

◎ 論 文

인공섬건설에 따른 해안선변형모델에 관한 연구

오세욱* · 민병형** · 김진후*** · 김기철*** · 김재중***

(1992년 3월 17일 접수)

A Study on the Coastal Development Model Due to the Construction of Artificial Island

Sae-Wook Oh, Byung-Hyung Min, Jin-Hoo Kim, Ki-Cheol Kim, Jae-Joong Kim)

Key Words : Wave Transformation(파랑변형), Beach Evolution(해빈변형), Artificial Island(인공섬), Refraction(굴절), Diffraction(회절), Numerical Models(수치모델)

Abstract

Beach evolution is of the most important problem is the coastal engineering. Especially, the structure construction through reclamation in the shallow water region nesar the beach will cause many severe problems around the structure. Beach evolution due to the construction of an artificial island in this study was studied using wave transform model and associated sediment transport model. Numerical simulation of the model was applied to the Kwangan beach using the data of waves and shoreline measurements of the area.

The combined wave transform model and beach evolution model showed good results. The results show a breakwater will be needed to prevent severe erosion near the eastward Kwangan beach when construction an artificial island in the Suyong Bay. Good results of the study also suggest that the present model can be more widely applied to the prediction of beach evolution.

1. 서 론

산업사회가 급속히 성장함에 따라 육상공간은

이제 포화상태에 도달하고 있으며 이와같은 육지의 용지난을 해결하기 위해 해양공간 자원을 적절히 개발 활용하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다. 이에따라 세계각국에서는 매립이나 인공섬

* 동아대 기계공학과
** 동아대 토목공학과
*** 동아대 해양공학과

건설 또는 해양구조물 설치 등의 방법으로 해양공간간의 폭넓은 활용이 진행되고 있으며, 현재 심각한 용지난에 봉착한 우리나라에서도 삼면이 바다로 둘러싸인 천혜의 조건을 활용하기 위하여 주로 매립 방식에 의한 국토확장 작업이 이루어지고 있다. 해안을 매립하거나 인공섬을 건설할 경우 주변 해역의 해수유동이 크게 변하게 되고 이에따라 주변 해안지형의 변화에도 심각한 영향을 미치는 상황이 예상된다. 특히 해수욕장이 인접한 해역의 해안이나 연안 개발 등에는 해빈유실로 인한 막대한 피해가 초래될 수 있으며, 최근 친수공간의 개발 개념에 의한 해양공간자원 활용 방안의 계획단계에서는 해빈변형에 관한 연구가 우선적으로 고려되어 개발에 따른 피해를 최소화하도록 요구하고 있는 실정이다. 우리나라도 이미 부산 남항에 인공섬 건설 계획이 수립되어 공사 시행단계에 있으며, 앞으로도 해양공간 개발이 적극적으로 추진될 전망이다. 이에따른 기초조사와 연구가 시급히 이루어져야 할 시점에 놓여있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 시점에서 인공섬 건설 후보지로 거론되고 있는 부산 수영만을 연구대상 해역으로 선정하고 현장관측 자료를 확보하여 가상의 인공섬을 건설하였을 경우의 인근 광안리 해수욕장의 해빈변형을 예측하였다.

2. 이론적 배경

기존의 해안선 변형에 관한 연구는 해안선 부근에서의 돌제 등에 의한 해빈변형 모델 형태로 이루어져 왔으나, 본 연구에서는 해안선에서 멀리 떨어진 해역에 인공섬을 건설하였을 경우 이로인한 해안선변형 문제를 취급하기 때문에 천해역에서의 파랑변형이 대단히 중요한 점으로 대두된다. 따라서, 본 연구에서는 파랑변형 모델에 의한 계산 결과를 해빈변형 모델의 입력자료로 사용하여 대상 해역에 인공섬을 건설하였을 경우의 해안선 변형을 예측하였다.

2-1. 파랑변형 모델

심해에서 주로 바람에 의해 발생한 파랑은 해안

으로 들어오면서 굴절, 회절, 천수, 반사 등의 복잡한 과정을 거쳐 파고·파형의 변화를 일으키게 된다. 이러한 파랑변형에 대한 연구방법으로는 Munk와 arthur¹⁾ 파향선법에 의한 연구가 널리 사용되어 왔으나, Berkhoff²⁾가 환경사 방정식을 유도하고 회·굴절을 동시에 고려하여 파랑변형을 계산함으로써 획기적인 발전을 가져왔다. 이후 이 환경사 방정식도 Radder³⁾, Ebersole⁴⁾ 등에 의해 다양하게 개선되어 계산시간과 영역을 넓히게 되었다. 본 연구에서도 환경사 방정식을 파랑변형의 지배방정식으로 채택하였으며 식의 유도를 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 해수의 비점성 비압축성 유체라 한다.
- 2) 해수의 비회전성이며 시간에 대하여 단순조화운동을 한다.
- 3) 표면의 경계인 자유수면에 작용하는 응력은 없다고 가정한다.
- 4) 해저바닥의 조건은 불투수 경계로 가정한다.
- 5) 외해로 부터 입사하는 파는 미소진폭파라고 가정한다.
- 6) 해저 경사는 완만하다고 가정한다.
- 7) 진폭의 곡률 반경은 수심의 변화와 함께 파랑의 변화에 영향을 받는다.

