

지방관리 무역항의 효율성 증대를 위한 계류안전성 평가 기반의 부두 안전운용기준에 관한 연구

김승연* · 유용웅** · 이윤석****

* 목포해양대학교 항해학부 교수, ** 한국해양대학교 해사산업연구소 박사후 연구원, *** 한국해양대학교 해양경찰학부 교수

A Study on Safe Operation Standards of Piers based on Mooring Safety Evaluation to Increase Efficiency of Local Management Trade Ports

Seungyeon Kim* · Yongung Yu** · Yunsok Lee****

* Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Republic of Korea

** Postdoctoral researcher, Research institute of maritime industry, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

*** Professor, Division of Coast Guard Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

요 약 : 지방관리 무역항은 비교적 중소형 무역항으로 지방도시의 경제력 강화 및 지역 산업 부가가치 제고를 위해 활발한 운영이 필요하다. 또한, 선박대형화가 이루어지고 있는 국제적 흐름에서 지방관리 무역항의 효율성 증대를 위해 항만기본계획상 기존 선석규모 대비 대형선박의 접안이 필요하며, 부두 및 선박의 안전성 확보를 위해 대형선박 접안시 계류시설 확충 및 안전운용기준 마련이 필요하다. 본 연구에서는 지방관리 무역항 중 옥계항을 선정하여, 현행 2만 DWT급 부두에 5만 DWT급 선박이 계류시 시나리오에 따른 계류안전성 평가를 수행하였다. 평가 결과, 대상 부두에 100톤급 계선주를 신설하였을 경우, 긴급이안기준은 기존 파주기 3.2초에서 풍속 27노트, 파주기 5.0초에서 풍속 22노트의 계류 한계 조건이 파주기 3.2초에서 풍속 41노트, 파주기 5.0초에서 풍속 36노트로 약 50% 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 지방관리 무역항에 기존 선석규모 대비 대형선박 접안시 부두 계류시설의 안전성 강화와 안전운용기준 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

핵심용어 : 옥계항, 안전운용기준, 계류안전성 평가, 계류시설, 계선주

Abstract : Local management trade ports are small-sized trade ports, which require active operation to strengthen the local cities' economic power and enhance the local industries' added value. In addition, local management trade ports should berth ships larger than the existing ships to increase efficiency and keep up with the international trend where ships are becoming larger. Furthermore, they should also prepare operating standards. This study selected Okgye Port among local management trade ports. We performed a mooring safety simulation evaluation according to the scenario where a 50,000 DWT vessel is moored at the current 20,000 DWT class pier. The emergency departure criteria were 27kts at 3.2s of wave period and 22kts at 5.0s of wave period at the existing pier. Results showed that mooring limit condition increased by about 50% to 41kts at 3.2s of wave period and 36kts at 5.0s of wave period. This study can be used for strengthening mooring facilities and setting operational standards for safe port operation when large ships are berthing.

Key Words : Okgye port, Safety operation standards, Mooring safety evaluation, Mooring facilities, Bollard

1. 서 론

우리나라 항만은 항만법에 따라 무역항과 연안항으로 구분되며, 무역항 31개, 연안항 29개로 구성되어 있으며, 무역

항은 국가관리 무역항 14개, 지방관리 무역항 17개로 구분된다. 항만법 제3조에 의거하여 국가관리 무역항은 국내외 육·해상 운송망의 거점으로 광역권의 배후 화물을 처리하거나 주요 기간산업 지원 등으로 국가의 이해에 중대한 관계를 가지는 항만이며, 지방관리 무역항은 지역별 육·해상 운송망의 거점으로서 지역 산업에 필요한 화물처리를 주목적으로

* First Author : sykim@mmu.ac.kr, 061-240-7161

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

하는 항만이다(Harbor Act, 2022).

지방관리 무역항은 비교적 중소형 무역항으로 지방도시의 경제력 강화 및 지역 산업 부가가치 제고를 위해 활발한 운영이 필요하다(Kim, 2015). 또한, 지방관리 무역항은 국가관리 무역항에 비해 비교적 선석수 및 선석규모가 적으므로 현재 선박대형화가 이루어지고 있는 국제적 흐름에서 지방관리 무역항의 효율성 증대를 위해 항만기본계획상 기존 선석규모 대비 대형선박의 접안이 필요한 실정이다.

그러나 항만에 기존 선석규모 대비 대형선박이 접안시 부두시설 및 접안선박의 계류안전성이 저해될 수 있으므로 계류설비 적정성 평가 및 하역한계기준, 긴급이안기준 등 부두 안전운용기준 설정의 필요성이 증대되고 있다.

무역항 및 항만경쟁력에 대한 연구 성과로는 Lee and Ahn (2016)은 시계열 군집분석 기법을 활용하여 국내 중소 무역항의 분석지표별 변화 패턴을 분석하고 유형별 특성과 시점을 도출하였고, Kim(2015)은 지속가능한 항만경쟁력을 개념화하고 연구 모형을 설립하여 지속가능한 항만경쟁력 확보 방안을 도출하였다. 그러나 항만 효율성 증대를 위해 입항선박을 분석하고 계류안전성 평가를 실시하여 부두 안전운용기준 설정에 관한 연구는 수행되지 않았다.

부두 안전운용기준과 계류안전성에 관한 연구 성과로는 Kim et al.(2016)은 울산항 위험물 취급부두의 선박 크기별 부두 운용 기준을 개선하기 위해 자체안전관리계획서, 국내외 기준, 계류안전성평가 결과를 분석하여 선박 크기별 하역중단기준과 긴급이안기준을 제안하였다. Rosa-Santos(2014)는 외부 해역에 노출된 항구의 터미널에서 접안선박의 선체운동을 최소화하고 터미널 운영 및 보안 상태를 개선하기 위해 계류안전성 시뮬레이션을 수행하였다. Cho(2017)은 전용 부두에 계류 중인 실습선을 대상으로 계류선박의 거동해석을 수행하였고, Lee et al.(2019)은 Ship To Ship(STS) 계류의 특성을 파악하기 위해 STS 계류 시뮬레이션 및 수치 해석 프로그램을 이용한 민감도 분석 및 위험도 측정 매트릭스를 개발하였다. 이와 같이 항만 안전성을 강화하기 위해 접안선박의 계류안전성 평가, 거동해석, 부두 안전운용기준 개선 등에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 그러나 본 연구와 같이 대상항만의 입항선박 척수와 누적톤수를 분석하여 대형선박이 빈번히 계류하는 부두를 선정하고, 계류안전성 평가 프로그램을 사용하여 기존 선석규모 대비 대형선박 접안시 계류설비 적정성 평가 및 부두 안전운용기준 설정에 대한 연구는 거의 수행되지 않고 있다.

