

2차원 수치모형에 의한 남한강 합류흐름 해석

The Analysis of Channel Junction flow Nam-Han River to the 2-Dimension

최계운¹⁾, 김기형²⁾, 조준범³⁾, 한현준⁴⁾
Gye Woon Choi, Gee Hyoung Kim, Hyun Jun Han

요 지

현재까지 하천흐름의 동수역학적 해석을 위해 여러 가지 수치기법들에 대한 연구가 진행되고 발전되어져 왔다. 현재 국내에서는 주로 1차원 점변부정류 해석프로그램인 HEC-RAS 모형을 많이 사용하고 있으며, 대부분의 하천정비 기본계획 수립에 있어서도 1차원 해석모형을 적용하고 있다.

하지만 단순 하천이 아닌 합류부를 가진 하천이나 교량, 보 등의 다양한 수공구조물이 존재하는 경우 보다 정교한 흐름해석을 하기 위해 2차원 해석모형의 적용이 필요하다.

본 연구에서는 강원도 영월지역의 동강과 서강이 합쳐지는 합류부와 그 하류에 대한 영향을 알아보기 위하여 1차원 수치해석 모형인 HEC-RAS의 결과를 이용하여 2차원 수치해석 모형인 SMS의 RMA2 모델의 매개변수를 산정하였다. 2차원 수치모형을 이용하여 본 검토 지역의 빈도별 홍수량을 50년 빈도, 80년 빈도, 150년 빈도로 변화시키면서 대상구역의 유속변화를 검토하였다. 그 결과 합류부 지역에서 동강과 서강의 흐름이 충돌하면서 사수부가 발생하였고 유량이 많아질수록 그 사수부가 작아지는 경향을 보였다. 이를 바탕으로 앞으로 더 많은 CASE의 유량 및 하류수위를 변화시켜 수치모의를 하고 대상구역 내 구조물 설치 시 합류부의 유속 및 수위변화를 수치모의하여 모형실험 실시 시 예측 및 검토자료로서 활용할 것이다.

핵심용어 : 동수역학적 해석, HEC-RAS, SMS, RMA2, 난류확산계수, 조도계수

1. 서 론

근래들어 국지적인 큰 강우가 발생하는 빈도가 잦아지고 있으며 이로 인한 홍수피해는 과거의 발생한 피해에 비하여 그 규모가 점차 커지고 있다. 또한 하상에 존재하는 수공구조물이 증가하여 그 피해는 더욱 가중되고 있는 추세에 있다. 이에 대한 홍수량을 산정하고 수치해석을 통해 홍수의 흐름을 추적할 수 있으며 현재 설치되어 있는 구조물의 안정성 등을 검토할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

현재 많은 하천들이 지류를 가진 합류부를 포함하고 있으며 이 부분에서 많은 수리학적 특성이 발생하고 있다. 또한, 수치해석을 통한 흐름의 2차원적 해석은 많은 수자원분야에 적용되어 왔으나 합류부에 대한 연구가 많이 부족한 상태에 있다.

본 연구에서는 강원도 영월지역의 동강과 서강이 합쳐지는 합류부와 그 하류에 대한 영향을 알아보기 위하여 1차원 수치해석 모형인 HEC-RAS의 결과를 이용하여 2차원 수치해석 모형인 SMS의 매개변수를 산정하였다. 그리고 2차원 수치모형을 이용하여 대상구역의 홍수량의 변화에 따른 수리학적 특성을 도출하였다.

1) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

2) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사수료 · water@incheon.ac.kr

3) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · nom75@hanmail.net

4) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · mataya7@hanmail.net

2. SMS모형의 개요

SMS(Surfacewater Modeling System)모형은 수심적분 2차원 흐름방정식을 유한 요소법으로 해석하는 RMA2 모형과 격자생성 프로그램인 GFGEN 모형으로 구성된 해석모형에 모형의 입력과 출력을 가시화하는 전후처리과정을 갖는 프로그램이다. 여기서 RAM2는 수심적분 2차원 흐름방정식을 공간적으로 Galerkin 방법과 혼합보간기법, 시간증분에 대해서는 유한 차분기법을 채택한 동수역학 수치해석 모형이다.

RMA2 모형은 2차원 흐름 영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 조도계수로 계산되고, 와점성계수(eddy viscosity coefficients)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. RMA2모형에서 지배방정식은 식(4)~(6)에서와 같이 수심적분한 유체의 연속방정식과 2차원 운동량 방정식을 사용한다.

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

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

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho h} + F_{By} + v \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

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

3. 모형의 적용

3.1 대상유역 현황

대상유역은 그림 1에서 보는 바와 같이 한강수계 중 강원도 영월의 동강(22.1km)과 서강(13.9km)이 합류하는 지점을 선정하였으며 전체 유로연장은 32km이다. 이 유역은 북쪽으로는 북한강 유역과 접하며 동쪽으로는 영동지방과 경계가 되고 남으로는 낙동강 유역과 접하게 된다. 또한 서쪽으로는 홍천강 및 섬강 유역에 접하고 있는 지역이다.

