

음향 텔레메트리 기법에 의한 인공어초 지역에서의 조피볼락의 이동범위 및 일주행동 측정

신현옥* · 태종완 · 강경미
부경대학교 해양생산관리학과

Acoustic Telemetry Measurement of the Movement Range and Diurnal Behavior of Rockfish (*Sebastes schlegeli*) at the Artificial Reef

Hyeon-Ok SHIN*, Jong-Wan TAE and Kyoung-Mi KANG
Department of Marine Production Management, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea

The movement ranges and diurnal behavior of the rockfish (*Sebastes schlegeli*) sonic tagged externally were measured by the acoustic telemetry in the marine ranching area of Tongyoung on 20 to 26 March and 4 October to 3 November, 2003. The results of study are as follows: 1. Two cage cultured fishes (body length: 30-34 cm) were released the point where located approximately 250 m from the caught point on 30 March, 2003. They moved to the south 500 m away Sojangdudo and stayed within a 500 m radius of the position during the study. 2. Three wild fishes (body length: 28-32 cm) were released around the caught point on 4 and 8 October, 2003. It was often measured that tagged fishes moved out the 500 m radius of released point for a week after release. After several days, the movement range tended to be reduced. Finally, they stayed within the 250 m radius of released point. 3. There was no significant difference of diurnal behavior of the rockfish between the cage cultured and the wild fishes. The movement range, however, for the night-time was a little wider than for the day-time.

Key words: *Sebastes schlegeli*, Rockfish, Acoustic telemetry, Movement range, Diurnal behavior

서 론

연안의 생산력을 복원하고 환경친화적인 연안 어업을 활성화시키고자 1998년에 추진된 바다목장화 사업이 경남 통영해역을 중심으로 시범적으로 실시되었다. 통영바다목장에서는 조피볼락을 자원조성의 목표어종으로 하고 있으며, 이 밖에도 볼락, 참돔 등을 방류하여 자원을 조성하고 있다.

통영바다목장 자원조성의 목표어종인 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 난태성 어류로 우리나라 전 연안, 일본 홋카이도 이남, 중국 북부 연안, 발해 및 황해의 얇은 바다 압초지대에 주로 서식 한다(Im and Hwang, 2002). 조피볼락에 관한 연구는 연령과 성장에 관한 연구(Utagawa and Taniuchi, 1999; Im and Hwang, 2002), 생태적 특성에 관한 연구(Mitamura et al., 2002) 등이 있다.

연안에서 바다목장 등의 형태로 어자원을 조성하기 위해서는 목표어종의 행동이나 습성, 이동경로, 서식처와 같은 생태적인 정보를 얻는 필요가 있다(Shin et al., 2004). 이러한 생태적인 정보를 얻는 수단으로 자주 사용되는 잠수조사나 표지방류(Carlson and Haight, 1972)는 잠수 시간과 시야의 한계, 표지어의 회수율 등의 문제가 있다. 이러한 문제점을 극복하기

위하여 어류가 자유로운 상태에서 유영을 하고 있을 때 어류의 생태를 측정할 수 있는 초음파 텔레메트리 기법(Matthews, 1990, 1992; Percy, 1992; Shin, 1992; Shin et al., 1994; O'Dor et al., 1998; Candy and Quinn, 1999; Shin and Lee, 1999; Mitamura et al., 2002)과 전파 텔레메트리 기법(Colavecchia et al., 1998)이 어류의 생태 조사에 많이 이용되고 있다.

본 연구는 통영바다목장 해역에서 방류한 조피볼락의 이동 위치를 초음파 텔레메트리 기법으로 추적함으로써 양식산 조피볼락과 자연산 조피볼락의 이동범위 및 일주행동 등을 분석하였다.

재료 및 방법

실험 해역과 장치의 구성 및 배치

실험 해역은 통영바다목장으로 면적이 약 20 km²이며, 한국 해양연구원에 의해 주로 관리되고 있다. 통영바다목장 가두리가 부설되어 있는 곳의 해저(수심 20 m)에는 강제 인공어초(L10×W10×H1 m)가 설치되어 있었다. 인공어초의 종류, 투입 연도 및 위치 등의 자료는 한국해양연구원으로부터 수집하였으며, 실험대상 인공어초의 위치를 현장에서 확인하였다.

실험해역의 수심 분포는 DGPS (differential global positioning system)수신기와 측량용 음향측심기, 측량용 소프트웨어

*Corresponding author: shinho@pknu.ac.kr

어로 구성되는 해저지형측정시스템(Kim and Shin, 2001; Kang and Shin, 2004)을 사용하여 측정하였다.

