

수량계산을 위한 LiDAR와 SBES데이터 통합프로그램 개발에 관한 연구

오윤석* · 배상근** · 김병국***

Development of LiDAR and SBES data Merging Program for Calculation of Water Volume

Yoon-Seuk Oh* · Sang-Keun Bae** · Byung-Guk Kim***

요 약

본 연구에서는 항공레이저측량(LiDAR; Light Detection And Ranging)을 이용한 지상 지형자료(DEM, DSM DTM 등)와 단빔 음향측심기(SBES; Single Beam Echo Sounder), 측면음향주사기(SSS; Side Scan Sonar)를 이용한 하저 지형자료의 통합방안을 모색하고, LiDAR 데이터와 SSS/SBES 데이터를 통합하고 지형의 2차원 및 3차원 그래픽 표현, 수량계산 등의 기능을 갖는 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 소프트웨어의 정확도 비교는 상용 소프트웨어인 Surfer를 이용하였다.

주제어 : 항공레이저측량, 단빔음향측심기, 측면음향주사기, 수량계산

ABSTRACT : LiDAR(Light Detection And Ranging) can make terrain model where above the ground and the mixed data between SBES(Single Beam Echo Sounder) and SSS(Side Scan Sonar) can make terrain model where bottom of water. So this research suggest that how to merge data which are got from different devices and we developed the software which can display 2D/3D graphic and water volume calculation. And we compared accuracy between the commercial software 'Surfer' and LiDAR and SBES data Merging Program.

Keywords : LiDAR, Single Beam Echo Sounder(SBES), Side Scan Sonar(SSS), Water Volume Calculation

*인하대학교 지리정보공학과 박사과정, 한국건설기술연구원 학생연구원

**인하대학교 지리정보공학과 석사과정

***인하대학교 지리정보공학과 교수

1. 연구배경 및 목적

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로서 세계 평균인 973mm에 비해 약 1.3배 가량 많다. 그러나 높은 인구밀도로 인하여 인구 1인당 연간 강수량은 약 2,755m³로 세계 평균인 22,096m³의 12.5%에 불과한 실정으로 UN에서는 우리나라를 물 부족국가로 분류하였다. 또한 우리나라는 연도별, 지역별로 강수량의 변동이 매우 크고, 특히 계절적 변동은 더욱 심하여 전체 강수량의 2/3가 홍수기인 6월에서 9월 사이에 집중되어 있다. 게다가 우리나라의 하천 지형은 유역면적은 좁은 반면 유로연장이 짧고, 산지가 많아 하천경사도가 급한 편이어서 하천수의 유출이 비교적 짧은 기간에 이루어지므로 전반적으로 수자원관리에 어려움을 겪고 있다.

이러한 수자원의 불안정한 공급과 우리나라 국민의 물 낭비로 인하여 물 부족을 야기하게 되어 물 부족을 해결할 수 있는 방법을 모색하는 것이 시급하게 되었다.

물 부족을 해결하기 위하여 가장 간단한 방법이며 확실한 방법인 댐을 건설하는 방안이 있으나 지역주민의 반대와 자연환경파괴, 문화유산의 손실, 건설비용의 증가 등으로 인하여 댐 건설도 물 부족 해결방안으로서 확실한 대책일 수 없게 되었다. 그러므로 현재 저장되어 있는 물에 대한 철저한 관리만이 물 부족을 해결하는 가장 확실한 대책이라고 판단된다. 수자원의 손실 중 증발과 지하 유입은 마땅히 방지할 방법이 없으나 바다로의 유출은 최소화 할 수 있다. 이에 전체 우리

나라 연간 수자원의 31%에 달하는 바다로의 유실을 최소화하기 위한 방법으로 댐과 하천의 유량을 정확히 파악하여 객관적이고 정확한 자료를 바탕으로 물 대책을 수립하는 방법이 있다.

