

항공라이다의 하천측량 적용 방안 연구

A Study on the Application of River Surveying by Airborne LiDAR

최병길* · 나영우** · 추기환*** · 이정일****

Choi, Byoung Gil · Na, Young Woo · Choo, Ki Hwan · Lee, Jung Il

요 旨

하천의 체계적 관리와 계획을 위해서는 정확도 높은 측량자료가 요구되며, 이를 통해 재해예방과 환경보호, 주요 인프라인 댐이나 보 같은 하천의 관리가 가능해 진다. 본 연구는 재난관리, 건설산업의 지원 등에 다양하게 활용되는 하천측량을 현재의 토탈스테이션을 이용한 측량 방법과 최근 들어 활발히 이용되고 있는 항공라이다측량 방법을 이용하여 동일지역의 데이터를 취득하고 그 성과를 비교 분석하는데 목적을 두었으며, 실험 대상지로는 강원도 북한강 상류지역을 선정 하였다. 선정된 실험 지역을 대상으로 총 2개의 횡단면도를 추출하였으며, 추출된 횡단면도를 상호 비교 분석하였다. 분석 결과 일반적인 육지부에서는 두 자료간 수준고의 평균제곱근 오차가 0.017m로 그 차이가 거의 없었으나 수직위치만 변하는 특이점이나 수심부에서는 항공라이다측량이 해당 지점의 수준고를 정확하게 측정하지 못하는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 도출된 문제점을 극복하기 위해서는 향후 지속적인 연구와 실험으로 항공라이다측량을 이용한 세부 시설물의 정확한 측정 방안이나 수심부를 투과하여 하천 바닥면을 육지부와 동일한 오차범위 내로 측정할 수 있는 대안이 마련되어야 할 것으로 보이며, 실용화 단계가 될 시점에서는 대규모 지역이나 사람의 접근이 불가능한 지역에 대하여 하천뿐만 아니라 각종 엔지니어링 사업분야에서도 계획 및 설계 등 의사결정 수단으로 다양한 활용이 기대된다.

핵심용어 : 항공라이다, 중·횡단, 하천수계, 수준측량, 하천측량

Abstract

The river plan executes the role for prevention of disaster and protection of environment, and requires the surveying results with high accuracies for managing river, dam, reservoir which will be the major infrastructures. The purpose of this study is for comparing and analyzing the results of river surveying which is used widely for disaster management and construction industry support. The results are gathered by using LiDAR which is being used in Korea recently and by using Total station. Study area is chosen at upper area of Bukhan River which is located at Gangwon-do. Total 2 cross-sections of the two methods are extracted from the study area. The standard deviation of land part is about 0.017m which shows little difference between two methods, but the Airborne LiDAR results cannot survey the heights of the points accurately at the singular points with vertical structure and water body part. To overcome the problems through this study, there should be ways to survey the bottom river through transmission of water level within the same margin scope as land part and to survey detailed facilities used by laser exactly through continuous research and experiment. When implementation stage comes, this study expect that this document will be utilized variously for making decision in the area of planning and drawing of business and engineering not just for river regarding the major area or the area that people cannot access.

Keywords : Airborne LiDAR, Profile·Cross-Section, River Water System, Leveling, River Surveying

Received: 2014.05.02, revised: 2014.06.23, accepted: 2014.06.25

* 정회원 · 인천대학교 도시과학대학 건설환경공학과 교수(Member, Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, bgchoi@incheon.ac.kr)

** 교신저자 · 정회원 · 인천대학교 산학협력중점교수(Corresponding author, Member, Professor of Hub-Industry-Academic-Cooperation, Incheon National University, survey@incheon.ac.kr)

*** 신환항업 업무부 부장(Derartment Head, Shinhan Aerial Survey, ckh7388@hanmail.net)

**** 정회원 · 인천대학교 일반대학원 건설환경공학과 박사과정(Member, Doctoral Student Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, iji2000@hanmail.net)

1. 서론

하천이라 함은 지표면에 내린 빗물 등이 모여 흐르는 물길로서 공공의 이해에 밀접한 관계가 있어 하천법의 구분에 따라 국가하천 또는 지방하천으로 지정된 것을 말하며, 하천구역 및 하천시설과 함께 하천법에 정의되어 있다(Ministry of Land, 2009).

