



묘박 중 장력계에 의한 파주력 평가

김민선 · 안장영* · 이창헌†

군산대학교(교수) · **제주대학교(교수)

Evaluation of Holding Power by Tension Meter for Anchoring

Min-son KIM · Jang-Young AHN* · Chang-Heon LEE†

Kunsan National University(professor) · **Jeju National University(professor)

Abstract

To keep the safety of the ship, mariners had to pay attention to whether dragging anchor phenomenon started, it was difficult to recover the ship's state and it caused collision with other ships and grounding accident. In this paper, the method of predicting the dragging anchor phenomenon was described and the effectiveness of the system was indicated with experimental results.

It is thought that there is a case where vessel anchored in anchorage area of Jeju outer harbor does not maintain heading course for the same wind direction because of current. Therefore, it was found that the vessel to be anchored should anchor with considering the intensity of the tidal current and its direction.

With the tension meter, the length of the catenary-line depending on horizontal force was described by the existing equation, in addition, it enabled the movement of catenary-line to be explained in the water. As a result, the anchor tension was more affected by the wind than by the tides and it seemed that the tension meter was a way of predicting dragging anchor at anchor. Therefore, when it is installed on the windlass of the ship in the future, It is thought that it will help prevent the accident.

Key words : Dragging anchor, Holding power, Catenary-line, Tension meter

93

I. 서론

앵커(Anchor)는 선박에 없어서는 안 될 가장 중요한 의장품 중 하나로, 앵커를 해저에 떨어뜨리면 앵커는 해저바닥을 파고 들어가 바닥으로부터 떨어지지 않으려는 힘이 발생하는데 이것을 파주력(holding power)이라 하며, 이때 이 파주력을 수중에서의 앵커 무게의 배수로 표시한 값을 파주계수(holding power coefficient)라고 한다.

파주력은 앵커가 주묘(dragging anchor) 직전의 저항력이라고 말 할 수 있으며, 그 힘을 측정하는 것이 매우 어렵다. 대부분 앵커의 파주력을 구하는 경우는 실제 해저에 앵커를 끌어서 파주 저항을 측정하여 개략적인 값을 구하는 것이 보통이다(Sato, 2005).

가장 효과적인 파주력을 얻기 위한 연구방법은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 모형실험에 의한 파주성능에 관한 연구, 둘째는 앵커가 실험해역에 해저지반에서 일어나는 연구, 그리고 셋째는 실험 앵커의 개발에 관한 연구 등으로 나눌

† Corresponding author : 064-754-3491, leech@jejunu.ac.kr

* 이 논문은 2018학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음

수 있다. 특히, 최근에 Liu et al.(2012)은 저질에서 앵커의 이동에 대해 모형실험을 통해 파주력 운동방정식을 도출하였으며, O'Neill and Randolph(2003)는 저질과 앵커 Fluke의 열린 각도에 따라 파주력 변화를 주로 모형실험을 통해 고찰하였다. Jung et al.(2011)은 주묘사례를 통해 AC-14형과 ASS형 앵커의 파주계수를 비교·검토하여 묘박지 선정과 규모에 대한 표준화 작업이 필요한 것을 언급하고 있었고, Lim et al.(2015)은 뱀, 모래, 자갈 및 암반 등 다양한 저질에서 실험한 결과, 이전에 주로 사용한 ASS형 보다 AC-14형이 2~3배 이상의 파주력을 보고하고 있다. 그 밖에 Lee(2014)은 묘박지(Anchorage)에서 외력에 의한 파주력을 계산하고, 안전성 평가에 대한 연구를 하였으며 Lee and Lee(2014)는 앵커에인수조 및 모형실험을 통해 파주운동과 파주력 특성에 관한 연구, 특히 Jung et al.(1996)은 수산시설물의 안정성 및 기능성을 제고를 위한 적정 계류시스템의 설계 및 배치를 위한 기초적인 연구를 위해 파주력 산정 개념을 정리하였고 Shoji(1975)는 장력과 현수곡선의 관계를 이론적으로 분석하였다.

또한, Moharrami and Shiri(2018)는 현수곡선을 통해 앵커 파주력에 대한 신뢰성 평가, Okazaki and Hirai(2011)는 운항자를 위해 선교에서 주묘 예상 시스템의 개발 등을 연구하였으며, 그리고 최근에는 Ren et al.(2016)는 예비묘에 대한 모형 실험에서 저질인 모래에서 앵커가 파주력을 가질 때를 3단계로 나누어 형상을 연구하였다.

일반적으로 앵커의 크기는 선박설비규정에서 의장수(Equipment number : EN)에 의해 앵커 및 체인의 크기, 굵기를 결정하는 것이 조선(造船)측면에서 결정되었다. 반면에 운항자 측면에서는 실제 운항하는 입장에 늘 안전을 우선적으로 하기 때문에 될 수 있는 한 앵커의 크기 및 굵기를 높이려고 하는 서로 상반된 의견을 제시하고 있는 것이 조선자와 운항자의 관계이다. 선박에서는 항상 주묘로 인한 사고 및 개연성이 존재하고 있는데, 주묘를 확인하는 방법은 크게 두 가지를

생각할 수 있다. 즉, 레이더에 의해 방위, 거리를 이용하는 방법과 GPS 및 DGPS에 의해 투묘지점을 확인한 후, 선체길이와 앵커체인(anchor chain)의 신출량을 합한 거리를 반경으로 한 투묘지점을 중심으로 외력의 영향에 의해 누운 8(∞)자 형태로 선박은 늘 움직이는데, 이 때 반경을 벗어날 경우 주묘하고 있다고 판단하는 것이 일반적이다.

