

CCHE2D를 이용한 수리구조물에 의한 흐름 및 하상변동 연구 -창녕함안보를 중심으로-

Analysis of Flow and Bed Change on Hydraulic Structure using CCHE2D : Focusing on Changnyong-Haman

안 정 민* / 류 시 완**

Ahn, Jung Min / Lyu, Siwan

Abstract

Channel-bed of erosion and sedimentation, where eroded bed and bank materials re-deposit through the action of flow, is a natural phenomenon in alluvial systems. Analysis using a numerical model is important to understand the sediment transport mechanism associated with erosion and sedimentation near weirs and other hydraulic structures within riverine systems. The local riverbed change near a hydraulic structure (Changnyong-Haman multi-function weir in Nakdong river) has been analyzed in order to examine the effect of hydraulic structure on local bed change. A 2D numerical model (CCHE-2D) has been implemented to simulate the sedimentation and erosion over a reach (10 km) including the weir. For the calibration and verification of the model, the rainfall data from a real event (Typhoon 'Maemi' in 2003) has been used for flow and stage simulation. And the simulated results show a good agreement with the observed data for whole domain. From the result, it was found that the installation and operation of weir can aggravate the local bed change caused from the flow field change and resulting redistribution of sediment.

Keywords : CCHE2D, local bed change, hydraulic structure, flow field

요 지

충적하천에서 발생하는 하천의 침식과 퇴적은 흐름을 통해 발생하는 자연적인 현상이다. 침식 및 퇴적과 관련된 수치모형을 이용한 분석은 하천에 존재하는 보와 같은 수리구조물들의 유사이송을 연구하는데 중요한 요소이다. 본 연구에서는 다기능보들의 효과적인 운영을 위하여 낙동강수계에 위치해 있는 창녕함안보를 대상으로 하상변동을 예측하였다. 2차원 모형은 CCHE2D를 이용하여 유사이송이 지배적으로 발생하는 다기능보 상·하류 구간 12km를 대상으로 침식과 퇴적에 대한 모의를 수행하였다. 2003년 태풍 “매미”사상을 대상으로 모형을 검·보정 하였으며, 모의결과와 관측값의 비교를 통하여 전체 모의구간에서 신뢰성 있는 결과가 도출되었다. 함안창녕보가 건설된 이후 태풍사상에 의한 하상변동은 상당히 증가하는 것으로 나타났고 하상변동은 유사의 재분배를 야기하였다. 보와 같은 수리구조물들은 하도내 흐름과 유속을 변화시키기 때문에 세굴과 퇴적 문제를 심화시켰다.

핵심용어 : CCHE2D, 국부하상변동, 수리구조물, 흐름장

* 창원대학교 토목공학과 박사과정 (e-mail: ahnjm80@gmail.com)

Ph.D. Student, Dept. of Civil Engrg., Changwon National Univ., Gyeongnam 641-773, Korea

** 교신저자, 창원대학교 토목공학과 부교수 (e-mail: siwan@changwon.ac.kr)

Corresponding Author, Associate Professor, Dept. of Civil Engrg., Changwon National Univ., Gyeongnam 641-773, Korea

1. 서론

최근 우리나라는 4대강살리기사업을 통해 하도 준설을 실시하고 다기능보를 건설하였다. 준설에 따른 급격한 환경변화는 지속적인 하상변화를 발생시킬 것이고, 지류 합류부에서의 토사유입에 의해 침식과 퇴적이 지속적으로 발생하여 하도폐색 현상이 발생할 가능성이 있다. 유사는 수생 생태계와 수질에 영향을 미치고 다기능보 저수구간 내에 퇴적되어 다기능보의 수자원 활용가능량을 줄임으로써 홍수위 상승과 같은 문제의 원인이 될 수 있으므로 퇴사 저감 및 제거와 효율적인 다기능보 운영을 위해서는 유사 이송 및 하상변동 양상 등을 정량적으로 분석해야 한다. 특히, 홍수시에 다기능보의 가동보 개방에 따른 수문 주변에서의 과도한 사류 발생으로 수문 상·하류부에 발생할 수 있는 세굴과 가동보가 설치되어 있지 않는 고정보 구간에서의 퇴적에 대한 실효성 있는 수치해석이 필요하다. 자연상태의 이동상 하도에서 수리구조물 주변의 흐름은 수리구조물의 형태와 같은 기하학적 복잡성에 의해 다르게 나타난다. 4대강살리기사업으로 건설된 16개 다기능보의 구조물 형태는 다양하며, 같은 유량이 흐르더라도 구조물 형태에 따라 유속 및 수위 분포가 상이하게 나타날 것이다. 이러한 이유로 Ahn et al. (2013)은 기존의 측선 단위 하천 분석뿐만 아니라 공간적 정보 제공을 위해 수치모형의 연계를 통한 공간적 하천관리가 가능한 시스템을 개발한 바 있다. 부유사와 소류사 이류-확산에 대한 수치모의 연구는 1차원 모형에서부터 3차원 모형에 이르기까지 많은 연구자들에 의해 진행되어 왔다. 특히, CCHE2D 모형은 국내외 많은 연구자들에 의해 적용성 평가 연구가 진행되어 왔다. Huang et al. (2006)은 3차원 유사이송 계산 알고리즘을 이용하여 광범위하게 활용되고 있는 수심적분 2차원 수치모형인 CCHE2D 모형에 적용하여 유사이송 분석능력을 향상시켰고, Formann et al. (2007)은 Alpine 자갈하천을 대상으로 하도복원에 따른 변화를 평가하기 위해 1차원, 2차원 그리고 3차원 수치모형을 이용하여 분석하는 기법을 제안하였다. 2차원 수치모형으로 CCHE2D 모형을 채택하여 유속, 유량, 수위, 전단 응력에 대한 분석을 수행하였다. Nassar (2011)는 Nile 강을 대상으로 CCHE2D 모형을 이용하여 하도흐름 해석을 위한 다중 매개변수 민감도 분석 기법을 제안한 바 있다. 우리나라에서는 Ji et al. (2010)이 CCHE2D 모형을 이용하여 낙동강 하구둑 상류 접근수로에서 하상변동 예측을 위한 유사량 산정공식 선정 연구를 진행하여 Ackers and White (1973) 공식이 실제하천 사상을 잘 반영한다는 연

구결과를 발표하였고, Lee et al. (2011)은 Rosgen의 하천 분류체계를 적용하여 하천의 유형을 분류하고 CCHE2D 모형을 적용함으로써 자연형 하천유역에 대한 침식 및 퇴적 등 물리적 영향을 평가한 바 있다.

