

## 고박안전성 평가를 위한 카페리선박의 선체가속도 분석에 관한 연구

유용웅\* · 이윤석\*\*†

\* 한국해양대학교 대학원 박사과정, \*\* 한국해양대학교 선박운항과 교수

A Study on the Hull Acceleration Analysis of Car Ferry Ship  
for Securing Safety Evaluation

Yong Ung Yu\* · Yun-Sok Lee\*\*†

\* PhD Candidate, Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, 49112, Korea

\*\* Professor, Department of Ship Operation, Korea Maritime &amp; Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약 :** 국내 연안의 카페리선박의 고박안전성은 화물의 중량과 적재된 위치에서 발생할 수 있는 선체가속도를 기반으로 한 작용 외력과 고박장치의 고박력 비교를 통해 평가하고 있다. 고박안전성 평가에 기본이 되는 국내 기준상의 선체가속도는 선박의 특성 및 항해조건이 반영이 없이 적용되고 있다. 본 연구에서는 국내 연안 카페리선박의 선체가속도를 분석하고자 부산-제주를 통항하는 DWT 6,800톤급 선속 15.5 knots의 선박을 기준으로 선체의 4개 지점에서 총 12회의 가속도 계측을 수행하였고, 항해구역 인근 기상관측 부이의 데이터를 수집하였다. 한정된 계측 결과에 대한 이론적 비교 분석을 위하여 수치 시뮬레이션을 통하여 주파수 응답 해석을 통한 RAO를 해석하였고, RAO 결과를 바탕으로 4개 지점에 대한 가속도 해석을 수행하였다. 가속도 비교 결과 위치별 정도의 차이는 있으나 Y축 가속도의 경우 해석  $1.81 \text{ m/s}^2$ , 계측  $1.47 \text{ m/s}^2$ 로 해석 시뮬레이션 결과가  $0.34 \text{ m/s}^2$  높게 분석되었고, 고박안전성 평가기준  $8.59 \text{ m/s}^2$ 와 비교해 볼 때 해석은 22% 수준, 계측은 18% 수준으로 분석되었다.

**핵심용어 :** 연안 카페리, 선체가속도, 실선계측, 수치시뮬레이션, 화물고박

**Abstract :** The securing safety of ferry ships on the domestic coast is evaluated by comparing the external force applied and the securing device based on the cargo weight and hull acceleration that can exist at the loaded position. The hull acceleration based on the domestic standard, which is the basis for securing safety evaluation, is applied without reflecting the characteristics of the ship and the sailing conditions. In this study, a total of 12 acceleration measurements were performed at four points of the hull of a ship with a DWT 6,800 ton class 15.5 knots passing through Busan-Jeju to analyze the hull acceleration of the domestic coastal ferry ship. Data were collected for the buoy. For a theoretical comparative analysis of the limited measurement results, the response amplitude operator (RAO) was analyzed through frequency-response analysis by numerical simulation, and acceleration analysis for the four points was performed using the RAO results. Based on the acceleration comparison, differences in the degree of each position were observed, but in the case of the Y-axis acceleration, the analysis was  $1.81 \text{ m/s}^2$ , and the measurement was  $1.47 \text{ m/s}^2$ . The analyzed simulation result was as high as  $0.34 \text{ m/s}^2$ . Moreover, analysis was performed at 22% level, and measurement at 18% level.

**Key Words :** Coastal car ferry, Hull acceleration, Measurement, Numerical simulation, Cargo securing

## 1. 서 론

국내 연안 카페리선박은 여객 및 차량을 주목적으로 하는 여객선 외에 제주-부산 등, 국내 연안의 비표준화 화물 운송을 목적으로 하는 선박이 있으며, 이러한 화물 운송 전용 카

페리선박은 포항, 광양을 기점으로 철강재를 전용으로 운송하는 선박과 자동차, 일반 화물, 컨테이너 계열의 철제 상자 등 다양한 비표준화 화물을 운송하는 선박이 있다.

현재 카페리여객선을 포함한 국내 연안에서 카페리선박이 운송하는 화물의 고박안전성은 화물적재고박 등에 관한 기준(이하 화물고박기준)의 2015년 개정시 국내항해에 종사하는 카페리 선박의 특별요건이 신설됨에 따라 해당 기준의 고박효율성 평가방법에 따라 평가하고 있다(MOF, 2018).

\* First Author : yyung@kmou.ac.kr, 051-410-5098

† Corresponding Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-5098

화물고박기준에서 고박안전도는 IMO CSS(IMO, 2011)를 준용하여 고박장치의 고박력과 화물에 작용하는 외력(관성력)을 비교하는 과정을 제시하고 있다. 고박력과 비교되는 화물에 작용하는 외력은 화물의 질량과 적재된 위치에서의 선체가속도를 기반으로 산출하고 있고, 이 때의 선체가속도는 IMO CSS에 기반하여 항행 구역에 제한이 없는 25일 이상의 연속항해를 기반으로 하는 원양 항행 선박에 발생하는 가속도를 기준으로 하고 있다.

