

선내 위치에 따른 선박의 종운동 특성

강일권 · 김민석¹ · 박병수^{2*} · 홍진근³ · 정성재⁴ · 함상준⁵

부경대학교 해양생산시스템관리학부, ¹부경대학교 실습선,
²경상대학교 해양경찰시스템학과, ³동원산업(주) 부산지사,
⁴국립수산과학원 동해수산연구소, ⁵부경대학교 대학원 수산물리학과

Longitudinal motion characteristics of a ship according to the location

**Il-Kwon KANG, Min-Seok KIM¹, Byung-Soo PARK^{2*}, Jin-Keun HONG³,
Seong-Jae JEONG⁴ and Sang-Jun HAM⁵**

Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Training vessel, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

*²Department of Maritime Police & Production System, Gyeongsang National University,
Tongyeong 650-160, Korea*

³Dongwon Industries Co., Ltd., Busan 600-012, Korea

⁴Fisheries Engineering, East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung City, Gangwon 210-861, Korea

⁵Department of Fisheries Physics, Graduate school, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

In head sea, a ship has mainly the longitudinal motion such as vertical acceleration and pitch. In that case, the motion characteristics of a ship will have changed as the location different from each of place vertically and horizontally on board. The author carried out an experiment about the ship's vertical acceleration and pitch according to the location for the head sea, and analyzed the data with the aid of the statistical and spectral analyzing method to get the motion characteristics of the vessels. The response of vertical acceleration and pitch not deeply depend on the decks vertically, but displayed the relative big different value horizontally even if same deck. The biggest response of vertical acceleration and pitch among the accommodations was shown at scientist room, but the value of it not reached to the minimum requirement of ISO 2631-1 for working on board.

Keywords: Head sea, Longitudinal motion, Vertical Acceleration, Pitch, Motion characteristics.

*Corresponding author: bspark@gnu.ac.kr, Tel: 82-55-772-9185, Fax: 82-55-772-9189

서 론

해상에서 기상이 악화되면 선박은 파도와 바람에 의한 외력으로 인하여 동요가 심해지고, 감항성이 저하된다. 악천후 속에서 선수파를 받고 항해할 때, 선체에 미치는 과도한 응력은 선체와 화물에 손상을 초래하기도 하며, 승객과 선원들의 승선감과 작업능율을 떨어뜨리고, 때로는 선내 기기의 성능에 악영향을 미치기도 한다. 또한 어선에 있어서는 갑판수에 의하여 어구를 한쪽으로 밀어붙여 배수에 장애를 일으키게 하여 전복에 이르게 하기도 한다 (kang et al., 2007).

선수파에서 일어나는 대표적인 선체 동요는 상하동요(수직가속도)와 종동요이다. 이들 동요는 감쇠력이 대단히 크기 때문에 비록 동조가 일어나더라도 그 만큼 운동은 커지지 않는다. 따라서 횡동요와 같은 전복에 대한 위험은 크지 않으나 계속적인 선수파를 받으며 항해하는 경우에는 연속적으로 슬래밍을 당할 수 있기 때문에 횡동요보다 그 위험이 결코 적다고 말할 수는 없다.

선수파를 받고 항해할 때 선체가 심한 응력을 받는 경우, 선박의 안전성은 선박 자체가 가진 고유의 안전성능에 크게 종속되지만, 해상과 선박의 적하상태, 파고, 파향, 선속뿐만 아니라 파주기와 파장에 따라서도 다르게 나타나고, 또한 같은 선박내에 있어서도 수평과 수직 방향의 상대적인 위치에 따라 그 운동의 양상은 서로 달라지게 된다. 따라서 내항성능을 평가할 때는 선박이 가진 고유의 특성과 더불어 해상과 선박의 조건을 포함한 특정한 상황을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 내항성능 평가 요소 중 선박 운항자들이 감각적인 면에서 정량화하기 쉬운 중운동만을 선택하여 선내의 수직적, 수평적인 위치에 따른 중운동 특성을 고찰하였다. 이를 위해 부경대학교 실습선, 가야호를 이용하여 수직 위치로서 세 개의 갑판과 각 갑판을 전부, 중앙부, 후부의 세부분으로 나누어 정점을 선정하여, 수직가속도와 종동요를 측정하도록 하며, 각 정점의 수평과 수직 위치에 대한 응답특성을 파악하였

다. 또한 선내 주요 거주공간을 선택하여 수직 가속도와 종동요를 측정하여 선내 공간의 위치에 따른 응답특성을 서로 비교하도록 하고, 관측된 중운동의 측정치가 승선감과 관련하여 국제적인 기준치를 만족하는지의 여부도 검토하였다.

