



Received: 2023/11/30
Revised: 2023/12/09
Accepted: 2024/02/19
Published: 2024/03/31

***Corresponding Author:**

Yongchul Lee

Dept. of Natural Science, Republic of Korea Naval Academy

1 Jungwon-ro, Jinhae-gu, Changwon-si, Gyung-sangnam-do, 51704, Republic of Korea

Tel: +82-55-907-5200

E-mail: wake8846@navy.ac.kr

주요 사례 분석을 통한 파주력 강화 방안 연구

Case Study for Strengthen Holding Force by Analysis of Dragging Anchor

민승식¹, 이용철^{2*}

¹해군 소령/해군사관학교 기초과학과 부교수

²해군 대령/해군사관학교 기초과학과 부교수

Seungsik Min¹, Yongchol Lee^{2*}

¹LCDR, ROK Navy/Associate professor, Dept. of Natural Science, Republic of Korea Naval Academy

²CAPT, ROK Navy/Associate professor, Dept. of Natural Science, Republic of Korea Naval Academy

Abstract

본 논문에서는 행사 도열 함정의 주요 사례 분석을 통해 박의 안정성을 판단하고 파주력을 강화하기 위한 방안을 제시하였다. 기존의 파주력 계산 공식을 개선하여 엄밀하게 파주력을 도출하였다. 그리고 계류부이 인양력 측정을 통해 계류부이에 부착된 철 싱커와 콘크리트 싱커의 파주계수를 계산하였다. 이를 바탕으로 계류부이의 파주력을 추정하고 묘박 안정성을 확보하기 위한 대안들을 제시하였다.

In this paper, the stability of the anchor was judged through the case study of the dragging anchor, and a plan to strengthen the holding force was suggested. The existing formula was improved to derive the holding force strictly. And the holding force coefficient of the iron sinker and the concrete sinker attached to the mooring buoy was calculated through the measurement of the lifting force of it. Based on this, alternatives were suggested to estimate the holding force of the buoy and secure the stability of the sinker.

Keywords

파주력(Holding Force), 묘박(Anchoring),
주요(Dragging Anchor), 싱커(Sinker),
풍압력(Wind Pressure)

Acknowledgement

본 논문은 2023년도 해군사관학교 해양연구소 연구비 지원을 통해 수행된 연구임.

1. 서론

앵커나 싱커를 해저에 떨어뜨리면 그 무게에 의해 해저 바닥을 파고 들어가게 되고, 해저면에서 미끄러지지 않으려는 마찰력이 발생한다. 이때 앵커의 최대정지마찰력을 ‘파주력(把駐力, holding force)’이라고 정의하며 그 측정은 매우 어렵다[1,2]. 따라서 앵커의 파주력 측정은 해저에 모형을 끌어서 파주저항을 측정함으로써 개략적인 값을 구하는 방식이 일반적이다[3]. 선박은 악천후에서 주요(dragging anchor)의 위험을 감소시키기 위하여 피항지를 선택하고 투묘를 실시하지만, 이에 대한 구체적인 판단은 운항자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 태풍 등 악천후에서 묘박의 안정성을 연구한 사례들이 학계에서 보고되고 있으나[4-8] 해군 함정에 대해서는 활발하게 연구되지 못하고 있는 실정이다.

해군사관학교에서는 매년 여러 건의 졸업식, 또는 임관식 행사를 시행한다. 이때 옥포만에 대표 함정들이 도열하여 행사를 축하하고 격려해 준다. 싱커로 해저면의 위치를 고정시키고 체인으로 연결된 계류 부이를 해수면에 노출되도록 미리 설치해 놓으면, 도열된 함정들이 행사 당일, 또는 준비 기간에 계류 부이와 연결하여 묘박을 실시한다. 이때 함정에 따라 묘박의 안정성을 사전 점검한 후 매뉴얼대로 계류부이의 제원과 수량을 달리하여 설치하게 된다. 하지만 사전점검에서 안정성이 있는 것으로 판단되었음에도 불구하고 몇 년에 한 번꼴로 주요 현상이 발생하고 있다. 함정 간의 이격거리 대

비 주요 거리가 미미하여 안전상 심각한 위험을 초래하지는 않고 있지만, 이러한 지속적인 주요 현상은 매뉴얼이나 자문을 통해 파주력이 강풍을 이겨낼 것이라고 기대한 것과 상반된 결과이다.

