

답면 브레이크 슈의 제동성능 평가 기법

최경진[†] · 이희성^{*‡}

한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부
*서울산업대 철도전문대학원 철도차량시스템공학과

Evaluation Technology for Brake Performance of Tread Brake Shoe

Kyung-Jin Choi[†] and Hisung Lee^{*‡}

Headquarters of Railroad System Safety, Korea Railroad Research Institute
*Graduate School of Railroad, Seoul National University of Technology

Abstract – In tread brake of freight cars, brake force is produced by the friction between the wheel and the brake shoe. Friction coefficients associated with the brake power, weight variation and brake shoe types should be sensitively treated as the design parameters. The conditions of the car, empty and loaded, should also be taken into consideration in brake force design and the control of brake force has some limitations in terms of the brake system design so that the brake friction materials selection should be considered as important measures to solve that difficulties. Friction characteristics of brake friction materials should remain within the range of maximum and minimum value and the friction performance should remain stable regardless of brake time and temperature. This study presented an experimental evaluation method to secure optimum brake performance by keeping safe brake effect and brake distance by the friction coefficient of the brake shoe of the freight cars.

Key words – freight car, brake shoe, tread, friction coefficient.

1. 서 론

철도화물 수송은 많은 양을 신속하게 안전하게 운반하여야 하므로, 화차의 제동력 확보를 위한 제동제어 기술이 매우 중요하다. 제동제어의 역할은 운송 중에 비상상황이 발생하면 열차를 안전하게 정지시키기 위한 것이다. 화차의 제동방식은 공기지령제어에 의하여 브레이크 슈를 차륜 답면에 밀착시키는 답면제동(tread brake) 방식이며, 제동관(brake pipe)의 공기압력을 이용하여 제어밸브(control valve)를 통해 압부력(brake power)이 형성되고, 차륜의 원주를 편압, 양압으로 밀착하여 마찰력을 주게 된다. 편압을 가하면 윤축의 운동이 불안정하므로 제동 압부력을 높이는데 한계가 있고, 양압의

경우에도 차륜과 레일의 점착력보다 작아야 하므로 제동력은 제한적이다.

화차용 브레이크 슈의 종류는 주철, 수지, 소결재 등이 있으나 최근 수지계가 증가하는 추세에 있으므로 수지계의 마찰특성과 제동에 미치는 영향에 대하여 성능시험 평가기술을 확보할 필요가 있다[1]. 수지는 석면계에서 비석면계로 전환한 후에 금속섬유나 금속분말을 배합한 합성계가 계속 개발되고 있다. 합성계는 내마모성이 좋고 소음에도 우수하며 흑연류, 무기질, 윤활제 및 금속을 다양하게 배합하므로써 마찰성능을 높일 수 있는 특징이 있다.

답면 마찰제동의 경우에 최적 제동력은 점착력의 변수인 차량중량에 의해 적용범위가 달라지고, 공기제어 압력, 제동통 크기, 기초제동장치, 레버비 등에 의한 압부력 변화가 제동력에 영향을 미치며, 마찰재료 특성, 제동초속도에 의한 마찰계수 변화, 제동열 발생 및 냉

[†]주저자 : kjchoi@krii.re.kr

[‡]책임저자 : hslee@snu.ac.kr

각 구조와 수명 평가에 의한 경제성 등 종합 평가연구가 필요하다[2,3].

본 연구는 화차 답면용 브레이크 슈의 마찰계수가 제동효과로서 제동거리에 미치는 영향인자를 분석하고, 마찰재료의 제반시험 및 평가방법을 개발하여 제동성능 평가기법을 도출하는 데 그 목적이 있다.

2. 화차 제동의 영향 인자 고찰

화물수송차량의 상업운행속도는 현재 90 km/h이나, 앞으로 설계속도 120 km/h로 주행하는 고속화차를 개발 중에 있다. 화물수송차량의 제동성능 향상을 위해서 고려해야 할 사항으로는 우선 화물중량의 범위(0~500 kN)에 따라 제동성능이 크게 변하기 때문에 열차 비상제동거리를 목표 기준으로 정하여 제동력과 접촉력을 비교 검토하여야 한다. 또한, 차륜 답면에 직접 제동하므로 발생하는 마찰열을 감소시키는 구조 및 재료특성을 가져야 한다.

