

# 다구찌법을 이용한 건설중장비 주요 부품의 최적 진동설계

## Optimal Vibration Design for Main Components in the Construction Equipment Industry using Taguchi Method

김성환\* · 강현석†  
**Sunghwan Kim and Hyunseok Kang**

### 1. 서 론

최근 건설중장비 제품 개발 추세는 제품 개발 초기 단계에서부터 다양한 고객의 요구를 반영한 개념설계를 통하여 제품을 설계하고 평가하는 프로세스를 따른다.

건설중장비 주요 부품은 건설중장비의 작업 특성상 작업 중에 발생하는 큰 충격하중, 진동 등과 같은 과도한 작업하중을 받으므로 설계적으로 충분한 내구 성능을 확보하는것이 매우 중요하다.

이 연구는 비교적 잘 알려진 최적설계 기법 중의 한 가지인 다구찌 기법을 이용하여 굴삭기의 주요 부품 중의 한 가지인 주제어밸브(MCV; Main Control Valve) 브라켓의 최적 진동설계에 관한 것이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 해석 모델

Fig. 1은 이 연구에 적용한 기본 해석 모델을 나타낸다. 기본 해석 모델은 주제어밸브와 이를 지지해주는 브라켓으로 구성된다. 우선, 이 기본 해석 모델의 동특성을 파악하기 위해서 고유진동해석과 랜덤 진동해석을 수행하여 그 결과를 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다. 랜덤 진동해석에 적용한 파워 스펙트럼 밀도(PSD; power Spectrum Density) 그래프는 굴삭기의 대표적인 작업모드의 조합으로 구성된 진동 데이터를 사용하였다.

기본 해석 모델에 대한 진동해석 결과, 진동설계 기준을 만족하지 못하는 수준으로 평가되었다.

이는 주제어밸브 브라켓 굽힘 모드의 영향으로 인해 주제어밸브 브라켓의 진동 성능을 높이기 위한 개선 설계가 필요한 상태로 판단되었다.

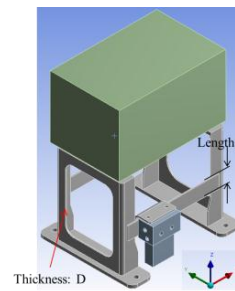
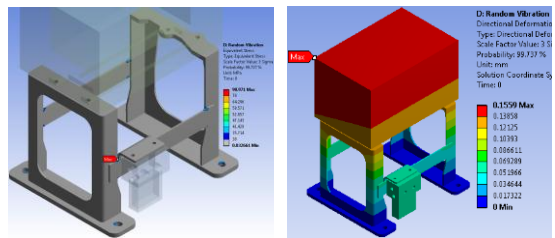


Fig. 1 Baseline model

Table 1 Vibration analysis results for baseline

Baseline	The 1 <sup>st</sup> natural freq. (Hz)	Eq. stress (MPa)	Deformation (mm)
	41.87	98.97	0.16



(a) Eq. stress contour (b) Deformation contour

Fig. 2 Random vibration results

진동해석으로부터 진동설계를 위해서 정리해야 될 결과는 해석 모델의 1차 고유 진동수, 랜덤 진동 해석의 결과로부터 나온 최대 변위와 그 지점 그리고 브라켓에 걸리는 최대 응력값 등으로 나타낼 수 있다. 또한 설계 변경 후 추가될 수 있는 원가도 고려 될 수 있다.

† 교신저자; 정회원, Noise, vibration and cooling, VPD, Volvo CE

E-mail : hyunseok.kang@volvo.com

Tel : 055-260-7853, Fax : 055-260-7080

\* Noise vibration, and cooling, VPD, Volvo CE

## 2.2 실험계획법(진동해석)

기본 해석 모델의 진동해석결과를 토대로하여 주 제어벨브 브라켓의 중간 보강판의 높이(A), 중간 보강판의 두께(B), 중간 보강판의 길이(C) 그리고 주 제어벨브 브라켓의 두께(D)를 설계변수로 지정하여 Fig. 3에 표시하였다.

