

낙동강과 금호강 합류부 구간에서 유입유량에 따른 흐름 및 하상변동 특성 변화에 관한 수치모의 연구

장은경¹, 지운^{2*}

¹미 콜로라도주립대학교 토목환경공학과,

²한국건설기술연구원 수자원·하천연구소/과학기술연합대학원대학교 스마트도시·건설융합

Numerical Analysis on Flow and Bed Change Characteristics by Discharge Variations at the Confluence of Nakdong and Geumho Rivers

Eun-Kyung Jang¹, Un Ji^{2*}

¹Civil and Environmental Engineering, Colorado State University,

²Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology/Korea University of Science and Technology

요약 본 논문에서는 하천의 지류와 본류가 만나는 합류부를 대상으로 유량변화에 의한 수리특성 변화를 2차원 수치모의를 통해 분석하였다. 대상 구간은 각각 본류와 지류에서 유입되는 유량으로 인해 복잡한 흐름이 형성되는 낙동강과 금호강 합류부를 대상으로 하였다. 대상 구간은 단순히 합류각이나 하폭비 등으로 일반화하여 흐름 양상을 정의할 수 있는 구간이 아닌 본류의 만곡과 지류의 유입이 동시에 나타나는 특성을 갖고 있는 구간이다. 수치모의 조건은 해당구간에서 2012년에 실제 발생한 홍수사상을 모의조건으로 선정하였다. 급격한 변화가 예상되었던 합류부 구간에 비해 합류 후 만곡부 구간에서의 가장 큰 유속이 발생하였으며 유속 및 하상변화 또한 동일한 구간에서 가장 크게 발생하였다. 유량 변화에 의한 영향으로는 홍수에 의한 변화보다는 평수시 흐름이 이 구간의 흐름과 하상변화에 더 지배적인 영향이 있음을 알 수 있었다. 이로 인해 본 연구의 대상구간에서는 하도 안정화를 위한 대처가 필요한 구간이 합류부 구간보다는 합류 후 만곡부 구간임을 알 수 있었다.

Abstract This study analyzes the changes in the flow characteristics due to the difference in inflow discharges from the main channel and tributary at the confluence of the Nakdong and Geumho Rivers. The analysis was done using a two-dimensional numerical method. The study site has complicated flow patterns because of the discharge variation from the main stream and tributary. The study section has a meandering main channel, and the hydraulic characteristics cannot be defined with simple conditions such as the confluence angle of the channels or the ratio of the channel widths. An actual flood event in 2012 was applied in the numerical simulation. The maximum velocity occurred in the meandering section after passing the confluence, where a rapid change was expected. A high velocity and large bed change in this section were observed in the simulation results. The variation of discharges from the main channel and tributary was a more dominant factor in the flow and bed changes for the normal flow conditions than the flood event. This indicates that countermeasures for channel stabilization should be considered in the meandering section downstream of the confluence section, and countermeasures for the study section should be investigated.

Keywords : Bed Change, CCHE2D, Inflow Discharge, Numerical Modeling, River Confluence

1. 서론

하천의 지류와 본류가 만나는 합류부에서 각각 본류와 지류에서 유입되는 유량이 만나 복잡한 흐름을 형성

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2017R1A2B4007131)을 받아 수행된 연구이며, 또한 한국가스공사 연구비지원(KICT 과제번호 20170569)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Un Ji(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0229 email: jiun@kict.re.kr

Received November 17, 2017

Revised (1st December 4, 2017, 2nd December 5, 2017)

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

하게 되며, 수리특성의 변화는 지류 하천 유입유량의 변화, 합류부 내에서의 유로 폭의 확대·축소, 지류 하도의 접근 각도 및 유로연장 등 여러 요인에 의해 민감하게 반응한다[1]. 이러한 하천 지류 및 합류부에서의 문제점은 크게 세 가지 형태로 나눌 수 있으며, 그 유형은 첫째 흐름 차단으로 인해 퇴적이 발생하는 경우, 둘째 주하도 수위가 감소함에 따라 지류에 침식이 발생하는 경우, 마지막으로 지류에서 유입되는 유사량이 급격히 증가하는 경우이다. 국내 하천의 경우 대규모로 수행된 주하도 준설로 인해 지류 및 합류부에서의 여러 문제점 발생이 예상되며, 따라서 합류부 하상의 안정화 방법에 대한 연구와 대처 방안에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

