

합류부에서 흐름 및 하상변동 수치모의 (금강과 미호천)

Numerical Simulation of Flow and Bed Change at the Confluence of the Geum River and Mihocheon

장창래 * 김정곤** 고익환*** 이배성****

요 지

하천은 여러 하천의 연결망으로 구성되어 있으며, 연결부는 절점으로 이루어져 있고, 이 절점은 하천이 합류하는 곳으로서 하천의 시스템을 구성하는 가장 중요한 요소이다. 최근에 친자연 하천 복원 등의 많은 사업을 하고 있음에도 불구하고 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않고 있으며, 이를 검토하고 이해하는 것이 하천을 복원하고 관리하는데 매우 중요하다.

본 연구는 본류와 지류의 하상경사 및 하상고가 다르고, 유사 유입조건이 다른 비평형 유입조건을 갖고 있으며, 하폭이 넓고 수심이 상대적으로 얇은 합류부에서 흐름 및 하상변동에 관하여 수치모의를 수행하여 그 특성을 파악하는데 그 목적이 있다. 적용 대상지역은 금강과 미호천의 합류부로서, 흐름 특성 및 하상변동을 모의하기 위하여 RMA-2와 SED2D를 이용하였다. 유량의 증가에 따라 흐름에 대한 유속이 증가하며, 전단층의 길이가 증가하고, 합류부의 우안의 정체수역에서 발생하는 와(vortex)의 크기도 증가하였다. 부유사의 농도는 실제 상황에 맞도록 비평형 유입조건을 사용하였으며, 미호천에서 유입되는 유사의 농도에 영향을 받아, 합류직후에도 유사의 농도가 높으며, 전단층을 경계로 하여 농도 띠가 하류로 유지되었으며, 합류 후에는 우안에서는 하상이 상승되었다.

핵심용어 : 합류부, 수치모의, 흐름특성, 하상변동

1. 서 론

하천은 여러 하천의 연결망으로 구성되어 있으며, 연결부는 절점으로 이루어져 있고, 이 절점은 하천이 합류하는 곳으로서 하천의 시스템을 구성하는 가장 중요한 요소이다. 하천의 합류부에서는 흐름특성이 매우 복잡하고 유사(流砂)로 인한 사주형성과 식생의 고착화로 인하여 홍수소통 등에 많은 영향을 줄 뿐만 아니라, 통수능 확보를 위하여 무분별한 사주 및 식생을 제거하고 있다. 특히 최근에 친자연 하천 복원 등의 많은 사업을 하고 있음에도 불구하고 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않고 있으며, 이를 검토하고 이해하는 것이 하천을 복원하고 관리하는데 매우 중요하다.

하천 합류부에서 기본적인 지형 형상은 Y 혹은 ㅓ 형상이며, 합류점 하류에서 사주의 발달로 인하여 X자 형태로 발달하기도 하고(Ashworth, 1996), 이 형상에 의해 합류점과 분류점이 동시에 존재하며, 이것은 망상하천을 형성하는 가장 근본적인 단위체이다. 하천의 합류부에서 하상변동은 1) 본류와 지류가 접하기 직전의 유입구에서 형성되는 흐름의 쇄도면(avalanche faces) 형성, 2) 하상의 세굴영역 발생, 3) 본류와 지류의 합류 후에 형성된 흐름의 분리구역에서 형성된 사주와 같은 3가지 특징이 있다(Best, 1988).

