

해상 파고 정보를 활용한 카페리 선박의 고박안전성 평가에 관한 연구

유용웅*

* 한국해양대학교 해사산업연구소 박사후연구원

A Study on the Evaluation of Cargo Securing Safety for Car ferry Ships Using Wave Height Information

Yong-Ung Yu*

* Post-doc. researcher, Research institute of maritime industry, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 카페리 선박의 안전 운항을 위한 요소 중 화물 고박안전성 분야는 2015년 이후 화물고박기준이 적용되어 파랑에 의해 발생하는 선체운동과 고박력을 상호 비교하여 평가하고 있다. 항해 중 카페리 선박의 안전 운항을 담보하기 위해서는 운항해역의 기상정보를 바탕으로 선체운동을 해석하여 화물의 이동을 방지할 수 있는 고박력을 결정하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 부산-제주를 항행하는 총톤수 3,700톤급 카페리 선박을 대상으로 기상청이 운용하는 해상파고부이 3기의 최근 5년간 기상정보를 분석하였으며, 실제 해상에서 선체운동을 계측하고 수치시뮬레이션을 수행하여 선체가속도를 비교하였다. 태풍기간을 제외한 2~3월의 유의파고를 입력조건으로 선체운동을 해석한 결과, 유의파고 2.5m 조건에서 횡방향 가속도가 실선계측에서는 1.5 m/s^2 , 수치계산에서는 1.8 m/s^2 로 이론적 수치시뮬레이션의 결과가 크게 나타났다. 파고별 선체운동을 추정하는 가속도를 실선결과 기반으로 보정하는 근사식을 제안하여, 운송화물의 고박안전성 평가에 적용한 결과 풍랑경보 대비 일반 기상조건에서는 40% 이하로 분석되었다. 운항해역의 기상정보를 바탕으로 실선계측에 따른 정량적인 가속도 결과를 활용하는 고박안전성 평가 기법이 널리 보급되어 국내 연안 카페리선박의 안전 운항 지침에 적용되기를 기대한다.

핵심용어 : 연안 카페리, 해상 파고, 선체가속도, 실선계측, 고박안전성

Abstract : Cargo securing safety, which is one factor for the safe operation of car ferry ships, has been applied since 2015 and evaluated by comparing the hull motion and securing load capacity generated by waves. To ensure the safe operation of the 3700 ton class car ferry, it is important to analyze the hull acceleration motion based on the sea wave information of the navigation area to determine the cargo securing load that can prevent the movement of cargo. In this study, the meteorological information of three wave buoys installed in Busan and Jeju area was analyzed for the past 5 years. In addition, the hull acceleration was measured in actual sea conditions and compared to that of numerical simulations. Under the condition of a significant wave height of 2.5 m from Feb to Mar, except typhoon seasons, the lateral acceleration was observed to be 1.5 m/s^2 in real ship measuring and 1.8 m/s^2 in numerical calculation. It was analyzed to be less than 40% under general weather conditions compared to the high wave warning using an approximate formula for estimating the hull motion by wave height. The cargo securing safety proposed in this study will be widely used based on the actual measuring acceleration with the sea wave height.

Key Words : Coastal car ferry, Wave height, Hull acceleration, Real ship measuring, Cargo securing safety

1. 서 론

카페리 선박의 운항 안전을 위해서는 항해 구간의 해역특성, 선체에 작용하는 외력에 대한 구조적 안전성, 적재된 화물의 고박안전성, 여객의 항해 중 쾌적성 등의 고려가 필요하다. 세월호 사고를 통하여 화물적재고박지침서의 배치가

의무화되어 선체의 구조적 안전성은 LC>Loading Computer)를 통해 선체구조강도 및 복원성에 관한 정보들을 사전에 식별하여 안전 운항을 위하여 위험요소에 대비하고 있다. 선체에 미치는 외력과 관련한 주요 원인인 기상정보는 국내 연안에서는 기상청, 국립해양조사원, IMOCWX, Windy.com 등 다양한 형태로 사전에 파악할 수 있다.

다만, 카페리 선박에 적재되는 화물의 고박에 대해서는 2015년 이후 아직까지 IMO CSS(Code of Safe Practice for Cargo

† yyung@kmou.ac.kr, 051-410-5098

Stowage and Securing)를 준용한 화물적재고박 등에 관한 기준(이하 화물고박기준)이 일괄적용되어 관리되고 있으나(IMO, 2011), 카페리 선박의 해역특성을 고려한 항해 중 해상 사고에 따른 선체운동 해석이 반영되어야 화물에 대한 효율적인 안전성도 확보될 수 있다(MOF, 2018).

