

음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심 측량 Measuring Water Depth by Using a Combination of GPS/Echosounder

정영동* · 강상구**

Jung, Young Dong · Kang, Sang Gu

요 旨

하천이나 해양의 수심에 관한 정보는 주로 수면에서 해저까지의 음파신호의 왕복시간을 관측하는 음향측심에 의해 취득되며 이외에도 사진측량, 수중측량, 레이저 측량 등이 있다. 이 방법은 주로 수심이 얇은 해안이나 하천 등의 항로도 작성에 이용된다. 한편 부유물질의 영향이 적고, 수질이 양호한 해역에서는 항공사진 또는 인공위성 영상을 활용할 수도 있다. 현재 우리 나라의 경우 전반적인 수심측량이 완료되었으나, 측량된 수심의 점밀도가 비교적 낮은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현재 가장 많이 이용되고 있는 음향측심기를 이용해 하천의 수심을 측정하고, GPS-RTK기법으로 평면위치를 측량하여 격자 수심도를 작성하여 그 정확도를 비교 분석하였으며, 그 결과 음향측심기에 의한 수심측량이 기존의 방법에 비해 상대적으로 정확하고 경제적인 수심측량이 가능하다고 판단되었다.

ABSTRACT

Depth of water information is obtained mainly from echo-sounding instrument which observes the round-trip time of signal from water surface to the bottom. Photogrammetry, underwater survey and laser survey etc. are also used as another method of bathymetric surveying. These methods are used specially for making track chart in a shallow water area. On the other hand, aircraft or satellite imagery are also used in the sea area where the effect of suspended material is low and water quality is good. Presently, general bathymetric surveying has been performed in our country, but the spatial density of surveyed points are relatively low. Therefore, in this study we built a grid water depth chart which measured combining echosounder with GPS-RTK method and the depth accuracy was analyzed by using the data of direct survey water depth. As a result, the bathymetric mapping which use echosounder is more economical method compared to the existing methods.

1. 서 론

하천측량은 치수, 수상교통, 등을 위한 하천개수, 기타공사를 하는 경우에 하천의 상황을 명확히 하기 위해서 실시하는 측량이다. 하천의 개수계획이나 하천공작물설치를 위한 조사는 방법에 따라 수문관측, 측량, 지질조사, 수질조사 등으로 나누어지며, 목적에 따라 치수, 이수로 나누어진다. 하천측량에 의해 하천의 형상, 수위, 심천 단면, 경사, 유속 및 지형, 지물의 위치를 측량하여 평면도, 종단면도, 등을 작성하고, 이 하천 측량 값들은 하천의 치수 와 이수 계획에 이용된다.⁶⁾ 수심측량은 바다나 하천처럼 대상지역의 수심에 따라 수심측정방법이 달라지는데 일반적으로

수심이 얇은 곳에서는 측심봉과 측심추를 이용하고, 수심이 깊은 곳에서는 음향측심기가 이용된다. 수심측량은 계획된 측심선에 따라 수면위치측량과 수심측량을 동시에 실시한다. 음향측심기는 수중에 초음파를 발사하여 하저에서 반사되는 파의 도달시간을 측정하여 수심을 재는 방법으로 수중전파속도는 수온, 염분도, 수압에 대한 영향을 받으므로 이에 대한 보정이 필요하다.⁴⁾ 이외에도 수심에 관한 정보를 취득할 수 있는 방법에는 사진측량, 수중측량, 레이저 측량 등이 있다. 이 방법은 주로 수심이 얇은 해안이나 하천 등의 항로도 작성에 이용된다. 한편 부유물질의 영향이 적고, 수질이 양호한 해역에서는 항공사진 또는 인공위성 영상을 활용할 수도 있다. 현재 하천이나 바다의 수심측량은 대부분 GPS와 EchoSounder에 의해 이루어지고 있지만 그 정확도에 대해서는 별도의 검증이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 GPS와

*조선대학교 공과대학 토목공학과 교수

**조선대학교 공과대학 토목공학과 시간강사

EchoSounder를 이용하여 하천에 대한 수면위치와 수심을 동시에 연속적으로 관측하여 두 데이터의 동기화를 통해서 수심도와 등고선도를 제작하고, 4곳의 수위관측소에서 관측된 수심과 직접 비교하여 그 정확도를 분석하고 GPS와 EchoSounder를 이용한 수심측량의 효용성을 검토하고자 한다.

