

# 자동차용 회주철 로터내의 편상흑연과 페라이트의 형상에 따른 마찰특성에 관한 연구

조민형 · 장 호

고려대학교 재료금속공학부

## The Effect of Graphite Morphology and Ferrite in Automotive Gray Cast Iron Rotor on Friction Characteristics

Min Hyung Cho · Ho Jang

Division of Materials Science and Engineering, Korea University

**Abstract**-The effect of the microstructure of gray cast iron on friction properties was investigated by using a pad-on-disk type friction tester. Cast iron samples used in this investigation were obtained from "step block" castings, which were designed to produce microstructure with different graphite flake morphologies from different cooling rate and solidification rate. Results of this work showed that the gray cast iron disks with long graphite flakes showed less fading. The rotors containing smaller amounts of ferrite showed higher friction coefficient and better fade resistance than others.

**Key words**-gray cast iron, graphite flake, ferrite, pearlite, friction coefficient.

### 1. 서 론

자동차 브레이크용 로터는 마찰재와의 마찰을 통해 운동에너지를 열에너지로 변환시켜 차량을 감속시키는 역할을 한다. 로터는 마찰시 우수한 제동성능을 구현하기 위하여 마찰재와 안정된 마찰력을 유지해야 하며, 진동(vibration)이나 잡음(noise)현상이 나타나지 않도록 고안되어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 로터의 재료는 열전도율과 감쇄능(damping capacity)이 우수한 회주철이 사용되어

왔다.

일반적으로 회주철의 미세구조는 퍼얼라이트(pearlite), 편상흑연(graphite flake), 페라이트(ferrite)로 구성되며, 편상흑연의 함량, 길이, 분포에 따라 회주철의 열도율과 감쇄능에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1].

편상흑연의 함량, 길이, 분포는 주조시 주물의 두께, 탄소당량(carbon equivalent, C.E.=[C](wt.%) + 1/3[Si](wt.%)), 미량원소의 함량, 초기 용탕온도, 응고속도, 냉각속도에 따라 달라진다[2].

현재 자동차에 사용되고 있는 회주철 로터의 흑연 형상은 길이가 길고 균일한 분포의 A type 편상흑연이 요구되고 있으며, 최근에 개발되고 있는 신차종의 로터는 탄소당량을 높여서 강성을 증가시키고 있다. 그러나 로터의 제조과정에서 다양한 조건들을 간과하는 경향이 있으며, 로터의 조성변화만을 고려함으로써 미세구조의 향상 및 그에 따른 마찰성능의 효과를 극대화하지 못하는 경우가 많다. 특히 주조조건 및 용탕의 조성에 따른 로터의 마모현상은 로터 조직내의 퍼얼라이트, 편상흑연, 페라이트의 형상 및 함량에 민감한 것으로 보고되고 있으나 그에 대한 체계적인 연구는 발표된 바 없다.

본 연구에서는 주조물의 두께와 탄소당량을 달리하여 서로 다른 미세구조를 가지도록 시편을 제작한 후, pad-on-disk 형태의 마찰시험기를 이용하여 로터의 편상흑연의 길이와 함량에 따른 마찰특성을 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 로터는 주물의 두께를 변화시키기 위하여 step-block의 형태로 제작하였다[2]. Step-block은 4 단으로

**Table 1. C and Si contents and C.E. of gray cast iron rotors used in this experimental [C.E. = C(wt.%) + 1/3 Si(wt.%)]**

Specimen ID	C(wt%)	Si(wt%)	C.E.
A	3.32	1.7	3.89
B	3.46	1.8	4.06
C	3.68	2.0	4.35

**Table 2. Raw materials in NAO friction material used in this study**

	NAO(Non Asbestos Organic)
Binder	Phenolic Resin(Novolac)
Reinforcing Fiber	Aramid Pulp, Ceramic Fiber
Inorganic Filler	BaSO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub>
Organic Filler	Cashew Dust, Rubber, Mica
Lubricant	MoS <sub>2</sub> , Graphite, Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , ZnS
Abrasive	SiO <sub>2</sub> , ZrSiO <sub>4</sub>

이루어져 있으며, 각 단은 두께에 따라 냉각속도와 응고속도의 차이로 인해 편상흑연의 함량 및 길이가 달라지도록 고안하였다. 1, 2, 3, 4 단의 두께는 각각 1cm, 2cm, 4cm, 8cm 가 되도록 주형을 제작하였다.