선체가속도에 대하여 IMO CSS에서는 추가로 항행구역이 제한되는 경우 항행 기간 등을 고려하여 기준을 완화하여 적용할 수 있다고 규정되어 있음에도 국내의 화물고박기준은 항행구역 등에 대한 고려 없이 원양항해 선박과 동일하게 적용되어 고박안전성을 평가하고 있다.

이러한 선박에서의 고박안전성 평가와 관련하여 Hwang et al.(2004)은 컨테이너 고박장치의 종류와 크기를 결정하기 위한 연구를 수행하였고, Turnbull and Dawson(1997)은 자동차 운반선에 적재된 트레일러의 고박력을 산정하기 위한 수학적 모델을 제시한바 있으나, 컨테이너와 자동차로 전용화된 선박에서 원양항해에 종사하는 선박을 대상으로 하는 연구였다. 국내 카페리선박에 관해서는 Choung et al.(2016a)에서 여객을 운송하는 카페리 여객선에서 차량에 대한 고박안전성 평가를 위하여 인천-제주를 통항하는 선박에 대하여 수치해석을 통한 가속도 극한값 분석 및 Choung et al.(2016b)에서 KR 등 선급 기준과 국내 기준을 비교한 연구를 수행하였고, Kang et al.(2020)에서는 평수구역 여객선에 대한 차량의 화물고박에 관한 연구를 통해 기준의 검토 필요성을 제시하였다.

또한 IMO CCC(Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers)에서는 고박안전성 평가 방법을 각국의 해역에 맞게 변경하려는 논의가 진행되고 있다(IMO, 2018a; 2018b).

본 연구에서는 현재 국내 연안을 항해하는 카페리선박 중 여객이 승선하지 않고 다양한 비표준화 화물을 운송하는 화물구역이 폐워된 카페리선박인 부산-제주 통항 DWT 6,800 톤급 카페리선박을 대상으로 선체 4개 지점에 12회의 가속도를 실선 계측하고, 수치 시뮬레이션의 주파수 응답 해석 RAO(Response amplitude operator)를 기반으로 가속도를 해석하였으며, 화물고박기준의 선체가속도와 비교 분석하였다.

## 2. 화물고박 평가 기준가속도

화물고박기준에서의 고박안전성은 고박장치의 고박력이 화물에 작용하는 외력보다 클 경우 대상 화물에 대한 안전성이 확보된 것으로 평가된다. 고박력과 비교되는 화물에 작용하는 외력은 화물이 적재된 위치에서 선박에서 발생하

는 종(X축), 횡(Y축), 수직(Z축) 방향의 가속도( $a_{x,y,z}$ )를 기반으로 식(1)과 같이 산출된다.

따라서 화물에 작용하는 외력은 화물이 적재된 위치에서 발생하는 가속도의 크기에 따라 변화하게 되며, 그에 따라 필요한 고박력이 정해진다. 즉 해당 선박에서 예상되는 선체가속도가 클수록 화물에서 발행할 수 있는 작용력이 커지게 되고 그에 따라 고박력 강화를 위하여 고박장치의 규모, 개수가 증가하게 된다.

$$F_{x,y,z} = m a_{x,y,z} \quad (1)$$

여기서  $F_{x,y,z}$  : 종방향, 횡방향, 수직방향 작용외력  
 $a_{x,y,z}$  : 종방향, 횡방향, 수직방향 선체가속도  
 $m$  : 화물의 질량

화물이 갑판상에 노출될 경우에는 화물의 단위 면적에 따라 발생할 수 있는 추가 외력( $Pa$ )으로 바람의 풍압력과 청파(shipping seas or green water)의 충격력이 반영된다.

Fig. 1은 고박안전성 평가시  $a_{x,y,z}$ 에 적용되는 국내의 화물고박기준 <별표 1>의 고박효율성 평가방법 상의 기본가속도이고, 수선간장(LPB) 100m, 선속(V) 15노트, 선폭(B)/메타센터 높이(GM) 13 이상의 선박을 표준으로 하는 항행구역 및 계절 등에 제한이 없는 25일 이상 연속항해를 기준으로 제안된 IMO CSS 상의 기본가속도를 준용한다. 선체의 최하부와 최상부를 비교하면 X축 방향은 최하부 대비 최상부에서 253%, Y축 방향은 125~137%이며, 선체의 중앙부와 선수(0.1L)와 선미(0.8L)을 비교하면 Y축 방향은 110%, Z축 방향은 213% 수준으로 증가한다.

