

DGPS 음향 측심기를 이용한 농업용 저수지의 퇴적량 산정

박승기* · 정재훈**

Calculation of Sediment Volume of the Agriculture Reservoir Using DGPS Echo-Sounder

Seung-Ki Park* · Jae-Hoon Jeong**

요 약

본 연구는 예당저수지의 합리적인 유지와 준설사업의 기초자료를 확보하기 위하여 수행하였다. 퇴적량 산정을 위한 내용적 측량을 DGPS 음향 측심기를 이용하여 2004년 11월 25~30일간 수행하였다. 인공위성으로부터 위도와 경도신호는 1 초 간격으로 UTM 좌표 계로 수신 하였다. 수심 값은 0.2초 간격으로 MIDAS Surveyor에 있는 Echo sounder sensor 로 측정 하였다. Arc Info GIS 프로그램을 사용하여 우리나라 좌표계인 TM좌표로 변환하였다. 등수심선도 작성은 Sufer, Arc View와 Auto CAD Program을 사용하였다. 저수지 용량은 평균등고선면적법으로 산정하였다. 예당저수지의 유효저수량을 결정하기위한 이번 조사의 결과는 4,601.6ha-m로 기왕의 유효저수량보다 약 5.425ha-m 정도 퇴적된 것으로 파악되었다.

주요어 : 저수지, DGPS 음향 측심기, MIDAS Surveyor, 유효저수량, 퇴적량

ABSTRACT : This study was performed to get the basic data for the dredging project and logical maintenance of the Yaedang reservoir. The survey of reservoir capacity for calculation of sediment volume carried out using DGPS Echo-Sounder during November 25~30 in 2004. The latitude and longitude signal from GPS satellite was received a second interval with the UTM coordinate system. Water depth was measured 0.2 second interval by Echo-sounder sensor in MIDAS Surveyor.

*공주대학교 생물산업공학부 조교수(skpark@kongju.ac.kr)

**공주대학교 농공학과 박사과정(sixdream@kongju.ac.kr)

The UTM coordinate datum were transformed into standard coordinate datum of Korean(TM coordinate datum) using Arc Info System. Mapping of contour was used Sufer, Arc View and Auto CAD Program. Storage capacity of Yaedang reservoir was estimated by average contour area method. Result of this time investigation for useful storage determination of Yaedang reservoir was showed 4,601.585 ha-m and was differenced less 5.425ha-m the bygones useful storage.

Keywords : Reservoir, DGPS Echo-Sounder, MIDAS Surveyor, Useful storage, Sediment Volume

1. 서 론

지금까지 농촌용수는 농업용수 위주로 개발 공급되어 왔으나, 농촌지역의 생활 수준이 향상됨에 따라 위생적이고 편리한 생활용수 및 농외 소득과 관련된 공업용수 등 농업 외의 타목적용수 수요가 증가하고 있다. 또한 기계화영농, 직파재배 등 영농방식 변화로 인한 농촌용수 사용량이 증가하고 있어 농촌용수 증가에 적극적인 대책을 요구하고 있다(농림부, 1999).

농업생산기반 정비사업통계연보(농림부, 2003)에 의하면 농업기반공사에서 관리하고 있는 농업용 저수지 3,312개소 중 74%에 해당하는 2,438개소가 준공 후 36년 이상 경과되었고, 주요 저수지 1,180개소에 대한 내한 능력을 검토한 결과 저수지의 43%만이 10년 한발에 대응할 수 있는 것으로 나타났다.

이에 대한 대책으로 신규 수원공의 개발, 보조수원공 개발, 저수지 시설 보강, 도수시설 보강 및 저수지 준설 등의 방법이 제시되고 있으나, 국내·외적으로 주요정책과제로 대두되고 있는 환경문제와

농업기반조성사업에 관련된 사업비의 축소로 인하여 신규수원공의 개발 및 보조수원공의 개발과 같은 적극적인 대책수립이 곤란하고 저수지 시설보강과 저수지 준설과 같은 소극적인 대책이 시행되고 있는 실정이다.

따라서 농업기반공사는 관리하고 있는 저수지를 대상으로 저수용량을 안정적으로 확보하기 위한 방안으로 지속적인 저수지 준설사업을 시행하고 있으며 이에 대한 저수지의 기초자료 확보와 체계적인 유지관리를 위하여 저수지 수심측량을 통한 정기적인 내용적 조사사업을 수행하고 있다.

