

울산항 위험물 취급부두의 선박크기별 운용기준 개선방안에 관한 연구

김승연* · 김종성** · 김영두*** · 이윤석**†

* 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양대학교 선박운항과, *** 선박안전기술공단 해사안전연구센터

A Study to Improve the Operation Criteria by Size of Ship
in Ulsan Tank Terminal

Seungyeon Kim* · Jongsung Kim** · Youngdu 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

** Maritime Safety Research Center, Korea Ship Safety Technology Authority, Sejong, Republic of Korea

요 약 : 본 연구에서는 울산항 위험물 취급부두의 선박 크기별로 부두 운용 기준을 개선하기 위하여 각 선사의 자체안전관리계획서와 국내외 기준을 고려하고 환경외력에 취약한 4개 부두의 계류안전성평가 결과를 분석하여 하역중단기준과 긴급이안기준을 제안하였다. 선박의 풍압면적이 작고, 파고에 따른 동요량이 큰 것으로 분석되어 10,000톤 이하의 선박은 풍속 18~21 m/s, 파고 1.0~1.5 m, 10,000~50,000톤의 선박은 풍속 17~20 m/s, 파고 1.2~1.5 m로 제한한다. 또한, 선박의 풍압면적이 크고, 선박 자체의 무게가 무거워 동요량은 적은 것으로 분석되어 50,000~100,000톤의 선박은 풍속 15~19 m/s, 파고 1.5 m, 100,000톤 이상의 선박은 풍속 14~18 m/s, 파고 1.5 m로 제한한다. 본 연구는 항만의 특성을 고려하여 부두운용기준을 실증적으로 제안하고 선박 운항자 중심의 항만 개발을 독려했다는 데 그 가치가 있다.

핵심용어 : 계류안전성, 선박 동요량, 부두 운용 기준, 계류 시스템

Abstract : In order to establish an operational standard based on ship size, this study considered a specific safety management plan for Ulsan along with international standards, analyzed the results of mooring safety assessment at four vulnerable piers and suggests cargo stoppage and emergency unberthing standards as follows. In accordance with ship characteristics, ships of less than 10,000 tons are recommended to limit their activities for wind speeds of 18-21 m/s and wave heights of 1.0-1.5 m. Ships from 10,000-50,000 tons are recommended to observe wind speeds of 17-20 m/s and wave heights of 1.2-1.5 m, while, ships of 50,000-100,000 tons are recommended wind speeds of 15-19 m/s and wave heights of 1.5 m. Ships of more than 100,000 tons are recommended wind speeds of 14-18 m/s and wave heights of 1.5 m.

Key Words : Mooring safety analysis, Oscillation quantity of moored ship, Port operation criteria, Mooring system

1. 서론

항만은 자국의 부가가치 창출을 위한 국가의 기간시설로서 육상운송과 해상운송의 연결기능을 수행하는 중계지로서의 중요한 역할을 하고 있다. 특히 국내의 무역의존도가 70% 내외이며 취급하는 전체 화물 중 90% 이상이 해운-항만을 통해 이루어지고 있다는 것을 고려하여 국가 주도의 항만개발 정책에 따른 지속적인 부두 시설 등의 확충으로 전국 항

만의 확보율이 점진적으로 증가하고 있다. 하지만 항만에서의 부두형태, 하역형태, 취급화물, 선박의 접안 능력별 안전관리에 대해서는 정량적 분석 및 평가가 미흡하여 항만에서의 안전관리가 체계적으로 이루어지지 못하고 있다.

울산항은 현재 우리나라 액체화물 취급량 중 전체 34%를 차지하며 국내 최대 액체화물 취급항만임에도 불구하고 체계화된 하역중단기준이 마련되지 않고 각 위험물 취급 회사에서 자체적인 안전 기준을 설정하여 운영하고 있는 실정이다. 자체안전관리계획서는 각 위험물 취급업체간 유사성 및 계획서 이행의 효용성 문제가 대두되고 있으며, 이는 위험

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

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

화물을 취급하는 선박의 특성상, 사고 발생시 대상 항만에 막대한 피해의 위험성이 있다. 또한 자체안전관리계획서에 의거하여 부두를 운영함에 따라 동일한 크기의 선박이라도 하역 중지 기준이 달라 형평성에 어긋나므로 이를 정량화할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구는 울산항 위험물 취급 회사의 자체안전관리계획서, 국내외 기준, 기 수행된 계류안전성평가, 본 계류안전성평가 결과 등을 종합적으로 분석하고, 울산항 위험물 취급 부두에 접안한 선박의 특성, 동요량 및 부두시스템의 안전성을 고려하여, 선박 크기별 부두 운용 기준 개선안을 제시하였다.

2. 선행 연구

계류안전성평가에 관한 연구성과들을 살펴보면, Ueda and Shiraisi(1988)는 계류된 선박의 동요량을 계산하고 하역 여부를 정량화된 동요량 기준으로 표시한 하역허용동요량을 제시하였으며, Kubo et al.(1993)은 계류시스템의 특성과 선박 동요량을 반영하여 하역가동률을 산정할 수 있는 개략식을 제안하였다. 또한 계류된 선박의 동요량과 하역허용동요량을 이용하여 하역가동률을 평가하였다(Ueda et al., 1994).

