

## 자망의 수중형상에 대한 음향학적 해석

한진석 · 신현옥<sup>1\*</sup>

한국해양연수원 승선실습센터, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부

### Acoustic analysis on the shape of gill-net in the current

Jin-Seok HAN and Hyeon-Ok SHIN<sup>1\*</sup>

*Marine Operation Research Center, Korean Institute of Maritime and  
Fisheries Technology, Busan 608-829, Korea*

*<sup>1</sup>Division of Marine Production System Management, Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea*

An experiment to acoustically analyze the shape of gill-net in the current was conducted in Jaran Bay, Gosung, Korea on the 9th to 10th September (spring tide) and 28th to 29th September (neap tide) 2006. It was measured by a 3D underwater positioning system with a radio-acoustic linked positioning buoys. Six of 7 acoustic transmitters used in the experiment were attached on the float line of the gill-net and the other was fixed on the sea bed. During spring tide, the maximum movement of the gill-net was 27.0m(22:00) in the west(4.4cm/s, 311.9°) and 20.6m(04:00) in the east(3.9cm/s, 66.5°). The maximum extension of the gill-net (the distance between P1 and P6) was 119.8m(21:00, 11.6cm/s, 321.9°) and the minimum was 109.9m(23:00, 16.1cm/s, 88.5°). During neap tide, the maximum movement was 38.0m(20:00) in the east(9.6cm/s, 278.2°) and 11.0m(12:00) in the west(1.9cm/s, 232.1°). The maximum extension was 99.6m(14:00, 12.5cm/s, 94.7°) and the minimum was 85.0m(06:00, 9.0cm/s, 265.8°). During spring tide, the maximum height of the gill-net from the sea bed was 3.7m(02:00, 7.4cm/s, 151.6°) and the minimum was produced the three times as 1.5m. At that time, the current speed and direction was 17.9cm/s and 85.3° (23:30), 16.1cm/s and 249.4° (05:00), and 13.7cm/s and 291.4° (06:30), respectively. During neap tide, the maximum height was 3.6m(12:30, 2.1cm/s, 242.3°) and the minimum was 1.5m(14:00, 12.5cm/s, 94.7°).

Key words : Gill – net, Acoustic transmitter, Radio-acoustic linked positioning buoys, Movement

\*Corresponding author: shinho@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-620-6125, Fax: 82-51-622-3306

## 서론

걸어구류는 가장 간단한 구조의 어구류로서 다양한 어류를 주 대상으로 긴 띠 모양의 그물을 고기가 지나가는 곳에 부설하여, 대상 생물이 그물코에 꽂히도록 하여 잡는 것이다(Go and Kim, 1997). 한국 어구도감의 걸어구류 편(NFRDI, 2002)에서 고정 걸어구류에 속하는 자망은 주로 저층에 서식하는 어류를 대상으로 긴 띠 모양의 그물로서 상부에는 뜸을, 하부에는 발들을 달아 수직으로 전개되도록 어구를 닦이나 명 등으로 고정 부설하여 대상 생물을 잡는 것으로 정의하고 있다.

자망은 유향과 유속에 영향을 많이 받는 어업으로서 어구의 형태에 따라 어획량이 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. 특히 자망 어구의 어획 효율은 어군의 형태, 어군의 수직 수평분포, 행동 등의 생물학적 요소와 그물코 크기, 그물실 굵기, 재료, 성형률 등의 비생물학적인 요소에 의해 영향을 많이 받는다.

자망에 관한 연구로서 Matuda(1988)는 자망의 형상에 대한 미분방정식을 수치 해석하여 홀자망의 높이에 대한 약산식 등을 제시하였다. Hwang et al.(1995)은 GPS를 이용하여 멀리 유자망의 표류상태를 측정하였으며, Shimizu(2005)는 유자망을 수치 해석하여 시뮬레이션을 통해 어구의 유동을 해석한 바 있다. 자망에 대한 생물학적 연구로서는 Mäkinen et al.(2000)과 Kallayil(2003)의 음향 텔레메트리 기법을 이용하여 자망에 반응하는 어류행동을 측정한 연구가 있다. 또한 많은 연구자들에 의해 자망에 어획되는 어종분석 및 선택성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Yum, 1997; Joo et al., 1998; Kim and Lee, 2002; An and Huh, 2003; Chang et al., 2004; Park and Kim, 2004; Ryu et al., 2005). 하지만, 자망은 유향 유속에 의해 어구의 형상이 많이 변함에도 불구하고 실제 해역에서 유향 유속에 대한 자망의 형상 변화에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 경남

고성군 자란만 해역에서 실제 조업이 이루어지고 있는 자망 중 진어 자망을 대상으로 현장실험을 계획하게 되었다.

현장에서 수중 그물의 형상을 측정하는 데에는 수중 카메라, 고해상도 소나와 같은 수중영상 장비와 음향트랜스폰더(acoustic transponder), 음향송신기(acoustic transmitter)와 같은 음향텔레메트리 장비가 있다(Tae and Shin, 2004). 수중카메라는 수중시계가 충분히 확보되어야 하고, 고해상도 소나는 소나헤드를 고정시키는데 많은 비용이 수반되어 사용에 어려움이 있다. 반면에 음향트랜스폰더와 음향송신기는 3차원으로 수중 그물의 형상을 측정하고 분석하는데 사용하기가 용이한 편이다(Hwang and Shin, 2003; Tae and Shin, 2006).

