

沿岸砂洲의 特性解析

Analysis on the Characteristics of Nearshore Bars

李 哲 應*

Cheol Eung Lee*

要 旨 : 해안선의 횡방향 표사이동에 대하여 장기간 관측된 자료를 이용하여 연안사주와 관련된 제반 특성들을 해석하였다. 전체적으로, 발생된 내부 연안사주는 시간이 지남에 따라 외해쪽으로 이동하다가 임의의 위치에서 외부 연안사주를 형성하게 된다. 이와 같이 외부 연안사주가 형성된 후, 내부 연안사주는 반대로 시간에 따라 해안선 쪽으로 진행하면서 동시에 많은 양의 표사가 해안선과 외부 연안사주방향으로 이동 소멸되어 외부 연안사주가 다시 내부 연안사주로 변화되는 과정을 거친다. 또한 외부 연안사주의 존재여부에 따라 내부 연안사주의 계절적인 변화특성이 매우 다르게 나타났다.

Abstract □ The objective of this paper is to analyze the characteristics of the nearshore bars using the long-term measured data of cross-shore sediment transport for Duck beach, North Calolina, USA. The effect of outer bars are directly included in the analysis to understand the characteristics of the sequential nearshore bars. Many parameters related to the nearshore bars are presented by the simple relationship. It is found that the nearshore inner bars generally move offshore as time goes. After the outer bars are formed at some position, however, the inner bars start to move landward with time and outer bars become inner bar again. Also it is shown that the seasonal characteristics of inner bars are distinctly different according as the outer bar exists or not.

1. 서 론

연안사주(nearshore bars)에 대한 연구는 연안역에서의 표사이동에 대한 정확한 해석을 위하여 필요하다. 일반적으로 폭풍해일 조건에서 해안선의 전면에서 유실된 표사들에 의하여 연안사주가 형성되었다가, 파고가 작아지면 점차 소멸되는 경향을 보인다. 특히 연안사주가 중요시되는 이유는 대부분의 쇄파특성들이 연안사주와 무관하지 않기 때문이다. 즉, 외해에서 연안역으로 내습하는 평상시 파랑들이 주로 연안사주의 발생위치에서 쇄파되어 그 에너지가 감소된다. 해안선의 보호라는 측면에서 연안사주는 내습하는 파랑의 에너지를 감소시키는 역할을 한다고 생각할 수 있다.

연안사주의 발생 원인을 규명하기 위한 연구는 크게 다음과 같이 두 가지 접근 방법으로 구분할 수 있다.

첫째로 연안역에서 파랑의 쇄파특성과 연관지어 해석한 Greenwood와 Davidson-Arnott(1979)의 쇄파대(breaker-zone) 이론이다. 쇄파대 부근의 영역을 천수영역, 쇄파영역, 그리고 쇄파후 영역으로 분리하여, 천수영역에서의 표사는 파랑의 천수효과에 의하여 해안선 방향으로 급격히 이동하고, 쇄파후 영역에서는 쇄파에 의하여 많은 파랑 에너지가 감쇠되었기 때문에 상대적으로 작은 표사의 이동이 일어난다는 개념이다. 이 개념은 Miller(1976) 등이 제시한 권파(plunging breaker)에 의하여 유발된 파랑의 와류작용(vortex action)으로 연안사주가 발생된다는 이론을 일반화시킨 것이다. 다른 하나는 Bowen(1980)등이 제시한 파랑 운동과 관련된 이론이다. 해안선 횡방향으로 定常상태하의 파랑의 운동과 관련된 질량수송 速度(mass transport velocity)나 진행/정상 edge파에 의하여 연안사주가 발생된다는

* 江原大學校 工科大學 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea)

이론이다. 그러나 이상의 이론들은 연안사주의 형태 분류 및 발생 원인에 대한 기본적 이해에 많은 도움을 주었지만, 제안된 이론식들이 연안사주의 특성과 관련된 정량적인 식들로 표현되지 못하여 실제 연안사주를 예측하는데 적용할 수 없다는 문제점을 내포하고 있다.

Sallenger(1985)는 단기간의 폭풍해일 조건에서 관측된 자료를 이용하여 전 절에서 언급된 이론들을 비교 분석하였다. Larson과 Kraus(1994)는 Duck 해안에서 장기간 관측된 자료를 이용하여 연안사주와 관련된 많은 특성들을 연구하였다. 또한 이들은 파랑조건에 따른 연안사주의 횡방향 이동율에 대하여도 연구하였다. 그러나 이들은 두 개의 연속적인 연안사주, 내부 연안사주(inner bar)와 외부 연안사주(outer bar)가 존재할 경우, 상관관계를 고려하지 않고 각기 다른 연안사주로 고려하여 그 특성을 해석하였다.

이상의 연안사주의 발생원인 및 특성해석과는 별개로 최근에 연안사주의 모의에 관한 연구가 진행되고 있다. SBEACH(Larson과 Kraus, 1989), 이와 이(1995b), 그리고 Lee와 Kim(1996)의 연구 등이 그것이다. 이와 같은 접근방법은 경험식에 근거한 표사의 횡방향 이동량을 이용하여 시간과 파랑조건에 따른 연안사주의 크기 변화 및 이동 특성을 해석한 것이다.

본 연구에서는 해안선 횡방향의 표사이동을 연구하기 위해 미국의 Duck 해안에서 10년간 관측된 자료를 사용하여, Larson과 Kraus(1994)의 해석방법으로 연안사주의 제반특성을 연구하였다. 후에 자세히 설명하겠지만 관측자료로부터 임의의 시간에는 하나의 연안사주(single bar)만 존재하고, 또 다른 시간에는 두 개의 연안사주(double bar)가 동시에 존재하는 특성을 알 수 있었다. 따라서 앞의 연구자들이 해석하지 않았던 내부 연안사주와 외부 연안사주와의 상관관계를 살펴보았다. 이때 연안사주와 관련된 제반 특성들, 연안사주의 높이, 길이 그리고 기울기 등의 정량적인 해석은 내

부 연안사주를 기준으로 하였으며, 외부 연안사주의 특성은 내부 연안사주와의 발생위치 차이로 고려하였다. 이는 본 연구에서 사용된 자료에서 외부 연안사주의 전반적인 특성들이 내부 연안사주의 그 특성들에 비하여 상당히 작았기 때문이다.