2. 기본이론

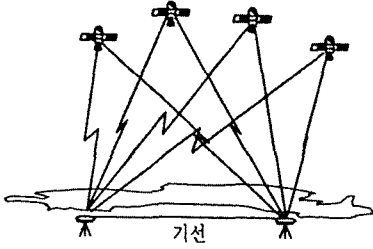
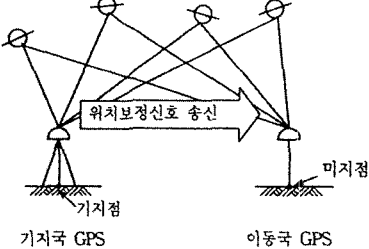
2.1 GPS측량

GPS 측량은 위치가 알려진 다수의 위성을 기지점으로 하여 수신기를 설치한 미지점의 위치를 결정하는 후방 교회법(Resection Method)에 의한 측량 방법이다. 위성에서 방송되는 GPS의 신호체계로는 C/A코드, P코드 및 항법 메시지등의 신호가 L1 및 L2파의 2개 밴드에 실려 지상으로 방송이 되며 L1/L2파는 각 코드신호 및 항법 메시지를 운반한다고 하여 반송파(Carrier wave)라 한다. GPS는 기본적으로 위성과 수신기간의 거리를 측정하는 장비이며, 이 거리를 정하는 방식에는 GPS 신호의 코드를 해석하는

방법과 반송파를 해석하는 방법 등 2가지가 있다.

GPS는 수신기 1대만으로 위치를 측정하는 단독측위(절대측위, 1점측위)시 SA가 작동하지 않는 경우라도 약 5m~15m정도가 오차가 수반되므로 단독측위 방식은 주로 측량용보다는 자동차, 선박, 항공기등의 항법용 또는 비교적 허용 오차가 큰 GIS분야에 주로 활용되고 있다. 일반적으로 측량분야에 적용되는 GPS 측량방법은 거의 상대 측위 방식이며 이는 GPS 측위시 발생하는 각종 오차를 2대 이상의 GPS 수신기에서 동시 소거함으로써 1m 내지는 수 mm까지의 정확한 위치를 측정하는 방식을 말한다. 단독측위는 그 허용오차가 크기 때문에 측량의 범위에 속하지 않으며 일반적으로 GPS측량이라 함은 최소 2대 이상의 수신기에 의한 상대 측위를 뜻하며 GPS측량법은 크게 나누어 후처리방법과 실시간 처리방법으로 구분된다. DGPS(Differential GPS)측량방식은 단독측위시 발생하는 오차를 줄이기 위하여 최소 2대 이상의 GPS수신기에서 동일한 시간에 동일한 위성신호를 수신, 같은 성분의 오차를 상대적으로 동시에 소거함으로써 정확도를 높이는 GPS 측량법의 하나이고, RTK(Realtime Kinematic) 실시간 이동측

