

하천의 영향을 받는 봉길해빈에서 해안선 변화 Shoreline Change in Bonggil Beach Influenced by Stream Flows

박일흠¹, 이영권², 이종섭², 김종규¹, 이문옥¹

Il Heum Park¹, Young Kweon Lee², Jong Sup Lee², Jong Kyu Kim¹ and Moon Ock Lee¹

1. 서론

우리나라 동해안에 위치한 경북 경주시의 봉길해빈은 남북으로 거의 일직선상이고, 백사장 길이는 1.5km 정도이며, 폭은 40m 정도로 저질의 구성은 모래와 가는 자갈로 이루어져 있다. 해빈의 중앙부에는 사적 제158호로 지정된 대왕암이 해안선으로부터 약 200m 정도 전방에 위치하고 있으며, 봉길해빈의 북쪽 끝에는 모래의 주공급원으로 기대되는 대종천이 자리하고 있다.

항공측량사진으로부터 봉길해빈은 1977년을 기준으로 1982년은 대종천 하구의 사취 폭도 줄어들었고 남쪽으로 내려가면서 전반적으로 침식이 발생한 것을 알 수 있다. 1987년은 1977년에 가깝게 회복하였으며, 1993년은 대왕암을 중심으로 북쪽은 퇴적되었고 남쪽은 침식되었다. 그리고 1996년은 전영역에 걸쳐 침식이 발생하였으나, 2001년 이후에는 1977년 당시의 해안선으로 거의 회복된 것으로 보인다. 항공사진에 나타난 해안선의 위치에 관한 자료를 종합하면 봉길해빈은 침식과 퇴적을 반복하지만, 대종천으로부터의 유사량에 큰 영향을 받는 것으로 보이며, 1996년 이후 회복된 해안선은 양빈효과도 포함된 것으로 보인다. 즉, 대종천의 유사에 의한 영향은 대종천 하구의 삼각주 변동양상과 관련이 있는 것으로 보이는데, 봉길해빈이 크게 침식한 년도에 있어서 대종천 하구의 삼각주는 크게 훼손되어 있음을 알 수 있었다. 특히, 해안선이 크게 후퇴한 년도인 1993년 및 1996년에는 삼각주가 거의 사라지고

없는 형편이며(Photo.1), 2001년의 경우 해안선이 회복되었는데 이 때의 삼각주는 예년수준으로 다시 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 하천의 영향을 받는 것으로 보이는 봉길해빈에서 해빈변형을 파악하기 위하여, 해안선의 변화를 해안선변형 수치모형으로 재현하고 그 결과를 토의하였다.



(a) 1977년



(b) 1996년

Photo.1. 1977년과 1996년의 대종천 하구.

1 여수대학교 해양시스템공학전공

2 부경대학교 토목공학과

2. 대상해빈의 특성

해빈의 북쪽은 대종천과 만나는 하구역으로 대종천의 유사에 의해서 사취가 형성된 지역이다. 그리고 해빈 중앙부의 전면해역에는 대왕암이 있으며, 대왕암 배후에는 해안선이 약간 전진해 있는 형상을 보인다. Fig. 1은 2003년에 봉길해빈을 측량하여 해안선이 변동한 결과를 3월을 기준으로 편차를 구한 결과이다. 그 결과, 2003년의 해안선은 계절적인 특징이 강하게 나타나며, 대왕암을 기준으로 그 북쪽 해안은 사취의 이동에 따라 해안선 변화가 크게 좌우되며, 남쪽은 비교적 안정된 해안의 형태를 보이고 있다.

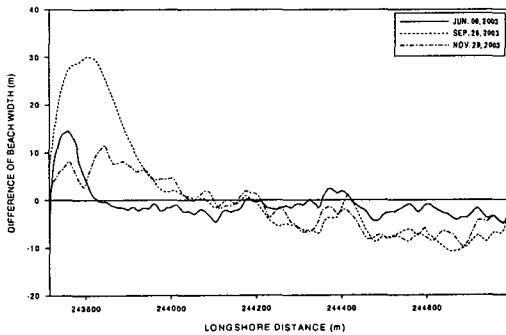


Fig. 1. 2003년의 해안선 변동량.

