한국해안 · 해양공학회논문집/ISSN 1976-8192(Print), ISSN 2288-2227(Online)
Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers 32(1), pp. 39~47, Feb. 2020
https://doi.org/10.9765/KSCOE.2020.32.1.39

대조차 연안해역의 계절적 잔차류 변화와 퇴적물 이동 예상
Seasonal Variation of Residual Flow and Prospect for Sediment Transport in the Macrotidal Coastal Area

이종대* · 윤병일** · 김종욱*** · 김명석*** · 정재순**** · 우승범*****
Jong Dae Lee*, Byung Il Yoon**, Jong Wook Kim***, Myung-Seok Kim***,
Jae-Soon Jeong**** and Seung-Buhm Woo*****

요 지 : 대조차 조간대 지역의 유속 특성을 조사하기 위하여 궁평 해변 조간대 및 인근 조하대에서 하계와 동계 정점 유속관측을 수행하였다. 조간대 잔차류의 분포는 하계 시에는 북향의 잔차류가 지배적이었고, 반면에 동계에는 북향과 남서향의 이분화된 잔차류 패턴이 지배적으로 나타났다. 동계의 잔차류 방향과 크기는 유의파고와 상관성이 높게 나타났고, 탁도 역시 유의파고와 상관성이 높게 나타났다. 동계의 고파랑에 의한 저층 퇴적물의 부유가 많이 발생되고 남서향의 잔차류에 의해 퇴적물이 이동되어 해변 침식이 주로 발생한다. 하계는 파랑의 강도가 약하고 북향의 잔차류가 지배적이며, 저층 퇴적물의 부유가 상대적으로 낮게 발생하여 퇴적물 이동이 낮게 발생된다. 또한 인공 구조물에 의해 남쪽 방향으로의 퇴적물 이동이 인위적으로 차단되어 선착장 남측에서 침식이 더 강하게 발생할 것이다. 서해안 대조차 조간대에서의 침식 현상에 대한 주요 인자는 계절적인 파랑에 지배적으로 조절되며, 인공구조물에 의한 퇴적물 차단이 중요하게 영향을 미치고 있다.

핵심용어 : 잔차류의 계절적 변화, 퇴적물 이동, 인공 구조물, 조간대

Abstract : In order to investigate current characteristics at the Gungpyung beach, which is a macrotidal flat, field measurements were carried out in the summer and winter at the intertidal and the subtidal zones. The distribution of residual current at intertidal flat was dominant in the northward direction in the summer and dominant in the northward and southwestern directions in the winter. The direction and speed of the residual current in the winter are highly correlated with the significant wave height, and the turbidity is also highly correlated with the significant wave height. Therefore, in the winter, high sediment rates are suspended by high waves, and sediments are transporting due to the residual current in the southwest direction. On the other hand, it is expected that the northward residual current is predominant due to the small wave in the summer, and sediment transport does not occur largely due to less suspended sediments. In addition, sediment transport in the southern direction is blocked by the dock, which is the artificial structure, and the erosion occurs in the south side of the dock. The erosion pattern in the macrotidal zone of Yellow sea is dominated by seasonal waves, and blocking of sediments by artificial structure is very important.

Keywords : seasonal variation in residual current, sediment transport, artificial structure, intertidal flat

1. 서 론

육지와 바다의 경계에 위치하는 연안 지역은 인접한 육지와 외해의 관련 구성 요소를 포함한다(Gillie, 1997). 이러한 연안에서 발생하는 퇴적물의 침식과 퇴적은 인간 및 동식물의 생활과 밀접하게 연관되어 있다. 연안 지역 중 조간대는 다양한 동식물의 서식지를 제공하고, 지반이 침하되지 않도록 해안을 보호하는 데에 중요한 역할을 한다(Pritchard and Hogg, 2003). 조간대에서의 퇴적물 이동 과정은 수초에서 수개월의 다양한 시간 규모에 걸쳐 발생하며 전반적인 조간대 형성에 영향을 미친다(Christie et al., 1999; Janssen-Stelder, 2000; Silva et al., 2016).

일반적으로 조류와 파랑과 같은 지역적인 유동 특성이 지배적으로 작용하여 조간대의 물리적 특성 및 지형적, 생물학

*인하대학교 해양과학과 석사(Master, Department of Ocean Sciences, College of Natural Science, Inha University)
**인하대학교 해양과학과 연구교수(Research Professor, Department of Ocean Sciences, College of Natural Science, Inha University)
***인하대학교 해양과학과 박사과정(PhD Candidate, Department of Ocean Sciences, College of Natural Science, Inha University)
****인하대학교 해양과학과 석사과정(Master Course, Department of Ocean Sciences, College of Natural Science, Inha University)
*****인하대학교 해양과학과 교수(Corresponding author: Seung-Buhm Woo, Professor, Department of Ocean Sciences, College of Natural Science, Inha University, 100 Inha-ro, Nam-gu, Incheon 22212, Korea, Tel: +82-32-860-7710, sbwoo@inha.ac.kr)

적 특성이 결정된다(Christie et al., 1999). 조간대에서는 작은 파랑에 의해서도 많은 양의 퇴적물이 침식될 수 있고, 이는 조류에 의해 운반된다(Anderson et al., 1981). 또한 조간대는 시공간에 따라 수심이 급변하고 공기에 노출되는 특징을 가지고 있다. 이러한 강한 수심 변화가 독특한 침·퇴적 과정을 발생시키는 조간대 해수 유동에도 영향을 준다(Le Hir et al., 2000).

