

감천항내의 파랑변형 특성⁺

김 재 중* · 이 정 만** · 김 기 철*

Characteristics of Wave Transformation in Gamcheon Harbor

J. J. Kim · J. M. Lee · K. C. Kim

Key Words : 쌍곡선형 환경사방정식(Hyperbolic Mild-Slope Equation), 파랑변형(Wave Transformation), 이안제(Detached Breakwater), 에너지 감쇠(Energy Dissipation)

Abstract

Copeland's(1985) hyperbolic mild-slope equation including diffraction, refraction and reflection in the wave field is used as a governing equation in this study. The result of Maruyama & Kajima(1985) is used to calculate wave direction and that of Watanabe & Maruyama(1986) is used as a energy dissipation formula. Numerical solutions are obtained by the Leap-Frog scheme and compared with Watanabe & Maruyama's (1984) hydraulic experimental results and numerical simulation results for the detached breakwater. This wave model is applied to a detached breakwater and compared with Watanabe and Maruyama's (1984) hydraulic model results to check the characteristics of reflected wave field around a detached breakwater. The distribution of wave height and wave phase in front of a detached breakwater is more accurate than the Watanabe and Maruyama's numerical results. The results from our wave model show good agreements with the others and also show nonlinear effects around the detached breakwater. This model is applied to the Gamcheon harbor of Pusan. The field observations were carried out at Pusan harbor wave station in 1986-1995 and the results were accepted as a design wave condition in this study. The wave height and wave period was measured by Dong-A university at one station in the Gamcheon harbor in 1996-1997 and used as a calibration criterion. The measured data were used as input data for

+ 본 연구는 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

* 정희원, 동아대학교 토목·해양공학부 교수

** 정희원, 동아대학교 토목·해양공학부 강사

the numerical simulation and also compared with simulated results. The numerical simulation shows a fairly good results which considering the effect of topographic characteristics and effect of narrow entrance due to two separated breakwaters in Gamcheon harbor. The wave distribution characteristics inside Gamcheon harbor is quite different with the offshore wave direction and wave period.

1. 서론

최근 아산, 광양, 부산신항만 건설사업 등 연안역 개발사업이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 개발 사업에 의해 연안해역의 파랑변형 및 해수유동 양상이 변화되어 토사이동에 의한 제반 문제점들이 발생하고 있다. 그러므로 연안역 개발에 있어서 그 주변의 해양환경학적 변화요인과 파랑변형 등 해양물리학적 변화요인들에 대한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구는 이러한 관점에서 부산 감천항과 같이 구조물이 설치된 해역에서 수치모의 실험을 통하여 대상해역의 파랑특성을 파악하고자 한다.

연안역의 파랑변형을 예측하는 수치모형 중 회절 및 굴절, 반사까지 고려할 수 있는 쌍곡선형 환경사방정식에 김 등(1998)과 같이 Watanabe와 Maruyama(1986)의 파랑에너지 감쇠항을 고려하였고 파향결정법은 Maruyama와 Kajima(1985)의 방법을 사용하였다.

파랑변형 모형의 입력자료는 동아대학교 해양공학과에서 1996~1997년 사이에 6 차례에 걸쳐 측정된 감천항 내의 유의파고 및 주기자료와 부산광역시의 유의파고와 주기자료를 참고로 하여 외해 입사파고를 결정하였다.

개발된 파랑변형 모형의 특성은 이안제가 설치된 지역에서 반사파로 인한 중복파랑장과 이안제 배후의 회절에 대하여 검토하였다. 또한 감천항의 파랑변형을 4가지 경우에 대하여 각각의 입사조건에 따른 감천항의 파랑특성을 고찰하였다.

2. 파랑변형 모형

2.1 기본방정식

Smith와 Sprinks(1975)는 다음과 같은 쌍곡선형 환경사방정식을 제안하였다.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - \nabla \cdot (CC_g \nabla \Phi) + (\sigma^2 - k^2 CC_g) \Phi = 0 \quad (2.1)$$

여기서, $\Phi(x, y, t)$: 평균해수면에서의 속도포텐셜

C : 파속, C_g : 군속도, σ : 각속도, k : 파수

식 (2.1)에 선유량(flow rate) 벡터 \vec{Q} 와 수면변위 η 를 도입하면 다음과 같은 한 쌍의 선형방정식으로 유도된다(Copeland, 1985).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + CC_g \nabla \eta &= 0 \\ \nabla \vec{Q} + \frac{C_g}{C} \frac{\partial \eta}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

