제동디스크 소재의 내열성 비교시험방법 연구

A study of comparative experiment process for heat resistance of brake disk materials

임충환*　　구병춘**

Lim, Choong-Hwan　　Goo, Byeong-Choon

ABSTRACT

In the braking of a railroad car, mechanical brake systems using wheel tread and brake disk are applied as well as electrical brake systems by regenerator and rheostat. During disk braking, kinetic energy of the vehicle is converted into thermal energy through friction between disk and brake pad. And it causes high temperature concentration and generates thermal crack on the brake disk surface. In this study, comparative test process for heat-resistance of candidate materials was designed for development of brake disk materials having high heat-resistance. We also verified the efficiency of the process by experiments using conventional brake disk materials.

1. 서 론

철도차량의 제동에는 전기의 회생, 발전을 이용하는 전기적 제동장치와 함께 차륜 답면 및 디스크를 사용하는 기계식 제동장치가 적용된다. 특히 브레이크 디스크의 제동작용에 있어서, 디스크와 마찰패드와의 마찰을 통해 차량의 운동에너지가 열에너지로 변환되며 이때 디스크 표면에는 매우 높은 온도가 집중하게 된다. 이러한 고온 집중의 반복에 의해 디스크 표면에는 열피로에 기인한 열균열이 발생하게 된다. 발생된 열균열은 차량 유지보수성능을 저하시키고 최악의 경우 대규모의 사고를 유발할 수도 있다.

본 연구에서는 보다 높은 내열성을 갖는 브레이크 디스크 소재를 개발하기 위한 과정의 일환으로 재료의 내열특성에 대한 비교시험절차를 구축하였다. 비교시험은 인덕션 히터를 적용시킨 열피로 시험기를 사용하여 시편에 열피로를 가한 후, 일정한 사이클마다 표면을 관찰하여 열균열의 발생 및 진전을 확인하였다. 균열의 관찰 및 분석은 자체 개발한 영상분석 프로그램을 사용하여 이미지의 기하정합 및 사이클별 열균열 진전율 계산 등의 과정으로 진행되었다.

실험에는 현재 새마을호 및 무궁화호 열차에서 사용되고 있는 브레이크 디스크의 재료시편을 사용하였고 이상의 실험을 통해 향후 진행될 고내열성 후보재료에 대한 비교시험절차의 적합성을 확인하였다.

* 한국철도기술연구원(KRRI)/UST, 철도시스템연구본부, 정회원
E-mail : chlim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5285 FAX : (031)460-5289
** 한국철도기술연구원(KRRI)

2. 열피로 시험

2.1 열피로 시험장치

브레이크 디스크 시편의 내열특성 비교시험에는 인덕션 히터를 이용하여 고속으로 시편을 가열할 수 있는 열피로 시험기가 사용되었다(그림 1). 가열된 시편은 설정온도에 다다르는 시점에 하강하여 수조의 냉각수에 의해 급냉된다. 이때 냉각수는 냉각기를 이용하여 일정 온도로 유지된다. 본 시험기로 시험이 가능한 온도의 범위는 약 40~1000 ℃이며 한 사이클의 시험에 소요되는 시간은 최고 온도에 따라 다소 차이는 있으나 약 15초에서 25초 정도이다.

실험 중간에 일정한 사이클의 열피로가 가해진 시편은 그림 2의 시편관찰지그로 옮겨져 표면의 열균열이 관찰된다. 최종 열피로시험 종료 후 촬영된 열균열 이미지는 자체개발된 영상분석 프로그램을 통해 분석되어 재질별 내열특성 비교를 위한 자료로 사용된다.

그림 1 열피로 시험기

그림 2 시편관찰용 디지털 현미경 및 지그

2.2 열피로 시험환경

2.2.1 실험 개요

우수한 내열균열성을 지닌 브레이크 디스크 재질 개발을 위한 열피로특성 비교시험환경의 구축을 위하여 시험절차를 선정, 샘플 시편을 사용하여 실제 실험을 수행하였다. 열피로 시험에 사용된 샘플 시편은 현재 새마을호 및 무궁화호 열차의 브레이크 디스크 재질로 제작되었고 정확한 표면관찰을 위하여 실험에 앞서 시편의 관찰위치를 연마하였다. 실험에 사용된 열피로시편 형상을 그림 3에서 보이고 있다.

