

OCIMF 계류설비지침 기반 대형 LNG선박 계류력 계산

왕지엔* · 노재규**†

* 군산대학교 조선해양공학과 박사과정, ** 군산대학교 조선해양공학과 교수

Calculating the Mooring Force of a Large LNG Ship based on OCIMF Mooring Equipment Guidelines

Jian Wang* · Jackyou Noh**†

* Doctor Degree Course, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

** Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

요 약 : 대형액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)선이 연안 터미널에 정박할 경우 바람과 조류 등의 환경하중에 대응하여 안전을 확보할 수 있는 계류 안전을 위한 케이블 계류력 산정이 필요하다. 이에 기존의 주요 계류역(Mooring Force) 계산방법의 비교 및 분석을 수행하였다. 비교 및 분석을 통해 석유회사국제해운포럼(Oil Companies International Marine Forum, OCIMF)의 계류설비지침에서 권고하는 계산 방법을 선정하였으며 이를 기반으로 본 논문에서는 실제 대형 LNG선에 적용하여 OCIMF 계류설비지침의 스펙트럼을 이용한 계류설비의 계류력 계산 사례를 제시하였다. OCIMF 계류설비지침에 따른 스펙트럼으로 계산한 계류력은 환경 외력과 풍동 시험으로 계산한 바람저항 계수 기반 선박 환경 외력과 최대값에서 매우 유사한 결과값을 주는 것을 확인할 수 있었다. OCIMF 계류설비지침에 따른 스펙트럼으로 계산한 계류력에 대한 검증으로 전문 계류력 계산 소프트웨어인 OPTIMOOR 소프트웨어를 사용하여 결과를 비교하였으며 둘의 결과는 매우 유사한 것을 확인하였다. OPTIMOOR를 사용할 경우에는 각각의 케이블의 인장력을 정밀하게 계산할 수 있어 경제적인 제약이 없을 때 적극적 사용이 추천된다. 결론적으로 OCIMF 계류설비지침에 따른 스펙트럼으로 계산한 계류력이 대형 LNG선의 계류력 계산에 적용함에 문제가 없음을 실제 계산 사례를 통해 검증할 수 있었다.

핵심용어 : 계류력, LNG선, 석유회사국제해운포럼, 계류설비지침, 풍동 시험, 옵티무어

Abstract : When a large liquefied natural gas (LNG) carrier is anchored at a coastal terminal, calculations on mooring forces of mooring cables induced by environmental loads such as strong winds and currents are needed to secure mooring safety. The advantages and disadvantages of several existing mooring force calculation methods are compared and analyzed with their application conditions. Resultingly, mooring equipment guidelines of the Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) are chosen as the computational method for this study. In this paper, the mooring forces of a large LNG carrier with spectrum was calculated using the OCIMF mooring equipment guidelines. The calculation shows similar maximum forces resulted from the calculation using experiment data of a wind tunnel test. To verify the results, OPTIMOOR, a dedicated mooring force calculation software, is used to calculate the same mooring conditions. The results of both calculations show that the computational method recommended by OCIMF is safe and reliable. OPTIMOOR calculates more detailed tensile force of each mooring cable. Thus, the calculation on mooring forces of mooring cables of a large LNG carrier using OCIMF mooring equipment guidelines is verified as an applicable and safe method.

Key Words : Mooring force, LNG carrier, OCIMF, Mooring equipment guidelines, Wind tunnel test, OPTIMOOR

1. 서 론

대형액화천연가스(Liquefied Nature Gas, LNG)는 청정에너지로 각 국가들의 전략적인 핵심 에너지가 되었다. 따라서

LNG 해상운송은 LNG 산업사슬의 중요한 부분으로 이와 관련된 안전성은 조선소, 선주, 선박관리회사의 높은 관심을 받고 있다. 계류는 LNG선과 터미널을 연결하는 방식으로 선박과 연안역 사이에서 LNG의 안전 송수신에 매우 중요한 역할을 한다. 또한 LNG선은 건조 과정에서 터미널 의장 주기가 길고 터미널이 차폐되지 않은 해안선에 있어 태풍 등

* First Author : wjza989@hotmail.com

† Corresponding Author : snucurl@kunsan.ac.kr, 063-469-1855

자연환경의 여러 가지 영향을 받는다(Li, 2016). 선박은 흘수가 얇고 바람을 받는 면적이 크며, 터미널의 수심이 얇고 배 밑과 바닥의 공간이 상대적으로 적어 물의 작용이 크다(Li, 2011). 또한 터미널 케이블 위치가 LNG선에 비해 낮아 케이블 고도차(Vertical Separation)가 크고 케이블 양각이 크다. 뿐만 아니라 수평적 속박력이 적어 작업 효율성이 낮아 LNG선의 터미널 계류는 통제할 수 없는 안전상의 리스크가 크다.

