

## 토목공사용 파워팩의 동적 안정성에 관한 연구

김동일\*, 김재실#, 이상식\*\*

(\*,# 창원대학교 기계공학부, \*\* (주)부마 CE)

### A Study on the Dynamic Stability of a Power Pack for Heavy Construction Equipments

Dong-II Kim\*, Chae-Sil Kim#, Sang-Sik Lee\*\*

(Received 17 December 2014; received in revised form 19 December 2014; accepted 29 December 2014)

#### ABSTRACT

Power packs can change energy to hydraulic energy generated by an engine as a tool for use with civil engineering construction equipment. This paper determines which type of power pack meets the standards of construction machinery. A power pack was formulated as a three-dimensional model by using the software CATIA. A modal analysis was conducted using ANSYS Workbench, and the resonance was checked. Next, a harmonic analysis was conducted. The analytical results show that the dynamic stability of the power pack is assured.

**Key Words** : Power Pack(파워팩), Modal Analysis(모드해석), Harmonic Analysis(조화해석)

#### 1. 서 론

교량을 설치하거나 건물을 건축하기 위하여 굴삭작업을 통하여 지반에 Pile 시공을 하는 경우가 많은데, 이 때 Rotator(로테이터) 장비가 사용된다. 일반적인 건설기계의 경우 내부의 동력원으로 장비의 구동이 가능하지만 대형건설기계인 로테이터의 경우 따로 동력원이 존재하여야 하며 그것이 바로 Fig. 1에서 보여지는 전형적인 파워팩(Power Pack)이다.

파워팩은 건설토목 장비의 일부로 엔진을 통해

생성된 에너지를 유압 에너지로 바꾸는 역할을 하고 있다. 이러한 파워팩이 Tier 4등급의 엔진으로 교체로 인해 외부 Frame의 구조의 변경과 더불어 Fuel Tank, Oil Tank의 설치 위치의 변화로 인해 파워팩 전체적인 형상과 무게중심 등이 기존과 다르게 변화하였기 때문에 다시 해석을 수행할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 Tier 4등급의 엔진이 장착된 새로운 파워팩 구조물의 동적 해석을 수행하여 안정성을 해석적으로 확보하고자 한다.



Fig. 1 Typical power pack

# Corresponding Author :  
Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University  
E-mail : kimcs@changwon.ac.kr  
\* Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University  
\*\* Buma CE Co., Ltd.

## 2. 모드해석(Modal analysis)

### 2.1 3차원 모델링

2차원 도면을 토대로 Fig. 2와 같이 파워팩의 3차원 모델링을 완성하였다. 파워팩은 전체 직육면체의 형상을 하고 있으며, Base Plate를 기반으로 외각 Frame을 기준으로 비어진 공간에는 외부 Cover가 체결되어 있어, 엔진의 폭발음 등으로 인해 발생하는 소음이 밖으로 새어나가는 것을 최소화하였다. 파워팩 전면과 상부 후면에 구멍이 내어져 있으며, 이 구멍으로 공기의 유입과 유출이 일어나 엔진의 열을 밖으로 배출하는 역할을 하고 있다.

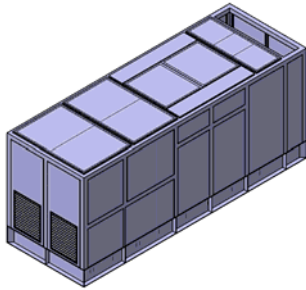


Fig. 2 Power Pack 3D modeling

### 2.2 유한요소모델 및 물성치 정의

3차원 모델링을 완성하고 해석을 진행하기 위하여 Fig. 3과 같이 유한요소 모델을 완성하였다. 총 Node수는 410,409개이고 Element 수는 171,135개이다. 그리고 이를 이루고 있는 물성치는 실제 구조물이 이루어진 주요 재질인 SS400으로 이루어져 있으며 자세한 제원은 Table 1과 같다.

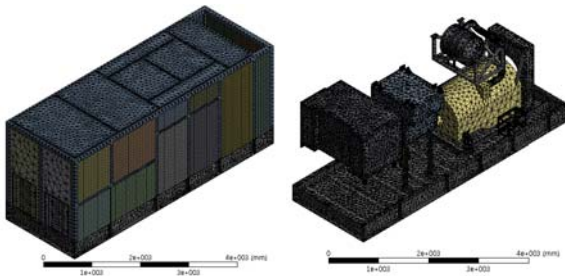


Fig. 3 The finite element model

Table 1 The main properties of the Power Pack

	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Young's Modulus [MPa]	Poisson's Ratio	Yield Strength [MPa]
SS400	7850	2×10 <sup>5</sup>	0.3	250

