

## 로봇선을 이용한 저수량 산정에 관한 연구 Calculating Water Volume of Reservoir using Robot-ship

최병길<sup>1)</sup>, 이병걸<sup>2)</sup>, 강문선<sup>3)</sup>, 덜거르잡<sup>4)</sup>

Choi, Byoung Gil · Lee Byung Gul · Cho, Kang, Moon Sun · Dolgorjav

<sup>1)</sup> 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

<sup>2)</sup> 제주대학교 해양과학대학 해양토목공학과 교수(E-mail: leebgprof@empal.com)

<sup>3)</sup> 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정(E-mail: kms5303@yahoo.co.kr)

<sup>4)</sup> 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정(E-mail: doko84b@yahoo.com)

### 요지(Abtract)

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.

### 1. 서론.

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 음향측심기를 이용한 하구하상 측량의 정밀도를 향상시킬 수 있는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 자동으로 운항하면서 수심정보를 획득할 수 있는 소형의 로봇선을 이용하여 저수지의 수심정보를 획득하고 저수량을 산정하며, 이를 기존의 유인측량선에 의하여 획득한 저수량 정보와 비교하여 로봇선을 이용한 저수량 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, 실시

간 동적측위)기법을 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 로봡선에 전송하면, 로봡선에서는 보정정보를 이용하여 정확한 위치정보를 획득하게 된다. DGPS 기법에 의해 획득한 로봡선의 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 직선유도법, 3점 양각법, 전자위치측정법, DGPS 방법 등이 있다. 최근 DGPS 장비의 정확성이 향상되면서 DGPS 방법이 활발하게 사용되고 있다(조흥연 2003). 수심측정은 대상지역에 따라 수심측정방법이 달라진다. 일반적으로 수심이 얇은 곳에서는 측심봉과 측심추를 이용하고, 수심이 깊은 곳에서는 음향측심기가 이용된다(박운용 외 2003). 송신음파와 수신음파의 도달시간차  $T$ 를 정확히 측정하고, 수중 음속  $V$ 를 알면 수심  $Z$ 를 구할 수 있다.

$$Z = \frac{1}{2} VT \quad (1)$$

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 흘수 및 선박의 운동, 자료 획득시각 동기화 등에 의한 오차요인에 대하여 보정해주어야 한다. 정밀수심측량을 수행하는 선박의 음향측심기는 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. 로봡시스템의 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 로봡선의 중심지점에 설치하여 오차를 최소화하였다.

## 3. 원격수심측정시스템

### 3.1 개별모듈

#### 3.1.1 GPS 및 음향측심기 정보 변환모듈

본 연구에서는 로봡선의 GPS 정보와 음향측심기 정보를 동시에 변환할 수 있는 GPS 및 음향측심기 정보변환모듈을 이용하였다. 연구에 사용된 GPS는 일본 TOPCON 사의 Legacy-H 모델이고, 음향측심기는 호주 BRUTTOUR 사의 CEESTAR 모델이다.

#### 3.1.2 중앙제어보드 및 제어시스템

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.

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 제조시의 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 서비스망을 이용한 무선인터넷과 RF(Radio Frequency, 라디오 주파수) 모뎀을 이용한 2채널 보완시스템으로 구성하였다. 기본적인 통신 수단으로는 CDMA(Code Division Multiple Access, 코드 분할 다중 접속) 모뎀을 이용한 무선인터넷 통신을 이용하고 RF 모뎀을 이용한 통신은 보조적인 수단으로 이용하였다. 연구에 사용된 CDMA 무선모뎀은 국내 Growell 사의 EK-001B 모델이며, RF 모뎀은 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 방향으로 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.

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. 결론

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

로봇선을 이용하여 획득한 데이터와 기존의 유인 예코사운딩을 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.

위치정보데이터 처리시스템은 로봇선의 상태확인 및 처리모듈, 이동계획경로 설정 모듈, 도형편집 모듈로 구성하였다. 로봇선의 상태확인 및 처리모듈은 로봇선이 전송하는 위치 및 수심좌표, GPS의 위성 정보 등의 데이터를 시각화하여 사용자가 로봇선의 위치와 상태를 한눈에 알아볼 수 있도록 개발하였다. 또한 로봇선의 이동경로를 계획하여 로봇선에 송신함으로써 자동으로 위치정보 및 수심정보를 획득할 수 있도록 개발하였고, 로봇선의 상태확인, 처리 및 이동경로의 계획은 CAD를 기반으로 시각화할 수 있도록 개발하였다.

표 1. 기존데이터와 로봇선데이터를 이용한 담수량의 비교

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

### 참고문헌

- 김정하, 박일경, 이운성 (1997), “병렬구조형 1/2 Size 차량 운전 모사장치의 설계 및 특성연구”, *제어계측·자동화·로보틱스연구회 합동학술발표회*, pp. 49-43.
- 박운용, 김천영, 김용보 (2003), “하구하상 측량 정밀도 향상에 관한 연구”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 21권 제 2호, pp.137~145.
- 서용운, 최윤수 (2000), “실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 18권 제 4호, pp.343~350.
- 이석우, 김근식 (1996), *해양측량학*, 집문당.
- 정영동, 강상구 (2002), “음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심측량”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 20권 제 4호, pp.375~381.
- 조홍연 (2003), “연안해역의 정밀 수심측량기법”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)*, 한국수자원학회, pp.513~516.
- 차득기 (2000), 실시간 DGPS에 의한 원격측위 및 자동화유도에 관한 연구, 박사학위논문, 경기대학교 대학원, pp. 35-78.
- Comfile Technology (2001), *Manual of Servo Motor Controller*, pp. 1-4.
- Comfile Technology (2000), *PICBASIC 2000 Data Book*, pp. 78-79.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1997), *Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition*, Springer Wein NewYork.
- 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.
- 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.
- O'connor, M. L. (1998), *Carrier-Phase Differential GPS for Automatic Control of Land Vehicles*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, December.
- 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.
- Stephens, R. (1999), *Visual Basic Graphic Programming*, Wiley.