

형산강의 장기하상변동에측을 위한 GSTARS와 HEC6의 적용

Application of GSTARS and HEC6 for Long-term Prediction of Bed Change in Hyungsan River

안정민¹⁾, 류시완²⁾, 이남주³⁾, 여흥구⁴⁾

Jungmin Ahn, Siwan Lyu, NamJoo Lee, Hong-Goo Yeo

요 지

하천유황, 하상재료, 하도지형의 자연적 또는 인위적 변화에 의한 장·단기적 하상변동의 해석 및 예측은 하천계획 및 관리를 위해 필수적이다. 특히, 제방 축조 등의 인위적 정비로 총적층 발달이 미약한 우리나라 하천은 상대적으로 종단형의 변화가 중요한 문제로 등장하였다. 하천의 이수, 치수 및 환경기능에 복합적으로 영향을 미치는 장기적인 하상변동 예측을 국가하천 형산강에 대하여 HEC6 모형과 GSTARS 모형을 이용하여 수행하였다.

본 연구에서는 2006~2007년 동안 형산강에서 직접 실측한 유량-유사량, 하상토, 하천측량자료를 GSTARS와 HEC6 모형에 적용하여 장기 하상변동을 모의하고 그 결과 값을 비교·분석하였다. 수위표 지점인 형산교(모아), 강동대교(안강), 국당2교(부조), 신형산교(대송)를 내부경계조건으로, HEC-RAS를 통하여 조도계수 값을 보정하였으며 유량 값은 유황곡선을 통하여 연간유입량을 각 날짜별로 구성하였다. 모형의 검증은 Laursen (1963), Laursen (Modified by Maddden, 1985), Laursen (Modified by Copeland, 1990), Yang (1973) 공식을 이용하여 최심하상고 변화량 제공근 오차가 가장 작은 공식을 선정하였다.

2006년 형산강에서 실측된 하천측량자료를 이용하여 14년간 장기하상을 모의해 본 결과 형산강 유역에서는 Laursen (Modified by Copeland, 1990, HEC6)와 Laursen (1958, GSTARS)공식이 가장 작은 오차를 나타내었으며 HEC6와 GSTARS는 하상변동의 경향을 잘 나타내었다. 형산강의 전반적인 하상변동 경향은 상류지역은 전반적으로 하상이 저하하였고 하류지역은 하상이 상승하였다. 또한 하류부는 하상이 안정화를 이루고 있어 변화가 적은 것으로 판단된다. 하지만 검증 기간 동안의 골재채취와 보의 설치 등의 외부 여건과 신뢰성 있는 유입유량을 반영하지 못하였기 때문에 보다 나은 결과를 얻기 위해서는 지속적인 유량-유사량의 관측과 자료의 보완 및 정밀 조사 분석이 필요하다.

핵심용어 : 하상변동, 하상재료, 유사량, HEC6, GSTARS

1. 서론

하천의 하상은 장기간의 침식과 퇴적의 변화를 겪으며 안정되어 있다. 이러한 변화에는 하천의 평면형, 횡·종단형 등 형태와 하상재료의 구성 등을 포함한다. 변화의 요인에는 산사태나 홍수 등 자연적인 변화 뿐 아니라 댐이나 교량, 골재채취 등 인위적인 변화에 따라 흐름이나 유사량이 변하게 되며, 이런 동적변형상태를 복원하는 과정에서 침식과 퇴적이 반복적으로 이루어져 대규모 하상변동이 이루어지게 된다. 여기서 인위적으로 정비된 하천이나 하천 특성상 평면 변화가 제한되는 하천에는 하상의 종단 방향만이 변화의 자유를 가진다. 특히 제방 축조 등으로 하천구간 대부분이 인위적으로 정비되었거나, 평면 변화를 할 수 있는 천변 총적층 발달이 미약한 국내 하천에서는 평면형이나 횡단형 보다는 종단형의 변화가 특히 중요한 문제이다.

