

돌풍 대비용 직주 배치에 따른 계류안전성 민감도 분석 연구

김승연^{*†}

* 목포해양대학교 항해학부 교수

A Study on Analysis of Mooring Safety Sensitivity According to the Arrangement of Bitt Against Gust

Seungyeon Kim^{*†}

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

요 약 : 최근 지구온난화에 따른 기후변화에 따라 과거와는 다른 양상의 기상 변화가 발생하고 있으며, 해수 온도 상승으로 태풍의 대형화와 강도증가가 발생하고 있다. 이에 따라 선박이 접안 중 갑작스러운 돌풍 발생시 선박의 계류안전성 확보를 위해 사용할 수 있는 돌풍 대비용 직주의 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 항만 및 어항 설계기준상 곡주 및 직주 배치 기준을 분석하고 계류안전성 평가 프로그램을 사용하여 12개 시나리오에 따른 직주 사용시 계류안전성 민감도 분석을 수행하였다. 평가 결과, 돌풍 대비용 직주에 선수 및 선미 브레스트라인을 추가하였을 경우, 일반적인 형태의 계류라인 배치에 비해 계류요소값이 감소하는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 접안선박 및 항만의 특성을 고려한 돌풍 대비용 직주 배치를 제안하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 부두에서 직주의 배치는 돌풍 발생시 선박운항자 측면에서 선박의 계류안전성을 확보하기 위한 효율적인 방안이 될 것으로 사료된다.

핵심용어 : 곡주, 직주, 계류설비, 돌풍, 계류안전성평가, 민감도 분석

Abstract : Due to the recent climate change caused by global warming, weather changes in a different pattern from the past have occurred, and the increase in seawater temperature has led to an increase in the size and intensity of typhoons. Accordingly, there is an increasing need for bits that can be used to secure mooring safety of the ship when a sudden gust occurs. Based on 12 scenarios of a mooring safety evaluation program, this study analyzed the criteria for arranging bollard and bitt, and analyzed the sensitivity of mooring safety when using storm bits. As a result of the evaluation, it was analyzed that the mooring factor value decreased compared to the general mooring line arrangement when the fore and stern breastline were added to the bits for gusts. The results of this study can be used as basic data for proposing storm bits arrangements for gusts in consideration of the characteristics of berth ships and ports. From the perspective of ship operators, storm bits at the pier will be an effective method for securing the ship's mooring safety in case of a gust of wind.

Key Words : Bollard, Bitt, Mooring facility, Gust, Mooring safety assessment, Sensitivity analysis

1. 서 론

최근 나타나는 대규모 자연재해의 발생이나 과거와 다른 양상의 기상 변화는 지구온난화에 의한 것으로 인정되고 있다(Kim, 2016). 이에 따라 항만에 풍속이 갑작스럽게 증가하는 돌풍을 포함한 기상악화가 과거에 비해 빈번히 발생하고 있으며, 지구온난화에 따른 기온상승은 해수 온도의 상승으로 이어지게 되는데 이는 태풍의 대형화와 강도증가에 직접적인 원인이 된다(Yoon et al., 2012).

물론 예보된 태풍이 항만 내 발생시 정박 중인 선박은 피항을 하지만 선박이 부두에 접안하여 하역작업 중 예기치 못한 돌풍이 발생시 예인선 준비, 도선사 승선 등의 여러 조건으로 긴급 이안이 불가할 수 있다. 이 때 접안선박의 계류안전성을 확보하기 위해 선박운항자가 취할 수 있는 조치는 계류라인 보강과 선박이 부두에서 떨어지지 않도록 부두 방향으로 외력을 가할 수 있는 예인선 사용 등이 있다. 그러나 항만의 크기와 특성에 따라 예인선의 수는 한정적이며, 예인선 사용 비용 또한 적지 않으므로 본선에서 즉각적인 사용이 어려운 실정이다. 이에 따라 선박의 안전을 최우선으로 확보해야하는 선박 운항자 측면에서 갑작스러운 돌풍이 발생시 예인선 사용 외에

† sykim@mmu.ac.kr, 061-240-7161

다른 계류안전성 확보 방안이 필요하므로 접안선박이 사용할 수 있는 돌풍 대비용 직주배치의 필요성이 증대되고 있다.

선박 접안용 계선주에 대한 연구 성과로 Yu et al.(2019)은 계선주의 작용력에 대한 한계항복강도를 분석하고, 계선주에 실제 미치는 힘에 대한 휨 응력과, 전단응력과 비교하는 성능 평가 방법을 제안하였다.

계류안전성에 관한 연구 성과들을 살펴보면, Cho et al. (2006)은 쓰나미의 내습으로 인한 선박의 동요량을 수치계산하고 지진해일이 선박과 계류시스템에 작용하는 하중을 계산하였고, Kwak and Moon(2014)은 파랑 주기에 따른 선박 동요량을 해석하고 하역한계과고를 산정하는 방법을 제시하였다. Roas-Santos et al.(2014)는 외부 해역에 노출된 항구의 터미널에서 접안선박의 선체운동을 최소화하고 터미널 운영 및 보안 상태를 개선하기 위해 계류안전성 시뮬레이션을 수행하였다. Lee(2016)는 해일로 인한 피해를 방지하기 위해 설치된 구조물의 국내·외 사례를 살펴보고 환경외력조건을 변화시켜 해일이 정박선박에 미치는 영향을 평가하기 위해 계류안전성을 평가하였다. Kim et al.(2016)은 울산항 위험물 취급부두의 선박 크기별 부두 운용 기준을 개선하기 위하여 계류안전성평가 결과를 분석하여 하역중단기준과 긴급이안기준을 제안하였다. Cho(2017)은 전용 부두에 계류 중인 실습선을 대상으로 계류선박의 거동해석을 수행하였고, Kim and Lee(2018)는 부두 시설 중 마루높이에 따른 대상선박의 계류안전성을 평가하고 선종의 특성을 반영한 적정 마루높이를 제안하였다. Lee et al.(2019)은 Ship To Ship(STS) 계류의 특성을 파악하기 위해 STS 계류 시뮬레이션 및 수치 해석 프로그램을 이용한 민감도 분석을 수행하고, 위험도 측정 매트릭스를 개발하였다. 이와 같이 국내·외에서 바람, 파랑, 해일, 장주기파, 쓰나미 등 다양한 환경외력에 따른 접안선박의 계류안전성, 선체동요량 및 하역한계과고 등을 산정하고, 계류 저감 요소를 분석하여 항만가동률을 향상시키고자 하는 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 그러나 돌풍 대비용 직주 설치에 따른 계류안전성 민감도 변화를 분석하는 연구는 거의 수행되지 않고 있다.

