

평수구역을 운항하는 여객선의 차량고박 기준에 관한 연구

강병선* · 정창현*** · 김득봉**

* 목포해양대학교 대학원 석사과정, ** 목포해양대학교 교수

A Study on Lashing Standards for Car Ferry Ships Sailing in Smooth Sea Areas

Byung-Sun Kang* · Chang-Hyun Jung*** · Deug-Bong Kim**

* Master's Course, Graduate School of Mokpo National Maritime University

** Professor, Mokpo National Maritime University

요약 : 차량 및 화물 고박불량과 횡경사에 따른 화물의 이동으로 인한 여객선 침몰사고 이후 화물 고박의 중요성이 제기되었고 카페리선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준이 개정되어 풍속 7 m/sec, 파고 1.5미터를 초과하는 해상상태에서는 평수구역을 운항하는 카페리어객선에 적재된 모든 차량은 고박을 실시해야 한다. 본 연구에서는 평수구역을 운항하는 여객선의 해상상태에 따른 선체운동을 예측하고 NSM(New Strip Method) 계산 결과와 비교 하였으며, 대상선박은 풍속 6~8 m/s, 파고 0.5~1.0미터의 해상상태에서 최대 1.41° 및 1.37°의 종동요와 횡동요를 하였고, 풍속 10~12 m/s, 파고 1.0~1.5미터의 해상상태에는 최대 1.49° 및 2.43°의 종동요와 횡동요를 하였다. 선체운동 결과를 반영하여 외력과 지지력을 비교해 본 결과 고박하지 않은 상태의 지지력이 더 강한 것으로 평가되어 해당 기상조건에서는 고박을 하지 않아도 차량이 미끄러지거나 전도되지 않는 것으로 평가되었다. 향후 다양한 선박의 선체운동 측정, 외력 및 지지력 비교를 통해 보다 합리적인 차량고박 기준 개정이 요구된다.

핵심용어 : 고박불량, 화물의 이동, 선체운동, 외력, 지지력

Abstract : In recent years, cargo lashing has received much importance, to help prevent the sinking of passenger ships due to the failure of vehicle and cargo lashing during the transshipment of cargo. Consequently, the standards for lashing equipment and the structure of car ferries have been revised. According to the current standards, all vehicles loaded on a car ferry sailing in smooth sea areas must be secured if the wind speed and wave height exceed 7 m/s and 1.5 m, respectively. In this study, we measured the roll and pitch of a passenger ship sailing in smooth sea areas, and compared the measurements with the results of the New Strip Method (NSM). The vessel had a maximum pitch of 1.41° and a maximum roll of 1.37° at a wind speed of 6 - 8 m/s and a wave height of 0.5 - 1.0 m, and a maximum pitch of 1.49° and a maximum roll of 2.43° at a wind speed of 10 - 12 m/s and a wave height of 1.0 - 1.5 m. A comparison of the external forces due to the motion of the hull and the bearing capacity without lashing indicated that the bearing capacity was stronger. This suggests that vehicles without lashing will not slip or fall due to weather conditions. In future, the existing vehicle lashing standards can be revised after measuring the hull motions of various ships, and comparing the external force and bearing capacity, to establish more reasonable requirements.

Key Words : Cargo lashing failure, Transshipment of cargo, Hull motions, External force, Bearing capacity

1. 서론

우리나라 평수구역을 운항하는 카페리어객선에 적재된 차량은 「카페리선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준」에

따라 해상상태가 평온하고 항해 중 썰기, 요철갑판에 고정된 사각 바(Bar) 등으로 차량의 미끄러짐을 방지할 수 있는 적절한 조치를 한 경우에는 고박하지 않을 수 있었다.

하지만, 2014년 4월 16일 오전 10경 전남 진도군 병풍도 북방 3.5마일 해상에서 인천발 제주행 여객선이 침몰하는 사고가 일어났다. 고박 배치도에 따른 차량 및 화물 고박불량, 횡경사에 따른 화물의 이동, 무게중심의 변화, 복원력 상실

* First Author : kbs109011@komsa.or.kr, 061-555-5328

† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

이 사고원인으로 판명되면서 화물 고박의 중요성이 제기되었다.

