

대산항 씨텍 제3번 돌핀부두 5만 DWT급 VLGC의 계류안전성 평가

† 김 세원 · 김 성진* · 박 영수** · 이 윤석***

† 한국해양대학교 항해학부 교수, *대학원생, ** *** 운훈련원 교수

요 약 : 대산항 씨텍 제3번 돌핀부두에 최초 설계의 접안능력기준을 약간 상회하는 5만 DWT급 VLGC 선박이 접안작업을 할 경우, 돌핀의 용량에 따른 접안작업 동안의 안전성 여부를 대산항만의 입출항 제한 자연 환경조건을 적용하여 선박 계류측면에서의 안전성을 판단하고자 한다. 이를 위하여 대상선박의 부두에서의 최악의 외력조건과 계류장력과의 관계를 OCIMF에서 연구 발표한 결과를 바탕으로 계류안전성 계산공식을 적용하여 계류안전성을 평가하도록 한다.

핵심용어 : 풍압력, 조류력, 계류장력, 계류안전성

2. 선체에 작용하는 외력계산 방정식

2.1 바람의 저항력을 계산하는 방정식

- 1) 종방향 풍압력(톤) / $F_{XW} = C_{XW}(\rho_w/7600)V_w^2A_f$
- 2) 후부수선에서의 측방향 풍압력(톤) / $F_{YW} = C_{YAW}(\rho_w/7600)V_w^2A_c$
- 3) 전부수선에서의 측방향 풍압력(톤) / $F_{YFW} = C_{YFW}(\rho_w/7600)V_w^2A_c$

※ 전부수선 및 후부수선에서의 측면풍압력 계수 ※ 종방향 풍압력 계수

3. 대상선박의 제원

3.2 Sunny Green호의 중압 및 유압면적 계산

- 1) 본선 자료를 토대로 중압 및 유압면적 산출
- 2) 수면아 면적은 일반적인 계산법 이용

정면적 : $B \times d \times C_b$ / 측면적 LBP $\times d \times C_b$

M/T Sunny Green		
길이 : LOA/LBP (m)		230/219
선폭 : B (m)		36.63
깊이 : D (m)		20.40
도착 상태 (Arrival Draft 기준)	정면적(수면상부/수면하부) (㎡)	1,147(840/307)
	측면적(수면상부/수면하부) (㎡)	4,927(3,450/1,477)
	도착시 평균 흘수 (m)	8.43
급선 상태 (Normal Ballast 기준)	정면적(수면상부/수면하부) (㎡)	1,112(865/247)
	측면적(수면상부/수면하부) (㎡)	4,788(3,600/1,188)
	평균흘수 (m)	6.78

2. 선체에 작용하는 외력계산 방정식

2.2 조류 저항력을 계산하는 방정식

- 1) 종방향 조류력(톤) / $F_{XC} = C_{XC}(\rho_c/7600)V_c^2 TL_{BP}$
- 2) 후부수선에서의 측방향 조류력(톤) / $F_{YAC} = C_{YAC}(\rho_c/7600)V_c^2 TL_{BP}$
- 3) 전부수선에서의 측방향 조류력(톤) / $F_{YFC} = C_{YFC}(D_c/7600)V_c^2 TL_{BP}$

※ 전부수선 및 후부수선에서의 종방향 조류력계수와 횡방향 조류력계수

4. 씨텍 3번 돌핀부두에서 SUNNY GREEN호 외력계산

4.1 도착상태의 조건에서의 외력 계산 - 풍압력과 조류력의 복합력 계산

- 1) 도착상태의 Sunny Green호의 풍압력과 조류력의 총합력
 - 풍력 27 노트, 조류 1.9 노트 적용
- 2) 종방향 외력 (선수미선 기준방향)
 - 선수방향(000°) 풍력 27노트, 조류력 1.9노트의 경우
 - $F_x = (-)9.05 + (-)5.49 = (-) 14.54 \text{ mt}$
- 3) 횡방향 외력
 - (1) 선미수선부 부근 - 풍력(120° 방향), 조류력(170° 방향) 적용
 - $F_{yA} = (-)21.48 + (-)2.75 = (-) 24.23 \text{ mt}$
 - (2) 선수수선부 부근 - 풍력(060° 방향), 조류력(010° 방향) 적용
 - $F_{yF} = (-)14.87 + (-)10.99 = (-) 25.86 \text{ mt}$

따라서,
종방향(선박 길이방향) 작용 외력 총합 : 14.54(톤)
횡방향(선박 정횡방향) 작용 외력 총합 : 50.09(톤)

