

# 건설중장비 냉각부품의 진동설계

## Design for Vibration of Cooling Component on Heavy Construction Equipment

함정훈\*·김성환\*·강현석†

Jeonghoon Ham, Sunghwan Kim and Hyunseok Kang

### 1. 서 론

건설중장비는 도로건설, 건설용 골재채취 채석장등과 같은 험한 작업 환경에서 매우 높은 작업하중으로 작업하는 건설기계이다. 건설중장비의 대표적인 종류로는 굴삭기, 휠로더, 모터그레이드 그리고 컴팩터 등이 있다. 건설중장비의 작업 특성상 매우 높은 하중을 필요로 하기 때문에 고풍력의 엔진과 유압펌프를 이용하여 실린더 등과 같은 유압식 작동기를 이용하여 작업을 수행한다.

상당히 높은 작업하중을 이용하여 작업을 수행하는 건설중장비를 개발할 때 가장 우선적으로 고려해야 될 설계 인자는 건설중장비의 다양한 작업 중에 발생하는 다양한 작업하중에 대해서 충분한 내구성능을 확보하는 것이다. 건설중장비의 작업 특성상 높은 진동을 수반하는 경우가 많다. 이러한 높은 진동하중을 고려한 건설중장비의 진동설계는 매우 중요하다.

### 2. 본 론

#### 2.1 연구 목적

이 연구는 대표적인 건설중장비 중의 하나인 굴삭기의 냉각장치인 과급공기냉각(CAC; Charged air cooler)장치에 연결되는 CAC파이프 시스템의 진동설계에 관한 것이다.

굴삭기는 매우 다양하고 고하중의 작업을 수행하기 때문에 작업 중에 상당히 높은 진동하중이 발생

한다. 특히 굴삭기 엔진 관련 부품의 경우, 엔진의 진동과 굴삭기 작업장치로부터 발생하는 큰 진동을 동시에 받기 때문에 개발 초기 단계에서부터 반드시 진동설계를 고려해야 한다.

#### 2.2 기본 해석 모델

Fig. 1은 이 연구에서 적용한 CAC파이프 시스템의 3D CAD 모델이다. 엔진 터보차저에서 CAC까지 그리고 CAC에서 엔진까지 파이프와 호스 그리고 벨로우즈로 연결되어 있는 구조이다. 여기서 호스와 벨로우즈 부분을 제외한 CAC파이프와 지지대로 구성된 해석 모델을 이용하여 연구를 진행하였다.

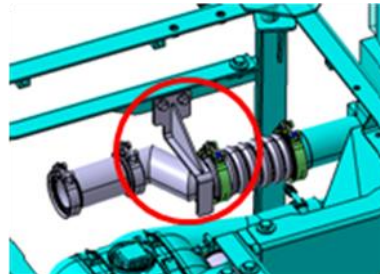


Fig. 1 3D model of CAC pipe system

#### 2.3 진동 해석 프로세스

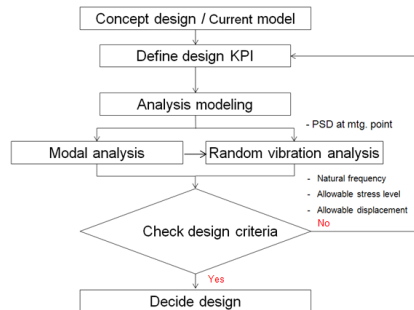


Fig. 2 Vibration Analysis Process

Fig. 2는 이 연구에 적용한 진동 해석 프로세스이

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

E-mail : hyunseok.kim@volvo.com

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

\* Noise, vibration and cooling, VPD Volvo CE

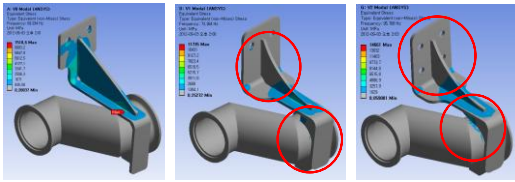
며 이를 통해 최적의 진동설계를 구상하였다. 목적 함수와 설계목표는 다음과 같이 설정하였다.