파랑이나 선체운동과 같은 불규칙 변동량의 특성을 파악하기 위한 방법으로 스펙트럼 해석이 많이 이용되고 있으므로, 본 연구에서도 중운동의 스펙트럼 형상과 유의치를 분석함으로써 응답의 특성을 파악하였다.

자료 및 방법

실습선 가야호 (1,737 GT)를 이용한 수직 가속도와 종동요의 관측은 2009년의 원양승선실습 중 6월 30일부터 7월 3일까지 4회에 걸쳐 선수파를 받고 항해할 때 실시되었으며, 관측시 선박의 위치는 29° 44' N, 125° 13' E 주변 해역이었다. 선내 관측점은 갑판을 수직으로 상갑판, 제2갑판, 제3갑판으로 구분하고, 수평으로 선수부, 선체 중앙부 그리고 선미부의 3점을 선택하였다. 상갑판에 대해서는 선수부 전방 2.5m에 별도의 정점(편의상 f'cle 이라고 표시함)과 선미slipway 상부의 관측점을 추가하였다. 또한 승무원들의 거주공간에 대한 동요 관측은 선장실을 비롯한 선원의 주요 생활 공간과 실습생들의 침실을 선택하여 실시하였다. 이들 각각의 정점에 data logger를 설치하여 수직 가속도와 종동요를 계측하였으며, 상대풍속은 10~13m/s, 침로는 210° ~220° 로써 선수파(向波)이며, 해상 상태는 너울이 없고, 파고는 2.0~3.0m로써 충분히 발달된 해상상태에서 행하였다. 1회의 관측 개시부터 종료까지는 1시간 정도 소요되어 시작과 종료시의 해면 조건에 약간의 차이가 있을 것으로 생각하나, 이 실험은 안정된 해황으로 간주 될 수 있는 해상 상태에서 수행하였기 때문에 미소한 해상의 변화는 동요 기록 해석에 있어서 무시하도록 하였다. 또한 파랑에 관한 자료는 실선시험에서 목측으로 관측한 유의 파고와 평균파 주기를 이용한 ISSC 스

펙트럼을 이용하였다 (Masanobu, 1981).

Fig. 1은 대상 선박의 GA상에 표시한 관측지점을 표시한 것으로써, ●은 각 갑판에 대한 선수부, 선체중앙부 그리고 선미부 등의 정점이다. 관측점은 가능한 각 갑판에 대해 수직한 점을 선정했으나, 선체의 구조상 수직으로 동일한 위치를 선택할 수 없는 경우에는 가장 근접한 점으로

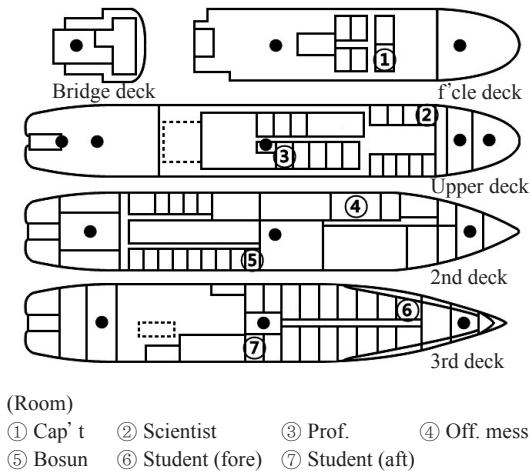


Fig. 1. Locations where the observation was carried out on the general arrangement (● : deck point).

Table 1. Description of Data Logger used in the observation

Tilt & Compass sensor	
Azimuth Range	0° to 360°
Azimuth Resolution	0.08°
Pitch Range	+ 90° to - 90°
Dynamic Range	10 readings/sec
Com. Speed	38,400 baud
Accerometer	
Range	± 1.5g
Sensibility	1,333mV/g
Bandwith	3,000Hz
Non-Linearity	± 0.1 typical (± 0.5Mx)%
Interfaces	RS232

Table 2. Sea and ship's status on the observation

No.	date	heading (°)	speed (kts)	H _{1/3} (m)	wave period (sec)	wind velocity (m/s)	B.S
1	6/30	210	10.5	2.0	8.2	11.0	4
2	7/01	220	10.3	2.3	8.8	10.7	4
3	7/02	205	10.4	3.0	9.5	10.5	5
4	7/03	210	11.0	2.5	9.0	10.7	5

하였다. ①~⑦은 각 거주공간의 관측점이다.