본 연구의 목적은 국가하천 및 지방하천, 소하천 등의 각종 하천 종합계획 수립과 대상지역의 환경문제, 무분별한 개발행위의 제한, 홍수 등의 재난관리, 건설산업의 지원 등에 다양하게 활용되는 하천측량을 토털스테이션 측량 방법과 항공라이다측량 방법으로 실시한 후 그 성과를 비교하여 목적에 맞는 적절한 측량 방법을 제시하기 위해 연구를 진행 했다. 현재의 하천측량은 토털스테이션을 이용하여 하천의 중심 및 중·횡단 데이터를 취득하고 있으며 위치 및 수준고의 기준은 국가 삼각점과 수준점을 기반으로 한 골조측량 성과를 이용한다. 하천측량 및 라이다측량에 대한 선행연구를 분석해 보면, Han et al.,(2009)에 의해 라이다데이터와 실측데이터를 이용하여 평면 및 중·횡단 분석을 실시하고 이를 토대로 두 성과를 비교 분석한 연구가 있었으며, Lee et al.,(2006)은 지상 라이다를 이용한 현황측량에 관한 연구에서 대상물의 선형 특징추출의 가능성과 토털스테이션 측량성과에 필적하는 위치 결정 정확도를 얻을 수 있다는 것을 연구를 통해 알 수 있었다. Wie et al.,(2006)는 측량기준점을 이용하여 라이다 데이터의 정확도를 검증하는 실험을 통해 라이다데이터의 정확도에 따른 활용범위를 산정하는 연구를 진행하였다. 이와 같이 라이다 데이터를 이용한 선행 연구들은 다양한 형태로 진행되어 왔으나 라이다를 이용한 하천측량의 가능성을 분석하거나 비교한 연구 성과는 그 사례를 찾아보고 어렵다. 따라서 본 연구에서는 항공라이다측량을 통해 취득한 수치표고모델 성과와 토털스테이션을 이용한 측량성과를 비교 분석하여 그 정도의 차이를 해석하고 활용 목적에 어느 정도 부합하는지를 평가하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 하천측량

하천측량은 하천의 형상, 수위 수심, 단면, 구배 등을 측정하여 하천의 평면도와 중·횡 단면도를 작성함과 동시에 유향, 유속, 유량, 부유물, 기타 구조물을 조사하여 각종 수공설계 및 시공에 필요한 자료를 얻기 위해 실시하는 측량이다. 일반적으로 하천측량을 통해 하천

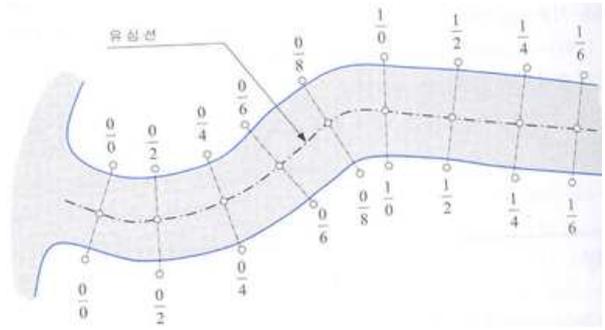


Figure 1. Arrange of Distance Mark

의 중·횡단면을 측정하고 디지털 유속계 및 부자에 의한 유속을 측정하여 관측 값에 의한 하천의 단면적과 각 지점별 유속을 이용하여 최종적으로 유량을 산출한다.

하천측량의 작업은 계획과 조사를 통해 얻은 기본 자료를 이용하여 평면측량, 고저측량, 수심측량 등의 순서로 진행 된다. 평면측량은 하천유로의 상태와 형상을 측정하는 것이므로, 하천의 부속물 또는 공작물의 제방, 호안, 옹벽, 수제, 갑문, 수문, 배관 등과 승선장, 하선장, 용지수로, 교량, 삼각점, 수준점, 거리표, 양수표의 위치와 전답, 산림, 임야, 가옥 등 하천과 중대한 관계가 있는 모든 것을 상세히 측량하여 평면도에 표시한다 (Lee et al.,2007).

중단측량은 하천의 양안에 설치된 거리표, 양수표, 수문, 기타 중요한 장소의 표고를 측정하는데 그 목적이 있다. 측량은 수준기점으로 부터 다음의 수준기점에 결합하는 방법으로 시행하며 반드시 1왕복 이상 관측하여 충분한 정밀도를 확보하여야 한다. 중단측량에서는 거리표의 표고 및 거리표 위치의 지반고를 측정함과 동시에 제방의 높이, 지반고, 수문, 통문, 용수로, 배수로 등의 높이, 교량의 상판, 교각, 교대의 높이 등 필요한 구조물의 높이를 측정하여 중단면도를 작성한다 (Choi, 2009).

중단면도의 축척은 높이를 표시하는 종축은 하천 구배의 완급에 따라 1/100~1/200, 평면거리를 표시하는 횡축의 축척은 하천의 크기에 따라 1/10,000~1/100,000으로 하기도 하나 일반적으로 종축은 1/100, 횡축은 1/10,000을 표준으로 한다.

횡단측량은 하천 횡단면의 모양을 결정하는 측량으로서 좌우 양안에 설치된 거리표가 서로 시통되는 시준선을 기준으로 횡단면의 변곡점에 대한 높이와 좌안으로부터의 평면거리를 측정한다. 거리표와 거리표 사이의 중간지점이라도 하상이 급변하거나 수위 및 유량관측소 등에서의 횡단측량이 필요하다. 횡단측량의 범위는 평면측량의 범위에 준하여 실시하거나, 단면이 급변

하는 장소에서는 말뚝을 다시 설치하고, 그 거리는 적당히 관측한다.