여기서, $\vec{Q} = \int_{-h}^0 f \nabla \phi dz$, $\phi = \Phi(x, y, t) f(z)$,

$$f(z) = \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh}, \quad C_g = nC,$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

식 (2.2)에 Watanabe와 Maruyama(1986)의 쇄파에 의한 에너지 감쇠항을 고려하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + CC_g \nabla \eta + F_d \vec{Q} = 0 \quad (2.3)$$

여기서, F_d = 쇄파에 의한 에너지 감쇠

$$F_d = \alpha_1 \tan \beta \sqrt{\frac{g}{h} \left(\frac{\hat{Q}}{Q_r} - 1 \right)} \quad (2.4)$$

여기서, $\hat{Q} = \sqrt{\hat{Q}_x^2 + \hat{Q}_y^2}$, $Q_r = \alpha_2 \sqrt{gh^3}$

\hat{Q}_x, \hat{Q}_y : x 및 y방향의 선유량 진폭,
 $\tan \beta$: 평균 해저경사, g : 중력가속도,
 h : 수심, $\alpha_1 = 2.5$, $\alpha_2 = 0.25$

식 (2.4)에서 $\hat{Q} < Q_r$ 인 경우에는 쇄파대 내에서도 파랑이 재생될 수 있도록 식 (2.5)와 같이 처리하였다(Mizuguchi, 1980).

$$F_d = 0 \quad \text{for} \quad \hat{Q} < Q_r \quad (2.5)$$

2.2 위상각 및 파고의 산정

파향 및 파고를 계산하기 위해서는 수면변위 η , 선유량 Q_x, Q_y 에 대한 위상각 및 진폭성분이 필요하다. 따라서 이에 대한 정의를 Watanabe와 Maruyama(1984)는 식 (2.6)과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} Q_x &= \hat{Q}_x \sin(\sigma t + \varepsilon_x) = u_c \sin \sigma t + u_s \cos \sigma t \\ Q_y &= \hat{Q}_y \sin(\sigma t + \varepsilon_y) = v_c \sin \sigma t + v_s \cos \sigma t \quad (2.6) \\ \eta_x &= \hat{\eta}_x \sin(\sigma t + \varepsilon_\eta) = \eta_c \sin \sigma t + \eta_s \cos \sigma t \end{aligned}$$

그리고 중복 파랑장에서는 각 주파수 σ 가 변화되지 않기 때문에 u_c, u_s 는 Fourier 함수의 계수로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} u_c &= \hat{Q}_x \cos \varepsilon_x = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} Q_x \sin \sigma t \, dt \\ u_s &= \hat{Q}_x \sin \varepsilon_x = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} Q_x \cos \sigma t \, dt \end{aligned} \quad (2.7)$$

따라서 위상각 ε_x , 진폭 \hat{Q}_x 는 식 (2.8)로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \tan^{-1} \left(\frac{u_c}{u_s} \right) \\ \hat{Q}_x &= \sqrt{u_c^2 + u_s^2} \end{aligned} \quad (2.8)$$

또한 $\hat{Q}_y, \hat{\eta}$ 에 대해서도 같은 방법으로 구하고 파고 H는 식 (2.9)로부터 계산한다.

$$H = 2\hat{\eta} = 2\sqrt{\eta_c^2 + \eta_s^2} \quad (2.9)$$

2.3 파향의 계산

Maruyama와 Kajima(1985)는 중복파랑장에서 선유량 Q_x, Q_y 의 시간에 따른 변화는 Fig. 2.1(a)와 같이 타원궤도를 형성한다는 것을 착안하여 다음과 같이 계산하였다. 파향은 단일 진행파의 수면변위와 선유량의 관계식 $\vec{Q} = C_g \eta$ 로부터 유추하고 임의의 시각 t_1 에서의 파향각을 θ_1 이라고 하면 식 (2.10)으로 파향각을 구할 수 있다.

$$\tan \theta_1 = \frac{v_c \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) + v_s \cos \left(\frac{\delta}{2} \right)}{u_c \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) + u_s \cos \left(\frac{\delta}{2} \right)} \quad (2.10)$$

임의의 시각 t_1 에서의 수면변위 η_1 는 다음과 같이 계산된다.

$$\eta_1 = \eta_c \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) + \eta_s \cos \left(\frac{\delta}{2} \right) \quad (2.11)$$

2.4 수치계산

기본방정식인 식(2.2)와 에너지 감쇠항을 고려한 식 (2.3)을 유한차분법의 하나인 Leap-Frog법으로 차분하였으며, 선유량 Q_x, Q_y 성분과 수면변위 η 를 반격자씩 어긋나게 계산하는 Staggered 격자망을 사용하여 수치계산하였다. 여기서 Δx 는 해안선

