

## GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 저수용량 산정

### Calculation of Reservoir Capacity by Combination of GPS and Echo Sounder

이종출\* · 김희규\*\* · 서정훈\*\*\* · 장호식\*\*\*\*

Lee, Jong Chool · Kim, Hee Gyoo · Seo, Jeong Hoon · Jang, Ho Sik

#### 1. 서론

댐에 의해 형성된 저수지는 수자원이 시간적, 공간적으로 편중되는 문제를 극복하기 위해 이용되는 대표적인 수단으로 특히, 용수공급이라는 역할에서 매우 중요하다. 앞으로 수자원이용 수준이 더욱 고도화 될 것으로 볼 때 이러한 댐의 용수공급에 대한 역할은 더욱 증가할 것으로 보인다. 따라서 수자원의 확보를 위한 새로운 댐의 건설이나 기존댐의 효율적 운영방안에 대한 연구는 지속적으로 이루어져야 하며, 저수지는 그 예비 설계단계에서 공급가능한 수량을 평가하고 필요한 저수지의 규모를 결정할 필요가 있다. 여기서는 이러한 목적으로 신규 댐 건설 또는 기존댐의 용량증대를 위한 설계에서 이용될 수 있는 저수지용량 결정을 위한 내용적 측정량의 기법을 기존의 측량기법에서 탈피하여 GPS와 Echo Sounder의 조합에 의해 적용함으로써 기존측량과 비교검토하여 단시간에 측량자료를 취득할 수 있고, 정확도향상에 기여할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

#### 2. GPS 및 음향측심기의 원리

##### 2.1 GPS의 원리

GPS에 의한 관측법은 단독측위법과 상대측위법으로 구분할 수 있으며, 단독측위법은 위성으로부터 수신기까지의 거리를 결정하는 방법에 따라 의사거리관측법(Pseudo-range positioning), 위상관측법(Phase-range positioning), 도플러관측법(Dopler positioning)등으로 구분하며 주로 실시간 관측에서 사용된다. 그리고 상대측위법은 크게 정적관측방법 및 동적관측방법으로 나누어지고, 정적관측방법에는 정적관측법(Static) 및 급속정적관측법(Rapid static)으로 되어있다. 또, 동적관측방법에는 의사동적관측법(Pseudo kinematic)과 실시간동적관측법(Realtime kinematic)으로 되어 있다. 이들 관측방법은 반송파의 위상차 측정과 상대측위방법에 근거한 것이다. 이때, 수신기 사이의 거리는 기선이 되며 관측한 결과로는 3차원 직각 좌표의 좌표차인  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ 가 계산된다. 본 연구에서는 댐체상부에 기지국을 설치하고 실시간 측량방법인 RTK GPS 측량에 의해 수행되었다.

##### 2.2 음향측심기의 원리

해면으로부터 해저까지의 연직성에 따라 측정된 거리, 즉 수심을 측정하는 작업을 측심(sounding)이라 한다. 측심의 방법에는 색측심법, 음향측심법 및 수압측심법 등이 있으며, 연속된 초음파를 수면아래로 발사하면 해저에서 반사된 초음파는 다시 같은 경로를 통하여 발사점에 되돌아 온다. 즉,  $D=1/2tV$  일반적으로 음향측심기는 가정 음속  $V=1500m/sec$ 를 기준으로 하여 설계되며 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 변하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측당시의 실제 음속을 구하여 음속 보정을 해주어야 한다. 이 밖에도 수심의 기준면과 관측시 수위 차이를 고려하는 조석보정, 관측시 수위 차이를 고려하는 홀수 보정 등이 필요하다.

---

\*정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수 · 공학박사 · 051-620-1449(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)  
 \*\*정회원 · 경남정보대학 조형건설학부 토목과 교수 · 공학박사 · 051-320-1305(E-mail:kimhg@kit.ac.kr)  
 \*\*\*정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · 051-622-1662(E-mail:jhseo@mail1.pknu.ac.kr)  
 \*\*\*\*정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · 051-622-1662(E-mail:gpsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

2.2.1 음속보정

음속도와 염분, 온도 및 수압의 관계를 실험적으로 관측하여 구한 실험식에는 Willson의 실험식과 Matthews, 또는 상원(桑原)의 식, 우리나라 해양연구소 KORDI식이 있다.

