



# 대형 요트의 설계 건조를 위한 기관실 건전성 해석 Soundness Analysis of the Engine Room for the Design and Construction of Mega Yacht

유현탁\* · 이종명\* · 최병근\* · 유영훈\*\*\*

Hyeon-tak Yu\*, Jong-myeong Lee\*, Byeong-keun Choi\* and  
 Yeong-Hoon Yu\*\*\*

(Received 14 February 2018, Revision received 12 April 2018, Accepted 12 April 2018)

**Abstract:** Currently, a research of the hull construction technology has been studied for localization of the mega yachts. FRP (Fiberglass Reinforce Plastic) one of the composite material is mainly consisted of manufacture yacht's hull. However, the research model will be designed by aluminum alloys considering the speed of the yacht and the marine environment conditions. Therefore, in this paper, the soundness diagnosis of structures for the hull of the mega yachts are conducted. There is a wide variety of excitation source of the whole yacht such as engine in operation, flow of many pipelines and periodic waves. Among them, the main source is from the excitation source of engine, except marine environment conditions. In this study, the effect of the engine excitation force in the engine room and passenger accommodation areas is identified by the finite element analysis. As a result of the analysis, the thickness reinforcement of the partition wall and the installation of the vibration damper are essential to reduce the vibration of the upper plate of the engine room.

**Key Words :** Mega Yacht, Engine Vibration, Engine Room, Modal Analysis, Harmonic Response Analysis

## 1. 서 론

슈퍼 요트 산업은 대형 조선 산업 및 중소형 조선 산업 모두의 참여가 가능한 고부가가치 시장으로 주목 받고 있다. 길이가 30 m 이상의 슈퍼 요트를 메가 요트(Mega Yacht)라고 하며, 최근 시장의 현황은 메가 요트의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 메가 요트의 국산화를 위하

여 선체 제작 기술 연구<sup>1)</sup>가 이루어지고 있다.

요트의 선체 제작에는 대량 생산을 위하여 주로 FRP(Fiber glass Reinforce Plastic) 재질이 사용<sup>2)</sup>되지만, 본 논문의 연구 모델인 메가 요트의 경우 고급 시장에 맞추어 금속 소재를 활용하여 선주의 요구에 따라 요트의 디자인, 내부 공간, 기기를 다양하게 선택하여 생산하는 Custom-Built 건조 방식이 채택되며, 요구되는 선속, 해양 환경 문제

\*\*\* 유영훈(교신저자) : 목포해양대학교 기관·해양경찰학부  
 E-mail : yuyh@mmu.ac.kr, Tel : 061-240-7218  
 \*유현탁, 이종명, 최병근 : 경상대학교 에너지기계공학과·  
 해양산업연구소

\*\*\* Yeong-Hoon Yu(corresponding author) : Division of Ocean Power System & Maritime Safety, Mokpo National Maritime University.  
 E-mail : yuyh@mmu.ac.kr, Tel : 061-240-7218  
 \*Hyeon-Tak Yu, Jong-Myeong Lee, Byeong-Keun Choi : Department of Energy Mechanical Engineering-Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University.

등을 고려하여 선체의 제작이 알루미늄 합금으로 제작될 예정이다. 따라서 이에 맞춰 선체의 구조적 건전성 및 진동에 관한 검토가 이루어질 필요성이 있다.

선박에는 엔진과 프로펠러, 파이프라인의 유동과 주기적인 파랑 등 다양한 진동원이 존재<sup>3)</sup>하며, 이 중 엔진과 프로펠러의 기진력은 선박이 기동 중일 경우 항상 작용하는 선박의 주요 진동원<sup>4)</sup>이다. 주 엔진은 기관실에 위치하며, 기관실에는 엔진 외에도 크고 작은 진동을 발생시킬 수 있는 발전기, 에어 컴프레서, 보일러 등 200여종에 달하는 많은 기계장비들이 기관실에 위치<sup>5)</sup>한다. 협소한 선박 환경 특성상 추후 설계 변경이 어렵기 때문에 설계 단계에서부터 진동 문제에 대한 건전성 확보가 필요하다. 특히 요트의 경우 휴양 및 레저 등의 목적으로 사용되는 고급 선박이므로 탑승객의 안락함을 위하여 진동 발생에 대한 대책이 면밀히 검토되어야 한다.

