

울산항 M-10 정박지의 정박안전성 연구

김 세 원[†]
(한국해양대학교)

A Study on the Safety of Anchoring for Ulsan M-10 Anchorage

Se-Won KIM[†]
Korea Maritime University

Abstract

As you known well, Ulsan port is very famous for handling chemical products which occupies about 80% of quantities of all Korean ports. Many ship's operators prefer to handle liquid cargo es at proper anchorages instead of the berth for saving port expenses. Ulsan M-10 anchorage was assigned for handling liquid cargoes, however this anchorage's space is restricted by the oil pipeline which lays under seabed about 400m off from the center of M-10 anchorage, for which we have to consider of the external force and counter force for keeping the safety of anchoring. Where, external force is induced by wind, tidal currents and wave while counter force is induced by holding power of anchor/chain. In this study, author evaluated a method to analyze theoretically the limit of external force condition up to which an anchoring ship can keep her position without dragging, and for which applied to many kinds of combined Ships as mother ship of 50,000 DWT Tanker and 4 sizes of Tanker as alongsided ship.

Key words : Safety of anchoring, M-10 anchorage, Transfer cargoes, External force, Encounter force, Holding power, Shiphandling simulation for anchoring

I. 연구의 배경 및 범위

1. 연구의 배경

울산항은 지리적인 위치의 이점과 동시에 항만 배후에 석유산업단지가 위치하고 있기 때문에 동북아 액체화물의 환적중심항만으로서 역할을 수행하고 있다. 이러한 환적 화물작업을 위하여 케미컬화물 부두와 정박지 M-9 및 M-10 등이 있으나, 선주들은 정박지에서의 환적작업을 선호한다. 그 이유는 선박의 대기시간과 환적작업시간이 짧

게 소요되고, 하역비를 포함한 각종 비용이 적게 든다는 이점이 있기 때문이다.

환적액체화물을 위한 M-10 정박지는 울산신항 건설에 따라서 SK에너지(주)에서 M-10수역 주변으로 해저 원유파이프라인 신설공사를 수행하면서 2008년 3월부터 폐쇄되었으며, 파이프라인공사는 동년 9월에 완공되었다. 그리하여 M-10정박지는 해저파이프라인 매설로 인하여 지름 855m의 수역으로 제한되어서 재활용에 있어서 정박안전성 문제가 제기되고 있다. 따라서 이 연구에서

[†] Corresponding author : 051-410-4278, swkim@hhu.ac.kr

는 이러한 조건에서 선박이 M-10정박지에 묘박하였을 때 어느 정도의 외력의 영향에서 정박안전을 확보할 수 있는지를 검토하고자 한다.

2. 연구의 범위

이 연구에서는 울산항의 M-10 정박지를 대상으로 하여, 대상선박은 모선(母船)으로 5만 DWT급 선박으로 설정하고, 이에 접현작업하는 자선(子船)은 5천 DWT급, 2만 DWT급, 3만 DWT급, 5만 DWT급 선박을 대상으로 한다. 이에 따라서 정박지 M-10 부근의 해상조건과 해저지질 및 선박 특성과 닻 형상에 따른 파주력 검토를 통하여 정박안전성 및 한계조건을 평가하도록 한다.

II. M-10 정박지 부근의 자연환경

울산지방의 기상 및 기후 특성은 1971-2000년의 30년간 평균값을 이용하여 주요 기상요소의 특성을 파악, 분석하였다. 조류는 국립해양조사원 발행의 조류도를 참고하였고, 파랑의 경우는 전문기관에서 모델을 이용하여 산출한 10년간(1986-1995년)의 연안격자점 자료를 인용하였다.

1. 바람

<표 1>은 울산지방의 30년간의 월별 평균풍속 및 최대풍속을 나타낸 것이다. 월별 평균풍속은 2월에 가장 강하고, 6월과 10월에 가장 약하다. 월별 최대풍속의 최대값은 17.7m/s로 2월과 8월에 관측되었고, 8월의 풍속 최대값은 태풍의 영향에 기인한다. 풍속의 최소값은 6월과 7월에 관

<표 1> 울산의 월별 평균풍속 및 최대풍속(m/s)

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	비고
평균풍속	2.6	2.7	2.6	2.5	2.1	1.9	2.0	2.1	2.0	1.9	2.1	2.3	평균 2.2
최대풍속	16.7 NNW	17.7 NW	16.7 NW	16.7 NNW	13.5 WNW	12.7 ESE	12.7 S	17.7 NNW	13.8 NNE	14.3 NNW	14.3 NNW	17.3 NNW	최고 17.7 NW, NNW

측된 12.7m/s이고, 겨울과 봄을 포함하는 12-4월은 16.0m/s 이상의 높은 최대풍속값을 보인다.

2. 조위

<표 2>에 나타난 울산항 일원의 조석현상은 대조차 48.2cm, 평균조차 32.6cm, 소조차 17.0cm를 나타내고, 항내 전역의 조류속도는 0.23m/sec로서 선박의 조종이나 접안하역에 직접적인 큰 영향을 미치지 않는다.

<표 2> 울산항의 조석 정보

검조소 위치	N 35-31 E 129-23	약최고고조면	60.6cm
대조승	54.3cm	소조승	38.8cm
평균해면	30.3cm	평균고조간격	10h 50m
최극고조위	102cm (1991.9)	최극저조위	-40cm (1994.3)

3. 조류

울산항 부근 해역의 조류는 창·낙조류가 각각 남서, 북동 방향에서 일어나고 외양에서 기원하는 해류도 북동 방향으로 강하게 나타나는 해역이다. 창조류는 남남서류 또는 서남서류하고, 낙조류는 북북동류 또는 동북동류한다. 창(낙)조류는 울산항의 저조 전 0.2-0.7(고조 시-고조 후 0.1)시 경에 전류하여 고조 시-고조 후 0.1(저조 전 0.2-0.7)시 경까지 지속된다. 평균대조기 최강창(낙)조류는 울산항의 저조 후 3.0-3.5(고조 후 3.8-4.1)시 경에 최강유속이 0.7-1.1(1.0-1.6)노트에 이른다.

4. 파랑

울산항 부근해역의 파랑해석은 평수구역 제10구 내·외로 구분하여 살펴볼 수 있다. 평수구역 제10구는 울산광역시 조전말로부터 슬도에 이르는 선 안의 해역을 말하는데, 이는 울산항 방파제보다 약간 외측에 위치한다. <표 3>은 평수구역 제10-1구내에 위치해 있는 지점에 있어서의 계절별, 월별 평균유의파고를 나타낸다. 10-1의 위치는 북위 35도 28분, 동경 129도 23분이다.