† 중신회원 swkim@hhu.ac.kr, ** 교신저자 youngsoo@naver.com
 * 일반회원 seagoing@naver.com

4. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 외력계산

4.2 공선상태의 조건에서의 외력 계산 - 풍압력과 조류력의 복합력 계산

- 1) 공선상태의 Sunny Green호의 풍압력과 조류력의 총합력
 - 풍력 27 노트, 조류 1.9노트 적용
- 2) 풍방향 외력 (선수미선 기준방향)
 - 선수방향(000°), $F_{XF} = (-)8.91 + (-)4.42 = (-)13.33$ mt
 - 선미방향(180°), $F_{XA} = (+)6.21 + (+)7.37 = (+)13.58$ mt
- 3) 횡방향 외력
 - (1) 선수수선부 부근 - 풍력(090° 방향), 조류력(010° 방향) 적용
 - $F_{YF} = (-)18.53 + (-)8.84 = (-)27.37$ mt
 - (2) 선미수선부 부근 - 풍력(120° 방향), 조류력(170° 방향) 적용
 - $F_{YA} = (-)23.27 + (-)2.21 = (-)25.48$ mt

따라서,

중방향(선박 길이방향) 작용 외력 총합: 13.58 (톤)(선미에서 선수방향)

횡방향(선박 정방향) 작용 외력 총합: 52.65 (톤)

14

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.4 공선상태 조건에서의 본선의 계류장력 계산 - 계류식의 요소 분석

line	수평각(α)	L(out) (M)	H	수직각(β)	L(in)	L (m)	L	0.04 β	0.04 α	1000os α / L	1000os β / L
1	41.5	87.5	4.85	3.2	87.5	8.3	95.8	0.998	0.749	0.78	1.04
2	41.5	81.5	4.85	3.4	81.5	12	93.5	0.998	0.749	0.80	1.07
3	55.0	55.3	4.85	3.2	55.3	12	65.3	0.996	0.423	0.65	1.52
4	62.2	50.0	4.85	3.6	50	8.3	58.3	0.995	0.466	0.80	1.70
5	14.2	35	4.85	7.7	35	7.5	43.5	0.991	0.969	2.23	2.26
6	17.5	55.3	4.85	7.6	55.3	7.8	44.1	0.991	0.954	2.16	2.23
										$\Sigma =$	4.49
7	9.3	23.5	4.85	10.8	23.5	8	33.5	0.982	0.987		
8	70.2	24	4.85	11.4	24	8	32	0.980	0.984		
9	10.0	24.8	4.85	11.1	24.8	8	32.8	0.981	0.985		
10	9.0	25.5	4.85	10.4	25.5	8	34.5	0.984	0.988		
11	7.0	39	4.85	7.1	39	12.3	51.3	0.992	0.999	1.98	1.92
12	4.0	40	4.85	6.9	40	11.8	51.8	0.993	0.998	1.99	1.90
										$\Sigma =$	3.82
13	58.8	58.8	4.85	4.7	58.8	6.5	65.3	0.997	0.518	0.79	1.52
14	58.0	58	4.85	4.8	58	6.5	64.5	0.997	0.530	0.82	1.54
15	55.0	55	4.85	5.1	55	6.5	61.5	0.996	0.574	0.93	1.54

19

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.1 계류장력 계산 절차

1. 계류식의 그룹지정
 - 1) 선수 및 선미: 횡방향 저항력
 - 2) 앞쪽과 뒤쪽: 풍방향 저항력
2. 각 라인에 대하여 적절한 요소 평가
 - a (수평력), β (수직력), L = (outboard) + 1 (inboard)
3. 각 계류식에 대한 $\cos\alpha$, $\cos\beta$ 표 작성 및 평가
4. 각 계류식에 대한 것과 그룹별 전체(오로 표시)에 대한 $\cos^2 \alpha/L$ 표로 만들고 평가
5. 장력 계산식

$$1) \text{ 횡방향 장력 } R_{YF} = 0.55(MBL) \left(\frac{\Sigma \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta}{L} \right) \left(\frac{L_c}{\cos \alpha_c \cdot \cos \beta_c} \right)$$

$$R_{YA} = 0.55(MBL) \left(\frac{\Sigma \cos^2 \alpha}{L} \right) \left(\frac{L_c}{\cos \alpha_c} \right) \cos \beta_c$$

$$2) \text{ 풍방향 장력 } R_{XF} = N(0.55)(MBL) \cos \beta \cos \theta$$

15

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.4 공선상태 조건에서의 본선의 계류장력 계산 - 그룹별 장력계산의 적용