2. 파랑조건 및 단면특성

본 연구에서 사용된 자료는 미 육군 공병단(US Army Corps)에서 1981년에서 1990년까지 장기간 North Carolina의 Duck 해안을 관측한 것이다. 관측은 자체에서 제작한 CRAB(Coastal Research Amphibious Buggy)라는 장비를 사용하였는데, 높이는 11m로, 파고 2m에서 수심 8m까지 접근이 가능하도록 설계되었다(Birkemeier, 1984; Birkemeier와 Mason, 1984). 동일한 해안에서 여러 개의 단면(예로 58, 62, 188, 190 등)에 대하여 관측이 실시되었으나 본 연구에서는 관측자료가 제일 많은 단면 62에 대하여만 해석을 실시하였다. 또한 여타 단면의 해안선 횡방향 표사이동에 관한 전반적인 특성도 단면 62와 유사하다. 본 연구에서 사용된 자료가 비록 외국의 것이지만, 파랑조건과 횡방향 해안선 단면 형태 및 표사의 입경 분포를 정확히 알게 되면 다른 지역에서 발생하는 연안사주의 특성 해석에도 본 연구 방법이 직접적으로 이용될 수 있으리라 생각된다.

해안선 단면의 관측시간 동안에 연안사주의 발생을 유발하는 외력조건으로 수심 18m지점에 설치된 파고계(waverider)에 의하여 파랑 특성들이 동시에 측정되었다. 측정된 파랑자료는 Larson과 Kraus(1994)에 의하여 Table 1과 같이 계절별로 분석되었다. Table 1에 의하면 주기는 전반적으로 비슷하나 파고는 겨울에 높게 나타났다. 관측 기간중 측정된 가장 큰 파고는 6.8m이다. 본 연구는 단기간의 파랑 변화에 따른 연안사주와 관련된 제반 특성을 해석하는 것이 아니라, 장기

Table 1. Seasonal wave conditions, 1981~1990, Duck, North Carolina (after Larson and Kraus, 1994)

	Mean height(m)	Maximum height(m)	Mean period(sec)
Spring	0.95	5.2	8.3
Summer	0.88	6.8	8.5
Fall	1.21	5.6	8.4
Winter	1.28	4.8	9.4
Year	1.09	6.8	8.4

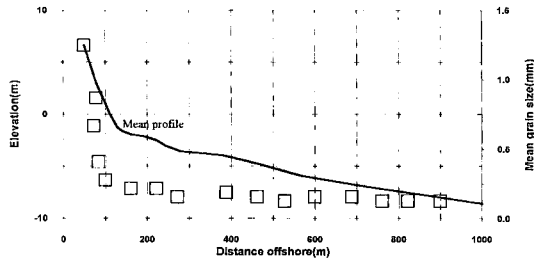


Fig. 1. Average cross-shore profile and mean grain size for line 62.

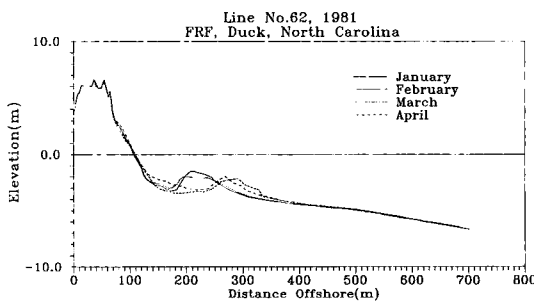


Fig. 2. Measured cross-shore profile for the single bar, 1981.

간의 파랑 조건하에서 발생된 연안사주의 자체 특성을 해석하는 것이다. 따라서 파랑 조건과 관련된 자료는 Table 1로 대체하겠다.

연안사주의 형태 및 이동특성과 밀접한 관계가 있는 해안선의 횡방향 평균 단면형태와 표사 평균입경 (mean grain size) 분포를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 횡단면은 해안선 부근에서 경사가 급하며 외해쪽으로 진행할 수록 완만하게 형성되고 있다. 동일하게 표사의 평균입경(□)도 해안선 부근에서 상대적으로 크다가 외해로 진행할 수록 작아지면서 비교적 일정해진다.

한편 본 연구에서 사용된 관측자료를 다 제시할 수 없어서 대표적으로 Fig. 2와 3에 각각 하나의 연안사주를, 두 개의 연안사주를 갖는 자료를 제시하였다. Fig. 2는 1981년 1월에서 4월까지의 관측자료이다. 그 밑에서 쉽게 알 수 있듯이 하나의 연안사주만 존재하며, 시간에 따라 그 크기와 형태를 변화하면서 외해쪽으로 이동하고 있다. 또한 1983년 1월에서 4월까지의 관측자료를 나타낸 Fig. 3으로부터는 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 앞의 Fig. 2와는 달리 두 개의 연안사주가 존재하고 있다. 시간이 진행함에 따라 외해측에 존재하는 외부 연안사주는 완만해지고, 내부 연안사주

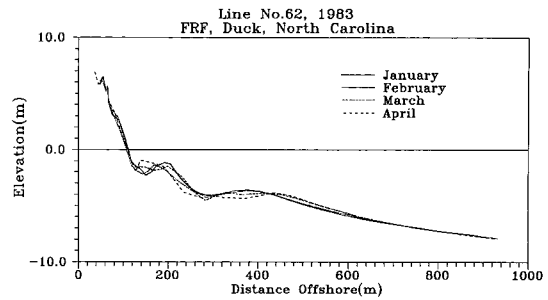


Fig. 3. Measured cross-shore profile for the double bars, 1983.