2014년 9월 11일 「카페리선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준(해양수산부고시 제2015-100호)」이 개정되면서 해상상태가 풍속 7m/sec, 파고 1.5미터를 초과할 경우에는 평수구역을 운항하는 카페리 여객선에 선적된 모든 차량은 고박을 실시해야 한다(MOLEG, 2019).

현재 관련내용은 「화물적재고박 등에 관한 기준(해양수산부고시 제2018-5호)」으로 변경되었으며, 동 기준 [별표1]에 고박 타당성을 검증하기 위한 체계적인 과정을 설명하고 있다(MOLEG, 2019).

Choung et al.(2016)은 만재배수량 1,633톤의 카페리선에 자동차와 트럭이 심각한 접선 가속도를 경험하도록 배치된 상황을 가정하여 차량에 작용하는 가속도와 외력을 평가함으로써 연안을 항해하는 여객선의 경우 IMO 고박지침의 직접 적용에 대한 검토 필요성을 제기하였다.

「화물적재고박 등에 관한 기준」은 IMO 고박지침(IMO, 2011)의 내용을 그대로 수용하여 대양 항해 선박에 작용하는 외력을 준용하고 있기 때문에 국내 평수구역을 항행하는 선박에 적용하는 것은 현실적으로 불합리할 것으로 판단된다. 평수구역을 운항하는 선박은 평수구역의 지리적 특성으로 인하여 대양을 항행하는 선박에 비하여 선체운동이 비교적 작게 나타나기 때문이다.

또한 IMO CCC(Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers)에서는 2018년 5차 회의부터 고박관련 계산식을 자국 해역에 맞게 변경하려는 논의가 진행되고 있다(IMO, 2018a; IMO, 2018b).

따라서 본 논문에서는 우리나라 평수구역을 항행하는 차량구역이 폐위되지 않은 카페리 여객선(이하 차도선)의 선체운동을 측정하고 선체운동 계산 프로그램 결과(NSM)와 비교·분석하였다. 계측된 횡 동요(rolling) 및 종 동요(pitching) 값에 따른 외력을 선박에 적재된 차량에 적용하여 차량이 고박하지 않고 자체적으로 견딜 수 있는 지지력과 비교함으로써 고박 기준의 타당성을 검토하였다.

2. 해상기상에 따른 선체운동 평가

2.1 대상 선박

우리나라 평수구역에는 총톤수 69톤부터 총톤수 997톤인 차도선이 총 78척이 운항하고 있다. 이에 국내 중소 조선소에서 건조한 총톤수 500톤급 차도선을 실험 대상으로 선정하였다. 대상선박은 우리나라 평수구역 제8구에 해당되는 완도 화홍포항에서 노화도 동천항을 운항하며, 주요 치수와 선박의 항로는 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

Table 2. Principal dimensions

Item	Dimensions
Length overall, LOA [m]	73.4
Length between perpendiculars, LBP [m]	60
Breadth moulded, B _m [m]	14
Depth moulded, D _m [m]	3
Gross tonnage, G/T [ton]	576
Draught at full load, T _f [m]	2.012
Full load displacement, W _f [ton]	1,098



Fig. 1. Sailing route.

2.2 해상상태에 따른 선체운동

선박은 항해 중 해상상태의 영향으로 6자유도 운동(Rolling, Pitching, Yawing, Heaving, Surging, Swaying)을 하게 되는데, 비교적 잔잔한 평수구역에서 고박된 차량에 영향을 크게 줄 것으로 판단되는 횡 동요와 종 동요만을 측정하였다.

1) SMC IMU를 이용한 선체운동 측정

선박의 횡 동요와 종 동요 값을 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 SMC IMU를 대상 선박의 선교에 설치하였다. 측정 장치의 사양은 Table 2와 같고, 선체운동 측정 결과는 Fig. 3과 같다.

