

철도 차량용 제동디스크의 피로수명평가

석창성*(성균관대 기계공학부), 박홍선(성균관대 대학원), 허용(성균관대 대학원),
김재훈(한국철도기술연구원), 이영민(한국생산기술연구원)

Fatigue Life Assessment for a Brake Disk of Railway Vehicles

C. S. Seok(Mech. Eng. Dept., SKKU), H. S. Park, Y. Huh(Grad. Sch. of Mech. Eng., SKKU),
J. H. Kim(KRRI), Y. M. Lee(KITECH)

ABSTRACT

A brake disk in railway vehicle is safety part. Requirements not only in performance but also in comfort, serviceability and working lifetime are high and rising. In this study, we carried out fatigue test and thermal stress analysis. To determine a pressure distribution, contact pressure analysis precede thermal stress analysis. Especially, characteristics of the brake disk were analyzed in considering initial velocity, and thickness of a frictional plate. Form the comparing the results of experiment and FEM analysis, fatigue characteristic and fatigue life assessment of a brake disk of railway vehicle were performed.

Key Words : Railway Vehicle(철도 차량), Brake Disk(제동디스크), Contact Pressure Analysis(접촉면 압력분포해석), Thermal Stress Analysis(열응력해석), Fatigue Life Assessment(피로수명평가)

1. 서론

제동디스크는 운동에너지를 열에너지로 전환시켜 열차에 제동력을 가하게 되는데, 이 때, 마찰열에 의해 디스크 내에 열응력이 발생하게 된다. 이로 인해 디스크는 열응력에 의한 반복적인 피로를 받게 되어, 마찰면이나 휠의 연결부 등에 열균열이 발생하게 된다. 열균열의 발생은 부품의 안전성에 심각한 영향을 미치며 경제적, 인적 피해를 초래하기 때문에 균열의 발생 원인이 되는 열적 피로에 대한 원인 분석 및 해결 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 철도차량용 디스크에 대한 피로시험과 열응력 해석을 수행하였다. 열응력 해석은 초기제동속도, 마찰관의 두께를 변화시켜가며 수행되었으며 이를 피로시험 결과와 비교, 디스크의 피로수명을 평가하였다.

2. 피로시험

시험에 사용된 소재는 GC25로 기계적 물성을 Table 1에 나타내었다. ASTM E466⁽¹⁾과 ASTM E468⁽²⁾에 따라 상온과 300℃(하중비, -1)에서 2×10⁶ cycle 이상의 미파단 시험편이 발생할 때까지 하중을 변화시켜가며 시험을 수행하였다.

Fig. 1에는 피로시험으로부터 획득된 S-N curve를

나타내었다. 상온과 300℃에서의 피로수명은 거의 차이가 없는 것으로 나타나 가동온도범위(100~300℃)내의 온도변화에 따른 디스크 소재의 강도저하가 없음을 알 수 있다.

3. 접촉면의 압력분포해석

제동 시, 디스크의 마찰면에는 반경방향에 따라 분포를 가지는 분포압력이 작용한다⁽³⁾. 실제 실험적으로 마찰면에 작용하는 압력분포를 구하기가 어렵기 때문에 유한요소해석을 이용하여 마찰면의 압력분포를 구하였다. Table 1에는 해석 이용된 기계적, 열적 물성을 나타내었다.

Table 1. Mechanical and thermal properties of a brake disk material and pad

Properties	Disk(GC25)	Pad
Elastic modulus[N/m ²]	108×10 ⁹	1.029×10 ⁹
Poisson's ratio	0.35	0.25
Mass density[kg/m ³]	7150	2150
Coefficient of thermal expansion[m/m·K]	10.5×10 ⁻⁶	-
Specific heat[J/kg·K]	460.0	-
Convection coefficient[W/m ² ·K]	50, 100	-
Friction coefficient	0.35	0.35
Thermal conductivity[W/mK]	100℃ - 64.1	
	200℃ - 68.8	
	300℃ - 69.8	

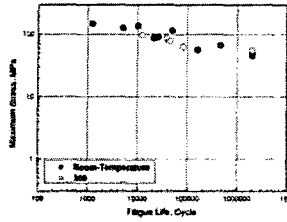


Fig. 1 S-N diagram of a brake disk material



Fig. 2 Models for thermal stress and contact pressure analysis

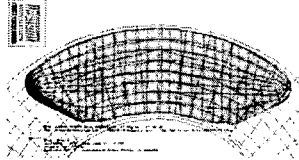


Fig. 3 Pressure distribution at a frictional surface (rotation velocity = 97.712rad/s)

