

碩士學位論文

砂濱海岸의 斷面變化에 關한 數值模擬



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

姜 炫 宇

2002年 12月

砂濱海岸의 斷面變化에 關한 數值模擬

指導教授 金 南 亨

姜 炫 宇

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



2002年 12月
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

姜炫宇의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2002年 12月

A Numerical Simulation on The Profile Change of Sandy Beach

Hyeon-U Kang

(Supervised by professor Nam-Hyeong Kim)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Engineering

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

目 次

目 次	i
List of Figures	iii
Summary	v
I. 서 론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	2
3. 논문의 구성	3
II. 사빈 침식 모델	4
1. 해빈의 정식화	4
2. 파랑의 변형계산	4
3. 안층표사량의 계산	11
4. 저질의 연속식의 계산	15
5. 비침식 저면의 적용	16
III. 사빈침식 모델의 타당성 검토	21
1. 비침식성 저면을 포함하지 않는 모델의 타당성 검토	21
2. 비침식성 저면을 포함하는 모델의 타당성 검토	21
IV. 수치모의 결과와 고찰	24
1. 일정한 경사 해빈에서의 지형변화	24
2. 연안방향으로 파고분포가 다른 지형변화	25
3. 임의의 사구-해빈 단면에서의 지형변화	34
1) 방조벽을 설치하지 않았을 때	34

2) 방조벽을 설치하였을 때	35
V. 결 론	42
VI. 참고문헌	43



List of Figures

Fig. 1	The schematization of the equation of beach profile	6
Fig. 2	The coordination system used the calculation of wave transformation	8
Fig. 3	The schmatization of the equilibrium conditions of energy flux	10
Fig. 4	Principal zones of cross-shore transport	14
Fig. 5	The schmatization of beach profile with non-erodible bottoms	19
Fig. 6	The Flow chart of the numerical simulation	20
Fig. 7	The comparison and verification of the numerical method without non-erodible bottom	22
Fig. 8	The comparison and verification of the numerical method with non-erodible bottom	23
Fig. 9	Topography change in the beach slope of 1/20	27
Fig. 10	Topography change in the beach slope of 1/15	28
Fig. 11	Topography change in the beach slope of 1/10	29
Fig. 12	The change of beach cliff height in the beach slope of 1/20, 1/15, 1/10	30
Fig. 13	The regression velocity of the top of the beach cliff in the beach slope of 1/20, 1/15, 1/10	31
Fig. 14	The distribtion chart of incidence wave height	32
Fig. 15	The formation of beach cliff with the different incidence wave height along shore	33
Fig. 16	The change of beach profile without wave steup	36
Fig. 17	The change of beach profile with wave setup by +1.0m	37
Fig. 18	The change of beach profile with wave setup by +2.0m	38

Fig. 19	The change of beach profile with a seawall and without wave setup	39
Fig. 20	The change of beach profile with a seawall and with wave setup by +1.0m	40
Fig. 21	The change of beach profile with a seawall and with wave setup by +2.0m	41



Summary

When a storm surge comes to a sandy beach, erosion occurs on a sandy beach. If the foundation of coastal cliff is scoured by wave motion, it is easy for the coastal cliff to produce slope failure. Therefore the regression of coastal cliff is accelerated. In addition, it not only loses real estate in the hinterland, but ruins the shock-absorbing zone between land and sea. So the destruction of dune may lead to lose the habitat or egg-laying ground of living creatures. Hence, a numerical simulation on the erosion of coastal cliff has to be studied. The preventive measures against the erosion of coastal cliff is also needed. For the reason, it is needed to study on the change of sandy beach and the protective method of beach.

In this paper, the process of beach erosion and the protective method of beach are studied through the numerical simulation. The transformation of wave is applied to this numerical simulation. It is calculated by energy flux method. Moreover the beach profile is divided into four parts according to the transformation of wave, which are the prebreaking zone, the breaker translation zone, the broken wave zone, and swash zone. A numerical simulation is performed on the change process of sand beach. And it is applied to non-erodible bottom so that it can be applied on the various beaches. Therefore, it is performed on the change of beach profile with the seawall that protects the sand beach from wave action.

As a result of this study, the bigger the slope of beach is, the higher the height of coastal cliff is. When the storm surge comes in sand beach with wave setup, the higher the wave setup is the more the dune or coastal cliff scours. And

the seawall is one of the methods to protect a sandy beach from erosion by wave run-up. The seawall also protects a shoreline zone from the regression of dune. This numerical method used to non-erodible bottom is performed on the change process of sandy beach with a seawall. The higher wave setup is, the more scour occurs. This is why a seawall blocks the progress of wave.



I. 서 론

1. 연구 배경

해안선은 시간과 지역에 따라서 그 형태가 다르며 매우 다양하게 변화하고 있다. 해안에는 바다와 육지의 경계로서 사구라는 완충적 역할을 하는 영역을 가진다. 사구(砂丘)는 해양과 육지와의 경계로서 여러 가지 역할을 가지고 있다. 이것은 단지 파랑작용으로부터 육지를 보전하고 있을 뿐만 아니라, 사구의 해안림에 의한 비염·비사의 제어작용, 태풍 등에 의한 해빈 침식시 저질(低質) 공급원으로서 기능, 지구온난화에 따른 해면상승에 따른 완충영역으로서의 역할, 혹은 캠프장 등을 포함한 친수공간으로서의 기능 등을 가지고 있으므로 적절한 관리가 요망된다.

사빈해안(沙濱海岸)에 침식성의 폭풍이 작용하는 경우에, 해안단애(海岸斷崖)로 불리는 침식지형인 해빈 지형이 출현하는 일이 있다. 지금까지는 해빈(海濱)의 침식 과정에 관해서는 많은 정보가 얻어져 있지만, 침식과정 중에 발생하는 해안단애의 형성 과정에 관해서는 그다지 알려져 있지 않은 것 같다. 해안단애가 일단 형성되면 정선부근에 반사적인 구조물이 존재하는 것이고, 침식에 뒤이어 해빈의 회복과정에서 나쁜 효과를 가질지도 모른다. 나아가 침식과정에 있어서도 해안단애의 기초를 파랑이 세굴하면, 해안단애가 사면붕괴를 일으키기 쉽게되어 단애의 후퇴속도를 빠르게 할 가능성이 있다. 해안단애의 형성에 의해 정선(汀線)이나 사구가 후퇴되는 것은, 그 배후 지역에 분포하는 주택 등 재산상의 피해를 가져올 뿐만 아니라, 사구를 이용하는 생물의 서식장소나 산란장소를 잃어버리는 일도 있다.

해안단애 형성과 침식에 관한 실험과 수치모의가 활발하게 연구되고 있다. 해안에는 해안단애와 외견상 닮은 지형으로서 해식에(海蝕崖, sea cliff)가 있다. 이 해식에의 침식거동에 관해서는 堀川와 砂村(1967, 1968, 1969, 1970, 1972)는 항공사진과 실험을 통하여 분명히 했다. 이와 같은 해식에의 경우, 일반적으로 암석으로 구성되어 있기 때문에 파랑에 대한 저항력은 해안단애 보다도 상당히 크다고 생각하여 취급하

는 시간스케일도 장기간에 걸쳐 있지만, 해안 단애의 경우에는 구성재료가 주로 모래이기 때문에, 파랑작용에 대한 지형변화의 시간스케일도 단기간이고, 오히려 침식에 뒤이어 퇴적과정이 일어나는 등의 차이가 있다고 생각할 수 있다. 그러면, 해안단애의 침식, 특히 사구의 침식에는 폭풍해일 등의 수위상승을 동반하는 경우를 대상으로 하여 현지관측이나 수리실험이 행해지고 있다. ven de Graff(1977)는 폭풍해일에 의해 피해를 입은 현지측량 데이터에 근거하여 침식단면형을 정의하고 있고, 또 Vellinga(1982, 1983, 1986)는 실내실험결과 등에 근거하여 폭풍해일에 의해 형성된 해빈의 평형단면형상을 정의하고, 그 단면을 컴퓨터를 이용하여 계산할 수 있도록 했다. 게다가 Sargent와 Brikemeier(1985)은 이 모델을 미국 동부해안과 멕시코만의 해안단면에 적용하고 있다. 또한, Huges와 Chiu(1981)은 사구침식에 관한 실내실험을 행했다. 시간에 의존한 사구침식의 모델은 Kriebel과 Dean(1984, 1985), Kriebel(1990), Larson과 Kraus(1989, 1990)에 의해 개발되었지만, Kriebel모델은 Dean(1977)의 평형해빈 단면형상의 개념에 근거하고 있기 때문에 연안사주가 재현되지 않으며, 기본적으로는 수위변동이 지형변화의 주된 요인이며, 이에 대한 해결이 문제점으로 남아있다.



2. 연구 목적

사빈 해안은 기본적으로 침식과정에서 형성되는 지형이기 때문에, 태풍이나 계절풍 혹은 허리케인 등의 폭풍이 사빈 해안에 내습할 때에 발생한다. 그러나, 이 현상을 명확히 하기 위해서는 폭풍이 해안단애에 내습할 때에 해빈 측량이나 파랑의 현지관측은 곤란하므로, 제1단계로서 수치모의에 의해 사빈 침식 형성의 상태를 조사하기로 했다. 해안단애나 사구의 침식에 관해서는 어느 정도의 식견(識見)에 근거한 수치모의가 가능한 상태에 도달하여 있다. 그리고 해안단애의 침식을 억제하기 위한 방지책을 지금부터 연구가 필요하다고 생각된다. 따라서, 해안보전·이용상 문제로 되는 해안단애의 침식과 침식의 방지책에 관한 식견을 깊게 하는 것은 공학적으로 중요한 문제로 생각할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 이들의 문제에 대해서 주로 수치모의

를 통하여 고찰하기로 한다.

3. 논문의 구성

사빈 침식의 수치모의에 관해서는 Vellinga모델은 시간적으로 해빈 지형변화를 추적할 수 없고, 연안사주의 재현도 할 수 없고, 예측시간이 한정되는 등 결점이 있다. 또한 Kriebel모델은 시간적으로 사구와 해빈의 변화를 계산 할 수 있지만, 사구를 재현 할 수 없다. 입사파랑에 제한이 있는 등을 고려하면, Larson과 Kraus(1989)에 의해 제안된 SBEACH모델이 적합하므로, 본 논문에서는 해안단애의 형성과 침식계산에 SBEACH모델을 이용했다.

2차원 SBEACH모델의 계산 순서는 통상의 해빈 변형모델과 동일하며 다음과 같다.

- (1)파랑변형의 계산에는 Dally(1980), Dally 등(1985)의 유사식(流砂式)을 이용하였다.
- (2)안충표사량(岸沖漂砂量, cross-shore transport rate)의 계산에 관해서는 파랑의 변형에 근거하는 사빈 단면을 4개의 표사대로 나누고, 기본적으로 쇄파대 내에서는 에너지일산에 근거하여 안충표사량을 구하고 있다.
- (3)저질의 연속 식에 의한 지형변화계산은 2개의 시간레벨의 표사량에 근거한 것을 이용하고 있다.

이렇게 크게 3개의 서브모델으로 구성되어 있다. SBEACH모델을 이용하여 해안단애의 형성과정을 고찰하였으며, 비침식성 저면을 적용하여 보다 폭넓은 해빈에 적용할 수 있게되었다. 그리고 비침식성 저면을 이용하여, 방조벽을 설치하였을 때의 수치모의를 수행하여 고찰하였다.