<표 3> 울산의 평수구역 제10구 내 지점의 계절별 평균유의파고 (단위: m)

구분	봄	여름	가을	겨울	전기간
10-1	0.6	0.8	0.5	0.4	0.6

Ⅲ. M-10 정박지의 현황

[그림 1]에서 알 수 있는 바와 같이 M-10 정박지는 울산항 동방파제 끝단에서 서측으로 진방위 263.5°, 거리 약 1,025m 떨어진 곳에 위치하며, 수심은 약 18m 정도이다. 특별히 겨울철의 북서계절풍을 용연동 부근의 육지가 막아주어서 비교적 안정된 정온도를 유지하는 정박지이고, 다만 남풍이나 남동풍에 의한 스웰(swell)이 항내로 침입할 때 영향을 크게 받는 정박지이다. M-10 정박지를 기준으로 북동측으로 최단 직선거리 약 405m 떨어진 곳으로 42인치 크기의 송유관 2기, 남서측으로 최단 직선거리 약 455m 떨어진 곳으로 SK에너지의 SBM에 기존에 설치한 해저 송유관이 지나가고 있다.

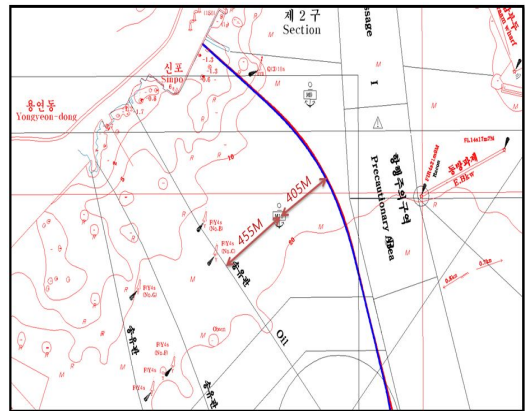
1. M-10 정박지의 환적작업 관련규정

울산해양항만청에서 해상 환적작업시 별도의 안전확보조건을 다음과 같이 규정하고 있다.

< 해상환적(T/S) 하역작업 조건 >

- 해상 하역현장 인근에 타선 소화설비를 갖춘 작업선 대기

- 모선/자선간 하역전 하역안전회의(안전관리자 주관)
- 모선 및 자선에 대한 안전점검(점검표에 의함)
- 파고 2.0m 이상, 풍속 14m/sec 이상, 시정 500m 이하인 경우 하역중단, 단 풍향이 북풍일 경우 3자간(하역사의 안전관리자, 모선·자선 선장, 항만교통정보센터 근무자) 협의 후 작업여부 결정
- 모선과 자선간 충격방지용 원형펜더 설치(선박 규모별 설치기준 준용)
- 해상환적을 하고자 하는 선박의 톤수가 G/T 1천톤 이상인 경우에는 아접안시 의무적으로 예선사용(모든 선박에 적용) - 자선의 톤수가 3천톤 미만의 선박으로 BOW THRUSTER가 장착된 경우 TUG 사용 제외, 3천이상 5천미만 BOW THRUSTER가 장착된 경우 TUG 1척의 무사용
- 노후 케미컬선박에 대한 PSC검사를 대폭 강화하여 점검 후 이상이 있을 시 작업중단 등 조치



[그림 1] M-10 정박지의 주변 여건

Ⅳ. 정박선박의 평형방정식

정박선박의 안전성은 각 외력의 방향과 크기를 토대로 선박에 작용하는 풍압력, 유압력, 표류력을 당시 선박의 적하상태를 토대로 산출하고, 그

에 따른 선박의 닻(앵커) 및 닻줄(앵커체인케이 블)에 의한 대항력을 산출하여 평형방정식으로 해석하여야 한다.

1. 정박선박에 작용하는 외력

정박선박에 영향을 미치는 외적요소로는 바람, 해조류, 파랑 및 선체운동 등이 있으며, 이러한 외적요소들에 의해 선체에 가해지는 힘을 총칭하여 외력(external force)이라고 정의하며, 다음과 같이 세분할 수 있다.

1) 바람에 의한 풍압력의 분석

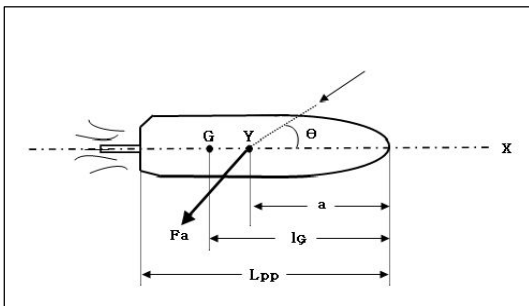
바람에 의해 야기되는 풍압력은 풍압면적, 풍속 및 풍압계수 등으로 결정되며, 일반적으로 상대풍속에 따른 풍압력은 다음 식으로 산출된다.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho_a C_a v_a^2 (A \cos^2\theta + B \sin^2\theta) \dots (4.1)$$

$$F_{xa} = \frac{1}{2} \rho_a C_{xa} A v_a^2 \dots (4.2)$$

$$F_{ya} = \frac{1}{2} \rho_a C_{ya} B v_a^2 \dots (4.3)$$

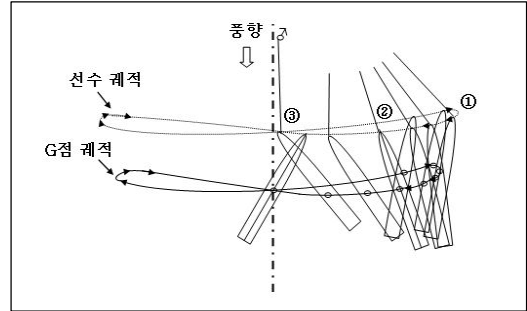
여기서, A: 정면적, B: 측면적, C_a : 풍압계수, C_{xa} & C_{ya} : 정면 및 측면 풍압계수, v_a : 풍속, θ : 상대풍향, ρ_a : 공기밀도, F_a : 풍압합력 (F_{xa} : 선수미방향 풍압력, F_{ya} : 횡방향 풍압력)



[그림 2] 선체에 작용하는 풍압력

풍압력을 산출하는 식 (4.1)은 일반적으로 항해 또는 정박중인 선박에 동일하게 적용되나, 정박

의 경우 [그림 3]과 같이 바람이 불어오는 방향을 기준으로 선수가 좌우로 움직이는 Swing현상이 발생한다.



[그림 3] 정박 선박의 선수 Swing 현상

2) 해조류에 의한 유압력 분석

해조류에 의한 유압력의 경우, 선속이 적을 경우 그 영향이 매우 크다. 유압력의 계산은 선체 침수면적, 해조류의 속도 및 방향, 그리고 유압계수를 변수로 하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_w = \frac{1}{2} \rho_w C_{xwc} A_S v_c^2 \dots (4.4)$$

여기서, C_{xwc} : 유압계수, v_c : 유속, ρ_w : 해수 밀도, A_S : 침수면적($A' \sin\theta_c + B' \cos\theta_c$), A' : 수면하 정면적, B' : 수면하 측면적.

선체 침수면적 A_S 는 보통 선체 길이와 흘수의 곱으로 계산한다. 또한 유압계수는 선체와 해조류가 이루는 유향각과 수심에 따라 변화하는 값으로, 유사 선형에 대한 모형실험 자료를 활용한다.

