

10만톤급 크루즈선과 컨테이너선의 적정 마루높이에 관한 연구

김승연* · 이윤석**†

* 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양대학교 선박운항과

A Study on the Proper Crown Height of GT 100,000Ton Cruise ship
and DWT 100,000Ton Container ship

Seungyeon Kim* · Yunsok Lee**†

* Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

** Division of Ship Navigation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

요 약 : 지속적인 선박 대형화와 지구온난화로 인한 해수면 상승으로 항만 내 위험이 증가함에 따라 부두의 마루높이 기준은 상향되는 것이 미래지향적이다. 본 연구에서는 선박 대형화로 인해 풍압면적이 커지므로 마루높이 상향이 필요할 것으로 판단되는 크루즈선과 컨테이너선을 선정하고, 마루높이 상승에 따른 대상부두를 모델링하여 계류 및 동요 안전성을 평가하였다. GT 10만톤급 크루즈선은 풍향이 접안선 선수방향 45°일 때 풍속 30 kts, H_1 조건에서 계류삭 허용파단력이 초과하였다. 또한 부두와 계류삭의 양각은 마루높이 H_2 에서 권고값을 초과하는 것으로 분석되어 최저 마루높이 기준을 H_3 로 조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다. DWT 10만톤급 컨테이너선은 풍향이 접안선 정횡일 때 마루높이 H_1 에서 Sway 운동의 한계값을 초과하는 것으로 분석되어 최저 마루높이 기준을 H_2 로 조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 선박 특성을 반영한 부두 마루높이 기준을 제안하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 부두, 마루높이, 계류안전성평가, 크루즈선, 컨테이너선, 계류 시스템, 설계 기준

Abstract : The increase of risk in port due to the increase in ship size and sea level rises, the standard crown height will increase. In this study, cruise and container ships will need to raise their crown height due to the projected wind pressure areas becoming larger due to the ships' size increase. The mooring assessment was evaluated with the rise of the crown height. The cruise ship of GT 100,000 tons exceeded the permissible breaking force of the mooring line under the crown height conditions of wind speed of 30 kts when the wind direction was 45° to the direction of the bow. Also, the elevation angle of the pier and mooring line was analyzed and exceeded the crown height, and it was determined that it is necessary to adjust the crown height. Container ships of DWT 100,000 tons were analyzed to exceed the limit of sway motion at the crown height and it was determined that they need to be adjusted to the minimum crown height standard.

Key Words : Pier, Crown height, Mooring safety assessment, Cruise ship, Container ship, Mooring system, Design standards

1. 서론

해상 운송량이 증가하고 선박 건조기술이 발전함에 따라 대량운송에 따른 운항비용 절감, 선박 건조단가 축소 등을 이유로 2006년 13,000 TEU, 2013년 18,000 TEU급 선박이 운항되기 시작하였다. 또한 2015년 국내 중공업에서 21,000 TEU급 초대형 컨테이너선을 수주하여 건조 중에 있다.

선박이 대형화됨에 따라 부두 시스템 또한 대형화 추세에

대비해야 한다. 먼저 전장이 늘어남에 따라 충분한 길이의 선석이 확보되어야 하고 선박의 깊이가 증가함에 따라 부두의 마루높이가 높아져야 하며, 방충설비와 계선주 역시 허용한계를 상향하여 건설해야 한다.

또한, 최근 28년간(1989~2016년) 우리나라 연안의 해수면 변동을 분석한 결과, 우리나라의 해수면 높이의 평균 상승률은 2.96 mm/yr로, 기후 변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 발표한 전 세계 평균값인 2.0 mm/yr보다 높은 수준인 것으로 나타났다. 지역별 해수면 평균 상승률은 Fig. 1과 같다(KHOA, 2017).

* First Author : sykim7@kmou.ac.kr, 051-410-4474

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

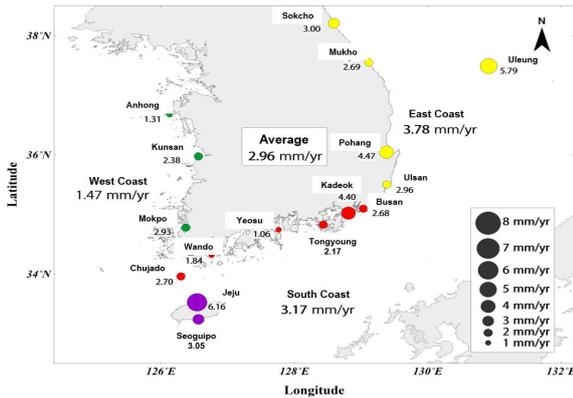


Fig. 1. Sea level rise in domestic major port (1989~2016).