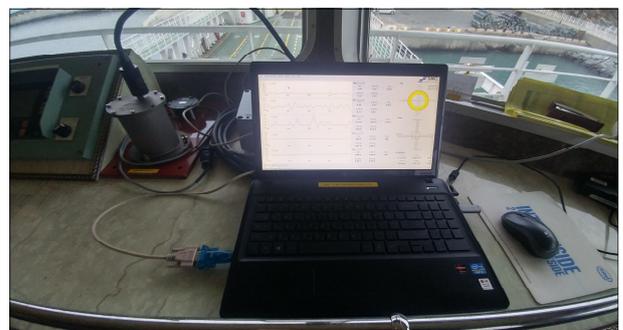
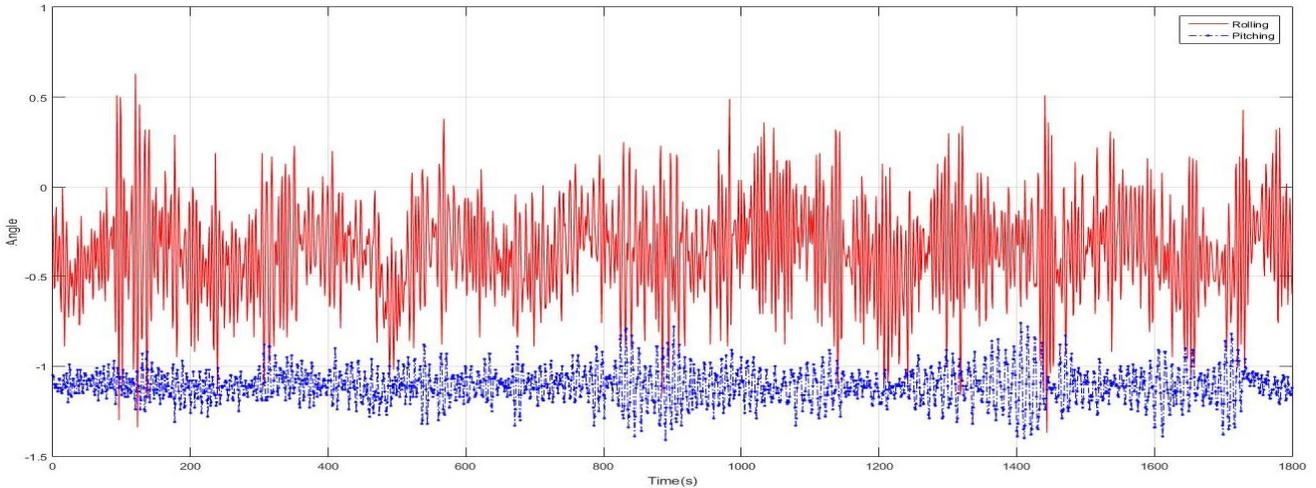
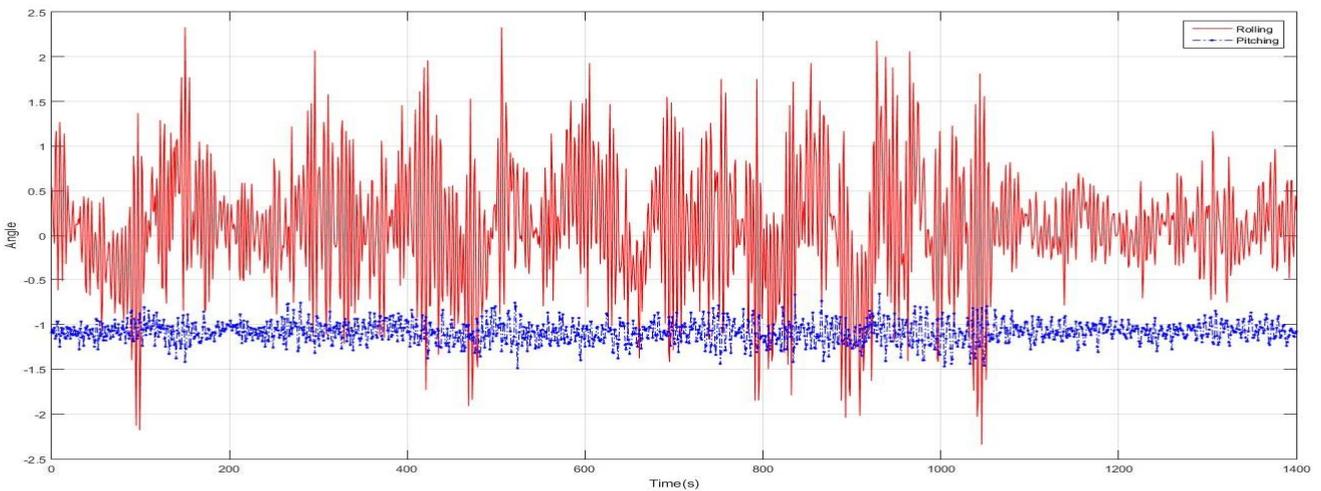


Fig. 2. SMC IMU.

