

## 강변저류지 홍수위 저감효과 분석을 위한 수치모형 적용

조길제<sup>1\*</sup>, 이동섭<sup>1</sup>, 김형준<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국건설기술연구원 하천해안연구실

### Numerical Model Application for Analysis of Flood Level Mitigation due to Retention-Basin

Gilje Cho<sup>1\*</sup>, Dong Sop Rhee<sup>1</sup> and Hyung-Jun Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**요 약** 강변저류지는 홍수량을 일시적으로 분담하여 홍수위험도를 저감시키는 시설로 국내에서도 대하천 정비사업을 통하여 여주, 나주, 영월 지역의 홍수 저감을 위하여 강변저류지가 새로이 설치되었다. 본 연구에서는 신규 도입된 강변저류지 중 여주 강변저류지를 대상으로 1차원 및 2차원 수치모형을 수행하여 대하천에서의 강변저류지에 의한 홍수위 저감효과를 분석하였다. 1차원 모의는 HEC-RAS 및 FLDWAV 모형의 저류지 기능을 적용하여 부정류 모의를 통한 홍수위 저감효과를 분석하였으며, 2차원 모의는 CCHE2D 모형을 이용하여 1차원 모형과 동일한 홍수 사상을 적용한 후 홍수위 저감효과를 분석하였다. 1차원 모의에서는 월류제 부근에서 첨두홍수위가 가장 크게 감소하였으며, 2차원 모의에서는 모의 구간의 가장 상류에서 홍수위 저감 효과가 가장 크게 나타났다. 또한 첨두홍수위는 1차원 모형에서 최대 0.13 m, 2차원 모형에서는 최대 0.20 m가 감소하는 것으로 나타났다. 검토 결과 2차원 모형이 하도 흐름에 대한 지형의 물리적 특성이 반영되어 보다 합리적인 모의 결과를 얻는 것이 가능한 것으로 보이며, 황월류위의 부근에서 하도 내 흐름 거동뿐만 아니라 월류 유량이 유입된 후 강변저류지 내 거동을 검토하기에는 1차원 모형보다 유리한 것으로 나타났다.

**Abstract** The retention basin is a river-facility for the flood mitigation by storing the river flow temporarily. The new 3 retention basins are installed in these regions YeouJu, NaJu, YoungWol by the Large River Management Project. In this study, 1D and 2D numerical flow simulation are conducted to evaluate the reduction effect of the peak flood stage for the YeouJu retention basin. HEC-RAS and FLDWAV models are used for 1D simulation with the option of retention basin. CCHE2D model is used for 2D simulation with the same hydrograph used in 1D simulation. It is verified that the peak flood stage is reduced very largely about 0.13 m near the overtopping section of the levee in 1D simulation. It is verified that the peak flood stage is reduced very largely about 0.20 m at the upstream-end of the simulated reach in 2D simulation. 2D simulation for the retention basin is more reasonable because physical characteristics of topography in the model, and also more advantageous for the evaluation of the flow characteristics of the in- and outside of the retention basin on the results of simulation of this study.

**Key Words** : Retention basin, Overtopping levee, Side weir, Flood mitigation

### 1. 서론

신규 제방을 설치하거나 기존 제방을 증고하는 방안이 많이 적용되나 치수 목적으로 제방에 의한 하천부지 증하천 범람으로 인한 홍수피해를 저감시키기 위해서는 가는 점차 어려워지고 있다. 하천의 환경 및 생태적 측면

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)과 한국건설기술연구원 주요사업(하천·항만시설 홍수재난 피해 저감 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Gilje Cho(KICT)

Tel: +82-031-995-0827 email: flowcgj@kict.re.kr

Received November 7, 2013

Revised (1st December 4, 2013, 2nd December 19, 2013)

Accepted January 9, 2014

에 대한 관심의 증가로 치수적으로는 홍수피해를 저감시키며, 동시에 수변의 생태 및 환경 기능을 향상시키는 기술 도입에 대한 사회적 요구가 점차 증가하고 있다.

강변저류지는 홍수량을 일시적으로 분담하여 홍수위협도를 저감시키는 시설이다. 또한 비홍수기에는 습지, 농경지, 생태 및 체육공원으로 활용할 수 있어 6월에서 9월 사이에 대부분의 강수가 집중되는 국내의 경우 비홍수기에도 강변저류지의 활용 가치는 충분하다고 할 수 있다[1]. 강변저류지는 하천변에 부지를 확보하여 설치할 경우 홍수량을 조절하고 친환경 생태 공간으로 활용하는 것이 가능하지만, 홍수조절효과에 대한 정량적 평가 시 발생하는 불확실성 때문에 계획 단계에 머무르는 경우가 많다[2].

국외에서는 강변저류지의 치수 효과에 초점을 두고 연구가 시작되었다. Windsor[3]는 저류지와 하천의 연계시스템에 대한 연구를 진행하였고, Unver and Mays[4]는 하천과 저류지가 연계된 하도 시스템에서 최적 홍수조절 방법을 개발하기 위하여 DWOPER 모형과 비선형 GRG2 모형을 결합하고 홍수피해를 최소화하거나 수위 또는 홍수량을 목표치에 맞도록 저감시키는 최적화기법을 제안하였다. Hall et al.[5]은 강변저류지의 설계 시 수문해석부터 수리해석에 이르는 과정을 정리하고 지침을 제시하였으며, 강변저류지에 대한 구조물 설계 및 비홍수기 습지 활용 계획 수립 절차에 대한 지침을 제안하였다. McEnroe[6]는 저수지추적기법을 활용하여 강우사상에 의한 입력수문곡선의 침투유량과 강변저류지 용량의 상관관계를 분석하였다. 분석결과를 활용하여 강변저류지 설계에 적용할 수 있는 2가지 설계 공식을 제안하였다. Lee and Holley[7]는 미국의 대표적인 홍수관리 지구인 HCFCD(Harris County Flood Control District)의 모니터링 자료를 바탕으로 강변저류지 횡월류부의 다양한 흐름 현상을 분석하고 실험을 통해 광정횡월류우어의 유량계수를 산정하는 연구를 수행하였다. 또한 Burgin and Holley[8]는 실험 결과를 바탕으로, Davis and Holley[9]에 의해 개발된 횡월류량 계산 모형인 SIDEHYDR을 분수로(diversion channel)뿐만 아니라 저류지에 적용할 수 있도록 보완하여 강변저류지 홍수조절효과 분석 기법을 제시한 바 있다. 일본에서는 Fukuoka et al.[10]이 일본의 대표적인 강변저류지인 츠루미가와 유수지의 모니터링 자료를 이용하여 강변저류지 홍수조절효과를 분석할 수 있는 2차원 수치모형을 개발하였다. Hong[11]은 연속방정식을 활용한 수치모형을 구축하고 수문학적 접근방법으로 해석하여 강변저류지의 최대용량을 산정할 수 있는 무차원 방정식을 유도하였으며, 다양한 조건에 대한 강변저류지 설계공식을 제안하여 설계과정에서 활용할 수 있

도록 하였다. Osorio et al.[12]은 강우사상의 재현주기, 강우지속기간, 강우강도 및 최대강우발생시간을 고려한 EV-copula 모형을 활용하여 결과를 분석하고 강변저류지 설계에 활용할 수 있는 설계공식을 제안하였다.

