

강변저류지가 있는 하도에서의 부정류 흐름 모의를 위한 HEC-RAS의 적용성 검토

Feasibility Analysis of HEC-RAS for Unsteady Flow Simulation in the Stream Channel with a Side-Weir Detention Basin

김 서 준* / 홍 상 진** / 윤 병 만*** / 지 운****

Kim, Seojun / Hong, Sangjin / Yoon, Byungman / Ji, Un

Abstract

It is necessary to perform the precise analysis of unsteady flow for effective design of the side-weir detention basin installed in the river. Generally, the HEC-RAS program, which is a 1D unsteady numerical model, is mostly used to simulate the unsteady flow for rivers. However, it is difficult to have confidence of unsteady flow results simulated by HEC-RAS due to the lack of experimental data and field monitoring data for the channel with a side-weir detention basin. Therefore, the purpose of this study is to validate or verify the simulation results calculated by HEC-RAS through the experiments for the open channel with a side-weir detention basin using specially-designed unsteady discharge-supply system. The experimental cases included unsteady flows in the straight channel with and without a side-weir detention basin. Especially, for the case with a detention basin, the experiment was performed to consider only the free flow condition over the side-weir. The study results showed that values of water level and discharge obtained from HEC-RAS coincided reasonably with experimental results with the maximum error of 3% for water level and 1% for discharge in the case of the flow without the side-weir detention basin and 4% for water level and 2% for discharge with the side-weir detention basin.

Keywords : HEC-RAS, unsteady flow experiment, side-weir detention basin, free over flow

요 지

하천에 설치되는 강변저류지의 효율적 설계를 위해서는 정확한 부정류 흐름 해석이 반드시 필요하다. 일반적으로 하천의 부정류 수치모의는 1차원 부정류 수치모형인 HEC-RAS를 많이 사용하고 있다. 하지만 강변저류지가 있는 하도에서의 부정류 흐름에 대한 수리실험과 현장 모니터링 자료가 거의 없기 때문에 HEC-RAS를 이용한 부정류 수치모의 결과의 신뢰도를 확신하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 부정류 수리실험을 수행하여 강변저류지가 있는 하도에서의 HEC-RAS를 이용한 부정류 수치모의 적용성을 검토하였다. HEC-RAS 적용성 검토는 직선수로에 강변저류지가 설치되어 있거나 그렇지 않은 경우에 대해 부정류 수리실험을 실시하여 측정된 결과와 비교하여 평가하였다. 특히, 강변저류지가 설치되어 있는 경우는 강변저류지의 저류용량이 충분하여 하도에서 강변저류지로 통하는 위어에 완전 횡렬류 흐름만 발생하는

* 명지대학교 토목환경공학과 박사과정 (e-mail: seojuny@paran.com)

Ph.D Candidate, Dept. of Civil & Environmental Eng, Myongji University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-do 449-728, Korea

** 동부엔지니어링 수자원환경부 (e-mail: hongsj@dbeng.co.kr)

Dongbu Engineering, Dept. of Water Resource & Environment, Gateway Tower, Dongja-eong, Yongsan-gu, Seoul 140-709, Korea

*** 명지대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: bmyoon@mju.ac.kr)

Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng, Myongji University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-do 449-728, Korea

**** 교신저자, 명지대학교 토목환경공학과 연구교수 (e-mail: jiuncivil@gmail.com)

Corresponding Author, Research Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng, Myongji University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-do 449-728, Korea

경우에 대해 실험을 수행하였다. 강변저류지가 설치되지 않은 직선수로에 대한 HEC-RAS의 수위 계산 결과는 최대 3% 오차를 유량은 최대 1% 오차를 보였으며, 강변저류지가 설치된 경우의 HEC-RAS 수위 계산 결과는 최대 4% 오차를 유량은 최대 2% 오차를 나타냈다.

핵심용어 : HEC-RAS, 부정류 수리실험, 강변저류지, 완전 횡월류 흐름

1. 서론

하천 주변의 도시화로 인한 불투수층 증가와 기상이변으로 인한 홍수량의 증가로 하천 위주의 홍수방어는 한계점을 보이고 있다. 따라서 하천 내에서 홍수 관리는 기존의 홍수방어대책에서 유역통합적인 홍수방어대책으로 변화해가고 있으며 특히 저류시설을 이용한 홍수방어대책에 대한 필요성이 증대되고 있다. 특히, 평수시에는 다양한 목적으로 활용 가능하고, 홍수시에는 홍수량 일부를 저류하여 치수능력을 증대시킬 수 있는 강변저류지에 대한 관심과 요구가 높아지고 있다. 강변저류지는 하천변에 위치하는 off-line형 저류지로 제방의 일부 구간을 절개한 형태의 횡월류위어를 포함하며, 홍수시 자연 월류를 통해 하도의 홍수량 일부를 저류하여 침투 유량의 저감을 목적으로 하는 홍수대응 구조물이다. 또한 비홍수기에는 습지, 농경지, 생태공원 및 스포츠 시설 등으로 활용할 수 있어 6월에서 9월에 대부분의 강수가 집중되어 있는 국내의 경우 비홍수기 강변저류지의 활용도는 충분한 가치가 있다고 할 수 있다(백천우 등, 2010). 이와 같이 강변저류지는 부지만 확보 된다면 큰 시설부담 없이 홍수조절효과와 친환경적 공간으로 활용할 수 있는 시설로 알려져 있음에도 불구하고 홍수조절효과에 대한 정량적 평가시 발생하는 불확실성 때문에 계획 단계에 머무르는 경우가 많다. 따라서 강변저류지를 적극적으로 홍수방어대책에 포함하기 위해서는 홍수조절효과에 대한 정량적 평가 방법의 수립이 반드시 필요하다.