한편, Cho et al.(2006)은 쓰나미의 내습으로 인한 선박의 동요량을 수치계산하고 지진해일이 선박운동에 미치는 영향과 계류시스템에 작용하는 하중을 계산하였다. 또한 Kwak et al. (2013-2014)은 단주기 파랑 및 장주기 파랑이 선박에 작용하였을 때 선박 동요량을 해석할 수 있는 방법을 제시하고 이 때 선박의 특성을 반영하여 하역한계과고를 산정하는 방법을 제시하였다.

부두의 적정 접안능력을 검토하기 위하여 Jeon et al.(2008)은 울산항의 3개 부두를 선정하여 통항 및 접안 안전성과 선체동요 및 구조안전성을 종합적으로 평가하여 부두 접안 가능 최대 선박 크기를 제안하였다. 또한 Kang and Park(2016)은 울산항의 1개 부두를 선정하여 선박 규모의 변화에 따른 계류안전성 평가를 수행하여 대상부두에 대한 안전 계류 가이드라인을 제안하였다.

본 연구는 국내 최대 액체화물 취급항만인 울산항을 선정하여 부두 운용 현황을 분석하고, 환경외력에 취약한 4개 부두의 계류안전성평가를 수행하여, 울산항 위험물 취급부두의 선박 크기별 하역중단 및 긴급이안기준을 제시하였다.

3. 부두 운용 현황 분석

울산항은 국내 항만 중 부산항 다음으로 입출항 선박이 많은 무역항으로 울산 본항, 온산항, 미포항 및 울산 신항으

로 구성되어 있다. 또한 울산항은 전국 항만 중 유류 및 위험물 화물을 가장 많이 취급하고 있으며, 2014년 7월과 2015년 1월에 케미컬운반선 폭발사고 등이 지속적으로 발생하여 안전에 대한 불안감이 커지고 있는 상황이다. 이러한 사고는 취급 화물이 위험화물이므로 사고 발생시 2015년 8월 발생한 중국 텐진항 폭발 사고와 같이 국가적 재난으로 확산될 수 있다는 점에서 매우 중요하다.

이에 따라 울산항의 위험물 취급 부두의 하역중단기준 및 긴급이안기준을 설정하기 위하여 울산항의 부두 운용 기준으로 14개의 울산항 위험물 취급 회사의 자체안전관리계획서를 분석하고, 유사항만의 부두 운용 기준과 항만 및 어항 설계기준, PIANC 기준을 검토하였다.

하역중단기준은 각 부두의 위치, 선종, 선박 크기 등에 따라 달라지며 안전한 하역을 위하여 선종에 따라 국내외 규정에 명시된 하역허용동요량을 만족하는 기준에 의해 결정되며, 긴급이안기준은 부두와 선체의 안전성 확보를 위하여 부두에 설치된 계선주, 방충재 등의 계류시스템의 허용하중을 만족하는 범위 내에서 접안이 가능함을 의미하며 해당 범위를 초과한 조건에서는 긴급하게 출항해야 한다.

3.1 울산항 위험물 취급부두의 운용 현황

현재 울산항을 비롯한 국내항 위험물 부두의 하역중단기준 및 긴급이안기준은 선박입출항법 제34조에 따라 자체안전관리계획서의 승인제도에 의해 운용되고 있으며, 이 제도는 1차적 책임을 부담하고 있는 소유자에게 안전관리계획을 수립할 의무를 부과하고 이에 대한 적정성을 해양수산부가 승인하는 방식이다. 이는 각 위험물 취급업체가 사용하는 부두가 상이함에도 불구하고 각 업체가 제출한 자체안전관리계획서의 내용이 유사하다는 문제점이 있다.

Table 1은 울산항의 위험물 취급 부두를 운영하는 14개 회사의 자체안전관리계획서상의 하역중단기준 및 긴급이안기준이다. A, D, H, K 선사의 하역중단 및 긴급이안 기준을 보면 선박 크기가 다양함에도 불구하고 동일한 기준을 적용하고 있다. 또한 H-N까지 7개의 선사는 선사별로 다양한 크기의 선박을 보유하고 있음에도 불구하고 동일한 기준을 적용하고 있다. 이는 실질적인 계획서의 이행여부보다는 작성하여 승인받는데 그 목적을 두고 있는 이유로 분석되며, 이에 따라 제도의 운영 및 효용성에 문제점이 도출되고 있는 실정이다.

$V_{w,10min}$ 는 10분 평균풍속을 의미하며 이는 해상에서 고도 10m의 높이에서 측정된 풍속으로 10분 동안 측정된 값의 평균값을 의미한다. H_s 는 유의파고를 의미하는데, 유의파고란 불규칙한 파군을 편의적으로 단일한 주기와 파고로 대표한

울산항 위험물 취급부두의 선박크기별 운용기준 개선방안에 관한 연구

과로서, 하나의 주어진 파군 중 파고가 높은 것부터 세어서 전체 개수의 1/3까지 골라 평균한 값이다.