표 1. GPS 수신데이터 처리방법

구 분	후처리 방법(Static Survey)	실시간 처리방법(Realtime Survey)
원 리	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기지점과 미지점에 GPS수신기를 설치하고 동일한 위성들로 부터 동시에 위성신호를 수신하여 저장함. 2. GPS 관측 후 사무실로 복귀하여 Post Processing s/w에 의해 기선해석, 망조정 등의 계산을 수행함으로써 미지점의 좌표를 결정함. 3. 수신된 위성신호가 많을수록 정확도가 높으므로 정지한 상태에서 가능한 한 30분 이상의 GPS 관측이 필요함. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기지점에 기지국 GPS를 설치하여 기지점 좌표와 위성에 의한 좌표와의 차이값(위치보정데이터)을 취득하여 무선 혹은 유선모뎀을 통해 이동국 GPS로 송신함. 2. 이동국 GPS에서는 위성에 의해 취득한 좌표에 기지국으로부터 송신되는 위치보정 데이터(Correction data)를 합성하여 현 지점의 정확한 좌표를 실시간으로 결정함. 
위성신호 처리방식	· 반송파 처리방식	· DGPS 측량 : 코드처리방식 · RTK 측량 : 반송파처리방식
정 확 도	· 5mm+1ppm	· DGPS 측량시 : 0.2m~1m · RTK 측량시 : 1cm~2cm
특 징	<ol style="list-style-type: none"> 1. 위성저장을 위한 메모리 장치가 필요함. 2. 위성측량 좌표체계인 WGS84 좌표계를 우리나라 좌표체계인 TM 좌표계로의 환산이 필요함. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 위치 보정데이터 전송을 위한 유·무선모뎀의 역할이 중요함

량의 약어로서 DGPS와 동일한 방법이나 코드를 해석하는 DGPS와 달리 반송파를 해석함으로써 위치 정확도를 1~2cm로 높이는 GPS측량법으로 넓은 의미에서는 RTK방법도 사실은 DGPS방법에 속하나 관용적으로 위와 같이 분류한다. 본 연구에서 GPS 기준점측량은 STATIC (정지측량) 방식으로 L1/L2 2주파 수신기를 이용해 상공시계 15° 제한, 데이터 수신간격(epoch) 15초 간격으로 2시간 이상 관측하였고, 수심측량은 RTK방식으로 관측하였다.

2.2 Echo Sounder의 원리

일반적으로 음향측심기는 단일파 방식과 다중파 방식이 있다. 본 연구에서는 단일파 방식을 이용하였다. 수면에서 매우 짧은 시간 지속하는 음파를 수저에 발사하면, 음파는 사방에 확산하여 전파된다.

그 음파의 일부는 수직으로 수저방향에 전파되고, 수저면에서 일부는 투과되나 대부분은 반사되어 수면부근에

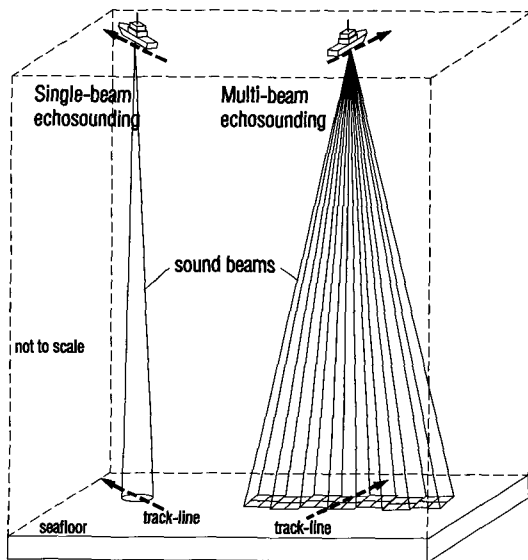
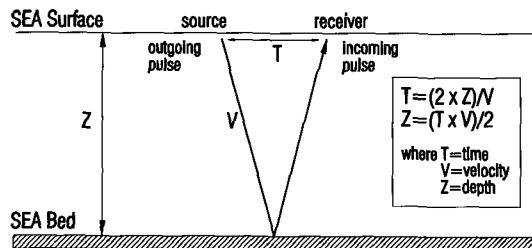


그림 1. Echosounder 수심측정 원리

도달한다. 음파신호는 일정한 범위로 확산되지만 평탄한 수저에서는 수직방향 부근의 음파신호가 가장 강하게 검출된다. 송신음파와 수신음파의 도달시간차 T를 정확히 재고, 수중음속 V를 알면 수심 Z는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

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

일반적으로 음향측심기는 가정음속 $V=1,500\text{m/sec}$ 를 기준으로 하여 설계되며, 시간차는 0.003sec 단위로 관측된다. 따라서, 식 (2-1)에서 $K=V/2$ 표시하면 $Z=KT$ 가 되어 시간만의 함수로 표시되므로 음파신호의 도달시간만 알면, 바로 이에 대응하는 수심을 관측 할 수 있다.

