다이나모 시험기(Lab-scale Dynamometer)

KS R 4024[1]에서는 브레이크 디스크 마찰시험을 위한 시험기로써 고가의 다이나모 테스터의 보완적인 시험기중 하나로 스케일 테스터(Scale Dynamometer Tester)에 대하여 제시하고 있다. 이 시험기의

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원(KRRI)/UST, 철도구조연구실, 연구원
E-mail : chlim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5285 FAX : (031)460-5289
* 정회원, 한국철도기술연구원(KRRI), 철도구조연구실, 책임연구원

Fig. 1 소형 다이나모미터 시험기

Fig. 2 소형 브레이크 디스크 및 패드 시편

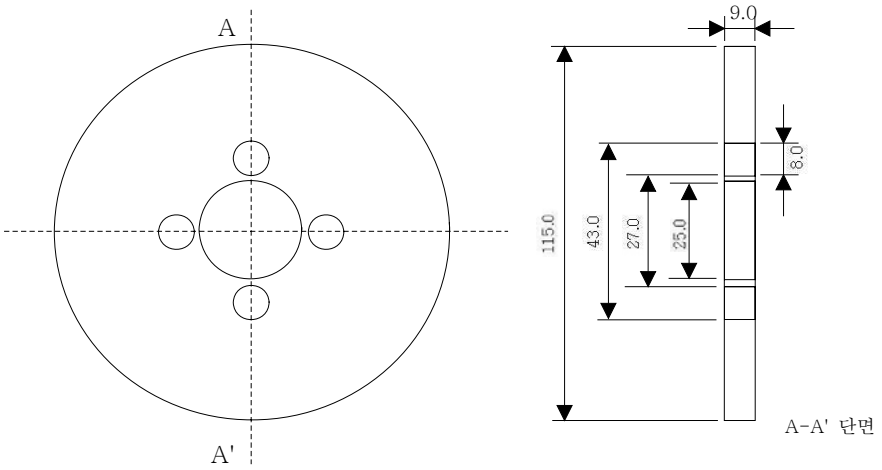


Fig. 3 브레이크 디스크 시편형상

특징은 풀 사이즈에 의한 실차 시험에 대하여 마찰재 및 마찰 대면의 요소를 스케일 다운시켜 실차와 같은 시험을 하는 것을 가능하게 한 점이다. 스케일 테스터는 스케일 팩터 “S"로 호칭되는 계수에 따라 스케일 다운 비율을 변경하여 실차와 거의 동일 조건에서 시험할 수 있도록 설계되어 있다.

본 연구에서의 제동 시험은 철도차량 디스크 브레이크용 마찰재 제작회사인 D사의 소형 다이나모미터 시험기를 사용하여 수행되었다. 본 시험기기는 KS R 4024에서 제시하는 스케일테스터 기준에 따라 제작되어 다방면에 적용되는 브레이크 디스크 및 패드의 마찰특성 시험에 사용되고 있다. 소형 다이나모미터 시험기의 모습을 Fig. 1에서 보이고 있다.

2.2 디스크 및 패드 시험시편

실험에는 현재 새마을호 및 무궁화호에서 사용되는 브레이크 디스크에서 채취된 기존품 재료 시편과 함께 고내열성 브레이크 디스크용 재질개발을 위하여 각기 다른 화학조성성분을 갖도록 제작된 I에서 V까지의 후보재료가 사용되었다.

브레이크 패드 시편은 시험에 사용된 새마을호 및 무궁화 객차용 디스크와 함께 사용되고 있는 실제 패드의 표면을 절삭하여 가로, 세로 각각 35㎜, 16㎜, 그리고 8㎜ 이상의 두께로 제작하였다. 제작된 브레이크 패드 시편은 제동 다이나모미터 시험기에 고정하기 위하여 별도 제작된 금속 틀에 부착되었고 모든 재질의 디스크 시편에 대한 시험에 대해 동일한 패드 시편이 사용되었다. Fig. 2에서는 소형 다이나모미터 시험을 위하여 제작된 디스크 및 패드 시편을 보이고 있고 디스크 시편의 자세한 치수 및 형상을 Fig. 3에 나타내고 있다.

3. 시험 조건

재질별 마찰특성 평가를 위한 소형 다이나모미터 마찰시험의 조건은 다음과 같다.

ㄱ. 각 시험 전에 1,100rpm(40km)의 제동 초속도와 각 실험에서 사용될 제동압력을 적용하여 40회, 동일 제동압력에서 1,640rpm(60km)의 제동 초속도로 60회의 제동을 가하여 갈아맞춤(Bed-in) 작업을 수행하였다. 갈아맞춤 작업 후 육안으로 패드 시편의 연삭 부족으로 인한 부접촉이 관찰되면 추가적인 갈아맞춤 작업을 시행하였다.

ㄴ. 브레이크 패드에 각각 4.5bar, 5.5bar, 6.5bar의 제동압력을 가하면서 각 압력에 대해 제동 초속도 1,000rpm(37km), 2,000rpm(73km) 및 2,500rpm(91km)에서의 제동시험을 수행하였다.

