

## SSBL 방식과 핑거동기 방식을 조합한 바이오텔레메트리 방식의 개발 (2) -시스템의 정도 평가-

박주삼<sup>†</sup> · 古澤昌彦<sup>\*</sup>

여수대학교, \* 東京水産大學

## Development of Biotelemetry Method by Combining the SSBL Method and the Pinger Synchronizing Method (2) - Evaluation for Precision of System -

Ju Sam PARK<sup>†</sup> and Masahiko FURUSAWA<sup>\*</sup>

Yosu National University, \* Tokyo University of Fisheries

### 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 the pinger is able to track comparatively easily had been developed, an availabilities of it were verified in water tank by using hydrophone and pinger. First of all, the receiving system for biotelemetry was calibrated so as to measure tracking of high precision or wide detection range. In the next place, the precision at narrow and wide beam array of receiving system by using hydrophone was investigated and the actual position was compared with measured hydrophone position. The mean standard deviations of the position by narrow beam array of receiving system were 6.4cm in phase beam of fore-aft pair and 6.3cm in starboard-port pair, and the wide beam array were 24cm and 23cm respectively.

The precision of distance, position, and velocity at narrow beam array of receiving system by using pinger were investigated and the actual values were compared with measured values. The distance from receiving system to pinger was measured by the pinger synchronizing method, angle of direction of pinger was detected by the super short base line (SSBL) method. The three dimensional position of pinger to the receiving system was measured by combining of two kinds of methods (SPB method), the velocity of pinger was obtained with a differential of the three dimensional positions. The mean standard deviations of the distance by pinger synchronizing method in narrow beam array of receiving system was 1.8cm, that of the position by SPB method was 7.7cm.

Key words : SPB method(SPB 방식), SPB system(SPB 시스템), verification of availability(유효성 검증), deviation of distance(측정거리 오차), deviation of position(측정위치 오차)

<sup>†</sup>Corresponding author : hanna@yosu.ac.kr

## 서 론

바이오텔레메트리는 어류에 음파표식을 부착하여 음파표식이 발사하는 음을 표적으로 어류를 추적하는 방법이다(Ireland and Kanwisher, 1978; Urquhart and Stewart, 1993). 음파표식에는 트랜스폰더와 핑거가 사용된다(Hawkins and Urquhart, 1983). 트랜스폰더는 질문신호를 수신하여 적당한 응답신호를 자동적으로 송신하는 송수신기이며, 핑거는 적당한 간격의 신호를 연속적으로 송신하는 송신기이다. 음파표식은 어류에 부착하기 위해 소형·경량인 것이 바람직하다. 그러나, 트랜스폰더는 송수신 기능이 필요하기 때문에 소형화가 어렵다. 지금까지 300kHz의 이중빔 스캐닝소너와 트랜스폰더를 이용한 예(Arnold and Metcalfe, 1989; Greer Walker *et al.*, 1978-1979; Greer Walker *et al.*, 1971; Mitson and Storeton-West, 1971) 등이 보고되고 있지만 최근에는 트랜스폰더를 소형 어류에 부착하여 바이오텔레메트리에 이용한 예는 거의 찾아볼 수 없다. 소형 어류에는 음파표식을 부착하는 것에 의한 부담을 되도록 적게 하고, 비용을 최소화하여 많은 어류에 사용할 목적으로 핑거가 일반적으로 이용되고 있다. 그러나, 핑거는 송신 기능만을 갖고 있기 때문에 수파기와외의 거리를 간단하게는 구할 수 없으며, 어류의 존재위치와 수심의 정보를 동시에 얻고자 하는 경우에는 크기가 커지며, 수명이 짧아지고, 가격이 높아지기 때문에 소형 어류의 추적이 어려워진다.

지금까지 핑거를 이용한 바이오텔레메트리 방식은 핑거 음의 수신 방식에 따라 최대감도방식(Bertrand *et al.*, 1999; Voegeli *et al.*, 1998)과 음원측위방식(Hawkins *et al.*, 1974; 韓, 1994)이 주로 이용되어 왔다. 최대감도방식은 핑거 음을 최대로 수신한 수파기의 방향으로부터 어류의 대략적인 방향을 판단하며, 음원측위방식은 수파기 또는 하이드로폰을 임의의 위치에 설치하여 각각의 수파기 또는 하이드로폰에 도달한 핑거 음의 시간차로부터 어류의 위치를 계속한다.