본 연구는 ‘항만 및 어항 설계기준’(이하 항설기준)상의 부두 내 곡주 및 직주 배치 기준을 분석하여 돌풍 대비용 직주 배치에 대한 기준을 분석하고, 계류안전성 평가 프로그램을 사용하여 시나리오에 따른 돌풍 대비용 직주 사용시 계류안전성 민감도 분석을 수행하여 돌풍시 직주 사용의 효용성을 검증하였다.

2. 설계기준 검토 및 부두 현장 분석

2.1 설계기준 검토

항설기준상 곡주(Bollard)와 직주(Bitt)의 형상은 Fig. 1과 같으며, 곡주는 평상시에 선박을 계류 또는 이·접안시 조선용

으로 사용되는 계선주로 계류라인이 부두뜰에 걸쳐지면 하역작업에 장애가 되므로 수제선 가까이 배치하는 것으로 정의한다. 반면, 직주는 폭풍 시에 선박을 계류하기 위한 선석 양단 부근에 설치하는 계선주로 태풍시에도 선박을 계류하는 안벽에서는 선박의 횡방향 힘에 대해서 곡주만으로는 대처할 수 없으므로 선축과 계류라인이 가능한 직각이 되고 하역작업에 지장이 되지 않는 수제선에서 떨어진 위치에 큰 힘에도 안전하도록 배치하는 계선주로 정의한다(MOF, 2017). Fig. 2는 부산국제여객부두에 설치된 곡주와 직주의 사진이다.

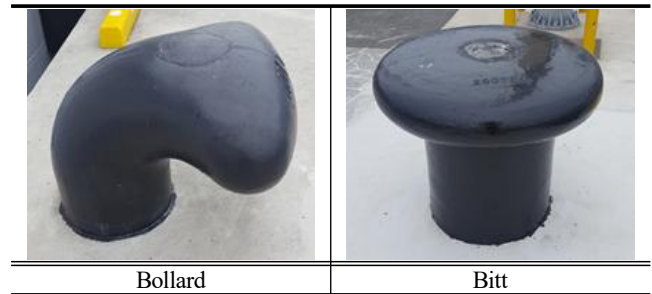


Fig. 1. Bollard and Bitt for mooring.



Fig. 2. Photo of bollard and bitt (Port of Busan).

현재 항설기준상 계선주 설치시 고려요소는 대상선박의 선종 및 제원, 풍압면적, 선체동요량 그리고 계류라인의 절단하중, 설치장소의 기상 및 해상조건이며, 상세한 항설기준상 곡주와 직주의 설치기준은 Table 1과 같다. 곡주는 대상선박의 총톤수에 따라 1선석당 최저설치개수, 곡주 사이의 최대간격, 표준건인력이 결정된다. 예를 들어 접안선박의 총톤수가 70,000톤이라면 1선석당 최저 설치되어야 하는 곡주의 개수는 20개이며 곡주 사이의 최대간격은 20m, 표준건인력은 100 ton으로 결정된다. 반면 직주는 대상선박의 총톤수 대비 표준건인력만 존재하며, 선석당 최저설치 개수 및 최대간격은 부재하다. 폭풍시에 선박을 안전하게 계류하기 위한 용도로 사용되므로 부두 내 의무적인 설치기준은 없는 것으로 사료된다.

Table 1. Installation criteria of bollard and bitt

GT of target ship (ton)	Bollard		Bitt	
	Min. number of installation per berth (unit)	Max. interval between bollards (m)	Max. Load (ton)	Max. Load (ton)
200~500	4	10~15	15	15
500~1K			25	25
1K~2K			25	35
2K~3K	5	15	35	35
3K~5K			35	50
5K~10K	11	20	50	70
10K~20K			70	100
20K~50K	16	20	100	150
50K~100K	20	20	100	200
100K~150K	21	22	150	200
150K~200K	22	22	150	250
200K~250K	23	22	200	250

Source: Korea Harbor Design Standard (MOF, 2017)

2.2 부두 현장 분석

돌풍용 직주 배치 현황을 분석하기 위해 우리나라 서해안의 대표적인 무역항인 목포항, 군산항, 평택항의 자동차선 전용 부두의 현장 조사를 실시하였다. 특히 목포항 및 군산항 자동차선 운송사인 G사의 현장감독에 따르면 자동차선은 풍압면적이 큰 특징으로 기상악화에 따른 돌풍 등에 영향을 많이 받으므로 예인선 사용이 불가할 시 선박의 접안을 위한 직주 배치가 필요하다는 의견이 있었다. 이를 반영하여 군산항은 Fig. 3과 같이 현재 부두끝단에서 수직으로 약 20m 안쪽에 직주가 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 또한, 선박이 부두에 접안하여 하역작업 중 부두에서 바다 방향으로 돌풍이 불게 되면 선박이 부두에서 떨어지지 않도록 예인선을 사용하거나 추가라인을 배치하여야 한다. 그러나 항만에서 가동할 수 있는 예인선의 수가 한정적이며 그 사용 비용도 적지 않으므로 접안선박의 계류안전성 확보와 계류라인 절단 등의 사고 방지를 위해 돌풍용 직주 배치가 필요한 것으로 분석되었다.

