

5천톤급 여객선의 묘박설비의 안전성에 대한 고찰

김 세 원*

A Study on the Safety of Anchoring Equipments for 5000tons Passenger Ship

Se-Won Kim*

Abstract

When mooring a vessel at anchorage or wharf, we usually uses ship's mooring equipments which are calculated by Equipment Number formula.

In this connection, this paper calculated the hull resistances were effected by actual external forces of the wind and current forces and also calculated the resistances of holding power of the anchor and anchor chain cables for the passenger vessel. Finally this study evaluated the possibility of mooring safety by comparing with the two calculated forces of above.

1. 서 론

최근 들어 조선기술의 비약적인 발달에 힘입어 선박이 전용선화되고 대형화되면서 선박의 안전은 곧 인간 생활환경의 안전과 직결되는 상황으로 인식되기에 이르렀다. 특히 대형 유조선의 해양사고로 인한 유류 유출은 엄청난 해양자산의 손실과 해양환경의 파괴 및 오염을 초래하고 있다. 그러므로 선박이 육지에 인접하여 정박중일 때에는 선박 안전확보를 위하여 여러가지의 안전장치와 수단들이 활용되고 있다.

계류장비에 대해서는 국제적으로 일정한 기

준을 정하여 선박크기에 따라서 적절한 장비를 장착하도록 하여 선박의 안전을 확보하고 있다. 이를 위하여 묘 및 묘쇄줄, 계류줄 그리고 예인색 등의 계선장비에 대해서는 국제선급협회를 통한 각국의 선급규정에서 의장수(Equipment Number)계산에 의한 적절한 크기의 의장품을 설치하도록 강제규정화 되어있다.

묘박중인 일부 선박은 외력이 파주력의 한계를 초과함으로써 좌초 및 침몰과 같은 엄청난 해양사고를 일으킨 경우가 많다. 이와 같은 해양사고를 미연에 방지하기 위해서는 선체에 가해지는 각종 주위외력과 파주력과의 관계에 있

* 한국해양대학교 교수

어서 과학적 근거에 바탕하여 수식적으로 해석할 필요가 있다. 즉 예상되는 주위외력을 분석하여 선체에 작용하는 전체 외력을 산정하고, 그 결과로 선체에 가해지는 장력의 크기를 계산 비교하여 선박의 안전성을 확보해야 한다.

그러므로 본 연구에서는 묘박중인 선박의 안전성을 확보하기 위하여 최대의 자연환경 조건에 따른 묘박선에 작용하는 풍력 및 조류력에 의한 외력을 산정하고, 그에 따른 파주한계력을 산출하여 종합적인 한계외력의 산출과 선박의 안전성을 평가하고자 한다.

2. 대산항 묘박지에서의 파주력 검토

다음과 같은 대산항의 최대 자연조건하에서 정박지에 묘박한 5천톤급 여객선의 ANCHOR 및 ANCHOR CHAIN CABLE의 파주력(P)이 풍압력(Ra)과 유압력(Rw)의 외력을 견딜 수 있는지 ($P \geq Ra + Rw$)를 검토하면 다음과 같다.

2.1 여객선의 요목

SHIP'S NAME		보물섬
LOA		114.500 M
LBP		105.000 M
BREADTH (MLD.)		20.000 M
DEPTH (MLD.)		6.250/11.050 M
DRAFT (D.L.W.L)		4.750 M
COMPLEMENT	PASSENGER	464P+324P
	CREW & OFFICER	52P
CLASSIFICATION		KR
NATIONALITY		PANAMA

2.2 의장수 계산

한국선급에서 사용하고 있는 의장수 산출에는 다음의 식을 이용하여 각 선박별 의장수를 계산하며, 본 여객선의 경우에 있어서의 의장수 계산식은 다음과 같다.

1) 의장수 계산식

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2.0h \times B + \frac{A}{10} \quad (2.1)$$

Δ : 하기만재흘수선에 대한 형배수량(t)

h 및 A : 다음 각호에 의한 값

① h 는 다음 식에 의한 것

$$h = f + h' \quad (m)$$

f : 선체 중앙의 선측에 있어서 만재흘수선으로부터 최상층 전통갑판보의 상면까지의 수직거리(m)

h' : 최상층 전통갑판으로부터 나비가 B/4를 넘는 선루 또는 갑판실 중 가장 높은 위치에 있는 것의 정부까지의 높이(m). 이 높이의 측정에 있어서 현호 및 트림은 무시한다. 또한 나비가 B/4를 넘는 갑판실이 나비가 B/4를 넘지 않는 갑판실의 상부에 있을 경우에는 나비가 B/4 이하인 갑판실의 높이는 산입하지 아니한다.