하천유황, 하상재료, 하도지형의 자연적 또는 인위적 변화에 의한 장·단기적 하상변동의 해석 및 예측은 단·중·장기 하천 계획 및 관리를 위해 필수적이다. 하천에서의 유사입자의 이동은 그 자체로 의미가 있지만, 입자에 부착되어 이동하는 오염물의 해석 및 예측을 먼저 수행되어야 하는 연구로서 수계의 수질관리 측

1) 정회원 · 수자원공사 수자원연구원 공동연구원 · E-mail : ahnjm80@gmail.com
2) 정회원 · 창원대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : siwan@changwon.ac.kr
3) 정회원 · 경성대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : njlee@ks.ac.kr
4) 정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구원 · E-mail : yeo917@kict.re.kr

면에서 중요한 의미를 가지고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 널리 검증되고 장기간의 하상변동 예측에 적합한 모형인 HEC6 및 GSTARS를 국가하천 형산강 구간에 적용하여 공식에 따른 적합한 공식을 사용, 보정 후 해당 하천의 하상변동 특성의 파악에 필요한 자료 및 하천의 중·단기 수방대책 수립을 위한 기본 자료를 제공하는 것이다.

2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 형산강 국가하천 구간(36 km)에 대하여 2006~2007년 동안 형산강에서 직접 실측한 유량-유사량, 하상토, 하천측량자료를 HEC6 와 GSTARS모형에 적용하여 형산강에 가장 적합한 유사량 공식을 선정하였으며 모형의 현장 적용성을 검토하고 장래의 하상변동을 예측·분석하였다. 수위표 지점인 형산교(모아), 강동대교(안강), 국당2교(부조), 신형산교(대송)를 내부경계조건으로, HEC-RAS를 통하여 조도계수 값을 보정하였으며 유량 값은 유향곡선을 통하여 연간유입량을 각 날짜별로 구성하였다. 모형의 검증은 Laursen (1963), Laursen (Modified by Maddden, 1985), Laursen (Modified by Copeland, 1990), Yang (1973) 공식을 이용하여 최심하상고 변화량 제공근 오차(RMSE)가 가장 작은 공식을 선정하였다.

3. 모의대상 하천 현장실측

하천단면 측량은 관측소의 현황과 측정지점의 선정방법을 고려한 측정지점 위치 및 횡단측선을 설정하고, 하천의 형태학적 및 수리학적 특성, 즉 하상변동, 하상경사, 단면통제, 하도통제 등에 주안점을 두고 실시하였다. 측정지점은 유사측정지점인 형산교, 강동대교, 국당2교, 신형산교이며 각 측정지점별로 횡단 및 수심측량을 실시하였다. 횡단측량은 규정을 넘지 않는 범위에서 등간격으로 하였으며 수면을 기준으로 해서 측정하고 측정위치는 기점에서의 거리로 나타내었다. 측정 이동의 오차가 누적되어 영향이 다른 측점에 미치는 점에 대해서 특히 주의하였으며, 측정 종료 후 곧 오차가 허용범위 안에 있는지를 확인하고 오차범위를 초과하면 다시 측량을 실시하였다. 횡단측량은 수위변동이 적은 기간에 실시하였다.

하상재료조사는 총 2회(매년 4월) 수행하도록 하였고 하천 종단방향 1 km 마다 하상재료를 채취하여 사업구간연장 36 km 에 대해 총 37개 단면에 대한 하상재료 조사를 수행하였다. 그 기준은 하천측량성과를 통하여 설치된 표석으로 하였으며, 하천구간의 특성에 따라 채취가 불가능하거나, 부등침하층 혹은 난침식층이 존재하는 구간에서는 현장여건을 고려하여 조사간격을 적절하게 조정하였다. 즉, 중규모 하상파로 표현되는 이동사주가 노출되는 구간을 중심으로 주로 채취하였으며, 사주가 발달하지 않은 곳은 저수로 하안부에서 채취하였다. 부피채취(Volumetric sampling)를 통한 체분석의 경우 자갈 하상재료의 경우에는 대표시료의 채취 자체도 어렵고 체분석을 한다는 것도 많은 문제를 안고 있는 실정이다(한국건설기술연구원, 1993; 평형하상경사 추정방법의 개발). 이러한 문제점을 해소하고 자료로서의 가치를 제고하기 위하여 하상재료의 구성물질이 모래 이하의 입경인 경우와 자갈 이상인 경우로 구분하여 채취방법을 달리하였다. 하상재료의 구성물질이 모래 이하의 입경인 경우 부피채취 방법에 따라 표층에서 대략 30 cm 정도를 걷어내고 일정 부피의 시료를 채취하였고 자갈 하상재료는 표층채취인 경우 격자채취(Grid sampling), 면적채취(Areal sampling), 그리고 횡단채취(Transect sampling)를 하였다.

