

측지학적 특성에 의한 해안선 변화 예측을 위한 개략적 수치모델

양 인 태* 윤 영 훈** 최 창 혁***

The Implicit Numerical Model for Predicting of Shoreline Changes by the Geodetic Characteristics

In Tae Yang Young Hoon Yoon Chang Hyeok Chol

ABSTRACT

Shoreline have been changed from time immemorial continuously, three-quarters of the population of the world live by the sea. It is not too much to say that all of us who live in Han penisular live by coastal zone because we can reach in the beach within only for hours. In this way effectual use and management of coastal zone is very important problems in side of protection of marine resources as well as land use. But it has problems which change of shoreline have to be surveyed and to be predicted. This study the pattern and characteristics of the East sea coast including investigations of the shoreline changes of the East sea. This report gives a description of the method for implementing the seawall boundary condition in the shoreline change numerical model. Such analytical solutions can provide a simple and economical means to make a quick qualitative evaluation of shoreline response under a wide range of environmental and engineering conditions.

1. 서 론

해안의 효율적 이용관리는 국토의 이용면에서나 자원이 고갈되어 가고 있는 오늘 해양자원의 보호에서 매우 중요한 과제이다. 해안

의 이용 관리상 가장 큰 문제는 매우높은 경제적인 의미를 갖는 해변면적의 안정성과 복원성, 환경, 자원관리, 토지이용계획, 산업개발과 교통 및 중앙행정기관의 정책등이다. 그러나 해안현상은 대단히 국지성이 강하므로 각 해안은 각각 특유의 문제를 갖는 경우가 많다.

* 강원대학교 토목공학과 부교수

** 명지전문대 지적과 부교수

*** 대학원 토목공학과 석사과정

(38) 이러한 해안현상을 이해하여 해안 및 그 주변해역의 개발이용과 환경보존에 기여하기 위하여 이것을 평면 또는 입체적으로 파악할 필요가 있다.

해안역에서는 파나 흐름의 작용하에 항상 해저 토사가 이동하고 있고 해안의 지형은 파랑의 변화로 변동하고 있다.

자연해안에 있어서 이러한 변화는 일반적으로 계절적인 것으로 수년간을 통해서 보면 평형상태에 있는 것이 많지만, 해안지역에 방파제 등의 구조물이 축조되거나 해안의 중요한 토사공급원인 하천에 댐이 건설되면 이 평형상태가 붕괴되어 주변 해안의 침식이나 퇴적현상이 생기므로, 해안보전의 관점에서 볼 때 중요한 사회적 문제가 되는 경우가 드물지 않다. 이러한 문제를 미연에 방지하고 또한 적절한 대책을 강구하기에는 자연조건의 변화나 구조물의 설치에 따르는 해안지형의 변동을 정량적으로 예측하는 것이 바람직하며 이에 대한 대책을 마련해야 한다.

이러한 대책이 요구되고 있는 대표적 현상으로는 항만에서의 매몰문제와 해수욕장의 사빈 유실 문제라고 할 수 있다. 이와 같은 문제를 미연에 방지하고 지형변형을 미리 예측할 수 있는 해안변형 예측방법으로는 수리모형실험, 현지조사 방법 및 수치예측 수법을 들 수 있다. 수리모형실험은 종래 그리고 현재에도 많이 쓰여지고 있는 방법이라 할 수 있으나 아직 실제와 모형사이의 상사성이 미흡한 상태이며 대규모적인 실험시설 및 많은 노력과 시간이 요구된다는 것이 단점이라 할 수 있다.

한편, 주기적인 현장 관측자료로 경험적 해석 방법(empirical eigen function)에 의한 표사이동의 양상을 해석하는 것은 가능하나 주어진 외력과 지형변동 사이의 관계는 불분명하므로 어느 한 지역에서 얻어진 결과를 조건이 다른 해안에는 적용하기가 힘들며 현지조사에 많은 시간과 노력이 요구된

다는 점이 문제점이라 할 수 있다.

최근에는 컴퓨터의 발달로 표사이동의 외력인 파랑 및 해안류의 계산이 가능해졌으며 표사이동에 따른 지형변화의 예측도 가능하고 앞의 방법들 보다 시간이나 경비가 절감되는 잇점이 있으므로 수치실험 방법의 개발이 요청되고 있다.

일반적으로 수치모델에 의한 해안변형 예측수법은 대상 영역의 크기와 예측시간에 따라서 그림(1)과 같이 거시적 모델(macro Process model), 해안선 변화모델이라 부르는 One-Line 모델, N-line 해안변형 모델 그리고 3차원 해안변형모델(3-D beach evolution model)로 나눌 수 있다.¹⁵

본 연구에서는 해안선 변화모델을 이용하여 안벽(seawall)의 설치에 의한 해안선의 복원을 예측하여 해안 이용의 극대화와 경제적인 토지이용을 꾀하고자 하는데 연구의 목적이 있다.

해안선 변화 모델의 기본적인 개념은 Penland, Consider(1956)에 의하여 처음으로 제안되어졌다. 즉 해안 형태가 전체적으로 일정하고 전진과 후퇴가 평형으로 생기며 파는 일정방향으로부터 거의 직각으로 입사하고 또 연안 표사량은 입사각에 비례한다고 가정하여 돌제에 의한 해안선 변화를 구하고 실험적으로 그 타당성을 검토한 결과 극히 단순한 가정에도 불구하고 그 유효성이 밝혀졌다.

One-line 모델을 실제 해안에 적용한 예로는 Le Mehaute와 Soldaté²¹⁾의 Holland 항구 그리고 Borah et al(1983)의 Nome 항구등이 있다.

해안에 호안을 설치하면 해안선은 호안보다 후퇴하지 않는데 이와 같은 현상은 Ozasa와 Brampton²⁶⁾에 의해 계산되었다. 그들은 또 연안방향으로 쇄파고가 변화하기 때문에 발생하는 연안류가 연안표사량에 기여하는 효과를 산정하는 식을 제안하고 있다. 실

제의 해안에 이 모델을 적용한 예는 Kraus와 Harikai⁽¹⁹⁾에 의한 Oaria 해변에의 적용이 있다.

연안표사 뿐만아니라 종단표사도 고려하는 Two-line 모델이 Bakker에 의해 개발되었는데 이것은 해안선을 포함한 2개의 쇄파대 내외를 제각기 대표하는 등수심선을 시물레이션하는 모델이다. 이것을 발전시킨 N-line 모델이 Perlin과 Dean⁽²⁸⁾에 의해 제안되었는데 이 모형을 이용하여 김범형(1988)이 단일돌체 주변의 지형변화에 대하여 수치해를 구하고 현지관측 결과와 비교하여 모델의 타당성을 검토하였으며, 김인철⁽⁴⁰⁾은 해안선 변형에 대한 수치모델을 포함의 속도 해변에 적용하여 분석검토하였다.

