

전남 진도지역 낭장망의 유속에 따른 망구형상 변화에 관한 모형실험

김성훈 · 이동길 · 임지현* · 박성욱
국립수산과학원 시스템공학과

Model test on the net mouth shape of a gape net according to current speeds in Jindo area, Korea

Seonghun KIM, Donggil LEE, Jihyun LIM* and Seongwook PARK

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea*

A model net experiment of the gape net for anchovy in Jindo, Jeollanam-do was carried out to investigate the net shape and hydrodynamic resistance using circulating water channel. The model net was made 1/33 down scale by Tauti's similarity method and the range of experimental current speed was from 0.5 knot to 3.5 knot (increasing 0.5 knot interval). The net mouth height in 0.5 knot of the minimum experiment current speed was shown 26.0 cm (full-scale conversion value 8.58 m). The net mouth height and mouth area in 1.5 knot of the same current speed with a gape net fishing ground were shown 20.0 cm (full-scale conversion value : 6.60 m) and about 507.9 cm² (full-scale conversion value : 55.31 m²). The net mouth height and area were decreased with increase the experimental current speed. The hydrodynamic resistance of the model net in 1.5 knot current speed was shown 1.11 kgf and the value of full-scale conversion by Tauti's method was shown 3.996 ton.

Keywords: Gape net, Model experiment, Net shape, Net mouth area, Net mouth height

서론

우리나라 남서해안에서 조류를 이용하여 어획을 하는 낭장망어업은 주로 멸치 등을 대상으로 행해지고 있다. 낭장망 어구는 긴 자루그물과 자루그물 앞쪽 좌우에 붙어 있는 날개그물로 구성되어 있고, 닻으로 해저에 고정시켜 사용한다. 이들 어업은 연안어업과 구획어업으로 허가되어 있으며 구획어업 낭장망은 시군별로 정해진 일정 수역 내에서 어구를 설치하여 조업하고 있

다. 낭장망은 어구분류상 주목망, 안강망 등과 함께 입구일정 어구로 분류되며 조류가 강한 남서해안의 연안에서 어구를 고정하여 두고 조류와 함께 어구 안으로 들어오는 어류를 어획하는 방식으로 행해진다. 낭장망어업은 조류를 이용하는 어업이므로 유연능력이 크지 않은 어류나 갑각류, 두족류 등이 어획되지만 대부분의 주요 어획은 멸치를 대상으로 하고 있으며 회유량이 많고 경제성도 높다. 일반적으로 멸치를 대상으로 조업할

*Corresponding author: hyuny0456@hanmail.net, Tel: +82-51-720-2584, Fax: +82-51-720-2586

때에는 끝자루 부분에 세목망을 사용하는 어업 중의 하나이며 최근 세목망을 사용하는 낚장망어업은 멸치 이외의 기타 어종의 혼획 가능성이 높다고 지적되고 있다 (Kim et al., 2012).

낚장망에 대한 연구는 주로 낚장망 어획물의 종조성 및 낚장망을 이용한 어류상 분석 등의 연구가 수행되었다 (Han and Oh, 2007; Huh and Kwak, 1998; Hwang, 1998; Kim et al., 2002; Song et al., 2008). 반면에 어구의 수중거동이나 그물의 형상 등에 대한 연구는 전무한 실정이다. 또한 이들 어구는 조류를 이용하여 어획함에도 불구하고 오히려 조류가 빠른 사리 때에는 어획이 잘되지 않는 것으로 알려져 있다. 이는 유속에 따른 그물의 형상 변화가 큰 것으로 추정만 하고 있다.

