

# 수치모형 적용을 통한 나주 강변저류지 홍수위 저감효과 분석

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

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 하천해안연구실

## Analysis of Flood Level Mitigation due to the Naju Retention-Basin by Numerical Model Application

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

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

**요약** 강변저류지는 일정 규모 이상의 홍수를 하도로부터 분배하여 홍수량을 저감시킴으로써 홍수위험을 저감시키는 수공 구조물이다. 본 연구에서는 강변저류지에 의한 홍수저감효과를 분석하기 위하여 수치모의를 수행하였다. 기후변화에 의한 이상홍수 발생시, 홍수저감효과를 분석하기 위하여 계획빈도를 상회하는 수문조건에 대한 검토를 수행하여 강변저류지의 홍수조절능력을 분석하였다. 또한, 강변저류지가 설치된 하천은 복잡한 지형과 횡월류유어를 통하여 강변저류지로 분배되는 흐름이 동시에 발생하므로 복잡한 흐름현상을 구현하기 위하여 2차원 모형의 적용성을 검토하였다. 기존 강변저류지 홍수저감효과 분석시 주로 활용되는 1차원 모형과 2차원 모형의 결과를 비교 및 검토하였다. 본 연구결과 강변저류지에 의한 홍수저감효과를 모의하기 위해서는 지형 및 횡월류 흐름을 공간적으로 구현할 수 있는 2차원 모형을 활용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

**Abstract** The retention basin is a hydraulic structure for flood mitigation by storing river flow over a design flood. In this study, numerical models were adopted to simulate the flood mitigation effects by a retention basin. The large flood condition was applied as a boundary condition to consider an abnormal flood caused by climate change. Furthermore, the two-dimensional numerical model was adopted to regenerate the complex flow pattern due to the topography and lateral flow near the retention basin. The numerical results of the one- and two-dimensional model were analyzed and compared. The results showed that the two-dimensional model is more applicable to assessing flood mitigation by the retention basin with a complex topography and lateral flow patterns.

**Key Words** : retention basin, side weir, flood mitigation, abnormal flood

### 1. 서론

강변저류지는 홍수량을 일시적으로 분담하여 홍수위험도를 저감시키는 시설로 비홍수기에는 습지, 농경지, 생태 및 체육공원으로 활용할 수 있어 6월에서 9월 사이에 대부분의 강수가 집중되는 국내의 경우 활용 가치가 매우 높은 홍수 저감 시설이다. 강변저류지는 하천변에 부지를 확보하여 설치할 경우 홍수량을 조절하고 친환경

생태 공간으로 활용하는 것이 가능하며, 신규 제방을 설치하거나 기존 제방을 증고하기 위해서 하천 부지 확보가 어려워지는 현 상황에서 치수뿐만 아니라 하천의 환경, 생태적 측면을 모두 고려할 수 있어 관심이 증가하고 있다. 그러나 홍수조절효과에 대한 정량적 평가 시 발생하는 불확실성 때문에 계획 단계에 머무르는 경우가 많았으며[1], 최근에는 하천 정비사업을 통해서 국내에 도입되기 시작하였다.

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)과 한국건설기술연구원 주요사업 도심지 홍수 예방(Smart Flood Management) 연구 개발의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Dong Sop Rhee(KICT)

Tel: +82-031-910-0396 email: dsrhee@kict.re.kr

Received December 4, 2013

Revised (1st August 11, 2014, 2nd August 25, 2014)

Accepted September 11, 2014

국외에서는 강변저류지의 치수 효과에 초점을 두고 연구가 시작되었는데, Unver and Mays[2]는 하천과 저류지가 연계된 하도 시스템에서의 최적 홍수조절방법을 개발하기 위해 DWOPER 모형과 비선형 GRG2 모형을 결합하여 홍수피해를 최소화하거나 수위 또는 홍수량을 목표치에 맞도록 저감시키는 최적화기법을 제안하였다. Hall et al.[3]은 강변저류지의 설계 시 수문해석부터 수리해석에 이르는 과정을 정리하고 이를 바탕으로 설계 지침을 제시하였으며, 강변저류지에 대한 구조물 설계 및 비홍수기 습지 활용 계획 수립 절차에 대한 지침을 제안하였다. McEnroe[4]는 저수지추적기법을 활용하여 강우사상에 의한 입력수문곡선의 침투유량과 강변저류지 용량의 상관관계를 분석하였으며, 분석결과를 활용하여 강변저류지 설계에 적용할 수 있는 2가지 설계 공식을 제안하였다. Burgin and Holley[5]는 실험 결과를 바탕으로, Davis and Holley[6]에 의해 개발된 횡월류량 계산 모형인 SIDEHYDR을 분수로(diversion channel)뿐만 아니라 저류지에 적용할 수 있도록 보완하여 강변저류지 홍수조절효과 분석 기법을 제시하였다. Hong[8]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 있도록 하였다. Osorio et al.[9]은 강우사상의 재현주기, 강우 지속기간, 강우강도 및 최대강우발생시간을 고려한 EV-copula 모형을 활용하여 결과를 분석하고 강변저류지 설계에 활용할 수 있는 설계공식을 제안하였다. 일본에서는 Fukuoka et al.[7]이 일본의 대표적인 강변저류지인 츠루미가와 유수지의 모니터링 자료를 이용하여 강변저류지 홍수조절효과를 분석할 수 있는 2차원 수치모형을 개발하였다.

