
3차원 하상측량시스템 구현을 위한 GPS와 음향측심기 및 GIS의 조합

Combination of GPS, Echo Sounder and GIS for Constructing 3D Riverbed Surveying System

이진덕*, 김현호**

금오공과대학교 토목환경공학부*, 금오공과대학교 대학원 토목공학과**

Jin-Duk Lee(jdlee@kumoh.ac.kr)*, Hyun-Ho Kim(hhkim@hsuie.co.kr)**

요약

본 연구에서는 실시간으로 하상 지형정보를 획득할 수 있는 3차원 하상측량시스템을 개발하였다. 실시간 동적 GPS와 음향측심기로가 조합된 이 시스템은 하상의 위치정보와 수심정보를 동시에 수집할 수 있다. 동시에 관측되는 GPS와 음향측심 관측데이터의 합성 및 변환프로그램을 작성하여 하상의 3차원 좌표를 생성하고 GIS 데이터베이스를 효율적으로 구축할 수 있도록 하였다. 시험관측을 통해 구축된 자료들로부터 GIS 프로그램을 이용하여 하저지형에 대한 3차원 TIN정보 및 수치표고모형(DEM)을 추출하였으며, 하천측량에 필수적인 단면자료를 산출할 수 있었다.

본 시스템에 의한 관측자료를 토털스테이션과 스테프 등 종래의 측량방법에 의한 성과와 비교한 결과, RMSE 0.069m의 정확도를 검증할 수 있었다. 개발된 시스템은 하천, 해양은 물론 댐이나 저수지 등의 수자원 관리를 위한 여러가지 조사에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 동적 GPS | 음향측심기 | GIS | 수치표고모형 | 3차원 하상측량시스템 |

Abstract

In this research, we constructed a 3D riverbed surveying system that is able to acquire the topographical information of a riverbed in real-time. The system consists of a RTK-GPS receiver and a echo sounder for collecting simultaneously the position and the water depth information of riverbed. A program for data composition and transformation was designed to generate the 3D coordinates by combining data of a GPS receiver and a echo sounder and made GIS database construction easy.

We extracted TIN, digital elevation model and cross sectional maps of the riverbed by using GIS software from 3D data constructed through test surveying. It was shown that the accuracy of the result was RMS error of 0.069m when compared with the existing methods which use a total station and staffs. It is expected that the 3D riverbed surveying system will be able to be utilized to various surveying for water resources management in rivers, sea, dams, storing reservoirs and so forth.

■ keyword : | Kinematic GPS | Echo Sounder | GIS | DEM | 3D Riverbed Surveying System |

I. 서론

하천측량은 수문학적 분석을 위한 자료구축, 하천의 개수 및 그 밖의 공사 등을 하고자 할 때, 그 하천의 상황을 명확히 파악하기 위한 것으로 평면측량, 수준측량, 유량관측 등의 작업이 포함된다. 종래의 하천측량 방법은 저부가가치형으로 많은 인력과 시간의 투입에도 불구하고 이용가능한 자료는 매우 단편적이며, 하천지형의 형태에 따라 분석자료의 효율적인 취득도 어려운 경우가 많다. 특히 하폭이 넓은 지역의 종·횡단 측량 및 격자형을 관측할 경우 하상 및 계획측량단면의 관측방향의 정밀성은 낮으며, 관측정확도와 측량효율이 크게 저하된다.

하천, 저수지 등의 하상측량은 정밀도 및 오차 정도가 일반 측량보다 낮다. 현재 농촌개발공사에서 시행하는 저수지나 댐의 내용적 측량은 20~40m 간격의 격자형 관측방법을 이용하며 위치정확도가 $\pm 1.0m$, 수심정확도가 $\pm(1.0cm + Z/1000)$ 로 허용오차가 크다. 이러한 오차정도로 알 수 있듯이 격자형 관측법은 호수나 댐 또는 하천에서 유속, 수심 및 기타 환경여건 등의 원인에 의해 정확한 격자형 위치 관측이 어렵다는 것을 알 수 있다. 수문학적 분석자료를 취득하거나 대규모 하천 및 댐의 공사를 효율적으로 행하기 위해서는 3차원 관측 자료가 필수적으로 요구된다. 그러나 경제적 또는 기술적 제약에 의해 아직은 내업에 의하여 2차원 측량자료를 조합하여 직접 3차원 자료로 변환하는 경우가 많다.