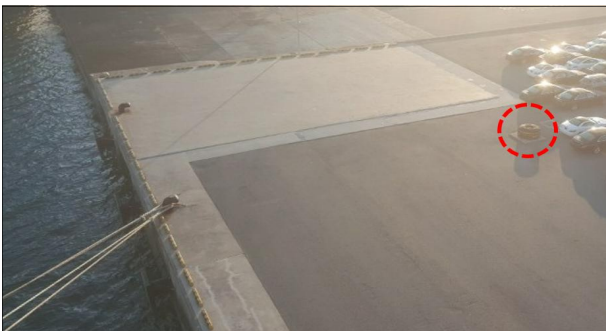


Fig. 3. Bitt against gust (Port of Gunsan).

3. 돌풍 대비용 직주 배치 시뮬레이션 평가

부두에 직주 배치에 따른 풍속별 계류안전성 민감도를 분석하고 돌풍 대비용 직주 배치의 효용성을 검증하기 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 해상교통안전진단 및 국내의 계류안전성 평가 시뮬레이션에 대표적으로 사용되고 있는 해석프로그램이다.

3.1 계류선박에 작용하는 풍압력 산정

본 연구는 계류선박에 작용하는 풍압력에 따른 대상선박의 계류안전성을 도출하며 선박의 풍압력 식은 (1)~(3)과 같다. 선박에 영향을 주는 풍압력은 선박의 수면상부 면적 영향에 의하여 풍압면적과 풍속의 제곱에 비례한다. 풍압계수 C_{x_w} , C_{y_w} , C_{z_w} 은 특정선박에 대한 풍동실험이나 수조실험에서 구하는 것이 바람직하나 불가피할 경우 풍동실험이나 수조에서의 실험결과를 근거하여 풍항력 계수의 계산식을 사용하여 구할 수 있다(MOF, 2017).

$$F_{x_w} = \frac{1}{2} C_{x_w} \cdot \rho_w \cdot V_w^2 \cdot A_T \quad (1)$$

$$F_{y_w} = \frac{1}{2} C_{y_w} \cdot \rho_w \cdot V_w^2 \cdot A_L \quad (2)$$

$$M_{xy_w} = \frac{1}{2} C_{xy_w} \cdot \rho_w \cdot V_w^2 \cdot A_L \cdot LBP \quad (3)$$

여기서, F_{x_w} : 풍하중 합력의 x방향 성분(kN)

F_{y_w} : 풍하중 합력의 y방향 성분(kN)

M_{xy_w} : 풍하중 합력의 선박 중심축 회전 모멘트(kN·m)

C_{x_w} : x방향의 풍압계수

C_{y_w} : y방향의 풍압계수

C_{xy_w} : 선박 중심축 회전의 풍압모멘트 계수

ρ_w : 공기의 밀도(t/m^3), V_w : 풍속(m/s)

A_L : 수면상 선체 측면 투영면적(m^2)

A_T : 수면상 선체 정면 투영면적(m^2)

3.2 대상선박 선정

시뮬레이션을 위한 대상선박의 선종은 자동차선으로 선정하였으며, 선정 이유는 자동차선의 경우 타선종에 비해

건현이 높고 풍압면적이 큰 특징으로 풍속의 영향을 크게 받기 때문이다. 대상선박은 GT 69,000톤급의 차량 8,000대 적재가 가능한 자동차선으로 선정하였으며, 대상선박의 주요 제원은 Table 2와 같다. 대상선박의 주요 제원은 실제 국내 무역항 접안 이력이 있는 동일 톤수급 자동차선의 제원을 고려하여 설정하였으며, 계류방향은 우현 접안 상태로 설정하였다. 화물 적재상태는 풍향이 부두쪽에서 바다 방향으로 정황방향일 때 풍압면적이 가장 크므로 계류안전성 확보의 최악 조건으로 고려되는 경하상태로 설정하였다.

Table 2. Specifications of target ship

Category		GT 69,000 ton Car carrier
LOA (m)		232.4
LBP (m)		222.4
Breadth (m)		32.3
Depth (m)		32.6
draft (m)	fore	7.5
	aft	8.3
Projected Windage Areas (m ²)	Transverse	855
	Lateral	6,537

3.3 계류상황 모델링

본 계류안전성 수치 시뮬레이션 평가를 위해 모델링한 대상부두의 상세 제원과 계류삭, 계선주, 방충재 등 계류시스템의 배치 및 용량은 Table 3과 같다.

Table 3. Specifications of mooring condition

Category		Target pier
Length of Pier (m)		260
Depth of Peir (m)		12
Line	Type / Dia. (mm)	New D-flex Rope / 72
	S.W.L (ton)	47
Bollard	Interval (m)	20
	Max. Load (ton)	100
Fender	Type	Cell Type 1,400 H × 1,600 φ
	Interval (m)	20
Max. Load (ton)		93
	Bitt	Arrangement
Max. Load (ton)		200

대상선박의 계류삭의 사양은 실제 동일 크기의 선박에서 사용하는 종류인 New D-flex Rope, 직경 72 mm를 선정하였으며, 그 파단력(M.B.L)은 94톤이며 안전사용하중(S.W.L)은 Table 4

에 따라 파단력의 50%인 47톤으로 설정하였다(OCIMF, 2008). 부두의 계류시스템은 계류안전성 평가 결과의 일반화를 위해 항설기준상 대상선박에 따른 각 계류시스템의 배치 기준에 따라 설계하였다. 대상부두의 계선주는 총 15개이며, 허용건인력은 총톤수 기준에 따라 모든 계선주가 100톤이고 각 계선주의 간격은 20m로 설계하였다. 또한, 대상부두의 방충재는 실제 대형선 접안 부두에서 주로 사용되는 종류와 사양을 고려하여 설계하였으며, 그 종류는 Cell Type (1,400 H × 1,600 φ)으로 약 20 m 간격으로 배치하였다.

