

HEC-6모형을 이용한 낙동강 하류 및 탄천의 하상변동 및 하천지형학적 변화 분석

Fluvial Geomorphology and Bed Elevation Changes on the Lower Nakdong and Tan Rivers using the HEC-6 Model

임종철*, 한승원**, 지운***, 여운광****

Jong Chul Lim, Seung Won Han, Un Ji, Woon Kwang Yeo,

요 지

유역 토지이용의 변화와 골재 채취, 댐과 저수지의 건설등과 같은 인위적인 요인들은 하천의 평형 상태를 파괴하고 유사이송 문제 및 하상변화등과 같은 문제점을 야기 시킨다. 본연구의 대상하천인 낙동강 하류에는 낙동강 하구둑 건설로 인해 상류로부터 유입되는 유사가 하구둑 상류에 퇴적되는 문제가 발생하고 있으며 매년 상류 수로의 홍수 통수력을 확보하기 위해 준설 작업이 수행되고 있다. 한편 다른 대상하천인 탄천은 최근 들어 분당 신도시를 중심으로 주변의 수지, 구성, 죽전지구 등 상류유역에 대규모 택지지구가 건설됨에 따라 유역의 지형학적, 수문학적 변화가 많이 발생하고 있으며 이러한 변화는 평형상태인 자연하천에서의 하상변동 및 지형학적 변화에 많은 영향을 끼칠 것으로 사료된다. 본 연구에서는 이러한 대표적인 두 대상하천에 대해 HEC-6 모형을 이용하여 하상변동과 지형학적 변화를 예측하고 분석하였다.

핵심용어 : HEC-6, 하상변동, 낙동강, 탄천

1. 서 론

최근들어 하천의 유사거동에 대한 관심이 경부운하 및 경인운하 등에 의해 대두되고 있는 실정에서 국내의 하천 유사이동에 대한 연구는 매우 미진한 상태이다. 또한 국내의 하천인근 개발이 과거 하구연 중심에서 상류유역으로 더욱 집중되어 왔으며 이로 인한 하천으로의 토사유입이 증가하고 있다.

본 연구의 대상하천인 낙동강 하류에는 낙동강 하구둑 건설로 인해 상류로부터 유입되는 유사가 하구둑 상류에 퇴적되는 문제가 발생하고 있으며 매년 상류 수로의 홍수 통수력을 확보하기 위해 준설 작업이 수행되고 있다. 또 다른 대상하천인 한강 본류로 유입되는 탄천은 최근 들어 분당 신도시를 중심으로 주변의 수지, 구성, 죽전지구 등 상류유역에 대규모 택지지구가 건설됨에 따라 유역의 지형학적, 수문학적 변화가 많이 발생하고 있으며 이러한 변화는 평형상태인 자연하천에서의 하상변동 및 지형학적 변화에 많은 영향을 끼칠 것으로 사료된다. 따라서 본 연구의 목적은 두 하천을 대상으로 HEC-6모형을 이용하여 서로 다른 수리 및 수문학적 조건에서 하상변동과 지형학적 변화에 대하여 분석하기 위한 것이다.

* 정회원.명지대학교 토목.환경공학과 석사과정-E-mail : jclim@mju.ac.kr

** 정회원.명지대학교 토목.환경공학과 석사과정-E-mail : wony723@naver.com

*** 정회원.명지대학교 토목.환경공학과 박사후 연구원-E-mail : jiuncivil@gmail.com

**** 정회원.명지대학교 토목.환경공학과 교수-E-mail : yeo@mju.ac.kr

2. HEC-6 모형

하천과 저수지에서의 하상변동 계산을 위한 일차원 수치모형인 HEC-6모형(HEC, 1999)은 미국 공병단의 수문연구센터(U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center)의 W.A.Thomas등에 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.

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

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

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

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_0 \cdot \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

여기에서, B_0 는 이동상 화폭, t 는 시간, G 는 시간간격 Δt 동안의 평균 유사량, Y_s 는 검사채적 내의 유사의 깊이이다.

