

KU-RLMS 모형을 이용한 낙동강 하회지구 지형변화 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of Bed Changes on Hahoi Region
in the Nakdong River by Using the KU-RLMS Model

이남주*, 황승용**, 이삼희***

Nam Joo Lee, Seung-Yong Hwang, Samhee Lee

요 지

낙동강에 위치한 안동의 하회마을, 내성천에 위치한 예천의 희룡포와 영주의 무섬마을 등은 마을 앞에 위치한 깨끗한 백사장으로 널리 알려진 관광명소이다. 하회마을의 점사주의 경우 낙동강 상류에 안동 및 임하다목적댐이 건설되면서, 수량이 조절됨에 따라 토사수리학적 특성이 상당히 변화되었으며, 식생이 발생하는 등 옛 모습을 상실해 가고 있는 지역이다. 이 연구는 낙동강의 중상류에 위치한 하회지구에 평면 이차원 하상변동 및 수질예측 수치모형인 KU-RLMS 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성 변화를 규명할 목적으로 수행하였다.

수치모형 적용을 위한 현황분석으로 하상토 특성 자료를 수집·분석하였다. 지형자료에 대한 분석 결과, 다목적댐 건설 이후 하회구간의 하천 지형 변화의 특징으로 저수로 쪽의 하상저하가 두드러지게 나타남을 발견할 수 있었다. 이동상 수리모형 실험결과를 사용하여 유사이동모형에서 사용할 유사량 공식을 선정하였다. 안동다목적댐과 임하다목적댐의 방류량, 수공구조물 설치 여부 등을 고려하여 수치모의조건을 결정하였으며, 각 조건에 대한 지형변화 변화 특성을 분석하였다.

핵심용어: 낙동강, 하회지구, KU-RLMS, 지형변화예측, 유사이동모형

1. 서 론

낙동강에 위치한 안동의 하회마을, 내성천에 위치한 예천의 희룡포와 영주의 무섬마을 등은 마을 앞에 위치한 깨끗한 백사장으로 널리 알려진 관광명소이다. 하회마을의 점사주의 경우 낙동강 상류에 안동 및 임하다목적댐이 건설되면서, 수량이 조절됨에 따라 토사수리학적 특성이 상당히 변화되었으며, 식생이 발생하는 등 옛 모습을 상실해 가고 있는 지역이다. 이 연구는 낙동강의 중상류에 위치한 하회지구에 평면 이차원 하상변동 및 수질예측 수치모형인 KU-RLMS 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성 변화를 규명할 목적으로 수행하였다.

2. KU-RLMS 유사이동 모형

KU-RLMS 모형은 1996년에 의해 개발된 평면 이차원 하상변동 예측모형으로서, 직교곡선격자계로 좌표 변환된 유한차분기법을 사용한다. 이 모형은 점착성 및 비점착성 유사를 종류별로 수치모의할 수 있으며, 정상/비정상 흐름 계산, 수문/수중보 등과 같은 수공구조물을 고려할 수 있다.

부유사의 수송은 부유사의 종류별로 이송확산방정식을 적용하여 구하며, 지배방정식은 3차원 이송확산방정식을 수심적분하여 얻을 수 있다(이남주, 1996).

* 정회원 : 경성대학교 건설환경공학부 부교수 · E-mail: njlee@ks.ac.kr
** 정회원 : 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : syhwang@kict.re.kr
*** 정회원 : 한국건설기술연구원 수자원연구부 주석연구원 · E-mail : samhee.lee@kict.re.kr

$$\frac{\partial(hC_i)}{\partial t} + \frac{\partial(hUC_i)}{\partial x} + \frac{\partial(hVC_i)}{\partial y} = \frac{\partial(h\bar{J}_{i1})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{J}_{i2})}{\partial y} + P_i - D_i + S_i \quad (1)$$

여기서, i 는 유사의 종류를 나타내는 하침자, C_i 는 i 번째 유사의 수심적분 농도, P_i 와 D_i 는 각각 침식에 의한 소멸항과 퇴적에 의한 생성항, S_i 는 부유사 발생량이다. 바닥 표고의 변화는 유사에 대한 질량보존방정식으로부터 구할 수 있다. 흐름특성 변화에 따른 하상고 변화는 하상표면의 검사면적에 질량보존법칙을 적용하여 다음과 같이 구할 수 있다(이남주, 1996).

