

人工休養海邊開發과 數值實驗分析

李 重 雨* · 鄭 明 善**

Artificial Resort Beach Development and Numerical Analysis

Joong Woo Lee, Myoeng Seon Jeong

Key word ; Hybrid Element(複合要素), Coastal Zone Development(연안역개발), Resort Beach(휴양 해변), Refraction(屈折), Diffraction(回折), Radiation(放射), Artificial Nourishment(養浜工), Gauss' Theorem (가우스정리), Detached Breakwater(離岸堤)

Abstract

The application of computer model to the port and harbor development is categorized in the field of port development policy, economic analysis and evaluation, civil engineering analysis, hydrodynamic analysis, evaluation of social and natural environment effect, etc. The study in this paper, however, is limited to hydrodynamic analysis, especially the analysis of water wave propagation and response to the shore structure due to the construction and implementation of shore boundary. The purpose resides in introduction of the possible computer analysis for the resort area design. The mathematical formulation of the numerical model is established systematically based on the Hybrid Element Method and applied to solving the wave refraction, diffraction and radiation problems for a circular basin, the artificial beach or lagoon in terms of coastal zone development.

1. 序 論

오늘날 국민경제의 급속한 발전으로 인한 소득 증대와 생활수준의 향상은 관광수요의 대중화, 다양화, 대량화에 근본적인 요인이 되었고 이는 굳이 누계수치를 동원하지 않더라도 주말, 연휴 및 여름, 겨울휴가철에 경험하는 도로교통의 혼잡이나 관광지의 수많은 인파를 통해 이를 짐작할 수 있다. 또한 이제는 어느 시점, 어느 장소를 불문하고 관광이 발생하는 것으로 변화되었음을 알 수 있다.

특히 우리나라는 한태평양시대의 도래 및 대외 개방화의 추세에 능동적으로 대처하고 국민경제

의 고도성장과 양적팽창에 대처하기 위한 해안역 개발의 필요성이 대두되고 있으며 해안경관의 보전, 시가지내 해변 및 소공원녹지공간 확보를 통한 쾌적한 생활환경조성 등은 물론 위락활동증가 및 다양화에 따른 위락공간의 확보 및 해양성 관광자원의 연계화를 위한 활발한 움직임이 나타나고 있는데 부산의 경우 해상신도시 건설과 같은 案도 제시되고 있다.

이즈음 기존해변에서의 모래유실, 해수순환의 차단으로 인한 해안 및 항만오염문제 등으로 해안의 무분별한 개발에 대한 제동과 아울러 개발의 합리적인 방안제시에 상당한 관심을 보이고 있어서 휴양해변에 대한 거론은 해양관광자원의

* 正會員, 韓國海洋大學 港灣·運送工學科 教授
** 正會員, 木浦海洋專門大學 航海學科 教授

개발 및 유지의 관점에서 적절한 시기가 아닌가 한다.

Fig.1은 최근 Hawaii의 Oahu섬에 설계하여 개발하고 있는 West Beach Marina 인접역을 나타낸 것으로 인공적으로 준설하여 개발한 商港 및 요트항, 인공휴양 해변 및 골프장과 레저, 워터파크 단지 개발대역을 포함하고 있다. 관광객을 위한 고층의 호텔 및 콘도미니엄과 같은 숙박시설이 해변역에 건설되고 있으며 해안을 따라 반원형의 여러 호수는 인공적으로 관광단지에 맞도록 개발하여 관광객이 구태여 다른 해변을 찾지않아도 되도록 구상하고 있다.



Fig. 1 An Example of Coastal Zone Development (West Beach Marina Zone, Oaha, Hawaii, by J.W.Lee 1989)

연안역 및 항만개발에 관한 컴퓨터모델의 적용은 정책, 경제성평가, 토목공학분석, 유체역학적 분석, 사회·자연환경영향평가 등에 이르는 분야로 다양하게 분류할 수 있으나 여기서는 항만 또는 연안역 개발의 제안, 검토, 기본조사, 실시 등 제반과정에 필수적으로 수반하여야 할 해안 항만 구조물의 건설에 뒤따르는 해안수리현상의 변화를 검토하고 이에 대한 대안을 퍼스널컴퓨터를 사용하여 분석하는 그 가능성을 제시하고자 한다.

