

하천의 하상변동 예측을 위한 수치모형의 보정 및 검증에 관한 연구

Numerical Model Calibration and Verification for Riverbed Change Prediction

김권한*, 지운**, 여운광***, 정원준****

Gwon Han Kim, Un Ji, Woon Kwang Yeo, Won Jun Jeong

Abstract

The calculation method using the numerical model developed is currently one of the most required method to predict sediment transport and bed changes in the rivers. Specially, it is real condition that is applying as it is a single sediment transport equation and sediment transport mode mostly without verification process with field data. The sensitivity analysis and calibration process considering the different sediment transport equations and sediment transport modes should be performed for the accurate bed change prediction of the specified study reach using the a model. Through its process, the optimum sediment transport equation and mode for the study reach should be defined.

In this study, bed changes for the actual river are computed using the CCHE2D model allowed to select various sediment transport equations and modes. The bed change sensitivity analysis with different ranges of river flow discharge through its process, the optimum sediment transport equation and mode for the study reach should be defined. The bed change simulation with the actual hydraulic condition and the modeling results are compared with the field survey results.

keywords : sediment transport, sediment, bed change, numerical Model, CCHE2D

요 지

하천에서 유사이송 및 하상변동을 예측하는 여러 방법들 중 수치모형을 이용하는 방법이 현재 가장 많이 이용되고 있으며 특히 단일 유사량 산정 공식과 유사이송 형태를 현장자료와의 검증과정 없이 대부분 그대로 적용하고 있는 실정이다. 수치모형을 이용한 특정 대상하천의 정확한 하상변동 예측을 위해서는 유사량 산정 공식 및 유사 이송 형태에 따른 하상변동 민감도 분석 및 모형 검증과 검정 작업이 반드시 필요하며 이러한 과정을 통해 대상하천에 대한 최적의 유사량 산정 공식과 유사 이송 형태를 선정해야 할 것이다.

본 연구는 실제하천을 대상으로 여러 유사량 산정 공식과 유사 이송 형태를 다르게 적용이 가능한 CCHE2D 모형을 이용하여 하상변동 수치모의를 수행하였다. 유량 크기별 모의조건을 적용하여 하상변동 민감도를 분석을 통해 대상하천에서 적합한 유사량 공식과 이송 형태를 선정하고 실제수문사상의 유량 및 수위 조건을 적용하여 모의를 수행한 결과와 대상 하천에서 측량한 단면과 비교하여 검정을 실시하였다.

핵심용어 : 유사이송, 퇴사, 하상변동, 수치모의, CCHE2D

* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : hyh1901@lycos.co.kr
** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 연구교수 · E-mail : jjuncivil@gmail.com
*** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : yeo@mju.ac.kr
**** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 (교신저자) · E-mail : jminh0502@nate.com

1. 서론

하천에서 유사 이송과 하상변동을 예측하는 대표적인 방법으로는 현장에서 유사량이나 하상고를 측정하여 예측하는 방법과 수리모형 실험과 수치모형을 이용하는 방법이 있다. 수치모형을 이용하는 방법은 수리모형실험보다 경제적이며 여러 모의 조건들을 공간적인 제약 없이 수행할 수 있는 장점이 있으나 자연 현상의 원리를 정의하는 지배 방정식의 한계 및 반복적인 수치계산 상의 오차 등이 발생할 수 있다. 특히 현재 주로 사용되고 있는 2차원 유사 이송 및 하상변동 수치모형의 경우, 특정 유사량 산정 공식과 유사 이송 형태만을 고려한 지배 방정식을 채택하고 있다는 문제점이 있다.

