

철도차량용 디스크 브레이크 라이닝의 비교시험 연구 (KRRI-CARS)

A Study on Comparison Test of Disk Brake Lining for Rolling Stock(KRRI-CARS)

홍용기*

Hong, Yong-Ki

권성태**

Kwon, Sung-Tae

정종덕***

Chung, Jong-Duk

김정남****

Kim, Jung-Nam

ABSTRACT

The inter-laboratory comparison test which is demanded on the authorized test of ISO/IEC 17025 is the program to guarantee the confidence of test result. This paper, as a part of the inter-laboratory comparison test between South Korea and China, is referred to the characteristic of friction coefficient of disk brake lining for rolling stock according to disk type. Brake tests were carried out under constant brake force and operating sequence by using dynamo-tester according to disk and disk lining types. To establishing the confidence of test result, we calculated A type uncertainty about friction coefficient and investigated the factors about the variation of friction coefficient.

1. 서 론

최근 철도차량의 고속화, 고출력화, 고속화 추세에 따라서 철도차량의 안전을 보장하는 제동 장치의 고성능화 및 안정성 확보를 위한 요구가 증가하고 있다. 또한 제동장치를 포함한 철도부품의 신뢰성 평가 기술 역시 중요한 관심사로 부각되고 있다. ISO/IEC 17025 규격에 의하면 시험 결과에 대한 신뢰성 향상과 소규성을 유지하기 위하여 시험자간, 시험기관간, 국가간에 실시하는 비교시험을 수행함으로써 시험 기술력을 향상시키고 시험 결과에 대한 신뢰성을 확립하고 있다.¹⁾

본 연구는 한국과 중국간 비교시험을 수행하여 시험 기술의 신뢰성을 향상하고 향후 양국간에 공동으로 활용하기 위한 시험절차 및 규격을 제정하기 위한 과정의 일환으로 실시되었다. 따라서 그동안 온도 조건 및 진차에 대하여는 2회 실시한 비교시험으로는 시험방법에 대하여는 동의하는 수준으로 일치하였으나 신뢰성면에서는 자국의 디스크를 사용하여 다소의 편차가 발생하여 규격으로 제정하기에는 어려움이 있었다. 급회의 경우에는 한국철도기술연구원(KRRI)과 중국철도부 과학연구원(CARS)이 제시한 라이닝뿐만이 아니라 형상이 상이하였던 디스크에 대하여도 서로 교환하여 제동시험을 실시하고, 그 결과에 대하여는 불확도(Uncertainty)도 산출함으로써 시험 결과 및 시험방법의 적정성을 분석한 사례로 본 연구의 결과를 통하여 향후 공동으로 활용이 가능한 절차 및 규격의 제정이 가능할 것으로 판단된다.

* 한국철도기술연구원 수석연구원, 정희원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정효원

*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정희원

**** 한국철도기술연구원 부속연구원, 배희원

2. 시험장비 및 방법

2-1. 시험장비

브레이크라이닝의 마찰계수를 측정하기 위한 장비는 Fig.1과 같은 실험제동시험기를 이용하여 시험을 실시하였으며, 국내에서 보유한 제동시험기는 차륜과 디스크의 제동성능을 모두 측정할 수 있는 구조이다. 디스크의 경우, 제동디스크의 양쪽 면에 1set의 디스크 브레이크 라이닝을 헤드에 부착하고, 제동실린더의 압축공기로 디스크를 양쪽에서 압착, 제동작용이 이루어지게 되며, 제동 초기부터 정지시까지의 마찰계수는 자동으로 저장되는 시험기로 시험기의 사양은 Table 1과 같다.

