

1차원 및 2차원 수치모의를 위한 조도계수 비교

Comparison of Roughness Coefficients for 1D and 2D Hydraulic Modeling

안정민*, 류시완**, 김현식***, 박인혁****, 황필선*****

Jung Min Ahn, Siwan Lyu, Hyeon Sik Kim, In Hyeok Park, Phylil Sun Hwang

요 지

하도내 수리구조물 건설과 준설로 인해 발생하는 급격한 수리특성의 변화와 편수위로 야기될 수 있는 제방의 파괴 및 침식을 검토하기 위해서는 다차원 모형의 검토가 필요하다. 본 연구에서는 HEC-RAS로 산정한 조도계수를 다차원 모형에 적용하여 수리거동을 분석하였다. 낙동강 수계에 대해 2003년, 2004년, 2006년 그리고 2007년 태풍 사상에 대해 적용하였으며 HEC-RAS 모형의 조도계수를 0.01부터 0.04까지 0.001씩 증가하여 HEC-RAS 모형에 적용하였고 부정류 흐름모의를 수행하여 RMSE와 NRMSE를 이용해 관측 값과 비교하였다. 공간단위 다차원 모형은 격자크기, 만곡도, 난류 등으로 인한 손실이 추가적으로 반영되기 때문에 선단위 1차원 모형에서 산정된 조도계수를 적용할 경우 실측 관측 수위보다 큰 값이 산정되었다. 따라서, 1차원 수치모형에 의해 산정된 조도계수를 다차원 모형에 그대로 적용할 경우 과도한 수위를 산정할 수 있기 때문에 모형 차원에 따른 별도의 보정을 수행하여 얻어진 조도계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 부정류, HEC-RAS, CCHE2D, 에너지손실계수

1. 서론

흐름에 대한 하도의 저항정도를 표시하는 조도계수는 하천의 유량 및 수위를 결정짓는 가장 중요한 수치 중의 하나이며 조도계수의 값에 의해 수위의 상승 및 하강이 결정된다. 조도계수는 수치모의 결과에 민감하기 때문에 하천의 설계홍수위 결정에 따른 제방 설계시 수위의 과대 또는 과소산정으로 설계 비용 및 제방의 안전에 많은 영향을 미친다. 조도계수는 기본적으로는 하상의 특성에 의해 결정 되지만 하천 흐름을 계산할 경우 식생, 구조물, 사행, 하상변화, 유사량, 수위, 유량 등의 다양한 요인들을 조도계수에 반영시킬 수 있다. 이와 같이 조도계수 값에는 흐름에 대한 불명확한 요소들이 여러 가지 모양으로 개입되어있다. 조도계수를 산정하는 방법으로는 수치 모형을 적용하여 상·하류 경계조건을 동일 시간의 수위와 유량이 아닌 최대 홍수위와 침투 방류량을 이용하여 조도계수를 산정하는 방법과, Cowan(1956)과 Chow(1959)의 도표를 이용하는 방법, 기존 하천설계에서 사용했던 조도계수를 참고하여 관행적으로 적용하는 방법이 있다. Manning의 조도계수는 보통 n 으로 표시하여 사용하지만 하천개수공사가 완료된 복단면 하도의 경우에는 합성조도계수, 즉 저수로와 홍수터를 합성한 조도계수를 N 으로 표시하여 사용하기도 한다. 실무에서는 통상적으로 하천정비기본계획 보고서에 기재되어 있는 값을 이용하거나 기존 하천설계에서 사용하던 합성 조도

* 정회원 · 창원대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · E-mail : ahnjm80@gmail.com

** 정회원 · 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · E-mail : siwan@changwon.ac.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 팀장 · E-mail : hyeonsik@kwater.or.kr

