WIA & River-HQ 시스템의 실규모 인공 수로에 대한 적용

Application of the WIA & River-HQ System to an Artificial Channel with Real Scale

이남주*, 강태욱**, 류권규***, 김예림****

Nam-joo Lee, Taeuk Kang, Kwonkou Yu, Yerim Kim

요 지

하천의 수리 정보는 여러 가지 하천 사업 수행에 기본 자료로서 매우 중요한 역할을 한다. 하지만 우리나라의 하천 수리 정보는 대하천 중심으로 조사되고 있고, 중・소하천에 대한 수문조사는 상대적으로 매우 미진한 실정이다. 본 연구의 목적은 중・소하천에 대하여 정확도 높은 수리 정보를 저비용, 실시간으로 취득하기 위한 시스템을 개발하는데 있다. 이를 위해 하천의 수면을 촬영하여 촬영된 영상을 실시간으로 서버로 자동 전송하는 시스템인 WIA 시스템(wireless image acquisition system)을 개발하였다. 그리고 촬영된 영상을 분석하여 수위를 도출하는 영상 분석 프로그램, 수위-유량 관계 곡선(rating curve), 미계측 지점에 대한 하천 수리 정보를 계산하기 위한 HEC-RAS를 포함하는 River-HQ 시스템을 개발하였다. 개발된 WIA & River-HQ 시스템은 한국건설기술연구원의 하천실험센터 내 직선 수로에서 검증되었다. 그 결과, 영상 분석에 의한 수위는 계측 수위와 유사하였고, 미 계측 단면에 대한 수위 역시 계측 결과를 비교적 잘 모사하였다.

핵심용어: 수리 정보, WIA & River-HQ 시스템, 영상 분석, 수위-유량 관계, HEC-RAS

1. 서론

체계적인 하천관리를 위해서는 신뢰성 있는 하천 수리량 자료의 확보가 기본이 된다. 이에 우리나라에서는 국가 하천의 주요 지점에 대하여 자동 측정 장비를 이용하여 수위, 유량 등의 하천 수리 정보를 원격으로 측정하거나, 인력을 투입하여 주기적으로 하천 조사를 수행하고 있다. 반면에 우리나라 대부분의 홍수 피해는 중·소하천에서 발생하고 있지만, 중·소하천에 대한 수문조사는 상대적으로 매우 미진한 실정이다. 이는 대부분의 중·소하천이 지방자치단체에서 관리하고 있어 예산과 인력 지원이 어렵기 때문이다.

한편, 우리나라의 중·소하천에는 하상유지를 위한 낙차공과 용수 이용의 목적으로 보가 산재해 있다. 이러한 보의 경우, 보의 유량 공식을 이용하고 월류 수심과 유량 계수의 산정을 통해 하천의 유량을 간접적으로 추정할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 하천 구간 내에 연속적으로 설치된 많은 보를 이용할 경우, 각각의 보 지점에 대한 수위와 유량을 추정할 수 있고, 이를 1차원 하천 모의 모형의 경계 조건으로 활용하여 하천 구간 내의 많은 미계측 지점에 대한 하천 수리 정보를 추정해 낼 수 있다.

본 연구에서는 중·소하천 구간에 위치한 횡단구조물 주변에서 영상을 촬영하고, 촬영된 영상을 실시간으로 서버로 자동 전송하는 WIA 시스템(wireless image acquisition system)을 개발하였다. 그

* 정회원・경성대학교 건설환경도시공학부 교수・E-mail : njlee@ks.ac.kr
** 정회원・경성대학교 산학협력단 학술연구교수・E-mail : ktw62@hamail.net
*** 정회원・동의대학교 토목공학과 교수・E-mail : pururumi@deu.ac.kr
**** 경성대학교 토목공학과 석사과정・E-mail : soh1517@hanmail.net

리고 촬영된 영상을 이용하여 수위를 추정하는 영상 분석 프로그램, 횡단구조물 지점의 수위-유량 관계 곡선(rating curve), 미계측 지점에 대한 하천 수리 정보를 계산하기 위한 HEC-RAS, 수리 정보 데이터베이스를 포함하는 River-HQ 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 개발된 WIA & River-HQ 시스템에 의한 수위 계측 및 미계측 단면의 수위 분석을 한국건설기술연구원의 하천실험센터 내 직선수로에 적용하여 검증하였다.

2. 연구방법

2.1 WIA 시스템

WIA 시스템은 하천의 수면을 촬영하고, 촬영된 영상을 실시간으로 서버로 자동 전송하는 시스템이다. 해당 시스템은 그림 1과 같이 라즈베리 파이(raspberry Pi)와 카메라, 태양광 발전 시스템, 스마트폰 등으로 구성되어 있다.

