

LiDAR와 MBES를 이용한 댐 저수지 3차원 공간영상정보 구축

The Construction of 3D Spatial Imagery Information of Dam reservoir using LiDAR and Multi Beam Echo Sounder

이 근 상* 최 연 웅**
Geun Sang Lee Yun Woong Choi

요 약 최근 댐 저수지 주변의 3차원 공간정보 구축은 퇴사량 조사와 같은 댐 관리 업무에 매우 중요한 부분이나 기존에는 지형측량을 위해 토탈스테이션과 단빔음향측심기(SBES)를 사용한 관계로 정밀한 지형자료 취득이 어려웠다. 본 연구에서는 LiDAR와 멀티빔음향측심기(MBES)를 이용하여 댐 저수지 주변의 정밀 지형자료를 구축하는 기법을 제시하였다. 먼저, 육상부에 대해 LiDAR 측량을 수행한 후 지상기준점을 이용한 캘리브레이션을 수행하였으며 건물이나 수목을 제거하는 알고리즘을 통해 육상부의 DEM 자료를 구축하였다. 구축된 LiDAR DEM을 GPS 지형측량과 검측한 결과 표준오차는 0.108m로 나타났으며, 따라서 LiDAR 허용오차를 만족하는 3차원 지형자료를 구축할 수 있었다. 또한 저수지에 대해서는 MBES를 수행한 후 지형측량과의 검측과정을 통해 IHO의 수심측량 허용오차 기준을 만족하는 지형정보를 구축할 수 있었다. 그리고 LiDAR와 MBES 측량자료를 통합한 후 고해상도 정사영상지도와의 연계를 통해 퇴사량 예측 및 지형변화 모니터링 등과 같은 댐 관리 업무에 활용 가능한 3차원 공간영상정보를 구축할 수 있었다.

키워드 : LiDAR, 멀티빔음향측심기, 공간영상정보, 수심측량

Abstract Recently, the construction of three dimensional spatial information of Dam reservoir area is very important part in Dam management work such as sediment survey, but it is difficult to acquire detailed terrain data because totalstation and single beam echo sounder are applied to terrain survey. This study presented method to construct detailed terrain data of Dam reservoir area using LiDAR and multi beam echo sounder. First, LiDAR survey was carried out in land zone and calibration process was applied by ground control point. And also the DEM of land zone was constructed by using algorithm, which eliminated building and vegetation class. As the result of validation of LiDAR DEM using GPS terrain survey, it was possible to construct three dimensional terrain data that was satisfied with the tolerance error of LiDAR, which was the standard error of LiDAR DEM showed as 0.108m. Also multi beam echo sounder was applied to the survey of water zone and it could construct spatial information that was satisfied with bathymetry surveying tolerance error of International Hydrographic Organization by validation with terrain survey data. And LiDAR and multi beam echo sounder data were integrated and it was possible to construct three dimensional spatial imagery information that can be applied to Dam management work such as the estimation of sediment amounts or the monitoring of terrain change by linking with high resolution orthophoto.

Keywords : LiDAR, MBES, Spatial Imagery Information, Bathymetry Surveying

* 본 연구는 한국수자원공사의 "안동댐 퇴사량 조사" 성과를물 기초로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

* 전주비전대학 지적부동산과 전임강사 gslee@jvision.ac.kr

** 조선이공대학 토목건설과 전임강사 ywchoi@cst.ac.kr(교신저자)

1. 서론

효율적인 댐 운영 및 관리를 위해서는 댐 저수지로 유입되는 퇴사를 예측하여 저수용량 감소에 대한 정량적인 분석이 필요하며, 한국수자원공사에서는 2002년 11월부터 “다목적댐 퇴사량 조사지침”을 제정하여 매 10년마다 퇴사량 조사를 시행하고 있다. 퇴사량 조사를 위해서는 저수지를 포함한 댐 주변지역의 지형자료 취득이 필요하며 특히 저수지내 수심관측을 위한 수중원격탐사시스템은 단빔음향측심기(SBES; Single Beam Echo Sounder), 멀티빔음향측심기(MBES; Multi Beam Echo Sounder), 천부지층탐지기(Sub Bottom Profiler) 그리고 측면음향주사기(SSS; Side Scan Sonar)가 대표적이다. SBES는 음파가 해저면에 의해 반사되어 되돌아오는 시간을 관측하여 거리를 계산하는 것으로서, 어군 탐지를 위한 소나(Fish Finder)에서는 수중 유영 생물체에서 반사되는 음압 및 거리를 계측하여 어군의 위치와 크기 등의 정보를 추출하게 된다. MBES는 SBES와는 달리 음파로 구성된 수천 개의 빔으로 한 번에 여러 지점에 대한 수심관측이 가능하므로 해저 지형에 대한 3차원 지형취득이 가능한 장점이 있다. 천부지층탐지기는 12kHz급 저주파 음파를 사용하며, 해저면을 구성하고 있는 지층 매질 구성의 변화를 구분할 수 있다. 천부지층탐지기를 이용하여 기반암까지의 지층분포를 확인할 수 있으나 실제로 시료를 채취해야 정확한 판단을 할 수 있다. 측면음향주사기(SSS)는 한번의 음파 송수신으로 측량선 현 방향으로 50m~1km까지 탐사가 가능한 장비로 최고 14노트의 선속을 유지하면서 관측이 가능하여 신속하고 광범위한 면적을 탐사하는데 적합하다(오윤석 등, 2005).

퇴사조사를 위한 지형관측을 위해 2008년 이전에는 토탈스테이션을 이용한 육상측량과 SBES를 이용한 수심측량 방법을 이용하였다. 토탈스테이션을 이용한 기존의 육상측량은 설치된 기준점을 활용하여 저수지 상류부의 측량시 계획된 하천단면을 계획측선의 일정간격 또는 높이가 변하는 점들의 좌표를 산정하고 레벨 및 토탈스테이션을 이용하여 표고를 관측하는 방법을 이용하였다. 따라서 계획된 하천단면 이외의 지역에 대한 지형변화를 모니터링할 수 없고, 특히 계획 하천 단면의 위치가 거리상으로 고정되어 있어 하천의 만곡부 등에서 발생하

는 퇴사발생으로 인한 지형변화 특성을 효과적으로 파악할 수 없는 단점이 있다. 저수지내 지형취득을 위해 활용된 기존의 SBES 방법은 측량 계획측선을 따라 표고값을 산출한 후 지형보간 과정을 통해 저수지의 3차원 지형자료를 구축하게 된다. “다목적댐 퇴사량 조사지침”에서는 횡단측선의 기준을 분류 400m와 지류 200m로 지정하고 있으며, 이 기준은 저수지의 규모나 형상을 고려하고 있지 않기 때문에 지형변화가 심한 하도 구간이나 또는 경사가 심하게 변하여 퇴사가 많이 쌓이는 구간에 대한 모니터링이 어려운 문제가 있다(한국수자원공사, 2008).