Christie et al.(1999)는 대조차 조간대에서 바람의 세기에 따라 조석과 파랑에 의한 단기적 효과와 계절에 따른 장기적인 영향에 의한 퇴적물의 침·퇴적 양상을 연구하였다. Janssen-Stelder(2000)은 다양한 기상 조건에 따라 퇴적물 이동과 조간대 지형이 어떻게 변하는지 분석하였고, 조류와 파랑이 조간대 퇴적물의 침·퇴적과 이동에 얼마나 영향을 미치고 있는지 연구하였다. Lee et al.(2004)는 대조차 조간대에서 퇴적물의 순수송량은 조류에 의해 지배되지만, 조류가 약한 소조기에도 파고가 높게 나타나면 퇴적물의 부유가 많이 발생하여 파랑이 퇴적물 침·퇴적에 큰 영향을 미칠 수 있음을 제시하였다. Shi et al.(2019)는 탁도가 매우 높은 대조차 조간대 지역에서 창조시 조간대 수심에 따라 퇴적물 침·퇴적 양상을 연구하여, 상대적으로 수심이 낮은 창조시기와 낙조시기에서 저층 퇴적물의 변화가 가장 많이 발생하고 있음을 보였다. 이처럼 조간대에서 해수 유동과 퇴적물의 침식, 퇴적과 관련된 연구는 매우 많이 있지만, 연안의 지형적 특징과 공학적인 특징은 지역마다 다르기 때문에 어떤 지역에서 연구된 결과가 다른 지역에서는 적용되지 않거나 잘못 적용될 수 있다(Gillie, 1997). 따라서 다양한 연안 조간대 지역에서 더 많은 연구가 필요하다.

서해 아산만에 위치하고 있는 궁평 해변은 대조차 해역으로 조간대가 매우 발달한 지역이다(Fig. 1). 궁평항은 화옹지구 간척사업에 따른 7개 소멸어항의 대체 어항으로 개발되어 2002년 완공되었다. 궁평항의 북측 선착장은 1980년대 후반에 축조된 이후 2009년에 연장되었다. 최근 수행된 연구용역 보고서(Hwaseong-si, 2015)에 의하면 궁평해안 및 선착장 북측 해안은 인공구조물 건설 전후로 전반적으로 침식이 우세하게 발생하였다. 해빈과 외측 조간대의 입도 특성을 보면 북측백사장은 2월에서 11월로 갈수록 평균입경이 조립해지고 자갈과 모래의 함량이 증가하지만 외측 조간대는 2월에서 11월로 갈수록 평균입경이 세립해지며 모래 함량이 감소한다. 즉, 해변 남쪽의 궁평항과 해변 중앙의 선착장 등 지속적인 인공구조물 건설로 인해 해안선의 변화가 크게 나타나고 있다. 해변 침식이 지속적으로 발생하여 생태학적 문제와 경제적인 피해가 나타나고 있으므로 원인 규명이 시급하다. 본 연구에서는 궁평 해변의 조간대와 조하대에서 하계와 동계에 유속 관측을 실시하여 계절별 유동 특성을 분석하였다. 이를 통해 인위적 구조물에 의해 차단된 대조차 연안 해변의 잔차류 특성을 제시하고 퇴적물 이동을 잔차류 관점에서 예상하고자 한다.

2. 관측 자료 및 방법

궁평 해변 인근 조하대의 해저면에 ADCP(acoustic Doppler current profiler, sentinel 600 kHz)를 설치하여 해수면 방향으로 수층별 0.5 m 간격의 유속과 유향을 10분 간격으로 관측하였다. 관측은 19일~34일 동안 진행되었고, 동계와 하계

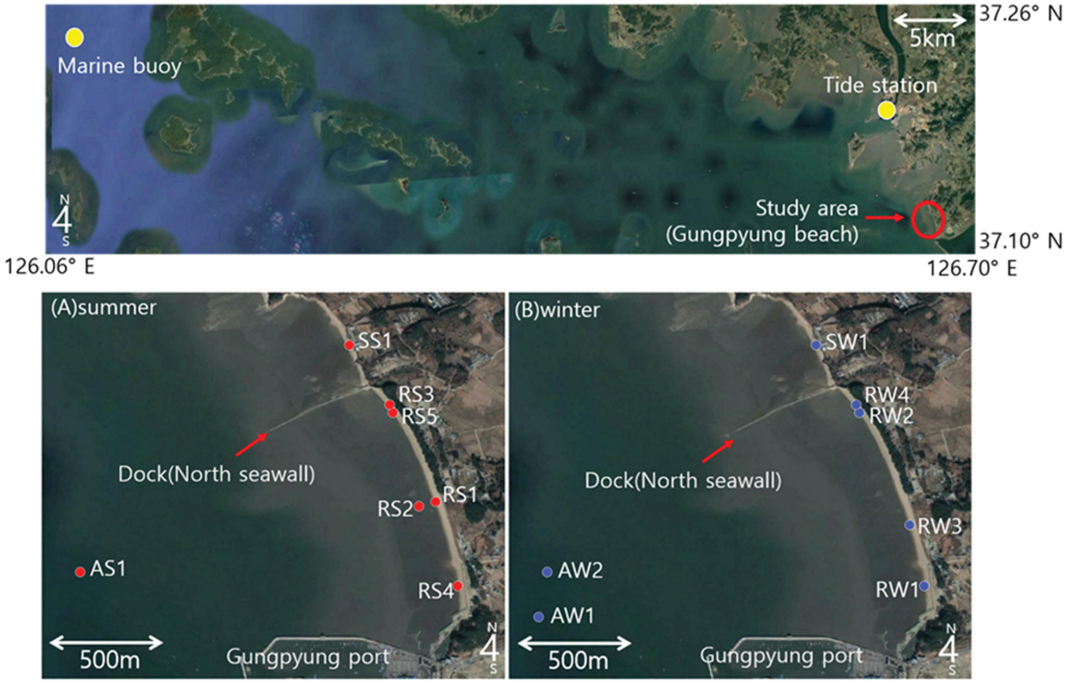


Fig. 1. Location map of the study area, Gungpyung beach, west coast of Korea. Location of observation stations in summer (A) and winter (B).

에 각각 2정점, 1정점에서 수행되었다. 동계기간의 관측위치는 AW1 정점과 AW2 정점으로 해변에서 약 1.8 km와 1.7 km 떨어진 지점에 위치하고(Fig. 1B), 하계기간의 AS1 정점은 동계 관측지점(AW2 정점)과 동일한 지점이다(Fig. 1A). 동일한 위치에서 유속자료와 함께 10분 간격으로 취득한 파랑자료는 RDI사에서 제공하는 Wavemon 프로그램을 이용하여 1시간 간격으로 앙상블 평균하여 유의파고, 파향, 파주기를 계산하였다.

