

## 씨앵커의 구성에 따른 수중 안정성에 관한 연구

정정모 · 김형석<sup>1\*</sup>

부경대학교 저탄소해양생산기술연구소 연구원, <sup>1</sup>부경대학교 수산과학대학 해양생산시스템관리학부 교수

### A study on the underwater stability according to the composition of the sea anchor

Jung-Mo JUNG and Hyung-Seok KIM<sup>1\*</sup>

Researcher, Institute of Low-Carbon Marine Production Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>1</sup>Professor, Department of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Sea anchor for fishery is commonly used in jigging fishery and purse seine. The study of sea anchor was studied for improvement of opening efficiency and drag by changing the type of shape and the diameter of vent. However, standard specification of sea anchor is not set and has not been studied for underwater stability. Therefore, this study aimed to improve underwater stability of sea anchor by changing a vent diameter and weight of sinker. The experiment was conducted in flume water tank. The experiment model of sea anchor was made from actual model of sea anchor which is used in fishery by similarity law. The model of sea anchor was designed to different types of vent diameter and weight of sinker in different current speed. The value of movement of side to side (X-axis), drag of sea anchor (Y-axis) and movement of up and down (Z-axis) was measured for 30 seconds. Each value of X, Y, Z-axis was analyzed through t-test and ANOVA analysis to verify that each value had a significant difference according to the difference compositions. There was correlation between the movement of X-axis and Z-axis. The drag of sea anchor was stronger as the current speed increased. However, the larger the vent diameter, the weaker the drag. From the result of the standard deviation, the movement of X-axis was inversely proportional to the vent diameter. However, movement of Z-axis was larger as the weight of sinker was the heaviest or lightest from the result of the standard deviation. These results suggest that the sea anchor should be combined with proper size of the vent diameter and the weight of sinker to improve the stability.

Keywords: Sea anchor, Underwater stability, Movement, Flume water experiment

#### 서 론

씨앵커는 어업에서 근해채낚기어업과 대형선망어업

에 사용되고 있다(Kim et al., 2022). 근해채낚기어업과 대형선망어업은 2010년에서 2021년까지 연평균 연근해

Received 17 October 2022; Revised 21 November 2022; Accepted 24 November 2022

\*Corresponding author: pelamis@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5894, Fax: +82-51-629-5886

Copyright © 2022 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

어업의 생산량 1,021,128 ton 중 각각 35,271 ton과 180,061 ton을 생산하였으며 약 3.5%와 17.6%를 점하고 있다(KOSIS, 2022). 또한, 연평균 연근해어업의 생산액 약 4조원 중 근해채낚기어업과 대형선망어업이 각각 2,100억원과 2,800억원을 점하고 있으며(KOSIS, 2022), 우리나라의 중요한 어업이다. 근해채낚기어선과 대형선망어선은 조류의 흐름과 거의 같은 속도로 흘러가게 하여 어군이 선저에 오랫동안 머물러 있도록 하여야 한다(NFRDI, 1997). 이를 위해서 씨앵커를 사용하기 때문에 씨앵커의 성능이 어획의 성과를 좌우하는 중요한 역할을 한다(NFRDI, 1997; Kim et al., 2022).

일본에서는 어업용 씨앵커의 적정구조에 관한 연구가 수행되었고, 이에 따라 현재의 파라슈트 형태로 본격적으로 사용되었다(Nomura et al., 1967). 우리나라에서도 어업용 씨앵커에 대해서 유체역학적 특성계산과(Ro et al., 1997), 이산와법에 의한 원호형 씨앵커의 유동장 수치해석을 진행하여(Ro et al., 1998), 씨앵커에 대한 연구를 진행하였다. 또한, 오징어채낚기 어선의 물뚫 개발 및 유체역학적 특성 연구(An, 2000), 오징어 채낚기 어선용 물뚫의 형상에 따른 수중저항(Hyun et al., 1998) 등의 다양한 연구를 수행하여 발전되었다. 그러나 이후 한동안 진전되지 못하였고, 최근에는 씨앵커 용어의 표준화, 본체와 연줄의 규격에 대한 표준화(Kim et al., 2022)에 대한 연구만이 이루어졌다.

그럼에도 불구하고, 최근 국내에서 이루어지고 있는 씨앵커 제품에 대한 설계도면이 없이 제작하고 있는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2022). 이러한 도면의 부재는 씨앵커의 품질을 보증하지 못하며, 제품의 성능이나 안전 등에서 신뢰성이 낮아 이에 대한 개선이 필요하다. 한편, 대만에서 제작된 수입 씨앵커는 주요 규격에 대하여 인지하고 있는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2022).

또한, 앞서 보고되었던 씨앵커에 대한 연구는 씨앵커의 형태와 연줄길이, 배수구의 크기, 그리고 유속에 따른 저항과 유체역학적 특성을 연구하였다(Ro et al., 1997; An, 2000; Hyun et al., 1998). 그러나 침자의 무게와 배수구의 크기에 따른 좌우이동과 수직이동에 관한 수중안정성에 대해서는 명확히 알려지지 않았다.