Dove의 실험에 의하면, 각도가 5°일 때 파주력이 1/4 정도 감소하고, 각도가 15°일 때 1/2 정도 감소한다고 알려져 있다[9,10]. 해군의 매뉴얼도 이를 준용하고 있는데 파주력 감쇄율은 앵커(싱커)와 해저면 사이의 파주계수의 영향을 받기 때문에 일반화하기 어렵다. 이런 상황들로 인해 행사(준비기간 포함) 시 20 kts - 30 kts급 강풍으로 인한 주요 현상이 간헐적으로 나타나고 있는 실정이다. 도열 함정에 직접 작용하는 풍압력과, 닻줄에 작용하는 장력, 싱커에 작용하는 파주력을 연동하여 분석한 국내 연구사례는 전무한 상황이다. 본 연구에서는 추가적인 주요 위험을 방지하기 위해 함정과 체인 및 싱커로 구성된 계를 수리물리학적으로 분석하여 파주력에 관한 엄밀한 해를 구하고 주요 사례 분석을 통해 안정성을 검증한 후 주요 위험을 감소시키기 위한 대안을 제시하고자 한다.

2. 배경 이론

현수선에 작용하는 장력은 현수선의 단위 길이당 무게에 의해 결정된다. Fig. 1은 해안에 묘박 중인 앵커 체인에 작용하는 장력을 나타낸 것이다.

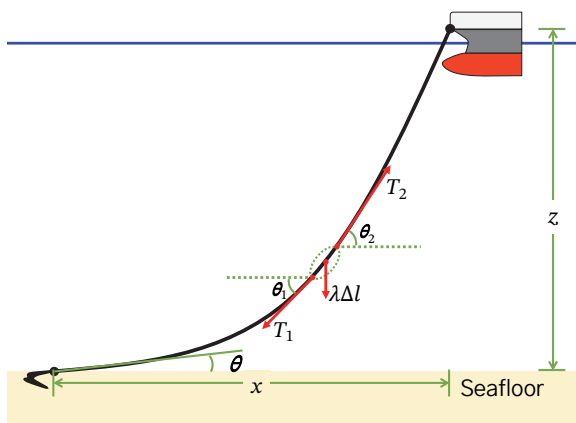


Fig. 1. 현수선의 미소 무게 $\lambda\Delta l$ 에 작용하는 중력 및 장력 표현

단위 길이당 수중 무게가 λ 인 현수선에서, 미소 무게 $\lambda\Delta l$ 이 수평과 θ 의 각도를 이루고 있을 때 양단에 작용하는 장력을 \vec{T}_1 과 \vec{T}_2 라 하자. \vec{T}_1 과 \vec{T}_2 의 수평 방향 힘은 동일하지만, 수직 방향 힘은 $\lambda\Delta l$ 만큼의 차

이가 난다. 즉,

- x 방향의 장력 T_x :

$$T_1 \cos \theta_1 = T_2 \cos \theta_2 = \text{constant} \quad (1)$$

- z 방향의 장력 T_z :

$$T_1 \sin \theta_1 + \lambda\Delta l = T_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

식 (1) 및 식 (2)를 풀이하면 식 (3)과 같이 선박의 수직 좌표 $z = z(T_x, x, \theta)$ 가 도출된다. 현수선 방정식의 일반해는 잘 알려져 있으므로 자세한 전개 과정은 생략한다. 또한 식 (4)와 같이 현수선의 길이 $l = l(T_x, x, \theta)$ 가 도출된다.

$$z = \frac{T_x}{\lambda} \left[\cosh \left(\frac{\lambda}{T_x} x + \sinh^{-1} \tan \theta \right) - \sec \theta \right] \quad (3)$$

$$l = \frac{T_x}{\lambda} \left[\sinh \left(\frac{\lambda}{T_x} x + \sinh^{-1} \tan \theta \right) - \tan \theta \right] \quad (4)$$

현수선에 수평 방향으로 작용하는 장력 T_x 를 선박의 높이 z 와 앵커 체인의 길이 l 의 관계식으로 나타내기 위해 식 (3)의 $z = z(T_x, x, \theta)$ 와 식 (4)의 $l = l(T_x, x, \theta)$ 를 연립하여 풀면 횡장력에 관한 일반식을 얻을 수 있다. 즉 임의의 값 t 에 대해 $\cosh^2 t - \sinh^2 t = 1$ 이 성립하므로,

$$\left(\frac{\lambda z}{T_x} + \sec \theta \right)^2 - \left(\frac{\lambda l}{T_x} + \tan \theta \right)^2 = 1 \quad (5)$$

