

SMS모형을 이용한 골재채취 전·후의 소하천 흐름해석

Analysis for Flowing of Small Stream System before collecting an aggregate and after using SMS Numerical Modeling

안상진* · 연인성** · ○백남대*** · 김영호****

1. 서론

우리나라는 여름철 홍수기에 집중호우에 의한 홍수피해가 많이 발생하고 있다. 특히 최근 이상 기후에 따른 영향과 제외지의 토지이용의 극대화로 인해 홍수로 인한 재해가 증가하고 있고, 유역 면적이 작고 경사가 급해 유속이 빠른 소하천의 홍수 피해에 따른 재해 문제가 대두되고 있다.

이러한 홍수피해를 줄이기 위해서 제한구역의 설정, 각종 수공구조물의 건설, 홍수 예·경보 시스템 개발 등의 구조적 및 비구조적 방안이 제시되고 있다. 그간 국내에서의 홍수의 예측은 그 해석상의 어려움으로 인하여 주로 과거 상황 및 지형도를 통한 경험적 추정등에 의존해 오고 있는 실정으로서 정교한 수리학적인 기초이론에 근거하지 못하였으므로 홍수파의 전파양상, 도달시간, 수심의 분포 양상을 정확하게 예측하기에는 미흡한 점이 많았다.

본 연구에서는 하상의 골재채취에 따른 제외지에서의 홍수파 해석을 실시하기 위해, 먼저 1차원 모형인 HEC-RAS모형을 적용하여 하천의 홍수위 예측하고, RMA-2 모형을 적용하여 지형 상황도, 수심분포, 유속분포등을 2차원으로 도시할 수 있다. 홍수파가 제방에 미치는 영향을 수리학적 현상을 해석 하였으며, 실측치와 모의치를 비교 검토하였다.

2. 적용모형과 기본이론

2.1 HEC-RAS 모형

HEC-RAS모형은 미육군 공병단의 수문연구소(Hydrologic Engineering Center, HEC)에서 개발된 상류(subcritical), 사류(supercritical), 혼합흐름영역(mixed flow regime)등의 수면곡선을 계산하는프로그램이다. 또한, 일반적으로 자연이나 인공으로 된 수로에서 변하는 정상류에 대하여 일차원 수면의 계산을 실행할 수 있다.

2.2 RMA2 모형

RMA2 모형은 Norten, King과 Orlob(1973)에 의해 개발된 2차원 수심평균한 유한요소 수치모형

* 정희원 · 충북대학교 공과대학 교수
** 정희원 · 충북대학교 토목공학과 대학원 박사과정
*** 정희원 · 충북대학교 건설기술연구소 연구원
**** 정희원 · 충북대학교 토목공학과 대학원 석사과정

이다. 이 모형에서는 FEM(Finite Element Method) 기법에 의해 수위, 유속, 유량 등을 산정한다. 비교적 수심이 얇은 흐름에서 수심방향으로는 적분 평균유속을 사용하여 천수흐름에서 상류, 자유수면에 대해 수위와 수평방향의 유속성분을 계산한다. (RMA2 User's Manual, 1994).

천수흐름은 파장(L)에 비해 수심(h)이 상대적으로 매우 얇은 흐름($L/20 < h < L/2$)으로 일반 하천에서 2차원 흐름 해석을 위한 수치기법으로는 유한 차분법과 유한 요소법이 사용되고 있다. Price 등(1986)은 제형기법(trapezoidal-rule scheme)을 이용하여 1차원 대류 확산 방정식을 풀어 동등한 정확도를 얻는 데는 유한 요소법이 효율적이라고 하였고, Thacker (1978)는 오히려 차원이 높아지면 계산 시간이 많이 걸리므로 유한 차분법보다 유한 요소법이 불리하다는 연구도 있다. 그러나, 유한 요소법은 복잡한 지형에 대해 적용하기가 유리하며 특히 만곡부에서 유한 차분법보다 유한 요소법이 흐름의 양상을 보다 정확히 재현하는 것으로 알려져 있다(황연상, 1992).

