

# 엔진 다이내모 시험기 베드 구조물의 진동 및 구조응력해석

## Analysis of Vibration and Stress for Bed Structure of Engine Dynamo Tester

이 영 신\*    강 이 석\*    김 동 진\*\*    김 영 대\*\*\*    김 의 석\*\*\*\*  
Lee, Young-Shin    Kang, E-Sok    Kim, Dong-Jin    Kim, Young-Dae    Kim, Eui-Sok

### 요 지

본 연구에서는 자동차엔진 및 트랜스미션 성능시험을 위한 다이내모 베드구조물을 분석하고 설계하였다. 해석상에 고려된 베드구조물은 I 형강 구조물, 보강된 박스구조물 그리고 블록구조물로 제작되었으며, 시험을 위한 엔진 및 트랜스미션은 베드상판에 장착된다. 엔진구동시 회전에 의한 진동이 발생된다. 공진을 피하기 위해 베드구조는 충분한 구조적 일체성을 가져야 한다. 본 연구에서는 베드 구조물의 응력, 변위 그리고 자유진동해석이 ANSYS Code를 이용한 유한요소해석이 수행되었다. I 형강 구조형 베드 구조물에서 최대 응력은 23.2MPa에서 90.3 MPa까지 나타났으며, 최대 처짐은 0.25mm에서 0.92mm까지 나타났다. 박스 구조형 베드 구조물에서 최대 응력은 0.028MPa에서 0.259MPa까지 나타났으며, 최대 처짐은 0.031mm에서 0.413mm까지 나타났다. 그리고 박스구조형 베드 구조물에서 최대 처짐은 0.92MPa에서 2.15MPa까지 나타났으며, 최대 처짐은 1.1mm에서 2.7mm까지 나타났다. 모든 구조물이 응력과 처짐 값에서 매우 안정적인 범위 내에서 발생됨을 볼 수 있었다. 구조진동해석에서 I 형강 베드구조물의 고유진동수는 112.03Hz에서 141.66Hz까지의 범위에 발생되었다. 박스 구조형 베드구조물에서의 고유진동수는 396.93Hz에서 755.11Hz까지의 범위에서 발생되었다. 마지막으로 블록구조형 베드구조물에서는 266.51Hz에서 244.67Hz까지의 고유진동수를 찾을 수 있었다. 모든 구조물에서 베드구조물의 무게증가에 따른 기본진동수는 증가된다. 베드시스템의 지지기초시스템은 2자유도계 시스템으로 설계되었으며, 다양한 질량변화 및 스프링상수 변화에 따른 진동해석을 수행하였다. 질량비가 증가될수록 고유진동수는 크게 감소되며, 스프링상수가 증가될수록 고유진동수는 감소된다.

핵심용어 : 다이내모 베드구조, 보강박스, 기초시스템

### Abstract

The dynamo bed structure was analyzed and designed. Bed structure was made by reinforced box structure. Various vehicle engines and transmission may be mounted on the bed system. The bed structure would be excited by the engine rotation. To avoid resonance, the bed structure should have sufficient structural integrity. In this study, the stress, displacement and natural frequency of bed structure were studied by finite element analysis with ANSYS code. In the I type steel frame bed structure, The maximum stress of bed structure was varied from 90.3MPa to 23.2MPa with the plate thickness variation from 3mm to 6mm. The maximum deflection of bed structure was ranged from 0.25mm to 0.92mm. In the reinforced box type bed structure, The maximum stress of bed structure was varied from 0.028MPa to 0.259MPa with the plate thickness variation from 10mm to 25mm. The maximum deflection of bed structure was ranged from 0.031mm to 0.413mm. In the block type bed structure, The maximum stress of bed structure was varied from 0.92MPa to 2.15MPa with the block thickness variation from 90mm to 120mm. The maximum deflection of bed structure was ranged from 1.1mm to 2.7mm. The foundation system of bed structure was studied with 2-D.O.F. system and The natural frequencies with various mass ratio and spring constant ratio were analyzed. The natural frequencies were decreased with mass ratio and spring constant.

Keywords : dynamo bed structure, reinforced box, foundation system

\* 정회원·충남대학교 기계설계공학과, 교수  
\*\* 충남대학교 기계설계공학과, 석사  
\*\*\* (주)다림시스템, 사장  
\*\*\*\* (주)다림시스템, 이사

• 이 논문에 대한 토론을 1998년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 1999년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

자동차는 인간의 생활에 매우 밀접한 관계를 갖는 기계장치이다. 그러나 이러한 자동차의 생산은 중요한 기술력을 요구하며, 국내의 자동차 생산 업체에서도 엔진의 개발이 이루어졌다. 이러한 자동차엔진 뿐만 아니라 선박, 발전용 엔진 등 동력 발생장치의 개발분야에서 다이내모미터의 사용은 필수적이다. 그러나 이러한 다이내모의 경우 시험기준이 매우 엄밀한 범위에서 이루어지므로 많은 기술력을 요구하고 있다. 다이내모구조물은 크게 동력계(Dynamometer), 지지구조물(Bed), 구동축(Driving Shaft), 엔진지지장치(Engine mounting equipment), 제어장치(Controller), 그리고 각종부속장치(냉각장치, 연료공급장치, 등)들이 요구된다.

베드구조물은 다이내모시스템의 전체 구성 요소 중 가장 기본이 되는 요소로서 설계상 매우 중요하게 고려되는 부분이다. 본 연구에서는 베드구조물의 구조해석을 통해 강도 및 진동상의 안전성을 갖는 다이내모 구조물을 설계하는데 목적이 있다.

이흥기<sup>1)</sup> 등은 이중방진시스템의 진동분석을 실험적으로 분석하였다. KoKo<sup>2)</sup>는 보강된 판재의 진동해석을 하였으며, Honda<sup>3)</sup>은 박스구조물의 진동해석을 수행하였다. 그리고 이영신<sup>4),5)</sup>등은 보강된 박스구조물을 유한요소해석과 실험으로 연구하였다.

연구방법으로는 상용 유한요소해석코드인 ANSYS<sup>6)</sup>을 이용하여 응력, 처짐 그리고 자유진동해석을 수행하였다. 본 연구에서 고려된 베드구조물은 기계구조용 탄소강재로 제작되었으며 그 형상은 I형강 구조물, 보강된 박스구조물 그리고 블록형 구조물을 대상으로 연구하였다. 또한 베드구조물과 엔진의 연결부위는 다양한 엔진의 장착을 가능하게 하기 위해 베드구조물의 상판에 T형 슬롯형상으로 제작되었다. 베드구조물은 2중 스프링 템퍼 지지구조물로 설계되었다. 다이내모 시스템 실험에는 엔진구동시 폭발과 회전에 의한 진동이 발생되므로, 이로 인한 베드구조물의 공

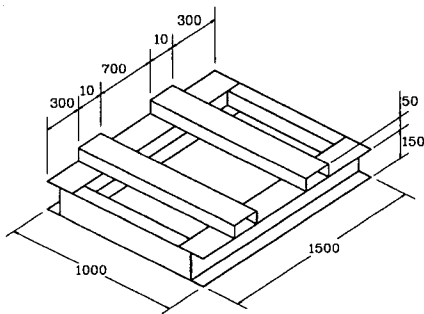
진을 피할 수 있도록 구조물을 설계해야 된다. 또한 육중한 엔진의 중량을 안정적으로 지지하며 지속적인 사용에도 변형이 일어나지 않고, 수명이 긴 베드구조물을 설계하는 것이 관점이다. 본 연구에서는 자동차엔진 및 트랜스미션 성능시험을 위한 다이내모 시험기의 베드구조물을 해석하고 설계하였다.

