

# 건설중장비 부품의 진동내구해석 Vibration Durability Analysis

## for Components of Construction Equipment Industry

김성환\* · 함정훈\* · 강현석†

Sunghwan Kim, Jeonghoon Ham and Hyunseok Kang

**Key Words:** Construction Equipment(건설중장비), Excavator(굴삭기), Random Vibration(불규칙진동), Excavator Working Mode(굴삭기 작업 모드), Life Test(수명시험), Vibration Durability Analysis(진동내구해석)

### ABSTRACT

There are so many types of construction equipment. Excavator is one of typical construction equipment which is working under the tough and severe environments. It's important for engineers to design CE components by the vibration durability point of view. Traditionally, two typical vibration durability methods to verify the durability of components. The first is experimental method which is using the vibration durability test bench. But experimental approach on vibration durability is needed a lot of cost and time. The second is analytical method which is using the vibration durability analysis such as Dirlik, Stainberg, Lalanne and others methodologies. The one of main advantages on vibration durability analysis can reduce the cost and time.

We present a vibration durability analysis process and methodology on the guardrail system in excavator.

### 1. 서 론

건설현장에는 굴삭기, 휠로더, 콤팩터, 모터그레이더 등이 대표적인 건설중장비로 사용되고 있으며, 굴삭기는 대표적인 건설중장비 중 하나로 작업장치를 통해 아직 개발되지 않는 현장, 각종 광산 및 채석장 등과 같은 다양한 작업장에서 작업을 수행하는 건설중장비이다. 특히 굴삭기의 경우, 작업장치로부터 발생한 과도한 작업하중이 굴삭기의 주요 부품에 전달되기 때문에 굴삭기 주요 부품의 충분한 강도 및 내구 성능 확보는 매우 중요하다.

이러한 굴삭기의 주요 부품은 충분한 내구 성능이 확보되어야 하는데, 내구 성능 검증 방법으로는 주로 시험적인 방법과 해석적인 방법이 있다.

대표적인 진동내구시험 방법으로는 진동내구벤치를 이용하여 수명을 평가하는 방법이 있다. 진동

내구벤치는 단축 또는 다축 진동 시험기를 이용하여 시험데이터를 근거로 높은 정확도를 가진 제품의 진동 내구 수명을 평가 할 수 있다. 그렇지만 많은 시간과 비용을 필요로 한다.

진동내구해석 방법에는 여러가지가 있는데 Dirlik, Stainberg, Lalanne 등의 경험식을 바탕으로 사용하고 있으며 시험적인 방법과 동일하게 시험데이터를 해석에 적용하여 적은 비용과 빠른 시간으로 제품의 진동내구 특성을 예측할 수 있는 장점이 있다.

이 연구는 굴삭기 주요 부품의 진동내구해석에 관한 것이다.

### 2. 연구 배경 및 해석 프로세스

이 연구는 건설중장비 중 한 가지인 굴삭기 주요 부품 중에서 작업자의 안전을 고려한 국제표준(ISO2867: Earth-moving machinery – Access systems)을 적용하는 부품인 가드레일의 진동내구해석에 관한 것이다. 건설중장비 가드레일은 국제표준에 따라 설계되어야 하며, 반드시 동적하중에 대한 설계 안정성을 확보해야 되는 중요한 부품이다.

Fig. 1에 진동내구해석이 포함된 일반적인 건설중

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

E-mail : [hyunseok.kang@volvo.com](mailto:hyunseok.kang@volvo.com)

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

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

장비 부품의 진동해석 프로세스를 나타내었다.