라즈베리 파이는 하천 영상의 주기적인 촬영과 영상의 전송을 명령하는 등 WIA 시스템을 총괄 운영하는 초소형 컴퓨터이다. 영상 촬영을 위한 카메라에는 야간 및 안개 등으로 의해 하천의 식별이 어려운 환경에서도 측정할 수 있도록 적외선 투광기가 장착되어 있다. 그리고 중·소하천의 경우, 전기 공급이 되지 않는 지역이 대부분이기 때문에 자체적으로 전원을 공급받을 수 있도록 태양광 발전 시스템을 탑재하였다. WIA 시스템은 매 10분 간격으로 5~10초간의 동영상을 촬영하고, 스마트폰의 무선통신망을 이용하여 촬영된 영상을 River-HQ 시스템에 탑재된 서버로 자동 전송된다.

그림 1. WIA 시스템에 장착된 주요 장비

2.2 River-HQ 시스템

WIA 시스템은 대상 하천 구간의 상·하류부에 각각 설치하여 측정하고, 하천 구간 내부의 미계측 지점에 대한 수리 정보는 1차원 하천 모의 모형을 통해 분석된다. 이에 따라 River-HQ 시스템은 하천 수리 정보를 분석하는 프로그램들을 포함하고 있다. 즉, WIA 시스템 설치 지점(계측 지점)의 수위를 분석하기 위한 영상 분석 프로그램, 도출된 수

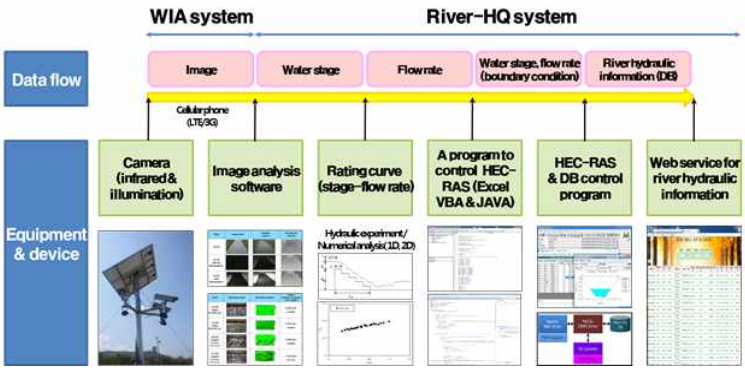


그림 2. WIA 시스템과 River-HQ 시스템의 연계

위를 유량으로 환산하기 위한 수위-유량 관계 곡선(rating curve), 미계측 지점에 대한 하천 수리 정보를 계산하기 위한 HEC-RAS가 River-HQ 시스템에 포함된다. 또한, River-HQ 시스템에는 계측 및 분석된 하천 수리 정보를 사용자에게 제공하기 위해 웹 기반의 데이터베이스가 탑재되어 있다. 그림 2는 WIA 시스템과 River-HQ 시스템의 연계를 통한 수리 정보 계측 모식도를 나타낸다.

한편, 연구에서는 CASTI(correlation analysis of spatio-temporal image) 기법을 이용하여 영상 분석을 수행하였고(Yu et al., 2015), 사용자 편의환경이 갖추어진 HEC-RAS를 자동 실행하도록 Goodell and Brunner(2014)가 제시한 방법을 이용하여 엑셀의 비주얼베이직 어플리케이션(Microsoft Visual Basic for Application)을 이용하여 HEC-RAS 제어 프로그램을 개발하였다.

3. 연구내용

3.1 실규모 하천에 대한 실험

WIA 시스템에 의해 촬영된 영상을 이용한 수위 분석 결과를 검증하고, HEC-RAS 모의 결과에 대한 검증을 위해 실규모 하천에 대한 실험을 수행하였다. 실규모 하천은 한국건설기술연구원 하천실험센터 내 직선 수로를 대상으로 하였고, 실험 대상 구간은 직선 수로 상·하류에 설치한 WIA 시스템의 내부 구간으로 구간 거리는 372 m이다(그림 3). 그림 4는 해당 직선 수로 상·하류에 설치된 WIA 시스템의 전경이다.