$$V = 1449.14 + V_p + V_s + V_t + V_{stp} \text{ (m/sec)} \dots \dots \dots \text{Willson식(1)}$$

여기서,  $V_p, V_s, V_t, V_{stp}$  는 각각 압력, 염분, 온도를 고려 할때의 해수 음속을 말한다.

$$V = V_{35.0,p} + C_s + C_t + C_{stp} + C_G \text{ (m/sec)} \dots \dots \dots \text{Matthews와 상원(桑原)의 식(2)}$$

여기서,  $V_{35.0,p}$ 는 염분 35‰, 0° c, 수압P인 때 기본 음속표에서  $V_{35.0,p}$ 와  $C_s, C_t, C_{stp}$ 는 각각 구할 수 있다.

$$V = 1410 + 4.21\theta - 0.037 \theta^2 + 1.14S + 0.0168h \text{ (m/sec)} \dots \dots \dots \text{KORDI식(3)}$$

여기서  $V$ 는 수중 전파속도(m/sec),  $\theta$ 는 해수온도(° C),  $S$ 는 해수의 염분도(‰),  $h$ 는 수심이다.

2.2.2 음속보정과 실제수심

식 (1), (2), (3)에서 평균음속도를  $V_m$  이라 하고 실제수심을  $D$ 라 하면,

$$D = \frac{1}{2} V_m T \dots \dots \dots (4)$$

수심 개정치를 구한다.

$$D_0 = \frac{1}{2} V_a T, \quad D = \frac{1}{2} V_m T, \quad V_e = \frac{D}{\sum \frac{dD}{V_e}}$$

$$\text{이므로, } Corr_0 = D - D_0 = \frac{1}{2} (V_m - V_a) T$$

$$= D \left( 1 - \frac{V_a}{V_e} \right) = D - V_a \sum \frac{dD}{V_e} \quad (\because D = \sum dD \text{이므로})$$

$$= \sum \left\{ dD \left( \frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\}$$

$$\therefore Corr_0 = \sum \left\{ dD \left( \frac{V_e - V_a}{V_e} \right) \right\} \dots \dots \dots (5)$$

그리고 연안 측심의 경우에는 음향 측심에서 얻어진 수심치에서 그 측심시의 조고(검조기의 조고-기본수준면의 높이)를 감하여 기본수준면하의 수심치로 통일하는 조석보정과, 송수파기의 수면으로부터 일정한 깊이(吃水 Draft)에 잠겨 있으므로 음향 측심기록에 흘수량(吃水量)을 더해 주는 흘수보정이 있다.

3. 현장관측 및 결과분석

3.1 현장관측

본 연구를 위한 현장관측은 2001.6.17~2001.7.3 사이에 경남 김해시 대동면 예안리의 대동저수지를 선정하여 댐의 수심이 사수위에 가까운 수위를 유지하고 있을 때 토탈스테이션에 의한 지형측량을 선행하여 시행하고, 댐의 수위가 만수위일때 GPS 측량방법 중 RTK GPS 측량방법을 이용하여 Echo sounder 조합에 의해 수심측량을 실시하였으며, 관측된 자료로부터 GPS 취득자료와 Echo sounder의 자료를 서로 합성하여 자료를 추출하고 내용적을 산출하여 광파기에 의한 내용적측량 결과와 비교분석하여 정확도를 산출 하였다.

관측장비는 토탈스테이션, GPS, Echo sounder를 사용하였으며, 관측장비 제원은 표1과 같고, 관측시스템은 그림1과 같이 댐의 상단부에 기지국을 설치하고, 이동국은 보트에 탑재하여 이동하면서 각 측정에서의 10초마다 3차원 좌표를 취득하였고, 보트에 탑재된 Echo sounder와 노트북을 연결시켜 일정한 간격으로 상하 좌우로 2초 마다 수심자료를 취득하였다.

