

제동 디스크 소재의 강도평가

Strength Assessment of the Brake Disk material

이영민*, 최정훈*, 허용*, 박재실*, 석창성*, 최경진**

Y. M. Lee, J. H. Choi, Y Huh, J. S. Park, C. S. Seok and K. J. Choi

ABSTRACT

In this study, we compared the strength of a material used in the A-type disk brake with that in the B-type. From tensile test results, it has been found that the strength of the B-type disk brake is higher than that of the A-type. The microstructure observation and chemical analysis were conducted to determine the cause of the difference between the strength of A and B types of disk brake materials. From the experimental results, it has been confirmed that the difference in the strength between the two types of disk brake is due to the difference in the shape of graphite.

1. 서론

최근 철도교통은 고속철도가 개통되어, 고속화, 고성능화 시대에 들어섰다. 이 때문에, 철도차량은 이전에 비하여, 더욱더 우수한 주행성능과 제동안전성을 요구받고 있다. 이 중 제동안전성은 제동 디스크의 성능에 따라 많은 영향을 받게 되는데, 제동디스크 소재의 강도는 제동디스크 성능에 많은 영향을 주는 요인 중 하나이다. 패드와 디스크 마찰면의 마찰 정도에 따른 다양한 조건하에서 사용되는 제동디스크의 가동 온도는 50℃ ~ 250℃ 정도이며 제동조건에 따라, 제동 디스크의 온도는 400℃ 이상이 되는 경우도 발생하게 된다. 이처럼 제동디스크는 다양한 온도범위에서 사용되기 때문에 온도 변화에 따른 물성 평가가 필요하다. 최근 국내외적으로 온도별 강도변화 및 내구성 평가에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 A형 및 B형 제동디스크 소재에 대한 온도별 인장시험을 수행하여, 온도변화에 따른 제동디스크 소재의 강도변화 및 A형과 B형 제동디스크 소재의 강도차이를 비교하였다. 인장시험 결과 B형이 A형 제동디스크 소재보다 약 1.5배 높은 강도를 가졌으며, 경도시험, 조직검사 및 성분분석을 통하여 강도차이가 발생하게 된 원인을 확인하고, 그 결과를 고찰하였다.

* 성균관대학교 기계공학부

** 철도기술연구원, 정회원

2. 인장시험

2.1 시험편 및 시험장치

본 연구에 사용된 재료는 제동디스크 소재인 회주철로서, Table 1에 화학조성을 나타내었다. ASTM E8¹에 준하여 디스크의 마찰면에서 원주방향으로 인장시험편을 채취하였다. 인장시험에 사용된 재료시험기는 25ton용량의 전기유압식 만능시험기이며 시험기의 제어, 데이터처리 및 결과해석에는 32bit PC를 사용하였고, 하중과 변형량을 측정하기 위하여 로드셀과 고온용 신장계를 이용하였다. Fig. 1에 본 실험에 사용된 시험장치를 나타내었다.

2.2 시험방법

A형 및 B형 제동디스크 소재의 항복강도, 인장강도를 평가하기 위하여 ASTM E8¹, E21²에 따라 상온 및 100, 150, 200, 300, 400°C에서 온도별 인장시험을 수행하였다. 시험 속도를 1mm/min로 하여 시험을 수행하였고, 25mm의 gage length를 가지는 신장계를 부착하여 시험편의 변형량을 측정하였다. 고온 시험의 경우, 시험편 전체의 온도가 균일하게 분포되도록 시험온도 도달 후 1시간을 유지시킨 후에 시험을 수행하였다. 인장시험에서 얻은 하중-변위(load-displacement)선도를 이용하여 공칭용력-공칭변형률 선도를 구하고, 0.2% offset법을 이용하여 항복강도를 구하였다. 최대하중을 초기단면적으로 나누어 인장강도를 결정하였다.