선체운동은 일반적으로 선박의 복원성, 변침등의 조종, 선체에 작용하는 외력의 영향 등에 따라 변화하게 된다. 복원성 및 선박 조종은 앞서 LC를 통한 구조적 안전성을 운항 전 충분한 대비를 하고 있다. 그러나 선체에 작용하는 외력의 영향은 항해 중 파랑에 따라 변화하게 된다. 따라서 이 연구에서는 연안 카페리 선박의 선체운동을 해상 사고 정보를 연계하여 해석하고, 파고별 선체운동을 추정하는 가속도를 기반으로 고박안전성 평가에 관한 연구를 수행하였다.

국내 연안 카페리선박의 안전 운항과 관련한 연구들을 살펴보면 Jeon and Lee(2019)의 연구는 국내 연안 카페리 선박에서 운송중인 비표준 철재상자화물을 대상으로 제주도 항로의 물류적인 효율성 확보를 위한 화물고박기준 마련 필요성을 제시하였다. 또한, 인천-제주를 통항하는 여객을 운송하는 카페리 여객선의 차량에 대한 고박안전성 평가를 위하여 수치해석을 통해 가속도 극한값을 분석한 Choung et al.(2016a)의 연구, 적재된 차량의 안전성을 평가하는 KR 등 선급 기준과 국내 기준을 비교한 Choung et al.(2016b)의 연구 그리고 평수구역 여객선에 대한 차량의 화물고박의 안전성을 검토한 Kang et al.(2020)의 연구 등이 이루어졌다. 그러나 기존 연구들은 물류적인 측면에서 고박 효율성 확보에 집중하였거나, 해사안전법에 따라 풍랑주의보 이하의 기상으로 운항이 제한되는 여객선에서 여객 및 차량을 대상으로 안전성을 검토하였고, 고박기준 마련의 필요성에 대한 제안이며, 여객선을 제외한 화물운송에 종사하는 카페리 선박의 특성을 반영하지 못한 한계점이 존재한다(MOF, 2019).

또한, IMO Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers(CCC)에서는 기존 CSS에서 제안하고 있는 고박안전성 평가 방법을 해역특성을 반영하여 각국의 개별적인 기준적용을 검토하고 있으며, 해상 사고를 포함한 기상환경 및 기타 요인을 반영하는 개정을 진행 중에 있다(IMO, 2018; IMO, 2019).

이에 이 연구에서는 풍랑정보의 해상 사고 조건을 포함하여 여객선을 제외한 화물운송에 종사하는 국내 연안 통항 카페리 선박을 대상으로 해상 사고 정보를 활용한 선체운동을 추정하는 가속도 근사식을 제안하였고, 운송 화물에 대한 고박안전성 평가에 적용하였다.

이 연구에서 제시한 실선의 계측결과에 따른 정량적인 가속도를 통하여 연안 카페리선박에서 파고별 선체운동을 추정하고, 운송화물에 대한 고박안전성을 평가할 때 안전 지침에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 국내 화물 고박 현황

2.1 고박안전성 평가 기준

화물고박기준에 따른 고박안전성은 식(1)~(3)과 같이 선체 운동에 따른 작용하중과 고박력을 비교하여 평가한다. 식(1)은 Y축 방향의 작용하중에 따른 미끌림, 식(2)는 Y축 방향의 작용하중에 따른 전도, 식(3)은 X축 방향의 작용하중에 따른 미끌림을 각각 평가한다. 식(1)과 (3)에서 고박력에 포함되는 화물의 지지력을 마찰계수로 산정하며, 식(2)에서는 작용점과의 수평거리를 기준으로 산출한다(Yu and Lee, 2020).

$$F_y \leq u \times m \times g + CS_1 \times f_1 + \dots + CS_n \times f_n \quad (1)$$

$$F_y \times A \leq B \times m \times g + CS_1 \times C_1 + \dots + CS_n \times C_n \quad (2)$$

$$F_x \leq u(m \times g - F_z) + CS_1 \times f_1 + \dots + CS_n \times f_n \quad (3)$$

여기서 $F_{x,y,z}$: 선체운동에 따른 작용하중(kN)

u : 마찰계수, m : 화물의 질량(ton)

g : 중력가속도(9.81m/s²)

A : 전도력과 횡방향 작용점의 수직거리(m)

B : 전도력과 횡방향 작용점의 수평거리(m)

C_n : 전도력과 고박장치 작용점의 수직거리(m)

CS_n : 고박장치 계산강도(kN)

$f_{x,y}$: 마찰계수와 고박각도의 함수

이때 작용하중은 식(4)와 같이 항해 중 선체운동으로 인해 발생하는 X,Y,Z 축의 가속도와 대상 화물의 질량을 통하여 산출한다.

$$F_{x,y,z} = m \times a_{x,y,z} \quad (4)$$

여기서 $F_{x,y,z}$: 종, 횡, 수직방향 작용하중(kN)

$a_{x,y,z}$: 종, 횡, 수직 선체가속도(m/s²)

m : 화물의 질량(ton)

따라서 항해 중 해상 사고 영향으로 변화하는 선체운동에 따라 발생하는 가속도에 의한 작용하중 발생하고, 카페리선박의 안전 운항을 위하여 작용하중 이상의 고박력 확보가 필요하다.