돌풍 대비용 직주 배치에 따른 계류안전성 민감도 분석을 위해 직주는 선수부근에 1개, 선미부근에 1개를 배치하였으며 부두끝단에서 안쪽까지의 거리는 실제 군산항의 배치를 고려하여 20m로 설정하였고, 허용건인력은 총톤수 기준 항설기준에 따라 200톤으로 설정하였다.

Table 4. 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 adopted standard	2.22	0.45
Other Synthetic	environmental criteria	2.00	0.50

Source: Mooring Equipment Guidelines (OCIMF, 2008)

계류라인 모델링은 Fig. 4와 같이 A와 B타입으로 분류하였으며, A타입은 실제 자동차선의 계류라인 배치를 고려하여 선수 6개, 선미 6개로 총 12개의 계류라인으로 설정하였고, B타입은 돌풍 대비용 직주 배치에 따라 선수, 선미에 추가 브레스트라인 1개씩을 추가하여 선수 7개, 선미 7개로 총 14개의 계류라인으로 설정하였다. A와 B타입의 상세한 계류배치는 Table 5와 같다.

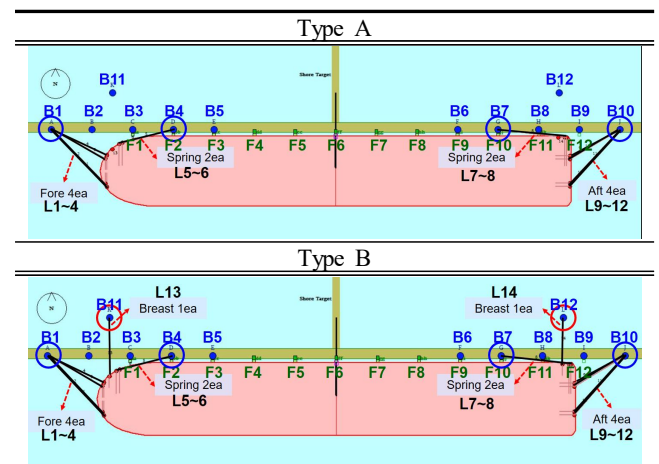


Fig. 4. Mooring Arrangement of each type.

Table 5. Mooring arrangement

Category		Type A	Type B
Line	Head	L1, L2, L3, L4	L1, L2, L3, L4
	Fore Breast	-	L13
	Spring	L5, L6	L5, L6
	Head	L7, L8, L9, L10	L7, L8, L9, L10
	Aft Breast	-	L14
	Spring	L11, L12	L11, L12
Bollard	Fore Head	B1	B1
	Spring	B4	B4
	Aft Head	B7	B7
	Spring	B10	B10
Fender	Fore	F1~F6	F1~F6
	Aft	F7~F12	F7~F12
Bitt	Fore	-	B11
	Aft	-	B12

3.4 환경외력 모델링

직주 배치에 따른 계류안전성 민감도 분석을 위해 풍속 15 kts, 20 kts, 25 kts, 풍향은 부두에서 바다쪽으로 정횡 방향으로 설정하였고, 본 시뮬레이션 분석에 영향이 적은 조류 조건은 제외하였다. 파향 조건은 계류선박의 종방향 및 횡 방향으로 6자유도 운동에 영향을 줄 수 있도록 선수 좌현 45° 방향, 파고 조건은 항설기준의 선박규모별 하역한계 파고 기준을 고려하여 0.5 m로 설정하였다.

3.5 시뮬레이션 평가요소

선체동요는 선체 및 계류장치로 구성되는 진동계에 바람, 파랑 및 조류 등의 외력이 작용하는 경우 발생한다. 본 시뮬레이션 평가는 계류삭에 작용하는 최대장력, 계선주에 작용하는 견인력의 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 시뮬레이션에서 방충재에 작용하는 반력 평가는 제외하였는데 이는 부두에서 바다 방향으로 풍향이 작용시 접안선박의 Sway 운동이 커짐에 따라 방충재와 접안선박의 거리는 멀어지므로 방충재의 반력은 직주 배치에 따른 민감도 분석 요소로 중요도가 떨어지기 때문이다.

3.6 시나리오 설정

본 시뮬레이션의 시나리오는 Table 6과 같이 총 12개로 먼저 풍속에 따른 직주 사용시 계류안전성 민감도 분석을 위

해 Case 1-1, 1-2, 1-3은 A타입의 계류배치에서 풍속 15 kts, 20 kts, 25 kts에 따른 평가요소 분석, Case 2-1, 2-2, 2-3은 B타입의 계류배치에서 풍속 15 kts, 20 kts, 25 kts에 따른 평가요소 분석을 실시하였다. 본 시나리오에서 설정한 25 kts의 풍속은 풍랑주의보의 기준인 풍속 14 m/s 보다 적으나 풍향이 부두에서 바다 방향으로 접안선박의 정횡일 경우 계류안전성 평가 결과 평가요소의 값이 계류한계에 도달하는 풍속으로 도출되었으므로 이와 같이 설정하였다.

또한, 직주의 수평 위치에 따른 계류안전성 민감도 분석을 위해 Case 3-1, 3-2, 3-3은 직주의 수평 위치가 부두 안쪽으로 10 m, 15 m, 20 m에 따른 평가요소 분석을 실시하였다. 마지막으로 Case 4-1, 4-2, 4-3은 돌풍 대비용 직주에 브레스트라인을 선수, 선미 각각 1개씩 배치했을 경우와 부두에 기 설치된 계선주에 추가 브레스트라인을 선수, 선미 1개씩 배치했을 경우의 평가요소 비교 분석을 실시하였다.