그러나, 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 미소하게 변화하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측 당시의 실제음속을 구하여 음속도 보정을 해 주어야 한다. 이 밖에도 해수의 경우는 수심의 기준면과 관측시 해수위 차이를 고려하는 조위보정, 수면으로부터 음파 송출기까지 깊이를 고려하는 홀수보정 등이 필요하다.⁹⁾

2.2.1 음속도의 보정

실제로 채용되고 있는 음속도의 보정 방법은 바-체크에 의한 방법, 해수의 염분, 온도등의 데이터를 이용한 계산법과 속도계로 직접음속도를 구하는 방법 등이 있다.

가. Bar-Check법

음향측심기(echosounder)의 음속도 보정 방법으로 수심 30m-50m 미만의 수심에 사용한다. 음파를 반사할 수 있는 판에 1m 간격으로 길이를 표시한 와이어를 연결한 판을 Bar판이라 한다.

측량선에 Echo Sounder를 설치하고 측량대상 구역중 파고가 없는 곳을 택하여 수중으로 bar판을 1m~2m 간격으로 침하 시키면서 Echo sounder의 기록 수심과 bar의 수심을 동기화하기 위하여 온도 및 염도 기타해수의 조건에 대한 음속도를 보정하는 것을 bar check라 한다.

나. 데이터 수치계산법

해수의 깊이에 따른 각 층의 염분, 수온, 수압을 직접 관측하여 정확한 음속도를 계산하고 가정음속과의 보정량을 구하는 방법으로, 계산식에는 Willson식과 Matthews, 또는 상원(桑原)의 식, 우리나라 해양연구소 KORDI식이 있다. 평균음속도를 V_m 이라 하고 실제수심을 D라 하면,

$$D = \frac{1}{2} V_m T \quad (2-2)$$

관측수심을 가정수심은 D_0 , 음파왕복시간을 T , 가정음속을 V_a , 해수의 두께 dD , 두께층 내에서의 음속 V_e 라 하면,

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

음속에 대한 깊이 보정량 ΔD 는

$$\begin{aligned} \Delta D &= D - D_0 = \frac{1}{2} (V_m - V_a) T \\ &= D \left(1 - \frac{V_a}{V_e}\right) = D - V_a \sum \frac{dD}{V_e} \\ (\because D &= \sum dD) = \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e}\right) \right\} \\ \therefore \Delta D &= \sum \left\{ dD \left(\frac{V_e - V_a}{V_e}\right) \right\} \quad (2-3) \end{aligned}$$

3. 관측 대상지역 및 연구방법

본 연구의 실험관측 대상지인 영산강은 우리 나라 서남부 동경 $126^{\circ} 27' 17'' \sim 127^{\circ} 05' 50''$, 북위 $34^{\circ} 48' 09'' \sim 35^{\circ} 29' 25''$ 사이에 위치하며, 총 유역면적은 $3,371.3\text{km}^2$

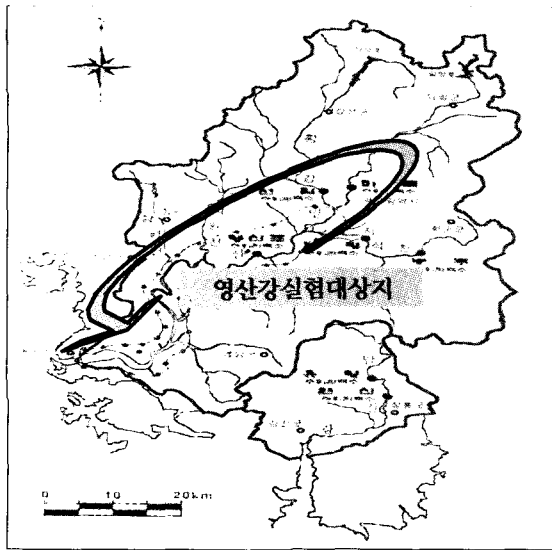


그림 2. 연구대상지

이고, 본류의 유로 연장은 136.0km 이며, 동서와 남북간의 최장거리가 각각 61.3km , 89.7km 이고, 유역의 평균폭은 26.5km , 유역의 형상계수는 0.204 이다.

