

HEC-6 모델을 이용한 낙동강 하회지구

하상변동 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of Bed Changes on Hahoi Region in the Nakdong River by Using the HEC-6 Model

이남주*, 황승용**, 이삼희***

Nam Joo Lee, Seung-Yong Hwang, Samhee Lee

요 지

경상북도 지역에서 낙동강에 위치한 안동의 하회마을, 내성천에 위치한 예천의 회룡포와 영주의 무섬마을 등은 마을 앞에 위치한 깨끗한 백사장으로 널리 알려진 관광명소이다. 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 중상류 구간인 안동조정지댐 직하류부터 하회마을 직하류에 위치한 광덕교 지점까지의 하도구간에 일차원 하상변동 수치모형인 HEC6 모델을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성 변화를 규명할 목적으로 수행하였다.

수치모형 적용구간의 하상변동을 예측하기 위해 적절한 일차원 준정상 상태 하상변동모형으로 HEC-6 모형을 선정하였으며, 모형적용을 위한 현황분석으로 하상도 특성 자료를 수집·분석하였다. 지형자료에 대한 분석 결과, 다목적댐 건설 이후 하회구간의 하천 지형 변화의 특징으로 저수로 쪽의 하상저하가 두드러지게 나타남을 발견할 수 있었다. 모형의 적용영역 내에 위치한 각 수위표 지점의 수리·수문자료를 수집하여 분석하였다. HEC-6 모형의 보정은 고정상 및 이동상 수리모형 실험결과를 사용하여, 고정상 보정과 이동상 보정으로 구분하여 수행하였다. 이동상 보정 결과 Ackers and White 공식이 다른 공식에 비하여 전반적으로 우수한 결과를 제공함을 알 수 있었다. 하천망 유사이동 수치모형인 HEC-6 모형을 사용하여 장기 하상변동을 예측하였으며, 댐 건설이 하류 하천의 지형변화에 미치는 영향을 분석하였다.

핵심용어: 낙동강, HEC-6, 하상변동, 하회지구, 유사량공식

1. 서 론

경상북도 안동시에 위치한 하회마을은 한국 전통가옥의 미가 살아 숨 쉬는 곳으로, 하회(河回)라는 지명은 낙동강물이 동쪽으로 흐르다가 S자형을 이루면서 마을을 감싸 도는 데서 유래했다. 동일한 낙동강 수계에서 내성천에 위치한 예천의 회룡포와 영주의 무섬마을 역시 마을 앞에 위치한 깨끗한 백사장으로 널리 알려진 관광명소로서 지금도 깨끗한 모래 사주를 유지하고 있다. 그렇지만, 하회마을 앞 백사장은 십수년전부터 사주에 식생이 번식하는 등 과거에는 없던 현상이 발생하고 있으며, 이미 수차례 사주에 발생한 식생을 인위적으로 제거한 바 있다. 하회마을과 회룡포 및 무섬마을의 중요한 차이점으로 대규모의 인위적인 하천구조물을 생각할 수 있다. 내성천에는 소규모 농업용 저수지 이외의 저류시설이 없는 반면, 낙동강 본류에 위치한 하회마을 상류에는 안동다목적댐과 임하다목적댐이 위치한다. 낙동강은 상류로 부터의 토사공급이 상당히 많은

* 정회원 · 경상대학교 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

하천으로써, 이로 인한 미지형의 변화가 많이 발생하는 하천이다. 하회마을 식생의 주요 원인으로서는 대규모 저수지 건설로 인해 상류로 부터의 토사 공급이 현저히 줄어들었고, 흐름 역시 댐에 의해 조절됨에 따른 전단응력의 변화를 생각할 수 있다.

