

# 객차용 Fe계 브레이크 라이닝 개발

최경진 · 이동형

한국철도기술연구원 차량연구본부 차량동력연구팀

## A study on the development of a Fe-based brake lining for Passenger car

Kyung-Jin Choi · Dong-Hyung Lee

Power System & Parts Research Team, KRRI

**Abstract** - This study is to develop a Fe-based disc brake lining with sponge structure for passenger car of 150km/h train and to concept design with 3 groove type for brake disc reducing hot hair-crack and certainly friction coefficient. The developing brake lining would be to presumption of thermal stress Max.5.53kg/mm<sup>2</sup> of the 3 groove type. and It is stable friction coefficient and wear rate on the Full Scale Brake dynamometer. So 3 groove type must be reduced to hot stress between Brake disc and Lining and Friction temperature is reduced about 20°C

**Key Words** - disc brake lining, brake dynamo, field-test, friction coefficient, thermal stress

### 1. 서론

철도차량에 있어서 제동의 역할은 승객과 화물의 안전한 수송과 비상시 열차를 안전하게 정지시키기 위한 것이다. 여기에 사용되는 제동방식은 브레이크 라이닝을 제동디스크에 밀착시키거나 바퀴를 제륜자로 밀착시켜 열차를 멈추게 하는 방식으로 되어 있다. 브레이크 라이닝은 주철, 수지형, 소결재 등의 종류가 있으며 우리나라는 주철과 수지형이 주로 사용되고 있다. 수지형의 경우 초기에 석면계가 사용되어오다 환경오염의 문제점 때문에 비석면계가 광범위하게 사용되고 있다.

유럽 및 일본 등에서도 비석면계 및 Fe 및 Cu등의 충전물을 기지조직에 포함하여 semi-metallic의 형태가 보편화되고 있지만 브레이크 라이닝의 성능은 전기제동의 보조기능이고 비상시에만 주기능으로 사용되고 있다.

우리나라의 150km/h급 새마을호 열차는 브레이크 라이닝을 평상시에도 주기능으로 사용하고 있으므로 마찰열을 초기속도에서부터 감수해야한다. 그러나, 최고속도에서 설계치보다 마찰계수가 현저하게 저하되어 제동력이 효과적으로 발휘되지 않고 있다. 이러한 원인은 고속역에서 직접 기계제동작용

으로 발생하는 열용량에 대하여 효과적인 열 전달과 방열 성능이 낮기 때문에 주철재인 상대 디스크에 제동마찰에 의한 열크랙을 발생시켜 단기간에 교환하고 이는 비용의 증가 원인이 되고 있다. 석면을 대체한 비금속 마찰 재료로 초기에 개발된 재료가 Fe 5%Wt 이하의 스틸 섬유 및 분말을 일부 성분배합으로 한 비석면 마찰재(Non-Asbest Organic)이다. 최근 국내외에서 일반화되고 있는 철계(Fe-based Metallic)에 대하여 철도차량용으로는 개발 사례가 없다.

본 연구는 철계 마찰재의 장점을 최대한 살려 기존의 비석면 라이닝보다 마찰력이 안정적이고 상대재인 디스크에 대한 열적 공격성이 작으면서 내마모성에서 경제성이 있는 객차용 철계 라이닝을 개발하는 것이 그 목적이다.

## 2. 브레이크 라이닝의 개념설계

### 2.1 국내외 관련 규격 및 적용 철도차량

외국의 대표적인 브레이크 마찰재는 UIC 규격(Union Internationale des Chemins de Fer, UIC code 541-3, 4th edition, 93.7.1)이 있으며, 주요 특징으로 라이닝의 마찰면적이 200 cm<sup>2</sup>(국내 사용품과 동일)의 세 종류가 있고, 사용 최대 속도는 140 km/h(국내와 사용 조건 비슷) 및 200 km/h 두 종류, 제동 디스크의 크기는  $\phi 640 \times 110$  mm,  $\phi 590 \times 110$  mm

두 종류, 환경 조건은 건조상태와 습기상태를

시험하고 있다. 일본은 차량용 제동마찰재에 적용 규격으로 합성제륜자 JIS 규격(Japanese Industrial Standard, E 4309, 95년)이 있다. 국내는 철도청 표준 규격으로 비석면 디스크 브레이크 라이닝(KRS 2242-2427, 95. 1. 24 제정)과 신형 디스크 브레이크 라이닝(KRS 242-2427, 95. 4. 1 제정)이 있으며, 신형은 객차용과 신형 객차용(PP 객차포함)으로 구분되어 있으며 150 km/h 급에 적용된다.