2.2 항공라이다 측량

LiDAR는 멀리 떨어져 있는 대상물의 정보를 반사되어 돌아오는 레이저로 그 정보를 측정하는 광학 원격탐사기술이다. 거리를 관측하기 위한 레이저의 사용은 대략 1960년대부터 시작되었다. 1990년대 중반부터 경제적이고 효과적인 방법으로 공간정보를 취득하는 방법으로 인식되었다(Kim et al.,2010).

GPS(Global Positioning System) 기술의 발전과 INS(Inertial Navigation System)의 발달, 휴대용 컴퓨터의 보급 등이 LiDAR의 상업화를 이끌었고, 다양한 플랫폼의 개발로 항공기와 위성에 탑재되기 시작하였다. LiDAR 장비는 거리를 측정할 때 사용되며 빛의 속도와 광선, 정밀시계, 발신/수신기 등을 이용한다. 빛이 되돌아오는 데까지 걸린 시간을 반으로 나누고 빛의 속도를 곱하면 수신측과 반사대상물 사이의 거리가 결정되는 것이다(Fig. 2).

항공라이다측량은 항공기에 레이저 센서를 장착하여 레이저 펄스를 지표면에 주사하고 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사지점의 3차원 위치좌표를 계산해 지표면에 대한 정보를 추출하는 측량기법이다(Lim et al., 2009).

하지만 정지상태가 아닌 비행기와 같이 고속 이동 상태에서 측정을 할 경우, 지상좌표로 나타낼 비행기의 정확한 위치를 알 수 없을 뿐만 아니라 거리의 정확성도 보증할 수 없기 때문에, 추가적으로 GPS기술과 INS 기술이 필요하다(Fig. 3).

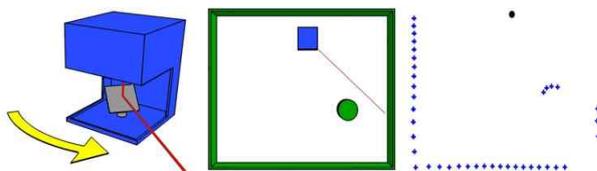


Figure 2. Principle of LiDAR

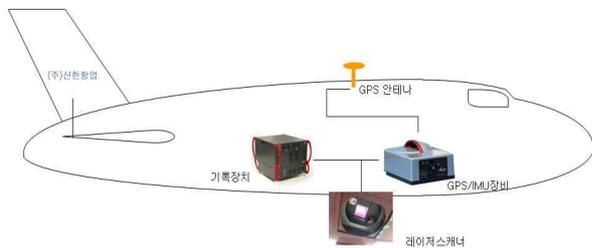


Figure 3. Airborne LiDAR System

3. 실험 및 결과

3.1 연구대상 지역

본 연구를 수행하기 위한 항공라이다측량은 2013년에 Fig. 4의 강원도 일대 북한강 상류 지역을 대상으로 했으며 대상지의 평균 수심은 3m였다. 총 연장 64km의 항공라이다측량 성과 중 하천 중·하단 측량 실험 대상지인 춘천시 신북읍 북한강 상류지역 약 1km 구간을 대상으로 수치표고자료를 추출 하였으며, 동 구간에 대하여 1/1,000수치지도 자료도 함께 활용하였다.

하천 인근에 대도시인 춘천시가 위치해 있으며 하천 상류 지역에 화천댐, 춘천댐 등이 위치하고 있어 하천 대장 등의 정밀도가 요구되는 측량성과가 반드시 필요한 지역이다.

3.2 실험자료 취득

연구를 위하여 확보해야 하는 자료는 실험 대상지의 수치지형도와 대상지역의 도근점, 항공라이다측량 성과 등이다. 이 세가지 성과의 취득은 2013년에 측량을 실시 한 자료를 활용하여 하천 중심라인의 설정, 횡단



Figure 4. Study Area

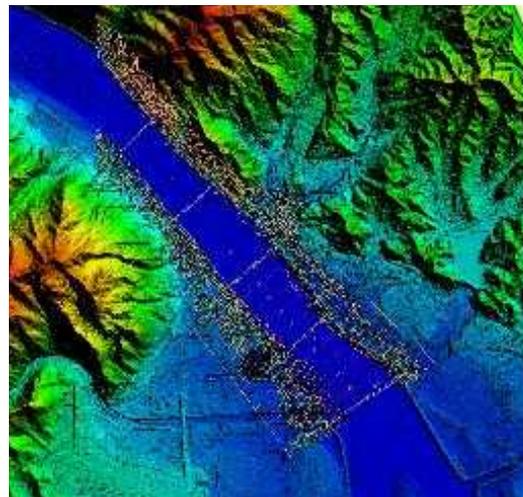


Figure 5. Matching DEM with Digital Map

측량의 구간설정, 횡단측량 실시, 횡단측량 야장기록, 횡단면도 작성 등의 토털스테이션을 이용한 횡단면도 제작을 수행하였다. 또한 하천측량의 성과와 수치표고모델성과를 비교하여 항공라이다측량을 이용한 횡단면도도 작성하였다.