Table 1. Operation Criteria of Self-control safety management plan

Company	Vessel (DWT)	Cargo Stoppage		Emergency Unberthing	
		$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)	$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)
A	2K~150K	18	1.0	20	2.0
B	1K~8.5K	21	2.0	24	3.0
C	50K~80K	12	2.0	15	3.0
D	5K~120K	14	1.2	21	2.0
E~G	20K	17	2.0	20	3.0
H	5K~40K	14	2.0	21	2.0
I	10K~40K	14	2.0	21	2.0
J	3K~40K	14	2.0	21	2.0
K	8K~30K	14	2.0	21	2.0
L~M	30K	14	2.0	21	2.0
N	50K	14	2.0	21	2.0

3.2 유사 항만 운용 기준 분석

항만 및 어항설계기준(Port Design Criteria, PDC)은 국내 항만 및 부두 건설시 설계조건의 한계를 규정하는 기준으로써 대상시설물의 설계업무를 수행하는데 최우선이 되는 기준이고 PIANC는 국제수상교통시설협회에서 1885년에 설립한 포럼으로 항만 및 부두 건설에 국제적 기준을 제시하며, 미국, 유럽 등의 선진 항만 건설시 적용된다.

국내 무역항의 하역중단기준은 항만 및 어항설계기준의 선종별 하역허용동요량에 의해 결정되며, 이는 Table 2와 같이 PIANC 기준과 동일하다. 하역허용동요량은 외력에 의한 선체동요로 인해 대상 선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위 내에 있는지를 평가하기 위한 것으로 선체의 6자유도 운동(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw) 통계량을 기초로 하여 검토한다.

Table 2. Acceptance criteria of ship movement

Standard	Ship	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Yaw (deg)
PDC (2014)	Tanker	±1.5	±3.0	-	-	-	-
	Gas Carrier	±1.0	±2.0	-	±1.0	±1.0	±1.0
PIANC (1995)	Tanker	±1.5	±3.0	-	-	-	-
	Gas Carrier	±1.0	±2.0	-	±1.0	±1.0	±1.0

또한 PIANC(2014)에서는 선종별, 선박크기별로 하역허용기준을 Table 3과 같이 제안하였으며 30,000~200,000 DWT의 유조선의 경우 부두와 중방향으로 외력이 작용할 때 풍속 22 m/s,

조류 1.5 m/s, 파고 2.0 m를 제안하였다.

그 외에 국내 위험물 취급 부두인 여수항 및 대산항에서는 부두 건설시 해상교통안전진단제도에 따라 계류안전성 평가를 수행하여 Table 4와 같이 하역중단기준 및 긴급이안 기준을 제안하고 있다.

Table 3. Limiting environmental operating condition(PIANC)

Description	$V_{w,1min}$ (m/s)	$V_{F,1min}$ (m/s)	H_s (m)
Forces longitudinal to the quay			
- Oil tankers			
< 30,000 (DWT)	22	1.5	1.5
30,000 ~ 200,000 (DWT)	22	1.5	2.0
> 200,000 (DWT)	22	1.5	2.5
- Liquid Gas Carriers			
> 60,000 (m³)	22	1.5	1.5

Table 4. Results of mooring safety analysis in a domestic port

Port (Tank Terminal)	Vessel (DWT)	Cargo Stoppage		Emergency Unberthing	
		$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)	$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)
Yeosu	10K	22	1.0	24	1.5
	80K	18	1.0	20	1.5
	120K	20	1.0	20	1.5
	200K	25	1.5	25	1.5
Daesan	13K	22	1.0	25	1.5
	120K	20	1.5	25	1.5

4. 계류안전성 평가

국내에서 취급되는 유류 및 가스화물 전체 중 30% 이상을 차지하는 울산항 위험물 취급부두의 자체안전관리계획서를 검증하고 부두 운용 기준을 개선하기 위하여, 선박크기별로 환경외력에 취약한 4개 부두를 선정하여 계류안전성 평가 시뮬레이션을 실시하였다.

4.1 계류안전성 평가의 개요

선박의 계류안전성 평가는 특정 부두에 계류된 선박이 바람, 조류 및 조위 변동, 파랑과 같은 외력을 받을 경우, 계류된 선박의 특성, 풍압면적, 홀수 등을 종합적으로 고려하여, 계류삭, 계선주, 방충재 등의 계류시스템의 하중을 평가하여 대상 선박의 계류 한계 및 하역 한계를 포함한 선박의 안전성을 정량적으로 평가하는데 그 목적이 있다.

기본적으로 계류안전성평가에서 선박의 계류시스템과 환경외력의 힘과 모멘트가 평형을 이루는 조건을 분석하면,

각 계류삭 및 펜더 등에 작용하는 장력 및 반력 등을 추정할 수 있다. 즉, 식(1)~(3)을 만족하는 조건을 찾으면 된다.

$$\sum F_x + \sum P_x = 0 \text{ (Surge)} \quad (1)$$

$$\sum F_y + \sum P_y = 0 \text{ (Sway)} \quad (2)$$

$$\sum M_{xy} + \sum N_{xy} = 0 \text{ (Yaw)} \quad (3)$$

여기서 $\sum F_x$, $\sum F_y$, $\sum M_{xy}$ 는 바람, 조류, 파랑 등 환경 외력의 선체 길이방향(F_x), 횡방향(F_y), 모멘트(M_{xy}) 성분이고, $\sum P_x$ 는 계류삭의 선체길이방향 성분, $\sum P_y$ 와 $\sum N_{xy}$ 는 계류삭 및 방충재의 횡방향(P_y), 모멘트(N_{xy}) 성분이다.

