

낙동강의 보 구조물 설치 후 장기 하상변동 분석 및 평형하상고 예측에 관한 연구

지운^{1,2}, 장은경^{1*}, 김원^{1,2}

¹한국건설기술연구원 수자원·하천연구소

²과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과

Long-term Bed Change Analysis and Equilibrium Bed Elevation Prediction after Weir Construction in Nakdong River

Un Ji^{1,2}, Eun-Kyung Jang^{1*}, Won Kim^{1,2}

¹Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology

²Department of Construction Environment Engineering, University of Science and Technology

요약 본 논문에서는 4대강 살리기 사업이 수행된 낙동강의 하상변동 양상을 해석하기 위해 과거 장기 모니터링 자료를 활용한 하상변동 분석을 수행하였다. 또한 4대강 살리기 사업 후 가장 큰 하상변동이 관측된 구간을 대상으로 향후 발생할 수 있는 장기 하상변동을 1차원 하상변동모형을 구축하여 예측하였다. 유입유사량 조건 및 유사이송공식에 따른 하상변동 예측 결과 값의 민감도 분석을 수행하였으며 단기 모니터링 실측자료와 하상변동 모의결과 값을 비교하여 모형 보정을 수행한 후 10년 장기 하상변동을 예측하였다. 모니터링 자료 분석 결과, 4대강 창녕·함안보·합천·창녕보 구간에서 전반적으로 가장 큰 침식하상고 변화가 나타났다. 1차원 하상변동 모형을 활용한 10년 동안의 장기 하상변동 수치모의에서는 창녕·함안보와 합천·창녕보 구간에서 구간별로 최대 2.07 m에서 3.26 m의 유사 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다.

Abstract Bed changes in the Nakdong River were analyzed with long-term monitoring data for analyzing riverbed change patterns after Four Major Rivers Restoration Project (FMRRP). Also, possible long-term bed changes were predicted using one-dimensional numerical model for the section where the largest change was observed after FMRRP. The sensitive analysis was performed with different incoming sediment discharge conditions and sediment transport equations. The numerical model was calibrated by comparing short-term monitoring data and simulated results, and was applied for predicting bed change after 10 years. As a result of monitoring data analysis, the largest change in bed elevation occurred at the section between the Changnyeong-Haman and Hapcheon-Changnyeong weirs. The result of one-dimensional numerical modeling for 10 years indicated that maximum depositions of 2.07 m and 3.26 m were produced in this section.

Keywords : One-dimensional Numerical Model, Bed Change, Four Major Rivers Restoration Project, Monitoring Data Analysis, Nakdong River

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 ‘(15주요)친수가치 제고를 위한 홍수터관리 기술 개발’의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Eun-Kyung Jang(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0188 email: silveryeun@gmail.com

Received September 3, 2015

Revised September 30, 2015

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

1. 서론

지속적으로 발생하는 홍수의 예방 및 기후변화에 대비한 하천정비를 목적으로 실시된 4대강 살리기 사업으로 인해 4대강에 총 16개의 보가 설치되었으며, 홍수터 정비 및 본류의 대대적인 준설이 수행되었다. 이러한 하천의 인위적 변화는 하상과 하안의 침식과 퇴적에 상당한 영향을 미치며 이로 인한 하도 안정성과 관련된 다양한 문제들이 야기될 수 있다. 특히 낙동강에 설치된 8개 보의 경우 하상도 재질특성(모래하상)과 완만한 하상경사를 고려했을 때 유지관리 측면에서 유사 퇴적문제가 반드시 검토되어야 할 필요가 있다.

하천에서의 지형변화를 분석하는 방법에는 대상구간에 대해 일정기간을 두고 하천측량을 실시하여 실측자료를 직접 분석하는 방법과 물리적 모형을 제작하여 이동상 실험을 실시하는 방법, 그리고 수치모형을 이용하여 장단기 하상변동 수치모의를 수행하는 방법 등이 있다 [1]. 수치모형을 활용하는 경우, 모의하고자 하는 대상구간에 대해 실측자료를 이용하여 모형 보정과 검증을 수행한다면, 시간적, 공간적 제약으로부터 자유롭고 다양한 조건에 대해 분석이 가능하기 때문에 광범위한 하도 구간에서 다양한 조건을 활용하여 장기간의 변화를 예측하는데 다른 방법들에 비해 상대적으로 효과적이다. 수치모형을 활용한 연구로는 Duc et al.[2]이 실험실 수로에 대한 하상변동 분석을 위해 FAST2D(Fast 2-dimensional) 코드를 활용하여 모의한 결과와 실측데이터를 비교한 연구가 있다. Huang et al.[3]은 유사량

및 하상변동을 예측하기 위해 Rio Grande 하천의 실측 데이터를 활용하여 GSTARS(Generalized Stream Tube model for Alluvial River Simulation) 2.1 모형을 활용하여 실측데이터와 모의결과를 비교, 분석하였다.

낙동강의 경우도 4대강 살리기 사업 후의 하상변동에 대한 실측자료를 활용하여 수치모형을 보정할 경우 4대강 살리기 사업으로 인한 장기적인 하상변동을 예측하는데 수치모의 방법을 적극 활용할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 첫째, 수집된 과거 하상변동 모니터링 자료를 활용하여 낙동강 전구간의 장기 하상변동 양상을 분석하는 것이며, 둘째, 모니터링 자료에서 하상변동의 양상이 큰 구간을 대상으로 장기적인 예측을 위한 1차원 수치모형을 구축하고 10년 후의 하상변동 양상과 평형 하상고를 예측하는 것이다.