국내에서도 강변저류지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 윤광석과 김수진[12]은 2006년 7월 태풍 예위니아에 의한 홍수로 제방이 붕괴하여 침수피해가 발생하였던, 남강 및 영천강 유역을 대상으로 최적저류지 설계기법을 검토하였다. 수리학적 기법을 이용하여 규모가 작은 강변저류지의 설치를 모색하는 경우 고려해야 하는 경우의 수가 매우 많아 모의 시간이 길어지는 문제점을 해결하기 위하여, 안태진 등[13]은 수문학적 접근방법을 이용하여 강변저류지의 최적위치 선정을 위한 결정모형을 개발하였다. 광재원 등[14]은 1차원 HEC-RAS 모형

과 GIS를 이용한 강변저류지 구성에 따른 홍수위저감효과를 분석하였다. 정재학 등[15]은 소규모 유역에 설치될 하도 내/하도 외 저류지의 위치와 규모 최적화를 위하여 다목적 유전자알고리즘 모형을 개발하였다. 광재원 등[16]은 HEC-RAS 모형과 GIS를 이용하여 강변저류지 조성지역별 홍수위 저감, 홍수량 배분, 침수면적 저감 등을 분석하였다. 강변저류지로 인하여 홍수 조절 및 생물다양성 증진 효과를 동시에 기대할 수 있으므로, 강변저류지의 구성을 통한 다각적인 치수대책 수립 가능성을 제시하였다. 유병국 등[17]은 강변저류지의 경제적 관점에 초점을 맞추어 강변저류지 설치 전·후의 수리·수문학적 특성변화와 조절효과를 분석하였다. 김형준 등[18]은 강변저류지 최적위치 선정을 위한 부정류 수리실험을 수행하여 설계인자인 유입부 마루높이, 강변저류지 면적 등에 따른 홍수저감효과를 분석하였다. 김서준 등[1]은 부정류 수리실험 결과를 바탕으로 강변저류지 설치 여부에 따른 수위 변화를 측정하여 비교·평가하였다. 백천우 등[19]은 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위하여 개발된 의사결정모형을 사용하여, 월류고 값의 변화가 홍수 저감효과에 미치는 영향을 분석하였다. 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 설치되었으며, 조길제 등[20]은 수치모의를 통하여 여주 강변저류지의 치수 특성에 대한 검토를 수행하였다.

본 연구에서는 신규 도입된 강변저류지 중 영산강 유역에 위치한 나주 강변저류지를 대상으로 1차원 및 2차원 수치모의를 수행한 후 대하천에서의 강변저류지에 의한 홍수위 저감효과를 분석하였다. 1차원 수치모의는 HEC-RAS 및 FLDWAV 모형의 저류지 기능을 적용하여 부정류 모의를 통하여 홍수위 저감효과를 분석하였으며, 2차원 수치모의는 CCHE2D 모형을 적용하여, 1차원 모형과 동일한 홍수 사상에 대하여 동일한 구간에 대한 하도와 저류지의 지형자료를 적용하여 홍수위 저감효과를 분석하였다. 또한 각 모형에서 모의한 결과를 바탕으로 홍수위 저감 효과 분석을 위한 각 모형의 적용성을 검토하였다.

## 2. 적용 수치모형

### 2.1 1차원 수치모형

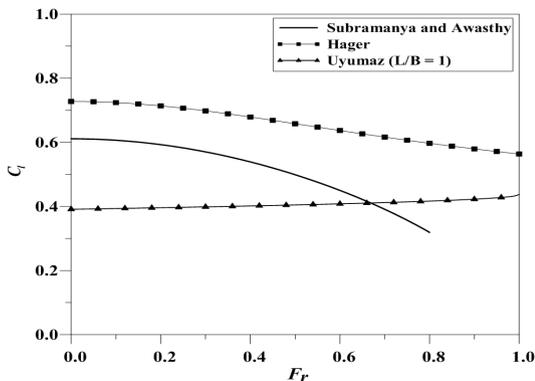
본 연구에서는 기존 연구에서 강변저류지의 치수적 효과를 검토하기 위하여 주로 사용하였던 HEC-RAS 모형 외에 FLDWAV 모형을 동시에 적용하여 강변저류지의 홍수위 저감 효과를 검토하였다.

미국병단(USACE)에서 개발한 1차원 모형인 HEC-RAS 모형에서는 “Storage Area”기능을 활용하여 하도로부터 강변저류지로 분배되는 홍수량을 산정할 수 있다[21]. 강변저류지에 분배되는 홍수량은 식 (1)과 같은 횡월류위어공식으로 산정한다.

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

여기서,  $Q_L$ 은 횡월류위어를 통하여 분배되는 홍수량이며  $C$ 는 유량계수,  $L$ 은 횡월류위어의 폭(m),  $H_w$ 는 하천 수위와 횡월류위어 높이 차로 산정되는 월류수심(m)이다.

횡월류량 산정공식에서 위어 폭  $L$ 과 월류수심  $H_w$ 는 입력변수 또는 수치모의 산정과정에서 자동으로 산정되지만, 유량계수  $C$ 는 모의를 시작하는 단계에서 사용자가 입력하여야 하며, 범용적으로 사용되는 계수치를 고려하거나 대상 지역에 대하여 수리모형실험을 통하여 산정된 계수를 사용한다. 횡월류위어의 유량계수에 관한 기존의 연구[22-24]를 살펴보면, 횡월류위어 유량계수  $C$ 는 하도의 특성에 따라 일반적으로 프루드수(Froude Number)의 함수로 표현되지만, 연구자에 따라서 제안한 공식의 적용 범위가 서로 상이하다(Fig. 1 참조). 그러나 HEC-RAS 모형에서는 횡월류위어 유량계수  $C$ 를 고정값으로 적용하거나, Hager[23]가 제안한 공식으로만 산정할 수 있다[20].



[Fig. 1] Comparison of suggested side weir coefficients[20]

미국 기상청(NWS)에서 개발한 FLDWAV 모형에서도 HEC-RAS 모형과 마찬가지로 식 (1)의 횡월류위어공식으로 강변저류지의 홍수량 분담효과를 반영한다[25]. 모형에서 횡월류위어 유량계수는 고정 값으로 1.4 ~ 1.8의 범위 내에서 적용하는 것이 합리적이라고 제안하고 있다[20].

### 2.2 2차원 수치모형

하천흐름해석 분야에서 2차원 수치모형은 복잡한 형상을 반영하여 공간적으로 변하는 유속 및 수위를 산정하는 문제에 주로 활용되는데, 국내에서도 RMA2, CCHE2D 및 FLUMEN 등과 같은 국외에서 개발한 상용 및 범용모형을 주로 활용하여 하천흐름 문제를 해석하고 있다[20]. 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 평균속도성분으로 나누어 대입하면 레이놀즈 방정식으로 표현할 수 있고, 3차원 레이놀즈 방정식을 연직으로 수심적분을 취하면 수심 적분된 2차원 난류흐름에 대한 운동량 방정식을 얻을 수 있다. 운동량 방정식을 직교좌표계에 표현하면 다음과 같다[26].

