

## 해수면 상승에 의한 해안선의 잠재적 후퇴거리 산정 Prediction of Potential Shoreline Retreat by Sea Level Rise

손 창 배\*

Chang Bae Son\*

**要 旨** : 장기적 해면상승에 대한 해안선 변화 모델의 적용성을 실험적으로 검증하고, 한국과 일본 연안지역의 장래의 잠재적 해안선 후퇴량을 산정하였다. 모델의 적용성 검토 실험을 통해 해면상승에 의한 해안선의 후퇴는 수위 상승에 의한 정적후퇴와 파도에 의한 부가적인 후퇴의 합으로 나타낼 수 있으며, 고파랑 조건에서는 부가적 후퇴의 영향이 커짐을 알 수 있었다. 검토 대상지역인 한국과 일본연안의 41개 지역의 과거 약 30년간의 해수면 장기 변동량을 분석한 결과, 29개 지역이 상승경향을 12개 지역이 하강경향을 나타내었으며 평균적으로 1.79 mm/year의 속도로 상승하고 있음을 알 수 있었다. 지구온난화에 의한 해수면 상승의 가속화를 고려하여 각 지역의 미래의 해수면 상승률이 과거 실측치의 2배라고 가정하고 50년 후의 잠재적 해안선 후퇴거리를 계산했다. 그 결과, 현재보다 해안선이 수 m에서 수십 m 정도 후퇴하여 상당한 부분이 침수될 것으로 예상된다.

**핵심용어** : 해수면 상승, 해빈단면, 평형단면, 해안선 후퇴

**Abstract** □ Models of beach response due to sea level rise were verified by experiments and potential shoreline retreat around Korea and Japan was predicted. Wave tank experiments demonstrated that not only static retreat by water level rise but also additional retreat by wave action plays an important role in total retreat and additional retreat becomes important on the condition of high waves. The result of long-term analysis of tidal data over past 3 decades shows the tendency toward rise by an average of 1.79 mm/year, which is the result of rise in 29 regions and fall in 12 regions. Based on analyzed rate of long-term sea-level rise, potential shoreline retreats of study area after 50 years were calculated and the result shows serious loss of beach.

**Keywords** : sea level rise, beach profile, equilibrium profile, shoreline retreat

### 1. 서 론

최근, 온실효과가스의 과다배출에 의한 지구온난화는 기온, 수온, 강우, 기압의 변화 및 해수면 상승, 해양순환 등 자연환경을 변화시켜 생태계로부터 산업시설이 밀집되어 있는 연안지역의 물리적 환경에 이르기까지 여러 가지 지구규모의 환경문제를 발생시키고 있으며, 지구온난화 방지에 관한 국제회의가 개최되는 등 세계적으로 관심이 고조되고 있다. 해안공학적 측면에서 지구온난화가 연안지역에 미치는 영향으로는 해수면 상승으로 인한 저지대의 침수, 이상기온 발생에 의한 태풍의 거대화, 수심변화에 의한 조석, 해일의

특성변화 등을 들 수 있으며, 이들 현상에 대한 충분한 이해와 적절한 대책의 수립이 필요하다고 생각된다.

해수면은 끊임없이 변동하고 있으며 조석, 폭풍해일, 쓰나미 등의 단기적 변동, 계절변화에 따른 1년 주기의 변동, 엘니뇨현상 등에 의한 수년 주기의 변동, 지구온난화 등에 의한 수십 년에 걸친 장기변동 등 여러 가지 주기와 진폭의 해수면 변동이 동시에 작용하여 상승·하강을 반복하고 있다. 이러한 해수면 변동 및 파랑의 작용으로 해안선도 끊임없이 변화하고 있다. 그러나 각기 다른 시간 스케일로 진동하는 해수면의 변동성을 고려하여 해빈지형변화를 해석하는 것은 무척 어려운 문제이며, 현재까지 이러한 변동성을 고

\* 日本 鳥取大學 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Tottori University, Tottori 680-8552, Japan)

려하여 해빈지형변화를 정확히 예측할 수 있는 모델은 제안되고 있지 않다. 일반적으로 수위변동을 동반한 파랑작용시, 해빈지형의 변화에 관한 연구는 주로 수위변동주기의 장단에 따라 분류되어 연구되어 왔다.