탄소당량에 따른 미세구조의 차이 및 마찰특성을 분석하기 위하여 탄소당량이 다른 3 가지의 로터 A, B, C를 주조하였으며, 각각의 C 및 Si의 조성은 Table 1에 나타

**Table 3. Friction test procedure used in this work**

1. Constant interval drag test :
Burnishing (7kgf/cm <sup>2</sup> , 500rpm, 500sec)
Dragging (7kgf/cm <sup>2</sup> , 500rpm, 40sec)
Dragging, 20sec-interval, 15times)
2. High & low temp. drag test
Burnishing (8kgf/cm <sup>2</sup> , 600rpm, 400sec)
Dragging (8kgf/cm <sup>2</sup> , 600rpm, 600sec)
Dragging (4kgf/cm <sup>2</sup> , 200rpm, 600sec)

**Table 4. Graphite flake length and contents of graphite and ferrite of rotor surface**

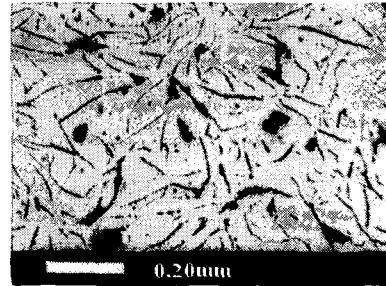
	Graphite Area Fraction(%)	Ferrite Area Fraction(%)	Graphite Average Length(mm)
A1	12.54	5.56	0.046
A3	9.37	4.36	0.066
B1	10.14	1.20	0.053
B3	7.90	1.10	0.080
C1	9.27	8.27	0.054
C3	12.64	7.32	0.088

내었다. 본 실험에서 로터의 상대재로 사용된 마찰재는 현재 상용화되어 있는 비석면 유기질(NAO : non-asbestos organic) 마찰재를 사용하였으며, 성분은 Table 2에 나타내었다.

마찰시험은 pad-on-disk 형태의 마찰시험기를 사용하였으며, 1cm×1cm×0.7cm 크기의 마찰재를 장착하여 실험하였다. 회주철 디스크 시편은 마찰시험기에 장착할 수 있도록 60mm의 외경과 8mm의 두께로 제작하였다.

회주철의 미세조직에 따른 마찰특성을 고찰하기 위해 2가지 방법으로 끌기시험을 하였으며, 구체적인 실험 조건은 Table 3에 나타내었다. Constant interval test는 내리막 길에서 나타나는 제동현상을 모사한 시험이며, high and low temp. test는 온도에 따른 마찰특성의 영향을 고찰하기 위한 시험방법이다.

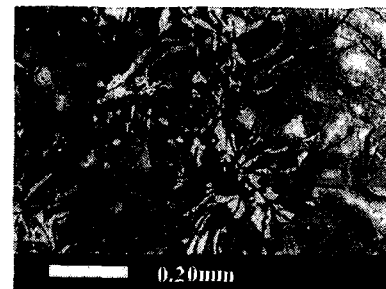
각 step-block 으로부터 1 단과 3 단을 로터 시편으로 선택하였다. 편상흑연의 함량, 길이는 에칭전에 화상분석기(image analyzer)로 분석하였으며, ferrite 함량은 에칭 후에 같은 방법으로 분석하였다(Table 4).



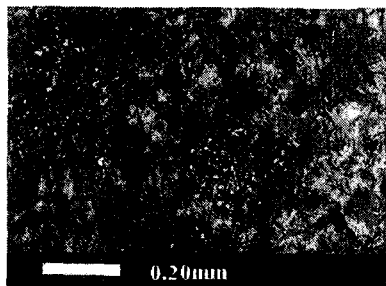
(a) C1



(b) C3



(c) C1



(d) B1

**Fig. 1. Microstructure of rotors before etching(a, b) and after etching(c, d).**

편상 흑연의 길이는 주물의 두께가 증가할수록 길어짐을 관찰할 수 있었다[Fig. 1(a),(b)]. 페라이트의 함량은 시편 B에서 가장 적게 나타났으며, 시편 C의 경우는 비교적 높은 페라이트 함량을 나타내었다[Fig. 1(c),(d)].

