

하구하상 측량 정밀도 향상에 관한 연구 Study on the Accuracy Improvement for Survey of Estuary Riverbed

박운용¹⁾ · 김천영²⁾ · 김용보³⁾

Park, Woon Yong · Kim, Chon Young · Kim, Yong Bo

Abstract

Currently, the availability of 3-D topographical survey by combination of GPS and Echo Sounder has been increased in the various field like as the construction of structure, the dredging and the reclamation in the ocean and river, and observation of topographic change in seabed or riverbed. In this case, the error of depth sounding can divide in form that is happened by combination of GPS and Echo Sounder, and form that is happened in Echo Sounder itself. In this study, in the case happen by Echo Sounder itself, analyzed error by specially about geological features of the seabed and riverbed that is specular surface of sound wave and wished to present solution way. 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, $Y = -0.00474 \cdot \ln(X) - 0.0045$ by the regression analysis. and then we verified applicability of correction formula. As the result, if measure preliminary investigation or pre-survey the geological features for the survey area at topographical survey of estuary riverbed, we presented the error correction formula that estimate and can correct of error by Echo Sounder.

요 지

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. 이 경우 수심측량의 오차는 GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 발생하는 형태와 Echo Sounder 자체에서 발생하는 형태로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 Echo Sounder 자체에서 발생하는 경우에 있어 특히 음파의 반사면인 해저, 하상의 지질 상태에 따른 오차를 분석하고 해결방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 실제 하구하상에서 채취한 시료를 이용한 수조 실험을 수행하여 평균입도-Echo Sounder 잔차와의 관계를 파악 오차보정식을 제시하고, 제시된 오차보정식의 신뢰도를 높이기 위해 검증시험을 수행하였다. 그 결과 하구하상 지형측량시 측량대상지의 지질 상태를 사전 조사, 사전 측량하면 Echo Sounder의해 발생한 오차의 크기를 추정, 보정할 수 있는 오차 보정식을 제시하였다.

핵심용어(Keywords) : GPS, Echo Sounder, 하구하상 지질 보정식

1. 연구 배경 및 목적

Echo Sounder에 의한 측량은 해저지형측량, 하상(河床)지형측량, 저수지지형측량등에 있어 광범위하게 사용되고 있다. Echo Sounder는 음파를 이용한 수심측정장치로 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 수심 측정값을 고려하면 해저나 하상의 지형 측량이 가능해 진다. 그러나, Echo

- 1) 정회원 · 동아대학교 토목해양공학부 교수(E-mail: uypark@daunet.donga.ac.kr)
- 2) 정회원 · 동아대학교 일반대학원 토목공학과 공학박사(E-mail: kbc3373@hanmail.net)
- 3) 정회원 · 동아대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: drako@daunet.donga.ac.kr)

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.(IHO annual report, 2000)

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. 이중 음파수중속도에 변화를 미치는 요인에 대해서는 위에서 언급한 바와 같이 수온, 염분도, 수압등을 조사하여 보정가능하나 음파의 반사면인 지질상태에 대한 오차는 지형측량시 검정없이 측량의 성과를 이용하게 되면 해양 및 하천에서의 구조물 설치, 준설 및 매립 등 공사는 물론 해저 및 하상 지형의 정확도와 효율성이 매우 저하된다.

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

2. 연구방법

본 연구에서는 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder 정확도 분석 및 보정식 개발을 위해서는 실제 자연 하구하상 지질 입도별 Echo Sounder의 오차를 구해야 한다. 그러나 실제 하천에서 수심의 참값을 측정하는 것이 불가능하므로 본 연구에서는 2.5m(H)×1.8m(B)×1.0m(L) 규격의 인공수조를 제작하여 실험을 수행하였다. 제작된 인공수조는 Echo Sounder의 측심봉의 위치를 고정할 수 있으며 투명한 아크릴 재질로 제작하여 실험시 용이성을 도모하였다.