본연구의 범위는 항내 및 해안 파고의 변화를 분석하는 것으로 수학 물리의 기초적인 유도과정은 이미 기술되어 있으므로 본연구에서 사용하고 있는 주된 특성만을 도입하여 수치해석적인 근사화 과정을 거치는 것으로 요약하고 실제 여러 항

만에의 적용을 살펴본 뒤, 연안역의 개발이라는 관점에서 人工休養海邊 또는 호수(瀉湖, Lagoon) 조성에 관한 예를 소개하기로 한다.

2. 問題의 記述

항만의 입구주위, 휴양.워터파크, 可航水路 및 淺海 인공구조물 주위를 보호하기위해 碎波帶나 연안역의 개발에는 상당한 양에 해당하는 공학적인 작업의 과정이 필수적이다. 항만 및 연안구조물은 주로 사석, 콘그리트 및 프레임 등으로 이루어지고 크레인이나 바지등을 사용하여 계획한 바 대로 제위치에 설치하게 되며 이러한 구조물은 나름대로의 평형상태를 이루고 있는 자연을 변화시켜 부차적인 영향을 미치기도 하며, 계획 단계에서는 전혀 예상할 수 없었던 문제점들이 나중에 나타나는 것이 통례이다. 항만, 연안의 개발사업자체가 매우 광범위하고 거대한 프로젝트이기 때문에 주도 면밀한 분석을 기하지 않으면 자칫 돌이킬 수 없는 위치에 이르게 됨을 많이 보아왔다. 이경우 개발 자체비용의 수배에 이르는 재원과 노력을 기울이더라도 보완하기 어려운 상황이 발생할 수 있으므로 대상으로 하고 있는 개발에 대한 다양한 분석이 필연적이라 보며 구조물에 따른 波浪場을 예측하는 것은 그만큼 중요한 의미를 가지게 된다.

표사의 이동이나 연안구조물의 안정에 매우 중요한 역할을 하는 海水波는 단주기파로 파의 傳播速度가 주파수의 함수로 나타나는데 波長이 아주 작은 파이다. 연안역에서 특히 수초에서 약 20 초 전후의 주파수대가 이에 속한다. 可變水深海域에서 장파의 전파를 좌우하는 방정식은 이미 Lamb(1945)에 의해 알려진 반면, 주파수의 분산이 매우 중요한 단주기파의 경우 이론적인 유도는 단지 일정수심하의 경우에만 정의 될 수 있었다. 근래에 들어서서 Boussinesq형 방정식이 가변해역에서 단주기파의 전파를 연구하는데 사용되어져 왔으며 이들 방정식 역시 주파수 분산 및 비선형 항을 포함하고 있다. 이들 방정식의 2차원 모델화는 주파수 분산항이 3차항이기 때문에 어렵고 3차에 해당하는 수치해석상의 정도를 필요

로 한다.

Abbott & Petersen 등(1978)은 시간변환 2차원 유한차분 수치모델을 개발하였는데 그들은 陰解法을 사용, 3차에 해당하는 정도를 가질 수 있었다. 시간변환의 기법은 계산시간이 현저히 요구된다. 그외에도 유한차분법은 복잡한 수제선이 뒤따르는 해안공학분야는 경계면을 계단형으로 표시하고 있기 때문에 현실적인 모델화가 되지 못하고 있으며 구조물 또는 기타 해안 경계면에 반사하여 유한구간의 격자외로 放射되어 나가는 파의 현상에 대한 기술은 다루지 못하고 있어서 결점을 포함하고 있다. 최근에 이들문제를 해결하기 위한 시도가 이루어 지고 있으나 본연구에서 기술하게 될 유한요소적 접근만큼 유연성이 없다고 하겠다.

