

RMA-2 모형을 이용한 가곡천 솔섬주변의 흐름특성 연구

윤지준*, 전계원**

본 연구에서는 가곡천 하구부에 위치한 솔섬 주변의 흐름특성을 분석하기 위해 유한요소법을 이용한 이차원 흐름해석 모형인 RMA2 모형을 적용하였다. 모형 모의를 위해 필요한 지형데이터와 입력자료는 가곡천 하천정비 기본계획에 제시된 값을 사용하였다. RMA-2 모형은 먼저 하구부 솔섬과 교량구조물의 유무에 따른 흐름특성을 파악하기 위해 2개의 다른 형태로 mesh를 구성 하고 모의를 수행하였다. 그 결과 제시된 계획홍수위와 RMA-2 모형이 모의한 수위차가 0.04m~0.11m를 나타내었다. 실제 2012년 9월 17일 내륙한 태풍 산바에 의한 영향을 분석하기 위해 태풍 산바시 실측한 유량을 유입유량으로 흐름해석을 수행한 결과 솔섬을 중심으로 좌안보다 우안 유속이 좀더 빠르게 분석되었다. 대상구간에 솔섬을 포함한 구조물의 유무에 따른 수리특성 분석결과 수위의 변동은 크게 차이나지 않았으나 유속은 솔섬과 교량에 의해 최대유속이 0.27m/sec 증가하는 것으로 분석되었다.

주제어: 수치모형, 하구부, 흐름특성, RMA-2

1. 서론

최근 전 지구적 이상기후에 따른 기후변동으로 집중호우와 태풍의 발생빈도가 증가하고 있다. 특히 동해안의 경우 산지하천이 많아 집중호우시 하천 상류지역의 유출량 증가로 인하여 하구부에 피해가 증가하고 있다. 이러한 피해에 대한 치수적 대책 수립을 위해 정확한 하천해석을 통한 하천관리가 매우 중요한 실정이다. 더불어 여가생활 인구의 증가로 하천주변에 다양한 자연친화적 문화 행사들이 늘어나고 있어 하천의 흐름특성 해석은 치수적, 이수적 및 문화환경적 측면에서 중요한 요소라고 판단된다.

강원도 지역은 87%이상이 산지로 이루어져 있어 대부분의 하천이 산지하천으로 구성되어 있다. 산지하천은 하상계수, 유속 등이 크게 나타나는 등 고유의 하천 수리·수문학적 특징을 가지고 있다. 또 홍수 시 하천의 흐름은 기본적으로 2차원이다. 이 경우 하천흐름의 수위와 유속분포는 1차원모형으로 는 모의하기에 어려움이 있어 하천의 흐름특성 연구를 위한 2차원, 3차원적 연구가 진행되고 있다.

* 제1저자, ** 교신저자.

최근 국내에서는 물론 이고 국외에서도 하천의 흐름특성이나 하상변동에 대한 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 하천의 수리학적 특성이나 하상변동의 분석방법은 주로 실험모형을 이용한 실험방법과 실측을 통한 실증적인 연구 또는 해석적 방법, 수치해석에 의한 비교·분석 연구방법이 있다.

국내의 연구에서 최민하(2002)는 SMS모형을 이용하여 포천천 유역의 장·단기 하상변동에 대한 모형의 적용성을 실측단면과 비교하여 모형을 검증 하였다. 정승권 등(2004)은 유사이송을 모의하여 하상변동을 예측하였다. 김위석 외(2011년)는 실제 자연하천을 대상으로 하상변동을 모의하고 적합성을 검토하고, RMA-2모형과 Flow-3D 모형을 이용하여 만곡부에서의 흐름특성 및 편수위를 분석하여 2차원 및 3차원 모형의 결과를 비교 검토하고 3차원 모형의 실제하천에서의 적용성을 판단하였다. 맹승진 외(2013)은 하천 하류부 하상변동 특성을 분석하기 위해 RMA-2 모형과 SED2D모형을 적용하여 하상변동 경향성을 파악하였다.

