

어류의 행동추적에 의한 SSBL · 핑거동기 바이오텔레메트리 방식과 시스템의 실용성 검증

박 주 삼

여수대학교

Verification of Practicality for the SSBL and Pinger Synchronizing Biotelemetry Method and System through the Tracking of Fish

Ju-Sam PARK

Yosu National University

Abstract

The new biotelemetry method and system that the installation and the treatment of equipment is convenient and the instantaneously detailed position of the fish attached a pinger is able to track comparatively easily had been developed, an practicality of it were verified in the water tank and the small sea port through the tracking of fish. The biotelemetry method had been gotten the three dimensional locations of fish to the receiving transducer by combining of the super short base line (SSBL) method to detect the direction of pinger and the pinger synchronizing method to measure the range from receiving transducer to pinger. The receiving system had been designed to realize the high precision or wide detection range by application of the basic design method for receiving system of biotelemetry and the hydrophone array configuration.

From tracking test of carp in the water tank, the migration course and the velocity of carp was investigated and the observed migration course was compared with measurement. The measured migration course of carp coincided with the observation in the main and the position of carp was able to track three dimensionally. The velocity of carp measured by the moving average method was 11.2cm/s .

From tracking test of yellowtail in the small sea port, the migration course and the velocity of yellowtail was investigated at natural condition. The position of yellowtail was able to track three dimensionally and the velocity of it measured by moving average method was 43.9cm/s .

Key words : biotelemetry(바이오텔레메트리), SPB method(SPB 방식), SSBL method(SSBL 방식), pinger synchronizing method(핑거동기 방식), three dimensional tracking(3차원 추적)

서 론

어류의 행동이나 생태습성 등에 관한 연구는 어업을 위해서 뿐만이 아니라 자원관리를 위해서도

중요하다. 즉, 어획대상이 되는 어종을 효율적·선택적으로 어획하고, 그에 합당한 어구·어법을 개발하기 위해서는 어류의 행동이나 생태습성을 파악할 필요가 있으며, 수산자원을 지속적으로 유효

† Corresponding author : hanna@yosu.ac.kr

하게 이용하기 위해서는 어류의 분포나 회유 등에 관한 연구가 선행되어야 할 것이다. 이러한 것을 통해 어업경영의 안정화도 도모할 수 있을 것이다.

어류의 행동생태를 연구하는 수단으로는 잠수에 의한 관찰, 유인 잠수정에 의한 관찰, 무인 잠수정에 의한 관찰, 어군탐지기나 소너의 에코그램에 의한 해석, 표지에 의한 계측 등을 들 수 있다 (Urquhart and Stewart, 1993). 잠수, 유인 잠수정, 무인 잠수정에 의한 관찰 (Gilchrist *et al.*, 1983)은 수심과 탐지거리 등에 의해 제약을 받아 넓은 범위에서 사용하기에는 부적합하며, 어군탐지기 (Fréon *et al.*, 1993)나 소너 (Gerlotto *et al.*, 1999; 李 *et al.*, 2000)의 에코그램에 의한 해석 (Misund, 1993)은 조사선박이나 어구 등에 대한 어군의 행동해석에 응용되고 있으나, 특정의 대상을 장기간 추적하는 것이 어렵다.

한편, 표지에 의한 계측은 대상어류가 서식하는 넓은 수역에서 행동해석이 가능하다. 표지에는 표지 방류에 사용하는 소극적 표지와 기록식 표지, 전파·초음파를 이용하는 핑거와 같은 적극적 표지로 구별할 수 있다 (O'Dor, and Webber, 1998). 표지방류에 의한 계측은 어류의 이동, 분산, 개체수의 추정, 사육관리 등을 위해 오래 전부터 이용되어왔던 방법으로 표지 방류된 어류가 재포되는 것을 전제로 하지만 어획량이 불안정하여 표지효과가 적다 (Nielsen, 1992; 早乙女, 1996). 기록식 표지에 의한 계측은 수온, 수압 외에 조도 센서를 갖는 표지를 어류에 부착하여 메모리에 데이터를 저장하는 방법으로 수압으로부터 유영수심을 구하고, 조도의 강도로부터 일출과 일몰의 시간을 추정하여 그 시간으로부터 위도와 경도를 구한다. 이 방법은 성숙장이나 산란장으로 회유하는 어류에 대해 이용되지만, 표지어류를 회수하기 어려운 것이 가장 큰 문제점이다 (Metcalf and Arnold, 1997).

