

동적 모델링을 이용한 연안조망 혼획저감장치의 성능 추정

이지훈 · 이건호* · 최규석* · 김현영**

전남대학교(교수) · *경상국립대학교(교수) · 국립수산물과학원(*연구사 · **연구관)

Performance Estimation of Bycatch Reduction Devices for Coastal Shrimp Beam Trawl Using Dynamic Modeling

Ji-Hoon LEE · Gun-Ho LEE[†] · Gyu-Suk CHOI^{*} · Hyun-Young KIM^{**}

Jeonnam National University(professor) · [†]Gyeongsang National University(professor) ·
National Institute of Fisheries Science(^{*}researcher · ^{**}senior researcher)

Abstract

The purpose of this study is to identify the shape of the net spread out underwater and bycatch reduction performance for target fish species when applying the four types of bycatch reduction devices of the bycatch management regulations to shrimp beam trawl. To this end, shrimp beam trawl was modeled as a mass-spring, and the size of the target fish species was investigated and compared with the size of the escape hole. As a result, the shape and size of the escape hole spread out of each bycatch reduction device was changed from that described in the regulations, and some had a reduced codend volume. In addition, the escape holes of the inclined-upward escape device, inclined-downward escape device, and wall-type-downward escape device were larger in height and width than the body height and width of the fish mainly caught in the shrimp beam trawl, while the escape hole of the conical-downward escape device was relatively smaller than the body width or height of the target fish. Therefore, it is thought that a study analyzing the underwater spreading out shape of bycatch reduction devices through numerical modeling can be an effective means for examining the design validity in advance.

Key words : Shrimp beam trawl, Bycatch reduction device, Escape hole, Numerical modeling, Simulation

I. 서론

선택적 어획은 어구에 어획되는 여러 어종 중 목표로 하는 어종만 어획하고 그 외의 어종은 어획되지 않게 함으로써 수산자원을 보호·관리하는 방안이다. 이러한 방안의 일환으로 우리나라에서는 법률로 특정 어업의 목표어종외 어종의 어획을 제한하고 있다. 수산업법 제42조(혼획의 관리) 제3항에 따르면 혼획이 허용되는 어업에 중

사하는 어업인은 해양수산부장관이 정하여 고시하는 혼획저감장치를 어구에 부착하고 사용하여야 한다고 되어 있다. 이와 관련된 구체적인 사항을 규정하고 있는 해양수산부 고시(제 2023-697호, 2023. 5. 8) 별표 1 「혼획저감장치의 규모, 형태 및 부착방법」에서는 근해형망어업, 패류형망어업, 연안조망 및 새우조망 어업에서 사용해야 하는 혼획저감장치에 대해 기술하고 있다. 그러나 어업인들은 관련 규정에서 정한 혼획

[†] Corresponding author : 055-772-9181, gunho.lee@gnu.ac.kr/orcid.org/0000-0003-3753-5386

* 이 연구는 국립수산물과학원(R2024007)과 2023년 경상국립대학교 발전기금재단 재원으로 수행된 연구입니다.

저감장치는 어획에 지장을 주고 혼획 저감 효과도 낮아 개선이 필요하다고 주장하고 있다. 이러한 주장의 타당성을 확인하기 위해서는 실물 어구를 이용한 현장 시험을 통해서 목표어종의 어획 성능과 비 목표 어종의 혼획 저감 성능에 대한 파악이 필요하다. 그러나 대상 어구별로 그리고 규정에 제시된 모든 혼획저감장치별로 성능을 전부 파악하는 데는 상당한 시간과 비용, 그리고 노력이 소요되며, 통계적으로 유의미한 결과를 도출하기도 쉽지 않다는 문제가 있다. 이같이 현장 시험에 따른 제약이 클 때 수학적 모델링 및 해석을 통한 간접적인 성능 해석 방법이 사용될 수 있다. 이 방법에서는 수중에서 예망 중인 어구에 부착된 혼획저감장치의 전개 및 배출구의 형상을 동적으로 제시한다. 이 결과를 활용하면 탈출구 크기와 배출 대상 어류 간 크기 비교를 통한 비 목표 어종의 배출 가능성을 파악할 수 있고, 배출 대상 어류를 배출구로 안내하는 유도망 그물코의 전개 형상 파악을 통해 목표 어종이 유도망을 통과하여 끝자루에 어획될 가능성도 판단할 수 있다.

이처럼 모델링을 통해 어구의 성능을 해석한 연구는 트롤어구의 예망 저항과 망구 형상을 해석한 Cha et al.(2002)의 연구, 투망 과정에서의 선망 어구의 동적 거동을 해석한 Kim et al.(2002)의 연구, 강풍에 의한 자망 어구의 유실 가능성을 분석한 Lee et al.(2015)의 연구, 부이의 구성 방법에 따른 통발의 안정성을 해석한 Lee et al.(2017)의 연구 등이 있다. 그러나 이 연구들 중에 수산업법의 혼획저감장치 규정에서 제시한 조망 어구 혼획저감장치에 대한 성능을 해석한 연구는 수행된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 혼획저감장치를 부착한 조망 어구의 동적 거동 및 형상을 수학적 모델링 기법을 통해 제시한 후 혼획저감장치의 탈출구의 크기와 관련 어류의 크기 비교를 통해 혼획저감장치의 성능을 파악하고자 한다.

II. 연구 방법

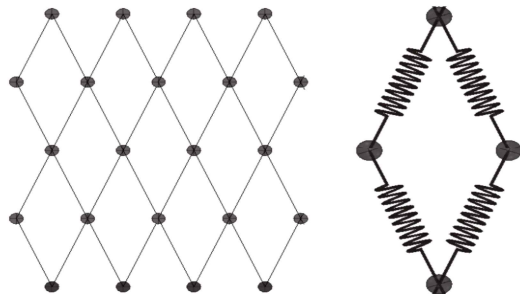
1. 어구 모델링 방법

수중에서의 연안 조망 어구 형상 및 거동을 모델화하기 위해 질량 스프링 (mass-spring) 모델을 사용하였다(Lee et al., 2008). 이 모델에서는 연안 조망 어구의 그물감을 구성하는 각 그물코의 마디를 질점으로, 그리고 각 그물코의 발은 스프링으로 가정한다(Fig. 1). 각 질점에는 그물코가 가지고 있는 물리적 속성 (중량, 질량, 면적)들이 포함되는 반면, 스프링에는 탄성만 있는 것으로 가정한다. 스프링은 그물살의 재질에 따른 탄성계수를 가지며 그물발이 늘어나게 되면 그 늘어난 길이에 비례하여 인장력 즉, 내력이 작용하게 된다.

