

# 어군 행동 원격감시 시스템의 개발에 관한 연구 (II)\*

- 양어장에서의 어류 행동 -

신형일 · 이대재 · 신현옥 · 이원우\*\* · 안장영\*\*\*

부산수산대학교 · \*\*군산대학 · \*\*\*제주대학교

(1994년 8월 3일 접수)

## Development of the Underwater Telemetry System to Monitor the Behavior of Fish( II ) - Behavior of the Fish in the Aquafarm -

Hyeong - Il SHIN, Dae - Jae LEE, Hyeon - Ok SHIN,

Won - Woo LEE\*\* and Jang - Young AHN\*\*\*

National Fisheries University of Pusan,

\*\*Kunsan University, \*\*\*Cheju University

(Received August 3, 1994)

This paper describes about the behavior of the Israeli carp (*Cyprinus carpio*, body length 43cm) and the Red seabream (*Chrysophrys major*, body length 35cm) aquacultured by telemetry techniques. The telemetry system consists of a pinger of 50kHz, three omni-directional hydrophones and ultrasonic receivers, a single board computer for the signal processing, two RF transceivers for the data communication, and a personnel computer. Those fish tagged the pingers were tracked by the LBL method, and its location was calculated by the hyperbolic method. The average speed of the Israeli carp was about 1.0 times of the body length in a farming water tank (24×24×1m), and the Red seabream 1.3 times of the body length in a farming raft (10×10×5m). A variation of the speed of the Israeli carp was higher than the other one.

### 서 론

자원의 관리나 천연 양식장의 개발을 위해서는 대상어종의 생태학적인 연구가 필요할 것이다. 어

류의 생태학적인 정보를 얻는 방법에서도 어떠한 정보를 어떻게 획득할 것인가에 따라 여러가지가 있을 수 있다. 어류의 특정 정보를 얻기 위한 연구로는 자연 상태에서의 어류의 심전도 원격측정에

\* 본 연구는 1993년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학분야)의 지원에 의한 것임.

관한 연구 (Nomura and Ibaraki, 1968, Priede, 1983), 고기의 경사(tilt) 검출에 관한 연구 (Mitson, 1987), 고기의 헤딩 검출 센서 개발에 관한 연구 (Arnold, 1987) 및 그 응용에 관한 연구 (Arnold and Metcalfe, 1989), 고기의 유영 속도 측정 센서에 관한 연구 (Stasko and Horrall, 1976) 등이 있으나, 텔레메트리의 기본은 대상생물의 水圏에 대한 위치를 아는 것이다 (中村, 1990).

어류의 행동에 관한 정보를 얻는 수단으로는 카메라 등을 이용하는 광학적인 방법으로 어류의 행동을 촬영하여 영상처리하는 것을 생각할 수 있고, 어군탐지기를 이용할 수도 있다. 그러나, 광학적인 방법은 물의 투명도에 크게 의존하므로 실제 현장에서는 활용가치가 크게 저하되는 것이 우리나라 연안해역의 현실이다. 한편 초음파를 이용하여 어류의 위치를 계측하면 어류의 행동을 효과적으로 조사할 수 있다. 초음파를 이용하여 어류의 위치를 측정함에 있어서도 초음파 송신기의 종류에 따라 측정방법이 달라지지만 목적은 거의 동일하다고 볼 수 있다. 거리를 측정하여 초음파 트랜스폰더의 위치를 구하는  $p$ - $p$ 법(Kuroki, 1971), 섹터 소너의 거리와 방위를 이용하여 트랜스폰더의 위치를 구하는  $p$ - $\theta$ 법 (Mitson, 1971), 진파와 초음파 및 지향성 수파기로 진파-초음파 핑거의 위치를 구하는  $p$ - $\theta$ 법 (Armstrong, 1988) 등이 있다. 또한 시간차를 이용한  $\Delta t$ - $\Delta t$ 법으로 초음파 핑거의 위치를 구하여 한정된 수역에서의 어류 행동을 연구한 예도 있다 (Hawkins, 1974,

Konagaya, 1982, 申, 1992). Hawkins(1974) 등은 만내에서의 어류 행동을 관측하기 위하여 오실로스코프를 이용하여 시간차를 측정함으로써 핑거의 위치를 구하였고, Konagaya(1982)는 호수에서의 어류 행동을 독립식 진파 송신국을 통하여 추적하였으며, 申(1992)은 중앙집중식 초음파 수신기를 이용하여 만내의 어군 행동을 측정할 바 있다. 그 밖에 x-tal 발전 방식을 채택한 free-run 타입의 소형 핑거를 사용하여 트랜스폰더나 동기식 핑거와 같이 거리를 이용하여 위치를 계산하는  $p$ - $p$ 법에 관한 연구도 이루어지고 있다.

본 연구에서는 free-run 타입의 핑거로 부터의 신호를 중앙집중식 초음파 수신기에 수신한 다음 수신시간차를 측정하여 진파로 육상국에 전송하는 방법에 의해 육상 양어장 및 해상 축양조에서 각각 향어와 참돔의 유영 행동을 추적한 결과에 대해 기술한다.

## 장치 및 방법

### 1. 초음파 핑거

실험에 사용한 초음파 핑거의 제원은 Table 1과 같다.

