

연구논문

RTK-GPS와 E/S를 이용한 저수지의 3D 모델링 형상 구현과 효율성 분석

3D Modelling Shape Embodiment and Efficiency Analysis of Reservoir that using RTK-GPS and E/S

이재원* · 박운용** · 양영보*** · 김용석****

Lee, Jae One · Park, Un Yong · Yang Young Bo · Kim, Yong Suk

要 旨

현재 전국에 산재해 있는 많은 소규모의 저수지들은 관리 상태나 실지 내용적에 대한 정확한 자료가 모두 구비되어 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 행정구역상 저수지가 많이 분포되어있는 영남권의 경주시 73개 소규모 저수지 가운데 23개소를 선정하여 실험을 하였다. RTK-GPS를 이용하여 5초마다 데이터를 취득하였고, E/S를 이용하여 1초 간격으로 수심에 대한 값과 TS를 이용하여 현황 측량을 실시하였다. 이렇게 취득된 자료를 가지고 3D 모델링을 하여본 결과 15개소(약 65%)의 저수지가 양호한 상태였음을 알 수 있었고, 과거자료와의 비교·분석을 통하여 현재 저수지 상태에 대한 정확한 내용적을 알 수 있었다. 또한 23개소 저수지의 만수면적과 유효저수량을 분석한 결과 만수면적은 20.63%, 유효저수량은 3.34%만큼 줄어들었음을 알 수 있었다. 이를 통하여 현재 저수지 상태에 대한 분석과 관리 방향에 대한 방법에 대하여 기여하고자 한다.

핵심용어 : E/S, TS, RTK-GPS, 저수지

Abstract

A lot of small-scale reservoirs that is extravagant in whole country are controlled state or real condition that correct data about the practice contents is not equipped all up to now. In this study, YungNam districts that region Gyeong-Ju city reservoir is distributed much of when flow speedily choose 23 peace among 73 small scale reservoir and experimented. Acquired data every 5 seconds, and user E/S and user value TS for orthocenter to 1 second interval and executes present condition measurement using RTK-GPS. Could was wave and state that reservoir of 15 places (about 65%) gives protective care that do 3D modelling with acquired data, and now correct contents about reservoir state past through comparative analysis with data. Also, area of full water and wave that analyze effective storage and area of full water of 23 places reservoir could know that 20.63%, effective storage decreased as 3.34%. I wish to contribute about analysis about present reservoir state through this and method the administration direction

Keywords : E/S, TS, RTK-GPS, Reservoir

1. 서 론

우리나라는 연간 총 강수량의 70%가 여름철에 집중되어 수자원의 양적 확보뿐만 아니라 국민 복지와 경제 발전을 위해 댐, 저수지 건설은 필수조건의 시설이다. 한국수자원공사의 조사결과에 의하면 최근 국내의 댐과 저수지의 총수는 약 18,000개소이며, 그 중 대댐 기준에

2,000m 이상과 저수용량이 300만³m 이상)이 1,214개소로 나타났다. 행정구역상 경상북도가 가장 많은 댐과 저수지를 보유하고 있으며, 이용목적은 주로 용수공급, 홍수조절, 수력발전 등이다(한국수자원공사, 2002).

현재 전국에 산재해 있는 오래된 소규모 저수지들은 정확한 용적과 저수량 등을 파악하고 있지 못한 실정이 속하는 댐(높이 15.0m 이상, 높이 10~15m로서 길이가

2005년 3월 2일 접수, 2005년 3월 23일 채택

* 주저자, 대한측량협회 연구부장 (jolee@kasm.or.kr)
** 동아대학교 토목해양공학부 교수 (uypark@daunet.daonga.ac.kr)
*** 조선대학교 대학원 토목공학과 박사수료 (sh21c@chol.com)
**** 동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (rosekys@smail.daonga.ac.kr)

다. 또한 저수지의 유효저수량은 농업 생산성에 있어 중요한 부분을 차지하고 있으며, 이를 잘 파악하고 체계적으로 관리 할 수 있는 시스템을 구비하여 효율성을 극대화 할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요한 과제이다. 그리고 각 지방자치단체별로 저수지 내용적 측량 사업을 단계적으로 추진하고 있으며, 과거의 불확실한 자료를 새로이 수정·보완시키고 있다.