이로부터 환경사 방정식을 구성하게 되는 식(1)과 식(2)을 얻을 수 있으며 식(1)을 Eiconal 방정식, 식(2)를 Energy flux방정식이라 한다.⁴⁾

$$\frac{1}{a} [\nabla^2 a + \frac{1}{CCg} (\nabla a \cdot \nabla CCg)] \times k^2 - |\nabla s_0|^2 = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (a^2 CCg \nabla s_0) = 0 \quad (2)$$

여기서, a : 진폭

C : 파속

C_g : 군속도

k : 파수

s₀ : 위상함수

2-2. 해빈변형 모델

해빈변형 모델은 Pelnard-Considere⁵⁾에 의하여 해안선의 형태가 전체적으로 일정하고 전진과 후퇴가 평행으로 생기며, 파는 일정방향으로 입사하고 연안 표사량은 입사각에 비례한다는 가정하에

해안선 변화를 해석적으로 구하는 이론이 제안되었다. 이 이론을 바탕으로 Le Mehaute & Soldate⁶⁻⁷⁾은 Holland항에, Kraus & Harikai⁸⁾는 Oarai beach, Borah⁹⁾은 일본의 Nome항에 적용하였다.

본 연구에서는 넓은 영역에 걸쳐 비교적 장시간의 해빈변형을 예측하기 위하여 무차원화된 표수량 보존식을 지배 방정식으로 채택하였다. 식(3)은 본 연구에서 사용한 지배 방정식을 나타낸 것이다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = L(t, x) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (3)$$

여기서, $L(t, x) = \frac{dQ}{d\alpha_n} \cdot \frac{1}{1 + (\frac{\partial y}{\partial x})^2}$

$Q = \cos \alpha_n \sin \alpha_b$: 표수량
 $\alpha_b = f(\alpha_n)$
 $\alpha_n : \alpha - \tan^{-1} \partial y / \partial x$

3. 수치계산

3-1. 파랑변형 계산

파랑변형의 지배방정식을 차분화하기 위한 좌표계는 Fig. 1과 같고, 모든 함수의 값은 격자점 중앙

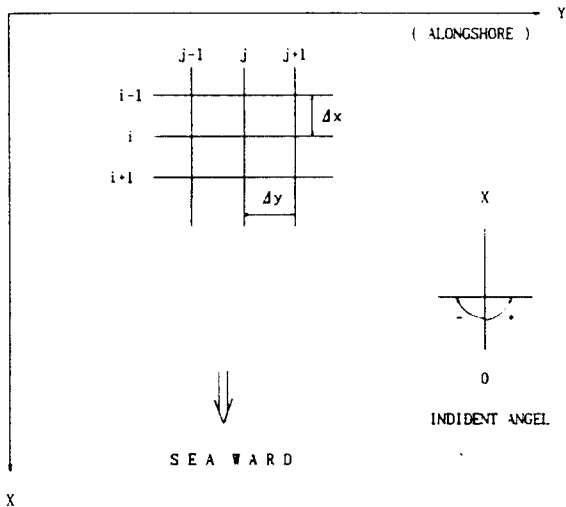


Fig. 1 Coordinate system of angle convention in wave transform model

에서 정의하며 Eiconal 방정식과 Energy flux 방정식의 차분식은 각각 식 (4), (5)와 같다. 연안을 따른 y방향의 편미분은 중앙차분하고, 인층방향인 x방향은 편미분은 후방차분한다. 그리고 Scheme의 안정성을 도모하기 위해 Dissipative interfaced의 범위를 $0 \leq \alpha \leq 1/2$ 로 하였다.

$$\begin{aligned} |\nabla s|^2_{ij} = & k_{ij}^2 + \frac{1}{a_{ij}} \frac{2a_{i,j} - 5a_{i+1,j} + 4a_{i+2,j} - a_{i+3,j}}{(\Delta x)^2} \\ & + \frac{a_{i,j+1} - 2a_{i,j} + a_{i,j-1}}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{CC_{g,i,j}} \\ & \left(\frac{-3a_{ij} + 4a_{i+1,j} - a_{i+2,j}}{2\Delta x} \right) \left(\frac{-3CC_{g,i,j} + 4CC_{g,i+1,j} - CC_{g,i+2,j}}{2\Delta x} \right) \\ & + \left(\frac{a_{i,j+1} - a_{i,j-1}}{2\Delta y} \right) \left(\frac{CC_{g,i,j+1} - CC_{g,i,j-1}}{2\Delta y} \right) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a^2_{i-1,j} = & \frac{1}{A_{i-1,j}} (\alpha a^2_{ij+1} A_{ij+1} + (1-2\alpha) a^2_{ij} A_{ij} + \\ & \alpha a^2_{ij-1} A_{ij-1}) + \frac{\Delta x}{2\Delta y} (a^2_{i-1,j+1} B_{i-1,j+1} - a^2_{i-1,j-1} B_{i-1,j-1}) \quad (5) \end{aligned}$$

파향의 초기 가정치는 Snell's law로 부터 구한다.

