

# 해운대 백사장 먼바다에 있어서의 조류의 계절변화 Seasonal Variation of Tidal Currents off the Haeundae Beach

이문옥<sup>1</sup>, 김병국<sup>2</sup>, 이종섭<sup>3</sup>

Moon Ock Lee<sup>1</sup>, Byeong Kuk Kim<sup>2</sup> and Jong Sub Lee<sup>3</sup>

## 1. 서 론

달과 태양의 기조력에 의한 해면의 승강운동에 따라 생기는 해수 입자의 수평운동인 조류는 조석의 분조에 대응하여 주기적으로 유동한다. 그러나, 조류는 해저지형이나 해안지형의 영향을 받기 쉽고 대단히 국지성이 강하기 때문에 특히 폐쇄성 내만에서의 조류는 바람에 의한 영향을 결코 무시할 수 없다.

본 연구 대상해역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 반폐쇄적 수역인 해운대 백사장으로부터 약 1.2km 떨어진 수심 20m에 위치한 정점 W1이며, 장기간에 걸쳐 관측한 조류가 계절에 따라 그 흐름의 패턴이 변화하는 데 주목하고, 본 연구는 바로 그 이유를 해명하는 데 목적이 있다.

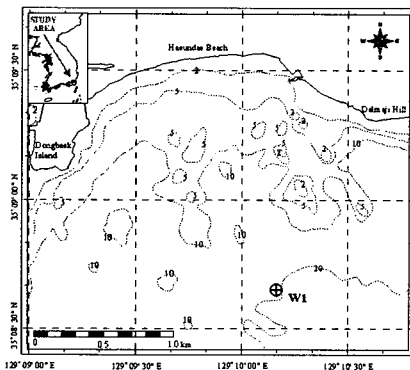


Fig. 1. Study area and oceanographic station for tidal current.

## 2. 관측자료 및 해석방법

### 2.1 관측자료

관측은 2007년 1월 26일~2월 28일, 4월 2일~5월 14일, 6월 30일~8월 5일, 8월 7일~10월 1일, 그리고 10월 2일~11월 12일 등 5회에 걸쳐 상기한 그림 1의 정점에서 ADCP를 해저면에 고정 설치하여 실시되었다. ADCP는 보조 프레임을 사용하여 편평한 실트질 해저면에 착지시키고, 또한 위치확인을 위해 pinger을 부착, 계류 부표에는 야간식별용 표시등을 설치하였다. 계기는 수심 1m 간격으로 매 30분마다 측류 값을 읽어들이어 저장하도록 셋팅하였다. 한편, 해상풍 자료로서는 측류지점과 가장 가까운 곳에서 관측한 기상청의 AWS 자료 (10분간의 평균 풍향 풍속자료)를 이용하였다.

### 2.2 해석방법

각 계절에 있어서 한달 이상 관측한 측류자료는 조석·조류 조화분해 패키지인 TIRA2000 (Prouman Oceanographic Laboratory, UK, 2000)을 사용하여 각 유속 벡터를 동분 및 북분 성분으로 분해하였다. 임의지점에서 임의시각에 관측한 조류  $V(t)$ 는 일주조류, 1/2일주조류, 1/4일주조류 등의 합으로 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$V(t) = V_0 + V_1 \cos(15^\circ t - k_1) + V_2 \cos(30^\circ t - k_2) + V_4 \cos(60^\circ t - k_4) + \dots \quad (1)$$

이 식을 Fourier 급수로 전개하면 다음 식 (2)

1 발표자: 전남대학교 해양기술학부 교수  
 2 전남대학교 대학원 해양공학과 박사과정  
 3 부경대학교 토목공학과 교수

와 같다.

$$V(t) = V_0 + A_1 \cos(15^\circ t) + A_2 \cos(30^\circ t) + A_4 \cos(60^\circ t) + B_1 \sin(15^\circ t) + B_2 \sin(30^\circ t) + B_4 \sin(60^\circ t) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } V_0 &= \frac{1}{24} \sum_{t=0}^{23} V(t) \\ A_i &= \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \cos(15^\circ) \\ B_i &= \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{23} V(t) \sin(15^\circ) \\ V_i &= \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \\ K_i &= \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i} \text{이다.} \end{aligned}$$

이다.