이러한 문제를 개선하기 위해 2008년 “다목적댐 퇴사량 조사지침”을 개정하여 육상부와 수심부에 각각 LiDAR(Light Detection And Ranging)와 멀티빔음향측심기를 이용하여 지형자료를 취득하도록 하였다(한국수자원공사, 2008). 퇴사량 조사를 목적으로 수행되어온 기존의 측량방법에서 벗어나 새로 적용되는 측량기술은 보다 정밀한 관측이 가능하므로 저수지 퇴사를 효과적으로 예측할 수 있으며 나아가 댐 주변지역에 대한 3차원 공간정보를 구축함으로써 댐관리 업무를 위한 다양한 의사결정 자료로 활용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 댐 저수지가 가지고 있는 특성상 고려해야 될 여러 가지 문제가 있으며, 특히 육상부와 수심부가 만나는 경계 부분에 대한 지형획득 문제 및 댐관리자가 쉽게 대용량의 지형자료를 관리하고 운용할 수 있는 방안 등 실무적인 측면에서의 어려움도 내재되어 있다.

본 연구에서는 새로 개정된 “다목적댐 퇴사량 조사지침”에 의거하여 LiDAR와 MBES 측량방법을 이용한 댐 저수지 주변의 3차원 공간정보 구축방법을 소개하고 육상부와 수심부 자료의 통합 프로세스 및 지형자료 취득과 동시에 촬영한 고해상도 영상을 연계하여 댐 주변지역의 3차원 공간영상정보를 구축하는 기법을 제시하였다.

2. LiDAR와 MBES 연구 동향

본 연구에서는 댐 저수지 주변의 3차원 공간정보 구축을 위해 항공레이저측량 기술인 LiDAR를 이용하여 육상의 지형자료를 취득하였으며, 저수지내 지형 관측은 수중원격탐사시스템을 활용하였다. 여기에서는 LiDAR와 수중원격탐사시스템에 대한 개요와 이를 활용한 지형취득 연구동향을 소개하였다.

2.1 LIDAR 측량

항공레이저측량 기술인 LiDAR 시스템은 레이저 스캐너, GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measuring Unit)로 구성되어 있으며, 레이저 스캐너는 다시 거리측량부와 스캐닝 부분으로 분할되고 이들은 제어부를 통해 통합운영되고 제어된다. GPS는 센서의 정확한 좌표를 취득하게 되며, IMU는 항공기에 탑재된 센서의 자세를 보정하는 역할을 하고 레이저 스캐너가 센서와 지표면과의 거리를 관측하여 지표면상의 표고점에 대한 3차원 좌표를 결정하는 것이 LiDAR 측량의 위치결정 기본원리이다. LiDAR는 현재 레이저 센서 전면부에 부착된 거울이 회전하거나, Palmer 스캐너, fiber 스캐너, 회전 다각형 방식으로 지표면을 스캐닝하여 보다 넓은 지역을 측정할 수 있으며 주사각, 스캐닝 진동수, 비행고도, 비행속도, 초당 레이저 측정횟수 등이 측량의 밀도와 특성을 결정하게 된다(윤희천과 박준규, 2007).

LiDAR를 이용한 3차원 지형자료 취득에 관한 연구로서, 먼저 윤희천과 박준규(2007)는 LiDAR 자료를 이용하여 수치지형도의 주요 레이어인 건물, 도로, 등고선 등의 백터를 추출한 후 1/1,000 수치지형도 및 현지 GPS 측량성과와의 비교를 통한 정확도를 검증하였다. 또한 이현직과 유지호(2007)는 항공레이저측량 데이터를 이용하여 3차원 수치지도를 제작한 후 정확도를 비교함으로써 하천, 도로, 건물 등의 GIS 레이어 구축시 발생하는 문제점 및 한계점을 파악할 수 있었다. 아울러 위광재 등(2007)과 Andrej Kobler 등(2007)은 LiDAR 데이터를 이용하여 등고선을 추출한 후 GPS 측량에 의한 비교검토를 통해 LiDAR 측량에 의한 등고선 추출이 기존의 수치지형도 활용기법에 비해 우수한 정확도를 확보할 수 있음을 보여주었다. 이와 같이 LiDAR 자료는 3차원 지형자료를 신속하고 정확하게 취득할 수 있으며, 특히 LiDAR 자료를 고해상도 영상자료와 융합할 경우 3차원 실감정보를 가시화할 수 있는 큰 장점이 있다.

2.2 MBES 기술

MBES 기술은 1960년대 초반 미 해군에서 심해용 수심측량 목적으로 개발되었다가 1990년대 초반에 와서야 천해용으로 발전 상업화 되었다. 기존의

퇴사량 조사에 활용되었던 SBES 방법은 빔의 각도가 좁아 측위장비의 오차 허용범위가 크고 탐사선의 직하 방향의 수심만 관측하므로 디지털 자이로나 선박의 움직임을 보정하는 모션 센서 등의 부가장비가 장착되지 않는다. 또한 송수파기(transducer)에서 단 한 개의 초음파만 발진되어 수심을 측정하므로 선박을 아주 천천히 운항하더라도 결측되는 부분이 많이 발생하여 정밀한 측량이 어렵다. 이에 비해 본 연구에서 이용된 MBES 시스템은 복수개의 Sonar 트랜듀서 배열로 구성되어 있으며, 각 Sonar 배열의 위상차를 조절하여 지향각을 가지는 빔을 생성할 수 있다(Thierry 등, 2008). 따라서, 저수지 및 하천 지형을 스캐닝하는 효과가 있으며 장비에 따라 수심의 7배 폭에 해당하는 해저 지형을 결측 부분 없이 완벽히 측정할 수 있다.

