

소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 동적 설계 민감도 해석

Sensitivity Analysis of Dynamic Design for the Cabin Mounting System of Small Excavators

김성환* · 강현석†
Sunghwan Kim and Hyunseok Kang

1. 서 론

대부분의 굴삭기(Excavator) 운전실(Cabin)은 그 구조상 작업장치의 좌측에 위치하고 있어, 작업장치로부터 발생한 다양한 충격하중을 그대로 전달받는다. 이러한 하중으로부터 굴삭기 운전실과 작업자에 전달되는 진동을 줄이기 위해 운전실 하단부에 마운트(Mount)를 설치하게 된다. 특히 소형 굴삭기의 경우 도심 인근의 배관, 조정, 도로 하수구 공사 등 비교적 정교한 조작이 요구되는 작업에 투입되기 때문에 작업자들은 운전실의 진동에 민감하게 반응하는 경향이 있다.

이 연구는 소형 굴삭기 개발 초기 단계에서 굴삭기 운전실 마운트의 진동 설계를 위한 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 동적 설계 민감도 해석에 관한 것이다.

소형 굴삭기 운전실과 좌표를 나타내고, 우측 그림은 현재 소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 진동 특성을 나타낸다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 현재의 소형 굴삭기 운전실 진동레벨은 설계기준보다 높은 편으로 새로운 소형 굴삭기 개발을 위해서는 개선된 운전실 마운팅 시스템이 필요하다.

(2) 운전실 강제 모드 평가

현재의 소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 진동특성을 파악하기 위해 운전실과 운전실 마운트를 집중질량계 및 스프링으로 모델링한 후, 고유치 해석을 진행하였다. 그 결과, 운전실의 롤링(Rolling) 모드 및 피칭(Pitching) 모드에 대한 고유진동수 레벨은 운전자 전신진동(WBV; Whole Body Vibration)에 큰 영향을 미칠 수 있는 10Hz 미만으로 나타났다. Fig. 2는 운전실 마운팅 시스템의 주요 고유진동수 및 모드를 나타낸다.

2. 본 론

2.1 운전실 마운팅 시스템 평가

(1) 진동 시험 비교 결과

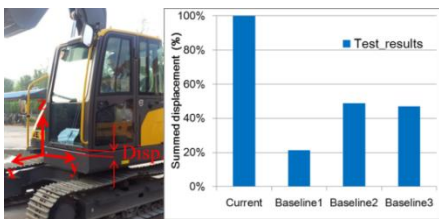


Fig. 1 Small excavator and test results(displacement)

Fig. 1의 좌측 그림은 이 연구에서 적용한 현재의

Natural freq₁= 7.23 [Hz] Natural freq₂= 8.97 [Hz]

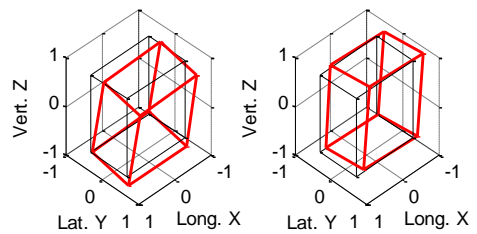


Fig. 2 Rolling and pitching modes of current cabin

(3) 유한 요소 모델 평가

이 연구의 대상 모델인 소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 최적설계를 위한 해석적인 검증을 위해 Fig. 3과 같이 소형 굴삭기 상부구조물과 운전실 마운팅을 포함하는 시스템 모델을 개발하였고, 시스템 모델의 진동해석을 수행하였다.

† 교신저자; 정희원, 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

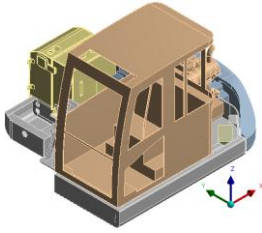


Fig. 3 Current system model

시스템 모델에 대한 진동해석 결과를 Table 1에 나타내었다. 결과에서 잘 알 수 있듯이, 운전실의 강체 모드들은 상부구조물과 연성이 되어 롤링 모드의 진동수 레벨이 강체 모드에 비해 낮아진 것으로 확인되었다.