본 연구에서 선정된 열피로 시험 절차는 다음과 같다.

- 시편 열균열 관찰부위 선정 및 표면 연마
- 시험기 장착 및 시험 온도범위 설정
- 일정 사이클마다 시편 관찰용 지그를 이용, 동일 부분 표면 관찰 및 사진촬영
- 시험 후 균열영상분석 프로그램을 이용하여 촬영된 이미지에 대한 열균열 분석 수행

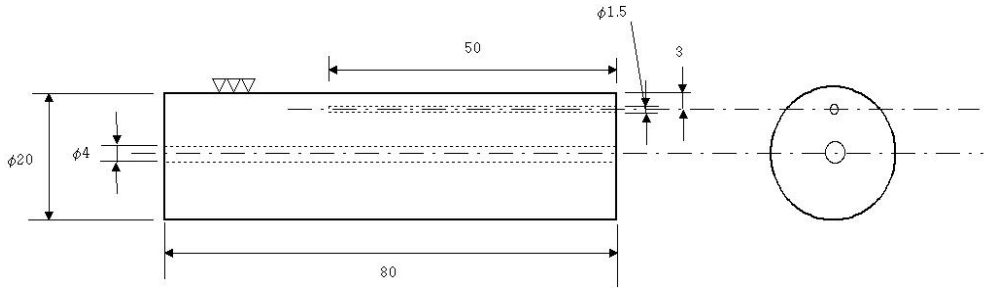


그림 3 열피로 시편

그림 4 열피로 시편 시험기 장착모습

2.2.3 열피로 시험 수행

연마가공된 시편을 그림 4와 같이 시험기에 장착하고 시험 온도 범위를 가열온도 250℃, 냉각온도 80℃로 각각 설정하였다. 시편이 유도 코일에 의해 250℃로 가열되기까지의 시간은 약 5.5초, 23℃로 일정하게 유지되는 냉각수에 의해 다시 80℃까지 냉각되는 시간은 약 7초 정도가 소요되었다.

최초의 시험 시작부터 총 300 사이클의 열하중을 가하였고 매 10 사이클마다 시편 표면을 현미경으로 관찰하였다. 이 때 관찰시마다 동일한 부위를 정확히 관찰할 필요성이 제기되어 이를 위해 시편 관찰용 지그를 별도로 제작하였다. 시편 표면은 디지털 현미경을 통해 300배의 배율로 확대되어 관찰되었으며 동일 위치에서의 열균열 발생 및 진전현상을 디지털 현미경을 통해 관찰하였다.

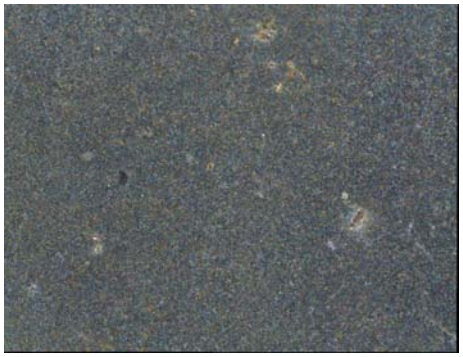
3. 시험 결과 분석

3.1 관찰 이미지

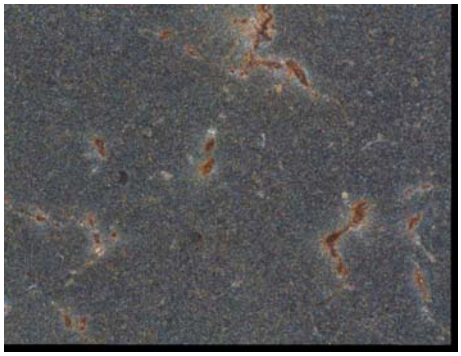
균열 발생 및 진전 이미지는 시험 전 선정된 관찰위치에서 매 10 사이클마다 관찰되었다. 그 중 매 50 사이클에서의 표면 형상을 다음의 그림 5에 나타내었다. 각 이미지는 정확한 분석을 위해 균열영상분석 프로그램을 이용하여 이미지의 위치 및 회전각도를 통일시켜 보정하는 기하정합 작업을 거친 후 사용되었다.