3. 基本方程式의 構成

점진적으로 변화하는 수심에서 단주기파의 전파를 기술하기 위한 2차원 방정식은 Berkhoff (1972) 와 Schonfeld (1972)가 처음으로 유도하였고 Jonsson & Brink-Kjaer (1973) 및 Smith & Spinks (1975) 등이 입증한 소위 緩傾斜 波浪方程式을 사용하는데 가변해역에서 미소진폭 표면 중력파의 전파를 기술하기 위한 표준방정식으로 적용되고 있다. 이는 이 방정식 자체가 해수파의 屈折, 回折 및 反射 등 제현상을 기술하고 있으며 심해나 일정수심해역에서는 회절을 기술하는 Helmholtz방정식으로, 천해에서는 선형의 장파방정식으로 전환이 가능하므로(Lee, 1987) 비교적 수심이 깊은 외해에서부터 연안.항만에 이르는 광범위한 해역에 대한 분석에 유용하다고 하겠다.

임의 수심 h의 流體場에 각주파수가 ω , 파수 k, 진폭이 a_0 인 파가 입사할 때의 경계치문제를 정식화하기 위하여 Fig.2와 같이 직각좌표계(x,y,z)를 도입하고 유체를 비압축성, 비점성, 비회전류라는 가정의 선형파이론을 사용하면 입사파는 속도포텐셜 Φ 를 만족하는 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x,y,z,t) = \phi e^{-i\omega t} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 Φ 는 2차원 속도포텐셜함수이다. 또한 자유표면경계조건으로 순간해면의 변화 η 는 중력 가속도 g를 사용하여 식(2)와 같이 정리된다.

$$\eta = \frac{i\omega}{g} \phi e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (2)$$

단위수평면적(dx=dy=1)에 대한 파의 운동에 따른 위치에너지 E_p 및 운동에너지 E_k 는 속도포텐셜함수를 사용하여 다음 식(3),(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_p = \int_0^{\eta} \rho g z dz = -\frac{\rho}{2g} e^{-2i\omega t} \omega^2 \phi^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$E_k = \int_{-h}^{\eta} \frac{\rho}{2} [(\nabla\Phi)^2 + (\frac{\partial\Phi}{\partial z})^2] dz \dots\dots\dots (4)$$

여기서 ∇ 는 수평방향 gradient연산자, ρ 는 해수의 밀도를 나타내는데 식(4)의 수평방향 gradient에 대한 적분은 식(1) 및 分散關係(dispersion relationship)에 의한 파속 $C^2 = g/k \tanh kh$ 를 사용하여 유도하면

$$\int_{-h}^{\eta} \frac{\rho}{2} (\nabla\Phi)^2 dz = \frac{\rho}{2g} e^{-2i\omega t} \frac{C^2}{2} (1 + \frac{2kh}{\sinh kh}) (\nabla\phi)^2 = \frac{\rho}{2g} e^{-2i\omega t} CCg (\nabla\phi)^2 \dots\dots\dots (5)$$

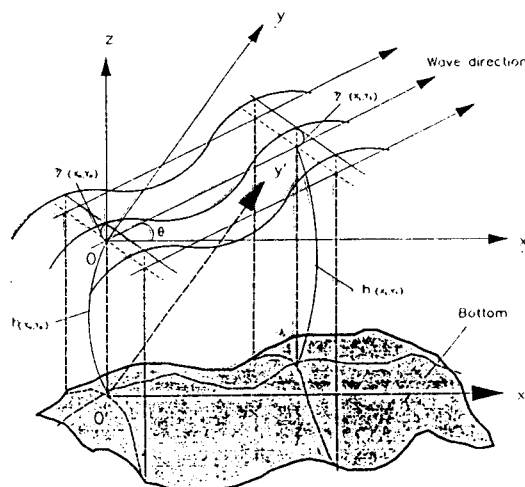


Fig. 2 Definition Sketch for the Coordinate System

$$I_5 = -\lambda C C_g \left(\frac{-iga_0}{\omega} \right) \sum_{nR=1}^{R-1} \frac{1}{2} (\phi_{nR}^* + \phi_{nR+1}^*) \times (ik) \left\{ \cos(\theta_{nR} - \theta^i) e^{ikr_A \cos(\theta_{nR} - \theta^i)} + K_r \cos(\theta_{nR} + \theta^i) e^{ikr_A \cos(\theta_{nR} + \theta^i)} \right\} \dots (21)$$

$$I_6 = \pi k r_A \lambda C C_g \left(\frac{-iga_0}{\omega} \right) \left[(1 + K_r) J_0 \alpha_0 \frac{H'_0}{H_0} + \sum_{n \geq 1}^{m} (i)^n J_n \frac{H'_n}{H_n} \left\{ \alpha_n (1 + K_r) \cos n \theta^i + \beta_n (1 - K_r) \sin n \theta^i \right\} \right] \dots (22)$$