이러한 방식의 큰 문제점은 핑거 음을 검지 가능한 범위의 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, 2003), 바이오텔레메트리 음향계의 설계 방법(朴·古澤, 2002)과 스프리트빔 방식 개량어군 탐지기의 송수파기 설계방법(古澤 *et al.*, 1994)을 응용하여 시스템을 설계, 제작하였다. 개발한 바이오텔레메트리 방식은 선박으로부터 어류(핑거)의 3차원 위치 측정이 가능하도록 핑거동기 방식에 의해 계속한 거리정보와 super short base line (SSBL) 방식에 의해 계속한 방위정보를 조합하였다. 이 방식을 SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리(SSBL and pingger synchronizing biotelemetry : SPB) 방식이라고 하였다.

본 연구에서는 고정도 측정이 가능하도록 대상의 위치를 명확하게 알 수 있는 수조에서 하이드로폰을 이용하여 시작시스템의 보정을 하였으며, 그 시스템의 위치측정 정도를 비교, 분석하였다. 또한 SPB 방식과 시스템의 유효성과 성능을 파악하기 위하여 핑거를 이용하여 거리, 위치 및 속도를 측정하여 기준 값과 비교하는 검증실험을 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 하이드로폰에 의한 기초실험

하이드로폰은 보통 수파에 이용되지만, 가역적이기 때문에 송파에도 사용할 수 있다. 핑거와 달리 하이드로폰을 이용하면, 음원음압레벨, 송신주기, 주파수를 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 송파시에서 수파시까지의 시간과 음속으로부터 정확한 거리를 알 수 있어 SPB 시스템에 의한 방위계측 기능을 거리계측 기능과 독립하여 검증할 수 있다.

실험은 수심 10m, 폭 10m, 길이 10m의 구면과 수조에서 하였다. 실험 장치 및 계측 시스템은 Fig. 1과 같다. 개량어군탐지기의 경우는 해저의 어류를 탐지하기 위해 수파기의 전빔은 선수방향을 향하도록 하지만, 어류의 행동을 검지하기 위해 수파기의 방향을 바꾸는 바이오텔레메트리 방식에서는 반드시 수파기의 전빔이 선수방향을 향하지는 않는다. 본 실험에서는 수파기의 전빔이 수조바닥을 향하도록 설치하였다. 따라서 수파기의 설치 방향을 기준으로 한 핑거 또는 하이드로폰의 위치는 Fig. 1에 표시한 것처럼 수심방향이 X, 폭방향이 Y, 길이방향이 Z가 되어 그의 움직임은 X가 상하방향, Y가 좌우방향, Z가 전후방향이 된다.

수파기를 상하(X), 좌우(Y) 방향으로 회전 가능한

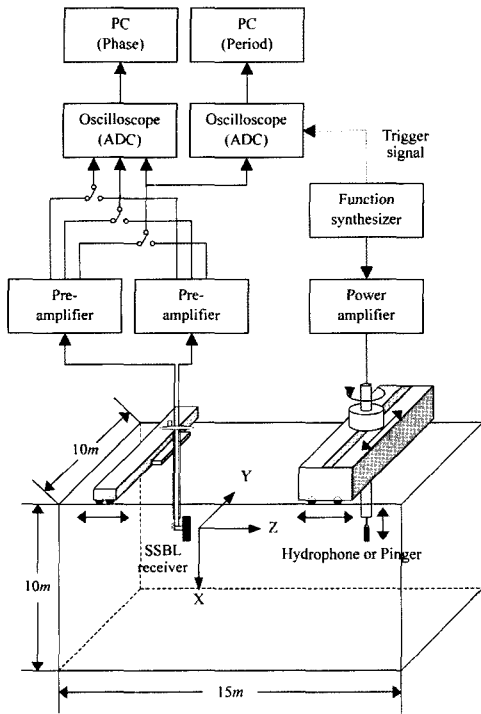


Fig. 1. Schematic diagram showing experimental set-up for SPB system in the water tank.