인공어초 주변에 방류한 표지어(초음파 표지를 부착한 어류)의 유영행동 특성이나 이동경로는 다음과 같은 3가지의 시스템을 사용하여 측정하였다. 하나는 무선부이식 어류추적시스템(Vemco, VRAP) (O'Dor et al., 1998; Tae and Shin, 2004)이고 다른 하나는 부호형(coded type) 초음파 표지용 어류통과식별장치(Vemco, VR2)이며, 나머지 하나는 지속형(continuous type) 초음파 표지용 어류추적시스템(Vemco, VR20)이다. VRAP시스템은 비교적 상세한 어류의 이동궤적을 측정할 필요가 있을 때 사용하는 시스템이며, 초음파 표지의 위치를 쌍곡선 위치결정법(Shin et al., 1991; Tae and Shin, 2004)으로 계산하여 실시간으로 퍼스널 컴퓨터의 화면에 나타내고 그 데이터를 하드디스크 등에 저장한다. 이 시스템은 3개의 해상국(부이)과 1개의 기지국으로 구성되며, 각각의 부이는 초음파 송수파기, 초음파 송수신기 및 RF (radio frequency)모뎀을 내장하고 있으며, 기지국은 RF 모뎀과 해상국 제어기, 퍼스널 컴퓨터 및 소프트웨어로 구성된다. 어류통과식별장치는 수신기의 유효범위 내(반경 500 m)에 표지어가 나타나면 표지어의 식별번호(초음파 표지의 식별번호)와 그 때의 날짜와 시간을 자체 메모리에 기록하는 장치이며, 이 장치를 여러 개 사용하

면 비교적 넓은 범위에 걸쳐 표지어의 이동 경로를 측정할 수 있다.

2003년 3월 20일-3월 26일, 10월 4일-11월 3일에 통영바다목장에서 시험어의 이동범위 및 일주행동을 측정된 실험 해역과 장치의 배치는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 반경 500 m 원의 중심에 표시된 사각형은 어류의 이동을 감시하기 위한 초음파 수신기의 위치를 나타낸 것이다. VR20수신기(1-2번)와 VRAP 시스템(3-5번)은 2003년 3월 20일-3월 26일의 실험을 위하여 설치한 것이다. VR2수신기(9-21번)는 2003년 10월 4일-11월 3일의 실험을 위하여 설치한 것이며, VRAP시스템(6-8번)은 10월 4일 방류한 시험어가 가두리 주변으로 돌아온 것을 확인한 후 2003년 10월 30일-11월 4일까지 통영바다목장 가두리내의 3개 모서리에 설치하여 실험하였다. 각 실험기간 동안 측정된 데이터는 VRAP 소프트웨어를 이용하여 주간과 야간으로 나누어 분석하였다. VRAP시스템의 유효범위를 벗어난 시험어는 고정점에 설치한 VR20과 VR2를 이용하여 추적하거나 어류통과식별장치 및 선박을 사용하여 시험어가 존재하는 범위를 측정하였으며, 표지 신호가 수신된 지역의 위치는 휴대용 GPS수신기를 사용하여 구하였다.

초음파 표지

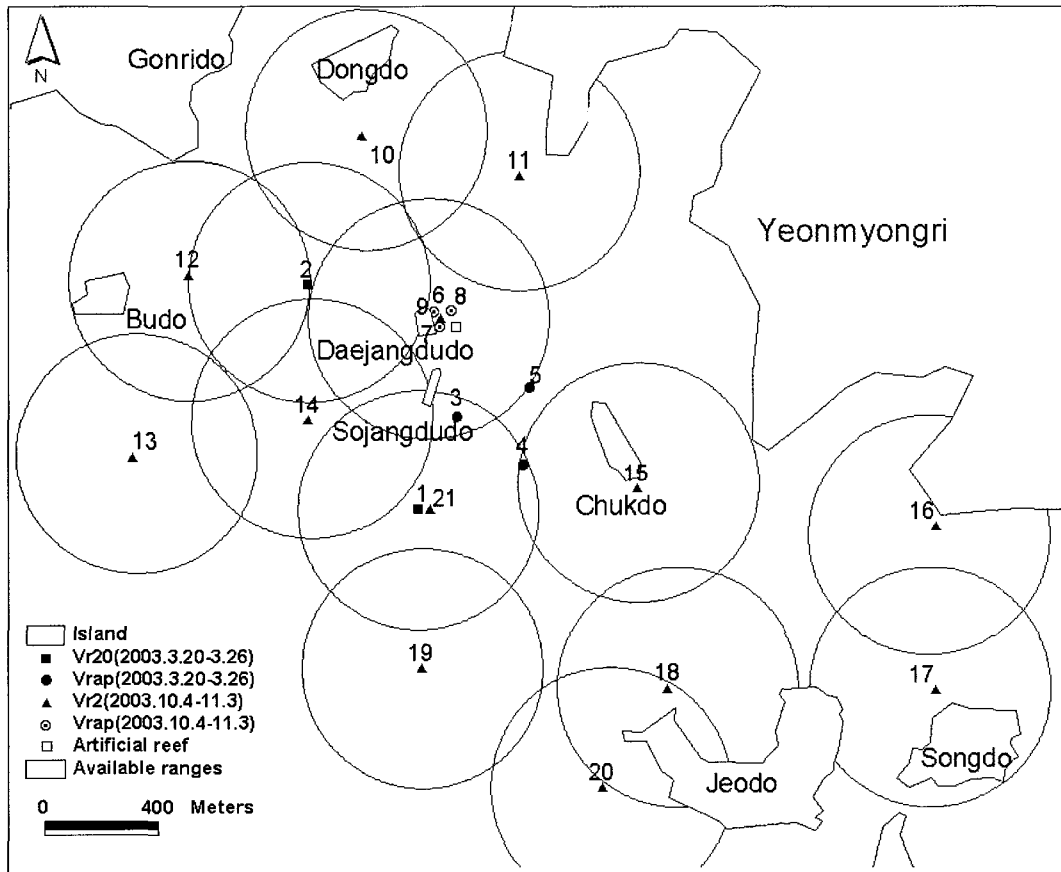


Fig. 1. Location of the study site and arrangement of the experimental equipments.