여기서 N_i, N_j 는 유한구간에서의 형상함수, ϕ^* 는 각 요소에서의 속도포텐셜, α 및 β 는 상수, H_n 은 Hankel함수, J_n 은 Bessel함수, l_R 은 개방경계면에서 node로 나누어진 변의 길이, θ 는 파의 입사각, m 은 Hankel함수의 계수에 대한 차수, ϕ_{nR}^* 은 개방경계상 node의 포텐셜을 나타낸다.

해안경계면에서 세번째 적분항 I_3 는 경계node에 대한 변분으로 식(23)으로 정리된다.

$$\frac{\partial I_3}{\partial \phi_{nB}} = - \sum_{nB=1}^{R-1} \left\{ l_{left} \frac{(\lambda C C_g \Gamma)_{nB}}{6} (\phi_{nB-1} + 2\phi_{nB}) + l_{right} \frac{(\lambda C C_g \Gamma)_{nB}}{6} (2\phi_{nB} + \phi_{nB-1}) \right\} \dots (23)$$

이때 l_{left} 및 l_{right} 는 n_B 경계node 전후경계요소의 해안선 길이를, 그리고 B 는 경계요소의 수를 나타낸다. 이를 두 미지수 $\{\phi\}$ 와 $\{\alpha\}$ 에 대해 미분을 구하고 0으로 두어 일괄 정리하면 가장 일반적인 대수방정식을 얻을 수 있으며, 이 대수방정식의 해로 목적인 해역에서의 파랑분석을 위한 수치해석이 가능해진다.

5. 數值實驗 分析

유도한 수치모델의 검정을 위해 표준항만에 대한 현장관측, 수력학모델실험, 해석해, 다른 수치모델과의 비교 및 분석의 과정이 뒤따라야 한다.

이들에 대한 결과들은 이미 이전에 소개한 바 있으며 (이, 1989; Lee, 1989,1990) 상세한 토론은 이를 참조하기 바란다.

