

2차원 흐름해석을 위한 마름/젖음 알고리즘의 개발

Development of Dry/Wet Algorithm for 2-Dimensional Flow Analysis

김상호*, 한건연**, 최승용***, 오현욱****

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

.....

Abstract

Two-dimensional flow analysis is a way to provide good estimates for complex flow features in flow around islands and obstructions, flow at confluence and flow in braided channel. One of difficult problems to develop a two-dimensional hydraulic model is to analyze dry and wet area in river channel. Dry/wet problem can be encountered in river and coastal engineering problems, such as flood propagation, dam break analysis, tidal processes and so on. The objective of this study is to develop an accurate and robust two-dimensional finite element method with dry/wet technique in complex natural rivers.

The dry/wet technique with Deforming Grid Method was developed in this study. The Deforming Grid Method was used to construct new mesh by eliminating of dry nodes and elements. The eliminated nodes and elements were decided by considering of the rising/descending velocity of water surface elevation. Several numerical simulations were carried out to examine the performance of the Deforming Grid Method for the purpose of validation and verification of the model in rectangular and trapezoidal channel with partly dry side. The application results of the model were displayed reasonable flow distribution.

Key words: Dry/wet technique, FEM, Deforming Grid Method

1. 서론

실제 하천에서 2차원 흐름모의를 수행할 경우 수위의 시간적 변화에 따라 하도 내에서는 지형적 복잡성으로 인해 마름/젖음 현상이 발생하며 그로 인해 작은 수심에서 수치해석의 안정성에 영향을 주어 해석을 불가능하게 한다. 특히 자연수로로는 저수시 및 평수시에 물을 소통시키는 주수로부와 홍수시 수위 상승에 따라 주수로부에서부터 범람하게 되는 홍수터로 구성된다. 자연수로에서 이와 같은 흐름구조는 불규칙한 단면형상, 조도계수 등에 의해서 더욱 복잡하게 나타나며, 저수위와 고수위에 대한 흐름 영역이 달라지기 때문에 이에 대한 적절한 대상구역의 설정이 필요하

* 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 : heartly100@hanmail.net

게 된다. 본 연구모형에서는 대상구간에 대해 구축된 격자망으로부터 마름/젓음의 처리를 위해서 흐름의 시간별 수위상승 및 하강 속도를 고려하여 산정된 각 노드별 수위와 하상고의 비교를 통해 마름 노드를 결정한 후 마름 요소에 대한 요소 제거, 다시 적용된 경계 절점에 기준된 요소의 재생성 및 계산의 수행 등을 통해 마름/젓음을 처리할 수 있는 Deforming Grid 기법을 개발하고 적용성을 검토하였다.

2. 모형의 개발

2.1 마름/젓음 요소 결정

본 모형에서는 매 계산시간에서 노드의 마름/젓음을 판단한다. 노드의 수심이 0이거나 음의 값을 가지는지 판단하는데 임의의 요소에서 한 개의 노드라도 마름 조건으로 판단되면 해당 요소 및 노드는 격자망에서 제거되고 새로운 경계조건에 대한 renumbering 과정을 거친 후 계산이 수행된다. 이와 같이 계산된 수심 결과를 이용하여 다시 다음 시간단계에 대한 마름/젓음을 판단하므로 본 연구에서 개발된 모형은 흐름으로 인해 변화하는 지형조건을 효과적으로 반영하게 된다. 그림 1은 본 모형의 계산 흐름도를 나타낸다.

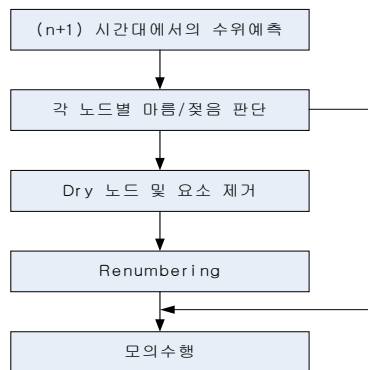


그림 1. 본 연구모형의 요소제거기법 계산흐름도

2.2 경계노드의 결정

마름 조건으로 인해 노드 및 요소를 제거한 후 매트릭스에서의 저장 공간 및 계산수행시간을 최소화하기 위해서 bandwidth를 최소화하는 renumbering이 수행된다. bandwidth는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NBW = (R+1)(NDOF) \quad (1)$$

여기서, NBW는 bandwidth의 값을 의미하며, R은 각 요소별 최대노드번호와 최소노드번호에 대한 최대차이를 의미하며, NDOF는 각 노드에서의 자유도 수를 나타낸다.