본 연구는 LiDAR와 SSS, SBES로 하천 주변지형과 하저 지형을 정확하고 신속한 방법으로 측량하고, 그 결과를 이용하여 하천과 댐의 정밀한 수량을 계산하기 위한 수치지형자료(DEM 등)를 제작하고 그와 관련된 소프트웨어를 개발하는데 목적이 있다.

2. 국내외 기술개발 현황

2.1 LiDAR 기술현황

LiDAR는 국내에 소개 된지 5년이 채 되지 않은 측량 신기술로서, 과거 연구사업 등을 통해서, 이제는 그 기술력을 인정받고 있는 실정이다. 국내에서 활용한 예는 2000년 (주)모바일매피에서 분당지역 일부를 대상으로 시범사업 추진하였고, 한진정보통신에서는 건설기술연구원과 임도추출을 위한 측량, 전자통신연구원과 제주지역 텔레매틱스 관련 사업을 위한 측량을 하는 등 현재는 광범위하게 사용하고 있다.

분당지역 시범사업 추진 결과 RMSE 0.10m정확도로 지형복원 가능함을 증명했고, 음영기복도, 고도채색도, 3차원 조감도, 등고선, DEM, DTM, DSM 등 다양한 지형 표현자료의 제작이 가능하였다. 2004년 국토지리정보원에서도 LiDAR 측

량결과를 법률적으로 인정하는 측량규정 수정안을 공포하기도 했다.

국외의 LiDAR를 보유하고 사용하는 업체는 주로 북미, 유럽 등에서 활동하는 업체로서, 현재 10여개 미만의 업체가 시장의 활성화를 위해 노력하고 있으며, 이 중에서 장비를 제작 판매하는 업체로는 Optech, Azimuth, Saab 등이 있다. 장비를 구입하여 사용하는 업체들의 대부분은 LiDAR 운용을 위한 공정을 개발하고 자체 개발한 자료처리 알고리즘을 활용하여 홍수범람지역 매핑, 시설물 관리(철도, 고속도로 등), 도심지역 3차원 매핑, 산사태 모니터링, 송전선 관리, Mining 평가, 연안 지역 모니터링 등을 실시하고 있다.

국외의 활용된 예로는 샌프란시스코의 레이저 지형측량(미 국방부 프로젝트), 오하이오, 펜실베이니아의 송유관, 가스관 계획, 관리에 수치표고모형 제공, 로스 알라모스와 뉴멕시코의 화재지역의 피해 완화를 위한 LiDAR 기술 적용 및 뉴욕, 위스콘신주의 홍수관리를 위한 측량 실시, 홍수 재해방지에 필요한 고정밀 수치지형모델 획득을 위한 LiDAR측량, 캐나다의 홍수범람 예측을 위한 1 ft 등고선 제작, 런던의 로얄파크 토지관리를 위한 매핑, 아이다호주 스테이크 강의 LiDAR측량과 알라스카의 산림관리를 위한 LiDAR측량 등이 있다.

2.2 SSS 및 SBES 기술현황

국내에서는 수자원공사 부산권관리단에서는 낙동강 하구연 수문 개방에 따른 사석구조물 쇄굴위치 및 보존 상태 진단사업에 SSS를 이용하여 조사구역 전체에

대한 전수조사를 수행하고 하저면 영상을 취득한 결과가 있다. 또한, 서울시 교량안전관리본부에서는 SSS를 이용하여 교각 주변의 공사잔재물의 분포와 양을 추정하기 위해 사업을 하였다. 이외에도 국립해양조사원에서는 수중 인공물인 어초의 분포와 상태를 파악하기 위해 SSS와 다중빔음향측심기(MBES; Multi Beam Echo Sounder)를 이용하여 도면화 및 자료 구축용역사업을 수행하고 있다.