기후변화에 따른 해수면 상승은 항만시설에도 많은 영향을 미치게 되며, 대표적으로 설계과고 증가에 따른 외곽시설 구조물 안전성 저하, 월파에 의한 항내 정온도 불량, 잔류수위 상승으로 인한 접안시설 안전성 저하 등이 있다(Park, 2016). 이에 따라 부두 설계 기준은 기존보다 상향되는 것이 미래지향적이며, 실제로 정부에서는 해수면 상승 및 해일의 내습에 대비하여 방파제 보강과 부두 정비 공사를 추진 중에 있다.

특히 부두의 마루높이는 접안선박의 계류라인 각도, 풍압면적, 선체동요량에 밀접한 영향을 주는 요소이나, 국내 항만 및 어항설계기준에서 마루높이 건설 기준은 환경적 특성인 수심 및 조차만을 반영하고 있을 뿐 선종 및 크기 등의 선박의 특성은 포함되지 않고 있다.

이에 따라 본 연구는 선박대형화, 지구온난화에 따른 해수면 상승 등을 고려하여 환경적 특성과 선종별 특징을 반영한 마루높이 기준을 제안하기 위하여 대상선박을 선정하였다. 또한 마루높이 상승에 따른 시뮬레이션 평가를 수행하여 선종별 마루높이 건설기준의 개선안을 제안하였다.

2. 선행 연구

선박동요해석과 계류안전성에 관한 연구 성과들을 살펴보면, Kubo et al.(1993)은 계류시스템의 특성과 선박 동요량을 반영하여 하역가동물을 산정할 수 있는 개략식을 제안하였고, Cho et al.(2006)은 쓰나미의 내습으로 인한 선박의 동요량을 수치계산하고 지진해일이 선박과 계류시스템에 작용하는 하중을 계산하였다. 또한 Kwak et al.(2014)은 파랑 주기에 따른 선박 동요량을 해석하고 하역한계과고를 산정하는 방법을 제시하였고, Lee(2016)는 국내해안 중 삼척항을 선정하여 해일 발생시 선박에 미치는 외력의 영향에 따른 계류안전성 평가를 수행하였으며, Cho(2017)은 전용 부두에 계류중인 실습선을 대상으로 계류선박의 거동해석을 수행하였다.

해수면 상승에 따른 항만 및 해안의 영향평가에 관한 연구

를 살펴보면 한국환경정책평가연구원(KEI, 2016)은 해수면 상승 및 100년 빈도 태풍 시나리오에 따른 우리나라 연안시스템의 잠재적 리스크를 평가하였고, Park(2016)은 해수면 상승 시나리오를 국내 항만에 대입하여 해수면 상승시 기존 시설물의 마루높이 적정성을 검토하였다. 미국 샌프란시스코시의 해수면상승 기술위원회는 샌프란시스코항의 해수면 상승 시나리오를 예측하고 이에 대비하여 부두 정비 계획을 제안하였다(The City and County of San Francisco, Sea Level Rise Technical Committee, 2015).

3. 국내외 마루높이 기준 분석

계류시설의 마루높이는 기본수준면에서 부두끝단까지 수직높이를 나타내며, 접안선박의 계류라인 양각, 풍압면적, 선체동요량에 밀접한 영향을 주는 요소이므로 선종, 선박 크기, 주요치수를 고려하여 결정하여야 한다. 마루높이는 낮을수록 공사비가 적게 드나 그 항만의 조차, 폭풍해일, 파랑 등을 고려한다면 일반적으로 높은 것이 좋으며 하역에 지장이 없고 부두 시설물이 침수되지 않게 신중히 결정해야 한다.