3. 대상유역 및 입력자료

3.1 유역현황

본 연구의 대상유역의 첫 번째인 낙동강 유역면적은 대략 23,384km²이며 유로는 510km이다. 낙동강 하폭은 전체적으로 평균 45m이다. 물금지점을 기준으로 평균 수심은 2-3m이며 하상경사는 0.0001에서 0.0002m/m 사이로 매우 완만하다(Ji, 2006). 이러한 완만한 경사로 인해 하구둑 건설 전 염수 침입은 상류 40km 지점까지 영향을 미쳤으며 또한 상류로부터 유입되는 유사와 완만한 경사로 인한 유속 감소로 낙동강 하구둑 근처에 퇴적된다. 연중 강우량의 50%에 해당되는 강우량이 6월부터 9월 사이에 집중되어 있으며 이러한 강우량 편중 현상으로 인해 낙동강의 최대 유량과 최소 유량의 비를 나타내는 하상계수 다른 하천 및 강에 비해 10배에서 100배 더 큰 것으로 나타났다. 또다른 대상하천인 탄천유역은 동쪽으로는 용인시, 광주군이 위치하고 있는 경안천 유역과 접하며 서쪽으로는 안양시가 위치하고 있는 안양천유역, 남쪽으로는 안성천수계의 황구지천, 조산천유역, 북쪽은 한강본류의 잔류유역과 접하고 있다. 탄천은 경기도 용인시 구성면 청덕리 향린동산에서 발원하여 북류하다 분당신도시와 성남시를 관류하여 양재천, 장지천 및 세곡천등의 지류와 합류하여 송파구를 관류하여 한강 좌안측으로 유입되며, 북쪽으로 흐르는 유로를 따라 장방형의 유역형태를 이루는 한강 하류의 대표적인 도시하천으로 유역면적 300.95 km², 유로연장 35.62 km 이고 유역의 형상은 비교적 장방형을 이룬 채 남북으로 길게 형성되어 있고 유역의 평균폭은 동서로 약 10 km, 남북으로 15 ~ 17 km 정도인 지방2급 하천이다. 또한 탄천의 하상경사는 동막천합류점 하류부구간은 대략 1/730 ~ 1/350정도이고 상류부구간은 대략 1/300 ~ 1/90정도로서 상류부는 급한 경사를 이루고 있다.

3.2 입력자료

HEC-6에 적용하기 위한 입력자료 및 경계조건은 표 1과 같으며 낙동강 하류의 대상 영역에 대한 경계조건은 태풍 매미가 한반도를 지나간 2003년 9월, 30일간으로 많은 하상 변동량이 있을 것이라 예측된다. 유사량자료는 낙동강 하구둑 퇴사거동 특성에 관한 연구(수자원공사, 1995)의 자료를 사용하였다. 한편, 탄천에서 대상영역에 대한 경계조건은 계획홍수량인 100년빈도 유량과 수위조건을 사용하였다. 하지만 유사량 실측은 실시되지 않았으며 만일 유입 유사량 자료가 없을 경우 HEC-6는 유사량을 하상 재료의 입경 분포에서 계산하는 방법에 의존하였다. 하지만 이 방법은 실측된 유량-유사량을 이용하는 방법에 비해 많은 오차를 내포하고 있기 때문에 향후 유입 유사량에 대한 실측이 반드시 필요하다.

표 1. HEC-6모형에서의 입력자료 조건

구분	낙동강	탄천
지형자료	낙동강 하천정비기본계획 (건설교통부, 1991)	하천정비기본계획(탄천, 홍제천 불광천) (서울특별시, 2000)
하상토자료		
Manning 계수	0.023	0.03
수온	24.8℃	24.7℃
유사량자료	낙동강 하구둑 퇴사 거동 특성에 관한 연구 (한국수자원공사, 1995)	-
경계조건	2003년 9월	100년빈도
모의기간	30일	2일

