

# 울산항 위험물 부두의 안전계류에 관한 기초연구

강원식\* · 박영수\*\*†

\* 선박안전기술공단, \*\* 한국해양대학교 항해학과

## A Basic Study on Safe Mooring Guide for Dangerous Goods Berths in Ulsan Port

Won-Sik Kang\* · Young-Soo Park\*\*†

\* Korea Ship Safety Technology Authority, Se-jong 30100, Korea

\*\* Department of Navigation System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약 :** 항만물동량이 증가하고 선박의 대형화가 급격하게 이루어짐에 따라 부두의 설계 접안능력보다 큰 선박이 부두를 이용하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구에서는 우리나라 주요 위험물 취급항만인 울산항을 대상으로 접안능력을 초과하여 위험물 부두를 이용한 선박 실태를 조사하였고 기존 부두 접안능력의 최대 3배가 넘는 선박이 이용하는 것으로 분석하였다. 그에 따라, 50,000 DWT급 부두를 모델링하여 50,000 DWT급, 70,000 DWT급, 100,000 DWT급 선박을 대상으로 계류 프로그램을 통해 선박 규모의 변화에 따른 계류 안전성 평가를 수행하였다. 평가는 OCIMF에서 제시하고 있는 표준환경기준에 따라 수행되었으며 50,000 DWT급 선박은 대체로 허용기준을 만족하는 것으로 평가되었으나, 70,000 DWT급 선박의 경우 풍속 60 kts, 파고 1.5 m 이상의 기상조건에서 100,000 DWT급 선박은 풍속 60 kts 조건 등에서 허용한계를 초과하는 것으로 분석되었다. 도출된 결과를 바탕으로 평가 대상부두에 대한 안전 계류 가이드라인 사례를 제시하였고 향후 다양한 사례에 대한 평가를 수행하여 해당항만에 일반적으로 적용 가능한 가이드라인을 수립하도록 제안하였다.

**핵심용어 :** 위험물 부두, 부두 접안능력, 계류안전성 평가, 계류 프로그램, 가이드라인

**Abstract :** This study analyzed the state of the vessels which were using the berth for dangerous goods more than its carrying capacity in the major dangerous cargo handling port of Ulsan in Korea. The result of the analysis showed that a ship which has 3 times more than the maximum berthing capacity was moored at berth. Accordingly, a simulation model for 50,000 DWT berth was built and carried out the mooring safety analysis with 50,000 DWT, 70,000 DWT and 100,000 DWT vessels by mooring assessment program. The evaluation was carried out according to the standard environment presented in OCIMF standards. 50,000 DWT vessel was evaluated to meet the acceptable criteria but, 70,000 DWT and 100,000 DWT vessels exceeded the acceptable limit as per external conditions. Consequently, safe mooring guidelines were suggested and also proposed the building of common 'Mooring safety guideline' for port with assessment of different cases.

**Key Words :** Berth for dangerous goods, Berthing capacity, Mooring safety analysis, Mooring software, Guideline

### 1. 서 론

전 세계적으로 항만을 중심으로 한 해운·물류 환경은 급격하게 변화하고 있으며, 최근 중국 등 동북아로 세계 경제 흐름이 이동하고 있어 이 지역에 대한 물류수요가 급증하고 있다(Choi et al., 2010).

우리나라의 경우에도 국내 전체 항만 물동량은 20년간 약

2.8배 증가, 우리나라 전체 입출항 선박 척수는 약 1.5배 증가하였다. 그러나 같은 기간 동안에 전체 항만 입출항 선박의 톤수는 약 3.3배 증가한 것으로 나타나 척수대비 톤수가 급증함으로 항만에 입출항하는 선박의 규모가 증가하고 있음을 알 수 있다(SP-IDC, 2014).

선박의 대형화 등 급격한 환경변화에 따라 우리나라 주요 항만은 항만시설 투자비를 증가시키는 등 항만시설을 확보하는데 주력하였으나 늘어난 항만 물동량을 따라가지 못해 부두의 설계 접안능력보다 더 큰 선박이 접안하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다.

\* First Author : wskang84@kst.or.kr, 044-330-2302

† Corresponding Author : youngsoo@kmou.ac.kr, 051-410-5085

선박이 부두에 계류 중에 있을 때 갑작스러운 외력의 변화나 기상 악화 등으로 인해 계류삭(mooring rope)의 허용장력을 초과하여 계류삭이 절단되거나 방충재 및 곡주 등 부두 접안시설의 변형으로 부두나 선박에 손상을 줄 수 있고 특히, 외력에 의해 선박이 이동할 경우 정박 중인 타 선박과 충돌할 수도 있어 선박 계류시스템의 안전성 확보는 매우 중요하다고 할 수 있다.

