

## 수치해석을 이용한 근해안강망 어구 모델링과 거동분석

장용석 · 이춘우<sup>1\*</sup> · 최규석<sup>2</sup>

국립수산과학원 수산공학과 연구원, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수, <sup>2</sup>부경대학교 수산물리학과 학생

### Offshore stow net modeling and analysis of behavior using numerical methods

Yong-Suk JANG, Chun-Woo LEE<sup>1\*</sup> and Kyu-Suk CHOI<sup>2</sup>

*Researcher, Fisheries Engineering Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

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

*<sup>2</sup>Student, Department of Fisheries Physics & system, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

The Korean stow net is a fishing method that utilizes the changing direction of the net entrance with the tidal current. This study attempted to obtain basic data from the recent offshore stow net fisheries to improve the gear by analyzing the dynamic behavior of the nets affected by current speed and direction using computer simulations. A numerical calculation was performed at a current speed of 0.5 knot between 2.5 knot at each 0.5 knot. The time taken for the gear opening was the longest from 0.5 knot at 1,500 seconds and the shortest from 2.5 knot at 450 seconds in the simulations. In all cases, the net width and tension at net deployment gradually decreased as the current speed decreased. However, the net height tended to increase inversely proportional to the current speed. During the net rotation, the net height was maintained at all cases. The net width and tension fluctuated, but the regularity was very low.

In this study, the calculated simulation data showed that the opening efficiency decreased proportional to the current speed. The opening efficiency is related to the catching efficiency; therefore, it is necessary to improve the gear to enhance its opening efficiency.

Keywords: Dynamic behavior, Gear, Simulation, Numerical modeling, Stow net

#### 서론

안강망 어업은 주 대상어종이 조기, 갈치, 민어, 도미 등 수요도와 가격이 높은 고급어종이며 2020년 연근해 어업생산량 932,322 M/T 중 근해안강망 51,101 M/T, 연안개량안강망 18,376 M/T를 생산하는 연근해 주요어업 중 하나이다(KOSTAT, 2020). 안강망은 조석간만의

차가 큰 해역에 날개가 없는 긴 자루그물을 닦으로 고정 부설하여 조류를 따라 회유하던 대상 생물이 자루그물 속으로 들어가도록 하여 잡는 어법이다(NIFS, 2008). 1854년 일본 구마모토현 아라오촌의 어업인이 인접한 아리아케해(有名海)의 새우자원을 어획하기 위해 안강망 어법을 고안하였다. 안강망은 낮은 제작비와 적은

\*Corresponding author: cwlee@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5891, Fax: +82-51-629-5886

인력으로 고수익을 얻을 수 있는 생산성 높은 어법이었기에 어업인들에게 빠르게 전파되었다. 일부 어업인은 어구를 조금씩 개량하여 1873년에는 도미를 대상으로 한 안강망 어법을 고안하였다. 국내에 안강망이 처음 도입된 것은 1898년으로 일본의 여러 어법이 국내에 도입되기 시작한 시기였다. 그러나 아리아케해보다 강한 조류가 흐르고 간만의 차가 커서 기존의 안강망 어구를 그대로 적용할 수 없었다. 이에 일본 측은 수산기사를 파견하여 서해안에서 안강망 연구를 진행한 후 1900년 서해안에 적합한 안강망을 개발하여 조업이 시작되었다 (Kim, 2011).

국내 안강망 어구에 대한 연구는 1970년대 국립수산진흥원(현, 국립수산과학원)에서는 철제로 된 수해와 암해를 개발하여 기존의 대나무와 참나무 재질의 수해, 암해를 교체하는 것으로부터 시작되었다. 그러나 과대 과중한 암해, 수해로 인한 어선사고 및 수리비, 전개 성능 저하, 많은 인력의 필요 등 여러 문제점이 발생하여 범포를 이용한 새로운 전개장치를 개발하고 보급하였다. 범포로 된 전개장치가 도입된 개량안강망 어구는 기존 어구에 비해 통당 약 5톤에서 1.8톤으로 무게가 현저히 감소하였고, 조류가 빨라졌을 때에 망고가 급격히 낮아지는 문제가 상당히 개선되었다(Cho, 1982). 이후 생력화 근해안강망어선 개발(Kim, 1998) 연구를 통해 어로 장비와 선미식 안강망 어선이 개발 및 보급되었다.