**** 충북대학교 건설기술연구소 연구원 연구교수 · E-mail : teryoops@nate.com

***** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 실장 · E-mail : jesus@kwater.or.kr

계수를 활용하고 있다. 이러한 방법은 설계홍수위를 산정하기 위하여 침투유량을 이용하여 산정하였거나 1차원 모형에 국한되어 산정된 값이기 때문에 부정류 문제를 해석하거나 다차원 수치모델링을 이용한 정밀한 수치검토에 대한 문제점을 가지고 있다. 조도계수는 국내외로 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 국내에서는 김주영 등(2010)이 실측 자료를 이용하여 국내하천의 조도계수를 산정하였다. 국외연구로는 Yan(2004)은 천수흐름에 대한 manning n 값을 산정하였고 Vionnet(2004)는 2차원 모델을 활용하여 식생 저항에 대한 흐름 저항 및 와점성계수를 평가하였다. Thomas(2007)는 1차원 및 2차원 모형을 삼림지대에 적용하여 적절한 manning n과 height k 값을 산정하였다. 최근에는 다차원 수치해석과 관련한 연구가 국내외로 활발하게 진행되고 있으며 우리나라도 최근 시행된 4대강 살리기 사업과 관련하여 하도내 많은 수리구조물이 건설되고 있기 때문에 기존의 선단위 1차원 모형에 의한 수리검토 뿐만 아니라 다차원수치모형을 통한 공간적 수치검토가 필요하다. 2008년 개정된 하천설계기준에 의하면 편수위에 의한 제방의 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 2차원 이상의 정교한 수치모델링 검토의 필요성이 명시되어 있다(한국수자원학회, 2009). 본 연구에서는 1차원 및 다차원 수치모형을 다년간 적용하여 다양한 유량에 대한 모형의 적용성을 평가하고 1차원 모형에서 보정된 조도계수를 다차원 모형에 적용할 시 발생할 수 있는 문제점을 검토하였다.

2. 대상유역

본 연구의 대상지역은 낙동강 구간 중 금호강이 합류되는 구간을 선정하였으며 대상구간의 상류에 성주 수위표가 위치하며 하류에 고령교수위표가 위치한다. 성주수위표에서 고령교수위표 까지의 거리는 대략 25 km이며 최심부를 연결한 하도선형은 매우 만곡한 형태임과 동시에 복잡한 지형특성을 나타내고 있다(그림 1). 내부 주요지점으로는 대상구간 중간 지점에 금호강이 합류하고 있고 금호강 합류 후 화원수위표가 위치하고 있어 관측수위와 계산수위 비교를 통한 수리특성 검토가 가능하다.

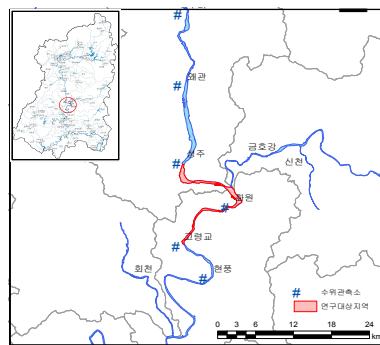


그림 1 연구대상지역

3. 연구내용

3.1 모형구축

지형자료는 4대강 사업과 관련하여 수행한 실시설계보고서(한국수자원공사, 2009a; 한국수자원공사, 2009b)의 사업 전 단면자료를 활용하여 HEC-RAS와 CCHE2D 모형을 구축하였다. 그림 2(a)에 도시된 바와 같이 HEC-RAS의 경우 단면번호 387에서 332에 해당하며 각 단면의 거리는 200 m에서 600 m이다. 그림 2(b)와 같이 CCHE2D 모형은 실제 지형을 정확히 재현하기 위해 금호강 유입 지점 일대를 대상으로 종방향 20 m 간격으로 측량된 자료를 이용하여 주수로를 고려한 3차원 정밀 지형을 구축하여 선형보간하였다. 격자망 작성은 직교곡선 격자작성 프로그램(Qmesh)을 사용하였다. Qmesh(허영택 등, 2010)는 경계선 이동조건을 적용하여 하천망 형상 및 하도의 주수로 방향을 고려할 수 있고, 직교정확도가 높은 고품질

의 직교곡선 격자망 작성이 가능하다. 특히 중형비 및 직교성의 극대화를 위해 다단계 수렴계산 기법을 채용하고 있으며, 대상영역의 특성 및 검토조건에 따라 다양한 크기의 가변 격자망 작성이 가능하다. 격자는 지형을 충분히 표현 가능하고, 주수로와 홍수터 사이의 경사와 하천흐름방향의 경사 등 급격한 지형변화로 인해 발생하는 수치계산상의 안정성을 확보하였으며 중방향의 격자분할은 하천의 중방향 형상을 고려하고 유수의 흐름 방향과 평행하게 분할하였다. 총 격자개수는 9,600개이며 횡방향 22개, 종방향 482개로 구성하였다.