부두의 계류능력에 비해 접안하는 선박의 규모가 큰 경우 계류안전성이 확보되고 있는지에 대해 검토할 필요가 있으며, 선박 규모와 풍속, 파고 등 외력에 따라 계류삭, 계선주 및 방충재 등에 장력 변화를 제시하여 각 부두별 특성에 맞는 계류 안전기준을 제공해야 할 것이다(Kang, 2015).

본 연구에서는 우리나라 주요 위험물 취급항만인 울산항을 대상으로 접안능력을 상회하는 선박의 부두이용 실태를 조사하고 접안능력을 초과하여 접이안한 선박의 계류안전성을 검토하여 계류안전 가이드라인 사례를 제시하였다.

## 2. 울산항 부두접안능력 및 초과접안 현황분석

울산항은 울산 본항과 온산항, 미포항 및 울산신항으로 구성된 항내 수면적 약 1,100,000 m<sup>2</sup> 규모의 국가관리무역항이다. 울산항은 전국항만 중 유류 등 위험물화물을 가장 많이 취급하고 있으며 동북아 오일허브 개발사업 등 위험물취급 부두를 지속적으로 개발 중에 있다(UPA, 2014).

울산항은 2014년 7월과 2015년 1월에 4부두에서 케미컬탱커 폭발사고 등 위험물질 운반선에 대한 사고가 계속되고 있으며 사고 발생 시 항만 특성상 대형 피해가 예상됨에 따라 안전에 대한 불안감이 커지고 있는 상황이다.

### 2.1 울산항 일반현황

울산항의 각 부두는 관리주체에 따라 공사와 민유로 구분되며 위치에 따라 울산 본항, 온산항, 미포항 및 울산 신항으로 이루어진다.

울산항에서 유류 및 기타 위험물을 취급하는 부두는 3부두, 4부두, 6부두, SK1부두, 용잠1부두, 용잠2부두, UTT부두, SK2~SK9부두, SK부이 2기 등이다. 그 중에 본 연구의 특성상 풍압면적이 넓어 바람, 조류 및 파도 등 환경외력이 계류에 미치는 영향이 큰 20,000 DWT급 규모 이상 선박이 접안하는 부두를 대상으로 분석을 시행하였다.

20,000 DWT급 이상의 접안능력을 가진 위험물 부두 제원은 Table 1과 같다.

### 2.2 울산항 부두접안능력 초과선박 입출항 현황 조사 · 분석

2014년 울산항을 입항한 선박은 총 51,565척이며 전체 선박의 톤수는 435,103,488톤이다. 전국항만 중 부산(95,378척)

에 이어 두 번째로 많은 선박이 입항하고 있으며 입항선박의 규모와 항만 물동량면에서는 부산과 광양에 이어 세 번째로 큰 선박 규모를 가지고 있다(SP-IDC, 2014).

Table 2는 울산항 입항선박 중 부두접안능력을 초과하는 선박 현황을 분석하기 위해 1년(2014년도)의 PORT-MIS 자료를 바탕으로 분석을 수행하였다(Busan Regional Office of Ocean & Fisheries, 2014).

Table 1. General specifications for berth of Ul-san port

Port/Pier	Length (m)	Depth (m)	Capacity (DWT)	Cargo Type	
Ulsan Port	Pier 4	322	11	20,000	Chemical
	Pier 6	990	12	30,000	Chemical
	SK Pier 3	130	12	50,000	Oil
	SK Pier 6	347	15	70,000	Oil
	SK Pier 7	370	15	130,000	Oil
	SK Pier 8	400	18	150,000	Oil
	SK Buoy(II)	-	27	325,000	Crude Oil
	SK Buoy(III)	-	27	325,000	Crude Oil
Onsan Port	Hyo-sung	240	12	30,000	Chemical
	Dong-Buk	585	12	30,000	Chemical
	S-Oil Pier 1	280	14	50,000	Oil
	S-Oil Pier 2	340	16	120,000	Oil
	S-Oil Pier 3	280	14	50,000	Oil
	S-Oil Buoy	-	27	350,000	Crude Oil
	KNOC Buoy	-	27	300,000	Crude Oil
	Jung-il Pier 1	354	11	40,000	Chemical
	Jung-il Pier 2	256	12.5	40,000	Chemical
	Yu-hwa Pier 1	320	14	80,000	Chemical
New Port	OTK	391	12	40,000	Chemical
	HT	287	12	30,000	Chemical
	Mi-Chang	270	14	50,000	Chemical
	HOT	270	14	50,000	Chemical
	JSTT Pier 3	270	14	50,000	Chemical
	JSTT Pier 4	270	14	50,000	Chemical