평수구역을 운항하는 여객선의 차량고박 기준에 관한 연구



(a) State(1)



(b) State(2)

Fig. 3. Hull motion (Rolling & Pitching) by SMC IMU.

Table 2. Specification of SMC IMU

Items	Range
Angle Range Roll / Pitch	-30° ~ 30°
Angle Accuracy Static	0.02° RMS
Angle Accuracy Dynamic @±5° simultaneous roll and pitch	0.03° RMS
Resolution Angle	0.001°

대상선박에 대한 선체운동 측정은 2019년 12월 22일(State(1)이라 함)과 12월 29일(State(2)라 함)에 실시하였다. 「화물적재고박 등에 관한 기준」에 따라 적재된 모든 차량을 고박해야 하는 해상상태와 유사한 조건(State(1): 풍속 6~

8 m/s, 파고 0.5~1.0미터)에서는 최대 횡요각이 1.37°, 평균 횡요주기가 4.83초로 측정되었으며, 최대 종요각이 1.41°, 평균 종요주기가 4.90초로 측정되었다. 해상상태가 더욱 악화된 조건(State(2): 풍속 10~12 m/s, 파고 1.0~1.5미터)에는 최대 횡요각이 2.34°, 평균 횡요주기가 4.33초로 측정되었으며, 최대 종요각이 1.49°, 평균 종요주기가 3.98초로 측정되었다. 계측당시의 해상상태 및 측정 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다.

State(1)의 경우 Fig. 3에서와 같이 출항 전 우현으로 0.3° 경사(heeling)된 상태이고, State(1)과 (2) 모두 선미트림이 1.2°인 상태에서 계측된 것으로 화물의 고박과 관련된 것이므로 여기에서는 최대로 경사된 값을 의미한다.

Table 3. Weather condition

Item	State(1)	State(2)
Wind direction	ENE	E
Wind speed [m/s]	6~8	10~12
Wave direction	ENE	E
Wave height [m]	0.5~1.0	1.0~1.5

Table 4. Measurement result

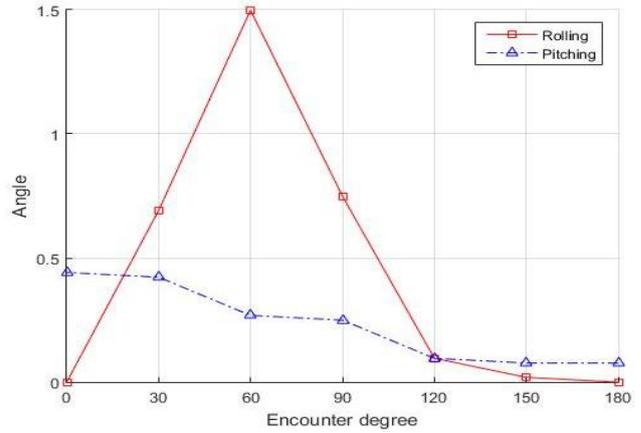
Item	State(1)	State(2)
Max. Rolling angle [°]	1.37	2.34
Rolling period [second]	4.83	4.33
Max. Pitching angle [°]	1.41	1.49
Pitching period [second]	4.90	3.98