폭풍해일, 쓰나미 등 비교적 단기간의 해수면 변동이 외력으로 작용하는 경우, 해빈변형에 관한 문제는 외력에 대한 묘사발생과정의 시간 스케일이 비교적 짧기 때문에 묘사의 연속식(sediment continuity equation) 및 묘사량 공식(sediment transport equation)을 이용한 이른바 동적모델(dynamic model or process-based model)에 의한 해석이 가능하다. 그러나 수년 혹은 수십년 이상의 장기간에 걸친 해수면 변동이 외력으로 작용하는 해빈변형 문제에 동적모델을 적용한다면 계산의 정도(精度)면에서 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 이런 이유로 장기간에 걸친 해수면 변동에 대한 해빈지형변화의 문제는 평형단면(equilibrium beach profile) 개념 및 기하학적 묘사량 보존(geometrical sediment conservation)개념을 이용한 이른바 정적모델(static model)에 의한 해석이 이용되고 있다(Dean, 1994).

해수면 상승에 대한 해안선의 변화 예측에 정적모델을 적용한 예로는 Bruun(1962), Dean (1991), 三村(1993) 등의 연구가 있으며, 모두 평형단면의 존재를 근거로 하고 있다.

지구온난화 등에 기인하는 장기적 해수면 상승에 대한 해안선 변화를 예측하기 위해서는 우선 정확한 해수면 상승량에 대한 정보가 필요하다. 지구 규모의 예측치로써 Hoffman(1986) 및 Revella(1983)는 2085년까지 각각 57~368 cm, 70 cm 정도 상승할 것으로 보고하고 있으며, IPCC(Intergovernmental Panel of Climate Change, 1995)는 과거 100 년간 10~25 cm 상승했으며 2100년까지 19~95 cm 정도 상승할 것으로 보고하고 있다. 이들 예측치는 지구 규모의 것으로 지역적 특성(기압, 기온, 바람, 해수온, 해류, 해양순환, 지형, 지각변동 등)이 강한 해수면 변동의 특성상 국소적 예측치로서는 충분한 정도를 갖지 못한 것으로 생각되며, 정확한 장래의 해안선 변화를 예측하기 위해서도 가능한 한 많은 지역적 자료의 축적이 필요한 것으로 생각된다.

본 연구에서는 기존의 해수면 상승에 대한 해안선 변화 예측모델을 실험적으로 검증하고 한국 연안지역과 동해에 접한 일본 연안 및 큐슈지역을 검토대상으로 하여 과거 약 30년간의 실측 조위를 분석하고 해수

면의 장기적 변화 경향을 파악하였다. 또한 분석한 해수면 변화량 및 파랑조건을 입력치로 하여 이들 지역의 잠재적 해안선 변화량을 산정하였다.

## 2. 해수면 상승에 대한 해안선 변화 모델

정적모델을 이용하여 해수면 상승에 대한 해빈단면지형의 응답을 최초로 모델화한 Bruun(1962)은 연안 묘사가 없거나 연안방향의 묘사 공급량 및 소비량이 일정하여 연안묘사에 의한 지형변화가 없는 모래해안에서 해수면이 상승했을 경우, 해빈단면지형은 상승한 수위에 대한 평형단면으로 변화해 가며, 이때 해안선 부근에서 침식된 토사량과 외해쪽으로 이동되어 퇴적된 토사량은 같다는 평형단면개념 및 기하학적 묘사량 보존 개념을 이용하여 해안선 후퇴거리 산정식 (1)을 제안했다.

$$\Delta y = \frac{SW_*}{h_* + B} \tag{1}$$

이 식은 해빈단면지형의 형태에 관계없이 적용될 수 있으며,  $\Delta y$ 는 해안선 변화량,  $S$ 는 수위상승량,  $h_*$ 는 묘사의 발생한계수심,  $W_*$ 는 해안선에서 묘사의 발생한계수심까지의 수평거리,  $B$ 는 berm의 높이이다.