한편, 2003년 봉길해빈의 단면은 크게 해변북쪽 대종천 하구의 사취역(Fig. 2)과 해빈 중앙부의 대왕암 배후역 그리고 대왕암을 중심으로 남쪽이 그 형태가 서로 다르게 나타난다. 사취역은 겨울에 모래가 쌓이고 하천유량이 많은 여름에 모래가 유실되고 대왕암 배후역은 연중 거의 변화가 없으며 대왕암을 중심으로 남쪽 해안은 연중 침식과 퇴적을 반복하며 다소 안정되어 있는 경향을 보인다.

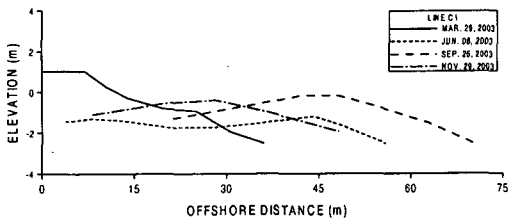


Fig. 2. 사취 부근의 2003년 해빈 단면변화.

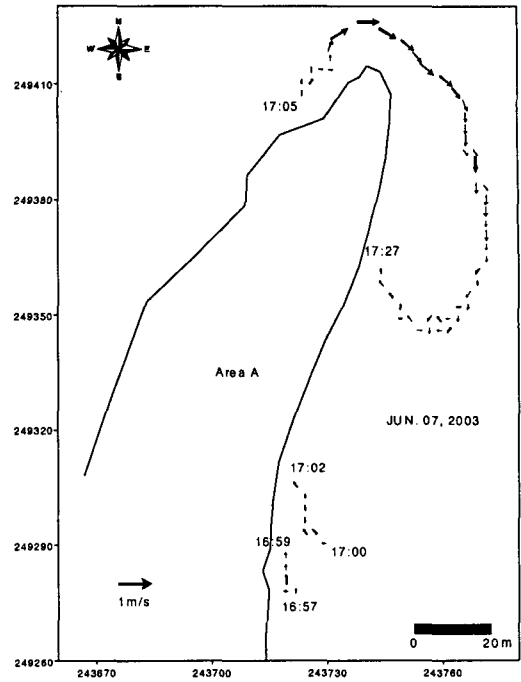


Fig. 3. 사취 부근의 흐름 패턴(2003년 6월).

그리고 대종천 하구역의 흐름 패턴은 Fig.3과 같다. 그림에서처럼 대종천에서 흘러나오는 하천류는 남쪽으로 흐르다가 북쪽으로 흐르는 해빈류와 만나면서 북쪽 방향의 흐름으로 바뀐다. 하천에서 흐르는 흐름의 평균속도는 0.25m/s, 최대속도는 0.63m/s이며, 남쪽에서 북쪽으로 흐르는 해빈류는 평균속도와 최대속도는 0.17m/s, 0.31m/s 정도이다.

3. 수치모형

해안선변화 수치모형(박과 이, 1989; 이과 박, 1990)에서 사용된 표사의 연속방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \pm q \right) = 0 \quad (1)$$

여기서, $q = q_s + q_0$ 이며, q_s 는 해안역(Onshore)에서 표사의 Sink/Source항, q_0 는 심해역(Offshore)에서 Sink/Source 항이다. 그리고 전연안표사량 Q (Kraus, 1981)는 식 (2), (3)과 같다.