현행의 저수지 수심측량은 DM-60R 또는 PS-10E 등 천해용 정밀음향측심기를 사용하여 발사된 음파가 하저에 반사되어 수신되기까지의 소요시간을 측정하여 수심을 측정하고 있으며 기계적 오차를 줄이기 위하여 수심이 깊은 곳을 찾아 Bar check를 실시하여 이상 유무를 확인한다. 조사는 음향측심기에 의하여 측심 예정선을 따라 항주하는 측량선상에서 육상에 설치된 3개의 기준점을 선정하여 2대의 육분의(Sextant)에 의해 동시에 두 협각을

측각하는 순간 기록지 상에 표기하여 위치번호를 기록하고 측정된 각을 Boat sheet 상에 삼각분도기에 의해 선상위치를 결정, 측량선을 예정된 측심상으로 유도하는 방법으로 실시하였다(농지개발연구소, 1994 ; 김태철 등, 1996). 저수지 수심측량에는 많은 인원이 소요되고 기상상황에 따라 큰 영향을 받으며 측량원의 숙련도에 따라 측량정도의 차이가 크게 발생하고 있다.

따라서 본 연구는 최근 저수지 및 해양 측량에 사용되고 있는 DGPS 음향측심기로 해당저수지의 수심측량을 실시하고 GIS 및 Auto CAD 프로그램을 이용하여 수심측량 자료를 변환하여 해당저수지의 등수심도를 구하고 내용적 및 퇴적량을 산정하여 GPS 음향측심기의 적용성을 평가하였다.

측 자료를 기록하는 연안 해저 단면 및 하천 하상 단면을 조사할 수 있는 수로측량시스템이다.

MIDAS Surveyor는 실시간 관측 자료를 장비에 내장된 그래픽 LCD스크린을 통하여 확인할 수 있으며, 다양한 산업 표준 포맷으로 자료 출력이 가능하고 관측된 모든 자료는 저장 기록 이후에 사용자 PC 로 전송된다.

MIDAS Surveyor는 수위관측기와 음파속 감지기를 포함하여 수평전위센서와 자이로컴퍼스 등의 외부 장비들을 추가로 부착하여 교정된 정확한 데이터를 받아들일 수 있도록 구성되었으며 외형은 [그림 1] 과 같고 규격은 <표 1>과 같다.

2. DGPS 음향측심기(MIDAS Surveyor)

2.1 본체

MIDAS Surveyor (Valeport Ltd., UK., 2004)는 DGPS와 음향 측심기가 부착되어서 관측 시간대별로 관측 위치와 수심 관



[그림 1] MIDAS Surveyor

<표 1> MIDAS Surveyor의 규격

구 분	특 성
재 질	Injection moulded ABS case, sealed to IP67, with automatic pressure balancing valve.
크 기	50cm × 40cm × 20cm(15kg)
표시화면	240 × 128 pixel graphics LCD screen.
기억용량	16 Mbyte FLASH memory
전원공급장치	외부 : 12-24V DC, 내부배터리 : 8.4Ah

2.2 DGPS 수신장치

MIDAS Surveyor에 내장된 DGPS 수신 장치는 Ashtech A 12 channel DGPS 수신기와 Ashtech DG 16 channel DGPS 수신기로 구분된다. 두 종류의 DGPS 수신 장치는 SBAS(Satellite Based Augmentation System) 차동장치 보정 기능을 표준으로 채택하고 있으며 DG 16은 Marine Beacon 차동장치 보정 기능을 추가로 채택하고

있고 그 규격은 <표 2>와 같다.

2.3 음향측심기(Transducers)

MIDAS Surveyor에 내장된 음향측심기는 Valeport사에서 개발한 Digital Signal Processing(DSP)기술을 적용하여 높은 정확도와 지속적인 장비 성능을 갖도록 개량하였다. 음향측심기 센서는 <표 3>과 같이 사용되는 주파수에 따라 고주파 음향