이러한 합류부 구간에서의 복잡한 흐름을 분석하기 위해 다양한 접근방법을 활용한 해석이 수행되어 왔다. 이에 대한 대표적인 연구로는 Best [2]가 1987년 수행한 합류부 구간에서의 흐름분석에 관한 연구가 있다. 이 연구에서 Best는 하상변동에 영향을 미치는 각각의 인자들에 대해 상관관계를 분석하였으며, 가장 지배적인 인자로 합류각도와 유량비를 제시한바 있다. 또한 1988년 수행된 Roy et al. [3]의 연구에서는 직접 현장조사를 통해 측정된 지표들을 통해 합류부 구간에서의 지형변화를 분석하였으며, 분석 결과로 지류의 곡률 변화가 합류부 형상에 가장 큰 영향을 미친다고 제시하였다. Roy et al. [3]과 마찬가지로 Biron et al. [4]도 현장측정을 통해 합류부 구간의 지형변화를 분석하고자 하였으며, 모래하천 합류부 구간을 대상으로 불규칙 수심 하도에 대해 분석한 결과 본류와 지류의 상대적인 유량비가 하류 수심에 직접적인 영향을 미친다고 제시하였다. 이렇듯 합류부 구간에 대해 현장에 나가 직접 측정한 연구 외에도 비교적 최근들어 수행된 연구에서는 수리실험과 수치모형을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. Roca et al. [5]은 FESWMS-2DH(Finite-Element Surface-Water Modeling System for 2-Dimensional flow in the Horizontal plane) 모형을 활용하여 집중호우 사상에 대해 흐름 특성을 연구하였으며, 그 결과 조도 계수와 유량은 수위에 영향을 미치지만 본류와 지류의 유량비 보다는 영향이 적은 것으로 나타났다. Leite Ribeiro [6]는 수리실험을 통해 합류부의 지형변화를 분석하였으며, 합류각이 90도이고 5 mm이상의 자갈로 구성된 합류부 구간에 대해 분석한 결과 유량비가 클수록 합류부에서의 퇴적이 큰 것으로 나타났다.

이러한 국외연구 이외에도 합류부 구간의 하상변화를 추정하기 위한 국내연구도 진행되고 있다. Choi et al. [7]는 수리실험 분석을 통해 3가지 형태의 제방 설치에 따른 하천 흐름 및 하상변동을 분석하였으며, 남한강과 평창강의 합류지점의 퇴적면적은 지류 유량변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 Jang et al. [8]의 2006년 연구에서는 SMS(Surface-water Modeling System)를 활용하여 본류와 지류의 유량 증가에 따른 흐름특성 및 하상변동을 분석하였으며, 분석 결과 유량의 증가에 따라 합류 전 구간에서는 침식, 합류 후 구간에서는 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다.

이처럼 국내외에서 합류부 구간의 흐름 및 하상변동 특성을 분석하기 위한 수많은 연구가 진행되고 있지만 합류각, 지류 유입량, 본류와 지류의 유량비 등 다양한 인자들에 의해 영향을 받는 복잡한 흐름 구조로 인해 현재까지도 합류부 구간에서의 명확한 패턴을 도출하기가 어려운 실정이다. 이러한 기존의 연구결과에 따라 분석하고자 하는 구간에 대한 개별적인 분석을 통해 명확한 분석 결과를 도출할 필요가 있을 것이다. 또한 합류부 하도안정화를 위한 여러 구조적, 비구조적 대책을 수립하기 위해서는 지류와 본류의 유입되는 유량 변화에 따른 합류부 구간에서의 흐름특성을 정확히 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 수치모의를 활용하여 흐름의 합류로 인해 복합적인 하도의 변화가 예상되는 낙동강과 금호강 합류부 지점을 대상으로 홍수 발생시 유량 변화에 의한 유속, 하상변동, 부유사 농도 변화 등에 대한 수리특성 변화를 분석하는 것이다.

2. 대상구간 및 수치모의 조건

2.1 대상구간의 개요

낙동강은 영남지방 전역을 유역권으로 하여 그 중앙 저지대를 남류하여 남해로 흘러드는 하천으로 하천연장 400.7 km, 유로연장 510.36 km, 유역면적 23,384.21 km²이다[9]. 금호강은 Fig. 1과 같이 경북 남동부를 서류하며 낙동강으로 합류하는 강으로 지류 길이 116 km, 유역면적 2,053.3 km²이다. 낙동강과 금호강 합류부는 비교적 완만한 각도로 합류되고 있으며, 합류부 구간의 금호강 좌안에는 달성습지가 조성되어있다. 본 논문에서는 낙동강과 금호강 합류부 구간에 대해 예상되는 하상

변화를 현재의 수리, 수문, 유사량 자료 등을 수집하여 2차원 하상변동 모형 CCHE2D(Center for Computational Hydrosience and Engineering 2-Dimensional)를 이용하여 모의를 수행하였다.

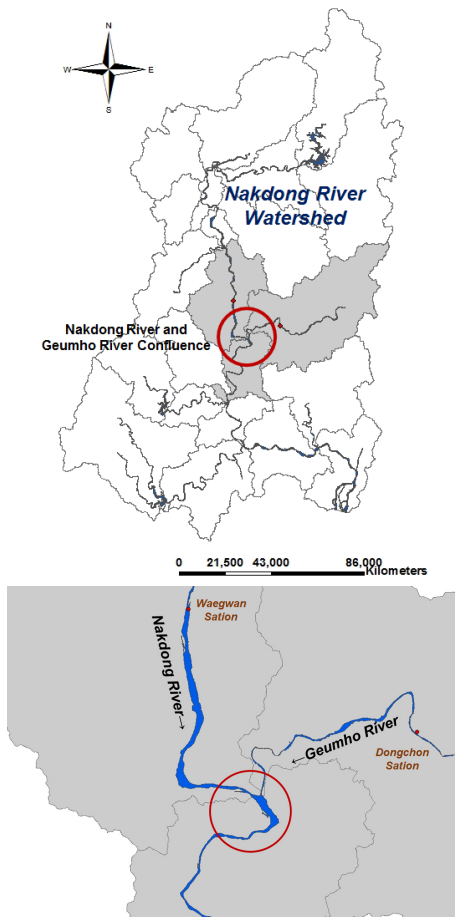


Fig. 1. Study reach and section at the confluence of Nakdong and Geumho Rivers

2.2 수치모형의 선정 및 선정된 모형의 개요

하천에서의 흐름과 하상변동을 예측하기 위해 주로 활용되는 수치모형은 일반적으로 상당히 긴 구간의 종단적인 하상변동을 예측하는 1차원 수치모형과 국부적인 평면적 하상변동을 예측하는 2차원 수치모형 등이 있다[10].

