

제주외항 건설에 따른 주변 해역의 해빈류 변화 예측

A Simulation of Wave Induced Current Around the Jeju New Harbor

곽 문 수* / 편 종 근**
Kwak, Moon Su / Pyun, Chong Kun

Abstract

In this study, the change of the current in the coastal zone before and after the construction of Jeju new harbor was predicted by using the numerical model, which uses Hardy-Cross method. The numerical model was carried out for the present state, before the construction, and the state after the construction, and for the wave direction the NNW direction for winter and NE direction for summer were tested so that the seasonal change may be considered. The computation result shows that a large amount of the wave induced current was occurred when there were high waves coming in from NNW direction before and after the construction. Also, before the construction a longshore current occurred moving from the west to the east at the new harbor construction site so that it formed a rip current in the Hwabuk-dong front sea. And also, after the construction, the rip current produced changed into nearshore circulating current and a small circulating current appeared at the harbor entrance. On the other hand, at Samyang beach, which is 3.0km away from the new harbor in the NE direction, shows that there was a longshore current occurred from the west to the east, which is in the opposite direction the new harbor, and the effect on the new harbor by sediment transport at Samyang beach is thought to be very small.

Key words : Wave induced current, Hardy-Cross method, Numerical analysis, Jeju new harbor

요 지

본 연구에서는 하디크로스법을 적용한 해빈류 해석 수치모델을 사용하여 제주외항의 건설전, 후에 대한 주변 해역의 흐름 변화를 예측하였다. 수치계산은 외항 건설전의 현재상태와 구조물 완공후의 상태에 대하여 실시하였고, 파향은 계절적인 변화를 고려하여 겨울철 NNW방향과 여름철 NE방향을 각각 검토하였다. 계산결과는 건설전, 후 모두 겨울철 NNW방향의 고파랑 내습시 해빈류가 크게 발생하였다. 또한, 건설전에는 외항 건설 예정해역에서 서쪽에서 동쪽으로 향하는 연안류가 발생하여 화북동 전면해역에서 이안류를 형성하였지만, 건설후에는 화북동 전면해역에서 이안류가 순환류의 형태로 변화하였으며, 외항 입구에서 작은 순환류가 나타남을 볼 수 있었다. 한편, 외항에서 북동쪽으로 3.0km떨어진 삼양해수욕장 주변의 흐름분포는 외항과 반대방향인 서쪽에서 동쪽으로 연안류가 발생하고 있음을 알 수 있었으며, 해수욕장의 표사이동에 의해서 외항에 미치는 영향은 매우 작을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해빈류, 하디크로스법, 수치해석, 제주외항

1. 서 론

파랑에 의하여 발생된 해빈류는 파의 변형 및 해안

표사를 통하여 해빈에 물리적인 영향을 미친다. 특히 방파제, 돌제등 해안구조물의 주변에서는 해빈류가 부유상태의 표사를 운반하여 해안지형의 변화를 일으키

* 정희원, 명지전문대학 토목과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Myongji College, Seoul, 120-776 (moonsu@mail.mjc.ac.kr)

** 명지대학교 토목환경공학과 교수

Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Myongji University, Kyonggi, 449-728

며, 연안역에서는 오염물질의 확산에 커다란 영향을 주고 있다. 해안침식현상에 커다란 영향을 미치는 해빈류는 구조물 건설전, 후의 변화를 파악하여 해안방재측면에서 설계에 반영하여야 할 것이다.

해빈류에 관한 이론적 해석은 반세기 이상에 걸쳐서 발전하였다. 최초에는 현상의 공학적인 인식과 통계적인 관측이 실시되었고(Shepard, 1950), 그것을 기반으로 하여 연안류(longshore current), 이안류(rip current), 평균수위의 변화(wave set-up)등 해빈류 계통의 체계적 연구와 해빈순환류의 발생기구에 대한 이론적인 접근이 활발히 진행되었다. 또, Longuet-Higgins·Stewart (1970)의 연안류에 대한 연구는 그때까지의 연구와는 전혀 다른 radiation stress라고 하는 새로운 응력의 이론적 도출에 기초하여 이루어졌다. 이것이 해빈류에 관한 연구에 획기적인 변화를 주게 되었다. Radiation stress의 개념 제기는 파랑과 해빈류의 본질적인 관계를 설명하였고, 파랑의 분포로부터 해빈류를 계산하는 기반을 제공하였다. Longuet-Higgins등(1960)은 파장이 짧은 파가 흐름이나 파장이 긴 파와 상호작용하였을 때의 파랑변형을 이론적으로 해석하는 경우에 이 개념을 제시하였으며, 동시에 이 개념이 다른 문제의 해결에도 중요한 의미를 가질 것으로 판단하였다. 그 후, radiation stress의 개념을 이용하여 연안류의 유속 분포를 정량적으로 평가하였고(Longuet-Higgins, 1970), 여기서 유도한 단일진행성 파동장에 있어서의 잉여응력(radiation stress) 평가식은 현재도 널리 사용되고 있다.