사용된 계측기는 시험제작한 것으로 사양은 Table 1과 같고, Table 2는 4회에 걸쳐 실시한 실험시의 침로와 선속, 그리고 파의 상태를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 sampling 시간 간격 0.25초 마다 읽어 취한 3회 관측시의 사관식당의 수직 가속도와 종동요의 진폭 기록 예시이다.

Fig. 3은 3회째 관측한 상갑판 중앙부에서의 수직가속도와 종동요의 파워스펙트럼이다. 1~4회에 걸쳐 관측된 각 정점의 수직 가속도와 종

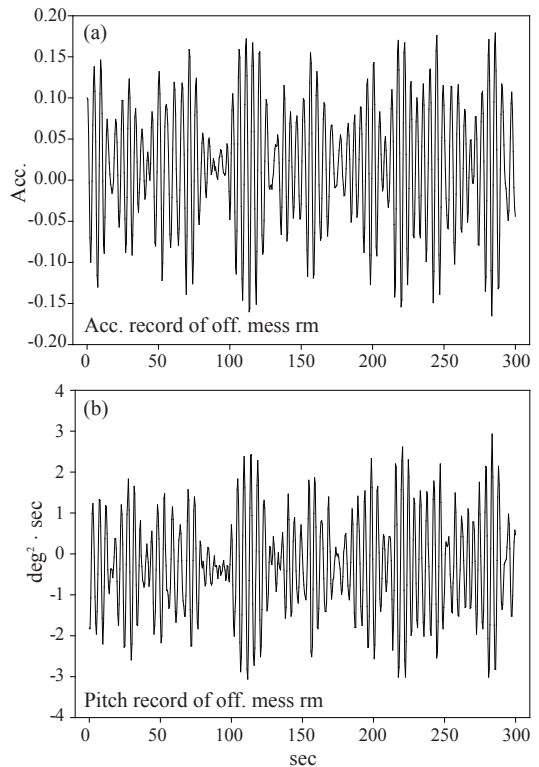


Fig. 2. Typical records of vertical acceleration (a) and pitch (b) in officer mess room.

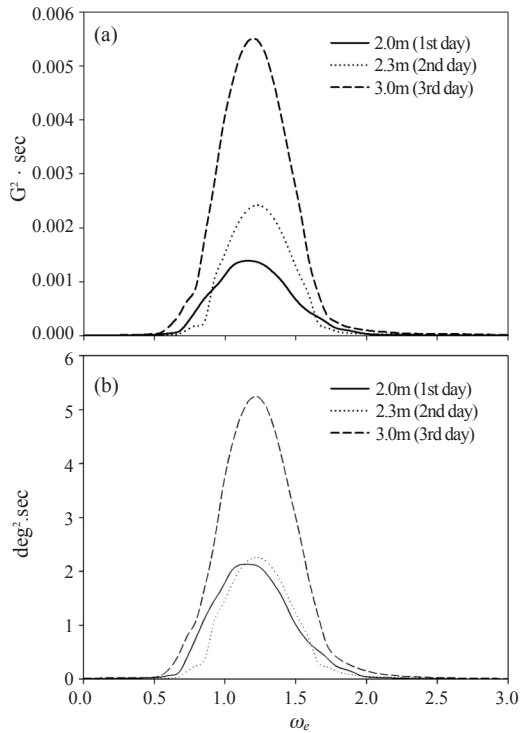


Fig. 3. Power spectra of vertical accelerations (a) and pitch (b) of the mid part of main deck according to the wave height.

동요의 파워스펙트럼 형상이 서로 비슷하고, 유의치는 파고 3.0m에서 가장 크므로, 각각의 갑판에 대한 동요는 3회 (B.S 5)에 관측한 값으로, 또한 각 거주 공간에 대한 것은 4회 (B.S 5)에 관측한 값으로 한정하여 고찰하였다.