강변저류지의 홍수조절효과 분석에 대한 국내외의 연구 사례를 살펴보면 Lee and Holley (2002)가 미국의 대표적인 홍수관리 지구인 HCFC(D Harris County Flood Control District)의 모니터링 자료를 바탕으로 강변저류지 횡월류부의 다양한 흐름 현상을 분석하고 수리실험을 통해 광정 횡월류위어의 유량계수를 산정하는 연구를 수행하였다. 또한 Burgin and Holley (2002)는 수리실험 결과를 바탕으로, Davis and Holley (1988)에 의해 개발된 횡월류량 계산 모형인 SIDEHYDR을 분리수로(diversion channel)뿐만 아니라 저류지에 적용할 수 있도록 보완하

여 강변저류지 홍수조절효과 분석 기법으로 제시한 바 있다. 그 외에도 Fukuoka et al. (2007)은 일본의 대표적인 강변저류지인 Tsumigawa 유수지의 모니터링 자료를 이용하여 강변저류지 홍수조절효과를 분석할 수 있는 2차원 수치모형을 개발하였다. 국내에서는 전경수 등(2010)이 준 2차원 부정류 계산모형을 개발하여 강변저류지의 홍수조절효과를 분석하고, 유량계수와 조도계수 변화에 따른 강변저류지 홍수조절효과의 민감도 분석을 수행하였다. 건설교통부(2005)는 HEC-RAS를 이용한 부정류 수치모의를 수행하여 강변저류지의 홍수조절효과를 분석하였다. 안태진 등(2008)은 수문학적 접근방법에 의해 강변저류지의 홍수조절효과를 산정하는 방안을 제시하고, 최적화 기법인 유전자 알고리즘과 연계하여 강변저류지의 최적 위치 결정을 위한 모형을 개발하였다. 그리고 백천우 등(2009)은 개발한 모형을 이용하여 강변저류지의 홍수조절효과를 최대화 할 수 있는 최적위치 및 최적월류고를 동시에 결정할 수 있는 모형을 제안하였다. 이와 같이 강변저류지의 홍수조절효과를 정량적으로 분석하기 위한 연구들이 다수 수행되었으나 홍수조절효과 분석에 사용된 수치모형을 검·보정하기 위한 수리실험 또는 현장실측 자료가 전무한 실정이다. 수치모형의 적용성 검토를 위해서는 이를 검·보정할 수 있는 실험 자료가 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 부정류 수리실험을 통해 하도내 시간에 따른 수위와 유량 변화를 확인하고, 특히 강변저류지를 포함하는 경우의 부정류 흐름 발생시 강변저류지 직하류의 수문곡선을 도출함으로써 수치모형 검·보정을 위한 실험 자료를 구축하고자 한다. 또한 강변저류지 홍수조절효과 분석시 실무에서 널리 사용하고 있는 1차원 부정류 수치 모형인 HEC-RAS 모형을 이용하여 부정류 수리실험의 결과와 비교함으로써 강변저류지를 포함하는 하도에서의 HEC-RAS 수치모형의 적용성을 검토하고자 한다.

2. 부정류 수리실험 개요

본 연구에서는 부정류 흐름을 정량적으로 분석하기 위한 방법으로 주로 활용되는 HEC-RAS 모형의 적용성을

검증하기 위해 부정류 수리실험을 수행하였다. 부정류 수리실험은 홍상진(2011)이 임의의 단면에 수문곡선을 재현할 수 있도록 개발한 부정류 유량공급장치를 이용하였다. 부정류 유량공급장치는 유량조절밸브, 유량조절모듈 그리고 수위 및 유량 측정부로 구성되어 있다. 유량조절밸브는 5 kg/cm^2 이상의 공기압을 이용해 관내에 설치된 disk를 조절하여 통수단면적을 조절하는 방식이다. 유입 수문곡선을 작성한 후 이를 재현하기 위해 유량조절밸브의 통수단면적을 조절하여 수문곡선을 재현하였다. 목표 수문곡선의 재현 여부는 재현하고자 하는 단면의 수위를 초음파수위계를 이용하여 측정 후 수위-유량 관계를 이용하여 수문곡선으로 바꾸어 확인하였다.

부정류 수리실험은 Fig. 1과 같이 폭 1m, 길이 20m 및 하상경사 0.002인 직사각형 단면의 직선수로에서 수행하

였다. 실험수로 좌안에 설치된 강변저류지의 면적은 40 m^2 이고, 횡월류부는 흐름방향 길이 2m, 폭 0.18m인 광정 위어로 No. 6에서 No. 8에 위치하도록 하였으며, 월류턱 높이는 하도내 하상고에서 No. 6은 0.33m이고, No. 8에서는 0.34m로 제작하였다.

