

SWAN 모델을 이용한 낙동강 하구역의 입사파향별 파랑분포 특성

박 순¹ · 윤한삼^{2,†} · 박효봉² · 류승우³ · 류청로³

¹(주) 헤인E&C

²부경대학교 해양산업개발연구소

³부경대학교 해양공학과

Analysis of Wave Distribution at Nakdong River Estuary Depending on the Incident Wave Directions Based on SWAN Model Simulation

Soon Park¹, Han Sam Yoon^{2,†}, Hyo-Bong Park², Seung Woo Ryu³ and Cheong Ro Ryu³

¹Hyein Engineering & Construction Co., Ltd., Seoul 157-779, Korea

²Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

³Division of Ocean Engineering, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

요 약

본 연구에서는 천해역 파랑추산모델인 SWAN(Simulating WAVes Nearshore) 모델을 이용하여 파향에 따른 낙동강 하구역의 파랑분포 수치모의를 수행하고 탁월 파향 변화에 따른 낙동강 하구역 파랑 분포 특성을 정량적으로 분석하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 천해역인 낙동강 하구역에서의 파랑분포는 S계열의 파향이 우세한 경우 파고비가 가장 높게 분포하였으며 다음으로 SSE, SSW, SE, SW계열의 순으로 파고분포가 높은 것으로 나타났다. S 및 SSW, SSE 파향이 탁월한 경우 사주섬 전면의 극천해역까지 파랑에너지가 전달되어 높은 파고가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 파향별 파형경사의 단면 분포 계산결과에 따르면 해저경사가 완만한 가덕도 동측해역(낙동강 하구역 남서측)에서 파고비는 0.4~0.6이었으며, 다대포 서측해역(낙동강 하구역 남동측)에서 파고비는 0.5~0.6으로서 파고비의 감소폭이 가덕도 동측해역(낙동강 하구역 남서측)보다 크게 나타났다.

Abstract – This study conducted numerical simulations to analyze the wave characteristics(distribution) depending on the directional changes of waves in the Nakdong river estuary by using SWAN(Simulating WAVes Nearshore) model. The results from the tests are summarized as below. The wave height rates are generally highly distributed with the incident waves from the S, SSE, SSW, SE, SW in sequence. When the waves from the S, SSW, SSE directions are predominant, the bigger waves were observed in front of sandbars. According to the results of the wave steepness against the wave direction, at the east coast of Gadeok island(northwest of Nakdong estuary), where has mild seabed slopes, the wave height rates distribute in the range of 0.4~0.6; the wave height rates over the west coastal region of Dadeapo(southeast of Nakdong estuary) are 0.5~0.6. The wave height rate tends to be rapidly decreased over the east region of Nakdong river estuary rather than its west region.

Keywords: SWAN(Simulating WAVes Nearshore), Nakdong river estuary(낙동강 하구), Wave distribution(파랑분포), Incident wave direction(입사파향), Wave height rate(파고비)

1. 서 론

낙동강 하구역은 우리나라의 대표적인 하구역으로 부산 다대포와 가덕도 남단을 잇는 연장선의 인쪽에 위치해 있고 해저 경사가

대단히 완만하고 대부분 수심 10 m 이하의 천해역이며 부정형적인 사주의 발달로 인해 매우 복잡한 지형적 조건을 갖추고 있다(Fig. 1). 이러한 하구 사주 지형 변화의 원인이 되는 주요 해양외력으로 많은 연구자들이 파랑의 영향력이 크게 작용한 결과로 제시한 바 있다(최, 1996; 김, 2005; 유 등, 2006).

일반적으로 외해에서 발생한 파랑에너지는 천해역으로 전이할

[†]Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

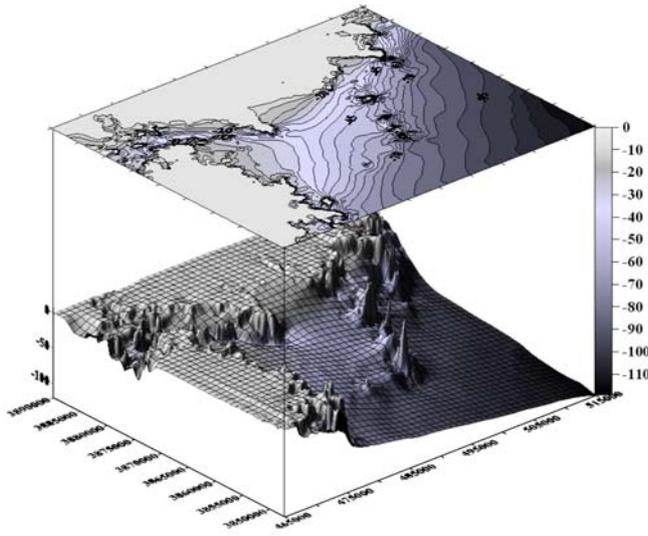


Fig. 1. Water depth distribution of Nakdong river estuary and Busan/Geoje island sea area.

경우 해저 마찰에 의한 에너지 감쇠, 주변 지형에 따른 변형 그리고 국지적인 바람장에 따른 파의 성장과 소멸 등이 발생한다. 특히 낙동강 하구역과 같이 폐쇄성 하구 해역 및 사주의 지형적 조건은 파랑에너지의 진행 과정에서 연안 지역의 파랑을 변형시키고 이는 해안과정(Coastal process)의 주요 외력인자로서 해빈류 및 표사이동 현상의 원인으로 기여하게 된다.

하지만 해안 변형을 초래하는 파랑분포 자료를 얻기 위해 해역의 모든 지점에서 결측 없이 연속적인 현장관측을 수행하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 현장관측으로는 한 시점과 장소에 대해서는 정확한 파랑 정보를 얻을 수 있으나 시공간적인 제약이 있으므로 이를 보완하기 위해 파랑수치모델을 이용한 간접적인 산출 방법이 흔히 사용된다(류 등, 2004).