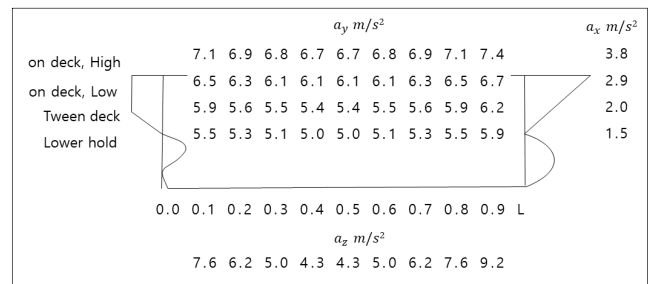


Fig. 1. Hull acceleration criteria of cargo securing.

실제 개별 선박별 고박안전성은 Fig. 1의 기준가속도에 선박제원 별 수정계수를 반영한 선체가속도로 평가하며, 식(2), (3), (4)와 같다. 여기서  $Ca_x$ ,  $Ca_y$ ,  $Ca_z$ 는 수정된 종 방향, 횡 방향, 수직 방향의 가속도이다.

고박안전성 평가를 위한 카페리선박의 선체가속도 분석에 관한 연구

$$Ca_x = a_x fc_a \quad (2)$$

$$Ca_y = a_y fc_a fc_b \quad (3)$$

$$Ca_z = a_z fc_a \quad (4)$$

여기서,  $a_{x,y,z}$  = 기준가속도 (화물고박기준)  
 $fc_a$  = 선속과 수선간장(LBP)에 따른 수정계수  
 $fc_b$  = B/GM에 따른 수정계수

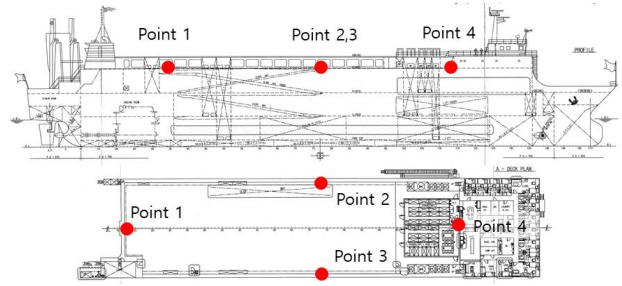


Fig. 2. General arrangement and measurement point.

Table 1은 실선계측과 수치시뮬레이션의 가속도 비교를 위하여 3장의 Table 2의 선박 제원을 반영하여 식(2), (3), (4)에 따라 on deck, high의 보정된 선체가속도를 나타낸다.

Table 1. Corrected Hull acceleration criteria of cargo securing

Long. position (L)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$Ca_x (m/s^2)$						3.75				
$Ca_y (m/s^2)$	9.48	9.10	8.84	8.71	8.59	8.59	8.71	8.84	9.10	9.48
$Ca_z (m/s^2)$	9.07	7.49	6.11	4.93	4.24	4.24	4.93	6.11	7.49	9.07

### 3. 선체가속도 실선 계측

#### 3.1 대상 선박 및 해역

국내 연안의 화물 운송 카페리선박에서 발생할 수 있는 가속도 실선 계측을 위하여 부산-제주를 통항하는 DWT 6,830톤급 성우 YJ호를 대상선박으로 선정하였다. 주요 제원은 Table 2와 같이 LBP 105.5 m, 항해속력 15.5 knots이며, 화물 적재시 GM은 2 m 수준을 유지하였다. 실선 계측은 Fig. 2의 일반 배치도에서 표기된 최상갑판의 화물창에서 LBP 기준으로 선미(0.2L), 좌우현(0.5L) 선수(0.7L)의 4개 지점에 대하여 수행하였다.

Table 2. Principal dimensions of YJ SUNGWOO

Item	Dimensions
Length overall, LOA [m]	114.54
Length between perpendiculars, LBP [m]	105.5
Breadth [m]	20.0
Draught at full load [m]	5.8055
Dead weight [ton]	6,830
Sea speed [knots]	18.5
Navigational speed [knots]	15.5

최근 1년간의 대상선박의 AIS 위치 정보에 따른 항적 분석 결과 Fig. 3과 같이 부산-제주를 통항하고 있으며 항해시 상황에 따라 거문도 남측과 북측을 통하여 제주로 통항하고 있다. 항적 분석 결과를 바탕으로 가장 인접한 3개소(A : 제주, B : 거문도, C : 거제도)의 기상관측부이에서 파고, 파향 등의 데이터를 수집하였다.

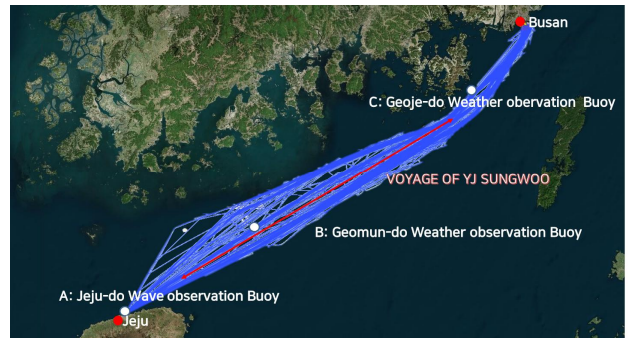


Fig. 3. Voyage routes with weather observation buoy.

