

## 선박 주기관에 의한 횡진동 저감을 위한 구조보강 연구

신상훈<sup>1</sup>, 고대은<sup>2\*</sup>, 임홍일<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경운대학교 항공기계공학과, <sup>2</sup>동의대학교 조선해양공학과, <sup>3</sup>현대중공업(주) 선박의장연구실

### A Study on the Structural Reinforcement for the Reduction of Transverse Vibration by Ship's Main Engine

Sang-Hoon Shin<sup>1</sup>, Dae-Eun Ko<sup>2\*</sup>, Hong-Il Im<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University

<sup>3</sup>Ship Outfitting Research Department, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd

**요약** 다양한 형태의 선체 진동 중, 선체 선미 및 거주구의 횡방향 진동은 대부분 주기관의 횡기진력으로부터 유발되는데, 주기관과 연결된 주변 구조물과의 공진이 발생 할 수 있으므로 공진회피 설계가 반드시 필요하다. 공진 회피를 위한 가진 주파수는 주기관 및 프로펠러 사양으로부터 추정 가능하나, 기관실 주변 구조물의 고유 진동수는 형상의 다양성 등에 의해 추정이 쉽지 않고 경험을 위주로 한 방진 설계가 수행되고 있는 현실이며, 이로 인해 시운전 중에 발생하는 진동 문제는 공정지연, 현장 인력의 과다 투입 및 설계의 반복 수행 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 본 연구에서는 8,600TEU급 컨테이너선을 대상으로 유연한 설계를 위해 선체 구조배치의 변경 없이 주기관만 12기통에서 10기통으로 변경하는 경우에 대해 주기관 횡진동에 의한 공진 문제를 다루었다. 연구 결과로서, 주기관 횡기진력과 기관실 주변 구조와의 공진 회피를 위한 효율적인 구조보강 설계지침을 제시하였으며, 설계 현장의 실제적인 방진설계 지침으로 활용이 기대된다.

**Abstract** Transverse vibrations of a ship's aft end and deckhouse are mainly induced by transverse exciting forces from the main engine. Resonance should be avoided in the initial design stages when there is a prediction of resonance between the main engine and transverse modes of the deckhouse. Estimates of frequencies for resonance avoidance are possible from the specifications of the main engine and propeller, but the inherent vibration frequency of the structure around the engine room is not easy to estimate due to the variation in the shape. Experience-oriented vibration design is also carried out, which results in many problems, such as process delay, over-injection of on-site personnel, and iterative performance of the design. For the flexible design of 8,600 TEU container vessels, this study addressed the resonance problem caused by the transverse vibration of the main engine when only the main engine was changed from 12 cylinders to 10 cylinders without modification of the hull structure layout. Efficient structural reinforcement design guidelines are presented for avoiding resonances with the main engine lateral vibration and the structure around the engine room. The guidelines are expected to be used as practical design guidelines at design sites.

**Keywords** : Transverse Vibration, Exciting Forces, Avoidance of Resonance, Structural Reinforcement, Design Guideline, Initial Design Stage

\*Corresponding Author : Dae-Eun Ko(Dong-Eui Univ.)

email: deko@deu.ac.kr

Received May 20, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised June 17, 2019

Published August 31, 2019

## 1. 서론

고효율 선박에 대한 선주사들의 관심이 고조됨에 따라, 조선소는 선형 변경, 고효율 주기관(main engine) 채택 및 선체구조 경량화 등 선박 운항연비 개선을 위해 노력하고 있다. 하지만 고효율의 주기관과 경량화된 선체에서는 실적선에 비하여 상대적으로 높은 수준의 진동 발생 가능성이 있으므로, 기진원 자체, 기진원 주변구조 및 선박 거주구의 진동제어가 더욱 중요해지고 있다.

다양한 형태의 선체 진동 중, 선체 선미 및 거주구의 횡방향 진동은 대부분 주기관의 횡기진력으로부터 유발되며, 주기관과 연결된 주변 구조물과의 공진이 문제될 수 있으므로 공진회피 설계가 반드시 필요하다.