조선소는 노동자의 경험에 의존해 케이블을 운용하고 있어 선박이 강풍에 떠내려갈 위험이 크다. 그러나 학술적으로 하중 분석 방법에 대한 기초적인 연구는 많이 이루어졌지만 실제 응용에 대한 연구는 미비한 실정이다. 현재 산업에는 계류력을 결정하는데 쓰이는 경험공식이 있지만 이들 경험공식은 각각의 특성과 그에 따른 한계가 있어 소득의 차이가 커 실제 터미널에서 케이블을 확보하는 방안 제정에 어려움이 있다(Yuan et al., 2010). 따라서 본 논문에서는 주요 계류력 계산방법의 장단점과 적용조건을 분석하여 각 계산방법의 특성을 이해하고, 여기에 대형 LNG선에 적용되는 계류력 분석 계산법을 제안하고자 한다. 이어 제안한 계산방법에 대해 실례를 통해 검증하고, 계류 안전에 영향을 미치는 기타 요인을 분석하여 선박의 실제 정박 안전 수요를 만족시키는 계류 방안을 제시하고자 한다.

2. 계류력의 주요 계산 방법 및 특징

선박 계류력의 크기는 환경 외력에 달려 있으며 선박의 계류력을 결정하는 방법은 다음과 같다.

- 1) 국제선급사협회(International Association of Classification Societies, IACS) 규정에 따른 선박의 의장수를 계산한다(China State Shipbuilding Corporation, 2013).
- 2) 대형선계선장치계획(Japanese Ship Design Standard, JSDS) 규정에 따라 계류력을 계산한다.
- 3) 전문 계류력 분석 소프트웨어의 계산 계류력 분석 방법을 사용한다(Zhao et al., 2018; Force Technology, 2014).
- 4) OCIMF의 계류설비지침 공식으로 계류력을 계산한다(OCIMF, 1994; OCIMF, 2008).

2.1 IACS 규정에 따른 선박의 의장수 계산 방법

IACS에 규정된 선박의 의장수(Equipment Number)의 계산식은 다음과 같다.

$$N_{EN} = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2Bh + \frac{A}{10} \quad (1)$$

식(1)에서 Δ 는 하기만재흘수선에서의 형 배수량(단위ton), B는 선폭(m), h는 만재흘수선에서의 건현과 최상층 전통갑

판로부터 폭이 B/4를 넘는 선루나 갑판실 중 가장 높게 위치한 것까지의 높이의 합(m), A는 선박 길이 L의 범위 내 하기만재흘수선 이상의 선체 부분, 상층 건물과 각층 너비가 B/4보다 큰 측면 투영 면적의 총합(m²)이다. 이 같은 선박의 의장수 계산식은 조류 2.5 m/s와 풍속 25 m/s의 외력에 의한 것으로 닻의 규격을 정하는 데 사용된다. 또한 IACS 규정에서는 추천계류에 대비한 최소파단력(Minimum Breaking Load, MBL)의 크기와 계선줄(Mooring Line)을 제시하고 있다. 하지만 LNG선을 선박접안호환성(Ship Shore Compatibility) 검토 시에는 자세한 계류력 분석이 필요하기 때문에 이 계산법은 LNG선에는 큰 도움이 되지 않아 일반 계류사양에만 참고할 수 있다.

2.2 대형선계선장치계획 규정에 따른 계류력 계산 방법

대형선계선장치계획 규정에 따라 계류력을 계산하는 방법은 배를 옮길 때의 예인저항력을 계산하고 터미널에 정박할 때 필요한 계류력을 계산하는 것이다. 이 방법에서 선박이 받는 외력은 바람저항(R_a), 조류저항(R_w), 추진기저항(R_p)으로 구성된다. 계류력을 계산할 때는 선장이 서로 다른 방향에서 바람이 불어올 수 있다는 점을 고려해 가로와 세로 방향의 바람 저항을 각각 계산해야 하는데 터미널은 대부분 해안이나 해안을 따라 배치되어 바람이 부는 방향은 선장이 정하며 여기서 과도의 영향은 고려하지 않는다. 바람저항(R_a), 조류저항(R_w), 추진기저항(R_p)의 계산식을 각각 표시해보면 다음과 같다.