<표 2> DGPS 수신장치의 규격

구분	특성	
	12 channel DGPS	16 channel DGPS
Type	Ashtech A12 DGPS receiver	Ashtech DG16 DGPS receiver
Differential	Onboard SBAS Correction	SBAS & IALA Marine Beacon
Accuracy	±2m(CEP), ±4m(95%) with SBAS correction	±1.8m(CEP), ±3.8m(95%) with SBAS correction ±0.9m(CEP), ±1.6m (95%) with IALA Beacon correction
Update Rate	1Hz	1Hz
Antenna	Combined GPS/SBAS plane antenna (IP67), 5m cable	Combined GPS/SBAS/Beacon helical antenna (IP67), 5m cable

<표 3> 음향측심기 센서의 규격

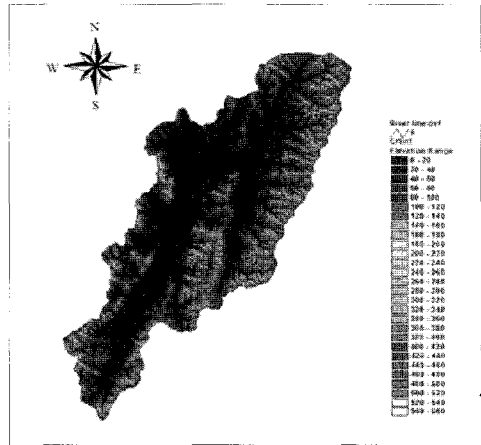
구분	특성	
	고주파 음향측심 센서	저주파 음향측심센서
Frequency	210kHz(200kHz option)	33kHz(30kHz option)
Resolution	0.01m	0.01m
Accuracy	greater of ±0.01m or ±0.02% reading.	greater of ±0.01m or ±0.02% reading.
Range	0.3 to 100m	0.3 to 100m
Beam Width	7.5°	16.5°
Sample Rate	6Hz	6Hz
Dimensions	φ 12cm	φ 25cm

측심센서(210kHz)와 저주파 음향측심센서(33kHz)로 구분되며 측정정도에 따라 각각의 센서 또는 두 가지 센서 모두를 사용할 수 있도록 구성되어 있다.

3. 자료 및 방법

3.1 예당저수지의 제원

예당저수지는 일제 강점기 말엽인 1940년에 일본의 부족식량을 충당하고 전쟁군량미를 확보하기 위한 무한천 연안과 주변 평야지대의 농업용수를 확보하기 위하여 계획되었다. 일제는 1940년 4월에 예당수리조합 창립위원회를 구성하여 조선농지개발영단사업으로 공사를 시작하였으나 제2차 세계대전으로 인하여 공사의 진척이 매우 느렸고 1945년 일본의 패망으로 인하여 중단되었다. 예당저수지는 해방 후인 1946년 11월 1일에 충남 예산, 당진, 홍성지역 10,240.2ha의 관개개선 목적으로 예당수리조합이 부활되었고 1952년 12월 29일 재 착공되어 1964년 12월 31일에 준공된 국내 최대 규모의 농업용 저수지로 주요 제원은 <표 4>와 같으며 유역도는 [그림 2]와 같다



[그림 2] 예당지 유역도

3.2 DGPS 음향측심기를 이용한 수심측량

3.2.1 측량 장비

MIDAS Surveyor의 GPS 수신장치는 Ashtech A12 DGPS receiver이고 음향측심기는 고주파 음향측심 센서(210kHz)를 부착하여 사용하였다.

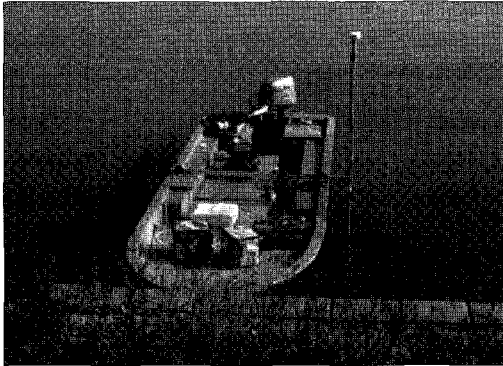
3.2.2 현장 수심측량

예당저수지에 대한 수심 측량은 측량선에 MIDAS Surveyor를 [그림 3]과 같이 장치하고 시속 10km 이하의 속력으로 운항

<표 4> 예당지 제원

구 분	단위	성 과	비 고	구 분	단위	성 과	비 고
유역면적	ha	37,360		관개면적	ha	8,788	
총저수량	ha-m	4,710		유효저수량	ha-m	4,607	
만수위	EL.	22.5		사수위	EL.	14.5	
제한수위	EL.	21.5		홍수조절용량	MCM	10.0	

하면서 실시하였다.