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \theta_0}{C_0} \quad (6)$$

여기서, C_0 : 심해파 파속
 θ_0 : 심해파 입사각

파고의 결정은 식 (7)로부터 구한다.

$$H = K_R K_S H_0$$

여기서, K_R : 굴절계수 $\left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_0} \right)^{1/2}$

K_S : 천수계수 $\left(\frac{1}{1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}} \right)^{1/2} \tanh kh$

H_0 : 심해파고

쇄파대에서의 파고계산은 바닥경사와 주기가 고려된 식(8)과 같은 Weggel¹⁰⁾의 식을 사용하며 쇄파대에서의 회절효과는 무시한다.

$$H_b = \frac{C_2 H_b}{1 + \frac{C_1 h_b}{gT^2}} \quad (8)$$

여기서, H_b : 쇄파파고
 h_b : 쇄파수심
 C_1 : $43.75[1 - \exp(-19m)]$
 m : 바닥의 경사
 C_2 : $1.65/[1 + \exp(-19.5m)]$
 g : 중력가속도
 T : 주기

경계조건으로는 y 방향(횡 방향)의 경계는 중앙 차분형태로 implicit하게 표현 되어 있어 행단위의 횡방향 iteration에 의하여 구한다. 그러므로 각 행 끝에서는 경계조건이 필요한데 임의의 함수 F 에 대하여 $\partial F / \partial y = 0$ 이다. 즉 $j=n$ 과 $j=1$ 격자에서의 모든 변수값은 $j=n-1$ 과 $j=2$ 에서의 값과 같다고 가정한다.

파랑의 진행방향으로는 수치계산이 row-by-row forward marching 형태이며 외해에서의 입사조건으로는 파고, 파향, 주기를 주어야 하나 해안쪽으로는 경계를 필요로 하지 않는다.

3-2. 해빈변형 계산

선형화 된 식(3)을 식 (9)와 같이 Crank-Nicholson scheme으로 차분화 하였다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \Big|_{t=n+1/2, x=i} = \frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t}$$

$$Q_i^{n+1} - Q_i^n = \frac{\Delta t}{2} (L \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|_{t=n+1/2, x=i}^{n+1} + L \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|_{t=n+1/2, x=i}^n) \quad (9)$$

여기서, i 는 space grid point이고 n 은 time grid point이다.

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|_{t=n+1, x=i} = \frac{Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n}{(\Delta x)^2}$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|_{t=n+1, x=i} = \frac{Q_{i+1}^{n+1} - 2Q_i^{n+1} + Q_{i-1}^{n+1}}{(\Delta x)^2}$$

$L_i^{n+1} = L_i^n$ 으로 근사시키고 $\lambda = \Delta t / (\Delta x)^2$ 라 하면 식 (9)는 식 (10)과 같이 된다.

$$a_i Q_{i-1}^{n+1} + b_i Q_i^{n+1} + c_i Q_{i+1}^{n+1} = d_i \quad (10)$$

여기서, $a_i = c_i = -L_i^{n+1}$
 $b_i = \lambda / 2 + 2 L_i^{n+1}$
 $d_i = 2 / \lambda Q_i^n + L_i^n (Q_{i+1}^n - 2 Q_i^n + Q_{i-1}^n)$

식 (10)은 Tridiagonal matrix식으로 표현되며 이것은 Thomas algorithm을 이용하여 계산한다. $t + \Delta t$ 시간에서의 해안선 변형은 다음과 같이 차분화 된다.

$$y_i^{n+1} = y_i^n - \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=i}^n + \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=i}^{n+1} \right) \frac{\Delta t}{2} \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=i}^n = \frac{Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n}{2\Delta x} \quad (12)$$

식 (10)에서 Q_i^{n+1} 가 $i=n, n-1, \dots, 1$ 의 순서로 계산된 후 식 (11)에 대입하여 $t + \Delta t$ 시간에서의 해안선을 구한다.

해빈변형 계산에서의 경계 조건은 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} Q \Big|_{x=n-1} &= 0 \\ Q \Big|_{x=n+1} &= 0 \\ Q \Big|_{x=1} &= \cos \alpha \sin \alpha_b = Q_0 \\ Q \Big|_{x=n2} &= \cos \alpha \sin \alpha_b = Q_0 \end{aligned} \quad (13)$$

해빈변형 계산에서의 좌표계는 Fig. 2와 같다.