Table 1은 화차의 제동성능 제원을 나타내며 압부력에 영향을 미치는 인자로 대차 레버비, 제동통 직경과 수량 및 공기압력(변동제어), 공주시간이 있으며, 주행 저항도 작지만 영향인자에 포함된다. 평균마찰계수는 철도 표준규격에 제시되어 있으며, 차량의 제작사양에서 평균마찰계수 0.13 이상을 요구하면 표준규격과 불일치한다. 브레이크 슈의 종류별 특징을 살펴보면, 주철계는 광범위하게 사용되고 있으나 제동시 마찰 불꽃에 의한 선로 연변의 화재 발생의 우려가 있어 사용이 점차 감소하고 있다. 주철계의 순간마찰계수 특성은 Fig. 1과 같이 마찰계수가 높지 않고 정지직전에 급격히 높아지므로 정지직전에 과제동의 슬립에 의한 답면 손상의 우려가 많다. 레진계는 제동초속도 90 km/h 이하의 유조차, 위험물 수송용 일부 화차에 마찰불꽃방사용으로 활용되고 있으나 열적 영향의 문제가 있으며,

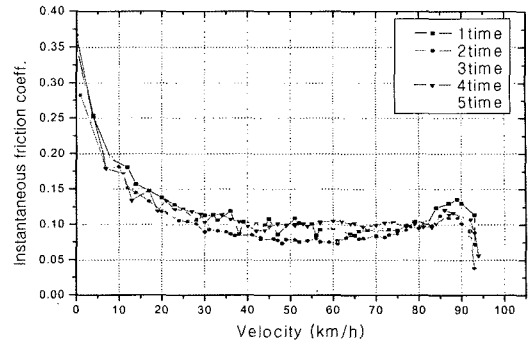


Fig. 1. Instantaneous friction coefficient of cast iron brake shoe.

합성계는 고속 화차용으로 제동초속도 110 km/h의 마찰성능으로 설계되었으나 제동성능의 검토가 필요하다. 마찰면의 접촉면적을 보면 주철계가 가장 크고, 레진계의 경우는 중앙에 홈이 있어 가장 작게 나타나고 있다.

브레이크 슈의 압부력은 식(1), 제동력은 식(2), 비상제동거리는 식(3)에 Table 1의 인자를 적용하여 계산하였다.

$$Pt = \left[\frac{\pi \times d^2}{4} \cdot (p-r) - r2 - r3 \right] \times N \times L \times \eta \times 2 \quad (1)$$

$$F_t = \mu \times P_t \quad (2)$$

$$S = S_1 + S_2 = \frac{V}{3.6} t + \frac{4.17V^2}{F_t / W + R_L} \quad (3)$$

여기서, P_t 는 슈 압부력, F_t 는 제동력, μ 는 평균마찰계수, S 는 열차 비상제동거리를 나타낸다. 열차 비상제동거리의 계산 결과를 속도별로 나타내면 Table 2 및 Fig. 2와 같다. Fig 2에서 보면 비상제동거리가 제동초속도 120 km/h에서 900 m이내이지만 제동초속도 110

Table 1. Braking performance data of the freight cars

Parameters	Spec.	Parameters	Spec.
W(ton)	19~72	μ	0.11±0.02
L(ratio)	4/1.921	t(sec)	2.5~3.5
BC d(cm)	35.56	R_L (kg/Ton)	9.82
N(ea)	2	r(kg/cm ²)	0.35
p(kg/cm ²)	1.6~3.87	r2(kg/f)	204×2

Table 2. Calculation of emergency braking distance for cast iron brake shoe (Diesel locomotive 1 + Freight car 9)

Velocity (km/h)	Favg. (KRS)	Brake cylinder type				Remarks
		K2		P4a		
		EC	LC	EC	LC	
70	0.2142	186	254	203	215	EC(empty car) LC(loaded car)
90	0.1768	344	479	365	386	
110	0.1393	613	865	639	674	

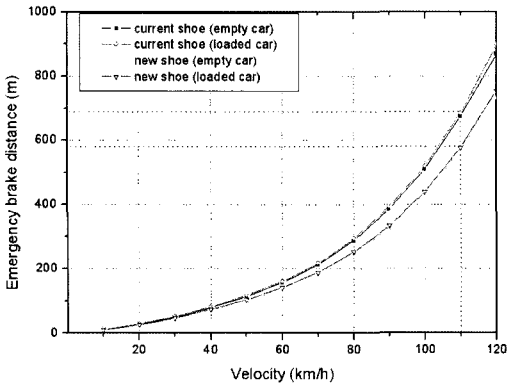


Fig. 2. Calculation results of emergency braking distance of freight car.

km/h에서 600 m에 만족하지 못하고 있다.

