

# 超音波 핑거를 이용한 受波器 座標의 補正

申 鉉 玉

釜山水產大學校

(1992年 6月 25日 接受)

## Calibration of hydrophone coordinates by the telemetry techniques

Hyeon-Ok SHIN

(Received June 25, 1992)

The accuracy of the position fixing with telemetry techniques depends in general on the accuracy of the location of the receiving point (hydrophone). To increase the accuracy of the coordinates of four hydrophones suspended down at both sides of the vessel anchored, each hydrophone motion is compensated using a depth pinger mounted on the seabed of 30m depth. The pinger location is calculated with a hyperbolic method. Using this technique so called hydrophone coordinates calibration, the movement of the Remotely Operated Vehicle (ROV), which has the same type of pinger mentioned above could be tracked down more accurately. Under the maximum variation ranges of a hydrophone of 5.2m in athwartships, 3.2m in alongship, and about 0.2m/s of the moving velocity in both directions, the ROV track with calibration is more close to the reality than that without calibration. Two depth pingers of same frequency can be distinguished by the use of three factors ; the pulse period, the phase and the pulse period variation allowed in acquisition of the pinger as far as its pulse period is varied in smooth.

### 서 론

초음파 송신기(transponder or pinger)를 이용하여 선박의 위치를 일정하게 유지하거나 수중 이동체의 위치를 측정하고자 할 때, 사용 목적 및 환경에 따라 초음파 송신기의 수, 수파기의 수 및 基準線의 길이(초음파 송신기간의 거리 혹은 수파기간 거리)를 결

정한다. 핑거는 트랜스폰더 보다 測位精度가 떨어지나 구조가 간단하다.

長基準線(Long Base Line : LBL) 방식은 3개 이상의 초음파 송신기를 해저에 설치하여 해상의 모선이나 해중의 잠수정 등의 위치측정에 이용한다. 이 방식에서는 위치계산 기준이 해저의 초음파 송신기이므로 각 송신기 좌표의 精度가 測位精度의 절반 정도를

결정하며, 수파기는 1개가 필요하다<sup>1)</sup>.

이것에 비하여 短基準線(Short Base Line: SBL) 방식은 3개 이상의 수파기를 선체에 장비하는 경우가 많고, 1개 이상의 초음파 송신기의 위치측정에 이용한다. 測位精度의 상당부분은 수파기 좌표의 精度에 좌우된다. SBL 방식은 LBL 방식보다 測位精度는 떨어지지만 수파기를 장비한 선박을 쉽게 움직일 수 있어 수신범위의 가변이 용이하다.

보통 SBL 방식에서는 핑거로 부터의 신호의 到來方向余弦을 측정하여 위치계산을 행한다. 때문에 선체의 경사에 따른 수파기 좌표를 보정할 필요가 있고 횡요각등을 검출할 수 있는 특수한 장비를 필요로 한다<sup>1)2)</sup>. 이러한 특수 장비를 갖추더라도 선체의 위치변동이 측정 목적에 따라 문제가 될 경우에는 별도의 해결 방안을 마련하지 않을 수 없다.

그러나 SBL 방식에 의한 핑거의 測位를 雙曲線位置決定法으로 하면 신호의 到來方向余弦 대신 신호의 受信時間差를 이용하므로 앞서 언급한 특수한 장비가 없는 선박이라도 이용이 가능할 것으로 생각했다. 뿐만아니라 수파기를 장비한 선박의 위치는 묘박상태에서도 변동할 수 있으며, 이러한 변동은 해저에 고정시킨 핑거의 좌표를 이용하면 보정할 수 있다는데 착안하였다.

이 연구에서는 심도센서(depth sensor)를 가진 핑거(심도형 핑거)의 식별, 위치계산 및 보정에 대한 방법을 논하고, 아울러 그것의 실험 결과에 관하여 기술한다. 심도형 핑거는 自發發信式(free run type)인 보통형 핑거 즉 일정한 시간 간격으로 펄스를 송신할 뿐인 핑거와 송신방식은 비슷하나 단순 펄스 대신에 심도 정보를 실은 펄스를 송신한다는 점의 차이가 있다. 일반적으로 보통형 핑거는 펄스 주기가 고정되어 있지만 심도형 핑거는 핑거의 심도에 따라 펄스 주기 혹은 펄스 폭이 변한다.

## 장치 및 방법

이 연구에서 사용한 자료는 ROV를 수중에 투입하여 어떤 목표물까지의 유도를 용이하게 할 목적으로 수행한 연구<sup>3)</sup>에서 얻은 자료의 일부이다. 이 연구를 수행한 목적은 그 연구에서 개선하여야 할 점으로 지적된 수파기 좌표의 변동을 해결하고자 함에 있다.

