

# 건설기계의 Idle 진동 저감을 위한 동강성 개선에 대한 연구

## A Study of the Dynamic Stiffness Modification to the Idle Vibration Reduction for the Construction Equipment

김우형† · 김인동\*  
**Woohyung Kim, Indong Kim**

### 1. 서 론

건설기계 idle은 운전자에 의해 다양한 RPM 상태를 유지 할 수 있으며, 이 운전 조건은 운전실에서 운전자가 안락함을 판단할 수 있는 기준이 된다. 건설기계를 이용하여 작업의 경우 외부 하중이 크기 때문에 차량의 편의성을 판단하기 힘들지만, 작업 중간에는 엔진에 의한 가진만 존재하기 때문에 이 조건에서 진동은 적정 수준을 만족해야 한다.

건설기계 및 자동차에서 진동 성능은 실제 차량이 완성된 이후 평가를 하게 된다. 하지만, 이는 진동 성능을 개선 함에 있어서 한계를 가지며, 근원적인 개선을 하기는 어려움이 있다. 차량의 진동은 프레임을 통하여 전달되고, 특히 Idle 조건은 엔진에 의해서만 가진 되므로 마운트 브라켓 위치의 동적 강성에 따라 크게 달라 진다. 엔진을 지지하는 브라켓의 강성은 실제 차량이 완성 된 이후 개선하기에는 큰 어려움이 있기 때문에 설계 단계에서 사전에 평가하고 개선해야 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 Idle 진동 개선

설계 단계에서 Idle 조건에서 진동을 예측하고 프레임의 설계를 개선하기 위해서는 Figure 1과 같은 절차에 의해 진행된다. 설계 도면 프레임의 동적 강성을 계산하고 목표 값 또는 비교 대상 차량과 비교 한다. 동적 강성값이 만족된 상태에서 연소 압력과 기하학적 조건을 이용하여 계산된 엔진의 가진력을 이용하여 Idle 진동 값을 계산한다.

#### 2.2 Dynamic Stiffness

건설기계 프레임의 마운트 브라켓의 동적 강성은 설계 도면을 이용하여 계산한다. Figure 2와 같이 엔진을 지지하는 4개의 위치에 대하여 각 방향의 단일 하중에 대한 응답 변위를 계산한 후 역수로 표현할 수 있다. 이 부분에서 동적 강성을 계산하는 이유는 엔진을 지지하고, 엔진으로부터 가진 되기 때문에 강성 설계를 위해 이 부분을 관리하게 된다. 엔진을 지지하는 4개의 위치에 대하여 목표 값 또는 비교 대상의 동적 강성과 비교 하여 프레임 또는 브라켓의 구조를 동적 강성이 만족 하도록 Figure 3과 같이 변경한다.