본 연구는 지방관리 무역항의 효율성과 안전성을 증대시키기 위해 기존 선석규모 대비 대형선박이 빈번히 접안하는 옥계항 2부두를 선정하고, PORT-Mis 통계를 기준으로 최근 5년간(2016~2020) 옥계항 2부두의 선박 규모별 입항 척수를

분석하였다. 또한, 최근 5년간 대상부두에 접안한 선박 중 최대선박을 대상으로 계류안전성 평가 프로그램을 사용하여 시나리오에 따른 계류안전성 시뮬레이션 평가를 수행하였다. 이에 따라 기존 선석규모 대비 대형선박이 접안시 계류설비 적정성 및 개선방안을 도출하고 부두시설과 접안선박의 안전한 계류를 위한 하역한계기준, 긴급이안기준 등의 안전운용기준을 설정하였다.

2. 대상항만 및 대상부두 선정

2.1 대상항만 선정

본 연구를 위해 강원도 강릉시 옥계면에 위치한 지방관리 무역항인 옥계항을 선정하였다. 옥계항 선정 이유는 지방관리 무역항 중 제4차 항만기본계획에 따라 영동권 산업원자재 수출입 지원을 위해 필요성이 강화되고 있고, 옥계 일반산업단지 수출입 물동량 증가가 예상됨에 따라 기존 선석규모 대비 대형선박의 접안횟수가 증가하고 있는 추세로 인해 2030년까지 5만톤급 기타광석 및 화학공업생산품 전용 부두 신설이 예정되어 있는 항만이기 때문이다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2020). 또한, 옥계항이 존재하는 강원도 해역의 특성상 피항지가 존재하지 않으며, 옥계항의 항로폭이 비교적 좁으며 동해항에서 예선을 지원받아야 되는 항만 특성을 고려하여 계류안전성 평가를 기반으로 한 부두 안전운용기준 설정이 필요한 항만으로 볼 수 있다.

옥계항의 취급화물은 시멘트 및 기타광석이며 접안능력은 Fig. 1과 같이 5개 선석으로 구성되어, 제4차(’21~’30) 전국 항만기본계획에 따르면 옥계항의 총물동량은 2019년 12월 기준 7,394천RT/년이며, 2030년 8,906천RT/년으로 예상되어 약 120.4% 성장이 예상되는 무역항이다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2020).

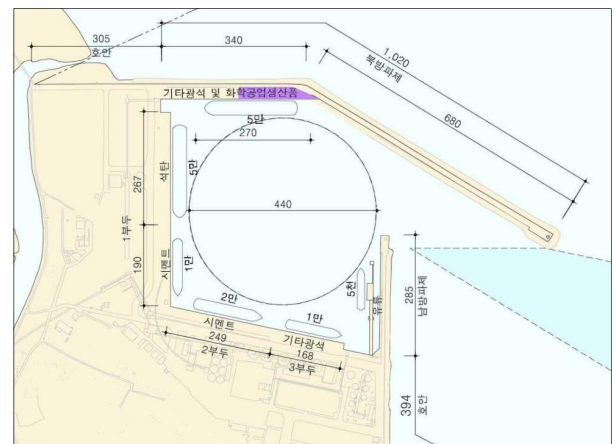


Fig 1. Port overall plan in Okgye port.

2.2 대상부두 선정

본 연구의 대상부두를 선정하기 위해 해양수산부 PORT-Mis 자료를 토대로 옥계항의 유류부두를 제외한 4개 부두의 입항선박 척수와 누적톤수를 분석하였다.

Table 1의 부두별 입항선박 척수 분석 결과, 시멘트 화물을 취급하는 1부두 2선석은 부두에 입항하는 선박의 척수가 매년 유사하였으며, 2부두와 3부두에 입항하는 선박은 2019년을 기준으로 감소하고 있는 것으로 분석되었다. 1부두 1선석은 안인항 화력발전소 케이스 제작 및 이송을 위한 예부선의 입항 통계가 추가되어 2020년 입항선박 척수가 매우 증가하였다.

Table 2의 부두별 입항선박 누적톤수 분석 결과, 2부두의 경우 2019년 입항선박의 척수 감소 대비 입항선박의 누적톤수의 감소는 크지 않았으며, 이에 따라 2부두에 입출항하는 선박의 대형화가 이루어지고 있다고 추정할 수 있다.

그러므로 본 연구의 대상부두는 최근 5년간 대형선박의 입항 빈도수가 증가하고 있는 옥계항 2부두를 선정하였다.

Table 1. Number of ships entering Okgye port by pier

Year	Pier	Pier 1		Pier 2	Pier 3
		Berth 1	Berth 2		
2016		54	542	93	218
2017		86	577	103	249
2018		60	520	66	239
2019		111	521	38	189
2020		399	546	37	140

Source: PORT-Mis by Ministry of Oceans and Fisheries, 2022

Table 2. Cumulative tonnage of ships entering Okgye port by pier

Year	Pier	Pier 1		Pier 2	Pier 3
		Berth 1	Berth 2		
2016		436,876	2,197,562	495,037	361,037
2017		508,556	2,613,945	791,039	416,577
2018		423,128	2,505,124	644,029	419,047
2019		454,238	2,545,327	717,343	363,683
2020		214,755	2,538,188	577,965	256,266

Source: PORT-Mis by Ministry of Oceans and Fisheries, 2022

옥계항 2부두의 접안능력은 2만 DWT급으로 취급화물은 클링커·벌크시멘트이며, 선석길이 249 m, 수심 11.3 m인 것으로 조사되었다(Donghae Regional Office of Oceans and Fisheries, 2022).