2. 대상구간의 개요 및 수치모의 입력조건

2.1 대상구간의 개요

본 연구의 대상하천인 낙동강은 유역면적이 약 23,384 km²이며 유로연장은 510 km로 국내 최장 하천이다(Fig. 1). 낙동강 본류는 동쪽의 태백산맥과 서북쪽의 속리산, 덕유산, 지리산으로 이어지는 소백산맥으로 둘러싸인 낙동강유역의 중심부를 관류하고 있으며, 유로는 산악으로 인하여 최단거리로 유하하지 못하고 유향을

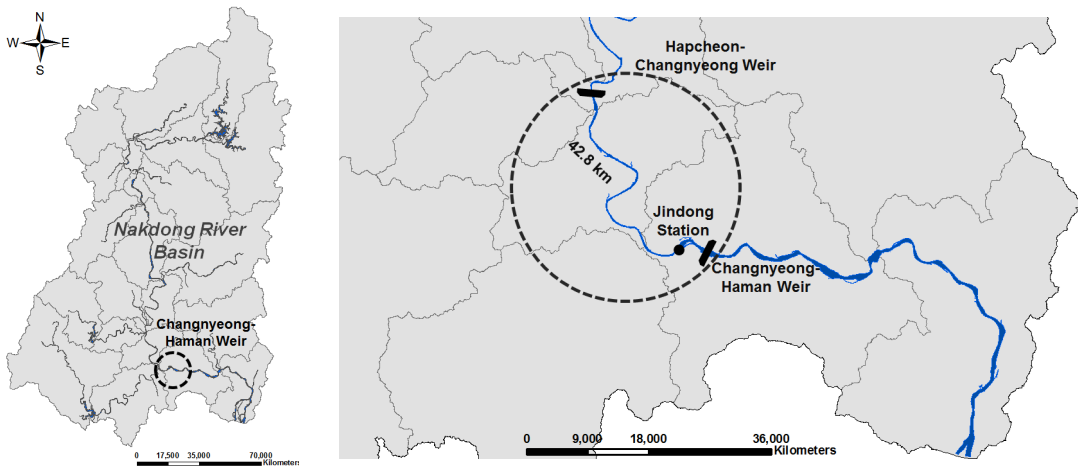


Fig. 1. Study Reach of Nakdong River for 1-dimensional Numerical Modeling

네 차례나 급변하면서 우회하여 남해안으로 유입된다. 낙동강의 연강수량은 1,244 mm이며 연중 강우량의 50%에 해당하는 강우량이 6월부터 9월 사이에 집중된다[4].

본 연구에서는 낙동강 전구간을 대상으로 장기 하상 변동 양상을 모니터링 자료를 이용하여 분석하였으며 4대강 살리기 사업 후 가장 하상변동이 큰 것으로 나타난 창녕-함안보-합천-창녕보 구간(Fig. 1)에 대해 1차원 장기 하상변동 수치모의를 수행하였다.

2.2 수치모의 입력조건

본 연구에서는 창녕-함안보-합천-창녕보 구간 장기 하상변동 모의를 위해 1차원 하상변동 모형인 HEC-RAS(HEC-6)를 활용하였으며 지형자료는 4대강 살리기 사업 준공 단면 및 2012년 12월 지형 측량자료를 활용하였다. 유량 및 수위 조건은 2012년 1년 동안의 자료[5]를 활용하였고 상류단 유량조건은 적포교 자동유량 측정자료를, 하류단 수위조건은 창녕-함안보 수위자료를 활용하였다(Fig. 2).

모의를 위한 하상도 입도분포 자료는 2009년 측정된 자료를 활용하였으며(Fig. 3), 유사량 자료는 진동지점 관측자료를 활용하였다. 낙동강 진동지점에서의 실제 단면 발생 유사량과 유사량 공식과의 관계를 비교 분석하기 위해 Fig. 4와 같이 나타내었으며 분석결과를 정량적으로 비교하였다. 분석결과, Ackers and White[6] 공식이 관측 유사량 값과 가장 유사한 경향을 보여 하상변동 분석을 위한 각 계산 단면에서의 유사량 계산 공식으로 사용하였다. Engelund and Hansen[7] 공식은 유사량을 가장 과대하게 산정하여 유입유사량이 최대라고 가정할 경우의 유입유사량 산정 공식으로 활용하였다.

