

# 도시하천 분석과 모델링을 위한 스마트 지형공간정보의 응용

## Application of Smart Geospatial Information for Modeling and Analysis of City River

이현직\* · 엄준식\*\* · 유영걸\*\*\* · 박은관\*\*\*\*

Lee, Hyun Jik · Eom, Jun Sik · Yu, Young Geol · Park, Eun Gwan

### 要 旨

본 연구에서는 고해상도 디지털항공사진영상과 항공 LiDAR 자료를 이용하여 생성된 고품질 3차원 공간정보인 스마트 공간정보를 도시 하천의 이수 및 치수 목적에 부합되는 친환경 생태학적 하천복원의 3차원 계획 및 설계에 적용시키는 최적화 방안을 모색하고 개발 전·후의 3차원 모델링을 통하여 하천복원 등에 관한 기초자료를 제공하고자 하였다. 또한 기존의 2차원 기반의 계획 및 설계 환경을 3차원 기반의 계획 및 설계 환경으로 전환하여 하천 분석의 정확도를 확보하고 하천복원에 따른 다양한 민원을 사전에 분석하고자 하였다.

핵심용어 : 도시하천, 지형공간정보, 모델링

### Abstract

This study aims to seek adequate and optimized method of applying high quality three-dimensional spatial data created via high-resolution digital aerial photograph image and aerial LiDAR data onto three-dimensional planning of environmentally friendly, ecological restoration of rivers in accordance with irrigation and flood control objectives of urban rivers. Through three-dimensional modeling of before and after the restoration, the research also offers basic information regarding restorations of rivers. Also the transition from the conventional two-dimensional planning into three-dimensional planning environment using smart spatial information acquire accuracy of river analysis, analyze possible civil complaints and suggest solutions to potential problems.

Keywords : City River, Geospatial Information, Modeling

### 1. 서 론

우리나라 도시하천은 급속한 산업화와 도시화로 인하여 홍수범람이 있었던 홍수터를 적극적으로 개발하여 인공적인 제방 축조 및 하도 정비를 통하여 하천의 이수적인 기능만을 극대화하였다.

그러나 이로 인하여 자연하천은 인공화된 하천으로 변모하였으며 하천의 환경 기능은 상대적으로 위축져 하되어 하천 환경이 급속히 악화되면서 하천의 환경문제가 심각하게 대두되고 있다.

하천복원계획의 수립과 하천복원설계 및 시공 단계에서는 지형학적/자연지리학적 특성을 제공하는 공간정보의 활용이 불가피하나 현재 하천복원에 이용되고

있는 공간정보는 지형도의 경우 1:5,000 축척의 중축척 수치지도를 이용하고 있으며, 토지이용도, 식생도와 같은 주제도의 경우 소축척 수치지도를 이용하고 있다.

또한 제작 시기도 공간정보의 종류에 따라 다르며 제작 시기의 차이로 인한 최신성의 저하로 인하여 사전환경조사 시 현장조사의 의존도가 높아 시간, 비용, 인력의 소모가 높고, 중소축척에 따른 정확도 저하로 하천복원 계획 및 설계 자료의 신뢰성 확보에 어려움이 있다.

최근에 고해상도 디지털항공사진카메라와 항공 LiDAR 측량 시스템의 도입으로 스마트 공간정보의 제작 및 활용(Lee, H. and Hong, S., 2010, Lefsky, M. A. et al, 2002, Park, E. et al, 2013, Zhan, Q., 2002)이 가능함에 따라 이를 통해 획득된 자료를 이용하여

2013년 11월 22일 접수, 2013년 12월 10일 채택

\* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(Member, Civil Eng, Sangji University, [hjikle@sangji.ac.kr](mailto:hjikle@sangji.ac.kr))

\*\* 상지대학교 건설시스템공학과 교수(Civil Eng., Sangji University, [eomj@sangji.ac.kr](mailto:eomj@sangji.ac.kr))

\*\*\* 교신저자 · 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 겸임교수(Corresponding author, Member, Civil Eng, Sangji University, [cain25@nate.com](mailto:cain25@nate.com))

\*\*\*\* 정회원 · 미래기술단 이사(Member, Future Eng., [parkster@empal.com](mailto:parkster@empal.com))

하천해석을 위한 사전환경조사, 계획 및 설계에 요구되는 공간정보의 활용성에 대한 연구도 필요하다.