대상부두의 최근 5년간 선박 규모별 입항척수는 Table 3과 같으며, 2017년 이후 2부두의 접안능력에 일치하는 선박

인 2만 DWT급 선박에 해당하는 G/T 10,000톤 이하 선박의 입항이 급격히 감소하였으며, 5만 DWT급 선박에 해당하는 G/T 2.5~3.5만톤급 선박의 입항이 매년 증가하고 있다.

Table 3. Number of ships entering Pier 2 by ship size (G/T)

Ship size	Year				
	2016	2017	2018	2019	2020
3K~5K	52	38	23	5	6
5K~7K	15	24	11	4	2
7K~15K	-	-	-	-	-
15K~20K	-	-	1	-	-
20K~25K	-	-	3	1	1
25K~30K	-	7	8	15	8
30K~50K	4	8	5	7	10

Source: PORT-Mis by Ministry of Oceans and Fisheries, 2022

대상부두에 접안능력 수준인 2만 DWT급 선박보다 약 2.5배 큰 규모의 5만 DWT급 선박이 접안할 수 있는 이유 중 하나로는 대상부두의 선석길이가 ‘항만 및 어항 설계기준’ (이하 항설기준)상 2만 DWT 기준보다 약 39 m 더 길기 때문으로 볼 수 있다. Table 4와 같이 항설기준상 2만 DWT급 화물선의 선석길이는 210 m이나 본 대상부두의 선석길이는 항설기준상 3.5만 DWT급의 선석길이에 해당하는 249 m인 것으로 분석되었다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017c).

Table 4. Dimension of pier by ship size (DWT)

DWT	Length of pier	Depth
20,000	210	11.0
30,000	240	12.0
40,000	260	13.0
55,000	280	14.0

이에 따라 현재 옥계항에 입항척수가 증가하고 있는 5만 DWT급 일반화물선, 벌크선의 안전한 접안을 위해 2030년까지 5만 DWT급 부두 신설을 계획하고 있으나, 완공 전까지는 2부두에 5만 DWT급 선박이 접안을 해야 하므로 대상부두 및 접안선박의 안전성을 확보하기 위해 기존 선석규모 대비 대형선박 계류시 계류설비 적정성 분석 및 부두 안전운용기준 설정이 필요한 것으로 분석되었다.

3. 계류안전성 시뮬레이션 평가

대상부두에 기존 선석규모 대비 대형선박 접안시 계류설비 적정성 평가 및 부두 안전운용기준을 설정하기 위해 계류안전성 시뮬레이션을 실시하였다. 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 해상교통안전 진단 및 국내외 계류안전성 평가 시뮬레이션에 대표적으로 사용되고 있는 해석프로그램이다(Kim et al., 2016).

3.1 대상선박 선정

시뮬레이션을 위한 대상선박 선정에 위해 최근 5년간 대상부두에 입항한 선박 중 부두의 접안능력을 초과하는 선박에 대해 분석을 실시하였다. 분석 결과, G/T 2.5~3.5만톤급 선박이 최대 규모 선박으로 입항하고 있으며, Table 3에서 보는바와 같이 2016년 4척에서 2020년 18척으로 증가 추세에 있는 것으로 분석되었다.

대상부두의 접안능력 초과 선박의 제원은 DWT 5만톤급 선박으로 전장 190~197 m, 폭 32 m, 만재흘수 14 m 수준의 화물 작업용 Crane 4기와 화물창 5개를 가진 벌크선으로 분석되었으며, 해당 선박이 2부두에 접안할 경우 만재가 아닌 최대 흘수 10~11 m 수준으로 제한하여 운용하고 있는 것으로 조사되었다.

이에 따라, 시뮬레이션을 위한 대상선박은 DWT 5만톤급, 전장 197 m급의 벌크선으로 선정하였으며, 대상선박의 주요 제원은 Table 5와 같다. 대상선박의 주요 제원은 실제 입항이력 있는 선박의 제원을 고려하여 설정하였으며, 계류방향은 실제 접안 형태인 입선자세인 좌현 접안 상태로 설정하였다. 화물 적재상태는 만재상태에 비해 풍압면적이 크므로 계류안전성 확보의 최악 조건으로 고려되는 경하상태로 설정하였다(Kim, 2020).

Table 5. Specifications of target ship

Category	DWT 50K Bulk Carrier	
LOA(m)	197.0	
LBP(m)	194.0	
Breadth(m)	32.26	
Depth(m)	18.10	
draft(m)	fore	6.7
	aft	7.0
Projected Windage Areas(m ²)	Transverse	786
	Lateral	3,567

3.2 계류상황 모델링

본 계류안전성 수치 시뮬레이션 평가를 위해 모델링한 대상부두의 상세 제원과 계류삭, 계선주, 방충재 등 계류시스템의 배치 및 용량은 Table 6과 같다.

대상선박의 계류삭의 사양은 실제 동일 크기의 선박에서 사용하는 종류인 Nylon Rope, 직경 75 mm를 선정하였으며, 그

파단력(M.B.L)은 80톤이며 안전사용하중(S.W.L)은 Table 7에 따라 파단력의 50%인 40톤으로 설정하였다(OCIMF, 2008).

