

월포항 인근해역에서의 해빈류 특성

Characteristics of Wave-Induced Current in the vicinity of Wolpo Harbor

이 성 대*

Lee, Seong Dae

Abstract

The accurate prediction of wave-induced currents is indispensable to analyze the beach deformation due to the sediment transport or dispersion in the surf zone, which often gives rises to serious environmental problems in the coastal region. Although many numerical models have been suggested up to now, it is not easy to properly simulate wave-induced currents, in particular, over a complex topography. In order to solve these problems, we have to understand the mechanism of wave transformation and wave-induced currents, to compare results numerical models with those of field measurements, and to find the validity and the applicability of them. And, also the validity of the model has been confirmed by the field investigation.

keywords : wave transformation, wave induced currents, field observation, numerical model

요 지

표사이동에 따른 해빈변형 및 해저지형 변동 그리고 쇄파대 부근에서의 확산거동은 연안역에서의 환경문제를 야기하며 이러한 문제의 해결을 위해서는 해빈류의 유황을 정도높게 예측할 필요가 있다. 이에 따라 기존의 해빈류 수치모형이 몇가지 제안되어 왔지만 실제 해역의 복잡한 해저지형에 의해 발생하는 해빈류를 만족하게 재현하기는 쉽지 않으며 모형의 검증은 현재까지 어려운 과제로 남아있다. 본 연구에서는 실제해역에서의 해빈류에 관한 현지관측 및 수치모형실험을 실시하였으며, 그 결과 현지상황과 대체로 일치하는 흐름상황이 발생하였음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 파랑변형, 해빈류, 현장관측, 수치모형

* 한라대학교 토목공학과 조교수

Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Halla Uni., Kangwon 220-712, Korea
Sdlee@hit.halla.ac.kr

1. 서 론

연안역에서의 해빈류 발생은 천해역으로 파랑이 전파·변형됨에 따라 나타나는 현상이다. 즉 파랑이 해안선으로 접근하면 수심변화에 의한 굴절, 구조물에 의한 반사 및 회절에 의한 변형 그리고 내부점성 또는 저면마찰에 의한 에너지 손실을 수반한 변형 등의 과정을 거치게 되어 해안선 가까이에서 쇄파가 되며 이같은 쇄파현상은 파고가 어느 한계 이상으로 크게되어 파형의 안정성을 잃어버리기 때문에 일어나는 현상이다. 이러한 쇄파대 내에서의 흐름장에 관한 연구는 그 복잡성 때문에 현재까지는 충분히 구명되었다고 할 수 없다. 해빈류는 쇄파대내에서 파랑에 의해 직접적으로 유발되는 국소적인 흐름들로 어떤 계를 형성하고 있다. 이러한 것들은 파랑에너지의 급격한 변화로 잉여에너지의 평면적인 경사변화 나타나며, 해안선에 나란히 흐르는 연안류와 쇄파대내의 파랑장의 국지적인 변화에 기인하는 흐름으로 쇄파선을 횡단하는 형태로 순환하는 순환류, 그리고 순수한 순환류와 연안류의 혼합형태인 사행류가 있고 이들을 총칭하여 해빈류계라고 한다. 또한 해빈류는 파랑의 진행에 수반하여 질량을 수송하는 질량수송류, 그리고 쇄파현상과 밀접한 관계를 갖는 연안류 및 쇄파대내에서의 수위상승이나 해저지형의 국지적인 형태에 기인하여 발생하는 이안류 등의 흐름으로 나타나고 있다(Basco, 1982).

해빈류는 쇄파에 의해 생기는 에너지손실과 밀접한 관계가 있으며, 거의 쇄파대에 국한되어 분포하는 것이 특징이라 할 수 있다. 해빈류는 연안에서 일정한 형태의 흐름을 형성하여 연안표시를 유발하며 항로 및 항만매물 그리고 하구폐색 등의 주요한 요인이 되고 있다. 특히 우리나라 동해안에 위치한 대부분의 중소항만 및 어항 들은 사빈해안에 건설된 소규모 항이 주를 이루고 있으며, 항입구부가 대부분 쇄파대 내에 위치하고 있으므로 이같은 해빈류의 작용에 의해 지형변화가 극심하여 항만내 매물현상이 심각하게 발생하고 있다. 이러한 현상들로 인해 항내수심을 유지하기 위하여 거의 매년 준설을 실시할 뿐 아니라, 해저지형의 변동으로 인하여 수심이 낮아져 어선 전복 등의 안전사고로 인한 인명피해가 발생하는 등 적지않은 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다.

