

하천급변화구간에 대한 UAV기반 조기경보설정: 임산지구 사례

UAV-Based Floodwater-Level Establishment for FEWS for Abrupt River Section Change in Imsan

공예진* · 김태균** · 이태삼***

Kong, Yejin*, Kim, Taegyun**, and Lee, Taesam***

Abstract

Flood damage has been increasing owing to climate change; thus, a flood early-warning system (FEWS) has been established to evacuate residents safely in flood-prone areas. The FEWS is a fundamental nonstructural system that reduces human and material damage caused by floods. The damage can be minimized when appropriate settings are used. In general, the need for an early warning is determined using a water gauge installed on a bridge. If there is an abrupt change in the river section near the bridge, an alarm is issued based on the water-level gauge on the bridge. However, some areas may be more vulnerable to flooding than where the bridges exist. In these cases, vulnerable areas can be inundated by floods before a warning alarm is provided. The current study area of the Chogang-cheon River is such an area. Therefore, an unmanned aerial vehicle (UAV)-based remedy is proposed to overcome the discrepancy between the flooding water levels of the gauge location and the vulnerable area. First, spatial information about the river cross section was obtained through a UAV for the study area. As a result of Pix4D processing after river surveying by the UAV, a noticeable abrupt river width change section was confirmed, particularly upstream of the Gwangi Bridge in the middle of the Chogang-cheon River. Then, the level of the bridge and the upstream point of the bridge for the same flow rate were calculated using the Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS) program. Through this remedy, the section of the river where flooding occurs first was defined, and an appropriate flood early-warning water level was appropriately estimated. The approach in this study can be widely applied to rivers where a FEWS is needed to determine where rivers change abruptly.

Key words : Flood Early Warning System, River Surveying, UAV, Abrupt River Section Change

요 지

최근 홍수피해가 기후변화의 영향 등으로 증가하고 있으며, 홍수취약 지역에서 주민의 안전을 담보하기 위해 홍수조기경보발령 시스템이 활용되고 있다. 홍수조기경보 시스템은 홍수로 인한 인적피해 및 물적피해를 줄이기 위한 중요한 시스템이며, 적절한 발령수위 설정을 해야만이 피해를 최소화 할 수 있다. 현재 조기경보의 발령은 교량에 수위계를 설치하여 교량 인근의 제방에 월류 수위를 기준으로 설정되고 있으나, 교량 근방에 하천급변 구간이 존재하는 경우에도 교량의 수위계에 맞춰서 경보가 발령되고 있다. 하지만 교량보다 교량 상류등에 하천이 급격하게 좁은 경우 같은 홍수량에도 쉽게 범람이 발생할 수 있는 지역이 존재하게 된다. 본 연구 대상지역인 초강천의 경우도 이러한 상황이었다. 따라서 본 연구에서는 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 항공측량을 기반으로 하천 수위 측정 위치와 홍수취약구간에 대한 홍수위차를 극복하기 위한 방법을 제시하고자 한다. 먼저, UAV를 통해 하천단면에 대한 공간정보를 획득하였다. 다음으로 UAV 공간정보를 Pix4D로 처리하여 수위계가 설치되는 초강천 관기교의 상류지점에 하폭이 급격하게 좁아지는 구간이 존재함을 확인하였다. 이후 HEC-RAS를 통해 상류위험지점의 월류수위를 기준으로 한 유량을 바탕으로 관기교에서의 수위를 산정하였다. 이를 통해 하폭이 급격하게 감소되는 관기교 상류 위험지역의 하천단면에서 홍수가 먼저 발생하는 것을 확인하였고 이를 적용하여 적절한 홍수 조기경보발령

*학생회원, 경상국립대학교 토목공학과 연구원(E-mail: 2021080114@gnu.ac.kr)

Member, Researcher, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

**학생회원, 경상국립대학교 토목공학과 연구원(E-mail: 2016011758@gnu.ac.kr)

Member, Researcher, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

***교신저자, 정회원, 경상국립대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-55-772-1797, Fax: +82-55-772-1799, E-mail: tae3lee@gnu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

기준을 제시하였다. 본 연구는 홍수조기경보를 설정하고자 하는 하천, 그리고 하천이 급격하게 변하는 구간에서 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 홍수조기경보발령 시스템, 하천측량, UAV, 하천급변화

1. 서론

하천에서는 자연 상태에서의 형성 과정이나 인위적인 상황으로 인해 하폭의 변화가 발생하며, 이와 같이 하폭이 급격히 줄어드는 구간에서는 홍수 범람의 위험성이 보다 크게 존재한다(Kim et al., 2009).

일반적으로 홍수는 수위관측소 및 강수량관측소에서 10분 단위로 강수량을 관측하여 데이터를 획득하며, 이를 토대로 수위를 판단하여 예보를 하고 있다. 현재 지구온난화 등 기후문제로 인해 홍수피해가 증가하고 있으며, 국내에서는 지자체별로 홍수취약지역에서 홍수시 위험 단계를 알려 주민들을 안전하게 대피시키기 위해 홍수 조기경보발령 시스템을 설정하고 있다(Lee et al., 2022). 이 시스템은 일반적으로 홍수위가 계속되는 교량의 수위에 맞추어 발령하고 있다.