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 온도에 따른 마찰계수의 변화

로터의 미세조직에 따른 마찰계수의 변화를 고찰하기 위해 고온과 저온에서 마찰특성을 분석하였다. Fig. 2에 저온 끌기 시험시 마찰계수와 온도의 변화를 나타내었다. 저온 마찰시험에서 로터의 온도는 120°C 정도까지 상승하였으며, 모든 로터에서 온도의 증가에 따라 마찰계수가 증가하였다. 특히 시편 B1과 B3를 사용한 경우 상대적으로 높은 마찰계수를 나타내었는데, 이러한 결과는 로터의 마찰표면에 존재하는 페라이트와 편상흑연이 마찰

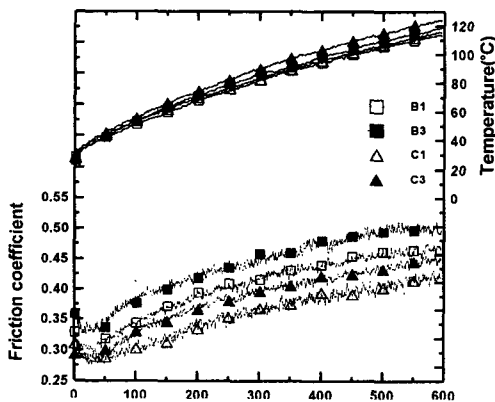


Fig. 2. The change of friction coefficient during low temp. drag test (4kgf/cm<sup>2</sup>, 200rpm, 600sec).

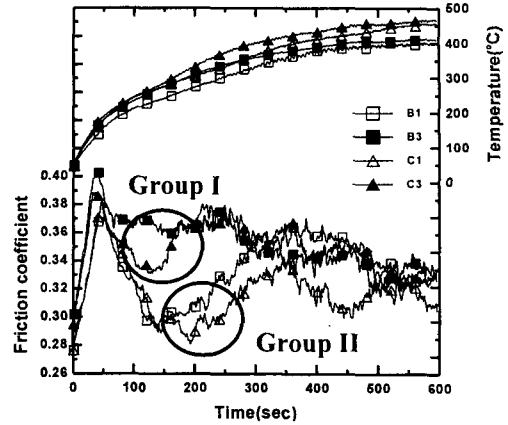


Fig. 3. Change of friction coefficient during high temp. drag test (8kgf/cm<sup>2</sup>, 600rpm, 600sec).

계수를 낮추는 역할을 하기 때문에 페라이트와 편상흑연이 많은 B1과 B3는 높은 마찰계수를 나타낸 것으로 평가된다.

고온 끌기 시험시 마찰계수의 변화와 온도 분포를 Fig. 3에 나타내었다. 로터의 온도가 450°C 이상까지 상승하였으며, 600초의 끌기 시험 동안 200~400°C의 온도범위에서 마찰계수의 차이를 나타내었다. 마찰계수의 변화에 따라 시편들은 두개의 그룹으로 구분되었다. Group I의 B3, C3는 고온에서 완만한 마찰계수의 분포를 나타냈으며, group II의 B1, C1는 급격한 마찰계수의 감소현상을 나타내었다. 편상흑연의 길이가 길수록 열전도율이 우수하여 마찰표면으로부터 열이 쉽게 방출되어 B3, C3의 실제 계면온도가 B1, C1보다 낮은 온도를 나타냄으로써 온도상승에 따른 마찰계수의 감소현상이 완화된 것으로 사료된다.

### 3-3. Constant Interval Test에 따른 마찰 특성의 변화

Constant interval test는 실제 제동현상을 모사한 시험방법으로서 온도와 마찰계수의 관계를 고찰하기 위해 시행되었다. 편상흑연의 길이가 서로 다른 B1과 B3의 평균 마찰계수의 분포와 온도를 Fig. 4에 나타내었다. 편상흑연의 길이가 긴 B3의 평균 마찰계수는 8회 끝기시험부터 B1의 평균 마찰계수보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 3에서와 같이 B3가 B1

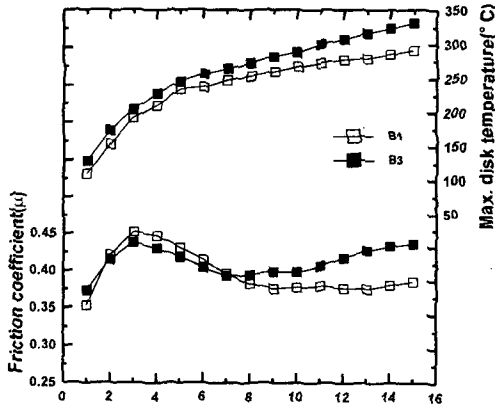


Fig. 4. Average friction coefficient at each cycle during constant interval test according to graphite flake length.