위 식은 구하려는 미지수에 비해 방정식의 숫자가 적음, 전형적인 부정정계(Statically Indeterminate System)이며, 이는 반복(Iteration)기법에 의해 평형 상태를 구한다.

계류안전성 해석은 TTI(Tension Technology International)사의 OPTIMOOR SW(Ver. 6.2.6, 2013.01.15 Update) 최신 Version을 이용하여 수행하였다. OPTI-MOOR는 선형 해석으로 타 계류안전성 해석프로그램에 비하여 단순하나 정확한 모델링으로 적용시 연구논문에서 활용도가 높아 국내 해상교통안전진단의 계류안전성평가에 대표적으로 사용되고 있는 해석프로그램이다.

이에 따라 본 연구에서는 울산항 위험물 취급 부두 중 비교적 환경 외력 조건에 취약한 것으로 확인되는 4개 부두를 선정하여 선체와 안벽 그리고 계류 로프로 이루어진 하나의 계류시스템에 파랑, 바람, 조류, 선형 및 초기장력 등 외력 조건을 가하여 해석하였다.

4.2 계류상황 모델링

계류안전성 평가 대상 부두로는 선박 접안 현황조사 결과에 따라 울산 본항 초입에 위치하여 조류 및 파고의 영향이 큰 SK 3부두, 가스부두와 온산항 항내에서 비교적 환경 외력의 영향을 많이 받는 S-Oil 2부두를 선정하였으며, 각 부두의 위치와 상세조건은 Table 5, Fig. 1과 같다.

또한 평가 대상 선박은 각 부두별로 접안 가능한 최대 선박 크기인 8,500톤, 15,000톤, 50,000톤 및 120,000톤급 가스선 및 탱커선을 선정하였다.

Table 5. Specifications of the pier

Category	Name	Length (m)	Depth (m)	No.	Capacity	
					DWT	GT
SK port	Gas	360	7.5	1	8,500	8,000
	No.3	130	12.0	1	50,000	27,000
Onsan port	No.2 S-oil	340	16.0	2	15,000	9,000
				3	120,000	65,000

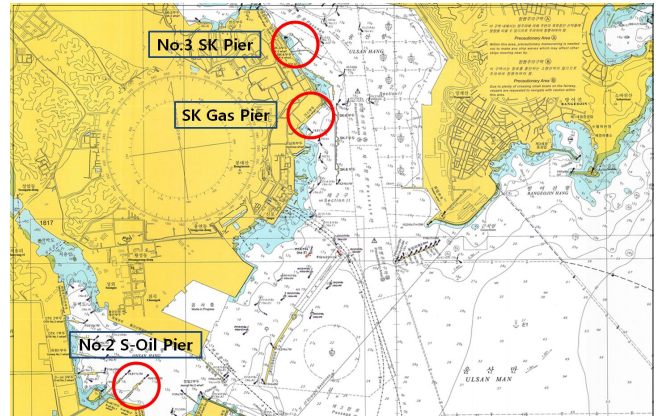


Fig. 1. Location of the pier.

Table 6은 계류안전성 평가를 위한 선박별 주요 제원과 풍압면적을 나타낸 것이며 선박의 풍하중은 만재상태와 경하상태를 비교하여 일반적으로 선박의 계류안전성 확보가 더 어려운 경하상태의 조건을 적용하였다.

경하시의 선박은 만재 상태이거나 화물이 적재된 선박보다 흡수가 적고 선박의 무게가 가벼워 바람 및 파랑의 영향을 많이 받으므로 부두에 계류시 계류삭 및 계류시스템에 하중을 최대 주게 된다. 그러므로 경하시의 조건을 만족하면 선박의 화물적재 비율에 상관없이 안전성 확보가 가능하다고 해석할 수 있다.

Table 6. Specifications or each vessel(Ballast Condition)

Category		8.5K	15K	50K	120K
LOA(m)		119.0	128.0	183.0	265.0
LBP(m)		110.0	120.0	173.0	255.0
Bredth(m)		15.0	12.0	32.0	42.0
Depth(m)		11.0	10.0	17.0	18.0
Fore draft(m)		5.0	5.5	6.5	7.0
Aft draft(m)		5.0	5.5	6.5	7.0
Above Water Projected Areas(m ²)	Transverse	280	410	656	1,025
	Lateral	890	1,180	2,210	4,510

계류안전성 평가에 이용된 바람, 파랑, 조류 등의 환경조건은 대상 부두의 위치에서 최대 외력이 미치는 조건으로 설정하였다. 바람은 전방위에 대하여 5도 간격으로 하역한 계풍속을 고려하여 26 m/s(50 knots)까지 평가를 실시하였다. 파랑은 하역한계파고 등을 고려하여 2.0 m까지 검토하였으며, 조류는 항내 조류도를 반영하여 1.0 knots까지 고려하였다.

4.3 하역중단기준 분석

울산항 위험물 취급부두에 접안한 8,500톤급, 15,000톤급, 50,000톤급, 120,000톤급 선박의 계류안전성 검토를 위하여 부두 특성, 선박 제원을 입력하고 실제 선박의 배치와 유사하게 계류 모델링을 실시하여 계류안전성평가를 수행하였다. 그 중 하역중단기준 분석을 위한 15,000톤급 선박의 6차 유운동에 따른 동요량은 Fig 2와 같다.