II. 사빈 침식 모델

1. 해빈의 정식화

사빈 해안은 저질의 입경, 쇄파고, 수면상승 높이 등에 의해 특징지어지므로 Dean은 해안 형상을 Fig. 1과 같이 식(1)을 제시하였다.

$$h(x) = Ax^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

여기서, h 는 수심을 나타내며, A 는 형상파라미터($m^{1/3}$)를 나타내며 식(2)에서 구할 수 있다.



$$A = \left\{ \frac{24}{5} \left(\frac{D_s}{d_\gamma k^2 g^{1/3}} \right) \right\}^{2/3} \quad (2)$$

여기서, D_s 는 저질입경, d_γ 는 저질의 중량, k 는 무차원 쇄파정수이며, 일반적으로 0.78을 사용한다. 보통 A 는 0.079부터 0.398의 사이의 값을 사용하거나, 침강속도 w 를 포함하는 다음 식을 사용한다.

$$A = 0.067w^{0.44} \quad (3)$$

여기서, w 는 침강속도를 나타내며, 본 연구에서는 식(3)을 사용하였다.

2. 파랑의 변형계산

파랑의 변형계산에 있어서 좌표계는 Fig. 2와 같이 정의한다.

파랑변형의 기초 식은 Dally 등(1980, 1985)의 유사식(流砂式)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(F \cdot \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(F \cdot \sin \theta) = \frac{\alpha}{d}(F - F_s) \quad (4)$$

여기서, F 는 파랑의 에너지 플럭스, F_s 는 안정한 파랑의 에너지 플럭스, α 는 파랑의 감쇄계수, d 는 전 수심, θ 는 파랑의 입사각이다. 본 연구에서는 파랑의 감쇄계수를 0.15로 사용하였으며(Larson 등 1990), 사빈 해안에 내습하는 파랑은 사빈에 직각으로 입사한다고 가정하여 수치모의를 실행하였으므로 식(4)에서 $\theta=0$ 을 적용하면 다음과 같이된다.



$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\alpha}{d}(F - F_s) \quad (5)$$

안정한 파랑의 에너지 플럭스 F_s 는 다음과 같다.

$$F_s = E_s \cdot C_g \quad (6)$$

여기서, E_s 는 단위폭당 파랑 에너지 밀도 ($N \cdot m/m^2$), C_g 는 파랑의 군속도 (m/s)이다. E_s 는 다음 식으로 구해진다.

$$E_s = \frac{1}{8} \rho g H_s^2 \quad (7)$$

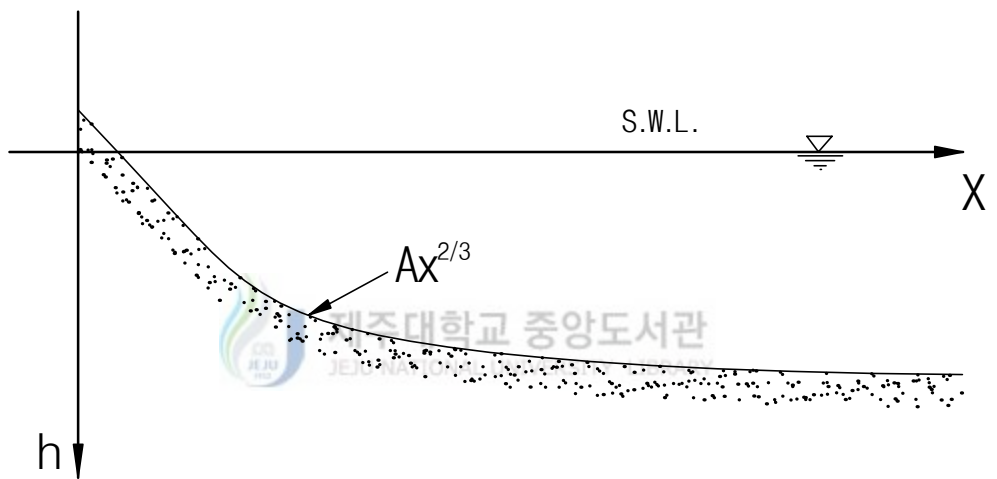


Fig. 1 The schematization of the equation of beach profile

여기서, ρ 는 해수의 밀도 (kg/m^3), g 는 중력가속도 (m/s^2), H_s 는 파고 (m)이다. 쇄파고가 수심에 비례한다고 가정하면 H_s 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_s = \Gamma h \quad (8)$$

여기서, h 는 수심 (m), Γ 는 안정상태에 있는 파고와 국소수심의 비이며, 본 논문에서는 0.4로 하였다(Larson과 Kraus 1989). 천해파의 균속도를 대입하면, F_s 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \frac{1}{8} \rho g (\Gamma h)^2 \sqrt{gh} \quad (9)$$

x 축에 평행으로 진행하는 경우 라디에이션응력은, 미소진폭파를 고려하여 다음과 같이 주어진다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\begin{aligned} S_{xx} &= \int_{-h}^{\eta} (p + \rho u^2) dz - \int_{-h}^{\eta} p_0 dz \\ &= F - \frac{1}{2} \rho g (h + \bar{\eta})^2 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, E 는 단위표면적당의 파의 전 에너지, k 는 파수, C 는 파속, C_g 는 균속도이다.

저부가 수평이 아닌 저부압력 p_h 에 의해 수평운동량의 부가 플럭스가 존재한다. 둘러싸인 수역의 운동량의 평형조건식은 다음과 같이 주어진다.

$$F + \frac{dF}{dx} dx - F = \overline{p_h} \frac{dh}{dx} dx \quad (11)$$

여기서, $\overline{p_h}$ 는 저부압력의 평균을 나타내며, Longuet-Higgins 및 Stewart 와 연직방

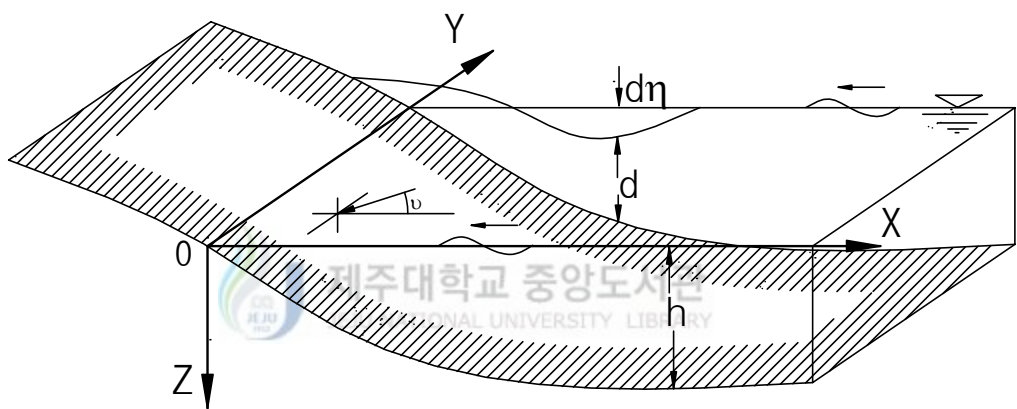


Fig. 2 The coordination system used the calcuation of wave transformation

향의 Euler의 방정식을 이용하여 저부구배가 완만한 경우에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{p}_h = \rho g(h + \bar{\eta}) \quad (12)$$

식(11)에 식(12)을 대입하여 정리하면, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dF}{dx} = \rho g(h + \bar{\eta}) \frac{dh}{dx} \quad (13)$$

정선방향으로 일정한 해빈에 정선에 대해서 파가 직각으로 입사하고 있고, 정상 상태에서는 안층방향의 운동량 방정식에 대한 수평확산항 및 저면마찰항의 기여가 작은 것으로 생각하여 무시하면, Longuet-Higgins 와 Stewart가 제안한 파의 운동에 수반되는 괴리운동량 플럭스의 개념에서 라디에이션 응력 S_{xx} 는 식(10)와 식(13)에 의해서 다음과 같이 된다.

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g d \frac{d\bar{\eta}}{dx} \quad (14)$$

여기서, S_{xx} 는 라디에이션 응력 (N/m), $\bar{\eta}$ 는 평균수면 변동 (m), $d(=h+\bar{\eta})$ 는 전수심 이다.

wave set-down에의 평균수위 $\bar{\eta}$ 는 식(13)에 의해 주어지는 S_{xx} 을 대입하고, 변수 변환을 하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다(Longuet-Higgins and Stewart 1962).

$$\bar{\eta} = -\frac{\pi H^2}{4L \sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \quad (15)$$

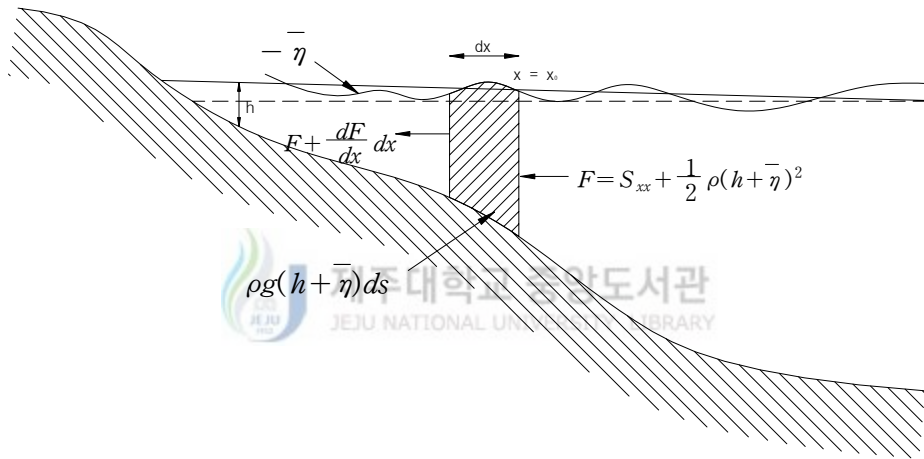


Fig. 3 The schmatization of the equilibrium conditions of energy flux

3. 안충표사량의 계산

파랑이 작용시 표사량의 기본 식은 다음과 같이 에너지소산타입을 나타낼 수 있다.

$$q_s = K(D - D_{eq}) \quad (16)$$

여기서, q_s 는 단위면적당 안충표사량, K 는 표사량계수 (m^4/N), D 는 단위면적당 에너지소산, D_{eq} 는 평형해빈 단면에서의 에너지소산을 나타낸다. 안충표사량을 더욱 정확하게 계산하기 위해서, 파랑의 변형에 근거하여, Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 해빈 단면을 4개의 표사대역((I)전쇄파대(Prebearing zone), (II)쇄파천이대(Breaker transition zone), (III)쇄파대(Broken wave zone), (IV)소상대(Swash zone))으로 구분했다(Larson 등, 1988). 안충표사량의 식은 각각의 영역에서 다음과 같이 제시되는 식을 각각 사용하였다.

영역(I)의 전쇄파대에서 안충표사량 q 는 다음과 같이 구해진다.

$$q = q_b e^{-\lambda_1(x-x_b)} \quad (17)$$

여기서, q_b 는 쇄파점에서의 표사량, λ_1 는 표사량의 공간감쇄계수, x_b 는 쇄파점 위치이다. 표사량의 공간감쇄계수는 경험적으로 저질의 입경과 쇄파파고의 관계식으로 다음과 같이 주어진다(Larson과 Kraus 1989).

$$\lambda_1 = 0.4 \times \left(\frac{D_{50}}{H_b} \right)^{0.47} \quad (18)$$

여기서 D_{50} 은 모래의 입경 (mm), H_b 는 쇄파파고 (m)이다.

영역(II)의 쇄파천이대에서 안층표사량 q 는 다음 식이 이용된다.

$$q = q_p e^{-\lambda_2(x-x_p)} \quad (19)$$

여기서, 아래첨자 q_p 는 파랑의 돌입 점에서의 안층표사량을 나타내며, 표사량의 공간 감쇄계수 λ_2 의 값은 영역(I)에서 이용한 표사량의 감쇄계수 λ_1 의 0.2~0.5배의 값을 이용한다. 쇄파천이대의 길이에 관해서는 경험적으로 쇄파파고의 3배를 사용하였다. 즉, 돌입 점의 위치 x_p 는 $x_p = x_b - 3H_b$ 로 정의된다(Larson과 Kraus 1989).