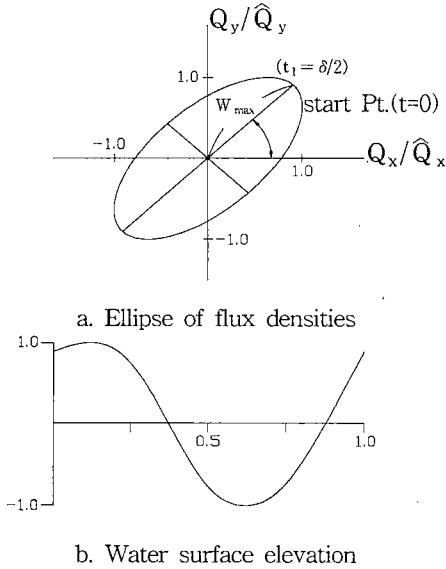


Fig. 2.1 Periodic changes of flux densities Q_x , Q_y and water surface displacement (Maruyama and Kajima, 1985)

과 직교방향의 격자간격, Δy 는 연안방향의 격자간격, Δt 는 계산시간 간격을 나타낸다.

식(2.2)와 식(2.3)을 staggered 격자망 체계로 차분하면 식(2.12)와 같다.

시간간격은 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) 안정조건을 만족하도록 식 (2.13)으로 주어진다 (Watanabe 등, 1986).

$$Q_{xi,j}^{m+1} = Q_{xi,j}^m - \frac{\Delta t}{\Delta x} n_{i,j} C_{i,j}^2 (\eta_{i,j}^m - \eta_{i-1,j}^m) - FQ_{xi,j} \Delta t$$

$$Q_{yi,j}^{m+1} = Q_{yi,j}^m - \frac{\Delta t}{\Delta y} n_{i,j} C_{i,j}^2 (\eta_{i,j}^m - \eta_{i,j-1}^m) - FQ_{yi,j} \Delta t \quad (2.12)$$

$$\eta_{i,j}^{m+1} = \eta_{i,j}^m - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\frac{C}{C_g} \right)_{i,j} (Q_{xi+1,j}^{m+1} - Q_{xi,j}^{m+1}) - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left(\frac{C}{C_g} \right)_{i,j} (Q_{yi,j+1}^{m+1} - Q_{yi,j}^{m+1})$$

$$\Delta t \leq \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} / C_{\max} \quad (2.13)$$

여기서, C_{\max} 는 파속의 최대치로서, 일반적으로 의해 경계에서의 파속에 해당되며, 실제 계산에서는 계산시간 간격을 식 (2.13)으로부터 계산된 시간 간격보다 $1/4 \sim 1/2$ 작게하여 계산하였다.

초기조건은 Cold Start 조건으로 계산하였으며, 경계조건은 연안 구조물로 인한 반사파와 진행파를 임의의 반사율 경계로 처리하였으며, 계산영역 내에서 경계로 향하는 진행파를 그대로 투과시키는 가상투과 경계조건을 사용하였다. 측면과 외해에서 임의의 각도로 진행파 들어오는 파랑 및 측면과 외해로 빠져나가는 파랑은 무반사성 측면 및 외해입사 경계조건을 사용하였다.

2.5 파랑변형 모형의 검증

연안구조물 중에 이안제가 설치되어 있을 경우에 대하여 Watanabe 등(1984)의 수치모형 실험결과와 본 모형의 수치계산 결과를 비교·분석하였다. 이안제가 설치된 수심의 형태는 Fig. 2.2와 같으며 수치계산 조건은 심해파고 2.0cm, 주기 1.2sec, 입사각 0° 로 입사하는 조건이다. 공간격자 및 시간간격을 안정조건 식 (2.13)이 만족되도록 $\Delta x = \Delta y = 5\text{cm}$, Δt 는 0.02초로 설정하였다.

Fig. 2.3과 Fig. 2.4는 진행파가 완전반사되고 정상상태에 도달했을 때의 파고분포를 나타낸 것이다. Fig. 2.3의 $X=2\text{m}$ (이안제 전면)에서는 구조물에 의한 반사파 때문에 중복파랑장이 나타나는 곳으로 Watanabe 등(1984)의 수치계산 결과보다 본 모형에서 계산한 결과가 더 양호하게 나타나고 있다. 또한 Fig. 2.4의 $Y=3\text{m}$ 와 $Y=4\text{m}$ 에서는 구조물로 인한 반사파와 입사파에 의해 중복 파랑장이 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한 Watanabe 등(1984)의 수치계산 결과보다 중복 파랑장의 위상이 잘 맞고 있는 것을 보여주고 있다. 이안제 배후의 회절파에 의한 파고분포도 수치실험과 수치실험 결과가 대체로 일치하는 경향을 나타내고 있다.