$$R_a = 9.81K_a A_a v_a^2 \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$R_w = 9.81 \times 0.1212 A_w (v_w^2 + 0.33v_w) \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$R_p = 9.81 \times 26.4 D^2 v_w^2 \times 10^{-3} \quad (4)$$

식(2)~식(4)에서 K_a 는 0.0735(가로) 또는 0.0429(세로)이다. A_a 는 흘수선 이상의 풍압 방향의 투영면적(m²), v_a 는 상대풍속(m/s), v_w 는 조류속도(m/s), A_w 는 배의 침수면적(m²), D는 추진기 지름(m)이다. 이 계산식에서 K_a 는 일반적인 경험치를 의미하여 선형별 바람저항(R_a)의 차이를 반영하지 못한다. 또한 풍속이 비교적 강할 때 선박이 받는 환경 외력은 주로 바람의 저항에서 나오는데 계산 결과에 큰 편차가 있을 수 있고 그에 상응하는 필요한 계류력에도 큰 편차가 있을 수 있다.

2.3 전문 계류력 분석 소프트웨어의 계산 계류력 분석 방법

현재 널리 사용되고 있는 계류력 분석 소프트웨어는 그

종류가 많은데 ALKYON의 Ship-mooring(2001), MARINE의 TermSim(2008)과 TTI(Tension Technology International)의 OPTIMOOR(2019) 등을 들 수 있다.

- 1) Ship-mooring은 전형적인 동적힘(Dynamic Force) 모델 분석 소프트웨어로 바람, 조류, 파도의 작용력을 고려한 비선형 선박운동과 해양 플랫폼 등에 적용된다.
- 2) TermSim은 동적힘(Dynamic Force) 분석에 기반한 소프트웨어이다.
- 3) TTI의 OPTIMOOR는 정적힘(Static Force) 모형을 사용하며 모든 외부하중을 등가의 정적힘으로 고려하여 바람하중과 조류력을 OCIMF의 추천공식 및 스펙트럼 계수로 계산하여 오프쇼어셸터(Offshore Shelter) 터미널에 적용한다(Sun, 2012). 또한 OPTIMOOR는 과강제력을 계산하며 사용자가 지정한 파고에 따라 배의 정적힘을 계산하고 총 하중에 곱친다. 외부하중을 계산하면 케이블의 길이와 공간기하관계, 케이블의 신축 특성에 따라 각각 케이블의 힘을 수치 시뮬레이션으로 계산할 수 있다.

2.4 OCIMF 계류설비지침에 따른 계류력 계산

OCIMF 계류설비지침에 따르면, 무한항행구역의 선박 계류력에 대한 계산은 다음의 표준 환경 조건에서 적용할 수 있다. Fig. 1과 같은 기준 좌표계를 사용할 때 바람의 속도는 어느 방향에서나 60 kn(30.9 m/s)이며, 조류는 다음과 같다.

- (1) 3 kn 조류는 전방 또는 후방에서 온다.
- (2) 2 kn 조류는 선수 또는 선미로부터 10° 벗어난 방향에서 온다.
- (3) 0.75 kn 물살은 최대 가로 조류하중 방향에서 온다.

선박에 작용하는 외력은 대부분 바람과 조류에서 나오는데, 좌표계로는 Fig. 1을 참고할 수 있으며 풍작용력과 바람 속도 및 풍작용력과 바람방향각의 관계는 각각 Fig. 2와 Fig. 3에서 볼 수 있다.

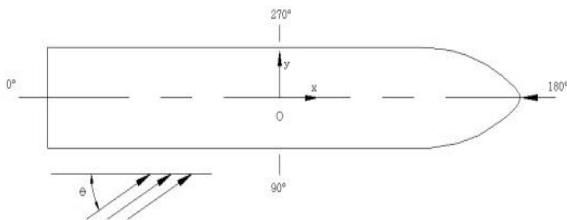


Fig. 1. Reference coordinate system.