### 2. 시험어

육상 양어장에서 실험에 사용한 시험어는 체장 45cm인 향어(Israeli carp, *Cyprinus carpio*)로 부산수산대학의 양어장에서 사육하던 것이었으

**Table 1. Characteristics of pingers used**

Type	Frequency (Hz)	SL (dB/1 $\mu$ Pa at 1m)	PW (msec)	T (msec)	Range (m)	Size (mm)	Weight in water(g)	Life (days at 1Hz)	Osc. mode
Depth pinger	52.5	160	20	980 3000	1,000	$\phi$ 20×L84	12	7	RC
Simple pinger	50.0	146	10	1188	600	$\phi$ 16×L51	15	40	x-tal

\* Note

SL : Source level, PW : pulse width, T : pulse period

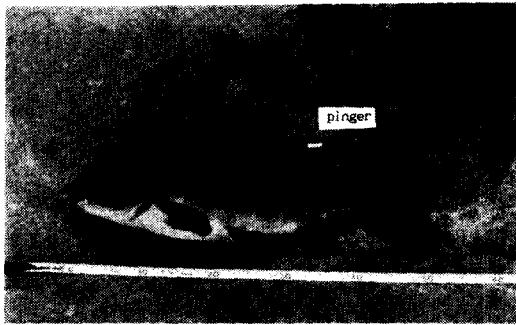


Fig. 1. Photograph of a Israeli carp (*Cyprinus carpio*) with a depth pinger used.

며, Fig. 1에서 향어의 등지느러미 부근에 있는 것은 심도형 핑거이다.

해상 축양조에서 사용한 시험어는 체장 35cm 인 참돔(Red seabream, *Chrys major*)으로 축양조에서 사육하던 것이었다.

### 3. 수신처리 시스템의 구성

양식 수조 및 축양조에서 실험한 장치의 구성도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 해상 송신국은 Fig. 3a와 같이 3개의 무지향성 수파기(수파감도  $-170\text{dB}/1\text{V}$ ), 초음파 수신기(이득  $115\text{dB}$ ), 싱글보드 컴퓨터(Z80 CPU,  $6\text{MHz}$ ) 및 무선 송신기( $219\text{MHz}$ , 출력  $10\text{mW}$ )로 구성하였고, 육상 수신국은 Fig. 3b와 같이 무선 수신기 및 노트북 퍼스널 컴퓨터로 구성하였다.

초음파 핑거로 부터의 신호는 3개의 무지향성 수파기에 의하여 전기 신호로 변환되어 수신기에 입력된다. 수신기에서는 수파기의 미약한 전기 신호를 초단 증폭한 후 협대역 필터를 통하여 핑거의 송신주파수  $\pm 750\text{Hz}(-3\text{dB})$  이외의 주파수는 차단시키고, 이후 신호 처리에 충분한 레벨로 증폭하고 검파한 다음 파형을 정형하여 싱글 보드 컴퓨터에 입력하였다. 싱글 보드 컴퓨터에서는  $33.3\mu\text{sec}$ 간격으로 샘플링하여 수신 시간차를 측정하고, 측정 결과는 수신 채널 번호 및 수신 시간과 함께 RS-232C 신호( $4800\text{bps}$ )로 출력되어 데이터 통신용 무선 송신기를 통하여 전파로 송신

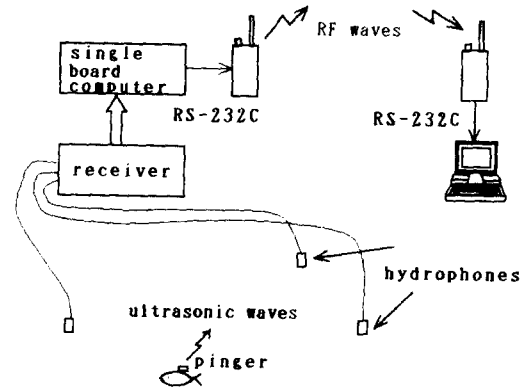
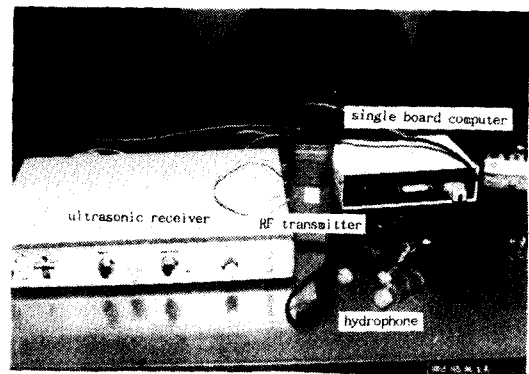
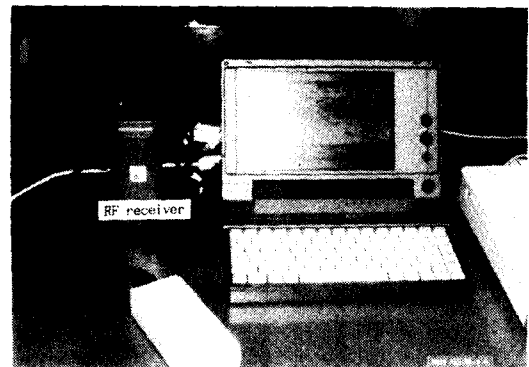


Fig. 2. Schematic diagram of the system arranged for monitoring the behavior of the fish.