연구 대상해역인 낙동강 하구역에서의 파랑 변형 특성에 대한 기존 연구로 박 등(2007)은 낙동강 하구역의 파랑관측자료와 인근 무인기상관측소 및 거제 해상관측부이의 기상관측자료를 이용하여 바람과 파고와의 상호관련성을 알아보았으며, 박 등(2008)은 심해 입사파랑의 파향변화에 따른 낙동강 하구역과 심해파랑과의 상관성을 분석한 바 있다. 그 결과에 따르면 낙동강 하구역은 계절별로 하계에는 SW파향이, 동계에는 NE파향이 탁월한 것으로 나타났으며, 파랑 관측 결과로서 파향에 따라 파고와 주기 및 심해파랑과의 관련성이 크게 차이난다고 주장하였다.

따라서 본 연구에서는 천해역 파랑추산모델인 SWAN (Simulating WAVes Nearshore) 모델을 이용하여 파향에 따른 낙동강 하구역의 파랑분포 특성을 수치모의를 수행하고 탁월 파향 변화에 따른 낙동강 하구역 파랑 분포 특성을 정량적으로 분석하고자 하였다. 이를 통해 향후 낙동강 하구역의 부정형적 사주 발달에 미치는 파랑 특성 및 파랑으로 인해 발생하는 해빈류와 표사이동 예측을 위한 기초 자료로 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 SWAN 모델의 개요

SWAN(Simulating WAVes Nearshore) 모델은 바람, 수심 및 해류 조건으로부터 근해, 호수 및 강어귀에서 파랑의 특성인자를 추정하는 제3세대 수치 파랑모델이다(Booij *et al.*, 1999; Ris *et al.*, 1999). SWAN 모델은 파랑작용 평형방정식을 지배방정식으로 한다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

여기서, $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)/\sigma$ 로서 wave action density spectrum, σ 는 각 주파수, θ 는 파향을 나타낸다. 그리고 좌변의 첫 번째 항은 국소적인 시간변화를, 두 번째와 세 번째 항은 이류항을, 네 번째 항은 수심과 흐름의 변화에 의해 발생하는 상대주파수의 변화를, 다섯 번째 항은 수심과 흐름으로 인한 굴절에 의한 변화를 나타낸다. c_x, c_y 는 각각 x, y방향의 전파속도(군속도)를, c_σ 와 c_θ 는 σ 와 θ 공간에서의 전파속도를 각각 나타낸다. 지배방정식의 우변항인 $S_{tot}(=\sigma, \theta)$ 는 source/sink 항으로서 파랑스펙트럼을 구성하는 성분파의 에너지입출력 및 파랑의 생성, 소산, 그리고 성분파간의 비선형상호작용에 의한 에너지 전달을 포함한다.

$$S_{tot} = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} \quad (2)$$

여기서, S_{in} 는 바람에 의한 파랑으로의 에너지유입을, S_{ds} 는 쇄파와 저면마찰 및 백파 등에 의한 에너지 소산항을, S_{nl} 는 비선형상호작용에 의한 스펙트럼 성분간의 에너지전달을 나타내고 있다. 다른 수식이나 변수 등 SWAN 모델에 대한 보다 자세한 사항에 대해서는 Booij *et al.*(2006)를 참조하기 바란다. 그리고 데이터 해석에 사용되는 유의파고(H_s), 파향(θ_m), 평균주기(T_m)는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$H_s = \sqrt{\iint E(w, \theta) dw d\theta} \quad (3)$$

$$\theta_m = \arctan \left[\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right] \quad (4)$$

$$T_m = 2\pi \left(\frac{\int \int w E(w, \theta) dw d\theta}{\int \int E(w, \theta) dw d\theta} \right)^{-1} \quad (5)$$

여기서, $E(w, \theta)$ 는 분산밀도스펙트럼이고, w 는 도플러 효과를 포함하는 분산관계식에 의해 결정되는 절대 각 주파수이다.

2.2 수치모의 격자 구성체계

수치모의를 위한 계산영역은 거제 해상관측부이를 포함하는 광역 모형과 낙동강 하구역을 중심으로 한 협역 모형으로 구성하였다. Fig. 2의 영역 No. 1과 No. 2에 대한 격자의 세부 설명은 Table 1에 정리하였다. 계산영역의 해안선 및 수심은 국립해양조사원(NORI)에서 발행하는 거제도 동부 해역 수치해도(N224A0)에서 추출하였으며, 해도상의 수심을 보간하여 각 격자점의 수심을 추출하였으며, 기본수준면(D.L.: Datum Level)에 대상 해역의 평균해면

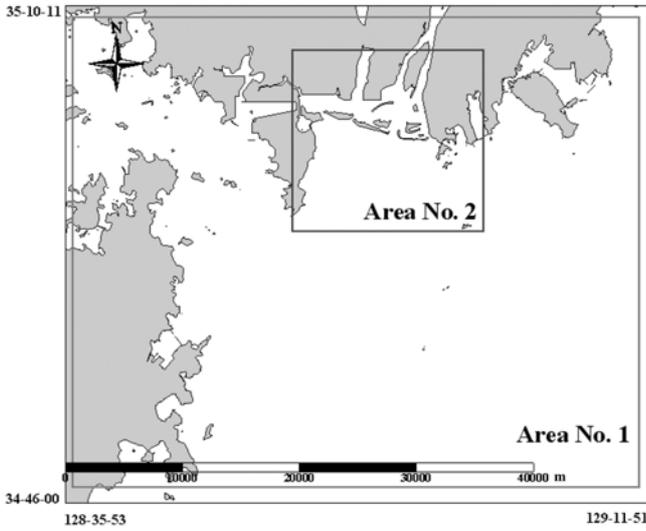


Fig. 2. Computational grid domains for wide region(area No. 1) and small region(area No. 2).