지지 파이프에 부착하여, 그 파이프를 지지판에 설치하고, 수파기의 중심을 수심 2.64m에 부설하였다. 수파기를 장착한 실험대는 수동으로 전후(Z) 방향으로 움직이며, 실험 중에는 고정하였다. 핑거 또는 하이드로폰을 장착한 실험대는 전동으로 상하, 좌우, 전후 방향으로 움직이며, 그 움직임은 1cm의 정도로 제어할 수 있다. 따라서, 최초의 수파기에 대한 핑거 또는 하이드로폰의 설치 위치를 알면, 그 후의 이동 상황을 구할 수 있다. 또한, 전후방향의 속도도 제어할 수 있다. 실험에서 좌우, 전후 방향의 속도는 4cm/s로 설정하였다. 상하방향의 움직임은 승강 장치가 3단 회전축으로 되어있기 때문에 속도는 제어할 수 없지만, 약 1~2cm/s로 이동시켰다.

하이드로폰에 의한 실험에서는 전후, 좌우의 위상빔 어레이 중심간 거리의 보정을 하였으며, 광빔 모드와 협빔 모드의 전후, 좌우 위상빔에 대한 하이드로폰의 위치측정 정도를 조사하였다. 위상빔 어레이 중심간 거리의 설계치는 실제 수파기의 제조과정이나 소자의 음향, 기계특성 등에 의해 오차가 발생하여

위치측정 정도에 큰 영향을 미치기 때문에 먼저, 시스템의 보정을 행하여 그 보정치를 이용하여 전후, 좌우 위상빔에 대한 하이드로폰의 기준위치와 측정위치의 측정정도를 비교, 분석하였다. 하이드로폰에 의한 실험 상황의 모식도는 Fig. 2와 같다.

기준위치는 하이드로폰의 위치를 수파기의 협빔 모드의 중심(협빔 모드에서 전후, 좌우의 위상차가 0°가 되는 곳)에 맞추어 놓고, 수파기에 대한 하이드로폰의 상하, 좌우방향의 위치 ( $r_{h1}$ ,  $r_{h2}$ , ...)에 있는 거리 ( $r_{s1}$ ,  $r_{s2}$ , ...)와 위치각도 ( $\theta_{s1}$ ,  $\theta_{s2}$ , ...)를 실험대 위치 제어장치로부터 읽어 구하였다. 측정위치는 하이드로폰을 상하, 좌우방향으로 0.5m씩 측정점을 이동시켜 계속시스템으로 계속하였다.

하이드로폰(ST-100, OKI)으로부터 송신하는 펄스는 주파수 69kHz, 송신주기 1s, 음원음압레벨 136dB로 소형 핑거(V8, Vemco Ltd.)에서 송신하는 펄스와 비슷하게 설정하였으며, 펄스 폭은 필요한 반사나, 잔향을 막기 위하여 1.5ms로 짧게 하였다. 하이드로폰으로부터 소형 핑거 음과 비슷한 펄스를 송신시켜 신호발생기의 트리거 시각과 수파기로 수신한 시각으로부터 하이드로폰까지의 거리를 구하였다. 또한, SSBL 방식의 각 위상빔 어레이로 수신한 신호의 전후 위상차  $\delta_x$ 와 좌우 위상차  $\delta_y$ 로부터 수파기에 대한 하이드로폰의 위치각도  $\theta$ 를 다음 식을 이용하여 구하였다.

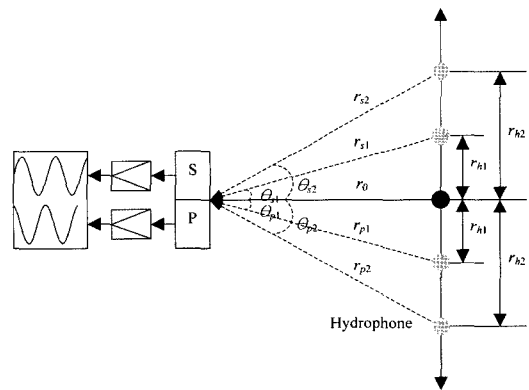


Fig. 2. Schematic diagram for calibration of distance between centers of phase beam array and for comparison between actual position and measured hydrophone position.