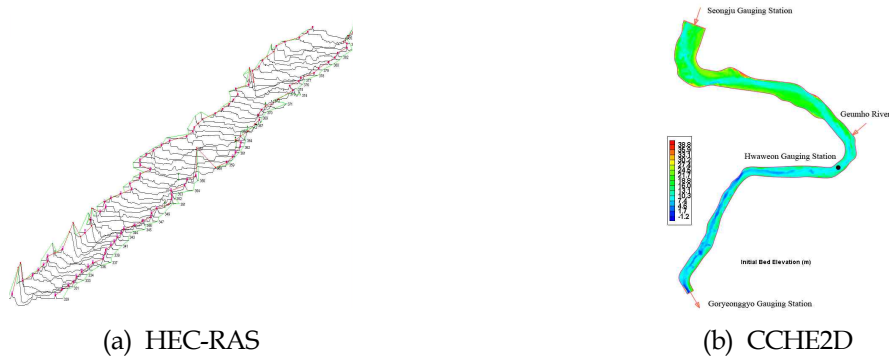


그림 2 연구대상지역

3.2 모형 적용

조도계수 산정을 위한 강우사상으로는 2003년부터 2007년까지 태풍이 발생한 기간으로 하였으며 실제 관측 유입량에 대한 모형의 수리학적 재현성을 검토하였다. 상류단 경계조건으로는 성주수위표의 관측유량, 하류단 경계조건은 고령교 수위표의 관측수위를 활용하였으며 상류단 경계조건 및 금호강 지류유입은 성주와 성서수위표에서 관측된 수위자료를 바탕으로 한국수문조사연보(2006, 국토해양부)에 제시되어 있는 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량으로 환산하여 적용하였다. HEC-RAS 모의는 조도계수를 0.01에서부터 0.001씩 증가시키며 0.04까지 모의하였고 모의 결과를 하원수위표의 관측 수위와 식 (1)~(32)을 이용해서 오차를 검토하였다. 총 자료 개수, $h_{bs,i}$ 는 시간 i 에서의 관측수위, $h_{cal,i}$ 는 시간 i 에서의 계산수위, $h_{obs,max}$ 와 $h_{obs,min}$ 은 각각 최대 및 최소관측수위, $h_{cal,max}$ 는 최대계산수위 이다.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{obs,i} - h_{cal,i})^2 \quad (1)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{(h_{obs,max} - h_{obs,min})} \quad (2)$$

$$Peak\ Error = h_{obs,max} - h_{cal,max} \quad (3)$$

모의 결과는 그림 3에 제시하였다. 2003년 강우사상은 조도계수 0.019에서 RMSE와 NRMSE가 가장 작게 나타났으나 첨두홍수위를 표현하는 지표인 Peak Error에서는 조도계수 0.015가 오차가 가장 작은 것으로 선정되었다. 2004년, 2006년 그리고 2007년 강우사상에서 RMSE와 NRMSE는 각각 조도계수 0.024, 0.021, 0.020에서 가장 낮게 선정되었고 Peak Error는 각각 조도계수 0.020, 0.022, 0.018이 가장 오차가 작은 것으로 나타났다. 홍수예측에서는 첨두홍수에 대한 정확도가 중요하므로 CCHE2D 모형과의 비교는 Peak Error가 가장 작게 나타나는 조도계수를 선택하여 적용하였다. CCHE2D 모형의 초기 수위는 거리에

따라 선형적으로 분포한다고 가정하여 각 격자에 적용한 초기 수위는 성주수위표의 초기수위와 고령교수위표의 초기수위를 이용하여 선형 보간하였다. CCHE2D 모형에 적용한 세부 매개변수는, 난류해석 모델은 Smagorinski(Smagorinsky, 1963) 방법, Wall slipness 계수는 0.5, 벽거칠기는 0.002, Wet/Dry 조건은 0.04 m, 중력가속도는 9.8 m/sec, von Karman 상수는 0.41, 와점성계수는 1.0×10^6 m²/sec를 적용하였다.