Table 6. Specifications of mooring condition

Category	Target pier	
Length of Pier(m)	249	
Depth of Pier(m)	11.3	
Line	Type / Dia.(mm)	Nylon Rope / 75
	M.B.L(ton)	80
	S.W.L(ton)	40
Bollard	Interval(m)	19.5~22.0
	Max. Load(ton)	50
Fender	Type	OV Type 800H×1,500L
	Interval(m)	8.5~11
	Max. Load(ton)	46

Table 7. Safety working load of mooring rope

Material	S.W.L	SF(M.B.L/S.W.L)	× M.B.L
Wire	Highest load	1.82	0.55
Polyamide	calculated for	2.22	0.45
	adopted standard		
Other Synthetic	environmental criteria	2.00	0.50

대상부두의 계선주, 방충재의 상세한 사양을 조사하기 위해 도면 분석 및 현장조사를 수행하였다. 대상부두의 계선주는 총 12개, 간격 19.5~22.0 m이며, 허용 견인력은 50톤급으로 Table 8의 항설기준에서 권고하는 선박 총톤수 대비 계선주 견인력인 70톤의 약 66% 수준인 것으로 분석되었다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017a). 대상부두의 방충재는 총 23개이며, 그 종류는 OV Type 800 H×1,500 L로 약 8.5~11.0 m 간격으로 설치되어 있는 것으로 분석되었다.

Table 8. Installation criteria of bollard

GT of target ship (ton)	Bollard		
	Min. number of installation per berth (unit)	Max. interval between bollards (m)	Max. Load (ton)
2K~3K	5	15	35
3K~5K			35
5K~10K	11	20	50
10K~20K			70
20K~50K			100
50K~100K			100

계류라인 모델링은 Fig. 2와 같이 실제 대상선박의 계류라인 배치를 고려하여 선수 6개, 선미 6개로 총 12개의 계류라인으로 설정하였고, 상세한 계류 배치는 Table 9와 같다.

지방관리 무역항의 효율성 증대를 위한 계류안전성 평가 기반의 부두 안전운용기준에 관한 연구

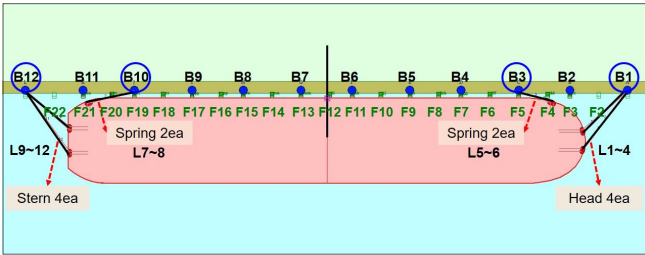


Fig. 2. Mooring arrangement of target ship.

Table 9. Mooring arrangement

Category		Arrangement	
Line	Fore	Head	L1, L2, L3, L4
		Spring	L5, L6
	Aft	Spring	L7, L8
		Stern	L9, L10, L11, L12
Bollard	Fore	Head	B1
		Spring	B3
	Aft	Spring	B10
		Stern	B12
Fender	Fore	F1~F12	
	Aft	F13~F23	

3.3 환경외력 모델링

육계항의 조류는 항내의 지형적인 영향으로 항내는 유속이 미약하고 창조시 지형을 따라 남류, 낙조시 북류하며, 대상부두 인근의 조류는 항내 가장 내측에 위치하여 항내 주된 조류속도 보다는 감소되는 양상이다(Ocean space, 2020). 이에 따라 대상부두의 조류 방향 및 속도는 최강창조류 000도, 0.3 knots로 설정하여 계산하였다.

파랑은 항설기준상 중·대형선 하역한계파고인 0.5m로 수행하였고, 파향은 육계항 방파제를 통과하여 파도가 입사되는 방향인 010도를 기준으로 설정하였다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017b). 파랑의 주기는 대상 부두의 주된 입사 파 주기로 측정된 3.2초와 5.0초로 설정하였다. 풍향은 5도 간격 전 방위이며, 풍속은 20노트, 25노트 및 시뮬레이션 평가요소가 한계에 도달하는 풍속을 도출하여 평가하였다.

3.4 시뮬레이션 평가요소

선체동요는 선체 및 계류장치로 구성되는 진동계에 바람, 파랑 및 조류 등의 외력이 작용하는 경우 발생한다. 본 시뮬레이션 평가는 계류선에 작용하는 최대장력, 계선주에 작용하는 최대견인력, 방충재에 작용하는 최대반력의 계류안전성 평가요소와 외력에 의한 선체동요에 의해 선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위 내에 있는지 평가하는 하역안전성 평가로 크게 구분된다. 일반적으로 계류시스템은 안전여유를 고려해 선박의 계류한계를 도출하게 된다(Cho, 2017).

또한, 본 시뮬레이션 조건에서 Table 10과 같이 하역한계

기준 및 긴급이안기준을 도출하는데, 하역한계기준은 대상 선박이 대상부두에서 안전한 하역이 가능한 한계수준을 의미하며, 평가요소인 계류선 최대장력, 계선주 최대견인력, 방충재 최대반력, 하역안전성의 모든 평가요소가 한계기준 이내인 최대 외력조건이다. 긴급이안기준은 부두의 계류시스템과 선체의 안전성 확보를 위하여 설정한 한계기준으로 하역안전성을 제외한 평가요소가 한계기준 이내인 최대 외력조건을 의미한다(Kim et al., 2016).

Table 10. Definition of port safety operation standards

Category	Mooring System			Moored Ship
	Line Tension	Bollard Force	Fender Thrust	Ship Motion
Criteria for unloading limit	The maximum condition that each evaluation factor satisfies			
Criteria for emergency departure	The maximum condition that each evaluation factor satisfies			excluded

4. 평가 결과 분석

4.1 계류선 최대장력

외력조건에 따른 각 계류선의 최대 장력값을 비교하기 위해 5도 간격의 전 방위에 대하여 평가하지만 풍향에 관계없이 최대 장력값을 표시한다(Cho, 2017).

풍속 20노트, 25노트와 파주기 3.2초, 5.0초 조건과 파주기 3.2초에서 하역한계풍속인 27노트 조건, 파주기 5.0초에서 하역한계풍속인 22노트 조건에서 계류선 최대장력은 Fig. 3과 같다. 모든 조건에서 계류선 안전사용하중(S.W.L) 40톤 이내인 것으로 분석되었다. 동일 풍속 25노트 조건에서 파주기에 따른 계류선 최대장력은 파주기 3.2초시 선미 12번 12.2톤으로 평가되며, 파주기 5.0초시 선수 6번 15.0톤으로 평가되었다.

