

# 고속 철도 차량용 소결 마찰재료 개발

## Development of the Sintered Friction Material for the High Speed Railway

김기열\*      김상호\*      김유신\*      이범주\*      김석원\*\*  
Kim, Ki-Youl   Kim, Sang-Ho   Kim, Yu-Shin   Lee, Beom-Joo   Kim, Seog-Won

---

### ABSTRACT

Dawin Friction Corp. has been advanced sintered brake pad for Korean concept high speed train (so called G7 train) with KRRI, You Jin and Rotem without the assistance of foreign company. In the course of development, the evaluation of our and foreign disk pads was performed by lab scale dynamometer and full scale dynamometer. As the result of dynamo test, it is shown that our developed brake disk is equal or superior to those of foreign companies in many respects, for example, wear resistance, noise, etc. The new brake pad which is developed through "post G7-project" is equipped with G7 train and is under many tests without any problems at the present moment.

---

### 1. 서 론

한국에서도 고속전철의 시대가 열렸다. 고속전철의 빠른 속도는 그 속도를 적절히 제어 및 제동할 수 있을 때, 비로소 그 가치가 있는 것이다. 상용 운전을 하고 있는 300km/h급 KTX의 경우, 제동장치로써 전기제동과 기계식 제동장치를 병행하여 사용하고 있고, G7 차량의 경우 전기제동, 와전류제동, 그리고 기계식 제동의 3가지 종류의 제동장치 및 제동기술을 사용하고 있다. 특히 G7 차량은 최고 속도 350km/h를 목표로 하는 만큼 제동 장치의 안정성은 무엇보다 중요한 것 중 하나이다.

(주)다윈프릭션은 이러한 고속전철의 속도를 제어 및 제동하기 위하여 반드시 필요한 기계식 제동장치의 소결 브레이크 패드에 대한 개발을 1995년부터 시작하였고 현재 G7 차량용 기계식 제동장치의 소결 브레이크 패드를 별도의 외국으로부터 기술이전 없이 독자적으로 개발 성공하여 G7 차량에서 운용시험을 진행하고 있다. 본 고에서는 최초의 새마을 철도차량부터 G7 고속전철 차량까지 소결 브레이크 패드의 독자적인 국내 개발 진행사항을 정리하였고 이와 함께 해외의 소결 브레이크 패드의 현황도 함께 비교하였다.

- 
- 1) (주)다윈프릭션 중앙연구소
  - 2) 한국철도기술연구원 시운전시험팀

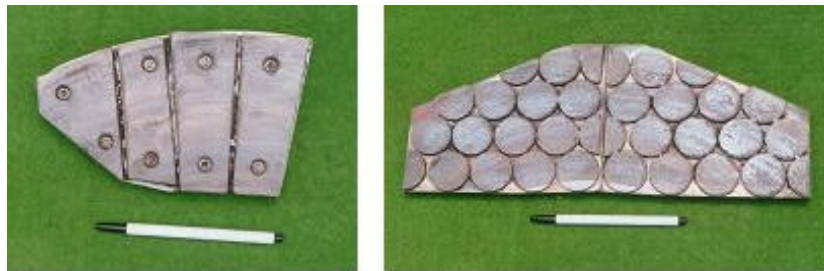
## 2. 새마을 철도차량용 소결 브레이크 패드 개발

최초 국내 철도차량용 소결 브레이크 패드의 개발은 새마을 철도차량을 대상으로 1995년 한국 철도산업기술연구원과 공동 개발한 것이 시작이다. 그 당시 새마을 철도차량은 철도차량으로써는 최고의 속도인 150km/h의 속도로 운행을 하였으며 회주철인 마찰디스크와 비석면계 브레이크 패드를 사용하고 있었다.