2.2 카페리 선박의 고박 상태

카페리 선박은 화물선과 여객선으로 나뉘며, 여객선에서

는 주로 여객과 차량을 운송한다. 화물선에서 운송하는 화물은 크게 차량, 비표준화 상자류, 다양한 규격의 일반화물 등으로 나뉜다. 연안 카페리선박의 운송 화물 중 대표화물은 비표준화 상자류로 대부분 10ft Container 상자를 통하여 운송중에 있다.

Fig. 1은 부산-제주 통항 카페리 선박의 실선 현장조사 결과로 10ft Container을 포함한 다양한 화물을 Lashing chain 등의 고박설비를 통하여 운송하고 있다(Yu, 2021).



Fig. 1. Cargo Securing of Car ferry ship.

Fig. 2는 국내 연안카페리 선박의 화물 고박예시이다. 국내 연안카페리에서는 차량을 포함한 화물간에 600 mm의 이격거리를 가지도록 규정하고 있음에 따라 모든 화물은 600 mm 이격거리를 확보하고 배치되고 있으며, 이, 폭, 높이가 2,400 mm의 정육면체 상자인 10ft Container의 화물은 상부 기준으로 화물의 앞뒤로 400 mm, 좌우로 350 mm 지점에 고박을 실시하고 있다.



Fig. 2. 10ft container stowage deployment.

Fig. 3은 10ft Container의 화물 고박에 대한 횡단면으로 2가지 고박 방법에 대한 길이 및 각도이다. 총 4개의 고박장치 기본으로 설치하고 있으며, 상부 모서리 1개와 하부 100 mm 지점 1개씩 연결하는 Type 1과 상부 모서리에서 하부로 1개, 교차하여 1개씩 연결하는 Type 2를 혼용하여 화물을 고박하고 있다. 다만, 고박 장치 중 상부 모서리에서 선체 방향으로 바로 연결되는 경우 고박각도가 78°이며, 화물고박기준상 60° 초과 시 고박력 산정에서 제외된다.

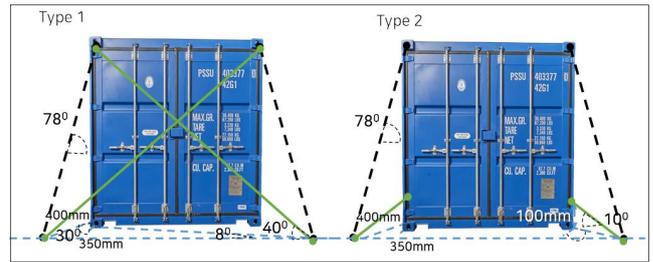


Fig. 3. Specification for cargo securing.

카페리 선박에 사용하는 고박장치는 차이가 있으나 부산-제주를 통항하는 선박의 경우 일반적으로 Lashing chain 또는 Lashing band를 사용하고 있다. Table 1은 각 고박장치별 상세 제원이다. 단 MSL(Maximum securing load)의 경우 고박장치의 BL(Breaking load) 대비 가능한 실제 최대고박하중이며, 1 kN은 100 kgf로 환산하여 적용된다.

Table 1. Portable cargo securing device

Securing Devices	BL	MSL (% of B.L)
Lashing chain	20 ton	100 kN (50 %)
Lashing band (Large)	10 ton	33 kN (33 %)
Lashing band (Small)	2 ton	6.6 kN (33 %)

3. 해상 사고별 선체 운동해석

국내 연안 카페리 선박이 운항 중 해상 사고에 따른 선체 운동을 해석하기 위하여 Yu and Lee(2020)의 연구에서 제안한 카페리 선박의 실선 계측과 이론해석 결과를 해상 사고와 비교 분석하였다.

대상선박은 카페리 선박 중 화물선의 주요 항로 구역인 부산-제주를 통항하는 전장 115 m, 폭 20 m, 총톤수 3,700톤급의 15.5 kts의 평균 운항속력으로 항해하는 선박을 대상으로 평가되었으며, 부산-제주를 통항하는 카페리 선박 중 가장 소형의 선박으로 동일한 외력 환경에서 가장 큰 선체가속도를 평가하기 위하여 선정되었다.