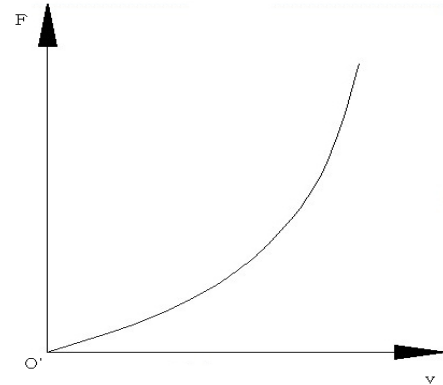


Fig. 2. The relation between wind force and wind speed.

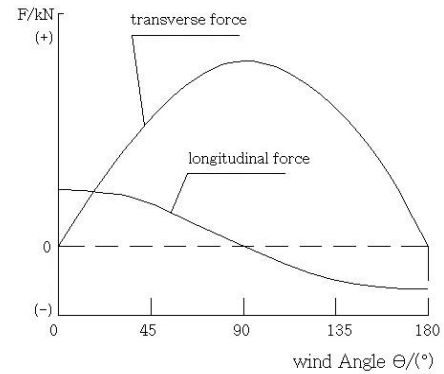


Fig. 3. The relation between wind force and wind angle.

선박은 x방향과 y방향에서 받는 바람 힘의 계산식은 다음과 같다.

$$F_{xw} = \frac{1}{2} C_{xw} \rho_w v_w^2 A_T \quad (5)$$

$$F_{yw} = \frac{1}{2} C_{yw} \rho_w v_w^2 A_T \quad (6)$$

식(5)와 (6)에서 C_{xw} 와 C_{yw} 는 x방향과 y방향의 바람저항 계수이며 ρ_w 는 공기의 밀도이다(1.28 kg/m³). v_w 는 바람속도 (m/s), A_L 과 A_T 는 각각 옆방향과 뱃머리 방향의 바람받이의 면적(m²)이다.

선박이 받는 조류하중의 계산식은 다음과 같다.

$$F_{xc} = \frac{1}{2} C_{xc} \rho_c v_c^2 L_{BP} d \quad (7)$$

$$F_{yc} = \frac{1}{2} C_{yc} \rho_c v_c^2 L_{BP} d \quad (8)$$

식(7)과 식(8)에서 C_{xc} 와 C_{yc} 는 각각 x방향과 y방향 조류의 저항계수이다. ρ_c 는 물의 밀도로 바닷물 1025 kg/m^3 이며 v_c 는 조류 속도이다(m/s). L_{BP} 는 선박의 수선 간 길이이며(m) d 는 평균 흘수(m)이다.

이 계산식 외에 바람과 수평면에서 선박에 작용하는 디플렉팅토크(Deflecting Torque)도 계산할 수 있는데 OCIMF 계류설비지침에서 이와 상응하는 계산 공식을 제공하고 있으며 디플렉팅토크(Deflecting Torque)는 선박이 받는 총 외력은 고정하지만 선미에서 케이블을 가로지르는 힘에는 영향을 받게 된다. 또한 OCIMF 계류설비지침에서는 액체화물선과 가스운반선이 통용하는 표준 바람저항 계수, 조류저항계수와 상응하는 디플렉팅토크(Deflecting Torque) 계수 스펙트럼을 제공하고 있다. 따라서 선박의 계류력을 계산할 때 상응하는 바람 저항, 조류저항, 수평면의 디플렉팅토크(Deflecting Torque) 계수를 찾아볼 수 있다.

IACS 규약에 따라 선박의 의장수를 계산하는 방법은 통상적으로 계류 배치하는 참고용으로만 사용된다. 대형선계선장지계획 규정에 따르면 계류력을 계산하는 방법은 대형 LNG선처럼 바람저항을 외력으로 하는 선박에 적용할 때 큰 편차가 있을 수 있다. 전문적인 계류력 분석 소프트웨어를 사용하면 공신력은 높아지지만 고비용의 라이선스를 구매해야 하는 제약이 있다. 대형 LNG선은 경우에는 OCIMF 규정을 만족시켜야 하기 때문에 OCIMF의 계류설비지침에서 제공하는 계류력 계산방법이 업계에서의 인지도가 높고 널리 적용할 수 있다. 또한 본 논문에서는 대형 LNG선박에 적용된 가스운반선 바람저항 스펙트럼계수를 풍동시험에서 얻은 바람저항계수로 분석하였다.