최근 효과적인 연안역 개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며 이에 따라 소규모 어항에 있어서도 주민들의 기초생활을 담당해줄 제반여건은 물론 도심지로부터

터의 레크레이션 인파들의 요구를 충족시켜줄 물리적 기능이 점차 요구되고 있다. 그러나 연안역에 방파제, 어장조성을 목적으로 한 이안제와 잠제, 돌제 및 해안보전을 위한 인공 구조물 등은 대부분 쇄파대내에 축조되며 이경우 해빈류의 변화와 이에 따른 표사이동 및 해빈변형 등이 예상되며 이같은 관점에서 볼 때 해빈류에 대한 이해와 그 특성구명이 매우 요구된다. 표사이동에 따른 해빈변형 및 해저지형 변동의 해안공학 적 문제를 해결하기 위해서는 해빈류의 유향을 정도높게 예측할 필요가 있다. 이에 따라 여러 가지 해빈류 해석모형이 Ebersole과 Dalrymple(1979), Nishimura 등(1985), Copeland(1985), Larson과 Kraus(1991) 등에 의해 개발되어져 오고 있으나 현지의 복잡한 해저지형여건과 파랑외력에 의해 발생하는 해빈류를 만족스럽게 재현하기는 쉽지가 않으며 현지 재현성의 검토가 요구되고 있는 실정이다. 이를 위해 실제 해역에서의 해빈류 관측이 외국에서는 활발히 행해지고 있으며 현지관측을 위한 유속측정에서는 여러 가지 형식의 유속계 및 부자를 이용하여 해빈류의 발생기구 및 해빈류모형의 타당성을 검증하였다. 따라서 보다 합리적인 표사이동 및 해빈변형예측을 위해서는 해빈류의 예측 및 재현이 필수적이며 이를 위해서는 수치모형실험과 수리모형실험 그리고 현장조사·관측 등이 고려될 수 있으며 다양한 방법을 통해 현지 여건에 적합한 방법을 이용하여 합리적인 결과를 도출하여야 할 것이다.

본 연구에서는 경상북도에 위치한 월포항과 주변해역을 대상으로 해양환경과 수치모형실험의 입력자료 및 수치실험결과의 검증을 위하여 1998년 4월부터 12월까지 4차에 걸친 해양관측을 실시하였다. 우선 수심측량은 2회(1998년 5월, 10월)에 걸쳐 실시하여 월포항 주변 해저지형의 계절적 변동을 분석하였으며, 본 대상해역에 내습하는 파랑특성을 파악하기 위하여 일정기간 동안의 파랑관측과 해빈류 관측을 수행하였다. 우선 해빈류 현지관측결과를 수치모형실험과 비교함으로써 수치모형의 적용성 및 신뢰도를 검증하고, 향후 월포항 주변해역의 표사이동과 해안선 변화를 재현하고 예측하기 위한 기초적 연구를 수행한다.

2. 월포항 인근해역의 현지관측

2.1 수심 및 지형특성

월포항은 경상북도 포항시에서 20km 북측에 위치한

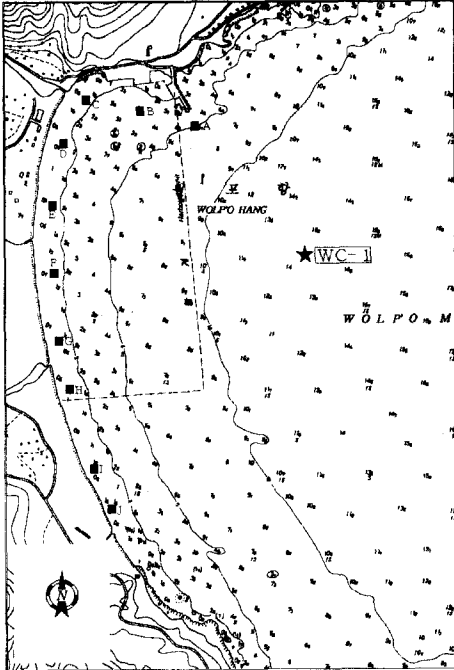


Fig. 1. Observation points of wave and nearshore current

비교적 소규모 연안항으로 항의 남쪽으로는 약 2km 정도의 사질해안이 남북방향으로 발달해 있고, 해저질 역시 대부분 사질로 형성 되어 있다. 월포항의 현황은 외곽시설인 157m의 방파제와 접안시설인 250m의 물양장이 항 북단에 설치되어 있으며, 구조물 남서쪽으로는 해안선을 따라 월포해수욕장이 위치하고 있다. 사석경사제 형식의 방파제는 남남동방향을 향하고 있어 NE계열에서 E계열의 파랑을 차폐하고 있으나 작은 파랑에도 항내가 매우 소란하여 황천시에는 인근 강구항이나 포항항으로 선박들이 대피하고 있는 실정이다. Fig. 1은 월포항 주변해역의 수심분포를 나타낸 해도이며, 파랑관측지점(WC-1)과 해빈류 관측지점(A~J)을 함께 나타내었다. 연구 대상 해역에서의 수심 및 지형측량은 월포항 항계선내에 국한하여 10~25m pitch로 음향측심의(PS-20R)와 Lead측량을 병행하였으며, 계절적 변동을 분석하기 위하여 1998년 5월과 10월 2회에 걸쳐 실시하였다. 수심측정 결과에 따르면 항 주변부의 수심은 2~5m정도이고 항내물양장에서 약 200m떨어진 전면해역에 수심 2~3m사이의 천퇴형 수심이 존재하며 천퇴가 형성되어 있는 수심장을 제외