따라서 본 연구에서는 RTK-GPS와 E/S(Echo Sounder)를 이용하여 경주지역에 산재해 있는 많은 저수지 중에서 23개소 저수지를 선정하여 측량을 실시하였다. 또한, 이들 자료들을 이용해 저수지의 내용적과 3D 모델링으로 시각화하였으며, 과거자료와 현재 측량한 실험 자료를 비교하여 효율성을 분석하여 보았다.

2. 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)

일반적으로 공간상에 나타난 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 방법을 DEM이라 한다. DEM은 1950년대 이래로 지구과학의 응용분야에서 사용되어 왔으며, 지형 정보의 처리에 있어서 가장 중요한 요소가 되어왔다. 이것은 지구와 공학 분야의 수많은 응용분야에 있어서 기초가 되었으며, 또한 지형공간정보체계에 있어서도 지형이나 또는 다른 표면들과 관련된 현상을 보여 줄 수 있도록 모형화시켜 준다. DEM은 지표면에 일정 간격으로 분포된 지점의 표고값을 수치로 기록한 것으로 지형공간정보체계에서 지형분석이나 각종 모델링의 중요한 기초 자료로 활용되고 있다.

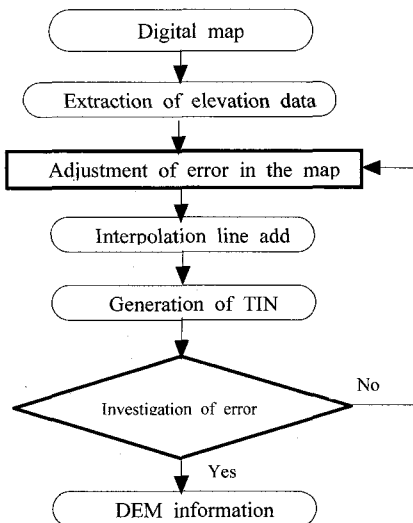


그림 1. 수치지도를 이용한 DEM의 생성과정

수치지도를 이용하는 방법은 수치지도에 포함되어 있는 등고선 등의 표고 자료를 이용하여 DEM을 형성하는 방법으로 지금까지 가장 일반적으로 행해지고 있는 방법이다. 그림 1은 수치지도를 이용한 DEM의 생성 과정을 나타낸 것이다.

DEM 생성과정에서 필요한 모든 지점의 표고값을 원 자료부터 모두 측정할 경우 시간 및 경비 면에서 바람직하지 않기 때문에 표본점의 표고를 측정하고 그 외에 미지점에 대한 표고는 보간에 의해 추정하는 방법이 일반적으로 이용된다. 보간법으로 최근린(Nearest neighbor) 보간법, 역거리(Inverse distance) 보간법, 불규칙삼각망(Triangulation) 보간법, 크리징(Kriging) 보간법 등이 있다. 본 논문에서는 크리징(Kriging) 보간법을 사용하여 표현하였다.

3. 음향 측심(Echo Sounding)

하천, 호소, 해양 등의 수심을 측정하는 방법은 현재까지 수많은 방법이 개발되고 사용되어지고 있다. 재래식 연추(Lead) 줄자에서부터 위성에 의한 측심에 이르기까지 그 방법은 사용용도나 정밀도에 따라 매우 다양하다. 그러나 측량용 측심방법은 주로 음향측심기(Echo Sounder)를 이용하거나 다중빔음향측심기(Multibeam Echo Sounder)를 이용한다. 여기서 사용된 음향측심법은 연속된 초음파를 수면 아래로 발사하면 해저에서 반사된 초음파가 다시 같은 경로를 통하여 발사점에 되돌아오는 원리를 이용하며 측심선상의 수심을 기록함으로써 해저 지형을 파악하게 되며, 수평위치와 결합하면 등심선으로 표시할 수 있다(김천영, 2002).