하도만곡부의 수위와 수심분포는 유심부에서 깊고, 홍수터부분인 상류는 우안측, 하류는 좌안측에서 얇은 것으로 검토되었다. 배수위 상승량은 유량의 증가에 따라서 증가하였고, 제방 내측과 외측에서의 편수위 차이는 유량의 증가에 따라서 약 20 cm로 추정되었다. 그림 6은 HEC-RAS의 계산 결과를 토대로 산정한 최적의 조도계수를 2차원 모형인 CCHE2D에 적용한 결과를 비교한 것이다. 같은 조도계수를 적용했지만 침투 수위 차이가 작게는 2004년 강우사상에서 0.16 m, 많게는 2006년 강우사상에서 1.13 m 과대 산정되었다. 하천정비기본계획과 같이, 현재 국가에서 발행하는 문헌의 경우, 1차원 수치모형을 이용해서 조도계수를 산정하여 제시하고 있다. 대부분의 경우, 1차원 수치모형에 의해 산정된 조도계수를 다차원 모형에 적용하여 값을 도출하고 있으며 이는 설계시 과대한 수위를 산정할 수 있기 때문에 제방 설계시 안전측면에서는 문제가 없을 것으로 판단되지만 시공비용은 증가할 것이다.

4. 결론

수치모의를 위한 조도계수는 수리특성에 많은 영향을 주기 때문에 적절한 계수 값 적용이 중요하다. 2차원 모형에서는 격자망을 이용하여 지형 및 수체의 거동을 세분화하여 산정하기 때문에 1차원 모형에서 적용한 조도계수 값을 그대로 적용하는 것은 상당한 오차를 발생시킬 수 있기 때문에 각 모형별로 적절한 보정을 수행하여 얻어진 조도계수를 적용해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부 (2006). 한국수문조사연보.
2. 김주영, 이정규, 안종서 (2010). 실측 자료를 이용한 국내하천의 조도계수 산정 -적용성 및 한강의 계획홍수위 검토-. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 30권, 6B호, pp. 571-578.
3. 한국수자원공사 (2009a). 낙동강살리기사업 22공구(달성·고령지구) 실시설계보고서.
4. 한국수자원공사 (2009b). 낙동강살리기사업 23공구(달성·고령지구) 실시설계보고서.
5. 한국수자원학회 (2009). 하천설계기준 해설.
6. 허영택, 류경식, 차기욱 (2010). 이동경계조건을 고려한 직교곡선격자 생성 기법 소개. 대한토목학회 학술대회논문집. pp. 2654.
7. Chow, V.T. 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co., New Yourk.
8. Cowan, W.L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering, 37(7): 473-475.
9. H. Thomas, T.R. Nisbet. 2007. An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows, Water and Environment Journal, Vol. 21(2): 114-126
10. Smagorinsky, J. 1963. General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. Monthly Weather Review, Volume. 91, pp. 99-164.
11. Vionnet, C. A., Tassi, P. A., Martín Vide, J. P. 2004. Estimates of flow resistance and eddy viscosity coefficients for 2D modelling on vegetated floodplains. Hydrological Processes 18(15) : 2907-2926.
12. Yan Ding, Yafel Jia, Sam S. Y. Wang. 2004. Identification of manning's roughness

coefficients in shallow water flow. Journal of Hydraulic Engineering, 130(6): 501-510.