### 2.2 현사용품 라이닝의 특성 및 개념설계

현재 브레이크 라이닝의 문제점을 조사하고 제동 라이닝 규격을 비교 분석한 결과 기존 품은 Fig 1과 같이 150km/h 속도대역에서 0.24~0.27 정도 마찰계수로서 저마찰력과 라이닝의 온도가 불안정한 것으로 나타났다.

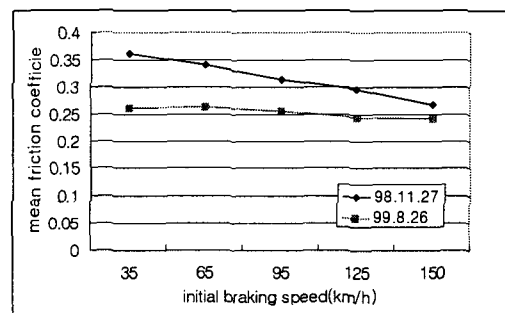


Fig. 1 Friction Coefficient of Old type

Table 1. Change rate of 3hole Brake Disk

Disk Type	2~3 years	3~4 years	4~5 years	A total	Remark
110mm 3hole	205	751	412	1,368	'95.3~'97.3, Seoul Shop
%	15.0	54.9	30.1	100	2years, 171cars Semaaulho-car

기존품의 제동라이닝의 사용수명에 의한 교환 주기는 평균 3~5개월, 브레이크 디스크의 교환 주기는 평균 3~4년으로 조사되어 있는데 디스크 교환은 마모보다 열균열에 의하여 비정상 교환되고 있다. 1996~1997년의 새마을호 객차 171량(3공식, 8조)의 1,368조중 열균열로 인한 661조를 교체하여 평균 교환량은 24.1%가 된다. 특히, 평균 3~4년 이내 교체비율이 약 70%에 달하여 정상 5~6년에 크게 미달하고 있다. Table 1은 제동디스크의 기간별 교환율을 조사한 결과이다.

새마을호급의 제동라이닝의 대상차량 제원은 Table 2와 같으며, 비상제동거리를 식(1)에서 수치계산하면 최대 768.3~908.8m로 예측된다.

$$S = \frac{V}{3.6} t + \frac{4.17 V^2}{\frac{Ft}{W} + R_L} \quad (1)$$

Table 2. Specification of Rolling Stock

Items	Spec.	Items	Spec.
W(ton)	Empty 39 Load 43	$\eta$ (%)	90
T(ratio)	4	$\mu$	$0.35 \pm 10\%$
BC d(cm)	25.4	t (sec)	1.81
BC N(개),	4	$R_L$ (kg/Ton)	9.82
BC p(kg/cm <sup>2</sup> )	3.87	r(kg/cm <sup>2</sup> ),	0.34
DISC rd	48.2	rw(cm),	76~86

새마을호급 객차의 제동력에 의한 열차비상제동거리는 1000m 이내로서 이를 충족하기 위하여 평균마찰계수는  $0.35 \pm 10\%$ 로 하는 것이 타당하므로 내마모성, 마찰열의 분담 등을 고려하여 설계하였고, 압축강도 5.

5~7.5kg/mm<sup>2</sup>, 기공율 11~12%, 밀도 3.10~3.25(g/cc), 경도 HRs 40~50의 범위를 유지하도록 하며, 특히 마모량을 KRS 2종의  $50 \sim 90 \times 10^{-3}$ 를  $40 \times 10^{-3}$ 이하로 하였다.

### 2-3 열전달 및 열응력 해석(Transient)

열응력 해석을 위하여 우선 마찰열에 의한 라이닝의 열전달 해석의 결과와 정적상태의 응력 해석결과를 중첩하여 열응력 해석을 실시한다. 열응력 해석에 사용된 FEM 프로그램은 NISAI로 하였다. 라이닝의 물성치는 Table 3과 같다.

기존모델인 홈 (groove) 2개 형상과 홈 3개 형상을 모델링하였으며, 경계조건은 백스틸부분(z=0) 고정조건, heat flux는 라이닝 마찰면, convection 초기 조건은 라이닝의 측면과 홈 주위, 제동압부력 초기조건은 마찰력과 압부력을 마찰표면에 적용하였다.



