

효율적인 저수지 관리를 위한 정밀 수심측량 및 지층탐사에 관한 연구

Hydroacoustic Application of Bathymetry and Geological Survey for Efficient Reservoir Management

윤홍식¹⁾ · 조재명²⁾

Yun, Hong Sik · Cho, Jae Myoung

Abstract

This study incorporate hydroacoustic sampling for bathymetry and sediment survey in Won Cheon reservoir, Suwon city, Korea. Bathymetric and sedimentation surveys were conducted using an echo sounder system and subbottom profiler in the reservoirs. Data were collected using echo sounder systems and subbottom profiler linked to a GPS, to maximize data accuracy and vessel use, and geo-referenced using a DGPS enabling the acoustic data to be used in a GIS. Echo sounder and subbottom survey data were merged within geographic information system(GIS) software to provide detailed visualization and analyses of current depths, pre-impoundment topography, distribution, thickness, and volume estimates of lacustrine sediment, and water storage capacity. These data and analyses are necessary for development of long term management plans for these reservoirs and their watersheds.

Keywords : Bathymetry, Geo-prospecting, Echo sounder, Subbottom profiler

초 록

본 논문은 효율적인 저수지 수심측량 및 지층탐사를 위하여 음파탐지 기법을 이용한 수심측량과 지층탐사의 활용에 관한 것으로서 음향 측심기(Echo Sounder) 및 고주파 지층탐사 장비(Subbottom Profiler)를 이용하여 수원시 원천저수지에 대한 수심측량과 지층탐사를 수행하였다. 연구에 사용된 음향 측심기 및 고주파 지층탐사 장비는 GPS와 연결하여 선박에 설치하고 DGPS 측량 방법을 이용하여 평면위치, 수심 및 지층탐사 데이터를 동시에 취득하였다. 음향 측심기 및 고주파 지층탐사 장비를 통해 취득된 데이터는 GIS 프로그램을 이용하여 다양하게 분석함으로써 저수지의 수심, 지형, 저수량에 대한 결과와 저수지 침전물의 종류, 양, 두께, 분포 등에 대한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 데이터들과 분석 결과는 향후 저수지, 호수 및 댐 유역에 대한 장기적인 개발 관리계획을 위하여 음파탐지 기법을 이용한 다양한 관측 장비를 활용하는데 다양한 정보들을 제공할 수 있을 것이다.

핵심어: 수심측량, 지층탐사, 음향 측심기, 지층탐사 장비

1. 서 론

저수지, 하천 및 유역에 대한 중·장기적인 관리 및 개발 계획을 세우기 위해서는 이들에 대한 다양한 수문학적 인 분석이 이루어져야 한다. 호수, 저수지 및 하천에 대한

수문학적인 분석을 위해서는 저수량, 수심뿐만 아니라 하천 및 저수지면의 지형, 퇴적층의 종류, 분포 및 두께 등 다양한 자료가 필요하다. 최근 들어 하천 및 유역의 분석과 관리에 지리정보시스템(GIS; Geographic Information System)이 도입되면서 다양한 분석 및 시뮬레이션이 가능

1) 주저자 · 정희원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수(E-mail:yoohns@skku.edu)

2) 교신저자 · 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 겸임교수(E-mail:jmcho@skku.edu)

해졌으며, 실시간적인 관리가 이루어지고 있다. 하천 및 유역에 대한 이러한 분석과 관리가 효율적으로 이루어지기 위해서는 무엇보다 분석에 사용된 데이터의 품질이 우수하여야 하며, 지속적인 저수지, 하천 지형의 변화에 대응하여 신속하고 주기적인 데이터의 갱신이 필요하다. 그러나 저수지 및 하천의 수심과 퇴적층에 대한 조사는 물 위 또는 물속에서 조사작업이 이루어진다는 것과 광범위한 지역을 대상으로 한다는 것 때문에 매우 많은 시간과 비용이 소요되어 신속하고 주기적인 데이터의 갱신이 어려운 실정이다.

최근 들어 급속하게 발전하기 시작한 측량, 계측 및 센서기술은 측량 및 지형공간정보를 수집하는 시간과 비용을 절감시켰을 뿐만 아니라 보다 정확하고 다양한 데이터의 취득을 가능하게 하였다. 특히, 최근의 측량 및 센서기술은 다양한 센서의 결합(Integration)을 통하여 센서별 단점을 보완함으로써 보다 신속하고 정확한 데이터 취득을 가능하게 하는 추세이다. 최신 수로측량에(hydrographic survey)서도 GPS와 단파장 음향 측심기(echo sounder)를 결합하여 하천 단면 수심에 대한 3차원 정보를 취득하고 있다. GPS와 음향 측심기를 이용한 수로측량은 일반적으로 장비의 설정, 현장 측량, 데이터 후처리, 데이터 모델링의 4단계로 이루어지며, 현장 측량은 대부분 수면에서 이루어지게 되므로 측정값에는 파고, 조류 및 대양의 물리적인 변화에 의한 영향이 포함되게 된다. 따라서 최종적으로 이러한 영향을 제외한 값에 의하여 저수지, 호수, 하천, 바다의 수심과 바닥면의 지형 및 3차원 정보들이 결정되어야 한다.

