

RAM-2 모형을 이용한 2차원 동수역학 해석

2-Dimensional Hydrodynamic Analysis using RAM-2 Model

김상호* , 한건연** , 최승용*** , 오현욱****

Sang Ho Kim, Kun Yeun Han, Seung Yong Choi, Hyun Uk Oh

요 지

실제 하천에서는 지형적 이산화에 따른 복잡성으로 인해 마름/젖음 현상이 발생하며 그로 인해 작은 수심에서 수치해석의 안정성에 영향을 주어 해석을 불가능하게 한다. 자연수로로는 저수시 및 평수시에 물을 소통시키는 주수로부와 홍수시 수위 상승에 따라 주수로부에서부터 범람하게 되는 홍수터로 구성된다. 홍수터는 홍수류의 일시적인 저장이나 하류로 흐름을 전달하는 복합수로의 부분으로 사용된다. 자연수로에서 이와 같은 흐름구조는 불규칙한 단면형상, 조도계수 등에 의해서 더욱 복잡하게 나타난다.

본 연구에서는 복잡한 지형과 자연 하천구조에 대한 동역학적인 흐름특성을 해석하고 오염물질의 이송-확산 해석 및 토사이송 해석과 연계하기 위해서 개발된 RAM-2 모형에 동수역학적 해석을 실시하였다. RAM-2 모형에는 대상하도에 대한 마름/젖음의 처리를 위해 흐름의 시간별 수위상승 및 하강 속도를 고려한 Deforming Grid 기법을 적용하였으며, 이에 대한 적용성을 검토하기 위해 마름/젖음 조건을 가지는 실험수로와 홍수터를 가진 사다리꼴 단면 그리고 실제 하도에 대해 적용하여 그 결과를 살펴보았다.

핵심용어: RAM-2 모형, Deforming Grid 기법, 유한요소모형, 마름/젖음 기법

1. 서 론

하천에서는 홍수시 수위 상승으로 인해 고수부지와 같은 홍수터가 잠겼다가 수위가 하강하면서 마름 하도 상태가 되는 부분이 발생하게 된다. 또한 하도 구간 내에 섬이 존재할 경우 수위 상승과 하강에 따라 섬이 나타나거나 다시 잠기게 되는 현상이 발생한다. 이와 같은 흐름모의를 위한 2차원 수치모형의 기술개발은 흐름, 유사, 오염물 해석에 대해서 수치적으로 안정되고 일관된 알고리즘을 필요로 할 뿐만 아니라 마름/젖음 처리의 문제를 가지고 있다.

일반적으로 이러한 문제를 해결하는 방법은 마름/젖음에 상관없이 모든 부분에서 방정식을 푸는 방법과 해석영역으로부터 마름 부분을 제거하는 두 가지 방법으로 크게 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 마름 또는 부분마름 요소에 대한 특별한 처리가 필요하며 두 번째 방법은 새로운 요소에 대한 결정 및 미지수에 대한 renumbering을 필요로 하며 이는 매 계산시간에서의 정확한 계산을 요구하게 된다(Hervouet and Janin, 1994). 마름/젖음 처리과정을 홍수터 흐름에 대해 적용할 경우 적절한 경계조건과 매개변수의 선정은 복잡한 유한요소망에 대한 해의 안정성을 개선하기 위해

* 정회원·상지대학교 건설시스템공학과 부교수 ·E-mail : kimsh@sangji.ac.kr
** 정회원·경북대학교 토목공학과 교수 ·E-mail : kshanj@knu.ac.kr
*** 정회원·경북대학교 토목공학과 박사수료 ·E-mail : ecofriend@knu.ac.kr
**** 비회원·상지대학교 건설시스템공학과 석사과정·E-mail : heart100@hanmail.net

매우 중요하다. 본 연구에서는 자연 하천에 적용가능한 동역학적 흐름특성을 해석하고 오염물질의 이송-확산 해석 및 토사이송 해석과 연계하기 위해 개발된 RAM-2 모형에 동수역학적 해석을 실시하였다. RAM-2 모형은 대상하도에 대한 마름/젖음의 처리를 위해 흐름의 시간별 수위상승 및 하강 속도를 고려한 Deforming Grid 기법을 적용하였으며, 이에 대한 적용성을 검토하기 위해 실험수로 및 실제 하도에 대해 적용하여 그 결과를 살펴보았다.

