

연구논문

# 에코사운딩에 의한 저수지 담수량 산정에 관한 연구 Measuring Water Volume of Reservoir by Echosounding

최병길\* · 이형수\*\*  
Choi, Byoung Gil · Lee, Hyung Soo

## 要 旨

본 연구의 목적은 DGPS와 음향측심기를 장착한 소형의 로봇선을 이용하여 저수지의 수심정보를 획득하고 이를 이용하여 담수량을 산정하는데 있다. GPS와 음향측심기를 장착한 로봇선은 무선 인터넷을 이용하여 원격으로 제어된다. 현장실험 결과, 기존의 담수량 데이터와 로봇선의 데이터를 이용하여 산정된 담수량은 6.8% 정도의 차이를 나타냈으며, 이는 저수지 바닥의 퇴적물 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발된 원격측정 로봇선은 수심 및 하상지형 정보를 경제적으로 정확하게 획득하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 디지털피에스, 음향측심기, 수심측정, 담수량, 로봇선

## Abstract

This study is aimed to acquire the depth information and measure the water volume of reservoir using the robot-ship equipped with GPS and echosounder. Robot-ship is an automatic system for measuring exact depth and bed topography. According to field experiment results, measured water volume by the robot-ship data was not much exceeding 6.8% in comparison with existing water volume data, and it was guessed because of sediments of reservoir bottom. The robot-ship could be used to acquire economically and exactly the water depth and bed topography of reservoirs, dams, rivers and so on.

**Keywords** : DGPS, Echosounder, Depth measuring, Water volume, Robot-ship

## 1. 서 론

본 연구의 목적은 DGPS와 음향측심기(Echosounder)를 장착한 소형의 로봇선을 이용하여 저수지의 수심정보를 획득하고 이를 이용하여 담수량을 산정하는데 있다.

수심정보를 획득하는 방법에는 음향측심측량, 사진측량, 수중측량, 레이저측량 등 다양한 방법이 있으나, GPS(Global Positioning System, 위성측위시스템)와 음향측심기를 이용하여 수면위치 및 수심을 동시에 측정하는 수심측정 방법이 정확성과 경제성 면에서 다양한 연구가 수행되었고 그 실효성이 검증되어 최근에 주로 사용되고 있다. 서용운과 최윤수(2000)는 실시간 DGPS 및 음향측심기 데이터를 이용하여 방파제 축조시 투하되는 사석의 물량을 확인하는 연구를 수행하였고, 정영동과 강상구(2002)는 음향측심기와 GPS를 이용한 하천의 수심측량 정확도를 연구하였으며, 박운용 외 2인(2003)은 음향측

심기를 이용한 하구하상 측량의 정밀도를 향상시킬 수 있는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 자동으로 운항하면서 수심정보를 획득할 수 있는 소형의 로봇선을 이용하여 저수지의 수심정보를 획득하고 담수량을 산정하며, 이를 기존의 유인측량선에 의하여 획득한 담수량 정보와 비교하여 로봇선을 이용한 수심측량 및 담수량 산정의 정확도를 분석하고자 하였다.

## 2. GPS와 음향측심기를 이용한 수심측량

### 2.1 GPS를 이용한 위치정보 획득

GPS를 이용한 이동체의 위치측정에 대한 연구는 국내외에서 활발히 수행 중에 있다. 본 연구에서는 DGPS 기법중에서 고정밀 실시간 이동측위기법인 RTK OTF(Real Time Kinematic On The Fly, 실시간 동적측위)기법을

2007년 2월 1일 접수, 2007년 3월 4일 채택

\* 정회원, 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수 (bgchoi@incheon.ac.kr)

\*\* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사과정 (hslee@kasm.or.kr)

사용하였다.

GPS는 여러 가지 오차를 포함하고 있으며 사이클 슬립(Cycle slip)이나 다중경로(Multi-pass) 등 오차를 유발시키는 요인을 잠재하고 있다(Hoffmann-Wellenhof 1997). 그러나 GPS는 시간, 시야, 기후에 제약이 적으며 휴대가 편리하고 상대적인 위치측정이 상당히 정확하기 때문에 이동체의 위치추적에 이용되고 있다. 또한 GPS는 1초마다 한번씩 위치를 측정하므로 이동하는 물체의 경우 이동 경로 및 위치를 확인할 수 있다(차득기 2000).