(a)



(b)

Fig. 3. Photograph of the telemetry system used as the transmission station on the sea (a) and the receiving station on land (b).

하였다. 전파 송신국으로 부터 유효 거리 내에 위치하는 전파 수신국에서는 송신국에서 사용한 것과 동일한 트랜시버로 수신하여 노트북 컴퓨터에 RS - 232C 신호로 전달하였다. 노트북 컴퓨터에서는 ASCII 코드로 입력되는 문자열에서 동기 신호를 찾은 다음 수신 시간차를 추출하여 쌍곡선 위치 결정법으로 핑거의 위치를 계산하여 컴퓨터 화면에 나타내고, 유영 속도의 계산이나 데이터의 저장 등 일련의 신호 처리 작업을 수행하였다.

#### 4. 추적 실험

수조 실험은 1993년 11월 5일~6일 부산수산대학교내 콘크리트 양어 수조(24×24×1m)에서 실시하였으며, 3개의 수파기는 수조의 세 모서리에 직각 삼각형으로 배치하고, 수면하 10cm에 매달았다. 심도형 초음파 핑거는 낚시가 붙어 있는 길이 5cm인 가는 나일론 줄로써 향어의 아가미에 걸어, 부착 즉시 방류하였으며, 핑거를 부착 시킬 때는 마취시킨 상태에서 행하였다. 데이터용 무선 송신기는 수조 가까이에 설치하고, 무선 수신기는 부산수산대학교 본관 건물 2층에 설치하였으며, 무선 송신기와 무선 수신기 사이의 거리는 약 150m이었다.

축양조의 실험은 1994년 1월 14일~15일 경남 통영군 산양면 소재 육삼양어장의 축양조(5×5×5m)에서 실시하였다. 핑거의 부착 및 방류는 향어의 경우와 거의 같은 방법으로 하였다. 3개의 수파기는 축양조의 세 모서리에 직각 배치하고, 해면하 10cm에 배치하였으며, 데이터 송신용 트랜시버는 축양조 위에 놓았다. 또한, 수신용 트랜시버는 해상에 설치되어 있는 축양조 관리 사무실 내에 두었으며, 무선 송신기와 무선 수신기 사이의 거리는 약 80m이었다.

### 결과 및 고찰

핑거를 부착한 어류의 위치는 쌍곡선 위치결정법으로 계산하였다. 핑거의 심도는 핑거의 심도에 따른 펄스 주기를 5점 이상 측정하고, 펄스 주기

와 심도와의 관계식을 최소자승법으로 구하여 측정하였으며, 핑거의 위치는 비정상적인 데이터를 제거하기 위한 속도 필터(최대 유영속도 : 2.0m/sec)를 통과한 신호의 좌표를 3점 이동 평균하여 구하였다.

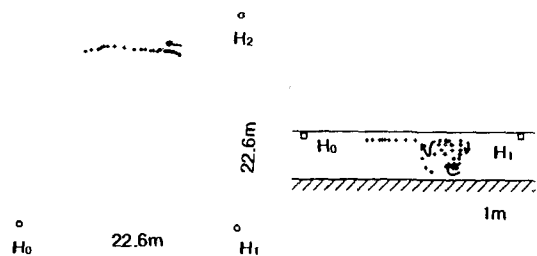
#### 1. 향어의 유영 행동

1993년 11월 5일 11시에서 6일 11시까지 부산수산대학교 양어장에 향어를 방류한 후 방류 초기의 향어의 도피 행동을 추적한 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4의 (a)는 향어의 이동궤적을 평면적으로 나타낸 것이고, (b)는 측면도를 나타낸 것이다. Fig. 4(a), (b)에서 H<sub>0</sub>~H<sub>2</sub>는 수파기의 위치를 나타낸 것이며, 향어는 방류직후 수면에서 수조 바닥으로 도피한 다음, 다시 수면으로 접근하다가 바닥으로 향하는 행동을 나타내었다. 수분이 경과하고 나서는 수면 가까이 접근하여 방류점으로 부터 일단 멀어지는 행동을 취하고 있다. 향어의 방류 초기의 유영속도는 0.2m/sec였고, 유영속도의 분포는 0.00~0.25m/sec가 70.6%, 0.25~0.50m/sec 21.6%, 0.50~0.75m/sec 7.8%이었다.

방류 후 매시 약 10분간씩 측정된 향어의 이동궤적을 추적한 결과는 Fig. 5(a), (b)와 같다. Fig. 5(a)는 향어의 수평 이동 궤적을 나타낸 것이고, Fig. 5(b)는 수직 이동 궤적을 나타낸 것이다.

Fig. 5(a), (b)에서, 1994년 11월 5일 11 :



(a) Plane view (b) side view  
**Fig. 4.** Behavior of a Israeli carp (*Cyprinus carpio*) right after release.