Table 2. Status of vessels that exceed berthing capacity

Pier	Capacity (DWT)	Number of vessel that berthing	Exceeding ratio of berthing capacity <sup>2)</sup> (%)	Max. berthing vessel(DWT)
Pier 4	20,000	739	16	50,000
Pier 6	30,000	1,002	16	106,000
SK Pier 3	50,000	291	4	106,000
Dong-Buk	30,000	542	16	52,000
Jung-il Pier 1	40,000	704	4	51,000
Jung-il Pier 2	40,000	629	5	50,000
Yu-hwa Pier 1	80,000	290	7	116,000
OTK	40,000	597	7	50,000
HOT	50,000	696	4	115,000
JSTT Pier 3	50,000	361	9	115,000

2) 선종에 따라 적정 부두 규모가 다르므로 선박의 길이, 흘수 등 제원을 비교하여 통상적인 기준을 초과한 선박의 비율을 표기함.

1) 울산본항 현황

울산 본항 4부두의 접안능력은 20,000 DWT이며, 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 총 739척의 선박이 부두를 이용한 것으로 조사되었다. 그 중 부두 접안능력을 초과하는 20,000 DWT 이상 선박은 전체의 약 16%이며 본항 4부두를 이용한 최대 규모 선박은 약 50,000 DWT 선박으로 분석되었다. 울산 본항 6부두는 30,000 DWT급 4개 선석이 있으며 1년간 총 1,002척이 통항한 것으로 조사되었다. 그 중 부두 접안능력을 초과하는 30,000 DWT 이상 선박은 전체의 약 16%로 4부두와 유사하였으며 본항 6부두에 접안한 최대 규모 선박은 약 106,000 DWT으로 조사되었다. 부두 접안능력이 50,000 DWT인 SK 3부두의 이용선박 총 291척 중 접안능력을 초과하여 부두를 이용한 선박은 전체의 약 4% 수준이며 최대 규모 선박은 약 106,000 DWT으로 분석되었다.

그 밖에 SK 6, 7, 8부두는 접안능력이 각각 70,000 DWT, 130,000 DWT, 150,000 DWT이며 부두의 접안능력을 초과하여 접안한 선박은 없는 것으로 조사되었다.

2) 온산항 현황

온산항 위험물 취급부두 중 효성부두와 S-Oil 1, 2, 3부두의 접안 능력을 초과하여 부두를 이용하는 선박은 없는 것으로 조사되었다.

동북부두의 접안능력은 30,000 DWT이며, 1년간 접안한 총 542척의 선박 중 접안능력을 초과하여 부두를 이용한 선박은 약 16%로 조사되고 최대 선박은 약 52,000 DWT으로 분석되었다. 정일 1부두와 2부두, OTK부두의 경우 접안능력은 각 40,000 DWT이며 접안능력을 초과하여 부두를 이용한 선박은 4-7%인 것으로 조사되고 최대 규모 선박은 약 51,000 DWT인 것으로 분석되었다.

유화1부두는 전체 통항선박 총 290척 중 부두 접안능력인 80,000 DWT를 초과하여 이용한 선박은 전체의 약 7% 수준이며 최대 규모 선박은 약 116,000 DWT이다.

3) 울산신항 현황

현대오일터미널 신항부두는 접안능력이 50,000 DWT이고 1년간 통항선박 총 696척 중 접안능력을 초과하여 부두를 이용한 선박은 약 4% 수준이며 최대 선박은 약 115,000 DWT으로 분석되었다. 울산 신항 정일스톨트헤븐 3부두의 경우, 총 통항선박 361척 중 약 9%가 접안능력 50,000 DWT를 초과하여 이용하였고 최대 선박은 약 115,000 DWT인 것으로 분석되었다.

반면에 미창부두와 정일스톨트헤븐 4부두는 각 50,000 DWT 규모의 부두로 접안능력을 초과하여 이용한 선박은 없는 것으로 조사되었다.