국도해양부에서는 4대강살리기 사업 이후 하천, 시설물, 환경 등의 변화, 추이를 지속적으로 모니터링하여 효율적인 유지관리와 보존 대책 수립에 활용하기 위해 4대강모니터링관련 사업을 계획하고 있으며, 또한 첨단기술 기반 하천 운영 및 관리 선진화 연구단에서는 하천관리기술 검증을 위한 통합테스트베드 운영관리 연구를 진행할 예정이다. 이러한 현장 관측자료를 바탕으로 유사 이송과 하상변동을 분석하는 방법은 실제현상을 직접 분석할 수 있지만, 모니터링 추진에 대한 정확한 이론 및 자료 없이 수행하게 되면 해석 및 결론의 도출시 많은 시행착오를 일으킬 수 있기 때문에 사전에 수치모형을 이용한 유사 이송과 하상변동을 분석하여 시간적·공간적으로 민감한 부분에 대한 사전 검토가 필요하다. 또한, Ahn et al. (2013)이 제안한 흐름 연계 기법으로 확보된 공간단위 흐름해석 뿐만 아니라 추가적으로 하상변동 및 유사거동을 해석할 수 있는 유사모형을 추가한다면 수리구조물 주변에 발생 가능한 재난에 대해 선제적인 대응이 가능할 것이다. 따라서 Ahn and Lyu (2012)이 개발한 시스템을 개선하고 기존에 구축·운영 중인 COSFIM, FLDWAV와 CCHE2D 모형의 연계를 통해 모형들을 통합·시스템화하여 하천내 주요 관심구간을 중심으로 다차원 수리분석 및 하상변동·유사거동 분석을 수행하고, 하천의 공간적 지형특성 변화를 평가하였다.

2. 연구내용

2.1 대상지역

연구대상 구간은 경상남도 창원시, 창녕군, 함안군 일원의 낙동강수계 하류에 위치하고 있는 창녕함안보 상·하류 12km 구간이며 상류에는 진동수위관측소가 위치해 있다(Fig. 1). 창녕함안보는 진동수위관측소로부터 하류로 8km 거리에 위치하고 있고 낙동강수계에서 유량-유사량 관계곡선식을 확보할 수 있는 지점은 월포, 왜관, 진동수위관측소 지점이다. 남강하천정비기본계획(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009c)에서는 진동 지점의 유량-유사량 곡선식을 신뢰성이 높은 것으로 평가하였다. 따라서 창녕함안보 구간을 선정하였다. 창녕함안보는 일부 구간은 고정보, 나머지 구간은 가동보로 하는 복합형식의 보로서, 수위를 높여 수심을 유지하거나 유량을 조절하여 유수의 정상적인 기능을 유지하기

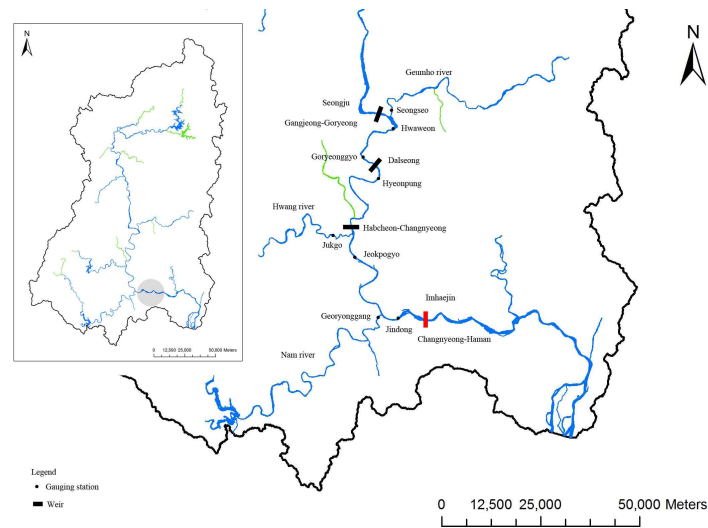


Fig. 1. Index Map of Study Area

위해 하천을 횡단하여 설치된 시설이다. Briaud et al. (1999)은 미국에서 발생하는 대부분의 교각 파괴는 60%의 범위에서 세굴이 원인이라고 진단하였고 Khosronejad et al. (2012)은 구조물 주변에 발생하는 소용돌이에 의한 국부세굴은 교각 파괴의 주 원인중의 하나라고 판단하여 교각 형태에 따른 국부 세굴에 대한 연구를 진행한 바 있다. 창녕함안보는 공도교, 가동보와 고정보, 보 물받이 및 상·하류 바닥보호공으로 구성되어 있으며, 상류 관리수위는 EL. 5.0m이고 하류 관리수위는 EL. 0.76m이다. 고정보의 높이는 10.7m, 연장은 405.3m, 가동보는 총길이 144m, 수문은 폭 40m×3, 수문 형식은 라이징섹터게이트이다. 가동보의 위치는 상·하류 유심부를 연결하여 자연하도 특성을 유지시킴으로써 기존 유심부의 변동을 최소화하고, 보 직상류부의 퇴사방지 및 배사효과를 고려하여 다기능보의 중앙에 배치되어 있다. 가동보의 규모는 기본계획시 적용한 경간장이 Korea Water Resources Association (2005)의 기준에 미달되어 통수능력 저하의 우려가 있으므로 계획홍수량 16,600 m³/sec 유입시 계획홍수위를 초과하지 않고 배수영향을 최소화할 수 있도록 충분한 통수단면을 확보하도록 계획되었다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010). 다기능보가 설치되어 있는 하천정비기본계획(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009a)상의 단면번호는 창녕함안보No.174+445이다.

2.2 단면자료 구축 및 경계조건

다차원 수치모의를 통해 Ahn and Park (2012)은 하천 종방향 측량자료의 해상도는 최소 40m 간격이 되어야 한다고 기술하였으며, Ahn et al. (2012)은 하천 횡방향 격자