1. 선수부근에서의 선수미방향의 장력계산
 - 1) Aft Spring Line: $R_{XF} = 2 (0.55) (70.7) (0.988) (0.984) = 75.61$ (톤)
 - 2) Head Line(port): $R_{XF} = 2 (0.55) (70.7) (0.749) (0.998) = 58.13$ (톤)
 - 3) Head Line(stbd): $R_{XF} = 2 (0.55) (70.7) (0.466) (0.995) = 36.05$ (톤)

선수미방향의 총 장력(R_{XF}): 75.61 + 58.13 + 36.05 = 169.79 (톤)
2. 선수부근에서의 횡방향의 장력계산
 - 1) Fore breast Line: $R_{YF} = 0.55 (70.7) (4.49) (1/2.23) (0.991) = 77.59$ (톤)

횡방향의 총 장력(R_{YF}): 77.59 (톤)
3. 선미부근에서의 횡방향의 장력계산
 - 1) Aft breast Line: $R_{YA} = 0.55 (70.7) (3.82) (1/1.93) (0.997) = 76.73$ (톤)

횡방향의 총 장력(R_{YA}): 76.73 (톤)
4. 선미부근에서의 선수미방향의 장력계산
 - 1) Fore Spring Line: $R_{XA} = 2 (0.55) (70.7) (0.987) (0.982) = 75.38$ (톤)
 - 2) Stem Line(port): $R_{XA} = 2 (0.55) (70.7) (0.530) (0.997) = 41.09$ (톤)
 - 3) Stem Line(stbd): $R_{XA} = 2 (0.55) (70.7) (0.588) (0.996) = 45.55$ (톤)

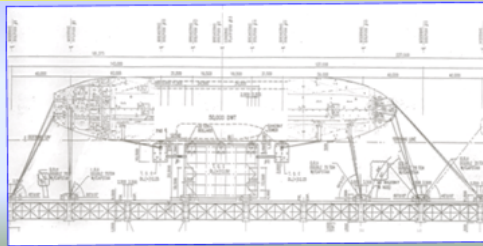
선수미방향의 총 장력(R_{XA}): 75.38 + 41.09 + 45.55 = 162.02 (톤)

20

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.2 대상선박(Sunny Green)의 계류식 배치도

1. Mooring Line의 번호는 선수에서 시계방향으로 1에서 16번까지 지정
2. 갑판상 배치
 - 1) FORE : 4 HEAD LINE / 2 BREAST LINE / 2 SPRING LINE
 - 2) AFT : 4 STERN LINE / 2 BREAST LINE / 2 SPRING LINE



18

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.5 Sunny Green호의 계류안전성 평가 - 도착상태기준

1. 도착상태의 조건에서의 외력의 합
 - ① 선수미방향(중방향) 외력의 총합: (-) 14.54 톤 (선수에서 선미방향)
 - ② 선미수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합: (-) 24.23 톤 (부두에서 떨어지는 방향)
 - ③ 선수수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합: (-) 25.86 톤 (부두에서 떨어지는 방향)

따라서, **선체의 횡방향 외력의 총합: 24.23 + 25.86 = 50.09 톤**
2. 도착상태의 조건에서의 계류식 장력의 합
 - ① 선수미방향(중방향) 계류식 장력의 총합: (-) 170.66 톤 (선수방향의 힘)
 - ② 선미수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합: (-) 77.34 톤 (부두에 붙는 방향)
 - ③ 선수수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합: (-) 78.68 톤 (부두에 붙는 방향)

따라서, **선체의 횡방향 장력의 총합: 77.34 + 78.68 = 156.02 톤**
3. 도착상태의 조건에서의 외력과 계류식 장력의 비교 평가
 - ① 중방향의 비교: 계류식 장력 170.66톤 > 외력 14.54톤 (외력이 장력의 약 08.5% 정도로, 계류안전성이 보장됨)
 - ② 횡방향의 비교: 계류식 장력 156.02톤 > 외력 50.09톤 (외력이 장력의 약 32.0% 정도로, 계류안전성이 보장됨)

21

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.5 Sunny Grenn호의 계류안전성 평가 - 도착상태기준

항목	외력 크기 (톤)	장력 크기 (톤)	외력/장력 (%)	평가	기타
총방향 (깊이 방향)	14.54	170.66	09	안전함	
횡방향 (측 방향)	50.09	156.02	32	안전함	