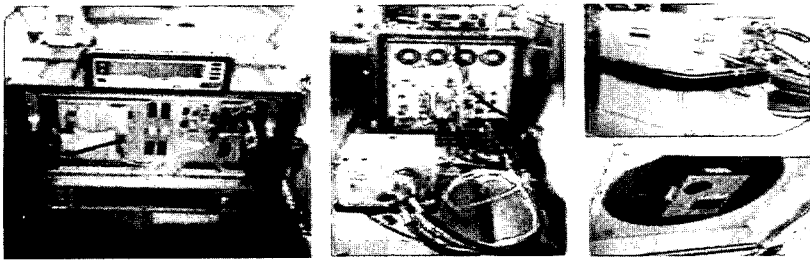
국내의 경우 해양토목건설부문에서 SSS와 MBES 기술을 이용한 조사사업이 일부 발주되고 있으나, 국내 내수면의 경우 기술 적용이 적합하지 않기 때문에 이를 대체하기 위한 기술이 필요한 실정이다.

국외의 사례는 미국의 경우, Tahoe라는 호수에 대한 정밀 수로측량 및 해저면 지질영상을 SSS와 음향측심기를 이용하여 취득한 후, 호수의 전반환경개선의 기본정보로 활용하고 있다. 프랑스의 경우, 음향측심 자료를 이용하여 해저지형에 대한 수치모델을 구축하고 그 위에 사이드스캔 소나 영상을 텍스처 맵핑하여 해저환경을 모델링한 후, 해저 퇴적 환경 연구를 수행한 결과가 공개되어 있다.

3. LiDAR 및 SBES의 특징

3.1 LiDAR

본 연구에서는 하천 주변 지형을 정밀하게 복원하기 위한 지형정보 획득 방법으로 항공레이저측량을 사용하였다. 항공레이저측량은 LiDAR(Light Detection And

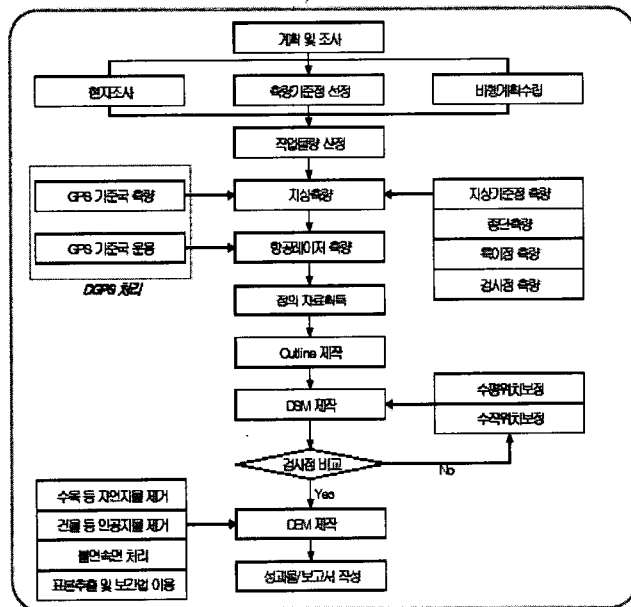


[그림 1] 항공기에 장비를 설치한 모습

Ranging) 시스템을 항공기에 장착하여, 레이저 펄스를 지표면에 주사하고, 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정을 통해 반사 지점의 공간 위치 좌표를 계산해내어 지표면에 대한 지형정보를 추출하는 측량 기법이다. 이를 통해 기타방법과 달리 완전 자동처리가 가능하여 처리속도가 빠르며 능동적 센서이므로 날씨에 구애를 받지 않고 측량이 가능하다. 또한 지상기준점측량 작업이 어려운 해안, 습지 측량과 그림

자에 의해 방해받는 산림, 도심 지역에서 의 수치표고모형 제작에 유리한 장점이 있으며, 측량 정확도에 있어서도 수직정확도 15cm, 수평정확도 30cm를 보장하는 혁신적인 측량이다. 항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템은 GPS, 관성항법장치(IMU : Inertial Measuring Unit) 및 레이저파를 지상에 송신하고 수신하는 레이저스캐너 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다.

LiDAR측량 순서는 그림 2와 같다



[그림 2] LiDAR측량 순서

3.2 SBES

수중원격탐사 시스템의 종류에는 단일빔음향측심기, 천부지층탐지기, 측면음향주사기, 다중빔음향측심기가 있다.