주기관과 연결된 주변 구조물은 주기관 및 프로펠러 기진력의 영향을 받으며, 공진 주파수 범위에서 주로 진동 문제가 발생한다. 이 공진 회피를 위한 가진 주파수의 추정에는 주기관 및 프로펠러 사양으로부터 가능하나, 기관실 주변 구조물의 고유 진동수는 형상의 다양성 등에 의해 추정이 쉽지 않고 경험을 위주로 한 방진 설계가 수행되고 있는 현실이다. 이로 인해 시운전 중에 발생하는 진동 문제는 공정 지연, 현장 인력의 과다 투입 및 설계의 반복 수행 등 많은 문제점을 유발한다(Chang 등[1]).

선박 주기관 횡진동에 기인한 균열 문제 및 이에 대한 보강 대책 연구로는 초대형 유조선과 165K 원유운반선 등에서 발생한 지지구조물의 균열 발생을 다룬 연구가 있으며[2], Choi 등[3]은 선박에 탑재되는 장비의 진동 문제를 해결하기 위해 외부 기진력인 주기관과 추진기의 기진력과 장비의 공진 회피를 위한 설계변경 프로그램을 개발하였다. 마운팅 장비의 고유진동수를 정도 높게 예측하기 위한 연구로는 장비의 강체특성은 실험적 모드 해석을 통하여 추정하고, 마운트의 강성은 실선 운항중 측정한 응답을 이용하여 추정한 연구가 수행된 바 있다[4]. 선박 이외의 사례로는 발전소의 수직형 순환수 펌프에 대한 공진회피 연구들을 참고하였다[5-9].

본 연구에서는 8,600TEU급 컨테이너선을 대상으로 유연한 설계를 위해 선체 구조배치 변경 없이 주기관만 12기통에서 10기통으로 변경하는 경우 주기관 횡진동에 의한 공진 문제를 다루었다. 사례 연구를 통한 연구 결과로서 주기관 횡기진력과 기관실 주변 구조와의 공진 회피를 위한 효율적인 구조배치 관련 설계지침을 제시하였다.

## 2. 사례 연구

### 2.1 대상 선박

유한요소법(FEM)에 기반한 진동해석 사례 연구를 수행하였으며, 그 대상인 8,600TEU급 컨테이너선의 주요 치수는 다음과 같다.

LBP	319.00 m
B(moulded)	42.80 m
D(moulded)	24.50 m

### 2.2 주기관 및 주요 기진원

주기관은 HYUNDAI-B&W 10K98ME7(uneven type)이며 그 형상은 Fig. 1과 같다. 사례 연구에서의 주기관 기진력은 해석 및 비교의 편의를 위해 단일 차수 성분을 사용하였으며, Table 1에서와 같이 주기관 안내력 모멘트(guide force moment)인 H-moment와 X-moment가 동시에 존재하는 7차 성분을 사용하였다.

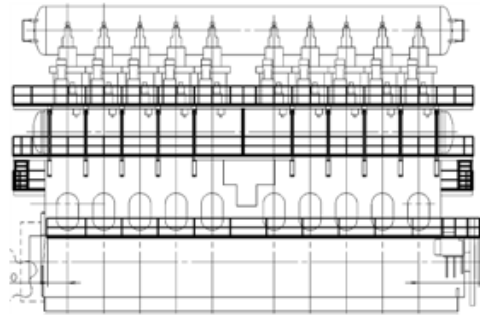


Fig. 1. Shape of main engine

Table 1. Principal dimensions and main exciting moments

Type	HYUNDAI-B&W 10K98ME7	
Power	MCR :	57,200 kW x 94.0 rpm
	NCR :	51,480 kW x 90.8 rpm
Free moment at MCR	M2V	889 kN-m
	M4V	752 kN-m
H-moment at MCR	M7H	1,086 kN-m
X-moment at NCR	M3X	3,058 kN-m
	M4X	3,149 kN-m
	M6X	1,858 kN-m
	M7X	2,681 kN-m

### 2.3 주기관 스웨이 브레이싱

주기관 스웨이 브레이싱(sway bracing of main engine)은 기계식(mechanical type)과 유압식(hydraulic type)의 두 가지가 있으며, 대형엔진에서는 Fig. 2에 보인 유압식이 주로 사용된다. 본 해석에서는 Fig. 3에서와 같이 우현부(starboard side)에 유압식 스웨이 브레이싱 4개(선미 화물창과 접하는 기관실 선미부와 기관실 선수 구역에 각각 2개씩 위치)가 사용되었으며, 브레이싱의 강성은 개당 300 kN/mm<sup>2</sup>이다.

