

# 유한요소해석에 의한 KTX 제동소음 원인규명 Source Identification of KTX Brake Squeal Noise by FE Analysis

\*유원희<sup>1</sup>, #배원식<sup>2</sup>, 허현무<sup>1</sup>, 박준혁<sup>1</sup>, 김남포<sup>1</sup>

\*W. H. You(whyou@krri.re.kr)<sup>1</sup>, #W. S. Bae<sup>2</sup>, H. M. Hur<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>1</sup>, N. P. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원, <sup>2</sup> 서울산업대

Key words : Brake Squeal Noise, Brake Disk, FE analysis, Modal Analysis, Measurement Data

## 1. 서론

철도의 제동소음은 자동차에서와 마찬가지로 이용자 불만사항 중의 하나이다. 개인 또는 비교적 소수의 사람이 이용하는 자동차에 비하여 철도차량의 경우에는 이용객이 매우 많으며 차량 자체의 하중이 많이 나가기 때문에 고효율의 대용량 제동장치가 필요하다. 그렇지만 제동이라는 측면에서 보면 결국 자동차나 철도차량 모두 동일한 제동역학을 가지며, 아울러 제동 시 진동과 소음의 특성 또한 유사한 특성을 가진다. 자동차와 마찬가지로 철도차량의 제동소음은 크게 두 가지로 분류되는데, 1kHz 이하의 그론(Groan)과 1kHz 이상의 스킨(Squeal)이 그것이다. 그러나 철도차량의 제동소음에 대한 연구는 자동차의 제동소음에 비하여 현재까지 그렇게 많이 발표되지 않고 있으며, 최근에 우리나라 경부고속철도 차량인 KTX의 제동소음에 대한 불만이 많이 제기됨에 따라 이에 대한 연구가 일부 진행되고 있다. 최근에 이르러 KTX의 원조 격인 프랑스의 TGV의 제동소음에 대한 연구결과가 발표되고 있다.<sup>[1][2][3]</sup> 본 연구에서는 KTX 제동 시의 소음특성을 주파수 측면에서 분석해 보고, 이를 토대로 문제가 되고 있는 제동 스킨소음에 대하여 브레이크 디스크의 고유진동수를 검토해 봄으로써 그 원인을 파악하고자 하였다. 특히, 역사를 통행하는 역사에서 대기하고 있는 승객들에게 가장 큰 불편감을 주는 고주파수에서의 브레이크 스킨소음을 주로 검토하였다. 본 연구를 통하여 향후에는 브레이크 스킨소음의 근본 원인이 되는 제동시스템의 불안정성에 대해 연구를 하여 근본적인 제동소음 저감대책을 마련하고자 한다.

## 2. KTX 제동소음의 특성

다음 Fig. 1은 KTX 객차의 디스크제동장치를 보여주고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 KTX 객차는 측당 4개의 디스크를 채택하고 있으며, Fig. 2와 같은 제동장치 및 브레이크 패드를 가지고 있다.<sup>[4]</sup>



Fig. 1 Disc brake of KTX passenger car



(a) Brake Disc in detail (b) Brake pad

Fig. 2 Brake disc and pad

이러한 제동장치를 가진 KTX에 대한 제동소음 특성을 파악하기 위하여 광명역 및 대전역에서 시험을 실시하였다. 다음 Fig. 3 ~ Fig. 5는 대전역에서 측정된 KTX 제동소음의 특성을 보여주고 있다. 이 그림들은 KTX 열차가 대전역에 들어서면서부터 약 10초동안 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 한편, Fig. 6은 제동장치가 작동하기 시작해서 열차가 정지할 때까지의 브레이크 소음을 스펙트로그램으로 표현한 것이다. 이 그림에서는 Fig.3 ~ Fig.5에서와 마찬가지로 10kHz 이상의 영역에서 피크성분들을 보이고 있으나, 10kHz 이하의 영역에서도 강한 피크성분이 나타나고 있다. 특히, 4.613kHz에서 강한 피크성분을 보이고 있다.