단일빔음향측심기(SBES; Single Beam Echo Sounder)는 음파가 해저면에 의해 반사되어 되돌아오는 시간 계측하여 거리 계산하는 것으로, 어군을 탐지하기 위한 소나(Fish Finder)에서는 수중 유영생물체에서 반사되는 음압 및 거리를 계측하여 어군의 위치와 크기 등의 정보 추출할 수 있다. 천부지층탐사기(Sub Bottom Profiler)는 12KHz 급 저주파 음파를 사용하며, 해저면을 구성하고 있는 지층매질 구성의 변화를 구분할 수 있다. 이를 이용하여 기반암까지의 지층분포를 확인할 수 있으나 실제로 시료를 채취해야 정확한 판단을 할 수 있다. 측면음향주사기(SSS; Side Scan Sonar)는 한번의 음파 송수신으로 측량선 현 방향으로 50m~1Km까지 탐사가 가능한 장비로 최고 14노트의 선속을 유지하면서 관측이 가능하여 신속하고 광범위한 면적을 탐사하는데 적합하다. Narrow Beam을 채용하여 한 빔의 경사거리 해상도 3.75cm로 유지해야 하며, 최근에는 송수신된 음압자

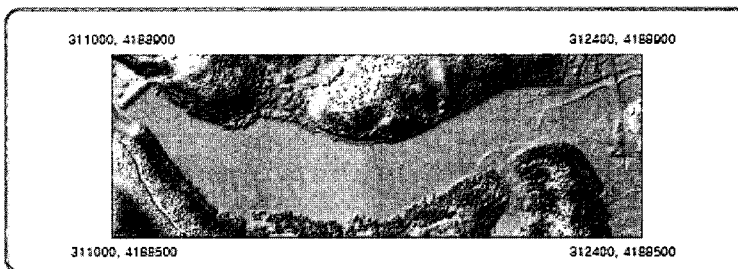
료를 디지털 신호로 변환하고 디지털 미디어에 기록하여 사후 재생 및 디지털 후처리가 가능하고, 동시에 취득된 DGPS 측위정보와 연동하여 수중물체의 정확한 위치와 거리, 물체의 크기 등 계산할 수 있다.

다중빔음향측심기(Multi Beam Echo Sounder)는 단일빔음향측심기와는 달리 음파로 구성된 수천 개의 빔으로 한 번에 여러 지점에 대한 수심을 측정하는 방법으로 탐사대상의 전체 지형과 음압 영상을 동시 취득할 수 있는 반면, 단점으로 매우 낮은 수심에서 포괄할 수 있는 면적 감소되어 효율성이 떨어진다.

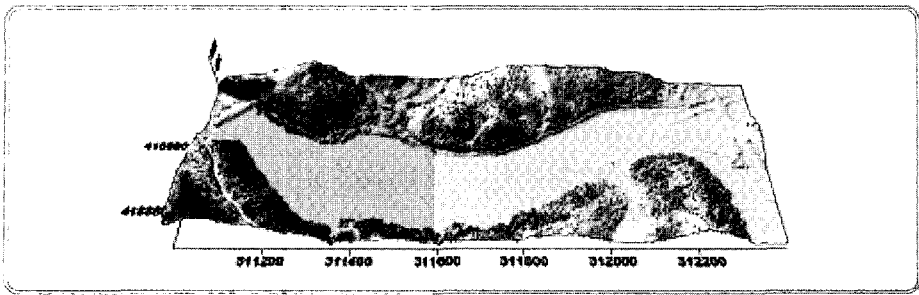
4. 시범적용 및 프로그램 개발

4.1 시범지역

본 연구에서는 경기도 파주시에 위치한 애룡저수지 인근을 대상으로 시범사업을 실시하였다. 경기도 파주시 애룡저수지는 수자원공사에서 건설한 인공저수지로서 길이1400m, 폭 500m 가량이고 주위에 산이 낮아 GPS 사용이 용이하며 파주 인근



[그림 3] 시범지역 DEM 및 범위



[그림 4] 애룡저수지 LiDAR측량결과(입체)

지역 가뭄에 대비하기 위한 저수지이기 때문에 배를 띄울 정도로 수심이 깊다. 또한 저수지이고 낮은 산으로 둘러싸여 있어 수면이 잔잔하여 수심측량하기 적합하다.

