

# 동력차용 브레이크슈의 제동성능에 관한 실험적 연구

권석진\* · 구병춘\*\*

## Experimental study on the braking performance of a brake shoe for power car

Seok-Jin Kwon and Byeong-Choon Goo

Key Words: Brake shoe (제륜자), Friction coefficient (마찰계수), Braking temperature (제동온도), Field test (현차시험), Stopping distance (제동거리), Tread profile (차륜담면 형상)

### ABSTRACT

In this paper, we investigated the braking performance of a composite brake shoe for power car. Laboratory bench test and field tests were carried out to characterize the braking performance by the parameters such as friction coefficient, wear rate, braking temperature and stopping distance. Density distribution was found to have a significant influence on the wear rate. The composite brake shoe with even density distribution showed better braking performance. The braking performance of a composite brake shoe was also compared with that of a cast iron brake shoe which is currently being used. The result indicated the performance of the composite brake shoe is better than the cast iron brake shoe.

### 1. 서 론

철도차량의 동력차용에 사용되고 있는 제동장치는 차륜담면에 제륜자를 가압하여 제동을 체결하는 담면 제동방식이다. 국내의 동력차용 담면 제륜자는 수입품 합성제륜자와 주철제륜자를 사용하고 있다. 주철제륜자는 가격이 저렴하며 습기조건하에서 점착개선 효과의 장점을 가지고 있는 반면에 고속대역에서의 마찰계수가 비교적 낮고 마모량이 많은 등의 단점이 있다.<sup>(1, 2)</sup> 그러나, 습기조건하에서 마찰력이 저하되지 않기 때문에 눈이 많이 내리는 지역에서는 주철제륜자의 단점을 보완한 내설형 합금주철제륜자가 개발되어 사용되고 있기도 하다.<sup>(3)</sup> 차륜담면용 제륜자는 상대차륜에 대한 담면마모 및 제동마찰시의 마찰면 온도, 담면균열, 찰상 등의 영향인자를 충분히 고려해야 하기 때문에 개발에 있어 상당한 제작노하우를 필요로 한다. 제륜자의 재료 특성상, 어떤 한계조건, 예를 들면 어느 온도조건을 초과하면

급격하게 마찰력이 저하되기 때문에 이러한 현상을 고려하여야 한다.<sup>(4)</sup> 따라서, 제륜자의 개발시 마찰계수, 제동시 차륜과 제륜자의 온도, 마모량 등을 분석할 수 있는 실물 벤치시험과 차륜에의 영향, 주행거리 대비 내마모성, 제동거리 등을 검토할 수 있는 현차시험에 의한 종합적인 평가가 필수적이다.

본 연구에서는 합성제륜자를 제작하여 실물벤치시험과 현차시험에 따른 마찰마모특성, 내구성 등의 제동특성을 기존품 제륜자와 비교평가하였다.

### 2. 벤치시험

#### 2.1 시험조건과 시험품

실물 제동시험기(dynamometer)<sup>(5)</sup>를 이용하여 주철제륜자와 합성제륜자의 제동특성을 시험하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 실제 동력차의 제동시 사용되는 조건을 시험하였다. 담면제륜자는 Fig. 1과 같이 하나의 차륜에 대하여 양쪽에서 가압하는 제동방식으로 비상제동시험을 하였다.

Table 1 Test condition of bench test

Braking speed	Moment of inertia	Wheel diameter	Clamping force	Brake shoe
30, 60, 100, 125 km/h	290 kgms <sup>2</sup>	1016 mm	40 kN×2	Double

\* 회원, Tohoku대학 기계공학과 대학원

\*\* 회원, 한국철도기술연구원 차량연구본부

E-mail : bcoo@krri.re.kr

TEL : (031)461-8531 FAX : (031)461-8561

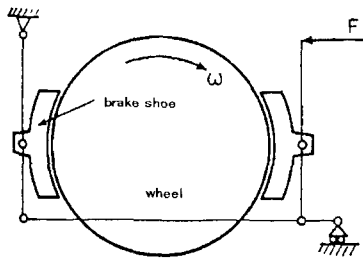
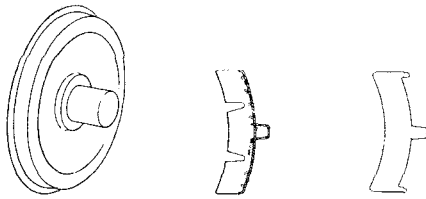