Table 3은 2020년 실선계측을 수행한 총 12번의 기간을 나타내며, 5번 기상특보가 발효되었다.

Table 3. Weather alert during the measuring periods

Data	Voyage	Weather Alert	
		Advisory	Warning
Jan 22 ~ 23	Busan → Jeju		
Jan 23 ~ 24	Jeju → Busan		
Feb 21 ~ 22	Busan → Jeju		⊙
Feb 22 ~ 23	Jeju → Busan		
Feb 24 ~ 25	Busan → Jeju		
Feb 25 ~ 26	Jeju → Busan		
Mar 04 ~ 05	Busan → Jeju		⊙
Mar 05 ~ 06	Jeju → Busan		
Mar 09 ~ 10	Busan → Jeju		⊙
Mar 10 ~ 11	Jeju → Busan		⊙
Mar 27 ~ 28	Busan → Jeju		⊙
Mar 28 ~ 29	Jeju → Busan		

### 3.2 가속도 계측 센서

실선 계측시 가속도 측정은 MEMS 기반의 G-MENS DR-01 센서를 활용하였다. MEMS 센서를 통한 선박의 가속도 계측은 Kim et al.(2013)과 Lee and Lee(2019)에서 연구되었다. Table 4는 계측 센서의 상세제원을 나타내며 제원상 최대 가속도  $\pm 9.8 \text{ m/s}^2$ (최소  $0.1 \text{ m/s}^2$ ) 또는  $\pm 19.6 \text{ m/s}^2$ (최소  $0.2 \text{ m/s}^2$ )에 대하여 계측할 수 있고, 해당 지점에서 1 microsec 단위로 측정된 결과 중 설정된 단위기간에서 발생한 (+) 또는 (-)의 최대가속도가 기록된다.

Table 4. Specification of acceleration measuring sensor

TYPE	G-MEN DR01
Acceleration sensor	$\pm 9.8 \text{ m/s}^2$ or $\pm 19.6 \text{ m/s}^2$
Frequency Range	0 Hz ~ 100 Hz
Sampling rate	1 microsec
Recording rate	1, 5, 10, 20, 30 sec
Resolution	$0.1 \text{ m/s}^2$ or $0.2 \text{ m/s}^2$

### 3.3 계측 결과 분석

12회의 실선 계측 기간 중 기상특보가 발효된 5개 기간에 대하여 상세 분석하였으며, 부산-제주간을 18시 30분 출항하여 다음날 07시 입항하는 규칙적인 항해 일정을 가지고 있다. 가속도 분석은 대상 선박의 항해 일정을 반영하여 선박이 출항 후 정상 항해를 시작한 당일 19:00에서 입항을 위한 준비(Stand by) 시작인 명일 06:00까지를 기준으로 시행하였고, 5초 기간동안 (+) 또는 (-)의 최대로 발생한 가속도를 샘플링하였다.

Table 5는 3개 기상부이에서 관측한 기상데이터 중 파랑에 대한 정보를 나타내며, R은 계측기간 동안 관측된 파랑정보의 범위이고 P는 최대 가속도가 계측된 시기의 정보로 가장 인접한 부이의 기상데이터를 나타낸다. 선박이 항해중 조우하는 파랑의 입사각은 AIS의 방위 정보와 파향을 기초로 환산하였다.

Table 5. Wave data during acceleration measuring

data	Wave ( $H_{1/3}$ )						
	Height (m)		Period (sec)		Direction (deg)		
	R	P	R	P	R	P(X)	P(Y,Z)
02.21 ~ 22	0.7 ~ 1.7	1.7	4.8 ~ 6.4	5.8	120 ~ 180	158	158
03.04 ~ 05	1.0 ~ 2.0	2.0	4.0 ~ 6.7	6.7	310 ~ 355	337	337
03.09 ~ 10	1.0 ~ 2.8	2.1	4.6 ~ 8.0	7.8	060 ~ 180	178	156
03.10 ~ 11	1.0 ~ 2.5	2.5	4.0 ~ 7.4	7.2	270 ~ 120	019	087
03.27 ~ 28	1.1 ~ 2.6	1.9	3.8 ~ 8.0	4.6	300 ~ 060	301	338

대상 선박에서 실선 계측 중에 발생한 가속도 최대값은 3월 10일 유의파고 2.5 m 상황에서 발생하였고, X축은 Point 3 선수사파(120°)에서 발생한  $0.69 \text{ m/s}^2$ , Y축은 Point 2 횡파(090°)에서 발생한  $1.47 \text{ m/s}^2$ , Z축은 Point 1 횡파에서 발생한  $1.37 \text{ m/s}^2$ 로 분석되었다.

