

수치표고모델 기반 하천구역 지형분석 및 하천구역 결정 개선 연구

정순찬, 심규성, 이태근*
동부엔지니어링 수자원본부

A Study on the Analysis of Terrain Elevation in River Zones Based on the Digital Elevation Model and Improvement of River Zones Determination

Sun-Chan Jung, Gyoo-Seong Sim, Tae-Geun Lee*
Water Resources Dept., Dongbu Engineering Co., Ltd.

요약 현재 우리나라는 하천의 다양한 이용과 홍수피해 방지를 목적으로 하천법 및 토지이용규제법에 의하여 하천의 일정한 공간범위를 하천구역으로 지정고시하고 있으며 하천구역에 포함된 토지에는 각종 규제가 가해지고 있다. 하천기본계획 수립 시 하천구역 결정에 있어 토지소유자와 관리기관 사이에는 다양한 분쟁이 발생하고 있으며 그 발생건수는 토지이용의 고도화에 따라 점차 증가하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 연구를 수행하였다. 첫째, 기존 하천법상의 하천구역 결정 규정의 문제점을 분석하고 이를 통해 무제부 구간(하천구간 중 제방이 설치되어 있지 않은 구간)의 하천구역 결정시 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model, 이하 DEM)을 이용한 평면계획의 필요성을 제안하였다. 둘째, 기존 고시된 하천구역선의 표고가 하천법상의 규정(무제부 구간에 대한 하천구역 결정 규정)에 부합되는지를 알아보기 위해 하천 3곳의 무제부 구간을 선정하여 계획홍수위와 하천구역선의 지형표고를 비교하였다. 비교결과 대부분의 측선에서 하천구역선의 지형표고가 계획홍수위에 비하여 과다 결정된 것으로 나타났다. 셋째, 드론을 이용한 하천구역 결정 방법의 적용성을 평가하기 위해 저해상도 DEM자료와 드론측량에 의해 작성된 고해상도 DEM을 사용하여 각각의 하천구역선의 표고편차를 비교하였다. 비교 결과 두 표고편차 집단 간에는 통계적으로 의미 있는 차이가 도출되었으며 이를 통해 무제부 구간에 대해서 드론측량을 실시하여 하천구역을 결정하는 것이 효과적인 방법임을 제안하였다. 향후 본 연구의 성과를 활용할 경우 하천구역을 보다 효과적으로 결정할 수 있으며 이를 통해 하천인근에서 발생하는 민원을 현저히 저감시키고 하천 인근의 토지이용을 고도화 할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract Currently, numerous disputes between landowners and management agencies have arisen in determining river zones in Korea. Moreover, the number of such disputes is gradually increasing with the increase in land use. Hence, this study proposed to solve this problem by implementing the following steps. First, this study analyzed the problems in river zone determination under the River Act. Subsequently, this step suggested that a plan based on a Digital Elevation Model (DEM) is needed while determining a river zone in the levee-free section. Second, three rivers were selected to compare the elevation of the design flood level and river zone line of the levee-free section. Third, the elevation deviation from low-resolution DEM data and high-resolution DEM by drone surveying were compared to evaluate the applicability of DEM by drone surveying. As a result, statistically significant results were obtained between the two groups. These results proved that it is more effective to determine the river zone by conducting a drone survey on areas where civil complaints were filed.

Keywords : River Zone, River Act, Drone Surveying, Digital Elevation Model, River Plan, Land Use Regulation

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 지원으로 수행되었음(과제번호 21AWMP-B121100-06).

*Corresponding Author : Tae-Geun Lee(Dongbu Engineering Co., Ltd.)

email: filwiths@dbeng.co.kr

Received October 26, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised December 1, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

하천구역은 2008년 개정된 하천법에 의해 매년 1회 이상 물이 흐른 토지 또는 계획하폭 이내의 토지로 규정되어 있으며 동법 제 10조에 의해 하천의 지형적 특성 및 관리 형태별로 개략적인 방안이 제시되어 있고 세부적인 횡단계획은 하천기본계획 수립지침(2018년 국토교통부 고시)에 규정되어 있다[1]. 하천법 및 기본계획수립지침에 규정된 하천구역 결정 방안은 하천기본계획 수립의 최종단계에서 수행하는 업무로서 하천관리를 위한 물리적 공간범위가 토지이용규제법에 의해 고시되어 실효적으로 토지이용에 제한을 받는 사안으로 매우 중요하게 다루어지고 있다. 일반적으로 하천구역 결정 시 유제부 구간 및 도로가 제방역할을 하는 구간에 대해서는 하천 인근의 지형 경계가 명확하여 지형도 또는 측량성과 및 하천개수계획을 고려하여 하천구역을 결정하므로 비교적 용이하게 결정이 가능하다. 별도의 개수계획이 없는 무제부 구간에 대해서는 하천기본계획 수립에 의해 확정된 측점별 계획홍수위와 지형이 교차하는 횡단 지점을 기준으로 횡단 지점의 평면 공간 내 지형지물 특성을 고려하여 하천설계자의 공학적 판단에 의해 하천구역이 결정된다. 현재 하천구역으로 지정된 토지에 대해서는 건물 증축 및 신설, 토지거래 등에 상당한 행위제한을 받고 있다. 이는 지역의 공적인 안전을 위해 개인의 사유재산권이 제한되는 것으로 하천구역의 지정은 매우 신중하고 구체적으로 결정되어야 함에도 불구하고 현재의 하천구역 결정에 관해서는 하천법 및 하천기본계획 수립지침에 제시되어 있는 횡단계획 중심으로 한정되어 있다. 2005년 한국토지정보시스템(KLIS: Korea Land Information System, 이하 KLIS)의 전면적 시행과 더불어 하천기본계획에 의해 결정된 하천구역의 공간적 범위는 토지이용규제법에 의거 지형도면고시 절차를 통해 소관청의 KLIS에 등재하도록 되어있다. 이에 따라 사유토지에 대한 행위제한 등의 법적구속력을 갖는 하천구역은 그 공간범위를 최소화 하여 결정하여야 한다. 최근의 기후변화 및 하천인근 토지이용 활성화와 같은 시대적 환경변화에 있어 하천구역은 더욱 중요해지고 있다. 이러한 하천구역에 관한 국내에서 수행된 관련연구를 살펴보면 Song은 기존 하천평가는 하천의 자연성만을 고려한 연구가 주로 수행되었고 하천구역구분에 관한 기준이 한국수자원학회(2002)의 하천환경평가기준 외에 전무하다 판단하여 하천상태를 진단할 수 있는 도시하천 평가기법을 제시하였다[2]. 또한, 이에 대한 적용성을 확인하기 위해 경기도지