인공수조 실험을 위해 먼저 연구대상지인 하구지역에서 총 20개의 시료를 채취하여 입도분석을 실시하고 평균입경에 대해 대표적인 6개의 시료를 선택하였다. 선택된 시료들을 인공수조에 하구하상 지질면을 재현하였다.

그리고 각 시료별로 자료취득 간격을 1초로 설정하여 약 3시간동안 10,200회씩 Echo Sounder 수심측정 실험을 수행하였다. 여기서 각 시료에 대해 Echo Sounder에 의한 수심 측량의 오차를 파악하기 위해 먼저 각 시료에 대해 Bar Checker기에 의한 정밀 수심측량을 반복 실시

하여 최확치를 얻었다. 이 측정치는 수면에서 지질이 시작되는 지점까지 거리를 의미한다. 여기서 정밀 수심측량의 측정치는 수조내에 유속이 존재하지 않고, 인공수조내의 조건이므로 최확치라 할 수 있다.

따라서 Echo Sounder 측정치와 앞서 얻은 최확치와의 차를 Echo Sounder 잔차(이하 ES잔차)로 하고, 이는 실제 지질이 시작되는 지점에서부터 하상지질의 입경별로 Echo Sounder의 음파가 반사되는 지점까지의 거리이다.

파악된 평균입경-ES잔차 관계의 수학적 모형을 얻기 위해 회귀분석을 실시하였다. 선형회귀분석, 로그회귀분석, 지수회귀분석을 실시하여 회귀분석에서 구한 결정계수에 의해 평균입도-ES잔차에 대한 수학적 모형식을 구하여 이를 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder 보정식으로 제안하였다.

그러나 이 보정식은 자연 하구하상 지질을 채취하여 실험한 것으로 채취과정과 재현과정에서 상당한 교란이 발생하여 실제 자연상태의 지질층에 대해 획득할 수는 없다. 따라서 수조실험에 의해 획득한 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식에 대한 검증이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 수심을 재래식 방법에 의해 매우 정확하게 측정할 수 있는 수심이 얇고, Echo Sounder의 거치시 유동이 전혀 발생하지 않는 거치대가 존재하는 조건을 갖추고 점토질과 모래로 하상지질이 구성된 조건을 갖춘 실험대상지를 선정하였다.

그리고 먼저 교란이 없는 자연상태의 하상지질에 대해 Echo Sounder 수심측정 실험을 수행하여 그 결과를 획득하고 그런 다음 시료를 채취하여 입도 분석을 수행하고 인공수조에서 다시 재현하여 동일하게 실험을 수행하여 그 결과를 획득하였다.

각각의 결과를 이전에 구한 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder 보정식과 비교 분석하여 보정식을 검증하였다.

3. 지질 특성에 따른 보정식 개발

Echo Sounder의 반사면인 실제 해저, 하상의 지질 특성에 따라 측심의 오차가 발생한다.(IHO annual report, 2000) 이 지질특성에 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 연구에서

는 인공수조를 제작하여 하구하상 지질면을 재현하여 Echo Sounder로 관측하여 최확치에 대한 측심의 ES잔차와 지질 상태와의 관계를 평균입경-측심ES잔차의 관계로 나타내고 회귀분석을 통해 지질특성에 대한 보정식을 구하고자 한다.

3.1 시료채취

본 연구에서 RTK-GPS와 Echo Sounder의 조합에 의한 3차원 측량의 정밀도 향상을 위해 지질 특성에 따른 Echo Sounder의 잔차특성을 분석하고자 다양한 지질특성을 보이는 부산시 사하구에 위치한 낙동강 하구둑 상류부에서 시료를 채취하였다. 본 지역은 하구둑이 설치되어 유속이 급격히 저하되는 구간과 증가하는 구간이 공존하여 하상에 존재하는 지질의 특성이 다양하여 Echo Sounder의 하구하상 지질특성에 대한 오차분석에 있어 최적의 조건으로 판단하였다.

그림 1은 시료 채취지역이다.

