

한강에서의 장기 하상변동 예측모형에 관한 연구

A Study on the Prediction model to long term Bed Evolution in Han River

윤태훈* 김민규** 이종욱***

1. 서 론

자연하천의 하상은 일반적으로 긴 하천구간에 대해 평형상태에 있게 되며 주위환경의 변화에 적응하기 위한 조절능력을 가지고 있다. 주위환경의 변화는 자연적인 것일 수도 있고, 골재채취, 교량이나 도로의 건설 또는 하도 정비 등 개발을 위한 인간활동에 기인한 것일 수도 있다. 평형하천에서 주위환경의 변화는 하천의 평형을 파괴시킨다. 평형이 파괴된 하천은 자체조절능력에 의해 변화에 대한 장·단기 하천대응(river response)을 하게 된다. 하천대응은 평형이 파괴된 하도로부터 새로운 평형상태의 하도에 도달하려는 경향이며, 이는 하도단면의 조절(하상 저하·상승), 하상토 입도 분포의 조절(장갑화)등 복잡한 조절기구로 이루어진다. 따라서 하천유황과 하상재료의 변화에 의한 장기적인 하천대응, 즉 하상변동을 예측하는 것은 하천계획과 정비 입장에서 매우 중요하다.

이 연구에서는 충적하천에서 하천흐름에 의한 하천변화를 수치적으로 해석하는 『하상변동 예측모형』을 개발한다. 하상변동 예측모형의 수립을 위하여 기존의 하상변동 예측모형을 수집하고 이로부터 각 모형의 특징을 비교분석하였다. 기존 연구의 비교분석을 위해 수집된 모형은 모두 7개 모형이며 각 모형이 가지고 있는 수치해석조건, 계산구조, 채택하고 있는 유사량 공식, 하상장갑모의방법, 하천단면 변화시 횡분배 기법등을 중점적으로 조사하였다. 이러한 조사작업으로부터 기능적으로 우수한 소모형을 발췌·조합하여 이 연구에서 수립하고자 하는 하상변동 예측모형을 구체화 하였으며, 이 모형은 동수역학모형과 유사량 계산모형, 하상변동량 계산모형, 단면변화의 횡분배 그리고 하상장갑을 해석하는 소모형으로 구성된다.

2. 소모형의 계산구조

하상변동예측모형의 소모형인 동수역학모형과 유사량 계산모형, 하상변동량 계산모형, 단면변화의 횡분배 그리고 하상장갑 소모형의 특징과 계산구조는 다음과 같다.

2.1 1차원 동수역학모형

수리량 계산을 위한 동수역학모형은 1차원 점변부정류해석의 지배방정식인 st. Venant방정식을

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수
** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

유한차분법으로 해석하는 DWOPER모형⁹⁾이 채택되었다. 이 모형의 수치기법은 비선형 4점 음해법과 Newton-Raphson 반복법이다. 따라서 이 모형은 단면자료가 불규칙한 간격으로 측정된 하천에서 점변부정류의 해석을 긴 시간중분(Δt)으로 계산할 수 있다. 또한 이 모형은 시간과 공간적으로 변화하는 물리변수, 즉 복잡한 지형조건, 조도의 변화, 측면유입흐름, 분기, 비활용단면, 교각에 의한 국부 수두손실, 그리고 바람에 의한 수면응력 등 물리변수의 변화가 심한 하천에 폭넓게 적용될 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.2 유사량 계산모형과 하상변동량 계산모형

유사량 계산모형과 하상변동량 계산모형에서는 유사량계산을 위하여 3가지 유사량 공식을 선택적으로 사용할 수 있도록 하였으며, 모형에서 채택한 유사량 공식은 한국 중소하천에서 그 적용성이 입증된 Engelund-Hansen 유사량공식, Ackers-White 유사량공식 그리고 van Rijn 유사량공식이다. 하상변동량 계산모형은 동수역학모형에서 계산된 수리량, 그리고 유사량 계산모형에서 계산된 유사량을 입력자료로 하여 유사연속방정식을 유한차분법으로 해석하여 하상변동량을 계산한다.