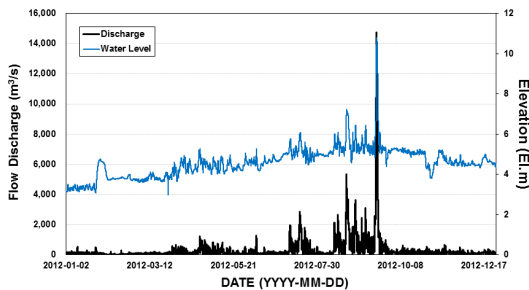


Fig. 2. Upstream and Downstream Boundary Conditions

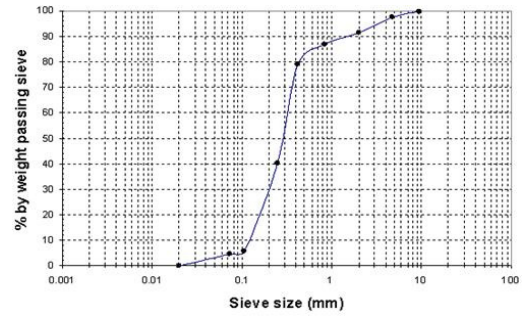


Fig. 3. Bed Material Distribution of Jindong Station

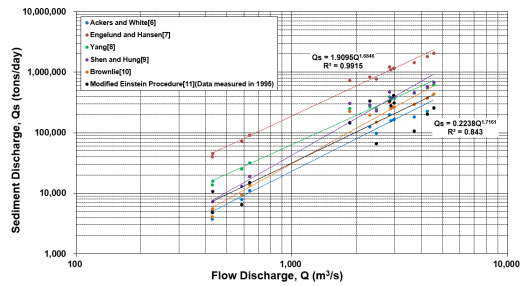


Fig. 4. Sediment Discharge Data of the Jindong Station in Nakdong River

3. 모니터링 자료를 활용한 하상변동 분석

3.1 낙동강 하상변동 모니터링 자료 분석

낙동강 본류 전구간의 수집된 측량자료를 활용하여 장기 하상변동 분석을 수행하였다. 대상구간은 낙동강하구둑에서부터 상류 약 350 km까지이며, 1991년과 2005년, 2009년, 2012년 1월, 2012년 12월의 측량자료를 활용하였다. 1991년부터 2012년 12월까지 수행된 측량자료를 분석한 결과, 1991년과 2005년 하상을 비교했을 때 낙동강하구둑으로부터 상류 200 km 지점을 기준으로 하류는 침식되고 상류는 퇴적되는 양상을 보이고 있으며 2005년 이후부터 2009년까지는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다(Fig. 5). 1991년 이후 낙동강 하류는 2012년 1월, 2012년 12월과 비교하여 최대 8.18 m 침식된 지점이 있고 상류는 최대 6.1 m 퇴적된 지점이 있다. 하구둑으로부터 상류 270 km 지점을 기준으로 1991년, 2005년, 2009년과 비교하여 2012년 1월과 2012년 12월 하상은 하류 대부분의 구간에서 하상 준설에 의한 하상

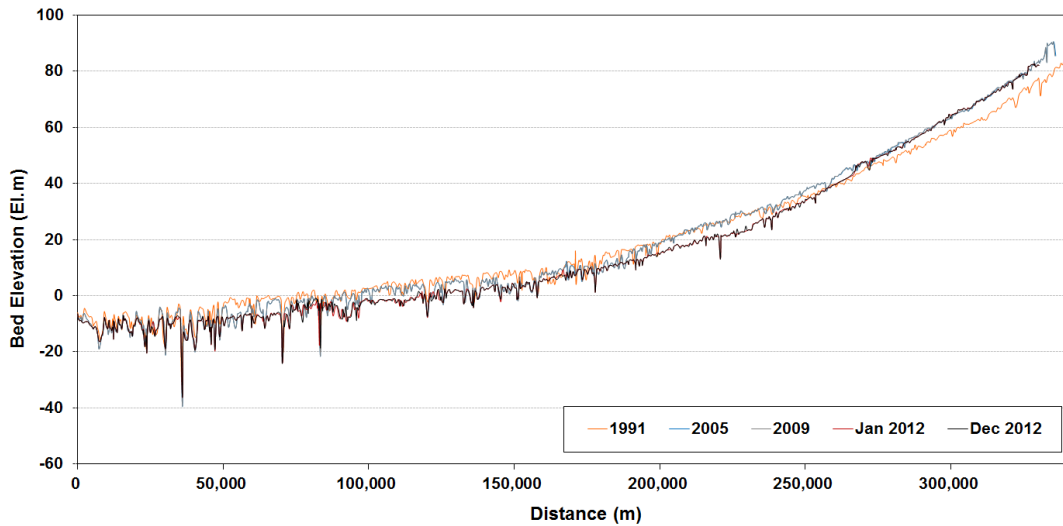


Fig. 5. Comparison of Bed Elevation Change by Field Survey Results (1991, 2005, 2009, Jan 2012, Dec 2012)