한편, 중북파랑장에 대한 radiation stress의 평가에는 Mei의 방법이 유용하다. Mei는 운동방정식에 있어서 수평유속을 평균유속, 파동유속 및 난류의 합으로 표시한 후, 연직방향으로 해저면에서 수면까지 적분하고 시간평균을 취함으로써 평균류에 대한 운동량보존식을 유도하였다. 그리고 평균류 이외의 잉여운동량 flux항을 파동과 난류의 기여 부분으로 나누어 파동에 의한 잉여운동량flux(excess momentum fluxes)를 도출하고, 파에 따른 radiation stress로서 정의하였다. 이 평가식은 일반적인 파동장에 적용가능하고, 특히 진행 파동장에 대해서는 Longuet-Higgins등(1962, 1964)의 평가식으로 귀착된다.

해빈류 현상은 유속과 수위에 관한 연속방정식과 운동방정식으로 구성된 연립 미분방정식계에 의하여 기술된다. 이 연립 미분방정식은 비선형 미분방정식으로서 해를 구하기 위해서는 수치해석적인 방법이 필요하며, 그 방법으로는 차분방정식을 시간의존적으로 푸는 비정상 수치해석법(Ebersole and Dalrymple, 1980;

Nishimura et al., 1984)과 시간의존항을 소거하여 정상상태의 흐름장을 해석하는 정상수치해석법(Noda, 1974; Nishimura, 1982)등이 있다. 비정상 수치해석법은 초기 정상상태로부터 정상상태에 이르기까지 많은 반복계산이 요구되며, 마찰계수 및 수평확산계수 값의 설정에 따라 계산의 안정성 확보가 매우 어렵다. 이에 반하여 정상해석법은 정상해에 직접 접근하는 방법으로서 계산의 시간적 경제성과 안정성 확보에 유리하다.

본 논문에서는 Hardy-Cross법을 이용한 해빈류 해석 모형을 사용하여 제주의항의 건설전, 후에 따른 주변 해역의 해빈류장의 변화를 예측하였다. 또한 제주의항 북동쪽 3.0km 지점에 위치하여 외항 주변의 표사공 급원으로 예상되는 삼양해수욕장의 표사이동 경로를 파악하여 항 건설 후 주변 해역에 미치는 영향을 예측하였다.

2. 흐름장의 기초방정식

2.1 연속방정식 및 운동방정식

엄밀히 말하면 radiation stress에 기인하는 흐름은 수평방향이나 연직방향으로 변화한다. 최근에는 undertow 등, 흐름의 연직분포에 관한 연구도 시작되었다. 그러나 현 시점에서는 광범위한 해빈류를 3차원으로 다루는 것은 곤란하고, 여기에서는 연직방향으로 평균한 평균류를 다루기로 한다.

파에 의한 해빈류 현상의 기초방정식은 연직방향으로 평균된 2차원 연속방정식과 운동방정식이다. Fig. 1의 직교좌표계에서 심해에서 해안방향으로 x축, 연안방향으로 y축을 취한다. x, y축 방향의 유속성분을 각각 u, v로 하고, 평균수위의 상승량(wave set-up)을 ζ 로 하면, 비정상 상태의 연직 평균류에 관한 기초방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다(本間 등, 1985).

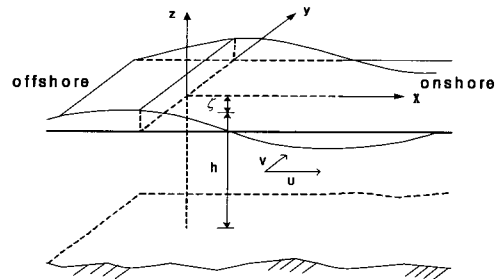


Fig. 1 Coordinate system and definition of variables

연속방정식:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial u(h + \zeta)}{\partial x} + \frac{\partial v(h + \zeta)}{\partial y} = C \quad (1)$$

운동방정식:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + F_x - M_x + R_x + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + F_y - M_y + R_y + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서, h 는 정수심, t 는 시간이고, 식(2), (3)의 제4항은 마찰항, 제5항은 수평확산항, 제6항은 radiation stress항이다.

