

제동 라이닝에 대한 시험소간 비교에 의한 숙련도시험 Proficiency Testing by Inter-Laboratory Comparisons for Braking Lining

정중덕*

권성태*

홍용기**

김원경**

Chung, Jong-Duk

Kwon, Sung-Tae

Hong, Yung-Ki

Kim, Won-kyung

This paper describes the result of proficiency testing by inter-laboratory comparisons for braking lining. Proficiency testing provides an objective means of assessing and demonstrating the validity and reliability of test results produced by laboratories. To more accuracy comparison test for braking lining test, They will be made the same test procedure and environment conditions.

1. 서론

ISO/IEC 17025에서 요구하는 시험소간의 비교/숙련도시험은 시험기관에서 실시한 시험결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 중요한 프로그램이다. 따라서 이를 철도분야 시험에 적용하고, KOLAS기구에서 인정한 철도차량용 마찰재 제동시험의 신뢰성 향상을 위하여 철도부품중의 하나인 브레이크디스크 라이닝을 선정하여 중국철도과학연구원(CARS)와 비교시험을 실시하였다. 이는 시험소간 또는 국가간의 시험 결과에 대한 신뢰성 확보 및 소급성(Traceability)을 유지시키며 향후 철도차량용 마찰재에 대한 시험방법 및 시험절차 등에 대한 상호 인정할 수 있는 규격 제정으로도 확대 할 수 있는 실질적인 기술교류에 이바지하는 계기로 삼고자 하였다.

철도기술발전과 철도용품의 품질 향상을 위한 시험평가기술 협력체계 구축은 기관간에도 시험평가기술의 전반적인 교류를 통하여 시험결과와 신뢰성을 높이고 나아가 시험결과를 상호 인정함으로써 수출입시 중복시험으로 인한 경제적 손실 및 시간적인 부담을 경감시키는 장점이 있다.

금회 실시한 시험소간의 라이닝에 대한 비교 시험은 기본적인 시험 방법 및 절차를 우선 마련하여 시험을 진행하고자 하였으며, 이러한 시험을 통하여 시험소간 제반 조건을 고려하고 국가 또는 국제표준과도 연관시킬 수 있는 표준 시험방법과 표준절차서를 개발하고 국가간 소급성을 유지하는 데에도 중요한 목적이 있다.

2. 시험조건 및 방법

비교숙련도 시험은 해당시험의 방법과 절차를 정하고 상호 시험을 실시하여, 시험결과에 대하여는 통계적인 방법으로 검정함으로써 향후 시험 결과의 신뢰성을 향상시키기 위한 시험의 적정성이 주목적이다. 따라서 시험결과와 정밀도에 대한 검정을 실시하고, 이상치가 발생한 경우 이에 대한 원인과 대책을 수립하여 이를 보완함으로써 상호시험기술의 향상과 실질적인 교류가 이루어지므로 본 시험에서는 중국과 한국에서 생산되는 대표적인 라이닝 중 각1세트(2조)씩을 선정하고 동일한 시험조건으로 양국에서 보유하고 있는 제동시험기에서 각각 시험을 실시하여 KS A 0004 시험/분석 허용차 통칙에 의하여 분석함으로써 시험평가 기술의 향상과 국제 시험소간의 교류에도 이바지하고자 하였다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원

** 한국철도기술연구원 책임연구원

2.1 시험조건

- 1) 시험항목 : 제동시험(Brake Test를 이용한 마찰계수 시험)
- 2) 시험편(Specimen) : 객차용 Brake Disk Lining 1set (2 Ea, UIC Type)
- 3) 관련규격 : UIC 541-3, KRS 2242-2427
- 4) 제동 초기온도 : 60℃ 이하
- 5) 측정장비 : Brake Tester

2.2 측정항목

- 1) 순간마찰계수, 평균마찰계수 및 마모량
- 2) 측정횟수 : 20회 실시(제동 초속도를 KRS 규격에 적용하여 시험 실시)
- 3) 제동 초속도(km/h, Wheel Dia 860mm)
 - 65, 35, 95, 150, 65, 125, 95, 95, 35, 125, 65, 150, 95, 125, 125, 35, 35, 150, 65
 시험에 사용할 제동 디스크의 재질특성은 표1과 같다.