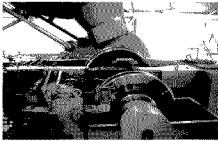
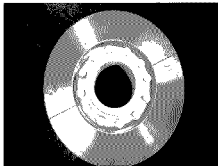


Fig.1 제동시험기

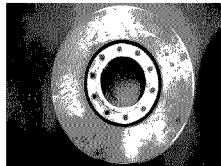
제동시험기 사양	사용 범위
속도제어 범위	50~1,600 rpm
관성모멘트 적용범위	40~220 kg · m · s ²
최대이용 토크	1,500 kg · m
최대제동 압부력	6 ton(1 ca → 3 ton)
제동방식	Wheel & Disk 시험 적용

2-2. 시험편

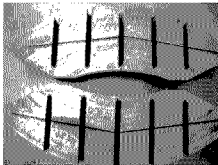
본 시험을 위하여 사용된 브레이크 디스크는 Fig.2 (a),(b)에서와 같은 형태이며, 라이닝의 경우에는 Fig.2 (c)(d)와 같다. 각각의 디스크 및 라이닝의 경우에는 국내 및 중국에서 실차에 적용되어 사용되고 있는 제품으로 그동안 2회의 비교시험에서는 라이닝의 경우에는 급회에 실시한 라이닝과 유사하나, 디스크의 경우에는 일체형과 분리형 형태로 각기 다른 구조로 이루어지 있어, 시험조건이 비교적 유사한 상태의 시험에서도 국내에서 시험한 결과가 다소 높은 결과도 나타나고 있었다.



(a) 분리형 디스크



(b) 일체형 디스크



(c) 시료 A



(d) 시료 B

Fig.2 디스크 타입 및 디스크 라이닝

2-3. 시험방법

본 비교시험의 주요 차량은 UIC 541 및 KRS(경도규격) 2242-2427을 준용하여 일체형과 분리형윤 교체하고 각각의 라이닝으로 시험을 실시하였다. 주요 조건으로는 제동시험기의 관성모멘트는 $120\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, 제동압부력은 양압 3.2 ton이며, Fig. 3과 같은 sequence의 제동초속도에서 제동작용을 실시하여 각각의 순간마찰계수와 평균마찰계수를 측정하였다.²⁻³⁾ 또한 1차 비교시험결과에서 온도 측정조건이 상이하여 마찰계수에서 많은 차이가 있었다. 이를 보완하기 위하여 2차 비교시험에서는 제동초기의 디스크의 표면온도는 40°C 이하로 충분히 냉각후에 제동을 체결하는 방법으로 마찰계수를 측정하여 어느정도 편차를 줄인 것을 참고하여 본 시험에서도 이를 적용하였다.

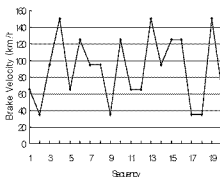


Fig.3 제동 초속도

3. 시험결과

3-1. 순간마찰계수

Table 3,4는 시료 A를 분리형 디스크와 일체형 디스크로 각각 제동초속도 150km/h, 125km/h, 95km/h, 65km/h, 35km/h에서의 순간마찰계수를 시험한 결과이며 Fig. 4,5는 제동초속도 150km/h, 125km/h에서의 순간마찰계수를 나타내고 있다.

시험결과 시료 A의 경우는 분리형 디스크로 시험한 결과가 일체형 디스크로 시험한 결과보다 평균 0.030 정도 높게 나타났으며, 특히 제동을 체결한 초속도 및 정지직전에서는 35km/h의 경우 최대 0.054까지도 차이가 발생하였다.

Table.3 시료 A를 분리형 디스크로

시험한 순간마찰계수

Braking Velocity (km/h)	Instantaneous Friction Coefficient					stop
	start	125 km/h	95 km/h	65 km/h	35 km/h	
150	0.433	0.391	0.383	0.396	0.416	0.425
125	0.443		0.408	0.400	0.417	0.426
95	0.450			0.427	0.429	0.427
65	0.449				0.428	0.418
35	0.445					0.429

Table.4 제동 A를 일체형 디스크로

시험한 순간마찰계수

Braking Velocity (km/h)	Instantaneous Friction Coefficient					stop
	start	125 km/h	95 km/h	65 km/h	35 km/h	
150	0.410	0.356	0.341	0.353	0.382	0.386
125	0.417		0.380	0.379	0.402	0.404
95	0.410			0.401	0.406	0.397
65	0.411				0.410	0.389
35	0.397					0.375