일반적으로 음파를 발사할 때는 현 방향으로 넓고 선수 방향으로는 빔 폭이 좁은 부채꼴 모양의 빔을 생성하여 발사하며 수신할 때는 그와 직교되는 방향으로 여러개의 빔을 수신하여 두 빔의 직교되는 시점을 관측하여 경사거리를 측정하게 된다(박요섭, 2004). Sonar Head의 송신기에서 발사된 음파의 전달 경로를 직선으로 가정하면 음파가 수정에서 사각으로 진행하여 측정된 빔의 위치는 Sonar Head의 직하방 축으로부터 특정빔의 빔 각도(r)와 중앙부에서 해저면까지의 경사거리(S_i)로 표현될 수 있으며, 경사거리는 음향신호의 왕복전달 시간과 고정 음속도를 곱해서 얻을 수 있다. Sonar Head를 기준으로 한 빔의 위치는 식 (1)과 같이 Sonar 백터로 표현할 수 있다(김연수, 2005).

$$S_i = \frac{1}{2}n \cdot V \cdot T_i$$

$$B_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -S_i \cdot \sin(r_i) \\ -S_i \cdot \cos(r_i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, V 는 음속도, T 는 도달시간, n 은 경로수이다.

MBES를 이용한 지형취득 관련 연구로서, 박형근 등(2008)은 멀티빔 수심측량을 이용하여 방파제의 지형을 취득하여 기존 지형과 비교함으로써 피해지역 및 규모를 조사하였으며, 박요섭(2004)와 김연수(2005)는 MBES 측량시 발생하는 오차특성 및 정확도 개선방안을 제시하였다. 또한 김용철 등(2009)과 김준식 등(2009)은 MBES 및 SSS 등의 장비를 이

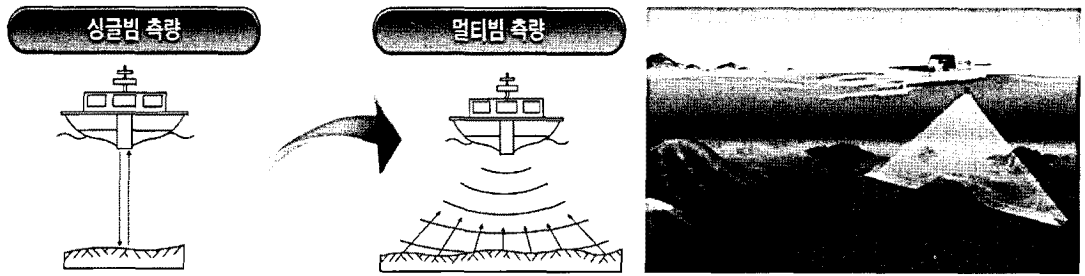


그림 1. SBES와 MBES의 차이

용한 해저시설물의 조사방법 및 정확도 개선기법 그리고 지구물리자료와의 비교분석을 수행하였다. Dick과 Mirjam(2009)은 MBES 후방산란 자료를 이용하여 해저면의 특성을 분류하는 기법을 연구하였으며, Ole Arve과 Janet (2000)은 MBES를 이용하여 어군의 형상을 통합적으로 기록하는 연구를 수행한 바 있다. 또한 Thierry 등(2008)은 다시기 MBES 측량자료를 이용하여 해저의 변화를 정량화하는 과정에서 발생하는 모호특성을 연구하였으며, Costa 등(2009)은 LiDAR와 MBES 기술에 의한 가상지형 자료취득 및 오차특성을 비교하는 연구를 수행하였다.

개의 표준권역으로 구성되어 있으며 유역면적과 저수면적은 각각 1,584km²과 51.5km²이고, 상시만수위 160.0m 기준으로 한 총저수용량은 약 12.48억m³를 나타내고 있다(한국수자원공사, 1996).

3. 연구대상지 및 측량조사

3.1 연구대상지

안동댐은 1971년 4월 착수하여 1977년 5월15일 준공되었으며, 연간 용수공급량은 926백만m³로서 그 중 450백만m³가 생 공용수로 사용되며 부산을 비롯하여 동해 남부지방의 울산지역과 남해동부의 창원, 마산, 진해 등의 주요 산업도시의 생공용수 공급원으로서 절대적 역할을 다하고 있다. 또한 낙동강 본류는 직접 취수가 가능하기 때문에 연간 약 1,495.7백만원의 송수관의 건설비 부담액 경감 효과가 있으며 댐 하류 약 44,000ha의 면적에 300백만m³의 관개용수와 176백만m³의 하천 유지용수를 안정적으로 공급할 수 있게 되었다. 댐건설 이전 낙동강 유역의 홍수 피해액은 1916~1971년간 연평균 약 63억원이나 되고 그 피해액 중 농산물의 피해가 46.4%를 차지하였다. 그러나 안동댐 건설로 인하여 댐하류 지역의 연간 110,000천m²에 해당하는 홍수량을 조절하게 되어 낙동강 유역 주민의 재산과 생명을 보호하고 있다. 안동댐 유역은 그림 2와 같이 11



그림 2. 안동댐 유역현황

3.2 기준점 측량

댐 저수지 주변의 3차원 공간정보를 취득하기 위해서는 먼저 안동댐 본류 및 지류구간을 포함하는 지역을 대상으로 기준점측량, 수준측량, LiDAR 및 MBES 측량을 수행하여 육상부와 수심부에 대한

정보를 융합하는 과정이 요구된다. 먼저 기준점측량을 위해 조정지점 주변의 1급 기준점 1개소, 3급 기준점 18개소, 4급 기준점 34개소를 한국수자원공사(1996) 자료를 토대로 선정하였다. 기준점측량은 퇴사량조사를 위해 설치한 경계표석의 평면좌표와 수준을 측량하기 위한 것으로서, 라이카 SR9500 장비를 이용하여 1급과 3급 기준점에 대해서는 정지측위법(Static)을 사용하였으며 4급 기준점측량은 신속정지측위법(Rapid Static)을 사용하여 측량한 후 라이카 SKI PRO 모듈을 이용하여 기선해석과 후처리 수행하였다. 1급 기준점은 4시간 이상 그리고 3급과 4급 기준점은 20분 이상 관측을 수행하였으며, 기선해석의 기준점은 국토지리정보원에서 제공하는 삼각점과 수준점 성과를 비롯하여 상주, 태백, 대구, 울진 등 총 4개의 상시관측소의 성과도 함께 활용하였다. 수준측량은 건설 당시의 댐마루 표고, 수준점 및 각종 부대 구조물의 표고를 점검하기 위한 것으로서 총 10개의 국가수준점을 이용하여 댐 주변에 53점의 표석에 대한 표고값을 산정하였다.