그동안 안강망에 대한 연구는 주로 전개장치와 어선에 관한 것이 주를 이루었고, 어구의 동적거동 및 분석에 관한 연구는 안강망 어구의 모형실험(Ko and Kim, 1979), 선미식 안강망 어구의 설계에 관한 연구(Kim and Yoon, 1999) 등 사례가 적었다. 특히 기존에 연구된 어구는 현재 어업인들이 사용하는 어구의 규모에 차이가

있을 뿐만 아니라 현용 근해안강망 어구에 대한 연구 사례는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션 분석법을 통해 현용 근해안강망 어구의 거동을 분석하여 어구의 구조 개선을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 근해안강망 어구의 구성

근해안강망 어구는 몸그물, 전개장치, 줄, 뜰, 침자 및 닻 등이 결합되어 있는 구조이며, 조류의 방향과 세기에 따라 어구의 형상, 위치와 줄의 장력 등이 변화한다. Fig. 1 및 Fig. 2에는 현재 군산지역 어업인들이 사용하는 근해안강망 어구를 나타내었다. 본 연구에서는 전산화된 설계도구(Simutrawl, Ver.1.025, MPSL, Korea)를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 설계도면을 Fig. 3와 같이 제작하여 조업조건에 따른 거동을 계산하였다.

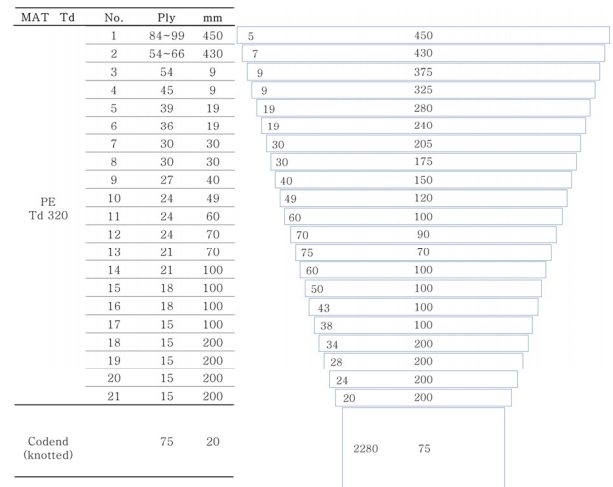


Fig. 1. Net design of current offshore stow net being used in Gunsan, Korea.

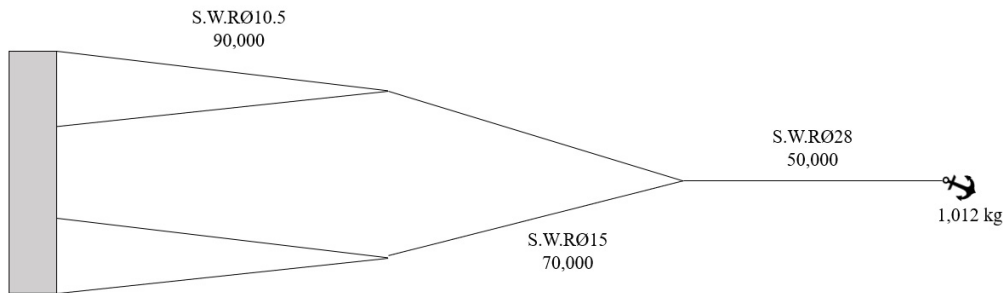


Fig. 2. Lines and anchor of current offshore stow net being used in Gunsan, Korea.

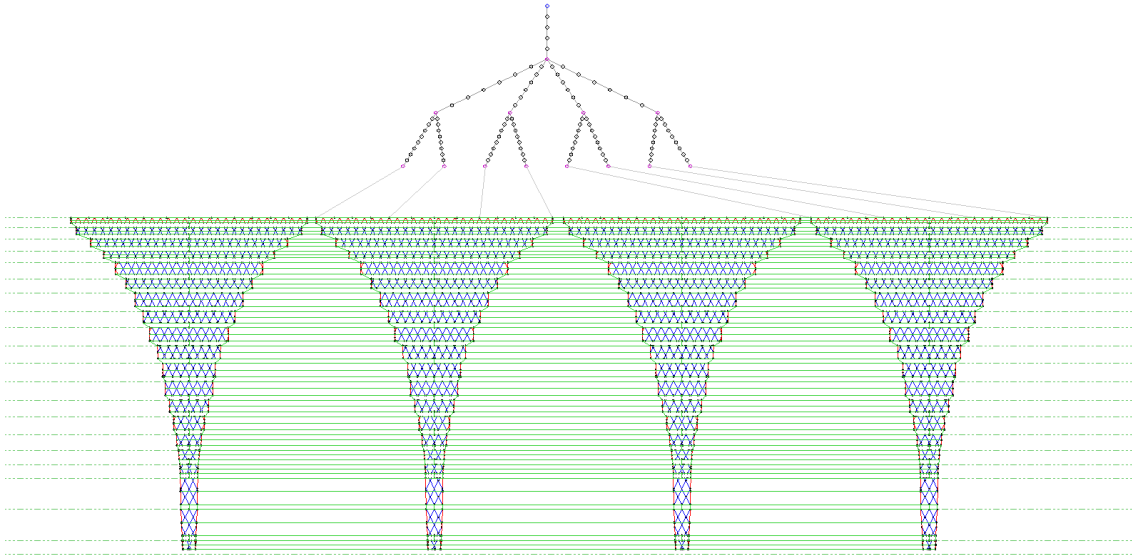


Fig. 3. Layout of current offshore stow net being used in Gunsan, Korea.