본 연구에서는 수중에 설치한 자망의 3차원 거동을 측정하고 해석하기 위하여 장기선(long baseline: LBL)방식의 무선부이식 수중위치측정 시스템(underwater positioning system: UPS)과 음향송신기를 사용하여 현장실험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 무선부이식 3차원 수중위치측정시스템

자망의 수중 형상은 Tae and Shin(2004)이 정치망 원통의 체적 변화를 측정하고 해석하기 위하여 사용하였던 것과 같은 무선부이식 3차원 UPS를 사용하였다. 음향송신기의 위치계산은 쌍곡선위치결정법을 이용하여 계산하였으며(Tae and Shin, 2004), 수파기의 좌표는 해저에 고정시킨 음향송신기를 사용하여 조류에 의해 변동하는 수파기의 좌표를 보정하였다(Hwang and Shin, 2003; Tae and Shin, 2004).

### 실험 어장의 환경

자망의 수중형상을 측정하기 위한 현장 실험은 2006년 9월 9일 - 10일(대조기)과 9월 28일 - 29일(소조기) 두 차례에 걸쳐 실시하였으며 데이터를 기록한 시간은 각각 24시간이었다. 대조

기에는 바람과 파도가 잔잔하였지만, 소조기에는 바람(풍향: WSW)과 파도가 다소 강하였다.

실험 어장은 경남 고성군 자란만에 위치하며, 어장 주변 수심은 13m 정도이었다. 실험에 사용한 어구는 현지 어민들이 사용하고 있던 개량식 전어 자망이었다. 실험 해역과 자망의 부설 위치는 Fig. 1과 같다. 투망은 조류방향과 직각에 가깝도록 남북방향으로 하였다. 실험에 사용한 자망의 설계도는 Fig. 2와 같다.

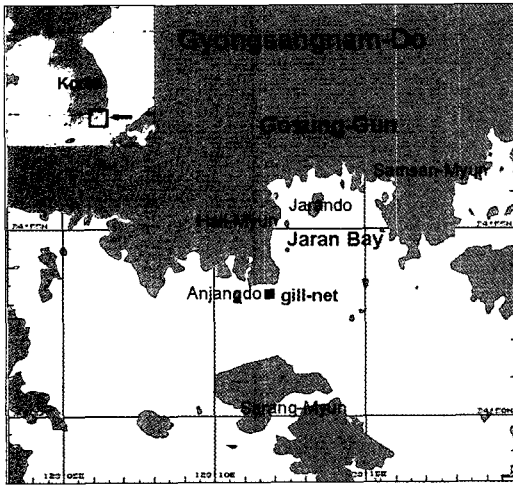


Fig. 1. Location of gill-net (■) used in the experiment.

PP rope $\phi$ 6mm, 71000mm
PP rope $\phi$ 3mm
3 meshes PE net Td260/4 50mm
100 meshes PE mono net #1.5( $\phi$ 0.2mm)50mm 151500mm
3 meshes
PP rope $\phi$ 2mm
PP rope $\phi$ 6mm, 80000mm

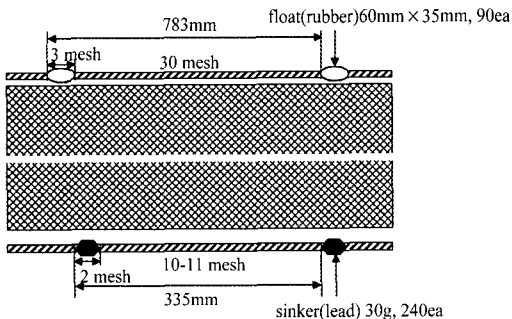


Fig. 2. Plan of the gill-net used in experiment.

### 장치의 배치 및 측정

전파음향측위부이 및 음향송신기의 배치

자망의 수중형상을 측정하고 해석하기 위한 전파음향측위(radio-acoustic linked positioning: RAP)부이 및 음향송신기의 배치는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. RAP부이의 수파기  $H_0, H_1$ , 및  $H_2$ 는 Fig. 3과 같이 삼각형 꼴로 배치하여 수면하 1m 층에 내렸다. RAP부이간의 거리는 대조기일 때,  $H_0 - H_1$  144.7m,  $H_1 - H_2$  136.5m,  $H_2 - H_0$  195.8m 이었으며, 소조기일 때,  $H_0 - H_1$  157.4m,  $H_1 - H_2$  199.4m,  $H_2 - H_0$  181.5m 이었다. Fig. 4에서 자망은 뜬줄길이 80m인 그물 2폭을 연결하여 사용하였다.

실험에 사용한 총 7개의 음향송신기 중에서 중성부력으로 만든 6개의 음향송신기는 그물의 뜬줄에 부착하였다. 음향송신기는 그물이 투망되는 순서에 따라 처음에는 15번째의 뜬줄에 부착하였으며, 그 다음부터는 뜬줄 30개마다 하나씩 부착하였다. 조류에 의한 RAP부이 좌표의 변동을 보정하기 위하여 나머지 1개의 음향송신기는 중량 약 35kg의 콘크리트 닻과 함께 해저에 고정시켰다. RAP부이에서 송신되는 데이터를 기록하

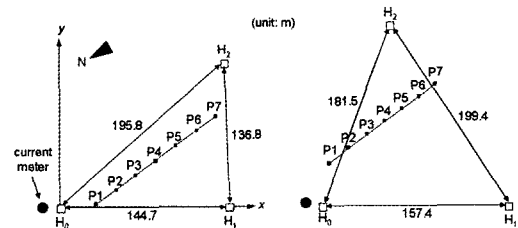


Fig. 3. Arrangement of the RAP buoy system to measure the shape variation of the gill-net.  $H_0$  to  $H_2$  denote the hydrophones,  $P_1$  to  $P_7$  the acoustic transmitters. (a) is spring tide and (b) neap tide.