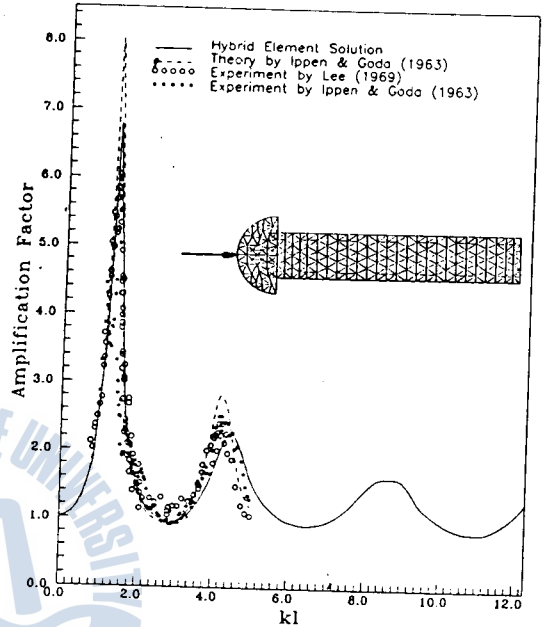


Fig. 4 Response Curve for a Fully Open Rectangular Harbor

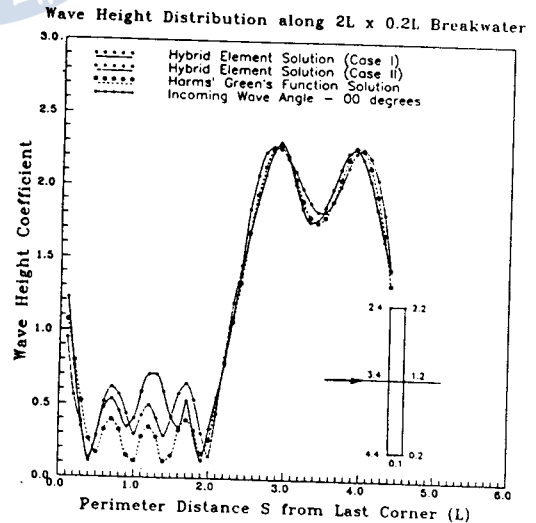


Fig. 5 Comparison of the Numerical Solutions for Incident Waves Normal to the Detached Breakwater

Fig.4는 장방형 표준항에 대해 개발된 모델을 사용하여 항만반응을 분석한 것으로 해석해나 수력학모델실험치와 비교해 볼 때 상당히 높은 수준의 정도를 나타내고 있으며 Fig.5는 離岸堤(detached breakwater)에 대한 Harms(1975)의 수치해석과 비교한 것이다. 모델에서 차이가 나는 부분은 단순히 적용구간이 다르기 때문임으로 오차로 간주하여서는 안된다. 부산항의 3단계개발과 관련하여 오류도 주위와 북외항 방파제에 대한 응용은 Fig.6 및 Fig.7과 같이 섬이나 구조물 주위에서의 파악해석도 가능하여 공학자나 현장 이용자들에게 중요한 자료를 제공하고 있음을 알 수 있다.

이제, 이와같이 검정된 모델을 사용하여 연안역개발의 한과제로 Fig.8과 같은 인공휴양해변을 다루어 보기로 한다. 이와 같은 호수는 해안 관광자원의 개발이라는 관점에서 연안역에 위치한 기존 및 계획 관광객 유치시설에 부가하여 관광요트나 수영을 즐길 수 있도록 하는 개발안이다. 기존 해수욕장의 경우는 숙박,위락시설과 상당히 떨어져 있거나 과밀한 점을 안고 있고 기타 수제선의 경관을 포함하지 않는 경우나 오염이 진행되고 있어서 浚渫과 營養沙를 통해 인공휴양해변과 같은 개발이 고려될 수 있을 것이다. Fig.8의 경우는 Fig.9에서 보는 바와 같이 호수조성을 위해 준설과 해안선의 개조 및 養浜(artificial nourishment)이 병행되어지고 있음을 알 수 있다. 養浜工을 실시하는 것에 접하는 문제는 양빈공법의 선정, 공급토사량과 조도의 결정 및 토사의 채취장소의 선정이라는 점을 들 수 있는데 이에는 개발역에 전달되는 파랑을 조사하여야 한다. 특히 인공해변의 평면 및 단면설계에는 해양파의 거동에 대한 세밀한 분석이 필연적이라 할 수 있다. 여기서는 외해에서 관측을 통해 분석된 優越波(predominant wave)가 연안개발역에서 어떻게 변환되며 오염을 방지하기 위한 순환대책을 개념적으로 살피기로 한다.

개발적 안을 살펴보면(Fig.10참조) 内水域에서 발생할 수 있는 오염을 막기 위한 방안으로 중앙부 수로와 양단 gap의 수심을 변경하여 부분적으로 외해에서 파랑으로 인한 water mass가 호수내

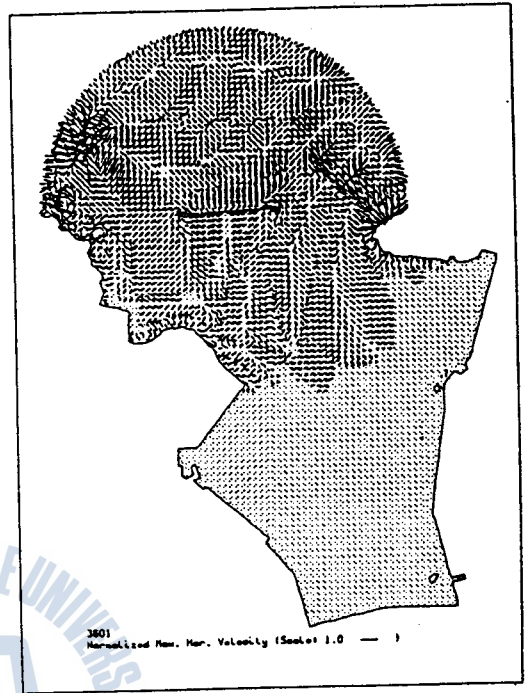


Fig. 6 Normalized Horizontal Velocity Pattern for Pusan Harbor(60sec Wave)