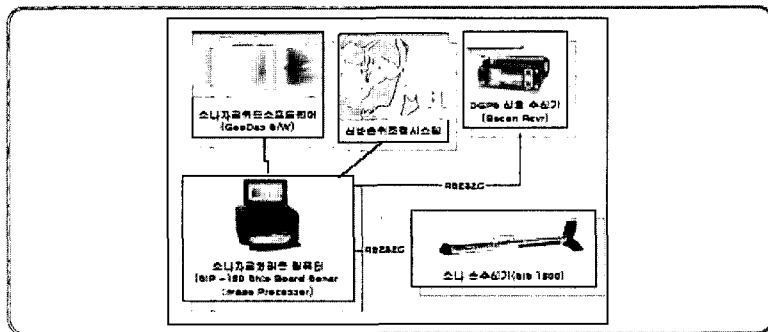
4.2 LiDAR 측량결과

LiDAR 측량을 실시한 결과 대상지역의 관측점의 개수는 1,333,410개, 점밀도는 약 2개/m²이며, 전체 96개 Path 중 54개 Path에 애룡저수지가 포함되어 있고 표고는 최고 표고 168.24m, 최저 표고 51.07m, 평균 표고 88.39m이다. [그림 4]는 1m간격 DEM을 Surfer에서 제작한 것이다.

4.3 SSS/SBES 측량결과

본 연구에서 사용된 SSS장비는 미국 Benthos사의 Benthos SIS-1500으로 시스템 구성은 [그림 5]와 같다. 이 장비는 조사 구역 전체에 대해 영상을 취득한 후 이를 토대로 우심지역을 선정하여 활용할 수 있다.

SBES는 미국 Odom Hydrographic System, Inc에서 제작된 것으로 시스템은 기록장치와 송수파기(transducer) 등으로 구성되어 있으며 이 시스템의 200m 깊이까지 측정이 가능하다. 이 장비를 활용하면, 정밀 음향 측심 및 위험물을 피할 수 있고 SSS Bottom tracking 자료로 이용할 수 있

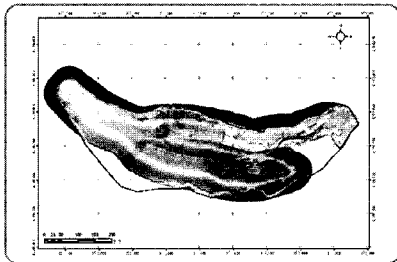


[그림 5] 사이드스캔소나 시스템 구성

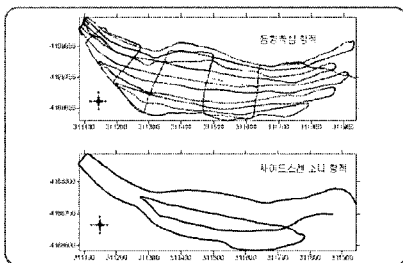
으며 3차원 수심 자료 취득용으로 사용 가능하다.

애룡저수지의 모자이크 영상제작은 OIC GeoDAS 의 Realtime-Mosaic기능을 이용하여 설계하였으며, 모자이크한 결과는 [그림 6]과 같다. 전반적으로 평평한 지형을 보이며 중앙 상단부분과 우측부분에 지형의 변화로 인한 그림자 효과가 나타난다. 따라서 해당 부분을 보다 세밀하게 자료를 취득할 경우 체적을 보다 정확하게 계산할 수 있다.

모자이크 영상 분석에 의해 지형변화가 심한 지역에 대한 세밀한 측선이 설계되었다. 그 지역에 대해 Hypack을 사용하여 정확하게 관측하였다. 측량과정에서 수면과 센서간의 이격거리를 기록하여 DEM 제작 시 고려하였다. SSS 및 SBES 측량의 항적은 [그림 7]과 같다.