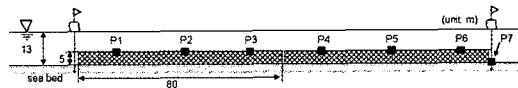


Fig. 4. Arrangement of the acoustic transmitters to measure the shape variation of the gill-net.  $P_1$  to  $P_7$  denotes the acoustic transmitters.

**Table 1. Specifications of the acoustic transmitters with the pressure sensor used in experiment**

Frequency (kHz)	Pulse width (ms)	SL (dB re 1 $\mu$ Pa at 1 m)	Slope (m)	Intercept (m)	Remark
57	10	164	-306.0	529.8	P1
66	10	146	-144.3	244.6	P2
81	10	146	-150.7	260.8	P3
60	10	146	-137.1	235.2	P4
72	10	146	-156.9	248.2	P5
54	10	164	-262.1	453.9	P6
51	10	164	-264.1	457.9	P7(fixed)

기 위하여 육상기지국은 RAP부이로부터 약 4km 떨어진 곳에 설치하여 RAP부이로부터의 데이터를 실시간으로 컴퓨터화면에 나타내고 재생 될 수 있도록 하였다. 자망의 수중형상을 측정하기 위하여 사용한 음향송신기의 제원은 Table 1과 같다.

**유향 및 유속 측정**

실험 해역의 유향 및 유속은 2006년 9월 9일 - 10일과 2006년 9월 28일 - 29일 두 차례에 걸쳐 자기 기록식 유향유속계(Aanderra, RCM9)를 수면하 5m층에 내려 각각 25시간씩 연속 측정하였다. 유향유속계의 샘플링 간격은 10분으로 하였다.

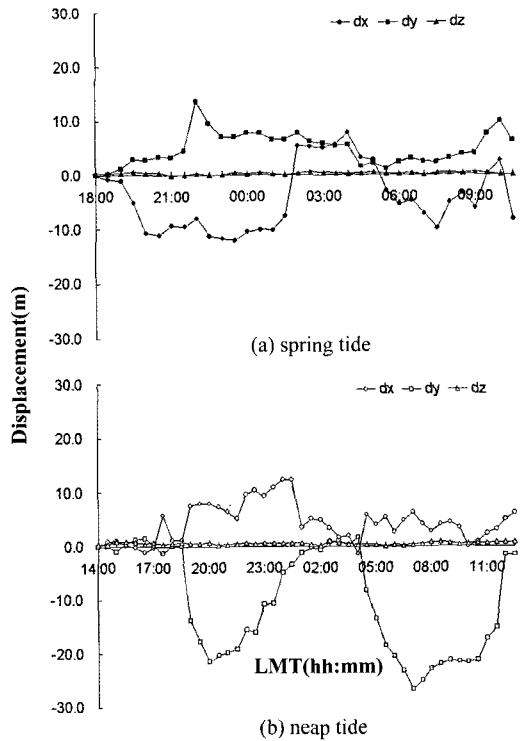
**자망의 수중형상 측정**

자망의 수중형상 변화는 뜰줄에 부착한 6개의 음향송신기의 위치를 구함으로써 조류에 대한 자망의 3차원 거동을 측정하였다. 음향송신기의 위치데이터를 30분 간격으로 평균하였다. 각 위치데이터는 해저에 고정시킨 음향송신기를 이용하여 보정하였으며, 조위변화에 의한 수위변동은 해양경찰청 전산소에서 제공하는 수위예측시스템을 이용하여 보정하였다.

**결과 및 고찰**

**수파기 좌표의 변동**

해저에 고정시킨 음향송신기를 사용하여 측정한 RAP부이의 수파기 좌표의 변동은 Fig. 5와



**Fig. 5. Displacement of the hydrophone coordinates calculated by the acoustic transmitter fixed on the seabed.**

같다. 수파기의 좌표변동폭이 대조기에는 x축, y축, z축으로 각각 17.1m, 23.8m, 0.9m로 나타났으며, 소조기에는 각각 11.8m, 26.4m, 1.6m로 나타났다.

수파기의 좌표변동은 자망을 조류와 직각에 가깝도록 어구를 부설했기 때문에 다른 축에 비해 Y축 방향의 변동값이 크게 나타났다.

소조기의 좌표변동폭이 대조기보다 크게 나타난 것은 RAP부이의 닻줄길이의 차이 때문이라고 생각된다. 소조기의 닻줄길이는 대조기보다 4 - 5m 더 길었다.

**유향 및 유속**

대조기와 소조기에 측정한 유향 및 유속은 Fig. 6, Fig. 7과 같다.

대조기와 소조기의 최대유속은 각각

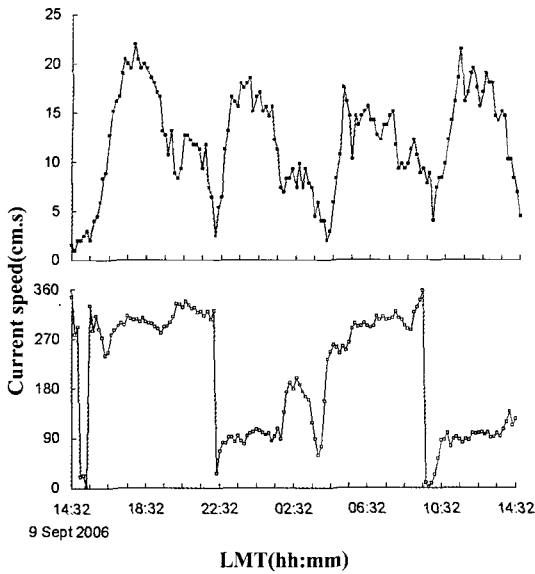


Fig. 6. Current speed and direction around the fishing ground of gill-net in Jaran bay time on 9 to 10 september 2006(spring tide).