선착장 북쪽 해변은 Signature(Nortek, 1000 kHz)을 고정시킨 프레임을 설치하여 해저면 약 0.1 m 위에서 수층별 유속 관측을 수행하였다. 동계에 SW1 정점은 17일 동안 관측을 수행하였고, 하계에 SS1 정점은 22일 동안 관측을 수행하였다(Fig. 1). 관측 데이터 간격은 20분 간격이다. 선착장 남쪽 해변은 Recording Current Meter(RCM)을 고정시킨 프레임을 설치하여 해저면 약 0.3 m 수층에서의 유속 데이터와 탁도(Turbidity) 자료를 함께 취득하였다. 동계에 RW1 정점은 26일, RW2 정점은 26일, RW3 정점은 36일, RW4 정점은 19일 동안 관측을 수행하였고, 하계에 RS1 정점은 16일, RS2 정점은 16일, RS3 정점은 16일, RS4 정점은 16일, RS5 정점은 19일 동안 관측을 수행하였다. 관측자료의 취득 간격은 10분이다. 상세한 관측 정보를 Table 1에 제시하였다.

조위자료는 해변에서 약 6.8 km 떨어진 지점에서 국립해양조사원이 운영하는 안산 조위 관측소 1시간 조위자료를 수집하였고, 바람자료는 해변에서 약 59 km 떨어진 지점에서 기상청이 운영하는 덕적도 해양기상부이 1시간 자료를 수집하여 사용하였다. 유속관측기간과 동일한 기간 수집한 자료를 분석하여 계절별 바람의 크기와 방향을 유속 자료와 비교하였다.

유속자료는 16방위 성분으로 나누어서 조간대 각 지점의 유속과 유향을 제시하였다. 조간대는 시간에 따라 수심이 급변하고 공기에 노출되는 특징을 가지고 있기 때문에 조하대와 달리 유속 관측 시 데이터가 연속적이지 않다는 한계가 있다(Le Hir et al., 2000). 따라서 잔차류 계산시 필터링이나 조화분해를 적용하기가 쉽지 않다. 그러므로 조간대 유속의 잔차류는 조석 평균을 통해 조석 성분을 관측된 유속 성분에서 제거한 값으로 정의하였다. 본 연구에서 측정된 유속에는 조류, 취송류 및 연안류 성분이 모두 포함되어 있다. 본 연구 지역의 대조차 특성상 조류에 의한 흐름이 우세하겠지만 계절적 바람에 의한 흐름도 무시할 수 없으므로 이를 고려하기 위해 계절적 특성을 비교하였다.

3. 결 과

3.1 계절별 유동

하계기간의 수심 평균 유속 장미도를 보면 선착장을 기준으로 남쪽 정점은 해변과 평행하게 북쪽방향, 북쪽 정점은 남향하는 유속 흐름을 보인다(Fig. 2A). 동계기간의 북쪽 정점은 하계기간과 동일한 방향으로 나타났지만, 남쪽 정점의 RW1, RW2, RW3 정점은 북쪽방향뿐만 아니라 남동쪽으로 강한 흐름이 발생한다(Fig. 2B). 하계는 왕복성 흐름이 거의 나타나지 않고 북쪽으로 일방향 흐름이 강하지만 동계는 선착장 북쪽 정점(SW1)을 제외하고 왕복하는 흐름이 나타난다. 선착장을 중심으로 남쪽과 북쪽의 유속 방향이 다르게 나타나고 있다.

하계와 동계의 수심 평균 유속을 크기별로 분류하였다(Fig. 3). 8 cm/s 이하의 유속분포는 동계에 비하여 하계가 많이 차지한다. 8 cm/s 이상의 유속 크기는 하계에 비하여 동계에 많은 분포를 보인다. 특히, 16 cm/s 이상의 유속은 동계에만 관

Table 1. Summary of observation information

Season	Station	Observation period	Interval (minute)	Depth (D.L. -m)	Instrument
Summer	RS1	2016.06.08.~2016.06.24	10	5.2	Seaguard RCM
	RS2	2016.06.08.~2016.06.24		4.1	
	RS3	2016.07.21.~2016.08.05		5.5	
	RS4	2016.07.21.~2016.08.05		5.5	
	RS5	2018.07.09.~2018.07.27		6.4	
	AS1	2018.07.09.~2018.07.28			ADCP 600 kHz
	SS1	2018.07.07.~2018.07.28	20	6.9	Signature 1000 kHz
Winter	RW1	2017.01.07.~2017.02.01	10	5.5	Seaguard RCM
	RW2	2017.01.07.~2017.02.01		5.5	
	RW3	2018.01.19.~2018.02.23		5.2	
	RW4	2018.01.19.~2018.02.06		6.4	
	AW1	2017.01.10.~2017.02.02			ADCP 600 kHz
	AW2	2018.01.21.~2018.02.23			
	SW1	2018.01.20.~2018.02.06	20	6.9	Signature 1000 kHz