기지국을 설치하여 오차발생요인을 파악하고 오차보정정보를 로봇선에 전송하면, 로봇선에서는 보정정보를 이용하여 정확한 위치정보를 획득하게 된다. DGPS 기법에 의해 획득한 로봇선의 정확한 위치정보는 다시 제어국에 전송하여 수치지도 상에 표시하여 실시간으로 이동 경로 및 위치 좌표를 모니터링 할 수 있게 된다.

**2.2 음향측심기를 이용한 수심정보 획득**

수심측량은 계획된 측심선에 따라 수면위치측량과 수심측량을 동시에 실시한다. 수면위치측량 방법에는 직선 유도법, 3점 양각법, 전자위치측정법, DGPS 방법 등이 있다. 최근 DGPS 장비의 정확성이 향상되면서 DGPS 방법이 활발하게 사용되고 있다(조홍연 2003). 수심측정은 대상지역에 따라 수심측정방법이 달라진다. 일반적으로 수심이 얇은 곳에서는 측심봉과 측심추를 이용하고, 수심이 깊은 곳에서는 음향측심기가 이용된다(박운용 외 2003). 송신음파와 수신음파의 도달시간차 T를 정확히 측정하고, 수중음속 V를 알면 수심 Z는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Z = \frac{1}{2} VT \tag{1}$$

일반적으로 음향측심기는 가정음속  $V = 1,500m/sec$ 를 기준으로 설계되며, 시간차는 0.003sec 단위로 관측된다. 따라서,  $\frac{V}{2}$ 를 K라 하면,  $Z = KT$ 가 되어 시간만의 함수로 표시되므로 음파신호의 도달시간만 알면 수심을 알 수 있다.

실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 미소하게 변화하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측 당시의 실제 음속을 구하여 음속도 보정해 주어야 한다(정영동 외 2002). 또한 해수의 경우 수심의 기준면과 관측시 해수위 차이를 고려한 조위보정, 수면으로부터 음파송출기까지의 깊이를 고려하는 흘수보정이 필요하며, 선박의 운동, 자료 획득시각 동기화 등에 의한 오차요인에 대하여 보정해주어야 한다.

정밀수심측량을 수행하는 선박의 음향측심기는 선박의 운동에 영향을 받기 때문에 선박의 운동을 고려한 보정이 필요하다. 특히, 상하운동(Heave), 좌우회전운동(Pitch) 및 전후회전운동(Roll)에 대한 보정은 가장 기본적이고 중요한 인자이다. 일반적으로 선박의 전후운동(Surge) 및 좌우운동(Sway)은 평면위치변화에만 영향을 미치며, 중심축을 따른 선박의 회전운동(Yaw)은 음향측심기가 선박의 중심지점에 설치된 경우 오차는 무시할만한 정도가 된다. 측정시점의 일치에 의한 오차는 측정장비의 측정간격을 조정하면 감소시킬 수 있다.

로봇시스템의 적용지역은 댐, 저수지 등 민물지역이므로 염분, 수압 등의 영향으로 변화하는 음속은 측정결과에 미치는 영향이 미소하다고 판단되어 수온만을 측정하였다. 또한 수심측정에 영향을 미치는 회전운동은 GPS 수신기를 로봇선의 중심지점에 설치하여 오차를 최소화하였다.

**3. 원격수심측정시스템**

**3.1 개별모듈**

**3.1.1 GPS 및 음향측심기 정보 변환모듈**

본 연구에서는 로봇선의 GPS 정보와 음향측심기 정보를 동시에 변환할 수 있는 GPS 및 음향측심기 정보변환모듈을 이용하였다. 연구에 사용된 GPS는 일본 TOPCON사의 Legacy-H 모델로서 제원은 표 1과 같다. 음향측심기는 호주 BRUTTOUR사의 CEESTAR 모델로서 제원

**표 1.** GPS의 제원

항 목	제 원
정확도 (2주파 수신에 의한 RTK일 경우)	수평 10mm+1.5ppm 수직 20mm 1.5ppm
통신속도	최소 300baud ~ 최대 406,800baud
사용시간	7시간(전용 배터리)

**표 2.** 음향측심기의 제원

항목	제원
주파수	200Khz
음향발신각도	8도
측정 깊이	0.3m ~ 99.99m
정확도	깊이의 2ppm 또는 최대 1cm
통신속도	최소 4,800baud ~ 최대 115,200baud