따라서, 본 연구는 침자의 무게와 배수구의 크기를 변경하여 씨앵커의 좌우운동과 상하운동 그리고 저항의 관계를 명확히 하고, 최적의 침자의 무게와 배수구의

크기를 추정하여 씨앵커의 수중안정성을 강화하고자 하였다. 또한, 씨앵커의 다른 부분의 규격을 추가로 제안하여 씨앵커의 표준안을 개발하는데 추가사항을 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 모형 제작

실험에 사용한 모형의 실물 씨앵커는 Kim et al. (2022)의 보고에 따라, 우리나라에서 29톤 근해채낚기어선에 많이 이용되는 폭수 64~86폭, 가닥수 32~43가닥, 연줄의 길이 75~100 m 내외의 씨앵커의 재원에 맞추어 직경 40 m, 풍길이 20 m, 폭수 84폭, 입구둘레 126 m, 연줄직경 10 mm, 길이 80 m, 가닥수 44가닥인 실물모형의 씨앵커를 대상모델로 하였다.

실험에 사용하기 위한 모형을 만들기 위하여 Tauti의 상사법칙(Tauti, 1934)에 따라 축소한 모형 씨앵커와 실물 씨앵커의 차이는 다음의 관계를 가진다.

$$\lambda = \frac{DM_f}{DM_m} \tag{1}$$

$$\lambda' = \frac{S_f}{S_m} = \lambda'' = \frac{ds_f}{ds_m} \tag{2}$$

위의 관계식은 씨앵커의 입구 직경(DM)에 관한 실물 씨앵커(DM<sub>f</sub>)와 모형 씨앵커(DM<sub>m</sub>)의 관계식 λ과, 풍길이(S)에 관한 실물 씨앵커(S<sub>f</sub>)와 모형 씨앵커(S<sub>m</sub>)의 관계식 λ', 연줄의 직경(ds)에 대한 실물 씨앵커(ds<sub>f</sub>)와 모형 씨앵커(ds<sub>m</sub>)의 관계식 λ''을 나타내며 이들의 관계식 λ, λ', λ''은 서로 같아야 한다(λ = λ' = λ''). 또한 어느 하나의 관계식의 비율이 변해도 나머지 비율은 독립적이어야 하고(λ, λ' = λ''), 나머지 비율은 같아야 한다(Tauti, 1934; Yae and Lee, 1993; Lee et al., 2003; Lee and Lee, 2004; Kim et al., 2015; Zou et al., 2022).

모형 씨앵커는 수조의 규모를 고려하여 Tauti의 상사법칙에 따라 최대크기 1/100으로 축소하여 위의 관계식 (1)과 (2)를 이용하여 다음과 같은 관계식으로 나타내었다.

$$\lambda = \frac{DM_f}{DM_m} = \frac{4000\text{ cm}}{40\text{ cm}} = 100 \tag{3}$$

$$\lambda' = \frac{S_f}{S_m} = \frac{2000\text{ cm}}{20\text{ cm}} = 100 = \lambda'' = \frac{ds_f}{ds_m} = \frac{10\text{ mm}}{0.1\text{ mm}} = 100 \tag{4}$$

**Table 1. Comparison between real sea anchor and model of sea anchor**

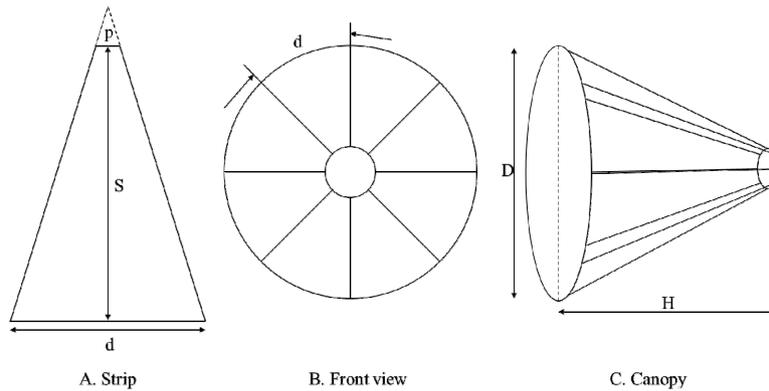
Sea anchor	DM (cm)	DV (cm)	No. of strip	Shroud line (cm)	Length of canopy (cm)
Real	4000	400	84	8000	2000
Model	40	4	8	80	20

\*DM: diameter of the mouth; DV: diameter of the vent.

**Table 2. Composition of the canopy for the model of sea anchor**

DM (cm)	DV (cm)	No. of strip	S (cm)	d (cm)	p (cm)	Weight of sinker (g)	Shroud line (cm)
40	0, 2, 4	8	18, 19, 20	16	1.5, 0.75, 0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60	80

\*DM: diameter of the mouth; DV: diameter of the vent.



**Fig. 1. Schematic diagram of the canopy for the model of sea anchor.**

축척비(1/100)에 따라 직경이 40 cm, 풍길이 20 cm, 나일론 실의 직경 0.11 mm로 제작하였다. 또한 연줄의 길이는 연줄길이 변화에 따른 항력계수의 비교로 연줄의 길이가 직경의 2배일 때 항력계수가 더 높았기 때문에(NFRDI, 1997), 씨앵커 직경의 2배(80 cm)로 설정하였다. 실물 씨앵커와 모형 씨앵커의 크기와 세부 사양을 다음 Table 1과 Table 2에 표시하였다.