최종적으로 현수선의 수평방향 장력 $T_x = T_x(z, l, \theta)$ 는 식 (6)과 같이 정리된다.

$$T_x = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{l^2 - z^2}{z \sec \theta - l \tan \theta} \right) \quad (6)$$

한편, 주요 순간 앵커의 파주력은 앵커체인의 횡장력과 같아지며 식 (7) 및 식 (8)을 만족한다.

$$H = T_x = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{l^2 - z^2}{z \sec \theta - l \tan \theta} \right) \quad (7)$$

$$H = \frac{\mu_a w_a + \mu_c \lambda d}{1 + \mu_a \tan \theta} \quad (8)$$

여기서, μ_a : 앵커의 파주계수(마찰계수),
 μ_c : 체인의 파주계수(마찰계수),
 w_a : 앵커의 수중 무게,
 λ : 체인의 선밀도,
 d : 파지부의 길이,
 θ : 체인-해저면 사이각.

주요 발생 시 파지부가 존재한다면 $d > 0$ ($\theta = 0^\circ$) 이 된다. 식 (7) - 식 (8)에 $\theta = 0^\circ$ 를 대입하여 연립하면 식 (9)와 같다.

$$H = \lambda \frac{(l_0 - d)^2 - z^2}{2z} = \mu_a w_a + \mu_c \lambda d \quad (9)$$

위 식에서 d 에 관한 이차방정식을 풀면 식 (10)과 같이 d 가 도출된다. d 를 다시 위 식에 대입하여 풀면 식 (11)과 같이 H 가 도출된다.

- 주요 시 파지부가 존재할 경우 앵커 체인 파지부 길이 d 및 파주력 H :

$$d = (l_0 + \mu_c z) - \sqrt{(l_0 + \mu_c z)^2 - 2(A - Bz)} \quad (10)$$

$$H = \mu_a w_a + \mu_c \lambda \left[(l_0 + \mu_c z) - \sqrt{(l_0 + \mu_c z)^2 - 2(A - Bz)} \right] \quad (11)$$

$$\text{여기서, } A \equiv (l_0^2 - z^2)/2, \\ B \equiv \mu_a w_a / \lambda.$$

반면, 주요 시 파지부가 존재하지 않는다면 $\theta > 0^\circ$ ($d = 0$)이 된다. 식 (7) - 식 (8)에 $d = 0$ 를 대입하여 연립하면 식 (12)와 같다.

$$H = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{l_0^2 - z^2}{z \sec \theta - l_0 \tan \theta} \right) = \frac{\mu_a w_a}{1 + \mu_a \tan \theta} \quad (12)$$

위 식에 $\sec \theta = \sqrt{\tan^2 \theta + 1}$ 을 적용하여 $\tan \theta$ 에 관한 이차방정식을 풀면 식 (13)과 같이 θ 가 도출된다. θ 를 다시 위 식에 대입하여 풀면 식 (14)와 같이 H 가 도출된다.

- 주요 시 파지부가 존재하지 않을 경우 앵커 체인 각도 θ 및 파주력 H :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-\Pi + \sqrt{\Pi^2 - \Xi \Sigma}}{\Xi} \right) \quad (13)$$

$$H = \frac{\mu_a w_a}{1 + \mu_a \left(\frac{-\Pi + \sqrt{\Pi^2 - \Xi \Sigma}}{\Xi} \right)} \quad (14)$$

$$\text{여기서, } \Xi \equiv (A\mu_a + Bl_0)^2 - B^2 z^2, \\ \Pi \equiv A(A\mu_a + Bl_0), \\ \Sigma \equiv A^2 - B^2 z^2, \\ A \equiv (l_0^2 - z^2)/2, \\ B \equiv \mu_a w_a / \lambda.$$

3. 주요 사례 분석

3.1 주요 상황 개요

일반적으로 체인의 길이가 늘어나면 파지부(체인이 해저면과 닿는 부분)가 발생하여 싱커나 앵커의 수직 항력이 보존되기 때문에 파주력이 유지된다. 따라서 체인의 사출량을 늘리면 체인 자체의 파주력 증대 효과 발생하지만 싱커나 앵커의 파주력을 보존시켜 주는 효과가 크기 때문에 묘박의 안정성이 증대된다. 하지만 체인의 길이를 늘리면 선박의 운동 반경이 커져서 충돌의 위험성도 커지게 된다. 특히 도열 선박의 경우 주변 선박과의 충돌 방지는 물론 정렬을 위해서도 체인의 길이를 늘리는 데에는 한계가 있다.