* 정회원 선임연구원 수자원연구원 대전시 유성구 전민동 462-1(Email: cljang@kowaco.or.kr)
** 정회원 책임연구원 수자원연구원 대전시 유성구 전민동 462-1(Email: jkkim@kowaco.or.kr)
*** 정회원 수자원환경연구소장 수자원연구원 대전시 유성구 전민동 462-1(Email: ihko@kowaco.or.kr)
**** 정회원 연구원 수자원연구원 대전시 유성구 전민동 462-1(Email: baesung@hannam.ac.kr)

국내에서는 최계운 등(2002)과 박용섭(2003)은 실내실험을 통하여 합류부의 각도와 유량비에 따른 흐름특성을 분석하였으며, 한건연 등(1998)은 합류부에서 발생하는 흐름특성을 수치모형을 이용하여 본류에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구는 그동안 연구가 거의 이루어지지 않은 본류와 지류의 하상경사 및 하상고가 다르고, 유사 유입조건이 다른 비평형 유입조건을 갖고 있으며, 하폭이 넓고 수심이 얇은 합류부에서 흐름 및 하상변동에 관하여 수치모의를 수행하여 그 특성을 파악하는데 그 목적이 있다.

2. 수치모형의 적용

2.1 연구대상 지역

대상구간은 금강본류에 대하여 금남수위표에서부터 부강수위표 지점까지 약 10.3km이며, 지류로는 연기천 합류 직후까지 약 3.39km에 이르는 구간이다. 합류되는 합류각도는 약 75.0deg이며, 이는 미호천이 합류되기 직전에 지류의 접선과 본류의 중심선과의 이르는 각도로서, 수치지도를 이용하여 산정하였다. 연구대상 구간 중 금강 본류에 대하여 평균 하폭은 합류 전에는 668.6m이고, 합류 후에는 830m이다. 합류 직후(약 107.8km)에는 하폭이 약 1200m이며, 약 106km 지점부터는 하폭이 약 800m이다. 미호천의 계산구간에서 하천의 평균 하폭은 394m이며, 합류부에서 약 1.4km 상류까지 하폭이 거의 완만하게 유지하다가 1.4km 지점부터는 하폭이 크게 축소된다.

2.2 모형구축

수치모형을 적용하기 위해서 먼저 지형자료의 구축이 선행되어야 한다. 계산격자망은 수치지도를 이용하여 유한요소망으로 만제유량을 모의하기 위한 격자망(그림 1(a))과 홍수기 유량을 계산하기 위한 격자망(그림 1(b))으로 구성하였다.

수치해석 경계조건은 상류단 경계조건으로 금강 본류의 상류단으로 부강수위표 지점의 유량을 선택하였으며, 지류로는 미호천과 연기천 합류되는 부분을 상류단 경계로 사용하였으며, 유량으로는 하천의 지배유량인 만제유량인 1.58년, 홍수량으로는 50년 빈도, 100년 빈도, 200년 빈도 유량을 각각 사용하였다. 합류부의 흐름해석을 위해서 중요한 변수로는 본류와 지류의 합류부 각도와 운동량 차이를 파악하는 것이 매우 중요하며, 본 연구에서 사용한 본류와 지류의 유량비는 2.37에서 2.72로서 표 1에 설명되어 있다.

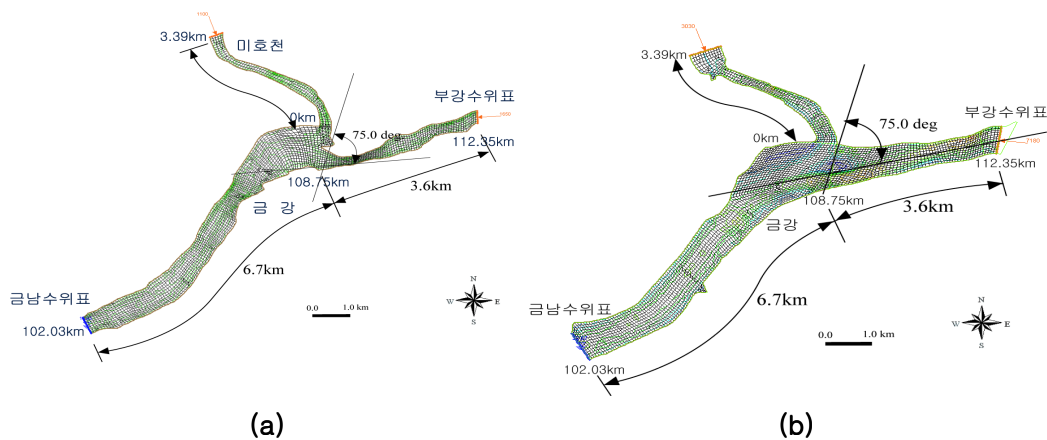


그림 1. 계산 격자망: (a)만제유량을 모의하기 위한 격자망, (b) 홍수기 유량을 모의하기 위한 격자망

표 1. 상류단 경계조건(유량)

