

論 文

조위변동을 고려한 폭풍해일시의 해안침식에 관한 연구

손 창 배*

Beach Erosion during Storm Surge Overlapped with Tide

*Chang-Bae Son**

〈목 차〉

Abstract

1. 서론

2. 폭풍해일시 해빈단면지형의 변화모델

3. 조위변동을 동반한 폭풍해일 작용시의

단면지형응답

4. 결론

참고문헌

Abstract

This paper describes a simple prediction method of beach recession induced by storm surge. In order to evaluate the severest beach erosion, it is assumed that maximum beach recession occurs at the coming of storm surge overlapped with spring tide. Consequently, total surge level becomes the sum of storm surge level and tidal range. Generally, storm surge level around Korea is small compared with tidal range. Therefore total surge can be expressed as the series of surges, which have same duration as tide.

Through the case studies, the author investigates correlation between tidal range, duration, wave condition, beach slope and beach recession.

* 한국해양대학교 강사

1. 서 론

폭풍해일(storm surge)은 저기압과 강풍에 의한 해수면의 급격한 상승을 동반하며, 일반적으로 태풍시에 주로 발생하므로 연안역에 많은 피해를 가져오고 있다. 주로 발생하는 피해의 예로는 강풍 및 고파랑에 의한 선박, 항만구조물, 해안구조물 등의 파괴, 고파랑에 의한 해빈의 소실, 수위상승으로 인한 저지대의 침수 및 범람 등을 들 수 있으며, 재해 방지의 차원에서 폭풍해일에 관한 연구가 중요시되고 있다. 이 중에서도 폭풍해일 동안의 해빈침식에 관한 문제는 짧은 시간 스케일의 표사이동문제로서 해안선에 수직인 방향의 횡단 표사이동문제로 취급되어 왔다. 폭풍해일은 짧은 작용시간에 비해 상당량의 해빈저질을 깊은 곳으로 유출시켜 해빈을 크게 소실시키며, 기상 및 해상조건 때문에 현지관측이 어려워 실측자료가 부족한 실정이다.

폭풍해일과 침식에 관한 기존의 연구결과의 일부를 요약하면 다음과 같다.

Edelman[1]은 쇄파대내의 해저단면지형이 저질 특성의 함수로 주어지는 직선으로 표시되며 표사이동이 쇄파대에서만 발생한다는 가정하에 사구(dune)의 침식량을 폭풍해일의 수위상승폭 및 사구 높이의 함수로 나타내었다.

Kobayashi[2]는 경험적 표사량식 및 표사의 연속식을 이용하고, 해빈단면지형을 수직인 모래둔덕(berm)과 직선으로 표시되는 쇄파대로 이상화하여 수위상승폭이 일정한(rectangular storm surge hydrograph) 폭풍해일을 가정하여 침식량을 이론적으로 구하였다. Kriebel and Dean[3,4,5]은 폭풍의 발생확률[3], 수치모델에 의한 표사량 및 침식량 산정[4], 수위상승에 대한 해빈단면지형의 변동을 나타내는 해석해[5] 등 폭풍해일에 관련된 일련의 연구를 수행하였다. Kriebel and Dean에 의한 해석해[5]는 해빈단면지형이 파랑에 대해 지수함수적인 시간변동을 한다는 실험결과에 근거한 것으로 수위변동이 간단한 함수로 주어질 때 해석적으로 구해질 수 있다.

이상의 연구는 폭풍해일 발생 과정중 정선

(shoreline) 부근에서 침식된 해빈저질이 유출되는 범위를 쇄파대내로 한정하고 있으나, 폭풍해일 동안의 고파랑을 고려할 때 표사발생 범위를 쇄파대로 한정하는 것은 실제현상과 차이가 있는 것으로 판단된다. Son and Noda[6]는 표사발생 한계를 佐藤·田中[7]의 표층이동한계수심(critical depth for surface sediment movement)으로 가정하고 수위변동을 단계별로 나누어 적용함으로써 Kriebel and Dean의 해석해가 복잡한 수위변동함수에 대해서도 적용될 수 있는 방법을 제시하였다.

한편, 폭풍해일의 재현실험으로는 파랑조건 및 수위상승량의 변화와 해빈단면지형 변화의 상관관계를 밝힌 西 등[8], Son and Noda[6]의 실험과 대형수조실험을 통하여 실험과 현지의 축척효과에 대해 논한 Vellinga[9]의 연구 등이 있다.