15,000톤급 선박의 선체동요량값은 파고에 상관없이 26m/s의 풍속에서 Surge값은 허용동요량을 초과하는 것으로 나타났으며, 동일 풍속에서 파고가 높아질수록 Sway값이 증가하나 허용동요량을 초과하지 않는 것으로 분석되었다. 또한 Table 7은 파고 2.0 m의 조건에서 풍속별, 선박 크기별 동요량값으로 50,000톤급 선박의 경우 부두의 계선주 배치에 의해 Breast Line이 없으므로 동요량이 증가하였으나 일반적으로 선박의 크기가 클수록 동일 환경조건에서 동요량이 작아지는 것으로 분석되었다.

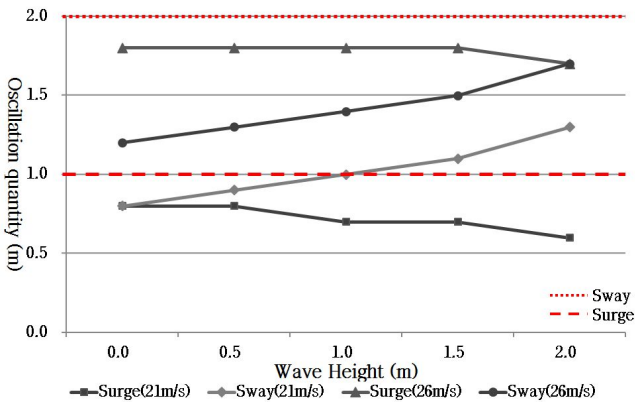


Fig. 2. Oscillation quantity of ship motion (15,000 DWT).

Table 7. Oscillation quantity of ship motion ($H_s=2.0$ m)

Vessel (DWT)	Motion	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Yaw (deg)
		± 1.0	± 2.0	-	± 1.0	± 1.0	± 1.0
8.5K	16m/s	0.2	0.4	0.10	0.2	0.01	0.10
	21m/s	0.6	0.5	0.10	0.4	0.01	0.10
	26m/s	1.2	0.6	0.10	0.6	0.01	0.10
15K	16m/s	0.1	1.0	0.10	0.2	0.01	0.10
	21m/s	0.6	1.3	0.10	0.7	0.01	0.10
	26m/s	1.7	1.7	0.10	1.1	0.01	0.10
50K	16m/s	0.2	1.0	-	-	-	-
	21m/s	1.2	1.3	-	-	-	-
	26m/s	2.2	1.8	-	-	-	-
120K	16m/s	0.1	0.1	-	-	-	-
	21m/s	0.2	0.1	-	-	-	-
	26m/s	0.3	0.2	-	-	-	-

4.4 긴급이안기준 분석

긴급이안기준 분석을 위하여 선박 크기별로 각 계류시스템에 미치는 장력과 하중을 분석하였다. 각 선박의 계류삭 허용 장력은 OCIMF의 권고사항을 고려하여 최소파단하중의 55%를 기준으로 설정하였다.

Fig 3은 50,000톤급의 탱커선의 계류안전성 평가 결과로 26 m/s의 풍속에서는 0 m의 파고에도 방충재의 허용반력이 초과하고 0.5 m의 파고에도 계선주의 허용견인력이 초과하는 것으로 분석되었다. 또한 21 m/s의 풍속에서는 파고 1.5 m 이상의 조건에서 방충재의 허용반력이 초과하는 것으로 나타났다. Table 8은 선박 크기별로 풍속에 따른 계류시스템의 최대하중을 나타낸 표이다. 풍속 26 m/s에서는 15,000톤급을 제외한 모든 크기의 선박에서 계류시스템의 허용하중을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 선박 크기가 클수록 풍압면적이 크므로 풍속이 증가함에 따라 각 계류시스템의 허용하중을 초과하는 범위가 큰 것으로 분석되었다.

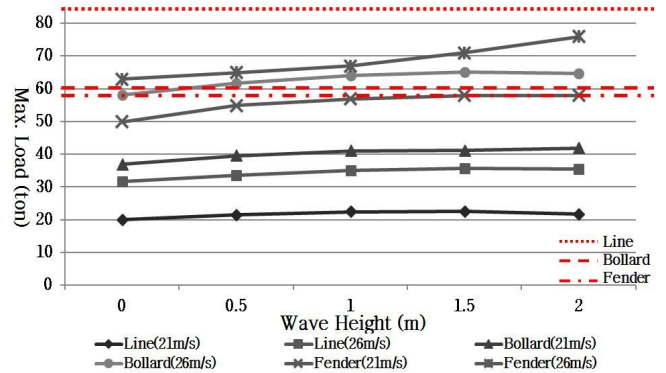


Fig. 3. Max. Load of mooring system (50,000 DWT).