Table 1 Modal analysis for the current system model

Natural freq. & mode for cabin	
Mode	Natural freq.(Hz)
Rolling	6.98
Pitching	8.92

2.2 설계 목표 설정 및 민감도 해석

(1) 설계 목표 설정

소형 굴삭기 운전실 최적 마운팅 시스템 설계를 위해 앞(2.1절)의 결과를 바탕으로 아래와 같이 주요설계인자를 정의하였다.

1. 운전실 롤링 모드의 진동수 레벨
2. 운전실 피칭 모드의 진동수 레벨
3. 랜덤진동에 의한 운전실 하단부 변위

위 세 개의 주요설계인자들을 이용하여 운전실 마운팅 시스템의 진동설계에 적용할 새로운 설계 목표를 다음과 같이 설정하였다.

1. 롤링 및 피칭 모드의 진동수 레벨: 10Hz이상
2. 운전실 진동레벨 감소율: 50% 이상

(2) 민감도 해석

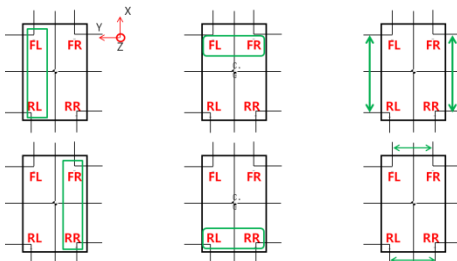


Fig. 4 Examples of design variables

소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 동적설계 민감도 해석을 위해 선정한 설계 변수는 운전실 마운트의 동강성, 장착위치이고 이 설계변수들의 변화

에 따른 롤링 및 피칭 모드에 대한 민감도를 분석했다. Fig. 4에 도식적인 민감도 해석 내용을 나타내었다.

$$S_i = \frac{\partial \omega_{n_{rolling}}}{\partial k_i}, S_j = \frac{\partial \omega_{n_{rolling}}}{\partial D_j}$$

$$S_k = \frac{\partial \omega_{n_{pitching}}}{\partial k_k}, S_l = \frac{\partial \omega_{n_{pitching}}}{\partial D_l} \quad \begin{matrix} i = k = 1 \sim 4 \\ j = l = 1, 2 \end{matrix}$$

여기서 $\omega_{n_{rolling}}$ 은 운전실 롤링 모드 진동수이고, $\omega_{n_{pitching}}$ 은 운전실 피칭 모드 진동수를 의미하고, k 는 마운트 동강성, D 는 마운트 간 거리를 나타낸다. 민감도 해석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 해석 결과, 마운트 간 거리의 민감도가 가장 크고, 롤링 모드의 진동수는 우측 마운트, 피칭모드의 진동수는 후방 마운트 강성을 변경 시킬 때 큰 민감도를 갖는다.

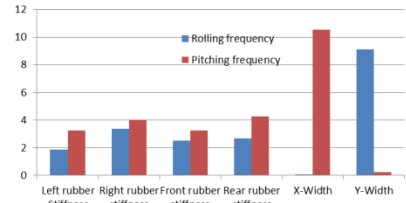


Fig. 5 Sensitivity analysis results

2.3 검증

민감도 해석 결과를 바탕으로 최적의 마운트 2가지를 선정하여 시스템 모델에 적용하여 진동해석을 수행한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 System analysis results for 2 cases

Mode	Natural frequency (Hz)		
	Current	V1	V2
Rolling	6.98	9.73	10.6
Pitching	8.92	13.2	14.4

3. 결론

이 연구를 통해서 새로운 소형 굴삭기 운전실 마운팅 시스템의 최적 설계 사양을 제안했다.

소형 굴삭기 운전실 마운트의 강성과 마운트 사이의 거리를 설계변수로 하여 민감도 해석을 수행하여 최적의 설계 사양을 검토할 수 있었고, 또한 최적의 설계 사양을 시스템 모델에 적용하여 해석적인 검증을 수행하여 그 결과를 검증했고, 최종적으로는 장비 시험을 통한 결과와의 비교 검증을 통해 최적 설계 사양의 유용성을 확인할 수 있었다.