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

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

여기서,  $u, v$ 는 수심 적분된 x와 y방향의 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 Boussinesq 가정에 따라 근사할 수 있다.

2차원 모형으로 강변저류지로 분배되는 홍수량을 산정하는 경우, 1차원 모형과 같이 별도의 월류량 산정 공식을 적용하는 것이 아니라, 입력자료인 지형자료 구축 단계에서 반영된 횡월류위어(또는 월류제)의 형상을 통

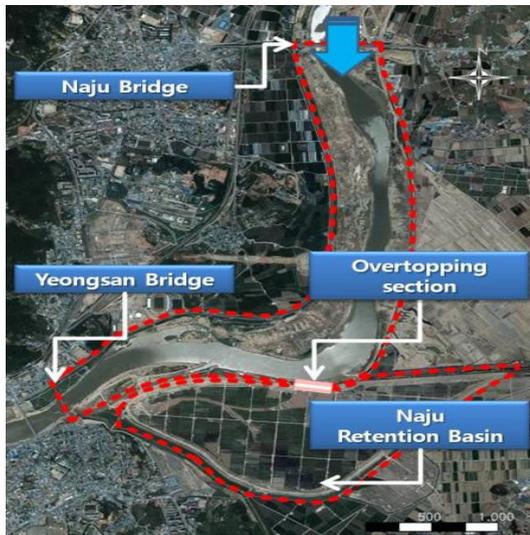
하여 월류량을 검토하게 되므로 강변저류지의 형상을 정확히 반영하는 것이 모의 시 매우 중요하다[20].

### 3. 모형적용

#### 3.1 대상구간

본 연구에서는 영산강 하천기본계획[27] 상의 나주대교(나주 수위관측소) No. 130+410 지점부터 영산대교(영산포 수위관측소) No. 119+390지점까지 5.33 km 구간을 대상으로 하였다(Fig 2 참조). 대상구간 내 계획홍수량은 6,730 ~ 6,760 m<sup>3</sup>/s, 계획홍수위는 El. 9.39 ~ 10.64 m이며 평균 하폭은 600.5 m이다. 그리고 본 연구의 수치모의에 적용된 조도계수는 영산강 하천기본계획에서 대상구간의 주수로, 좌안, 우안에 대하여 고시한 0.030을 채택하여 1차원, 2차원 모형 모두 동일하게 반영하였다.

나주 강변저류지는 영산강 하천기본계획 상 축선 No.120 ~ No.125에 걸쳐 하천변에 위치하고 있으며, 저류지 면적은 1.97 km<sup>2</sup>, 총 저류용량은 7,190,000 m<sup>3</sup>이다. 강변저류지는 제방부의 월류제와 저류지 내부



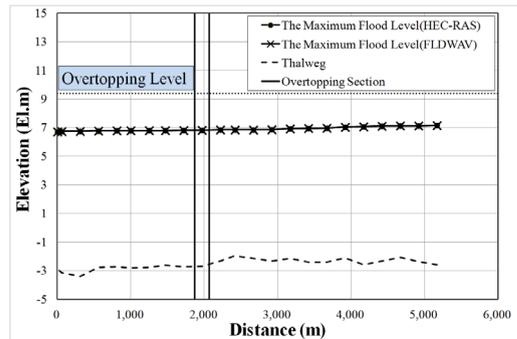
[Fig. 2] Site of numerical simulation

습지 및 습지, 수로, 친수시설로 구성되어 있으며, 이중 월류제는 전도식 가동 수문 설치를 계획하였으나 단순 월류제 형식으로 변경되어 시공되었다. 월류제의 연장은 200 m, 월류고는 El. 9.40 m이며 저류지의 평균 바닥고는 El. 5.40 m이다. 나주 강변저류지의 월류제는 영

산강의 흐름 방향과 직각으로 시공되어있어 안정성을 위하여 월류제의 하천측 비탈 경사는 1:3으로 계획되었으며, 저류지측 비탈면은 1:8의 경사로 계획되었다. 그리고 유출부는 별도의 펌프 시설 없이 3.0 m × 3.0 m의 유압식 인양수문 5련을 설치하여 자연 방류되도록 설계되었다[28].

#### 3.2 경계조건

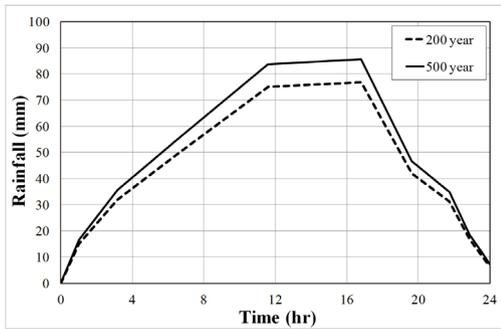
나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 분석하기 위하여 영산강에 발생한 최근 10년간의 홍수사상을 검토하였다. 검토 결과 침두홍수위가 나주 강변저류지의 유입부의 월류고를 상회하는 홍수 사상은 확인되지 않았으며, 분석을 위하여 검토한 홍수사상 중 가장 큰 홍수 사상인 나주저류지의 유입부가 위치하는 No. 124 지점의 설계홍수량 6,760 m<sup>3</sup>/s의 26.2 %인 1769.13 m<sup>3</sup>/s, 계획홍수위 El. 9.82 m의 68.3 %인 El. 6.72 m를 기록한 2010년 7월 10일에서 동년 7월 15일까지 발생한 홍수사상에 대한 호우사상을 1차원 모형에 적용하였다. 적용 결과 Fig. 3과 같이 2010년 7월 10일 호우사상에서는 나주 강변저류지의 월류 수위에 도달하는 홍수량이 발생하지 않았으며 최근 10년간의 다른 호우사상에서도 동일한 결과를 확인하였다[29].