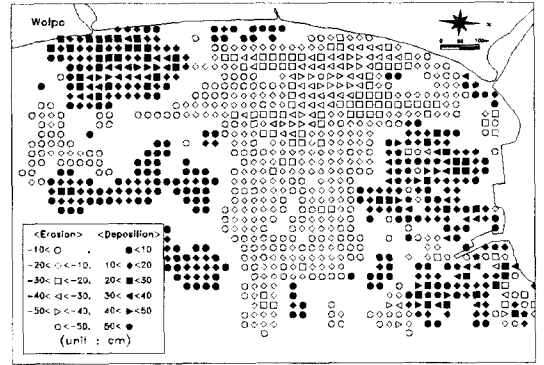


Fig. 2. Diagram of sea bottom exchanges (98/5~98/10)

한 해역에서는 해저경사가 1/70 정도로 비교적 완만한 수심분포를 보이고 있다. Fig. 2는 2회에 걸친 수심측량성과자료에 의해 얻어진 해저지형변화량을 도시한 것이다. 해빈은 저질입경 $d_{50}=0.26\text{mm}$ 정도의 비교적 가는 모래로 이루어져 있으며, 해저질은 0.17~0.29mm의 분포를 나타낸다. 그리고 본 항의 조위는 대조차가 7.2cm, 소조차는 4.8cm이며 평균해면은 12.6cm, 약최고만조위는 25.2cm이다.

2.2 파랑관측

월포항 주변의 파랑특성을 파악하기 위하여 Fig.1의 1개 정점(WC-1 : 위치 $N36^{\circ}11'56''$, $E129^{\circ}23'08''$)에서 메모리형 수압식 파고계를 설치하여 1998년 6월 25일부터 8월 6일까지 매2시간마다 20분간 0.5sec 간격으로 40일동안 실시되었으며 모든 자료는 유실없이 회수되었으며 상태 또한 양호하였다. 관측을 통해 수압식 파고계의 기록으로부터 읽어낸 자료는 수위자료로 변환시켜야한다. 수압자료로부터 수위자료로의 변환 및 수위자료해석법을 Fig. 3에 나타내었다. 수압시계열자료는 고속 Fourier변환을 사용하여 시계열을 주파수 영역의 성분파로 변환시킨다. 그 뒤, 각 주파수에 대한 파수 k 를 판단하여 응답함수의 값을 구하며, 응답함수가 고려된 값들을 역고속 Fourier변환에 의해 수위변동의 시계열로 구하며 이와 같은 방법에 의해 얻어진 수위변동자료에 대해 파별해석법을 이용하여 파랑의 제원을 구하였다. WC-1 정점에서의 관측자료를 통계분석한 자료는 총 504개로서 관측기간 중 전체의 평균값을 Table 1에 나타내었으며, 관측자료중 비교적 파고가 탁월한 경우를 선정하여 수면파형

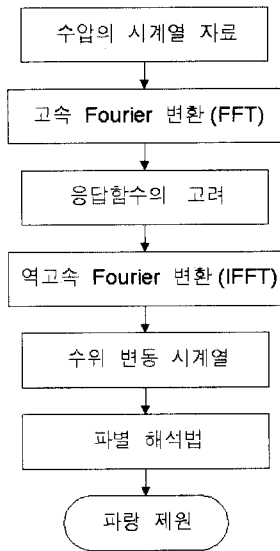


Fig. 3. Flowchart of FFT Method

을 Fig. 4에 도시하였다. 이 기간 중 7월 25일에서 7월 27일 까지 폭풍과 호우 경보가 발생하였으며 이의 영향으로 7월25일 04:00경 최대파고 H_{max} 는 2.49m를 나타내었다.