국내에서도 건설교통부[13]에서 강변저류지의 기본계획수립에 관한 연구를 한 이후 강변저류지에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 한건연 등[14]은 감수기의 강변저류지로부터 하도로 유량이 유입되는 역류 영향을 방지하고 강변저류지 홍수위 저감효과를 극대화하기 위하여 수문을 운영하는 방안에 대하여 DWOPER 모형을 이용한 수치모의를 수행하였다. 박재홍과 한건연[15]은 도시지역 침수방지 대책에 이용될 수 있는 하도 내 저류지(online type) 및 하도 외 저류지(offline type)를 운영할 때 기대되는 수위저감 효과를 1차원 Saint-Venant 방정식을 음해적 유한차분기법으로 이산화한 수치모형을 이용하여 분석하였다. 윤광석과 김수진[16]은 2006년 7월 태풍 에위니아에 의한 홍수로 제방이 붕괴하여 침수피해가 발생하였던, 남강 및 영천강 유역을 대상으로 최적저류지 설계기법을 검토하였다. HEC-RAS 모형 부정류 모의와 저류지 기능을 이용하여 저류지의 저류면적, 횡월류우어 높이, 위어 폭 및 월류 시작 시점이 홍수저감에 미치는 효과에 대한 절차 및 분석방법을 제안하였다. 수리학적 기법을 이용하여 규모가 작은 강변저류지의 설치를 모색하는 경우 고려해야 하는 경우의 수가 매우 많아 모의 시간이 길어지는 문제점을 해결하기 위하여, 안태진 등[17]은 수문학적 접근방법을 이용하여 강변저류지의 최적위치 선정에 위한 결정모형을 개발하였다.곽재원 등[18]은 1차원 HEC-RAS 모형과 GIS를 이용한 강변저류지 조성에 따른 홍수위저감효과를 분석하였다. 습지복원을 통하여 저류효과를 증대시키는 방안을 분석한 결과, 하루로 갈수록 홍수위 저감효과가 감소하는 것을 확인하였다. 정재학 등[19]은 소규모 유역에 설치될 하도 내/하도 외 저류지의 위치와 규모 최적화를 위하여 다목적 유전자알고리즘 모형을 개발하였다. 유역면적이 1 km<sup>2</sup>미만인 경기도 안양시 유역에 모형을 적용하여, 하도 내/하도 외 저류지가 동시에 건설되는 경우 최적화 가능성을 검토하였다. 곽재원 등[20]은 HEC-RAS 모형과 GIS를 이용하여 강변저류지 조성지역별 홍수위 저감, 홍수량 배분, 침수면적 저감 등을 분석하였다. 강변저류지로 인하여 홍수 조절 및 생물 다양성 증진 효과를 동시에 기대할 수 있으므로, 강변저류지의 조성을 통한 다각적인 치수대책 수립의 가능성을 제시하였다. 유병국 등[21]은 강변저류지의 경제적 관점에 초점을 맞추어 강변저류지 설치 전·후의 수리·수문학적 특성변화와 조절효과를 분석하였다. 강변저류지가 가지는 경제적 효과분석을 위하여 홍수피해액 산정, 수질

개선효과 및 생태적 가치를 추정하여 강변저류지의 경제적 가치를 평가하였다. 백천우 등[22]은 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위해 개발된 의사결정모형을 사용하여, 월류고 값의 변화가 홍수 저감효과에 미치는 영향을 분석하였다. 김형준 등[23]은 강변저류지 최적위치 선정을 위한 부정류 수리실험을 수행하여 설계인자인 유입부 마루높이, 강변저류지 면적 등에 따른 홍수저감효과를 분석하였다. 김서준 등[2]은 부정류 수리실험 결과를 바탕으로 강변저류지 설치 여부에 따른 수위 변화를 측정하여 비교·평가하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 강변저류지의 치수·생태·환경적 이점에 초점을 두고 국내에서도 강변저류지 도입 필요성이 지속적으로 제기되었으며, 대하천 정비사업을 통하여 여주, 나주, 영월 지역의 홍수 저감을 위하여 강변저류지가 새로이 설치되었다.

이와 같이 강변저류지를 대상으로 국내외에서 다양한 연구가 진행되었으나, 수치모의를 통한 연구는 주로 1차원 모형에 국한되어 수행된 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 신규 도입된 강변저류지 중 가장 규모가 큰 여주 강변저류지를 대상으로 1차원 및 2차원 수치모의를 수행한 후 대하천에서의 강변저류지에 의한 홍수위 저감효과를 분석하였다. 1차원 모형으로는 HEC-RAS 및 FLDWAV 모형을 적용하고 각 모형의 저류지 기능을 적용하여 부정류 모의를 통한 홍수위 저감효과를 분석하였다. 2차원 모형으로는 CCHE2D 모형을 적용하였으며, 1차원 모형과 동일한 홍수 사상을 적용하여 홍수위 저감효과를 분석하였다. 또한 각 모형에서 모의한 결과를 비교하여 홍수위 저감 효과 분석을 위한 각 모형의 적용성을 검토하였다.