본 연구에서는 스마트 공간정보를 제작하고 도시하천의 해석에 필요한 자료를 생성 및 분석하고 기존 방법과의 비교를 통하여 하천의 해석에 대한 기초자료를 신속하고 정확하게 제공하고자 하였으며, 기존의 2차원 기반의 계획 및 설계 환경을 3차원 기반의 계획 및 설계 환경으로 전환하여 이수 및 치수적인 수문해석의 신뢰성을 확보하고 하천복원에 따른 다양한 민원을 사전에 분석하고, 이를 개선할 수 있도록 3차원 설계 및 모델링 방안을 제시함으로써 스마트 공간정보의 활용방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 연구방법

도시하천의 해석에는 다양한 공간자료들이 필요하지만 본 연구에서는 직접 현장측량 자료와 1:1000, 1:5000 수치지형도 및 항공 LiDAR 자료를 이용하여 하천해석에 필요한 정보를 생성하고 이를 비교·분석함으로써 스마트 공간정보의 활용성을 실험하고 하천해석에 기초자료를 효과적으로 제공함으로써 계획 및 설계 단계에 요구되는 정보를 구축하고 신뢰성을 높이고자 하였다.

하천의 계획 및 설계에는 하천의 현황자료와 단면정보가 중요한 자료이며 이들 정보에 대한 획득 정확도가 최종 결과물의 정확도를 좌우하게 된다. 또한 이들 정보를 획득하고 처리하는 과정이 많은 시간과 비용을 소모하게 한다.

본 연구에서는 기존의 현장측량을 보완할 수 있는 방법으로 항공 LiDAR 자료를 이용하여 DSM과 DEM을 생성하여 3차원 단면 정보를 생성하고 결과물을 현장측량 성과와 비교 분석하였다. 또한 수치지형도에 의해 생성된 DEM에서 추출된 단면정보를 비교하였다. 또한

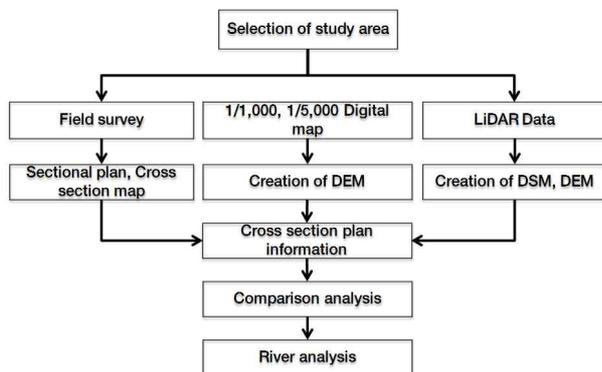


Figure 1. Research flow

현장측량 자료와 LiDAR DEM으로부터 생성된 횡단면 정보를 하천 해석프로그램인 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)에 입력하여 수면곡선을 계산하였으며 구조물(교량과 보)을 고려한 수면곡선의 변화를 분석하였다. 이 프로그램은 측점에 따른 횡단 측량자료를 기반으로 모형을 구축하게 되며 GUI(Graphic User Interface)로 구성되어 있어 간편한 자료의 처리가 가능하고 하천흐름의 모의나 빈도별 계획홍수량 산정을 통한 홍수위를 산정할 수 있다. Fig. 1은 연구과정을 나타낸 것이다.

## 3. 분석 및 결과

### 3.1 연구대상지역

본 연구에서는 원주 도심 구간을 지나는 지방2급 하천이며 섬강의 제 1지류인 원주천을 대상으로 스마트 지형공간정보를 활용하여 필수적인 단면정보 등을 생성하여 현장측량 횡단면과 비교분석을 수행하였으며 빈도별 계획홍수량을 입력하여 빈도별 홍수위 정보를 계산하였다.