어류에 핑거를 부착하여 핑거에서 발사하는 음을 표적으로 어류를 추적하여 행동을 파악하는 바이오텔레메트리에 의한 계측에는 전파와 초음파가 이용되고 있다 (Stasko and Pincock, 1977). 전파는 해수중에서 전파감쇠가 크기 때문에 하천이나 호소 등 비교적 얇은 담수역, 또는 수면으로 부상하는 동물의 추적이나 정보를 전송하는 경우에 이용되고 있다. 초음파는 해수나 담수에서 전파감쇠가 비교적 적기 때문에 수중생물의 위치, 수심, 주위의 수온 등 자연상태에서의 유영장소의 정보

추정에 폭 넓게 이용되고 있다. 최근 전파와 초음파 모두를 이용하는 텔레메트리 방식의 연구도 행해지고 있다 (Niezgoda *et al.*, 1998).

지금까지의 바이오텔레메트리 방식의 문제점은 핑거 음의 검지 가능한 범위에 대한 정의가 충분하지 않아 어류를 잃어버리기 쉬우며, 장비의 설치나 취급이 간편하지 않고, 넓은 범위에서 어류의 순간적인 상세한 추적이 어렵다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 항주하는 선박에 의해 넓은 범위의 추적이 가능하며, 장비의 설치 및 취급이 간편하고, 어류의 순간적인 상세한 추적이 가능한 새로운 바이오텔레메트리 방식을 개발하였으며 (박·古澤, 2003a), 바이오텔레메트리 음향계의 설계방법 (朴·古澤, 2002)과 스프리트빔 방식 개량어군탐지기의 송수파기 설계방법 (古澤 *et al.*, 1994)을 응용하여 시스템을 설계, 제작하였다. 개발한 바이오텔레메트리 방식은 선박으로부터 어류 (핑거)의 3차원 위치 계측이 가능하도록 핑거동기 방식에 의해 계측한 거리정보와 SSBL (super short base line) 방식에 의해 계측한 방위정보를 조합하였다. 이 방식을 SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리 (SSBL and pinger synchronizing biotelemetry: SPB) 방식이라고 하였다. 또한, 고정도 계측이 가능하도록 대상의 위치를 명확하게 알 수 있는 수조에서 하이드로폰을 이용하여 시작 시스템의 보정을 하였으며, 핑거를 이용한 검증실험을 통하여 SPB 방식과 시스템의 유효성과 성능을 파악하였다 (박·古澤, 2003b).

본 연구에서는 유효성과 성능이 검증된 새로운 바이오텔레메트리 시스템을 이용하여 핑거를 부착한 어류의 추적실험을 수조와 계류장에서 실시하였다. 수조에서의 실험은 어류의 움직임만을 관측할 수 있기 때문에 어류의 이동경로, 속도 등을 조사하여 어류의 이동경로 계측치와 대체적인 관측치를 비교하였으며, 계류장에서의 실험은 상하, 좌우 방향으로 회전 가능한 지지파이프에 수파기를 부착하여 수파기를 회전시키면서 자연상태에서 어류의 이동경로, 속도 등을 조사하여 SPB 방식과 시스템의 실용성을 확인하였다.

재료 및 방법

1. 시스템의 구성

어류의 행동추적을 위한 SPB 방식의 실험장치

및 실험시스템은 Fig. 1과 같다. 수파기의 설치 방향을 기준으로 한 어류의 위치는 수심방향이 X, 폭 방향이 Y, 길이방향이 Z가 되고 그의 움직임은 X가 상하방향, Y가 좌우방향, Z가 전후방향이 된다. 수파기를 상하(X), 좌우(Y) 방향으로 회전 가능한 지지 파이프에 부착하여, 그 파이프를 지지판에 고정시켰다.