영역(III)의 쇄파대에서 안층표사량 q 는 Dean(1977)에 의해 제안된 에너지 플럭스 형의 표사량식에 경사(傾斜)항을 첨가한 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\left. \begin{aligned} q &= K \left(D - D_{eq} + \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) & \text{for } D > \left(D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \\ q &= 0 & \text{for } D \leq \left(D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

여기서, K 는 표사량계수, ε 은 국소해저경사에 의존하는 표사량계수, D 와 D_{eq} 는 Moore(1982)에 의해 각각 다음과 같이 정의된다.

$$D = \frac{1}{h} \frac{\partial F}{\partial x} \quad (21)$$

식(5)과 식(21)에 의해서 단위체적당 에너지소산 D 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D = \frac{\chi}{d^2} (F - F_s) \quad (22)$$

여기서, χ 는 파랑의 감쇄계수, d 는 전수심이다.

식(9)을 식(21) 대입하여 정리하면, 다음과 같이 주어진다.

$$D = \frac{5}{16} \rho g^{3/2} \gamma^2 h^{1/2} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (23)$$

평형해빈단면의 단위폭당 에너지소산(D_{eq})은 식(23)에 D_{eq} 를 대신 대입하고, x 에 대하여 적분하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$h = \left(\frac{24 D_{eq}}{5 \rho g^{3/2} \gamma^2} \right)^{2/3} x^{2/3} \quad (24)$$

식(24)과 식(1)에 의해서 평형해빈 단면의 단위폭당 에너지소산(D_{eq})은 형상파라미터로 다음과 같이 나타낼 수 있다.



$$D_{eq} = \frac{5}{24} \rho g^{3/2} \gamma^2 A^{3/2} \quad (25)$$

여기서, A 는 형상파라미터 ($m^{1/3}$), γ 는 쇄파지표 ($= H_b/h_b$)이다.

영역(IV)의 소상대에서의 소상 한계에 관해서는 Surf similarity parameter의 함수인 다음 식을 채용했다.

$$\frac{Z_r}{H_o} = 1.47 \left(\frac{\tan \beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \right)^{0.79} \quad (26)$$

여기서, Z_r 은 소상고, $\tan \beta$ 는 쇄파점 먼바다 쪽의 해저경사, H_o/L_o 는 심해파의 파형 경사이다. 그리고 안충표사량 q 는 쇄파대 내측에서 소상점까지 직선적으로 감소한다고 가정하면, 소상대에서는 일정하게 지형변화가 일어난다. 소상대의 표사량식은 다음의 식을 이용하여 구한다.

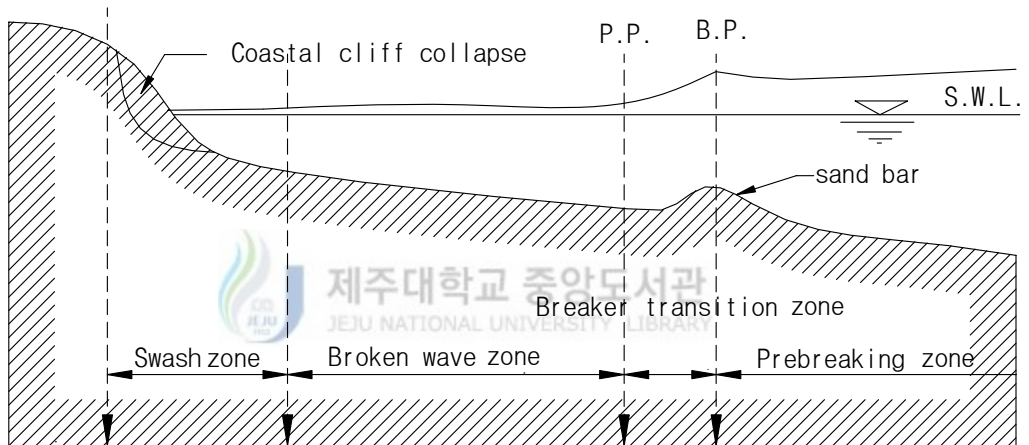


Fig. 4 Principal zones of cross-shore transport

$$q = q_z \left(\frac{x - x_r}{x_z - x_r} \right)^n \quad (27)$$

여기서, q_z 는 정선에서의 표사량, x_r 은 소상점의 위치, x_z 는 소상대의 단애쪽 끝을 나타내며, n 은 미정계수이다. 미정계수 n 을 1보다 큰 값을 취하면 단애 형성이 쉽고 하는 淺野와 松岡(1996)의 계산결과로부터 $n=1.5$ 로 했다. 또 소상대에서, 격자간의 저면 경사가 한계 안식각이 28° 를 넘으면 붕괴가 시작하고, 붕괴후 안식각이 18° 가 되면 사면이 안정된다 라는 사면붕괴효과를 가정하고 있다.

위에 설명한 표사량 식으로는 순수한 안충표사량만 구해지기 때문에, 표사방향에 관해 고려해야한다. 이 표사의 방향은 대형수로실험에 근거한 Kraus 등(1991)에 의해 다음과 같이 구해졌다.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{H_o}{L_o} > M \left(\frac{H_o}{wT} \right)^3, \quad \text{침식형} \\ \frac{H_o}{L_o} < M \left(\frac{H_o}{wT} \right)^3, \quad \text{퇴적형} \end{array} \right\} \quad (28)$$

여기서, $M=0.0007$ 이고, w 는 저질입자의 침강속도 (m/sec), T 는 파랑의 주기 (sec)이다.

4. 저질의 연속식의 계산

해빈지형 변화를 고려할 때의 저질 연속식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \quad (29)$$

단, h 는 수심, q_x, q_y 는 각각 x, y 방향의 순수한 표사량(단위시간, 단위폭당)이다.

해빈지형의 변화는 크게 연안방향(y)으로 변화하는 연안표사와 바다-육지방향(x)으로 변화하는 안층표사로 이루어진다. 본 연구에서는 안층표사량만을 취급하므로 x 방향만을 고려하면 식(29)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q_x}{\partial x} \quad (30)$$

구체적으로, 지형변화의 계산을 연속식을 이용하여 행하는 경우에는 계산의 안정성을 높이기 위하여, Δt 만큼 떨어진 2개의 시간레벨에 있어서 안층표사량을 이용하여, 다음과 같은 형태로 표사량을 구한다.

$$\frac{h_i^{k+1} - h_i^k}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(\frac{q_{i+1}^{k+1} - q_i^{k+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1}^k - q_i^k}{\Delta x} \right) \quad (31)$$



여기서, 윗첨자 k 는 시간레벨을, 아래첨자 i 는 격자번호를 나타낸다.

5. 비침식 저면의 적용

해빈은 침식이 가능한 모래만으로 이루어져 있는 경우도 있지만, 침식이 불가능한 돌등을 포함할 때도 있다. 이러한 침식이 가능한 저면과 비침식 저면을 함께 가지는 해빈을 앞에서 수치 모의한 모델에 적용한다. Fig. 5와 같이 임의의 사구-해빈 단면의 저면은 침식이 가능한 저면(모래)과 비침식 저면(암반)으로 이루어져 있지만, 먼저, 임의의 사구-해빈 단면의 저면 모든 부분에서 있어서 침식이 가능한 저면(모래)으로만 이루어졌다는 가정 하에서 수치모의를 통해 안층표사량(q_b)을 계산한다. 그리고 나서 비침식성 저면을 적용을 한다.

해빈과 비침식성 저면 사이의 모래의 이동이 가능한 량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_i = \Delta q_i \Delta t = (h_{b,i} - h_i) \Delta x \quad (32)$$

여기서 ΔV_i 는 이동이 가능한 모래 량을 나타내며, i 는 격자번호를 나타내며, h_b 는 비침식성 저면의 위치를 나타낸다. 만약 비침식성 저면이 이미 노출되어 있다면, $h_{b,i} = h_i$ 가 되며, $\Delta q_i = 0$ 이 된다. 즉, 비침식성 저면이 노출되었다면 안충표사량의 변화가 없다는 것을 의미한다.

해빈의 변화 과정 중 퇴적이 되는 부분은 비침식성 저면에는 영향을 미치지 않으며, 침식이 진행되는 부분에서는 비침식성 저면의 영향을 고려해야 한다. 이러한 침식과 퇴적은 시간의 변화에 따른 수심의 변화로서 다음과 같이 구별할 수 있다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} > 0 \quad \text{침식} \\ \frac{\partial h}{\partial t} < 0 \quad \text{퇴적} \end{array} \right\} \quad (33)$$

비침식성 저면의 적용을 위해서, 침식이 진행되는 부분에서는 시간이 지남에 따라 비침식성 저면이 노출의 여부를 알아야한다. 비침식성 저면의 노출 여부는 다음과 같은 식에서 알 수 있다.

$$h_{p,i}^k > h_{b,i}^k \quad (34)$$

여기서 h_p 는 비침식성 저면을 배제한 상태에서의 저면의 위치이며, h_b 는 비침식성 저면의 위치이며, 윗첨자 k 는 시간레벨을, 아래첨자 i 는 격자번호를 나타낸다. 식(34)은 침식에 의한 수심이 비침식성 저면 보다 크게 나타나므로 비침식성 저면이 침식된다는 모순을 의미하므로 $h_{p,i}^k = h_{b,i}^k$ 일 때부터 기존의 안충표사량 (q_p)은 수정되

어야 한다.

이렇게 수정이 요구되는 안충표사량은 Larson 과 Kraus(1998)에 의해 제안된 경험적 변수인 scour attenuation coefficient(λ_{hb})와 함께 다음과 같이 보정이 된다.

$$q = q_p + (q_{hb} - q_p)e^{-\lambda_{hb}(x - x_{hb})} \quad x \geq x_{hb} \quad (35)$$

여기서, q_{hb} 는 x_{hb} 에서의 안충표사량을 나타낸다. λ_{hb} 는 scour attenuation coefficient이며, λ_{hb} 가 클수록 급한 경사를 가지는 골을 생성한다(Larson and Kraus 1995). 본 연구에서는 $\lambda_{hb} = 1.0m^{-1}$ 으로 한다. 식(35)은 $x = x_{hb}$ 이면, $q = q_{hb}$ 이고, $x \rightarrow \infty$ 이면, $q = q_p$ 이와 같이 된다.

위와 같이 수치모의를 수행하였으며, 수치모의 계산 흐름도는 Fig. 6과 같이 나타난다.