Fig. 4는 실선 계측과 이론해석 시행한 대상선박의 최상 갑판의 화물창의 가장 끝단에 위치한 4개 지점이며, LBP 기준으로 Aftward(0.2 L), Port and Starboard(0.5 L), Forward(0.7 L)이다. 실선계측은 MEMS 기반의 G-MENS DR-01 센서를 활용 기상특보의 5회를 포함한 총 12회 항차에서 3축 가속도에 대한 선체운동을 계측하였고, 수치시뮬레이션은 Lloyd's Register의 WAVELOAD-FD 1.1을 통하여 가속도를 해석하였다.



Fig. 4. Real ship measurement and analysis position.

Fig. 5~7은 대상선박에서 분석한 좌우현(0.5L)의 실선 계측과 이론해석 선체가속도로 시각화하여 비교한 것이다. 환경조건은 부산-제주해역의 2~3월의 파랑정보를 고려하여 유의파고 1.7, 2.0 m, 2.5 m에서 비교하였다. 최대 가속도가 발생한 Y축의 경우 유의파고 2.5 m를 기준으로 실선계측에서는 1.5 m/s^2 , 수치계산에서는 1.8 m/s^2 로 이론적 수치시뮬레이션이 크게 나타났다

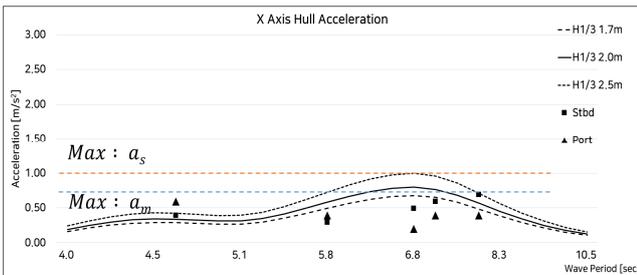


Fig. 5. Comparison of X axis hull acceleration results.

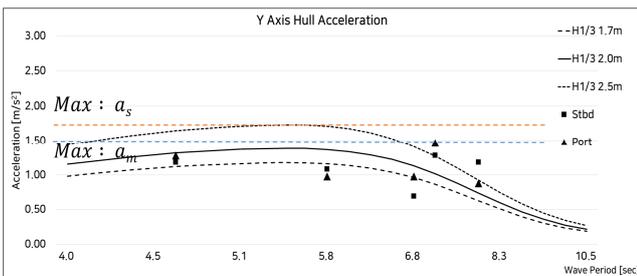


Fig. 6. Comparison of Y axis hull acceleration results.

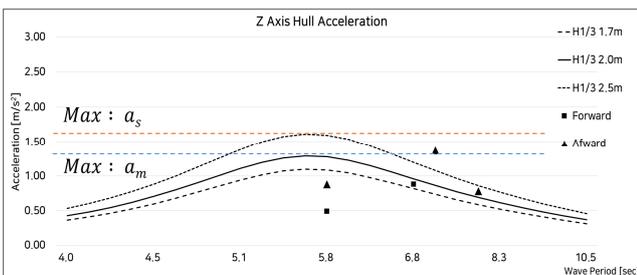


Fig. 7. Comparison of Z axis hull acceleration results.

최대 선체가속도가 발생한 유의파고 2.5 m에서의 실선계측($a_m(x,y,z)$), 수치시뮬레이션($a_s(x,y,z)$)의 최대 가속도와 현행 화물고박기준($a_c(x,y,z)$)에서 제시하고 있는 가속도를 비교한 결과 $a_c(x,y,z) > a_s(x,y,z) > a_m(x,y,z)$ 순으로 분석되었으며, Y축 기준 a_c 8.6 m/s^2 , a_s 1.8 m/s^2 , a_m 1.5 m/s^2 으로 a_c 대비 477% 이하로 평가되었다.

Fig. 8은 부산-제주 해역의 파고 정보를 분석한 거제도, 거문도, 제주도 관측 부이의 위치이며, 대상 선박은 거제도 동측, 거문도 남동측, 제주도 파고부이의 동측으로 항해하는 것으로 조사되었다.

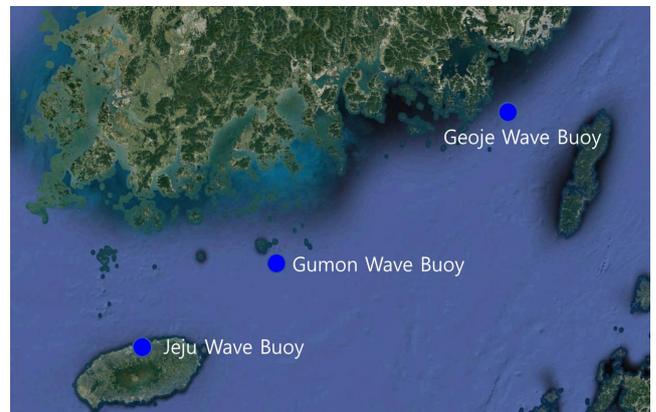


Fig. 8. Position of wave buoy.