2014년 울산 본항, 온산항, 울산 신항의 위험물 취급부두에 접안한 선박을 분석한 결과, 다수의 부두에서 접안능력을 초과하는 선박이 접안하고 있었고 부두 접안능력의 3배 이상이 되는 선박이 부두를 이용한 사례도 있어 이에 대한 구체적인 안전성 평가가 요구된다.

3. 울산신항 계류안전성 평가

울산항 선박 입출항 현황 분석을 통해 부두의 접안능력을 초과하는 선박의 부두 이용 현황을 파악하였다. 선석의 길이, 계선주 및 방충재 등 부두시설이 통상적으로 부두의 접안능력에 맞춰 설계된 상태에서 규모가 더 큰 선박이 접안하여 계류를 할 때 안전성이 확보 되는지 구체적인 사례를 통한 계류안전성 평가가 필요하다.

본 연구에서는 바람, 조류 및 파랑과 같은 외력이 존재할 때 계류된 선박 규모의 변화에 따라 계류삭 및 계선주의 장력, 방충재의 반력 변화를 평가하기 위해 대상부두 특성, 이용선박 특성 및 바람, 조류 및 파랑 등과 같은 환경외력을 모델링 하였다. 그리고 계류안전성에 대한 변화를 구체적으로 분석하기 위해 전용 소프트웨어로 개발된 TTI(Tension Technology International)사의 OPTIMOOR S/W를 사용하여 평가하고 평가 결과에 따라 선박의 계류한계 및 평가 대상부두에 대한 안전 계류가이드 사례를 제시하였다.

3.1 계류상황 모델링

울산항 위험물 취급부두 선박 접이안 현황조사를 통해 분석된 부두 중 계류안전성 평가에 적용할 부두로 울산신항의 50,000 DWT 접안능력인 정일스톨트헤븐(JSTT) 3부두를 선정하였다. 정일스톨트헤븐 3부두는 울산신항 외항에 가까이 위치하여 조류 및 파고의 영향이 크고 계류삭의 각도와 계류 길이 등이 불리한 안벽 접안식 부두이다.



Fig. 1. Location of JSTT pier 3.

본 연구에서는 부두의 접안능력을 초과하는 선박에 대해 일반적인 계류한계와 가이드를 제시하고자 하므로 대상부두의 모델링은 우리나라 항만 및 어항설계기준(Ministry of Oceans and Fisheries, 2014)을 바탕으로 수행하였다. 계선주는 곡주(100 ton)로 적용하였으며 계선주의 높이는 0.6 m이다. 부두에 설치된 방충재는 20 m 간격으로 배치하였으며 해상교통안전진단에서 기 수행된 동일규모 부두의 방충재 특성을 적용하였다(SK Gas/SK Energy, 2011).

평가 대상부두에 대한 대상선박은 입출항 선박 현황조사 결과에 따라 최대 100,000 DWT급 탱커선을 적용하였으며 부두의 적정 접안능력에 따른 50,000 DWT급 선박부터 최대 선박까지 규모가 상향될 때 계류삭 및 계선주 장력, 방충재 반력 등 계류상황의 변화를 검토하기 위해 50,000 DWT급, 70,000 DWT급, 100,000 DWT급 탱커선이 각각 계류하고 있을 경우를 가정하여 평가하였다.

Fig. 2는 계류안전성 평가 대상 부두와 선박의 계류시스템을 모델링한 그림이다.

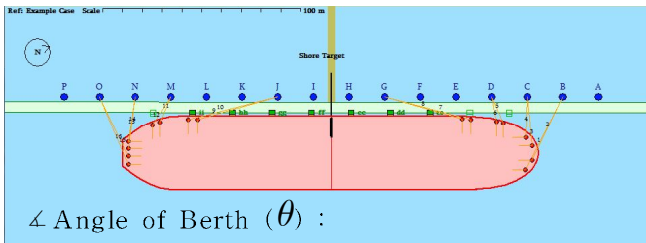


Fig. 2. Berth modeling for JSTT pier 3.

Table 3은 50,000 DWT급, 70,000 DWT급, 100,000 DWT급 탱커선의 주요 제원과 풍압면적 등을 나타낸 것이며 선박의 하중은 공선과 만재를 비교하여 계류 안전성 확보가 더 어려운 공선 조건을 적용하였다.