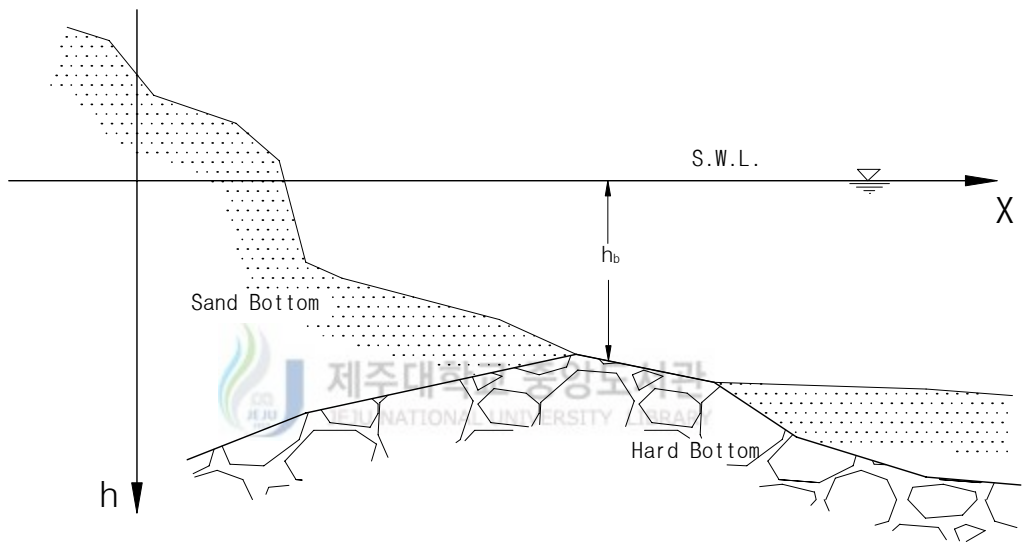


Fig. 5 The schmatization of beach profile with non-erodible bottoms

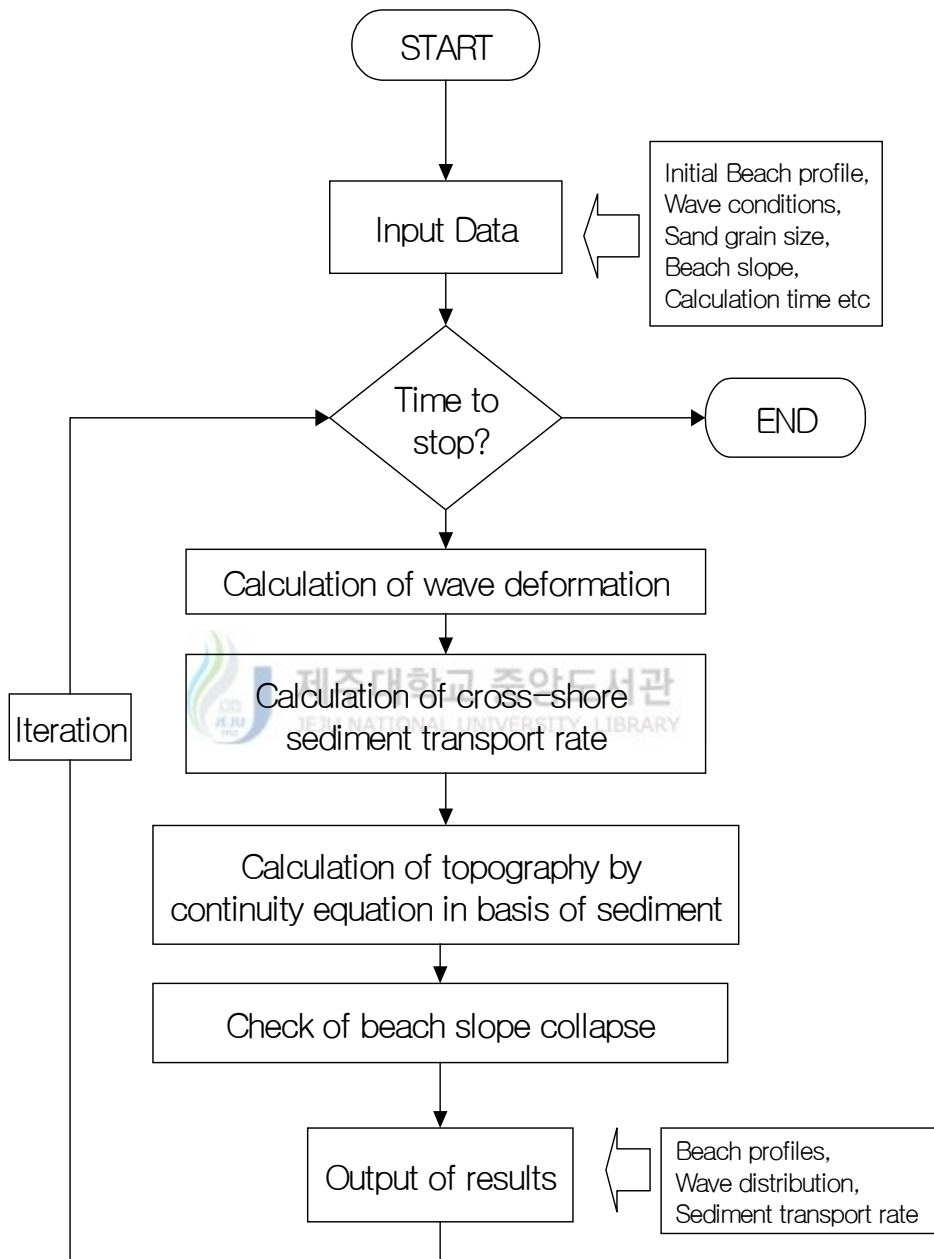


Fig. 6 The Flow chart of the numerical simulation

Ⅲ. 사빈침식 모델의 타당성 검토

1. 비침식성 저면을 포함하지 않는 모델의 타당성 검토

수치모의의 타당성을 비교 검토하기 위하여, 본 수치모의의 값을 Larson(1994)이 실시한 초기지형 1/10, 중앙 입경 0.22mm, 파고 0.57m, 주기 3.0sec, 400분 후 대형 조파수조에서 실험 값과 비교 검토하였다. Fig. 7의 비교 결과를 보면, 본 수치모의의 결과 값은 연안 제 1사주와 제 2사주 사이에서 약간 실험 값보다 큰 값을 나타내고 있으나, 대체로 일치하는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

2. 비침식성 저면을 포함하는 모델의 타당성 검토

비침식성 저면의 적용모델의 타당성을 검토하기 위하여, Fig. 8은 Dette 와 Uliczka (1986)가 German Large Wave Tank에서 Fig. 8과 같이 1/4의 기울기를 가지는 비침식성 저면을 설치하고 0.33mm의 입경인 모래로 10m 정도로 양빈하여 초기지형을 만들고, 파고 1.5m, 주기 6.0sec의 파랑을 입사시킨 실험을 수행하였다. Fig. 8은 176분 후의 해빈변화를 나타내고 있다. Dette 와 Uliczka (1986)가 실시한 실험 관측 값과 본 수치모의에 의해 계산된 결과 값을 같이 나타내 비교하였다. Fig. 8의 비교 결과를 보면, 사주의 앞부분이 실험값 보다 약간의 큰 값을 나타내고 있으나, 대체로 같은 경향을 보이며, 전체적으로 대부분 일치하는 경향을 알 수 있으며, 본 수치모의의 값은 Larson 와 Kraus (1998)가 수치모의한 값보다도 훨씬 실험 관측한 값에 더 근접한 값을 알 수 있다.

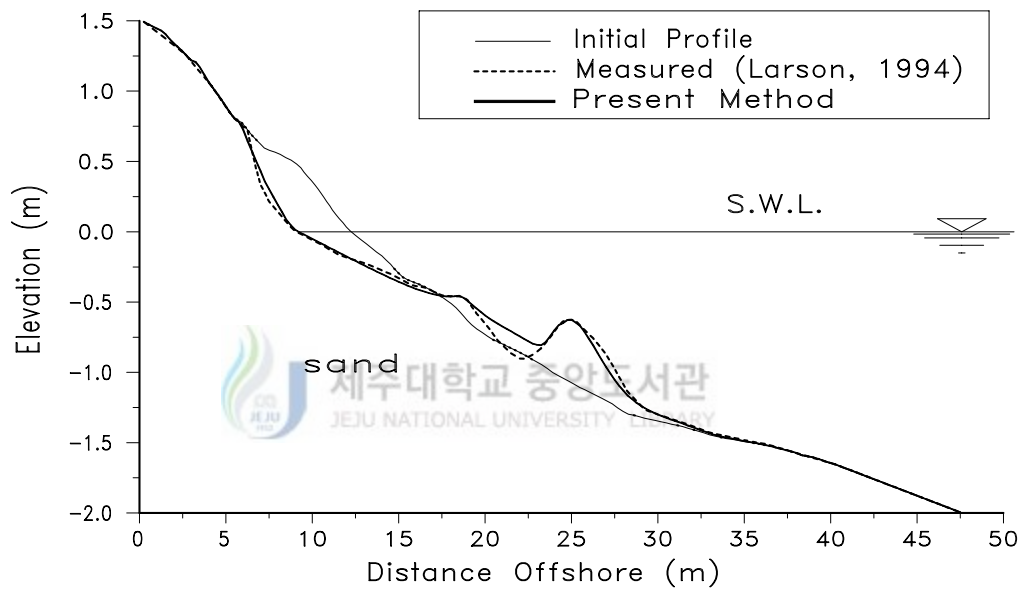


Fig. 7 The comparison and verification of the numerical method without non-erodible bottom

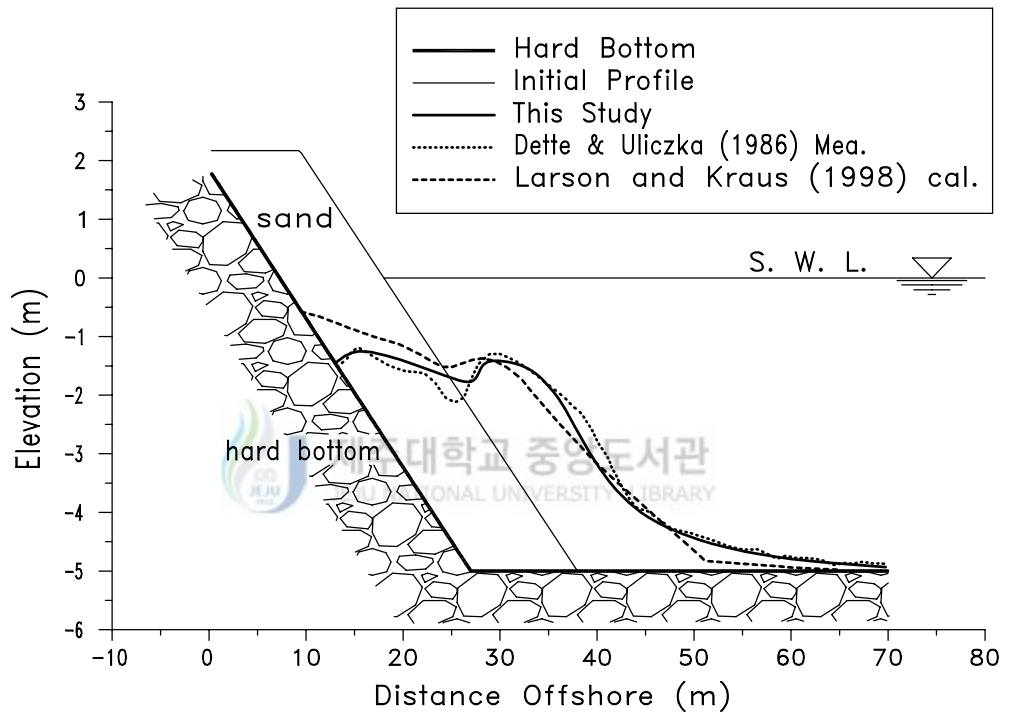


Fig. 8 The comparison and verification of the numerical method with non-erodible bottom

IV. 수치모의 결과와 고찰

1. 일정한 경사 해빈에서의 지형변화

사빈 형성 요인으로서 몇 가지 생각할 수 있지만, 여기서는 해빈 경사의 영향에 대해서 고찰한다. 침식에 대한 사구전면의 해빈 경사의 효과를 조사하기 위하여, 1/20, 1/15, 1/10의 일정한 경사에 파고 2.3m, 주기 6초의 파를 30시간 작용시킨 경우의 계산 결과를 Fig. 9, 10, 11에 각각 나타낸다.