3.1 음향측심의 원리

음향 측심은 측심봉(Transducer)의 송신음파와 수신음파의 시간의 간격을 측정하고, 음파 수면 중의 전파속도가 주어지게 되면 식 (1)에 의해 수심이 구해진다(Asada. A Ueki, 1998).

$$D = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V \tag{1}$$

여기서, D : 수심(meters)

t : 측정된 시간(sec)

V : 수면중 음파의 평균전파속도(m/sec)

음향측심기에 의한 수심의 측정정확도를 높이기 위해서는 위의 식에서 t 를 보다 정확히 측정하고, 측심시의 측정지점에서의 실제의 V 를 얻는 것이 필요하다. 일반적

인 음향측심기는 가정 음속 $V = 1500\text{m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며, 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 변하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측당시의 실제 음속을 구하여 음속보정을 해주어야 한다. 그리고 측심값을 평균수면의 값으로 환산하는 조석보정, 측심시 측심봉과 수면과의 차이를 고려하는 홀수 보정 등이 필요하다.

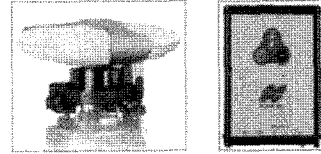


그림 3. GPS 장비

3.2 바-체크(Bar-Check)에 의한 보정

항만, 연안 및 저수지측량, 준설/매립 등 천해역에서의 측심에 있어 음속도 보정은 바-체크에 의한 방법이 가장 적당하다. 바-체크에 의한 방법은 그 사용기구가 매우 간단하고 작업도 매우 쉽다. 이 방법은 유속이 적고, 수심 30~50m미만의 측심시에 채용된다. 바-체크에 필요한 기구는 반사판과 그것을 매달아 내리는 와이어로 구성된다. 소형측량정에서 사용되는 반사기는 두께 0.5~1cm, 지름 50~70cm의 원형철판을 주로 사용한다. 이 원판에는 원판을 올리고 내릴때 물의 저항을 덜어주기 위해서 지름 약 2cm의 작은 구멍을 여러개 내는 것이 좋다. 반사판의 면적은 음향측심기가 사용하고 있는 초음파의 파장이 클수록 커진다. 그림 2는 바(Bar)판을 나타낸 것이다.

바-체크는 측심 당일의 작업개시전과 작업 완료시에 하는 것이 원칙이다. 작업 중에 측심기를 수리할 경우에는 다시 「바-체크」를 하지 않으면 안된다. 실시하는 장소는 유속이 적고, 해류나 조류가 강하지 않은 곳이 적합하며, 흐름이 강하면 측정이 불가능하고, 송수파기의 수직방향이 나오지 않기 때문에 측정 오차가 증대한다.

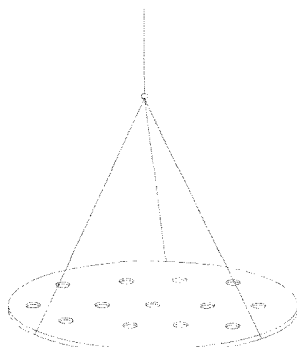


그림 2. Bar-Checker

4. 측량에 사용된 장비 및 제원

4.1 GPS 장비(기준점 및 수심현황 측량용)

표 1. GPS 장비의 제원

LEGACY-H GD		
추적 채널	40 L1 channels GPS 20 L1/L2 channels GPS	
신호 추적	L1/L2 C/A and P-code and Carrier Phase	
정확도	수 평	
	정지측량	3mm+1ppm(*D)
	신속 정지측량	3mm+1ppm(*D)
	실시간 이동측량	10mm+1.5ppm(*D)
정확도	수 직	
	정지측량	5mm+1.5ppm(*D)
	신속 정지측량	6mm+1.5ppm(*D)
	실시간 이동측량	20mm+1.5ppm(*D)

4.2 TS 장비(지형측량용)

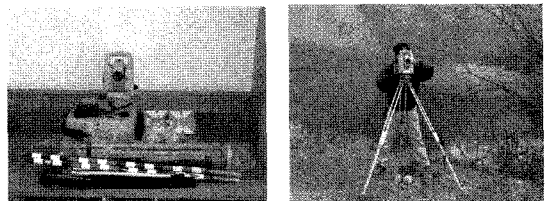


그림 4. Total Station 장비 및 측량

표 2. TS 장비의 제원

측 각 부		
최소표시	1"(0.2mgon/1mgon)	
각도단위	Degree/Gon	
정도	2"(0.6mgon)	
보정범위	±3"	
측각모드	수평각	좌회전/우회전/배각/고정
	고도각	천정0°/수평0°/수평0°±90°
측 거 부		
확측범위	약 20km	
최대표시	9999.999m	
거리단위	meter/feet(parameter)	
표준편차	정밀관측	3mm+2ppm · D
	간이관측	5mm+5ppm · D
최소표시	정밀관측	1mm
	간이관측	1mm
	트래킹관측	10mm