일반적인 하천의 형상과 달리 급격한 하폭변화 구간이 있는 경우에는 교량보다 홍수에 취약한 지점이 존재할 수 있으며, 특히 이러한 구간에 시설물이 있거나 주민 거주 지역일 경우 홍수조기경보 시스템의 문제가 드러날 수 있다. 본 연구에서는 이러한 특이구간에 대한 문제점을 해소하기 위해 최근에 하천연구에 활발하게 사용되고 있는 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 항공측량 기술을 이용하여 적정량 조기경보시스템의 홍수정보 수위를 설정하는 방법을 제시하고자 한다.

일반적인 직접측량을 하기 위해서는 오랜 시간이 소요되며, 지상측량과 UAV를 사용한 측량을 비교하였을 때, UAV 측량은 동일한 시간동안 비교적 광범위한 영역의 데이터를 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Park and Um, 2018; Ko, 2019). Yeo et al. (2016)은 UAV를 이용한 소하천 지형자료 구축에 관한 효율성 제고에 대한 연구를 하였다. Hemmelder et al. (2018)은 UAV 사진을 이용한 하천 형태 및 제방 침식 모니터링에 대한 연구를 실시하였으며, UAV 사진이 강의 동태와 강의 형태 모니터링에 적합하다고 판단하였다. Watanabe and Kawahara (2016)은 하천지형의 변화를 모니터링하기 위한 UAV 사진측량에 대한 연구를 하였으며, 하천형태 제작을 위해 UAV 사진측량이 전망있다고 판단하였다. Lee et al. (2017)은 UAV를 활용하는 방법은 정확도 측면 및 경제적 측면에서 효율적이라고 판단하였다.

이와 같이, 하폭이 급변하는 구간을 보다 면밀히 확인하기 위한 방안으로, 기존의 주요 지점만을 측량하는 방법에서

벗어나 3차원적인 분석이 가능한 UAV항공측량을 통하여 얻어낸 공간정보로, 급격히 변하는 하천구간 내의 홍수위를 분석하여 조기경보 시스템의 홍수위를 설정하는 연구를 진행하였다.

2. 연구 범위

연구대상지로 Fig. 1에 나타난 바와 같이 영동군 상촌면에

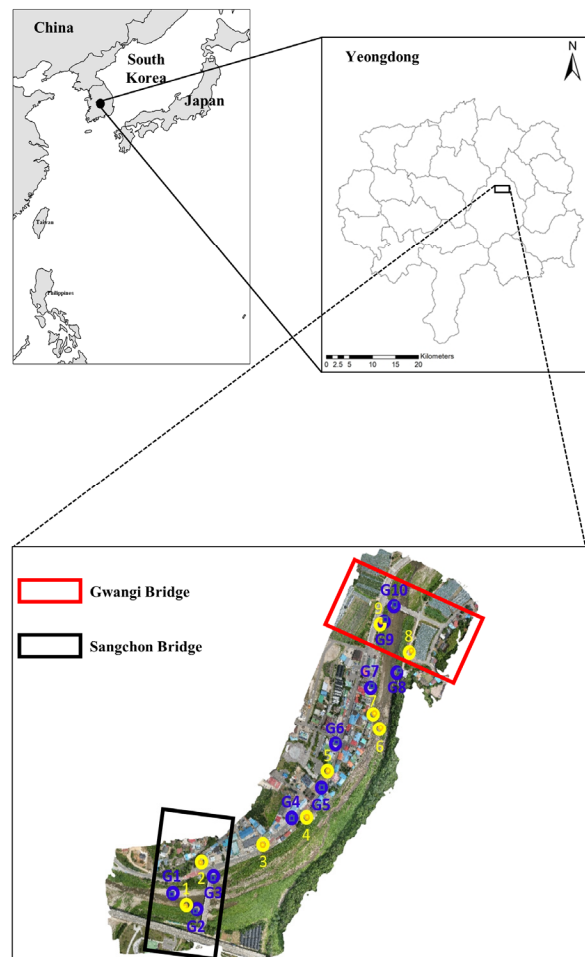


Fig. 1. Study Area of Chogang-cheon River, Located in the Province of Yeongdong District, South Korea (Top Panel) and the Orthorectified Mosaic Image Including 10 GCP Points (Blue Color, G1-G10) and 9 Reference Points (Yellow Color, 1-9). The Top Left-side Portion in Fig. 1 Bottom Panel Presents the Location of Each Bridge

위치한 초강천 내 구역으로 설정하였으며, 상류에 상촌교, 하류에 관기교가 위치해 있다. 또한 하천의 우안에는 산과 밭등이 위치한 반면 좌안 쪽에 상가 및 거주 시설들이 위치해 있다. 이 구역에 조기경보 시스템 설정을 위해 상촌교 및 관기교 두 교량에 수위계를 설치하여 하천의 수위를 확인하기로 하였다.