(M.S.L.)인 0.953 m를 보정하여 사용하였다. 영역 No. 1의 남측 경계는 거제 해상관측부이가 위치하는 지점에 해당한다.

2.3 수치모의의 경계조건의 설정

수치모의에 적용된 경계조건으로는 광역 모형에서의 외해파랑조건으로는 거제 해상관측부이의 1년간의 파랑 및 바람 자료를 통계 처리하여 풍속 및 파고의 누적곡선을 나타낸 Fig. 3에서 풍속의 상위 90% 값인 9 m/s를 풍속 입력값으로, 파고 분포의 누적곡선에서 상위 90% 값인 파고 2.2 m를 입력값으로 이용하여 계산하였다. 또한 경계에서의 파주기 입력값은 상위 파고 90%의 평균주기인 7.6 sec를 사용하였다.

경계에서의 파랑스펙트럼은 JONSWAP 스펙트럼을 적용하였으며 극대증진계수(γ)는 3.3을 적용하였고 방향 분해능은 64방위이며 주파수 분해능은 0.04~1 Hz의 범위로 25개 분할로 계산하였다.

또한 바람에 의한 에너지 유입과 쇄파, 저면 마찰 및 백파에 의한 에너지 감쇠항을 고려하였으며 시뮬레이션은 SWAN 모형에서의 파랑 발달이 98% 정상상태가 될 때까지 반복 실행하여 각 격자점에서의 유의파고, 주기 등의 파랑인자와 각 주파수 대역별 스펙트럼 에너지 밀도 등을 산출하였으며 관측결과와의 비교 및 검증은 통하여 낙동강 하구역의 입사파향에 따른 파랑변형 특성을 분석하였다.

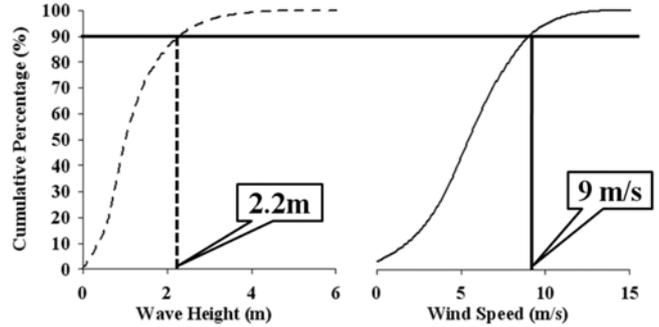


Fig. 3. Cumulative curves for the selection of boundary condition values of the wave height and wind speed.

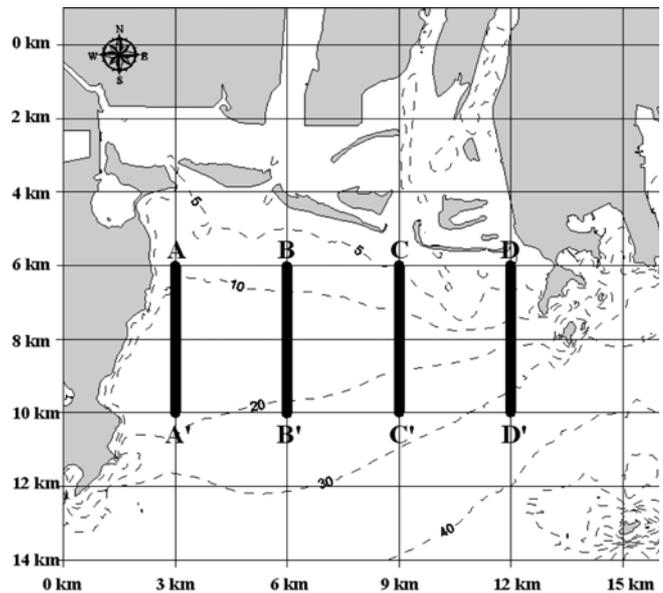


Fig. 4. The cross sections for the comparison of the calculated shallow water wave from the simulation cases.

2.4 주요 입사파향의 선정 및 비교단면 설정

낙동강 하구역은 남측으로 개방된 해역의 지형적 특성상 SW, SSW, S, SE, SSE계열의 5개 방향이 주 입사파향으로 생각된다. 계산되어진 수치모의의 결과를 비교하기 위해 낙동강 하구역에서 입사파향에 따라 파향의 변화가 가장 민감하게 변화할 것으로 생각되는 수심단면을 선정하고 각 단면에 대해서 Fig. 4와 같이 A,B,C,D로 구분하였다. 각 단면은 낙동강 하구역 사주섬 중 도요도의 해안선으로부터 거리가 400 m인 지점에서 4 km 길이의 종단면을 설정

Table 1. Information for computing domain & grid system and input conditions of incident wave & wind in SWAN Numerical simulation

Division	Distance(km)	Location	Grid size(m)	Grid number
Wide	50×43	E 128°36'53"~129°11'51" N 34°46'00"~35°10'11"	200	251×215
Small	16×15	E 128°49'48"~128°59'30" N 34°58'12"~35°06'36"	50	321×301
Input conditions of incident wave and wind				
H_s (m)	T_m (sec)	Wind speed (m/s)	Wind Direction	
2.2	7.6	9	SW, SSW, S, SSE, SE	

하여 가덕도 동측까지 3 km간격으로 수직선으로 구분하였다. 각 단면별 해저경사는 A~A'부터 D~D'까지 각각 1:400, 1:333, 1:180, 1:160 이었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 수치모의 결과의 검증

3.1.1 주파향 산정

낙동강 하구역의 주 입사파향은 북동(NE), 남서(SW)이며 특히 파향이 NE 계열인 경우 낙동강 하구역에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단되어 거제 해상관측부이의 파향과 풍향이 SW 방향으로 5~10시간 이상 지속된 4월 13일과 21일 시기의 유의파고, 주기에 대한 낙동강 하구역(St. 1)에서의 관측 및 계산결과와 스펙트럼을 비교하였다(Fig. 5). 각 결과의 관측값과 계산값은 Table 2에 정리하였다. 결과적으로 입사파향이 남서(SW)인 바람을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 수치모의 결과와 관측결과를 비교한 결과 유의파고는 최대 0.03 m, 첨두주기는 약 0.1 sec의 차이로 수치모의 결과가 매우 높은 재현성을 나타내었다. 즉, 바람을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다는 그 재현정도가 향상되는 것으로 나타났다.

