

## GPS와 Echo Sounder를 이용한 하상 모니터링 Estuary Riverbed Monitoring using GPS and Echo Sounder

홍정수<sup>1)</sup> · 이용희<sup>2)</sup> · 이기부<sup>3)</sup> · 이동락<sup>4)</sup>

Hong, Jung Soo · Lee, Yong Hee · Lee, Kee Boo · Lee, Dong Rak

<sup>1)</sup> 동아대학교 토목공학부 박사수료 (E-mail: jungsoo0515@hanmail.net)

<sup>2)</sup> 가야대학교 도시개발학과 교수 (E-mail: yhlee@korea.com)

<sup>3)</sup> 영남이공대학 토목과 교수 (E-mail: kblee@ync.ac.kr)

<sup>4)</sup> 창신대학 건설환경과 교수 (E-mail: drlee@csc.ac.kr)

### Abstract

We intend to increase in efficiency of the topographic monitoring of seabed or riverbed by combined with DGPS, RTK GPS and echo sounder.

For this study, we defined the error correction of the echo sounder with the experiment of water tank, which is considered the characteristic of estuary riverbed and then we developed the s/w for 3-dimensional monitoring of estuary riverbed and applied the s/w to field test and improved the various problems. On analyzing topography of estuary riverbed by combined GPS with echo sounder, the draught error which is yielded to change of length from the water surface by the movement of survey vessel to the end of the transducer was eliminated by geometrical rearrangement and we defined the correction formula,  $z = BM + SAH - DBR_{(i)} - DRT - ED$ .

The sounding error about the echo sounder and characteristic of estuary riverbed was found by understanding the relation of average diameter and residual error and we defined correction formula,  $Y = -0.00474 * \ln(X) - 0.0045$  by the regression analysis. and then we verified applicability of correction formula.

## 1. 서론

최근 GPS는 기준점 측량을 비롯한 각종 정밀측량과 항법 등에 그 효율성이 점점 증대되고 있다. 또한 구조물의 변위해석, 해양조위관측, 하천수위관측 및 수심측량 장비와의 조합에 의한 해저, 하상 지형의 모니터링 등에도 널리 이용되고 있다.

본 논문은 DGPS, RTK-GPS와 Echo Sounder 조합 해석에 의해 하구, 하상 모니터링 시 그 효율성을 높이기 위한 연구이다. 이를 위해 기초 실험으로 하구 지질특성을 고려한 수조 실험을 통해 Echo Sounder의 오차 보정량을 산출하고, 하구, 하상 3차원 모니터링을 위한 S/W를 개발하여 현장 실험에 적용, 제반 문제점을 보완하였다.

GPS와 Echo Sounder의 조합에 의한 하구, 하상 지형 해석 시 측량선의 유동에 의해 수면과 송수과 기간의 거리변화에 대한 흘수에 의한 오차는 기하학적인 재배치를 통해 제거할 수 있었고,  $z = BM + SAH - DBR_{(i)} - DRT - ED$ 의 보정식을 산출하였다.

또한 Echo Sounder와의 하구, 하상 지질 특성에 대한 수심측정 오차는 실험 수조를 이용하여 평균

입경 - 잔차 관계를 파악하고 회귀분석을 통해  $Y=-0.00474*\ln(X)-0.0045$ 의 보정식을 산출하여 적용 가능성을 검증하였다.

## 2. Echo Sounder에 의한 수심측량 정밀도 향상

Echo Sounder를 이용한 수심측량에 있어 정밀도 향상을 위해 전술한 바와 같은 여러 가지 요인에 의한 오차의 제거가 필수적이다. 실제 수심측량에서 고정밀도의 결과를 취득하기 위해서는 각각의 오차의 요인에 대해 기계 오차 보정(Instrument error correction), 흘수 보정(Draft correction), 강하 및 복항(伏航) 보정(Appropriate corrections for settlement and squat), 음속도 보정(Velocity of sound correction), Heave, roll, pitch, heading에 대한 보정이 필요하다. 본 논문에서는 음속도 보정은 바-체크에 의해 선행하고, 강하 및 복항에 의한 오차는 RTK GPS 기법을 사용하여 측량선의 위치를 실시간으로 결정하여 최소화 하였다.