3) 파랑에 의한 표류력 분석

정박중인 선박의 주묘에 큰 영향을 미치는 파랑에 의한 표류력 중에서 주기적으로 변동하는 정상성분을 우선 고려하도록 한다.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_w C_{xdw} g L h_c^2 \dots (4.5)$$

여기서, C_{xdw} : 표류력 선수미방향 계수, ρ_w :

해수밀도, g : 중력가속도, h_c : 파 진폭, L : 선체 길이.

그러나 실제 해상상태는 불규칙파이므로 식 (4.5)의 표류력에 불규칙파에 대한 영향을 고려해 줄 필요가 있다. Remery¹⁾의 연구에 의하면, 불규칙파 중의 평균 표류력은 유의파의 진폭과 평균 파의 주기에 대응하는 규칙파가 갖는 표류력의 약 1/8로 알려져 있다. 따라서 이를 이용하여 불규칙파 중의 표류력을 계산한다.

4) 선체운동에 의한 저항 증가

앞에서 정의한 각종 외력 이외에 정박중인 선박에 영향을 미칠 수 있는 것으로 바람과 파랑에 의해 발생하는 선체의 동요(Pitching, Rolling 및 Heaving)를 생각할 수 있다. 그러나 일반적으로 선박은 비교적 폐쇄된 해역을 선택하여 정박하기 때문에 대양에서 발생하는 선체운동에 비교하면 정박중의 선체 운동량 자체는 매우 미비하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 선체의 동적 동요에 따른 저항 증가량에 대해서는 외력 요소로서 배제하도록 한다.

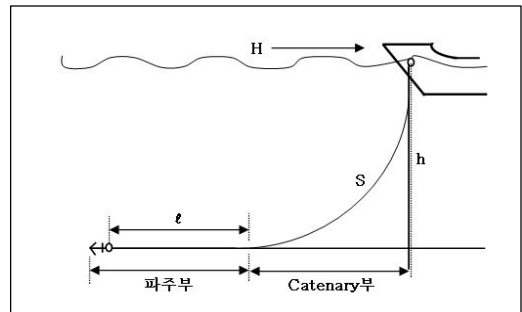
2. 정박선박의 대항력

정박중인 선박이 외력에 대항하여 견디는 힘을 총칭하여 대항력이라 정의하며, 이에선 닻 및 닻줄에 의한 파주력과 기관에 의한 추진력 등 두 가지가 있다. 파주력의 크기를 결정하는 닻 및 닻줄의 규격은 선박의 의장수에 의해 정해지며, 의장수는 본선의 주요 제원 즉, 길이, 폭, 흘수, 배수량 그리고 풍압면적 등에 의해 계산된다. 추진력은 기관의 출력에 의해 결정되며, 이는 선박 건조시 선주의 선택사항이다. 따라서 대항력의 크기는 선박마다 다르므로 선박 고유의 특성값이라 할 수 있고 건조시에 정해지는 값이다.

1) Remery, The mean wave and current forces of offshore structures and their role in the design of mooring systems, The 5th offshore technology conference, Houston, USA, 1973.

1) 파주력

일반적으로 닻 및 닻줄이 해저바닥에 박혀 끌리지 않으려는 힘을 파주력으로 정의한다. [그림 4]와 같이 이 힘은 주로 해저바닥에 투묘된 닻과 닻줄로 구성되는 파주부에 의해 형성되며, 정박 중인 선박의 파주력은 일반적으로 다음 식 (4.6)에 따라 계산된다.



[그림 4] 정박중인 선박의 파주력 구성도

$$F_h = P_a + P_c = \lambda_a w_a + w_c \lambda_c l \dots\dots\dots (4.6)$$

여기서, λ_a : 닻의 파주계수, λ_c : 닻줄의 파주계수, w_a : 닻의 수중중량, w_c : 닻줄의 수중중량, l : 해저에 깔린 닻줄의 길이

본 연구에서는 각 요소별 외력을 계산하여 전체외력에 따른 닻줄의 현수부의 길이와 파주부의 길이를 산출하여 전체 파주력을 계산하도록 한다. 현수부의 길이(S)는 외력이 선체에 미치는 장력을 기초로 하여 다음 식 (4.7)에 의해 구할 수 있고, 파주부의 길이는 신출된 닻줄길이에서 현수부의 길이를 뺀 값이다.

$$S = \sqrt{h(h + 2H/Wc)} \dots\dots\dots (4.7)$$

여기서,

- h : 묘쇄공(Hawse pipe)에서 해저까지의 높이
- Wc : 1m에 해당하는 닻줄의 수중무게(톤)
- H : 외력에 의해 닻줄에 작용하는 장력(톤)

파주력 계산에 있어서 가장 중요한 변수는 파주계수이고, 일반적으로 사용되는 앵커 종류 및 저질별 파주계수를 제시하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 해저 저질에 따른 파주계수

지질 파주계수	Mud	Sand	Gravel	Flat Rock	주요중
AC-14형, λa	10	7.0	6	4	2.0
ASS형, λa	4	3.5	3	2	1.5
λc	1	1	0.8	0.8	0.5

2) 추진력

선속에 따른 전진계수와 추력계수를 추정하여 프로펠러 회전수에 따른 추진력을 산출할 수 있다. 일반적으로 프로펠러 단독시험을 통해 얻어진 추력계수를 이용하여 선박의 추진력은 다음과 같이 계산된다.

$$T = \rho_w K_t n^2 D^4 \dots\dots\dots(4.8)$$

$$K_t(J) = C_1 + C_2 J + C_3 J^2 \dots\dots\dots(4.9)$$

여기서, ρ_w : 해수밀도, K_t : 추력계수, n : 프로펠러회전수, D : 프로펠러 직경, J : 전진계수

3) 신출묘쇄의 길이

정박지의 묘쇄신출량에 있어서는 외력에 대응하여 산정할 수 있으나, 종래의 경험적인 값으로는 대략 다음의 기준 식들이 사용되고 있다.

- 통상의 묘박정박 : $S = 3D+90m$
- 황천시의 묘박정박 : $S = 4D+145m$
- 묘쇄 신출량 = $3D+90(m)$ (풍속 20m/sec)
- N_s (Shackle) = $1.5 \sqrt{D}$

여기서 S는 신출 묘쇄길이(m), D는 수심(m), N_s 는 새클단위(27.5m)의 신출묘쇄 길이이다.

그러므로 본 연구에서 모선으로 사용하는 5만 DWT톤급의 유조선을 기준으로 신출묘쇄길이를 계산하여 보면 다음과 같다.

- 통상의 묘박정박 : $S = 3 \times 18 + 90 = 144m$
- 황천시의 묘박정박 : $S = 4 \times 18 + 145 = 217m$
- $S = 3H + 90(m) = 3 \times 18 + 90 = 144m$
- $N_s = 1.5 \times \sqrt{18} = 6.4$ Shackles(176 m)

V. M-10 정박지의 외력계산을 위한 조건

울산항 M-10 정박지에 선박이 묘박정박했을 때의 외력에 따른 앵커클립의 한계외력을 계산하는데 사용하기 위한 각 선박크기에 따른 환적화물 원유운반선 및 케미컬운반선의 각종 의장품 요소는 <표 5>와 같다. 이 자료는 우리나라의 대형 조선소의 설계팀을 통하여 지금까지 건조한 선박의 설계도면 자료를 토대로 작성한 자료임을 밝혀둔다.