해상도 산정 기법을 제시한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 CCHE2D(Jia and Wang, 2001) 모형을 이용하여 하천 종방향으로 20m 간격의 지형자료로 3차원 지형을 구축하고 모형 구축을 위한 격자해상도는 횡방향 30개를 채택하였다. 종방향 20m간격의 지형자료는 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009b)에서 수립한 낙동강 23공구 창녕함안보 실시설계보고서에 제시되어 있는 하천 수심측량자료를 활용하였다. Ahn et al. (2011)은 4대강 살리기 사업으로 건설된 16개 다기능보 구간에 대해 다차원 수리분석 시스템을 구축하였으며 구축된 시스템을 이용하여 2003년 태풍 “매미” 사상에 대해 수리분석을 수행한 바 있다(Ahn et al., 2012). 또한, Hur and Park (2009)은 낙동강을 대상으로 “매미”와 “에위니아” 사상에 대해 EFDC 모형을 이용하여 수리검토를 수행하였고, 태풍 “매미”는 “2003년 9월 12일 한반도에 상륙하여 빠른 속도로 한반도를 가로질러 상륙 6시간 만에 해상으로 빠져나감에 따라 태풍의 영향을 받는 시간이 짧아 총 강수량이 많지 않았지만, 비교적 짧은 시간에 강한 집중호우가 발생하였다.”라고 평가하였다. 따라서 매미 사상을 채택하였다. 본 연구에서는 EFDC 모형을 CCHE2D 모형 양식으로 변환하는 모듈을 개발하여 Ahn and Lyu (2012)에 의해 개발된 시스템에 추가하였으며, 창녕함안보를 대상으로 구축된 EFDC 모형을 CCHE2D 모형으로 변환하였다. 모듈을 활용하여 EFDC 모형을 CCHE2D 모형으로 변환할 경우 기 구축된 시스템을 활용·연계하여 공간단위 수리특성분석을 수행할 수 있도록 하였다. 다기능보의 구축현황은 Fig. 2와 같으며 격자는 종방향 360개, 횡방향 30개로 구축하였다. Ahn et al. (2013)이 제안한 연계기법을 이용하여 COSFIM,

FLDWAV, EFDC 그리고 CCHE2D 모형을 연계하였다. COSFIM 모형은 FLDWAV 모형의 상·하류 유량 및 수위 경계조건을 산정하고 관측 자료가 없는 대상구간 내 지류 유입량을 예측한다. FLDWAV는 COSFIM에서 입력된 자료를 바탕으로 낙동강 본류의 1차원 하도추적을 수행하고 EFDC 및 CCHE2D 모형의 상·하류 경계조건을 산정한다(Fig. 3(a)). COSFIM 모형은 강우를 입력받아 유출량을 산정하는 수문학적 모형이기 때문에 강우량 예측을 통한 유출량 산정이 가능하고 COSFIM, FLDWAV, EFDC 그리고 CCHE2D 모형 연계를 통해 하도내 수리특성예측이 가능하게 된다. 일반적으로 모형의 매개변수 보정은 필수적이며, 보정된 결과의 신뢰성이 높아야 결과의 신뢰성도 높다. 관측수위 데이터를 이용하여 모형을 보정하는 것이 올바르나, Korea Water Resources Corporation (2008)에서는 COSFIM과 FLDWAV 모형의 매개변수를

보정하였다. Ahn et al. (2013)은 EFDC 모형에 COSFIM과 FLDWAV 모의 결과를 경계자료로 적용할 경우, EFDC 모형의 재현성은 COSFIM과 FLDWAV의 재현성에 비례한다고 한 바 있다. 따라서 매개변수가 보정된 COSFIM과 FLDWAV의 모의 결과를 CCHE2D 모형에 적용하여 매개변수를 보정하더라도 문제점이 없을 것으로 판단된다.

하천의 유사조사는 하상변동예측, 저수지 퇴사량 추정, 유사유출량 추정, 기타 하도 계획과 설계를 위해 필요하며 주요 하천지점에서 유량 조사와 같이 주기적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서 구축한 모형의 상류 유입지점의 유사량 입력은 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2004)에서 수행한 낙동강 유역조사 보고서에서 제시되어 있는 Eq. (1)과 같은 진동수위관측소 지점의 유량-유사량 곡선식을 적용하였으며, 소류사의 경우, 부유사의 20%를 적용하였다(Fig. 3(b)).