그림 1. GPS 센서 및 CDMA 무선 모듈

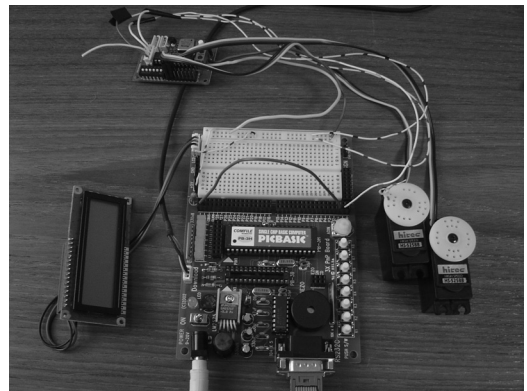


그림 3. 중앙제어보드

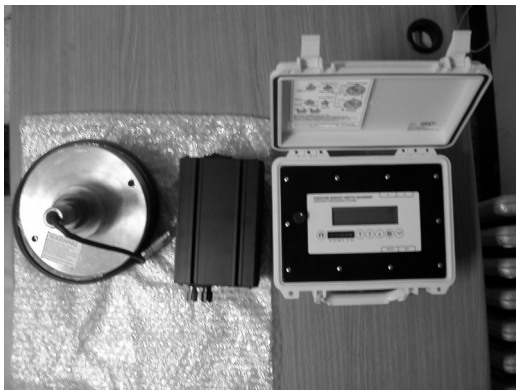


그림 2. 음향측심기의 센서, 전원 및 컨트롤러

은 표 2와 같다. 그림 1은 GPS의 센서 및 통신용 CDMA 모듈이고, 그림 2는 음향측심기의 사진이다.

### 3.1.2 중앙제어보드

중앙제어보드는 하드웨어의 구동을 직접 제어함으로써 데이터의 처리효율을 높이고 데이터의 처리시간을 단축하기 위하여 마이크로 컨트롤러(Micro controller)인 PIC(Programmable Interrupter Controller, 프로그램이 가능한 인터럽터 제어기) 단일기판의 형태로 제작되었으며, 통합된 GPS 및 음향측심기의 데이터와 모터제어 명령을 동시에 처리할 수 있다. 시리얼 포트 2개가 지원되므로 하나의 포트는 GPS 및 음향측심기의 신호를 받는데 이용하고, 다른 하나의 포트는 통신포트를 연결하는데 이용하며, 모터는 중앙제어보드에 바로 연결하여 모든 기능을 중앙제어보드에서 수행할 수 있다. 그림 3은 중앙제어보드의 사진이다.

### 3.2 제어시스템

속도조절 및 조향기의 조작에 필요한 내부 및 외부 파라미터들에 대하여 분석하고, 속도의 증감 및 방향 전환을 정량화하였다. 또한 사용자가 로봇선을 원하는 지점으로 보낼 수 있도록 수동 및 자동화 알고리즘을 개발하였다. 물의 저항으로 인해 스크류 및 키의 회전이 제조사의 성능과 다르게 나타난다. 이를 해결하기 위하여 로봇선을 실제로 물에 띄운 후, 진행속도 및 회전반경을 정량화하였다. 수동 및 자동화 알고리즘은 분석된 내부 및 외부 파라미터들을 적용하여 CAD 기반에서 계획한 이동경로를 따라 이동할 수 있도록 속도조절 및 회전반경에 대한 데이터를 얻은 후 이를 기반으로 프로그램화하였다.

### 3.3 통신시스템

로봇선과 제어국간의 통신시스템은 이동통신 서비스를 이용한 무선인터넷과 RF(Radio Frequency, 라디오 주파수) 모듈을 이용한 2채널 보완시스템으로 구성하였다. 기본적인 통신 수단으로는 CDMA(Code Division Multiple Access, 코드 분할 다중 접속) 모듈을 이용한 무선인터넷 통신을 이용하고 RF 모듈을 이용한 통신은 보조적인 수단으로 이용하였다. 연구에 사용된 CDMA 무선모듈은 국내 Growell 사의 EK-001B 모델이며, RF 모듈은 미국 Free Wave Technologies 사의 Spread Spectra Wireless Data Transceiver 모델이다.

## 4. 로봇시스템을 이용한 원격수심측정

원격측정 로봇선의 정확도를 분석한 후 실제 저수지의 수심데이터를 획득하였으며, 인천광역시 강화군 길상면에 위치한 길정저수지를 대상지역으로 하였다. 대상지역은 종방향 약 1.6km, 횡방향 약 0.16km로서 남북 방향으