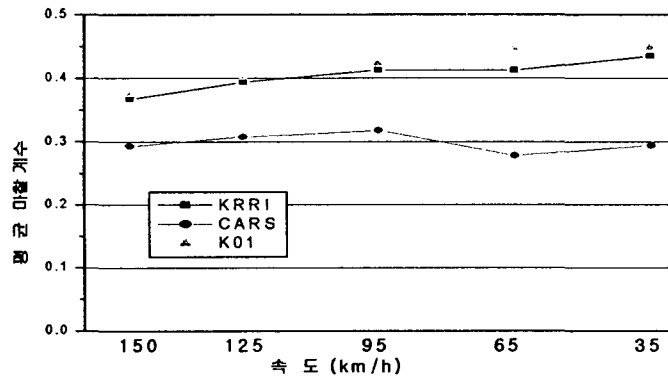
표1. 디스크의 재질과 특성

구 분	기 준	시험결과
인장강도(kg/mm ²)	25 Min	28
경 도(HB)	190 ~ 240	207
항철시험	하중(kg)	1,000Min
	휨(mm)	5.0Min
화학성분(%)	C	3.00 ~ 3.40
	Si	1.70 ~ 2.20
	Mn	0.60 ~ 0.90
	P	0.07Max
	S	0.12Max
		1,350
		7.4
		3.07
		1.96
		0.74
		0.048
		0.023

3. 평균 마찰계수 시험결과

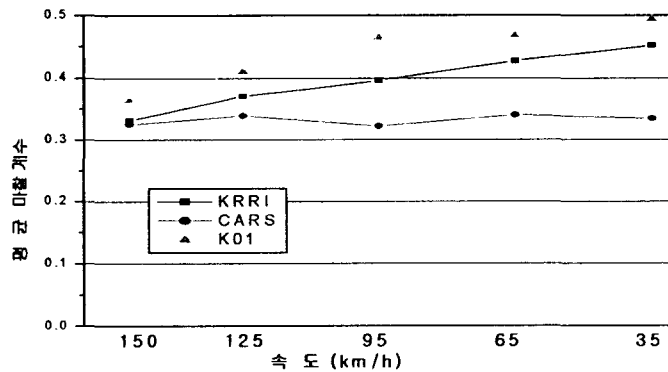
3.1 평균마찰계수 제품(I)

구 분	K R R I	C A R S	K01
150km/h	0.363	0.319	0.381
	0.366	0.335	0.383
	0.367	0.293	0.374
125km/h	0.386	0.302	0.396
	0.399	0.327	0.418
	0.383	0.312	0.405
	0.394	0.308	0.401
95km/h	0.394	0.321	0.425
	0.410	0.318	0.402
	0.408	0.324	0.449
	0.413	0.318	0.425
65km/h	0.412	0.326	0.422
	0.416	0.301	0.431
	0.437	0.300	0.460
	0.437	0.294	0.441
	0.413	0.278	0.447
35km/h	0.445	0.314	0.443
	0.452	0.300	0.496
	0.430	0.293	0.427
	0.435	0.294	0.449



3.2 평균마찰계수 (제품 II)

구분	KRR1	CARS	K01
150km/h	0.326	0.360	0.346
	0.327	0.337	0.346
	0.331	0.325	0.364
125km/h	0.361	0.353	0.386
	0.361	0.358	0.393
	0.355	0.333	0.404
	0.370	0.339	0.410
95km/h	0.391	0.347	0.451
	0.400	0.348	0.423
	0.405	0.347	0.450
	0.396	0.322	0.464
65km/h	0.399	0.331	0.456
	0.424	0.332	0.453
	0.417	0.333	0.469
	0.424	0.339	0.498
	0.426	0.340	0.467
35km/h	0.467	0.340	0.464
	0.452	0.348	0.501
	0.446	0.334	0.474
	0.451	0.334	0.494



4. 시험결과에 대한 검정

시험결과에 대한 적정성을 검토하기 위한 방법은 KS A 0004 시험/분석 허용차 통칙에 의하여 통계적으로 분석후 검정을 실시하였다. 이를 위해서는 많은 수의 시험소가 필요하나, 본 제동시험기는 고가의 시험시설로 보유 기관이 세계적으로도 적고 시험 기간도 장기간 소요된다. 따라서 CRAS의 시험결과와 국내 타 기관의 시험결과도 함께 비교해서 그 적정성에 대한 검정을 실시하였다.