2) 선체운동 계산프로그램에 의한 선체운동 계산

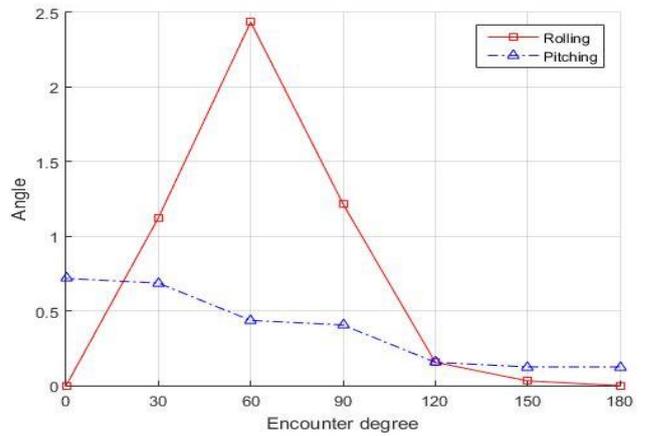
본 연구에는 선체운동 계산을 위해 Takagi-Tasai에 의해 개발된 이론식을 적용한 NSM(New Strip Method) 내항성능 계산 프로그램을 사용하였다. SMC IMU로 실측한 당시와 유사한 해상상태를 NSM에 적용하여 대상선박의 횡 동요와 종 동요를 계산하였다. 선박과 파랑의 만남각은 선수(Head sea, 000°)로부터 30°간격으로 선미(Following sea, 180°)까지 7개의 상태에 대하여 계산하였고 그 결과는 Fig. 4와 같다.

State(1-1)은 대상선박이 유의파고 0.8 m, 파장 15 m의 파도를, State(2-1)은 유의파고 1.3 m, 파장 15 m의 파도를 선수부터 30°간격으로 마주하였을 때의 종 동요 및 횡 동요 값을 계산한 것으로 각각 State(1), (2)의 해상상태와 유사하다고 볼 수 있다. Fig. 3의 State(1), (2) 측정값과 비교할 때 측정 당시 풍향 E, 선박의 침로는 180°에 가까웠기 때문에 State(1-1), (2-1)에서 만남각 60°~120°때의 값과 비교가 가능할 것으로 판단된다. 횡요각은 State(1), (2)에서는 각각 최대 1.37°와 2.34°, State(1-1), (2-1)에서는 각각 최대 1.5°(만남각 60°)와 2.43°(만남각 60°)로 비슷한 결과를 보여준다. 하지만 종요각은 State(1), (2)에서는 각각 최대 1.41°와 1.49°, State(1-1), State(2-1)에서는 각각 최대 0.27°(만남각 60°)와 0.44°(만남각 60°)로 다소 큰 차이를 보이고 있다. 이는 앞서 언급된 바와 같이 실측 시에는 1.2°의 선미트림이 있는 상태였지만 선체운동 계산프로그램에서는 Even keel 상태로 계산되어 측정 당시의 선미트림이 더해진 것을 감안한다면 두 값이 비슷하다고 볼 수 있다.

SMC IMU를 이용한 선체운동 실측치와 NSM 프로그램을 이용한 선체운동 계산치를 비교한 결과 그 값이 유사한 것을 확인하였다. 따라서 두 자료의 최대값을 차량에 미치는 외력 및 지지력 계산을 위한 입력값으로 사용하였고, 각각 State(1-2)와 State(2-2)로 표시하여 Table 5에 나타내고 있다.



(a) State(1-1)



(b) State(2-1)

Fig. 4. Hull motion (Rolling & Pitching) by NSM.

Table 5. Hull motion data

Item	State(1-2)	State(2-2)
Rolling angle [°]	1.50	2.43
Rolling period [s]	4.83	4.33
Pitching angle [°]	1.41	1.49
Pitching period [s]	4.90	3.98

3. 고박 타당성 검토

평수구역을 항행하는 차도선의 고박 타당성 검토는 현재의 고박기준인 해상상태 풍속 7 m/sec, 파고 1.5 m를 초과할 때 화물에 작용하는 외력 및 모멘트와 그에 대한 지지력 및 반대 모멘트를 비교하는 과정으로 식(1)~(3)과 같다. F_x , F_y , M 은 각각 선체 길이 방향 외력, 선체 수평 방향 외력, 선체 길

이 방향 축에 대한 전도 모멘트를 나타내고, F_{sx} , F_{sy} , M_s 는 각각의 외력에 대한 지지력과 M 에 대한 반대 모멘트를 의미한다.