## 2. 강변저류지 해석기법

### 2.1 1차원 수치모형

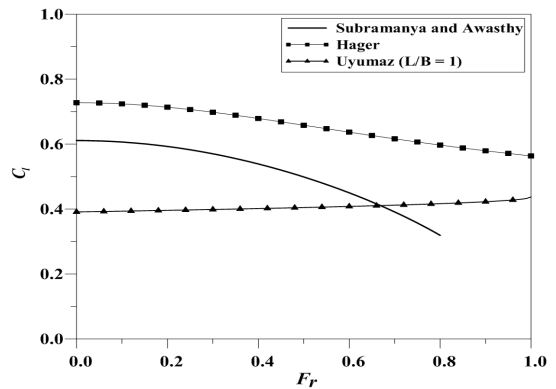
기존 연구에서는 강변저류지 홍수위 저감효과를 수치 해석적으로 검토하기 위하여 미공병단(USACE)에서 개발한 1차원 모형인 HEC-RAS 모형을 주로 활용하였다. HEC-RAS 모형에서는 “Storage Area”기능을 활용하여 하도로부터 강변저류지로 분배되는 홍수량을 산정할 수 있다. 강변저류지에 분배되는 홍수량은 식 (1)과 같은 위어공식으로 산정한다.

$$Q_L = C \cdot L \cdot H_w^{3/2} \quad (1)$$

여기서,  $Q_L$ 는 횡월류위어를 통하여 분배되는 홍수량이며  $C$ 는 유량계수,  $L$ 은 횡월류위어의 폭(m),  $H_w$ 는 하천

수위와 횡월류위어 높이 차로 산정되는 월류수심(m)이다.

분배량 산정공식에서 위어 폭  $L$ 과 월류수심  $H_w$ 는 입력변수 또는 수치모의 산정과정에서 자동으로 산정되는 값이다. 그러나 유량계수  $C$ 는 모의를 시작하는 단계에서 사용자가 입력하는 값으로서 범용적으로 사용되는 값 또는 수리모형실험을 통하여 산정되는 값을 사용한다. 횡월류위어에 유량계수에 관한 기존의 연구[24-26]를 살펴보면, 횡월류위어 유량계수  $C$ 는 하천의 흐름특성에 따라 프루드수(Froude Number)의 함수로 나타나지만, 연구자에 따라서 제안한 공식의 범위가 서로 상이하다(Fig. 1 참조). 또한 HEC-RAS 모형에서는 횡월류위어 유량계수  $C$ 를 고정값으로 적용하거나, Hager[25]가 제안한 공식만을 적용할 수 있다.



[Fig. 1] Comparison of suggested side weir coefficients

미국 기상청(NWS)에서 개발한 1차원 모형인 FLDWAV는 국내에서는 국토교통부에서 운영하는 홍수예보시스템에 적용되어있으며, 홍수예보시 고려해야하는 중요 하천시설인 여주 강변저류지와 나주 강변저류지 등의 홍수저감효과를 분석하기 위해서 사용되고 있다.

FLDWAV 모형도 HEC-RAS 모형과 마찬가지로 횡월류위어공식으로 강변저류지의 홍수량 분담효과를 반영한다. 모형에서 횡월류위어 유량계수는 고정값으로 1.4 ~ 1.8의 범위내에서 적용하는 것이 합리적이라고 제안하고 있다[27].

### 2.2 2차원 수치모형

하천흐름해석 분야에서 2차원 수치모형은 복잡한 지형을 반영하여 공간적으로 변하는 유속 및 수위를 산정하는 문제에 주로 활용되고 있다. 국내에서는 RMA2, CCHE2D 및 FLUMEN 등과 같은 국외에서 개발한 상용 및 범용모형을 주로 활용하여 하천흐름 문제를 해석하

고 있다. 본 연구에서 적용된 CCHE2D 모형은 NCCHE에서 개발된 2차원 수심적분 모형으로 운동량 방정식과 연속방정식을 지배방정식으로 하고 있으며, 상류 및 사류 흐름과 천이영역에 대한 수치모의가 가능하다. Navier Stokes 방정식에 변동속도성분(fluctuation)과 평균 속도 성분으로 나누어 대입하면 레이놀즈 방정식으로 표현할 수 있고, 3차원 레이놀즈 방정식을 연직으로 수심 적분을 취하면 수심 적분된 2차원 난류흐름에 대한 운동량 방정식을 얻을 수 있다. 운동량 방정식을 직교좌표계에 표현하면 다음과 같다[28].

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{h} \left( \frac{\partial h \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor^x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{h} \left( \frac{\partial h \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor^y} \quad (3)$$

여기서,  $u, v$ 는 수심 적분된  $x$ 와  $y$ 방향의 유속성분,  $t$ 는 시간,  $g$ 는 중력가속도,  $\eta$ 는 수위,  $\rho$ 는 밀도,  $h$ 는 수심,  $f_{cor}$ 은 전향력 변수,  $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ 는 수심 적분된 레이놀즈 응력,  $\tau_{bx}, \tau_{by}$ 는 바닥과 수면의 전단응력이다.

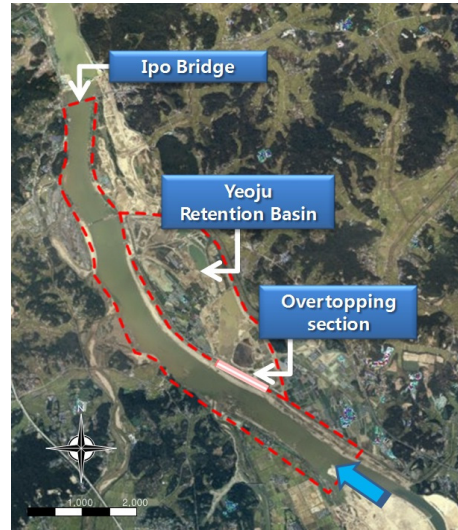
CCHE2D 모형에서는 바람에 의한 전단은 무시하고, 바닥에 의한 전단응력만을 고려하였다. 또한 식 (2)와 (3)의 난류 레이놀즈 응력은 Bousinesq 가정에 따라 근사할 수 있다.

2차원 모형으로 강변저류지로 분배되는 홍수량을 산정하는 경우, 1차원 모형과 같이 별도의 공식을 적용하는 것이 아니라, 입력자료인 지형자료 구축단계에서 횡월류 위어(또는 월류제)의 형상을 지형자료에 반영한다. 그러므로 강변저류지의 형상을 정확히 반영하는 것이 강변저류지의 홍수량 분담효과를 모의할 때 매우 중요하다.

