

고속철도차량용 제륵자의 마찰성능 비교시험 연구

이진호*, 김상헌*, 박진규*, 강지성*, 남상철**

*한국산업기술시험원 철도부품평가센터

**㈜홍성브레이크

e-mail: jh0710@ktl.re.kr

A Study on the Comparative Test of Friction Performance of High-Speed train Brake Block

Jin-Ho Lee*, Sang-Hun Kim*, Jin-kyu Park*, Ji-Sung Kang*, Sang-Cheol Nam**

*Dept. of System Verification, Korea Testing Laboratory

**Hong Sung Brake

요 약

철도기술연구사업을 통해 기술 프로세스를 적용함으로써 국산화 기술개발을 수행하는 기간 동안 발생하는 사용자와 이해관계자의 요구사항을 지속적으로 분석하고 정의하여 기능 할당과 설계, 제작시험, 통합을 통해 기능과 성능을 검증함으로써 사업 전반의 위험을 감소시키고 소요 비용 및 연구개발 일정을 단축하는 효과를 얻고자 한다. 본 연구에서는 국산화 기술개발 대상이 해외제품과 동등한 마찰성능을 확보하고 있음을 마찰성능 비교시험을 통해 입증하고 그 결과를 항목별로 비교 분석하여 국산화 기술개발 대상의 마찰성능과 품질관리 대상 요소를 확인하고자 한다.

1. 서론

철도기술연구사업의 수행에 있어서 사용자와 이해관계자 간의 요구사항을 모두 충족시키도록 하는 체계적인 기술 프로세스의 적용은 사업의 성공을 위해 필수적이다. 국산화 기술개발 대상의 복잡화와 다양화에 따라 다양한 지원 요소 및 수명주기 관점을 고려한 적합성검증 연구의 중요성이 부각되고 있으며 이를 전체적으로 반영한 체계적인 사고의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 복잡하고 다분야적인 철도기술연구사업의 수행에 기술 프로세스를 적용함으로써 국산화 기술개발을 수행하는 기간 동안 발생하는 사용자와 이해관계자의 요구사항을 지속적으로 분석하고 정의하여 기능 할당과 설계, 제작시험, 통합을 통해 기능과 성능을 검증함으로써 사업 전반의 위험을 감소시키고 소요 비용 및 연구개발 일정을 단축하는 효과를 얻고자 한다. 본 연구에서는 국산화 기술개발 대상이 해외제품과 동등한 마찰성능을 확보하고 있음을 마찰성능 비교시험(이하 압부력 조건별 제동 시험이라 한다)을 통해 입증하고자 한다. 압부력 조건별 제동 시험은 국내 철도용품 중소기업에서 보유한 시험장비를 활용하여 동일한 압부력 조건별 제동시험을 실시하고 그 결과를 항목별로 비교 분석한 것이다. 본 연구를 통해 국산화 기술개발 대상의 마찰성능과 품질관리 대상 요소를 확인할 수 있었으며 향후 마찰재의 배합 설계에 이 연구의 결과가 반영될 예정이다.

2. 시험 대상

국내에서 운용중인 고속철도차량은 10량 1편성을 기본으로 중련 및 복합 운행이 가능하다. 이 고속철도차량의 제동시스템은 전기지령식 제어로 자동적으로 전기제동과 공기제동이 블렌딩(Blending) 되고 제동작용은 동력대차의 전기제동, 객차대차의 디스크 제동, 동력대차의 담면 제동 순으로 제동작용한다. 여기에서 압부력 조건별 제동시험의 대상은 동력대차의 제동장치에 장착되는 제륵자이다. 제륵자는 제동실린더에서 발생된 공기압력이 제동실린더의 피스톤을 작동시켜 제동레버에 의해 차륵에 접촉하게 된다. 그리고 고속철도차량이 갖는 운동에너지를 열에너지로 변환하여 제동의 목적을 달성하게 해준다. 이외 제륵자의 경우 해외제품을 전량 수입하여 사용하고 있기 때문에 유지 보수 측면으로 운영기관에 많은 금액적인 부담을 주고 있다. 이에 따라 본 철도기술연구사업을 통해 제륵자에 대한 국산화 기술개발을 하려 한다. 압부력 조건별 제동시험에 활용된 제륵자의 제원 정보는 표 1과 같다.

