

해운대 해변에서 특정 외력하의 표사이동 특성

† 김권수 · 유하상* · 박형수* · 김강민*

† (주)세일종합기술공사, * (주)세일종합기술공사

Characteristics of Sediment Transport under External Force in Haeundae Beach

† Gweon-Su Kim · Ha-Sang Ryu* · Hyoung-Su Park* · Kang-Min Kim*

† Seil Engineering Co., LTD., Seoul 150-051, Korea, * Seil Engineering Co., LTD., Seoul 150-051, Korea

요 약 : 해운대 해수욕장은 육지로부터 유입되는 모래 공급원의 감소와 고파랑 및 반사파 등의 영향으로 백사장의 폭이 매년 감소하는 것으로 나타났다. 표사이동에 따른 해변변형 문제를 해결하기 위해서는 해빈류의 특성을 예측할 필요가 있다. 본 연구에서는 해운대 해수욕장에 대한 장기적이고 종합적인 관측자료를 바탕으로, 계절별 대표파랑과 이상파에 대한 해빈류 및 표사이동 수치실험을 실시하였다. 여름에는 평상파 및 S계열 파랑에 의해서 해빈류는 연안을 따라 동쪽으로 흘러 미포측에서 퇴적되는 양상을 보이고, 겨울에는 평상파 및 E 계열의 파랑에 의해 해빈류는 서향하여 동백섬 인근에서 퇴적양상을 보이고 있다. 50년빈도 고파랑 내습시 SSW 파랑은 해운대 중앙에서 이안류가 발생하고, ESE 파랑은 미포측에서 연안을 따라 서측으로 흐름을 발생시키는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 해운대 해수욕장, 해빈류, 표사이동, 수치실험

Abstract : The width of Haeundae beach has been decreasing annually due to the loss of sand from land, high waves, reflected waves, etc.. The accurate prediction of wave-induced currents is indispensable to analyze the beach deformation due to the sediment transport. In the this study, Numerical experiments were performed with seasonal representative wave on the basis of a long term and comprehensive survey data. In summer, we found the deposition of Mipo by longshore current eastly by ordinary and S waves, and in winter, the depositor of Dongback-island by longshore current westly by ordinary and E waves. In addition, rip current occurs in the middle of Haeundae beach by 50 year return period wave and current westly along the coast by ESE directional wave.

Key words : Haeundae Beach, Wave induced current, Sediment drift, Numerical simulation

1. 서 론

해운대 해수욕장은 1.6km 길이의 포켓형 해변(pocket beach)으로, 도심 속에 위치한 친해의 절경을 가진 휴양지 중 하나이다. 수심이 얕고 조수의 변화가 심하지 않아 한해 여름동안 1,500만 명 이상의 관광객이 찾는 국내의 대표적 관광명소로서, 지역 경제 활성화에 미치는 영향 또한 매우 크다.

그러나, 수영장의 회동댐 건설과 춘천의 복개, 유역의 도시화 등으로 모래 공급원이 감소하고, 직립호안에 의한 반사파 및 비사(blowed sand)에 의해 모래가 유실되며, 파랑 및 해빈류(wave induced current)에 의해 표사(sediment drift)가 외해로 이송되어 해운대 해수욕장의 면적이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 해운대 백사장의 평균 폭은 과거 1947년 58.6m에서 2007년 42.5m로 줄어들어, 1년에 약 0.27m씩 백사장이 후퇴하는 것으로 나타났다(Heaundae District, Busan, 2008).

해운대 해수욕장 표사의 이동기구(mechanism)를 규명하기

위하여 1980년대 이후로 지속적인 연구가 수행되었다. Kim et al.(1986)은 해운대 해변변형 상사에 대하여 연구하였고, Min et al.(1987)은 해운대 양빈공법에 관한 실험적 연구를 수행하였으며, Park and Lee(1989)은 해운대 해안선변형을 예측한 바 있다. 또한, Choi et al.(2004)과 Lee et al.(2007)은 방사성 동위원소를 이용하여 해운대 백사장 전면에서의 표사이동 추적실험을 실시하였다. 한편, 외해로부터 해운대 해수욕장에 내습하는 파랑을 분석하고 이에 따른 해빈류를 재현하여 계절별 표사경로를 파악하기 위한 노력이 이루어졌으나(Lee et al., 2007), 계절별 조류관측 및 해빈단면, 수심측량 등의 장기적인 해양조사 자료가 부재하여 해수욕장 표사이동기구의 명확한 규명에 제약이 따랐을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Heaundae District, Busan(2008)의 계절별 파랑 및 조류관측, 해빈단면 및 수심측량, 해저질, 해저영상조사, 지층탐사 등의 장기적이고 종합적인 관측자료를 기초로 표사 이동기구를 규명하고자 하였다.

† Corresponding author : 정회원, kimksnu@hanmail.net 070) 8622-7985

* 연회원, coolman70@hanmail.net 070) 8622-7981

* 연회원, hermein@nate.com 070) 8622-7980

* 종신회원, kikami72@gmail.com 070) 8622-7982

장기적인 해운대 해수욕장의 모래유실 방지대책을 세우기 위해서 해운대 해수욕장의 계절적 특성과 이상파를 고려한 표사수송을 해석하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 이를 위해 장기적으로 관측된 파랑특성으로부터 파고와 파향을 고려한 계절적 대표파랑과 이상파를 산정한 후 파랑변형 및 해빈류 수치모형실험을 실시하였고, 표사이송모델을 이용하여 해운대 해수욕장의 계절별 이동특성과 고파랑 내습시 표사경로를 파악하고자 하였다.

2. 해양물리 현황

2.1 지형 및 저질특성

해운대 해수욕장의 지형특성을 파악하기 위하여 2007년 2월부터 11월까지 총 5회에 걸친 수심 및 지형측량 자료를 수집하였다(Heaundae District, Busan, 2008). 해운대 해수욕장은 서측에 동백섬, 동측에 미포항이 위치하고 있다. 해수욕장 사빈은 연장 약 1.6km에 달하는 포켓비치를 이루고 있으며, 폭은 계절에 따라 유동적이거나 약 30~40m로 나타났다. 수집된 수심측량 자료에 의하면, 해운대 해수욕장의 서측(동백섬 전면)은 수심경사가 완만하나 해수욕장 중앙과 미포항 전면이 다소 복잡한 수심 분포를 나타내고 있다(Fig. 1).

