해양환경안전학회 제15권 제3호, pp. 223-228, 2009. 9. 30. (ISSN 1229-3431)
Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety

실선계측을 통한 묘박중인 선박의 풍압력 적용에 관한 연구

정창현* · 공길영**

* 한국해양대학교 한바다호, ** 한국해양대학교 운항시스템공학부

A Study for the Evaluation of the Force by the Wind on the Ship at Anchoring

Chang-Hyun, Jung* · Gil-Yong, Kong**

* T/S HANBADA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

** Division of Navigation System, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 2003년 태풍 매미로 인하여 안전한 피항지로 여겨졌던 진해만에서도 강풍에 의한 주묘로 좌초, 충돌 등 많은 해양사고가 발생하였다. 투묘에 대한 사항이나 주묘를 예측하기 위해서는 외력과 대항력에 대한 비교·검토가 필요하다. 하지만 풍압력에 대한 부분에서 스윙현상으로 인한 풍압면적 적용에 대한 연구가 진행되고 있으나, 여전히 논란의 대상이 되고 있다. 따라서 실습선 한바다호를 대상으로 선체에 작용하는 외력과 외력에 대한 대항력을 수치적으로 계산하고, 이를 실제로 주묘가 발생했던 실선계측자료와 상호 비교·분석함으로써 묘박 중 선박에 가해지는 풍압력에 대한 평가를 실시하였다.

핵심용어 : 해양사고, 주묘, 외력, 대항력, 실선계측, 풍압력

Abstract : *By the typhoon "MAEMI" in 2003, a lot of marine accidents such as stranding, collision etc. occurred to the vessels at anchor in "JINHAE MAN" which was considered one of the most safe sheltering anchorage in Korea. These accidents resulted from the dragging of anchor by the strong winds. It needs to compare the external forces with the holding powers of anchors to estimate if the anchor will be dragged or not. However, the calculation of the force by the wind on the ship, in particular, on the wind pressure area which changes by the swinging of her bow is not yet set on a thesis. Therefore, this paper verified that how many times the front wind pressure area should be applied to calculate the force by the wind on the ship at anchor by comparing and analyzing the numerical calculation with the actual ship's data which was really dragged by the strong wind.*

Key Words : *Marine accidents, Dragging, External forces, Holding powers, Actual ship's data, Force by the wind*

1. 서 론

2003년 남해중부 해안으로 상륙한 태풍 매미의 영향으로 지금까지 안전한 묘박지로만 여겨져 왔던 진해만에 묘박중인 선박들과 부두에 계류중인 선박들이 침몰, 좌초, 충돌하는 등 많은 해양사고가 초래되었다.

태풍 매미의 영향으로 마산항 등 진해만 주변에서 발생한 해양사고는 총 62척으로, 침몰 8척, 좌초 및 좌안 32척, 그리고 충돌 및 접촉이 22척이었다. 그리고 진해만 내에서 발생한 해양사고는 총 25척으로, 침몰 3척, 좌초 및 좌안 13척, 그리고 충돌 및 접촉이 9척이었다(마산지방해양항만청, 2003).

태풍 등 강풍이 예상되면 선박은 태풍의 예상 진로에서 멀리 벗어나거나 안전한 피항지를 선택하여 투묘를 실시하고 있다. 하지만, 단묘박 또는 2묘박 실시 여부와 체인의 신출량 결정 등 투묘에 대한 사항이나 투묘 후 선박의 안전에 대한 판단은 아직까지 운항자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 투묘에 대한 사항이나 주묘를 예측하기 위해서는 외력과 대항력에 대한 비교·검토가 요구된다(정과 공, 2009).

묘박 중에는 일반적으로 선박이 바람이 불어오는 방향을 기준으로 선수가 좌우로 움직이는 스윙(Swing)현상이 발생한다. 이러한 스윙 현상은 선체중심점(G)을 기준으로 ∞ 모양의 궤적을 만들면서 선수가 좌우로 이동하기 때문에 풍압면적의 계산에는 상대풍향에 따른 정면 풍압면적과 측면 풍압면적을 함께 고려해 주어야 한다.