보다 편상흑연의 길이가 길기 때문에 상대적으로 낮은 마찰 표면온도를 유지하여 완만한 마찰계수를 나타낸 것으로 사료된다.

유사한 편상흑연의 길이를 지니지만 서로 다른 페라이트의 면적비를 나타낸 로터의 마찰계수를 Fig. 5에 나타내었다. 페라이트가 흑연 주위에 다량으로 존재하는 C1은 낮은 마찰계수를 나타내었으며, 끝기 회수의 증가에 따라 C1의 마찰계수는

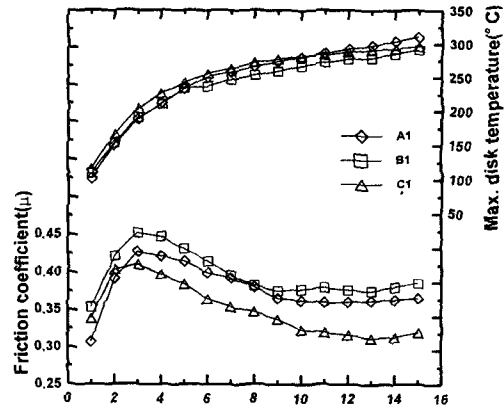


Fig. 5. Average friction coefficient at each cycle during constant interval test with change of ferrite contents.

A1과 B1에 비해 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 C1의 미세조직 내에 많은 페라이트가 고온에서 마찰계수의 안정성을 저해한 것으로 사료된다.

### 3. 결론

회주철내의 페라이트, 편상흑연의 함량 및 형상에 따른 마찰특성을 분석하기 위하여 pad-on-disk 형태의 마찰시험기를 사용하였다. 로터의 응고속도 및 냉각속도를 조절하기 위하여 step-block 형태로 구조하여 디스크 시편을 제작한 후, 자동차용 NAO 마찰재를 상대재로 하여 온도에 따른 마찰특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 회주철의 마찰계수를 조절하는 주요인자는 흑연과 페라이트의 함량임을 알 수 있었으며, 페라이트와 흑연의 함량이 적을수록 마찰계수는 증가하였다.
2. 흑연의 길이가 길어지면 마찰표면에서 열방출이 용이하여 흑연의 길이가 긴

시편이 흑연의 길이가 짧은 로터에 비해 낮은 마찰 표면온도를 유지하여 고온에서 fading에 대한 저항성이 커짐을 알 수 있었다.

3. Constant interval test의 결과로서 회주철 내의 페라이트의 함량이 많을수록 고온에서 마찰계수의 안정성이 감소하였다.

### 후 기

본 연구는 1998년 한국과학재단 지원 특정기초연구(과제번호 98-0200-02-01-3)에 의한 결과의 일부입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Metal Handbook, 10<sup>th</sup> edition, vol. 1, pp. 12-32, 1991.
2. R. L. Hecht, R. B. Dinwiddie, W. D. Porter, and H. Wang, "Thermal Transport Properties of Gray Cast Irons," SAE 962126, pp.1-6, 1996.
3. H. Metzler, "The Brake Rotor - Friction Partner of Brake Linings," SAE 900847, pp.1-4, 1990.
4. S. K. Rhee, R. T. Ducharme, and W. M. Spurgeon, "Characterization of Cast Iron Friction Surface," SAE 720056, pp.1-7 1972.
5. Metal Handbook, 10<sup>th</sup> edition, vol. 15, pp. 629-630, 1991.
6. H. Jang, J. J. Lee, S. J. Kim, K. Y. Jung, "The Effect of Solid Lubricants on

Friction Characteristics," SAE 982235, pp.1-8, 1998.

7. 장 호, "자동차 제동시 나타나는 마찰 특성에 관한 연구 I," 한국윤활학회지, 제 13 권, 제 1 호, pp.34-41, 1997.
8. 이정주, 장 호, "자동차 제동시 나타나는 Anti-fading 현상에 관한 연구," 한국윤활학회지, 제 14 권, 제 1 호, pp.70-78, 1998.