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 중상류 구간인 안동조정지댐 직하류부터 하회마을 직하류에 위치한 광덕교 지점까지의 하도 구간에 일차원 하상변동 수치모형인 HEC-6 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성의 일차원적 변화를 규명하고, 수치모의 결과를 통해 이동상 수리모형실험에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

2. HEC-6 모형

하천과 저수지에서의 하상변동 계산을 위한 일차원 수치모형인 HEC-6 모형(HEC, 1993)은 미국 공병단의 수문연구센터(U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center)의 W. A. Thomas 등에 의해 1973년에 개발되어 현재 Ver. 4.1까지 개선된 모형이다. 배수위 계산은 주로 미 공병단에서 개발한 하천의 배수곡선 계산방법 II(USACE, 1959)를 사용한다. HEC-6 모형의 지배방정식은 일차원 연속방정식과 에너지 방정식을 사용한다.

$$\frac{dQ}{dx} = q_i \quad (1)$$

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2)$$

여기에서, x 는 하천을 따른 거리, Q 는 단면의 유량, q_i 은 단위폭당 측방 유입유량, g 는 중력가속도, h_e 는 에너지 손실, V_1 , V_2 는 각각 구간 하류와 상류의 단면평균유속, WS_1 , WS_2 는 각각 구간 하류와 상류의 수위, α_1 , α_2 는 각각 구간 하류와 상류의 에너지 보정계수이다. 수면형상은 표준축차법으로 구하며, 수리량 자료는 각 시간 단계에서 횡단면별로 계산된다. 하상변화를 모의하기 위한 기본방정식은 유사재료의 연속방정식(Exner 방정식)이다.

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_o \cdot \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

여기에서, B_o 는 이동상 하폭, t 는 시간, G 는 시간간격 Δt 동안의 평균 유사량, Y_s 는 검사체적 내의 유사 깊이이다.

3. HEC-6 모형의 입력자료 및 보정

HEC-6 모형의 지형 입력자료는 No. 629 ~ No. 697까지 69개 하도 단면에 대한 2005년 측량성과를 사용하였다. Manning의 조도계수는 0.025~0.031의 범위에서 사용하였으며, 상류로 갈수록 큰 값을 사용하였다. 침식이 가능한 퇴적층의 두께는 10 ft(3.05 m)로 설정하고, 하도 전구간을 이동상 한계로 입력하여 수면이 미치는 범위까지 세굴 및 퇴적이 발생하도록 수치모의하였다. 상류에 위치한 안동 및 임하 다목적댐을 통과할 수 있는 입자는 모두 세류사(wash load)에 해당한다. 따라서 조정지댐 하류에는 유사 공급이 없다고 가정하였으며, 미천과 송야천의 유입 유사량은 무시하였다. 하상토 재료는 2006년 조사자료(이남주 등, 2006)를 사용하여 수치모형의 입력자료를 구성하였다.

HEC6 모형의 보정은 한국건설기술연구원에서 2006년에 수행한 이동상 모형실험 결과를 사용하여 수행하였다. 표 1은 이동상 모형실험 조건을 정리한 것으로 기점은 No.629 단면에 설정하였으며, 상류 급사량은 통수시간 전체에 걸쳐 0.555 m³를 균등하게 급사하였다. 보정에 사용한 조건은 1, 2, 3, 5차 실험에 대한 결과를 사용하여 HEC-6 모형의 결과와 비교하였다.

HEC-6 모형에서 사용하는 비점작성 유사에 대한 공식은 Toffaleti 공식, Madden(1963)이 수정한 Laursen 공식, Yang(1973) 공식, DuBoys 공식, Ackers and White 공식, Colby 공식, Toffaleti 공식과 Schokiltsch 공식의 조합, Mayer-Peter and Muller 공식, Toffaleti 공식과 Mayer-Peter and Muller 공식의 조합, Madden(1985, 미발간)이 수정한 Laursen 공식, Copeland가 수정한 Laursen 공식이 있다. 본 연구에서 사용할 공식을 선정하기 위해 아래와 같은 누적일치량 식 (4)를 사용하였다.