Table 6. Scenario of simulation

Case No.	Mooring arrangement	Wind speed (kts)	Horizontal distance of bitt (m)
1-1	Type A	15	-
1-2		20	
1-3		25	
2-1	Type B	15	20
2-2		20	
2-3		25	
3-1	Type B	15	10
3-2			15
3-3			20
4-1	Type B	15	20
4-2	Type A & Breast Line 2ea (B2, B9)		-
4-3	Type A & Breast Line 2ea (B3, B8)		-

4. 평가 결과 분석

4.1 A타입 계류배치시 풍속에 따른 평가요소 분석

대상선박의 A타입의 계류배치시 Case 1-1, 1-2, 1-3 시나리오에 대한 계류삭 최대장력 분석결과는 Fig. 5와 같으며, 풍속이 증가할수록 모든 계류삭의 장력은 증가하는 것으로 분석되었다. 풍속 5 kts 증가시 계류삭 장력은 121~182% 수준으로 증가하는 것으로 분석되었으며, 풍속 25 kts 조건에서 선미 스티라인에 가장 큰 하중이 작용하였으며, 이 때 최대하중은 30.2톤으로 허용강도의 약 64.3% 수준으로 평가되었다.

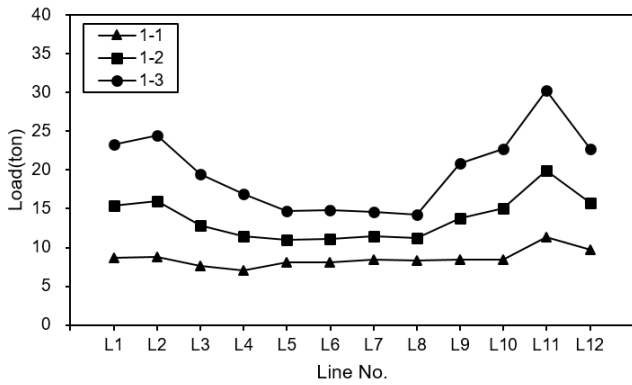


Fig. 5. Tension of mooring lines in Case 1-1, 1-2, 1-3.

A타입의 계류배치시 Case 1-1, 1-2, 1-3 시나리오에 대한 계선주 최대견인력 분석결과는 Fig. 6과 같으며, 풍속 5kts 증가시 계선주 견인력은 128~174% 수준으로 증가하는 것으로 분석되었다. 풍속이 증가할수록 계선주에 작용하는 견인력은 증가하는 것으로 분석되었고, 풍속 25kts 조건에서 최대 견인력은 선미 스텐라인에 사용된 계선주에 최대 94.8톤(94.8%)의 하중이 작용한 것으로 분석되었다.

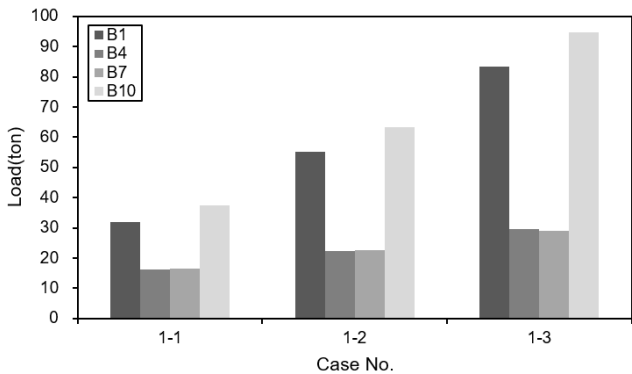


Fig. 6. Load of bollards in Case 1-1, 1-2, 1-3.

항설기준에서는 선종 및 하역장비를 기준으로 6자유도 운동별 허용동요량이 제시되어 있다. 외력에 의한 선체동요로 인해 대상선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위 내에 있는지를 평가하기 위하여 선체의 6자유도 운동 통계량과 선체 특정부분의 상대운동에 대한 운동진폭치(Amplitude)를 기초로 하여 검토하였다. 대상선박은 자동차선이므로 Ro/Ro Ship의 선체동요 권고기준에 따라 분석한 Case 1-1, 1-2, 1-3 시나리오에 대한 선체동요량 결과는 Table 7과 같으며, 풍속이 증가할수록 Surge, Sway, Roll의 값이 증가하는 것으로 분석되었다. 모든 조건의 풍속에서 Sway값은 허용동요량을 초과하는 것으로 분석되었으며, 이는 풍향 모델을 부두에서

바다쪽 정횡 방향으로 설정함에 따라 A타입의 계류배치시 안전한 하역이 불가할 수 있음을 의미한다. 이를 위해 추가 브레스트라인이 필요한 것으로 분석된다.

Table 7. Motion for 6-DOF in Case 1-1, 1-2, 1-3

Ship Type	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Car Carrier	Ramp	0.8	0.6	0.8	1	1	4
Case 1-1	Motion	0.39	0.79	0.01	0.0	0.1	0.4
	Safety	○	×	○	○	○	○
Case 1-2	Motion	0.29	2.17	0.01	0.0	0.1	0.6
	Safety	○	×	○	○	○	○
Case 1-3	Motion	0.41	3.52	0.01	0.0	0.1	0.8
	Safety	○	×	○	○	○	○

4.2 B타입 계류배치시 풍속에 따른 평가요소 분석

대상선박의 B타입의 계류배치시 Case 2-1, 2-2, 2-3 시나리오에 대한 계류삭 최대장력 분석결과는 Fig. 7과 같으며, 풍속이 증가할수록 모든 계류삭의 장력은 증가하는 것으로 분석되었다. 풍속 5kts 증가시 계류삭 장력은 116~209% 수준으로 증가하는 것으로 분석되었으며, 풍속 25kts 조건에서 선수 브레스트라인에 가장 큰 하중이 작용하였으며 이 때 최대하중은 27.9톤으로 허용강도의 약 59.4% 수준으로 평가되었다.