역을 중심으로 20개 도시하천의 141개 구간에 대하여 평가를 수행하였다[3]. Won은 위 기준을 활용하여 경기도 21개 하천을 대상으로 평가를 수행하였으며 하천환경평가기준을 이용한 동일 하천 평가 결과와 비교하였다[4]. Park은 하천설계기준의 “하천환경평가기준”을 기반으로 합리적이고 체계적인 하천구역과 기능공간배치를 수행할 수 있도록 평가지표와 평가항목을 제시하고 이를 활용하여 낙동강 금호강을 대상으로 적용성을 평가하였다[5]. Jang은 고수부지공간의 구역을 구분하기 위하여 하도특성, 이용현황 등을 바탕으로 인공정비구역, 시설이용구역, 정비자연구역, 자연이용구역, 자연보전구역 5개 구역으로 구분하였다[6]. Hong은 하천구역 결정 및 홍수관리구역 지정고시와 관련된 법령을 소개하고 하천구역과 홍수관리구역의 지정기준 및 그에 따른 적용사례를 제시하였다[7]. Lim은 도시하천의 생태적인 건강성, 문학적 특성, 이용자의 욕구를 반영하여 지속 가능한 하천관리를 위한 보전 및 복원구역, 문화경관구역의 지정에 대한 공간구분과 지속가능한 관리방안을 제시하였다[8]. 선행연구 조사 결과, 하천구역에 대한 연구동향은 하천구역의 생태적 특성 및 이용현황에 따른 전반적인 정비방향 설정에 대한 연구가 주로 수행되어 왔으며 구체적인 하천구역에 대한 기하학적인 공간결정에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 따라 기존 하천구역결정에 대한 제반 문제점을 분석하여 하천구역의 세부적인 공간분석 및 합리적 계획수립에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 하천기본계획수립에 의한 하천구역결정에 있어 하천법 및 기본계획수립지침의 문헌적 한계점과 기존 지정된 하천구역의 공간특성을 분석하였으며 이에 대한 구체적 개선방안을 제시하였다. 또한 현재 활용성이 보편화되고 있는 드론기술이 이러한 문제해결에 대한 적용이 가능한지를 규명하였다.

2. 개요

2.1 연구방법

하천구역결정의 문제점을 분석하기 위해 기존 하천법 및 관련지침에 대한 내용검토와 기존 지정고시된 하천구역선이 하천법의 관련규정(무제부 구간의 하천구역 결정규정)에 준하여 결정되었는지를 판단하기 위해 하천구역선의 지형표고에 대한 공간분석을 수행하였다. 이를 위해 다음 Fig. 1과 같은 절차로 연구를 수행하였으며 세부 연구내용은 다음과 같다. 첫째, 하천법 제 10조의 하천구역

관련 규정의 무제부구간의 하천구역 지정 방안과 이와 연관된 하천기본계획 지침(2018년 개정고시, 7.2 절 하천구역 및 홍수관리구역 등의 결정)의 세부 규정의 한계점을 정리하였으며 이에 대한 개선방안을 제시하였다. 둘째, 최근 지형도면 고시된 3개 하천의 하천구역 중 무제부 구간 일부를 선정하여 하천구역선, 횡단측선, 계획홍수위등의 자료를 기반으로 하천구역선의 표고와 측점별 계획홍수위를 비교(이하 표고편차) 분석하였다. 셋째, 고해상도 DEM을 사용하여 하천구역을 결정하는 방법의 적용성을 평가하기 위해 국토지리정보원 제공 DEM(지상표본거리: Ground Sample Distance, 이하 GSD) : 5 m)과 드론에 의해 작성된 고해상도 DEM(GSD 0.05 m)을 각각 적용하여 하천구역선의 표고와 계획홍수위를 비교하였으며(이하 표고편차라 한다), 고해상도 DEM과 저해상도 DEM을 사용 시 각각에 대해 표고편차에 차이가 있는지를 통계적으로 분석하였다.

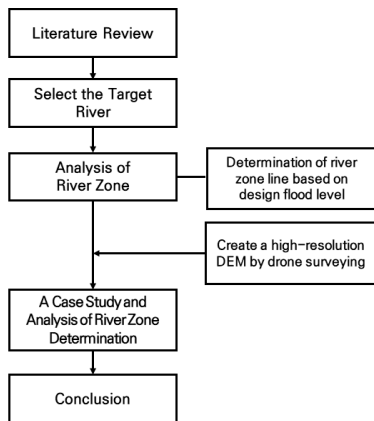


Fig. 1. Analysis Procedure

2.2 대상 하천구역 선정

기 고시된 하천구역선이 하천법 제 10조의 하천구역 설정방법 및 하천기본계획 수립지침 내 관련 규정과 부합여부를 판단하기 위해, 최근 하천구역이 결정되거나 하천구역 고시 후 민원이 자주 발생되었던 하천 가운데 다음과 같은 조건을 고려하여 대상하천을 선정하였다. 첫째, 기본계획이 수립되고 토지이용규제법 제 8조에 의해 하천구역이 소관청의 부동산종합공부시스템에 등재되어 하천 자료수집이 용이한 하천. 둘째, 하천구간 중 무제부로 구성되어있고 향후 개수계획이 없는 구간을 포함한 하천. 셋째, 하상경사가 급하지 않고 급격한 만곡구간이 아니며 인근에 지류하천과의 합류부가 없는 하천 등의

조건을 만족하는 하천을 선정하였다. 이러한 조건을 고려하여 충청남도에 소재한 산양천, 효교천, 부산시 금정구에 소재한 대천천을 선정하였다. 연구대상 하천과 하천별 분석구간에 대한 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Target River and Analysis Location

River	Analysis Location	Design Frequency	Section
Daecheon	Geunmjeong-gu, Busan-si	80 yr	Left Bank No.107 ~ 109
Hyogyo	Yesan-gun, Chungcheongnam-do	80 yr	Left Bank No.47 ~ 50
Sinyang	Yesan-gun, Chungcheongnam-do	100 yr	Right Bank No.5 ~ 10

2.3 하천구역 결정기준 현황

하천구역의 결정에 관한 법적 근거는 하천법 제 10조(하천구역의 결정 등) 및 동법 시행령 6조이며, 무제부구간에 대한 하천구역 결정에 관한 사항은 하천법 제 10조 제 3항~5항에서 규정되어 있다. 하천기본계획 수립지침에는 제방의 특성 및 개수계획 여부에 따라 세부적인 하천구역 결정 기준을 하천의 지형특성별로 Fig. 2와 같이 정의하고 있다. 하천구역 결정기준의 무제부구간의 결정 방법은 계획홍수위선과 지형이 교차된 지점을 기준으로 그 이하의 구역을 하천구역으로 포함하도록 규정되어있다. 이와 관련하여 하천구역 결정에 따른 개인소유지 제척요구 민원이 발생될 경우가 있는데 이 때 해당지점의 표고가 계획홍수위 이하인지를 판단하는 문제는 분쟁해결에 있어 매우 중요한 고려사항이다. 실제 하천기본계획을 수립하는 관리기관 및 실무설계자들은 이러한 규정과 사례에 준하여 하천구역 경계는 계획하폭을 고려한 범위에서 계획홍수위와 지형의 교차경계를 우선적으로 적용하고 있다.