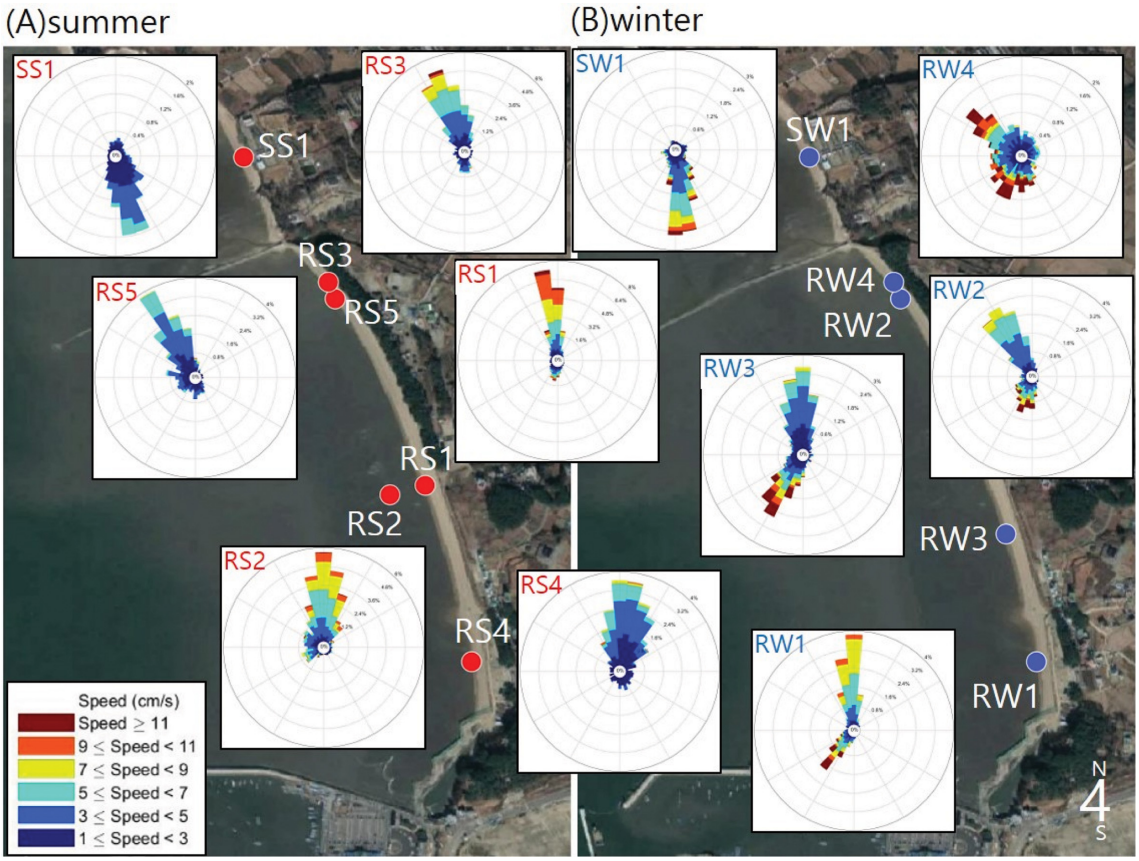


Fig. 2. Current rose diagram at intertidal flat. (A) The red circles denote the observation station in the summer, SS1 station is the result of depth averaged current. (B) The blue circles denote the observation station in the winter, SW1 station is the result of depth averaged current.

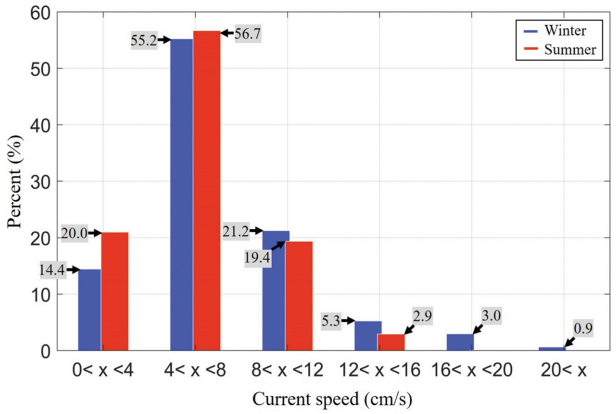


Fig. 3. Seasonal current speed histogram except for the SS1 and SW1 stations. Red and blue areas indicate the results in the summer and winter periods respectively.

측되었다. 하계에 12 cm/s 이상의 유속이 2.9%로 나타나고, 동계에 12 cm/s 이상의 유속이 9.2%로 나타났다. 하계에 비하여 동계 유속이 강한 것을 알 수 있다.

3.2 계절별 바람 및 파랑

조간대 관측 기간별 덕적도 해양기상부이의 바람 장미도를 정점별로 제시하였다(Fig. 4). 하계 해상풍은 남풍이 우세하게 나타났고 동계에는 강한 북서풍이 우세하게 나타났다. 우리나라를 포함한 동아시아 지역은 계절풍의 영향으로 동계에는 북서계절풍이 지배적이고 하계에는 남동계절풍이 강하게 발생한다(Seol, 2013; Ha et al., 2012). 따라서 계절풍의 영향으로 계절적인 차이가 뚜렷하게 나타나는 것으로 판단된다.

조하대 유의파고 관측 결과, 하계에는 뚜렷한 방향성이 나타나지 않고, 0.2 m보다 낮은 파고가 우세했다. 동계에는 동향의 파향이 우세하고, 하계보다 동계에 더 높은 파고가 나타났다(Fig. 5). 이는 Fig. 4에 제시한 동계 북서계절풍의 영향으로 판단된다. 동계 북서계절풍은 세기가 하계 남동계절풍보다 강하고 지속성이 강하여 높은 파고를 형성하기도 한다(Seol, 2013; Ha et al., 2012).

3.3 계절별 조석 평균 잔차류

하계 관측 정점에서는 평균 10.8%의 남서쪽으로 향하는 잔차류가 나타나고, 약 90%가 북쪽으로 향하는 잔차류로 북쪽으로 향하는 잔차류가 지배적으로 나타났다 (Fig. 6A). 반면에 동계 관측 정점에서는 평균 37.4%로 남서쪽으로 향하는 잔차류가 상당하게 나타났다(Fig. 6B). 이는 동계에 남서쪽으로 향하는 유속이 하계보다 더 많이 나타나기 때문이고, 따라서 궁평 해변에서 계절에 따라 잔차류에 의한 퇴적물 이동에 큰 변화가 나타날 것으로 판단된다.