2.1.1 마찰항

정상류에 있어서 저면마찰의 표시식을 그대로 이용하면, 파와 흐름의 공존장에서 마찰력의 평균치는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$F_x = \frac{c_f}{h + \zeta} \sqrt{(u + u_b)^2 + (v + v_b)^2} \quad (4)$$

$$F_y = \frac{c_f}{h + \zeta} (v + v_b) \sqrt{(u + u_b)^2 + (v + v_b)^2} \quad (5)$$

여기서, c_f 는 마찰계수로서 통상 0.01 정도의 값이 이용되고 있다. 파에 따른 저면 근방의 수렴자 속도의 x , y 축 방향 성분 u_b, v_b 는 시간의 함수이고, 식 중의 $-$ 는 시간평균치를 나타낸다.

단일진행파의 경우 미소진폭파 이론에 따르면,

$$u_b = \frac{\pi}{2} w_b \cos \alpha \cos \sigma t \quad (6)$$

$$v_b = \frac{\pi}{2} w_b \sin \alpha \cos \sigma t \quad (7)$$

$$w_b = \sigma H / \{ \pi \sinh k(h + \zeta) \} \quad (8)$$

여기서, H 는 파고, σ 는 각주파수, k 는 파수, α 는 파의 진행과 x 축이 이루는 각이다.

수치계산의 편리를 도모하기 위하여, 식(4), (5)를 한 주기 평균하고 근사식으로 유도하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다(Nishimura, 1982).

$$F_x = \frac{c_f}{h + \zeta} \left\{ \left(W + \frac{w_b}{W} \cos^2 \alpha \right) u + \frac{w_b^2}{W} \cos \alpha \sin \alpha V \right\} \quad (9)$$

$$F_y = \frac{c_f}{h + \zeta} \left\{ w_b \cos \alpha \sin \alpha U + \left(W + \frac{w_b}{W} \sin^2 \alpha \right) \right\} \quad (10)$$

제주의항 건설에 따른 주변 해역의 해빈류 변화 예측

$$W = \left\{ \sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2} + 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b \right. \\ \left. + \sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2} - 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b \right\} / 2 \quad (11)$$

2.2.2 수평확산항

수평확산항은 일반적으로 다음과 같이 기술된다.

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (12)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (13)$$

수평확산계수 ε 에 대해서는 Longuet-Higgins(1990)의 식

$$\varepsilon = N l \{ g(h + \zeta) \}^{1/2} \quad (14)$$

을 이용하였다. 여기서, N 은 계수로서 0.016이하의 값을 사용한다(本間 등, 1985). l 은 수평 와동의 크기를 표시하는 이안거리이다. N 값이 계산의 수렴속도, 안정성 및 흐름장의 계산결과에 큰 영향을 미치는 것은 종래부터 추측되었다.

2.1.3 Radiation stress 항

Radiation stress는 파의 존재에 의해서 발생하는 잉여운동량이다. 임의수심의 파랑장에서는 radiation stress의 경사에 따라 평균적인 외력이 해수에 작용하고, 이것이 평균수위의 변화와 해빈류를 발생시킨다.

$$R_x = \frac{1}{\rho(h + \zeta)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (15)$$

$$R_y = \frac{1}{\rho(h + \zeta)} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (16)$$

여기서 ρ 는 해수의 밀도이고, $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 는 파에 따른 radiation stress 텐서이다.

2.2 경계 조건

일반적으로 계산영역에서는 측면경계, 해안경계, 외해경계가 있고, 경계의 성질로서는 폐경계와 개경계가 있다. 본 계산에서는 계산경계를 격자선에 따라 설정하고, 이것을 횡단하는 유속성분을 조건으로 부여하였다.

먼저, 폐경계는 가장 다루기 쉬운 경계이다. 경계에 수직인 방향의 유속을 0으로 하고, 경계에 평행한 방향의 유속, 수위 등의 변화율을 0으로 한다. 외해경계는

수심이 충분히 깊은 심해 영역까지 계산영역을 설정하면 그곳에서는 해빈류가 존재하지 않을 것이므로 경계 조건으로서 유속을 0으로 한다. 수위에 대해서는 조건이 필요 없지만, 영역 내 해면전반의 승강을 규제하기 위하여, 외해 측 끝단의 1점에서 평균수위의 상승량을 0으로 부여한다. 측면경계는 연안류가 탁월한 긴 해안선의 경우에는 관심대상이 되는 수역의 외측으로 측면 경계를 설정하고, 그곳에서는 실상에 따라 유속을 부여한다. 특별히 뚜렷한 흐름이 없는 경우에는 그 부근에서 수위, 유속 모두 연안방향으로 일정하게 처리한다. 안측경계는 수심이 매우 얇은 영역의 계산에서는 안정성의 유지가 문제가 된다. 예를 들면 안정계산이 이루어져도 얻어진 결과가 합리적인 물리적 의미를 갖지 못하므로 어느 일정한 실질수심을 한계로 정하고 대응하는 등수심을 따라 벽면경계를 상정하는 것이 현실적이다.