시뮬레이션에 적용된 근해안강망 어구는 닻(1,012 kg), 닻줄(50 m), 고팡줄(70 m), 걸이줄(90 m), 전개장치, 그물부로 구성되어 있으며, 전개장치는 범포로 이루어져 있다(Fig. 2). 설치된 어구의 수심은 60 m이며, 닻을 제외한 어구의 전체 부력과 침강력은 각각 1,079 kg, 482 kg이다.

**근해안강망 어구 수치 모델링**

본 연구에서 모델링한 근해안강망 어구는 위판, 옆판 2매, 밑판 4매로 구성된 사각형의 어구이다. 범포로 된 전개장치가 망구의 좌우 옆판에 부착되어있고, 위판에는 뜰이, 밑판에는 침자가 부착되어 있는 수중 복합 유연 구조물이다. 본 연구에서는 근해안강망 어구 시스템의 수치해석을 위하여 질량-스프링 모델을 적용하였다(Lee et al., 2005). 질량-스프링 모델은 유연구조물에 대해 해석하는 연구에 활발히 이용된 모델로, 트롤 그물을 대상으로 한 Cha (2003), Lee et al. (2021), 연승을 대상으로 한 Lee et al. (2005), 양식 가두리 어구를 대상으로 한 Lee et al. (2008), Lee et al. (2011) 등의 선행연구가 있으므로 본 논문에서는 간략하게 모델을 설명한다. 근해안강망 어구에 질량-스프링 모델을 적용한 예는 트롤선 유효마력과 어구의 적정 규모에 대한 연구(Lee et al., 2021)를 참조하여 Fig. 4에 나타내었다. 선행연구와

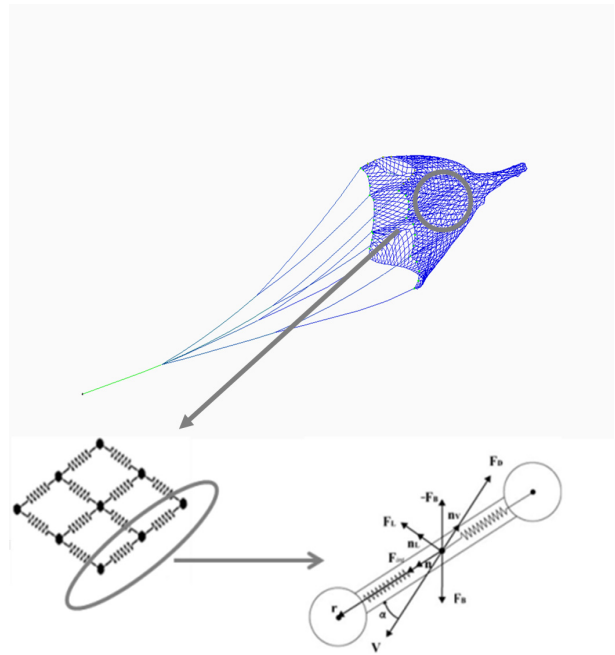


Fig. 4. Example of applying mass-spring model (Lee et al., 2021) to offshore stow net and definition of vector.

본 연구의 운동방정식의 차이는 범포의 양항력 적용에 차이가 있다.

일반적으로 항력과 양력은 다음과 같다.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2}C_D\rho_{sw}A_pU^2\mathbf{n}_v \quad (1)$$

$$\mathbf{F}_L = \frac{1}{2}C_L\rho_{sw}A_pU^2\mathbf{n}_L \quad (2)$$

여기서,  $C_D$ 는 항력계수,  $C_L$ 은 양력 계수,  $\rho_{sw}$ 는 해수의 밀도( $kgw.s^2/m^4$ ),  $A_p$ 는 구조물의 투영 면적( $m^2$ ),  $U$ 는 합속도 벡터  $\mathbf{U}$ 의 크기이며,  $U$ 의 크기는 조류의 속도벡터에서 질점의 속도벡터를 빼서 구할 수 있다.

전개장치 부분을 제외한 어구의 양력 및 항력계수는 선행된 연구 논문에서 사용한 것과 동일하다(Lee et al., 2005; Kim et al., 2007). 전개장치 부분의 양력계수는 범포로 된 전개장치에 관한 선행 연구 논문을 참조하여 0.2로 두었다(Bae, 2004; Ishizaki and Fuwa, 1999).

$$\mathbf{n}_L = \frac{\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})}{|\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})|} \quad (3)$$

여기서 벡터  $\mathbf{n}_v$ 는 합속도 벡터의 단위벡터이다.  $\mathbf{n}_L$ 은 양력의 방향을 나타내고  $\mathbf{r}$ 는 스프링의 단위벡터 크기이다. 각 요소들의 양력 방향은 벡터의 외적  $\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})$ 으로부터 구할 수 있으며, 이 벡터의 크기를 나누면 단위벡터  $\mathbf{n}_L$ 을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_m - \mathbf{U}_c \quad (4)$$

여기서  $\mathbf{U}_m$ 은 질점의 속도벡터,  $\mathbf{U}_c$ 는 조류의 속도벡터이다.