2.4 드론을 이용한 고해상도 DEM 구축

본 연구에서는 기존 고시된 하천구역선의 표고 편차 및 하천구역선의 각 측점별 평면좌표와 동일측점의 계획홍수위와 지형의 교차점간의 이격거리(이하 수평이격거리)를 파악하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 DEM 자료를 사용하였으며, 추가적으로 연구대상 지역에 대해 드론을 이용하여 정밀 DEM을 구축하였다. 드론에 의한 정밀 DEM구축절차는 다음 Fig. 3과 같으며 본 연구에서 사용한 드론의 자세한 제원은 Table 2와 같다.

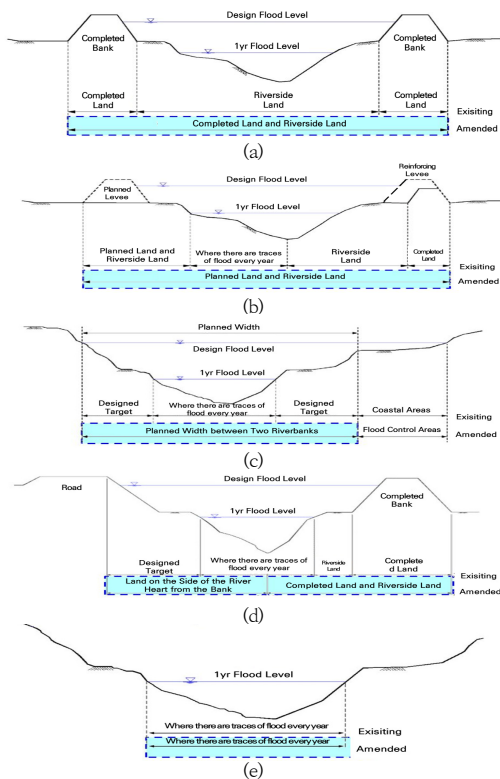


Fig. 2. Criteria for Determining River Zone Line (Article 10 of the River Act)

(a) Where there exists a complete levee in the basic river plan (b) Where there exists a planned levee in the basic river plan (c) A district on which no levee is planned (d) In cases of a place in which a linear structure, including a railroad and road, serves as a bank (e) In cases of a river whose basic river plan is not been established

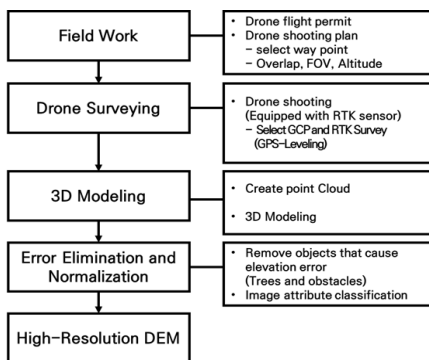


Fig. 3. Procedures for Creating High-Resolution Topographic Map using Drones

Table 2. Specification of Drone and Camera

Classification		Spec.
Drone	Maker / Name	DJI/Phantom 4 RTK
	Weight	1,391g
	Max Service Ceiling Above Sea Level	6,000 EL.m
	Flight Time	30 min
	Max Speed	6 m/s (Automatic) 5 m/s (Manual)
	Hover Accuracy Range	Vertical : $\pm 0.5\text{m}$ (GNSS Positioning) Horizontal : $\pm 1.5\text{m}$ (GNSS Positioning)
Camera	Sensor	1"CMOS, 20 M
	FOV	84 °
	Electronic Shutter Speed	8 sec ~ 1/8000 sec
	Image Size	5472 px $\times$ 3648 px
	Obstacle Sensory Range	0.7 ~ 30m
	Focal Length	8.8mm
Mapping Accuracy (at an altitude of 182 m)		5cm/pixel

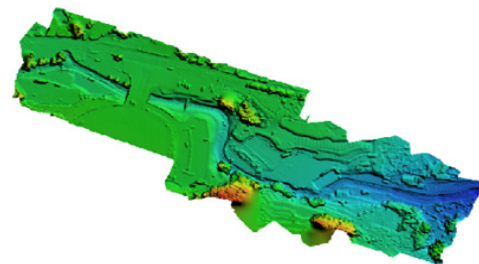
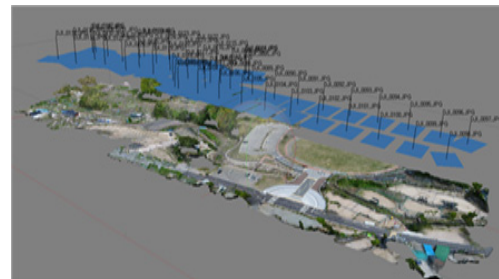
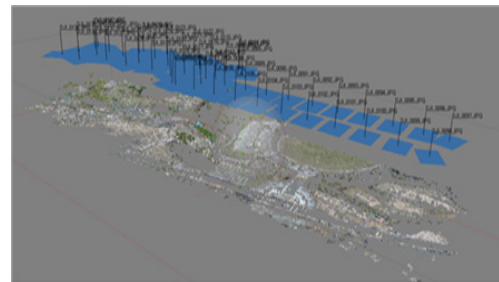


Fig. 4. High-Resolution Topographic Map of the Target River (Levee-Free Section)

정밀 DEM 구축 시 활용한 드론은 RTK-드론이며, 표고정확도 확보를 위해 각 구간별로 2개에서 3개의 지상 기준점(GCP: Ground Control Point, 이하 GCP)을 선점하여 이에 대한 표고정보와 국가지오이드모델(KNGeoid18 : 간접 수준측량을 위해 작성된 한반도 고정밀 합성지오이드모델)을 이용하여 GNSS 수준측량을 수행하였다. 드론을 통해 촬영된 영상정보는 사진정렬 및 좌표조정을 통해 PointCloud를 생성하고, Mesh작업을 통해 3차원 지형도를 작성한 후 표고오차를 유발하는 요소들을 보정하여 최종 DEM을 작성하였다(Fig. 4).

2.5 하천구역선 지형표고 추출

하천구역선의 공간분석을 위해 하천중심선을 횡단측선 기준으로 10등분하여 등분된 지점을 기준으로 세부측선을 작성하였다(Fig. 5). 이를 통해 10개의 새로운 측선을 구축하였고 각 측선의 계획홍수위 값은 기준측선 간 수위차를 선형보간하여 10개의 새로운 측선에 배정하였다. 또한 평면이격거리 계산을 위해 해당측선을 제네지 방향으로 작도하여 하천구역선과 지형고도와의 교차점을 작도하고 그 교차점의 좌표를 계산하였다.