$$Q = (H^2 c_g)_b (C_1' \sin 2\alpha_{bs} - C_2' \cos \alpha_{bs} \frac{\partial H_b}{\partial x}) \quad (2)$$

$$C_1' = \frac{C_1}{16(\rho_s - \rho)g(1-p)1.412^{5/2}} \quad (3a)$$

$$C_2' = \frac{C_2}{8(\rho_s - \rho)g(1-p)1.412^{5/2}} \quad (3b)$$

한편, 해변 배후에 안벽(Seawall)이 존재할 경우, 전연안표사량은 안벽의 간섭을 받으므로, 수정된 식 (4)로 평가한다(Ozasa and Brampton, 1980).

$$Q' = \frac{(y - y_w) \tan \beta}{D_b} Q \quad (4)$$

그리고 소상고 D_b 와 표사이동한계수심 D_c 는 Swart(1974)와 Hallermeier(1983)가 제안한 다음 식을 각각 사용한다.

$$\frac{D_b}{d_{50}} = 7644 - 7706 \exp\left(-0.000143 \frac{H_0^{0.488} T^{0.93}}{d_{50}^{0.786}}\right) \quad (5a)$$

$$D_c = \frac{2.9 H_0}{\sqrt{\rho_s/\rho - 1}} - \frac{110 H_0^2}{(\rho_s/\rho - 1)gT^2} \quad (5b)$$

그리고 본 연구에서 전연안표사량 산정을 위한 파랑변형 계산은 STWAVE Model(Steady-State Spectral Wave Model; Smith et al., 1999)을 사용하였다. STWAVE는 연안역에서 풍파의 성장과 전파에 있어서 쉬운 적용성, 유연함, 그리고 강력함을 갖춘 모형으로서, 수심변화에 의한 굴절·천수변형, 흐름에 의한 굴절·천수변형, 수심 및 파형경사에 의한 쇄파, 회절, 바람에 의한 파의 성장, 그리고 파·파 상호작용 및 파랑장의 성장에 있어서 에너지를 재분배하고 감쇠시키는 백파 현상을 수치모의할 수 있으며, 수치모의시 제약조건 및 사용된 가정은 다음과 같다.

- ① 환경사의 해저지형을 가정하며 파의 반사는 무시한다.
- ② 공간적으로 균일한 심해파랑장을 가정한다.
- ③ 파, 흐름 및 바람은 정상상태를 가정한다.
- ④ 선형파의 굴절 및 천수변형을 계산한다.
- ⑤ 수심평균된 흐름을 고려한다.
- ⑥ 저면마찰은 무시한다.

4. 결과 및 토의

봉길해빈에서 1977년의 항공측량에 의한 해안선자료를 초기조건으로 입력하고, 1982년의 항공측량에 의한 해안선을 검증해안선 자료로 입력하여, 봉길해빈의 해안선변화를 수치계산하였다. 여기서 입력된 심해입사파 자료는 18년간의 바람자료를 입력하여 HYPA 심해파랑모형으로 모든 계산격자점에서 풍파 및 너울의 2가지 성분파에 대하여 각각 파고, 주기 및 파향의 6개 변수를 매 3시간간격으로 계산한 해양수산부(1997)의 '장기파랑산출 자료집'의 No.50(Station 3934; 35.7° N, 129.8° E)의 결과를 사용하였다.

이와 같은 다양한 파랑조건에 대하여 봉길해빈에서 시행착오적으로 선택된 외력자료 즉, 쇄파파고, 쇄파파향 및 쇄파군속도값은 다양한 검증실험에 의하여 선택된 값으로, 기본적으로 E방향의 평균유외파가 입사하여 봉길해빈 부근에서 쇄파할 때의 값들이며, 부분적으로 검증해안선에 수렴하도록 약간 수정된 값들이다.