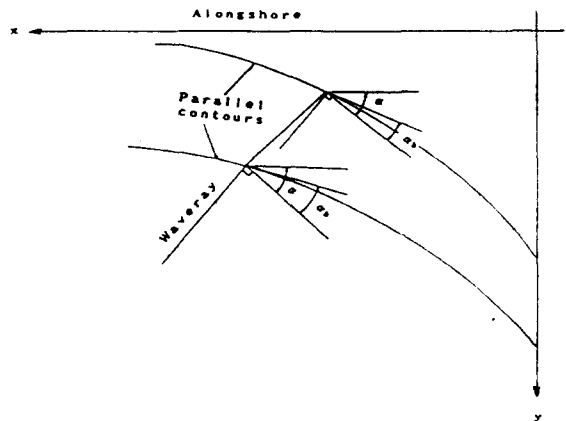


Fig. 2 Coordinate system in beach evolution model

4. 계산결과 및 분석

대상해역에서의 파랑변형계산에 있어 초기조건인 심해파고와 주기는 광안리 앞 무인등대 부근 (Fig. 3)에 압력식 파고계(Paro Scientific, MK-3)를 이용하여 관측한 자료를 분석하여 계절별로 파의 입사조건을 결정하였고, 파향은 1985년에서 1987년까지의 부산 항만청 자료를 토대로 분석 사용하였고, 대상해역에서의 수심 측량과 파랑관측은 연구기간 중 (1989.12-1991.10) 6회에 걸쳐 시행했으며, 수심측량에는 Echo Sounder(SI-TEX, HE-32 MK11)와 Loran-C(MAR-TEX, LR-879)와 GPS (SONY, IPS 360)을 사용하였다. Fig. 4는 수심측량의 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

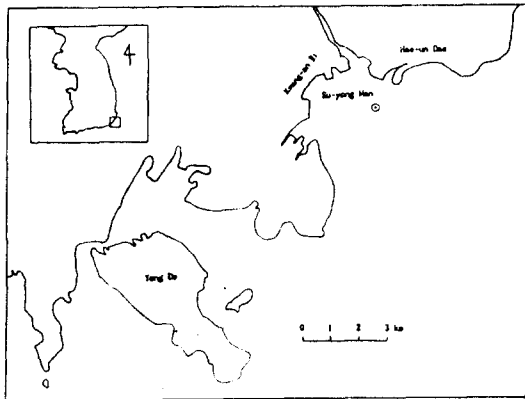


Fig. 3 Location map(⊙ : observed station)

4-1. 인공섬 건설

연구대상 해역인 부산 수영만에 가상의 인공섬을 건설하여 수치계산의 경계조건을 변화시켜 파랑, 흐름, 해빈변형의 결과를 분석하였다. 인공섬의 크기는 경제성 등을 고려하여 수심 15m 이내 해역에 약 30만평크기로 결정하였으며, 수영만의 형상과 수영천에서의 담수유입 등을 고려하여 Table 1과 같이 8가지 경우를 대상으로 수치모형 실험을 실행하였다. 인공섬의 형태는 타원으로 가정하였으며 경계식은 다음과 같다.

