

# RMA-2를 이용한 만곡하천 합류부에서의 흐름해석

## Numerical Simulation at Curved Channel Junction with RMA-2

이진우\*, 오형석\*\*, 조용식\*\*\*

Jin Woo Lee, Hyeong Sek Oh, Yong-Sik Cho

### 요 지

본 연구에서는 만곡하천에서 본류와 지류의 합류각에 따른 수치모의 결과를 이용하여 합류부에서의 유속변화와 수위변화를 분석하는데 목적이 있다. 적용대상지역은 조양강과 용탄천 합류부로서, 만곡하천에 지류가 합류하며 유속과 수위가 변하는 지역이다. 합류부에서 지형변화에 따른 합류부에서의 유속과 수위 변화를 알아보기 위하여 본류와 지류가 합류되는 부분의 합류각 변화에 따른 수치모의를 실시하였다.

자연형 하천에 가까운 수치모의를 위하여 조양강과 용탄천의 관측값(유량 및 수위 자료)을 적용하여 수치모의를 실시하였다.

**핵심용어 : 만곡하천, 합류흐름, 합류각, RMA-2**

## 1. 서 론

실제 자연 상태의 하천은 여러 가지 규모의 만곡하천으로 구분할 수 있다. 자연하천은 일반적으로 유수력에 의하여 사행이 발달함에 따라 대부분 만곡현상이 나타나게 되며 만곡부로 유입되는 지류가 존재하기도 한다. 만곡부 하천에서는 원심력의 영향으로 외측의 수위가 내측의 수위보다 높아지는 편구배와 이차류 등이 존재하고 있어서 직선수로와는 특성상 큰 차이가 있다. 만곡부의 흐름은 방향전환으로 인한 소용돌이 현상이 문제되는 구간으로써 수위가 높아지고, 빈번하게 홍수피해를 발생시킨다. 1990년대를 지나면서 최근까지 이상기후에 의해 시, 공간적으로 강우패턴의 변화가 커지고 있고, 집중호우 등에 의해 만곡부의 수위가 상승하여 제방이 붕괴되거나 도로가 유실되는 사례가 발생되고 있으며, 이때 하천의 구조물 주변이나 만곡부에서 그리고 하천의 본류와 지류가 만나는 합류점을 중심으로 집중적인 제방 붕괴가 발생하는 점을 고려할 때 하천유량의 급격한 변화는 하천 합류부에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 본 연구에서는 만곡 합류부에서 본류와 지류의 합류 각에 따른 유속, 수위를 변화를 알아보기 위하여 실제 지형 자료를 사용하여 지형을 구축하였다. 자연형 하천 흐름에서의 변화를 알아보기 위하여 2009년 8월에 측정된 조양강과 용탄천의 유량과 수위자료를 경계조건으로 사용하여 합류각의 변화에 따른 합류점에서의 유속과 수위 변화를 알아보았다.

\* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : [moonguy@hanyang.ac.kr](mailto:moonguy@hanyang.ac.kr)

\*\* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : [saver83@hanyang.ac.kr](mailto:saver83@hanyang.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수(교신저자) · E-mail : [ysc59@hanyang.ac.kr](mailto:ysc59@hanyang.ac.kr)

## 2. 지배방정식

RMA-2 모형은 수심적분 2차원 흐름방정식을 공간적으로 Galerkin 방법과 혼합보간기법, 시간에 대해서는 유한 차분기법을 채택한 동수역학 수치해석 모형이다. RMA-2 모형은 2차원 흐름 영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 사용된 지배방정식은 식 (1)~(3)과 같다.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(hU)}{\partial x} + \frac{\partial(hV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

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

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = - \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{ay} - \tau_{by}}{\rho h} + F_{By} + \frac{\epsilon}{\rho} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

여기서,  $h$ 는 수심( $z - z_b$ )이고,  $z$ 와  $z_b$ 는 각각 수면 및 하상표고를 나타내며,  $U$ ,  $V$ 는 흐름 및 횡방향 수심 평균유속을 표시한다.  $\tau_a$ ,  $\tau_b$ 는 수면 및 바닥의 응력 성분이며,  $\epsilon$ 은 와점성계수,  $F_B$ 는 단위 질량당 체적력이다.

## 3. 수치모의

### 3.1 연구 대상지역

대상지역은 한강의 상류인 강원도 정선의 조양강을 선택하였다. 대상지역은 태풍 ‘루사’와 ‘매미’에 의하여 2년간 연속적으로 피해를 입은 지역이다. 대상지역은 만곡부의 전형적인 특징이 나타나는 조양강과 지류인 용탄천이 합류되는 부분이다. 이 지역은 만곡과 합류에 의한 수위상승이 복합적으로 나타나기 때문에 다른 지역 보다 피해가 큰 지역이다.