3.2 이미지 분석

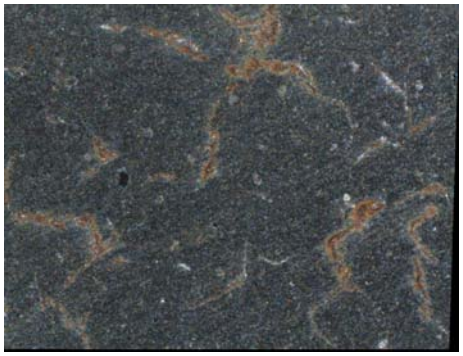
(a) 0 cycle



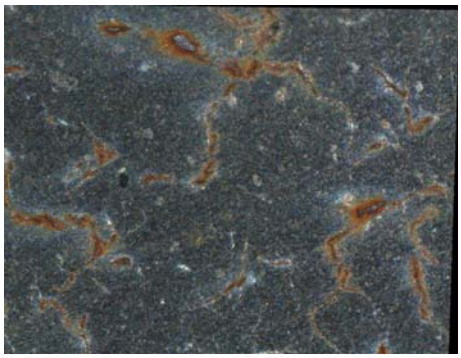
(b) 50 cycles



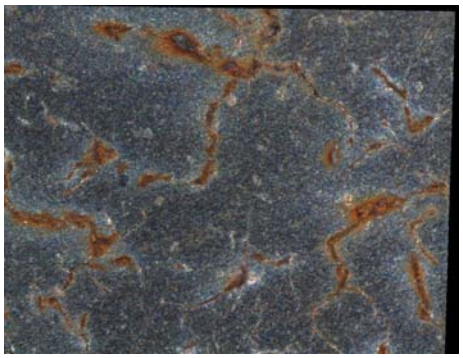
(c) 100 cycle



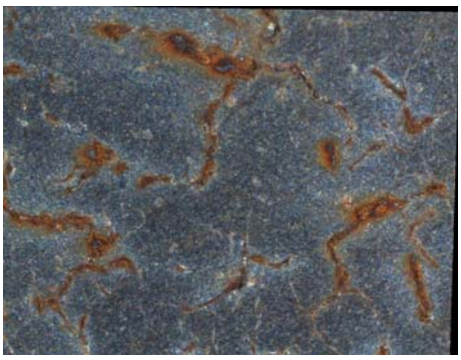
(d) 150 cycles



(e) 200 cycle



(f) 250 cycles



(g) 300 cycles

그림 5 열크랙 진전 이미지

영상처리를 이용한 본 균열 평가 소프트웨어의 목적은 관찰된 각 이미지의 전, 후 변화를 정량적으로 분석하기 위함이다. 균열 진전 길이를 분석하기 위해서는 그림 6과 같이 각 이미지에서 관찰되는 균열을 길이방향으로 지정한 후 이전 영상에서의 균열과의 연산을 통해 변화요소를 추출, 그 변화량을 화소값으로 나타나는 방법을 사용하였다. 이러한 전체 프로세스를 다음의 그림 7에서 그림으로 설명하고 있다.