3.3 육상측량

본 연구에서는 육상부의 지형관측을 위해 LiDAR 측량을 수행하였다. 안동댐의 지형변화가 심하고 고도가 높아 촬영고도는 1,800~2,700m로 설계하였으며 세부적인 측량제원 계획표는 표 1과 같다. 또한 본 연구에 사용된 레이저스캐너 장비는 라이카 ALS50-II 로서, 최대 주파수는 150kHz, 최대 Scan Rate는 90kHz, 최대주사각은 75°이며 LiDAR 측량과 동시에 영상정보를 취득하기 위해 1,280×1,024 픽셀을 갖는 디지털카메라를 장착하였다. 보다 정확한 지형정보 취득을 위해 작업전 캘리브레이션을 수행하여 Roll, Pitch, Heading 및 Torsion 등에 대한 보정량을 산출하였으며 표고보정에 대한 보정량은 지상기준점 관측을 통해 얻어진 값을 이용하였다. 캘리브레이션 수행은 각 촬영코스별로 시행하여 최종 Roll, Pitch, Heading 및 표고 옵셋 값들을 레지스트리 파일에 저장한 후 본 촬영 성과의 표준포맷(*.LAS) 데이터 변환시 사용하였다. 캘리브레이션 과정을 거쳐 산출한 보정량은 표 2와 같고 그림 3은 보정량을 적용하기 전후의 건물에 대한 LiDAR 측량 포인트를 보여준다.

표 1. 안동댐 측량제원 계획표

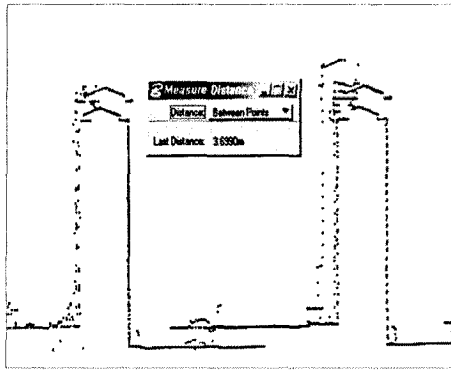
항목	내용	단위
대지 고도	1617~1800	m
해발 고도	1967~6453	m
촬영 속도	130	kts
코스수	27	코스
코스간중복도	35~40	%
주파수	60600	Hz
스캔각도	45	degrees
스캔횟수	42.46	Hz
빔지름	0.42	m, $1/e^2$
비행방향 측량점 간격	1.81	m
비행직각방향 측량점 간격	2.78	m
평균 점밀도	0.61	pts/m ²
평균 점간격	1.28	m

표 2. 캘리브레이션 보정량

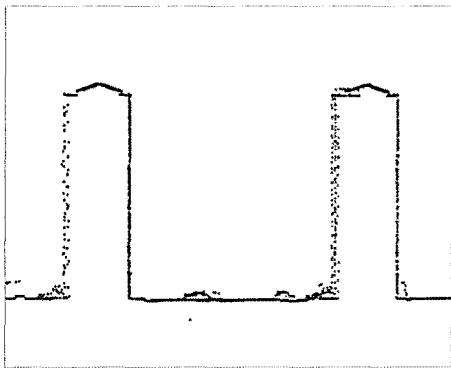
Foresite Angle 보정량			
구 분	Roll	Pitch	Heading
보정량(deg)	-0.5458	0.1695	-0.0603
표준편차(deg)	±0.0018	±0.0026	±0.0110
Range 보정량과 표고 옵셋			
구 분	Range 보정량	표고 옵셋	
보정량(m)	1.228	0.096	
표준편차(m)	0.082	0.169	

그림 4는 항공기에 탑재된 GPS와 IMU 장비에서 얻어진 정밀 3차원 좌표값과 캘리브레이션 과정에서 얻어진 Roll, Heading, Pitch, Torsion, 표고 옵셋 등을 조합한 3차원 레이저 스캐닝 데이터를 범용 포맷인 *.LAS로 변환하는 과정이다. 또한 LiDAR 측량성으로 얻어진 타원체고를 정표고로 변환하기 위해 GPS 측량 성과를 이용하여 정표고 보정량을 산정하는 후처리 과정을 수행하였다.

최종 성과물인 DEM을 제작하기 위해서는 취득된 원시 데이터로부터 지표면에 대한 관측점을 분류해야 한다. 지형분류는 건물 등과 같은 인공지물 및 수목에 대한 레이저 관측점을 제거하는 것으로서, 본 연구에서는 TerraScan 소프트웨어를 이용하여 지형의 경사도와 건물의 크기를 기준으로 분류하였다. 먼저 지면(Ground) 데이터를 분류하기 위해 최대건물크기(Max. building size), 수렴각(Iteration angle), 수렴거리(Iteration distance) 등을



(a) 보정전



(b) 보정후

그림 3. 건물의 보정량 적용

최대 높이를 설정하는 것이다(최연용과 조기성, 2005). 대상지역의 경우, 건물의 크기가 취득 코스마다 일정하지 않기 때문에 매 코스별 분류시 적용되어지는 조건값을 달리하였으며, 수렴각은 6°, 수렴거리는 1.4m를 적용하여 분류하였다. 지면 데이터를 제외하고 남은 데이터 중에서 식생의 높이에 따라 "vegetation data"를 분류하였다. 건물과 식생을 제거한 DEM 자료에 대한 정확도 검증은 위해 GPS 관측성과와 가장 근거리에서 레이저 관측점을 선택하여 높이값에 대한 비교를 시행하였으며, 근거리 점을 찾기 위한 조건으로 최대 삼각망의 거리(5.0m), 지형 경사각(5.0°) 및 경사 높이(1.0m)에 대한 조건을 이용하였다. LiDAR 측량의 고도별 정확도기준은 수직오차의 경우 비행고도 1,200m와 3,000m에서 각각 ±15cm와 ±35cm이며, 수평오차는 비행고도(H)×1/2,000로 약 1,000m 측량시 ±50cm이 내가 유지되도록 해야 한다. 표 3은 총 18점에 대한 GPS 지형측량성과와 LiDAR 측량성과에 대한 검측 결과로서, 표고에 대한 표준오차는 0.108m로 분석되었으며 본 연구에서는 고도 1,800~2,700m로 LiDAR 측량을 수행했으므로 허용 정확도를 만족한 것으로 분석되었다.