$$\gamma_b(1-p)\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{b1}}{\partial x} + \frac{\partial q_{b2}}{\partial y} = -g(P_i - D_i + S_i) \quad (2)$$

여기서, q_{b1} 과 q_{b2} 는 각각 x , y 방향의 단위폭에 대한 단위중량당 소류사 수송률로서 소류사량공식을 이용하여 계산하며, γ_b 는 하상토의 단위중량, p 는 공극률이다. 유사량공식은 수송모형과 바닥변형모형을 연결하는 역할을 한다. 점착성 및 비점착성 부유사량공식에 의해 계산된 침식·퇴적량은 이송확산방정식과 바닥변형모형의 입력자료로 사용되며, 소류사량공식은 바닥변형모형의 입력자료로 사용된다. 이 모형에서 사용하는 유사량 공식은 Hayter and Metha(1982)의 침식공식, Partheniades(1962)의 침식공식, Odd and Owen(1972) 퇴적공식, van Rijn(1984a,b)의 부유사량 공식과 소류사량 공식을 사용한다.

편미분방정식을 사용하는 격자생성기법 중 모형의 적용경계가 명확히 규정된 경우에 일반적으로 많이 사용되는 타원형 방정식을 사용한다. 격자생성시 직교성, 밀집성 등은 Poisson 방정식의 비제차항에 적당한 제어함수를 도입하는 방법으로 고려할 수 있다. 타원형 격자생성 Poisson 방정식은 다음과 같다.

$$\xi_{xx} + \xi_{yy} = P(\xi, \eta), \quad \eta_{xx} + \eta_{yy} = Q(\xi, \eta) \quad (3)$$

수치 연산을 위해 지배방정식을 직교좌표계로 좌표변환하였으며, 유한차분은 Arakawa-C 형태의 엇갈린 격자계에서 Leendertse(1967) 방법을 이용하였다. ADI 방법에 의한 흐름모형과 이송확산방정식의 차분식은 3중 대각행렬로 구성되고, 이것은 Thomas 알고리듬을 이용하여 해를 구한다.

3. KU-RLMS 모형의 적용

3.1 적용 조건

수치격자는 20×270 개의 엇갈린 격자로 구성하였다. 계산격자망의 간격은 $\Delta\xi = \Delta\eta = 200$ 인 격자를 사용하였다. 지형변화 계산을 위한 시간격자간격 Δt 는 0.5 s를 사용하였다. 직교곡선격자 발생을 위한 SOR 방법의 완화계수는 0.1을 사용하였다. 물의 밀도는 $1,000 \text{ kg/m}^3$, 동점성계수는 $1.139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 를 사용하였다.

평면 이차원 수치모형을 이용한 지현변화 수치모의 조건은 이동상 수리모형실험의 실험조건 표 1에 대하여 수행하였다. 이동상 수리모형 실험 조건은 평균연최대 홍수량을 2.5 hr 통수하는 것으로 두었고 상류 끝의 범위는 측선 No. 639 ~ No. 641 사이의 구간으로 조밀하게 측정하여 신뢰도를 높였다. 이로부터 얻은 모형 하상재료의 급사량이 2.5 hr 동안 0.555 m^3 이다. 상류의 급사량은 다른 조건에서도 동일하며, 다만 유량의 증가에 따라 통수 시간을 조정하였다. 상류 급사량을 부유사 유입농도로 다음과 같이 환산하였다.

$$C_0 = Q_s/Q_0 = M_s/Q_0 T_e \quad (4)$$

여기서, Q_s 는 부유사량(ton/hr), Q_0 는 유량(m^3/hr), M_s 는 부유사 질량(ton), T_e 는 통수시간(hr)이다. 통수시간도 급사량의 추정과 마찬가지로 예비 실험을 통하여 결정하였으며, 최초 유량 및 수위의 조정이 끝난 뒤부터 하상이 안정될 때까지 시간을 통수 시간으로 두었다. 수치모형 실험의 경우, 수리모형 실험과 동일한 조건을 유지하기 위하여 이미 결정된 모형의 급사량을 원형으로 환산하여 동일한 구간에서 동일한 양의 세균이 발생하는 시간을 통수 시간으로 설정하였다. 이로부터 계산된 통수 시간은 평균연최대 홍수량에 대해 1.5 hr였으며, 모형에 대한 원형의 비를 다른 조건에도 적용하여 수치모형 실험의 조건 별 통수 시간을 결정하였다.

