

2차원 유한요소모형에 대한 초기수위 영향 분석

Analysis of Initial Stage Influence for 2-Dimensional Finite Element Model

오현욱*, 김상호**, 김상봉***, 한건연****

Hyun Uk Oh, Sang Ho Kim, Sang Bong Kim, Kun Yeun Han

요 지

국내·외에서 범용으로 사용되는 2차원 흐름모형은 모든 하천의 흐름을 자연스럽게 모의할 수 있는 것은 아니다. 하천의 수위가 수량의 변화와 함께 상·하로 변하면서도 동시에 단면의 형상에 따라 좌·우 물가의 경계도 변하게 되지만, 수치모의를 위한 2차원 고정망의 사용으로 흐름영역에 대한 정확한 반영이 어렵게 된다. 그러나 최근 흐름경계의 변화를 반영하기 위한 마름/젓음 해석기법에 관한 연구를 통해 이러한 문제를 극복할 수 있다.

2차원 유한요소모형이 가지는 또 다른 문제는 하천흐름에 대한 수치모의를 수행하기 위해 필요한 초기조건으로 인한 문제이다. 모형에 사용되는 초기수위는 일반적으로 일정한 수위를 사용하게 되는데, 이와 같은 초기수위 값의 사용은 하류단의 경계수위가 하천의 상류구간 하상고보다 낮을 경우 원활한 모형의 모의를 위해 초기수위를 모든 하상고보다 높게 주어야 한다. 실제 흐름상태가 그대로 반영되지 않는 비물리적인 상태에서 모형의 계산이 수행되게 된다. 본 논문에서는 2차원 유한요소모형의 초기수위를 고정값이 아니라 실제 하상고로 인해 발생 가능한 하천의 수면을 초기수위 자료로 사용하고자 하며, 이를 위해 2차원 하도망에서 1차원 하도자료를 추출할 수 있는 연계모듈을 개발하였다. 이를 통해 구축된 1차원 하도자료로부터 1차원 모의를 수행하여 그 결과를 2차원 모형의 초기수위로 사용하였다. 이에 대한 적용성을 살펴보기 위해 직사각형 가상하도에 적용하여 모형의 결과를 검토하였다.

핵심용어: 2차원 모형, 유한요소모형, 초기수위, RAM-2 모형

1. 서 론

하천에서의 흐름, 유사 그리고 오염물 해석을 위해서는 주로 1차원적 정상 또는 비정상 부등류해석이 사용되고 있다. 하상단면 변화로 인한 흐름의 국부적인 변화 그리고 지류나 측방유입으로 인한 흐름의 변화를 모의하기 위해서는 2차원 흐름해석 모형을 이용하여야 한다.

2차원 유한요소모형은 초기 수위를 필요로 하고 일반적으로 일정값이 사용되는데, 초기수위보다 상류의 하상고가 하도의 경사에 의해 높을 경우 초기 모의가 원활하게 수행되지 않는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하고자 초기수위는 전체 하상이 잠길 수 있는 높은 수위값으로 일정하게 주어

* 비회원 · 청석엔지니어링 사원 · E-mail : hwoh@cse.co.kr
** 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 부교수 · E-mail : kimsh@sangji.ac.kr
*** 정회원 · 청석엔지니어링 전문 · E-mail : ksb0815@cse.co.kr
**** 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

지는데 경사가 있는 하상구간일 경우 비물리적 수위조건에 해당하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 실제 흐름 상태를 고려한 초기 수위를 모든 2차원 절점에 부여하기 위해 1차원 동수역학적 수리해석을 실시하고, 이 결과를 2차원 흐름해석을 위한 초기 수위로 사용하고자 한다. 이를 위해 2차원 유한요소망으로부터 1차원 하상자료를 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며, 2차원 유한요소모형 내에서 1차원 비정상 부등류 흐름해석을 수행하고 그 결과를 2차원 모형에 적용할 수 있는 연계모듈을 개발하고 적용성을 검토하였다.