회주철 디스크의 문제점은 마찰디스크 표면에 발생하는 열크랙 (hair Crack)이였으며 이런 현상으로 말미암아 반영구적으로 사용하여야 할 디스크의 교환주기가 짧아지는 것이 큰 문제이었다. 소결 마찰재의 경우 마찰열 발생시 비석면계 마찰재 보다 소결 브레이크 패드로의 열발산 능력이 뛰어나므로 회주철 디스크의 열크랙 발생을 줄여줄 것으로 예상하고 개발을 시작하였다.

### 2.1. 소결 브레이크 패드 제작

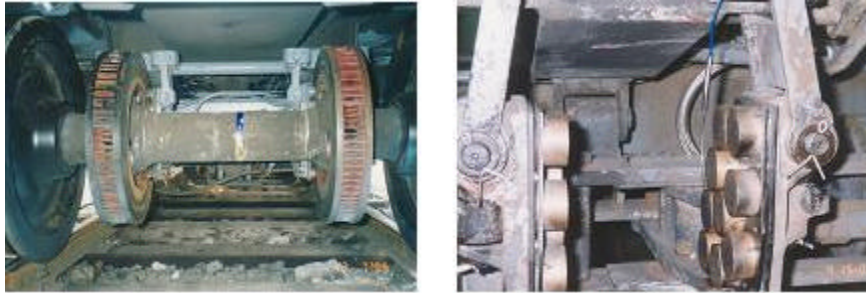
개발된 소결 브레이크 패드의 주요한 구성 성분은 Cu-10Sn 기지부에 Mo, SiO<sub>2</sub>, Fe등이 마찰조절제로 20~40% 첨가하며, 윤활제로써 Graphite를 10~20% 첨가하고, 이것을 850℃에서 가압소결하여, 밀도 4.9g/cm<sup>3</sup>, 경도 HRR100 수준의 소결 마찰재를 얻었다. 최초 개발된 패드의 형상은 그림 1과 같으며 개발진행 과정에서 점차 형상의 변경이 있었다.



1.

### 2.2. 시험평가

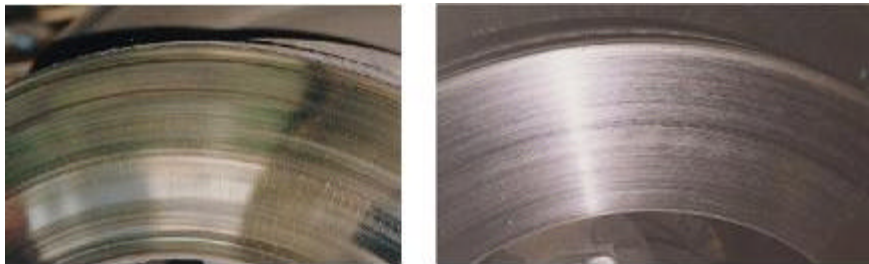
소결 브레이크 패드의 시험평가는 먼저 당시 서울정비창 소속의 철도차량용 관성동력계 제동시험기를 이용하여 실시하였고 만족한 결과를 나타낸 F26-R에 대하여서는 현차시험 (운용하고 있는 새마을 차량에 직접 장착하여 시험평가)을 실시하였다. 현차시험은 새마을 철도차량의 533대차에 소결 브레이크 패드를 그림 2와 같이 부착하고 운행시험을 진행하였다. 시험기간은 1995년 12월 11일 ~ 1996년 8월 12일까지 약 9개월간이며 서울과 부산간 주행하였다. 이러한 제동시험은 국내 최초의 운용시험이었으며, 시험차가 아닌 실 운행차량을 통하여 실제 감속 횟수 및 감속 조건 등을 확인할 수 있었던 귀중한 자료가 되었다.



2.

그림 3은 차량운용시험을 마친 디스크 표면의 hair crack의 형상을 보여주고 있다. 소결 브레이크 패드의 경우 제동시 발생하는 열을 디스크 쪽이 아닌 패드 쪽으로 빠르게 발산시킴으로 디스크의 열 부담을 줄여주어 디스크 표면에 발생하는 hair crack의 량을 절대적으로 줄였다.