### 1. 실험 장치

이 실험에 사용한 심도형 핑거는 주파수 50kHz, 펄스폭 20ms, 음향출력레벨 160dB (re 1μPa at 1m)로서 유효거리는 1,000m 정도이다. 펄스주기는 심도에 따라 다르며 0m에서 0.95sec, 200m에서 약 3sec로 된다. 4개의 수파기는 船尾의 兩舷으로 부터 심도 3.5m에 懸垂하여 폭 7m로 左舷側 9m, 右舷側 10m의 간격으로 배치하였다.

수파기의 수직방향의 指向角은 60°(-6dB)이고, 受波感度は -179dB (re 1V/μPa)이다. 수신기의 최대 이득은 110dB, 受信帶域幅은 1,500Hz (-3dB)이다. 4채널 수신기는 구입한 市販의 어군탐지기의 회로 기판에 自作한 波形整形回路 및 인터페이스 회로를 추가하여 구성하였다(Fig. 1).

波形整形回路에서는 수신기에서 증폭된 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾼 다음, 인터페이스 회로를 통하여 퍼스널 컴퓨터(PC)로 공급한다. PC에서는 이 신호를 33.3μsec로 샘플링하여 입력하고, 식별 및 위치 계산을 하여 실시간으로 핑거의 위치를 디스플레이에 나타낸다. 또한 핑거로 부터의 신호는 PC의 플로피 디스켓에 보존한다.

### 2. 실험 방법

실험 당시의 평균 풍속은 3.0m/s, 조류계(doppler current meter)로 측정된 5m, 10m, 20m층의 평균 유속은 각각 0.7m/s, 0.

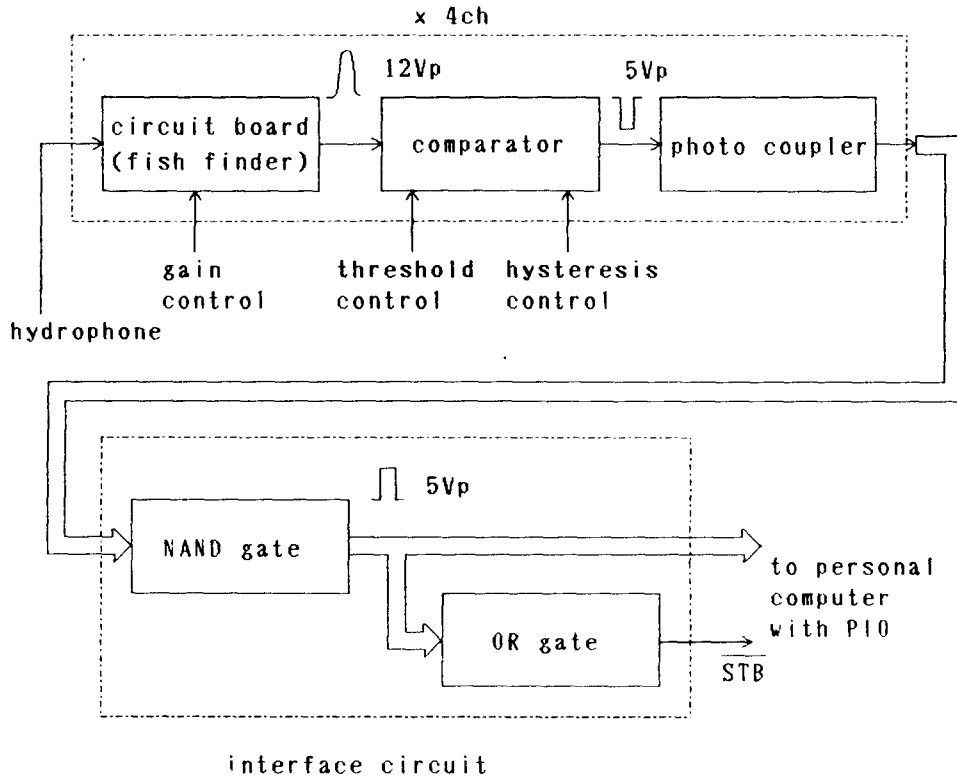


Fig. 1. Block diagram of four channels receiver and the interface circuit. STB is strobe signal, and the PIO indicates the parallel I/O board.

4m/s, 0.1m/s이었고, 실험해역의 수심은 30m 전후이었다.

먼저 해저에 하나의 심도형 핑거를 고정시켜 위치측정의 기준으로 한 후, 이어서 또 하나의 심도형 핑거를 부착시킨 ROV를 투하하여 해저 고정 핑거의 위치와 ROV의 위치 자료를 플로피 디스켓에 입력시킨다. 이때 입력되는 자료에는 수파기의 좌표가 바람, 조류등의 영향으로 변동하였을 경우 그 좌표의 변동치 만큼의 위치 오차를 내포하게 된다. 이러한 오차를 검출하여 각 핑거의 위치를 보정하기 위하여는 핑거의 식별이 선행되어야 한다. 심도형 핑거의 식별에는 보통형 핑거의 식별<sup>4)</sup>과는 다른 기술이 요구된다.