하천에서의 유사량을 예측하고 하상변동 수치모형을 수행하기 위해 활용되는 유사량 산정 공식은 현재 개발되어 있는 것만 해도 수십 개가 되며 각 공식에 따른 유사량이 동일한 수리조건에서도 각각 다르게 산정되고 있다(Nakato, 1990). 유사량 산정 공식을 다르게 적용함으로써 하상변동이 어느 정도 달라지는지에 대한 몇몇 연구가 최근에 수행되어졌으나 이러한 연구는 주로 2차원 수치모형의 하상변동 모의 결과와 실험실 수로에서 모의된 하상변동을 비교하는 연구들이었다. 하지만 하상변동 수치모의 결과는 유사량 산정 공식뿐만 아니라 소류사, 부유사, 총유사의 유사 이송 형태에 따라서도 달라질 수 있기 때문에 모형사의 왜곡이 큰 수리모형 실험 결과를 수치모형 실험 결과와 비교하는 것은 한계가 있다.

2. 대상영역의 개요 및 수치모형의 선정

2.1 대상영역의 개요

낙동강 하구둑은 낙동강 하류 서부산에 바다로부터 상류 8 km지점에 위치하고 있다. 낙동강 하류부 인근 동남 해안권의 산업도시와 영남최대의 곡창지대인 김해평야에 염분 피해 없는 안정된 용수공급과 치수를 목적으로 건설되었다. 낙동강 하구둑 건설로 안정적인 용수 공급은 가능하게 되었으나, 하구둑으로 인한 유속 감소에 의해 하구둑 상류에 유사 퇴적되는 문제가 발생하고 있다. 홍수시에 상류 수로의 통수능을 확보하여 홍수위 상승을 방지하기 위해 퇴사를 커터를 이용한 펌프 준설 공법을 이용하여 준설하고 있다. 하구둑 건설 이후 1990년부터 현재까지 매년 준설 작업이 시행되고 있다.

2.2 수치모형의 선정

하상의 변화 등을 모의하기 위한 2차원 하상변동 모형은 공학적 설계의 실행 가능성 평가나 최적화를 위한 계획과 의사결정, 단기간의 모의를 통한 장기간에 대한 영향예측 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 따라서 본 연구에 적용할 수치모형을 선정하기 위해 2차원 하상변동 모형인 SED2D와 CCHE2D 모형을 비교하였다. 두 모형의 가장 큰 차이점으로 SED2D 모형은 부유사 이송 형태와 Ackers-White(1973) 공식만을 적용하여 모의가 가능한 것에 비해 CCHE2D 모형은 하상토 입도분포를 입력하여 모의가 가능하며 유사량 공식을 Ackers-White(1973), Engelund-Hansen(1967), Wu et al.(2000), SEDTRA Module(Garbrecht et al, 1995)들 중 선정하여 모의할 수 있고 유사 이송 형태는 소류사와 부유사, 총유사 이송 형태에 대해서 각각 모의가 가능하다는 점이다. 낙동강하구둑 상류 접근수로에서의 하상변동 예측을 위한 유사량 산정 공식 및 유사 이송 형태의 선정을 위해 Ackers-White(1973)와 Engelund-Hansen(1967)의 유사량 공식과 유사 이송 형태를 다르게 적용하여 하상변동 모의가 가능한 CCHE2D 모형을 선정하였다.

3. 수치모의 조건

본 연구에서 대상하천의 하상변동 예측을 위한 수치모형의 보정 및 검증을 위해 하상변동 수치 모의는 유량크기별 민감도 분석과 실제수문사상을 적용한 하상변동 모의 두 가지 형태로 수행하였다. 유량크기별 민감도 분석은 Ackers-White(1973)와 Engelund-Hansen(1967)의 유사량 산정 공식을 적용하고 유사 이송 형태를 소류사, 부유사, 총유사 이송 형태로 각각 적용하여 모의를 수행한 후 그 결과를 서로 비교하였다. 또한 실제 수문사상을 적용한 하상변동 모의는 2002년 실제 하천에서 발생한 수문사상을 적용하여 하상변동 모의를 실시하고 그 결과를 실제 측량된 지형과 비교해 보았다.