본 연구에 활용된 항공라이다측량의 수치표고모델성과 및 1/1,000수치지도, 국가 기준점을 활용한 골조측량 성과는 측량법 제34조 제2항의 규정에 의한 성과를 사용하였다. 항공라이다측량 성과의 경우 라이카사의 ALS50 장비를 이용하여 제곱미터당 5~6점의 점밀도로 취득하였다.

3.3 하천 중·횡단 측량

현재 하천부문 외에 도로 및 철도 설계, 단지설계, 공항설계 등의 대상부지 계획에 따른 중·횡단 측량은 토털스테이션으로 작업하는 것이 일반적이다. 본 실험에서도 항공라이다측량을 이용하여 추출한 횡단면도를 비교, 분석하기 위하여 현장 측량을 실시하고 횡단면도를 제작하였다. 현장 측량은 하천 제방 양쪽에 위치한 3점의 현장 도근점을 확보하여 하천 종단측량을 우선적으로 실시하였으며, 종단측량은 지형현황측량 성과를 기초로 하여 계획 제방선형에 따라 100m 간격으로 약 1km 구간을 설정하여 실시하였다. 종단측량시 구조물 설치지점, 지형의 변화가 큰 지점, 곡선부 등 필요한 지점에는 추가 측점을 선점하였으며 측량성과로 작성하는 종단면도의 축척은 중 1/100, 횡 1/1,000으로 작성하였다.

Fig. 6과 같이 중심 말뚝의 위치를 직접 측량하여 종단면도를 제작하고 본 연구에서 관측 대상이 될 횡단선형을 STA 1 ~ STA 2 까지 계획하였다. 횡단 측량은 하천 중심선 라인에 설치된 말뚝을 기준으로 하여 중심점에서 중심선의 접선에 대한 직각방향으로 선상에 있는 종단 변화점을 토털스테이션으로 관측하였다. 토털스테이션에 의한 수심부 횡단측량은 반사경과 스타프를 이용하여 실시했으며, 스타프를 하저부 바닥까지 내려 수직 위치를 결정하고 그 위치에 반사경을 거

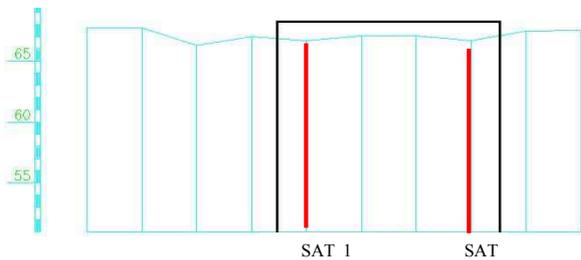


Figure 6. Drawing of Cross Section



Figure 7. Chain of Cross Section for River

치하여 수평위치를 결정했다. 관측 횡단면은 총 2개의 라인이며 1개의 횡단면 당 길이는 약 100m 정도로 관측하였으며, STA 1는 총 46포인트, STA 2는 51포인트를 관측하였다. 또한 관측을 통한 성과는 현황도를 활용하여 포인트마다 3차원 정보를 부여하고 별도의 야장에 기록하였으며 항공라이다측량을 이용한 횡단면도를 추출하여 분석 자료로 활용하였다(Fig. 7).

3.4 라이다 자료처리 및 횡단면 정보 추출

수치표고자료 제작을 위한 초기단계는 생성된 ‘LAS 자료’의 이상 유무를 파악하는 작업에서부터 시작되며, 이는 상용소프트웨어를 이용하여 항공라이다측량 데이터의 이상 유무를 파악하는 것이다. 본 실험에서는 전처리 과정을 거쳐 생성된 ‘원시LAS파일’을 대상으로 연무나 구름 등과 같은 기상현상이나 상공 미확인 물체 및 동식물에 의한 과대 오차점, 원인 불명의 하저부 점을 제거하여 DSD(Digital Surface Data)자료로 DTD(Digital Terrain Data)자료로 변환하였다.

최초의 LAS자료에서 발견되는 이상점은 라이다 데이터 처리에 많이 활용되는 소프트웨어인 Terra Scan의 분류기능 중 특정 구간의 높이를 지정하여 제거하는 방법(Classify by absolute elvation)을 적용했으며, 실험에서는 그라운드 높이를 기준으로 지하 -100m, 지상 50m에 존재하는 이상점을 제거하는 과정을 거쳤다. 이상점 제거가 완료되면 다음으로 혼재되어 있는 각종 구조물 및 식생, 건물 등을 제거한 순수한 그라운드 자료를 분류하게 되며, 이 또한 Terra Scan의 분류기능을 활용하였다. 그라운드의 분류도 이상점제거와 방법은 동일하다.