Fig. 9의 1/20경사 해빈 모델에 관해 고찰해 보면, 파를 작용시키고 나서 1시간 뒤에 먼바다 방향으로 165.5m부근에 연안사주가 형성됨과 동시에 정선부근이 조금 침식되고 있는 것을 알 수 있다. 연안사주는 시간이 경과함에 따라 서서히 먼바다 방향으로 이동하며, 사주의 높이가 높아지고 있다. 이 연안사주의 성장에 따라 정선부근의 침식이 증대하며, 파랑작용 6시간 후에는 정선부근에 해안단애에 가까운 침식지형이 형성되어 있고, 10시간 후에는 사면의 안식각에 가까운 경사의 해안단애가 형성되고 있다. 30시간 후에는 높이 1.23m정도의 해안단애가 소상대 선단에 형성되어 있는 것을 알 수 있으며, 먼바다 방향으로 192.5m에 연안사주가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 10시간, 20시간, 30시간의 해안단애를 보면, 같은 사면 경사의 단면이 단지 해안 쪽으로 평행이동하고 있듯이 보이지만, 실제로는 그 사이에, 6시간부터 10시간의 단면변화에서 볼 수 있듯이, 계산 중 어떤 시간에 순간적으로 사면의 안식각이 한계 안식각을 넘는 경우, 해안단애에서 사면 붕괴를 일으키고, 어떤 안정한 사면으로 안정되어 가는 수치모의가 행해지고 있다. 이 때 소상대 상부에 있는 해안단애에서 대량의 토사가 소상대 안으로 공급된다. 더욱이 파랑의 작용이 지속되면 해안단애의 발달로 이어져 다음의 사면붕괴를 일으키는 현상을 만들고 있다. 이와 같은 침식거동은 대형 조파수로 실험에서 얻어진 결과와도 일치하고 있다(清水와 丸山, 1987). Fig. 9의 계산에 이용한 기준수면은 수위상승을 고려하지 않은 정수면(S.W.L.)을 사용하였다.

Fig. 10의 1/15경사를 가진 사빈에 동일 조건의 파랑이 입사한 경우에, 연안사주의 형성과 평행하여 정선부근이 침식되어 서서히 해안단애의 형성이 시작되며, 파랑작용 30시간 후에는 정선부근은 더욱더 침식이 진행되며, 사빈에는 1.74m정도의 단차를 가진 해안단애가 형성되고 있다. 보다 해빈 경사가 가파른 1/10경사의 해빈 단면, Fig. 11에서는 파랑작용 1시간 후에는 이미 완전한 해안단애가 형성되어 있고, 파랑작용 30시간 후에는 높이 3.38m의 해안단애로 성장하고 있다. 위의 계산결과로부터 알 수 있듯이, 해빈 경사가 급할수록 같은 파랑조건에 대해서도 침식량이 커져서 해안단애의 형성이 빠르고, 해안단애의 높이도 높아지며, 정선의 후퇴속도도 빠른 것을 알 수 있다. 또 연안사주의 발생위치가 보다 먼바다 쪽으로 이동하는 것도 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 해빈 경사가 급할수록 정선으로부터 상부의 전반에서 다량의 저질이 쇄파대 내로 공급된다고 말할 수 있다. Fig. 12에 해안단애의 성장의 상태를 알아보기 위해, 횡축에 시간, 종축에 해안단애의 높이를 각각 나타냈다. 이것으로부터 1/15, 1/20경사의 해빈과 1/10경사의 해빈을 비교하면, 1/10경사의 해빈에서는 시간과 함께 조금씩 해안단애 높이의 증가속도가 감소하는 경향을 확실히 알 수 있다. 이것은 해안단애가 붕괴할 때에 해안단애의 높이가 높을수록 다량의 저질을 해안단애의 기초로부터 전반으로 공급하기 때문에, 결과적으로 퇴적한 토사에 의해 침식을 늦추게 하는 것과 입사파랑에 대한 평형단면형상이 쇄파대의 지형에 가까워지기 때문에, 쇄파대 내에서 요구되는 표사량이 감소하고, 그 결과 해안단애 부근의 침식량이 감소된다고 사료된다. 정선후퇴속도와 유사한 거동을 나타내는 해안단애 정부(頂部)의 후퇴속도를 Fig. 13에 나타낸다. Fig. 13으로부터 해안단애 정부의 후퇴속도는 파랑작용 초기의 쪽이 빠르며, 작용시간의 경과와 함께 천천히 느려지고 있는 것을 알 수 있다.

2. 연안방향으로 파고분포가 다른 지형변화

해안단애는 연안방향으로 높이와 단면형상이 일정한 경우와, 연안방향으로 원호모양의 해안단애 해안이 출현하고, 그 중앙부에서는 해안단애의 높이가 높고, 양단부(兩端部)에서는 해안단애의 형성이 없는 해안단면을 나타내는 경우도 있다. 여기서는, 이

와 같은 해안단애에 대해서 연안방향에 서로 다른 파고분포가 존재하기 때문에, 이와 같은 지형이 출현한 것이 아닌가 하고 생각하여 수치모의를 하였다. 먼저, 계산에 있어서는 계산의 편의성을 고려하여 서로 다른 파고의 분포가 연안방향으로 존재한다고 가정하여, Fig. 14에 나타내는 파고분포를 가정한다. Fig. 14의 파고분포는 계산의 편의성을 고려하여 계산에 이용하는 입사파고를 다음과 같이 가정하여, 해안단애의 연안방향으로 파고분포를 계산하였다.

$$H(x) = H_1 + H_2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{400} x\right) \quad (36)$$

수치모의에는 1/16의 일정한 경사의 해빈을 이용했다. Fig. 15는 식(36)에 의하여 각각의 파랑이 20시간 작용 후 각각의 해빈 지형과 해안단애의 단면을 연안방향으로 나열하여 나타냈다. 그 결과 입사파고에 따라 정선의 위치가 굴곡하고 있는 것을 알 수 있다. 해안단애 정부의 연안방향분포의 쪽이 정선의 연안방향분포에 비해 그 굴곡의 정도가 크다. 이와 같이 Fig. 14에 나타내는 연안방향으로 서로 다른 파고분포를 가진 파랑이 입사하는 경우에는, 입사파고가 큰 중앙부근에서 침식량이 크고 해안단애의 높이가 높으며, 입사파고가 작은 양단부근에서는 침식량이 적어 해안단애의 높이도 작은 것이 수치모의에 의해 확인되었다. 또 해안단애의 크기와 대비하여, 정선과 해안단애의 정부 라인과 함께 연안방향으로 원호모양의 분포를 가진 것을 알 수 있었다.