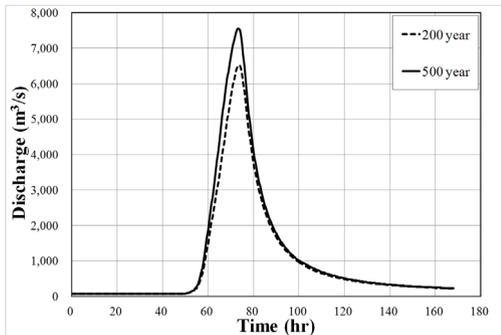
[Fig. 3] Results of 1-D model for a historical event

강변저류지 월류제의 월류 수위에 도달하는 수문곡선을 재현하기 위하여 하천기본계획 상 광주 우량관측소 지점에서 지속시간 24시간에 대하여 200년 빈도, 500년 빈도 확률강우량을 적용하여 하천기본계획의 홍수량 산정 절차에 따라 재현하였다[28]. 광주 우량관측소의 확률강우량은 각각 354.2 mm(200년 빈도), 394.7 mm(500년 빈도)이다. 강우의 시간적 분포를 구하기 위하여 Huff의 4분위법을 적용하였으며 광주 우량관측소는 전 지속시간에 대해 평균 강우강도를 상회하는 중호우 사상에서는 2

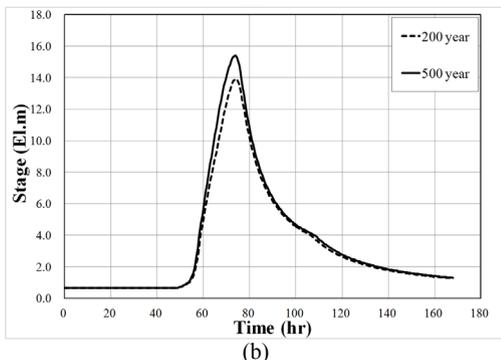
분위에 해당되며 확률곡선 중 50 %에 해당하는 누가곡선의 각 분위별 누가우량 백분율을 통해 Fig. 4와 같은 우량곡선을 얻을 수 있었다. 그리고 영산강 홍수예보모형에 포함된 수문모형을 이용하여 Fig. 4의 호우사상을 영산강 유역에 적용시켜 나주, 영산포 수위관측소 지점에서의 200년 빈도와 500년 빈도에 대한 수문곡선을 생성하였다(Fig. 5 참조). 이를 바탕으로 상류 경계조건으로는 나주 수위관측소 지점의 유량 곡선을 적용하였으며, 하류 경계조건으로는 영산포 수위관측소 지점의 수위 곡선을 적용하였다.



[Fig. 4] Rainfall curves



(a)

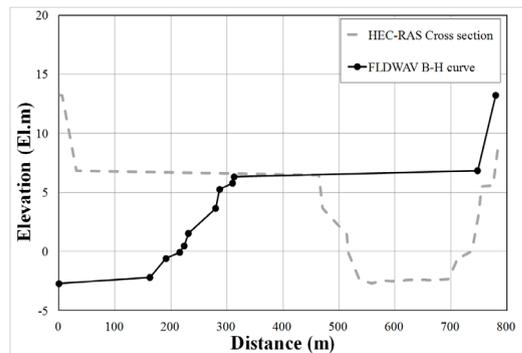


(b)

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

### 3.3 수치모의 적용

본 연구에서는 HEC-RAS와 FLDWAV 모형을 사용하여 1차원 수치모의를 하였으며, 영산강살리기사업의 2012년 측량자료를 사용하여 총 23개의 횡단면을 각각 반영하였다[30]. FLDWAV 모형은 하폭(*B*)과 표고(*H*)의 조합으로 이루어진 선형화된 표를 사용하여 하도의 불규칙한 단면 형상을 반영하는데, 본 연구에서는 12개의 *B-H* 조합을 사용하여 단면의 지형적 특성을 반영하였다.



[Fig. 6] 1-D model cross section(No, 124)

1차원 모형에서 횡일류위어 주변에서의 흐름 특성을 파악하기 위해서는 횡일류위어 월류량을 계산하기 위하여 적용한 유량계수에 대한 민감도 검토가 중요하다. 모형에 적용되는 유량계수에 따라 강변저류지 월류량이 민감하게 변화하여 이에 따라 분석된 홍수위 저감효과도 변화할 가능성이 있기 때문이다.

FLDWAV 모형에서는 횡일류위어 유량계수를 범위 1.4 ~ 1.8에서 선택하는 것이 적합하다고 제안하고 있으며[25], 각 유량계수를 적용하여 검토한 결과는 Fig. 7(a) ~ (b)와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 범위내의 유량계수를 적용하였을 때 강변저류지 설치로 인한 홍수위 저감효과가 전혀 나타나지 않았으며, 강변저류지가 없는 조건의 홍수위보다 수위가 높게 나타났다. 또한 Fig. 7(a)의 유량계수 1.7의 조건과 Fig. 7(b)의 유량계수 1.2의 조건에서는 수위가 안정되지 않고 상승 및 하강의 변동 폭이 매우 크게 나타났다. 유량계수의 값이 작아질수록 홍수위는 점점 낮아지는 경향을 보이고 있지만 모형에서 제안된 범위 밖의 유량계수(1.0 ~ 1.3)에서도 홍수위 저감효과는 볼 수 없었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 볼