3.2 적용 결과

그림 1은 표 1의 이동상 수치모의 조건에 대해 수치모형을 사용하여 예측한 하상고 예측결과를 도시한 것이며, 그림 2는 하상고 변동량 예측결과를 도시한 것이다. 그림에서 보면, 모든 경우에 하회마을 입구부터 상류 경계까지는 하상변동이 거의 없는 안정한 영역으로 예측되었다. 모의조건 M-I과 M-III의 경우 상류 경계 부근에서 지역적인 퇴적이 발생하는 것은 상류 경계에서 유입시키는 급사의 영향인 것으로 생각된다. 상류 급사의 영향으로 인해 퇴적이 발생하는 지점은 상류경계와 하회마을 중간에 위치한 일부 영역에서 발생하고 있다. 하상고 변동량은 유량에 따라 변하기는 하지만 하상변동 경향의 차이가 확연하게 구분되는 경우는 나타나지 않았다. 하상고 변화가 나타나는 영역은 유속의 변화가 심하게 나타나기 시작하는 부용대 앞을 지나면서 부터이며, 부용대 인근 지역은 침식이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 또한 하류 경계인 광덕교 상류 영역에서 전반적인 하상저하가 발생하는 것으로 나타났다. 부용대 하류를 돌면서 좌안측에 일부 퇴적이 되는 지역이 나타나고 있으며, 하회마을 직하류 우안측에 정체수역이 형성되는 영역에도 역시 퇴적현상이 일부 나타나고 있다. 그림 1과 그림 2에 나타낸 수치모형의 결과는 수리모형실험의 결과와도 상당히 부합되는 결과를 보여주고 있다.

4. 결 론

하회마을의 점사주의 경우 낙동강 상류에 안동 및 임하 다목적댐이 건설되면서, 수량이 조절됨에 따라 토사수리학적 특성이 상당히 변화되었으며, 식생이 발생하는 등 옛 모습을 상실해 가고 있는 지역이다. 이 연구는 낙동강의 중상류에 위치한 하회지구에 평면 이차원 하상변동 및 수질예측 수치모형인 KU-RLMS 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성 변화를 규명할 목적으로 수행하였다.

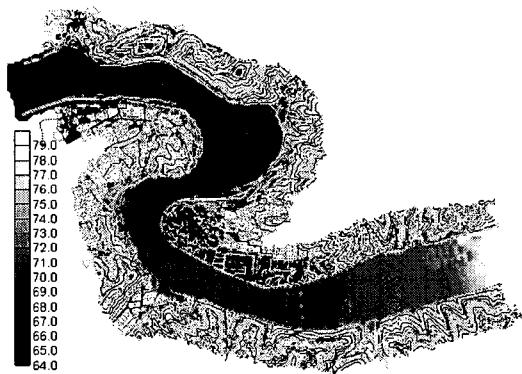
수치모형 적용 결과 하회마을 입구부터 상류 경계까지는 하상변동이 거의 없는 안정한 영역으로 예측되었다. 하상고 변동량은 유량에 따라 변하기는 하지만 하상변동 경향의 차이가 확연하게 구분되는 경우는 나타나지 않았다. 하상고 변화가 나타나는 영역은 유속의 변화가 심하게 나타나기 시작하는 부용대 앞을 지나면서 부터이며, 부용대 인근 지역은 침식이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 하류 경계인 광덕교 상류 영역에서 전반적인 하상저하가 발생하는 것으로 나타났다. 부용대 하류를 돌면서 좌안측에 일부 퇴적이 되는 지역이 나타나고 있으며, 하회마을 직하류 우안측에 정체수역이 형성되는 영역에도 역시 퇴적현상이 일부 나타나고 있다. 수치모형의 예측 결과는 수리모형실험의 결과와도 상당히 부합되는 결과를 보여주고 있다.