결과 및 고찰

갑판에 따른 가속도의 특성

Fig. 4는 상갑판, 제2갑판, 제3갑판의 선수부, 선체중앙부 그리고 선미부에서 관측한 수직가속도 응답의 파워스펙트럼을 각주파수에 대응한 가속도의 2승값으로 나타낸 것과 이들 응답의 유의치를 g 로 나타낸 것이다. 단, 선수루갑판 (f'cle)과 slipway 상단을 추가하였다.

이 실험에서 시험선의 수직가속도 응답의 파워스펙트럼에 나타난 대역폭은 갑판에 따라 차이가 있으나, 만남파주파수는 $0.5 \sim 2.0 \text{sec}^{-1}$ 의 범위이며, 응답의 주기는 $5.2 \sim 12.5 \text{sec}$ 이고, 탁월한 주기는 각 갑판 모두 비슷한 $7.0 \sim 8.5 \text{sec}$ 으로 나타났다. 수직가속도의 응답은 세 갑판 모든 선수

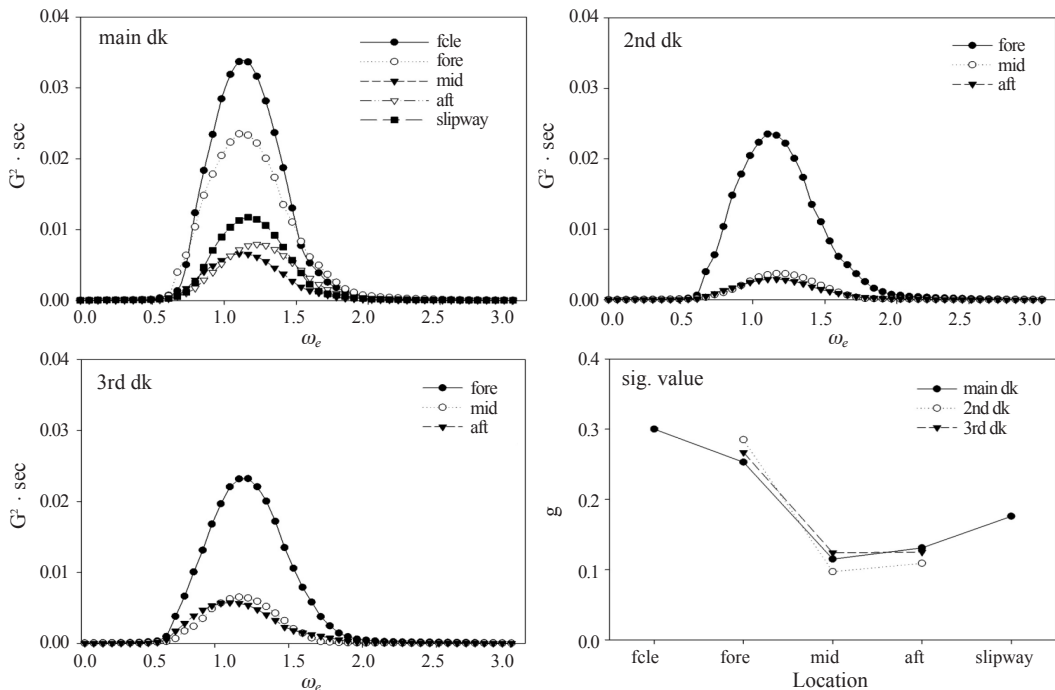


Fig. 4. Power spectra and significant value of vertical accelerations according to the each horizontal position of the three decks.

부에서 매우 크고, 대역폭은 비슷하였으나, 중앙부와 선미부에서는 응답의 크기가 매우 작으며, 그 차이도 거의 없었다. 선수루갑판의 경우 상갑판 선수부 관측점에서 수직으로 불과 2.5m 전방으로 나와 있지만 응답의 크기는 선수부보다 약 25% 증가했고, slipway 상단의 정점은 선미부에서 3.0m 후부에 위치하고 있지만 선미부보다 15% 정도 증가하였다.