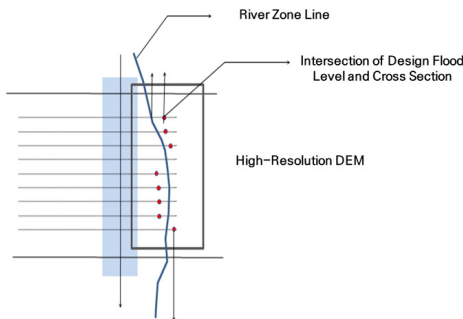


Fig. 5. Altitude Point and Separation Distance

하천구역선 표고와 계획홍수위 간의 표고를 각 측선별로 비교하였고(이하 표고편차)(Fig. 6), 또한 지형교차점과 하천구역선 교차점의 평면상의 편차(평면이격거리)를 계산하여 각 측선별로 비교하였다. 또한 표고편차 비교 시 기존 DEM(GSD : 5 m)과 드론에 의해 작성된 DEM(GSD : 0.05 m)을 사용하여 DEM 해상도별 표고편차를 비교하였다(Fig. 7).

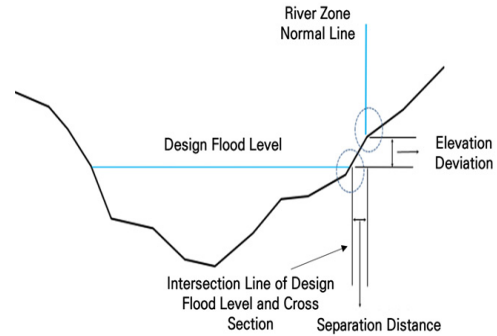


Fig. 6. Elevation Deviation of Design Flood Level and River Zone Line

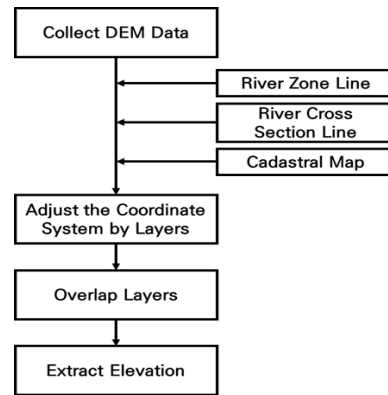
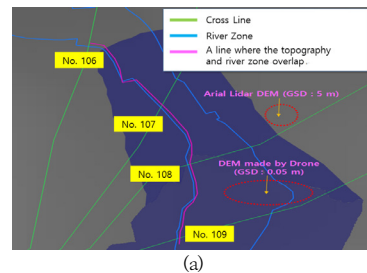


Fig. 7. Procedure for Extracting Elevation

모든 하천구역선 및 DEM 자료는 QGIS를 사용하여 분석데이터를 추출하였다. 하천별 작업결과 화면은 Fig. 8과 같다.



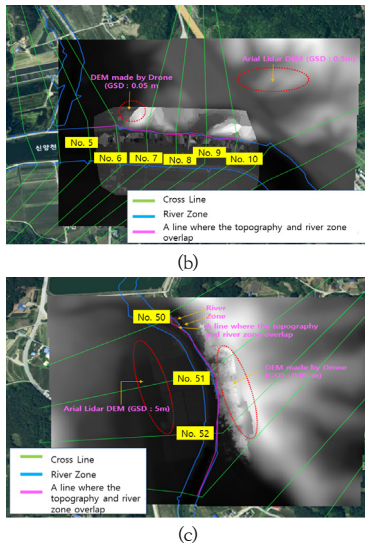


Fig. 8. Overlapping
(a) Overlapping of Daechen-River (b) Overlapping of Hyogyo-River (c) Overlapping of Sinyang-River

3. 연구결과 및 고찰

3.1 하천구역선과 계획홍수위 표고편차 분석

하천별 표고편차를 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 9와 같다.

하천구역선 및 DEM 해상도별 표고편차에 대한 결과는 Table 3~Table 5와 같다.

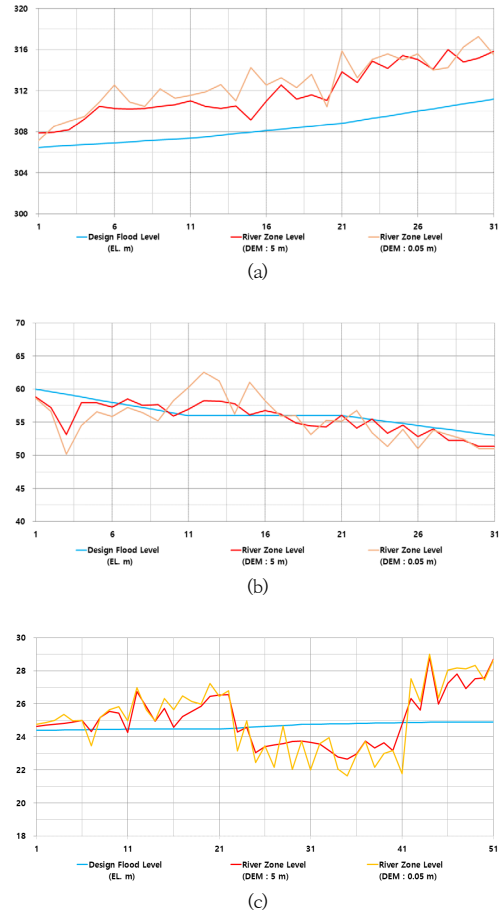


Fig. 9. Elevation Deviation
(a) Daechen-River (b) Hyogyo-River (c) Sinyang-River

Table 3. Daechen-River's Elevation

Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)	Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)
106	306.47	-1.37	-0.68	107-6	308.24	-4.32	-5.01
106-1	306.56	-1.39	-1.98	107-7	308.39	-2.79	-3.89
106-2	306.65	-1.56	-2.37	107-8	308.54	-3.05	-5.02
106-3	306.74	-2.47	-2.74	107-9	308.68	-2.37	-1.77
106-4	306.83	-3.63	-4.06	108	308.83	-4.99	-7.04
106-5	306.92	-3.34	-5.64	108-1	309.06	-3.72	-4.19
106-6	307.00	-3.22	-3.89	108-2	309.30	-5.55	-5.72
106-7	307.09	-3.16	-3.39	108-3	309.53	-4.62	-6.03
106-8	307.18	-3.29	-4.98	108-4	309.77	-5.65	-5.21
106-9	307.27	-3.38	-3.98	108-5	310.00	-5.03	-5.56
107	307.36	-3.63	-4.20	108-6	310.23	-3.84	-3.78
107-1	307.51	-2.98	-4.36	108-7	310.47	-5.51	-3.78
107-2	307.65	-2.60	-4.94	108-8	310.70	-4.08	-5.53
107-3	307.80	-2.73	-3.22	108-9	310.94	-4.21	-6.31
107-4	307.95	-1.20	-6.30	109	311.17	-4.66	-4.30
107-5	308.10	-2.88	-4.45				