국외의 연구에서는 hang(2007)은 Kizu강을 대상으로 복잡한 지형을 갖는 실제 하천의 축소물리모형을 제작, 홍수 시 발생하는 하상변동 양상의 변화를 분석하였으며, 이를 2차원 수치모형을 이용, 비교·검증하였다. Maren(2007)은 황하강의 하도 침식구간과 곡률구간에서의 부유사농도에 따른 하상의 변화를 3차원 수치모형인 Delft3D를 이용하여 분석 하였다.

본 연구지역인 가곡천은 강원도 삼척시 원덕읍에 위치하며 동해안으로 유출되는 하천이며 하구부에 소나무로 덮인 하중도인 솔섬이 위치하고 있으며 그 경관적 가치가 뛰어나다. 그러나 현재 솔섬주변 하구부 인근에 LNG 가스기지, 발전단지 등 주변 공사로 솔섬주변의 변화가 이루어지고 있어 정확한 하천 흐름특성 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 솔섬주변의 흐름특성 분석을 위해 중·횡단면으로 모의할 수 있고 mesh의 분할이 자유로워 구조물 주변 등 중요한 부분의 세밀한 모의와 복잡한 경계선의 흐름을 자연스럽게 표현할 수 있는 2차원 유한요소모형인 RMA-2모형을 적용하였다. 이를 위해 하구부 솔섬과 교량구조물의 유무에 따라 2개의 다른 형태로 mesh를 구성 하고 실제 2012년 태풍 산바 발생시 측정된 유량을 적용하여 모형을 모의하고 그 결과를 분석하였다.

II. RMA-2 모형의 기본이론

본 연구에 사용된 수치모형은 SMS(Surface water Modeling System)으로서 1, 2, 3차원 동수역학적 모델링을 할 수 있는 모형이다. SMS는 미공병단, 미국WES(Waterway Experiment Staion)와 미연방도로국(U.S. Federal Highway Adiministration, FHWA)의 협력하에 Brigham Young University의 EMRL(Enviromental Modeling Research Laboratory)에서 개발되었다.

RMA-2모형은 정상류 뿐 아니라 부정류에서도 모의가 가능하며, 2차원 유속벡터와 자유수면의 표고 등을 유한요소망의 각 절점에서 계산 할 수 있고 시간에 따른 유량, 수위를 값 또는 곡선으로 입력하여 모의 할 수 있다. 이모형은 Navier-Stokes방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds방정식으로

유한요소의 해를 계산하며, 난류교환계수(Eddy Viscosity Coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용된다. 그러나 RMA-2는 수심방향으로 층을 형성하는 흐름특성은 모의할 수 없는 한계가 있다. 즉, 수심방향으로 유속이나 그 밖의 흐름특성이 변하는 흐름에 대하여는 2차원 모형에 더하여 수직방향의 흐름을 표현할 수 있는 3차원 모형인 RMA-10을 활용하여 모의가 가능하다.

RMA-2 모형은 식 1의 연속 방정식과 식 2 및 식 3과 같은 운동량 방정식을 지배 방정식으로 하는 2차원 천수방식을 Galerkin의 가중잔차법(Weighted residual method)에 의하여 해석하는 유한요소모형이다. 요소는 1차원 혹은 2차원일 수 있으며 곡선 형태일 수도 있다. 형태(shape) 방정식은 유속에 대한 2차 방정식이며, 수심에 대한 선형 방정식이다. 공간에 대한 적분은 Gaussian적분에 의하여, 시간에 대한 도함수는 비선형 유한차분 근사치에 의해 계산된다. 이에 대한 해는 완전 음해(Fully Implicit)이며 비선형 연립방정식은 Newton-Raphson 반복법에 의해 해를 구하게 된다. 유한요소는 1차원 또는 2차원 일 수 있으며 곡선 형태를 취할 수도 있고, 형태 방정식은 유속에 대한 2차 방정식이며, 수심에 대한 선형 방정식의 형태를 취하고 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} (\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) + g \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} (\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) + g \frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (3)$$

여기서, u, v, x, y 는 방향의 유속성분, h 는 수심, t 는 시간, g 는 중력가속도, a 는 하상표고, ϵ 는 확산계수, τ_x, τ_y 는 x, y 방향으로 작용하는 마찰응력항 이다.