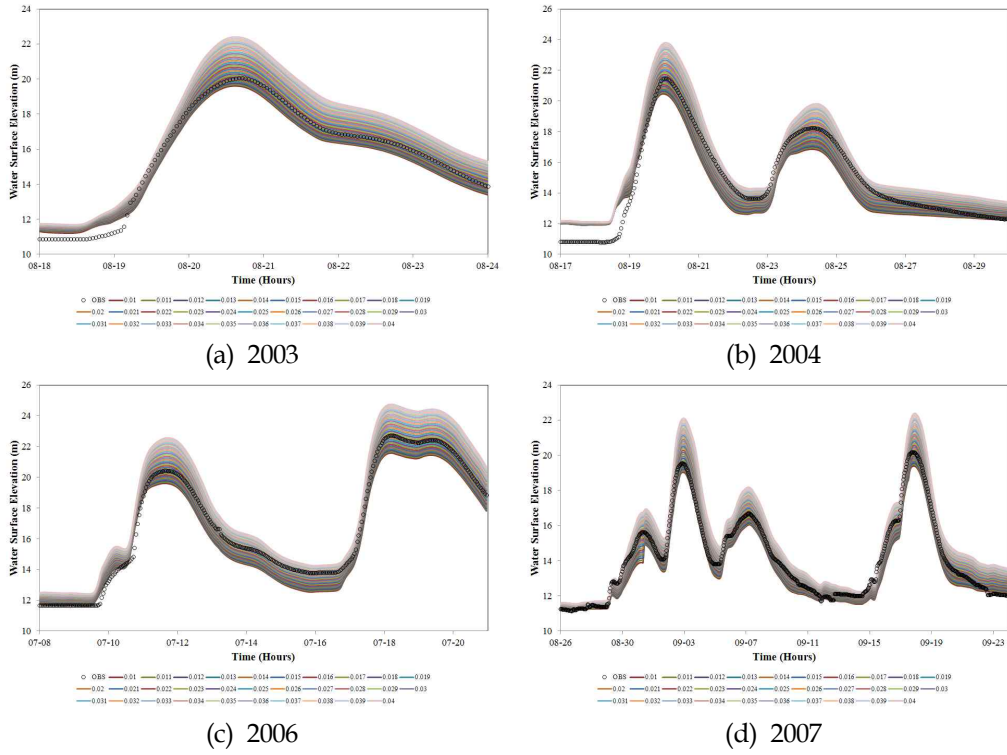


그림 3 조도계수 변화에 따른 수위 계산결과(HEC-RAS)

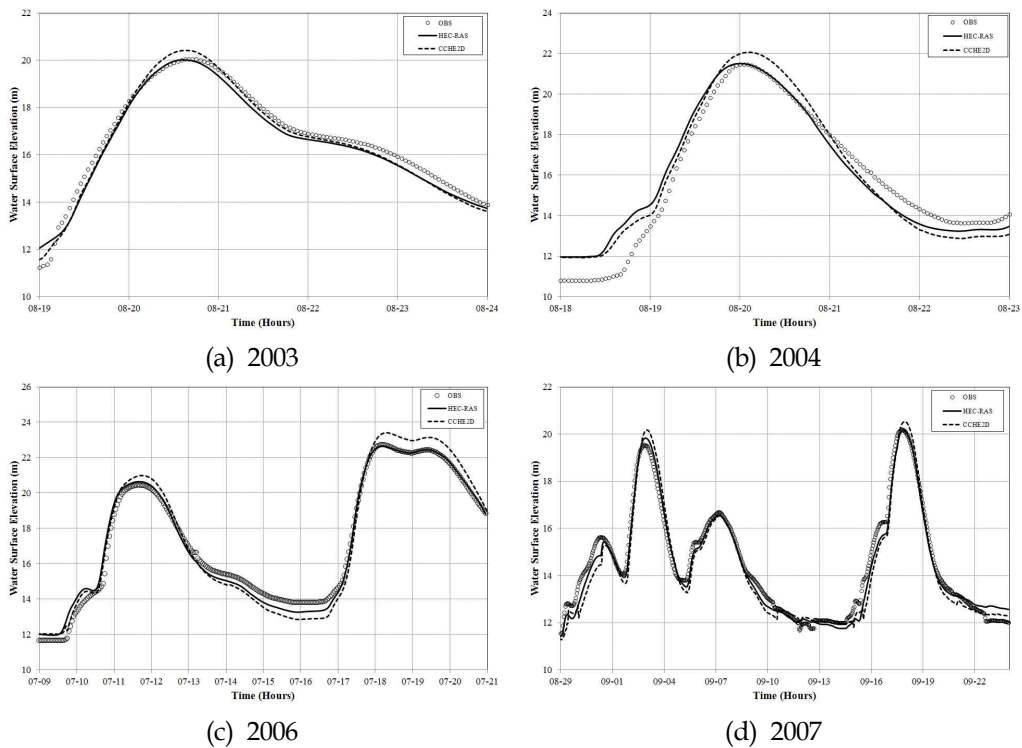


그림 4 동일한 조도계수 값을 적용하여 계산된 수위 비교(HEC-RAS와 CCHE2D)