4.1 검정 조건

가. 참가 시험소 : 3개소

나. 결과 검정 방법 : KS A 0004 : 1997 (분석·시험의 허용차 통칙), 불확도 95%

4.2 비교검토 결과

4.2.1 제품 I의 평균마찰계수

1) 150km/h 평균마찰계수의 결과 검정

가) 평균마찰계수 시험결과

구분	K R R I	C A R S	K01
측정값	0.363	0.319	0.381
	0.366	0.335	0.383
	0.367	0.293	0.374
합계 (T _i)	1.096	0.947	1.138
T _i ² /n	0.400405	0.298936	0.431681
평균	0.36533	0.315667	0.379333

나) 각 시험소의 정밀도의 일치성 검정(Cochran 방법)

구분	K R R I	C A R S	K01
각 분산	0.133471	0.099945	0.143909
분산의 총합계	0.464582	0.464582	0.464582
c 통계량	0.287294	0.215129	0.30976
C = (4,3;0.05)	0.768	0.768	0.768

주) c) C(4,3;0.05)를 만족하지 않으므로 모든 측정결과가 등분산이라고 판단함.

다) 시험소간 측정값의 평균값에 대한 이상값 검정(Grubbs의 방법)

구분	K R R I	C A R S	K01
최대값	0.367	0.335	0.383
최소값	0.363	0.293	0.374
전체의 평균	0.338917	0.338917	0.338917
전체의 분산	0.001397	0.001397	0.001397
T 통계량 (최대값)	0.751268	0.104776	1.179291
T 통계량 (최소값)	0.644263	1.228335	0.938528
G=(3;0.05)	1.153	1.153	1.153

주) 최대값 및 최소값에 대하여 T) G(3;0.05)를 만족하는 값은 없으므로 모든 측정결과가 이상값이 아니라고 판단함.

2) 65km/h 평균마찰계수의 결과 검정

가) 결과정리

구분	K R R I	C A R S	K01
측정값	0.412	0.326	0.422
	0.416	0.301	0.431
	0.437	0.300	0.460
	0.437	0.294	0.441
	0.413	0.278	0.447
합계 (T _i)	2.115	1.499	2.201
T _i ² /n	0.894645	0.4494	0.96888
평균	0.423	0.2998	0.4402

나) 각 시험소의 정밀도의 일치성 검정 (Cochran 방법)

구 분	K R R I	C A R S	K01
각 분산	0.000165	0.000299	0.000214
분산의 총합계	0.000786	0.000786	0.000786
c 통계량	0.210533	0.380613	0.271848
C = (4.5;0.05)	0.629	0.629	0.629

주) c) C(4.5;0.05)를 만족하지 않으므로 모든 측정결과가 등분산이라고 판단함.

다) 시험소간 측정값의 평균값에 대한 이상값 검정(Grubbs의 방법)

구 분	K R R I	C A R S	K01
최대값	0.437	0.326	0.460
최소값	0.412	0.278	0.422
전체의 평균	0.37455	0.37455	0.37455
전체의 분산	0.003795	0.003795	0.003795
T 통계량 (최대값)	1.01374	0.788104	1.387095
T 통계량 (최소값)	0.607919	1.567279	0.770248
G=(5;0.05)	1.672	1.672	1.672

주) 최대값 및 최소값에 대하여 T) G(5;0.05)를 만족하는 값은 없으므로 모든 측정결과가 이상값이 아니라고 판단함.

4.2.2 제품 II의 평균마찰계수

1) 150km/h 평균마찰계수의 결과 검정

가) 평균마찰계수 시험결과

구 분	K R R I	C A R S	K01
측정값	0.326	0.360	0.346
	0.327	0.337	0.346
	0.331	0.325	0.364
합계 (T _i)	0.984	1.022	1.056
T _i ² /n	0.322752	0.348161	0.371712
평균	0.328	0.340667	0.352

나) 각 시험소의 정밀도의 일치성 검정 (Cochran 방법)

구 분	K R R I	C A R S	K01
각 분산	7.0×10 ⁻⁶	0.000316	0.000108
분산의 총합계	0.000438	0.000438	0.000438
c 통계량	0.015994	0.722772	0.246763
C = (4.3;0.05)	0.768	0.768	0.768

주) c) C(4.3;0.05)를 만족하지 않으므로 모든 측정결과가 등분산이라고 판단함.