3.1 국내 마루높이 기준 분석

국내 마루높이 기준은 Table 1과 같이 접안시설의 수심이 4.5m 이상이면 대형접안시설, 4.5m 미만이면 소형접안시설로 분류하고, 조차 3.0m 이상인 지역과 3.0m 미만인 지역으로 구분하여 대상 해역의 약최고고조위(A.H.H.W)에 일정 높이를 더하여 설정한다. 대형접안시설의 경우 조차가 3.0m 이상일 때 0.5~1.5m, 3.0m 이하일 때 1.0~2.0m를 약최고고조위에 더한 높이가 마루높이 기준이 된다. 소형접안시설은 조차가 3.0m 이상일 때 0.3~1.0m, 3.0m 이하일 때 0.5~1.5m를 약최고고조위에 더한 높이가 마루높이 기준이 된다.

Table 1. Standard crown heights of wharves

Classification	Tidal range	Tidal range
	3.0m or more	less than 3.0m
Wharf for large vessels (water depth of 4.5 or more)	A.H.H.W + (0.5~1.5m)	A.H.H.W + (1.0~2.0m)
Wharf for small vessels (water depth of less than 4.5)	A.H.H.W + (0.3~1.0m)	A.H.H.W + (0.5~1.5m)

현재의 마루높이 기준은 2005년과 개정된 2017년 기준이 동일하여 해수면 상승과 선박 대형화 추세를 반영하지 못하고 있는 실정이다. 또한, 기후 변화에 관한 정부간 패널(IPCC)에서 설정한 RCP(Representative Concentration Pathways) 8.5 시나리오에 따르면 2100년경에는 남해안, 서해안이 현재보다 약 85cm, 동해안이 약 130cm 상승할 것으로 전망되어 전국 무역항, 연안항의 접안시설 중 다수가 해수면에 잠기게 되

10만톤급 크루즈선과 컨테이너선의 적정 마루높이에 관한 연구

이 사용이 불가할 것으로 예측된다(Park, 2016).

3.2 국외 마루높이 기준 분석

미국 부두높이 기준은 접안선박의 안전성을 위해서 가능한 높이 설계하여야 하며, 적절한 부두높이를 위해서는 접안선박의 특성을 파악하여 설계하도록 규정한다. 또한, 접안선박의 견련과 승하선 장비 및 하역 장비의 설치와 작동을 고려해야 하고, 부두에 설치된 컨베이어, 크레인, 로딩암 등의 하역장비가 파도에 의해 젖지 않아야 하며, 계류삭의 수직각이 적절히 유지되도록 부두높이를 설정하여야 한다.

PIANC 권고기준의 지침서인 Port Designer's Handbook에 따르면 부두높이는 인근 자연환경과 접안 선박의 종류, 항만 시설 및 화물작업을 고려하여 결정되어야 하며, 마루높이는 약최고고조위보다 최소 1.5 m 이상 높아야 한다고 권고한다(Thoresen, 2003).

4. 마루높이 적정성 시뮬레이션 평가

선박 대형화와 선종별 특성을 반영한 마루높이 기준을 제안하기 위해 대상선박을 선정하여 마루높이 적정성 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 TTI(Tension Technology International)사의 OPTI-MOOR SW(Ver. 6.4.1)를 이용하여 수행하였다. OPTI-MOOR는 선형 해석으로 타 계류안전성 해석프로그램에 비하여 단순하나 정확한 모델링 적용이 가능하고 활용도가 높아 국내 해상교통안전진단의 계류안전성평가에 대표적으로 사용되고 있는 해석프로그램이다.

4.1 대상선박 선정

대상선박은 선박 대형화로 인해 풍압면적이 커지므로 마루높이 상향이 필요할 것으로 판단되는 크루즈선과 컨테이너선을 선정하였다. 크루즈선은 풍압면적이 비교적 고정적이고 큰 편이므로 풍력에 따른 선체운동량이 타선종에 비해 크다. 또한 승객의 승하선을 위해 갠웨이나 육상터미널과의 통로가 필수적으로 설치되어야 하므로 선박과 부두의 연계성이 중요하다.

컨테이너선은 갑판에 컨테이너 선적을 하므로 화물 적재량에 따라 풍압면적과 홀수가 유동적이거나, 타선종에 비해 비교적 풍압면적이 큰 특성이 있다. 또한 하역 작업시 육상에 설치된 크레인을 이용하므로 마루높이에 따라 육상 크레인의 수직높이 또한 영향을 받게 되는 선종이다.