### 근해안강망 어구 시뮬레이션

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 근해안강망 어구가 전개되고 회전하는 동안의 동적 거동을 분석하였다. 근해안강망 주 조업해역인 흥도 및 흑산도 해역, 추자도 및 제주도 인근 해역의 조류 정보는 Table 1에 나타내었으며(KHOA, 2020), 본 조류는 조업해역 대부분 0~2.5 knot 사이에 형성되어 이 범위 내에서 0.5 knot 간격으로 수치계산을 실시하였다. 조류방향 변화에 따른 어구 회

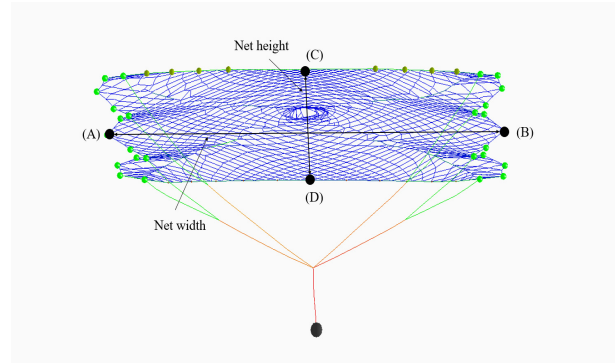


Fig. 5. Measurement points of offshore stow net height and width.

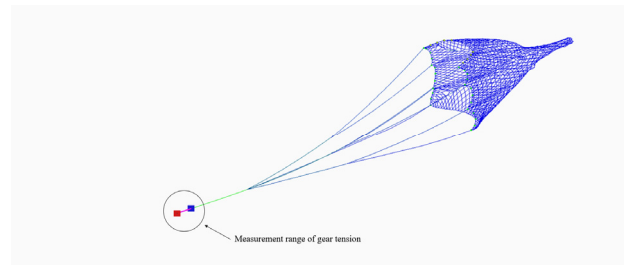


Fig. 6. Measurement range of offshore stow net gear tension.

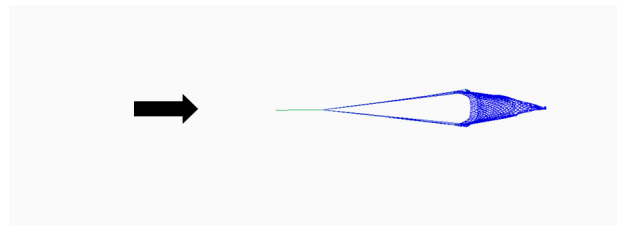


Fig. 7. Relationship between current and the gear in opening process of stow net.

전 현상의 계산은 한번에 30°씩 조류의 방향이 변하도록 하였다. 시뮬레이션 과정은 조류의 세기가 0.5 knot인 경우 어구의 수중 전개 및 회전 과정에 많은 시간이 소요되어 수중 전개 과정은 시뮬레이션 상 4,000 s 동안 실시하였고, 4,000 s 간격으로 조류 방향을 30°씩 변경하여 총 90° 변경하는 동안 어구의 거동을 계산하였다. 1.0~2.5 knot의 조건에서는 전개 과정 600 s 실시 후, 조류 방향을 700 s 간격으로 변경하였다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 그물 입구의 중앙을 기준으로 좌, 우 끝단을 A, B로 두어 두 점 사이의 길이를 망폭으로 보았고, 상, 하 끝단을 C, D점 사이의 길이를 망고

**Table 1. Current speeds and directions of offshore stow net fishing area reported by KHOA, 2020**

	Time (hour)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
North-western Jeju Island	Speed (knot)	1.9	1.8	1.2	0.2	0.9	1.5	0.4	0.9	0.4	2.9	1.1	2.4
	Direction (°)	315	293	270	70	250	0	45	270	315	270	315	315
South-eastern Heuksan-do	Speed (knot)	2.8	2.2	2.0	1.1	0.7	1.3	1.5	1.6	1.6	0.4	0.4	1.4
	Direction (°)	0	0	0	45	110	160	180	160	160	160	300	340
Southern Heuksan-do	Speed (knot)	2.2	1.3	0.5	0.6	1.7	2.0	2.3	1.9	1.1	0.3	0.8	1.6
	Direction (°)	150	180	210	270	330	330	0	0	30	60	120	150
Northern Heuksan-do	Speed (knot)	0.4	0.3	0.2	0.5	0.8	0.8	0.6	0.3	0.2	0.6	0.9	1.2
	Direction (°)	25	50	160	230	230	230	230	230	315	0	0	25

로 간주하였다. Fig. 6과 같이 닻과 연결된 로프의 장력을 어구 전체 장력으로 간주했다. Fig. 7과 같이 전개과정에서 근해안강망 어구에 작용하는 조류의 방향은 270°이다. 수치해석을 위한 시뮬레이션의 계산간격은 0.0004 s로 두었다.