## 2. 유한요소 모델링

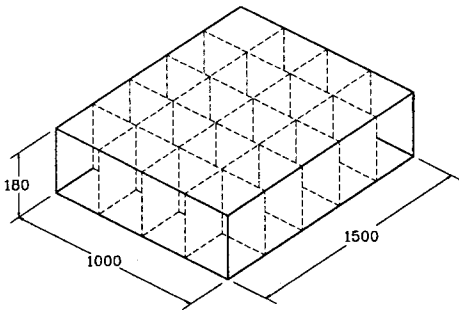
본 연구에서는 상용유한요소 해석코드(ANSYS 5.3)를 사용하여 연구하였다. 형강 구조물의 양 측면은 I형 형강으로 제작되었으며 I형 형강의 끝면은 C형 형강으로 연결되도록 제작하였다. 또한 제작된 구조물의 엔진과 연결되는 부분은 I형강 상판에 C형 형강으로 제작되었다. Fig. 1(a)은 형강구조물 베드프레임의 형상과 치수를 나타낸다. 형강 구조물의 길이는 1500mm이며 폭은 1000mm이다. 그리고 전체높이는 180mm이다. 형강 구조물은 각각의 형강이 용접으로 제작된 것을 고려하여 모델링을 수행하였다. 또한 다양한 엔진이 장착되므로 해석상에 고려된 엔진의 무게는 각각 300kg(2940N), 400kg(3920N), 500kg(4900N) 그리고 600kg(5880N)을 사용하였다. 베드상판의 4부분에 분산 지지되는 것을 고려하여 하중을 부여하였다. 형강 구조물의 두께는 3mm, 4mm, 5mm 그리고 6mm를 고려하여 해석하였다. 형강 구조물의 하단에서 지면과 지지되는 네 부분을 완전 고정되는 것을 고려하여 해석하였다. 해석상에 사용된 총 절점수는 2126개이며, 전체 요소 수는 1968개이다. 해석상에 사용된 요소는 탄성 쉘요소(SHELL63)를 사용하였다. SHELL63 요소는 한 개의 요소에 4개의 절점을 가지며 각 절점당 6자유도가 허용되는 요소이다. 해석상에 고려된 물성은 일반적인 기계 구조용 강을 고려하여 탄성계수가 210GPa, 밀도는 7850kg/m<sup>3</sup> 그리고 포와송비는 0.3을 부여하였다.

보강된 박스구조물은 길이방향으로 여섯 개의 판재와 폭 방향으로 다섯 개의 판재 그리고 상, 하판을 구성하는 판재 구조물로 이루어졌다. 이

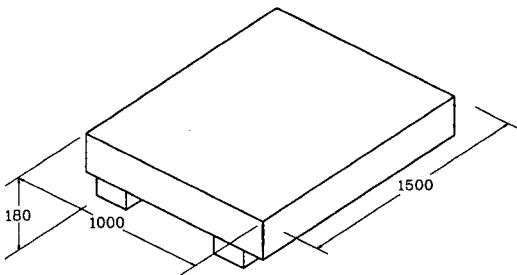
러한 판재구조물은 각각의 판재가 용접된 것을 고려해서 해석하였다. 박스 구조물의 길이, 폭 그리고 높이는 형강 구조물의 크기와 동일한 크기를 고려하였다. 해석상에 고려된 변수는 판재의 두께 변화 및 판재의 상판에 작용되는 하중변화에 따른 해석을 수행하였다. 판재의 두께는 10mm,



(a) I type steel frame bed structure



(b) reinforced box type bed structure



(c) block type bed structure

Fig. 1 Dimensions and Schematic of dynamo bed structure

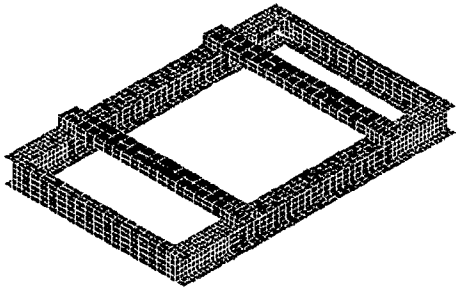
15mm, 20mm 그리고 25mm의 두께 변화에 따른 해석을 하였다. 또한 상판에 작용하는 하중은 앞에서 언급한 형강 구조물에서 고려한 동일한 하중을 네 단계로 고려하여 해석하였다. 보강된 박스 구조물의 하단부위에 각각의 모서리를 완전 고정된 것을 고려하여 6 자유도를 완전 구속하였다. 해석상에 고려된 요소는 형강 구조물에 고려된 탄성 쉘요소를 사용하였으며 또한 동일한 물성을 사용하였다. Fig. 1 (b)은 보강된 박스 구조물의 형상 및 치수를 나타낸다. 박스구조물에 사용된 총 절점수는 1996개이며, 전체 요소수는 2225개이다.

블록 구조물은 엔진이 장착되는 6면체 블록 판과 블록판을 지지하는 2개의 블록으로 모델링을 하였다. 해석상에 고려된 변수는 형강 구조물과 동일하게 블록의 상판에 작용하는 하중이 300kg 부터 600kg까지 단계적으로 증가시켜 해석하였다. 또한 블록의 다양한 두께 변화에 따른 해석을 수행하였다. 지지조건은 블록 구조물의 하단 부위에 형강 구조물과 동일한 방법으로 네 부분을 완전 고정하여 해석하였다. 해석상에 고려된 블록의 두께는 90mm, 100mm, 110mm 그리고 120mm이다. 블록구조물의 길이, 폭 그리고 높이는 형강구조물 및 박스구조물과 동일한 크기로 모델링을 하였다. 해석상에 고려된 전체 절점과 요소수는 각각 4725와 3520개이다. 블록의 모델에 사용된 요소는 SOLID45요소를 사용하였으며 본 요소는 한 개의 요소에 8개의 절점을 갖는 탄성 솔리드 요소이다. 블록에 사용된 물성은 형강 구조물 및 박스구조물과 동일한 물성을 취하여 해석하였다. Fig. 1(c)은 해석상에 사용된 블록구조물의 형상 및 치수를 나타낸다. Fig. 2는 해석상에 사용된 베드구조물의 유한 요소모델 형상을 나타낸다.