4. 모형의 적용 및 분석

본 연구에서는 HEC-6모형을 이용하여 낙동강하류와 탄천에서의 하상변동을 모의하였으며 낙동강에서의 HEC-6 모의 결과를 그림 1과 같다. 최대 침식의 발생위치는 낙동강 하구둑으로부터 상류 45.3km에 위치하고 있는 108.2단면에서 1.59m의 침식이 발생하였으며(그림 2) 하구둑 상류에서 39.6km에 위치하고 있는 94번 단면에서 0.7m의 침식이 발생하였다(그림 3). 94번단면은 만곡부 지형으로 HEC-6에서는 모의할 수 없기 때문에 단순히 단면축소로 인하여 침식이 일어난 것으로 판단된다. 한편 최대 퇴적위치는 낙동강 하구둑지점근처인 5번 단면에서 0.8m의 퇴적이 발생하였으며(그림 4) 이 구간은 낙동강 하구둑 직상류지역으로 실제하천에서는 하도가 우안과 좌안 두 수로로 나뉘는 형태이지만 1차원 HEC-6 모형안에서는 우안의 주수로만을 모의하였기 때문에 하폭이 급확대되는 구간으로 간주되어 유사 퇴적되는 결과를 보였다.

또한, 탄천에서의 HEC-6 모의 결과를 그림 5와 같다. 최대 침식발생위치는 많이 0.1m 이상 침식된 곳은 발생하지 않았으며 최대 퇴적위치는 0.6번 단면으로 0.52m의 퇴적이 발생하였다(그림 7). 이 구간은 한강 합류부 지역으로 HEC-6상에서는 단면의 급확대 구간으로 인식하여 가장 많은 퇴적이 일어난 것으로 분석된다. 하지만 이 구간은 탄천의 흐름보다는 한강의 흐름 영향이 크기 때문에 퇴적보다는 침식이 더 크게 발생한다. 실제로 1991년과 2000년에 시행된 하천정비기본계획(서울특별시, 1991과 2000)에 의해 수행된 측량자료에 의하면 침식이 더 많이 발생하였다. 또한 한강합류부 상류에서 49.4km에 위치하고 있는 49번 단면에서 0.21m의 퇴적이 발생하였다. 이 구간은 그림 5에서 보듯이 하상경사가 0.001214에서 0.0007로 낮아지는 곳으로 유속이 감소로 인해 퇴적이 발생한 것으로 분석되며 하상경사가 줄어든 곳을 시점으로 유사 퇴적되는 것을 그림 6에서 확인 할 수 있다.