그림 3. 실규모 하천의 수치 모의 구간 및 검증 지점

(a) 직선 수로 전경

(b) 상류부 WIA 시스템

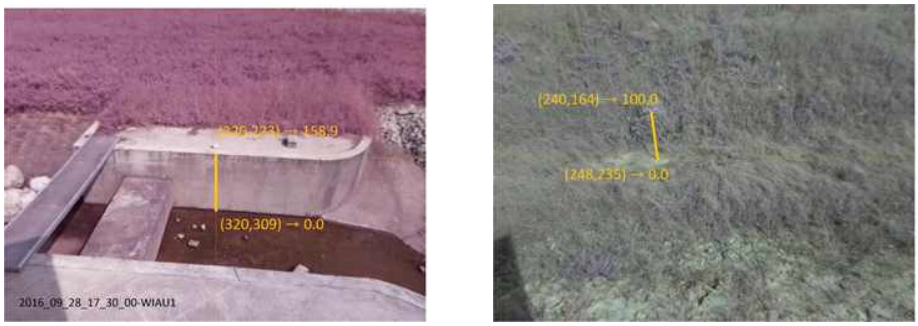
(c) 하류부 WIA 시스템

그림 4. 실규모 하천에 설치된 WIA 시스템

3.2 영상 분석 결과

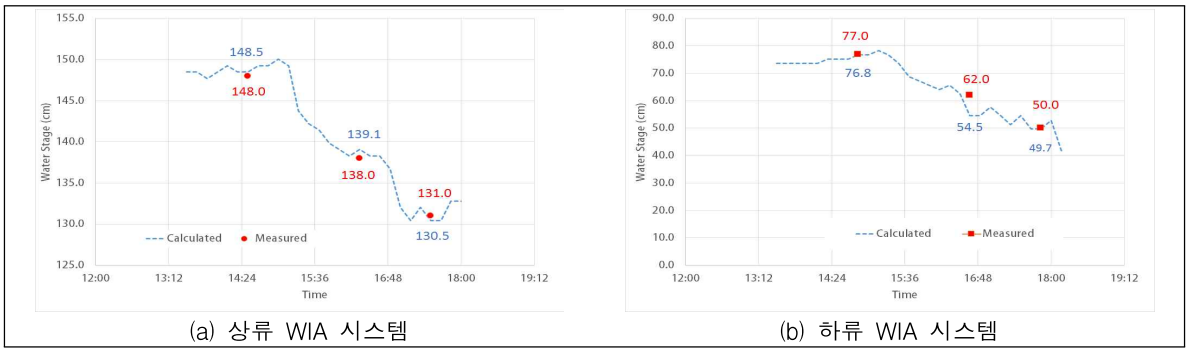
그림 5는 실규모 하천 상·하류에 설치된 WIA 시스템에서 촬영된 영상으로서 보정에 사용된 영상이다. 상류부의 영상에서는 화면의 중앙에 있는 수로 벽을 이용하여 수위를 분석하였고, 하류단에서는 하상에 임의로 설치한 눈금자의 높이를 이용하였다.

그림 6은 3개의 계측 유량에 대하여 측정된 수위와 영상 분석을 통해 추정된 수위를 나타낸 그림이다. 영상 분석을 통해 도출된 수위와 계측한 수위의 평균 상대 오차는 약 2.41%로서, 영상 분석에 의한 수위 분석 결과는 우수한 것으로 분석되었다.