씨앵커 모형의 재단방법 및 제작도는 Fig. 1에 나타내었다. 모형실험에서는 모형의 크기가 작고 유속이 느리므로 천의 재질의 차이에 따른 밀도의 차이가 낮기 때문에(Lee et al., 2003; Park et al., 2015), 실제 씨앵커의 제작에 사용하고 있는 천과 방수 나일론 천의 차이가 없다고 판단하여 방수 나일론 천을 사용하였다. 모형의 배수구 직경은 0, 2, 4 cm로, 침자의 무게는 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 g으로 각각 변화시켰다.

**수조 실험**

수조실험은 부경대학교 수직순환형 회류수조 (관측창 길이 6 m, 폭 2.2 m, 수심 1.4 m, Fig. 2 and 3)에서 행하였

으며(Lee et al., 2003), Fig. 3에 모형실험의 개략도를 나타내었다. 실험에 있어서 모형실험의 계측은 3분력계 (JHML3C-100, 100 N, Jeoncho precision CO. LTD, Korea)를 사용하였고, 각 축방향의 장력(Fx, Fy, Fz)을 200 Hz단위로 30초간 측정하였다. 3분력계에서 얻은 데이터는 힘의 단위가 아닌 3분력계 자체의 전류의 세기를 나타내므로, 실험하기 이전에 중력을 가지는 발돌을 달아 전류의 세기를 힘의 단위로 변환할 수 있도록 측정하였다.

수조실험에서 유속은 Tauti의 상사법칙에 따라 실의 직경을 이용하여, 다음과 같은 관계식으로 나타내었다 (Tauti, 1934; Yae and Lee, 1993).

$$V^2 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{d_2(\rho_2 - 1)}{d_1(\rho_1 - 1)} \tag{5}$$

위의 식은 실제 해류의 유속  $v_1$ 과 모형실험에서의 유속  $v_2$ 의 비  $V$ 를 실물 씨앵커의 연줄 직경  $d_1$ 과 모형 씨앵커의 연줄 직경  $d_2$ 과 각각의 재료의 밀도  $\rho_1, \rho_2$ 로 계산한 식이나, 모형실험에서는 모형의 크기가 작고 유속이 느

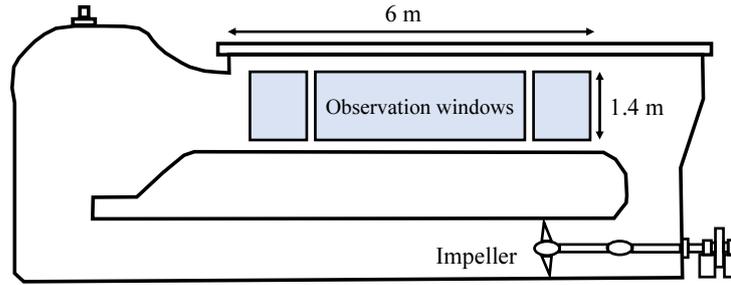


Fig. 2. Schematic drawing of the flume water tank.

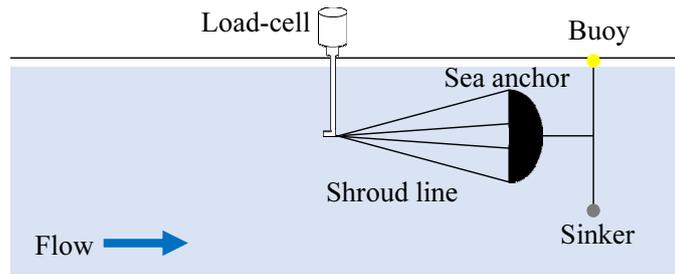


Fig. 3. Schematic drawing of the model experiment.

리므로 줄의 재질 차이에 따른 밀도의 차이가 낮기 때문에(Lee et al., 2003; Park et al., 2015), 실제 씨앵커의 제작에 사용하고 있는 연줄의 재료와 모형 씨앵커의 연줄의 재료에 따른 차이가 없다고 판단하여 무시하였다. 따라서, 유속비의 최종관계식은 다음과 같이 나타내었다.

$$V^2 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{d_2}{d_1} \quad (6)$$

$d_2/d_1$ 의 값은  $0.11/10 = 0.011$ 이므로 유속의 비는 다음과 같이 구하였다.

$$V = \left(\frac{v_2}{v_1}\right) = \sqrt{0.011} \approx 0.10 \quad (7)$$

따라서, 씨앵커를 투하하는 최대 유속인 3.5 knot는 180 cm/s으로 모형 실험에서는 유속의 비에 따라 18 cm/s의 속력으로 측정하여야 하며, 실험에서는 20 cm/s의 속력으로 측정하였다. 이전에 보고된 씨앵커의 모형 실험(NFRDI, 1997)에서는 20~40 cm/s의 속력으로 측정되었기 때문에 본 연구에서도 씨앵커의 더 강한 유속에서 수중안정성의 한계를 알아보기 위하여 20, 25, 30, 35, 40,

45, 50 cm/s의 속력으로 유속을 설정하여 측정하였다.

### 데이터 분석 방법

씨앵커의 모형 실험은 각각 다른 크기의 배수구(0 cm, 2 cm, 4 cm)와 침자무게(0 g, 10 g, 20 g, 30 g, 40 g, 50 g, 60 g), 그리고 유속(20 cm/s, 25 cm/s, 30cm/s, 35 cm/s, 40 cm/s, 45 cm/s, 50 cm/s)에 대하여 수행하였으며, 총 147건의 실험으로부터, 441개의 장력 데이터를 비교 분석하였다.