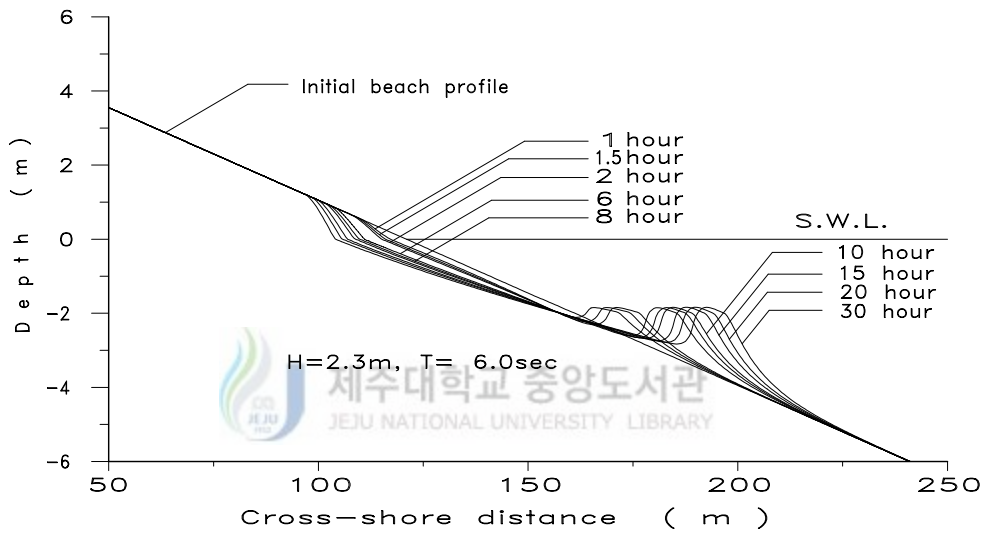


Fig. 9 Topography change in the beach slope of 1/20

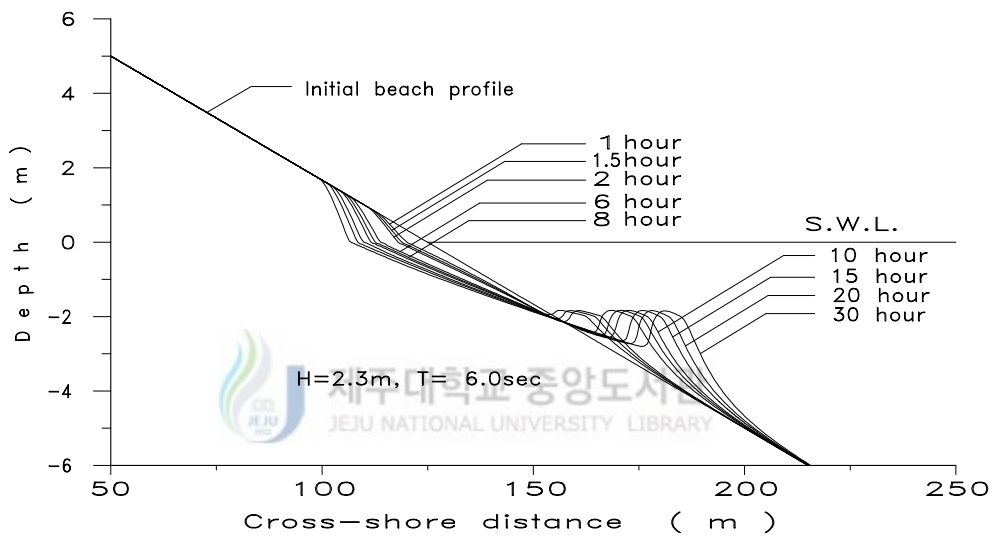


Fig. 10 Topography change in the beach slope of 1/15

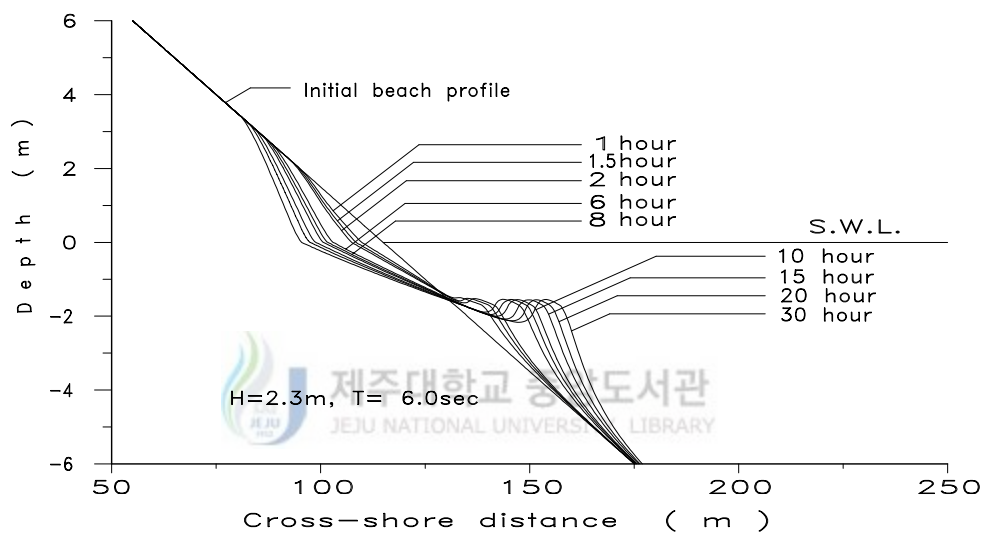


Fig. 11 Topography change in the beach slope of 1/10

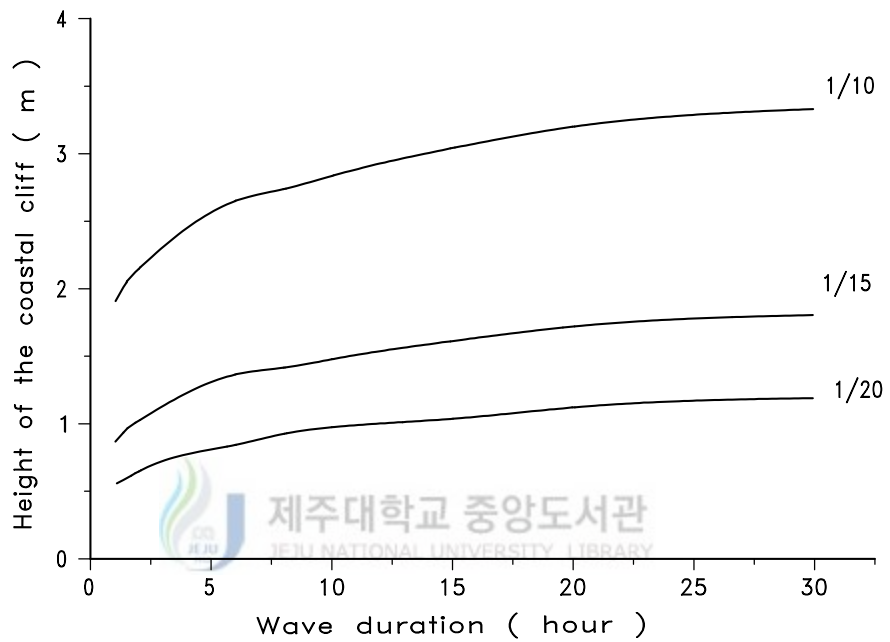


Fig. 12 The change of beach cliff height in the beach slope of 1/20, 1/15, 1/10

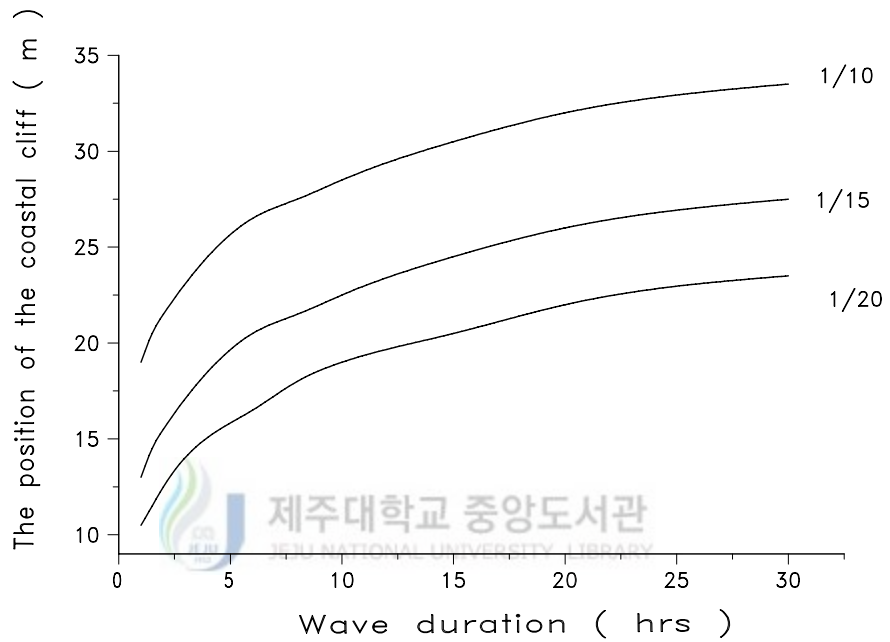


Fig. 13 The regression velocity of the top of the beach cliff in the beach slope of 1/20, 1/15, 1/10

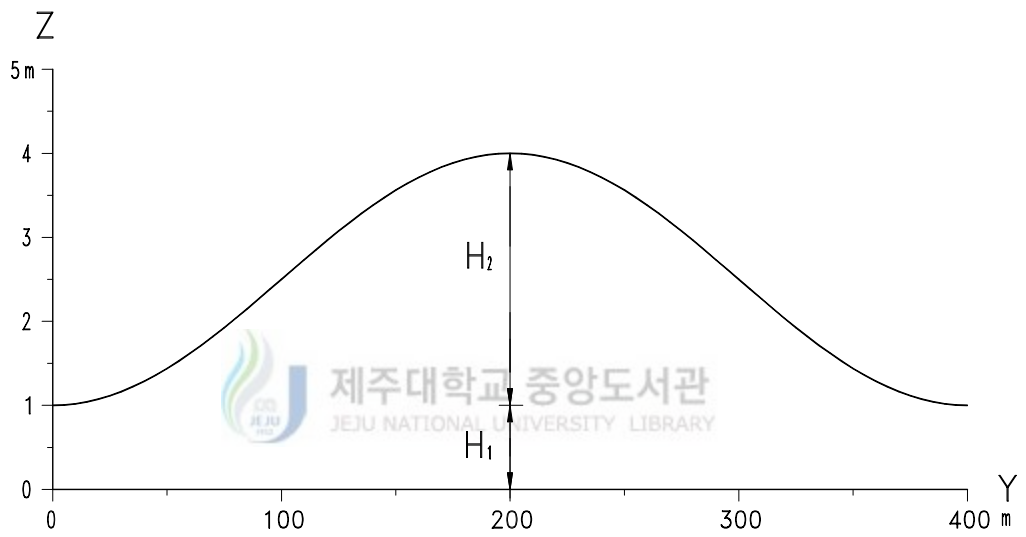


Fig. 14 The distribution chart of incidence wave height

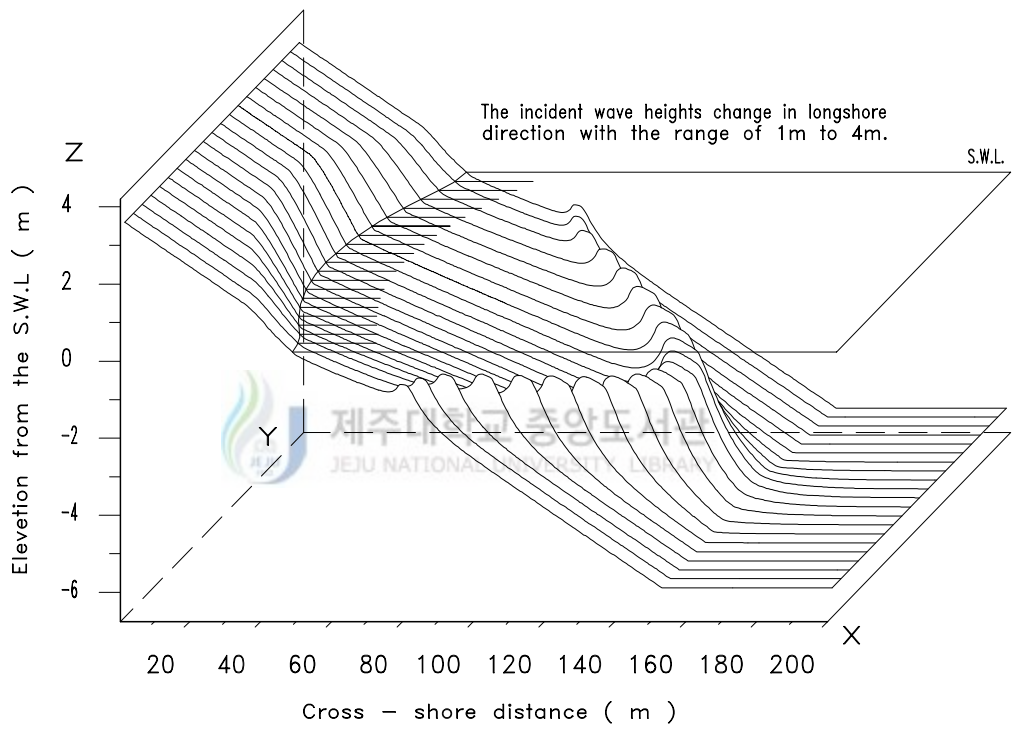


Fig. 15 The formation of beach cliff with the different incidence wave height along shore

3. 임의의 사구-해빈 단면에서의 지형변화

앞의 설명에서는 해안단애의 형성에 대한 일정한 해빈의 경사에 관한 영향에 대해 고찰했다. 이와 같이 단순하고 일정한 경사를 가진 해빈은 적으며, 자연의 해빈 단면은 좀더 복잡하다. 여기서는 실제와 유사한 임의의 사구-해빈 단면을 가진 해안에 파고 2.5m, 주기 6초의 입사파랑이 30시간 작용시킨 경우에 대하여 수치계산을 수행하였다. 단 여기서는 태풍이나 계절풍 혹은 허리케인 등에 의한 평균수위 상승이 없는 경우와 평균 수위의 상승이 1.0m, 2.0m인 경우를 상정했다. 계산시간 동안에는 수위가 일정한 평균정수면(S.W.L.)을 사용하였다. 또 현지에 적용할 경우에는, 조위변동이나 해일 등의 수위기록을 단지 수심에 더하여 계산하였다. 그리고 해안단애의 침식을 저지하는 한가지의 방법으로서, 방조벽을 설치하였을 때를 수치모의하여, 방조벽을 설치하지 않았을 때와 비교하였다.

1) 방조벽을 설치하지 않았을 때

Fig. 16는 평균수위의 상승이 없는 경우로 입사파랑의 쇄파에 의해 연안사주가 형성되며, 연안사주가 서서히 먼바다 방향으로 이동하고 있다. 정선부근에도 약간의 침식을 볼 수 있지만, 파랑작용 30시간 후에는 더 이상 해안단애 형성을 거의 볼 수 없다. 그런데, Fig. 17의 평균수위의 상승이 1m인 경우에는, 연안사주의 형성과 함께 해안단애가 형성되어 소단의 침식도 진행되고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 18의 평균수위의 상승이 2.0m인 경우는, 소단이 완전하게 침식된 후, 사구의 침식이 시작되어 파랑에 의한 침식량도 Fig. 16, Fig. 17에 비해 비교적 크게되고 있다. 이들의 결과로부터, 해일 등과 같이 평균수위의 상승을 동반하는 침식성의 파랑이 사빈에 내습하면, 소단을 포함하여 사구의 침식이 조장되는 것을 알 수 있다. 이것은 통상 임의의 사구-해빈 단면에서는 결과적으로 수위상승이 클수록 사면경사가 급하게 되어 침식이 쉽게 되며, 해안단애의 형성이 조장되는 것으로 사료된다. 또, 평균수위 상승량이 클 때에는 사구로부터 공급되는 저질이 연안사주의 형성을 조장하고, 그 결과 해빈에 작

용하는 파랑 에너지를 감소시키는 작용을 하기 때문에, 충분한 높이의 폭과 넓은 사구를 보전하는 것은 해안관리상 중요한 것으로 사료된다.

2) 방조벽을 설치하였을 때

해빈에서의 중요한 역할을 하는 사구의 보전·관리는 위에서 언급한 것과 같이 매우 중요하다. 이러한 사구의 보전·관리하는 방법의 하나로서 방조벽을 설치하여 해안단애의 침식을 저지하는 것이다. 방조벽의 설치는 해안단면이 시작되는 부분에서부터 50m 부분에 설치하고, 높이 크기 등은 임의로 가정하였으며, 수치모의하기 위하여 비침식 저면을 포하는 수치모의 모델을 이용하였다. 방조벽을 하나의 비침식성 저면으로 취급하여 정확한 안충표사량을 구하였으며, 방조벽을 포함하는 해빈침식의 변화가 어떻게 거동하는지를 알기 위해서 수치모의를 실시하였다.