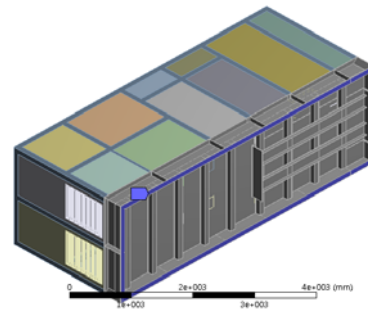


Fig. 4 Fixed support

유한요소모델을 구축한 후, 파워팩이 실제 거동되는 것과 동일한 환경으로 묘사하여 해석을 진행하기 위하여 경계조건을 부여하였다. 실제 파워팩이 설치되는 환경은 외부 건설현장의 바닥에 설치되거나, 로테이터를 구동할 때 뒤에 안착되게 된다. 따라서 파워팩 구조물에서 Base plate의 최하층 바닥면 전체를 Fixed support로 구속조건을 적용하였으며, Fig. 4와 같다.

### 2.3 모드해석 결과

모드해석 수행 결과 1<sup>st</sup> 모드와 2<sup>nd</sup> 모드의 형상은 Fig. 5와 Fig. 6과 같으며 Table 2는 5차까지의 모드해석 결과를 보여주고 있다.

파워팩에서 가진원에 해당하는 엔진은 Tier 4급 Volvo Engine인 TAD1161VE를 사용했으며 제원은 Table 3과 같다. 제원을 확인하게 되면 엔진의 최소 회전수는 900rpm이며, 최대 회전수는 1800rpm이다. 이를 주파수로 환산하게 되면 최소 15Hz에서 최대 30Hz이며 이 영역이 공진 영역임을 알 수 있다. 모드해석 결과 1<sup>st</sup> 모드의 발생 주파수는 36.63Hz이므로 본 과제에서 사용되는 파워팩은 공진의 영향에서 벗어남을 알 수 있다.

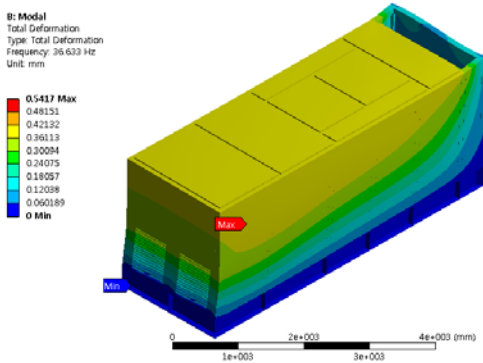


Fig. 5 1<sup>st</sup> mode shape

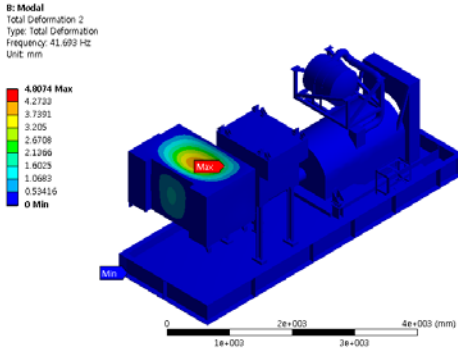


Fig. 6 2<sup>nd</sup> mode shape

Table 2 Results of modal Analysis

Mode	Frequency[Hz]
1 <sup>st</sup>	36.63
2 <sup>nd</sup>	41.69
3 <sup>rd</sup>	46.79
4 <sup>th</sup>	54.20
5 <sup>th</sup>	58.43

Table 3 Results of modal Analysis

No. of Cylinders	6
Bore [mm]	144
Stroke [mm]	165
Low idle [rpm]	900
High idle [rpm]	1800
Power [hp]	612

### 3. 조화해석(Harmonic analysis)

#### 3.1 조화가진력 적용

엔진의 동작으로 인한 파워팩 구조물에 미치는 영향을 조화해석으로 알아보고자 한다. 조화해석을 수행하기 전에 경계조건을 부여하였다. 구속조건은 모드해석과 마찬가지로 Fixed support를 부여하였으며, 가진력에 해당하는 엔진에 대한 힘을 Table 3을 제원 이용하면 엔진이 동작할 때의 힘을 식(1)~식(4)를 통해 계산적으로 구하였다.

$$Power(ph) = \frac{2\pi \times T \times rpm}{75 \times 60} \quad (1)$$

$$F \times r = T \quad (2)$$

$$612hp = \frac{2\pi \times F \times 0.072m \times 1800rpm}{75 \times 60} \quad (3)$$

$$F = 3382.042kg_f = 3382.042 \times 9.81N = 33177.83N = 33.18kN \quad (4)$$

여기서 T는 토크, rpm은 회전수, r은 보어의 반경이다. 계산 결과 엔진의 동작으로 인해 축에 가해지는 가진력은 약 33.18kN이 계산되었다. 계산된 이 가진력을 Fig. 7과 같이 엔진 축의 중심부에 적용하였다. 그리고 조화해석 주파수의 범위는 모드해석 수행결과에서 나타난 주파수를 모두 동반하기 위하여 0Hz ~ 100Hz 까지 적용하여 해석을 수행하였다.