3분력계에서 얻은 데이터는 R 언어(R software, version 4.1.2, R Foundation, New Zealand)를 이용하여 분석하였다. 앞서 실험하기 이전에 미리 측정된 발들의 중력과 3분력계의 값을 계산하여 각 축방향의 장력을 힘의 단위인 N으로 변환하였다. 각 축방향의 장력에서  $F_x$ 를 씨앵커의 좌우운동,  $F_y$ 를 씨앵커의 저항,  $F_z$ 를 씨앵커의 상하운동으로 구분하였다. 각각의 데이터의 평균과 표준편차를 구하였다. 씨앵커의 좌우운동과 상하운동은 표준편차의 값으로 분석하였고, 저항은 평균과 표준편차를 같이 이용하여 분석하였다.

각 데이터를 t검정(t-test)과 분산분석(ANOVA)을 통하여 유속, 배수구 크기, 침자의 무게가 서로 다른 조건

에서 각각의 데이터 간에 유의미한 차이가 있는지 검증하였다.

또한 각 축방향의 장력이 관계가 있는지를 확인하기 위하여 같은 유속, 배수구 크기, 침자의 무게의 조건에서 취득한 각 축방향의 장력(Fx, Fy, Fz) 간의 상관관계를 확인하였고, 상관관계는 다음의 관계식으로 도출하였다.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

위의 관계식으로부터 모집단 X와 Y의 변수  $x_i$ 와  $y_i$ 에 표본평균인  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 를 이용하여 상관계수 r을 도출하여 씨앵커의 좌우운동(Fx), 저항(Fy), 상하운동(Fz) 간의 상관관계가 없는지( $|r| < 0.3$ ), 일정한 상관관계( $0.3 < |r| < 0.7$ )가 있는지, 강한 상관관계( $0.7 < |r| < 1.0$ )가 있는지를 검증하였다.

### 결과 및 고찰

#### 씨앵커의 저항

실험결과, 같은 배수구의 크기와 같은 유속에서 무게에 따른 씨앵커의 저항(Fy)은 유의미한 차이를 보이지 못하고 비슷한 저항을 보였다( $p > 0.05$ ). 씨앵커의 저항은 유속이 커질수록 증가하였고, 배수구의 크기가 커질수록 감소하였고 이는 유의미한 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ).

배수구가 있을 때, 크기에 따른 씨앵커의 저항은 서로 간 유의미한 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ). 또한 배수구가 없을 때(0 cm)의 저항은 배수구가 있을 때(2 cm, 4 cm)의 저항보다 유속이 강할 때에는 2~3배에서 유속이 약할 때에는 7~13배의 차이를 보였다. 각 데이터의 표준편차에 있어서, 유속이 커질수록 저항의 표준편차도 커졌고,

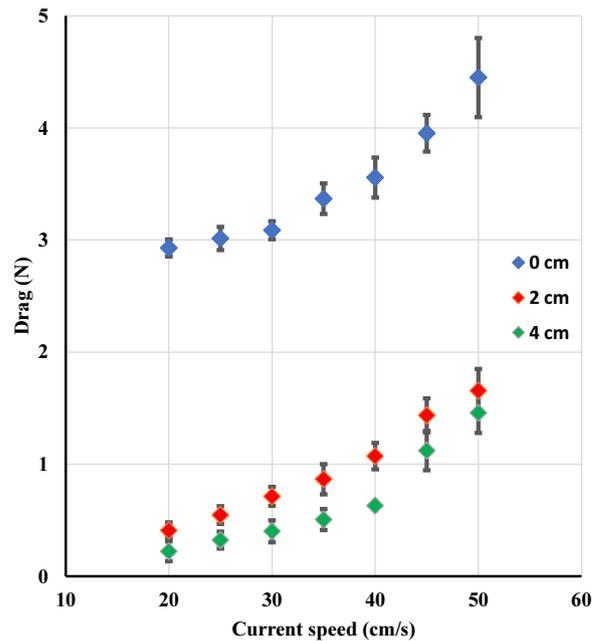


Fig. 4. Drag of sea anchor with different diameter of vent and current speed. Standard deviation was expressed to up and down arrows

이는 유속이 강할수록 씨앵커의 저항이 불안정함을 시사하였다. 배수구의 크기에 따른 유속별 저항과 표준편차는 Table 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