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

여기에서  $k(=2\pi/\lambda)$ 는 파수이다. 위상빔 어레이의 중심간의 거리  $d$ 는 위상차와 위치각의 관계로부터 결정된다. 각 측정점에서  $d$ 를 구해, 그것을 평균하여 보정하였다.

2. 핑거에 의한 검증실험

핑거에 의한 검증실험은 하이드로폰 대신에 핑거를 실험대에 부착하여 협빔 모드에서 실시하였다. 사용한 핑거의 사양은 Table 1과 같다. 처음에 실험대에 부착한 핑거의 위치는 수파기의 협빔 모드의 중심에 맞추어 놓고 수파기와의 거리는 5m 되도록 하였다. 실험대를 상하, 좌우 방향으로 각각 1m씩, 전후 방향으로 5m~7m 이동시키며 핑거동기 방식에 의한 거리정보와 SSBL 방식에 의한 방위정보를 자동, 연속으로 수록하여 보다 실제적인 실험을 하였다.

결과의 해석에는 보정한 위상빔 어레이의 중심간의 거리  $d$ 를 이용하여 핑거동기 방식에 의한 측정거리, SPB방식에 의한 측정위치, 핑거의 측정이동속도를 구해 실험대의 제어장치로부터 읽은 값과 비교하여 SPB 방식과 시스템의 유효성을 검증하였다.

Table 1. Specifications of pinger used in measurements

Items	Specifications
Model	V8B-2LR, Vemco
Size	D8 mm × L38 mm
Weight in water	3.5 g
Frequency	69 kHz
Source pressure level	136 dB re 1μPa at 1m
Pulse width	10 ms
Pulse period	1000 ms

핑거동기 방식에 의해  $i$ 번째 핑거 펄스의 수신시각이  $T_i$ 이면 그때 수파기로부터 핑거까지의 거리  $r_i$ 는 (2)식에 의해 구할 수 있다.

$$r_i = (T_i - t_0 - \tau)c \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $t_0$ 는 최초의 핑거 펄스의 송신시각,  $\tau$ 는 송신주기,  $c$ 는 음속이다.

수파기에 대한 핑거의 측정위치( $r, \theta, \phi$ )는 (1),

(2)식과 (3)식으로 구하였다.

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

전후 위상차  $\delta_x$ 와 좌우 위상차  $\delta_y$ 는 4분 샘플링 상호관계법을 이용하였다. 4분 샘플링 상호관계법에 의해  $\delta_x$ 와  $\delta_y$ 는

$$\delta_x = \tan^{-1} \left( \frac{(S_{F1}S_{A2} - S_{F2}S_{A1})}{(S_{F1}S_{A1} - S_{F2}S_{A2})} \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_y = \tan^{-1} \left( \frac{(S_{S1}S_{P2} - S_{S2}S_{P1})}{(S_{S1}S_{P1} - S_{S2}S_{P2})} \right) \dots\dots\dots (5)$$

이 된다(Traynor and Ehrenberg, 1990). 여기서,  $S_{F1}$ 은 전빔으로 수신한 어떤 순간에서의 출력전압,  $S_{F2}$ 는  $S_{F1}$ 을 기준으로 하여 90°늦은 샘플점에서의 출력전압,  $S_{A1}$ 은 후빔으로 수신한  $S_{F1}$ 과 같은 순간에서의 출력전압,  $S_{A2}$ 은  $S_{A1}$ 을 기준으로 하여 90°늦은 샘플점에서의 출력전압이다. 같은 방법으로  $S_{S1}, S_{S2}$ 는 우빔으로 수신한 출력전압이며,  $S_{P1}, S_{P2}$ 는 좌빔으로 수신한 출력전압이다. 계산한 위상각을 (1)식과 (3)식에 대입하여 위치각을 계산하였다.

이상과 같이 수파기에 대한 핑거의 구좌표( $r, \theta, \phi$ )를 알면, 구좌표를 직교좌표로 변환하여 미분하면 순간의 이동속도를 구할 수 있다.