2.3 해빈류 관측

연안역에서 흐름의 특성과 방향, 유속을 측정하기 위해서는 여러가지 방법이 존재하며, 이러한 방법들은 오일러적 방법과 라그랑지적 방법으로 구분된다. 오일러적 방법은 유속계를 해역의 특정한 한 지점에 설치하여 유속의 시간적 변화를 측정하는 방법인 반면에, 라그랑지적 방법은 부자(float)를 연속적으로 추적하여 해역의 공간적 특성을 측정하는 방법이다. 그리고 해안선에 따라 연안류 및 이안류의 경향을 간단히 파악하기 위해서는 부자를 투입하는 방법과 염료를 사용하는 방법 등이 있다. 염료를 사용하는 방법은 근해에서 해수의 표면 흐름을 파악하는데 가장 적합한 방법이지

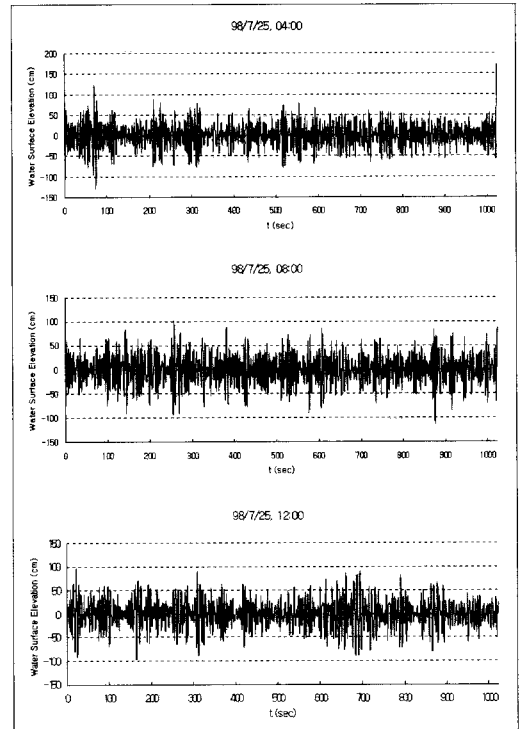


Fig. 4. Time series of water surface elevation

만 쇄파대에서는 염료투입 후 확산현상이 너무 빠르게 나타날 뿐만 아니라 쇄파에 의해서 투입염료에 대한 경계가 쉽게 흐트러져 버리기 때문에 사용상에 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 해빈류의 유속 및 유향관측을 위해 우선 측류관 형태의 부자를 이용하여 연안류의 유황을 관측하였으며, 유속의 보정을 위하여 전자유속계를 동시에 사용하여 측정하였다.

그리고 부자의 궤적을 파악하기 위하여 평판 및 트랜시를 이용하였으며 측정간격은 파랑의 특성이나 연안의 흐름 상태에 따라 달리 결정할 수 있으나 본 조사에서는 1~2분 간격으로 측정하고, 측정된 자료를 좌표와 연결하여 부자의 궤적과 유속을 구하였다. 그리

Table 1. wave data near Wolpo Harbor

duration	H_{max}		$H_{1/10}$		$H_{1/3}$		H_{mean}	
	Height (m)	period (sec)	Height (m)	period (sec)	Height (m)	period (sec)	Height (m)	period (sec)
'98. 6.25~8. 6	0.70	5.24	0.54	5.09	0.41	4.84	0.27	3.72

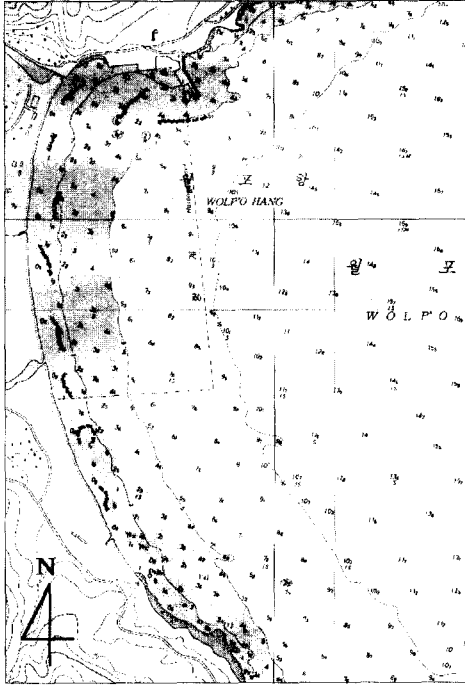


Fig. 5. Flow pattern of nearshore current

고 필요에 따라서 VTR에 의해 실시간 기록을 수행하고, 회상 해석 및 부자의 움직인 거리를 추적하여 거리에 따라 유속을 환산하여 유속계로부터 얻어진 결과와 비교하여 측정결과의 오차를 최소화하도록 하였다.