② A 는 다음 식에 의한 것

$$A = fL + Sh'' \quad \ell \quad (m^2)$$

f : 전 호의 규정에 따른다.

$Sh'' \quad \ell$: 최상층 전통갑판보다 상방에 있는 나비가 B/4를 넘고 높이가 1.5 m 이상인 선루, 갑판실 또는 트렁크의 높이 h'' (m)와 길이 ℓ (m)를 곱한 것의 합. 다만, L의 범위 이외에 대하여는 산입할 필요는 없다.

③ 전 각호에 있어서 높이가 1.5 m 이상인 스크린(screen) 및 블워크는 선루 또는 갑판

실의 일부로 간주한다.

2) 의장수의 계산

위의 의장수 산출식(2.1)을 이용한 본 여객선의 의장수 계산은 아래와 같다.

$$EN = \Delta^{2/3} + 2.0h \times B + \frac{A}{10}$$

여기서

Δ : 하계 만재배수량, 5,143.735 tons

h : 하계 만재흘수선으로부터 갑판실 상단까지의 높이, 7.6 m

B : 형폭, 20.00 m

A : 하계 만재흘수선 상의 측면적, 794.15 m²
그러므로

$$\begin{aligned} EN &= \Delta^{2/3} + 2.0h \times B + \frac{A}{10} \\ &= 5143.735^{2/3} + 2.0 \times 7.6 \times 20.00 + 79.42 \\ &\approx 681.4 \text{ m} \end{aligned}$$

3) 의장수에 의한 의장품 크기

국제선급협회 통일규격안인 "Equipment Number Table"에 따라서 본 여객선의 의장품 크기를 결정하면, 이 여객선의 경우 의장수(EN)는 681.4로써 의장기호 D3(EN 660-720)에 해당되고 의장품의 크기는 다음과 같다.

- (1) Anchor : 2.10 ton × 2 Ea
- (2) Chain cable : 36mm(Grade 3) × 440m cable
*표에서 17.6Shackles이 나왔으며 이 값에 0.4를 더해 18 Shackles로 하고 양쪽 현에 각각 9 Shackles로 함.
- (3) Towing line : Wire Rope(6 × 24), 30mm × 190
- (4) Mooring rope(원치용) : 절단하중16ton × 160m, 4 sets
 - ① 와이어 로프 : 4호(6 × 24), 절단하중 18.5 ton, 20mm × 160m, 4set

- ② 나일론 로프 : 32mm × 160m, 4set, 17.3 ton
- ③ 마닐라 로프 : 55mm × 160m, 4set, 17.6 ton
- ④ 비닐론 로프 : 40mm × 160m, 4set, 20.2 ton
- ⑤ 폴리에틸렌 로프 : 40mm × 160m, 4set, 16.7ton
- ⑥ 폴리에스테르 로프 : 35mm × 160m, 4 set, 16.4ton
- ⑦ 폴리프로필렌 로프 : 40mm × 160m, 4 set, 16.7ton

3. 대산항 정박지의 기상조건

기상관측소의 자료에 의하면 대산항 정박지의 자연환경 조건은 다음과 같다.

- ① 풍속 : 18 m/sec(35 Knots)
- ② 유속 : 2.5 Knots (조금 때 최강유속)
4.5 Knots(사리 때 최강유속)
- ③ 수심 : 30m
- ④ 저질 : SANDY MUD

4. 외력의 산정

4.1 풍압력

1) 풍압력 계산식
일반적으로 선박에 작용하는 풍력(R_{aH})의 산정에는 Huges의 식이 많이 이용되며, 다음과 같다.

$$R_{aH} = \frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 (A \sin^2 \phi_a + B \cos^2 \phi_a) \quad (4.1)$$

여기서 ρ_a 는 공기 밀도, C_a 는 바람의 항력계수이다.

식(4.1)은 단일 외력이 작용하는 경우에 간편

하게 적용할 수 있는 식이나 조류력 등의 합성 외력이 작용하는 경우에는 실용상 많은 어려움이 따른다.

그러므로 선체에 작용하는 풍력, 조류력 등의 유체력 R은 일반적으로 (4.2)식과 같이 표현된다.

$$R = \frac{1}{2} \rho C_d V^2 A, \quad (4.2)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, C_d 는 항력계수, V는 유체의 속력, A는 유체의 흐름면에 대한 투영면적이다.