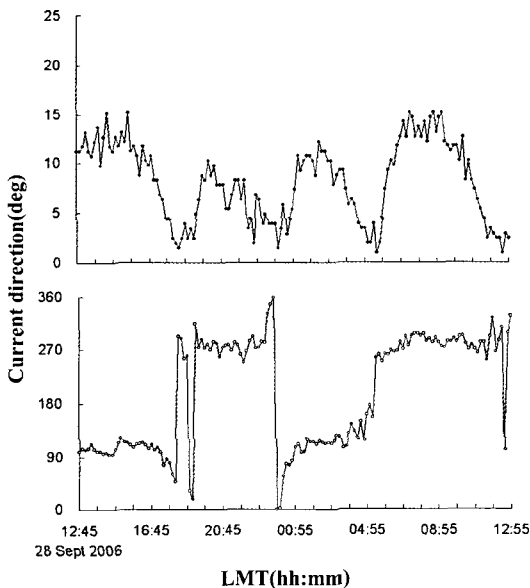


Fig. 7. Current speed and direction around the fishing ground of gill-net in Jaran bay time on 28 to 29 september 2006(neap tide).

22.0cm/s(17:52), 15.2cm/s(09:15)로 나타났고, 그때의 유향은 각각 303.1°, 274.2°이었다.

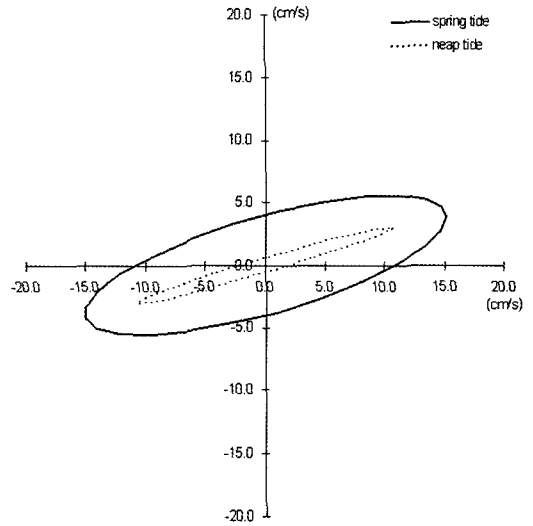


Fig. 8. Current ellipse around the fishing ground of gill-net in Jaran bay time on 9 to 10 september 2006(spring tide) and on 28 to 29 september 2006(neap tide).

대조기와 소조기에 측정한 유향 및 유속자료를 이용하여 구한 조류 타원도는 Fig. 8과 같다. 실선과 점선으로 나타낸 타원은 각각 대조기와 소조기의 반일주조이다. 조류의 전류 방향은 시계방향이었다.

조화분석하여 구한 순수한 조석에 대한 대조기와 소조기의 최대유속은 각각 북동방향으로 5.5cm/s, 동북동방향으로 3.1cm/s로 나타났다. 대조기와 소조기의 평균 잔차류(residual current)는 각각 동남동방향으로 2.4cm/s, 남동방향으로 0.3cm/s로 나타났다.

### 자망의 수중 형상 분석

#### 자망의 수평거동

#### 대조기의 경우

2006년 9월 9-10일(대조기)에 측정한 자망의 수중 형상은 Fig. 9와 같다. 음향송신기 P3은 투망시 전원선이 절단되었기 때문에 그 위치 데이터를 구할 수 없었다.