2. 모형의 개발

하천흐름에 대한 국부적인 수리학적 거동을 보다 정확하게 해석하기 위하여 2차원 수리학적 해석이 요구되고 있다. 현재 2차원 흐름해석모형으로 국내에서 개발된 RAM-2 모형이나 국·내외에서 범용적으로 사용되고 있는 SMS(Surface Water Modeling System)의 RMA-2 모형의 경우 초기수위와 하류단 경계수위의 조건에 따라 모형의 안정성에 미치는 영향이 매우 크게 나타나고 있다. 본 연구에서는 이러한 2차원 유한요소모형의 단점을 극복하고자 1차원 동수역학적 흐름해석을 2차원 모형 내에서 모의하고 그 결과 가운데 초기 수위를 2차원 유한요소모형의 초기수위로 사용할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 그림 2.1은 1차원 동수역학적 흐름해석을 포함하는 2차원 유한요소모형의 구조도를 나타내고 있다.

1차원 모형을 통해 계산된 초기수위를 2차원 유한요소망의 모든 절점의 초기 수위값으로 대입한 후에 2차원 유한요소모형의 외곽경계노드에 대한 자유도(Degree of Freedom)가 경계값으로 지정되고, 마름/젖음 현상에 따른 절점과 요소가 제거되거나 다시 추가되는 격자 재구성기법(김상호 등, 2009; 최승용 등, 2009)을 이용하여 비정상 흐름해석을 실시하게 된다.