3.4 수심측량

기존의 SBES 방법에 의한 수심측량은 횡단상의 직하수심만을 관측하므로 정밀도를 증가시키기 위해 측량측선의 간격을 조밀하게 해야 하며 이로 인한 작업량과 작업시간이 과다하게 설계되는 문제가 있다. 또한 SBES 측량은 선박의 거동(Roll, Pitch, heading, Heave)에 의한 오차가 고려되지 않으므로 성과의 정도가 저하되는 문제도 발생하게 된다. MBES 측량은 선박의 거동오차를 효과적으로 개선할 수 있으며 수심별 음속보정이 가능하므로 정확도에서도 유리하다. 또한 음파의 발사범위가 약 120°로 수심의 약 3배까지 측정이 가능하므로 깊은 수심일수록 작업의 효율이 높아진다. 단점으로는 장비 세팅 소요시간이 많이 걸리고 수심이 얇은 지역에서는 효율성이 떨어지며 취득된 자료량이 방대하여 처리시간이 오래 걸리는 문제가 있다.

본 연구에 사용된 멀티빔 시스템은 SeaBat 8125 (Reson)로서 음파생성 기법을 이용하여 데이터를 획득하는 장비로서 240개의 빔을 구성하고 있고 주사폭은 120°이다. 그림 5는 멀티빔 시스템의 구성도

ID	Name	Type	X	Y	Z	Roll	Pitch	Yaw	Scale	Units	Layer
0001	0001	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0002	0002	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0003	0003	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0004	0004	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0005	0005	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0006	0006	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0007	0007	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0008	0008	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0009	0009	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0010	0010	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0011	0011	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0012	0012	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0013	0013	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0014	0014	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0015	0015	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0016	0016	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0017	0017	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1
0018	0018	1	10	40	50000	40	0	0	20	100	1

그림 4. 3차원 데이터 변환과정

조정하였다. 최대 건물 크기는 설정된 조건값의 정사각형 영역 내에 있는 관측점들을 분류하며, 수렴각은 점사이의 최대각 크기, 수렴거리는 점사이의

표 3. LiDAR 측량의 검측 결과

No	지형측량(m)			LiDAR 측량(m)			dx(m)	dy(m)	dz(m)
	GX(m)	GY(m)	GZ(m)	LX(m)	LY(m)	LZ(m)			
GCP09	188440.075	354908.308	166.127	188439.700	354908.310	166.320	0.375	-0.002	-0.193
GCP10	193574.863	352106.002	458.864	193575.320	352105.180	458.880	-0.457	0.822	-0.016
GCP14	182359.771	356859.758	181.752	182359.480	356858.820	181.370	0.291	0.938	0.382
GCP15	187676.045	353177.693	183.117	187675.800	353177.950	183.420	0.245	-0.257	-0.303
GCP16	192659.231	349834.640	171.734	192658.890	349835.140	171.970	0.341	-0.500	-0.236
GCP22	186301.173	350944.979	148.102	186301.100	350945.330	148.100	0.073	-0.351	0.002
GCP23	191523.091	348152.657	156.377	191523.710	348152.330	156.620	-0.619	0.327	-0.244
GCP29	182245.790	350603.040	193.887	182245.970	350603.110	193.880	-0.180	-0.070	0.007
GCP30	184367.977	348581.559	151.879	184368.200	348581.460	151.790	-0.223	0.099	0.089
GCP31	189797.927	345687.117	178.177	189798.420	345687.080	178.300	-0.493	0.037	-0.123
GCP31A	191344.457	344702.236	201.411	191344.130	344701.660	201.410	0.327	0.576	0.001
GCP37	189999.293	342365.121	173.212	189999.010	342365.600	173.230	0.283	-0.479	-0.018
GCP42A	184703.561	343233.370	179.501	184703.470	343233.370	179.520	0.091	0.000	-0.019
GCP43A	189083.062	340899.223	177.005	189083.300	340899.120	176.940	-0.238	0.103	0.065
GCP49	180992.012	343203.301	210.748	180992.390	343203.910	210.900	-0.378	-0.609	-0.152
GCP50	186006.549	339046.598	166.693	186006.340	339046.560	166.740	0.209	0.038	-0.047
GCP56	179500.158	340677.199	161.608	179499.880	340676.690	161.660	0.278	0.509	-0.052
GCP62	175467.221	340051.432	88.248	175467.860	340051.110	88.250	-0.639	0.322	-0.002
표준오차							±0.040	±0.083	±0.108

로서 DGPS 측량은 Trimble DSM 132 장비를 이용하여 정밀 위치데이터를 취득하였으며, 자세정보는 Octan III를 이용하여 자이로(Gyro) 데이터 및 모션(Roll, Pitch, Heading) 데이터를 취득한 후 송수파기로 들어오는 수심 데이터를 다양한 운영 프로그램으로 제어하여 데이터를 취합하도록 구성하였다.

댐 저수지는 저수지 수위에 따라 육상부와 수심부가 나누어지는 특성상 수심측량은 가급적 수위가 높은 시기에 수행하고 육상부는 수위가 낮은 시기에 수행하여 중복지역을 효과적으로 처리하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 수심이 10m 이상인 지역을 대상으로 MBES 측량을 수행하였으며, 10m 이하의 수심 지역은 부분적으로 SBES 측량을 수행하여 보완하거나 저수지 수위 저하시 육상으로 드러나는 시점에 LiDAR 측량을 수행하여 자료를 취득하였다. MBES 측량은 우천이나 수면과고가 0.5m 이상일 때는 수행하지 않았으며 측선은 기성과의 등고선과 나란한 방향으로 배치하였고 불규칙한 육상과 수면의 인접부를 먼저 측량한 후 측선을

측량하는 방법으로 계획하였다. 멀티빔 수심측량의 정확도는 획득된 수심에서 생성과정에 포함된 개별 오차들을 제거한 개정수심의 정확도를 의미하며 본 연구에서는 국제수로국 IHO(International Hydrographic Organization)의 정확도 기준에 따라 특등급을 기준으로 수행하였다.

