

해안선 변형 예측에 대한 수치모델 연구

박정철* · 한건모* · 김재중*

(1993년 3월 9일 접수)

A Study on the Numerical Model for Predicting Shoreline Changes

Jung-Chul Park* · Kun-Mo Han* · Jae-Joong Kim*

Key Words : Wave Transformation(파랑변형), Shoreline Changes(해안선 변형), Numerical Models(수치모델), Alongshore(연안방향), On-Off Shore(안충방향)

Abstract

Structures built in the coastal area often cause unexpectedly severe shoreline change on the adjacent beaches. Therefore, beach evolution is one of the most important problem in the coastal engineering. Beach evolution in the coastal area consisted of wave transform model and sediment transport model.

Ebersoale's elliptic mild slope equation which considered the effect of combined wave refraction and Perline and Dean's one line theory for the sediment transport model were used in this study. Kwangan beach was selected as study area and field observations were done.

Numerical simulation for beach evolution in the Kwangan beach was performed and shoreline change predictions were suggested as results.

1. 서 론

70년대 이후 급속도로 발전해온 우리경제는 마침내 고도의 산업화에 따른 부산물로 육상자원의 고갈과 용지난, 교통난 등을 심각하게 야기시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안의 하나로써 삼면이 바다로 둘러싸인 우리의 천혜조건을 활용하여 80년대 이후 해양공간자원의 개발에 박차를 가하고 있는 실정이다.

그러나, 이러한 해양공간개발은 부족한 용지난 등의 해결에는 도움이 되겠지만 경우에 따라서는 해양공간 이용을 위한 연안역에서의 구조물 설치의 자연파괴와 함께 기존의 해안선 변형을 일으키게 되는데 이러한 문제점들을 공학적, 환경학적으로 예상되는 피해가 극소화 되도록 하는 연구가 선행되어야 하겠다.

따라서 본 연구에서는 이러한 해양공간개발에 따른 해안선 변형 문제를 예측하기 위하여 파랑 변형 모델과 표사량 이동모델을 결합한 수치모델

* 동아대학교 해양공학과

실험을 하였다. 모델의 현지 적용을 위하여 연구 대상해역을 앞으로 해양공간의 이용이 폭넓게 예상되는 부산 광안리를 선정하였으며, 모델의 입력자료와 검증을 위한 현장관측을 실시하였다.

2. 지배방정식의 결정

해안선 변형을 예측하기 위한 파랑변형 계산 지배방정식의 결정은 미소진폭과 이론으로부터 해저경사가 고려된 환경사 방정식을 유도하였다. 지배방정식인 환경사 방정식의 구성은 식 (1)의 Eiconal 방정식과 식 (2)의 Energy flux 방정식¹⁾으로 회 · 굴절을 동시에 고려한 식이다.

$$\frac{1}{a}[\nabla^2 a + \frac{1}{CCg}(\nabla a \cdot \nabla CCg)] + k^2 - |\nabla S_0|^2 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\nabla \cdot (a^2 CCg \nabla S_0) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서 C : 파속
- a : 진폭
- Cg : 군속도
- k : 파수
- S₀ : 위상함수

그리고 표사량 이동은 해안선의 형태가 전체적으로 일정하고, 파는 일정방향으로 입사 한다는 가정을 하였다. 좌표계는 연안방향을 x축, 안충방향을 y축, 지구 중력 방향을 z축으로 하는 3차원 수직 좌표계를 도입하였다.

본 연구에서는 표사량보존식²⁾을 이용하여 해안선 변형을 예측하였는데 지배방정식은 식 (3)과 같은 무차원화 된 방정식이다.

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

여기서,

$$L(t, x) = \frac{dQ}{d\alpha_0} \frac{1}{1 + (\frac{\partial y}{\partial x})^2}$$

$$Q = \cos \alpha_0 \sin \alpha_0$$

- $\alpha_b = f(\alpha_0)$
- $\alpha_0 = \alpha - \tan^{-1} \frac{\partial y}{\partial x}$
- α : x축에 대한 파봉선각
- α_0 : 해안선에 대한 심해에서의 파봉선 각
- α_b : 해안선에 대한 파봉각

3. 수치차분 및 경계조건

파랑변형 지배방정식을 차분화 하기 위해서 수치모델의 좌표계는 Fig. 1과 같이 정의 하였다. 차분법은 연안을 따라 y방향의 편미분을 중앙차분으로 하였다. 안충방향인 x방향의 편미분은 후방차분을 하였다.