이에 따라 대상선박은 선박대형화와 크기별 분포도를 고려하여 GT 10만톤급 크루즈선을 A선박, DWT 10만톤급 컨테이너선을 B선박으로 설정하였으며, Table 2와 같이 항만 및 어항설계기준에서 규정하는 선박의 제원을 기준으로 풍압면적이 가장 큰 상태를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 2. Specifications of each vessel

Category		A	B
Ship's Type		Cruise	Container Ship
LOA(m)		324.0	350.0
LBP(m)		281.0	335.0
Breadth(m)		32.3	43.0
Depth(m)		30.0	25.0
Mean draft(m)		8.0	8.0
Above Water Projected Areas(m ²)	Transverse	11,039	6,964
	Lateral	1,257	1,557

4.2 계류상황 모델링

대상부두의 치수와 계선주, 방충재 등 계류시스템의 배치는 항만 및 어항설계기준 8장 계류시설의 톤수별 배치 규정에 따라 Table 3 및 Fig. 2와 같이 모델링하였고, 계류삭의 종류, 직경 및 배치는 대상선박에서 일반적으로 사용하는 종류 및 방식으로 설정하였다.

Table 3. Specifications of mooring condition

Category		A	B	
Length of Pier(m)		370	400	
Line	Fore	Head	L1, L2, L3, L4	L1, L2, L3, L4
		Breast	L5, L6	-
		Spring	L7, L8	L5, L6
	Aft	Spring	L9, L10	L7, L8
		Breast	L11, L12	-
		Stern	L13, L14, L15, L16	L9, L10, L11, L12
	Type / Dia.	Polyester / 80mm	Nylon / 80mm	
S.W.L(t)	44.0	49.5		
Bollard	Fore	B1, B2, B3	B1, B2	
	Aft	B4, B5, B6	B3, B4	
	Max. Load(t)	150	150	
Fender	Type	Cell1400H×1600φ	Cell1400H×1600φ	
	Interval(m)	20	20	

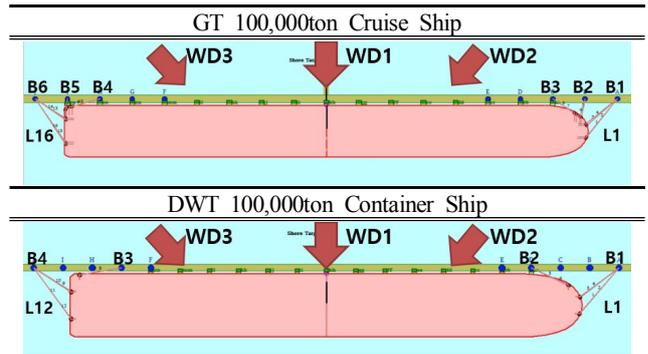


Fig. 2. Mooring Arrangement of each vessel.

시뮬레이션을 위한 마루높이는 총 4가지로 분류하였고, 약최고고조위에서 1m를 더한 높이를 H_1 , 2m를 더한 높이 H_2 , 3m를 더한 높이 H_3 , 4m를 더한 높이를 H_4 로 설정하였고, H_2 는 현 항설기준에서 제시하는 마루높이 기준 중 최고 수준이다.

4.3 환경외력 모델링

적정 마루높이 설정을 위한 시뮬레이션을 위해 풍속은 20 kts, 풍랑주의보 14 m/s 수준인 30 kts, 풍랑경보 21 m/s 수준인 40 kts로 설정하였고, 풍향은 Fig. 2와 같이 마루높이에 따른 풍압면적의 변화량이 가장 큰 방향을 고려하여 접안현 정황(WD1), 접안현에서 선수방향 45°(WD2), 접안현에서 선미방향 45°(WD3)로 모델링하였다. 마루높이와 풍압면적 변화에 따른 민감도가 적은 파랑과 조류 조건은 제외하였다.

4.4 시뮬레이션 평가요소

선체동요는 선체 및 계류장치로 구성되는 진동계에 파랑, 바람 및 조류 등의 외력이 작용하는 경우 발생한다. 적정 마루높이 선정에 위한 시뮬레이션 평가는 계류삭에 작용하는 최대장력, 부두와 계류라인의 양각 그리고 계선주에 작용하는 견인력의 계류안전성 평가요소와 외력에 의한 선체동요에 의해 선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위 내에 있는지 평가하는 하역안전성 평가로 크게 구분된다. 또한, 일반적으로 계류시스템은 안전여유를 고려해 선박의 계류한계를 고려하게 된다(Cho, 2017).