유역의 남쪽은 동진강 유역에, 동쪽은 섬진강 유역에 접해 있으며, 나주지점을 중심으로 큰 지류가 합류하여 방사형을 이루고 있고, 유역의 평균고도가 약 $EL.104.4\text{m}$ 로서 비교적 평탄한 지역으로 하천연안을 따라 평야가 발달한 곡창지대를 이루고 있다.³⁾

일반적으로 하천측량 순서는 도상조사→자료조사→현지조사→평면측량→고저측량→유량측량→기타측량 순서로 이루어지나 본 연구에서는 유량측량과 강우량 측량, 하천구조물 측량과 같은 기타측량은 수행하지 않았다.

영산강유역에 GPS기지국을 선정하기 위하여 나주시 동단과 금성산일대에 분포되어 있는 4개의 국가 삼각점을 고정점으로 하여 4대의 2주파 GPS수신기를 이용하여 STATIC 방식으로 동시에 2시간씩 관측하여 GeoGenius를 이용하여 기선해석을 실시하여 평면오차 $\pm 20 \sim 30\text{mm}$ 이내인 삼각점만을 이용하여 다각삼각망을 폐합하고, 망조정 및 XY망 평균계산을 하여 ΔX , ΔY 성분의 보정값이 10mm 이내인 값으로 신설점을 확정하였다. 수심측량을 위한 수준점은 나주시 영산포 유역 좌안에 위치한 영산 대교 교대부근의 수위표 전용 수준점 외 3점을 이용하였다.

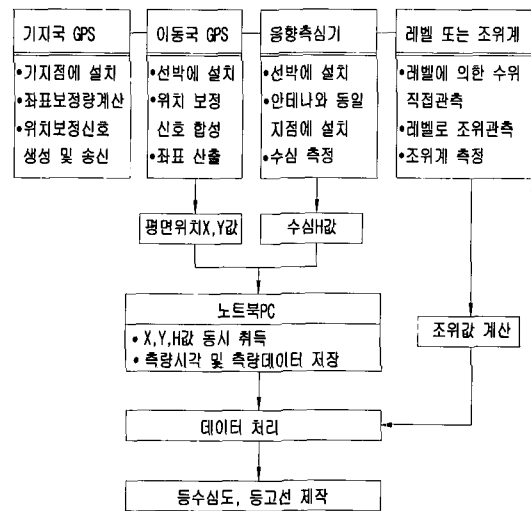


그림 3. 수심측정수행 흐름도

4. 수심측정 및 데이터 분석

수심측량을 위해 미리 영산강유역의 좌·우안에 10m간격으로 예정항로(측심선)를 표시하여 노트북에 입력하고, 미리 정확한 위치가 결정된 기준점에 기지국용 GPS수신기를 설치하고 예정 측심선을 따라 수면 위치는 RTK방식으로 측정하고 수심은 음향측심기로 음파를 8°~10° 범위로 발진시켜 되돌아오는 음파의 시간 변위에 의해 수심을 측정하여 두 데이터의 동기화(시간일치)를 통하여 위치와