#### 씨앵커의 좌우운동

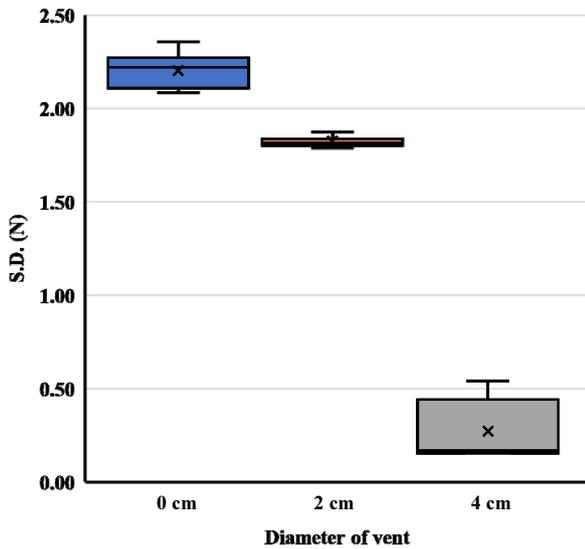
씨앵커의 좌우운동은 대체적으로 안정된 상태(125회/147회)였으나, 좌우로 계속적으로 이동하는 상태도 있었다(22회/147회). 속력별로 보면, 20 cm/s 속력에서 2회, 25 cm/s 속력에서 3회, 30 cm/s의 속력에서 2회, 35 cm/s의 속력에서 4회, 40 cm/s의 속력에서 4회, 45 cm/s의 속력에서 3회, 50 cm/s의 속력에서 4회가 안정된 상태가

Table 3. Drag and standard deviation of sea anchor with different diameter of vent and current speed

Current speed	0 cm		2 cm		4 cm	
	Drag (N)	S.D.	Drag (N)	S.D.	Drag (N)	S.D.
20 cm/s	2.92	0.08	0.41	0.07	0.22	0.09
25 cm/s	3.01	0.10	0.55	0.08	0.32	0.08
30 cm/s	3.08	0.08	0.71	0.08	0.40	0.01
35 cm/s	3.36	0.14	0.87	0.14	0.51	0.09
40 cm/s	3.55	0.18	1.07	0.12	0.63	0.01
45 cm/s	3.95	0.16	1.44	0.15	1.12	0.18
50 cm/s	4.44	0.35	1.66	0.19	1.46	0.18

**Table 4. Standard deviation of sea anchor in the movement of side to side with different diameter of vent**

Diameter of vent	0 cm	2 cm	4 cm
Standard deviation (N)	2.09	1.84	0.17
	2.22	1.87	0.15
	2.22	1.81	0.16
	2.22	1.84	0.54
	2.36	1.79	0.34
	2.14	1.80	
	2.26	1.81	
	2.31		
	2.09		
	2.12		
Average	2.20	1.82	0.27

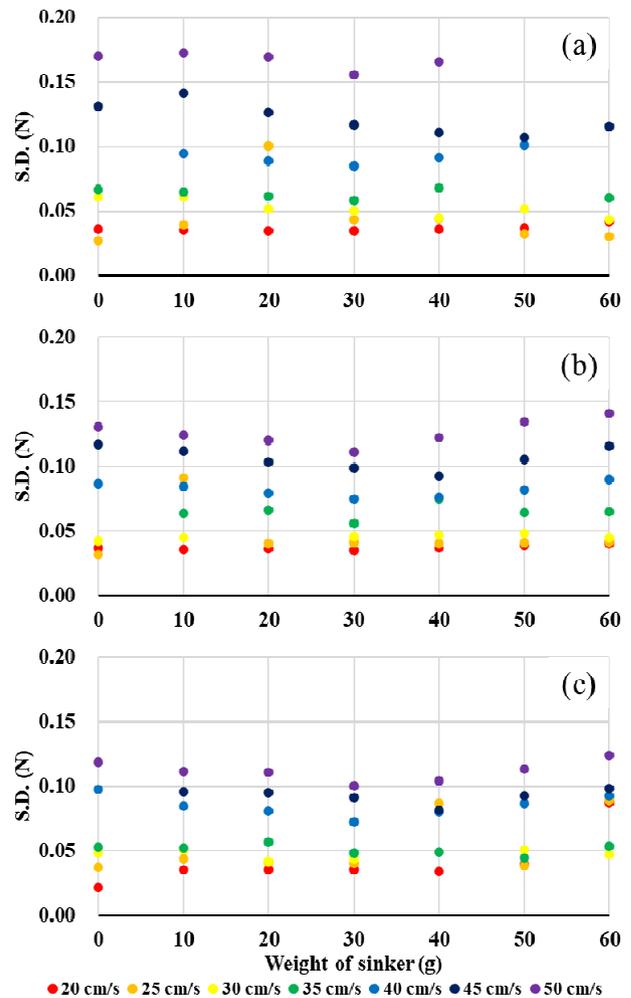


**Fig. 5. Standard deviation of sea anchor in the movement of side to side with different diameter of vent.**

아닌 좌우로 계속적으로 이동하는 상태를 나타내었다. 배수구 크기별로는 0 cm에서 10회, 2 cm에서 7회, 4 cm에서 5회로 나타내었으며, 배수구의 크기에 따라 좌우이동의 횟수가 달랐음을 확인하였다. 배수구의 크기별 x축의 장력(Fx)에 대한 표준편차는 0 cm에서 2.20, 2 cm에서 1.82, 4 cm에서 0.27을 나타내었으며, 배수구의 크기가 클수록 씨앵커의 좌우운동은 안정화가 되어 있는 것을 확인하였다. 배수구 크기에 대한 x축 장력의 표준편차는 Table 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다.

**씨앵커의 상하운동**

씨앵커의 상하운동은 씨앵커의 좌우운동이 지속적으로 있었던 경우에는 상하운동에도 표준편차가 너무 커



**Fig. 6. Standard deviation of the movement of up and down from sea anchor (Z-axis) with different diameter of vent, weight of sinker and current speed. (a), diameter of vent in 0 cm; (b), diameter of vent in 2 cm; (c), diameter of vent in 4 cm.**

서 안정화되지 못하였다. 좌우운동이 없었던 경우에는 상하운동이 조금씩 있거나 대체로 안정적이었다.