3. 선박의 계류력 분석 방법 비교

다양한 LNG선에 대한 실제 선박의 축소 모델로 수행한 풍동 시험 결과에 따르면 바람 저항계수가 비슷한 것으로 나타난다. 본 논문에서는 $174,000 \text{ m}^3$ 의 적재용량을 가지는 LNG선을 대상으로 OCIMF 계류설비지침에 제시된 바람저항 스펙트럼계수로 계류력을 계산한 후 이를 풍동시험 바람저항계수로 계산한 계류력과 비교하였다. Table 1은 대상 LNG선의 주요치수이며 Fig. 4는 터미널에서 연결한 대상 선박의 전형적 계류 케이블 배치를 나타낸다.

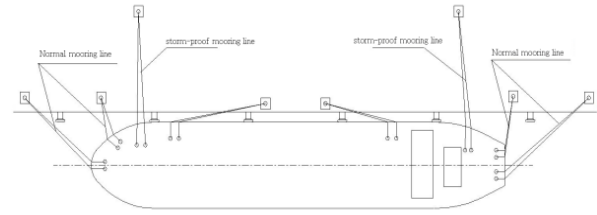


Fig. 4. Typical wharf mooring arrangement for LNG carriers.

3.1 OCIMF 계류설비지침 바람저항계수 및 조류저항계수에 의한 계류력 계산

대상 LNG선의 만재흘수 상태에서 선박이 바람을 받는 옆방향 면적 $A_L = 6599.4 \text{ m}^2$, 뱃머리 방향에서 바람에 맞서는 면적 $A_T = 1464.1 \text{ m}^2$, 밸러스트홀수 상태에서 바람을 받는 옆방향 면적 $A_L = 7266.6 \text{ m}^2$, 뱃머리 방향에서 바람에 맞서는 면적 $A_T = 1573.5 \text{ m}^2$ 이다.

식(5)와 식(6)에 따라 스펙트럼 A17과 A18을 OCIMF 계류설비지침에서 참조하여 속도가 60 kn 인 바람이 각각 방향에서 선박에 작용하는 힘을 계산한 결과는 Table 2와 같다.

풍력 외에도 선박은 조류의 작용력을 받는다. OCIMF의 계류설비지침을 참조하여 액체화물선의 조류저항계수 스펙트럼 A5, A10, A12와 A13은 OCIMF 규약 환경 조류 조건에서 식(7)과 식(8)에 따라 조류의 작용력을 계산한 결과는 Table 3과 같다.

Table 2와 Table 3을 보면 각 경우에 대해 LNG선이 x방향과 y방향으로 받는 가장 큰 바람의 작용력과 조류 저항을 비교하면 바람의 작용력이 조류 저항보다 훨씬 큰 것으로 나타나며, 바람의 작용력이 주도적으로 작용하는 것을 알 수 있다. 계류력은 선박이 환경적인 외력에 저항하는 데 필요한 구속력이므로 선박이 받는 환경적인 외력을 계산하면 계류력을 얻을 수 있으며 풍동 시험의 데이터가 주요하게 적용될 수 있다. 바람 작용력 및 조류 작용력은 Table 3의 계산 결과를 그대로 적용하였다.

3.2 풍동 시험 바람저항계수를 활용한 검증

Force Technology(2014)의 실제 선박을 대상으로 풍동 시험을 수행한 결과를 활용하여 Table 4에 나타내었다. 해당 풍동 시험 바람저항계수를 적용하여 식(5)과 식(6)에 따라 풍속이 60 kn (즉, $w_v = 30.9 \text{ m}$)일 때 바람이 각각 방향으로 선박을 받은 힘의 결과를 Table 5에 나타내었다.

3.3 작용력 특성 비교 분석

OCIMF 계류설비지침에서의 바람저항을 계산하고 풍동 시험 바람저항계수에 따라 나오는 바람방향각에 따른 선박에 대한 작용력과 비교하였다. Fig. 5는 선박이 만재흘수 상

Table 1. Ship's main parameters

Parameter	LBP(m)	B(m)	full draft T_d (m)	ballast draft TBD(m)	Full load Δ (ton)	ballast Δ (ton)
Value	278	45.6	11.7	9.1	131900	84500

Table 2. Wind force calculated from atlas coefficients

Wind angle(°)		0	30	60	90	120	150	180
Full load	F_{xw} (kN)	812.4	715.7	357.9	24.2	-259.5	-721.1	-913.5
	F_{yw} (kN)	0.0	2122.8	3779.5	4247.7	3848.1	1864.3	0.0
Ballast	F_{xw} (kN)	873.1	769.2	384.6	26	278.9	-775.0	-981.7
	F_{yw} (kN)	0.0	2337.5	4161.6	4677.1	4237.1	2052.8	0.0