하천분석에 필요한 자료인 빈도별 계획홍수량 등의 정보는 하천정비기본계획과 섬강수계(전천, 원주천) 유

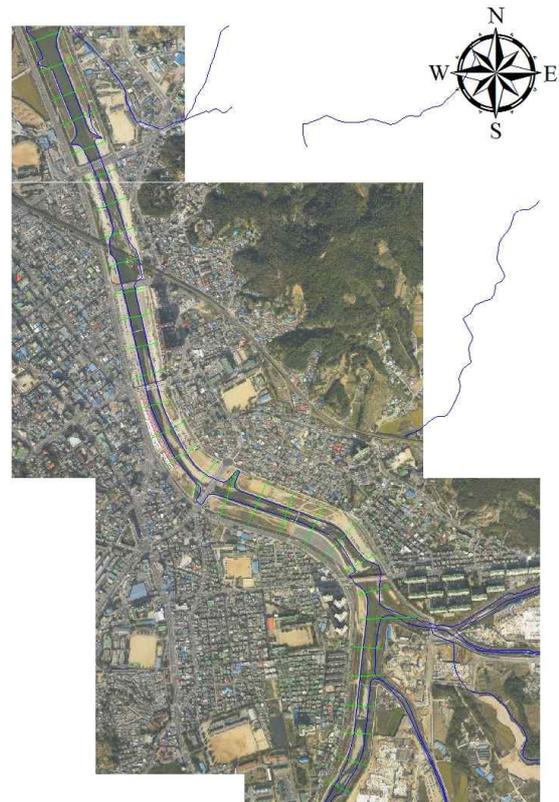


Figure 2. Study area

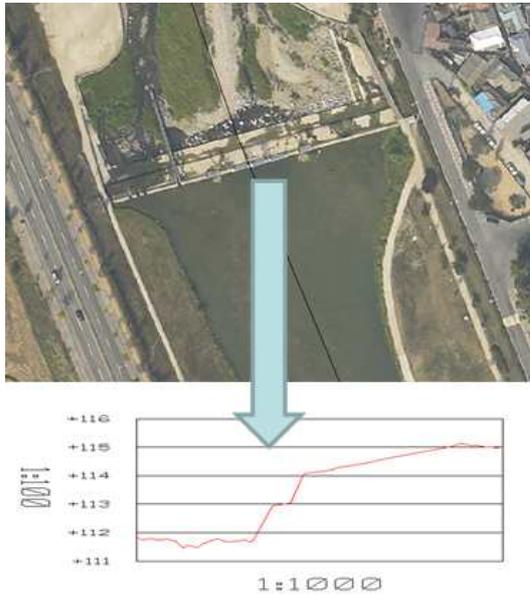


Figure 3. Profile analysis

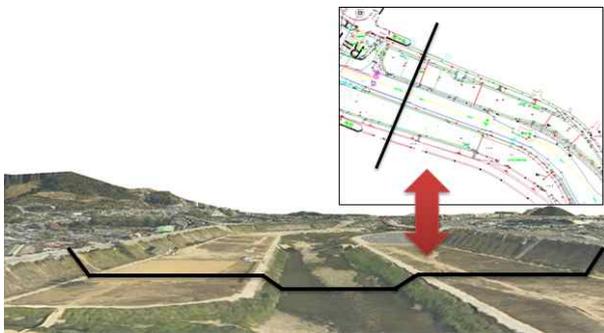


Figure 4. Extraction of cross-section

역중합계획 보고서를 참고하여 사용하였다.

Fig. 2는 연구대상지역을 나타낸 것이다.

Fig. 3은 대상지역의 하천보(고정보+가동보)인 학생보로 종단정보에서 낙차(약 2m), 길이(연장 112m) 및 어도(폭 1m, 길이 5m) 등의 자료를 확인할 수 있다.

Fig. 4는 항공 LiDAR 자료를 이용하여 DSM과 DEM을 구축하고 정사영상과 횡단선을 조합하여 입체적인 횡단면 정보를 효과적으로 추출할 수 있으며 하천 현황을 파악하는데 많은 도움을 준다.

### 3.2 HEC-RAS 수리 분석

#### 3.2.1 자료처리

HEC-RAS의 자료처리는 지형자료(횡단면, 구조물)와 수문자료(유출량, 경계조건)를 입력하고 수리계산을 실행하여 수면형(수위 정보 등)결과를 도출하는 과정을 거친다.

횡단면 정보는 현장측량의 경우 길이와 표고에 대한

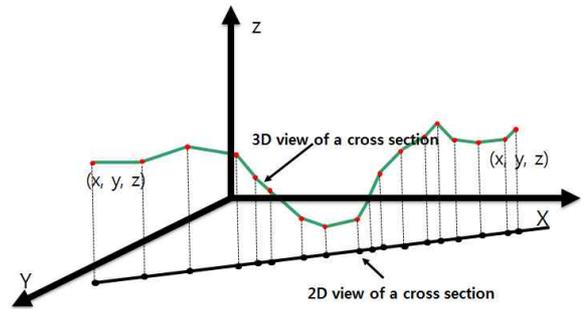


Figure 5. Diagram of 2D and 3D cross-section

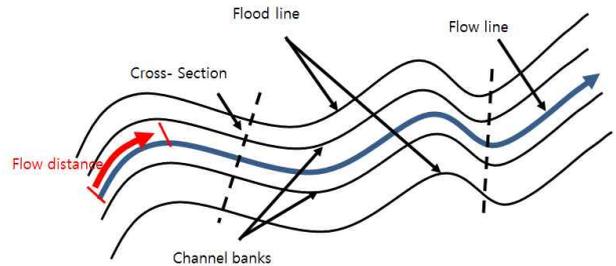


Figure 6. Composition of cross-section

정보를 상대적으로 직접 획득하여 입력이 가능하지만 LiDAR 자료와 수치지형도를 이용하는 경우 Fig. 5와 같이 3차원 지형모델의 3차원 좌표 정보로부터 2차원 정보로 변환하여 프로그램에 입력해야 하며 Fig 6의 횡단 제원을 사용자가 고려해야 한다.