씨앵커의 상하운동은 배수구의 크기에 따라, 또는 침자의 무게에 따라 서로 다른 편차의 크기를 나타내었다. 상하운동의 표준편차는 배수구의 크기가 클수록 감소하였고, 이는 배수구의 크기가 클수록 상하운동에도 높은 안정성을 나타내었다.

반면, 씨앵커의 상하운동은 무게가 무거울수록(weight > 50 g) 상하운동이 있었고, 이에 따라 결과에서도 침자의 무게가 무거울수록 표준편차가 증가하여 비교적 낮은 안정성을 보였다. 그러나 무게가 가벼울 경우(weight < 20 g)에는 유속이 약한 속도(speed < 30 cm/s)에서는 상하운동이 비교적 높은 안정성을 보여주었으나, 유속이 세질수록(speed > 30 cm/s) 상하운동이 일어나 비교적 낮은 안정성을 나타내었다. 유속이 셀 경우에는 무게가 가벼워나 무거운 침자보다 중간무게인 30 g과 40 g에서 상하운동이 비교적 높은 안정성을 보였고 결과로도 표준편차가 낮게 나타났음을 확인하였다. 씨앵커의 상하운동의 배수구 크기와 유속에 따른 z축 장력의 표준편차는 Fig. 6에 나타내었다.

씨앵커가 지속적으로 좌우운동한 경우와 좌우운동을 하지 않고 안정된 경우의 씨앵커의 저항과 상하운동, 그리고 좌우운동의 그래프와 상관관계의 표를 Fig. 7과 Table 5, Table 6에 나타내었다.

씨앵커의 상하운동과 좌우운동의 상관관계를 확인한 결과, 지속적으로 좌우운동을 할 때에는 매우 강한 상관관계를 보였다( $0.7 < |r| < 1.0$ ). 이는 씨앵커가 지속적으로 좌우운동을 할 때에는, 상하운동이 좌우운동을 일으키거나, 좌우운동이 상하운동을 일으키는 주요한 원인이라 볼 수 있다. 모형실험에서 좌우운동 시에는 상하운동과 함께 씨앵커가 항상 회전하면서 이동하였다. 이러한 현상은 씨앵커의 이동시 회전은 연줄의 꼬임 등의 문제도 고려해야 함을 시사한다. 그러나 주요 원인은 씨앵커의 입구 끝에서 무작위적으로 와(渦)가 형성되고, 이에 따라 후면의 흐름은 속도나 방향이 불연속성을 띄어 힘의 균형상태가 변하기 때문이라 설명한다(NFRDI, 1997). 따라서 본 연구에서는 전개 후 30초라는 짧은 시간안에 측정을 완료하여 좌우운동이 본격적으로 일어나기 전에 실험을 종료하고자 하였고, 씨앵커의 지속적인 이동은 많이 일어나지 않았다.

저항과 상하운동, 그리고 좌우운동의 상관관계를 분석한 결과, 저항과 상하운동에는 강한 음의 상관관계를 나타내었고( $-1.0 < r < -0.7$ ), 이는 씨앵커가 상하운동으로 인해 정위치에서 벗어날수록 저항은 감소하였다. 이는 투영면적이 감소하게 되면 저항도 감소한다고 알려져 있듯이(Jung et al., 2022), 상하운동으로 인하여 유체 저항에서 투영면적이 감소하였기 때문에 저항의 감소가 나타났음이 사료되어진다.

어업의 어획량에 관한 통계적 분석에 따르면, 트롤어구의 전개상에서 와프줄의 길이와 그물의 전개상에는 강한 상관관계가 있어, 와프줄의 길이와 그물의 전개는 독립적인 변수가 아닌 종속적인 변수로 다중공선성상에 분산팽창계수(VIF, variance inflation factor)가 크게 나타나 서로 강한 상관관계를 나타내었다고 보고되었다(Jung et al., 2021). 본 연구에서 씨앵커의 좌우운동 또한 저항과 대체로 일정한 상관관계( $0.3 < |r| < 0.7$ )를 나타내었다. 이렇게 씨앵커의 좌우운동은 상하운동과 상관관계가 있기 때문에, 씨앵커의 좌우운동과 상하운동은 서로 독립적인 변수가 아닌 종속변수로서 봐야 한다. 이는 통계적으로 다중공선성상에도 VIF > 10이므로 좌우운동과 상하운동에는 강한 상관관계가 있었음을 시사한다.

반면, 좌우운동에서 저항과 상관관계가 없었던( $|r| < 0.3$ ) 경우에는, 씨앵커의 저항은 좌우운동보다 상하운동에 더 많이 관계되었다. 저항은 상하운동에는 강한 상관관계를 나타내었으나, 좌우운동에는 상하운동보다 약한 일정한 상관관계를 나타내었기 때문에 씨앵커의 저항은 상하운동과 더욱 밀접한 관계를 보인다. 이전의 연구에서도 씨앵커의 상하운동에 따라 저항이 감소함을 보고하였고(NFRDI, 1997), 본 연구에서도 비슷한 결과로 나타났다. 그러나 이전에는 씨앵커의 침자부분에 지지대를 설치하여 좌우운동에 대한 여부를 조사하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 좌우운동에 대해서도 고려를 하였기 때문에 보다 다양한 변수를 가지고 모형실험을 진행하였고, 좌우운동도 씨앵커의 전개에 있어 고려해야 할 필수요소임을 시사한다.