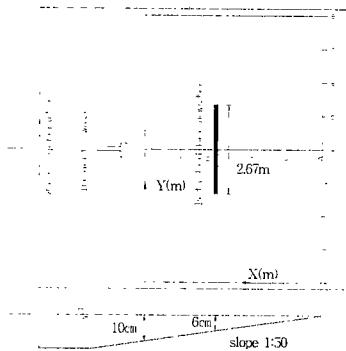


Fig. 2.2 Schematic diagram for a detached breakwater

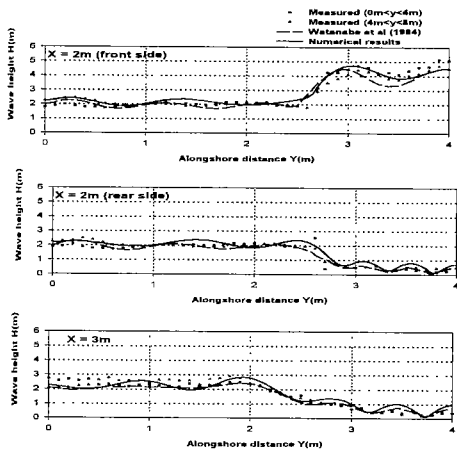


Fig. 2.3 Alongshore distribution of wave height

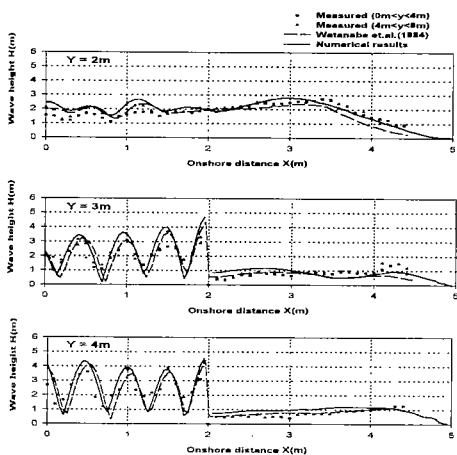


Fig. 2.4 Cross-shore distribution of wave height

3. 현장조사

동아대학교 해양공학과에서 대상해역의 유의파고 및 주기를 관측하기 위하여 Fig. 3.1과 같은 북위 $35^{\circ} 03' 29''$, 동경 $129^{\circ} 00' 14''$ 의 위치에 자기기록식 파고계(Paro Scientific, MK-3)를 설치하여 다음 Table 3.1과 같이 1996년부터 1997년까지 2년 동안 6차례에 걸쳐 감천항 내의 파랑자료를 조사하였다. 위의 기간 동안 관측한 유의파고 및 주기를 정리하면 Table 3.2와 같다. Table 3.2에서 6.0~6.99sec 사이의 유의주기 출현율이 53.2%로 가장 높았고, 다음으로 5.0~5.99sec사이의 출현율이 20.8%, 7.0~7.99sec 사이의 출현율이 18.1% 순서

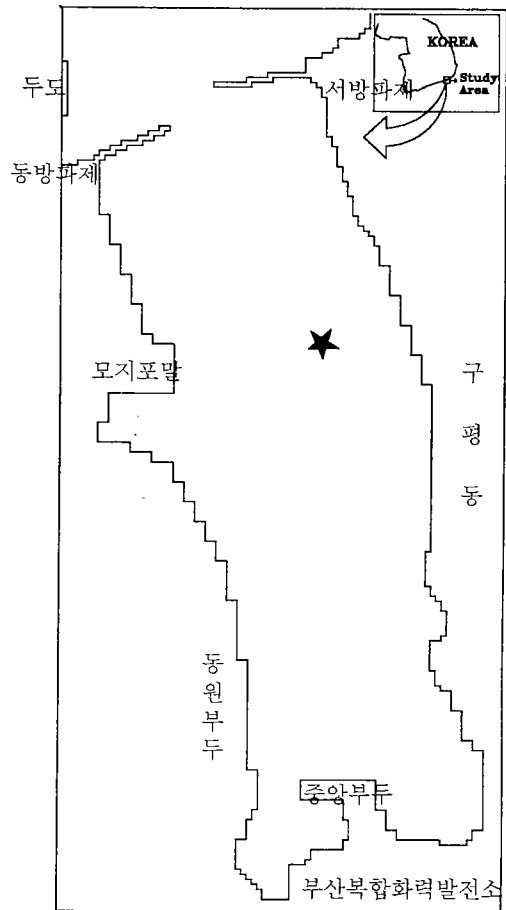


Fig. 3.1 Location of wave gauge

로 나타났다.