3.1.2 스펙트럼 형상 비교

스펙트럼 형상 비교시 스펙트럼 에너지 밀도의 첨두는 관측치가

다소 높은 것으로 나타났으며 고주파수 영역에서도 에너지 첨두가 발생하였으나 수치모의 결과에서는 고주파수 영역의 에너지 밀도는 관측치보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는 풍속이 크고 취송 거리가 짧을수록 단주기 성분의 에너지가 커지며 이로 인하여 스펙트럼 첨두가 고주파수 영역으로 옮겨지는데 본 수치모의에서는 바람장을 계산영역에 일정하게 적용하였으므로 고주파수 영역의 파랑에너지를 과소평가한 것으로 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서의 수치모형은 남서(SW)계열 파향의 수치모의결과와 관측결과를 비교한 결과 수치모형의 재현성이 우수한 것으로 나타났다.

3.2 파향별 발생 파랑의 공간 분포 특성

각 외해입사파향에 따른 파향 벡터도 및 파고 분포도를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 파향은 입사파향이 낙동강 하구역 수심 약 10 m 해역까지 거의 일정하게 진입하는 것으로 나타났으며 사주섬 전면 수심 5 m이하로 감소하는 지점에서 모든 입사파향에서 파향이 굴절되는 것으로 나타났다. 특히 낙동강 하구역은 서측 해역보다 동측 해역에서 파향의 굴절이 급격히 발생하는데 이는 해저 경사가 1:160 정도로 서측 해역의 1:400의 해저 경사보다 비교적 급하기 때문으로 판단된다. 파고분포를 보면 S계열의 파향이 우세한 경우 파고비가 가장 높게 분포하였으며 다음

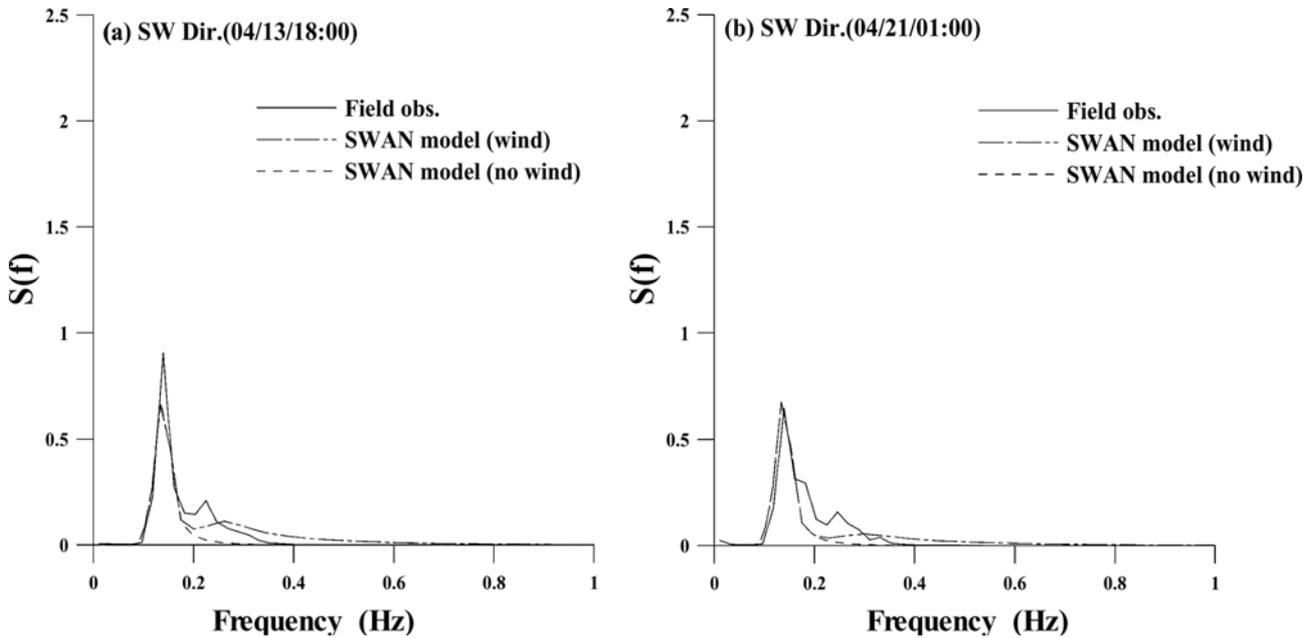


Fig. 5. Comparison of spectral density in SW direction for the verification of model.