한편, 토사지는 해안선 변화 모델로 예측하고 종단방향의 해안형태는 관측치를 기초로 해서 얻어진 경험적 고유함수로 결정하는 방법이 Hashimoto과 Uda⁽²⁾에 의해 제안되었는데 국내에서도 양윤모, 함재운(1983)에 의해 이 모델이 해운대에 적용된 예가 있다.

수치모델은 해안선 전개의 양적 평가를 수행하기 위한 효과적인 방법들을 제공한다. 특히 pelnard-considerere⁽²⁶⁾ 연구로부터 즉 이른바 "One-line" 수치모델은 최근에 광범위하게 제공되어 왔다. Kraus는 One-line 모델에 대한 문헌의 주석을 단 참고문헌을 제시하였다. 전형적으로 "One-line"이란 용어는 해안선에 대개 주목한다. 그러므로 이 모델은 자주 "해안선" 모델로 불리워 진다. 해안선 모델의 적용이 매우 많음에도 불구하고 모델에서 안벽활동의 존재는 별로크지 않은 관심을 끌었다. 안벽은 모델에서부터 얻어진 해안선 위치에 제한이나 경계조건을 부과한다.

안벽에 의하여 주어지는 가장 확실한 경계조건은 안벽쪽을 바라보는 해안은 육지쪽으로 움직일 수 없다는 것이다. 또한 안벽은 해안을 따라 모래이동 비율을 수정하는 것과

잠재적인 해안 물질의 개산을 통하여 부근 해안을 절식하는 것에 관해서 해안 system을 도입하여 표사가 안벽 뒤쪽을 견제하는 것을 막는다.

극단적인 예로 안벽 앞의 해안 Level이 떨어진다면 파는 해안에서 흐트러지는 대신에 벽으로 부터 굴절 될 것이다. 일정파는 새롭고 더욱 가파른 평형면이 완성될 때까지 일시적으로 연안 또는 이안 이동을 증가시킬 수 있는 국부적인 상처의 원인일 수 있다. 안벽의 보호는 해안높이가 떨어질 때 위협받을 수 있다.

1970년대 초반 Hashimoto등⁽⁴¹⁾은 block등에 의하여 장감된 안벽앞에서 Longshore 표사이동 비율변화에 대해 논의했다. 그들은 해안선이 안벽에 도달하면 Longshore 이동비율이 0인 것으로 했다.

Ozasa와 Brampton⁽²⁵⁾은 안벽앞에서의 손실을 다루었고 해안선 수치모델에서 안벽의 활동을 소개하기위하여 규정을 고안했다. 본질적으로 그들의 진행은 longshore 표사이동 비율이 berm이 움직여온 계산점(Calculation Points)에서 0으로 하는 것으로 되어있고 해안선은 안벽에 대해 다루었다. Hanson과 Kraus⁽⁹⁾는 해안선 조정의 한 형태로 발전을 했으나 이것만으로는 그것이 표사량을 보호하는 것이 아니기 때문에 만족할 수 없다.

Tanaka와 Nadaoka⁽³³⁾는 이동비율을 0으로 두는것이 옳지 않다는 것을 주시했다. 그들은 두 양자택일의 방법을 제안했지만 유감스럽게도 그들의 방법은 임의적이고 불완전한 것으로 나타난다.

최근에 Hanson과 Kraus⁽⁴⁰⁾는 해안선 수치모델의 역량에 균형을 이루고 세 가지 일반원리에 일치하는 안벽의 활동을 나타내는 잘 실험된 절차의 윤곽을 제시했다.

현 논문은 그들 방법의 완전한 묘사를 제시한다.

그 방법이 기초를 둔 원리는 다음과 같다.

1. 안벽앞에 해안선은 안벽의 육지쪽으로 퇴각할 수 없다.
2. 표사체적은 보존되어야 한다.
3. Alongshore 표사이동의 방향은 잠재적인 국부적 이동의 자연적 방향에 합당하게 보호되어야 한다.

본 논문은 일반적인 방법에서 안벽조건을 이행하기 위한 알고리즘을 기술하고 동해안의 동산향에 실제 적용하여 보고자한다.

2. 해안선 모델

해안선 모델의 원리는 Pelnard-Consider⁽²⁶⁾ 부터 시작했다. 그는 평탄한 경사인 것만은 아니지만 바닥은 항상 평형을 이루고 따라서 여기에서 폐쇄심 (Closure depth) 이라 불리는 어떤 깊이 까지 아래로 평행하게 움직인다. 그러므로 하나의 등수심선은 해안단면에서 변화를 묘사하기에 충분하다.

이 선은 편리하게 해안선으로 택하여 진다.

해안선 모델의 목적은 해안선 또는 해안단면의 장기간 전개를 모의 실험 하기 위한 것이다. 해안선 위치에 대한 지배 방정식은 해안 표사 (응집력이 없는 모래로 간주)에 대한 연속 방정식으로 부터 얻어진다. 표사 이동에 대한 예측식은 지배 방정식을 푸는데 필요하다. 표사이동과 그 결과로 생기는 해안선 변화는 국부적인 바람, 파, 조류, 해안단면, 경계조건, 안벽에 의하여 산출한 제약물에 좌우된다.

표사이동은 비스듬하게 입사한 파에 의하여 독자적으로 산출되는데 다른 이동 구조는 해안, 조석 및 바람에 의한 조류 같은 다른 이동의 메카니즘이 가능하다.

본 연구에서 해안선 위치에 대한 방정식으로 가장 기본적인 형태인 다음식을 이용하면

충분하다.

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial X} = 0 \quad (1)$$

여기서 Y = 해안선 위치 (m)

t = 시간 (s)

D = 폐쇄심 (수심) (m)

Q = 연안 표사 이동의 체적비 (m^3/s)

X = 연안의 길이 (m) 이다.

표사의 근원과 출처에 대한 것 뿐만 아니라 Cross-shore 이동에 대한 적용을 공식화하기 위하여 식(1)을 Hallermeier^(7,8)에 의하여 입사파 조건 항에서 모래 움직임의 유사한 깊이에 대해 주어진 방정식은 폐쇄심을 이용한 Kraus 와 Harikai⁽¹⁹⁾에 의하여 추천되어 왔다.

식 (1)을 풀기 위하여 다음과 같은 세 가지 지식이 요구된다.