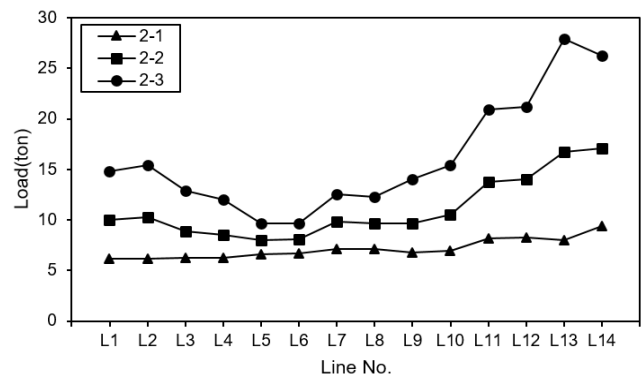


Fig. 7. Tension of mooring lines in Case 2-1, 2-2, 2-3.

B타입의 계류배치시 Case 2-1, 2-2, 2-3 시나리오에 대한 계선주 최대견인력 분석결과는 Fig. 8과 같으며, 풍속 5kts 증가시 계선주 견인력은 120~209% 수준으로 증가하는 것으로 분석되었다. 풍속이 증가할수록 계선주에 작용하는 견인력은 증가하는 것으로 분석되었고, 풍속 25kts 조건에서 최

대 견인력은 선미 스텐라인에 사용된 계선주에 최대 70.8톤 (70.8%)의 하중이 작용한 것으로 분석되었다.

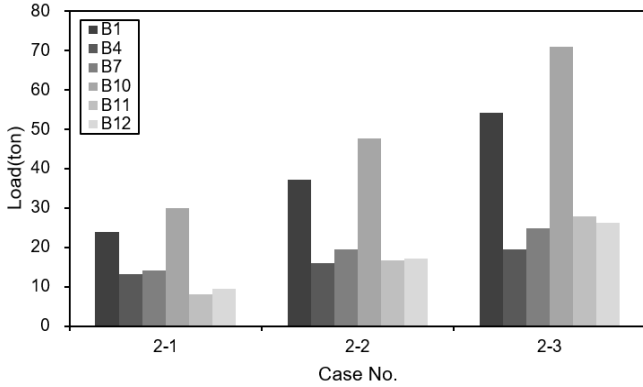


Fig. 8. Load of bollards, bitts in Case 2-1, 2-2, 2-3.

선체동요 권고기준에 따라 분석한 Case 2-1, 2-2, 2-3 시나리오에 대한 선체동요량 결과는 Table 8과 같다. 풍속 15 kts의 조건에서 모든 선체동요량은 허용 수준 이하로 평가되나 20 kts 이상의 풍속에서 Sway값은 허용동요량을 초과하는 것으로 분석되었다. 이는 풍향 모델을 부두에서 바다쪽으로 정형 방향으로 설정함에 따라 약 17 kts의 풍속에서 B타입의 계류배치시 안전한 하역이 불가할 수 있음을 의미한다.

Table 8. Motion for 6-DOF in Case 2-1, 2-2, 2-3

Ship Type	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Case 2-1	Motion	0.25	0.42	0.01	0.0	0.1	0.2
	Safety	○	○	○	○	○	○
Case 2-2	Motion	0.58	1.22	0.01	0.0	0.1	0.5
	Safety	○	×	○	○	○	○
Case 2-3	Motion	0.79	2.25	0.01	0.0	0.1	0.7
	Safety	○	×	○	○	○	○

4.3 직주의 수평 위치에 따른 평가요소 분석

직주의 수평 위치에 따른 계류안전성 민감도를 분석하기 위해 Case 3-1, 3-2, 3-3 시나리오에 대한 계류삭 최대장력 분석결과는 Fig. 9와 같으며, 부두 끝단에서 부두 안쪽으로 수평 거리가 증가할수록 계류삭의 장력은 대체로 감소하는 것으로 분석되었다. 수평 거리가 5 m 증가시 계류삭 장력은 -1.5~7.6% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었으며, 수평 위치 10m시 선미 브레스트라인에 가장 큰 하중이 작용하였으며, 이 때 최대하중은 9.9톤으로 허용장도의 약 21.1% 수준으로 평가되었다.

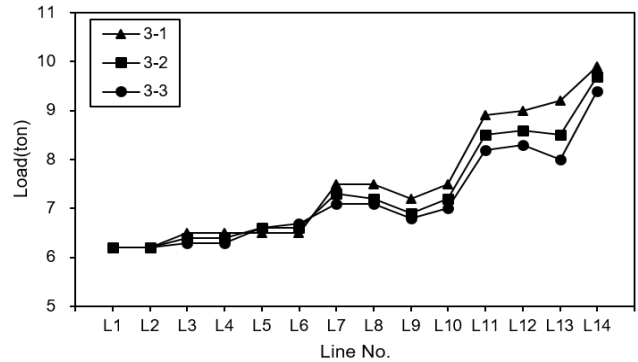


Fig. 9. Tension of mooring lines in Case 3-1, 3-2, 3-3.

Case 3-1, 3-2, 3-3 시나리오에 대한 계선주 최대견인력 분석결과는 Fig. 10과 같으며, 직주의 수평 거리가 5 m 증가시 계선주 견인력은 -1.5~7.6% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다. 수평 위치 10m시 최대 견인력은 선미 스텐라인에 사용된 계선주에 최대 32.2톤(32.2%)의 하중이 작용한 것으로 분석되었다.

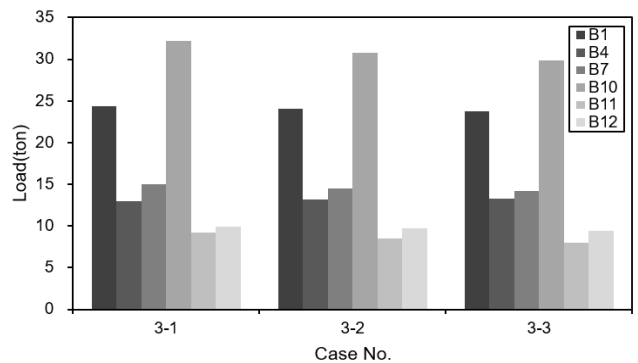


Fig. 10. Load of bollards, bitts in Case 3-1, 3-2, 3-3.