2.3 결과 및 고찰

각각의 온도(상온, 100, 150, 200, 300, 400°C)에서 A형 디스크 소재는 140.5, 159.5, 138.0, 141.6, 133.5, 127.0MPa의 항복강도와 162.2, 190.1, 171.0, 182.7, 168.7, 158.4MPa의 인장강도를 B형 디스크 소재는 225.0, 227.6, 263.5, 232.1, 241.7, 212.8MPa의 항복강도와 292.4, 289.2, 310.0, 283.7, 299.2, 282.0MPa의 인장강도를 가졌다. 인장시험 결과, 온도의 증가에 따라 항복강도 및 인장강도가 감소하였지만 감소폭은 크지 않았고, B형 디스크 소재가 A형 디스크 소재에 비하여 약 1.5배 높은 항복강도와 인장강도를 가짐을 확인할 수 있었다. Fig. 2에는 온도별 A형 디스크 소재와 B형 디스크 소재의 항복강도 및 인장강도 값을 나타내었다.

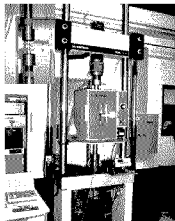


Fig. 1 Tensile test machine

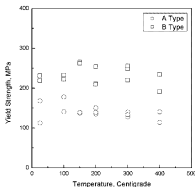
Table 1 Chemical compositions of brake disk material(wt.%)

(a) A-type disk material

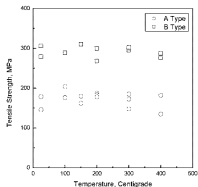
composition	C	Si	Mn	P	S
percentage	3.3-	2.0-	0.25-	-	-
	4.0	3.5	0.50	0.08	0.10

(b) B-type disk material

composition	C	Si	Mn	P	S
percentage	3.00-	1.70-	0.60-	-	-
	3.40	2.20	0.90	0.07	0.12



(a) Yield strength of brake disk material



(b) Tensile strength of brake disk material

Fig. 2 Tensile test results of brake disk material

3. 경도시험, 조직검사 및 성분분석

인장시험 결과 나타난 A형 및 B형 제동디스크 소재의 강도차이에 대한 원인을 알아보기로 경도 시험, 조직검사 및 성분분석을 수행하였다.

3.1 경도시험

상온에서 A형 및 B형 제동디스크 소재의 경도 측정을 위해 ASTM E92³⁾에 따라 디스크 마찰면의 두께방향으로 시험편을 채취하였고, 압입하중을 200kg로 하여 경도시험을 수행하였다. Fig. 3에 시험에 사용된 Vickers 경도 시험기를 나타내었다. 시험 당 10회씩 압입하여 경도를 측정한 후 평균값을 구하였다. 또한 경도시험에서 구한 Vickers 경도를 ASTM E140⁴⁾에 따라 Brinell 경도로 환산하여



Fig. 3 Vickers hardness test machine

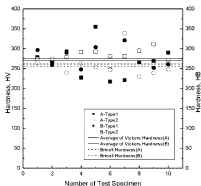


Fig. 4 Hardness test results for brake disk material

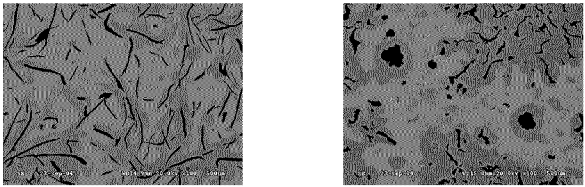
결과를 Fig. 4에 나타내었다. 상온에서의 A형 디스크 소재와 B형 디스크 소재는 각각 276.1HB와 269.9HB의 경도 값을 가져 거의 차이가 없었다.