초강천 유역은 전형적인 하천단면 형상인 상부, 하상, 경사면을 갖추고 있으며, 50년 빈도 계획홍수량은 $921 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 초강천은 상촌면을 통해 흐르다가 심천면 심천리에서 금강 분류로 합류된다.

3. 연구 방법

3.1 UAV Aerial Surveying

본 연구에서는 연구대상 지역인 충청북도 영동군 상촌면에 대하여 하폭 급변화 구간이 존재하는 바, 기존의 지점측량을 통한 방법보다는, 넓은 범위의 3차원적인 측량인 가능한

UAV측량을 채택하였다. 일반적으로 지점측량으로는 하천 급변구간 전체에 대한 측량은 불가능하며 보다 많은 시간과 장비가 요구되지만 UAV항공측량은 손쉽게 이를 해결 가능한 것으로 판단 UAV를 통한 항공측량을 적용하였다. 19개의 지점을 지상에서 측량하였으며 Ground Control Points (GCP)를 지정하여 사진촬영을 진행하였다. GCP는 추후 UAV를 통한 사진측량 작업에서 영상 좌표계와 지도 좌표계 사이의 변환식을 구하기 위한 기준점으로 사용되었다. 측량한 19개의 지상측량점 중에서 10개는 사진 프로세싱을 위하여 GCP로 사용하였으며, 나머지 9개의 측량점은 정확도 분석 및 비교를 위한 검사점으로 지정하였다. 연구대상의 위치 및 각 지점에 대한 위치 정보는 Fig. 1의 하부그림에 도시하였다 (G1~G10, 1~9).

Post-processing시에 정확도를 높이기 위해 정밀도가 높은 Autel사의 EvoII를 사용하였으며 사용된 카메라의 사양은 XT701, 1/800 seconds, $4,000 \times 3,000$ pixels, 그리고 ISO-100이다. 사진측량을 위하여 먼저 10개의 GCP와 9개의 검사점