### 1) 핑거의 식별

보통형 핑거에서는 주기성이 인정되는 3개의 펄스를 수신하면 어떤 핑거로 부터의 신호인가를 확정할 수 있다. 이 핑거의 다음 펄스의 수신시간은 초기펄스의 위상을 고려하면 예측가능하므로 식별한 핑거의 펄스를 추적할 수 있다. 그러나 심도형 핑거의 경우는 펄스의 수신시간을 예측하기 위하여 보통형 핑거의 경우와는 달리 심도에 따른 펄스 주기의 변동치를 고려할 필요가 있다. 즉, 식(1)과 같이 핑거의 潛行速度  $V_2$ 에 따른 펄스주기의 변동치  $\Delta T$ 를 구한다<sup>5)</sup>.

$$\Delta T = \frac{(T_2 - T_0) \times V_2 \times T_2}{Z} \text{ [sec]} \quad (1)$$

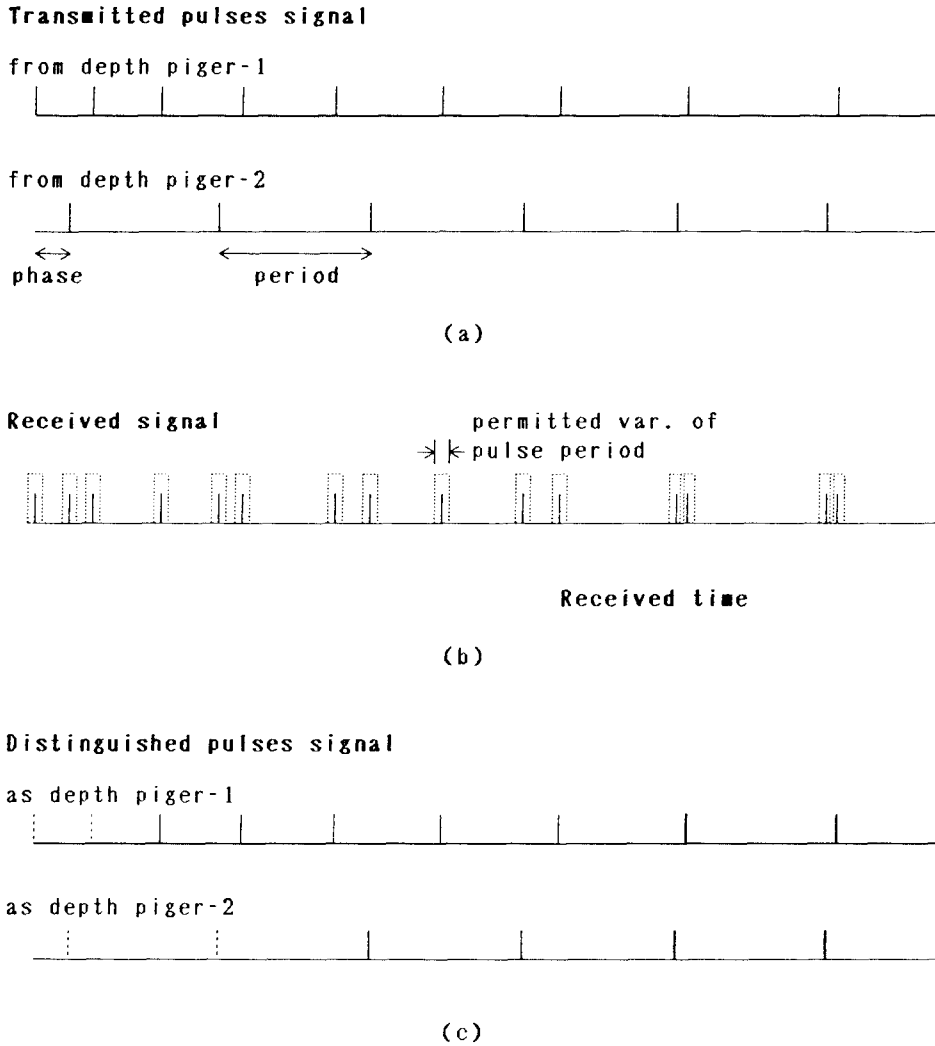


Fig. 2. Distinction method of depth pinger of which pulse interval (pulse period) is varied with the depth. Dotted pulses are undistinguished and bold pulses are invalid for positioning.

단,  $T_0$  및  $T_z$ 는 심도  $0m$  및 심도  $Z$ 에서의 펄스 주기이다. 이  $\Delta T$ 를 펄스주기의 포착에 허용하므로써 심도형 핑거의 식별을 가능하게 한다. 단, 이것은 펄스주기의 변동이 비교적 완만할 경우에 유효하다. 이러한 時分割方式에 의한 심도형 핑거의 식별방법을 Fig. 2에 나타낸다.