[그림 3] 측량선

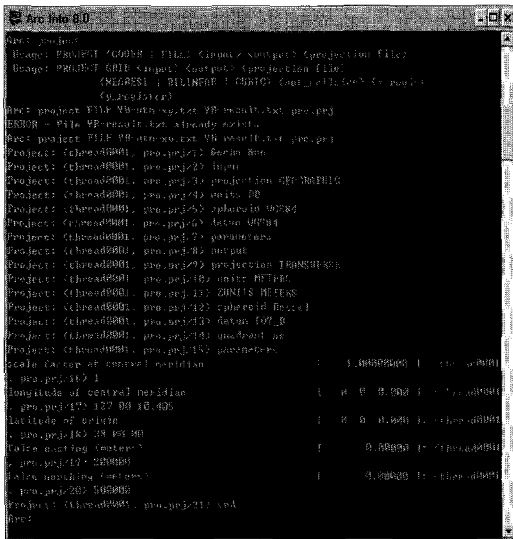
수심측량 밀도는 저수지 내측법선을 기준으로 종·횡 방향으로 20~60m간격이 유지될 수 있도록 측량을 실시하며 수심측량을 시작하기 전에 바체크를 실시하여 수심측정기를 보정하였고 측량 후에도 바체크를 실시하여 보정된 값의 이상 유무를 확인하였다.

3.3 수심측량자료의 변환

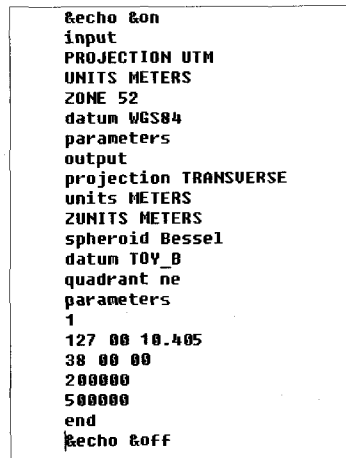
MIDAS Surveyor는 WGS84(국제위성좌표계)와 UTM 좌표데이터로 관측이 되며 이들 관측값은 우리나라 지형 좌표계로 변환이 필요하다. 좌표변환에는 여러 가지 방법이 적용될 수 있으나 본 연구에서는 Arc Info(Ver. 8.0) 프로그램을 이용하여 [그림 4]와 같이 UTM 좌표를 TM 좌표로 변환하였으며 TM좌표로 변환하는 Parameter는 [그림 5]와 같다.

3.4 등수심도 작성

예당저수지의 등수심도 작성은 변환된 TM 좌표의 X, Y 값과 수심측량을 실시할 시점 수위를 고려하여 변환한 수심인 Z 값을 이용하여 등수심도를 작성하였다. 등수심도작성에는 여러 가지 소프트웨어 들을 적용할 수 있으나 본 연구에서는 GIS



[그림 4] Arc Info 좌표변환과정



[그림 5] Parameter

소프트웨어인 Arc View와 Sufer, AutoCAD 프로그램을 사용하였으며, 저수지 경계부에 대한 설정, 등수심선도(Contour) 작성, 도면화 작업 등의 Contour 작업을 실시하였다.

3.5 예당저수지 내용적 및 저수율산정

대상저수지인 예당저수지 수심측량결과를 바탕으로 0.5m 단위로 등수심선도를 구하고, 등수심선도로 폐합되는 저수면적을 구하여 양단면평균법으로 저수지 내용적을 구하였으며 기왕의 내용적 자료를 바탕으로 퇴적량을 산정하였다.

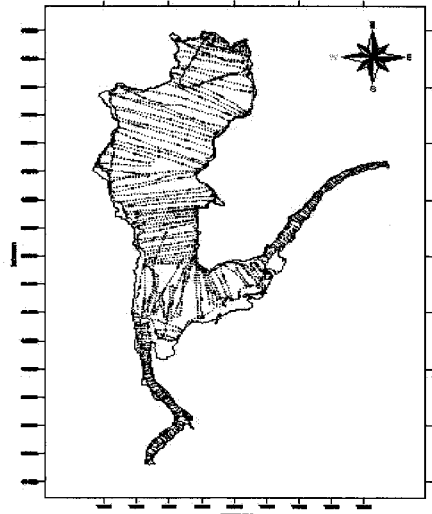
4. 결과 및 고찰

본 연구는 예당저수지의 체계적인 유지와 준설사업 등의 기초자료를 제공하기 위한 목적으로 MIDAS Surveyor를 이용하여 수심측량을 실시하였고 내용적 및 퇴적량을 산정하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