1. 풍압계수

풍압력 계산을 위하여 필요로 하는 풍력계수는 주로 풍동실험을 통하여 산정하며, 일반적으로 사용하고 있는 선종별 풍압계수는 <표 6>과 같다.

<표 5> 유조선 크기에 따른 각종 의장품의 요소

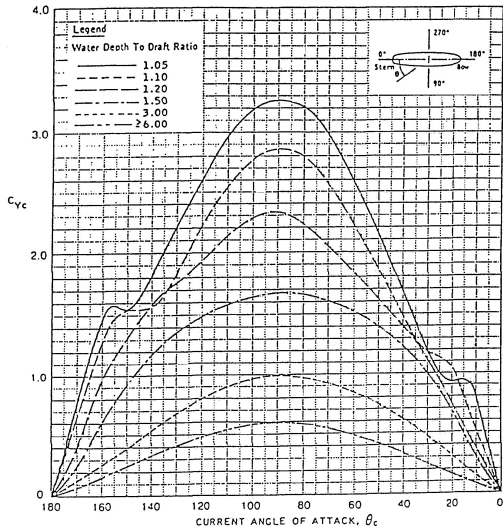
선박크기 (DWT)	5천톤	2만톤	3만톤	5만톤	
LOA/LBP (m)	118/ 111.2	156.2/ 144.2	175.9/ 167	183/ 174	
선폭 (m)	17.0	25.60	29.8	32.2	
깊이 (m)	9.25	12.10	14	19.1	
의장수	1485	2227	2970	3854	
앵커의 크기 및 종류	4,590 kg	6,450 kg	8,700 kg	11,170 kg	
맞줄의 Dia. / 길이	52mm/ 550m	62mm/ 605m	73mm/ 632.5m	84mm/ 687.5m	
공선상태 m ²	정면적 (수면상/하)	210 / 86	352 / 138	554 / 191	789 / 212
	측면적 (수면상/하)	773 / 541	1200 / 601	1621/ 1010	2565 / 1127
	평균홀수 (m)	5.2	5.5	6.4	6.7
만선상태 m ²	정면적 (수면상/하)	189 / 107	262 / 228	464/ 280	586 / 414
	측면적 (수면상/하)	634 / 680	801 / 1001	1104/ 1558	1469 / 2223
	평균홀수 (m)	6.45	9.0	9.5	13

<표 6> 선종별 풍압계수

선종	컨테이너	PCTC	광탄선	화물선	유조선	LNG선
풍압계수	1.176	1.343	0.998	1.160	0.998	0.998

2. 유압계수

유압계수는 'OCIMF'에서 권고한 'VLCCs의 풍력 및 조류력의 예측에 대한 권고사항, 1994'에 따라서 독일의 'Hamburgische Schiffbau-Versuchs Anstalt(HSVA)'에서 측정한 자료인 다음의 [그림 5]에서 구할 수 있으며, 특히 정박중인 선박은 해조류의 유향과 정박지의 수심 및 선박 흘수의 비에 따라서 상이한 값을 갖게 된다.



[그림 5] 유조선의 유압계수 그래프

VI. 환적선박에 작용하는 외력계산

울산항 M-10정박지에서 모선 5만 DWT톤급에 접현작업을 수행할 수 있는 4종의 자선, 5천톤급, 2만톤급, 3만톤급 그리고 5만톤급의 선박에 대한 외력의 크기를 공선상태와 만선상태로 나누어서

각 외력 요소별의 크기를 계산하면 다음과 같다.

1. 5천 DWT톤급 유조선

1) 공선상태

① 바람에 의한 풍압력 계산

앞 장에서 기술한 풍압산정을 위한 일반식과 <표 7>의 선박별 의장품 자료를 이용하여 이 선박의 공선상태에서 선체에 미치는 풍압력을 환적작업 한계풍속으로 규정하고 있는 35.03노트(18m/s)와 울산항의 최대풍속 71.4노트(36.7m/s)까지 10노트 단위로 나누어 계산하여 표로 나타내면 아래와 같다.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho_a C_a V_a^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \text{ (KN)}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.28 \times 0.998 \times V_a^2 (210 \times 0.8192^2 + 773 \times 0.5736^2) = 0.0257 V^2$$

<표 7> 5천톤급 선박의 공선상태에서 풍압력

풍력 크기		풍압력 (F_a)
노트(Knot)	초속(m/sec)	Ton F.
0	0.00	0
10	5.14	0.679
20	10.29	2.721
30	15.43	6.119
* 35.02	18.0	8.327
40	20.58	10.885
50	25.72	17.001
60	30.87	24.491
70	36.01	33.326
71.4	36.7	34.615

* 울산항의 환적작업 관련 최대풍속 18.0m/s임

1 Ton-Force = 9.80665 K. Newton(KN)

1 Knot = 0.514m/s

② 조류에 의한 유압력 계산

앞 장에서 기술한 유압산정을 위한 일반식 (3.5)을 이용하여 이 선박의 공선상태에서 선체에 미치는 유압력을 울산항의 최대 낙조류 1.6노트(0.82m/s)까지 0.5노트 단위로 나누어 계산하여 표로 나타내면 아래와 같다.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_c C_c W^2 (A' \sin \theta_c + B' \cos \theta_c) (KN)$$

$$= \frac{1}{2} \times 1025 \times 0.53 \times W^2 \times (86 \times 1 + 541 \times 0)$$

$$= 2.382 W^2 (Ton)$$

<표 8> 5천톤급 선박의 공선상태에서 유압력

조류력		F_d
노트(Knot)	초속(m/sec)	Ton-F
0	0.00	0
0.5	0.26	0.161
1.0	0.51	0.620
1.5	0.77	1.412
* 1.6	0.82	1.602
2.64	1.36	4.406

* 울산항에서 관측된 최대 조류속력은 1.6노트임

③ 파도에 의한 표류력 계산

묘박중인 선박의 주묘에 큰 영향을 미치는 파랑에 의한 표류력 중에서 주기적으로 변동하는 정상성분을 우선 고려하도록 한다. 규칙파 중의 정상 표류력을 다음과 같이 간이식으로 나타낼 수 있다. 그러나 실제 M-10 정박지의 해상상태는 불규칙파이므로 규칙파가 갖는 표류력의 약 1/8로 계산한다.

$$F_d = \left(\frac{1}{2} \rho_w g h_c^2 L\right) \times \frac{1}{8} = \frac{1}{16} \rho_w g h_c^2 L$$

$$F_d = \frac{1}{16} \times 1025 \times 9.8 \times h_c^2 \times 111.15$$

$$= 7.116 h_c^2$$

<표 9> 5천톤급 선박의 공선상태의 표류력

파고(m)	1.0	1.17	2.0	3.0	0.6
표류력(ton)	7.116	9.741	28.464	64.044	2.562

④ 5천톤급 선박의 공선상태에서의 외력의 총

합력

- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 8.327톤
 - 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 1.602톤
 - 울산항 연중 평균파고 0.6m : 2.562톤
 - 외력의 총합력 : 12.492톤
- 2) 만재상태
- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 7.096톤
 - 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 2.068톤
 - 울산항 연중 평균파고 0.6m : 2.562톤
 - 외력의 총합력 : 11.722톤

2. 2만 DWT톤급 유조선에 작용하는 외력계산

5천 DWT톤급 유조선의 계산과 동일한 방법으로 공선상태와 만선상태로 나누어 계산하면 다음과 같다.