해운대 해수욕장의 저질특성을 파악하기 위하여 2007년 6월과 12월 총 2회에 걸쳐 해저질 조사가 실시되었고, Side Scan Sonar를 통하여 저질특성을 분석하였다(Heaundae District, Busan, 2008). 관측자료에 의하면, 해운대 해수욕장의 서측 동백섬 인근 및 전단부에 돌출된 암반층이 있으며, 동측 미포방파제 전단부에 커다란 암반층이 존재하는 것으로 확인되었다. 또한, 해수욕장 중앙에서 외해로 넓게 암반지역이 분포하고 있다.

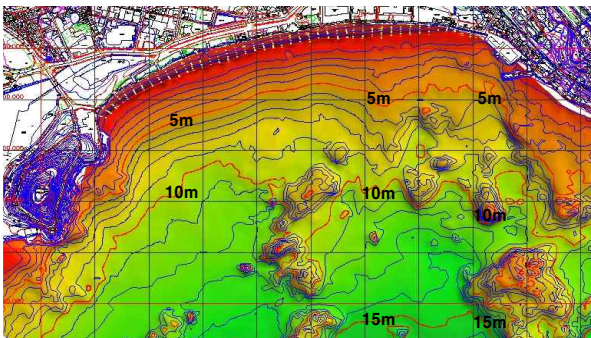


Fig. 1 Bathymetric chart

2.2 파랑특성

해운대 해수욕장에 내습하는 파랑특성을 파악하기 위하여 2005년 5개월 동안 관측된 파랑자료와, 2007년 1월부터 11월까지 총 5회에 걸쳐 수집된 파랑자료(Table 1), 그리고 KORDI(2005)의 50년빈도 심해설계파 자료를 이용하였다.

Table 1 Observation wave data

| Contents | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|
| Mean wave height | 0.50 | 0.56 | 0.56 | 0.79 | 0.62 |
| Max. wave height | 2.44 | 1.72 | 2.40 | 2.92 | 2.44 |
| Obs. period (2007) | 1.26 ~ 2.28 | 4.2 ~ 5.14 | 6.29 ~ 8.6 | 8.7 ~ 10.1 | 10.2 ~ 11.12 |

파랑의 계절적 특성과 이상파를 고려한 표사이동을 해석하기 위해 평상파(ordinary wave)와 이상파(extraordinary wave), 그리고 50년빈도 설계파(50 year return period wave)를 산출하여 수치실험시 입력자료로 활용하였다.

Table 2 Input data for wave simulation

| | season | spring | summer | fall | winter | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ordinary wave | Dir. | SSW | S | E | E | |
| | Height | 0.63m | 0.65m | 0.76m | 0.60m | |
| | Period | 5.4s | 7.5s | 6.8s | 6.6s | |
| Extra-ordinary wave (1yr) | Dir. | SSW | S | SSE | ESE | E |
| | Height | 1.8m | 2.6m | 2.4m | 2.8m | 2.3m |
| | Period | 6.5s | 11.3s | 10.6s | 9.9s | 8.6s |
| Extra-ordinary wave (50yr) | Dir. | SSW | S | SSE | SE | ESE |
| | Height | 5.2m | 8.4m | 11.15m | 11.0m | 9.8m |
| | Period | 11.84s | 13.93s | 14.72s | 14.14s | 13.49s |

평상파의 경우, 관측된 파랑자료를 계절별로 구분하고 그 중 출현율이 가장 큰 주파향에 대한 파고를 에너지 평균하여 파고를 결정하였다. 산정된 계절별 평상파의 파향과 파고, 그리고 주기를 살펴보면, 봄은 SSW, 0.63m, 5.4s이고, 여름은 S, 0.65m, 7.5s, 가을은 E, 0.76m, 6.8s, 겨울은 E, 0.60m, 6.6s로 나타났다. 또한, 관측자료를 분석한 결과 해운대 해수욕장에 큰 영향을 미치는 파향은 SSW, S, SSE, ESE, E 순으로 나타났으며, 1년빈도 이상파를 산정하기 위하여 각 파향별 파고 중 상위 5개를 평균하여 파고와 주기를 결정하였다. 그 결과, SSW파향의 경우는 1.8m, 6.5sec, S파향은 2.6m, 11.3s, SSE파향은 2.4m, 10.6s, ESE파향은 2.8m, 9.9s, E파향은 2.3m, 8.6s로 나타났다.

50년 빈도 이상파의 경우 KORDI(2005)의 자료를 참고하여 “격자점 074123” 광역(wide computed area)의 외해 파랑경계 조건을 구성하였고, 수치실험 결과로부터 해운대 인근 세역 경계에서의 50년빈도 파고와 주기를 파향별로 추출하였다. 해운대 해수욕장에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 파향은 1년 빈도 이상파와 유사하게 나타났으며, SSW파향의 경우 5.2m, 11.84s, S파향은 8.4m, 13.93s, SSE파향은 11.15m, 14.72s, SE 파향은 11.0m, 14.14s, ESE파향은 9.8m, 13.49s로 나타났다.