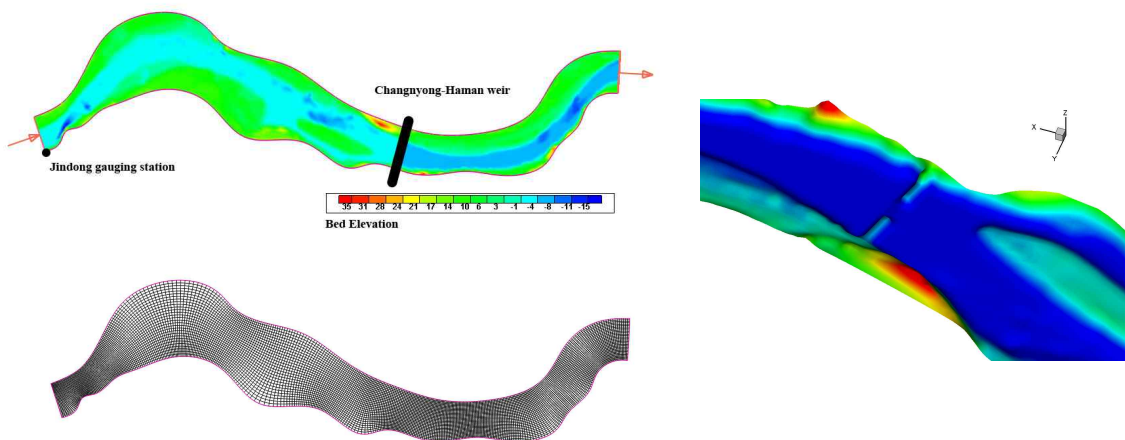


Fig. 2. Terrain of Study Area

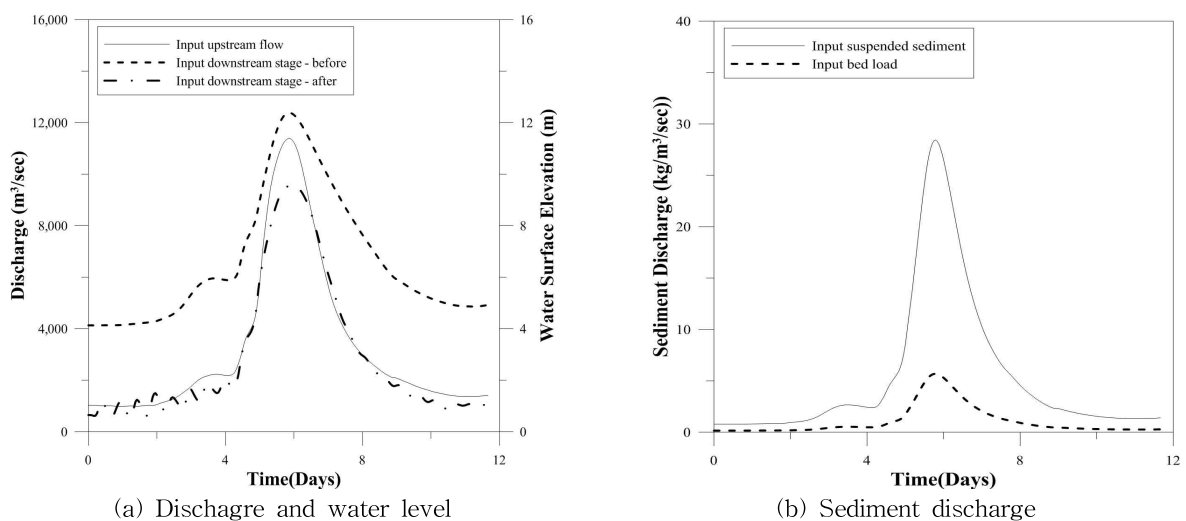


Fig. 3. Boundary Condition

Froehlich (2003)은 측정기술과 채취절차의 상당한 범위 때문에 소류사 채취를 정량화하여 개인적으로 비교하는 것은 어렵고 특히, 홍수기 동안 직접적으로 소류사를 채취하는 것은 현실적으로 문제점을 가지고 있다고 언급한 바 있다. Yang (2003)은 일반적으로 하천에서 소류사 이송량은 부유사 이송량의 약 5~25% 정도라고 하였으며, 나라마다 하천마다 부유사 이송량과 소류사 이송량의 비율은 다르다. Korea Water Resources Corporation (2010)에서 수행한 하천변동조사 수치모형 입력자료 분석결과 보고서에서는 함안창녕보가 위치해 있는 No. 174단면에서의 입도시험을 수행하였고, D_{50} 의 경우 0.33mm로 제시되어 있기 때문에 CCHE2D모형의 중앙입경으로 적용하였다. 하상층의 개수는 3개로 구분하였고 흙의 공극률은 0.4, 준부정류 흐름 해석을 수행하였다. Ji et al. (2010)은 평수 및 홍수 조건이 모두 포함되어 있는 실제 수문사상에서는 홍수시에 부유사 이송형태를, 평수시에는 소류사 이송형태를 적용할 것이 바람직하다고 하였지만, 본 연구에서는 태풍 “매미” 발생 전부터 발생 후까지 포함하는 기간을 대상으로 하상변동을 모의하고자 하였기 때문에 부유사와 소류사가 모두 이송되는 모형을 활용하였다.

$$Q_s = 0.0057 Q^{2.3534} \quad (1)$$

여기서, Q_s : 일유사량(tons/day), Q : 유량(m^3/sec)이다.

3. 수리특성 분석 및 고찰

3.1 최적 매개변수 산정 및 검증

흐름에 대한 하도의 저항정도를 표시하는 조도계수는 하천의 유량 및 수위를 결정짓는 가장 중요한 수치중의 하나이며 조도계수의 값에 의해 수위의 상승 및 하강이 결정된다. 조도계수는 수치모의 결과에 민감하게 반응하기 때문에 하천의 설계홍수위 결정에 따른 제방 설계시 수위의 과대 또는 과소산정으로 설계비용 및 제방의 안전에 영향을 미칠 수 있다. 조도계수는 하상도의 입경이 고려된 물리적 특성을 반영한 값으로 D_{50} 을 통해 개략적으로 산정할 수 있다. 하지만, CCHE2D 모형의 조도계수 값은 사행에 의한 저항을 식에 포함하고 있지는 않지만 하상재질, 식생, 격자해상도 등에 영향을 받는 복합조도계수이다. 따라서 시행착오법으로 모형 보정을 수행하고 조도계수 값을 결정하

였다. 본 연구에서는 조도계수 민감도 분석을 수행하기 위해 2003년 9월 8일부터 2003년 9월 19일까지 태풍 “매미”사상을 대상으로 조도계수를 0.01에서 0.035까지 0.05씩 증가시켜 FLDWAV 모의 결과와 CCHE2D 모의 결과를 비교하였다. Time step는 10초, 난류해석 모형은 Smagorinsky (1963) 방법, 벽거칠기는 0.002, Wet/Dry 조건은 0.12/0.1 m, von Karman 상수는 0.41, 동점성계수는 $1.0 \times 10^6 m^2/sec$, 무차원 Momentum Diffusion은 0.01을 적용하였다. Eq. (2)를 이용하여 분석한 결과, 평균제곱근오차(Root mean square error, RMSE)가 가장 작게 발생하는 조도계수 0.030을 채택하였다(Table 1). Fig. 4(a)는 Ahn et al. (2012)에 의해 구축된 시스템을 바탕으로 FLDWAV, EFDC 그리고 CCHE2D 모형으로 계산된 수위 결과이며 사업 전 단면에서의 FLDWAV와 CCHE2D 모형의 수위 계산결과의 오차가 0.355m로 나타났기 때문에 본 연구에서 구축한 CCHE2D 모형은 FLDWAV 모형의 경계조건을 잘 반영하고 있다고 판단할 수 있다. Fig. 4(b)는 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009b)에서 수립한 낙동강 23공구 창녕합안보 실시설계보고서의 계획단면을 이용하여 구축된 EFDC 모형과 CCHE2D 모형을 구동하여 수위 결과 값을 비교한 것이다.

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

여기서, O_i 는 관측수위, X_i 는 계산수위, N 은 데이터 개수, O_M 는 관측평균값이다.

3.2 유사이송 및 하상거동 특성

하천환경 변화에 따른 유사이송 및 하상거동 특성을 분석하기 위해 모의 조건은 4대강살리기 사업 전(Case 1)과 후(Case 2)의 지형조건을 이용하여 모형을 구축하였으며, 사업 후의 가동보 수문은 모두 개방되어 있는 것으로 하였다. 유사량공식은 Ji et al. (2010)이 낙동강을 대상으로 적절하다고 평가한 Ackers and White (1973)공식을 채택하였다. 태풍 “매미” 강우사상을 바탕으로 COSFIM에서 계산된 유출량이 FLDWAV 모형에 연계되어 1차원 하도 추적을 수행하였고 CCHE2D 모형의 경계조건으로 활용되었다. 연계기법 및 연계시스템 모식도에 대한 자세한 내용은 Ahn et al. (2013), Ahn and Lyu (2012)이 제안한

Table 1. Boundary Condition

| Manning n | 0.01 | 0.015 | 0.02 | 0.025 | 0.03 | 0.035 |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RMSE | 0.66 | 0.623 | 0.551 | 0.452 | 0.355 | 0.407 |

것으로 대체한다. Figs. 5 and 6은 Case 별로 하상변동량을 분석한 결과를 도시한 것이다. 양(+)의 값은 퇴적을 나타내고 음(-)의 값은 침식을 나타낸다. Fig. 5에 도시된 바와 같이 준설과 다기능보가 설치되어 있지 않았을 경우 하상변동량은 0.1 m 내외로 발생하는 것으로 나타났다.