3. Hardy-Cross법에 의한 흐름 해석

본 계산법에서는 Fig.2에 표시한 것처럼, 서로 이웃하는 4개의 수위 계산점 및 유속 계산점을 하나의 계산단위로 한다. 각 유속성분의 계산점마다 주어진 운동방정식 (2), (3)을 차분화하여 연속방정식으로부터 시간 미분항을 소거하면 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$A_{xi,j}U_{i,j} + B_{xi,j} + g(\zeta_{i+1,j} - \zeta_{i,j})/\Delta S = 0 \quad (17)$$

$$A_{yi,j}V_{i,j} + B_{yi,j} + g(\zeta_{i,j+1} - \zeta_{i,j})/\Delta S = 0 \quad (18)$$

마찬가지로, $U_{i,j+1}$ 및 $V_{i+1,j}$ 의 계산점에 대해서도 다음의 식이 얻어진다.

$$A_{xi,j+1}U_{i,j+1} + B_{xi,j+1} + g(\zeta_{i+1,j+1} - \zeta_{i,j+1})/\Delta S = 0 \quad (19)$$

$$A_{yi+1,j}V_{i+1,j} + B_{yi+1,j} + g(\zeta_{i+1,j+1} - \zeta_{i+1,j})/\Delta S = 0 \quad (20)$$

여기서 A_x , A_y , B_x , B_y 는 주변의 유속에 의존하는 계수이다.

한편, 평균수위의 계산점마다 주어진 연속방정식 (1)은 정상류에 대하여 다음 식과 같이 표시된다.

$$d_{xi,j}U_{i,j} + d_{xi-1,j}U_{i-1,j} + d_{yi,j}V_{i,j} - d_{yi,j-1}V_{i,j-1} = 0 \quad (21)$$

$$d_{xi,j+1}U_{i,j+1} + d_{xi-1,j+1}U_{i-1,j+1} + d_{yi,j+1}V_{i,j+1} - d_{yi,j}V_{i,j} = 0 \quad (22)$$

$$d_{xi+1,j+1}U_{i+1,j+1} + d_{xi,j+1}U_{i,j+1} + d_{yi+1,j+1}V_{i+1,j+1} - d_{yi+1,j}V_{i+1,j} = 0 \quad (23)$$

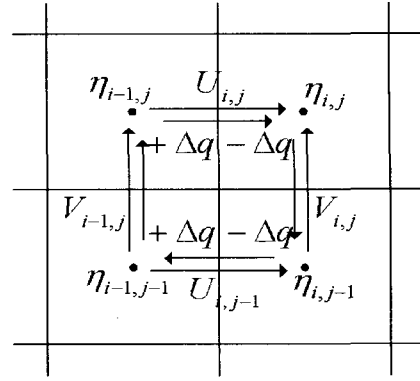


Fig. 2 Computational meshes

$$d_{xi+1,j}U_{i+1,j} + d_{xi,j}U_{i,j} + d_{yi+1,j}V_{i+1,j} - d_{yi+1,j-1}V_{i+1,j-1} = 0 \quad (24)$$

여기서, $d = h + \zeta$ 는 평균수위의 상승을 고려한 실질수심으로서, 유속 계산점마다 정의되므로 양측의 수위 계산점에서의 d 값을 단순평균하여 구한다. 즉

$$d_{xi,j} = (h_{i,j} + \zeta_{i,j} + h_{i+1,j} + \zeta_{i+1,j})/2 \quad (25)$$

$$d_{yi,j} = (h_{i,j} + \zeta_{i,j} + h_{i,j+1} + \zeta_{i,j+1})/2 \quad (26)$$

이다.

운동방정식 (17)~(20)으로부터 수위항을 소거하면 다음의 식이 얻어진다.

$$A_{xi,j}U_{i,j} + B_{xi,j} - A_{xi,j+1}U_{i,j+1} - B_{xi,j+1} - A_{yi,j}V_{i,j} - B_{yi,j} + A_{yi+1,j}V_{i+1,j} + B_{yi+1,j} = 0 \quad (27)$$

이것은 벡터로 표기된 운동방정식을 rotation을 취하고, 평균수위항 $(1/g)grad\zeta$ 을 소거한 것에 대응하는 차분방정식이다.