묘박 중 당직자가 주묘를 인지하였을 때는 파주력의 부족여부에 따라 앵커체인을 더 신출하던가 아니면 기관을 준비하여 재투묘를 하게 된다.

선박의 입항 및 출항에 관한 법률(선박입·출항법)에 의해 정하여진 묘박지에서 묘박을 할 경우, 정박선들이 많을 뿐만 아니라, 그들 선박간의 거리가 여유가 크게 있는 것은 아니기 때문에 묘박지에서 기상악화로 인하여 주묘할 경우 선박간의 충돌발생 우려가 있기 때문에 재투묘를 하지 않으면 안 된다. 재투묘할 경우가 발생하면 선박 이동을 위해 기관준비 및 앵커를 감아 들이는 시간이 최소한 30분 정도 소요되고 있어서 주묘로 인한 묘박지에서 타 선박 간의 해양사고가 빈번히 일어나고 있는 것이 현재의 실정이다.

본 연구에서는 파주력과 외력을 비교하여 사전에 주묘로 인한 해양사고를 감소시키기 위한 기초자료를 제공할 목적으로 조사선 제라호에 장력계, 수심계 등을 장착하여 GPS에 의한 실시간 선체의 움직임을 관찰하고 이를 저장·분석하였다. 지금까지는 본선에서 개략적으로 파주력을 알 수 있으나, 외력의 영향이 어느 정도 미치고 있는지는 잘 모르고 있다.

본 연구에서는 GPS에 의한 주묘 판단보다는 외력에 의한 장력을 먼저 알게 되면 기관 준비 및 앵커체인의 신출 여부를 판단하여 해양사고 예방에 도움이 될 뿐만 아니라 선박 건조 시 Windlass에 장력계의 설치여부에 대한 타당성을 제시하는 데도 그 목적을 두고 있다.

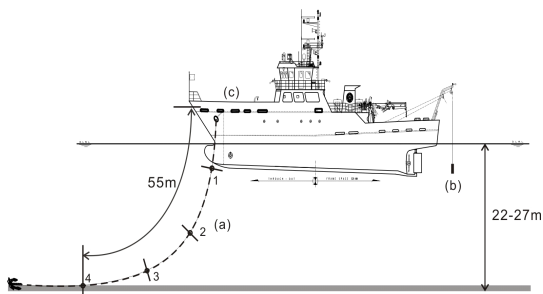
II. 재료 및 방법

<Table 1>은 실험선의 제원을 나타낸 것으로 실험선은 제주대학교에서 관리하고 있는 연구조사선 제라호이며 앵커 type 및 공기 중의 무게는 각각 ASS형, 550kg, 앵커체인(135mm, 82mm, Φ 23mm) 1 샤클의 공기 중에 무게는 300kg, 1 샤클의 길이는 27.5m, 의장수는 177.85이다

<Table 1> Principal particulars of the experimental vessel

Items	Dimensions
Loa (m)	34.0
Breath (m)	7.5
Draft (m)	3.2
Displacement(ton)	378.92
Anchor type & weight (kg)	ASS, 550
Chain cable (kg/m)	10.901
Transverse projected area (m ²)	93.77
Lateral projected area (m ²)	387
Equipment Number (EN)	177.85

[Fig. 1]은 묘쇄를 5샤클 신출한 후, 실험선에 설치한 수심계 (a), 조류계(b), 장력계 (c)위치를 각각 나타낸 것이다.



[Fig. 1] Arrangements used for holding power

[Fig. 2]는 설치된 장비를 각각 나타낸 것으로 (a)는 수심계 (DEFI2-D10, JFE-ADVANTECH Co.,LTD)로 4개의 수심계를 갑판 상에서부터

12.5m~15m 간격으로 설치하여 매 초마다 수심이 기록되도록 하였다. (b)는 조류계 (AEM-USB, JFE-ADVANTECH Co., Ltd.)로 선미에 설치하였으며, 유속측정 범위는 $0 \sim \pm 500 \text{cm/s}$ 로서 설치 후 1초 간격으로 측정·저장하여 Data를 분석하였다. (c)는 앵커체인 끝 Windlass쪽에 취부된 장력계 (TM-10, CAS)를 나타낸 것으로 현장에서 장력을 읽은 것이 아니고 Bluetooth를 통해 실시간으로 이를 매 초마다 저장하였으며, 부착된 장력계의 사용범위는 최소 200kg에서 최대 10,000kg까지 측정할 수 있다.



(a) (b) (c)

[Fig. 2] Instrument used for holding power

(a) depth meter (b) current meter

(c) tension meter

<Table 2>에 2018년 5월28일 17시00분부터 5월 29일 08시00분까지 투묘한 위치 및 수심을 나타 내었다.