### 3. 모형적용

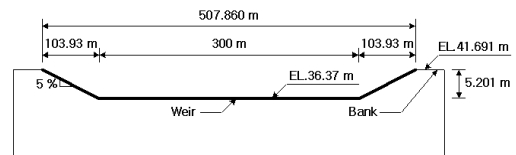
#### 3.1 대상구간

본 연구의 대상 구간은 하천기본계획 상 한강의 여주보 하류 No. 95 지점부터 이포대교 지점(이포 수위관측소)까지 8.043 km 구간이다. 구간 내의 평균 하폭은 857.5 m, 계획홍수량은 16,070 m<sup>3</sup>/s, 계획홍수위는 EL. 36.34 ~ 38.56 m이다. 하천기본계획에서 적용된 조도계수는 0.030으로 본 연구에서는 수치모의의 시 1차원, 2차원 모형 모두 동일하게 반영하였다[29].

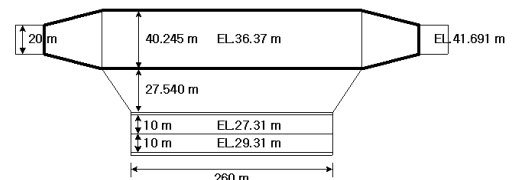


[Fig. 2] Site of numerical simulation

여주 강변저류지는 경기도 여주군 대신면 당산리 일원에 위치하고 있으며, 저류면적은 1.85 km<sup>2</sup>, 총 저류량은 15,300,000 m<sup>3</sup>이다. 하천기본계획 축선 No. 89 ~ 91에 걸쳐 하도의 우안에 위치한 강변저류지 월류부는 제방의 일부구간을 절개하여 월류 표고를 상회하는 유량이 자연적으로 유입되는 월류제 형식을 취하고 있다. 강변저류지 월류제 길이는 300 m, 최하단 표고는 EL. 36.49 m이며, 제방 연결부는 종단경사 5 %를 적용하여 자연거 도로 및 제방 관리용 도로를 위한 별도의 보행교를 설치하지 않았다. 그리고 여주 강변저류지의 유출부는 강변저류지와 하천 사이에 설치된 수문과 오리피스스를 통하여 자연 방류되도록 설계되었다[30].

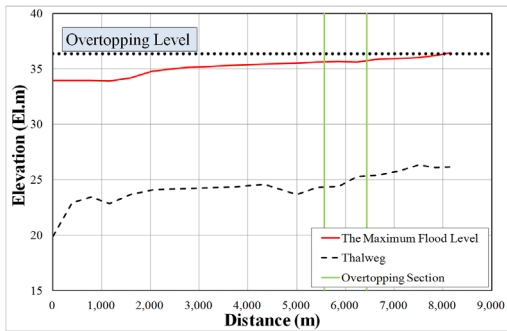


(a)

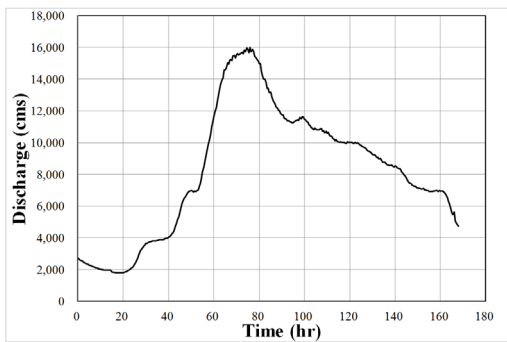


(b)

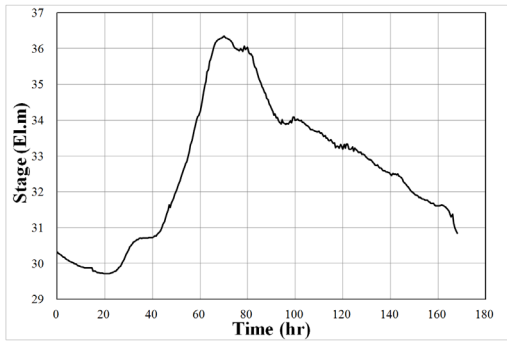
[Fig. 3] Overtopping section  
(a) Side view (b) Plan view



[Fig. 4] Results of 1-D model for a historical event



(a)



(b)

[Fig. 5] Boundary condition  
(a) Upstream-end (b) Downstream-end

### 3.2 경계조건

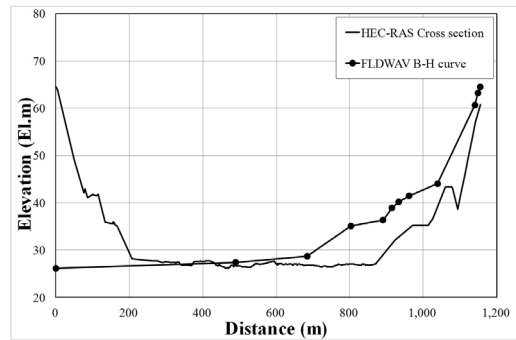
여주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 분석하기 위해서는 홍월류위어의 계획빈도를 상회하는 부정류 수문곡선이 필요하다. 모의구간의 수문학적 특성을 반영하기 위하여 과거의 홍수사상을 조사하였으며, 최근 10년간 계획홍수량보다 큰 홍수사상이 발생하지 않았으나, 조사한 사상 중 가장 큰 홍수 사상인 2006년 7월 14일의 홍수사상을 모의하여 지점별 침투홍수위 변화를 검토하였다

[31]. 검토 결과 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 대상 홍수 사상에 대해서는 여주 강변저류지 부근에서 월류 수위에 도달하지 않아 월류가 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이에 따라 최근 발생한 홍수사상 중 침투홍수량이 가장 큰 2006년 7월 14일 수문곡선을 바탕으로 대상 구간의 계획홍수량보다 큰 가상 수문곡선을 생성하여 본 여주강변저류지 홍수위 저감 능력 검토 모의에 적용하였다.

2006년 7월 14일에 발생한 홍수사상은 지속시간이 160시간이며, 여주 수위관측소 지점에서 침투홍수량은 12,200 m<sup>3</sup>/s로 계획홍수량 대비 75.9 %였으며, 이포 수위관측소 지점에서 침투홍수위는 EL. 33.95 m로 계획홍수위 대비 93.4 %였다. 이러한 기존 수문곡선의 상승부 및 하강부를 선형보간하여 상류 경계로는 침투유량 16,070 m<sup>3</sup>/s, 하류 경계는 침투홍수위 EL. 36.34 m가 되는 가상 수문곡선을 Fig. 5와 같이 생성하여 경계조건으로 활용하였다.