3. 수치모의

3.1 기본방정식

파랑변형실험은 초기형태의 포물형 환경사방정식을 파랑이 진행방향과 이격되는 경우에도 적용이 가능하도록 다음과 같이 개선된 환경사방정식(Kirby, 1986)에 의해 모의하였다.

$$A_x + i(k_o - \beta_1 k)A + \frac{A}{2C_g}(C_g)_x + \frac{\sigma_1}{\omega C_g}(CC_g A_y)_y + \frac{\sigma_2}{\omega C_g}(CC_g A_y)_{yz} + \frac{W}{2C_g}A = 0 \quad (1)$$

여기서, A : 진폭; C : 파속; C_g : 군속도

k_o : 기준 파수; k : 파수

W : 쇄파로 인한 에너지 소산항

ω : 각주파수

$$\sigma_1 = i\left(\beta_2 - \beta_3 \frac{k_o}{k}\right) + \beta_3 \left(\frac{k_x}{k^2} + \frac{(C_g)_x}{2k C_g}\right)$$

$$\sigma_2 = -\beta_3 / k$$

x, y, z : 공간좌표

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 는 근사방법에 따른 계수

소산항 W 는 Battjes and Janssen(1978)의 쇄파로 인한 에너지 소산률에 따라 다음과 같이 기술된다.

$$W = E_{diss} / E \quad (2)$$

여기서 E_{diss} : 에너지 소산률

바닥 저면에 의한 마찰손실은 다음과 같다.

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-f_w}{12\pi g} \left(\frac{\omega H}{\sinh(kh)} \right)^3 \quad (3)$$

$$f_w = \begin{cases} 0.24 & (a_b/k_n < 2) \\ \exp(-5.977 + 5.213(a_b/k_n)^{-0.194}) & (a_b/k_n \geq 2) \end{cases}$$

여기서 k_n : Nikuradse roughness parameter

H : 파고

쇄파에 의한 에너지 손실 중 발생 가능한 최대파고는 다음과 같다.

$$H_m = \gamma_1 k^{-1} \tanh(\gamma_2 kh / \gamma_1) \quad (4)$$

여기서 γ_1 과 γ_2 는 쇄파계수이다.

파랑변형실험으로부터 radiation stress결과를 추출하고 이를 입력자료로 하는 해빈류 재현은 다음과 같이 비압축성 유체에 대해 수심적분된 연속방정식과 운동방정식을 근간으로 ADI(Alternating Direction Implicit) 기법에 의해 수치모의하였다(MIKE21, 2009).

연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = S - e \quad (5)$$

x방향의 운동방정식

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - f V V_x - \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \Omega q - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = S_{ix} \quad (6)$$

y방향의 운동방정식

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - f V V_y - \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \Omega p - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = S_{iy} \quad (7)$$

여기서, h : 수심

ζ : 수면변위

p, q : x, y 방향의 흐름(flux) 밀도

C : Chezy Resistance number

g : 중력가속도, f : 바람마찰계수

V, V_x, V_y : 풍속, 바람의 속도 성분

Ω : Coriolis coefficient

P_a : 대기압, ρ_w : 물의 밀도

x, y, t : 공간좌표, 시간

e : 증발률; E : eddy viscosity coefficient

S : source magnitude

S_{ix}, S_{iy} : source impulse in x-and y-direction

표사이송량(q_t)은 다음과 같이 소류수량(q_b)과 부유표수량(q_s)의 합으로 구해진다.

$$q_t = q_b + q_s \quad (8)$$

소류수량은 Shields 파라미터에 의해 결정되는 Engelund and Fredsøe(1976)의 모델을 사용하였고, Fredsøe et al.(1985)의 부유사에 대한 수직 확산방정식을 사용하여 부유표수량을 계산하였으며, 소류수량과 부유표수량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q_b = \Phi \sqrt{(s-1)gd^3} \quad ; \quad \theta = \frac{U_f^2}{(s-1)gd} \quad (9)$$

$$q_s = \int_0^D (u(z,t)c(z,t)) dz \quad (10)$$

여기서 Φ : 무차원 이송률; θ : Shields 계수

s : 상대밀도; d : 침강 입경

U_f : 마찰속도; c : 부유사의 집중도 크기

D : 수심; u : 파랑과 조류의 결합된 속도

3.2 입력조건

수치모형실험에서 수행된 전반적인 경계조건과 입력 파라미터는 해빈류와 표사이동실험의 검증과정을 거쳐 수정되었다. 외해경계에서는 JONSWAP Spectrum을 이용한 불규칙파를 생성하여 파랑변형실험을 수행하였다. 이때 저면소산계수는

Nikuradse 조도계수 0.002를 사용하였고, 쇄파계수는 $\gamma_1 = 1.0$, $\gamma_2 = 0.8$, $\alpha = 1.0$ 으로 하였다.

해빈류 실험의 저면마찰계수는 Manning number 30을 사용하였고, 표사이동실험에 사용된 모래밀도는 2.65, Shields 계수는 0.05, 공극율 0.4, 증앙입경은 0.3mm를 적용하였다.

3.3 모형검증

수치모형실험 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 해빈류 실험과 표사이동실험에 대한 검증을 실시하였다.

해운대 해수욕장의 해변진면에서 부표를 이용하여 2008년 6월 4일 14시부터 2시간에 걸쳐 해빈류 특성을 관측하였다. 또한 지형의 영향을 받지 않고 심해 입사파를 구성할 수 있도록 거제 동측 먼 바다에서 수집된 거제 부이 자료를 수집하였고, 입사 파랑조건을 파악하기 위하여 거제도 부이에서 관측된 동시간대의 유의파를 분석하여 입력자료로 활용하였다((파고 2.0m, 주기 6.0s, SE 파향).

해운대 해수욕장 중앙에서 동측으로 2개 지점, 서측으로 7개 지점에서 관측을 실시하였으며, 전술한 파랑조건에 의해 파랑 변형실험과 해빈류실험을 수치모의한 후, 그 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 도시하였다. 수치실험 결과 해빈류는 전반적으로 동측(미포항)에서 흘러들어 연안을 따라 서측(동백섬)으로 빠져나가는 양상을 나타냈고, 9개 관측지점과 동일한 지점에서 관측결과와 해빈류 수치결과를 비교·분석한 결과 서측으로 가장 바깥인 9번 지점이 비교적 큰 오차를 보이고 있으나, 내측 2~6지점은 0.02m/s 이내로 나타나 해빈류 특성을 잘 재현하는 것으로 나타났다.