<Table 2> Anchoring position and average depth in anchorage

Items	Conditions
Date	2018 5.28~5.29
Anchor position	33°32.0394'N 126°31.8839'E
Sounding depth	22~27m
Drop anchor	Start time
	Finish time
	17:00
	08:00

묘박 중에 선박이 신출하는 묘쇄는 묘공에서 해저에 달하는 현수부와 해저에 횡으로 이르는 파주부까지이고 파주력은 앵커 및 신출된 앵커

체인이 해저에 횡으로 이루는 부분에 의해서 형성되며, 그 힘은 (1)식에 의해서 계산할 수 있다 (Yoon, 2002).

$$P = w_a \times \lambda_a + w_c \times \lambda_c \times l \dots\dots\dots (1)$$

w_a : 앵커의 수중 무게

λ_a : 앵커의 파주계수

w_c : 앵커체인 단위길이당 무게

λ_c : 앵커 체인 파주계수

l : 해저 바닥에 뻗어 있는 앵커체인 샤클 길이

앵커의 파주상태를 고려하는 경우에는 앵커체인의 효과를 포함하여 고려하지 않으면 안된다. 앵커를 투묘하였을 때, 앵커 체인은 외력에 대해서 충분히 뻗치게 되면 앵커체인이 해저에 접하는 부분은 수평으로 되고, 체인의 일부분인 현수곡선 (catenary curve)의 길이는 일반적으로 (2)식에 의해서 얻을 수 있다.

$$s = \sqrt{y^2 + 2\left(\frac{T_x}{w_c}\right) \cdot y} \dots\dots\dots (2)$$

s : 현수곡선 길이

y : 해저에서 벨마우스까지의 높이

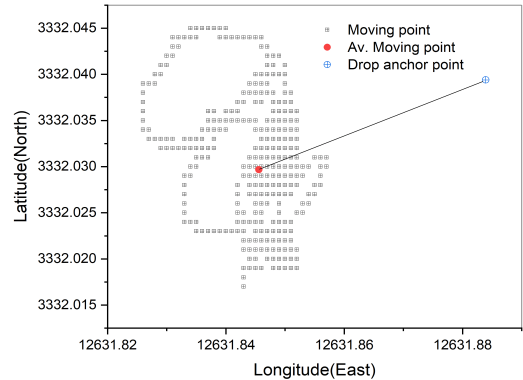
T_x : 수평방향의 묘쇄장력

w_c : 묘쇄의 수중무게 (비중 7.8)

III. 결과 및 고찰

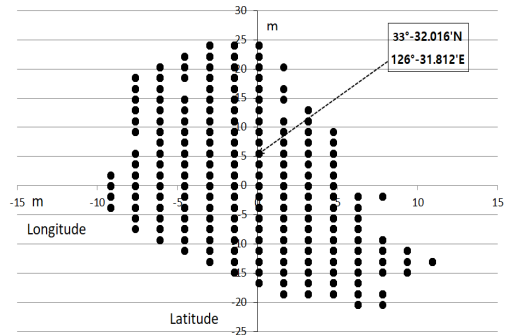
모박 중 장력계에 의한 파주력 평가 시험은 투묘 지점 33°32.039'N, 126°31.880'E에서 2018년 5월 28일 17:00~20:00시(1차), 5월29일 01:00~04:00(2차), 04:00~07:00시(3차)까지 약 3시간씩 각각 나누어 실시하였다.

[Fig. 3]는 5월 29일 01:00~04:00 (2차)까지 GPS에 의한 위치 자료를 이용하여 선박의 이동을 나타낸 것으로 투묘 후 평균위치 33°32.029'N, 126°31.846'E 기점으로 누운 ∞형태로 선박이 움직이는 것을 볼 수 있었으며, 1, 3차때도 각각의 평균위치 33°32.016'N, 126°31.810'E와 33°32.029'N,



[Fig. 3] Image of vessel during anchor at Jeju anchorage when No. 2 time

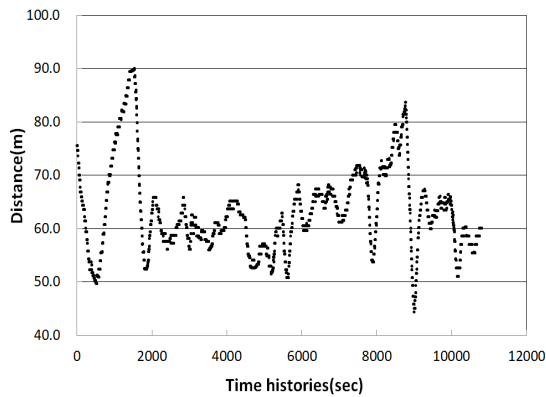
126°31.830'E를 기점으로 2차 때와 비슷한 모양으로 그리면서 이동하는 모습을 보였다. [Fig. 4]는 1차 때의 평균위치 중심으로 경·위도 방향으로 선체가 움직인 거리를 나타낸 것이다. 각각 위도 상·하 방향으로 최대 14.7m, 20.4m, 경도 좌·우 방향으로 최대 9.2m, 10.9m 범위로 2, 3차에서는 상·하 방향 최대 28.4m, 23.5m, 32.5m, 43.2m 및 좌·우 방향 최대 30.3m, 51.7m, 17.6m, 39.0m 이동한 것을 알 수 있었다.