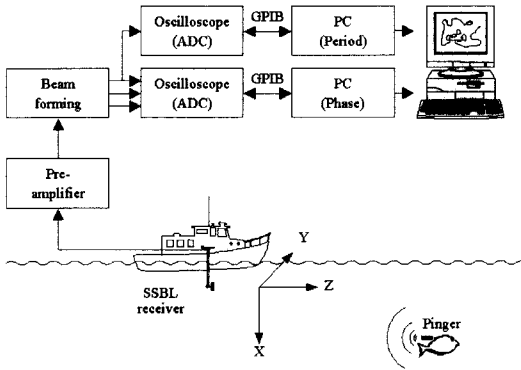


Fig. 1. Block diagram of the experiment system of SSBL and pinger synchronizing biotelemetry (SPB) method.

사용한 핑거는 직경 8mm, 길이 38mm, 수중 무게 3.5g의 시판되고 있는 소형핑거(V8B-2LR, Vemco)로서 주파수 69kHz, 음원음압레벨 136dB (re 1 μPa at 1m), 송신주기 1s, 펄스 폭 10ms 이었다.

수파기는 위상의 계측에 의해 핑거를 부착한 어류의 방위를 구할 수 있도록 전·후와 좌·우의 2쌍의 위상빔으로 배열하여 어레이 구성의 변환에 의해 검지범위나 방위측정 정도를 선택할 수 있도록 협빔 모드와 광빔 모드의 2개의 빔 모드로 설계, 제작하였다.

증폭기는 2개의 빔 모드용에 각 2개의 채널로 구성하여 큰 신호를 수신한 경우 이득을 적게 하고, 작은 신호를 수신한 경우 이득을 크게 하여 파형이 포화되지 않도록 하였다. 가산기에 가중치를 붙여 빔을 합성하였으며 협빔 모드와 광빔 모드는 스위치에 의해 변환하도록 하였다.

증폭기로부터의 신호의 출력은 디지털 오실로스코프에 의해 고속으로 AD(analog to digital) 변환하여 GPIB(general purpose interface board) 경유로 퍼스널 컴퓨터에 수록하였다. 방위를 구하

기 위해 위상을 계측하는 디지털 오실로스코프(9304CM, LeCroy)는 펄스의 도달시간 마다 파형을 수록하도록 하였으며, 거리를 구하기 위해 핑거 펄스의 수신시각을 계측하는 디지털 오실로스코프(9314AM, LeCroy)는 펄스의 도달시간을 트리거 시각으로 간주하여 트리거 발생시각을 수록하도록 하였다. 양 처리계에서는 샘플링 주파수가 크게 다르기 때문에 파형과 시각을 각각 별도로 수록할 수 있도록 나누어 구성하였다.

이후 처리는 Matlab 등에 의한 프로그램을 만들어 오프라인 처리를 하였다. 핑거 펄스의 수신시각으로부터 핑거동기 방식에 의해 수파기에서 핑거까지의 거리 r_i 를 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$r_i = (T_i - t_0 - \tau)c \quad (1)$$

여기서, T_i 는 i 번째 핑거 펄스의 수신시각, t_0 는 최초의 핑거 펄스의 송신시각, τ 는 송신주기, c 는 음속이다. t_0 와 τ 는 기지의 거리에 핑거를 놓고 미리 측정하였으며, 그 후 i 와 T_i 를 계측하여 r_i 를 계산하였다.

전, 후, 좌, 우로 구성된 SSBL 방식의 각 위상빔 어레이로 수신한 파형으로부터 4분 샘플링 상호관계법에 의해 전후 위상차 δ_x 와 좌우 위상차 δ_y 를 계산하였으며(Traynor and Ehrenberg, 1990), 위상차를 이용하여 수파기에 대한 핑거의 위치각(θ , ϕ)을 다음 식에 의해 구하였다.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}}{kd} \right) \quad (2)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\delta_y}{\delta_x} \right) \quad (3)$$

여기서, $k(=2\pi/\lambda)$, λ 는 파장)는 파수, d 는 위상차와 위치각의 관계로부터 결정되는 위상빔 어레이의 중심간의 거리이다. 또한, 어류의 순간 이동속도는 (1), (2), (3)식으로부터 구한 수파기에 대한 핑거를 부착한 어류의 구면좌표를 직교좌표로 변환시켜 미분하여 구하였으며, 불규칙한 변동이 컸기 때문에 인접 10초간의 속도를 이용하여 이동평균으로 평활화하였다.