압부력을 향상시키는 방안은 Table 1에서 제동통의 공기압력 및 제동통의 단면적을 크게 하여 제동원력을 높이거나 기초제동 레버비를 높게 하는 방법이 있는데 제동시스템 구조를 개량해야 하므로 공간적 제약과 구조변경 비용면에서 불리하고 기술력과 작업기간이 소요되는 단점이 있다.

평균마찰계수의 경우에 제동초속도 120 km/h에서 0.13 이상을 적용하기 위하여 제동초속도 110 km/h에서 적정 마찰계수는 0.150으로 계산된다. 슈의 마찰력을 높이는 방안이 가능하며 기초제동의 구조개량보다 마찰계수를 높이는 방안이 용이하다고 판단된다.

2-2. 점착력에 의한 제동력 설계 검토

제동거리의 목표 수준에서도 제동력은 차륜의 점착력의 범위에 있어야 하므로 제동 초속도 110 km/h에서

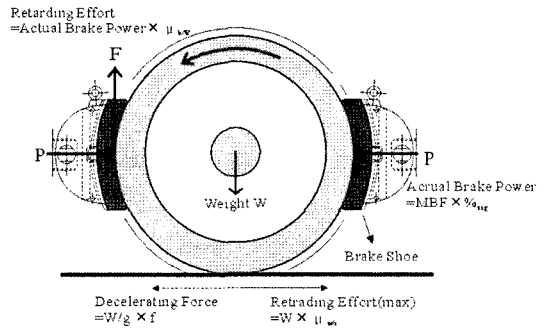


Fig. 3. Relationship between brake force and adhesion force.

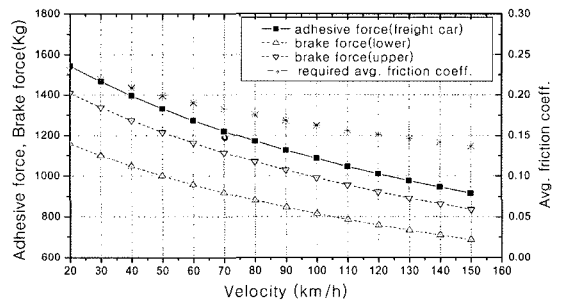


Fig. 4. Variation of braking force, adhesion force and average friction coefficient depending on velocity.

비상제동거리 600 m 이내를 충족하기 위하여 최대 점착력과 제동력의 최대 및 최소값을 구하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. 브레이크 슈의 필요 평균 마찰계수는 110 km/h에서 0.155이다.

2-3. 브레이크 슈의 제동특성 분석

1) 표준규격과 마찰계수의 특성은 Table 3과 같으며,

Table 3. Comparison of standards of resin and composite brake shoes depending on items (KRS)

Item	Resin	Composite
Standard	KRS2242-2059	KRS2240-2489
Initial braking speed	35, 65, 95(km/h), 5 times at each time	35, 65, 95, 110(km/h), 5 times at each time
Average friction coefficient	Average 0.12±0.02(95 km/h) -	Average 0.12±0.02(95 km/h) 0.11±0.02(110 km/h)
Hot spot temperature	10 times braking, 475°C less than	10 times braking, 475°C less than
Compressive strength	500 kg/cm ² more than	60 N/mm ² (MPa) more than
Impact strength	2.0 kg/cm ² more than	3.0 kg/cm ² more than
Wear	0.120 mm less than	0.040 mm less than

Table 4. Comparison of friction coefficient and braking force for domestic and international brake shoe

Favg. (fm, v=120 km/h)							Force	
KNR			UIC		AAR	JIS		(kgf/wheel) empty/loaded
Cast iron	Resin (v=95)	Composite (v=110)	Composite 2.06t<	Composite Jurid	Composite	(v<95)	(v>95)	
0.130	0.10~0.14	0.09~0.13	0.185	0.20~0.26	0.24~0.3	0.06~0.09	0.18~0.30	1,941.0/5,530.2

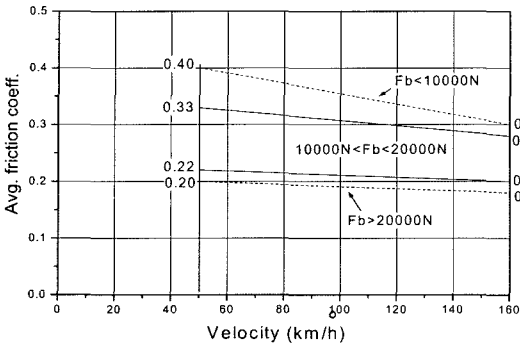


Fig. 5. Average friction coefficients depending on velocity (UIC).