선박의 설계 단계에서 공진 회피 및 진동 응답을 최소화하기 위하여 과거에는 간략한 경험식 등을 이용하여 진동 현상을 파악하였지만, 현대에 들어서는 컴퓨터의 발전을 통해 FEM 해석을 통하여 진동 제어 및 저감 방안<sup>6)</sup>을 파악한다.

따라서 본 논문에서는 FEM을 사용하여 고유진동수와 모드 파악을 위해 모드 해석을 수행하였으며, 엔진 마운트에 의해 전달되는 주 기진력의 영향을 파악하기 위하여 조화 응답 해석을 수행하여 메가 요트의 기관실 건전성 파악을 수행하였다.

## 2. 해석 모델 및 경계 조건

### 2.1 해석 모델

해석 모델인 기관실은 Fig. 1 요트의 선체 중 박스 안의 영역에 해당되며, 가로 약 6.9 m 세로 약 7.5 m의 크기를 가진다. 기관실의 상부에는 Main salon이 있으며, 격벽 뒤쪽에는 승객의 거주 구역이 위치해 있다.

기관실의 해석 모델은 Fig. 2와 같으며, Engine plate, 6개의 Engine frame, Engine frame 사이를 보

강해 주는 T-beam과 기관실을 구분해 주는 격벽으로 나뉘어져 있다.

본 연구 모델의 주 기진원인 요트 엔진의 Propulsion data와 기진 소스를 Table 1에 나타내었으며, 연구 모델에 사용된 소재는 모두 알루미늄 합금이며, 재료상수를 Table 2에 나타내었다.

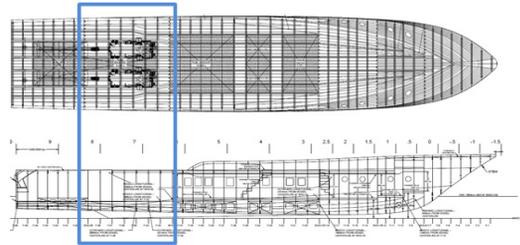


Fig. 1 Hull construction plan view

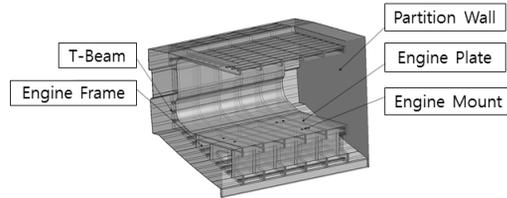


Fig. 2 Assembly shape of engine part

Table 1 Propulsion data

| Title             | Contents               |
|-------------------|------------------------|
| Main engine Type  | MTU 12V4000 M93L(2set) |
| Engine speed      | 2100 rpm(35 Hz)        |
| No. of cylinders  | 12                     |
| Transmission      | ZF 2.5:1               |
| No. of propellers | Two                    |
| No. of blade      | 4 EA                   |

Table 2 Material constant of aluminum

| Part                    | Material            | Physical Characteristics |                        |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Plate (Hull body)       | 5083 H-321 Aluminum | Density                  | 2650 kg/m <sup>3</sup> |
|                         |                     | Elastic modulus          | 7.1E+11 Pa             |
|                         |                     | Yield Strength           | 2.28E+08 Pa            |
|                         |                     | Ultimate Strength        | 3.17E+08 Pa            |
| T-section (Support rib) | 6061 T6 Aluminum    | Density                  | 2700 kg/m <sup>3</sup> |
|                         |                     | Elastic modulus          | 6.89E+11 Pa            |
|                         |                     | Yield Strength           | 2.76E+08 Pa            |
|                         |                     | Ultimate Strength        | 3.1E+08 Pa             |

## 2.2 경계 조건

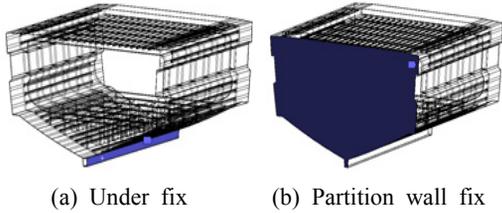


Fig. 3 Constraint

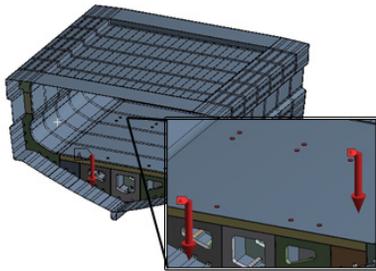


Fig. 4 Engine mount

Table 3 Boundary condition

| Case   | Constraint         | Load Condition |
|--------|--------------------|----------------|
| Case 1 | Under fix          | Same phase     |
| Case 2 |                    | Out of phase   |
| Case 3 | Partition wall fix | Same phase     |
| Case 4 |                    | Out of phase   |