본 실험을 위해 먼저 20개 지점에서 시료를 채취하였다.

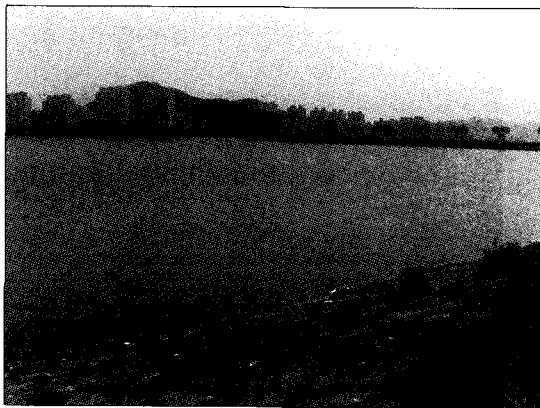


그림 1. 실험 대상지

표 1. 채취시료의 좌표와 평균입경

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



그림 2. 연구대상지와 시료채취 지점

채취한 시료는 체분석과 비중계분석을 통해 입도분석을 수행하여 평균입경을 구했다. 그리고 구해진 평균입경 자료를 이용하여 수조 실험에 사용될 6개 지역의 시료를 선택하였다.

그림 2는 연구 대상지에서의 시료채취 지점을 나타낸 것이다. 시료채취지점의 위치는 TS를 이용하여 획득하였고 시료는 Clamshell을 이용하여 채취하였다. 그리고 총 채취시료 20개중 평균입경에 대해 대표적인 6개의 시료를 선택하고 표 1에 6개 시료의 채취위치 평면직교좌표와 입도 분석을 통해 구한 평균 입경의 값을 나타낸 것이다.

3.2 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.

그림 3은 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.

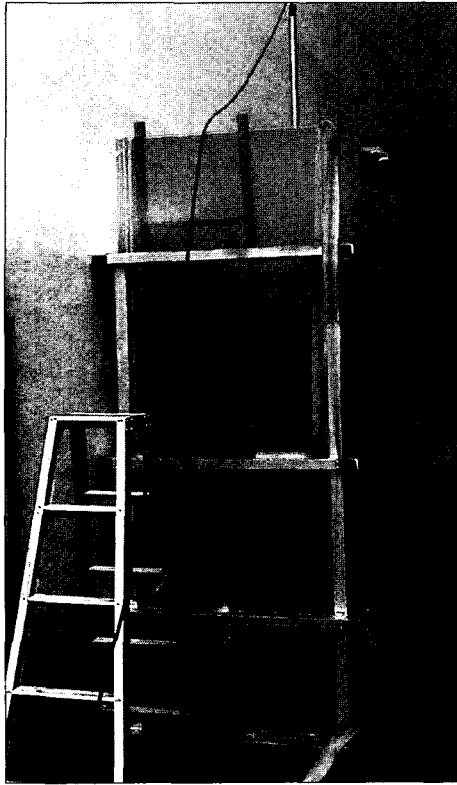


그림 3. 실험 수조

3.3 실험 결과분석

제작된 실험수조는 수조내에 격막을 설치하여 한 번에 3가지 종류의 시료를 재현할수 있도록 제작 하였다.

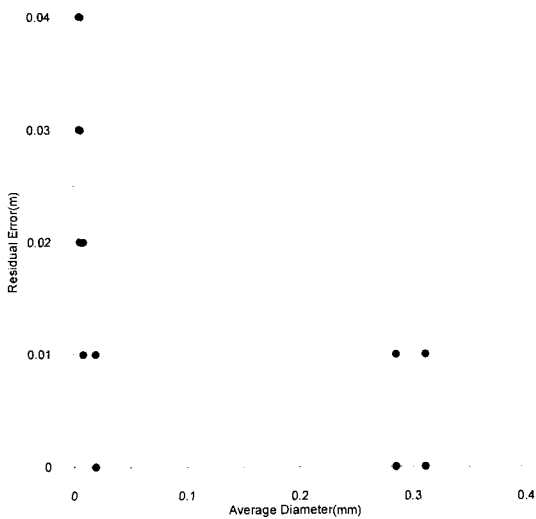


그림 4. 평균입경과 ES잔차와의 관계

실험은 먼저 채취한 시료를 일정한 두께로 수조에 재현하고 Echo Sounder를 장치한 이동거치대를 한 시료에 대해 고정하고 자료취득 간격을 1초로 설정하여 약 3시간동안 10,200회씩 6개의 시료에 대해 측정하였다.