**결과 및 고찰**

**근해안강망 어구의 수중 전개**

시뮬레이션 된 조류의 속도는 0.5~2.5 knot이고, 0.5 knot의 간격으로 거동 변화와 닻줄 끝단 장력을 계산하였다. 조류의 세기에 따라 그물이 25%마다 전개된 상태를 Fig. 8에 나타내고, 그물이 완전히 전개되었을 때 망구의 모양을 Fig. 9에 나타내었다. Table 2에는 어구가 완전히 전개되었을 때 소요된 시간, 망고, 망폭 및 장력을 나타내었다. 시뮬레이션에서 0.5 knot의 결과를 100%로 두었을 때, 전개 시간은 1.0~2.5 knot에서 조류의 세기에 따라 각각 40%, 37%, 34%, 30% 소요되었다. 조류의 세기가 증가함에 따라 망고는 100%, 100%, 91%, 74%로 나타나 2.0 knot부터 감소하였고, 망폭은 157%, 160%, 183%, 211%로 점차 증가하였으며, 장력은 213%, 484%, 749%, 1,048%로 점차 증가하였다.

본 연구에서 현재 어업인들이 사용하는 근해안강망 어구는 Kim and Yoon (1999)이 수행한 현측식 안강망

어구의 모형실험 결과와 같이 조류의 세기가 증가함에 따라 망고는 감소하고 망폭은 증가하는 경향을 보였다. Kim and Ko (1985)의 연구와 같이 조류가 강하게 흐를수록 전개장치인 범포가 받는 양력이 크므로, 어구의 입구가 좌우로 원활히 벌어지게 되었다. 또한, 어구의 입구가 잘 벌어지면 자루그물 내부로 유입되는 물의 양과 자루그물이 받는 저항도 증가하게 되므로(Sun and Xu, 1991), 수중에서 자루그물의 전개 또한 원활하였다.

**근해안강망 어구의 수중 회전**

근해안강망 어구의 수중 전개과정이 완전히 끝난 후, 어구의 수중 회전 시 거동 변화를 시뮬레이션하였다. 조류의 방향을 30° 변경시킨 뒤 정착 시간을 둔 후 다시 30°씩 변경하여 총 90° 회전하는 동안 어구 거동을 계산하였다. 조류의 세기에 따른 근해안강망 어구의 수중 회전 과정 중 어구의 형태를 전개에 걸린 시간의 25%마다 Fig. 10에 나타내었다. 조류 세기 0.5~1.5 knot에서 방향이 30° 변할 때 망폭이 30~50% 감소하였고, 조류 세기 1.0 knot 이하에서는 10~20% 감소하였다. 어구가 수중에서 회전하는 동안 망고는 0.5~1.5 knot까지 거의 변화가 없었으나, 2.5 knot에서 10%가량 증가하였다. 조류의 방향에 변화를 주었을 때 망폭과 망고 크기가 일시적으로 변화하였으나, 서서히 원래의 크기로 되돌아가

**Table 2. Analysis of net width, height and tension during opening process**

	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Speed (knot)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Time (s)	1,500	600	550	500	450
Net width (m)	23.7	37.3	37.9	43.3	50.0
Net height (m)	60.0	60.0	60.0	54.8	44.1
Gear tension (kgf)	329	702	1,594	2,463	3,449



Fig. 8. Shape of offshore stow net during opening process at 25%, 50%, 75%, 100% ((a) 0.5 knot, (b) 1.0 knot, (c) 1.5 knot, (d) 2.0 knot, (e) 2.5 knot).