빈 도	1.58년(CMS)	50년(CMS)	100년(CMS)	200년(CMS)
금강 (부강수위표)	1,650	7,810	7,940	9,520
미호천 (연기천 합류부)	1,100	3,030	3,240	3,490
유량비(금강/미호천)	1.5	2.37	2.45	2.72

표 2. 하류단 경계조건(수위)

빈 도	1.58년(M)	50년(M)	100년(M)	200년(M)
금강 (금남수위표)	15.65	22.67	23.42	24.20

표 3. 상류단에서 부유사의 유입 경계조건

빈 도	50년(kg/m ³)	100년(kg/m ³)	200년(kg/m ³)
금강 (부강수위표)	0.02	0.02	0.02
미호천 (연기천 합류부)	0.63	0.67	0.67

하류단의 경계조건으로는 금강 본류의 금남수위표에서 각각의 유량에 대한 수위를 이용하였으며, 표 2와 같다.

하상변동을 예측하기 위한 경계조건으로 미호천의 부유사의 유입량은 금강 유역 내 6개 수위표지점(용담, 옥천, 수통, 공주, 규압)에 대해 다음과 같은 유량 대 부유사량의 식으로 산정하였다(건교부, 2002).

$$G_s = 1.738Q^{1.43} \quad (\text{단, } A \geq 937 \text{ km}^2) \quad (1)$$

여기서, G_s = 부유사량(ton/day), Q = 평균일유량(m³/sec), A =유역의 면적(km²) 이다. 금강 본류에 대하여 대청댐 지점의 포착율을 고려하여 송포와 공주지점의 유량실측치로부터 부유사량에 대한 연간비유사량을 ‘금강수계 하천정비기본계획(건교부, 2002)’에 의해 추정된 값을 사용하였으며, 각각에 대하여 표 3과 같다.

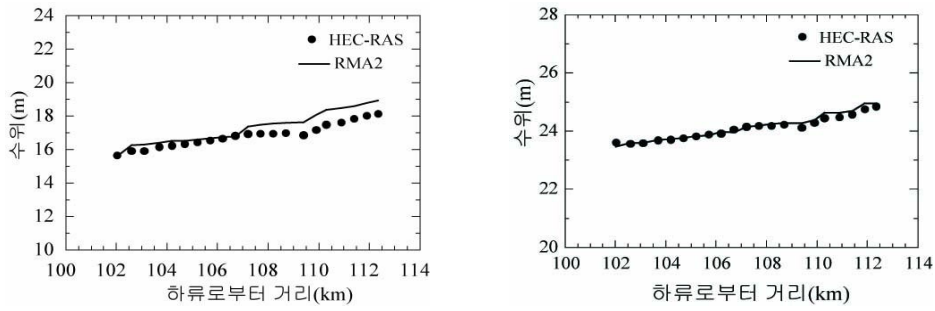
2.3 모형의 적용성 검토

RMA-2 모형의 적용성을 검토하기 위하여, 적용대상구간의 금강 본류에서 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 단면 평균 수위를 비교하여 보았다(그림 2). 각 유량별 수위는 두 모형이 잘 일치하고 있으며, 본 연구에 대한 RMA-2모형의 적용성을 보여주고 있다. 그러나 그림 2(a)에서 보여주고 있는 것처럼, 만재유량일 경우에 하류로부터 약 107.5km 지점에서 HEC-RAS에 의해 계산한 수위가 RMA-2에 의해 계산한 평균 수위보다 약간 적게 나타난 것을 보여주고 있다. 이는 지점에 수리구조물인 보가 있으며, HEC-RAS가 흐름의 2차원 효과 및 보의 영향을 상대적으로 적게 반영하기 때문으로 판단된다.