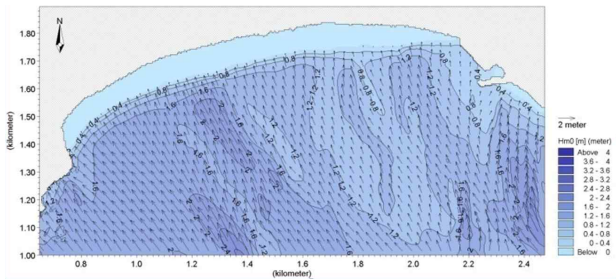


Fig. 2 Simulation results for Wave Height & Vector

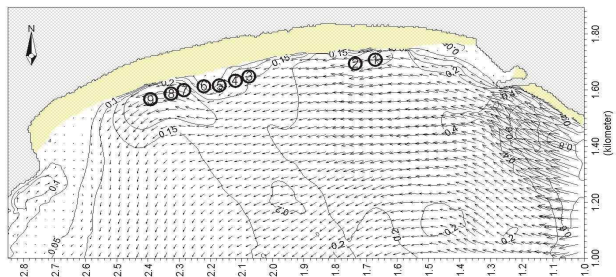


Fig. 3 Observed stations and simulation result for the wave induced current

Table 3 Input data for wave simulation

| Point | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Obs.(m/s) | 0.12 | 0.17 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.11 | 0.26 | 0.21 | 0.15 |
| Cal.(m/s) | 0.18 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.22 | 0.25 | 0.23 |

표사이동실험의 검증은 Fig. 4에 도시한 바와 같이 2007년 1월 27일부터 5월 13일까지 관측된 파랑데이터와 전술한 수심 측량 자료를 이용하여 수행하였다. 108일간 관측된 1시간 간격의 유의파고와 주기, 그 파향을 입사경계조건으로 하여 파랑 변형실험을 수행한 후 이로부터 추출된 radiation stress를 해빈류실험의 입력자료로 구성하였다.

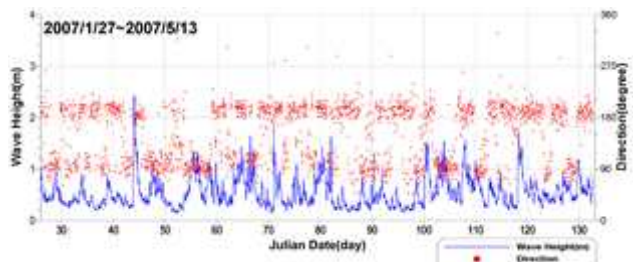
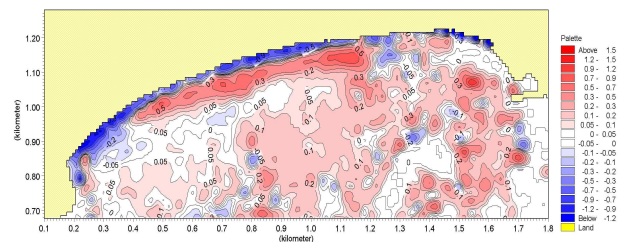
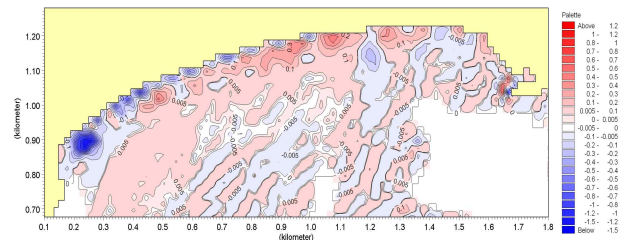


Fig. 4 Observed wave data for inlet to littoral sediment drift simulation

파랑과 해빈류실험 결과를 이용하여 동기간 해운대 해수욕장 전면의 표사이동량을 구하였고, 이를 해운대 지형측량 1차 결과(2007년 1월 25일~2월 5일)와 2차 결과(2007년 5월 7일~5월 19일)의 변화량과 비교하였다(Fig. 5). 수치모의 기간에 S과 E계열의 파랑이 주로 발생하였고, 이는 겨울에서 여름직전 해운대 인근의 파랑특성과 일치한다. 또한 표사이동 실험결과 서측 동백섬 내측의 침식 및 해안선 부근에서 침식되어 가까운 외해에 퇴적되는 양상은 동기간 관측된 지형 변화량과 상당히 유사한 것으로 판단된다.



(a) Bathymetric survey



(b) Result of sediment transport
Fig. 5 Topographical Change

4. 실험결과

계절적 표사이동 특성을 분석하기 위하여 여름과 겨울에 대한 평상파랑 수치실험을 실시하였다. 이상파의 경우 1년빈도와 50년빈도 모두 S계열 및 E계열의 대표 파향으로 SSW, ESE 파랑을 각각 선정하였고, 해빈류 실험은 각 대표파가 입사하여 유동장이 안정상태가 될 때까지 수치모의하였다.

평상파 내습시, 여름은 해운대 해수욕장의 해빈류가 동백섬 인근에서 동쪽으로 흘러 연안류(longshore current) 형태로 나타나고 해수욕장 서측 송림공원 전면에서 침식이 발생하여 해안을 따라 미포측 퇴적의 원인이 되는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이와 반대로, 겨울은 미포로부터 동백섬까지 서측으로 해안을 따라 흐름이 발생하고 있으며, 여름에 비해 발생량은 작으나 미포측의 침식과 서측 해안을 따라 퇴적 양상이 나타나고 있다(Fig. 7).

1년 빈도 이상파 중 SSW 파랑 내습시 동백섬측에서 동쪽으로 연안류가 발생하고 있고, 이 흐름과 미포 남동측에서 흘러든 해빈류로 인해 외해 방향으로 이안류(rip current)가 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 8). 여름철 평상파와 비슷하게 동백섬측에서 침식이 발생하고 미포 전면으로 퇴적 양상을 보이고 있다.