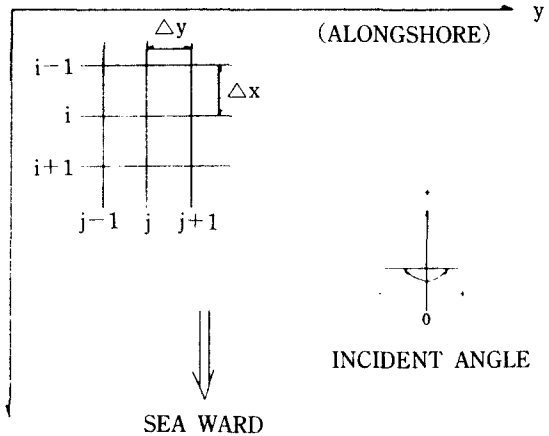


Fig. 1 Coordinate system of angle convention in transform model

심해방향의 초기 가정치는 Snell's law로 구하였으며, 파고의 결정은 천수계수와 굴절계수를 고려하였다. 쇄파대 내에서의 파고계산은 바다경사와 주기가 고려된 Weggel³⁾의 식을 사용하였으며 쇄파대 내에서의 회절효과는 무시 하였다.

경계조건은 y방향(횡방향)의 경계는 중앙차분 형태로 implicit하게 표현되어 있어 횡단위의 횡방향 iteration에 의하여 구한다. 그러므로 각 행 끝에서 경계조건은 임의의 함수 F에 대하여 $\partial F / \partial y = 0$ 이다. 즉, $j=n$ 과 $j=1$ 격자에서의 모든 변수값은 $j=n-1$ 과 $j=2$ 에서의 값은 같아야 한

다.

파랑의 진행방향으로는 수치계산이 row-by-row forward marching 형태이므로 외해에서의 경계 조건으로는 파고, 파향, 주기의 초기치를 사용한다.

해안선 변형을 예측하기 위한 표사랑 보존식의 좌표계는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 x축은 연안방향을 나타내며 N1, N2는 돌제의 위치를 나타낸 것이다. 선형화된 식 (3)은 Crank-Nicholson scheme으로 차분화 하였다. 구조물이 존재하는 경우 음해법은 경계조건이 있어야 해가 수렴하는데 경계조건으로는 다음과 같다.⁴⁾

$$\begin{aligned}
 Q \Big|_{x=N1} &= 0 \\
 Q \Big|_{x=N1+1} &= 0 \\
 Q \Big|_{x=1} &= \cos\alpha \sin \alpha_b = Q_0 \\
 Q \Big|_{x=N2} &= \cos\alpha \sin \alpha_b = Q_0
 \end{aligned}$$

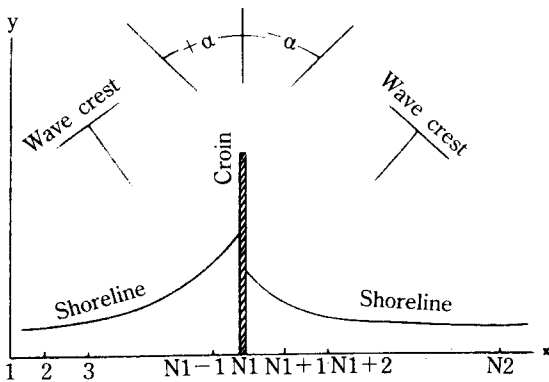


Fig. 2 Coordinate system of angle convention in shoreline change model

4. 현장관측

대상해역인 광안리 해수욕장의 현장관측은 다음과 같이 실시하였다. 해안선 측량은 남천동 삼익비치부터 민락동 매립지 해안으로의 가로등을 기준으로 평판측량을 실시하였고, 해변의 경사도를 측정하기 위해 총 21개 측점에 대한 수준측량을 실시하였다.