$$(y/3)^2 + (x/4)^2 = 1$$

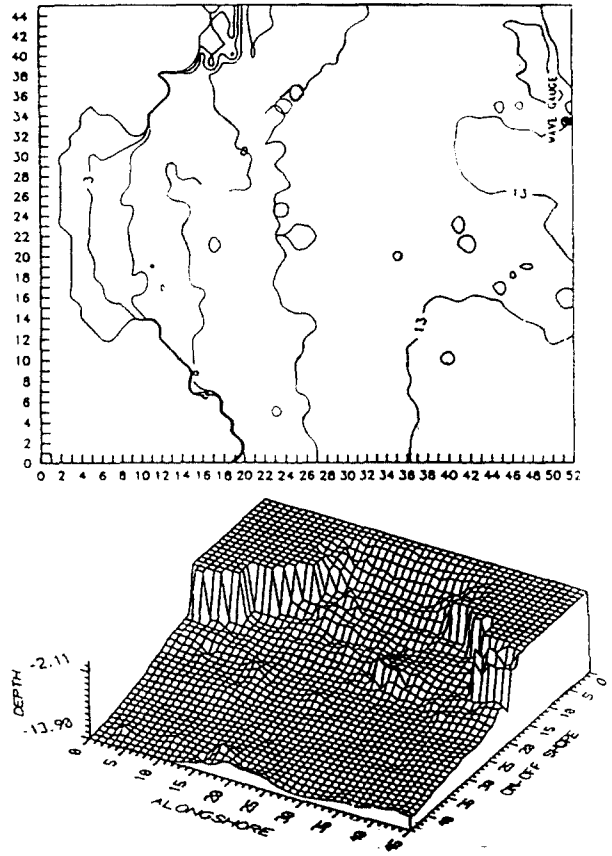


Fig. 4 Bottom contour and topography of study area

Table 1. Characteristics of artificial island

| CASE | Location | | Axis Rotation |
|------|---------------|----------------|---------------|
| 1 | N 35° 08' 30" | E 127° 08' 40" | 0 |
| 2 | N 35° 08' 30" | E 127° 08' 40" | 20 |
| 3 | N 35° 08' 30" | E 127° 08' 40" | 45 |
| 4 | N 35° 08' 30" | E 127° 08' 40" | 90 |
| 5 | N 35° 08' 20" | E 127° 08' 30" | 0 |
| 6 | N 35° 08' 20" | E 127° 08' 30" | 20 |
| 7 | N 35° 08' 20" | E 127° 08' 30" | 45 |
| 8 | N 35° 08' 20" | E 127° 08' 30" | 90 |

4-2. 파랑변형 계산 결과

파랑변형 계산에서의 입력자료는 Table 2와 같으며 파랑관측지점이 인공섬 내부에 놓이기 때문

에 새로운 외해 입사파랑을 결정하여야 한다. 따라서, 기존의 부산항 설계파랑 등을 참고로 하여 Table 3과 같은 3가지 파랑조건으로 광역계산을 하여 파랑관측지점에서의 최대 유의파와 유사한 결과를 얻을 수 있는 CASE 3인 경우에 대하여 격자간격 $\Delta x, \Delta y$ 를 각각 50m로 하고 총 격자수는 98×81 로 하여 8가지 경우의 인공섬 건설시의 파랑변형을 계산하였다. 8가지 경우중 유사한 양상을 보이는 결과는 묶어서 계산결과를 Fig. 5-Fig. 10에 나타내었다.

Table 2 Input data of wave transform model

| CASE | $H_{1/3}$ (m) | $T_{1/3}$ (1/3) | Direction | Month |
|------|---------------|-----------------|-----------|-----------|
| 1 | 1.25 | 7.6 | SE | 12, 1, 2 |
| 2 | 1.45 | 7.88 | S | 3, 4, 5 |
| 3 | 1.71 | 12.97 | S10W | 6, 7, 8 |
| 4 | 1.83 | 10.34 | SSW | 9, 10, 11 |

Table 3 Wave data in large scale simulation

| CASE | Wave Height | Wave Period | Direction |
|------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | 8.5m | 15sec | S10W |
| 2 | 10.0m | 15sec | S10W |
| 3 | 9.0m | 12sec | S10W |

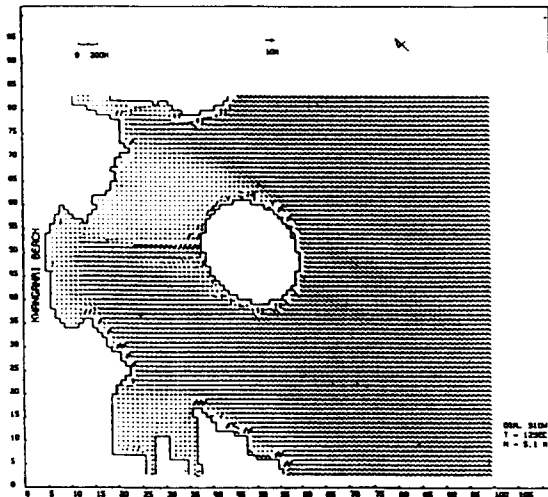


Fig. 5 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 1)

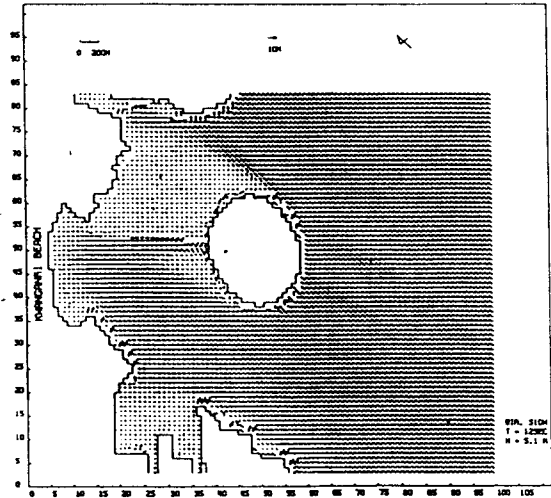


Fig. 6 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 2)

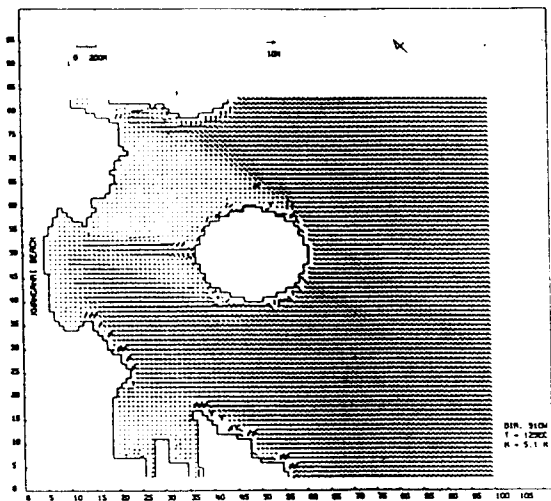


Fig. 7 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 4)