Table 4. Hyogyo-River's Elevation

Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)	Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)
47	53	1.69	1.98	49-5	56	-0.77	-2.23
48	56	-0.03	0.84	49-6	56	-0.23	0.1
48-1	55.7	1.58	-1.04	49-7	56	1.13	0.02
48-2	55.4	-0.07	2.02	49-8	56	1.58	2.88
48-3	55.1	1.77	3.76	49-9	56	1.71	0.7
48-4	54.8	0.24	0.88	50	60	1.19	1.35
48-5	54.5	1.66	3.46	50-1	59.6	2.4	2.97
48-6	54.2	0.23	0.43	50-2	59.2	6.08	8.99
48-7	53.9	1.64	0.82	50-3	58.8	0.91	4.31
48-8	53.6	1.34	1.15	50-4	58.4	0.51	1.83
48-9	53.3	1.99	2.28	50-5	58	0.75	2.15
49	56	-0.97	-4.26	50-6	57.6	-0.89	0.37
49-1	56	-2.23	-6.53	50-7	57.2	-0.34	0.79
49-2	56	-2.15	-5.23	50-8	56.8	-0.84	1.57
49-3	56	-1.78	-0.25	50-9	56.4	0.46	-1.81
49-4	56	-0.12	-5.03				

Table 5. Sinyang-River's Elevation

Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)	Station Number	Design Flood Level (EL.m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 5 m)	Elevation Deviation from DEM(m) (GSD 0.05 m)
5	24.39	-0.24	-0.36	7-6	24.66	1.15	2.51
5-1	24.40	-0.31	-0.47	7-7	24.69	1.10	0.04
5-2	24.41	-0.36	-0.58	7-8	24.72	0.99	2.70
5-3	24.41	-0.41	-0.95	7-9	24.75	1.00	1.01
5-4	24.42	-0.46	-0.55	8	24.76	1.08	2.75
5-5	24.43	-0.56	-0.56	8-1	24.77	1.21	1.19
5-6	24.44	0.12	0.99	8-2	24.78	1.60	0.83
5-7	24.45	-0.72	-0.72	8-3	24.79	2.01	2.74
5-8	24.45	-1.10	-1.20	8-4	24.80	2.15	3.15
5-9	24.46	-0.99	-1.38	8-5	24.81	1.85	1.89
6	24.47	0.21	-0.51	8-6	24.82	1.07	1.11
6-1	24.47	-2.28	-2.50	8-7	24.83	1.49	2.68
6-2	24.47	-1.37	-1.17	8-8	24.84	1.21	1.86
6-3	24.47	-0.47	-0.50	8-9	24.85	1.67	1.67
6-4	24.47	-1.26	-1.84	9	24.87	0.11	3.09
6-5	24.47	-0.12	-1.17	9-1	24.87	-1.46	-2.64
6-6	24.47	-0.76	-2.00	9-2	24.88	-0.74	-1.24
6-7	24.47	-1.08	-1.67	9-3	24.88	-3.93	-4.57
6-8	24.47	-1.38	-1.51	9-4	24.88	-1.10	-1.46
6-9	24.47	-1.99	-2.76	9-5	24.89	-2.34	-3.17
7	24.48	-2.06	-1.97	9-6	24.89	-2.92	-3.29
7-1	24.51	-2.05	-2.27	9-7	24.89	-2.02	-3.23
7-2	24.54	0.24	1.40	9-8	24.89	-2.62	-3.43
7-3	24.57	-0.01	-0.41	9-9	24.90	-2.66	-2.55
7-4	24.60	1.55	2.15	10	24.90	-3.79	-3.74
7-5	24.63	1.22	1.18				

표고편차는 계획홍수위에서 하천구역 표고를 차감한 값으로 양의 값일 경우 하천구역선이 과소 지정된 것을 의미한다. 음의 값일 경우 하천구역선의 표고가 계획홍수위보다 높게 지정된 것으로 하천구역선이 과다지정된 것으로 판단할 수 있다. 과업구간의 표고편차 값은 전반적으로 음의 값으로 나타났으며, 기존의 무제부구간의 하천구역은 하천법 및 하천기본계획수립 지침의 규정(무제부 구간)과는 달리 과다하게 결정되었음을 알 수 있다. 현지 지형측량을 통해 횡단면도가 제시된 기준측점의 경우에도 대부분 계획홍수위와 하천구역선의 표고에는 많은 차이가 있는 것으로 나타났으며 이는 다음과 같은 원인으로 판단된다. 첫째, 무제부 구간 내 유수흐름에 장애를 유발하는 시설물이 존재하여 설계자의 판단으로 하천구역을 지정하였을 경우, 둘째, 기준횡단 간 측량을 실시하지 않아 정확한 계획홍수위와 지형의 경계를 알 수 없으므로 설계자가 저해상도의 수치지도의 불균일하게 표시되어 있는 수준타점만을 이용하여 하천구역을 결정하기 때문으로 판단된다.

3.2 하천구역선 및 계획홍수위 평면경계 비교

각 측선별 평면이격거리를 산정한 결과는 Table 6~8과 같다.

평면 이격거리에 대한 평균제곱근 오차는 Table 9과 같다.

Table 6. Separation Distance(Daecheon-River)

Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)
106	-1.50	107-1	-3.25	108-2	-4.60
106-1	-1.32	107-2	-3.25	108-3	-3.15
106-2	-3.21	107-3	-4.12	108-4	-3.25
106-3	-3.89	107-4	-2.15	108-5	-5.17
106-4	-4.26	107-5	-2.65	108-6	-4.56
106-5	-3.12	107-6	-2.78	108-7	-4.21
106-6	-3.45	107-7	-2.45	108-8	-5.26
106-7	-3.45	107-8	-4.51	108-9	-2.56
106-8	-3.21	107-9	-0.50	109	-3.56
106-9	-2.14	108	-2.56		-3.45
107	-2.56	108-1	-4.89		

Table 7. Separation Distance(Hyogyo-River)

Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)
50	1.98	49	-4.5	48	1.36
50-1	2.89	49-1	-7.20	48-1	2.56
50-2	7.56	49-2	-6.32	48-2	2.36
50-3	5.14	49-3	-2.30	48-3	2.15
50-4	3.33	49-4	-3.86	48-4	1.12
50-5	1.52	49-5	-1.25	48-5	2.69
50-6	-1.23	49-6	-0.89	48-6	1.25
50-7	-1.52	49-7	1.85	48-7	3.10
50-8	-1.51	49-8	1.45	48-8	3.20
50-9	-3.85	49-9	1.95	48-9	3.18