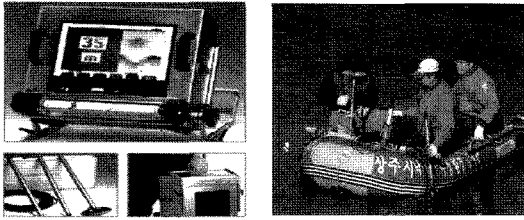


그림 5. Echo Sounding 장비 및 측량

표 3. Echo Sounding 장비의 제원

제조사	테마크, Marimatech 사
수심측정범위	0.5m ~ 1,600m
Transducer 채널선택	38khz, 50khz, 200khz
표시창	LCD화면(150×200mm)
기록지	감열식 기록지
수심기록 표시단위	1cm
정확도	1cm/수심치의 0.1%
크기	322×303×130mm

4.3 Echo Sounding 장비(수심측량용)

실험장비는 Topcon사의 GPS와 GPT-602C(Total Station), Marimatech사의 E/S 장비를 이용하였으며, GPS 데이터는 5초 간격으로 수신하였고, Echo Sounding은 1초 간격으로 데이터를 취득하였다.

5. 실험방법 및 분석

5.1 실험대상지 내용적 및 3D 형상 구현

그림 6은 경주시 전역에 분포되어 있는 총 73개소의 저수지 중에서 실험 대상지 23개소의 현황 평면도를 나타내었다. 이 중에서 입지조건과 저수량, 규모, 상태 등을 고려하여 그림 7의 박달 저수지를 선정하였다. 논문에서 사용한 프로그램은 Golden Software Surfer 8.0을 이용하여 3차원 모델링을 표현하였다. 그리고 그림 8은 박달 저수지의 등수심도를 표현하였다.

그림 9는 E/S와 GPS를 이용하여 저수지를 측정한 궤적상태이며, 그림 10 Surface, 그림 11은 Wireframe의 형태로 구현 하였다. 측정 포인트가 많고 궤적을 다양하게 찍을수록 하상의 형상이 비교적 양호하게 나타남을 알 수 있었다.

표 4는 물관리종합정보시스템에서 구축되어있는 자료를 활용한 것이다. 이 자료는 기존 자료를 활용한 것으로서 신뢰성이 비교적 적으며, 실제 실험한 자료와 검토해볼 필요성이 있다고 판단되었다(물관리종합정보시스템, <http://rwis.karico.co.kr>).