월포항 인근해역에 대한 해빈류관측은 Fig. 1의 10개 지점(A~J) 즉, 파랑 내습시 쇄파대 부근에서 수행하였다. 관측은 5월과 10월 2계절의 특성을 파악하기 위하여 2차에 걸쳐 수행하였으며, 그중 5월의 월포항 인근해역의 해빈류 경향은 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5는 전체적인 경향을 도시한 것이며, 절대적인 유속값은 Table 2에 나타내었다. 관측결과 월포항 방파제 선단해역(A)은 해안을 향하는 서향류가 약하게 나타나며, 월포항 방파제 배후해역(B,C,D)은 해안을 따라 남향류가 발생하였다. 그외 해역은 대부분 해빈을 따라 북향하는 흐름의 경향을 뚜렷히 나타내었으며, I지점에서

서는 국부적으로 순환하는 연안류 cell이 형성됨을 알 수 있었다. 월포항 주변 해역의 연안류 경향은 전반적으로 북향류가 탁월하였으며, 월포항 방파제 주변해역에서만 남향류가 발생함을 알 수 있었다.

Table 2는 1차와 2차의 관측결과를 지점별로 나타낸 유속이다. Table 2에서와 같이 월포항 방파제 부근의 A,B,C,D 지점의 남향류는 3.7cm/s~18.3cm/s 정도로 타 지점보다 상대적으로 약한 유속이 형성되었으며, 1, 2차 관측시 최대유속은 J 지점에서 발생하였다. 관측된 유속은 약 60cm/s 로 국지적인 변화가 큼을 알 수 있었다.

3. 계산조건 및 수치 모형실험

3.1 계산조건

본 연구의 대상해역인 월포항 주변해역에 대하여 해빈류 수치모형실험을 실시하였다. 수치계산을 수행하기 위한 입사파 제원을 얻기 위하여 인근해역에서의 기 관측된 파랑자료를 수집 분석하였으며, 월포항 인근 해역에서의 파랑관측은 해양수산부에서 포항 장기포 및 화진보조관측소를 통해 1989년 이후 측정되고 있으며 특히 화진관측소는 월포항 북측 약 4km지점에 위치하고 있어 금번 수행된 파랑관측과의 비교·검토를 통해 결정하였다. 화진파랑관측소에서 4계절 1년동안의 연속관측자료는 1995년 6월에서 1996년 5월까지의 관측결과가 제시되어 있으며 이때의 최대 유의파고를 본 월포항의 심해입사파로 환산하여 입사파제원으로 하였다. 입사파향은 대상해역의 주파향인 NE방향으로 취하였고, 대상해역의 심해파고 $H_{1/3}=2.80m$, 그리고 주기는 $T_{1/3}=11.3sec$ 을 사용하였으며, 타원형 환경사방정식 모형을 이용하여 심해역에서 월포항 인근해역까지의 광역에 대해 수치계산을 행하였으며 이 결과 본 파랑 관측지점 WC-1에서의 파고가 $H_{1/3}=1.4m$ 로 예측되었는 바 이는 1998년 7월 25일 10시경에 측정된 $H_{1/3}=1.33m$ 와 매우 유사한 결과임을 알 수 있다. 수치실험은 우선 타원형 환경사방정식 모형으로부터 심해역에서부터 대상해역에 이르기까지의 광역에 대해

Table 2. mean velocities of nearshore current(unit:cm/sec)

point	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1st. Obser.	3.7	4.1	4.7	18.3	15.3	22.3	15.1	37.6	31.4	60.1
2nd. Obser.	7.2	4.5	4.4	16.5	16.3	18.0	11.8	33.8	32.5	57.0

계산을 수행한 후 광역의 파랑변형 실험결과로부터 해빈류 실험을 위한 세부영역의 입사파 조건을 결정하고 실험영역내의 파랑이 정상상태에 이를 때까지 계산을 수행하였다. 대상해역에 대한 계산격자는 격자간격을 $\Delta x = \Delta y = 5m$ 로 하여 400×308 개의 격자수로 구성하였다. 계산에 사용된 반사율은 해안선에 대해서는 0.1로 하였으며, 사석방파제에 대해서는 0.4를 적용하였다. 해빈류계산시의 입력조건은 파랑의 실험결과를 사용하며 경계조건은 파랑 및 해빈류모형을 동일하게 적용하였으며 수평혼합계수 N 과 저면마찰계수 C_f 는 각각 0.016, 0.01로 하였다.

3.2 수치모형실험

본 연구에서 사용된 수치모형은 파랑계산영역과 해빈류장 계산영역으로 구분하며 파랑계산의 결과가 해빈류장 해석의 입력이 되도록 하여 계산을 수행하였다.

