

하구하상측량 정밀도 향상에 관한 연구

Study on the Accuracy Improvement for Survey of Estuary Riverbed

박운용¹⁾, Park, Woon-yong · 김정동²⁾, Kim, Joung-Dong · 김천영³⁾, Kim, Chon-Young · 김용보⁴⁾, Kim, Yong-Bo

¹⁾ 동아대학교 토목·해양공학부 교수

²⁾ 동아대학교 토목공학과 공학박사

³⁾ 동아대학교 토목공학과 공학박사

⁴⁾ 동아대학교 토목공학과 박사과정

1. 서론

Echo Sounder에 의한 측량은 해저지형측량, 하상(河床)지형측량, 저수지지형측량등에 있어 광범위하게 사용되고 있다. Echo Sounder는 음파를 이용한 수심 측정장치로 최근 기술발전에 의해 수 cm의 정확도를 취득할 수 있다. 특히 Echo Sounder와 GPS의 조합에 의한 3차원 지형측량은 최근 해양 및 하천에서의 구조물 설치, 준설 및 매립, 해저 및 하상 지형변화 관측 등 그 활용도가 매우 높아지고 있다. Echo Sounder와 GPS의 조합에 의한 3차원 지형 측량은 위성 측위시스템을 이용한 지상부의 3차원 위치를 결정하고, GPS와 Echo Sounder의 이격거리(Offset)를 결정하고, Echo Sounder의 수심측정값을 고려하면 해저나 하상의 지형 측량이 가능해 진다. 그러나, Echo Sounder와 GPS의 조합에 의한 3차원 해저 및 하상 측량시에는 다음과 같은 문제점이 있다.

첫째, Echo Sounder와 GPS의 조합에 있어 두 기기의 구조적인 조합형태, 선박의 유동에 의한 Echo Sounder의 반사면과의 수직각 변화 등에 의한 오차가 발생한다.

둘째, Echo Sounder의 수심측정 정확도에 관한 문제이다. Echo Sounder의 수심측정 정확도에 영향을 미치는 것은 먼저 보정 가능한 수온, 염분도, 수압에 의한 음파 수중속도의 변화에 의한 오차가 있고, 음파의 반사면인 해저, 하상의 지질 상태에 의한 오차가 있다. 그러나 하상 및 해저 지형측량시 이러한 오차들에 대한 검정없이 측량의 성과를 이용하게 되면 해양 및 하천에서의 구조물 설치, 준설 및 매립 등 공사는 물론 해저 및 하상 지형의 정확도와 효율

성이 매우 저하된다.

이에, 본 연구에서는 음파의 반사면인 해저, 하상의 지질상태에 의한 오차를 분석하고 해결방안을 제시하고 한다.

2. 지질 특성에 따른 보정식 개발 실험

2.1 실험

Echo Sounder의 반사면인 실제 해저, 하상의 지질 특성에 따라 측심의 오차가 발생한다.²⁾ 이 지질 특성에 따른 Echo Sounder의 오차를 구하기 위해서는 실제 자연상태의 지질에서 실험을 행하여 그 값을 취득해야 하지만 일반적인 하천이나 해상에서는 불가능하므로 참값에 대한 오차는 구할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 인공수조를 제작하여 하구하상 지질면을 재현하여 Echo Sounder로 관측하여 최확치에 대한 측심의 잔차와 지질 상태와의 관계를 평균입경-측심잔차의 관계로 나타내고 회귀분석을 통해 지질특성에 대한 보정식을 구하고자 한다.

2.1.1 시료채취

본 연구에서 Echo Sounder의 잔차특성을 분석하고자 다양한 지질특성을 보이는 부산시 사하구에 위치한 낙동강 하구둑 상류부에서 시료를 채취하였다. 이지역은 하구둑이 설치되어 유속이 급격히 저하되는 구간과 증가하는 구간이 공존하여 하상에 존재하는 지질의 특성이 다양하여 Echo Sounder의 하구하상 지질특성에 대한 오차분석에 있어 최적지라 판단된다. 연구대상지에서 먼저 20

개 지역에서 시료를 채취하여 체분석과 비중계분석을 통해 입도분석을 수행하여 평균입경을 구했다. 그리고 구해진 평균입경 자료를 이용하여 수조 실험에 사용될 6개 지역의 시료를 선택하였다. Fig. 1는 연구 대상지에서의 시료채취 지점을 나타낸 것이다. 시료채취지점의 위치는 Total Station, 시료는 Clamshell을 이용하여 채취하였다. 그리고 총 채취시료 20개중 평균입경에 대해 대표적인 6개의 시료를 선택하고 Table 1에 6개 시료의 채취 위치 평면직교좌표와 입도 분석을 통해 구한 평균입경의 값을 나타낸 것이다.