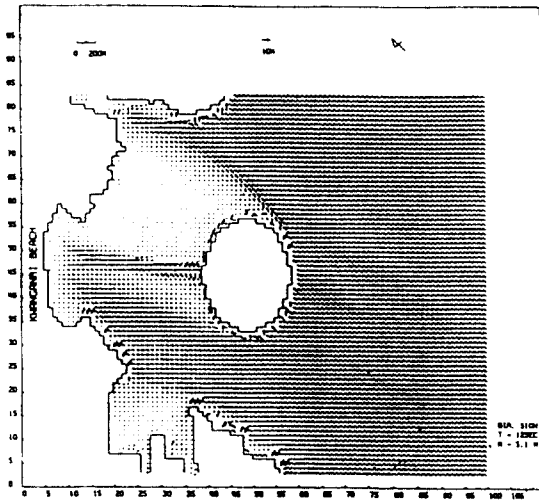


Fig. 8 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 5)

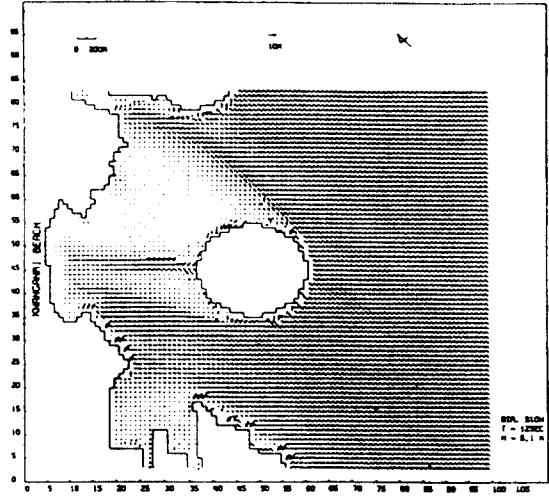


Fig. 10 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 8)

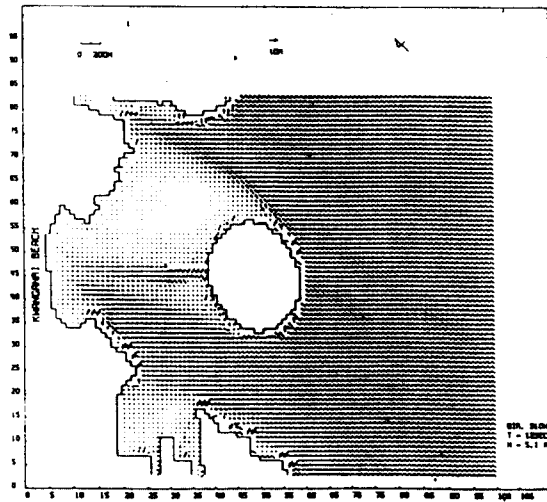


Fig. 9 Distribution of wave height and angles due to artificial island(case 6)

4-3. 해빈변형 계산 결과

완경사 방정식을 사용한 파랑변형 계산결과, 해안선 부근에서의 해빈변형 계산을 위한 입력자료는 Table 4와 같으며, 8가지 경우에 대해 유사한 양상을 보이는 경우는 묶어서 계산 결과를 Fig. 11 - Fig. 16에 나타내었다.

Table 4 Input data of shoreline change model

| Description | Value | Unit |
|----------------------|-------|-------------------|
| berm height | 2.5 | m |
| length of breakwater | 290.0 | m |
| density of sand | 2.25 | g/cm ³ |
| density of seawater | 1.025 | g/cm ³ |
| wave height | | |
| case 1 | 1.16 | m |
| case 2 | 1.45 | |
| case 3 | 1.84 | |
| case 4 | 1.42 | |
| case 5 | 1.08 | |
| case 6 | 1.08 | |
| case 7 | 1.08 | |
| case 8 | 1.08 | |
| wave angle | | |
| case 1 | -9 | degree |
| case 2 | -9 | |
| case 3 | -9 | |
| case 4 | -8 | |
| case 5 | -8 | |
| case 6 | 1 | |
| case 7 | 4 | |
| case 8 | 0 | |

