

## GPS/GPR을 이용한 저수지 준설능력 향상

이동락\* · 홍정수\*\* · 백기석\*\*\* · 배경호\*\*\*\*

### Improve of Reservoir Dredging Ability Using GPS/GPR

Dong-Rak Lee\* · Jung-Soo Hong\*\* · Ki-Suk Back\*\*\* · Kyoung-ho Bae\*\*\*\*

#### 요 약

일반적으로 퇴적물 준설에 대한 조사는 GPS/Echo Sounder 및 Total Station/Echo Sounder를 조합한 음파탐사 방법을 이용하여 대상지의 수평위치 및 수심에 대한 관측을 실시하고 있으며, 하상의 단면계산, 저수량 및 준설계획량 등을 추정하게 된다. 이후 준설계획에 대한 계획고 및 준설토량에 대한 세부적인 계획을 수립하게 된다. 하지만 Echo Sounder를 사용하는 음파탐사 방법은 퇴적물에 대한 정확한 분포를 파악할 수 없는 단점이 있다. 본 연구는 저수지 하부의 퇴적물 및 이의 분포를 파악하여 저수지 준설계획을 수립하여 기존의 탐사방법에 대한 준설능력 향상에 중점을 두었다. 또한 기존의 음파탐사 방식과 다른 레이더탐사 장비를 이용한 GPS/GPR(Ground Penetration Radar)을 사용하여 저수지의 수평위치, 수심값을 결정하고 동시에 원지반에 분포하고 있는 퇴적물의 분포를 추정, 준설에 적용하고자 하였다. 우선 현장의 시료채취를 통한 수조모형실험을 실시하여 장비에 대한 정확도 검증을 거친 후 현장적용에 적용하여 그 가능성을 평가하였다.

주요어 : Global Positioning System, Echo Sounder, Ground Penetration Radar<sup>1)</sup>

**ABSTRACT** : In general, the investigation for reservoir dredging are conducting a observation on the horizontal position and the depth of water by assembling GPS/Echo Sounder and Total Station/Echo Sounder, and it is computed at a section computation of riverbed, reservoir volume and dredging plan etc. at that times, the detail plane is determinated about soil volume, height for dredging. Planning has a fault that the method of sound detection using

\*창신대학 건설환경과 교수(drlee@csc.ac.kr)

\*\*동아대학교 토목공학과 박사과정(jungsoo0515@hanmail.net)

\*\*\*동아대학교 토목공학과 박사(back0897@hanmail.net)

\*\*\*\*동아대학교 토목공학과 박사(qpandora@hanmail.net)

the Echo Sounder doesn't check up distribution of reservoir deposit. In this study, the author emphasizes that implementation of dredging with combined Global Positioning System(GPS) and Ground Penetration Radar(GPR) is well-done more than existed GPS/Echo Sounder. the combined equipment can be adapted to computation and dredging referring to distribution of deposition. First of all, it is executed water tank modelling test through sampling for apply to test area and is estimated the possibility after passed for accuracy verification of equipment.