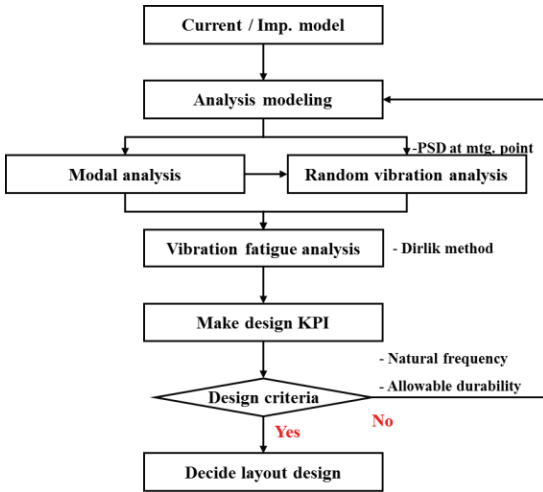


Fig. 1 Vibration durability analysis process

굴삭기와 같이 큰 작업하중을 만들어내는 건설중장비의 경우, 통상적인 정적 설계만으로 제품을 개발하는것은 아주 많은 리스크가 있다. 왜냐하면 건설중장비 작업장치를 통해서 건설중장비 전 부분에 큰 동적하중이 발생하기 때문에 많은 부품들은 건설중장비 작업장치로부터 충격하중에 의한 진동피로가 누적되어 심할 경우, 파손으로 이어지는 경우가 많다.

진동내구 성능을 평가하기 위해서 일반적으로 시험적인 방법이 사용된다. 시험적인 진동내구성능을 확인하기 위해서는 현장에서의 진동시험을 통해 작성한 드라이브 파일을 이용하는 방법과 여러 국제 표준에서 사전 정의된 입력파형을 이용하는 방법 등이 있다. 시험적인 방법의 경우, 많은 시간과 비용이 소모되기 때문에 해석적인 방법을 이용하여 저비용과 빠른 진동내구성 검증하는것은 매우 중요하다.

### 3. 해석 모델 및 진동내구해석

#### 3.1 해석 모델

이 연구에서 적용한 기본 해석 모델을 Fig. 2에 나타내었다. 해석 모델은 탱크와 탱크 위에 장착된 두 개의 가드레일로 구성된다. 탱크와 가드레일 하단에는 해석 모델의 경계조건을 모사해 주기 위해 2개의 브라켓을 진동내구해석 모델에 구성시켰다. 이와 같이 해석 모델을 구성하여 진동내구해석을 수행하였다.

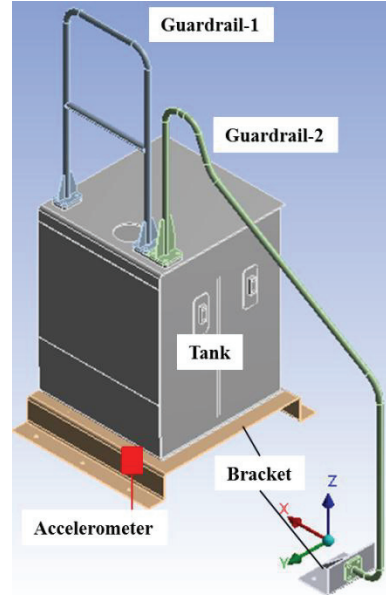


Fig. 2 Geometry of guardrail assembly

#### 3.2 고유진동 해석 결과

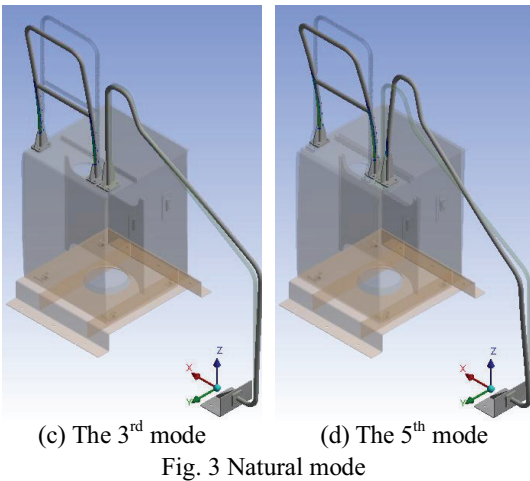
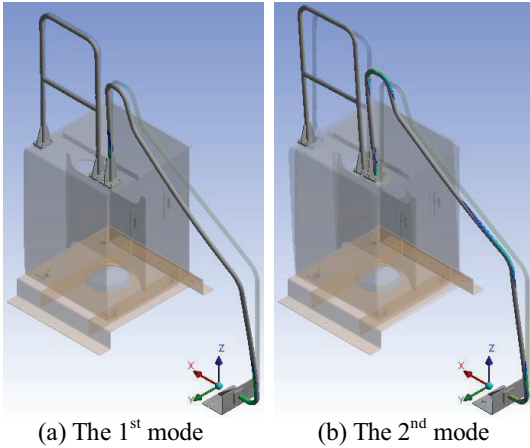
우선, 이 해석모델의 기본 동특성을 파악하기 위해 고유진동 해석을 수행하였다. Fig. 2에서와 같이 탱크 및 가드레일과 브라켓은 접촉 조건을 이용하여 모델링하였다.