실험에 사용한 초음파 표지는 지속형이 4개, 부호형이 1개 이었으며, 그 제원은 Table 1과 같다. 지속형 표지는 초음파 펄스를 약 1 sec 간격으로 송신하므로 이동이 빠른 어류의 위치를 상세하게 구하는 데에 유리한 대신에 동시에 사용할 수 있는 표지의 수가 최대 12개로 제한적이다. 부호형 표지는 1개의 주파수를 사용하므로 수신기가 단순하고 가격이 싸며, 표지의 수에 거의 제한을 받지 않고(6,500여개를 동시에 사용 가능) 표지어의 대략적인 이동범위를 측정할 경우에 유리한 반면에 빠르게 움직이는 어류의 위치를 계산하는 데에는 부적합하다.

시험어에 대한 초음파 표지의 부착 및 방류

시험어는 통영바다목장 가두리에서 기르고 있던 양식산 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 2마리와 가두리 주변에서 어획한 조피볼락 3마리를 사용하였으며, 체장은 28.0-34.0 cm 이었다.

초음파 표지를 어체에 부착시키는 방법으로는 대체로 체외 표지법(Holland et al., 1985; Matthews, 1990, 1992; Shin et al., 1994; Lutcavage et al., 2000; Shin and Lee, 1999), 위속삽입법(Pearcy, 1992; Candy and Quinn, 1999), 수술을 통한 체내표지법(Colavecchia et al., 1998; Starr et al., 2000; Mitamura et al., 2002)이 있다(Mellas and Haynes, 1985). 초음파 표지를 부착한 어류를 장기간 추적할 때에는 수술을 통한 체내삽입법을 많이 사용하지만 마취하지 않고 현장에서 가장 간단하게 초음파 표지를 부착할 수 있는 방법은 체외표지법이다. 위속삽입법은 표지어가 비교적 대형일 때 사용하며 유연능력과 행동에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 가장 좋은 방법(Mellas and Haynes, 1985) 중 하나이나 표지어가 위속의 표지를 토해버리는 경우가 자주 있어 장기간 추적에는 부적합하다.

본 연구에서는 낚시 바늘과 실을 이용해서 현장에서 간단히

표지할 수 있는 체외표지법을 사용하였다.

2003년 3월 20일 실험에는 통영바다목장 가두리에서 기르고 있던 시험어 2마리를 사용하였다. 시험어는 수면 가까이에 매달아 둔 바구니에 10여분간 가두어 둔 채로 표지의 수신 상태를 확인한 후 2마리를 동시에 방류하였다(17:15). 방류장소는 서식지로부터 250 m 정도 떨어진 곳이었다. 2003년 10월 4일과 10월 8일 실험에 사용한 시험어는 통영바다목장 가두리 근처에서 외줄낚시로 어획한 시험어 3마리를 사용하였다. 시험어는 사각형 그물(L1×W1×H1.5 m)에 약 30분간 두었다가 2003년 3월 20일과 동일한 방법으로 초음파 표지를 부착시켜 통영바다목장 가두리에서 30 m 정도 떨어진 부근에 동시에 방류하였다(12:00).

실험에 사용한 시험어의 크기와 연령, 식별번호, 방류 날짜 및 장소 등은 Table 2와 같다. 시험어의 연령은 시험어의 체장과 von Bertalanffy 성장식을 이용하여 구하였다.

결 과

양식산 시험어의 이동범위

2003년 3월 20일-3월 26일 양식산 시험어인 표지번호 1829(체장 30.0 cm)와 표지번호 1834(체장 34.0 cm)의 이동범위를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 (-)의 값으로 표기된 숫자는 수심을 나타내며, 등심선의 간격은 5 m이다. 시험어의 이동범위는 회색부분과 같다. 삼각형으로 배치한 VRAP시스템(Fig. 1의 3-5번)의 가운데에서 방류한 시험어는 소장두도에서 남쪽으로 500 m 정도 떨어진 수심 40-50 m의 수역에 주로 머물렀다.

자연산 시험어의 이동범위 및 일주행동

2003년 10월 4일-11월 3일 자연산 시험어 3마리의 이동범위를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 등심선 위에 (-)의 값으로

Table 1. Specifications of sonic tags used in the experiment. SL denotes the source level

Type	Tag No.	Frequency (kHz)	SL (dB re 1 μPa at 1 m)	Battery life (day)	Weight in water (g)	Size (mm)
Continuous	1829	63	139	31	2.0	φ9×L20
	1834	57	146	50	9.0	φ16×L62
	4968	57	146	50	9.0	φ16×L48
	4969	57	146	68	9.0	φ16×L48
Coded	0015	69	139	112	2.6	φ9×L24

Table 2. Summary of body lengths and duration of tracking of rockfish equipped with sonic tags in the Tongyeong marine ranching area monitored from 20 March to 8 October 2003