각 질점들은 연안 조망 어구가 예망 등의 작용에 의해 힘을 받게 될 때 유체력을 받게 되는데 이 힘을 외력으로 정의하였다 (Lee et al., 2015). 내력과 외력에 의한 각 질점의 운동은 식(1)과 같이 뉴턴의 제2법칙으로 기술되는 운동 방정식으로 표현된다 (Lee et al. 2008).

$$(m + m_a)\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{F}_i + \mathbf{F}_e \dots\dots\dots(1)$$

식(1)에서 $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 질점의 가속도, m_a 는 질점의 부가질량, m 은 질점의 질량, \mathbf{F}_e 는 질점에 작용하는 외력이고 \mathbf{F}_i 는 내력이다.



[Fig. 1] Netting modelled with mass-spring model.

외력은 식(2)와 같이 질점의 항력 (F_d), 양력 (F_l), 수중무게 (F_w)의 합으로 계산된다. 식(3)은 항력을 계산하는 식으로 CD는 항력계수, ρ 는 유체의 밀도, V는 질점의 속도벡터, S는 물체의 투영면적을 나타낸다. 식(4)는 양력을 구하는 식으로 CL은 양력계수를 나타낸다.

$$F_e = F_w + F_d + F_l \dots\dots\dots (2)$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_D \rho S |V| V \dots\dots\dots (3)$$

$$F_l = \frac{1}{2} C_L \rho S |V| V \dots\dots\dots (4)$$

내력은 식(5)를 통해 계산된다.

$$F_i = -nEA \frac{(r| - l)}{l} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, n은 r의 단위벡터, E는 그물감 재료의 영률, A는 그물실의 단면적, r은 질점의 위치 벡터, l은 그물코를 구성하는 한 발의 원래 길이를 나타낸다.

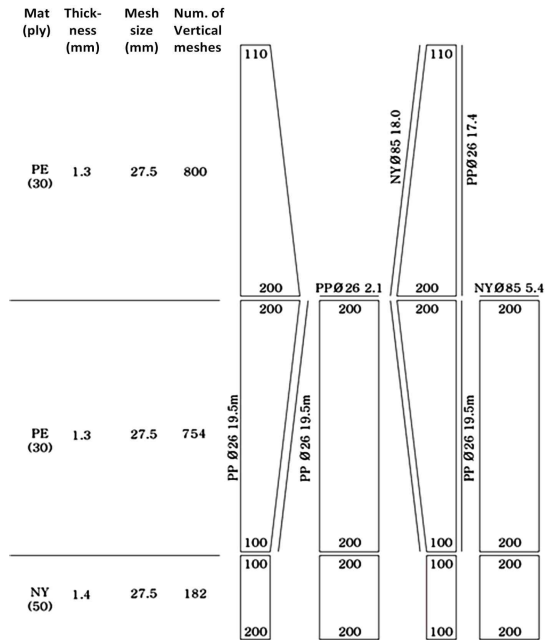
시간에 따른 각 질점의 위치는 식(1)의 운동방정식을 질점의 가속도에 대하여 룬지쿠타(RungeKutta) 4차 방법으로 수치적분(계산간격 0.00001초)하여 구하였으며, 계산된 각 질점의 위치를 3차원 가상 공간에 표현하기 위해서 OpenGL 그래픽 라이브러리와 Visual Studio 6.0을 이용하였다. 또한 시뮬레이션 시간을 단축시키기 위해서 여러 개의 질점을 하나로 통합하여 처리하는 질점 근사를 적용하였다 (Cha et al., 2002).

2. 어구 설계

가. 조망 어구 설계

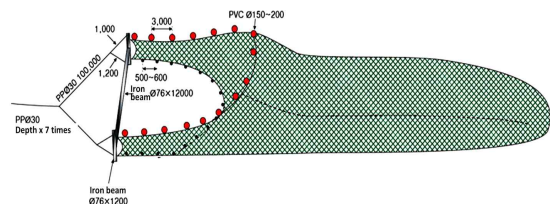
모델링 대상인 조망 어구의 설계도와 모식도를 [Fig. 2]와 [Fig. 3]에 각각 나타냈다. 대상 어구의 그물코 크기는 전체적으로 27.5 mm 이었으며, 그

물감의 재질은 자루그물은 PA이고 나머지는 PE였다. 성형률은 날개 부분이 79.1%, 몸그물 부분은 약 95%였다.



[Fig. 2] Design plan of shrimp beam trawl for modeling.

날개 그물 뜸줄부에는 PVC 뜸 Ø150~200 (부력 1.5~3.5 kgf)이 3 m 간격으로 부착되고 발줄부에는 Ø110 (침강력 1.5 kgf)인 철 재질의 침자가 500~600 mm 간격으로 부착된다. 날개 그물을 전개해 주는 빔은 지름이 76 mm, 길이는 12 m였다. 갯대 앞의 목줄은 상부가 1.0 m, 하부가 1.2 m, 그 앞의 고삐줄은 PP Ø30 mm에 100 m, 끌줄은 PP Ø30 mm에 200 m였다.



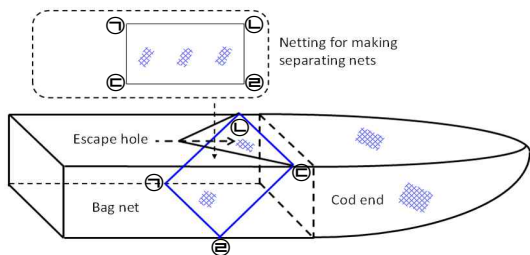
[Fig. 3] Schematic drawing of shrimp beam trawl.

나. 혼획저감장치의 규모, 형태 및 부착방법

해양수산부 「혼획의 관리 등에 관한 고시」의 혼획저감장치는 근해형망어업용 1종, 패류형망어업용 1종, 연안 조망 및 새우조망 어업용 3종으로 총 5종이다. 이 중에 연안 조망 및 새우조망 어업용 3종을 기본 대상으로 정하였고, 근해형망어업에 적용된 방법도 모델링 대상에 포함하였다. 그 이유는 조망 관련 장치에는 없는 상방 탈출구를 포함하기 때문이다. 본 연구에서는 각 혼획저감장치를 구분하기 위해서 다음과 같이 명칭을 정하였다. 근해형망어업에서 사용하는 장치는 경사형-상방탈출 장치 (inclined - upward escape device), 연안 조망 및 새우 조망어업에서 사용하는 장치 중 경사형 혼획저감장치는 경사형-하방탈출 장치 (inclined - downward escape device), 원추형 혼획저감장치는 원추형-하방탈출 장치 (conical - downward escape device), 수직형 혼획저감장치는 벽면형-하방탈출 장치 (wall type - downward escape device)로 명칭을 정하였다. 모델링 대상인 혼획저감장치 4종에 대한 규정과 모식도는 다음과 같다.