2. 모형에 대한 적용

2.1 실험수로에 대한 적용

마름/젖음 알고리즘이 포함된 RAM-2 모형의 적용성을 살펴보기 위해 그림 1과 같은 마름/젖음 조건을 가지는 실험수로에 대해 실험을 수행하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 전체길이 6.4m이고 폭이 0.4m인 사각형 단면수로 중간부의 좌측벽에 높은 하상고를 갖는 구조물을 설치하였다. 모의를 위한 상류단 경계조건은 $0.016m^3/sec$ 유량조건을, 하류단 경계조건은 0.29m의 수위조건을 사용하였다. 모의를 위한 유한요소망은 그림 2와 같이 조밀한 요소망과 거친 요소망의 두 경우에 대해 모의를 수행하였다. 계산 시간간격은 0.1시간으로 1시간 동안 정상상태가 유지되도록 모의하였다. RAM-2 모형의 모의결과에 대한 정확성을 살펴보기 위해 상류부로부터 각각 2.2m, 3.1m, 3.8m 세 측선에 대해 실측하였다. 그림 3은 지점 2에서 조밀한 요소망과 거친 요소망에 대한 모의결과를 유속과 수심에 대해 실측 자료와 비교한 결과를 나타내고 있으며, 그림 4와 5는 조밀한 요소망에서의 모의 결과와 관측값을 비교하여 나타낸 등유속도와 등수심도이다.

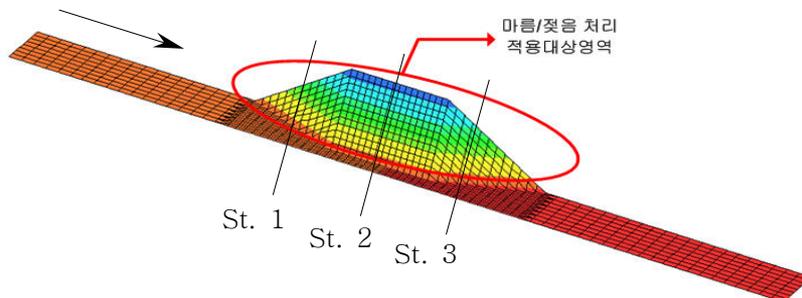


그림 1. 실험수로의 3차원 하도형상

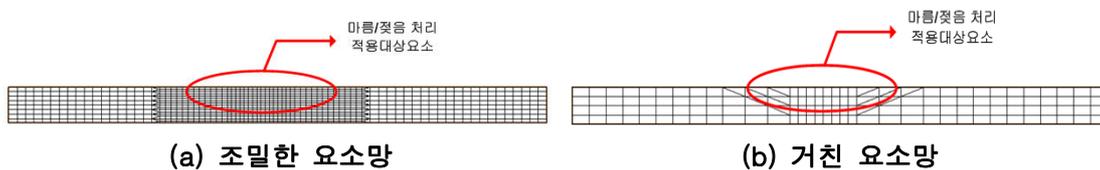


그림 2. 모의에 적용된 요소망

2.2 홍수터가 있는 사다리꼴 하도에 대한 적용

본 수치모의는 홍수터를 가지는 사다리꼴 단면에 대해 마름/젖음 처리의 적용성을 검토하기 위해 실시되었다. 가상수로의 제원은 길이가 300m, 폭이 40m이며, 하도경사는 0.001이며 좌측 및