Table 2. Comparison of the measured and calculated wave spectral parameters

Date (MM-DD HH)	Input conditions			Measurements		SWAN results			
	H_s (m)	T_m (sec)	Wind speed(m/s)	H_s (m)	T_p (sec)	Wind condition		No-wind condition	
	H_s (m)	T_m (sec)		H_s (m)	T_p (sec)	H_s (m)	T_p (sec)	H_s (m)	T_p (sec)
04-13 18:00	2.1	7	10	0.89	7.18	0.92	7.26	0.72	7.26
04-21 01:00	2.1	7	8.5	0.85	7.18	0.85	7.28	0.72	7.26

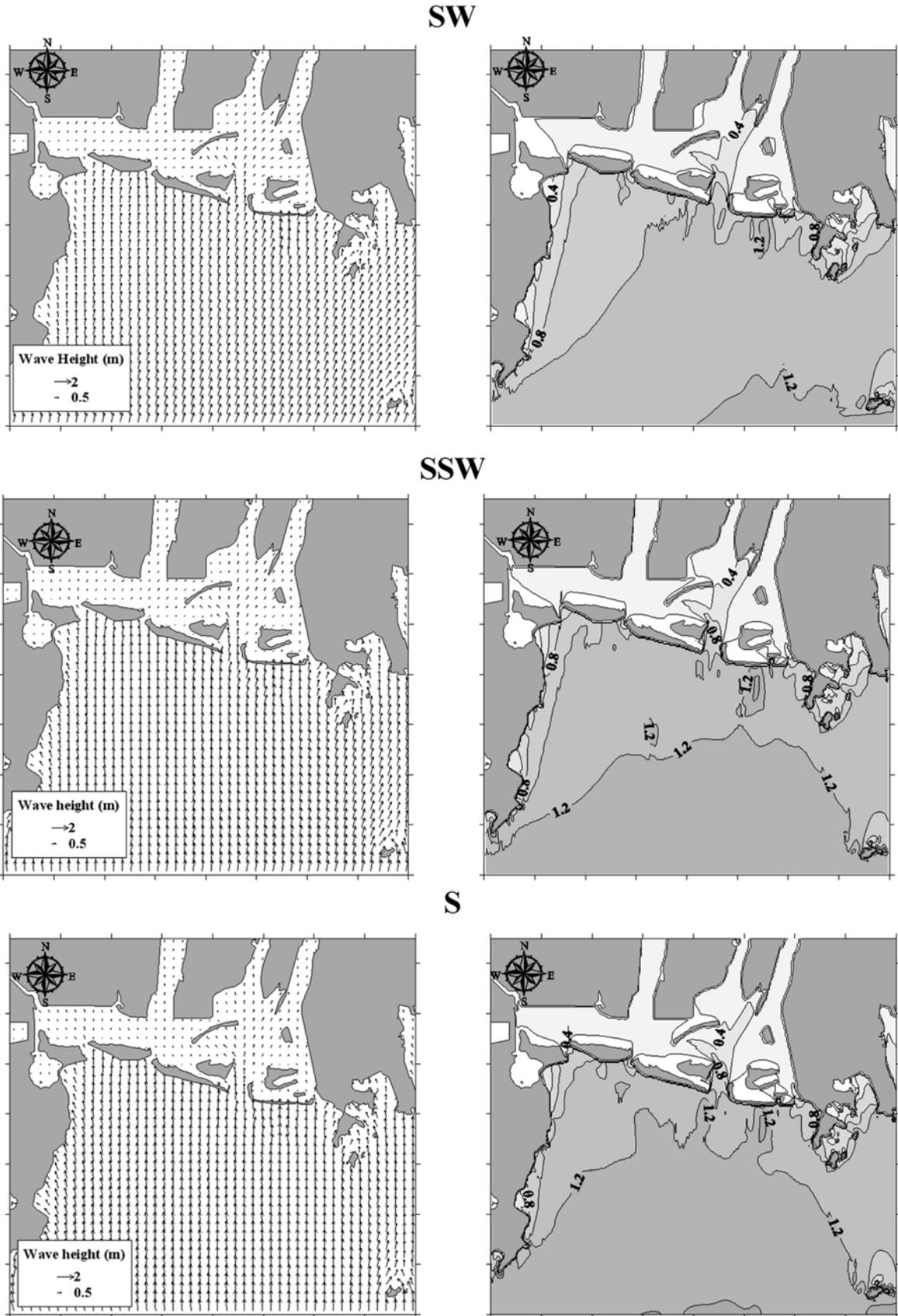


Fig. 6. Distribution of wave vector and wave height ratio (H/H_0).