Fig. 2의 (a)에서 핑거①은 ROV에 부착시

킨 것으로서 ROV가 해저를 향하여 潛行함에 따라 펄스 주기가 점점 길어지고 있다. 핑거 ②는 해저에 고정시킨 핑거이므로 펄스 주기가 일정하다. Fig. 2의 (b)는 핑거①, ②로부터 수신한 펄스列로서 수신된 순으로 나열되어 있을 뿐이다. Fig. 2의 (c)는 식별한 결과를 나타낸 것으로, 점선, 실선으로 표시한 펄스는 각각 식별하지 못한 펄스, 식별한 펄

스를 나타낸 것이고, 굵은 선으로 표시한 펄스는 식별 과정에서 펄스가 중복되어 있는 것으로 판정한 것이다. 핑거의 식별 방법은 다음과 같다.

(1) 3개 이상의 펄스가 수신되면 그 펄스 사이에 주기성이 있는 지를 검색한다. 만일 주기성이 있다고 판단되면 하나의 핑거로 포착하고, 그렇지 않으면 (1)의 과정을 반복한다.

(2) 그 다음 수신한 펄스신호가 조금 전에 포착한 핑거의 주기와 위상 및 주기의 변동치를 고려한 受信豫測時間에 수신되었는지의 여부를 검색한다.

(3) 예측한 시간에 수신되었으면 동일한 핑거로 식별하여 추적하고, 그렇지 않은 경우에는 (1)~(3)의 과정을 반복하여 다른 핑거로 부터의 신호인지를 검색한다.

핑거의 위치 계산은 핑거별로 행한다. 펄스가 중복된 경우에는 어느 핑거로 부터의 신호인지 알 수 없으므로 위치계산에 사용할 수 없다.

### 2) 핑거의 위치계산

이 연구에서는 핑거의 위치측정을 SBL 방식에 의거한 雙曲線位置決定法으로 행하였다. 핑거와 수파기의 좌표계를 Fig. 3에 나타낸다. 이 그림에서 陽의 방향으로의  $x$ 축,  $y$ 축은 각각 관측선의 船首側, 左舷側을 나타낸다. 수파기 사이의 受信時間差는 수중음의 전달속도를  $1,500m/s$ 로 일정하다고 보면 距離差로 나타낼 수 있다.

수파기는  $H_0(x_0, y_0, z_0)$ 와  $H_1(x_1, y_1, z_1)$ ,  $H_2(x_2, y_2, z_2)$ ,  $H_3(x_3, y_3, z_3)$ 로 배치되어 있고, 구하는 핑거의 위치는  $p(x, y, z)$ 이다.  $p$ 로부터  $H_0, H_1, H_2, H_3$ 까지의 거리를  $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ 라 하면,

$$\rho_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2 \quad (i=0, 1, 2, 3) \quad (2)$$

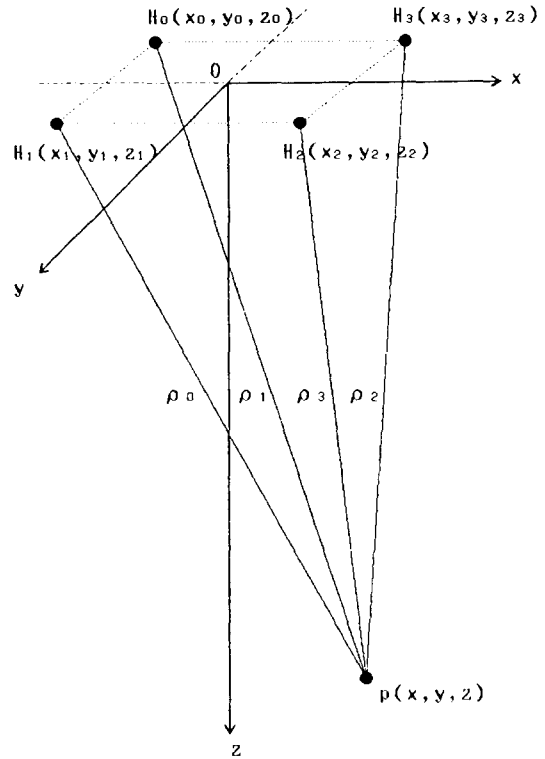


Fig. 3. 3-D coordinates of the pinger and the hydrophones.

이다.  $\rho_i$ 는 未知數이고, 관측될 수 있는 것은 距離差

$$f_i = \rho_i - \rho_0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (3)$$

이다.

심도형 핑거의 경우는 심도  $z$ 가 觀測值이므로 평면적 위치계산과 마찬가지로 2쌍의 距離差로서 위치를 계산할 수 있다. 따라서 3쌍의 距離差중에서 精度가 높은 2쌍을 조합하거나 혹은 基準線의 延長線상의 문제 求解가 구해지지 않는 문제를 피할 수 있는 조합을 선택하여 다음과 같이 위치를 계산한다. 이 문제는 수파기의 수를 4개로 하고, 핑거로 부터의 펄스신호의 受信順으로 3개의 수파기 좌표를 선택한 후, 受信順의 2번째 수파기를 주국(master station)으로 하면 해

결할 수 있다.