이러한 수치모형들의 기본적인 원리는 하천흐름 및 유사 이송을 지배하는 방정식을 유한차분법, 유한요소법 등의 수치기법을 이용하여 해를 구하는 것으로 대표적인 1차원 하상변동 모형으로 HEC-RAS(Hydrologic

Engineering Centers River Analysis System) 모형과 GSTARS(Generalized Stream Tube computer models for Alluvial River Simulation)가 있다[11].

2차원 하상변동 모형은 공학적 설계의 실행 가능성 평가나 최적화를 위한 계획과 의사결정, 단기간의 모의를 통한 장기간에 대한 영향예측 등 많은 분야에서 활용되고 있으며 특히, 일차원 해석에서 수행할 수 없는 복잡하고 불규칙한 경계와 하상을 가진 하도에 대한 유동분석을 위해서는 2차원 하상변동 모형을 통한 고찰이 효과적이다. 대표적인 2차원 수치모형으로는 SMS(Surface-water Modeling System)과 CCHE2D(Center for Computational Hydrosience and Engineering 2-Dimensional)가 있다. 두 모형의 가장 큰 차이점으로 SMS 모형은 부유사 이송 형태의 이류-확산 방정식과 Ackers and White [12] 공식만을 적용하여 모의가 가능한 것에 비해 CCHE2D 모형은 하상토 입도분포의 입력이 가능하며 유사량 공식을 Ackers and White [12] 공식, Englund and Hansen [13] 공식, Wu et al. [14] 공식, SEDTRA Module [15] 등 중 하나로 선정하여 모의할 수 있다는 것이다. 또한 유사 이송형태별 이류-확산 방정식의 경우는 소류사, 부유사, 총유사 이송형태로 모두 모의가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 CCHE2D 모형을 수치모형으로 선정하였다.

CCHE2D 모형은 하천의 흐름 특성과 하상변동을 파악하기 위해 Mississippi 대학의 NCCHE(National Center for Computational Hydrosience and Engineering)에서 개발한 2차원 수치 모형[16, 17]으로 모의구간에 대한 지형을 구축하는 CCHE2D MESH Generator 프로그램과 구축한 지형과 계산에 필요한 입력조건을 이용하여 계산 및 결과를 보여주는 CCHE_GUI 프로그램으로 구성되어 있다. CCHE2D 모형은 흐름에 대한 연속방정식 외에 개수로 흐름이 천이류 흐름이라고 가정하고 수심 적분된 2차원 난류 흐름에 대한 천수방정식을 지배방정식으로 채택하고 있으며, 유사모의는 수심 적분된 2차원 이송-확산방정식 및 유사이송방정식을 적용한다[16, 17].

2.3 수치모의 입력조건

수치모의를 위한 지형자료는 2015년 측량된 지형자료를 활용하였으며, 지도상의 등고선을 고려하여 요소망의 각 절점에서 선형 보간하여 지형을 구축하였다. 선형 보간은 CCHE2D 상에서 사용할 수 있는 보간 기법들 중 모형의 매뉴얼 상에서 추천하는 Structured 기법을 적용

하였다[18]. 모형의 mesh 격자는 모형의 구동 시간과 안정적 수치 계산을 고려하여 5 m 간격으로 구성하였다. 구축된 지형의 총 하도 길이는 약 7.2 km이며(Fig. 2), 하폭은 습지구간에서 1.4 km이고, 습지구간 통과 후 약 0.9 km이다. 난류 모형 조건으로는 Parabolic Eddy Viscosity Model을 사용하였고 수치해석 기법 중 Wall Slipness Coefficient는 0.5, 그리고 마름상태의 지형이 많은 경우 오류가 발생함을 감안하여 마름상태 지형의 허용 기준수위는 0.04 m를 적용하였다. 모의시간 간격은 60초 간격(1,440회/day)을 적용하였으며, 유입유사량 또한 60초 간격으로 유입되게 설정하였다. 또한 하상변동을 모의하는 수치모형의 경우 흐름이 먼저 계산된 후 계산된 결과에 대해 하상에 대한 변화를 계산하는 경우가 일반적이며 이를 비연계(Uncoupled) 모형이라고 한다. 본 논문에서 활용한 CCHE2D 모형 또한 이 방법을 채택한 비연계 모형으로 흐름과 하상변동을 부정류로 모의하지 않고 정류조건이 반복적으로 발생한다는 준정류(Quasi-steady) 조건으로 수행하였다. 즉, 1일 동안의 하상변동을 계산한 후 하상고를 새롭게 변화한 다음 시간 간격의 흐름계산에 반영하였다.