- 1) 공선상태에서의 외력의 총합력
- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 13.316톤
 - 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 4.849톤
 - 울산항 연중 평균파고 0.6m : 3.324톤
 - 외력의 총합력 : 21.489톤
- 2) 만재상태에서의 외력의 총합력
- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 9.266톤
 - 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 9.053톤
 - 울산항 연중 평균파고 0.6m : 3.324톤
 - 외력의 총합력 : 21.634톤

3. 3만 DWT톤급 유조선에 작용하는 외력계산

5천 DWT톤급 유조선의 계산과 동일한 방법으로 공선상태와 만선상태로 나누어 계산하면 다음과 같다.

- 1) 공선상태에서의 외력의 총합력

- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 19.116톤

- 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 3.691톤

- 울산항 연중 평균파고 0.6m : 3.849톤

- 외력의 총합력 : 26.656톤

2) 만재상태에서의 외력의 총합력

- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 14.774톤

- 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 11.217톤

- 울산항 연중 평균파고 0.6m : 3.849톤

- 외력의 총합력 : 29.840톤

<표 10> 유조선 크기 따른 각종 요소

선박크기 (DWT)	5천톤	2만톤	3만톤	5만톤
LOA/LBP (m)	118/111.15	156.2/144.2	175.94/167	183/174
선폭(m)	17.0	25.60	29.8	32.2
깊이(m)	9.25	12.10	14	19.1
의장수	1485	2227	2970	3854
앵커크기 (kg)	4,590	6,450	8,700	11,170
닻줄 직경/길이	52mm/550m	62mm/605m	73mm/632.5m	84mm/687.5m
공선시 수 (m) 흘	5.2	5.5	6.4	6.7
만재시 수 (m) 흘	6.45	9.0	9.5	13

4. 5만 DWT톤급 유조선에 작용하는 외력계산

5천 DWT톤급 유조선의 계산과 동일한 방법으로 공선상태와 만선상태로 나누어 계산하면 다음과 같다.

1) 공선상태에서의 외력의 총합력

- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 29.290톤

- 울산항 최강 조류 1.6노트 기준 : 4.098톤

- 울산항 연중 평균파고 0.6m : 4.010톤

- 외력의 총합력 : 37.398톤

2) 만재상태에서의 외력의 총합력

- 울산항 작업 한계풍속(18m/s) 기준 풍압력 : 18.500톤

- 울산항 최강 조류 2.64노트 기준 : 45.620톤

- 울산항 최대 유의파고 1.17m : 15.248톤

- 외력의 총합력 : 79.368톤

VII. 환적선박에 작용하는 대항력 계산

정박 선박의 대항력은 앵커 및 닻줄에 의한 파주력만을 고려하도록 하고, 각각의 선박크기에 따른 각 계산요소는 <표 10>의 자료를 이용하도록 한다.

1. 5천 DWT톤급 유조선의 파주력

1) 공선상태에서의 파주력 계산

① 현수부(Catenary) 계산

여기서는 앞 절에서 계산한 각 요소별 외력을 총합하여 전체 외력크기를 산정하고, 이 값을 현수부 산정식에 대입하여 파주부의 길이를 먼저 산출하고, 산출된 파주부의 길이를 토대로 전체 파주력을 계산하도록 한다. 이 선박의 현수부의 계산에 있어서 외력의 총합 크기는 12.492톤, h는 23m를 적용하여 계산하도록 한다.

$$S = \sqrt{h(h + 2H/Wc)}$$

$$= \sqrt{23(23 + \frac{2 \times 12.492}{0.05149})} \div 108 \text{ (m)}$$

여기서, h: 묘쇄공(Hawse pipe)에서 해저까지의 높이(18+5=23m), Wc: 닻줄 1m의 수중중량(톤), 51.49kg, H: 외력에 의해 닻줄에 작용하는 장력(톤), 12.492

② 파주력 계산

$$F_H = P_a + P_c = \lambda_a W_a + \lambda_c W_c l$$

$$= 4 \times 3.991 + 1.0 \times 0.05149 \times (182 - 108)$$

$$= 15.964 + 3.810 \div 19.774 \text{ 톤}$$

여기서, λ_a : 닻의 파주계수(4), λ_c : 닻줄의 파주계수(1), W_a : 닻의 수중중량(톤)(3.9910), W_c :

닷줄 1m의 수중중량(톤)(0.05149), l: 해저에 깔린 닷줄의 길이(182-108=74m)

아래 표의 풍속에 따른 총 외력의 계산에 있어서 유압력은 울산항 최강 낙조류 1.6노트를 적용하여 계산된 값을 사용하고, 표류력은 연간평균 유의파고 0.6m를 적용하여 계산된 값을 동일하게 적용하도록 한다.

<표 11> 5천 DWT급 공선상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	1.602	2.562	4.164	65	21.988	17.824
10	0.679			4.843	70	21.731	16.888
20	2.721			6.885	82	21.113	14.228
30	6.119			10.283	99	20.238	9.955
35.0	8.327			12.492	108	19.774	7.283
40	10.885			15.049	118	19.259	4.210
50	17.001			21.165	139	18.178	-2.987
60	24.491			28.655	162	16.994	-11.661
70	33.326			37.490	184	15.861	-21.629
71.4	34.615			38.779	188	15.655	-23.124

2) 만재상태에서 파주력 계산

공선상태에서와 동일한 방법으로 계산하면 다음과 같다.

<표 12> 5천 DWT급 만재상태에서의 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	2.068	2.562	4.630	67	21.885	17.255
10	0.579			5.209	70	21.731	16.522
20	2.319			6.949	80	21.216	14.267
30	5.214			9.844	94	20.495	10.651
35.02	7.096			11.726	102	20.083	8.357
40	9.275			13.905	111	19.620	5.715
50	14.487			19.117	130	18.641	-0.476
60	20.87			25.500	149	17.663	-7.837
70	28.398			33.028	169	16.633	-16.395
71.4	29.497			34.127	172	16.479	-17.648

2. 2만 DWT톤급 유조선의 파주력

5천 DWT톤급 유조선의 계산과 동일한 방법으로 공선상태와 만선상태로 나누어 계산하면 다음과 같다.