$x, y$ 는 반복 계산으로 구한다. 구하고자 하는 핑거의 위치  $p(x, y)$  부근에 초기위치  $p_s(x_s, y_s)$ 를 준다. 초기위치를 주었을 때의 距離差의 計算值  $f_{is}$ 는

$$\rho_{is}^2 = (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 + (z_s - z_i)^2 \quad (i=0, 1, 2) \quad (4)$$

$$f_{is} = \rho_{is} - \rho_{os} \quad (i=1, 2) \quad (5)$$

이고,  $f_{is}$ 의  $x, y$ 에 대한 偏微分値는

$$\partial f_{is} / \partial x = (x_s - x_i) / \rho_{is} + (x_s - x_i) / \rho_{os} \quad (i=1, 2) \quad (6)$$

$$\partial f_{is} / \partial y = (y_s - y_i) / \rho_{is} + (y_s - y_i) / \rho_{os}$$

로 된다. 距離差의 觀測值와 計算值와의 差를  $\Delta f_{is}$ 라 두면,  $\Delta x, \Delta y$ 는

$$\Delta f_{is} = f_i - f_{is} \quad (i=1, 2, 3) \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \partial f_{is} / \partial x & \partial f_{is} / \partial y \\ \partial f_{2s} / \partial x & \partial f_{2s} / \partial y \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \Delta f_{1s} \\ \Delta f_{2s} \end{pmatrix} \quad (8)$$

로 부터 구할 수 있다. 구하려는 핑거의 위치  $x, y$ 는

$$x = x_s + \Delta x \quad (9)$$

$$y = y_s + \Delta y$$

이다. 식(8)의  $\Delta x, \Delta y$ 는 修正值이고,  $\Delta x, \Delta y$ 의 絶對值가 微小하면 식(9)로 부터  $x, y$ 를 구하여 계산을 종료한다. 그렇지 않으면  $x, y$ 를 초기치  $x_s, y_s$ 에 대입하여 식(4)부터 다시 계산하여  $\Delta x, \Delta y$ 의 絶對值가 微小할 때까지 반복 계산한다. 이 반복 계산의 회수는 통상 3회 이내이다.

### 3) 수파기 좌표의 보정

앞서 구한  $x, y$ 는 수파기의 좌표가 고정되어 있다는 가정하에 구해진 것이다. 그러나 수파기를 장비한 선박의 위치가 변동한다면 이를 기준하여 계산한 핑거의 평면 위치는

물론이고 핑거의 심도 센서로 부터 구한 심도에도 수파기의 좌표 변동량 만큼의 오차가 내포된다.

최초에 구한 해저 고정 핑거의 좌표를  $x_0, y_0, z_0$ 라 하고, 계속하여 구하는 동일 핑거의 좌표를  $x_1, y_1, z_1$ 이라 하면, 수파기 좌표의 변동으로 인한 해저 고정 핑거의 좌표의 변동량  $dx, dy, dz$ 는

$$\begin{aligned} dx &= x_1 - x_0 \\ dy &= y_1 - y_0 \\ dz &= z_1 - z_0 \end{aligned} \quad (10)$$

로 구할 수 있다.

이 연구에서는 식(10)로 부터 구한 변동량을 수파기의 좌표 변동량이라 두고, 수파기 각각의 변동량은 같다고 가정한다. ROV의 위치  $x_2, y_2, z_2$ 는 이들  $dx, dy, dz$ 를 이용하여 보정한다. 즉 보정한 ROV의 위치는  $x_2 - dx, y_2 - dy, z_2 - dz$ 이다.

## 결 론

위와 같은 방법으로 각각의 핑거를 식별하여 위치를 계산한 다음 觀測船의 위치 변동에 따른 수파기 좌표의 변동 및 ROV의 궤적을 보정할 수 있었다.

실험 개시 직후에 얻은 해저 고정 핑거의 위치를 기준으로 하여 계산한 수파기 좌표의 변동범위를 경과시간에 따라 나타낸 것이 Fig. 4이고, 그 때의 수파기 좌표의 이동속도를 경과시간에 따라 나타내면 Fig. 5와 같다.

Fig. 4에서 굵은 실선은 선체의 左右舷 방향의 변동을, 가는 실선 및 점선은 각각 船首尾 방향 및 上下 방향의 변동을 가리킨다. 이 그림으로 부터 수파기의 좌표는 左右舷 방향의 변동이 최대 5.2m로 가장 크며, 右