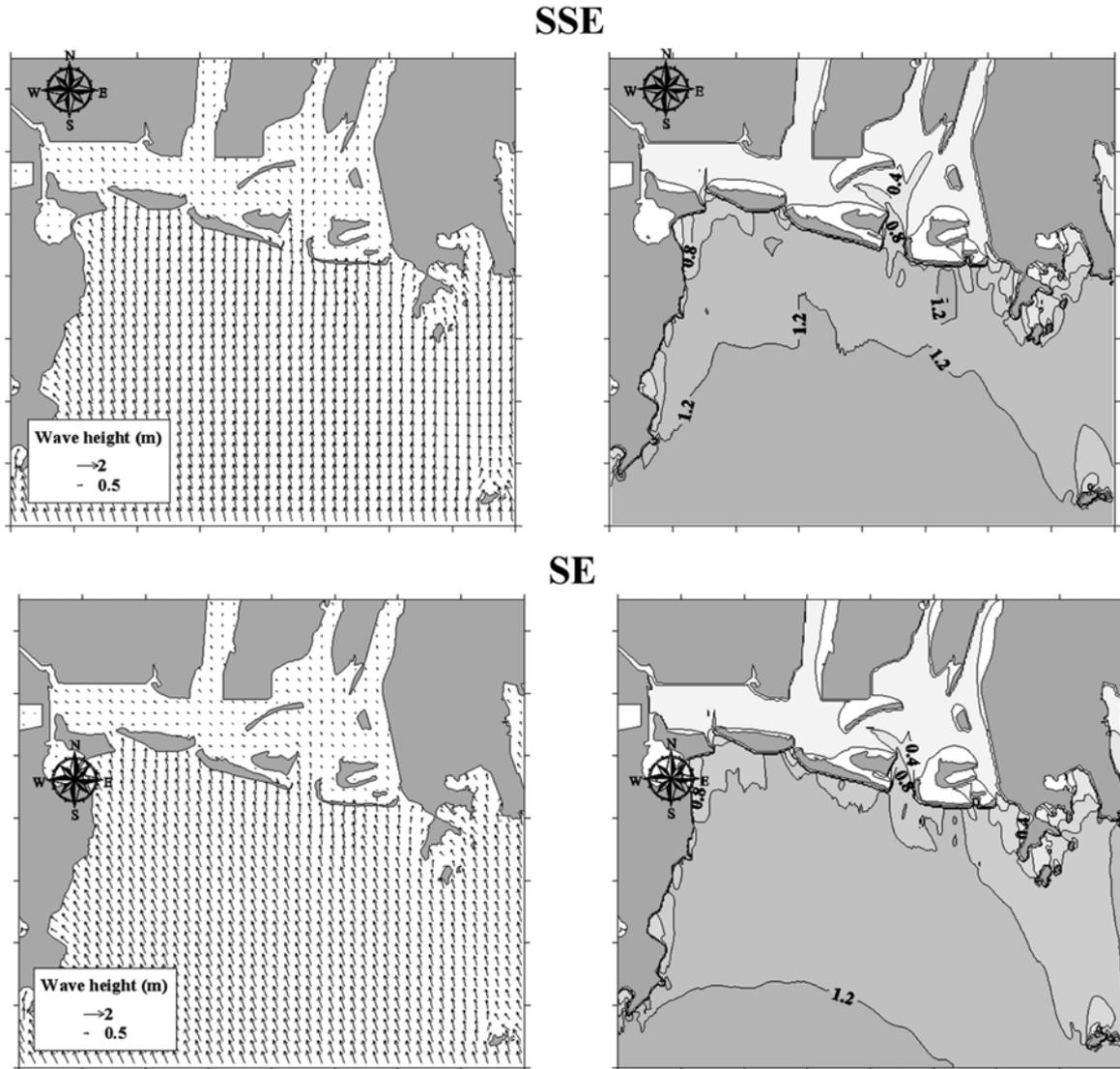


Fig. 6. (Continued).

으로 SSE, SSW, SE, SW계열의 순으로 파고분포가 높은 것으로 나타났다. S 및 SSW, SSE 파향이 탁월한 경우 사주섬 전면의 극 천해역까지 파랑에너지가 전달되어 높은 파고가 발생하는 것으로 나타났다.

3.3 파향별 파형경사의 단면 분포 특성

각 외해입사파향에 따른 Fig. 4에서의 각 단면에서의 파향별 파형경사의 단면 분포를 계산하여 나타낸 것이 Fig. 7이다. 결과적으로 해저경사가 완만한 A, B 단면은 파향에 따라 파고비는 0.4~0.6으로 4 km를 전파하는 동안 모든 파향에서 0.1 이하의 파고비 감소가 나타났다. 해저경사가 비교적 급한 C, D 단면에서는 파고비는 A, B 단면과 비슷한 0.5~0.6의 파고비가 전파되었으나 C 단면에서는 모든 파향에서 파고비가 0.1이상 감소하였으며 D 단면에서는 약 0.2의 파고비가 감소하여 그 감소폭이 A, B 단면보다 더 큰 것으로 나타났다.

특히 C, D 단면에서 해저 경사가 급변하는 구간에서는 파고비

가 일시적으로 상승하는 것을 볼 수 있는데 이는 Wave setup, Nonlinear shoaling effect 현상에 따른 것으로 생각되며, 차후 이에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

각 파향별 중단면에 진입하는 파고비를 살펴보면 S, SE, SW계열이 모든 단면에서 약 0.6의 값을 나타내었으며, 점차 파고비의 감소폭이 A 단면에서 가장 낮은 0.05, D 단면에서 0.25까지 감소하는 것으로 나타나 변동폭이 가장 큰 파향인 것으로 나타났다. SW 계열의 파향은 A, B 단면에서, SE계열의 파향은 C, D 단면에서 가장 낮은 파고비를 나타내었는데 이는 SW계열의 파랑은 낙동강 하구역으로 진입하면서 육역의 영향으로 인하여 낙동강 하구역의 서측으로 진입하는 파랑이 어느 정도 차폐되어 나타난 결과이며 SE계열도 마찬가지로 하구 사주섬의 해안으로 진입하면서 육역의 영향으로 파랑이 다소 차폐되어 나타난 결과로 볼 수 있다. 특히 낙동강 하구역으로 직접 입사하는 S, SSW와 SSE계열에서 육역의 영향이 적어지게 되어 상대적으로 높은 파고비가 나타나는 것으로 판단된다.