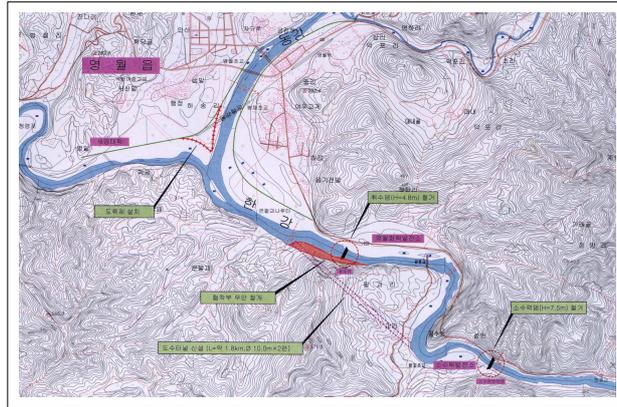


그림 1. 수치해석 대상구간

3.2 입력자료 구성

가. 기초자료 구성

기초자료 구성은 실측된 단면자료로 표시된 CAD자료로 활용하였으며 CAD에서 단면좌표를 추출한 후 SMS에서 노드정보로 입력하여 구성하였다. 본 수치모의를 위하여 지형자료는 한강 수계 하천정비 기본계획(2002)의 중·횡단면 자료를 CAD작업을 통하여 구축하였다. <그림 2>는 서강, 동강의 전체 CAD도면을 나타내고 있고 <그림 3>은 수치모의를 한 대상구역의 CAD도면을 나타내고 있다. 대상구역이 산지에 위치한 지역이라 하폭이 좁고 유속이 빨라 사행하천으로 이루어져있는 것을 알 수 있다. 마지막으로 <그림 4>는 CAD자료에서 추출한 단면좌표를 SMS상에서 노드구성을 위해 Import하는 DATA를 나타내고 있다. <그림 4>를 바탕으로 유한요소망을 구축하였는데 총 1144개의 노드(node)와 44개의 요소(element)로 구성되었다.

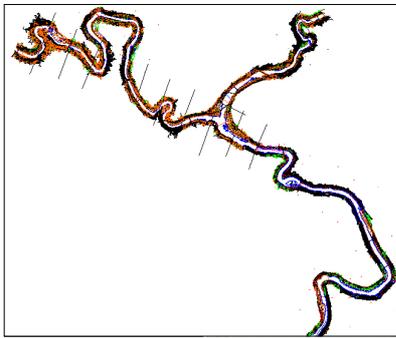


그림 2. 동강, 서강 전체도면

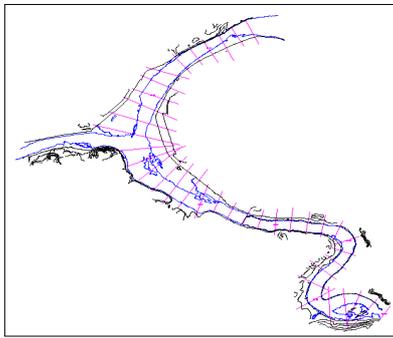


그림 3 수치해석 대상도면

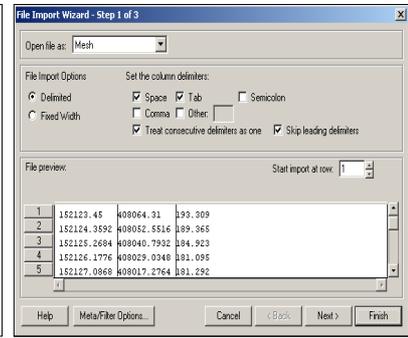


그림 4. SMS 자료입력

나. 경계조건 구성

동강과 서강이 만나는 합류부의 수리학적 특성을 파악하기 위해 수치해석 모델인 2차원 RMA2모형을 사용하였으며 본 연구대상의 주요 입력조건은 <표 1>과 같다. 본 수치모형을 위하여 수리량 자료는 영월지역의 관측소의 실측값을 통하여 유량과 수위관계식을 이용한 유역추적법으로 각 빈도별 홍수량을 산정하였다.

표 1. RMA2 모형의 경계조건

홍수규모		50년빈도	80년빈도	150년빈도
경계조건	본류	5171 m ³ /sec	5656 m ³ /sec	6297 m ³ /sec
	지류	4513 m ³ /sec	4795 m ³ /sec	5087 m ³ /sec
	하류	184.38 (E.L)	179.34 (E.L)	185.94 (E.L)
유한요소망		요소 : 44 개, 절점 : 1144 개		
조도계수		0.031		
난류혼합계수 (N · sec/m ²)		천수로하천흐름(저유속흐름) 5~25		

SMS상에서 구성된 Mesh를 이용하여 GFGEN을 실행하였고 그 결과인 BIN파일과 상·하류단 경계조건 및 유역의 특성치인 Manning의 조도계수와 난류교환계수를 입력한 BC파일을 이용하여 RMA2모형을 실행하였다. 모형을 해석하기 위한 Manning의 조도계수 값은 전체적으로 0.031을 사용하였으며, 난류교환계수는 저유속흐름으로 가정하여 SMS에서 추천하고 있는 범위내에서 설정하였다. 또한 하류경계 초기수위를 185m로

가정한 후 모의를 실행하였다.