$$S = \sum_i^N \Delta Z_i \times \Delta \bar{Z}_i \quad (4)$$

여기서, ΔZ_i 는 모형실험에서 측정된 i 횡단면의 평균하상고 변동고, $\Delta \bar{Z}_i$ 는 수치실험에서 계산된 i 횡단면의 평균하상고 변동고, N 은 모형실험의 측정단면 개수이다. S 가 클수록 수치모형의 계산결과가 잘 맞다고 판단할 수 있다. 그림 1은 1, 2차 실험에 대하여, 각 공식의 S 값을 도시한 것이다. 그림에서 보면 Ackers and White 공식이 다른 공식에 비하여 전반적으로 우수한 결과를 제공함을 알 수 있으며, 본 연구에서 사용할 유사량공식으로 선정하였다.

4. HEC-6 모형의 적용

장기 하상변동 예측을 위한 상류 경계조건은 1996년부터 2005년까지 10년간의 안동조정지댐 방류량과 임하조정지댐 방류량을 사용하였다. 그림 2는 HEC-6 모형을 사용한 장기하상변동 예측에 사용한 하류경계의 수위-유량 관계를 도시한 것이다. 그림의 수위-유량 관계는 낙동강 중상류의 No. 363(강정취수보) ~ No.705(영락교) 단면을 사용하여 HEC-RAS 모형 수행을 통해 결정하였다.

HEC-6 하천망 유사이동 수치모형을 사용하여 10년간의 하상변동을 수치모의하였다. 그림 3은 낙동강의 최심하상고 예측결과를 도시한 것이며, 그림 4는 최심하상고 변화량(경년변화) 예측결과를 도시한 것이다. 그림 5는 최심하상고의 누적 변화량 예측결과를 도시한 것이다. 그림 4에서 보면, 대상구간의 대부분 단면에서 최심하상고의 경년적 변화는 0.5 m 이내임을 알 수 있으며, 상류경계 부근에서 침식이 주로 발생하는 것은 안동 및 임하 다목적댐의 유사이동 차단효과로 인해 나타나는 현상이다. 경년적 변화가 많이 발생하는 부분은 No. 671 단면(풍산대교)에서 No. 684 단면(옥수교)까지로 하폭의 변화가 상대적으로 큰 구간에 해당한다. 최심하상고 누적 변화량 그림 5를 보면 2006년의 변화가 가장 크게 발생하며, 이후에는 대부분의 단면에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 첫째의 하상변동이 가장 크게 나타나는 원인은 모형의 입력자료가 실제 상태를 정확히 재현하지 못하기 때문에 발생하는 것으로 이는 수치모형을 이용한 시뮬레이션의 한계로 인식되고 있다. 그림 3~5에 대한 분석결과, 낙동강 하회지구 인근은 토사수리학적으로 안정되어 있는 상태로 판단할 수 있다.

5. 결 론

낙동강 상류에 안동 및 임하 다목적댐이 건설되면서, 수량이 조절됨에 따라 토사수리학적 특성이 상당히 변화되었다. 이 연구는 낙동강의 중상류 구간인 안동조정지댐 직하류부터 하회마을 직하류에 위치한 광덕교 지점까지의 하도구간에 일차원 하상변동 수치모형인 HEC6 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성의 일차원적 변화를 규명할 목적으로 수행하였다.

HEC-6 모형의 보정은 한국건설기술연구원에서 2006년에 수행한 이동상 모형실험 결과를 사용하여 수행하였다. 누적일치량을 구해 본 결과, Ackers and White 공식이 다른 공식에 비하여 전반적으로 우수한 결과를 제공함을 알 수 있었으며, 본 연구에서 사용할 유사량공식으로 선정하였다.