Table 8. Results of mooring safety assessment ($H_s=2.0$ m)

Vessel (DWT)	Max. Load (ton)	Max. Load	$V_{w,10min}$ (m/s)		
			16	21	26
8.5K	Line	54	17.4	26.1	37.9
	Bollard	35	17.1	24.3	35.6
	Fender	45	20	23	26
15K	Line	54	8.3	9.4	14.2
	Bollard	50	24.5	28.0	41.9
	Fender	117	92	97	102
50K	Line	83	14.5	21.8	35.6
	Bollard	60	25.5	42.0	64.8
	Fender	58	58	58	76
120K	Line	105	61.3	78.3	99.5
	Bollard	100	115.2	148.4	189.9
	Fender	117	76	98	118

5. 선박 톤수별 부두 운용 기준 제시

울산항 위험물 취급선사의 자체안전관리계획서상의 부두 하역중단기준은 풍속 12~21 m/s, 파고 1.0~2.0 m, 긴급이안기준은 풍속 15~24 m/s, 파고 2.0~3.0 m으로 조사되었으며, 이를 검증하기 위해 비교적 환경 외력 조건에 취약한 것으로 분석되는 4개 부두를 선정하여 계류안전성평가를 시행하고 하역 중단 및 긴급이안기준을 도출한 결과는 Table 9와 같다.

여기서 풍속과 파고의 조건은 각각 적용되는 것으로 동시에 충족될 때는 물론이거나 풍속, 파고 중 하나의 조건만이라도 초과하면 하역을 중지하고 필요시 긴급히 이안해야 할 것이다.

Table 9. Results of mooring safety assessment

Vessel(DWT)	Operational Standards	$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)
8,500	Cargo Stoppage	23	1.0
	Emergency Unberthing	25	1.1
15,000	Cargo Stoppage	22	1.0
	Emergency Unberthing	23	1.2
50,000	Cargo Stoppage	19	1.2
	Emergency Unberthing	20	1.5
120,000	Cargo Stoppage	18	1.5
	Emergency Unberthing	18	1.5

Table 9에서 120,000톤 탱커선과 같이 대상선박의 톤수가 큰 경우, 계류시스템의 안전성을 고려하지 않고 하역동요량만을 고려하면 하역중단기준을 높게 설정할 수 있으나, 운용기준을 제시할 때 하역중단기준을 긴급이안기준보다 낮게 설정하여 먼저 적용하도록 하기 위해 하역동요량과 계류시스템의 허용하중을 모두 만족하도록 하역중단기준을 설정하였다.

또한, 국내 기상청에서 발표하는 풍랑주의보, 풍랑경보, 강풍주의보, 강풍경보의 환경외력 기준은 Table 10과 같으며, 통상적으로 해상에서 적용되는 풍랑주의보의 풍속인 14 m/s 수준에서는 선박 입출항을 자제하도록 권고하고 있다.

Table 10. High seas standards of Meteorological office

Standards	$V_{w,10min}$ (m/s)	$V_{w,max}$ (m/s)	H_s (m)	Duration (Hour)
High Seas Watch	14	-	3.0	3
High Seas Warning	21	-	5.0	3
Strong Wind Watch	14	20	-	-
Strong Wind Warning	21	26	-	-

각 선사의 자체안전관리계획서, 국내외 기준 및 계류안전성평가 결과를 종합하여 울산항 위험물 취급부두의 부두 운용 기준을 선박 크기별로 Fig. 4~7과 같이 제시한다.

선박의 크기는 ① SK1,2,4,5부두, 가스부두, 용잠부두 등에 접안하는 10,000톤 이하의 탱커선 및 가스선, ② OTK부두, UTT부두, S-Oil부두, 정일부두 등에 접안하는 10,000~50,000톤 사이의 탱커선, ③ SK3,6부두, 유화1부두, 현대터미널부두 등에 접안하는 50,000~100,000톤 사이의 탱커선, ④ SK7,8부두, S-Oil2부두에 접안하는 100,000톤 이상의 탱커선으로 분류하였다.

10,000~50,000톤 탱커선의 접안 부두는 비교적 접안 가능한 탱커선의 범위를 확보하기 위하여 계류시스템의 허용하중이 대상선박에 비해 크게 설치된 경우가 많으므로 대상선박에 비해 긴급이안기준 범위가 크나, 선박 특성상 파고 및 파주기에는 민감한 것으로 분석된다. 100,000톤 이상 중대형선은 비교적 풍압면적이 크므로 풍속과 파고를 포함한 환경외력의 크기가 커졌을 때 계류시스템의 허용하중을 초과할 수 있으며, 선박 자체의 무게가 무겁고 선박의 흘수가 크므로 동요량은 소형선에 비하여 적은 것으로 분석된다.

Fig. 4의 하역중단풍속의 경우 계류안전성평가 결과 선박 크기별로 18~20 m/s까지 안전한 것으로 평가되나, PIANC 기준 풍속(20 m/s)과 풍랑주의보 기준 풍속(14 m/s)을 고려하여 대다수의 위험물 취급 선사가 14 m/s를 적용하고 있는 실정임을 고려하여 선박 크기에 따라 14~18 m/s를 제시한다.