또한 부산항 파랑관측소에서 1986년~1995년 동안 관측한 파랑자료는 Table 3.3과 같다. Table 3.3에 의하면 유의파 주기가 길어질수록 유의파고 점점 높아짐을 알 수 있고, 유의파 주기가 10sec 이상일 경우에는 유의파고 출현율이 급격히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 따라서 Table 3.2의 유의파 주기의 출현율이 6.0~6.99sec일 때 가장 높으나 Table 3.3에 의하면 이때의 유의파고가 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 그러므로 Table 3.3에서 유의파고와 유의파 주기의 출현율이 각각 10%이상인 유의파고 2m와 유의파 주기 7sec와 8sec를 선택하였다. 또한 파향은 감천항내의 파랑변형에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 S 방향과 S10° E 방향으로 결정하여 외해 파랑 입사조건을 설정하였다. 이를 요약하면 Table 3.4와 같고, 각각의 경우에 대한 외해 입사경계조건으로 감천항의 파랑변형을 예측하였다.

4. 현지적용

감천항은 부산의 서쪽 남해안에 위치한 천연적인 항으로 남북으로 4km, 동서로 0.9~1.7km이며, 평균수심이 12m로 Fig. 4.1과 같이 수심변화의 폭이 작고 외해와의 경계에 동·서로 두 개의 방파제가 있다. 또한 항내에 부산복합화력발전소가 위치하고 있어 발전소에서 배출되는 온배수로 인해서 항내의 해양환경학적 변화는 물론 해양물리학적 변화

Table 3.1 Measurement date of wave data

measurement data	measurement period
significant wave height(Hs),	1996. 2. 29. ~ 3. 26.
	1996. 5. 19. ~ 6. 13.
significant wave period(Ts)	1996. 7. 30. ~ 9. 2.
	1996. 10. 24. ~ 11. 20.
	1997. 3. 18. ~ 4. 18.
	1997. 5. 23. ~ 7. 19.

Table 3.2 Wave height according to significant wave period

Hs	Ts(sec)	0.0 -	4.0 -	5.0 -	6.0 -	7.0 -	8.0 -	계 (%)
		3.99	4.99	5.99	6.99	7.99	8.99	
0.0~0.49m	1차	-	-	6.9	52.8	34.7	2.8	97.2
	2차	-	-	2.8	61.1	7.0	6.9	77.8
	3차	-	-	45.8	29.2	12.4	4.2	91.6
	4차	-	12.5	54.2	24.9	-	-	91.6
	5차	-	-	-	41.7	37.5	4.2	83.4
	6차	-	-	-	66.7	16.7	4.2	87.6
0.5~0.99m	1차	-	-	-	2.8	-	-	2.8
	2차	-	-	11.1	11.1	-	-	22.2
	3차	-	4.2	-	4.2	-	-	8.4
	4차	-	4.2	-	4.2	-	-	8.4
	5차	-	4.2	4.2	8.2	-	-	16.6
	6차	-	-	-	12.4	-	-	12.4
평균(%)		-	4.2	20.8	53.2	18.1	3.7	100

(Period : 1996-1997, 동아대학교 해양공학과)

Table 3.3 Wave height according to significant wave period

Ts(sec)	Hs(m)	0~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	11~	12~	계 (%)
		4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0.0-0.5		2457	736	556	343	195	91	41	16	2	4	15.2
0.5-1.0		5307	1412	2079	1510	676	326	149	37	3	4	39.4
1.0-1.5		845	2450	1017	1308	1032	542	210	31	4	3	25.5
1.5-2.0		11	256	1186	570	584	407	188	18	5	7	11.1
2.0-2.5		0	19	120	625	258	189	173	33	9	9	4.9
2.5-3.0		0	2	7	120	268	71	119	15	9	9	2.1
3.0-3.5		0	0	1	12	131	116	44	7	11	2	1.1
3.5-4.0		0	0	0	1	15	80	19	5	1	2	0.4
4.0-4.5		0	0	0	0	0	25	23	2	1	2	0.2
4.5-5.0		0	0	0	0	0	1	20	9	0	1	0.1
5.0 -		0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	0.0
계(%)		29.5	16.7	17.0	15.4	10.8	6.3	3.4	0.6	0.2	0.1	100