우리는 연속방정식 (21)~(24)를 만족하고, 동시에 식 (27)를 만족하도록 $U_{i,j}$, $U_{i,j+1}$, $V_{i,j}$, $V_{i+1,j}$ 등의 유속값을 정해야만 한다. Hardy-Cross법에 있어서는 이들 유속값이 항상 연속방정식 (21)~(24)를 만족하도록 설정하고, 아울러 식 (27)를 만족시키기 위해서 Fig.2에 표시한 것처럼 순환유량 Δq 를 보정한다. 이때, 4개의 유속성분의 현재값을 $U_{i,j}^{(0)}$, $U_{i,j+1}^{(0)}$, $V_{i,j}^{(0)}$, $V_{i+1,j}^{(0)}$ 로 하면, 보정된 유속은

$$U_{i,j} = U_{i,j}^{(0)} + \Delta q / d_{xi,j}$$

$$U_{i,j+1} = U_{i,j+1}^{(0)} - \Delta q / d_{xi,j+1}$$

$$V_{i,j} = V_{i,j}^{(0)} + \Delta q / d_{y_i,j}$$

$$V_{i+1,j} = V_{i+1,j}^{(0)} + \Delta q / d_{y_{i+1},j} \quad (28)$$

이 된다. 도입된 단일의 미지량 Δq 는 식(27)을 만족하도록 결정한다. 여기서 식(27)중의 계수 $A_{x_i,j}, A_{y_i,j}$ 등은 미지의 유속을 포함하므로 동식은 4개의 유속값에 대하여 비선형이 된다. 어쨌든 식(27)을 풀기 위해서는 계산 단위마다 위 계산을 반복하게 되므로 계산의 편리를 위하여 계수중의 $U_{i,j}, V_{i,j}$ 등을 현재값 $U_{i,j}^{(0)}, V_{i,j}^{(0)}$ 등으로 치환하여 선형화를 시도한다. 이렇게 하여 Δq 를 만족하는 방정식은 다음식과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} & (A_{x_i,y} / d_{x_i,j} + A_{x_i,y+1} / d_{x_i,j+1} + A_{y_i,j} / d_{y_i,j} \\ & + A_{y_{i+1},j} / d_{y_{i+1},j}) \Delta q + A_{x_i,j} U_{i,j}^{(0)} + B_{x_i,j} \\ & - A_{x_{i,j+1}} U_{i,j+1}^{(0)} + B_{x_{i,j+1}} - A_{y_i,j} V_{i,j}^{(0)} - B_{y_i,j} \\ & + A_{y_{i+1},j} V_{i+1,j}^{(0)} + B_{y_{i+1},j} = 0 \end{aligned} \quad (29)$$

식(29)로부터 보정유량 Δq 가 정해지면, 식(21)~(24)로부터 보정된 유속값과 식(17)~(20)으로부터 보정된 평균수위가 산정된다.

또한, 식(29)에서 Δq 를 포함하지 않는 항 전체는 식(27)의 좌변과 같고, $U_{i,j}^{(0)}, U_{i,j+1}^{(0)}, V_{i,j}^{(0)}, V_{i+1,j}^{(0)}$ 등의 유속값에 대한 동식의 잔차에 해당한다.

일반적으로 외해 경계의 1점에서 평균수위가 고정되므로, 각점의 평균수위 계산의 편의상 수치계산은 심해로부터 해안방향을 향하여 계산단위마다 반복계산한다. 개개의 계산에 있어서, 유속이 결정된 후에 평균수위가 다시 변경되므로, 연속방정식에 얼마의 잔차가 생길 가능성이 있다. 이것이 계산의 진행과 함께 누적되지 않도록 유속값의 미세조정에 의하여 그때마다 해소시킬 필요가 있다.

4. 해빈류의 수치계산

4.1 계산조건

본 연구에서는 제주외항의 건설에 따른 흐름변화를 예측하기 위하여 구조물 평면배치를 건설 전과 건설 후로 구분하였다. 그리고 계절에 따른 흐름경향을 파악하기 위하여 겨울철 풍향인 NNW방향과 여름철 풍향인 NE방향에 대하여 각각 계산하였다. 계산영역은 제주외항을 중심으로 표사공급 예상지역인 삼양해수욕장까지 포함하여, NNW방향은 7.2km x 4.0km, NE방향은 7.2km x 4.7km

제주외항 건설에 따른 주변 해역의 해빈류 변화 예측

로 구성하였다(Fig. 3). 수심자료는 해도 No. 244, 248, 252와 현장관측 수심도를 합성한 지형도를 이용하였으며(Fig. 4, Fig. 5), 여기서는 dry bed의 문제를 피하기 위하여 정선부근의 수심 0.2m 위치에 직립벽을 상정하였다. 단 해안으로부터의 파의 반사는 무시하였다. 그리고 격자간격은 20m 등방격자를 채용하였다.