4. 수치모형 입력자료 구축

모형에 필요한 입력자료는 수리량 자료와 유사량 자료로 이루어지며, 수리량 자료는 하천지형자료, 조도계수, 흐름특성, 유량과 수위자료로 이루어진다. 유사량 자료는 동점성계수 산정을 위한 수온자료, 유사량 산정을 위한 공식, 상류경계에는 유입되는 유사량 수문곡선, 하상재료에 관한 자료 등으로 구성이 된다. 수위-유량 자료로는 모아 수위표지점의 일 수위-유량 자료와 유향곡선 자료를 이용하여 일-유량자료를 얻었으며 경계조건으로 사용하였다. Manning 계수 n 은 물의 흐름 및 유사의 운동을 지배하는 가장 중요한 인자로서 HEC-RAS 모의와 실측자료를 이용하여 추정된 값을 사용하였다(표 1). 수온은 유사의 운동 및 물의 점성에 상당한 영향을 미치는 중요한 인자로서 표 2에 제시된 바와 같이 월별 평균수온을 사용하였다. 적용구간의 유입 유사량은 그림 1에 도시된 바와 같이 형산강 국가하천 구간 내의 상시수위관측소 지점에서 2006~2007년에 걸쳐 취득된 실측자료를 통해 도출한 유량-부유사량과의 관계식을 사용하였다. 하상재료 자료는 상·하류 지점에 대하여 하상토를 채취하여 분석하였다.

모형에 필요한 수문 입력자료는 하류단의 수위와 상류단 및 각 지점의 유입유량 등이다. HEC6와 GSTARS에서 중요한 입력자료 중의 하나인 수문데이터는 유향곡선에서 구해진 유량값을 토대로 그림 2와

같이 각 날짜별로 수문데이터를 구성하였다. 정확하고 신뢰성이 있는 곡선식을 개발하기 위해서는 갈수위, 저수위, 평수위, 풍수위, 고수위 에 대한 수위별 유량이 측정되어야 하며, 특히 갈수위시, 평수위시 유량과 고수위시 유량은 수위-유량관계곡선을 결정하는데 중요한 요소이고 결과 값에 큰 영향을 주기 때문에 신중하게 결정하여 입력하여야 한다.

표 1 조도계수

측점	79년 조도계수	93년 조도계수
No. 0~12	0.024	0.025
No. 13~19	0.024	0.030
No. 20~21	0.024	0.035
No. 22~25	0.031	0.040
No. 26~184	0.030	0.035

표 2 형산강 월별 수온

월	℃	월	℃
1	4	7	23
2	8	8	22
3	8	9	21
4	9	10	16
5	16	11	15
6	23	12	6

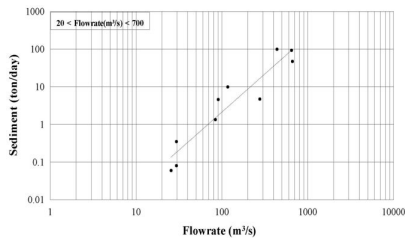


그림 1 유량-유사량 관계(형산교)

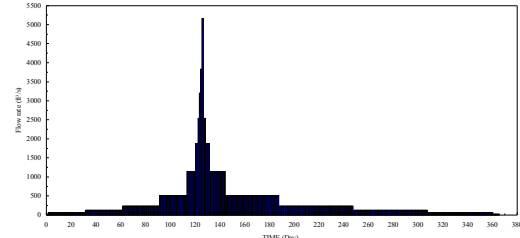


그림 2 형산강 유역 입력 유량 데이터

5. 모형 검증 및 분석

2006년부터 14년간 모의하기 위해 먼저 HEC6의 검증을 수행하였다. 초기 지형자료로는 1979년 하천정비 기본계획상의 지형자료를 활용하였으며 모형을 검증하기 위한 유사 공식으로는 Laursen (1963), Laursen (Modified by Madden, 1985), Laursen (Modified by Copeland, 1990) Yang (1973)의 공식을 사용하였고 1979년을 기준으로 4년 간격으로, 총 4회 수행하였다.