본 연구에서는 3차원 자료형을 CAD 프로그램을 이용하여 회전시키고 거리와 높이를 추출하여 2차원 횡단면도를 생성하였다.

연구대상지역의 횡단면은 도심구간으로 하류 기준으로 No. 50부터 No. 90까지의 단면을 구축하고 사용하였다.

#### 3.2.2 비교분석

수치지형도의 횡단면(Fig. 7, 8)은 하상이나 제방 등이 고려되지 않는 단점을 가지고 있어 사용에 제약이 따르게 되며 특정 구간은 단면이 형성되지 않아 횡단면을 이용한 분석을 수행할 수 없었다.

따라서 1:1000, 1:5000 수치지형도를 효과적으로 하천에 활용하기 위해서는 지도내에 높이정보에 대한 추가가 필요하다. 1:1000 수치지형도의 경우 평면도(현황도) 제작을 위한 측량에 활용도는 높고 일부 측점에서는 비교적 현황측량과 LiDAR 자료의 횡단면과 유사한 구간이 있었다.

횡단 측량결과와 LiDAR 자료의 단면의 비교에서 상대적으로 하상고가 최대 1~2m 차이를 보이는 구간도

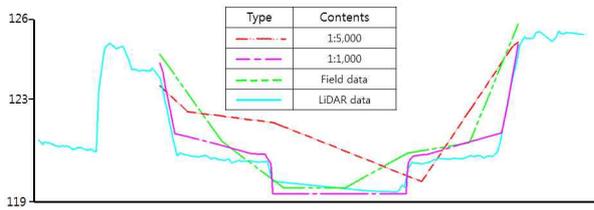


Figure 7. Comparison of cross-section(No. 75)

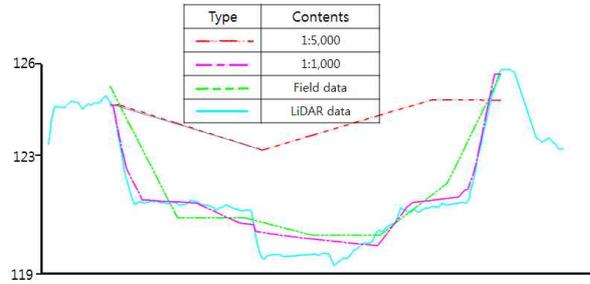


Figure 8. Comparison of cross-section(No. 79)

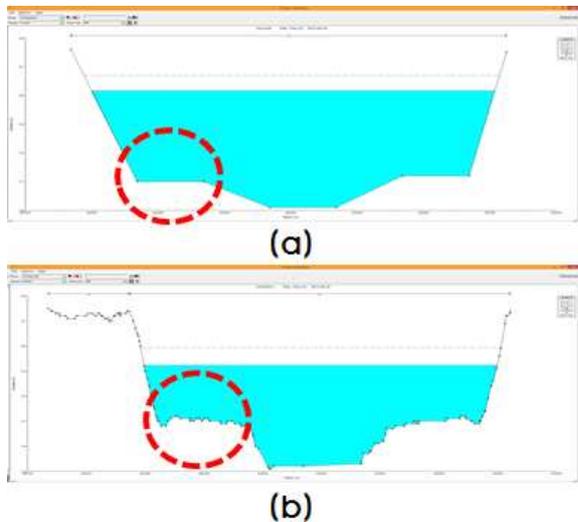


Figure 9. Comparison of field (a) and lidar (b) cross-section

있었으며 측정 시기의 차이로 하상의 퇴적에 의한 횡단 차이와 수면에 의한 영향을 받은 것으로 판단된다.

Fig. 9와 같이 횡단측량과 항공 LiDAR 자료의 단면이 유사한 결과를 보이고 있으나 횡단측량의 경우 측량 후의 지형변화에 따라 제방의 위치가 변화된 구간이 일부 있었으며 횡단점의 세밀함이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

항공 LiDAR 측량자료의 단면정보는 세밀하게 지형이나 제방 등을 표현하고 불규칙한 지형변화에 대한 표현이 가능하였다. 또한 횡단간격을 임의로 조정하여 좀

더 세밀한 하상단면에 대한 정보를 추출할 수 있다.

대상지역의 대부분의 지점들은 수위가 1m이내로 낮은 시기에 LiDAR 자료가 획득되어 횡단면 정보를 비교적 정밀하게 추출할 수 있었지만 하천보 주변 등은 수면에 의한 영향으로 단면정보의 추출에서 일부 오류가 발생하였다.

항공 LiDAR 자료로부터 추출된 횡단점의 개수가 수백점으로 과도하게 많이 추출되어 분석에 어려움이 있다.