본 논문에서 대상구간으로 선정한 낙동강과 금호강 합류부 구간의 경우 Fig. 1과 같이 합류전까지 직선하도로 이어지다가 합류 후 만곡부로 이어지며, 만곡구간 통과 후 다시 직강화되는 구간이다. 따라서 본 논문에서는 Fig. 2와 같이 합류부에서 발생하는 흐름 및 하상변동 특성 변화에 관해 구간별 상세 분석을 위해 합류부 직하류 지점(A-A')과 중간에서 발생하는 대규모의 사주로 인해 흐름이 갈라지는 지점(B-B') 및 만곡부 지점(C-C')에 대해 각각 대표 횡단면을 선정하였다.

흐름 모의 조건은 해당구간에서 실제로 발생한 2012년 9월 15일부터 2012년 9월 21일까지 홍수 사상을 유입유량으로 선정하였다. 또한 본류의 상류 유량자료는 죽곡 지점의 자료를 활용하였으며, 지류의 유량자료는 성서지점의 자료를 활용하였고, 하류단 경계조건으로는 화원수위표의 자료를 활용하였다. 활용한 수위관측소 및 유사량 측정지점의 위치는 Fig 3과 같으며, Fig 4는 성서지점의 유량 및 화원지점의 수위를 나타낸 그래프이다. 또한 이에 대한 상류단과 하류단의 상세한 경계조건은 Table 1과 같이 정리하였다. 하상변동 모의를 위한 유입유사량 자료는 해당구간 상류에서 측정된 자료 중 가장 근접한 왜관지점의 2012년 유사량 측정 자료를 사

용하였다(Fig. 5). 또한 모형에 활용된 모든 매개변수는 Table 2와 같이 정리하였다.

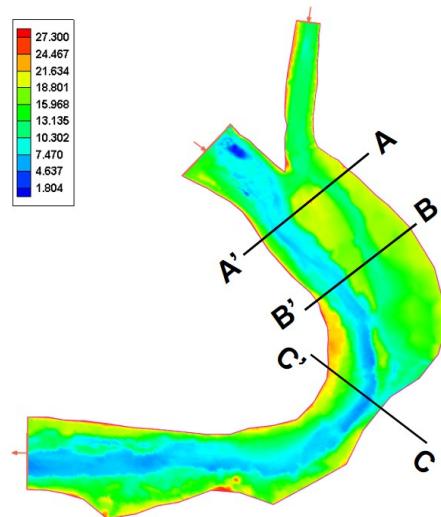


Fig. 2. Initial bed elevation for numerical simulation (unit: El.m)



Fig. 3. Location of water level gauging stations and sediment measured point

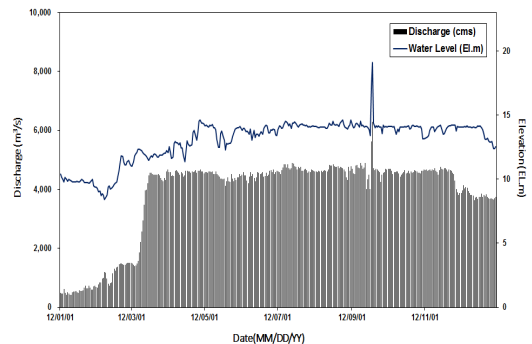


Fig. 4. Discharge hydrograph at the Seongseo Station and water surface level changes at the Hwawon Station

Table 1. Simulation conditions of flow discharge and incoming sediment discharge (Q: discharge, Qs: sediment discharge, M: main channel, T: tributary, H: downstream water level)

Date (YY-MM-DD)	Q (m ³ /s)			Qs (tons/day)			H (El.m)
	M	T	Ratio	M	T	Ratio	
12-09-15	4,488.2	53.58	0.012	21,056	85	0.004	13.87
12-09-16	4,016.0	146.8	0.037	18,087	660	0.036	13.42
12-09-17	5,622.8	1,791.3	0.319	28,654	106,89	3.730	17.11
12-09-18	6,294.6	961.78	0.153	33,434	30,177	0.903	19.12
12-09-19	4,710.8	234.66	0.050	22,496	1,713	0.076	14.38
12-09-20	4,646.6	130.66	0.028	22,075	521	0.024	14.00
12-09-21	4,693.6	84.93	0.018	22,382	217	0.010	14.16

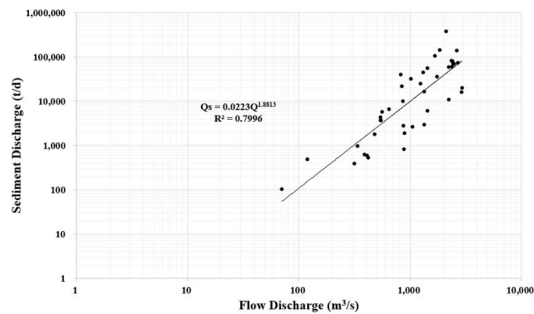


Fig. 5. Sediment discharge data of the Waegwan Station in Nakdong River [19]