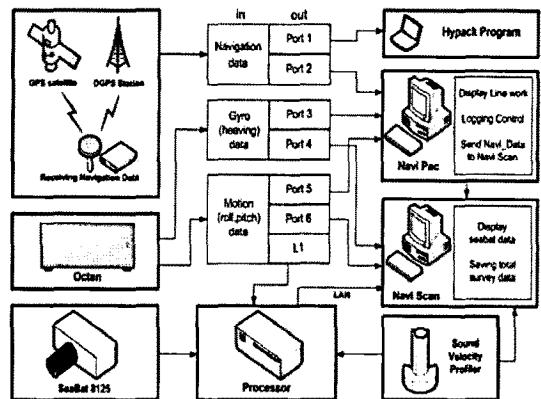


그림 5. 멀티빔 시스템 구성도

표 4. 수심측량을 위한 IHO 규정별 구역 구분

구 분	특등구역	제 1 등	제 2 등	제 3 등
수평정밀도 (98%신뢰구간내)	2m	5m+수심 5%	20m+수심5%	150m+수심5%
수심의 정밀도 (95%신뢰구간내)	a(=0.25m) b(=0.0075)	a(=0.5m) b(=0.013)	a(=1.0m) b(=0.023)	제2구역과 동일
100% 해저면에 대한 조사	강제조항	선택구역	선택구역	-
조사장비제원에 의한 해저면의 조사법면	1m 미만	제1구역과 동일	제1구역과 동일	-
조사라인간격	100% 해저면조사	3×평균수심 또는 25m 피치	3-4×평균수심 또는 200m피치	4×평균수심

표 4에서 오차계산은 $\pm\sqrt{a^2+(b\times d)^2}$ 로 수행되며 여기서 a는 오차상수, b는 수심에 따른 오차 인수, b×d는 수심에 따른 오차(수심별 오차의 합), 그리고 d는 수심이다.

멀티빔 측량시 성과에 가장 큰 영향을 주는 것은 캘리브레이션으로서 측량전에 이에 필요한 수심측량을 실시하고 Roll, Pitch, Heading 각각의 보정치를 찾아내어 측정된 수심의 중첩부분이 최대한 일치하도록 보정하였다. 본 연구에서는 캘리브레이션 측량을 수행하여 Roll, Pitch, Heading에 대해 각각 1.52°, 4.85° 그리고 -5.1°의 보정치를 산출하였으며 측량 실시전 보정치를 대입하여 고품질의 성과를 취득하였다. 모션센서의 0 세팅 보정은 모션센서의 정방위축을 보정하기 위한 것으로 모션의 세팅값을 0으로 한 후 일정시간 정지상태의 선박의 거동을 측정하여 측정된 Roll, Pitch 값을 대입하여 선박거동 X, Y축의 0점을 보정하였다.

음속은 수중의 음파전달 속도를 결정해주는 값으로 수온, 수심 및 염분 등의 변동은 음파의 전달속도에 큰영향을 미친다. 실제 음속도보다 음속도 보정값이 작을 경우 위로 볼록한 (∩)형상의 Data가 얻어지고, 실제 음속도보다 음속 보정값이 클 경우 아래로 오목한 (∪)형상의 Data가 얻어진다. 본 과업에 사용된 S.V.P(Sound Velocity Profiler)는 Reason사의 SVP15기종으로 표층에서 직접 투하하여 직하수심 0.5m간격으로 음속이 취득되도록 셋팅하였다. SVP는 수온, 염분, 저면재질 등의 변화에 의한 음속을 측정하는 장비이다. 측량한 멀티빔 원시 데이터를 1차 가공하기 위해 NaviEdit 프로그램을 이용하여 이상수심 및 오측심 데이터를 소거하고 조석적용, SVP 보정 등의 각종 보정치들을 대입

하여 각 구역별 수심 데이터를 생성하였다. 수심 10m 이하의 지역에 대해서는 수위 저하시에 LiDAR 측량을 수행하는 것이 바람직하나 댐 운영상 단기간내의 수위 저하가 어려운 문제가 있어, 부분적으로 SBES 측량에 의한 보완측량을 실시하여 최종 결과물을 멀티빔 자료와 합성하였다. 멀티빔 수심측량의 정확도 검증을 위해 수위 저하후 육상으로 드러난 2개 지역(예안교, 사월)에 대하여 토탈스테이션 측량을 수행한 후 오차를 비교한 결과는 표 5와 같다. 2개 지역에 대한 측량 결과 수심측량과 지형측량의 차이는 최소 -0.03m에서 최대 0.19m 정도로 발생하였으며, 평균오차는 0m와 0.08m로 IHO 특등급 기준 수심측량 허용오차(수심 10~20m 측량시 허용오차 ±0.25~0.29m)를 만족하는 것으로 분석되었다.

표 5. MBES 측량의 검측 결과

구 분	오차범위(cm)	평균오차(cm)
예안교	-13 ~ 5	0
사 월	-3 ~ 19	.8

그림 6은 MBES 방식과 부분적으로 SBES 방식을 추가하여 제작한 댐 저수지 DEM 자료를 영상정보 상에 표현한 것이다.

4. 3차원 공간영상정보 구축

안동댐 저수지 주변의 3차원 공간영상정보 구축을 위해서는 LiDAR와 MBES 측량에 의한 3차원 공간좌표와 더불어 정사영상 정보가 필요하며, 본 연구에서는 DMC(Digital Mapping Camera)를 이용하였

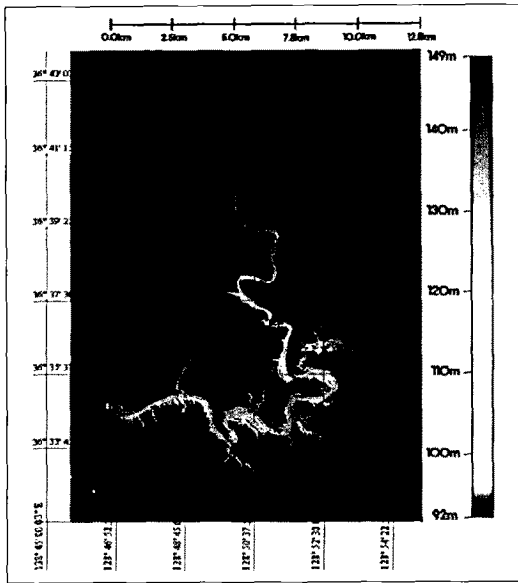


그림 6. 수심측량에 의한 DEM 정보

다. DMC는 영상정보를 취득하는 DMC, 저장장치인 FDS, 관리시스템인 ASMS 세 부분으로 구성되어 있다. DMC는 카메라 본체로서 프레임 촬영방식으로 장비내에 4개의 전정색(Panchromatic) 렌즈와 4개의 멀티밴드 렌즈가 구성되어 13,824×7,680 픽셀의 컬러 영상을 획득하게 된다. FDS는 카메라에서 촬영된 사진을 저장하는 장치이며, ASMS는 항공기 센서관리시스템으로서 GPS/IMU, 저장장치, 자이로마운트시스템 등 장비 및 데이터처리를 전반적으로 관리하게 된다.