새마을 철도차량용 소결 브레이크 패드의 개발은 국내 처음으로 철도차량에 소결 브레이크 패드를 적용했다는 측면에서 상당한 의의를 가지며 이러한 개발의 결과는 다음 세대의 철도차량인 고속전철용 소결 브레이크 패드의 개발에 좋은 자료가 되었다. 당시 서울-부산간 실제 제동횟수로 136회라는 데이터가 처음 나왔으며 새마을 철도차량의 최고속도인 150km/h에서의 제동은 없으며 최고 제동속도는 135km/h라는 사실과 주로 제동은 100~120km/h에서 가장 많이 실시하는 것으로 확인되었다. 하지만 이러한 기존선 새마을 철도차량에 적합한 소결 브레이크 패드의 개발은 기술적으로 성공하였으나 경제적인 문제로 실용화는 진행되지 못하였다.



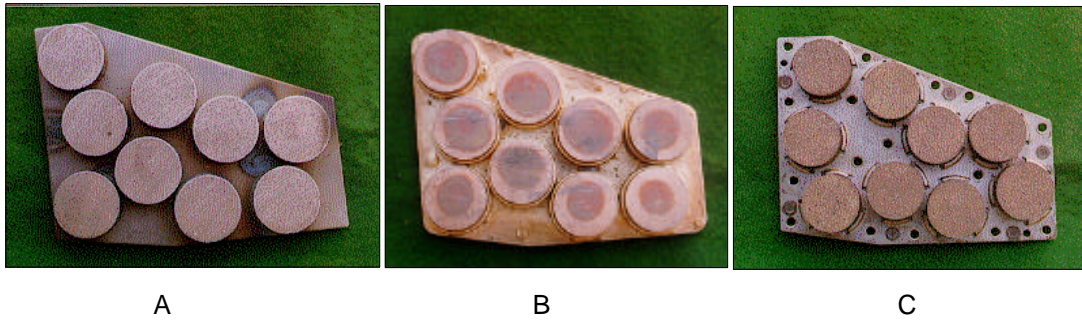
3.

### 3. 고속전철용 소결마찰재의 해외 제품 현황

새마을 철도차량용 소결 마찰재 개발은 1996년 12월부터 2002년 10월까지 진행된 G7 한국형 고속전철 개발사업에 자연스럽게 연계됨으로 그동안 해외에서 입수하기 힘든 소결 브레이크 패드를 여러 경로를 통하여 3개사의 제품을 입수할 수 있었으며 그들의 bench-marking은 고속전철용 소결 브레이크 패드 개발에 많은 도움을 주었다.

#### 3.1. 소결 브레이크 패드의 형상비교

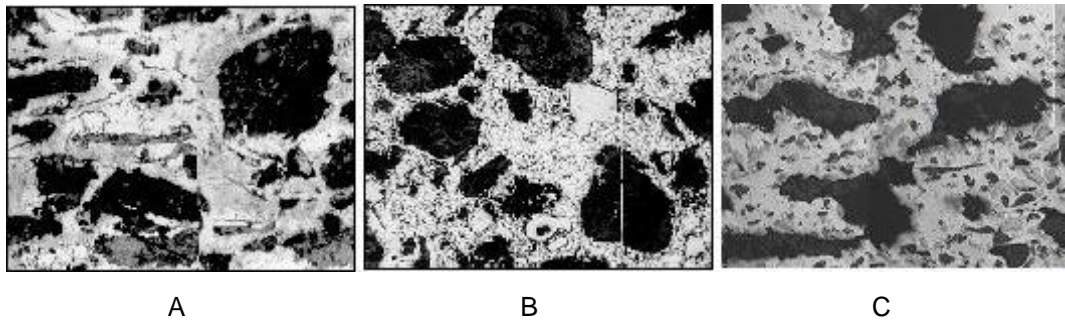
소결 브레이크 패드의 형상은 3개사 모두 9개의 stud로 구성되어 있으며, stud의 배열과 위치가 서로 비슷하였다. 하지만 stud를 back-steel에 취부하는 방법과 back-steel과 guide-rail을 붙이는 방법, 그리고 stud를 보호하는 metal-ring 등의 형상에 있어서는 3사 모두 약간씩 차이가 있었다. 그림 4는 해외의 고속전철에 사용되고 있는 3사의 마찰패드 사진이다.