Fig. 19는 평균수위의 상승이 없는 경우이며, 이 경우, 해안침식이 방조벽을 설치한 부분까지 파랑의 영향을 미치지 않으므로 방조벽을 설치하였을 때와 설치를 하지 않았을 때의 해빈 침식의 변화는 같다. Fig. 20은 평균수위가 1m 상승했을 경우는, Fig. 17과 같은 연안사주를 형성하지만, 방조벽으로 파랑의 내습을 저지하므로 해안단애의 침식을 저지할 수 있다. 해안단애의 침식을 저지함으로써 해안선의 후퇴를 저지할 수 있다. 방조벽에 의해서 해안단애의 침식을 저지는 하나, 방조벽의 앞부분에는 방조벽을 설치하지 않았을 때 보다 더 많은 침식이 일어나는 것을 알 수 있다. Fig. 21은 평균수위가 2m 상승했을 경우의 수치모의 결과이다. Fig. 18과 비슷한 연안사주를 형성한다. 그러나, 해안단애의 침식에서 현저하게 다른 변화를 보여주고 있다. 평균수위 2m 상승에 의해 저지되는 파랑의 양이 Fig. 20 보다 많았으므로, 방조벽의 앞부분에는 Fig. 20보다 더 많은 침식이 일어난다. 그리고 일정한 시간이 지나면, 방조벽의 앞부분에는 침식이 완전히 일어나며, 그 후, 침식이 세굴로 바뀌게 된다. 해안단애의 침식을 저지하는 한 가지 방법으로서 방조벽을 이용할 경우 이와 같은 방조벽의 세굴의 안전성에 대한 검토가 필요하다고 사료된다.