Table 3. Specifications for each vessel(tanker)

Category	50,000 DWT	70,000 DWT	100,000 DWT	
LOA(m)	210.0	225.0	250.0	
LBP(m)	199.0	217.0	238.0	
Breadth(m)	34.3	38.1	42.7	
Depth(m)	19.1	19.6	21.0	
Fore draft(m)	7.5	8.0	8.5	
Aft draft(m)	7.5	8.0	8.5	
Above Water Projected Areas	Transverse (m <sup>2</sup> )	1,090	1,625	1,859
	Lateral (m <sup>2</sup> )	3,000	3,700	4,500

환경 외력 조건으로 울산지역 기상 특성, 부두 특성과 해상 교통안전진단 기술기준 및 OCIMF(Oil Companies International Marine Forum) 지침을 근거하여 조건을 설정하였다. OCIMF에서는 계류 장비가 전 방향에서 불어오는 60 kts의 풍속조건과 조류 조건(0°와 180°에서 3 knots의 조류 또는 10°와 170°에서 2 knots의 조류 또는 선박의 횡방향에서 0.75 knots의 조류)에 대한 표준환경기준(OCIMF, 2008)을 제시하고 있다. 본 연구에서는 부두 및 방과계 각도 등을 고려하여 선수 10도 방향의 조류와 파고를 적용하고 통상적인 하역한계 풍속인 30 kts보다 강한 바람조건에서 대상선박의 계류 한계를 평가하기 위해 풍속 40~60 kts까지 전 방위의 바람으로 외력조건을 적용하였다.

Table 4는 계류안전성 평가 대상 선박 및 자연환경 등 외력의 조건을 나타낸 것이다.

Table 4. External force condition

Vessel Condition	Current	Waves	Wind
<ul style="list-style-type: none"> <li>Common</li> <li>- Ballast</li> <li>- Port Along side</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Speed</li> <li>- 2 kts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Height</li> <li>- 0.0 ~ 1.5 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Speed</li> <li>- 40 kts</li> <li>- 50 kts</li> <li>- 60 kts</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>50,000DWT</li> <li>- Draft : 7.5 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Direction</li> <li>- 35°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Direction</li> <li>- 35°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Direction</li> <li>- All (Interval 5°)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>70,000DWT</li> <li>- Draft : 8.0 m</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Period</li> <li>- 6.0 sec</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>100,000DWT</li> <li>- Draft : 8.5 m</li> </ul>			

그 밖에 평가 수행에 대한 기준은 해사안전법 해상교통안전진단시행지침, PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses, 2014) 및 OCIMF에서 제공된 지침을 참고하여 평가를 수행하였다.

### 3.2 계류안전성 평가의 결과

계류삭, 계선주 및 방충재 등 각 계류설비에 미치는 장력과 하중 등을 분석하고 평가하는 기준으로는 OCIMF의 표준환경기준과 권고사항을 고려하여 평가하였다. 각 선박의 계류삭 허용 장력은 Steel Wire Rope에 대한 OCIMF 권고기준(OCIMF, 2008)에 따라 최소파단하중(MBL)의 55%를 기준으로 하였고 방충재는 선행연구보고서(SK Gas/SK Energy, 2011)에서 50,000 DWT급 위험물 취급 부두에 적용한 방충재 CELL Type의 최대 반력인 (62 ton<sup>3</sup>) 이내를 허용 하중으로 평가하였다. 계선주는 50,000 DWT급 선박에 일반적으로 작용하는 견

인력(Ministry of Oceans and Fisheries, 2014)에 따라 곡주 100 ton 을 적용하여 평가하였다.

Table 5. Results of mooring safety assessment per each external force conditions according to the vessel's size

Category	Wave (m)	Vessel (DWT)	Wind		
			40kts	50kts	60kts
Mooring rope tension (%)	0.0	50,000	21	34	51
		70,000	23	34	48
		100,000	27	44	60
	0.5	50,000	22	35	52
		70,000	25	36	51
		100,000	30	48	60
	1.0	50,000	23	37	53
		70,000	27	38	54
		100,000	33	51	60
	1.5	50,000	24	38	55
		70,000	30	41	57
		100,000	36	54	60
Fender force (ton)	0.0	50,000	30	42	58
		70,000	30	44	59
		100,000	33	49	62
	0.5	50,000	33	44	59
		70,000	32	46	60
		100,000	35	50	62
	1.0	50,000	35	46	57
		70,000	31	47	61
		100,000	37	52	62
	1.5	50,000	38	48	58
		70,000	36	49	61
		100,000	39	53	62
Bollard force (ton)	0.0	50,000	21	34	50
		70,000	29	42	59
		100,000	37	61	85
	0.5	50,000	22	35	51
		70,000	31	45	62
		100,000	41	65	85
	1.0	50,000	23	37	53
		70,000	34	48	64
		100,000	45	69	85
	1.5	50,000	25	38	55
		70,000	38	51	68
		100,000	49	73	85