한편 Dean(1991) 및 三村(1993)는 현장에서 관측한 해빈단면지형을 분석하여 제안된 평형단면식 (2) (Dean, 1977)를 이용하여 각각 Fig. 1 및 Fig. 2에 표시된 지형에 대해 Bruun과 동일한 방법으로 해안선 후퇴거리 산정식 (3) 및 (4)를 유도했다.

$$h(y) = A y^{2/3} \tag{2}$$

$$\Delta y = \frac{3h_* W_*}{5B} \left[ 1 - \frac{\Delta y}{W_*} \right]^{5/3} + \frac{SW_*}{B} - \frac{3h_* W_*}{5B} \tag{3}$$

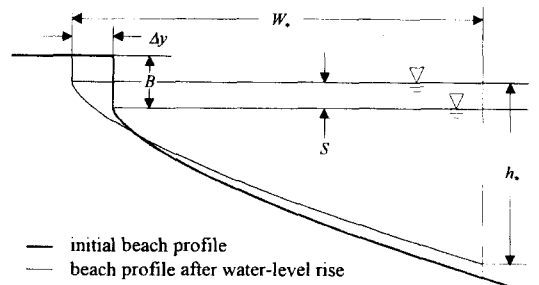


Fig. 1. Beach response to sea level rise (profile with squared berm, Dean, 1991).

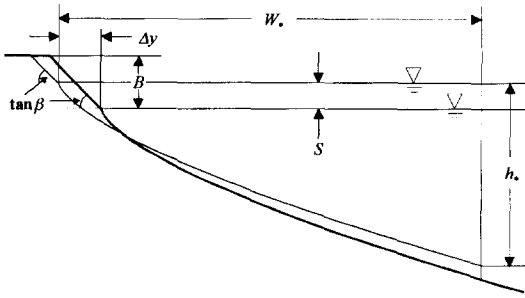


Fig. 2. Beach response to sea level rise (profile with foreshore slope  $\tan\beta$ , Mimura, 1993).

$$\Delta y = \frac{3h_* W_*}{5B} \left[ 1 - \frac{\Delta y}{W_*} \right]^{5/3} + \frac{S W_*}{B} - \frac{3h_* W_*}{5B} - \frac{0.5 S^2 - S B}{B \tan\beta} \quad (4)$$

여기서 식 (2)의  $h$ 는 수심,  $y$ 는 해안선으로부터 외해쪽으로의 수평거리,  $A$ 는 저질특성의 함수로서 해변단면의 기울기를 결정하는 변수이며, 식 (4)의  $\tan\beta$ 는 전빈(foreshore)의 기울기이다.

실제 한국과 일본의 많은 모래해안지역은 배후에 호안이 설치되어 있으며, 침식이 호안까지 미치는 경우 토사공급이 차단되어 호안 전면이 깊이 침식될 것으로 예상된다. 식 (5)는 Fig. 3과 같은 지형에 대한 호안 전면에서의 침식깊이 산정식이다(孫, 1998).

$$\frac{3A}{5} (W_*^{5/3} - \Delta y_1^{5/3}) + B \chi - S (W_* - \Delta y_1) = \frac{3A}{5} (W_* - \chi - \Delta y_1)^{5/3} + \frac{B}{2 \tan\beta} \quad (5)$$

여기서  $\Delta y$ 는 해수면 상승후의 평형단면이 평균 해수면과 만나는 점을 가상원점이라고 한 경우, 가상원점으로부터 초기단면지형의 해안선까지의 수평거리,  $\Delta y_1$

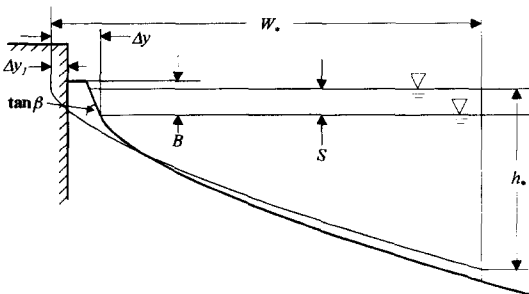


Fig. 3. Beach response to sea level rise adjacent to a seawall.

은 가상원점으로부터 호안까지의 거리,  $\chi$ 는  $\Delta y - \Delta y_1$ 이다. 이 식으로부터  $\Delta y_1$ 을 계산하여 식 (2)에 대입하면 호안전면에서의 침식깊이를 구할 수 있다.