다) 시험소간 측정값의 평균값에 대한 이상값 검정(Grubbs의 방법)

구 분	K R R I	C A R S	K01
최대값	0.331	0.337	0.364
최소값	0.326	0.325	0.346
전체의 평균	0.323	0.323	0.323
전체의 분산	0.001129	0.001129	0.001129
T 통계량 (최대값)	0.238091	1.101171	1.220216
T 통계량 (최소값)	0.089284	0.059523	0.684512
G=(3;0.05)	1.153	1.153	1.153

주) 최대값 및 최소값에 대하여 T) G(3;0.05)를 만족하는 값, K01 T 통계량 (최대값)과 K02 T 통계량(최대값,최소값)이므로 이상값으로 판단함.

2) 65km/h 평균마찰계수의 결과 검정

가) 결과정리

구 분	K R R I	C A R S	KO1
측정값	0.399	0.331	0.456
	0.424	0.332	0.453
	0.417	0.333	0.469
	0.424	0.339	0.498
	0.426	0.340	0.467
합계 (T _i)	2.09	1.675	2.343
T _i ² /n	0.87362	0.561125	1.09793
평균	0.418	0.335	0.4686

나) 각 시험소의 정밀도의 일치성 검정 (Cochran 방법)

구 분	K R R I	C A R S	KO1
각 분산	0.000125	1.750×10 ⁻⁵	0.000317
분산의 총합계	0.000616	0.000616	0.000616
c 통계량	0.202275	0.028432	0.515516
C = (4.5;0.05)	0.629	0.629	0.629

주) c) C(4.5;0.05)를 만족하지 않으므로 모든 측정결과가 등분산이라고 판단함.

다) 시험소간 측정값의 평균값에 대한 이상값 검정(Grubbs의 방법)

구 분	K R R I	C A R S	KO1
최대값	0.426	0.340	0.498
최소값	0.399	0.331	0.453
전체의 평균	0.38535	0.38535	0.38535
전체의 분산	0.004032	0.004032	0.004032
T 통계량 (최대값)	0.640177	0.714195	1.774071
T 통계량 (최소값)	0.214967	0.855932	1.065387
G=(5;0.05)	1.672	1.672	1.672

주) 최대값 및 최소값에 대하여 T) G(5;0.05)를 만족하는 값, KO1 T 통계량 (최대값)이므로 이상값으로 판단함.

5. 결론 및 향후 추진 계획

제동라이닝에 대한 비교시험 결과를 KS A 0004 "분석·시험의 허용차 통칙"에 따라 각각에 대하여 검정을 실시한 결과, 시험결과와 정밀도에서는 일치성이 검정되었으나 측정값의 평균값에 대해서는 일부분에서 이상치가 발생하였다.

순간마찰계수 및 평균마찰계수 시험결과 KRRI 와 KO1 는 유사한 결과를 나타내고 있으나 CARS와 약 0.03~0.07 정도의 차이를 나타내고 있어 시험 방법 또는 보유 시험기에 다소의 차이에서 나타난 현상으로 판단할 수 있다. 이는 온도측정 위치가 KRRI의 경우 디스크의 10mm 내외의 지점에서 측정하였으나 CARS에서는 라이닝의 온도를 직접 센싱하는 방법을 사용하므로 이로 인하여 마찰계수의 시험결과에 많은 영향을 미친 것으로 판단되므로 향후 시험시에는 이를 반영하여 하고자 한다. 이러한 추정은 라이닝의 마찰계수는 온도가 상승시 저하되는 경향이 있으므로 라이닝 및 차륜의 열적 조건을 고려하면 합성체(레진 포함) 라이닝에서는 차륜보다 온도가 적게 상승되고 급격히 저하되는 경향이 있으므로 급회 시험결과는 온도 측정 개소에 따른 영향으로 추정된다.

마찰계수의 변화 요인은 냉각조건(풍량)에 따라서도 차이가 발생할 수 있다. 이러한 마찰재의 냉각 속도는 제동시험시 풍량과 형식(흡입, 배출)에 따라 영향이 미치므로 향후 시험시에는 이러한 조건을 동일한 조건으로 시험함이 바람직하다. 따라서 시험결과와 신뢰성과 적합성을 평가하기 위하여 온도 측정 개소에 대한 명확한 정의가 요구되며 규격 제정시에도 직접적인 고려 대상이 되어야 할 것으로 판단된다.

그러므로 본 시험을 바탕으로 향후, 마찰재 시험시 시험소간 상이한 온도측정 개소 및 냉각조건과 시험대(일체형, 분리형)등 에 대한 시험조건과 환경을 고려하여 시험방법을 마련하고 지속적인 비교 숙련도 시험을 수행하여 얻어진 자료를 토대로 하여 표준절차서를 개발하고, 시험기술의 향상에 기여하고자 한다.