

제안된 마모 모델에 따른 스켈소음의 시변특성 해석과 실험적 검증

Time-variety Characteristics Analysis of Squeal Noise due to Proposed Wear Model and Experimental Verification

이호건* · 손민혁** · 서영욱** · 부광석*** · 김홍섭†

Hogun Lee, Minhyuk Son, Youngwook Seo, Kwangseok Boo, Heungseob Kim

Key Words: Squeal Noise(스켈 소음), Disc Brake(디스크 브레이크), Wear model(마모모델), Static Contact Pressure(정적 접촉 압력), Complex Eigenvalue Analysis(복소고유치해석)

ABSTRACT

This paper studies the effect of pad at initial stage and wear during braking on the dynamic contact pressure distribution. Wear is influenced by variable factor (contact pressure, sliding speed, radius, temperature) during dynamic braking and variation in contact pressure distribution. Many researchers have conducted complex eigenvalue analysis considering wear characteristic with Lim and Ashby wear map. The conventional analysis method is assumed the pad has smooth and flat surfaces. The purpose of this paper is to validate that wear rate induced by braking is considered for the precise squeal prediction. After obtaining pad wear from experiment, it is incorporated with FE model of brake system. Finally, the comparisons in fugitive nature of squeal will be carried out between the complex eigenvalue analysis and noise dynamometer experiment.

기 호 설 명

- h: 마모변위 (Wear Displacement)
- p: 접촉압력 (Contact Pressure)
- Ω : 디스크 회전각속도
- k: 마모계수 (Wear Coefficient)
- t: 제동시간

1. 서 론

브레이크 소음은 크게 저더(Judder), 그론(Groan), 스켈(Squeal) 소음으로 구분한다. 스켈 소음은 제동 메커니즘에는 영향을 미치지 않지만 1~16kHz의 주파수 범위를 가지고 있는 소음으로 소비자의 불만을 야기시키는 요인이다. 스켈 현상은 제동 말기의 저속 상태에서 회전체와 마찰재 사이의 마찰력이 진

동계에 유입되어 발생하는 동적 불안정 현상(자려진동)으로 인식되고 있지만, 브레이크 부품의 동특성 때문에 스켈에 대한 아직까지 명확한 동역학식이 규명되지 않는 실정이다.

본 논문에서는 패드의 마모가 진행되기 전후의 모델을 FE 모델에 적용시켜 복소 고유치 해석을 수행하는 방법에 대하여 연구하였다. 기존에 수행되었던 연구에서는 마찰재의 마모상태를 고려하지 않고 마찰재의 표면이 편평한(flat) 상태를 가정한 모델로서 해석을 수행하여 마모과정에 따른 영향을 분석할 수 없었다. 제동 횟수에 따라 마모 정도를 예측할 수 있는 마모 모델을 정식화하여 제안하였으며, 이를 통해 예측된 마모변위를 FE 모델에 적용하여 복소 고유치 해석을 수행하였다. 마모 모델의 접촉압력 분포는 ABAQUS 와 접촉압력분포측정필름을 통해 검증하였고 제동 횟수에 따라 예측된 불안정 주파수는 노이즈 다이노미터 시험을 통하여 얻어진 주파수와 비교분석을 통해 예측의 정확성을 검증하였다.

† 교신저자: 인제대학교 기계자동차공학부
 E-mail : mechhsk@inje.ac.kr Tel : (055) 321-2801
 * 인제대학교 기계공학과
 ** 인제대학교 수송기계부품 기술혁신센터(TIC)
 .. 인제대학교 고안전차량 핵심기술연구소

2. 패드 마모모델의 정식화

마모는 제동시에 표면 마찰력에 의해 접촉 부위마다 약간의 차이를 가지고 나타나게 되는데, 일반적으로 접촉압력, 속도, 온도등의 매개변수에 영향을 받게 된다. 마모에 영향을 주는 매개변수를 바탕으로 Lim 과 Ashby 의 마모맵 (Wear map)⁽¹⁾을 이용하여 마모 모델을 구축하였다.

$$u_{wear} = p \cdot (r \Omega) \cdot k$$

(1)

해석에서의 회전각속도, 반지름, 마모계수는 각각 52 rad/s, 110 mm, 1.783×10^{-13} m³/Nm 을 이용하였다. 식(1)에서 마모변위는 접촉압력에 의해 지배적으로 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 이렇게 변화된 마모 변위로 다시 접촉압력의 변화를 가져 오게 된다.