계류안전성 평가 결과, 50,000 DWT급 선박의 경우 평가에 적용한 표준환경기준을 대체로 만족하는 것으로 평가되었지만, 100,000 DWT급 탱커선의 경우 외력조건에 따라서 권고사항을 초과하는 경우도 있는 것으로 평가되었다. 또한, 70,000 DWT급 탱커선의 경우도 외력조건에 따라서 권고사항을 초과하는 경우가 있고 안전기준 내에 있지만 기준에 근접하여 주의가 필요한 것으로 평가 되었다.

50,000 DWT급 선박의 경우 풍속 60 kts, 파고 1.5 m의 기상 조건에서 계류삭에 미치는 장력이 파단력의 55%에 이르러 풍속 60 kts 이상 및 파고 1.5 m 이상의 자연조건이 예상될 경

우 피항조치 등이 필요할 것으로 분석되었다.

70,000 DWT급 선박의 경우 풍속 60 kts, 파고 1.5 m의 기상 조건에서 계류삭에 미치는 장력이 파단력의 57%로 허용한계를 초과함에 따라 풍속 60 kts와 파고 1.0 m 이상의 조건에서는 사전에 긴급 이안 등의 조치가 필요한 것으로 분석되었다.

100,000 DWT급 선박의 경우, 풍속 60 kts 조건에서는 계류삭 장력이 허용한계를 초과하는 것으로 분석되었고, 풍속 50 kts와 파고 1.5 m에서는 계류삭 장력이 파단력의 55%에 근접하여 나타나는 등 주의가 필요한 것으로 분석되었다. 특히, 풍속 60 kts 조건에서는 계류삭 장력뿐만 아니라 방충재에 작용하는 최대 하중 및 계선주에 작용하는 작용력도 허용기준치에 근접하는 등의 결과를 나타내고 있어 풍속 60 kts 조건에서의 계류는 위험한 것으로 분석 되었다.

#### 4. 안전 계류의 운영 가이드라인 설정 제시

본 연구에서는 50,000 DWT급 부두를 대상으로 선박규모 변화에 따른 외력별 계류안전성 평가를 수행하였고 그 결과를 분석하였다. 다만, 계류안전성 평가 결과는 바람, 파고, 조류 등 외력뿐만 아니라 선박의 길이, 폭, 풍압면적, 홀수, 계류삭 특성 등 선박제원과 부두의 길이, 계류형태 등 부두제원에도 영향을 많이 받기 때문에 평가 결과가 절대적인 수치라고 볼 수는 없으므로 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 사례에 대한 분석 및 연구가 필요하다.

본 연구에서는 선박의 계류안전성이 직접적으로 영향을 미치는 선박운항자, 부두운영관리사 등 부두 이용자가 선박과 부두, 외력조건에 따라 변화하는 계류장력 등을 파악하는데 참조할 수 있도록 안전 계류를 위한 운영 가이드라인을 제시하고자 한다.

##### 4.1 계류장력 운영 가이드라인 설정

Fig. 3은 정일스톨트헤브 부두의 각 기상조건에 따라 접안하고 있는 선박의 계류삭 장력 변화에 대해 나타낸 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 계류삭 최대 파단력의 55%를 허용 한계로 설정하고 사용자에게 허용한계에 근접하는 수치에 대한 경고를 나타내기 위해 IMO Circular 등의 Safe Working Load(SWL)에 대한 기준(IMO, 2005)<sup>4)</sup>을 준용하여 장력이 허용 한계의 80% 이상이 되면 ‘주의’, 80% 이하일 때는 ‘보통’, 100% 이상일 때는 ‘위험’으로 구분하여 나타내었다.

계류삭 종류, 각도, 풍압면적 등의 변수에 따라 50,000

3) 방충재 제원 : CELL 1000H RH, Reaction Force 61.5 Ton(Maximum deflection 55%)

4) IMO MSC Circular 1175. GUIDANCE ON SHIPBOARD TOWING AND MOORING EQUIPMENT, ANNEX 4.6.1 The SWL should not exceed 80% of the design load.