[표 1] 제륵자 제원 정보

구분	시료 1	시료 2	비고
제작회사	기존	국산화 개발	동등 형식 제품
평균마찰계수	0.250 ± 15 %	0.250 ± 15 %	-
허용온도	400 °C 이하	400 °C 이하	-
순간최고온도	600 °C 이하	600 °C 이하	-

3. 시험조건 및 방법

압부력 조건별 제동시험의 조건과 방법은 이해관계자가 작성한 부품설명서(문서번호 : REDE103174) 4.2.2항 시험방법에 수록된 기준을 준용하고 제동시험을 실시해야 한다. 제동시험에 적용되는 시험 프로그램과 제동질량은 표 2, 3, 4와 같다.

[표 2] 시험 프로그램, 압부력 조건 - 5.5 kN

순서 [No]	부하 [ton]	속도 [km/h]	환경 조건
1	2	50	Dry
2	2	50	Dry
...	이하 생략		
36	4.5 ⁽³⁾	200	Dry
37	4.5 ⁽³⁾	200	Dry
*부하조건 : (1) 250 km/h 동등한 제동질량 부여 (2) 270 km/h 동등한 제동질량 부여 (3) 300 km/h 동등한 제동질량 부여			

[표 3] 시험 프로그램, 압부력 조건 - 2.8 kN

순서 [No]	부하 [ton]	속도 [km/h]	환경 조건
1	2	120	Dry
2	2	120	Dry
...	이하 생략		
17	4.5 ⁽³⁾	200	Dry
18	4.5 ⁽³⁾	200	Dry
*부하조건 : (1) 250 km/h 동등한 제동질량 부여 (2) 270 km/h 동등한 제동질량 부여 (3) 300 km/h 동등한 제동질량 부여			

[표 4] 시험 프로그램, 압부력 조건 - 8.5 kN

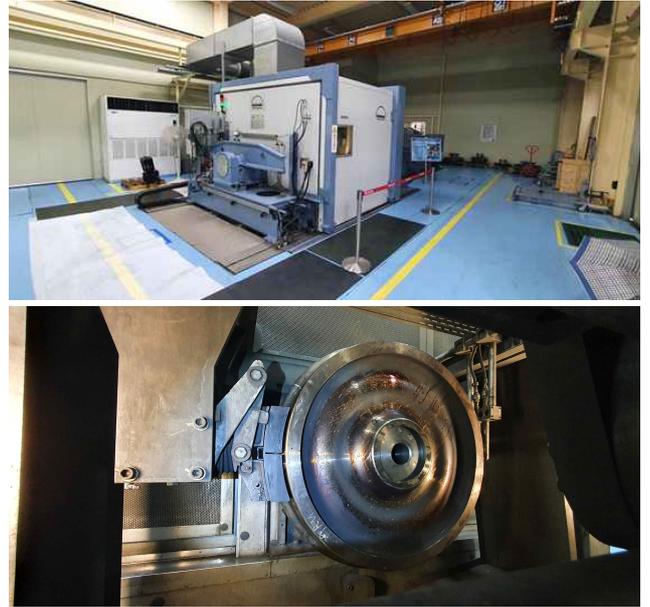
순서 [No]	부하 [ton]	속도 [km/h]	환경 조건
1	2	120	Dry
2	2	120	Dry
...	이하 생략		
53	2	200	Dry
54	2	200	Dry
*부하조건 : (1) 250 km/h 동등한 제동질량 부여 (2) 270 km/h 동등한 제동질량 부여 (3) 300 km/h 동등한 제동질량 부여			

이의 철도용품 공사규격서(문서번호 : KRCS B346-04) 4.2.2 항 시험방법에 수록된 기준을 준용하여 마모량을 계산해야 한다. 마모량 계산에 활용되는 측정값은 밀도와 중량 등이 있다.