Tag No.	Body length (cm)	Age (year)	Released		Remarks
			Date	Distance from caught point	
1829	30.0	3.4	2003-03-20	about 250 m	cage-cultured
1834	34.0	4.4	2003-03-20	about 250 m	cage-cultured
0015	28.0	3.0	2003-10-04	less than 30 m	wild
4968	28.0	3.0	2003-10-08	less than 30 m	wild
4969	32.0	3.9	2003-10-08	less than 30 m	wild

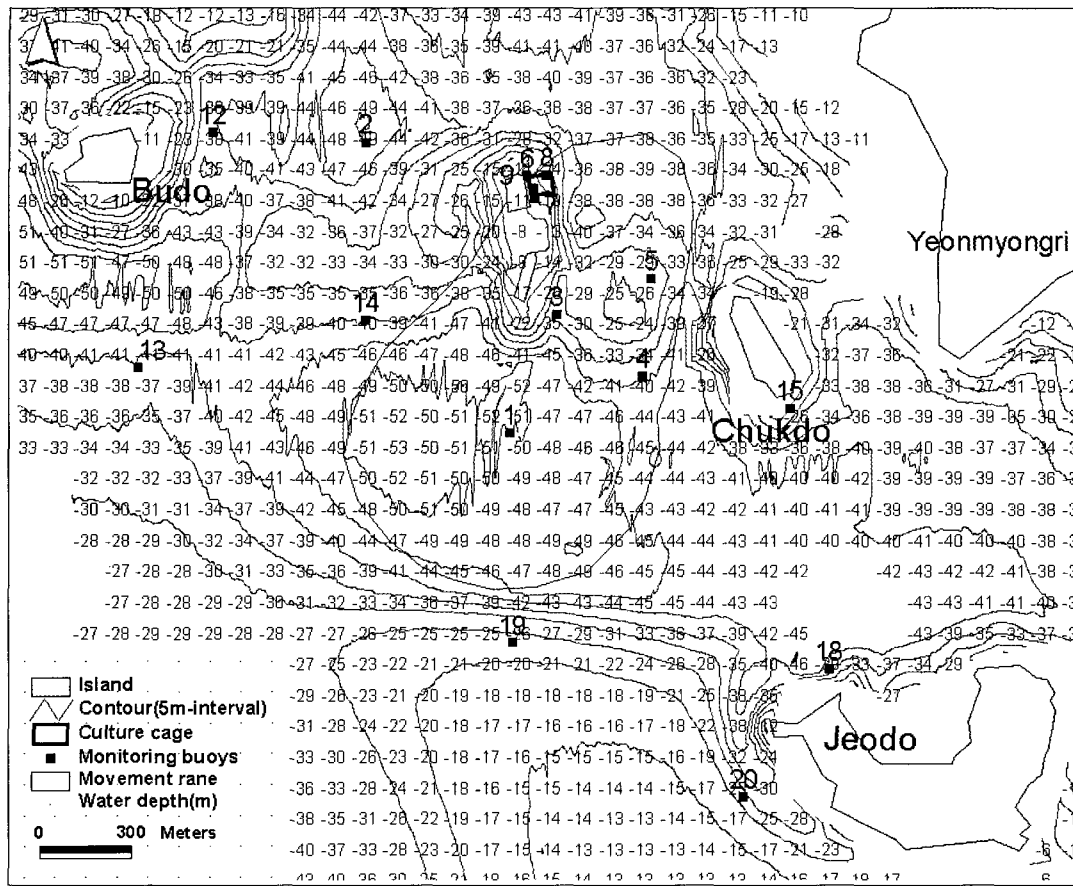


Fig. 2. Movement range of the cage-cultured stock of the rockfishes measured on 20 to 26 March 2003.

표기된 숫자는 등심선의 수심을 나타내며, 등심선의 간격은 5m이다. 시험어의 이동범위는 3단계로 구분하였다. 10월 4일 통영바다목장 가두리 주변에서 방류한 표지번호 15(체장 28.0 cm)인 자연산 시험어는 방류 후 1주일이 경과하기 전까지는 가두리를 중심으로 반경 500 m의 범위를 벗어나는 경우가 자주 보였으나(1단계), 1주일 경과 후부터는 시험어의 이동범위가 반경 500m로 감소되면서 Fig. 4와 같이 다소 안정상태로 접어드는 것(2단계)을 볼 수 있었다. 방류한 날로부터 3주 이후에는 이동범위가 더욱 축소되어 서식지(가두리 하부)를 중심으로 반경 250m를 거의 벗어나지 않았다(3단계). 10월 8일 방류한 자연산 시험어인 표지번호 4968(체장 28.0 cm)과 표지번호 4969(체장 32.0 cm)는 1단계의 행동을 보이지 않고 2단계와 3단계의 행동을 나타내었다.

2003년 10월 30일-11월 3일 VRAP시스템을 사용하여 표지번호 4968인 시험어와 표지번호 4969인 시험어의 일주행동을 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 (x)와 (△)는 각각 주간과 야간의 시험어의 위치를 나타낸 것이다. 귀소한 시험어는 주간과 야간의 행동 패턴에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 시험어 위치의 분산 정도를 나타내는 95% 확률오차원(two-distance root mean square; 2drms)을 구한 결과, 표지번호

4968과 표지번호 4969는 주간과 야간에 각각 25.9 m, 22.9 m, 24.9 m, 24.5 m이었다. 표지번호 6138의 경우는 주간과 야간의 2 drms가 각각 3.3 m, 2.7 m로 나타나 표지가 어체로부터 탈락하였을 것으로 생각되어 그림에서 제외하였다. 그리고 시험어의 행동 패턴이 수파기 H0과 H1을 잇는 기선과 거의 평행하게 나타난 것은 시험어가 이 기선과 거의 평행을 이루는 대장두도의 해안선을 따라 움직였기 때문이다.