그러나 실시간 상대풍향을 정확히 계측하기 어려우므로 단묘박의 경우 적하상태에 따라 만선상태(Full Loaded Condition)에서는 정면 풍압면적의 2배, 그리고 공선상태(Ballast Condition)

* 대표저자 : 정회원, hyon@hhu.ac.kr , 051-410-4206
** 교신저자 : 종신회원, kong@hhu.ac.kr , 051-410-4273

에서는 정면 풍압면적의 3배에 해당하는 값을 각각 사용하고 있다(Honda, 1986).

묘박중인 선박의 주묘 한계에 관한 연구(이 등, 2005; 배 등, 2005)에서는 묘박 안전성에 관한 이론적인 연구결과를 태풍 매미 상륙시 진해만에 묘박했던 실제 사고 선박에 적용 또는 시뮬레이션을 실시함으로써 주묘 한계와 주묘 직전에 받는 풍압력을 평가하였으며, 여기에서는 주묘 한계 풍속을 결정함에 있어 정면 풍압면적의 2.5배 정도로 평가하였다.

그리고 선행된 실습선 한바다호의 묘박 지침 개발에 관한 연구(정과 공, 2009)에서는 2묘박 시 풍압력을 정면 풍압면적의 2배로 계산하여 묘박 지침을 제안하였다.

하지만, 묘박 중인 선박에 가해지는 풍압력의 계산에서 스윙현상으로 인한 풍압면적을 어떻게 적용할 것인가에 대해서는 여전히 논란이 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 실습선 한바다호를 대상으로 선체에 작용하는 외력과 외력에 대한 대항력을 수치적으로 계산하고, 이를 실제로 주묘가 발생했던 실선자료와 상호 비교 · 분석함으로써 묘박 중 선체에 가해지는 풍압력 적용에 대하여 검토하였다.

2. 대상선박의 제원

실선 시험 대상인 한바다호는 한국해양대학교의 실습선이며, Table 1은 한바다호의 주요 제원을, Fig .1은 일반배치도를 보여주고 있다.

Table 1. General particulars of T.S. HANBADA

Items	Dimensions
L_{OA} / L_{BP}	117.20 m / 104.00 m
Breath(B)	17.80 m
Mean Draft	5.915 m
Displacement	6,434.6 ton
Block Coefficient(Cb)	0.5719 at 5.915 m
Anchor(AC-14) Weight	2.475 ton
Chain Cable	0.046 ton/m
Service Speed / Maximum Speed	17.5 kts / 19.0 kts
Main Engine (MCR)	8,130 BHP × 176 RPM
Transverse Projected Area (A_T)	287 m^2
Lateral Projected Area (A_L)	1,430 m^2

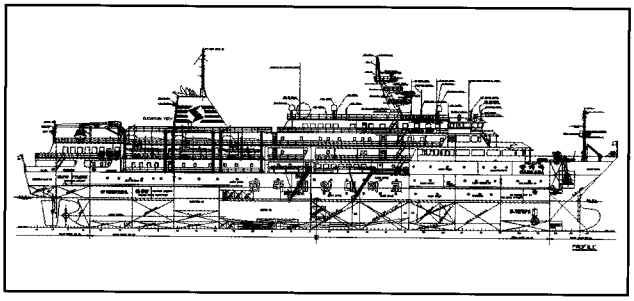

Fig. 1. General arrangement of T.S. HANBADA.

3. 선체에 작용하는 힘

묘박중인 선박에 영향을 주는 외력에는 바람에 의한 풍압력(F_W), 파랑에 의한 표류력(F_D), 조류에 의한 유압력(F_C)이 있으며, 이에 대응하는 대항력은 파주력(F_H)과 추진력(F_T)이 있다. 따라서 묘박 안전성은 다음의 식(1)과 같이 외력과 대항력으로 구성되는 평형방정식으로 표현할 수 있다.

$$F_W + F_D + F_C = F_H + F_T \tag{1}$$

3.1 외력 요소

1) 풍압력

Fig. 2에 나타낸 바람에 의한 풍압력(F_W; Force by wind)은 식(2)에 의하여 산출하였으며, 여기에서 정면 풍압계수는 한바다호의 정면 및 측면 풍압면적, 풍압 중심점, 선교 높이 등을 기초로 Fujiwara et al.(1998)에 의해 제안된 추정식에 입력하여 산출하였다.