결 과

1. 하이드로폰에 의한 기초실험

하이드로폰에 의한 기초실험은 수파기의 협빔과 광빔의 양빔 모드에 대해 실시하였다. 협빔 모드에서는 검지빔폭이 29°이고, 수파기에 대해 하이드로폰을 거리 5m 떨어뜨려 설치하였기 때문에 수파기의 지향성 주축으로부터 상하, 좌우방향으로 각각 1m밖에 측정할 수 없었다. 광빔 모드에서는 검지빔폭이 76°로 넓은 폭을 측정할 수 있지만, 수파기의 설치한 수심이 2.64m이기 때문에 필요 없는 반사나 잔향 등의 영향을 고려하여 수파기의 지향성 주축으로부터 상하, 좌우방향으로 각각 1.5m 까지 측정하였다.

Fig. 3은 실험대의 제어장치로부터 계산한 기준위치각과 계측시스템으로부터 계측한 측정위치각의 관계를 나타낸다. 가로축은 수파기의 지향성 주축으로부터 하이드로폰을 직각의 수평·수직방향으로 0.5m씩 이동시킨 거리이고, 세로축은 위치각이다. 기준위

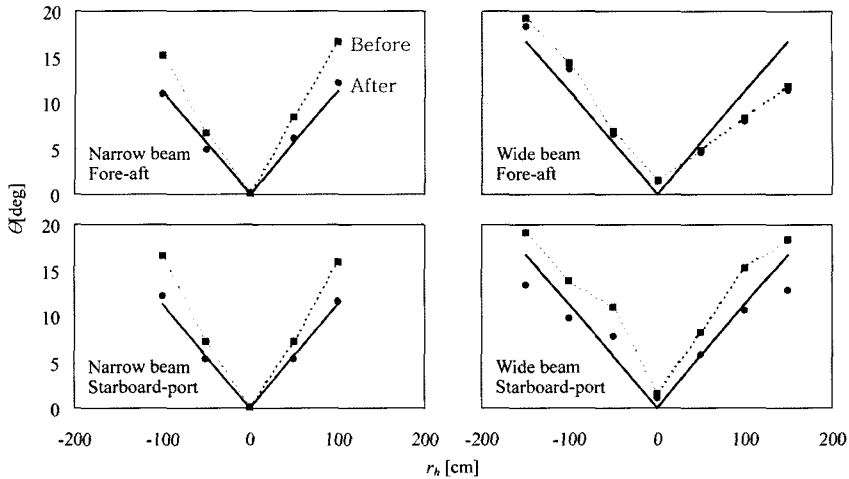


Fig. 3. Calibration of distance between centers of phase beam array ( $d$ ) for narrow and wide beam array. Horizontal axes are distance from the center of the phase beam of fore-aft pair (upper) and star board-port pair (lower). The solid lines show the actual angular locations and the dotted lines show the measured angular locations.

치각은 실선으로, 측정위치각은 점선으로 표시하였으며, 전후, 좌우의 위상빔 어레이 중심간 거리  $d$ 를 보정하기 전의 측정위치각(설계치)은 사각형, 보정한 후의 측정위치각(계산치)은 원형으로 표시하였다. 양빔 모드에 대한 보정전, 보정후의 전후, 좌우의  $d$ 는 Table 2와 같다.  $d$ 를 보정하기 전에는 협빔과 광빔의 양빔 모드에서 위치각의 오차는 모두 컸지만,  $d$ 의 보정에 의해 협빔 모드에서는 오차가 대폭 개선되었으며, 광빔 모드에서는 협빔 모드보다 효과가 적음을 알 수 있었다. 이것은 하이드로폰의 중심을 협빔 모드에 맞추어 측정하였으며, 광빔 모드에서는 측각정도지수( $m$ )가 작고, 어레이 소자가 적기 때문에 수파기의 제조과정에서 문제가 생길 가능성이 있기 때문으로 생각된다.