우리나라에는 약 19,000개의 호소(호수 및 저수지)가 존재하며, 이 중 약 10%인 2,000여개의 호소가 체계적인 관리를 필요로 하고 있는 것으로 분석되고 있다(고영훈, 2002). 호소의 체계적이고 효율적인 관리를 위해서는 호소에 대한 수심측량 및 퇴적층에 대한 조사가 수반되어야 한다. 최근 들어 일부 지자체에서는 u-City 및 eco-City 개념의 신도시를 건설하면서 도시 내 자연 녹지공간 확보를 위해 기존의 저수지나 호수를 정비·개량하고 있으며, GIS 및 IT를 기반으로 한 관리시스템을 도입하고 있다. 효율적인 호소의 정비, 개량 및 관리시스템 구축을 위해서는 기본적으로 호소의 3차원 지형 데이터, 수심도, 저수량, 퇴적층의 두께 및 종류 등의 데이터를 필요로 한다.

본 논문은 호소의 효율적인 개발과 관리시스템 구축을 위해서 필요한 호소 관련 다양한 공간정보를 수집하기 위한 측량 및 조사방법에 대하여 분석하고 실제 측량을 통

하여 호소에 대한 3차원 공간정보를 구축함으로써 수자원 관리를 위한 효율적인 측량방법을 제시하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 수중 음향 측심기의 측정원리

수중 음향 측심기는 측심기내의 발진기에서 생성되어 수중으로 발사된 음향파가 수중 바닥면에 반사되어 돌아오는 왕복시간을 관측함으로써 식(1)에 의하여 수심을 계산하게 된다(그림 1).

$$d = \frac{1}{2}(v \times t) + k + d_r \quad (1)$$

여기서, d : 기준수면으로부터의 수심

v : 수중 음파의 평균 속도

t : 음파의 송수신 시간

k : 기계 상수

d_r : 발진기와 표준수면의 이격량

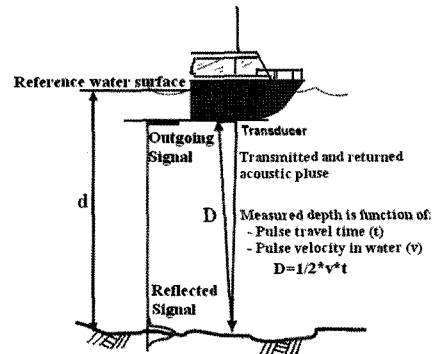


그림 1. 수중음향 측심기를 이용한 수심의 측정

식(1)에서 v , t , d_r 은 수심 관측이 진행되는 동안 계속하여 변화되는 값이지만 k 는 상수값으로써 장비의 주기적인 검정에 의하여 정밀하게 결정된다. 음파의 왕복시간(t) 측정은 수중 바닥면의 반사도와 잡음이 포함된 음향을 해석하기 위한 신호처리 알고리즘에 많은 영향을 받는데, 특히 반사도에 따른 반사파의 형상은 수심 측정의 정확도와 신호의 검출능력에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 음향 측심기는 가정음속 $v=1,500\text{m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며, 시간차는 0.003sec 단위로 관측된다. 그러나 실제 수중에서의 음속은 수온, 수압 등에 영향을 받으므로 정밀한 관측을 위해서는 관측당시의 실제 음속을 구할 수 있도록 보정을 해주어야 한다(정영동, 2002).

이 밖에도 모든 수심관측 데이터는 관측 당시의 조위면이나 수위면에 대한 값을 적용하여 보정을 해주어야 하며, 수면으로부터 음향 측심기 발전기까지의 차이도 보정을 해주어야 한다. 현장 관측이 완료된 후 수심관측 데이터는 소프트웨어에 의한 자동화 방법과 일부 경험적인 수작업에 의하여 초기화, 조정, 필터링 및 편집과정을 거치게 된다.

2.2 수심 관측값의 보정

2.2.1 음속 보정

수중에서의 실제 음속값을 구하기 위한 보정 방법에는 Bar-Check에 의한 방법, 수중의 염분, 온도 등을 측정하는 방법, 속도계를 이용하여 직접 음속도를 구하는 방법 등이 있다(박운용, 2003). 우리나라 해양연구소에서는 해양 수심측량시 염분, 수온, 수압을 관측하여 음속을 보정하는 방법을 사용하고 있으나 본 연구에서는 염분 성분이 없고 수심이 30m 이하인 호수나 하천에서 주로 사용되고 있는 Bar-Check에 의한 방법으로 음속을 보정하였다(Alkam, 2006).