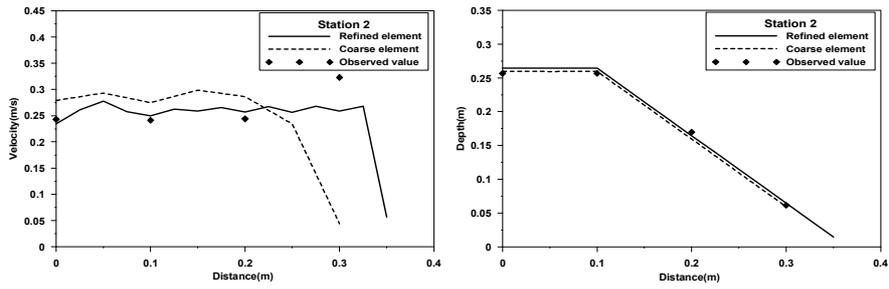


그림 3. 지점 2에 대한 모의결과 비교

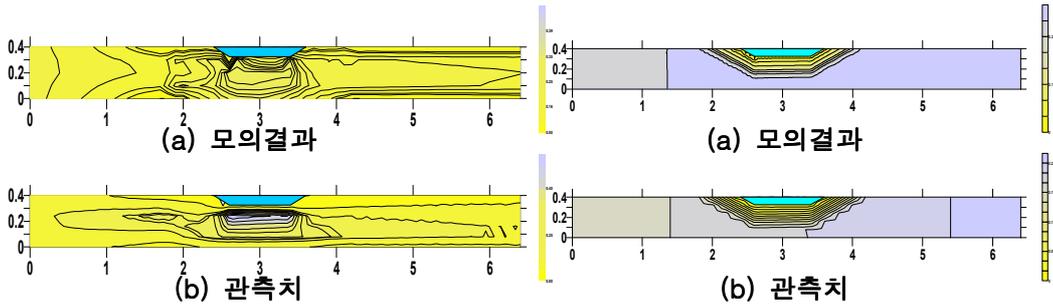


그림 4. 등유속도 결과 비교

그림 5. 등수심도 결과 비교

우측부에 높은 하상고를 가진다. 계산시간간격은 0.1시간이고 총모의시간은 1시간으로 하였다. 그림 6은 4-node 유한요소망으로 구성된 하도의 3차원적 형상을 나타내고 있다. 마름/젖음 현상을 합리적으로 모의하기 위해서 가상하도에 대한 초기유속은 0인 정적계산 조건으로부터 시작하였으며 상류단 경계 조건은 그림 7(a)와 같은 첨두유량 80 m^3/sec 의 유량수문곡선이 유입되었으며 하류단 경계조건은 그림 7(b)와 같은 수위수문곡선을 부여하였다. 그림 8은 0.1시간과 1.0시간의 수심분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 개발모형을 적용한 본 모의는 시간에 따른 수문곡선의 변화에 의해 발생하는 수위 상승과 하강을 잘 반영한 것을 알 수 있다.

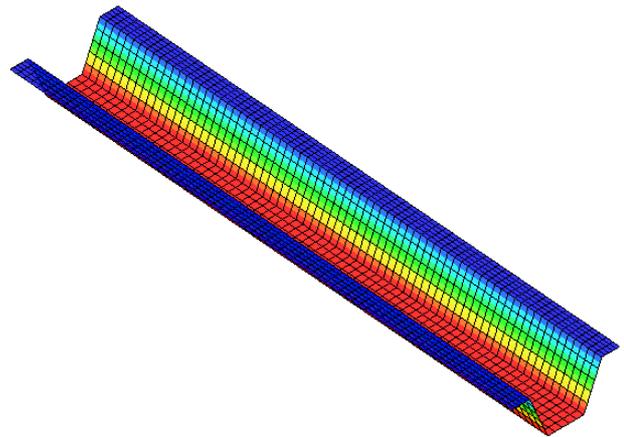
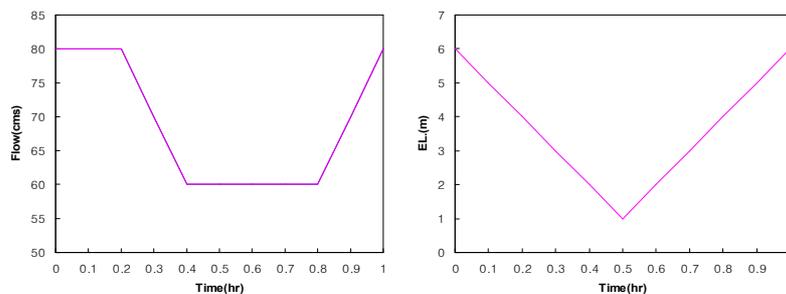