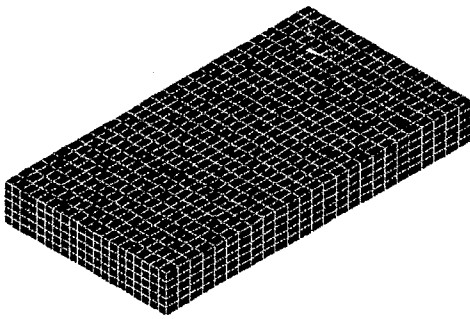
### 3. 형강 구조 베드구조물

#### 3.1 형강 구조물의 응력 및 처짐 해석

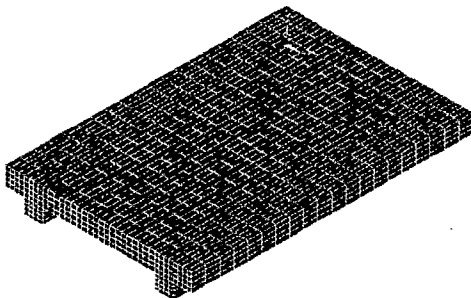
형강 구조물의 해석에서 형강의 두께가 3mm일 경우, 다양한 엔진의 무게 (300kg, 400kg, 500kg,



(a) I type steel frame bed structure



(b) reinforced box type bed structure



(c) block type bed structure

Fig. 2 Finite element modeling of various bed structure

600kg)에 따른 응력값은 46.1MPa, 60.8MPa, 69.6MPa, 그리고 90.3MPa의 응력이 작용됨을 알 수 있다. 이때의 응력값은 기계구조용 강철의 허용 응력값 내에 존재하므로 안전하다. 또한 처짐 값은 0.473mm, 0.623mm, 0.711mm, 그리고 0.921mm의 값을 얻을 수 있었다. 두 번째로 형강의 두께가

4mm의 경우, 다양한 엔진의 무게 변화에 따른 응력값은 35.0MPa부터 68.3MPa까지 분포되며, 처짐 값은 0.369mm부터 0.710mm까지 발생되었다. 형강의 두께가 5mm에서는 응력값이 28.0MPa부터 54.6MPa까지 발생되며, 최대 처짐 값은 0.297mm에서 0.577mm까지 발생되었다. 마지막으로 형강의 두께가 6mm일 때, 최대 응력값은 23.2MPa부터 45.3MPa까지 발생되며, 최대 처짐 값은 0.25mm에서 0.48mm까지 발생되었다. 최대 응력은 베드구조물이 지지되는 면에서 발생되었으며, 최대 처짐은 I 형강 상단에 장착된 형강 중앙부에 발생된다. Fig. 3은 형강의 두께가 4mm인 베드구조물에 엔진의 무게가 500kg이 작용하는 베드구조물의 응력 분포형상을 나타낸다. I beam은 0.03MPa에서 11.7MPa까지의 미소한 응력이 작용되며, 엔진이 장착되어지는 beam은 11.7MPa에서 52.7MPa까지의 응력이 작용됨을 볼 수 있었다. Fig. 4는 다양한 엔진의 무게 변화 및 베드구조물의 두께 변화에 따른 최대 응력변화를 나타낸다. 판재의 두께가 증가될수록 그리고 엔진의 하중이 감소될수록 구조물에 나타나는 응력은 감소됨을 볼 수 있었다. Fig. 5는 다양한 변수에 따른 최대 처짐을 나타낸다. 베드구조물은 판재의 두께가 증가될수록 그리고 엔진의 무게가 감소될수록 최대 처짐값이 감소됨을 볼 수 있었다. Table 1은 형강구조물의 엔진무게 및 베드구조물의 두께변화에 따른 응력과 처짐 값을 나타낸 것이다. 전체적인 응력값은 엔진이 장착되는 상단의 C형강 부위에 발생되며, 최대 처짐 또한 C형강의 중앙 부위에서 발생된다. 그러나 본 해석에서 고려된

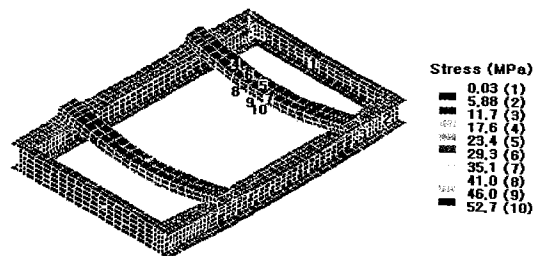


Fig. 3 Stress contour of I beam type bed structure with plate thickness of 4mm and engine weight of 500kg

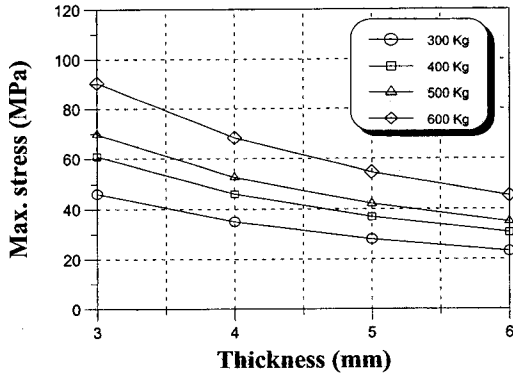


Fig. 4 Maximum stress of the I beam type bed structure for various engine weight and frame thickness

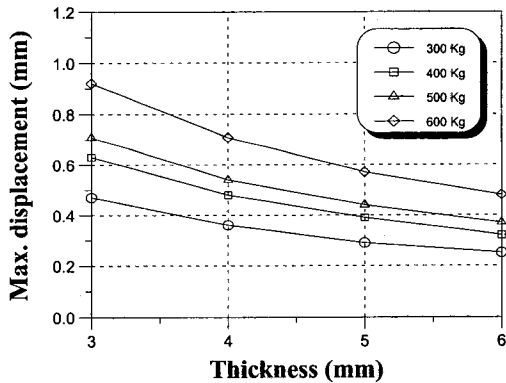


Fig. 5 Maximum displacement of the I beam type bed structure for various engine weight and frame thickness

변수 내에서 응력 및 처짐 값은 매우 안정적인 범위에서 발생됨을 볼 수 있다.