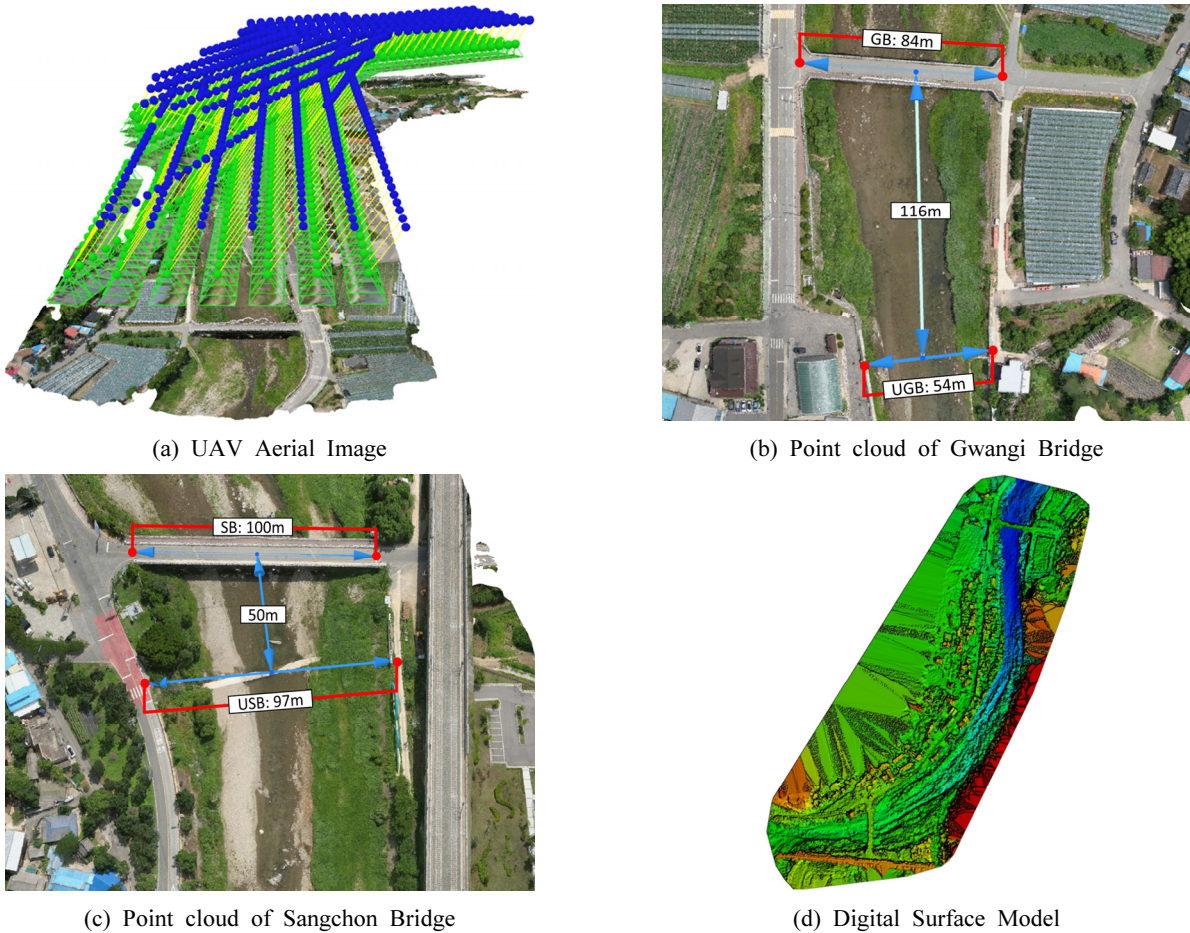


Fig. 2. Aerial Image Taken by UAV is Shown in Panel (a). Note that the Blue Globular Shapes Indicate the Initial Camera Locations and the Green Globular Shapes Indicate the Calculated Camera Locations. The Yellow Lines Show the Difference between the Initial and Calculated 3D Camera Locations and the Photos Taken from UAV are Shown below the Green Globular Shapes. Panel (b) and Panel (c) Represents the Point Clouds of Gwangi Bridge and Sangchon Bridge. The Digital Surface Model Generated Through Point Cloud and Mesh is Shown in Panel (d)

을 적절한 거리의 간격을 두고 상부, 하상, 경사면에 고르게 분포하여 지상에 설치하였다. 설치한 지점들에 대하여 Global Positioning System (GPS) 측량을 하여 위도, 경도, 표고 등 위치에 대한 정보들을 획득한다. 이후 UAV를 통하여 항공 사진촬영을 진행하였으며, 촬영된 항공사진에 대해서 2차원 사진을 3차원 모델링으로 변환할 수 있는 Pix4D 상용프로그램을 사용하였다. 이후 Digital Surface Model (DSM) 및 정사영상을 획득하였으며 Quality Report를 통하여 결과값의 정확도를 검증하였다. 여기서, Pix4D는 사진측량, 컴퓨터 애니메이션 및 remote sensing에 널리 사용되고 있다(Vautherin et al., 2016; Barbasiewicz et al., 2018).

Fig. 2(a)에 항공 사진측량을 통해 획득한 정사합성 사진을 나타내었으며, Figs. 2(b)와 (c)에는 관기교와 상촌교의 Point cloud 자료를 나타내었다. Fig. 2(a)의 파란색 구형은 초기 카메라 위치를 나타내며, 초록색 구형은 계산된 3D 카메라 위치를 나타낸다. 파란색 구형과 초록색 구형 사이의 노란 선은 초기 카메라 위치와 3D 카메라 위치의 차이를 보여준다. 이 3D 카메라의 위치 설정은 Pix4D에 탑재되어 있는 알고리즘을 통해 가능하다. Pix4D는 동일 사물을 다른 시점에서 취득하여 2D 사진을 에피폴라 기하학을 사용하여 3D 입체 영상으로 변환시킬 수 있는 3차원 재구성 알고리즘이 탑재되어 있다. 먼저, 다양한 방면에서 찍은 이미지에서 특징점을 검출한 후, 에피폴라 기하학을 사용한다. 이를 통해 카메라들 사이의 상대적인 위치 및 방향을 추정할 수 있게 되며, 카메라의 3차원 위치를 추정하게 된다. 이 과정을 반복하게 되면 추후 3D 카메라 위치가 결정된다(Kwon et al., 2020). Figs. 2(b)와 (c)에 관기교 및 상촌교의 Point Cloud를 나타내었으며 이를 통해 만들어진 DSM을 Fig. 2(d)에 나타내었다.

3.2 수리수문 모형(HEC-RAS)

HEC-RAS에 직접측량 및 UAV 하천측량을 통해 획득한 값들을 입력하여 각 하천단면의 수위 및 유량을 확인하였다.

River Reach에 상류에서 하류로 갈 때의 방향을 나타내는 선을 그린 후 Cross Section Data를 입력하여 설정한 각 하천단면 사이의 거리, 조도계수, 측량한 점들의 표고와 각 점들 사이의 거리를 입력한다. 이후 Steady Flow Data를 입력하여 Steady Flow Analysis를 통해 동일한 유량이 흐를 때 각 하천단면의 수위를 알게 된다.

4. 결 과

4.1 드론 측량

연구대상인 관기교에서 상촌교까지 드론촬영을 실시하였으며 촬영된 항공사진에 대해서 Pix4D 상용프로그램을 이용하여 point cloud data를 획득하였다. Cho et al. (2020)은 3D 구축 및 정사영상을 한번의 촬영으로 적합하게 할 수 있는 조건은 촬영고도 50~100 m 사이라고 명시하였으며, 이를 고려하여 측량시 비행고도는 80 m로 설정하였다. 10개의 GCP와 9개의 검사점에 대한 측량오차를 Table 1에 나타내었다. 측정오차는 일반적으로 Root Mean Square Error (RMSE)로 구해짐에 따라(Martinez-Carricondo et al., 2018) 본 연구에서 또한 RMSE를 적용하였으며 식은 아래와 같다. x_i 는 현장측량을 획득한 값이며, X_i 는 UAV측량 및 Pix4D postprocessing을 통해 얻은 값을 의미한다. n 은 자료의 갯수를 나타낸다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2} \quad (1)$$