3. 모형의 적용 결과

3.1 흐름 특성 분석

그림 3(a)에서 보여주고 있는 것처럼, 금강 본류의 부강 수위표 지점과 미호천과 합류되기 전의 109.4km 지점에서 유속이 매우 빠르며, 이는 하폭이 좁고, 사주에 의해 흐름이 집중되기 때문이다. 미호천에서는 금강과 합류하기 전에 만곡부에서 유속이 매우 빠르며, 미호천과 금강과의 합류된 후 부터는 전단층이 발생하였다.



(a) 만재 유량 (b) 100년 빈도 유량
 그림 2. 빈도별 유량에 대한 HEC-RAS와 RMA-2에 의한 수위 비교

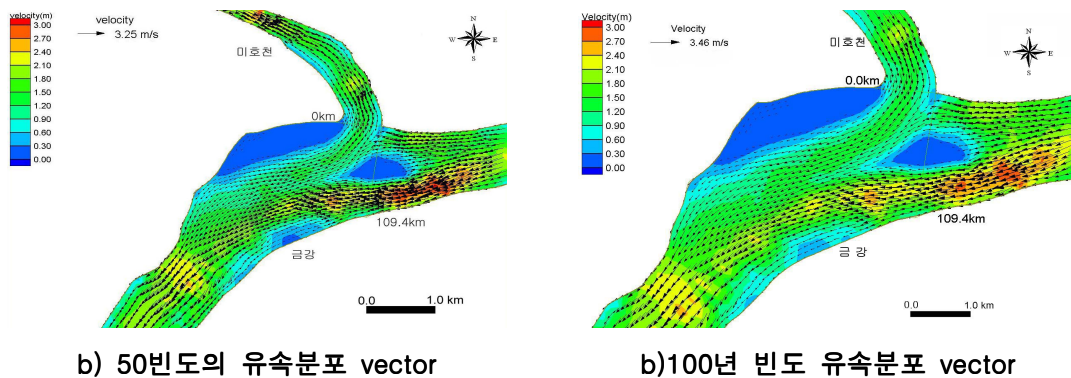
전단층의 발달은 두 흐름의 유속 차이가 나서 흐름의 박리(剝離)현상에 의해 K-H의 불안정에 의해 와(vortex)가 발생하는 현상이다.

빈도별 유량의 증가에 따라 흐름에 대한 유속이 증가하며, 특히 부강 수위표 지점과 합류 전(109.4km)에는 유속이 커지며, 전단층(shear layer)의 길이도 증가하고, 합류부 우안 정체 수역에서 발생하는 와(vortex)가 큰 것을 알 수 있다.

3.2 하상변동 특성 분석

하상변동을 계산하기 위해서 SED2D-WES모형을 이용하여, 표 3에서 서술한 것처럼 경계 조건으로 비평형 유입 유사량 조건을 사용하였다. 그 이유로는 금강 본류는 상류에 대청댐이 건설되어 부유사의 유입이 차단되어 있으며, 미호천 유역에서 유사량이 전달되기 때문이다. 하상토의 평균 입경으로는 0.913mm 값을 사용하였다(건교부, 2002). 하상변동에 관한 수치모의 중 만재유량(1.58년 빈도)에 대해서는 하상변동이 거의 발생하지 않았으므로 제외하였다.