5. 시뮬레이션 평가 결과 분석

5.1 A선박 시뮬레이션 평가 결과 분석

마루높이에 상승에 따른 평가요소의 변화가 뚜렷한 풍향 WD1 및 WD2 일 때의 풍속별 결과값을 분석하면, 풍향이 접안현 정황(WD1)일 때 Fig. 3과 같이 모든 풍속 조건에서 계류삭의 장력은 선미 브레스트 12번 라인이 가장 큰 것으로 나타났고, 풍향이 접안현 선수방향 45°(WD2)일 때 Fig. 4와 같이 모든 풍속 조건에서 계류삭의 장력은 선수 브레스트 5번 라인이 가장 큰 것으로 나타났다. Fig. 3과 Fig. 4의 그래프상에는 풍속별로 최대값인 H_1 와 최소값인 H_4 의 장력값만 나타내었고, H_2 와 H_3 의 장력값은 생략하였다.

풍속 30kts, 풍향 WD1 조건에서 계류삭의 장력은 Fig. 3과 같이 마루높이 H_1 조건에서 19.1~52.0 t, H_2 조건에서 18.0~51.6 t, H_3 조건에서 16.8~51.0 t, H_4 조건에서 15.6~50.5 t으로 분포하는 것으로 나타났으며, 마루높이 변화에 따른 장력 감소율이 가장 큰 계류삭은 선미라인 16번으로 H_1 조건에서

33.7 t, H_2 조건에서 31.5 t, H_3 조건에서 29.1 t, H_4 조건에서 26.9 t으로 장력 감소율은 각각 6.5 %, 7.6 %, 7.5 %로 나타났다.

풍속 30 kts, 풍향 WD2 조건에서 계류삭의 장력은 Fig. 4와 같이 마루높이 H_1 조건에서 11.6~44.5 t, H_2 조건에서 11.1~43.7 t, H_3 조건에서 10.6~43.1 t, H_4 조건에서 10.0~42.2 t으로 분포하는 것으로 나타났다. 마루높이 변화에 따른 장력 감소율이 가장 큰 계류삭은 선미라인 16번으로 H_1 조건에서 24.8 t, H_2 조건에서 23.3 t, H_3 조건에서 21.6 t, H_4 조건에서 20.2 t으로 장력 감소율은 각각 6.0 %, 7.3 %, 6.5 %로 나타났다.

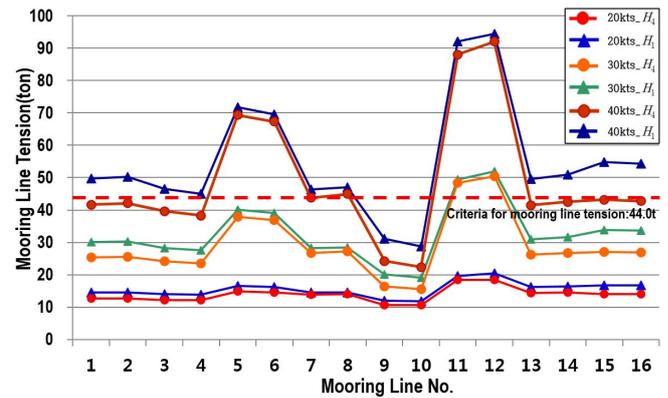


Fig. 3. Evaluation of mooring line tension by crown height (WD1).

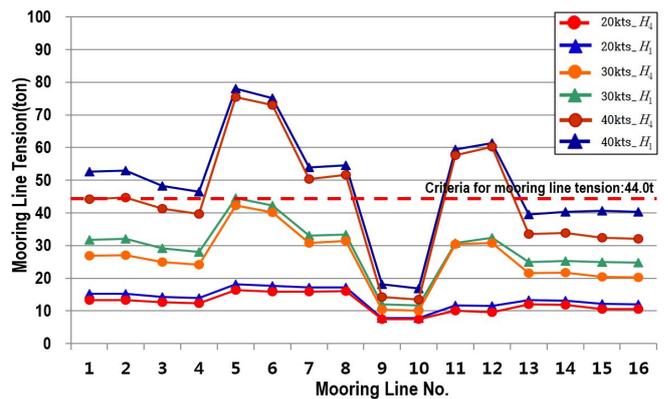


Fig. 4. Evaluation of mooring line tension by crown height (WD2).