DWT급 선박의 계류삭 최대장력이 70,000 DWT급 선박보다 크게 미치는 경우(풍속 60 kts, 파고 0 m 및 0.5 m)도 있으나, 전반적으로 선박의 규모가 증가할수록 계류삭에 미치는 최대장력이 증가한다는 것을 알 수 있다.

특히, 풍속 60 kts, 파고 1.5 m 이상에서 50,000 DWT급 이상 선박은 계류삭에 과도한 장력이 미치므로 계류가 위험하다는 것을 알 수 있으며, 100,000 DWT급 선박은 풍속 50 kts, 파고 0.5 m 이상에서, 70,000 DWT급 선박은 풍속 60 kts 이상에서 계류삭의 장력이 허용치(최대 파단력의 55%)의 80%에 이르러 급격하게 외력조건이 악화될 것을 대비하여 계류라인 보강, 긴급이안 등 주의가 필요한 것으로 검토 되었다.

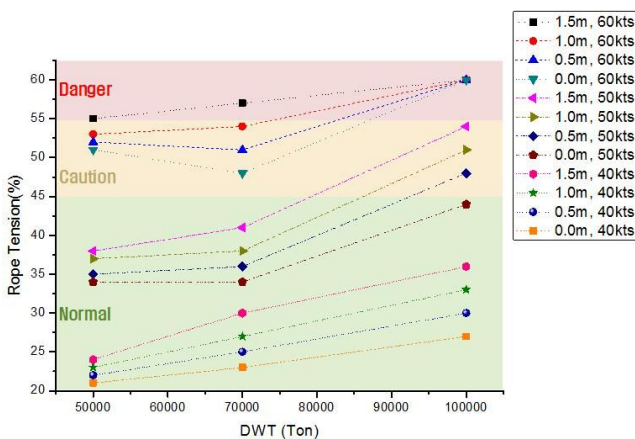


Fig. 3. Safe mooring guide for rope tension.

#### 4.2 계선주 운영 가이드라인 설정

Fig. 4는 각 기상조건에 따라 대상부두에 접안하고 있는 선박 계류시스템 중 계선주에 미치는 장력에 대해 나타낸 것이다.

계선주의 허용한계는 대상부두 계선주의 최대견인력인 100톤으로 하고 마찬가지로 IMO Circular 등의 SWL 기준을 준용하여 곡주 SWL(100 ton)의 80%를 기준으로 80% 이하일 때는 ‘보통’, 허용한계 작용력의 80~100%는 ‘주의’, 100% 이상일 때는 ‘위험’으로 구분하여 나타내었다.

계선주에 미치는 작용력은 파고보다는 풍속의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 100,000 DWT급 선박에서 풍속이 60 kts일 때 계류삭 작용력이 80톤 이상인 것으로 나타나 주의가 필요한 것으로 분석되었다.

종합적으로 볼 때 50,000 DWT급 이상 선박은 풍속 60 kts, 파고 1.5 m 이상에서 계류삭에 미치는 장력이 과도하여 계류가 위험하므로 기상악화가 예상될 때 이안 등의 조치가 필요하다. 또한, 100,000 DWT급 선박은 풍속 50 kts, 파고 0.5 m 이상에서, 50,000 DWT급 선박과 70,000 DWT급 선박은 풍속

60 kts 이상에서 계류에 주의가 필요하고, 100,000 DWT급 선박은 풍속 50 kts, 파고 0.5 m 이상에서 계류에 주의가 필요한 것으로 분석되었다.

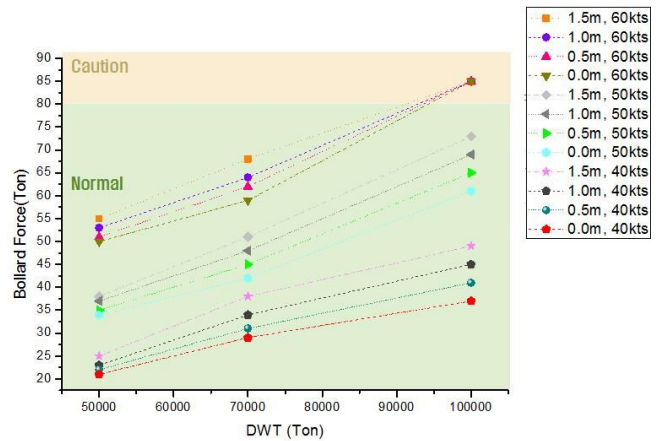


Fig. 4. Safe mooring guide for bollard force.