- (1) X 축이 해안의 방향을 따라 위치하고, Y 축이 그에 직각 방향인 어떤 좌표축에 대한 해안선의 최초위치
- (2) 연안 모래 이동 비율 Q 에 대한 식
- (3) 해안의 양측 끝에서 Y 나 Q 에 대한 경계조건

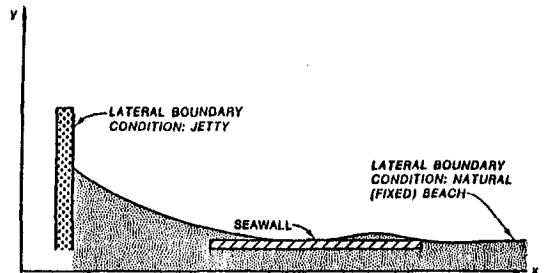


Fig.1 Definition sketch for coordinate system, shoreline, seawall, and lateral boundary conditions

이 중 해안선의 최초 위치는 쉽게 얻어지

거나 가정된다. 연안 이동 비율 Q는 대개 다음 식에 의하여 계산된다.

$$Q = K'(H^2 C_g)_b \sin 2\theta_{bs} \quad (2a)$$

$$K' = \left\{ \frac{K}{16(S-1)a'} \frac{1}{r} \right\}^{5/2} \quad (2b)$$

여기에서 K = 무차원 경험계수
 H = 유효파고 (m)
 Cg = 파의 그룹속도 (m/S)
 θ_{bs} = 해안선에 대한 쇄파각 (degree)
 S = 해수 밀도에 대한 물의밀도의 비율
 a' = 흙의 체적 / 전체체적
 r = RMS로 부터 유효 파고 에로의 변환계수이다.

첨자 b는 쇄파에서의 양을 의미하고 쇄파에서의 균속도는 다음식으로 구해진다.

$$(C_g)_b = \left\{ \frac{g H_b}{r} \right\}^{1/2} \quad (3)$$

여기에서 g = 중력가속도 (m/sec²)
 r = 쇄파지역에서 파고 / 파 깊이의 비율
 각 θ_{bs} 는 해안선에 대한 쇄파각이다.

쇄파가 X축과 만드는 각과 해안선이 X축과 만드는 각이 동일하다.

$$\theta_{bs} = \theta_b - \tan^{-1}(\partial Y / \partial X) \quad (4)$$

여기에서 θ_b = 쇄파대 X축의 각 (degree)이다.

일반적으로 측면경계조건은 긴 돌제와 방파제와 같은 우수한 방벽에서 Q=0이고 안정된 해안선 위치를 가지는 해안에서는 $\partial Q / \partial X = 0$ 이다.

Q의 후기 경계조건은 또한 $\partial Q / \partial X = 0$ 으로 표현될 수 있다.

측면경계조건에 덧붙여서 그것은 어떠한 문제를 푸는데 필요하고 그 해를 제약하는 것이 때때로 요구된다. 즉 해안선 위치의 움직임을 제한하는 것 예를 들어 안벽에 의하여 후퇴되는 해안선을 따라 해안선은 안벽뒤로 퇴각할 수 없다.

이 논문에서 안벽제약은 비록 그것이 실제적인 의미에서 경계조건이 아닐지라도 경계조건으로서 인용된다.

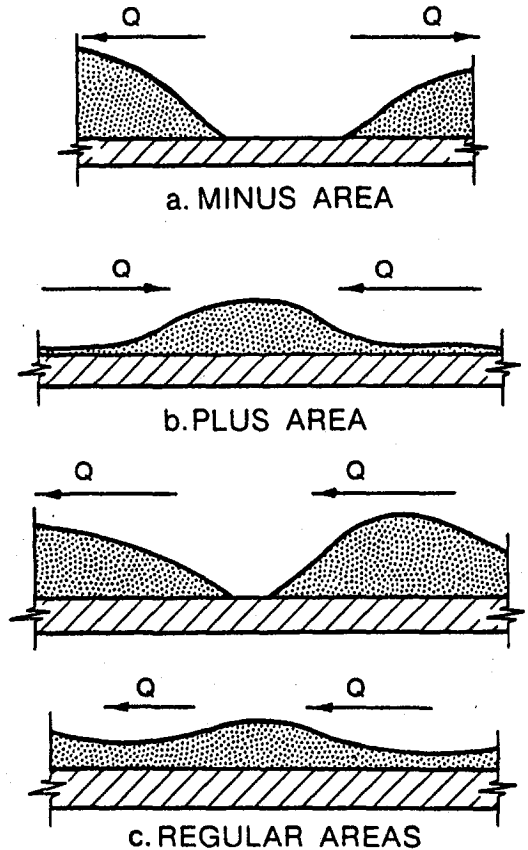


Fig. 2 Conceptual diagram showing minus, plus, and regular areas

세 항 (마이너스, 플러스, 정상지역) (그림 2)

참조)들은 안벽에서 발생할 수 있는 중요한 이동상황을 분별하기 위하여 규정지어질 것이다.

마이너스로 표현하는 지역은 만약 주어진 시간에 모래가 그 지역의 양 측면 밖으로 이동된다면 적용된다. 만약 해안선이 안벽에 대해 침식되는 지역에서 마이너스 지역이 발생한다면 그때 모래 이동 비율은 측면 경계 조건에 대한 지식을 거치기 위하여 모래 체적을 보호하고 이동의 방향을 보호하는 곳과 같은 방법으로 수정해야만 한다.

이 논문에서 묘사한 방법에서 해안을 따라 이동비율 조정은 퇴적물 이동방향 즉 침강 방향으로 만들어진다. 그러므로 마이너스 셀은 조정을 위한 시작점이다.

만약 모래가 주어진 시간의 양 측면으로 부터 한 지역으로 이동한다면 이조건은 플러스 지역이라고 규정한다. 용어 플러스 셀은 마이너스 셀의 역 상황을 묘사한다. 따라서 이동비율 조정은 플러스 셀에서 끝이다.

가장 일반적인 상황은 한 지역의 한 면으로 들어가는 모래의 어떤양과 맞은 편이 지역을 떠나는 모래의 약간의 차이가 있는 양에 대한 것이다. 이것을 "정상" 지역이라 부른다.

모래 체적과 이동 방향은 거기에 국부적인 순 증가 또 물질의 순 손실이 있든지 간에 보존되어야 한다.

정규지역의 해안선이 안벽과 함께 인접해 있다면 모래는 셀을 들어올 수 없는 것처럼 셀을 떠날 수 없다.

안벽의 육지쪽 위치의 해안선이 비물리적 운동을 일으키는 역상황이 발생하면 이동비율은 안벽에 대한 해안선 위치를 이동하는 적절한 방법으로 조정되어야 한다.

3. 수치모델

식 (1)은 그림(3) (41)에서 보여준 바와같이 비킨 격자표현을 이용하여 판단될 것이다. 해

안선이 방향에 평행한 X축은 i 로 기록된 $N + 1$ 셀 face에 의하여 일반 셀과 N 계산 셀들로 분할된다. 이 격자에서 Q 점들과 Y 점들은 교대로 정의됐다. Q 점들은 계산무덤 권을 정의하고 Y 점들은 셀들의 중앙에 있다. 첨자들은 해안을 따라 점들의 위치를 기록한다. Q 격자점들과 Y 격자점들은 해안을 따라 상수길이 Δx 로 세분되는데 Q 점과 인접 Y 격자점 사이의 길이는 $\Delta x / 2$ 이다.