Fig. 5는 풍속 20 kts, 풍향 WD1일 때, 마루높이에 따른 부두와 계류라인의 양각을 나타낸 것으로, 항만 및 어항설계기준에 의하면 계류라인과 부두의 양각은 30°를 초과하지 않도록 권고하고 있다. 크루즈선 특성상 라인시작점이 높은 점을 감안하더라도, y축 병진운동인 Sway값에 직접적인 영향이 있는 선수 브레스트라인 3, 4번의 양각은 H_1 에서 31°, 32°, H_2 에서 30°로 권고값을 초과하는 것으로 분석되었다.

Table 4는 풍향 WD1 조건에서 풍속과 마루높이에 따른 각 계선주의 견인력으로, 마루높이가 증가할수록 모든 계선주

10만톤급 크루즈선과 컨테이너선의 적정 마루높이에 관한 연구

의 견인력이 감소하며, 풍속 40 kts일 때 마루높이에 따른 견인력의 감소율은 각각 6.2%, 7.0%, 7.2%로 나타났다.

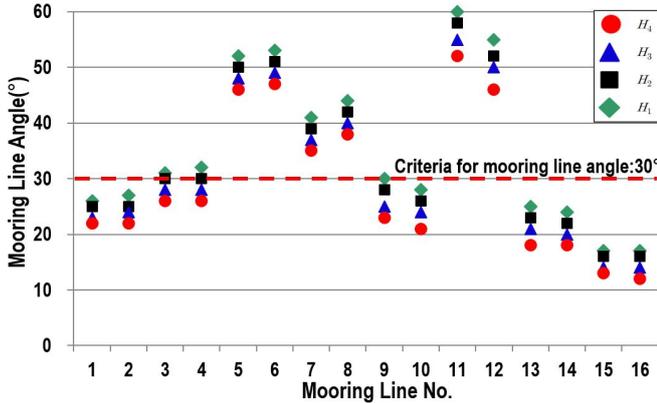


Fig. 5. Mooring line angle by crown height (20 kts, WD1).

Table 4. Bollard force by crown height

Wind Load	Crown Height	B1	B2	B3	B4	B5	B6
40kts	H ₁	190.8	141.2	93.4	59.9	186.5	206.7
	H ₂	180.9	139.7	91.8	55.5	185.3	193.8
	H ₃	170.7	138.4	90.5	51.2	183.0	180.3
	H ₄	161.1	136.5	88.8	46.6	181.8	167.4

5.2 B선박 시뮬레이션 평가 결과 분석

마루높이에 상승에 따른 평가요소의 변화가 뚜렷한 풍향 WD1 및 WD2 일 때의 풍속별 결과값을 분석하면, 풍향 WD1 일 때 Fig. 6과 같이 모든 풍속 조건에서 계류삭의 장력은 선미 스티라인 12번이 가장 큰 것으로 나타났고, 풍향 WD2 일 때 Fig. 7과 같이 모든 풍속 조건에서 계류삭의 장력은 선수 헤드라인 2번이 가장 큰 것으로 나타났다. Fig. 6과 Fig. 7의 그래프상에는 풍속별로 최대값인 H₁와 최소값인 H₄의 장력 값만 나타내었고, H₂와 H₃의 장력값은 생략하였다.

풍속 30 kts, 풍향 WD1 조건에서 계류삭의 장력은 Fig. 6과 같이 마루높이 H₁조건에서 22.2~37.6 t, H₂조건에서 21.8~36.4 t, H₃조건에서 21.3~35.3 t, H₄조건에서 20.8~34.1 t으로 분포하는 것으로 나타났다. 마루높이 변화에 따른 장력 감소율이 가장 큰 계류삭은 선수라인 1번으로 H₁조건에서 35.3 t, H₂조건에서 34.1 t, H₃조건에서 32.8 t, H₄조건에서 31.6 t으로 감소율은 각각 3.4%, 3.8%, 3.7%로 나타났다.