4.

### 3.2. 소결 마찰재의 조직 비교

소결 마찰재의 조직을 분석한 결과는 그림 5와 같다. A사는 Cu-Sn계 matrix를 가지고 있었으며, 일부 광물이 마찰조절제로 약 10% 첨가되어 있다. 그밖에  $Al_2O_3$ 와  $SiO_2$  등이 첨가되어 있으며, 윤활제로는 흑연을 사용하고 있다. B사의 경우 첨가원소가 가장 간단하며, matrix는 Cu만을 사용한 것이 특징이다. 마찰조절제로 Ferro-Cr 이 일부 사용되고 있다. C사는 첨가 원소가 8가지 정도로 상당히 많이 첨가되어 있으며, 마찰조절제로 금속 공구강 분말을 일부 사용하고 있다.



5.

## 4. G7 한국형 고속전철용 브레이크 패드 개발

G7 차량에 적합한 소결 브레이크 패드의 개발은 과거 새마을 철도차량 개발에서 얻은 경험과 해외 소결 브레이크 패드의 bench-marking 한 분석 자료를 통하여 독자 개발을 실시하였다. DHI-11은 G7 차량용으로 개발한 첫 시제품으로 300km/h의 다이내모 시험을 이용하여 마찰특성을 분석하였고 외국에서 350km/h의 고속제동 상태에 대한 평가를 실시하였다. 또한 DWF-31은 DHI-11을 개량 개발하여 제작한 것으로 내마모 특성이 우수하다.

### 4.1. 시제품의 제작

제조공정은 도표 1의 원소들을 사용하여 새마을 철도차량용 브레이크 패드 제작과 동일하게 진행하였고 단지 첨가원소의 양과 종류가 달라짐에 따라 가압소결 온도가 900°C로 상향 조정되었다. 그림 6은 제작된 소결 브레이크 패드의 형상이며 이들의 물리적 성질은 DHI-11의 경우 새마을 철도차량용 마찰재에 비하여 밀도가 조금 향상되었으며 소결 후 경도값은 약간 낮아졌다. 반면

DWF-31의 경우는 윤활제 량의 증가로 밀도와 경도가 모두 낮아졌다.



DHI-11  
6 G7



DWF-31

1. G7

List ( :wt%)

No.	Matrix (Cu)	Friction Modifier			Lubricant	
		Metal	Non-metal	Carbide	Carbon	the rest
DHI-11	Bal.	10	7	1.5	10	3 ↓
DWF-31	Bal.	18	6	3	13	1 ↓

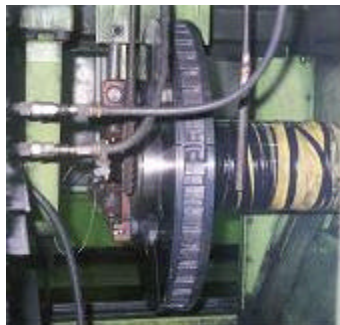
#### 4.2. 관성 동력계 제동 시험평가

그림 7은 개발된 소결재 패드의 마찰특성 평가를 실시한 300km/h급 및 350km/h급 다이내모 시험기의 마찰 디스크의 조립된 사진이며, 마찰 특성의 평가는 "GEC Alsthom ST 19-225-933 Appendix #1(Performance Test)" 에 준하여 실시하였다. 시험 기준은 아래 도표 2에 실었으며, 모두 만족한 시험결과를 얻을 수 있었다.

2.