4. 시험장비 형상 및 제원

국내 철도용품 중소기업에서 보유하고 있는 시험장비는 건식/습식조건의 시험 프로그램을 구동할 수 있는 국내 유일의 350

km/h 급 다이너미터이다. 시험장비의 제원은 대외비임에 따라 정보 제공에서 제외한다. 압부력 조건별 제동시험에 활용되는 시험장비의 형상과 제원자가 설치된 상태는 그림 1과 같다.



[그림 1] 시험장비의 형상과 제원자 설치 현황

5. 압부력 조건별 제동시험 측정 항목

국내 철도용품 중소기업에서 보유하고 있는 시험장비로부터 측정 가능한 항목은 표 5와 같다. 평균마찰계수, 순간마찰계수, 차륜에서 발생된 온도(평균온도, 최대온도), 제동별 최대 제동에 너지 등을 항목별로 비교하고 분석하려 한다.

[표 5] 시험장비의 프로그램으로부터 측정 가능한 항목

기호	기호 설명 및 단위 정보
v_0	Set speed (km/h)
v_1	Initial speed (km/h)
v_2	Speed at 95 % set point of brake force (km/h)
v_e	Final speed (km/h)
F_B	Clamp force per disc (kN)
s_1/s_2	Brake distance at v_1/v_2 (m)
t_1/t_2	Brake time at v_1/v_2 (s)
a_1/a_2	Average deceleration while t_1 (m/s^2)
μ_m	Average coefficient of friction (-)
μ_{a_min}	Min. value of instantaneous coefficient of friction (-)
μ_{a_max}	Max. value of instantaneous coefficient of friction (-)
T_0	Average initial temperature ($^{\circ}C$)
T_m	Average temperature ($^{\circ}C$)
T_{max}	Max. temperature ($^{\circ}C$)
E	Brake energy (MJ)
Sum E	Summarize of brake energy (MJ)

6. 압부력 조건별 제동시험 결과 정리

압부력 조건별 제동시험 109회를 시료별로 수행하였다. 시험장 비로부터 측정된 평균마찰계수, 순간마찰계수, 차륜에서 발생된 온도(평균온도, 최대온도), 제동별 최대 제동에너지 등은 6.1항에서부터 6.6항까지 항목별로 각각 비교하였다.

6.1 평균마찰계수 비교

[표 6] 설정 속도 및 압부력 조건에 따른 평균마찰계수 비교

구분 순서	v ₀ [km/h]	F _B [kN]	시료 1	시료 2	환경 조건
			μ_m	μ_m	
1	50.00	6.00	0.338	0.353	Dry
2	50.00	6.00	0.328	0.407	Dry
3	50.00	6.00	0.262	0.293	Wet
...	이하 생략				
107	200.00	9.00	0.300	0.243	Dry
108	200.00	9.00	0.329	0.242	Dry
109	200.00	9.00	0.312	0.246	Dry

6.2 순간마찰계수 비교

[표 7] 설정 속도 및 압부력 조건에 따른 순간마찰계수 비교

구분 순서	v ₀ [km/h]	F _B [kN]	시료 1		시료 2		환경 조건
			$\mu_{a,min}$	$\mu_{a,max}$	$\mu_{a,min}$	$\mu_{a,max}$	
1	50.00	6.00	0.290	0.500	0.300	0.440	Dry
2	50.00	6.00	0.280	0.430	0.360	0.510	Dry
3	50.00	6.00	0.220	0.330	0.250	0.430	Wet
...	이하 생략						
107	200.00	9.00	0.210	0.550	0.200	0.360	Dry
108	200.00	9.00	0.290	0.540	0.210	0.380	Dry
109	200.00	9.00	0.290	0.500	0.220	0.400	Dry