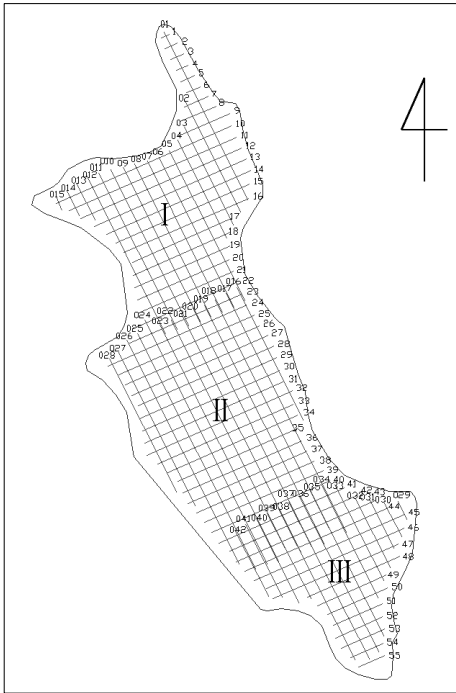


그림 4. 로봇선의 항적도

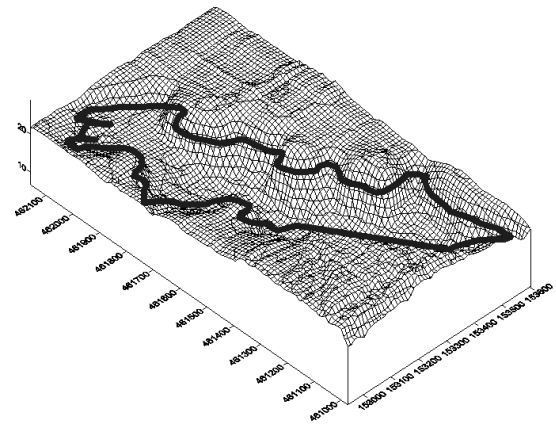


그림 6. 획득된 데이터를 이용하여 작성한 저수지의 3차원 하상지형도

로 긴 형태이다. 대상지역의 특성상 종방향 측량계획선을 규칙적으로 배열하기 어려웠기 때문에, 종방향을 3등분하여 분할측정하고 분할된 지역이 중첩되도록 하였다. 원격측정 로봇선의 자동제어 프로그램을 이용하여 자동운항하도록 하였으며, 데이터의 측정 간격은 초당 1회로, 측정 간격은 10m로 하였다. 그림 4는 로봇선의 항적도이고, 그림 5와 그림 6은 획득한 데이터를 이용하여 작성한 등심도 및 3차원 하상지형도이다.

3차원 하상지형도를 이용하여 수심에 따른 저수량을 비교하였다. 비교대상 데이터는 2003년에 한국농어촌공사에서 수행한 저수지 내용적 측량 사업 데이터를 이용하였다. 2003년 데이터가 정확하다고 가정하였을 때, 수심에 따른 담수량의 평균오차는 6.8%인 것을 알 수 있었다. 전체적으로는 본 연구에서 획득한 데이터를 이용하여 계산한 담수량이 적은 것으로 나타났는데, 이는 2003년 이후에 저수지 바닥에 퇴적물이 쌓였기 때문인 것으로 판단된다. 구체적인 내용은 표 3과 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동운항이 가능한 소형의 무인 로봇선을 이용하여 저수지의 수심 정보를 획득하고, 이를 이용하여 저수지의 담수량을 산정하였다.

로봇선을 이용하여 획득한 데이터와 기존의 유인 예코사운더를 이용하여 획득한 데이터를 비교 분석한 결과, 담수량의 평균 오차는 약 6.8%인 것을 알 수 있었으며, 이는 각각의 데이터 획득시점 차이에 의한 퇴적물 때문인 것으로 판단된다.