$$F_x \leq F_{sx} \quad (1)$$

$$F_y \leq F_{sy} \quad (2)$$

$$M \leq M_s \quad (3)$$

3.1 차량에 작용하는 외력

Fig. 5와 같이 선체의 횡 동요와 종 동요의 회전 중심 G_o 로부터 $r(x, y, z)$ 만큼 떨어진 위치에 질량이 m 인 화물이 종 동요 및 횡 동요로 인하여 작용하는 선체 길이 방향 및 선체 수평 방향 외력과 선체 길이 방향 축에 대한 전도 모멘트는 식(4)~(8)과 같다(Choung et al., 2016).

$$F_x = G_x + F_{px} = mg \sin \theta_p + m \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 \theta_p r_z \quad (4)$$

$$F_y = G_y + F_{ry} = mg \sin \theta_r + m \left(\frac{2\pi}{T_r} \right)^2 \theta_r r_z \quad (5)$$

$$F_{pz} = m \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 \theta_p r_x \quad (6)$$

$$F_{rz} = m \left(\frac{2\pi}{T_r} \right)^2 \theta_r r_y \quad (7)$$

$$M = F_y G_{cz} \quad (8)$$

여기서 G_x 및 G_y 는 종 동요 및 횡 동요 시 중력 가속도에 의한 종 방향 및 횡 방향 관성력, F_{px} 및 F_{pz} 는 종 동요 시 선체운동 가속도에 의한 수평 방향 및 수직 방향 관성력, F_{ry} 및 F_{rz} 는 횡 동요 시 선체운동 가속도에 의한 수평 방향 및 수직 방향 관성력을 의미한다. 또한, θ_p 와 T_p 는 종 동요 각도와 주기를, θ_r 와 T_r 는 횡 동요 각도와 주기를 의미한다.

Fig. 6은 선박에 적재된 차량을 도식화한 것이며, 선체 수평 방향 외력(F_y)은 전도점(Tipping point)에 대하여 모멘트(M)를 유발하는데, 여기서 G_{cz} 는 차량의 지지점으로부터 차량의 무게 중심(G_c)까지의 수직 길이, C_y 는 차량의 횡 방향 거리(Tread)를 의미한다.

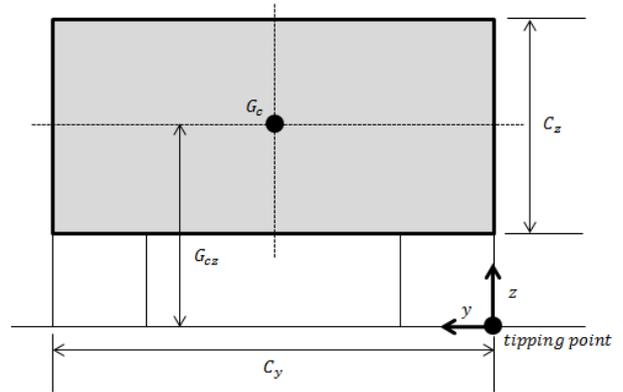


Fig. 6. Diagram of vehicle on a ship.

3.2 외력에 대한 지지력

종 동요와 횡 동요로 인해 차량에 미치는 외력 및 모멘트에 대한 지지력 및 반대 모멘트는 식(9)~(11)과 같다(Choung, 2016).

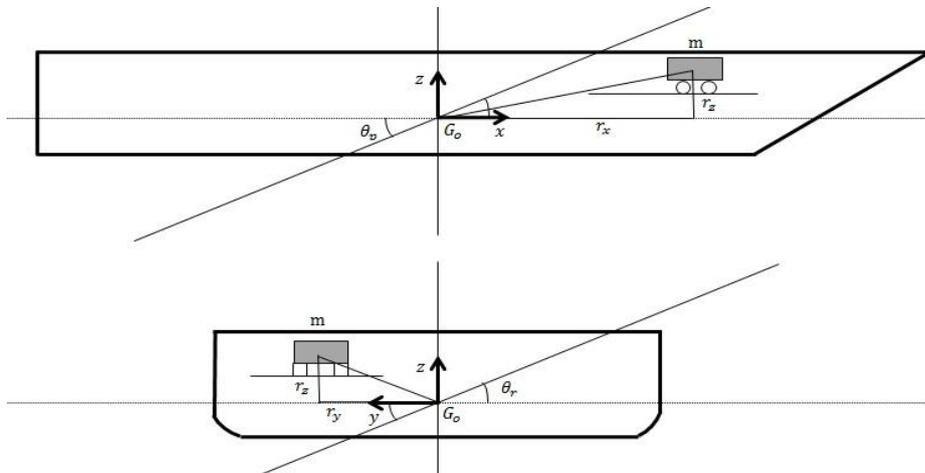


Fig. 5. Location of vehicle stowed on a ship.