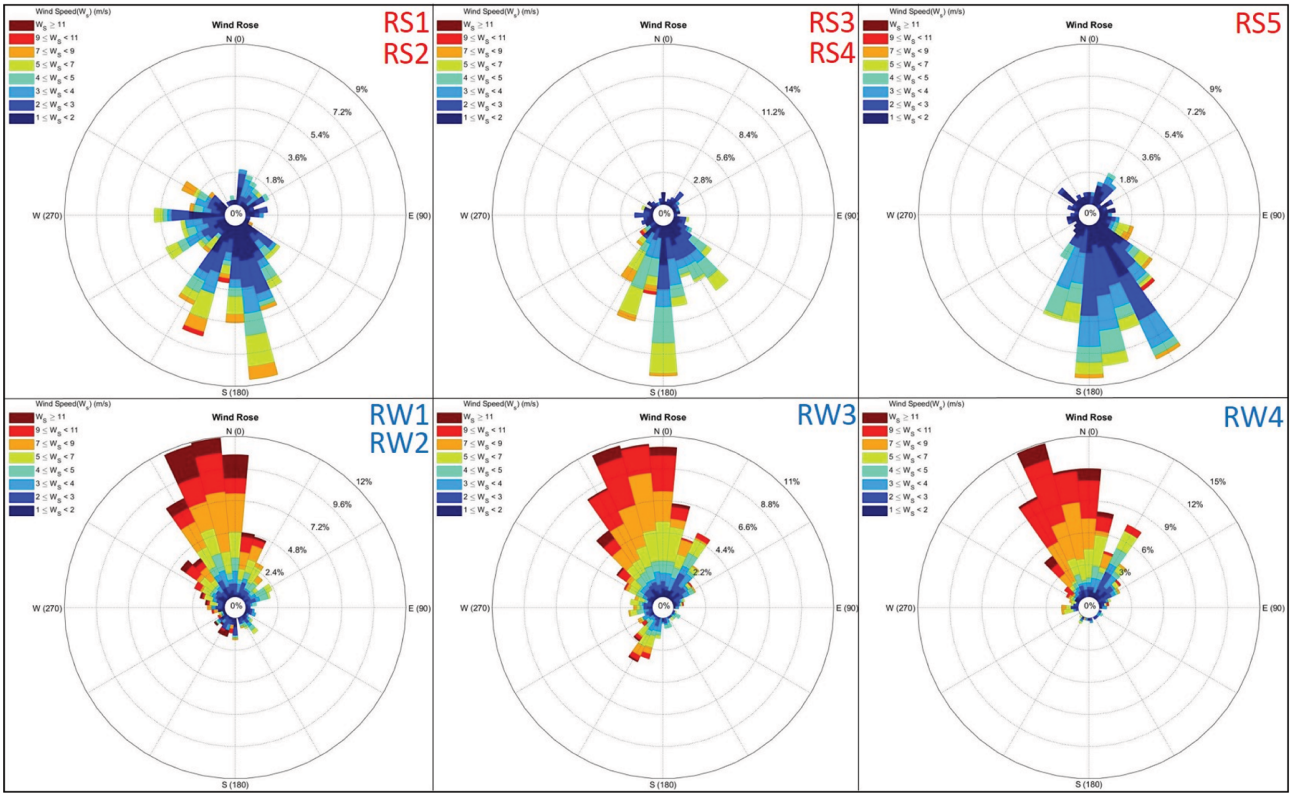


Fig. 4. Wind rose diagram at Deokjeok. The upper- and bottom-panels indicate the observation results in the summer and winter periods respectively.

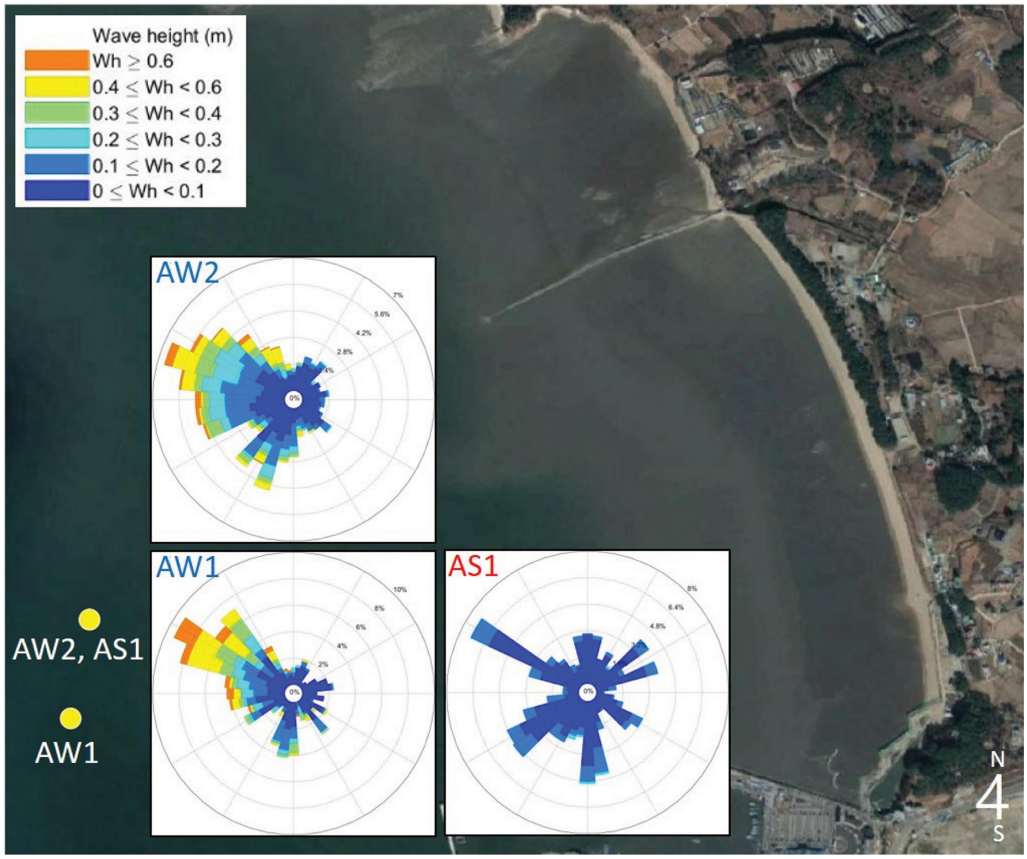


Fig. 5. Wave rose diagram from the moorings. The data in summer was obtained at AS1, whereas that in winter was obtained at AW1 and AW2.