### 3. 2 형강 구조물의 자유진동해석

구조물의 동적 특성을 분석하기 위해서는 고유진동수를 파악하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구의 대상인 I형 형강으로 제작된 베드구조물의 자유진동해석을 수행하였다. 본 연구에서 고려된 베드구조물은 엔진구동시 회전 및 폭발에 의한 진동이 발생되며, 공진을 피하기 위한 설계가 요구된다. I형 형강으로 제작된 베드구조물의 두께가 3mm, 4mm, 5mm 그리고 6mm로 증가에 따른

Table 1 Maximum stress and displacement of I beam type bed structure for various engine weight and plate thickness

Frame thickness (mm)	Engine weight (kg)	Maximum stress (MPa)	Maximum displacement (mm)
3	300	46.1	0.47
	400	60.8	0.63
	500	69.6	0.71
	600	90.3	0.92
4	300	35.0	0.36
	400	46.1	0.48
	500	52.7	0.54
	600	68.3	0.71
5	300	28.0	0.29
	400	36.9	0.39
	500	42.1	0.44
	600	54.6	0.57
6	300	23.2	0.25
	400	30.6	0.32
	500	34.9	0.37
	600	45.3	0.48

고유진동수를 분석하였다. Table 2는 형강 구조물로 제작된 베드구조물의 자유진동해석 결과를 나타낸다. 형강의 두께가 3mm인 경우, 1차 진동수는 112.03, 2차는 144.60, 3차는 160.00 그리고 4차는 170.24Hz의 응답주파수를 얻을 수 있었다. 또한 두께가 4mm일 경우, 1차에서 4차까지 진동수는 125.56Hz에서 176.47Hz까지 발생됨을 볼 수 있었다. 5mm일 경우, 135.53Hz에서 201.55Hz까지 주파수를 얻을 수 있었으며, 마지막으로 6mm두께의 베드구조물에서는 141.66Hz에서 225.92Hz의 고유진동수를 얻을 수 있었다. Fig. 6은 다양한 두께변화에 따른 형강으로 제작된 베드구조물의 진동수를 나타낸다. Fig. 7은 I형 형강구조물의 모드형상을 나타낸다.

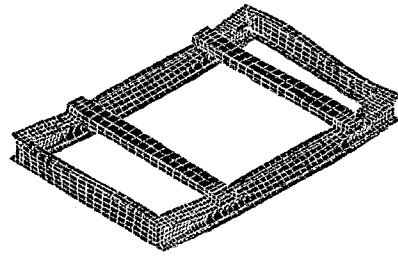
## 4. 보강된 박스구조형 베드구조물

### 4. 1 보강된 박스 구조물의 응력 및 처짐 해석

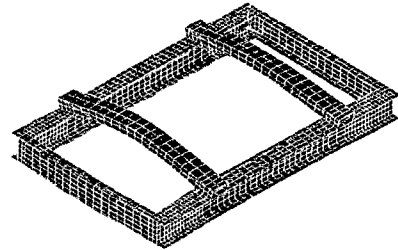
보강된 박스 구조물에서 보강판 및 상·하판의

Table 2 Natural frequency of the I beam type bed structure

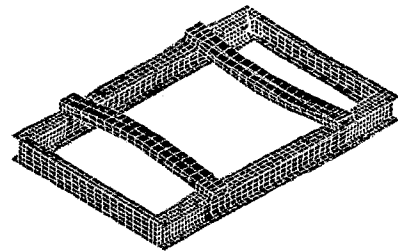
thickness (mm)	1st	2nd	3rd	4th
3	112.03	144.60	160.00	170.24
4	125.56	153.83	166.48	176.47
5	135.53	160.54	173.65	201.55
6	141.66	172.30	191.62	225.92



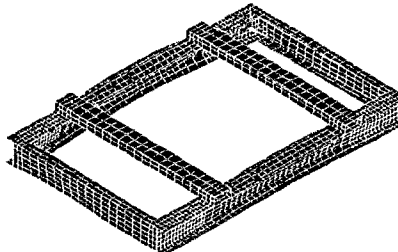
(a) 1st (125.56Hz)



(b) 2nd (153.83Hz)



(c) 3rd (166.48Hz)



(d) 4th (176.47Hz)

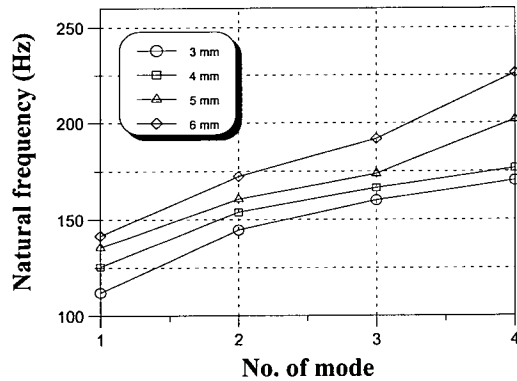
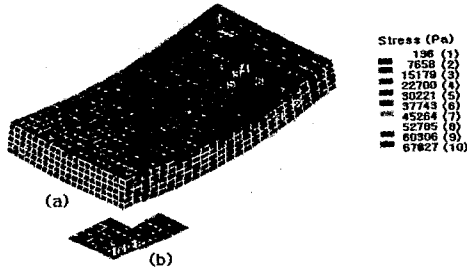


Fig. 6 Natural frequency of the I beam type bed structure for various thickness

두께가 10mm일 경우, 다양한 엔진의 무게 (300kg, 400kg, 500kg, 600kg)에 따른 응력 값은 0.123MPa, 0.175MPa, 0.216MPa, 그리고 0.254MPa의 응력이 작용됨을 알 수 있다. 또한 최대 처짐 값은 0.026 $\mu$ m, 0.275 $\mu$ m, 0.344 $\mu$ m, 그리고 0.413 $\mu$ m의 값을 얻을 수 있었다. 두 번째로 판재의 두께가 15mm의 경우, 다양한 엔진의 무게 변화에 따른 응력 값은 0.061MPa부터 0.135MPa까지 분포되며, 처짐 값은 0.105 $\mu$ m부터 0.210 $\mu$ m까지 발생되었다. 판재의 두께가 20mm에서는 최대 응력 값이 0.040MPa부터 0.081MPa까지 발생되며, 최대 처짐 값은 0.061 $\mu$ m에서 0.123 $\mu$ m까지 발생되었다. 마지막으로 판재의 두께가 25mm일 때, 최대 응력 값은 0.028MPa부터 0.048MPa까지 발생되며, 최대 처짐 값은 0.031 $\mu$ m에서 0.097 $\mu$ m까지 발생되었다. Fig. 8은 판재의 두께가 20mm인 베드구조물에 엔진의 무게가 500kg이 작용하는 베드구조물의 응력 분포형상을 나타낸

Fig. 7 Mode shape of the I beam type bed structure with thickness of 4mm



(a) main structure (b) bottom plate

Fig. 8 Stress contour of box type bed structure with plate thickness 20mm under engine weight 500kg

다. 베드 구조물의 상판은 전체적으로 136Pa에서 30KPa까지의 응력분포를 이루고 있으나 베드 구조물이 지지되는 점에서 54KPa에서 67KPa까지의 응력이 발생됨을 볼 수 있었다. Fig. 9는 다양한 엔진의 무게 변화 및 베드구조물의 두께변화에 따른 응력 값을 나타낸다. Fig. 10은 다양한 변수에 따른 최대 처짐을 나타낸다. 엔진의 무게가 증가될수록 그리고 판재의 두께가 감소될수록 최대 처짐값이 증가됨을 볼 수 있었다. Table 3은 보강된 박스 구조물에 대한 엔진무게 및 베드구조물의 두께변화에 따른 응력과 처짐 값을 나타낸 것이다. 전체적인 응력 값은 엔진이 장착되는 상단부분의 판재부위에서 발생되며, 내부에 보강된 부분은 응력이 주위의 응력보다 미