18:00(유속 20.0cm/s, 유향 304.3°)의 자망위치를 기준으로 하였을때 자망은 22:00(4.4cm/s,

자망의 수중형상에 대한 음향학적 해석

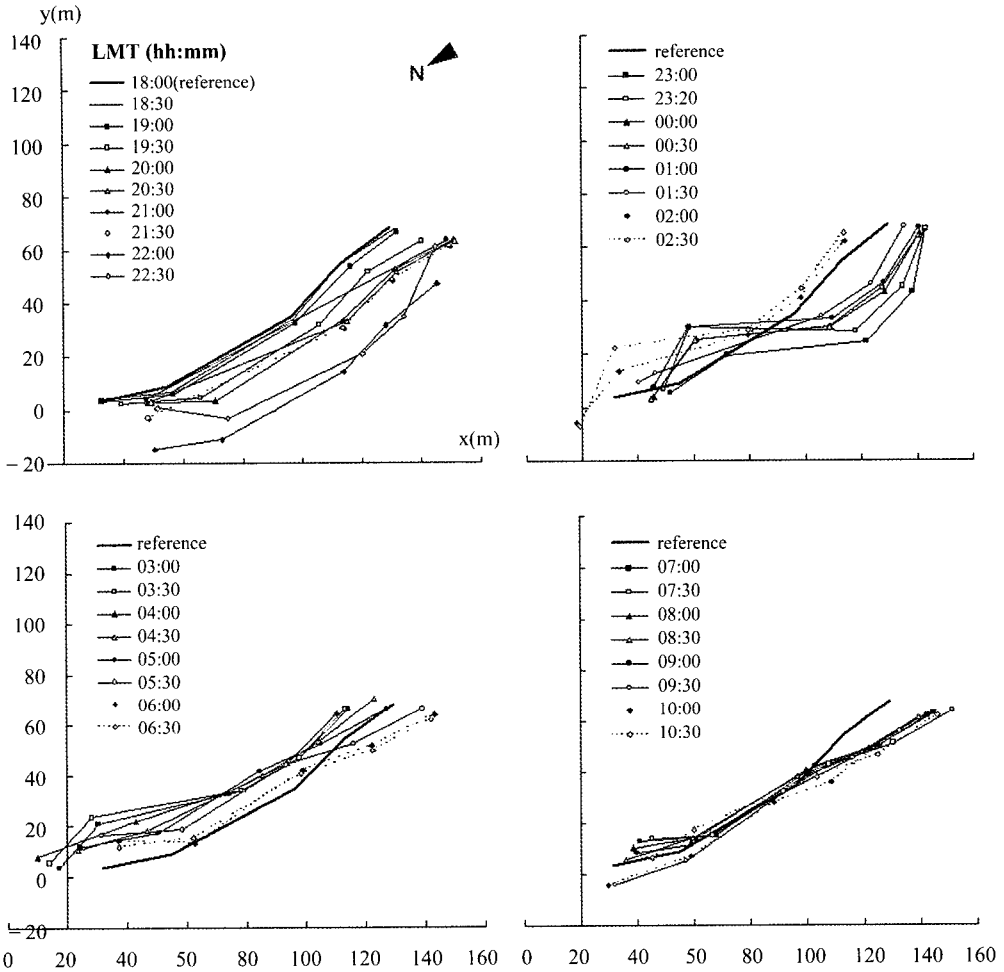


Fig. 9. Horizontal movement of the gill-net during spring tide.

311.9°)에 서쪽으로 최대 27.0m 이동 하였다. 그 후 22:30부터 흐름이 바뀌면서 자망은 04:00 (3.9cm/s, 66.5°)에 동쪽으로 최대 20.6m 이동 하였다.

이와 같이 자망의 이동은 조류에 따라 반복적으로 나타났으며, 최대 이동 폭은 47.6m 이었다.

자망의 설치상태를 알아보기 위하여 음향송신기 P1과 P6의 거리를 측정하여 본 결과 최대 거리는 119.8m(21:00)이었고(11.6cm/s, 321.9°), 최소 거리는 109.9m(23:00)이었다(16.1cm/s, 88.5°).

음향송신기 P1과 P6사이의 자망의 뻗힌 길이가 실제 120.0m 임을 볼 때 자망이 일직선으로

잘 투망되었음을 알 수 있었다.

소조기의 경우

2006년 9월 28 - 29일(소조기)에 측정한 자망의 수중 형상은 Fig. 10과 같다. 음향송신기 P4의 위치데이터는 수신 상태가 좋지 못하여 위치데이터 측정에서 제외시켰다.

14:00(12.6cm/s, 94.7°)의 자망위치를 기준으로 하였을 때 자망은 20:00(9.6cm/s, 278.2°)에 동쪽으로 최대 38.0m 이동하였다. 23:30부터 흐름이 바뀌면서 자망은 서쪽방향으로 이동하다가, 유속이 빨라지면서 03:30부터 남동쪽으로 이동하