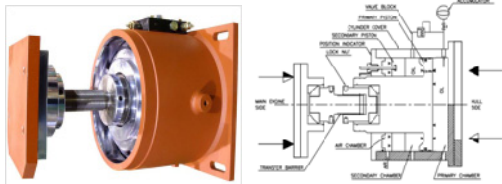


Fig. 2. Sway bracing of main engine(hydraulic type)

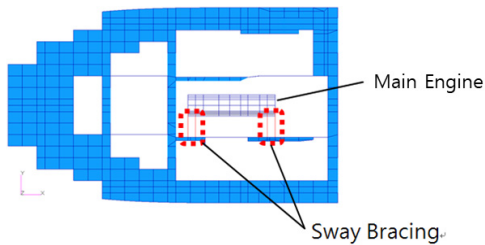


Fig. 3. Sway bracing in FE model

### 2.4 구조 변경 조건

사례 연구는 주기관이 설치되는 이중저부(double bottom), 주기관 스웨이 브레이싱이 지지되는 종격벽(longitudinal bulkhead) 주변구조 및 주기관 스웨이 브레이싱 개수를 변경하여 수행하였다. 총 5가지 경우에 대해 주기관의 전후방 최상부에서의 응답과 주기관 진동이 거주구에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

#### 2.4.1 해석모델 범위 및 응답위치

유한요소 해석모델은 선체 거더(hull girder) 진동이 관심 영역에 큰 영향을 미치지 않는다는 가정을 전제로 Fig. 4에서와 같이 선미에서부터 거주구 및 선미부 화물창 일부를 포함하는 부분모델을 사용하였다.

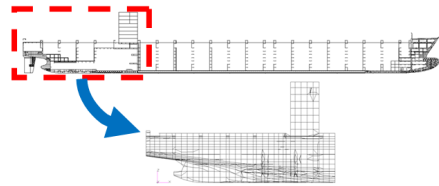


Fig. 4. Range of FE model

유한요소 해석모델 및 주요 응답 지점을 Fig. 5에 표시하였다. 주기관에서의 응답은 주기관 전후방 최상부에서 횡방향 값을 구하였으며, 거주구 항해갑판에서는 항해갑판 앞쪽 C.L(centerline)에서의 종방향 및 횡방향 값을 구하였다. 따라서, 응답 지점은 3 곳이며, 응답 값은 4개이다.

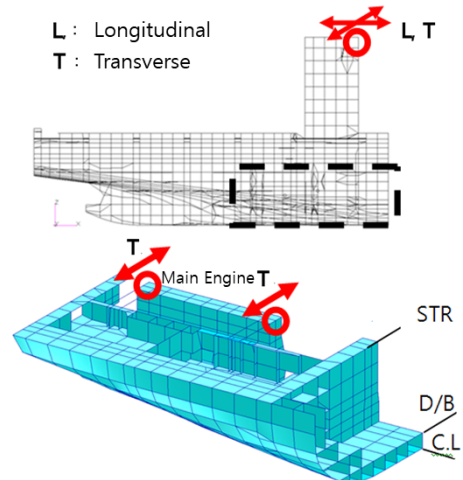
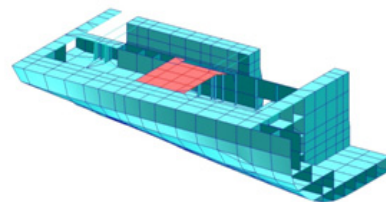


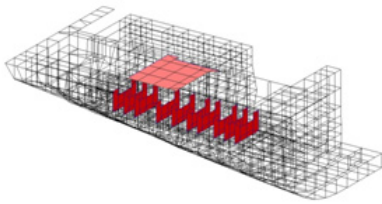
Fig. 5. Response position(O Mark)

#### 2.4.2 Case Study

Case 1 : 부분 데크(partial deck) 설치  
주기관 선수부의 스웨이 브레이싱 부근에 선측까지 연장되는 부분 갑판을 설치하였다.