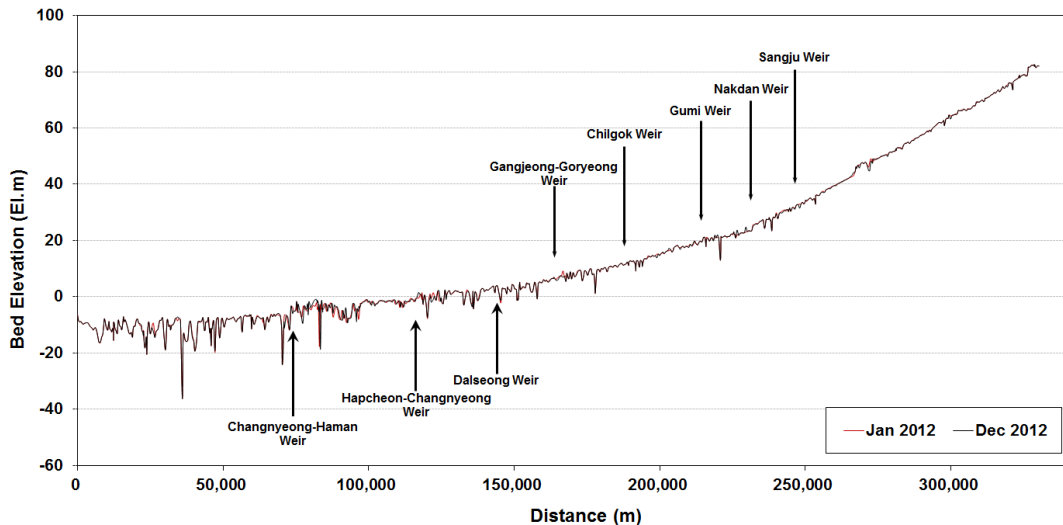


Fig. 6. Comparison of Bed Elevation Change by Field Survey Results after Four Rivers Restoration Project (Jan 2012 and Dec 2012)

고 저하를 확인 할 수 있었다. 이러한 현상은 낙동강 전체 구간에서 수행된 4대강 살리기 사업의 하상준설에 의해 발생한 인위적인 변화라고 할 수 있다.

4대강 살리기 사업 후 하상고 변화를 분석하기 위해 2012년 1월과 2012년 12월의 측량자료를 비교(Fig. 6) 하였으며, 창녕·함안보-합천·창녕보 구간에서 전반적으

로 가장 큰 침식하상고 변화가 나타났다. 창녕·함안보 하류 10 km 지점 부근에서 2012년 1월 하상에 비해 2012년 12월에 5 m 이상의 침식이 발생하는 것으로 나타나 이 지점 또한 지속적인 모니터링 및 대처방안이 필요할 것으로 판단된다.

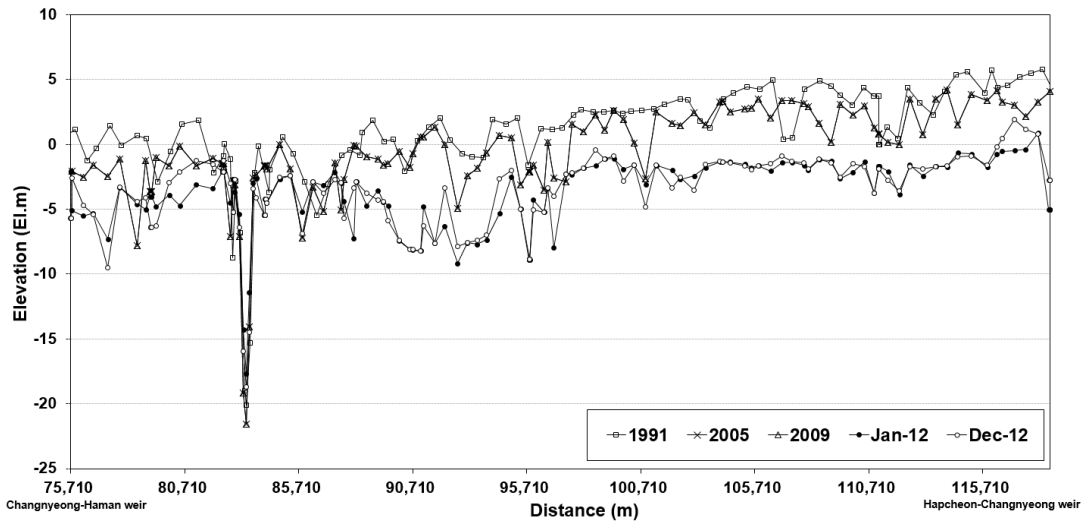


Fig. 7. Bed Elevation Changes between the Changnyeong-Haman Weir and Hapcheon-Changnyeong Weir after Four Rivers Restoration Project (1991, 2005, 2009, Jan 2012, Dec 2012)

3.2 창녕·함안보-합천·창녕보 구간 하상변동 모니터링 자료 분석

낙동강 본류 구간 중 가장 큰 침식하상고 변화가 발생한 것으로 나타난 창녕·함안보-합천·창녕보 구간에 대해 추가적인 관측자료 분석을 수행하였다. 창녕·함안보의 위치는 낙동강하구둑에서부터 상류 75.7 km 지점이며, 합천·창녕보의 위치는 118.7 km 지점으로 두 지점간 거리는 약 43 km이다. 1991년과 2005년, 2009년, 2012년 1월, 2012년 12월의 최심하상고 측량자료를 비교(Fig. 4)하였으며 1991년과 비교하여 2012년 1월과 2012년 12월의 하상은 창녕·함안보 상류 15.96 km 지점(낙동강하구둑으로부터 상류 91,670 m)에서 준설로 인해 8.97 m 하상고가 저하된 것으로 나타났다. 이 구간에 대해 4대강 살리기 사업 후 2012년 1월과 2012년 12월 하상고를 비교했을 때 최대 3.9 m의 퇴적(96,890 m) 및 3.88 m의 침식(95,820 m)이 발생하였다(Fig. 7).