그리고  $i=1$ 의 일주조류는  $K_1$ ,  $O_1$  및  $P_1$ 분조 성분,  $i=2$ 의 1/2일주조류는  $M_2$ ,  $S_2$  및  $S_2$ 분조 성분, 그리고  $i=4$ 의 1/4일주조류는  $M_4$  및  $MS_4$  분조 성분을 각각 나타낸다.

한편, 바람에 의해 생기는 흐름, 즉 취송류의 표층 유속  $V_w$ 는 Pond and Pickard (1983)에 의하면, 다음과 같이 표현된다.

$$V_w = 0.0127 \times W / \sqrt{\sin \phi} \quad (3)$$

단, 여기서  $W$ 는 풍속(m/s),  $\phi$ 는 위도를 나타낸다. 또한, 취송류에 의한 질량수송이 미치는 수심을 나타내는 에크만 수심 (즉, 마찰층 심도)  $D$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$D = 4.3 \times W / \sqrt{\sin \phi} \quad (4)$$

즉, 상기한 식 (3) 및 (4)를 이용하여 바람에 의한 취송류의 크기 및 그 영향범위를 계산할 수 있다.

### 3. 결 과

#### 3.1 해운대 백사장 먼바다 조류의 계절변화

관측기간 동안의 계절에 따른 층별 조류의 stick diagram, 조류분산도, 그리고 조류진행도를 살펴 보면 다음과 같은 특징이 있다.

먼저, stick diagram에서는 표층에서 창·낙조시 최강유속은 동계인 1차 관측 때가 42.9cm/s 및 61.1cm/s, 춘계인 2차 관측 때가 54.2cm/s 및 74.5cm/s, 하계인 3차 관측 때가 87.6cm/s 및 75.4cm/s, 하계~추계인 4차 관측 때가 71.1cm/s 와 72.9cm/s, 그리고 추계인 5차 관측 때가 76.8cm/s와 64.4cm/s로 각각 나타났다. 또한, 조류는 4계절 모두 창조시는 서남서, 낙조시는 동북

동 방향이 각각 탁월하였으며, 중층 및 저층의 경우도 조류의 크기와 방향에 있어서는 표층과 거의 유사하였다. 한편, 조류분산도에서는, 하계~추계 사이에 표층에서 저층의 전 수층에 걸쳐 조류의 분산이 증가하는 경향을 보였다. 즉, 다시 말하면 동서 방향의 흐름에서 남북 방향의 흐름 성분이 점차 늘어나는 추세를 보였다. 이러한 경향은 조류진행벡터도에서도 확인할 수 있는데, 동계 및 춘계인 1차 및 2차 관측시 조류는 전 층에서 동북동~북동 방향으로 진행하지만, 하계인 3차 관측시 조류는 저층을 제외하고 서북서 방향으로 전향을 하게 되며, 하계~추계 또는 추계인 4차 및 5차 관측시에는 전 수층이 북향류로 바뀌게 됨을 알 수 있다.

#### 3.2 조류의 조화분해 결과

관측된 각 계절별 조류자료를 동방 성분과 북방 성분으로 각각 나누고, TASK2000 Package를 이용해 조화분해를 실시하여 주요 4대 분조를 얻었다. 그 결과는 다음과 같다.