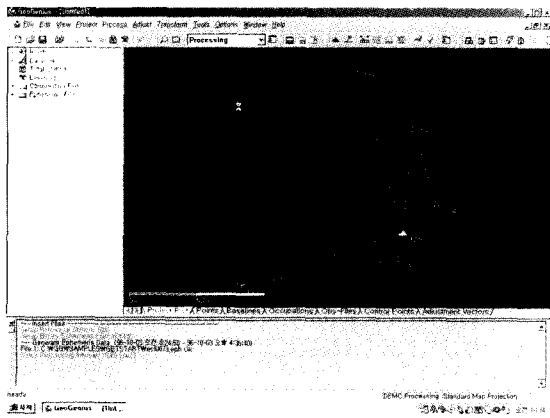


그림 4. GPS 데이터 Processing

표 2. 관측장비 제원

구 분	GPS	Echo Sounder
모 델	Scorpi6002 SK/MK	Echotrac 3100
제작사	프랑스 DSNP	스위스 라이카
측정방식	STATIC및 RTK	Single Beam
정확도	STATIC: 5mm + 1ppm RTK : 2cm 이내	1cm ±0.1% of depth
주파수	2주파, 16CH	200KHz(표준) 210.40KHz & 333KHz
기 타	측정가능범위: 40km	사용beamangle +4.5°

표 3. 수심관측을 위한 수준점 위치

관측소명	위 치	수량	표고(EL.m)
마 릭	극락교 하류 약 630m 좌안	1	18.232
영산포	영산대교 교대 부근 좌안	1	12.275
선 암	장영록교 교대 부근 좌안	1	18.804
능 주	수위표 지점부근 좌안	1	25.047

수심을 결정하였다. 또한 정확도 검증을 위해 4개의 수위 관측소에서 별도로 수심을 측정하여 수위를 비교하였다.