풍속 30 kts, 풍향 WD2 조건에서 계류삭의 장력은 Fig. 7과 같이 마루높이 H₁조건에서 20.5~34.5 t, H₂조건에서 20.2~33.3 t, H₃조건에서 19.9~32.1 t, H₄조건에서 19.7~30.9 t으로 분포하는 것으로 나타났다. 마루높이 변화에 따른 장력

감소율이 가장 큰 계류삭은 선수라인 1번으로 H₁조건에서 34.4 t, H₂조건에서 33.2 t, H₃조건에서 32.0 t, H₄조건에서 30.8 t으로 감소율은 각각 3.5%, 3.6%, 3.8%로 나타났다.

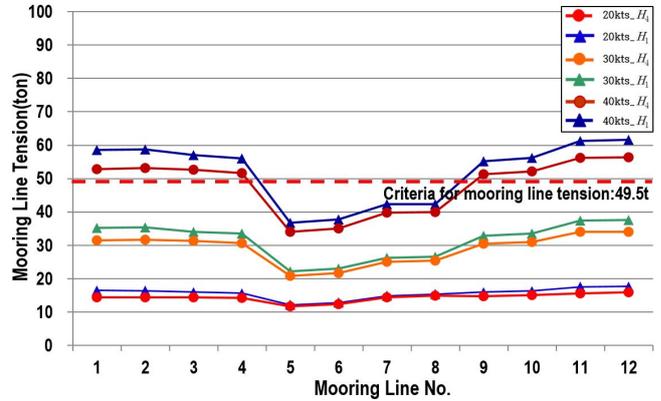


Fig. 6. Evaluation of mooring line tension by crown height (WD1).

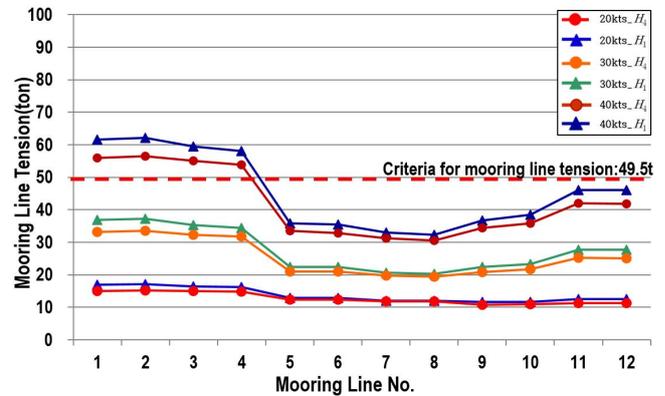


Fig. 7. Evaluation of mooring line tension by crown height (WD2).

Table 5는 항만 및 어항설계기준에서 제시하는 컨테이너선의 안전 하역을 위한 선체 동요 권고 기준이며, Fig. 8은 선체 6자유도 운동 중 본 시뮬레이션에서 설정한 풍향 조건에서 가장 변화량이 큰 Sway 동요량을 나타내었다. 마루높이 증가에 따라 Sway 값은 모두 감소하며, 풍향 WD1, 풍속 20 kts 조건에서 H₁는 1.22 m, H₂는 1.08 m, H₃는 0.95 m, H₄는 0.83 m로 H₁조건에서 Sway 한계값인 1.2 m를 초과하는 것으로 분석되었다.

Table 5. Recommended motion criteria for safe working conditions

Ship Type	Loading Condition	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Container Ship	50% efficiency	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6

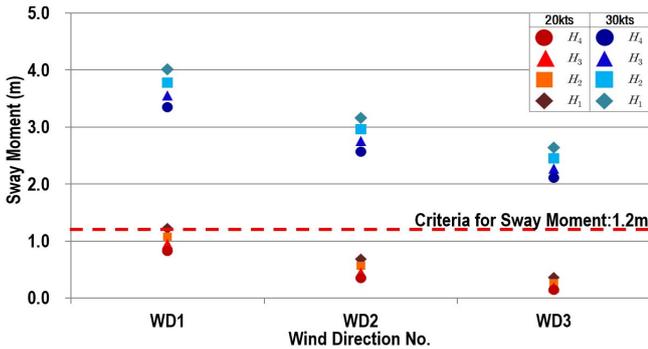


Fig. 8. Evaluation of sway motion by crown height.