최근 GPS와 음향측심기를 이용한 하천 및 해양에서의 3차원 측량방법은 하천 또는 해양에서의 구조물 건설, 해저 및 하상의 지형변화 관측, 준설 및 매립 등에 그 활용도가 높아지고 있다. GPS에 의한 지상부의 3차원 위치, GPS와 음향측심기 간의 이격거리(offset), 음향측심기에 의한 수심관측값을 조합하여 하상 또는 해저의 지형측량을 행하는 것이다. 국내에서 발표된 연구들을 소개하면 다음과 같다.

강창모(1995)는 하천측량을 위하여 위성영상과 수문 분석자료를 이용한 GIS의 통합관리와 GPS의 활용성에 대한 연구를 발표하였다[1]. 박요섭(1995)은 Seebeem 음향측심기를 이용한 해저면의 측량과 해저면 지형의 맵핑 처리 방법을 실험하여 해저 및 하저의 관측모형 추출방

법에 대해 연구하였다[2]. 서정훈 등(2002)은 GPS와 음향측심기의 조합에 의하여 저수용량 산정방법에 대해 발표하였다[3]. 이동락(2006)은 DGPS, RTK-GPS와 음향측심기의 조합해석에 의해 하구 하상 모니터링을 시도하였으며[4], 강길선 등(2004)은 RTK-GPS와 음향측심기 조합관측을 통하여 얻어진 수치표고모형의 정확도에 대하여 연구하였고 댐의 저수량, 준설공사를 위한 유사량 변화탐지, 정밀 구조물의 모니터링, 각종 SOC 관련 정밀 공사측량 등에 매우 높은 정확도로 3차원 위치를 결정할 수 있음을 제시하였다[5]. 이재원 등(2005)은 RTK-GPS와 음향측심기를 이용하여 저수지의 내용적을 도출하고 3D 모델링에 의한 시각화를 행하였다[6]. 이와 같이 하천측량에서 3차원 자료의 획득을 위해 GPS 및 음향측심기 등의 장비와 최신 측량기술을 동원한 다양한 방법 등이 모색되어 왔으며[7], 앞으로 GIS 및 수자원 분석 등을 위한 적용연구가 더욱 활발히 진행될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 종래의 하천측량을 실시간 동적 GPS(Real-Time Kinematic, RTK-GPS)와 음향측심기(E/S : Echo Sounder) 장비를 조합하여 정확하고 효율적인 3차원 하천측량 성과를 도출할 수 있는 시스템을 개발하고 이의 효용성을 종래의 측량방법과 비교하여 검증하고자 한다. RTK-GPS측량과 음향측심기를 이용하여 관측한 자료를 Visual Basic 언어를 이용하여 3차원 좌표와 수심값을 가진 종합자료로 만들고, ArcGIS 프로그램을 이용하여 하저 DEM을 생성한다. 이것을 이용하여 효율적으로 하천지형의 단면자료와 3차원 자료를 구축하고 수자원 분석 등에 사용할 데이터베이스로 활용할 수 있도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 연구의 수행절차를 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫번째 단계는 GPS와 음향측심기를 조합한 하저측량시스템을 구성하는 것이다.

두번째 단계는 개발한 시스템에 의한 시험관측을 행하여 분석지역 및 주변 지형의 관측자료, 수치지형도를 근거로 하저지형 및 제내지의 데이터베이스를 구축한다. 이렇게 구축된 자료를 이용하여 본 연구를 위해 제작한 합성 및 변환프로그램을 이용하여 평면위치정보인 X, Y 좌표와 수심(높이)정보인 H값을 동시에 관측하여 동일한 저장 시간에 따른 관측값을 합성한다. 이렇게 합성한

자료를 GIS 프로그램을 이용하여 3차원 TIN정보를 생성하여 하저지형의 수치표고모형(DEM)을 구축한다.

세번째 단계에서는 기 구축된 자료를 GIS분석기법을 이용하여 하저지형 및 제내지 지역을 3차원 자료로 구축하고 하천 측량에 필요한 종·횡단 자료 및 단면적을 산출한다. 또한 구축 및 관측된 자료를 종래의 수심관측방법을 이용한 측량성과와 비교하여 개발된 시스템의 정확도를 비교함으로써 시스템의 효용성을 검증한다.