그림에서 F_W *1은 정면 풍압력, *2은 정면 풍압면적의 2배에 해당되는 풍압력 그리고 *3은 3배에 해당되는 풍압력을 의미한다.

$$F_W = \frac{1}{2}\rho_a C_a A_T V_a^2 \tag{2}$$

단, F_W : 풍압력(kg), ρ_a : 공기밀도$(kg \cdot \sec^2/m^4)$,

C_a : 정면 풍압계수, A_T : 정면 풍압면적(m^2)

V_a : 풍속(m/s)

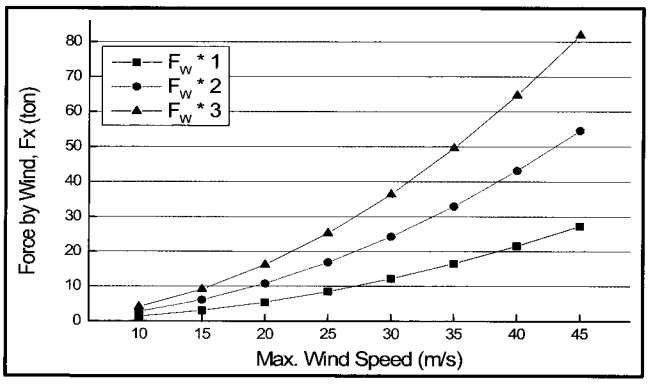

Fig. 2. Force by wind on transverse area with wind velocity.

2) 표류력

파랑에 의해 발생하는 표류력은 규칙성분과 불규칙 성분으로 나눌 수 있으며, Hirano(1995)에 의하면 규칙성분인 정상 표류력은 상대파향과 파장/선장비(λ/L)로 결정되는 표류계수와 파 진폭을 변수로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_D = \frac{1}{2}\rho_w C_w g L h_c^2 \quad (3)$$

단, F_D : 표류력(kg), ρ_w : 해수밀도$(kg \cdot \sec^2/m^4)$,

C_w : 표류계수, g : 중력가속도$(m/\sec^2)$

L : 선체길이(m), h_c : 파 진폭(m)

그러나 실제 해상은 불규칙파이므로 식(3)의 정상 표류력에 불규칙파에 의한 영향을 고려해 줄 필요가 있으며, Remery(1973)의 연구에 의하면 불규칙파 중의 평균 표류력은 유의파의 진폭과 평균파의 주기에 대응하는 규칙파가 갖는 표류력의 약 1/8 정도로 알려져 있다.

부산항 M-9 묘박지에서의 실선계측 당시 순간최대풍속은 30m/s로 확인되었으나, 주변이 폐쇄되고 바람의 지속시간도 짧아 파고는 2.0m 이내로 비교적 잔잔하였다.
따라서 식(3)을 이용하여 파장/선장비(λ/L)가 0.2이고, 정상파가 선수 30도 방향에서 올 때 표류력 계수는 0.15 정도이므로 파랑에 의한 표류력을 계산하면 Table 2와 같다.

Table 2. Drifting force by wave

Wave height / λ/L	1.0m	2.0m	3.0m
0.2	0.25 (ton)	1.0 (ton)	2.25 (ton)

3) 유압력

해조류에 의해 발생하는 유압력은 선체의 수면하면적, 해조류의 속도 및 방향, 유압계수 등에 의해 계산된다. 하지만 실선계측 당시에는 조류가 거의 정지된 상태(Slack water)였으므로, 본 연구에서는 유압력을 무시하였다.