본 모형에서는 외곽경계노드에 대한 자유도(Degree of Freedom)가 경계값으로 지정되는데 마름/젓음 현상으로 인해 노드 및 요소가 제거되거나 다시 추가되는 과정에서 경계노드가 변하게 된다. 따라서 매 계산시간

마다 변화되는 경계노드에 대한 경계값을 새롭게 지정하는 알고리즘을 개발하였다. 그림 2는 마름/젖음 현상이 없는 경우 renumbering의 예를 보여주며 그림 2에서 알 수 있듯이 bandwidth를 결정하는 R 값은 renumbering 전에는 8에서 renumbering 후에는 3으로 감소하였다.

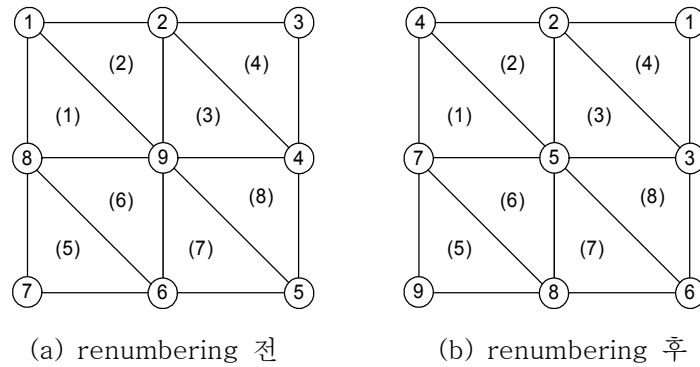


그림 2. 요소 및 노드번호

3. 모형의 적용 및 검증

3.1 부정류 상태 모의

본 수치모의는 불규칙적으로 높은 지형을 가지는 직사각형 단면의 하도 내에 시간에 따른 마름/젖음 처리의 적용성을 검토하기 위해 실시되었다. 가상수로는 하류단 방향으로 좌측 및 중앙부에 높은 하상고를 가지고 있는 것으로 가정하였다. 마름/젖음 현상을 합리적으로 모의하기 위해서 대상 가상하도에 대한 초기유속은 0인 정적계산 조건으로부터 시작하였으며 그림 4와 같은 상하류단 경계조건을 부여하였다.

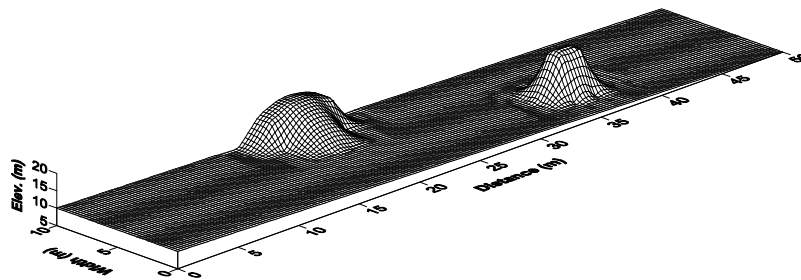
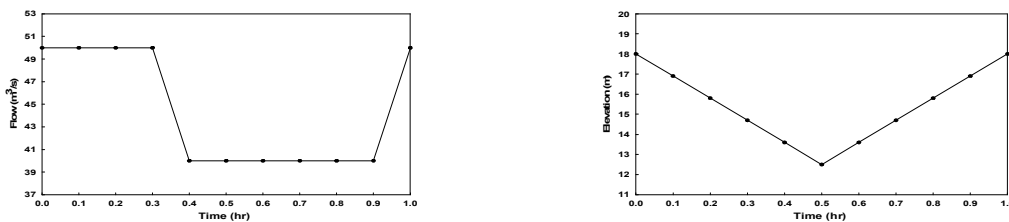


그림 3. 하도의 지형형상



(a) 상류단 경계조건

(b) 하류단 경계조건

그림 4. 경계조건

그림 5와 그림 6은 시간 단계별 유속분포와 등수심도를 나타내고 있으며 수위조건으로 인해 마름 조건으로 판단되어 수위 및 유속 값이 '0'으로 계산된 노드에 대해서는 점선으로 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 Deforming Grid 기법을 적용한 본 모형은 시간에 따른 수문곡선의 변화에 의해 발생하는 수위 상승과 하강을 잘 반영한 것을 알 수 있다. 즉, 높은 지형이 나타나거나 소멸로 인한 2차원 흐름거동에서의 마름/젖음 현상을 합리적으로 모의하는 것을 확인할 수 있었다.

