

다구찌 기법을 이용한 드럼 브레이크 소음 저감 강건설계

The Robust Design for Drum Noise Reduction Using Taguchi Method

*박원기¹, 이어해¹, #문상돈², 양근익¹

*W. K. Park¹, L. H. Li², #S. D. Mun(msd@jbnu.ac.kr)², G. E. Yang²

¹전북대학교 기계공학과, ²전북대학교 기계설계공학과

Key words : Robust design, Taguchi method, Control factor, Noise factor, S/N ratio

1. 서론

최근 자동차의 보급이 확산되고 차량과 함께하는 시간이 길어지게 되면서, 소비자들의 차량 정숙성과 쾌적성에 대한 관심과 요구 조건이 더욱 증대되고 있다. 또한 자동차 업계간의 경쟁은 짧은 단축시간 개발을 요구하고 있다. 이에 따라 국내 자동차 업체들도 차량의 진동소음에 대하여 더욱 많은 관심과 연구 노력을 기울이고 있다.

브레이크 노이즈는 발생주파수에 따라 크게 수 십~수백 Hz대역의 저더, Groan 노이즈와 0.5 ~ 17kHz 대역의 Squeal Noise로 나눌 수 있다.

Spur¹는 마찰계수와 드럼 형상이 노이즈 발생에 크게 영향을 준다고 제안하였다. 최근에는 FEM을 이용하여 브레이크 형상을 최대한 반영한 복소고유치해석²을 이용한 마찰력의 변동을 해결하고자 하였다.

최근 들어 제품 설계시 널리 사용되기 시작한 다구찌법은 적은 수의 실험으로 여러 가지 영향인자의 기여도를 평가하여 그 제품의 최적조건을 찾아냄으로써 비용절감과 개발주기를 단축할 수 있는 장점이 있어 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 제동 장치를 구성하는 드럼, 슈, 백 플레이트 등 고유 진동수가 근접해 있어 연성작용으로 발생하는 소음에 대해 스퀸 소음을 개선하고자 다구찌법을 이용하였다. 브레이크 노이즈 감소를 위한 드럼 형상 변화에 따른 영향을 다구찌법의 제어인자로, 드럼 마모량 변화를 노이즈 인자로 설정하고 고유진동수 해석을 통해 S/N비를 구하여 제어인자의 기여도를 확인한 후 이를 최적화하여 확인실험을 확인하고자 한다.

2. 제어인자 선정

본 연구에서는 Squeal 노이즈 발생시 드럼의 형상 변경을 통해 고유진동수를 이동시켜 개선하고자 드럼 형상에 영향을 주는 8개의 변수를 제어인자로 설정하고 이들 인자간에는 교호작용이 없다고 가정하였다. 또한 장기적으로 드럼을 사용하여 마모가 발생하여 마찰특성이 변하게 되어 초기에는 발생하지 않던 노이즈가 말기에 점차적으로 크게 대두되는 경향이 발생한다. 노이즈 문제에 대한 강건설계를 해결하고자 잡음인자를 마모량으로 지정하였다. Fig. 1과 Table 1은 실험에 사용된 제어인자와 각 수준 그리고 잡음인자들을 정리하였다.

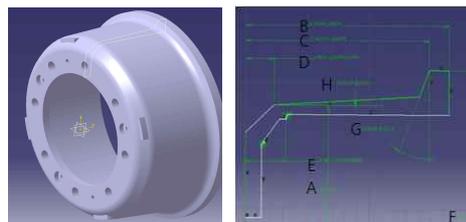


Fig. 1 Schematic of factors

앞에서 정의한 설계변수들과 수준을 평가하기 위해서 내측배열은 2수준 1개, 3수준 7개이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 형 2수준과 3수준의 혼합형 직교 배열표를 사용하고 외측배열은 잡음인자로 N_0 (마모량 0mm)와 N_1 (마모량 2mm)로 2수준으로 배치하여 실험을 수행하였다.