Fig. 9는 부산-제주 해역의 거제도, 거문도, 제주도 기상관측 부이 중 중간 해역에 위치하여 상대적으로 가장 높은 파고가 계측된 거문도 부이의 5년간의 파고 정보를 기상특보 구간별로 나누어 분석한 결과이다. 기상특보에 해당되는 유의파고 3 m 이상을 조우할 확률은 연평균 4% 수준이며, 유의파고 5 m 이상의 풍랑경보의 경우 연평균 1% 수준으로 태풍기간을 제외하면 2~3월에 기상특보 발효구간에 해당되는 파고가 발생하였다. 또한 항해 기간이 1일 이내로 제한되는 운항 환경을 고려할 때 항해 중 기상환경에 급변할 가능성은 매우 떨어지는 것으로 분석되었다(KMA, 2020).

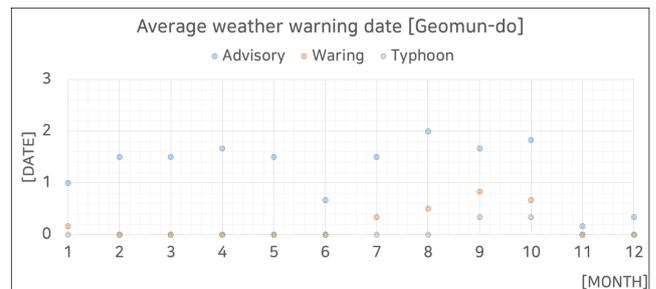


Fig. 9. Average weather warning date of Geomun-do buoy.

Table 2는 10회의 계측기간 중 기상특보가 발효된 5회의 유의파고 범위와 최대 선체가속도가 계측된 유의파고 정보이며, Fig. 10은 10회 기간의 선미(0.2 L), 좌우현(0.5 L) 선수(0.7 L)에서 발생한 Y축의 최대 가속도 결과이다. 위치별 선체운동은 선박에 작용하는 외력의 크기 즉, 파고의 크기에 따라 증가하고, 유의파고 2.5m에서 최대로 계측되었다.

Table 2. Wave height during acceleration measuring

data	Wave ($H_{1/3}$) height (m)	
	Range	Peak
02.21 ~ 22	0.7 ~ 1.7	1.7
03.04 ~ 05	1.0 ~ 2.0	2.0
03.09 ~ 10	1.0 ~ 2.1	2.1
03.10 ~ 11	1.0 ~ 2.5	2.5
03.27 ~ 28	1.1 ~ 1.9	1.9

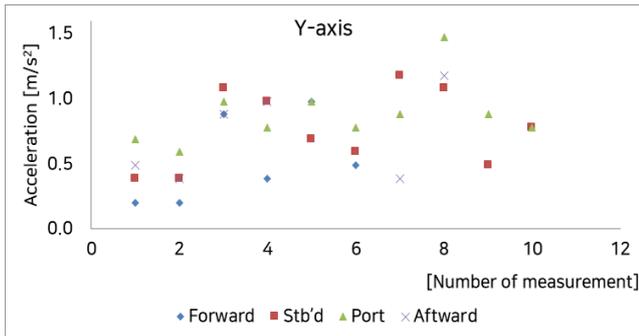


Fig. 10. Y-axis acceleration during real ship measurement.

선체운동에 대한 수치해석시물레이션의 이론적 배경은 선박의 파랑에 대한 주파수 응답 해석의 RAO(Response amplitude operators)를 기반으로 해석되며, 유의파고의 진폭 1 m 단위로 선형으로 증가한다.

실선 계측과 이론해석에서 카페리선박의 안전운항 확보를 위한 선체운동의 추적은 해상 파고에 따라 변화한다는 것이 확인되었다. 파고별 선체운동 추정을 실선계측결과를 기반으로 보정하는 근사식(5)로 제안하였다. 근사식에 따라 유의파고의 높이를 기준으로 선체가속도($a'_{x,y,z}$)를 산정하고 선체운동을 추정할 수 있다.