Table 3. Property of Brake Linning

물성치	실험치		참고문헌	
	마찰재	보강재	마찰재	보강재
탄성계수(kg/m <sup>2</sup> )	$3.0 \times 10^7$	$2.1 \times 10^{10}$	$3.0 \times 10^7$	$1.93 \times 10^{10}$
포와송비	0.25	0.30	0.2	0.30
밀도(kg/m <sup>3</sup> )	3100	7800	2250	7800
선열팽창계수( $\times 10^{-6}$ )	4.8	11.0	4.0	9.9
열전도계수(W/mK)	10.03	17.4	7.5	17.4
비열(J/kgK)	600	460	1200	460
항복강도(kg/mm <sup>2</sup> )	7.0	22.4	6.9	27.9

#### 1) 열전달 해석

라이닝의 열전달 해석은 차량속도 150km/h에서 제동시간 40sec의 경우에 대하여 시간변화에 따른 해석을 실시하여 Fig. 2, 3과 같이 최대온도는 홈 2개일 경우 173℃, 홈 3개일 경우 149℃로서 홈 3개일 경우에 마찰면 온도가 24℃ 정도 낮아 홈 개수에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

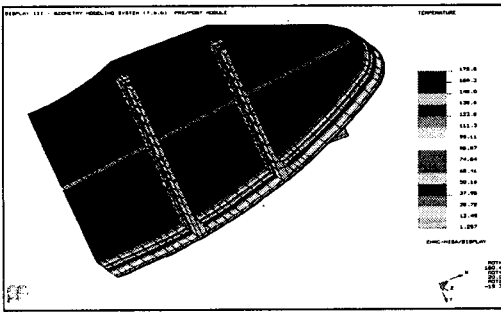


Fig. 2 Groove 2ea(150km/h, t=40s)

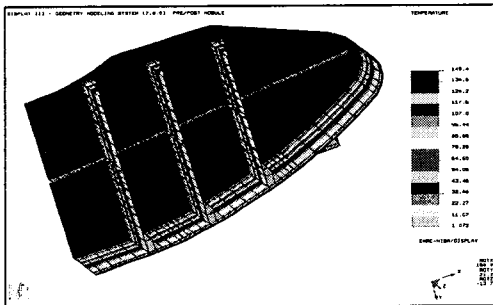


Fig. 3. Groove 3ea(150km/h, t=40s)

Fig. 4, 5은 라이닝의 정응력 해석결과로서 스틸보강재(back plate)와 마찰재의 접합부위에서 응력이 가장 큰 것으로 나타나 이 부분이 가장 취약할 것으로 예상된다.

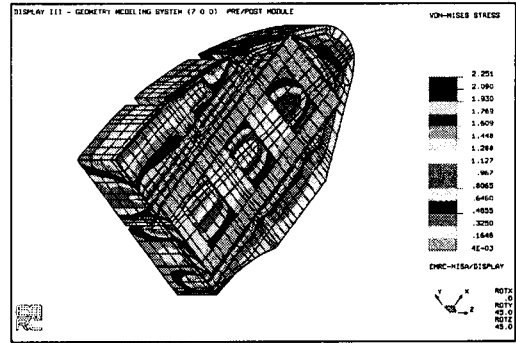


Fig. 4. Stress of Groove 2ea

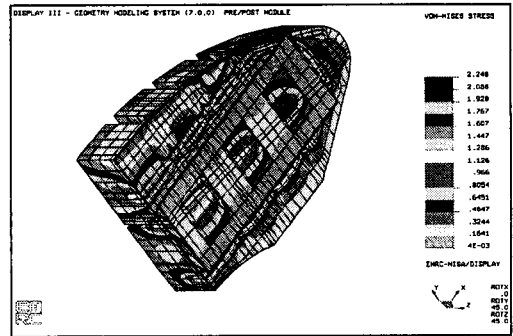


Fig. 5. Stress of Groove 3ea

## 2) 열응력 해석

열응력 해석결과는 Fig 6, 7과 같이 마찰면 홈이 2개일 경우 von mises 최대응력이 5.98 kg/mm<sup>2</sup>, 홈이 3개일 경우는 5.53 kg/mm<sup>2</sup> 이 작용하여 마찰면 홈이 3개일 경우가 2개와 비교하여 약간 낮은 응력 상태를 나타낸다. 최대응력이 작용되는 부분은 마찰면 홈에서 발생되며, 라이닝의 마찰재료의 항복강도가 7.0 kg/mm<sup>2</sup> 으로서 해석적인 열응력은 허용범위 이내이므로 안전한 것으로 판단된다.