1) 근해형망어업

[Fig. 4]에 나타낸 바와 같이 분리망은 끝자루 앞쪽 자루그물 내부에 경사지게 부착하며, 자루그물과 분리망이 접하는 모든 부분(㉠-㉡-㉢-㉣-㉤)은 연결하고, 분리망의 망목크기는 본 어업의 최소 망목크기 이상 50cm 이하로 한다. 혼획 어획물의 배출구는 분리망이 자루그물 등판과 만나



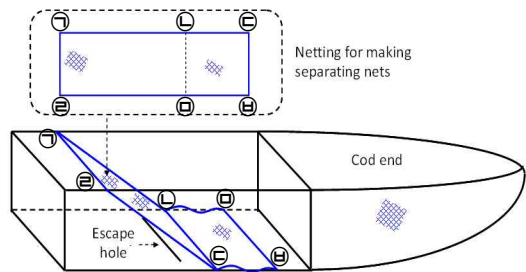
[Fig. 4] Schematic diagram of bycatch reduction device for shell dredge.

는 부분을 기점으로 하여 폭 87cm, 길이 87cm 이상의 크기로 부착하여야 한다.

2) 연안조망 및 새우조망 어업

가) 경사형 혼획저감장치

[Fig. 5]에 나타낸 바와 같이 분리망은 끝자루 앞쪽 자루그물 내부에 경사지게 부착하며 자루그물과 분리망이 접하는 등판과 좌우 옆판 부분(㉠-㉡-㉢-㉣)은 연결한다. 배출구는 분리망이 밀판과 접하는 부분(㉤-㉥)으로 부터 1.5m 이내의 거리에 밀판을 직선 절개하여 설치하며, 그 크기는 폭 방향으로 100코 또는 길이 방향으로 1.5m 이상으로 한다([Fig. 5]).

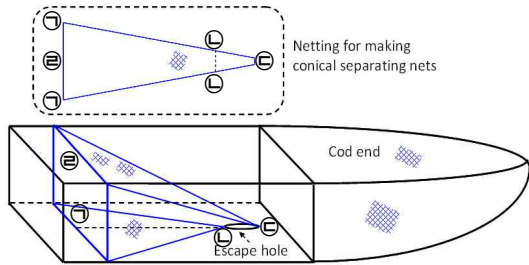


[Fig. 5] Schematic diagram of inclined type bycatch reduction device for shrimp beam trawl.

분리망의 망목크기는 본 어업의 최소 망목크기 이상 75mm 이하로 한다. 분리망의 ㉡-㉢ 또는 ㉣-㉤의 뻗친 길이는 1.5m 이하로 한다.

나) 원추형 혼획저감장치

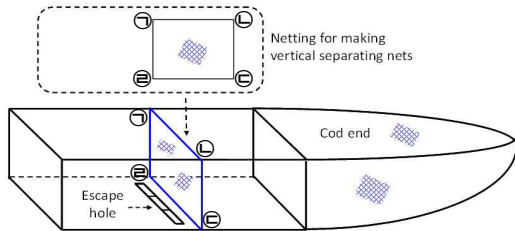
[Fig. 6]에 나타낸 바와 같이 분리망 제작용 망지의 좌우단(㉠-㉡ 부분)을 상호 결합하여 원추형으로 제작하고 분리망의 입구가 되는 ㉠-㉢-㉣ 부분은 자루그물의 밀판, 좌우 옆판, 등판과 연결한다. 배출구는 분리망 제작용 망지의 ㉤-㉥ 부분과 자루그물 밀판을 길이 방향으로 절개한 부분을 연결하여 배출구를 형성하며 길이는 1.5m 이상으로 한다. 분리망의 망목크기는 본 어업의 최소 망목크기 이상 75mm 이하로 한다.



[Fig. 6] Schematic diagram of conical type bycatch reduction device for shrimp beam trawl.

다) 수직형 혼획저감장치

[Fig. 7]에 나타낸 바와 같이 분리망은 L 끝자루 앞쪽의 자루그물 내부에 수직 방향으로 부착하며 자루그물과 분리망이 접하는 등판, 좌우 옆판, 밑판 부분(㉠-㉡-㉢-㉣-㉤)은 상호 연결한다. 배출구는 분리망이 밑판과 접하는 부분(㉥-㉦)의 바로 앞쪽에 밑판을 직사각형으로 절개하고 줄을 붙여 설치하며, 배출구를 형성하는 폭 방향 줄의 길이는 1m 이상, 길이 방향 줄의 길이는 25cm 이상으로 하고, 길이 방향으로 보강용 줄을 1~2 개 연결할 수 있다. 분리망의 망목크기는 본 어업의 최소 망목크기 이상 75mm 이하로 한다.



[Fig. 7] Schematic diagram of vertical type bycatch reduction device for shrimp beam trawl.

3. 탈출 성능 분석

각 혼획저감장치의 탈출구 크기와 조망 어구에서 주로 혼획되는 어류의 크기 (체고, 체폭)를 비교하여 혼획 어류의 탈출 가능성을 분석하였다.

비교 대상 어종 및 체장은 Jang et al.(2011)의 연구에서 제시한 자료를 이용하였다. 이 연구에서는 해역별로 조망 어구인 강진, 보령, 부안, 통영, 거제에서 조망 어구에 혼획되는 어종 및 체장 범위를 제시하고 있다. 이 중에서 비교 대상 어류는 어장별로 어획량이 가장 많은 어류 2~3종이었다.

혼획 어류가 탈출 가능하다고 판단하는 기준은 어종의 체고와 체폭이 탈출구의 높이와 폭 또는 폭과 높이보다 작은 경우로 정하였다.

크기 비교는 다음의 두 가지에 상황을 가정하여 실시하였다. 첫째는 대상 어종이 정상적인 유영자세로 탈출구를 통과하는 경우로 이때는 탈출구 높이와 어류의 체고, 그리고 탈출구 폭과 어류의 체폭을 각각 비교하였다. 둘째는 대상 어종이 정상적인 유영자세에서 90도 회전한 자세로 탈출구를 통과하는 경우로 이때는 탈출구 높이와 어류의 체폭, 그리고 탈출구 폭과 어류의 체고를 각각 비교하였다.