**Keywords** : Global Positioning System, Echo Sounder, Ground Penetration Radar

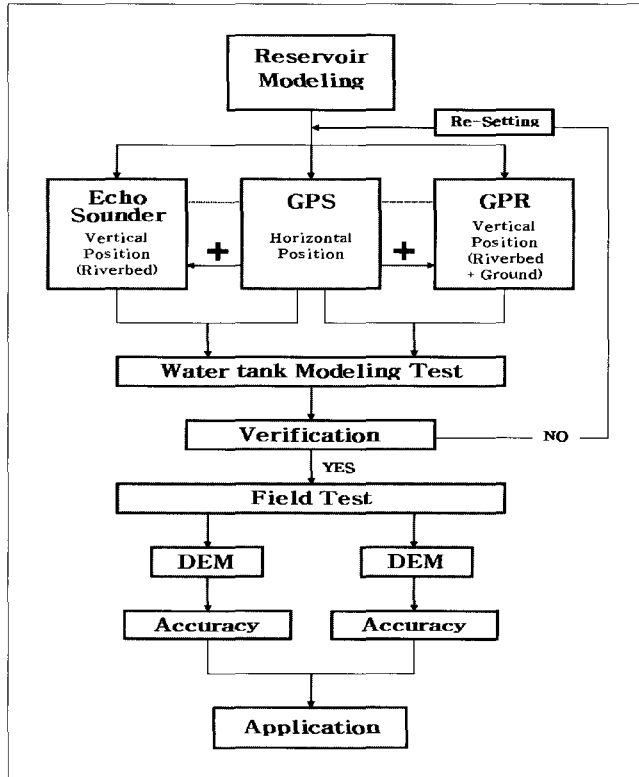
## 1. 서 론

하상의 퇴적물은 수로유지 및 하천의 홍수통제를 위한 준설의 대상으로 관리되어 왔으며, 유해물질로 오염된 퇴적물은 직·간접적인 노출경로를 통해 수생생물 및 더 나아가 국민건강에 악영향을 끼친다는 사실 때문에 최근 환경적 측면에서의 관리가 필요하다는 의견이 국내외적으로 크게 대두되고 있다. 현재 우리나라는 하상퇴적물을 수질관리에 있어 하나의 오염원 정도로 간주하고 있어 하상퇴적물 관리와 관련해서는 정부차원의 기본적인 방향조차 마련되어 있지 않은 실정이다. 최근 하상퇴적물 문제가 간헐적으로 제기되면서 퇴적물 시험공정시험방법의 개발 및 퇴적물 측정망의 설치와 같은 퇴적물 관리를 위한 기반조성이 시작되고 있으나 퇴적물 환경기준의 개발을 위한 연구는 이제 시작단계에 불과하다. 하상퇴적물에 관한 문제는 오염뿐만 아니라 하상이 높아짐에 따라 저수량의 감소 및 홍수와 가뭄에 대한 대비능력에도 연관이 있는 중요한 문제이다.

하상 퇴적물의 탐사를 위한 방법은 음

파탐사와 탄성파탐사 및 레이저탐사를 생각할 수 있다. 가장 일반적으로 사용하는 GPS/Echo Sounder 및 Total Station/Echo Sounder를 조합하여 대상지의 수평위치 및 수심 관측을 수행하는 음파탐사는, 하상의 단면계산, 저수량 등을 추정하여 준설계획에 대한 계획고 및 준설도량에 대한 세부적인 계획을 수립하게 되나, 하상의 퇴적물 분포를 정확하게 파악할 수 없는 단점을 가지고 있으며, 탄성파 탐사의 경우 하상 퇴적물의 두께에 따른 적용한계를 가지고 있고, 레이더탐사는 주로 육상에서 천부의 지층구조를 파악, 구조물 비파괴 검사 및 지하매설물 탐사 등에 주로 사용되어 왔으나 하상 혹은 호상의 퇴적물 및 수심 조사를 위해서도 빈번히 사용되고 있다. 특히 레이더의 경우 본 저수지 지역과 같이 수심이 얇고, 비교적 분해능이 요구되는 지역의 경우 그 효용성이 뛰어나고 매우 경제적으로 사용될 수 있다.

본 연구는 저수지 하부의 퇴적물 및 분포를 파악하여 저수지 준설계획을 수립하여 기존의 방법에 대한 준설능력 향상에 중점을 두었다. 관측 장비로 기존의 방식과는 다른 GPS/GPR(Ground Penetration Radar)



[그림 1] 연구흐름도

을 사용하여 저수지의 수심위치를 결정하는 것뿐만 아니라 하상을 관측하여 측정과 동시에 원지반에 대한 퇴적물분포 및 저수량을 산정하여 준설에 적용하고자 하였다. 우선 현장의 시료채취를 통한 수조모형실험을 실시하여 장비에 대한 정확도검증을 거친 후 현장 적용하여 그 적용가능성을 알아보하고자 하였다.

## 2. GPR 탐사의 원리

레이다 탐사는 조사심도 및 목적에 맞는 안테나를 선택한 후 미리 설계된 탐사

측선을 따라 이를 이동시키면서 자료를 얻게 된다. 이때 송신 안테나에서 전송된 송신파는 매질을 전파하다가 매질의 경계면을 만나면 일부의 에너지가 반사되어 돌아오게 되는데, 이렇게 반사된 반사파를 수신안테나로 기록하고 이를 분석함으로써 대상 매질에 대한 정보를 얻게 된다. 탐사자료의 처리 및 해석에 영향을 미치는 전자파의 전달 속도는 유전상수의 영향을 받으며 파의 감쇠 (attenuation)는 주로 전기전도도에 영향을 받는다. 파의 전달 속도는 유전상수의 제곱근에 반비례하며 감쇠는 전기전도도에 비례하고 유전상수에 반비례하는 특성을 가진다. 일반

적으로 전기전도도는 매질 내 수분함량과 전도성 물질의 함량에 영향을 받으며 유전상수는 매질이 균질한 경우 수분함량과 공극율에 영향을 받게 된다.