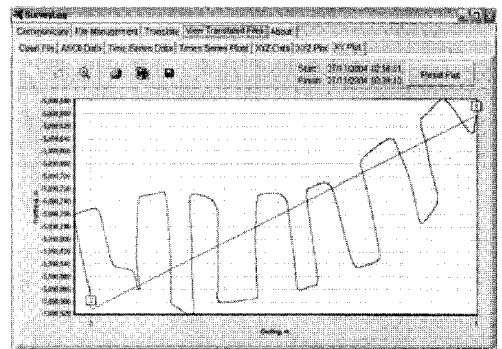
4.1 MIDAS Surveyor를 이용한 현장 수심측량

예당저수지의 수심측량은 2004년 11월 25일에 시작하였으며 11월 30일에 종료하였다. 수심 측량 시작시점의 저수위는 EL. 21.93m이었고, 종료시 저수위는 EL. 22.03m이었다. 수심측량은 예당저수지 수면 경계부를 측량한 후 50m이내의 측선을 유지하면서 실시하였으나 저수지내에

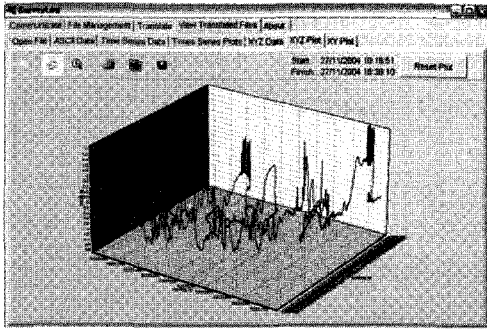
설치된 낚시좌대, 정치망, 준설작업구간 및 음향측심기의 최소 홀수를 고려하여 측선을 조정하여 실시하였다. 수심측량의 위도와 경도 값은 1초 간격으로 수신하였고 수심 값은 0.2초 간격으로 측정하였다. 전체 항적도는 [그림 6]과 같고 일부 수심측량 구간의 측량궤도는 [그림 7]과 같으며 이를 바탕으로 작성한 3D 곡선도는 [그림 8]과 같다.



[그림 6] 예당저수지 수심측량 항적도



[그림 7] 측량궤도



[그림 8] 3D 곡선도

4.2 수심측량 자료의 변환 결과

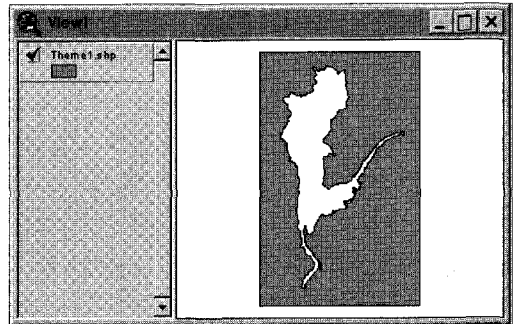
MIDAS Surveyor로 관측된 UTM 좌표 데이터를 Arc Info(Ver. 8.0) 프로그램을 이용하여 우리나라 TM 좌표로 변환하였다. 수심측량 값은 저수지 수위 값을 고려하여 EL. 값으로 변환하였으며 그 결과의 일부는 <표 5>와 같다.

4.3 등수심도 작성 결과

4.3.1 저수지 경계부 설정

저수지 경계부에 대한 설정을 위해 수

심 측량시 우선적으로 실시한 저수지 경계부 측량결과와 1:5000 수치지도와 비교하여 해당저수지의 만수위 수면 경계부를 [그림 9]와 같이 설정하였으며 수면 경계부에 해당하는 만수위 해발고도를 Arc View에서 입력하였다.