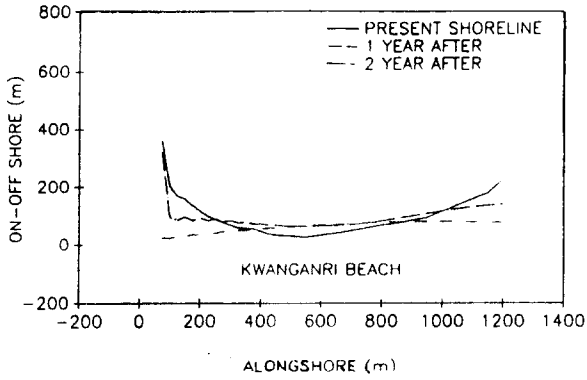


Fig. 11 Distribution of predicted shoreline (case 1)

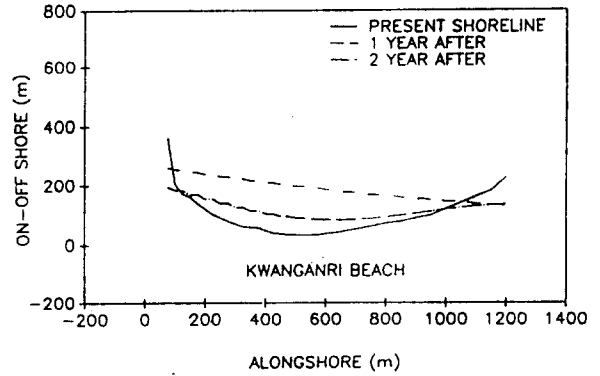


Fig. 14 Distribution of predicted shoreline (case 5)

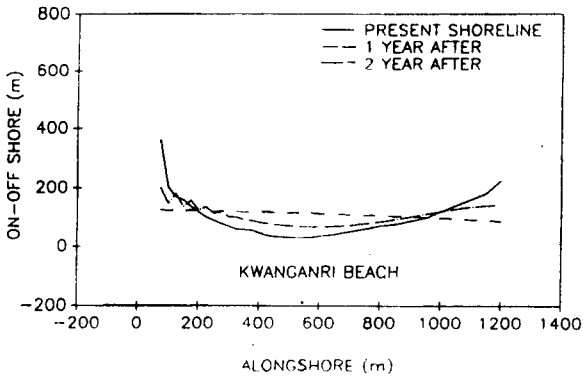


Fig. 12 Distribution of predicted shoreline (case 2)

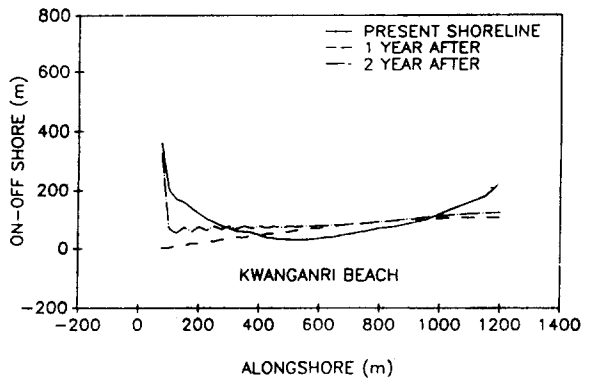


Fig. 15 Distribution of predicted shoreline (case 6)

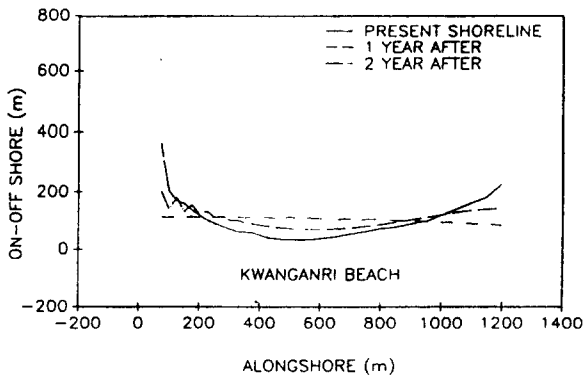


Fig. 13 Distribution of predicted shoreline (case 4)

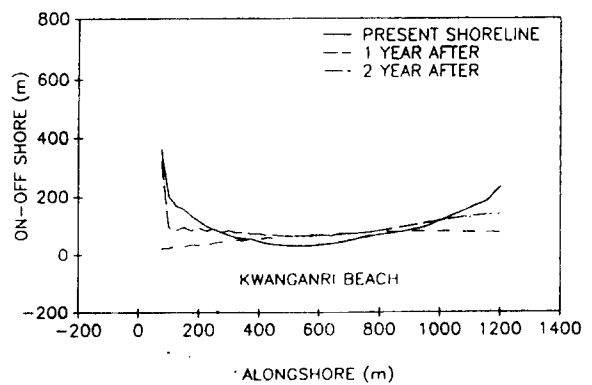


Fig. 16 Distribution of predicted shoreline (case 8)

6. 결 론

본 연구에서는 해안선변형 예측을 하기 위하여 대상해역을 부산 광안리 해역을 선정하고 현장관측 자료를 파랑, 해빈변형 모델에 대한 검증 및 수치계산의 입력자료로 사용하였다. 최근 활발히 전개되고 있는 매립이나 해양구조물 설치 등에 의한 해양공간자원 개발에 대비하여 연구대상 해역인 수영만에 8가지 경우의 가상 인공섬을 건설하고 파랑, 흐름의 변화에 따른 광안리 해빈변형을 예측하였다.