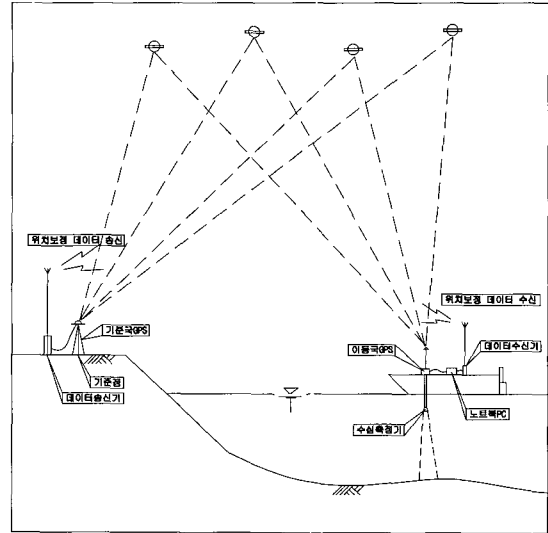


그림 5. 수심측량 모식도

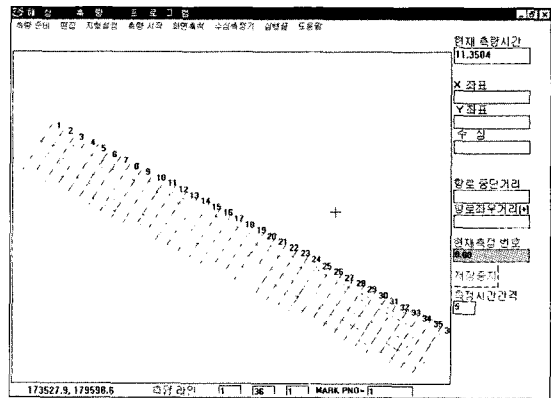


그림 6. 예정항로



그림 7. 수심측정

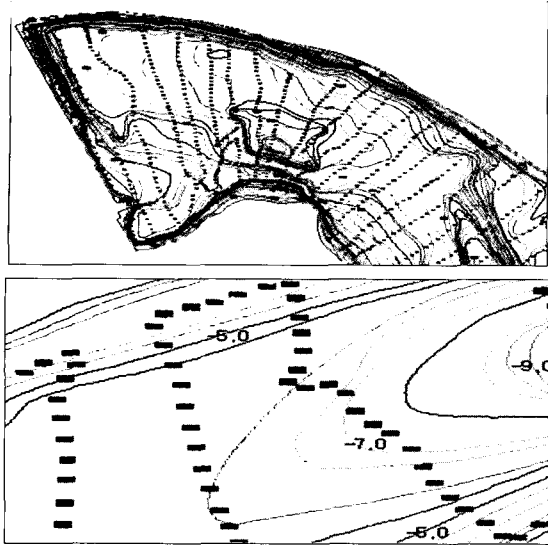


그림 8. 등수심도 및 등고선도

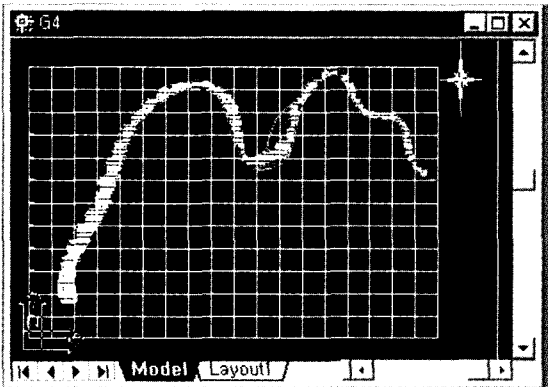


그림 9. 평면 수심도

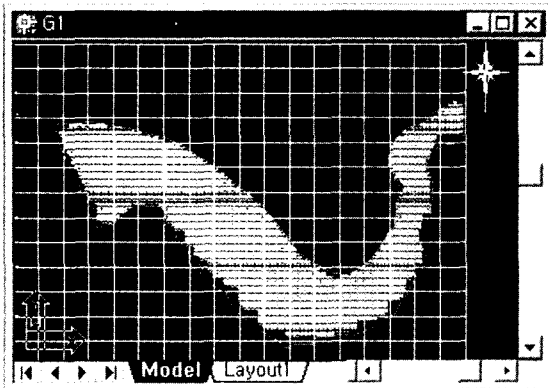


그림 10. 격자 수심도

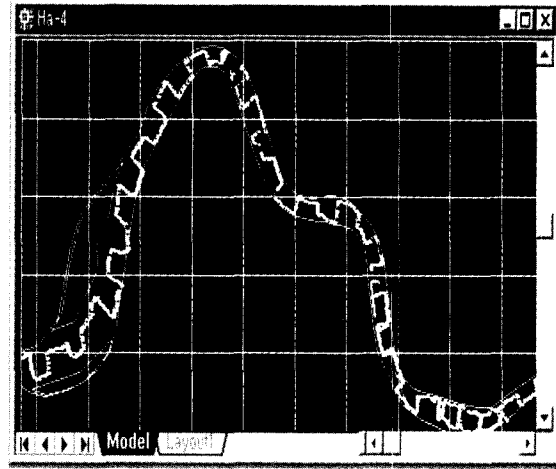


그림 11. 항적도

4.1 하천수심도 제작

기준점측량에서 관측된 기준점에 GPS 기지국을 설치하고 측량선에 이동국 GPS수신기 및 음향측심기를 설치하여 수심측량을 수행한 후 기록지상의 에러 데이터 수심을 분석 처리하여 수심도, 등고선도, 수심평면도, 항적도를 작성하였고, 그 결과는 그림 8~11에 나타내었다.

4.2 비교 분석

관측된 수심의 정확도 산정을 위하여 영산강 유역부근 4개의 수위관측소 영점표고를 기준으로 수심측량을 하기 위하여 강 유역에 거리표를 10m 간격으로 설치하여 횡단측량과 수심측량을 3개 지점으로 나누어 3회 관측하여 평균수심을 구하였다. 수행한 결과는 표 4와 같다.

수심 오차에 대한 비교분석 결과는 표 5와 같고 수심 오차에 대한 최대 값은 영산포 관측소 제3지점과 능주 관

표 4. 수심 비교값

관측소	수 심	실측평균수심(EL.m)		
		제1지점	제2지점	제3지점
마 룩	실측 수심	18.181	18.456	18.475
	echo 수심	18.148	18.415	18.433
영산포	실측 수심	11.342	11.626	11.544
	echo 수심	11.325	11.610	11.274
선 암	실측 수심	18.398	18.323	18.485
	echo 수심	18.372	18.279	18.452
능 주	실측 수심	28.712	28.941	28.712
	echo 수심	28.691	28.968	28.514