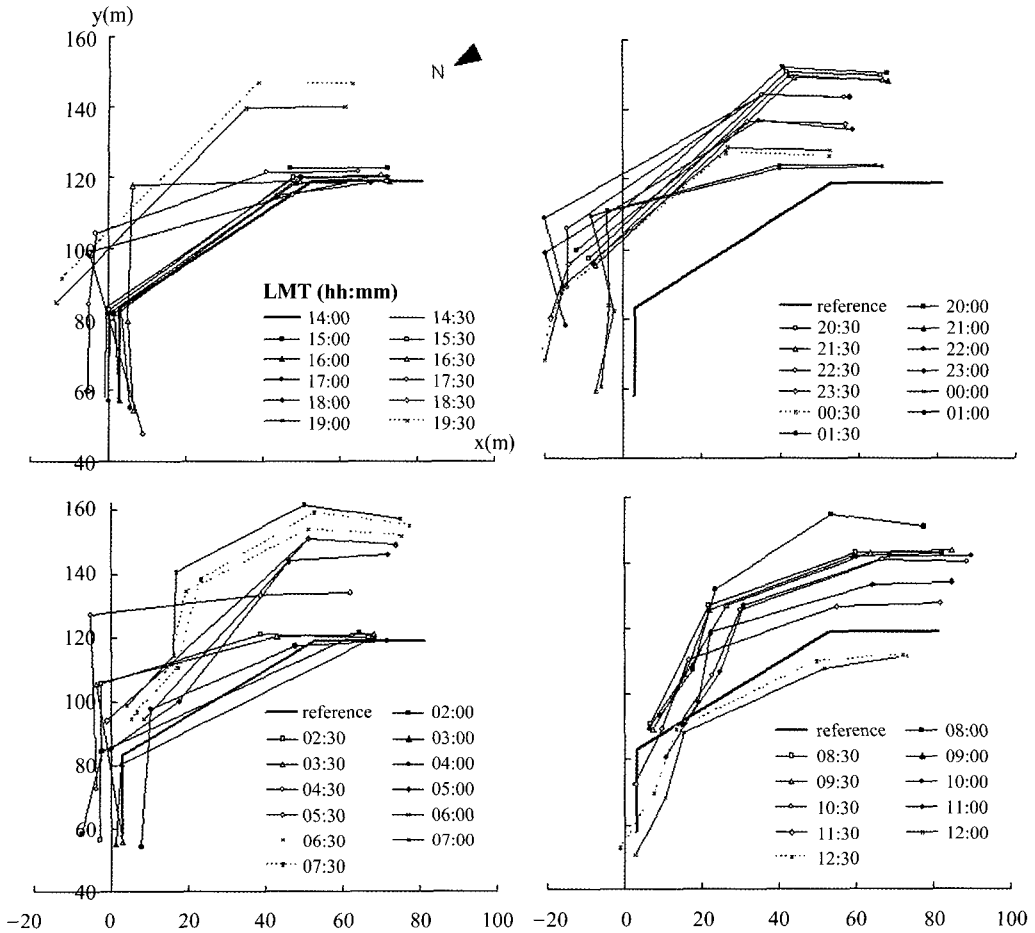


Fig. 10. Horizontal movement of the gill-net during neap tide.

는 현상이 나타났으며, 12:00(1.9cm/s, 232.1°)에 서쪽으로 최대 11.0m 이동하였다.

이와 같이 자망의 이동은 조류에 따라 반복적으로 나타났으며, 최대 이동 폭은 49.0m 이었다.

자망의 설치상태를 알아보기 위하여 음향송신기 P1과 P6의 거리를 측정하여 본 결과 최대 거리는 99.6m(14:00)이었고(12.5cm/s, 94.7°), 최소 거리는 85.0m(06:00)이었다(9.0cm/s, 265.8°).

소조기 경우 자망의 길이가 20 - 30%정도 주름이 간 것을 알 수 있으며 그 때문에 소조기 경우 자망의 수평거동이 일반적 경향과 달리 부분적으로 불규칙한 경우가 나타났다.

자망의 수직거동

대조기의 경우

대조기에 측정된 자망의 수직거동은 Fig. 11과 같다.

해저로부터의 자망의 높이는 최대 3.7m (02:00)이었고(7.4cm/s, 151.6°), 최소 1.5m(23:30, 05:00, 06:30)로 실험 기간동안 3차례에 걸쳐서 나타났다. 그 때의 유속과 유향은 각각 17.9cm/s, 85.3°(23:30), 16.1cm/s, 249.4°(05:00), 13.7cm/s, 291.4°(06:30)이었다.

조석 주기에 따른 자망의 수직거동은 22:00 - 10:00(고조 22:00, 10:00; 저조 04:00) 위치데이터를 사용하여 재분석하였다. 그 결과는 Fig. 12와 같다. 유속이 10.0cm/s 이상 되면 해저에서의 자

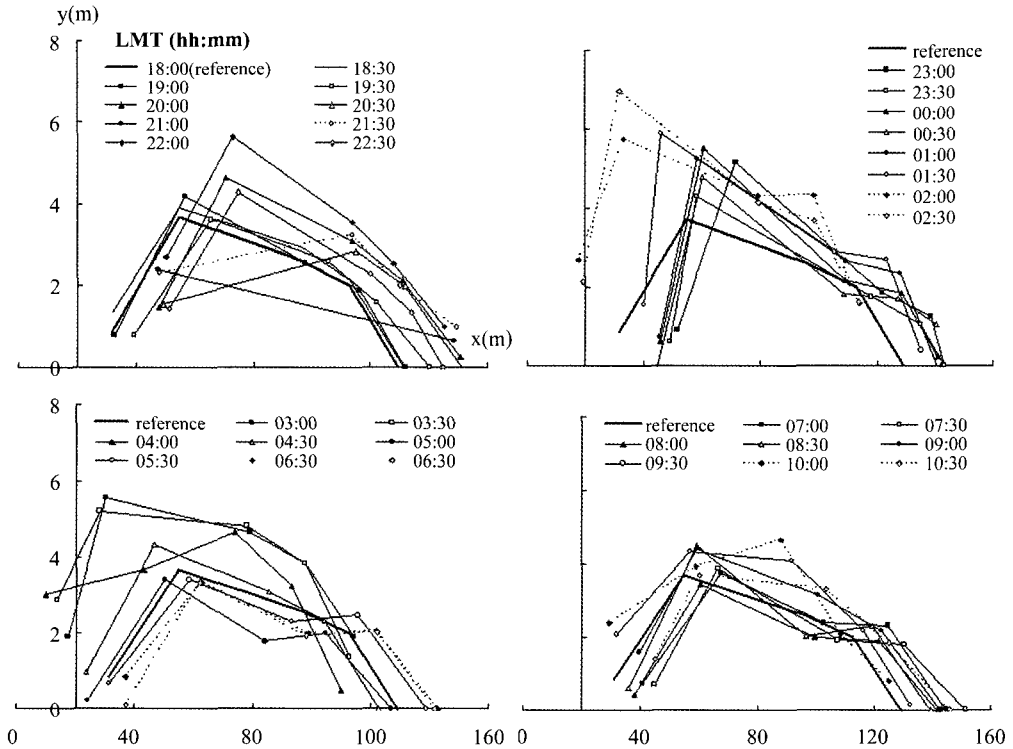


Fig. 11. Vertical movement of the gill-net during spring tide.

