

Pit방파제에 의한 쇄파발생억제 연구

이 홍 식 / 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

1. 서론

어항의 확장 혹은 방파제 연장사업에 따라 어항의 입구 주변이 쇄파대에 위치하거나 그 주변해역에서 쇄파가 발생하는 경우가 있다.

이러한 경우, 항내 출입선박의 안전문제 등에 지장을 초래할 수 있으며, 어항내에서 정온도 확보차원 문제와 어항 주변의 해안침식의 방지대책으로서도 어항입구 주변에서 쇄파가 발생하는 것을 억제할 필요가 있다.

쇄파 발생의 억제를 위하여는 입구주변의 해저면 경사에 대하여, 쇄파한계에 도달하지 못하도록 입사파고를 감소시키는 방법이 고려될 수 있다. 이 때문에 어항입구부의 외해수역에 방파제 혹은 도제 등의

건설에 의해 침입파의 에너지를 감쇠시키는 방법이 종래부터 많이 사용되어 왔으며, 이러한 방법의 채용에 따라, 항내에 진입하는 선박의 안전항행, 해안의 침식방지, 어항내의 정온도 확보에 효과를 얻을 수 있었다.

그러나 방파제 등 해안구조물의 건설에는 막대한 비용이 소요되며 태풍, 폭풍에 의한 구조물의 피해 복구 및 유지관리에 적지 않은 비용이 소요된다. 뿐만 아니라 연해수역에 방파제를 건설할 경우, 방파제의 배후수역에서 파고 감소 효과를 얻을 수 있지만, 이와 반대로 방파제 전면에서의 반사파 등으로 인하여 인접해역의 다른 업종의 산업에 오히려 지장을 초래할 경우도 있다.

이 이외에도 해양성레크리에이션의 활성화에 따른 마리나의 등장 및 휴식처로서의 수려한 경관과 양호한 수질을 유지해야하는 연안수역의 확보에도 상반되는 경우가 있다.

이러한 관점에서 볼때, 고정식 구조물인 방파제를 대신하여 입사파랑의 감소 방법으로서 잠제(Submerged Breakwater), 부유식 방파제(Floating Breakwater) 그리고 Pit방파제(Pit Breakwater) 등의 구조물이 고려될 수 있다.

Pit방파제는 고정식의 방파제 구조물에 비하여 여러 가지 장점이 있다. 즉, 첫째, 막대한 건설비용이 소요되는 기존의 방파제에 비하여 경제적인 점, 둘째, 많은 양의 사석재가 요구되는 방파제의 재료가 필요하지 않으므로 자연 경관이

나 환경보전에 대한 피해를 줄일 수 있는 점. 셋째, 수역의 밀도를 감소시키지 않는 상태에서 만내 혹은 연안역의 수역을 고도로 활용할 수 있는 점. 넷째, 고정식 방파제의 설치로 인한 해수의 소통 저하에 따른 어항, 만내의 수질악화를 피할 수 있는 점 등을 들 수 있다.

본 연구에서 이러한 Pit방파제의 조건에 따라 기본적으로 파랑의 변화특성을 조사하고, 그 다음으로 어항입구부에서 발생할 수 있는 쇄파의 억제를 위하여, Pit방파제가 설치되었을 때 파고감소 효과를 검토한다.

선형회절이론에 근거하여 외해에서 전파해 오는 입사파가 Pit방파제의 해저면에 의해 파랑이 감소되는 회절현상을 조사하는 방법으로 진행하고, Pit방파제에 의한 회절효과는 Green정리로부터 얻어진 경계적분방정식을 이용하여 2차원 평면문제라 취급한다.

이러한 결과의 음미를 통하여 가상의 어항에서, Pit방파제의 유무상태 및 설치형태에 따라 수심변화에 대응할 수 있는 수치모델을 이용하여 그 효과에 대하여 검토하기로 한다.

2. Pit방파제

Pit 설치에 의해 선박의 안

전운행과 파랑에너지의 감소를 시도하기 위한 연구는 1960년대 말부터 연구가 진행되어 왔으며, Newman [(1965(a), (b)), Miles(1967), 그리고 Hilaly (1969)의 연구를 대표적으로 들 수 있다.

그 후 이러한 연구에 많은 관심이 집중되면서 1980년대 까지도 Pit(혹은 Trench라고도 불리움)방파제에 의한 파랑 변화에 관한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다.