(Period : 1986-1995, 부산광역시)

Table 3.4 The condition of Numerical Simulation

Cases	Wave Height	Wave Period	Wave Direction
Case 1	2 m	7 sec.	S
Case 2	2 m	7 sec.	S10° E
Case 3	2 m	8 sec.	S
Case 4	2 m	8 sec.	S10° E

도 예측된다. 따라서 본 연구 지역의 파랑변형을 정확히 예측하는 것은 항내의 해수교환에 큰 영향을 미치는 해빈류를 예측하는데 필요한 기초자료를 제공해 줄 수 있을 뿐만 아니라 항내 정온도를 계산하는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감천항의 파랑변형 결과 중에 Case 1의 결과는 Fig. 4.2에 나타내었고, Case 2의 결과는 Fig. 4.3, Case 3의 결과는 Fig. 4.4, Case 4의 결과는 Fig. 4.5에 각각 나타내었다. 감천항은 양 방파제에 의해 방파제 전면에서는 중복파랑장이 형성되어 있으며, 동·서의 방파제에 의해 항내로 진입하는 파랑이 비교적 작게 나타났다. 또한 방파제 사이로 파랑이 회절되어 진입하고 있는 것을 잘 보여주고 있다. 파고계 설치지점에 대한 수치계산 결과도 0.5~0.9m 사이에 분포하고 있으므로 이 또한 감천항 내의 파랑관측자료와 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 Case 1의 경우에는 방파제 뒷부분(○ 부분)에서의 파고분포가 0.6~1.6m로 나타났다으며, Case 2의 경우는 파고분포가 0.5~1.3m로 나타났다. 또한 Case 3의 경우에는 방파제 뒷부

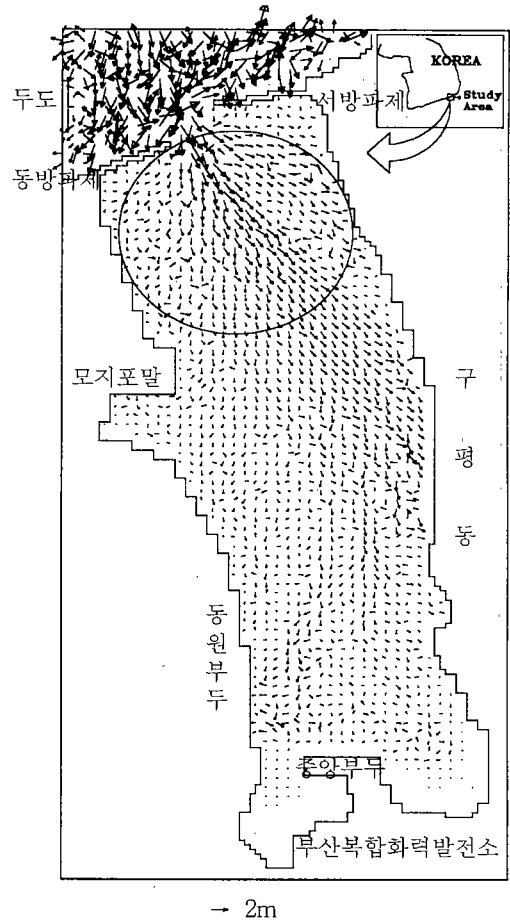


Fig. 4.2 Wave distribution of Gamcheon harbor for case 1

분에서 파고분포가 0.5~1.5m로 나타났고, Case 4의 경우에는 파고분포가 0.4~1.2m로 나타났다. 따라서 외해 입사각도가 비스듬히(S10° E)입사할 경우와 직각(S)으로 입사하는 경우를 비교해 보면 직각으로 입사할 때의 파고분포가 비스듬히 입사할 경우보다 파고가 약 25% 정도 높게 나타났다. 이와 같이 동일한 외해 입사조건에서도 입사파향에 따라 감천항 내의 파고분포가 많은 차이를 보이고 있는 것은 동·서의 양 방파제가 항내로 진입하는 파랑을 대부분 차단하고 있을 뿐만 아니라 두 방파제 사이의 간격이 비교적 좁아서 외해 파랑이 항내