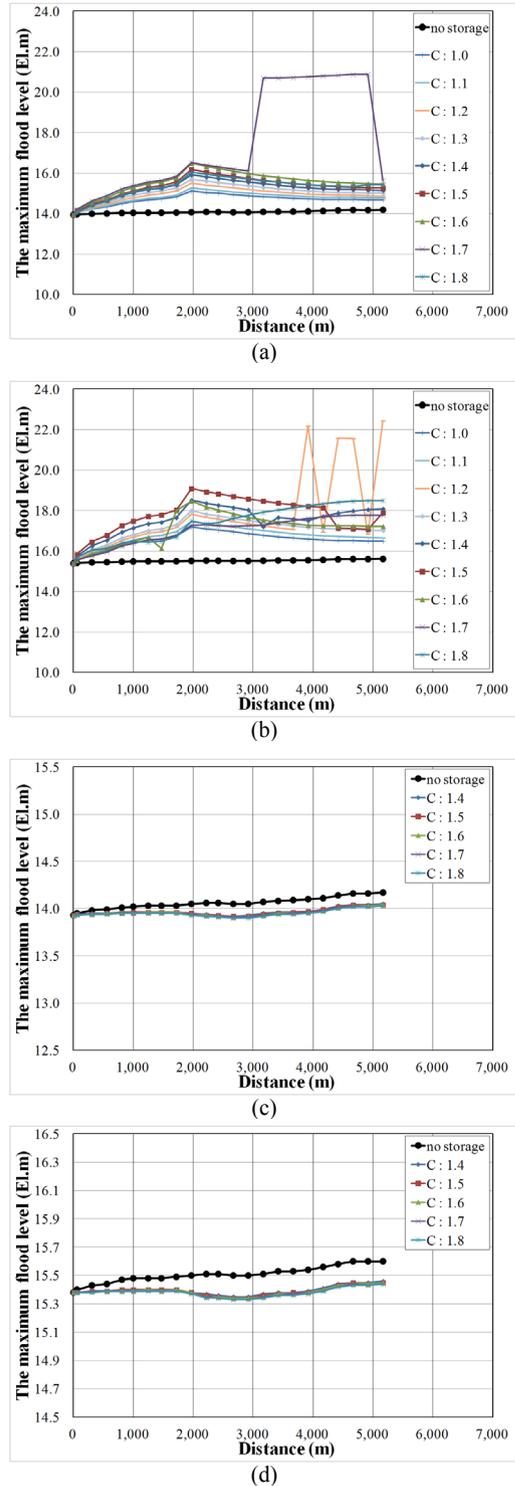
때 FLDWAV 모형은 나주 강변저류지에 대하여 적용하는 경우 유량계수에 대해 매우 민감한 것으로 보이며, Fig. 7(a) ~ (b)에서 볼 수 있듯이 수위 저감 효과가 나타나지 않아, 본 연구에서 대상으로 하는 나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 검토하기에 적절하지 않은 것으로 판단하였다.

Fig. 7(c) ~ (d)는 FLDWAV 모형에 적용하였던 유량계수와 동일한 범위의 유량계수를 HEC-RAS 모형에 적용하여 검토한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 유량계수의 변화에 따라 조금의 차이는 보이지만 범위내의 모든 조건에서 홍수위 저감 효과가 나타났다. 저류지가 없을 경우의 침투홍수위와 비교하였을 때, 200년/500년 빈도별 최대 침투홍수위 차이는 유량계수 1.4 조건에서 각각 0.13 m, 0.15 m, 유량계수 1.5 조건에서는 각각 0.13 m, 0.16 m, 유량계수 1.6 조건에서는 각각 0.14 m, 0.16 m, 유량계수 1.7 조건에서는 각각 0.14 m, 0.17 m, 유량계수 1.8 조건에서는 각각 0.15 m, 0.17 m로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 하도 홍수위 저감 효과가 가장 크게 나타난 유량계수 1.8을 적용하여 분석하였다.

HEC-RAS 모형에서는 하도의 측선 No. 123+250 ~ 124, No. 124 ~ 124.250 구간에 각각 월류제의 중심을 기준으로 두 개로 구분하여 구조물을 입력하여 하도와 강변저류지를 연결하였다(Fig. 8(a) 참조).

CCHE2D 모형에서는 영산강살리기사업의 2012년 측량자료를 사용하여 하도 및 강변저류지의 지형을 구축하였다[30]. 하도구간은 하폭방향으로 50개, 흐름방향으로 326개의 격자로 구성하였으며 총 격자수는 16,300개이며, 강변저류지 구간은 월류제와 저류지에서 각각 하폭방향으로 3개와 57개, 흐름방향은 21개와 139개로 구분하여 총 7,986개의 격자로 구성하였다(Fig. 8(b) 참조).

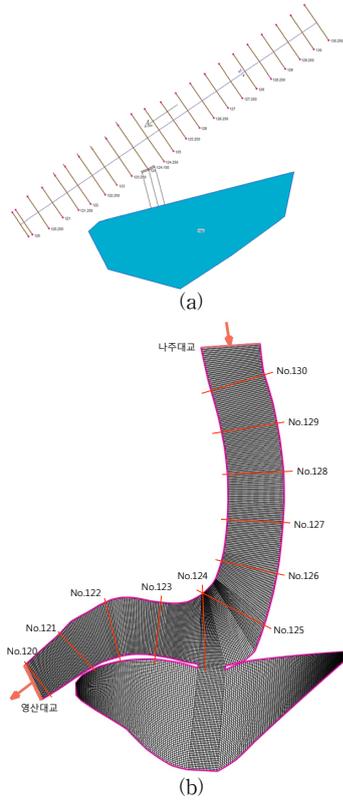
Fig. 9는 CCHE2D 모형의 수위 모니터링 지점을 보여 주고 있다. 그림에서 각 지점은 1차원 모형에 적용된 측선간 거리를 고려하여 선정하였으며, 이를 바탕으로 하여 모의 결과를 분석하였다.



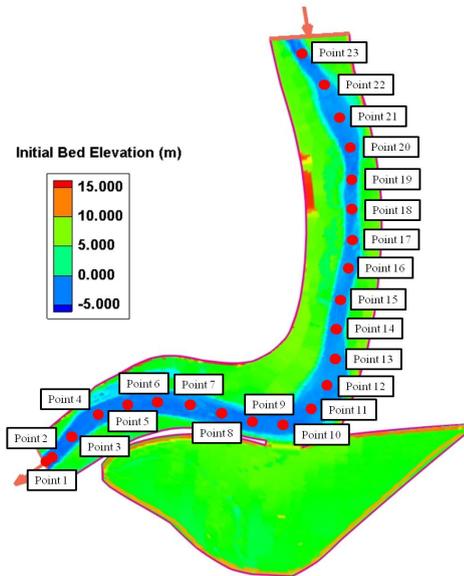
[Fig. 7] Sensitivity analysis  
 (a) FLDWAV 200 year (b) FLDWAV 500 year  
 (c) HEC-RAS 200 year (d) HEC-RAS 500 year