표 1. 관측장비제원

구 분	토탈 스테이션	GPS	Echo sounder
제품명	TOPCON	TRIMBLE	LOWRANCE
모델명	GTS-701	4600LS	LMS-350A
정확도	2mm±2ppm	수평 1cm±1ppm 수직 2cm±1ppm	2주파수 50/192 kHz

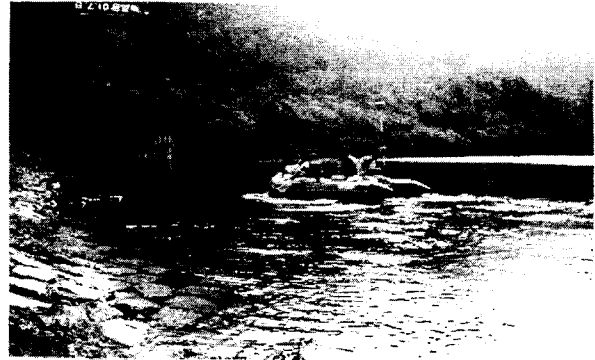


그림 1. GPS 와 Echo sounder의 조합에 의한 관측모습

### 3.2 결과분석

관측대상지역인 경상남도 김해시 대동면 예안리 대동저수지의 GPS에 의한 좌표값의 산출결과와 Echo sounder에 의한 수심측량결과를 서로 조합하여 3차원 좌표값을 추출하였다. 기존방식에 의한 댐의 내용적 측량과 본 연구의 방식에 의한 정확도를 분석하기 위하여 토탈스테이션에 의한 지형측량 결과자료 287개를 이용하여 내용적을 산출하고, GPS 404개 자료와 Echo sounder의 1968개의 자료를 측정시간대에 의해 GPS의 404개 자료로 조합하였으며, 부적절한 자료를 삭제하고 398개의 자료를 이용하여 내용적을 산출하여 분석 하였으며, 분석방법은 MOSS 시스템이 지원되는 프로그램을 이용하여 토탈스테이션에 의한 내용적과 GPS와 Echo sounder의 조합에 의한 내용적의 비교를 통하여 분석하였다. 내용적 산출결과는 표2 와 표3에 나타내었다.

표2. 토탈스테이션에 의한 내용적표

표고 (E.L.m)	고차 (m)	면 적 (m <sup>2</sup> )	평균면적 (m <sup>2</sup> )	내용적 (m <sup>3</sup> )	누가내용적 (m <sup>3</sup> )
55.0	0.0	-	-	-	-
56.0	1.0	-	-	-	-
57.0	1.0	1,457.13	728.57	728.57	728.57
58.0	1.0	7,543.29	5,228.78	5,228.78	5,957.35
59.0	1.0	13,103.52	14,095.05	14,095.05	20,052.40
60.0	1.0	16,584.33	21,395.69	21,395.69	41,448.09
61.0	1.0	20,358.11	26,763.39	26,763.39	68,211.48
62.0	1.0	24,086.47	32,401.35	32,401.35	100,612.83
63.0	1.0	27,147.11	37,660.03	37,660.03	138,272.86
64.0	1.0	29,836.00	42,065.11	42,065.11	180,337.97
65.0	1.0	32,689.70	46,180.85	46,180.85	226,518.82
66.0	1.0	35,302.99	50,341.20	50,341.20	276,860.02
67.0	1.0	39,442.30	55,024.14	55,024.14	331,884.16

표3. GPS 와 Echo Sounder 조합에 의한 내용적표

표고 (E.L.m)	고차 (m)	면 적 (m <sup>2</sup> )	평균면적 (m <sup>2</sup> )	내용적 (m <sup>3</sup> )	누가내용적 (m <sup>3</sup> )
55.0	0.0	-	-	-	-
56.0	1.0	13	7	7	7
57.0	1.0	2,038.24	1,032.20	1,032.20	1,038.74
58.0	1.0	5,459.79	4,768.14	4,768.14	5,806.88
59.0	1.0	9,944.46	10,432.02	10,432.02	16,238.90
60.0	1.0	13,148.19	16,518.56	16,518.56	32,757.46
61.0	1.0	17,970.29	22,133.34	22,133.34	54,890.80
62.0	1.0	26,390.25	31,165.42	31,165.42	86,056.32
63.0	1.0	25,532.19	39,156.35	39,156.35	125,212.57
64.0	1.0	28,516.67	39,790.53	39,790.53	165,003.10
65.0	1.0	37,357.02	47,195.18	47,195.18	212,198.28
66.0	1.0	35,024.74	54,869.39	54,869.39	267,067.67
67.0	1.0	39,308.77	54,544.13	54,544.13	321,611.80

### 4. 저수지의 내용적 산출

댐의 내용적 산출은 관개용 댐에 있어서는 댐의 규모와 직접적인 연관이 있기 때문에 대단히 중요한 설계과정의 하나이다. 토탈스테이션에 의한 표고별 내용적 산출결과는 그림 2에 나타내었고, GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 표고별 내용적 산출결과는 그림 3에 나타내었다. 그림2와 그림3의 결과를 보면 내용적 차이는 10,272.36 m<sup>3</sup>로 약 3.10%의 오차가 있는 것으로 분석 되었다.