(4.2)식을 이용하여 풍력 R_a 를 다음 식과 같이 분력의 합으로 표기한다.

$$R_a = R_{ax} i + R_{ay} j \quad (4.3)$$

여기서 R_{ax} 및 R_{ay} 는 x와 y방향의 풍력의 분력이며, i 및 j는 각각 x 및 y 방향의 단위벡터이며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ax} = \frac{1}{2} \rho_a C_{ax} V^2 (A \sin \phi_a \cos \phi_a + B \cos \phi_a \cos \phi_a) \quad (4.4)$$

$$R_{ay} = \frac{1}{2} \rho_a C_{ay} V^2 (A \sin \phi_a \sin \phi_a + B \cos \phi_a \sin \phi_a) \quad (4.5)$$

여기서 C_{ax} 및 C_{ay} 는 각각 x 방향 및 y 방향의 바람의 항력계수이다. 식(4.4) 및 식(4.5)에서 우변의 괄호 안은 각각 수풍 면적의 x항 및 수풍 면적의 y항을 나타낸다. 위의 각 분력 식을 합성하여 풍력 R_a 를 얻는다.

$$\begin{aligned} R_a &= |R_a| \\ &= \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi_a + B \cos \phi_a) \end{aligned} \quad (4.6)$$

식(4.6)에서 $C_{ax} = C_{ay} = C_a$ 로 하였다.

2) 풍압력 계산

위의 (4.6)식을 이용하여 VLCC의 묘박중의 풍압력을 산정하면 다음과 같다.

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi_a + B \cos \phi_a)$$

여기서,

ϕ_a : 바람의 입사각(030°)

ρ_a : 공기 밀도(1.28 kg/m³)

C_a : 풍력계수(만재/공선시 $C_a=1.343$)

V : 풍력(35 Knots=18 m/sec)

A : 만재상태에서의 수면상 횡면 풍압면적(1,623 m²)

B : 만재상태에서의 수면상 정면 풍압면적(296 m²)

A' : 공선상태에서의 수면상 횡면 풍압면적(1698 m²)

B' : 공선상태에서의 수면상 정면 풍압면적(310 m²)

1 ton · force = 9.80665 K · Newton

3) 여객선의 만재상태에서의 풍압력 계산

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi_a + B \cos \phi_a) \\ &= \frac{1}{2} \times 1.28 \times 1.343 \times 18^2 \\ &= (1,623 \times 0.50 + 296 \times 0.8660) \\ &= 297.38KN = 30.3Ton \end{aligned}$$

4) 여객선의 공선상태에서의 풍압력 계산

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot V^2 \cdot (A' \sin \phi_a + B' \cos \phi_a) \\ &= \frac{1}{2} \times 1.28 \times 1.343 \times 18^2 \\ &= (1698 \times 0.50 + 310 \times 0.8660) \\ &= 311.19KN = 31.75Ton \end{aligned}$$

4.2 조류력 산정

1) 조류력 계산식

일반적으로 선박이 계류할 수 있도록 안벽이 축조된 곳은 대부분 육지와 연결된 해안가로서 천해 해역이며, 이러한 천해 해역에서는 조류가 비교적 탁월하고, 시버스와 같은 곳에서는 조류력과 함께 해류도 영향을 미치게 된다.

조류력 R_c 는 풍력 R_a 의 경우 식(4.6)과 비슷하며, 다음 식과 같이 분력의 합로 표기한다.

$$R_c = R_{\alpha} i + R_{\sigma} j \quad (4.7)$$

여기서 R_{α} 및 R_{σ} 는 아래에 나타낸 바와 같이 x 및 y 방향의 조류력의 분력이다.

$$R_{\alpha} = \frac{1}{2} \rho_c C_{\alpha} W^2 (A' \sin \phi_c \cos \psi_c + B' \cos \phi_c \cos \psi_c) \quad (4.8)$$

$$R_{\sigma} = \frac{1}{2} \rho_c C_{\sigma} W^2 (A' \sin \phi_c \sin \psi_c + B' \cos \phi_c \sin \psi_c) \quad (4.9)$$

여기서 ρ_c 는 해수의 밀도, C_{α} 및 C_{σ} 는 각각 x 방향 및 y 방향의 조류의 항력계수이고, A' 및 B' 는 각각 선체의 수면하 횡면투영면적 및 정면투영면적이다.