본 실험에서의 그라운드 자동 분류 특성치는 북한 장 전체 데이터에 일률적으로 적용할 수 없는 부분으로 그라운드 추출 상태를 점검하여 확인후 부분데이터 단위로 이상적인 분류 데이터가 도출될 때까지 환류과정

을 거쳤다.

보편적으로 Terrain angle의 경우 88°를 적용했으며, 나머지 특성치는 부분데이터별로 적용치의 차이가 있었다.

이를 통해 DSD의 지표 피복물을 자동분류하여 DTD를 생성했으며, 이는 일부 비분류점을 포함한 미완성 분류데이터를 제공하게 된다. 자동분류된 DTD는 완벽한 분류 형태를 갖추지 못한 상태이므로 수작업에 의해 불완전하게 분류된 LAS 포인트를 편집했다. 비분류된 점은 작업자의 수작업에 의해 확인되며, 이를 Terra Scan에서 제공하는 “편집도구” 모듈을 이용하여 개별 포인트 단위로 분류 및 제거하거나 점군 단위로 선택하여 한번에 많은 점을 동시에 제거 또는 분류하는 과정으로 진행 되었다.

3.5 실험 결과

항공라이다측량 횡단성과 추출에는 Terra Scan 편집 도구가 사용되었으며 현장 측량을 통해 얻어진 평면좌표를 항공라이다측량 데이터에 적용시켜 횡단라인과 수준고를 추출하였다(Fig. 8).

추출된 STA 1 ~ STA 2의 측량 결과는 Table 1과 Table 2와 같다. 실험지역 STA 1 ~ STA 2에 대해 토 킬스테이션을 이용하여 제작된 횡단면도는 각각 Fig. 9, Fig. 12와 같고, 항공라이다측량자료를 이용하여 제작된 횡단면도는 각각 Fig. 10, Fig. 13과 같으며, 두 방법에 의한 횡단면도를 중첩하여 비교한 그림은 Fig. 11, Fig. 14와 같다.

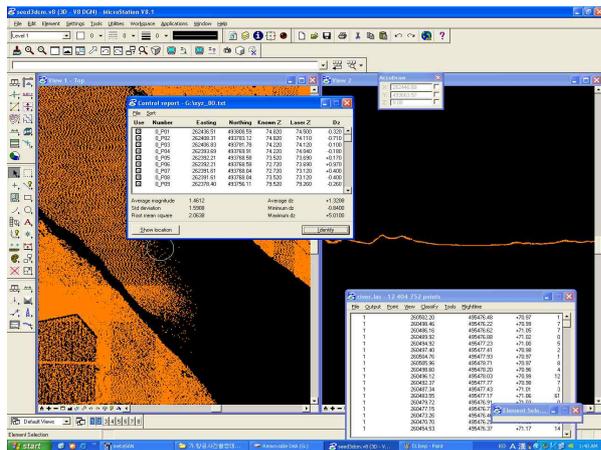


Figure 8. Extraction of Height by LiDAR Result



Figure 9. Cross-section by TotalStation(STA 1)

Table 1. Survey Result STA 1

Point	X	Y	STA 1			remark
			Z	LiDAR DEM	dz	
P1	493502.693	262368.104	74.82	74.50	-0.32	
P2	493477.225	262339.901	74.82	74.11	-0.71	
P3	493475.885	262338.417	74.22	74.12	-0.10	
P4	493464.022	262325.280	74.22	74.04	-0.18	
P5	493462.682	262323.796	73.52	73.69	0.17	
P6	493462.682	262323.796	72.72	73.69	0.97	
P7	493462.146	262323.202	72.72	73.12	0.40	
P8	493462.146	262323.202	73.52	73.12	-0.40	
P9	493450.216	262309.991	79.52	79.26	-0.26	
P10	493445.726	262305.019	79.52	79.56	0.04	
P11	493445.391	262304.648	79.52	79.58	0.06	
P12	493435.070	262293.218	72.12	72.42	0.30	
P13	493431.518	262289.284	72.12	72.19	0.07	
P14	493429.306	262286.835	70.92	71.34	0.42	
P15	493428.837	262286.316	70.86	71.14	0.28	
P16	493423.026	262279.881	69.24	outside		
P17	493411.747	262267.390	68.40	outside		
P18	493409.133	262264.495	68.20	outside		
P19	493405.648	262260.636	67.80	outside		
P20	493391.909	262245.421	67.10	outside		
P21	493388.089	262241.191	67.10	outside		
P22	493376.829	262228.722	67.10	outside		
P23	493373.411	262224.937	67.00	outside		
P24	493361.817	262212.097	67.00	outside		
P25	493353.842	262203.265	67.00	outside		
P26	493337.241	262184.882	67.00	outside		center
P27	493334.540	262181.891	67.20	outside		
P28	493330.921	262177.883	67.20	outside		
P29	493315.506	262160.813	67.60	70.88	3.28	
P30	493311.686	262156.582	67.80	70.88	3.08	
P31	493303.711	262147.750	67.90	70.88	2.98	
P32	493292.183	262134.985	66.80	70.89	4.09	
P33	493284.275	262126.227	66.60	70.88	4.28	
P34	493280.053	262121.551	67.00	70.91	3.91	
P35	493269.397	262109.751	67.60	70.91	3.31	
P36	493266.381	262106.411	67.40	outside		
P37	493256.552	262095.527	69.06	outside		
P38	493251.100	262089.489	70.86	outside		
P39	493245.001	262082.735	72.13	72.54	0.41	
P40	493219.333	262054.310	72.13	72.52	0.39	
P41	493208.602	262042.441	79.53	79.28	-0.25	
P42	493206.927	262040.586	79.53	79.60	0.07	
P43	493206.390	262039.992	79.53	79.61	0.08	
P44	493198.020	262030.708	73.73	73.89	0.16	
P45	493171.414	262001.244	75.03	74.69	-0.34	
P46	493141.657	261968.291	75.43	75.05	-0.38	