3.2 대항력

대항력으로는 파주력과 추진력이 있으나 실선계측 당시에는 엔진을 사용하지 않았으므로, 본 연구에서는 파주력에 대해서만 언급한다.

파주력(F_H; Holding power)은 주로 해저 바닥에 투묘된 닻과 닻줄로 구성되는 파주부에 의해 형성되며, 동일한 규격의 닻 및 닻줄이라 할지라도 해저 저질에 따른 파주계수에 따라 그 값이 달라진다. 파주계수는 장소 및 조건에 따라 저질의 점성이나 성분이 다르기 때문에 다소의 차이는 있으나, 일반적으로 사용되는 파주계수는 Table 3과 같다(윤, 2002).

Table 3. Holding factors with seabed

Seabed / Holding factor	Mud	Sand	Gravel	Flat Rock	Dragging
λ_a(AC-14 type)	10	8	8	2.5	2
λ_c	1	1	0.8	0.8	0.5

묘박 중인 선박의 파주력은 식(4)에 따라 계산된다(윤, 2002).

$$P_T = P_a + P_c = w_a\lambda_a + w_c\lambda_c l \quad (4)$$

여기서, P_T : 닻과 닻줄의 총 파주력(t)

P_a : 닻의 파주력(t), P_c : 닻줄의 파주력(t)

λ_a : 닻의 파주계수, λ_c : 닻줄의 파주계수

ω_c : 닻의 수중중량(t), ω_c : 닻줄의 수중중량(t)

l : 해저에 깔린 닻줄의 길이(m)

Fig. 3에서 보면, 일정 외력(H)이 작용할 때 2묘박에 대한 파주력 계산은 좌·우현 체인이 선수미선과 이루는 각을 각각 a_P, a_S라 하면 C점에서의 장력은 P_P(좌현묘 파주력)와 P_S(우현묘 파주력) 벡터의 합력 방향이 되므로 전체 파주력(F_H)은 식(5)와 같이 표현된다.

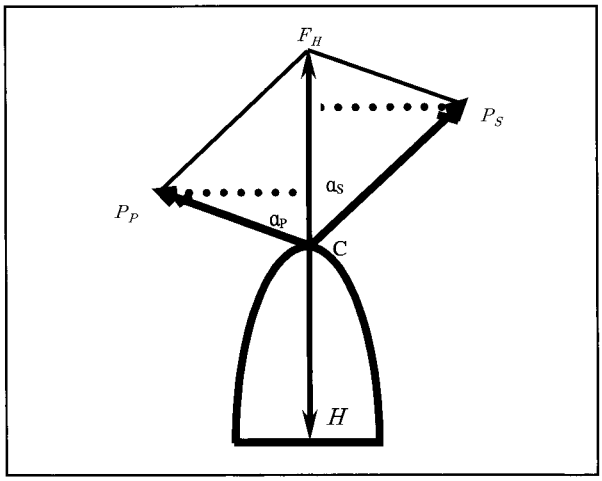

Fig. 3. Holding power of riding at two anchors.

$$F_H = P_P\cos a_p + P_S\cos a_s \quad (5)$$

또한, 파주력 계산시 추가로 고려하여야 할 사항은 Fig.4에서와 같이 외력의 크기에 따라 파주부의 길이가 달라지므로 이를 감안하여 파주력을 계산하였다.

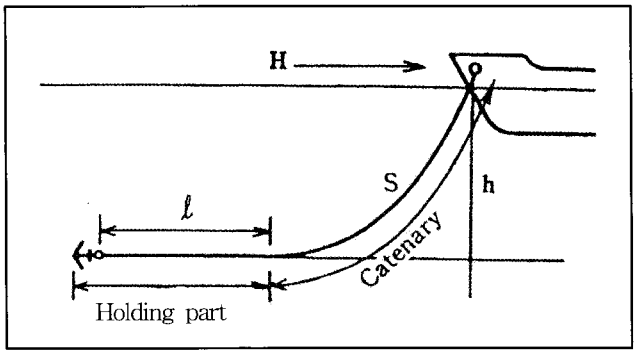

Fig. 4. Holding & catenary part at anchoring.