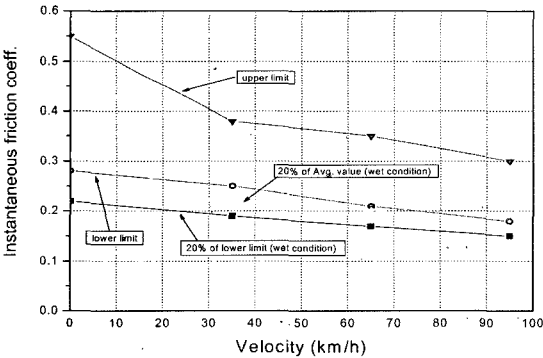


Fig. 6. Instantaneous friction coefficients depending on velocity (JIS).

레진계와 합성계의 차이점은 평균마찰계수는 제동초속도 110 km/h에서 0.09~0.13을 적용하였고, 마모량은 0.120 mm 이하에서 0.040 mm 이하로 1/3 수준으로 감소되었다. Table 4는 국내의 화차용 브레이크 슈 마찰계수 및 제동력을 비교한 내용이다.

Fig. 5는 UIC의 평균 마찰계수 기준이고 압부력에 따라 그 적용범위를 정하고 있으며, Fig. 6은 JIS의 순간 마찰계수 기준을 나타내고 있으며 습윤시에는 20% 낮게 기준을 정하고 있다[4,5].

2) 제동마찰에 의한 열 영향과 온도 기준은 합성계

의 경우에 제동초속도 125 km/h의 마찰온도를 적외선 카메라로 측정된 결과, 중앙부가 최고 585.4°C(제동후 15초후, 평균온도: 172.6°C)까지 발생하며 마찰열 발생점의 주변 온도이므로 변화가 있지만 순간적 주변 온도는 높다. 국내의 규격의 차륜 온도 기준은 300~475°C 이하이고 차륜 담면에서 5~10 mm의 깊이에서 측정하는 방법을 채용하고 있다.

제동시 발생하는 주철제의 불꽃 영향도에 대한 불꽃 시험(spark test)은 AAR Spec. M-926에서 적용하고 있다. 불꽃시험의 기준은 차륜과 16 cm 간격에서 불꽃 감지판(광목천)에 불꽃이 닿지 않아야 하고, 이때의 제동시험조건은 45분 주기로 일정속도 35 km/h와 제동하중을 가해 차륜 온도, 슈의 마모, 압부력 등을 측정하며, 공기의 유동속도는 16~24 km/h로 한다.

3. 브레이크 슈 시험평가

3-1. 실물 제동 실험

3-1-1. 실험의 조건 및 실험장치

실험 조건은 실물 브레이크 슈를 마찰면 유효접촉을 위한 90% 이상의 연마(bedding) 후 시험해야 하며, 슈의 기본형상에 의하여 접촉면적을 측정한다. 상대 차륜은 화차용 탄소강 주강이고, 압부력은 3.0t 양압식 차륜의 초기시험온도는 60°C 이하, 시험속도 및 회수는 35, 65, 95, 125 km/h를 조합하여 5회 평균하여 정리한다. 관성모멘트는 식 $I = M \cdot r^2$ 에 의해 만차 조건은 $170 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 으로 한다. I 는 관성모멘트상당량 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$), M 은 화차 빈차, 만차 중량에서 차륜당 제동 중량(kg), r 는 차륜반경(m)을 나타낸다.

실물 시험기의 평균마찰계수는 평균 감속도로부터 식 $f_m = 0.028 \cdot (W_m / APB \eta) \cdot \beta_m$ 로 산출하며 f_m 는 평균 마찰계수, W_m 는 관성중량(kg), A 는 제동통 유효면적 (cm^2), B 는 제동배율, P 는 제동통 공기압력(km/cm^2), η 는 제동효율, β_m 는 평균감속도(km/h/S)를 나타낸다.