(a) 상류부 WIA 시스템의 영상 (b) 하류부 WIA 시스템의 영상

그림 5. WIA 시스템의 영상 보정

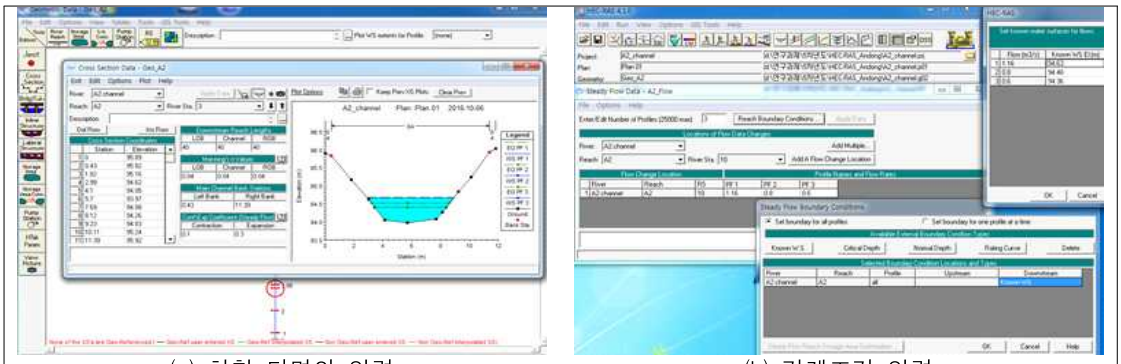


(a) 상류 WIA 시스템 (b) 하류 WIA 시스템

그림 6. 영상 수위계에 의한 계산 수위와 측정 수위의 비교

3.3 미계측 단면의 수위 계측 검증

수리 실험을 진행한 실규모 하천에 대한 수치모의를 위해 HEC-RAS 프로그램을 구성하였다(그림 7). HEC-RAS 모형의 지형자료는 측량 성과를 활용하여 12개 하천 단면을 입력하여 구성하였고(그림 7의 (a)), 상·하류 경계 조건은 실험에 의해 측정된 유량과 수위를 이용하였다(그림 7의 (b)). 구체적으로 상류 경계 조건은 직선 수로 상류 보 지점의 수위-유량 관계 곡선에 의해 추정된 유량이 입력되었고, 하류 경계 조건은 하류부 WIA 시스템 설치 지점에서 측정한 수위가 활용되었다.



(a) 하천 단면의 입력 (b) 경계조건 입력

그림 7. 실규모 하천에 대한 HEC-RAS의 구성

HEC-RAS를 이용한 수치모의는 정상류 모의 조건을 이용하였고, 측정 수위와 계산 수위 간의 오차가 최소화 되도록 모형을 보정하였다. 모형 보정은 조도계수 추정을 통해 수행되었고, 이에 따라 실규모 하천의 조도계수는 0.04로 결정되었다. 결정된 하도 조도계수는 해당 수로 내에 인위적인 식생이 조성되어 있는 등을 고려할 때 적절한 것으로 판단되었다.

실규모 하천에 대한 HEC-RAS 모의 결과의 검증 차원에서 3개의 유량 조건에 대하여 하천 구간 내부에서 측정한 2개 지점의 수위와 HEC-RAS에 의해 계산된 수위의 오차의 평균을 계산하였다(표 1). 그 결과, 평균 수위 오차는 0.03 m인 것으로 분석되었고, 이를 통해 HEC-RAS 모의에 의한 결과가 비교적 양호한 것으로 판단되었다.

표 1. HEC-RAS 모형의 검증

검증 지점	유량조건 1(1.16 ㎥/s)			유량조건 2(0.80 ㎥/s)			유량조건 3(0.60 ㎥/s)			오차 평균 (m)
	측정 수위 (El. m)	계산 수위 (El. m)	오차 (m)	측정 수위 (El. m)	계산 수위 (El. m)	오차 (m)	측정 수위 (El. m)	계산 수위 (El. m)	오차 (m)	
No. 13	94.69	94.71	0.02	94.58	94.57	0.01	94.50	94.46	0.04	0.02
No. 17 직상류 (목재 교량)	94.64	94.68	0.04	94.50	94.54	0.04	94.39	94.43	0.04	0.04
평균			0.03			0.03			0.04	0.03

4. 결론

본 연구에서는 중·소하천의 수리 정보를 실시간으로 취득하기 위해 개발한 WIA 시스템과 River-HQ 시스템을 실규모 하천에 대하여 검증하였다. WIA 시스템은 하천의 영상을 촬영하고, 촬영된 영상을 실시간으로 서버로 자동 전송하는 시스템이다. 그리고 River-HQ 시스템은 WIA 시스템으로부터 전송된 영상을 이용하여 수위를 분석하는 영상 분석 프로그램, 분석된 수위를 유량으로 환산하기 위한 수위-유량 관계 곡선, 하천 구간 내 수리 정보를 계산하기 위한 HEC-RAS의 제어 및 자동 실행 모듈, 데이터베이스를 포함한다.

개발된 WIA & River-HQ 시스템은 한국건설기술연구원의 하천실험센터 내 직선 수로에서 3개의 유량 조건에 대하여 검증되었다. 그 결과, 영상 분석에 의한 수위 오차는 2.41%인 것으로 분석되었고, 미 계측 단면에 대한 수위 오차는 3 ㎝인 것으로 분석되었다. WIA & River-HQ 시스템은 안정성

및 실제 하천의 적용성 검증을 통해 향후 중·소하천의 환경 관리와 홍수예경보 업무 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Goodell, C., and Brunner, G. (2014). *Breaking the HEC-RAS Code: A User's Guide to Automating HEC-RAS*. h2ls, First Edition, Portland, Oregon.
2. Yu, K., Kim, S., and Kim, D. (2015). Correlation analysis of spatio-temporal images for estimating two-dimensional flow velocity field in a rotating flow condition. *Journal of Hydrology*, Vol. 529, pp. 1810-1822.