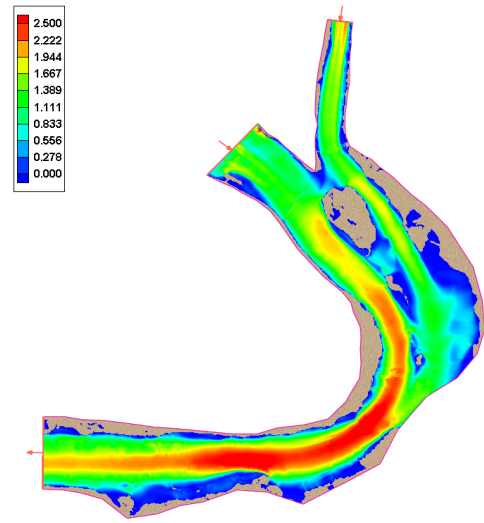
Table 2. CCHE2D modeling conditions

Variables	Input Conditions
Turbulent Model Condition	Parabolic Eddy Viscosity Model
Wall Slipness Coefficient	0.585 m
Water Level of Dry Condition	0.04 m
Time Step	60 Second
Mean Diameter of Bed Material	0.47 mm
Specific Weight	2.65

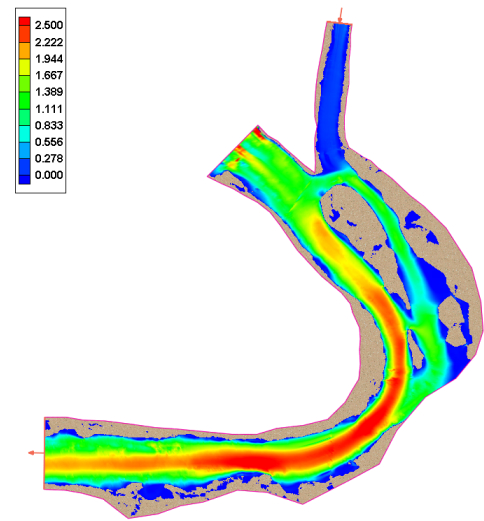
3. 수치모의 결과 및 분석

3.1 유속에 의한 흐름 변화

낙동강과 금호강 합류부 구간에서의 하천구조물을 고려하지 않은 홍수사상에 대한 흐름 모의 분석 결과 중 가장 큰 유량이 발생한 4일 후와 홍수사상이 종료된 7일 후 유속에 대한 모의 결과는 Fig. 6의 (a), (b)와 같다. 홍



(a) after 4 Days



(b) after 7 Days

Fig. 6. Simulation results for velocity distribution (unit: m/s)

수 발생 4일 후, 합류부 구간에서 유속이 저하되어 기존에 형성되어 있던 사주의 면적이 상당부분 감소하였으며, 합류부 통과 후 본류인 낙동강에서는 국부적으로 2.5 m/s가 넘는 유속이 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 만곡부에서 다른 구간에 비해 더 큰 유속이 발생하는 것으로 나타났고 만곡부 통과 후 약 1 m/s로 유속이 감소함을 알 수 있었다. 또한 홍수가 종료된 7일 후 여전히 동일한 구간의 유속이 크게 발생함을 알 수 있으며, 이로 인해 지류유입량이 감소함에도 큰 영향이 없는 것을 알

수 있다. 즉, 지류에서의 유입 유량 감소로 인해 지류에서의 유속은 감소하였으나 본류의 유속은 더 증가하는 것으로 나타났다. 본류에서는 합류 전 후 2 m/s 내외의 유속이 발생하였음에도 불구하고 합류부 통과 후 좌안에서 발생한 유속 저하로 인해 마름현상이 더 확대되는 것으로 나타났다.

합류부 구간이라는 본 연구의 대상구간처럼 일반적인 상황과 차별화된 조건에서의 흐름의 방향과 이동성을 분석하기 위해 유속 모의 결과와 유속벡터를 함께 도시하였다(Fig. 7). 합류부 직하류인 A-A' 지점에서는 홍수발생시 지류의 유입량이 더 많은 것을 알 수 있었으며, 홍수 후에는 본류흐름이 더 지배적인 것을 알 수 있었다. 또한 중간에서 발생하는 대규모의 사주로 인해 흐름이 갈라지는 B-B' 지점에서는 홍수전후의 큰 차이는 없으나 홍수 발생 후 지류의 흐름이 홍수전에 비해 집중되는 것으로 나타났다. 또한 만곡부인 C-C' 지점에서는 좌안보다 우안에서의 유속이 훨씬 크게 발생함을 알 수 있으며, 흐름의 방향은 홍수전후 큰 차이 없음을 확인하였다.

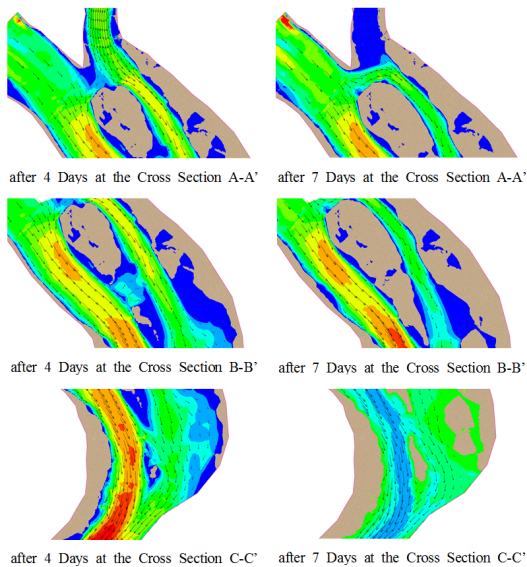


Fig. 7. Velocity distribution at the different sections (unit: m/s)