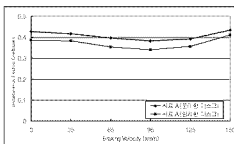


Fig.4 150 km/h 일때의 순간마찰계수

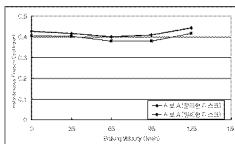


Fig.5 125 km/h 일때의 순간마찰계수

Table 5,6는 시료 B를 분리형 디스크와 일체형 디스크로 시험한 결과로, 시료 B의 경우에도 시료 A와 같이 분리형 디스크로 시험한 결과가 일체형보다 평균 0.05 정도 더 높게 나타났다.

특히, 제동 초속도 35km/h에서 제동 초기와 정적 적전에서는 각각 0.078, 0.038로 A라인으로 시험한 결과보다 많은 편차가 있는 것으로 나타났다.

Table5 제동 B를 분리형 디스크로

시험한 순간마찰계수

Braking Velocity (km/h)	Instantaneous Friction Coefficient					
	start	125 km/h	95 km/h	65 km/h	35 km/h	stop
150	0.368	0.363	0.361	0.361	0.371	0.364
125	0.366		0.369	0.360	0.401	0.419
95	0.374			0.402	0.439	0.488
65	0.364				0.428	0.514
35	0.389					0.480

Table6 제동 B를 일체형 디스크로

시험한 순간마찰계수

Braking Velocity (km/h)	Instantaneous Friction Coefficient					
	start	125 km/h	95 km/h	65 km/h	35 km/h	stop
150	0.350	0.344	0.337	0.336	0.332	0.327
125	0.337		0.365	0.357	0.361	0.362
95	0.321			0.349	0.354	0.390
65	0.307				0.350	0.414
35	0.311					0.382

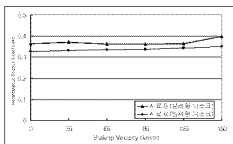


Fig.6 150 km/h 일때의 순간마찰계수

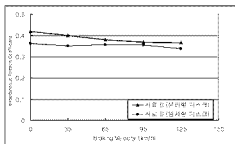


Fig.7 125 km/h 일때의 순간마찰계수

시험결과에 있어서 재질의 불균일로 인하여 많은 편차가 발생하고 있다. 따라서 비교시험을 실시하는 경우 이러한 위인으로 시험결과 신뢰성에 문제가 발생할 우려가 있다. 일반적으로 각각의 시험결과에 대한 표준화된 편차를 신뢰수준으로 표현하는 경우가 있으므로 본 연구에서는 이를 A형의 불확도로 계산하였다.

Table 7,8은 라인 B의 150km/h와 125km/h에서의 순간마찰계수에 대한 A타입의 불확도를 95%의 신뢰수준으로 산출한 결과로, 재질의 불균일 및 재현성이 저하되는 재질의 경우에는 이에 대한 결과값도 증가하는 것으로 표현하고 있다.

Table 7 시료 B의 150 km/h에서의 순간마찰계수의 불확도표시

	0	35	65	95	125	150
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
분리형디스크불확도 상한범위	0.367	0.377	0.387	0.396	0.398	0.407
시료 B(분리형디스크)	0.364	0.371	0.381	0.381	0.383	0.398
분리형디스크불확도 하한범위	0.361	0.365	0.355	0.366	0.358	0.389
일체형디스크불확도 상한범위	0.329	0.337	0.345	0.347	0.353	0.352
시료 B(일체형디스크)	0.327	0.332	0.336	0.337	0.344	0.350
일체형디스크불확도 하한범위	0.325	0.327	0.327	0.327	0.335	0.348