한편 Pilkey et al.(1993)은 평형단면식 (2)로는 연안사주(longshore bar), 스텝(step) 등 중요한 해변단면지형을 나타낼 수 없는 점, 관측결과 평형단면을 정의한 수심보다 상당히 깊은 곳까지 저질이 수송되어 기하학적 묘사량 보존칙이 성립하지 않는 점, 저질특성만의 함수로 표현된 점 등을 들어 문제를 제기하고 있다. 실제로, 해변지형을 변화시키는 파랑조건은 끊임없이 변화하고 있으며, 그에 따라 저질도 이동하고 있으므로 엄밀한 의미에서의 평형단면은 존재하지 않을 수도 있다. 그러나 어떤 지역의 평균적 파랑조건에 의해 형성될 수 있는 평균적 지형이라는 의미에서의 평형단면의 개념은 공학적으로 유용하다고 생각되며, 장기적 해수면 상승에 의한 해안선 후퇴 문제의 경우처럼 해저지형보다는 해안선 변화에 관심을 두는 문제에는 적용 가능하다고 생각된다.

한편 해수면 상승에 대한 단면지형의 응답특성을 파악하기 위해 단면 2차원 파동수조(24×0.6×1.1 m)에 기울기 1:10의 철재 사면을 설치하고 그 위에 중앙입경 0.17 mm의 모래를 10 cm 두께로 깔아 규칙파를 이용해 실험을 했다. 수심을 40 cm로 일정하게 유지한 채 1:10의 초기단면이 평형단면이 될 때까지 파를 작용시키고 나서, 수위를 상승시켜 전 단계에서 형성된 평형단면을 초기단면으로 하여 상승시킨 수위에 대한 평형단면이 만들어 질 때까지 파를 작용시키는 방법으로 수위를 상승시키면서 각 수위에 대한 평형단면이 만들어 질 때까지 파를 작용시키는 실험을 했다. 현저에서의 수위 상승량은 수심에 비해 작다고 가정하여 각 수위에 대한 파랑조건은 일정하게 유지했으며, 파의 작용시간은 평형단면에 가까운 지형이 형성된다고 생각되는 10~20시간으로 했다.

Fig. 4는 심해파 파형구배  $H_o/L_o$ 를 0.045, 주기  $T$ 를 1.0 s로 설정하여 위에서 설명한 방법으로 수위를 40~55 cm까지 5 cm씩 변화시킨 경우의 수위 상승량과 해안선 변화량의 관계를 나타낸 것이며 실험결과와 계산결과가 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

참고로 수위 5 cm 상승에 대한 해안선 후퇴량은 심해파 파장  $L_o$ 의 40~50% 정도였다.

Fig. 5는 해안선의 시간적 변화를 무차원 시간  $t/T$  및 무차원 거리  $X/L_o$ 의 관계로 나타낸 것이며, 여기서  $t$ 는

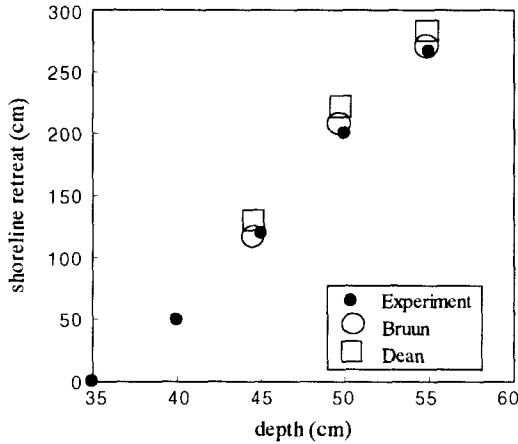


Fig. 4. Comparison between calculated shoreline retreat and experimental result.

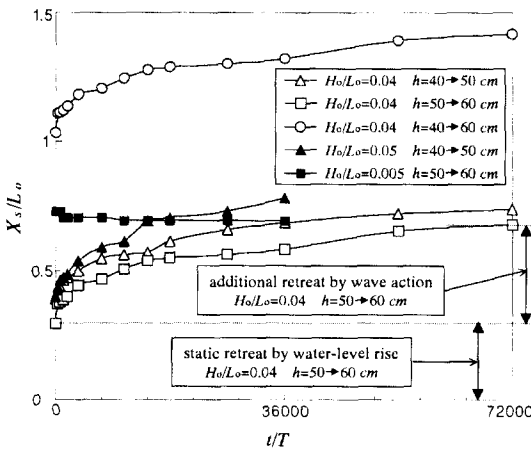


Fig. 5. Time variation of dimensionless shoreline retreat to water level rise.