Fig. 8-(c)에 도시한 바와 같이 1년간 유사 이송량 결과로부터 동백섬에서 시작되어 미포항으로 향하는 해빈류로 인하여 $1,000m^3/yr/m$ 의 유사해안 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 또한 미포항 방파제 전면부에서는 $2,000m^3/yr/m$ 이상의 유사해안 서쪽으로 이동을 하고 외해로 향하는 흐름과 연결되어 외해로 유사 유출을 보이고 있다.

E계열의 대표 파향인 ESE 파랑 내습시 SSW 파랑에서 나타난 이안류 형태는 보이지 않고, 해안선 동측으로 현저한 침식 현상과 해안을 따라 침·퇴적 양상을 보이고 있다(Fig. 9).

Fig. 9-(c)에 도시한 바와 같이 모래의 이송량은 미포항 방파제 전면에서의 강한 흐름의 영향으로 부분적으로 최대 $3,000m^3/yr/m$ 이상의 유사해운대 해수욕장 전면부로 이송되며, 해안 전반에 걸쳐서 $400\sim 3,000m^3/yr/m$ 가 동쪽에서 서쪽으로 이송되어진다. 그러나 이러한 유사의 이동은 주로 해운대 해안가로 한정되어있으며, 일반적으로 유사의 이동이 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다.

50년빈도 이상파 내습시, SSW 파랑의 경우 동백섬 측에서 동쪽으로 연안류가 발생하고 있으나, 미포측에서 흘러든 강한 흐름으로 인해 해운대 해수욕장 중앙의 암반지대 사이로 이안류가 발생하고 있다(Fig. 10). 미포방파제 전면부에서 동쪽에서 서쪽으로 $8,000m^3/yr/m$ 의 유사해송되고 있으며, 해운대 중앙 부분에서 $2,000\sim 4,000m^3/yr/m$ 유사해출되는 것을 확인할 수 있다(Fig. 10-(c)). 유사 이송도를 통하여 이러한 경향을 분석한 결과 50년 빈도파로 SSW 방향을 갖는 파랑이 1일간 지속될 경우, 동백섬쪽을 타고 많은 양의 유사해

유입되었으며, 미포항 부근 전면부와 해운대 중간지역에서 모두 $1,680m^3/day$ 의 유사해출됨을 확인할 수 있다(Fig. 10-(d)).

ESE 파랑의 경우 이안류의 형태는 보이지 않으나, 미포측에서 연안을 따라 서측 동백섬 전면으로 흐름이 발생하고 있다(Fig. 11). 미포항에서 동백섬쪽으로의 유사 이송이 전반적인 실험영역에서 발생하였고 그 양은 $1,000\sim 4,000m^3/yr/m$ 에 이른다(Fig. 11-(c)). 유사 이송도를 분석한 결과 50년 빈도파로 ESE 방향을 갖는 파랑이 1일간 지속될 경우, 미포항 방파제 전면부에서 유입이 발생하는 것을 확인할 수 있고, 해운대 해안 전반에 걸쳐서 $1,715m^3/day$ 의 유사해외로 유출되는 것으로 나타났다.

전반적으로 여름철 하계에서 큰 파랑에 의해서 미포항측(동쪽)으로 향하던 유사의 흐름은 겨울철 하계 E 계열 파랑의 영향으로 미포항에서 유입되는 동시에 동백섬 쪽에서 유실이 발생하는 경향을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 Heaundae District, Busan(2008)의 장기적이고 종합적인 관측자료에 근거하여 표사이동을 수치모의하였다. 이를 위하여 해빈류와 표사이동실험에서 관측결과와 비교·검증과정을 통하여 수치실험의 타당성을 확보하였으며, 계절적 대표파랑과 이상파를 선정하여 수치실험에 반영하였다.

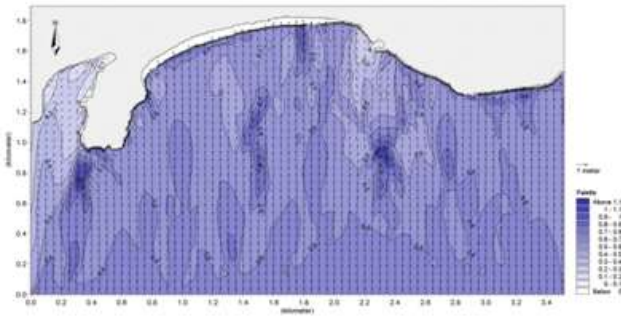
수치모의 실험결과 서측의 동백섬과 동측의 미포항까지 평상파에 의한 계절별 표사이동 및 1년빈도 이상파에 의한 연안을 따른 표사이동 순환과정과, 50년빈도 고파랑으로부터 암반지대를 포함한 해수욕장 전면해역의 이안류에 의한 표사이동경로를 파악할 수 있었다.

평상파와 1년빈도 이상파 내습시, 여름 및 S계열 파랑에 의해 해빈류가 동백섬 인근에서 동쪽으로 흘러 연안류 형태로 나타나고, 해수욕장 서측 송림공원 전면에서 침식이 발생하여 해안을 따라 미포측에서 퇴적되는 것으로 나타났다. 한편, 겨울 및 E계열 파랑은 여름 및 S계열 결과와 반대로 해안선 동측에서 침식이 일어나고 해안을 따라 서측으로 퇴적양상을 보였다.

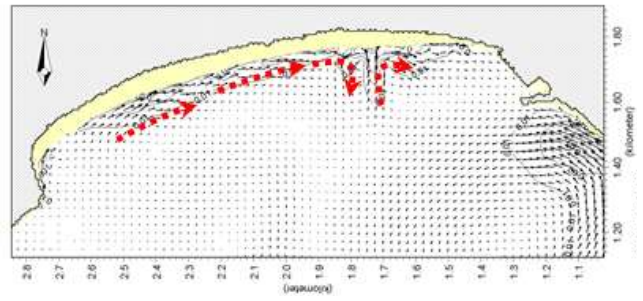
50년빈도 이상파 내습시, SSW 파랑의 경우 해운대 해수욕장 중앙에서 외해로 이안류가 발생하고 있고, ESE 파랑의 경우 미포측에서 연안을 따라 서측 동백섬 전면으로 흐름이 발생하여 유사해외로 유출되는 것으로 나타났다.