3.1 유량크기별 민감도 분석 모의 조건

유량크기별 민감도 분석을 위한 하상변동 모의 조건은 2002년 5월 1일부터 9월 30일까지의 하구둑 지점의 일평균 수위 자료와 일평균 유량자료이며 낙동강 홍수통제소 홈페이지를 통해 수집되었다. 2002년 5월 1일부터 9월 30일까지 수집된 실제 발생한 유량을 평수(652 m³/s), 홍수(4,623 m³/s), 대홍수(9,152 m³/s)의 세 등급으로 나누었다. 유사량 산정 공식과 이송 형태를 고려하여 Table 1와 같은 Case로 나누어 하상변동 모의를 수행하였다.

Table 1 Modeling conditions for the sensitive analysis

CASE	Sediment transport modes	Sediment transport capacity formula	Discharge (m ³ /s)	Water surface level (EL.m)	Simulation time (Day)	Sediment discharge (kg/m ³)
CASE 1	Suspended load type	Ackers-White (1973)	652	0.74	131	0.2688
CASE 2			4,623	0.83	16	1.0917
CASE 3			9,152	1.11	6	1.780
CASE 4		Engelund-Hansen (1967)	652	0.74	131	0.2688
CASE 5			4,623	0.83	16	1.0917
CASE 6			9,152	1.11	6	1.780
CASE 7	Bed load type	Ackers-White (1973)	652	0.74	131	0.2688
CASE 8			4,623	0.83	16	1.0917
CASE 9			9,152	1.11	6	1.780
CASE 10		Engelund-Hansen (1967)	652	0.74	131	0.2688
CASE 11			4,623	0.83	16	1.0917
CASE 12			9,152	1.11	6	1.780
CASE 13	Total load type	Wu et al. (2000)	652	0.74	131	0.2688
CASE 14			4,623	0.83	16	1.0917
CASE 15			9,152	1.11	6	1.780

3.2 실제수문사상을 적용한 하상변동 모의 조건

낙동강하구둑 상류 접근수로를 대상으로 실제수문사상에 의한 하상변동 수치모의를 수행하기 위해 2002년 7월 24일부터 11월 4일까지의 하구둑 지점 일평균 수위 자료와 삼랑진 지점 일평균 유량 자료를 이용하였다. 2002년의 준설이 수행된 구간은 낙동강하구둑 기준으로 상류 1 km에서 1.5 km 사이 구간과 2 km에서 2.5 km 사이 구간이다. 2002년 7월 24일에 측량이 실시된 직후 준설이 시행되었고 홍수기 이후인 11월 4일에 재측량 되었다. 따라서 수치모의시 준설의 영향을 고려한 지형자료를 이용하였다.

4. 수치모의 결과

4.1 유량크기별 민감도 분석 결과

Ackers-White(1973) 공식을 적용하여 하상변동 모의 결과에서 세 가지 유량크기에 대해 침식과 퇴적의 하상변동이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 Engelund-Hansen(1967) 공식을 적용하여 하상변동 모의 결과에서는 모든 조건에서 상류부 퇴적만 발생했을 뿐 전반적인 하상변동은 발생하지 않았다. 이러한 결과를 종합해보면 대상하천에서는 Ackers-White(1973) 공식이 2차원 수치 모의시 Engelund-Hansen(1967) 공식보다 더 적합한 것으로 판단되어 진다.

Ackers-White(1973) 공식을 적용하여 유사 이송 형태를 각각 다르게 적용한 유량 크기별 민감도 분석 결과, 세 가지 유량에 대해 부유사와 소류사 이송 형태를 적용한 하상변동 모의는 정량적인 크기가 비록 다르지만 유사한 양상의 하상변동이 발생하였다. 그러나 총유사 이송 형태를 적용한 하상변동 모의에서는 하상변동 양상이 거의 없었으며 따라서 대상하천에서는 부유사와 소류사 이송 형태로 하상변동 모의가 가능한 것으로 판단되었다(Fig 1.).