검증의 절차로는 1979년도 초기 지형자료를 이용하여 HEC6와 GSTARS로 모의한 후 1993년의 하천정비 기본계획에 수록된 실측치를 서로 비교 하였다. 비교 방법으로는 상대오차 비교와 RMSE를 이용하였으며 최소 하상고 변화량 제곱근 오차가 가장 작은 공식을 선정하기로 하였다.

상대오차 비교와 RMSE를 이용하여 상·중·하류 지점을 나눈 후 각 지점별로 분석을 하였다. 표 3과 표 4에 도시한 바와 같이 상·중·하류의 전 구간에 걸쳐서 HEC6는 Laursen(1990) 공식이 오차가 작게 나타났고 GSTARS는 Laursen(1958)이 오차가 작게 나왔다. 그림 3과 그림 4에 Laursen 공식으로 모의된 결과를 도시하였다.

표 3 HEC6 지점별 상대오차와 RMSE

	상류		중류		하류		Ei(상대오차)	RMSE
	상대오차	RMSE	상대오차	RMSE	상대오차	RMSE		
Laursen (1958)	-4.3	4.23	3.79	1.87	6.7	4.78	2.19	2.25
Laursen (1985)	-2.6	2.9	3.34	2.2	3.39	2.31	1.43	1.434
Laursen (1990)	-0.87	1.51	2.26	1.5	1.64	0.71	1.02	0.742
Yang	-4.88	4.52	0.2	3.9	3.29	2.16	-0.37	2.07

표 4 GSTARS 지점별 상대오차와 RMSE

	상류		중류		하류		Ei(상대오차)	RMSE
	상대오차	RMSE	상대오차	RMSE	상대오차	RMSE		
Laursen (1958)	2.46	3	-3.19	5.41	-0.35	0.21	-0.36	1.998
Laursen (1985)	2.51	2.98	-4.63	6.98	-2.16	1.95	-1.45	2.56
Yang	3.09	3.17	-3	4.12	-1.8	2.23	-0.60	1.856

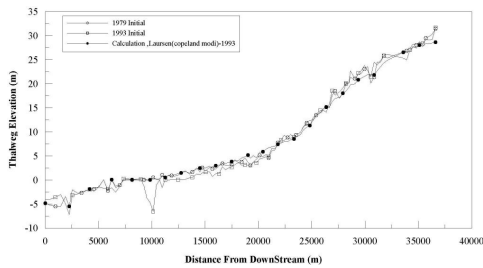


그림 3 HEC6에 의해 계산된 종단도 (Modified by Copeland, 1990)

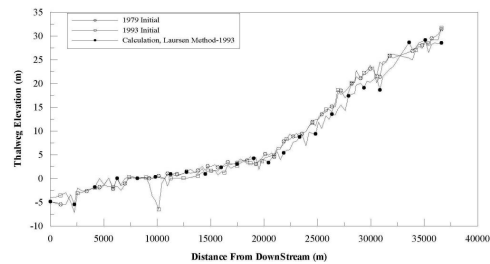


그림 4 GSTARS에 의해 계산된 종단도 (Laursen method, 1958)

6. 장기하상변동 예측 결과 및 분석

검증에 의해 선택되어진 유사산정 공식을 이용하여 국가하천 형산강 유역에서 2006년 실측된 지형자료를 통하여 14년간의 장기하상변동을 예측·분석하기로 한다. 모의 기간의 Time Step은 6년, 4년, 4년 간격으로 총 3회 실시하였다. 그림 5와 6은 형산강의 최심하상고 변동량과 2006부터 2020년까지의 변동량을 나타낸 그래프이다. 양(+)의 값은 퇴적을 나타내고 음(-)의 값은 침식을 나타낸다. 형산강의 전반적인 하상변동 경향은 상류 경계로부터, 상류지역은 전체적으로 하상저하 양상을 나타내고 있고 하류지역은 하상상승을 나타낸다. 하지만 그림에 도시된 바와 같이 14년 동안 형산강의 하류부에서의 하상변화는 미미한 것으로 나타났다. 이는 형산강 하류부의 하상이 안정화를 이루고 있는 것에 기인한 것으로 판단된다. 그 외 상류에서 하상의 변동이 상승하는 구간은 다른 구간의 하폭에 비하여 상대적으로 작은 구간이거나 보의 영향에 기인한 것으로 볼 수 있다.