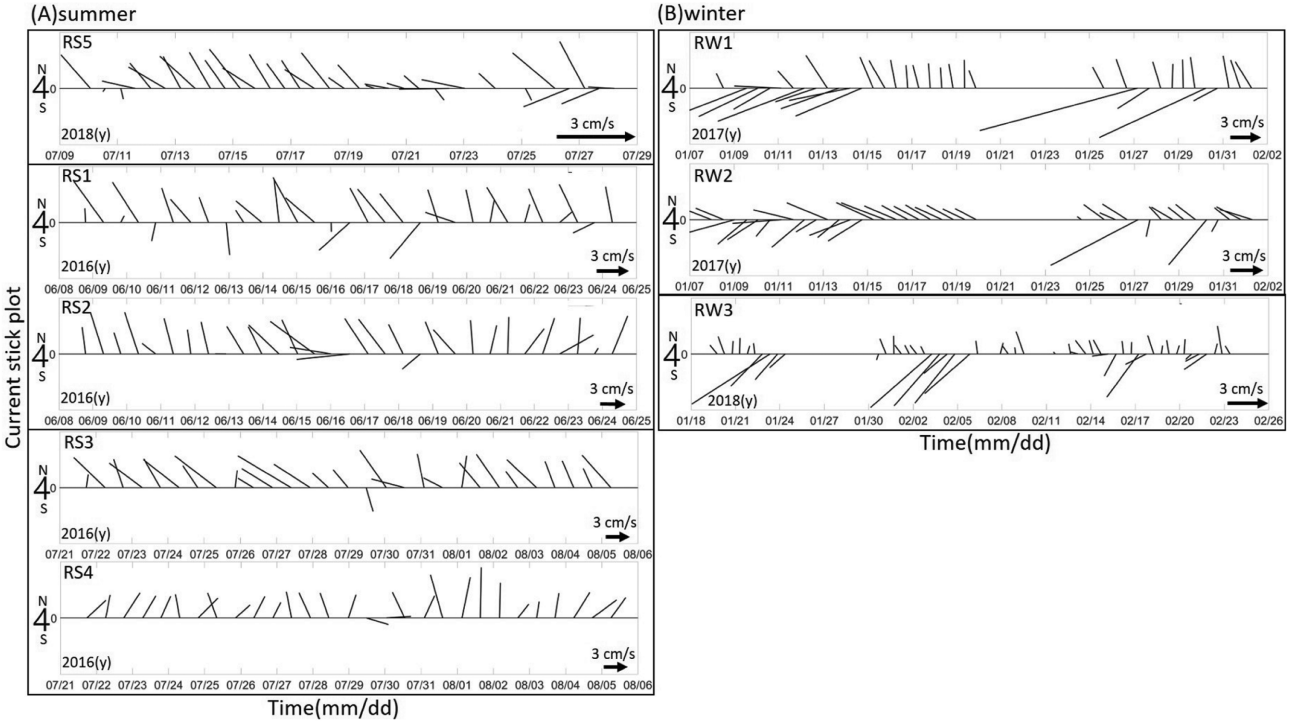


Fig. 6. Time series of residual current during (A) summer and (B) winter periods.

4. 논 의

4.1 남서향 잔차류 원인 분석

동계에 남서쪽으로 향하는 잔차류가 35% 이상으로 나타난다. 이는 서해안에서 동계에 강하게 부는 북서계절풍의 영향과 높은 파고의 영향으로 판단되며, 하계에 비해 3배 이상 많이 나타났다. 본 연구 관측에서는 채수를 통한 부유사 농도의 측정이 이루어지지 않아 탁도계에서 측정된 전기적 신호 NTU 값을 이용하여 부유사 농도의 높고 낮음을 정성적으로 파악하였다. 유의파고는 유속 성분과 탁도와 모두 결정 계수

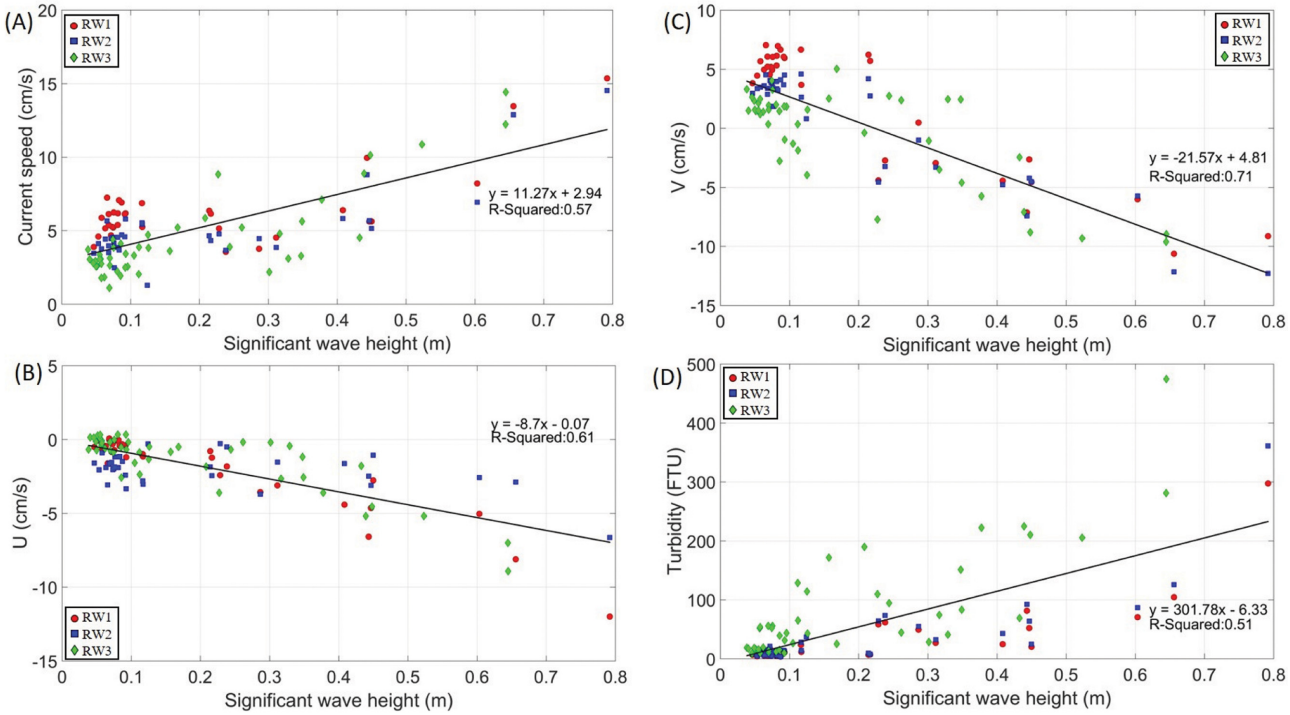


Fig. 7. Relationship between residual significant wave height and residual components: (A) current speed, (B) U component, (C) V component, and (D) turbidity.