시간,  $T$ 는 파의 주기,  $L_o$ 는 심해파 파장,  $X_s$ 는 수위 상승전의 해안선으로부터 수위 상승후의 해안선 위치까지의 수평거리를 나타낸다.  $t/T=0$ , 즉 종축 위에 표시된 결과치는 파는 작용시키지 않고 수위만 상승시켰을 때의 해안선의 후퇴거리로 정적후퇴(static retreat)를 나타내며, 시간의 경과에 따른 결과치는 파의 작용에 의한 부가적 후퇴(additional retreat)를 나타낸다. 그러므로 수위상승에 따른 해안선의 후퇴량은 수위상승량에 비례하는 정적 후퇴량과 파랑조건에 따른 부가적 후퇴량의 합으로 나타낼 수 있으며, 수위 상승량이 같은 경우에도 파랑조건에 따라 해안선 변화량은 다를 수 있다.

### 3. 한국 및 일본 연안의 해수면 변동 경향

해수면 장기변동해석에 사용한 자료는 한국연안의 14개 지역(항만청 수로국 제공)과 일본의 동해에 접한 연안과 큐슈의 20개 지역(해상보안청 수로부, 기상청, 북해도 개발청 제공)의 1시간 간격의 실측 평균 조위 자료이며, 관측기간은 15~32년간이다. 자료 중 결측이 있는 부분은 전후일의 동일시간대 관측치를 평균하여 보간했으며, 장기변동해석에는 월평균치를 이용했다. 해석대상지역의 평균조위는 기온, 기압, 수온 등의 변화와 마찬가지로 1년 주기의 계절변화가 현저하므로 (Pang and Oh, 1994; 孫, 1998) 장기변동 경향을 파악하기 위해서는 계절변동의 영향을 제거할 필요가 있으며, 여기서는 식 (6)에 표시한 이동평균법을 이용하였다.

$$y(i) = \frac{1}{12} \sum_{j=i-m}^{i-1} x(i+j) \quad (6)$$

여기서  $m=6$ 으로 두면 1년 주기의 변동을 제거할 수 있으며  $y$ 는  $x$ 의 12개월 이동평균치를 나타낸다. 각 지역의 장기변동 경향은 12개월 이동평균치에 최소자승법을 적용하여 선형회귀 직선을 구해 그 기울기로 표시하였다. Table 1은 그 결과이며, 각 지역의 위치는 Fig. 6에 나타내었다.

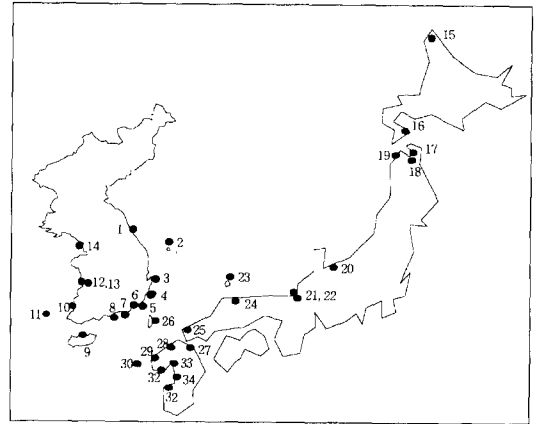
한국연안의 경우, 10개 지역이 상승, 4개 지역이 하강 경향을 나타내며 일본연안에서는 14개 지역이 상승, 6개 지역이 하강경향으로 전체적으로 상승추세라고 할 수 있다. 또한 동일 관측기간의 결과는 아니지만 전 지역의 평균치는 1.79 mm/year로 IPCC의 과거 100년간의 평균수위 상승률(1.0~2.5 mm/year)의 범위 내에 있다. 참고로 Table 1의 결과는 각 검조소의 수준점 변화 및 지질학적 운동에 의한 해면의 변동을 고려하지 않은 결과이며, 목포 및 대흑산도의 경우 1983년 및 1980년경에 평균 조위가 급격히 변화하는 부분이 존재하여 수준점 변화 및 지질학적 운동의 영향 등의 가능성도 배제할 수 없으므로 향후 충분한 검토가 필요하다고 생각된다. 또한 보다 정확한 장기변동해석을 위해서는 장기간의 관측기록에 의한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