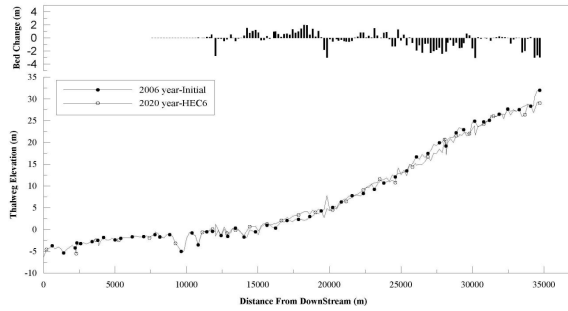


그림 5 HEC6 형산강 최심하상고 변동량 예측결과 (Modified by Copeland, 1990)

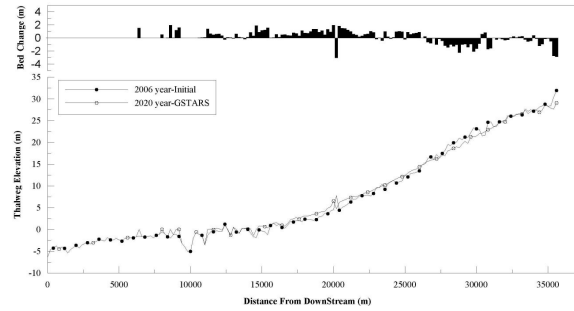


그림 6 GSTARS 형산강 최심하상고 변동량 예측결과 (Laursen method(1958))

7. 결론 및 향후 연구

이 연구는 적절한 하상변동 수치모형을 사용하여 형산강의 장기 하상변동과 그에 따른 하천수위의 변화예측, 안정하상 검토, HEC6와 GSTARS의 형산강 적용여부 검토를 통하여 해당 하천의 하상변동 특성의 파악에 필요한 자료 및 하천의 중·단기 수방대책 수립을 위한 기본 자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

형산강 유역에서 Laursen(1990, HEC6)와 Laursen(1958, GSTARS) 공식이 RMSE를 이용한 실측치 오차에서 가장 우수한 결과 값이 나왔으므로 대상 하천 구간에 가장 적합한 공식으로 판단된다. 모형의 적용결과 세굴이 국부적으로 극히 심하게 발생한 몇몇 지점을 제외하고는 거의 전반적으로 모형이 하상변동을 근사적으로 실측치에 비슷하게 예측한다고 할 수 있다. 단, 최근 추가된 보, 교각, 웨어 등의 단면 추가와 더불어 골재채취로 인한 하상변동을 모형 검증 시 이를 고려하지 못하였기 때문에 부분적으로 오차가 발생하였다. 이를 장기하상변동 모의 때 부분적으로 단면에 추가하여 결과 값의 신뢰성을 높였다. 예측된 2020년도의 장기하상 변동 모의 결과를 통해 형산강 하류의 장기하상 변동치가 크지 않은 것은 형산강의 하류지역의 하상을 안정하상으로 판단할 수 있다. 본 모의에서는 대상구간에 대한 지천 유입 유량과 유사량에 의한 것을 고려하지 못하였기에 충분한 관측 자료를 확보하여 구간에 대한 검증을 하여 차후 모의의 신뢰성을 높여야 할 것이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 지속적인 유량-유사량의 관측과 자료의 보완 및 분석이 필요하다고 사료되는 바이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 우효섭, 유권규(1995). HEC-6를 이용한 하상변동 모의 방법, 한국수자원학회 분과위원회 연구과업 보고서, pp. 95-133.
2. 한국건설기술연구원(1991). 하상변동예측모형의 비교분석, 건기연 91-WR-112.
3. 한국수자원학회(1995). 하천 및 저수지에서의 세굴과 퇴적(HEC-6모형), 제 3회 수공학 workshop.
4. 한국수자원학회(2001). 2차원 하천 해석모형(GSTARS2.0), CCHD2D, 제9회 workshop.
5. HEC (1993). HEC-6 Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs User's Manual, U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
6. Molinas A. and C.T Yang(1986). Computer Program User's Manual for GSTARS. U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Engineering and Research Center.