해석 모델의 구속조건은 Fig. 3과 같이 선체의 Rolling motion을 모사하기 위해 하부 용골 중심선을 고정하는 방법과 요트 선체 중 기관실 모드만 확인하기 위해 격벽을 고정하는 방법으로 나누어 해석을 수행하였다.

조화 응답 해석은 기관실과 인접 거주구역의 엔진 기진력에 의한 영향을 파악하기 위하여 1kN의 단위 하중을 Fig. 4와 같이 Engine mount에 적용하였으며, 엔진의 기진력이 동일한 방향(Same Phase)으로 작용하는 경우와 서로 다른 위상(Out of Phase)으로 작용하는 경우로 나누어 Table 3와 같이 4가지의 Case로 해석을 수행하였다.

또한 조화 응답 해석에서 현실에 가까운 진폭값을 얻기 위해서는 구조 감쇠 및 재료 감쇠와 같은 감쇠값들이 필요하지만, 본 연구에서는 엔진 기진력에 의한 기관실 모드의 응답 여부를 확인하기 위해 비감쇠 시스템으로 가정하여 해석을 수행하였다.

엔진 기진력에 대한 응답은 기관실의 Fig. 5와 같이 기관실의 영향을 확인하기 위하여 Engine mount plate와 기관실 상부와 기관실 전방에 존재하는 거주구역에 미치는 영향을 확인하기 위하여 기관실 상부 plate와 격벽의 응답을 확인하였다.

## 3. 해석 결과

### 3.1 모드 해석 결과

구속 조건에 따른 모드 해석 결과를 Table 4에 나타냈다. 기관실 하부 용골 중심선을 고정하였을 경우 해석 모델의 두께가 가장 얇은 격벽의 판 모드가 지배적으로 나타났다. 격벽의 1차 고유진동수는 인체에 영향을 미치는 저주파수 대역에 존재하며, 서로 인접한 대역의 고유 모드가 다수 존재하기 때문에 격벽은 보강의 필요성이 있을 것으로 사료된다.

격벽을 고정시킨 경우 기관실 상부 Plate 모드가 지배적인 것으로 나타났다. 상부 Plate는 Main Salon과 인접해 있으며, 이 구역에 존재하는 승객이나 선원에게 불쾌감을 조성할 경우 보강이나 제진재를 부착하는 것이 적합한 것으로 사료된다.

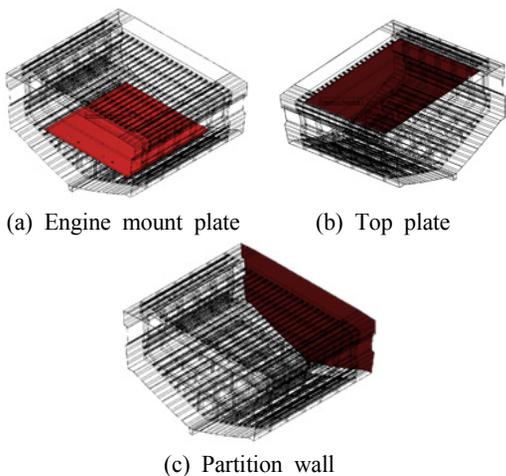
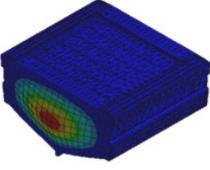
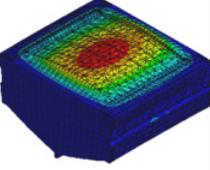
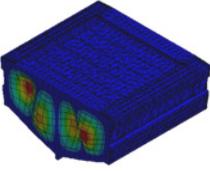
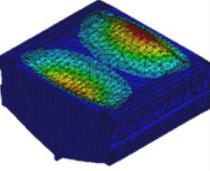
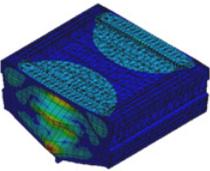
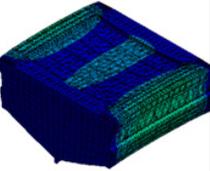
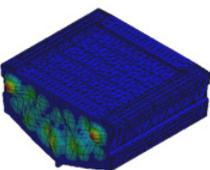
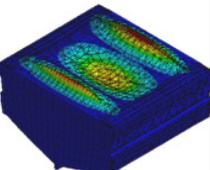
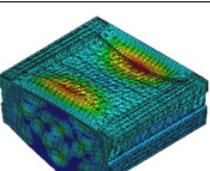
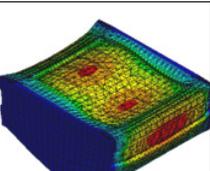