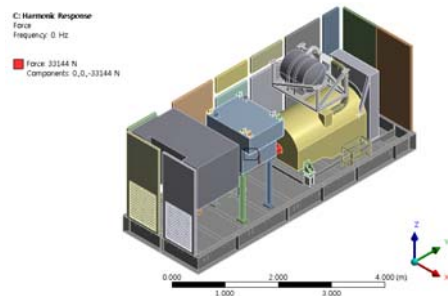


Fig. 7 Harmonic load

### 3.2 조화해석 결과

조화해석 수행결과를 알아보기 위해 30Hz에서의 총 변형량과 응력을 측정하였다. 여기서 결과 도출에 30Hz의 주파수를 적용한 이유는 가진원인 엔진의 최대 1800rpm으로 동작하는 파워팩의 고유진동수가 30Hz이며, 이 때 공진에 대한 힘과 그에 따른 영향이 가장 크기 때문이다.

Fig. 8은 조화해석결과에서 총 변형량의 경우이다. 최대 0.198mm가 엔진 구조물 측면 상부에서 발생하였고, 최소값이 발생한 지점은 흡기구 앞 쪽의 외부 Cover에서 발생하였다.

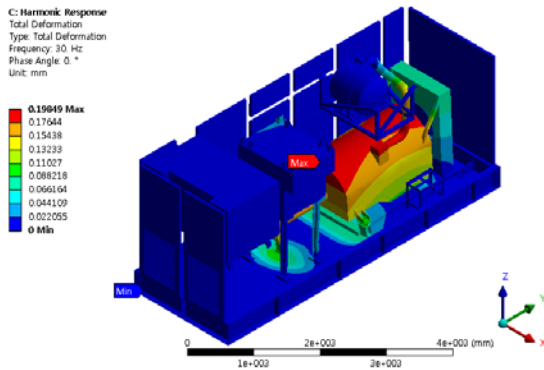


Fig. 8 Results of harmonic analysis (Total deformation)

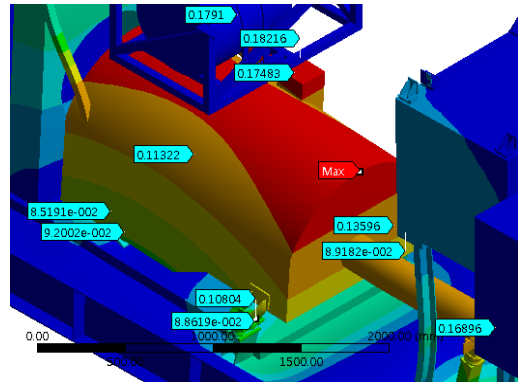


Fig. 10 Results of harmonic analysis in main parts (Left side)

Fig. 9와 Fig. 10은 엔진을 지지하고 있는 마운트 부분의 변형량을 알아보기 위해 마운트 위치부에 세부적인 변형량을 표시하였다. 마운트 위치부의 경우 최소 0.085mm에서 최대 0.16mm로 근소한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

다음으로 엔진의 동작으로 인한 파워팩 구조물의 응력을 알아보기 위해 Fig. 11과 같이 응력 결과를 확인하였다. 측정 주파수는 총 변형량과 마찬가지로 30Hz를 적용하였다. 응력은 최대값이 좌측 후방 마운트에서 64.55MPa이 발생하였고, 최소값은 흡기구 앞 쪽의 Cover에서 발생하였다.

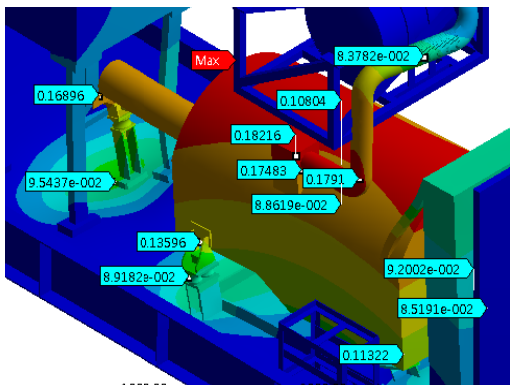


Fig. 9 Results of harmonic analysis in main parts (Right side)