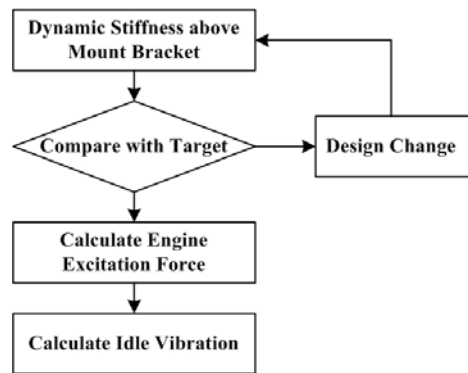


Figure 1 Process for Idle Vibration

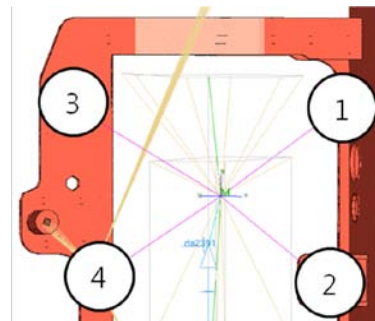


Figure 2 Engine Mount Bracket above Frame

† 교신저자; 두산인프라코어 기술본부 PINVH 팀

E-mail : woohyung.kim@doosan.com

Tel : 032-211-3928, Fax : 032-211-3731

\* 두산인프라코어 기술본부 PI

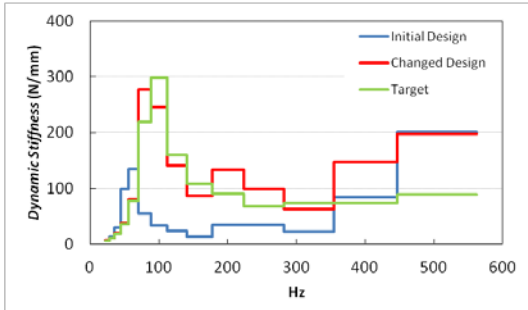


Figure 3 Comparisons with Dynamic Stiffness

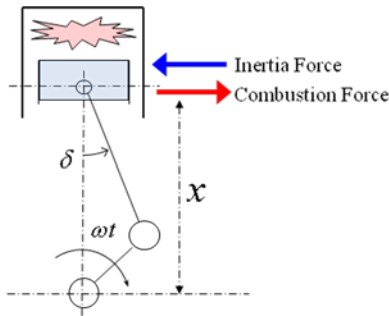


Figure 4 Crank Dynamic Forces

### 2.3 Engine Excitation Forces

Idle 진동을 예측하기 위해서는 엔진의 가진력을 예측해야 한다. 엔진의 가진력은 각 실린더의 연소 압력과 기하학적인 관성력이 Figure 4와 같이 발생한다. 무 부하 조건의 RPM별 각 실린더의 연소 압력과 Crank 시스템의 기하학적인 관성력에 의해 가진력을 계산할 수 있다. 계산을 위한 관계식은 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (2.2) ~ (2.4)의 관계에 의해 계산할 수 있다. 식 (2.1)은 단 기통의 관계식이며 이를 다 기통 엔진에 적용하면 엔진 시스템의 가진력을 계산할 수 있다.

$$\text{Torque Flucuation} = F \times x \quad (2.1)$$

$$x = r \cos \omega t + l \cos \delta$$

$$F = F_{\text{Inertia}} + F_{\text{Combustion}} \quad (2.2)$$

$$F_{\text{Inertia}} = (m_p + m_{cp})(r\omega^2 \cos \omega t_i + \frac{r^2 \omega^2}{l} \cos 2\omega t_i) \tan \delta_i \quad (2.3)$$

$m_p$ : Piston Mass,  $m_{cp}$ : Con Rod Mass  
 $r, l$ : length,  $\omega$ : RPM

$$F_{\text{Combustion}} = AP \tan \delta_i \quad (2.4)$$

A: Piston Area, P: Combustion Pressure

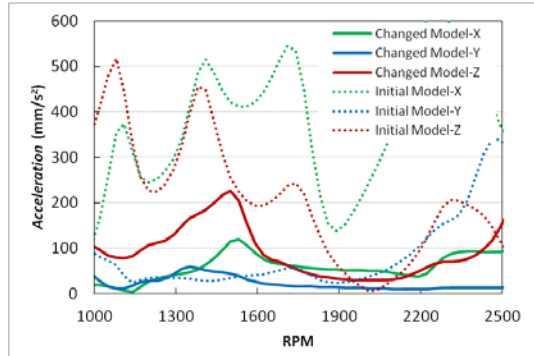


Figure 5 Idle Vibrations on the Cabin Side Frame

### 2.4 Idle Vibration

동적 강성이 개선된 프레임을 이용하여 건설기계 상부체의 중량물 (Front, Cabin, Fuel/Oil Tank, Radiator, Count-weight)을 고려한 FE-Model을 구성하고 Swing Center를 구축하였다. 엔진 가진력 계산식 (2.1)을 이용하여 각 RPM에서의 2차 조화 가진력 (4기통 엔진)을 계산한다. FE-Model과 가진력을 이용하여 Modal Frequency Response Analysis를 이용하여 Cabin위치에서 프레임의 진동을 계산하였다. Figure 5는 가진력을 이용하여 계산된 각 방향의 가속도 값이다.

동적 강성이 개선된 프레임의 FE-Model은 강성 설계가 되었기 때문에 Idle 조건의 엔진 가진력에 대하여 진동이 저감된 것을 Figure 5에서 확인할 수 있다. 이는 프레임의 엔진 마운트 부분의 동적 강성을 개선함으로써 엔진 가진에 대하여 강인한 구조로 프레임의 진동이 저감됨을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

Idle 운전 조건의 진동은 엔진에 의해서 결정된다. 엔진 마운트 러버를 이용한 절연 또는 지지하는 프레임의 동적 강성을 강인하게 설계하여 진동을 저감시킬 수 있다. 본 논문에서는 엔진의 사양이 결정되고, 프레임의 설계가 완료된 시점에서 차량의 진동 상태를 평가 및 판단할 수 있는 프로세스를 제시하였다. 설계 단계에서 진동 성능 향상을 위한 개선을 함으로써 장비 성능을 높이는데 기여할 수 있다.