RMA2 모형에서는 Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한 요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning의 조도계수나 Chezy 계수로서 계산하고, 와점성계수(eddy viscosity)는 난류의 특성을 정하는데 사용된다.

2.3 지배방정식

HEC-RAS 모형에서는 식(1)~(3)의 연속방정식과 에너지 보존식을 사용하였다. RMA-2 모형에서는 식(4)~(6)과 같이 표현되는 연속방정식과 천수 방정식을 사용한다.

$$\sum_{i=1}^{In} Q_i = \sum_{k=1}^{Out} Q_k \quad (1)$$

$$Z_2 + WS_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + WS_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \quad (2)$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3)$$

여기서, WS : 수위, V : 평균유속, α : 에너지 보정계수, h_e : 에너지 손실수두 C : 단면확대, 축소계수

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial(hU)}{\partial x} + \frac{\partial(hV)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = & - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho h} + F_{Bx} \\ & + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho h} + F_{By}$$

$$+ \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

여기서, p_a :수면에서의 대기압, τ_s :수면에서 바람응력, τ_b :바닥마찰응력 F_B :단위 질량당 체적력

3. 모형의 적용과 결과분석

3.1 대상유역 및 자료

본 연구의 대상은 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 보청천 유역의 기대~청성지점을 선정하였다. 선정 지점의 유로연장이 21.0Km로 그 형상은 수지형에 가깝다. 이 구간은 만곡부가 심한 유역으로 하상이 심하게 변화하는 지점으로 하상경사는 약 1/575~1/928이다. 이 지역에 만곡부 부분중 퇴적부에 골재채취량은 35,400m³이다. 그림 3.1, 3.2는 골재채취 전·후의 하천형태를 나타내고 있다.

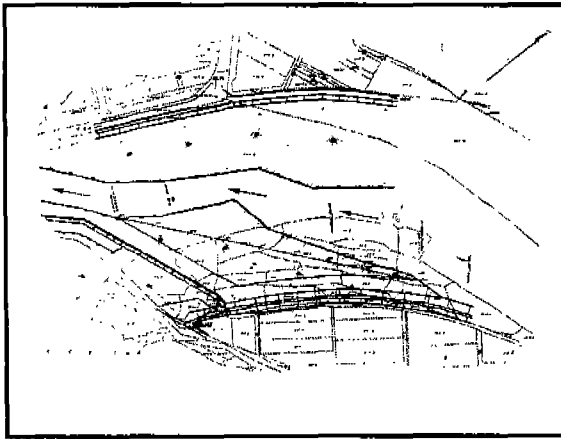


그림 3.1 공사전 하천형태

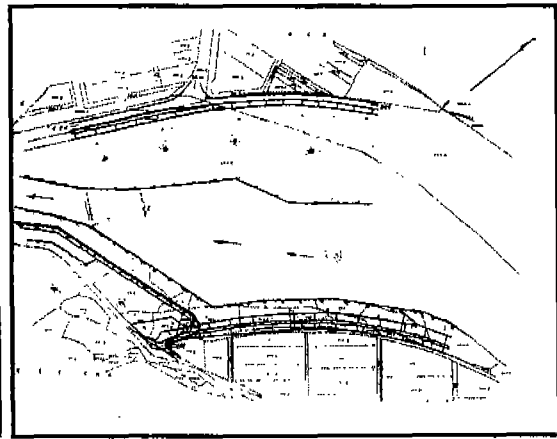


그림 3.2 공사후 하천형태

1, 2차원 모형의 입력 자료로 사용한 하도의 지형자료는 보청천 하천정비기본계획, 보청천 수해복구 공사 실시 설계보고서, 대청댐 유량측정 보고서, 수치지형도 1/25,000(국립지리원), 지형도 1/50,000을 근거로하여 구성하였다. 보청천 흐름의 특성을 분석하기 위해 대상 구간을 골재 채취부분이 많은 산계에서청성지점까지 모의하였다. 대상 구간에 대한 유한 요소망은 804개 요소와 2693개의 노드로 구성하였다. 1, 2차원 모형의 적용결과 계획홍수위와 비교적 잘 일치하였다.