HEC-6 하천망 유사이동 수치모형을 사용하여 10년간의 장기 하상변동을 예측하였다. 수치모형 적용결과 대상구간 대부분 단면에서 최심하상고의 경년적 변화는 0.5 m 이내임을 알 수 있으며, 상류경계 부근에서 침식이 주로 발생하는 것은 안동 및 임하 다목적댐의 유사이동 차단효과로 인해 나타나는 현상이다. 경년적 변화가 많이 발생하는 부분은 No. 671 단면에서 No. 684 단면까지로 하폭의 변화가 상대적으로 큰 구간에 해당한다. 안동 및 임하댐 건설 직후에는 댐 건설로 인해 하류 하천의 토사수리학적 특성은 상당히 변화하였

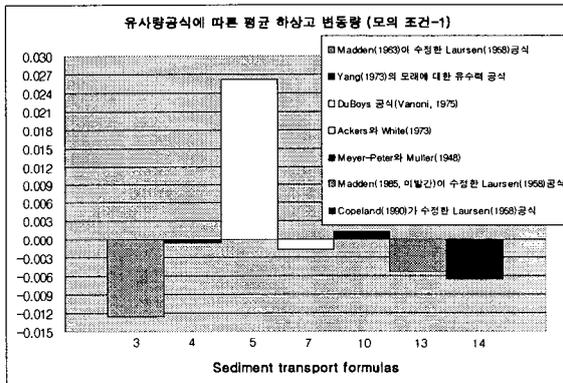
나, 건설 이후 시간이 충분히 지난 현재 상황에서 낙동강 하회지구 인근은 토사수리학적으로 안정되어 있는 상태로 판단할 수 있다.

참 고 문 헌

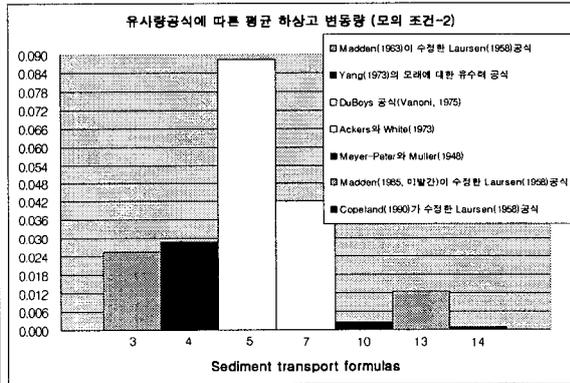
1. 이남주 (2006). 낙동강 하회지구 하상변동 수치모의 연구. 경성대학교 산학협력단.
2. HEC (1993), HEC-6 Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs User's Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
3. USACE (1959), Backwater Curves in Open Channels, EM1110-2-1409.

표 4.1 이동상 모형실험 조건

	유량 (m ³ /s)	기점수위(EL. m)	통수시간(hr)	급사 유무	비고
1차	1,730	67.21	2.5	○	
2차	1,730	67.21	2.5	×	
3차	3,410	68.46	1.0	○	
4차	3,410	68.46	1.0	○	하류사주(No.634~No.630) 일부준설
5차	7,330	70.73	0.5	×	



(a) 1차 실험
그림 1. 공식별 누적일치량



(b) 2차 실험
그림 1. (계속)

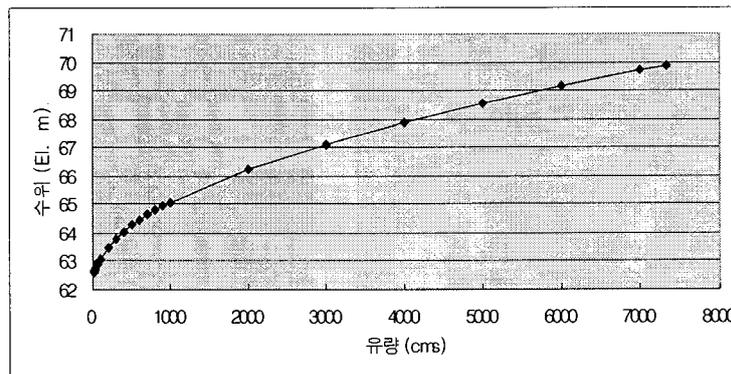


그림 2. HEC-6모형의 하류경계 수위(광덕교 지점)