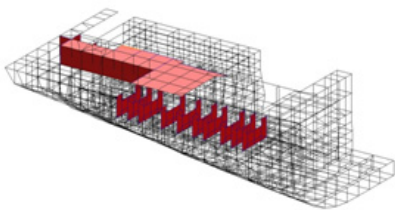
Case 2 : 부분 데크 설치 및 이중저 플로어 판 두께 증가(16 → 40mm)



Case 3 : 부분 데크 설치 및 스웨이 브레이싱 개수 증가(4 → 6개)

Case 4 : 부분 데크 설치, 이중저 플로어 판 두께 증가 및 스웨이 브레이싱 개수 증가

Case 5 : 'Case 4' 및 주기관 선미부 스웨이 브레이싱 부근의 40feet 컨테이너 벤치(bench) 설치 (20feet 컨테이너 2개 감소)



### 2.4.3 해석 및 경계 조건

진동해석 조건은 normal ballast condition과 유사한 시운전 계측 조건을 사용하였다.

경계 조건은 Fig. 6의 'A-A' 단면에 대하여 선체 길이 방향으로 대칭조건을 부여하였다.

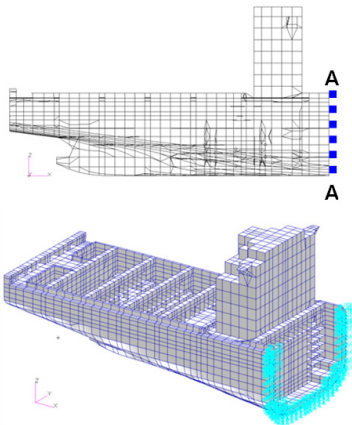


Fig. 6. Boundary conditions

## 3. 해석결과 및 고찰

### 3.1 주기관 X-moment 만 적용

기진력으로 주기관 X-moment 7차 성분만을 적용한 경우에 대한 해석 결과를 Fig. 7 ~ 10에 보였다.

주기관의 경우, 모든 Case에 대하여 주기관 전후부에서 모두 고유진동수가 효과적으로 상승하였다. Case 1, 2의 선미부에서 초기값 대비 최대 응답치가 약 10% 이상의 증가를 보이거나 나머지 조건에 대해서는 비슷하거나 감소하였다. 최대치(maximum value)를 기준으로 거주구 진동응답을 검토한 결과, 거주구 항해갑판에서의 종방향 및 횡방향 진동은 전체적으로 그 값이 감소하여 주기관 진동이 직접적으로 거주구에 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 주기관 진동을 줄이면 거주구 진동응답 또한 전반적으로 하강한다는 것을 알 수 있다.

결과를 종합하면, Case 1 ~ 5 모두 진동제어에 상당한 효과가 있으며, 제어해야 할 진동 수준 및 보장위치 등을 고려하여 적절한 Case를 조합 적용할 수 있다.

M/E Fwd Top (T)

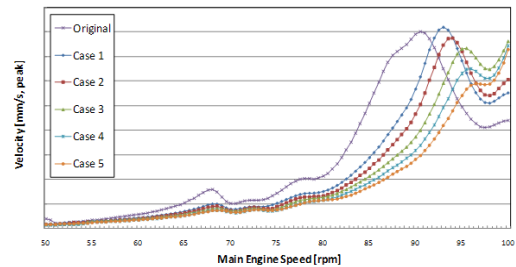


Fig. 7. Responses at top of main engine (forward)

M/E Aft Top (T)

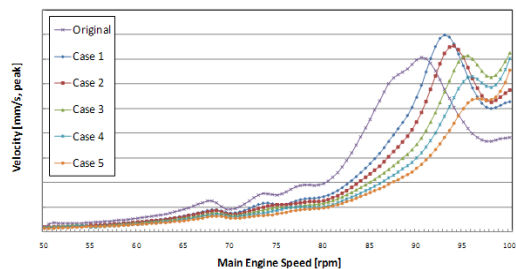


Fig. 8. Responses at top of main engine (aft)