흘수 보정에 대해서 측량선의 유동에 의한 흘수 변화를 Echo Sounder와 RTK GPS 이동국 안테나와의 기하학적인 관계를 이용하여 제거하였다. 기계오차 보정에 대해서는 현재 일반적으로 사용되고 있는 디지털 Echo Sounder는 기계자체의 오차는 매우 적으나, 반사면인 지질의 특성에 의한 오차를 고려하고 있지 않으므로 본 연구에서는 수조실험에 의해 하구하상 지질 입경과 잔차에 대한 관계식을 구하였다. 그리고 이를 검증하기 위해 현장 및 수조 실험을 수행하였다. 각각 위 실험 및 분석에 의해 획득된 흘수 보정식과 하구하상 지질특성에 따른 보정식을 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 모니터링 시스템 개발 시 적용하였다.

### 2.1 흘수(Draft) 보정식 개발

일반적인 수심측량은 평균해수면에 대한 해도나 지형도 작성을 위한 측량과 매립, 준설공사를 위한 해저 및 하상 3차원 측량이다. 이 두 측량은 수심측량 후 조위에 의해 보정하여 평균해수면에 대한 값으로 환산해야 한다. 기존 흘수 보정식은 실시간 조위변화를 시간대별로 입력하여 보정하고 있다. 이 경우 Fig. 1과 같이 수심과 평면위치의 관계를 결정한다. 즉, 평면위치좌표  $x, y$ 는 GPS와 TS를 이용하고, 수직위치좌표  $z$ 는 식 1과 같은 방식으로 산출할 수 있다.

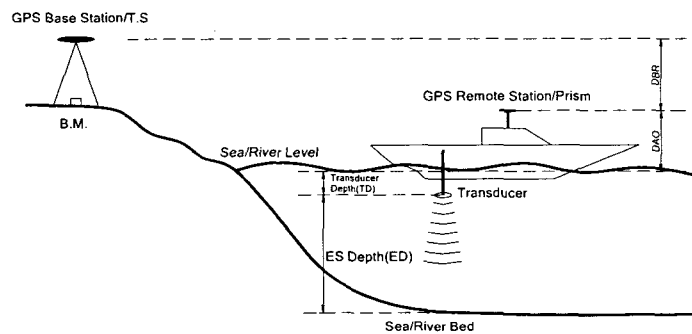


Fig. 1. Schematic of Depth Survey by Formula (1)

$$z = ED + TD \pm TC \quad (1)$$

여기서,  $ED$  : Echo Sounder 측정치(m),  $TD$  : 수면과 Echo Sounder 측심봉까지의 거리(m)

$TC$  : 시간별 조위 보정치(m)

이 경우  $TD$ 를 고정하여 계산하므로 파도, 측량선의 유동에 의한 변화를 고려하지 못하므로 실제로

매우 큰 오차를 발생시킨다. 또한 시간별 조위 보정치도 고려해야하는 번거로움이 있다. 따라서 본 논문에서 Fig. 2와 같이 수심과 평면위치의 관계를 결정하고 새로운 공식을 개발하여 홀수 오차를 최소화하였다. 즉, 평면위치좌표  $x, y$ 는 RTK GPS에 의한 이동국 평면 위치좌표인  $x_{GPS}, y_{GPS}$ 를 사용하고, 수직위치좌표  $z$ 는 이동국의 안테나와 Echo Sounder의 측정봉간의 거리가 고정되어 있으므로 식 3-2와 같이 계산할 수 있다.

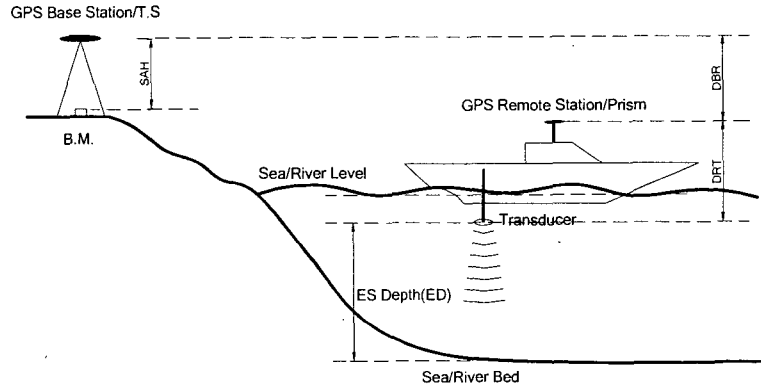


Fig. 2. Schematic of Depth Survey by Formula (2)

$$z = BM + SAH - DBR_{(i)} - DRT - ED \quad (2)$$

여기서,  $BM$  : 기지국 표고(m),  $SAH$  : 기지국의 안테나 고(m)