슈의 마모량은 속도대역별 시험전·후의 슈의 중량을 측정된 후에 식 $\delta = \Delta W / (s \cdot \rho)$ 에서 구하고 δ 는 마

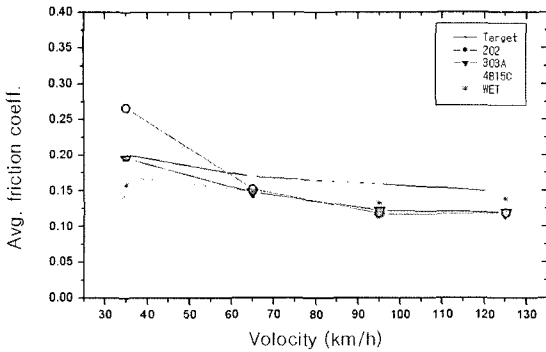


Fig. 7. Average friction coefficients versus velocity depending on various brake shoe specimens.

모량($\times 10^{-3}$ mm), s 는 접촉면적(cm^2), ΔW 는 시험 전·후의 중량차이(g), ρ 는 슈의 밀도(g/mm^3)이다.

3-1-2. 마찰계수

Fig. 7은 브레이크 슈의 실물 제동시험기에서 평균 마찰계수를 시험 평가한 결과이며, 초기 시험품(202)은 저속, 고속에서 목표 범위값 보다 낮거나 높은 결과이지만 안정화 후(303A)에는 저속 35 km/h에서는 목표에 만족하고, 고속에서 약간 높은 경향이다. 습윤 시(303A)의 경우 약 15%정도 낮아지고 있다. Fig. 8은 순간 마찰계수의 시험평가 결과이며, 시험품(303A)의 전속도에서 순간마찰계수의 변화는 크지 않고 안정적인 결과를 나타내고 있다.

시험품(202, 303A)은 국내의 A사에서 제작하였고 마찰면 홈을 2개로 하고, 성형압력을 $58 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 $55 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 로 낮추고, 성형시간을 조절하여 특성을 개선한 것이고, 시험품(4815C)는 외국의 F사에서 제작하였고, 마찰면 홈은 2개이고, 경도, 비중, 압축강도가 국내 시험품보다 낮은 것이 특징으로 국내 화차의 마찰특성

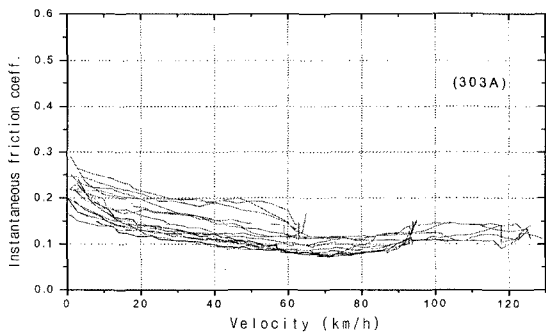


Fig. 8. Instantaneous friction coefficients versus speed depending on specimen 303A.

Table 5. Test results of brake shoe 4815C depending on test parameters

Test parameter	Target spec.	4815C
Specific gravity	1.75-2.00	1.81
Hardness Rockwell(HR _R)	75-100	82,85,87,95
Cross break strength(N/cm ²)	1500≤	2130/2340
Crushing strength(N/cm ²)	2500≤	3780/3640
Modulus of elasticity(N/cm ²)	8500≤	87590/88230
Pull off strength(N/cm ²)	13000≤	17860

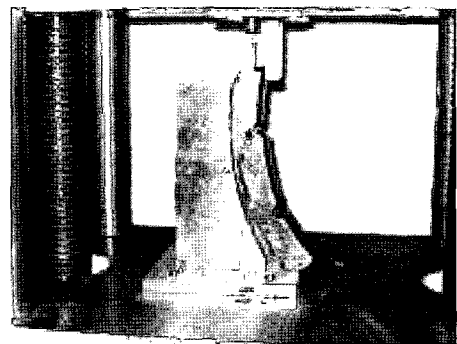


Fig. 9. Pull-off strength test.

을 고려한 것이다.

3-2. 재료 특성시험 평가 및 기준

Table 5는 F4815C 재료 특성시험 평가 결과이며, 목표 기준에 잘 일치하고 있으며 마찰계수 및 사용수명을 고려하여 적용범위를 보완하는 접근이 필요하다. Fig. 9는 박리강도 시험 장면을 보여준다.