부정류 수리실험에 사용된 실험 장비는 앞서 설명한 부정류 유량공급장치와 초음파수위계이다. 본 연구에서 사용한 부정류 유량공급장치의 유량 공급 범위는 최소 20 l/s 에서 110 l/s 이다. 초음파수위계(UC500-30GM-IUR2-V15)의 최대 측정 범위는 60 mm에서 500 mm까지이다. 측정 오차는 최대 측정 범위의 0.2%로 약 1mm의 오차를 가지고 있으며, 이 오차는 1회 관측의 오차이며 반복적인 관측 값에 대한 오차는 0.1%로 약 0.1 mm이다. 따라서 본 연구에서는 초음파수위계를 이용하여 수위를 1초에 10회 측정

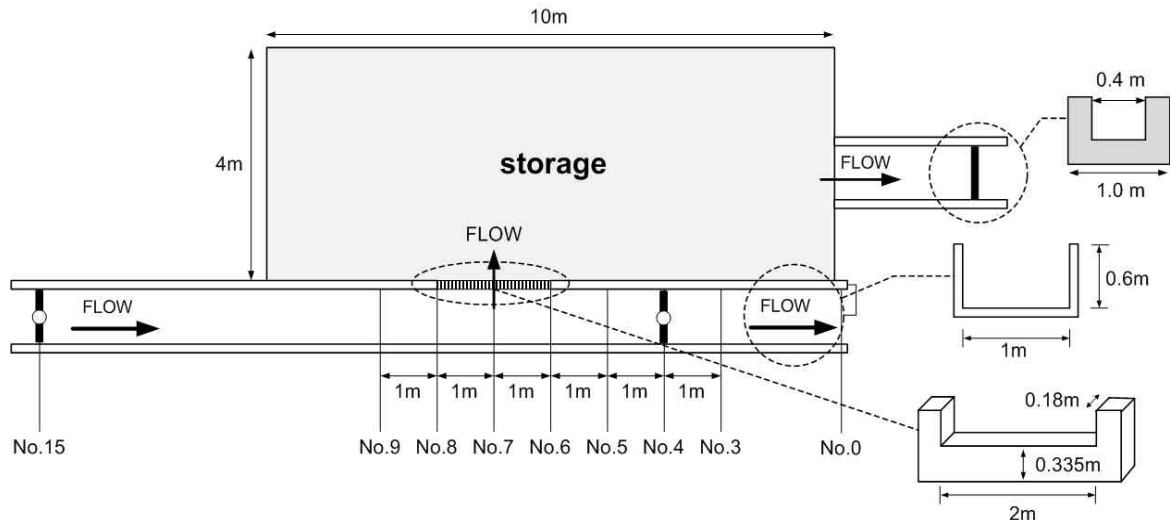
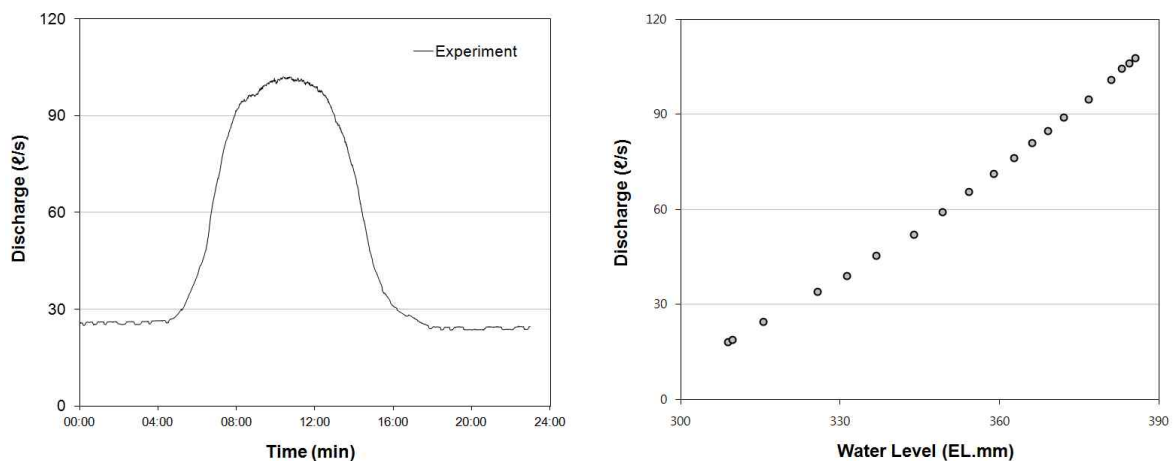


Fig. 1. Experimental Flume with the Side-weir Detention Basin



(a) Discharge hydrograph in the upstream section

(b) Rating curve at the downstream end

Fig. 2. Upstream and Downstream Boundary Conditions

하고 이를 평균하여 측정 정확도를 높이도록 하였다.

부정류 수리실험과 HEC-RAS 부정류 수치모의의 상류 경계 조건은 No. 15 단면(Fig. 1)에서 가용 공급유량 범위 내의 정규분포모양 수문곡선(Fig. 2(a))을 적용하였다. 하류경계 조건은 Fig. 1의 No. 0 단면에서 초기 유량 26 l/s 일 때 수위는 317 EL.mm를 기준으로 하였고, Fig. 2(b)의 수위-유량 관계를 적용하였다.