4. Head Line 2개(Port)를 잡지 않았을 경우

- Aft Spring Line : $R_{sf} = 2 (0.55) (70.7) (0.988) (0.993) = 76.30$ (톤)
- Head Line(stbd) : $R_{sf} = 2 (0.55) (70.7) (0.466) (0.998) = 36.17$ (톤)

선수미방향의 총 장력(R_{sp}) : $76.3 + 36.17 = 113.47$ (톤)

<결과> 계류식 장력 113.47톤 > 외력 14.54톤
(외력이 장력의 약 12.9% 정도로, 계류안전성이 보장됨)

22

6. SUNNY GREEN호의 계류안전성 평가에 대한 결론

계류안전성 평가에 대한 결론 (도착상태 조건기준)

- 외력과 계류식 장력의 총방향 비교 평가한 결과,
본선의 총방향의 장력 170.66톤
총방향의 외력 14.54톤(장력의 12.9%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가
- 외력과 계류식 장력의 횡방향 비교 평가한 결과,
본선의 횡방향의 장력 156.02톤
횡방향의 외력 50.09톤(장력의 32.0%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가
- 본선의 Head Line 2개(Port)를 잡지 않았을 경우에 장력과 외력 비교 결과,
본선의 총방향의 장력 112.47톤
총방향의 외력 14.54톤(장력의 12.9%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가

25

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.6 Sunny Grenn호의 계류안전성 평가 - Normal Ballast 상태 기준

- Ballast 상태의 조건에서의 외력의 합
 - 선수미방향(총방향) 외력의 총합 : (-) 13.33톤 (선수에서 선미방향)
 - 선미수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합 : (-) 25.48톤 (부두에서 멀어지는 방향)
 - 선수수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합 : (-) 27.37톤 (부두에서 멀어지는 방향)
 따라서, 전체의 횡방향 외력의 총합 : $25.48 + 27.37 = 52.85$ 톤

- Ballast 상태의 조건에서의 계류식 장력의 합
 - 선수미방향(총방향) 계류식 장력의 총합 : (-) 169.79톤 (선수방향의 힘)
 - 선미수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합 : (-) 76.73톤 (부두에 붙는 방향)
 - 선수수선부 부근에서의 횡방향 외력의 총합 : (-) 77.59톤 (부두에 붙는 방향)
 따라서, 전체의 횡방향 장력의 총합 : $76.73 + 77.59 = 154.32$ 톤

- Ballast 상태의 조건에서의 외력과 계류식 장력의 비교 평가
 - 총방향의 비교 : 계류식 장력 169.79톤 > 외력 13.33톤
(외력이 장력의 약 07.9% 정도로, 계류안전성이 보장됨)
 - 횡방향의 비교 : 계류식 장력 154.32톤 > 외력 52.85톤
(외력이 장력의 약 34.2% 정도로, 계류안전성이 보장됨)

23

6. SUNNY GREEN호의 계류안전성 평가에 대한 결론

계류안전성 평가에 대한 결론 (Normal Ballast 조건기준)

- 외력과 계류식 장력의 총방향 비교 평가한 결과,
본선의 총방향의 장력 169.79톤
총방향의 외력 13.33톤(장력의 07.9%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가
- 외력과 계류식 장력의 횡방향 비교 평가한 결과,
본선의 횡방향의 장력 154.32톤
횡방향의 외력 52.85톤(장력의 34.2%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가
- 본선의 Head Line 2개(Port)를 잡지 않았을 경우에 장력과 외력 비교 결과,
본선의 총방향의 장력 111.66톤
총방향의 외력 13.33톤(장력의 11.9%)
집안 계류안전성이 보장된다고 평가

28

5. 씨텍 3번 들쭉부두에서 SUNNY GREEN호 계류장력 계산

5.5 Sunny Grenn호의 계류안전성 평가 - 도착상태기준

항목	외력 크기 (톤)	장력 크기 (톤)	외력/장력 (%)	평가	기타
총방향 (깊이 방향)	13.33	169.79	07.9	안전함	
횡방향 (측 방향)	52.85	154.32	34.2	안전함	

4. Head Line 2개(Port)를 잡지 않았을 경우

- Aft Spring Line : $R_{sf} = 2 (0.55) (70.7) (0.988) (0.984) = 75.61$ (톤)
- Head Line(stbd) : $R_{sf} = 2 (0.55) (70.7) (0.466) (0.995) = 36.05$ (톤)

선수미방향의 총 장력(R_{sp}) : $75.61 + 36.05 = 111.66$ (톤)

<결과> 계류식 장력 111.66톤 > 외력 13.33톤
(외력이 장력의 약 11.9% 정도로, 계류안전성이 보장됨)

24