이를 해결하기 위해 횡단점간의 위치차와 높이차가 적은 지점의 개수를 줄여 단면을 형성하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 단면의 형상을 보전하며 횡단면을 생성할 수 있는 방안을 제시하기 위한 실험을 수행하였다.

Fig. 10은 LiDAR의 DSM으로부터 횡단점의 개수를 거리(X축)와 높이(Z축)의 차가  $\pm 5\text{cm}$ 이내 인 점들을

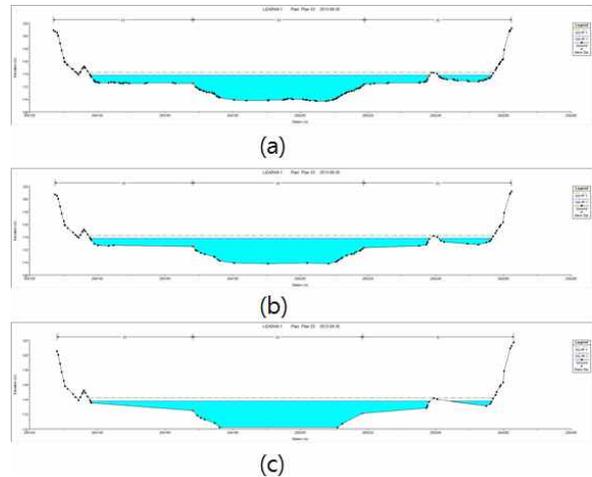


Figure 10. Experiment of Extraction from LiDAR DSM(No. 60)

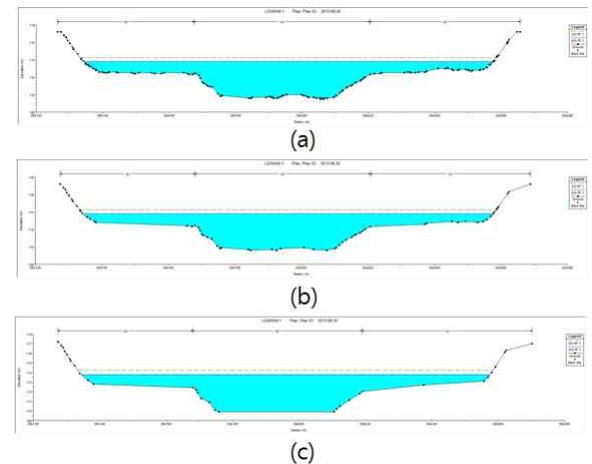


Figure 11. Experiment of Extraction from LiDAR DSM(No. 60)

제거한 결과(a), ±10cm인 점들을 제거한 결과(b), ±20cm인 점들을 제거한 결과(c)를 나타낸 것이다. Fig. 11은 LiDAR의 DEM으로부터 횡단점의 개수를 거리(X축)와 높이(Z축)의 차가 ±5cm이내 인 점들을 제거한 결과(a), ±10cm인 점들을 제거한 결과(b), ±20cm인 점들을 제거한 결과(c)를 나타낸 것이다.

하천 단면 정보를 얻는데 3차원 지형모델에서 최초 추출된 횡단점의 개수는 단계별로 1/2씩 줄어드는 효과를 보였으며 Fig. 10과 11의 경우에서 보여지는 바와 같이 ±10cm 제거 결과에서 비교적 적은 수(약 40여 점)의 횡단점으로 양호한 횡단면을 추출할 수 있었다.

**3.2.3 홍수위 결과**

하천의 횡단면은 현장측량 결과와 LiDAR 데이터 3차원 지형모델에서 추출된 횡단면을 이용하여 대상지역에 해당하는 측점들에 대해 거리와 높이 값을 입력하였으며, 교량 및 보에 대한 정보는 폭, 길이, 교각수 등의 제원을 현장조사와 스마트 지형공간정보로 추출하여 입력을 수행하였다(Fig 12).

Fig 13은 하천의 종단면과 홍수위 정보를 나타낸 것이며 Fig 14는 HEC-RAS의 결과를 나타낸 것이다.

Table 1과 Table 2는 현장측량 자료와 LiDAR 횡단

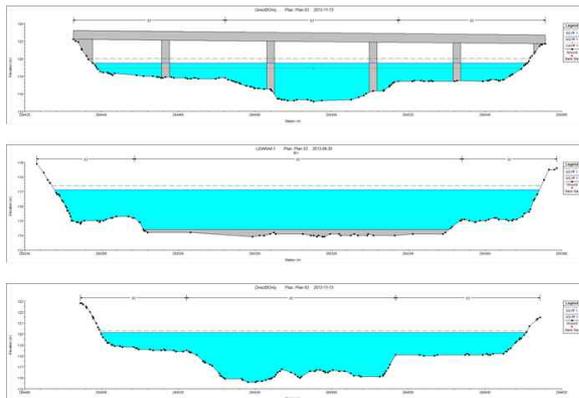


Figure 12. Structure and cross-section(random station)