측면경계조건들은 격자 끝, 예를 들어 Q_1 과 Q_{n+1} 의 끝에서 상세히 서술되어야 한다. 선택적으로 Y_1 과 Y_n 에서 경계조건을 상술하거나 격자의 한 끝에서 Y 조건을 다른 끝에서 Q 조건을 부과하는 것은 가능하다. 간단하게 단정한 안벽만이 고려된다면 X 축에서 그것의 시작과 끝 좌표는 그림(1)에서 보여준 바와같이 각각 $YSBEG$ 와 $YSEND$ 로 기록된다.

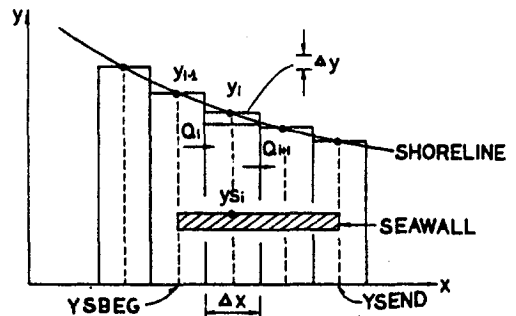


Fig. 3 Definition sketch for finite difference discretization

안벽에서 일반적인 Y 위치는 Y_{si} 로 기록된다. 점을 출발할 때, 식 (1)은 진술하는 경증울을 갖게 주기 위하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = -\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{1}{D'} \frac{\partial Q'}{\partial x} \right\} \quad (5)$$

미분형태에서 식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$y'_i = B'(Q'_i - Q'_{i+1}) + YC_i \quad (6)$$

여기에서

$$YC_i = Y_i + B(Q_i - Q_{i+1}) \quad (7)$$

이다.

YC_i 는 해안선이 Y_i 와 Y'_i 사이의 중앙에 있는 해안선 위치로서 LeMehaute와 Soldate⁽²¹⁾에 의하여 예시된 바와 같이 식(6)을 Y'_i 와 Q'_i 사이의 반복절차에 의하여 해석하는 것이 가능하다. 계산적으로 빠른 접근은 식(2)의 선형화에 의하여 Y'_i 의 항에서 Q'_i 를 표현하기 위한 것이다. 그와 같은 선형화는 쇄파각이 작기 때문에(30도 보다 작음) 전형적인 파조건화에 정확한 근사값을 공급하는 것이 기대된다. 선형화 방법은 CER C 방식과 식(2)를 이용하도록 Perlin과 Dean⁽²⁷⁾에 의하여 발표되었다. 그 방법은 파의 굴절등에 의하여 발생하는 연안쇄파고(Ozasa와 Brampton⁽²⁵⁾)에서 체계적인 변화로부터 증가하는 증가분을 계산하기 위하여 Kraus와 Harikai⁽¹⁹⁾에 의하여 전개되었다. 이들에 대한 구체적인 언급은 세부 항목에서 다루기로 한다.

최종결과는 새 시간간격에서 이용비율은 다음 형태로 표현될 수 있다.

$$Q'_i = E'_i(Y'_{i-1} + Y'_i) + F'_i \quad (8)$$

여기에서 E'_i 와 F'_i 은 입사파 매개변수의 함수이다. 식(8)에 식(6)을 대입하면 Q'_i 에 대해 tridiagonal system 방정식이 산출된다.

tridiagonal system은 효율적인 표준 연산에 의하여 해석될 수 있고 그의 해는 다음의 관계에 기초를 둔다.

$$Q'_i = EE'_i Q'_{i+1} + FF_i \quad (9)$$

여기에서

$$EE'_i = \frac{B_i}{1 + B'_i(2 - EE'_{i-1} - 1)} \quad (10)$$

$$FF'_i = \frac{F'_i + E'_i(YC_{i-1} - YC_i) + B'_i FF'_{i-1}}{1 + B'_i(2 - EE'_{i-1} - 1)} \quad (11)$$

$$B'_i = BE'_i \quad (12)$$

안벽에 대한 계산을 하기 위해 어떠한 수정을 하기 이전에 해야 할 해석 과정은 다음과 같다. 가. EE_i 와 FF_i 항의 $i=1$ 에서 경계조건을 지정한다.

나. $i=2$ 부터 N 까지 오름차 순으로 식(10)과 식(11)을 푼다.

이것은 첫번째 영역을 구성한다.

다. Q'_{i+1} 에 대한 경계조건을 지정한다.

라. $i=N$ 부터 1까지 내림 차순으로 식(9)를 푼다. 이 단계는 격자의 모든 곳에서 두번째 영역이다.

마. 새로운 해안선 위치 Y'_i 를 얻기 위하여 식(6)에 Q'_i 를 대입한다.

각 시간에서 얻어진 해안선 위치가 안벽제약이 방해 되는지 안되는지를 결정하기 위하여 위치의 비교를 해야 만 한다. 만약 그렇게 된다면 그 때 해안선 위치의 관련된 이동비율은 수정되어야 한다.

일반적으로 안벽제약이 만족하도록 수정될 때 내림차순 뿐만 아니라 오름차순으로 Q_i 를 계산하는 것이 필요하므로 이동 수정은 어느쪽 방향에서든지 만들어 질 수 있다. 위의 순서는 식(9)와 유사한 재현 관계를 이용하여 되풀이 되어야 하지만 그것은 $i=1$ 에서 경계조건으로부터 Q'_i 의 계산을 고려한다. 이 관계는 다음과 같다.

$$Q'_i = PP'_i Q'_{i-1} + RR'_i \quad (13)$$

PP' 와 RR' 은 각각 PP_{i+1} 과 RR_{i+1} 에 좌우되며

식(11)과 (11)에서 EE'과 FF'와 같다.

이것들의 값과 그들의 해에 대한 개요의 표현은 프로그램 YSIMP로 나타내었다.

해안선 변화 비율 $\partial y/\partial t$ 가 Δt 의 시간 증가치 동안에 상수라면 한 시간 간격에서 해안선 변화는 직선이다.

시간과 시간사이의 y_i 와 y'_i 사이의 중간에 위치하는 해안선은 앞에서 yc_i 로 표시됐다.

해안선 위치 y_i 가 주어지면 위치 yc_i 는 다음과 같이 계산될 수 있다.(식(5) 참조)

$$\begin{aligned}
 yc'_i &= y_i + \frac{\Delta t}{2} \left\{ \frac{\partial y}{\partial t} \right\}^n + \\
 &\Delta t \left\{ \frac{\partial y}{\partial t} \right\}^{n+1} \\
 &= \Delta t \left\{ \frac{1}{2D} \frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{1}{D'} \frac{\partial Q'}{\partial X} \right\} + y_i
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

yc_i 와 y_i 사이의 반 시간 간격이 yc_i 와 yc'_i 사이의 전(full) 시간 간격이 존재한다면 미분 형태에서 식(14)는 다음과 같다.

$$yc'_i = 2B'(Q'_i - Q'_{i+1}) + yci \tag{15}$$

안벽제약은 yc 점의 항에서 형성되었기 때문에 중요한 목표는 식(15)에 도달하여 달성되는 것이다.