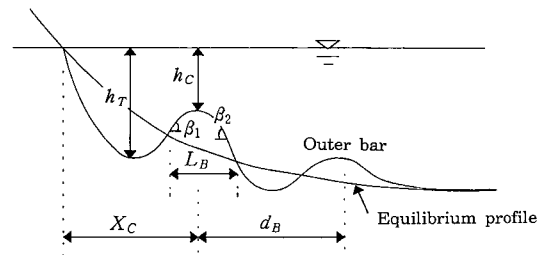


Fig. 4. Definition of parameters related to the nearshore bars.

는 Fig. 2와는 반대로 그 발생위치가 해안선 방향으로 진행하고 있다.

전 절에서 언급된 바와 같이 하나의 연안사주가 존재하는 경우와 두 개의 연안사주가 존재하는 경우의 특성이 각기 다르게 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 두 가지 경우를 분리하여 각각의 경우에 대한 연안사주의 특성을 해석하였다. 두 개의 연안사주가 존재하는 경우, 연안사주의 크기 및 이동속도는 내부 연안사주를 기준으로 분석하였으며, 외부 연안사주에 대한 해석은 그 크기가 상대적으로 작아서 내부 연안사주와의 발생위치 차이로 하였다.

3. 연안사주에 대한 정의

연안사주를 정량적으로 해석하기 위해서는 연안사주의 존재 여부에 대한 판단 및 연안사주와 관련된 제반 변수들에 대한 올바른 정의가 선행되어야 한다. 즉, 전 장에 제시된 관측자료, Fig. 2와 3에서 이미 살펴본 바와 같이 연안사주는 시간에 따라 그 크기와 형태를 달리하면서 이동되기 때문에 연안사주의 크기 및 이동속도를 정의하기 위해서는 시간에 따라 변하지 않는 일

정한 기준단면이 있어야만 한다. 많은 연구자들은 초기 단면을 기준단면으로 임의의 시간후의 단면을 초기 단면과 비교하여 연안사주의 발생위치 및 크기 그리고 이동속도를 결정하였다. 이와 같은 방법은 수리 모형 실험인 경우에는 초기단면을 정확히 알 수 있기 때문에 가능하다. 그러나 본 연구와 같이 현장 관측자료에 대한 해석에서는 정확한 초기단면의 형태를 알 수 없기 때문에 그와 같은 방법의 적용이 불가능하다.

본 연구에서는 Larson과 Kraus(1994)가 제안한 방법과 동일하게 임의의 단면이 일정한 외력 조건하에서 궁극적으로 가져야 하는 평형단면(equilibrium profile)을 기준단면으로 설정하여, 연안사주의 제반특성들을 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 정의하였다. 평형 단면식에 대한 많은 연구들이 있으나 본 연구에서는 표사의 입경분포에 따른 영향을 고려할 수 있고 사용이 비교적 간편하고, 정확하다고 인정된 다음 식 (1)을 사용하였다(Larson, 1992).

$$h = A \left[x - x_s + \frac{1}{\lambda} \left(\frac{D_0}{D_\infty} - 1 \right) \left(1 - e^{-\lambda(x-x_s)} \right) \right]^{2/3} \quad (1)$$

여기서 h 는 수심, A 는 형상계수, x 는 기준점으로부터의 거리, x_s 는 기준점에서 부터 해안선 까지의 거리, λ 는 감소계수, 그리고 D_0 와 D_∞ 는 각각 해안선 부근과 외해에서 단위 체적당 평형상태의 파랑 에너지(equilibrium wave energy)이다. 본 연구에서 사용된 변수값으로 $A = 0.09 m^{1/3}$, $\lambda = 0.039 m^{-1}$, 그리고 $D_0/D_\infty = 3.3$ 을 사용하였다(이철웅과 이길성, 1995a).

한편 Fig. 5에 연안사주의 특성을 나타내기 위하여 연안사주 전면의 수심(trough depth)을 h_T , 연안사주 중심점에서의 수심(crest depth)을 h_C , 연안사주의 발생위치를 해석하기 위하여 정의된 중심점의 위치(center of bar)를 X_C , 그리고 연안사주의 길이(bar length)를 L_B 로 정의하였다. 또한 연안사주의 형태를 해석하기 위하여 연안사주 전면과 후면의 기울기를 β_1 과 β_2 로 정의하였으며, 외부 연안사주와 내부 연안사주를 상호 연관시키기 위하여 두 연안사주 사이의 거리차를 d_b 로 정의하였다. 또한 연안사주의 시간에 따른 이동을 해석하기 위하여 이동속도를 관측 시간차 Δt 와 중심점의 위치변화 ΔX_C 의 비로, 연안사주의 형태를 해석하기 위한 전면과 후면부의 기울기비를 β_1/β_2 , 그리고 연안

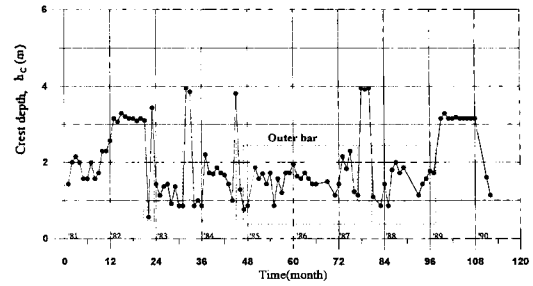


Fig. 5. Temporal variation for the crest depth, h_C at line 62.

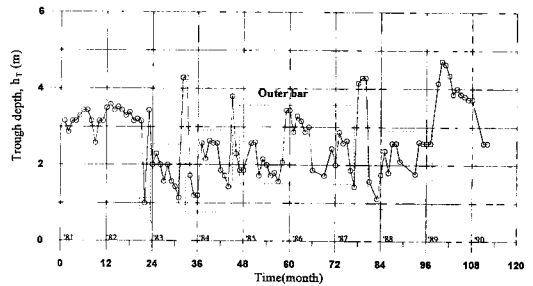


Fig. 6. Temporal variation for the trough depth, h_T at line 62.