Fig. 1 Mechanism of brake for power car

시험품은 주철제륜자와 합성제륜자를 시험하였으며 Fig. 2와 같이 주철제륜자는 길이 350 mm, 두께 58 mm, 합성제륜자는 길이 350 mm, 두께 58 mm로서 마찰면에 2개의 홈 형상을 가지고 있는 것을 시험하였다. 상대 차륜은 직경 1016 mm으로 주강재이다.



(a) Wheel (b) composite (c) cast-iron  
Fig. 2 Shapes of the brake shoes

Table 2는 시험품 제륜자의 화학적 성분을 나타낸 것이며 주철제륜자는 합인주철제륜자이다.

Table 2 Chemical composition(%)

Shoe	C	Si	Mn	P	S
Cast iron	3.0-3.4	1.2-1.8	0.3-0.8	0.6 ↓	0.15 ↓

Shoe	bonding	friction modifiers	lubricant	etc
Composite	10-20	30-60	10-20	2-5

기계적 성질은 Table 3에 나타내었다. 주철제륜자의 밀도가 합성제륜자에 비하여 약 2.5배정도 높게 나타나며 중량에서도 주철제륜자는 13 kg, 합성제륜자는 3.5 kg로서 차이가 나타난다. 마모한도에 따른 제륜자의 교환시, 주철제륜자의 경우에는 중량면에서 교환작업이 어렵다.

Table 3 Mechanical properties of brake shoe

Shoe	Pro.	Compressive strength kg/cm <sup>2</sup>	Density kg/cm <sup>3</sup>	E GPa	Thermal conductivity cal/(cm·s·°C)
Cast iron		21.0	7.2	120.0	12.5 × 10 <sup>-2</sup>
Composite		6.0	3.1	51.0	7.2 × 10 <sup>-2</sup>

### 2.2 마찰계수

Fig. 3은 주철제륜자와 합성제륜자의 평균마찰계수를 나타낸 것이다. 주철제륜자의 마찰계수는 0.05~0.17로 속도가 높아질수록 마찰계수가 현저하게 감소한다. 이에 비하여 합성제륜자의 마찰계수는 0.09~0.12로 속도에 따라서 안정적으로 유지되고 있다.

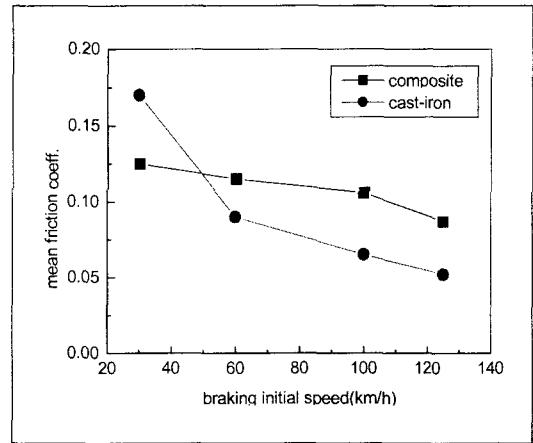


Fig. 3 Mean friction coefficient

동력차의 제동성능에 대한 평균마찰계수의 요구사항이 0.125 ± 10%임을 고려한다면 Fig. 3의 합성제륜자의 마찰계수는 동력차의 제동력을 충분히 유지할 수 있으리라 생각된다.<sup>(6)</sup>

### 2.3 제동시 차륜과 제륜자의 온도

주철제륜자와 합성제륜자의 제동시 마찰면의 온도를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. UIC code(UIC 541-4)의 시험조건에서는 차륜담면의 최고온도는 380°C이하로 규정하고 있다.<sup>(7)</sup> 이러한 온도이상이면 차륜과 제륜자의 마찰면은 순간적으로 용융상태가 되어 마찰계수의 저하를 가져오기 때문이다.