창녕·함안보에서 합천·창녕보 구간에 대해 2012년 1월과 2012년 12월 하상고만을 구체적으로 비교(Fig. 8)한 결과, 창녕·함안보 상류 1.63 km 지점(77,340 m)에서 2.19 m의 침식, 상류 20.11 km 지점(95,820 m)에서 3.88 m 침식이 발생했으며, 6.38 km 지점(82,089 m)에서 2.52 m 퇴적, 12.34 km 지점(88,120 m)에서 3.99 m 퇴적, 21.18 km 지점(96,890 m)에서 3.9 m의 퇴적이 발

생하였다. 또한 합천·창녕보 하류 1.54 km 지점(117,100 m)에서 1.98 m의 퇴적이 발생하였으며, 이는 4대강 살리기 사업으로 설치된 보로 인해 상류에서 유입된 유사가 하류구간인 창녕·함안보-합천·창녕보 구간에 퇴적된 것으로 판단된다.

4. 장기 하상변동 예측을 위한 수치모의

4.1 1차원 수치모형 구축

본 논문에서는 모니터링 자료를 활용하여 수행한 장기 하상변동 분석을 통해 4대강 살리기 사업 후 가장 하상변동이 큰 것으로 나타난 창녕·함안보-합천·창녕보 구간(Fig. 1)에 대해 수치모의를 수행하였으며, 이를 위해 1차원 하상변동 프로그램으로 HEC-RAS 모형을 선정하였다. HEC-RAS 모형(HEC-6)은 유량, 수위 등의 수리조건을 다양하게 적용하여 실제 현상과 유사한 하상을 재현하고 이를 활용하여 발생가능한 장기적인 변화를 예측하는데 활용할 수 있으며, 문제 유형별 대응책을 진단하는데도 효과적으로 활용 가능하다. HEC-6 모형은 미국병단 수문연구소에서 개발한 하천과 저수지에서 세굴과 퇴적계산을 위한 수치모의 모형으로 HEC-RAS 4.0에서 통합된 모형이다. 연속 수문자료는 여러 가지 유량

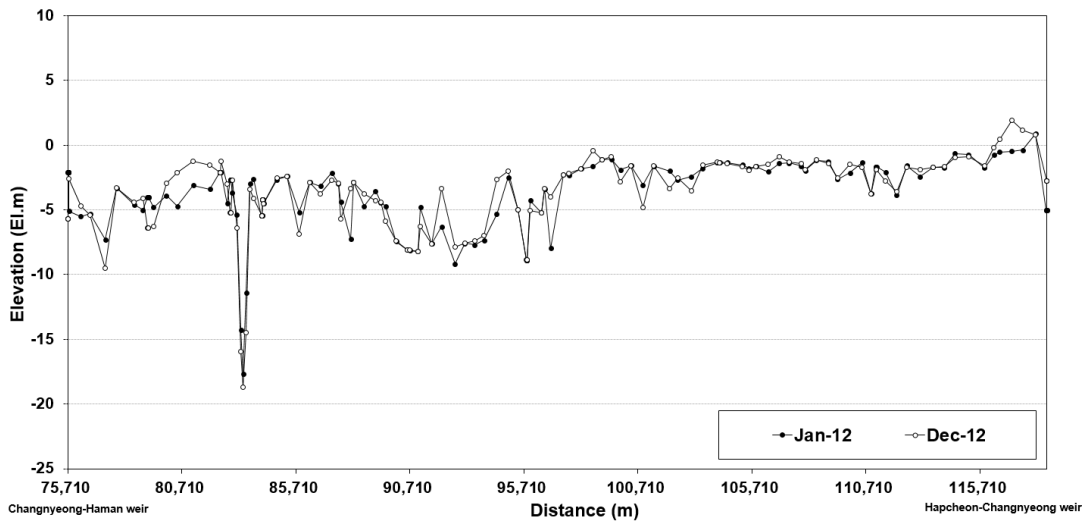


Fig. 8. Bed Elevation Changes between the Changnyeong-Haman Weir and Hapcheon-Changnyeong Weir after Four Rivers Restoration Project (Jan 2012 and Dec 2012)

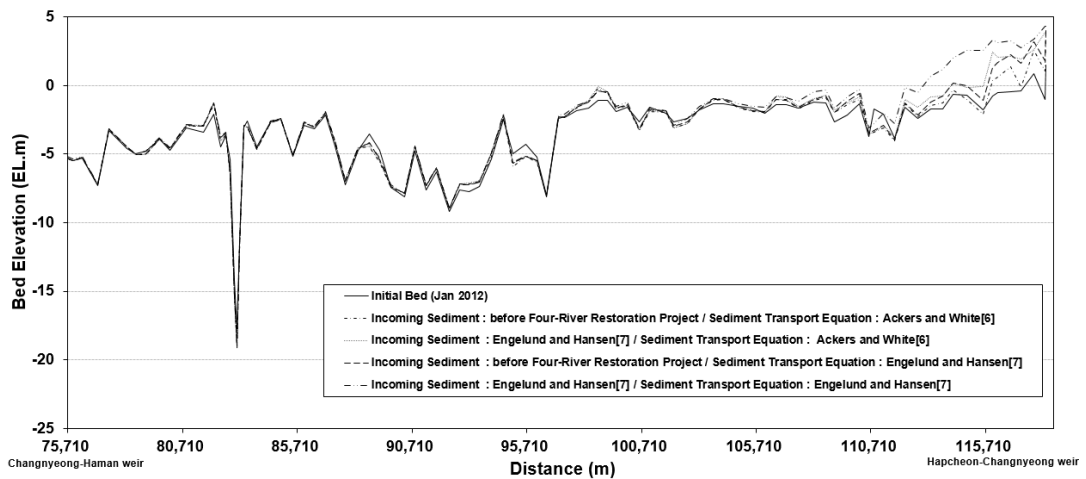


Fig. 9. Bed Change Modeling with Various Incoming Sediment Conditions and Sediment Transport Equations