3. HEC-RAS 부정류 수치모의 매개변수 결정

3.1 하도 조도계수 결정

HEC-RAS 부정류 수치모의를 위해서는 실험수로의 조도계수를 입력해 주어야 한다. 수로의 조도계수 결정은 HEC-RAS 수치모의와 수리실험의 수위 결과를 비교하여 가장 잘 일치하는 조도계수를 찾는 방법으로 수행하였다. 본 연구에서는 Chow (1973)에 제시된 매끈한 콘크리트 조도계수 0.013을 기준으로 0.014와 0.015에 대해 Fig. 3과 같이 각 단면에서의 수위를 실험값과 비교하였다. 또한 유량 크기에 따라서도 조도계수가 변화할 수 있으므로 본 연구에서 목표한 유입 수문곡선의 유량 범위 중에서 중유량(72 l/s)과 고유량(108 l/s)에 대해 모두 검토하였다. 실험수로의 조도계수는 수리실험과 HEC-RAS의 수위를 비교한 결과, 0.014로 결정하였다.

3.2 횡월류위어 유량계수 결정

강변저류지가 있는 경우의 HEC-RAS를 이용한 부정류 흐름 모의를 위해서는 횡월류위어 유량계수의 입력이 필요하다. HEC-RAS에서 횡월류량 산정은 Eq. (1)과 같은 표준 위어의 월류량 산정식을 사용한다.

$$Q = C_f L H^{3/2} \quad (1)$$

여기서, C_f 는 완전 횡월류위어 유량계수, L 은 횡월류부 길이, H 는 횡월류턱 높이를 기준으로 한 수위이다.

횡월류위어의 유량계수는 HEC-RAS에서 완전 횡월류 유량계수 C_f 와 Eq. (2)와 같은 Hager의 횡월류위어 유량계수(C)를 선택하여 사용할 수 있다.

$$C = \frac{3}{5} C_0 \sqrt{g} \left[\frac{1-W}{3-2y-W} \right] \left\{ 1 - (\beta + S_0) \left[\frac{3(1-y)}{y-W} \right]^{0.5} \right\} \quad (2)$$

여기서, $W = \frac{h_w}{H_t + h_w}$, $y = \frac{H + h_w}{H_t + h_w}$, h_w 는 위어의 높이, H_t 는 횡월류턱 높이를 기준으로 한 에너지수두, S_0 는 평균 하도경사, β 는 하도의 수축각 그리고 C_0 는 위어 형상을 고려한 유량계수이다. 예연위어일 경우에 C_0 는 1.0이고, 광정위어일 경우에 C_0 는 Eq. (3)과 같다.

$$C_0 = 1 - \frac{2}{9 \left[1 + \left(\frac{H_t}{b} \right)^4 \right]} \quad (3)$$

본 연구는 강변저류지의 위어에서 완전 횡월류가 발생하는 조건에 대해 실험 및 모의를 수행하였기 때문에 HEC-RAS 부정류 수치모형에 입력되는 완전 횡월류위어 유량계수(C_f)를 수리실험을 이용하여 직접 산정하였다(Fig. 4). 따라서 궁극적으로 HEC-RAS의 횡월류량을 Eq. (1)의 횡월류량 산정식을 이용하여 산정된 것이다.

횡월류위어 유량계수를 결정하기 위해 Fig. 1과 같이 저류지 우측에 유출부를 만들고 사각위어를 설치한 후 실험을 통해 직접 산정하였다. 사각위어의 월류량 측정은 유량공급장치에 설치된 전자식유량계를 이용하였으며 월류수심은 초음파수위계를 이용하여 측정하였다. 57 l/s부터 100 l/s까지 총 6개의 유량 조건에 대하여 횡월류량을 측정하였고, 그 때의 횡월류위어의 월류수심을 측정하였다. Fig. 4와 같이 실험에서 측정한 횡월류량과 월류수심

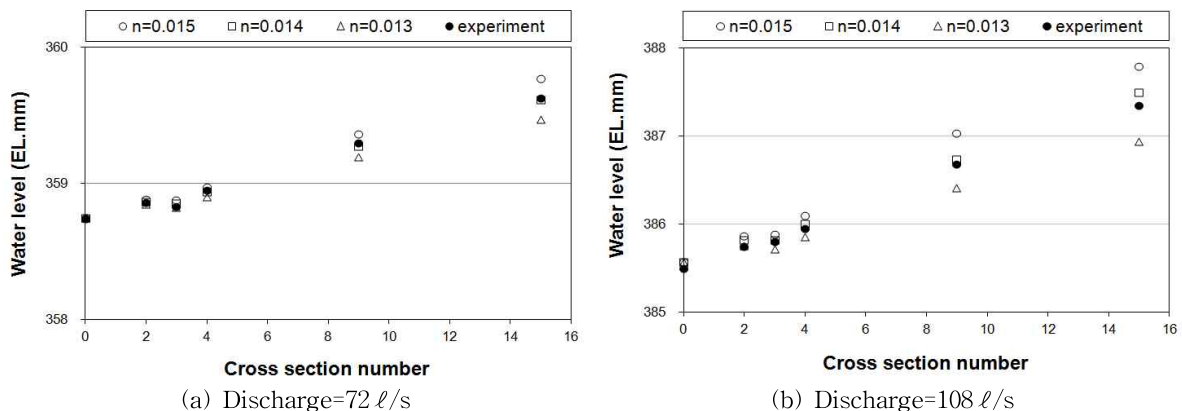


Fig. 3. Comparison of Water Level according to Variation of Manning's n and Flow Discharge