III. 연구 결과

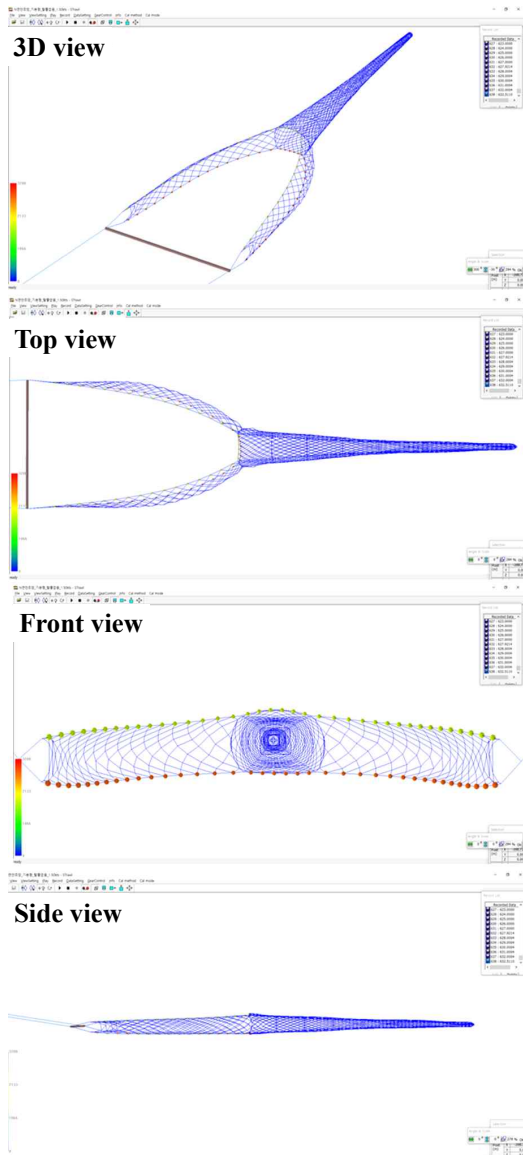
1. 혼획저감장치의 수중 형상

조망 어구의 설계도를 기반으로 디지털 데이터 형태로 재구성한 후 수치 해석 방법을 따라 시뮬레이션한 결과, 수중 전개 형상은 예망 속도 1.5 knots일 때 [Fig. 8]과 같이 나타났다.

다음으로 4종의 혼획저감장치가 부착된 각 조망 어구에 대해서 예망 속도 1.5 knots 조건에서 시뮬레이션을 실시하고 혼획저감장치 각각의 수중 전개 형상을 [Fig. 9]에서 [Fig. 12]까지 나타냈다. 또한 탈출구에 대한 설계도상의 형태와 시뮬레이션을 통해 수중 전개된 형상의 비교 결과를 [Fig. 13]에 나타냈다.

가. 경사형-상방탈출 장치

경사형-상방탈출 장치의 경우 경사망의 상단부가 그 폭 방향을 따라 현수곡선 형태로 처지는

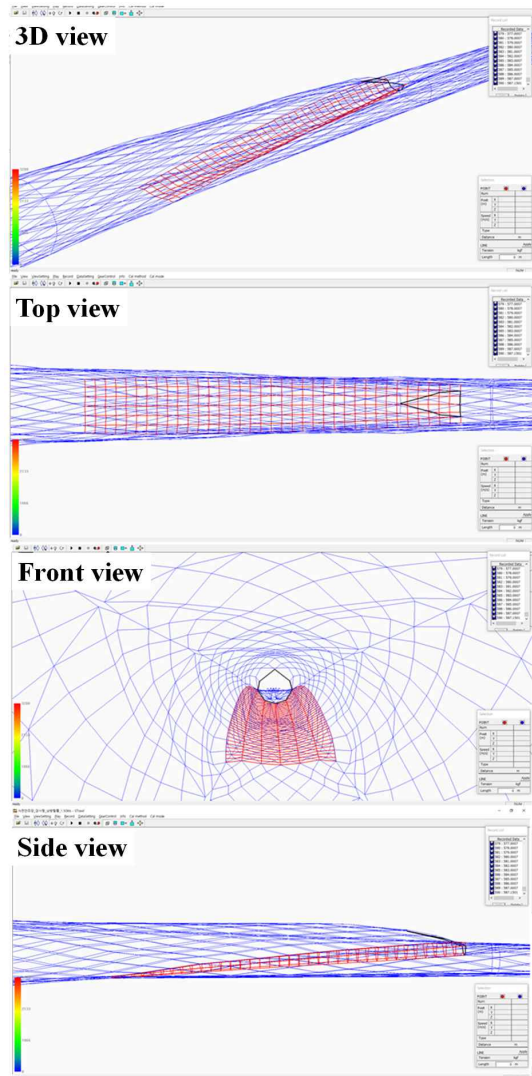


[Fig. 8] Shrimp beam trawl spread out underwater through simulation.

결과를 보였다([Fig. 9]). 따라서 탈출구는 세워진 달걀 형태로 개방이 되어 어류의 탈출이 용이한 구조가 되었다([Fig. 13(b)]).

이것은 경사망의 상단부가 삼각형 형태의 탈출구 아랫변과 연결되어 있기 때문인데, 이 부분은 지지되는 부분이 적으므로 경사망이 유수저항을

받으면 아래로 처지게 된다. 동시에 경사망 상단부와 연결된 자루그물 윗판도 아래로 처지면서 이 윗판과 연결된 끝자루의 체적도 감소하였다. 따라서 이를 막기 위해서는 탈출구와 연결된 윗판에 뜸 등을 부착할 필요가 있다.

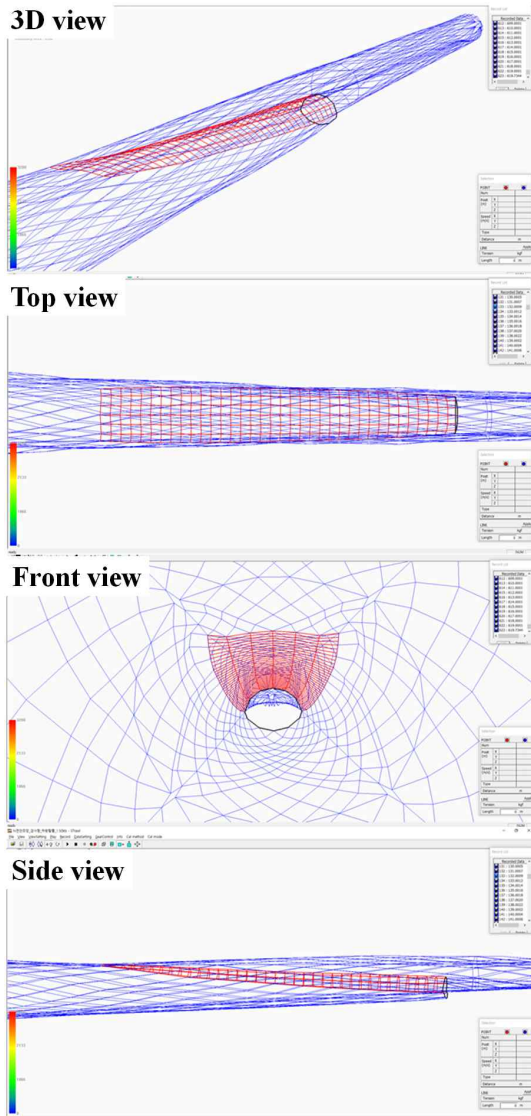


[Fig. 9] Simulation results for the inclined-upward escape device.