Bar-Check에 의한 음속도 보정방법은 1m 간격으로 길이를 표시한 와이어에 음파를 반사할 수 있는 판을 설치하고 측량대상 구역 내에서 판을 1~2m 간격으로 침하시키면서 음향 측심기의 기록수심과 판의 실제 깊이를 비교하여 음속도를 보정하는 방법이다(그림 2).

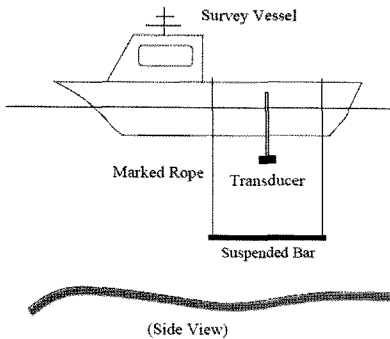


그림 2. 수심에서의 음속보정을 위한 Bar-Check 방법

2.2.2 기준면 보정

수심측량의 기준면은 반드시 지역적인 수직기준(vertical datum)을 바탕으로 한 실시간의 수면이나 조위면을 기준으로 하여야 하기 때문에 관측된 음향측심 데이터는 기준면 보정과정을 거쳐야 한다(조규전, 2000). 본 연구에서는 기준면 보정방법으로 표척 관측에 의한 방법을 이용하

였다. 표척 관측방법은 음향측심 관측의 기준면을 정의하는 것으로써 이미 수심을 알고 있는 점과 선박에 설치된 발전기의 상대적인 높이를 정밀하게 관측하는 것이다(그림 3). 최종적인 기준면 보정된 수심은 식 (2)에 의하여 계산할 수 있다.

$$d_c = \frac{bar_i - bar_{i+1}}{rec_i - rec_{i+1}} \cdot (d_o - rec_i) + bar_i \quad (2)$$

여기서, d_c : 최종 보정 수심

d_o : 음파속도와 지시오차가 보정된 수심

bar_i : i 의 표척수심

bar_{i+1} : $i+1$ 점의 표척수심

rec_i : i 점의 관측수심

rec_{i+1} : $i+1$ 점의 관측수심

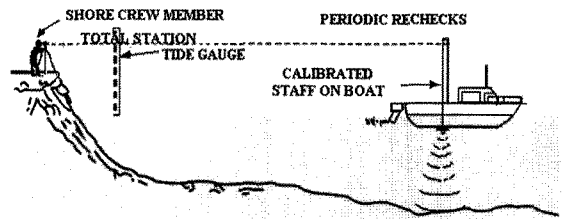


그림 3. 수심측량에서의 기준면 보정

2.3 고주파 지층탐사기의 측정원리

하저지층탐사는 퇴적물의 종류에 따라 음파의 반사특성이 틀려지는 원리를 이용한다. 다양한 주파수의 음파를 하저로 송신한 후 그 반사파를 수신하게 되면 하저 지층의 퇴적물 종류와 두께에 따라 반사파의 주파수가 변화하게 된다. 일반적으로 주파수가 높을수록 지층을 판별할 수 있는 투과심도는 깊어지지만 세부 층을 구분할 수 있는 해상도는 떨어진다. 지층의 특성에 따른 음파특성은 퇴적물이 조립(자갈 또는 모래)할 경우 에너지 감쇄가 급

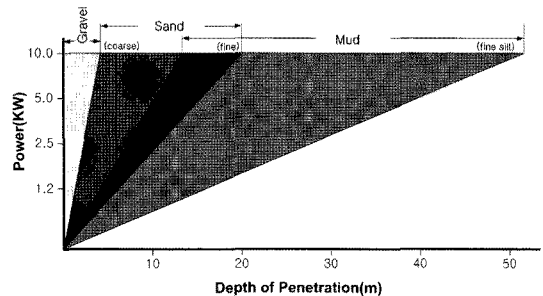


그림 4. 고주파 지층탐사기의 지층 특성별 투과심도

격하게 일어나며, 지층을 투과함에 따라 일반적으로 고결도가 증가하여 음속은 점점 빨라지게 된다. 그림 4는 고주파 지층탐사기의 퇴적물 특성에 따른 투과심도를 나타낸 것이다.

지층탐사자료의 분석은 크게 두 가지로 구분되는데 한 가지는 시간적으로 연속성을 갖는 두 층의 정합 및 부정합의 관계를 통해 층을 해석(Seismic Sequence Analysis)하는 것으로서 일반적으로 지층을 구분하는 층서 해석이 이에 속한다. 또 다른 한 가지는 내부 각 층서단위 내에 나타나는 다양한 형태의 탄성파상 요소를 분석, 기술하고 지질학적인 해석(Seismic Facies Analysis)을 하는 것이다(Vail 등, 1977). 본 연구에서의 음향상 분석은 후자에 속한다.