그림 4에서 보여주는 것처럼, 빈도별 유량의 증가에 따라, 합류 전에 금강본류에서는 하상저하가 가속되어, 하천의 세굴심이 커졌다. 그러나 합류 후에는 미호천에서 유입되는 유사량에 의해 우안에서는 하상이 상승되었다. 향후에 하천의 복원할 때에 고수부지를 조성할 경우에 홍수시에 우안에서 많은 부유사가 퇴적되고, 하안 침식을 유발할 우려가 있으며, 이에 대한 고려가 필요하다.



b) 50빈도의 유속분포 vector (a) 100년 빈도 유속분포 vector

그림 3. 합류부에서 흐름에 대한 계산결과

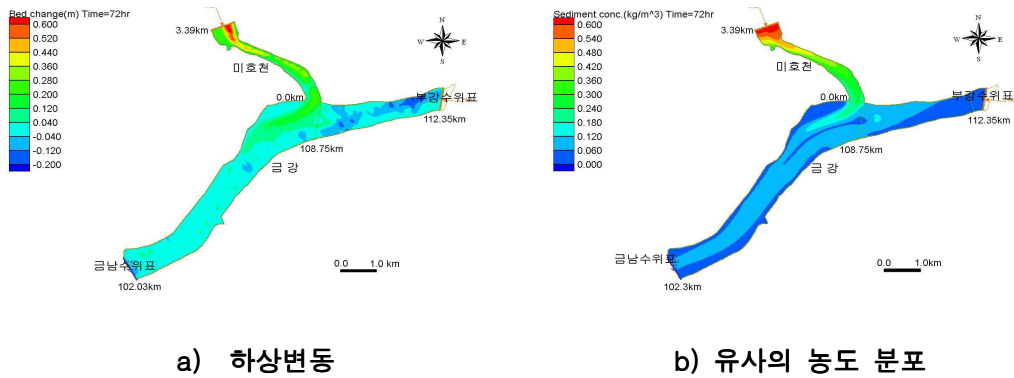


그림 4. 합류부에서 100년 빈도에 대한 하상변동 계산결과

4. 결론

본 연구는 본류인 금강과 지류인 미호천의 합류부에서 수치모형을 이용하여 각 빈도별 흐름에 대하여 그 특성과 단기 하상변동을 파악하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 빈도별 유량의 증가에 따라 흐름에 대한 유속이 증가하며, 특히 부강 수위표 지점과 합류 전에는 유속이 커지며, 전단층의 길이가 증가하고, 합류부의 우안의 정체수역에서 발생하는 와의 크기도 큰 것을 알 수 있다.
- 2) 부유사의 농도는 실제 상황에 맞도록 비평형 유입조건을 사용하였으며, 미호천에서 유입되는 유사 농도에 영향을 받아, 합류직후에도 유사 농도가 높으며, 전단층을 경계로 하여 농도 띠가 하류로 유지되고, 하류의 회복영역에서 농도 띠가 완전히 없어지는 것을 알 수 있다.
- 3) 빈도별 유량의 증가에 따라, 합류 전에 금강본류에서는 하상 저하가 가속되어, 하천의 세굴심이 커졌다. 그러나 합류 후에는 미호천에서 유입되는 유사량에 의해 우안에서는 하상이 상승되었다.

참 고 문 헌

건설교통부, 대전지방국토관리청(2002). 금강수계 하천정비 기본계획.

박용섭 (2003). 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석. 인천대학교 박사학위 논문.

최계운, 박용섭, 한만신 (2002). “합류점의 수리특성에 관한 연구.” 2002년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 494-496.

한건연, 이종태, 이을래, 이재영 (1998). “도시하천 합류부에서의 수리해석.” 2002년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 309-314.

Ashworth, P.J. (1996). "Mid-channel bar growth and its relationship to local flow strength and direction." *Earth Surf. Processes Landforms*, 21, pp. 103-123.

Best, J.L. (1988). "Sediment transport and bed morphology at river channel confluences." *Sedimentology*, 35, 481-498.

US Army Corps of Engineers. (1997). Users guide to RMA2 WES Version 4.3.

US Army Corps of Engineers. (1998). Users guide to SED2D-WES Version 4.3.