3.2 조직검사

회주철의 강도는 조직내에 포함되어 있는 흑연의 양과 형상에 의해 많은 영향을 받는다. 형상면에서 구상 흑연은 외부 응력에 의한 크랙 결파를 억제하는 효과를 가지는데 반해 편상 흑연의 경우 많은 응력집중을 발생시키므로^{5,6} 흑연의 형상이 편상에 가까울수록 강도가 감소하고 구상에 가까울수록 강도가 증가하는 경향을 보인다⁷. 또한 흑연의 양과 강도는 반비례하는 경향을 보인다. A형 디스크 소재와 B형 디스크 소재의 흑연 형상을 관찰하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 조직을 관찰하였다. Fig. 5에 각각의 디스크 소재에 대한 조직을 나타내었는데 각각의 조직사진에서 검정색으로 나타나는 부분이 흑연조직이며, B형이 A형 디스크 소재의 흑연에 비하여 구상화율이 높음을 알 수 있다⁸. B형 디스크 소재는 대부분의 흑연 형상이 편상이며, 소량의 구상 흑연을 포함하고 있는 반면에, A형 디스크 소재의 경우, 대부분의 흑연이 편상이며, 소량의 편상 흑연이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 인장시험결과 나타난 B형과 A형 디스크 소재의 강도차이는 흑연의 구상화율과 형상의 차이에서 기인한다고 판단된다.

3.3 성분분석

회주철을 구성하는 주요 원소로는 탄소(C), 규소(Si), 망간(Mn), 인(P), 황(S), 마그네슘(Mg), 구리(Cu)등이 있다. 이 중, 망간은 흑연생성을 억제하고, 규소는 흑연생성을 촉진하며 각각의 성분은 함유량에 따라 주조과정에서 조직을 변화시키기도 한다. 또한 마그네슘은 흑연을 구상화시키는 역할하며 구리는 주조과정 중에 첨가되어 펄라이트(pearlite)의 양을 증가시키는 역할을 한다⁸. 주요 성분들의 함량을 알기 위해 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)를 이용하여 성분분석을 수행하였고 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 성분분석결과 인과 황은 나타나지 않았다. 일반적으로 회주철과 구



(a) A-type

(b) B-type

Fig. 5 Microstructure of graphite cast iron(SEM micrograph)

Table 2 Chemical composition of brake disk material (wt%)(EDS)

(a) A-type

(b) B-type

composition	Si	Mn
percentage	1.14	0.80

composition	Si	Mn	Cu
percentage	1.75	0.28	0.74

상속연주철의 주조과정에서는 각각의 성분 간 화학반응에 의하여 산화물이 생성되는데, 황은 슬래그를 형성한 후 산화하여 SO₂기체를 형성한 뒤 대기 중으로 방출되었거나 마그네슘과 반응하여 MgS 또는 MgSO₄ 화합물을 생성하여 제거되었기 때문에 나타나지 않은 것으로 판단된다⁹. A형 디스크 소재는 1.14% 규소와 0.80% 망간, B형 디스크 소재는 1.75% 규소와 0.28% 망간을 함유하고 있었다. 펄라이트(Pearlite)양이 많아질수록 조직의 강도는 높아지는데, 망간과 규소의 함유량이 각각 0.88%, 2.32% 이하인 경우에는 망간이나 규소 함유량 변화에 따른 오스테나이트(austenite), 페라이트(ferrite), 펄라이트양의 변화는 없다¹⁰. 따라서, 제동디스크 소재에 함유된 규소, 망간 성분의 경우, 함유량이 2.32%, 0.88% 이하이기 때문에 두 성분의 차이에 의한 조직의 변화는 없으며, 조직변화에 따른 강도 변화도 없다고 판단된다. 마그네슘은 회주철 내에서 흑연을 구상화하는 역할을 한다¹¹. B형 디스크 소재의 경우 구상 흑연이 존재하였으나, 성분분석 결과 마그네슘은 나타나지 않았다. 이는 마그네슘이 MgO산화물과 MgSO₄를 형성하였고, 마그네슘 처리의 소멸현상(fading)으로 인해 마그네슘이 제거되었기 때문이라 판단된다. 또한 이에 따라 다량의 마그네슘이 소멸됨으로 인해 B형 디스크 소재에 존재하는 구상 흑연의 양이 적은 것이라 사료된다¹². 구리의 경우 B형 디스크 소재에서는 0.74%의 함량을 보인 반면에 A형 디스크 소재에서는 나타나지 않았다. 회주철을 풀림처리(annealing)하는 경우 구리의 첨가량이 증가하면 펄라이트의 양이 증가하기 때문에, 구리 함량의 증가에 따라 인장강도가 증가하는 경향을 보인다¹³. A형 디스크 소재는, B형 디스크 소재에 비해 다량의 망간, 소량의 규소를 포함하고 있지만, 구리가 강도변화에 미치는 영향에 비해 미비하기 때문에 B형 디스크 소재가 A형 디스크 소재보다 큰 강도값을 가졌다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 제동디스크에 사용되는 A형 및 B형 디스크 소재에 대하여 온도에 따른 인장시험을 수행하였다. 또한 경도시험, 조직검사 및 성분분석을 통하여 인장강도의 차이가 발생하게 된 원인에 대하여 고찰하였으며 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