List

Brake Mode	Load/disk	Inertia (kg.m <sup>2</sup> )	Max. B-speed	Control Mode	Max. B-Energy
Normal Brake	4.0 Ton	792	300 km/h	Deceleration	13.9 MJ
High speed Brake			350 km/h		18.9 MJ



300km/h ( )



350km/h ( )

7.

도표 3은 G7 차량용으로 개발한 소결 브레이크 패드와 외자품의 소결 브레이크 패드에 대한

300km/h의 관성 동력계 제동 시험결과이다. DHI-11은 300km/h에서의 마찰계수가 약 0.30~0.35로 조금 낮고 반면 DWF-31는 해외 사용품 보다 고속에서 안정적인 마찰특성을 확보하고 있고 또한 재현성도 뛰어나다. 한편 마모량의 경우 DWF-31, 외자품, DHI-11의 순으로 내마모 특성이 좋게 나타났다.

### 3. G7

300km/h

	120km/h	160km/h	220km/h	300km/h	Pad Wear (g)
DHI-11	0.37-0.40	0.32-0.36	0.35-0.37	0.30-0.35	87
DWF 31	0.31-0.42	0.38-0.41	0.37-0.40	0.38-0.45	72
	0.39-0.42	0.34-0.37	0.34-0.38	0.34-0.36	75

#### 4.3. G7 차량의 운용시험

2002년 8월19일부터 시작된 G7 차량 운용시험에 처음부터 개발된 DHI-11 소결 브레이크 패드를 사용하였으며 주행거리는 2004년 1월 현재 10,393km 이며 시험운행 횟수로는 64회 운행하였다. 이후 2004년 2월27일부터 DWF-31을 사용하여 운용시험을 진행 중에 있으며 시험 중 최근 해체하여 마찰면을 관찰한 결과, 마모는 관성동력계 제동시험에서와 같이 DWF-31이 우수한 것으로 확인되었다.



Wheel disk



Disk

### 8. G7

#### 5. 결 론

국내 최초로 개발된 철도차량용 소결 마찰재는 새마을 철도차량에 대한 것으로 1995년 한국철도산업기술연구원과 공동으로 개발하였다. 회주철 디스크의 크랙을 방지할 목적으로 개발을 하여 목적은 달성하였으나, 경제성 측면에서 양산 진행은 어려웠다. 이후 G7 과제를 통한 독자적인 고속전철용 소결 브레이크 패드 개발을 진행하여 마침내 DHI-11 소결 브레이크 패드를 개발하여 G7 차량에 적용하였고, 이후 G7 후속과제인 “고속전철 차량시스템 안정화 기술개발” 과제의 일환으로 한국철도기술연구원의 시운전 시험팀과 공동으로 개량 개발된 DWF-31을 개발하여 현재 G7 차량에서 운용시험 진행 중에 있다.

고속전철용 소결 브레이크 패드의 개발은 해외 선진업체들의 기술을 빌리지 않고 독자 개발을 선택하여 어려움도 많았으나 이제는 그 성능에 있어 동등이상의 특성을 확보하게 되었다. 이렇게 되기까지 지속적인 정부의 경제적인 지원이 있었고 또한 철도기술연구원과 로템 그리고, 유진기공 관련자분들의 적극적인 지원이 있어 가능할 수 있었다고 생각된다.

## 참고문헌

1. K. Gopinath 외 2, "Friction & Wear of Sintered Iron" Wear, 42, 1977, pp245-250
2. "Disc brake and disk brake linings(1)" International Union of Railway 1985.1.7, 3rd Edition
3. 김기열 외4, "고속전철용 제동 시스템에 적용되는 마찰재료" 대한 금속학회 회보, Vol.11, No.2, 1998, pp134-143
4. 정동윤, 김기열, 조정환, "B4C첨가에 따른 동계 소결합금 마찰재의 마찰특성 변화에 관한 연구", vol.12, No.3, 1996, pp48-54
5. US Patent 3844800 "Friction Material"
6. N. A. Hooton, "Metal-Ceramic Composites in High- Energy Applications", Bendix Technical J. spring, 1969