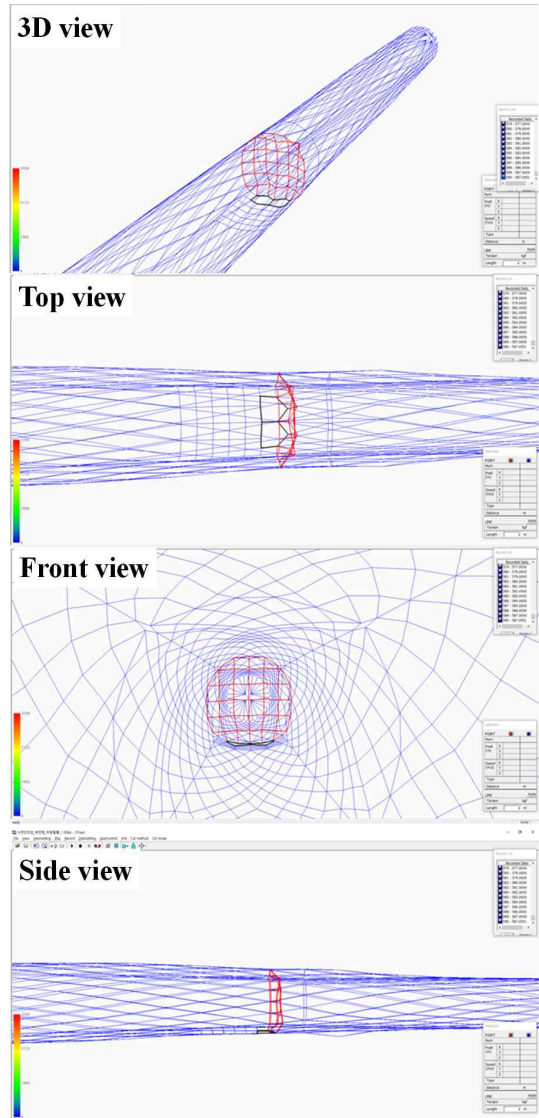
나. 경사형-하방탈출 장치

경사형-하방탈출 장치의 수중 형상을 [Fig. 10]

에 나타냈다. 이 장치의 경우 탈출구가 일자로 절개된 형태이므로 위쪽에서 볼 때는 거의 닫혀 있는 것처럼 보이지만 정면에서 바라볼 때는 타원형의 탈출구가 형성되었다([Fig. 13(d)]). 이 장치는 경사형-상방탈출 장치와 반대로 경사망의 하단부가 그 폭 방향을 따라 아치 형태로 들리는 결과를 보였다.



[Fig. 10] Simulation results for the inclined-downward escape device.

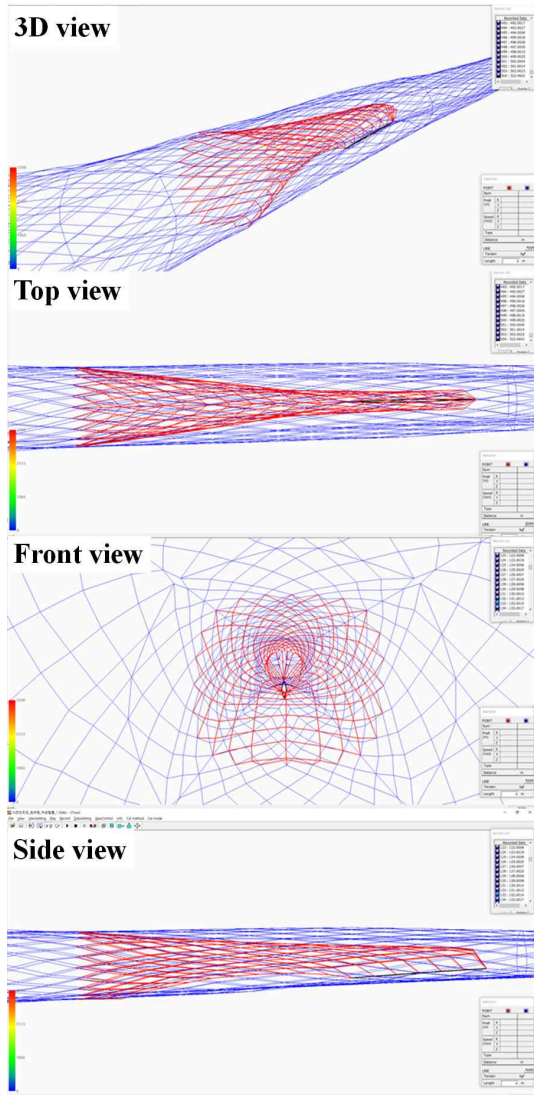


[Fig. 11] Simulation results for the wall type-downward escape device.

따라서 경사망에 진입한 어류는 타원형으로 개방된 탈출구를 통해 나가는 것이 원활할 것으로 판단되었다.

이것은 경사망의 하단부가 일자 형태의 탈출구 아랫면과 연결되어 있기 때문인데, 이 부분 또한 지지되는 부분이 적어 경사망이 우수저항을 받으면 위로 떠오르게 된다. 동시에 경사망 하단부와

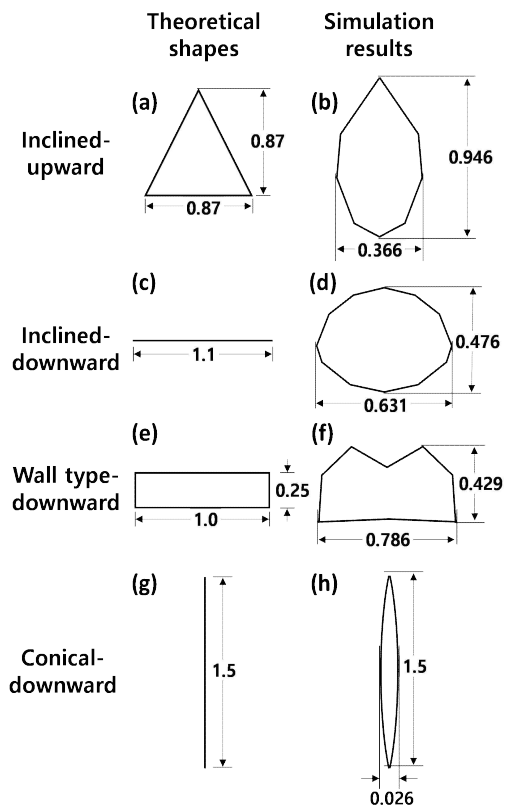
연결된 자루그물 아랫판도 위로 들리면서 이 아랫판과 연결된 끝자루의 체적도 감소하였다. 따라서 이를 해소하기 위해서는 탈출구와 연결된 아랫판에 짐자 등을 부착할 필요가 있다.



[Fig. 12] Simulation results for the inclined-upward escape device.

다. 벽면형-하방탈출 장치
 벽면형-하방탈출 장치의 수중 형상을 [Fig. 11]

에 나타냈다. 이 장치는 탈출구가 슬릿 형태로 개방된 모양을 유지하였으며 ([Fig. 13(f)], 경사망에 해당되는 벽그물은 유수저항에 의해 위에서 봤을 때 중앙이 끝자루 쪽으로 처지는 현수선 형태를 이루었다. 그러나 자루그물의 위, 아래 및 옆판의 치수에 맞춰서 설계되었으므로 처침은 미미하여 거의 벽 형태를 유지하였다. 벽그물은 자루그물 속에서 자루의 길이방향과 나란하게 이동하는 어류의 진행 방향을 고려할 때 경사망에 비해서는 어류가 벽그물에 부딪히는 입사각이 매우 작지만 벽그물 바로 아래 탈출구가 있으므로 예상하는 어구에 의해서 뒤로 밀린 어류가 벽그물에 머리나 꼬리 부분이 부딪힌 후 탈출구를 발견



[Fig. 13] Differences between theoretical design and simulation for the shape and size of the escape hole of the bycatch reduction device (unit: m).