$DBR_{(i)}$  : 기지국의 수직좌표-  $z_{GPS(i)}$  (m),  $z_{GPS(i)}$  : RTK-GPS 이동국 수직좌표(m)

$DRT$  : GPS 안테나와 Echo Sounder 측정봉간의 거리(m),  $ED$  : Echo Sounder 측정치(m)

식 (2)에서  $z$ 의 값을 계산하기 위해  $z_{GPS}$ 를 이용하기 때문에 수심측정치에 위성측량에서의 수직오차가 누적된다. 하지만, RTK GPS 측위시 미지정수의 고정해를 사용한다면,  $DRT$ 는 파도나 측량선의 유동 등에 의한 변화에 대해 불변하므로 측량선의 유동, 이동 등에 의한 홀수 오차를 최소화할 수 있어 정밀한 수심측량이 가능하다.

## 2.2 지질 특성에 따른 측심기 보정식 개발

본 실험을 위해 연구대상지를 선정하여 먼저 20개 지역에서 시료를 채취하였다. 연구대상지는 채취한 시료의 입도를 고려하여 선정하였으며, 채취 후 체분석과 비중계분석을 통해 입도분석을 수행하여 평균입경을 구했다. 그리고 구해진 평균입경 자료를 이용하여 수조 실험에 사용될 6개 지역의 시료를 선택하였다. Fig. 3은 연구대상지에서의 시료채취 지점을 나타낸 것이다. 시료채취지점의 위치는 TS를 이용하여 획득하였고 시료는 Clamshell을 이용하여 채취하였다. 그리고 총 채취시료 20개중 평균입경에 대해 대표적인 6개의 시료를 선택하고 Table 1에 6개 시료의 채취위치 평면직교좌표와 입도 분석을 통해 구한 평균 입경의 값을 나타낸 것이다.



Fig. 3. Sampling Site

Table 1. Coordinates and Average Grain Size of Sample

No.	X(m)	Y(m)	Average grain size(mm)
6	179060.2964	195741.2070	0.311
8	179088.7714	195501.5595	0.019
9	179205.2602	195519.6944	0.008
11	179018.8783	195878.5181	0.285
15	179121.1293	196030.0791	0.006
20	179228.5577	196050.8053	0.005

실험 수조는 채취한 시료를 재현하고 수조 상부에 Echo Sounder를 거치하여 실험을 실시하여야 하기 때문에 다음과 같은 조건을 만족하도록 수조를 제작하였다. 여러 지형조건을 동시에 구현할 수 있는 형태, 실험자가 수조 내에서 작업 가능한 형태, 수조 내 입·수배수가 용이한 형태, 내부가 보이는 형태로 제작하여야 하며, 수조 상부에 Echo Sounder 이동 거치대를 설치하였다. Fig. 4는 제작된 수조의 도면이고 Fig. 5는 수조의 실제 모습이다. 수조 도면에서 수조 하부의 격자를 이용 총 3가지의 시료를 재현할 수 있도록 설계하였고 수조 상부의 이동 거치대는 하부의 격자로 나누어진 각 시료에 대해 이동, 고정할 수 있도록 설계하였다.