Fig. 4는 실선 계측 중 최대가속도가 발생한 Y축의 Point 2에서 3월 10일 19:00~11일 06:00의 7,920회의 계측 결과를 나타낸 것으로 출항 직후 가속도가 강하게 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4 중 최대가속도가 계측된 19시 45~50분의 상세한 결과를 나타내며, 최대가속도 크기는 선체가 좌현으로 기울어질 때 발생한 횡방향의  $1.47 \text{ m/s}^2$ 로 대상 선박이 제주 출항 직후 횡파를 조우하는 상황에서 발생하였다.

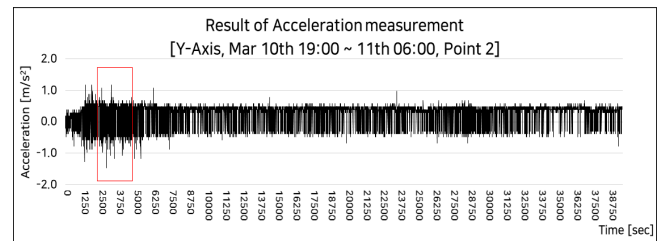


Fig. 4. Result of measuring y-axis raw data.

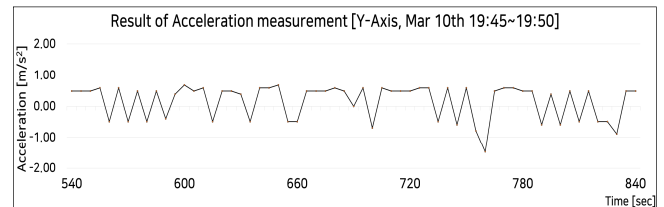


Fig. 5. Analysis of the maximum y-axis acceleration.

Fig. 6은 기상특보 5회 중 각 기간별 발생한 최대 가속도를 나타낸 것으로, X축은  $0.20 \sim 0.69 \text{ m/s}^2$ , Y축은  $0.69 \sim 1.47 \text{ m/s}^2$ , Z축은  $0.49 \sim 1.37 \text{ m/s}^2$ 로 계측되었다.

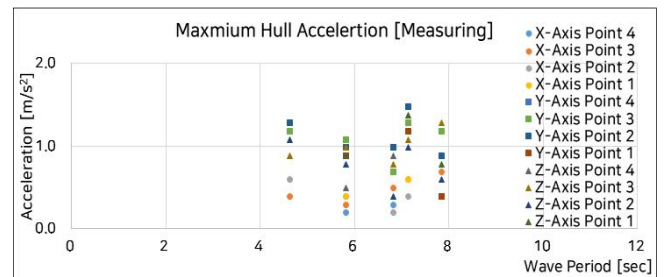


Fig. 6. Result of the measuring hull acceleration.

국내 연안으로 한정되는 제주-부산간 화물을 운송하는 카페리선박의 실선 계측결과인  $Ma_{(x,y,z)}$ 의 최대가속도 크기와 화물고박기준에 따른 선체가속도  $Ca_{(x,y,z)}$ 를 4개 지점에 대하여 비교하면 Point 2에서  $Ma_y(1.47 \text{ m/s}^2)$ 는  $Ca_y(8.59 \text{ m/s}^2)$  대비 18%이고, Point 3의  $Ma_z(1.37 \text{ m/s}^2)$ 는  $Ca_z(6.11 \text{ m/s}^2)$  대비 23% 수준으로 분석되었다.

3장의 실선계측 결과는 특정한 파향, 파주기 등의 기상조건에서 시행한 계측 결과로 다양한 파향, 파주기에 대한 선체가속도 비교 분석을 위하여 Lloyd's Waveload의 수치시뮬레이션을 수행하였다.

#### 4. 선체가속도 수치 시뮬레이션

##### 4.1 주파수 응답 해석

선박의 움직임에 대한 가속도 수치 시뮬레이션의 첫 단계는 주파수 응답 해석 (Frequency response analysis)을 수행하는 것으로, 주파수 응답 해석을 통한 대상 선박의 6자유도 운동에 RAO(response amplitude operators)를 해석하였다.

RAO 해석을 위하여 유한요소해석(FEA)계열 Patran를 통하여 Fig. 7과 같이 대상 선박을 모델링하였다.

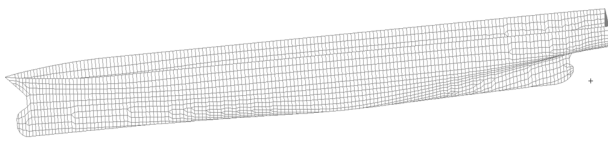


Fig. 7. Numerical simulation modeling.