추후 보다 더 명확한 표사이동경로 및 순환과정을 파악하기 위해 지속적인 파랑 및 조류관측, 수심측량 등이 수행되어야 할 것으로 보이며, 이를 기초로 장기적 관측자료를 이용하여 수치모형실험 및 수리모형실험에 의한 비교·검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

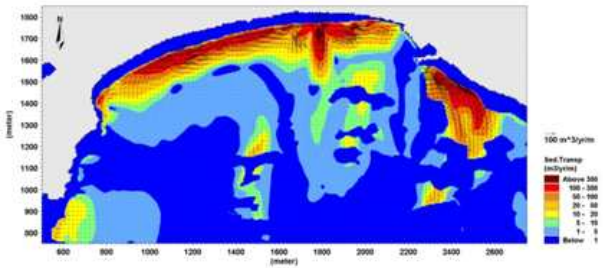
해운대 해변에서 특정 외력하의 표사이동 특성



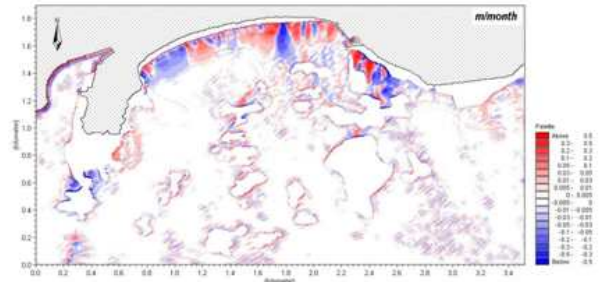
(a) Wave Height & Vector (Summer)



(b) Wave induced Current (Summer)

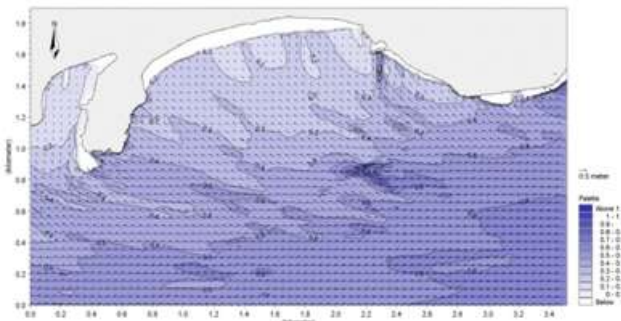


(c) Sediment Transport ($m^3/year$)

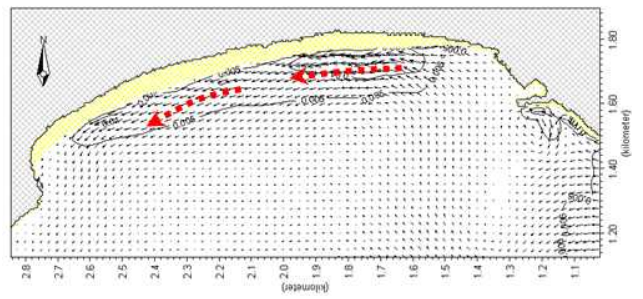


(d) Water Depth Change (m/day)

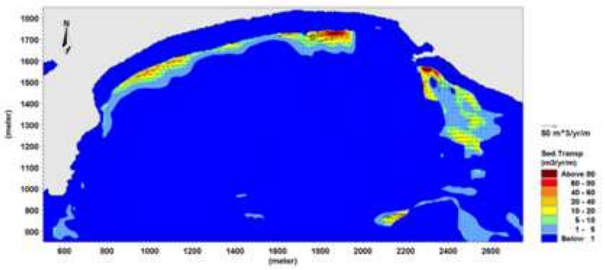
Fig. 6 Simulation results for ordinary wave in summer



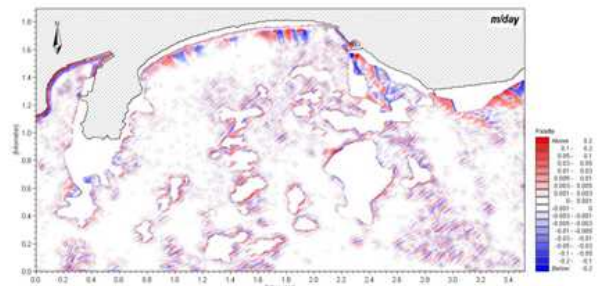
(a) Wave Height & Vector (Winter)



(b) Wave induced Current (Winter)

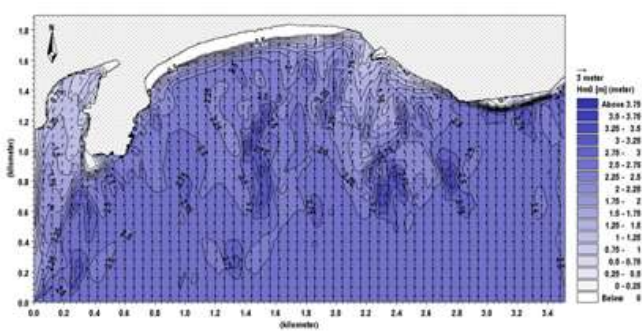


(c) Sediment Transport ($m^3/year$)

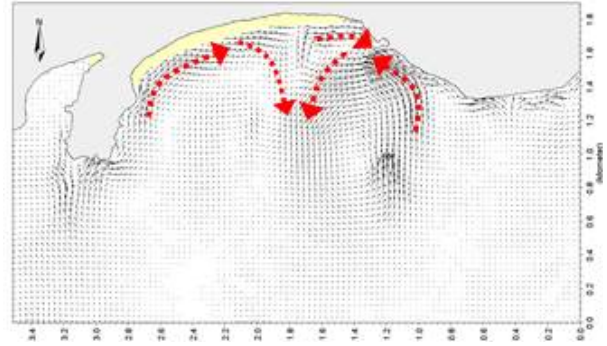


(d) Water Depth Change (m/day)