측정된 약 60,000개의 자료로부터 평균입경-ES잔차에 대한 그래프를 도시하면 그림 4와 같다. 그림 4에서 횡축은 수조에 재현된 시료의 평균입경(mm)이고, 종축은 각 시료에 대해 Echo Sounder에 의한 10,200회 수심측정 자료와 최확치간의 차, 즉 ES잔차(m)를 나타낸 것이다. 그리고 총 6개의 평균입도에 대해 약 60,000개의 측정 자료를 표현한 것이다.

또한 결과자료를 이용하여 평균입도-ES잔차의 수학적 모형을 얻기 위해 회귀분석을 실시하였다. 먼저 선형회귀 분석을 수행한 결과는 그림 5와 표 2, 로그회귀분석을 수행한 결과는 그림 6와 표 3, 지수회귀분석을 수행한 결과

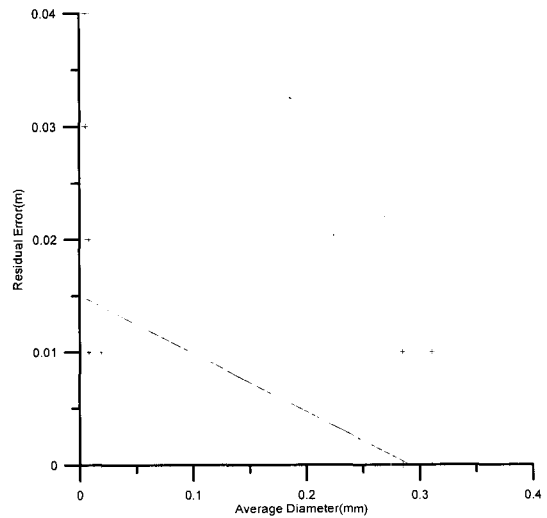


그림 5. 선형회귀분석 결과

표 2. 선형회귀분석 결과

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

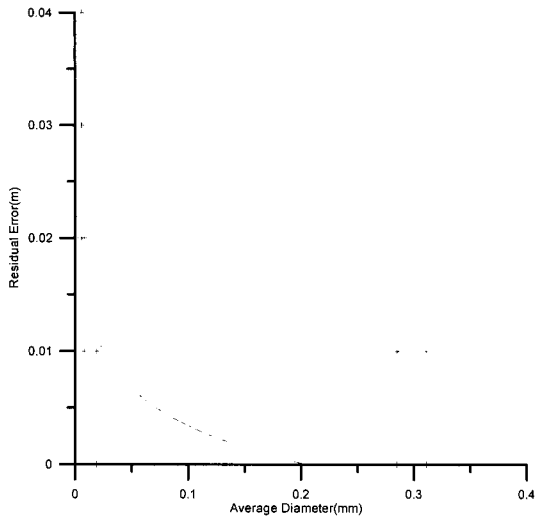


그림 6. 로그회귀분석 결과

표 3. 로그회귀분석 결과

Regression Equation	$Y = -0.00474224032 \cdot \ln(X) - 0.004512776986$
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