Fig. 5 Frequency harmonic

Table 4 Result of modal analysis

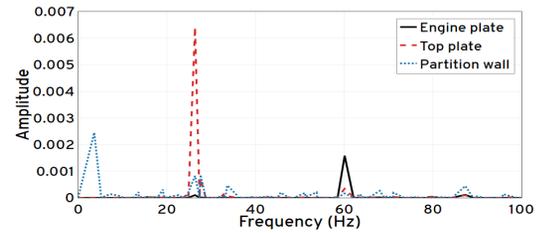
|        | Under fix   | Partition wall fix   |
|--------|---|--|
| Mode 1 | <br>3.64 Hz    | <br>33.45 Hz  |
| Mode 2 | <br>10.1 Hz    | <br>43.31 Hz  |
| Mode 3 | <br>33.64 Hz   | <br>50.23 Hz  |
| Mode 4 | <br>35.82 Hz  | <br>76.32 Hz |
| Mode 5 | <br>43.23 Hz | <br>90.3 Hz |

### 3.2 조화 응답 해석 결과

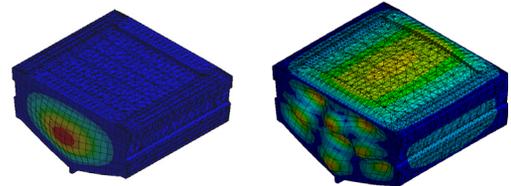
기관실 인접 거주구역에 전해지는 응답을 보기 위해 조화 응답 해석을 수행하였으며, Case에 따라 Engine plate, 상부 plate, 격벽의 진폭과 가장 지배적인 모드 두 개를 Fig. 6~9에 나타냈으며, 전체 결과를 Table 5에 정리하였다.

하부 용골 중심선을 고정한 Case 1과 Case 2의

결과를 확인하였을 때, 상부 plate와 격벽에서 가장 영향을 많이 받는 모드가 나타난 것을 확인하였다. Case 1은 26.38 Hz의 상부 plate 모드와 3.64 Hz의 격벽의 모드가 가장 지배적인 것으로 나타났으며, Case 2는 80.93 Hz의 상부 plate 모드와 3.64 Hz의 격벽의 모드가 지배적으로 나타났다.