[Fig. 4] Distances of movement from average position during anchor at anchorage when No. 1 time

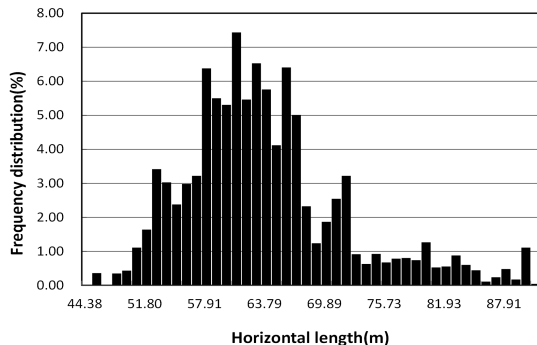
[Fig. 5]는 2차 때의 GPS 위치 자료를 이용하여 투묘지점에서 선교까지 매 초마다 수평거리를

나타낸 것으로 최대 90.0m, 최소 44.4m, 유의 평균 (Average significant $H_{1/3}$)은 72.2m로 각각 보였으며 3차 때는 1차 때와 거의 변화가 없었지만 1차 때는 최대 129.3m, 최소 111.8m, 유의 평균 (Average significant)은 119.8m로 선교에서 많이 떨어져 있었다.



[Fig. 5] Horizontal distance per one second from bridge to drop anchor point

[Fig. 6]은 3차 때의 투묘 중 선교에서 투묘지점까지의 수평거리의 도수 분포를 1m 간격으로 나타낸 것이다. 최대분포는 수평거리 60m에서 7.46%, 1, 2차에서는 120m 14.37%, 60m 7.43% 각각 보였다.

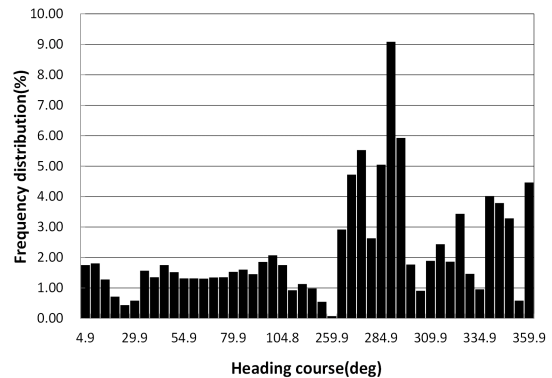


[Fig. 6] Frequency distribution of horizontal length from drop anchor point

투묘 지점에서 실험선의 이동 및 그 거리를 정

리하여 보면 누운 8자 형태로 움직인 것은 외력에 의해서 영향을 받고 있는 것으로 판단되며, 투묘 후 수평거리 폭은 120m 및 60m로 거의 안정적으로 외력에 의해서 움직이는 것을 볼 수 있었다. 투묘한 앵커체인은 5 샤클 138.5m, 선수 양묘기에서 선교까지가 9.8m로 합한 길이가 148.3m이므로 1차 때의 최대 수평거리가 129.3m이었으므로 GPS에 의한 위치분석에서는 주묘하지 않았음을 알 수 있었다.

[Fig. 7]은 투묘 중 3차 때의 선수방위를 5°간격으로 한 도수 분포도를 나타낸 것이다. 선수방위가 285°~290°에서 9.08%로 가장 높은 분포를 보였으며 시계열분석에 선수방위는 전 방위로 보였지만 이때의 평균 선수방위는 223.6°이고 1 및 2차 때 결과는 80°~85°에서 8.6%, 77.6° 및 205°~210°에서 8.06%, 234.3°이므로 2차 때와는 거의 동일한 선수방위를 유지했지만 1차 때와는 많은 차이가 있었다.



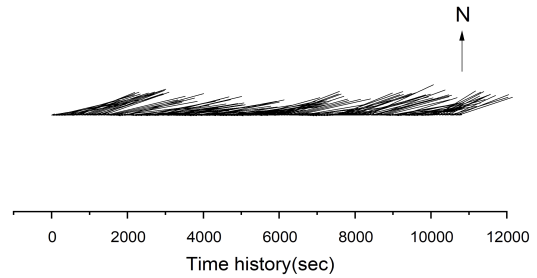
[Fig. 7] Frequency of heading course from drop anchor point during 3hrs(04:00~07:00)

<Table 3>은 2차 때의 선수방위에 대한 5°계급 간격의 도수분포 값을 나타낸 것으로 205°~210°에서 최대 선수방위 분포는 약 8.1%, 최저는 335°~360°, 0.1%이었다. 1 및 3차 때는 최대는 80°~85°, 8.6% 최저는 34.9°이하에서는 1.0% 및 최대는 285°~290°, 9.1%, 최저는 350°~355° 각각 보였다.

<Table 3> Result of frequency distribution of heading course during 3hrs (01:00~04:00)

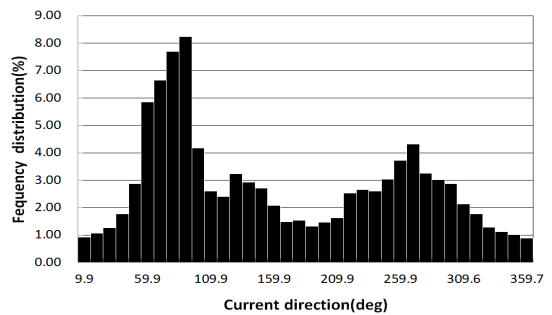
No.	Rank(°)	Frequency	Percent(%)
1	~ 179.9°	80	0.74
2	179.9°~184.9°	125	1.16
3	184.9°~189.9°	735	6.81
4	189.9°~194.9°	673	6.23
5	194.9°~199.9°	788	7.30
6	199.9°~204.9°	866	8.02
7	204.9°~209.9°	871	8.06
8	209.9°~214.9°	262	2.43
9	214.9°~219.9°	187	1.73
10	219.9°~224.9°	173	1.60
11	224.9°~229.9°	394	3.65
12	229.9°~234.9°	323	2.99
13	234.9°~239.9°	669	6.19
14	239.9°~244.9°	752	6.96
15	244.9°~249.9°	720	6.67
16	249.9°~254.9°	162	1.50
17	254.9°~259.9°	323	2.99
18	259.9°~264.9°	684	6.33
19	264.9°~269.9°	396	3.67
20	269.9°~274.9°	182	1.69
21	274.9°~279.9°	156	1.44
22	279.9°~284.9°	120	1.11
23	284.9°~289.9°	163	1.51
24	289.9°~294.9°	106	0.98
25	294.9°~299.9°	101	0.94
26	299.9°~304.9°	101	0.94
27	304.9°~309.9°	82	0.76
28	309.9°~314.9°	46	0.43
29	314.9°~319.9°	147	1.36
30	319.9°~324.9°	79	0.73
31	324.9°~329.9°	58	0.54
32	329.9°~334.9°	266	2.46
33	334.9°~335.2°	10	0.09
		10800	100