선체동요 권고기준에 따라 분석한 Case 3-1, 3-2, 3-3 시나리오에 대한 선체동요량 결과는 Table 9와 같으며, 직주 수평 거리가 증가할수록 Surge, Sway의 값이 감소하는 것으로 분석되었다. 각 시나리오에서 모든 선체동요량은 허용 수준 이하로 평가되었으며, Sway값의 경우 수평 거리가 5 m 증가시 10.6~11.3% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다.

Table 9. Motion for 6-DOF in Case 3-1, 3-2, 3-3

Ship Type	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Case 3-1	Motion	0.31	0.53	0.01	0.0	0.1	0.3
	Safety	○	○	○	○	○	○
Case 3-2	Motion	0.28	0.47	0.01	0.0	0.1	0.3
	Safety	○	○	○	○	○	○
Case 3-3	Motion	0.25	0.42	0.01	0.0	0.1	0.2
	Safety	○	○	○	○	○	○

4.4 브레스트 라인 위치에 따른 평가요소 분석

돌풍 대비용 직주에 브레스트라인을 선수, 선미에 1개씩 배치했을 경우와 부두에 기설치된 계선주에 추가 브레스트라인을 선수, 선미 1개씩 배치했을 경우의 계류안전성 민감도를 분석하기 위해 Case 4-1, 4-2, 4-3 시나리오에 대한 계류삭 최대장력 분석결과는 Fig. 11과 같다. 각 시나리오에 따라 최대하중이 미치는 계류라인이 상이한 것으로 분석되었으며, Case 4-1에서 계류삭 최대장력은 돌풍 대비용 직주에 연결된 선미 브레스트라인으로 최대하중은 9.4톤, 허용강도의 약 20% 수준으로 평가되었다. Case 4-2에서 계류삭 최대장력은 선미 스탠타인으로 최대하중은 10.0톤, 허용강도의 약 21.3% 수준이며, Case 4-3에서 계류삭 최대장력은 선수 브레스트라인으로 최대 하중은 10.2톤, 허용강도의 약 21.7% 수준으로 분석되었다.

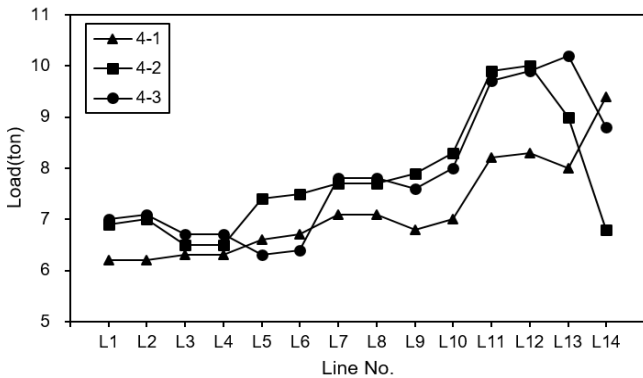


Fig. 11. Tension of mooring lines in Case 4-1, 4-2, 4-3.

Case 4-1, 4-2, 4-3 시나리오에 대한 계선주 최대견인력 분석결과는 Fig. 12와 같다. 모든 시나리오에서 최대견인력이 미치는 계선주는 선미 스탠타인용 계선주 B10인 것으로 분석되었으며, Case 4-1에서 계선주 최대견인력은 29.9톤(29.9%), Case 4-2에서 계선주 최대견인력은 35.7톤(35.7%), Case 4-3에서 계선주 최대견인력은 34.8톤(34.8%)으로 분석되었다.

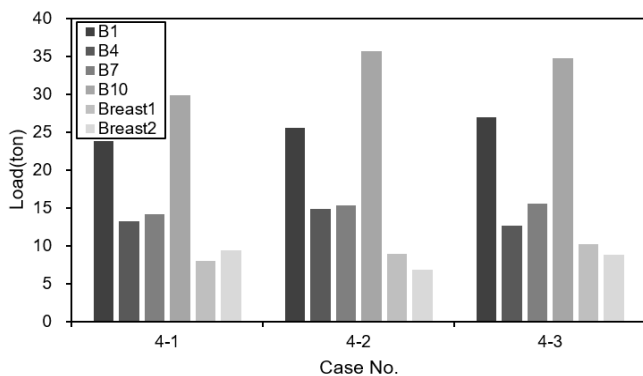


Fig. 12. Load of bollards, bits in Case 4-1, 4-2, 4-3.

선체동요 권고기준에 따라 분석한 Case 4-1, 4-2, 4-3 시나리오에 대한 선체동요량 결과는 Table 10과 같으며, Case 4-1에서 모든 선체동요량은 허용 수준 이하로 평가되었고, Case 4-2, 4-3은 Sway값이 허용 수준 정도로 평가되었다. 풍향이 부두에서 바다쪽 정횡 방향일 때 가장 영향이 큰 선체 운동인 Sway값은 돌풍 대비용 직주에 브레스트라인을 사용한 Case 4-1에서 0.42 m로 평가되었고, Case 4-2와 4-3은 0.63 m로 평가되어 돌풍 대비용 직주 사용시 Sway값에 약 33%의 감소 효과가 있는 것으로 분석되었다.