II. 시스템 구성 및 현장 실측

음향측심기(KAIJO PS-20R)와 GPS(Trimble 5700)의 조합을 위하여 음향측심기의 상부에 GPS 안테나를 부착하였다. 또한 음향측심기와 GPS 안테나가 수면과 수직을 유지할 수 있도록 로프와 고정대를 이용하여 고정하였다.

표 1. 관측장비의 제원

구분	토탈스테이션	GPS	음향측심기
모델명	SOKKIA Set 3010	TRIMBLE 5700	KAIJO PS-20R
정확도	$\pm(2+2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$	수평 $1\text{cm} \pm 1\text{ppm}$ 수직 $2\text{cm} \pm 1\text{ppm}$	$\pm(3\text{cm} + \text{수심} \times 1/1000)$

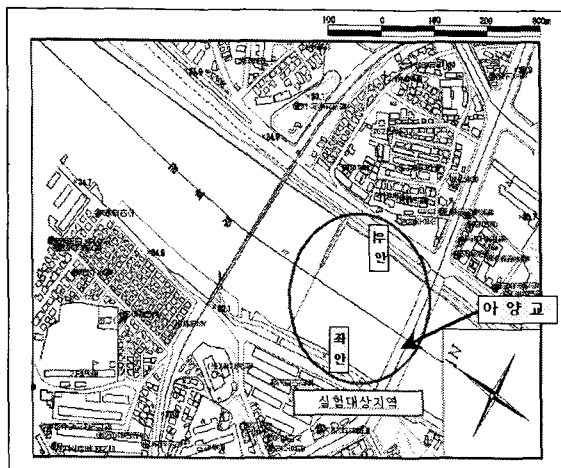


그림 1. 실험대상지역

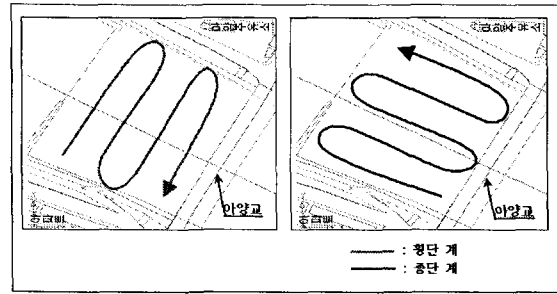


그림 2. 관측계획 경로도

실험대상지역으로는 대구광역시 금호강 아양교 하류의 하폭이 약 250m, 수심 1.2m~3.0m인 지점이다[그림 1]. 관측방법은 보트를 이용하여 음향측심기와 GPS 수신기 및 노트북PC, GPS를 탑재하고 [그림 2]에 나타낸 바와 같이 종방향과 횡방향으로 관측하도록 관측계획 경로를 설정하였다.

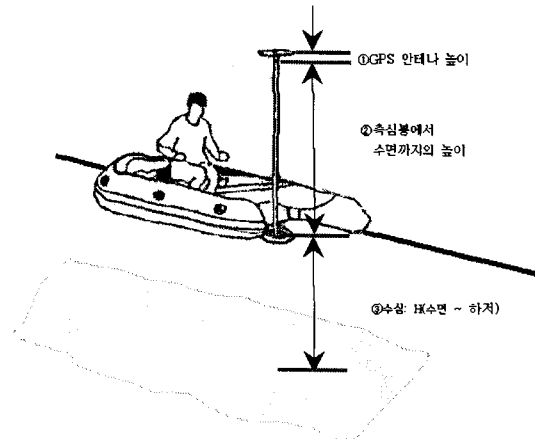


그림 3. 하저의 3차원 좌표 측정원리

수심측정지점에 대한 3차원 위치를 구하기 위해 [그림 3]과 다음 식의 원리를 이용하였다.

$$S = A - (① + ② + ③)$$

S : 3차원 수심좌표값

A : RTK-GPS와 음향측심기를 이용한 관측값

관측의 정확도를 높이기 위해 지중관로위치 탐사용역의 일환으로 설치된 GPS 도시기준점을 이용하였다. RTK-GPS 기준점 CP.042에 기준국을 세우고 실시간 Kinematic 관측을 실시하였다[그림 4]. GPS와 음향측심

기의 관측 시간간격은 1초로 셋팅하여 측정자료를 기록하였다. 관측자료의 저장장소로는 RTK-GPS는 기기 내의 메모리에 저장되고, 음향측심기 관측자료는 노트북 PC와 연결하여 저장하였다. 사후분석을 통해 얻어진 실제관측경로는 [그림 4]와 같다.