2.3 하상장갑모형

하상장갑모형은 하상저하시 하상장갑층을 형성하는 하상토의 입자입경을 결정하기 위한 모형으로 Karim과 Holly¹⁰⁾의 하상장갑모형을 수정한 Berezowsky와 Jimenez⁸⁾의 모형이 사용된다. Berezowsky와 Jimenez의 하상장갑모형은 하상토의 입자이동확율을 대수정규분포로 가정한 시간종속 모형으로 다음과 같다.

$$A_f(t) = A_f(t-\Delta t) + C_A(1-\lambda)\Delta z(t)\frac{\Delta P_L}{DMR}q_G \quad (1)$$

여기서 $\Delta z(t)$ 는 세굴깊이, $A_f(t)$ 는 전체 장갑면적비율, ΔP_L 은 장갑층에 남아 있는 유사의 총 중량점유율, DMR 은 하상에 머무르는 하상입자의 등가입경, q_G 는 Gessler에 의한 이동 입자의 확률이다. 유사량 보정상수(f)는 식(1)의 장갑면적으로 식(2)와 같이 계산된다. 또한 하상 장갑에 의해 조정되는 유사량은 유사량 보정상수를 이용하여 계산한다.

$$f = \frac{\tanh[L_2 A_f + L_1 (1 - A_f)] - \tanh L_1}{\tanh(L_2) - \tanh(L_1)} \quad (2)$$

$$Q_{sa} = (1 - f)Q_s \quad (3)$$

여기서 Q_{sa} 는 하상 장갑에 의해 조정된 유사량이다.

2.4 단면변화의 횡분배모형

단면변화의 횡분배모형은 하상저하시 하상장갑층을 형성하는 하상토의 입자입경을 결정하기 위한 모형이다. 기존모형이 채택하고 있는 하상상승시 유사퇴적량의 횡분배는 모형마다 각기 다른 분배기법을 사용하며 그 선정기준이 분명하지 않다. 또한 기존연구에서 사용하고 있는 하상상승량의 횡분배 기법은 물리적으로 타당하지 못한 결과를 제공하는 것으로 조사되어 이 연구에서는 유사퇴적량의 새로운 횡분배 기법을 수립하였으며, 결과식은 다음과 같다.

$$z_d(l) = \frac{\frac{u_*}{u}}{\sum_{i=1}^l \left\{ \frac{u_*}{u} \right\} \Delta y} \Delta A_b \quad (4)$$

여기서 u_x 는 하상마찰유속, l 은 임의 단면에서 횡방향 공간좌표, \bar{u} 는 횡방향 공간격자에서의 중심평균유속, Δy 는 횡방향 공간중분, ΔA_b 는 유사연속반정식에 의한 임의단면에서의 단면변화량 그리고 $z_d(l)$ 은 횡방향 좌표에서의 하상상승량이다.

3. 자료수집과 분석^{1,2,3,4,5,6,7)}

이 연구에서 수립한 하상변동 예측모형의 적용을 위하여 팔당댐 하류에서 잠실 수중보까지의 수리·지형자료, 수문자료, 그리고 하상토 입도조성 자료를 표로 정리하면 다음과 같다.

표 1. 고정상 수치해석을 위한 지형자료

홍수기간	경기도 구간	서울시 구간
1988. 7.20 ~ 7.23	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1987년 측량결과 - (서울시 한강 관리사업소)
1988. 7.24 ~ 7.30	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1987년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)
1990. 6.18 ~ 6.22	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1987년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)
1990. 6.23 ~ 6.27	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1987년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)
1991. 7.19 ~ 7.22	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1990년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)
1990. 9.11	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1990년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)
계획홍수량	1994년 측량결과	1994년 측량결과

표 2. 이동상 수치해석을 위한 지형자료

적용기간	경기도 구간	서울시 구간
1991년 ~ 1992년	1986년 측량결과 (경기지구 한강종합개발계획 보고서, 1987)	1991년 측량결과 (서울시 한강 관리사업소)

표 3. 장기 하상변동예측을 위한 지형자료

적용기간	경기도 구간	서울시 구간
1995년 ~ 2015년	1994 측량결과	1994년 측량결과

표 4. 고정상 수치해석을 위한 수문자료

번호	적용기간	팔당댐 최대 방류량(cms)	비고
1	1988. 7.20 ~ 7.23	11,445	팔당댐, 고안, 광장수문자료
2	1988. 7.24 ~ 7.30	6,485	팔당댐, 고안, 광장수문자료
3	1990. 6.18 ~ 6.22	11,207	팔당댐, 고안, 광장수문자료
4	1990. 6.23 ~ 6.27	8,600	팔당댐, 고안, 광장수문자료
5	1991. 7.19 ~ 7.22	7,027	팔당댐, 고안, 광장수문자료
6	1990. 9.11	30,834	팔당댐, 고안, 광장수문자료
7	계획홍수량	25,000 32,000 37,000	수리모형실험 결과