사주의 높이를 해석하기 위하여 전면과 중심점의 수심비를 h_T/h_C 로 정의하였다.

4. 연안사주의 월별 계절적 특성

연안사주의 제반특성을 해석하기 위하여 연안사주 중심점에서의 수심 h_C , 연안사주 전면의 수심 h_T , 연안사주의 길이 L_B , 연안사주의 중심점 위치 X_C , 그리고 연안사주의 전면과 후면의 기울기, β_1 과 β_2 등이 횡방향 평형 단면식을 기준으로 제 3장에서 이미 정의되었다. 본 장에서는 먼저 관측자료에서 얻어진 기본적인 변수들의 전반적인 특성을 살펴본 후, 각각의 기본적인 변수들의 월별 계절적인 특성을 분석하였다. 또한 기본 변수들을 이용하여 새롭게 정의된 변수들, h_T/h_C , β_1/β_2 그리고 $\Delta X_C/\Delta t$ 를 해석하였다.

Fig. 5~10에 관측자료로부터 구한 각각의 기본적인 변수들의 특성을 나타내었다. 먼저 Fig. 5와 6은 각각 연안사주 중심점의 수심과 전면의 수심을 나타낸 것이다. 파선으로 표시된 부분이 두 개의 연안사주, 내부 연안사주와 외부 연안사주를 갖는 시간대이다. 그림에서 알 수 있듯이 외부 연안사주가 존재하는 경우와 그

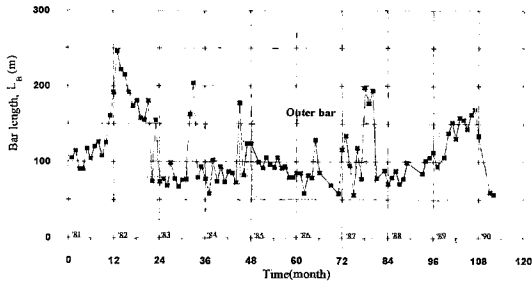


Fig. 7. Temporal variation for the bar length, L_B at line 62.

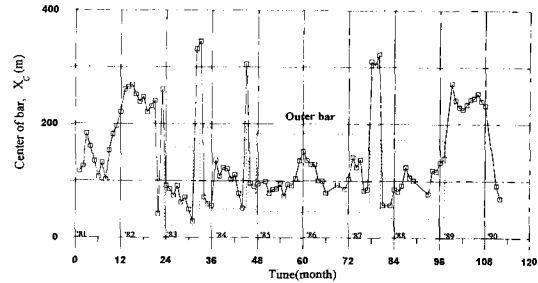


Fig. 8. Temporal variation for the center of bar, X_C at line 62.

렇지 않은 경우 상대적으로 큰 수심의 차이를 나타내고 있다. 또한 외부 연안사주의 존재 여부는 연안사주 전면의 수심차이보다는 중심점의 수심차이에 더 많은 영향을 주고 있다. 이는 내부 연안사주가 높아진 것이 아니라 외부 연안사주가 존재할 경우에 내부 연안사주는 해안선 가까이에서 발생하며, 또한 연안사주의 전면에서 많은 세굴이 발생된다는 것을 의미할 수 있다. 그러나 아직까지 외부 연안사주가 어떠한 조건과 시간대서 발생되는지는 알 수 없다.

한편 Fig. 7에 연안사주의 길이에 대한 특성을 제시하였다. 앞의 그림들과 동일하게 외부 연안사주가 존재하는 시간대의 연안사주의 길이도 상대적으로 작게 나타나고 있어, 외부 연안사주의 존재는 연안사주의 길이에 많은 영향을 준다는 사실을 알 수 있다. 전반적으로 외부 연안사주가 존재할 경우 내부 연안사주의 길이는 약 100 m보다 작게 나타나고 있다. Fig. 8에는 연안사주의 발생위치를 살펴보기 위하여 해안선으로

부터 내부 연안사주 중심점까지의 거리를 나타내었다. 이미 앞의 수심과 관련된 Fig. 5와 Fig. 6에서 예상했던대로 외부 연안사주가 존재함에 따라 내부 연안사주는 상대적으로 해안선 가까운 곳에서 발생되고 있다는 사실이 확인되었다. 전반적으로 해안선에서 약 100 m 지점에서 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 하나의 연안사주만 존재하는 경우에는 그 발생위치가 약 200 m되는 부근에 존재하고 있다. 또한 발생위치를 자세히 살펴보면 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우에는 연안사주의 발생위치가 시간이 지남에 따라 외해쪽으로 이동되고 있으나, 존재하는 경우에는 그 반대의 경향을 보여주고 있다. 이는 외부 연안사주가 발생하는 시간대는 내부 연안사주가 소멸되는 과정임의 의미할 수 있다. 즉, 내부 연안사주가 점차 해안선쪽으로 진행하다가 어느 위치를 지나면서 소멸되고 외부 연안사주가 다시 내부 연안사주가 되는 과정이다.

지금까지의 결과로부터 연안사주의 크기에 대하여

Table 2. Monthly statistics of the inner nearshore bar for the single bar.

