한국소음진동공학회 2012년 추계학술대회논문집, pp. 553~554

실험계획법에 의한 차량 현가계의 진동저감에 관한 연구

A Study on the Vibration Reduction of Vehicle Suspension system Using Design of Experiment

박 진 수* · 정 운 창* · 정 재 은* · 이 정 윤** · 오 재 응†

Jin-Su Park, Un-Chang Jeong, Jae-Eun Jeong, Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

1. 서 론

차량의 도로주행시 로드노이즈는 소비자에게 가장 많은 빈도로 노출되어 있는 현상으로 그 중요성이 계속 부각되고 있다. 차실내 소음은 전달경로 특성에 따라 구조기인과 공기기인 소음으로 구분되는데, 구조기인 소음은 노면 가진 진동이 차륜을 포함한 현가계를 통해 차체에 전달되어 나타난다. 따라서 이 진동원의 전달경로를 파악하는 것은 운전자에게 영향을 미치는 구조기인 전달 특성을 파악하여 진동 저감대책을 마련하기 위한 기본 연구이다.

차량 주행 시 현가장치를 통해 발생되는 진동원을 규명하기 위해, 샤시다이나모 시험을 통해 전륜 구동테스트를 실시하고, 시험에서 획득한 현가장치의 진동신호를 4 개의 입력으로하고, 운전석의 소음을 출력으로 하는 4 입력/단일 출력계로 모델링 하였다. 이들 신호를 입력원간의 상관성분을 제거하여 순수한 입력원의 기여정도를 알 수 있는 다차원 스펙트럼 해석법(multi-dimensional spectral an-alysis ; MDSA)을 적용하여, 입/출력사이의 기여 관계를 알아보고, 각 지점의 전달경로 특성을 규명하였다.

이 연구에서는 규명된 원인 부품에 대하여, 차량 현가계의 진동을 저감하기 위한 개선 설계를 수행하고자 하였다. 이를 위해서, 유한요소 해석과 다구찌 기법(Taguchi method)을 이용하여 보다 효율적으로 현가계의 진동저감 설계를 최적화하는 방법을 제안한다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-0452, Fax : (02)2299-3153
* 정회원, 한양대학교 대학원 기계공학과
** 정회원, 경기대학교 기계시스템 공학부

2. 이 론

다구찌법은 품질공학에서 제품의 불량을 줄이기 위해 도입되었으며, 손실함수에 근거하여 만들어진 S/N Ratio(Signalto noise ratio)에 의한 데이터 분석과 합리적인 실험 횟수를 결정하는 직교배열표(Table of orthogonal arrays)에 의한 실험계획 수행이 주요 특징이다. S/N Ratio 는 잡음 요인에 의한 특성치의 산포를 최적화한 것으로 인자별 최적 수준 및 각 인자별 수준에 따른 최적값의 예측이 가능하다. 품질 특성이 목표치에 가까울수록 좋은 것은 망목특성이고, 클수록 좋은 것은 망대특성이다. 그리고 음수가 아니면서 작을수록 좋은 특성은 망소특성이라 하는데 차량 진동은 작을수록 좋기 때문에 망소특성이라 할 수 있다.

	Loss Function	S/N Ratio
망목특성	$L(y)=k\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-m)^2\right]$	$SN=10\log\left[\frac{1}{n}(S_m-V)\right]$
망대특성	$L(y)=k\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right]$	$SN=-10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right]$
망소특성	$L(y)=k\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2\right]$	$SN=-10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2\right]$

Fig.1 The Formula of Loss Function and S/N Ratio

3. 실 험

실험에 사용된 차량은 2000cc급 중형 차량으로 실내 운전석 소음(B&K Type 4189)을 출력으로하고, 전륜 좌측 현가장치의 로워암의 전,후 출력단

및 스트럿 출력단에서 측정한 3축 진동 가속도 신호(PCB Type 356)를 입력원으로 구성하였다. 운전모드는 60kph 정속모드로 샤시다이나모 구동 조건이며, 3번 이상 반복 주행 실험으로 시험간 오차가 3dB이내의 신호를 이용, 분석하였다.