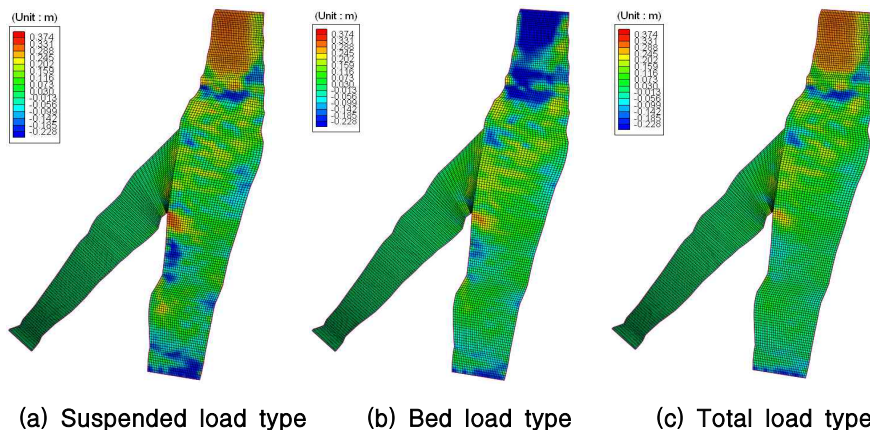


Fig 1. Bed change results due to different sediment transport modes ($Q = 9,152 \text{ m}^3/\text{s}$)

4.2 실제수문사상을 적용한 하상변동 모의 결과

실제수문사상을 적용한 하상변동 모의에서는 낙동강하구둑 상류 접근수로를 대상으로 실제수문사상과 Ackers-White(1973) 공식을 적용하였다. 모의 결과는 Fig. 2(a)와 (b)이며 부유사 및 소류사 이송 형태에서 모두 침식과 퇴적의 하상변동을 나타냈으며 이와 비교할 실제 측량된 하상변동고는 Fig. 2(c)와 같다. 부유사 이송 형태를 적용한 하상변동 모의 결과(Fig. 2(a))에서는 하류에서 퇴적되는 양상이 크게 나타났으며 소류사 이송 형태를 적용한 모의 결과(Fig. 2(b))에서는 상류와 하류에서 침식이 더 크게 나타나는 양상을 보였다.

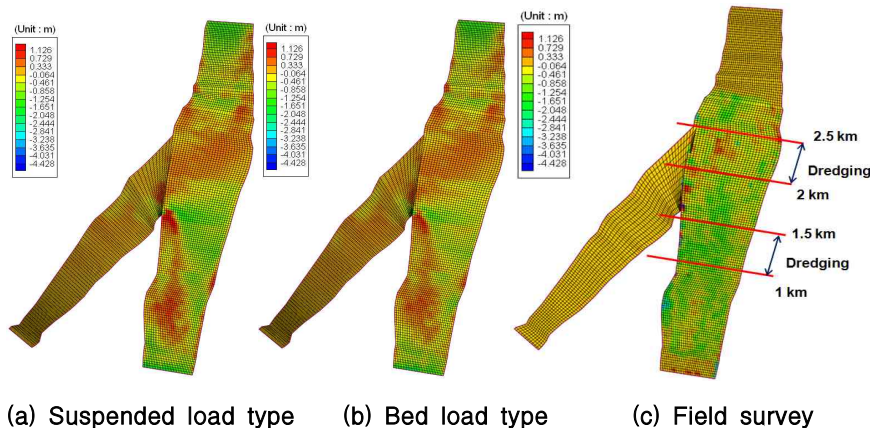


Fig 2. Comparison of the bed changes measured in the field and modeling results simulated

4.3 최심하상고 비교

대상하천 전 구간의 최심하상고 모의 결과를 Fig 3.과 같이 실제 측량된 최심하상고와 비교하였다. 최심하상고의 비교에서 소류사 이송 형태를 적용한 하상변동 모의 결과가 실제 최심하상고와 준설구간과 준설구간이 아닌 구간 모두에서 대체적으로 일치하는 것으로 나타났다. 부유사 이송 형태를 적용한 하상변동 모의 결과는 실제 측량된 자료와 비교시 상류에서 퇴적이 발생하고 침식도 실제 보다 적게 발생하는 등 대상하천에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