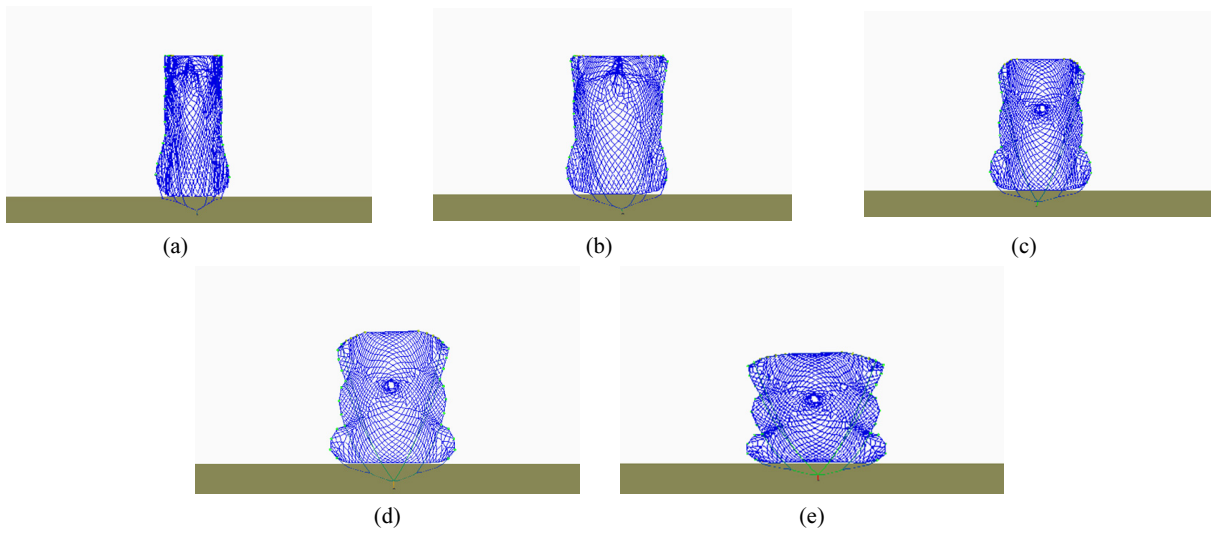


Fig. 9. Shape of offshore stow net mouth after opening process ((a) 0.5 knot, (b) 1.0 knot, (c) 1.5 knot, (d) 2.0 knot, (e) 2.5 knot).

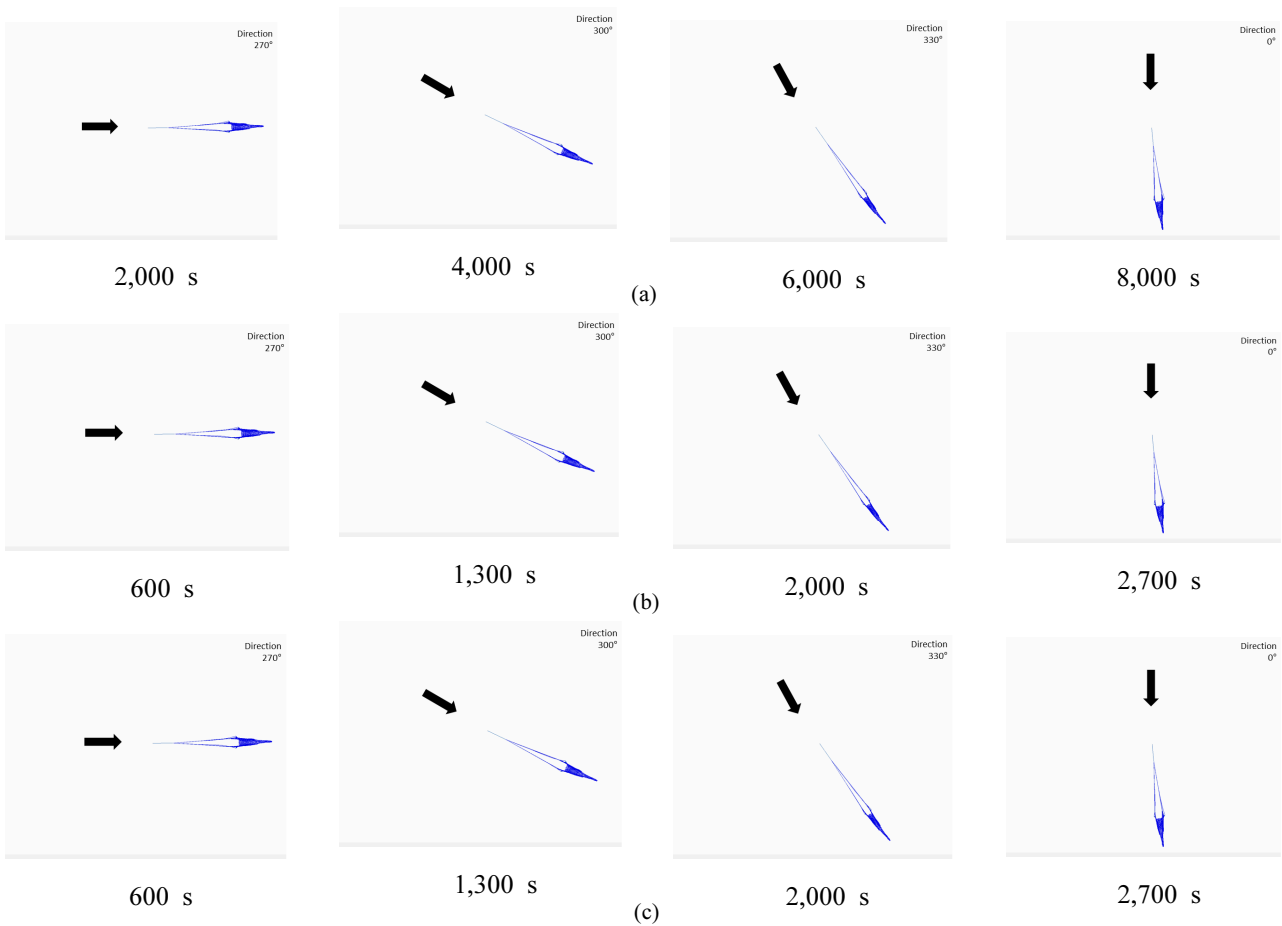


Fig. 10. Shape of offshore stow net during current direction change ((a) 0.5 knot, (b) 1.5 knot, (c) 2.5 knot).