2. 수조에서의 추적실험

대략적이긴 하지만 실제의 위치를 알 수 있도록 길이 10m, 폭 10m, 수심 10m의 수조에서 어류의

행동추적 실험을 하였다. 행동추적에 사용한 실험어는 전장 50cm, 체장 46cm의 잉어이였으며, 잉어는 양식장에서 사육된 것을 별도의 소형수조에서 하루동안 적응시킨 후 핑거를 부착하여 방류하였다. 수조에서의 실험은 수파기를 고정하고 어류를 빔내로 유인함으로써 수파기의 위치 이동에 따른 오차를 최소화하도록 하였다. 이를 위해 핑거를 부착한 잉어는 낚시바늘을 건 낚시줄에 매어 방류하였다. 수파기의 중심은 수심 2.6m에 부설하였다.

SPB 방식에 의해 핑거를 부착한 잉어의 위치를 자동 연속으로 수록하여 계측위치를 구하였다. 또한, 수조 끝에 줄자를 설치하여 두 사람의 관측자가 수파기의 길이방향(Z)과 폭방향(Y)에서 잉어를 수조벽에 직각으로 보며 줄자의 눈금을 적당하게 읽어 대략적인 실제의 위치를 구하였다. 오프라인 처리에 의해 대략적인 실제의 위치와 계측 위치를 비교 검토하였다.

3. 계류장에서의 추적실험

수심 3.5m 정도의 계류장에서의 어류의 추적실험을 하였다. 수파기는 계류장에 계선되어있는 선박의 현측에 설치하였다. Fig. 2는 선박의 현측에 설치한 수파기의 사진이다. 수파기는 상하방향과 좌우방향으로 회전가능한 지지파이프에 부착하여 그 파이프를 지지판에 고정시켰다. 지지파이프의 좌우방향 조절 손잡이 하단에 분도기를 설치하여 수파기의 좌우회전에 따른 각도를 구하였으며, 상하방향의 각도를 알 수 있도록 상하방향 조절 손잡이 하단에 홈을 만들어 각도를 표시하였다. 지지파이프를 회전하는 시점의 시간과 수파기의 회전각도를 기록하여 후처리에서 수신시각과 맞추어 보정을 하였다. 본 실험에서는 수심이 얕아 상하방향으로 수파기를 회전하지 않고도 핑거의 신호가 수신되었다.

핑거를 부착하여 실험에 사용한 어류는 전장 26cm, 체장 24.5cm의 방어이었다. Fig. 3은 핑거를 부착한 방어의 사진이다. 방어와 핑거는 회수가 가능하도록 낚시바늘을 건 낚시줄에 매어 방류하였다. 또한, 방어에는 추적을 쉽게 하기 위해 낚시줄의 끝에 작은 표식을 달아 고무보트로 추적하였다. 고무보트의 관측자가 방어의 대략적인 평면 위치를 지시하면 수파기의 지지파이프를 회전시켜 연속적으로 방어의 위치정보를 수록하였다.

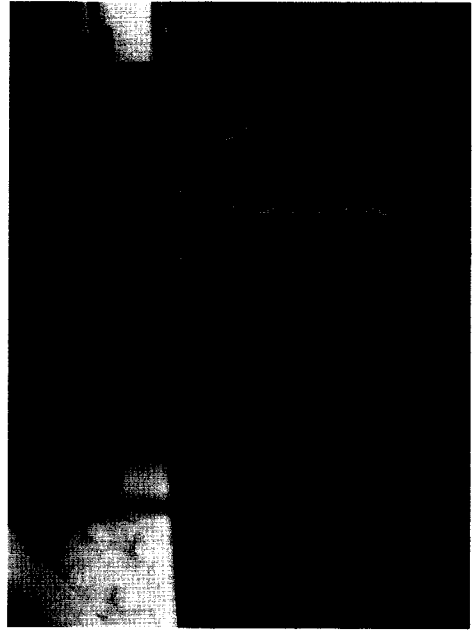


Fig. 2. Photograph showing set-up of the receiving transducer of SSBL system at the side of vessel in experiment at small sea port.



Fig. 3. Tagged yellowtail with a pinger.