본 연구에서의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 파랑, 해안선 변형 모델의 입력자료로 현지 관측 자료를 분석하여 사용함으로써 각 모델의 현지 적용의 타당성을 부여할 수 있었다.

2. 본 연구에서 적용한 회절과 굴절을 고려한 파랑변형 모델에서는 매립지근처에의 파랑변형을 충분히 설명하지 못하고 있으나, 기타 해역에서는 좋은 결과를 보여주고 있다.

3. 해빈변형 계산을 위해 현지관측 파랑을 입력 자료로 사용한 파랑 변형 모델에서의 계산 결과를 해빈변형 모델의 입력자료로 사용함으로써 현장에서의 해안선변형을 실제와 근접하여 설명할 수 있었다.

4. 가상의 인공섬 건설후의 파랑의 변화는 인공섬 배후에 파랑 에너지의 집중현상이 심하게 나타나며, 8가지 경우 모두 민락동 매립지 앞에 상당한 정온해역의 형성을 보여주고 있다. 따라서, 현재 민락동 매립지에 위치한 어항은 수영만에 인공섬이 건설된다면 태풍내습시에도 피항지로서의 기능은 배가되리라 판단 된다.

5. 광안리 해수욕장의 해빈변형은 인공섬 건설후 현재의 사빈유실 현상을 상당히 완화시키는 방향으로 진행되리라 예상된다. (CASE 1, 2, 5)

6. 인공섬에 의한 파랑분포의 변화는 민락동 매립지 해안옹벽 부근에서의 침식현상을 초래하리라 예상된다. (CASE 4, 6, 8)

7. 광안리 해수욕장의 효과적인 해빈유지를 위해서 인공섬 전방에 파랑변형을 제어할 수 있는 방파제의 건설이 필요하다고 판단된다.

앞으로의 연구과제로는 파랑변형 계산은 파랑의 반사효과도 고려한 모델을 개발하여 다양한 형태의 인공섬에 대한 연구를 할 수 있어야 하겠고, 해안선변형 계산은 안층(on-offshore) 방향으로 표사의 이동을 고려하는 모델을 개발하고 전반적인 흐름의 상태를 고려한 표사의 이동상태를 파악할 수 있는 연구가 계속 되어야 할 것이다. 수영만에는 수영천으로 부터의 담수 유입이 있으므로 이 해역에서의 해수유동에 관한 연구를 위해서는 해수와 담수의 혼합(mixing)에 관한 연구와 수영천에서의 담수유입을 경계조건으로 고려한 연구가 필요하다고 판단된다.

後記

본 논문은 1988년도 문교부 학술연구조성비(대학부설 연구소 지원)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Munk, W. H., and R. S. Authur, "Wave Intensity along a Refracted Rays", Sym. on gravity waves, National Bureau of Standards, Circular 521, Washington D.C., 1952.
2. Berkhoff, J. C. W., "Computation of Combined Refraction-Diffraction", Proc. 13th International Conf. on Coastal Eng., ASCE, 1972.
3. Radder, A. C., "On the Parabolic Equation Method for Water-wave Propagation." j. Fluid Mech., Vol. 95, pp. 159-176, 1979.
4. Ebersole, B. A., "Refraction-Diffraction Model for Linear Water Waves", J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE Vol. 105, No. WW4, pp. 939-953, 1985.
5. Pelnard-Considere, "Essai de theorie' evolution des fomes de rivage ebplages de sable et de galets" 4th jour. de l'hydraulique, Les Energie la Mer Question III, Rapport No. 1, pp. 289-298, 1956.
6. Le Mehaute, B., and Mills Soldate, "A Numerical Model for Prediction Shoreline Change", U. S. Army Corps of Eng. Coastal Eng. C Ce-

- nter, 1980.
7. Le Mehaute, B., J. D. Wang, and Chia-Chi Lu, "Wave Data Discretization for Shore Line Processes", J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE Vol. 109, pp. 63-77, 1983.
 8. Kraus, N. C., and S. Harikai, "Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach", J. of Coastal Eng., pp. 1-28, 1983.
 9. Borah, D. K., and A. Balloffet, "Beach Evolution Caused by Littoral Drift Barrier", J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE Vol. 111, No. WW4, pp. 645-659, 1985.
 10. Weggel, J. C., "Maximum Breaker Height", J. of the Waterways, Harbors and Coastal Eng., ASCE Vol. 98, No. WW4, pp. 529-547, 1972.
 11. 부산지방 해운항만청 부산항 건설사무소, "부산항 파랑관측 보고서", 항만청, 1985, 1986, 1987년도.