ㄷ. 각각의 제동 초속도와 제동압력에 대하여 50회의 제동시험을 수행하여 평균마찰계수를 측정, 각 시편당 총 9가지 시험조건에서의 평균마찰계수 데이터를 획득하였다.

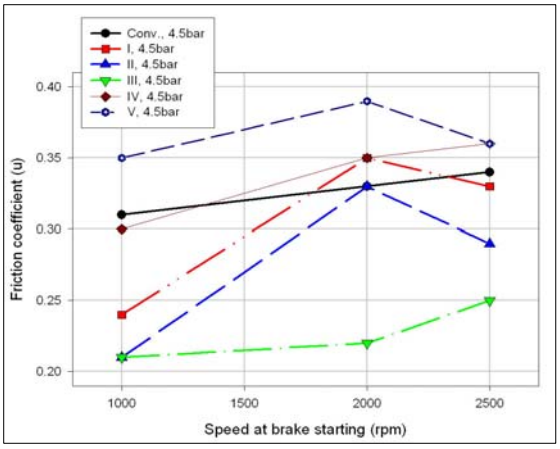
ㄹ. 각 압부력과 초속도에 따른 50회의 제동시험 후에 패드의 마모량을 측정하여 기록하였다.

ㅁ. 본 시험에 사용된 플라이 휠 관성질량은 0.125kgf.m.s^{2}으로 설정하였다.

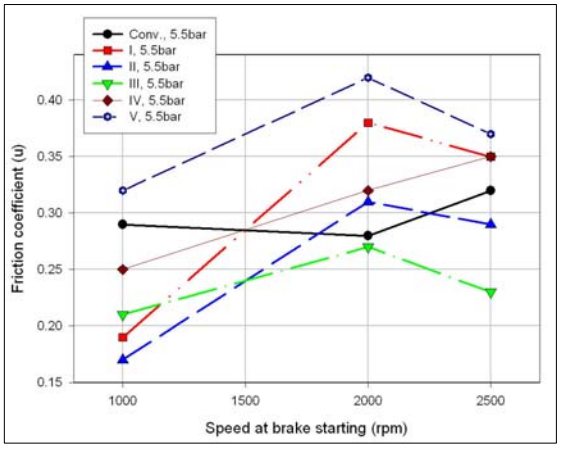
4. 시험 결과

4.1 평균마찰계수

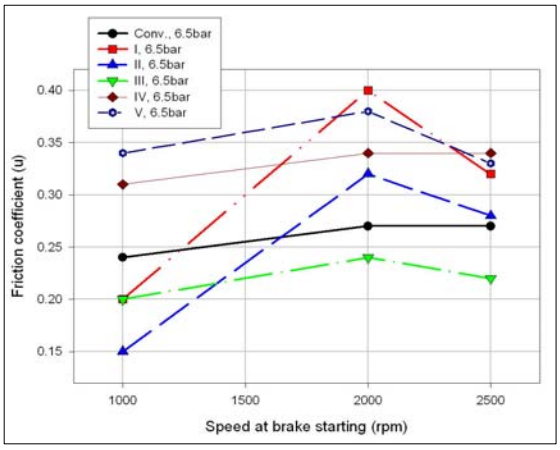
다음의 Fig. 4에서는 각 시편에 대하여 제동초속도 변화에 따른 평균마찰계수 시험결과를 제동 시 가해진 제동압력별로 분류하여 종합적으로 나타내었다.



(a) 4.5bar



(b) 5.5bar



(c) 6.5bar

Fig. 4 각 제동압력에서의 평균마찰계수 비교결과

각 제동압력조건에서 대부분의 후보재질이 특정 속도(2,000rpm)에서 마찰계수가 급격히 상승하면서 불안정한 마찰특성을 보이거나 전체적으로 사용품 재질보다 현저히 낮은 마찰계수를 보인 반면, IV 재질은 현 사용품 재질과 유사하거나 약간 높은 제동속도별 마찰안정성과 마찰계수를 나타내었다.

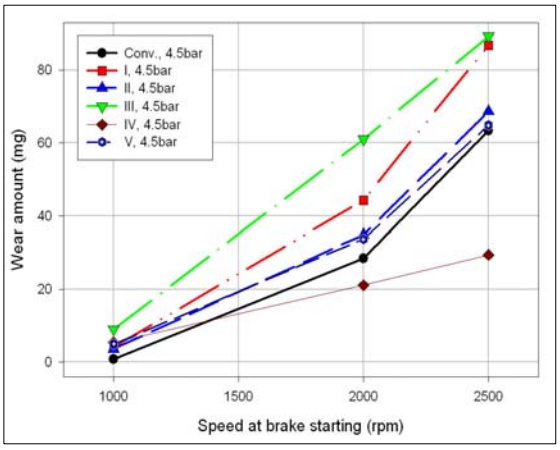
4.2 패드 마모량

개발된 I~V 후보재질과 현재 새마을호 및 무궁화호 열차에서 사용되고 있는 사용품 재질에 대하여 동일한 패드 시편을 사용한 실험을 통하여 제동초속도 변화에 따른 패드 마모량측정 결과를 제동 시 가해진 제동압력별로 분류하여 나타내었다(Fig. 5).