4. 해석 및 결과

해석은 50년, 80년 150년 빈도별로 해석을 하였으며 하류경계 수위는 185(E.L)로 통일하였고, 유입유량 증가에 따른 합류부의 유속변화에 대해서 모의하였다.

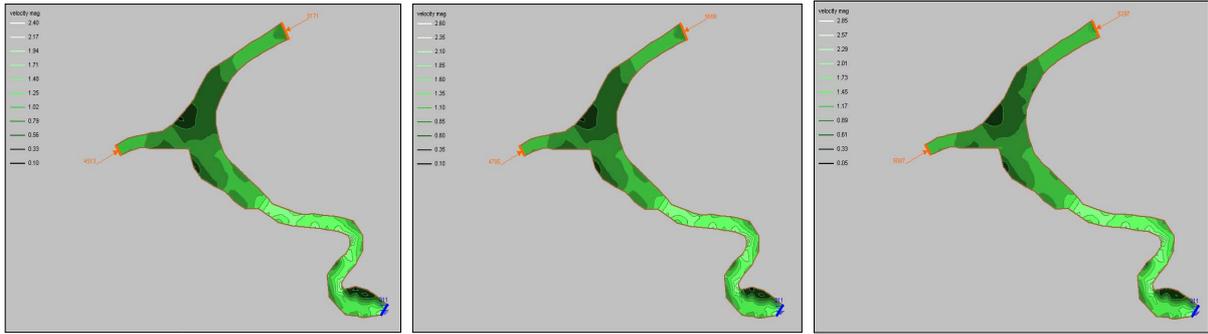


그림 5. 50년빈도 유속분포 그림 6. 80년빈도 유속분포 그림 7. 150년빈도 유속분포

위의 그림들은 SMS로 각 빈도별로 수치모의를 할 결과를 도시한 것인데 검은색에 가까워 질수록 유속이 느려지는 것을 나타내고 색이 밝아 질수록 유속이 빠름을 나타낸다. 먼저 <그림 5>를 보면 동강과 서강이 만나는 합류부에서 색이 전체적으로 검은색에 가까워짐을 볼 수 있다. 이는 큰 2개의 흐름이 서로 만나 충돌하면서 에너지를 잃어 합류부에서 사수부분이 나타남을 나타낸다. 합류부와 하류부분을 제외한 나머지 구역은 위에서 언급했듯이 산지지형이기 때문에 대체로 유속이 빠름을 볼 수 있다. <그림 5~7>에서 알 수 있듯이 빈도수가 증가할 수록 즉, 유량이 증가할 수록 사수부가 감소하여 합류부 지역의 유속이 증가하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

대상 유역의 동강(22.1km)과 서강(13.9km)이 합류하는 지점의 수위 및 유속변화를 모의하기 위해서 SMS의 RMA2모델을 구성하고 3가지 강우강도에 대해서 수치해석을 실시하였다. 하류부 경계조건은 수위를 185(E.L)로 하였고 조도계수는 0.031로 하였으며 난류확산계수는 SMS에서 추천하는 범위내에 있는 값을 추정하여 유량의 변화에 따른 합류부의 수리학적 특성과 합류부 이하 하류에 대한 유속변화를 검토하였다. 수치해석 결과 서강과 동강이 서로 만나는 합류부 상류부분에서 양쪽에서 내려오는 유량이 충돌하여 유속이 느려지는 사수부가 형성되는 것을 볼 수 있었고 이렇게 느려진 유속은 합류점 전체에 걸쳐 끌고루 느려진 상태를 알 수 있었다. 위의 결과를 바탕으로 향후 CASE를 좀더 다양화하여 유량, 하류 수위 그리고 구조물 설치의 CASE를 두어 이에 따른 합류부와 전체 대상단면의 유속 및 수위변화에 대해 모의하는 연구를 진행하고 도출된 결과는 수리모형실험의 기초자료로 활용할 것이다.

6. 참고문헌

1. 건설교통부, 한강수계 하천정비 기본계획, 2002
2. 윤태훈, 정의택, 박종석, “2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석”. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 31권, 제 5호, pp.529~538, 1998
3. 최호, 김수열, 정재욱, 윤세의, “청계천 하류부 합류부에서의 흐름특성”, 한국방재학회논문집, 한국방재학회, pp261~pp.268, 2004
4. 한국수자원학회, “제10회 수공학 워샵 교재”, 2002
5. 한국수자원학회, 하천설계기준, 2000
6. 한건연, 정재학, 이을래 “홍수터에서의 범람 홍수류에 의한 2차원 수치모의”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 33권, 제 4호, pp.483~493, 2000
7. Brigham Young University, SMS(Surface-Water Modeling System) User's manual, 2000
8. Davis, HEC-RAS RiverAnalysis System : User's Manual, Hydrologic Engineering Center, 1997
9. Donnell, B.P., User Guide To RMA2 WES Version 4.3, WexTech System, Inc, New York, N. Y., 1997