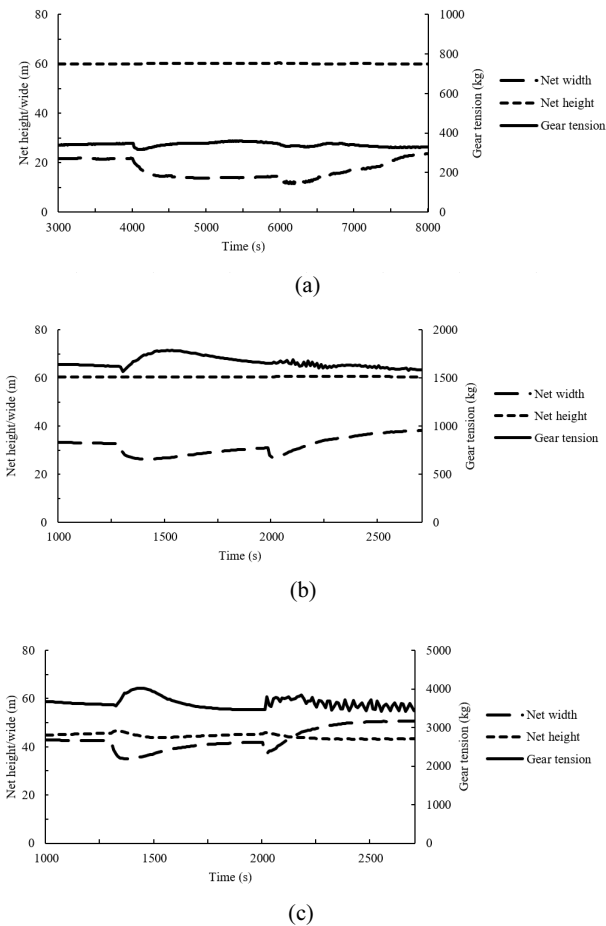


Fig. 11. Net width, height and gear tension changes during underwater rotation at each current speed ((a) 0.5 knot, (b) 1.5 knot, (c) 2.5 knot).

는 동향이 있었고, 조류의 세기가 낮을수록 망폭 및 망고의 복원 시간이 오래 걸렸다(Fig. 11).

본 수치 시뮬레이션에서는 일정한 조류 속도를 유지한 상태에서 방향만 30°씩 바뀌도록 하였다. 그러나 현장의 조류 세기 및 방향은 계속 변화한다. 따라서 조류의 세기와 방향이 동시에 바뀌거나, 조류의 방향이 변화하는 과정에서 조류의 세기가 선형적으로 변화하는 등 다양한 경우에 대해서도 정밀한 수치계산이 필요하다. 그러나 수중 유연구조물의 시간영역 해석에서 계산 도중 조류의 세기와 방향을 바꾸는 일은 프로그래밍 기법상 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 변경해주어야 하는 조류의 세기와 방향에 대한 경우의 수가 많아서 선택에 어려움이 있다. 조업 중 어구 거동의 정확한 해석을 위해

서는 이러한 후속연구가 필요하다고 생각된다.

### 수치계산과 조업에 대한 고려

근해안강망 어업은 입구일정어구류의 하나로, 조석간만의 차가 큰 해역에 날개가 없는 긴 자루그물을 닻으로 고정 부설하여 조류를 따라 회유하던 대상 생물이 자루그물 속으로 들어가도록 하여 잡는 것이다. 근해안강망 어구의 특성상 조류 방향의 변화와 상관없이 조업이 가능한 것은 조류의 방향에 따라 어구가 회전하기 때문이다. 본 연구에서는 수치해석을 통해 근해안강망 어구의 동적거동을 해석하였다. 어구가 전개되는 과정과 회전하는 과정에 대하여 수치해석 계산을 실시하였다.

Engås and Godø (1989)이 수행한 트롤 예망 중 어류의 탈출에 관한 연구에서 조업 중 망구의 크기가 감소할 경우 어획성능을 저하시키는 문제가 발생하는 것으로 나타났다. 근해안강망 어구의 전개과정 및 회전과정 실험에서 어구의 어획성능에 영향을 미치는 망폭과 망고를 분석한 결과 1.5 knot 이하의 낮은 조류에서 망폭이 크게 감소하므로 어구의 어획성능이 저하될 것으로 판단된다. 따라서 조류 세기 및 방향의 변화에 유연하게 적응할 수 있도록 근해안강망 어구의 구조 개선이 필요하다. 그리고 기존의 근해안강망 어구의 모형실험(Kim and Yoon, 1999)은 현용어구와 어구의 규모에 차이가 있어 이번의 연구를 비교하는 것이 어려웠다. 따라서 모형실험을 통한 거동변화와 실물어구의 물리적 특성에 대한 계측 실험이 필요할 것으로 판단된다.