본 연구는 전라남도 진도 연안 수역에서 구획어업으로 허가되어 닻 또는 멍으로 어구를 고정하여 조업하는 닻낚장망을 대상으로 유속 변화에 따른 그물의 형상 변화와 유체저항을 정량적으로 분석하기 위해 모형 어구를 제작하고, 회류수조를 이용하여 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

실물어구

본 연구에서는 낚장망 어업허가가 가장 많은 진도지역 중에서 조류의 세기가 강하고 조업어장의 접근성이 용이한 진도군 마사리의 낚장망을 대상으로 하였다. 마사리 지역 낚장망은 멸치를 주대상으로 조업하는 어구로, 재질은 PE 그물을 사용하며 입구부분의 둘레의 컷수가 망목 101 mm (4절), 1,200코 크기의 어구로 입구 길이는 등판과 밑판이 12 m (8발), 옆판이 9.5 m (6.5 발)였다. 등판은 컷수가 350코, 옆판은 250코로 설계되어 있으며, 어구 각부의 둘레 (등판+밑판+좌우옆판) 컷수, 망목크기 및 길이는 Table 1에 나타내었다.

모형어구

낚장망 어구의 유속 변화에 따른 망구형상 변화를 관찰하기 위해 입구둘레 1,200코 규모의 낚장망 실물어구를 기준으로 모형어구를 제작하여 실험하였다 (Table 1).

모형어구는 식(1) ~ 식(4)와 같이 Tauti의 어구상사법칙에 기초하여 제작하였으며, 축소비 Λ 는 회류수조의 규모와 Scale effect 등을 고려하여 1/33로 하였다.

Table 1. Netting composition of the proto-type gape net using in Jindo, Jeollanam-do

Part No.	Mesh number of circumference*	Mesh size (mm)	Ply	Mesh number of vertical direction
1	1200	101	21	13.5
2	1150	76	18	16
3	1100	61	15	20
4	1070	51	15	25
5	1040	43	15	33
6	1000	38	12	50
7	960	34	12	50
8	930	27.5	9	50
9	900	23.3	9	100
10	860	20.2	9	100
11	820	17.8	9	100
12	780	15.9	9	100
13	740	14.4	9	100
14	Raschel netting	9.8	12	10.2m (Netting length)
15	Raschel netting	7.4	12	8m (Netting length)

* Mesh numbers are added upper panel, down panel and 2 side panels.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \Lambda \tag{1}$$

$$\frac{d_1}{l_1} = \frac{d_2}{l_2} \tag{2}$$

$$V^2 = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 = \frac{d_2(\rho_2 - 1)}{d_1(\rho_1 - 1)} \tag{3}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \Lambda^2 V^2 \tag{4}$$

Table 2. The model net of the Tauti's similarity ratio

Item of similarity ratio	Symbol	Value
Scale down ratio	Λ	1/33
Twine diameter / 1 bar length	d/l	Proto type 0.08 Model type 0.08
Current speed ratio	V	0.55
Buoyancy	$\Lambda^2 V^2$	Proto type 750kg Model type 216g
Symbol depressing force	$\Lambda^2 V^2$	Proto type 25.2kg Model type 7g

여기서, Λ 는 축소비, λ_1 과 λ_2 는 각각 실물과 모형의 각부치수이며, l_1 , d_1 과 l_2 , d_2 는 각각 실물과 모형어구

회류수조

모형실험은 국립수산과학원 소재의 수직 순환형 회류 수조를 사용하여 실험을 실시하였다. 회류수조의 관측 창의 크기는 8.0 m×2.8 m×1.4 m (L×W×H)이며, 저수용량은 280 ton, 유속은 0~3.0 m/s까지 조절이 가능하다. 수조의 상세 사양은 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다.