그런데, 실제로 폭풍해일에 의한 침식 및 범람 등 최대피해가 발생할 수 있는 상황으로 쉽게 예측할 수 있는 것은 조위가 최대가 되는 시점(만조)과 폭풍해일의 수위가 최대에 이르는 시점이 일치하는 경우이다. 조위변동이 침식에 미치는 한 예로써, 일본의 경우, 동해 연안지역보다 태평양 연안지역의 침식이 대체로 심한데 태평양 연안의 거친 파랑 조건과 큰 조위변동이 주요한 원인으로 일컬어지고 있다. 우리나라 연안에서 폭풍해일의 수위변동은 20~40 cm 내외[10]로 0.5~10m의 조위변동에 비해 작으므로, 조위변동과 중첩되면 주기가 약 12시간 30분이고 평균수위 변동량이 0.5~10m 이상인 폭풍해일이 고파랑과 함께 연속적으로 해빈을 내습하는 것으로 생각할 수 있다.

조위변동을 고려하지 않은 폭풍해일의 수위상승량 및 그 지속시간, 파랑조건 등이 해빈침식에 미치는 영향에 대해서는 몇몇 연구결과[5,6]가 알려져 있지만, 조위변동의 영향에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 Kriebel and Dean[5]이 제안한 방법을 조위변동을 동반한 폭풍해일의 경우에 적용하여 조위변동이 해빈침식에 미치는 영향을 논의하였다.

2. 폭풍해일시 해빈단면지형의 변화모델

해빈에 동일한 파랑을 장시간 동안 작용시킬 때, 해빈단면은 파랑작용의 초기단계에 급속히 변화하며 시간의 경과와 더불어 그 변화속도가 점점 늦어져서 일정시간이 경과한 후에는 더 이상 변하지 않는 평형단면이 형성됨은 기존의 여러 실험결과로부터 잘 알려져 있다[11,12]. 식(1)~식(3)은 이와 같은 단면지형의 파랑에 대한 응답특성을 정선, 해빈단면지형 혹은 표사량 등의 시간변화로 조금씩 다른 형태로 나타낸 것으로 모두 지수함수를 포함하고 있다[13,5,14].

$$x(t) = A'H_0(18 - C)(1 - e^{-\alpha t}) \quad (1)$$

여기서 $x(t)$ 는 정선위치, H_0 는 심해파 파고, A' 는 현지조건으로부터 주어지는 상수, α 는 상수로 시간스케일, C [15]는 정선위치의 전진 및 후퇴를 결정하는 값으로 파랑조건, 저질조건, 해빈기울기의 함수로 주어진다[13].

$$R(t) = R_\infty(1 - e^{-t/T_s}) \quad (2)$$

여기서 $R(t)$ 는 해빈단면상 임의지점(depth contour)의 변위, R_∞ 는 평형단면이 되었을 때 그 지점의 변위(최대변위), T_s 는 단면지형의 변화속도를 결정하는 파라미터로 침식시간규모를 나타낸다 [5].

$$q_m(t) = q_0 e^{-A_c t/T} \quad (3)$$

여기서 $q_m(t)$ 은 횡단방향(cross-shore direction) 표사이동량, q_0 는 표사이동 초기에 발생하는 횡단방향 최대표사이동량, A_c 는 상수, T 는 파 주기를 나타낸다[14].

Fig. 1은 식(2) 및 식(3)을 표시한 것으로, 단면 및 표사량 변화가 시간의 경과와 함께 지수

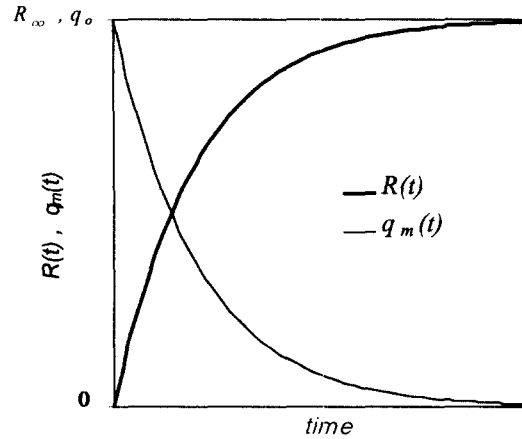


Fig. 1 Time variations of depth contour and sediment transport rate

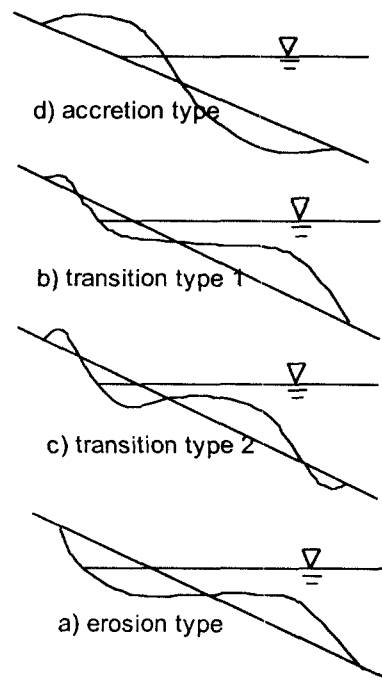


Fig. 2 Deformation pattern of cross-shore beach profile due to cross-shore sediment transport

함수적으로 감소함을 나타내고 있다. 정선과 해빈 단면상의 한 점을 나타내는 식(1)과 식(2)은 표사량의 시간변화를 나타내는 식(3)에 포함되는 것으로 생각할 수 있다.