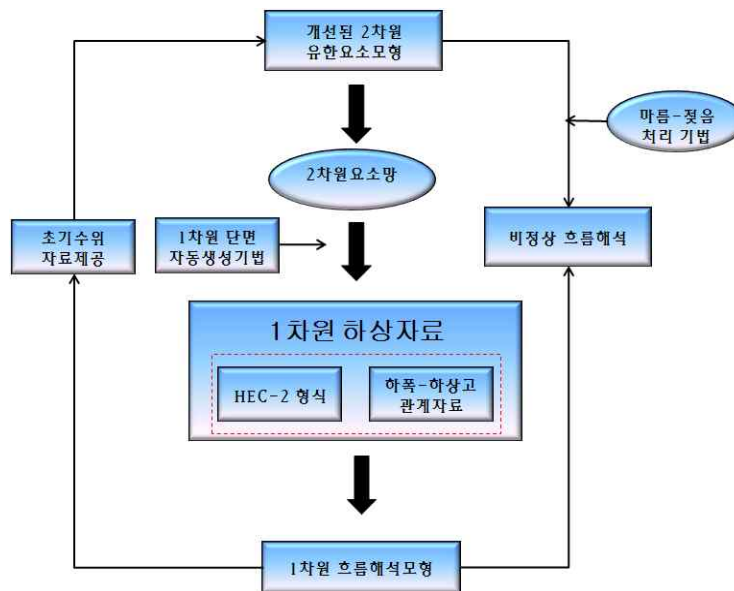


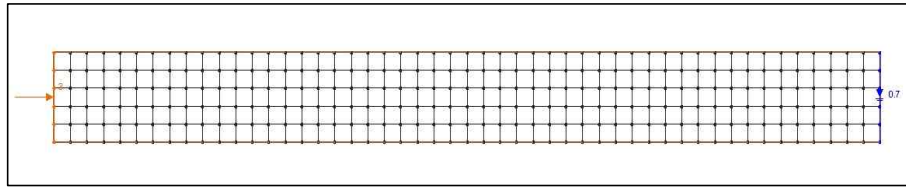
그림 2.1 2차원 유한요소모형의 구조도

3. 가상하도에 대한 적용

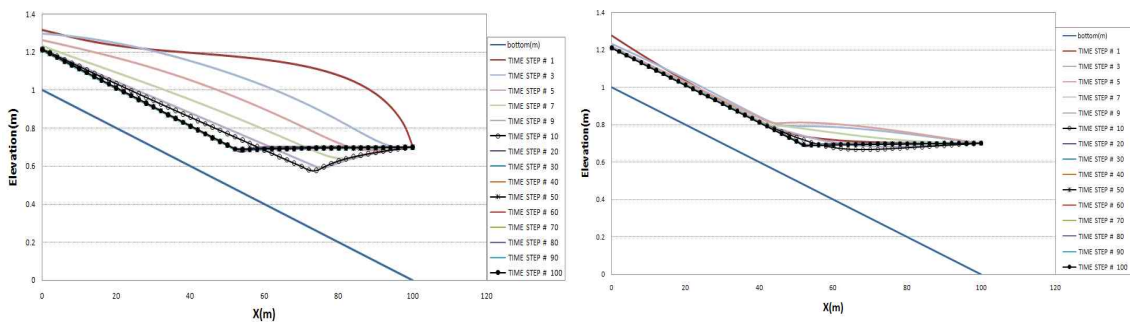
3.1 직사각형 하도

먼저 그림 3.1에서 보는 바와 같이 직사각형의 단면으로 구성된 직선하도에 대해 적용하였다. 하도

길이는 100m이며, 하폭은 10m, 하도의 조도계수는 0.025로 가정하였다. 하상경사는 0.01로 비교적 경사가 급한 상태로 형성하여 흐름이 빠르게 나타나도록 하였다. 상류단에서 유입되는 유량은 $3.0\text{m}^3/\text{sec}$ 가 일정하게 유입되고, 하류단에서는 0.7m의 수위가 일정하게 유지되는 상태로 모의하였다. 대상구간에 대해 구성된 요소망은 250개의 요소와 306개의 절점으로 이루어져 있다. 모의시간은 0.002시간 간격으로 총 0.2시간 동안 모의를 수행하였다.



(a) 대상하도



(b) RAM-2

(c) This Study

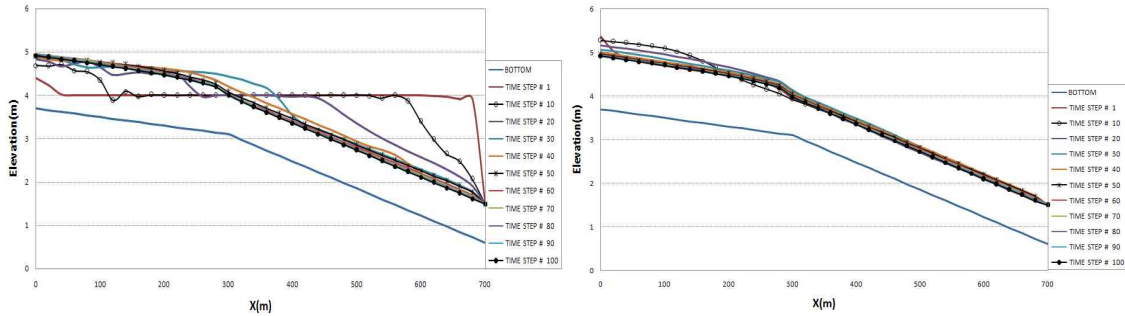
그림 3.1 직사각형 하도 및 모의 결과비교

모의결과는 그림 3.1의 (b)와 (c)에서 보는 바와 같이 RAM-2 모형의 모의 결과와 본 연구에서 개선된 모형의 모의 결과를 주요 시간에 대해 도시하였다. 그림 3.1(b)는 RAM-2 모형의 모의결과인데, 모의를 위해 상류단 하상고보다 높게 초기수위를 주었기 때문에 첫 번째 시간단계에서 전체적으로 높은 수위가 형성된 후 하류구간에서 수위가 급격히 떨어지고 있었다. 그림 3.1(c)에서는 1차원 동수역학 해석을 통해 얻은 수위를 초기수위로 사용하였기 때문에 수면경사가 급격하게 바뀌는 부분에서 약간의 수위 진동이 나타났지만, 전체적으로 수위변화는 안정적으로 나타났다.