반면, Fig. 6에 도시된 바와 같이 준설과 다기능보가 설치된 경우 가동보가 위치해 있는 보 직상·하류에서는 세굴현상이 나타났으며, 고정보가 위치해 있는 보 상·하류의 좌·우안은 퇴적이 발생하였다. 특히, 좌안의 경우 퇴적되는 경향이 두드러지게 나타났다. Case 1에서 검토된 0.1 m 내외의 하상변동 결과는 준설 전 안정된 하상단면을 기준으로 검토한 것이며 작년에 큰 홍수가 발생하지 않았음에도 불구하고 수 m 이상의 침식과 퇴적이 발생한 것은 하도내 준설 및 수리구조물 준치(Case 2)에 따른 하상 교란의 영향이 크다고 판단된다. Ministry of Land,

Transport and Maritime Affairs (2010)에서 수립한 수리 모형실험보고서에서는 보 구조물 주변 퇴적토사의 하류 하천 배사능력을 검토한 바 있다(Fig. 7). 수리실험 조건은 가동보를 완전개방하고, 실험유량은 평수량인 162 m³/sec, 하류기점수위는 관리수위인 EL. 0.76 m, 사용된 토사는 JIS의 최소입경인 8호규사를 모형실험사로 선정하였다. 퇴적토사의 방류실험 결과, 실험 개시 직후부터 게이트전방의 퇴적토사가 방류되어져 시험개시 5분후에는 방류되는 양이 현저히 저하되었으며, 게이트 직상류부의 퇴적토사는 대부분 방류되었다고 기술되어 있다. 보고서에서 제시되어 있는 실험결과와 본 연구에서 진행한 수치모의 결과와 유사한 형태의 세굴 및 퇴적 거동양상을 확인할 수 있었으며, 수리실험에서 다기능보 하류부에 대한 실험을 수행하지 않았기 때문에 보 하류 부분에 대한 모의 결과는 비교할 수 없었지만 본 연구에서는 하류 좌·

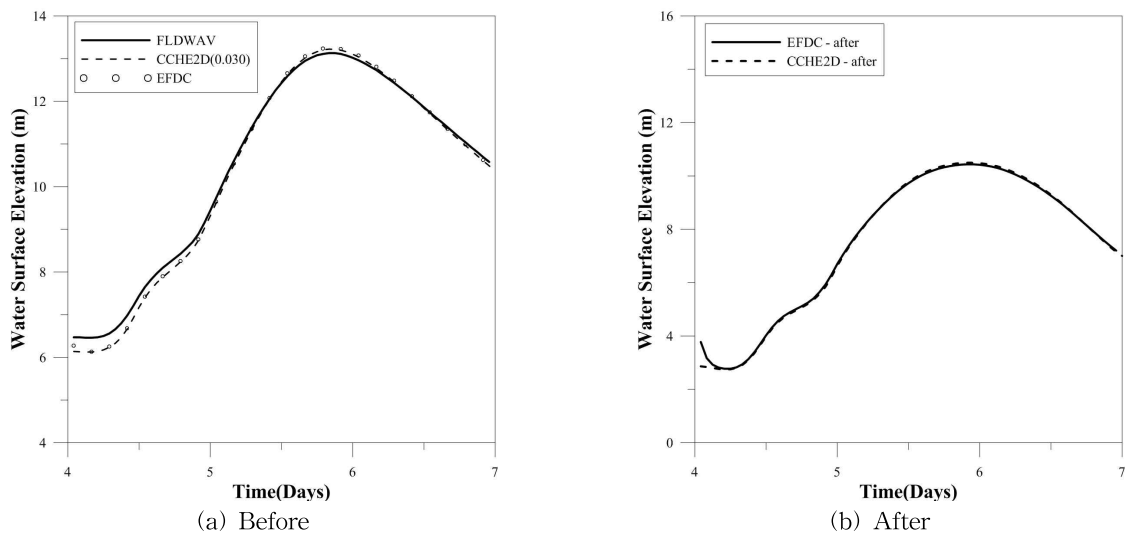


Fig. 4. Result of Parameter Calibration

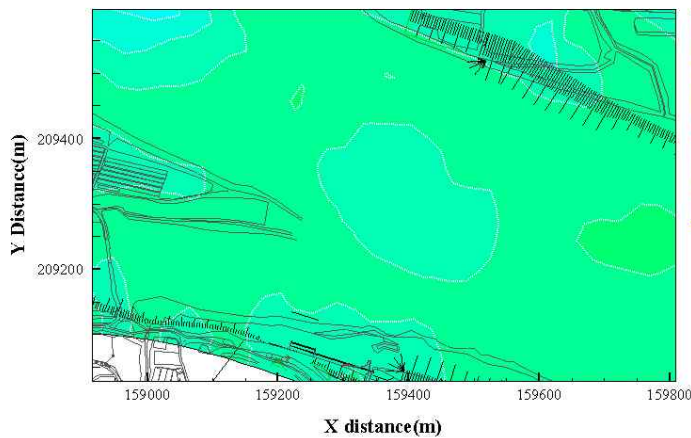


Fig. 5. Result of Bed Change on Multi-function Weir for Case 1

우안에서 퇴적이 두드러지게 나타나는 것으로 검토되었다. Fig. 8은 Fig. 9와 같이 단면 발체를 수행한 지점을 그림으로 도시한 것이다. Fig. 9와 같이 보 직상·하류의 하천 단면변화를 보면, case 1의 경우 하천변화가 크게 발생하지 않는 것을 알 수 있으나, case 2의 경우 가동보가 구

조물 중앙에 위치해 있는 다기능보 형태에 따라 하천 중앙에서 세굴이 발생하며 좌·우안에서 퇴적이 발생하였다. Fig. 10은 case 2에 대해 시간적인 하천의 유속 변화 및 하상변동량을 분석하기 위해 6개 모니터링 지점에 대해 도시한 것이다. Figs. 11(a)~11(c)와 같이 보직상류의 경