### 4. 장래의 해안선 후퇴량의 예측

해안선이 후퇴할 것으로 예상되는 해수면 상승지역

**Table 1.** Long-term change of mean sea level.

No	Tidal observation station	Observation duration (year)	Annual mean sea level change (mm/year)
1	Sokcho	74-94	2.36
2	Ullungdo	79-94	-1.11
3	Pohang	72-94	1.40
4	Ulsan	65-94	-0.16
5	Pusan	61-92	1.79
6	Gadukdo	77-94	2.16
7	Chungmu	77-94	3.56
8	Yosu	66-94	1.18
9	Cheju	64-94	4.39
10	Mokpo	60-91	8.05
11	Daehuksando	70-94	-11.06
12	Kunsan inn.	72-90	13.87
13	Kunsan out.	80-94	3.62
14	Inchon	63-94	-1.91
15	Wakkanai	67-92	3.12
16	Hakodate	67-92	-0.28
17	Ominato	65-93	0.35
18	Aomori	68-92	20.10
19	Odomari	66-93	-0.58
20	Toyama	68-92	0.52
21	Maizuru out.	65-93	2.20
22	Maizuru inn.	69-92	1.58
23	Saigo	61-92	1.34
24	Sakai	67-92	-0.93
25	Shimonoseki	63-92	-0.39
26	Izuhara	65-93	1.72
27	Moji	65-93	1.40
28	Hakata	66-93	0.16
29	Sasebo	65-93	0.16
30	Fukue	67-92	-0.95
31	Nagasaki	68-92	0.96
32	Kuchinotsu	68-92	-0.55
33	Oura	69-92	0.99
34	Misumi	61-92	1.78

**Fig. 6.** Locations of tidal observation stations.

실제로 대부분의 지역에서는 연안표사가 존재하며, 충분한 표사 공급원이 있다면 해면상승에 의한 피해가 계산 결과보다 작을 수도 있으며, 그 반대의 경우도 생각할 수 있다. 또한 해수면 장기 변동 이외에도 태풍이나 폭풍 등의 여러 가지 다른 원인들에 의해 침식 및 퇴적이 진행되고 있으므로 여기서 계산한 결과는 잠재적 해안선 후퇴량이라고 할 수 있다.

해안선 변화량은 식 (1), (3), (4) 및 (5) 등을 이용해 구할 수 있으며, 우선 이들 식에 포함된 변수인 berm의 높이  $B$ , 표사의 발생한계수심  $h_*$ , 전빈(foreshore)의 기울기  $\tan\beta$  등을 구해야 한다. 이들 변수들은 각각 武田·砂村(1982)가 현지관측결과로부터 제안한 식 (7), Birkemeier (1985)가 계절변화의 한계수심으로 제안한 식 (8) 및 Sunamura(1975)가 파랑조건과 저질조건을 이용하여 제안한 식 (9)을 이용하여 계산하였다.

$$B = 0.125 \bar{H}_b^{0.8} (g \bar{T}^2)^{0.38} \quad (7)$$

$$h_* = 1.57 (\bar{H} + 5.6 \sigma_H) \quad (8)$$

$$\tan\beta = 0.45 (D/H_o)^{0.5} (H_o/L_o)^{-0.3} \quad (9)$$

여기서  $\bar{H}_b$ 는 평균쇄파파고,  $\bar{T}$ 는 파의 평균주기,  $\bar{H}$ 는 연평균 유의파고,  $\sigma_H$ 는 파고의 표준편차,  $D$ 는 저질의 중앙입경,  $H_o$ 는 심해파 파고이다.

계산에 필요한 파랑조건은 장기 파랑 산출 자료집(한국해양환경재단)의 1986~1995년도 자료(10년간 평균치) 및 일본의 전국항만해양 파랑관측자료(海洋開發技術研究センター)의 1995년도 자료를 이용하였으며, 해석대상지역과 파랑관측지점이 일치하지 않는 경우에는 해석상 무리가 없다고 생각되는 근거리의 파랑자료를 적용하였다. Fig. 7은 대표적 파랑관측지점의 유

을 대상으로, 앞에서 검토한 해수면 상승률에 근거하여 50년 후의 해안선 후퇴량을 계산하였으며, 계산에 있어서 다음과 같은 가정을 했다.