[Fig. 8]은 2차 때의 풍향에 대한 시계열을 나타낸 것으로 그 범위는 54.9°~101°로 변화폭은 약 46°이었고 주 풍향은 85°~90°로 26%, 그리고 1 및 3차인 경우의 범위, 폭 및 주 풍향은 320°~151°, 195° 및 80°~90°에서 46.2%, 36°~344°, 308° 및 70°~75°에서 20%를 각각 보였다.



[Fig. 8] Time histories of variations wind direction for anchoring at anchorage for during 3hrs(01:00~04:00)

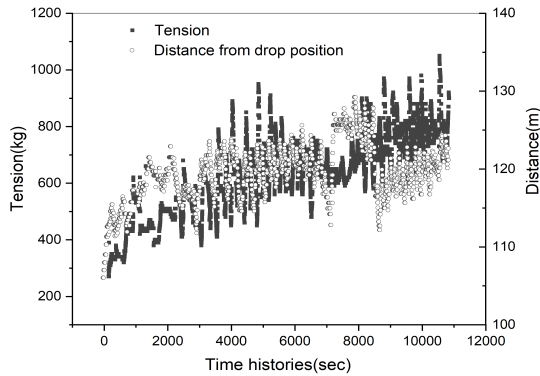
[Fig. 9]는 1차 때의 조류계에 의해서 매 초마다 흐름의 방향을 10°간격으로 한 분포도를 나타낸 것으로 주 흐름의 방향은 80°~90°에서 가장 높게 8.2%였고, 평균 및 유의 평균은 각각 159.5°, 276.9°으로 나타났다. 2차 및 3차 때는 주 흐름방향은 1차 때처럼 비슷한 분포를 보였고 주 흐름방향은 255°~260°, 15.3% 및 265°~265°, 4.9%으로 나타나 20시 이후부터는 그 방향으로 점차적으로 시계방향으로 변화하는 것으로 알 수 있었다.



[Fig. 9] Frequency distribution of current direction during 3hrs(01:00~04:00) for anchoring

선수방위에 영향을 주고 있는 외력인 풍향 및 유향 결과에서 선수방위는 일정한 방향에서 있지 않고 변화 폭이 108°보인 것은 외력의 변화에 의해서 움직이고 있는 것을 알 수 있었다. 풍향과 유향의 분포와 선수방위의 관계에서 3 차례에 걸

쳐 주 방향은 80°~85°에서 가장 많이 분포하고 풍향과 유향의 변화에서는 80°~90°, 46.2%, 255°~260°, 15.3%에서 가장 높은 비율을 각각 보여 선수 방위에 영향을 미치는 것은 유향 쪽보다 풍향 쪽인 것을 알 수 있었다.

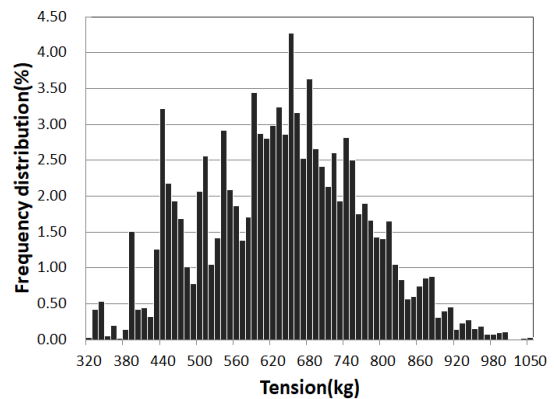


[Fig. 10] Time histories of variations of tension in anchor chain for anchoring at anchorage when No. 1 time

[Fig. 10]은 1차 때 투묘 중 매 초단위로 장력계에 의해 앵커체인에 미치는 장력변화를 나타낸 것으로 5사클 투묘 후 묘쇄가 완전히 신출될 때까지 거의 묘쇄 무게만으로 추정되는 장력에서부터 시간이 지나면서 앵커가 완전히 전개된 후, 설치한 장력계를 통하여 일정한 장력을 나타내고 있다. 이때 최고, 최저장력은 1,050kg과 320kg이었으며, 평균 및 유의 평균값은 635.2kg과 778.2kg 또한 2차, 3차 때의 최고, 최저장력은 2,130kg과 270kg, 680kg과 300kg, 2, 3차 때의 평균, 유의 평균은 594.2kg과 705.7kg, 468.7kg과 574.5kg으로 보여, 장력계를 이용하여 앵커에 걸려있는 장력을 측정하는 것은 가능한 것으로 판

단되었다.