4. 적용 및 분석

본 연구에서 제시한 수치모델의 수치적인 정확성과 효과를 알아보기 위하여 하나의 해안을 가상하여 모델을 제공하였다.

이 예를 위한 최초 해안선 형태는 그림(4a)에 보여진다. 약 1km가량 구부러진 곡선 해안은 해안이동을 포함하는 두 긴 돌출부에

의해 둘러싸여 있다. 구부러진 안벽은 초기 해안선에서 4m 육지쪽으로 위치한다.

첫번째 파는 그림(4b)에서 보여준 평면형태를 산출하기 위하여 126 시간동안 오른쪽으로부터 비스듬하게 도달한다. 그 결과로 해안 물질은 왼쪽 돌출부로 이동한다. 안벽은 안벽이 없으므로 해서 생긴 해안선(dashed line)의 변화에 의해 본 바와 같이 해안의 오른쪽 지역을 보호한다. 입사파의 그때 어떤 방향으로 휘돌 그림(4c)에 보는 바와 같이 138 시간 동안 왼쪽으로부터 비스듬하게 도달한다. 모래는 오른쪽 돌출부 부근에 넓은 해안을 형성하는 안벽의 중간을 지나 이동된다. (c)에서와 같은 해안 평면형태는 비록 파도가 경상(mirror image : 거울에 비쳤을때의 좌우 대칭의 상)이라 하더라도 최초 해안선 조건이 다르기 때문에 (b)의 경상이 아니다.

그림(4c)에서, 안벽은 해안의 거의 반을 보호하고 있으며 상당부분의 침식된 부분이 아직 오른쪽에 위치한다. 직관(Intuition)은 가장 최근의 파가 왼쪽으로부터 닥치기 때문에 왼쪽에 더 많은 침식이 있음을 나타낼지도 모른다. 그러나 파도와 해안선 사이의 상호 작용이 비선형(식(2), S-sine 종속)이고 계산된 변화는 예상했던 것과는 다르다. 결국 거의 평소대로 입사파가 72 시간동안 해안에 닥치며 그 결과는 그림(4d)에 보여준다. 해안은 필수적으로 그위 초기 형태로 돌아간다. 그림(4)에서, 해안은 다시 모든 안벽정면을 따라 존재하게 된다.

이 예에서 안벽은 해안선의 과도한 육지 쪽으로의 후퇴를 막아주면서 비스듬한 파 입사각의 삽화(episodes)하의 해안을 보호한다. 안벽은 그러므로 해안의 회복을 증진시키는 역할을 한다. 이러한 결과가 부분적으로 평형(상수) 단면 가정의 인위적인 점을 주의해야 한다. 자연히 침식지역

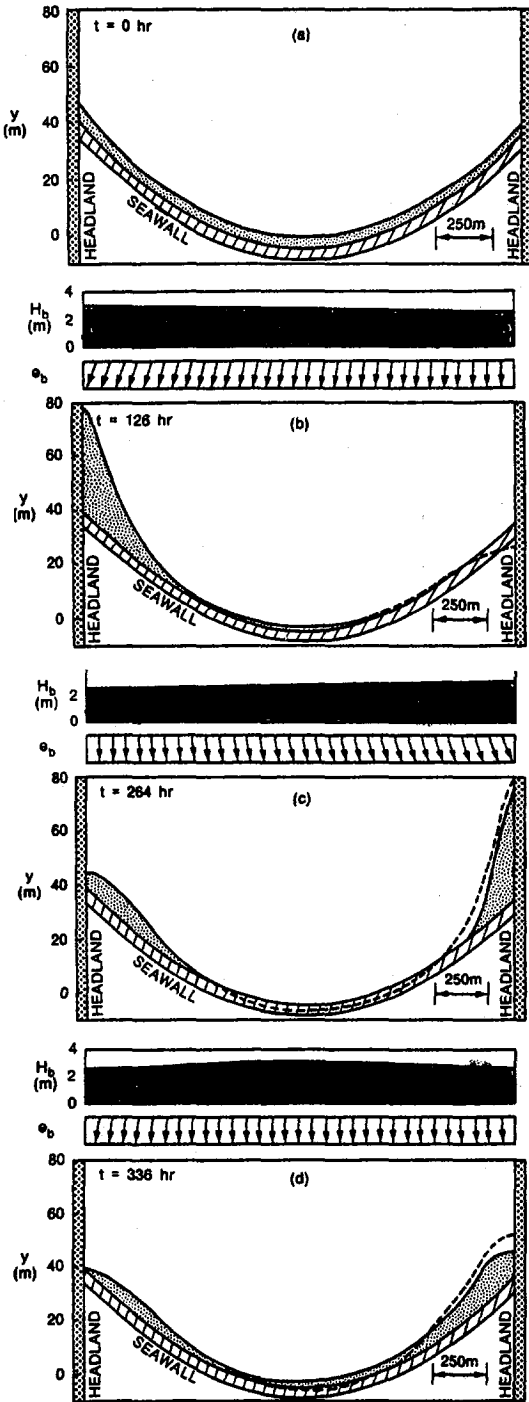


Fig. 4 Hypothetical example of shoreline change in pocket beach

안에서 해안단면은 아마 평균해안 단면보다 가파르게 될 것이며, 해안을 회복하는데에는 정상적인 입사파의 오랜 지속이 걸릴 것이다.

4. 1 등산항에의 실제 적용

DX = 30 과 $r_m = 1.272$ 로 하여 현재의 안벽의 길이를 180 m로 보아 현재의 상태에서의 해안선 변화를 예측한 것이 그림 (26)인데 이것은 안벽의 남단에서 해안 침식이 계속 진행될 수 있음을 보여주고 있다. 마찬가지로 그림(6)에서와 같이 만곡부의 중간까지 안벽의 길이를 450 m 까지 확장한다 하더라도 남단에서는 계속 침식이 예상된다.