Table 3. Principal characteristics of the circulating water channel used in experiments

Terms	Specifications
Water capacity (ton)	280
Measuring window (m)	8.0 (L)×2.8 (W)×1.4 (H)
depth (m)	1.4
Current velocity (m/s)	0~3.0
Impeller & motor	2 impellers (4 blades), AC 90 kW×2

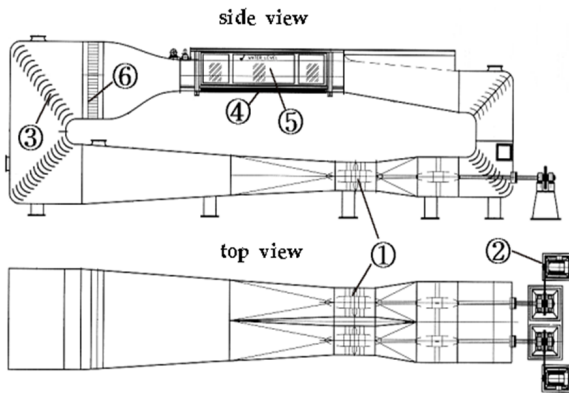


Fig. 2. Schematic drawing of vertical circulating water channel.

- ① impeller ② AC motor ③ guide vane
- ④ under observation panel ⑤ side observation panel
- ⑥ honeycomb

측정방법

실험어구는 회류수조 표층에 뜬이 드러나도록 설치하였다. 실험은 유속변화에 따른 장력변화를 측정하기 위해 트레이버스에 수중장력계 (SUMM(SP)-10K, Senstech, Korea)를 양쪽에 설치하고 장력계와 날개그물의 그물 목줄과 연결하였다. 그물의 전개간격은 실물어구의 날개 전개거리를 고려하여 200 cm로 고정하고, 유속변화에 따른 어구의 형상을 관찰하였다. 실험유속의 측정은 프로펠러식 유속계 (VOT 2-200-20, Kenek, Japan)를 사용하였으며, 유속의 설정은 Tauti의 상사법칙에 따라

속도비를 0.55로 계산하였으며, 실험유속은 실물유속으로 환산해서 0.5~3.5 knot까지 0.5 knot 간격으로 증가시키며 실험을 실시하였다. 실험유속과 실물유속 환산값은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Current speed for model net experiments

Field current Speed (knot)	Impeller speed (RPM)	Experimental current speed (cm/s)
0.5	14	14.2
1.0	21	28.3
1.5	32	42.5
2.0	44	56.7
2.5	54	70.8
3.0	66	85.0
3.5	78	99.1

모형어구의 유속 변화에 따른 어구형상 계측은 망고와 망폭 변화를 측정하여 나타내었으며, 망고와 망폭은 회류수조 관측창 측면과 밑면에 설치되어 있는 디지털 (DHSM-A, DH Systech, Korea)를 사용하여 측정하였고, 자루입구 중앙부의 상하 간격을 망고 (Fig. 3. a)로, 좌우 간격을 망폭 (Fig. 3. c)으로 하여 어구형상을 분석하였다. 또한 망구형상을 관찰하기 위하여 소형 수중카메라 (Ego-727, EGO, USA)를 사용하여 유속별 어구형상 변화가 안정화 되었을 때 정지영상을 촬영하였다. 수중카메라는 유체의 흐름에 방해를 주지 않도록 유선형의 하우징을 장착하여 사용하였고, 카메라 후면의 와류로 인해 망구형상에 영향을 주지 않도록 하기 위해 망구로부터 약 1.5m 위치에서 자루그물쪽으로 향하도록 하여 촬영을 하였다.

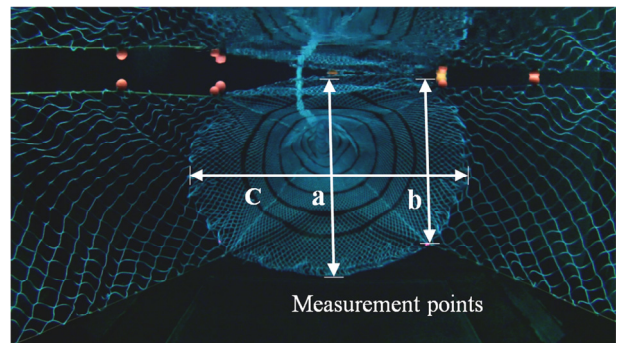


Fig. 3. Measurement points of net height and width on the model net.