Table 3. Force of flow

Flow angle(°)		0	10	90	170	180
Full load	F_{xw} (kN)	161.2	3.1	0.0	-6.5	-158.1
	F_{yw} (kN)	0.0	681.8	771.1	1252.5	0.0
Ballast	F_{xw} (kN)	168.6	80.3	1.2	-59.4	-117.6
	F_{yw} (kN)	0.0	101.4	187.8	105.1	0.0

Table 4. Wind resistance coefficient obtained from wind tunnel test

Wind angle(°)	0	30	60	90	120	150	180
C_{xw}	0.836	1.107	0.567	-0.290	-0.374	-0.785	-0.830
C_{yw}	0.000	-0.406	-0.866	-1.030	-0.952	-0.526	-0.005

Table 5. Wind force calculated by wind tunnel resistance coefficient

Wind angle(°)		0	30	60	90	120	150	180
Full load	F_{xw} (kN)	748.0	990.4	507.3	-259.5	-334.6	-702.3	-742.6
	F_{yw} (kN)	0.0	637.3	3492.4	4153.7	3839.2	2121.2	20.2
Ballast	F_{xw} (kN)	803.9	1064.4	545.2	-278.9	-359.6	-754.8	-798.1
	F_{yw} (kN)	0.0	1802.8	3845.4	4573.7	4227.3	2335.7	22.2

Table 6. The maximum wind force was calculated using the spectrum coefficient and the experimental wind resistance coefficient

Drag coefficient	F_{yw} (kN)		F_{xw} (kN)			
	full load	ballast	full load		ballast	
Spectrum drag coefficient	4247.7	4677.1	812.4	-913.5	873.1	-981.7
Test drag coefficient	4153.7	4573.7	748.0	-742.6	803.9	-798.1

태에서 각 방향의 바람을 받는 작용력의 상태이며 Fig. 6은 선박이 발라스트홀수 상태에서 각 방향의 바람을 받는 작용력의 상태를 나타내고 있다. Fig. 5와 Fig. 6에서 바람에 대한 선박의 작용력은 F_{yw} 가 바람방향각이 90°일 때 가장 크다. 또한 바람방향각이 0°와 180°일 때 각각의 방향의 최대치이다. Table 6은 스펙트럼 바람저항 계수와 풍동 시험 바람저항계

수를 사용하여 바람작용력의 최대값을 계산한 결과를 나타내고 있다.

Table 6에서 보듯이 만재홀수 상태나 발라스트홀수 상태에서 실제 선박의 바람저항계수와 풍동시험의 바람저항계수를 적용하여 계산한 바람작용력의 최대값은 서로 비슷하게 나타난다.

OCIMF 계류설비지침 기반 대형 LNG선박 계류력 계산

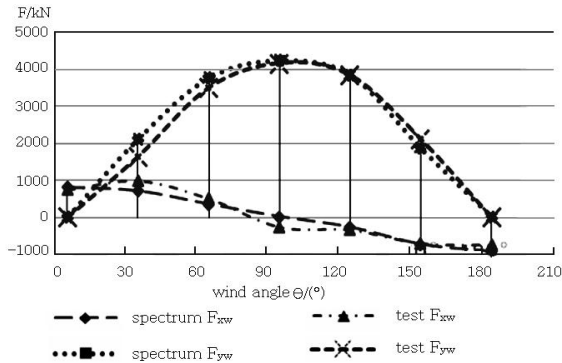


Fig. 5. Comparison of wind forces in all directions when a ship is fully loaded.

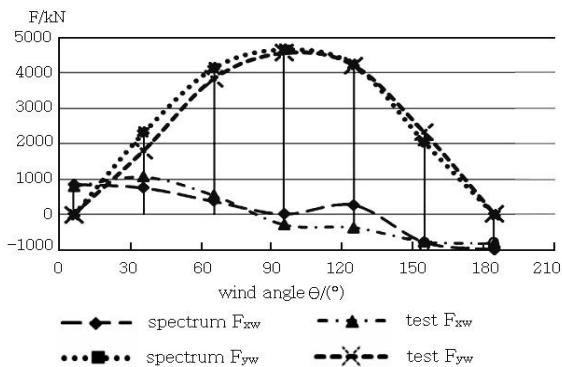


Fig. 6. Comparison of forces from different directions of wind on a ship in ballast.