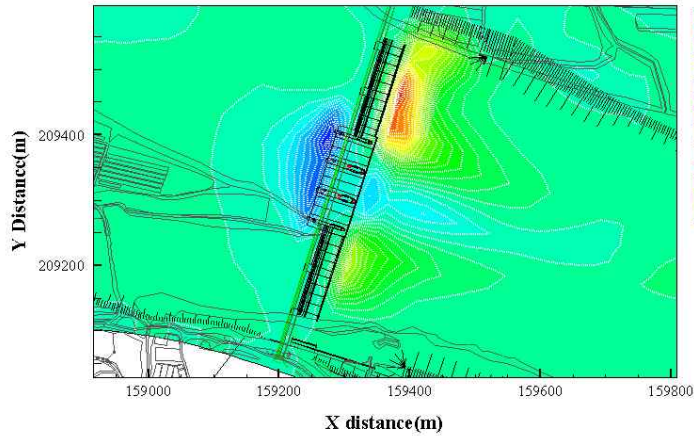


Fig. 6. Result of Bed Change on Multi-function Weir for Case 2

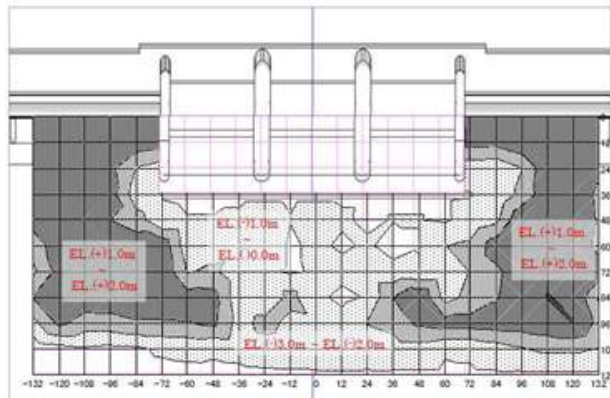


Fig. 7. Experimental Result of Bed Change on Multi-function Weir (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)

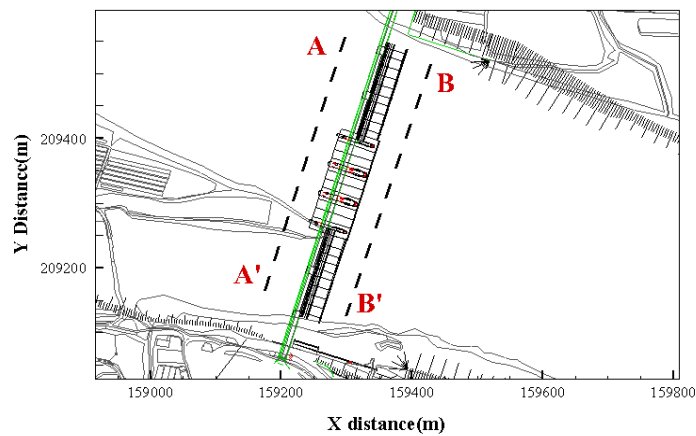


Fig. 8. Cross-sectional Excerpt Line

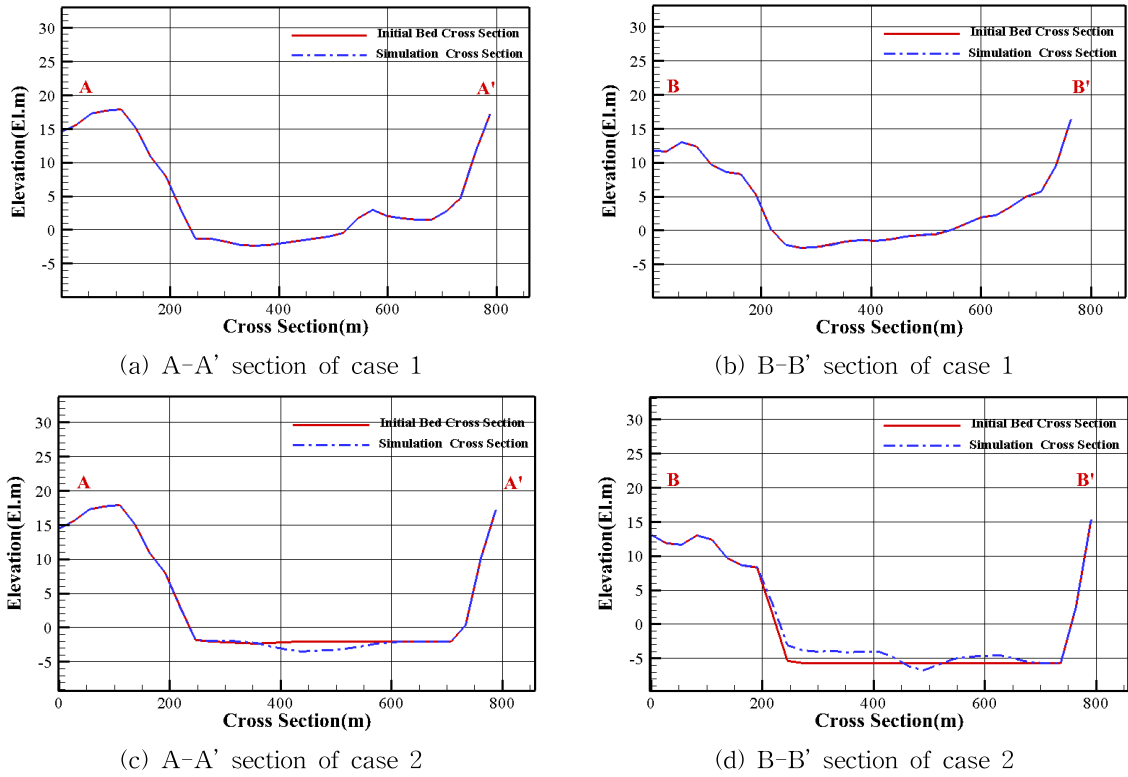


Fig. 9. Cross-sectional Change

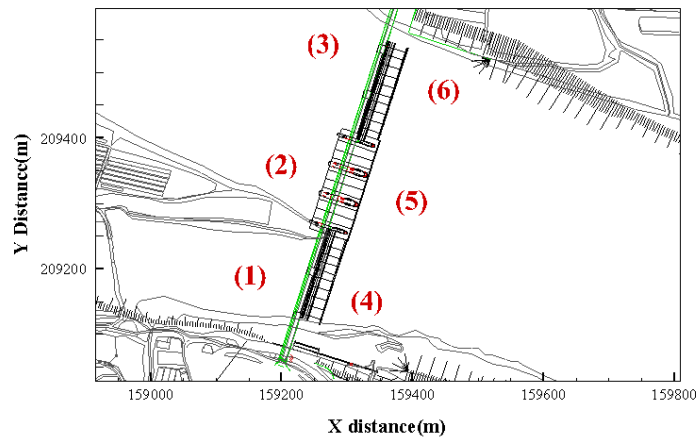


Fig. 10. Monitoring Point of Cross-sectional Change

우 유속이 임계점을 넘기 전까지는 하상변동이 발생하지 않았으나, 모의 4일째 되는 기간에서 유속이 상승하면서 하상변동량도 발생하는 것으로 나타났다. 하상의 변동폭은 하천 유량 및 유속 형태에 영향을 많이 받기 때문에 하상변동량은 각각 직상류 우안에서 0.0016m, 좌안에서 0.06m, 가동보가 위치해 있는 지점에서 -0.6m로 나타났다. Figs. 11(d)~11(f)에서도 보 직하류 좌·우안에서 하상변동량이 각각 1m, 0.09m로 산정되었다. 특히, 보 직하