00에 방류한 향어는 반시계방향으로 양어장 벽면을 따라 선회 운동하고 있으며, 수직적으로 상하 운동을 많이 하였다. 방류 1시간 후인 즉 12:

00에는 IV 구간에 머물렀다. 이 시간대의 측면도를 보면 수평적인 움직임은 둔하지만 수직적인 운동이 활발함을 알 수 있다. 13:00에는 수평적으

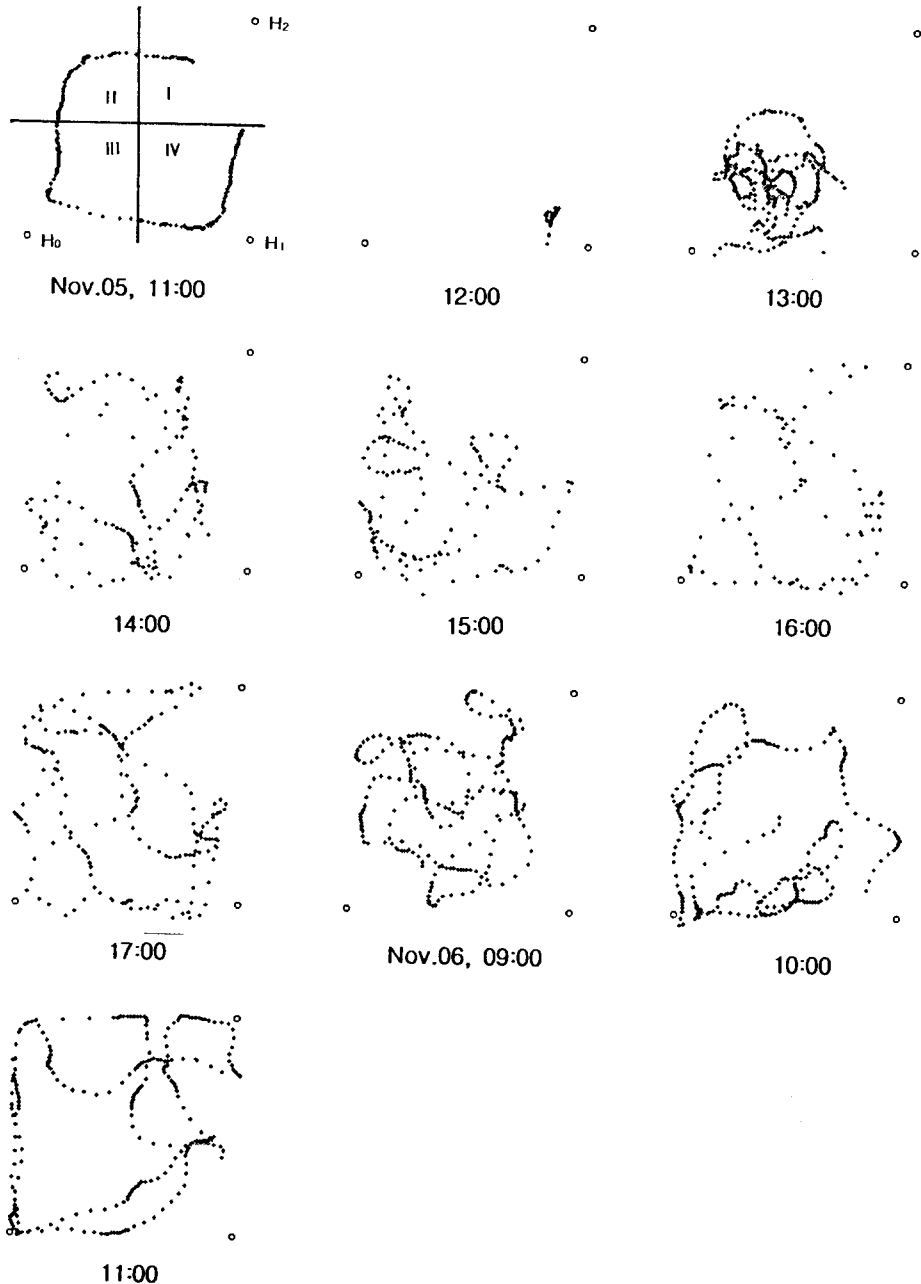


Fig. 5(a). Horizontal trails of the Israeli carp by the time.