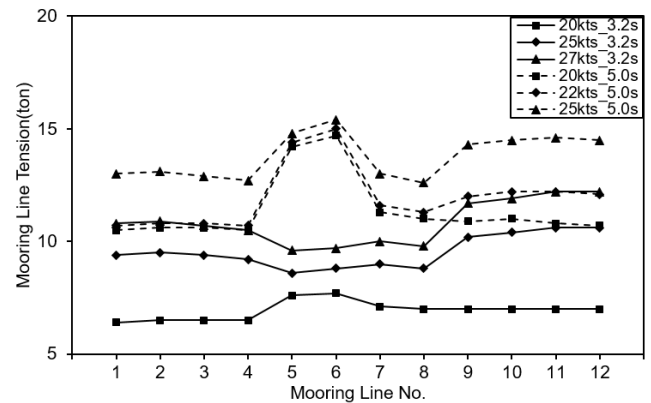


Fig. 3. Evaluation of mooring line tension by environmental forces.

4.2 계선주 최대견인력

외력조건에 따른 계선주 최대견인력 분석결과는 Fig. 4와 같으며, 파주기 3.2초, 풍속 27노트시 계선주 최대견인력은 선미 계선주 12번이 47.6톤으로 허용 견인력 50톤의 95.2%인 것으로 평가되었다. 파주기 5.0초, 풍속 22노트시 계선주 최대견인력은 선미 계선주 12번이 48.1톤으로 허용 견인력 50톤의 96.2%인 것으로 평가되었다.

현재 대상부두의 계선주 허용 견인력은 50톤급으로 항설기준에서 권고하는 선박 총톤수 대비 계선주 견인력인 70톤의 약 66% 수준에 불과하며, DWT 5만톤급 화물선의 항설기준상 권고 견인력은 약 100톤이므로 대상 부두 및 선박의 안전성 향상을 위해 100톤급 계선주 신설이 필요할 것으로 사료된다.

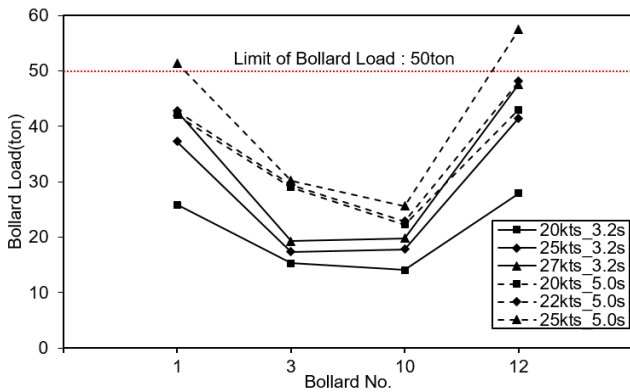


Fig. 4. Evaluation of max. bollard force by environmental forces.

4.3 방충재 최대반력

본 시뮬레이션 평가에서 외력조건에 따른 방충재 최대반력은 Fig. 5와 같으며, 모든 조건에서 방충재 허용반력 46톤 이내인 것으로 분석되었다.

동일 풍속 25노트 조건에서 방충재 최대반력은 파주기 3.2초시 선수 부근 방충재 3번 21톤으로 평가되며, 파주기 5.0초시 선수 및 선미 끝단부근 방충재에서 32톤으로 평가되었다.

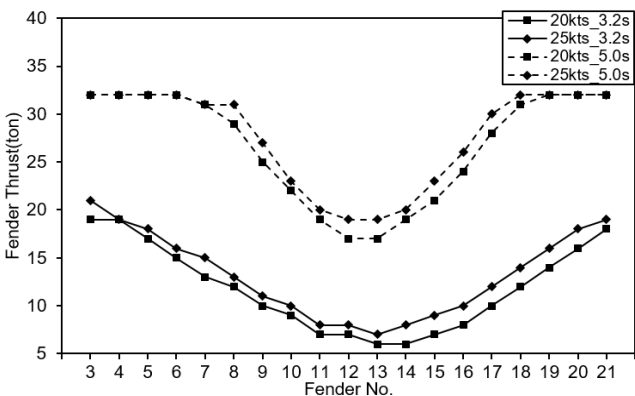


Fig. 5. Evaluation of fender thrust by environmental forces.

4.4 선체동요 및 하역안전성평가

외력에 의한 선체동요로 인해 대상선박의 통상적인 하역 작업이 가능한 범위 내에 있는지를 평가하기 위하여 선체의 6자유도 운동 통계량과 선체 특정부분의 상대운동에 대한 운동진폭치(Amplitude)를 기초로 하여 검토하였다.

항설기준에서는 선종 및 하역장비를 기준으로 6자유도 운동별 허용동요량이 제시되어 있는데, 대상선박은 벌크선이므로 Bulk Carrier의 선체동요 권고기준에 따라 분석한 선체동요량 결과는 Table 11과 같으며, 모든 조건에서 허용동요량 이내인 것으로 분석되었다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017b).

외력조건에 따라 가장 변화가 큰 선체운동은 Sway motion으로 그 값은 풍속 27노트, 파주기 3.2초시 0.81 m로 허용동요량의 약 81% 수준이며, 풍속 22노트 파주기, 파주기 5.0초시 0.33 m로 허용동요량의 약 33% 수준인 것으로 분석되었다.