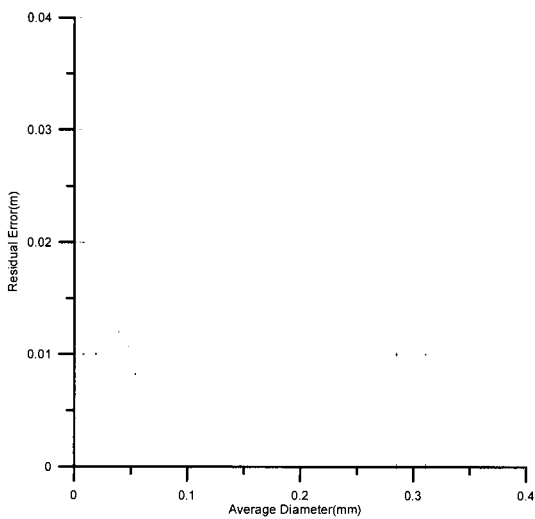


그림 7. 지수회귀분석 결과

표 4. 지수회귀분석 결과

Regression Equation	$Y = \exp(-13.20873517 \cdot X) * 0.02014334541$
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

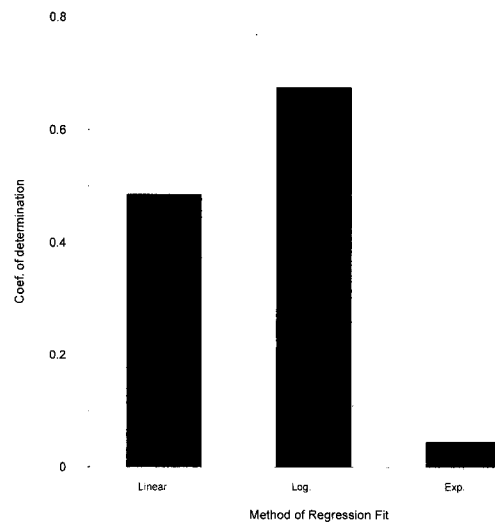


그림 8. 회귀분석방법별 결정계수 비교

는 그림 7과 표 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.

회귀분석결과 얻은 회귀방정식에서 X는 평균입경(mm)이고 Y는 오차(m)이다. 구한 각각의 회귀모형의 적합도를 검토하기 위해 본 논문에서는 결정계수를 사용하였다. 결정계수는 1에 가까울수록 회귀선이 잘 적합함을 나타내고 그렇지 않으면 0에 가깝게 나타난다. 그림 8은 회귀분석 방법별 결정계수를 비교한 것이다. 황축은 각 회귀분석방법을 나타낸 것이다.

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

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

y : ES잔차(m)
x : 평균입경(mm)

그리고 식 (1)에서 측량의 성과에 영향을 미치는 유효자 리수를 고려하여 다음 식 (2)를 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식으로 채택하였다.

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

y : ES잔차(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 발생 된 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.

4. 개발 보정식의 검증 및 분석

수조 실험에 의해 획득한 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식은 실제 자연상태의 하구하상 지질층에 대해 얻을 수는 없다. 그 이유는 수조 실험에 있어 재현된

시료는 현장에서 교란 없이 채취하는 것은 불가능하고 재 현시에도 교란되기 때문이다. 따라서, 수조 실험에 의해 획득한 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder의 보정식에 대한 검증이 필요하다.

보정식의 검증을 위해 본 논문에서는 수심을 재래식 방법에 의해 매우 정확하게 측정할 수 있는 수심이 얇고, Echo Sounder의 거치시 유동이 전혀 없고 거치대를 설치 할 수 있는 실험 대상지를 선정하여 시료교란 없이 현장 실험을 실시하고 현장의 시료를 채취하여 수조실험도 수행하였다. 본 실험 대상지는 2곳으로 하나는 지질이 점토 질인 곳과 나머지는 모래로 이루어진 지역이다.

4.1 연구 대상지 선정

본 검증 실험을 위해 실험 대상지는 인공 수조와 거의 같은 방법으로 Echo Sounder의 오차를 검출할 수 있는 조건을 갖추어 있는 곳이어야 한다.