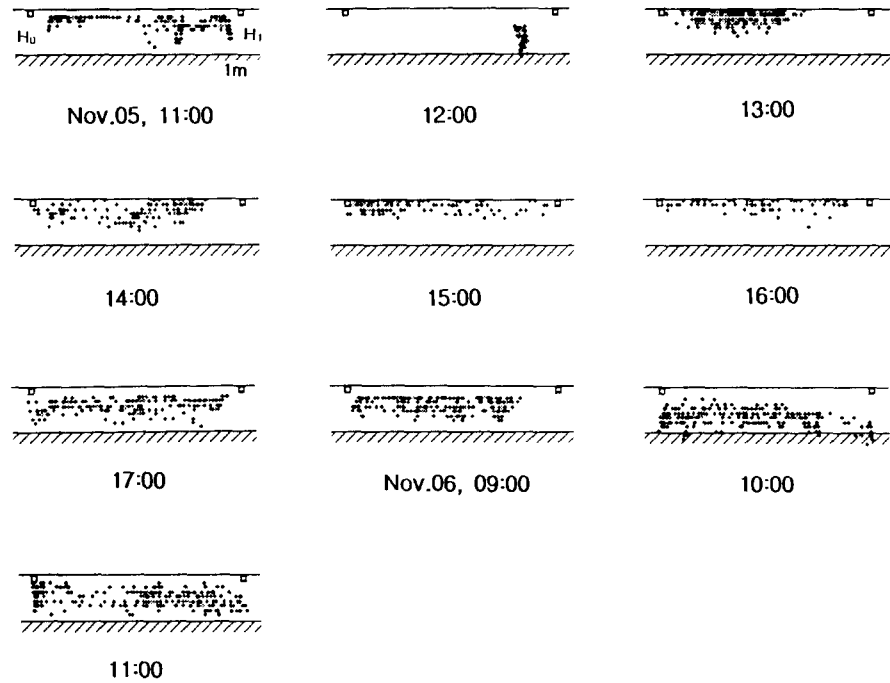


Fig. 5(b). Vertical trails of the Israeli carp.

로는 주로 Ⅲ~Ⅳ 구간에 머물렀으며, 수직적으로는 수면 가까이 분포하였다. 이후의 시간대에서는 점차 수평적인 활동이 증가하는 경향을 보였고, 수직적인 활동에서는 표층 보다는 중층 내지는 저층으로의 이동이 늘어남을 알 수 있다. 11월 6일 09:00 부터는 전체 구간에 걸쳐 고르게 움직이는 것을 보아 향어는 안정을 되찾은 것으로 추정된다.

시간대별 유영속도의 분포를 막대 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 유영속도는 하나의 펄스신호를 수신하여 핑거의 좌표를 계산하고 다음 펄스 신호를 수신하였을 때의 좌표 사이의 거리를 계산한 후 경과 시간으로 나누어 계산하였다. 유영속도의 구간별 발생 빈도는 0~2.0m/sec의 유영속도를 8개 구간으로 나누어 핑거의 펄스 신호를 수신할 때 마다 각 구간에 나타나는 회수를 세고, 수신한 펄스 신호의 수로 나누어 계산하였다. 시간대별 유영속도 분포를 평균하면 0~0.25m/sec 구간이

20.2%, 0.25~0.50m/sec가 52.3%, 0.50~0.75m/sec 16.2%, 0.75~1.00m/sec 5.1%, 1.00~1.25m/sec 2.1%, 1.25~1.50m/sec 1.3%, 1.50~1.75m/sec 1.1%, 1.75~2.00m/sec 1.7%이었다.

경과시간에 따른 향어의 유영속도의 변화를 측정할 결과를 나타내면 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 유영속도는 방류 후 매시 약 10분 동안의 유영속도를 평균하여 나타낸 것이다. 유영속도의 최소치는 방류초기의 값으로 0.25m/sec, 최대치는 3시간이 경과하였을 때이며 그때의 유영속도는 0.57m/sec이었다. 전체 평균속도는 0.45m/sec로 체장대비 약 1.0배의 빠르기를 보였다. 방류 초기의 유영속도가 현저하게 낮은 것은 핑거 부착시 사용한 마취제의 영향인 것으로 사료된다. 전반적으로 방류 후 시간이 경과함에 따라 유영속도는 감소하는 경향을 보였다.