3.2 하상변동 모의 결과

흐름과 더불어 하상변동 모의결과를 분석한 결과 국부적으로 2.5 m/s의 유속이 발생했음에도 불구하고 전반적으로 큰 침식이나 퇴적이 발생하지는 않는 것을 알 수 있다(Fig. 8). 이는 남한강과 평창강의 합류지점의 퇴적

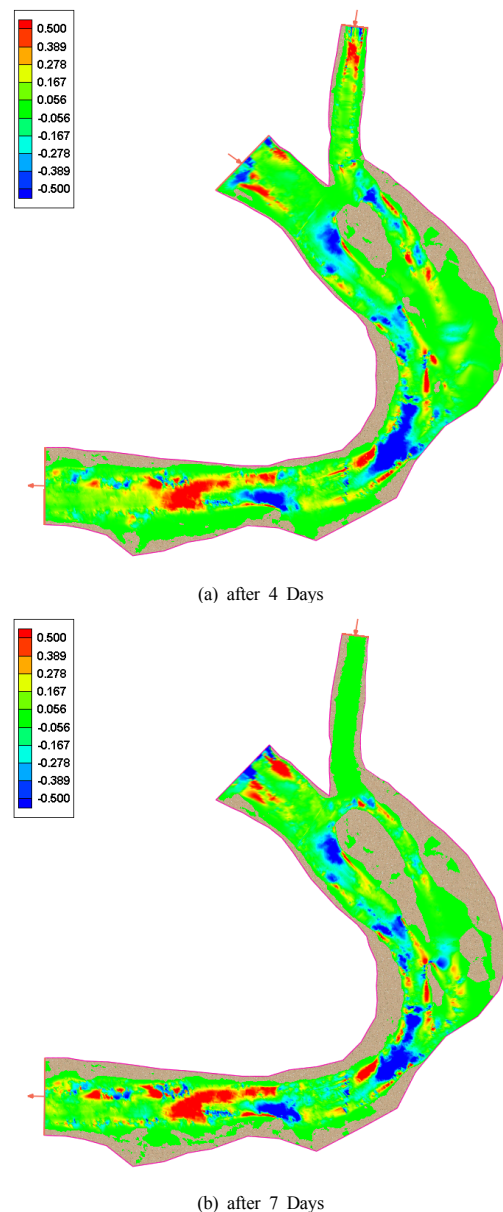


Fig. 8. Simulation results for bed changes (unit: m)

면적은 지류 유량변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타난 Choi et al. [6]의 연구결과와도 유사하다. 그러나 홍수 발생 4일 후 합류부 구간에서 유속저하로 인한 마름 현상으로 인해 흐름이 지류와 본류로 갈라지며 0.5 m의 침식이 발생하기도 하였다. 합류부 구간에 비해 만곡부에서의 0.5 m 이상의 침식 규모가 더 광범위함을 알 수 있으며, 만곡부 통과 후에는 국부적으로 0.5 m 이상의 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 퇴적현상

은 홍수가 종료된 시점까지 유지되었다. 따라서 지속적인 하상의 침식을 방지하기 위해 합류부 구간보다도 우선적으로 만곡부 구간의 안정화 대책이 필요할 것으로 판단된다.

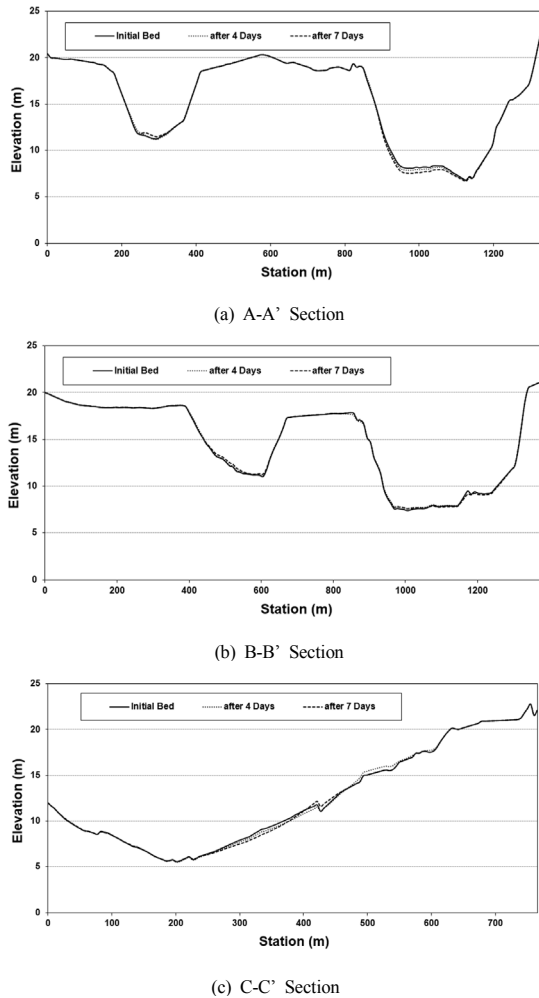


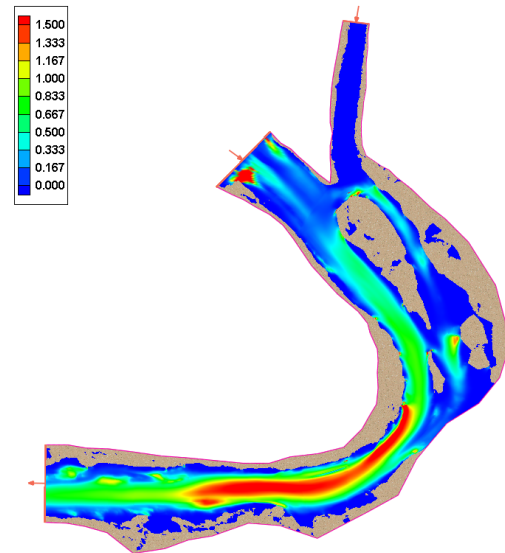
Fig. 9. Simulation results for bed changes at the cross sections