바람의 경우와 마찬가지로 식(4.8)과 식(4.9)의 괄호 안은 각각 조류 작용면적의 x 항 및 y 항을 나타낸다. 또한 각 분력을 합성하여 조류합력(조류력) R_c 를 얻는다.

$$\begin{aligned} R_c &= |R_c| \\ &= \sqrt{R_{\alpha}^2 + R_{\sigma}^2} \\ &= \frac{1}{2} \rho_c C_c W^2 (A' \sin \phi_c + B' \cos \phi_c) \quad (4.10) \end{aligned}$$

식(4.10)에서 바람의 경우와 마찬가지로 $C_{\alpha} = C_{\sigma} = C_c$ 로 하였다.

2) 조류력 계산

위의 조류력 계산식 (4.10)을 이용하여 VLCC의 묘박중의 조류력을 계산하면 다음과 같다.

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

여기서,

ϕ_c : 조류 입사각(030°)

ρ_c : 해수밀도(1025 kg/m³)

C_c : 조류력 계수(상대유향 및 수심(h)/흘수(d)의 비에 따라 달라진다.)

-여객선 만재/공선시(30/4.75=6.3) : 0.25

-W : 조류력(사리 때; 4.5knots=2.31 m/s)

A : 만재상태에서의 수면하 투영횡면적(abt. 492 m²)

B : 만재상태에서의 수면하 투영정면적(abt. 92 m²)

A' : 경하상태에서의 수면하 투영횡면적(abt. 417 m²)

B' : 경하상태에서의 수면하 투영정면적(abt. 78 m²)

(1) 여객선의 만재시 조류력

① 사리 때

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{2} \rho_c C_c W^2 (A \sin \phi_c + B \cos \phi_c) \\ &= \frac{1}{2} \times 1025 \times 0.25 \times 2.312 \times \\ &\quad (492 \times 0.50 + 92 \times 0.866) \\ &= 222.7 K.N = 22.7 Ton \end{aligned}$$

(2) 여객선의 공선시 조류력

① 사리 때

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

$$= \frac{1}{2} \times 1025 \times 0.25 \times 2.31^2$$

$$\times (417 \times 0.50 + 78 \times 0.866)$$

$$= 188.7 \text{ K.N} = 19.3 \text{ Ton}$$

5. 묘박중인 여객선의 파주력 산정

선박이 정박지에 묘박 중일 때의 파주력(P)은 묘 및 묘쇄의 수중무게와 해저 저질의 종류에 따른 마찰력에 의하여 다음과 같이 계산된다.

$$P = P_A + P_C \quad (5.1)$$

여기서, P_A : 묘의 파주력, P_C : 묘쇄의 파주력

① 묘의 파주력 계산

$$\circ P_A = \lambda a \times W_a \quad (5.2)$$

λa : 묘의 파주계수

W_a : 묘의 수중무게(Ton)

○ 묘의 수중무게 계산 ;

-묘의 부력 : $2.21 \div 7.8(\text{쇠의 비중}) \times 1.025$
(해수비중) = 0.28 Ton

-묘의 수중무게 : $2.1 - 0.28 = 1.82 \text{ Ton}$

○ 저질별 파주계수표

저질 파주계수	soft mud	hard mud	sandy mud	sand	shell & sand	gravel	flat rock
λ_a	10	9	8	7	7	6	5
λ_c	3	2	2	2	2	1.5	1.5

$$\circ P_A = 4 \times 1.82 = 7.28 \text{ Ton}$$

○ 묘의 실용 파주계수를 최대 4로 보면 실용 파주력은 약 7.28톤이 된다.

② 묘쇄의 파주력 계산

$$\circ P_C = W_c \times \lambda_c \times \ell \quad (5.3)$$

λ_c : 묘쇄의 파주계수

W_c : 묘쇄의 수중무게(Ton)

ℓ : 묘쇄의 길이

○ 묘쇄의 수중무게 계산 ;

-묘쇄의 부력 : $7.095 \div 7.8 \times 1.025 = 0.93 \text{ Ton}$

-묘쇄의 수중무게 : $7.095 - 0.93 = 6.17$
Ton/ Shackle = 0.25 Ton/n

양현 묘를 2묘박의 형태로 각각 묘쇄의 길이 9 Shackles(225m) 씩을 신출하고 있는 경우에 대한 파주력을 계산하도록 한다. 또한 수평장력이 없는 경우를 가정하고, 수심 30m에서 묘쇄공에서 해저까지 36.9m(묘쇄공까지 깊이 11.6m - 만재홀수에서 draft 4.75m + 수심 30m)의 묘쇄가 수직으로 신출되고, 나머지 묘쇄는 해저에 접촉하고 있는 상태로 묘쇄길이는 약 188.1m이고, 그 때의 최대파주력은 다음과 같다.

$$\circ P_C = 2 \times (\lambda_c \times W_c \times \ell)$$

= $2 \times (1 \times 0.25 \times 188.1 \text{ m}) = 94.05 \text{ Ton}$ 이다.