침식성 혹은 퇴적성의 파랑 작용하에서 정선이 한 방향으로만, 즉 전진만 혹은 후퇴만 하는 경우도 있지만, 그 과정중에 일시적으로 전진 및 후퇴를 반복하는 경우가 있는데, 이런 경우의 정선의 시간변화는 식(1) 혹은 (2)로 표현하기에 적합하지 않다. 그러므로, 식(1), 식(2)를 실제 문제에 적용하기 위해서는 Fig. 2의 해빈단면 변화형태 중에서 퇴적형인 (a) 및 침식형인 (d)의 경우에 적합한 것으로 생각된다. 참고로 Fig. 2는 일정한 기울기의 해빈단면에 파랑이 작용할 때, 해빈단면의 변화를 그 변화형상별로 분류한 것이다[14].

Kriebel and Dean[5]은 수위상승량과 단면의 최대변위 R_{∞} 가 선형적 비례관계에 있으며, 수위상승이 단면의 변화속도를 결정하는 침식시간규모 T_s 에는 영향을 미치지 않는다는 그들의 계산결과에 기초하여, 식(2)를 시간에 대해 미분하고 폭풍해일의 수위변동(storm surge hydrograph)을 나타내는 함수 $f(t)$ 를 도입함으로써 수위변동을 동반한 파랑

작용하의 해빈단면지형 응답을 나타내는 다음의 미분방정식을 제안하였다.

$$\frac{dR(t)}{dt} + \frac{1}{T_s} R(t) = \frac{R_{\infty}}{T_s} f(t) \quad (4)$$

수위변동함수 $f(t)$ 는 단위진폭인 함수로 표시되며, 식(4)는 $f(t)$ 가 정현함수, 여현함수 등의 간단한 함수로 주어지는 경우에 대해서 해석해를 구할 수 있지만, 실제 폭풍해일과 같은 복잡한 수위변동에 대해서는 해석적으로 취급할 수 없으며 수치해석적 방법 등으로 풀 수 있다.

수식중의 해빈단면의 침식시간규모를 나타내는 T_s 는 수치모델의 해석결과로부터 제안된 식(5)로 주어진다.

$$T_s = 320 \frac{H_b^{3/2}}{\sqrt{g} A^3} \left(1 + \frac{h_b}{B} + \frac{mx_b}{h_b} \right)^{-1} \quad (5)$$

여기서 H_b 는 쇄파파고, h_b 는 쇄파수심, x_b 는 해안선으로부터 쇄파수심까지의 수평거리, g 는 중력가속도, m 은 전빈기울기(foreshore slope), A 는 평형단

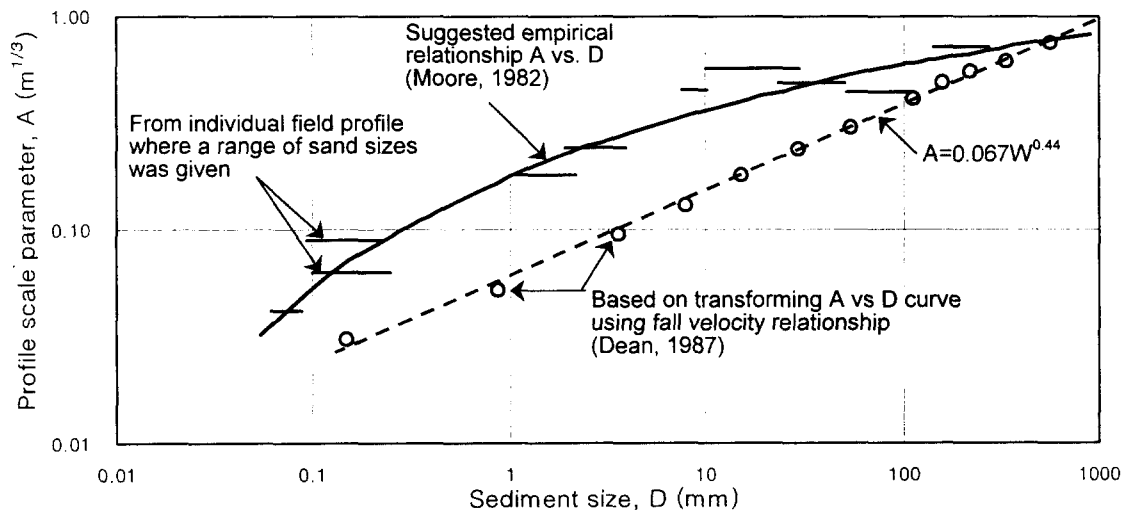


Fig. 3 Relationship between scale parameter A and sediment size D based on the field observations (Form Dean, 1991)

면의 기울기를 결정하는 변수이다.