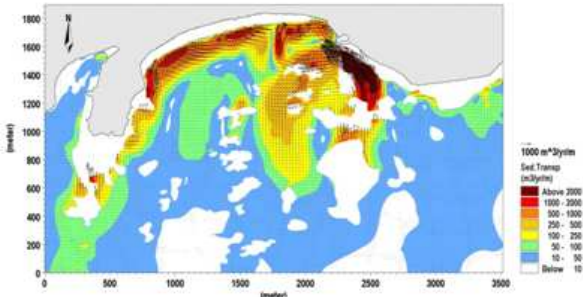
Fig. 7 Simulation results for ordinary wave in winter



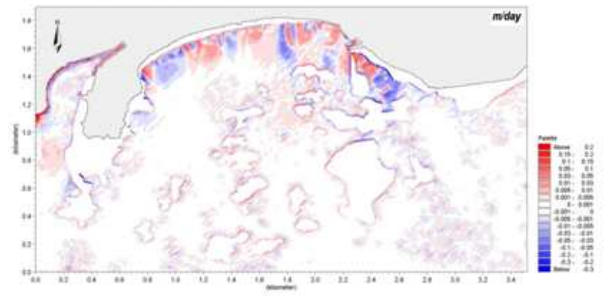
(a) Wave Height & Vector (Dir. : South)



(b) Wave induced Current (Dir. : South)

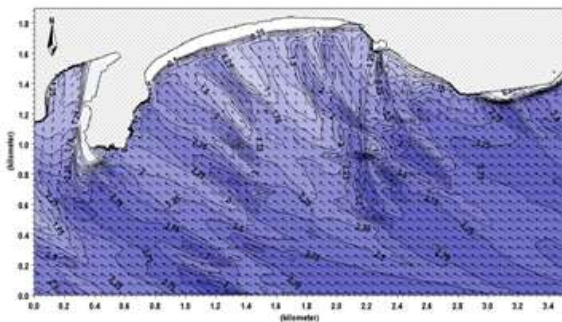


(c) Sediment Transport ($m^3/year$)

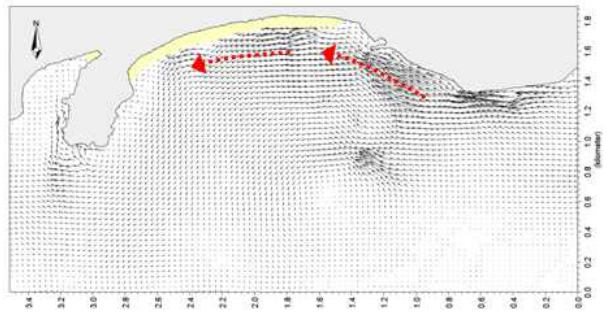


(d) Water Depth Change (m/day)

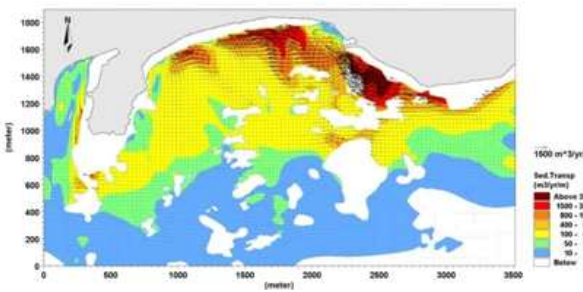
Fig. 8 Numerical simulation result of S dir. Extraordinary wave(1yr return period)



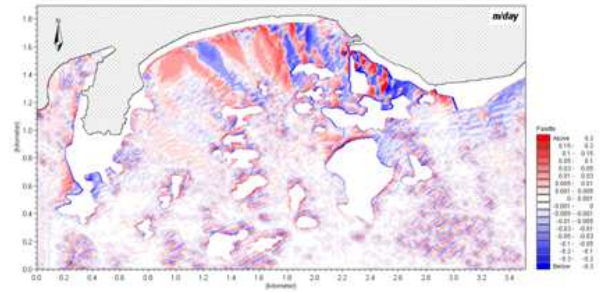
(a) Wave Height & Vector (Dir. : East)



(b) Wave induced Current (Dir. : East)



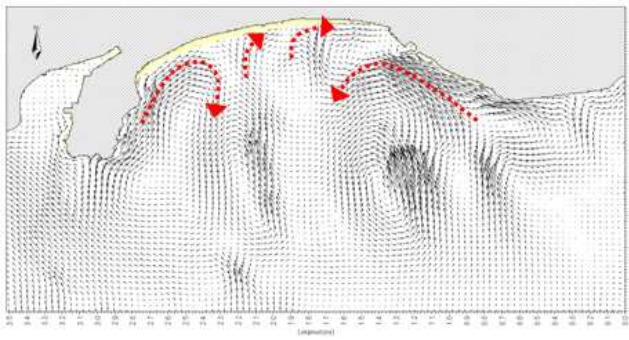
(c) Sediment Transport ($m^3/year$)



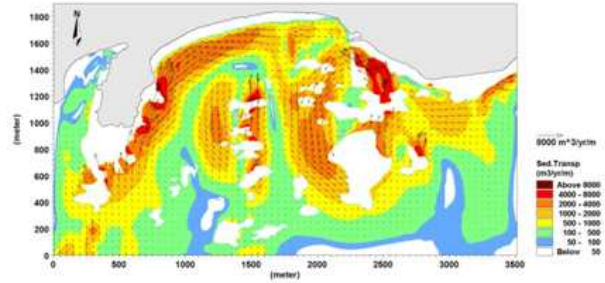
(d) Water Depth Change (m/day)

Fig. 9 Numerical simulation result of E dir. Extraordinary wave(1yr return period)