[그림 9] 해당지 경계속성

4.3.2 Sufer를 이용한 등수심선도(Contour) 작성

등수심선도는 TM 좌표계로 변환한 저수지 내부의 위도, 경도, 수심(X, Y, Z)의 측량 데이터와 저수지 경계부 자료로 Sufer Program(Ver. 8.0)을 이용하여 작성하

<표 5> 해당저수지 수심측량 자료의 예 (격자수심)

No.	Longitude TM	Latitude TM	Depth (m)	E.L. (m)
1	181186.72	347919.55	2.707	19.793
2	181186.72	347770.48	3.326	19.174
3	181186.72	347621.42	2.733	19.767
4	181186.72	347472.35	1.879	20.621
5	181186.72	347174.22	2.677	19.823
6	181186.72	347025.16	3.406	19.094
7	181186.72	346876.09	4.044	18.456
8	181186.72	346727.03	3.432	19.068
9	181186.72	346577.96	2.972	19.528
10	181186.72	346428.90	2.908	19.592

였다. 등수심선도는 해당저수지의 만수위 (EL. 2.5m)를 기준으로 0.5m 간격으로 작성하였고 그 결과는 [그림 10]과 같다. 저수지가 축조되기 전 하천구역을 중심으로 최고 수심을 나타내고 있으며 상류지역 중에서 준설이 이루어진 구역에서 불규칙하며 깊은 수심을 나타내고 있다.

한 것으로 추측하고 있다.



[그림 10] 해당저수지 등수심선도

4.4 해당저수지 내용적 및 저수율산정 결과

4.4.1 기왕의 내용적 성과 조사

현재까지 해당저수지에서 사용된 내용적 표는 <표 6>과 같으나 작성년도가 명확하지 않으며 저수지를 건설할 때 작성

<표 6> 해당저수지 기왕의 내용적표

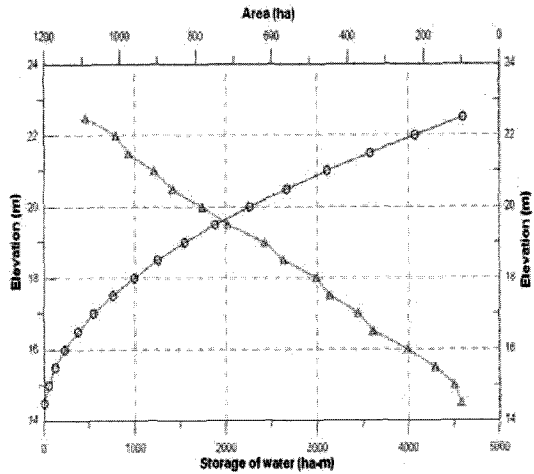
EL. (m)	단위면적(ha)	평균면적 (ha)	차고 (m)	단위용량 (ha-m)	유효저수량 (ha-m)
14.5	108.02				0.000
15.0	118.90	113.46	0.5	56.730	56.730
15.5	170.06	144.48	0.5	72.240	128.970
16.0	243.18	206.62	0.5	103.310	232.280
16.5	334.18	288.68	0.5	144.340	376.620
17.0	371.74	352.96	0.5	176.480	553.100
17.5	448.42	410.08	0.5	205.040	758.140
18.0	482.90	465.66	0.5	232.830	990.970
18.5	569.14	526.02	0.5	263.010	1253.980
19.0	618.42	593.78	0.5	296.890	1550.870
19.5	715.70	667.06	0.5	333.530	1884.400
20.0	782.10	748.90	0.5	374.450	2258.850
20.5	862.66	822.38	0.5	411.190	2670.040
21.0	910.70	886.68	0.5	443.340	3113.380
21.5	978.38	944.54	0.5	472.270	3585.650
22.0	1009.18	993.78	0.5	496.890	4082.540
22.5	1088.70	1048.94	0.5	524.470	4607.010

4.4.2 2004년 내용적 조사 결과

여기서 H는 저수위(EL. m) 이다.

예당저수지의 수심측량 결과를 바탕으로 0.5m 단위로 등수심선도를 구하였고, 등수심선도로 폐합되는 저수면적을 구하여 양단면평균법으로 저수지 내용적량을 <표 7>과 같이 산정하였으며 내용적 곡선도를 [그림 11]과 같이 작성하였다.