먼저, 수심이 비교적 얇아 수중에서 지질층의 시작점을 육안으로 확인할 수 있어 재래식 정밀 수심측량이 가능한 곳이며, Echo Sounder를 유동 없이 거치 할 수 있어야 하고, 물 흐름이 비교적 완만해야 하며, 수질이 양호하여 하 상지질 상태를 육안으로 확인할 수 있는 조건을 갖추고 있는 것이 필수 요건이다. 그림 9, 10은 연구 대상지의 전경 이다. 그림 9의 연구 대상지(I)은 지질이 점토질로 구성되 어 있으며, 그림과 같이 수면과 근접해 있는 교량이 있어 Echo Sounder를 유동 없이 거치할 수 있다.

그림 10의 연구 대상지(II)는 지질이 사질로 구성되어 있 으며, 유속이 전혀 없고 아래와 같이 Echo Sounder를 유 동 없이 거치할 수 있는 구조물이 존재하고 있다.



그림 9. 대상지(I)

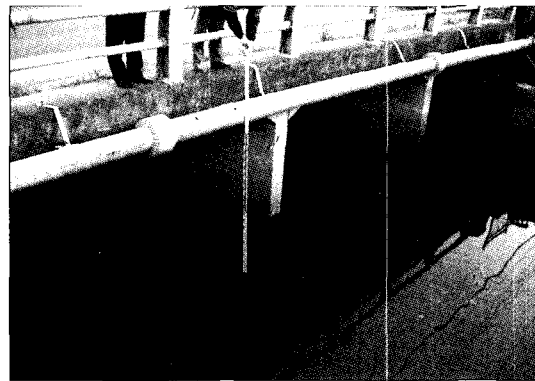


그림 10. 대상지(II)

4.2 현장 적용 내용 및 방법

본 실험은 수조실험을 통해 얻은 지질특성에 따른 Echo Sounder 보정식을 검증하기 위해 인공 수조와 같은 동일한 조건을 유지할 수 있는 연구 대상지를 선정하였다. 그리고 각 연구 대상지에서 자연상태의 지질에 대해 Echo Sounder에 의해 수심을 1초 단위로 약 2시간동안 취득한 후, Sounding을 수행한 지점의 수심을 재래식으로 정확하게 측정하였다. 재래식 수심측량은 표척과 표척의 수직을 유지하기 위하여 시준이 서로 직교하는 2대의 데오돌라이트를 이용하였고, 측정시에는 육안으로 표척의 하부가 지질면에 정확하게 닿은 것을 확인하여 실시하였다.

또한 측정후에 입도분석 및 수조 실험을 위해 실험 대상지에서 시료를 채취하였다.

그림 11는 연구 대상지(I)에서 재래식 방법에 의한 수심측량을 수행하는 모습이다. 아래와 같이 표척과 데오돌라이트를 이용하여 표척을 수직으로 거치시키고, 육안으로

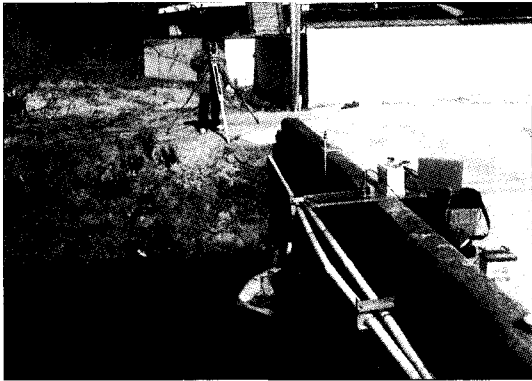


그림 11. 표척과 데오돌라이트에 의한 재래식 측정

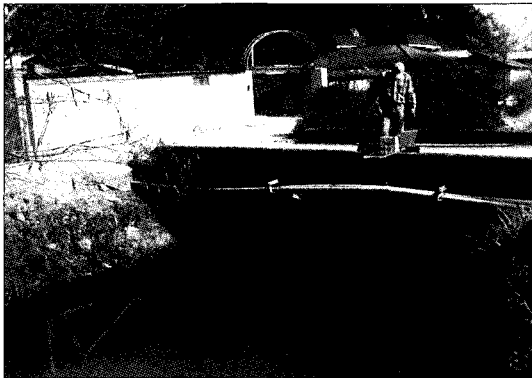


그림 12. Sounding 시험(대상지(I))