첫째, 연안표사는 존재하지 않는다. 둘째, 금후 50년간의 해수면 상승률은 지구온난화의 가속화를 고려하여 앞에서 검토한 과거 실측치의 2배로 한다. 셋째, 모래해안을 대상으로 하며, 그 폭은 충분히 넓다. 넷째, 금후 50년간 각 지역의 연평균 파랑조건은 일정하다.

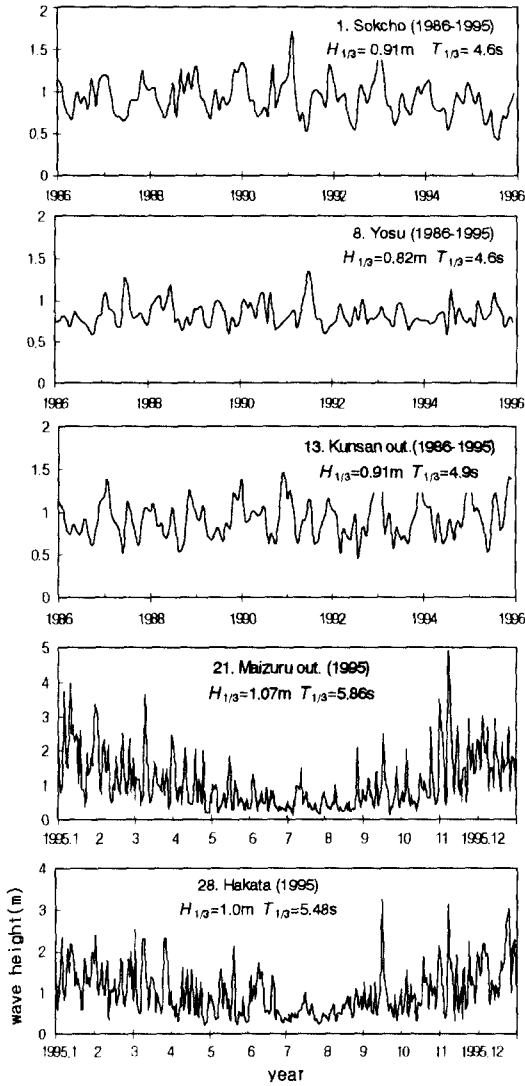


Fig. 7. Time series of significant wave height around Korea and Japan.

의파고의 시계열을 나타내며  $H_{1/3}$  및  $T_{1/3}$ 은 각각 유의파고 및 유의파고주기의 연평균치를 나타낸다.

또한 해안선에서 표사의 발생한계수심  $h_c$ 까지의 평균 해저면 경사는 편의상 한국 및 일본의 동해연안지역(Fig. 6의 1~4지점, 15~25지점)에서 1:30, 남해연안(5~9) 및 큐슈(26~34)지역에서 1:50, 황해연안지역(10~14)에서 1:80으로 가정하였다.

Fig. 8은 위의 가정들에 근거하여 계산한 잠재적 해안선 후퇴거리를 나타낸다. 해저면 경사가 완만한 황해연안(1:80으로 가정)의 경우, 군산외항에서 26 m 내

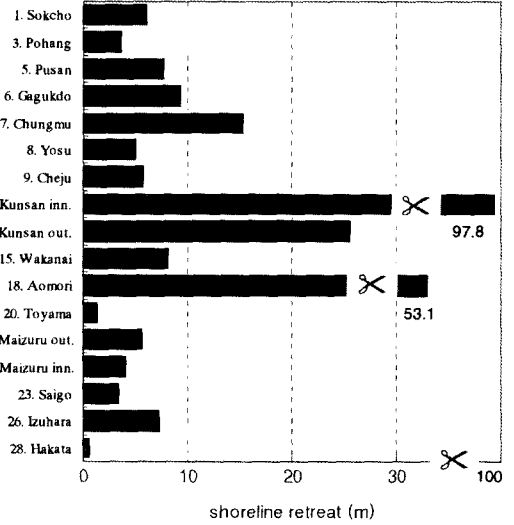


Fig. 8. Potential shoreline retreat around Korea and Japan.