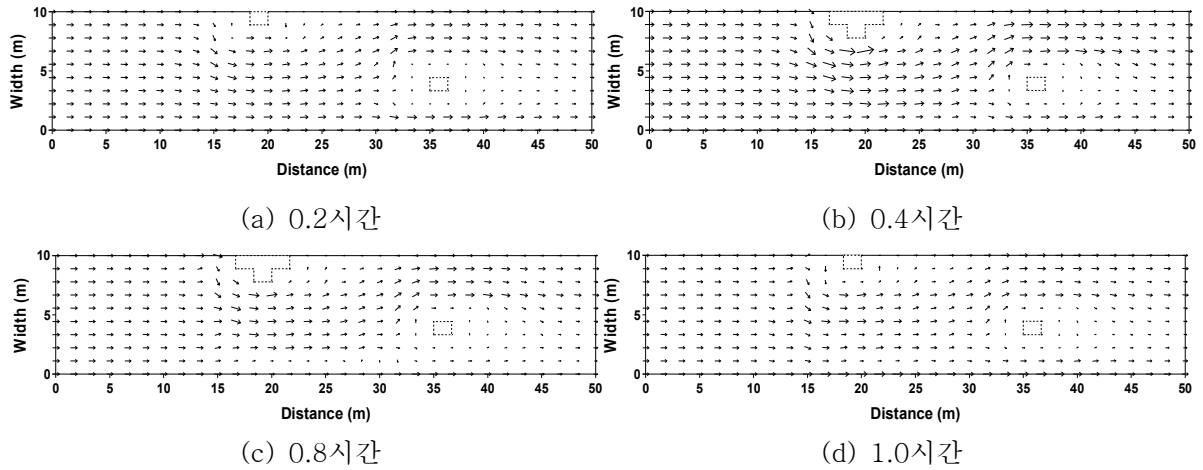


그림 5. 유속벡터도

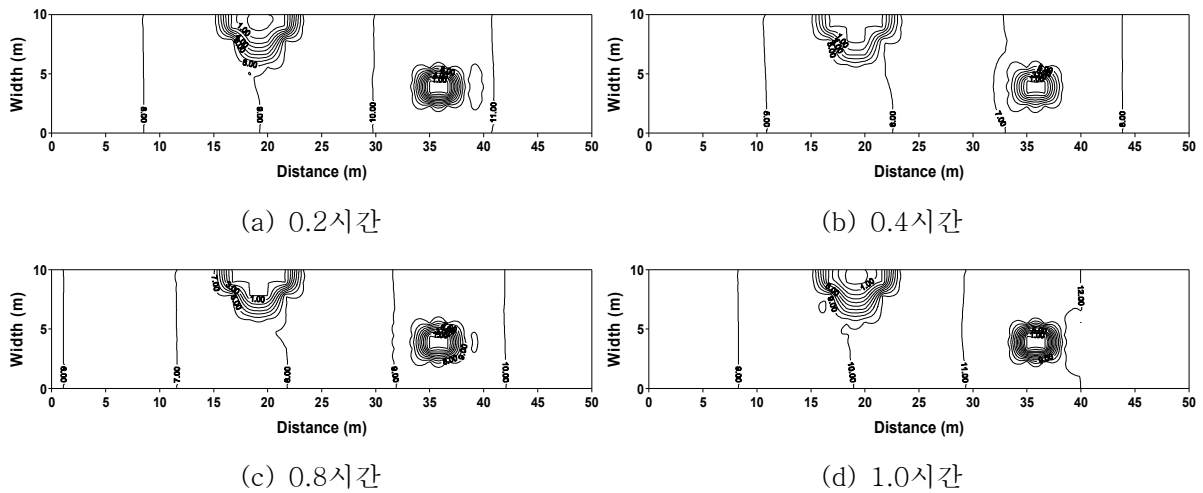


그림 6. 등수심도

3.2 사다리꼴 단면수로의 마름조건

본 수치모의는 가상의 사다리꼴 단면을 가지는 하도 내에서의 사다리꼴 단면의 외측부에서 발생하는 마름/젖음 현상에 대한 수치해석을 검토하기 위해서 실시되었다. 하도의 형상은 길이 300m, 폭 40m이며 상호 변화하는 사각형과 사다리꼴 단면을 가진다. 즉, 상류부는 사각형 단면에서 사다리꼴 단면으로, 하류부는 사다리꼴 단면에서 사각형 단면으로 변화하며 중간부 100m 구간에는 사다리꼴 형태의 단면으로 이루어져 있다.

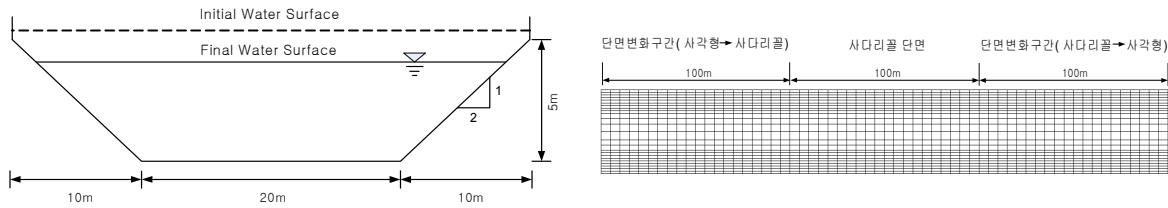


그림 7. 마름/젖음 영역을 보여주는 사다리꼴 단면과 요소망

그림 7은 모의에 적용된 요소망을 나타내며 마름/젖음 현상의 발생이 예상되는 하도 외측의 요소는 조밀하게 구성하였다. 그림 8은 모의 후 1시간에서의 유속 벡터도와 등수심도를 나타내고 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 대상하도가 사다리꼴 단면으로 이루어져 있기 때문에 유속의 분포는 하도 중심부에서 빠르게 나타나고 있으며 하도 중심부의 외측부에서는 마름 조건을 인한 유속분포가 적절하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