항공사진 촬영은 LiDAR 측량과 연계하여 촬영고

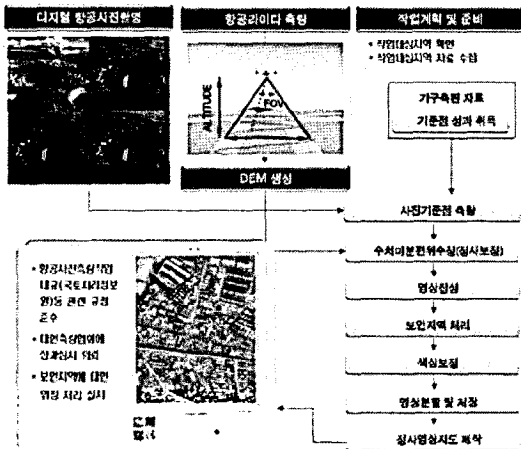


그림 7. 정사영상 처리 순서

도 2,500m에서 지상해상도 25cm로 촬영하였으며, 안동댐 지역에 대한 지상기준점은 총 72점을 획득한 후 GPS/IMU 후처리 과정을 거쳐 기본 영상을 제작한 후 LiDAR 측량을 통해 얻어진 5m 격자의 DEM 자료를 이용하여 정사영상지도를 제작하였다.

3차원 공간정보를 정사영상지도와 융합하기 위해서는 댐 저수지 주변의 육상부와 수심부에 대한 LiDAR와 MBES 측량성적을 통합하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 TerraScan 소프트웨어를 이용하여 그림 8과 같이 LiDAR와 MBES 지형 포인트를 통합하였으며, 육상부와 수심부가 중복되는 일부 구간에 대해 각 측량 포인트별 표고값을 비교한 결과 측량값에는 차이를 보이지 않았다.

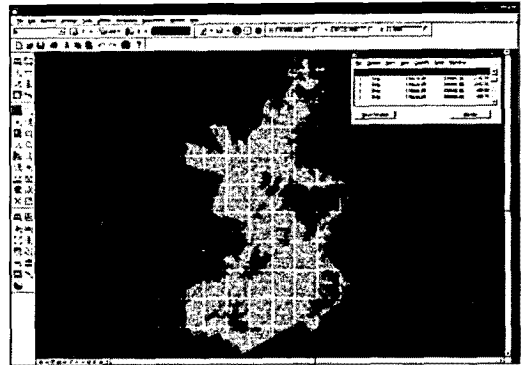


그림 8. LiDAR와 MBES 측량자료 통합

그림 9는 LiDAR와 MBES 측량자료를 이용하여 구축한 3차원 공간정보로서 표고는 댐직상류가 93.0m로 가장 낮게 나타났으며 저수지 유입부에 해당되는 상류지역에서 최고 851.2m의 표고값을 나타내었다.

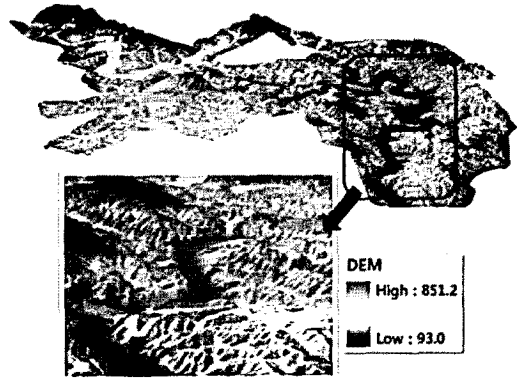


그림 9. 안동댐 주변지역 3차원 공간정보

특히 저수지내의 지형까지 함께 DEM으로 표현한 결과, 댐직상류에서 하천상류로 갈수록 저수지내의 지형 표고가 점진적으로 증가함을 시각적으로 확인할 수 있다. 그림 10은 LiDAR와 MBES 측량 자료를 정사영상지도와 연계하여 구축한 댐 주변지역의 3차원 공간영상정보이다. 기존의 수치지형도에 의한 등고선의 경우 댐체와 같이 복잡한 구조물에 대한 지형표현이 어려운 반면 본 연구에서 적용한 LiDAR 측량은 정밀한 DEM 자료 획득이 가능하므로 댐체 주변의 복잡한 지형을 효과적으로 표현할 수 있다. 이러한 3차원 공간영상정보는 지형도에 기초한 기존의 댐관리 업무처리 방식과 비교하여 보다 현실적인 실감정보를 제공할 수 있으며, 저수지내 퇴사량 예측, 댐 주변지역 지형변화 모니터링, 댐 시설물 관리 그리고 저수지 수리수문 자료 랜더링 등 다양한 댐관리 업무에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

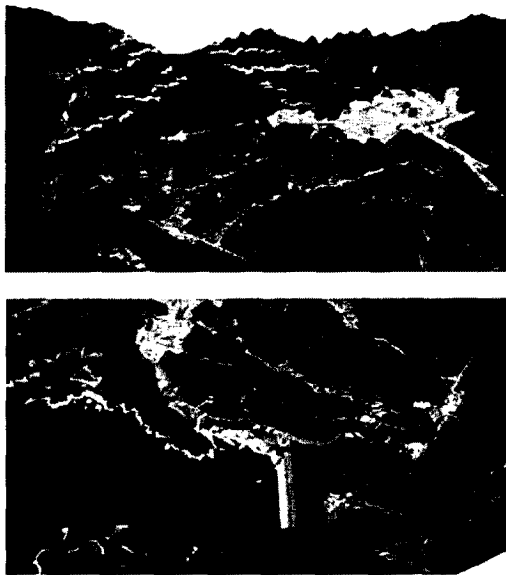


그림 10. 안동댐 주변지역 3차원 공간영상정보

5. 결 론

본 연구에서는 안동댐 퇴사량 조사 일환으로 수행한 LiDAR와 MBES 측량자료를 이용하여 댐 저수지 주변의 3차원 공간정보 구축하기 위한 기법을 제시하였으며 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 댐 저수지 육상부의 지형자료 취득을 위해