### 3.3 수치모의 적용

1차원 수치모의를 위해 HEC-RAS와 FLDWAV 모형을 사용하였으며, 각 모형에는 총 20개의 횡단면을 반영하였다. 두 모형 중 FLDWAV 모형은 하도의 불규칙한 단면 형상을 반영하기 위하여 하폭(*B*)과 표고(*H*)의 조합으로 이루어진 선형화된 표를 사용하였다. 본 연구에서는 12개의 *B-H* 조합을 사용하여 단면의 지형적 특성을 반영하였다(Fig. 6 참조).

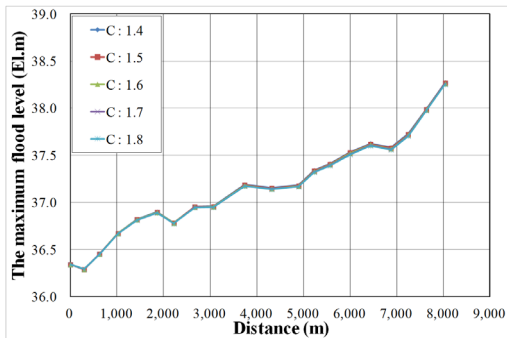


[Fig. 6] 1-D model cross section(No, 95)

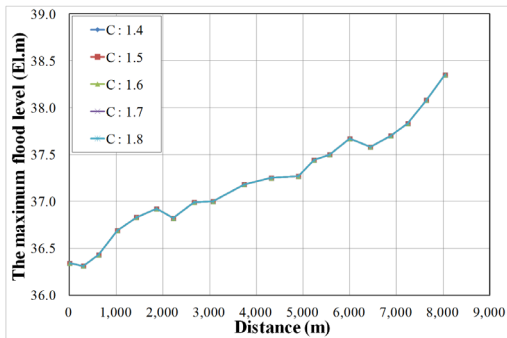
본 연구의 주요 목적이 여주 강변저류지의 홍수위 저감 능력을 검토하는 것이므로 이를 위해서는 강변저류지 월류부 주변에서의 흐름 특성을 파악하는 것이 매우 중요하며, 특히 1차원 모형의 경우 저류지 기능으로 검토되는 홍월류위어의 월류량이 적용된 유량계수에 대해 민감하게 변화할 가능성이 있다.

FLDWAV 모형에서는 횡월류위어 유량계수를 범위 1.4 ~ 1.8에서 선택하는 것이 적합하다고 제안하고 있다 [27]. 제안 범위의 각 유량계수를 적용하여 검토한 결과는 Fig. 7(a)와 같이 흐름특성이 크게 변하지 않았으며 전체 하도 구간에서 최대 수위 차이가 0.03 m에 불과하여 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 여주 강변저류지 능력 검토 시 모형에서 제안하는 범위의 어떤 유량계수를 사용하더라도 무방하다고 판단하였으며, 본 연구에서는 범위의 중앙값(median)인 유량계수 1.6을 적용하여 홍수위 저감효과를 분석하였다.

HEC-RAS 모형에서도 FLDWAV 모형과 동일한 유량계수를 적용하여 검토한 결과 Fig. 7(b)에서 볼 수 있듯이 모의 구간에서 유량계수를 변화시켜도 수위가 변하지 않고 동일하게 계산되었다. 이에 따라 본 연구에서는 유량계수가 HEC-RAS 모형의 계산결과에 영향을 주지 않는 것으로 판단하였으며, FLDWAV 모형과 동일한 유량계수 1.6을 적용하여 홍수위 저감효과를 분석하였다.



(a)



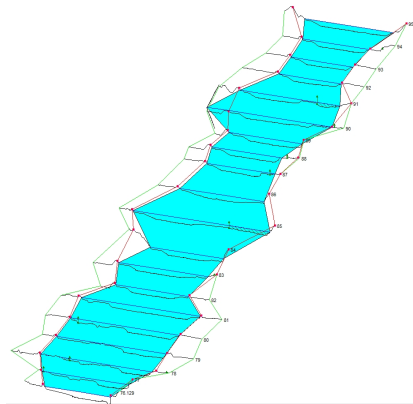
(b)

[Fig. 7] Sensitivity analysis  
(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

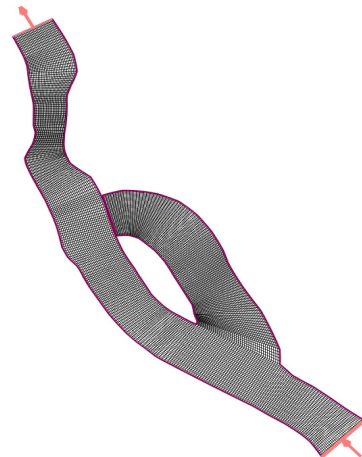
HEC-RAS 모형에서 하도와 강변저류지의 연결을 위하여 하도의 측선 No. 89 ~ 90, No. 90 ~ 91 구간에 각각

월류부의 중심을 기준으로 두 개로 구분하여 구조물을 입력하였다(Fig. 8(a) 참조). FLDWAV 모형에서는 No. 90 지점에 강변저류지 옵션으로 월류부의 표고 El. 36.37 m, 유량계수 1.6, 초기수위 조건 El. 30.00 m를 반영하였다.

2차원 수치모의를 위하여 적용한 CCHE2D 모형에서는 초기 지형을 구축하기 위하여 2009년 남한강 실시설 계보고서와 한강살리기사업의 2012년 측량자료를 사용하였다[32]. 구축된 지형자료에서 하도구간은 하폭방향으로 30개, 흐름방향으로 250개의 격자로 구성하였으며 총 격자수는 7,500개이다. 강변저류지 구간은 하폭방향으로 99개, 흐름방향은 41개로 구분하여 총 4,059개의 격자로 구성하였다(Fig. 8(b) 참조).



