

내열성 제동 디스크 소재 개발

Development of a Heat-resistant Brake Disk Material

구병춘*, 임충환**
Goo, Byeong-Choon Lim, Choong-Hwan

ABSTRACT

Thermal cracks are among the key factors that control the quality of a brake disk. Thermal cracks may shorten the lifetime of the disc and increase brake noise. Therefore, high heat-resistant brake disk materials are needed. In this study, three kinds of disk material were tested. They are composed of C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Mo, and Ni. For the three materials, tensile tests, hardness measurement, metallurgical structure analysis, image analyzer analysis, etc were carried out. And friction tests were performed by a small scale dynamometer.

1. 서 론

철도차량에 사용되는 제동 디스크는 열차를 정지시키기 위해 대단히 큰 마찰에너지를 소진시켜야 하므로 제동 디스크가 받는 열하중은 매우 크다. 이렇게 큰 열하중은 디스크에 열균열을 발생시켜 디스크의 수명을 짧게 하고, 소음을 발생시키므로 이러한 열 하중에 잘 견디는 소재의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 양호한 내열성을 갖는 소재의 후보재로 C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Mo, 및 Ni을 성분으로 갖는 세 가지 주물을 만들고 이 주물로부터 시편을 제작하여 인장시험, 경도시험, 흑연조직 형상 및 분포 분석, 미세조직 분석 등을 수행하였고, 소형 제동 다이내모미터를 이용하여 마찰, 마모 특성을 평가하였다.

2. 실 험

비교적 양호한 내열성을 갖는 것으로 알려져 있는 재질인 FC250, FC280 및 NCM의 주물 공시재료부터 시편을 제작하여 이를 이용해 인장시험, 경도시험, 흑연조직 형상 및 분포 분석, 미세조직 분석 등을 수행하였다. 또한 소형의 디스크 시편을 제작, Lab-scale brake dynamometer를 이용하여 재질별 마찰, 마모 특성을 관찰하고 이를 현재 새마을, 무궁화 열차에 사용되는 브레이크 디스크의 특성과 비교, 평가하였다.

시편으로 제작된 후보 재질의 화학조성 및 재질별 특성을 Table 1과 2에서 나타내고 있다. 인장, 경도 및 조직 분석용 시편 외에 소형 다이내모 마찰/마모 시험용 시편을 제작하였으며 시편의 모양은 Fig. 1과 같다. 또한 마찰/마모 시험에 사용된 Lab-scale brake dynamometer의 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

* 책임저자 : 한국철도기술연구원, 정회원

E-mail : bcgoo@krri.re.kr

TEL : (031)460-5243, FAX : (031)460-5279

** 한국철도기술연구원, UST 학생, 정회원

Table 1 후보 재질별 화학적 성분 조성

재질명	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Mg
FC250	3.0 ~3.5	1.5 ~2.4	0.3 ~1.0	0.16 이하	0.12 이하	0.3 ~1.0	-	-	-	-
FC280	3.0 ~3.4	1.5 ~2.2	0.6 ~1.0	0.16 이하	0.12 이하	0.5 ~1.0	0.1 ~0.3	-	-	-
NCM	3.0 ~3.5	1.1 ~2.5	0.1 ~1.0	0.16 이하	0.12 이하	0.3 ~1.0	0.3 ~0.6	0.1 ~0.5	0.8 ~1.5	-

Table 2 후보 재질별 특성 비교

구분	재질명	조직특성						
		흑연조직	기지조직	합금성분	주조성	열전도성	기계적 강도	내마모성
편상흑연주철계 (Grey iron)	FC250	편상흑연 (A 타입)	Pearlite	Cu	1	2	4	4
	FC280	편상흑연 (A 타입)	Pearlite	Cu, Cr	1	2	3	4
	NCM	편상흑연 (A 타입)	Pearlite	Ni, Cr, Mo	3	2	3	2

* 1 (양호) <==> 5 (불량)