Table 11. Motion for 6-DOF by environmental forces

Category	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Bulk Carrier	Crane	2.0	1.0	1.0	2	2	2
20kts, 3.2s	Motion	0.14	0.10	0.0	0.0	0.0	0.1
	Safety	○	○	○	○	○	○
25kts, 3.2s	Motion	0.19	0.60	0.0	0.0	0.0	0.1
	Safety	○	○	○	○	○	○
27kts, 3.2s	Motion	0.21	0.81	0.0	0.0	0.0	0.2
	Safety	○	○	○	○	○	○
20kts, 5.0s	Motion	0.17	0.23	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	○	○	○	○	○
22kts, 5.0s	Motion	0.19	0.33	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	○	○	○	○	○
25kts, 5.0s	Motion	0.22	0.65	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	○	○	○	○	○

<Remark> ○: Moderate Risk, △: High Risk, ×: Very High Risk

4.5 하역한계기준 및 긴급이안기준 도출

본 시뮬레이션 평가에서 부두시설과 접안선박의 안전한 계류를 위한 하역한계기준, 긴급이안기준을 Table 12와 같이 도출하였다. 하역한계기준은 모든 평가요소인 계류삭 최대장력, 계선주 최대견인력, 방충재 최대반력, 하역안전성이 한계기준 이내인 최대 외력조건으로 계선주 최대견인력의 한계값 도달에 의해 파주기 3.2초 조건에서 풍속 27노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 22노트로 도출되었다.

긴급이안기준은 하역안전성을 제외한 평가요소가 한계기준 이내인 최대 외력조건이며, 본 시뮬레이션 평가에서 긴급이안기준은 계선주 최대견인력 요소의 한계값에 의해 결

정되었으므로 하역한계기준과 동일한 외력조건으로 도출되었다.

Table 12. Result of port safety operation standards

Category		Mooring System			Moored Ship
		Line Tension (ton)	Bollard Force (ton)	Fender Thrust (ton)	Sway Motion (m)
Limit		40	50	46	1.0
	Criteria for unloading limit	27kts, 3.2s 22kts, 5.0s	12.2 15.0	47.6 48.1	21 32
Criteria for emergency departure	27kts, 3.2s	12.2	47.6	21	-
	22kts, 5.0s	15.0	48.1	32	-

5. 계선주 신설시 평가 결과 분석

외력조건에 따른 계류안전성 시뮬레이션 분석결과, 계선주 최대견인력이 50톤급으로 항만기본계획상 접안대상선박인 2만 DWT급 선박의 항설 권고 견인력인 70톤급의 약 66% 수준이므로 27노트 이상의 풍속에서 계선주 안전성 확보가 어려운 것으로 분석되었다. 이에 따라 항만의 운용성 증대시키고 부두 및 선박의 계류안전성을 확보하기 위해 대상 부두의 계선주 용량 향상이 필요한 것으로 판단되며, 돌풍 대비 및 상시 운용을 위하여 5만 DWT급 화물선의 기준에 적합한 견인력 100톤급의 계선주 배치가 필요할 것으로 사료되었다.

다만, 현재 운용 중인 항만의 모든 계선주의 견인력을 향상하여 설치하는 것은 다소 무리가 있으므로 Fig. 6과 같이 5만 DWT급 화물선이 접안시 선박 계류를 위해 사용되는 계선주 위치에 100톤급의 계선주를 신설하는 것을 제안하며, 동일조건에서 신설 계선주를 사용하였을 때 계류안전성 시뮬레이션을 실시하였다.

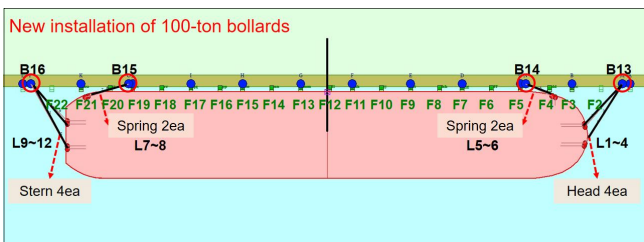


Fig. 6. Mooring arrangement when bollards are installed.

5.1 계류삭 최대장력

풍속 27노트시 파주기 3.2초, 5.0초 조건과 파주기 3.2초에서 하역한계풍속인 30노트, 긴급이안풍속인 41노트 조건, 파주기 5.0초에서 하역한계풍속인 29노트, 긴급이안풍속인 36노트 조건에서 계류삭 최대장력은 Fig. 7과 같다. 모든 조건에서 계류삭 안전사용하중(S.W.L) 40톤 이내인 것으로 분석되었다.

긴급이안기준에서 계류삭 최대장력은 풍속 41노트, 파주기 3.2초시 선미 10번 25.1톤으로 평가되며, 풍속 36노트, 파주기 5.0초시 선미 10번 25.5톤으로 평가되었다.

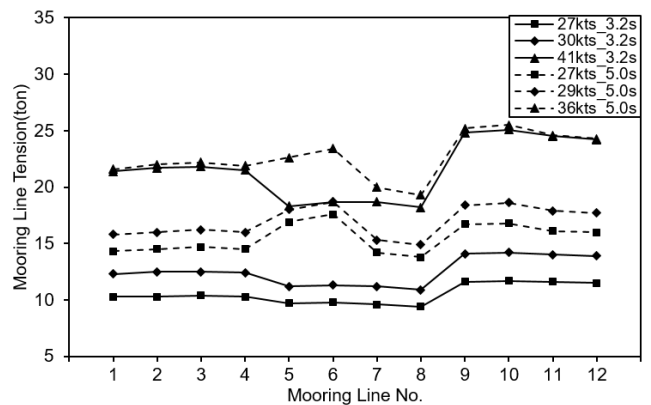


Fig. 7. Evaluation of mooring line tension by using new bollards.

5.2 계선주 최대견인력

외력조건에 따른 계선주 최대견인력 분석결과와 Fig. 8과 같으며, 긴급이안기준에서 계선주 최대견인력은 풍속 41노트, 파주기 3.2초시 선미 계선주 16번이 98.0톤으로 허용 견인력 100톤의 98.0%인 것으로 평가되었다. 풍속 36노트, 파주기 5.0초시 계선주 최대견인력은 선미 계선주 16번이 98.9톤으로 허용 견인력 100톤의 98.9%인 것으로 평가되었다.