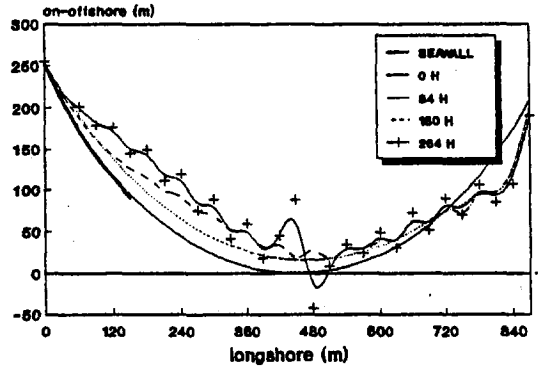


Fig. 5 Shoreline change in Dongsan harbor
(업질법, DX=30, YSBEG=1, YSEND=6, $r_m=1.202$)

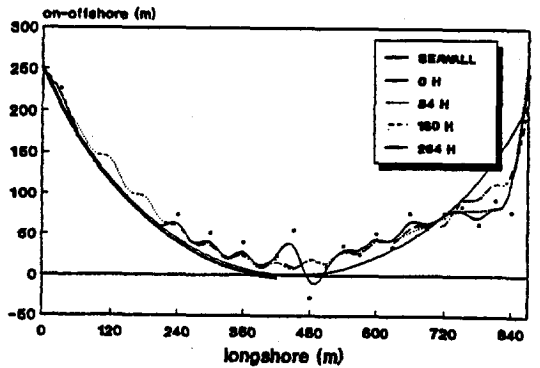


Fig. 6 Shoreline change in Dongsan harbor
(업질법, DX=30, YSBEG=1, YSEND=15, $r_m=1.202$)

그러나 그림(7)에서와 같이 만곡부 전 구간에 안벽을 설치한다면 오히려 만곡부의 중앙에서 퇴적현상을 가져와 해안면적이 확장될 수 있음을 보여준다.

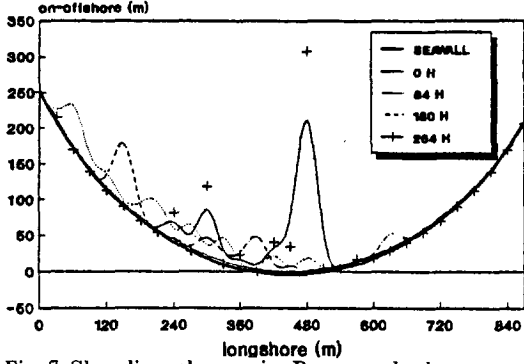


Fig. 7 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=30, YSBEG=1, YSEND=30, $r_m=1.202$)

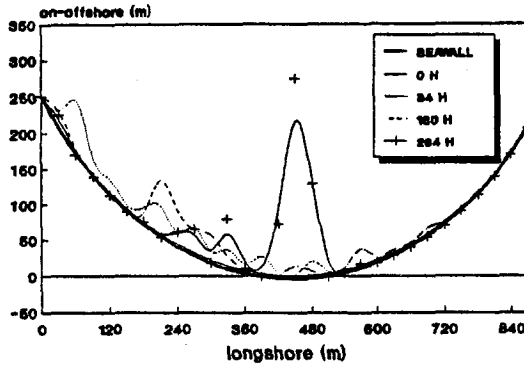


Fig. 8 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=30, YSBEG=1, YSEND=30, $r_m=0.9985$)

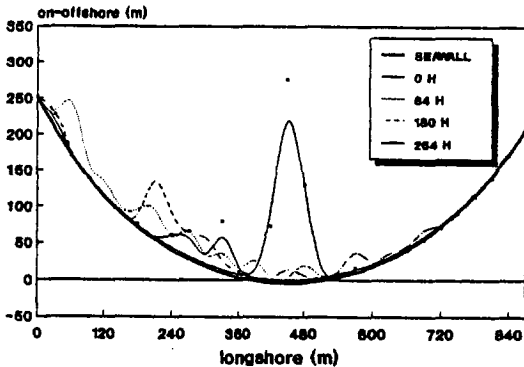


Fig. 9 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=30, YSBEG=1, YSEND=30, $r_m=1.4025$)

그림(7), (8), (9)의 경우에서와 같이 r_m 을 변경시킨 결과는 어느 경우에서나 거의 동일한 결과를 나타내었다. 즉 이 모델은 파고와 쇄파대의 깊이를 고려하였지만 큰 영향은 미치지 않는다.

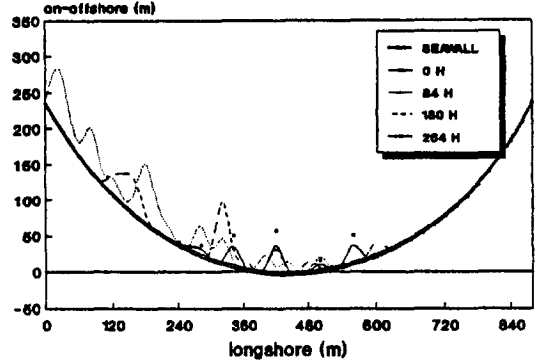


Fig. 10 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=20, YSBEG=1, YSEND=45, $r_m=1.202$)

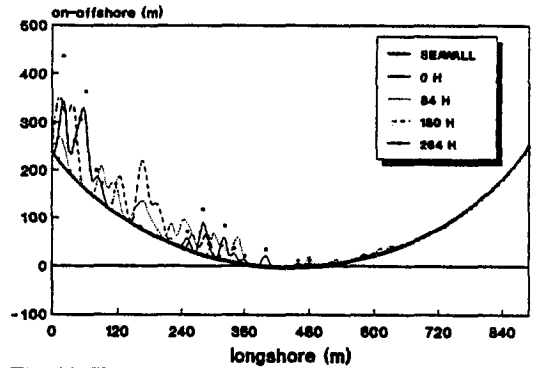


Fig. 11 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=10, YSBEG=1, YSEND=90, $r_m=1.202$)

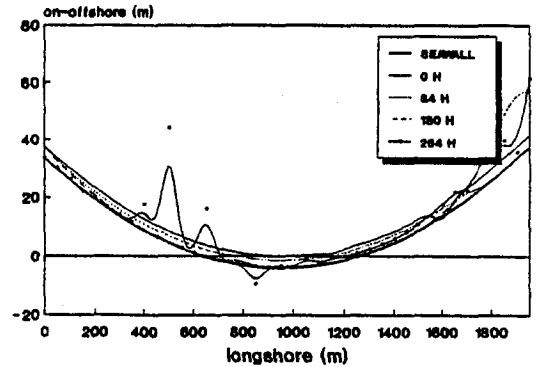


Fig. 12 Shoreline change in Dongsan harbor
(엄밀법, DX=40, YSBEG=0, YSEND=40, $r_m=0.78$)

그림(7), (10), (11)은 같은 조건하에서 측점간의 간격만 달랐던 것이다. 이 경우 그림(7)과 (11)은 어느 것이나 출력값에 분산이

크게 나타날 확률이 크다. 그러나 그림(10)에서와 같이 대상 지역을 40 구간으로 나누었을 때 신뢰도가 높게 나타남을 알 수 있다.