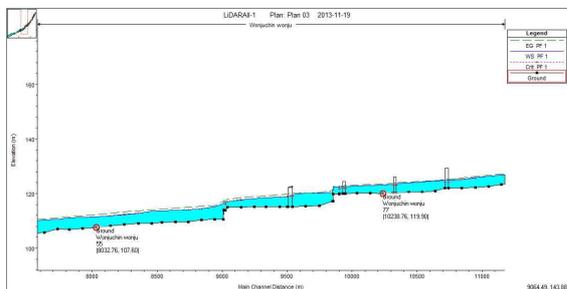


Figure 13. Profile of Stations

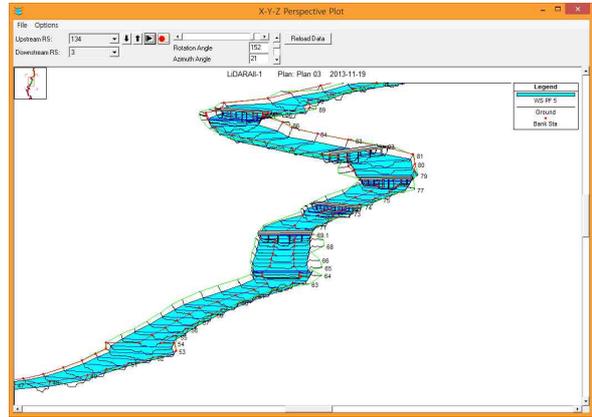


Figure 14. Result of HEC-RAS

자료를 이용하여 각각 30년, 50년, 100년 빈도별 계획 홍수량을 입력하여 계산된 수면형의 결과를 정리한 것이다.

보의 유무에 따른 수위 변화는 대상 구간에서 크지 않지만 보의 주변 단면에서는 조금 높은 수위변화를 나타내고 있었다.

Table 1. Flood stage by frequency(Field Data)

River Sta.	Min Ch Elev. (m)	30 Year		50 Year		100 Year	
		W.S. Elev.(m)		W.S. Elev.(m)		W.S. Elev.(m)	
		Weir	No Weir	Weir	No Weir	Weir	No Weir
77	120.90	123.98	123.95	124.17	124.13	124.41	124.37
76	120.60	123.75	123.69	123.94	123.88	124.18	124.11
75	120.20	123.62	123.55	123.81	123.77	124.05	123.98
74	119.90	123.52	123.44	123.71	123.63	123.95	123.86
73.6	119.90	123.30	123.18	123.48	123.35	123.70	123.57
73.5	119.75	123.34	123.22	123.51	123.40	123.74	123.61
73	119.40	122.46	122.45	122.62	122.61	122.81	122.80
72	116.90	121.06	121.06	121.32	121.32	121.64	121.64
71	116.80	121.01	121.01	121.26	121.27	121.59	121.60
70	116.60	120.57	120.52	120.80	120.75	121.09	121.04
69.1	116.60	119.84	119.84	120.01	120.02	120.24	120.24
69	116.40	119.71	119.72	119.91	119.91	120.16	120.16
68	116.10	119.56	119.56	119.76	119.76	120.02	120.02
67	115.90	119.26	119.26	119.46	119.47	119.73	119.73
66	115.60	118.24	118.23	118.41	118.41	118.63	118.63
65	115.40	118.12	117.54	118.31	117.70	118.57	117.90
64.7	114.40	118.31	116.54	118.51	116.70	118.78	116.89
64	112.20	115.82	115.82	116.06	116.06	116.37	116.37
63	111.80	115.64	115.64	115.88	115.88	116.20	116.20
62	111.50	115.46	115.46	115.71	115.71	116.04	116.04
61	111.20	115.35	115.35	115.61	115.61	115.94	115.94
60	110.90	115.09	115.09	115.36	115.36	115.72	115.72
59	110.60	114.95	114.95	115.22	115.22	115.56	115.56
58	110.10	114.86	114.86	115.13	115.13	115.47	115.47
57	109.80	114.45	114.45	114.70	114.70	115.02	115.02
56	109.80	113.35	113.35	113.57	113.57	113.84	113.84
55	109.30	112.94	112.94	113.17	113.17	113.47	113.47

Table 2. Flood stage by frequency(LiDAR Data)