현수부의 길이(S)는 외력이 선체에 미치는 장력을 기초로 하여 식(6)에 의해 구할 수 있고 파주부의 길이는 신출된 닻줄길이에서 현수부의 길이를 뺀 값이다(윤, 2002).

$$S = \sqrt{h(h+\frac{2H}{w_c})} \qquad (6)$$

여기서, h : 묘쇄공에서 해저까지의 높이(m)

w_c : $1m$에 해당되는 닻줄의 수중무게(t)

H : 외력에 의해 닻줄에 작용하는 장력(t)

4. 파주력에 대한 분석

4.1 실선계측 당시의 기상

2009년 3월 13일 10시 12분 경 앵커는 약 30초 정도 지속적으로 끌렸으며, 당시의 기상청에서 관측한 부산 지역의 풍향 및 풍속 자료는 Table 4 및 Fig. 5와 같다. Table 4에서 풍속1은 매1분간 최대풍속을 나타내고, 풍속10은 매10분간의 최대풍속을 의미한다. 관측소에서는 10시 12분에 최대풍속이 20.4m/s로 관측되었으나, 선박이 끌리던 당시 선박에서 관측된 최대 순간풍속은 관측지점 등의 차이로 30m/s로 확인되었다.

Table 4. Max. wind speed at the time of dragging anchor

Time	Wind direction(1)	Max. wind speed(1) (m/s)	Wind direction(10)	Max. wind speed(10) (m/s)
10:01	SSW	16.2	S	12.3
10:02	S	15.6	S	12.9
10:03	S	15.1	S	13.4
10:04	S	17.2	S	13.7
10:05	S	15.2	S	13.6
10:06	S	15.7	S	13.8
10:07	S	14.1	S	14.3
10:08	SSW	13.4	S	14.7
10:09	SSW	14.6	S	15.1
10:10	SSW	17.1	S	15.4
10:11	SSW	18.7	S	15.7
10:12	S	20.4(30)	S	16.2
10:13	S	16.6	S	16.3
10:14	SSW	16.1	S	16.2
10:15	SSW	14.9	SSW	16.2
10:16	SSW	19.0	SSW	16.5
10:17	SSW	18.0	SSW	16.9
10:18	S	19.2	SSW	17.5
10:19	SSW	15.8	SSW	17.6
10:20	SSW	13.4	SSW	17.2
10:21	S	14.5	SSW	16.8
10:22	SSW	11.9	SSW	15.9
10:23	SSW	13.8	SSW	15.7
10:24	SW	11.4	SSW	15.2
10:25	SSW	11.8	SSW	14.9
10:26	SSW	13.1	SSW	14.3
10:27	SSW	11.4	SSW	13.6
10:28	SW	9.8	SSW	12.7
10:29	SSW	8.2	SSW	11.9
10:30	SW	8.0	SSW	11.4

* The number (30) of wind speed(1) means the max. inst. wind speed measured on the ship at the time of dragging anchor.

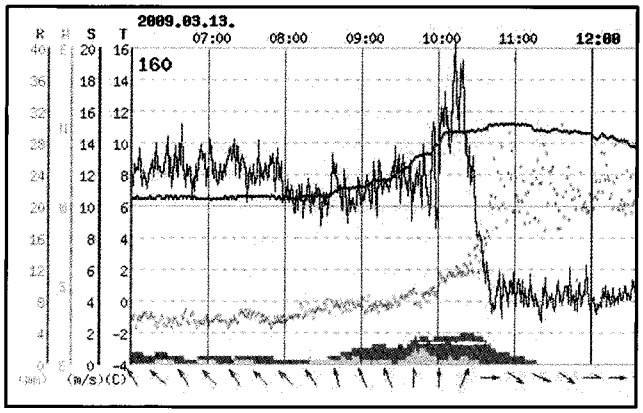

Fig. 5. Time series of wind speed at the time of dragging anchor.