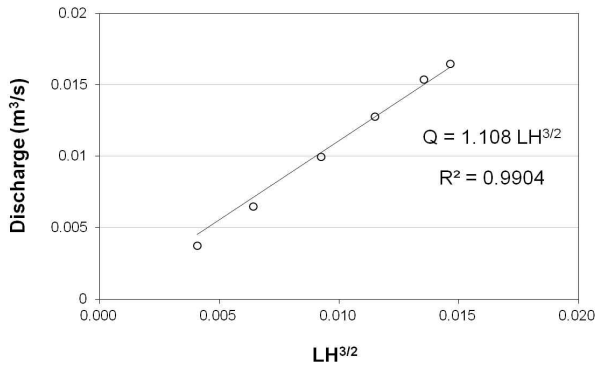


Fig. 4. Experimental Result for the Side-weir Discharge Coefficient

(H) 결과를 이용하여 완전 횡월류 유량계수(C_f)를 산정하였으며 본 연구에서 적용된 횡월류위의 완전 횡월류 유량계수(C_f)는 1.108인 것으로 나타났다.

4. 부정류 수리실험 결과를 이용한 HEC-RAS의 적용성 검토

4.1 HEC-RAS 모형의 적용성 평가 방법

본 연구에서는 HEC-RAS 계산과 부정류 실험에서 모두 강변저류지의 수위변화, 하도로부터 저류지로 혹은 저류지로부터 하류로 월류되는 유량, 강변저류지가 위치한 하도 지점에서의 수위변화 등을 모두 계산 및 측정하였다. 특히 본 연구에서는 HEC-RAS 적용성 검토 결과를 정량화하기 위해 Fig. 5와 같이 변수들을 정의하고 강변저류지의 영향이 반영된 후의 단면인 No. 4 지점에서의 HEC-RAS 계산 결과와 부정류 수리실험 결과의 수문곡선 오차를 평가하였다. 수위와 유량 수문곡선의 일치도를 평가하기 위한 식은 Eq. (4)와 같다.

$$Error (\%) = \frac{h_c - h_e}{h_{max} - h_{min}} \times 100 (\%) \quad (4)$$

$$\text{or } \frac{Q_c - Q_e}{Q_{max} - Q_{min}} \times 100 (\%)$$

여기서, h_{max} 와 Q_{max} 는 부정류 수리실험에서 측정한 수문곡선 상의 최대 홍수위와 홍수량, h_{min} 과 Q_{min} 는 부정류 수리실험에서 측정한 수문곡선 상의 최소 홍수위와 홍수량, h_c 와 Q_c 는 HEC-RAS로 계산한 홍수위와 홍수량, h_e 와 Q_e 는 부정류 수리실험에서 측정한 홍수위와 홍수량을 나타낸다.

4.2 강변저류지가 설치되지 않은 경우 분석 결과

강변저류지가 설치되지 않은 직선수로에 대한 부정류 수리실험 결과와 HEC-RAS 모의 결과 간의 오차를 상대적으로 평가 및 비교하기 위해 본 연구에서는 No. 4 단면에서의 부정류 수문곡선 자료를 이용하였다. HEC-RAS 수치모의의 조도계수는 앞서 기초실험에서 구한 0.014를 사용하였다.

HEC-RAS 수치모의 결과와 부정류 수리실험 결과를 비교한 결과는 Fig. 6 and Table 1과 같다. 실험값과 수치모의 계산값의 수위 차이는 저유량에서 최대 1mm 정도로 거의 일치하였고, 홍수 발생 시간 동안에는 -1mm에서 2mm 정도로 대부분 실험값보다 HEC-RAS 모의 값이 조금 높게 나타났다. 또한 유량 차이는 저유량에서 최대 -1ℓ/s 정도, 홍수 발생 시간 동안에는 -1ℓ/s에서 1ℓ/s 정도 차이가 발생하였으며 HEC-RAS 모의 결과가 부정류 수리실험 결과와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 즉, 강변저류지가 설치되지 않은 개수로에서의 HEC-RAS 수치모의 결과는 부정류 수리실험 결과와 비교했을 때 오