(a) Amplitude

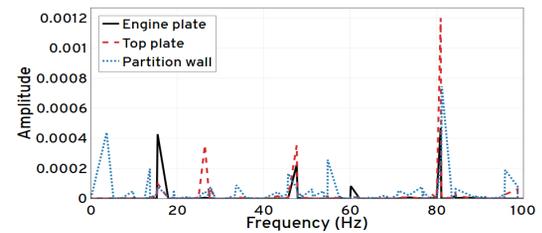


3.64 Hz

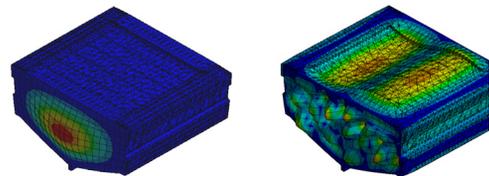
26.37 Hz

(b) Mode

Fig. 6 Result of Case 1



(a) Amplitude

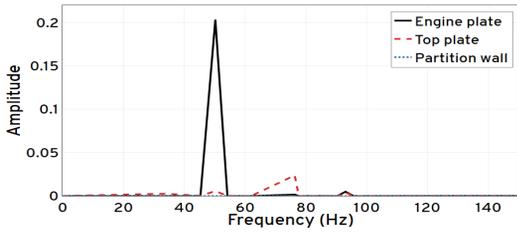


3.64 Hz

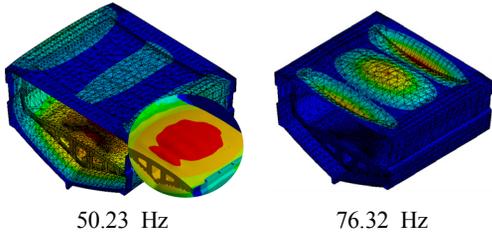
80.93 Hz

(b) Mode

Fig. 7 Result of Case 2

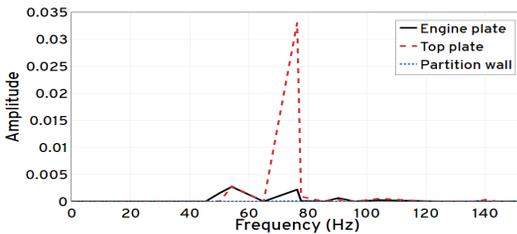


(a) Amplitude

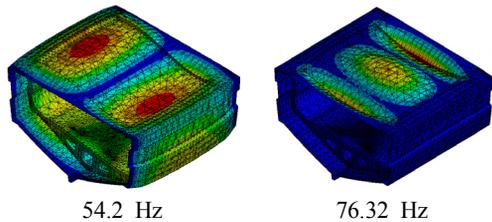


(b) Mode

Fig. 8 Result of Case 3



(a) Amplitude



(b) Mode

Fig. 9 Result of Case 4

그 이유는 상부 plate의 경우 엔진 기진력의 방향과 동일한 방향으로 모드가 존재하기 때문이며, 격벽의 경우 해석 모델 중 두께가 가장 얇아 기진력이 작용하는 방향과 다름에도 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 하지만 엔진의 기진력인 35 Hz(2100 rpm) 및 엔진 실린더에 의해 발생하는 기진력인 420 Hz와 공진 분리 여유가 존재하기 때

문에 실제 엔진 기진력에 의해 받는 영향을 미미할 것으로 사료된다.

격벽을 고정시킨 Case 3과 Case 4의 해석 결과를 확인하였을 때, Case 3의 가장 지배적인 모드는 50.23 Hz의 Engine mounting plate 모드와 76.32 Hz의 상부 plate 모드로 나타났으며, Case 4의 경우 54.2 Hz의 상부 plate 모드와 76.32 Hz의 상부 plate 모드가 지배적인 것으로 나타났다. Case 3, 4의 지배적인 모드 모두 엔진의 기진력과 공진 분리 여유가 존재하는 것을 확인하였으며, 격벽의 경우 구속 조건으로 잡혀있기 때문에 격벽의 영향이 가장 작은 것을 확인하였다. Case 3의 경우 전체 결과 중 가장 영향을 많이 받는 것으로 평가되었으며, 그 이유는 Engine mount plate의 모드가 존재하고 기진력이 동위상으로 작용하였기 때문인 것으로 사료된다. 하지만 연구 모델의 엔진 마운트는 4점 지지로 적용되어 있으며, 4점지지의 경우 임의의 한 지점에서 위상이 변할 수 있기 때문에 기진력이 동위상에 작용하는 경우보다 Out of phase 조건이 해석 모델에 적합할 것으로 사료된다.

Table 5 Result of harmonic response analysis

| Case   | Engine plate |         | Top plate |         | Partition wall |         |
|--------|--------------|---------|-----------|---------|----------------|---------|
|        | Hz           | Amp.(m) | Hz        | Amp.(m) | Hz             | Amp.(m) |
| Case 1 | 60.1         | 1.58E-3 | 26.4      | 6.41E-3 | 3.6            | 2.45E-3 |
|        | 80.9         | 1.74E-5 | 60.1      | 3.4E-4  | 27.6           | 8.59E-3 |
| Case 2 | 15.4         | 4.28E-4 | 47.6      | 3.53E-4 | 3.6            | 4.39E-4 |
|        | 80.9         | 4.69E-4 | 80.9      | 1.12E-3 | 81.2           | 7.45E-4 |
| Case 3 | 50.2         | 0.2     | 50.2      | 5.57E-3 | 50.2           | 1.89E-4 |
|        | 93           | 4.86E-3 | 76.3      | 2.36E-2 | 76.3           | 5.97E-5 |
| Case 4 | 54.2         | 2.7E-3  | 54.2      | 2.82E-3 | 54.2           | 1.66E-5 |
|        | 76.3         | 2.2E-3  | 76.3      | 3.31E-2 | 76.3           | 8.37E-5 |