4.2 투묘현황

대상선박은 2009년 3월 11일 부산항 M-9 묘박지에 양현의 묘쇄를 3새클로 신출하여 쌍묘박을 실시하였으나, 3월 13일 앵커가 끌리는 순간에는 양현 묘쇄의 교각이 반바퀴 꼬인(Cross) 상태로 60°정도를 이루고 있었다.

Fig. 6은 주묘되기 전 선박의 항적으로 당시 ECDIS에 저장된 자료이다. 풍향은 동풍에서 남동풍, 남풍 그리고 남서풍순으로 바뀌었으며, 주묘 당시에는 남풍이었다. 주묘되기 전에는 Fig. 6 같은 앵커 써클이 우현묘에 의해 형성되었을 것으로 판단된다.

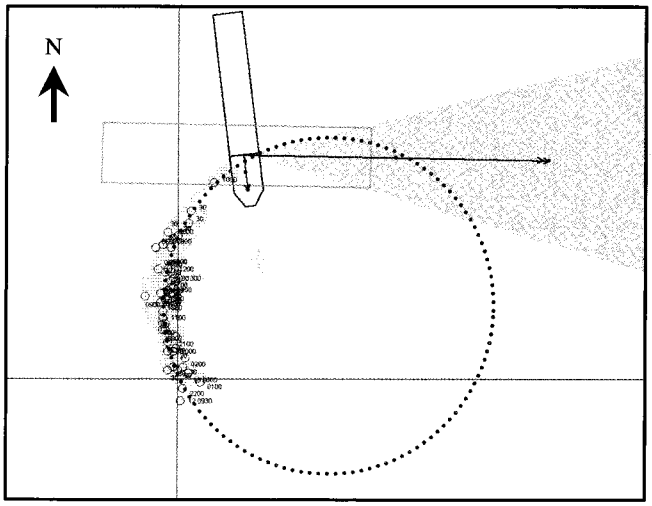

Fig. 6. Ship's track before dragging anchor.

Fig. 7은 양현 앵커의 추정위치 및 주묘 상황을 보여주고 있다. 선교의 위치인 선박의 항적은 선수로부터 약 30m 후방 위치이다. 주묘된 거리는 선수로부터 선교까지의 거리와 비슷한 약 30m 정도로 계측되었으며, 이동방향은 남풍으로 인하여 북쪽으로 주묘 되다가 풍속이 약해지고 우현묘의 영향을 받아 우측으로 이동하였다.

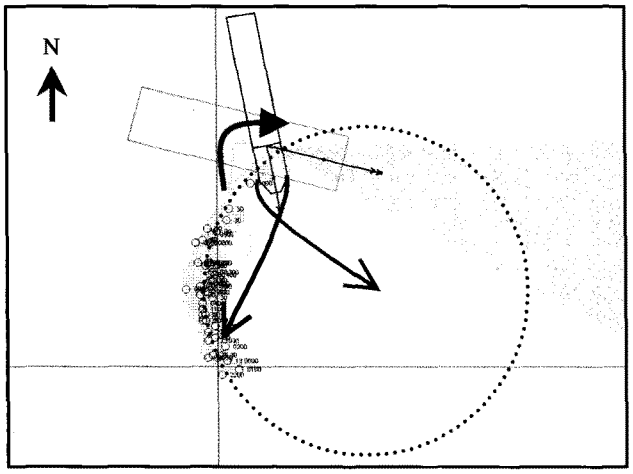

Fig. 7. Traces of dragging anchor.

4.3 파주력 분석

대상선박에는 2.475톤의 고파주력 앵커가 설치되어 이를 계산에 사용하였고, 부산항 묘박지 M-9의 저질은 Mud이며, 해저에서 묘쇄공까지의 높이는 수심 14m를 고려하여 18m로 계산하였다. 또한 당시의 선박은 3/4 consumed condition으로 공선상태에 가까운 상태였다.

주묘 당시의 상황은 크게 2가지로 가정하여 볼 수 있는데, 하나는 한쪽 앵커에만 장력이 걸린 경우이고, 또 다른 하나는 양쪽 모두의 앵커에 장력이 걸린 경우이다.