3-3. 제동성능 향상을 위한 평가 항목 및 기준

화물 차량의 제동성능을 향상하기 위한 성능시험 주요 항목과 평가 기준(안)에 대하여 실험 및 관련 자료를 통하여 정리하면 Table 6과 같다.

4. 결 론

화물 수송의 안전을 확보하기 위한 제동성능의 향상은 제동력에 영향을 미치는 압부력과 마찰계수를 효과적으로 제어할 수 있어야 한다. 현재 제동 초속도 90 km/h에서 비상제동거리는 600 m이내로 운용하고 있으나, 속도향상 시에는 제동거리가 연장되므로 브레이크

Table 6. Major evaluation parameters and proposed criteria of the brake shoe considering brake performance improvement

Evaluation parameter	Proposed criterion	References
Emergency brake distance(110 Km/h)	600 m less than	Design sheet(V=120 km/h, 900 m)
Average friction coefficients (V=120 Km/h)	0.200±0.03(35 km/h) 0.165±0.02(95 km/h) 0.150±0.02(120 km/h)	KRS 2240-2489(0.11±0.02, V=120 km/h) Mass moment of inertia(170 kg · m · s ²)
Wear(×10 ⁻³ mm)	40×10 ⁻³ mm less than [5 times at each velocity]	3 months more than(JIS & KRS-resin 0.14 mm) 3 times more than existing one (Resin 120×10 ⁻³ mm less than, 15~25 days)
Maximun contact temperature between brake shoe and tread (10 times)	Wheel tread temp. (375°C less than) Shoe temp. (150°C)	KRS 2240-2489(475 less than) UIC 541-4(375 less than), AAR (310 less than) JIS wheel tread-300 less than(surface 10 mm) JIS shoe-300 less than(surface 5~10 mm)
Surface of wheel tread weight(kg)	No thermal crack 4~6 kg	KRS, UIC 541-4 8~10 kg
Flat prevention	Brake force <Adhesive force	Flat phenomenon prevention before stopping depending on velocity

슈를 저마찰, 고마찰로 등급을 정하고, 속도항상 시 제동제어는 고마찰을 적용하도록 개발하여야 한다.

고마찰 슈의 적용 방안은 비용절감 효과가 클 것으로 보이며, 마찰계수를 높이면 일반차량은 압부력을 낮추는 여유를 가질 수 있다. 따라서, 제동초속도 110 km/h에서 비상제동거리 600 m 이내로 유지하기 위하여 접촉력 범위안에서 제동력 기준값을 분석하고 평균마찰계수를 0.155 ± 10%로 하는 방안을 제시하였다.

실물제동의 실험조건과 만차 조건에 대응하기 위한 최대관성모멘트인 170 kg · m · s²로 하고, 평균마찰과 순간마찰 계수의 범위를 평가기준으로 검토하였다. 마찰특성의 신뢰성을 위하여 경도와 마찰제 박리강도, 파열강도 등 시험방법을 제시하였다. 제동시험 시 차륜의 온도 평가기준은 375°C 이하로 하는 것이 차륜의 열크랙 방지에 유용할 것으로 판단된다.

화차의 제동제어는 공기지령 제어방식이므로 열차의 길이에 의한 제어밸브의 응답속도를 후부차량에서 빠르게 할 필요가 있다. 압부력을 높이기 위해 공기제어

압력을 6 kg/cm²를 높이는 방안도 고려해 볼 수 있으나, 향후 국제 교류와 대륙 철도 연결에 대비하여 충분한 연구가 필요하다.

참고 문헌

1. 紺野常雄, “ブレーキクラッチ用ノンアスベスト材の開発動向, トライボロジスト,” 제38권, 제5호, pp. 445-450, 1993
2. 최경진, 이동형, “화차용 브레이크 슈의 제동에 미치는 영향,” 추계철도학회 논문집, 2001. 10.
3. 최경진, 이동형외, “담면 브레이크 슈의 마찰계수와 제동성능향상을 위한 평가기술,” 추계철도학회 논문집, 2003. 10.
4. 日本工業規格, “鐵道車輛用合成制輪子,” JIS E4309, 2001. 6. 27.
5. UIC 541-4 2nd, Brakes with composition brake blocks, 94. 1. 1.
6. 鐵道車輛のブレーキ技術(5), 機械の研究 第49卷 第1号, pp.49-59, 1997.