

ㄹ간석지개간방안별흐름변화특성에 대한 수값실험연구

도원일, 리철호, 차정훈

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지리학분야에서는 간석지를 개간하여 리용할데 대한 문제를 연구하여야 하겠습니다.》

(《김일성전집》 제18권 156페이지)

개간방안에 따르는 흐름속도변화특성을 알고 합리적인 방안을 선택하는것은 간석지건설공사를 경제적이면서도 안전하게 하기 위한 선결조건이다.

ㄹ간석지개간방안은 자재보장조건, 설비조건, 시공조건 등을 고려하여 2가지로 선정되였다.

우리는 2가지 방안 즉 간석지수역을 단번에 막는 1방안(제방총길이 10 500m)과 2개 구간으로 나누어 막는 2방안(제방길이 각각 5 500, 5 000m)에서 제방열린구간의 길이가 1 000m 이상일 때의 흐름속도변화특성에 대한 수값실험연구를 하였다.

1. 리론적기초

Delaunay삼각형그물망(D-그물망)은 중첩되지 않는 서로 련결된 삼각형들의 집합으로서 매 삼각형의 외접원은 기타 다른 점을 포함하지 않는것으로 정의되어있다.[2]

그런데 일반적으로 경계가 복잡한 구역에 생성된 D-그물망의 삼각형들은 가늘고 긴 형태를 가지게 되는데 유한요소해석에서 요구하는 요소형태는 리상적으로 바른삼각형이다.

이 문제를 해결하기 위하여 일정한 방법으로 계산구역내부에 적당한 수의 점을 삽입하여 D-그물망의 질을 높인다.

새 마디점을 삽입할 때 역시 D-그물망성질을 리용하게 되며 삽입되는 마디점수가 초기경계조건으로 정한 마디점수보다 훨씬 많을 때 삼각형그물망의 질이 크게 개선된다.[3]

D-그물망생성방법으로 ㄹ간석지수역에 대한 삼각형그물망을 생성하려면 일련의 문제가 제기된다.

ㄹ간석지수역은 수백 km^2 로서 그 범위가 비교적 크며 해안선이 매우 복잡하고 또 많은 섬들이 있다.(그림 1) ㄹ간석지수역의 지형특성을 잘 반영하면서도 물흐름계산에 필요한 삼각형그물망을 생성하자면 섬의 경계와 암초들을 고려하여야 한다. 이것을 위하여 ㄹ간석지수역에 대한 그물망크기에 비해 매우 작은 섬이나 암초들을 하나의 자료점으로 보고 D-그물망의 초기계산마디점으로 처리한다. 또한 제방경계선과 계산구역경계선에 해당하는 점들을 D-그물망의 초기계산마디점으로 하고 D-그물망을 생성한 다음 계산구역안에 놓이는 비교적 큰 섬들에 해당하는 삼각형을 제거한다.

ㄹ간석지수역에 적용된 그물망은 그림 2와 같다.

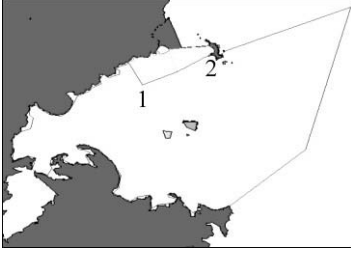


그림 1. 르간석지수역경계

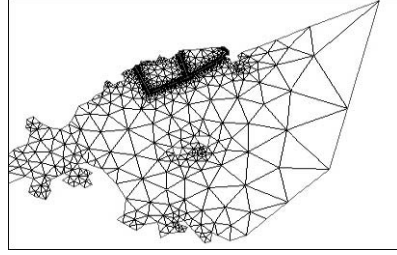


그림 2. 생성된 삼각형그물망

물깊이방향으로 수직 평균한 2차원비정상흐름의 연속방정식과 운동방정식은 다음과 같다.[1]

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(h+z)u] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+z)v] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{gwu}{c^2(h+z)} - Fv = \lambda \Delta u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{g w v}{c^2(h+z)} + Fu = \lambda \Delta v \quad (3)$$

여기서 z 는 평균물면에서의 조석물높이, h 는 평균물면에서 바닥까지 물깊이, u , v 는 각각 x , y 축방향의 속도성분, λ 는 막흐름점성결수, $w = \sqrt{u^2 + v^2}$, f 는 코리올리결수, g 는 중력가속도, c 는 쉐지결수이다.

