

강성/질량 효과에 기반한 브레이크 스킵 소음 저감 개선안 연구 NEW CAE PROCEDURE FOR REDUCING BRAKE SQUEAL NOISE BASED ON MASS-STIFFNESS EFFECT

정원태† · 조호준* · 김정태**
Wontae Jeong, Hojoon Cho, Jeongtae Kim

1. 서 론

복소고유치해석(Complex eigenvalue analysis) 기법은 자동차 산업계에서 브레이크 스킵 소음 해석을 위한 도구로 자리잡았다. 하지만 스킵노이즈 개선을 위한 활용 방법은 체계적인 방법보다는 주로 이전 경험에 의존하고 있다.

저자는 이전 연구⁽¹⁾에서 체계적인 스킵 노이즈 개선안 도출기법을 모달맵 접근법이라는 이름으로 제안하였다. 복소고유치 해석에서 얻어진 불안정 모드에 영향을 주는 시스템 모드를 분석하여 가장 기여도가 큰 부품을 선정하고 이 부품들에 대하여 형상 최적화를 이용하여 단품 고유 진동수를 변경하여 불안정 모드를 제거하였다. 하지만 시스템 모드와 단품 모드의 연관성에 기반한 한계로 인하여 만족스러운 개선안을 얻는데 많은 시행을 거쳐야 하는 경우가 많았다. 또한 다수의 주파수 대역에서 스킵 노이즈가 발생하는 경우를 다루지 않았다.

본 연구에서는 시스템 모드 수준에서 불안정 모드의 연성을 분석하고 이를 바탕으로 다수의 주파수 대역의 스킵 노이즈를 개선하는 절차를 제시하고자 한다. 4 개의 주요한 스킵 주파수를 가진 해석 모델을 대상으로 각 불안정성을 개선할 수 있는 부위를 질량/강성의 관점에서 분석하여 선정하고 이를 바탕으로 변경 형상을 조합하고, 상충되는 부분에 대한 조정을 통하여 불안정성을 개선하였다.

2. 강성/질량 효과 분석

Figure 1은 해석 모델의 불안정성 차트로 x축은 주파수, y 축은 불안정성을 나타낸다. 3.1kHz, 4.2kHz, 5.1kHz, 8.6kHz 에서 불안정 모드가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

8.6kHz 불안정성의 경우 figure 2에서 보는 바와 같이 하우징의 등 부분을 줄인 형상인 B-X-1과 Mix-1 적용시 불안정성 값이 1421에서 각각 52와 13으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 8.6kHz의 불안정성은 디스크 7절 모드(#66)와 1차 횡방향 모드(#67)의 연성으로 이루어져 있음을 확인할 수 있는데, 하우징의 개선 형상 적용시 디스크 7절 모드의 주파수가 600Hz 이상 내려가 두 모드가 디커플링되고 불안정성이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. #66, #67 모드에서 하우징의 진동형상은 매우 상이한데, #66 모드에서는 하우징의 등 부분이 벤딩모드의 중심부를 형성하고 있으며, #67 모드에서는 하우징의 진동이 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 하우징의 등은 #66 모드에서는 강한 강성요소로서 작용하기 때문에 등부분의 두께를 줄일 경우 주파수가 떨어지게 된다.

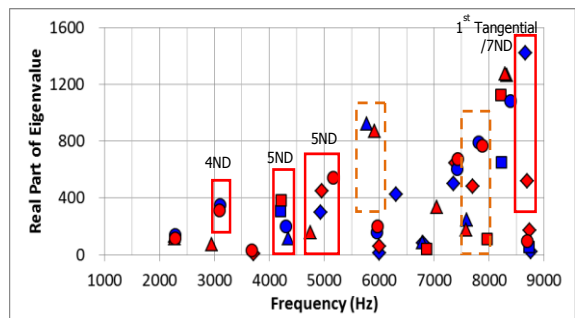


Figure 1 Four risky instabilities from brake squeal models (ND means nodal diametric modes of disc)

† 교신저자; 현대모비스, 공학해석팀
E-mail : wtjeong@mobis.co.kr
Tel : 031-288-3641, Fax : 031-899-1417
* 현대모비스, 공학해석팀
** 현대모비스, 공학해석팀