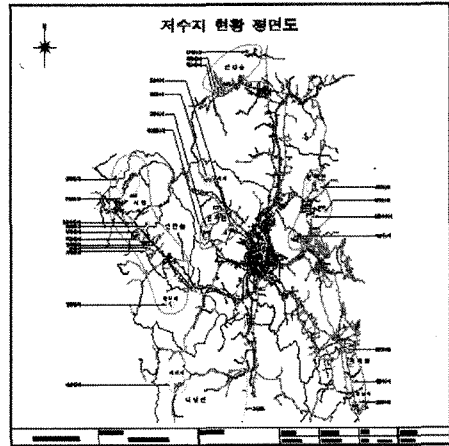


그림 6. 저수지 현황 평면도

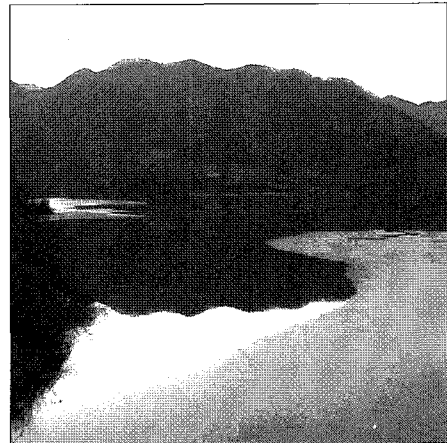


그림 7. 박달저수지 현황

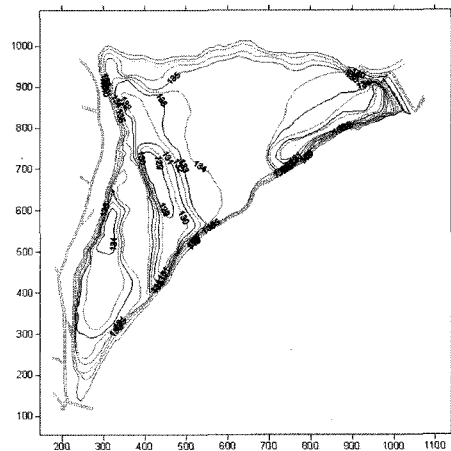


그림 8. Base map

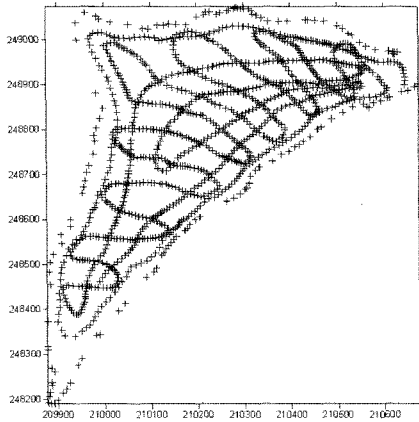


그림 9. Post map

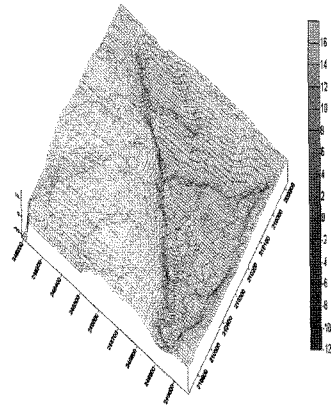


그림 11. Wireframe

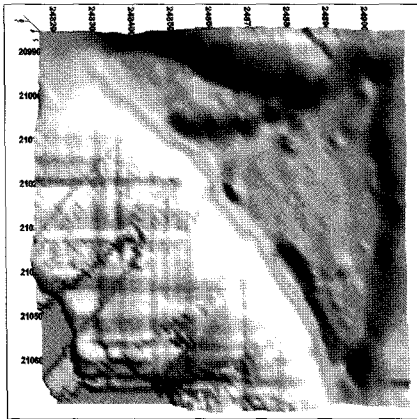


그림 10. Surface

표 5는 저수지 설계당시의 만수면적과 유효저수량을 가지고 2004년 1월에 측량을 실시하여 얻은 결과치와의 차이를 각각 비교하였다. 각 저수지에서 나타난 것을 파악해보면, 현재의 만수면적은 특별한 보강공사가 없는 한 처음 저수지 설계당시의 만수면적보다 적어야 하나 3개소에서 반대의 결과가 나타났으며, 유효저수량도 6개소에서 큰 차이를 보였다. 그리고 23개소 저수지를 년도 별로 보면 1945년도 이전 14개소, 1950년대 2개소, 1960년

대 4개소, 1970년대 이후 3개소로 파악되었다.

총 23개 저수지 내용적을 분석한 결과 실험한 전체 만수면적은 128ha이었으며, 과거자료의 전체 만수면적은 162ha 이었다. 또한, 실험한 전체 저수량은 6,906천톤이었고, 과거자료의 전체 저수량은 7,145천톤이었다. 따라서 만수면적은 20.63%, 유효저수량은 3.34%만큼 줄어들었음을 알 수 있었다. 다음은 저수지의 만수면적의 자료를 분석한 결과 과거자료가 모호한 경우와 양호한 경우를 4가지로 나누어서 분류하여 보았다.

※ 만수면적의 과거자료가 모호한 경우(8개소)

- 1 : 만수면적이 50% 이상 줄어든 저수지(NO. 1, 4, 5, 10, 12 : 5개소)
- 2 : 과거자료의 저수지가 실험한 저수지의 면적보다 오히려 크진 경우(NO. 7, 11, 21 : 3개소)

※ 만수면적이 양호한 저수지(15개소)

- 3 : 분석결과 양호한 저수지(NO. 2, 3, 6, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23 : 12개소)
- 4 : 양호하지도 모호하지도 않은 저수지(NO. 13, 14, 22 : 3개소)