Table 1은 최근 주요 현상이 발생한 행사 함정들의 싱커 제원 및 주요 사례를 나타낸 것이다. 두 선박 모두 단면적 82 mm, one shot(27 m) 체인을 사용하고 있다. 싱커의 경우 A함은 철 6톤에 콘크리트 15톤으로 총 21톤을 사용하고 있고, B함은 철 10톤에 콘크리트 6톤으로 총 16톤을 사용하고 있다. 두 선박은 순간 풍속 20 kts에서 0 m 주요하였다.

Table 1. 행사 함정들의 싱커 제원 및 주요 사례

선박	체인 제원	싱커 제원	싱커 설치수량	비고
A함	82 mm, 27 m	철 6 t + 콘크리트 15 t	4개	순간풍속 20 kts에 0 m 주요
B함	82 mm, 27 m	철 10 t + 콘크리트 6 t	4개	순간풍속 20 kts에 0 m 주요

3.2 파주 계수 추정

관할부대에서는 행사 종료 후 싱커를 회수하는 과정에서 A함 및 B함 싱커의 파주 계수를 추정하기 위하여 싱커의 인양력을 측정하였다. A함은 30톤의 힘으로 5분 간 인양하였고, B함은 38톤의 힘으로 10분 간 인양하였다. 행사 해역의 저질에서 파주계수를 구하기 위해 다음과 같은 연립방정식을 사용한다.

$$\begin{cases} w_{A,iron}r_{iron}\mu_{iron} + w_{A,con}r_{con}\mu_{con} = H_A \\ w_{B,iron}r_{iron}\mu_{iron} + w_{B,con}r_{con}\mu_{con} = H_B \end{cases} \quad (15)$$

- 여기서, $w_{A,iron}$: A함 철 싱커 중량(6 tonf),
- $w_{A,con}$: A함 콘크리트 싱커 중량(15 tonf),
- $w_{B,iron}$: B함 철 싱커 중량(10 tonf),
- $w_{B,con}$: B함 콘크리트 싱커 중량(6 tonf),
- r_{iron} : 철의 공기 중 중량 대비 수중 중량 (0.873),
- r_{con} : 콘크리트의 공기 중 중량 대비 수중 중량 (0.583),
- μ_{iron} : 철 싱커와 저질 사이의 파주계수 (마찰계수),
- μ_{con} : 콘크리트 싱커와 저질 사이의 파주계수 (마찰계수),
- H_A : A함 싱커의 파주력(30 tonf),
- H_B : B함 싱커의 파주력(38 tonf).

식 (15)에 알려진 상수와 측정한 값을 대입하면 아래 식 (16)과 같이 μ_1, μ_2 에 관한 연립방정식을 얻을 수 있고 쉽게 해가 도출된다.

$$\begin{cases} 5.238\mu_{iron} + 8.750\mu_{con} = 30.0 \\ 8.730\mu_{iron} + 3.500\mu_{con} = 38.0 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{iron} = 3.92, \quad \mu_{con} = 1.08 \quad (17)$$

실험을 통해 파주계수를 추정된 결과 식 (17)과 같이 철 싱커의 파주계수는 $\mu_{iron} = 3.92$, 콘크리트 싱커의 파주계수는 $\mu_{con} = 1.08$ 로 추정되었다. 이는 흔히 알려진 값(철 싱커 3 내외, 콘크리트 싱커 1.5 내외)에 근접하는 수치이다. 다만 수직 인양한 콘크리트 싱커의 파주계수가 1.08 수준(콘크리트 자체 무게 수준)으로 나타난 것으로 보아 콘크리트 싱커가 해저면에 박히지 않고 놓여져 있는 수준이었던 것으로 판단되며, 이는 싱커로서의 역할이 충분하지 않다는 것을 시사한다.