III. 모형의 적용 및 분석

1. 대상유역

연구의 대상하천인 가곡천은 지방하천으로 가곡면 풍곡리 용소골 상류에서 발원하여 북행하다가 풍곡 초등학교 앞에서 도계읍 신리 육백산에서 발원한 소하천과 합류하여 동으로 방향을 바꾸어 심한 사행을 거쳐 원덕읍 월천리 앞 동해안으로 유입되는 하천이다. 유역면적 264.19 km^2 , 유로연장 40.96 km 인 하천이다. 본 연구에서는 솔섬이 중심으로 분포하고 있는 하구부의 1100 m 구간을 연구 대상으로 선정하였다. 해안과 만나는 하천의 하구부에서는 하천의 흐름에 따른 연안토사의 이동과 유황에 따른 상류에서의 토사유입량에 따라 하구부가 빠르게 변화한다. 또 가곡천은 경사가 급하고 유로

가 짧은 산지하천의 특성을 가지며 집중호우로 인한 유출시 유사가 하구부로 빠르게 이동하여 일반하천에 비하여 하구부의 지형변화가 크게 일어난다. 하구부에 호산해수욕장이 위치해있어 모래사장이 발달되어있어 계절의 변화에 따라 주기적으로 하구폐색이 이루어진다.



<그림 1> 가곡천 유역



<그림 2> 가곡천 하구부 전경

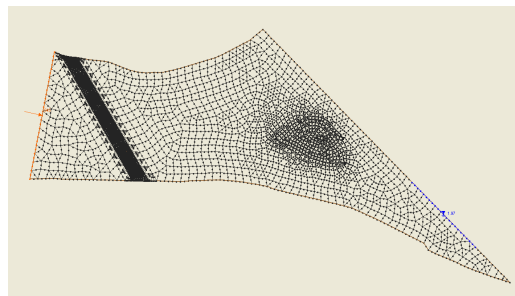
2. RMA-2 모형의 구축

1) 모형의 구성

RMA-2 모형을 이용해 솔섬을 포함한 구조물 유·무에 따른 흐름특성을 분석하기 위해 필요한 지형 데이터와 입력자료들은 가곡천 하천정비기본계획에 제시된 값을 이용하여 모형을 구성하였다. 2차원 수리해석에서 유한요소망을 구축하는 과정은 매우 중요하다. 유한요소망의 구성에 따라 모형의 결과 값이 수렴하기도하고 발산하기도 한다. 유한요소망은 여러개의 절점과 요소를 연결하여 구축되어지며 본 연구에서는 “가곡천 하천정비기본계획(2010)”의 종·횡단면 자료와 수치지도를 이용하여 유한요소망을 구축하였다. <그림 3>은 대상구간 및 하천정비기본계획에서 획득한 기본 단면위치를 나타내고 있으며 <그림 4>는 RMA-2 모형을 모의하기 위해 구축한 유한요소망을 나타내고 있다.