Table 2. Calibration result of distance between centers of phase beam array for narrow and wide beam array

		Beam pairs	Designed	Calibrated
Narrow beam	Fore-aft		3.21cm	4.40cm
	Starboard-port		3.21cm	4.35cm
Wide beam	Fore-aft		1.07cm	1.12cm
	Starboard-port		1.07cm	1.52cm

Fig. 4는 실험대의 제어장치로부터 계산한 하이드로폰의 기준위치와 보정후의  $d$ 를 이용하여 측정된 하이드로폰의 위치이다. 진한 실선이 기준위치이고, 연한 점선이 측정위치이다. 상하방향의 측정위치각 비스듬하게 측정된 것은 처음에 수파기를 설치할 때 수파면이 해저측을 향해 약간 기울어 설치되었기 때문으로 이것은 위치각  $3^\circ$ 를 더하여 보정할 수 있다. 기준위치를 기준으로 하여 RMS 측정위치 오차는 협빔 모드의 전후위상빔에서 6.4cm, 좌우위상빔에서 6.3cm 이었으며, 광빔 모드에서는 각각 24cm, 23cm 이었다. 광빔 모드( $76^\circ$ )는 협빔 모드( $29^\circ$ )보다 2.5배 정도 넓은 검지범폭으로 측정할 수 있지만, 측정위치 오차는 4배 정도 컸다.

## 2. 핑거에 의한 검증실험

핑거에 의한 검증실험은 수파기의 협빔 모드에 대해 실시하였다. 실험대를 상하방향으로 이동시키는 동안에는 실험대를 정지하지 않고도 연속으로 핑거음을 수록할 수 있었다. 그러나 좌우, 전후방향으로 이동시키는 동안에는 실험대를 움직일 때 큰 잡음이 혼입되었기 때문에 좌우방향에서는 약 0.1m, 전후방향에서는 약 0.2m의 간격으로 일단 실험대를 정지시켜 신호수록 후에 다음의 위치로 이동시켜 측정위

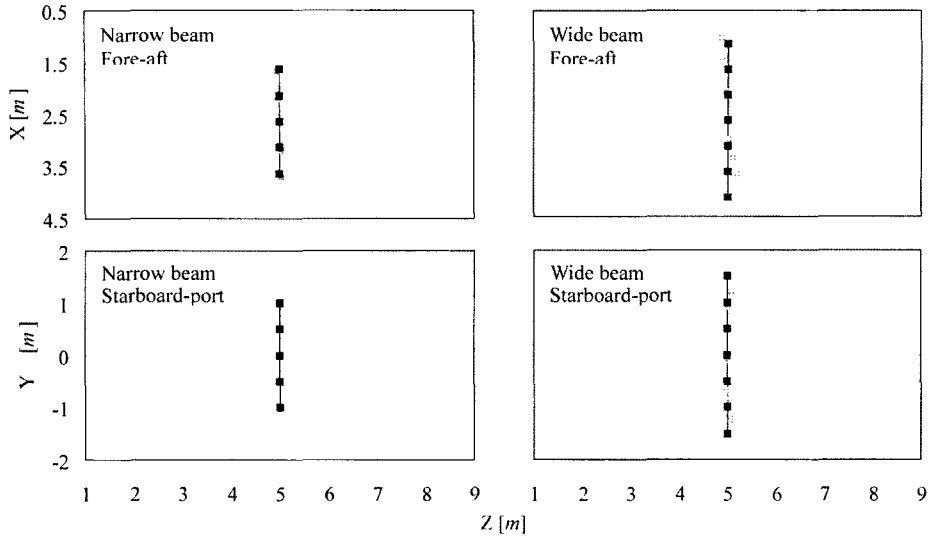


Fig. 4. Comparison between actual positions(dark solid lines) and measured (soft dotted lines) hydrophone positions for narrow beam array (left) and wide beam array (right).

치를 연속으로 얻을 수 없었다. 기록에서 누락된 다음의 거리와 위치는 누락된 시간동안의 펄스반복 수를 계산하여 구하였다.

Fig. 5는 실험대의 제어장치로부터 계산한 기준거리와 계측시스템으로 계측하여 핑거동기 방식으로 계산한 측정거리이다.

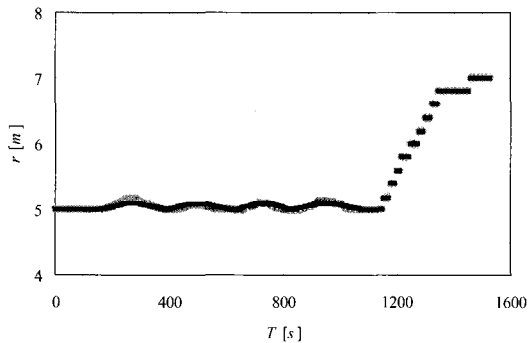


Fig. 5. Comparison between actual from the receiving transducer to the pinger (dark solid line) and measured distance (soft dotted line).