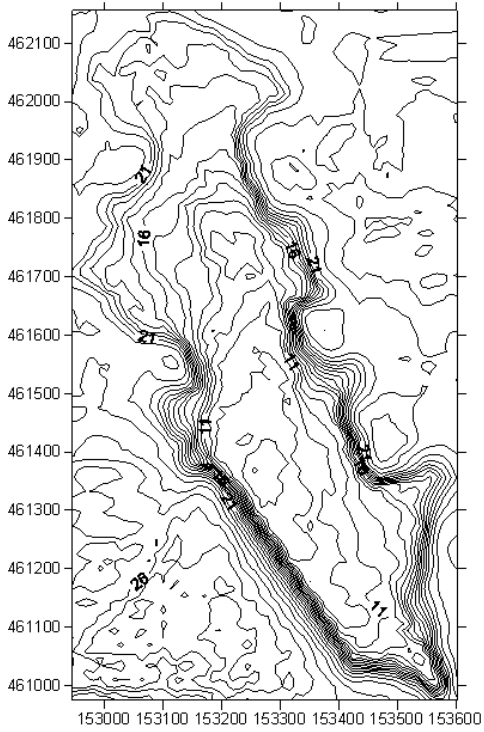


그림 5. 획득된 데이터를 이용하여 작성한 등심선도

표 3. 기존데이터와 로봇선데이터를 이용한 담수량의 비교

수심(m)	저수량(m <sup>3</sup> )		담수량차(%)
	기존데이터	로봇선 데이터	
28.5	4,406,800.00	4,074,104.27	7.550
28.0	3,730,743.57	3,435,574.56	7.912
27.5	3,664,303.54	3,431,017.44	6.366
27.0	3,597,863.52	3,381,315.60	6.019
26.5	3,501,506.05	3,225,651.87	7.878
26.0	3,405,148.58	3,233,498.85	5.041
25.5	3,278,485.13	3,041,263.96	7.236
25.0	3,151,821.69	2,875,255.30	8.775
24.5	3,010,005.25	2,788,014.30	7.375
24.0	2,868,188.82	2,674,934.54	6.738
23.5	2,708,499.63	2,501,348.32	7.648
23.0	2,548,810.44	2,419,324.80	5.080
22.5	2,427,586.53	2,252,824.11	7.199
22.0	2,306,362.62	2,135,751.10	7.397
21.5	2,208,839.53	2,070,398.58	6.268
21.0	2,111,316.45	1,965,901.62	6.887
20.5	2,019,621.44	1,866,693.71	7.572
20.0	1,927,926.43	1,826,046.36	5.284
19.5	1,837,785.58	1,729,086.11	5.915
19.0	1,747,644.72	1,633,267.44	6.545
18.5	1,648,956.02	1,561,616.40	5.297
18.0	1,550,267.32	1,435,328.55	7.414
17.5	1,465,177.46	1,371,118.61	6.420
17.0	1,380,087.60	1,268,239.80	8.104
16.5	1,274,016.68	1,195,384.17	6.172
16.0	1,167,945.76	1,088,461.17	6.806
15.5	1,020,689.79	962,186.08	5.732
15.0	873,433.82	824,358.59	5.619
14.5	716,075.86	656,000.50	8.390

참고문헌

1. 김정하, 박일경, 이운성, 1997, "병렬구조형 1/2 Size 차량 운전 모사장치의 설계 및 특성연구", *제어계측·자동화·로보틱스연구회 합동학술발표회*, pp. 49-43.
2. 박운용, 김천영, 김용보, 2003, "하구하상 측량 정밀도 향상에 관한 연구", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 21권 제 2호, pp. 137-145.
3. 서용운, 최윤수, 2000, "실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 18권 제 4호, pp. 343-350.
4. 이석우, 김근식, 1996, *해양측량학*, 집문당.
5. 정영동, 강상구, 2002, "음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심측량", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 20권 제 4호, pp. 375-381.
6. 조흥연, 2003, "연안해역의 정밀 수심측량기법", *한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)*, 한국수자원학회, pp. 513-516.
7. 차득기, 2000, *실시간 DGPS에 의한 원격측위 및 자동화유도에 관한 연구*, 박사학위논문, 경기대학교 대학원, pp. 35-78.
8. Comfile Technology, 2001, *Manual of Servo Motor Controller*, pp. 1-4.
9. Comfile Technology, 2000, *PICBASIC 2000 Data Book*, pp. 78-79.
10. Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., 1997, *Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition*, Springer Wein NewYork.
11. Kammerer, E. L. L., 2000, *A New Method for the Removal of Refraction Artifacts in Multibeam Echosounder Systems*, Ph.D. Dissertation, The University of New Brunswick, September.
12. Lee, Y. C., 2000, "Application of WADGPS method for Navigation and Acquisition of the Geo-Spatial Information", *Proceedings of Korean Society of Civil Engineer*, Vol. IV, pp. 569-572.
13. O'connor, M. L., 1998, *Carrier-Phase Differential GPS for Automatic Control of Land Vehicles*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, December.
14. Sohn, H. G., 2000, "A Study on the Improvement of GPS Position Accuracy for Car Navigation System", *Proceeding of Korean Society of Civil Engineer*, Vol. IV, pp. 565-568.
15. Stephens, R., 1999, *Visual Basic Graphic Programming*, Wiley.

감사의 글

본 연구는 2004년도 인천대학교 자체연구비 지원과제(에코사운딩에 의한 저수지 담수용량 산정에 관한 연구)의 성과 일부로서 연구를 지원해주신 인천대학교에 감사드립니다.