수직가속도 응답의 유의치는 세 갑판 모두 선수부에서 0.26~0.28g로 매우 높고, 중앙부와 선미부에서는 각각 0.10~0.12g와 0.12~0.13g로서 대체로 낮았으며, 유의치의 차이도 크지 않았다. 그러나 선수루와 slipway 상부의 유의치는 각각 0.30g와 0.19g로서 선수부와 선미부에 비해 큰 차이를 보였다. 따라서 가속도 응답은 선수루와 slipway를 제외하면 수직 위치에 따른 차이는 크지 않고, 수평적으로도 선체중앙부에서 선미까지는 응답의 차이가 크지 않았다. 선수루 갑판을 포함한 선수부에서 응답이 큰 것은 이곳이 파도

와 직접 충돌하기 때문인 것으로, slipway에서 응답이 증가한 것은 선체의 운동 중심과 멀리 떨어져 있기 때문인 것으로 판단된다.

갑판에 따른 종동요의 특성

Fig. 5는 상갑판, 제2갑판, 제3갑판의 선수부, 선체중앙부, 그리고 선미부에서 관측한 종동요 응답의 파워스펙트럼을 각주파수에 대응한 가속도의 2승값으로 나타낸 것과 이들 동요의 유의치를 나타낸 것이다. 상갑판의 관측점에 대해서는 선수루와 slipway 상부의 2점을 추가 하였다.

종동요 응답의 파워스펙트럼에 나타난 대역폭과 응답의 주기는 Fig. 4에 나타낸 만남파주파수, 응답의 주기, 그리고 탁월 주기와 거의 같았다. 이 대역폭은 갑판에 따라 차이가 확실히 있으며, 상갑판과 제2갑판의 만남주파수의 범위는 $0.5 \sim 2.0 \text{sec}^{-1}$ 이고, 응답의 주기는 $5.5 \sim 15.0 \text{sec}$ 이다. 그러나 제3갑판은 그 대역폭이 $0.6 \sim 1.8 \text{sec}^{-1}$ 로서 상갑판과 제2갑판에 비해 작다. 그러나 응

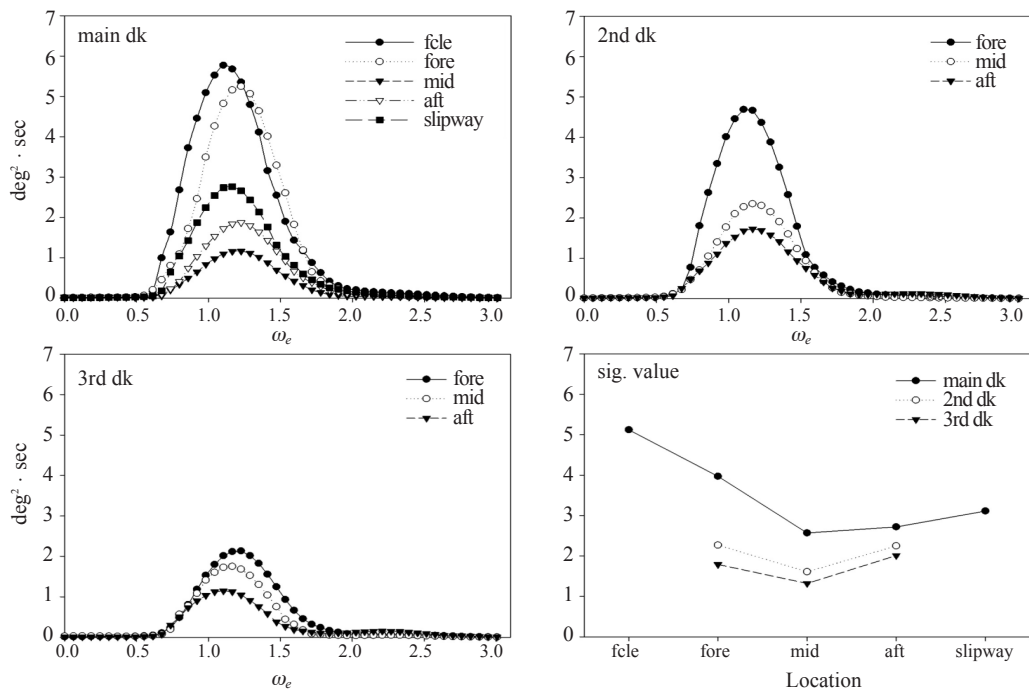


Fig. 5. Power spectra and significant value of pitch according to the each horizontal position of the three decks.