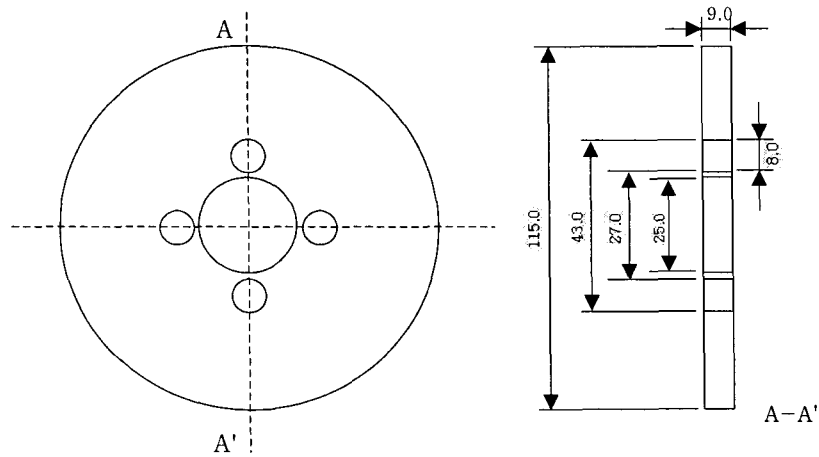


Fig. 1 소형 다이내모시험용 시편 형상

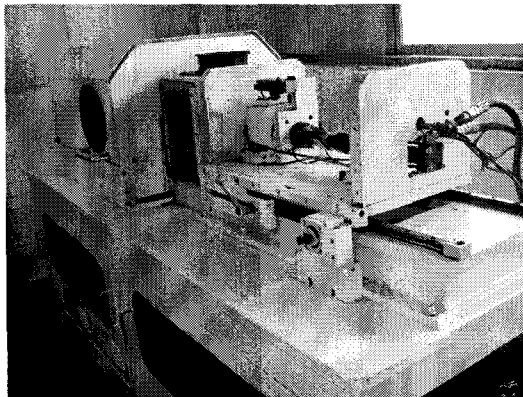


Fig. 2 Lab-Scale Brake Dynamometer

3. 실험 결과

3.1 기계적 성질 및 조직분석 시험 결과

FC250, FC280 및 NCM 등을 이용하여 인장강도시험, 내부경도시험, 흑연형상 관찰시험, 흑연분포 관찰시험 및 미세조직 사진촬영 등이 실시되었다. 인장 및 경도시험에는 각각 KS B 0802:2003, KS B 0805:2000 등이, 흑연형상 및 흑연분포 관찰시험에는 ISO 945:1975의 시험규격이 사용되었다. 또한 미세조직 사진촬영은 ASTM E 3:2001 및 E 883:2002의 시험규격에 따라 수행되었다.

각 재질별 에칭 후 미세조직사진을 Fig. 3에서 보이고 있으며 이상의 시험분석 결과를 Table 3에서 종합하여 나타내고 있다.



(a) FC250

(b) FC280

(c) NCM

Fig. 3 각 후보 재질별 미세조직사진 (에칭 후, X100)

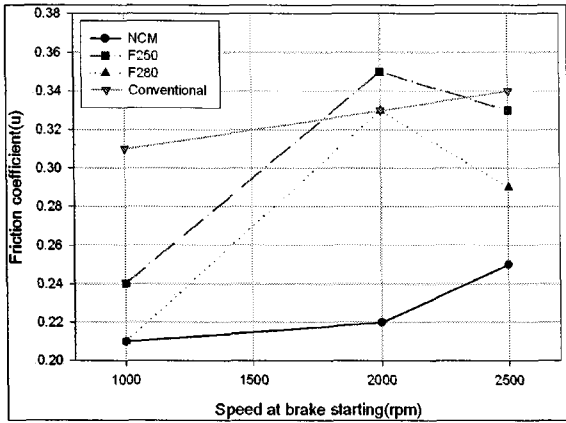
Table 3 기계적성능 및 조직분석 시험결과

재질	시편No.	인장강도 (N/mm ²)	경도 (HB)	필라이트 분율(%)	페라이트 분율(%)	흑연 형상	흑연 분포	흑연 크기	흑연입수 (EA)	공정셀수 (EA)
FC250	FC250-1	241	184	97	3	TYPE-I	A	3	191	267
	FC250-2	262								
	FC250-3	274								
	FC250-4	272								
FC280	FC280-1	308	222	98	2	TYPE-I	A	3	195	273
	FC280-2	315								
	FC280-3	307								
	FC280-4	314								
NCM	NCM-1	353	248	99	1	TYPE-I	A	3	202	283
	NCM-2	363								
	NCM-3	337								
	NCM-4	342								