외력의 경우, F_W *1 + F_D는 정면풍압력 1배와 표류력을 합한 것이고, *2는 정면풍압면적의 2배 그리고 *3은 정면풍압면적의 3배의 풍압력과 표류력을 합한 것이다. 그리고 파주력의 경우에는, $F_H(F_W$ *1)은 Fig. 8에서는 3샤클로 단묘박을 실시한 정면풍압력의 1배가 작용할 때의 파주력을 의미하고, *2는 정면풍압면적의 2배 그리고 *3은 정면풍압면적의 3배가 작용할 경우의 파주력을 의미한다.

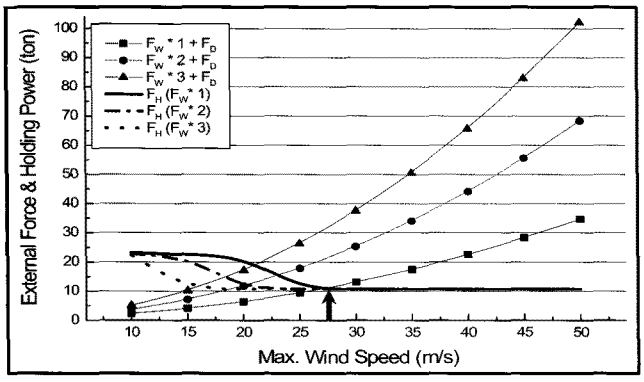

Fig. 8. Comparison with external force & holding power (single anchor).

Fig. 8은 Fig. 7에서 보듯이 남풍이 불었을 경우 좌현묘에만 장력이 걸려 주묘가 되었고, 나중에 우현묘에 장력이 걸려 주묘가 멈추고 이와 동시에 우측으로 이동하는 것으로 가정할 수 있다.

Fig. 8에서 보면, 주묘 시점이 풍속 30m/s이었음을 감안한다면 이 경우 풍압력은 정면풍압면적의 1배 이내로 평가된다. 하지만, 앞서 언급하였듯이 묘박 중 선박은 스윙현상이 발생하므로 정면풍압면적의 1배보다는 더 클 것으로 판단되며, 또한 정면풍압면적의 2배로 계산한다면 풍속 20m/s에서 주묘가 발생하였을 것이다. 따라서 이와 같은 가정은 발생가능성이 희박하다고 볼 수 있다.

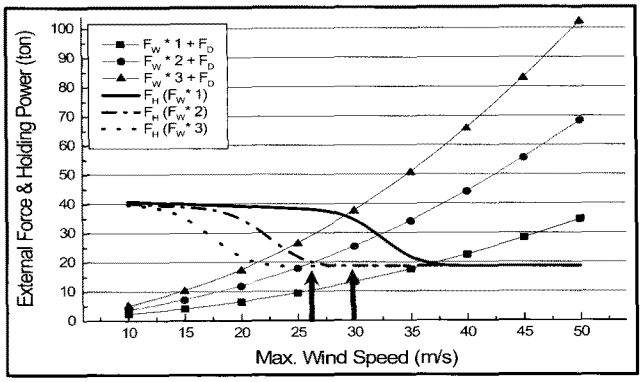

Fig. 9. Comparison with external force & holding power (riding at two anchors with angle 60°).

Fig. 9는 양현묘를 각각 3샤클 신출하여 주고, 교각 60°일 때 외력과 파주력을 나타낸 것으로, 주묘 당시의 풍속 30m/s를 감안하면 풍압력이 정면풍압면적의 1.5배로 계산된 것으로 평가된다. 하지만, 이 경우에는 양현묘쇄가 동일한 장력을 받았을 경우로 가정하면 주묘는 풍하측으로 지속적으로 주묘되고 우측으로는 이동되지 않았을 것이다.

따라서, 주묘 가능성이 가장 클 것으로 예상되는 경우는 양현묘쇄가 모두 장력을 받았지만, 좌현묘가 먼저 장력이 크게 걸려 주묘 되고, 나중에 우현묘도 장력이 크게 걸려 우측으로 이동하였을 것으로 판단된다.