파랑모형의 계산은 유체의 운동 방정식과 연속 방정식을 수직 적분하여 파랑변형의 제 요인인 천수, 굴절, 회절, 반사 및 해저면 마찰과 쇄파에 의한 에너지 감쇠를 고려할 수 있는 Watanabe와 Maruyama(1986)의 시간의존 완경사 방정식을 기본방정식으로 사용하였다. 파랑의 운동은 수면변위 η 와 벡터 선유량 \vec{Q} 의 시간에 따른 변화를 계산하는 식으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + \frac{C^2}{n} \nabla(n\eta) + F\vec{Q} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{Q} = 0 \quad (2)$$

여기서, C : 파의 위상속도

C_g : 파의 군속도

n : 파의 위상속도에 대한 군속도의 비
($=C_g/C$)

t : 시간

F : 쇄파 및 해저면 마찰에 의한 에너지 감쇠계수($=F_f + F_d$)

식(1)에 부가된 에너지감쇠항 F 는 Yoo와 O'Connor(1987)의 마찰감쇠식 F_f 와 Watanabe와 Maruyama(1986)의 쇄파감쇠식 F_d 를 사용하였으며 다음과 같다.

$$F_f = 2 \frac{\delta}{g} \left(\frac{\sigma}{\sinh kh} \right)^3 C_f \quad (3)$$

여기서 $\delta = \frac{4}{3} \pi$

C_f : 저면마찰계수

$$= \exp[5.21 \left(\frac{K_s}{A_b} \right)^{0.194} - 6.67]$$

$$K_s/A_b < 0.5$$

$$= 0.12$$

$$K_s/A_b \geq 0.5$$

K_s/A_b : 조도비

$$F_d = 2.5 \tan \beta \sqrt{(g/h)(Q/Q_r - 1)} \quad (4)$$

여기서 $Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$

$$Q_r = 0.25 \sqrt{gh^3}$$

Q_x, Q_y : x, y방향 선유량의 진폭성분

$\tan \beta$: 쇄파대 부근의 평균해저면 경사

Q_r : 재생과 영역의 한계선유량 진폭

h : 수심

g : 중력가속도

모형의 경계는 입사파의 파고, 파향 및 주기가 주어지는 입사 경계와 파를 모형 영역 밖으로 통과시키는 투과 경계, 그리고 육지 및 구조물 등에 의한 임의 반사를 경계로 구분된다. 입사 및 투과 경계에서는 내부의 반사파가 원활하게 계산 영역 밖으로 방사될 수 있도록 하였으며, 임의 반사율 경계에서는 해안과 구조물의 형태에 따라 반사계수를 적절히 조정할 수 있다. 입사 경계조건과 계산조건이 주어지면 유한차분 양해법으로 기본 방정식을 풀어서 수위와 선유량 벡터를 계산하는데, 각 격자점의 파고와 파향은 파랑 한 주기 계산 종료마다의 결과를 이용하여 결정한다. 계산은 파고 분포가 준 정상상태에 도달할 때까지 수행하는데 앞 계산단계와의 파고비 변화가 1% 이하이면 준 정상상태에 도달한 것으로 간주하여 계산을 종료하였다.

해빈류 모형은 파랑변형수치계산결과를 이용하여 연안역에서의 파랑에 의한 흐름을 계산한다. 기본방정식은 파랑에 의한 잉여응력(radiation stress)을 계산한 후 이것을 외력으로 하는 천수 방정식으로서 다음과

같은 연속방정식과 운동방정식을 사용하였다.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [U(h + \bar{\eta})] + \frac{\partial}{\partial y} [V(h + \bar{\eta})] = 0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \\ & \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \\ & + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \left[\tau_{bx} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(L_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left(L_y \frac{\partial U}{\partial y} \right) \right\} \right] = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \\ & \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} \\ & + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \left[\tau_{by} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(L_x \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left(L_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right\} \right] = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $\bar{\eta}$ 는 정수면상 수위 상승량, U, V 는 평균유속의 x, y 방향 성분, 그리고 L_x, L_y 는 수평확산계수로서 Longuet-Higgins(1970)가 제안한 다음 식을 사용한다.

$$L_x = L_y \cong N\rho X \sqrt{gh} h \quad (8)$$

여기서, N : 수평혼합계수

X : 해안선에서 외해방향으로의 거리

한편, S_{ij} 는 잉여응력(radiation stress)으로서 다음 식과 같이 나타내어진다.

$$S_{xx} = E[(2n - 1/2) \cos^2 \theta + (n - 1/2) \sin^2 \theta] \quad (9)$$

$$S_{xy} = E/2n \sin 2\theta \quad (10)$$

$$S_{yy} = E[(2n - 1/2) \sin^2 \theta + (n - 1/2) \cos^2 \theta] \quad (11)$$

여기서, $E = \rho g H^2 / 8$

$$n = (1 + 2kh / \sinh 2kh) / 2$$

그리고, 해저면 마찰응력은 단일진행파를 대상으로 유도한 Nishimura(1985)의 근사식을 사용한다.