[Fig. 11]은 1차 때의 앵커체인에 미치는 장력을 10kg 간격으로 한 도수 분포도를 나타낸 것이다. 주 장력 분포는 650kg로 그 비율은 4.3%였고 반면에 2, 3차 때는 570kg, 18%, 630kg, 14.2%으로 보였다.

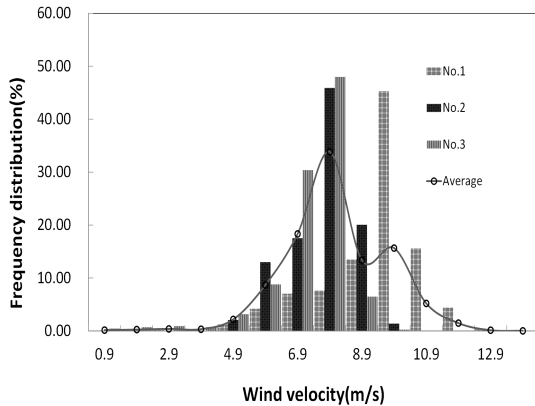


[Fig. 11] Frequency of tension for the attached anchor chain

[Fig. 12]는 1, 2, 3차 때의 풍속에 대한 분포도를 나타낸 것으로 주 풍속은 8.9~9.9m/s, 6.9~7.9m/s, 6.9~7.9m/s이고 차지하는 비율들은 45.3%, 45.9%, 48.0% 그리고 세 차례에 걸쳐 평균 풍속은 6.9~7.9m/s으로 나타났고 최대 풍속 13.5m/s 이상 일어날 경우는 0.02%이하였다. 2차 때의 풍속은 서로 비슷하게 나타나고 있었으나, 2차때의 최고 장력은 2,130kg을 나타내고 있어, 측정기기의 예러 원인보다는, 정박지 저질에 의한 원인으로 추정되므로 이와 관련하여 추후 세심한 원인 분석이 요구되었다.

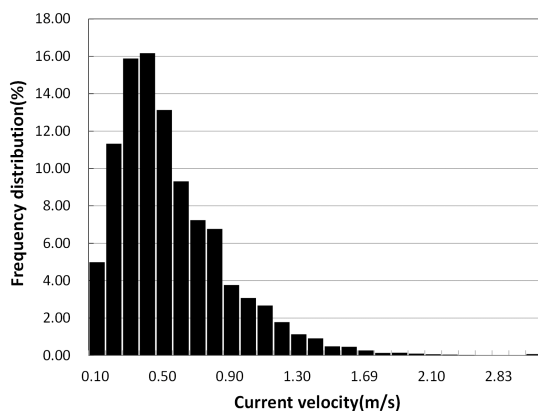
<Table 4> Results of analysis for relations holding power(ton) between wind and current of velocity(m/s)

Descriptions	Wind velocity(m/s)	Current velocity(m/s)
No. 1	$y = -4.8752x + 20.794 \quad R^2 : 0.0179$	$y = -4.5991x + 20.11.815 \quad R^2 : 0.1183$
No. 2	$y = -5.8135x + 21.348 \quad R^2 : 0.0530$	$y = 0.8651x - 1.5926 \quad R^2 : 0.0097$
No. 3	$y = -3.6493x + 15.803 \quad R^2 : 0.0109$	$y = -3.0068x + 7.9467 \quad R^2 : 0.0638$



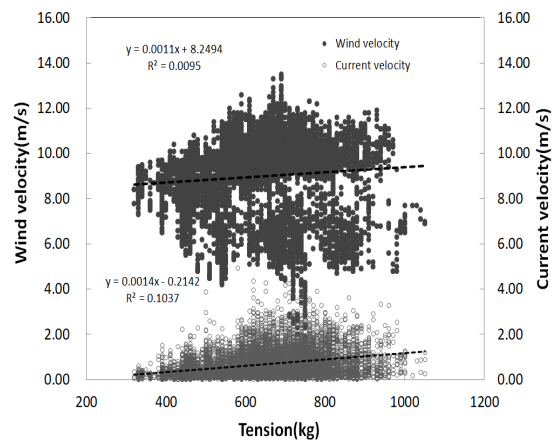
[Fig. 12] Results frequencies of wind velocities for No. 1, No. 2 and No. 3 time in the anchorage

투묘 중 3차 때의 유속에 대한 도수 분포도를 [Fig. 13]에 나타내었는데, 주 유속은 0.3~0.4m/s로 차지하는 비율은 16.2%이었으며 평균 및 유의 평균 유속은 각각 0.49m/s, 0.89m/s였다. 또한 1차 때는 평균 및 유의 평균 이 각각 0.67m/s 및 1.3m/s로 보였다. 그리고 분포도에서 주 유속은 0.2~0.3m/s에서 가장 높은 분포 16.3%를 보였고, 2차 때의 평균 및 유의 평균 유속은 0.51m/s, 0.88m/s, 주 흐름의 속력은 0.4~0.5m/s에서 20.5%였다.



[Fig. 13] Frequency distribution of current direction during 3hrs(04:00~07:00) for anchoring

[Fig. 14]는 1차 때의 장력과 풍속 및 유속의 관계를 나타낸 것으로 장력에 미치는 상관결정계수를 비교하며 보면 풍속은 0.0095, 유속은 0.1037이고 2차 때인 경우의 풍속과 유속의 경우 각각 0.0376, 역 상관의 0.0068이었고 3차 때의 상관결정계수는 각각 0.0143, 0.065으로 나타났다.