류 좌안에서 많은 퇴적이 발생하였다. Fig. 11(e)에서 가동보가 위치해 있는 보 직하류에서는 퇴적과 세굴이 일정 유속에서 반복되는 것을 알 수 있었다. 임계유속 이하에서는 퇴적이 진행되는 것으로 나타났다. 수위가 상승하는 구간에서 유속이 빨라져 세굴이 진행되었고, 수위가 침두가 되었을 때 유속이 느려지면서 퇴적이 진행되었으며, 수위가 하강하면서 유속이 다시 상승하여 세굴이 진행되었다. 일반적으로 하도에서의 수리구조물 주변에서 발생하는 세

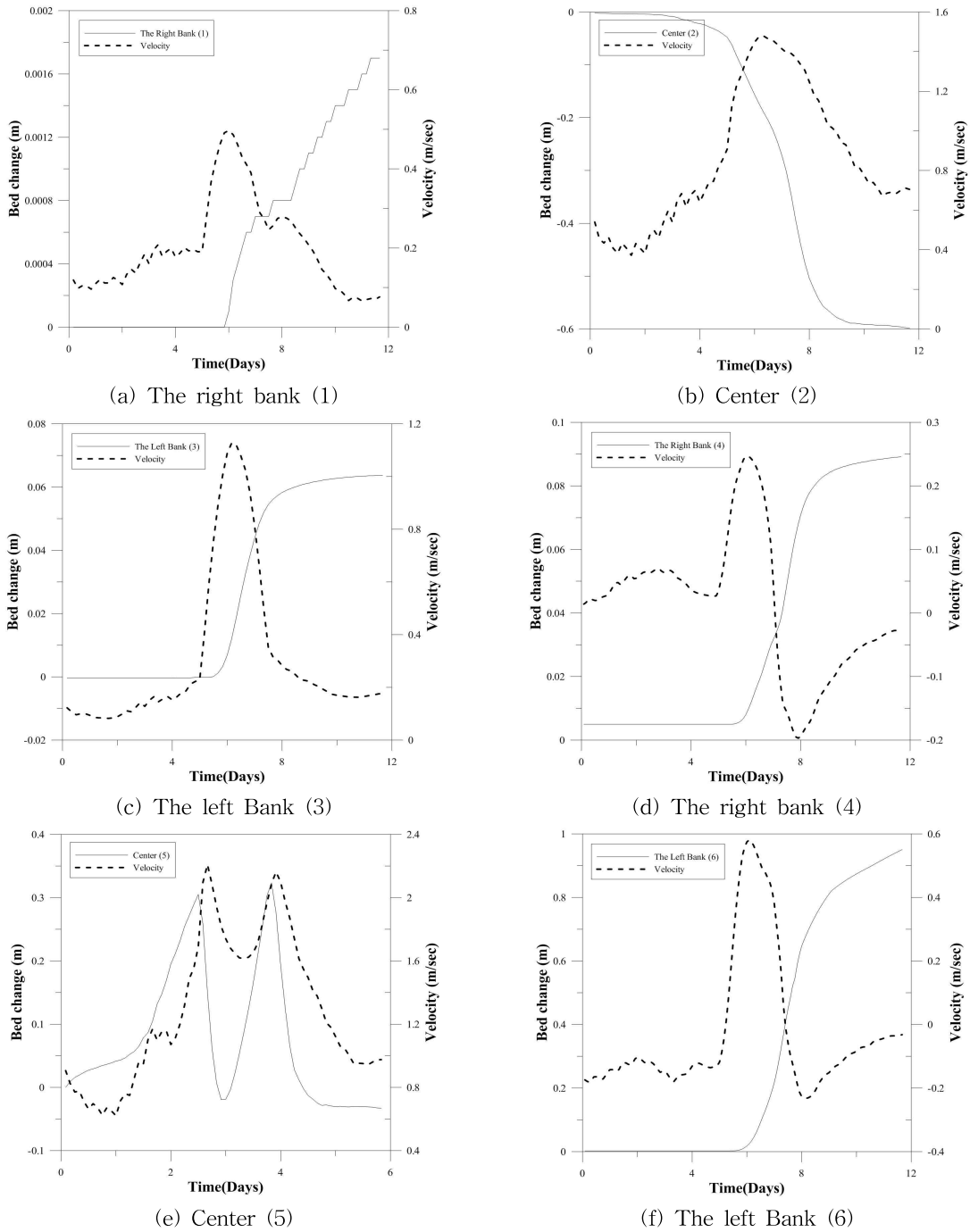


Fig. 11. Result of Bed Change and Velocity Calculated by CCHE2D

굴조건은 유속의 증가에 의해서 발생하는 소용돌이에 의한 것이다(Richardson and Davis, 2001). 세굴과 퇴적은 일반적으로 어느 조건에서나 발생하지만 홍수기 또는 태풍과 같은 사상에서 더 많은 유사 이송과 하상변동이 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 수치해석에 사용된 수치 모형은 높은 재현성을 가지고 있음을 알 수 있었고 차후

폭넓은 연구에 활용가능성이 높다고 판단되었다.

본 연구에서는 Case 2 분석을 위해 하천단면 자료로 계획단면을 활용하였고 하상보호공 제원은 반영하지 않았기 때문에 향후 국토해양부에서 진행 계획 예정인 모니터링 사업 또는 첨단기술 기반 하천 운영 및 관리 선진화 연구단에서 진행 예정인 하천관리기술 검증을 위한 통합테스트베드

운영관리 연구를 통해 확보되는 실측 수리특성 자료들을 토대로 실제 하천에 대한 분석을 수행하고 본 연구에서 진행한 수치모형의 검·보정 자료로 활용하여 결과의 신뢰성을 높일 수 있도록 해야 할 것이다. 또한, 다양한 다기능보 형태에 따른 수리특성 영향 및 하상거동 분석을 수행하여 4대강살리기 사업으로 급변한 하천환경에 대한 과학적 물환경 관리 체계를 확보하고 기후변화 등 새로운 환경문제에 선제적으로 대응하기 위한 생태적 영향, 다기능보내 탁수와 조류 발생, 유사침전에 따른 준설시기 결정, 유형별·규모별 피해예측을 다각도로 검토해야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 4대강살리기사업을 통해 변화된 하도지형 및 수리구조물 운영에 의한 영향을 검토하기 위해 창녕함안보를 대상으로 CCHE2D 모형을 구축하고 2003년 태풍 “매미” 사상을 적용하여 유사 이송 및 하상거동 특성을 분석하였다. 본 연구 자료는 향후 변화된 하천환경에 대한 수리, 수질, 유사분석을 위한 모니터링 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 수치해석에 사용된 수치모형은 높은 재현성을 가지고 있음을 알 수 있었고 차후 폭넓은 연구에 활용가능성이 높다고 판단되었다. 향후, 4대강 수계 16개 다기능보를 대상으로 실측된 수리특성 자료들을 확보하여 실제 하천에 대한 분석을 수행하고 본 연구에서 진행한 수치모형의 검·보정 자료로 활용하여 결과의 신뢰성을 높일 수 있도록 해야 할 것이다. 또한, 급변한 하천환경에 대한 과학적 물환경 관리 체계를 확보하고 기후변화 등 새로운 환경문제에 선제적으로 대응하기 위한 생태적 영향, 다기능보내 탁수와 조류 발생, 유사침전에 따른 준설시기 결정, 유형별·규모별 피해예측을 다각도로 검토해야 할 것으로 사료된다.