River Sta.	Min Ch Elev. (m)	30 Year		50 Year		100 Year	
		W.S. Elev.(m)		W.S. Elev.(m)		W.S. Elev.(m)	
		Weir	No Weir	Weir	No Weir	Weir	No Weir
77	119.90	123.27	123.25	123.44	123.41	123.64	123.61
76	120.20	123.11	123.08	123.27	123.23	123.49	123.44
75	120.10	122.94	122.89	123.11	123.05	123.32	123.26
74	120.00	122.81	122.75	122.98	122.90	123.20	123.11
73.6	120.00	122.44	122.01	122.61	122.12	122.82	122.26
73.5	119.75	122.52	121.76	122.69	121.87	122.90	122.02
73	117.20	120.37	120.37	120.53	120.53	120.69	120.69
72	115.60	120.33	120.33	120.56	120.56	120.86	120.86
71	115.40	120.28	120.28	120.52	120.52	120.82	120.82
70	115.10	119.83	119.83	120.04	120.04	120.30	120.30
69.1	115.10	119.09	119.09	119.25	119.25	119.46	119.46
69	115.20	118.92	118.92	119.09	119.09	119.30	119.30
68	115.10	118.63	118.63	118.80	118.80	119.01	119.01
67	115.10	118.36	118.36	118.51	118.52	118.72	118.72
66	114.90	117.96	117.96	118.11	118.11	118.30	118.31
65	114.90	117.22	117.22	117.36	117.36	117.55	117.55
64.7	113.90	117.26	116.22	117.47	116.37	117.73	116.56
64	110.50	115.32	115.32	115.50	115.50	115.74	115.74
63	110.30	114.62	114.62	114.80	114.80	115.04	115.04
62	109.60	114.30	114.30	114.49	114.49	114.72	114.72
61	109.70	114.06	114.06	114.25	114.25	114.49	114.49
60	109.50	113.80	113.80	113.99	113.99	114.23	114.23
59	109.00	113.60	113.60	113.79	113.79	114.01	114.01
58	109.00	112.96	112.96	113.14	113.14	113.43	113.43
57	108.60	112.50	112.50	112.64	112.64	112.85	112.85
56	108.20	112.03	112.03	112.20	112.20	112.39	112.39
55	107.60	111.69	111.69	111.84	111.84	112.01	112.04

현장측량 자료보다 LiDAR 자료에 의한 홍수위 결과가 상대적으로 작은 값으로 나타났다. 이 결과는 현장측량 자료보다 LiDAR 자료가 횡단면이 세밀하며 단면의 크기도 크게 추출되어 통수 단면이 증가되는 효과를 보였기 때문인 것으로 판단된다. LiDAR 자료를 이용한 하천 해석이 현재 단면에 대한 수리해석에 효과적임을 알 수 있었다.

3.3 도시하천 모델링

하천복원 설계자료와 스마트 공간정보를 이용하여 하천복원 전·후에 대한 3차원 모델링 자료를 제작한 후 하천복원 전·후에 변화 양상의 분석하여 하천복원 계획 및 설계의 타당성 및 문제점을 분석하고자 하였다.

Fig. 15는 도시하천 모델링의 흐름도를 나타낸 것이다. 하천 모델링에는 DEM, DSM, 구조물(교량, 건물) 및 가로수에 대한 생성이 필요하다.

Fig. 16은 모델링 대상지역을 나타낸 것이다.

하천에 대한 효과적인 모델링을 위해서는 정사영상의 위치정확도를 높여야 하며, LiDAR 자료로부터 정

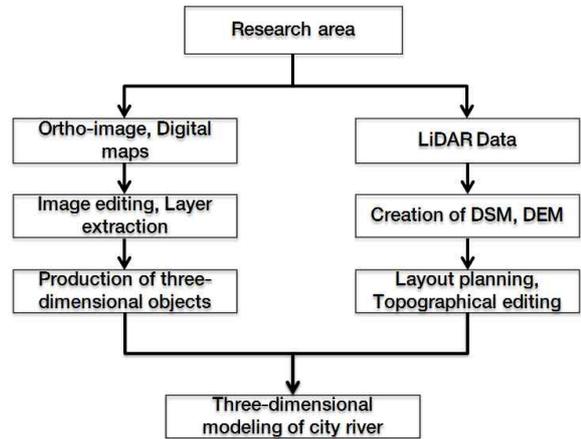


Figure 15. Flowchart of modeling

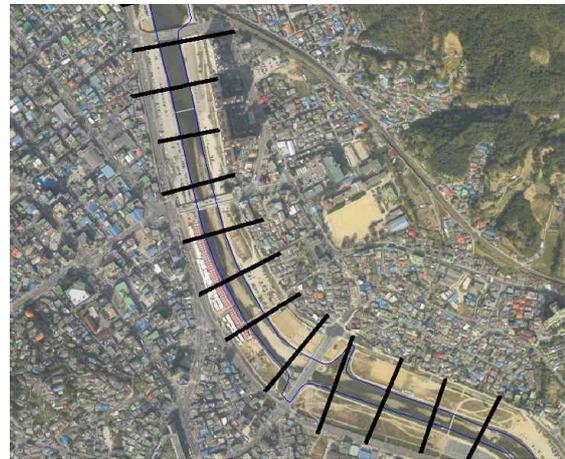


Figure 16. Modeling area



Figure 17. Conventional layout plan

밀한 DSM과 DEM을 생성하여야 한다. 또한 Fig. 17과 같은 설계도면을 연결하여 평면을 구성하여야 한다. 또한 횡단면 설계도를 활용하여 모델링의 횡단을 구성해야 한다.