참 고 문 헌

1. 이남주 (1996). 좌표변환에 의한 이차원 유사이동모형의 개발 및 적용. 공학박사 학위논문, 서울대학교 토목공학과.
2. Hayter, E. J. and Mehta, A. J. (1982). *Modeling of Estuarial Fine Sediment Transport for Tracking Pollutant Movement*, Technical Report UFL/COEL - 82/009, U.S. Environmental Protection Agency.
3. Leendertse, J. J. (1967). *Aspects of a Computational Model for Long-Period Water-Wave Propagation*, U. S. Air Force Project, RAND Memorandum RM 5294, The Rand Cooperation.
4. Odd, N. V. and Owen, M. W. (1972). "A Two-Layer Model for Mud Transport in the Thames Estuary", *Proc. of the Institution of Civil Eng.*, London.
5. Partheniades, E. (1962). *A Study of Erosion and Deposition of Cohesive Soils in Salt Water*, Ph. D. Thesis, Univ. of California, Berkeley, CA.
6. van Rijn, L. C. (1984a). "Sediment Transport, Part I; Bed Load Transport", *J. of Hyd. Eng.*, ASCE, Vol. 110, No. 10, 1431-1456.
7. van Rijn, L. C. (1984b). "Sediment Transport, Part II; Suspended Load Transport", *J. of Hyd. Eng.*, ASCE, Vol. 110, No. 11, 1613-1641.

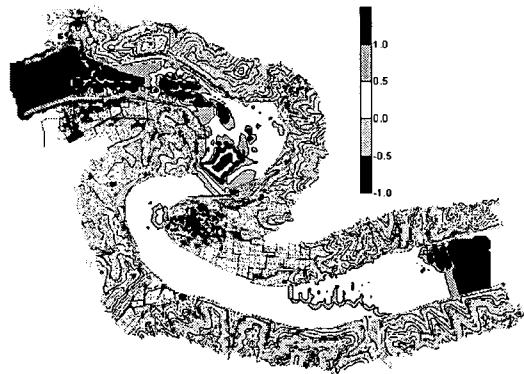
표 1. 이동상 수치모의 조건

모의 조건	유량 (m^3/s)	기점(No.629) 수위(m)	통수시간 (hr)	계산시간 (hr)	급사 유무	상류 유입농도
M-I	1,730	67.21	2.5	1.5	○	95 kg/m^3
M-II	1,730	67.21	2.5	1.5	×	0 kg/m^3
M-III	3,410	68.46	1.0	0.6	○	120 kg/m^3
M-IV	7,330	70.73	0.5	0.3	×	0 kg/m^3
M-V	3,410	68.46	1.0	0.6	○	0 kg/m^3 하류사주 일부준설



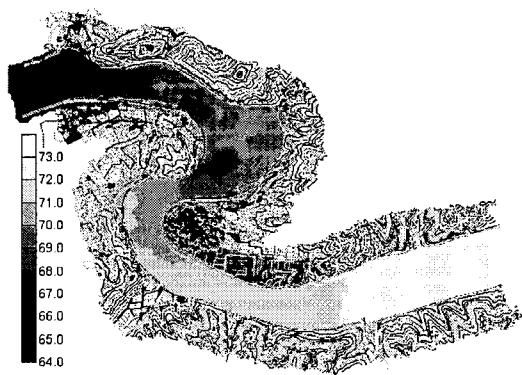
(a) M-I

그림 1. 하상고 예측 결과



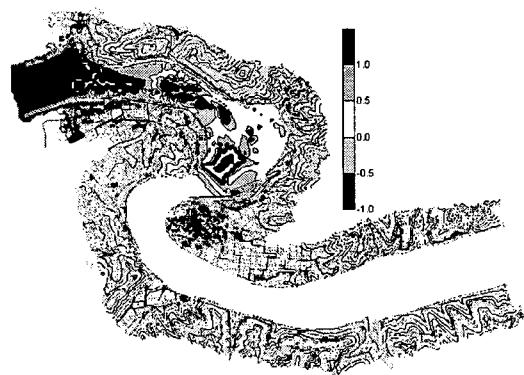
(a) M-I

그림 2. 하상고 변동량 예측 결과



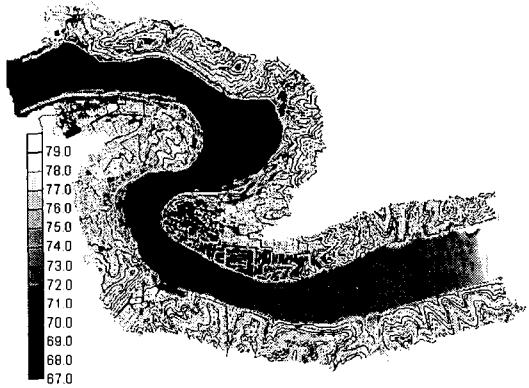
(b) M-II

그림 1. (계속)