6.3 차륜에 발생된 온도 비교

[표 8] 설정 속도 및 압부력 조건에 따른 차륜에서 발생된 온도 비교

구분 순서	v ₀ [km/h]	F _B [kN]	시료 1		시료 2		환경 조건
			T _m [°C]	T _{max} [°C]	T _m [°C]	T _{max} [°C]	
1	50.00	6.00	51.00	53.00	70.00	73.00	Dry
2	50.00	6.00	53.00	55.00	73.00	74.00	Dry
3	50.00	6.00	37.00	38.00	41.00	42.00	Wet
...	이하 생략						
107	200.00	9.00	168.00	189.00	129.00	138.00	Dry
108	200.00	9.00	197.00	207.00	205.00	248.00	Dry
109	200.00	9.00	137.00	141.00	171.00	202.00	Dry

6.4 제동별 최대 제동에너지 비교

[표 9] 설정 속도 및 압부력 조건에 따른 제동별 최대 제동에너지 비교

구분 순서	v ₀ [km/h]	F _B [kN]	시료 1	시료 2	환경 조건
			E(MJ)	E(MJ)	
1	50.00	6.00	0.192	0.192	Dry
2	50.00	6.00	0.192	0.192	Dry
3	50.00	6.00	0.192	0.192	Wet
...	이하 생략				
107	200.00	9.00	3.084	3.084	Dry
108	200.00	9.00	3.085	3.084	Dry
109	200.00	9.00	3.084	3.084	Dry

6.5 예비제동 후 본 제동시험 후 중량 비교



[그림 2] 예비제동 후 중량

[그림 3] 제동시험 후 중량

[표 10] 중량 측정 결과, 시료 1

구분	예비제동 후 [g]	제동시험 후 [g]	중량 차이 [g]
중량	3 940.2	3 375.4	565.8



[그림 4] 예비제동 후 중량

[그림 5] 제동시험 후 중량

[표 11] 중량 측정 결과, 시료 2

구분	예비제동 후 [g]	제동시험 후 [g]	중량 차이 [g]
중량	3 797.5	3 666.7	130.8

6.6 마모량 비교

철도용품 공사규격서(문서번호 : KRCS B346-04) 4.2.2항 시험방법에 수록된 기준을 준용하여 마모량을 계산한다. 밀도는 시험성적서(문서번호 : 20-05603, 20-07674) 결과 값을 활용하고 최대 제동에너지와 중량은 압부력 조건별 제동시험을 통해 측정 및 중량 측정된 결과 값을 활용하여 마모량 산술식에 적용한다. 계산된 마모량은 표 12와 같다.

[표 12] 마모량 비교

구분	산술식 풀이
시료 1	$\delta = \frac{565.8}{27731.25 \times 0.002524} = 8.084 \text{ mm}$
시료 2	$\delta = \frac{130.8}{27731.25 \times 0.002654} = 1.777 \text{ mm}$

6. 압부력 조건별 제동시험 결론

압부력 조건별 제동시험 109회를 시료별로 수행한 결과 국산화 기술개발 대상은 해외제품과 동등한 마찰특성 및 기타특성을 확보한 것으로 분석된다(표 13, 14, 15 확인). 하지만 압부력 조건별 제동시험 109회의 결과를 그래프로써 분석해보면 국산화 기술개발 대상의 마찰특성이 해외제품보다 일관성이 부족한 것을 확인할 수 있다(그림 6, 7 확인). 국산화 기술개발 대상의 경우 향후 마찰재 배합 설계(원재료 함량)에 대한 보안을 통해 해외제품과 동등한 마찰특성의 일관성을 확보할 필요가 있다.