	$h_c(m)$	$h_r(m)$	$L_B(m)$	$X_C(m)$	$\beta_1(^{\circ})$	$\beta_2(^{\circ})$
January	1.98	3.04	132.54	163.68	40.0	29.8
February	2.21	3.19	131.50	173.08	33.8	26.8
March	2.38	3.31	110.59	189.05	32.8	26.9
April	2.15	3.22	105.48	154.82	31.4	26.0
May	2.43	3.33	135.43	175.85	26.3	21.0
June	2.96	3.83	153.15	222.79	25.3	18.9
July	3.05	3.68	152.93	222.73	15.8	17.3
August	3.15	3.79	158.40	245.96	21.0	15.8
September	2.80	3.24	149.58	227.77	24.7	21.5
October	2.29	3.18	129.81	184.79	22.8	25.5
November	2.32	3.06	129.63	179.66	25.0	28.5
December	2.43	3.26	146.04	195.43	21.7	21.0
Mean(Year)	2.51	3.34	136.26	194.63	26.7	23.3

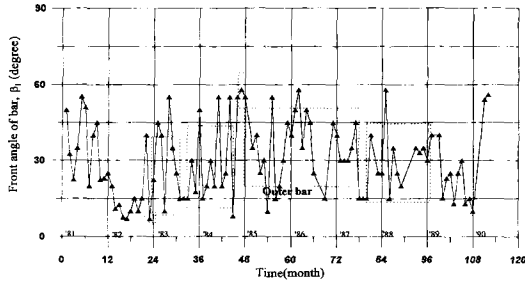


Fig. 9. Temporal variation for the front angle of bar, β_1 at line 62.

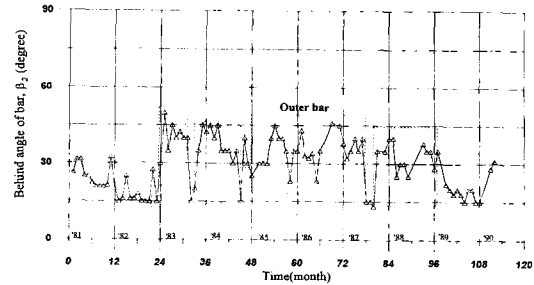


Fig. 10. Temporal variation for the behind angle of bar, β_2 at line 62.

는 많은 이해가 있었으나 연안사주의 형상에 대한 이해는 부족하다. Fig. 9와 10에 연안사주의 형상에 대한 이해를 위하여 연안사주 전면 및 후면부의 기울기를 나타내었다. 두 그림을 비교하면 전반적으로 전면부의 기울기가 크게 나타나고 있다. 하나의 연안사주가 존재하는 경우에는 연안사주의 형상이 외해쪽으로 진행할수록 완만해진다는 사실을 의미한다. 그러나 Fig. 10으로부터 외부 연안사주가 존재하는 경우에 내부 연안사주의 후면부 경사가 그렇지 않은 경우보다 오히려 크게 나타나고 있다. 이는 내부 연안사주 후면에 영향을 주는 침식 및 퇴적 등과 같은 표사의 이동이 외부 연안사주가 존재하지 않으면 완만하게 이루어지나, 외부 연안사주가 존재하면 이와 같은 완만한 이동이 차단되기 때문이다. 즉, 퇴적작용보다는 침식작용이 많이 일어나기 때문이다.

이상과 같이 전반적인 연안사주의 크기 및 형태를 살펴보기 위하여 선택된 변수들의 해석으로부터 다음

과 같은 사실을 알 수 있었다. 하나의 연안사주만 존재할 경우, 내부 연안사주는 시간이 지남에 따라 외해쪽으로 이동하다가 임의의 위치에서 외부 연안사주를 형성하게 된다. 이와 같이 외부 연안사주가 형성된 후, 내부 연안사주는 시간에 따라 반대로 해안선쪽으로 진행하면서 동시에 많은 양의 표사가 해안선 및 외부 연안사주방향으로 이동, 소멸되어 외부 연안사주가 다시 내부 연안사주로 변화되는 과정을 반복하고 있다고 생각된다.

진 절의 결과들은 전체 자료의 연속적인 시간에 따른 연안사주의 특성들을 해석하기 위하여 나타낸 것이다. 월별 및 계절적인 특성을 살펴보기 위하여 Table 2와 3에 그 자료를 제시하였다. Table 2는 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우의 결과이고, Table 3은 외부 연안사주가 존재하는 경우의 결과이다. 먼저 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 연안사주 중심점의 수심, 전면 수심, 연안사주의 길이 그리고 발생위치가

Table 3. Monthly statistics of the inner nearshore bar for the double bar.

	$h_c(m)$	$h_T(m)$	$L_B(m)$	$X_C(m)$	$\beta_1(^{\circ})$	$\beta_2(^{\circ})$	$d_B(m)$
January	1.59	2.52	187.28	111.34	37.0	41.75	198.11
February	1.72	2.53	90.56	99.36	28.0	33.0	208.49
March	1.80	2.40	78.30	110.93	29.0	38.0	203.41
April	1.43	2.04	98.88	87.59	33.8	35.0	233.29
May	1.42	2.14	88.53	88.76	42.0	36.1	220.36
June	1.42	1.79	85.56	83.05	20.0	38.8	215.73
July	1.05	1.53	89.36	63.07	31.7	36.7	241.06
August	1.29	1.62	82.15	72.34	35.0	37.5	214.19
September	1.26	1.62	80.13	80.33	25.0	38.7	213.17
October	1.11	1.77	78.72	78.20	38.8	31.4	193.49
November	1.09	1.90	96.26	85.60	36.4	36.3	222.35
December	1.33	2.04	91.16	97.02	38.8	35.1	205.57
Mean(Year)	1.38	1.99	87.24	88.13	33.0	36.5	214.10

6월~9월에서 년평균보다 크게 나타났다. 그러나 연안사주의 형상과 관련있는 전 후면의 기울기는 대체적으로 1월~4월에서 년평균보다 크게 나타났다. 따라서 1월에서 4월 사이에 연안사주가 두드러지게 형성된다는 사실을 알 수 있다. 한편 Table 3의 외부 연안사주가 존재하는 경우에는 Table 2와 달리 대략 1월에서 5월까지의 시간대에서 연안사주의 크기와 관련된 변수들이 전반적으로 평균보다 크게 나타나고 있다. 또한 연안사주 후면의 기울기가 전면의 기울기 보다 크게 나타나고 있다. 연안사주 사이의 거리는 약간의 차이는 있으나 4월에서 8월 사이에 가장 크게 나타났다. 내부 연안사주와 외부 연안사주의 년평균 거리차는 약 214 m이다.