가로축은 계측시간이고, 세로축은 수파기로부터 핑거까지의 거리이다. 기준거리는 진한 실선으로 측정거리는 연한 점선으로 표시하였다. 기준거리를 기준으로 한 RMS 측정거리 오차는 1.8cm로 기준거리와 측정거리는 거의 일치하였다.

Fig. 6은 실험대의 제어장치로부터 계산한 기준거리와 계측시스템으로 계측하여 핑거동기 방식으로 구한 거리정보와 SSBL 방식으로 구한 방위정보를 조합하여 계산한 실험대의 이동에 따른 핑거의 측정위치이다. 진한 실선이 기준위치이고, 연한 실선이 측정위치이다. 기준위치를 기준으로 한 RMS 측정위치 오차는 7.7cm로 기준위치와 측정위치가 거의 일치하여 고정도 측정이 가능하였다. 핑거에 의한 측정위치 오차가 하이드로폰에 의한 측정위치 오차보다 1.4cm 정도 컸다. 이것은 핑거를 끈으로 완전하게 고정하지 않았기 때문에 실험대를 이동시킬 때 핑거의 흔들림에 의한 차로 생각된다.

Fig. 7은 핑거의 측정이동속도이다. 이동속도는 연속으로 측정이 가능하였던 상하방향의 이동에 대하여 나타내었다. 핑거를 장착한 실험대를 상방향으로 이동시켜 위에서 50s 간 정지하고, 다시 하방향으로 되돌렸다. 수면이 0m 이기 때문에 상방향으로 이동시킬 때가 부, 하방향으로 되돌릴 때가 정의 값으로 표시

되어 있다. 실험대의 상하방향의 속도는 제어할 수 없고, 승강 장치가 3단으로 되어있어 실제의 이동속도의 변동이 커서 명확한 검증할 수 없었지만, 대체적인 이동속도 1~2cm/s에 가까운 값을 얻을 수 있었다.

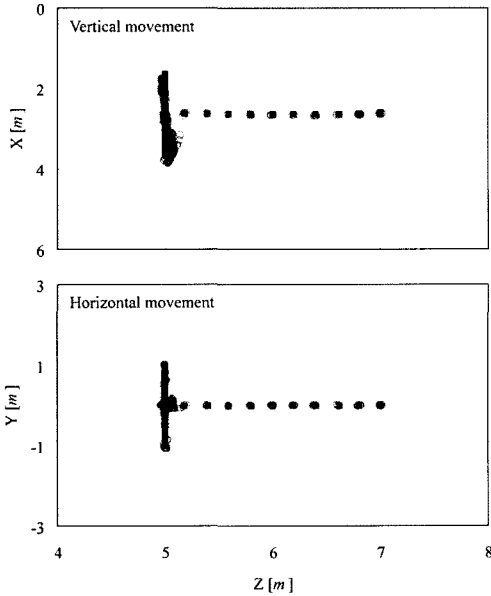


Fig. 6. Tracked position of pinger attached to the experiment base by using narrow beam array. The dark solid lines show actual positions and the soft dotted lines measured positions.

### 요 약

SPB방식과 시스템을 수조실험에서 검증하였다. 이상의 연구 성과를 정리하면 다음과 같다.

1) 핑거와 비슷한 펄스를 하이드로폰으로부터 발생시켜 수파기의 협빔과 광빔의 양빔 모드의 위상빔 어레이 중심간 거리를 보정하여 전후, 좌우의 위상빔에 대한 위치측정 정도를 비교, 분석하였다. 측정위치 오차는 협빔 모드의 전후위상빔에서 6.4cm, 좌우위상빔에서 6.3cm로 위치측정 정도는 고정도이었으며, 광빔 모드에서는 각각 24cm, 23cm로 협빔 모드보다 위치측정 정도는 4배 정도 낮았다.