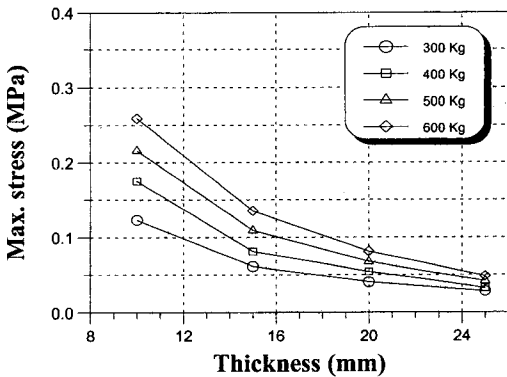


Fig. 9 Maximum stress of box type bed structure for various engine weight and plate thickness

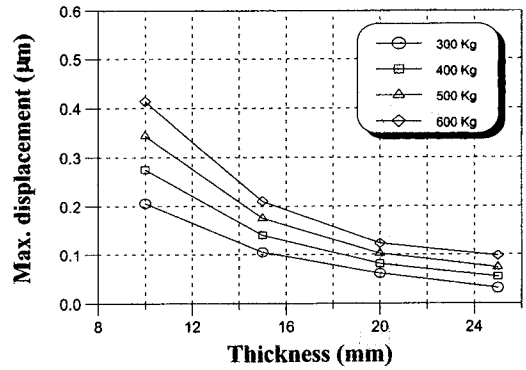


Fig. 10 Maximum displacement of box type bed structure for various engine weight and plate thickness

Table 3 Maximum stress and displacement of box type bed structure for various engine weight and plate thickness

Plate thickness (mm)	Engine weight (kg)	Maximum stress (MPa)	Maximum displacement (µm)
10	300	0.123	0.206
	400	0.175	0.275
	500	0.216	0.344
	600	0.259	0.413
15	300	0.061	0.105
	400	0.081	0.140
	500	0.109	0.175
	600	0.135	0.210
20	300	0.040	0.061
	400	0.054	0.081
	500	0.067	0.102
	600	0.081	0.123
25	300	0.028	0.031
	400	0.032	0.054
	500	0.041	0.073
	600	0.048	0.097

소하게 나타난다. 해석에서 고려된 판재의 두께는 매우 미소한 처짐 값과 응력을 나타내므로 안정적인 지지를 할 수 있다.

4.2 보강된 박스 구조물의 자유진동해석

보강된 박스 구조물의 진동특성을 앞에서 언급된 모델 형상에서 자유진동을 수행하였다. 보강판 및 상·하판의 두께가 10mm일 때, 1차 진동수는 396.93Hz이며, 2차 진동수는 663.41Hz이다. 또한 3차 진동수는 1062.5Hz이며, 4차 진동수는 1203.0Hz이다. 이와 마찬가지로 판재의 두께가 15mm 일 때, 1차에서 4차까지의 고유진동수는 각각 460.17, 680.44, 1238.9 그리고 1441.1Hz를 나타내었다. 판재의 두께가 20mm일 때, 고유진동수는 533.50, 738.78, 1324.10 그리고 1877.00Hz를 나타내었다. 마지막으로 25mm일 때, 고유진동수는 755.11, 792.00, 1369.70 그리고 2183.50의 고유진동수를 얻을 수 있었다. Table 4와 Fig. 11은 보강된 박스 구조물의 두께변화에 대한 결과를 나타낸다. 그리고 Fig. 12는 판재의 두께가 20mm일 때, 1차에서 4차까지의 모드형상을 나타낸다.

Table 4 Natural frequency of the reinforced box type bed structure

Plate thickness (mm)	1st	2nd	3rd	4th
10	396.93	663.41	1062.5	1203.0
15	460.17	680.44	1238.9	1441.1
20	533.50	738.78	1324.10	1877.00
25	755.11	792.00	1369.70	225.92

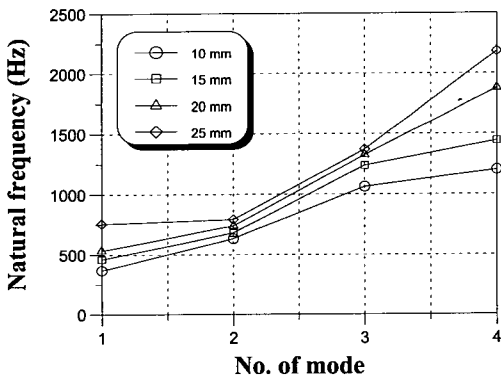
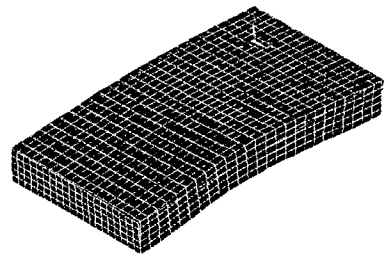
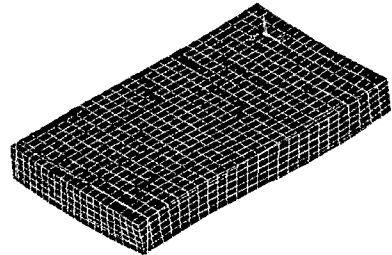


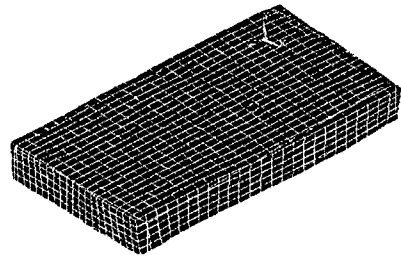
Fig. 11 Natural frequency of the reinforced box type bed structure for various thickness



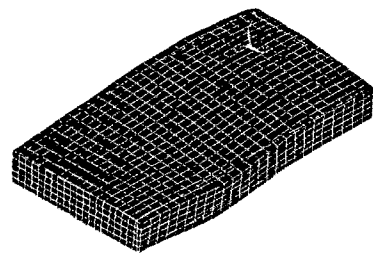
(a) 1st (533.50 Hz)



(b) 2nd (738.78 Hz)



(c) 3rd (1324.10 Hz)



(d) 4th (1877.00 Hz)

Fig. 12 Mode shape of the reinforced box type bed structure with plate thickness of 20mm



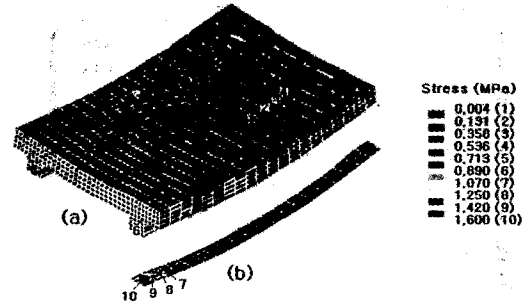
### 5. 블록형 베드구조물

#### 5.1 블록 구조물의 응력 및 처짐 해석

블록구조물은 엔진과 연결되는 6면체 블록과 엔진지지용 블록을 지지하는 2개의 지지용 블록으로 구성되어 있다. 블록의 크기는 길이 1500mm, 폭 1000mm 그리고 높이 180mm이다. 해석상의 변수는 다양한 엔진지지블록의 높이와 엔진무게의 하중으로서 해석을 하였다. 엔진 지지용 블록의 두께는 90mm, 100mm, 110mm 그리고 120mm이며, 베드구조물에 작용하는 엔진의 하중은 300kg부터 600kg까지이다.