모델링 시 만재 출항 조건을 기준을 설정하였으며 RAO 해석을 위하여 영국의 선급 기관인 Lloyd's Register에서 개발하여 상용화된 WAVELOAD-FD 1.1을 통하여 시뮬레이션을 수행하였고, WAVELOAD-FD에서 모든 선박 및 구조물에 대한 주파수 응답 모델은 식(5)와 같이 6가지의 RAO에 대하여 파의 진폭 및 위상 정보를 포함하는 복합 진폭 ( $\xi$ : complex mode amplitude)와 선형화된 주파수 영역 모델에서 외적 파도에 의한 응답 계수를 통하여 평가한다.

$$\eta_i(t) = \text{Re} \{ \xi e^{-i\omega_c t} \} \quad (5)$$

여기서,  $\eta_i$  = RAO(Response amplitude operator)

$t$  = 단위 시간

$\xi$  = 단위 파의 복합 진폭(amplitude)

$e^{-i\omega_c t}$  = 주파수 응답 계수

Table 6는 수치시뮬레이션시 적용한 입력조건을 나타낸 것으로 선속은 대상선박의 일반 항해속력인 15.5 knots를 적용하였고, Wave frequency 0.2~2.0 rad/sec에 입사각 000~180°를 30° 간격으로 설정하였다. 선체가속도 해석은 실선계측과 비교를 위하여 유의파고 1.7 m, 2.0 m, 2.5 m로 설정하였다.

Table 6. Input data of numerical simulation

Vessel Speed (knots)	Wave ( $H_{1/3}$ )		
	Height (m)	Frequency (rad/sec)	Direction (deg)
15.5	1.7, 2.0, 2.5	0.20 ~ 2.0	000 ~ 180 (each 30)

Fig. 8, 9는 대상 선박이 15.5 knots 선속항해 중 분석한 6개의 RAO 결과 중 Pitch와 Roll로 횡파(090°)에서 횡 동요가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 선수, 선수사파(120~180°)에서 종동요가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. Wave frequency에 따라서는 0.5~1.0 rad/s(파 주기 6~12초) 사이에서 가장 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

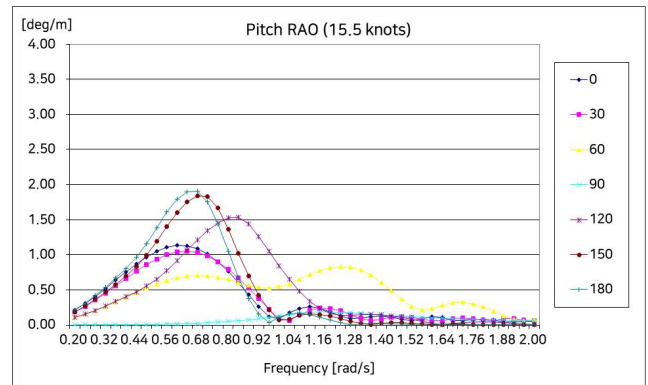


Fig. 8. Response amplitude operators of pitch.

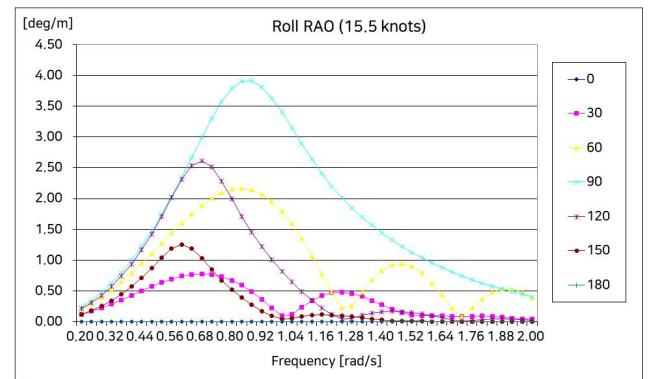


Fig. 9. Response amplitude operators of roll.

### 4.2 선체가속도 해석

WAVELOAD-FD에서는 주파수 응답 해석의 RAO를 기반으로 선박의 지정된 위치에서의 XYZ 축에 대한 해석이 이루어지며 3장 Fig. 2의 실선계측 위치와 동일 지점(선미, 선체 중앙부 좌현우현, 선수)을 설정하였다.

본 연구는 부산-제주의 수심 50~150m의 운항 해역의 조건에 따라 Bretschneider spectrum을 반영하여 가속도를 산출하였다. 식(6)은 해당 파랑스펙트럼( $S(\omega)$ )을 나타낸다.

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \times \exp\left[-\frac{B}{\omega^4}\right] \quad (6)$$

여기서,  $A = 0.1687 \times H_{1/3}^2 \times (1.057 \times \omega_p)^4$

$$B = -0.675 \times (1.057 \times \omega_p)^4$$

$\omega_p$  = Peak wave frequency

$\omega$  = wave frequency

대상선박의 선체가속도 해석결과 4개 지점에서 X축과 Y축은 10% 이내의 유사한 결과가 발생하였으나, Z축의 경우 선체의 중앙대비 선수미에서 높게 산출되었다.

Fig. 10은 Point 1,4(선수미)에서의 Z축 가속도를 나타내고 선수파(180°)에서 최대 1.85 m/s<sup>2</sup>로 해석되었다. Fig. 11은 Point 2,3(좌우현)에서의 Z축 가속도를 나타내고 최대 0.75 m/s<sup>2</sup>로 선수미에 위치한 Point 1,4와 비교하여 40% 수준으로 해석되었다.