주묘는 약 30초 정도 지속되었으며, 30m/s의 순간최대풍속은 이후 급격하게 저하되었기 때문에 북측으로 약 30m 정도 주묘된 이후 멈춘 것으로 계측되었다.

이상의 결과를 바탕으로 볼 때, 체인의 신출량이 3샤클인 경우로 계산하고 순간적인 강풍으로 인한 일시적인 주묘현상으로 평가하여 다소 한정적이지만, 풍압면적이 비교적 큰 여객선형의 경우 2묘박 시 선박에 작용하는 풍압력 계산은 가장 풍압력을 많이 받는 공선상태에서도 정면풍압면적의 2배로 계산해도 크게 무리가 없을 것으로 판단된다.

5. 결 론

2003년 태풍 매미로 인하여 안전지대로 여겨져 왔던 진해만에 묘박 중인 선박들에도 주묘로 인한 좌초, 충돌 등 큰 피해가 발생되었다.

묘박 중 선박의 주묘를 예방하기 위해서는 풍압력, 표류력, 유체력 등의 외력과 파주력, 추진력 등의 대항력에 대한 비교·검토가 필요하다. 하지만 풍압력에 대한 부분에서 스웡현상으로 인한 풍압면적 적용에 대한 연구가 진행되고 있으나, 여전히 논란의 대상이 되고 있다.

따라서 실습선 한바다호를 대상으로 선체에 작용하는 외력과 외력에 대한 대항력을 수치적으로 계산하고, 이를 실제로 주묘가 발생했던 실선자료와 상호 비교·분석함으로써 묘박 중 선박에 가해지는 풍압력을 정면풍압면적의 몇 배로 계산할 것인가에 대하여 실선을 통해 검증하였다.

체인의 신출량이 3새클인 경우와 순간적인 강풍으로 인한 일시적인 주묘현상으로 풍압력 적용에 대한 평가가 다소 한정적이지만, 풍압면적이 비교적 큰 여객선형의 경우 2묘박 시 선박에 작용하는 풍압력 계산은 가장 풍압력을 많이 받는 공선상태에서도 정면풍압면적의 2배로 계산해도 크게 무리가 없는 것으로 평가되었다.

추후 폭넓은 실선 데이터를 바탕으로 이에 대한 검증과 다양한 선형에 대한 검토가 함께 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 기상청 인터넷 자료 "자동기상관측자료".

[2] 마산지방해양항만청(2003), "해양사고 통계", pp.30-34.

[3] 배석한, 정연철, 김세원, 윤종휘, 이윤석, 구엔풍(2005), "묘박 중인 선박의 주묘 한계에 관한 연구(Ⅱ)", 한국항해항만학회지, 제29권, 제1호, pp.173-179.

[4] 윤점동(2002), "선박조종의 이론과 실무", 세종출판사, pp.1-17.

[5] 이윤석, 정연철, 김세원, 윤종휘, 배석한, 구엔풍(2005), "묘박 중인 선박의 주묘 한계에 관한 연구(Ⅰ)", 한국항해항만학회지, 제29권, 제1호, pp.165-171.

[6] 정창현, 공길영(2009), "실습선 한바다호의 묘박 지침 개발에 관한 연구", 해양환경안전학회지, 제15권, 제1호, pp.49-55.

[7] Fujiwara(1998), "The Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships", The Society of Naval Architecture of Japan, No.183, pp.77-90.

[8] Hirano(1995), "The Application of Maneuvering Study to Ship's Design", The Society of Naval Architecture of Japan, pp.48-50.

[9] Honda(1986), "Ship Maneuvering, Chapter 4 : The Maneuvering for Entering Port and Anchoring", Seong San Dang, pp.120-121.

[10] Remery(1973), "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, pp.57-61.

원고접수일 : 2009년 05월 12일
원고수정일 : 2009년 06월 05일 (1차)
2009년 08월 15일 (2차)
게재확정일 : 2009년 08월 28일