블록의 두께가 90mm일 때, 다양한 엔진의 하중에 따른 최대 응력 값은 0.9MPa, 1.2MPa, 1.5MPa, 그리고 1.8MPa이다. 또한 이때, 최대 처짐 값은  $1.4\mu m$ ,  $1.8\mu m$ ,  $2.3\mu m$  그리고  $2.7\mu m$ 이다. 블록 구조물의 두께가 100mm일 때, 다양한 하중변화에 따른 최대 응력은 0.96MPa, 1.28MPa, 1.60MPa 그리고 1.92MPa 이며, 최대 처짐 값은  $1.29\mu m$ ,  $1.72\mu m$ ,  $2.1\mu m$  그리고  $2.5\mu m$ 이다. 블록의 두께가 110mm일 경우, 엔진의 하중이 300kg에서 600kg까지 증가될수록 최대 응력 값은 1.02MPa, 1.36MPa, 1.70MPa 그리고 2.04MPa 이며, 최대 처짐 값은  $1.21\mu m$ ,  $1.6\mu m$ ,  $2.0\mu m$  그리고  $2.4\mu m$ 이다. 마지막으로 블록의 두께가 120mm일 때, 다양한 하중변화에 따른 최대 응력 값은 1.07MPa, 1.43MPa, 1.79MPa 그리고 2.15MPa이며, 최대 처짐 값은  $1.1\mu m$ ,  $1.5\mu m$ ,  $1.9\mu m$  그리고  $2.2\mu m$ 이다.

해석상에 고려된 블록의 재질은 기계 구조용강으로 고려하였으며, 전체구조물의 처짐 값과 응력 값은 매우 안정적인 범위 내에 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 13은 블록구조로 제작된 베드구조물의 응력 분포형상을 나타낸다. 하중을 받는 상판에 많은 응력집중이 발생됨을 볼 수 있었으며, 최대 응력은 바닥 판에 지지되는 면에서 발생됨을 볼 수 있었다. Fig. 14는 다양한 엔진 하중 및 블록구조물의 두께변화에 따른 최대 응력을 나타내며, Fig. 15는 최대 변위 형상을 나타낸다. Table 5는 블록구조물의 응력과 변위값을 나타낸다.



(a) main structure (b) bottom of main structure

Fig. 13 Stress contour of block type bed structure with thickness of 10mm under engine weight of 500kg

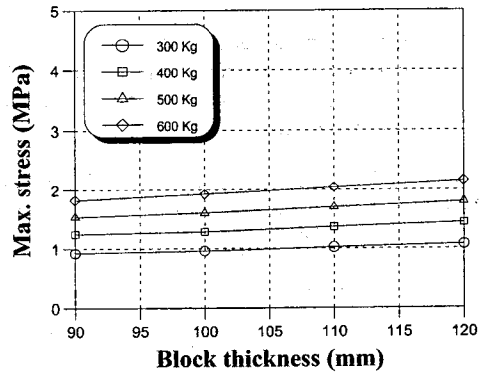


Fig. 14 Maximum stress of block type bed structure for various engine weight and block thickness

#### 5.2 블록 구조물의 자유진동해석

앞에서 언급한 형강 구조물 및 보강된 박스 구조물과 같이 다양한 조건의 자유진동해석을 수행하였다. 블록 구조물의 엔진과 지지되는 블록의 높이가 변화에 따른 자유진동해석을 수행하였다. 블록의 높이가 90mm일 때, 1차 진동수는 266.51Hz, 2차 진동수는 313.14Hz, 3차 진동수는 362.17Hz 그리고 4차 진동수는 452.85Hz이다. 이와 마찬가지로 블록의 높이가 100mm 일 때, 1차부터 4차까지의 고유진동수는 256.53Hz에서 445.54Hz까지 나타났으며, 110mm 일 때, 고유진동수는 248.68Hz에서 430.78Hz까지 나타났다. 마지막으로 블록의

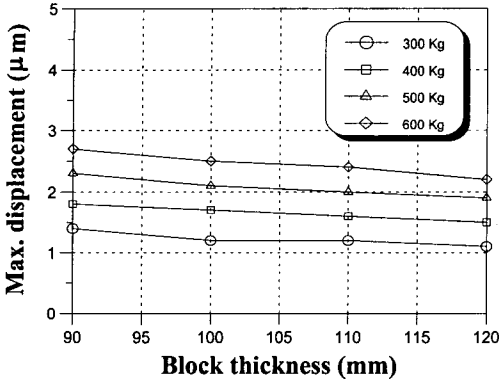


Fig. 15 Maximum displacement of block type bed structure for various engine weight and block thickness

Table 5 Maximum stress and maximum displacement of block type bed structure for various block thickness and engine weight

Block thickness (mm)	Engine weight (kg)	Maximum stress (MPa)	Maximum displacement (μm)
90	300	0.92	1.4
	400	1.24	1.8
	500	1.53	2.3
	600	1.82	2.7
100	300	0.96	1.2
	400	1.28	1.7
	500	1.60	2.1
	600	1.92	2.5
110	300	1.02	1.2
	400	1.36	1.6
	500	1.70	2.0
	600	2.04	2.4
120	300	1.07	1.1
	400	1.43	1.5
	500	1.79	1.9
	600	2.15	2.2

두께가 120mm 일 때, 1차부터 4차까지의 고유진동수는 244.67Hz에서 412.19Hz까지의 고유진동수를 얻을 수 있었다. 블록의 두께가 증가될수록

즉, 블록의 높이가 증가될수록 고유진동수는 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다. Table 6과 Fig. 16은 다양한 두께변화에 다른 고유진동수를 나타낸다. Fig. 17은 블록형 베드구조물의 1차에서부터 4차까지의 모드형상을 나타낸다.