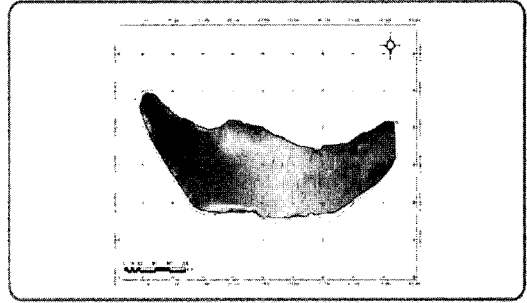


[그림 6] 대상지역 모자이크 영상

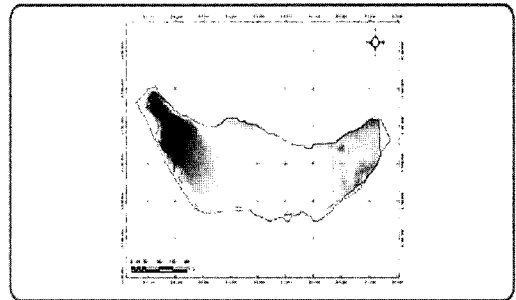


[그림 7] SSS 및 SBES 측량의 항적

이와 같은 측량결과를 이용하여 수중지형을 표현한 것은 [그림 8], [그림 9]와 같다.



[그림 8] TIN을 이용한 수중지형



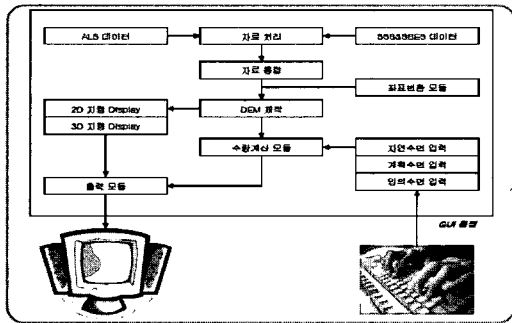
[그림 9] 정규격자형식의 수중지형

4.4 통합프로그램개발

본 연구에서는 LiDAR를 이용한 지상데이터와 SSS/SBES를 이용한 하저 데이터의 통합모듈, 3D Viewing 모듈, 수량계산 모듈, 수면 입력모듈, 좌표변화 모듈, 출력 모듈, 도움말 모듈 등 데이터 처리 및 관리에 필요한 모듈을 개발하였다.

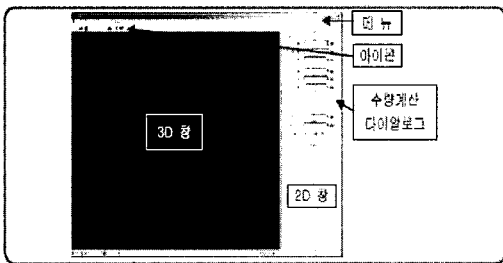
시스템 환경은 Windows OS기반의 Desktop 컴퓨터이며, 시스템 특징은 GUI 환경의 사용자 편의주의 프로그램, 대용량 데이터 처리 시간을 최소화할 위한 설계, 모니터 해상도에 관계없이 사용가능한 프로그램,

MFC와 OpenGL등 검증 받은 Class와 Library를 사용하여 프로그램의 가독성과 안정성 제고, 프로그램의 가독성이 높기 때문에 기술 공개가 용이, 대부분의 기능을 개별 모듈로 작성하여 업그레이드가 용이한 특징을 갖는다. 시스템 구성은 [그림 10]과 같다.



[그림 10] 시스템 구성도

화면구성은 [그림 11]과 같이 상단에 메뉴, 아이콘, 3D 창, 2D창, 수량 계산 다이얼로그로 나눌 수 있다.