Table 1. Coordinates and Average Grain Size of Sample

No.	X(m)	Y(m)	Av. 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

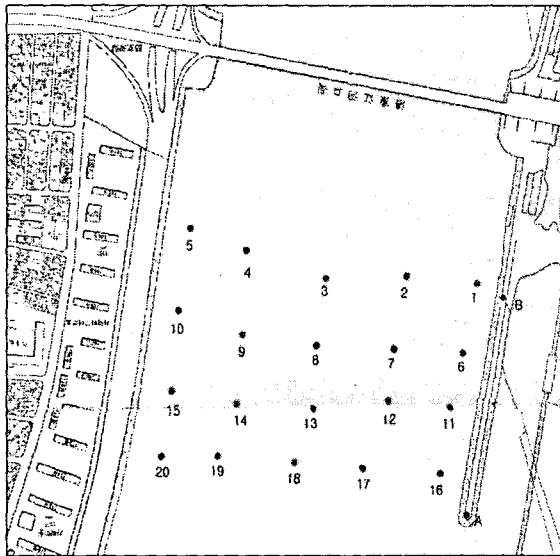


Fig. 1. Study Area and Sampling Site

2.1.2 실험 장비

(1) 실험 수조

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 수조내에서 작업가능한 형태, 수조내 입·수배수가 용이한 형태, 내부가 보이는 형태로 제작하여야 하며, 수조 상부에 Echo Sounder 이동 거치대를 설치하였다. Fig. 2는 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.

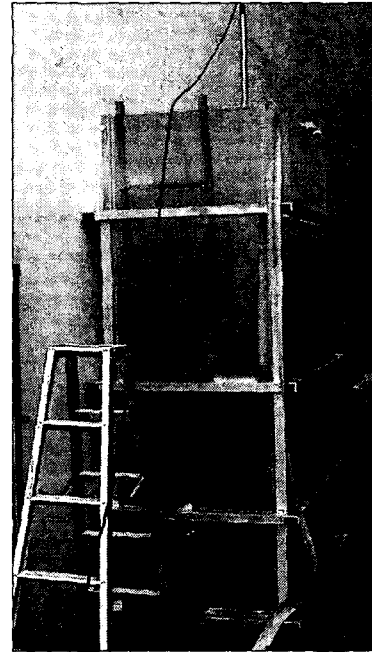


Fig. 2. Water Tank for Test

(2) Echo Sounder

실험에 사용된 Echo Sounder의 정밀도는 Table 2와 같다.

Table 2. Accuracy and Resolution of Echo Sounder

Accuracy(Frequency)	Resolution
1cm±0.1% of Depth value(200kHz)	1cm
4cm±0.1% of Depth value(50kHz)	
5cm±0.1% of Depth value(33kHz)	

2.2 실험 결과분석

제작된 실험수조는 수조내에 격막을 설치하여 한 번에 3가지 종류의 시료를 재현할 수 있도록 제작 하였다. 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. 3과 같다. Fig. 3에서 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 것

이다. 또한 결과자료를 이용하여 평균입도-잔차의 수학적 모델을 얻기 위해 회귀분석을 실시하였다. 먼저 선형회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 4과 Table 3, 로그회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 5와 Table 4, 지수회귀분석을 수행한 결과는 Fig. 6과 Table 5로 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.