그림1은 수치모의를 위한 대상지역이고, 원호안은 만곡부에 지류가 합류되는 부분으로 관심영역이다.



그림 1. 수치모의 대상지역

### 3.2 겹 중

#### 3.2.1 경계조건

유량 및 유속 경계조건은 한강 하천정비기본계획 보고서 (2004)와 용탄천 하천정비기본계획 보고서 (2002)에서 산정된 100년빈도 홍수량과 홍수위를 이용하였다.

표 1. 경계조건

	조양강	용탄천
유량	7035CMS	480CMS
수위	288.72EL	-

#### 3.2.2 검증결과

서동일 (2007)의 수리모형실험과 RMA-2를 이용한 수치모의 결과를 합류전, 합류점, 합류후 위치에서의 평균유속을 비교하였다.

표 2. 결과비교

	수리모형실험( $m^3/s$ )	수치모형실험( $m^3/s$ )
합류전	7.43	7.43
합류점	7.92	8.38
합류후	7.64	8.11

검증결과 수리모형실험과 수치모형실험은 5%정도의 오차를 나타냈고, 이는 지형자료와 RMA-2 모델 적용이 잘 된 것으로 보인다.

### 3.3 합류각 변화에 따른 수치모의

#### 3.3.1 경계조건

유량 및 유속 경계조건은 한강홍수통제소에서 제공되는 2009년 8월의 유량과 수위자료를 이용하였다.

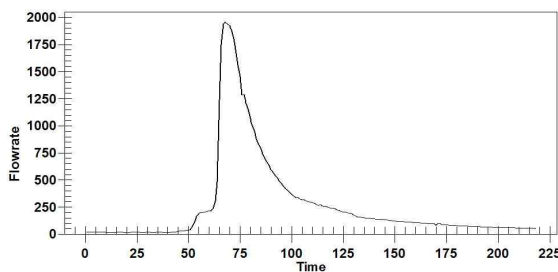


그림 2. 조양강 유입유량

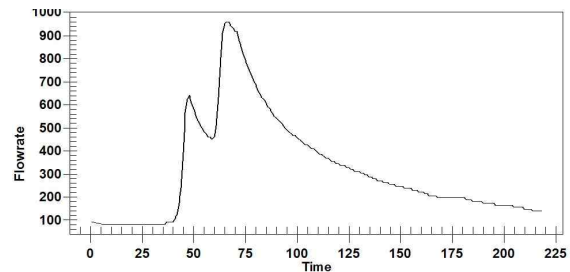


그림 3. 용탄천 유입유량

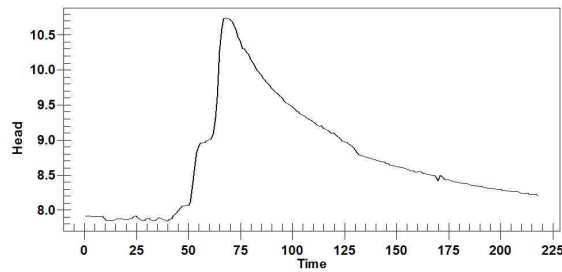


그림 4. 조양강 유출수위

### 3.3.2 결과분석

본 연구에서 조양강과 용탄천이 합류하는 지점에서 합류각의 변화에 따른 유속 및 수위변화에 대하여 수치모의를 실시하였다.

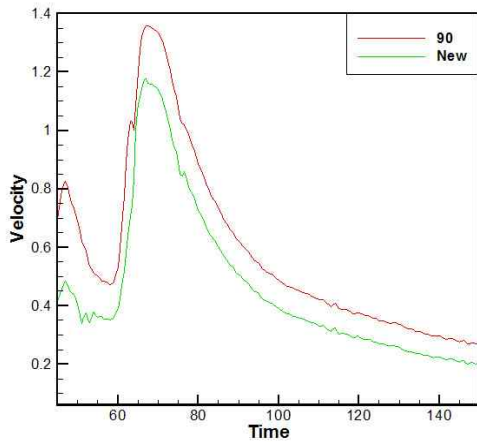


그림 5. 유속 비교

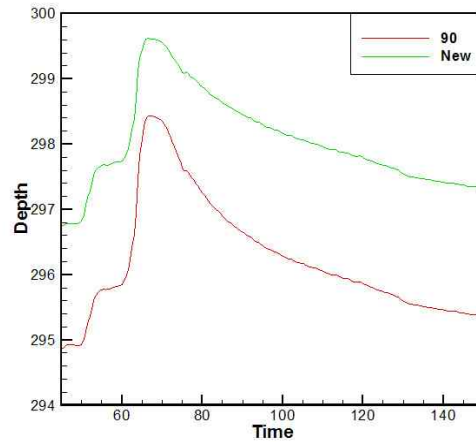


그림 6. 수위 비교

그림 5와 그림 6은 현재상태와 합류각을 90°로 변경하였을 경우의 수치모의 결과를 비교한 그래프이다.