Dean은 많은 현지지형을 분석하여 평형단면형상을 $h = A(D)y^{2/3}$ 인 함수로 표시하였는데, A 는 저질의 평균입경 D 의 함수로 Fig. 3과 같이 주어진다 [16].

최대변위 R_∞ 의 산정을 위해서는 해빈단면상의 한 점을 선택하여야 하는데, 본 연구에서는 Fig. 4에 표시된 바와 같이 설정 및 관측이 용이한 모래둔덕(berm)의 상단으로 정의하였다.

R_∞ 는 기하학적 묘사량보존개념 및 평형단면개념에 기초하여 제안된 식(6)을 이용하였다[5]. 기하학적 묘사량보존개념을 적용하기 위해서는 토사이동이 발생하는 한계수심을 정의할 필요가 있는데, 본 연구에서는 실험결과[6]로부터 얻어진 단면지형을 분석하여 실험결과와 비교적 잘 일치되는 佐藤·田中[7]의 표층이동한계수심(critical depth for surface sediment movement)을 이용하였다.

$$R_\infty = \frac{S(x_i - h_i/m)}{B + h_i - S/2} \quad (6)$$

여기서 S 는 최대수위 상승량, h_i 는 표층이동한계수심, x_i 는 해안선으로부터 이동한계수심까지의 수평거리, B 는 모래둔덕 높이를 나타낸다.

Fig. 5는 이상의 방법으로 조위변동을 고려하지 않고 폭풍해일에 의한 수면변동만을 고려한 경우의 해빈단면지형(모래둔덕) 변화의 계산예이다. 계산에 있어서 수위변동함수는 $f(t) = \sin^2 t$ 로 가정하였

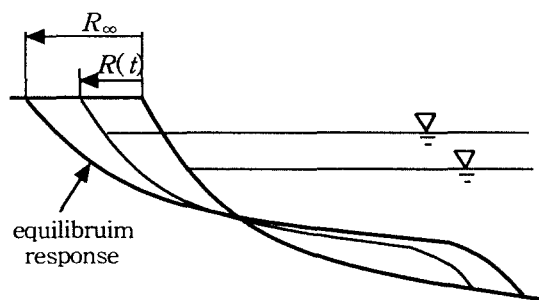


Fig. 4 Sketch for beach profile response

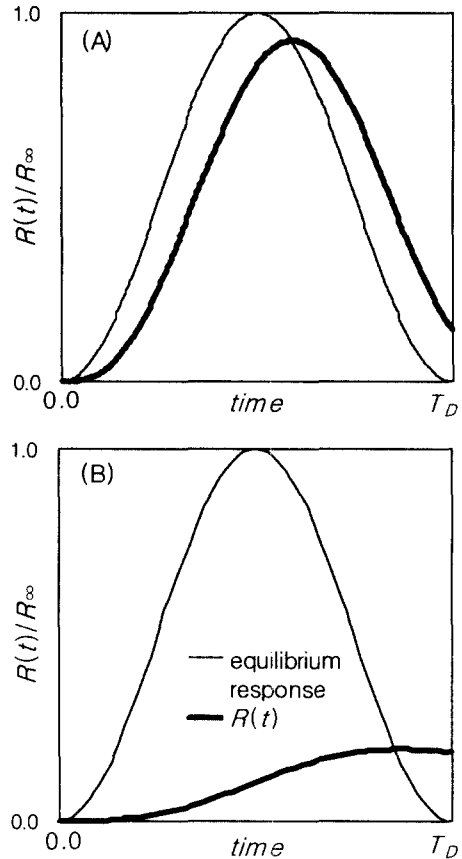


Fig. 5 Profile response to sine-squared storm surge

으며 T_D 는 폭풍해일의 지속시간을 나타낸다. 그림 중의 가는 실선은 폭풍해일 작용시간이 아주 길어서 평형단면에 도달한 상태를 나타내고 있으며, 한편으로는 수위변동의 형상을 나타내기도 한다. Fig. 5(A)는 폭풍해일 작용시간이 길어서 평형단면에 가깝게 변화한 경우이며, (B)는 그 반대의 경우를 나타낸다. 또한, $t = T_D$ 에서의 변위는 폭풍해일이 끝난 시점에서의 단면 최종위치를 나타내며, T_D 시간이 경과한 후에는 정상시의 파랑조건에 따라 변화를 계속할 것이다.