Figure 10. Cross-section by LiDAR(STA 1)

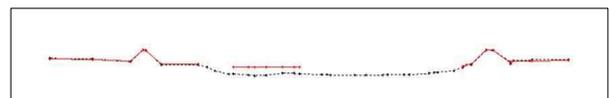


Figure 11. Cross-section LiDAR and TotalStation (STA 1)

Table 2. Survey Result STA 2

STA 2						
Point	X	Y	Z			remark
			Z	LiDAR DEM	dz	
P1	493744.410	262214.849	74.19	79.20	5.01	
P2	493726.269	262192.096	74.19	74.50	0.31	
P3	493707.568	262168.638	74.19	73.59	-0.60	
P4	493706.259	262166.996	73.09	73.05	-0.04	
P5	493706.259	262166.996	72.09	73.05	0.96	
P6	493705.635	262166.214	72.09	72.80	0.71	
P7	493705.635	262166.214	73.09	72.80	-0.29	
P8	493692.607	262149.872	79.89	79.85	-0.04	
P9	493688.866	262145.181	79.89	79.95	0.06	
P10	493687.931	262144.008	79.89	79.78	-0.11	
P11	493678.082	262131.653	72.19	72.32	0.13	
P12	493674.404	262127.040	72.19	72.05	-0.14	
P13	493672.035	262124.069	71.09	71.19	0.10	
P14	493670.414	262122.036	70.88	71.13	0.25	
P15	493656.513	262104.599	69.34	71.08	1.74	
P16	493641.715	262086.039	69.10	70.93	1.83	
P17	493633.510	262075.746	69.10	70.94	1.84	
P18	493627.151	262067.771	69.40	70.91	1.51	
P19	493614.497	262051.898	69.20	70.93	1.73	
P20	493610.881	262047.363	69.00	70.94	1.94	
P21	493592.242	262023.984	68.50	70.94	2.44	
P22	493584.761	262014.601	68.40	70.94	2.54	
P23	493574.039	262001.152	67.80	70.94	3.14	
P24	493570.299	261996.460	67.50	70.94	3.44	
P25	493563.566	261988.015	67.54	70.94	3.40	Center
P26	493555.649	261978.085	67.30	70.93	3.63	
P27	493535.763	261953.142	67.30	70.94	3.64	
P28	493531.961	261948.372	67.20	70.96	3.76	
P29	493524.293	261938.755	66.90	70.95	4.05	
P30	493520.366	261933.829	66.60	70.96	4.36	
P31	493516.750	261929.294	67.20	70.95	3.75	
P32	493512.947	261924.524	67.70	70.95	3.25	
P33	493509.456	261920.145	68.00	70.94	2.94	
P34	493501.976	261910.762	68.30	70.95	2.65	
P35	493492.189	261898.486	68.40	70.96	2.56	
P36	493477.159	261879.634	69.59	71.08	1.49	
P37	493472.989	261874.403	70.88	71.22	0.34	
P38	493471.181	261872.135	71.33	71.77	0.44	
P39	493465.446	261864.942	71.43	71.80	0.37	
P40	493455.783	261852.822	79.83	78.99	-0.84	
P41	493453.539	261850.007	79.83	79.99	0.16	
P42	493451.669	261847.662	79.83	79.53	-0.30	
P43	493449.051	261844.377	77.83	77.20	-0.63	
P44	493437.767	261830.225	79.13	79.17	0.04	
P45	493433.902	261825.377	79.13	79.14	0.01	
P46	493432.967	261824.204	79.03	78.89	-0.14	
P47	493431.658	261822.562	77.73	77.80	0.07	
P48	493427.918	261817.871	77.73	78.11	0.38	
P49	493422.931	261811.615	77.73	78.62	0.89	
P50	493421.871	261810.286	79.13	78.67	-0.46	
P51	493397.060	261779.166	79.13	79.83	0.70	