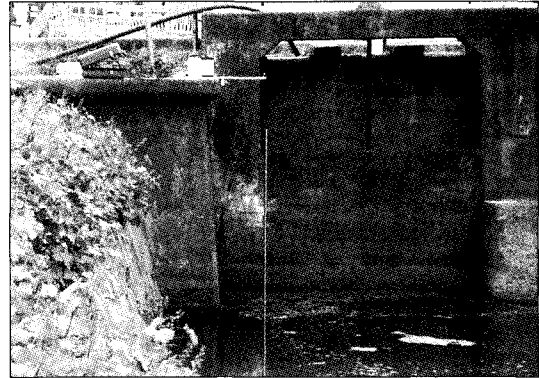


그림 13. Sounding 시험(대상지(II))

표척의 위치를 관측하여 수심측정을 수행하였다.

그림 12는 점토질의 실험 대상지에서 Sounding에 의한 측정을 수행하는 모습이다. 교량상부에서 Echo Sounder가 유동하지 않도록 고정한 모습이다.

그리고 수심자료 취득 간격은 1초로 하여 3시간 동안 관측하였다.

그림 13은 하상 지질이 사질인 연구 대상지(II)에서 그림 11과 동일한 방법에 의해 재래식 수심측량과 Sounding 실험을 수행하였다.

4.3 현장 적용 결과 및 분석

실험 대상지(I), (II)에서 재래식 수심 측정과 Sounding 실험을 수행한 결과를 통해 수조실험에서 구한 지질특성에 따른 Echo Sounder 보정식을 검증하고자 한다. 표 5는 실험 대상지(I), (II)의 재래식 수심측정과 Sounding 실험의 결과와 채취한 시료의 평균입경을 나타낸 것이다.

실험 결과로부터 각 평균 입경을 이용하여 이미 구한 지질 특성 보정식에 적용하여 보정식에 의한 ES잔차를 구하여 비교한 결과는 다음 표 6과 같다.

수조 실험에 의해 구한 지질특성에 대한 보정식을 현장 실험과 비교한 결과 점토질인 실험 대상지 (I)의 경우, 현

표 5. 대상지(I), (II)에 대한 결과

	실험 대상지(I)	실험 대상지(II)
재래식 수심측정(A)	0.948m	2.140m
Echo Sounder 수심측정(B)	0.970m	2.140m
잔 차(A-B)	0.022m	0 m
평균 입경	0.004mm	0.5mm

표 6. 현장시험과 보정식에 의한 값 비교 (단위 : m)

	실험 대상지(I)	실험대상지(II)
현장시험에 의한 ES잔차	0.02200	0
보정식에 의한 ES잔차	0.02167	0
비교	0.00033	0

장 시험에 의한 값과 보정식에 의한 값의 차이가 0.00033m로 매우 적게 나타났으며, 실험대상지(II)의 경우 보정식의 경계조건을 초과하는 입경에 대한 것으로 그 차이가 없는 것으로 나타났다.

4.4 수조실험의 확인 검정

실험 대상지(I), (II)에서 Echo Sounder 측심봉을 중심으로 잠수를 하여 시료를 채취하여 각각의 평균입경을 구하여 실험수조에 일정한 두께로 수조에 재현하여 보정식을 산출할 때와 동일한 방법으로 Echo Sounder를 장치한 이 동거치대를 한 시료에 대해 고정하고 자료취득 간격을 1초로 설정하여 실험 대상지(I), (II)에서 채취한 시료에 약 3시간동안 10,200회씩 측정하였다.

10,200회 측정된 수심값들을 평균하여 측정값을 확정하였고, 최확치와 비교하여 ES잔차를 구하였다.