### 6. 지지기초설계

진동이 심하게 작용하는 구조물은 이중 또는 삼중 제진 장치를 적용하여 원하는 진동수대로 진동을 감소시킬 수 있다. 본 연구는 Fig. 18에서 제시한 형상과 같이 베드, 콘크리트블록, 스프링램퍼로 구성되었다. 베드구조물은 Shell63요소를 사용하였으며, 콘크리트블록은 Solid45요소를 사용하였다. 그리고 스프링램퍼는 Combin14요소를 사용하였다. 지지기초모델에 사용된 베드

Table 6 Natural frequency of block type bed structure

Block thickness (mm)	1st	2nd	3rd	4th
90	266.51	313.14	362.17	452.85
100	256.53	321.05	374.89	445.54
110	284.68	327.65	390.40	430.78
120	244.67	336.76	406.93	412.19

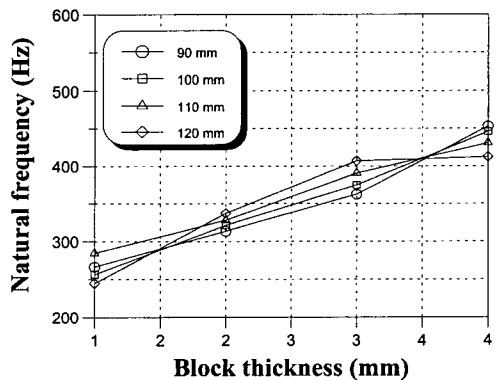
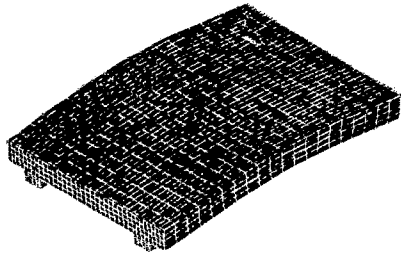
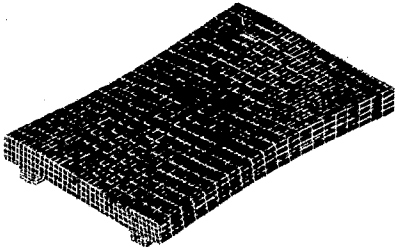


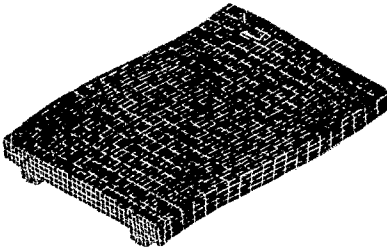
Fig. 16 Natural frequency of block type bed structure for various block thickness



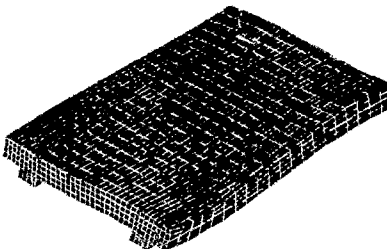
(a) 1st (284.68 Hz)



(b) 2nd (327.76 Hz)

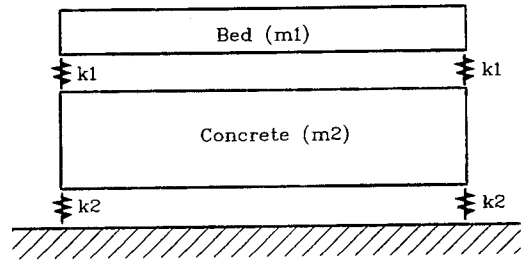


(c) 3rd (390.40 Hz)

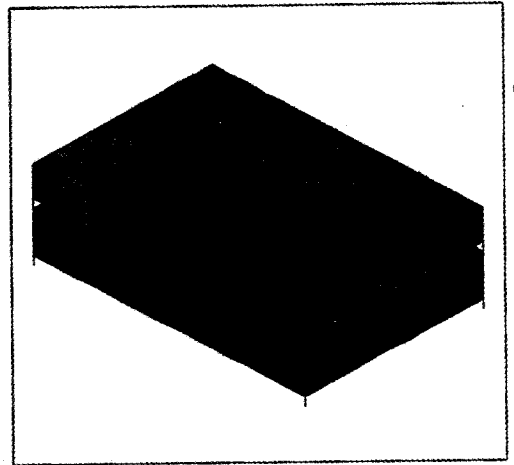


(d) 4th (430.78 Hz)

Fig. 17 Mode shape of block type bed structure with block thickness of 110mm



(a) Schematic diagram



(b) Finite element modeling

Fig. 18 The foundation structure of engine dynamometer

구조물은 앞에서 언급한 베드 구조물과 동일한 박스보강 구조물을 사용하였다. 2차 지지 기초물로 사용된 콘크리트 박스는 17GPa의 탄성계수,  $2300\text{kg/m}^3$ 의 밀도와 0.1의 포와송비를 적용하였다. 지면과 접지 되는 스프링요소의 절점은 완전 고정된 것을 고려하여 6자유도를 구속하였다. 보강된 박스구조물의 크기는 앞에서 제시한 크기와 동일하며, 콘크리트 블록의 크기는  $1.5\text{m} \times 1\text{m} \times 0.25\text{m}$ 의 크기로 모델링하였다. 베드의 질량 (m1), 콘크리트구조물의 질량 (m2), 베드와 콘크리트 사이의 스프링상수 (K1), 그리고 콘크리트와 지면사이의 스프링상수 (K2)에서 질량비 변화 및 스프링상수 변화에 따른 지지기초구조물의 진

동해석을 수행하였다. Fig. 18은 지지기초설계에 사용된 유한요소모델을 나타낸다.

6.1 Mass 변화에 따른 진동특성

베드구조물과 콘크리트 블록의 질량비에 따른 진동해석을 수행하였다. 베드구조물은 20mm두께의 판재로 제작된 보강된 구조물형상으로 고려하였으며, 베드와 콘크리트 사이의 스프링상수( $k_1 = 10E6$  N/m)와 콘크리트와 지면에 장착된 스프링상수( $K_2 = 10E6$  N/m)는 동일한 것으로 가정하여 해석하였다. 베드구조물의 질량( $m_1$ )과 콘크리트구조물의 질량( $m_2$ )의 질량비( $m_1/m_2$ )는 1/1, 1/10, 과 1/100의 비율로 해석하였다. 질량비가 동일한 경우, 기본 진동수는 220.73Hz이며,  $m_2$ 의 질량이  $m_1$ 의 질량보다 10배일 경우, 기본 진동수는 9.8Hz 이다. 그리고 100배일 경우, 3.24Hz이다. Fig. 19는 질량비에 대한 고유진동수를 나타낸다.