고 찰

어류위치추적시스템의 위치측정 오차 분포

초음파 표지로부터의 펄스 신호가 무선부이식 어류추적시스템의 3개의 무선 부이에 도달할 때까지의 시간의 차 측, 수신시간차를 이용하여 표지의 위치를 계산하는 쌍곡선위치 결정법에서는 무선부이(수파기)의 배치와 표지의 깊이에 따라 위치측정 오차의 분포가 달라진다. 기선의 길이(H0-H1: 54.7 m; H0-H2: 49.9 m)는 일정하게 두고 표지의 깊이를 1 m, 10 m, 20 m 및 30 m로 하였을 때의 위치측정 오차의 분포를 시뮬레이션을 통하여 구한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 사선 부분은 위치해가 구해지지 않는 영역을 나타낸 것이며,

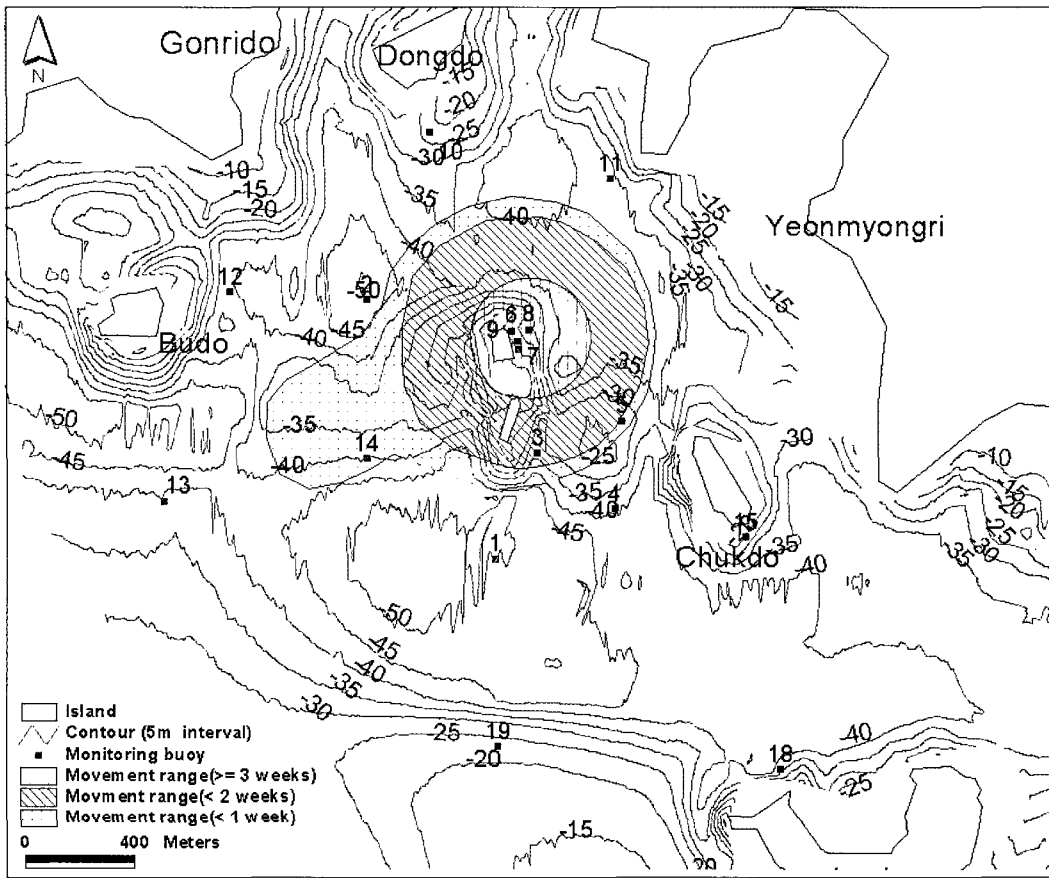


Fig. 3. Movement range of the stock of the wild rockfishes measured on 4 October to 3 November 2003.