먼저, 전 계절을 통하여 반일주조인  $M_2$  및  $S_2$  분조가 일주조인  $K_1$  및  $O_1$  분조에 비해 탁월하였으며, 동계인 1차 관측 때는, 전 층에서 동방 성분이 북방 성분보다 약 4~5배, 춘계 및 하계인 2차~4차 관측 때는 약 2~3배, 추계인 5차 관측 때는 약 2배 정도 더 컸다. 즉, 동계에서 춘계를 거쳐 하계, 추계로 갈수록 전 유속에서 북방 성분이 차지하는 비율이 상대적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한, 4대 분조 중 가장 탁월한  $M_2$  분조의 동방 성분은, 전 수층을 통해 춘계에 지각(phase lag)이 가장 컸고, 하계~추계에 지각이 가장 작았다.

#### 3.3 해운대 백사장 먼바다 해상풍의 특징

조류관측기간 중 기록된 각 계절별 기상청 해운대 AWS 해상풍 자료(35° 10' 30" N, 129° 09' 59" E)의 분석결과는 다음과 같다.

먼저, 동계인 1차 관측 때는 서풍이 21.9%, 서북서풍이 11.5%, 북풍이 11.4%의 순으로 탁월하였고, 풍속은 1~2m/s가 31.3%, 2~3m/s가 26.5%, 0~1m/s가 21.4%의 순으로 탁월하였다. 춘계인 2차 관측 때는 남서풍이 17.4%, 서풍이 12.6%, 남풍이 8.8%의 순으로 탁월하였고, 풍속은 1~2m/s가 35.5%, 2~3m/s가 30.4%, 3~4m/s가 16.1%의 순으로 탁월하였다. 하계인 3차 관측 때는 남서풍이 11.0%, 남풍이 9.9%, 남남서풍이 9.6%의 순으로

탁월하였고, 풍속은 1~2m/s가 43.6%, 2~3m/s가 27.0%, 0~1m/s가 14.4%의 순으로 탁월하였다. 하계~추계 사이인 4차 관측 때는 북풍이 14.3%, 남서풍이 12.2%, 북북동풍이 9.1%의 순으로 탁월하였고, 풍속은 1~2m/s가 37.5%, 2~3m/s가 32.1%, 3~4m/s가 13.5%의 순으로 탁월하였다. 추계인 5차 관측 때는 북풍이 22.4%, 서풍이 15.5%, 북북서풍이 10.9%의 순으로 탁월하였고, 풍속은 1~2m/s가 39.9%, 2~3m/s가 28.7%, 0~1m/s가 17.7%의 순으로 탁월하였다.

이들 결과를 종합해 보면, 해운대 백사장 먼바다 해상풍의 풍향은 동계인 1차 때는 북서풍계, 춘계인 2차 때는 남서풍계, 하계인 3차 때는 남서~남풍계, 하계~추계인 4차 때는 북~남서풍계, 추계인 5차 때는 북~북서풍계가 각각 우세하였으며, 풍속은 계절에 따라 큰 차이 없이 3m/s 이하가 가장 탁월하였다.

#### 4. 고찰

해운대 백사장 먼바다 조류 관측정점(위도 35° 8.6 'N)에서의 해상풍의 평균 풍속은 1차 때가 약 2.0m/s, 2차 때가 2.1m/s, 3차 때가 1.5m/s, 4차 때가 1.9m/s, 5차 때가 1.8m/s로, 평균 1.85m/s였다. 이에 따른 취송류의 유속은 전술한 식 (3)에 의해 1차 때가 3.3cm/s, 2차 때가 3.5cm/s, 3차 때가 2.4cm/s, 4차 때가 3.7cm/s, 5차 때가 3.0cm/s로, 평균 약 3.1cm/s로 나타났다. 또한, 바람 응력이 미치는 영향범위, 즉 에크만 층의 두께는 전술한 식 (4)에 의해 8.3~11.5m로, 전 계절 평균 약 10.5m로 추산된다. 이들 결과를 종합해 보면, 풍속은 계절에 따라 큰 차이를 보이지 않았고, 이에 따른 취송류나 에크만 층의 두께 또한 계절적인 큰 차이는 없었다. 또한, 조류 관측 정점의 수심이 20m이므로 이곳에서의 해상풍은 전 수층의 중간층까지 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 이하에서 각 계절별로 조류와 해상풍과의 관계를 검토한다.