이 연구에서는 ANSYS를 사용하여 고유진동 해석 및 랜덤진동 해석을 수행하였으며, 진동내구수명 평가를 위해서 LMS Virtual.Lab을 이용하여 진동피로해석을 수행하였다.

Table 1에 Fig. 2 해석모델의 1차에서부터 6차까지의 고유진동수와 정규화된 유효질량을 나타내었으며, Fig. 3에 가드레일의 주요 고유모드를 나타내었다.

Table 1 Natural frequencies of tank assembly model

Order	Natural frequency (Hz)	Normalized effective mass
1	15.4	11%
2	16.6	100%
3	19.1	32%
4	23.7	5%
5	27.7	29%
6	37.0	4%



### 3.3 장비 진동 시험 데이터

진동내구해석을 위하여 Fig. 2에 표시된 탱크 하단 고정부 지점에서 가속도계를 부착 후, 실제 작업현장에서 굴삭기 장비시험을 진행하였다. 대표작업으로 구성된 진동시험데이터를 확보하였으며 그 데이터를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 단위는 g이고, X, Y, Z의 의미는 굴삭기 운전자 기준으로 전후, 좌우 그리고 상하방향을 의미한다.

Fig. 5은 진동신호의 각 X, Y 그리고 Z축으로의 실효치(RMS)레벨을 벡터 합한 그래프이며 최대 실효치레벨은 A모드에서 0.366레벨 수준이었다. Fig. 6은 파워 스펙트럼 밀도(PSD; Power Spectrum Density)그래프를 나타낸다.

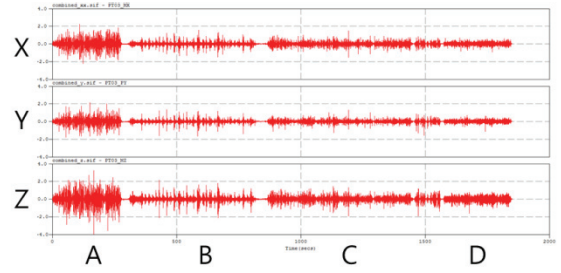


Fig. 4 Vibration test data

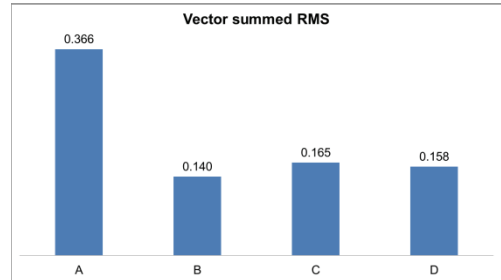


Fig. 5 RMS data for each working modes

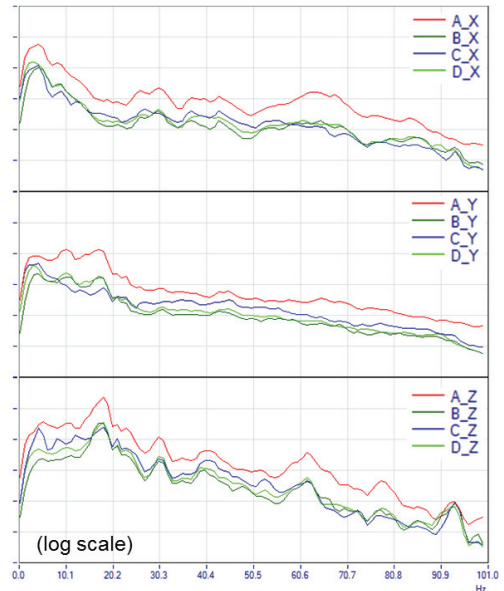


Fig. 6 PSD input data

### 3.4 각 작업 모드의 진동 내구 평가

진동내구해석을 수행하기 위해 3.2절에서 수행한 고유치 해석결과를 이용하고, 3.3 절에서 소개한 각각의 작업조건에 대한 가속도 시간 데이터로부터 파워 스펙트럼 동하중이력을 만들어 모드와 기여도를 중첩한 동응력을 토대로 파손율을 구했다. 이때 사용한 재질 정보는 일반구조강의 S-N선도와 Dirlik