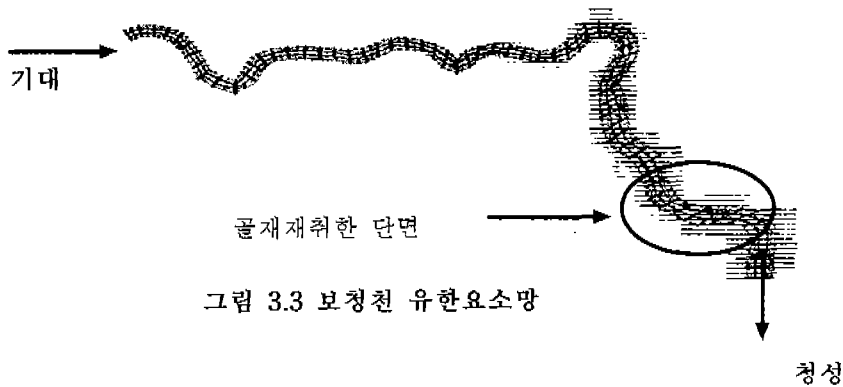


그림 3.3 보청천 유한요소망

3.2 골재채취 전·후 홍수과의 영향분석

3.2.1 홍수위 분석

보청천 유역에 1,2차원 모형을 검증하기 위해 기대지점부터 청성지점까지의 주요지점 계획홍수위를 HEC-RAS모형과 RMA2모형을 비교 검토하였다. 1차원적인 검정을 위해서 각지점 별로 계획홍수량을 적용하였다. 이를 위해 RMA2 모형의 상류경계조건은 시점인 기대지점의 계획홍수량인 1,314CMS를 적용하였고, 하류경계조건은 하류지점인 청성지점의 계획홍수위 100.32m(EL.)를 적용하였다. 표 3.1과 3.2는 1,2차원 모형의 주요지점별 홍수위를 비교한 것이다. 표 3.1과 3.2에서 알 수 있듯이 1,2차원 모형 모두 계획홍수위와 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 RMA2 모형은 계획홍수위 보다 수위가 약간 과다하게 모의되었다. 이는 상류와 하류의 제방고차가 크기 때문에 해석시 수위가 계획홍수위 보다 상승한 것으로 판단된다.

RMA-2 모형을 모의한 결과 청산교에서 산계교 지점이 우완이 수위가 낮은 것을 볼 수 있다. 이 경우에 우완 부분이 퇴적 되는 것을 알 수 있을 것이다. 이 지점의 우완 부분의 골재 채취량 35400m³이다. 단면의 폭이 넓어지고 수심이 깊어짐에 따라 표 3.2와 같은 홍수위가 낮아 졌다.

그림 3.4은 각 지점별로 수위를 나타내고 있다. 골재채취후 산계교 지점(71+710)과 청성 수위표 지점(59)의 수위가 HEC-RAS 모형에서는 각각 6.12m, 6.68m RMA-2 모형에서는 5.9m, 6.48m로서 계획홍수위와 큰 차이를 보이며, 골재채취후 하상이 변화함에 따라 수위의 변동이 있음을 알 수 있다.