<표 1>은 암, 물 등을 포함한 지반을 구성하는 대표적인 물질들의 전기적 특성과 전자파 전파 속도의 범위를 나타내고 있다.

보통 전기적 성질이 서로 다른 두 매질의 경계부에 안테나가 위치할 경우 에너지의 많은 부분이 상대적으로 유전상수가 큰 매질로 방사된다. 조건이 양호한 지반에서 공기와 지반의 경계면에서 방사가 일어날 때 약 90% 정도의 에너지는 지반 즉 땅 속으로 전파된다. 다음 식은 레이더 탐사에서 파의 전달 속도, 반사면 심도 등의 값을 구하는데 사용되는 기본적인 식들을 나타내는 것이다.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{1000c}{f\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (3)$$

여기서,  $v$ 는 전자파의 전달속도( $m/ns$ ),  $\lambda$ 는 파장( $m$ ),  $R$ 은 반사계수,  $\epsilon$ 는 유전상수,  $f$ 는 주파수,  $c$ 는 공기 중에서의 전자파속도( $0.3m/ns$ )를 나타낸다. 식에서 보는 바와 같이 전자파의 전달 속도는 매질의 유전 상수에 의해 결정되며 매질이 균질한 경우 유전상수는 매질의 수분함량과 비례관계를 가지게 된다. 반사계수는 전체 방사에너지에 대한 반사 에너지의 비를 나타내는 것으로 반사파 강도에 영향을 준다.

레이더 시스템은 크게 송·수신부, 송·수신부를 제어하는 제어부 그리고 자료의 기록, 처리를 담당하는 컴퓨터부로 나눌

<표 1> 매질에 따른 전기적특성

매질명	유전상수	전기비저항( $\Omega m$ )	전파속도( $m/ns$ )
공기	1	$\infty$	0.3
맑은물	81	100	0.033
화강암(습윤)	7	1000	0.11
점토	5-40	1-10	0.047-0.13
실트	5-30	0.01-1	0.054-0.13
모래(포화)	30	0.1-1	0.054
석회암	4-8	50-107	0.11-0.17
사암	6	1-108	0.12
흙(사질, 습윤)	25	100	0.06
흙(점토질, 습윤)	15	20	0.075

수 있다. 제어부(control console)에서는 전원을 조절하며 디지털 프로세싱과 송수신부에 전원공급, 타임 시퀀싱(time sequencing) 및 컴퓨터와의 통신을 조절하는 기능을 담당한다. 송신부는 송신기(transmitter)와 안테나로 구성되며 제어부에서 송신신호와 전원공급을 받아 펄스(pulse)형태의 전자파를 발생시켜 지반으로 방사시키는 기능을 가진다. 수신부는 수신기(receiver)와 안테나로 이루어지며 제어부에서 전원공급과 수신시간의 제어를 통해 지하의 반사체에서 반사된 신호를 수신 받아 디지털 형태로 변환시킨 후 제어부로 전송하는 역할을 담당한다.

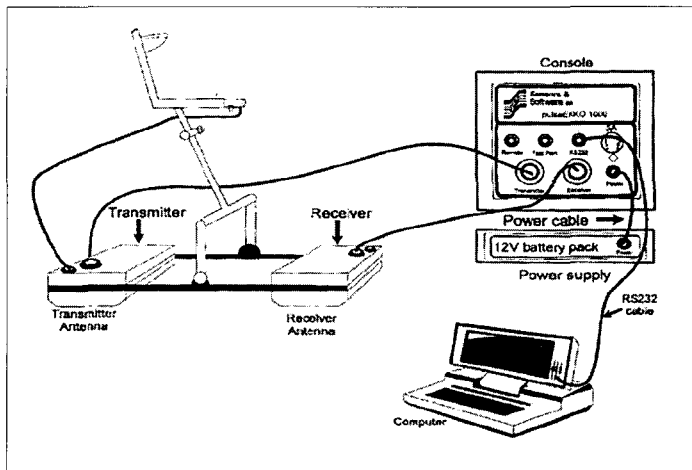
[그림 2]는 GPS 시스템의 한 예로 pluseEKKO 1000A의 시스템 구성을 나타내는데 이 시스템에서는 225, 450, 900, 1200MHz의 중심 주파수(center frequency)를 갖는 안테나가 있어 탐사 목적에 따라 선택적으로 사용된다.