연안사주의 이동속도 및 형성비에 대한 자료를 Table 4와 5에 나타내었다. Table 4의 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 연안사주의 중심과 전면의 수심비의 평균은 1.44이고 연안사주의 이동속도는 하루에 약 0.2 m 정도 외해로 진행되는 것으로 나타났다. 또한 후면부와 전면부 사이의 기울기비는 1.1로 나타나 전면부가 더 급하게 형성된다는 사실을 알 수 있다. 외부 연안사주가 존재하는 경우에는 수심비가 더 크게 나타났으며, 이동속도는 작고 전면부가 상대적으로 완만하게 형성된다. 이와 같은 이유는 이미 앞에서 언급된 바 있다.

계절적 특성을 살펴보기 위하여 1월에서 3월을 겨울, 4월에서 6월을 봄, 7월에서 9월을 여름, 그리고

Table 4. Monthly properties of the inner nearshore bar for the single bar.

	h_f / h_c	$\Delta X_c / \Delta t(m/day)$	β_1 / β_2
January	1.65	1.14	1.39
February	1.55	0.15	1.16
March	1.46	0.75	1.23
April	1.60	-0.79	1.12
May	1.43	-0.58	1.18
June	1.47	-0.27	1.27
July	1.26	0.05	0.92
August	1.30	0.08	1.10
September	1.23	0.64	1.07
October	1.47	0.85	0.88
November	1.47	0.08	0.84
December	1.33	0.32	1.00
Mean(Year)	1.44	0.20	1.10

Table 5. Monthly properties of the inner nearshore bar for the double bar.

	h_f / h_c	$\Delta X_c / \Delta t(m/day)$	β_1 / β_2
January	1.82	0.66	0.91
February	1.30	-0.45	0.85
March	1.35	0.21	0.83
April	1.52	-0.48	0.95
May	1.50	0.01	1.07
June	1.31	-0.21	0.53
July	1.51	-0.71	0.86
August	1.29	0.06	0.98
September	1.30	-0.05	0.68
October	1.68	0.43	1.25
November	1.73	0.32	1.08
December	1.56	0.38	1.16
Mean(Year)	1.49	0.01	0.93

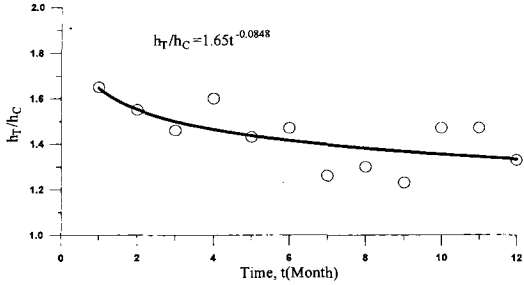


Fig. 11. Ratio between the trough depth and the crest depth for the single bar at line 62.

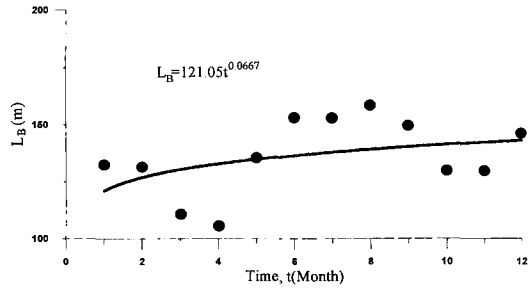


Fig. 12. Bar length for the single bar at line 62.

10월에서 12월을 가을로 정의하여 구한 각각의 결과를 Table 6과 7에 나타내었다. 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 수심비와 기울기비는 봄과 겨울에 평균보다 크게 형성되고, 여름과 가을에는 작게 나타났다. 연안사주의 길이는 반대로 여름과 가을에 길게 나타났다. 즉, 겨울과 봄에 두드러지게 형성된 연안사주가 여름과 가을에 완만해 진다는 사실을 알 수 있다. Table 1에 의하면 겨울에 파고가 가장 높게 나타났다. 또한 연안사주의 이동속도는 봄에 해안선쪽으로 진행하다가 여름부터 겨울까지는 외해쪽으로 진행된다는 사실을 알 수 있다. 특히 봄과 겨울의 이동속도가 상대적으로 다른 계절에 비하여 크게 나타났다. 한편 외부 연안사주가 존재하는 Table 7로부터, 수심비는 가을에 특히 두드러진 차이를 보이고 있으며, 기울기비도 유독 가을에만 전면부의 경사가 급하게 나타났다. 그러나 연안사주의 길이는 봄에 가장 크게 나타났다. 따라서 외부 연안사주가 존재하는 경우에 내부 연안사주는 가

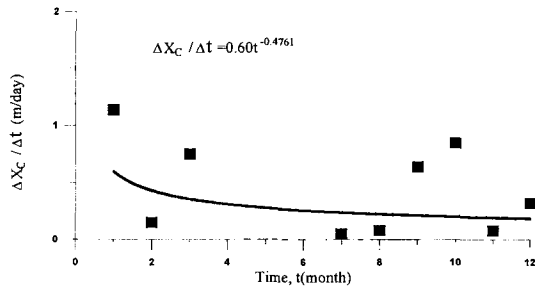


Fig. 13. Movement rate of the bar for the single bar at line 62.

을에 가장 뚜렷한 것으로 나타났으며, 내부 연안사주의 이동속도는 봄과 여름에는 해안선쪽으로, 가을과 겨울에는 외해쪽으로 진행하고 있다.