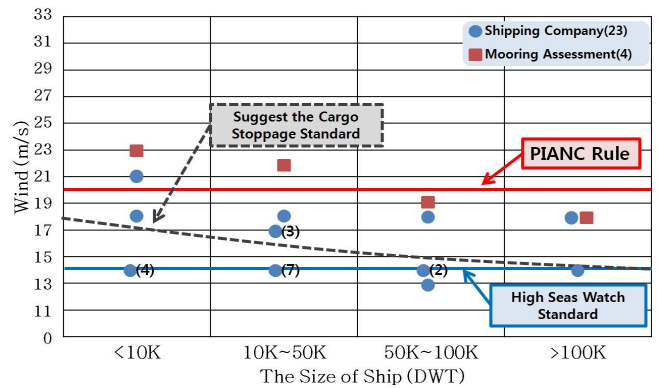


Fig. 4. Cargo Stoppage Standards (Wind).

Fig. 5의 긴급이안풍속은 계류안전성평가 결과 선박 크기에 따라 20~23 m/s까지 안전한 것으로 평가되나, PIANC 기준 풍속인 20 m/s와 풍랑경보 기준 풍속인 21 m/s를 고려하여, 대다수의 위험물 취급 선사가 21 m/s를 적용하고 있는 실정이며, 이에 선행 계류안전성 평가 및 본 연구에서 실시한 계류안전성 평가 결과를 적용하여 선박 크기에 따라 18~21 m/s를 제시한다.

울산항 위험물 취급부두의 선박크기별 운용기준 개선방안에 관한 연구

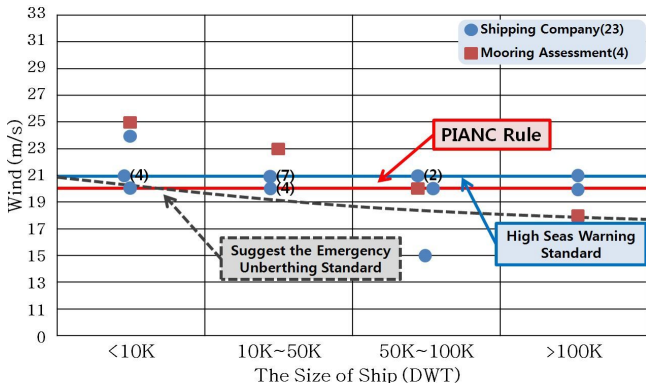


Fig. 5. Emergency Unberthing Standards (Wind).

Fig. 6의 하역중단파고의 경우, PIANC 기준 파고(1.0~1.5 m)와 풍랑주의보 기준 파고(3.0 m)를 고려하여, 대다수의 위험물 취급 선사가 2.0 m를 적용하고 있는 실정이며, 이에 선행 계류안전성 평가 및 본 연구에서 실시한 계류안전성 평가 결과를 적용하여 선박 크기에 따라 1.0~1.5 m를 제시하였다.

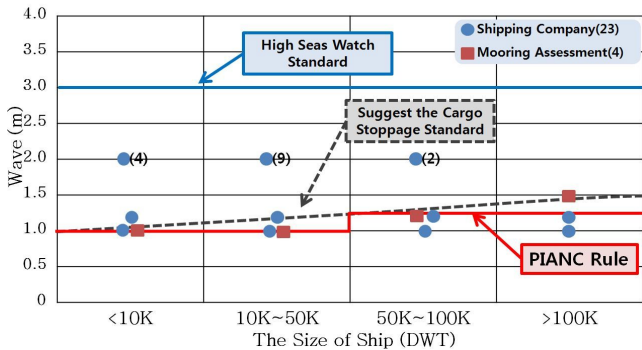


Fig. 6. Cargo Stoppage Standards (Wave).

Fig. 7의 긴급이안파고는 PIANC 기준 파고(1.0~1.5 m)와 풍랑주의보 기준 파고(3.0 m)를 고려하여, 대다수의 위험물 취급 선사가 2.0 m를 적용하고 있는 실정이며, 이에 선행 계류안전성 평가 및 본 연구에서 실시한 계류안전성 평가 결과를 적용하여 선박 크기에 따라 1.5 m를 제시하였다.

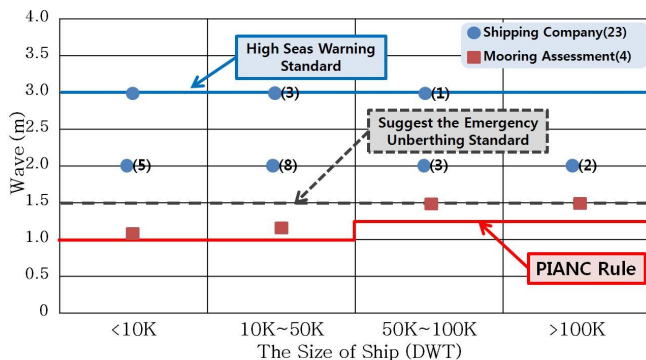


Fig. 7. Emergency Unberthing Standards (Wave).

이를 종합하여 울산항 위험물 취급부두의 부두 운용 기준을 선박 크기별로 구분하여 Table 11과 같이 제안한다.

풍속 기준은 풍랑주의보, 풍랑경보, PIANC 기준과 계류안전성평가결과를 종합하여 선박 크기별로 14~21 m/s로 결정하였다. 단, 풍랑주의보 기준인 14 m/s 미만의 풍속이라 할지라도 선박 동요량이 증가할 때에는 본선에서 계류삭을 추가로 배치하여 계류안전성을 충분히 확보한 후 하역을 진행하여야 할 것이다.