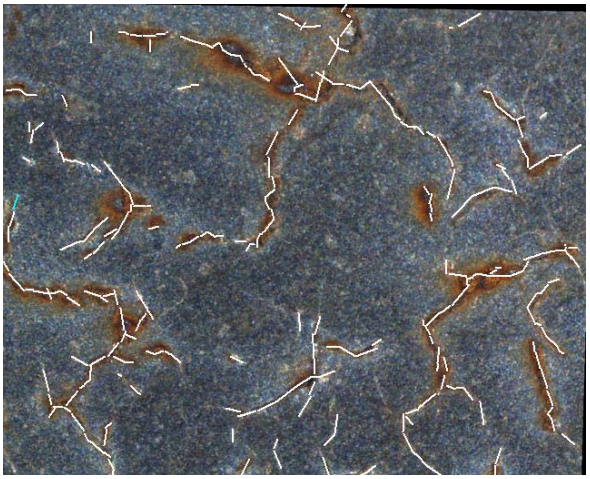


그림 6 열균열 지정

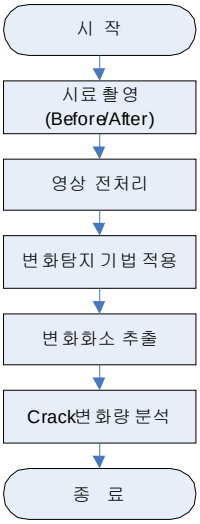


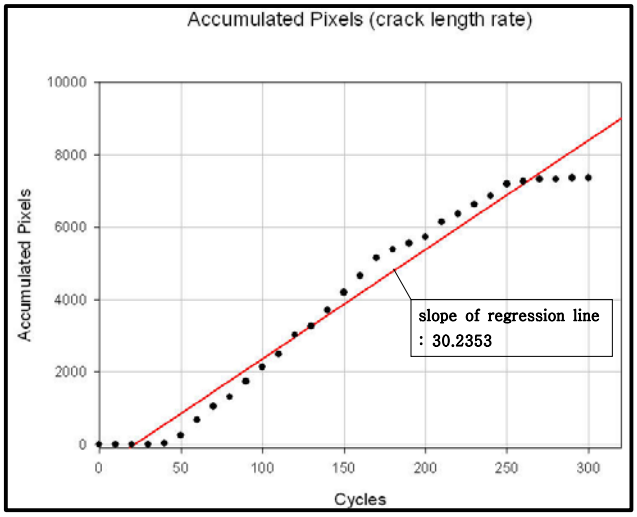
그림 7 균열평가 프로세스

3.3 분석 결과

매 10 사이클마다의 균열 성장을 증가되는 지정선 개수 및 화소값으로 나타낸 결과를 그림 8(a)에 나타내었다. 또한 그 결과를 선형 회귀선도로 나타낸 그래프를 그림 8(b)에서 보이고 있다. 향후 후보 재질간 내열특성 비교를 위한 한 가지 방법으로 이와 같은 회귀선도 기울기의 비교방법이 제안되었다.

	1-Cycle	2-신규갯수	3-신규길이	4-평균길이	5-누적길이
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	40.0000	1.0000	34.8400	34.8400	34.8400
6	50.0000	5.0000	219.4200	43.8800	254.2600
7	60.0000	14.0000	432.6400	30.2600	677.9000
8	70.0000	16.0000	369.5600	23.1000	1047.4600
9	80.0000	12.0000	266.5800	22.2200	1314.0500
10	90.0000	20.0000	419.9700	21.0000	1734.0200
11	100.0000	17.0000	407.1300	23.9500	2141.1400
12	110.0000	15.0000	345.7300	23.6500	2495.8700
13	120.0000	17.0000	528.8000	31.1100	3024.6700
14	130.0000	9.0000	247.9200	27.5500	3272.5900
15	140.0000	16.0000	432.4700	27.0300	3705.0500
16	150.0000	16.0000	493.4300	30.8400	4198.4900
17	160.0000	17.0000	464.7300	27.3400	4663.2200
18	170.0000	16.0000	492.9600	30.8100	5156.1700
19	180.0000	10.0000	230.7700	23.0800	5386.9500
20	190.0000	10.0000	164.9700	16.5000	5551.9200
21	200.0000	8.0000	179.3700	22.4200	5731.2800
22	210.0000	17.0000	419.7500	24.6900	6151.0300
23	220.0000	8.0000	217.8300	27.2300	6368.8600
24	230.0000	9.0000	263.8600	29.3200	6632.7200
25	240.0000	10.0000	228.4900	22.8500	6861.2100
26	250.0000	11.0000	335.5300	30.5000	7196.7400
27	260.0000	3.0000	67.0100	22.3400	7263.7500
28	270.0000	3.0000	65.2700	21.7600	7329.0200
29	280.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7329.0200
30	290.0000	1.0000	31.7700	31.7700	7360.7800
31	300.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7360.7800