표 7은 현장시험, 현장시험에서 얻은 시료에 의한 수조 실험 그리고 기 보정식에 의한 ES잔차를 나타내었다.

평균입경은 실험 대상지(I)에서는 0.004mm였으며 실험 대상지(II)는 0.5mm였다.

실험 대상지(I), (II)에서 채취한 시료를 교란 상태로 수조에 재현하여 수조실험을 수행한 결과, ES잔차가 실험대상지(I)의 경우는 0.02287m, 실험대상지(II)의 경우 0m를 얻었다. 여기서, 보정식에 의한 보정치와 비교하였을 때 자연상태의 시료를 이용한 현장시험과 교란된 시료를 이용한 수조실험에서 얻은 ES잔차는 점토질의 실험대상지(I)의 경우 0.0012m, 모래질인 실험대상지(II)의 경우 0m로 나타나 그 결과가 거의 동일한 것을 알 수 있었다. 따라서, 하구하상 지질특성에 따른 Echo Sounder의 오차 보정식은 특정한 조건을 갖춘 현장에서의 교란전 시료에 대한 실험

표 7. 현장 비교란 시험과 수조 교란시험 결과비교 (단위 : mm)

	평균입경	현장시험	수조실험	보정식
실험 대상지(I)	0.004	22	22.87	21.67
실험 대상지(II)	0.5	0	0	0

과 현장시험 후 시료를 채취하여 교란후 인공수조에서 실시한 실험에 의한 결과를 통해 검증할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 Echo Sounder에 의한 수심측량에 있어 음파의 반사면인 해저, 하상의 지질상태에 의한 오차를 분석하고 해결방안을 제시하고자 인공수조시험과 이에 대한 검증을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Echo Sounder의 하구하상 지질특성에 대한 수심측정 오차는 실험수조를 이용하여 평균입경과 ES잔차의 차이 등을 파악하고, 회귀분석을 통해 다음과 같은 평균입경(X)-ES잔차(Y) 보정식을 구하였다.

$$Y = -0.00474 * \ln(X) - 0.0045$$

여기서, y : ES잔차(m)

x : 평균입경(mm)

2. Echo Sounder 오차 보정식을 검증하기 위해 수조와 동일한 실험조건을 갖춘 현장 시험과 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 얻어, 하구하상 지질면에 따른 Echo Sounder 보정식의 적용가능성을 검증할 수 있었다.

위 보정식을 이용하여 하상 지형측량시 측량대상지의 지질 상태를 사전 조사, 사전 측량하면 Echo Sounder의해 발생된 오차의 크기를 추정, 보정할 수 있어 수심측량의 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 “2001년도 산학협력연구(과제명 : RTK-GPS와 Echo Sounder 결합에 의한 3차원위치 결정 정확도에 관한 연구, 과제번호 : 101-2001-000-00055-0)” 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 박운용(2000), 응용측량학, 형설출판사, pp. 141-178.
- IHO annual report, June 2000, pp. 47-55.
- 이석우의(1984), 해양측량학, 집문당, pp. 235-328.

Richard B. Phelan(1997), *OTF DGPS for Estrarine Dredging and Sounding Surveys*.

김정동(2000), 실시간동적 GPS 측량에 의한 해안 지형 해석, 박사학위논문, 동아대학교.

James R. Clybch(2000), *GPS Marine Position Improvement in the Post SA Era*, ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, 19~22 September 2000, pp. 1421-1426.

박요섭(1996), 다중빔 음향측심 자료처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발, 인하대학교 대학원 석사학위논문.

서용운, 최윤수(2000), 실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인, 한국측량학회지, 제 18권, 제4호, pp. 343-350.

수로측량업무규정.

정영동, 강상구(2002), 음향측심기와 위성 항법을 이용한 하천의 수심측량, 한국측량학회지, 제20권, 4호.

조규전, 차득기, 강봉서(2000), DGPS에 의한 해양측량 조위보정에 관한 연구, 한국측량학회지, 제18권, 3호.

(2003년 4월 28일 원고접수)