모형어구의 망구 형상은 실험에서 수집한 망고를 단축, 망폭을 장축으로 하는 타원으로 가정하였고, 타원 방정식 식(5)를 사용하여 망구의 개략적인 형상을 도식화하고 유속변화에 따른 변화를 분석하였다. 여기서 α 는 타원체의 단축으로 Fig. 3에서 a 를 나타내며, β 는 타원체의 장축으로 Fig. 3에서 c를 나타낸다.

$$\frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} = 1 \quad (5)$$

또한 망구의 면적변화는 타원의 면적공식 식(6)을 이용하여 산출하여 유속변화에 따른 변화량을 분석하였다.

$$A = \frac{\alpha}{2} \times \frac{\beta}{2} \times \pi \quad (6)$$

여기서, A 는 망구의 면적이며, α 는 타원체의 단축, β 는 타원체의 장축을 나타낸다.

결과 및 고찰

모형어구의 형상변화

낭장망 어구의 유속에 따른 어구형상은 유속이 빨라짐에 따라 발줄과 날개의 아랫부분이 부상하여 원형에 가까운 망구 형상이 가로방향으로 긴 타원형으로 변화하였다. 또한 유속이 빨라짐에 따라 그물의 유체저항으로 인해 망고가 낮아지고 전체적으로 망구 면적이 줄어드는 일반적인 경향을 보였다. 유속에 따른 회류수조 유속장 내에서의 그물 형상은 Fig. 4에 나타내었다.