파랑 변형 모델의 입력자료를 얻기 위해 광안

리 해수욕장과 수영만 부근에 대한 수심측량을 실시하였다. 파랑관측은 압력식 파고계를 이용하여 광안리 앞바다 무인등대 부근(Fig. 3에 위치표시)에서 1989년 12월 부터 1991년 12월까지 6회에 걸쳐 관측하였다. 사용기기는 수심측량을 위해 Echo Sounder(SI-TEX, HE-32 MK11)와 Loran-C(MAR-TEX, LR-879)와 GPS(SONY, IPS360)을 사용하여, Fig. 3과 같은 수심측량 결과를 얻었다.

파랑관측은 WAVE-TIDE Gauge(Paro Scientific, MK-3)를 사용하였으며, 1회 관측시 약 16일간 매 3시간 마다 127번의 측정을 하였고, 매 측정마다 0.5초의 간격으로 2046개의 자료를 얻었다. 관측 자료는 조석효과를 제거하여 파고와 주기는 Zero-up Crossing법을 이용하여 구했다.

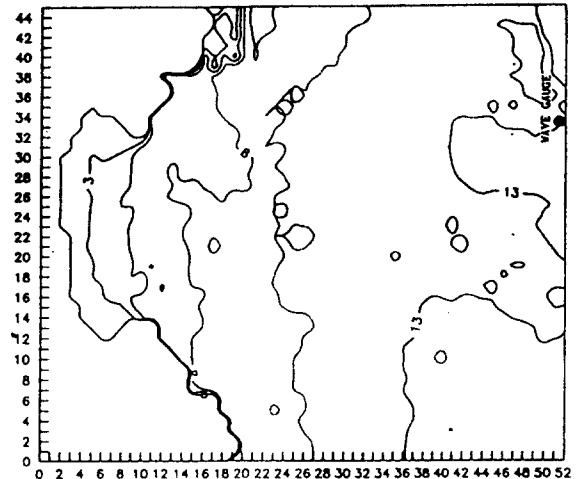


Fig. 3 Bottom contour and topography of study area

5. 입력자료의 결정

파랑 변형 계산의 초기값인 심해파고와 주기는 현장관측치를 사용하여 결정하였으며 파향은 부산항만청자료⁵⁾를 토대로 하여 결정하였다. 그 결과 Table 1과 같은 입력 자료를 결정하였다.

파랑 변형 계산에서의 격자간격은 Δx, Δy를 각각 50m로 하며 총 격자수는 53×46이다. Table 1과 같은 입력자료로부터 얻은 파랑변형계산의

Table 1. Input data of wave transform model

Case	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	Direction	Month
I	1.25	7.6	S E	12, 1, 2
II	1.45	7.88	S	3, 4, 5
III	1.71	12.97	S 10 W	6, 7, 8
IV	1.83	10.34	S S W	9, 10, 11

결과는 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같다. 계산 결과를 보면 여름(Case III)에는 높은 파고가 해안선 가까이 까지 영향을 미치며 겨울(Case I)에는 파고가 낮으면서 해저지형의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있으며 전반적으로는 매립지 근처에서 파랑의 집중현상을 잘 보여 주고 있다.

해안선 변형 계산의 입력자료는 신뢰도를 높이기 위하여 파랑, 파고의 초기값을 파랑변형계산 결과를 이용하였으며, 그 결과 입력자료는 Table 2와 같다.

삼익비치와 민락동 매립지역을 고려한 수치계산결과는 Fig. 8과 같다. Fig. 8로부터 민락도 매립으로 인한 해안선 변화는 단기적으로는 매립경계 주변에서 크게 나타나지만 장기적으로는 점차 평형을 찾아갈 것으로 예상된다. 장기적인 결과는 지나치게 과장된 경향이 있는데 이는 표사량보존식을 수심의 변화가 심하지 않은 해안선에 적용한 결과로 판단 된다.