6. 결론

선박 대형화와 지구온난화로 인한 해수면 상승으로 항만 내 위험이 증가하고 있다. 따라서 부두의 마루높이 기준은 기존의 기준보다 상향되는 것이 미래지향적이며, 실제로 정부에서는 해수면 상승 및 해일의 항만내수에 대비하여 방파제 보강과 침수취약지구 정비 공사를 추진 중에 있다.

본 연구에서는 선박특성을 반영한 적정 마루높이를 도출하기 위해 대상선박을 선정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 부두의 마루높이는 접안선박의 풍압면적, 선체동요량 등에 밀접한 영향이 있으나, 국내 항만설계기준의 마루높이 기준에 선종 및 크기 등의 선박 특성은 포함되지 않고 있다. 이에 따라 선박 대형화와 해수면 상승을 고려한 마루높이 기준 개선이 필요한 것으로 분석되었다.
- (2) GT 10만톤급 크루즈선의 마루높이 상승에 따른 계류삭 장력값은 풍속 30 kts에서 풍향이 접안현 정횡일 때 최대 7.6 %, 풍향이 접안현 선수방향 45°일 때 최대 7.3 % 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 풍속 30 kts, H_1 조건에서 5번 라인의 장력값은 44.5 t으로 허용과단력을 초과하였고, 부두와 계류삭의 양각은 풍속 20 kts 조건에서 선수 3, 4번 라인이 마루높이 H_1 와 H_2 에서 권고값을 초과하는 것으로 분석되었다. 이에 따라 최저 마루높이 기준을 H_3 로 상향 조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.
- (3) DWT 10만톤급 컨테이너선의 마루높이 상승에 따른 계류삭 장력값은 풍속 30 kts에서 풍향이 접안현 정횡일 때와 선수방향 45°일 때 최대 3.8 % 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 선체동요 및 하역안전성 평가결과 풍속 20 kts일 때 마루높이 H_1 에서는 Sway 운동의 한계값인 1.2 m를 초과하는 것으로 분석되어 최저 마루높이 기준을 H_2 로 상향 조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과는 접안 선박의 특성을 반영한 부두 마루높이 기준을 제안하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 항

내 계류선박의 각종 사고 예방을 위해서는 환경 특성 및 선박의 특성을 보다 상세히 검토하여 부두 및 계류시스템 건설에 반영해야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Cho, I. S., K. Y. Kong and Y. S. Lee(2006), A time domain analysis of moored ship motions considering tsunami resonant effects, Proceeding of the Spring Conference on Korean Institute of Navigation and Port Research, Korean Institute of Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 1, pp. 191-197.
- [2] Cho, I. S.(2017), Behavior Analysis and Control of a Moored Training Ship in an Exclusive Wharf, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 2, pp. 139-145.
- [3] KEI(2016), Korea Environment Institute, Study on Quantifying Risk of the Effects of Climate Change III: Focusing on Korean Coastal System, pp. 33-124.
- [4] KHOA(2017), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, The sea level rise rate in the coast of Korea is gradually accelerating, Ministry of Oceans and Fisheries, pp. 1-5.
- [5] Kubo, M., K. Saito and T. Oki(1993), Approximate calculation of ship motions under the prevention system of ship separation from quay wall, Journal of Japan Institute of Navigation, Vol. 89, pp. 15-21.
- [6] Kwak, M. S. and Y. H. Moon(2014), A study on estimation of allowable wave height for loading and unloading of the ship considering ship motion, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 2, pp. 873-883.
- [7] Lee, L. N.(2016), A Study on the Mooring Safety of Berthing Vessels Due to the Tsunami Impact, Master's thesis, Mokpo National Maritime University, pp. 1-4.
- [8] Park, D. C.(2016), Analysis of safety of port facilities due to rising sea level, potential degradation of port function, Journal of Coastal Disaster Prevention, Vol. 3, No. 3, pp. 149-154.
- [9] The City and County of San Francisco, Sea Level Rise Technical Committee(2015), Guidance for incorporating sea level rise into capital planning in san francisco, pp. 8-17.
- [10] Thoresen, C. A.(2003), Port designer's Handbook, Thomas Telford Publishing, pp. 189-192.

Received : 2018. 04. 04.

Revised : 2018. 04. 25.

Accepted : 2018. 04. 27.