(국토지리정보원고시 제2022-3487호)의 항공사진측량 작업규정 전부개정안에 따라서 RMSE의 값은 Average Ground Sampling Distance (GSD)의 값 안으로 들어와야 하며, 최대 오차 한계는 GSD 값의 2배로 규정되어 있다. 이에 대한 표는 아래 Table 2에 나타내었다. 획득한 GSD의 값은 2.65

Table 1. Information of the Error of 10 GCP Points and 9 Reference Points in the Bottom Panel of Fig. 1

| GCP NO | Error X (m) | Error Y (m) | Error Z (m) | Reference NO | Error X (m) | Error Y (m) | Error Z (m) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0.0040 | 0.0470 | 0.0080 | 1 | 0.0579 | -0.0401 | 0.0264 |
| 2 | 0.0200 | -0.0710 | 0.0030 | 2 | -0.0716 | 0.1154 | 0.0146 |
| 3 | -0.0150 | 0.0180 | -0.0170 | 3 | -0.0622 | 0.0469 | -0.0534 |
| 4 | -0.0360 | 0.0160 | 0.0050 | 4 | 0.0949 | -0.0113 | 0.0089 |
| 5 | 0.0270 | -0.0030 | -0.0080 | 5 | 0.0328 | 0.0691 | -0.0029 |
| 6 | 0.0120 | -0.0040 | -0.0030 | 6 | 0.0971 | 0.0089 | -0.0550 |
| 7 | -0.0270 | 0.0040 | 0.0140 | 7 | 0.1035 | -0.0102 | 0.1489 |
| 8 | 0.0330 | 0.0040 | 0.0010 | 8 | 0.0603 | -0.0413 | -0.0953 |
| 9 | -0.0550 | 0.0020 | 0.0070 | 9 | -0.1183 | -0.0417 | 0.0007 |
| 10 | 0.0360 | -0.0130 | -0.0160 | | | | |
| RMS Error | 0.0298 | 0.0283 | 0.0098 | RMS Error | 0.0818 | 0.0534 | 0.0651 |

cm이며, Tables 1과 2를 통해 GCP의 X, Y, Z 오차 모두 오차범위 안에 있음을 확인하였다. 또한 검사점(RP)는 GCP와 달리 프로세싱에 사용되지 않고 정확도 분석을 위한 검사점으로만 사용되었기 때문에 RP error가 GCP error에 비해 큰 것으로 나타났다.

Table 2. Information of Allowed Error Range

| GSD | RMSE (m) | Max Error (m) |
|---------|----------|---------------|
| ≤ 8 cm | 0.08 | 0.16 |
| ≤ 12 cm | 0.12 | 0.24 |
| ≤ 25 cm | 0.25 | 0.50 |
| ≤ 42 cm | 0.42 | 0.84 |
| ≤ 65 cm | 0.65 | 1.30 |
| ≤ 80 cm | 0.80 | 1.60 |

4.2 유출량 분석

Figs. 3, 4에서 보이는 바와 같이 Gwangi Bridge (GB), Upstream of Gwangi Bridge (UGB), Sangchon Bridge (SB), Upstream of Sangchon Bridge (USB)로 나타내었으며, 네 단면의 위치 및 거리는 Fig. 5에 도시하였다. 이는 각각 교량과 교량의 상류지점의 유량을 판단하기 위한 측량의 경계로 설정되었다.

Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 관기교 상류 116 m 지점에 하폭이 급변하고 해당 위치의 좌안에 상업시설 및 거주시설이 밀집해 있는 것을 확인하였다. 또한 해당 위치의 제방높이와 제내지의 표고가 상당한 차이를 보이고 있어 홍수 범람시 이공 전체에 홍수범람이 크게 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 관기교의 교량 길이는 84 m이며, Pix4D 상용프로그램을 통해 홍수에 취약해 보이는 상류지점의 하폭은 Fig. 2(b)에서와 같이 54 m임을 확인하였다. 또한 상촌교의 교량길이는 100 m이며, Pix4D를 통해 상류지점의 하폭은 97 m임을