온도별 인장시험을 통하여 실험 온도가 높을 수록 A형과 B형 디스크 소재 모두 대체적으로 인장강도가 감소하였지만 그 감소량은 크지 않음을 확인하였고, B형 디스크 소재의 인장강도가 A형 디스크 소재의 인장강도보다 높음을 확인하였다. 조직분석을 통해 B형 디스크 소재가 함유한 흑연의 구상화율이 A형보다 높음을 알 수 있었고, A형 디스크 소재는 편상 흑연, B형 디스크 소재는 피상 흑연을 함유하고 있음을 확인하였다. 따라서 두 소재의 강도차이는 흑연의 형상 차이에 기인한다고 판단된다.

후 기

이 논문은 BK21사업과 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE) 및 한국철도기술연구원의 국가기본연구사업(차량성능핵심기술개발사업)에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

- (1) ASTM E8-01, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials" 2001.
- (2) ASTM E21-03a, "Standard Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials" 2003.
- (3) ASTM E92-82, "Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials" 2003.

- (4) ASTM E140-88, "Standard Hardness Conversion Tables for Metals"¹⁾
- (5) N.Ozdemir, M.Aksoy, N.Orhan (2003), "Effect of graphite shape in vacuum-free diffusion bonding of nodularcast iron with gray cast iron", Journal of Materials Processing Technology, Vol.141.Issue.2 ,pp 228-233
- (6) 주대현, 박주승, 김명호 (2001), "화상분석에 의한 구상흑연주철의 구상화율 판정", 한국주조공학회지, 제21권 3호, pp. 198-203
- (7) Jan Voracek (2001), "Prediction of mechanical properties of cast irons", Applied Soft Computin, Vol.1.Issue.2, pp119-125
- (8) 박홍일, 김명호 (1988), "고강도 회주철의 합금설계에 관한 고찰", 한국주조공학회지, 제8권 2호, pp. 174-184
- (9) 권해욱, Carl R.Loper (1996), "구상흑연주철 내의 슬래그와 드로스의 형성", 한국주조공학회지, 제 16권 3호, pp. 169-173
- (10)W.Xu, M.Ferry, Y.Wang (2004), "Influence of alloying elements on as-cast microstructure and strength of gray iron", Materials Science and Engineering A
- (11)Carl R.Loper, Phd, P.E (1983), "In-Mold법에 의한 구상흑연주철의 제조", 한국주조공학회지, 제 3권 4호, pp. 276-282
- (12)노부근, 권혁부 (1989), "주철의 열적 성질에 미치는 흑연형상 및 첨가원소(Mn, Ni)의 영향", 한국주조공학회지, 제9권 1호, pp. 80-88
- (13)김원용, 나태엽, 강인찬, 박창섭 (1993), "구상흑연주철의 파괴특성에 미치는 Cu 및 열처리의 영향", 한국주조공학회지, 제13권 6호, pp. 555-561