기법을 이용하여 피로수명을 예측하였다. Fig. 7에 일 반구조강의 S-N선도 물성치를 나타내었다.

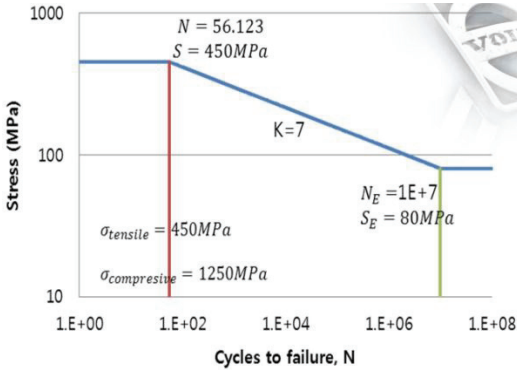


Fig. 7 S-N curve of structural steel

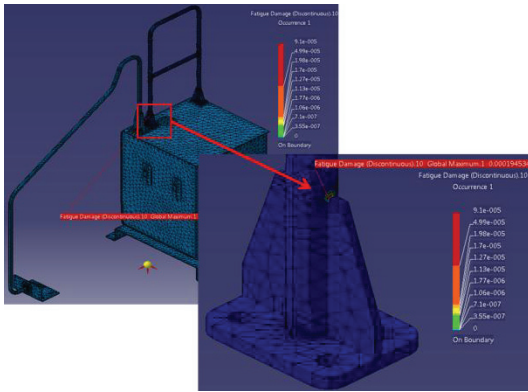


Fig. 8 Vibration fatigue damage at guardrail

Table2 Comparison for vibration durability life

Failure time (hrs)	
A	807
B	1133822
C	423862
D	1805510

최대 진동피로파손율은 Fig. 8에 나타난 가드레일 의 보강지지대 위쪽 위치에서 발생하고 있으며, Table2은 작업모드 A~D에 대한 진동내구수명을 나 타내었다. 단, 여기서 일반구조강의 S-N선도를 이용 했기 때문에 절대적인 값의 수명 비교는 어렵다. 상 대적 비교를 수행 했을 때, A~D 작업모드에서 A작 업모드가 장비수명에 큰 영향을 미치고 있음을 확 인 할 수 있다.

#### 4. 진동내구벤치의 수명평가 검토

##### 4.1 진동내구벤치 수명 평가

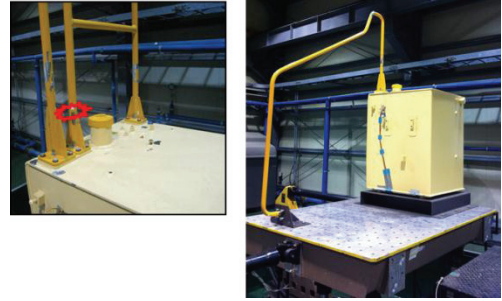


Fig. 9 Life test for guardrail system

Fig. 9는 진동내구시험장치에 장착된 가드레일 시 스템 구성을 나타내고 있다. 진동내구시험 입력을 구성하기 위해 3절에서 소개 했던 대표작업모드 로 구성된 A~D까지의 시험데이터를 이용하여 실제작 업모드로 가정된 가상의 시험데이터를 구성하였다.

$$Working_{comb.} = A \cdot w_1 + B \cdot w_2 + C \cdot w_3 + D \cdot w_4$$

여기서 가중치가 적용된 정확한 의미는 대표작업 모드의 구성 시간의 비율을 의미한다.