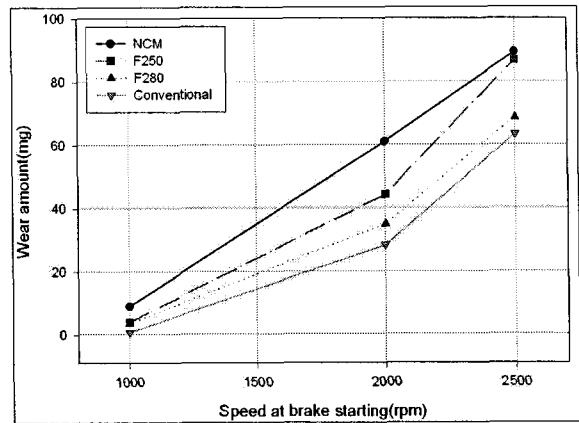
3.2 소형 다이내모 마찰/마모 시험 결과

Lab-Scale Brake Dynamometer를 이용한 디스크 마찰특성 및 패드 마모특성 시험 결과를 다음의 Fig. 4, 5에서 보이고 있다.

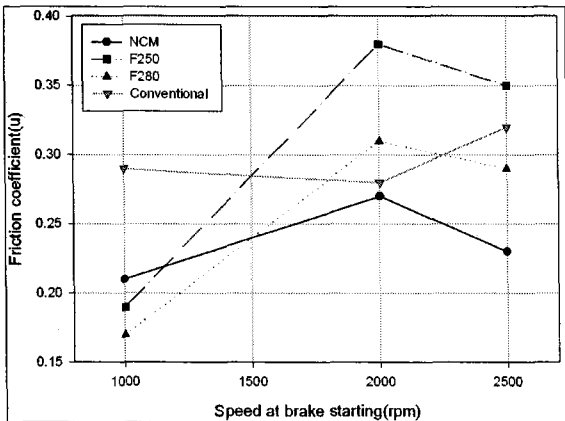
제동 초속도 1000, 2000, 2500rpm에서 4.5, 5.5 및 6.5bar의 제동압력을 가하여 정지시키는 시험을 통하여 평균마찰계수를 얻고, 이를 각 case별로 50회씩 실시하여 다시 평균을 취하였다. 또한 패드의 마모 특성을 관찰하기 위해 50회의 case 시험 후 사용 패드의 질량을 측정하여 기록하였다.