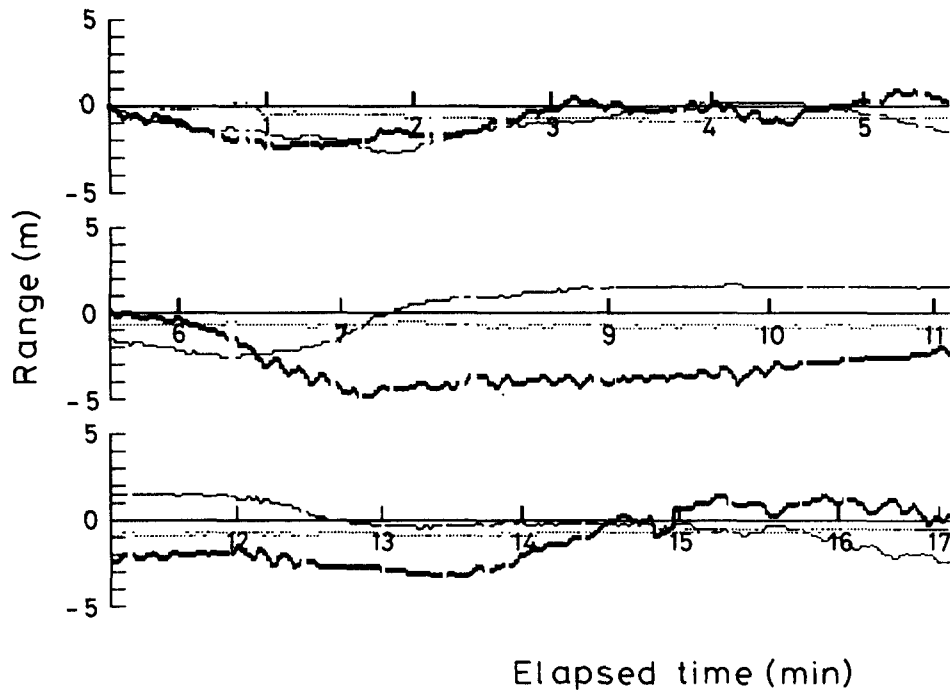


Fig. 4. Moving ranges of the hydrophones calculated based upon the coordinates of the pinger mounted on the seabed. The bold curve, the solid curve and the dotted curve indicate the range variations in athwartships, in alongship and up-down, respectively.

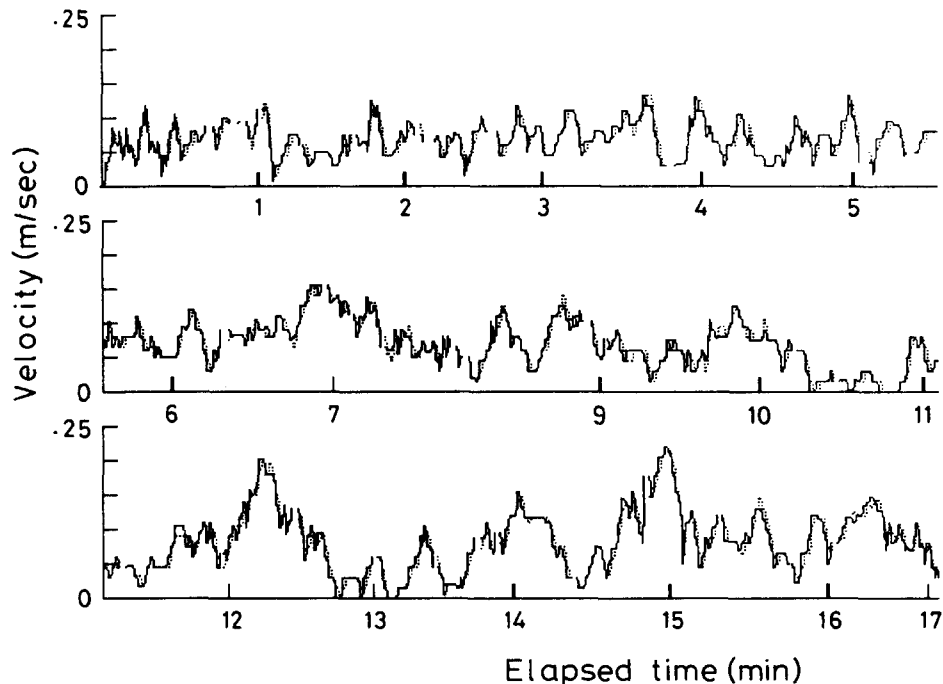


Fig. 5. Calculated velocity variations of the hydrophones. The solid curve indicates the velocity variation in athwartships, and the dotted curve indicates that in alongship.

艏보다는 左舷쪽으로 많이 움직였다. 船首尾 방향에서는 변동의 최대값이 3.2m로 船尾쪽 보다는 船首쪽으로의 움직임이 큼을 알 수 있다. 이들에 비하여 선체의 上下 방향으로의 움직임은 1m 이내로 미미하였다.

Fig. 5에서 실선 및 점선은 수파기를 장비한 선체의 左右舷 방향 및 船首尾 방향으로



Fig. 6. 2-D plotting of the pinger mounted on seabed without calibration.

의 이동속도를 가리킨다. 이동속도는 약 0.2 m/s 이내로 두 방향으로의 값이 거의 같았다.