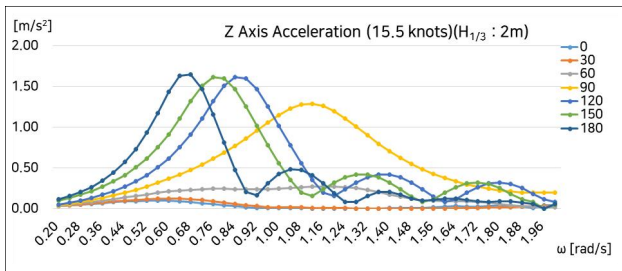


Fig. 10. Analysis of z axis hull acceleration of point 1,4.

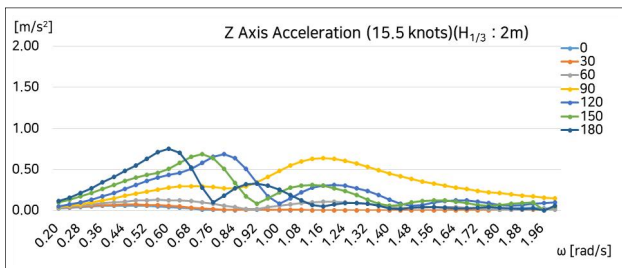


Fig. 11. Analysis of z axis hull acceleration of point 2,3.

### 4.3 가속도 비교 분석

Fig. 12는 XYZ축에 대한 실선계측과 수치해석시물레이션의 비교를 시각화하여 나타낸 것이다. 환경조건은 파 주파수를 파주기로 환산하여 4~10초 주기에 X축은 파랑의 입사각 120°, Y,Z축은 파랑의 입사각 090°, 유의파고 1.7~2.5m에 대하여 비교하였다.

실선계측과 수치시물레이션을 비교한 결과 파주기에 따라 차이가 존재하지만 평균적으로 수치시물레이션이 높게 평가되었으며, 파주기를 제외한 각각의 최대 가속도를 비교하면 수치시물레이션이 높은 것으로 분석되었다.

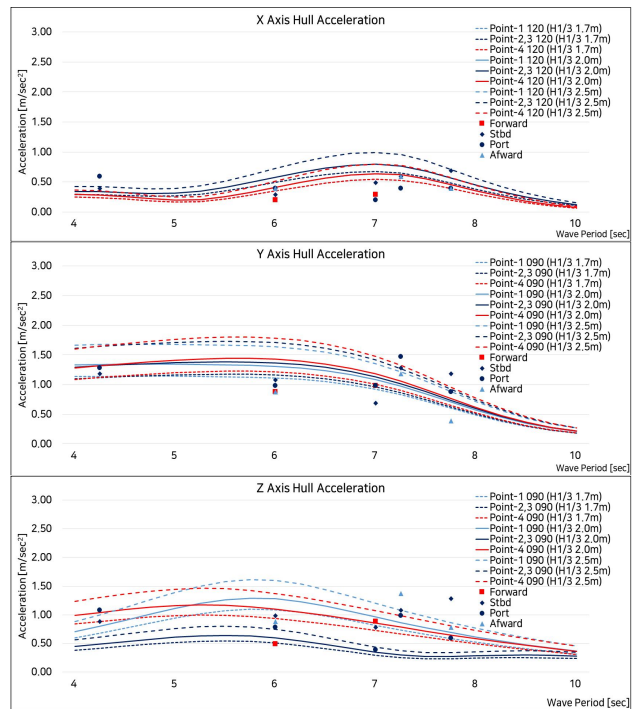


Fig. 12. Comparison of hull acceleration results.

Table 7은 실선계측( $Ma_{x,y,z}$ ), 수치시물레이션( $Sa_{x,y,z}$ ), 화물고박기준( $Ca_{x,y,z}$ )의 최대 가속도를 나타낸다. 최대값을 기준으로 평균적으로 비교한 결과 X축에서는  $Ca_x$ 는  $Sa_x$  대비 378%,  $Ma_x$  대비 543% 수준이고, Y축에서  $Ca_y$ 는  $Sa_y$  대비 496%,  $Ma_y$  대비 584% 수준이며, Z축에서  $Ca_z$ 는  $Sa_z$  대비 265%,  $Ma_z$  대비 445% 수준으로 분석되었다.

Table 7 Maximum value of hull acceleration

	$Ma$ (m/s <sup>2</sup> )	$Sa$ (m/s <sup>2</sup> )	$Ca$ (m/s <sup>2</sup> )
X Axis	0.69	0.99	3.75
Y Axis	1.47	1.81	8.59
Z Axis	1.37	2.30	6.11

연안카페리선박 중 부산-제주간 화물을 운송하는 선박을 대상으로 수행한 실제계측 및 수치시뮬레이션의 선체가속도는 화물고박기준에 따른 선체가속도 대비 최대 38% 수준으로 확인되었다. 이러한 가속도 분석결과는 국내 연안 1일 이내의 항행구역으로 제한되는 운항환경의 특수성을 고려하면 연안 카페리선박의 선체가속도에 대한 기초 검토 자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 5. 결론

선박에서 화물 고박은 운항의 안전성 확보 측면에 매우 중요하나 연안 카페리선박의 고박안전성 평가에 기본이 되는 선체가속도가 화물고박기준 적용시 항행구역 등에 대한 고려 없이 기존 원양항해 선박의 기준이 일괄 적용되었다.