③ 묘 및 묘쇄의 전체의 파주력

$$\circ P = P_A + P_C = 7.28 + 94.05 = 101.33 \text{ Ton}$$

○ 묘와 묘쇄의 실용 파주력의 합은 101 Ton이다

6. 여객선의 외력과 파주력의 비교

최대자연조건에서 여객선의 묘박중의 실용 파주력과 전체 외력과의 관계를 나타내면 다음과 같다.

1) 최대 자연 조건에서의 파주력 및 외력의 비교

최대자연조건에서 조류가 4.5노트로 흐르고 있을 경우에 만재상태에서는 최대 파주력이 전체 외력의 약 2배가 되어 안전 묘박이 가능하고, 공선상태에서도 최대 파주력이 전체 외력의 약 2배로 역시 안전 묘박이 가능한 상태임을 알 수 있다.

조 건	풍압력 (Ton)	조류력 (Ton)	전체외력 (Ton)	파주력(Ton)
				최대 파주력
만재 상태	30.3	22.7	53	101.33
공선 상태	31.7	19.3	51	101.33

7. 결 론

지금까지 배를 안전하게 계류시키기 위해 선박에 설치되는 각종 의장품의 적절한 크기를 결정시켜주는데 사용되는 현재 의장수 계산법이 적절한지 여부를 알아보기 위해 여러가지 계산을 수행하였다.

선박에 작용하는 힘은 여러가지가 있으나, 여기에서는 가장 큰 영향을 미치는 풍압력과 조류력만을 고려해 보았다.

실제로 5000톤급 여객선을 이용하여 그 도면 및 설계 자료로부터 의장수 계산에 필요한 각 요소를 구하여 그 값을 의장수 계산식에 대입하여 그 선박에 적합한 의장품 크기를 산출했다. 또한 대산항의 특정항을 선정하여 그 항만에서의 자연환경 조건 중 최대 조건을 적용하여 풍압력 및 조류력을 계산하였다. 앞에서 알 수 있듯이 대산항의 최대 풍속이 18m/sec이고, 유속이 4.5knots(사리때)임을 고려해 풍압력 및 조류력 계산식에 의한 선박의 만선상태 및 공선상태에서 선박의 수면 상부 및 하부의 면적을 각각 구하여 대입해서 대산항에서 선박에 작용하는 풍압력과 조류력의 크기를 구했다. 그리고 실제 선박의 실용 파주력을 산출해 낸 다음 전체 외력 즉, 풍압력과 조류력의 합산 값과 비교하였다.

우선 만선시를 비교해 보면 풍압력과 조류력

을 합한 전체외력이 53Ton이고, 최대 파주력이 101.33Ton 임을 알 수 있다. 그러므로 만선시에는 파주력이 외력의 191%로 최대외력 조건에 충분히 견딜만하며, 안전묘박이 가능함을 알 수 있다. 그리고 공선시에는 최대파주력이 101.33Ton으로 만선시와 같고, 전체외력이 51Ton으로 파주력이 외력의 199%로 역시 전체외력에 대하여 충분히 견딜 수 있으며, 안전 묘박이 가능한 것으로 판단된다. 그리고 석유회사국제해운포럼(OCIMF: Oil Companies International Marine Forum)에서 유조선에 대하여 권고하고 있는 계류력의 최대 안전 허용장력은 전체 계류력의 최소파단장력(MBL: Minimum Breaking Load)의 55%이므로, 이 규정에 의한 안전 허용 파주력은 56Ton으로 외력과 거의 동일함으로 이 조건도 만족시키고 있음을 알 수 있다.

결론적으로, 현재 선급에서 적용하고 있는 의장수 계산법에 의해 묘박설비를 정하는 것이 이 선박에서는 타당함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] OCIMF Publication "Prediction of Wind and Current Loads on VLCC", Witherby & Co. Ltd. ECI 1977
- [2] OCIMF Publication "Mooring Equipment Guideline", Witherby & CO. Ltd. ECI 1992
- [3] 한국선급, 선급 및 강선규칙, 한국선급, 2000
- [4] 김세원, 선박계류안정성의 평가에 관한 연구, 부경대학원, 2000
- [5] 한길용, "바람 및 조류에 의한 안벽계류선박의 계류력에 관한 연구" 1999