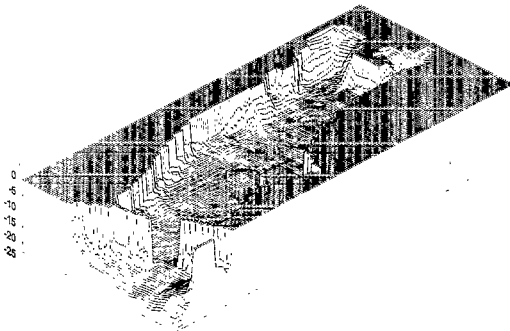


Fig. 4.1 Bottom topography of Gamcheon harbor

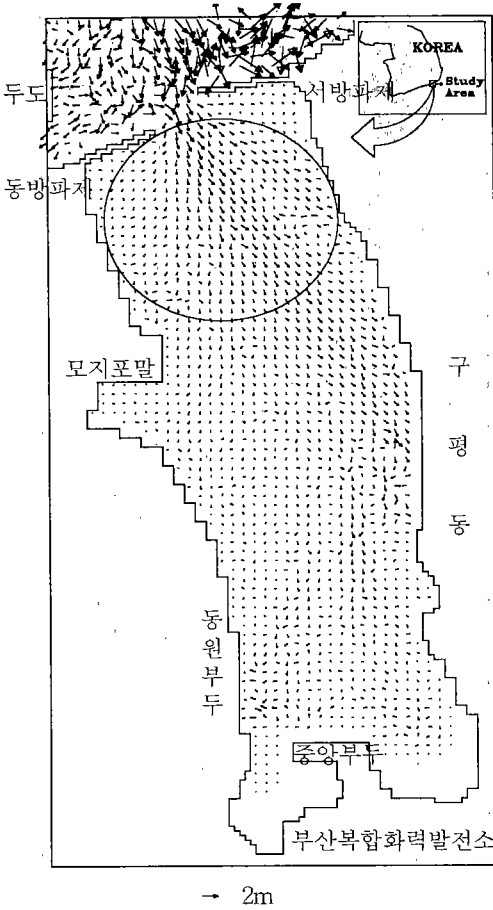


Fig. 4.3 Wave distribution of Gamcheon harbor for case 2

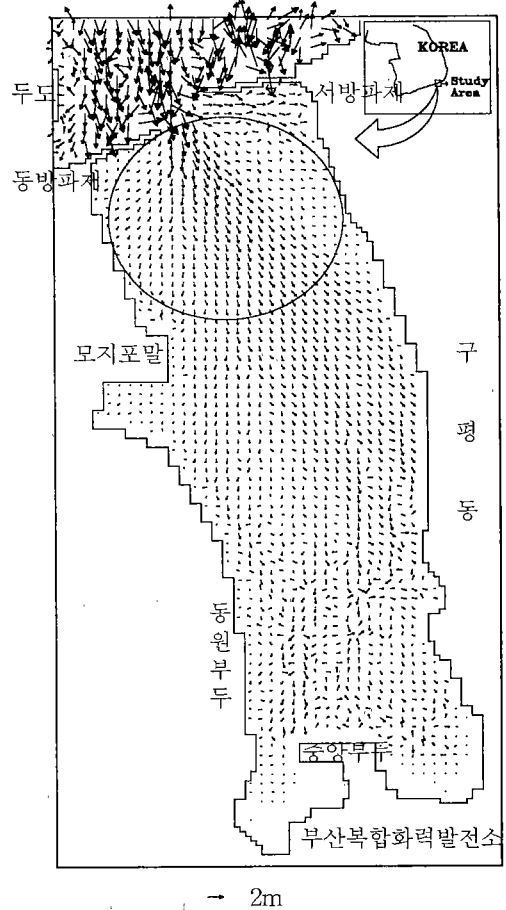


Fig. 4.4 Wave distribution of Gamcheon harbor for case 3

로 원활하게 진입하지 못하기 때문이다. 그리고 주기가 7sec인 경우와 8sec인 경우를 비교해 보면 주기가 7sec일 경우가 8sec일 경우보다 전체적인 파고분포에서 약 6~8%정도 높게 나타났다. 이것은 감천항 내의 관측자료인 Table 3.2에서도 나타나 있듯이 유의파 주기가 7~7.99sec사이인 경우보다 6~6.99sec사이에서 0.5~0.99m의 파고 출현율이 높게 나타난 결과와도 일치한다.

또한 외해에서 입사되어 들어오는 파랑은 4가지 경우 모두가 동일하게 구평동 쪽의 호안에 반사되어 항내로 깊숙이 진행하고 있음을 볼 수 있었다.