Table 1. Incident wave conditions

파향	NNW	NE
파고(m)	4.4	2.6
주기(sec)	9.0	7.0

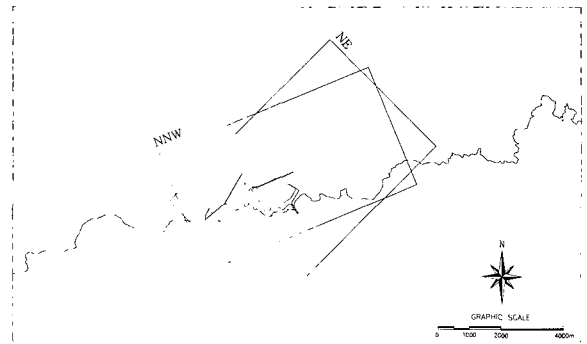


Fig. 3 The location map of computational region

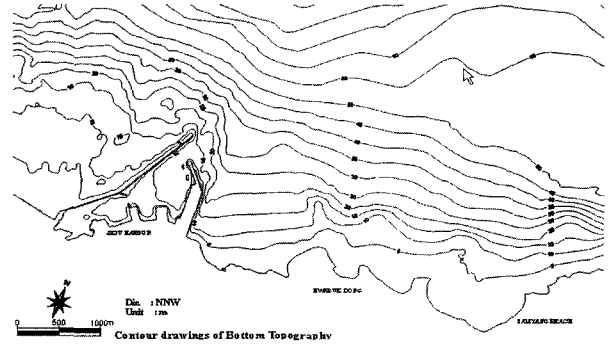


Fig. 4 Contour drawings of bottom topography (NNW)

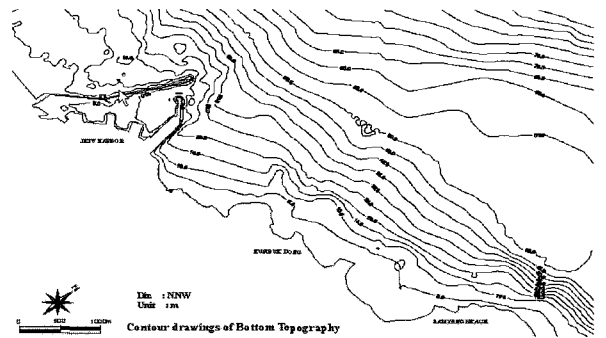


Fig. 5 Contour drawings of bottom topography (NE)

4.2 파랑장의 계산

대상영역의 파랑계산은 평상파랑을 대상으로 하였으며 다방향 불규칙파를 해석할 수 있는 에너지평형방정식 모형을 사용하였다. 그리고 계산영역의 외해측 입사파 조건은 Table 1에 나타난 바와 같이 NNW방향은 파고 4.4m, 주기 9.0sec이고, NE방향은 파고 2.6m, 주기 7.0sec이다. 조위는 삭망평균만조위 2.93m로 보정하였다.

파랑장의 계산결과는 등파고선으로 표시하여, NNW방향은 Fig. 6과 Fig. 7, NE방향은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. NNW방향의 경우, 항 건설전의 파고 결과는 화북동 전면 해역에서 굴절변형의 효과로 파랑이 집중되는 경향을 나타냈으나 건설 후 외항 서방과제의 차폐효과로 이러한 파랑집중 현상은 나타나지 않고 있다. NE방향의 경우는 외항 방파제에 의한 회절파를 제외하고는 항 건설 전·후의 파랑장 변화는 나타나지 않고 있다.

4.3 흐름장의 계산

해빈류 계산의 영역과 격자간격은 파랑장 계산과 동일하다. 그리고 해저면의 마찰계수는 0.01로 하였고, 수평확산계수에 사용되는 정수 N은 0.016을 적용하였다. 조위는 삭망평균만조위 2.93m로 보정하였다. 한편, 해안의 정선근방에서는 수심이 아주 작을 경우 평균수위 변

동에 의하여 dry bed가 발생하여 계산이 복잡해지므로 최소수심을 0.2m로 하였다. 만일 정수심이 이보다 작은 영역은 육지로 판단하여 그곳에 폐경계를 설정한다.

해빈류장의 계산결과는 평면유속 벡터로 표시하여, NNW방향은 Fig. 10과 Fig. 11, NE방향은 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

먼저 항 건설 전의 해빈류 분포를 살펴보면, NNW방향은 겨울철 고파랑의 내습으로 인하여 전 영역에서 강한 흐름이 발생함을 알 수 있다. 외항 건설예정 지역에서는 두 파향 모두 해안을 따라 서쪽에서 동쪽으로의 연안류가 발생하였고 화북동 전면 해역에서 이안류가 뚜렷이 나타났다. 그리고 표사공급 예상지역인 삼양해수욕장 전면해역은 NNW 파랑 내습시 서쪽에서 동쪽으로 연안류가 발생하였고 NE파랑 내습시는 해수역장 전면에서의 흐름이 미약하였다.