1) 공선상태에서의 파주력 계산

<표 13> 2만 DWT급 공선상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	4.849	3.324	8.173	81	34.368	26.195
10	1.086			9.259	86	34.002	24.743
20	4.352			12.525	99	33.050	20.525
30	9.785			17.958	117	31.733	13.775
35.02	13.316			21.489	128	30.927	9.438
40	17.407			25.580	139	30.122	4.542
50	27.188			35.361	162	28.439	-6.922
60	39.167			47.340	187	26.609	-20.731
70	53.295			61.468	213	24.705	-36.763
71.4	55.357			63.530	216	24.486	-39.044

2) 만재상태에서의 파주력 계산

<표 14> 2만 DWT급 만재상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	9.053	3.324	12.377	91	33.636	21.259
10	0.756			13.133	94	33.416	20.283
20	3.028			15.405	101	32.904	17.499
30	6.809			19.186	112	32.099	12.913
35.02	9.266			21.643	119	31.586	9.943
40	12.113			24.490	126	31.074	6.584
50	18.919			31.296	142	29.903	-1.393
60	27.255			39.632	159	28.658	-10.974
70	37.086			49.463	178	27.267	-22.196
71.4	38.521			50.898	180	27.121	-23.777

3. 3만 DWT톤급 유조선의 파주력

5천 DWT톤급 유조선의 계산과 동일한 방법으로 공선상태와 만선상태로 나누어 계산하면 다음

과 같다.

1) 공선상태에서의 파주력 계산

<표 15> 3만 DWT급 공선상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	3.691	3.849	7.540	68	46.091	38.551
10	1.559			9.099	73	45.584	36.485
20	6.247			13.787	88	44.061	30.274
30	14.047			21.587	109	41.930	20.343
35.02	19.116			26.656	120	40.814	14.158
40	24.989			32.529	132	39.596	7.067
50	39.03			46.570	157	37.059	-9.511
60	56.224			63.764	183	34.421	-29.343
70	76.506			84.046	210	31.681	-52.365
71.4	79.467			87.007	213	31.376	-55.631

2) 만재상태에서의 파주력 계산

<표 16> 3만 DWT급 만재상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0	11.217	3.849	15.066	86	44.271	29.205
10	1.205			16.271	89	43.966	27.695
20	4.786			19.852	98	43.053	23.201
30	10.857			25.923	111	41.733	15.810
35.02	14.774			29.840	119	40.921	11.081
40	19.313			34.379	127	40.108	5.729
50	29.555			44.621	144	38.382	-6.239
60	43.455			58.521	164	36.352	-22.169
70	59.13			74.196	185	34.220	-39.976
71.4	61.418			76.484	188	33.915	-42.569

4. 5만 DWT급 유조선의 파주력

이 선박은 <표 17>의 자료를 활용하여 계산하며, AC-14형의 고파주력 앵커무게 11.17톤, 앵커체인 84mm(grade K3), 양현에 각각 약 343m(12.5새클) 길이를 장착하고 있다. 입항 정박지에

예선 및 AIS가 장착된 도선선을 활용하여 M-10 정박지에 정밀투표를 행하도록 한다. 그리하여 활용할 수 있는 정박지의 반경 400m를 기준으로 보면, 이 선박은 길이가 183m, 신출 앵커체인은 약 217m(7.9새클)까지 신출할 수 있다. 그리고 주변여건을 고려할 때 특별한 경우를 제외하고는 단묘박을 하여야 한다.

<표 17> 5만 DWT급 유조선의 계산 자료

항목	크기
길이(LOA/LBP) (m)	183/174
선폭 (m)	32.2
깊이 (m)	19.1
만재시 평균흘수 (m)	13.00
공선시 평균흘수 (m)	6.70
의장수	3854
앵커의 크기 및 종류	11170kg, JIS, Stockless
앵커의 수중무게	9,713kg
앵커체인의 Dia./길이	84mm(grade K3)/687.5m
앵커체인 1m의 무게	154.5kg
앵커체인 1m의 수중무게	134.352kg

1) 공선상태에서의 파주력 계산

<표 18> 5만 DWT급의 공선상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0.000	4.098	4.010	8.108	65	117.552	109.444
10	2.388			10.496	72	116.611	106.115
20	9.572			17.680	91	114.058	96.378
30	21.523			29.631	115	110.834	81.203
35.02	29.290			37.398	129	108.953	71.555
40	38.388			46.496	143	107.072	60.576
50	59.801			67.909	171	103.310	35.401
60	86.147			94.255	201	99.280	5.025
70	117.223			125.33	232	95.115	-30.216
71.4	121.759			129.867	236	94.577	-35.290

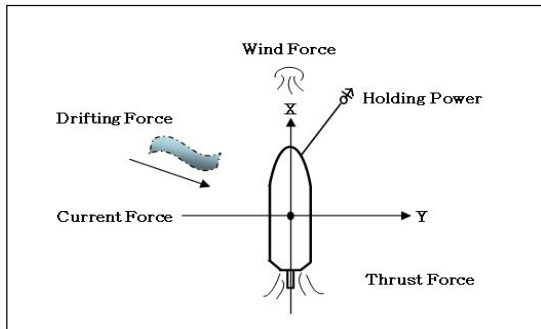
2) 만재상태에서의 파주력 계산

<표 19> 5만 DWT급 만재상태에서 한계력

풍속	풍압력	유압력	표류력	외력합	현수부	대항력	차이
knot	ton	ton	ton	ton	m	ton	ton
0	0.000	16.585	4.010	20.595	87	114.596	94.001
10	1.509			22.104	90	114.193	92.089
20	6.046			26.641	98	113.118	86.477
30	13.595			34.190	111	111.371	77.181
35.02	18.500			39.095	118	110.431	71.336
40	24.184			44.779	126	109.356	64.577
50	37.773			58.368	143	107.072	48.704
60	53.048			73.643	160	104.788	31.145
70	74.043			94.638	181	101.967	7.329
71.4	75.441			96.036	183	101.698	5.662

VIII. 정박선박의 안전성 평가

[그림 6]에서와 같이 외력의 크기는 풍압력, 유압력, 표류력을 합친 값이며, 선박의 대항력은 닻 및 닻줄에 의한 파주력이다. 정박 선박의 안전성 판별은 대항력이 외력보다 클 경우 그 선박은 안전한 정박이 가능하고, 외력과 대항력이 같은 시점이 안전성 한계점이라 할 수 있다.



[그림 6] 외력과 선박의 대항력 도시

그러므로 본 연구에서는 만재상태의 5만톤급을 모선으로 설정하고, 3가지 크기의 선박을 자선으로 하여 모선에 접현하여 환적작업을 수행할 경우에 대한 계산자료를 평가하도록 한다.

1. 5만 DWT급 유조선의 안전성 평가

다음 표는 5만 DWT급의 유조선이 M-10 정박

지에 묘박했을 경우 만재상태에 있어서의 특정 환경조건에 따른 외력의 총합과 대항력의 총합을 비교하여 정박 안전성을 평가한 것이다.