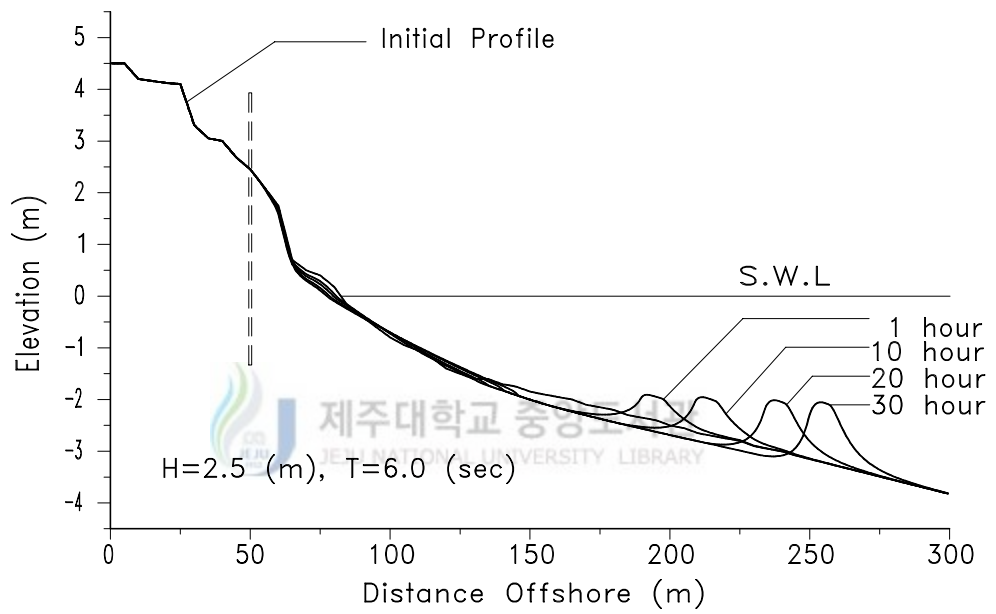


Fig. 16 The change of beach profile without wave steep

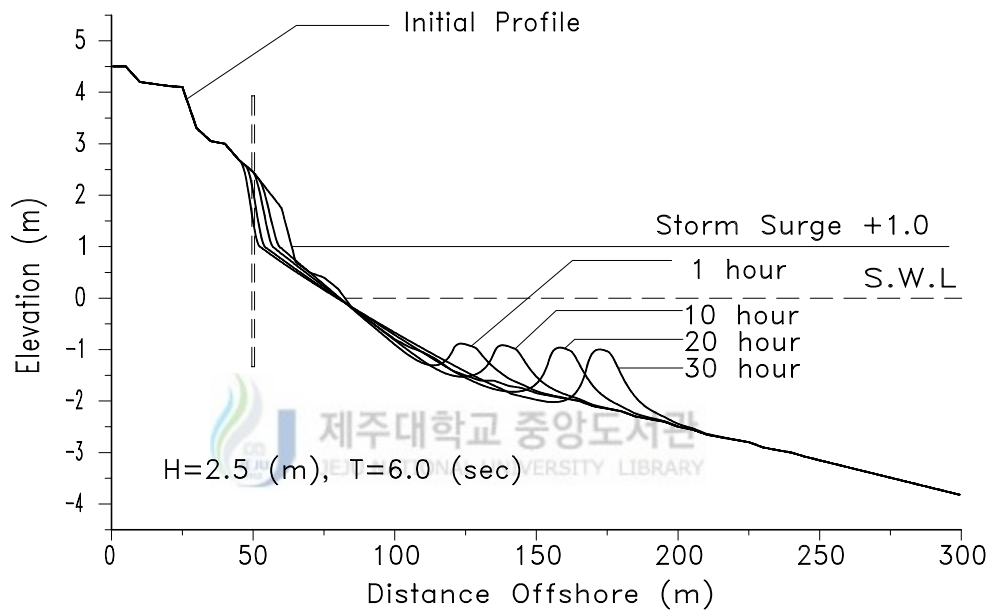


Fig. 17 The change of beach profile with wave setup by +1.0m

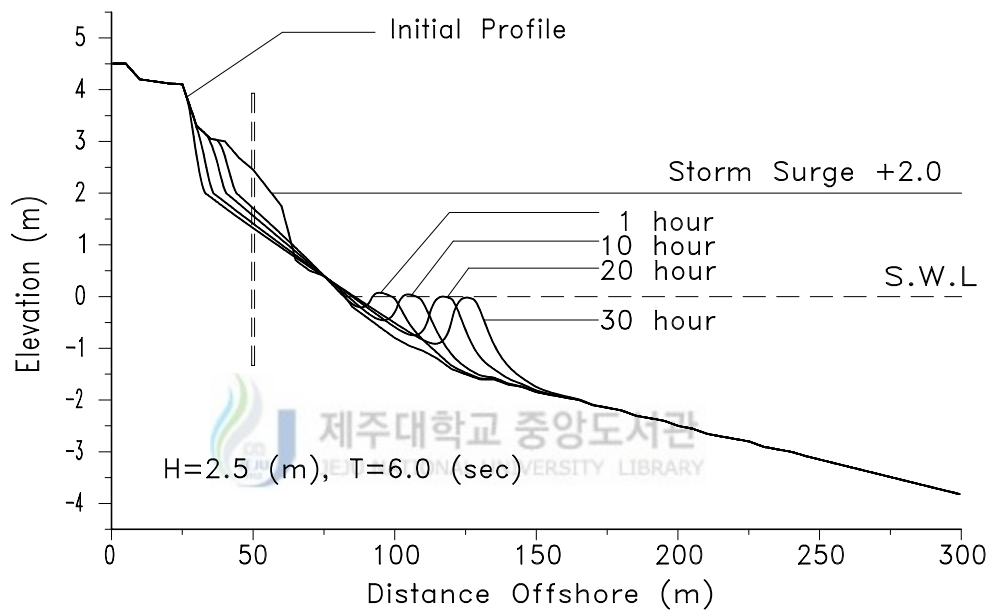


Fig. 18 The change of beach profile with wave setup by +2.0m

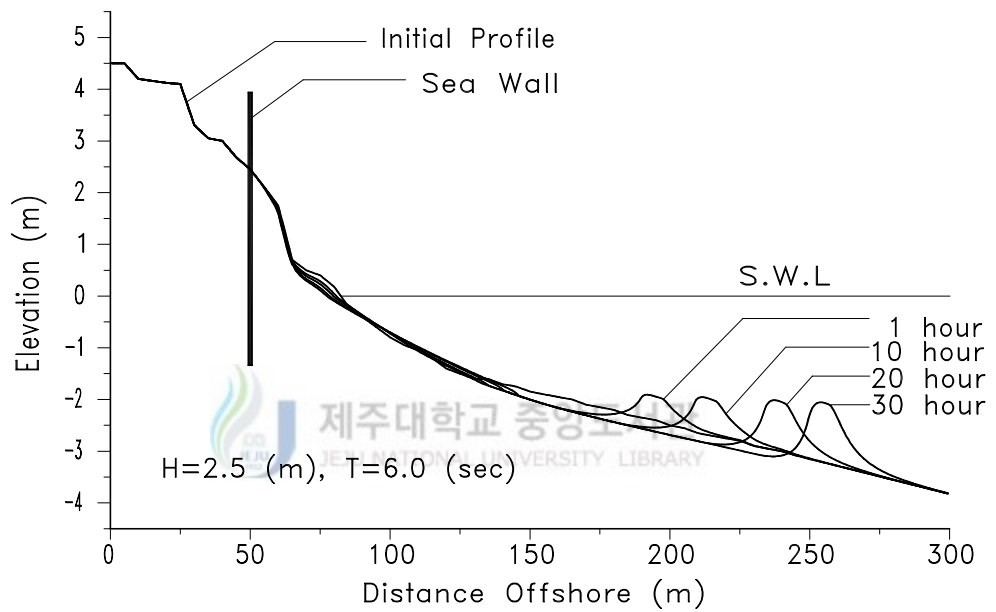


Fig. 19 The change of beach profile with a seawall and without wave setup

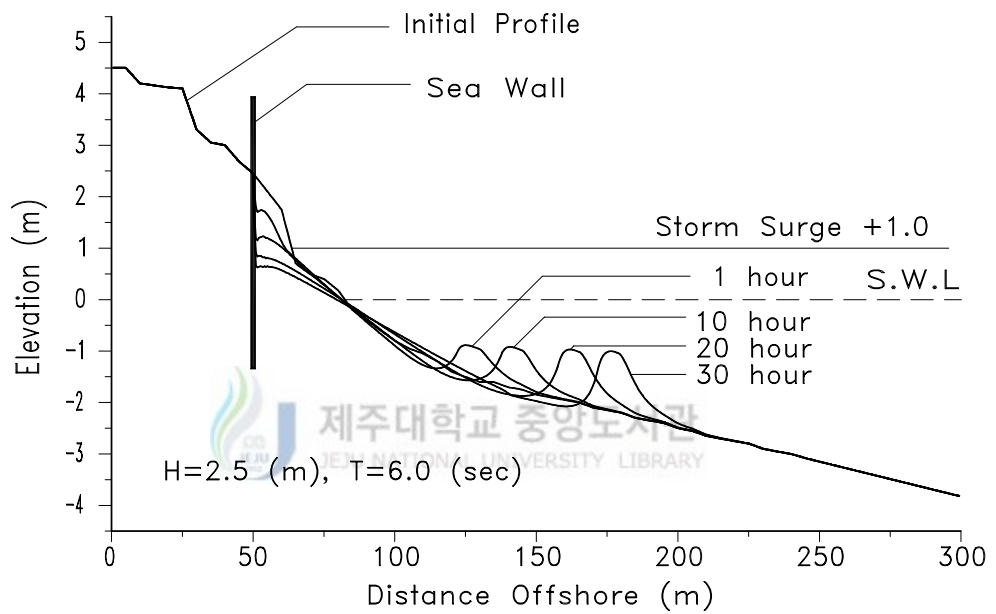


Fig. 20 The change of beach profile with a seawall and with wave setup by +1.0m

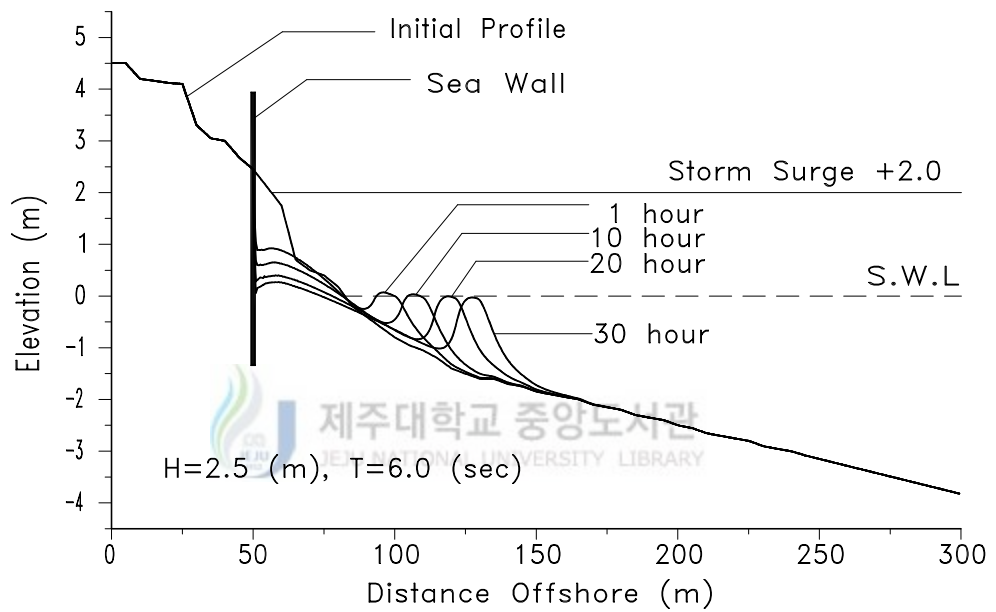


Fig. 21 The change of beach profile with a seawall and with wave setup by +2.0m

V. 결 론

해안의 보전 및 이용상의 문제를 해결하기 위하여, 해빈의 변화 과정에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 수치모의를 이용한 해빈거동의 예측이 해안의 보전과 이용상의 문제를 해결하는 한가지의 방법으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 수치모의를 통하여 해안단애의 형성과 수위상승을 동반하는 폭풍우가 내습할 경우의 해안단애의 침식에 의한 거동을 고찰했고, 해안단애의 침식에 의한 피해를 줄이기 위해서, 방조벽을 설치하였어 수치모의를 하였다. 각각의 수치모의 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 사구전면에 존재하는 일정한 경사의 해빈에서는 해빈경사가 급할수록 정선근방의 침식이 크고, 침식과정에서 형성되는 해안단애의 높이도 높게되는 것을 알았다.
- (2) 연안방향으로 형성되는 원호모양의 분포를 가진 해안단애는, 연안방향으로 입사 파랑 분포의 차이가 원호모양의 해안단애를 형성하는 하나의 원인으로 사료된다.
- (3) 임의의 사구-해빈 단면에 평균수위의 상승을 동반하는 높은 파랑을 작용시킨 경우, 파랑 높이가 높을수록 해안단애나 사구의 침식 규모가 큰 것을 알았다.
- (4) 방조벽에 의해서 해안단애의 침식을 저지하여, 사구의 후퇴를 막을 수 있었다.
- (5) 평균수위의 상승이 높을수록 방조벽에 의해서 저지되는 파랑의 량이 많아지기 때문에, 방조벽의 앞부분에서 침식의 량이 많이 일어난다.
- (6) 일정시간이 지나면, 방조벽의 기초에 세굴이 일어난다는 것을 알았다.

본 수치모의는 비침식성 저면을 포함하는 해빈 침식의 수치모의 모델을 통하여, 보다 현실적인 해빈에 대해서도 수치모의 할 수 있지만, 앞으로는 비침식성 저면 뿐만 아니라, 사구와 해빈 저질의 저질입자의 상이, 사구면의 다짐효과, 식생에 의한 피복효과, 비사에 의한 침식부의 회복, 해일에 기인하는 흐름효과 등을 포함하여 수치모의의 정도를 높이고, 또한 현지관측 등에 근거한 수치모의의 개량이 향후 연구과제가 될 것이다.

VI. 참고문헌

- 김남형역(1996), 표사와 해안침식. 청문각.
- 김남형 · 신문섭역(1999), 해안환경공학. 원기술.
- 김남형 역(2002), 수치유체역학. 원기술
- 김남형 · 강현우 (2002), 해안단애의 형성에 관한 수치모의. 한국지반환경공학회논문집, 제 3권, 제 2호 pp. 71~79.
- 이철웅 · 이길성(1995), 복합 수치모형에 의한 연안사주의 생성과 변화의 모의. 대한토목학회논문집, 제 15권 제 6호, pp. 1811~1821.
- Dally, W. R.(1980). A numerical model for beach profile evolution, M. S. thesis, University of Delaware, Newark, DE.
- Dally, W. R., Dean R. G. and Darlymple, R. A.(1984), A model for breaker decay on beaches. Proceeding of the 19th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 82~98.
- Dean R. G.(1977), Equilibrium beach profiles. U. S. Atlantic and Gulf Coasts, Ocean Engineering Report No. 12, Dept of Civil Engineering University of Delaware, Newark, Delaware.
- Detle, H.H. and Uliczka, K.(1986). "Velocity and sediment concentration fields across surf zones", Proceedings of the 20th Coastal Engineering Conference, (ASCE), pp 1,062-1,444.
- Goda, Y.(1985), Random seas and design of maritime structures. Tokyo, University of Tokyo Press.
- Hughes, S. A. and Chiu, T. Y.(1981), Beach and dune erosion during severe storms. Dept. of Coastal and Oceanographic Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida.
- Kriebel, D. L. and Dean, R. G.(1984), Beach and dune response to severe storms. Proceeding of the 19th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 1584~1599.
- Kriebel, D. L. and Dean, R. G.(1985), Numerical simulation of time-dependent Beach and dune erosion. Coastal engineering, Vol. 9, pp. 221~245.
- Kriebel, D. L.(1990), Advances in numerical modeling of dune erosion. Proceeding of the 22th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 2304~2317.
- Kraus, N. C., Larson, M., and Kriebel, D. L.(1991), Engineering of beach erosion and accretion predictors. Coastal Sediments 91, pp. 572~587.

- Larson, M. and Kraus, N. C.(1989), SBEACH : Numerical model for simulating storm induced beach change. Report 1. Empirical foundation and model development. Technical Report CERC-89-9.
- Larson, M. and Kraus, N. C.(1990), Numerical model for simulating storm induced beach change. Report 2. Numerical foundation and model test. Technical report CERC-89-9.
- Larson, M., Kraus, N. C. and Sunamura, T.(1988), Beach profile change: morphology, Transport rate and numerical simulation. Proceeding of the 21th Coastal Engineering Conference, ASCE., pp. 1295~1309
- Larson, M.(1994) Predictive beach profile change at mesoscale under random waves, Proc. 24th Int. Conf. on Coastal Eng., pp. 2252~2266.
- Larson, M. and Kraus, N. C.(1998), SBEACH : Numerical model for simulating storm induced beach change. Report 5. Representation of nonerodible bottoms. Technical report CERC-89-9.
- Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart(1962), Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to "surf beat", J. Fluid Mech., Vol. 13, pp. 481~504.
- Moore, B. D.(1982), Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. M. S. thesis, University of Delaware, Newark, DE.
- Sargent, F. E. and Brikemeier, W. A.(1985), Application of the dutch method for estimating storm-induced dune erosion. Instruction Report CERE-85-2, pp. 1~22.
- van de Graaff, J.(1977), Dune erosion during a storm surge, Coastal Engineering. Vol. 1, pp. 99~134.
- Vellinga, P.(1982), Beach and dune erosion during a storm surge, Coastal Engineering. Vol. 6, pp. 361~389.
- Vellinga, P.(1983), Predictive computational model for beach and dune erosion during storm surge. Proceedings coastal Structures 83, Washington DC, pp. 806-819.
- Vellinga, P.(1986), Beach and dune erosion during a storm surges. Delft Hydraulics Communication No. 372.
- 堀川清司・砂村継夫(1967), 船空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究. 第14回海岸工學講演會講演集, pp. 315~324.
- 堀川清司・砂村継夫(1968), 海蝕崖の侵食に關する實驗的研究. 第15回海岸工學講演會講演集, pp. 149~157.

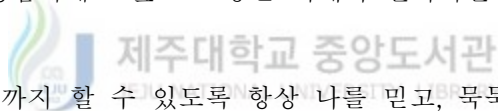
- 堀川清司・砂村継夫(1969), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について- 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究-第2報-. 第16回海岸工學講演會講演集, pp. 137~145.
- 堀川清司・砂村継夫(1970), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について(2) - 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究-第3-報-. 第17回海岸工學講演會論文集, pp. 289~296.
- 堀川清司・砂村継夫(1972), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について(3) - 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究-第4報-. 第19回海岸工學講演會論文集, pp. 13~17.
- 淺野敏之・松岡昌夫(1996), 浜崖の形成過程に着目した2次元海浜變形に關する研究. 海岸工學論文集, 第43卷 pp. 486~490.
- 清水隆夫・丸山康樹(1987), 岸沖海浜變形豫測モデルと實規模 データによる適用性の検討. 第34回海岸工學講演會論文集, pp. 286~290.



감사의 글

부족한 점이 많았던 저에게 학문적 기본소양과, 연구자세를 가르침을 주시고, 논문을 끝까지 마칠 수 있도록 끊임없는 격려와 조언을 주신 지도교수 김남형 교수님에게 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 그리고, 바쁘신 와중에도 논문을 심사를 맡아 세심하게 검토하고 지적하여 주신 김상진 교수님, 조일형 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 학부에서부터 대학원을 마치는 동안 많은 가르침을 주신 양성기 교수님, 남정만 교수님, 이병걸 교수님, 박상렬 교수님, 고희성 교수님께도 감사 드립니다.

논문이 완성되기까지 항상 같이하면서 격려와 힘을 주었던 영택형, 지훈형, 학과 조교를 하면서 많은 도움을 주었던 순보에게도 고마운 마음을 드립니다. 그리고 대학원 생활을 같이 하면서 격려를 해주었던 창훈, 영웅, 태우, 현수, 동일, 용철, 승희, 건, 영범, 덕철, 그리고 영임에게도 앞으로 좋은 미래가 펼쳐지길 기원 합니다.



끝으로 공부를 끝까지 할 수 있도록 항상 나를 믿고, 묵묵히 지켜보시면서 많은 용기를 주셨던 아버지, 그리고 많은 뒷바라지를 해주신 어머니, 객지생활에 고생하시면서도 많은 격려를 해주었던 큰 매형, 그리고 큰 누님, 힘든 식당 일을 하시면서도 언제나 힘이 되어주었던 작은 매형, 작은 누님, 그리고, 동생 모두들에게 이 논문으로 써나마 고마운 마음을 전합니다.

2002 년 12월

A handwritten signature in black ink, appearing to be '김남형' (Kim Nam-hyeong).

발표논문 리스트

(1) 학회지 발표논문

- ①. “해안단애의 형성에 관한 수치모의”, 한국지반환경공학회, 논문집, 제3권 제2호, 2002년 6월 pp. 71~79.
- ②. “A numerical simulation on the coastal cliff change with non-erodible bottom”, 한국해양공학회, 2002년(심사중).

(2) 학술 발표회 발표논문



- ①. “해안단애의 형성에 관한 수치모의”, 제1회 대학원생 학술발표회 발표요약집, 제주대학교 BK21 사업단, pp. 80~84, 2002년 5월.
- ②. “사빈해안의 침식에 관한 수치모의”, 대한토목학회, 2002년도 학술발표회, 2002년 11월.
- ③. “Joint Symposium of Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University and College of Ocean Science, Cheju National University”, College of Ocean Science, Brain Korea 21 Cheju National University 2002. 11.