3.2 완경사-급경사 천이하도

본 절에서는 완만한 경사에서 급경사로의 천이부를 통한 점변류의 계산을 수행하였다. 사용된 수로는 폭 8m, 하도의 총 길이 700m의 직사각형 수로이며, 상류단의 유량은 $20\text{m}^3/\text{s}$, 하류단 수위는 1.5m로 일정하게 유지되는 것으로 가정하였으며, 하도구간의 조도계수는 0.025를 사용하였다. 모의시간은 0.001시간의 간격으로 전체 0.1시간 동안 모의를 수행하였다. 상류 완경사 구간의 하상경사는 0.002, 하류 급경사 구간의 하상경사는 0.00625의 완경사에서 급경사로 변하는 천이하도이다. 하도망은 전체 180개의 절점에 대하여 길이 $2\text{m}\times 20\text{m}$ 로 이루어진 140개 요소로 구성하였다.

그림 3.2(a)는 RAM-2 모형의 모의결과를 나타내고 있다. 하류단 경계수위가 1.5m로 상류 완경사 구간의 하상고보다 낮기 때문에 원활한 모의를 위해 초기수위를 전체 하상고보다 높은 4.0m로 지정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 모의시작 후 불안한 수면변화를 보이다가 약 30번째 모의단계 이후부터 안정적인 수면을 나타내기 시작하였다. 반면에 그림 3.2(b)의 본 연구모형을 통한 모의결과에서는 1차원 모의로부터 제시된 초기수위가 하상경사를 따라 적절하게 제시됨에 따라 전체 모의시간 동안 큰 변화없이 안정적으로 수면이 변하고 있는 것을 확인할 수 있었다.



(a) RAM-2

(b) This Study

그림 3.2 완경사-급경사 모의 결과

4. 결론

하천에서의 흐름을 2차원으로 해석하기 위해 유한요소법을 이용한 2차원 흐름해석모형을 사용하게 된다. 하지만 모형을 수행하기 위해 필요한 초기수위의 비물리적 특성으로 인해 안정적인 모형의 수행에는 어려움이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 2차원 모형의 단점을 개선하고자 2차원 유한요소모형 내에서 유한차분법을 이용한 1차원 동수역학 해석을 수행할 수 있는 연계모듈을 개발하였다. 개발된 알고리즘에 대한 모형의 적용성을 검토하기 위해서 급격한 경사를 가지는 직사각형 하도와 완경사-급경사 천이하도와 같은 가상하도에 대해 흐름해석을 실시하였다. 그 결과 기존의 2차원 유한요소모형인 RAM-2 모형보다 본 연구에서 개선된 모형의 결과가 보다 안정적으로 해에 수렴하고 있는 것을 확인함으로써 물리적인 초기 수위값의 부여로 인한 수치계산의 안정성이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 출연하고 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 위탁 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업 중 “RAM2 모형의 확장개발 및 상용화”(과제번호2-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

김상호, 최승용, 오현욱, 한건연 (2009). “자연하천에서 마름/젓음 처리를 위한 격자재구성 기법의 개발 (I): 모형의 개발 및 검증.” 한국수자원학회, 제42권, 제11호, pp. 973-988.

서울대학교 (2009). “RAMS User’s Manual Beta version 3.0.”

최승용, 김상호, 황재홍, 한건연 (2009). “자연하천에서 마름/젓음 처리를 위한 격자재구성 기법의 개발 (II): 모형의 적용 및 비교·검토.” 한국수자원학회, 제42권, 제11호, pp. 989-1004.

King, I.P. (1994). “Update Documentation RMA2—Two Dimensional Finite Element Model for Flow in Estuaries and Streams.” University of California, Davis.

King, I.P., and Norton, W.R. (1978). Recent application of RMA’s finite element models for two-dimensional hydrodynamics and water quality, Finite Elements in Water Resources(eds. Brebbia, C.A et al.), Pentech Press, pp. 2.81-2.99.