<표 20> 만재상태에서 안전성 평가

구 분		
외력 (톤)	풍압력(환적작업 한계풍속: 18m/s)	18.500
	유압력(울산항 최대낙조류: 1.6노트)	16.585
	표류력(울산항 연간평균 유의파고: 0.6m)	4.010
외력의 총합(톤)		39.095
최대 파주력(톤)		110.431
외력과 대항력의 차이(톤)		+71.336

<안전성 평가 결과>

울산지방해양항만청에서 규정하고 있는 액화물 환적작업 지침에 의하면, 파고 2.0m, 풍속 14m/s 이상일 때 하역중단, 18m/s 이상일 때 선박이선 등의 조치를 하도록 되어 있다.

그러므로 정박안전성 평가를 위하여 환적작업 한계풍속을 18m/s(35노트), 조류는 최강낙조 1.6노트, 파랑은 연평균 유의파고 0.6m를 기준으로 외력의 총합을 구하였다. 앵커 및 앵커체인을 파주력은 이때의 외력의 크기를 기준으로 현수부를 계산하여 파주력을 산정하였다.

M-10 정박지에 정밀투표를 했을 경우에, 선박의 길이를 포함하여 그 활용반경을 400m 기준으로 앵커 및 앵커체인을 217m(7.9새클) 신출했을 때의 파주력은 외력에 비하여 약 71.3톤 정도 여유가 있으며, 풍속 약 77.2노트(39.7m/s)에서 외력과 파주력이 평형상태를 이루는 것을 알 수 있다.

이하에서는 모선으로 5만톤급 유조선의 만재상태를 기준으로 하고, 자선으로 5천톤, 2만톤 그리고 3만톤의 공선상태의 선박을 기준으로 하여 여러가지 형태로 모선에 접현계류하였을 경우를 가정하여 정박안전성을 평가한 것이다.

1) 5만 DWT급 만재 모선+5천 DWT급 자선 1

척 계류시

만재상태의 5만 DWT급 모선에 공선상태의 5천 DWT급 자선을 1척 계류했을 경우 외력의 총합은 51.587톤(39.095+12.492)이다. 정밀투묘를 통하여 모선의 앵커체인을 217m(7.9새클)까지 신출했을 경우에 파주력은 약 108.147톤이 된다. 그러므로 이 상태에서는 대항력이 약 56.56톤의 여유가 있으며, 풍속 약 63.2노트(32.5m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

2) 5만 DWT급 만재 모선+5천 DWT급 2척 자선 계류시

만재상태의 5만 DWT급 모선에 공선상태의 5천 DWT급 자선을 2척 계류했을 경우 외력의 총합이 64.079톤(39.095+12.492+12.492)이다. 정밀투묘를 통하여 모선의 앵커체인을 217m(7.9새클)을 신출했을 경우에 파주력은 약 106.132톤이 된다. 그러므로 이 상태에서는 대항력이 약 42.053톤의 여유가 있으며, 풍속 약 54.7노트(28.1m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

3) 5만 DWT급 만재 모선+5천 DWT급 1척+2만 DWT 1척 자선 계류시

만재상태의 5만 DWT급 모선에 공선상태의 5천급 자선 1척과 공선상태의 2만톤급 자선 1척을 계류했을 경우 외력의 총합이 73.076톤(39.095+12.492+21.489)이다. 정밀투묘를 통하여 모선의 앵커체인을 217m(7.9새클)을 신출했을 경우에 파주력은 약 104.778톤이 된다. 그러므로 이 상태에서는 대항력이 약 31.712톤의 여유가 있으며, 풍속 약 50.8노트(26.1m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

4) 5만 DWT급 만재 모선+5천 DWT급 1척+3만 DWT 1척 자선 계류시

만재상태의 5만 DWT급 모선에 공선상태의 5천급 자선 1척과 공선상태의 3만톤급 자선 1척을 각각 계류했을 경우 외력의 총합이 78.243톤(39.095+12.492+26.656)이다. 정밀투묘를 통하여 모선의 앵커체인을 217m(7.9새클)을 신출했을 경우에 파주력은 약 103.982톤이 된다. 그러므로 이

상태에서는 대항력이 약 25.739톤의 여유가 있으며, 풍속 약 49.0노트(25.2m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

5) 5만 DWT급 만재 모선+2만 DWT급 1척+3만 DWT 1척 자선 계류시

만재상태의 5만 DWT급 모선에 공선상태의 2만톤급 자선 1척과 공선상태의 3만톤급 자선 1척을 각각 계류했을 경우 외력의 총합이 87.240톤(39.095+21.489+26.656)이다. 정밀투묘를 통하여 모선의 앵커체인을 217m(7.9새클)을 신출했을 경우에 파주력은 약 102.773톤이 된다. 그러므로 이 상태에서는 대항력이 약 15.533톤의 여유가 있으며, 풍속 약 44.6노트(22.9m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

IX. 정박 조종시뮬레이션

이 연구에서는 한국해양대학교에서 보유하고 있는 FMSS(Full Mission Simulator System)를 이용하여 정박안전성을 검토하였다.

1. 선박 모델 모형 및 재원

<표 21> 모델선박의 재원

항 목	50K BULK CARRIER
전장 (LOA)	215.4m
수선간장(LBP)	205m
선폭 (B)	31.8m
만재흘수 (d)	11.5m
Displacement	60,920 ton
프로펠러 형	FPP
속력(전진진속)	11.5 Kts
엔진 출력	9,180 kw
ANCHOR(위치/수)	BOW/2
ANCHOR무게	15 ton
ANCHOR CHAIN 무게	300Kg/m

2. 정박 조종시뮬레이션 조건

1) 환경조건

바람은 M-10 정박지에서 모선에 접안중인 자

선의 이선 한계풍속인 SE 35노트(18m/s)를 기준으로 5노트 단위로 증가시켜서 울산항에서 관측된 최대 풍속 71.4노트(36.7m/s)까지를 한계풍속으로 하여 앵커 및 앵커체인이 끌리는지 여부를 판별하도록 한다. 대상 수역의 조류는 최강 NNE 1.6노트를 설정하고, 수심은 해도 상에 기입된 18m를 기준으로 하고, 파랑은 환적작업의 한계값인 유의파고 SE 2.0m로 설정하였다.

<표 22> 환경 설정 조건

대상 해역	유의 파고	조 류	바 람	비 고
울산항 M-10 정박지	SE 2.0m	NNE 1.6 kts	SE 10~7 2 kts	-선박은 만재상태임 -정박지 접근시 선속 3~4노트 유지 -풍속은 72노트까지 점진적으로 증가

2) 선박조종시뮬레이션 수행조건

(1) 풍향/풍속은 SE 10노트에서 진입투묘를 행하고, Brought up 상태에서 풍속을 5노트 단위로 72노트까지 점진적으로 증가시킨다.

(2) 울산항 제1항로로 진입시에 정박지 중심으로부터 2~3마일 떨어진 위치에서 3~4노트의 대수속력으로 진입한다.

(3) 앵커 및 앵커체인은 선박의 길이를 포함하여 최대 400m 이내에서 신출한다.