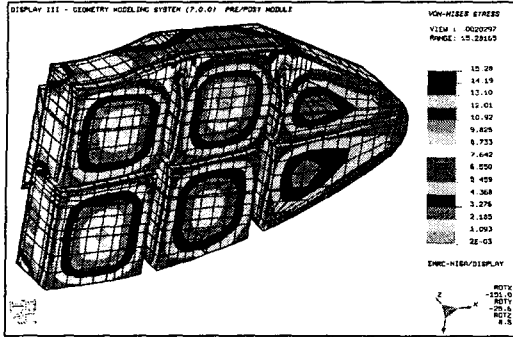


Fig. 6. Fig. 4. Thermal Stress of Groove 2ea

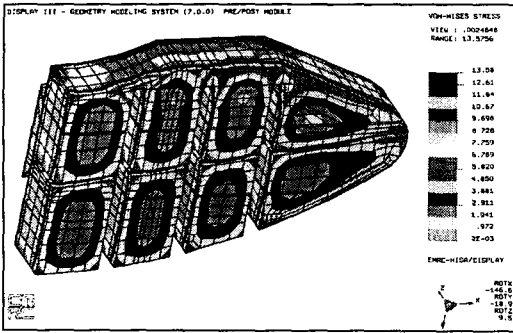


Fig. 7. Fig. 4. Thermal Stress of Groove 3ea

### 3. 다이내모 실험 및 실차시험

#### 3-1 실물 브레이크 다이내모 실험 결과

실물 브레이크 라이닝을 마찰면 진접촉을 위한 90% 이상의 연마(bedding) 후 실험하며, 실험장치의 전경은 Photo 1과 같다.

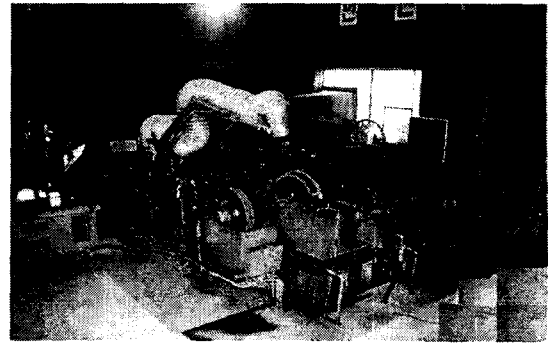


Photo 1. Full scale Brake Dynamometer

실험의 상대재는 12공 제동디스크(주철제)를 사용하였으며, 제동압부력 1.6 t × 2 제동디스크 시험 초기온도 60℃ 이하, 시험초속도 35, 65, 95, 125, 150 km/h로 조합 20stop씩 3회를 평균하였다.

평균마찰계수  $\mu_m$ 는 완전한 제동력이 얻어지는 시간부터 정지까지의 제동과정을 통하여 정의될 수 있다.  $\mu_m$ 는 식(2)에 따르고  $\mu_a$ 는 실제동거리  $s_2$ (제동작용력 95%)에 대해 적분하여 얻는다.

$$\mu_m = \frac{1}{s_2} \int_0^{s_2} \mu_a ds \quad (2)$$

본 실험장치의 실험식은 (3)과 같이 UIC 541.1(third, 85.7)에 의하여 적용되었다.

$$\mu_m = \left[ \frac{V_2^2 \cdot m}{2s_2} - \frac{0.7M_w}{R} \right] \frac{R}{r \cdot F_b} \quad (3)$$

$s(m)$ 는 제동시작부터 정지까지 전거리,  $s_2(m)$ 는 제동력이 95%순간부터 정지까지 전제동거리이며,  $m(kg)$ 는 디스크에 제동되어야할 축중 부분,  $V_2(m/s)$ :제동작용력이 95%되는

순간속도,  $R(m)$ : 휠 반경,  $r(m)$ : 제동디스크의 제동작용 반경,  $F_b(N)$ 는 제동거리  $s_2$ 에서 전체작용력 평균,  $M_w(N.m)$ 는 휠하중과 초속도의 시험벤치 대응 마찰모멘트 ( $M_w = \frac{I_{desired}}{R^2}$ )를 나타낸다.