6.2 스프링상수변화에 따른 진동특성

베드와 콘크리트 블록 그리고 콘크리트구조물과 지면 사이에는 스프링 뎀퍼가 장착되어 있으며, 두개의 스프링 상수비( $k_1/k_2$ )에 따른 진동해석을 수행하였다. 이때, 콘크리트와 지면에 장착된 스프링 상수( $k_2$ )는  $10E7$ N/m이며, 베드와 콘

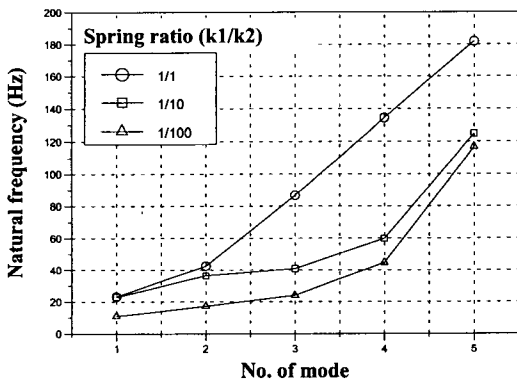


Fig. 19 Natural frequency for various mass ratio of foundation structure with bed structure plate thickness  $t=20$ mm and spring constant  $k=10E6$

크리트 사이에 스프링상수( $K_1$ )는 다양하게 변화시켜 해석하였다. 해석상에 사용된 스프링상수는  $k_2$ 가  $10E7$ N/m이며,  $K_1$ 은  $10E7$ ,  $10E6$ ,  $10E5$ N/m을 사용하였다. 베드와 콘크리트 사이의 질량 비는 1/10으로 고려하였으며, 베드는 20mm두께의 판재로 제작된 박스보강형 구조물을 사용하였다. 스프링 상수가 동일한 경우, 기본 진동수는 23.11Hz이며,  $k_2$ 의 상수가  $K_1$ 의 상수보다 10배일 경우, 기본 진동수는 22.84Hz이다. 그리고, 스프링 상수비율이 100배일 경우, 기본진동수는 10.87Hz이다. Fig. 20은 스프링 상수비에 대한 고유진동수를 나타낸다. Table 7은 질량비 변화와 스프링 상수비 변화에 대한 고유진동수를 나타낸다.

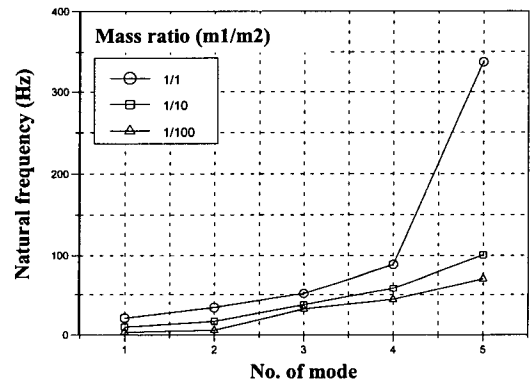


Fig. 20 Natural frequency for various spring ratio of foundation structure with bed structure plate thickness  $t=20$ mm and mass ratio 1/10

Table 7 Natural frequency of engine dynamo system foundation structure for various spring ratio and mass ratio

Number of mode	Mass ratio ( $m_1/m_2$ )			Spring constant ratio ( $k_1/k_2$ )		
	1/1	1/10	1/100	1/1	1/10	1/100
1	20.73	9.84	3.24	23.11	22.84	10.87
2	33.52	16.68	5.54	42.51	36.26	17.20
3	51.45	36.66	31.57	86.78	40.91	23.89
4	88.42	58.33	43.67	134.21	59.76	44.65
5	336.96	100.43	70.53	181.78	124.83	116.67

## 7. 결 론

본 연구에서는 다이내모 시스템의 베드구조물에 대한 연구를 수행한 것이다. 해석상에 고려된 베드구조물의 형상은 형강 구조, 보강된 박스 구조 그리고 블록 구조물로 형성된 것이다. 형강 구조물은 형강의 두께변화에 따른 응력, 처짐 그리고 자유진동해석을 하였다. 또한 보강된 박스 구조물에서는 보강판 및 상·하 판재의 두께변화에 따른 해석을 하였다. 블록 구조물에서는 블록의 두께 변화에 따른 해석을 수행하였다. 다양한 엔진의 무게를 고려하여 300kg에서 600kg까지의 하중을 베드 구조물의 상판에 부여하여 해석하였다. 또한 베드구조물의 하부 지지 구조물을 2중방진 시스템으로 설계하여 자유진동해석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) I 형 형강으로 제작된 베드 구조물의 최대 응력은 23.2MPa에서 90.3MPa 까지 분포되며 최대 처짐 값은 0.25mm에서 0.92mm까지 분포되었다.
- 2) 형강으로 제작된 베드 구조물의 다양한 두께변화에 따른 고유진동수는 112.03Hz에서 141.66Hz까지 발생되었다.
- 3) 보강된 박스 구조물의 최대 응력은 0.257Mpa에서 0.028Mpa 까지 분포되었으며, 최대 처짐 값은 0.413 $\mu$ m에서 0.031 $\mu$ m까지 분포되었다.
- 4) 박스 구조물의 두께변화에 따른 고유진동수는 396.93Hz에서 755.11Hz까지 분포되었다.
- 5) 블록형 베드 구조물의 최대 응력은 1.82MPa에서 1.07MPa까지 이며, 최대 처짐 값은 2.7 $\mu$ m에서 1.1 $\mu$ m까지 나타났다.
- 6) 블록형 베드 구조물의 다양한 두께변화에 따른 고유진동수는 266.51Hz에서 244.67Hz까지 나타났다.
- 7) 다중 구조의 진동흡수 구조물로서 엔진에서 발생된 진동을 최대한 감소시키는 시스템을 해석 및 설계하였다. 베드(m1)와 하부 지지물(m2)의 질량비에 대한 고유진동특성을 고찰하였다. 질량 변화(m1/m2)가 1/1, 1/10 그리고 1/100으로 감소될 때, 지지 기초 구조물의 기본 진동수는 220.7Hz, 9.8Hz 그리고 3.2Hz의 진동수를 얻을 수 있었으며 질량비가 클수록 고유진동수를 감소

시킴을 볼 수 있었다. 스프링 상수비(K1/k2)에 대한 고유진동수 분석결과 스프링 상수비가 1/1, 1/10 그리고 1/100으로 감소될 때, 구조물의 고유진동수는 23.11Hz, 22.84Hz 그리고 10.87Hz의 진동수 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로 스프링 상수를 조정하여 진동수를 감소하는 것보다는 구조물의 질량비를 조정하여 진동수를 조정하는 것이 더욱 용이함을 볼 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 충남대학교 국책사업단 학연산공동 연구 1차년도(과제번호 : D-1) 연구비와 (주)다림시스템의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 이흥기, 이신언, "이중방진 시스템의 실험적거동해석", 한국소음진동학회지, 제2권, 제4호, pp.281~292, 1992.
  2. T.S.Koko, "Vibration Analysis of Stiffened Plates by Super Element", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.158, No.1, pp.149~167, 1992.
  3. K.N.Honda, "Analysis of Inplane Vibration of Box Type Structures by F.E.M.", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.21, No.1, pp.107~114, 1972.
  4. 이영신, 한재도, 한유희, 서정, "박스보강 구조물의 진동 및 응력해석", 한국소음진동학회지, 제6권, 제2호, pp.147~162, 1996.
  5. Y.S.Lee, J.D.Han, Y.H.Han, and J Suh, "A Vibration and Stress Analysis of Stiffened Box Structures", *Advances in Computational Techniques for Structural Engineering*, pp. 225~232, 1996.
  6. G.J.Desalvo, "ANSYS User's Manual Vol. II," Swanson Analysis System, Inc., 1991.
- (접수일자 : 1998. 2. 10)