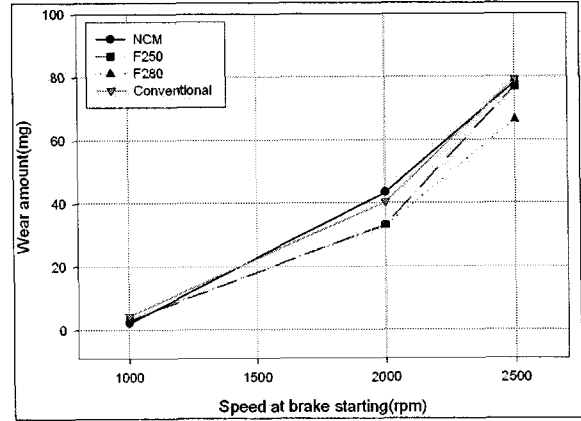
(a) Brake pressure-4.5bar



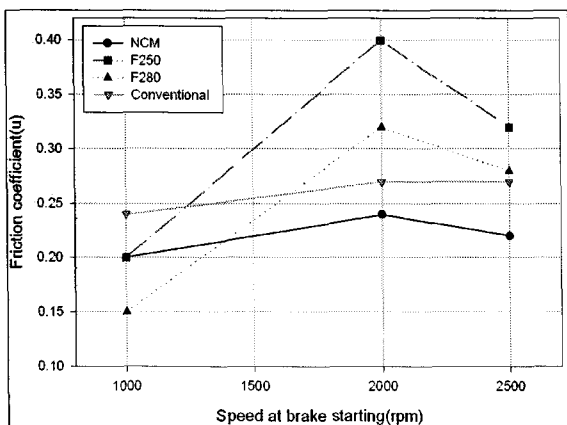
(a) Brake pressure-4.5bar



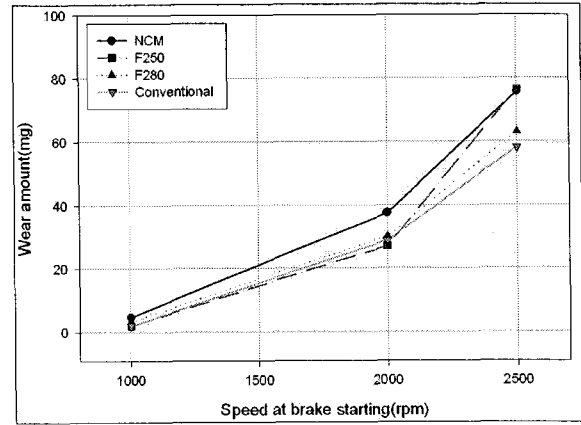
(b) Brake pressure-5.5bar



(b) Brake pressure-5.5bar



(c) Brake pressure-6.5bar



(c) Brake pressure-6.5bar

Fig. 4 각 재질별 평균마찰계수 비교

Fig. 5 각 재질별 패드 마모량 비교

4. 결 론

본 연구에서는 높은 열하중에 의해 열균열이 발생하는 철도차량용 브레이크 디스크에 대하여 재질 개선을 통한 성능향상을 달성시키기 위해 세 가지의 고내열성 후보재의 성분조성을 이용하여 주물을 만들고 이 주물로부터 시편을 제작하여 인장시험, 경도시험, 흑연조직 형상 및 분포 분석, 미세조직 분석 등을 수행하였고, 소형 제동 다이내모미터를 이용하여 마찰, 마모 특성을 평가하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 세 후보에 대한 인장강도 및 경도시험을 수행한 결과 NCM의 인장강도 및 경도가 가장 높고 그 다음으로 FC280, FC250 순으로 나타났다.
- (2) 조직분석시험 결과 흑연 형상 및 크기 등은 동일하였고 펄라이트 분율은 NCM이 99%, FC280이 98%, FC250이 97%로 비교적 근소한 차이를 보였으나 조직사진에서 볼 수 있듯이 NCM의 흑연 조직이 가장 조밀하게 분포되어 있으며 흑연입수도 NCM이 202, FC280이 195, FC250이 191로 다소 차이가 있었다.
- (3) 종합해 볼 때 기계적 성질 및 조직분석 시험의 결과, NCM 재질이 가장 우수한 성능을 가진 것으로 나타났다.
- (4) 소형 제동 다이내모 시험을 통하여 각 후보재질의 마찰/마모 특성을 현재 새마을호 및 무궁화호 열차에 사용되고 있는 브레이크 디스크 재질과 비교한 결과 다음과 같은 경향이 관찰되었다.
 - ㄱ. 동일 회전수 및 동일 제동압력에서 FC250의 제동마찰계수가 가장 큰 경향을 보였다.
 - ㄴ. 현재 일본의 신칸센 등에서 사용되고 있는 NCM 재질은 가장 낮은 마찰계수 특성을 보임에도 불구하고 패드 마모량은 가장 큰 것으로 관찰되었다.
- (5) 기계적 성질, 조직분석 및 마찰/마모 시험등을 통하여 각 후보재질의 특성을 확인하였으나 특정 재질에 대해 명확한 변별성은 관찰되지 않았으므로 우수한 내열균열성을 갖는 디스크 재질의 선택을 위하여서는 앞으로의 연구를 통하여 보다 다양한 재질에 대한 특성시험이 요구된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 기본사업과제 중 ‘철도차량 성능향상 기술개발’ 과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) KS B 0802:2003, ‘금속 재료 인장 시험 방법’
- (2) KS B 0805:2000, ‘금속 재료의 브리넬 경도 시험 방법’
- (3) ISO 945:1975, ‘Cast iron - Designation of microstructure of graphite’
- (4) ASTM E3:2001, ‘Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens’
- (5) ASTM E883:2002, ‘Standard Guide for Reflected-Light Photomicrography’
- (6) KS R 4024:2004, ‘자동차용 브레이크라이닝 및 패드’