Fig. 18은 대상지역의 하천보인 학생보의 제원을 조사하고 스마트 지형공간정보와 중첩하여 나타낸 모델링 결과이다.



Figure 18. Modeling of weir

Fig. 19는 현재 하천의 현황과 건물과 교량의 의 모델링을 수행한 결과를 나타낸 것이며, Fig. 20은 하천복원 계획 및 설계를 반영하여 모델링을 수행한 결과이다.

기존의 대상 하천의 경우 하천변에 가로수도 부족하고 강변부지에 콘크리트 주차장이 좌우에 조성되어 있어 도시경관에 악영향을 미치며 홍수시에 위험성을 내포하고 있는 지역이다.

하천의 모델링을 수행하여 경관정보를 효율적으로 확인할 수 있었으며 설계에 대한 결과를 반영하여 복원 전후의 평가가 가능하므로 민원에 대한 사전검토를 수행할 수 있었다.

Fig. 21은 HEC-RAS의 다양한 빈도별 계획홍수량의 정보를 입력하여 나온 수면형 계산 결과중 100년 빈도의 홍수위를 고려하여 하천에 나타낸 결과이다.



Figure 19. Modeling of the river prior to restoration



Figure 20. Modeling of the river after restoration

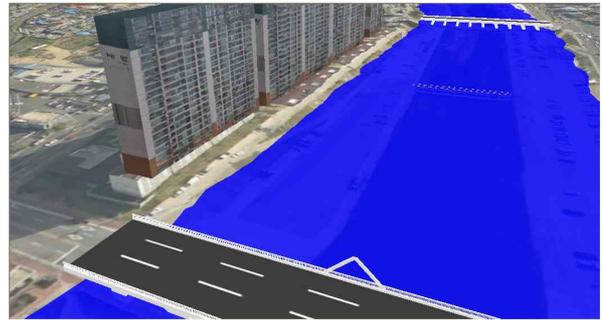


Figure 21. Flood stage by 100-year return period

#### 4. 결 론

본 연구에서는 스마트 공간정보인 고해상도 디지털 항공사진, 항공 LiDAR 데이터 및 수치자료 등을 이용하여 도시내 하천의 분석에 필요한 자료를 추출하고 수리적 특성 정보를 해석하고자 하였다.

첫째, 도시하천 해석에서 기존의 방법은 2차원과 3차원 데이터가 혼합되어 있어 자료를 이용할 경우 위치개념과 정확도가 부족함을 알 수 있었다.

둘째, 스마트 공간정보를 이용하여 대상지역의 3차원 데이터를 생성할 수 있었으며 설계에서 필요한 횡단면도 등을 제작하고 수리해석에서 입력 자료로 활용하여 직접 측량결과보다는 세부적인 분석이 가능함을 알 수 있었다.

셋째, 다양한 공간정보를 스마트 공간정보인 고해상도 디지털항공사진과 항공 LiDAR 자료를 이용하여 정보의 정확도 및 최신성을 확보하고 도시 하천에 대한 3차원 설계 및 모델링 기법을 적용할 수 있었다.

또한 지방자치단체에서 제작 보유하고 있는 스마트 공간정보에 대한 효율적인 활용 방안을 제시할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 창의적연구사업 연구임(No.2012R1A1A2044607).

#### References

1. Kangwondo, 1999, River improvement master plan for Wonjichun.
2. Lee, H., Hong, S., 2010, Flood simulation by using high quality geospatial Information, Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No.3,

- pp. 97–104.
3. Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., and Harding, D. J. (2002) LiDAR remote sensing for ecosystem studies, *BioScience*, Vol. 52, No. 1, pp. 19–30.
  4. Park, E., Lee, H., Yu, Y., Lee, D., 2013, Application of smart geospatial information for modeling of city river, *Conference of The Korean Society for GeoSpatial Information System*, pp. 165–166.
  5. Wonju Regional Construction Management Administration, 2004, *Integrated flood management in Sum river(Wonjuchun, Junchun)*.
  6. Zhan, Q., Molennar, M., Tempfli, K. (2002), Hierarchical object based structural analysis toward urban land use classification using high resolution imagery and airborne LIDAR data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, Part 7: pp. 1751–1758.