지금까지 연안사주의 크기 및 형태와 관련된 정성적인 해석이 수행되었다. 따라서 연안사주와 관련된 특성들의 정량적인 해석이 실제적으로 필요하다. 따라서 앞의 경우와 동일하게 외부 연안사주가 존재하는 경우

Table 6. Seasonal properties of the inner nearshore bar for the single bar.

	h_T / h_C	$L_B(m)$	$\Delta X_C / \Delta t(m / day)$	$\beta_1\beta_2$
Spring	1.50	131.35	-0.55	1.19
Summer	1.26	153.64	0.26	1.03
Fall	1.42	135.16	0.42	0.91
Winter	1.55	124.88	0.68	1.26

Table 7. Seasonal properties of the inner nearshore bar for the single bar.

	h_T / h_C	$L_B(m)$	$\Delta X_C / \Delta t(m / day)$	$\beta_1\beta_2$
Spring	1.44	90.99	-0.23	0.85
Summer	1.37	83.88	-0.23	0.84
Fall	1.66	88.71	0.38	1.16
Winter	1.49	85.38	0.14	0.86

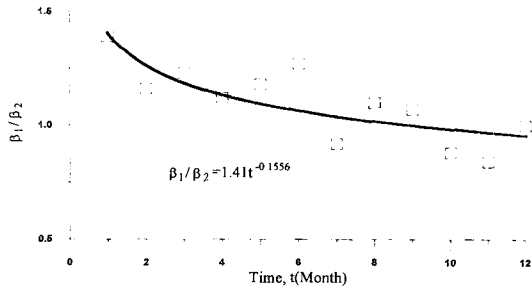


Fig. 14. Ratio between the front angle and the behind angle of bar for the single bar at line 62.

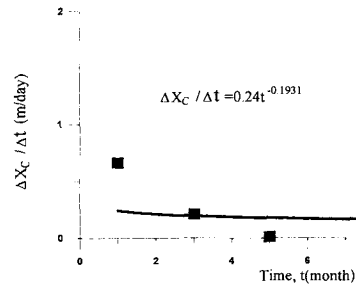


Fig. 17. Movement rate of the inner bar for the double bar at line 62.

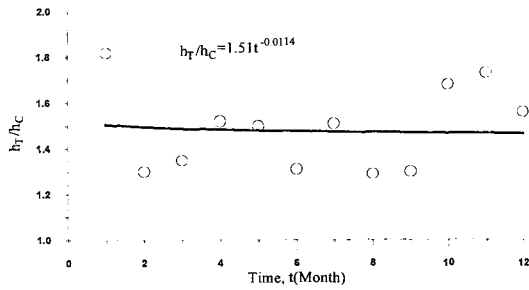


Fig. 15. Ratio between the trough depth and the crest depth of the inner bar for the double bar at line 62.

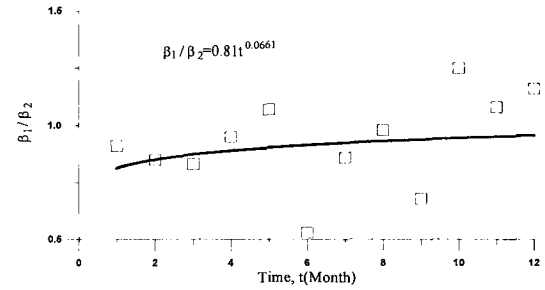


Fig. 18. Ratio between the front angle and the behind angle of inner bar for the double bar at line 62.

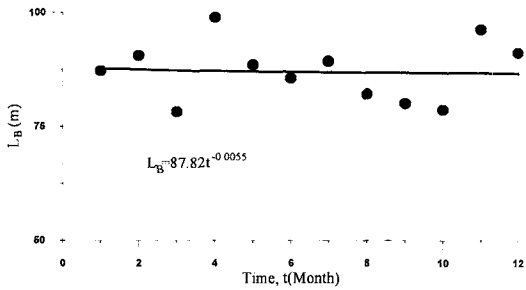


Fig. 16. Bar length of the inner bar for the double bar at line 62.

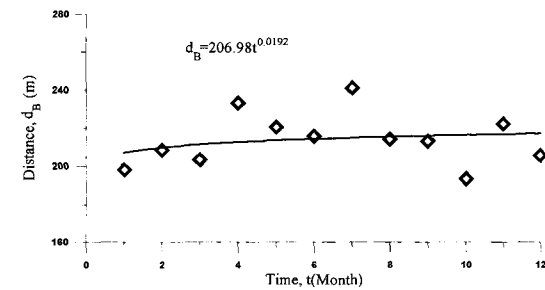


Fig. 19. Distance between the inner bar and the outer bar for the double bar at line 62.

와 그렇지 않은 경우를 구분하여 연안사주의 수심비, 길이, 이동속도 그리고 기울기비에 관한 식들을 구하였다. 관측자료와 비교적 잘 일치하면서 식 자체가 간단하게 유도되었다. 먼저 Fig. 11~14를 이용하여 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 다음 식 (2)~(5)에 각각 연안사주의 중심점과 전면의 수심비, 길이, 이동속도, 그리고 기울기비를 시간의 함수로 나타내었다.

$$\frac{h_T}{h_C} = 1.65t^{-0.0848} \quad (2)$$

$$L_B = 121.05t^{0.0667} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta X_C}{\Delta t} = 0.60t^{-0.4761} \quad (4)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = 1.41t^{-0.1556} \quad (5)$$

또한 Fig. 15~19에서 외부 연안사주가 존재하는 경우에, 동일하게 연안사주의 중심점과 전면의 수심비, 길이, 이동속도, 기울기비 그리고 외부 연안사주의 발생위치를 각각 다음 식 (6)~(10)에 시간의 함수로 나타내었다.

$$\frac{h_T}{h_C} = 1.51t^{-0.0114} \quad (6)$$

$$L_B = 87.82t^{-0.0055} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta X_C}{\Delta t} = 0.24t^{-0.1931} \quad (8)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = 0.81t^{0.0661} \quad (9)$$

$$d_B = 206.98t^{0.0192} \quad (10)$$

이상의 연안사주와 관련된 각각의 특성에 대한 제안식들은 시간의 변화에 민감하지 않도록 유도되었다. 제안식들 중에는 시간이 무한대일 때 즉, 평형상태에서 궁극적으로 가져야 하는 조건을 정확히 만족하지 못하지만, 이와 같은 문제는 보다 많은 자료가 확보되면 해결되리라 판단된다.