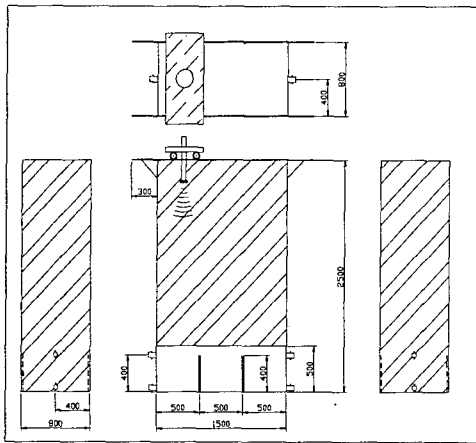


Fig. 4. Diagram of Water Tank

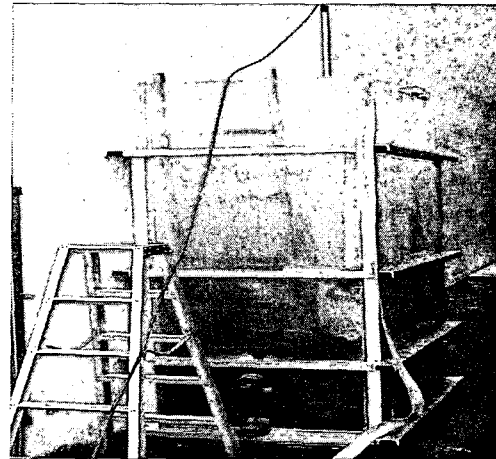


Fig. 5. Water Tank for Test

### 2.3 실험 결과분석

제작된 실험수조는 수조 내에 격막을 설치하여 한 번에 3가지 종류의 시료를 재현할 수 있도록 제작하였다. 실험은 먼저 채취한 시료를 일정한 두께로 수조에 재현하고 Echo Sounder를 장치한 이동거치대를 한 시료에 대해 고정하고 자료취득 간격을 1sec로 설정하여 3시간동안 10,200회씩 6개의 시료에 대해 측정하였다. 측정된 약 60,000개의 자료로부터 평균입경-잔차에 대한 그래프를 도시하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 횡축은 평균입경(mm)이고, 종축은 각 평균입경에 대해 10,200회 수심측정 자료와 최확치간의 차, 즉 잔차(m)를 나타낸 것이다. 그리고 총 6개의 평균입도에 대해 약 60,000개의 측정 자료를 표현한 것이다. 또한 결과자료를 이용하여 평균입도-잔차의 수학적 모형을 얻기 위해 회귀분석을 실시하였다. 먼저 선형회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 7과 Table 2, 로그회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 8과 Table 3, 지수회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 9과 Table 4로 나타내었다. 회귀분석의 결과표는 먼저 회귀방정식, 회귀분석에 사용된 자료의 개수, Y 평균값, 잔차 제곱합, 회귀 제곱합, 결정계수, 평균잔차 제곱을 나타낸 것이다.

각 3종류의 회귀분석을 수행하여 각각의 회귀모형을 구하였고 회귀모형의 적합도를 검토하기 위해 회귀분석에서 구한 결정계수(Coefficient of Determination 또는  $R^2$ )에 의한 방법을 사용하였다.

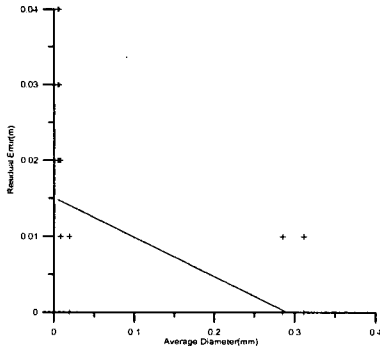


Fig. 6. Result of Linear Regression Analysis

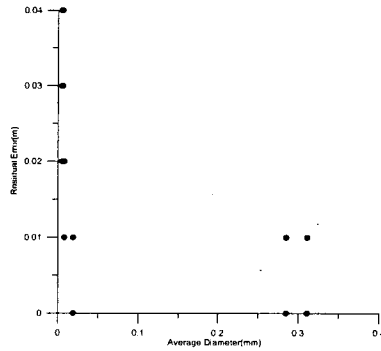


Fig. 7. Average Grain Size Verse Error

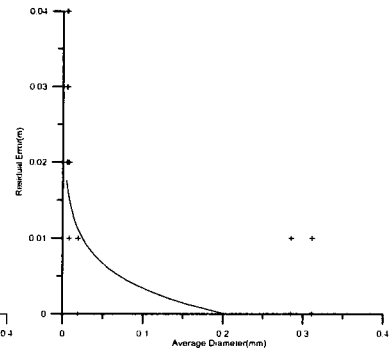


Fig. 8. Result of Logarithmic Regression Analysis

Table 2. Result of Linear Regression Analysis

Regression Equation	$Y = -0.05176394831 * X + 0.01507144899$
Number of data points used	60897
Average Y	0.00968685
Residual sum of squares	3.16277
Regression sum of squares	2.98776
Coef. of determination, R-squared	0.485773
Residual mean square	5.19381E-05

Table 3. Result of Logarithmic Regression Analysis

Regression Equation	$Y = -0.00474224032 * \ln(X) - 0.004512776986$
Number of data points used	60897
Average Y	0.00968685
Residual sum of squares	2.00107
Regression sum of squares	4.14946
Coef. of determination, R-squared	0.674651
Residual mean square	3.2861E-05