Table 8. Separation Distance(Sinyang-River)

Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)	Station Number	Separation Distance (m)
5	-0.21	6-7	-1.23	8-4	1.56
5-1	-0.26	6-8	-1.68	8-5	1.14
5-2	-0.45	6-9	-2.37	8-6	0.56
5-3	-0.62	7	-2.35	8-7	0.98
5-4	-0.32	7-1	-0.98	8-8	0.75
5-5	-0.82	7-2	0.63	8-9	0.98
5-6	0.85	7-3	-0.23	9	2.56
5-7	-1.23	7-4	1.69	9-1	1.12
5-8	-1.62	7-5	1.78	9-2	0.63
5-9	-1.20	7-6	1.56	9-3	1.23
6	-2.36	7-7	1.89	9-4	1.56
6-1	-0.85	7-8	1.26	9-5	1.14
6-2	-1.24	7-9	1.56	9-6	0.56
6-3	-0.10	8	2.56	9-7	0.98
6-4	-0.98	8-1	1.12	9-8	0.75
6-5	-0.02	8-2	0.63	9-9	0.98
6-6	-0.52	8-3	1.23		

Table 9. RMSE of Elevation Deviation and Separation Deviation

River	Elevation Deviation RMSE	Separation Deviation RMSE
Daecheon	3.56	3.48
Hyogyo	1.69	0.84
Sinyang	1.58	1.78

Table 9와 같이 각 하천별 표고편차의 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE) 산정결과 1.58 ~ 3.56 m, 평면이격거리의 경우 1.78 ~ 3.48 m로 나타났다. 이는 하천구역선이 하천법 및 하천기본계획 수립 지침의 규정에 부합하지 않는 공간 범위가 평면상에 나

타난 결과로 볼 수 있으며 이는 하천구역 면적이 대체로 과다 또는 과소 결정되었음을 정량적으로 나타나는 결과이다.

3.3 DEM 해상도별 표고편차의 차이 비교

하천구역 결정 시 드론을 이용한 고해상도 DEM(GSD : 0.05 m)과 기본계획수립 시 일반적으로 사용되는 저해상도 DEM(GSD : 5 m)을 각각 사용하여 그 각각의 표고편차에 차이가 있는지를 판단하기 위해 두 가지 표본에 대한 통계분석(평균비교 : t-TEST)을 실시하였으며, 그 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Statistical Analysis Result of Elevation Deviation by DEM Resolution(t-TEST)

River	Elevation Deviation(m) / 5 m DEM	Elevation Deviation(m) / 0.05 m DEM	t	p
	M ± SD	M ± SD		
Daecheon (N=31)	3.45 ± 1.22	4.33 ± 1.41	-2.57	0.01
Hyogyo (N=30)	1.12 ± 1.15	2.22 ± 2.06	-2.30	0.02
Sinyang (N=51)	1.39 ± 0.97	1.79 ± 1.05	-2.09	0.03

※ p: Significance Probability, t: Statistics to test mean difference.

분석 결과 대상하천 모두 사용하는 DEM의 GSD에 따른 표고편차가 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p = 0.01$, $p = 0.02$, $p = 0.03$). 드론측량에 의한 DEM은 격자의 크기가 작고 정밀하며 대표되는 표고의 평균값은 정확한 대신 위치에 따른 표고변동성이 존재한다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 DEM의 격자 해상도별 표고편차의 차이는 통계적으로 의미가 있는 것으로 분석되었으며 드론측량 기반 정밀 DEM을 사용하는 것은 정확한 하천구역 결정에 있어 효과적일 것으로 판단된다.

3.4 하천구역 결정 개선방안

현재 하천구역 산정 기준은 상기 서술한 기술적인 한계 외에도 행정절차 등 다양한 문제들도 상존하며, 이러한 문제는 다음과 같다.

첫째, 하천구역 결정 시 타 사업(도로, 철도 등)으로 인한 편입용지의 민원보상 기준을 따르지 않는다. 이는 소면적 필지 보상 및 맹지보상 규정과 같이 토지의 위치 및

공간특성에 따른 보상이 시행되지 않음을 의미한다. 지방하천의 경우 실시설계에 의한 시공 이전에는 하천구역 내 편입토지 보상의무규정이 부재한 실정이다. 따라서 토지 이용효율이 높은 하천인근의 사유지의 하천구역 편입 시 토지소유자에 의한 민원이 다수 발생하고 있다. 둘째, 하천구역 내 토지소유자가 임의로 성토하여 하천구역 제척을 요구하는 경우가 빈번하게 발생하는데 이때 해당 토지에 대한 측량을 수반하지 않아 정확한 표고 변동량을 알 수 없다. 사유지 개별 성토 및 임의 하천구조물 설치 등의 행위는 통수단면 감소 및 유수흐름을 방해함으로써 2차적인 홍수피해를 발생시킬 수 있다. 셋째, 횡단측선 간 공간의 경우 측량이 실시되지 않아 기존 수치지형도 지형현황을 개략적으로 판단하여 하천구역을 결정하게 되며, 이는 표고오차를 다수 유발하게 된다. 또한 하천법 내 횡단측선 사이의 평면에 대해서는 Fig. 10에서와 같이 하천구역 결정에 대한 명시적인 평면계획이 기술되어 있지 않아 하천구역의 평면선형이 일관되게 나타나지 않는다. 넷째, 도심하천에 대한 하천구역 결정 시 시설물의 구조특성, 시설물 유지관리, 개수계획에 따른 시공성을 고려하지 않고 단순히 시설물의 법선을 기준으로 하천구역을 결정하게 된다. 이를 기반으로 개수공사 시 공사여유공간의 미확보로 하천구역을 재고시하거나 사유지를 임의로 점유하여 공사를 하는 등 다양한 분쟁이 발생된다.

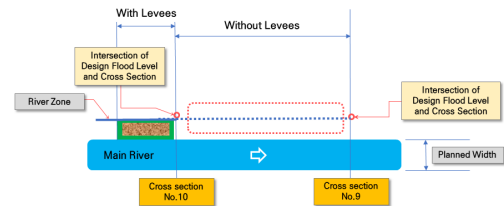


Fig. 10. Conceptual Diagram of the Existing River Zone Determination

상기 문제를 해결하기 위해서는 하천구역 결정 시 다음과 같은 규정 신설이 필요하다. 첫째, 하천구역 결정 시 대상지에 대한 DEM 자료와 수치지형도를 동시에 고려하여 작성하여야한다. 둘째, 무제부 구간의 하천구역은 계획홍수위 이하의 토지를 포함한다. 셋째, 하천구역 고시 전후 분쟁 발생 시 사유토지의 임의제척은 가능한 배제하도록 하고, 토지제척에 대한 검토 시에는 반드시 대상지에 대한 지형측량을 실시하여 계획홍수위와 지형의 경계가 대상 토지에 포함되는지를 정량적으로 판단하는

것이 필요하다. 넷째, 지적경계를 참조할 경우 소관청의 연속지적도와 LX공사에서 제공하는 편집지적도를 동시에 고려하여야 한다. 다섯째, 도심지 하천의 경우 시공성 및 유지관리 용이성 확보를 위해 구조물의 두께, 공사여 유폭 등을 고려해야 한다.