(a)

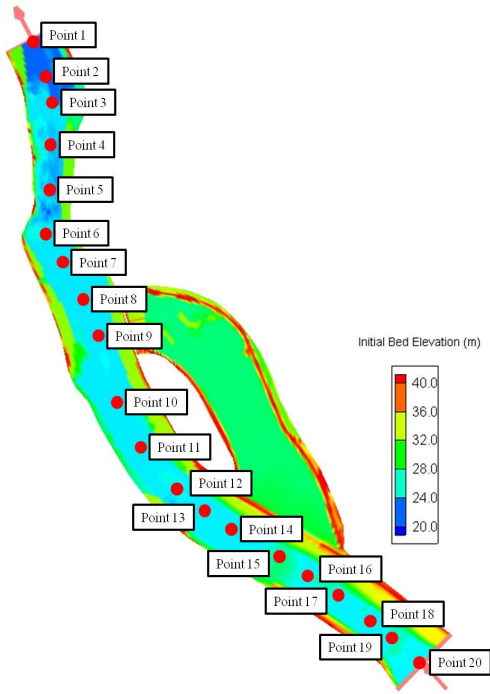


(b)

[Fig. 8] Geometrical data for numerical simulation  
(a) Cross section data for HEC-RAS  
(b) Numerical mesh for CCHE2D



2차원 모형인 CCHE2D의 모니터링 지점은 Fig. 9와 같다. 각 지점은 이포 수위표 지점을 기준으로 하여 1차원 모형에 적용된 단면간 거리를 고려하여 선정하였으며, 이를 바탕으로 하여 모의 결과를 분석하였다.



[Fig. 9] Gage points for CCHE2D

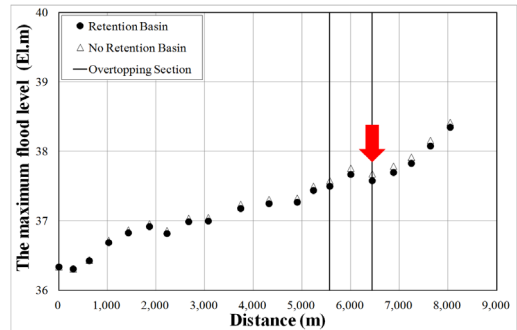
#### 4. 홍수위 저감효과 분석

수치모의를 통하여 여주 강변저류지 운영에 의한 홍수위 저감효과를 Fig. 10과 같이 분석하였다. Fig. 10(a)는 HEC-RAS 모형의 침두홍수위 모의 결과를 비교한 그림으로서, 모의 구간의 평균 홍수위 저감은 0.05 m로 산정되었다. 횡월류위어가 시작되는 단면 No. 91에서 홍수위 저감효과가 0.10 m로서 가장 크게 나타났다.

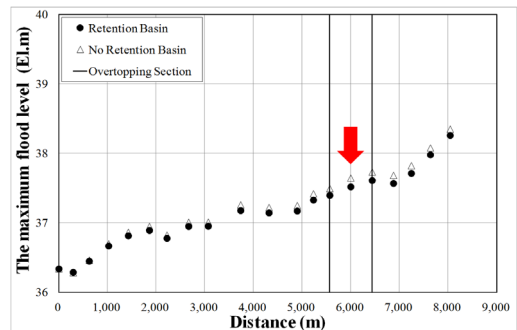
FLDWAV 모형에 의한 홍수위 저감효과 분석결과를 Fig. 10(b)와 같다. 홍수위 저감효과가 가장 크게 나타난 지점은 횡월류위어가 있는 단면 No. 90으로서 최대 0.13 m의 홍수위가 저감될 것으로 예상되며, 강변저류지 상류 구간에서 홍수위 저감효과가 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 10(c)는 2차원 모형인 CCHE2D를 이용하여 침두홍수위 저감효과를 분석한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 1차원 모형의 측선 지점에 대한 모의 결과를 정리하

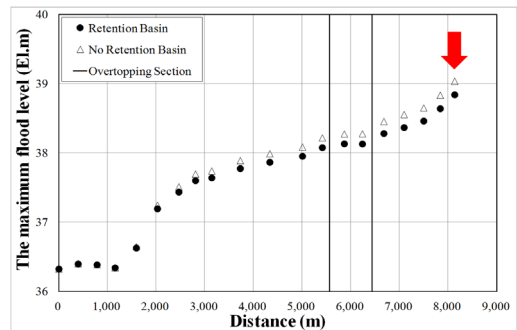
여 비교한 결과, 강변저류지 상류로 갈수록 저감효과가 두드러지게 나타남을 알 수 있으며, 단면 No. 95에서 최대 0.20 m의 홍수위 저감효과가 기대된다. CCHE2D 모의 결과에서는 1차원 모형과는 달리 하류경계 지점에서 1,100 m부터 배수효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 구간은 하폭이 줄어드는 병목구간으로, 이러한 지형 조건에 의한 영향이 수치모의 결과에 반영되어 모의 결과에서 1차원 모형과 비교할 때 상류 수위가 상승하는 것으로 판단된다.



(a)



(b)

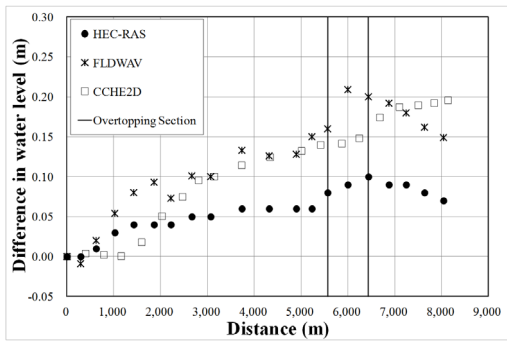


(c)

[Fig. 10] Comparisons of the maximum flood level results  
(a) HEC-RAS (b) FLDWAV (c) CCHE2D