하상변동 모의결과에 대한 정량적인 분석을 위해 대상 지점으로 선정한 A-A', B-B' 및 C-C' 지점에 대해 Fig. 9와 같이 초기 하상과 모의 4일 후, 7일 후 횡단면을 비교하였다. 비교결과, 전 구간에 걸쳐 큰 하상변화는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 큰 변화가 발생한 구간으로는 단면 A-A' 에서 하도의 우안에서 약 0.5 m의 침식이 발생하였으며, 비교 구간 중 가장 하류인 C-C' 지점에서는 약 0.9 m의 침식이 발생하는 것으로 나타났다.

그러나 합류구간인 B-B' 지점에서는 눈에 띄는 하상변화가 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 이는 대상구간 좌안에 위치한 습지의 영향으로 판단되며 따라서 이와 같은 합류부 구간에서는 하안침식의 위험이 낮을 것으로 예상할 수 있다.

3.3 부유사 농도 변화 분석

유속에 대한 흐름변화, 하상변동 규모를 통한 지형변화와 더불어 부유사 농도 비교를 통해 대상구간의 유사 발생 패턴을 분석해보고자 하였다. 부유사 농도 발생을 홍수전후로 구분하여 비교한 결과, 합류 후 구간부터 만곡부까지의 부유사 농도가 가장 높게 나타남을 알 수 있었다. 특히 홍수 발생 시 지류에서의 부유사 농도가 매우 낮은 것과 비교하여 홍수 발생 후 지류에서의 부유사 농도가 더 높게 나타났다. 이를 통해 홍수시 발생하는 하상의 침식 혹은 퇴적에 미치는 영향이 지류에 비해 본류가 더 큰 것을 예상할 수 있다. 또한 홍수 발생시 Fig. 10(a)와 같이 다른 구간에 비해 만곡부 구간의 농도가 1.5 kg/m^3 로 현저히 높은 것을 확인 할 수 있으며, 이를 통해 본 논문의 대상구간 하류로의 유입 유사량은 이 구간에서 발생하는 유사량이 많을 것으로 추측할 수 있다. 홍수가 종료된 후에도 동일한 구간의 부유사 농도가 다른 구간에 비해 더 높은 것을 알 수 있다(Fig. 10(b)).



(a) after 4 Days

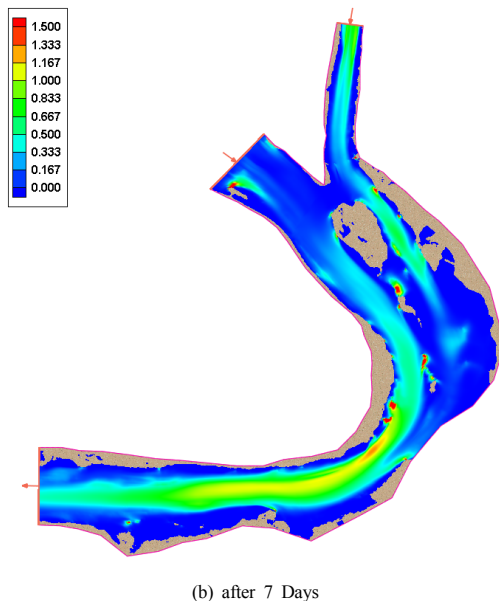


Fig. 10. Simulation results for suspended sediment concentration (unit: kg/m^3)

4. 결론

본 연구에서는 합류되는 지류로 인해 지속적인 하도 변화가 발생할 것으로 판단되는 낙동강과 금호강 합류부 지점을 대상으로 홍수 발생 전후 유량변화에 의한 흐름 특성 및 하상변화를 2차원 수치모형을 활용하여 분석하였다.

유속에 대한 흐름 특성 분석 결과 합류전후에 비해 합류 후 만곡부 구간에서 더 큰 유속이 발생함을 알 수 있었으며, 본 논문의 대상구간과 같이 완전한 합류각으로 합류되는 구간의 경우 평수시에는 본류의 흐름이 더 지배적이라는 것을 알 수 있었다. 하상변동 모의 결과 역시 합류부 구간에 비해 만곡부에서의 하상변화의 규모가 더 큰 것을 확인하였으며, 이러한 하상변화를 방지하기 위해 합류부 구간보다도 우선적으로 만곡부 구간의 안정화 대책이 필요할 것으로 판단되었다. 대상구간의 홍수 발생 시기에 의한 변화는 홍수에 의한 영향보다는 평수기 시 발생하는 하상의 변화가 더 지배적이라는 것을 예상할 수 있다. 또한 부유사 농도는 만곡부에서 가장 크게 나타났으며 이러한 부유사 농도 발생 특성은 단순히 홍수사상의 크기뿐만 아니라 홍수 발생기간과 빈도가 유사 공급과 유사 이송 능력에도 영향을 미칠 수 있을 것으로

판단된다.