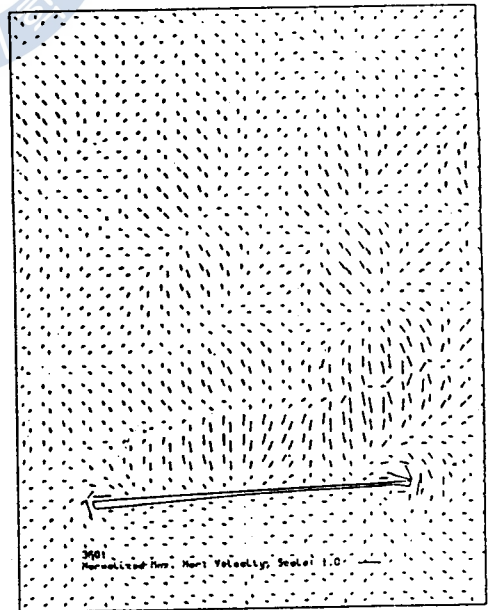


Fig. 7 Normalized Horizontal Velocity Profile near the Breakwater

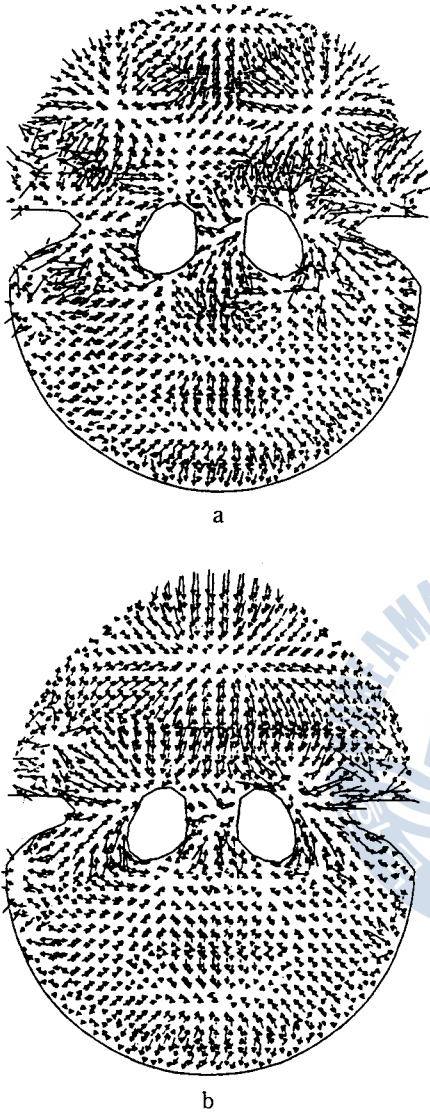


Fig. 16 Normalized Horizontal Velocity Profile
(a:15sec, b:20sec)

인해 극히 일부분에 대해 결과가 비대칭적으로 나타나고 있다. 비교적 호수의 규모가 작기 때문에 폭풍이나 기타 단주기파에 가까운 강제파에 대한 반응을 모델을 통해 분석할 수 있으며 표사나 파력에 관한 계산도 추가할 수 있다. 수치모델실험결과의 분석으로 수로 및 양측 gap의 수심에 대한 상대 비가 호수내의 순환을 변경하는 중

요한 파라미터가 되고 있음을 발견하였는데 이에 대한 종합적인 정리가 수반되어야 할 것이다.