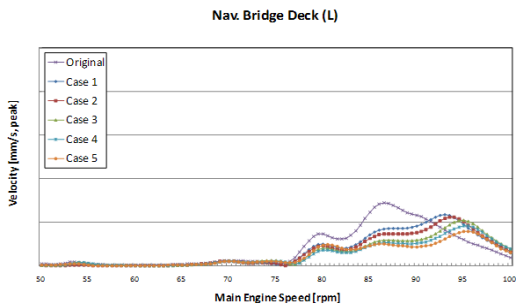


Fig. 9. Longitudinal responses at top of deckhouse

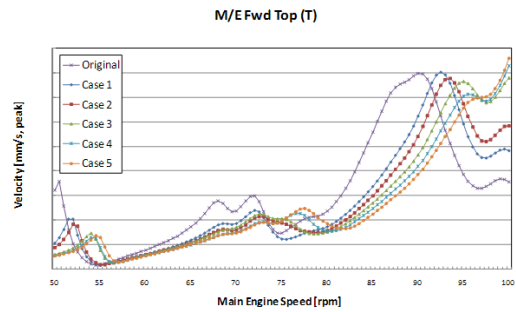


Fig. 11. Responses at top of main engine (forward)

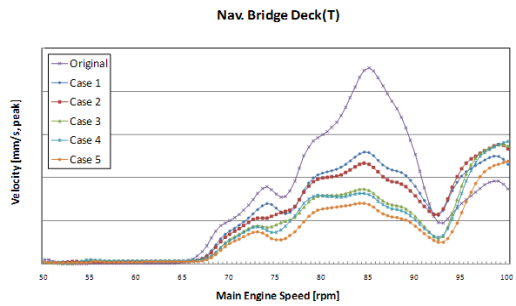


Fig. 10. Transverse responses at top of deckhouse

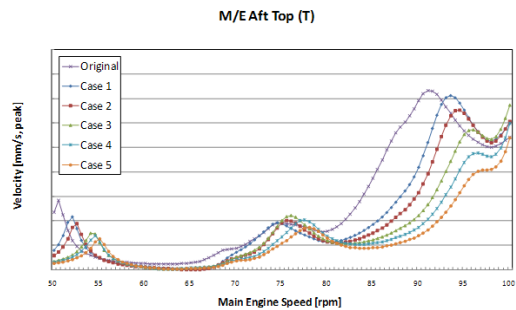


Fig. 12. Responses at top of main engine (aft)

### 3.2 주기관 X 및 H-moment를 모두 적용

기진력으로 주기관 X 및 H-moment 7차 성분을 동시에 적용하는 경우에 대한 해석 결과를 Fig. 11 ~ 14에 보였다.

주기관 진동응답의 경우, X-moment만 적용하는 경우에 비해 주기관 전방부의 응답 감소폭이 줄어든 것을 알 수 있으며, 반대로 주기관 후방부 응답은 감소폭이 상대적으로 커진 것을 알 수 있다. 전반적으로 모든 Case에 대하여 주기관 전후방부에서 모두 고유진동수가 효과적으로 상승하며, 진동응답 또한 감소함을 알 수 있다. 최대치를 기준으로 거주구 진동응답을 검토한 결과, Case 5에서의 거주구 종방향 응답을 제외하고는, 거주구 종방향 및 횡방향 진동은 전체적으로 그 값이 감소함을 알 수 있다.

결과적으로 X-moment 만을 기진력으로 사용한 결과와 매우 유사하여 Case 1 ~ 5 모두 진동제어에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났으며, 적절한 조합으로 방진설계에 활용 가능하다.

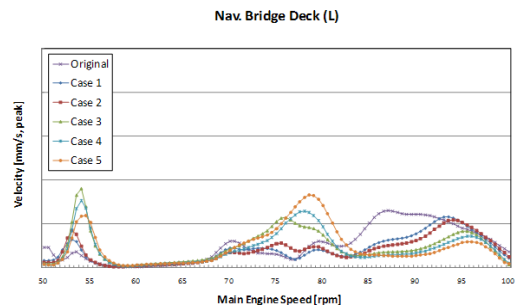


Fig. 13. Longitudinal responses at top of deckhouse

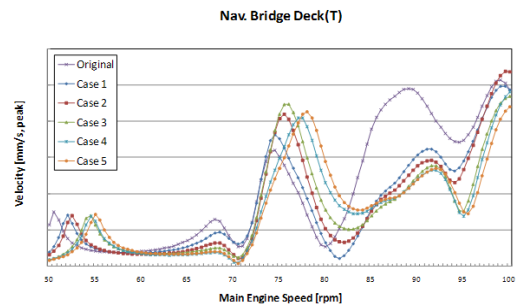


Fig. 14. Transverse responses at top of deckhouse

## 5. 결론

본 논문에서는 주기관 횡진동에 의한 공진 문제와 이에 대한 방진 설계 방안에 대해 검토하였다. 기관실 주변 구조와 연결되는 주기관 횡진동에 대하여 구조 보강안을 제시하였으며 실제적인 방진설계 지침으로 활용이 기대된다. 구조 보강안은 방진 효과가 큰 순으로 나열하였으며, 조합 적용으로 그 효과를 증대시킬 수 있다.