Table 10. Motion for 6-DOF in Case 4-1, 4-2, 4-3

Ship Type	Loading Device	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Case 4-1	Motion	0.25	0.42	0.01	0.0	0.1	0.2
	Safety	○	○	○	○	○	○
Case 4-2	Motion	0.29	0.63	0.01	0.0	0.1	0.4
	Safety	○	△	○	○	○	○
Case 4-3	Motion	0.38	0.63	0.01	0.0	0.1	0.4
	Safety	○	△	○	○	○	○

5. 결론

최근 지구온난화에 따른 기후변화에 따라 과거와는 다른 양상의 기상 변화가 발생하고 있으며, 해수 온도 상승으로 태풍의 대형화와 강도증가가 발생하고 있다. 이에 따라 선박이 접안 중 갑작스러운 돌풍이 발생시 선박의 계류안전성 확보를 위해 사용할 수 있는 직주의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 항설기준상 곡주 및 직주 배치 기준을 분석하고 계류안전성 평가 프로그램을 사용하여 12개 시나리오에 따른 직주 사용시 계류안전성 민감도 분석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 일반적인 형태의 12개 계류라인을 사용하여 계류시 풍속 증가에 따라 계류요소값이 증가하는 것으로 도출되었다. 풍속 25 kts시 계류삭 최대 장력은 30.2(허용강도의 64.3%)톤이고, 계선주 최대 견인력은 94.8톤(허용강도의 94.8%)으로 분석되었다. 선체동요량은 설정된 환경외력 조건에서 풍속 15 kts 이상시 Sway값이 허용동요량을 초과하는 것으로 분석되었다.
- (2) 돌풍 대비용 직주에 선수 및 선미 브레스트라인을 1개씩 추가하여 계류시 풍속 증가에 따라 계류요소값은 증가하는 것으로 도출되었다. 풍속 25 kts시 계류삭 최대 장력은 27.9(허용강도의 59.4%)톤이고, 계선주 최대 견인력은 70.8톤(허용강도의 70.8%)으로 분석되었다. 선체동요량은 설정된 환경외력 조건에서 풍속 15 kts시 모든 선체동

요량은 허용 수준 이하로 평가되나, 20 kts 이상의 풍속에서 Sway값은 허용동요량을 초과하는 것으로 분석되었다.

- (3) 직주 수평 위치에 따른 계류안전성 민감도를 분석 결과, 부두 끝단에서 부두 안쪽으로 수평 거리가 증가할수록 계류요소값은 대체로 감소하는 것으로 평가되었다. 수평 거리가 5 m 증가시 계류삭 장력과 계선주 견인력은 동일하게 최대 7.6% 감소하였으며, 특히 Sway값의 경우 설정된 환경외력 조건에서 수평 거리가 5 m 증가시 10.6~11.3% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다.
- (4) 돌풍 대비용 직주에 브레스트라인을 선수, 선미에 1개씩 배치했을 경우와 부두에 기설치된 계선주에 추가 브레스트라인을 선수, 선미 1개씩 배치했을 경우의 계류안전성 민감도를 분석 결과, 돌풍 대비용 직주를 사용하였을 때 계류요소값은 감소하는 것으로 평가되었다. 돌풍 대비용 직주에 브레스트라인을 사용시 계류삭 장력은 최대 7.8% 감소, 계선주 견인력은 최대 16.2% 감소하였다. 특히 Sway값의 경우 설정된 환경외력 조건에서 돌풍 대비용 직주 사용시 약 33%의 감소 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- (5) 이를 종합하여, 풍향이 부두에서 바다 방향으로 작용할 때 접안선박의 계류안전성 확보를 위해 추가 브레스트라인이 필요하며, 추가 브레스트라인을 돌풍 대비용 직주에 배치했을 경우 동일 환경조건에서 Case 1-1, 2-1, 4-3을 비교한 각 계류요소의 최대 감소량은 다음과 같다. 기존 12개 계류라인의 계류배치와 비교시 계류삭 장력 20.2%, 계선주 견인력 57.6%, Sway값 88.1%의 감소효과가 있는 것으로 분석되었고, 기존 계선주에 추가 브레스트라인 배치와 비교시 계류삭 장력 8.5%, 계선주 견인력 46.2%, Sway값 50.0%의 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과는 접안선박 및 항만의 특성을 고려한 돌풍 대비용 직주 배치를 제안하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 부두에서 직주의 배치는 돌풍 발생시 선박운항자 측면에서 선박의 계류안전성을 확보하기 위한 효율적인 방안이 될 것으로 사료된다. 추후 연구에서는 대상선박이 접안하는 실제 부두를 모델링하여 돌풍 대비용 직주 배치에 따른 효율성을 검증하고, 접안선박, 부두시설, 환경조건, 하역용이성 등을 고려한 최적의 배치를 제안하고자 한다.

사 사

이 논문은 ‘2019년도 목포해양대학교 신진교원 연구비 지원 사업’의 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

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] 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.
- [3] Kim, G. Y.(2016), Estimation of Future Typhoon Wind Speed around Korean Peninsula Considering Climate Change, Chungbuk National University, Graduate school, Dissertation.
- [4] 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.
- [5] Kim, S. Y. and Y. S. Lee(2018), A Study on the Proper Crown Height of GT 100,000Ton Cruise ship and DWT 100,000Ton Container ship, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Research Paper, Vol. 24, No. 2, pp. 157-162.
- [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, Mokpo National Maritime University, Graduate school, Dissertation.
- [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] MOF(2017), Ministry of Oceans and Fisheries, Korea Harbor Design Standard (KDS 64 10 10 : 2020), pp. 26-31.
- [10] OCIMF(2008), Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition, pp. 111-123.
- [11] 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.

- [12] Yoon, J. J., K. C. Jun, J. S. Shim, and K. S. Park(2012), Estimation of Maximum Typhoon Intensity Considering Climate Change Scenarios and Simulation of Corresponding Storm Surge, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 292-301.
- [13] Yu, Y. U., S. Y. Kim, and Y. S. Lee(2019), A Study on the Evaluation of Safety Stiffness from Ship's Mooring Bollards, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 1, pp. 9-15.

Received : 2020. 11. 13.

Revised : 2020. 12. 08. (1st)

: 2020. 12. 23. (2nd)

Accepted : 2020. 12. 28.