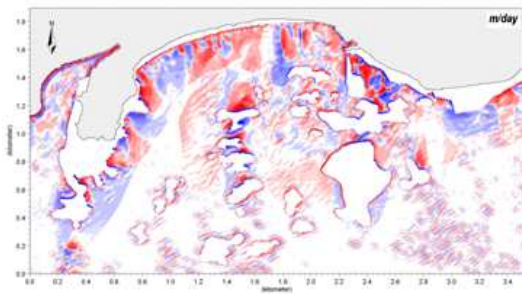
해운대 해변에서 특정 외력하의 표사이동 특성



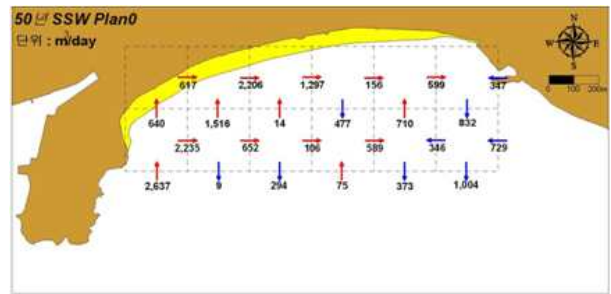
(a) Wave induced Current (Dir : South)



(b) Sediment Transport ($m^3/year$)

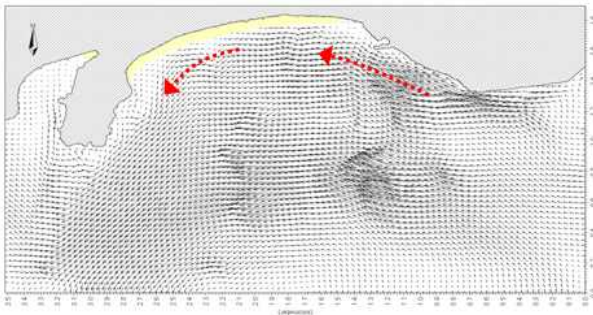


(c) Water Depth Change (m/day)

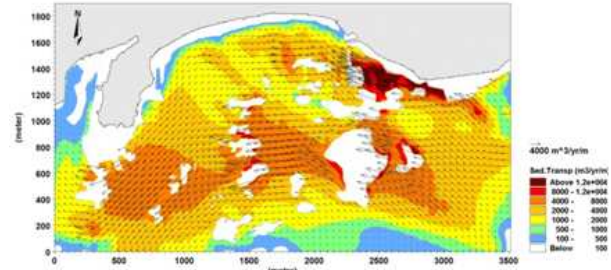


(d) Sediment Transport balance

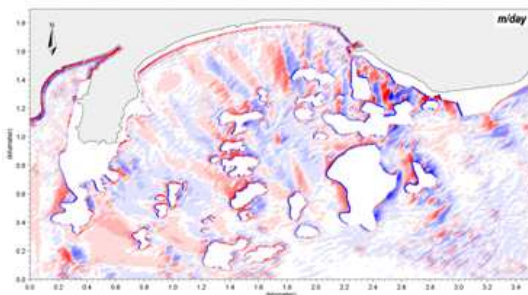
Fig. 10 Numerical simulation result of S dir. Extraordinary wave(50yr return period)



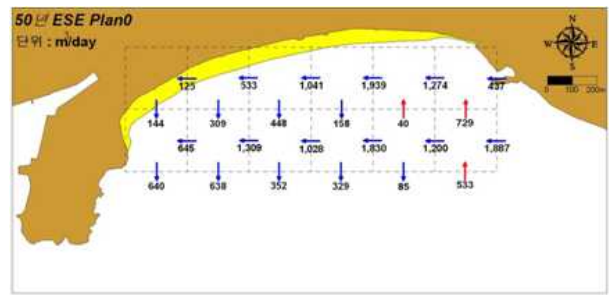
(a) Wave induced Current (Dir : ESE)



(b) Sediment Transport ($m^3/year$)



(c) Water Depth Change (m/day)



(d) Sediment Transport balance

Fig. 11 Numerical simulation result of ESE dir. Extraordinary wave(50yr return period)

References

원고접수일 : 2013년 7월 11일
 심사완료일 : 2013년 10월 18일
 원고채택일 : 2013년 11월 11일

- [1] Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M.(1978), "Energy loss and set-up due to breaking of random waves", Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp. 569-587.
- [2] Choi, B.J., Jung, S.H., Kim, J.B., Lee, J.S.(2004), "A Study on the Sediment Transport using Radioisotope Tracer", Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 16, No. 3 pp. 162-170.
- [3] Engelund, F., Fredsøe, J.(1976), "A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels", Nordic Hydrology, Vol. 7, pp. 293-306.
- [4] Fredsøe, J., Andersen, O.H., Silberg, S. (1985), "Distribution Of Suspended Sediment In Large Waves", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 111, No. 6.
- [5] Heundae District, Busan(2008), Basic design of Heundae Beach Coastal Improvement Project, Numerical report.
- [6] Kim, H.J., Min, B.H., Ok, C.Y.(1986), "A study on the similarity of the beach deformation", Water engineering research, Vol. 28, pp. 187-194.
- [7] Kirby, J.T.(1986) "A general wave equation for waves over rippled beds", J. Fluid Mech., Vol. 162, pp.171-186.
- [8] KORDI(2005), Estimate Report of Deep Waters Wave in All Waters.
- [9] Lee, J.S., Tac, D.H., Yoon, E.C., Kim, S.Y.(2007), "Characteristics of Seasonal Sediment Transport in Haeundae Beach", Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 19, No. 6 pp. 547-556.
- [10] Lee, J.S., Tac, D.H, Woo, J.G(2007), "Characteristics of Seasonal Wave, Wave-Induced Current and Sediment Transport in Haeundae Beach", Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 19, No. 6 pp. 574-585.
- [11] MIKE 21 (2009) Coastal Hydraulics and Oceanography, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation, DHI Software
- [12] Min, B.H, Ok, C.Y., Yu, S.H.(1987), "An Experimental Study on the Beach Nourishment Method of HAE UN DAE Beach", The Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 1, No. 1, pp. 84-93.
- [13] Park, I.H., Lee, J.S.(1989), "Shoreline Change Model in Haeundae Beach", Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 1, pp. 50-62.