4. 실내소음에 대한 기여도 평가

운전석에서 측정된 주행중 실내 음압 레벨은 Fig.3와 같으며, 500Hz이하 대역에서 가장 높은 Peak를 갖는 221Hz를 목적주파수로 선정하였고, 목적주파수에 대한 입출력간의 기여도 평가를 다차원 해석법을 이용하여 실시하였다.

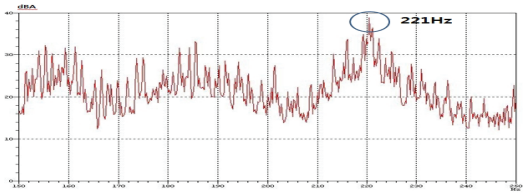

Fig.3 A-weighted SPL of the driver's ear position under 60kph

각 진동원(입력원)간의 상관성분을 제거하여 순수 입력원의 실내 소음(출력)에 대한 기여정도를 알 수 있는 부분 기여도함수(PCF)값을 Table1에 나타내었고, 이 때 다중기여도함수(MCF)값은 0.998로 각 입력원들이 출력에 반영하는 정도가 높은 것으로 판단된다.

Table 1 The partial coherence function among input and output signals

Frq.(Hz)	γ^2_{1y}	$\gamma^2_{2y\cdot1}$	$\gamma^2_{3y\cdot1,2}$	$\gamma^2_{4y\cdot1,2,3}$
221Hz	0.949	0.376	0.837	0.526

5. 현가부품의 유한요소 해석 및 다구찌 기법을 이용한 최적설계

차량 현가장치는 많은 부품들로 이루어져 있으며 해석을 위하여 모든 부품들을 상세히 모델링하면, 해석모델을 만드는데 많은 시간과 노력이 요구되고 해석시간도 많이 소요되어서 해석이 불가능하게 된다. 그러므로 유한요소 해석에 있어서 중요한 부분에 대해서만 상세히 모델링을 하고, 나머지 부분에 대해서는 부품의 단순화를 통해 요소의 수와 해석시간을 줄였다. 이 연구에서는 범용 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 유한요소 모델을 생성하고, 주파수응답 해석을 수행하여, 실험결과와 비교하여 해석 모델을 검증하였다.

검증된 해석모델에 대한 유한요소 해석을 통하여 기존 차량 현가계보다 진동저감 성능이 우수한 현가계를 설계하고자 하며, 이 과정에서 안정적으로 설계변수를 최적화할 수 있는 실험적 기법인 다구찌 기법을 적용하였다. 먼저 설계변수의 변화에 따른 효과를 분석하기 위하여 최적화 기법의 목적함수에 해당되는 평가 특성치를 선정하였다. 로워암의 진동전달경로를 제어하여 현가계를 통한 차실내 진동을 가장 효과적으로 저감시킬수 있는 설계안을 도출하기 위한 평가 특성치는 로워암의 부쉬를 통과한 출력단의 진동 레벨(dB)로 선정하였다. 설계변수는 전달경로를 차단하기 위한 bead 의 두께(A) , 부쉬의 경도(B) 및 회전각도(C), bush guide 의 길이(D)와 로 선정하였다. 다구찌 기법에서 설계변수에 대한 수준은 제 3 수준이 추천되고 있으며, 수준간격을 일정하게 설정하면 직교성에 더 부합될 수 있다. 설계변수가 4 개이며 수준이 3 개 이므로 Table 2 와 같은 L9 직교배열표를 사용하였다.

Table 2 L9 Orthogonal array

No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Table 3 Estimation of the optimal design through FE Analysis

Frq.(Hz)	Original Design	Optimal Design	Difference
221Hz	49.8dB	41.4dB	-8.4dB

5. 결 론

본 연구에서 차량 현가계로부터 전달되는 구조진동의 발생현상을 분석하고, 유한요소 해석과 다구찌 기법을 이용하여 최적설계안을 도출하였다. 최적 설계안의 진동은 목적주파수인 221Hz에서 8.4dB(16.9%)저감 예상 효과를 나타내었다.