결 과

1. 수조에서의 추적실험

Fig. 4는 SPB 방식에 의한 잉어의 수직방향(a), 수평방향(b)의 추적 결과이다. 잉어의 이동경로를 연속적으로 나타내기 위해 실선과 점선을 사

용하여 원형으로 나타낸 계측 위치에 겹치도록 표시하였다. 인접한 두 위치가 평균 이동속도로 계산한 위치보다 월등하게 변동이 큰 경우에는 연속적인 이동경로에서 제외시켜 표시하였다. 실선은 연속적으로 계측이 가능하였던 곳에서의 잉어의 이동경로이며, 점선은 잉어가 빔폭을 벗어난 곳에서의 추정 이동경로이다. 계측하여 구한 이동경로와 줄자로부터 읽은 대략적인 이동경로를 비교하기 위해 수평방향에 가는 실선을 사용하여 대략적인 이동경로를 표시하였다. 잉어의 계측 이동경로가 줄자로부터 읽은 대략적인 이동경로와 대체로 일치하였다.

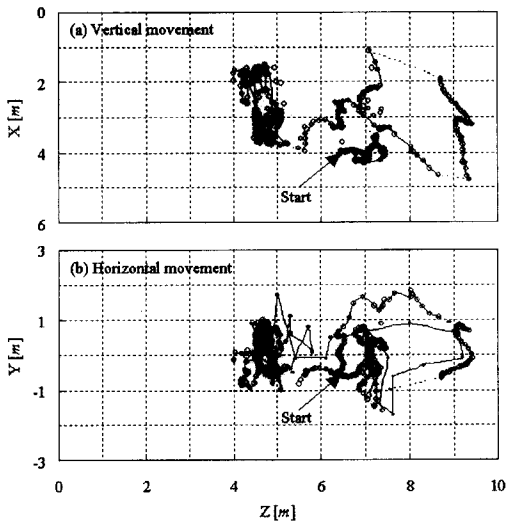


Fig. 4. Tracked positions of carp in the water tank. The circles show the tracked position measured by SPB system. The continual tracked position is superimposed on red circles by using solid and dotted lines in which the dotted lines show unmeasured tracked position. Thin solid line in horizontal movement (b) shows the tracked position and the position was measured by using scale of tape measure (ruler).

Fig. 5는 잉어의 이동경로를 3차원적으로 표시하였다. (a)는 축의 간격을 데이터의 값과 같도록 설정하여 방위각 318°, 양각 20°의 시점에서 관찰한 잉어의 3차원 위치이며, (b)는 축의 간격을 자

유폭게 설정하여 방위각 335°, 양각 23°의 시점에서 관찰한 3차원 위치이다. 잉어의 연속적인 이동경로를 알아보기 쉽게 표시하기 위해 100초 간격으로 색을 바꾸어 실선과 점선을 사용하여 원형으로 표시한 계측 위치에 겹치도록 나타내었다. 실선은 연속적으로 계측이 가능하였던 곳에서의 잉어의 이동경로이며, 점선은 잉어가 빔폭을 벗어난 곳에서의 추정 이동경로이다. 잉어의 이동경로는 3차원 추적이 가능하였다.

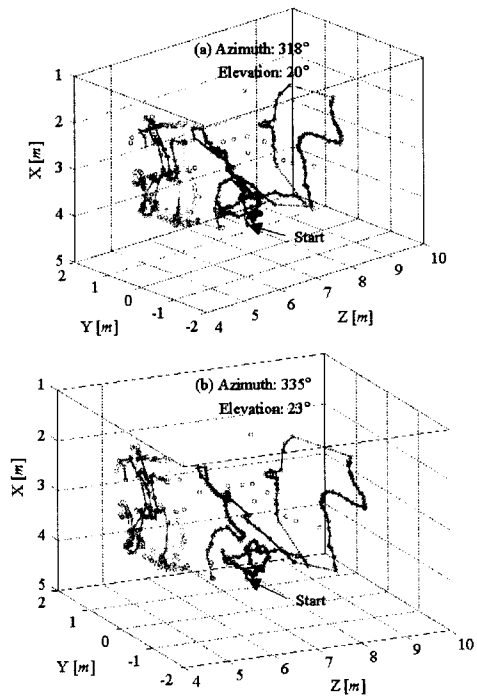


Fig. 5. Three dimensional tracked position of a carp in the water tank. The upper plot shows the tracked position by azimuth 318°, elevation 20° in fixed scale (equal axis), and the lower by azimuth 335°, elevation 23° in unfixed scale (auto-axis).