[표 13] 평균마찰계수의 전체 평균 정리

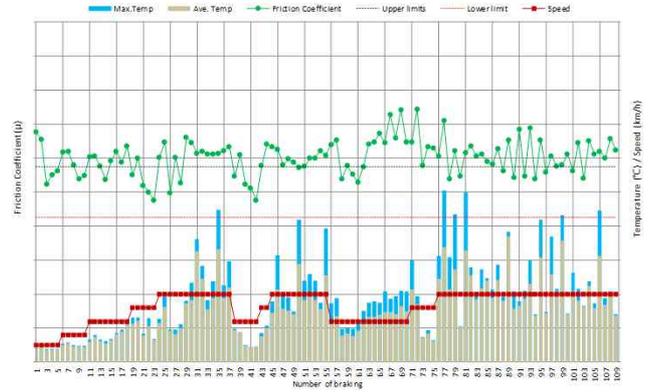
구분	시료 1	시료 2
	μ_m	μ_m
평균마찰계수	0.301	0.300

[표 14] 평균마찰계수 및 순간마찰계수의 전체 평균 정리

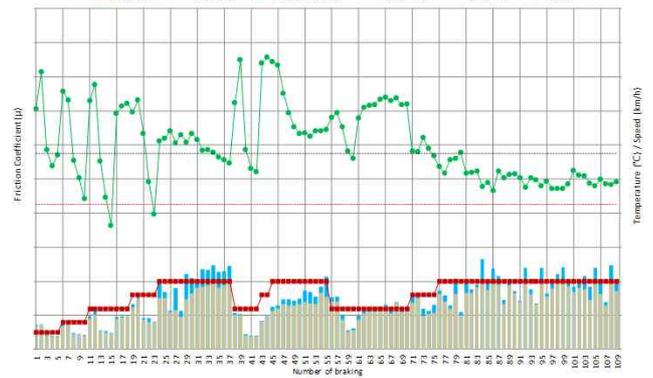
구분		시료 1			시료 2		
조건별		μ_m	μ_{a_min}	μ_{a_max}	μ_m	μ_{a_min}	μ_{a_max}
5.5	50.00	0.297	0.254	0.388	0.321	0.272	0.440
	80.00	0.290	0.252	0.372	0.299	0.258	0.458
	120.00	0.297	0.251	0.370	0.312	0.266	0.468
	160.00	0.265	0.218	0.396	0.295	0.214	0.486
	200.00	0.304	0.252	0.479	0.299	0.254	0.455
2.8	120.00	0.267	0.216	0.496	0.321	0.266	0.544
	160.00	0.305	0.250	0.565	0.425	0.390	0.575
	200.00	0.300	0.221	0.586	0.346	0.289	0.636
8.5	120.00	0.315	0.277	0.393	0.346	0.316	0.426
	160.00	0.323	0.244	0.476	0.294	0.264	0.416
	200.00	0.303	0.262	0.470	0.252	0.215	0.392

[표 15] 압부력 조건별 제동시험에 따른 항목별 결과

구분	시료 1	시료 2
항목		
최대 제동에너지	6.936 MJ	6.936 MJ
순간최고온도	506.00 °C	265.00 °C
마모량	8.084 mm	1.777 mm



[그림 6] 압부력 조건별 제동시험 결과 그래프, 시료 1



[그림 7] 압부력 조건별 제동시험 결과 그래프, 시료 2

사사

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 철도기술연구사업(과제명 : 고속철도 부품장치(제동패드/슈, 감속기 및 밸런서) 국산화 기술개발, 20RTRP-B149104-03)의 지원으로 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] UIC 541-4:2010, Brakes-Brakes with composite brake blocks-General conditions for certification of composite brake blocks
- [2] UIC 548:2016, Brakes-Requirements of friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocks
- [3] REDE103174, KTX-II 고속차량 100량 부품설명서
- [4] KRCS B346 04, 철도용품 공사규격서
- [5] KRCS 1372 01, 철도용품 특수설명서