Fig. 8~9는 개발품의 실험결과이며, 개발품1#은 마찰면 홈이 2개인 기존형상으로 제작(Fe)되었고, 마찰면과 온도특성은 양호하였으나, 평균마찰계수가 150km/h에서 약간 하한치를 벗어나고 있다

개발품 2#는 마찰면 홈이 3개인 형상으로 평균마찰계수는  $0.35 \pm 10\%$ 의 수준을 유지하였다. 라이닝의 온도는  $10 \sim 20^\circ C$  정도 낮게 나타나고 있으며, 디스크의 온도는 125,150km/h 초속도에서만 낮아짐을 알 수 있다.

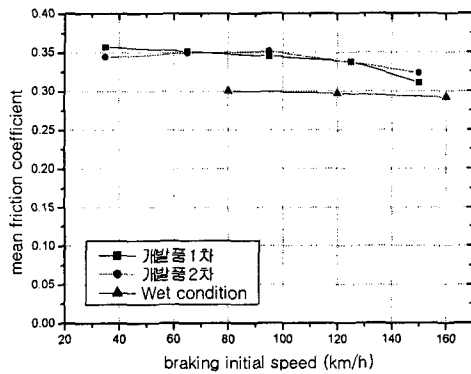


Fig. 8 Friction Coefficient of New Lining

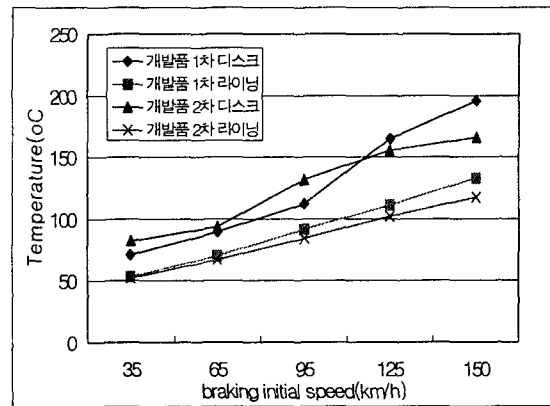


Fig. 9 Temperature of Lining & Disk

Wet 조건에서의 결과는 마찰계수 0.29~0.30를 나타나고 있으며  $\pm 15\%$ 까지 허용범위에 있으므로 우천시에도 안정적 마찰력을 유지할 수 있다.

Fig. 10은 개발품에 대하여 마모량을 비교한 결과로서 Fe의 배합량을 KR514A는 30~40%Wt(홈 2개), KR514F는 20~40%Wt(홈 3개)로 달리한 것으로 홈 3개인 것이 내마모성이 좋아짐을 알 수 있다.

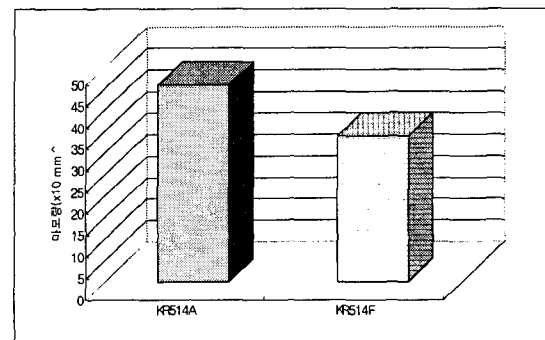


Fig. 10 Wear of New Type

### 3.2 실차시험 결과

실차시험은 새마을 객차 397호에 대차별로

시험품과 비교품을 각 8조씩 신제품교환후 일정기간마다 마모량을 실측하였다.(Photo 2)

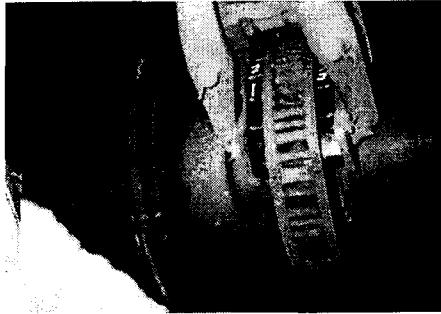


Photo 2. Test of New Lining

철계 시험품으로 2회의 걸쳐 실차시험을 실시하였으며, Fig. 11은 주행기간별 라이닝의 감소두께를 측정한 결과이다. 개발품(1#)은 내마모성이 목표치에 미달하여 비교품에 비하여 약 1.6배 마모가 빠르고 교환주기는 2.4개월 정도로 예측되었으나, 제동디스크의 마찰 표면은 양호하였다. 개발품(2#)는 약 7개월 이상의 수명이 예측되었으며 디스크의 마찰면이 선명한 상태를 유지하여 상대재에 열영향을 줄이는 것으로 보인다.