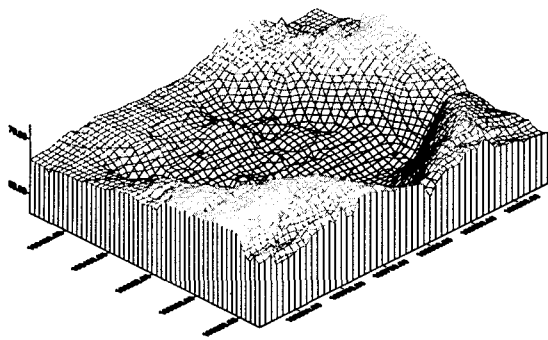


그림 2. 토달스테이션에 의한 내용적 산출

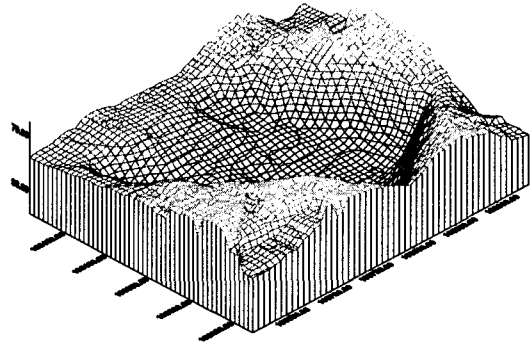


그림 3. GPS 와 Echo sounder의 조합 내용적 산출

즉, 토달스테이션에 의한 자료보다 자료수가 많은 GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용한 내용적이 정확도 면에서 훨씬 뛰어나며, 내용적 추출에 있어 보간 방법이 가미되어 진다면 좀더 정확한 지형자료를 추출 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

토달스테이션에 의한 지형측량 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과와 GPS 측량방법중 RTK GPS측량 방법과 Echo sounder의 조합에 의한 수심측량을 실시하여 댐의 내용적을 산출하여 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토달스테이션에 의한 측량 자료로 내용적을 산출한 결과 331,884.16 m<sup>3</sup>이고, GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과 321,611.80 m<sup>3</sup>로 10,272.36 m<sup>3</sup> 3.10%의 내용적 차이를 보이고 있으며, 실시간으로 내용적 산출이 가능하므로 유지 관리 측면에서 이 방법의 효율성이 아주 좋다고 판단된다.
- 2) GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료를 이용하여 내용적을 산출한 결과 정확도 향상과 측량 시간의 단축, 설계시 적정한 댐규모 결정에 있어 정확한 지형자료 취득이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) GPS와 Echo sounder의 조합에 의해 취득된 자료는 댐의 준공후 관개용수량 및 수위자료, 용량증대를 위 GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 저수용량 산정한 개보수 등의 수자원의 관리에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Asada. A, Ueki. T(1998), "Synthetic aperture analysis using a multibeam echo sounder", The Journal of the Acoustical Society of Japan(E) Vol.19, No.4
2. Meredith.M.P(1997), "The processing and Application of inverted Echo Sounder Data from Drake Passage", Journal of atmospheric and oceanic technology Vol.14 No.4
3. Solar, M.R. Hinojosa(1996), "Atmospheric Thermic Structures Studied by Acoustic Echo Sounder, Boundary-Layer Model, and Direct Measurements", Boundary-Layer, meteorology, Vol.81 No.1, pp35~47
4. 고영호(1993), 음향측심기에 의한 수심측량 연구, 경남대 공업기술연구소 연구논문집 제 11집, pp 227~234
5. 서상일(1997), "수심을 고려한 사이드 스캔 소나 자료의 보정 및 분할", 인하대학교 대학원 석사학위논문
6. 박요섭(1996), "다중빔 음향측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발", 인하대학교 대학원 석사학위논문
7. 노대훈(2000), "멀티빔 자료를 이용한 웹기반의 3차원 해저 지형 가시화", 인하대학교 대학원 석사학위논문