### 결론

본 연구는 근해안강망 어구를 수치 시뮬레이션 기법으로 모델링하여 조류의 세기 및 방향에 변화를 주어 망폭, 망고, 장력이 어떻게 변화하는지 수치해석하였다. 0.5~2.5 knot에서 0.5 knot 간격으로 조류의 세기를 적용하고, 30°씩 3회 조류의 방향을 변경하며 수치계산을 실시하여 어구의 수중 전개과정과 회전과정의 동적거동을 파악하였다.

실험 결과 조류의 세기가 느려질수록 망폭이 좁아지고, 빨라질수록 망고가 낮아지는 것으로 나타났다. 망폭과 망고는 근해안강망의 어획성능에 영향을 미치는 요소로서 이들의 변동을 최소화할 방안을 마련할 필요가 있는 것으로 보인다. 조류 세기가 빠를 때 조류의 방향이



급격하게 변화하면 망폭 및 망고의 변형은 10% 내외에 불과한 것으로 나타났으나, 조류 세기가 1.5 knot 이하로 느릴 때에는 망폭의 변형이 커서 어획성능에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현용 근해안강망 어구의 수치해석 계산을 통해 거동을 분석하여 개량의 필요성을 확인하고, 그 기초자료를 확보하고자 하였다. 수치 시뮬레이션에서는 자연상태에서 보기 드문 조류의 변화를 적용함으로써 어구의 특성이 과도하게 변형되는 과정을 분석할 수 있었다. 조류의 세기 및 방향은 안강망 어구의 변형에 많은 영향을 미치기 때문에 이에 따른 어획량의 차이도 발생할 것으로 보인다. 본 연구의 결과는 안강망 구조 개선을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 사 사

이 논문은 2020년도 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(C-D-2020-0081).

## References

- Bae BS. 2004. The hydrodynamic characteristics of the canvas kites as an opening device for fishing gear. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea. 137.
- Cha BJ. 2003. Numerical simulations on the dynamics characteristics of the trawl system. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea. 90.
- Cho TH. 1982. Fishing gear and method of an improved stow net and dissemination. *The Journal of Korean fishing vessel society* 12, 16-23.
- Engås A and Godø OR. 1989. Escape of fish under the fishing line of a Norwegian sampling trawl and its influence on survey results. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 45, Issue 3, 269-276. <https://doi.org/10.1093/icesjms/45.3.269>.
- Ishizaki M and Fuwa S. 1999. Shape and hydrodynamic characteristics of canvas kite for midwater trawl. *Nippon Suisan Gakkaishi* 65, 400-407. <https://doi.org/10.2331/suisan.65.400>.
- Kim DA and Ko KS. 1985. A study for designing the zonal canvas type of stow net. *J Korean Soc Fish Tech* 18, 1-7.
- Kim HY Lee CW, Shin JK, Kim HS, Cha BJ and Lee GH. 2007. Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification. *Fish Res* 88, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.08.007>.
- Kim JY. 1998. A study on the development of off-shore stow-net for labor saving. *The Journal of Korean fishing vessel society* 12, 16-23.
- Kim JK and Yoon GD. 1999. A study on the design of the stern stow net. *Korean Soc Fish Tech* 35, 343-352.
- Kim SH. 2011. The spread of the stow net of the Japanese style fishing implements and change process of the west coast fishing ground in modern times. *The Daegu Historical Review* 104, 133-164.
- Ko KS and Kim YH. 1979. Model experiment of stow net. *J Korean Fish Soc* 12, 201-207.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA). 2020. Retrieved from <https://www.khoa.go.kr/oceangrid/gis/category/observe/observeSearch.do>. Accessed 20 Apr 2020.
- Lee CW, Lee JH, Cha BJ, Kim HY and Lee JH. 2005. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation. *Ocean Eng* 32, 331-347. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2004.08.007>.
- Lee CW, Kim YB, Lee GH, Choe MY, Lee MK and Koo KW. 2008. Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. *Ocean Eng* 35, 1521-1532. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.06.009>.
- Lee CW, Choi KS and Jang YS. 2021. A study on towing power of trawlers and a proper scale of trawl gears. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 1-9. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.001>.
- Lee JH, Lee CW and Karlsen L. 2011. Sea trials and application of a numerical method for the analysis of the ocean current displacement phenomena of demersal longlines. *Ocean Eng* 38, 1744-1754. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.08.003>.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS). 2008. Fishing Gear of Korea, 213-269.
- Statistics Korea (KOSTAT). 2020. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do>. Accessed 20 Oct 2020.
- Sun M and Xu L. 1991. Application of canvas horizontal spreaders to set nets. *Fisheries Research* 12, 157-169.

2021. 06. 22 Received

2021. 10. 05 Revised

2021. 11. 02 Accepted