지층탐사는 음파반사의 강도에 의해 단면도를 생성하는데 지층탐사 단면도 해석의 기초는 각 반사파의 성질을 분석하는 것이다. 이러한 반사파의 성질을 음향 임피던스(Acoustic Impedance, Z)라고 정의하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$AI(Z) = \rho \times V \quad (3)$$

여기서, ρ : 밀도
 V : 음파속도

위의 식은 반사파는 퇴적층 및 지층의 밀도와 음파속도의 차이에 따라 반사강도를 달리한다는 것을 의미한다. 음파의 반사강도는 반사계수(Reflection Coefficient, RC)라고 정의하며, 아래와 같은 식으로 정의된다.

$$RC = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (4)$$

여기서, Z_1 : 상부지층의 음향 임피던스
 Z_2 : 하부지층의 음향 임피던스

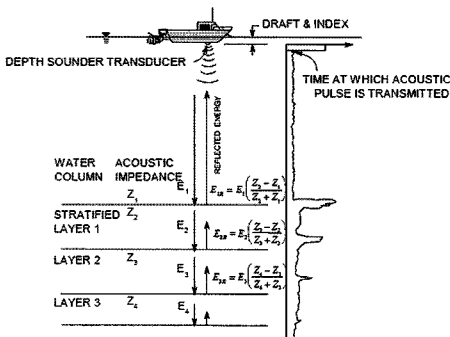


그림 5. 고주파 지층탐사기의 측정원리

이러한 음파의 반사강도는 그 강약에 따라 지층탐사 단면도상에 극(Polarity)의 저점(Trough) 또는 정점(Peak)의 형태로 표현되며, 이러한 것들이 모여 지층의 경계, 즉 퇴적층과 암층, 모래층과 머드층 등을 구분하는 기준면으로 단면도상에 표시되게 된다.

3. 수심 관측 및 지층탐사

3.1 연구대상지

본 연구의 대상지역은 경기도 수원시 영통구 원천동에 위치한 원천저수지이다(그림 6). 원천저수지 지역은 광교신도시 개발과 더불어 자연친화적이고 환경중심적인 친수공간을 마련하기 위해 물 순환 시스템 조성사업을 실시하고 있으며, 물 순환 시스템 구축을 위한 사전 조사 단계로써 저수지의 수심 및 퇴적층에 대한 정밀 조사를 필요로 한다.

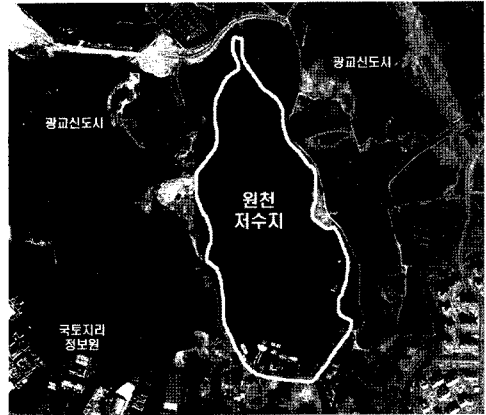


그림 6. 원천저수지 위성영상

3.2 수심 및 평면위치 관측

본 연구에서는 2주에 걸쳐 연구대상 저수지에 대한 수심측량을 실시하였으며, 수심의 각 측정점에 대한 평면위치를 결정하기 위하여 음향 측심기와 GPS와 연결하여 수심데이터와 평면위치 데이터를 동시에 취득하였다. DGPS처리를 위하여 저수지 주변에 설치한 가설 기준점과 선박에서 동시에 GPS 관측을 실시하였으며, Kinematic 방식으로 기준점과 선박을 연결하였다. 수심측량의 수평 및 수직 기준은 국토지리정보원의 GPS 상시관측소와 저수지 인근에 위치한 1등 수준점을 기준으로 GPS 및 수준측량을 실시하여 저수지 주변에 가설 기준점을 설치하였으며, GRS80타원체 기준 TM좌표 및 인천만의 평균해수

면을 기준으로 하였다. 연구에 사용된 수심측량용 장비는 ODOM Hydrographic Systems사의 Hydrotrac HT97001 모델이며, 상세 규격은 다음과 같다.