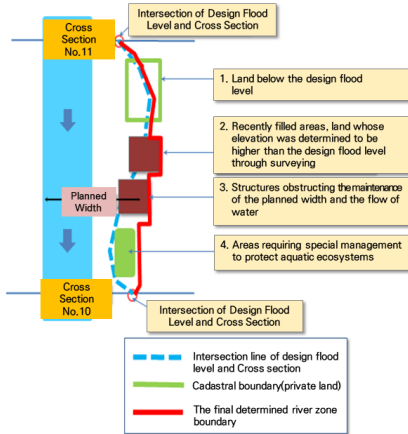


Fig. 11. River Zone Determination Plan (Longitudinal Section)

이와 같은 고려사항을 통해 본 연구에서는 하천구역에 대한 다음과 같은 평면계획 지침을 제안하였다(Fig. 11). 첫째, 무제부 구간의 하천구역선의 경계는 계획홍수위와 지형이 만나는 3차원 경계를 우선적용하고 계획하폭 유지 및 유수 소통에 방해가 되는 구조물이 있는 경우 이를 포함한다. 둘째, 하천구역 결정 관련 분쟁 발생 시 현지 측량을 실시하여 표고가 계획홍수위 이상이고 유수소통에 문제가 없을 경우 하천구역에서 제척시킨다. 셋째, 하천인근의 장기적인 수생태 환경 보호가 필요한 경우 계획홍수위 이상의 토지에 대해서도 하천구역으로 포함한다.

이러한 평면계획 지침과 더불어 하천구역 결정에 대한 횡단계획 지침을 도심하천의 특성을 고려하여 다음과 같이 제안하였다. 첫째, 복개암거형 하천의 경우 암거체체의 벽체두께를 고려하여 하천구역을 확보한다. 만일 해당 구역 내 개수계획이 존재할 경우 개수계획에 따른 시공성을 고려하여 최소공사 여유폭 및 유지관리 여유폭을 확보한다. 둘째, 개거형 굴입하천의 경우 유지관리 여유폭을 확보하여야 하며, 해당구역 내 개수계획이 있을 경우 개수공사에 따른 시공성을 고려하여 최소공사 여유폭을 확보한다(Fig. 12). 셋째, 여유폭 고려 시 하천의 자연적 흐름에 지장을 주지 않는 범위에서 구역을 결정하여

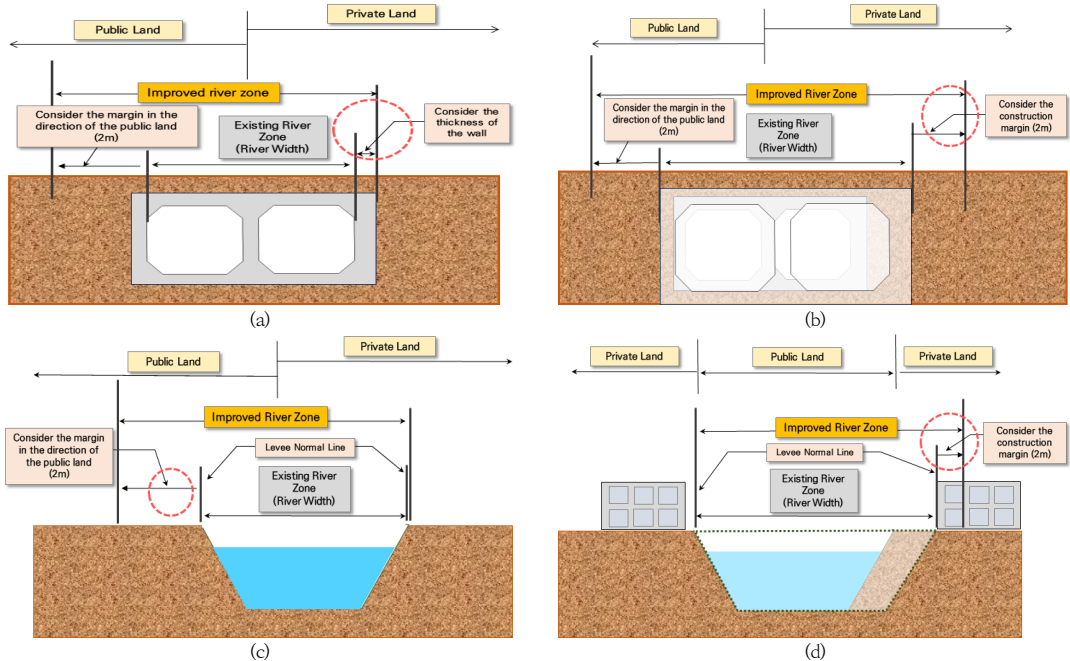


Fig. 12. River zone determination plan(cross section)

(a) Covered River(Without Improvement Plan) (b) Covered River(With Improvement Plan) (c) Open Channel River(Without Improvement Plan) (d) Open Channel River(With Improvement Plan)

야 하며 이때는 국유지를 우선적으로 고려하여 사유지편입을 최소화 하여야 한다.

3.5 하천구역 결정에 대한 드론활용의 적용성 검토

하천 내 무제부 구간의 경우 측량대상 지역이 상대적으로 협소한데 반해, 토지에 대한 계획홍수위 비교가 중요하므로 표고정확도가 비교적 높아야 하며, 관리기관의 효과적인 민원 대응을 위한 신속한 측량이 필요하다. 드론측량을 통한 하천구역 결정은 상기 고려사항 대응에 있어서 상당부분 부합되는 것으로 판단되며, 그 이유는 다음과 같다. 드론측량은 저고도에서도 즉각적인 측량이 가능하며, 비교적 신속하게 고해상도 DEM 구축이 가능하다. 또한 최근 도입되기 시작한 RTK-드론을 이용할 경우 GCP선점 및 기준점 측량을 생략할 수 있어 내업에 대한 업무량도 상당부분 저감된다. 따라서 드론측량을 통한 고해상도 DEM 기반 하천구역 결정 시 다음과 같은 작업 방안을 제안하였다.