답의 탁월 주기는 갑판에 관계없이 모두 비슷한 6.6~7.9sec에서 나타났다. 상갑판과 제2갑판에서는 모두 선수부의 응답이 상대적으로 크나, 제3갑판에서는 차이가 크지 않았다.

중동요 응답의 유의치를 보면, 상갑판에서는 선수루와 선수부에서 매우 높으나, 중앙부와 선미부는 대체로 낮고, 큰 차이가 없으며, slipway에서는 약간 증가하였다.

상갑판의 선수부에서의 중동요 응답의 유의치는 3.97 (deg² · sec)로서 그 직하에 있는 제2갑판과 제3갑판의 유의치보다 각각 1.8배, 2.2배의 값을 나타내었다. 또한 중앙부에서도 상갑판의 유의치가 그 아래 쪽의 갑판보다 매우 높은 값을 나타내었다. 그러나 선미부에서는 수직적인 위치에 따른 차이는 크지 않았다. 제2갑판과 제3갑판에서의 각부의 유의치는 모두 상갑판에서의 그것보다 작았으나, 이들 두 갑판에서의 유의치는 수평적으로 큰 변화가 없었고, 수직적으로도 크게 차이가 없었다. 이와 같이 상갑판에서 수평 위치에 따라 응답이 크게 변화하나, 제2갑판과 제3갑판에서 응답이 상대적으로 작은 것은 시험선의 당시 부면심이 3.2m, +1.1m (선수쪽)로서 제2갑판에 가까이 위치한 것에 기인한 것으로 보아진다.

거주공간에 따른 동요 특성

거주공간에 대한 관측은 기본적으로 갑판별로 선수부, 중앙부 그리고 선미부의 공간을 하나씩 선택하였으나, 이들 외에도 승무원의 주요 거주공간을 포함시켰다.

Fig. 6은 거주공간에 대한 수직가속도 응답의 스펙트럼과 유의치를 나타낸 것이다. 가속도 응답의 만남파주파수는 0.9~1.8sec⁻¹의 범위이며, 응답의 주기는 5.2~9.1sec이고, 탁월한 주기는 약 6.8sec에서 나타났다. 응답의 크기는 상갑판 선수쪽에 위치한 scientist room에서 가장 크고, 다음으로 선수루 갑판의 선장실, 제2갑판의 사관식당, 제3갑판의 선수부 학생침실의 순이었

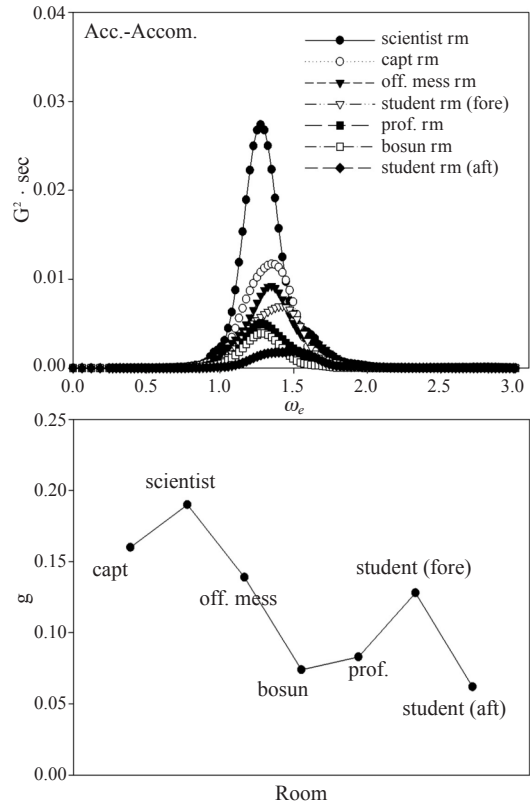


Fig. 6. Power spectra and significant value of vertical acceleration due to the location of accommodations.