$$F_{sx} = \mu(mg \cos\theta_p \cos\theta_r - F_{pz} \cos\theta_r - F_{rz} \cos\theta_p) \quad (9)$$

$$F_{sy} = \mu(mg \cos\theta_p \cos\theta_r - F_{pz} \cos\theta_r - F_{rz} \cos\theta_p) \quad (10)$$

$$M_s = \frac{1}{2} C_y (mg \cos\theta_p \cos\theta_r - F_{pz} \cos\theta_r - F_{rz} \cos\theta_p) \quad (11)$$

F_{sx} 와 F_{sy} 는 선체 길이 방향 및 수평 방향 외력에 대해 차량이 미끄러지지 않는 최대 정지 마찰력을 의미하고, 차량의 타이어와 도로가 칠해진 차량갑판 사이의 마찰계수(μ)는 0.7을 적용하고, 종 동요와 횡 동요 시 발생하는 수직방향 관성력을 적용하였다. 또한 M_s 는 종 동요와 횡 동요 시 차량 무게로 경사면을 누르는 힘으로 발생하는 모멘트를 의미한다.

3.3 외력과 지지력의 비교

선체운동에 따른 차량에 미치는 외력 및 모멘트를 계산하기 위해 승용차와 트럭의 기본 제원과 위치를 요약하면 Table 6과 같다. 여기서 Weight, G_y , G_{cz} 는 한국해양교통안전공단에서 차량 고박장치 및 적재 배치도면 승인 시 사용하는 차량별 데이터를 사용하였고, 선박의 회전중심(G_o)은 일본

국토교통성(MLIT, 2019)에 따라 식(12)을 사용하여 산정하였다. KG 는 용골에서부터 선박의 무게 중심까지의 높이, KB 는 용골에서부터 선박의 부력 중심까지의 높이를 의미한다. 차량의 기본 제원, 위치 그리고 Table 5에 정리된 선체운동 데이터를 바탕으로 선체 길이 방향 및 수평 방향 외력 그리고 선체 길이 방향 축에 대한 전도 모멘트와 그에 대한 지지력, 반대 모멘트를 계산하여 비교하면 Table 7과 같다.

$$KG_o = \frac{1}{2}(KG + KB) \quad (12)$$

Table 6. Weight, locations and sized of vehicles

Item	Car	5T Truck	11.5T Truck	25T Truck
Weight [ton]	2.17	9.99	22.3	38.8
C_y [m]	1.9	2.4	2.49	2.49
G_{cz} [m]	0.56	1.57	1.74	1.85
r_x [m]	16.33	17.26	17.26	18.1
r_y [m]	5.83	5.25	5.25	4.9
r_z [m]	1.336	2.346	2.516	2.626

Table 7. Comparison external force with bearing capacity

Item	Car	5T Truck	11.5T Truck	25T Truck	
State(1-2)	F_x [kN]	0.64	3.36	7.65	13.48
	F_{sx} [kN]	13.48	61.98	138.35	240.22
	Ratio (F_{sx}/F_x) [%]	2,104	1,846	1,809	1,782
	F_y [kN]	0.69	3.60	8.21	14.47
	F_{sy} [kN]	13.48	61.98	138.35	240.22
	Ratio (F_{sy}/F_y) [%]	1,968	1,721	1,686	1,660
	M [kNm]	0.38	5.65	14.28	26.76
	M_s [kNm]	18.30	106.25	246.07	427.24
	Ratio (M_s/M) [%]	4,769	1,879	1,723	1,596
State(2-2)	F_x [kN]	0.74	4.06	9.32	16.49
	F_{sx} [kN]	12.47	57.35	128.03	222.13
	Ratio (F_{sx}/F_x) [%]	1,683	1,411	1,374	1,347
	F_y [kN]	1.16	6.24	14.28	25.22
	F_{sy} [kN]	12.47	57.35	128.03	222.13
	Ratio (F_{sy}/F_y) [%]	1,075	918	897	881
	M [kNm]	0.65	9.80	24.84	46.66
	M_s [kNm]	16.92	98.32	227.70	395.07
Ratio (M_s/M) [%]	2,604	1,003	917	847	