2) 핑거를 이미 계산된 위치로 이동시켜 핑거동기

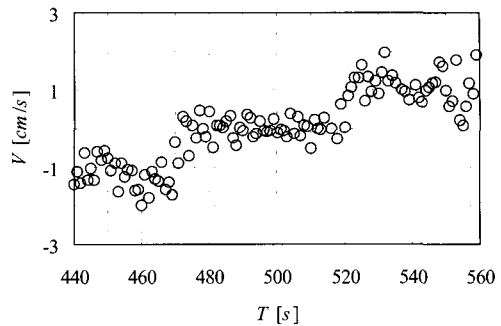


Fig. 7. Speed of movement measured with SPB system by using pinger attached to the experiment base.

방식에 의한 거리정보와 SSBL 방식에 의한 방위정보를 자동, 연속으로 측정하였으며, 핑거동기 방식에 의한 핑거의 측정거리, SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리 방식에 의한 핑거의 측정위치, 핑거의 측정이동속도를 구해 기존의 값과 비교하여 새롭게 개발한 방식과 시스템의 유효성을 검증하였다. 핑거동기 방식에 의해 구한 핑거의 측정거리 오차는 1.8cm, SSBL·핑거동기 바이오텔레메트리 방식에 의해 구한 핑거의 측정위치 오차는 7.7cm로 고정도로 측정이 가능하였으며, 핑거의 측정이동속도는 기존의 값에 대체적으로 일치하였다.

### 참 고 문 헌

Arnold, G.P. and Metcalfe, J.D. (1989): Acoustic telemetry: Progress and potential in understanding fish behaviour, Proc. I.O.A., 11, 96-103.

Bertrand, A., Josse, E., and Massé, J. (1999): *In situ* acoustic target-strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking, ICES J. Mar. Sci., 56, 51-60.

Greer Walker, M., Harden Jones, F.R., and Arnold, G.P. (1978-1979): The movements of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) tracked in the open sea, J. Cons. int. Explor. Mer., 38, 58-86.

- Greer Walker, M., Mitson, R.B., and Storeton-West, T. (1971): Trials with a transponding acoustic fish tag tracked with an electronic sector scanning sonar, *Nature*, 229, 196-198.
- Hawkins, A.D., MacLennan, D.N., Urquhart, G.G., and Robb, C. (1974): Tracking cod *Gadus morhua* L. in a Scottish sea loch, *J. Fish Biol.*, 6, 225-236.
- Hawkins, A.D. and Urquhart, G.G. (1983): Tracking fish at sea. In: MacDonald, A.G. and Priede, I.G. (eds) *Experimental Biology at sea*, Academic Press, London, 103-166.
- Ireland, L.C. and Kanwisher, J.W. (1978): Underwater acoustic biotelemetry: Procedures for obtaining information on the behavior and physiology of free-swimming aquatic animals in their natural environments, In: Mostofsky, D.I. (ed) *The Behavior of Fish and Other Aquatic Animals*, Academic Press, New York, 341-379.
- Mitson, R.B. and Storeton-West, T.J. (1971): A transponding acoustic fish tag, *The Radio and Electronic Engineer*, 41, 483-489.
- Traynor, J.J. and Ehrenberg, J.E. (1990): Fish and standard-sphere target-strength measurements obtained with a dual-beam and split-beam echo-sounding 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.
- Voegeli, F.A., Lacroix, G.L., and Anderson, J.M. (1998): Development of miniature pingers for tracking Atlantic salmon smolts at sea, *Hydrobiologia*, 371-372, 35-46.
- 韓軍 (1994): 同期法超音波ピンガーシステムの開発とその應用に關する研究, 博士論文, 東京水産大學大学院, 東京.
- 古澤昌彦・澤田浩一・有路實・山谷恭三・倉都健治 (1994): 計量魚探機用複合ビーム送受波器の開発, *海洋音響學會講演論文集*, 63-66.
- 林柱三・古澤昌彦 (2002): 超音波バイオテレメトリーの音響系の評價および設計方法, *日本水産學會誌*, 68, 334-344.
- 박주삼・古澤昌彦 (2003): SSBL 방식과 핑거동기 방식을 조합한 바이오텔레메트리 방식의 개발 (1) -시스템의 설계 및 제작-, *한국어업기술학회지*, 39, 218-229.

2003년 9월 30일 접수

2003년 10월 20일 수리