(1) 스웨이 브레이싱 설치부와 데크 높이 일치

불가피하게 2개의 중통재 간격 이상 높이가 어긋나는 경우, Case 1에서와 같이 부분 데크 설치 가능성을 검토하고, 적절한 위치에 선측까지 연장되는 부분 데크를 설치한다. Case 5에서 적용된 벤치 추가 설치 또한 부분 데크 설치의 일종으로 볼 수 있다.

(2) 스웨이 브레이싱 추가

브레이싱 지지구조가 충분한 강성을 가지는 경우, 브레이싱의 개수 증가는 효과적인 고유진동수 제어 수단일 수 있다.

(3) 주기관 직 하부 이층저 플로어 두께 증가

주기관 직하부 영역에 한하여 플로어 두께를 키우는 것이 전체영역의 플로어 두께를 키우는 경우의 약 80% 정도의 효과를 내는 것으로 나타났다. 기관실 이층저 전체영역의 플로어 두께를 키우는 것은 비용 측면에서 비효율적이므로, 길이 및 폭 방향 모두 주기관 직하부로 보강 영역을 제한하는 것이 바람직하다.

## References

- [1] S. I. Chang, C. S. Jung, D. S. Kim and S. A. Cho, "Analysis of Natural Frequency of Simple Steel Outfitting Structure in Engine Room", Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 106-111, 2006.
- [2] H. W. Kim and J. H. Park, "Improvement of the Vibration Characteristics for the Oil Pipe Support Structure of the Crude Oil Carrier", Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 69-75, 2005.
- [3] S. H. Choi, K. S. Kim, Y. Cho and B. G. Kim, "A Study on the Evaluation of Vibration Characteristics for Onboard Machinery with Resilient Mountings", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, vol. 39, no. 1, pp. 73-81, 2002.  
DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2002.39.1.073>
- [4] K. S. Kim and S. H. Choi, "An Experimental Study on the Dynamic Characteristics of Onboard Machinery

with Resilient Mounts", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, vol. 40, no. 2, pp. 28-33, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2003.40.2.028>

- [5] C. H. Bae, C. W. Cho, Y. W. Kim and K. H. Yang, "Vibration characteristics of the vertical pump in a nuclear power plant", Fall Conference of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2006.
- [6] Y. Jang, K. Kim, D. Kim, C. Bae, K. Yang and N. Y. An, "Study on Cause for vibration of large vertical pump in power plant", Spring Conference of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 674-675, 2013
- [7] W. Kim, W. Song and Y. Chang, "A Study on the vibration improvement of plant pump", Fall Conference of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 697-698, 2011
- [8] M. S. Yoo, S. T. Oh, Y. H. Ji, J. W. Lee, C. W. Roh and G. H. Park, "Experimental modal analysis of submerged vertical pump", Joint Conference by KSNVE, ASK and KSME(DC), 2017.
- [9] J. H. Lee, J. T. Wang and K. Maring, "Fluid-Structure Interaction (FSI) Modal Analysis to Avoid Resonance of Cylinder Type Vertical Pump at Power Plant", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, vol. 55, no. 4, pp. 321-329, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2018.55.4.321>

신 상 훈(Sang-Hoon Shin)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2017년 2월 : 현대중공업(주) 선박연구소
- 2017년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 항공기계공학과 교수

<관심분야>

구조물의 설계/강도평가, 최적화기법 연구 및 최적설계

---

고 대 은(Dae-Eun Ko)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 2002년 10월 ~ 2008년 2월 : 삼성중공업(주) 구조설계팀
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

선박 및 해양구조물 구조설계, 용접변형 및 용접설계

---

임 홍 일(Hong-Il Im)

[정회원]



- 2002년 2월 : 울산대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2017년 8월 : 부산대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2018년 5월 : 현대중공업(주) 구조설계부
- 2018년 6월 ~ 현재 : 현대중공업(주) 선박연구소

<관심분야>

선박해양구조물 구조설계, 진동평가 및 신제품개발