과 지속기간을 지닌 일련의 준정상류 흐름으로 나누어 적용하며 각 횡단면별로 에너지 경사, 유속, 수심 등을 계산한다. 이에 따라 각각의 흐름에 대한 수면곡선을 결정해 단면별로 유사이송 잠재능을 계산한다. 이 운송능과 흐름사상의 지속기간을 이용하여 각 구간별로 유사의 부피를 계산하고 각 횡단면별로 세굴과 퇴적량을 계산하여, 이에 따라 횡단면의 형태를 조절한다. 그 다음에는 주어진 일련의 수문 사상의 다음 흐름사상에 대하여, 앞의 계산에서 수정된 하천단면을 가지고 위의 과정을 반

복한다. HEC-RAS 모형의 특징으로는 다지하천에서의 유사이송 모의 가능, 이동상·고정상을 구분하여 적용 가능, 유량에 따른 하천 폭의 결정으로 유사퇴적 및 세굴의 측정방법의 자동결정, 선택폭이 넓은 다양한 유사량 공식의 적용 등을 들 수 있다[12].

본 연구의 하상변동 모델링 적용구간인 창녕·함안보-함천-창녕보 구간 거리는 총 43 km 이다[4]. 경상남도 창녕군 길곡면에서 함안군 칠북면 사이에 위치한 창녕·함안보는 보연장 567.5 m(가동보 146 m, 고정보 421.5

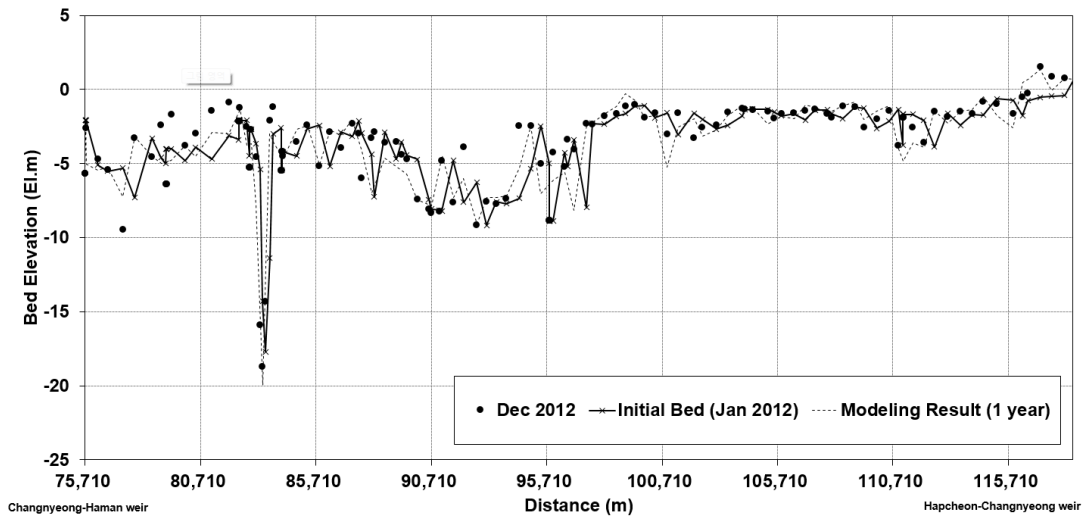


Fig. 10. Comparison of Measured and Simulated Bed Elevation Changes for 1 year of 2012

m)로 설치되었으며, 2011년 10월 29일 부로 공사가 완료되어 일반인에게 공개되었다. 합천·창녕보는 경상남도 창녕과 합천군의 위치하였으며 보연장 328 m(가동보 138 m, 고정보 190 m)이다. 본 논문에서는 창녕·함안보에서 합천·함안보까지의 지형자료와 과거 및 현재의 수리, 수문, 유사량 자료 등(2.2절)을 수집하여 1차원 하상변동 모형인 HEC-RAS를 이용하여 장기 하상변동 모의를 수행하였다.

4.2 유사이송공식별 하상변동 민감도 분석 및 모형 보정

4대강 살리기 사업 후 장기 하상변동 분석을 위해 유사이송 공식 및 유입유사량에 따른 하상변동 민감도 분석을 수행하였으며 최근 4대강 살리기 사업 1년 후의 관측 하상자료를 활용하여 모형 보정을 수행하였다. 우선 민감도 분석을 위한 조건으로는 유입유사량이 4대강 살리기 사업 전과 동일하다고 가정한 조건과 유입유사량이 증가하였다고 가정한 조건(Engelund and Hansen[7] 공식을 사용하여 계산된 유량·유사량 자료)을 각각 적용하였으며 단면에서 발생하는 유사이송 계산을 위한 공식은 Ackers and White[6] 및 Engelund and Hansen[7] 공식을 각각 적용하였다. 그 결과, 합천·창녕보 하류 23 km 지점(96,000 m)까지 대부분의 구간에서 퇴적이 발생하였으며, 유입유사량을 Engelund and Hansen[7]으로 계산하고 유사이송공식을 Engelund and Hansen[7]으로

모의했을 때 합천·창녕보 하류 3.41 km 지점(115,590 m)에서 4.33 m 정도의 최대 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 9).