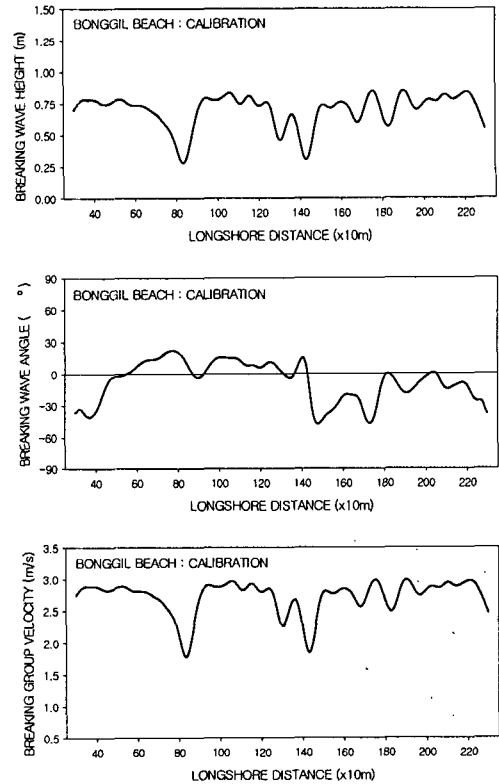


Fig. 4. 계산시 사용된 쇄파외력.

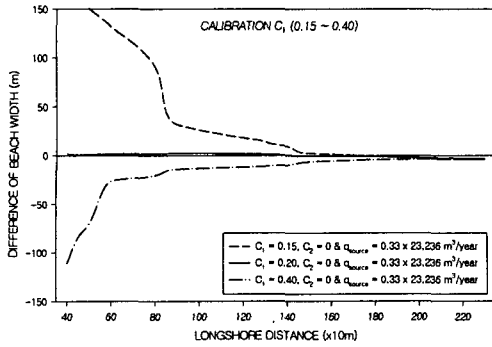


Fig. 5. C_1 에 따른 해안선변화 편차량.

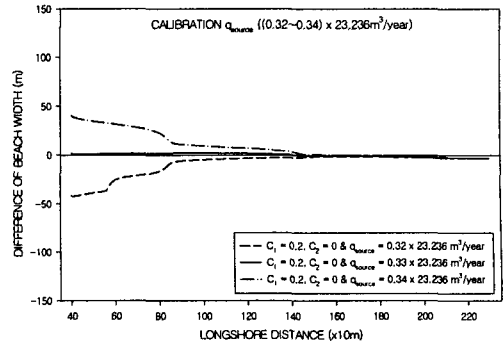


Fig. 7. q_{source} 에 따른 해안선변화 편차량.

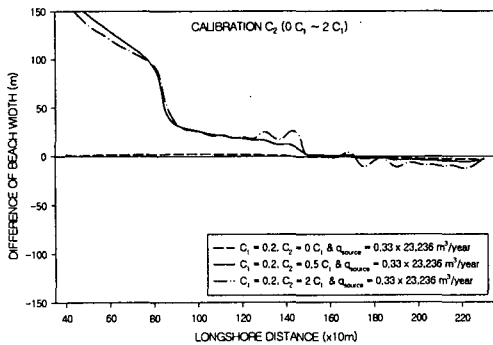


Fig. 6. C_2 에 따른 해안선변화 편차량.

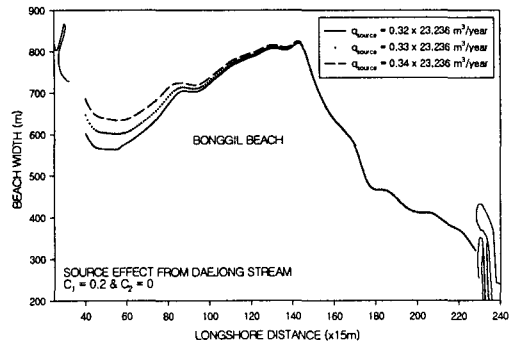


Fig. 8. 하천유입 퇴사량에 따른 해안선변화.