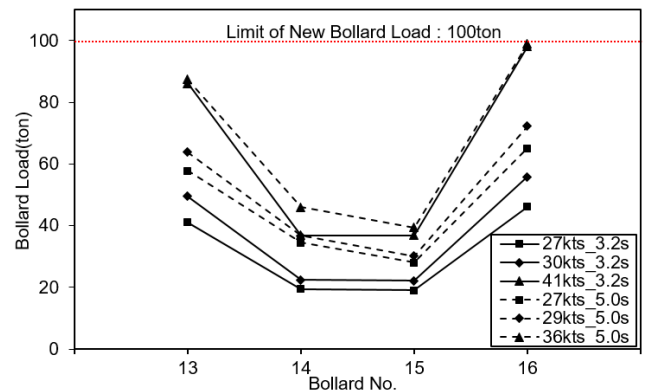


Fig. 8. Evaluation of max. bollard force by using new bollards.

5.3 방충재 최대반력

본 시뮬레이션 평가에서 외력조건에 따른 방충재 최대반력은 Fig. 9와 같으며, 모든 조건에서 방충재 허용반력 46톤 이내인 것으로 분석되었다.

동일 풍속 25노트 조건에서 방충재 최대반력은 파주기 3.2초시 선수 부근 방충재 3번 21톤으로 평가되며, 파주기 5.0초시 선수 및 선미 끝단부근 방충재에서 32톤으로 평가되었다.

긴급이안기준에서 방충재 최대반력은 풍속 41노트, 파주기 3.2초시 선수 부근 방충재 3번 21톤으로 평가되며, 풍속 36노트, 파주기 5.0초시 선수 및 선미 끝단부근 방충재에서 33톤으로 평가되었다.

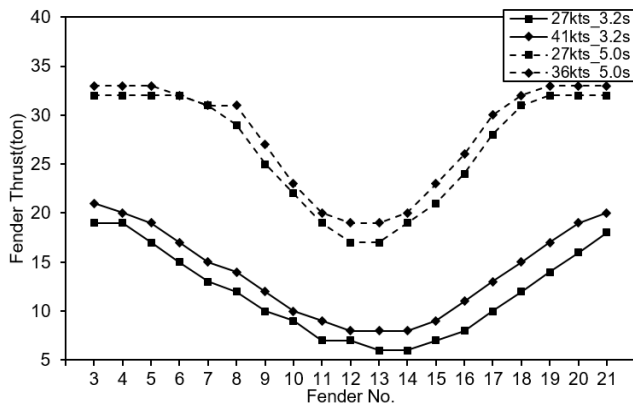


Fig. 9. Evaluation of fender thrust by using new bollards.

5.4 선체동요 및 하역안전성평가

선체동요 권고기준에 따라 분석한 선체동요량 결과는 Table 13과 같으며, 외력조건에 따라 가장 변화가 큰 선체운동은 Sway motion으로 분석되었다.

하역한계기준시 Sway값은 풍속 30노트, 파주기 3.2초시 0.94 m로 허용동요량의 약 94% 수준이며, 풍속 29노트 파주기, 파주기 5.0초시 0.91 m로 허용동요량의 약 91% 수준인 것으로 분석되었다.

5.5 하역한계기준 및 긴급이안기준 도출

본 시뮬레이션 평가에서 부두시설과 접안선박의 안전한 계류를 위한 하역한계기준, 긴급이안기준을 Table 14와 같이 도출하였다. 하역한계기준은 선체동요값의 한계값 도달에 의해 파주기 3.2초 조건에서 풍속 30노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 29노트로 도출되었다.

긴급이안기준은 계선주 최대견인력 요소의 한계값에 의해 파주기 3.2초 조건에서 풍속 41노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 36노트로 도출되었다.

Table 13. Motion for 6-DOF by using new bollards

Category	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Bulk Carrier	Crane	2.0	1.0	1.0	2	2	2
27kts, 3.2s	Motion	0.25	0.65	0.0	0.0	0.0	0.1
	Safety	○	○	○	○	○	○
30kts, 3.2s	Motion	0.29	0.94	0.0	0.0	0.0	0.2
	Safety	○	△	○	○	○	○
41kts, 3.2s	Motion	0.50	2.07	0.0	0.0	0.0	0.4
	Safety	○	×	○	○	○	○
27kts, 5.0s	Motion	0.28	0.72	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	○	○	○	○	○
29kts, 5.0s	Motion	0.31	0.91	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	△	○	○	○	○
36kts, 5.0s	Motion	0.42	1.63	0.1	0.1	0.2	0.5
	Safety	○	×	○	○	○	○

<Remark> ○: Moderate Risk, △: High Risk, ×: Very High Risk

Table 14. Result of port safety operation standards by using new bollards

Category	Mooring System			Moored Ship	
	Line Tension (ton)	Bollard Force (ton)	Fender Thrust (ton)	Sway Motion (m)	
Limit	40	100	46	1.0	
Criteria for unloading limit	30kts, 3.2s	14.2	55.9	21	0.94
	29kts, 5.0s	18.7	72.2	32	0.91
Criteria for emergency departure	41kts, 3.2s	25.1	98.0	21	-
	36kts, 5.0s	25.5	98.9	33	-

6. 결론

지방관리 무역항은 항만법상 지역 산업에 필요한 화물처리를 주목적으로 하는 항만으로 지역 산업 부가가치 제고를 위해 활발한 운영이 필요하며, 선박대형화가 이루어지고 있는 국제적 흐름에서 지방관리 무역항의 효율성 증대를 위해 기존 선석규모 대비 대형선박의 접안시 계류시설 적정성 평가 및 부두 안전운용기준 마련이 필요하다.