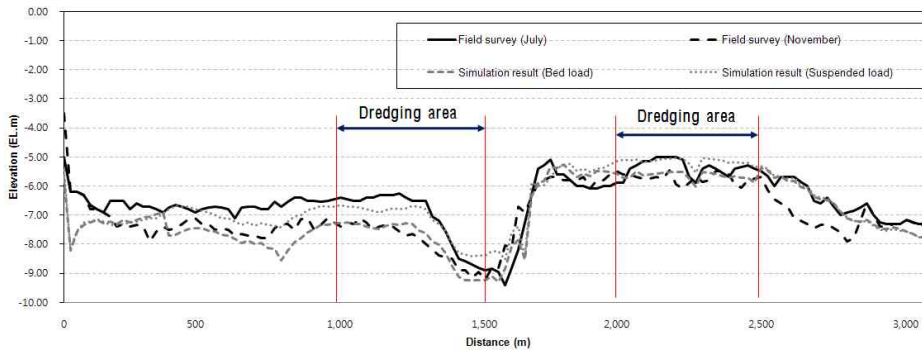


Fig 3. Comparison of the measured result and the simulated thalweg lines

5. 결 론

본 연구에서는 낙동강하구둑 상류 접근수로에서의 하상변동 예측을 위한 수치모형의 보정 및 검증에 위해 CCHE2D 모형을 이용하여 유량크기별 민감도 분석과 실제수문사상을 적용한 하상변동 모의를 수행하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

유사량 공식은 Ackers-White(1973) 공식과 Engelund-Hansen(1967) 공식을 적용하고 유사 이송 형태는 소류사, 부유사, 총유사 이송 형태를 적용하여 하상변동에 관한 유량크기별 민감도 분석을 실시하였다. 모의 결과, Ackers-White(1973) 공식이 대상하천에 더 적합한 것으로 나타났으며 이송 형태에 따른 모의 결과는 정량적 차이는 있지만 소류사와 부유사 이송 형태 모두 유사한 하상변동 양상이 모의되었다. 대상하천에 적합한 유사 이송형태 결정을 위해 2002년 실제수문사상을 적용하여 하상변동 모의를 실시하였다. 유사량 공식은 Ackers-White(1973) 공식을 적용하였고 유사 이송 형태는 소류사와 부유사 이송 형태를 적용하였다. 준설구간 내·외 지형 모두에서 소류사 이송 형태를 적용한 모의 결과와 실제 현상(지형)이 일치하는 것으로 나타났다.

결론적으로 대상하천인 낙동강하구둑 상류 접근수로에서 하상변동 예측을 위한 최적의 유사량 산정 공식은 Ackers-White(1973) 공식이고 유사 이송 형태는 소류사 이송 형태인 것으로 나타났으며 특히 준설이 수행된 구간이 모의에 포함된 경우 반드시 준설 효과를 수치모의에 고려해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사 (2008). 낙동강하구둑 유지관리 개선방안 연구보고서.
2. 한승원(2010). CCHE2D 모형을 이용한 유사량 산정 공식 및 유사이송 형태에 따른 하상변동 수치모의에 관한연구, 석사학위논문, 명지대학교.
3. Ackers, P. and White, W. R. (1973), Sediment transport New approach and analysis. Journal of Hydraulic Div., ASCE, 99, no. HY11:2041-60

4. Engelund, F. and Hansen, E. (1967), A Monograph on Sediment Transport to Alluvial Streams. Copenhagen, Teknik Vorlag.
5. Garbrecht, J, Kuhnle, R. A., and Alonso, C. V. (1995), A sediment transport formulation for large channel networks, *Journal of Soil and Water Conservation*, 50(5), pp. 517-579
6. Nakato, T. (1990). Test of Selected Sediment Transport Formulas, *Journal of Hydraulic Eng.*, ASCE, vol. 116, no. 3, pp. 362-379.
7. Wu, W., Wang, S. S. Y., and Jia, Y. (2000), Nonuniform Sediment Transport in Alluvial River, *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, vol. 38, no. 6, pp. 427-434.