하기 쉬울 것으로 추측되었다.

라. 원추형-하방탈출 장치

원추형-하방탈출 장치의 수중 형상을 [Fig. 12]에 나타냈다. 이 장치의 탈출구는 길이 방향으로 1.5 m가 절개되어 있기 때문에 길이 방향으로는 충분한 여유가 있었으나 폭방향은 상대적으로 좁게 나타났다([Fig. 13(h)]).

이것은 경사형-하방탈출 장치와 비교할 수 있는데 두 장치 모두 탈출구를 일자 형태로 절개하였지만 경사형-하방탈출 장치는 자루그물이 힘을 받는 방향에 수직한 방향으로 탈출구가 절개되어 있어 자루그물이 힘을 받으면 절개선 뒷쪽 자루그물은 자신을 지지해주는 그물코가 절개선 부분에서 끊어진 상태가 되므로 유수저항을 받으면 그 부분만 뒤로 치지면서 벌어지는지는 구조가 되지만, 원추형-하방탈출 장치는 자루그물이 힘을 받는 길이 방향과 탈출구를 나란하게 절개하였고, 길이 방향 성형률도 폭 방향 성형률에 비해 상대적으로 크기 때문에 탈출구의 변형이 거의 없기 때문이다.

2. 탈출 성능 분석

각 혼획저감장치의 탈출구 크기와 조망 어구에서 주로 혼획되는 어류의 크기 비교를 위해 선정된 어류들의 종류, 체장, 체고 그리고 체폭은

<Table 1>과 같이 나타냈다.

우선 대상 어종이 정상적인 유영자세로 탈출구를 통과하는 경우를 가정하여 탈출구 높이와 어류의 체고, 그리고 탈출구 폭과 어류의 체폭을 각각 비교한 결과, 혼획저감장치 4종의 탈출구 높이는 모든 대상 어류의 체고보다 컸고 ([Fig. 14(a)]), 탈출구 폭은 원추형-하방 탈출장치를 제외하고는 모든 대상 어류의 체폭보다 큰 것으로 나타났다([Fig. 14(b)]).

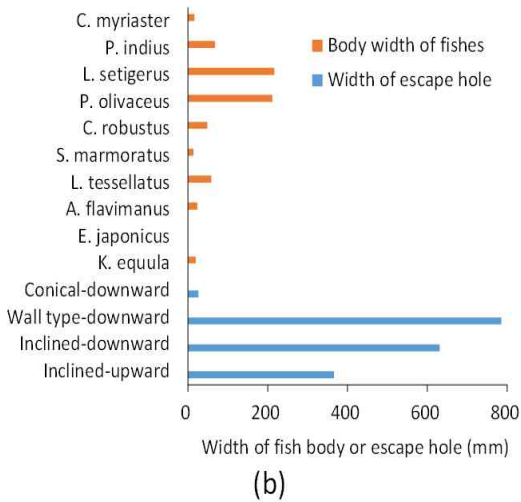
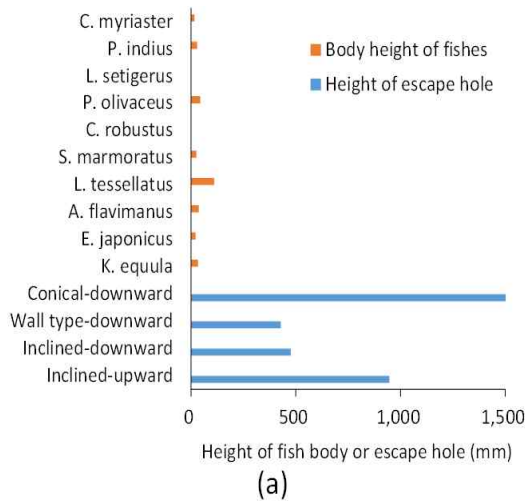
원추형-하방탈출 장치의 탈출구는 자루그물 길이 방향과 나란하게 일자로 절개된 형태이므로 높이는 1.5 m로 충분한 반면 폭은 0.026 m로 매우 작다. 따라서 체고에 비해 체폭이 상대적으로 큰 어종인 넙치, 개서대, 아귀, 양태와 체폭 및 체고가 모두 큰 편에 속하는 물메기는 통과가 불가능 했다. 반면 체폭에 비해 체고가 상대적으로 큰 어종인 갈전갱이, 썸뱅이, 문절망둑은 통과가 가능하였다.

다음으로 대상 어종이 정상적인 유영자세에서 90도 회전한 자세로 탈출구를 통과하는 경우를 가정하여 탈출구 높이와 어류의 체폭, 그리고 탈출구 폭과 어류의 체고를 각각 비교한 결과, 혼획저감장치 4종의 탈출구 높이는 모든 대상 어류의 체폭보다 컸고([Fig. 15(a)]), 탈출구 폭은 원추형-하방 탈출장치를 제외하고는 모든 대상 어류의 체고보다 큰 것으로 나타났다([Fig. 15(b)]).

<Table 1> Main species of fish and their body size caught by shrimp beam trawl Unit : mm

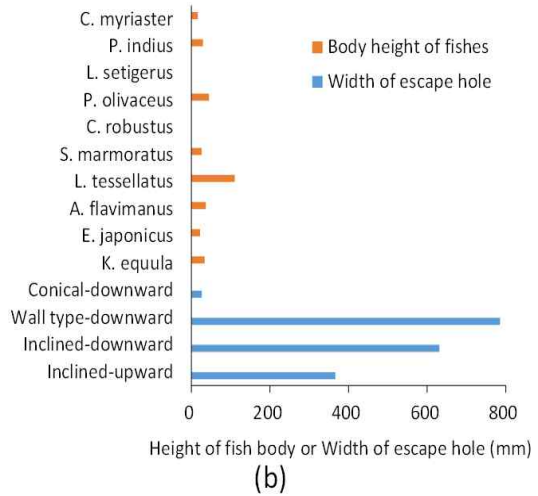
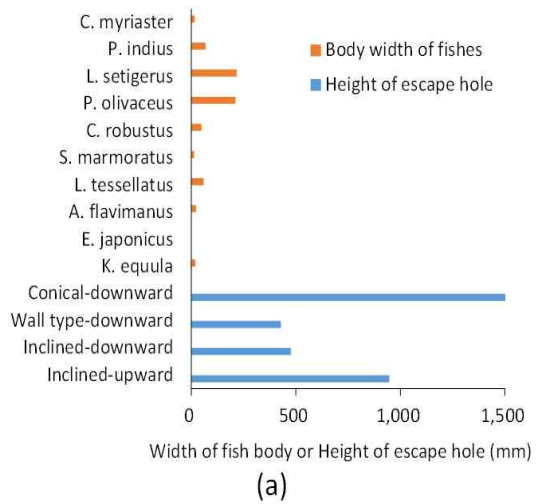
Scientific name	Total length range ^a	Body height	Body Width	Reference ^b
Kaiwarinus equula	60-90	33.7	19.5	Lee (2019); Mahjoub et al. (2011)
Engraulis japonicus	60-150	22.1		Youn and Kim (1996)
Acanthogobius flavimanus	90-250	36.7	23.3	Lee (2001)
Liparis tessellatus	100-650	110.0	58.4	Ban (2014)
Sebastiscus marmoratus	80-90	25.8	13.8	Morishita et al. (2018)
Cynoglossus robustus	180-190		48.7	Kim and Choi (1994)
Paralichthys olivaceus	80-600	44.7	211.2	Kim et al. (2011)
Lophiomus setigerus	280-450		216.6	Chen et al. (2024)
Platycephalus indius	80-400	29.6	68.0	Yun (2012)
Conger myriaster	180-270	16.2	16.2	Lee et al. (2005)