현재 항만 및 어항설계기준 중 선박 크기별 하역한계파고 기준은 소형선 0.3 m, 중대형선 0.5 m, 초대형선 0.7~1.5 m로 설정되어 있고 현재 부두 운용 기준인 자체안전관리계획서상의 유의파고 한계는 2.0~3.0 m로 설정되어 있다. 이는 PIANC 기준보다 약 1.2~1.5배 정도 높으며, 항내 접안선석 위치에서 2.0 m 이상의 파고는 하역안전성 확보에 상당한 어려움이 있으므로 파고 기준은 1.0~1.5 m로 하향조정하였다.

Table 11. Port Operational Standards Presentation

Operational Standards	$V_{w,10min}$ (m/s)	H_s (m)
1. Cargo Stoppage		
< 10K (DWT)	18	1.0
10K ~ 50K (DWT)	17	1.2
50K ~ 100K (DWT)	15	1.5
> 100K (DWT)	14	1.5
2. Emergency Unberthing		
< 10K (DWT)	21	1.5
10K ~ 50K (DWT)	20	1.5
50K ~ 100K (DWT)	19	1.5
> 100K (DWT)	18	1.5

6. 결론

본 연구에서는 국내의 위험물 취급부두의 운용 현황 및 국내의 기준을 분석하여 현재 부두 운용 기준인 각 선사의 자체안전관리계획서상의 문제점을 발견하였다. 또한 자체안전관리계획서를 검증하기 위하여 울산항의 위험물 취급부두 중 환경외력에 취약한 4개 부두를 선정하여 계류안전성 평가를 진행하였다. 더불어 계류안전성 평가와 국내의 기준 및 자체안전관리계획서를 취합하여 울산항 위험물 취급 부두의 선박 크기별 부두 운용 기준 개선안을 제안하였다. 본 연구의 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 울산항의 위험물 취급 부두를 운영하는 14개 회사의 자체안전관리계획서상의 부두 운용 기준을 검토한 결

과, 동일 크기의 선박임에도 불구하고 각 선사마다 다른 기준이 적용되어 형평성에 부합하지 않으며 업체간 유사성 및 효율성의 문제가 발견되고 있는 실정임을 확인하였다.

- (2) 환경 외력에 취약한 4개 부두를 선정하여 선박 크기별로 계류안전성평가를 수행한 결과, 10,000톤 이하의 선박과 10,000~50,000톤의 선박은 풍압면적이 작고 풍속의 영향을 적게 받고 있으므로 부두 운용 기준을 PIANC 기준에 가깝게 제안하였다.
- (3) 50,000~100,000톤의 선박은 비교적 풍압면적이 크므로 풍속의 영향을 많이 받고 선박특성상 소형선에 비하여 파고에 따른 동요량이 비교적 작은 특성을 보이며, 100,000톤 이상의 선박은 풍압면적이 크므로 풍속의 영향을 많이 받아 풍속변화에 따른 계류시스템의 허용하중변화가 급격히 커지며 선박특성상 파고에 따른 동요량이 비교적 작으므로 부두 운용 기준을 국내외 기준 및 자체안전관리계획서의 기준과 절충하여 제안하였다.
- (4) 그러나 풍랑주의보 기준인 14 m/s 미만의 풍속이라 할지라도 지속적인 바람으로 파랑이 형성되어 계류된 선박의 동요량이 증가할 때에는 본선에서 계류삭을 추가로 배치하여 계류안전성을 충분히 확보한 후 하역을 진행하여야 하는 등 선박의 안전을 능동적으로 확보해야 한다.

본 연구 결과는 추후에 개발되는 부두시스템에 항만의 특성을 반영하고 이용 선박의 크기별로 하역중단 및 긴급이안 환경 기준을 충족할 수 있게 설계하도록 부두 운용 기준을 개선하는데 활용될 수 있다. 이러한 규정 설립은 사용자인 선박운항자 중심의 부두 개발을 독려하고 항만 가동률을 향상시키는데 그 의의가 있다.

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] Jeon, S. Y., Y. M. Kim, B. G. Woo and H. Chung(2008), A systematic approach to decide maximum berthing ship size coupled with berth design criteria, Journal of Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 14, No. 1, pp. 45-54.
- [3] Kang, W. S. and Y. S. Park(2016), A basic study on safe mooring guide for dangerous goods berths in Ul-san port, Journal of Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 67-73.
- [4] 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.
- [5] Kwak, M. S., Y. H. Moon and C. K. Pyun(2013), A study on analysis of moored ship motion considering harbor resonance, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 2, pp. 595-608.
- [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] Ueda, S. and S. Shiraisi(1988), The allowable ship motions for cargo handling at wharves, Technical Report of Port and Harbour Research Institute, Japan, Vol. 27, No. 4, pp. 3-61.
- [8] Ueda, S., S. Shiraisi, H. Oshima and K. Asano(1994), Proposal of allowable wave height and wharf operation efficiency based on the oscillations of ships moored to quay walls, Proceedings of Coastal Engineering, Japan Society, of Civil Engineers, Vol. 41, pp. 916-920.

Received : 2016. 09. 09.

Revised : 2016. 10. 14. (1st)

: 2016. 10. 24. (2nd)

Accepted : 2016. 10. 27.