$$Obj. function = [Freq. @ bending] \cdot w_1 + [\sigma_{eq}] \cdot w_2 + [D] \cdot w_3$$

Design target = 50% improvement of object function

## 2.4 진동 해석 결과

2.3절에서 구성한 진동 해석 프로세스를 토대로 기본 해석 모델(Current)과 2가지의 개선 모델(V1, V2)을 비교하여 고유진동해석과 랜덤진동해석을 수행하였다. 여기서 랜덤진동해석에 쓰인 PSD 입력은 임의로 가정한 레벨을 각 좌표축 별로 동일하게 입력하였다. 진동 해석 결과를 Fig. 3과 Table 1에 정리하였다.



(a) Current (b) V1 (c) V2  
Fig. 3 Result of random vibration analysis

Table 1 Result of modal and random vibration analysis

Natural Frequency (Hz)			
Order	Current	V1	V2
1	69.9	73.4	95.7
2	96.5	96.8	179.1
3	121.8	132.2	300.4
Equivalent stress (MPa)			
Max	225	189	166
Deformation by Random Vibration (mm)			
X	1.49	1.36	0.27
Y	2.20	1.82	1.16
Z	1.47	1.58	1.01

V1, V2 모델의 고유진동수는 기본 해석 모델보다 향상된 결과를 나타내었고, 또한 랜덤진동해석 결과도 조금씩 향상되는 결과를 보였다.

Table 2는 기본 해석 모델과 개선된 모델의 차이를 나타낸 것이다.

Table 2 Comparison among the vibration analysis results

Natural Frequency (Hz)					
Order	Current	V1	Difference vs. current	V2	Difference vs. current
1	69.9	73.4	5%	95.7	37%
Equivalent stress (MPa)					

Max	225	189	-12%	166	-36%
Deformation by Random Vibration (mm)					
X	1.49	1.36	-9%	0.27	-82%
Y	2.20	1.82	-17%	1.16	-47%
Z	1.47	1.58	7%	1.01	-31%

기본해석 모델을 기준으로 각 해석모델의 핵심성능인자(KPI; Key Performance Index)를 정규화 시킨 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Normalized KPI

KPI	Current	V1	V2
Bending mode	1	1.05	1.37
Eq. stress	1	1.12	1.36
Deformation	1	1.19	1.82

이 결과를 2.3절에서 정의한 목적함수에 적용하였다. 고유진동수의 증가는 다른 인자 보다 동적 응답에 크게 영향을 준다. 또한 설계 기준상 랜덤진동해석 결과를 고려하기 때문에 경험상 이 연구에서는 각 가중치로  $w_1$  를 0.5,  $w_{2,3}$  를 0.25로 설정하였다

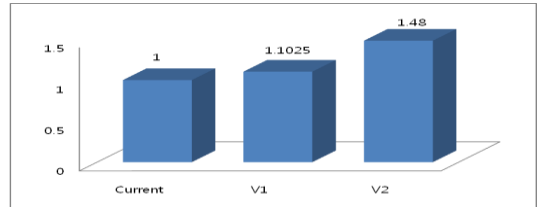


Fig. 4 Objective function graph

Fig. 4는 목적함수의 결과를 그래프로 나타낸 것으로, 두번째 개선 모델인 V2 모델이 기본해석 모델 대비 48% 성능이 향상된 결과이다. 이 결과는 계획했던 설계목표에 근접한 수준임을 알 수 있다.

## 3. 결론

이 연구는 건설중장비 중의 하나인 굴삭기의 제품 개발 단계에서 냉각부품인 CAC 파이프의 진동설계에 관한 것이다.

기본해석 모델에 대한 고유진동해석과 랜덤진동해석을 수행하여 그 결과를 기초로 하여 설계 핵심성능 인자 및 설계 목표를 설정하여 최적설계를 수행하였다. 특히 CAC 파이프 지지대의 고정부를 가진 랜덤진동해석을 통해 기본해석 모델의 문제점을 파악하였고, 이 결과를 이용하여 CAC 파이프 지지대의 최적 진동설계를 수행하여 실제 제품 개발 설계에 반영할 수 있었다.