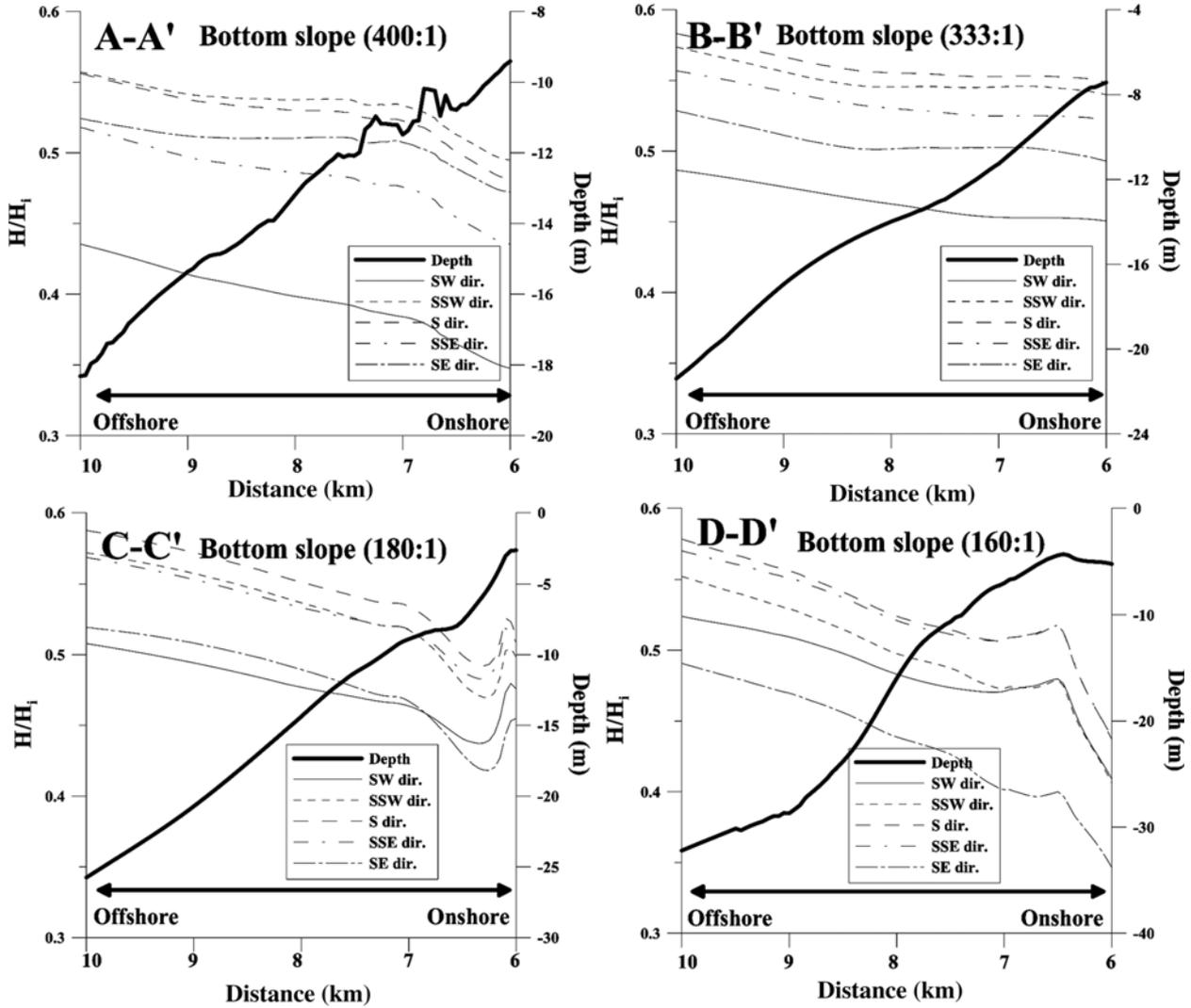


Fig. 7. Spatial distribution of the wave height ratio (H/H_i) along the cross sections.

각 단면별 파형경사는 Fig. 8에 나타내었다. 파형경사는 대부분 0.02~0.04 사이에 분포하는 것으로 나타났다. 해저경사가 급한 C, D 단면에서는 수심 약 5 m이내의 지점에 이르면 모든 파향에서 파형경사가 다소 상승하였다가 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 해저경사가 완만한 A, B 단면을 보면 A 단면에서는 파형경사가 해안으로 전파할수록 서서히 감소하는 경향을 나타내며 B 단면에서는 해안으로 전파하여도 파형경사의 감소가 거의 나타나지 않으며 다소 증가하는 것을 볼 수 있다. 해저경사가 비교적 급한 C, D 단면에서는 수심의 변화가 일정한 약 3 km 까지는 파형경사의 변화가 크게 나타나지 않았으나 수심의 변화가 급격한 지점에서 파형경사의 변동도 크게 나타났다. 특히 파형경사가 급격히 상승한 지점을 지나면 파형경사는 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났는데 이는 수심이 급격히 낮아짐으로 인하여 쇄파로 인한 파랑에너지의 손실에 기인한 것으로 판단된다. 파고비의 변화와 비교하면 파형경사가 상승하는 지점과 파고비가 상승하는 지점이 일치하는 것을 볼 수 있

는데 이는 쇄파로 인한 파고의 일시적 상승 이후 파랑에너지 감소로 파고가 급격히 낮아짐으로 인해 일어나는 현상으로 볼 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 천해역 파랑추산모델인 SWAN(Simulating WAVES Nearshore) 모델을 이용하여 파향에 따른 낙동강 하구역의 파랑분포 특성을 살펴보고자 수치모의를 수행하고 탁월 파향 변화에 따른 낙동강 하구역 파랑 분포를 정량적으로 분석하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 천해역인 낙동강 하구역에서의 파랑분포는 S계열의 파향이 우세한 경우 파고비가 가장 높게 분포하였으며 다음으로 SSE, SSW, SE, SW계열의 순으로 파고분포가 높은 것으로 나타났다. S 및 SSW, SSE 파향이 탁월한 경우 사주섬 전편의 극천해역까지 파랑 에너지가 전달되어 높은 파고가 발생하는 것으로 나타났다.