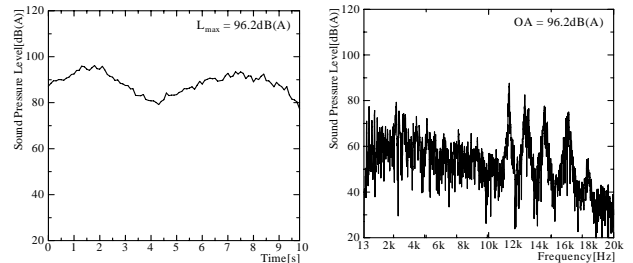


Fig. 3 Brake noise of KTX in Daejeon station(1)

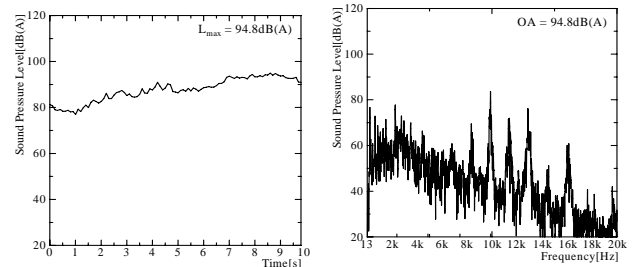


Fig. 4 Brake noise of KTX in Daejeon station(2)

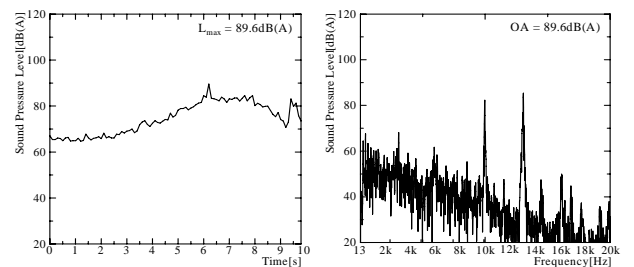


Fig. 5 Brake noise of KTX in Daejeon station(3)

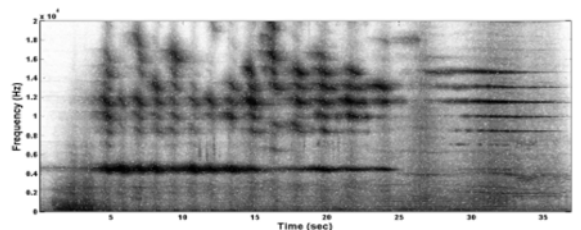


Fig. 6 Spectrogram of KTX Brake noise

이 그림들로부터 소음수준의 변화를 보면 시간에 따른 제동패턴이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 아울러 제동패턴이 다를 지라도 모든 그림에서 약 10kHz 이상의 주파수에서 피크치를

형성하는 부분들이 많이 나타나는 것을 알 수 있으며, 때로는 10kHz 이하의 주파수 영역에서도 강한 피크성분이 나타남을 알 수 있다. 이 피크성분들은 자동차 제동스킬소음에 관한 연구 혹은 철도차량의 제동스킬소음에 관한 연구들을 검토해 보면<sup>[14]</sup> 브레이크 디스크의 고유진동수와 관련되어 있을 가능성이 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 브레이크 디스크에 대한 유한요소해석을 실시하여 이 피크성분들이 어떠한 모드를 가지고 있는지 알아보려고 하였다.

### 3. KTX 브레이크 디스크의 고유모드

KTX 브레이크 디스크는 외경  $\varnothing 640$ , 내경  $\varnothing 350$ , 두께  $45.3mm$  인 디스크로서 Young's Modulus는  $2.02E11Pa$ , 프와송비는 0.29, 밀도  $7,850kg/m^3$ 인 재질로 되어 있다. 이 디스크를 유한요소해석 상용소프트웨어인 ANSYS를 이용하여 고유진동수 해석을 수행하였다.