3. 조위변동을 동반한 폭풍해일 작용시의 단면지형응답

폭풍해일 내습시 가장 큰 피해가 발생할 수 있는 상황은 폭풍해일의 최대수위와 만조가 일치하여 수위가 최대가 되는 경우로 저지대의 범람뿐 아니라 해빈침식에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. Fig. 6은 이런 상황을 모델링한 것으로 조위변동(TR) 및 폭풍해일의 수위상승량(SL)이 중첩되고($TR+SL$) 침식성의 고파랑이 작용하는 상황을 나타낸다.

Fig. 7은 군산외항의 조위변동(1999. 8. 10~12)에 수위상승량 40cm의 폭풍해일 가정하여 중첩한

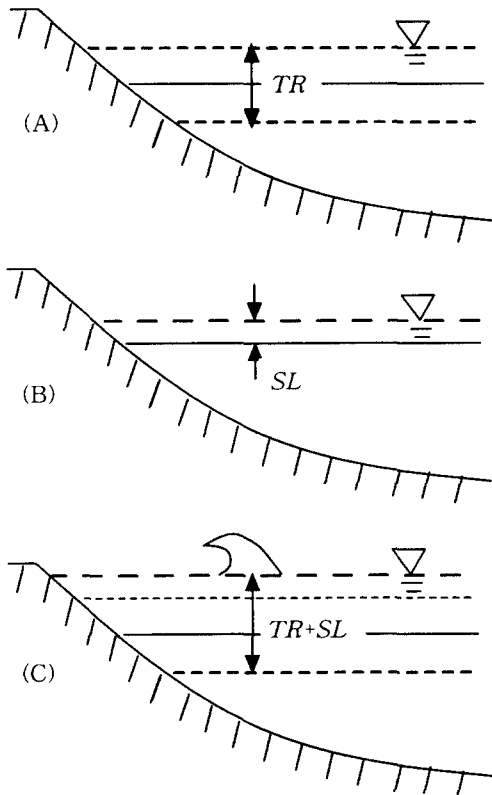


Fig. 6 Modeling of maximum water level rise. (A) tidal range, (B) storm surge level, (C) storm surge overlapped with tide

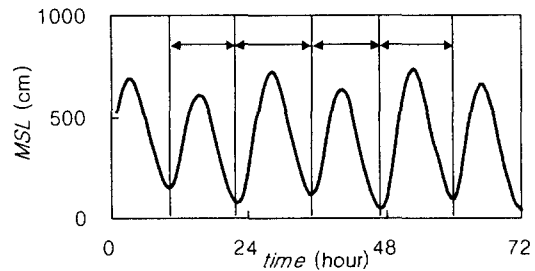


Fig. 7 Hydrograph of storm surge overlapped with tide in Kunsan

것으로 최대진폭이 $TR+SL$ 이고 주기가 조석주기와 같은 약 12시간 30분인 폭풍해일이 고파랑을 동반하여 연속적으로 해빈을 내습하는 경우로 생각할 수 있다.

우리나라 연안의 조석에 의한 수위변동은 1일 2회조인데 일조부등이 적고 비교적 규칙적인 양상을 보인다. 본 연구에서는 계산의 편의상 일조부등이 없고 주기가 12시간 30분이며 진폭 TR 이 각각 0, 1, 3, 5m인 정현파로 표시되는 조석을 가정하고 폭풍해일과 중첩되는 상황을 상정하였다. 한편, 폭풍해일의 조건은 우리 연안의 실측 관측자료 분석 결과[10]로부터 그 최대진폭이 30~50cm이며 지속시간이 18~52시간(해일의 최고치의 1/2값 이상의 해수면 높이가 유지되는 시간으로 정의되었음)임을 참고로, 진폭 $SL=40$ cm이고 지속시간 T_D 가 각각 조석주기의 1배(12시간30분), 3배(37시간30분), 5배(62시간30분)인 정현함수의 자승으로 표시되는 것으로 가정하였다. Fig. 8은 수위변동의 한 예로 $SL=40$ cm, $T_D=3 \times$ 조석주기, $TR=1$ m인 경우를 나타낸 것이다.

Table 1에는 앞에서 기술한 TR , SL 및 파랑조건 등 수치계산에 이용한 계산조건들을 나타내었다. 계산조건은 실측자료를 참고로, 되도록 현지의 조건에 부합되도록 설정하였다. 파랑조건은 장기파랑 산출자료집[17]을 참고로 고파랑시에 발생빈도가 높은 파고-주기($H_{1.3}-T_{1.3}$)의 조합을 선택하였으며, 쇄파파고 H_b 및 전빈기울기 m 은 다음의 식(7) 및 식(8)을 이용하여 계산하였다[18,19].