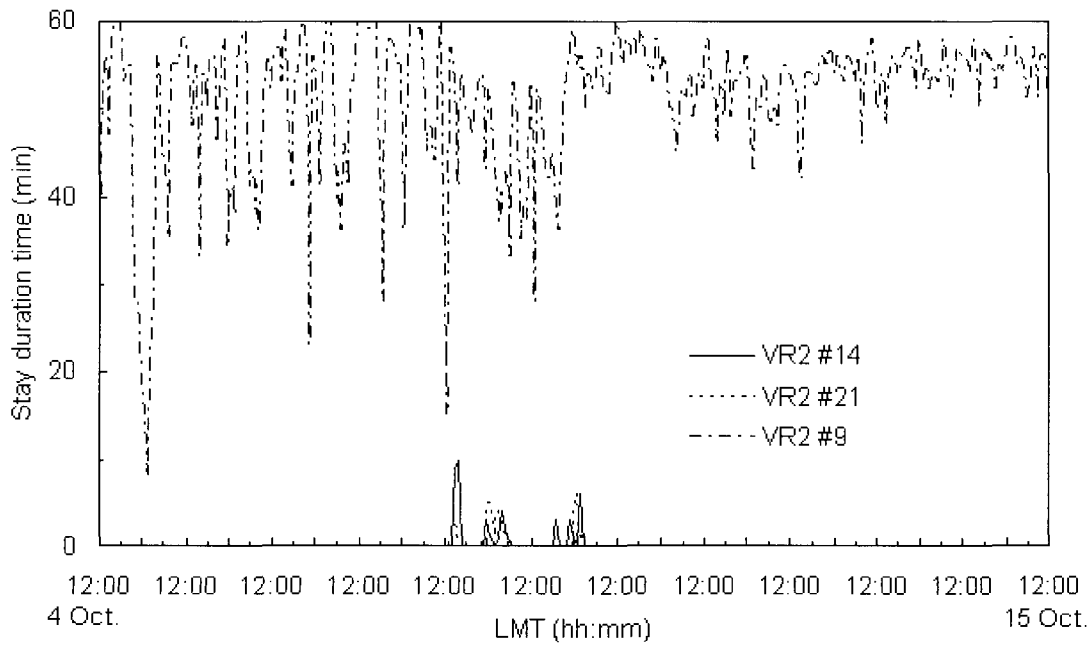


Fig. 4. Stay duration of the wild rockfish (Tag No. 15) during 4-15 October 2003.

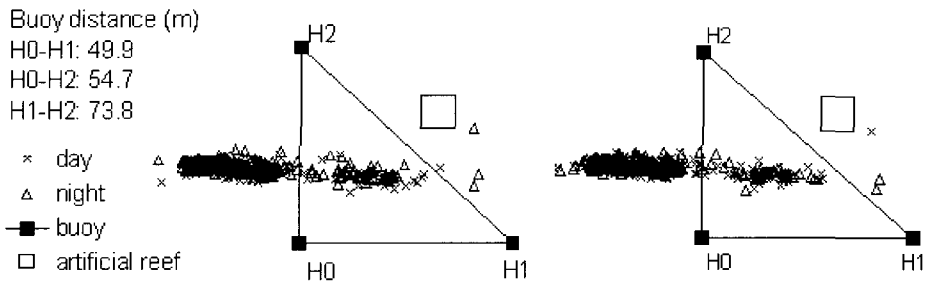


Fig. 5. Diurnal behavior of wild black rockfish (Tag. No.: 4968 and 4969). (x) denote the positions of the fish for the day-time, (Δ), for the night-time. H0, H1 and H2 are hydrophones.

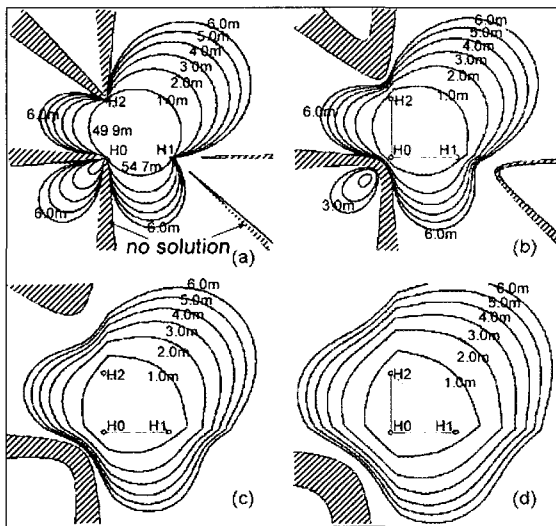


Fig. 6. Distribution of positioning error simulated. (a), (b), (c) and (d) are simulated at the depth of 1 m, 10 m, 20 m and 30 m, respectively.

수선은 위치오차의 범위를 나타낸 것이다. 주국 H0를 고정시켰을 때, 기선 내에서의 위치오차는 대체로 1 m 이내이었으며, 표지의 깊이가 깊어짐에 따라 위치해가 구해지지 않는 영역이 감소하고 위치측정 오차 1 m 이내의 영역도 증가함을 알 수 있다.

초음파 수신기의 유효범위 확인 실험

실험에 사용한 초음파 수신기의 유효범위는 제조사의 자료에 의하면 500 m인 것으로 되어 있다. 그러나 이 값은 어디까지나 조용한 바다 속에 수신기를 설치했을 때의 유효범위이며, 실험해역에 따라 주변잡음(ambient noise)이 다를 수 있기 때문에 유효범위가 달라질 수 있다. 특히, 선박에 설치한 수신기(VR60수신기)를 사용하여 시험어의 행방을 탐색할 경우에는 조사선의 항주속도, 선형특성 및 엔진상태 등에 따라 변하는 선박 항주소음에 의해 그 수신기의 유효범위가 결정된다고 해도 과언이 아니다.