표 1. 음향 측심기 제원

항 목	규 격
제작사 및 모델명	ODOM Hydrographic Systems Hydrotrac HT97001
측정주기	200kHz
측정각	9°
정밀도	0.01m±0.001D
측정범위	0.5~200m
해상도	0.01m
음속보정 범위	1480~1580m/sec

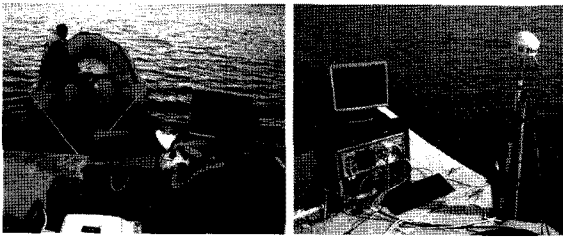


그림 7. 수심측량 및 수심측량 장비

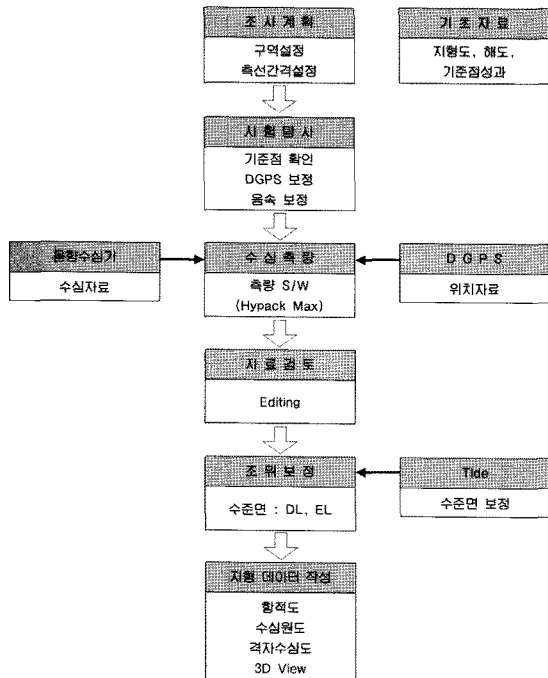


그림 8. 수심측량 및 데이터 처리 순서도

수심측량을 위한 항로는 남북방향에 대하여 약 200m 간격으로 총 20개의 동서방향 항로를 계획하여 수심측량을 실시하였으며, 선박은 약 2.5km/h로 운항하며 10초 간격으로 수심을 관측하였다. 실제 수심측량을 실시한 항로 궤적 및 수심도는 그림 9와 같다. 저수지면에 수심이 너무 얇거나 장애물이 있어 배의 접근이 어려운 지역은 수심측량에서 제외하였으며, 총 28,613점에 대한 수심을 관측하였다. 연구에 사용된 음향 측심기는 GPS 수신기와 연동하여 수심측량시 음향 측심기의 3차원 위치도 함께 측정하여 저장되도록 하였다.

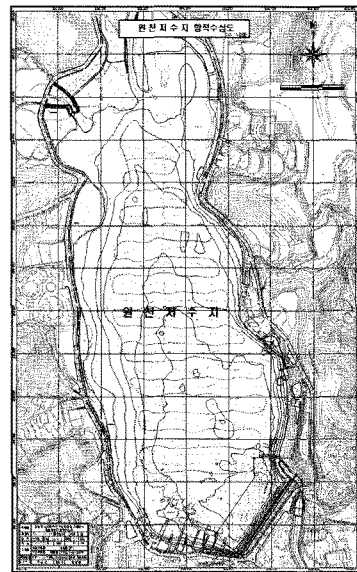


그림 9. 원시데이터를 이용한 원천저수지 수심측량 항적 및 수심도

3.2.1 기준면 보정

수심측량시 관측된 수심데이터는 음향 측심기의 발진기로부터 하저지면까지의 거리이기 때문에 이를 수직기준(vertical datum)에 대한 값으로 보정을 해주어야 한다. 또한 수심측량시 수위의 변화량과 수면으로부터 발진기까지의 높이 차이를 보정해 주어야 한다. 본 연구에서는 수위변화량 보정을 위하여 수심측량을 실시하는 동안 매 10분 간격으로 표척을 이용하여 수위를 관측하고 이를 1초 간격으로 선형보간하여 측정시간별 수심관측 데이터에 보정하였다. 2주간의 수심측량 기간 동안 표척점의 수위 변화는 약 1.2m~1.5m를 나타냈으며, 단시간적인 수위 변화는 거의 발생하지 않았다. 수심측량 기간 동안의 저수지면 평균 표고는 인천만의 평균해수면을 기준으로 41.12m로 나타났다.