6. 結 論

이상으로 항내 및 연안역 개발의 일환으로 인공휴양해변의 설계와 관계되는 해양 수리현상을 퍼스널 컴퓨터를 통한 수치해석으로 접근할 수 있음을 나타내 보았다. 물론 실제 설계에 있어서는 水理實驗과 현장관측을 동원한 종합적인 분석을 행해야 하겠지만 새로운 항만의 설계나 기존의 항만을 보완하기 위해 계획수립, 분석 및 평가는 물론이고 연안역의 개발에 대한 구상을 실현시키기 위한 이론적인 뒷받침을 위해서 수치해석이 같은 의미는 시간 및 경제적인 관점에서 상당히 중요한 의미를 갖게 된다. 실험과정을 통해 인공해변내의 순환은 중앙수로 및 양측 gap의 수심비, 입구의 bank 및 gap의 폭에 밀접한 관계가 있음을 발견하였고 이는 입구의 고립된 섬을 부유구조물이나 고정구조물로 대체하고 해저면에서 간격을 두어 설치하여 해수순환을 증가시키는 방법에 대한 연구와 함께 앞으로의 수치실험에서 다루고자 한다. 이외에도 개발된 수치실험분석기법은 연안역에 대한 재해예측 및 방지, 항만 및 연안수로의 분석, 환경평가 등 여러 방면에서 응용이 가능하므로 국가적인 차원에서의 지원과 관련 산업단체의 관심이 수반된다면 지속적인 연구가 되어지리라 본다.

參考文獻

- 이중우(1989), 「항만설계에 있어서 하이브리드 요소법의 응용에 관한 연구 - 부산항 3단계 개발 계획을 중심으로」, 한국항만학회지 제3권 제1호, p. 57.
- Abott, M. B., Petersen, H. M., and Skovgaard, O. (1978), "On the Numerical Modeling of Short Waves in Shallow Water," *Journal of Hydraulic Research*, Vol 16, p.173.
- Berkhoff, J. C. W.(1972), "Computation of Combi-

- ned Refraction-Diffraction,” Proc. 13th Coastal Engrg. Conf., Vancouver 1972, ASCE, Vol 1, p. 471.
- Bettes, P. and Zienkiewicz, O. C.(1977), “Diffraction and Refraction of Surface Waves Using Finite and Infinite Elements,” Int’l J. of Numerical Methods in Engrg., Vol 2, p.1271.
- Chen, H. S. and Mei, C. C., “Oscillations and Wave Forces in a Man-made Harbor in the Open Sea,” Proceeding of 10th Naval Hydrodynamics Symposium, p.573.
- Harms, V. W.(1975), “Diffraction of Water Waves by Cylindrical Structures of Arbitrary Shape,” Hydraulic Engineering Laboratory Report No. HEL 1-23, Univ. of California at Berkeley.
- Jonsson, I. G. and Brink-Kjaer, O. A.(1973), “A Comparison Between Two Reduced Wave Equations for Gradually Varying Depth,” Technical Report No. 31, Tech. Univ. of Denmark.
- Jonsson, I. G.(1979), “The General Wave Equation and the Refraction Approximation,” Inst. Hydrodyn. Hydraul. Engrg., Tech. Univ. Denmark, Progr. Rep. 49, p.11.
- Lamb, H.(1945), “Hydrodynamics,” 6th ed., Dover Publications, Inc.
- Lee, J. W.(1987), “A Finite Element Simulation of Waves approaching A Coastal Area,” Department of Ocean Engineering, Univ. of Hawaii.
- Lee, J. W.(1989), “Hybrid Element Analysis of Water Waves for Harbor Design,” Department of Ocean Engineering, Univ. of Hawaii.
- Lee, J. W.(1990), “Open Channel Effects in A Mathematical Model and Modification of Harbor,” Proceedings of the First Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium Seoul, Korea, 24-28 June, 1990, The International Society of Offshore and Polar Engineers, Vol II, p.61.
- Radder, A. C.(1979), “On the Parabolic Equation Method for Water Wave Propagation,” Journal of Fluid Mechanics, Vol 95, p.159.
- Smith, R. and Sprinks, T.(1975), “Scattering of Surface Waves by a Conical Island,” Journal of Fluid Mechanics, Vol 72, p.373.