<그림 3> 흐름특성 분석구간

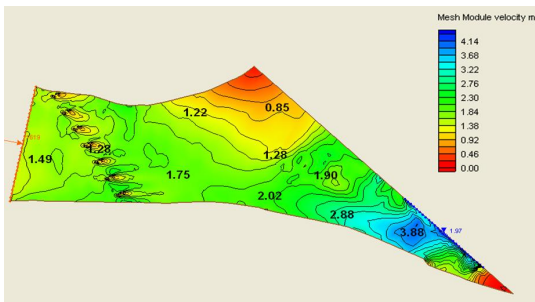


<그림 4> 대상구간의 유한요소 격자망 구성

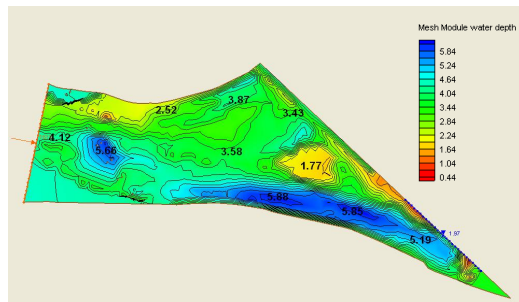
3. 흐름특성 분석

1) 모형의 검증

RMA-2 모형의 검증을 위해 “가곡천 하천정비기본계획(2010)”에서 제시된 100년 빈도 홍수량과 기점홍수위를 입력조건으로 입력하여 모형을 모의하였다. 그 결과 유속은 중심수로에서 0.8~4.1m/sec의 범위로 분포하였으며 수위는 0.44~5.84m로 나타났다. 모의결과는 <그림 4>와 <그림 5>에 나타내었다. <표 1>에는 계획홍수위와 RMA-2모형에 의해 모의된 수위를 비교하여 나타내었다. <표 1>에 서와 같이 수위차가 0.04~0.11m의를 나타내 기존 제시된 계획홍수위에 의한 홍수위의 경향을 잘 모의하는 것으로 분석되었다.



<그림 5> 모의된 유속 분포도(100년빈도)



<그림 6> 모의된 수심 분포도(100년빈도)

<표 1> 홍수위 모의결과 비교

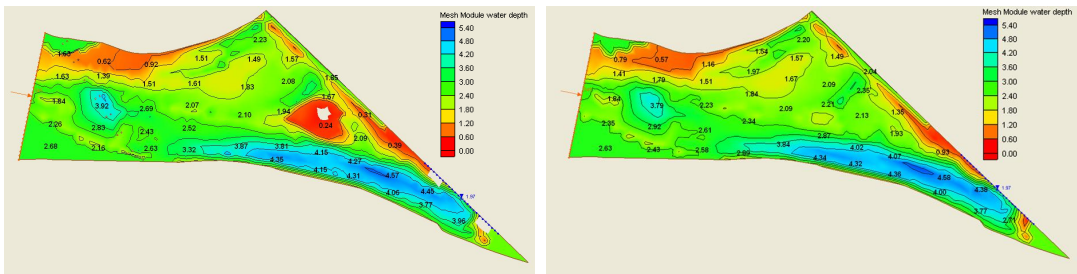
구분	1	2	3	4	5	6	비고
계획홍수위	4.00	3.94	3.27	3.05	2.15	1.97	(m)
RMA-2 수위	3.94	3.85	3.31	3.16	2.26	2.01	"
수위차	0.06	0.09	0.04	0.11	0.11	0.04	"

2) 구조물 유·무에 따른 흐름특성 분석

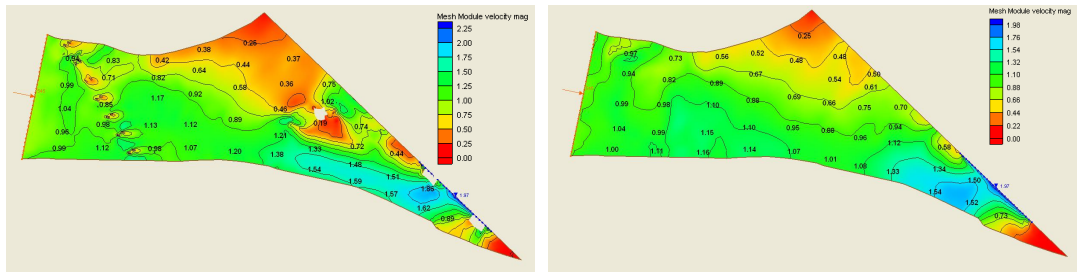
대상구간의 구조물 유·무에 따른 수리특성 변화를 알아보기 위하여 RMA-2 모형 모의를 실시하였다. 입력자료인 유량은 태풍 산바 내습 시 직접 측정된 첨두유량인 545m³/s으로 하였으며, 수위는 “가곡천 하천정비기본계획(2010)”에서 제시된 홍수위, 하상경사 및 실측자료를 고려하여 1.97m를 초기값으로 입력하고 계산하였다. 조도계수는 입도분포결과 자갈모래 및 모래질 자갈로 조사되었고 하류부임을 감안하여 조도계수는 자연하천 중 큰하천, 점토, 사질하상, 사행이 적음에 해당하는 0.018~0.035의 범위로 산정하였으며, 복합조도계수를 산정하여 비교·검토를 실시한 후 주수로는 0.03, 좌안

과 우안은 0.035를 적용하였다.