Fig. 6은 수파기 좌표를 보정하지 않았을 때의 해저 고정 핑거의 위치변동을 2차원으로 기점한 것이다.

Fig. 6에서 十字의 교점은 실험 개시 직후 얻은 해저 고정 핑거의 위치이고, 작고 검은 사각형으로 기점한 것은 실험 개시후 약 17분 동안 기점한 同 핑거의 위치이며, 교점의 위쪽은 관측선의 船首 방향을 가리킨다. 핑거의 기점들은 교점을 기준으로 하여 대체로 右舷 방향과 船尾 방향으로 분포하고 있는데 이것은 수파기 좌표가 주로 左舷 방향으로 그리고 船首 방향으로 변동하였음을 의미한다. 이 그림은 Fig. 7의 그래픽 배율보다 5배 크게 하여 기점한 것이다.

Fig. 7은 ROV의 遊泳軌跡을 補正前後로 구

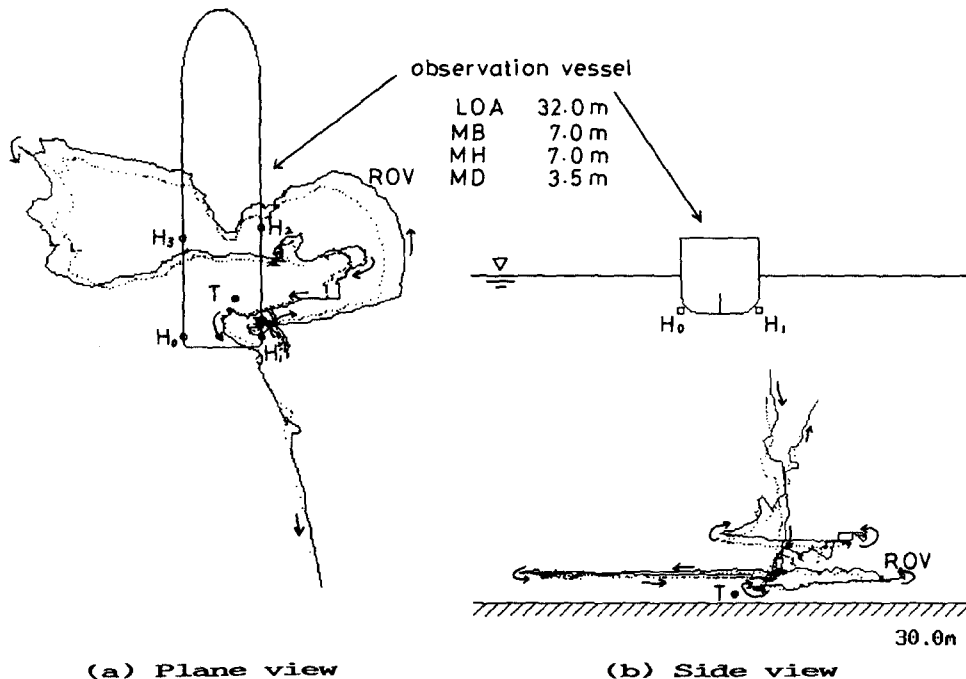


Fig. 7. The track of the ROV to the target. The solid line, the dotted line and the T indicate the calibrated track, the non-calibrated track and the target (a pinger mounted on the seabed), respectively.



별하여 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 (a)는 船上에서 해저로 내려다 본 平面圖이고, (b)는 船尾側에서 본 側面圖이다. T는 해저에 고정시킨 핑거로서 ROV를 조정하여 ROV의 카메라로 포착하고자 하는 목표물을,  $H_0 \sim H_3$ 는 선체의 兩舷에서 縣垂한 수파기를 나타낸 것이다.  $L_{OA}$ ,  $B_{mid}$ ,  $H_{mid}$ ,  $D_{mid}$ 는 각각 觀測船의 全長, 型幅, 型高, 型深을 말한다. 이 그림은 위치의 좌표, 선체의 길이, 깊이 등을 실제의 치수대로 입력하여 같은 비율로 축소하여 나타낸 것이다. 이 그림으로 부터 2개의 심도형 핑거를 식별할 수 있었기에 핑거별로 위치를 계산하여 보정할 수 있었으며, 補正後의 ROV의 遊泳軌跡은 補正前의 것보다 실제의 ROV의 遊泳軌跡에 가깝다고 말할 수 있다.

아울러 수신점(수파기)의 위치의 精度가 그것을 기준으로 계산한 다른 물체의 위치의 精度에 상당한 영향을 미침을 알 수 있다.

## 고 찰

심도형 핑거를 사용하여 핑거의 위치를 3차원으로 계산할 때는 3개의 수파기만으로도 가능하지만 여기서는 측정가능 범위를 넓히고, 測位精度를 높일 목적으로 4개의 수파기를 사용하였다. 수파기의 수  $n$ 와 測位精度  $P_n$ 과의 관계는

$$P_n = n / \sqrt{n} \quad (11)$$

으로 나타낼 수 있다. 즉 수파기를 4개로 하면 3개의 수파기를 사용하였을 경우보다 13.4%의 測位精度의 향상을 기대할 수 있다.