Figure 12. Cross-section by TotalStation(STA 2)



Figure 13. Cross-section by LiDAR(STA 2)



Figure 14. Cross-section LiDAR and TotalStation (STA 2)

3.6 결과 분석

북한강 일대의 하천구간을 대상으로 실험지역을 선정하여 우선적으로 토탈스테이션을 이용한 횡단면을 야장성과와 단면도로 나누어 추출하였으며, 이를 기준으로 동일 GCP point에 대한 항공라이다측량 성과의 횡단점 수준고를 추출하였다. 이렇게 얻어진 두 가지 동일형태 결과물의 분석은 육지부의 지형에 대한 비교와 옹벽 등의 구조물 표현방법의 비교, 수심부의 수준고 차이로 나누어 분석하였다.

상호 비교에 앞서 토탈스테이션에 의한 하천 횡단측량의 정확도는 현장에 설치된 도근점의 정도와 도근점에서의 중횡단 측량의 정도를 누적하여 계산하였다. 2급 도근점 기준으로 고시된 성과 이므로 “공공측량의 작업규정세부기준운용세칙 제 21조”에 의해 $5\text{mm} \sqrt{S}$ 를 적용하고 점간거리(s)는 인근 5번국도에 위치한 2등급국가수준점과의 거리를 감안하여 약 2km로 정의하였다. 한편 항공라이다측량의 데이터의 RMSE의 오차범위는 “국토지리정보원 고시 제2009-593호 항공라이다측량 작업규정 제35조”에 25cm로 규정하고 있다.

Table 3. Result of Cross-Section in Land Part

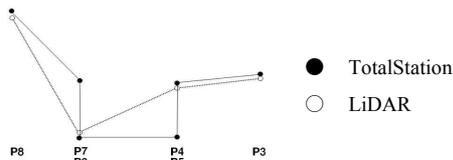
STA 1						
Point	X	Y	Z			Remark
			Z	LiDAR DEM	dz	
P39	493245.001	262082.735	72.13	72.54	0.41	
P40	493219.333	262054.310	72.13	72.52	0.39	
P41	493208.602	262042.441	79.53	79.28	-0.25	
P42	493206.927	262040.586	79.53	79.60	0.07	
P43	493206.390	262039.992	79.53	79.61	0.08	
P44	493198.020	262030.708	73.73	73.89	0.16	
P45	493171.414	262001.244	75.03	74.69	-0.34	
P46	493141.657	261968.291	75.43	75.05	-0.38	



(Cross-Section in Land Part)

Table 4. Result of Singular Point in Land Part

STA 2						
Point	X	Y	Z			Remark
			Z	LiDAR DEM	dz	
P3	493707.568	262168.638	74.19	73.59	-0.60	
P4	493706.259	262166.996	73.09	73.05	-0.04	
P5	493706.259	262166.996	72.09	73.05	0.96	
P6	493705.635	262166.214	72.09	72.80	0.71	
P7	493705.635	262166.214	73.09	72.80	-0.29	
P8	493692.607	262149.872	79.89	79.85	-0.04	



(Singular Point in Land Part)

우선적으로 두 실험 결과치를 대상으로 하천 제내지, 제방 등과 같은 특이점이 없는 육지부의 결과를 살펴보면 아래 표와 같이 평균 수준고의 차이가 약 1cm ~40cm 정도로 균일하고 그 차이도 크지 않은 것을 알 수 있다.

육지부에서는 Table 3에서와 같이 어느 정도 오차범위를 나타내면서도 비슷한 형상의 결과치를 형성하였다. 그러나 육지부 중에서도 Table 4에서 보이는 것과 같은 옹벽 및 제방 등의 특이 구조물에 대해서는 평면 변곡점간 거리가 1m미만 이면서 항공라이다측량 데이터 상에 점밀도가 부족한 경우에는 수직 변곡점을 인식하지 못하는 경우가 발생했다.

Table 5. Result of Cross-Section in Water Part

STA 1						
Point	X	Y	Z			Remark
			Z	LiDAR DEM	dz	
P25	493353.842	262203.265	67.00	outside		
P26	493337.241	262184.882	67.00	outside		
P27	493334.540	262181.891	67.20	outside		
P28	493330.921	262177.883	67.20	outside		
P29	493315.506	262160.813	67.60	70.88	3.28	
P30	493311.686	262156.582	67.80	70.88	3.08	
P31	493303.711	262147.750	67.90	70.88	2.98	
P32	493292.183	262134.985	66.80	70.89	4.09	
P33	493284.275	262126.227	66.60	70.88	4.28	
P34	493280.053	262121.551	67.00	70.91	3.91	
P35	493269.397	262109.751	67.60	70.91	3.31	



(Cross-Section in Water Part)