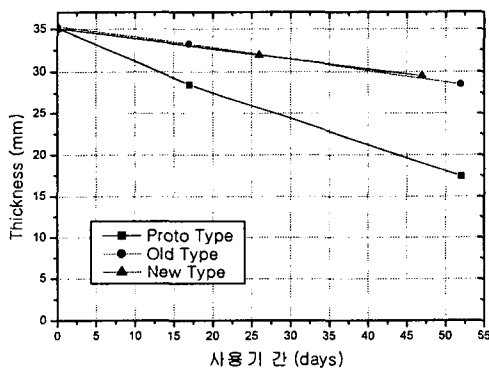


Fig. 11 Wear rate of lining in field test

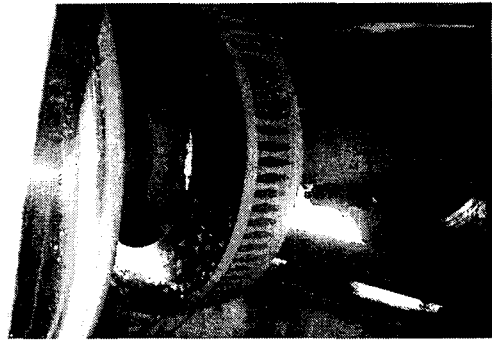


Photo 3. Surface of Brake Disk(Field-Test)

비교품은 비슷한 마모주기를 나타나고 있으나 다이내모 실험결과 마찰계수가 0.24~0.26 저마찰계수를 보이고 있으며, Photo 3과 같이 상대 제동디스크의 표면에 흑화 및 열반점 현상이 심한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

제동성능을 지배하는 평균마찰계수는  $0.35 \pm 10\%$  범위(습윤시  $\pm 15\%$ )로 하고, 마모량  $40 \times 10^{-3}mm$  이하에서 열영향을 최소화하도록 제안하였다.

열해석 결과 마찰면의 흡을 2개에서 3개인 경우가  $20^{\circ}C$  정도 마찰온도를 낮추는 효과가 있으며, von mises 최대응력이 3개월 경우  $5.53 kg/mm^2$  로서 마찰재료 항복강도의 허용 범위 이내이다.

실물실험에서 개발품중 마찰면 흡이 3개인 형상이 사용수명이 약 6개월 이상으로 예측되고, 안정적인  $0.35 \pm 10\%$  의 마찰특성이 유지되며, 마찰면의 상태가 선명하여 양호함을 확인하였다. 비교품은 평균마찰계수 0.22~

0.26 이고 상대디스크면에 열반점을 나타내고 있었다. 습윤 마찰계수의 범위 0.29~0.31로서 우천시 제동효과에 유용하다.

흡을 2개보다는 3개로 하는 것이 가장 유리한 최적형상으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 최경진, 구병춘, 권석진외, 열차 제동거리 기준치 설정에 관한 연구, 1997.12
2. 함영삼외, 차량분야 주요부품의 적정사용년수 기준작성 연구, pp306-307, 1997.12
3. Gray, V.K., Dynamics of railway vehicle systems, Toronto, ACADEMIC PRESS, 1984, p103~105,
4. M Fermer, Brake discs for passenger trains-a theoretical and experimental comparison of temperatures and stresses on solid and ventilated discs, I Mech E, pp. 37-46, 1992
5. P.R.J.HARDING, Flexural effects in disc brake pads, pp. 1-7, 1978
6. A J Day, The dissipation of frictional energy from the interface of an annular disc brake, I Mech E, pp. 201-209, 1984
7. わだゆういち, 브레이크라이닝, 브레이크디스크의開發, R&M, pp. 14, 1996
8. 鐵道車輛用金屬系摩擦ブレーキ材料に関する研究(その3), RTRI REPORT Vol. 5. No.7, 1991
9. 紺野常雄, 브레이크クラッチ用ノンアスベスト材の開發動向, 트라이ボロジ스트, 제 38권, 제5호, pp. 445-450, 1993,