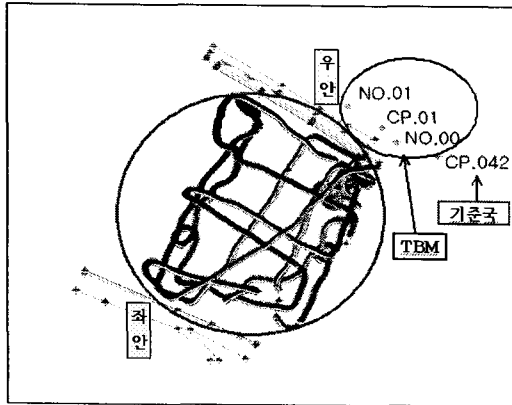


그림 4. 실제 관측 경로도

본 연구에서는 음향측심기 관측데이터와 GPS 관측데이터의 원활한 합성을 위하여 Visual Basic을 이용하여 프로그램을 작성하여, GPS에 의한 위치데이터와 음향측심기의 수심데이터를 노트북 PC에 내장되어 있는 시간을 이용하여 합성하고 text 파일로 저장하도록 하였다.

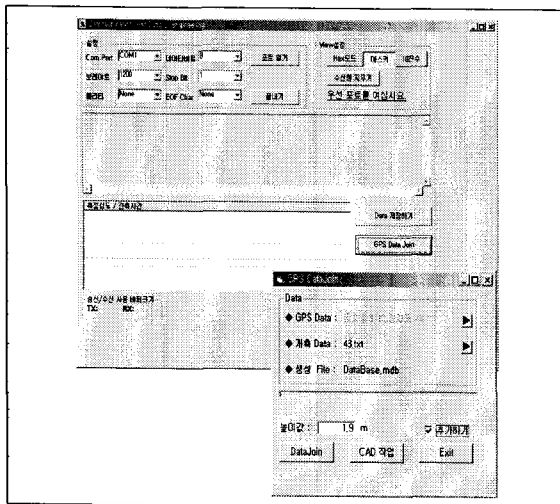


그림 5. 좌표합성 3차원 DB 구축 프로그램

GPS에 의해 WGS84 좌표계로 얻어진 데이터는 TM

투영좌표 및 표고로 변환하여 합성할 수 있도록 하였다. 따라서 GPS 및 수심관측 값의 합성을 위해 RTK-GPS 방식으로 관측한 위치좌표(x, y, H / sec)와 음향측심기를 이용한 수심(H / sec)을 공통 시간대 별로 합성하여 시간 별 위치 및 수심좌표인 3차원 측정값을 형성하였다. 즉 측정값의 합성을 용이하게 하기 위해 노트북 컴퓨터 상의 시간과 RTK-GPS의 시간을 동일하게 맞추고, 각각 관측 후 같은 시간(sec)별 3차원 좌표(x, y, H / sec)를 합성하였다.

[그림 5]는 본 연구를 위해 작성한 프로그램 분석 틀을 나타낸 것이다. 본 분석 틀(tool)은 음향측심기의 RS232(COM1) 포터에서 보레이트(bps)를 맞추고 통신창(포트열기)를 실행하여 측정심도/관측시간 데이터를 기록하도록 하였다.

III. 3차원 하저지형 분석 및 검측

연구지역의 분석을 위하여 수치지형도 축척 1:500과 1:5,000을 이용하여 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 구축을 위하여 고도값을 수치지형도로부터 추출하였으며, 기존의 하천 및 제내·외지 측정 자료를 표고값으로 이용하였다. 또한 현재의 지형변화를 반영하기 위해 현황측량을 실시하고 이 값을 점 데이터로 사용하였다.