해석 결과를 확인하였을 때, Case 1, 2의 경우 기진력과 다른 방향에 존재하는 격벽의 모드도 지배적으로 나타나는 것을 확인하였다. 이는 격벽이 다른 Part에 비해 상대적으로 두께가 얇기 때문인 것으로 사료되며, 격벽의 보강이 필요할 것으로 사료된다. 또한 엔진의 기진 소스 인근 대역에서 각 Case의 지배적인 모드들이 관찰되지 않았

지만, 상부 plate의 모드가 주로 각 Case 지배적인 모드로 나타났다. 따라서 엔진과 같은 방향으로 작용하는 다른 기진력이 존재할 경우나 영향을 받을 수 있을 경우 제진제를 이용한 진폭 저감이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

메가 요트의 국산화를 위한 선체 제작 기술 연구의 기초 자료 활용을 목적으로 메가 요트 기관실의 엔진 기진력에 대한 건전성 파악을 위해 모드 해석과 조화 응답 해석을 수행하였다.

두 가지 고정조건에 따른 모드 해석 결과 격벽과 기관실 상부 plate의 모드가 주로 나타나는 것을 확인하였다. 격벽의 경우 해석 모델 중 가장 두께가 얇아 모드가 주로 나타나는 것으로 사료되며, 격벽의 인접 구역이 거주구역인 것을 감안하여 보강이 필요할 것으로 사료된다.

또한 엔진 기진 소스 35 Hz 인근 대역에 모드가 존재하는 경우를 확인하였다. 따라서 엔진의 기진력이 작용하였을 때의 영향을 면밀히 확인하고자 Engine Mounting에 1 kN의 단위 하중을 주어 조화 응답 해석을 경계 조건에 따른 네 가지 Case로 수행하였다.

조화 응답 해석 결과, 전 Case에서 엔진 기진 소스인 35 Hz 인근 대역의 지배적인 모드는 관찰되지 않았다. Case 3의 경우 Engine mount plate 모드가 가장 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며, 그 이유는 Engine mount plate의 모드가 존재하고 기진력이 동위상으로 작용하였기 때문인 것으로 사료된다. 하지만 본 연구 모델의 Engine mount는 4점 지지가 적용되며, 이 경우 임의의 한 지점에서 위상이 변할 수 있기 때문에 Out of phase 조건이 해석 모델에 더 적합할 것으로 사료된다.

전 Case의 지배적인 모드는 상부 plate의 모드가 주로 나타나는 것을 확인하였으며, 엔진과 같은 방향으로 작용되는 다른 기진력에 의해 상부 plate 모드가 영향을 받을 수 있기 때문에 제진제 등을 이용한 진폭 저감 방안은 마련되어야 할 것으로 사료된다. 또한 Case 1, 2에서 기진력이 작용하는 방향과 다른 격벽에서도 지배적인 모드들이

나타났으며, 이는 격벽의 두께가 얇아 나타나는 것으로 사료되기 때문에 격벽에 대한 보강도 필요할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 해양수산부의 “해양장비개발 및 인프라 구축 사업” 중 “100feet급 대형요트 설계건조 기술개발 및 시제선건조(과제번호 20150224)”의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### References

1. A. R. Kim and C. Lee, 2010, "The Study on a Plan to Enhance Yacht Interior Design -focusing on 100 ft mega yacht", Research of Basic Design, Vol. 11, No. 1, pp. 63-71.
2. J. M. Hong, 2013, "A Study on the Optimum Design and Vibration of Aluminum Catamaran Yacht", Mokpo National Maritime University, Seoul, Korea.
3. J. W. Lee, S. J. Ahn, J. S. Oh, T. H. Kim and W. B. Jeong, 2016, "Contribution Analysis to Identify the Source of Ship Hull Vibration", Journal of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 26, No 5, pp. 528-535.
4. Y. H. Yu, 2007, "A Study on the Development of a Resonator to Reduce the Ship Engine Room Noise", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 11, No 4, pp. 72-77.
5. Y. H. Yu, 2007, "The Diagnosis and Evaluation of Vibration and Noise in Vessel", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 32, No 1, pp. 42-49.
6. C. G. Oh, H. K. Je and S. J. Park, 2008, "Experimental Vibration Analysis of a Super-Structure Model Using Curve Fitting Method", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 26, No 3, pp. 281-287.