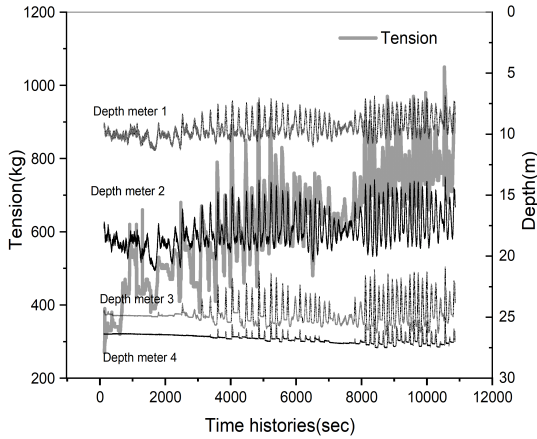


[Fig. 14] Relations of the tensions between velocity of current and wind

이상의 결과에서는 3차례에 걸쳐 주 장력의 분포는 616.7kg이었고 이에 미치는 풍속 및 유속은 각각 7.56~8.56m/s, 0.27~0.37m/s이고 차지하는 비율은 46.4%, 17.6%이므로 만약 앵커의 장력이 외력인 풍속 및 유속만이 장력에 영향을 받는다고 하면 각각 72.5%, 27.5%가 미친다는 것을 알 수 있었다.

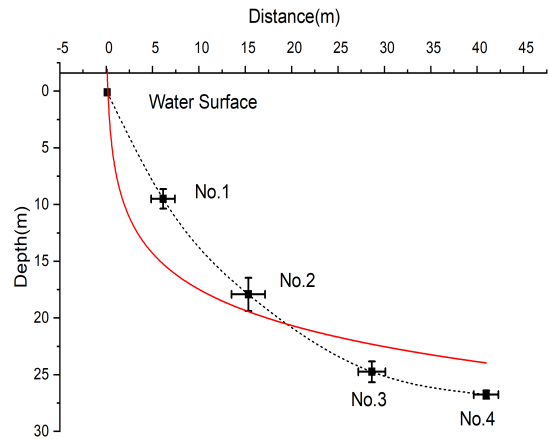
상관관계에서는 2차 때의 유속을 제외하고는 거의 장력과 비례관계를 보였다. 이는 제주 외항의 묘박지에서 정박하는 선박들이, 선수방위가 풍향과 동일하게 유지되는 것이 아니고 조류에 의해 그 방위가 틀릴 경우가 있을 것으로 생각되어 묘박하려는 선박은 조류 세기 및 그 방향을 고려하면서 투묘하는 것이 필요하다고 판단된다.

[Fig. 15]은 1차 때의 투묘 중 앵커체인에 장착된 4개 수심계에 의한 각각의 수심을 나타낸 것으로 1, 2, 3, 4 depth meter는 최상층 갑판에서



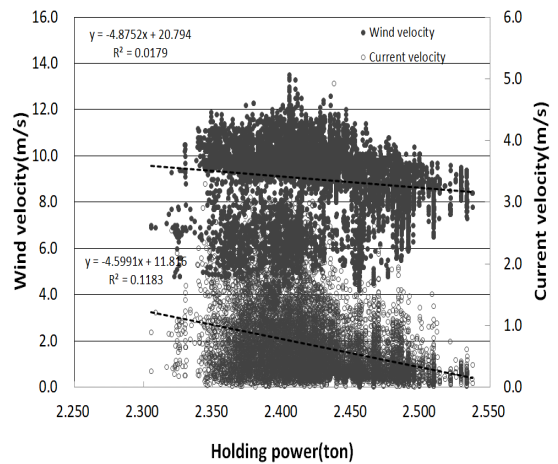
[Fig. 15] Time histories of variations of depth by each depth meter and tension for anchoring at anchorage

15m, 12.5m, 15m, 12.5m 간격으로 55m까지 설치하여 매 초마다 나타내었다. 최하에 설치한 수심계의 경우, 장력계의 값이 약 400kg 이상이 되면 움직임이 나타나고 있었는데, (1)식과 (2)식을 이용할 경우, 현수곡선의 길이는 약 57m 내외를 나타내고 있어, 4번 수심계의 설치 위치 55m와 일치하고 있었고 이때 파주력은 약 1.56ton으로 판단되었다. 1차때의 최대 장력 1,050kg을 대입하면 현수곡선의 길이는 약 86m, 해저 부분의 뺄린 묘쇄가 줄어든만큼 파주력은 1.35ton을 나타낼 것으로 예상되며, 파주력 계산을 위한 수평방향의 묘쇄장력 측정에 장력계를 이용한다면, 보다 정확하고, 활용이 편할 것으로 판단된다. [Fig. 16]은 1차 때의 4개 수심계 사이에 직선으로 연결된다는 가정하에 평균 및 표준편차를 이용하여 현수곡선을 나타낸 것으로, 관계식 및 상관결정계수는 $y = 4.257 \ln(x) + 7.87 (R^2 = 0.8788)$ 이고 2, 3차에서도 같은 경향을 보였다. 수심계에 의한 수심 위치를 분석한 결과, 앵커체인은 정박지의 중간 수심에서 수심과 거리방향의 움직임 변동이 컸으며, 주로 수심보다 거리 방향의 움직임이 크게 나타나는 현수곡선을 보이고 있었다.