ID	No	XI	YI	elevation	Date
7112	1519	265582.912	167510.707	25.625	2005-11-16
7113	1520	265581.95	167509.932	25.668	2005-11-16
7114	1521	265581.125	167508.9	25.696	2005-11-16
7115	1522	265580.367	167507.65	25.662	2005-11-16
7116	1523	265579.848	167506.55	25.71	2005-11-16
7117	1524	265579.161	167504.902	25.708	2005-11-16
7118	1525	265578.487	167503.197	25.705	2005-11-16
7119	1526	265577.856	167501.693	25.685	2005-11-16
7120	1527	265577.272	167500.311	25.673	2005-11-16
7121	1528	265576.681	167498.988	25.654	2005-11-16
7122	1529	265576.06	167497.694	25.589	2005-11-16
7123	1530	265575.417	167496.494	25.59	2005-11-16
7124	1531	265574.736	167495.42	25.54	2005-11-16
7125	1532	265574.064	167494.456	25.527	2005-11-16

그림 6. Data Join에 의한 좌표 데이터베이스

[그림 6]은 프로그램 상의 Data Join 기능에 의해 합성된 3차원 좌표 데이터베이스를 나타낸 것이다. 또한 데

이터베이스 자료와 3차원 좌표(점 데이터)를 이용하여 ESRI사의 ArcGIS 프로그램으로 [그림 7]과 같이 TIN 분석기법에 의하여 3차원 하지지형을 구축하였다.



그림 7. TIN을 이용한 3차원 하지지형

[그림 8]은 [그림 7]의 TIN 자료로부터 격자 DEM(cell 1m×1m)으로 변환하여 나타낸 것이다.

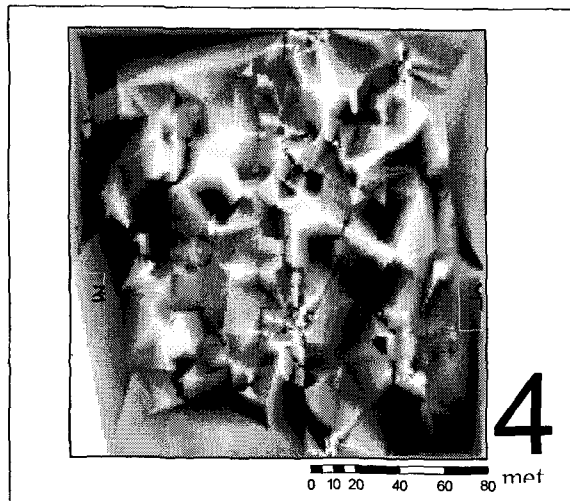


그림 8. 대상지역의 하저 DEM

[그림 9]는 DEM의 그리드 값을 GIS의 Reclassify 기능을 이용하여 하상표고를 0.1m 간격으로 구분하여 나타낸 것으로서 24.49m~25.75m의 범위로 나타났다.

RTK-GPS와 음향측심기를 이용한 하상측량시스템의 검증에 위하여 그림 10에 나타낸 바와 같이 대상지역 내에 고르게 배치한 검사점들의 위치를 토털스테이션(TS)과 고저측량용 표척(staff)을 사용하여 검증하였다. 11개 지점의 검증 위치와 같은 좌표지점에서의 [그림 9]의 표고분석값을 검증값과 비교하였다.



그림 9. 대상지역의 표고분석도

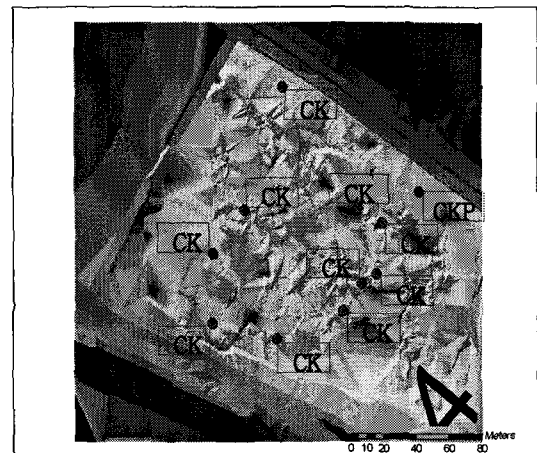


그림 10. 검증지점도

[표 2]는 하상에 대한 GPS-음향측심기에 의한 관측결과와 토털스테이션 및 표척(TS & Staff)에 의한 검증결과를 근거로 하여 동일좌표 지점에서의 표고 추출값을 비교하여 제시한 것이다.

[표 2]에서 하상표고차는 GPS & E/S에 의한 관측값에서 TS & Staff에 의한 검증값을 뺀 값이다. 대상지역의 하상에 대한 검증지점의 값들을 기준데이터로 하여 TIN 보간법에 의한 추출값들과 비교한 결과, 평균표고차 0.021m 만큼 TS & Staff측이 높게 나타났으며, RMSE 0.0345m, 최대 및 최소 표고차는 각각 0.152m와 0.012m로 나타났다.