### 4. 홍수위 저감효과 분석

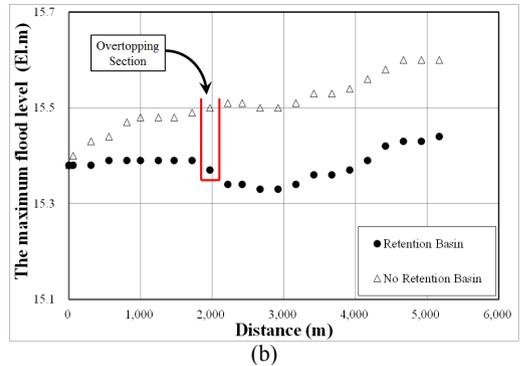
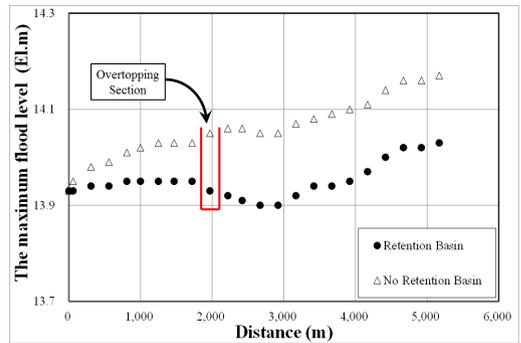
HEC-RAS 모형과 CCHE2D 모형으로 앞에서 설정한 가상 홍수 사상에 대하여 나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 10 ~ 11과 같다. 1차원 모형인 HEC-RAS 모형으로 모의한 경우에는 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 월류제의 상류 구간에서 침두홍수위 차이가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 200년 빈도의 수문조건에서는 No. 125 ~ 128 구간에서 최대 0.15 m의 홍수위 저감효과가 발생하였으며, 500년 빈도의 수문조건에서는 No. 124+250 ~ 130 구간에서 최대 0.17 m의 홍수위 저감효과가 발생하였다. 그리고 월류제 구간을 지나 하류로 갈수록 홍수위 저감효과가 점차 감소하는 것을 볼 수 있다.



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



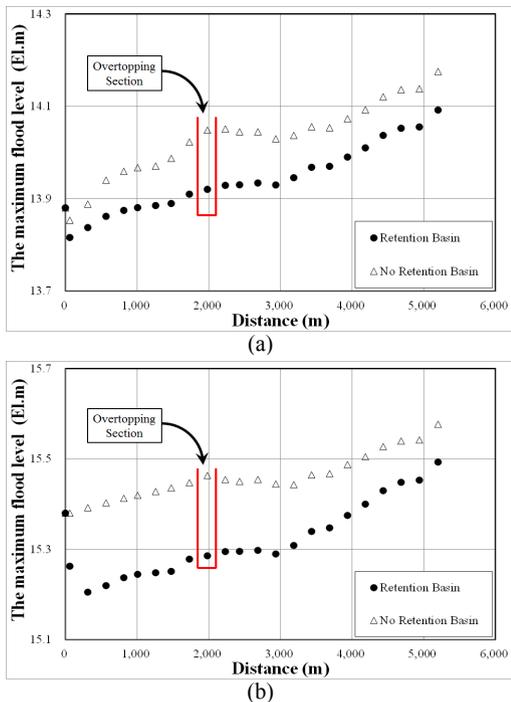
[Fig. 9] Gage points for CCHE2D



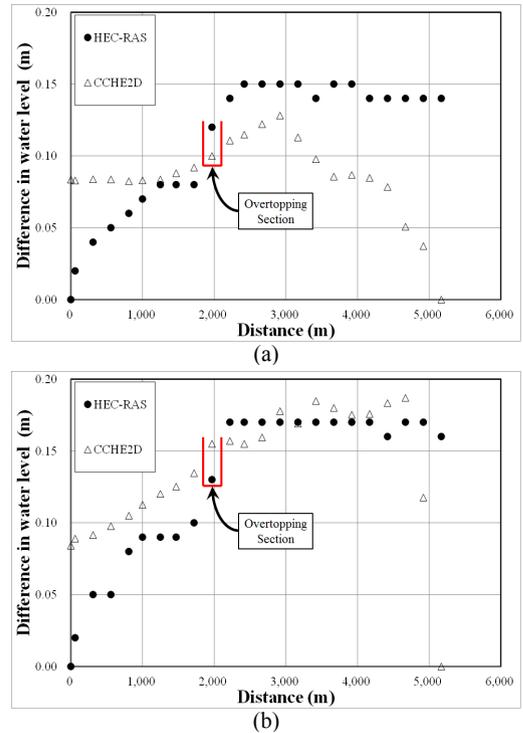
[Fig. 10] Comparisons of the maximum flood level results  
 (a) HEC-RAS 200 year  
 (b) HEC-RAS 500 year

CCHE2D 모형을 이용한 2차원 수치모의의 결과는 Fig. 11과 같다. 1차원 수치모의 결과와 마찬가지로 강변

저류지로 인하여 침투홍수위 저감효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 상류 구간에서 홍수위 저감효과가 두드러지게 나타난 1차원 모의의 결과와는 다르게 2차원 수치모의에서는 그림과 같이 월류제 구간 및 하류 구간에서 침투홍수위의 차이가 크게 나타났다. Fig. 11(a)에서는 No. 124 지점에서 가장 큰 0.13 m의 저감효과가 발생하였으며, Fig. 11(b)에서는 최대 침투홍수위의 차이가 No. 120+250 지점에서 0.15 m로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 2차원 모형에서 월류제 구간을 지나 하류로 갈수록 침투홍수위의 차이가 커지는 것은 Fig. 2와 같이 하도의 만곡부로 인하여 상류의 흐름이 이 구간에서 지체되기 시작하여 수위가 점차 상승하기 때문인 것으로 보이며, 반면에 만곡부를 통과한 하도 흐름은 점차 빨라지며 동시에 월류제로 인해 수위가 낮아져 홍수위 저감효과가 증가하는 것으로 생각된다. 1차원 모형은 만곡부의 물리적 특성이 반영되지 않아 월류제 상류에서 수위 저감 효과가 크게 나타난 것으로 생각된다. 이와 같이 2차원 모형은 지형의 물리적 특성을 반영하여 실제 발생할 수 있는 흐름과 유사한 결과를 이끌어낼 수 있을 것으로 판단된다.