Table 1 Factors and levels used in plain experiments

Factor \ Level	1	2	3
A: neck dia	171.9	191	
B: drum length	161	205	216
C: mouth length	133.2	148	162.8
D: neck length_outer	16.1	23	29.9
E: neck length_inner	26	32.5	39
F: mouth dia	203	208.5	225.2
G: drum rake angle α	0	24.92	49.85
H: drum rake angle β	0	2.8	4.7
N(noise) : wear	0	2	

3. 최적 조건

제어인자의 최적수준을 알아보기 위해서 각 시험으로 얻어진 발생빈도에 대해서 망대특성, 망소 특성에 근거하여 계산하였고 이를 근거로 수준평균을 구해 인자의 최적수준을 구하였다. 각각의 실험 결과에 대한 특성치를 얻을 수 있고 이 특성치로부터 제어인자의 각 수준별 S/N비는 Fig. 2에 나타내었다. 실험에 사용된 브레이크 Squeal 노이즈 발생을 최소화하기 위해서 분산분석표를 통해 기여도가 큰 제어인자 5가지를 선택하고 선택된 인자에 대해 A인자 2수준, B인자 3수준, C인자 1수준, D인자 2수준, F인자 3수준의 최적수준을 선택하였으며 나머지 인자에 대해서는 중량에 대한 기여도를 분석하여 E인자 3수준, G인자 3수준, H인자 1수준의 최적수준을 선택하였다.

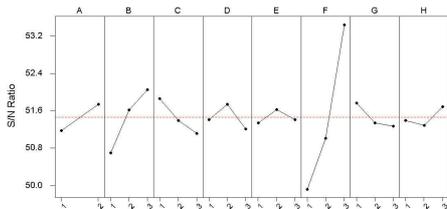


Fig. 2 S/N Ratio versus design parameter

4. 확인 실험

고유 진동수 해석에서 Drum 해석모델에 적용한 Mass Density는 7.4×10^{-10} kgf이며 주파수 영역은 제동 시 소음발생 영역인 1300Hz 대를 포함한 고유 진동 모드를 추출하였다. Noise 재현성을 위해 시험 1, 2의 조건과 방법에 따라 개선사양 확인 시험을 실시하며 마모가 진행되면서 Noise가 발생할 수 있으므로 드럼 마모한계 2mm까지 마모를 시키면서 시험1, 2의 조건과 방법에 따라 최종 Noise를

측정하였다. 그 결과 Fig. 3과 같이 Dynamo Noise 시험결과에 의해 최적조건의 모델이 예측된 값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Experimental conditions

NO	Division	Brake speed	Deceleration	Temperature	Brake repeat
1	Burnish and Noise Check	60kph	0.2g ~ 0.5g	100℃ ~ 200℃	more than 5
		80kph			
		100kph			
2	Burnish and Wear	60kph	0.2g ~ 0.5g	100℃ ~ 200℃	more than 5 (Linig wear increase)
		80kph			
		100kph			

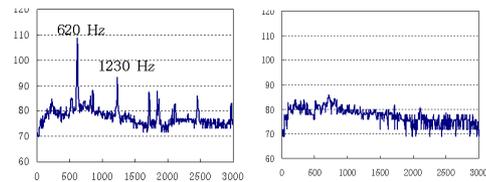


Fig. 3 Measuring dynamo noise about F/air type of drum and brake assembly sample & optimum condition

5. 결론

본 연구에서는 브레이크 노이즈를 일으키는 데 기여하는 여러 가지 제어인자 중 Drum의 고유주파수 대역 천이를 통한 Noise개선을 다구찌법의 최적화된 강건설계기법을 적용하여 접근하였다.

Brake Drum은 Wheel 등 주변 부품과의 matching 성 때문에 형상의 제한을 받고 Drum 마모량이 증가되면서 Noise 발생횟수가 점차 증가할 수 있다. 이런 문제를 해결하고자 Drum 형상 변수의 영향도를 분석하고 최적의 Drum형상 설계를 통해 마모에 따른 Noise개선함으로써 초기 품질 뿐만 아니라 내구 품질을 추구할 수 있는 틀로 이용할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. Spurr, R. T., "Brake Squeal," Inst Mech, Engrs. C95/71, pp.13-16, 1971.
2. Kung, S. W., Dunlap, K. B. and Ballinger, R. S., "Complex Eigenvalue analysis for reducing low frequency brake squeal," SAE paper, 2000-01-0444, 2000.