식 (1)–(3)을 3각형요소보간모형으로 넘기면 다음과 같다.

$$z_i^{n+1} = z_i^n - \Delta t \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} [(z+h) \cdot u] \right)_i^n + \left(\frac{\partial}{\partial y} [(z+h) \cdot v] \right)_i^n \right\} \quad (4)$$

$$u_i^{n+1} = \left\{ u_i^n - \Delta t \left[v_i^n \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_i^n + g \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_i^{n+1} - f v_i^n - \lambda (\Delta u)_i^n \right] \right\} / \left\{ 1 + \Delta t \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i^n + \frac{g \cdot w_i^n}{c_i^2 (z+h)_i^{n+1}} + \lambda \beta \right] \right\} \quad (5)$$

$$v_i^{n+1} = \left\{ v_i^n - \Delta t \left[u_i^n \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_i^n + g \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i^{n+1} + f u_i^n - \lambda (\Delta v)_i^n \right] \right\} / \left\{ 1 + \Delta t \left[\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i^n + \frac{g \cdot w_i^n}{c_i^2 (z+h)_i^{n+1}} + \lambda \beta \right] \right\} \quad (6)$$

여기서 $\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_i^n = \frac{1}{2A} \sum_e \sum_{\gamma=i,j,k} b_\gamma f_\gamma$, $\left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_i^n = \frac{1}{2A} \sum_e \sum_{\gamma=i,j,k} c_\gamma f_\gamma$, $(\Delta f)_i^{n+\frac{1}{2}} = \alpha(f_i^n) - \beta f_i^{n+1}$,

$$(\Delta f)_i^n = -\frac{1}{2A} \sum_e \frac{1}{\Delta_e} \left(b_i \sum_{\gamma=i,j,k} b_\gamma f_\gamma + c_i \sum_{\gamma=i,j,k} c_\gamma f_\gamma \right), \quad \beta = \frac{1}{4A} \sum_e \frac{(b_i^2 + c_i^2)}{\Delta_e}, \quad \alpha(f_i^n) = \Delta f_i^n + \beta f_i^n,$$

$$b_i = y_j - y_k, \quad c_i = x_k - x_j, \quad b_j = y_k - y_i, \quad c_j = x_i - x_k,$$

$$b_k = y_i - y_j, \quad c_k = x_j - x_i, \quad A = \sum_e \Delta_e, \quad \Delta_e$$

는 요소삼각형의 면적으로서 다음과 같이 계산한다.

$$\Delta_e = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}.$$

2. 적용 사례

계산초기조건, 경계조건, 안정성조건은 다음과 같다.

$$z(0, x, y) = z_{\text{기}}, \quad u(0, x, y) = v(0, x, y) = 0$$

$$u(t, x, y) = v(t, x, y) = 0$$

$$z(t) = z_i + \frac{z_{i+1} - z_i}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{t - T_i}{T_{i+1} - T_i} \cdot \pi \right) \right]$$

$$\Delta t \leq (1 - \alpha) \frac{\Delta x_{\min}}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

여기서 $\alpha=0.3$, T_i, z_i 는 만조시와 만조위, T_{i+1}, z_{i+1} 은 간조시와 간조위, t 는 계산시간이다.

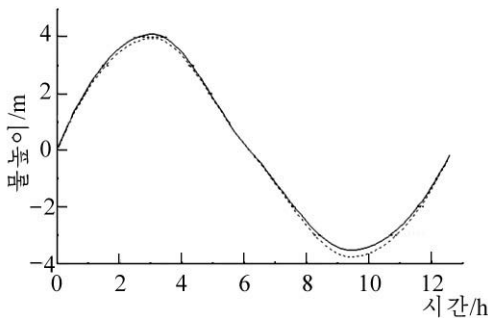


그림 3. 조석물높이검증결과
실선과 점선은 각각 관측값과 계산값

우리는 2011년 6월 20-22일 조석물높이과정선에 대하여 계산하였다. 조도계수는 0.015, 막흐름점성계수는 25 m/s^2 , 총요소개수는 2 253개, 마디점개수는 1 274개, 가장 작은 요소변의 길이가 70m이므로 안정성조건으로부터 Δt 는 0.5s로 정했다.

조석물높이과정에 대한 검증결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 조석물높이계산결과는 상대오차가 5%이하로서 비교적 실제상태와 잘 일치된다.

이 수역에서 류속은 밀물최대속도와 썰물최대속도를 비교하는 방법으로 검증되었다.(표)

표. 조석흐름속도실측값과 계산값의 비교 (m/s)

구분	관측값	계산값	절대오차	상대오차/%
밀물	1.43	1.31	0.13	9
썰물	1.82	2.02	0.20	11

표에서 보는바와 같이 계산밀물최대속도는 1.31m/s, 썰물최대속도는 2.02m/s, 계산상대오차는 11%이하로서 충분한 정확도를 가진다.