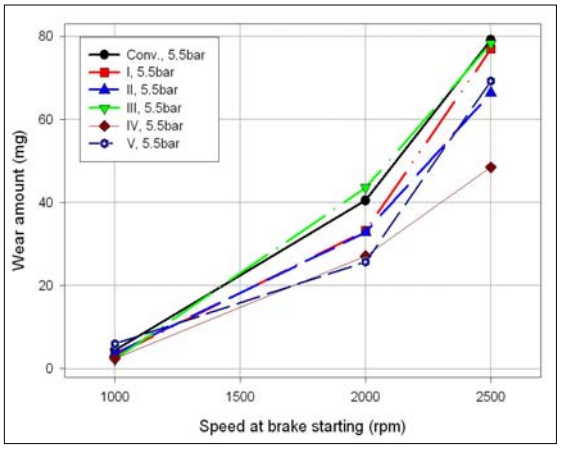
각 제동압력, 제동초속도별 패드마모량을 측정한 결과, 현재 사용되고 있는 브레이크 패드와의 마찰-마모특성에 가장 최적화 되어있는 상태일 것이라고 고려되는 사용품 디스크 재질과 비교할 때, IV 재질이 사용품 시편과 유사하거나 보다 개선된 패드 마모특성을 보였다.

5. 결 론

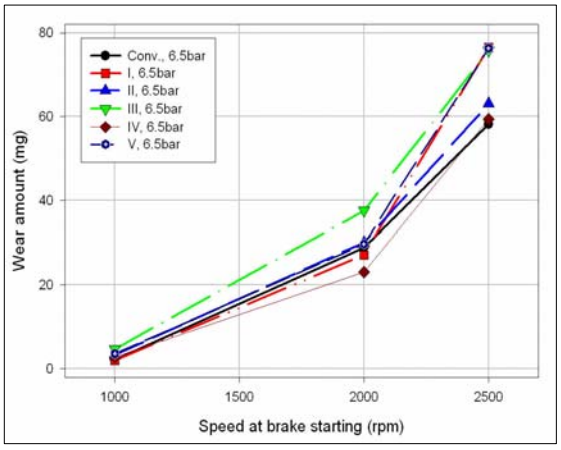
소형 다이나모미터 시험기를 이용하여 현재 새마을호 및 무궁화호에서 사용되고 있는 브레이크 디스크 재질 및 내열특성 개선을 위해 개발된 각 후보 재질별 마찰-마모 실험을 수행하였다. 실험을 통해 총 6종의 디스크 재질에 대한 마찰-마모특성을 비교한 결과, 다음과 같은 사항들이 관찰되었다.



(a) 4.5bar



(b) 5.5bar



(c) 6.5bar

그림 5 각 제동압력에서의 패드마모량 비교결과

1) 대부분의 후보재질이 특정 제동초속도(2,000rpm)에서 상대적으로 높은 마찰계수를 갖는 등 사용품과 비교할 때 제동초속도 변화에 따라 불안정한 마찰성능을 보였다.

2) 모든 재질의 마찰-마모특성 실험에 동일하게 사용된 제동 마찰패드는 현재 사용품 디스크와 함께 새마을호 및 무궁화호 열차에 최적화된 조합으로 적용되어 있는 상태이다. 따라서 현 사용품 디스크의 마찰-마모특성이 비교적 매우 우수하게 관찰되었다.

3) 하지만 개발된 후보 재질 중 하나인 IV 시편의 경우 마찰계수 및 패드마모량 측정시험 모두에서 현 사용품 재질과 유사하거나 더욱 우수한 마찰 안정성 및 마모특성을 나타내었다.

본 실험을 통해 고내열성 디스크 후보재질에 대한 실제 적용성 평가 시 선택여부의 결정에 반영할 수 있는 마찰-마모 특성 데이터가 수집되었으며 특히, 개발품 IV 재질의 우수한 마찰-마모 특성이 실험을 통해 관찰된 바, 향후 지속적인 연구를 통해 실제 브레이크 디스크 재질로서 당 후보재질에 요구되는 기타 특성에 대한 확인과정을 진행함으로써 실제 차량에의 적용에 대한 타당성을 입증해야 할 것으로 고려된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 기본연구과제인 “철도차량 성능향상 기술개발” 과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. KS R 4024, “자동차용 브레이크 라이닝 및 패드”, 2004
2. UIC 541-3, “Brakes - Disc Brakes and Disc Brake Pads General Conditions Governing Bench Tests”, 2004
3. KRS BR 0003-06, “브레이크 디스크”, 2006