가 0.5 이상으로 상관성이 크게 나타나고, 특히 남북 방향 유속과 결정 계수는 0.71로 가장 크게 나타났다(Fig. 7). 이는 유의파고가 높을 때 궁평 조간대 잔차류가 남서향으로 나타나고 유속이 강하게 나타난다고 할 수 있고, 유의파고가 0.2 m 이상일 때 잔차류 남-북방향의 성분의 부호가 바뀌기 때문에 하계에서는 0.2 m보다 낮은 유의파고가 지배적으로 나

Table 2. Results of calculated R-squared of wind components, current speed and turbidity

R-squared	Current speed	U	V	Turbidity
Significant wave height	0.57	0.61	0.71	0.51
Wind speed	0.05	0.05	0.06	0.07
Wind direction	0.05	0.10	0.20	0.15

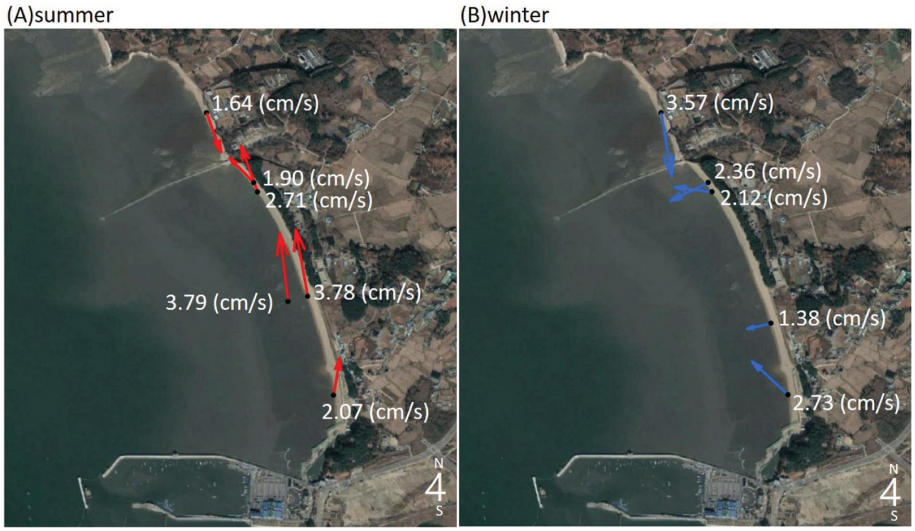


Fig. 8. Results of averaged residual current in observation period. (A) The black circles denote the observation station in the summer and red vectors denote residual current speed. (B) The black circle denotes the observation station in the winter and blue vectors denote residual current speed.

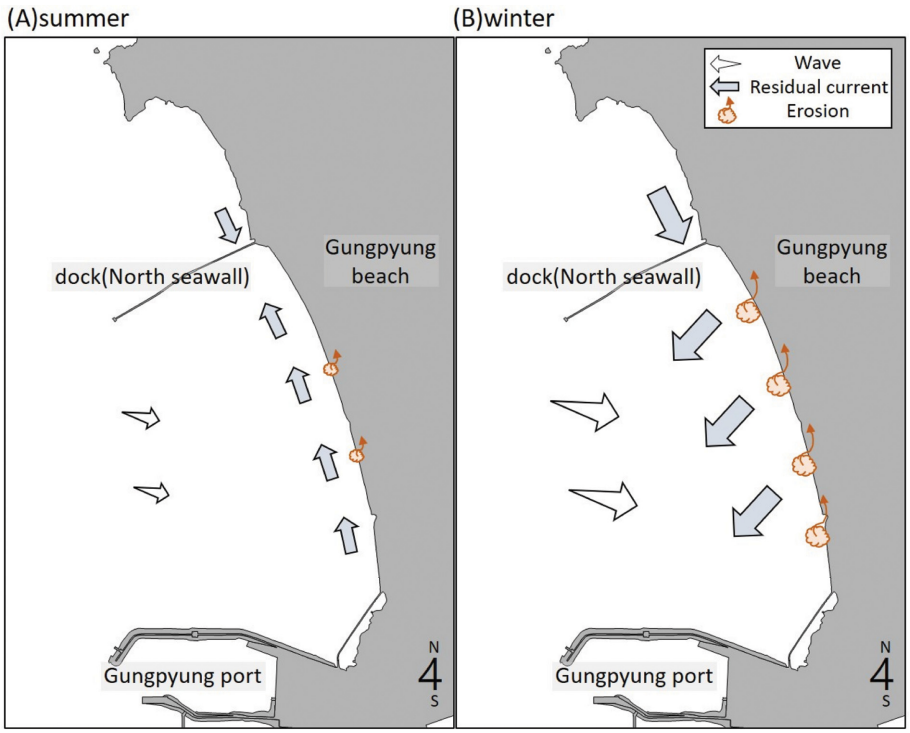


Fig. 9. Schematic diagram indicates prospects of seasonal variations in sediment transport at Gungpyung beach. The dominant process in (A) summer and (B) winter.

타나므로 북향의 잔차류가 지배적으로 나타난다고 할 수 있다. 또한 유의파고와 탁도의 결정 계수가 0.51로 나타나는데, 이는 정량적인 퇴적물량은 알 수 없지만 유의파고가 높을 때 퇴적물이 많이 부유된다고 할 수 있다. 반면에 바람 관련 변수들은 모두 결정 계수가 낮게 나타났다(Table 2). 이는 바람이 궁평 해변에 직접적 영향을 크게 주지 않는다고 해석할 수 있지만, 바람 관측 결과가 해변과 약 59 km 떨어진 지역에서 관측된 결과이므로 인근 해역의 바람자료와 비교하는 연구가 추가적으로 필요하다.

4.2 평균 잔차류와 퇴적물 이동 예상

궁평 북쪽 해변에서는 계절에 상관없이 남쪽으로 향하는 잔차류가 나타난다. 이는 계절과 상관없이 궁평 해변 북쪽에서 퇴적물이 선착장에 의해 차단되어 선착장 남쪽 해변으로 유입되지 않을 수도 있다는 것을 시사한다. 선착장 남쪽의 궁평 해변의 잔차류는 동계에 모두 외해로 나가는 잔차류가 나타나고, 하계에는 모두 북쪽으로 올라가는 잔차류가 나타났다(Fig. 8). 이는 퇴적물이 하계에는 잔차류에 따라서 남쪽에서 북쪽으로 이동하고 동계에는 외해쪽으로 빠져나갈 수 있다고 판단된다.