표 3.1 골재채취전 주요지점별 홍수위 비교

위치	누가거리(m)	계획홍수위(EL)	HEC-RAS		RMA2		비 고
			홍수위	수위차	홍수위	수위차	
167.144	0	132.66	132.68	0.02	132.78	0.12	기대교
160.145	1,396	130.08	130.14	0.06	130.19	0.11	여우활교
144.125	4,516	124.73	124.77	0.04	124.98	0.25	원정교
112.175	10,800	115.06	115.06	0.00	115.18	0.12	예곡교
96.165	13,445	109.32	109.34	0.02	109.45	0.13	청산교
71.710	18,435	102.06	102.02	-0.04	102.20	0.14	산계교
59	21,000	100.32	100.30	-0.02	100.47	0.15	청성수위표지점

표 3.2 골재채취후 주요지점별 홍수위 비교

위치	누가거리(m)	계획홍수위(EL)	HEC-RAS		RMA2		비 고
			홍수위	수위차	홍수위	수위차	
167.144	0	132.66	132.68	0.02	132.78	0.12	기대교
160.145	1,396	130.08	130.14	0.06	130.19	0.11	여우활교
144.125	4,516	124.73	124.77	0.04	124.98	0.25	원정교
112.175	10,800	115.06	115.06	0.00	115.18	0.12	예곡교
96.165	13,445	109.32	109.34	0.02	109.45	0.13	청산교
71.710	18,435	102.06	101.52	-0.54	101.30	-0.76	산계교
59	21,000	100.32	99.58	-0.74	99.38	-0.94	청성수위표지점

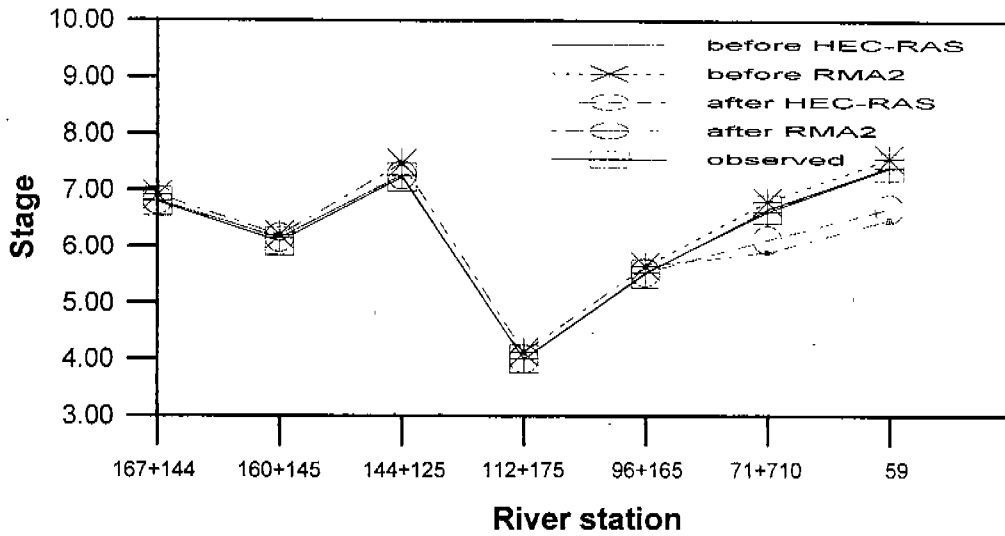


그림 3.4 지점별 수위분석

3.2.2 홍수파의 유속분포

HEC-RAS 모형에서 검증된 유속을 바탕으로 RMA-2 모형의 유속을 모의한 결과 골재채취전 산계교 지점(71+710)에서의 유속은 2.35m/s, 청성수위표지점의 유속은 2.52m/s로 산정 되었다. HEC-RAS 모형과 비교적 잘 일치한 것으로 나타났으며, 표 3.3에서와 같이 골재채취후 유속이 급격히 감소하였다. 그림 3.5 와 3.6은 만곡이 심한부분이 유속분포를 RMA-2 모형을 이용해 분석한 그림으로 만곡부가 심한 우완부분은 유속이 골재채취후의 유속이 그림.3.6과 같이 감소하였다.