GPR탐사는 탐사의 주목적 및 두 안테나

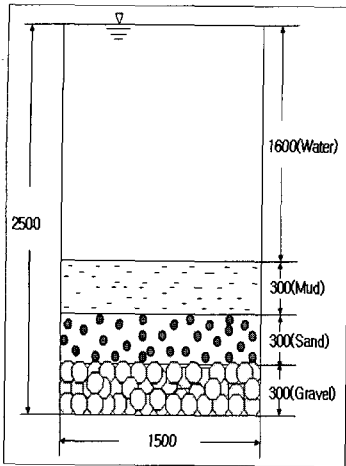
의 배열 형태에 따라 반사법(reflection type), CMP/WARR법(Common Mid Point/Wide Angle Reflection and Refraction) 및 투과법(transillumination type)의 3가지 형태로 구분된다. 반사법은 땅속 반사면에 대한 정보를 얻기 위해 실시되며 기준점을 기준으로 송수신 안테나가 동시에 이동하게 되는데 대부분의 탐사에서 적용되는 방법이다. CMP법은 기준점을 중심으로 송수신 안테나를 각각 반대방향으로 일정하게 이동시켜 탐사를 수행하는 방법으로 지층에서의 전자파의 속도 추정에 사용된다. 투과법은 주로 분리된 구조물을 대상으로 대상체에서 파의 투과 특성을 연구하는 분야에서 부분적으로 적용되는 방법이다.

### 3. 수조모형테스트

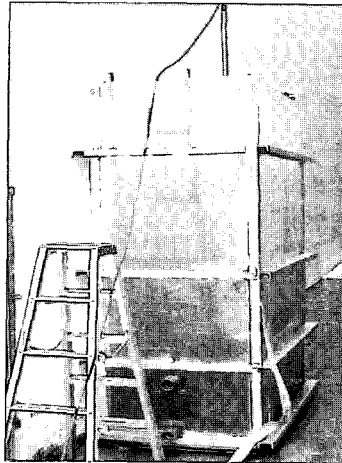
현장테스트에 앞서 수조모형 테스트를 통한 관측장비에 대한 정확도 검증은 실시



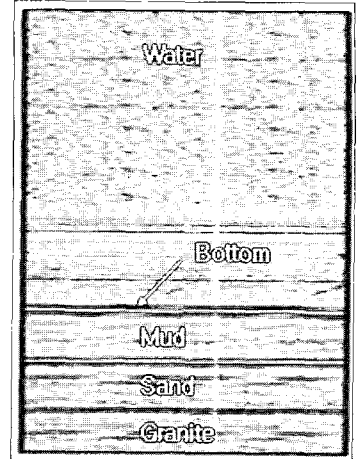
[그림 2] GPR System(pluseEKKO, Canada)



[그림 3] 수조모형



[그림 4] 수조모형테스트



[그림 5] GPR 분석

하였다. 관측장비로 음파탐사에 Marinematec Echo Sounder를 사용하였으며, 레이더탐사에는 PulseEKKO 1000을 사용하여 테스트를 실시하였으며, 테스트를 위한 수조는 2,500×1,500×1,000(mm)의 크기로 뿔층, 모래층, 자갈층 등 각각의 수직분포를 다양하게 구성하여 Bar-Check를 통한 음파탐사의 검증 및 레이더탐사에 대한 시스템의 검증을 실시하였다.

[그림 3]은 지층의 수직구조를 나타내고 있으며, [그림 4]는 수조모형실험을 나타내고 있다. [그림 5]는 GPR을 통한 데이터 결과물을 나타내고 있다.

GPR의 자료 해석 시 중요한 문제는 각 층의 경계를 구분하는 것이다. 이를 위해서는 먼저 반사면을 구분해야하며 다양한 잡음 및 반사파의 강약 등을 종합적으로 판단하여야 한다. 아래의 <표 2>를 보면 물과 Clay 층 경계면에서의 반사계수가 0.18, 물과 모래층 경계면에서의 반사계수

가 0.34로서 약 1/2 정도이므로 Clay층에서의 반사면이 모래층에서의 반사면에 비해 약 0.5배 정도 약하게 나타남을 예상할 수 있다. 또한 자갈층의 경우 타 물질과의 경계면에서 0.55로 매우 큰 반사계수를 보이고 있다.