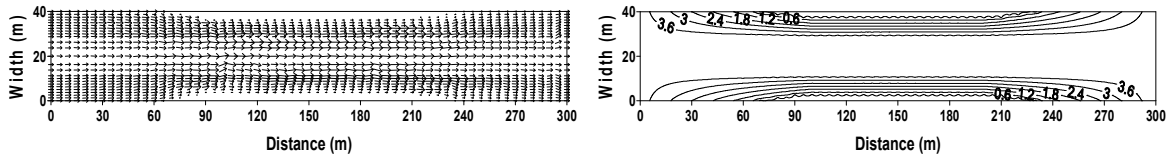


그림 8. 유속벡터도와 등수심도

4. 결론

마름/젖음의 처리를 위해서 격자의 자동 생성 및 해석 후 마른 요소에 대한 요소 제거, 다시 적용된 경계 절점에 기준한 요소의 재생성 및 계산의 수행 등을 통해 마름/젖음을 처리할 수 있는 Deforming Grid 기법을 개발하였다. 이 기법은 단면의 하상고가 일정하지 않을 경우 하천 수위의 변화에 따라 매 시간단계 별로 마른 노드와 젖은 노드를 판단하여 마른 노드를 격자망에서 제거하게 된다. 본 연구에서 개발한 마름/젖음 알고리즘의 적용성을 검증하기 위하여 Dry/Wet 문제를 가지는 직사각형 단면, 사다리꼴 단면 수로에 대한 흐름해석을 실시하였으며 마름/젖음 현상에 대한 합리적인 모의 결과를 얻었다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

- 한건연, 김상호, 김병현, 최승용 (2006). “유한요소격자유형을 고려한 2차원 흐름해석 모형.” 2006년도 대한토목학회 정기학술 대회 논문집, pp. 1926-1929.
- 한건연, 백창현, 박경옥 (2003). “SU/PG 기법에 의한 하천흐름의 유한요소해석 : I. 이론 및 수치안정성 해석.” 대한토목학회논문집, 제24권, 제3B호, pp. 183-192.