3.3 선박의 파주력·외력 분석을 통한 묘박 안정성 추정

주요가 발생한 A함 및 B함 싱커의 제원을 식 (14)에 대입하면 앵커(싱커)의 파주력을 구할 수 있다. 참고로 A함은 B함보다 규모가 크다. Table 2는 현재 운용 중인 싱커와 대안들에 대한 파주력을 나타낸 것이다.

Table 2. A함과 B함 계류부이의 파주력 계산 결과(현재 수준 및 대안 포함)

구분*		공기 중 싱커 무게 (tonf)		수중 싱커 무게 (tonf)		파주력 (tonf)
		철	콘크리트	철	콘크리트	
현재	A함	6	15	5.24	8.75	14.0
	B함	10	6	8.73	3.50	14.4
대안 1	A함	16	15	14.0	8.75	23.5
	B함	20	6	17.5	3.50	23.9
대안 2	A함	21	15	18.3	8.75	28.2
	B함	25	6	21.8	3.50	28.6
대안 3	A함	20	-	17.5	-	20.7
	B함	16	-	14.0	-	17.0
대안 4	A함	25	-	21.8	-	25.5
	B함	21	-	18.3	-	21.7

*대안 1: A함과 B함에 철 싱커 10 tonf씩 추가; 대안 2: A함과 B함에 철 싱커 15 tonf씩 추가; 대안 3: 콘크리트 싱커 제거, 철 싱커 10 tonf씩 추가 후 A함-B함 간 싱커 교환; 대안 4: 콘크리트 싱커 제거, 철 싱커 15 tonf씩 추가 후 A함-B함 간 싱커 교환 (이때, 철 싱커의 비중과 파주계수는 각각 7.87과 3.92, 콘크리트 싱커의 비중과 파주계수는 각각 2.40과 1.08로 설정)

현재 A함과 B함 모두 콘크리트 싱커와 철 싱커를 병행하여 운용 중인데, 파주력은 14 tonf 내외인 것을 알 수 있다.

대안 1은 철 싱커 10 tonf을 추가하는 것으로 파주력이 9.5 tonf 강화되어 23 tonf 내외의 파주력을 발휘한다. 대안 2는 철 싱커 15 tonf을 추가하는 것으로 파주력이 14.2 tonf 강화되어 28 tonf 내외의 파주력을 발휘한다. 대안 3은 콘크리트 싱커를 제거하고 철 싱커 10 tonf을 추가하되 함의 크기를 고려하여 A함과 B함의 싱커를 교환하는 것이다. 그 결과 현재 대비 A함은 싱커의 질량이 21 tonf에서 20 tonf로 1 tonf 감소했고, B함은 16 tonf으로 동일하다. 하지만 싱커 성분 변화로 인한 파주력 증대 효과는 A함 6.7 tonf, B함 2.6 tonf로 A함의 효과가 두드러진다. 또한 대안 1의 A함과 대안 3의 B함을 비교하면 콘크리트 싱커 15 tonf을 제거한 효과는 파주력 6.5 tonf 감소이다. 한편 대안 1의 B함과 대안 3의 A함을 비교하면 콘크리트 싱커 6 tonf을 제거한 효과는 파주력 3.2 tonf 감소이다. 마지막으로 대안 4는 콘크리트 싱커를 제거하고 철 싱커 15 tonf을 추가하되 A함과 B함의 싱커를 교환하는 것이다. 그 결과 현재 상태 대비 싱커의 성분이 바뀌고 질량은 5 tonf 정도 증가한다. 하지만 싱커의 파주력은 7 tonf – 12 tonf 증대되어 효과가 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 Table 2의 결과만 보더라도 콘크리트 싱커보다는 철 싱커가 훨씬 효율적

임을 확인할 수 있다. 또한 콘크리트 싱커는 밀도가 낮아서 파주력을 발휘하는 데에도 한계가 있지만 부피가 커서 운반 및 보관도 용이하지 않다.

Table 3은 풍압력 공식에 함정의 단면적 제원을 입력하여 20 kts – 40 kts의 풍속에 따른 풍압력을 나타낸 것이다. 풍압력은 바람에 의해서 발생하는 힘으로 풍속의 제곱에 비례하는 힘이 작용한다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 A함과 B함은 20 kts에서 주요하였는데 풍압력은 각각 21.2 tonf, 16.3 tonf로 계산된다. 또한 30 kts에서는 47.6 tonf와 36.6 tonf의 풍압력이 작용하는데, 이는 행사 진행이 가능한 최악의 상황일 것으로 보여진다. 35 kts 이상에서는 사실상 행사를 강행하기 힘들며, 함정의 도열이 불가능하다.