근사식은 다양한 카페리 선박에 대한 적용을 위하여 실선 계측 가속도를 바탕으로 유의파고와 수치해석에 따른 보정 계수(α)로 가속도를 산출한다.

$$F = m \times a'_{x,y,z} = m \times a_{m(x,y,z)} \times \alpha \quad (5)$$

여기서 $a_{m(x,y,z)}$: 대상선박 실선계측 가속도

α : 보정계수($\alpha_1 \times \alpha_2$)

α_1 : 수치시물레이션에 따른 보정계수

($a_{s(x,y,z)} \geq a_{m(x,y,z)}$ 일 경우)

α_2 : 유의파고에 따른 보정계수

보정계수(α)는 수치시물레이션에 따른 α_1 과 유의파고에 따른 α_2 로 구분되며, α_1 의 경우 대상 선박과 유사 선종 또는 선형에 따른 수치시물레이션의 해석결과가 실선계측보다 클 경우에만 적용하도록 제안하였다. 이 연구에서 α_1 은 대상선박의 a_m 이 a_s 대비 X축 1.5배, Y축 1.3배의 평가 결과에 따라, X축 결과를 반영하여 1.5로 적용하였으며, α_2 는 유의파고를 적용하였다.

Fig. 11은 선체가속도 근사식(5)에 따른 유의파고별 선체가속도 추정 결과로 최상부 화물창의 선체 중앙부(0.5 L)를 기준으로 산출하였다. 유의파고 3 m 이하를 평시(Peacetime)로, 5 m 이하를 주의보(Advisory) 구간으로, 7 m 이하를 경보(Warning)로 세분화하였고, 7 m 이상의 경우 태풍(Typhoon) 수준의 선체가속도 발생 영역으로 적용하였다.

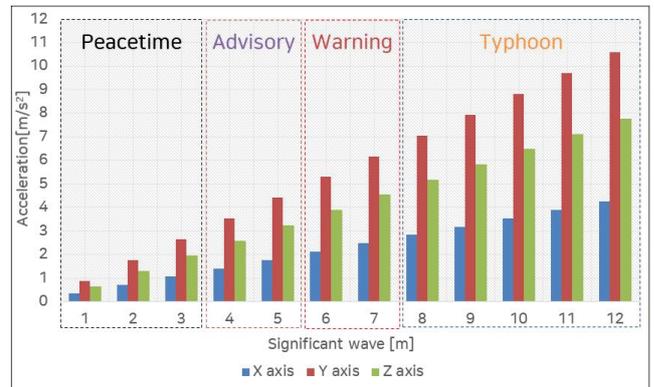


Fig. 11. Hull acceleration through Approximate formula.

4. 해상 파고별 고박안전성 평가

4.1 해상 파고별 화물 작용 하중 평가

부산-제주 연안 카페리 선박의 유의파고 1~12m까지 X,Y,Z 축에 대한 선체가속도 추정 결과에 따라 유의파고별 화물에 작용하는 하중을 최상 갑판의 선체 중앙부(0.5 L)에 중량 6톤 화물을 예시로 2장의 식(1)~(3)을 통해 평가하였다.

Fig. 12는 작용 하중을 선수미 방향 미끄러짐(Longitudinal), 횡방향 미끄러짐(Transverse)과 전도력(Tipping)에 대하여 유의 파고별로 산출한 결과로, 화물에 작용하는 주요 하중 요소

는 횡방향에 따른 F_y 가 가장 큰 요인으로 평가된다. 경보시 최대 하중 45kN 대비 평시에서는 최대 18kN으로 40% 수준의 하중이 발생하며, 평균적으로 선수미 방향의 미끄러짐 하중이 횡방향 미끄러짐 대비 40%, 전도력 대비 33% 수준이 발생하는 것으로 분석되었다.

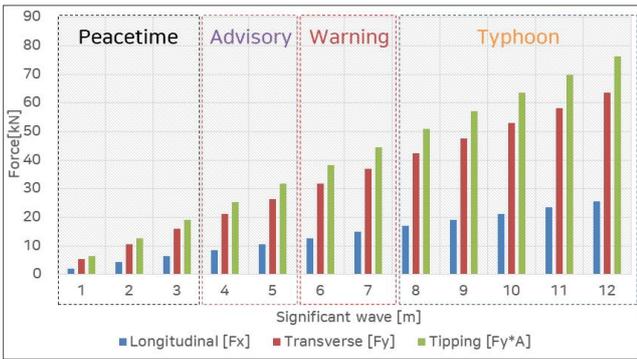


Fig. 12. Evaluation of acting force through Corrected acceleration.

Fig. 13은 해상 파고정보와 화물고박기준에 따른 작용하중을 비교결과로, 현행 화물고박 기준은 풍랑경보 이상의 구간을 포함하여 화물에 작용하는 외력이 적용되고 있다. 경보(Warning)의 $a'_{x,y,z}$ 에 따른 최대 작용하중 45kN 대비 화물고박기준에서는 63kN 140% 이상의 작용하중을 적용하고 있다.