하계와 동계 잔차류의 크기와 방향을 바탕으로 예상되는 퇴적물 이동 모식도를 제시하였다(Fig. 9). 잔차류의 크기에 따라서 하계와 동계에 각각 북쪽과 외해쪽으로 향하는 퇴적물 이동이 예상된다. 유의파고와 퇴적물 부유를 살펴보면 궁평 해변의 하계 퇴적물은 상대적으로 낮은 파고로 인해 부유되는 양이 적을 것으로 예상되고 이동이 많이 발생하지 않을 것으로 판단된다(Fig. 9A). 동계에는 높은 파고에 의해 저층 퇴적물이 많이 부유되어 외해쪽으로 나가는 잔차류에 의해 퇴적물 이동이 예상된다(Fig. 9B).

5. 결 론

조간대에 위치한 대조차 연안 해변에서의 계절적인 유동 특징과 유의파고와의 상관관계를 통해 파악한 연구 결론은 다음과 같다.

(1) 궁평리 조간대에서 유속의 분포는 창조와 낙조의 일반적인 왕복성 조류 특성보다 일방향 유속이 우세하게 나타났다. 이러한 일방향의 유속은 하계에는 북쪽으로 향하는 유속이 지배적으로 나타났고, 동계에는 북쪽으로 향하는 유속뿐만 아니라 남서쪽으로 향하는 유속이 지배적이었다.

(2) 모든 정점에서 남서쪽 방향의 잔차 유속의 방향은 하계에는 10%인 반면에, 동계에는 30% 이상으로 하계에 비하여 3배 이상 크게 나타났다. 동계 잔차류와 탁도는 파랑에 의한 유의파고와 상관성이 높게 나타났다.

(3) 하계 궁평 해변은 낮은 파고로 인해 부유 퇴적물 농도가 낮고, 그에 따른 퇴적물 이동이 많이 발생하지 않을 것으로 예상된다. 반면에, 동계에는 상대적으로 높은 파고에 의해 저층 퇴적물이 많이 부유되어 외해쪽 방향의 잔차류와 함께 퇴적물이 유출되어 해변에서 집중적인 침식이 발생될 것으로 예상된다.

(4) 궁평 해변에서 인공구조물에 의해서 남쪽방향의 잔차류 흐름이 차단되어 남쪽으로 퇴적물 이동을 제한하고 있다. 따라서 해변에서 발생하고 있는 침식을 완화하기 위해서는 선착장을 제거하여 북쪽에서 퇴적물 이동이 가능하도록 할 필요가 있다.

(5) 관측기간의 평균 잔차류 분석을 통해 부유된 퇴적물의 이동이 계절별도 차이가 있음을 간접적으로 제시하였지만 보다 면밀한 침식과 퇴적 원인분석을 제시하기 위해서는 해변 퇴적물을 재부유 시키는 외력(파랑과 유속에 의한 저면 전단응력)이 얼마나 길게 자주 발생하는지 여부를 파악해야 한다. 본 연구에서는 조간대 파랑 관측이 수행되지 않아 유속, 부유사농도와의 시계열 분석이 수행되지 못해 한계성이 존재한다. 추후 해변에서의 파랑을 추산할 수 있는 수치모델링 연구를 통해 다각적으로 분석한 연구를 제시할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(경기씨그랜트). 이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 시행된 연구임(해양수치모델링과 지능정보기술을 활용한 해양예측 정확도 향상 연구). 해양조사에 힘써주신 이문호 연구원과 궁평어촌계장님께 감사를 드립니다.

References

Anderson, F.E., Black, L., Watling, L.E., Mook, W. and Mayer, L.M. (1981). A temporal and spatial study of mudflat erosion and deposition. Journal of Sedimentary Petrology, 51(3), 0729-0736.

Christie, M.C., Dyer, K.R. and Turner, P. (1999). Sediment flux and bed level measurements from a macro tidal mudflat. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49, 667-688.

Gillie, R.D. (1997). Causes of coastal erosion in Pacific Island nations. Journal of Coastal Research, Special Issue NO. 24, 173-204.

Ha, K.J., Heo, K.Y., Lee, S.S., Yun, K.S. and Jhun, J.G. (2012). Variability in the East Asian monsoon: a review. Meteorological Applications, DOI: 10.1002/met.1320.

Hwaseong-si (2015). Research project for Erosion-Sedimentation survey in the Gungpyeongri coastal beach, 227p (in Korean).

Janssen-Stelder, B. (2000). The effect of different hydrodynamic conditions on the morphodynamics of a tidal mudflat in the Dutch Wadden sea. Continental Shelf Research, 20, 1461-1478.

Le Hir, P., Roberts, W., Cazaillet, O., Christie, M., Bassoullet, P. and Bacher, C. (2000). Characterization of intertidal flat hydrodynamics. Continental Shelf Research, 20, 1433-1459.

Lee, H.J., Jo, H.Y., Chu, Y.S. and Bakh, K.S. (2004). Sediment transport on macrotidal flats in Garolim Bay, west coast of Korea significance of wind waves and asymmetry of tidal currents. Continental Shelf Research, 24, 821-832.

Pritchard, D. and Hogg, A.J. (2003). Cross shore sediment transport and the equilibrium morphology of mudflats under tidal currents. Journal of Geophysical Research, 108(C10), 3313, doi:10.1029/2002JC001570.

Seol, D.I. (2013). Variation of Monsoon in western Korea. Journal of Korea Port Economic Association, 19-20 (in Korean).

Shi, B., Cooper, J.R., Li, J., Yang, Y., Yang, S.L., Luo, F., Yu, Z. and Wang, Y.P. (2019). Hydrodynamics, erosion and accretion of intertidal mudflats in extremely shallow waters. Journal of Hydrology, 573, 31-39.

Silva, F.G., Oliveira Sousa, P.H.G. and Siegle, E. (2016). Longshore transport gradients and erosion processes along the Ilha Comprida (Brazil) beach system. Ocean Dynamics, 66:853-865.

Received 15 November, 2019
1st Revised 24 December, 2019
2nd Revised 6 February, 2020
Accepted 6 February, 2020