표 2. 하상표고의 실험결과와 검측결과와의 비교

(단위: m)

검사점 No.	x(N)	y(E)	수심 관측값		하상표고 관측값		하상 표고차
			GPS & E/S	T/S & Staff	GPS & E/S	T/S & Staff	
1	265605.806	167499.447	1.931	1.900	25.413	25.352	0.061
2	265525.713	167472.002	1.089	1.100	25.331	25.343	-0.012
3	265496.991	167449.085	1.275	1.320	25.415	25.457	-0.042
4	265451.541	167448.989	1.488	1.420	25.290	25.212	0.078
5	265441.451	167495.634	1.364	1.420	25.489	25.535	-0.046
6	265459.636	167542.925	1.443	1.480	25.497	25.544	-0.047
7	265483.809	167567.162	1.539	1.590	25.281	25.342	-0.061
8	265477.534	167556.527	1.650	1.640	25.381	25.368	0.013
9	265517.180	167571.538	1.590	1.670	25.260	25.337	-0.077
10	265537.903	167598.158	1.741	1.900	25.260	25.412	-0.152
11	265529.930	167551.452	1.910	1.850	24.795	24.740	0.055

검측결과와의 분석을 통하여 GPS-음향측심기의 조합에 의한 우수지역의 하저 표고값의 정확도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 기 구축값을 이용하여 하천측량에서 필수적으로 요구되는 특정 단면의 횡단면의 자동 산출이 가능할 것으로 판단되었다. 종방향 50m 간격으로 횡단선을 설정하고 좌안을 기준으로 횡단선을 따라 20m 간격으로 격자 DEM으로부터 표고값을 자동 추출하였다 [그림 11][그림 12].

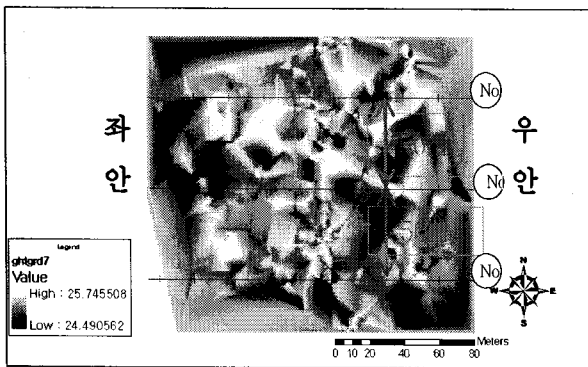


그림 11. Grid DEM 상의 횡단선 설정

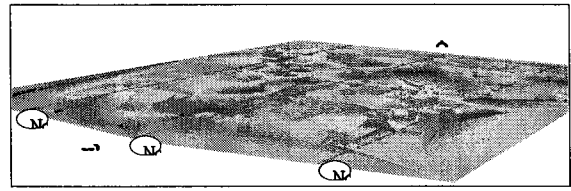
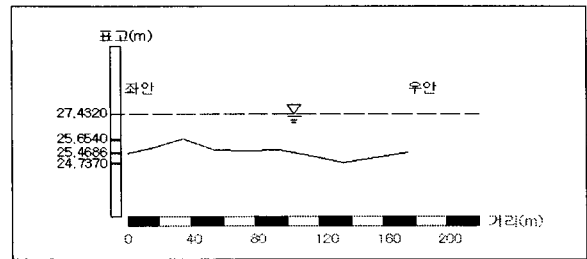
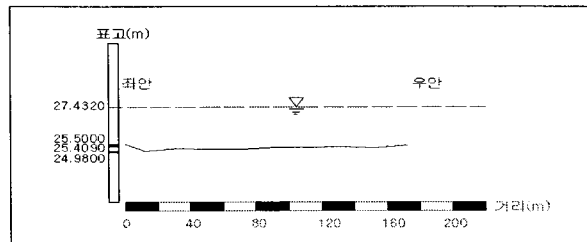