Fig. 6은 잉어의 측정 이동속도를 나타낸다. ○은 잉어의 순간 위치를 미분하여 구한 순간 이동속도이며, ●은 인접 10개의 순간 이동속도를 이용하여 이동평균으로 평활화한 측정 이동속도이다. 순간의 이동속도는 근거리에서 낮은 속도로 이동하였기 때문에 전기위상각의 검출에 기인할 것

로 생각되는 추정치의 오차가 있었지만(古澤·澤田, 1991), 이동평균으로 평활화한 이동속도는 11.2cm/s의 거의 합당한 결과가 얻어졌다.

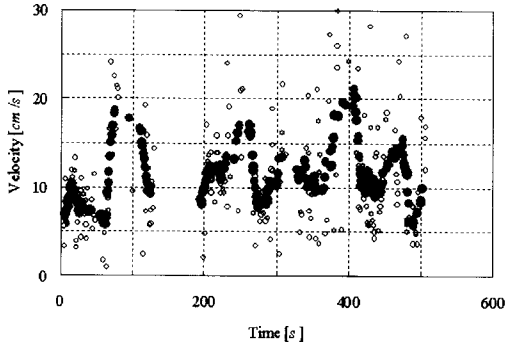


Fig. 6. Swimming speed of the carp. The black circles show the swimming speed measured by moving average method ($N=10$).

2. 계류장에서의 추적실험

Fig. 7은 계류장에서 수파기를 부착한 지지파이프를 좌우방향으로 회전시키면서 추적한 방어의 3차원 위치이다. 방어의 이동경로 표시방법은 수조에서 잉어의 이동경로 표시방법과 같다. 계측할 수 없었던 곳은 불량한 신호나 방어가 빙뚰을 벗어나 지지파이프를 회전시킨 곳으로 그 이외에는 연속적으로 계측이 가능하였다. 계측장소는 수심이 3.5m 정도로 얇고 계류장 벽의 반사파 등 측정 조건이 나빴지만 3차원의 추적이 가능하였다.

Fig. 8은 방어의 측정 이동속도를 나타낸다. 방어의 이동속도 표시방법은 수조에서 잉어의 이동속도 표시방법과 같다. 순간 이동속도는 상하방향의 불안정한 신호의 영향으로 속도 폭이 컸지만, 이동평균으로 평활화한 이동속도는 43.9cm/s이었다. 방어는 회유어로서 이동속도도 빠르고 평균 0.5~0.6kt (25.7~30.9cm/s)로 이동하므로(能勢 *et al.*, 1989) 계측한 방어의 평균측정 이동속도는 큰 오차를 포함하지 않는 적절한 값으로 생각된다.

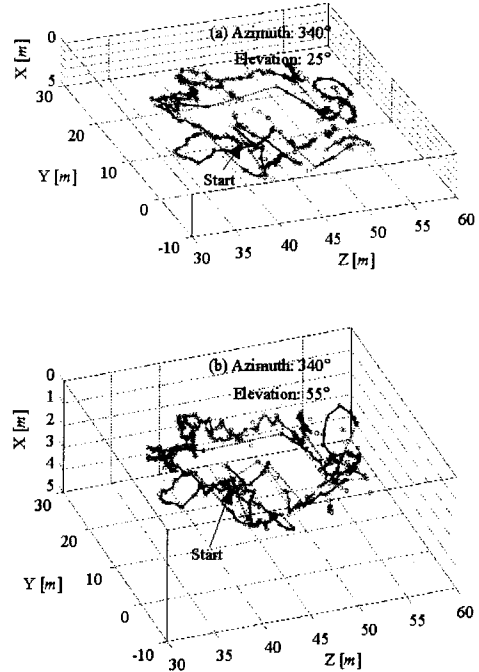


Fig. 7. Three dimensional tracked position of a yellowtail in small sea port. The upper plot shows the tracked position by azimuth 340°, elevation 25° in fixed scale (equal axis), and the lower by azimuth 340°, elevation 55° in unfixed scale (auto-axis).

