

〈學術세미나要約〉

放射效果가 考慮된 海洋開放境界條件의 比較

Comparison of Open Ocean Boundary Conditions  
Considering the Radiating Effect

徐 承 源  
Suh, Seung Won,

1. 序 論

有限한 領域에 대한 數值解析시 필연적으로 開放境界처리문제가 대두되며, 부여되는 開放境界條件에 따라 해의 의존성이 크게 좌우되므로 대상영역내의 解의 安定性을 도모할수 있는 境界條件의 선정이 바람직하다. 따라서 본 연구는 海洋에 적용되는 2次元 淺水方程式에 대한 정확하고 유용한 開放境界條件의 확립을 목적으로 수행되었다.

기존 연구자들이 제안한 開放境界條件을 상호 비교하고 개선된 處理技法을 제시하여 해의 신뢰성을 제고할 수 있는 보다 나은 開放境界處理技法을 수립하도록 노력하였다.

數值模型의 정립은 基本方程式으로 수심평균의 2차원 淺水方程式을 택하고 數值解析은 Galerkin의 有限要素法을 이용하였으며, 시간적분은 질량집중행렬 개념을 도입한 2단계 Lax-Wendroff 방법을 적용하여 계산효율의 증대를 도모하였다.

數值模型의 檢證은 非線形項을 무시한 경우의 單純矩形灣에서 기존 FDM을 이용한 연구와 비교되었고<sup>1)</sup>, 開放境界處理條件의 비교는 L<sup>2</sup>-norm 및 RMS誤差分析을 이용하여 실시되었다.

2. 研究의 背景

접근방법에 따라 開放境界研究를 분류하면, 1) 數值境界條件 설정에 입각한 연구로 Chen<sup>5)</sup>, Smith<sup>15)</sup>, Lindman<sup>10)</sup>, Rudy<sup>14)</sup>등이 있고, 2) 전기

교류회로 이론에 의한 유추해석으로 Garrett<sup>7,8)</sup>, Prandle<sup>12,13)</sup>등이 수행한 것과, 3) 放射境界이론을 근거로한 연구로 Sommerfeld<sup>16)</sup>, Orlanski<sup>11)</sup>, Camerlengo & O'Brien<sup>3)</sup>, Engquist & Majda<sup>6)</sup>, Hebenstreit<sup>9)</sup>, Blumberg & Kantha<sup>2)</sup>, Chapman<sup>4)</sup>등이 수행한 것이 있다. 이들 연구자들은 나름대로 자기 변형된 형태를 제안하여 해석하였으나 정성적인 해석은 없었다.

3. 基本方程式과 數值模型

基本方程式은 水深平均의 2차원 連續方程式과 運動方程式이며, index notation을 이용한 표기는 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + [(h + \zeta)u]_{,i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{j,i} + g \zeta_{,i} + \tau_{bi} - \epsilon u_{i,jj} = 0 \quad (2)$$

數值模型의 정립은 Galerkin의 加重殘差法을 이용한 有限要素式으로, 삼각형 요소에 선형보간 함수를 적용하여 전영역에 대하여 조합한 후 2단계 Lax-Wendroff 방법을 적용한 것이 다음과 같다. (상세한 전개과정은 문헌1 참조). 초기조건은 Cold Start, 측벽경계조건은 Slip 및 Neumann조건이 부여 되었다.

$$L_{\alpha\beta} U_{\beta}^{n+1/2} = M_{\alpha\beta} U_{\beta}^n - \Delta t / 2 \cdot X_{\beta}^n \quad (3)$$

$$L_{\sigma, \beta} U_{\beta}^{n+1} = M_{\sigma, \beta} U_{\beta}^n - \Delta t \cdot X_{\beta}^{n+1/2} \quad (4)$$

#### 4. 開放境界條件比較

검토된 開放境界條件式과 數値化는 Sommerfeld 放射條件式, 부분구속 放射條件式 Orlandi 放射條件式, 수정형태의 Orlandi 放射條件式, 그리고 개선된 형태의 Sommerfeld 放射條件處理式등의 방사영향이 고려된 조건식과 그렇지 않은 기존의 放射環境條件이다. 이들의 비교는 다음과 같이 정의되는  $L^2$ -norm과 Root-Mean-Square(RMS) 오차를 이용하였다.

$L^2$ -norm Error은 대상영역내의 모든 절점에 대하여 계산된다.

$$e_{L^2} = \left| \frac{\sum_{i=1}^N [(u_i^n - u_a)^2 + (\zeta_i^n - \zeta_a)^2]}{\sum_{i=1}^N [(u_i^n)^2 + (h_i^n)^2]} \right|^{1/2} \quad (5)$$

RMS(Root-Mean-Square) Error는 다음과 같이 임의의 절점에 대하여 계산된다.

$$e = [(u_a - u_c)^2 + (\zeta_a - \zeta_c)^2]^{1/2} \quad (6)$$

#### 5. 數値模型實驗 및 結果分析

數値模型實驗은 다음의 경우에 대하여 수행되었다. 즉, 단순한 구형만의 Co-oscillating tide 해석에 있어서 1)  $M_2$  潮汐實驗, 2) 格子網의 영향실험, 3) 長週期波實驗, 그리고 4) 海底摩擦 영향등이 본 모형에 의한 수치해와 정확해간의 오차해석에 의하여 비교 평가되었다.