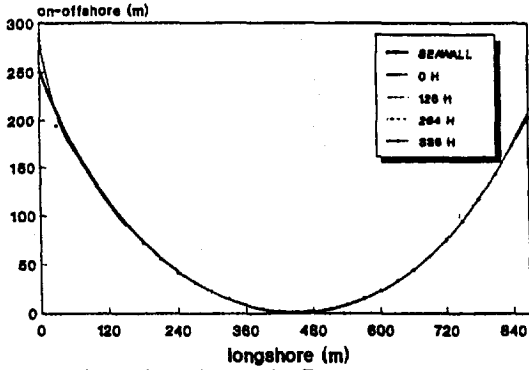


Fig. 13 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=30$, $YSBEG=1$, $YSEND=6$, $\gamma m=1.202$)

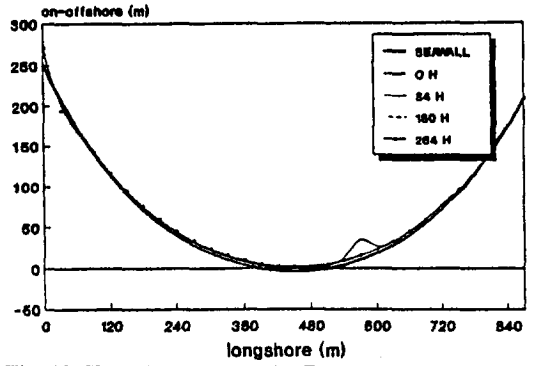


Fig. 16 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=30$, $YSBEG=1$, $YSEND=30$, $\gamma m=0.9958$)

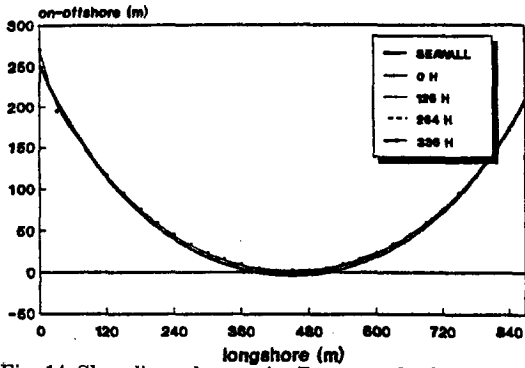


Fig. 14 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=30$, $YSBEG=1$, $YSEND=15$, $\gamma m=1.202$)

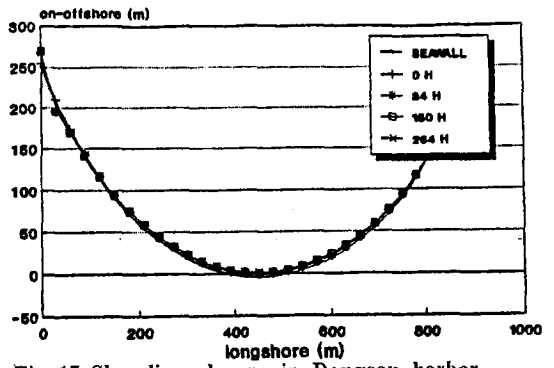


Fig. 17 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=30$, $YSBEG=1$, $YSEND=30$, $\gamma m=1.4025$)

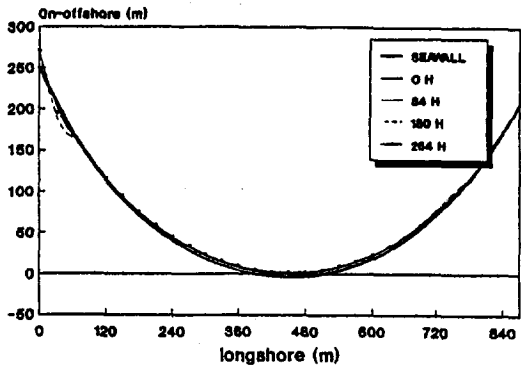


Fig. 15 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=30$, $YSBEG=1$, $YSEND=30$, $\gamma m=1.202$)

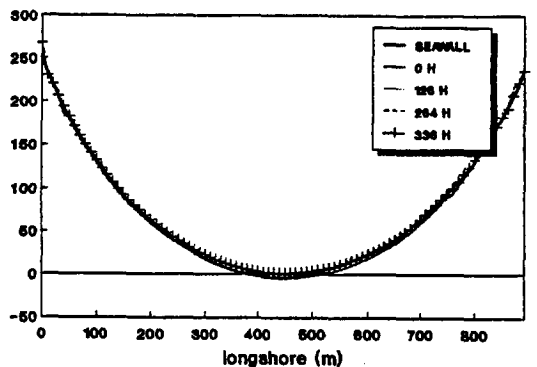


Fig. 18 Shoreline change in Dongsan harbor
(개략법, $DX=10$, $YSBEG=1$, $YSEND=90$, $\gamma m=1.202$)

그림 (13)의 경우는 반경을 12,000 m으로 보고 안벽의 길이를 2700 m로 가정한 경우에서의 해안선 변화도이다. 이것을 실제의 동산항과 비교해 보면 반경이 작은 동산항에서는 해안선 변화가 심하게 변화하며 그의 진폭이 큼을 알 수 있다. 그러나 긴 해안에서 반경이 큰 경우에 그의 진폭은 상대적으로 매우 작음을 알 수 있다.

위의 결과는 엄밀법에 의한 결과이므로, 같은 조건하에서 개략법에 의한 결과를 분석하였다.

그림 (13), (14), (15)를 비교해보면 그림 (6) (7), (9)의 경우와 달리 시간의 경과에 따른 변화를 크게 나타내지 못하고 있다. 뿐만 아니라 그림 (16), (17), (18)과 그림 (8), (9), (10) (11), (12)를 각각 대응시켜 비교해 보아도 같은 현상을 발견할 수 있다.

그림 (15), (17)을 비교하면 그림 (7), (8), (9)에서와 같이 큰 변화를 보이지 않고 있으며 이것은 엄밀법과 개략법이 모두 r m의 영향은 별로 크지 않음을 알 수 있다.

그림 (15), (18)은 같은 조건하에서 측정간의 간격만 달리한 것이다. 이 경우는 그림 (7) (10), (11)를 비교한 경우와는 달리 측정간의 거리를 변경시킨 결과가 거의 같음을 보여 주고 있다. 이것은 개략법의 모델에서는 엄밀법 모델에서 보다 측정간격에 민감하지 못하다는 것이다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 가상의 해안선에 직선 안벽을 설치 했을 경우와 동해안의 동산항에 있는 곡선해안의 곡선안벽에 의한 해안선 변화를 예측하기 위하여 엄밀법과 개략법 두 수치모델을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 안벽은 해안선이 과도하게 육지쪽으로 후퇴하는 것을 막아주며 파의 입사각이 20도이

하로 작용하는 해안을 보호하며 회복을 증진시킨다.

둘째, 파고와 쇄파대의 비는 해안선 변화에 큰 영향을 주지는 않는다.

셋째, 엄밀법은 측정간격에 매우 민감하므로 정확성은 향상되나 장기적인 변화의 예측이 어렵다. 반면 개략법은 정확성은 낮으나 변화에 둔감하므로 장기적인 예측에 효용성이 있으며, 신속하게 처리될 수 있다.