현재상태에서는 유량의 증가에 따라 유속은  $1.18m/s$ 로 빨라지고, 수위는  $299.63m$ 로 높아졌다. 합류각을 90°로 변경한 경우, 유량의 증가에 따라 유속은  $1.36m/s$ 로 빨라지고, 수위는  $298.44m$ 로 높아졌다. 수치모의 결과 유속 및 수위는 현재상태보다 합류각이 90°일 때 유속이 빨라지고, 낮아지는 것을 알 수 있다.

합류부의 제방은  $298.79m$ 로 현재상태일 경우 제방보다 수위가 높아지게 되어 월류나 홍수가 발생할 수 있지만, 합류각을 90°로 변경하였을 경우에는 수위가 제방보다 낮아지는 것을 알 수 있다.

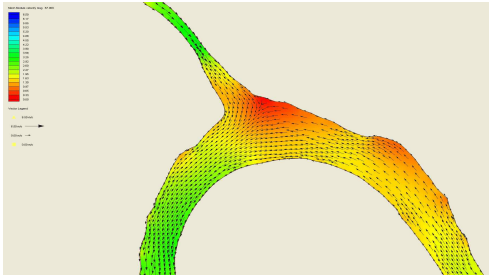


그림 7. 현재상태 유속벡터

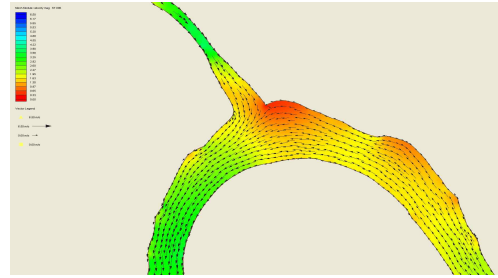


그림 8. 합류각 90° 유속벡터

현재지형에서 합류각 90°로 변경하였을 경우 벡터도(그림 7, 그림 8 참고)에서 보이는 것과 같이 만곡부에서 유속이 빨라지고, 합류부에서 유속이 작아지는 지역이 감소하였다. 이는 합류각의 변경에 따라 흐름이 좋아지는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 만곡부 합류부에서 유량과 수위 변화에 따른 합류부에서 유속과 수위를 이용하여 흐름을 분석하였다. 물의 흐름은 현재의 흐름방향을 유지하려는 관성을 가지고 있다. 이러한 두 흐름이 합류점에서 충돌하면 각각의 흐름은 서로 영향을 주어 흐름방향이 변하게 된다. 이때 합류부 내측에 전해지는 에너지가 작아지게 되어 유속이 감소하고, 수위는 높아지게 된다. 현재상태의 지형에서 태풍이나 집중호우와 같은 유량이 유입되면 수위가 제방보다 높아지게 되어 홍수피해가 발생하고 있다. 본 연구에서 적용한 합류각을 90°로 변환하여 수치모의한 결과를 보면 수위가 제방보다 낮아지게 된다. 그리고 합류부의 유속이 증가함에 따라 합류부에서 정체되는 범위도 감소하였다. 결과적으로 합류각이 작아지게 되면 합류부 흐름이 좋아지는 것으로 나타났다.

대상지역은 과거 태풍 ‘매미’, ‘루사’와 같은 집중호우에 의하여 홍수가 발생한 지역이다. 홍수발생 원인으로 합류부에서 흐름이 원활하지 못하기 때문에 유속이 감소하고, 수위가 높아지기 때문이다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 합류부에 제방이나 구조물을 설치하여 합류각을 감소시키면 대상지역의 피해를 감소시킬 것으로 예상된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 서울특별시 “대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 용역”의 연구비 지원에 의한 결과의 일부이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2004), 한강 하천정비기본계획 변경 보고서.
2. 건설교통부(2002), 용탄천 하천정비기본계획 보고서.
3. 서동일 (2007). 수리모형실험과 수치해석을 통한 만곡부 하천의 수리학적 특성 비교 고찰, 학위논문, 강원대학교.
4. 윤태훈, 정의택, 박종석 (1998). 2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석, 한국수자원학회논문집, 제 31권, 제 5호, pp. 529 - 538.