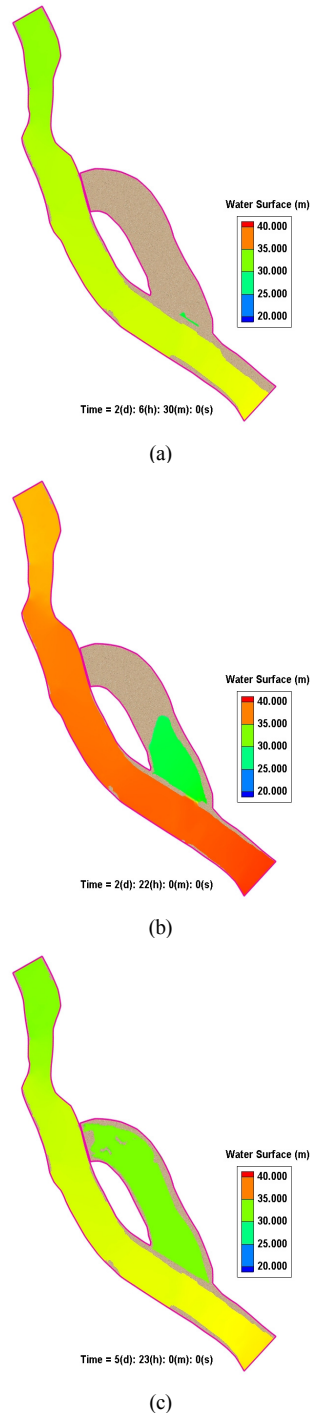
이는 1차원 모형에서 적용되는 단면 확대계수 및 축소 계수가 하도내의 흐름 특성에 영향을 미치지 않지만, CCHE2D와 같은 2차원 모형은 지형의 물리적인 특성을 반영하여 모의하게 되므로 실제 흐름 특성에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 적용성을 실제 홍수 사상과 비교를 할 경우 더 정확한 판단이 가능하겠지만, 현재 연구의 결과로 판단할 때, 강변저류지와 같이 흐름 특성이 복잡한 구조물의 홍수 저감 효과를 검토하기 위해서는 1차원 수치모형 보다는 2차원 수치모형으로 검토하는 것이 강변저류지의 치수능력을 판단하기에 더 적합한 것으로 사료된다.

Fig. 11은 강변저류지의 유무에 따른 1차원 모형과 2차원 모형에서의 침투홍수위 차이를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 FLDWAV 모형에서 월류부가 위치한 지점에서 침투홍수위의 차이가 0.21 m로 가장 크게 나타났다. 또한 동일한 1차원 모형인 HEC-RAS에서도 침투홍수위의 차이가 월류부가 위치한 지점에서 0.10 m로 모의되었다. 이를 통해 1차원 모형에서는 강변저류지로 유입되는 유량이 하도의 흐름특성에 가장 큰 영향을 미치며, 2차원 모형에 비해서는 하도의 상하류에 미치는 영향이 작은 것으로 판단된다.



[Fig. 11] Comparison of numerical results

Fig. 12는 CCHE2D 모형으로 모의한 결과로 하류의 침투홍수위 도달 시점 및 도달 전·후 시점에서 하도내의 흐름특성을 보여준다. Fig. 12(a)은 월류가 발생하기 전이며, Fig. 12(b)는 침투홍수위에 도달한 시점으로 월류제에서 월류가 발생하여 저류지 내부로 흐름이 유입되는 상황을 보여준다.



[Fig. 12] Flood level distribution

- (a) at 50 % flood during water level rise
- (b) at maximum flood
- (c) at 50 % flood during water level down



월류제의 종경사로 인하여 침두 홍수위에 도달하기 전 월류제 하단에서부터 월류가 시작되었으며, 침두홍수위가 지난 수문곡선의 하강부에서는 Fig. 12(c)와 같이 강변저류지로의 유입이 더 이상 발생하지 않고, 유입된 유량은 저류되었다가 본류의 수위가 El. 28.0 m로 하강하면 유출부의 수문을 운영하여 자연배제가 이루어지게 된다.

1차원 모형에서 적용되는 단면 확대계수 및 축소계수가 하도내의 흐름 특성에 영향을 미치지만, CCHE2D와 같은 2차원 모형은 지형의 물리적인 특성을 반영하여 모의하게 되므로 실제 흐름 특성에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 적용성을 실제 홍수 사상과 비교를 할 경우 더 정확한 판단이 가능하겠지만, 현재 연구의 결과로 판단할 때, 강변저류지와 같이 흐름 특성이 복잡한 구조물의 홍수 저감 효과를 검토하기 위해서는 1차원 수치모형 보다는 2차원 수치모형으로 검토하는 것이 강변저류지의 치수능력을 판단하기에 더 적합한 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 1차원 흐름 해석 모형인 HEC-RAS와 FLDWAV, 2차원 흐름 해석 모형인 CCHE2D를 이용하여 여주 강변저류지의 홍수위 저감 능력을 검토하였다.

1차원 및 2차원 수치모의를 통하여 강변저류지의 홍수위 저감 능력을 검토한 결과, 1차원 모형에서는 횡월류위어가 있는 지점(No. 90과 91)에서 침두홍수위가 가장 크게 감소하였으며, 상·하류로 갈수록 강변저류지에 의한 수위 저감 효과가 감소하였다. 2차원 모형은 모의 구간의 가장 상류지점인 No. 95에서 홍수위 저감 효과가 가장 크게 나타났으며, 하류로 갈수록 홍수위 저감 효과가 점차 감소하였다. 이러한 결과는 지형에 의한 영향이 2차원 모형에서는 반영가능하기 때문에 나타난 것으로 보인다. 각 모형에서 검토한 침두홍수위 저감 효과는 CCHE2D 모형에서 최대 0.20 m로 나타났다. 실제 홍수위 저감 능력이 2차원 모형의 모의 결과로 대변된다고 할 수는 없지만, 본 연구에서 수행된 1차원 및 2차원 수치모의 결과를 통해 강변저류지 설치로 인한 홍수위 저감 효과는 기대보다 미미한 것으로 나타났으며, 이는 설정된 월류제의 월류고가 비교적 낮아 홍수 지속기간이 긴 사상의 경우에는 침두에 도달하기 전에 저류지 유입이 시작되어 침두 시점에는 저류 용량이 부족하여 홍수 조절 능력이 저하되는 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 10에서 알 수 있듯이 2차원 모형은 하도 흐름에 대한 지형의 물리적 특성이 반영되고 횡방향 흐름이 고려되기 때문에 1

차원 모형의 결과에 비하여 보다 합리적인 모의 결과를 얻는 것이 가능하며, Fig. 12와 같이 횡월류위어에서 부근에서의 하도 내 흐름 거동뿐만 아니라 월류 유량이 유입된 후 강변저류지 내 거동을 검토하기에는 보다 유리한 것으로 판단된다.