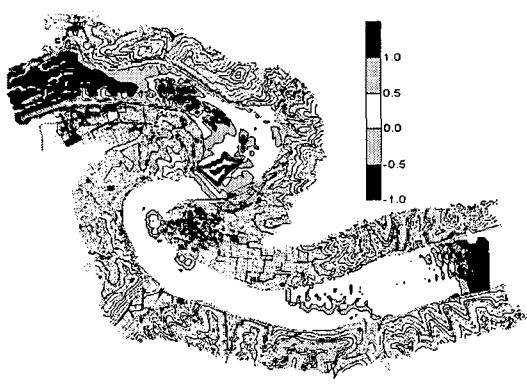


(b) M-II

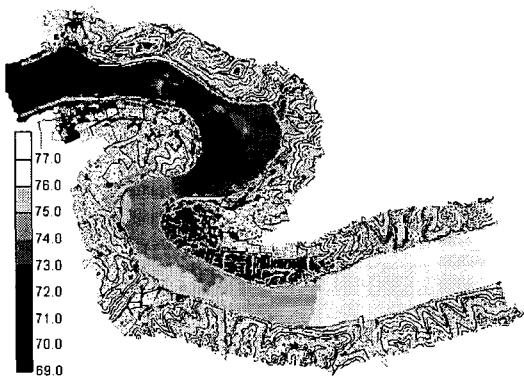
그림 2. (계속)



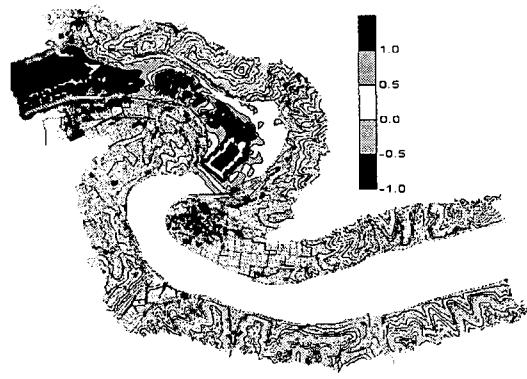
(c) M-III
그림 1. (계속)



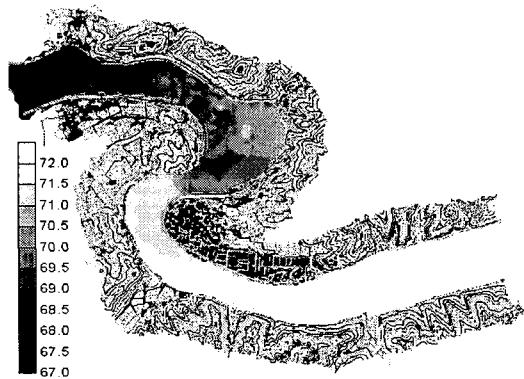
(c) M-III
그림 2. (계속)



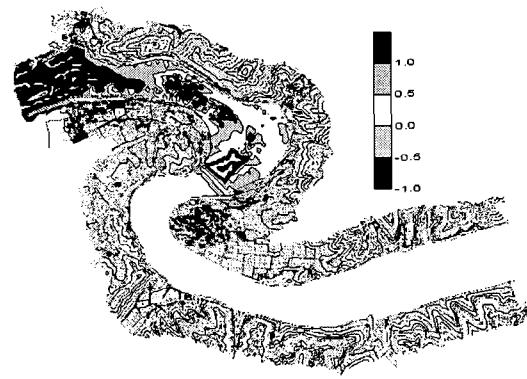
(d) M-IV
그림 1. (계속)



(d) M-IV
그림 2. (계속)



(e) M-V
그림 1. (계속)



(e) M-V
그림 2. (계속)