### 5. 결론

항만을 중심으로 한 물류 환경은 급속하게 변화하고 있으며 최근 선박의 대형화가 급격하게 이루어짐에 따라 부두의 설계 접안능력보다 더 큰 선박이 부두를 이용하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다.

선박이 부두에 계류 중에 있을 때 기상악화 등 갑작스러운 외력의 변화로 계류삭의 절단 또는 접안시설의 변형으로 부두와 선박에 손상을 주거나 이동할 경우 정박 중인 타 선박과 충돌하는 등 대형사고가 발생할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 구체적인 실태와 안전계류를 위한 운영 가이드라인 제시를 위해 울산항을 대상으로 부두의 접안능력을 상회하는 선박이 부두를 이용하는 실태를 조사·분석하였다. 그 결과, 울산분항 4부두의 경우 전체 접안선박 중 약 16%, 온산항 동북부두는 약 16%, 울산신항 정일스톨트헤븐 3부두는 약 9% 등이 접안능력을 초과하여 이용하고 있었고 부두 접안능력의 최대 3배 이상이 되는 선박이 부두를 이용한 사례도 조사되었다.

실태조사 결과에 따라, 50,000 DWT급 부두를 대상으로 50,000 DWT급, 70,000 DWT급, 100,000 DWT급 선박에 대한 계류안전성 평가를 수행하였다. 50,000 DWT급 선박의 경우 평가에 적용한 표준환경기준을 대체로 만족하는 것으로 평가되었지만, 70,000 DWT급 선박과 100,000 DWT급 선박의 경우 외력조건에 따라 허용기준치에 상당히 근접하거나 초과하는 것으로 분석되는 경우가 있어 안전성 확보에 주의가 필요한 것으로 평가 되었다. 계류안전성 평가 결과를 바탕으로

으로 대상부두에 대한 안전 계류 가이드라인 사례를 제시하였다.

계류안전성 평가 결과는 선박의 길이, 폭, 풍압면적, 홀수, 계류삭의 종류 및 길이 등 선박제원과 부두의 길이, 계류형태, 계선주의 종류 및 방충재 종류 등 부두제원에도 영향을 많이 받는다.

향후 계류안전성 평가 결과의 정확도를 높이고 대상부두에 맞는 계류안전 가이드라인을 설계하기 위해 각 선박과 부두 특성에 따라 다양한 사례에 대한 평가를 수행하여 해당항만에 일반적으로 적용 가능하도록 제시할 필요가 있다.

---

Received : 2015. 11. 06.

Revised : 2016. 01. 25. (1st)

: 2016. 02. 05. (2nd)

Accepted : 2016. 02. 25.

## References

- [1] Busan Regional Office of Ocean & Fisheries(2014), The number of vessels that depart and arrive(2014), <http://www.portbusan.go.kr>.
- [2] Choi, B. H. and S. C. Kim(2010), An Empirical Study on Causality among Trading Volume of Busan, Kwangyang and Incheon port, Port Economic, Vol. 26, No. 1, pp. 61-82.
- [3] IMO(2005), International Maritime Organization, MSC Circular 1175, Guidance On Shipboard Towing and Mooring Equipment.
- [4] Kang, W. S.(2015), A Study of Design for Proper Berthing Capacity of Berths for Dangerous Goods in Ul-San Port, Korea Maritime and Ocean University, Graduate school of Coast Guard Studies, Master's thesis.
- [5] Ministry of Oceans and Fisheries(2014), A Guide for Design of Harbour and Fisheries, pp. 29-52, pp. 710-712.
- [6] OCIMF(2008), Oil Companies International Marine Forum, Mooring Equipment Guidelines. 3rd Edition, pp. 31-38, pp. 77-88, pp. 109-135, pp. 163-173.
- [7] PIANC(2014), Permanent International Association of Navigation Congresses, Harbour Approach Channels Design Guidelines, 3rd Edition, pp. 31-38.
- [8] SP-IDC(2014), Shipping And Port Integrated Data Center, Port Trading Volume(1994~2014) and The number of vessels that depart and arrive(2014), <https://www.spidc.go.kr>.
- [9] SK Gas/SK Energy(2011), Report of Maritime Traffic Safety Assessment for Extension of the SK Pier (#3) and the Berth of SK Gas, Ch.7, pp. 6-8, pp. 13-27.
- [10] UPA(2014), Ulsan Port Authority, General Status and Specifications for Ul-san Port(2014), <http://www.upa.or.kr>.