VR60수신기 및 VR2수신기의 유효범위(VR20수신기의 유효범위와 동일)를 조사하기 위한 실험을 2005년 2월 5일 통영 바다목장해역에서 행하였다. 실험에 사용한 선박은 연안통발 어선(선체길이 약 10 m)이었다. 실험은 2가지 방법으로 행하였다. 첫 번째 방법은 바다에 계류되어 있는 바다목장의 음향 먹이공급기에서 수면하 20 m 층에 초음파 표지를 매달고, 선박의 현측에는 VR60의 수파기를 스텐레스 파이프에 매달아 연직하방으로 1 m 수층에 내려 고정시킨 다음 표지와 수파기 사이의 거리를 달리하면서 수신 상태를 조사하였다. 표지와 수파기 사이의 거리는 측량용 DGPS수신기(오차범위 1 m 이내)와 측량용 소프트웨어를 사용하여 측정하였다. 이 소프트웨어는 설정한 거리만큼 선체를 이동시키면 화면상에 데이터 logging 번호가 표시되므로 비교적 용이하게 표지와의 거리를 조절할 수 있었다. 이 실험 결과 VR60의 안정적인 수신범위는 4 kts 정도로 항주할 때에는 수파기를 중심으로 반경 50 m 정도이었고 선박의 엔진을 가동한 상태로 정선하였을 때에는 반경 100 m 정도이었다. 두 번째 방법은 음향먹이공급기에 VR2수신기를 5 m 수층에 매달아 놓고, 앞서 언급한 첫 번째 방법과 비슷하게 VR2수신기와 선박의 거리를 변화시키면서 VR2수신기의 유효범위를 측정하였다. 선박에서는 정선상태에서 15-20 m 수층에 초음파 표지를 5분간 현수할 때 마다 시간을 기록하여 VR2수신기의 내부 메모리에 저장된 수신기록(일시와 식별한 표지의 ID를 기록)과 비교함으로써 수신기의 유효범위를 측정하였다. 이 실험 결과 VR2수신기의 유효범위는 400-500 m로 확인되었다.

소형어선의 항주소음 및 수신기의 탐지범위

초음파 수파기를 현측에 장치하여 선체를 이동시키면서 표지어를 추적하는 경우, 표지어로부터의 신호를 포착할 수 있는 적절한 항주속도를 결정하여 둘 필요가 있다. 왜냐하면 초음파 수파기에서 감지하는 수중 소음은 유체저항과 선박의 엔진 소음으로 인하여 선박의 항주속도에 비례하여 증가하는 경향이 있고, 이로 인하여 표지어를 탐지하는 초음파 수신기(Vemco, VR60)의 탐지범위가 변하기 때문이다.

본 연구에서는 표지어의 음향 추적에 사용하였던 소형어선

(총톤수: 5 ton)의 항주 속도별 수중 소음을 측정하기 위하여 수중 음압계(OKI, SW-1007)의 무지향성 수파기(OKI, SW-1001)를 수파기 지지대(스텐레스 파이프, 외경 35 mm)에 매달아 수면하 1.0 m에 고정시켰다. 수중소음 레벨은 현장에서 측정값을 읽었으며, 수중소음 측정에는 10 kHz의 HPF (high pass filter)와 100 kHz의 LPF (low pass filter)를 사용하였다. 실험에 사용한 소형어선의 항주속도에 따른 수중소음 레벨을 측정한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Underwater noise level measured at 1 m below the sea surface by the speed of a fishing boat used in sonic tracking

Obs. No.	Speed (kts)	Underwater noise level (dB re 1 μ Pa)	Remarks
1	0.0	117.5	
2	3.7	120.0	
3	4.0	121.0	with engine operation
4	5.0	123.0	
5	6.0	127.0	
6	0.0	105.0	without engine operation

초음파 수신기의 탐지범위는 소너방정식에서 신호대 잡음비(signal to noise level; SNR)가 1.0 dB 이상인 영역을 취하여 구하였다. 소너 방정식에서 SNR은 식 (1)로부터 구할 수 있다.

$$SNR = SL - TL - NL \quad (1)$$

단, TL (transmission loss)은 전파손실(dB re 1 μ Pa)을, NL (noise level)은 수중소음 레벨(dB re 1 μ Pa)을 나타낸다. 음파 에너지의 전파손실 TL은 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$TL = 20 \log r + \alpha r \quad (2)$$

단, r은 신호 전달 거리 (m)이며, α 는 흡수감쇠계수(dB/km)이다.

수신기의 탐지거리는 초음파 표지의 음원음압 레벨(source level; SL)과 사용 주파수에 따라 변한다. 본 연구에서는 SL은 139 dB (re 1 μ Pa at 1 m), 흡수감쇠계수로는 3.0 dB/km을, 그리고 수중소음 레벨로는 Table 3의 값을 적용하였을 때, VR60 수신기의 탐지범위는 선속이 0.0-6.0 kts (디젤엔진 가동 중)일 때 약 4-10 m로 계산되었다. 엔진을 멈추고 정선상태일 때에는 탐지범위가 44 m로 계산되었다. 그러나 실제 실험 현장에서 소형어선의 현측에 장치한 VR60수신기를 사용하여 초음파 표지어를 추적할 때의 탐지거리는 이 값보다 3-4배 정도 크게 나타났다. 그 이유로는 첫째, 실험 현장에서 표지어를 추적할 때에는 물의 흐름이 빠른 곳에서 사용할 수 있도록 고안된 VR60수신기 전용의 무지향성 수파기를 사용하였고, 둘째, 수중소음 측정에서 사용한 수중음압계의 설정 주파수 대역은 10-100 kHz인데 비하여 VR60수신기에서는 이 보다 훨씬 좁은 50-80 kHz의 주파수 대역을 사용하였기 때문으로 생각된다.