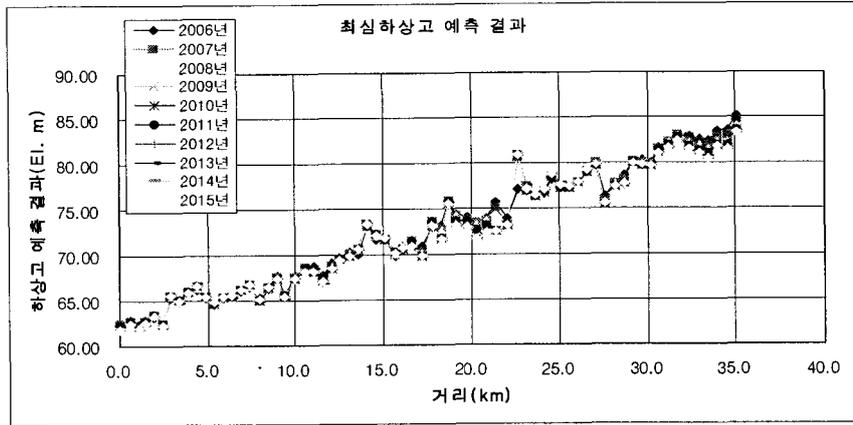


그림 3. 최심하상고 장기에측결과

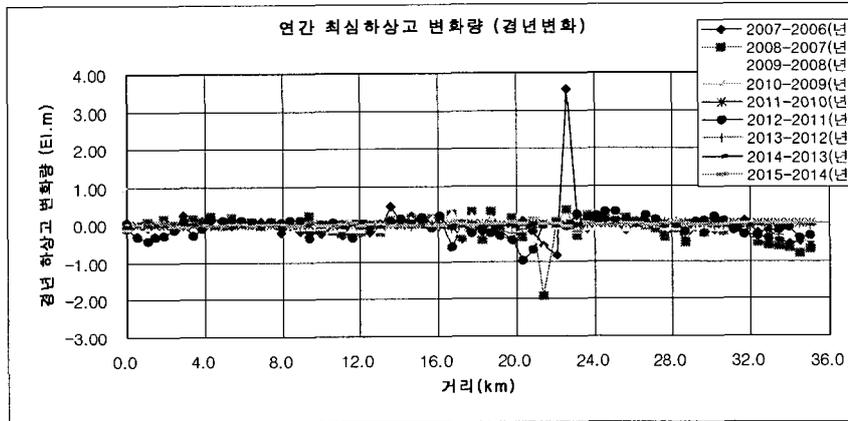


그림 4. 최심하상고 경년변화 예측결과

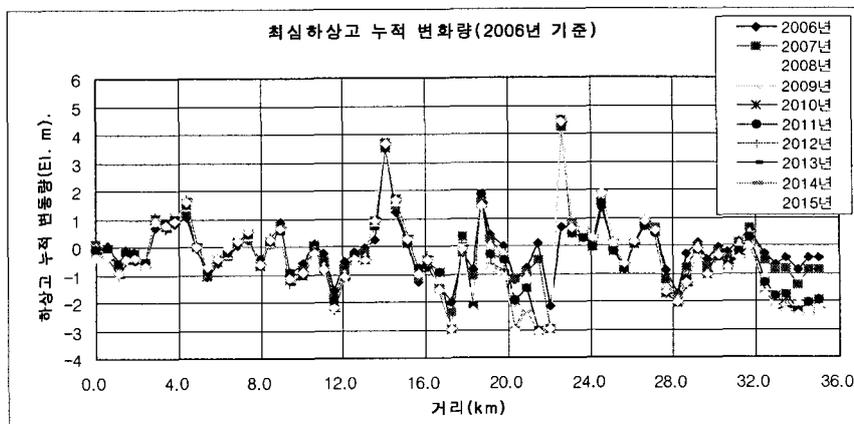


그림 5. 최심하상고 누적변화량 예측결과