[Fig. 16] Cartenary line of significant average of depth by each depth meter

[Fig. 17]은 1차 때의 파주력과 풍속 및 유속의 관계를 나타낸 것으로 풍속 및 유속이 낮을수록 파주력 커지는 경향을 볼 수 있었으며, 세 차례에 걸친 결과가 <Table 4>에서처럼 2차 때의 유속에 대한 상관은 역 상관이 아니고 비례관계이지만 그 밖에는 역 상관관계를 이루고 있었다.



[Fig. 17] Relations of holding power between velocity of wind and current when No. 1 time

IV. 결 론

제주 외항 묘박지에서 투묘한 후 장착된 계기와 GPS에 의한 실시간 선체의 움직임을 관찰하고 이를 저장·분석하여 외력에 대한 파주력을 구할 수 있는 지를 검토한 결과,

첫째는 투묘 지점에서 실험선의 이동 및 그 거리를 정리하여 보면 누운 8자 형태로 움직인 것은 외력에 의한 영향과 선수 양묘기에서 선교까지가 9.8m로 합한 길이가 148.3m이므로 최대 수평거리가 129.3m이었으므로 GPS에 의한 위치분석에서는 주묘하지 않았음을 알 수 있었고 선수방위는 유향 쪽보다 풍향과 일치하는 것을 알 수 있었다.

둘째는 주 장력의 분포는 616.7kg이었고 이에 미치는 풍속 및 유속이 차지하는 비율은 각각 46.4%, 17.6%이므로 만약 장력이 외력인 풍속 및 유속만이 장력에 영향을 받는다고 하면 각각 72.5%, 27.5%가 미치고 있다는 것과 상관관계에서는 거의 장력과 비례관계를 보였지만 2차 때에는 역 상관관계를 보이므로, 이는 제주 외항의 묘박지에서 정박하는 선박이 선수방위가 동일하게 유지하는 것이 아니고 조류에 의해 그 방위가 틀리는 경우가 부분적으로 있을 것으로 생각되어 묘박하려는 선박은 조류 세기 및 그 방향을 고려하면서 투묘하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

셋째는 앵커 체인에 수심계 4개를 설치하여 분석한 결과 투묘 했을 때 앵커체인이 현수곡선을 그리면서 선박이 움직이는 것을 정략적으로 분석할 수 있었다.

위의 결과에서 앵커 체인에 미치는 장력에 의해서 현수곡선의 길이 및 파주부 길이를 알 수 있었으므로 향후, 선박의 Windlass에 장력계를 설치하면 그 때 장력에 의하여 운항자는 현재의 파주력을 알 수 있기 때문에 사전 주묘 여부를 판단하여 사고 예방에 도움이 될 것으로 생각된다.

References

- Jung CH, Lee YS, Kim JS and Kong GY(2011). A study on the holding power coefficient of AC-14 type and ASS type anchor in actual ship, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 8. 613~618.
<https://doi.org/10.5394/KINPR.2011.35.8.613>
- Jung JH, Ryu CR and Kim JK(1996). Holding mechanism of anchor system for fisheries facilities. Bull. Korea Soc. Fish. Tech., 32(2), 132~147.
- Lee SM and Lee JA(2014). Experimental investigation on the embedding motion and holding power of anchor according to initial position, J. Navig. Port Res., 38(6), 683~689.
<https://doi.org/10.5394/KINPR.2014.38.6.683>
- Lee YS(2014). A study on the anchoring safety assessment of E-group anchorage. Journal of the Korea Society Marine Environment & Safety. 20(2), 172~178.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2014.20.2.172>
- Lim BT, Ko JW and Kim BS(2015). A study on theoretical consideration to the holding power and holding power coefficient of war ship anchor, J. Navig. Port Res. Vol.39(1), 1~6.
<https://doi.org/10.5394/KINPR.2015.39.1.1>
- Liu H, Liu C, Yang H, Li Y, Zhang W and Xiao Z (2012). A novel kinematic model for drag anchors in seabed soils. Ocean Engineering 49, 33~42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.04.013>
- Moharrami MJ and Shiri H(2018). Reliability assessment of drag embedment anchors in clay for catenary mooring systems, Marine structures 58, 342~360.
<https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2017.12.005>
- O'Neill MP, Brandy MF and Randolph MF(2003). Drag anchor fluke-soil interaction in clays, Can. Geotech. J. 40, 78~94.
<http://dx.doi.org/10.1139/t02-096>
- Okazaki T and Hirai Y(2011). Development of a support system to predict dragging anchor phenomenon for mariner, Proc. of 2011 6th international conference on system of Systems engineering, Albuquerque, New Mexico, USA, 185~190.

- <http://dx.doi.org/10.1109/SYSOSE.2011.5966595>
Ren YX, Lei ZM, Sun L and Yan S(2016). Model tests of dragging hall anchors in sand. Journal of marine science and technology, 24(1), 26~31.
<http://dx.doi.org/10.6119/JMST-016-0125-4>
Sato H(2005). A study on the holding capacity of anchor. Journal of the school of marine science and technology, Tokai university, 3(3), 31~39.
Shoji K(1975). Study on the motion of a moored body and the tension of mooring lines. The society of navel architects of japan, 138, 233~246.
https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.1975.138_233
Yoon JD(2002). Theory and Practice of Ship Handling, Sejong Press, pp 1~17.
-
- Received : 10 January, 2019
 - Revised : 22 April, 2019
 - Accepted : 27 May, 2019