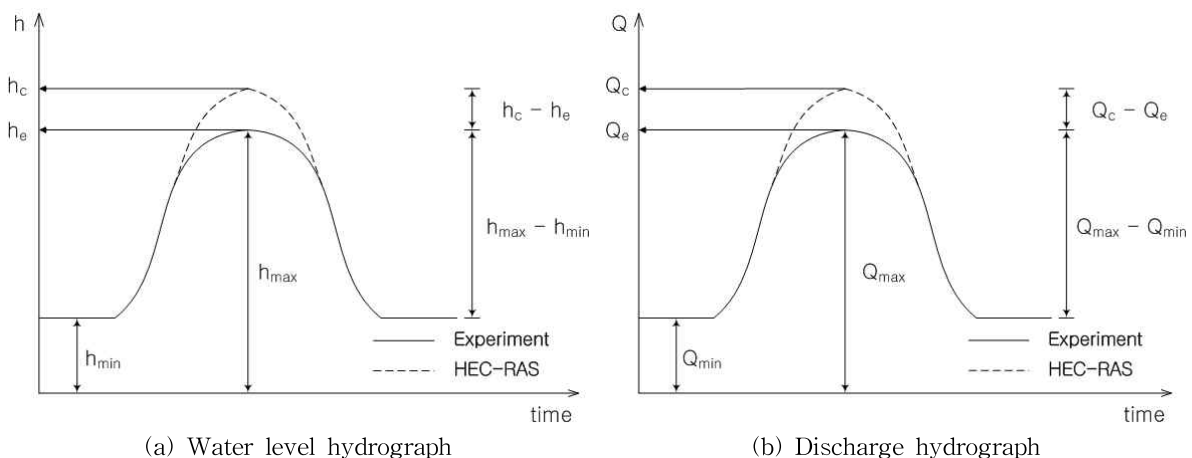
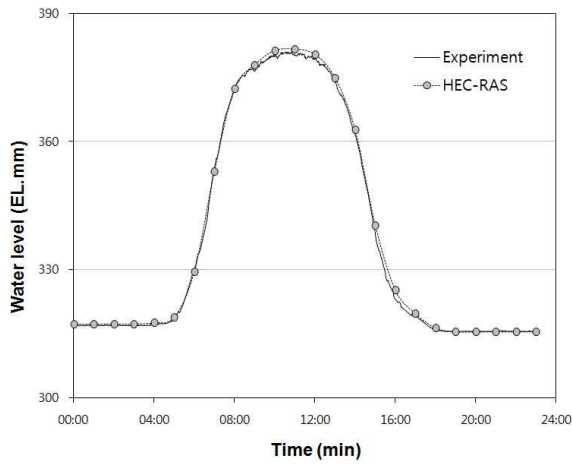
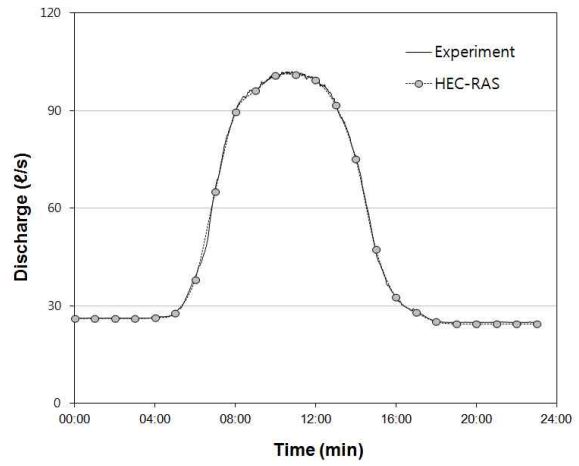


Fig. 5. Sketch for the Error Calculation of Water Level and Discharge Hydrographs



(a) Water level hydrograph



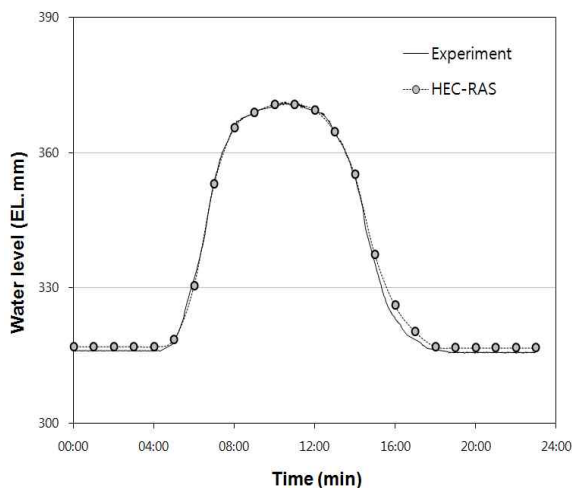
(b) Discharge hydrograph

Fig. 6. Comparison of Water Level and Discharge Hydrographs without a Side-weir Detention Basin

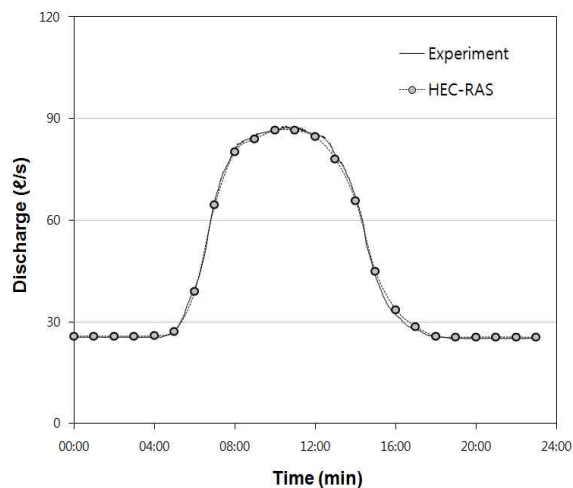
Table 1. Experiment and HEC-RAS Results without a Side-weir Detention Basin