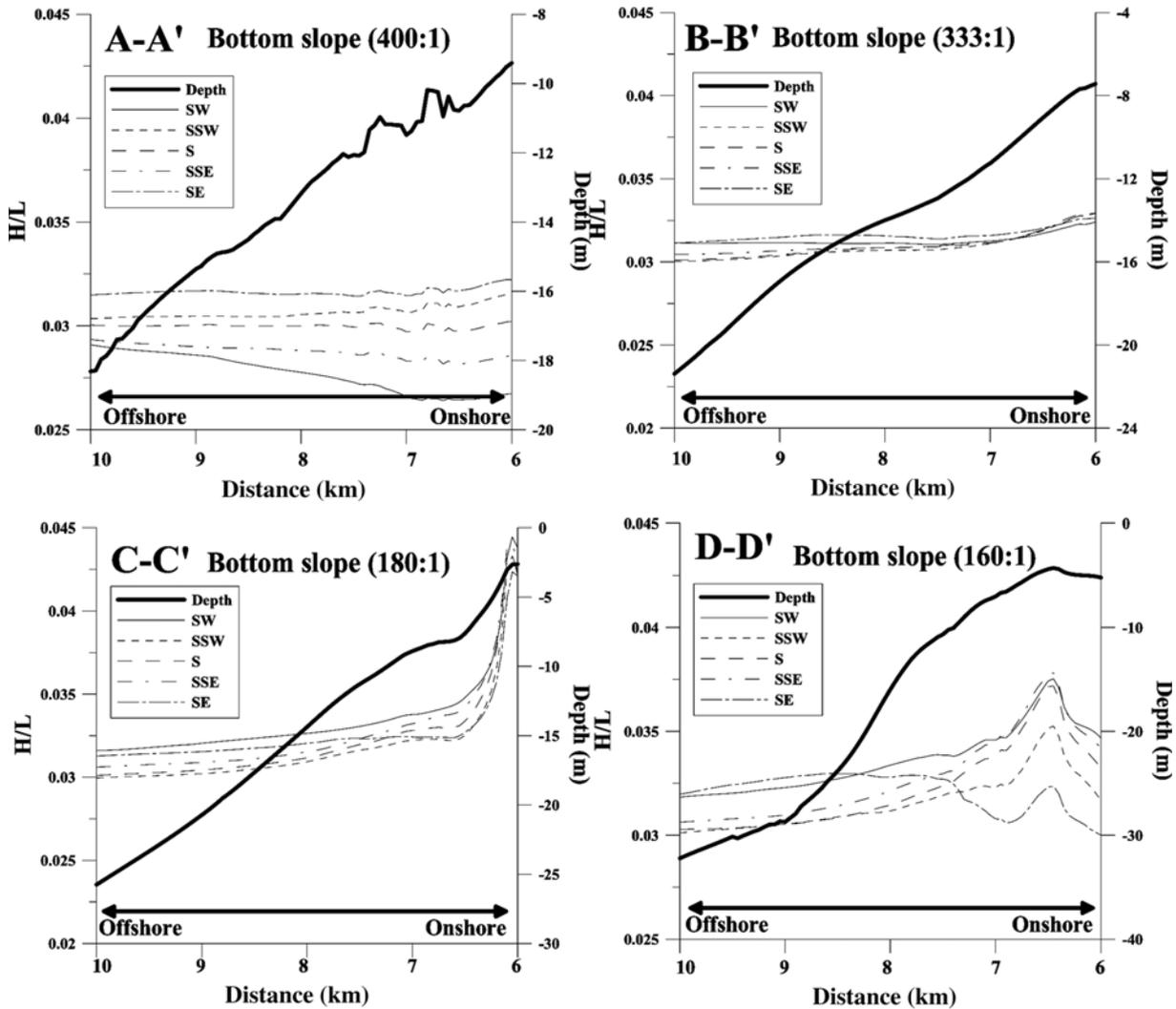


Fig. 8. Spatial distribution of the wave steepness (H/L) along the sections.

(2) 파향별 파형경사의 단면 분포 계산결과서 따르면 해저경사가 완만한 가덕도 동측해역(낙동강 하구역 남서측)에서 파고비는 0.4~0.6이었으며, 다대포 서측해역(낙동강 하구역 남동측)에서 파고비는 0.5~0.6으로서 파고비의 감소폭이 가덕도 동측해역(낙동강 하구역 남서측)보다 다소 크게 나타났다.

이상의 결과로부터 낙동강 하구역의 파랑분포가 공간상에서 차이를 보이는 해빈류의 발생에 의해 하구의 토사이동, 입경 분포, 부정형적인 사주의 형성/발달 등에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2006-331-D00700)의 일부 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 본 연구에 참여한 류승우, 박순은 [2단계 BK21사업]의 지원비를 받았음.

참고문헌

- [1] 김성환, 2005, “낙동강 하구둑 건설과 삼각주 연안 사주섬 지형 변화”, 서울대학교 박사학위논문.
- [2] 류황진, 홍기용, 신승호, 송무석, 김도영, 2004, “SWAN 모델을 이용한 제주해역 장기 파랑분포 특성 연구”, 한국해양환경공학회지, 제7권, 제3호, 137-145.
- [3] 박 순, 유창일, 윤한삼, 류청로, 2007, “춘계 낙동강 하구역의 파랑과 기상조건과의 상관성 분석”, 한국해양공학회 추계 학술대회 논문집, 417-422.
- [4] 박 순, 유창일, 윤한삼, 류청로, 이인철, 2008, “외해 입사파랑의 파향에 따른 낙동강 하구역 파랑 특성 분석”, 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, 237-238.
- [5] 유창일, 윤한삼, 류청로, 이인철, 2006, “해도분석을 통한 낙동강 하구 사주 면적의 시공간 변화”, 한국해양공학회지, 제20권, 제6호, 54-60.
- [6] 최병섭, 1996, “낙동강 하구둑 주변의 수리학적 특성에 관한

연구”, 부산대학교 박사학위논문.

- [7] Booij, N., Ris, R.C. and Holtjuijsen, L.H., 1999, “A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation”, J. Geophys. Res., Vol.104, C4, 7649-7666.
- [8] Booij, N., Haagsma, I.J.G, Holtjuijsen, L.H., Kieftenburg, A.T.M.M., Ris, R.C., Van Der Westhuysen, A.J. and Zijlema, M., 2006, SWAN-User manual. Delft University of Technology, Environmental Fluid Mechanics Section, available from <http://www.flu-idmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm> (Version 40. 51AB, 2006).
- [9] Ris, R.C., Booij, N. and Holtjuijsen, L.H., 1999, “A third-generation wave model for coastal regions, Part II, Verification”, J. Geophys. Res., Vol.104, C4, 7667-7681.

2009년 6월 12일 원고접수

2009년 8월 14일 심사완료

2009년 8월 18일 수정본 채택