마지막 비교 분석 대상지인 하천의 수심부는 크게 두 가지의 특이점이 발견됐다. 하나는 레이저 포인트의 반사에 있어 횡단면도를 제작할 수 있는 라인이 형성되었지만 다른 경우는 일정구간의 범위내에 레이저 포인트가 존재하지 않는 결과를 나타냈다. 반사된 레이저 포인트가 존재하더라도 수심부의 직접 하천측량 결과와 비교했을 경우 그 수준고가 정확도 한계를 넘어서고 있으며 형상 또한 일직선에 가까워 수심부의 수면으로 판단할 수밖에 없다. 레이저 포인트가 존재하지 않는 측점은 outside로서 인식이 되지 않기 때문에 하천 횡단면도에서는 연결선이 끊어지는 모습으로 표현된다. 수심부 측량에 영향을 미치는 인자로는 깊이에 대한 관측 오차를 고려해야 하며, 레이저 포인트의 특성상 깊이가 낮은 하천이라 할지라도 바닥까지 레이저 펄스가 도달할 수 없어 비교가 사실상 불가능했다.

4. 결 론

본 연구의 전체적 실험 결과를 분석하여 얻은 결과는 크게 세가지로 일반적인 육지부에서는 수준고의 표준편차가 0.017m로 그 차이가 거의 없었으나 수직위치만 변하는 특이점이나 수심부에서는 항공라이다측량이 해당 지점의 수준고를 정확하게 측정하지 못하는 것을 알 수 있었다.

이렇게 현장에 있는 세부 구조물이나 수직으로 위치 값이 변하는 지점은 지상라이다나 가상기준점측량 등 현장의 추가 조사 및 측량이 수반되어야 하며, 수심부 또한 별도의 현장 측량 방법을 동원하여 직접 측량을 실시하여야만 정확한 값을 산출할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이번 실험과 분석을 통해 하천 부분은 항공라이다측량을 통하여 종 횡단 자료를 추출하는데 그 한계가 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구의 실험결과에서 나타나 듯 토털스테이션과 항공라이다측량을 이용한 하천 횡단면도에 대하여 제작방안 및 결과물의 형태, 오차의 분포형상 등을 다루었지만 이 두가지 방법의 비교 검토에는 해당지역의 지형적 특성과 하천수량을 감안한 시기적 특성, 면적과 방안별 경제성도 검토되어야 할 것이며, 항공라이다측량의 결과물에 대한 오차 최소화 방안도 향후 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

References

1. Kim, S. I., 2006, Development of 3-dimensional modeling in building using LiDAR data and digital

- map, Master's Degree Thesis, Kyonggi University.
2. Cho, D. Y., Kim, U. M., 2012, Extraction of street tree Information using airborne LiDAR data, Korea Spatial Information Society, Vol.20 No.2 pp.45-57.
 3. Kim, E. Y., Wi, G. J., Cho, H. M., Yang, I. T., 2010, A study for forest research using airborne laser scanning, Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography, Vol.28 No.3 pp.299-304.
 4. Choi, M. G., 2012, Automatic extraction of water areas from LiDAR data, Master's Degree Thesis, The University of Seoul.
 5. Wie, G. J., Lee, I. P., Kang, I. G., Cho, J. M., 2007, Efficiency evaluation of contour generation from airborne LiDAR data, Journal of the Korea Society for Geospatial information System, Vol.15 No.2 pp.59-66.
 6. Lim, S. B., Kim, J. H., Lee, D. C., 2009, Automation of building extraction and modeling using airborne LiDAR data, Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography, Vol.27 No.5 pp.45-57.
 7. Lee, S. B., Choi, B. Y., 2007, Comparison of hydrographic surveying efficiency by total station and RTK GPS, Korean Society of Civil Engineers, CIVIL EXPO 2007.
 8. Choi, N. I., 2009, GIS based spatial interpolation method for the reconstruction of river channel, M.D. dissertation, ChonBuk National University.
 9. Choi, Y. S., Kang, I. G., Lee, G. W., 2005, A study on airborne LiDAR system calibration and accuracy evaluation, Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography, Vol.23 No.4 pp.359-366.
 10. Lee, J. H., Kim, Y. I., 2012, Extraction and modeling of curved building boundaries from airborne LiDAR data, Vol.20 No.4 pp.117-125.
 11. Wie, G. J., Yang, I. T., Suh, Y. W., Sim, J. M., 2006, Evaluation of airborne LiDAR data using field surveyed ground control points, Journal of the Korea Society for Geospatial information System, Vol 14 No. 4 pp.11-18.
 12. Lee, I. S., Kang, S. G., 2006, The study on reconnaissance surveying using terrestrial laser scanner, Journal of the Korea Society for Geospatial information System, Vol 14 No. 3 pp.79-86.
 13. Han, S. M., Park, T. S., 2009, The comparative analysis of LiDAR data and actual measurement data, Journal of the Korea Society for Geospatial information System, 2009 autumn, pp. 72-79.