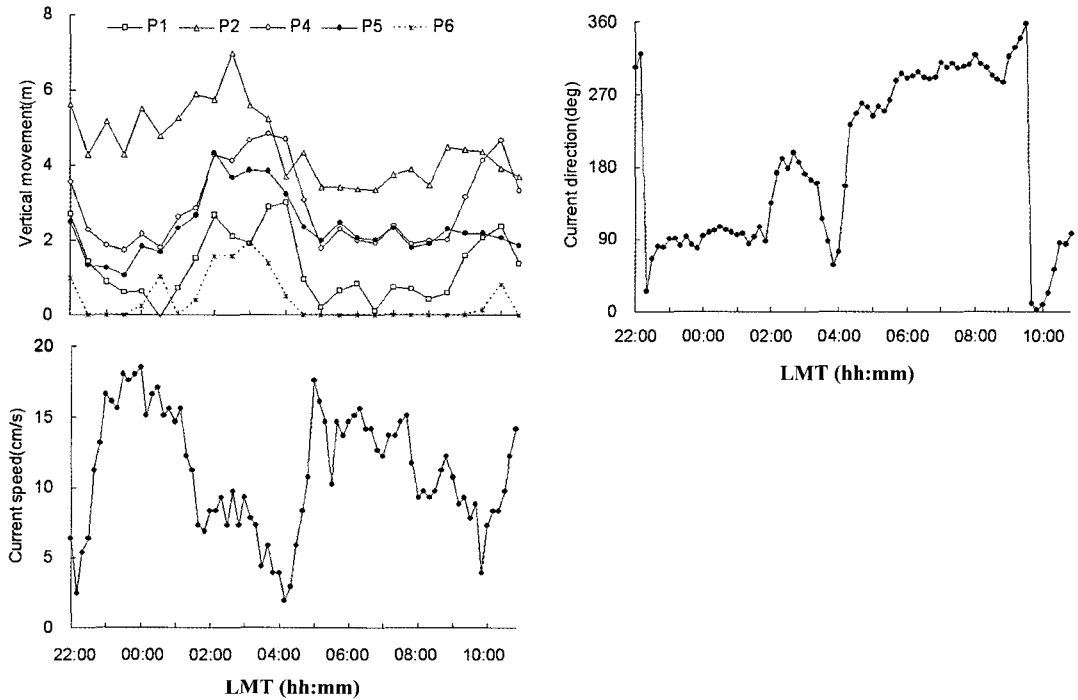


Fig. 12. Vertical movement of the acoustic transmitters attached on the float line of gill-net and current speed and direction during spring tide.



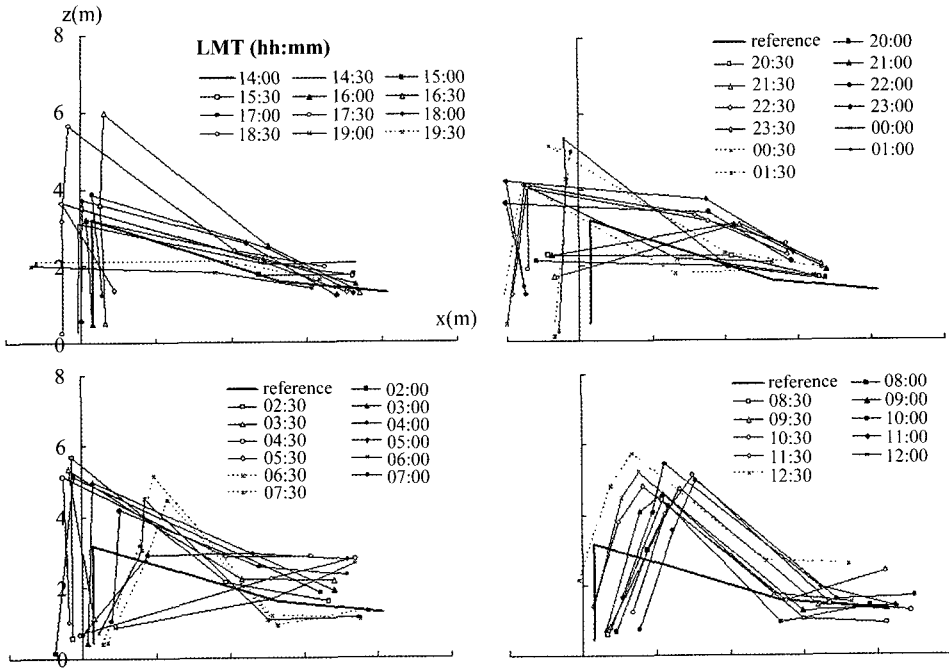


Fig. 13. Vertical movement of the gill-net during neap tide.