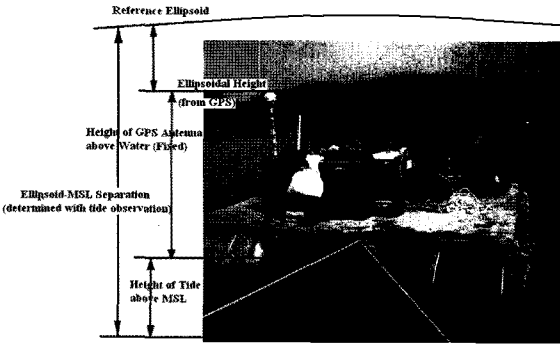


그림 10. 기준면 보정

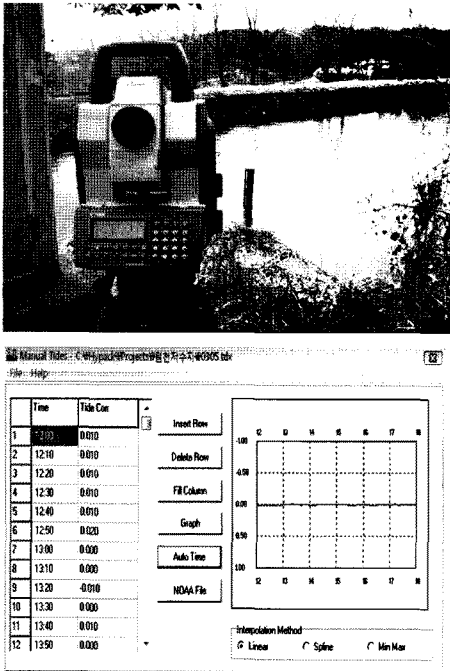


그림 11. 기준면 보정을 위한 수위 관측 및 수위 관측 데이터

3.3 지층탐사

본 연구에서 탄성파탐사를 위해 사용된 지층탐사 장비는 미국 Benthos사의 Chirp-II 시스템으로 천부 탄성파탐사 장비이다. 주파수 대역은 2~7kHz와 10~20kHz의 음역대를 동시에 하저면으로 발진하고, 하저면과 하저지층으로부터 반사된 음파 중 2~7kHz와 10~20kHz의 음역대를 동시에 수신함으로써 해상도와 투과심도를 높일 수 있다. 지층탐사시 평면위치는 수신측량과 마찬가지로 DGPS처리를 위하여 저수지 주변에 설치한 가설 기준점과 선박에서 동시에 GPS 관측을 실시하였으며, Kinematic 방식으로

기준점과 선박을 연결하였다. 측정된 평면위치 데이터는 항적도 작성, 지질채취 점 선정 등을 위한 자료로서 활용하였다.

지층탐사를 위한 항로는 남북방향에 대하여 약 20m 간격으로 총 54개의 동서방향 항로를 계획(그림 12)하여 관측을 실시하였으며, 지층탐사시 음원의 Chirp Length는 5ms, 음원의 발진 간격(Trig Rate)은 0.25s로 조정하였고 음원 증폭(hardware gain)은 3db로 설정하여 약 5m 간격으로 관측을 수행하였다.

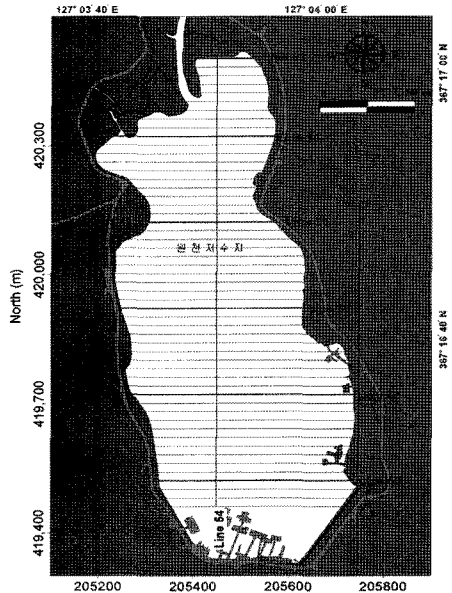


그림 12. 지층탐사를 위한 항로 계획도

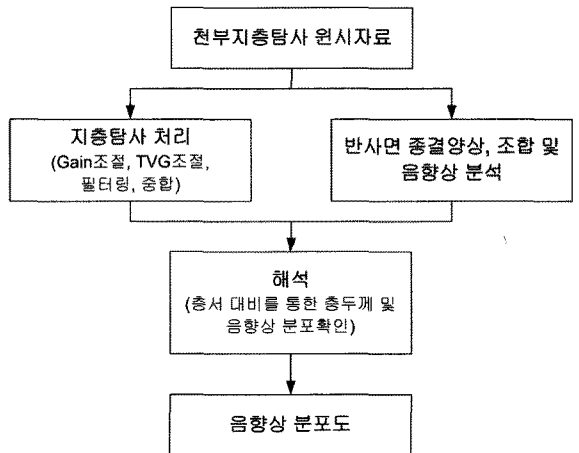


그림 13. 지층탐사 데이터 처리 순서도

표 2. 지층탐사 장비 제원

항 목	규 격
제작사 및 모델명	BENTHOS Inc. Chirp II
해상도	2048 × 1024
주파수	2~7kHz / 10~20kHz
발진 횟수	12/sec
분해능	0.1m
탐사 심도	1,000m