(a) 분석결과



(b) 누적 화소값 그래프

그림 10 균열 이미지 분석결과

4. 결론

본 연구에서는 고내열성 브레이크 디스크 소재를 개발하기 위한 과정의 일환으로 재료의 내열특성에 대한 비교시험절차를 구축하기 위한 실험을 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

① 재질별 열피로 시험을 위한 시험편 형상 및 실험 전 시편처리 방법 등을 결정하였다.

② 균열 발생 및 진전관찰에 적당한 가열 온도를 실험을 통해 결정하였다.

③ 전체 실험 절차 및 자체 개발한 균열영상분석 프로그램을 통한 열균열 분석방법의 타당성을 확인하였다.

본 실험을 수행하는 과정에서 몇 가지 개선점이 발견되었으며 그 개선방향은 다음과 같다.

① 향후 반복적인 테스트를 통해 열피로 시험장치의 성능평가가 필요하다.

② 균열 자동추출기능, 실제 균열길이 표시기능 등 균열영상분석 프로그램의 성능개선이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 기본연구과제인 철도차량 성능향상 기술개발' 과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. KRS BR 0003-06 (2006), “브레이크 디스크”

2. Sebastien Amiable, et al.(2006), "A Comparison of lifetime prediction methods for a thermal fatigue experiment", International Journal of Fatigue, Vol. 28, pp. 692-706

3. Maillot V, Fissolo A, et al.(2005), "Thermal fatigue crack networks parameters and stability: an experimental study", International Journal of Solids Structure, Vol. 42, pp. 759-769

제동디스크 소재의 내열성 비교시험방법 연구

A study of comparative experiment process for heat resistance of brake disk materials

임충환*　　구병춘**

Lim, Choong-Hwan　　Goo, Byeong-Choon

ABSTRACT

In the braking of a railroad car, mechanical brake systems using wheel tread and brake disk are applied as well as electrical brake systems by regenerator and rheostat. During disk braking, kinetic energy of the vehicle is converted into thermal energy through friction between disk and brake pad. And it causes high temperature concentration and generates thermal crack on the brake disk surface. In this study, comparative test process for heat-resistance of candidate materials was designed for development of brake disk materials having high heat-resistance. We also verified the efficiency of the process by experiments using conventional brake disk materials.

국문요약

철도차량의 제동에는 전기의 회생, 발전을 이용하는 전기적 제동장치와 함께 차륜 답면 및 디스크를 사용하는 기계식 제동장치가 적용된다. 특히 브레이크 디스크의 제동작용에 있어서, 디스크와 마찰패드와의 마찰을 통해 차량의 운동에너지가 열에너지로 변환되며 이때 디스크 표면에는 매우 높은 온도가 집중하게 된다. 이러한 고온 집중의 반복에 의해 디스크 표면에는 열피로에 기인한 열균열이 발생하게 된다. 발생된 열균열은 차량 유지보수성능을 저하시키고 최악의 경우 대규모의 사고를 유발할 수도 있다. 본 연구에서는 보다 높은 내열성을 갖는 브레이크 디스크 소재를 개발하기 위한 과정의 일환으로 재료의 내열성 비교시험절차를 구축하였다. 또한 현재 새마을호 및 무궁화호 열차에서 사용되는 브레이크 디스크 재질을 이용한 시험을 통해 시험 절차의 효용성을 확인하였다.

---

* 한국철도기술연구원(KRRI)/UST, 철도시스템연구본부, 정회원
E-mail : chlim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5285 FAX : (031)460-5289
** 한국철도기술연구원(KRRI)