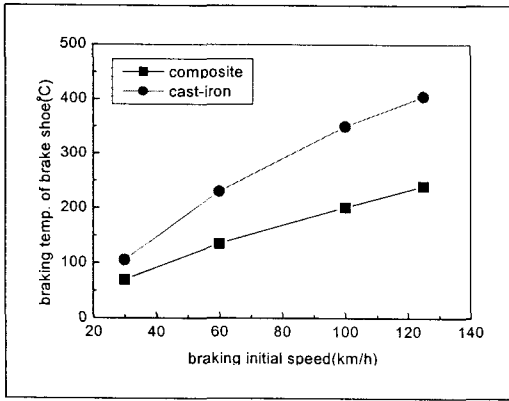


Fig. 4 Braking temperature of the shoes

Fig. 4에서 제동시 제륜자의 온도는 합성제륜자가 주철제륜자에 비하여 낮게 나타나며 제동초속도가 증가할수록 온도차이가 커지고 있다.

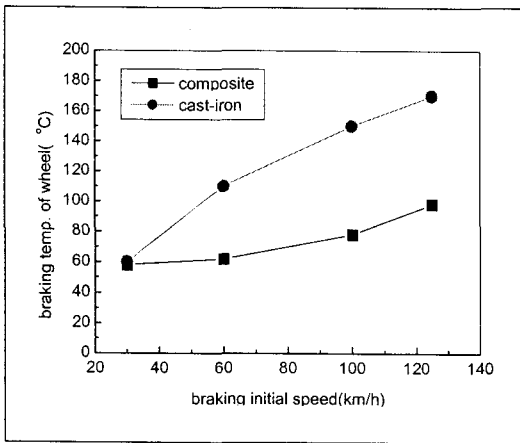


Fig. 5 Braking temperatures of the wheels

일반적으로 합성제륜자는 열전도율이 낮기 때문에 주철에 비하여 차륜의 상승온도가 높게 되지만 본 연구의 합성제륜자는 열전도율을 증가시켜 제동시 마찰열을 차륜보다는 제륜자 쪽에서 부담하도록 하였다. Fig. 5에서와 같이 125 km/h의 제동초속도에 대하여 차륜온도는 주철제륜자를 시험한 경우 170°C로 나타나지만 합성제륜자를 시험한 경우에는 100°C이하로 나타난다. 이러한 결과에서 제동시 발생하는 마찰열에 대한 차륜에의 영향은 주철제륜자에 비하여 합성제륜자가 유리하다고 할 수 있다.

#### 2.4 마모량

마모량은 시험전후의 중량차이를 구하여 마찰

면적과 밀도에 의한 단위두께당 환산량으로 비교하였다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 합성제륜자는 평균적으로  $43 \times 10^{-3}$  mm이며 주철제륜자는  $110 \times 10^{-3}$  mm으로 나타났다. 벤치시험의 결과에서는 합성제륜자의 마모량이 주철제륜자에 비하여 약 2.5배 정도 양호한 내마모성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

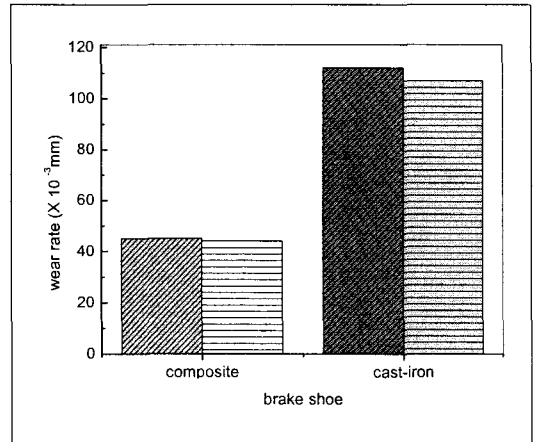
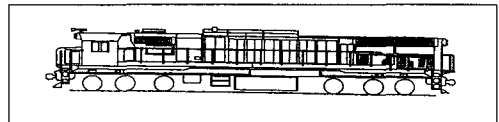