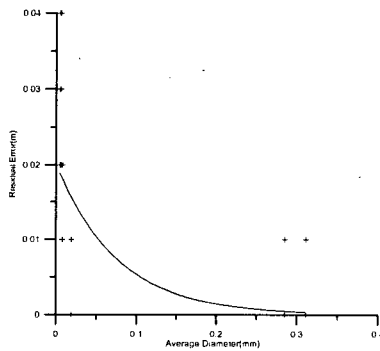


Fig. 9. Result of Exponential Regression Analysis

Table 4. Result of Exponential Regression Analysis

Regression Equation	$Y = \exp(-13.20873517 * X) * 0.02014334541$
Number of data points used	30859
Average ln(Y)	-3.98911
Residual sum of squares	2121.27
Regression sum of squares	99.0379
Coef. of determination, R-squared	0.0446055
Residual mean square	0.0687452

회귀분석결과 얻은 회귀방정식에서 X는 평균입경(mm)이고 Y는 오차(m)이다. 구한 각각의 회귀모형의 적합도를 검정하기 위해 본 논문에서는 결정계수를 사용하였다. 결정계수는 1에 가까울수록 회귀선이 잘 적합함을 나타내고 그렇지 않으면 0에 가깝게 나타난다. 따라서 추정된 회귀선들 중 결정계수가 가장 높은 로그회귀분석에 의해 구한 회귀선식은 식(3)과 같다.

$$y = -0.00474224032 * \ln(x) - 0.004512776986 \quad (3)$$

여기서, y : 잔차(m), x : 평균입경(mm)

그리고 식(3)에서 측량의 성과에 영향을 미치는 유효자리수를 고려하여 다음 식(4)를 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식으로 채택하였다.

$$y = -0.00474 * \ln(x) - 0.0045 \quad (4)$$

여기서, y : 잔차(m), x : 평균입경(mm)

본 연구에서 구한 하구하상 지질특성에 대한 Echo Sounder 보정식은 하상 지형측량 시 측량대상지의 지질 상태를 사전 조사, 사전 측량하면 Echo Sounder의해 발생된 오차의 크기를 추정하여 보정하는데 사용될 수 있다. 또한 본 논문에서는 지질특성에 대한 보정식을 현장에 대한 검증을 수행하고, GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 모니터링 시스템 사용 시 입력된 평균입경에 대해 보정량을 산출하여 측심값을 보정하는데 사용하였다. 단, 보정식은 계산에 의해 입경 입력치가 0.386mm이상의 경우 보정치가 -값을 가지므로 경계조건에 입경 입력치 0.386mm이상일 경우 보정치는 0을 사용하도록 해야 한다.

### 3. 결론

본 연구는 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 지형해석의 효율성을 높이기 위해 오차 보정식을 개발하고 이 오차보정식을 이용하여 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 지형해석 프로그램을 Visual Basic으로 구현하여 활용 가능성을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPS와 Echo Sounder의 조합에 의한 하구하상 지형해석 시 측량선의 유동에 의해 수면과 송수파 기간의 거리 변화에 대한 흘수에 의한 오차는 기하학적인 재배치를 통해 제거할 수 있었다.
2. Echo Sounder의 하구하상 지질특성에 대한 수심측정 오차는 실험수조를 이용하여 평균입경과 잔차의 차이 등을 파악하고, 회귀분석을 평균입경(X)-잔차(Y) 보정식을 구하였다.
3. Echo Sounder 오차 보정식을 검증하기 위해 수조와 동일한 실험조건을 갖춘 현장 실험과 보정식을 비교한 결과, 차이값이 점토질의 경우 0.00033m, 사질의 경우 0m 이었고, 동일 현장에서 채취한 교란시료에 대한 수조실험과 보정식을 비교한 결과, 차이값이 점토질의 경우 0.0012m, 사질의 경우 0m를 얻었으므로 하구하상 지질면에 따른 Echo Sounder 보정식의 적용가능성을 검증할 수 있었다.

### 참고문헌

- 박운용, 신상철, 이흥규, "GPS에 의한 동적 자세결정에 관한 연구", 대한토목학회 논문집 제 20권 제 2-D호, 2000, pp. 191~199.
- 서용운, 최윤수, "실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인", 한국측량학회지, 제 18권 제4호, 2000, pp. 343~350.
- Gerald B. MILLS, "INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC SURVEY STANDARDS", International Hydrographic Organization 2001
- 김정동."실시간 동적 GPS 측량에 의한 해안 지형 해석", 동아대학교, 박사학위논문, 2000.