4대강 살리기 사업 측정자료(2012년 1월)와 1차원 하상변동 모의결과(모의기간 1년)를 Fig. 10과 같이 비교하였다. 2012년 1월 측정자료를 초기하상고로 하여 2012년 12월 실제 측정된 측정자료를 비교하여 모형 보정을 수행하였다. 유입유사량은 4대강 살리기 사업 전 실측 유사량 자료를 활용하고 각 단면에서의 유사이송공식은 Ackers and White[6] 공식을 적용하여 모의 한 결과가 실측 하상변동 값과 가장 유사한 것으로 나타났다. 2012년 12월 측정결과와 모의 결과가 창녕·함안보 상류에서 다소 차이가 있는 것으로 나타났으나, 창녕·함안보 직상류 22.1 km 지점(97,100 m)부터는 하상변동의 양상이 유사한 것으로 나타났다.

4.3 장기 하상변동 및 평형하상고 예측

보정된 모형을 이용하여 4대강 살리기 사업 10년 후의 장하상변동을 모의하였으며, 2012년의 1년 수문변화가 10년 동안 반복적으로 발생한다고 가정하였다. 모형 보정결과를 고려하여 상류에서 유입되는 유사량은 4대강 살리기 사업전의 조건을 그대로 적용하고 유사이송공식은 Ackers and White[6] 공식을 적용하였다. 하상변동 모의 결과는 Fig. 11과 같으며, 합천·창녕보 하류 구간과 창녕·함안보 상류 5 km(80,000 m)에서 7 km(82,000 m)

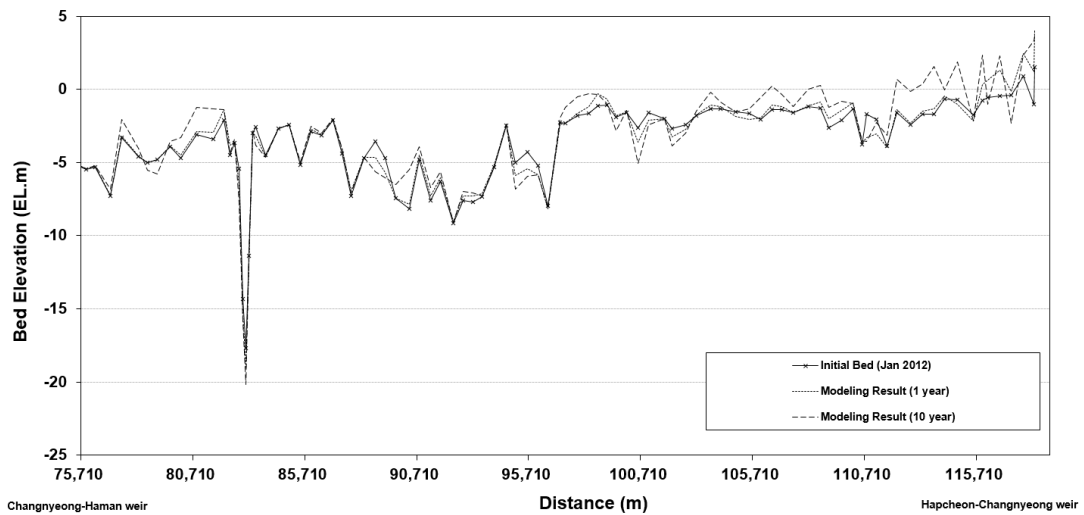


Fig. 11. Simulation Results of Bed Elevation Changes after 1 year and 10 years

구간 사이에 최대 2.07 m 퇴적이 나타났으며 상류 35 km (110,000 m)에서 상류 40 km(115,000 m) 구간 사이에 최대 3.26 m의 유사 퇴적이 발생하는 것으로 모의되었다. 본 연구에서는 유입유사량이 4대강 살리기 사업 전과 동일하다는 가정 하에 모의가 수행되었기 때문에 4대강 살리기 사업 후의 상류로부터의 유입되는 유사량의 변화가 장기 하상변동의 가장 중요한 변수라고 할 수 있다. 하상은 향후 전반적으로 퇴적되는 양상을 나타낼 것으로 보이나 퇴적고의 극심한 상승 지점이나 퇴적구간이 추가로 발생되지는 않는 것으로 나타나 외부의 인위적인 변화가 없고 현재 조건이 유지된다는 가정 하에 10년 내에는 안정화 단계를 거쳐 평형 하상고에 도달할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 4대강 살리기 사업 후 발생하고 있는 하상변동 문제에 대한 모니터링 자료 분석 및 장기 하상변동 모의를 수행하고 창녕함안보-합천창녕보 구간을 대상으로 1차원 하상변동 모형을 구축하여 유입유사량 조건 및 유사이송공식의 다양한 적용을 통한 장기 하상변동 분석 및 평형하상고 예측을 수행하였으며 결론은 다음과 같다.