이에 본 연구에서는 국내 연안이라는 제한된 항행구역 및 환경을 고려한 선체가속도 분석을 위하여 부산-제주간을 통항하는 DWT 6,800톤급 연안 카페리 선박을 대상으로, 총 12회에 선박의 4개 지점에 대한 가속도를 계측하였고, 3개의 기상부이 관측 데이터를 수집하였다. 실선 계측 기간 중 최대가속도 크기는  $Ma_x$  0.69 m/s<sup>2</sup>,  $Ma_y$  1.47 m/s<sup>2</sup>,  $Ma_z$  1.37 m/s<sup>2</sup>로 계측되었다.

Lloyd's의 WaveLoad를 통한 주파수 응답 해석 운동 성분(RAO)평가 및 선체가속도 해석을 실시하였고 실선 계측과 동일한 4개 지점의 최대가속도 크기는  $Sa_x$  0.99 m/s<sup>2</sup>,  $Sa_y$  1.81 m/s<sup>2</sup>,  $Sa_z$  2.30 m/s<sup>2</sup>로 해석되었다.

가속도 결과를 비교하면  $Sa_{(x,y,z)}$ 가  $Ma_{(x,y,z)}$  대비 117% 수준이고,  $Ca_{(x,y,z)}$ 은  $Sa_{(x,y,z)}$  대비 265%,  $Ma_{(x,y,z)}$  대비 445%로 현재의 화물고박기준에서 국내연안 카페리선박에 일괄 적용되는 기준 가속도는 실선 계측, 수치시뮬레이션 결과와 비교해 볼 때 과도한 기준값이 적용되고 있다고 판단된다.

향후 다양한 연안 항해구역 및 기상조건과 다양한 카페리선박을 대상으로 선체가속도 측정 및 수치시뮬레이션을 통해 연안 카페리선박에서 발생할 수 있는 최대 선체가속도에 대한 신뢰도 향상과 화물고박기준의 합리적인 가속도 기준 제시를 위한 추가 연구가 필요하다.

## References

[1] Choung, J. M, H. S. Jo, K. H. Lee, and Y. W. Lee(2016a), Study on Structural Safety of Car Securing Equipment for Coastal Carferry: Part I Estimation of Hull Acceleration using Direct Load Approach, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 30, No. 6, pp. 440-450.

[2] Choung, J. M., H. S. Jo, K. H. Lee, and Y. W. Lee(2016b), Study on Structural Safety of Car Securing Equipment of Coastal Carferry: Part II Assessment of Lashing Safety according to Acceleration Prediction Approaches, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 30, No. 6, pp. 451-457.

[3] Hwang, J. W., S. G. Yang, C. Y. Hong, and J. W. Park(2004), Development of Lashing Analysis Simulator for Container Vessel. Proceedings of 2004 Spring Conference of the Korean Society of Ocean Engineers, pp. 90-95.

[4] IMO(2011), International Maritime Organization, Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing, Annex 13, pp. 3-13.

[5] IMO(2018a), International Maritime Organization, Subcommittee on Carriage of Cargoes and Containers, 5th session, Agenda item 7.

[6] IMO(2018b), International Maritime Organization, Subcommittee on Carriage of Cargoes and Containers, 6th session, Agenda item 7.

[7] Kang, B. S., C. H. Jung, and D. B. Kim(2020), A Study on Lashing Standards for Car Ferry Ships Sailing in Smooth Sea Areas, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Vol. 26, No. 1, pp. 1-7.

[8] Kim, D. H., S. M. Lee, and G. Y. Kong(2013), A Study on the Wireless Ship Motion Measurement System Using AHRS, J. Navig. Port Res., Vol. 37, No. 6, pp. 575-580.

[9] Lee, H. J. and W. T. Lee(2019), AHRS Development with MEMS and using 6-Axes Motion, The Society for Aerospace System Engineering 2019 Spring Conference, pp. 1-4.

[10] MOF(2018) Standards for cargo loading and securing, etc. Retrieved from <http://www.mof.go.kr/>, on September 23.

[11] Turnbull, S. R. and D. Dawson(1997), The Securing of Rigid Semi-Trailers on Roll-on/Roll-off Ships. Journal of Mechanical Sciences, Vol. 39, No. 1, pp. 1-14.

Received : 2020. 09. 14.

Revised : 2020. 09. 24. (1st)

: 2020. 10. 05. (2nd)

Accepted : 2020. 10. 28.