향후 본 연구에서 사용된 지형자료를 개선하고 실제 월류가 발생할 수 있는 홍수사상을 반영하여 수치모의의 적용성 평가를 통해 강변저류지의 홍수위 저감효과에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단되며, 다양한 모형을 적용한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## References

- [1] Baek, C.W., Byeon, C.I., Kim, D.H. and Ahn, T.J., "Study on a Scheme to Increase Flood Reduction Effect of Washlands", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 2, pp. 123-133, 2010.
- [2] Kim, S.J., Hong, S.J., Yoon, B.M. and Ji, U., "Feasibility Analysis of HEC-RAS for Unsteady Flow Simulation in the Stream Channel with a Side-Weir Detention Basin", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 5, pp. 495-503, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.5.495>
- [3] Windsor, J.S., "Optimization Model for the Operation of Flood Control Systems", *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 5, pp. 1219-1226, 1973.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/WR009i005p01219>
- [4] Unver, O.L. and Mays, L.W., "Model for Real-Time Optimal Flood Control Operation of a Reservoir System", *Water Resources Management*, Vol. 4, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 21-46, 1990.
- [5] Hall, M.J., Hockin, D.L. and Ellis, J.B., *Design of Flood Storage Reservoirs*, CIRIA, London, 1993.
- [6] McEnroe, B.M., "Preliminary Sizing of Detention Reservoirs to Reduce Peak Discharges", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 118, No. 11, pp. 1540-1549, 1992.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:11\(1540\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:11(1540))
- [7] Lee, K.L. and Holley, E.R., *Physical Modeling for Side-Channel Weir*, Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, 2002.
- [8] Burgin, J.F. and Holley, E.R., *Side-Diversion Analysis System*, CRWR Online Report 02-3, Houston, TX, USA, 2002.
- [9] Davis, J.E. and Holley, E.R., "Modeling Side-Weir

- Diversions for Flood Control”, *Journal of Hydraulic Engineering, Proceeding, National Conference ASCE*, pp. 979-984, 1988.
- [10] Fukuoka, S., Kon, T. and Okamura, S., “Assessment of Flood Control Effects of the Tsurumigawa River Multi-Purpose Retarding Basin”, *Doboku Gakkai Ronbunshuu B*, Vol. 63, No. 3, pp. 238-248, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2208/jscejb.63.238>
- [11] Hong, Y.M., "Graphical Estimation of Detention Pond Volume for Rainfall of Short Duration", *Journal of Hydro-environment Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-117, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2008.06.003>
- [12] Osorio, F., Muhaisen, O. and Garcia, P.A., "Copula-Based Simulation for the Estimation of Optimal Volume for a Detention Basin", *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, Vol. 14, No. 12, pp. 1378-1382, 2009.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000124](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000124)
- [13] Ministry of Construction & Transportation, *Study on Establishment of Schematic Design Plan for Detention Basin*, 2005.
- [14] Han, K.Y., Kim, J.S., Baek, J.G. and Park, H.S., "Flood Mitigation Analysis by Flood Plain Storage Basin in River", *Conference proceeding of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 234-237, 2005.
- [15] Park, J.H. and Han, K.Y., "Establishment of the Detention Model for the Prevention of Unban Inundation", *Conference proceeding of the Korea Water Resources Association*, pp. 1656-1660, 2006.
- [16] Yoon, K.S. and Kim, S.J., "Assessment Techniques for Storage Reservoirs Using Flood Attenuation Characteristics by Levee Breach", *Conference proceeding of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 2694-2697, 2007.
- [17] Ahn, T.J., Kang, I.W., Kim, B.C., Kim, J.H. and Baek, C.W., "Suggestion for Basic Algorithm of Decision Making Model for Determination of Optimal Size and Location of Wetland", *Conference proceeding of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 3371-3375, 2007.
- [18] Kwak, J.W., Kim, H.S. and Kim, D.G., "Regulation Analysis of Flood Mitigation by Washland Reconstruction", *Conference proceeding of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 3661-3664, 2008.
- [19] Chung, J.H., Han, K.Y. and Kim, K.S., "Optimization of Detention Facilities by Using Multi-Objective Genetic Algorithms", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 12, pp. 1211-1218, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2008.41.12.1211>
- [20] Kwak, J.W., Kim, J.G., Kim, H.S. and Yoo, B.K., "Effectiveness Analysis of Constructed Washland : (1) Flood Control and Ecological Effect", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 1B, pp. 13-21, 2010.
- [21] Yoo, B.K., Kwak, J.W., Kim, H.S. and Kim, J.G., "Effectiveness Analysis of Constructed Washland : (2) Economic Valuation", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 1B, pp. 23-31, 2010.
- [22] Baek, C.W., Kim, B.C. and Ahn, T.J., "Analysis of Flood Reduction Effect of Washlands Based on Variation of Rollway Characteristic". *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 1, pp. 145-150, 2009.
- [23] Kim, H.J., Bae, D.W. and Yoon, K.S., "Experimental Study for Analysis of Flood Mitigation Effect by Detention Basin", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 281-291, 2011.
- [24] Subramanya, K. and Awasthy, S.C., "Spatially Varied Flow Over Side-Weirs", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 98, No. HY1, pp. 1-10, 1972.
- [25] Hager, W.H., "Die Hydraulik von Verteilkanälen", *Mitteilungen 55 -56*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Zürich, Switzerland, 1982.
- [26] Uyumaz, A., "Side Weir in U-Shaped Channel", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 123, No. 7, pp. 639-646, 1997.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2008.41.12.1211>
- [27] Fread, D.L. and Lewis, J.M., *NWS FLDWAV Model*, NWS Report, Hydrologic Research Laboratory, NWS Office of Hydrology, NWA, Silver Spring, MD, 1998.
- [28] Jia, Y. and Wang, S.S.Y., *CCHE2D Two-dimensional Hydro-dynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows over Loose Bed*, Technical Report No. NCCHE-TR-2001-1, The University of Mississippi, 2001.
- [29] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Schematic Plan for Han-River*, 2009.
- [30] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Enforcement Plan for Han-River*, 2011.
- [31] Han River Flood Control Office, [www.hrcco.go.kr](http://www.hrcco.go.kr), Oct, 2013.
- [32] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *River Restoration for Green Growth*, 2012.

---

**조 길 제(Gilje Cho)**

[정회원]



- 2010년 2월 : 창원대학교 대학원 토목공학(공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 연구원

<관심분야>  
토목공학, 수공학

---

**이 동 섭(Dong Sop Rhee)**

[정회원]



- 2000년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학(공학석사)
- 2000년 1월 ~ 2002년 12월 : (주) 금호엔지니어링 대리
- 2002년 12월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 수석연구원

<관심분야>  
토목공학, 수공학

---

**김 형 준(Hyung-Jun Kim)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 2013년 6월 : 한국건설기술연구원 박사후연구원
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 전임연구원

<관심분야>  
하천시설물, 홍수위험저감