- 1) EFDC 모형을 CCHE2D 모형 양식으로 변환하는 모듈을 개발하여 Ahn and Lyu (2012)에 의해 기 개발된 시스템에 추가하였으며, 창녕함안보를 대상으로 구축된 EFDC 모형을 CCHE2D 모형으로 변환하여 태풍 “매미” 사상에 대해 적용한 결과, CCHE2D 모형은 FLDWAV 모형의 경계조건을 잘 반영하고 있었고, EFDC 모형과 비교시 재현성 높은 결과가 도출되었다.
- 2) Case 1과 같이 4대강살리기 사업 전 단면을 활용하여 유사 이송 및 하상거동 특성을 분석한 결과, 하상 변동은 0.1 m 내외로 발생하는 것으로 나타났으며, 준설과 다기능보가 설치된 Case 2의 경우 가동보가 위치해 있는 보 직상·하류에서는 세굴현상이 나타

났으며, 고정보가 위치해 있는 보 상·하류의 좌·우안은 퇴적이 발생하였다. 가동보 직상·하류에서의 세굴은 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010)에서 수립한 수리모형실험보고서의 결과 내용과 경향이 유사하며 가동보 지점에서의 단면축소로 인한 유속의 증가가 세굴의 주원인으로 판단된다. 고정보가 위치해 있는 구간에서는 상대적으로 하도의 일부분에 정지된 흐름이 생기거나 와류가 형성되어 유수의 소통에 영향을 주지 않는 사수역 영향에 기인한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ackers, P., and White, W.R. (1973). “Sediment transport New approach and analysis.” *Journal of Hydraulic Div., ASCE*, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041-2060.
- Ahn, J.M., and Park, I.H. (2012). “An assessment on the hydraulic characteristics of a multi-dimensional model in response to measurement resolution and spatial interpolation methods.” *Journal of The Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 20, No. 1, pp. 43-51.
- Ahn, J.M., Hur, Y.T., and Lyu, S. (2013). “Coupling simulation with multi-dimensional models for river flow.” *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33 No. 1, pp. 137-147.
- Ahn, J.M., Hur, Y.T., Kang, S.U., and Kim, H.S. (2011). “Multi-dimensional hydrodynamics analysis system around weir.” *Proceedings of 2011 Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 1920-1923.
- Ahn, J.M., Hur, Y.T., Kwak, S., Lee, K., and Lyu, S. (2012). “Application of flood analysis system around weir.” *Proceedings of 2012 Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 1691-1694.
- Ahn, J.M., Park, I.H., Lyu, S., and Hur, Y.T. (2012). “Evaluation of optimal grid resolution for hydrody-

- namic proper simulation.” *Journal of The Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 20, No. 1, pp. 109-116.
- Briaud, J.L., Ting, F., Chen, H., Cao, Y., Gudavalli, R., and Perugu, S. (1999). “Sricos: prediction of scour rate in cohesive soils at bridge piers.” *J Geo Geoenv Soc Am*, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 237-246.
- Formann, E., Habersack, H.M., and Schober, St. (2007). “Morphodynamic river processes and techniques for assessment of channel evolution in Alpine gravel bed rivers.” *Geomorphology*, Vol. 90, pp. 340-355.
- Froehlich, W. (2003). Erosion and sediment transport measurement in rivers: technological and methodological advances. *International Association of Hydrological Sciences 2003*, IAHS, No. 283, pp. 202.
- Huang, S.L., Jia, Y.F., and Wang, S.S.Y. (2006). “Numerical modeling of suspended sediment transport in channel bends.” *Journal of Hydrodynamics*, Vol. 18 No. 4, pp. 411-417.
- Hur, Y.T., and Park, J.H. (2009). “Assessment of EFDC model for hydrodynamic analysis in the Nakdong river.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 4, pp. 309-317.
- Ji, U., Yeo, W.K., and Han, S.W. (2010). “Numerical analysis for bed changes due to sediment transport capacity formulas and sediment transport modes at the upstream approached channel of the Nakdong river estuary barrage.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43 No. 6, pp. 543-557.
- Jia, Y., and Wang, S.S.Y. (2001). CCHE2D: two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel flows over loose bed. Technical Report, NCCHE-TR-2001-1, National Center for Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, University, Mississippi.
- Khosronejad A., Kang, S., and Sotiropoulos, F. (2012). “Experimental and computational investigation of local scour around bridge piers.” *Advances in Water Resources*, Vol. 37, pp. 73-85.
- Korea Water Resources Association (2005). River Design Criteria.
- Korea Water Resources Corporation (2008). Development of coupling operation system and decision support for flood control in the Nakdong river basin.
- Korea Water Resources Corporation (2010). Input data analysis of numerical model for river bed change investigation.
- Lee, J.W., Lee, M.S., Jung, I.K., Park, G.A., and Kim, S.J. (2011). “Stream type classification and 2-dimensional hydraulic characteristics and bed change in Anseongcheon streams and tributaries.” *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 4, pp. 77-91.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2004). Nakdong river watershed survey.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009a). The basic plan of stream-improvement for Nakdong river-Geumho river~Estuary.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009b) The detail design of development of residential sites for Nak river 23 district.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009c). The basic plan of stream-improvement for Nam river.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010). The detail design of development of residential sites for Nak river 23 district-Hydraulic model experiment.
- Nassar, M.A. (2011). “Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile river.” *Journal of Hydro-environment Research*, Vol. 5, pp. 187-195.
- Richardson, E.V., and Davis, S.R. (2001). *Evaluating scour at bridges* (4th ed.). U.S. Federal Highway Administration Publication FHWA NHI 01-001 Hydraulic Engineering Circular, No. 18, pp. 378.
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, Vol. 91, pp. 99-164.
- Yang, C.T. (2003). Sediment transport, Cheong Moon Gak.

| | |
|------------------------|------------------|
| 논문번호: 13-032 | 접수: 2013.03.07 |
| 수정일자: 2013.03.22/04.16 | 심사완료: 2013.04.16 |