이 연구에서 사용한 핑거의 심도 센서는 반도체 스트레인 게이지 방식이다. 이 방식의 심도센서는 주위를 고정시킨 원판(한 쪽은 대기압으로 유지하고 다른 한 쪽은 수압을 받는다)이 수압에 의해 굴곡되므로, 이 굴곡량을 스트레인 게이지로 검출하여 주파

수(펄스 주기 혹은 펄스 폭)로 변환한다. 사용한 심도 센서의 압력범위는 0~20기압이어서 이 보다 좁은 압력 범위의 센서 보다 精度가 떨어진다. 또한 같은 제품의 심도형 핑거일지라도 핑거마다의 指示值가 서로 다른 경우가 많았다. 그래서 실험할 때에는 심도형 핑거를 해저까지 내려 보정한 후 사용하였다.

3차원의 위치 계산에 이용한 觀測值인 심도  $z$ 는 우선 5점의 심도에서의 펄스 주기를 각각 10회 이상 측정하여 각 점의 펄스 주기의 平均值를 구했다. 그 값으로 부터 最小自乘法으로 4차방정식의 각 계수를 구한다. 이렇게 하여 구한 방정식을 이용하여 펄스주기로 부터 핑거의 심도를 계산할 수 있다. 사용한 심도형 핑거의 펄스 주기와 심도와의 관계를 Fig. 8에 나타낸다.

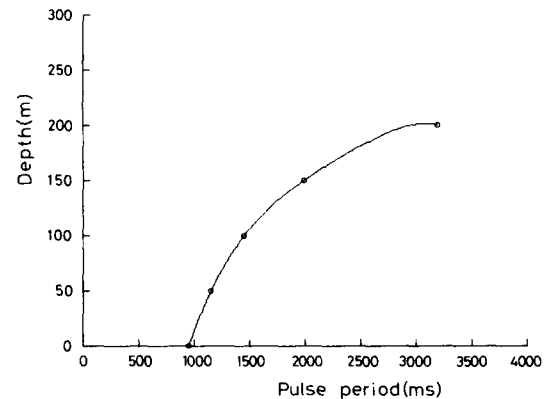


Fig. 8. Relation between depth and pulse period of depth pinger. Circle is measured value. Solid line is calculated value by least square method.

Fig. 8에서 작은 원은 測定值이고, 실선은 5점의 測定值로 부터 最小自乘法으로 구한 計算值이다.

이번 연구 결과는 어떤 浮流體에 수파기를 설치하여 핑거를 부착시킨 수중의 여러 물체의 움직임의 파악, 예를 들면 정치망 내의 어군행동 뿐만 아니라 潮流, 海流 등에 따른

魚網의 움직임과 어군의 행동과의 상관관계의 파악 등에 응용할 수 있을 것이다.

## 요 약

초음파 핑거의 測位精度는 일반적으로 수신점(수파기) 좌표의 精度에 좌우된다. 묘박한 선체의 兩舷에 縣垂한 4개의 수파기 좌표의 精度를 높이기 위하여 30m의 해저에 고정시킨 심도형 핑거를 이용하여 각 수파기의 좌표를 보정하였다. 심도형 핑거의 위치는 雙曲線位置決定法으로 계산하였다. 수파기 좌표의 최대 변동 범위는 左右舷 방향으로 5.2m, 船首尾 방향으로 3.2m, 그리고 선체의 左右舷 방향으로의 이동 속도는 약 2.0 m/s 이내이었다. 또한 이러한 소위 수파기 좌표의 보정이라는 기법을 사용함으로써 심도형 핑거를 부착시킨 ROV의 위치를 보다 精度 높게 추적할 수 있었다. 2개의 심도형 핑거의 식별은 펄스 주기와 위상 및 펄스 주기의 변동치를 고려하여 행하였다.

## 참 고 문 헌

- 1) 海洋音響研究會(1984) : 海洋音響(基礎と應用), 209-214.
- 2) Milne, P.H. (1983) : Underwater acoustic positioning systems, E. & F. N. SPON Ltd., London, 21-31.
- 3) Shin, H. O., E. Hamada, H. Suzuki and Y. Koike (1990) : Guidance of the ROV using multiple pingers of a single frequency. J. Japan Inst. Nav., 83, 7-11. (in Japanese)
- 4) Shin, H.O., E. Hamada and S. Hiroshi (1990) : Distinction and tracking of multiple pingers using a single frequency. Bull. Korean Fish. Tec. Soc., 26 (4), 360-364.
- 5) Shin, H.O. (1992) : Distinction and underwater positioning with a single frequency pingers. Proc. 1992 Int. Ocean Space & Resources Utilization Seminar, Ulsan Korea, 141-156.
- 1) 海洋音響研究會(1984) : 海洋音響(基礎と