Table 3. 풍속에 따른 A함과 B함에 작용하는 풍압력

풍속 (kts)	A함		B함	
	측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력* (tonf)	측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력* (tonf)
20	21.2	4.2	16.3	3.3
25	33.1	6.6	25.4	5.1
30	47.6	9.5	36.6	7.3
35	64.8	13.0	49.8	10.0
40	84.7	16.9	65.0	13.0

*후면 풍압력은 함형을 고려하여 측면 풍압력의 20%를 적용함.

Table 4. A함과 B함 계류부위의 파주력 계산 결과(현재 수준 및 대안 포함)

구분		공기 중 싱커 무게 (tonf)		평면도 기준 체인-현측 사이각(°)							
		철	콘크리트	30		45		60		75	
				측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력 (tonf)	측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력 (tonf)	측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력 (tonf)	측면 풍압력 (tonf)	후면 풍압력 (tonf)
현재	A함	6	15	14.0	24.2	19.7	19.7	24.2	14.0	27.0	7.2
	B함	10	6	14.4	25.0	20.4	20.4	25.0	14.4	27.8	7.5
대안 1	A함	16	15	23.5	40.6	33.2	33.2	40.6	23.5	45.3	12.1
	B함	20	6	23.9	41.4	33.8	33.8	41.4	23.9	46.2	12.4
대안 2	A함	21	15	28.2	48.8	39.9	39.9	48.8	28.2	54.5	14.6
	B함	25	6	28.6	49.6	40.5	40.5	49.6	28.6	55.3	14.8
대안 3	A함	20	-	20.7	35.9	29.3	29.3	35.9	20.7	40.1	10.7
	B함	16	-	17.0	29.4	24.0	24.0	29.4	17.0	32.7	8.8
대안 4	A함	25	-	25.5	44.1	36.0	36.0	44.1	25.5	49.2	13.2
	B함	21	-	21.7	37.6	30.7	30.7	37.6	21.7	41.9	11.2

이때, 철 싱커의 비중과 파주계수는 각각 7.87과 3.92, 콘크리트 싱커의 비중과 파주계수는 각각 2.40과 1.08로 설정

계류부이에 싱커를 연결하여 고정하고, 행사 당일 계류부이를 함정과 연결하여 묘박을 시행하게 된다. 이때 계류부이는 함정의 전방 좌·우측과 후방 좌·우측에 연결되는데, 연결 각도에 따라 합산 파주력이 달라 나타난다. Table 4는 평면도 상에서 현측과 체인의 사이각이 30°, 45°, 60°, 75°일 때 합산 파주력을 나타낸 것이다. Table 2에서 나타낸 계류부이 1개의 파주력에 $2 \sin \theta$ 를 곱하면 측면 합산 파주력이 도출되고, $2 \cos \theta$ 를 곱하면 후면 합산 파주력이 도출된다. 표에서 확인할 수 있듯이 계류부이의 배치에 따라 파주력이 크게 차이 나는 것을 알 수 있다. 30 kts의 돌풍에 대한 묘박 안정성은 대안 2가 60°, 75°에서, 대안 4가 75°에서 나타난다. 앞서 설명하였듯이 철 싱커의 묘박 효과가 뛰어나고 보관 및 이동이 용이하기 때문에 대안 4가 효과적인 것으로 판단된다. 한편 20 kts에서 A함과 B함에 작용하는 풍압력은 계류부이의 배치를 60°나 75°로 했다면 주요하지 않았을 수 있다는 이론적인 계산값도 확인할 수 있다. 이와 같은 관점에서 A함과 B함이 20 kts에서 ○○ m 주요 후 멈춘 것은 돌풍이 잦아들었기 때문이라기보다는 횡방향 주요 과정에서 현측과 계류부이 간 각도가 점점 커지면서 합산 파주력이 증가하였기 때문이라는 설명이 보다 설득력을 가진다.