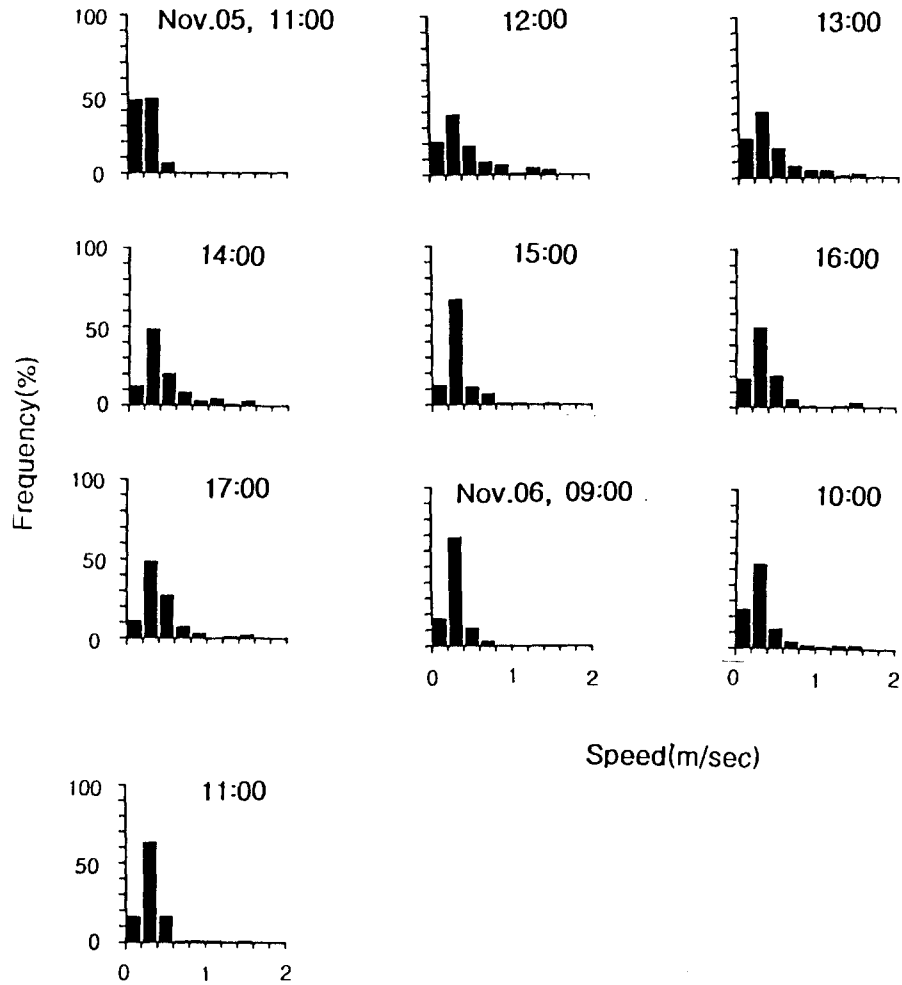


Fig. 6. Swimming speed distribution of the Israeli carp and its frequency occurred.

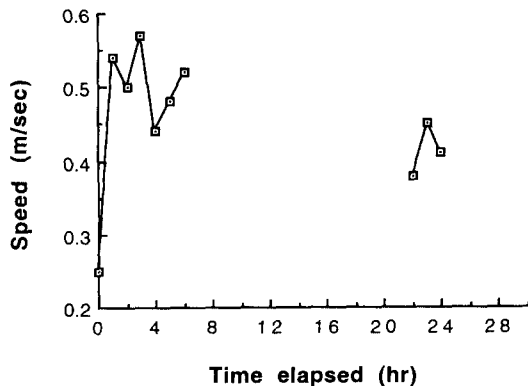


Fig. 7. Swimming speed of the Israeli carp with the time elapsed.

## 2. 참돔의 유영행동

1994년 1월 14일 성지실업 소유 육삼 양어장의 축양조에서 핑거를 부착한 참돔을 방류하고 추적하였다. 참돔의 유영행동을 추적한 결과는 Fig. 8과 같다. 방류한 축양조에는 방류한 참돔과 비슷한 크기의 참돔 수 100마리가 양식되고 있었다.

Fig. 8에서 참돔의 이동 궤적은 방류 후 30분 간격으로 10분간씩 추적한 것이다.  $H_0 \sim H_2$ 는 수파기를 나타낸 것이며, 향어의 경우와 마찬가지로 Fig. 6a와 같이 수평 구간을 설정하면 12:00에 방류한 참돔은 주로 II~IV 구간에서

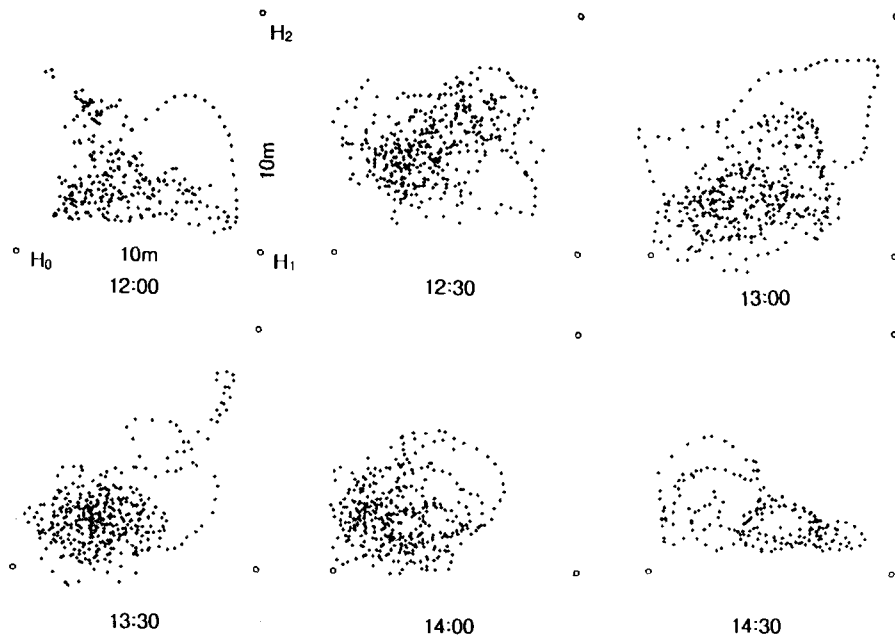


Fig. 8. Trails of the Red seabream (*Chrysophrys major*) by the time.