다. 상갑판 중앙부의 교수실, 제2갑판 중앙부의 갑판장실과 제3갑판의 후부 학생실에서 응답이 낮았다.

scientist room의 응답의 유의치는 0.192g로써 선장실보다 1.2배, 선원들의 거주 공간의 하나인 갑판장실보다 3.5배 크다. 응답이 가장 낮은 후부 학생침실은 0.055g로서 전부 학생침실보다 2.1배, scientist room보다는 3.5배 적었다. scientist room의 응답의 1/100 최대유의치는 0.32g에 달하여 때로는 매우 큰 가속도를 받을 것으로 본다. 그렇더라도 이 수치는 ITTC의 내항성능 기준에서 제시하고 있는 작업가능기준치인 0.4g보다는 낮은 것이다 (Jung, 2008). 이렇게 scientist room의 응답이 가장 큰 것은 선수 선저와 가까운 곳으로 선수과의 충격이 가장 많이

전달된 것에 기인한 것으로, 선장실이 scientist room보다 응답이 적은 것은 선장실이 수직적으로 약간 전방에 위치하지만 선수 선저와의 거리는 멀기 때문인 것이 그 원인으로 보여진다. 또한 후부학생실과 갑판장실의 응답치가 낮은 것은 후부학생실은 선저와는 비교적 가깝지만 선체 중앙 후부에 자리하여 선수 선저의 충격이 완화된 것이, 갑판장실은 선수 선저와의 거리가 비교적 먼 선체 중앙부에 위치한 것이 그 원인으로 보일 것이다.

Fig. 7은 각 거주구역에 따른 종동요 응답의 스펙트럼과 유의치를 나타낸 것이다. 종동요 응답의 만남파주파수는 $0.9 \sim 2.0 \text{sec}^{-1}$ 의 범위이며, 응답의 주기는 $5.2 \sim 9.5 \text{sec}$ 이고, 탁월한 주기는 약 7.0sec 에서 나타났다. 응답의 크기는 scientist room에서 가장 컸고, 그 다음으로 선장실, 사관 식당, 전부 학생실의 순이었으며, 후부 학생실에서 가장 낮았다. 선장실은 scientist room보다 한 층 높은 곳에 위치하고 있기 때문에 응답이 클 것으로 예상되나 실제로는 그 밑에 위치한 scientist room이 더 컸다. 이것은 앞에서 기술한 가속도 응답의 결과와 같은 의미로 보일 것이다.

종동요 응답의 유의치를 보면, 응답이 가장 큰 scientist room은 $2.52 (\text{deg}^2 \cdot \text{sec})$ 이었고, 가장 낮은 후부 학생침실은 $1.32 (\text{deg}^2 \cdot \text{sec})$ 이었다. 전체적으로 각 갑판의 전부쪽이 종동요의 유의치가 높고, 중앙부에서 후부로 갈수록 유의치가 낮아졌다. 거주구의 수직가속도와 종동요 응답의 파워스펙트럼의 크기와 유의치는 유사하나 그 범위와 주기에 약간의 차이를 보였다.

거주공간의 안락감

배멀미는 선체의 운동에만 기인하는 것이 아니고 개인의 육체적, 정신적인 상태까지 포함하여 여러가지 요인이 결합된 결과로서 일어나기 때문에 정량적인 파악이 어렵다. 그러나 멀미는 가속도의 크기뿐만 아니라 운동의 주기도 크게 영향을 받으며, 구토율이 가장 높은 주기는 회전

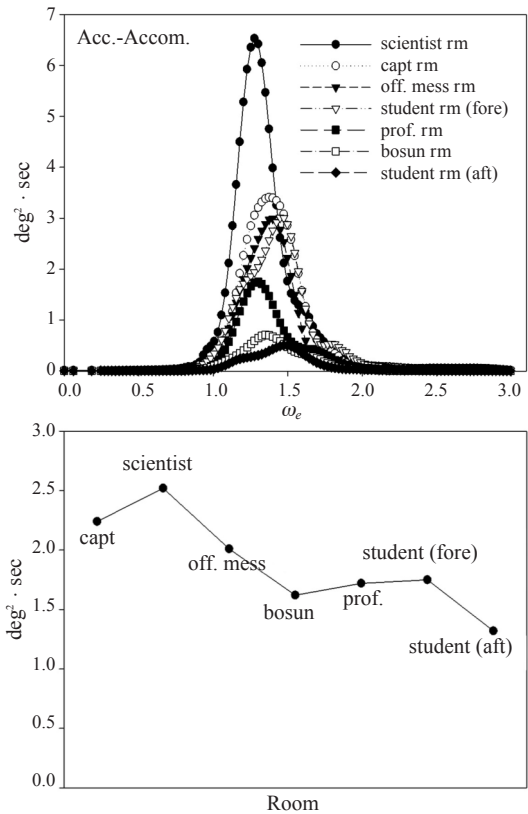


Fig. 7. Power spectra and significant value of pitch due to the location of accommodations.