수조모형실험 결과 Echo Sounder를 이용한 음파관측의 경우 그 평균값이 1.598m이었으며, GPR은 단면에 대한 두께 계산을 위해 각 층에 대한 경계를 추출하고 이에 대한 수평위치 및 심도를 디지털화하여 수치화하였다. 그 결과 하상까지의 깊이는 1.611m였으며, 각 층에 대한 경계는  $\pm 0.04\text{m}$ 의 표준편차를 가지는 것으로 판명되었으며, 현장적용의 가능성을 얻을 수 있었다. <표 2>는 각 층에 대한 GPR의 반사심도를 나타내고 있으며, <표 3>은 E/S 관측에 의한 데이터 일부를 나타내고 있다.

<표 2> GPR의 반사심도 분석

G P R				
매질 1	유전상수	매질 2	유전상수	반사계수
물	81	Clay	40	0.18
물	81	모래(포화)	30	0.34
물	81	Granite	7	0.55
Clay	40	모래(포화)	30	0.07
Clay	40	Granite	7	0.41
모래(포화)	30	Granite	7	0.35
모래(포화)	30	Clay	40	-0.74
Granite	7	Clay	40	-0.39
Granite	7	모래(포화)	30	-0.34

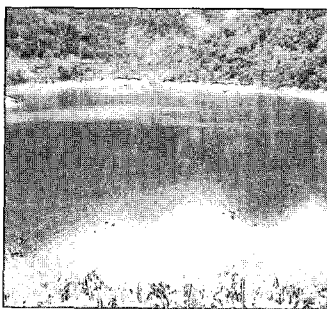
<표 3> Echo Sounder 의 심도분석

Echo Sounder	
시간	심도(m)
03:12:10	1.599
03:12:20	1.600
03:12:30	1.601
03:12:40	1.597
03:12:50	1.598
03:13:00	1.605
03:13:10	1.594
03:13:20	1.605
03:13:30	1.598

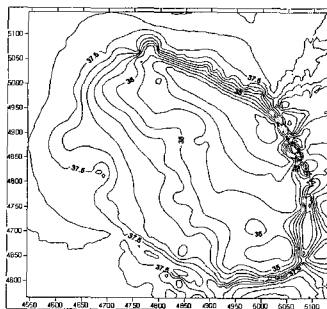
#### 4. 현장관측

현장 적용을 위한 연구대상지는 경남에 위치하고 있는 저수지로 관할 기관의 준설 대상지에 포함이 되어 있다. [그림 6]은 대상지의 모습을 나타내고 있으며, 기존의 설계 시 122,862.945m<sup>2</sup>의 총 표고면적과 207,231.521m<sup>3</sup> 내용적 물량을 가지고 있는 수심 4~5m정도의 저수지이

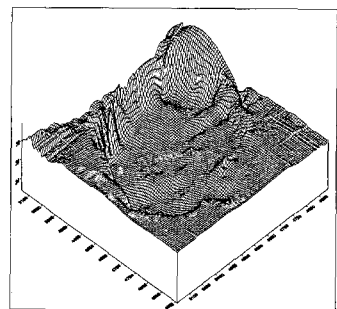
다. 관측은 GPS와의 결합을 통해 일정하게 정해진 방향을 통해 동일한 항적선을 유지하였으며, 이렇게 측선별로 수치화된 2차원 자료를 보간(interpolation)하여 수심 및 각 수직층에 대한 분포를 3차원적으로 도출하고 이로부터 퇴적물의 분포 및 저수량을 산출하고 시각적인 면을 고려하여 DEM(Digital Elevation Model)으로 구성, 그 정확도를 평가하였다. 아래의 [그림 7]은 GPS/Echo Sounder를 이용하여 나타낸 등수심도를 나타내고 있으며, [그



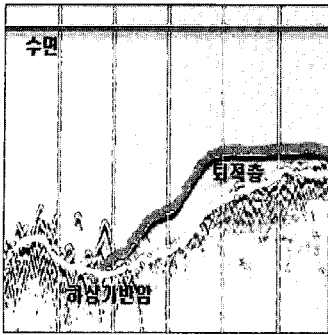
[그림 6] 연구대상지



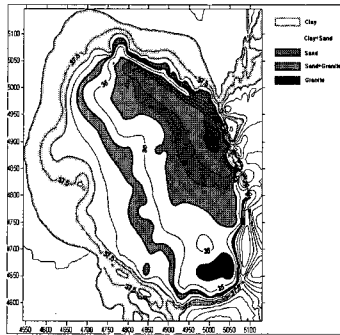
[그림 7] 등수심도(G/E)



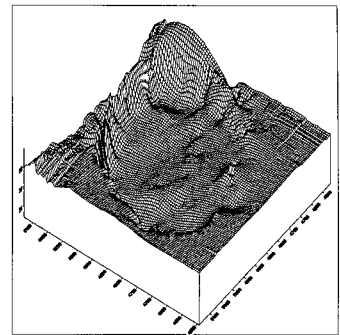
[그림 8] DEM(G/E)



[그림 9] 하상구조(G/G)



[그림 10] 퇴적물분포도(G/G)



[그림 11] DEM(G/G)

림 8]은 데이터를 중심으로 DEM을 추출한 모습이다.