바람과 조류는 서로 독립적이기 때문에 Table 6에서 바람 작용력 F_{yw} 와 F_{xw} 의 최대값과 Table 3의 같은 방향의 조류 작용력 F_{yc} 와 F_{xc} 의 최대치를 더해 선박이 받는 총외력 하중 F_x 와 F_y 를 얻을 수 있다. 또한 F_x 의 대해 0° 와 180° 방향에서 최대값을 계산해야 한다.

OCIMF 규약에 따라 선박이 받는 총외력 하중을 계산한 후 안전 작업 하중을 초과하지 않도록 각 케이블의 인장력을 계산해야 한다. 선박 터미널 계류 케이블 배치 중 모든 케이블의 배치된 각도에 따라 삼각함수를 이용하여 모든 케이블에 대해서 Fig. 1에 표시된 기준좌표계 0° , 90° 또는 180° 방향의 효율계수를 계산할 수 있다. 총외력 하중을 해당 방향의 케이블 효율계수의 합으로 나누면 필요한 케이블의 평균 인장력을 산출할 수 있다. 케이블의 평균 인장력이 모두 초기 가체결력(Pretightening Force) 보다 낮다면 계산 결과는 신뢰도가 있는 것으로 볼 수 있으며 케이블의 초기 가체결력의 크기는 윈치 드럼 인장력에 달려 있다. 뿐만 아니라 각각의 케이블은 길이가 다르고 탄성계수도 다르며 평균 인장력이 윈치 드럼 인장력보다 클 때 인장력은 일치하지 않는다.

OCIMF 계류설비지침에 따른 계산방법에 비해 OPTIMOOR 등 전문계류력 계산 소프트웨어를 적용하면 각각의 케이블이 받는 힘을 계산할 때 실제로 정확하고 사용자의 입장에서 간단하다. Fig. 7은 선박이 발라스트흘수 상태일 때 케이블 배치 상황으로 각 케이블 인장력은 Table 7과 같다. 케이블 초기의 가체결력은 모두 196 kN이다.

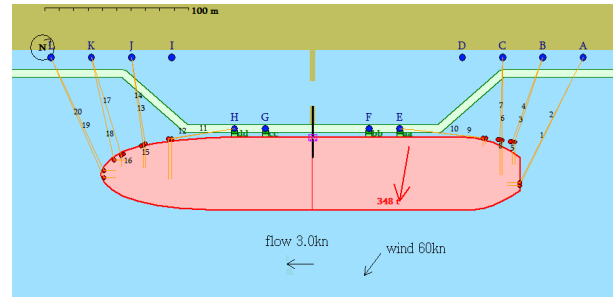


Fig. 7. Layout of cables for LNG carriers berthed at shore stations under ballast.

Table 7. The cable force

Cable number	Cable length(m)	Unfavorable wind angle($^\circ$)	Cable force (kN)	Tensile strength(%)
1-A	100	300	384.16	34
2-A	98.6	300	386.12	34
3-B	70.6	300	477.26	42
4-B	71.1	300	470.40	42
6-C	73.7	290	467.46	41
7-C	73.6	290	466.48	41
9-E	64.6	170	289.10	26
10-E	63.9	170	291.06	26
11-H	70.3	30	431.20	38
12-H	72.4	30	425.32	38
13-J	70.7	250	388.08	34
14-J	70.4	250	391.02	35
17-K	72.6	250	372.40	33
18-K	76.8	250	369.46	33
19-L	88.4	240	322.42	29
20-L	92.6	240	318.50	28

OPTIMOOR 소프트웨어는 각 케이블 압력의 합계를 통해 해당 환경 외력 하중을 얻을 수 있다. Table 8은 OCIMF 계류설비지침에 의한 스펙트럼과 OPTIMOOR 소프트웨어를 사용하여 계산한 환경 외력 하중의 최대값을 나타낸 것으로 Table 8에서 보면 2가지 방법으로 계산한 선박이 받는 외력 하중은 매우 유사한 것을 알 수 있다.