외, 군산 내항에서 약 100 m 정도의 심각한 해안선 후퇴가 예상되며 그 외의 많은 지역들은 10 m 전후의 후퇴가 예상된다. 이상의 결과는 대부분이 정적 후퇴분으로서 검토대상지역의 파랑조건이 비교적 온화하여 파랑에 의한 부가적 후퇴분은 거의 포함되어 있지 않다. 그러나 지구온난화에 기인하는 파랑조건 변화, 해수면 상승의 가속화 등이 예상되고 있는 현실을 고려할 때, 계산결과 이상의 해안선 후퇴가 발생할 가능성도 있다. 또한 최대피해를 일으킬 수 있는 상황으로 해수면이 상승한 후 만조시에 폭풍해일 등이 내습하는 경우를 상정할 수 있으며, 이에 대한 적절한 대책의 수립도 필요할 것으로 생각된다.

한편, 호안전면에서 해안선까지의 폭이 5 m, 전빈구배  $\tan\beta$ 가 0.2, berm의 높이  $B$ 가 0.8 m, 식 (2)의 매개변수  $A$ 가  $0.1 \text{ m}^{1/3}$ 인 해안에 유의파고  $\bar{H}$ 가 1.0 m, 유의파고의 표준편차  $\sigma_H$ 가 0.8 m인 파랑이 작용할 경우 호안전면에서의 침식정도를 식 (5)를 이용해 계산하였다. 그 결과, 수면이 약 30 cm 상승할 경우에 호안전면의 모래해안은 소실되고 호안전면의 수심이 약 0.55 m가 되었으며, 수면이 60 cm 정도 상승한 경우 호안전면의 수심은 약 1.26 m가 되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 기존의 장기적 해수면 상승에 따른 해안선 변화 모델을 실험적으로 재현하고 한국 및 일

본연안지역의 장기적 해수면 변동경향을 파악하였다. 또한 분석한 해수면 변동률을 바탕으로 50년 후의 잠재적 해안선 후퇴량을 산정하였다. 검토대상 지역의 평균 해수면은 24개 지역이 상승, 10개 지역이 하강경향을 보이고 있으며, 평균 1.79 mm/year의 속도로 상승하고 있다. 분석한 해수면 변화량을 바탕으로 50년 후의 해안선 후퇴량을 계산한 결과 수 m에서 수십 m 정도 후퇴할 것으로 예상되며, 재해방지 차원에서도 해수면 상승 후의 고파랑 내습에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- 해운항만청, 1996. 장기 파랑 산출 자료집.
- Birkemeier, W.A., 1985. Field data on seaward limit of profile change, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg.* ASCE, **111**(3), pp. 598-602.
- Bruun, P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion, *J. Waterways Harbors Div.*, ASCE, **88**(1), pp. 117-130.
- Dean, R.G., 1977. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts, *Ocean Engrg. Report No. 12*, Univ. of Delaware, Newark, De.
- Dean, R.G., 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications, *J. Coastal Res.* **7**(1), pp. 53-84.
- Dean, R.G., 1994. Cross-shore sediment transport processes, In: *Advances in Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 1, edited by P. L.-F. Liu, World Scientific, pp. 159-220.
- IPCC, 1995. *Climate Change: The IPCC 2nd assessment report*, Cambridge University Press.
- Pang, I.C. and Oh, I.S., 1994. Long-period sea level variations around Korea, Japan, and Russia, *Bull. Korean Fish. Soc.*, **27**(6), pp. 733-753.
- Pilkey, O.H., Young, R.S., Riggs, S.R., Smith, S., Wu, H. and Pilkey, W.D., 1993. The concept of shoreline profile of equilibrium: A critical review, *J. Coastal Res.*, **9**(1), pp. 255-278.
- Sunamura, T., 1975. Static relationship among beach slope, sand size and wave properties, *Geographical Rev. of Japan*, **48**(7), pp. 485-489.
- 武田一郎, 砂村繼夫, 1982. 바움의形成條件と高さ, 地形, **3**, pp. 421-426.
- 三村信男, 幾世橋慎, 井上馨子, 1993. 砂濱に對する海面上昇の影響評價, 第40回海岸工學講演會論文集, pp. 1046-1050.
- 孫彰培, 1998. 水位變動による海濱斷面地形の變化に關する基礎的研究, 鳥取大學博士學位論文.
- 海洋開發技術研究センター, 1995. 全國港灣海洋波浪觀測資料.

---

Received November 24, 1998

Accepted January 21, 1999