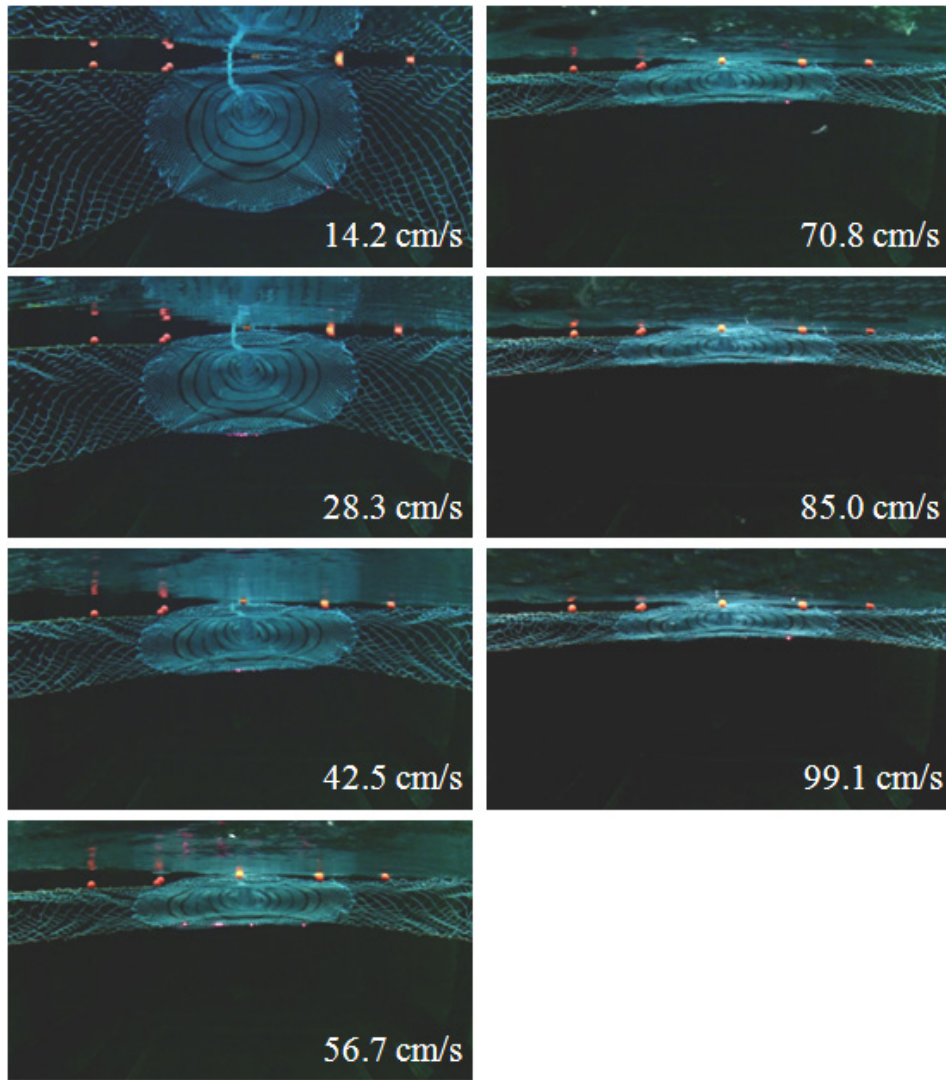


Fig. 4. Net mouth shape of the model net according to increase flow speed in circulating water channel.

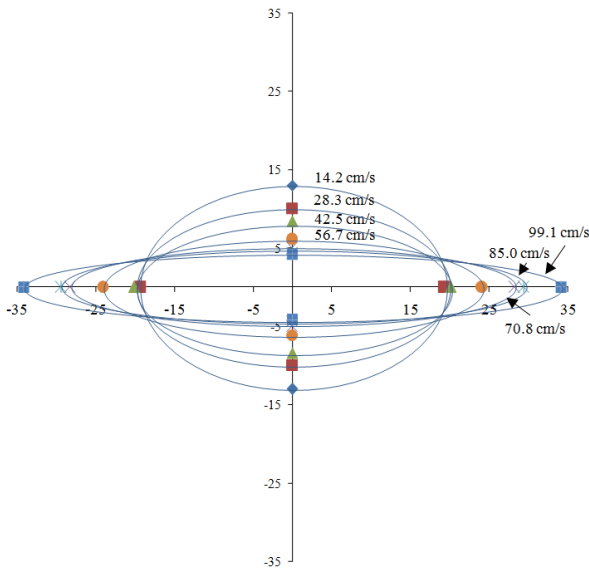


Fig. 5. Net mouth shape in the model net with the flow speed increasing.

망구의 형상을 식(5)를 사용하여 타원으로 도식화하였다 (Fig. 5). 망구는 실험유속 14.2 cm/s (실물유속 0.5 knot)에서 56.7cm/s (실물유속 2.0 knot)까지는 유속이 증가함에 따라 망구의 변화가 크게 나타났으나, 56.7 cm/s 이상의 유속에서는 망구의 변화 폭이 작게 나타났다.

유속에 따른 망구의 변화

유속변화에 따른 망구의 변화는 실물유속이 가장 낮은 실험유속 14.2 cm/s (실물유속 0.5 knot)에서는 26.0 cm로 실물 환산치로는 약 8.58 m의 망고를 나타내었다. 전남 진도 마사리 낭장망 어장 주변 해역의 평균 유속은 1.6 knot 내외이며, 이와 유사한 실험유속 42.5 cm/s (실물유속 1.5 knot)에서의 망고는 20.0 cm로 실물 환산치로는 약 6.60 m로 나타났다. 실험결과, 유속이 빨라질수록 망구의 높이는 낮아지는 일반적인 경향을 나타내었다 (Fig. 6).

유속에 따른 망구 면적의 변화

망구 면적은 자원조사에 있어서 소해면적의 계산이나, 효율적인 수산자원 채집과 자원량을 평가하는데 중요한 인자 중의 하나이다. 본 실험에서의 모형어구의 망구면적은 망고와 망폭을 고려하여 타원형의 망구형상으로 표현하였으며, 식(6)을 이용하여 구하였다. 유속

에 따른 망구면적의 변화는 유속이 빨라짐에 따라 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있었으며, 실물어구의 부설 해역의 평균 유속과 유사한 실험유속 42.5 cm/s (실물유속 1.5 knot)에서의 망구의 면적은 약 507.9 cm² (실물환산 약 55.31 m²)로 나타났다. 유속변화에 따른 망구 면적의 변화는 Fig. 7에 나타내었다.