LiDAR 측량을 실시하였으며, 실측한 측량성과물을 토대로 Roll, Pitch, Heading 및 표고 옅셋 보정량을 산정하여 원시자료에 적용함으로써 보다 정확한 지형자료 처리가 가능하였다. 또한 최대건물크기, 수렴각, 수렴거리를 적용하여 건물 및 수목을 제외한 DEM을 구축하였으며 최종 LiDAR 성과물을 GPS 지형측량 자료와 검측한 결과 표준오차가 0.108m로서 LiDAR 표고오차 기준을 만족하는 3차원 공간정보를 구축할 수 있었다.

둘째, 저수지 수심관측을 위해 일정수심 이상인 지역에 대해 MBES 측량을 수행함으로써 SBES 측량방법에만 의존했던 기존의 방법에 비해 보다 정밀한 지형취득이 가능하였다. MBES 측량의 정확도를 평가하기 위해 예안교와 사월 지점에 대한 지형측량과의 검측에서도 IHO 특등급 기준 수심측량 허용오차를 만족하는 것으로 분석되었으며, 최종 MBES 측량자료를 수심이 얇은 일부구간의 SBES 측량자료와 합성하여 댐 저수지 수심부의 3차원 공간정보를 구축할 수 있었다.

셋째, 3차원 공간정보 구축을 위해 LiDAR와 MBES 측량자료를 통합하였으며, 고해상도 항공사진과 LiDAR DEM 자료를 연계하여 제작한 정사영상지도와 조합하여 댐 저수지 주변지역에 대한 3차원 공간영상정보를 구축할 수 있었다.

마지막으로 본 연구에서 제시한 댐 저수지 주변의 3차원 공간영상정보 성과물은 지형도에 기초한 기존의 댐관리 업무처리 방식과 비교하여 보다 현실적인 실감정보를 제공할 수 있으며, 저수지내 퇴사량 예측을 비롯한 다양한 댐관리 업무에 효과적으로 활용될 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Andrej Kobler, Norbert Pfeifer, Peter Ogrinc, Ljupco Todorovski, Kristof Ostir and Saso Dzeroski, 2007, "Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain", Remote Sensing of Environment, vol. 108, pp. 9-23.
- [2] Costa B. M., Battista T. A. and Pittman S. J., 2009, "Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef

- ecosystems”, Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp.1082-1100.
- [3] Dick G. Simons and Mirjam Snellen, 2009, “A Bayesian approach to seafloor classification using multi-beam echo-sounder backscatter data”, Applied Acoustics, vol. 70, pp.1258 - 1268.
- [4] Ole Arve Misund and Janet Coetzee, 2000, “Recording fish schools by multi-beam sonar: potential for validating and supplementing echo integration recordings of schooling fish”, Fisheries Research, vol. 47, pp.149-159.
- [5] Thierry Schmitt, Neil C. Mitchell and A. Tony S. Ramsay, 2008, “Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys”, Continental Shelf Research, vol. 28, pp.1166-1176.
- [6] 김연수, 2005. “S & MBES를 이용한 연안측량 정확도 개선 방안 연구”, 부경대학교 박사논문, pp.40-50.
- [7] 김용철, 최윤수, 박병문, 2009, “해저지형 측량성 과를 이용한 지구물리자료 비교분석”, 한국GIS학회지, 제17권, 제1호, pp.89-102.
- [8] 김준식, 최윤수, 박선미, 강문권, 2009, “해저시설물 조사성과의 정확도 제고”, 한국GIS학회지, 제17권, 제1호, pp.103-115.
- [9] 박요섭, 2004, “다중빔 음향소해탐사시스템의 오차분석 및 처리기술 연구”, 인하대학교 박사학위논문, pp.42-52.
- [10] 박형근, 하희상, 김동문, 양인태, 2008, “다중빔 수심측량을 이용한 방파제 피해조사에 관한 연구”, 한국지반공학학회지, 제24권, 제4호, pp.17-25.
- [11] 오윤석, 배상근, 김병국, 2005, “수량계산을 위한 LiDAR와 SBES 데이터 통합프로그램 개발에 관한 연구”, 한국GIS학회지, 제13권, 제2호, pp.157-166.
- [12] 위광재, 조재명, 이임평, 강인구, 2007, “LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가”, 한국지형공간정보학회지, 제15권, 제2호, pp.59-66.
- [13] 윤희천, 박준규, 2007, “LiDAR에 의한 3차원 GIS DB 구축에 관한 연구”, 한국지리정보학회지, 제10권, 제2호, pp.171-182.
- [14] 이현직, 유지호, 2007, “항공레이저측량 데이터를 이용한 3차원 수치지도제작 및 정확도 향상 방안”, 대한토목학회논문집, 제27권, 제3호, pp.359-368.
- [15] 정성은, 이우균, 곽두안, 최현아, 2008, “LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시경계의 3D 기반 분류”, 한국GIS학회지, 제16권 제3호, pp.373-383.
- [16] 최연웅, 조기성, 2005, “도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구”, 한국지형공간정보학회지, 제13권, 제1호, pp.19-25.
- [17] 한국수자원공사, 1996, 안동댐 저수지 퇴사량 조사 보고서.
- [18] 한국수자원공사, 2008, 다목적댐 퇴사량 조사지침.

논문접수 : 2010.06.21
수정일 : 2010.08.06
심사완료 : 2010.08.20



이근상

1999년 전북대학교 대학원 토목공학과
공학석사
2003년 전북대학교 대학원 토목공학과
공학박사
2003.4월~2009.8월 한국수자원공사

Kwaer연구원 책임연구원
2009.9월~현재 전주비전대학 지적부동산과 전임강사



최연웅

2001년 전북대학교 대학원 토목공학과
공학석사
2005년 전북대학교 대학원 토목공학과
공학박사
2010.3월~현재 조선이공대학 토목건

설과 전임강사