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_x = \rho C_f \left\{ \left[W + \frac{\omega_b^2}{W} \cos^2 \theta \right] \bar{U} \right. \\ \left. + \frac{\omega_b^2}{W} \cos \theta \sin \theta \bar{V} \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_y = \rho C_f \left\{ \frac{\omega_b^2}{W} \cos \theta \sin \theta \bar{U} + \right. \\ \left. \left[W + \frac{\omega_b^2}{W} \sin^2 \theta \right] \bar{V} \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서,

$$W = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{U^2 + V^2 + \omega_b^2 + 2(U \cos \theta + V \sin \theta) \omega_b} + \sqrt{U^2 + V^2 + \omega_b^2 - 2(U \cos \theta + V \sin \theta) \omega_b} \right\}$$

ω_b : 파에 의한 저면 수렴자 속도 성분의 진폭

$$= \frac{\sigma H}{\pi} \sinh k(h + \bar{\eta})$$

θ : 파의 진행방향이 x 축과 이루는 각도

연안류의 수치 계산은 유차차분 양해법을 사용하였으며, 외해에서는 개방경계조건을 적용하고 육지와 접하는 곳에서는 수위의 상승과 하강에 따라 경계를 이동하는 이동경계(moving boundary) 조건을 적용하였다. 수치계산에 있어서는 파랑변형실험 결과를 이용하여 잉여응력(radiation stress)를 구하고, 연안류의 계산결과가 정상상태에 도달할 때까지 계산하였다.

3.3 실험결과 및 비교·검토

월포항 인근해역에서의 파랑변형 및 해빈류에 대한 수치모형실험을 수행하였으며, 수치실험에 사용된 파랑은 황천시 파랑으로 화진관측소의 관측파랑(1995년 6월 ~ 1996년 5월)중 최대 유의파고를 심해입사파로 환산하여 사용하였다. 파랑변형 및 해빈류 실험은 동일한 계산영역에 적용하였으며, 해빈류 실험에서는 파랑변형실험 결과를 입력 자료로 이용하여 실험결과가 정상상태에 이를 때까지 계산하는 방법으로 실험하였

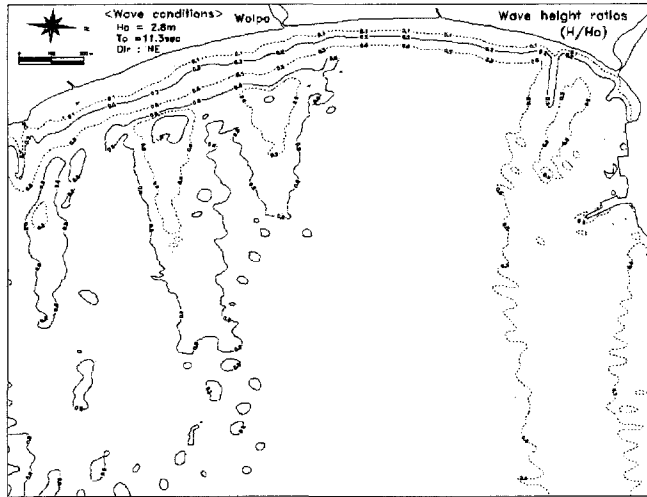


Fig. 6. Wave height ratio contours near Wolpo Harbor

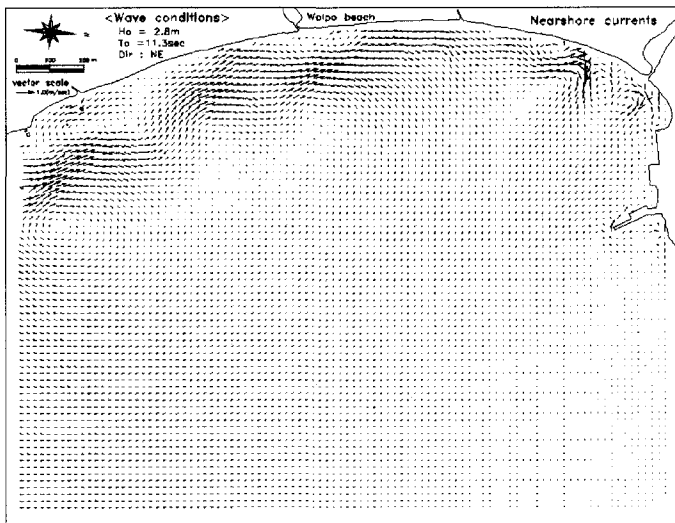


Fig. 7. Nearshore current vectors near Wolpo Harbor

다. 파랑변형실험을 위한 입사파조건을 결정하기 위해 월포항 주변 일대의 황천시 파랑에 대한 광역 실험을 수행하였으며 광역의 수치계산 결과 입사파 재원은 $H_{1/3}$ 이 1.1m ~ 2.1m, 파향은 $N78^{\circ} E \sim N81^{\circ} E$ 로 분포하고 있다.