표 5. 이동상 수치해석을 위한 수문자료

번호	적용 기간	팔당댐 최대 방류량(cms)	비고
1	1992. 1. 1 ~ 12.31	9,313	팔당댐, 고안, 광장수문자료

표 6. 장기 하상변동 모의를 위한 수문자료

번호	적용 기간	팔당댐 최대 방류량(cms)		비고
		한국전력 주식회사	건설교통부	
1	1995년 ~ 2015년	3804.40	4032.03	팔당댐 방류량

4. 결과

4.1 모형 최적매개변수의 결정

모형의 최적매개변수의 결정을 위하여 대상수역을 5개의 구간으로 나누어 각기 다른 조도계수를 결정하였다. 유하량 32,000cms일때의 구간별 조도계수를 도시하면 그림 1과 같다.

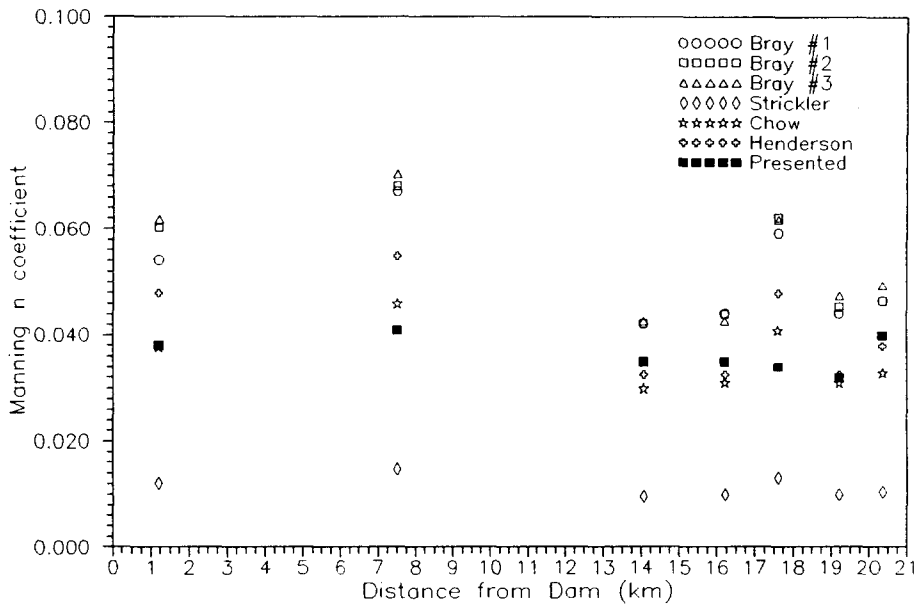


그림 1. 구간별 Manning 조도계수의 비교

4.2 장기하상변동 예측모형의 적용

이 연구에서 수립한 장기 하상변동 예측모형은 대상수역에서 향후 20년간의 하상변동을 예측하기 위한 것이다. 대상수역의 장기 하상변동을 예측하기 위한 수문자료는 한국전력 주식회사의 1974년~1994년의 팔당댐 월평균 방류량 자료를 사용하였다.

그림2와 그림3은 1995년의 초기조건에서 매 5년마다의 하상변동(최심선변화)을 도시한 것이다. 여기서 그림2는 하상 장갑모형이 포함되지 않은 경우의 계산결과이며 그림3은 하상 장갑모형이 포함된 경우의 계산결과이다. 그림2의 결과에서 알 수 있듯이 하상 장갑모형이 포함되지 않은 경

우의 대상수역 최심선 변화는 임의 단면에서 하상저하와 하상상승이 항상 같은 방향으로 작용한다. 특히 고안수위표 하류 10km지점의 경우 단기 부정류 하상변동모형의 결과와 유사하게 하상저하를 계산하고 있다. 이러한 결과로부터 장기 하상변동 예측을 위한 모형에는 하상 장감현상을 고려한 모형수립이 필요함을 알수 있다. 그러나 하상 장감모형이 포함된 예측모형에 의한 결과는 하상토 조립현상이 계산에 포함되므로 임의 단면에서의 세굴과 퇴적을 물리적으로 타당하게 해석할 수 있었으며, 거의 5년을 주기로 최심선의 변화가 조사 되었다.