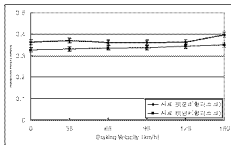


Fig.8 150 km/h 일체의 순간마찰계수의 불확도 표시

Table 8 시료 B의 125 km/h에서의 순간마찰계수의 불확도표시

	0	35	65	95	125
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
분리형디스크불확도 상한범위	0.425	0.405	0.383	0.373	0.373
시료 B(분리형디스크)	0.419	0.401	0.380	0.369	0.366
분리형디스크불확도 하한범위	0.407	0.397	0.377	0.365	0.359
일체형디스크불확도 상한범위	0.371	0.354	0.361	0.360	0.339
시료 B(일체형디스크)	0.362	0.351	0.357	0.353	0.337
일체형디스크불확도 하한범위	0.353	0.348	0.353	0.350	0.335

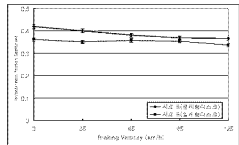


Fig.9 125 km/h 일체의 순간마찰계수의 불확도 표시

3-2. 평균마찰계수

Table 7 및 Fig. 6은 각각의 제동 초속도에 대한 평균마찰계수 결과이며, 평균마찰계수 시험 결과에서도 순간마찰계수와 같이 일체형의 디스크를 사용한 경우가 분리형보다 다소 낮은 경향으로 나타났으며, B라이닝의 경우가 A라이닝보다 많은 편차가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 2회의 비교시험에서 시험시간 편차가 발생한 원인은 불확도로 표현한 것과 같이 재질의 일부 불균일한 정도와 디스크에 대한 영향도 작용한 것으로 추정되며 향후 공동으로 활용이 가능한 규격 및 선차에서도 이에 대한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

Table 9 평균마찰계수 시험결과

	Braking Velocity (km/h)	Average Friction Coefficient				
		35 km/h	65 km/h	95 km/h	125 km/h	150 km/h
분리형 디스크	시료 A	0.437	0.428	0.429	0.412	0.401
	시료 B	0.429	0.425	0.420	0.386	0.365
일체형 디스크	시료 A	0.389	0.405	0.401	0.390	0.392
	시료 B	0.338	0.350	0.352	0.353	0.336

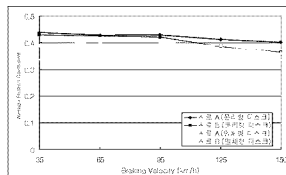


Fig.10 평균마찰계수

4. 결론

본 연구에서는 라이닝의 종류 및 디스크 형태에 따른 순간마찰계수 및 평균마찰계수 시험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. A라이닝의 경우 분리형 디스크로 시험한 결과가 일체형 디스크로 시험한 결과보다 평균 0.030 정도 높게 나타났으며, 특히 제동을 체결한 초속도 및 정지직전에서는 35km/h의 경우 최대 0.054까지도 차이가 발생하여 그동안의 비교시험에서 마찰계수에 영향이 있었던 것으로 판단된다.

나. B라이닝의 경우에도 분리형 디스크로 시험한 결과가 일체형보다 평균 0.05 정도 더 높게 나타났으며, 제동 초속도 35km/h에서 제동 초기와 정적 직전에서는 각각 0.078, 0.098로 A라이닝으로 시험한 결과보다 많은 편차가 있는 것으로 나타났다.

다. 편차가 많이 발생한 B라이닝의 A형 불확도 수준은 최대 ± 0.009 정도로 그동안의 비교시험시 시험소간 편차가 발생한 원인으로 일부 작용하였으며, 디스크 형태에 대한 영향도 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

따라서, 그동안 2회의 시험소간 비교시험에서 편차가 발생한 원인은 재질의 불균일 및 디스크의 형태에 따른 원인이 복합적으로 작용한 것으로 판단되므로 향후 양국에서 공동으로 활용이 가능한 규격 및 설치를 제정하는 경우 이에 대한 작용이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 홍용기, 정종덕, 권성태, Wang J. B. "제동디스크라이닝의 비교시험 연구(KRRI-CARS)", 한국철도학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp.363.
2. KRS 2242-2427다 (2002), "비석면 디스크 브레이크 라이닝"