실제목표수명을 임의의 시간으로 가정했을 때, 오랜 시간 동안 진동내구시험장치를 가동한다는 것은 비용과 시간적인 측면에서 불합리하다. 그렇기 때문 에 HALT(Highly Accelerated Life Test)방법을 이용하 여 적은 시간 동안의 목표시간동안 내구성을 평가 하기 위해 가상의 시험데이터를 증폭을 시키게 된 다. 이 작업은 축적된 데이터와 경험적인 방법으로 의존할 수 밖에 없었다.

이렇게 만들어진 드라이브 파일을 이용하여 진동 내구시험장치에 가드레일 시스템을 장착 시킨 상태 로 측정된 데이터는 Fig. 10과 같다.

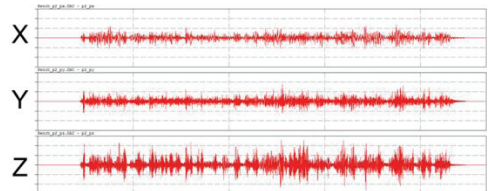


Fig. 10 Vibration test data at bench bed

2절의 해석프로세스를 따라3절과 동일한 해석을 수행한 결과를 Table3에 나타내었다.

Table3 Vibration durability life between Working<sub>comb</sub> and bench data

Failure time (hrs)	
Working <sub>comb</sub>	7996
Bench data	33.2

위 결과를 각 목표수명에 해당하는 손상으로 바꾸어 그 크기를 비교했을 때 진동내구시험에 적용한 Bench data가 약 8.4배 더 큰 손상을 받고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결론

이 연구는 건설중장비 가드레일 시스템의 진동내구해석에 관한 것이다. 해석 모델에 대한 진동해석과 진동내구해석을 수행하여 굴삭기 개발과정에 기여 할 수 있었다.

여러 작업모드로 구성된 굴삭기 장비시험을 수행하여 입력데이터를 확보하였으며 다양한 작업모드에 대한 진동내구수명을 해석적으로 예측 할 수 있었고, 그 중 특별한 작업모드의 위험성을 파악 할 수 있었다.

이러한 해석결과를 기초로 하여 향후 실제 고객이 사용하는 장비데이터를 분석하여, 건설중장비 표준작업모드를 만들 수 있다.

또한 진동내구벤치시험 이전에 이 해석을 통해서 정량적인 목표수명 시험에 대한 사전 검증작업을 할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- (1) Daejoon. Kang, W. S. Lee, J. W. Lee and K. Hong: "Characteristics of Construction Machinery Noise and Vibration." KSNVE Vol.15 No.6 pp.645~651. 2005.
- (2) H. S. Kang, J. M. Kang, A. K. Jung and J. O. Lee: "Random Vibration Analysis of Handrail for Construction Equipment." KSNVE pp.586~587, 2010.
- (3) H. S. Kang, S. H. Kim and J. M. Kang: "Design for Vibration of Radiator at the Early Stage of Product Development Process in Construction Equipment." KSNVE pp.271~276, 2011.
- (4) H. S. Kang, S. H. Kim and J. M. Kang:

"Vibration Durability Analysis for Hydraulic component in the Construction Equipment Industry." KSNVE, 2012

(5) D. S. Steinberg, "Vibration Analysis for Electronic Equipment," John Wiley & Sons Inc., 2000.

(6) D. J. Segalman, G. M. Reese, R. V. Field, C. W. G. Fulcher: "Estimating the Probability Distribution of von Mises Stress for Structures Undergoing Random Excitation." ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 122, S.42-48.

(7) Grzelak, J., Lagoda, T., Macha, E.: "Spectral Analysis of the Criteria for Multiaxial Random Fatigue." Mat.-wiss. U. Werkstofftech., Nr. 22, 1991, S. 85-98.

(8) Pitoiset, X., Preumont, A.: "Spectral methods for multiaxial random fatigue analysis of metallic structures." Int. Journal of Fatigue, Vol. 22, 2000, S. 541-550.

(9) M. K. Santhosh, "Analyzing Random vibration Fatigue," ANSYS Advantage Volume II, Issue 3, 2008.