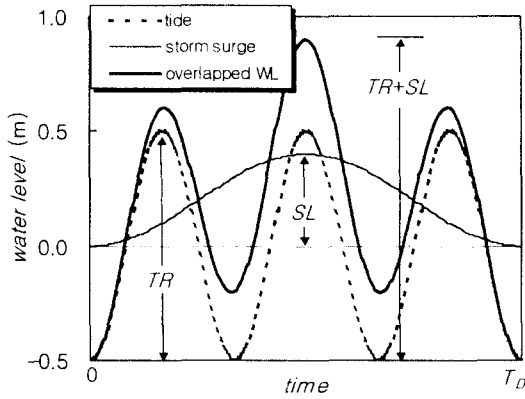


Fig. 8 Hydrograph of water level change (SL=40cm, TR=1m, T_D=3×12.5hr)

Table 1 Conditions of calculation

TR (m)	0, 1, 3, 5
SL (m)	0.4
T _D (hr)	12.5×1, 12.5×3, 12.5×5
H _{1.3} (m)-T _{1.3} (s)	2-6, 3-7, 4-8, 5-9, 6-9.5
A(m ^{1/3})-D(mm)	0.1-0.2, 0.13-0.5, 0.19-1.0
B (m)	3

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.19 \tan \beta^{0.17} \left(\frac{h_b}{L_0} \right)^{-0.1} \quad (7)$$

$$m = 0.12 \left(\frac{H_b}{\sqrt{gDT}} \right)^{-0.5} \quad (8)$$

여기서 $\tan \beta$ 는 해빈단면의 기울기를 나타낸다. 저질의 평균입경 D 의 함수로 주어지는 A 는 평형단면의 기울기를 결정하는 변수이며, Fig. 3으로부터 Table 1에 표시한 세가지 case를 선택하여 계산에 이용하였다. A 값에 따라 해빈단면의 기울기는 결정되며, 표층이동한계수심[7]과 평형단면형상을 나타내는 식 $h = A(D)y^{2.3}$ 를 이용하여 산정하였다[16]. A 를 0.1, 0.13, 0.19로 하였을 때, 해빈단면의 기울기는 각각 1/60, 1/35, 1/17로 계산되었다.

결국, 수치계산은 기울기가 각각 1/60, 1/35, 1/17 (A 가 0.1, 0.13, 0.19)인 해빈에 조위(4 case) 및 파랑조건(5 case)이 다르고, 또 지속시간(3 case)이 다른 폭풍해일이 내습하는 경우의 해빈단면의 응답에 대한 것이다.

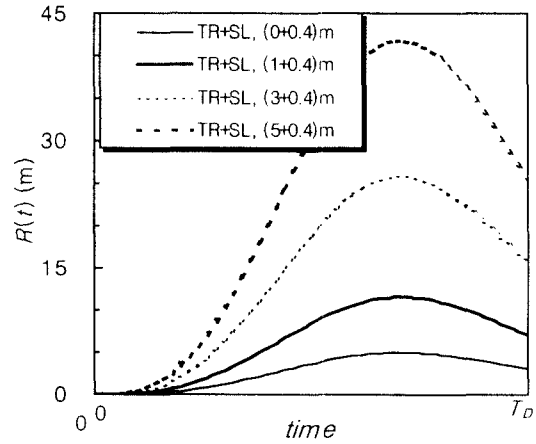


Fig. 9 Example of profile response to tidal range (SL=40cm, A=0.19m^{1/3}, T_D=12.5hr, H=4m, T=8s)

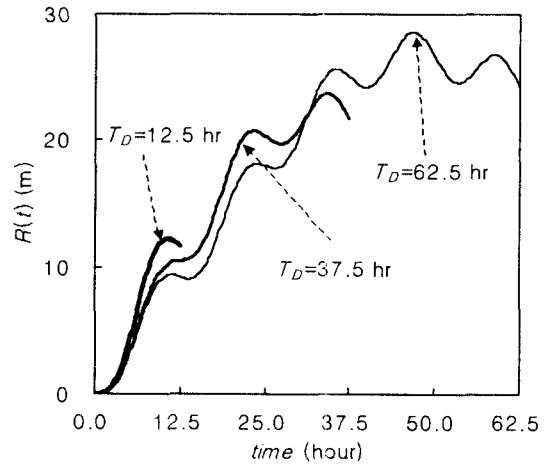


Fig. 10 Example of profile response to storm surge duration (SL=40cm, A=0.13m^{1/3}, TR=1m, H=5m, T=9s)