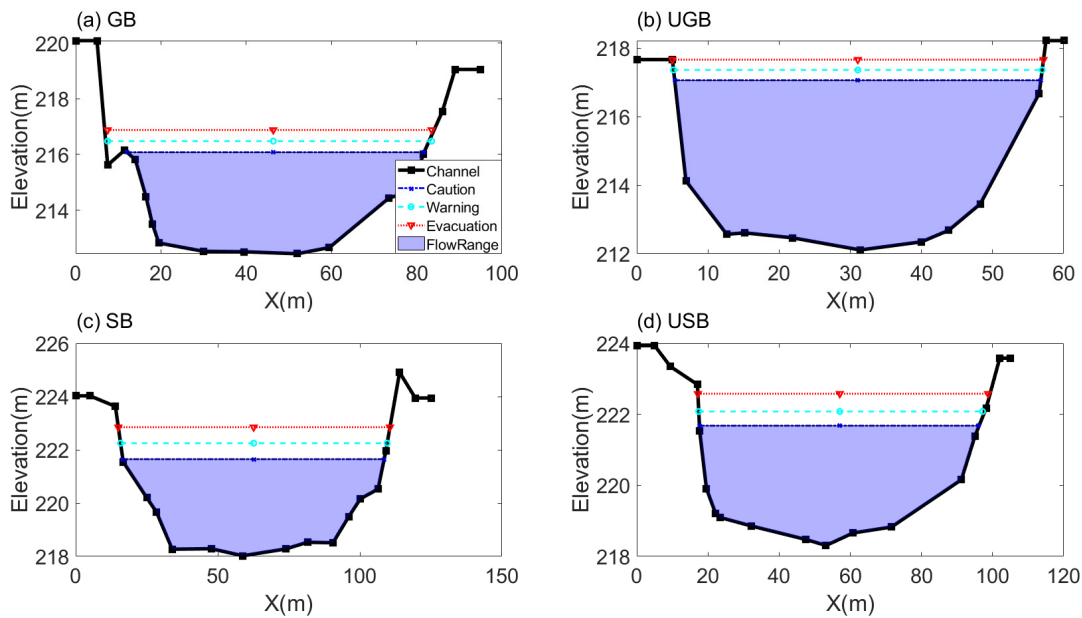


Fig. 3. HEC-RAS Model of (a) Gwangi Bridge (GB), (b) Upstream of Gwangi Bridge (UGB), (c) Sangchon Bridge (SB), (d) Upstream of Sangchon Bridge (USB) Indicating the Stream EL. of Three Steps for an FEWS (Caution, Warning, Evacuation)

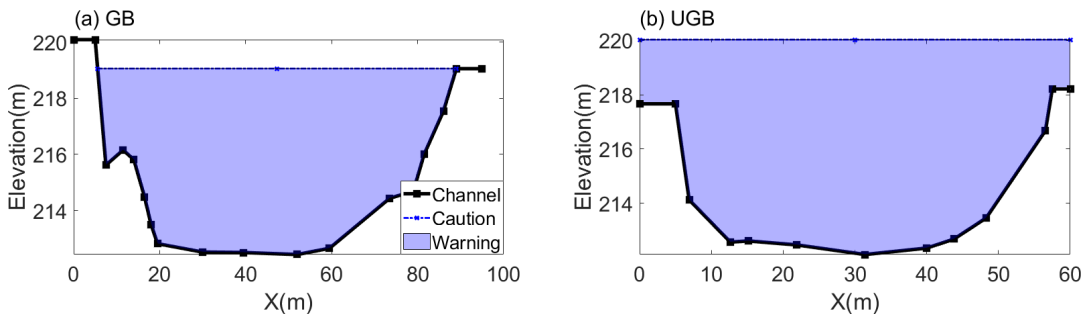


Fig. 4. Water EL of Gwangi Bridge (GB) and Upstream of Gwangi Bridge (UGB) when the Flood Occurs at Gwangi Bridge

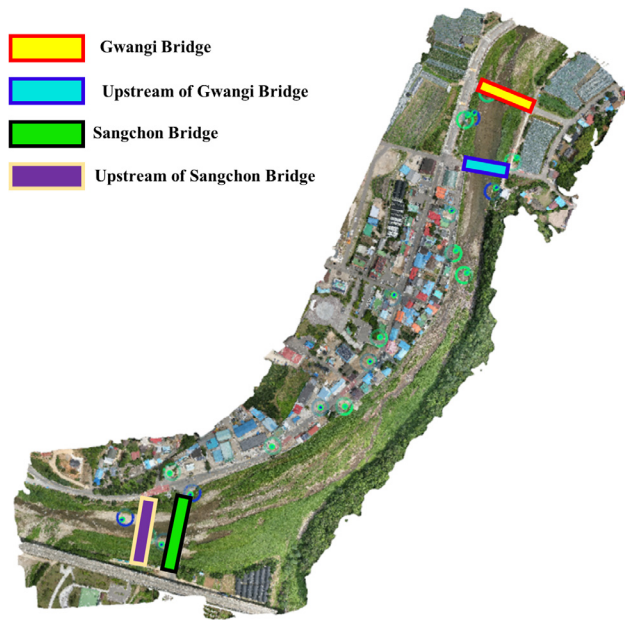


Fig. 5. Four River Cross-sections (Gwangi Bridge, Upstream of Gwangi Bridge, Sangchon Bridge, Upstream of Sangchon Bridge). Note that the Distance between Gwangi Bridge and Upstream of Gwangi Bridge is 116 m and the Distance between Sangchon Bridge and Upstream of Sangchon Bridge is 50 m. The Distance between the two Bridges is 819 m

확인하였다.