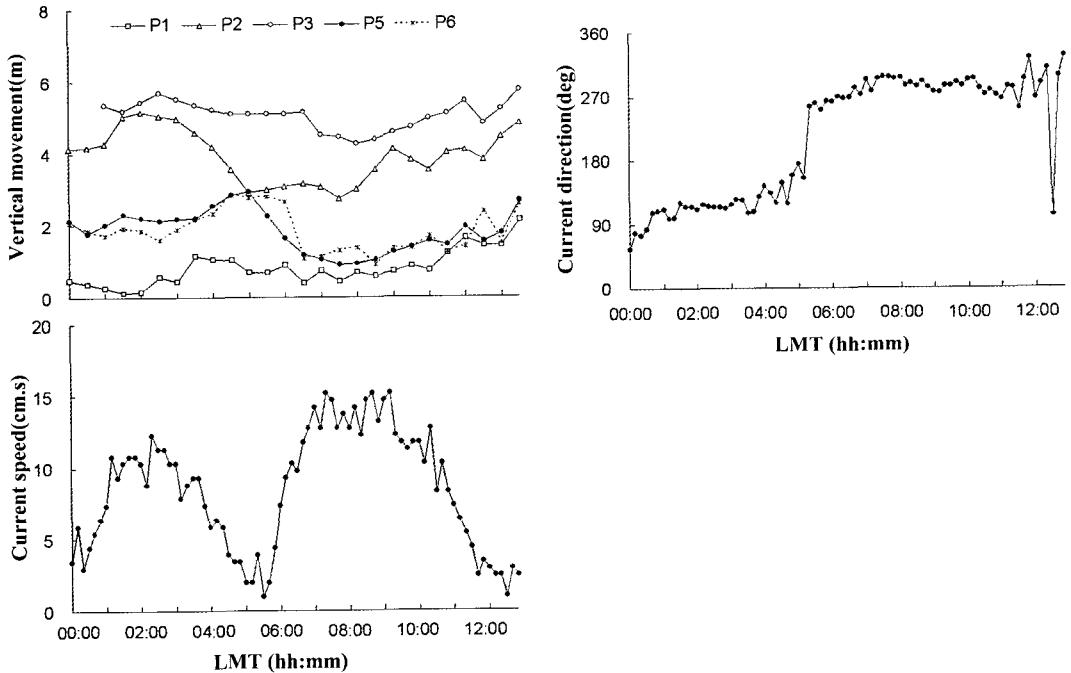


Fig. 14. Vertical movement of the acoustic transmitters attached on the float line of gill-net and current speed and direction during neap tide.

망의 높이가 전반적으로 낮아지는 경향이 나타났으나, 유속이 10.0cm/s 이하가 되면 자망의 높이는 2m 이상 유지하는 것으로 나타났다.

소조기의 경우

소조기에 측정된 자망의 수직거동은 Fig. 13과 같다.

해저로부터의 자망의 높이는 최대 3.6m (12:30)이었고(2.1cm/s, 242.3°), 최소 1.5m(14:00)이었다(12.5cm/s, 94.7°).

조석 주기에 따른 자망의 수직거동은 00:00 - 12:00(고조 00:00, 12:00; 저조 06:00) 위치데이터를 사용하여 재분석하였다. 그 결과는 Fig. 14와 같다. 자망의 최대 및 최소 높이가 대조기와 비슷한 것은 자망이 일직선으로 잘 설치되지 못하여 이러한 결과가 나타났을 것으로 생각된다. 즉 자망이 일직선으로 설치되지 않을 시에는 유속과 유향에 대한 불규칙한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

참고문헌

An, Y.R. and S.H. Huh, 2003. Species composition and seasonal variation of fish assemblages in the coastal waters off Gadeok - do, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 36(6), 686 - 694.

Chang, H.Y., B.K. Cho, J.S. Park, and S.K. Doo, 2004. Study on the improvement of gill nets and trap nets fishing for the resource management at the coastal area of Yellow sea - mesh selectivity of gill nets for croacker, *Miichthys miiuy* - . Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 40(3), 169 - 175.

Hwang, B.G. and H.O. Shin, 2003. Analysis on the movement of bag-net in set-net by acoustic telemetry techniques. Fish. Sci., 69, 300 - 307.

Hwang, J.G., H.I. Shin, K.Y. Kim, and D.J. Lee, 1995. Measurement of the drifting condition of the anchovy drift gill net with GPS. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 31(4), 350 - 361.

Joo, C.S., Y.J. Kim and D.S. Kim, 1998. A study on the sea condition and catch fluctuation of anchovy gill

net in the coastal water of Yosu. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 34(2), 159 - 164.

Kallayil, J.K., T. Jørgensen and A. Engås, 2003. Fernö. Baiting fill nets - how is fish behaviour affected? Fish. Res., 61, 125 - 133.

Kim, S.H. and J.H. Lee, 2002. Mesh selectivity in trammel net for flat fish. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 38(2), 91 - 100.

Mäkinen, T., E. Niemelä, K. Moen, and R. Lindström, 2000. Behavior of gill - net and rod - captured atlantic salmon(*Salmo salar* L.) during upstream migration and following radio tagging. Fish. Res., 61, 117 - 127.

Matuda, K., 1988. Headline height of bottom gillnets set across a water flow. Fish. Res., 6, 167 - 179.

National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI), 2002. Fishing gear of Korea. pp. 446 - 468.

Park, S.W. and D.K. Kim, 2004. Catching efficiency of gill net and trammel net for ceramic artificial reefs fishing ground in the coastal area of Geomun-do, Korea. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 40(3), 182 - 188.

Ryu, J.H., P.K. Kim, and H.J. Kim, 2005. Seasonal variation of species composition of fishes collected by gill net and set net in the Middle East sea of Korea. Korean J. Ichthy., 17(4), 279 - 287.

Shimizu, T., T. Takagi, H. Korte, T. Hiraishi, and K. Yamamoto, 2005. Application of NaLA, a fishing net configuration and loading analysis system, to drift gill nets. Fish. Sci., 76, 67 - 80.

Tae, J.W. and H.O. Shin, 2004. Analysis on the volume variation of bag-net in set-net by acoustic telemetry. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 40(2), 115 - 125.

Tae, J.W. and H.O. Shin, 2006. Acoustic analysis of volume variation in a bag-net within set-net. Fish. Res., 80, 263 - 269.

Yum, M.G., 1997. Community patterns of demersal fishes by the baited traps and bottom gillnets in the Masan Bay, heavily polluted area. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 33(4), 298 - 310.

2007년 4월 2일 접수  
2007년 5월 11일 수리