| Time (min) | Water level (EL.mm) | | | | Discharge (ℓ/s) | | | |
|------------|---------------------|-------------------|-----------------|-----------|-------------------|-------------------|------------|-----------|
| | Experiment | HEC-RAS | Difference (mm) | Error (%) | Experiment | HEC-RAS | Difference | Error (%) |
| 0:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 1:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 2:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 3:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 4:00 | 317 | 318 | 1 | 2 | 27 | 26 | -1 | -1 |
| 5:00 | 319 | 319 | 0 | 0 | 28 | 28 | 0 | 0 |
| 6:00 | 330 | 330 | 0 | 0 | 39 | 38 | -1 | -1 |
| 7:00 | 354 | 353 | -1 | -1 | 66 | 65 | -1 | -1 |
| 8:00 | 372 | 373 | 1 | 2 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 9:00 | 377 | 378 | 1 | 1 | 96 | 96 | 0 | 0 |
| 10:00 | 380 | 381 | 1 | 2 | 101 | 101 | 0 | 0 |
| 11:00 | 380 ¹⁾ | 381 ¹⁾ | 2 | 3 | 101 ^{a)} | 101 ^{a)} | 0 | 0 |
| 12:00 | 380 | 380 | 0 | 0 | 100 | 99 | -1 | -1 |
| 13:00 | 374 | 375 | 1 | 2 | 92 | 92 | 0 | 0 |
| 14:00 | 362 | 363 | 1 | 2 | 76 | 75 | -1 | -1 |
| 15:00 | 339 | 341 | 2 | 3 | 47 | 47 | 0 | 0 |
| 16:00 | 323 | 322 | -1 | -2 | 32 | 33 | 1 | 1 |
| 17:00 | 319 | 320 | 1 | 2 | 29 | 28 | -1 | -1 |
| 18:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 19:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 20:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 21:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 22:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 23:00 | 316 ²⁾ | 316 ²⁾ | 0 | 0 | 25 ^{b)} | 25 ^{b)} | 0 | 0 |

1) h_{\max} , 2) h_{\min} , a) Q_{\max} , b) Q_{\min}



(a) Water level hydrograph



(b) Discharge hydrograph

Fig. 7. Comparison of Water Level and Discharge Hydrographs with a Side-weir Detention Basin

차가 수위는 최대 3%, 유량은 최대 1% 정도임을 확인하였다. 따라서 전반적으로 HEC-RAS 결과가 직선수로의 부정류 흐름 변화를 정확하게 모의하는 것으로 나타났다.

4.3 강변저류지가 설치된 경우 분석 결과

강변저류지가 설치된 직선수로에 대한 부정류 수리실험 결과와 HEC-RAS 모의 결과 간의 오차를 상대적으로 평가 및 비교하기 위해 본 연구에서는 No. 4 단면에서의 부정류 수문곡선 자료를 활용하였다. HEC-RAS 수치모의의 완전 횡월류위어 유량계수는 앞서 기초실험에서 구한 1.108을 사용하였다.

HEC-RAS 수치모의 결과와 부정류 수리실험 결과를 비교한 결과는 Fig. 7, Table 2와 같으며, HEC-RAS의 수위 계산 결과는 저유량에서 수리실험 값과 정확히 일치하였고 홍수 발생 시간 동안에는 -2mm에서 1mm 정도 대부분 실험값보다 조금 높게 나타났다. 또한 HEC-RAS의 유량 계산 결과는 저유량에서 최대 1ℓ/s 정도 실험값과 오차를 보였으며, 홍수 발생 시간 동안에는 -1ℓ/s에서 1ℓ/s 정도로 부정류 수리실험 결과와 거의 일치하였다. 즉, HEC-RAS 수치모의 결과는 부정류 수리실험 결과와 비교하여 수위는 최대 4%, 유량은 최대 2% 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 강변저류지가 없는 경우의 분석 결과와 거의 비슷한 수준의 오차 범위를 보이는 것으로 나타났으며 강변저류지의 완전 횡월류 흐름을 HEC-RAS가 비교적 정확하게 모의하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 강변저류지가 설치되어 있거나 그렇지 않은 경우에 대해 부정류 수리실험을 수행하였으며, HEC-RAS 모형이 강변저류지가 있는 하도에서의 부정류 흐름 해석에 적용 가능한지의 여부를 검토하였다. HEC-RAS의 부정류 흐름 해석의 적용성 검토는 단면 변화와 만곡의 영향을 받지 않도록 직사각형 단면을 갖는 직선수로에 대해 수행하였으며, 본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구의 부정류 수리실험을 통해 강변저류지가 설치되어 있지 않은 하도와 강변저류지가 포함된 하도에서의 조도계수 산정 결과, 0.014인 것으로 나타났으며 실험에 적용된 강변저류지의 횡월류 위어의 유량계수 산정 결과, 1.108인 것으로 나타났다. 또한 부정류 유량공급장치를 이용하여 부정류 흐름을 발생시키고 하도내 수위 및 유량 수문곡선을 실험을 통해 도출해 냈으며 동일한 조건에서의 HEC-RAS 모의 결과와의 비교를 위한 실험 자료를 구축하였다.
- 2) 강변저류지가 설치되지 않은 경우의 부정류 수리실험과 HEC-RAS 모의 결과를 비교한 결과, 수위의 경우 최대 3%의 오차를 나타냈으며 유량은 최대 1%의 오차를 보임으로써 전반적으로 HEC-RAS 모형이 직선수로의 부정류 흐름을 정확히 재현하는 것으로 나타났다.
- 3) 강변저류지를 포함하는 하도의 경우, 강변저류지의 위어에서 완전 횡월류 발생시 HEC-RAS 모의 결과