Fig. 2(c)에 상촌교 또한 상류지점에서 협소한 하폭의 하천단면을 확인하였으며, 3 m의 차이가 나는 것으로 확인하였다. 상류지점과 비교하였을 때 30 m의 차이가 나는 관기교에서의 하천 단면만큼 급변하지는 않아 관기교가 홍수에 더 취약할 것으로 판단되어 관기교를 중심으로 분석을 진행하였다. 이를 통해 관기교에 도달하기 전 관기교의 상류지점에서 먼저 범람이 일어날 것으로 예측되었다. 수위계가 관기교에 설치되어 수위의 측정이 관기교의 월류를 기준으로 할 경우 실질적으로 피해가 예상되는 관기교 상류의 홍수취약구간에 대한 정보가 적정한 시기에 이루어지기 힘들 것으로 판단되었다. 이를 해결하기 위해 HEC-RAS를 사용하여 관기교 상류의 홍수취약지역에서 월류를 기준으로 홍수위를 결정하고 이때의 홍수량을 산정하여 수위계가 설치되는 관기교의 해당 홍수량의 수위를 설정하도록 하였다.

4.3 조기경보 설정

조기경보 설정을 위해 먼저 관기교 및 관기교의 상류 홍수취약지역, 그리고 상촌교 및 상촌교 상류의 홍수취약지역에 대한 단면의 홍수분석을 실시하였다. 결과적으로, 네 단면 중 관기교 상류지점에서 범람이 가장 먼저 일어나는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 범람이 일어날 때의 유량은 계획홍수량(921 m³/s)의 300%에 해당하는 유량임을 확인하였다. 이를 통해 조기경보 발령 시스템을 가장 먼저 범람하는 관기

Table 3. EL. and Water Levels (m) from the Riverbed for the Applied Flood of FEWS (Four Cross-sections)

| Percent. of Flood | Flood (921 m ³ /s) | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|------|--------|------|--------|------|
| | 200% | | 250% | | 300% | |
| | EL. | W.L. | EL. | W.L. | EL. | W.L. |
| GB | 216.08 | 3.60 | 216.48 | 4.00 | 216.88 | 4.40 |
| UGB | 217.06 | 4.60 | 217.36 | 4.90 | 217.66 | 5.20 |
| SB | 221.65 | 3.40 | 222.25 | 4.00 | 222.85 | 4.60 |
| USB | 221.68 | 3.20 | 222.08 | 3.60 | 222.58 | 4.10 |

Table 4. EL. and Water Levels (m) from the Riverbed for the Applied Flood of FEWS (GB and UGB when the Flood Occurs at Gwangi Bridge)

| Percent. of Flood | Flood (921 m ³ /s) | |
|-------------------|-------------------------------|------|
| | 610% | |
| | E.L. | W.L. |
| GB | 219.06 | 6.58 |
| UGB | 220.30 | 7.84 |

교 상류지점에 맞추었으며, 범람하는 시점인 홍수량 300%를 대피 단계로 3단계의 홍수경보를 Table 3에서 보이는 바와 같이 설정하였다. 일반적으로 홍수경보는 우리나라의 경우 주의보, 경보, 대피 세 단계에 따라 발령되며, 각 기관마다 다른 기준들을 제시하고 있다. 이러한 기준 중에서 가장 중요한 사항은 제방에 월류가 발생하는 수위를 대피 기준으로 삼는 것이며, 이를 토대로 주의보 및 경보가 그 아래 수위에서 결정된다는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 좌안에 거주시설이 있음을 감안하여, 대피시간을 고려하여 이른 시기에 조기경보 발령 없이는 근처 주민들이 바로 대피하기 어려울 것으로 보여 범람의 위험에 근거하여 50년 빈도 계획홍수량인 921 m³/s의 300%인 2,763 m³/s일 때 관기교 상류지점에서 범람이 일어남에 따라 200%, 250%, 300%에 해당하는 수위를 주의보, 경보, 대피 발령 기준으로 설정하였다. 150년 빈도 홍수량일 때 1,163 m³/s이었으나 이를 훨씬 상회하는 홍수량에서 범람이 발생하는 것으로 판단되어 실제 홍수 범람의 가능성은 희박하나, 홍수 범람시 발생될 인명 피해만은 막을 수 있는 최소한의 장치인 비구조적 홍수 대책으로 조기경보발령 시스템이 필요할 것으로 분석되었다. 계획홍수량의 200%, 250%, 300% 기준에 해당하는 네 단면을 HEC-RAS 모형으로 Fig. 3 및 Table 3에 나타내었다. 만일 관기교를 기준으로 할 경우의 홍수가능성을 분석하기 위해 관기교에서 범람할 때의 표고를 Fig. 4(a)에 나타내었으며, 이를 기준으로 관기교 상류지점에서의 표고 및 수위를 각각 Fig. 4(b)와 Table 4에 나타내었다. 관기교 상류지점의 범람 유량인 계획홍수량의 300%에 맞추어 발령한다면 관기

교에서의 대피 EL.은 216.88 m이며, 관기교에서의 범람에 맞추어 발령한다면 대피 EL.은 219.06 m이다. 이를 통해 관기교에서 범람이 일어날 때 이미 관기교 상류지점에서는 훨씬 이전에 범람이 먼저 발생했음을 확인할 수 있다.