수치실험의 結果를 分析하면 다음과 같다.

1) FDM을 이용한 기존의 연구결과 보다 매우 우수한 결과를 제공하고, 2)  $M_2$  조석 및 장주기 파실험에서 방사조건이 고려되지 않은 경우보다는 고려되었을때 더욱 안정된 결과를 보인다.  $L^2$ -norm에 의하면 약 33%개선된 효과를 보인다. 3) 개선된 방사조건 처리식이 도입되었을때

보통의 Sommerfeld 방사조건보다 50%나 오차감소가 기대되었고, 4) 조석주기 모의시 격자간격의 영향은 장주기파 모의때보다 미미한 것으로 나타났다. 5) 해저마찰이 고려되어도 방사조건식중 개선된 처리식이 양호한 결과를 제공한다.

#### 6. 結 論

放射效果가 고려된 6가지 海洋開放境界條件이 오차해석에 의하여 정량적 및 정성적으로 비교 평가되었고, 결과를 간추리면 다음과 같다.

1) 방사효과가 고려되지 않은 境界條件이 부여되었을때 경계근처에서 불합리한 오차가 발생하며, 2) 방사효과가 고려되므로써 불합리한 오차를 제거하는 것이 가능하였고, 3) 방사조건 비교연구에서 종래의 조건식중 Sommerfeld 조건식이 우수하였으나, 4) 2단계 유한요소 수치모형에 부합되는 개선된 Sommerfeld 조건식이 더욱 양호한 결과를 제공하며, 5) 해저마찰이 고려된 경우역시 개선된 조건식이 알맞는 것으로 판단된다.

#### 7. 參考文獻

1. 徐承原, 尹泰勳(1989), "誤差解析에 의한 海洋放射境界條件 比較." 韓國水文學會誌 22卷 3號, 315-322
2. Blumberg, A.F. and Kantha, L.H., (1985), *Open Boundary Condition for Circulation Model*, J. of Hydr. Div. ASCE, V 111, No HY2, 237-255
3. Camerlengo, A.L. and O'Brien, J.J., (1980), *Open Boundary Conditions in Rotating Fluids*, J. of Computational Physics, V 35, 12-35
4. Chapman, D.C., (1985), *Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic Coastal Ocean Model*, J. of Phy. Oceanography, V 15, 1060-1075
5. Chen, J.H., (1973), *Numerical Boundary* 369면 379면으로 계속 →

수 있는 제도가 마련되어야 하겠고 영향평가단계에서 비용·편익分析에 의한 종합평가가 이루어질수 있도록 하기 위한 기초자료의 축적이 필요하다.

5. 結 言

生活水準이 向上됨에 따라 各種 開發事業의 수행도 더욱 活潑해지며 어떤 형태로든 環境에 變化를 주게되는데 變化에 의한 피해를 最少化하도록 하기위해 환경영향평가가 實施되고 있다. 그동안 우리가 느껴온 환경피해는 水質汚染이나 大氣汚染으로 인해 직접 느낄 수 있는 피해만을 생각해 왔으나 우리가 모르는 사이에 진행되는 환경과괴나 變化가 앞으로 더욱 중요하게 될 것이고 自然의 利用方法도 지금까지와는 다른 次元에서 고려될 것이기 때문에 눈에 보이는 영향과 그동안 비교적 크게 문제가 되지 않았던 영향들을 충분히 고려해야만 한다.

河川은 各種 用水를 제공하는 主要水源으로서의 기능을 해왔기 때문에 河川環境은 水質汚染을 중점적으로 고려해 왔는데 이세는 단순한 水源으로서 간주되기 보다는 河川을 장비함으로서 좋은 觀光자원이 되고 위락복적으로 이용되는 重要한 역할을 한다. 한강의 고수부지가 시민공원으로서 잘 활용되고 있는데 이와같은 새로운 河川의 역할과 環境의 變化에 對해서는 환경영향평가과정에서 충분한 검토가 이루어지지 않고 있다.