표 5. 수심오차 분석표

관측소	수심	수심차(ΔH.m)		
		제1지점	제2지점	제3지점
마 립	수심(m)	0.033	0.041	0.042
	백분율(%)	3.3	4.1	4.2
영산포	수심(m)	0.017	0.016	0.270
	백분율(%)	1.7	1.6	27
선 압	수심(m)	0.026	0.044	0.033
	백분율(%)	2.6	4.4	3.3
능 주	수심(m)	0.021	0.027	0.198
	백분율(%)	2.1	2.7	19.8

측소 제3지점에서 수심 오차가 각각 0.270m와 0.198m로 가장 크게 차이가 났는데 이는 측심 표척에 의한 수심 관측 시 다른 위치에 비해 상대적으로 물살이 세서 고무보트의 요동에 의한 관측위치의 변화 때문인 것으로 사료된다. 다른 관측지점에서는 수심 차이가 5cm 이내로 나타났다. 음향측심기의 정확도가 1cm ±0.1%이고, 측심추의 최소 눈금 단위가 5mm임을 고려할 때 측심추에 의한 수심 관측시 관측자의 눈금 읽음 오차, 고무보트의 요동, 홀수선의 미소 변화, 관측위치의 변화등을 고려하더라도, 음향측심기에서 발생할 수 있는 오차요인이 상대적으로 적어 연속적으로 수심관측이 이루어진 음향 측심기에 의한 관측값의 신뢰도가 높다 할 수 있겠다.

5. 결 론

GPS와 음향측심기(EchoSounder)를 이용한 수심측량은 현재 일반적인 수심측량 방법이지만 그 정확도에 대한 검증은 공인된 허용오차가 없어 비교하기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 4곳의 수위관측소의 각 지점에서 직접 관측한 수심을 음향측심기를 이용해 관측한 수심과 비교해 정확도를 분석해 보았다. 그 결과 측심추에 의한 수심 측정시 물의 흐름에 대한 관측위치 변화가 다른 지점에 비해 크게 발생한 2지점을 제외한 나머지 지점의 수심 오차는 5cm 이내로 나타났다. 따라서 관측조건에 따라 여러 가지 오차를 수반할 수 있는 측심추를 이용한 수심측량 보다는 상대적으로 이러한 오차영향을 적게 받는 음향측심기를 이용한 수심측량이 효과적인 수심측량 방법임을

알 수 있었다.

본 연구에서 이루어진 수심에 대한 정확도 분석은 하천 지역의 경우로서, 바다에서 수심을 관측하는 경우에 비해 음향측심기에 대한 보정이 세밀하게 이루어지지 못한 한계가 있었다.

향후 음향측심기를 이용한 수심측량의 정확도 향상을 위해서는 홀수선변화와 시간에 따른 조위변화, 염분, 수온, 수압 등을 효과적으로 보정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 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, pp. 35-47.
2. Xinghua Zhou, Nick Emerson, Yongqi Chen. "Multibeam Echosounder Monitoring Surveys for the Yangtze Estuary Dredging", http://www.ccom-jhc.unh.edu/shallow/abstracts/multibeam_echosounder.htm.
3. 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.
4. Peter Dartnell. "Predicting Seafloor Composition from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data", http://www.ccom-jhc.unh.edu/shallow/abstracts/predicting_seafloor.htm.
5. 건설교통부 영산강홍수통제소, "영산강, 탐진강 홍수 유량 측정 보고서", 2000. 12, pp. 21-22.
6. 박요섭, "다중빔 음향측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑시스템 개발", 인하대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
7. 고영호, "음향측심기에 의한 수심측량", 경남대 공업기술연구소 연구논문집 제11집, 1993.
8. 이석우, 김근식, 해양측량학, 집문당, 1996, pp. 235-300.
9. 양전섭, "LANDSAT TM영상을 이용한 연안지역의 수심도 제작에 관한 연구", 서울대학교 석사학위 논문, 1997.
10. 서정훈, 서동주, 이종출, "GPS와 음향측심기의 조합에 의한 저수용량 산정", 한국지형공간정보학회지, 제10권 제1호, 2002, pp. 27-35.

(2002년 7월 22일 원고접수)