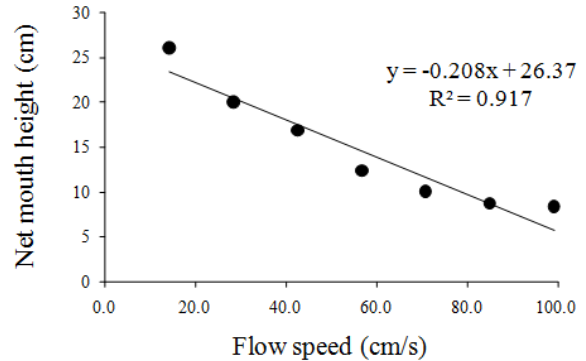


Fig. 6. Relationship between net height and flow speed.

*Flow speed is converted from experimental speeds to real speed

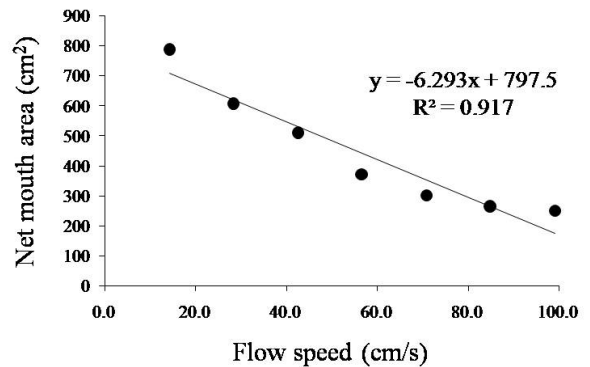


Fig. 7. Relationship between net mouth area and flow speed.

*Flow speed is converted from experimental speeds to real speed

유속에 따른 어구저항의 변화

모형어구에 미치는 유속 변화에 따른 어구의 유체저항 F (kgf)와 유속 V (knot)의 관계는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = a \cdot V^b \quad (7)$$

유속의 변화에 따른 어구저항은 유속이 증가함에 따라 거듭제곱의 형태로 증가하는 것으로 나타났으며, 식(7)의 a 는 0.748, b 는 1.059로 나타났다. Koyama

(1971)는 그물의 유체저항은 유속에 제공하여 증가한다고 보고하였으나, 본 연구에서는 유속의 1.059 제곱으로 증가하는 것으로 나타났으며 실험 대상어구의 종류와 모형그물형태에 따라 지수(b)는 1~2의 값을 나타내었다 (Park et al., 2006; Yae and Lee, 1993; Lee et al., 2003). 현용 낭장망의 부설 해역의 평균 유속 (1.6 knot)을 고려하여 실험유속 42.5 cm/s (실물유속 1.5 knot) 일 때의 어구저항은 1.11 kgf로 나타났으며, Tauti 상사비에 의한 실물 환산치는 3.996 ton 으로 나타났다. 유속에 변화에 따른 어구저항은 Fig. 8에 나타내었다.

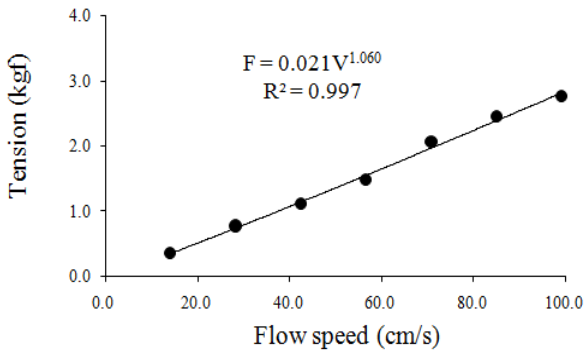


Fig. 8. Relationship between net hydrodynamic resistance and flow speed. (Flow speed is converted from experimental speeds to real speed)