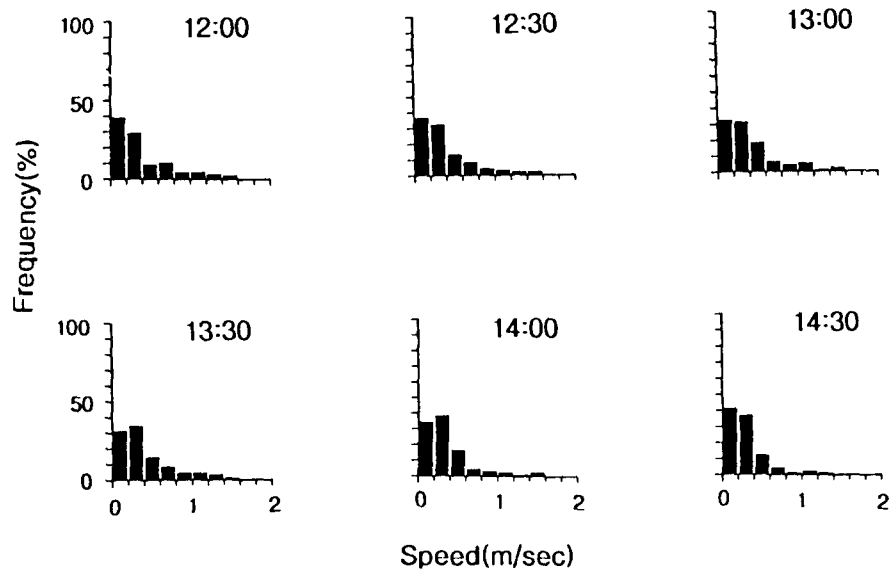


Fig. 9. Swimming speed distribution of the Red seabream and its frequency occurred.

움직였다. 30분이 지난 후에는 축양조의 중심 부근으로 이동하였고, 방류 후 1시간에서 1시간 30분 즉 13:00과 13:30에는 이동 범위가 점차 넓어져 갔다. 그 후에는 다시 III구간 혹은 IV구간

에 국한되고 있음을 알 수 있다. 이와같이 전구간에 고르게 분포하기보다는 특정 구간에 분포하는 것은 조류의 영향으로 축양조의 그물이 한쪽으로 쏠리고 있었기 때문으로 사료된다.



시간대별 참돔의 유영 속도 분포는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서 유영 속도 분포를 평균하며 0~0.25m/sec 구간이 35.7%, 0.25~0.50m/sec가 28.7%, 0.50~0.75m/sec 13.6%, 0.75~1.00m/sec 6.9%, 1.00~1.25m/sec 3.4%, 1.25~1.50m/sec 3.5%, 1.50~1.75m/sec 1.9%, 1.75~2.00m/sec 1.6%였다.

Fig. 10은 경과 시간에 따른 참돔의 유영 속도의 변화를 방류 후 10분 간격으로 평균하여 나타낸 것으로 참돔은 방류 후 유영속도가 안정되었다. 유영 속도의 최대값은 0.50m/sec로 방류 후 20분과 90분에 나타났으며, 최소값은 0.36m/sec로 150분 경과 후에 나타났다. 전체 평균한 유영속도는 0.45m/sec로 체장대비 약 1.3배의 빠르기였다.

Fig. 11은 3시간 동안 추적한 결과의 일례를 나타낸 것이며, Fig. 11의 (a), (b)는 향어의 수평 이동궤적과 수직 이동궤적이고, (c)는 참돔의 수평 이동궤적이다. 향어의 수평구간별 존재빈도 분포를 보면 III구간이 32.1%, IV구간 27.5%, I구간 15.3%, II구간 25.1%이며, 참돔의 경우는 구간별로 67.8%, 22.9%, 5.1%, 5.0%로 나타났다.

참돔의 경우는 입력센서를 내장하지 않은 단순형 핑거를 사용하였으며, 심도 z에는 일정한 값을 부여하여 위치를 3차원적으로 위치를 계산하고 그 결과의 평면도만을 나타내었다. 심도에 일정한 값을 부여한 것은 핑거의 위치오차를 가능한 줄이기 위해서이다. 왜냐하면 쌍곡선위치결정법에서 사용하는 수신시간차를 연결하면 2차원적으로는 곡선이 되지만 3차원적으로 생각하면 곡면이 된다. 즉 핑거는 3차원으로 움직이는 데 위치계산을 2차원으로 한다면 평면적으로 동일한 범위를 움직일 경우에도 핑거의 깊이가 깊어질수록 2차원 위치로 표시되는 핑거의 이동 범위는 작게 된다. 그래서 참돔의 위치를 계산할 때에는 축양조내의 참돔이 주로 분포하고 있는 평균적인 심도를 일정한 값으로 주어 3차원으로 계산하였다.

쌍곡선 위치결정법으로 계산한 핑거의 위치오차는 위치 분해능이 5cm이므로 기준선상에서의

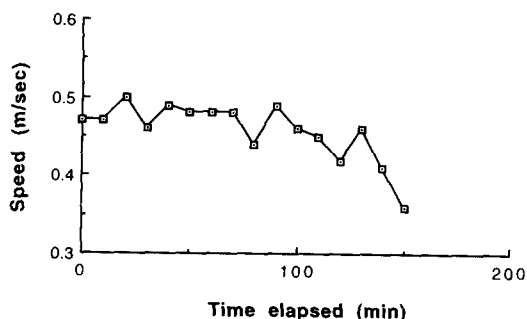


Fig. 10. Swimming speed of the Red seabream with the time elapsed.