Fig. 6 Wear rate of the brake shoes

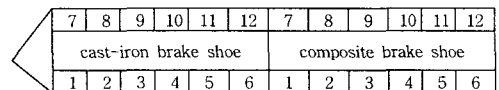
### 3. 현차시험

#### 3.1 시험품과 장착 위치

현차에서 제륜자의 내마모성, 차륜에의 영향 등의 제동특성을 분석하기 위하여 주철제륜자와 합성제륜자를 동력차에 장착시험하였다. Fig. 7(a)과 같이 현차시험에 사용한 시험차량은 축중이 22,000 kg/axle, 차륜담면 제동방식이며 양압식으로 6축에 24개의 제륜자가 장착되어 있다.



(a) Power car for field test



(b) Position of brake shoes in field test

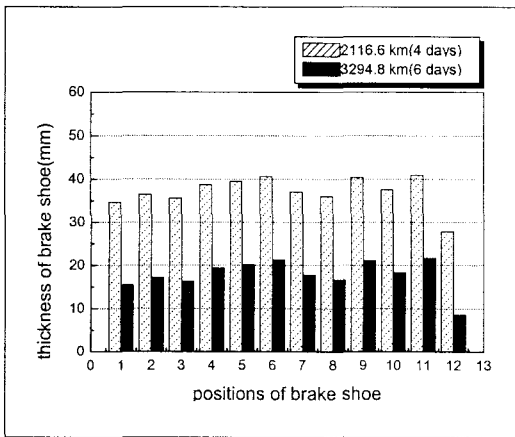
Fig. 7 Layout of the brake shoes

시험품의 장착위치는 Fig. 7(b)와 같이 합성제륜자는 4, 5, 6위 축에, 주철제륜자는 1, 2, 3위

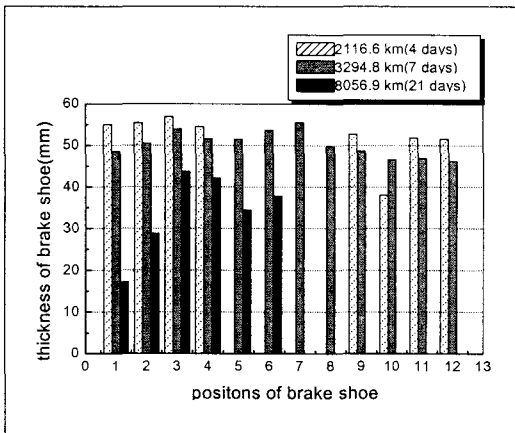
측에 설치하였다. 주철제륜자의 설치는 합성제륜자와 내마모성, 차륜 담면상태 관찰 및 차륜마모의 상대적 비교를 위하여 설치하였다.

### 3.2 주행거리 대비 마모량

현차시험에서의 내마모성 분석을 위하여 일정주행거리마다 제륜자 마모량을 측정하였다. 주행거리대비 마모량의 분석은 주철제륜자와 합성제륜자의 마모에 따른 두께를 측정하여 시험차의 주행거리당 제륜자의 두께감소로 비교하였다. 합성제륜자의 성형공정에 따른 영향을 분석하기 위하여 2차례 제작하여 각각 시험하였다. Fig. 8은 현차시험에 따른 1차 합성제륜자와 주철제륜자의 주행거리 대비 마모량을 보여준다.