[그림 9]는 GPS/GPR을 조합하여 관측한 저수지의 하상구조를 나타내고 있으며, [그림 10]은 관측을 통해 이루어진 퇴적물 분포를 나타낸 것이다. [그림 11]은 관측자료를 디지털화하여 얻은 수치값으로 작성한 DEM의 형상을 나타내고 있다.

[그림 9]에서 하상기반암위에 퇴적층의 존재여부를 판단할 수 있으며, 그림 10을 통해 반사심도를 이용하여 저수지 전반의 퇴적물 분포를 나타낼 수 있었다. 저수지 상류에 퇴적층이 넓은 지역에 걸쳐 분포

하고 있는 것을 알 수 있으며, 웨어 부근에 대한 뿔층 및 자갈층의 분포도 파악할 수 있었다. <표 4>는 음사탐사를 통한 저수지 관측을 실시한 데이터를 분석한 표고면적 및 누가내용적을 나타내고 있으며, <표 5>는 레이더탐사를 통한 표고면적 및 누가내용적을 나타내고 있다. <표 4>와 <표 5>를 분석해 본 결과, 정확한 수치화에 대한 작업의 정확도가 저수량 산정에 대해 많은 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, 두 관측방법에 대한 누가내용적 결과량은 저수지준설측량 내용적의 1% 이내에 모두 만족하는 것으로 판명되었다.

<표 4> G/E의 표고면적 및 누가내용적

표고(m)	표고면적(m <sup>2</sup> )	누가내용적(m <sup>3</sup> )
33.86	0.000	0.000
34.00	2,058.304	142.023
35.00	17,761.175	10,051.763
36.00	34,470.820	35,167.760
37.00	88,857.060	96,531.700
38.07	122,112.690	206,616.575

<표 5> G/G의 표고면적 및 누가내용적

표고(m)	표고면적(m <sup>2</sup> )	누가내용적(m <sup>3</sup> )
33.84	0.000	0.000
34.00	2,047.387	140.041
35.00	17,750.221	10,040.362
36.00	34,336.859	35,099.959
37.00	88,847.046	96,385.652
38.06	122,198.856	205,901.455



## 5. 결 론

본 연구는 기존에 사용되는 GPS/Echo Sounder의 음파탐사 방법 대신 GPS/GPR을 이용한 레이더탐사 방법을 이용하여 저수지 준설능력 향상에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 산출할 수 있었다. 그 결과 설계 시의 표고면적과 내용적을 비교하였을 때, GPS/Echo Sounder는 0.6%, 0.296%의 차이를 보이고 있으며, GPS/GPR을 이용한 경우 0.540%, 0.641%의 차이를 보이고 있다. 이에 따라 GPR을 이용한 레이더탐사의 경우 Echo Sounder를 이용한 음파탐사 방법에 상응하는 저수량 및 표고면적을 산출할 수 있었으며, 준설 대상에 해당하는 저수지 하상의 퇴적물 분포를 파악할 수 있었다. 앞으로의 저수지 및 하천의 경우 퇴적물 분포 파악이나 준설계획에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 장현삼 외 1인, 2000, “지표레이다 탐사에 의한 하상퇴적물 조사”, 한국 지구물리탐사학회, pp.163~178.
- 이창희, 2003, “퇴적물환경기준 개발현황 및 연구동향”, KEI 환경정보지, pp.28~29.
- D. J. Daniels, “Surface-Penetrating Radar(lee Radar, Sonar, Navigation and Series”, 6, pp.156~160.
- John M. Reynold, “An Introduction to Applied and Environmental Geophysics” pp.674~689.
- Cam Nguyen, “Subsurface Sensors and Applications”, Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol 41.
- 박운용, 측량공학개론(상), 동아대학교 출판사, pp.47~360.
- 정성모, “지하매설관거의 3차원 시각화를 위한 D/B 구축” 박사학위논문, 동아대학교 대학원, pp.14~19.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichenegger, H., and Collins, J, 1997, *GPS, Theory and Practice*, Springer Veriag, Austria.