환경영향평가가 환경보전과 開發事業推進의 調和를 이루기 위한 수단으로 整립되기 위해서는 開發事業의 特性을 고려한 環境평가가 되도록 절차상의 개선이 필요하고 객관적이고 合理的인 評價가 되도록 해당지역의 住民을 포함한 多數의 見解가 충분히 반영되도록 노력해야 할 것이다. 環境영향평가가 開發事業을 正當화하는 要式行爲가 되어서는 안되겠고 개발사업과 環境보전을 조화시키는 절차가 되도록 하위 위해 아직도 많은 연구개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- 환경청, “환경영향평가서 작성지침서(산업일지 및 공업단지 조성 사업 편)”
- 日本환경기술연구회, “環境 アセスメントマニュアル” 1988
- 국립환경연구원 교육교재 “환경행정실무(관리자반)” 1989
- 국립환경연구원 교육교재 “환경영향평가 연수” 1969
- John G.Ran & David C. wootten, “Environmental Impact Annlysis Handbook” McGraw Hill Book compamy 1980
- UNEP. “Guideline, to Environmental Impact Assessment in Developing Cowntric,” 1985

→ 412면에서 계속

Conditions and Computational Modes, J. of Computational Physics, V 13, 522-535

6. Engquist, B. and Majda, A., (1977) *Absorbing Boundary Conditions for the Numerical Simulation of Waves*, Mathematics of computation, V 31, No 139 , 629-651

7. Garrett, C., (1975), *Tides in Gulf, Deep Sea Research*, V 22, 23-35

8. Garrett, C. and Greenberg, D., (1975), *Predicting Changes in Tidal Regime: The Open Boundary Problem*, J. of Phy. Oceanography, V 7, 171-181

9. Hebenstreit, G.T., Bernard, E.N. and Vastano, A.C.,(1980), *Application of Improved Numerical Techniques to the Tsunami Response of Island Systems*, J. of

379면으로 계속 →

고, 하천구간별 관리로 동일하천의 상하류를 각각 다른 기관에서 관리하므로 하천환경의 관리가 비효율적으로 이루어지고 있으며 지방자치체가 시행되면 이러한 현상은 더 심해질 것으로 판단됨.

### 5. 개선방향

#### △ 법제도 및 행정체제의 개선

하천의 구간별 관리를 수계별 관리로 전환하고 다원화되어 있는 하천관리 기관을 수계별 하천관리청으로 일원화하며, 하천수질의 관리는 수량관리와 분리하여 별도로 관리할 수 없을 뿐 아니라 이수와는 불가분의 관계가 있으므로 하천관리청에서 관리하여야 하며, 하천구간 상류에서 하천수질에 영향을 미치는 행위를 하는 경우도 당해 행위자 또는 관리기관에 대하여 하천관리청에서 규제할 수 있도록 하여 하천수질에 관하여는 하천법에서 전면적으로 관리할 수 있도록 개선하며, 하천정비기본계획수립시 하천환경관리에 관한 기본 계획을 포함하여 수립하고 하천정비시 하천환경정비 및 개발등 사업도 병행하여 시행하도록 의무규정을 신설할 것이 요청됨.

#### △ 유수점용료의 징수

수익자부담의 원칙에서 유수점용료도 물을 많이 사용하는자가 요금을 더 많이 부담하도록 유수점용료를 유료로하고 현실화하여 하천수입금을 늘려서 하천수질의 개선에 투자하며 하천수질이 기준치를 초과할 때에는 수요자들이 하천관리청에 책임을 추궁할 수 있도록 하는 제도가 바람직할 것으로 판단됨.

### 6. 결론

우리나라는 지금까지 국민생활수준의 향상을 위하여 직접적으로 효과가 있는 사업에 투자를 집중하여 왔으며 하천환경관리에 대하여는 인식 부족으로 최근에 와서야 한강종합개발사업등 일부 대도시내에서 하천환경관리를 포함한 종합개발사업을 점차적으로 추진하고 있는 실정이며 현재 우리나라 국민생활수준의 향상에 따른 문화적 및 정서적 욕구의 증대로 특히 도시지역에서는 하천환경관리가 효율적으로 이루어져야 할 것이 절실히 요청되고 있으므로 이러한 사항이 이루어지기 위하여는 위에서 기술한 바와 같은 개선방향에 따라 우리나라의 하천환경관리에 대한 법제도 및 행정체제의 정비가 시급한 것으로 판단되고 있음.

→ 369면에서 계속

*Phy.Oceanography, V10, 113 -1140*

10. Lindman, E.L., (1975), *Free-Space Boundary Condition for the Time Dependent Wave Equation*, J. of Computational Physics, V 18, 660- 678
11. Orlanski, I., (1976), *A Simple Boundary Condition for Unbounded Hyperbolic Flows*, J. of Computational Physics, V 21, 251-269
12. Prandle, D., (1980), *Modelling of Tidal Barrier Scheme:An Analysis of the Open-Boundary Problem by Reference to AC Circuit Theory*, Estuarine and Coastal Marine Science, V 11,53-71
13. Prandle, D. and Rahman, M., (1980), *Tidal Response in Estuaries*, J. of Phy. Oceanography, V 10, 1552-1573
14. Rudy, D.H., (1980), *A Nonreflecting Outflow Boundary Condition for Subsonic Navier-Stockes Calculations*, J. of Computational Physics, V 36, 55-70
15. Smith, W.D., (1974), *A Nonreflecting Plane Boundary for Wave Propagation Problems*, J. of Computational Physics, V 15, 492-503
16. Sommerfeld, A., (1954), *Optics*, Academic Press