낭장망 어구는 어구의 구성이 단순하고, 자망이나 통발과 같이 특별한 어로장비를 필요하지 않으며, 조류를 이용하여 대상생물을 어획하기 때문에 유류의 사용량이 적은 어업 중의 하나이다. 또한 조류에 의해 다양한 어종이 입망하기 때문에 어구 부설 주변해역의 어류상에 관한 연구에서도 낭장망이 많이 이용되기도 한다. 그러나 어업인들은 조류를 이용함에도 불구하고 물살이 빠른 시기(사리 물때)에는 어획량이 부진하여 조업을 하지 않으며, 대부분 물살이 느린 조금물때부터 시작하여 사리 물때 전에 한 어기를 마친다. 특히 사리 물때에는 빠른 유속으로 인하여 어구의 전개가 원활하지 않으며 특히 입구가 좁아져 어군의 입망에 방해받기 때문으로 알려져 있다. 자루형태의 그물은 망구의 크기가 어획량을 좌우할 만큼 중요한 요소로 작용한다. 따라서, 중층트롤어구의 경우 소해면적을 크게 하기 위하여 망구부분은 로프나 큰 망목을 사용하여 입구의 면적을 넓혀서 조업을 하기도 한다. 또한 트롤과 같은 저인망은 수중 어구의 형상과 망구형상에 관하여 많은 연구

가 수행되었다 (Park et al., 2008; Park and Yoon., 2001; Park and Yoon., 2002). Park (2006)은 저층트롤에 있어서 유속에 따른 망고의 변화는, 유속이 증가함에 따라 선형적으로 감소하며, 전개판에 의한 그물의 전개각이 클수록 망고의 변화는 작은 것으로 보고하였다. 본 연구의 낭장망은 트롤과 달리 날개그물은 일정 거리를 두고 닻으로 고정되어 있기 때문에 유속이 변화에 따라 망고에 비해 상대적으로 망폭의 변화는 작은 것으로 나타났다. 그러나 진도 마사리 지역의 실물 낭장망 어구는 실험결과에 따르면 유속이 2.5 knot 이상 빨라지면 망고가 급격히 낮아져 대상어류의 입망 빈도가 낮을 것으로 예상되며, 유속이 증가함에 따라 망고의 윗부분과 날개부분에 주름이 많이 생기는 것을 알 수 있었으며, 그물의 저항을 균형 있게 받게 하기 위해서는 어구 설계시 이러한 사항을 고려해야 할 것으로 판단한다. 낭장망 어구는 지금까지 어업인들의 경험에 의해 설계가 이루어져 오고 있어 정량적인 어구의 저항이나 수중의 형상을 예측하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 낭장망 어구의 유속의 변화에 따른 망구의 형상과 어구저항을 정량적으로 파악하여 합리적인 어구의 운용과 어구설계에 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 기대한다.

결론

본 연구는 전남 진도 인근해역에서 멸치를 대상으로 조업하는 낭장망어구 유속에 따른 어구형상과 유체저항을 알아보기 위하여 회류수조를 이용하여 모형어구 실험을 실시하였다. 모형어구는 실물어구에 대해 축소비 1/33으로 제작하였으며, 실험 유속은 실물 유속 0.5 knot 간격으로 0.5 knot ~ 3.5 knot 범위로 하였다. 유속 변화에 따른 망고는, 전남 진도 마사리 지역의 평균 유속과 유사한 실험유속 42.5 cm/s (실물유속 1.5 knot)에서 20.0 cm (실물 환산치 약 6.60 m)로 나타났다. 또한 망구의 면적은 동일 유속에서 약 507.9 cm² (실물환산 약 55.31 m²)로 나타났다. 실험결과, 유속이 빨라질수록 망고의 높이와 면적은 감소하는 일반적인 경향을 나타내었다. 어구저항은 실험유속 42.5 cm/s (실물유속 1.5 knot) 일때 1.11 kgf로 나타났으며, Tauti 상사비에 의한 실물 환산치는 3.996 ton으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 낭장망 어구의 유속의 변화에 따른 망구의