5. 결론

홍수조기경보시스템은 홍수범람의 위험함을 미리 알려 주는 알림으로 범람이 일어나기 전 발령하여 인명 피해를 최소화시키는데 그 목적이 있다. 하지만, 일반적으로 홍수위의 측정이 교량을 중심으로 이루어져 있어 주의, 경보, 대피 발령 기준을 교량에서의 기준으로 할 경우 관기교의 사례와 같이 하천이 급변하는 구간에서는 상류지점에서 먼저 범람하는 상황이 발생되어 조기경보시스템이 제대로 활용될 수 없다.

따라서, 하천단면이 급변하여 교량의 상류지점에서 기범람하는 상황에는 교량보다 교량의 상류에 위치한 홍수취약 지점으로 보이는 하천단면을 고려해야 할 것으로 보인다. 이를 위해서는 인근 지점들을 폭넓게 지점 측량을 통하여 조사하여야 하나, 경제적 시간적 이유로 현 상황에서는 어려움이 크다. 본 연구에서는 이를 위해 최근 다양한 산업분야에서 활용되는 UAV 공간정보를 통한 선행적인 분석을 통해 위험지역을 분석하고 이를 통해 홍수취약지역의 위험단면을 산정하고 홍수위를 산정하는 방법을 제시하였다. 연구 결과, 관기교와 같이 하천 급변화 구간에서 교량 상류지점의 하폭이 더 좁은 경우, 동일한 홍수량으로 상류에서 기범람하게 되며, 수위계가 설치되는 교량에 맞추어 조기경보를 발령하는 것은 주민들에게 피해를 초래할 수 있는 것으로 판단되었다. 상류지점에서는 앞으로 하천의 조기경보시스템의 수위 설정시 급격한 단면변화가 예상되는 구역에 대해서 본 연구에서 제시한 방법으로 진행한다면 적절한 조기경보 기준이 설정될 수 있을 것으로 보인다. 또한, 하천 단면의 하폭 급변뿐만 아니라 만곡까지 고려하기 위해서 HEC-RAS와 같은 1차원 모형이 아니라 만곡의 편수위까지 고려할 수 있는 2, 3차원으로 확장하면 더 높은 활용성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

References

Barbasiewicz, A., Widurski, T., and Daliga, K. (2018). The analysis of the accuracy of spatial models using photogrammetric software: Agisoft Photoscan and Pix4D. *E3S Web of Conferences*, Vol. 26, 00012.

Cho, J., Lee, J., and Lee, B. (2020). A study on the optimal shooting conditions of UAV for 3D production and orthophoto generation. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*,

Vol. 38, No. 6, pp. 645-653.

Hemmelder, S., Marra, W., Markies, H., and De Jong, S.M. (2018). Monitoring river morphology & bank erosion using UAV imagery-A case study of the river Buëch, Hautes-Alpes, France. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 73, pp. 428-437.

Kim, J.W., Kim, B.J., Kim, W.I., and Ahn, W.S. (2009). Characteristics of river-bed fluctuation for rapid change channel width. In *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference* (pp. 703-708). Korea Water Resources Association.

Ko, J.H. (2019). A study on the improvement of working methods for cadastral survey using UAV. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 49, No. 2, pp. 169-185.

Kwon, S.H., Son, H.W., Kim, T.H., and Lee, K.W. (2020). *Pix4dmapper for drones getting and analyzing of 3 dimensional topographic information*. Seoul: Goomibook.

Lee, S.C., Kim, J.H., and Um, J.S. (2017). Accuracy and economic evaluation for utilization of national/public land actual condition survey using UAV images. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 35, No. 3, pp. 175-186.

Lee, T., Singh, V.P., and Ha, T. (2022). UAV photogrammetry-based flood early warning system applied to migokcheon stream, South Korea. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 27, No. 9, 05022010.

Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.J., García-Ferrer, A., and Pérez-Porras, F.J. (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 72, pp. 1-10.

Park, J.K., and Um, D.Y. (2018). Utilization evaluation of digital surface model by UAV for reconnaissance survey of construction project. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 155-160.

Vautherin, J., Rutishauser, S., Schneider-Zapp, K., Choi, H.F., Chovancova, V., Glass, A., and Strecha, C. (2016). Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter cameras. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Vol. 3, No. 3, pp. 139-146.

- Watanabe, Y., and Kawahara, Y. (2016). UAV photogrammetry for monitoring changes in river topography and vegetation. *Procedia Engineering*, Vol. 154, pp. 317-325.
- Yeo, H.J., Choi, S.P., and Yeu, Y. (2016). An improvement of efficiently establishing topographic data for small river using UAV. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 24, No. 1, pp. 3-8.

| | |
|-----------------|--------------------|
| <i>Received</i> | September 28, 2022 |
| <i>Revised</i> | September 28, 2022 |
| <i>Accepted</i> | November 18, 2022 |