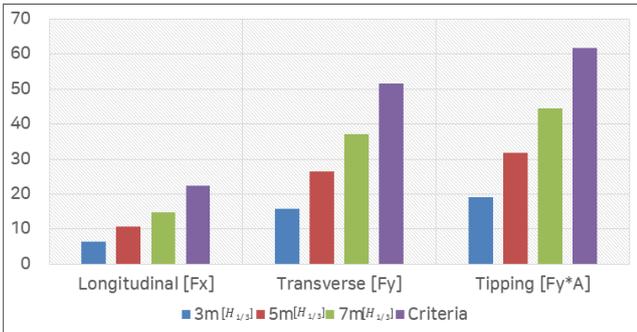


Fig. 13. Evaluation of acting force for wave height section.

4.2 연안 운송 화물 고박 효율성 평가

주요 운송 화물인 10ft Container를 대상으로 2.2의 카페리 고박 현황을 고려하여 2장에서 조사한 Fig. 3의 Type 1, Type 2 고박 방법에 대한 Table 1의 20톤의 Lashing chain, 10톤 Lashing band를 통한 각각의 고박을 평가하였고, 화물을 고무 팔레트 위에 적재하여 마찰력을 확보하는 Type 3를 추가 평가하였다. 다만 고박 장치로 인한 고박시 고박각도가 60°를 초과하는 경우는 고박력에 포함하지 않았다.

Fig. 14는 3가지 방법에 대한 고박력 산출 결과로 횡방향의 전도력에 대하여 가장 강하게 평가되었다. 미끄러짐에 대한 고박력의 경우 10ft Container의 재질인 철제는 마찰계수가 0으로 적용되며, 전도력의 경우 작용점과의 수평거리를 통한 지지력이 반영되어 상대적으로 높은 고박력이 평가되었다. 화물의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 횡방향 미끄러짐의 경우 하부에 고박을 하는 Type 1에서 상부에서 고박하는 Type 2에 비하여 모두 높게 산출되었으며, 체인의 경우 Type 2 대비 Type 1에서 150% 높게 산출되었다.

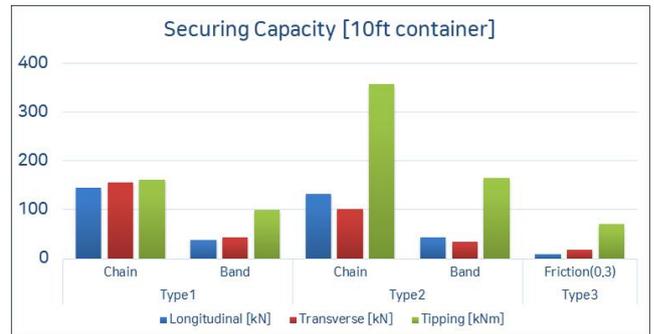


Fig. 14. Securing Capacity analysis result.

Fig. 15는 화물의 고박안전성에 가장 큰 영향을 미치는 횡방향 미끄러짐(Transverse)에 대하여 3가지 방식별 고박력과 해상 파고에 따른 작용하중과 비교한 결과이다. Lashing Chain은 화물고박기준과 해상 파고 별 작용하중을 모두 만족하였고, Lashing Band의 경우 고박 Type 1에서는 풍랑경보까지, Type 2에서는 풍랑주의보까지 만족하였다. 추가적으로 검토한 고무 팔레트 적재를 통한 마찰계수를 통한 고박의 경우 파고 3m 이하의 평시에서만 안전성이 확보되었다.

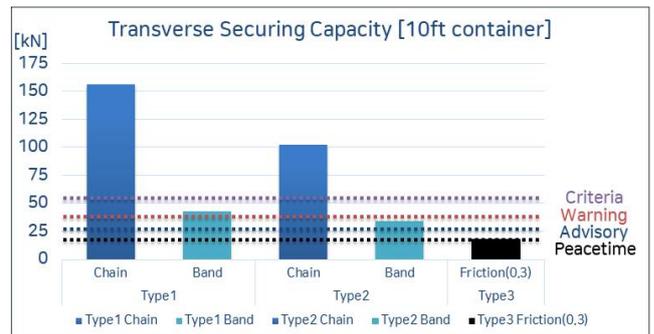


Fig. 15. Transverse securing Capacity analysis result.