항 건설 후의 해빈류 분포는, 외항 배후 해안지역에서는 연안류가 발생하지 않으며, 두 파향 모두 화북동 전면 해역에서는 건설전의 이안류가 순환류의 형태로 변화됨을 알 수 있었다. 또한 삼양해수욕장 전면 해역은 외항과 반대 방향인 서쪽에서 동쪽으로의 연안류가 발생하였고 항 건설 전의 흐름분포와 유사하였다.

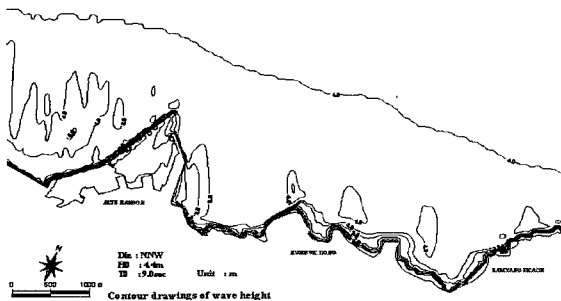


Fig. 6 Distribution of wave height (NNW, before construction)

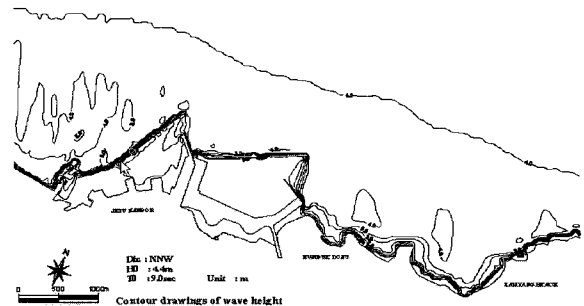


Fig. 7 Distribution of wave height (NNW, after construction)

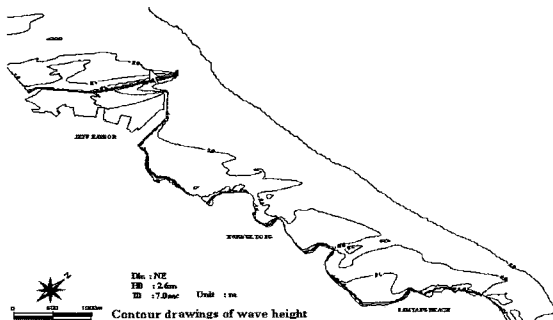


Fig. 8 Distribution of wave height (NE, before construction)

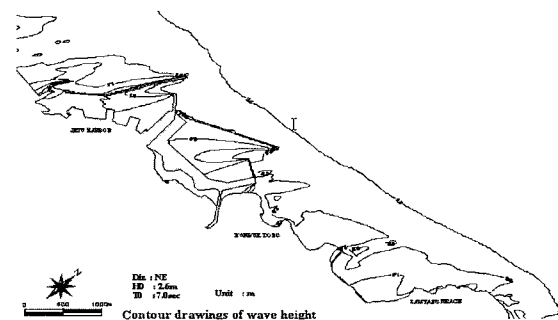


Fig. 9 Distribution of wave height (NE, after construction)

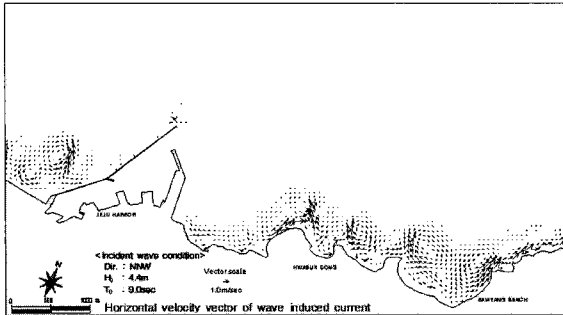


Fig. 10 Horizontal velocity vector of wave induced current (NNW, before construction)

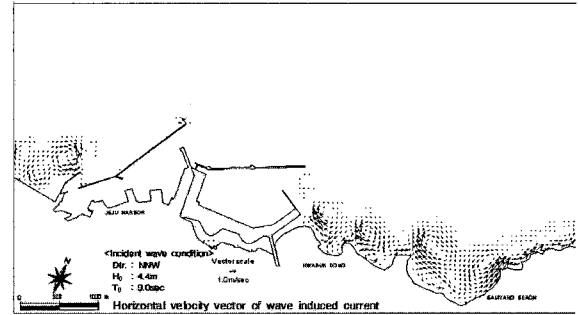


Fig. 11 Horizontal velocity vector of wave induced current (NNW, after construction)