REFERENCE

1. Bakker, W. T. 1969. "The Dynamics of a Coast with a Groin System," Proceedings of 11th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 492~517.
2. Bakker, W. T. Klein Breteler, E. H. J., and Roos, A. 1971. "The Dynamics of a Coast with a Groyne System," Proceedings of 12th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 199~218.
3. Berrigan, P. D. 1985a. "The Taraval Vertical Seawall," Shore and Beach, Journal of the American Shore and Beach Preservation Association, Vol. 53, No. 1, pp. 2~7.
4. _____. 1985b. "Seasonal Beach Changes at the Traval Seawall," Shore and Beach, Journal of the American Shore and Beach Preservation Association, Vol. 53, No. 2, pp. 9~15.
5. Chestnutt, C. B., and Schiller, R. E., Jr. 1971. "Scour of Simulated Gulf Coast Sand Beaches Due to Wave Action in Front of Sea Walls and Dune Barriers."

- Texas A&M University, COE Report No. 139. TAMU-SG-71-207, 54 pp.
6. Dorland, G.M. 1940. "Equilibrium Sand Slopes in Front of Sea Walls," MS Thesis, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, 43 pp.
 7. Hallermeier, R.F. 1979. "Uses for a Calculated Limits in Coastal Structure Design," Proceedings of 16 th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp 1493~1512.
 8. _____. 1983. "Sand Transport Limits in Coastal Structure Design," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp. 703~716.
 9. Hanson, H., and Kraus, N.C. 1980. "Numerical Model for Studying Shoreline Changes in the Vicinity of Coastal Structures," Report No. 3040, Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Sweden, 44 pp.
 10. _____. 1985. "Seawall Constraint in the Shoreline Numerical Model," Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering," American Society of Civil Engineers, Vol. 111, No. 6, pp. 1079~1083.
 11. Hashimoto, H., et al. 1971. "Study on the Prediction of the Longshore Transport Rate," Report of the 25th Engineering Meeting of the Ministry of Construction," Japan, pp. 517~541. (In Japanese.)
 12. Prediction Model of Beach Profile Change to the Ogawara Coast," Coastal Eng. Vol. 23, pp. 191~204.
 13. Hattori, M., and Kawamata, K. 1977. "Experiments on Restoration of Beaches Backed by Seawalls," Coastal Engineering in Japan, Vol. 20, Japan Society of Civil Engineers, pp. 55~68.
 14. Komar, P.D. 1976. Beach Processes and Sedimentation, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., pp. 252~261.
 15. _____. 1983. "Computer Models of Shoreline Changes," in (P.D. Komar, ed.) CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion," CRC Press, Inc., Boca Ration, Fla., pp. 191~204.
 16. Kraus, N.C. 1983. "Applications of a Shoreline Prediction Model," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp. 632~645.
 17. Kraus, N.C. 1984. Discussion of "Wave Data Discretization for Shoreline Processes," by B. Le Mehaute, J.D. Wang, and C. C. Lu, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol 110, No. 1, American Society of Civil Engineers, pp. 128~130.
 18. _____. in preparation. "Bibliography of the Shoreline Numerical Model" US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center.
 19. Kraus, N. C., Hanson, H., and Harikai, S. 1985. "Shoreline Change at Oarai Beach: Past, Present and Future," Proceedings of 19th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 2107~2123.
 20. Kraus, N. C., and Harikal, S. 1983. "Numerical Modeling of the Shoreline Change at Parai Beach," Coastal Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 28.
 21. Kraus, N. C., Harikai, S. and Kubota, K. 1981. "Numerical Modeling of the Breaking Waves and Shoreline Change Oarai Beach," Proceedings of 28th Jap-

- anese Coastal Engineering Conference, Japan Society of Civil Engineers, pp. 295~299 (In Japanese.)
22. Le Mehaute, B., and Soldate, M. 1978. "A Numerical Model for Predicting Shoreline Changes," Miscellaneous Report No. 80-6, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 72 pp.
 23. Mizumura, K. 1982. "Shoreline Change Estimates Near Oarai, Japan," Journal Waterway, port, Coastal and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol 108, No. 1, pp. 47~64.
 24. O'Brien, M. P. 1985. Keynote Address, Proceeding of 19th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 1~12.
 25. Ogawara, M. 1983. "Status of Coastal Engineering Works (in Japan), Present and Future," Kaigan (Coast), Vol. 23, All-Japan Coast Association, pp. 1~7. (In Japanese.)
 26. Ozasa, H., and Brampton, A. H. 1980. "Mathematical Modeling of Beaches Backed by Seawalls," Coastal Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 47~64.
 27. Pelnard - Considere, R. 1954. "Essai de Theorie de L'evolution des Formes de Rivages en Plages de Sable et de Galets," 4th Journees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question 3, Rapport No. 1, pp. 289~298.
 28. Perlin, M., and Dean, R. G. 1978. "Prediction of Beach Planforms with Littoral Controls," Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 1818~1838.
 29. _____. 1983. "A Numerical Model to Simulate Sediment Transport in the Vicinity of Structures," Miscellaneous Report No. 83~10. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 119 p.
 30. Russell, R. C. H., and Inglis, C. 1953. "The Influence of a Vertical Wall on a Beach in front of It," Proceedings of the Minnesota International Hydraulics Convention, pp. 221~226.
 31. Sato, S., Tanaka, N., and Irie, I. 1969. "Study on Scouring at the Foot of Coastal Structures," Proceedings of 11th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp. 579~598.
 32. Shore Protection Manual. 1984. 4th ed., 2 vols, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC.
 33. Silvester, R. 1977. "The Role of Wave Reflection in Coastal Processes," Proceedings of Coastal Sediments '77, American Society of Civil Engineers, pp. 639~654.
 34. Tanaka, N., and Nadaoka, K. 1982. "Development and Application of a Numerical Model For the Prediction of Shoreline Changes," Technical Note 436, Port and Harbor Research Institute, Ministry of Transport, Japan, 40 pp. (In Japanese.)
 35. Toyoshima, O. 1979. "Effectiveness of Sea Dikes with Rough Slope," Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers Center, 830 pp.
 36. Walton, T. L., and Sensabaugh, W. 1979. "Seawall Design on the Open Coast." Florida Sea Grant College, Report No. 29,

- 24pp.
37. US Army Corps of Engineers. 1981. "Low Cost Shore Protection : Final Report on Shoreline Erosion Control Demonstration Program," Coastal Engineering Research Center, 830 pp.
 38. 양인태 1987. "항공사진에 의한 해안의 효율적 이동관리 방안에 관한 연구" 산업 기술연구 Vol.7 pp 15-25.
 39. 김범형 1988. "해빈변형에 관한 수치 모델 연구" 서울대학교 대학원 석사학위 논문
 40. 김인철 1987. "해안선 변형에 대한 수치 모델 연구" 서울대학교 대학원 석사학위 논문
 41. 송원오 1987. "해안 구조물 적정 설계 조건 결정기법의 체계화 연구," 한국과학기술원 해양연구소. pp245-289.