Fig. 2에는 디스크의 회전속도가 97.7rad/s 일 때, 접촉면의 압력분포를 나타내었다. 회전속도와 관계 없이 일정한 값과 분포형태를 나타내었으며 회전하여 들어오는 부분의 압력이 회전하여 나가는 부분의 압력에 비해 큰 값을 나타내었다. 해석으로부터 구한 압력분포를 반경방향에 따른 압력분포로 변환하여 이를 열응력해석에 적용하였다.

4. 열응력해석

Fig. 2에는 해석에 사용된 3D model을 나타내었다. 해석 시, 디스크의 초기 온도는 30℃로 가정하였고 디스크의 평균온도가 100℃인 것을 감안, 철도기술연구원에서 제공한 온도자료⁽⁴⁾를 이용하여 제동 전까지 디스크의 온도를 100℃로 변화시켰다.

Table 2에는 해석결과와 해당하는 응력에 대한 피로수명을 나타내었다. 제동초기속도가 150km/h, 제동시간이 40s, 마찰판의 두께가 22mm일 때(현재 새마을호 열차에 사용되는 model), 제동압에 의한 구조응력은 중간관과 휠의 연결부에서 17.9MPa, 마찰열에 의한 열응력은 중간관과 휠의 연결부에서 196.9MPa으로 나타나 디스크에 발생하는 균열의 원인이 마찰열에 의한 것임을 알 수 있다. 그리고 마찰면의 원주방향을 따라 압축응력이 발생하여 마찰면에 발생하는 균열의 원인이 열팽창을 억제하는 마찰판의 형상 때문임을 알 수 있다.

제동디스크의 피로수명은 제동초기속도변화에 가장 큰 영향을 받는데, 이는 속도에 따라 마찰면에 유입되는 전체적인 열량이 결정되기 때문이다. 제동초기속도가 감소하면 최대 Von Mises응력은 감소하

Table 2 Fatigue life of a brake disk according to the thickness of a frictional plate

Initial Braking Speed (150km/h)	Thickness (mm)	Max. Von Mises Stress (MPa)	Fatigue Life (cycle)	Max. Von Mises Stress at Frictional Surface (MPa)	Fatigue Life (cycle)
150	17	186.0	1,018	104.7	31,822
	22	196.9	761	100.0	34,837
	27	202.4	717	95.5	50,288
125	17	169.4	2,111	91.3	57,312
	22	180.8	1,283	87.0	77,496
	27	186.9	976	83.2	99,899
95	17	152.2	3,228	80.3	121,544
	22	164.2	2,388	74.4	190,630
	27	129.4	1,913	70.6	303,530

였으나 마찰면에서 발생하는 Von Mises응력은 증가하였다. 또한, 마찰판의 두께가 증가하면 최대 Von Mises 응력은 증가한 반면에 마찰면의 Von Mises 응력은 감소하였다.

5. 결론

본 연구에서는 철도차량용 제동디스크에 대한 피로시험과 열응력해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 정상적인 가동온도범위내의 온도변화가 제동 디스크의 강도저하에 미치는 영향은 없다.

(2) 디스크에 발생하는 열균열은 마찰열에 의해 발생하는 열응력과 열팽창을 억제하는 마찰판의 형상에 의해 발생한다.

(3) 디스크의 수명향상을 위해 초기제동속도, 마찰판의 두께를 변화시킬 경우, 디스크의 최대 응력과 디스크 마찰판에 발생하는 최대 응력의 증감에 대한 고려가 있어야한다.

후기

이 논문은 BK21사업과 한국철도기술연구원의 국가기본연구사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. ASTM, "Standard Practice for Conduction Constant Amplitude Axial Fatigue Tests Result for Metallic Materials", standard E466
2. ASTM, "Standard Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Tests Result for Metallic Materials", standard E468
3. D. Thureson, "Influence of material properties on sliding contact braking applications", Wear, Vol. 257, Issue 7-8, pp. 451-460, October 2004.
4. 한국철도기술연구원, "철도 시스템 성능 향상 핵심 기술 개발-차량분야", 2002.