#### 4.1 조류 및 해상풍의 stick diagram

Fig. 2는 대표적으로 동계인 제 1차 관측 때 30분 간격으로 획득한 해상풍과 층별 조류의 stick diagram을 나타낸다. 조류는 전 수층에 걸쳐 동북동~서남서 방향의 흐름이 탁월하고 월령에 따라 규칙적인 유속 변화를 보여주지만, 표층에서

의 조류는 바람의 영향으로 불규칙적인 변동을 보여주기도 한다. 한편, 춘계인 2차 관측 기간 중에는 남풍계가 북풍계보다 탁월하였으며, 표층류는 중, 저층과 마찬가지로 바람에 의한 변동은 현저하지 않았다. 그러나, 하계, 하계~추계, 추계인 3~5차 관측 시에는 탁월풍이 북풍계에서 남풍계로 바뀌다가 다시 북풍계로 바뀌는 과정을 거치는 동안 조류는 월령에 따른 규칙적인 변화가 무너질 정도로 거의 전 층에서 유속에 매우 큰 변동이 일어나고 있음을 알 수 있다.

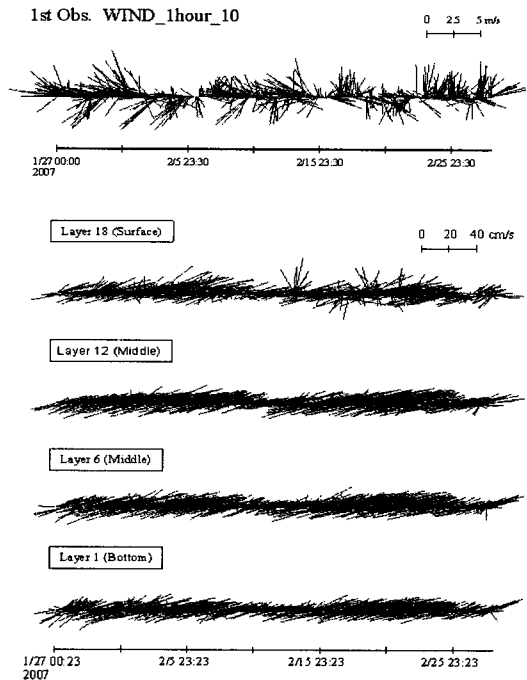


Fig. 2. Stick vector diagrams of wind and tidal currents.

#### 4.2 조류 및 해상풍의 scatter diagram

Fig. 3은 관측기간 동안의 계절에 따른 해상풍과 표층류의 scatter diagram을 나타낸다. 해상풍은 전술한 바와 같이 동계는 북서풍계, 춘계는 남서풍계, 하계는 남서~남풍계, 하계~추계에는 북~남서풍계, 그리고 추계는 북~북서풍계가 각각 우세하였다. 즉, 동계에서 추계로의 계절 변화 동안 바람은 남풍계에서 북풍계로의 풍계변화가 있었으며, 이에 따라 표층류 주류의 방향도 동북동~서남서에서 북쪽 또는 남쪽 방향으로의 이른 북북방 성분의 분산이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 비단 표층에서 뿐만 아니라 전 수층을 통해 관찰되었다.