Fig. 9~Fig. 13은 계산결과의 일부분으로 해빈 단면변위를 Fig. 4에 표시한 모래둔덕의 변위로 표시한 것이다. Fig. 9는 $A=0.19m^{1/3}$ 인 해빈에 $SL=40cm$, $T_D=12.5hr$, $H=4m$, $T=8s$ 인폭풍해일이 작용할 때의 모래둔덕의 변위 $R(t)$ 를 조위변동 TR

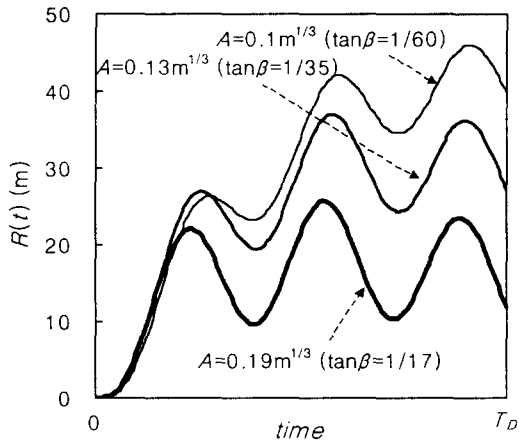


Fig. 11 Example of profile response to A ($SL=40cm$, $TR=3m$, $T_D=37.5hr$, $H=3m$, $T=7s$)

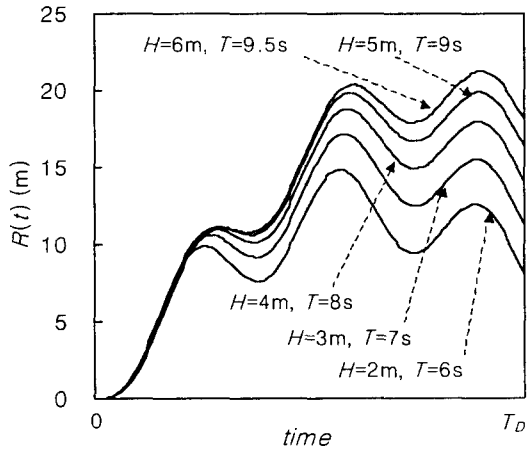


Fig. 12 Example of profile response to wave condition ($SL=40cm$, $TR=1m$, $A=0.13m^{1/3}$, $T_D=37.5hr$)

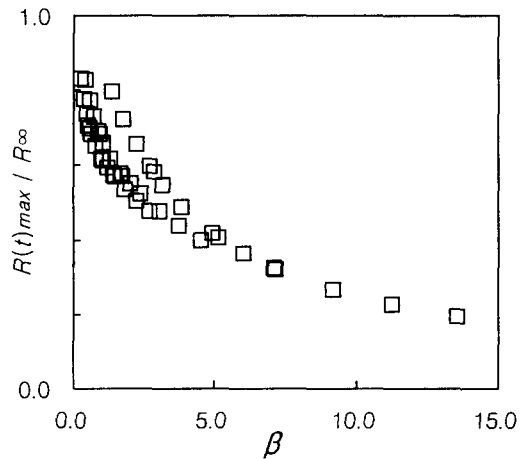


Fig. 13 Dimensionless time scale β vs dimensionless maximum profile change ($\beta=2\pi T_s/T_D$: ratio of the erosion time scale to storm duration)

의 크기별로 나타낸 것이다. 그림으로부터 조위변동은 폭풍의 침식성 파랑을 동반하여 진폭이 $TR+SL$ 인 해일로 작용하며, 그 진폭이 클수록 변위의 최대치 및 해일종료시점의 모래둔덕 후퇴거리가 커져 침식량이 많음을 알 수 있다.

Fig. 10은 $A=0.13m^{1/3}$ 인 해빈에 $H=5m$, $T=9s$ 인 파랑을 동반한 해일($SL=40cm$, $TR=1m$)이 작용할 때, 그 지속시간에 따른 모래둔덕 후퇴거리를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 지속시간이 길수록 후퇴거리도 길어진다. 또한, Fig. 11 및 Fig. 12는 각각 해빈단면의 기울기(A)와 파랑이 해빈침식에 미치는 영향을 표시한 것으로 기울기가 완만할수록, 파고 및 주기가 클수록 침식이 커짐을 보여준다.

폭풍해일의 내습시에 그 지속시간의 장단은 정선 부근에서 침식된 해빈저질을 얼마나 깊은 곳까지 이동시킬 수 있는가 하는 점과 관련되며, 충분한 지속시간의 해일은 해빈저질을 깊은 수심까지 유출시켜, 해일이 지난 후의 퇴적성 파랑 및 연안 유속에 의해 정선부근으로 되돌려지지 않게 만든다. 또 수위상승량이 큰 경우는 정선보다 육지측인 전빈의 침식 혹은 해안선 부근에 위치한 시설물에

심각한 피해를 줄 수 있다.