한편 제안된 식들은 단순히 연안사주의 크기 및 형태와 관련된 특성들은 단순히 시간의 함수로 표현되었을 뿐 해안선의 횡방향 단면형태이나 표사의 영향이 포함되어 있지 않다. 그러나 이와 같은 문제점은 평형 단면식과 연계시키면 해결될 수 있다고 생각된다.

5. 결 론

표사의 해안선 횡방향 이동에 대한 장기간의 관측자료를 이용하여 연안사주와 관련된 많은 변수들을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

전체적으로 하나의 연안사주만 존재할 경우, 내부 연안사주는 시간이 지남에 따라 외해쪽으로 이동하다가 임의의 위치에서 외부 연안사주를 형성하게 된다. 그러나 외부 연안사주가 형성된 후, 내부 연안사주는 반대로 해안선쪽으로 진행되면서 동시에 많은 양의 표사가 해안선 및 외부 연안사주방향으로 이동, 소멸되어 외부 연안사주가 다시 내부 연안사주로 변화되는 과정을 반복한다.

월별로는 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 연안사주 중심점의 수심, 전면 수심, 연안사주의 크기 그리고 발생위치가 6월~9월에서 평균보다 크게 나타났다. 그러나 연안사주의 형상과 관련있는 전 후면의 기울기는 대체적으로 1월~4월에서 평균보다 크게 나타났다. 따라서 1월에서 4월 사이에 연안사주가 두드러지게 형성된다는 사실을 알 수 있다. 한편 외부 연안사주

가 존재하는 경우에는 대략 1월에서 5월까지의 시간대에서 연안사주의 크기와 관련된 변수들이 전반적으로 평균보다 크고, 연안사주 후면의 기울기가 전면의 기울기보다 급하다. 두 연안사주 사이의 거리는 약간의 차이는 있으나 4월에서 8월 사이에 가장 크게 나타났다.

계절별로 외부 연안사주가 존재하지 않는 경우, 수심비와 기울기비는 봄과 겨울에 평균보다 크게 형성되고 여름과 가을에는 작게 나타났다. 연안사주의 길이는 반대로 여름과 가을에 길게 나타났다. 즉, 겨울과 봄에 두드러지게 형성된 연안사주가 여름과 가을에 완만해 진다는 사실을 알 수 있다. 또한 연안사주의 이동속도는 봄에 해안선쪽으로 진행하다가 여름부터 겨울까지 외해쪽으로 진행한다. 특히 봄과 겨울의 이동속도가 상대적으로 다른 계절에 비하여 크다. 한편 외부 연안사주가 존재하는 경우에는 수심비는 가을에 특히 두드러진 차이를 보이고 있으며, 수심비는 가을에 특히 두드러진 차이를 보이고 있으며, 기울기비도 유독 가을에만 전면부의 경사가 급하게 나타났다. 그러나 연안사주의 길이는 봄에 가장 크게 나타났다. 따라서 외부 연안사주가 존재하는 경우에 내부 연안사주는 가을에 가장 뚜렷한 것으로 나타났으며, 내부 연안사주의 이동속도는 봄과 여름에는 해안선쪽으로, 가을과 겨울에는 외해쪽으로 진행하고 있다.

연안사주의 정량적인 해석을 위하여 연안사주와 관련된 제반 특성, 연안사주의 중심점과 전면의 수심비, 길이, 이동속도, 기울기비 그리고 두 연안사주 발생거리차에 대한 제안식들을 시간의 함수로 간단히 나타내었다. 따라서 해안선 횡방향 표사이동 해석시, 본 연구에서 제안된 식들을 사용하면 연안사주의 크기 및 형태와 관련된 특성들을 해석할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 이철웅, 이길성, 1995a. 해안선 수직방향의 표사이동에 관한 평형 단면식의 비교, 대한토목학회논문집, 15(6), pp. 1803-1810.
- 이철웅, 이길성, 1995b. 복합 수치모형에 의한 연안사주의 생성과 모의, 대한토목학회논문집, 15(6), pp. 1811-1821.
- Birkemeier, W.A., 1984. Time scales of nearshore profile change, *Proceeding of 19th ICCE, ASCE*, pp. 1507-

- 1521.
- Birkemeier, W.A. and Mason, C., 1984. The CRAB: A unique nearshore research vehicle, *Journal of Survey Engineering*, 110(1), pp. 1-7.
- Bowen, A.J., 1980. Simple models of nearshore sedimentation: Beach profiles and longshore bars, *Coastline of Canada, Littoral Processes and Shore Morphology* edited by McCann, pp. 1-11.
- Greenwood, B. and Davidson-Arnott, R.G.D., 1979. Sedimentation and equilibrium in wave-formed bars: A review and case studies, *Canadian Journal of Earth Science*, 16, pp. 312-332.
- Larson, M., 1991. Equilibrium profile of a beach with varying grain size, *Coastal Sediment '91*, pp. 905-919.
- Larson, M. and Kraus, M.C., 1989. SBEACH: numerical model for simulating storm-induced beach change, Report 1: empirical foundation and model development, *Technical Report CERC-98-9*, US Army Engineering, Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Larson, M. and Kraus, M.C., 1994. Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina, *Marine Geology*, 117, pp. 75-94.
- Lee, C.E. and Kim, M.H., 1996. Generation of nearshore bars by multi-domain hybrid numerical model, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE (To be published).
- Miller, R.L., 1976. Role of vortices in surf zone prediction: Sedimentation and wave forces, *Beach and Nearshore Sedimentation* edited by Davis and Ethington, pp. 92-114.
- Sallenger, A.H., Jr., Holman, R.A. and Birkemeier, W.A., 1985. Storm-induced response of a nearshore-bar system, *Marine Geology*, 64, pp. 237-257.