a: Referenced from Jang et al. (2011), b: Reference for body height or width



[Fig. 14] Results of comparison of (a) escape hole height and fish body height and (b) escape hole width and fish body width.

원추형-하방탈출 장치의 탈출구는 대상 어종이 90도 회전한 자세로 탈출구를 통과하는 경우 탈출구의 높이가 매우 커서 넙치, 개서대, 아귀, 양태 등 체폭이 체고보다 상대적으로 큰 어종은 통과에 문제가 없었으나 폭이 체고보다 좁아 탈출이 불가능 하였다. 이치험 원추형-하방탈출 장치의 탈출구는 기하학적 형태와 크기만을 고려했을 때는 탈출구가 열린 폭과 대상 어종의 크기라는



[Fig. 15] Results of comparison of (a) escape hole height and fish body width and (b) escape hole width and fish body height.

고정적인 수치 비교에 따라 대상 어종의 어렵다고 판단된다. 그러나 그물은 그물실이라는 가늘고 유연한 섬유를 마름모 형태로 만들어 반복적으로 연결한 구조물로서 그 특수한 구조와 재료의 특성으로 인해 물리적인 힘의 작용에 의해서 다양하게 변형될 수 있다. 예를 들어 마름모 구조의 그물감으로 조망 어구의 자루그물을 구성할 때 그 형상은 성형률을 통해 결정되므로 원추형-

하방탈출 장치의 탈출구가 일자 형태로 절개된 구조라고 해도 탈출구와 접한 부분의 그물감은 폭 방향 성형률만큼은 벌어질 여유가 있다. 또한 실제 예망 과정에서는 예망 속력이 다양한 요인에 의해 증감을 반복하므로, 속도가 증가했다가 줄어드는 순간에 탈출구는 시뮬레이션 결과에서 나타난 폭보다 더 넓게 벌어질 가능성이 있다. 따라서 다양한 수중의 상황에 따라 탈출구의 폭 방향 크기는 늘어날 수 있다. 그러나 현재의 연구에서는 이 같은 다양한 상황은 고려되지 않아 다소 연구에 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 조망 어구 예망 중 탈출구에 가해지는 다양한 외력을 고려할 필요가 있다. 또한 탈출구에 어류의 충격이나 접촉 등의 특정한 물리력이 가해졌 때 탈출구의 형상이 어떻게 달라지는지에 대한 연구를 수행할 계획이다.

이 연구는 조망 어구가 수중에서 예망될 때 자루그물에 부착된 혼획저감장치 및 탈출구의 전개 형상 모델링을 통해 대상 어류의 탈출 가능성을 분석하였다. 이처럼 탈출구와 어류의 크기에 대한 기하학적 관계는 다른 연구에서도 중요하게 다루고 있다. Harada et al.(2007)는 떡장어와 붕장어의 적정 탈출구 크기 연구에서 어류와 탈출구 사이의 기하학적 유사성을 기반으로 탈출구를 설계하였고, 이를 통해 통발 어구 탈출구의 둘레와 동일한 둘레를 가진 거의 모든 떡장어와 붕장어가 탈출구를 통과할 수 있다는 사실을 밝혀냈다. 이외에도 탈출구 설계에 있어 대상 생물의 형태와 크기에 대한 기하학적 상관관계는 많은 연구에서 고려되고 있다(Kim et al., 2013; Broadhurst et al., 2017; Fonteyne and Polet, 2002; Eryaşar, 2022). 따라서 수치 모델링을 통하여 조망 혼획저감장치의 수중 전개 형상 및 크기를 해석하는 연구는 혼획저감장치 실물 제작에 앞서 이론적 설계의 타당성을 검토할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있을 뿐만 아니라 어획 선택성이 높은 어구 설계를 통한 효과적인 수산자원관리에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

조망 어구 혼획저감장치의 탈출구 형상은 그 구조에 따라 상당 부분이 결정되지만 근본적으로는 예망 속력에 의한 유체력의 작용에 기인하여 나타나는 결과이다. 따라서 예망속력에 따라 탈출구의 형상에 차이가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 조망어구의 시뮬레이션을 위해 한 가지 조건만을 사용하였으나 향후 연구에서는 다양한 예망 속력에 따른 형상 분석을 수행해야 할 것이다. 또한 본 연구는 탈출구의 기하학적 형상 분석에 따른 탈출 가능성 추정이라는 한계가 있으므로 연구 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 어류와 탈출구 사이의 물리적 상호작용에 대한 연구도 추가로 수행해야 할 것이다.

IV. 결론

본 연구에서는 수치 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용하여 조망 어구 혼획저감장치 4종의 수중 형상 및 성능을 분석하였고 그 결과는 다음과 같았다.

수중형상을 분석한 결과에서는 경사형-상방탈출 장치의 경우, 탈출구가 폭과 높이가 모두 0.87m인 정삼각형으로 설계되었으나 수중 전개 시에는 폭 0.946 m, 높이 0.366 m인 (유사)타원형으로 변형 되었고, 경사망의 하방 처짐에 탈출구 뒷쪽의 끝자루 체적이 감소하였다.

경사형-하방탈출 장치의 경우, 탈출구는 폭이 1.1 m인 일자형으로 설계되었으나 수중 전개 시에는 폭 0.631 m, 높이 0.476 m인 타원형으로 변형 되었고, 경사망의 들림이 발생하면서 탈출구 뒷쪽 끝자루의 체적이 감소하였다.

벽면형-하방탈출 장치의 경우, 탈출구는 폭 1.0 m, 높이 0.25 m인 직사각형으로 설계되었으나 수중 전개 시에는 폭 0.786 m, 높이 0.429 m인 사각형과 유사하면서 상단부 1/4과 3/4지점이 솟아 오른 형태로 변형되었다. 벽그물은 약간 볼록한 형태를 이루었으나 거의 벽 형태를 유지하였다.