특히 지방관리 무역항 중 옥계항은 항만 배후단지에 시멘트 공장을 포함한 시멘트화물 처리에 특화된 항만으로 강원도 지역 경제 활성화에 큰 영향을 미치고 있으며, 선박의 대형화에 따라 항만의 운용효율성 향상을 위하여 장래 개발

이전 2만 DWT급 선석에 임시로 5만 DWT급 선박이 계류하고 있다. 이에 따라 계류시설 적정성 평가 및 부두 안전운용기준 마련을 위한 계류안전성 시뮬레이션 평가 수행 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 현행 계류시설에 5만 DWT급 선박이 계류시 계선주 최대 견인력의 한계값 도달에 의해 하역한계기준과 긴급이안 기준은 동일하게 파주기 3.2초 조건에서 풍속 27노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 22노트로 도출되었다.
- (2) 현재 대상부두의 계선주 허용 견인력은 50톤급으로 항설 기준에서 권고하는 선박 총톤수 대비 계선주 견인력인 70톤의 약 66% 수준에 불과하며, 5만 DWT급 화물선의 항설기준상 권고 견인력은 약 100톤이므로 대상 부두 및 선박의 안전성 향상을 위해 100톤급 계선주 신설이 필요할 것으로 분석되었다.
- (3) 대상부두에 100톤급 계선주 신설시 하역한계기준은 선체 동요값의 한계값 도달에 의해 파주기 3.2초 조건에서 풍속 30노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 29노트로 도출되었다. 긴급이안기준은 계선주 최대견인력 요소의 한계값에 의해 파주기 3.2초 조건에서 풍속 41노트, 파주기 5.0초 조건에서 풍속 36노트로 도출되었다. 이에 따라 100톤급 계선주 신설시 5만 DWT급 화물선의 계류 가능 한계조건이 기존 계선주 배치시 운용기준에 비해 약 50% 정도 상승하는 것으로 분석되었다.
- (4) 이를 종합하여, 옥계항 2만 DWT급 선석에 5만 DWT급 선박이 접안시 안전운용에 관한 기준을 검토하면, 현행 계류시설 대비 100톤급의 계선주 신설이 필요하며, 해당 계선주 신설을 조건으로 하역한계기준은 파주기 5.0초 조건에서 선체동요값 기준을 초과하는 풍속 30노트 이상시 하역작업을 중단하고, 풍속 37노트 이상이 예측될 경우 접안선박의 긴급이안이 시행되어야 한다.
- (5) 다만, 옥계항이 존재하는 강원도 해역의 특성상 피항지가 존재하지 않으며 좁은 항로폭과 예선의 동해항에서의 지원 등의 항만 특성을 고려하면 풍랑주의보 발효 이전 출항이 이루어져야 하는 것으로 분석되며, 다만 순간적인 바람의 경우 본 연구 결과를 기초자료로 활용될 수 있다.

본 연구 결과는 지방관리 무역항의 활성화를 위하여 기존 부두를 활용하여 대형선 접안시 안전운용기준을 제안하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 옥계항에 대한 평가 결과 계선주 신설이 이루어질 경우 순간적으로 풍랑주의보 이상의 돌풍 발생시 선박운항자와 부두관리자 측면에서 계류안전성을 확보하기 위한 효율적인 운용방안이 될 것으로 사

료된다. 추후 연구에서는 보다 다양한 항만과 부두, 선박을 대상으로 효율적인 운용기준 마련을 위한 계류안전성 평가 및 환경조건, 하역용이성 등을 고려한 기준 마련을 제안하고자 한다.

References

- [1] 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.
- [2] Donghae Regional Office of Oceans and Fisheries(2022), <https://donghae.mof.go.kr/ko/page.do?menuIdx=2567>
- [3] Harbor Act(2022), <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?efYd=20220104&lsiSeq=238869#0000>
- [4] Kim, S. H.(2015), Sustainable Port Competitiveness in International Port Operations, Journal of Korea Port Economic Association, Vol.31, No.3, 2015, pp.61-74.
- [5] Kim, S. Y., J. S. Kim, Y. D. Kim, and Y. S. Lee(2016), A Study to Improve the Operation Criteria by Size of Ship in Ulsan Tank Terminal, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Research Paper, Vol. 22, No. 6, pp. 639-646.
- [6] Kim, S. Y.(2020), A Study on Analysis of Mooring Safety Sensitivity According to the Arrangement of Bitt Against Gust, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Research Paper, Vol. 26, No. 7, pp. 767-776.
- [7] Lee, J. Y. and J. S. Ahn(2016), The Spatial Growth Pattern of Korean Small-Medium Size Port and its Implications, Journal of The Korean Association of Regional Geographers, Vol. 22, No. 4, pp. 792-808.
- [8] Lee, S. W., H. T. Lee, D. G. Kim, and I. S. Cho(2019), Identification of Impact Factors in Ship-to-Ship Mooring Through Sensitivity Analysis, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 5, pp. 310-319.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(2017a), Korea Harbor Design Standard (KDS 64 10 10 : 2020), pp. 10-12, 30-31.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries(2017b), Korea Harbor Design Standard (KDS 64 40 10 : 2017), pp. 15-16.
- [11] Ministry of Oceans and Fisheries(2017c), Korea Harbor Design Standard (KDS 64 55 10 : 2017), pp. 18-20.
- [12] Ministry of Oceans and Fisheries(2020), The 4th National Port Basic Plan (2021-2030), pp. 59, 310-315.
- [13] Ocean Space(2020), Gangneung Anin Thermal Power Units 1

and 2 construction work F/D line and caisson stability report,
pp. 6-10.

- [14] OCIMF(2008), Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition,
pp. 111-123.
- [15] Rosa-Santos, P., F. Taveira-Pinto, and F. Veloso-Gomes(2014),
Experimental evaluation of the tension mooring effect on the
response of moored ships, International Journal of Coastal
Engineering, 85(2014), pp.60-71.
- [16] PORT-MIS(2022), [https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/
websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/index.xml&page=
portmis/w2/sp/vssl/vsch/UI-PM-SP-104-02.xml&menuId=1319&
menuCd=M0182&menuNm=%BC%B1%B9%DA%C0%D4%C3
%E2%C7%D7%C7%F6%C8%B2](https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/index.xml&page=/portmis/w2/sp/vssl/vsch/UI-PM-SP-104-02.xml&menuId=1319&menuCd=M0182&menuNm=%BC%B1%B9%DA%C0%D4%C3%E2%C7%D7%C7%F6%C8%B2).

Received : 2022. 01. 24.

Revised : 2022. 02. 16. (1st)

: 2022. 02. 23. (2nd)

Accepted : 2022. 02. 25.