3. 마모 모델의 접촉압력분포

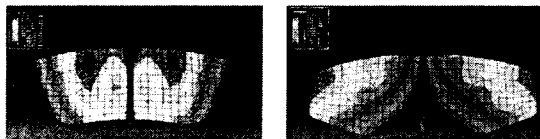
브레이크 스킵 해석에서 접촉 표면의 적절한 모델링을 ABAQUS 에서 제공하는 정적 해석을 이용하여 압력에 의해 브레이크 디스크와 패드사이의 압력 분포를 나타내었다. 본 연구에서는 제동 과정에서 발생하는 접촉압력분포를 실험과 해석으로 비교하여 마모에 따른 접촉압력분포의 차이를 비교하였다. Fig.1.은 압력측정 필름 실험으로 구한 접촉압력분포도 이고 Fig.2.는 해석으로 예측되어진 접촉압력분포도이다.



(a) Piston pad

(b) Finger pad

Fig.1 Worn pad (after breaking 3500~7000) in EMA



(a) Piston pad

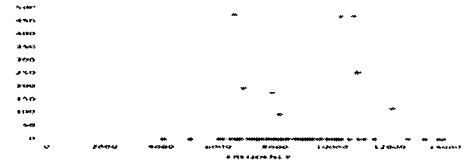
(b) Finger pad

Fig.2 Worn pad (after breaking 3500~7000) in FEM

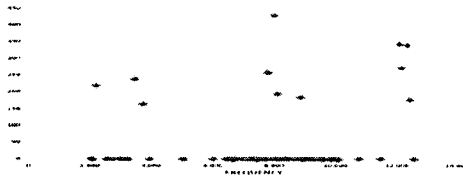
4. 마모를 고려한 복소 고유치 해석

마모 모델을 적용한 후 복소 고유치 해석을 수행하여 제동과정에 따라 시변적인 불안정 주파수의 변화 특성을 알아보았다. Fig.3.은 각각 초기모델

(Baseline), 7000 회까지의 제동과정에서의 예측된 불안정 주파수를 나타낸다. Fig.4.는 단계별 노이즈 다이내모미터 시험을 통해 측정된 스킵 소음 주파수를 나타낸다.

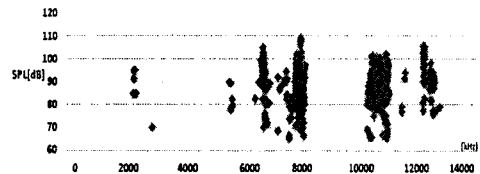


(a) Baseline (After braking ~3500)

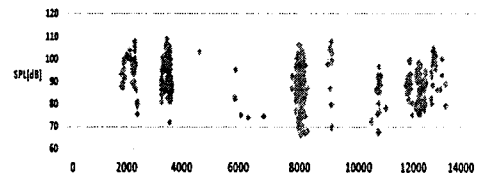


(b) Worn model (After braking 3500~7000)

Fig.3 Predicted unstable frequencies



(a) Baseline (After braking ~3500)



(b) Worn model (After braking 3500~7000)

Fig.4 Noise Dynamometer Test

5. 결론

Baseline 부분은 각각 6.8, 8, 10.5 kHz 대역에서 스킵 주파수가 발생하였고 worn model 에서는 2.1, 8, 12 kHz 대역에서 스킵 주파수가 발생하였다.

제동과정에서 마모가 진행됨에 따라 스킵 소음 주파수가 변화됨을 알 수 있었으며, 마모를 적용한 복소 고유치 해석의 불안정 주파수의 예측결과와 유사하여 마모 모델의 타당성을 확인 할 수 있다.

참고 문헌

- (1) Lim SC. And Ahsby MF, 1987, "Wear mechanism maps.", Avta metal; 35(1)1-24