Table 2. Experiment and HEC-RAS results with a side-weir detention basin

| Time (min) | Water level (EL.mm) | | | | Discharge (ℓ/s) | | | |
|------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------|------------------|------------------|------------|----------|
| | Experiment | HEC-RAS | Difference (mm) | Error(%) | Experiment | HEC-RAS | Difference | Error(%) |
| 0:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 1:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 2:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 3:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 4:00 | 317 | 317 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 5:00 | 318 | 319 | 1 | 2 | 27 | 27 | 0 | 0 |
| 6:00 | 332 | 330 | -2 | -4 | 40 | 39 | -1 | -2 |
| 7:00 | 353 | 353 | 0 | -0 | 66 | 65 | -1 | -2 |
| 8:00 | 366 | 367 | 1 | 2 | 81 | 80 | -1 | -2 |
| 9:00 | 369 | 369 | 0 | 0 | 84 | 84 | 0 | 0 |
| 10:00 | 370 | 371 | 1 | 2 | 87 | 87 | 0 | 0 |
| 11:00 | 371 ¹⁾ | 371 ¹⁾ | 0 | 0 | 87 ^{a)} | 87 ^{a)} | 0 | 0 |
| 12:00 | 370 | 370 | 0 | 0 | 85 | 85 | 0 | 0 |
| 13:00 | 364 | 365 | 1 | 2 | 79 | 78 | -1 | -2 |
| 14:00 | 355 | 355 | 0 | 0 | 67 | 66 | -1 | -2 |
| 15:00 | 336 | 337 | 1 | 2 | 44 | 45 | 1 | 2 |
| 16:00 | 323 | 324 | 1 | 2 | 33 | 34 | 1 | 2 |
| 17:00 | 319 | 320 | 1 | 2 | 28 | 29 | 1 | 2 |
| 18:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 26 | 26 | 0 | 0 |
| 19:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 |
| 20:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 26 | 1 | 2 |
| 21:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 26 | 1 | 2 |
| 22:00 | 316 | 316 | 0 | 0 | 25 | 26 | 1 | 2 |
| 23:00 | 316 ²⁾ | 316 ²⁾ | 0 | 0 | 25 ^{b)} | 25 ^{b)} | 0 | 0 |

1) h_{max} , 2) h_{min} , a) Q_{max} , b) Q_{min}

는 수위의 경우 부정류 수리실험 결과 값과 최대 4%의 오차를 나타냈으며 유량은 최대 2%의 오차를 나타냈다. 전반적으로 강변저류지가 설치되지 않은 경우의 분석 결과와 비교했을 경우 오차가 증가하는 것으로 나타났으나 오차의 크기는 매우 작아 HEC-RAS 모형이 강변저류지를 포함하는 직선수로의 부정류 흐름도 정확히 재현하는 것으로 나타났다.

- 4) HEC-RAS 모형을 이용한 부정류 흐름 모의 결과는 수문곡선 전체에 걸쳐 강변저류지가 있을 경우와 없을 경우 모두 전반적으로 실험값보다 수위는 크게, 유량은 작게 산정하였으나 그 차이는 매우 작은 것으로 나타났다.

따라서 본 연구를 통해 완전 횡월류가 발생하는 강변저류지를 포함하는 하도의 HEC-RAS를 이용한 부정류 모

의 오차는 수위 최대 4%, 유량 최대 2%인 것으로 나타났다. 그러나 횡월류 위어를 통해 월류되는 흐름의 형태가 불완전 월류를 포함하는 복합 형태일 경우와 수문곡선 후반부의 하도수위가 감소하는 단계에서 저류지로 흐름이 역류되는 현상이 발생할 경우에는 이러한 오차 범위가 다르게 나타날 수도 있음을 주의할 필요가 있다. 따라서 향후 강변저류지의 횡월류 위어에서 불완전 월류 혹은 역류 현상을 포함하는 복합 흐름이 발생할 경우의 HEC-RAS 모의 정확도 또한 부정류 수리실험의 결과와 비교 분석하여 오차 범위를 정량화할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)

에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부 (2005). 천변저류지 기본계획수립에 관한 연구.
 백천우, 김복천, 안태진 (2009). “월류부특성변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과분석.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp. 145-150.
 백천우, 변천일, 김도현, 안태진 (2010). “강변저류지군의 홍수저감효과 개선방안에 대한 연구.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제10권, 제2호, pp. 123-133.
 안태진, 강인웅, 김복천, 백천우 (2008). “천변저류지 최적 위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1409-1413.
 전경수, 김진수, 김 원, 윤병만 (2010) “횡월류형 강변저류지를 포함하는 하천수계에 대한 수리학적 계산모형.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, Vol. 43, No. 2, pp. 139-151.
 홍상진(2011). 강변저류지 설계변수 변화에 따른 홍수조절 효과 분석. 석사학위논문, 명지대학교.

Burgin, J.F., and Holley, E.R. (2002). Side-diversion analysis system. CRWR Online Report 02-3, houston, TX, USA.
 Chow, V.T. (1973). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill.
 Davis, J.E., and Holley, E.R. (1988). “Modeling side-weir diversions for flood control.” *Journal of Hydraulic Engineering, Proc., National Conf ASCE*, pp. 979-984.
 Fukuoka, S., Kon, T., and Okamura, S. (2007). “Assessment of flood control effects of the Tsurumigawa river multi-purpose retarding basin.” *Doboku Gakkai Ronbunshuu B*, Vol. 63, No. 3, pp. 238-248.
 Lee, K.L., and Holley, E.R. (2002). *Physical modeling for side-channel weirs*. CRWR Online Report 02-2, houston, TX, USA.

| | |
|------------------|------------------|
| 논문번호: 12-016 | 접수: 2012.02.13 |
| 수정일자: 2012.03.08 | 심사완료: 2012.03.08 |