Table 8. OCIMF map and Optimoor software were used to calculate the maximum environmental total external force load

Classification	0°F _x (kN)	90°F _y (kN)	180°F _x (kN)
OCIMF spectrum	1041.7	4864.9	-1099.3
OPTIMOOR	1067.0	4790.0	-1227.0

3.4 계류 안전에 영향을 미치는 기타 요인

선박이 받는 환경력(바람과 조류) 외에도 선박 계류 안전은 파도와 선박 자체의 운동 등의 영향을 받게 된다. 이러한 외력이 지속되는 시간이 짧기 때문에 케이블의 탄력성 성능은 선박의 과도한 변위가 생기는 것을 피할 수 있다. 이를 고려해 OCIMF에서는 설계된 케이블은 최대 하중이 케이블 끊김 강도인 최소파단력(MBL)의 50%를 넘지 않아야 함을 규정하고 있다. 계류에 사용하는 케이블의 규격과 길이가 비슷해야 하며, 계류할 때는 터미널에서 페어리드(Fairlead)를 최대한 이용하면 케이블의 양각을 줄여 케이블의 효율성을 높일 수 있다. 또한 폭풍이 있을 때 Fig. 4의 스톱 케이블을 추가로 설치하면 선박의 계류 안전성을 높일 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 대형선박 특히 LNG선의 계류력 계산에 사용할 수 있는 주요 계산방법에 대해 비교하고 분석하였다. 이를 통해 OCIMF 계류설비지침에 따른 스펙트럼으로 계산한 선박 계류력은 환경 외력과 풍동 시험으로 계산한 바람 저항계수 기반 선박 환경 외력과 최대값에서 매우 유사한 결과값을 주는 것을 확인할 수 있었다. OCIMF 스펙트럼을 이용하여 계산한 방법으로 대형 LNG선의 계류 케이블의 계류력 계산에 적용한 사례를 보여주었다. 즉 선박에 필요한 총 계류력을 계산한 후에 각각의 케이블의 공간 위치 관계에 따라 케이블의 평균 인장력을 수동으로 계산할 수 있음을 보여주었다.

OCIMF 계류설비지침에 따른 스펙트럼으로 계산한 선박 계류력에 대한 검증으로 OPTIMOOR 소프트웨어를 사용하여 결과를 비교하였으며 둘의 결과는 매우 유사한 것을 알 수 있었다. OPTIMOOR 소프트웨어를 사용할 경우에는 각각의 케이블의 인장력을 정밀하게 계산할 수 있으며, 경제적인 제약이 없을 때 적극적 사용이 추천된다.

또한 계류안전에 영향을 미치는 기타 요인을 고려하여 궁극적으로 터미널의 계류를 규범화하고 대형 LNG선 터미널의 안전성을 높일 수 있는 방안을 보여주었다.

사 사

본 논문은 2015년 군산대학교 교수국외과건연구경비의 지원으로 이루어졌음을 밝힙니다.

References

- [1] ALKYON(2001), Ship-mooring, Alkyon Hydraulic Consultancy & Research.
- [2] China State Shipbuilding Corporation(2013), Ship design practical handbook - outfitting, pp. 190-192.
- [3] Force Technology(2014), JzS 170k class LNCC wind-tunnel tests report, Force Technology.
- [4] Li, D. X.(2016), Study on the Safety of Mooring of Fitting-out Quay, Dalian Maritime University, pp. 23-29.
- [5] Li, Y. C.(2011), Study on the security of mooring ship under typhoon state, Shanghai Jiao Tong University, pp. 14-22.
- [6] MARINE(2008), TermSim, <https://www.sssri-marin-jv.com/the-joint-venture/facilities-and-tools/software/>.
- [7] OCIMF(1994), Prediction of wind & current loads on VLCC's, 2nd ed. London:Witheyby.
- [8] OCIMF(2008), Mooring equipment guidelines, 3rd ed. London: Witheyby.
- [9] Tension Technology International(TTI)(2019), Optimoor, <https://www.tensiontech.com/software/optimoor>.
- [10] Sun, M. K.(2012), Overview of mooring system analysis and calculation software, Dalian University of Technology, pp. 11-16.
- [11] Yuan, M., J. Fan and Miao, G. P.(2010), Dynamic analysis of a mooring system, Chinese journal of hydrodynamics, Vol. 25, No. 3, pp. 285-290.
- [12] Zhao, Z. H., T. Wei and X. B. Wang(2018), Development of mooring force calculation software complying with OCIMF guidelines, Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 15-20.

Received : 2022. 02. 25.

Revised : 2022. 05. 26. (1st)

: 2022. 06. 07. (2nd)

Accepted : 2022. 06. 27.