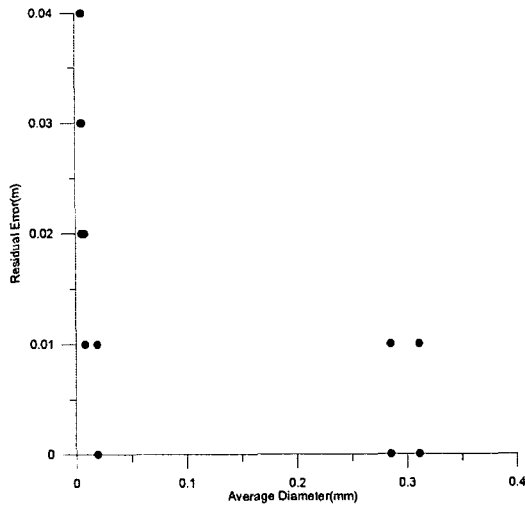


Fig. 3. Average Grain Size Verse Error

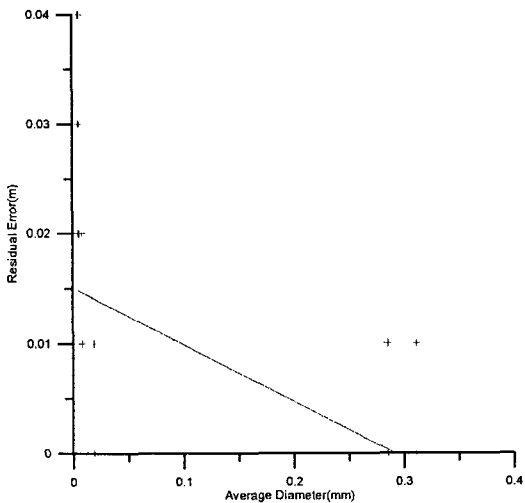


Fig. 4. Result of Linear Regression Analysis

Table 3. 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

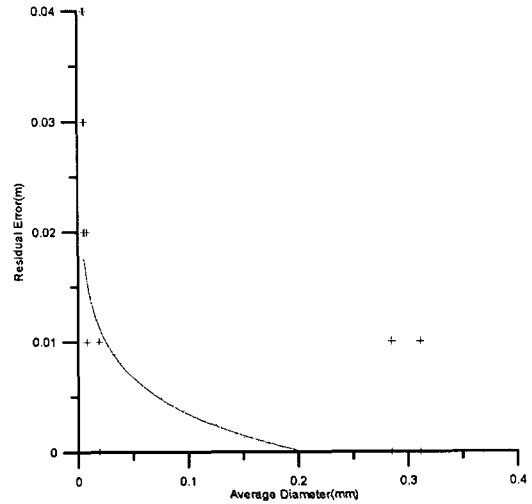


Fig. 5. Result of Logarithmic Regression Analysis

Table 4. 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

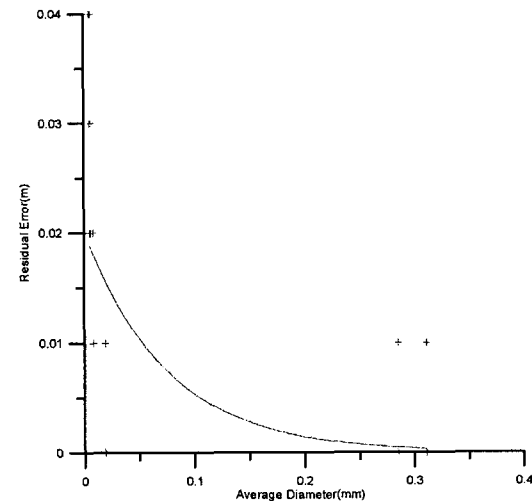


Fig. 6. Result of Exponential Regression Analysis

Table 5. 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. Fig. 7은 회귀분석 방법별 결정계수를 비교한 것이다. 횡축은 각 회귀분석방법을 나타낸 것이다.

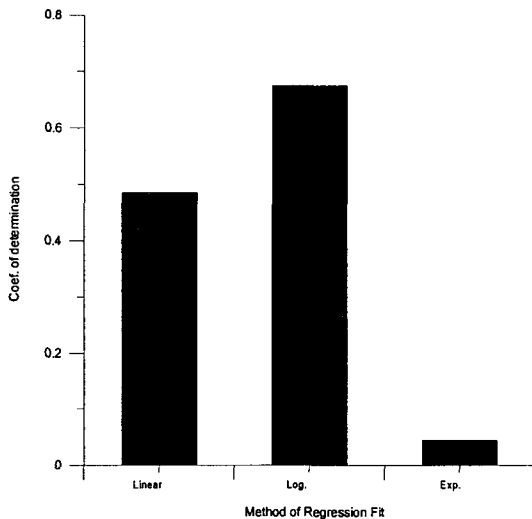


Fig. 7. Comparison of Coefficient of Determination by Regression Method

따라서 추정된 회귀선들 중 결정계수가 가장 높은 로그회귀분석에 의해 구한 회귀선식은 식(1)과 같다.

$$y = -0.00474224032 * \ln(x) - 0.004512776986 \quad (1)$$

여기서, y : 잔차(m)
x : 평균입경(mm)

그리고 식(1)에서 측량에 있어 의미없는 자리수를 고려하여 다음 식(2)를 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식으로 채택하였다.

$$y = -0.00474 * \ln(x) - 0.0045 \quad (2)$$

여기서, y : 잔차(m)
x : 평균입경(mm)

3. 결론

본 연구에서 구한 하구하상 지질특성에 대한 Echo Sounder 보정식은 다음과 같다.

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

여기서, y : 잔차(m)
x : 평균입경(mm)

하상 지형측량 시 측량대상지의 지질 상태를 사전 조사, 사전 측량하면 Echo Sounder의해 발생된 오차의 크기를 추정하여 보정하는데 사용될 수 있다. 단, 보정식은 계산에 의해 입경 입력치가 0.386mm이상의 경우 보정치가 -값을 가지므로 경계조건에 입경 입력치 0.386mm이상일 경우 보정치는 0을 사용하도록 해야한다.

참고문헌

1. 박운용외(2002), 3차원 하상지형측량 정밀도 향상에 관한 연구, 한국측량학회 추계학술발표회 논문집, pp 51-54.
2. *IHO annual report*, June 2000, pp. 47-55.
3. 박운용(2000), *응용측량학*, 형설출판사, pp. 141-178.
4. 이석우외(1984), *해양측량학*, 집문당, pp. 235-328.
5. Richard B. Phelan(1997) *OTF DGPS for Estrarine Dredging and Sounding Surveys*.
6. 김정동(2000), *실시간동적 GPS 측량에 의한 해안 지형 해석*, 박사학위논문, 동아대학교.