그림 6. 하도의 3차원 지형형상



(a) 상류단 유량조건

(b) 하류단 수위조건

그림 7. 모의에 적용된 경계조건



그림 8. 시간별 등수심도

2.3 감천 합류부에 대한 적용

자연하도에 대한 RAM-2 모형의 적용을 위해 그림 9와 같이 낙동강 본류의 송선대교로부터 상류방향으로 약 6.1km 위치를 상류단으로 선정하였고, 감천 지류유입부는 감천 합류부로부터 약 5.7km 지점을 상류단으로 선정하였다. 하류단은 산호대교 직상류부로 선정하였다. 주변부에 높은 지형에 의해 자연적으로 하천 유량에 의한 마름/젖음 현상이 발생하기 때문에 본 연구에서 개발한 모형의 적용성을 검토하기 위해 타당한 구간으로 판단되었다. 그림 10에서 나타난 바와 같이 대상 구간을 선정한 다음 GIS를 이용하여 입력자료의 구축을 위한 수치지도를 작성하여 2차원 유한요소망을 구성하였다.

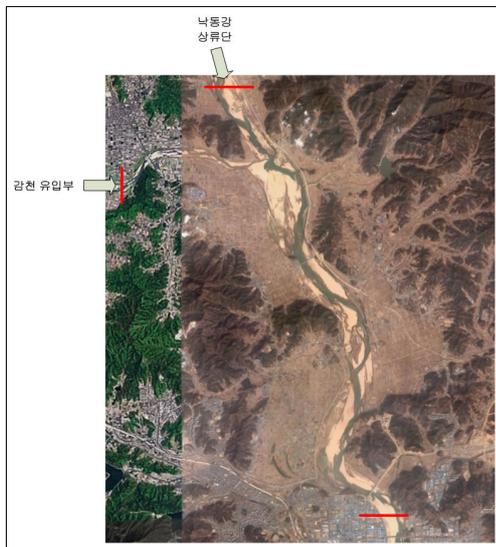


그림 9. 대상구역

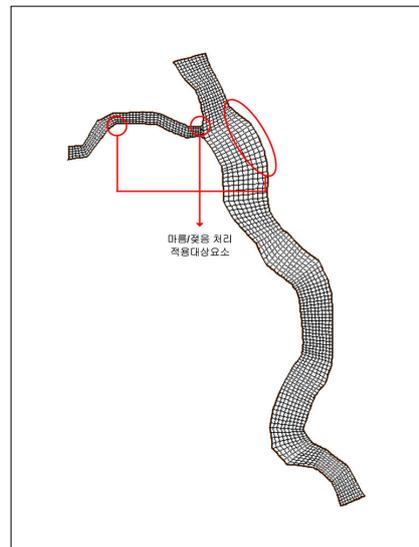


그림 10. 모의에 적용된 요소망

대상구간의 2차원 동수역학적 흐름을 분석하기 위해 낙동강(상류)하천정비기본계획(2007)에서 산정된 유량 및 수위 조건을 적용하였다. 대상구역에 대한 초기유속은 0인 정적계산 조건으로부터 시작하였으며, 상류단 경계조건은 낙동강 본류부에 대해서는 $7,289.61m^3/sec$, 지류인 감천 유입부 경계조건은 $2027.40m^3/sec$ 유량 경계조건을 부여하여 정상상태의 하천흐름을 해석하였다. 하류단 경계조건은 39.0m의 수위 경계조건을 사용하였다. 그림 11과 12는 유속 벡터도와 등수심도를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 감천 합류 이후 낙동강본류의 주변부와 합류 이전의 주변부의 높은 하상고에 의한 마름/젖음 현상의 흐름양상을 모형에서 합리적으로 재현하고 있음을

확인할 수 있었다.