(a) Cast-iron brake shoe



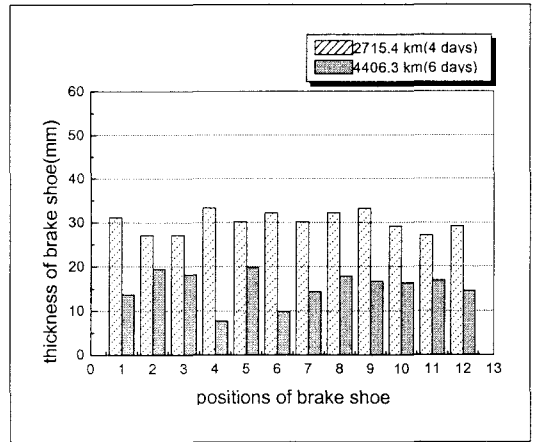
(b) Composition brake shoe

Fig. 8 Wear rate of the first series specimens

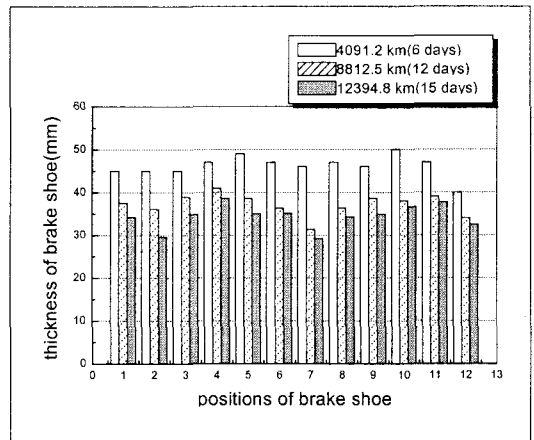
Fig. 8에서 주철제륜자는 경부선 기준으로 약 7일을 주기로 마모한도에 도달하여 교환되었으며

합성제륜자의 경우에는 성형공정에 따라 약 2~20일정도의 교환주기를 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 8(b)에서 합성제륜자는 설치한지 2일만에 급속하게 마모가 진행되어 마모한도에 다다른거나 편마모 현상이 발생하였다. 전체적으로 합성제륜자는 일정하게 마찰면이 마모되어 마모한도에 도달하여 교환되는 것이 아니라 불규칙하게 마모한도에 도달하여 교환되었다.



(a) Cast-iron brake shoe



(b) Composition brake shoe

Fig. 9 Wear rate of the second series specimens

급속하게 마모가 진행된 이유는 상대 차륜담면의 거칠기와 담면형상의 영향, 환경조건 등의 이유를 들 수 있지만 가장 큰 영향을 미치는 것은 합성제륜자의 성형 공정에 따른 제륜자의 밀도편차의 영향 때문인 것으로 생각된다. 이에 따라 2차의 합성제륜자는 마찰면을 3등분으로 나누어서

밀도편차가 발생하지 않도록 일정하게 성형공정을 실시하였다. 2차 합성제륜자는 성형공정을 개선하여 현차시험하였다.

Fig. 9는 2차 합성제륜자의 주행거리 대비 마모량을 측정된 결과이다. 1차 합성제륜자와 비교하여 마모한도에 따른 교환주기가 10배 이상 향상되었으며 전체적으로 균일하게 마모가 진행되어 편마모에 따른 현상이 없음을 확인하였다.

1차와 2차 합성제륜자의 현차시험에 의한 마모량 측정결과로부터 합성제륜자는 마찰마모 등의 제동특성 못지 않게 성형공정상의 제작이 중요함을 알 수 있었다.

현차시험에 따른 동력차용 합성제륜자의 마모량 측정결과, 합성제륜자의 내마모성이 주철제륜자에 비하여 우수한 것으로 나타났으며, 합성제륜자는 주철제륜자에 비하여 약 3배정도의 내마모성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

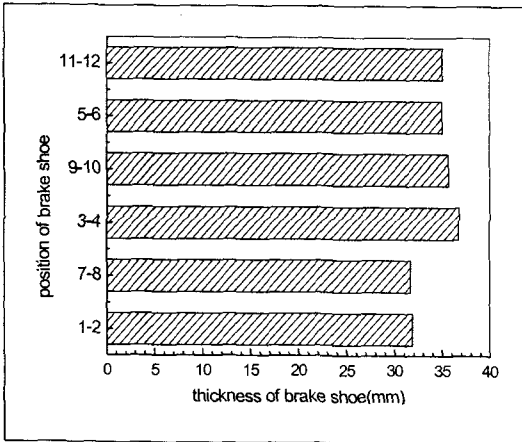


Fig. 10 Wear rate vs. position of the brake shoes

Fig. 10에서 차량 진행방향의 앞쪽에 위치한 제륜자(제륜자 위치 1-2와 7-8)가 뒤쪽에 위치한 제륜자보다 마모가 큰 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 차량의 제동작용시에 중량이 차량의 앞으로 가중되어 앞쪽에 위치한 제륜자가 일을 더 많이 하기 때문이라고 생각된다.