4. 데이터 처리 및 결과

4.1 수심 측량

관측된 데이터는 우선 데이터의 누락이나 이상관측값(outlier)의 여부에 대하여 확인을 실시한 후 평면좌표 또는 수심좌표가 누락 되었거나 인접점간의 수심 차이가 평균 수심의 3배 이상인 점은 데이터 처리에서 제외 하였다. 기준면 보정을 위한 GPS 안테나의 높이는 2.53m, 음향 발진기의 높이는 -0.33m를 적용하였으며, 지연오차 보정계수는 -1.00초를 적용하였다. 음향 측심기에서 측정된 수심은 GPS 측량 데이터와 결합하여 3차원 좌표로 변환하였다. 관측된 수심 및 GPS데이터를 분석한 결과 수심은 평균 24.50m 간격으로 측정되었다. 원시데이터에 대하여 이상 관측값 필터링과 기준면 보정을 실시한 후 ArcGIS 프로그

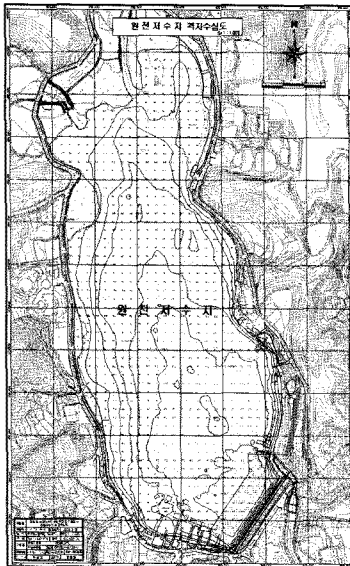


그림 14. 원천저수지 20m 격자수심도

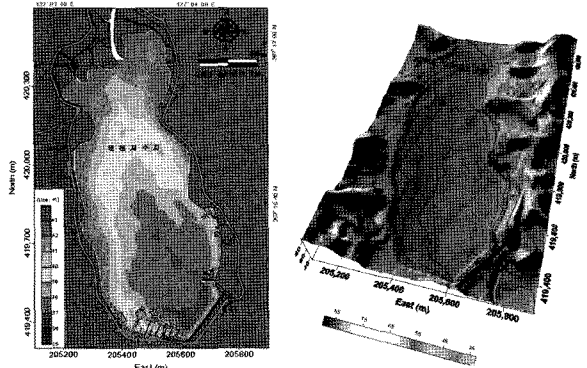


그림 15. 원천저수지 수심도 및 음영수심기복도

4.2 지층 탐사

고주파 천부지층탐사 장비(2주파)를 이용하여 관측된 원천 저수지의 지층탐사 데이터는 신호강도 보정, 시간변화 신호 보정, 잡음 필터링 및 신호 재배열 등의 후처리 과정을 거쳐 지층탐사 탄성과 자료로 변환하였다. 그림 16은 후처리 소프트웨어를 이용한 지층탐사 데이터 보정을 나타낸 것이다. 원천유원지의 지층분석 결과 오히춤으로

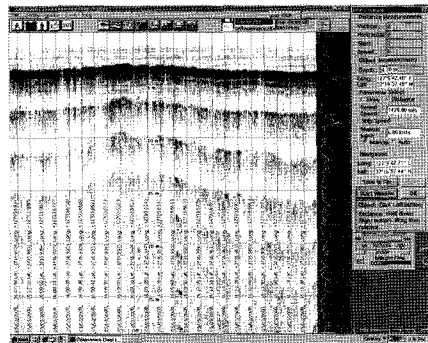


그림 16. 원천저수지 지층탐사 데이터의 후처리

추정되는 층의 두께는 0.1~1.1m 인 것으로 나타났으며, 오니층의 두께는 상류지역이 1m 정도로 가장 두껍고 제방 부분은 0.5~0.7m인 것으로 조사되었다. 그림 17은 본 연구 결과에서 분석된 원천저수지의 지형과 퇴적층의 단면 중 (그림 12 참조) 저수지의 중심부분인 29~32단면을 나타낸 것이다. 본 연구에서 얻어진 지층은 하저하의 퇴적층(미고형층)과 압층(고형층)으로 구분되는데 탐사결과 각 층에 대한 특성은 다음과 같이 분석할 수 있다.

4.2.1 제일층(퇴적층 또는 미고형층)

제일층은 하저선이 기록되고, 내부는 거의 기록되지 않는데 주로 토사 및 이토의 퇴적층으로 간주되는 암반노출 지역의 데이터는 농도가 강하게 나타나며, 부분적으로 약간의 자갈 등이 산재하는 지역은 산란상이 나타났다.