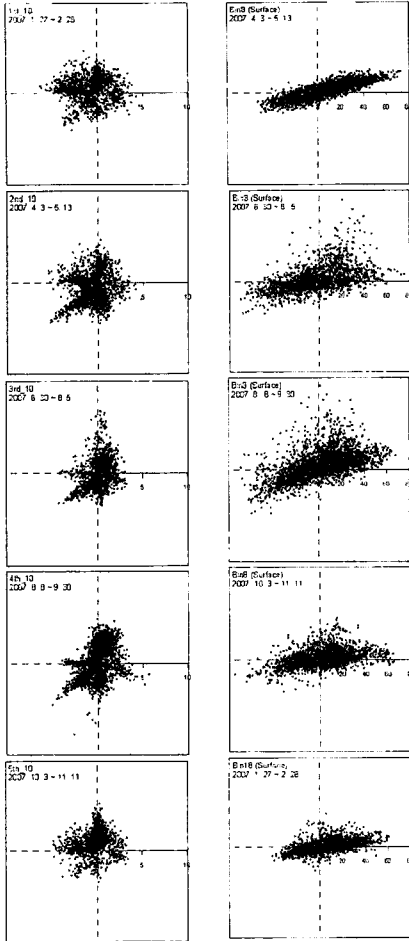


Fig. 3. Scatter diagrams of wind and surface tidal currents.

#### 4.3 조류 및 해상풍의 progressive vector diagram

Fig. 4는 관측기간 동안의 계절에 따른 해상풍과 표층류의 progressive vector를 나타낸다. 이 결과에 따르면, 바람은 동계는 동남쪽, 춘계는 북동쪽, 하계는 남~북쪽, 하계~추계는 북~남쪽, 추계는 남동쪽으로 각각 진행하는 데 대하여, 표층류는 동계와 춘계는 동북동쪽, 하계는 북~서쪽, 하계~추계는 북쪽, 추계는 북동쪽으로 각각 진행하였다. 따라서, 바람의 진행벡터와 표층류의 진행벡터 사이에 어떤 규칙적인 상관관계를 보여주는 것은 않으나, 적어도 바람이 표층 조류의 흐름 방향이나 크기에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

이상에서 고찰한 바와 같이 해운대 백사장 먼바

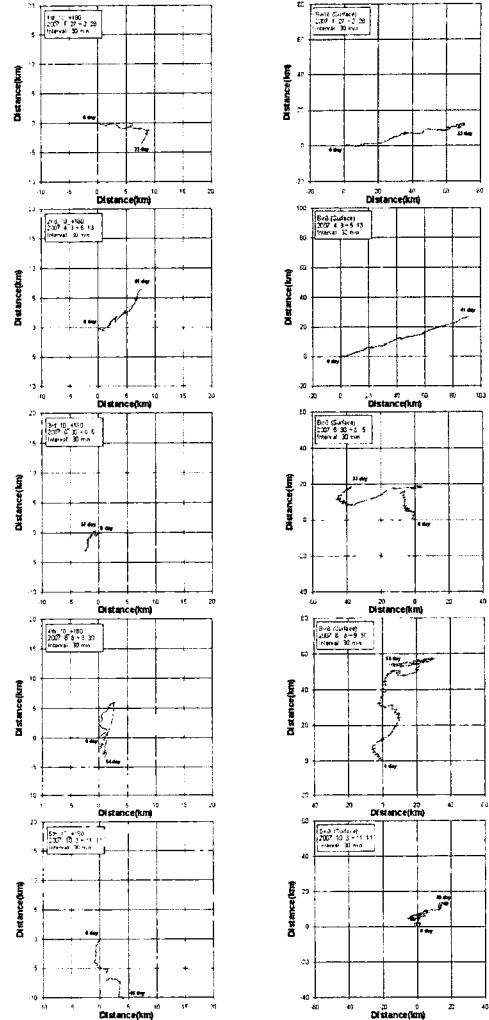


Fig. 4. Progressive vector diagrams of sea surface wind and tidal currents.

다에서의 조류의 주방향은 동남동-서북서 이지 만, 계절에 따라 변하는 바람의 영향을 받고 있으므로 이곳에서 획득한 조류의 해석에는 보다 세밀한 주의를 요한다.

### 참고문헌

Pond, S. and Pickard, G.L. (1983). Introductory dynamical oceanography. 2nd edition, Pergamon Press, 329pp.