파랑변형 수치실험의 결과는 Fig. 6에 등파고비선도로서 나타내었으며 그림에서 보듯이 월포항 물양장에서 약 200m 떨어진 천퇴형수심 해역에는 심해입사파의 0.5배 전후의 파고비가 분포하고 있다. 강한 회절

현상을 보이는 방파제 두부측 주변에는 0.5이하의 파고비가 나타나고 있으며, 물양장 전면과 방파제 배후면에는 심해입사파의 0.2배에 달하는 파고가 침입하고 있다.

흐름에 대한 수치계산은 먼저 파랑변형수치계산의 결과로부터 쇄파후의 잉여응력을 구할 수 있고 계산된 잉여응력으로부터 해빈류 계산이 수행되며 그 결과는 Fig. 7에 나타난 해빈류벡터로 확인할 수 있다. Fig. 7로부터 파랑에 의해 형성되는 해빈류는 월포항 해안

선을 따라 전반적으로 북향류가 탁월하게 나타나고 있으며 일부는 이안류로 전환되어 외해역으로 이동되며 외해측에서는 남향류의 약한 연안류를 형성하고 있다. 이같은 해빈류 특성은 일종의 순환류를 형성하고 있으며 방파제 두부측에서는 항내로 유입되는 흐름이 발생하고 있으며, 물양장 전면 해안선 부근에서는 다소 불규칙한 흐름이 형성되어 항외로 빠져나가는 이안류의 경향이 나타나고 있고 소규모의 순환류도 이 부근에서 국지적으로 나타나고 있다. 이같은 경향은 해빈류 관측 결과와 대체로 유사한 경향을 보이고 있는데 Fig. 5에서 알수 있듯이 월포해수욕장 전면에서는 전반적으로 북향류가 그리고 월포항 부근에서는 전체적으로 남향류가 형성되고 있음을 보이고 있어 해빈류수치계산결과는 실제 월포항 주변해역의 해빈류 특성을 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 경상북도 포항시에 위치한 월포항 및 인근해역을 대상으로 해빈류 특성에 관한 현지관측과 파랑 및 해빈류 수치모형 실험을 실시하였고 그 결과 수치실험의 결과와 현지관측결과가 대체로 잘 부합하고 있음을 알 수 있었다. 해빈류의 특성은 월포해수욕장 전면에서는 전체적으로 북향류의 연안류가 탁월하며 월포항 부근에서는 크기가 다소 미약한 남동향류가 주 흐름으로 예측·조사되었다.

해빈류의 특성은 질량수송류로 나타나며 이같은 흐름은 표사이동을 일으키며 특히 우리나라 동해안에서 문제가 되고 있는 해빈변형, 항로 및 항내 매몰의 주 원인이 되므로 해빈류의 재현정도가 가장 중요한 요소가 될 것이다. 따라서 보다 엄밀한 예측을 위해서는 파랑 및 해빈류의 상세한 현지관측 및 검증 그리고 적용성 검토가 요구된다 하겠다. 비록 본 연구에서는 해빈류특성만을 대상으로 하였으나 해빈류에 의한 표사이동 및 해저지형 변동에 관한 현지관측 및 수치해석에 관한 적용성 및 검토가 계속 되어져야만 할 것이다.

참 고 문 헌

Basco D. R.(1982). "Surf zone currents." Misc. Rept., Vol. 1, No. 82-7(I). U.S. Army, CERC.
 Copeland G. J. M.(1985). "A practical alter-

native to the mild slope equation." *Coastal Eng.* No. 9, pp. 125~149.

Ebersole B. A. and Dalrymple R. A.(1979). "A numerical model for nearshore circulation including convective accelerations and lateral mixing", *ONR Tech. Rept. 4, Ocean Engineering Rept. 21*, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Delaware, Newark, DE.

Kuriyama Y. and Ozaki Y.(1993) "Longshore current distribution on a bar-trough beach-Field measurements at HORF and numerical model-" *Report of PHRI*, Vol. 32, No. 3, pp. 3~37.

Larson M. and Kraus N.C.(1991). "Numerical model of longshore current for bar and trough beaches." *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, Vol. 117, No. 4, ASCE, pp. 326~347.

Longuet-Higgins M. S.(1970). "Longshore current generated by obliquely incident sea waves, 1 & 2." *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, No. 33. pp. 6778~6801.

Nishimura H., Maruyama K. and Sakura T.(1985). "On the numerical computation of nearshore currents." *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 28, pp. 137~145.

Watanabe A. and Maruyama, K.(1986). "Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking." *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 29, pp. 19~39.

Yoo D. and O'Connor, B. A.(1987). "Bed friction model of wave-current interacted flow." *Proc. Coastal Hydrodynamics*, ASCE, pp. 93~106.

田中寛好, 和田 明(1980). "海浜流の発生機構に関する 実験的研究", 第25回 海岸工学講演會論文集, pp. 153~157.

(논문번호:00-034/접수:2000.05.29/심사완료:2000.10.11)