형상과 어구저항을 정량적으로 파악하여 합리적인 어구의 운용과 어구설계에 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 판단한다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산시험연구사업 (RP-2015-FE-006)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 연구의 수행에 있어서 모형실험 및 데이터 정리에 많은 도움을 주신 오우석 연구원님께 감사 말씀드립니다.

References

Kim SH, Park CD and Park SW. 2012. A study on a bycatch of the gape net in Jindo area of Jeollanam-do. *J Fish Mar Sci Edu* 24, 137-145. (ISSN: 1229-8999)

Han KH and Oh YS. 2007. Species composition and quantitative fluctuation of fishes collected by gape net in coastal waters of Yeosu. Korea. *Bull Kor Soc Fish Tech* 43, 262-173. (DOI: 10.3796/KSFT.2007.43.4.261)

Huh SH and Kwak SN. 1998. Species composition and seasonal variations of fishes collected by winged stow nets on anchors off Namhae island. Korea. *Bull Korean Soc Fish Tech* 34, 155-163. (ISSN: 1225-827X)

Hwang SD. 1998. Diel and seasonal variations in species composition of fishery resources collected by a bag net off Kogunsan-gundo. *Korean J Ich* 10, 155-163. (ISSN: 1225-8598)

Kim JK, Choi OI, Chang DS and Kim JI. 2002. Fluctuation of bag-net catches off wando, Korea and the effect of sea water temperature. *J Kor Fish Soc* 35, 497-503. (DOI: 10.5657/KSFT.2002.35.5.497)

Song MY, Sohn MH, Im YJ, Kim JB, Kim HY, Yeon IJ, Hwan HJ. 2008. Seasonal variation in the species composition of

bag-net catch from the coastal waters of Incheon, Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 272-281. (DOI: 10.5657/KFAS.2008.41.4.272)

Koyama T. 1971. A calculation method for matching trawl gear to towing power of trawlers. *Modern fishing gear of the world* 3, 352.

Park GJ, Lee JH, Kim HS, Jeong SB, Oh TY and Bae JH. 2006. A model experiment on the underwater shape of deepsea bottom trawl net. *J Kor Fish Soc Tech* 42, 497-503. (DOI: 10.3796/KSFT.2006.42.3.134)

Yae YH and Lee BG. 1993. A model experiment on the basic efficiency of midwater rope trawl net. *J Kor Fish Soc Tech* 29, 200-213. (ISSN: 2287-4623)

Lee JH, Yoo JB, Lee CW, Kwon BG and Kim JM. 2003. Development for fishing gear and method of the non-float midwater pair trawl net(I) -Opening efficiency of model net according to the length of lower warp-. *J Kor Fish Soc Tech* 39, 33-43. (DOI: 10.3796/KSFT.2003.39.1.033)

Park HH, Cho BK, Ko GS and Chang HY. 2008. The gear shape and cross section of sweep at mouth of a bottom trawl. *J Kor Fish Soc Tech* 44, 120-128. (DOI: 10.3796/KSFT.2008.44.2.120)

Park HH and Yoon GD. 2001. Fluid drag of a trawl net and otter board spread in a midwater trawl. *J Kor Fish Soc Tech* 34, 238-244. (ISSN: 2287-8815)

Park HH and Yoon GD. 2002. A gear shape of midwater trawl and its change. *J Kor Fish Soc Tech* 38, 209-216. (DOI: 10.3796/KSFT.2002.38.3.209)

2015. 2. 8 Received

2015. 2.25 Revised

2015. 2.26 Accept