Table 2. 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
debsity of seawater	1.025	g/cm^3
wave height		
winter (12, 1, 2)	1.01	m
spring (3, 4, 5)	1.05	
summer (6, 7, 8)	1.01	
autumn (9, 10, 11)	0.75	
wave period		
winter (12, 1, 2)	7.60	sec
spring (3, 4, 5)	7.88	
summer (6, 7, 8)	12.97	
autumn (9, 10, 11)	10.34	

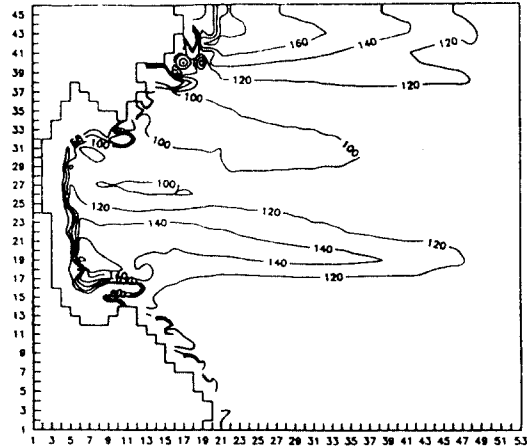


Fig. 4 Contourlines of wave heights(Case I)

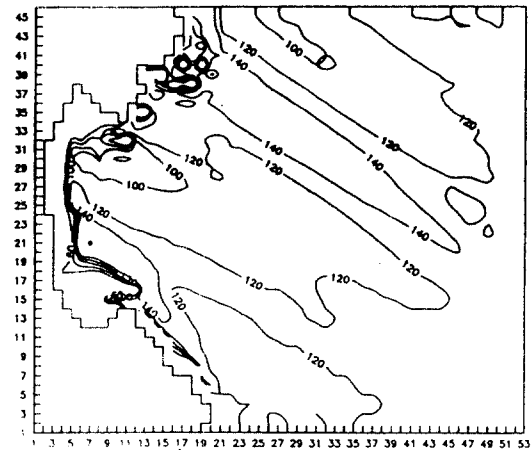


Fig. 5 Contourlines of wave heights(Case II)

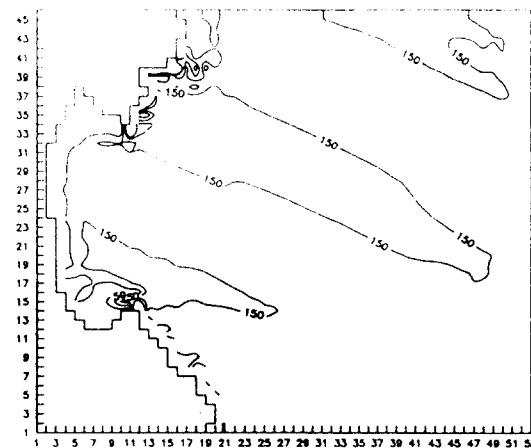


Fig. 6 Contourlines of wave heights(Case III)

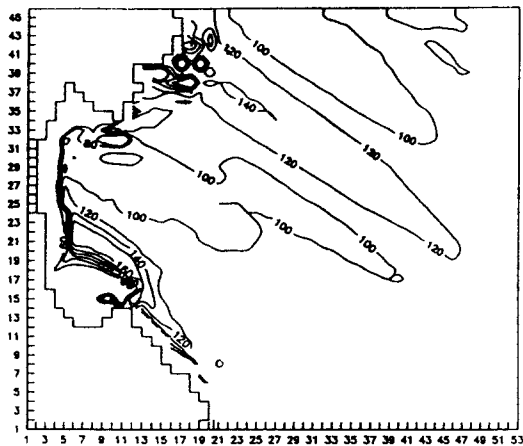


Fig. 7 Contourlines of wave heights(Case IV)

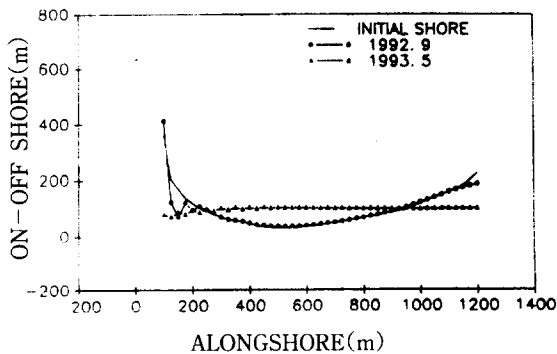


Fig. 8 Distribution of predicted shoreline

6. 결과분석 및 결론

파랑 변형 모델의 결과를 분석하면 다음과 같다.