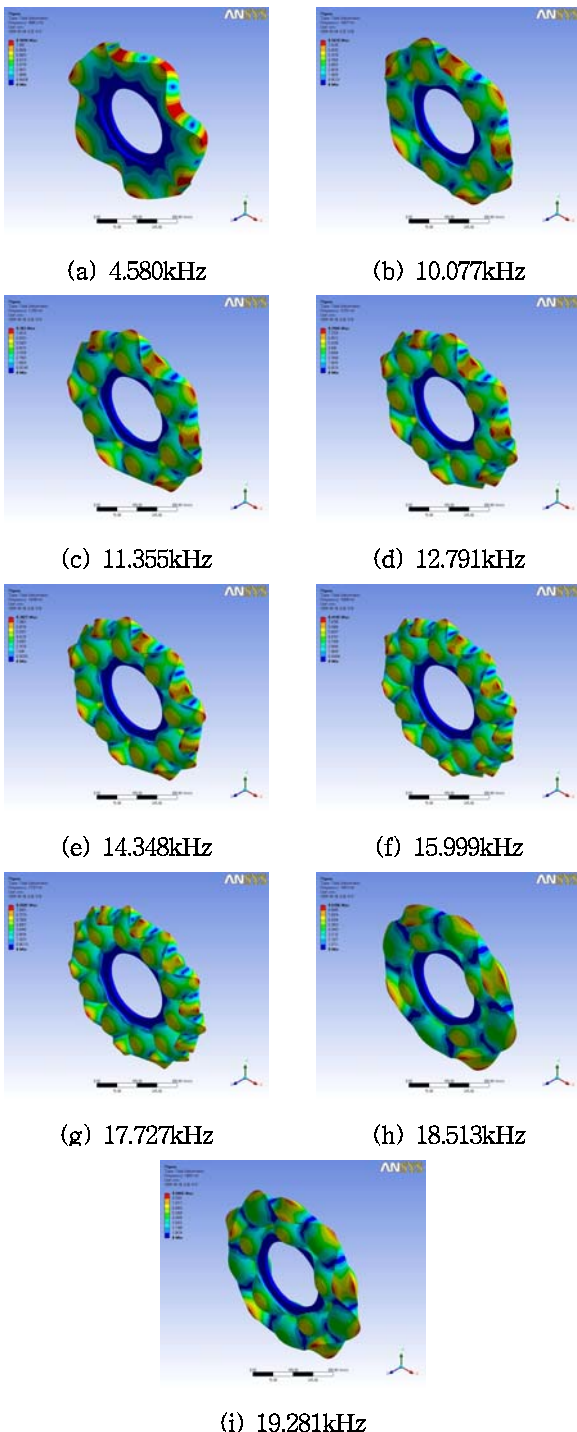


Fig. 7 Important eigen\_mode of brake disk

다음 Table 1은 ANSYS를 이용한 유한요소해석으로부터 도출된 브레이크 디스크의 고유진동수와, 대전역사에서 측정된 제동스킬소음의 피크 주파수 성분 사이의 비교를 나타낸 것이다.

Table 1 Comparison of natural frequency of brake disc and peak components of brake squeal noise

Natural freq. of brake disc by FEM(kHz)	Peak components of brake squeal noise(kHz)	Relative difference(%)
4.580	4.613	-0.3
10.077	9.963	1.1
11.355	11.363	-0.1
12.791	12.938	-1.1
14.348	14.475	-0.9
15.999	16.063	-0.4
17.727	17.663	1.0
18.513	18.450	0.3
19.281	19.300	-0.1

이 표로부터 제동 스킬소음의 피크성분들은 브레이크 디스크의 고유진동수와 아주 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 이들 고유진동수에 대한 고유모드는 Fig. 7과 같다.

이들 고유모드를 살펴보면 4.581kHz의 모드는 (a)에서 보는 바와 같이 디스크 중앙에 배부분이 형성되지 않고 있으며, 10.077kHz ~ 17.727kHz 사이의 모드는 Fig. (b) ~ (g)에서 보는 바와 같이 디스크 중심 쪽의 배부분이 5개에서부터 1개씩 증가하여 10개에 까지 이르고 있음을 알 수 있다. 그러나 그 다음 고유모드인 18.513kHz 및 19.281kHz는 이와는 달리 디스크 중심 쪽으로 더욱 안쪽에서 배부분이 형성되며 배부분이 숫자는 4개에서부터 5개로 1개씩 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

### 4. 고찰

KTX 제동소음은 매우 다양한 소음 성분을 가지고 있다. 본 연구에서는 피크성분을 나타내는 주파수 성분에 대하여 관찰하고 해석한 결과를 보여주고 있다. 그러나, 이러한 소음 이외에도 다양한 형태의 소음을 내포하고 있다. 물론 저주파수에서도 브레이크 디스크의 고유진동수와 관련된 피크성분의 스킬음이 발생한다. 그러나 이렇게 고유진동수와 관련된 피크성분의 소음 이외에도 차량 전체가 공진하는 듯한 소음성분도 가지고 있다. 따라서 KTX 제동스킬소음을 저감하는 방법으로 여러 가지 방안을 동시에 고려해야 할 필요가 있다. 즉, 브레이크 패드의 재질변화 이외에도 제동시스템 전체의 고유진동에 관한 연구를 실시하여 브레이크 디스크의 고유진동이 차체로 전달되지 않도록 저감방안을 도출해 내는 것이 필요하다.

### 참고문헌

1. X. Lorang, Q.S. Nguyen, F. Margiocchi, etc. 'A Numerical Study of TGV Disk Brake Squeal', WCRR08.
2. X. Lorang, F. Foy-Margiocchi, Q.S. Nguyen, etc., 'TGV Disc Brake Squeal', Journal of Sound and Vibration, Vol. 293, pp.735-746, 2006
3. X. Lorang and O. Chiello, 'Stability and Transient Analysis in the Modelling of Railway Disc Brake Squeal', 9th Internal Workshop on Railway Noise, 2007.
4. 코레일 철도연구원, 고속차량 제동 시 소음저감 방안 연구, 2006, 2007