최저수위인 EL. 11m에서 만수위까지 수위와 저수량과의 관계식을 Curve fit(Ver. 3.1) 프로그램을 이용하여 식(1)과 같이 유도하였다.



$$\text{Storage of water (ha-m)} = 5H^2 + 0.5H - 610.5 \quad (1)$$

(r = 0.9999)

[그림 11] 예당저수지 2004년 내용적곡선

<표 7> 2004년 예당저수지 내용적 표

EL. (m)	저수면적 (ha)	평균면적 (ha)	차고 (m)	단위용량 (ha-m)	유효저수량 (ha-m)
14.5	101.14				0.000
15.0	120.27	110.71	0.5	55.353	55.353
15.5	169.30	144.79	0.5	72.393	127.745
16.0	242.63	205.97	0.5	102.983	230.728
16.5	333.76	288.20	0.5	144.098	374.825
17.0	371.39	352.58	0.5	176.288	551.113
17.5	448.22	409.81	0.5	204.903	756.015
18.0	482.85	465.54	0.5	232.768	988.783
18.5	569.19	526.02	0.5	263.010	1,251.793
19.0	618.62	593.91	0.5	296.953	1,548.745
19.5	715.15	666.89	0.5	333.443	1,882.188
20.0	782.01	748.58	0.5	374.290	2,256.478
20.5	859.60	820.81	0.5	410.403	2,666.880
21.0	909.11	884.36	0.5	442.178	3,109.058
21.5	977.30	943.21	0.5	471.603	3,580.660
22.0	1,008.85	993.08	0.5	496.538	4,077.198
22.5	1,088.70	1,048.78	0.5	524.388	4,601.585

4.4.3 내용적 및 저수율의 변화

예당저수지 기왕의 유효저수량은 4607.01ha-m 이었으나 금번 조사결과는 4,601.59ha-m로 약 5.43ha-m가 감소된 것으로 파악되었다. 충남대학교 농업과학연구소(1993)는 IRRIMA 모형을 이용하여 예당저수지의 30년간의 침전량을 약 294만m³로 추정하였는데 금번 조사와는 상당한 차이를 보이고 있다. 이러한 이유중 하나는 [그림 10]에서 나타난바와 같이 1984년부터 2003년까지 약 131만m³의 골재가 사금채취 명목으로 상류유역에서 지속적으로 준설된 결과로 판단된다. 예당저수지는 전체 수심이 매우 낮고 여수토는 매우 큰 저수지로 홍수시 퇴적된 토사가 여수토를 통해 하류유역으로 배출되었기 때문으로 판단된다. 이러한 현상은 저질시료를 채취한 결과 여수토 상류 상당부분까지 바닥이 자갈로 형성되어 있는 것으로 판단할 수 있으며 이에 대한 지속적인 연구·분석이 필요할 것이다.

5. 결 론

본 연구는 예당저수지의 체계적인 유지와 준설사업에 따른 기초자료를 확보하기 위하여 MIDAS Surveyor를 이용하여 내용적 측량을 실시하여 퇴적량을 산정하였다. 수심측량은 2004년 11월 25일부터 11월 30일까지 실시하였으며 저수위는 EL. 21.93m~EL. 22.03m 이었다. 위도

와 경도 값은 1초 간격으로 UTM 좌표계로 수신하였으며 수심 값은 0.2초 간격으로 측정하였고 Arc Info GIS 프로그램을 사용하여 우리나라 좌표계인 TM좌표로 변환하여 분석에 적용하였다. 등수심선도 작성은 Sufer Program을 사용하였고 등수심선도로 폐합되는 저수면적을 구하여 평균단면법으로 저수지 내용적량을 산정하였다.

예당저수지 기왕의 유효저수량은 4607.01ha-m 이었으나 금번 조사결과는 4,601.585ha-m로 예상보다 적은 5.425ha-m 정도의 퇴적량을 보였다. 이러한 이유는 1984년부터 2003년까지 약 131만m³의 골재가 준설되었고, 예당저수지의 형태적 특성에 의한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김태철, 이재용, 윤오섭, 박승기, 1996, 담수호의 침전량과 분포 예측에 관한 연구. 한국농공학회지 제38권 제2호, pp.97-107.
- 농림부, 2003, 농업생산기반 정비사업통계연보.
- 농림부, 농어촌진흥공사, 1999, 농업·농촌용수 종합이용계획(농촌용수이용합리화계획).
- 유복모, 2001, 디지털 측량공학, 박영사.
- 충남대학교 농업과학연구소, 1993, 관개저수지의 이수관리모형 구조와 사용지침.
- 한국농지개발연구소, 1994, 아산호 토사 침전량 조사 연구보고서.
- Valeport Ltd., 2004, MIDAS Surveyor Operation Manual.