그림 12. GIS에 의한 횡단선의 표현

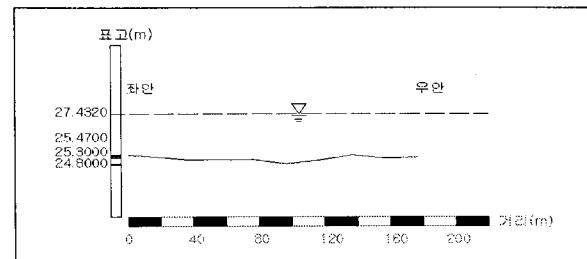
표고값 추출결과를 Microsoft사의 Access 프로그램으로 저장하고 좌안 기준점으로부터 상대적 표고값을 산출하여 하저단면을 AutoCAD 상에서 표현하였다. [그림 13]은 AutoCAD 상에서 횡단면도 No.1, No.2, No.3을 표현한 것으로서 지형의 기복을 명확히 하기 위해 하상표고의 축척을 10배 확대하여 나타냈다.



(a) No.1



(b) No.2



(c) No.3

그림 13. 횡단면도

IV. 결 론

GPS와 음향측심기를 조합하여 하천의 3차원 지형데이터를 취득하고 이를 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) RTK-GPS와 음향측심기를 조합한 하드웨어 그리고 관련 도면자료와 속성자료를 추출하기 위한 프로그램으로 구성된 하천의 3차원 지형데이터를 취득·처리할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2) 본 연구에서 개발한 3차원 하상측량시스템에 의한 실측값을 종래의 관측방식인 토탈스테이션과 스타프에 의한 검측값과 비교한 결과 그 차의 평균 0.021m, RMS 0.0345m의 근소한 값을 나타냄으로써 시스템의 적용타당성을 입증할 수 있었다.

3) 이 3차원 하상측량시스템은 종래의 측량방법에 비해 외업에서 높은 효율성을 기할 수 있을 뿐 아니라, 본 연구에서 개발한 데이터 합성프로그램에 의하여 3차원 좌표 데이터베이스를 자동 생성하고 이를 GIS 프로그램에 연계하여 DEM 생성 등의 하저지형정보를 추출하는데 적용함으로써 내업에서도 높은 효율성을 기할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 장창모, *하천측량 및 유지관리를 위한 GIS의 적용*, 영남대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
 [2] 박요섭, *다중빔 음향측심 자료 처리를 위해 해저면 맵핑시스템 개발*, 인하대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
 [3] 서정훈, 서동주, 이종출, "GPS와 음향측심기의 조합에 의한 저수용량 산정", *한국지형공간정보학회지*, 제10권, 제1호, pp.27-35, 2002.
 [4] 이동락, "GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구 하상 모니터링", *지구물리*, 제9권, 제2호, pp.105-112, 2006.
 [5] 강길선, 성천경, 조규전, "RTK-GPS와 E/S 조합관측을 통한 3차원 위치측량", *한국지적학회지*, 제20권, 제1호, pp.111-124, 2004.

[6] 이재원, 박운용, 양영보, 김용석, "RTK-GPS와 E/S를 이용한 저수지의 3D 모델링 형상 구현과 효율성 분석", *한국지형공간정보학회*, 제13권, 제1호, pp.11-17, 2005.
 [7] 노대훈, *멀티빔 자료를 이용한 웹기반의 3차원 해저 지형 가시화*, 인하대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
 [8] R. B. Phelan, *OTF DGPS for Estuarine Dredging and Sounding Surveys*, The University of New Brunswick, 1997.
 [9] A. Asada and T. Ueki, "Synthetic Aperture Analysis Using a Multibeam Echo Sounder," *The Journal of the Acoustical Society of Japan(E)* Vol.19, No.4, 1998.

저 자 소 개

이진덕(Jin-Duk Lee)

정회원



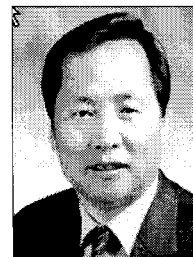
- 1983년 2월 : 충남대학교 농업토목공학과 (학사)
- 1986년 2월 : 충남대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1992년 8월 : 충남대학교 토목공학과 (공학박사)

▪ 1990년 4월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야> : 사진측량, 원격탐사, GIS, 디지털매핑

김현호(Hyun-Ho Kim)

정회원



- 2002년 2월 : 상주대학교 토목공학과 (학사)
- 2006년 2월 : 금오공과대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목공학과 박사과정 재학

▪ 현재 : 한성유아이엔지니어링(주) 대표이사

<관심분야> : 수치지도제작, GIS, 지하매설물측량