측량 대상구간 내 GCP선점 및 GNSS측량을 실시하고 GCP의 표고는 KnGeoid18을 이용한다. 드론촬영 시 비행고도는 80~100m, 촬영중복도는 횡중복/종중복 70~80%로 조정하고 Mesh작업을 통한 3D모델링을 수행하여 DEM을 작성한다. 작성된 DEM에 대한 표고오차

유발 객체 등을 제거하여 최종 정밀 DEM을 작성한다. 횡단측선 별 계획홍수위를 기준으로 3차원 수표면 공간 정보를 구축하고, 해당 경계선을 기준으로 지형의 현황 및 용지도의 경계 등을 종합적으로 고려하여 최종 하천구역을 결정한다(Fig. 13).

4. 결론

본 연구에서는 하천구역 결정방법을 보완하기 위해 기존 하천법 및 하천기본계획 수립지침의 하천구역 결정방안의 문제점을 분석하고 그 개선방안을 제시하였으며 기고시된 하천구역선의 지형표고특성을 분석하기 위해 3개 지방하천을 선정하여 무제부 구간을 대상으로 표고편차 및 평면 이격거리를 분석하였다. 또한 드론에 의한 고해상도 DEM을 구축하고 이를 기반으로 하천구역 결정에 대한 적용성 및 세부 작업절차를 제시하였다. 이러한 연구수행 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 기존 지정 고시된 하천구역선의 지형특성을 분석결과, 대상지 내 구조물이나 유수흐름에 방해가 되는 시설물 등이 존재하지 않음에도 불구하고 연구대상 하천구역선의 표고가 계획홍수위에 비해 대체로 과다하게 결정되었다. 일반적으로 하천의 치수안정성을 우선시 하는 설계자들의 업무특성을 고려한다면 타 하천의 경우에도 유사한 결과가 나타날 것으로 추정된다.
2. 하천구역을 결정 시 무제부 구간에 대해서는 계획홍수위의 3차원 수표면과 해당지역의 고해상도 DEM을 공간 중첩시켜 계획홍수위의 평면 경계를 구한 후 이를 기반으로 계획하폭 및 유수소통에 방해되는 각종 지장물 현황, 수생태 보호를 위해 부득이 포함하여야 할 지역 등을 고려하여 최종 하천구역을 결정하는 등의 평면계획을 제시하였다. 또한 도심하천의 경우 하천구조물의 시공성, 유지관리특성을 고려하여 수공구조물의 벽체두께, 유지관리용이성, 공사여유폭 확보 등을 고려한 횡단계획을 제시하였다.
3. 연구 대상하천에 대한 하천구역선의 표고편차에 있어서 사용하는 DEM의 해상도에 따라 그 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 이는 드론측량을 통한 고해상도 DEM을 활용하는 것이 하천구역에 있어 보다 유용할 것으로 추정된다. 이러

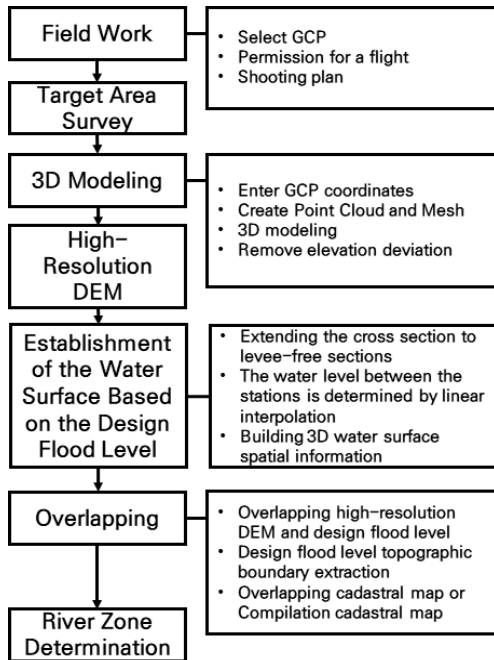


Fig. 13. Procedures for Determination of River Zones using Drones

한 결과를 토대로 본 연구에서는 드론을 이용한 하천구역 결정에 대한 세부 방안을 제시하였으며 이러한 방법을 하천기본계획 등의 실무에 적용할 경우 일관되고 정규화된 하천구역의 공간범위 결정이 가능해질 것이다.

4. 본 연구의 대상하천은 산지하천의 일부를 대상으로 한 것으로 향후 표고편차의 일반적 특성을 파악하기 위해서는 다양한 하천을 대상으로 한 연구가 필요하며 도심하천의 경우 하천구역선 결정상태에 대한 공간적 구성사례에 대한 보완연구가 필요하다.

References

- [1] MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport), River Act, Korea, 2021.
- [2] J. I. Song, H. J. Lee, S. E. Yoon, "Development of Stream Assessment Technique for Restoration and Management of Urban Stream", *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No.3B, pp.283-296, 2008.
- [3] J. I. Song, S. E. Yoon, "Study on the Criterion of River Zones Classification", *Journal of Civil and Environmental Engineering Reserch*, Vol. 32, No.2B, pp.131-137, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2012.32.2B.131>
- [4] J. Y. Won, S. H. Park, J. I. Song, S. E. Yoon, "Quantitative Analysis of Classification Technique of River Zones", *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, Korea, Vol.10, pp.3378-3381, October, 2009.
- [5] B. J. Park, Y. J. Yun, Y. G. Oh, J. Y. Shin, "Suggestion of river zone classification and functional space arrangement evaluation method for river space maintenance plan", *Water for future*, Vol. 38, No.145, pp.78-88, 2005.
- [6] C. L. Jang, J. K. Kim, G. M. Lee, "Evaluation of Urban Riverine Area Usage -Gapcheon and Yudungcheon in Daejeon City-", *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 9, No. 4, pp.1-12, 2006.
- [7] S. H. Hong, "Determination of River Zone and Introduction of Case of Designation Notice of Flood Management Zones", *Water for future*, Vol. 43, No.8, pp.97-105, 2010.
- [8] H. J. Lim, M. W. Lee, M. S. Jeong, "The Establishment of Ecological Landscape Conservation and Restoration Sections for Urban Stream", *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 22, No. 2, pp.73-92, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.13087/kosert.2019.22.2.73>

정 순 찬(Soon-Chan Jung)

[정회원]



- 1994 2월 : 경희대학교 토목공학과 학사
- 2015년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사(수자원공학)
- 1994년 6월 ~ 현재 : 동부엔지니어링(주) 수자원본부 전무

<관심분야>

수자원공학, 하천공학, GIS

심 규 성(Gyoo-Seong Sim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 물리학과 학사
- 2015년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사(수자원공학)
- 2021년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 박사(수자원공학)
- 1994년 6월 ~ 현재 : 동부엔지니어링(주) 수자원본부 GIS팀 전무

<관심분야>

수자원공학, 하천공학, GIS, 홍수예보

이 태 근(Tae-Geun Lee)

[정회원]



- 2011년 8월 : 아주대학교 건설시스템공학과 학사
- 2013년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사(수자원공학)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 동부엔지니어링(주) 수자원본부 과장

<관심분야>

수자원공학, 하천공학, GIS