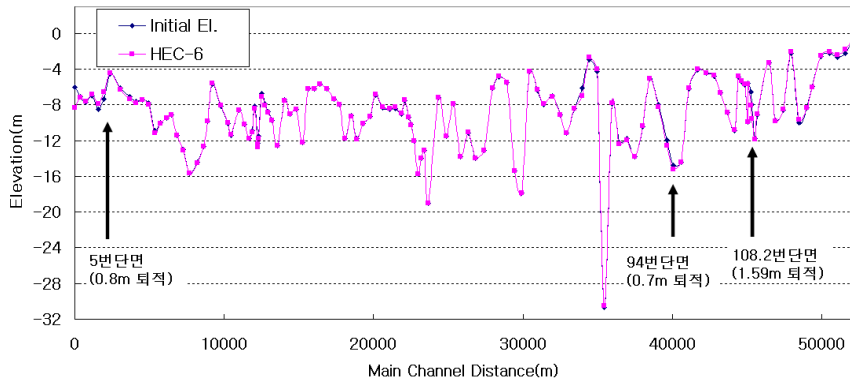


그림 1. 낙동강에서의 HEC-6모형 적용결과

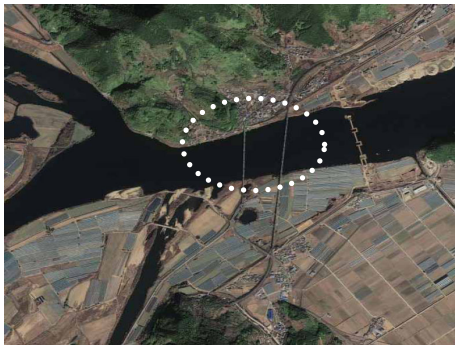


그림 2. 108.2번째 단면의 위성사진

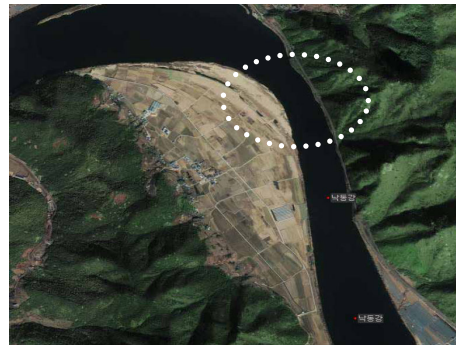


그림 3. 94번째 단면의 위성사진



그림 4. 5번째 단면의 위성사진

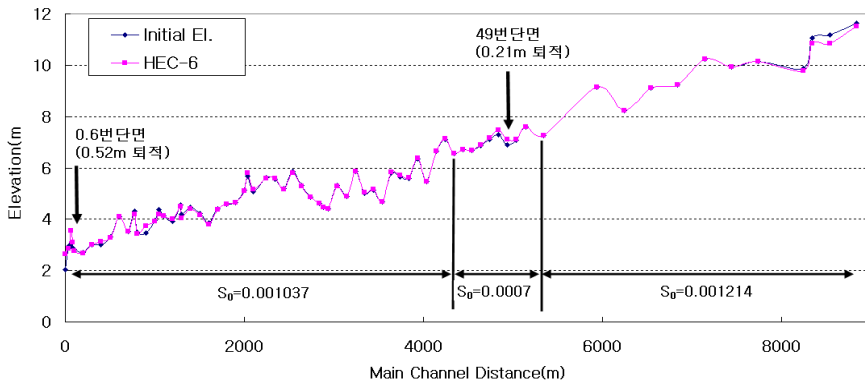


그림 5. 탄천에서의 HEC-6모형 적용결과



그림 6. 49번 단면의 위성사진

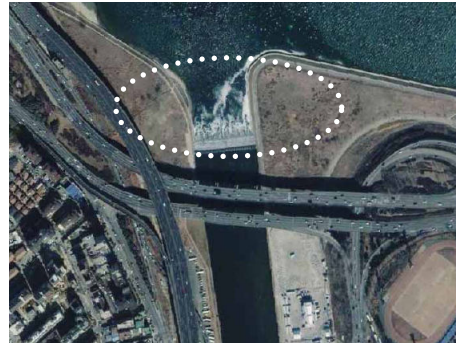


그림 7. 0.6번 단면의 위성사진

5. 결론

본 연구에서는 1차원 모형인 HEC-6를 이용하여 낙동강 하류와 탄천에 대하여 하상변동과 지형학적 변화 분석을 실시하였으며 그 결론은 다음과 같다.

횡단면의 확대나 축소가 발생하는 곳에서는 각각 침식과 퇴적이 발생하였으며 급한 경사에서 완만한 경사로 바뀌는 시점 이후로 유속의 감소로 인해 퇴적이 많이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 탄천에서는 하상경사가 낙동강에 비해 최대 10배 이상 크며 직강화 하천이기 때문에 비슷한 수문사상일 경우 더 많은 침식과 세굴이 발생할 가능성이 있다. 유역의 도시화로 인해 직강화된 탄천은 하도의 만곡으로 인한 횡단면의 확대 축소에 의한 하상 및 지형학적 변화는 거의 발생하지 않았으며 횡방향으로의 하도 변화가 상대적으로 제한되어 있기 때문에 하상 경사에 의한 하천의 지형학적 변화가 더 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 반면 낙동강 하류의 하도는 상대적으로 만곡이 있는 사행천으로서 하상경사는 대상 영역에서 거의 변화가 없으며 만곡부나 하천 폭의 확대 및 축소가 발생하는 지점에서 유사 퇴적 및 침식이 활발히 이루어짐을 수치모형을 통해 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1991). 낙동강 하천정비기본계획
2. 서울특별시(1991). 탄천·도림천·개화천·오류천 하천정비기본계획
3. 서울특별시(2000). 하천정비기본계획(탄천, 홍제천, 불광천)
4. 서울특별시(2006). 대학과연계한 하천관리에 관한 연구 용역(2단계 2차년)
5. 한국수자원공사(1995). 낙동강 하구둑 퇴사 거동 특성에 관한 연구
6. HEC(1995). HEC-6 Scour and Deposition in River and Reservoirs User`s Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
7. Un Ji(2006). Numerical model for sediment flushing at the Nakdong River Estuary Barrage, Ph.D. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
8. USACE(1959). Backwater Curves in Open Channel, EM1110-2-1409.