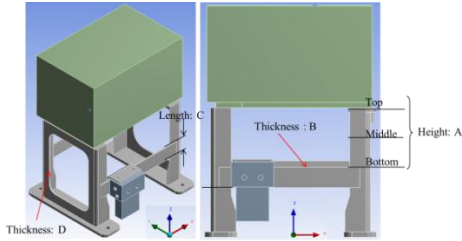


Fig. 3 Design variable

각 설계변수를 3수준으로 설정하면 총 조합 횟수는 81회의 실험계획이 필요하다. 여기서 다구찌 직교배열표를 적용하면, 3수준 4개의 인자로 구성된다. 그리고 L9 직교배열표에 배치를 하면 총 9회의 해석으로 최적조합을 구할 수 있다. 이 결과를 Table 2, 3에 나타내었다.

Table 2 Design variables and factors

	Height A	Thickness B (mm)	Length C (mm)	Thickness D (mm)
0	Bottom	4.5	50	4.5
1	Middle	5.5	60	5.5
2	Top	6.5	70	6.5

Table 3 Taguchi orthogonal array (L9)

	Column				The 1st Natural freq. (Hz)	Eq. stress (MPa)	Deformation (mm)	Weight (kg)
	A	B	C	D				
1	0	0	0	0	41.87	98.97	0.16	13.34
2	0	1	1	1	48.87	73.77	0.14	14.81
3	0	2	2	2	55.74	46.57	0.11	16.36
4	1	0	1	2	48.38	92.42	0.14	15.36
5	1	1	2	0	50.14	60.59	0.14	14.21
6	1	2	0	1	45.42	52.93	0.14	14.78
7	2	0	2	1	45.08	51.00	0.15	14.72
8	2	1	0	2	41.44	68.00	0.16	15.39
9	2	2	1	0	42.20	56.00	0.16	14.23

진동설계 주요핵심인자(KPI; Key Performance Index)는 1차 고유진동수, 최대변위, 최대응력 그리고 고 브라켓의 중량으로 설정하였다. 단, 여기서 잡음

요인은 없다는 가정하에 인자 수준별 데이터 평균을 취하여 최적해를 선정하였다. 각 KPI에 대한 최적 수준 조합은 다음과 같다.

1. The 1<sup>st</sup> Natural freq. =  $A_0 B_2 C_2 D_2$
2. Equivalent stress =  $A_2 B_2 C_2 D_1$
3. Deformation =  $A_0 B_2 C_2 D_2$
4. Weight =  $B_0 C_0 D_0$

위의 각 조합에서 강조된 부분은 해당 목적 값에 대한 민감도가 가장 큰 값이다. 모든 KPI를 모두 충족하는 최적수준조합을 만들기 위해 다음과 같은 목적함수를 정의하였다.

Objective function for Taguchi

$$= \text{The } 1^{\text{st}} N.F * \omega_1 + \sigma_{eq} * \omega_2 + D * \omega_3 + W * \omega_4$$

여기서 각 KPI는 정규화된 값을 적용하였고, 가중치는 모든 설계파라미터가 동등하다고 가정하였다. 이 경우에 대한 목적함수 인자 수준별 데이터 평균을 Fig. 4에 나타내었다.

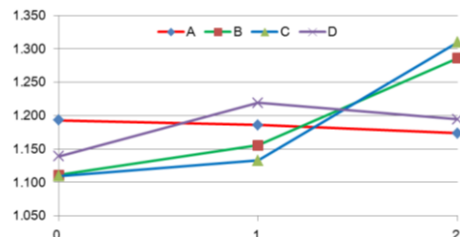


Fig. 4 Response for mean of objective function

목적함수의 최적해를 구성하는 모든 인자들의 최적 수준 조합은  $A_0 B_2 C_2 D_1$ 이 되며, 중간 보강판의 길이(C)가 가장 큰 민감도를 가진다.

## 3. 결론

이 연구는 건설중장비 주요부품 중의 하나인 주 제어벨브의 브라켓의 진동최적설계에 관한 것이다.

먼저 기본해석 모델에 대한 진동해석을 수행하였고 보강 설계를 위한 설계변수를 지정하였다.

다구찌 기법을 이용하여 9 회의 진동해석계획을 구성하여 각 KPI에 대한 최적의 조합을 찾을 수 있었다. 또한, 4 개의 KPI로 이루어진 하나의 목적함수를 구성하여 최적수준조합을 만들었고, 설계 타겟을 만족하는 진동최적설계를 수행하였다.