### 3.3 제륜자의 마찰면

Fig. 11은 현차시험 후 주철제륜자와 합성제륜자의 마찰면을 나타낸 것이다. 주철제륜자의 경우 마찰면에 균열과 기공이 나타나고 있지만 합성제륜자는 균열이 발생하지 않았다.

주철제륜자를 설치한 차륜의 답면표면은 거칠고 오목마모가 관찰되었으며 차륜찰상이 관찰되었다. 합성제륜자의 경우에는 차륜 답면표면이 깨끗하고 열반점(hot spot)발생이 없는 것을 확인

하였다.

차륜답면과 제륜자의 접촉이 국부적으로 되면 차륜답면에 열반점이 발생하며(약 600°C 이상) 차륜에 열균열이 발생하기 쉽게 된다.<sup>(8) (9)</sup>

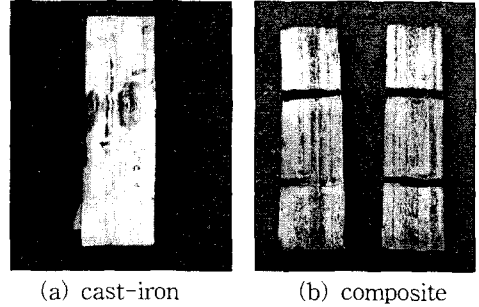


Fig. 11 the friction surface of brake shoe

### 3.4 차륜답면의 형상

주철제륜자와 합성제륜자를 설치한 차륜에 대한 영향을 비교하기 위하여 차륜답면 형상측정장치를 (tread profile) 이용하여 답면형상을 측정하였다. Fig. 12는 3개월 현차운행 후 답면형상을 측정된 결과이며 일반적으로 합성제륜자의 경우 상대 차륜에 대한 마모량이 주철제륜자에 비해 적게 나타나는 결과<sup>10)</sup>와 일치함을 보여주고 있다. 시험품 제륜자의 장착 차륜답면형상을 측정된 결과, Fig. 12와 같이 주철제륜자보다 합성제륜자의 마모가 적게 나타났으며 주철제륜자의 경우, 플랜지(flange)쪽도 마모가 되는 것으로 나타났다

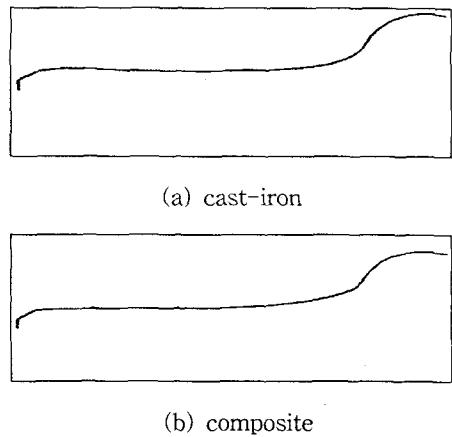


Fig. 12 Wheel tread geometry for cast-iron and composite brake shoe

### 3.5 비상제동거리 시험

비상제동시 합성제륜자와 주철제륜자의 제동거리 측정 및 비상제동시의 작동상태를 확인하기 위하여 시험차에 각각의 시험품 제륜자를 전부 설치하여 시험하였다. 시험차의 제동초속도는 35~120 km/h이며 평탄선로, 건기조건에서 시험하였다. 또한, 80 km/h에서 상구배와 하구배일 경우 비상 제동거리시험도 실시하였다. 비상제동거리시험결과, Fig. 13과 같이 제동초속도 35 km/h에서 55 m, 65 km/h에서 200 m, 80 km/h에서 270 m로 측정되었다.