앞으로 이러한 연구를 더욱 발전시키기 위해서는 방류 마리

수를 늘리고 방류시기를 비슷하게 하여 연령별, 계절별로 어류의 이동을 조사하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 한국과학재단의 2003년도 지방대학우수과학자 지원연구비(과제번호: R05-2003-000-10537-0)로 수행하였습니다. 현장 실험에서 많은 도움을 받은 한국해양연구원 통영 바다목장 소장 이하 관계직원 여러분께 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Candy, J.R. and T.P. Quinn. 1999. Behaviour of adult chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in British Columbia coastal waters determined from ultrasonic telemetry. *Can. J. Zool.*, 77, 1161-1169.
- Carlson, H.R. and R.E. Haight. 1972. Evidence for a home site and homing of adult yellowtail rock fish, *Sebastes flavidus*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 29, 1011-1014.
- Colavecchia, M., C. Katopodis, R. Goosney, D.A. Scruton and R.S. Mckinley. 1998. Measurement of burst swimming performance in wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using digital telemetry. *Regul. Rivers Res. Mgmt.*, 14, 41-51.
- Holland, K., R. Brill, S. Ferguson, R. Shang and R. Yost. 1985. A small vessel techniques for tracking pelagic fish. *Mar. Fish. Rev.*, 47, 26-32.
- Im, Y.J. and S.D. Hwang. 2002. Age and growth of black rockfish, *Sebastes schlegeli*, in western coastal waters of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 14, 143-152.
- Kang, K.M. and H.O. Shin. 2004. Characteristic of current patterns and structure of bamboo-weir in Samchunpo water area. *Fish. Sci.*, 70, 141-151.
- Kim, S.C. and H.O. Shin. 2001. Research on the geographic characteristics of the sea bed and the distribution of artificial reefs in Jaran Bay. *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 37, 214-222.
- Lutcavage, M.E., R.W. Brill, G.B. Skomal, B.C. Chase, J.L. Goldstein and J. Tutein. 2000. Tracking adult North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using ultrasonic telemetry. *Mar. Biol.* 137, 347-358.
- Matthews, K.R. 1992. A telemetric study of the home ranges and homing routes of lingcod *Ophiodon elongatus* on shallow rocky reefs off Vancouver Island, British Columbia. *Fish. Bull.*, 90, 784-790.
- Matthews, K.R. 1990. A telemetric study of the home ranges and homing routes of copper and quillback rockfishes on shallow rocky reefs. *Can. J. Zool.*, 68, 2243-2250.

- Mellas, E.J. and J.M. Haynes. 1985. Swimming performance and behavior of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and white perch (*Morone americana*): Effects of attaching telemetry transmitters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 488-493.
- Mitamura, H., N. Arai, W. Sakamoto, Y. Mitsunaga, T. Maruo, Y. Mukai, K. Nakamura, M. Sasaki and Y. Yoneda. 2002. Evidence of homing of black rockfish *Sebastes inermis* using biotelemetry. *Fish. Sci.*, 68, 1189-1196.
- O'Dor, R.K., Y. Andrade, D.M. Webber, W.H.H. Sauer, M.J. Roberts, M.J. Smale and F.M. Voegeli. 1998. Applications and performance of radio-acoustic positioning and telemetry (RAPT) systems. *Hydrobiologia*, 371/372, 1-8.
- Pearcy, W.G. 1992. Movements of acoustically-tagged yellowtail rock fish *Sebastes flavidus* on Heceta Bank, Oregon. *Fish. Bull.*, 90, 726-735.
- Shin, H.O. 1992. Ultrasonic tracking of movements of striped jack (*Caranx delicatissimus*) in the Nunoura Bay, Japan. *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 28, 347-359.
- Shin, H.I., D.J. Lee, H.O. Shin, W.W. Lee and J.Y. Ahn. 1994. Development of the underwater telemetry system to monitor the behavior of fish (1). *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 30, 263-272.
- Shin, H.O. and J.H. Lee. 1999. Behavior of amber fish, *Seriola aureovittata* released in the setnet. *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 35, 161-169.
- Shin, H.O., J.W. Tae and K.M. Kang, 2004. Acoustic telemetrical tracking of the response behavior of red seabream (*Chrysophrys major*) to artificial reefs. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37, 433-439.
- Shin, H.O., E. Hamada, H. Suzuki and Y. Koike. 1991. Guidance of ROV using multiple pingers of a single frequency. *J. Japan Inst. Nav.*, 83, 7-11.
- Starr, R.M., J.H. Heine and K.A. Johnson. 2000. Techniques for tagging and tracking deepwater rockfishes. *N. Am. J. Fish. Soc.*, 20, 597-609.
- Tae, J.W. and Shin H.O. 2004. Analysis on the volume variation of bag-net in set-net by acoustic telemetry. *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 40, 115-126.
- Uttagawa, K. and T. Taniuchi. 1999. Age and growth of the black rockfish *Sebastes inermis* in Eastern Sagami Bay off Miura Peninsula, Central Japan. *Fish. Sci.*, 65, 73-78.

2005년 2월 7일 접수
2005년 4월 25일 수리