3.4 고박 타당성 검토

Table 7을 보면 승용차, 5톤 트럭, 11.5톤 트럭, 25톤 트럭 모두 선체운동에 의한 외력 및 모멘트보다 고박하지 않은 상태의 마찰면에 의한 지지력 및 반대 모멘트가 월등히 큰 것을 알 수 있다. 이는 대상선박에 적재된 승용차, 트럭 등이 풍속 7 m/s, 파고 1.5미터의 해상상태에서는 고박하지 않아도 미끄러지거나 전도되지 않음을 나타낸다. 외력 및 모멘트에 대한 지지력 및 반대 모멘트의 비율을 보면 지지력에 상당한 여유가 있음을 알 수 있다. 이는 「화물적재고박에 관한 기준」에서 평수구역을 운항하는 여객선의 차량 고박기준이 매우 엄격하게 적용되고 있음을 의미한다.

4. 결론

선박에 적재된 화물의 고박 불량은 선체운동에 따른 화물의 이동으로 이어져 선체 손상과 복원력 상실로 인한 해양사고를 발생시킬 수 있기 때문에 화물의 고박은 매우 중요하다. 하지만 「화물적재고박 등에 관한 기준」에서 평수구역을 운항하는 여객선에 선적된 모든 차량을 고박해야 하는 해상상태가 풍속 7 m/s, 파고 1.5미터인 것에 대한 많은 의구심이 제기되었다.

본 연구에서는 평수구역을 운항하는 여객선의 고박 타당성을 알아보기 위해 평수구역을 운항하는 여객선의 해상상태에 따른 선체운동을 계측하고 선체운동 계산 프로그램 결과와 비교하였다. 풍속 6~8 m/s, 파고 0.5~1.0미터의 해상상태에서는 1.41°와 1.37°의 중요 및 횡요, 풍속 10~12 m/s, 파고 1.0~1.5미터의 해상상태에서는 1.49°와 2.43°의 중요 및 횡요가 발생하였으며(선미트림 1.2° 조건), 이러한 선체운동 시 차량에 미치는 외력과 지지력을 비교한 결과 승용차 및 트럭 모두 지지력이 외력보다 강하여 미끄러지거나 전도되지 않음을 알 수 있었다.

향후 보다 다양한 기상조건과 선박을 대상으로 선체운동 측정, 외력 및 지지력 비교를 통해 보다 합리적인 차량고박 기준 개정이 요구된다.

사 사

본 결과물은 목포해양대학교의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

[1] Choung, J. M., H. S. Jo, K. H. Lee, and Y. W. Lee(2016), Study on Structural Safety of Car Securing Equipment of

Coastal Carferry: Part II Assessment of Lashing Safety according to Acceleration Prediction Approaches, A Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 30, No. 6, pp. 451-457.

- [2] IMO(2011), International Maritime Organization, Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing, Annex 13, pp. 3-13.
- [3] IMO(2018a), International Maritime Organization, Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers, 5th session, Agenda item 7.
- [4] IMO(2018b), International Maritime Organization, Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers, 6th session, Agenda item 7.
- [5] MLIT(2019), Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, On Cargo Securing of Ocean-Going RORO ships (in Japan), Available at: <http://www.mlit.go.jp/common/000147418.pdf> (Accessed: 17 Dec 2019).
- [6] MOLEG(2019), Ministry of Government Legislation, The National Law Information Center, Available at: <http://www.law.go.kr> (Accessed: 17 Dec 2019).

Received : 2020. 01. 08.

Revised : 2020. 02. 03.

Accepted : 2020. 02. 25.