표 4. 과거 자료의 박달 저수지의 시설현황

저수지명	위치	관계면적(km)	총저수량(천톤)	유효저수량(천톤)
박달	경북 경주시 내남면 박달리	151.3	1,820	1,820
제장(m)	제고(m)	준공년도	이용상태	한발빈도
113	23	1989	주수원공	10
제당구조	유역면적(ha)	만수면적(ha)	사수위(m)	관리기관
토언제중심점토형	1,450	32	—	공사

표 5. 23개소 저수지의 과거자료와 실험결과치의 분석(면적 : ha, 저수량 : 천톤)

NO	저수지명	위치			실험한 만수면적	과거자료의 만수면적	면적차이	실험한 유효저수량	과거자료의 유효저수량	저수량차이(%)	준공년도
		시군	읍면	리동							
1	가척	경주	건처	신평	0.642	2	-1.358(-67.9)	9.416	25	-15.584(-62.3)	1945
2	심곡	경주	서	심곡	51.138	55	-3.862(-7.02)	3,122.396	3,368	-245.604(-27.6)	1945
3	갈곡	경주	천북	갈곡	2.172	3	-0.828(-27.6)	93.406	129	-35.594(-27.6)	1945
4	고래	경주	외동	입실	0.519	5	-4.481(-89.6)	15.610	12	3.610(30.0)	1945
5	구평	경주		충효	0.229	6	-5.771(-96.2)	3.889	20	-15.911(-80.5)	1945
6	군곡	경주	서	운대	0.951	1	-0.049(-4.90)	15.413	15	0.413(2.7)	1945
7	금광	경주	현곡	금장	5.515	5	0.515(10.3)	186.906	248	-61.094(-24.6)	1963
8	내태	경주	현곡	내태	11.033	13	-1.967(-15.1)	783.755	858	-74.245(-8.6)	1970
9	대곡	경주	안간	육통	2.384	3	-0.616(-20.5)	116.524	11	105.524(959.3)	1965
10	대성	경주	외동	개곡	0.404	1	-0.596(-59.6)	3.394	15	-11.606(-77.3)	1945
11	분광지	경주	천북	갈곡	1.920	1	0.920(92.0)	32.046	20	12.046(60.2)	1966
12	독수곡	경주		충효	0.272	7	-6.728(-89.6)	1.729	21	-19.271(-91.7)	1945
13	돈	경주	건천	신평	1.840	3	-1.161(-38.7)	19.705	28	-8.295(-42.8)	1945
14	동산	경주	서	도개	2.005	3	-0.995(-33.2)	29.711	27	25.007(49.0)	1945
15	두달	경주	서	아화	1.592	2	-0.408(-20.4)	15.446	27	-2.607(-17.4)	1945
16	모길	경주	건천	신평	2.702	3	-0.298(-9.90)	76.007	51	-3.705(-16.8)	1945
17	목곡	경주	안강	옥산	0.844	1	-0.156(-15.6)	12.393	15	23.949(70.4)	1957
18	목수	경주	안강	옥산	0.935	1	-0.065(-6.50)	18.295	22	62.224(3.8)	1957
19	밀이	경주	건천	용명	4.413	5	-0.587(-11.7)	57.949	34	10.164(3.9)	1945
20	박달	경주	내남	박달	28.303	32	-3.697(-11.6)	1,889.224	1,820	3.597(24.0)	1989
21	방내	경주	건천	방내	4.276	4	0.276(6.80)	270.164	260	10.164(3.9)	1963
22	부곡	경주	건천	신평	1.149	2	-0.851(-42.6)	18.597	15	3.597(24.0)	1945
23	북군	경주		북군	3.339	4	-0.661(-16.5)	114.605	104	10.605(10.2)	1971
계	23개소				128.577	162	-33.424	6,906.580	7,145	-238.22	