운동과 직선운동 모두 6초 정도라는 것은 알려져 있다 (Ikeda, 1994). 또한 인체에 미치는 진동에 관한 국제적인 표준안인 ISO 2631-1은 주파수의 범위와 진동이 멀미에 주는 영향을 마련하여 제공하고 있다 (Ko, 2002; Kim et al., 2010).

이에 따르면 진동의 축과 상하가속도의 진폭뿐만 아니라 주파수도 멀미에 상당히 큰 영향을 주는데, 그 주파수는 $0.125 \sim 0.25 \text{Hz}$ 의 범위이다. 이것은 주기 $4.0 \sim 8.0$ 초에 해당하며, 시험선의 가속도 응답의 주기는 $5.2 \sim 9.1 \text{sec}$ 이고, 종동요 응답의 주기는 $5.2 \sim 9.5 \text{sec}$ 로서 여기에 가깝다. 따라서 이러한 해황에서 시험선의 수직가속도는 동요의 주기면에서 보면 멀미를 일으키는 데 큰 요인으로 작용할 가능성이 크다고 할 수 있다.

결 론

부경대학교 실습선 Kaya호를 이용하여 선수파를 받고 항해할 때 세 갑판의 선수부, 중앙부 그리고 선미부, 아울러 거주구역의 각 정점에서 관측한 수직가속도와 종동요의 응답특성에 대해 고찰한 결과는 다음과 같다. 가속도 응답은 갑판에 따라 큰 변화가 없으나, 수평적으로 선수부에서는 0.26~0.28g로써 매우 높고, 그 위치의 작은 변화에도 응답의 크기가 크게 변하였으며, 선체중앙부와 선미부는 0.10~0.13g의 범위로써 응답의 큰 변화는 없었다. 그러나 slipway 상단은 선미부에 비해 응답이 소폭 증가하였다. 종동요 응답은 상갑판과 제2갑판의 선수부에서 크고, 만남주파수의 범위는 $0.5 \sim 2.0 \text{sec}^{-1}$ 이고, 응답의 주기는 5.5~15.0sec였다. 그러나 제3갑판에서는 응답이 크지 않았다. 또한 slipway상부도 응답이 크게 증가하지 않았다. 거주공간에 대한 가속도의 응답의 크기는 scientist room에서 유의치 0.192g로써 가장 높고, 다음으로 선장실이며, 중앙부의 갑판장실과 후부학생실에서는 응답이 낮았다. scientist room의 응답이 가장 큰 것은 선수 선저와 가까운 곳으로 선수파의 충격이 가장 많이 전달된 것에 기인한 것이며, 후부학생실의 응답치가 낮은 것은 선체 중앙 후부에 자리하여 선수 선저의 충격이 완화된 것이 그 원인으로 보여진다. scientist room은 실험시의 해황에서 때때로 매우 큰 가속도를 더 받게 되어 승선감을

크게 저하시킬 수 있으나, ISO 2631-1의 내향 성능 기준에서 제시하고 있는 작업가능기준치 0.4g에는 미치지 못하였다. 그러나 본 선박의 거주공간의 수직가속도와 종동요 응답은 멀미를 일으키기 쉬운 응답 주기를 가지고 있다.

참고문헌

- Ikeda, Y., 1994. The new science for s ship, kangdam publishing co, Japan, pp. 139-143.
- Jung, C.H., 2008. Study on the evaluation of ship's performance, Ph.D thesis, Korea Maritime University, Korea, pp. 177.
- Kang, I.K., H.S. Kim, H.I. Shin, Y.W. Lee, J. C. Kim and H. J. Jo, 2007. Study on the casualties of fishing vessels in Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43 (2), 157-158.
- Kim, S.H and T.G. Kim, 2010. A study on the evaluation and management plan for whole-body vibration by ISO 2631-1. Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, 15 (4), 158-160.
- Ko, C.D., 2002. A study on the fatigue strength of crews assigned to the warships. Korea Coast guard, Incheon, pp. 31-35.
- Masanobu O., 1981. Theory of ship, vol. III. Kaibundo Inc., Tokyo, pp. 57-58.

2011년 12월 29일 접수
 2012년 3월 22일 1차 수정
 2012년 4월 4일 수리