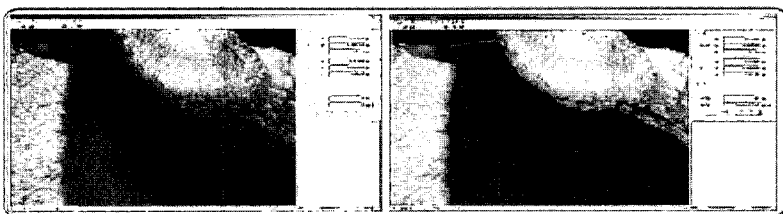


[그림 11] 화면구성

두 가지 서로 다른 성격의 자료를 통합하기 위해 자료통합모듈을 개발하였다. 이 모듈은 LiDAR와 SSS/SBES 데이터를 이용하여 동일한 격자 간격의 DEM을 제작하고, ALS DEM중에서 SSS/SBES DEM이 차지하는 범위를 SSS/SBES DEM으로 대체하는 모듈이다. 통합된 데이터는 파일로 저장되며, 파일에는 Header를 입력하는데 Header에는 X, Y축의 Grid 개수가 입력된다.

수량계산이 가능하도록 수량계산 모듈을 개발하였다. 수위입력방법은 자연수면 입력, 계획수면 입력, 임의수면 입력방법이 있다. 자연수면 입력방법은 측량 당시 수면에서 수량을 계산하는 방법이고, 계획수면 입력방법은 하천 높이를 결정하여 수량을 계산하는 방법이며, 임의수면 입력방법은 임의의 높이를 마우스로 클릭하여 수량을 계산하는 방식이다. [그림 12]는 수면을 입력하기 전과 수면높이를 입력한 후의 결과를 나타낸 것이다.

수량을 계산하기 위하여 체적을 계산하는 방법은 다양하다. 본 프로그램에서 제작하는 것과 같은 일정간격 Grid의 경우 각 Grid의 Cell의 체적을 합하는 방법을 사용해도 체적이 계산된다. 그러나 정확



[그림 12] 수위 입력 전(좌측) 수위 입력 후(우측)

한 계산을 위해서 Extended Trapezoidal Rule을 적용하여 체적을 계산하였다. 계산식은 아래의 수식과 같다.

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} (G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}) \quad (1)$$

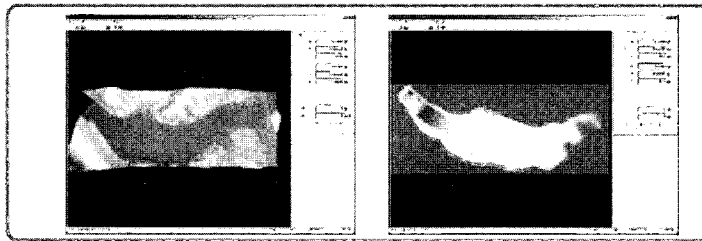
$$Vol \approx \frac{\Delta y}{2} (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol})$$

- 여기서, $G_{i,j}$: 각 Grid Cell의 체적
- A_i : i 번째 x 축의 체적
- Δx : Grid x 축 방향의 간격
- Δy : Grid y 축 방향의 간격

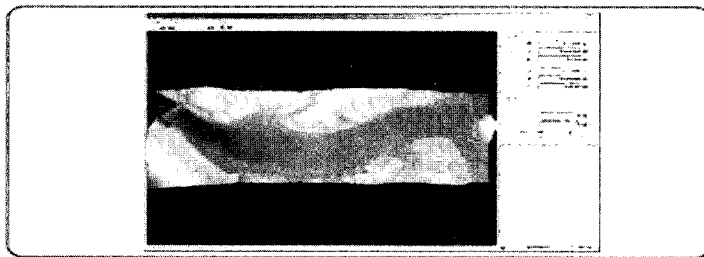
5. 결 과

자료통합모듈을 사용하여 [그림 13]과 같은 ALS 측량결과와 SSS/SBES 측량결과를 통합하면 [그림 14]와 같이 나타난다.