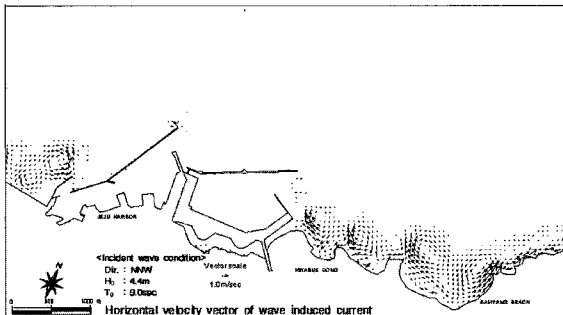


Fig. 12 Horizontal velocity vector of wave induced current (NE, before construction)

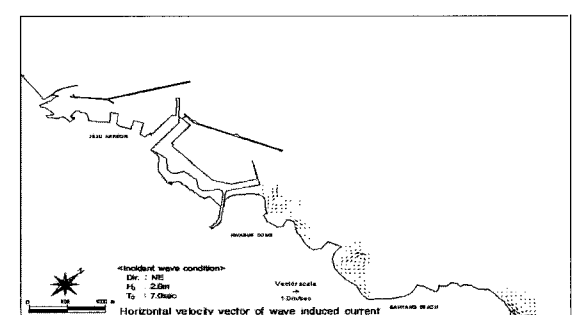


Fig. 13 Horizontal velocity vector of wave induced current (NE, after construction)

5. 결 론

본 논문에서는 Hardy-Cross법을 이용한 해빈류 해석 수치모형을 사용하여 제주외항의 건설에 따른 주변 해역의 해빈류장 변화를 예측하였다. 계산 조건은 항의 건설 전과 후의 해빈류 변화를 비교하기 위하여 지형 조건을 현재상태와 항 완공후의 구조물 배치상태로 구분하였으며, 파향조건은 계절에 따른 흐름패턴을 파악하기 위하여 겨울철 NNW방향과 여름철 NE방향을 선택하였다. 해빈류장의 계산결과를 겨울철 NNW파랑의 내습시 전 해안역에서 강한 흐름이 발생함을 알 수 있었으며, 외항 건설로 인하여 화북동 전면해역에서 이안류의 흐름이 순환류의 흐름패턴으로 변화됨을 확인할 수 있었다. 또한 건설 후의 항 입구에서는 건설 전에 볼 수 없었던 순환류가 뚜렷이 나타났으며 이러한 흐름현상으로 표사의 퇴적이나 오염물질의 정체가 발생할 가능성도 있다. 한편, 제주외항 주변 해역의 표사공급원으로 예상되는 삼양해수욕장 주변 해역의 흐름분포는 외항과 반대 방향인 서쪽에서 동쪽으로의 연안류가 발생하였으며, 해수욕장의 표사이동에 의해서 외항에 미치는 영향은 작을 것으로 예상된다.

제주외항 건설에 따른 주변 해역의 해빈류 변화 예측

참 고 문 헌

- Ebersole, B.A. and Dalrymple, R.A. (1980) Numerical Modeling of Nearshore Circulation, *Proc. 17th ICCE, ASCE*, pp. 271-272.
- Karlsson, T. (1969) Refraction of continuous ocean wave spectra, *ASCE, Vol. 95, No. WW4*, pp. 437-448.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., (1960) Changes in the form of short gravity waves on long waves and tidal currents, *J. Fluid Mech.*, Vol. 8, pp. 565-583
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., (1962) Radiation stress and mass transport in gravity waves with application to "Surf beat", *J. Fluid Mech.*, Vol. 10, pp. 481-504.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., (1964) Radiation stress in water waves-A physical discussion with application, *Deep-sea Res.*, Vol. 11, No. 4, pp. 529-562.
- Longuet-Higgins, M.S., (1970) Longshore currents

generated by obliquely incident sea waves, *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, pp. 6778-6801.

Mei, C.C., (1983) The applied dynamics of ocean surface wave, John Wiley and Sons, pp. 464-465.

Nishimura, H. (1982) Numerical simulation of the near-shore Circulation, Proc. 29th. Japanese Conf.on Coastal Eng., JSCE, pp. 333-357.

Nishimura, H., Maruyama, K. and Sakurai, T.(1984) On the numerical computation of near-shore currents, *Proc. 31st, Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE*, pp. 396-400.

Noda, E.K. (1974) Wave induced near-shore circulation *J. of Geophysical Research*, Vol. 75,

No. 27, pp. 4097-4106.

Shepard, F.P. and Inman D.L., (1950) Near-shore circulation related to bottom topography and wave refraction, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 3, No. 2, pp. 196-212.

本間 仁 監修, 堀川 清可編, (1985) 海岸環境工學, 東京大學出版, pp.249

해양수산부, (2001) 제주외항 서방과제 축조공사 파랑 수치모형실험 보고서

- ◎ 논문접수일 : 2004년 3월 25일
- ◎ 심사의뢰일 : 2004년 4월 02일
- ◎ 심사완료일 : 2004년 5월 07일