5. 결 론

파랑변형 모형의 수치모의실험 결과 및 감천항의 파고계 관측자료와 파랑모형의 현지적용으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 본 파랑변형 모형이 기존의 파랑변형 모형 보다 연안구조물 등에 의한 중복 파랑장이 탁월한 곳에서 파랑의 위상과 파고분포가 일치하였다. 또한 감천항의 동·서 방파제 사이로 파랑이 회절 및 굴절되어 진입하는 것을 잘 보여주었으며, 파고계 설

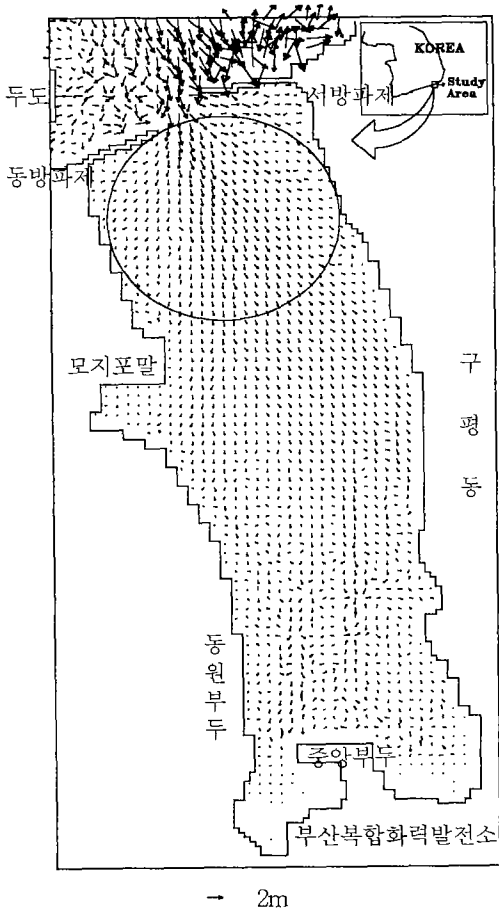


Fig. 4.5 Wave distribution of Gamcheon harbor for case 4

치지점의 수치계산 결과도 관측치와 유사한 파고 분포를 얻을 수 있었다.

2) 감천항의 파랑특성을 요약하면 다음과 같다.

첫째 ; 동·서 방파제 사이의 간격이 좁아서 외해에서 진입해 들어오는 파랑이 대부분 차단되어 방파제 전면에서는 파고가 높은 중복파랑장이 형성되었고 항내로 진입하는 파랑은 입사파에 비해 파고가 비교적 낮게 나타났다. 그리고 감천항은 지리학적 특성 때문에 외해 입사파랑의 파향각에 따라서 항내의 파고분포가 상당한 차이를 보였다.

둘째 ; 방파제 사이를 통해 진입해 들어온 파랑은 회절과 굴절을 통해 항내를 진행해 들어오다가

구평동 쪽의 호안에 반사되어 다시 항내로 진행하는 양상을 보였다.

셋째 ; 감천항의 파랑분포 특성은 입사파의 파향과 주기에 많은 영향을 받기 때문에 방파제의 설계뿐만 아니라 방파제의 위치선정에 상당한 주의가 필요하다고 판단된다.

6. 참고문헌

- 1) Copeland, G.J.M., "Numerical Model for the Propagation of Short Gravity Waves and the Resulting Circulation around Nearshore Structures", Ph.D. Thesis, University of Liverpool, 1985
- 2) Maruyama, K. and Kajima, R., "Two Dimensional Wave Calculation Method Based on Unsteady Mild-Slope Equation", Report Electric Central Res., Inst. No.384041(in Japanese), 1985.
- 3) Mizuguchi, M., "A Heuristic Model of Wave Height Distribution in Surf Zone", Proc. 17th Coastal Eng., Conf., 1980, pp. 278-289.
- 4) Smith, R. and Sprinks, T., "Scattering of Surface Waves by a Conical Island", J. of Fluid Mechanics, Vol. 72, 1975, pp. 373-384.
- 5) Watanabe, A. and Maruyama K., "Numerical Analysis of Combined Refraction, Diffraction and Breaking", Proc. 31st Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, 1984, pp. 103-107(in Japanese)
- 6) Watanabe, A. and Maruyama K., "Numerical Modeling of Nearshore Wave Field under Combined Refraction and Diffraction and Breaking", Coastal Eng. in Japan, Vol.29, 1986, pp. 19-39.
- 7) 부산광역시 건설안전관리본부, "컨테이너 수송 배후도로(광안대로) 건설사업 사후 환경영향조사 보고서", 1998.
- 8) 김재중, 이정만, "쌍곡선형 파랑모형을 이용한 해빈류 예측", 한국항만학회, 제12권, 제2호, 1998.
- 9) 이정만, "천해역에서의 해빈류 예측", 공학박사 학위논문, 1998.