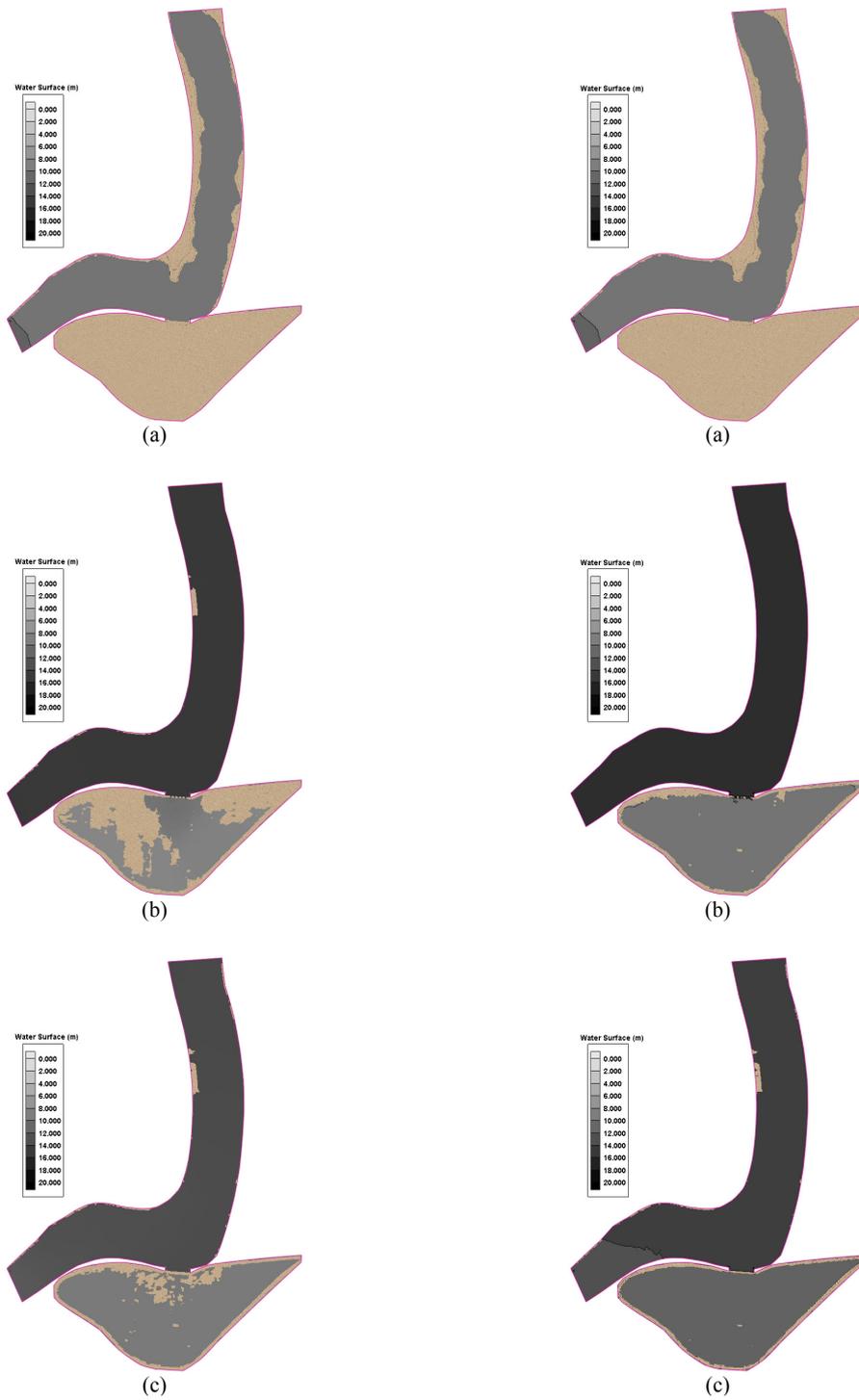
[Fig. 11] Comparisons of the maximum flood level results  
(a) CCHE2D 200 year (b) CCHE2D 500 year



[Fig. 12] Comparisons of numerical results  
(a) 200 year (b) 500 year

Fig. 12는 HEC-RAS 모형과 CCHE2D 모형의 수치모의를 통해 강변저류지의 유무에 따른 침투홍수위 차이를 나타내고 있다. HEC-RAS 모의 결과에서 침투홍수위 차이는 200년 빈도의 수문조건일 때, 전체 하도 구간에서 평균 0.11 m의 홍수위가 저감되었으며, 상류구간인 No.125 ~ 128 구간에서 0.15 m로 최대 침투홍수위 차이가 모의되었다. 500년 빈도의 수문조건에서는 평균 0.13 m의 침투홍수위 차이가 전 하도에 걸쳐 발생하였으며, 최대 침투홍수위 차이는 No.124+250 ~ 130 구간에서 0.17 m로 모의되었다. CCHE2D 모형에서는 전 하도 구간에서 각 수문조건별로 각각 0.09 m, 0.14 m의 평균 침투홍수위 저감이 발생하였으며, 최대 침투홍수위 차이는 200년 빈도의 수문조건 일 때, No.124 지점에서 0.13 m, 500년 빈도의 수문조건에서는 No.120+250 지점에서 최대 침투홍수위 차이가 0.19 m로 모의되었다.

Fig. 13 ~ 14는 CCHE2D 모형의 수치모의의 결과이며 침투홍수위 도달 시점 및 도달 전·후 시점에서 하도와 저류지내의 거동을 나타내고 있다. 월류가 발생하기 전 시점에서는 Fig. 13(a) 및 Fig. 14(a)와 같이 200년 빈도



[Fig. 13] Flood level distribution(200 year)  
 (a) at 50 % flood during water level rise  
 (b) at maximum flood  
 (c) at 50 % flood during water level down

[Fig. 14] Flood level distribution(500 year)  
 (a) at 50 % flood during water level rise  
 (b) at maximum flood  
 (c) at 50 % flood during water level down

와 500년 빈도의 수문조건에서 거의 유사한 흐름 특성을 나타내고 있으며, Fig. 13(b)와 Fig. 14(b)의 침투홍수위에 도달한 시점에서는 월류제에서 월류가 발생하여 강변저류지로 흐름이 유입되는 상황을 볼 수 있다. 침투홍수량의 차이로 인하여 동일한 시점에서 강변저류지 내부의 저류량 차이가 발생하였다. 수문곡선의 하강부에서는 강변저류지로 유입되는 유량이 점차 감소하면서 Fig. 13(c), Fig. 14(c)와 같이 침투홍수량의 50 %에 도달한 시점에서는 더 이상 월류제를 통과하는 흐름이 발생하지 않는다.