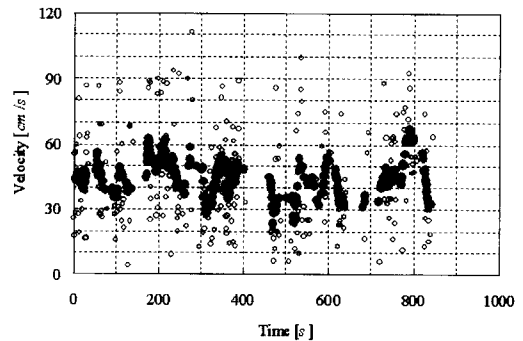


Fig. 8. Swimming speed of the yellowtail. The black circles show the swimming speed measured by moving average method ($N=10$).

고 찰

SPB 방식을 보다 실용적으로 사용하기 위해서는, 온라인 처리와 화면 표시가 가능해야 할 것이며, 선박의 동요에 대한 대책이 필요할 것이다. 또한, GPS (global positioning system)와 컴퍼스로부터의 정보와 바이오텔레메트리 방식에 의해 구한 어류의 선박에 대한 상대위치를 종합하여 절대위치로 계산해야 할 것이다.

새롭게 개발하여 사용한 바이오텔레메트리 방식은 선박으로부터 어류(핑거)의 3차원 위치 계측이 가능하도록 핑거동기 방식에 의해 계측한 거리정보와 SSBL 방식에 의해 계측한 방위정보를 조합하였다. 핑거는 송신기능만을 갖고 있기 때문에, 수파기와와의 거리를 간단하게는 구할 수는 없으나, 사용한 핑거는 송신주기가 일정하기 때문에 핑거동기 방식에 의해 핑거 펄스의 송신시각을 알면, 펄스의 수신시각을 측정하여 송신시각과 수신시각과의 차를 구하여 거리를 계산할 수 있다. 핑거의 수파기에 대한 방위계측은 복수의 위상범 어레이의 간격을 짧게한 SSBL 방식을 사용하여 전·후, 좌·우의 위상범 어레이에 수신된 각 신호간 위상차로부터 구한다(Klepaker *et al.*, 1986). 위상차 측정치를 온라인으로 처리하고 행동습성을 화면에 표시하기 위해서는 고속의 다중 채널 AD변환기와 컴퓨터에 의한 고속처리가 필요하며 이것은 현재의 기술로 가능한 단계이다. 또한 절대위치를 구하는 문제도 쉽게 해결할 수 있을 것이다.

선박의 동요에 대한 대책은 본 바이오텔레메트리 방식을 실현하기 위한 가장 큰 장애요인이다. 동요의 각도가 적으면 동요의 주기성으로부터 측정된 복수의 위치를 평균하면 좋을 것이다. 동요가 큰 경우에는 선수미선을 포함한 면내에서 어류를 추적한다고 가정할 수 있기 때문에 수파기 부근에 피치각센서를 설치하여 선박의 동요 정보와 어류까지의 거리로부터 핑거음이 발사된 순간의 수파기의 각도를 추정하여 계측치를 보정할 수 있을 것으로 생각한다.