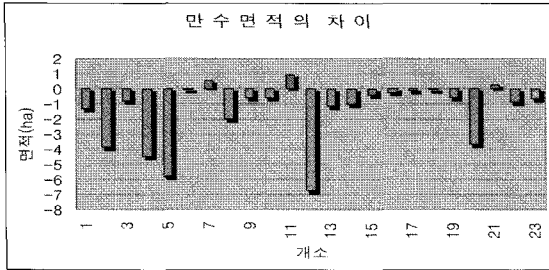


그림 12. 만수면적의 차이

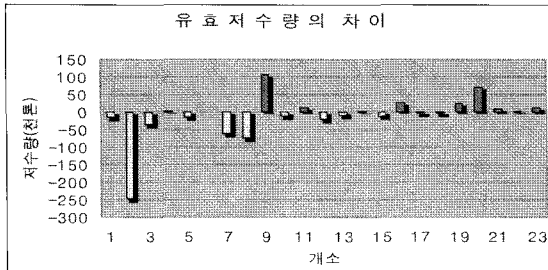


그림 13. 유효저수량의 차이

※ 23개소 저수지 년도별 분류

- 1번 항목 : 5개소 전부 1945년 이전에 준공된 전수지
- 2번 항목 : 3개소가 1960년대 준공된 저수지
- 3번 항목 : 1945년 이전에 준공된 저수지(6개소), 1945년 이후에 준공된 저수지(6개소)
- 4번 항목 : 3개소 전부 1945년 이전에 준공된 전수지

위의 자료를 바탕으로 경주시 대상 저수지 23개소의 표본분석을 해본 결과 15개소의 경우 양호한 상태이었으며, 이는 약 65%정도로서 과거자료와 비교해 봤을 경우에도 비교적 양호하였다. 그리고 9번 대곡 저수지의 경우 유효저수량이(959.3%)나 늘어났으며, 이는 과거자료의 수십배가 되었을 경우나 오기일 경우를 생각해볼 수가 있다. 또한, 과거자료가 현재자료보다 더 커진 경우는 과거의 측량기계 및 작업이 현재 보다 부정확하고 미약했기에 정확한 측량 자료가 취득되지 않았으므로 그러한 결과치가 나왔음을 판단할 수 있다. 그 외에도 모호한 유효저수량의 차이를 보이고 있는 5개소(NO. 1, 5, 10, 11, 12)가 파악되었다.

또한, 준공한지 보통 50년이 넘는 저수지의 경우 퇴적층이 고루 분포되어 있어 하상도가 평탄하게 생성되어있으며, 20년 이내 저수지의 하상도는 그리 큰 변화가 없었음을 3D 모델링을 통하여 알 수 있었다.

그림 12와 그림 13은 만수면적과 유효저수량의 차이

를 나타내고 있으며, 붉은색은 과거자료보다 실험결과치가 오히려 증가된 부분을 나타내고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 저수지의 만수면적과 유효저수량을 조사하여 하상도의 3D로 모델링 하여보았으며, 과거자료와의 차이를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경주시 총 73개소 저수지 가운데 23개소를 표본조사하여 만수면적을 분석한 결과 이 중에서 약 65% 정도의 자료가 양호하게 나타남을 알 수 있었다.
2. 23개소 저수지의 만수면적과 유효저수량을 비교·분석한 결과 만수면적은 20.63%, 유효저수량은 3.34%만큼 줄어들었음을 알 수 있었다.
3. 전국에 산재해 있는 많은 소규모 저수지의 경우 아직까지 정확한 내용적에 대한 산출이 되어 있지 않은 상태이며, 이를 전산화하여 효율적으로 관리해야지만 사용목적에 대한 효율성을 극대화 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박운용, 기본측량학, 형설출판사, 2004.
2. 서용운, 최운수, 2000, "실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인", 한국측량학회지, 제18권 제 4호, pp. 343~350.
3. 김천영, 2002, "GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 모니터링", 박사학위논문, 동아대학교.
4. 한국수자원공사, 2002, "전국의 댐 현황조사 및 댐 특성에 관한 연구 - 한국의 댐".
5. Kozlov D. and Tkacchenko M, *Instant RTK with Low Cost GPS and GLONASS C/A Receivers*, Proceedings of ION GPS-97, Kansas City, Missouri, September 17~19, 1997, pp. 1559~1570.
6. Richard B. Phelan, *OTF DGPS FOR ESTUARINE DREDGING AND SOUNDING SURVEYS*, THE UNIVERSITY OF NEW BRUNSWICK, 1997.
7. Yoshihiro Matsumoto., *Performing Centimeter-level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase : Initial Results*, Proceeding of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, 1986, pp. 1229~1250.
8. 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.
9. <http://rwis.karico.co.kr/>