이러한 외력으로부터 연안표사량에 관한 검증매개변수를 결정하기 위하여, 표사량에 관한 검증매개변수 C_1 은 0.15-0.4의 범위, C_2 는 0-2 C_1 의 범위에 대하여 테스트하였다. 그 결과 $C_1 = 0.2$ (Fig.5), $C_2 = 0C_1$ (Fig.6)일 때, 계산치는 검증해안선과 잘 일치하였다. 한편, 봉길해빈의 북쪽에는 대종천 하구가 있으며, 이 곳에는 대종천에 의하여 봉길해빈으로 유입되는 표사 Source가 존재한다. 이와 관련하여 대종천의 평균퇴사량을 23,236m³/year으로 산정하였다. 그러나 이 퇴사량 모두가 봉길해빈에 영향을 미치지 않을 것으로 q_{source} 를 검증매개변수화하여 테스트하고 그 값을 결정하였다(Fig.7). 그 결과, $C_1 = 0.2$, $C_2 = 0C_1$ 그리고 $q_{source} = 0.33 \times 23,236 \text{ m}^3/\text{year}$ 인 경우 다른 값에 비하여 검증해안선에 대한 오차가 가장 작게 나타났다.

한편, Fig.8에 나타난 것처럼 봉길해빈의 경우 대종천의 영향을 받으므로, 유입퇴사량에 따라 해안선의 증감이 아주 민감하게 반응하는 결과를 보

였다. 따라서, 대종천의 유사량을 일정하게 유지하기 위하여 대종천 하구의 지속적인 관리가 요구되며, 아울러 하천정비, 강수량 감소 등과 같은 이유로 하천퇴사량이 감소할 경우에는 이를 보완하는 양빈을 통하여 해안선을 유지하여야 할 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

하천의 영향을 받는 것으로 보이는 봉길해빈에서 해빈변형을 파악하기 위하여, 해안선 및 단면측량 그리고 흐름관측을 하였고, 수치모형으로 해안선변화를 재현하고 그 결과를 토의하였다.

측량결과, 봉길해빈은 계절적인 특징이 강하게 나타나며, 대왕암을 기준으로 그 북쪽 해안은 사취의 이동에 따라 해안선 변화가 크게 좌우되며, 남쪽은 비교적 안정된 해안의 형태를 보였다.

대종천 하구역의 흐름 패턴은 대종천에서 흘러나온 하천류가 남쪽으로 흐르다가 북쪽으로 흐르

는 해빈류와 만나면서 북쪽 방향의 흐름으로 바뀌는 경향을 보였다.

봉길해빈에서 해안선변형 수치계산결과, 전연안표사량에 관한 검증매개변수는 $C_1 = 0.2$, $C_2 = 0C_1$ 그리고 $q_{source} = 0.33 \times 23,236 \text{m}^3/\text{year}$ 인 경우 오차가 가장 작게 나타났다. 또한, 봉길해빈의 경우 대중천의 유입되사량에 따라 해안선의 전진·후퇴가 민감하게 나타났다.

참고문헌

- 박일흠·이종섭, (1989). 해운대 해빈의 해안선변형 예측모형, 한국해안·해양공학회지, 1(1), 50-62.
- 이종섭·박일흠, (1990). 해안구조물 주변에서 해안선변형 예측모형에 관한 실험, 한국해안·해양공학회지, 2(2), 67-74.
- 해양수산부, 1997. 장기 파랑 산출 자료집.
- Hallermeier, R.J., (1983). Sand transport limit in coastal structure design, Proc. Coastal Structures '83, ASCE, 253-277.
- Kraus, N.C., (1981). One-line model development and simulation for Oarai beach, NERC Report No.15, Japan, 155-192.
- Ozasa, H. and Brampton, A.H., (1980). Mathematical modelling of beaches backed by seawalls, Coastal Eng., 4(1), 47-64.
- Smith, J.M., Resio, D.T. and Zundel, A.K., (1999). STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model; Report 1: User's manual for STWAVE version 2.0, Instructional Report CHL-99-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Swart, D.H., (1974). Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles, Delft Hydraulics Laboratory Publication, 131pp.