RMA-2 모형을 적용하여 대상구간 내에 솔섬을 포함한 교량의 유·무에 따른 흐름특성모의 결과를 <그림 7>과 <그림 8>에 나타내었다. 모의결과 솔섬을 포함한 교량이 있을 때에는 유속이 0.02~2.25 m/sec의 유속 분포를 나타내었고 구조물이 없을 때에는 0.01~1.98m/sec의 유속분포를 나타내었다. 유속은 구조물이 없을 때보다 있을 때 좌안에 유속이 적은 값으로 분포되었고 주수로인 우안의 유속은 구조물이 있을 때 더 빠른 유속을 나타냈으며 최대유속 비교시 0.27m/sec의 차이로 좌안에 비하여 우안의 유속이 빠른 경향을 나타내었다. 수심은 구조물이 있을 때는 0.02~5.40m 없을 때는 0.02~5.40m로 큰 변화 없이 일정하게 분석되었다.

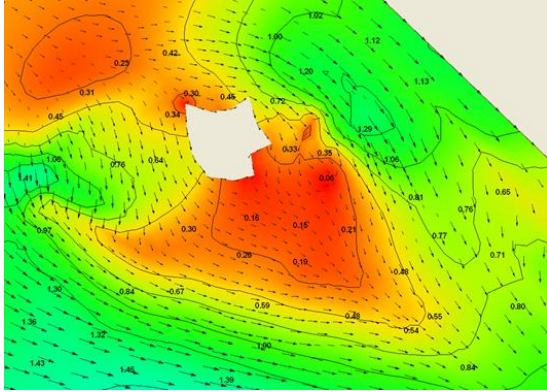


<그림 7> 구조물 유무에 따른 수심분포도 비교



<그림 8> 구조물 유무에 따른 유속분포도 비교

솔섬은 가곡천 측량을 통하여 취득한 지형 데이터의 측정값을 이용하여 wet/dry 방식으로 표현하였다. 모의된 결과를 토대로 솔섬의 흐름특성을 확인하기 위해 <그림 9>에 솔섬 부근의 유속벡터 및 유속분포도를 확대하여 나타내었다. 하천의 흐름방향을 따라 볼 때 <그림 9>에서 알 수 있듯이 솔섬에서 흐름이 좌우로 나누어지며 솔섬 좌측으로는 유속이 줄어드는 분포를 나타내고 일부구간에서는 와류의 형태를 나타내었다. 실제 현장조사에서도 좌안은 유속이 작아져 퇴적부가 형성되는 것으로 조사되어 동일한 경향을 나타내었다.



<그림 9> 솔섬주변 유속벡터 및 유속분포도



<그림 10> 솔섬 좌안 현장

V. 결론

본 연구에서는 가곡천 하구부에 위치한 솔섬 주변의 흐름특성을 분석하기 위해 유한요소법을 이용한 이차원 흐름해석이 가능한 RMA-2 모형을 적용하여 수치모의를 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

RMA-2 모형의 적용성을 검증하기 위해 기존 가곡천 하천정비기본계획(2010년)에 제시된 홍수위와 RMA-2 모형에 의해 모의된 홍수위를 비교한 결과 수위차가 0.04~0.11m를 나타내며 비교적 적합한 모의결과를 얻었으며, 솔섬을 포함한 구조물의 유·무에 따른 흐름특성 분석결과 전체적인 수심분포는 크게 변화가 없었으나 유속의 경우 구조물이 있을 때에는 0.02~2.25m/sec로 유속이 모의되었고 구조물이 없을 때에는 0.01~1.98m/sec의 유속분포를 나타내었다. 특히 구조물이 없을 때보다 있을 때 좌안에 유속이 적은 값으로 분포되었고 주수로인 우안의 유속은 구조물이 있을 때 더 빠른 유속을 나타냈으며 최대유속을 비교시한 결과 0.27m/sec의 차이를 보였다. 솔섬 인근의 유속분포는 흐름방향으로 솔섬 좌안과 앞부분으로 유속이 감소하는 분포를 나타내었고 우안부분은 유속이 점차 감소하다 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서 모형의 모의결과와 현장조사를 종합해본 결과 솔섬의 좌안부분은 유속감소로 인해 향후 퇴적이 진행될 것으로 판단되며 우안의 경우는 점차 침식이 진행될 것으로 판단된다.