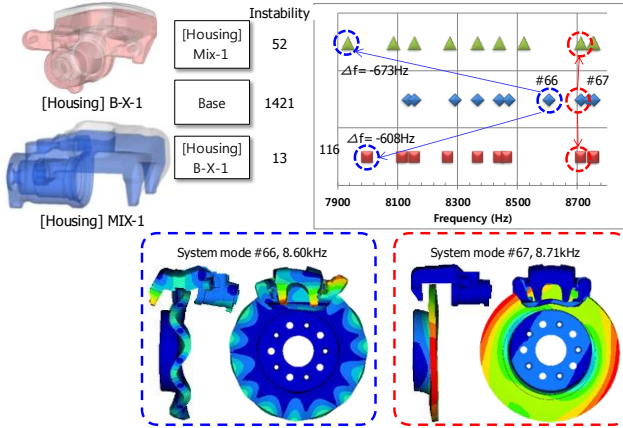


Figure 2 The change of housing component modes and system modes at 8.6kHz

이와 같은 방식으로 주요 불안정 모드의 연성된 모드에서 각 부품의 부분들이 강성요소로 작용하는지, 질량요소로서 작용하는지에 대한 파악을 하고 이에 맞춰 주파수를 변경시킴으로써 모드 간의 연성을 제거하여 불안정성을 줄일 수 있다.

3. 개선 형상의 조합

다수의 불안정성이 발생할 경우, 하나의 불안정성에 대한 개선안은 다른 불안정성에 대한 간섭을 일으킬 수 있고 이에 대한 조정이 필요하다. Table 1에서 3.1kHz를 제외한 다른 불안정성에 효과적인 개선안이 3.1kHz에서 효과적이지 않은 것을 보여주고 있다. 다른 대역의 특성을 살리면서 3kHz 대역의 하우징의 강성을 올려 주파수 특성을 조정할 결과가 Figure 3의 Mod-2 형상이다.

Table 1 Effective design for each instability with how they changed instabilities (Orange: reduced instability, Blue: No significant improvement in instability)

Frequency	3.1k	4.3k	5.0k	8.6k
[Housing]B-X-1	Reduced Mass			Reduced Stiffness
[Housing]MIX-1				Reduced Stiffness
[Bracket]Full-1 + [Housing]B-X-1	Reduced Stiffness (Housing)	Motion change (Bracket)	Reduced Mass (Housing+Bracket)	Reduced Stiffness (Housing)
[Bracket]Full-1 + [Housing]Mix-1	Reduced Stiffness (Housing)	Motion change (Bracket)	Reduced Mass (Housing+Bracket)	Reduced Stiffness (Housing)

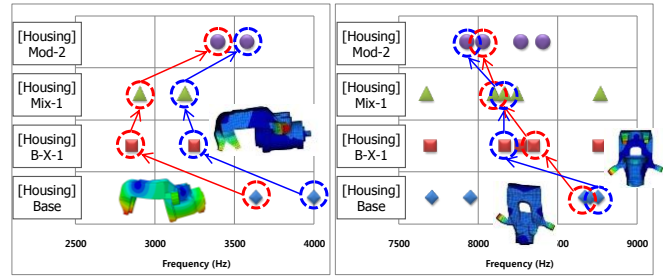


Figure 3 The comparison of component mode change between Base, B-X-1, Mix-1 and Mod-2.

Table 2 Comparison of instability (real part of eigenvalue) at four risky frequencies.

Mode shape	4ND	5ND	5ND	1 st Tan.
Frequency	3.1kHz	4.3kHz	5.0kHz	8.6kHz
Baseline	353	385	544	1421
Countermeasure	0	0	227	590

Table 2와 같이 최종 개선안은 두 개의 불안정성 값을 모두 0으로 만들고 다른 두 개의 불안정성 값을 절반 이하로 보이는 결과를 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 질량/강성 효과에 기반하여 시스템 노말 모드 분석을 통해 개선 부위를 정하고, 각각의 불안정성에 대응하는 개선안의 조합과 절충을 통하여 4개의 불안정성에 대한 개선안을 도출하는 과정을 소개하였다. 두 개의 주파수 대역에서 상충하는 강성 특성을 하우징 디자인을 개선함으로써 절충하여 4개의 불안정성을 모두 줄였다. 효과적으로 다수의 스칼 불안정성을 저감시키는 개선안의 도출 절차는 설계 단계에서 디자인 개선을 통해 많은 시간과 비용의 절감을 가능하게 한다.

참고 문헌

- (1) Sangchan Park, Wontae Jeong and Kyunghwan Park, "Improvement of Brake Squeal using Shape Optimization based on Frequency Separation", Eurobrake Technical Paper EB2012-MS-27, 2012