또한 이전의 연구에서는 씨앵커에 걸리는 항력이 기대이상으로 크고 소형뜨름과 납추를 부착하였는데도 전개상태와 안정성에 미치는 영향이 없었다고 보고하였다(NFRDI, 1997). 본 연구에서는 침자의 무게에 따라 상하운동이 일어나 씨앵커의 저항에 영향을 조금 미치는

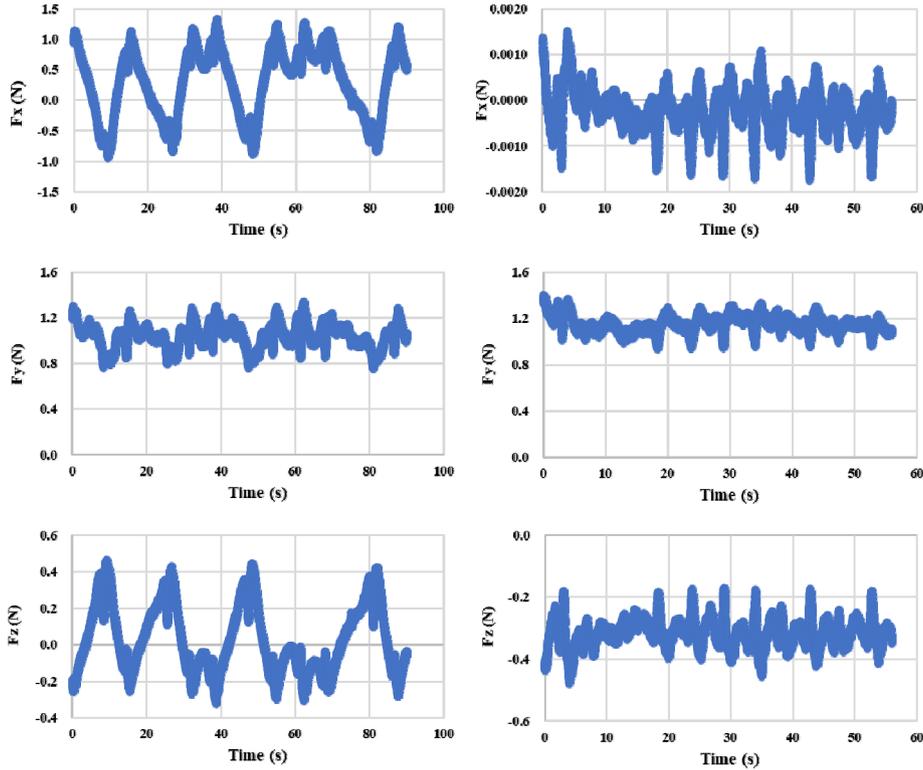


Fig. 7. The tension of axis from the load-cell. Left : sea anchor which showed more movement of side to side, right : sea anchor which showed stability. Top : movement of side to side (X-axis), middle : drag of sea anchor (Y-axis), bottom : movement of up and down (Z-axis).

Table 5. Correlation of each tension of axis from load-cell which sea anchor showed more movement of side to side

Correlation	Z	X	Y
Z	1	-0.9836	-0.7039
X	-0.9836	1	0.7002
Y	-0.7039	0.7002	1

Table 6. Correlation of each tension of axis from load-cell which sea anchor showed stability

Correlation	Z	X	Y
Z	1	-0.7935	-0.4021
X	-0.7935	1	0.2825
Y	-0.4021	0.2825	1

것을 확인하였다. 또한 상하운동으로 인한 Z축의 장력 또한 Y축인 저항의 크기와 비교해서 25% 정도의 크기로 영향이 미치지 않는다고 볼 수 없었기에, 침자의 무게나 뜬의 부력 또한 씨앵커의 전개에 고려해야 할 필수요소임을 시사한다.

씨앵커의 저항은 배수구의 크기가 커져도 저항이 비슷하거나 다소 커진다고 보고하였다(NFRDI, 1997). 또한 전개성능 뿐만 아니라, 안정성도 좋아지며, 배수구의 크기가 입구의 직경의 10%일 때 가장 효과가 있다고 보고되었다(NFRDI, 1997). 본 연구에서는 입구직경의 5%와 10%인 배수구직경을 가지고 시험하였고, 배수구의 직경이 커질수록 저항이 감소하였다. 그러나 안정성 면에서는 씨앵커의 상하운동과 좌우운동의 표준편차를 확인하여 이전의 연구와 비슷한 결과를 나타내었다. 이에 씨앵커의 배수구의 크기는 씨앵커의 전개에 가장 중요한 요소임을 시사한다. 저항에서 차이가 있었던 결과는 실물에서 씨앵커를 투묘하는 유속보다 더 강한 유속 상황에서 모형실험을 하였기 때문에 저항에 대한 결과는 차이가 있을 것이라 사료되어진다.