참고문헌

곽준성. 2001. 하천·해안에서의 RMA-2와 SED-2D모형의 적용성 검토. 명지대학교 석사학위논문.

- 김성배. 2003. RMA2 모형을 이용한 2차원 수치해석에 관한 연구. 경일대학교 석사학위논문.
- 김위석. 2011. 2차원 수치해석 모형을 이용한 만곡하도의 하상변동 특성 연구. 경일대학교 석사학위논문.
- 맹승진. 2013. 홍수기를 고려한 가곡천 하류부 하상변동 특성 분석. 한국위기관리논집. 9(5): 103-116.
- 박영진, 조진규, 임장혁. 2007. 중소규모 댐 상류의 SED-2D 모형을 이용한 장기간 유사 거동 모의 연구. 환경지리학회지. 13(4): 241-248.
- 삼척시. 2010. 가곡천 하천정비기본계획(변경).
- 정요한. 2001. 교각 주위의 흐름특성 분석을 위한 2차원 수치모형 개발. 홍익대학교 석사학위논문.
- 진환석. 2010. 하천 횡단구조물 설치에 따른 흐름특성 및 하상변동 분석. 인하대학교 석사학위논문.
- 최동규. 2003. 만곡수로에서 SED-2D 모형의 적용성 검토. 경기대학교 석사학위논문.
- 최민하. 2002. SMS를 이용한 長·短期 河床變動 解析. 고려대학교 석사학위논문.
- 홍성민, 정인균, 김성준. 2003. SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천흐름 분석. 한국농공학회 학술발표회 논문집.

尹智俊: 강원대학교 토목공학과를 졸업하였고 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 석사과정으로 공부중이며, 산지하천재해와 토석류에 관심을 두고 연구 중이다(g-jun@kangwon.ac.kr).

全桂元: 충북대학교에서 공학박사학위(논문제목: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2)를 취득하였다. 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이며 풍수해, 토석류재해, 자연재해 관리에 관한 방재분야에 관심을 가지고 있다. “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)”등의 논문을 게재한 바 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2013년 10월 04일

수 정 일: 2013년 10월 28일

게재확정일: 2013년 10월 30일

A Study on Flow Characteristics around Sol-seom in the Gagokcheon Using RMA-2 Model

Ji Jun Yoon, Kye Won Jun

In order to analyze the flow characteristics around Sol-seom at the mouth of the Gagokcheon, this study applied the RMA2 model, which is a two-dimensional flow analysis model using the finite element method. The values indicated in the master plan for river development of Gagokcheon were used for the topographic and input data require to simulate the model. In order to understand the flow characteristics according to the presence or absence of Sol-seom and bridge structure at the mouth of the river, the RMA-2 model constructed the mesh in the two forms to perform simulations. As a result, the simulated water-level difference between the indicated design flood level and RMA-2 model was 0.04-0.11m. In fact, in order to analyze the effects of Typhoon Sanba(2012), which made landfall on South Korea on September 17, 2012, flow analysis was conducted on the observed flow in Typhoon Sanba(2012) as inflow discharge. As a result of analysis, the flow velocity on the right bank was a little faster than that on the left bank centering Sol-seom. This study analyzed the hydraulic characteristics according to the presence or absence of structures including Sol-seom. As a result, there was no significant difference in the water level, but the maximum flow velocity increased to 0.27 m/sec by Sol-seom and bridge.

Key words: finite element model, the mouth of the river, flow characteristics, RMA-2