요 약

SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리 방식과 시스템을 사용하여 핑거를 부착한 어류의 행동 추적 실험을 실시하였다. 이상의 연구 성과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수조의 추적실험에서는 어류의 대략적인 행동을 관측할 수 있기 때문에 어류의 이동경로의 계측치와 대체적인 관측치를 비교하면서 어류의 이동경로와 속도 등을 조사하였다. 계측한 잉어의 행동이 관측치와 대체적으로 일치하였으며, 3차원으로 추적이 가능하였다. 잉어의 평균 이동속도는 11.2cm/s 로 거의 적당한 결과를 얻을 수 있었다.
- 2) 계류장의 추적실험에서는 상하, 좌우 방향으로 회전가능한 지지 파이프에 수파기를 설치하고 수파기를 회전시키며 자연상태에서 어류의 이동경로와 속도 등을 조사하였다. 방어의 행동이 상세하게 추적 가능함을 확인할 수 있었으며, 방어의 평균이동 속도는 43.9cm/s 이었다. 이상에 의해 본 연구에서 개발한 SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리 방식에 의하면 수신계의 고도화만으로도 핑거를 부착한 어류의 상세한 행동 추적이 가능함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- Fréon, P., Gerlotto, F., and Soria, M. (1993) : Variability of *Harengula* spp. school reactions to boats or predators in shallow water, ICES. mar. Sci. Symp., 196, 30-35.
- Gerlotto, F., Soria, M., and Fréon, P. (1999) : From two dimensions to three: the use of multibeam sonar for a new approach in fisheries acoustics, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 56, 6-12.
- Gilchrist, I., MacDonald, A.G., and Priede, I. (1983) : Divers, submersibles and unmanned vehicles. In : MacDonald, A.G. and Priede, I.G. (eds) Experimental biology at sea, Academic Press, London, 367-386.
- Klepaker, R.A., Vestgård, K., Hallset, J.O., and Knudsen, F.T. (1986) : A free swimming ROV. In : Wernli, R.L. and Chapman, R. (eds) Remotely operated vehicles : Technology requirement present and future, Graham & Trotman, London, 273-282.
- Metcalfe, J.D. and Arnold, G.P. (1997) :

- Tracking fish with electronic tags, *Nature*, 387, 665-666.
- Misund, O.A. (1993) : Dynamics of moving masses : variability in packing density, shape, and size among herring, sprat, and saithe schools, *ICES J. mar. Sci.*, 50, 145-160.
- Nielsen, L.A. (1992) : Methods of marking fish and shellfish, *American Fisheries Society Special Publication*, 23, 208.
- Niezgoda, G.H., McKinley, R.S., White, D., Anderson, G., and Cote, D. (1998) : A dynamic combined acoustic and radio transmitting tag for diadromous fish, *Hydrobiologia*, 371/372, 47-52.
- O'Dor, R.K. and Webber, D.M. (1998) : A brief history of marine fish and invertebrate tagging. In : Stone, G.S., Tausig, H.C., and Schubel, J.R. (eds) *Marine Animal Telemetry Tags*, New England Aquarium, Boston, 17-27.
- Stasko, A.B. and Pincock, D.G. (1977) : Review of underwater biotelemetry, with emphasis on ultrasonic techniques, *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 1261-1285.
- Traynor, J.J. and Ehrenberg, J.E. (1990) : Fish and standard-sphere target-strength measurements obtained with a dual-beam and split-beam echosounding system, *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 189, 325-335.
- Urquhart, G.G. and Stewart, P.A.M. (1993) : A review of techniques for the observation of fish behaviour in the sea, *ICES mar. Sci. Symp.*, 196, 135-139.
- 能勢幸雄, 羽生功, 岩井保, 清水誠 (1989) : 魚の事典, 東京堂出版, 東京, 363-364.
- 古澤昌彦, 澤田浩一 (1991) : 스프리트빔 방식における測角誤差, *海洋音響學會講演論文集*, 835-836.
- 古澤昌彦, 澤田浩一, 有路實, 山谷恭三, 倉都健治 (1994) : 計量魚探機用複合빔送受波器の開発, *海洋音響學會講演論文集*, 63-66.
- 朴柱三, 古澤昌彦 (2002) : 超音波バイオテレ메トリ의音響系의評價および設計方法, *日本水産學會誌*, 68, 334-344.
- 早乙女浩一 (1996) : 標識技術의現狀. 「月刊海洋種苗放流をめぐる諸問題」(櫻井識人, 櫻井辭人編), 海洋出版株式會社, 東京, 610-616.
- 李遺元, 向井徹, 飯田浩二 (2000) : 스캐닝 소ナーを用いた船舶の接近に對する魚群行動の評價法, *日本水産學會誌*, 66, 825-832.
- 박주삼, 古澤昌彦 (2003a) : SSBL 방식과 핑거동기 방식을 조합한 바이오텔레메트리 방식의 개발(1) -시스템의 설계 및 제작-, *한국어업기술학회지*, 39, 218-229.
- 박주삼, 古澤昌彦 (2003b) : SSBL 방식과 핑거동기 방식을 조합한 바이오텔레메트리 방식의 개발(2) -시스템의 정도 평가-, *한국어업기술학회지*, 39, 318-325.

2003년 12월 8일 접수

2003년 12월 27일 수리