원추형-하방탈출 장치의 경우 탈출구는 높이

1.5 m인 일자형으로 설계되었으나 수중 전개 시에는 폭 0.026 m, 높이 1.5 m인 길고 납작한 타원형으로 변형되었다.

탈출구의 크기와 대상 어류(갈전갱이, 멸치, 문절망둑, 물메기, 솜뱅이, 개서대, 넙치, 아귀, 양태, 봉장어)의 크기를 비교한 결과에서는 경사형-상방탈출 장치, 경사형-하방탈출 장치, 벽면형-하방탈출 장치의 탈출구는 그 높이와 폭이 조망 어구에서 주로 혼획되는 어류들의 체고 및 체폭보다 컸고, 원추형-하방탈출 장치의 탈출구는 폭이 대상 어류의 체폭 또는 체고보다 상대적으로 작았다.

그러므로 경사형-상방탈출 장치, 경사형-하방탈출 장치, 벽면형-하방탈출 장치의 탈출구는 비교적 대상 어종의 탈출에 유리한 형태와 크기를 갖추고 있다고 판단되며, 원추형-하방탈출 장치의 경우 일부 어류의 원활한 탈출을 위해 탈출구 길이 연장 등의 보완이 필요한 것으로 판단된다.

References

- Ban TW(2014). Taxonomy of the family Liparidae (Scorpaeniformes) and phylogeography of *Liparis tanakae* in the Korean waters. Unpublished doctoral dissertation. Pukyong National University, Busan
- Broadhurst MK, Butcher PA and Millar RB(2017). Escape gaps in recreational panulirid traps: Reducing catches of undersized *Sagmariasus verreauxi* while increasing fishing power for legal sizes. *Fisheries research*, 189, 55~61.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.01.006>
- Cha BJ, Lee CW, Lee JH and Kim HY(2002). Hydrodynamic Simulation of Midwater Trawl System Behavior. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 38(2), 164~171.
<https://doi.org/10.3796/KSFT.2002.38.2.164>
- Chen HP, Lee MY and Chen WJ(2024). Integrative taxonomy reveals unanticipated hidden diversity in the monotypic goosefish genus *Lophiomus* (Teleostei, Lophiidae), with description of three new species and resurrection of *Chirolophius laticeps* Ogilby, 1910. *European journal of taxonomy*, 943, 239~287.
<https://doi.org/10.5852/ejt.2024.943.2599>
- Eryaşar, A. R. (2022). Grid-net design that successfully reduces discarded catch and damage to benthic species in the veined rapa whelk beam trawl fishery. *Marine Biology Research*, 18(5-6), 335~346.
<https://doi.org/10.1080/17451000.2022.2123523>
- Fonteyne R and Polet H(2002). Reducing the benthos by-catch in flatfish beam trawling by means of technical modifications. *Fisheries Research*, 55(1-3), 219~230.
[https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(01\)00287-9](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(01)00287-9)
- Harada M, Tokai T, Kimura M, Hu F and Shimizu T(2007). Size selectivity of escape holes in conger tube traps for inshore hagfish *Eptatretus burgeri* and white-spotted conger *Conger myriaster* in Tokyo Bay. *Fisheries Science*, 73, 477~488.
<https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01360.x>
- Jang CS, Cho YH and An YS(2014). Opening efficiency and selectivity of Double-level type and Grid type in the shrimp beam trawl net. *J Kor Soc Fish Technol*, 50(3), 351~360, 2014
<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.3.351>
- Kim HY, Lee CW, Cha BJ, Kim HS and Gwon BK(2002). Dynamic simulation of a Purse seine net behavior for hydrodynamic analysis. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 38(2), 172~178.
<https://doi.org/10.3796/KSFT.2002.38.2.172>
- Kim IS and Choi Y(1994). A Taxonomic Revision of the Family Cynoglossidae (Pisces, Pleuronectiformes) from Korea, *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, 27(6), 803-813.
- Kim JH., Lee JH., Kim HC, Noh JK, Kang JH and Kim KK(2011). Body Shape and Growth in Reciprocal Crosses of Wild and Farmed Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(2).
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00463.x>
- Kim TK, Kim HS, Lee JH and Kim S(2013). A study on the selectivity of grid type escape device for the reduction of small size of fish in set net. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 49(3), 188~199.

- <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.49.3.188>
- Lee CW, Kim YB, Lee GH, Choe MY, Lee MK and Koo KY(2008). Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. *Ocean Engineering*, 35(14 - 15) 1521~1532
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.06.009>.
- Lee GH, Kim IO, Cha BJ and Jung SJ(2015). Analysis for gillnet loss in the West Sea using numerical modeling. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 51(4), 600~613.
<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.600>
- Lee GH., Cho SK, Kim, IO, Cha BJ and JUNG SJ(2017). Effect of the characteristics of buoy on the holding power of trapnet. *The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 53(4), 309~316
<https://doi.org/10.3796/ksft.2017.53.4.309>
- Lee J(2019). Morphology, Osteology and phylogeny on the fishes of the Carangidae five species. Unpublished master dissertation. Jeonnam University, Yeosu.
- Lee JH, Lee CW, Yoo JB, Gwon BK, KIM HS, Jeong SB, Jo YB, Kim SH and Kim BY(2005). Improvement of Gill Net and Trap Net Fishing for the Resource Management in the Southern Sea of Korea-Mesh Selectivity of Spring Frame Trap for Conger eel, Conger myriaster. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 41(1), 27~34.
<https://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.1.027>
- Lee YJ(2001). Osteological Study of the Genus *Acanthogobius* (Perciformes : Gobiidae) from Korea. *Korean Journal of Ichthyology*, 13(1), 50~62.
- Mahjoub MS, Takeda S, Hayashi T, Shiode D, Arimoto T and Tokai T(2011). Codend selectivity for jack mackerel and whitefin jack and unequal split parameter estimates observed in trouser trawl experiments. *Fisheries Science*, 77, 169~181.
<https://doi.org/10.1007/s12562-011-0331-1>
- Morishita S, Kawai T and Motomura H(2018). *Sebastiscus vibrantus*, a new species of rockfish (Sebastidae) from Indonesia and Taiwan. *Ichthyological Research*, 65, 423~432.
<https://doi.org/10.1007/s10228-018-0632-9>
- Youn CH and Kim IS(1996). Taxonomic study of the Family Engraulidae (Pisces : Clupeiformes) from Korea. *Ichthyological Society of Korea*, 8(2), 33~46.
- Yun JW(2012). Reproductive Ecology and Early development of *Platycephalus indicus*, in Korea. Unpublished doctoral dissertation. Jeonnam University, Yeosu.
-
- Received : 07 October, 2024
 - Revised : 21 November, 2024
 - Accepted : 28 November, 2024