이와 같은 분석결과를 토대로 본 연구의 대상구간에 서 발생할 수 있는 문제의 유형은 흐름 차단으로 인해 퇴적이 발생하는 경우나 주하도 수위가 감소함에 따라 지류에 침식이 발생하는 경우 혹은 지류에서 유입되는 유사량이 급격히 증가하는 경우에 해당하지 않는다는 것을 알 수 있다. 종합적으로 본 연구의 대상구간인 낙동강과 금호강 합류부 지점에서는 합류로 인한 큰 지형변화는 없는 것으로 나타났으나 일부구간에서 1 m 이상의 침식과 퇴적이 반복적으로 발생하여 지속적인 모니터링 및 관리가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 합류부 구간의 흐름 및 하상변화 형태를 분석하기 위한 연구는 단순히 합류각, 지류 유입량의 변화, 본류 준설 여부 등에 의해 정의 될 수 있는 단순한 문제가 아니며 반드시 분석하고자 하는 대상하천에 대한 정량적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 이를 통해 분석되는 합류부 구간별 연구의 분석 결과는 합류부 구간과 같이 특수한 조건에서의 효율적인 하도 관리와 재해 예방 대책수립을 위한 문제점 및 대책방안 분석에 활용할 수 있을 것이다.

References

- [1] U. Ji, E. K. Jang, "Numerical Analysis of Flow and Bed Changes due to Tributary Inflow Variation at the Confluence of the Namhan River and the Geumgang Stream", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 47, no. 11, pp. 1027-1037, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.11.1027>
- [2] J. L. Best, "Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology", *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 1987.
- [3] A. G. Roy, R. Roy, N. Bergeron, "Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material" *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 13, no. 7, pp. 583-598, 1988.
DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290130704>
- [4] P. Biron, A. G. Roy, J. M. Best, C. J. Boyer, "Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels", *Geomorphology*, vol. 8, no. 2, pp. 115-129, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90032-W](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90032-W)
- [5] M. Roca, J. P. Martin-Vide, P. J. M. Moreta, "Modeling a torrential event in a river confluence." *Journal of Hydrology*, vol. 364, no. 3, pp. 207-215, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.10.020>
- [6] M. Leite Riveiro, "Influence of tributary widening on confluence morphodynamics". Ph. D. dissertation, École polytechnique fédérale de Lausanne, France, 2011.

- [7] G. W. Choi, Y. J. Yoon, J. B. Cho, "The Variation of Hydraulic Characteristics Depending upon Removal of the Hydraulic Structures near the Junction between Nam Han and Pyeong Chang Rivers" *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 38, no. 8, pp. 675-689, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2005.38.8.675>
- [8] C. L. Jang, J. K. Kim, I. H. Ko, "Numerical Simulation of Flow and Bed Change at the Confluence of the Geum River and Mihocheon" *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 8, no. 3, pp. 91-103, 2006.
- [9] Doopedia. <http://www.doopedia.co.kr/>
- [10] Y. S. Kwon, "Numerical analysis on Bed Changes Considering Variation of Channel Width and Bank Erosion", M.S. Thesis, Myoungji University, Korea, 2012.
- [11] U. Ji, S. W. Han, W. K. Yeo, "Numerical Analysis for Bed Changes due to Sediment Transport Capacity Formulas and Sediment Transport Modes at the Upstream Approached Channel of the Nakdong River", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 43, no. 6, pp. 543-567, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2010.43.6.543>
- [12] P. Ackers, W. R. White, "Sediment transport: New approach and analysis", *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, vol. 99, no. 11, pp. 2041-2060, 1973.
- [13] F. A. Engelund, E. Hansen, "Monograph on sediment transport in alluvial streams", Teknisk Forlag, 1967.
- [14] W. Wu, S. S. Y. Wang, Y. Jia, "Nonuniform sediment transport in alluvial river", *Journal of Hydraulic Research*, vol. 38, no. 6, pp. 427-434, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1080/00221680009498296>
- [15] J. Garbrecht, R. A. Kuhnle, C. V. Alonso, "A sediment transport formulation for large channel networks", *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 50, no. 5, pp. 517-579, 1995.
- [16] Y. Jia, S. S. Y. Wang, "CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed", NCCHE-TR-2001-1, School of Engineering The University of Mississippi, USA, 2001.
- [17] W. Wu, "CCHE2D sediment transport model(version 2.1)", NCCHE-TR-2001-3, School of Engineering The University of Mississippi, USA, 2001.
- [18] U. Ji, E. K. Jang, "Numerical Analysis of Lateral Geomorphology Changes by Channel Bed Deposition and Bank Erosion at the River Confluence Section", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 49, no. 5, pp. 391-398, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2016.49.5.391>
- [19] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Hydrological annual report in 2012", Hydrological Survey Center, 2013.

장 은 경(Eun-Kyung Jang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 명지대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 2012년 2월 : 명지대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2013년 6월 ~ 2017년 7월 : 한국 건설기술연구원 수자원·하천연구소 신진연구원
- 2017년 9월 ~ 현재 : Colorado State University, Dept. of Civil and Environmental Engineering(박사후연구원)

<관심분야>

토목공학, 유사 수리학

지 윤(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) 스마트도시·건설융합 부교수

<관심분야>

토목공학, 하천 수리학