첫째, 낙동강 본류 전구간의 수집된 측량자료를 활용하여 장기 하상변동 분석을 수행한 결과, 낙동강 전체 구

간에서 수행된 4대강 살리기 사업의 하상준설로 인해 인위적인 변화가 발생하였으며 특히 창녕·함안보-합천·창녕보 구간에서 전반적으로 가장 큰 최심하상고 변화가 나타났다. 4대강 살리기 사업에서 설치된 보 구조물로 인해 상류에서 유입된 유사가 하류구간인 창녕·함안보-합천·창녕보 구간에 퇴적된 것으로 판단된다.

둘째, 합천·창녕보-창녕·함안보 구간에서 관측된 하상변동 자료를 활용하여 1차원 하상변동 모형에 대한 민감도 분석 및 모형 보정을 수행한 결과, 창녕·함안보와 합천·창녕보 대부분의 구간에서 퇴적이 발생하였으며, 장기 하상변동 모의시 유입유사량은 실측 유사량 자료를 활용하고 각 단면에서의 유사발생량은 Ackers and Whit[6] 공식을 적용하여 모의 하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다.

마지막으로 보정된 모형을 활용하여 10년 장기 하상변동 모의를 수행한 결과, 유입유사량의 변화가 4대강 살리기 사업 전과 동일하다고 가정하였을 경우, 최대 하상퇴적고는 1년 동안 발생한 퇴적고와 매우 유사한 것으로 나타났다. 즉, 최대 하상 퇴적고는 단기간 내에 발생되며 이후 10년 동안 증가하지는 않지만 퇴적 구간의 범위가 중단적으로 확대되는 것으로 나타났다. 따라서, 낙동강 합천·창녕보-창녕·함안보 구간은 낙동강 본류와 지류로부터 유입되는 유사량이 구간내에 지속적으로 퇴적될 것으로 보이나 안정화 단계를 거쳐 10년 후에는 평형 하상경사와 하상고에 도달할 것으로 된다. 이러한 평형

하상경사와 하상고가 하천관리 측면에서 문제를 발생시키는지를 향후 검토할 필요가 있다.

본 연구에서 수행한 장기 하상변동 예측은 낙동강 본류 하상의 자연적인 안정화 여부를 직접적으로 검증하는 자료는 아니며 입력조건에 따라 다양한 양상을 보일 수 있다. 특히 하상퇴적으로 인한 보 상류 저류지의 기능 저하에 대한 판단은 보다 심도 있는 자료 분석과 모델링을 통해 수행되어야 할 것이다.

References

- [1] U. Ji, W. K. Yeo and S. W. Han, "Numerical Analysis for Bed Change 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, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2010.43.6.543>
- [2] B. M. Duc, T. Wenka and W. Rodi, "Numerical Modeling of Bed Deformation in Laboratory Channels", *Journal of Hydraulic Engineering*, No. 130, pp. 894-904, 2014.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2004\)130:9\(894\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:9(894))
- [3] J. Huang, B. Greimann and C. T. Yang, "Numerical Simulation of Sediment Transport in Alluvial River with Flood plains", *International Journal of Sediment Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 50-59, 2003.
- [4] MLIT, River master plan report (modified) of Nakdong river basin, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009.
- [5] WAMIS, Water Resources Management Information System, <http://www.wamis.go.kr>
- [6] P. Ackers and W. R. White, "Sediment transport: A new approach and analysis", *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 99, No. 11, pp. 2041-2060, 1973.
- [7] F. Engelund and E. E. Hansen, "A monograph of sediment transport in alluvial rivers", Technical University of Denmark, Copenhagen, pp. 62, 1967.
- [8] C. T. Yang, "Incipient motion and sediment transport", *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 99, No. 10, pp. 1679-1704, 1973.
- [9] H. W. Shen and C. S. Hung, "An Engineering approach to total bed-material load by regression analysis", Completion Report, 17p, 1969.
- [10] W. R. Brownlie, "Prediction of flow depth and sediment transport in open channels", Report No. KH-R-43A, Institute of Technology, California, 1981.
- [11] H. W. Shen and C. S. Hung, "Remodified Einstein Procedure for Sediment Load" *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 190, No. HY4, 1983.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1983\)109:4\(565\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1983)109:4(565))
- [12] USACE, "HEC-RAS River Analysis System - Hydraulic

Reference Manual", US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2010.

지 운(Un Ji)

[정회원]



- 2006년 12월 : Colorado State University, Dept. of Civil and Environmental Engineering(공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2012년 12월 : 명지대학교(박사후연구원, 연구교수)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원-하천연구소 수석연구원
- 2015년 2월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학과 부교수

<관심분야>

토목공학, 유사 수리학

장은경(Eun-Kyung Jang)

[정회원]



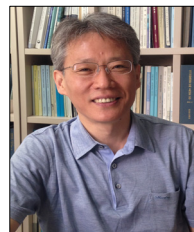
- 2010년 2월 : 명지대학교 공과대학 토목환경공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 명지대학교 대학원 공과대학 토목환경공학과(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 대학원 공과대학 토목환경공학과(박사과정)
- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원-하천연구소 석사후연구원

<관심분야>

토목공학, 수리학

김 원(Won Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 경북대학교 토목공학과(공학박사)
- 1991년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원-하천연구소 선임연구원
- 2014년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학과 교수

<관심분야>

토목공학, 수리학