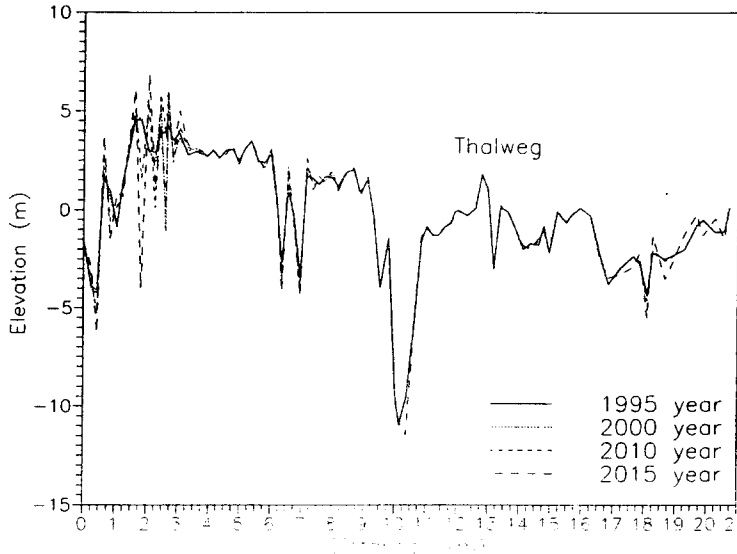


그림 2. 장기하상변동 모형의 계산결과 (하상장감 미포함)

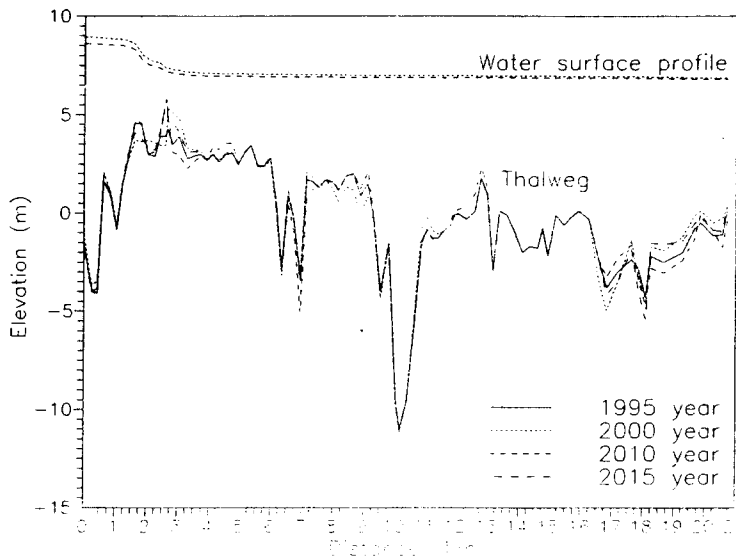


그림 3. 장기하상변동 모형의 계산결과 (하상장감 포함)

5. 결 론

이 연구는 팔당댐에서 참실수증보까지의 대상수역에서 장기 하상변동을 예측하기 위한 모형수립과 적용을 목적으로 하고 있다. 수립된 하상변동 예측모형은 기존의 하상변동에 관한 연구를 비교·분석하여 기능적으로 우수한 소모형을 발췌·조합한 것이며, 보다 정확한 예측을 위하여 일부 소모형은 개발되었다.

향후 20년간의 장기 하상변동을 예측하기 위한 수치실험결과 하상장갑현상을 포함한 모의결과가 하상 장갑현상을 포함하지 않은 모형의 계산결과보다 물리적으로 타당한 결과를 제공하는 것으로 조사되어, 하상장갑 소모형의 타당성을 부분적으로 입증하였다.

이 연구에서 개발된 하상변동량 횡분배 기법은 기존의 횡분배 기법보다 탁월한 계산결과를 제공하는 것으로 조사되어 소모형에 대한 앞으로의 기능향상이 기대된다.

6. 참고문헌

1. 경기도, 경기지구 한강종합개발사업 기본 계획보고서, 1985
2. 한강관리사업소, 한강(서울시 구간) 수심평면도, 1987
3. 한강관리사업소, 한강(서울시 구간) 수심평면도, 1990
4. 한강관리사업소, 한강(서울시 구간) 수심평면도, 1991
5. 한강관리사업소, 한강(서울시 구간) 수심평면도, 1992
6. 한강관리사업소, 한강(서울시 구간) 수심평면도, 1993
7. 한강홍수통제소, 홍수자료관리시스템 구축, 건설부, 1994
8. Berezowsky, M., and A.A. Jimenez, A simplified method to simulation the time evolution of the river bed armoring process, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.32, No.4, pp.517-533, 1994
9. Fread, D.L., National weather service operational dynamic wave model, *National Weather Service*, Silver Springs, Md., 1987
10. Karim, M.F., and F.M. Holly, Armoring and sorting simulation in alluvial rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.112, HY8, pp705-715, 1986