근간석지에서 방안별흐름변화특성에 대한 실험결과는 그림 4, 5와 같다.

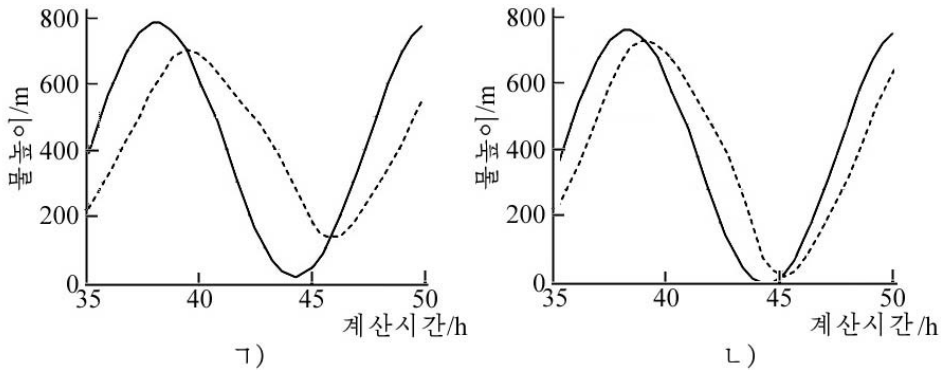


그림 4. 제방열린구간이 1 000m일 때 1방안(ㄱ)과 2방안(ㄴ)에서 제방안쪽(파선)과 바깥쪽(실선)의 물높이

그림 4에서 보는바와 같이 1, 2방안에서 제방바깥쪽물높이변화에서는 큰 차이가 없다. 그러나 제방안쪽물높이에서는 일정한 차이가 있다. 이러한 차이는 흐름속도증가에 큰 영향을 미친다.(그림 5)

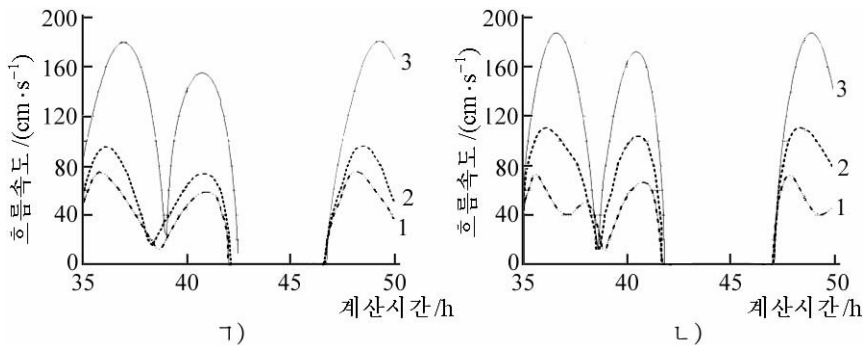


그림 5. 1방안(ㄱ)과 2방안(ㄴ)에서 제방열린구간에 따르는 흐름속도변화
1, 2방안에서 1은 1 000m, 2는 각각 5 000, 3 000m,
3은 각각 9 000, 4 000m막은 경우

그림 5에서 보는바와 같이 1, 2방안에서 제방열린구간이 각각 1 000m정도일 때 흐름속도차이가 거의 2배에 달하는데 이것은 건설공사가 그만큼 더 어려워진다는것을 의미한다.

맺 는 말

- 1) D-그물망생성기술을 복잡한 간석지개간수역의 흐름해석을 위한 수값실험에 효과적으로 리용할수 있다.
- 2) 삼각형요소보간수값모형을 해안선굴곡이 심하고 섬을 많이 포함하고있는 간석지수역의 흐름해석에 충분한 정확도로 리용할수 있다.
- 3) 흐름속도의 전지에서 르간석지개간은 2방안으로 하는것이 합리적이다.

참 고 문 헌

- [1] 도원일; 해안수값계산법, 김일성종합대학출판사, 60~75, 주체89(2000).
[2] 魏文礼 等; 武汉水利电力大学学报, 2, 37, 2000.
[3] 邵春丽; 测绘科学, 6, 68, 2004.

주체103(2014)년 3월 5일 원고접수

**Numerical Research on the Change of Flow Character
by the Development Plan for “큰” Tideland**

To Won Il, Ri Chol Ho and Cha Jong Hun

Delauney triangle network forming method and triangle element interpolation numerical model can be used as satisfactory accuracy for flow calculation around the tideland which has enormous coastline curvation and many islands.

In the case of “큰” tideland, it is rational to select second way because of the tidal current nature of open part.

Key words: tideland, development plan, flow character