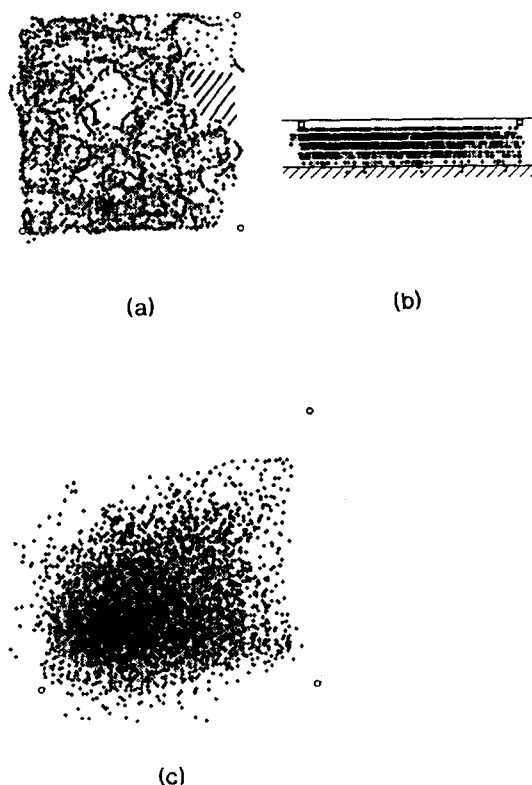


Fig. 11. Trails of the Israeli carp (a, b) and the Red seabream (c) during three hours. (a) and (c) denote the plane view, 9b0 the side view, dashed area of (a) the watergrass.

위치 오차는 2.5cm이다. 또한 핑거를 부착한 시험어의 움직임이 기준선내이므로, 위치 오차는 0.2m 이내이다.

## 요 약

본 논문은 초음파 핑거(50kHz), 수파기, 수신기, 싱글보드 컴퓨터, 무선 송수신기 및 노트북 컴퓨터로 구성된 어류행동 원격감시 시스템을 이용하여 핑거를 부착한 어류의 행동은 장기준선 방식에 의하여 추적하고, 핑거의 위치를 쌍곡선위치결정법으로 계산하였으며, 이 시스템으로 1993년 11월 양어장(24×24×1m)에서 추적한 향어(체장 43cm)의 평균 유영속도는 0.45m/sec이었고, 1994년 1월 해상의 축양조(10×10×5m)에서 추적한 참돔(체장 35cm)의 평균 유영속도는 0.45m/sec이었다. 체장 대비 유영속도는 향어가 약 1.0배, 참돔은 1.3배이었다. 향어는 참돔에 비하여 유영속도의 기복이 상대적으로 컸다. 이상의 결과로부터 이 시스템은 어류의 생태학적 연구에 유용하게 사용할 수 있음이 확인되었다.

## 감사의 글

이 연구는 해양산업개발연구소의 연구비 일부의 지원으로 수행되었음을 밝히면서 실험 장소를 제공하여 주신 부산수산대학교 양어장장 조재윤 교수님과 (주)성지실업 육삼양어장 관계자 제위께 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

- 1) Nomura, S. and T. Ibaraki(1968) : Electrocardiogram of the Rainbow trout and its radio transmission. Jap.J. vet. Sci., 31, 135-147.
- 2) Priede, I.G.(1983) : Heart rate telemetry from fish in the natural environment. Comp.Biochem.Physiol., 76A(3), 515-524.
- 3) Mitson, R.B.(1987) : Future fisheries acoustics. Int. Symp. Fish. Acoustics, June 22-26, 1987 Seattle, USA., 1-38.
- 4) Arnold, G.P., M. Greer Walker and B. H. Holford(1987) : Fish behavior : Achievements and potential of high-resolution sector scanning sonar. Int. Symp.Fish.Acoustics, June 22-26, 1987 Seattle, USA., 1-35.
- 5) Arnold, G.P. and J.D.Metcalf(1989) : Acoustic telemetry : Fish behavior : Progress and potential in understanding fish behavior. Proc.I.O.A., 11(3), 96-103.
- 6) Stasko, A.B. and R.M. Horrall(1976) : Method counting tailbeats of free-swimming fish by ultrasonic telemetry techniques. J.Fish.Res.Board Can., 33, 2596-2598.
- 7) 中村 朗(1990) : 超音波テレメトリー. 水産學シリーズ 80, 恒星社厚生閣, 東京, 日本, p. 93-101.
- 8) Kuroki, T., K. Kawaguchi, W. Sakamoto and H. Watanabe(1971) : A new telemetric apparatus and its surrounding water temperature. Bull.Jap.Soc. Sci.Fish., 37(10), 964-972.
- 9) Mitson, R.B and T.J. Storeton-West (1971) : A transponding acoustic fish tag. Radio Electron. Eng., 41, 483-489.
- 10) Armstrong, J.D., M.Lucas, J.French, L. Vera and I.G. Pride(1988) : A combined radio and acoustic transmitter for fixing direction and range of freshwater fish (RAFIX). J.Fish Biol., 33, 879-884.
- 11) Hawkins, A.D., D.N. MacIennnon, G.G. Urquhart and C. Robb(1974) : Tracking cod Gadus morhua L. in a Scottish sea loch. J.Fish Biol., 6, 225-236.
- 12) Konagaya, T.(1982) : New telemetric method of determining the positions of the swimming fish. Nippon Suisan Gakkaishi, 48, 1545-1550.
- 13) 申鉉玉(1992) : 초음파 표지를 이용한 양식어의 유영행동 추적. 한국어업기술학회지, 28(4), 347-359.