연안 카페리 선박의 해상 파고 정보를 활용하여 항해 중 예상되는 파고에 따른 선체운동 해석결과 해상 파고 정보를 활용하여 실 해역에서 항해 중 선체운동을 반영한 고박안전

성 평가가 이루어진다면 보다 효율적이고 객관적인 고박에 대한 기준 마련이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

카페리 선박의 운항 안전을 위한 요소 중 화물의 고박에 대해서는 2015년 이후 화물고박기준이 일괄적용되어 관리되고 있다. 화물의 고박안전성은 선체운동으로 인해 발생하는 작용하중과 고박력의 비교를 통해 평가되며, 선박에서 충분한 복원성이 확보되었을 경우 선체운동은 해상 사고의 영향에 따라 변화하게 된다. 따라서 화물에 미치는 영향에 대하여 항해 중 해상 사고에 따른 선체운동 해석이 반영되어야 효율적인 안전성이 확보될 수 있다.

이 연구에서는 해상 사고에 따른 선체운동 해석을 반영하고자 대상 선박이 통항하는 부산-제주의 해상 사고를 사고 부이의 정보를 활용하여 분석한 결과 주의보를 조우할 확률은 연평균 4% 수준이며, 경보의 경우 연평균 1% 수준으로 분석되었다. 태풍기간을 제외한 2~3월에 상대적으로 높은 사고가 조사되었으며, 해당 기간의 유의사고 정보를 활용하여 선체운동을 해석하였다.

부산 제주를 통항하는 선박의 실선계측과, 수치해석 결과를 해상 사고 정보 바탕으로 분석하였으며, 2~3월의 대상선박이 운항 중 조우한 최대 유의사고 2.5m에서 실선계측 최대 가속도가 1.5 m/s^2 , 수치해석 최대 가속도 결과가 1.8 m/s^2 로 평가되었다. 분석결과에 따라 사고별 선체운동을 추정하는 가속도를 실선결과 기반으로 보정하는 근사식을 제안하였고, 근사식은 대상 선박에서 실제 계측된 $a_{m(x,y,z)}$ 를 기반으로 보정하는 계수(α)를 제시하였으며, 경보구간의 선체가속도는 최대 X축 2.5 m/s^2 , Y축 6.2 m/s^2 , Z축 4.5 m/s^2 에 근사하여 발생 할 것으로 평가되었다.

근사식을 통한 선체가속도에 의하여 연안 카페리선박에서 운송하는 주요 화물을 기준으로 산출한 작용 하중은 경보 구간에서 최대 Longitudinal 15 kN, Transverse 51 kN, Tipping 61 kN으로 산출되었으며, 주요 하중으로는 Y축가속도에 의하여 발생하는 Transverse, Tipping으로 평가되었다.

해상 사고 정보를 활용하여 선체운동을 가속도 근사식에 따라 추정하여 운송화물의 고박현황에 따른 안전성을 평가한 결과 주요 고박 장치인 Lashing Chain은 모든 환경에서 고박안전성을 확보하였고, 보조 장치인 Lashing Band를 활용할 경우 유의사고 5 m 이하의 주의보의 환경까지 안전성을 확보하는 것으로 평가되었다.

향후 다양한 해상 사고 및 카페리 선박을 대상으로 선체가속도 측정 및 수치시뮬레이션을 통해 선체가속도 근사식

에 대한 신뢰도 향상과 다양한 화물 및 고박장치와 고박법에 따른 고박안전성 평가와 IMO CSS 개정시 국내 기준을 반영하기 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] IMO(2011), International Maritime Organization, Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing, Annex 13, pp. 3-13.
- [4] IMO(2018), International Maritime Organization, Subcommittee on Carriage of Cargoes and Containers, 5th session, Agenda item 7.
- [5] IMO(2019), International Maritime Organization, Subcommittee on Carriage of Cargoes and Containers, 6th session, Agenda item 7.
- [6] Jeon Y. W. and C. H. Lee(2019), A Study on the Improvement of the Criteria for Cargo Stowage and Securing for the Domestic Vessel- focused on non-standard steel box for Jeju sailing route. Maritime Law Review, Vol. 31, No. 1, pp. 279-315.
- [7] KMA(2020), Wave Buoy Retrieved from <https://data.kma.go.kr/data/sea/>, on June.
- [8] 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.
- [9] MOF(2018), Standards for cargo loading and securing, etc. Retrieved from <http://www.mof.go.kr/>, on June.
- [10] MOF(2019), Ship Safety Act Retrieved from <http://www.mof.go.kr/>, on June.
- [11] Yu, Y. U. and Y. S. Lee(2020), A Study on the Hull Acceleration Analysis of Car Ferry Ship for Securing Safety Evaluation, Journal of the Korean Society of Marine

Environment & Safety, Vol. 26, No. 7, pp. 587-593.

- [12] Yu, Y. U.(2021), A Study on the Cargo Securing Safety of Navigating Coastal Ferry Considering the Hull Acceleration, Korea Maritime and Ocean University, Graduate school, PhD Dissertation.

Received : 2021. 06. 10.

Revised : 2021. 06. 24.

Accepted : 2021. 06. 28.