수량계산의 정확도를 확인하기 위하여 Surfer 8을 이용하여 계산한 체적과 본 연구에서 제작한 프로그램에서 계산한 체적을 비교한 결과 <표 1>과 같이 0.02% 이



[그림 13] ALS 측량결과(좌측) SSS/SBES 측량결과(우측)



[그림 14] 데이터 통합 결과

<표 26> 수량계산 결과비교

높이(m)	Surfer결과 ① (m ³)	실험결과 ②(m ³)	차이 ①-②(m ³)	비율(%)
100	15,999,294.20	16,002,453.67	-3,159.47	1.97
110	21,738,674.88	21,740,752.68	-2,077.80	0.95
120	27,861,281.47	27,862,375.69	-1,094.22	0.39
130	34,294,212.73	34,294,898.26	-785.53	0.23
140	40,966,734.71	40,966,999.00	-284.29	0.06
150	47,769,266.80	47,769,516.19	-249.39	0.05

하의 오차가 발생하였다.

6. 결 론

본 연구의 특징은 아직 보편화 되어 있지 않은 새로운 측량방법을 사용하여 지형을 복원하고 그 복원된 데이터를 이용하여 수량계산에 이용하는 것이다. 따라서 신기술의 효율성과 검증하고 보급할 수 있는 계기를 마련할 수 있으며, 본 연구에서 사용하는 기술의 장점을 유사업무 종사자에게 확인시켜줄 수 있을 것이다. 현재 DEM을 만드는 가장 보편적인 방법은 수치지도를 이용하는 방법이다. 그러나 이 방법의 경우 정확도가 낮으며 격자간격도 본 연구에서 나오는 결과보다 훨씬 크고 수치지도의 갱신주기가 5년이므로 최신의 정밀한 지형을 복원하기는 한계가 있다. 따라서 본 연구의 결과는 경관분석이나, 도시설계, 토공량 계산 등 정밀한 지형이 필요한 분야에서 활용할 수 있을 것이다.

SSS/SBES를 이용할 경우 하저지형에 대한 정보뿐만 아니라 하저면을 구성하고 있는 매질의 특성을 개략적으로 분류할 수 있다. 하저지형을 취득하기 위해서는 수심이 깊은 지역뿐만 아니라 육지와 물이 교차하는 위치 정보가 갖추어져야 정확한 체적계산을 할 수 있다. 일반적으로 조사선이 접근이 가능한 지역의 경우에는 음향측심기 등을 활용할 수 있으나 주변 육지와 접하는 부분은 직접 GPS로 관측하거나 동일시기의 LiDAR 자료를 활용해야 한다. 그러나 SSS 모자의 영상을 이용하면 경계부분이 명확하게 나타나므로 이

를 활용하면 보다 효율적으로 자료를 취득할 수 있다. 또한 SSS의 경우 조사범위가 매우 넓어서 신속하게 관측할 수 있기 때문에 수심 변화에 따른 경계의 부정확성이 줄어드는 효과를 얻을 수 있다.

향후 수리/수문학 측면에서는 하천 단면 형상뿐만 아니라 하천 바닥의 거친 정도가 중요하다. 본 연구에서와 같이 SSS로 취득된 지형 및 매질 관련 정보를 활용된다면 수량계산 뿐만 아니라 하천 수문 모델링에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국립지리원, 1999, 국가고도자료 구축연구 (II).
- 이재원, 1997, "항공사진측량 및 원격탐측분야의 최신 데이터획득기법의 현황과 개발", 한국지형공간정보학회 '97 학술발표회 개요집, pp.89-99.
- 허민 · 김형태 · 김병국 · 김용일, 1999, Lidar 데이터를 이용한 건물추출, 한국 GIS학회'99 추계학술발표회.
- Australian Surveying & Land Information Group, 1998, AUSLIG's Products & Services Digital Elevation Data.
- P. Axelsson, 1999, Processing of Laser Scanner Data - Algorithms and Applications, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- E.P. Baltsavias, 1999, Airborne Laser Scanning : Basic Relations and Formulas, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- Avril Behan, 2000, On the Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data, XIXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- <http://blt.wr.usgs.gov>
- <http://www.ifremer.fr/francais/>
- <http://www.airbornelasermapping.com/>