이러한 결과를 토대로 배수구의 크기, 침자의 무게에 따라서, 씨앵커를 표준화하는데 고려해야 할 규격들을 추가하여 실물 씨앵커에 대한 운동특성과 전개특성에

대한 연구가 앞으로 지속되어야 한다.

## 결론

본 연구에서는 씨앵커를 대상으로 씨앵커의 상하운동과 좌우운동 그리고 저항의 관계를 명확히 하였고, 배수구의 크기와 침자의 무게에 따른 운동특성과 전개특성을 비교 분석하였다.

씨앵커의 모형실험은 배수구의 크기(2, 4 cm)와, 침자의 무게(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 g)를 달리하여 씨앵커에 부착한 후, 유속별(20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 cm/s)로 달리하여 씨앵커의 저항과 상하운동, 좌우운동을 관측하였다. 데이터는 각 축의 평균값과 표준편차를 구하였고 이들값의 차이를 검토하기 위해 분산분석(ANOVA)과 상관관계를 조사하였다. 씨앵커의 저항은 유속이 커질수록 증가하였고, 배수구의 크기가 커질수록 감소하였다. 배수구의 크기가 클수록 씨앵커의 좌우운동은 안정화가 되어있는 것을 확인하였다. 상하운동의 표준편차는 배수구의 크기가 클수록 감소하였고, 이는 배수구의 크기가 클수록 상하운동에도 높은 안정성을 나타내었다. 무게가 가볍거나 무거운 침자보다 중간무게인 30 g과 40 g에서 상하운동이 적고 결과로도 표준편차가 낮게 나타났음을 확인하였다. 씨앵커의 안정성 연구에서 있어서는 씨앵커의 본체 뿐만 아니라 배수구의 크기나 침자의 무게 등 여러 가지 요소를 고려해야 한다. 이러한 연구를 통하여 씨앵커의 표준화뿐만 아니라 씨앵커의 효율을 높이기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 사사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2022년)에 의하여 연구되었음.

## References

An HC. 2000. Development and hydrodynamic characteristics of sea anchor for squid jigging vessel. Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Pukyong National University, Korea, 1-86.  
Hyun YK, Kim JK, Kwon BG and An HC. 1998. The relationship between resistance and shape of sea anchor used in squid jigging boats. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 34, 359-365.  
Jung JM, Matsushita Y, Hirose M, Sakai T, Kawachi Y and

Yoda M. 2021. Catch difference of groundfishes between two survey trawl nets having differing headrope and groundrope configurations in the East China Sea. *Fisheries Science* 87, 263-270. <https://doi.org/10.1007/s12562-021-01497-7>.  
Jung JM, Matsushita Y and Kim S. 2022. Study on reducing towing drag by varying the shape and arrangement of floats and gears. *Applied Sciences* 12, 7606. <https://doi.org/10.3390/app12157606>.  
Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2022. Korean statistical information service, fishery production survey. Retrieved from [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1EW0003&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=K2\\_7&scrId=&seqNo=&lang\\_mode=ko&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0003&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K2_7&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do). Accessed 15 Aug 2022.  
Kim N, Kim HS, Lee YW and Ryu KJ. 2022. A study on standardization through the analysis of the survey on the use of fishery sea anchor. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 58, 10-18. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.1.010>.  
Kim S, Lee D, Lim J and Park S. 2015. Model test on the net mouth shape of a gape net according to current speeds in Jindo area, Korea. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 51, 145-153. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.146>.  
Lee JH, Yoo JB, Lee CW, Kwon BG and Kim JM. 2003. Development for fishing gear and method of the non-float modwater pair trawl net (I) - Opening efficiency of model net according to the length of lower warp. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 39, 33-43. <https://doi.org/10.3796/ksft.2003.39.1.033>.  
Lee MK and Lee CW. 2004. Dynamic analysis a cage affected by the current. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 40, 214-224. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2004.40.3.214>.  
National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI). 1997. Improvement of sea anchor and mechanization of sea anchor operating system. Korea, 1-208.  
Nomura M, Mori K, Tahara Y and Osaku Y. 1967. Underwater drag of sea anchor. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* 52, 49-74 (In Japanese).

- Park JY, Kim N, Rhee KP, Yoon HK, Kim C, Jung C, Ahn K and Lee S. 2015. Study on coning motion test for submerged body. *Journal of Ocean Engineering and Technology* 29, 436-444. <https://doi.org/10.5574/KSOE.2015.29.6.436>.
- Ro KD, Kwon BG and An HC. 1997. Fluid dynamic computation for sea anchor. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, 463-468.
- Ro KD, Kwon BG and An HC. 1998. Numerical analysis for flowfield of a circular arc type sea anchor by discrete vortex method. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, 1041-1051. <https://doi.org/10.22634/KSME-B.1998.22.8.1041>.
- Tauti M. 1934. A relation between experiments on model and on full scale of fishing net. *Nippon Suisan Gakkaishi* 3, 171-177. <https://doi.org/10.2331/suisan.3.171>.
- Yae YH and Lee BG. 1993. A model experiment on the basic efficiency of midwater rope trawl net. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 29, 200-213.
- Zou B, Zhou C, Xu L, Wan R, Hu F and Guo S. 2022. Scale effect of applying Tauti's law in model experiment: CFD models for flow across planar netting. *Ocean Engineering* 256, 111552. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111552>.