결론

본 연구는 수리물리학적 전개를 바탕으로 싱커의 파주력을 도출하고, 주요 사례를 분석하여 묘박 안정성을 판단하였으며, 부가적으로 인양력 측정을 통해 파주계수를 추정하였다. 수심을 알고 있다면 앵커(싱커)의 무게와 체인의 제원만 가지고도 파주력은 물론 주요 시 해저면과 체인 사이각 및 파지부의 길이도 추정할 수 있었다(식 (10), 식 (11), 식 (13), 식 (14) 참조). 또한 두 차례 인양력 측정을 통해 연립방정식을 풀어서 철 싱커와 콘크리트 싱커의 파주계수를 각각 3.92, 1.08로 도출하였다(식 (15) - 식 (17) 참조). 도출한 파주계수와 싱커의 제원을 파주력 식에 대입하여 계류부이의 파주력을 산출할 수 있었다(Table 2 참조). 또한 공식을 이용하여 외력 중 가장 중요한 영향을 미치는 풍압력을 계산하였다(Table 3 참조). 그리고 이를 바탕으로 계류부이의 배치에 따른 합산 파주력과 풍압력을 비교하여 묘박의 안정성을 판단하

였다(Table 4 참조).

본 연구를 통해 판단한 결과 20 kts에서는 현 제원에서 부이의 배치를 현측 방향 기준으로 60° 이상의 각도를 유지한다면 묘박 안정성을 나타내는 것을 확인하였다. 그러나 풍속의 제곱에 비례하는 풍압력의 특성상 30 kts에서도 묘박 안정성을 피하기 위해서는 철 싱커 15 tonf 정도의 대폭적인 보강이 필요한 것으로 판단되었다. 이때 콘크리트 싱커는 밀도가 낮아 수중 중량이 절반 수준으로 줄어들고 저질에 파묻히는 부분이 적어 파주계수가 낮게 나타난다. 따라서 파주력도 작게 나타난다. 그리고 부피가 커서 보관 및 이동이 용이하지 않다. 따라서 장기적인 관점에서 보관 비용 및 이동에 필요한 노동 비용을 감안했을 때 콘크리트 싱커는 장차 철 싱커로의 교체가 권고된다. 마지막으로, 계류부이의 배치에 따라 파주력이 크게 달라지는데, 함정의 특성상 측면이 후면에 비해 5배 이상 크기 때문에 측면 파주력이 견디기 쉬운 각도로(현측과의 각도를 수직에 가깝도록) 배치할 필요가 있겠다.

참고문헌

- [1] Lim, Bong-Taek; Ko, Jae-Woo; Kim, Byoung-Suk. A Study on Theoretical Consideration to the Holding Power and Holding Power Coefficient of War Ship Anchor. *Journal of Navigation and Port Research*, 2015, 39.1: 1-6.
- [2] Kim, M.-S.; Ahn, J.-Y.; Lee, C.-H. Evaluation of Holding Power by Tension Meter for Anchoring, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 2019, 99, 682-692.
- [3] Sato, H. A Study on the Holding Capacity of Anchor. *Journal of the School of Marine Science and Technology*, 2005, Tokai University, 3(3), 31-39.
- [4] Jung, C.-H.; Kong, G.-Y. A Study on the Development of Anchoring Manual for T.S. HANBADA, *J. Kor. Soc. Marine Env. Safety*, 15(1), 2009, 49-55.
- [5] Lee, Y.-S.; Jung, Y.-C.; Kim, S.-W.; Yun, J.-H.; Bae, S.-H.; Guyen, P. A Study on the Limit of Anchor Dragging for Ship at Anchor(I), *J. Navig. Port Res.* 2005, 29, 357-363.
- [6] Jung, C.-H.; Kong, G.-Y.; Bae, B.-D.; Y.-S. Lee. Analysis on the Pattern of Dragging Anchor in Actual Ship, *J. Navig. Port Res.* 2009, 33, 505-511.
- [7] Jung, C.-H.; Lee, Y.-S.; Kim, J.-S.; Kong, G.-Y. A Study on the Holding Power Coefficient of AC-14 type and ASS Type Anchor in Actual Ships, *J. Navig. Port Res.* 2011, 35, 613-618.
- [8] Jung, C.-H.; Kong, G.-Y. A Study for the Evaluation of the Force by the Wind on the Ship at Anchoring, *Korean Soc.*

Mar. Environ. Saf. 2009, 15, 223–228.

[9] Moharrami, Mohammad Javad; Shiri, Hodjat. Reliability Assessment of Drag Embedment Anchors in Clay for Catenary Mooring Systems. *Marine Structures*, 2018, 58: 342–360.

[10] Yoon, The Theory and Executive Ability of Ship Control, Sejong Publisher, 2014, 1–15.