강변저류지로 유입된 유량은 하도 내의 수위가 하강할 때까지 저류되었다가 배수문이 위치한 지점의 하도에서 수위가 배수문의 바닥표고인 El. 5.40 m가 되는 시점에서 배수문을 개방하여 방류하게 된다.

모형 적용 결과로 판단할 때 나주 강변저류지의 가장 큰 지형적 특성은 대상 구간의 영산강 하도 만곡부 부분에 월류제를 위치 시켜 홍수 시 월류제의 월류 특성 및 효율을 향상시키는 것이다. 따라서 강변저류지의 홍수 저감 능력을 검토하는 경우 이러한 지형적 특성을 정확히 반영하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 적용성을 실제 홍수 사상과 비교할 때 현재의 연구 결과로 판단해 보면, 만곡부의 영향을 반영할 수 있는 2차원 수치모의를 나주 강변저류지의 치수 능력을 검토하는 것이 1차원 수치모의 보다는 더 적합한 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 검토하기 위하여 1차원 모형인 HEC-RAS와 FLDWAV 및 2차원 모형인 CCHE2D를 이용하였다.

FLDWAV 모형은 모형에서 제안하는 횡월류위의 유량계수 범위에서는 저류지가 없는 조건에서 모의된 홍수위에 비하여 오히려 수위가 높게 모의되었으며, 일부 조건에서는 수위의 변동 또한 매우 크게 나타났다. 이와 같이 나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 검토하기에는 FLDWAV 모형은 유량계수에 너무 민감한 것으로 판단되어 적절치 않은 것으로 보인다.

1차원 모형인 HEC-RAS의 모의 결과에서는 각 빈도별 수문조건에서 월류제의 상류 구간인 No. 125 ~ 128 구간과 No. 124+250 ~ 130 구간에서 침투홍수위의 차이가 각각 0.15 m와 0.17 m로 가장 크게 나타났으며, 하류로 갈수록 홍수위의 차이가 감소하였다. 2차원 모형인

CCHE2D 모의 결과는 200년 빈도의 수문조건에서 월류제가 포함된 No. 124 지점, 500년 빈도의 수문조건에서 하도의 하류인 No. 120+250 지점이 침투홍수위의 차이가 각각 0.13 m와 0.19 m로 최대로 나타났다.

1차원 수치모의와 2차원 수치모의 모두 홍수위 저감 효과에 대해서는 0.13 ~ 0.19 m로 큰 차이 없이 나타났는데, 실제 나주 강변저류지의 홍수위 저감 능력이 수치모의 결과로 대변된다고 할 수는 없지만, 본 연구에서 수행한 결과 홍수위 저감 효과가 나주 강변저류지의 규모를 고려할 때 기대 효과 보다 부족할 것으로 예상된다.

나주 강변저류지의 월류고는 계획빈도 홍수위와 동일한 수준으로 설정되어 있지만, 월류가 발생할 정도의 홍수 사상에 대해서는 홍수 지속기간이 일정이상 길어질 경우 침투에 도달하기 전에 저류지 홍수 방어 용량의 대부분이 소진되어 실제 침투 시점에는 저류 용량이 부족하여 홍수 조절능력이 저하된 결과로 판단된다. 이에 따라 향후 강변저류지 설계 시에는 침투 발생 이전에 저류지 홍수 방어 능력을 일정 이상 유지할 수 있는 설계 기법이 필요할 것으로 생각된다.

상류 구간에서 홍수위의 차이가 크게 나타난 1차원 모형의 결과와는 다르게 하류 구간에서 홍수위 저감효과가 크게 나타난 것은 월류제가 위치한 만곡부 영향에 의한 흐름 지체 효과가 반영된 결과로 판단된다.

이와 같이 2차원 모형은 지형의 특성이 모의 결과에 반영되기 때문에 실제 발생할 수 있는 흐름 특성을 검토하기에 1차원 모형에 비하여 유리할 것으로 생각되나, 향후 나주 강변저류지의 홍수위 저감효과를 분석하기 위해서는 실제 월류가 발생한 홍수사상에 대하여 적용성 검토가 이루어져야 할 필요가 있다. 더불어 본 연구에서 사용된 지형자료를 개선하고 다양한 모형을 적용한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## References

- [1] 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>
- [2] 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.
- [3] Hall, M.J., Hockin, D.L. and Ellis, J.B., *Design of Flood Storage Reservoirs*, CIRIA, London, 1993.
- [4] 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))
- [5] Burgin, J.F. and Holley, E.R., *Side-Diversion Analysis System*, CRWR Online Report 02-3, Houston, TX, USA, 2002.
- [6] 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.
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] Osoriot, 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)
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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>
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Cho, G.J., Rhee, D.S. and Kim, H.J., "Numerical Model Application for Analysis of Flood Level Mitigation due to Retention-Basin", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 495-505, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.1.495>
- [21] USACE-HEC, *Hydrologic Modeling HEC-RAS User's Manual*, 2006.
- [22] 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.
- [23] Hager, W.H., "Die Hydraulik von Verteilkanälen", *Mitteilungen 55-56, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH Zurich, Zürich, Switzerland, 1982.
- [24] 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/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1997\)123:7\(639\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:7(639))

123:7(639)

- [25] Fread, D.L. and Lewis, J.M., *NWS FLDWAV Model*, NWS Report, Hydrologic Research Laboratory, NWS Office of Hydrology, NWA, Silver Spring, MD, 1998.
- [26] 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.
- [27] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Schematic Plan for Yeongsan-River*, 2009.
- [28] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Enforcement Plan for Yeongsan-River*, 2010.
- [29] Yeongsan River Flood Control Office, [www.yeongsanriver.go.kr](http://www.yeongsanriver.go.kr), Oct, 2013.
- [30] 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 : 한국건설기술연구원 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 : 한국건설기술연구원 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 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>  
하천시설물, 홍수위험저감