4.2.2 제이층(암층 또는 고형층)

제일층과의 경계 부분은 검게 기록되고 그 이하는 점차적으로 기록되지 않는데 이러한 기록 형태는 기반암층 또는 고형층에서 주로 나타난다. 또한 N값(표준관입시험값)이 높은 잔유토, 모래, 자갈 및 기반암의 풍화층도 지역적으로 강하게 기록되고 있다. 특히, 자갈 및 전석층이 풍화암층과 같이 기록되는 곳도 있는데 이는 그 층에서기반암층에서와 같이 음파에너지가 흡수되기 때문이다. 그러므로 암층도에 표시된 암층의 심도는 기반암은 물론 고형층인 기반암의 풍화층 중 N값이 높은 잔유토층, 자갈, 화상암, 그리고 모래 및 점토층까지의 심도가 함께 나타날 수 있으므로 실제 시추성과를 참고하여 정확한 지층의 종류를 판단하여야 할 것으로 분석되었다.

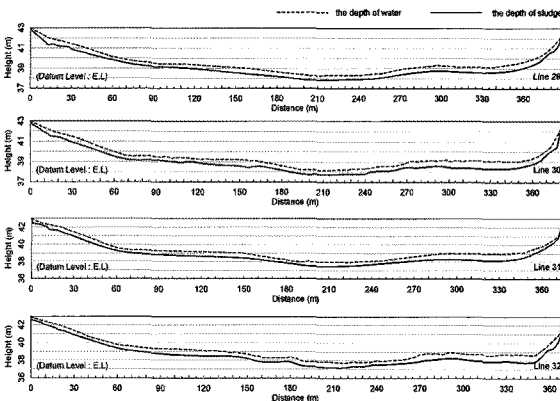


그림 17. 원천저수지 지층탐사에 의한 하천 지형 및 퇴적층 단면도

5. 결론

본 논문에서는 저수지 관리를 위한 효율적인 수심 및 지층탐사 방법에 대한 연구를 위하여 음향 측심기와 고주파 지층탐사 장비를 GPS 장비와 결합함으로써 수심 및 지층탐사 데이터와 이에 대한 평면위치 데이터를 동시에 관측하였다. 연구대상지인 원천저수지에서 관측된 수심 데이터에 대하여 음속보정 및 기준면 보정을 거쳐 인천만의 평균해수면을 기준으로 한 20m 격자간격의 하저지형 데이터를 구축하였다. 이로부터 원천저수지면의 길이는 약 2.3km이고 면적은 0.525km², 저수량은 만수위시 0.0021km³이며, 만수위시의 저수지 최대수심은 8.0m, 평균수심은 4.0m, 저수면의 표고는 44.0m인 것으로 분석되었다. 또한, 지층탐사 관측 데이터는 신호강도 보정, 잡음 필터링 등의 후처리 과정을 거쳐 5m 격자간격의 지층탐사 데이터를 구축하였다. 지층분석 결과 원천저수지의 지층은 0.1~1.1m 두께의 오니층으로 덮여 있으며, 그 분포는 상류지역이 1m 정도로 가장 두껍고 제방부분은 0.5~0.7m인 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 음향 측심기 및 지층탐사 장비를 GPS와 결합함으로써 수심측량 및 지층탐사의 정밀도를 향상시킬 수 있으며, 현장 측정시간을 단축함으로써 효율적인 측정이 가능한 것으로 분석되었다.

감사의 글

이 논문은 한국랜드비전(주)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

고영훈 (2002), 환경법, 법문사, pp. 100-101.
 박운용, 김천영, 김용보 (2003), 하구하상 측량 정밀도 향상에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제2호, pp. 137-145.
 정영동, 강상구 (2002), 음향 측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심측량, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제20권, 제4호, pp. 375-381.
 조규전, 차득기, 강봉서 (2000), DGPS에 의한 해안측량 조위보정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제18권, 제3호, pp. 295-303.
 Alkam, R. M., Kalkan, Y., Aykut, O. (2006), Sound Velocity

- Determination with Empirical Formulas & Bar Check, *XXIII FIG Congress, Munich, Germany*.
- Anon (1987), *IHO Standards for Hydrographic Surveys*, International Hydrographic Organization Special Publication No. 44, Monaco (3rd edition).
- Burdic, W. S. (1984), *Underwater Acoustic System Analysis*, Prentice-Hall Signal Processing Series, Prentice-Hall, Inc., Eagle wood Cliffs, NJ, 07632.
- Cervenka, P., U. C. Herzfield and C. de Moustier (1994), Accuracy of the Spatial Representation of the Seafloor with Bathymetric Sidescan Sonars; *Marine Geophysical Researches*, 16: pp. 407-425.
- D. F. Dinn, B. D. Libcarevuc and G. Costello (1995), The effect of sound velocity errors on multi-beam sonar depth accuracy, *Oceans'95*, Vol. 2, pp. 1001-1010.
- Vail, P. R., Todd, R. G. and Sangree, J. B. (1977) Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 5 Chronostratigraphic significance of seismic reflections: Section 2, Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation Memoir, No. 26, pp. 99-116.

(접수일 2011. 04. 19, 심사일 2011. 04. 28, 심사완료일 2011. 04. 29)