표 3.3 골재채취전·후 유속분포

위치	누가거리(m)	골재채취전 평균유속(m/s)		골재채취후 평균유속(m/s)		비고
		HEC-RAS	RMA-2	HEC-RAS	RMA-2	
96+165	13,445	2.08	2.15	2.08	2.01	청산교
71+710	18,435	2.12	2.35	1.96	1.90	산계교
59	21,000	2.35	2.52	2.02	1.98	청성수위표지점

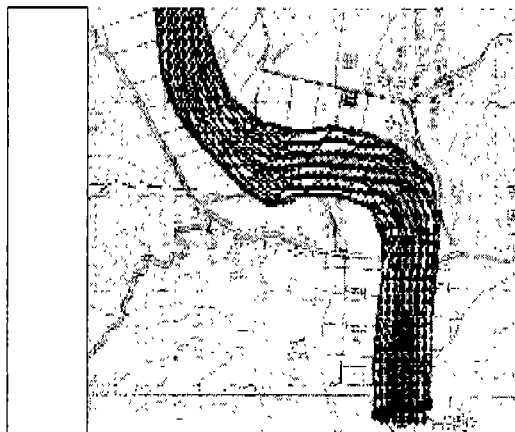


그림 3.5 골재채취전 유속분포

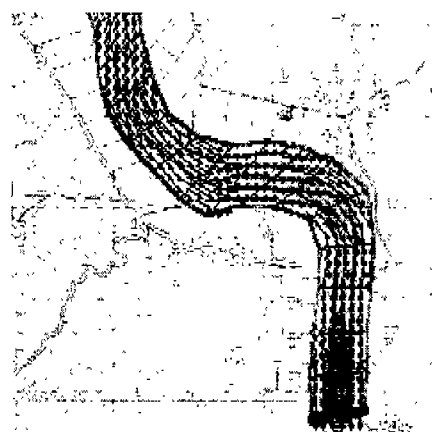


그림 3.6 골재채취후 유속분포

4. 결론

본 연구에서는 1, 2차원 모형인 HEC-RAS와 RMA-2모형으로 IHP 대표유역인 보청천 하류부의 흐름 특성을 비교 검토하였고, 골재채취 전·후 청성지점의 수위변화 및 유속분포를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

소하천에 적용한 두 모형 모두 하천정비기본계획(1993)의 계획홍수위와 큰 오차가 없었으며, 1차원 모형보다 2차원 모형인 RMA-2 모형이 계획홍수위 보다 약간 과다하게 나왔다. 그 이유는 상류와 하류의 제방고 차가 크기 때문에 해석시 수위가 계획 홍수위 보다 상승한 것으로 판단된다. 유로 만곡부의 흐름형상과 급한 경사를 갖는 소하천의 복잡한 하상형태 등의 영향을 파악하기 위해서 1차원 모형보다는 2차원 모형인 RMA-2 모형을 적용하는 것이 하천의 흐름특성을 분석하는데 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 보청천의 수치모형 시험을 통해 하천의 제방 수리사항을 도출하고 하천공사 실시와 수공구조물의 설계 및 유지관리, 홍수소통의 문제해결에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 안상진, 김진국, 전계원, 백남대, "수치모형을 이용한 소하천 수계의 부유사농도분포 모의", 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), 대한토목학회, pp. 203~206, 2000.
2. 이을래, 한건연, 박재홍, 이재영, "한강하류부에서의 오염물의 2차원 이송-확산해석", 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), 대한토목학회, pp. 539~542, 1999
3. 이종태, 전형준 "여의도 셋강 및 밤섬이 한강 홍수에 미치는 영향 분석", 2000년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 622~627, 2000
4. 조원철등 "소하천의 치수계획을 위한 부등류 계산모형의 적용성에 관한 연구" 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 135~138, 1995
5. Donnell, B.P., Users Guide To RMA2 WES Version 4.3, WexTech Systems, Inc., New York, N.Y., 1997
6. Davis, HEC-RAS River Analysis System: User's Manual, Hydrologic Engineering Center, 1997
7. Eric B. Becker, Gtatham F. Carey. and J. Einsley Oden, "Finite Elements An Introduction" Volume, Prentice-Hall. INC. 1981