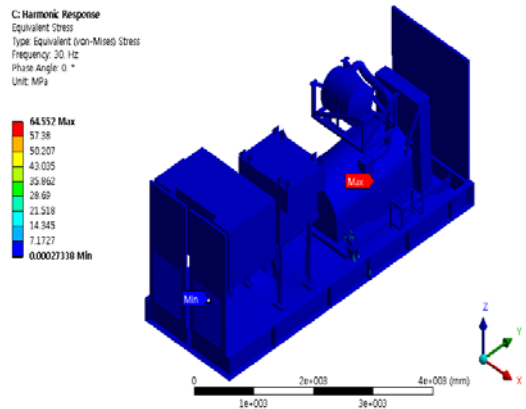


Fig. 11 Results of harmonic analysis (Equivalent stress)

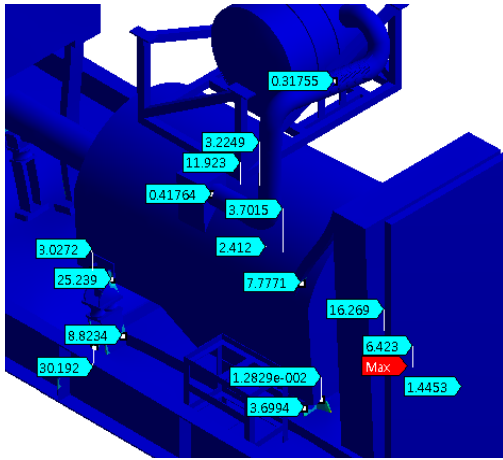


Fig. 12 Results of harmonic analysis in main parts (Right side)

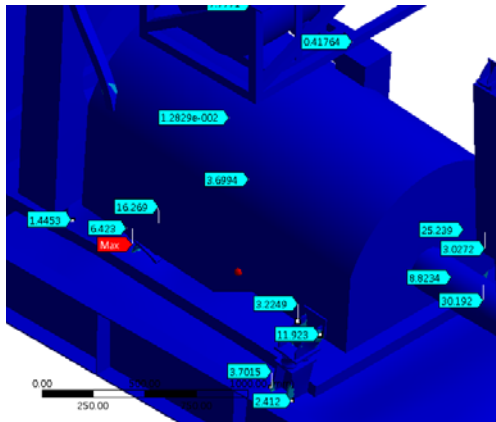


Fig. 13 Results of harmonic analysis in main parts (Left side)

변형량과 마찬가지로 Fig. 12와 Fig. 13과 같이 마운트 위치부에 세부적인 응력을 표시하였다. 최소 0.013MPa에서 최대 64.55MPa로 마운팅의 주물성치인 SS400의 항복강도보다 낮은 값을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 파워팩의 공진 및 구동할 때 발생할 수 있는 동적하중에 의한 구조물의 안정성을 분석하기 위한 해석기술에 관한 연구를 수행

하였다. 이를 위해 먼저 모드해석을 수행하여 공진의 유무를 알아본 결과 1<sup>st</sup> 모드가 36.63Hz에서 발생하였으며, 가진원에 해당하는 엔진의 주파수 범위가 15Hz~30Hz임을 감안할 때 공진의 위험성에서 벗어난 것을 알 수 있다.

다음으로 엔진의 동작으로 인한 힘을 계산적으로 구한 후 이 힘을 가진력으로 적용하여 조화해석을 수행한 결과 변형량의 경우 최대값 0.198mm가 엔진의 상부에서 발생하였다. 그리고 응력의 최대값은 좌측 후방 마운트 부에서 64.55 MPa이 발생하였으며, 파워팩과 마운트 부분의 주요 재질인 SS400의 항복강도가 250 MPa임으로 안전률이 4정도이다.

따라서 새로운 파워팩의 공진여부 및 안전율로 보아 설계에 대한 동적 안정성이 확보되었다고 판단된다.

#### 후 기

본 논문은 광역경제거점사업의 재원으로 지원받아 수행된 연구 결과입니다.

#### REFERENCES

1. M. K. Jun, J. H. Noh, J. H. Im, S. I. Ahn, J. H. Park, "Stress Analysis of the Rotating Parts for Bucket-Revolving Compact Excavator", KSFC, 2012, p.p 9~10
2. S. H. Shin, J. K. Kim, C. K. Song, B. K. Kim, T. H. Bae, J. M. Kim, "Structural Evaluation of the 300 Ton Goliath Crane", KSME, 2011, pp. 1515~1520
3. D. I. Kim, C. S. Kim, H. H. Jung, S. S. Lee, "Dynamic Structural Analysis of the Engine Piping Run of Power Pack", KSPE, 2014
4. G. H. Jung, "Design of Counter Shaft Automatic Transmission Gear Train Layout for Construction Vehicles", KFPS, 2009, pp. 23~31