(4) 풍조류의 압류에 의하여 정박지 중심에 정밀투묘가 어려움을 감안하여 예선을 최대한 활용하도록 한다.

(5) 투묘방법은 정밀투묘를 위하여 전진투묘를 원칙으로 하고, 풍향 및 본선의 진입자세에 따라서 좌현, 우현 앵커 중에 선택하여 투묘하고, 단묘박을 원칙으로 한다.

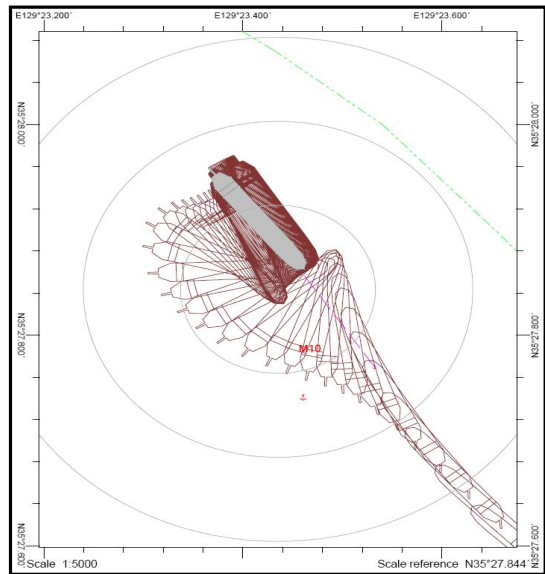
3. 선박조종시뮬레이션 결과 분석

본 연구의 대상 선박에 대하여 위에서 기술한 시나리오에 따라서 선박조종시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

즉, 투묘지점은 극미속상태에서 외력의 영향으로 인하여 M-10 정박지 중심으로부터 진방위 065° 방향, 약 120m Off된 지점에 우현묘를 투묘하고, 묘쇄신출길이는 송유관까지의 접근거리를 감안하여 175m(6.3새클) 신출하였다.

SK에너지의 신설 송유관과의 최근접거리는 175m이었고, 최종적으로 Brought Up상태에서는 선수미선이 SSE방위를 유지하였고, 울산항에서 관측된 최대의 풍속 약 72노트에서도 앵커끌림 현상이 일어나지 않았다. 만약 앵커끌림 현상이 일어나더라도 신설 송유관과는 약 280m의 평행거리를 두고 용연동 육지쪽으로 일어남을 확인할 수 있었다.

4. 선박조종시뮬레이션 결과 항적도



[그림 7] 50K BULK CARRIER 항적도

X. 결론

이 연구를 통하여 울산항 M-10 정박지에서 모선과 자선을 접현하여 액체화물의 환적작업을 수행함에 있어서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었

다.

울산항의 M-10 환적화물 정박지는 그 중심으로부터 약 400m 떨어진 거리로 해저송유관이 남쪽과 북쪽으로 매설되어 있어서 정박시에는 정밀투묘를 포함하여 정박당직에 대한 각별한 주의가 필요한 구역이다. 특별히 이 구역은 지리, 위치적으로 겨울철의 북서계절풍에 대해서는 육지의 차폐효과로 정온도를 유지하고, 남풍이나 남동풍의 영향을 많이 받는 구역임을 알 수 있다.

이 정박지에서 만재상태의 5만 DWT톤급의 선박이 정밀투묘를 했을 경우에, 그 활용반경 400m를 기준으로 선박길이 183m를 감안하여 앵커체인을 217m(7.9새클) 신출하여 단묘박했을 때, 최대조류력 1.6노트, 평균유외파고 0.6m의 외력하에서 풍속 약 77노트에서 외력과 대항력이 평형상태를 이루는 것을 알 수 있었다. 정밀투묘를 위해서는 일정크기 이상의 선박은 도선사 승선의 의무화, 충분한 예인선 활용 및 육상물포의 적극 활용 등이 필요하다.

5만 DWT톤급 유조선의 만재상태를 모선으로 설정하고, 자선으로 공선상태의 5천 DWT톤, 2만 DWT톤 그리고 3만 DWT톤의 선박을 설정하여 여러가지 형태로 접현재류하였을 경우에 대하여 평형방정식을 적용하여 정박안전성을 평가하였다. 이 중에서 최악의 경우로는 만재상태의 5만 DWT급 모선, 자선으로 공선상태의 2만톤급 1척과 3만톤급 1척을 각각 접현재류했을 경우 풍속 약 44.6노트(22.9m/s)까지 견딜 수 있을 것으로 계산되었다.

선박조종시뮬레이터에 의한 투묘정박 시뮬레이션에서 자력에 의한 투묘는 외력영향으로 M-10 정박지 중심에서 065°방향, 120m Off된 지점에 투묘할 수 있었다. 그리고 묘쇄길이는 175m 신출할 수 있었고, 해저송유관과의 최근접거리는 175m이었다. Brought Up상태에서는 선수미선이 SSE방위를 유지하였고, 울산항 관측 최대풍속 72노트에서도 앵커끌림 현상이 일어나지 않았다. 만약 앵커끌림 현상이 일어나더라도 해저송유관

과는 약 280m의 평행거리를 두고 용연동 육지쪽으로 일어남을 확인할 수 있었다.

그러므로 울산항만당국에서 설정하고 있는 해상환적작업시의 안전확보 조건인 파고 2.0m, 풍속 14m/sec의 한계 외력조건에서는 충분한 정박안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 김세원(2002), "목포구 부근의 신항로 개설 및 항로표지 재배치에 관한 연구,"도선지.
- 정연철외 다수(2005), "묘박 중인 선박의 주요 한계에 관한 연구(II)," 한국항해항만학회지, 제 29(1), 173~179.
- 윤점동(2004), "선박조종의 이론과 실무," 세종출판사.
- 이윤석외 다수(2005), "묘박 중인 선박의 주요 한계에 관한 연구(I)," 한국항해항만학회지, 제 29(1), 165~171.
- (주)항도엔지니어링(2008), "울산항 다기능등부표(랜비) 설치공사를 위한 최적위치 결정 연구용역" 한국해대 산학협력단, 2008. 10.
- Fujiwara(1998), "The Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships," The Society of Naval Architecture of Japan, No. 183, 77~90.
- OCIMF Publication(1977), "Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs", Witherby & Co. Ltd. London, ECI.
- 本田啓之輔·松木 哲·井上欽三(1981), "岸壁避泊に關する 模型實驗", 日本航海學會 論文集 第57号.
- 岩井聰失島燈夫(1962), "係泊船に 働く風壓力について", 日本航海學會 論文集 第26号.
- 操船論, 東京商船大學教授, 岩井聰, 海文堂, 平成 13년.
- 操船通論, 新戶商船大學 名譽教授, 本田啓之輔, (株) 成山堂書店, 昭和 47년.

- 논문접수일 : 2009년 04월 18일
- 논문심사일 : 1차 - 2009년 06월 08일
- 게재확정일 : 2009년 07월 20일