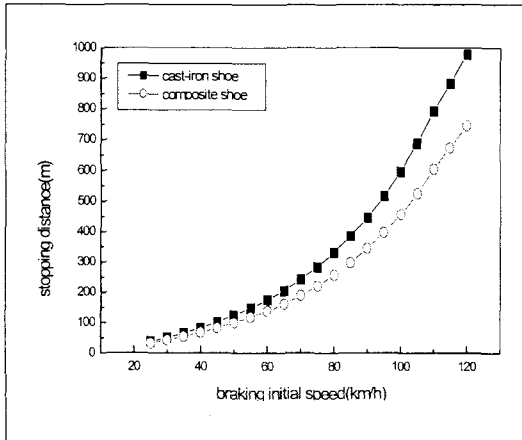


Fig. 13 stopping distances

합성제륜자의 비상제동거리는 100 km/h에서 450 m로서 100 km/h에서 비상제동거리는 600 m 이내이어야 한다는 기준<sup>11, 12)</sup>을 만족하고 있으며 주철제륜자의 비상제동거리도 100 km/h에서 600 m이내를 만족하고 있다. Fig. 13에서 합성제륜자의 비상제동거리는 주철제륜자에 비하여 32% 정도의 단축효과를 나타내고 있으며 이러한 제동거리의 단축효과는 열차운영에 있어-예를 들면, 열차의 다이어 편성에서 운전시각의 단축-유리한 점으로 작용할 수 있다.

## 4. 결론

동력차용 합성제륜자를 제작, 벤치시험과 현장 시험을 통하여 주철제륜자의 제동특성과 비교분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 합성제륜자는 주철제륜자에 비하여 고속대역에서의 마찰계수가 감소되지 않고 유지되며 벤치시험에서의 제동특성이 우수한 결과를 나타내었다.

(2) 현장시험에서 합성제륜자는 주철제륜자에

약 3배의 내마모성을 가지며 차륜담면의 찰상, 열균열 발생이 없었다.

(3) 합성제륜자의 성형밀도의 분포를 균일하게 제작함에 따라 편마모 현상과 내마모성이 개선되었으며 합성제륜자의 제작시, 성형밀도의 분포는 내마모성과 밀접한 관계가 있다.

(4) 주철제륜자와 비교하여 제동특성이 우수한 합성제륜자를 실제 운용차량에 적용할 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

- (1) 熊谷則道, 長谷川線, “車輛應用技術講座-ブレーキ,” 鐵道總研研究資料
- (2) 中央鐵道學院編, 1978, “最新電車運轉理論”
- (3) 辻村太郎, 大野薫, 1997, “高速鐵道車輛用複合型鑄鐵制輪子の開發,” RTRI report Vol. 11, No. 9, pp. 7~11.
- (4) 內田清五, 仲野政志, 1999, “基礎ブレーキ裝置の熱特性,” RTRI report Vol. 13, No. 10, pp. 41~44.
- (5) 권석진, 이우동, 1999, “전동차용 제륜자의 마찰특성에 관한 실험적 연구,” 대한기계학회 추계학술대회는문집, pp. 208-213.
- (6) 大塚誠之, “鐵道車輛-研究資料,” 日刊工業新聞社.
- (7) UIC 541-4 Brakes-Brakes with composition brake blocks, International Union Railways
- (8) 出村要, 村太郎, 1997, “鐵道車輛のブレーキ技術(5)-ブレーキ摩擦材料とその特性(その1),” 機械の研究, 第49卷 1, pp. 49-68.
- (9) M.C. Fec, H. Shehitogle, 1985, “Thermomechanical damage in railroad wheels due to hot spotting,” AAR Report No. R-600
- (10) K. D. Dolbear, 1996, “The development of friction materials -opportunities for the worlds railways,” pp. 135-140.
- (11) 속도정수사정기준, 1995, 철도청
- (12) 鐵道運轉規則, 昭和 62年, 運輸省令第 15号