Fig. 13은 모래둔덕 후퇴거리 $R(t)$ 의 최대치인 $R(t)_{max}$ 과 이에 영향을 미치는 침식시간규모 T_S 및 폭풍해일 지속시간 T_D 의 관계를 무차원화하여 나타낸 것이다. 횡축은 T_S 와 T_D 의 비로 정의되는 무차원 시간스케일로 $\beta = 2\pi T_S/T_D$ 이며, 종축은 $R(t)_{max}$ 를 평형단면이 되었을 때의 최대변위 R_∞ 로 나눈 값으로 평형단면에 얼마나 가깝게 접근하였는지를 나타낸다. 이 그림으로부터 T_S 가 짧을수록, T_D 가 길수록 평형단면에 가까워짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 폭풍해일 내습시에 해빈침식 및 저지대 범람 등 최대피해가 발생할 수 있는 상황으로 폭풍해일과 조위의 최대수위가 일치하는 경우를 상정하였으며, 이 때 조위변동량, 폭풍의 지속시간, 파랑조건, 해빈조건 등이 해빈침식에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

본 연구를 통해 얻어진 주요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조위변동을 동반한 폭풍해일 작용시의 해빈단면 거동상을 예측할 수 있는 간단한 방법을 제시하였다.
2. 조위변동은 폭풍시의 침식성 파랑을 동반하여 해일과 같이 작용하며, 그 진폭이 크고 지속시간이 길수록 변위의 최대치 및 폭풍종료시점의 침식이 커진다.

참고문헌

[1] Edelman. T., "Dune Erosion during Storm Conditions", Proceedings of International Conference on Coastal Engineering, ASCE, New York, pp. 719~722, 1968.

[2] Kobayashi, N., "Analytical Solution for Dune Erosion by Storm", J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.

113, No. 4, pp. 401~418, 1987.

[3] Kriebel, D. L., and Dean, R. G., "Beach and Dune Response to Severe Storms", Proceedings of International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 1584~1599, 1984.

[4] Kriebel, D. L., and Dean, R. G., "Numerical Simulation of Time-Dependent Beach and Dune Erosion", J. of Coastal Engineering, Vol. 6, pp. 221~245, 1985.

[5] Kriebel, D. L., and Dean, R. G., "Convolution Method for Time-Dependent Beach Profile Response", J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 204~226, 1993.

[6] Son, C. B., and Noda, H., "Cross-Shore Beach Response to Storm-Surge", Proceedings of the 4th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Process, Vol. 1, pp. 354~366, 1999.

[7] 佐藤昭二, 田中則男, "水平床における波による砂移動について", 第9回海岸工学講演會論文集, pp. 95~100, 1962.

[8] 西隆一郎, 佐藤道郎, 中村和夫, "高潮時に生じる海浜侵食と回復過程", 第37回海岸工学講演會論文集, pp. 319~323, 1990.

[9] Vellinga. P., "Movable Bed Model Tests on Dune Erosion", Proceedings of International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp 2020~2039, 1978.

[10] 이진경, 오임상, "동북아시아 해역의 폭풍해일 연구 I", 한국해양학회지, Vol. 29, No. 1, pp. 28~41, 1994.

[11] Swart, D. H., "Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles", Pub. No. 131, Delft Hydraulics Lab., Delft, Netherlands, 1974.

[12] Sunamura, T., and Maruyama, K., "Wave-Induced Geomorphic Response of Eroding

- Beaches-With Special Reference to Seaward Migrating Bars", Proc. Coastal Sediments '87, New Orleans, pp. 788~801, 1987.
- [13] Sunamura, T., "A Predictive Model for Shoreline Changes on Natural Beaches Caused by Storm and Post-Storm Waves", Trans. Japanese Geomorphic Union, Vol. 4, pp. 1~10, 1983.
- [14] Sawaragi, T., and Deguchi, I., "On-Offshore Sediment Transport Rate in the Surf Zone", Proceedings of 17th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 1194~1214, 1980.
- [15]堀川清司, 砂村繼夫, 近藤浩右, 岡田 滋, 波による2次元汀線變化に関する一考察, 第22回海岸工学講演會論文集, pp. 329~334, 1975.
- [16] Dean, R. G., "Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications", J. of Coastal Research, Vol. 7, No. 1, pp. 53~84, 1991.
- [17] 장기 파랑 산출 자료집, 해운항만청, 1996.
- [18] Sunamura, T., "Determination of Breaker Height Depth in Field", Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, No.8, pp. 53~54, 1983.
- [19] 砂村繼夫, "Swash zoneにおける岸沖漂砂量算定式", 第30回海岸工学講演會論文集, pp. 239~242, 1984.