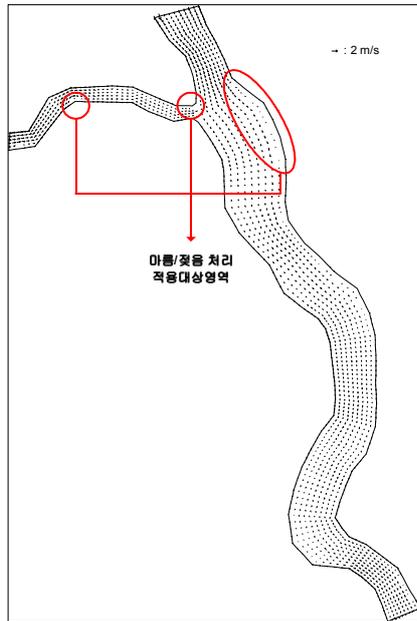


그림 11. 유속벡터도

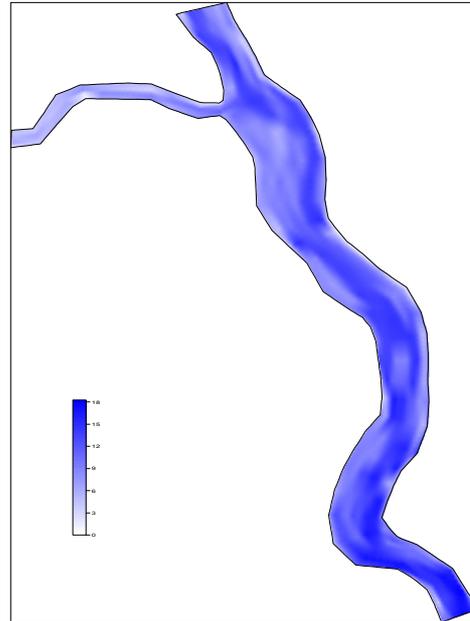


그림 12. 등수심도

3. 결 론

본 연구에서는 마름/젖음 알고리즘을 적용하여 하천 수위의 상승 및 하강에 따른 지형변화를 고려하여 흐름해석을 실시할 수 있는 RAM-2 모형의 적용성을 살펴보았다. 이를 위해 마름/젖음 조건을 가지는 실험수로와 홍수터를 가진 사다리꼴 단면에 적용하여 시간에 따른 흐름 특성을 살펴보았으며, 감천 합류부와 같은 자연하도에 적용하여 주수로 주변의 마름/젖음에 따른 흐름 특성을 살펴보았다. 그 결과 다양한 흐름조건에 대한 마름/젖음 현상에 대한 합리적인 모의결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호#‘08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었으며, 일부는 과학기술부가 출연하고 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 위탁 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업 중 “RAM2 모형의 확장개발 및 상용화”(과제번호 2-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Hervouet, J.M. and Janin, J.M. (1994). "Finite element algorithms for modeling flood propagation." Modeling of Flood Propagation over Initially Dry Areas, Proc., Specialty Conf. Co-sponsored by ASCE-CNR/CNDICI-ENEL spa, Milan, Italy, ASCE, New York, 102-113.
2. Nielsen, C. and Apelt, C. (2003). "Parameters Affecting the Performance of Wetting and Drying in a Two-Dimensional Finite Element Long Wave Hydrodynamic Model" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129, pp. 628-636