본 모델에서는 회절과 굴절이 동시에 고려된 완경사 방정식으로 파랑변형을 예측하였다. 대상해역인 광안해역에 적용한 결과 전반적으로는 양호한 결과를 보이지만 삼익비치와 민락동 매립지에서는 부분적으로 큰값을 보인다. 원인으로는 매립으로 인한 수심의 변화가 심하고, 회절과 굴절을 동시에 고려하여 파랑변형계산을 하였기 때문에 수심의 변화에 민감한 반응을 보인 것으로 분석된다.

해안선 변형 모델의 결과를 분석하면 다음과 같다.

Pelnard-Consideré(1956)⁶⁾ 제안한 해석적인 해는 한계성을 가지고 있는데, 그것은 회절, 굴절, 조위변동과 bluff와 berm의 높이, 해저경사를 고려하여 계산한 결과로서 본 연구 대상지인 광안리 해변과 같이 경사하 완만하고 매립으로 인한 구조물 경계가 있는 해역에서는 잘 일치하지 않는다. 원인으로는 회절계수를 구할때 수심의 변화를 고려하지 않았고 파랑자료의 불충분으로 대표방향을 적용한 결과라고 분석된다.

본 연구에서의 결과를 요약하면 다음과 같다.⁷⁾

1. 해안선 변형 모델의 입력자료는 현지관측 파랑자료를 분석한 파랑변형계산의 결과를 사용함으로써 현지적용의 타당성과 신뢰도를 높일수 있었다.

2. 본 연구에서 적용한 회절과 굴절을 고려한 파랑 변형 모델에서는 매립으로 인한 급격한 수심의 변화로 민락동 부근의 파랑변형을 충분히 설명해 주지 못하고 있으나, 기타해역에서는 관측치와 비교하면 좋은 결과를 보여주고 있다.

3. 파랑 변형 모델의 계산 결과를 해안선 변형 계산의 입력자료로 사용함으로써 현장에서의 해안선 변형을 실제와 근접하게 설명 할 수 있었다.

4. 해안선 변형 계산 결과에서 민락동 매립지 주변에서는 실제와 차이를 보이나 다른 지역에서는 양호한 결과를 나타낸다.

5. 본 연구에서 적용한 해안선 변형 모델은 해빈변형의 전반적인 특성을 단시간에 대상해역 전반의 경향을 알 수 있다는 장점을 보여 주고 있다.

7. 참고문헌

1. Ebersole B.A., "Regional Coastal Process Numerical Modelling System", Tech. Rep. CERC-86-4, US Army Eng. Waterway Exp. Station, Vicksburg, Missi, 1986.
2. Le Mehaute, B., and Mills Soldate, "A Numerical Model for Predicting Shoreline Change",

- US Army Eng, Corps of Eng. Coastal Eng. Center, 1980.
3. Weggel, J. C., "Maximum Breaker Height", J. of the Waterways, Harbors and Coastal Eng., ASCE Vol. 98, No. WW4, pp. 592-547, 1972.
 4. 오세욱, 민병형, 김진후, 김기철, 김재중, "인공섬건설에 따른 해안선변형모델에 관한 연구", 한국해양공학회지 6권 2호, pp. 133-142, 1992.
 5. 부산지방해운항만청 부산항건설사무소, "부산항 파랑 관측 보고서", 항만청, 1985, 1986, 1987.
 6. Pelnard-Considere, "Essai de theorie de l'evolution des formes de rivage ebplage; s de sable et de galets", 4th jour. de l'hydraulique, Les Energie la Mer Question III, Report No. 1, pp. 289-298, 1956.
 7. 박정철, "해안선 변형 예측에 대한 수치모델연구", 동아대학교 대학원 석사학위논문, 199.