이러한 연구들은 Lee and Ayer(1981), Miles(1982), Kirby and Dalrymple(1983), Ting and Raichlen (1986), 그리고 Kirby et al. (1987) 등의 연구를 대표적인 사례로 들 수 있다. 이러한 연구들은 이론적으로 많은 진보를 이룩하였지만, 대부분 연직 2차원문제로서 파랑과 Pit와의 상호작용을 취급하였기 때문에 경사각으로 입사하는 파랑에 대한 경우는 적용할 수 없었다.

이러한 것을 해결하기 위하여 Williams(1990)는 평면2차원의 회절이론으로 확장하였고, 임의의 입사경사각에 대하여 Pit방파제에 의한 장주기파의 회절을 연구하였다.

그후 Williams and Vazquez(1991)은 3차원으로 발

전시했으며, 최근에는 Mc-Dougal et al.(1996)은 불연속적으로 복수의 Pit방파제가 설치된 경우에 대하여 파고감소 효과를 취급하였다.

그들의 연구 결과로서 2개의 Pit가 설치되었을 경우, Pit방파제 배후수역에서의 파고는 10~20%정도 절감되었고, 5파장 떨어진 배후수역에서는 약 30%의 파고감소 효과를 얻어낸 것으로 보고되고 있다.

따라서 어항입구부 주변수역에서 수심이 급격히 변화하는 곳이나, 고파랑의 내습빈도가 높은 곳에서는 그 주변수역에 적절한 Pit방파제의 설치에 의해 입사파고를 줄일 수 있는 동시에 쇄파발생을 억제할 수 있는 효과가 있다.

Pit방파제는 해저면의 준설을 통하여 설치하므로, 표사의 이동이 적은 곳이나 쇄파대 이전의 천해역에 설치하는 것이 바람직하다.

3. Pit방파제에 의한 파랑의 회절 이론

Fig.1에 나타낸 것과 같이 정수면상에 직교좌표의 원점을 취하고, 파랑의 진행방향으로 x축, 직각방향으로 y축, 그리고 연직상향으로 z축을 취한다.

Pit방파제의 평면은 길이 a, 폭 b로 하고, Pit 저면까지의 수심을 d로 한다. 유체의 성질을 비점성, 비압축성, 그리고 그 운동을 비회전성의 완전 유체로 가정하면, Laplace 방정식을 만족하는 속도포텐셜 ϕ 가 존재한다.

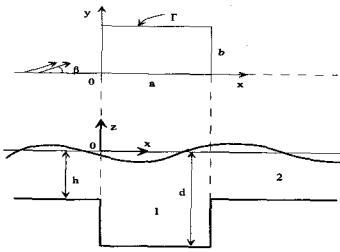


Fig. 1 : Definition sketch of single pit breakwater.

$$\nabla^2 \phi = 0 \dots (1)$$

일정수심 h와 Pit 저면의 불투과성 경계조건은

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad z = -h, z = -d \dots (2)$$

Pit경계와 수심 $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$, $-d \leq z \leq 0$ 의 범위로 설정되는 Pit의 영역(I)과 그 이외의 영역(II)로 파랑장을 분할한다. 영역(I)과 영역(II)에서의 속도포텐셜은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_1(x, y, z) = \phi_1(x, y) \cosh k_1(z+d) \dots (3)$$

$$\phi_2(x, y, z) = \phi_2(x, y) \cosh k_2(z+h) \dots (4)$$

여기서, k는 분산관계식으

로부터 정의되는 파수이며, 각각의 영역에서는

$$\omega^2 = gk_1 \tanh k_1 d \dots (5)$$

$$\omega^2 = gk_2 \tanh k_2 h \dots (6)$$

으로 나타낼 수 있고, ω 는 각속도이다. 식(3)과 식(4)는 Helmholtz 방정식을 만족한다.

$$\frac{\partial^2 \phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial y^2} + k_j^2 \phi_j = 0$$

$$(j = 1, 2) \dots (7)$$

한편, 선형이론을 적용하여 각 영역의 파랑장에서 파수 k_j 는 다음과 같이 정의된다.

$$k_1 = \frac{\omega}{\sqrt{gd}}$$

$$k_2 = \frac{\omega}{\sqrt{gh}} \dots (8)$$

두 영역의 경계선상에서의 속도포텐셜은 다음과 같은 관계를 만족하여야 한다.

$$d \frac{\partial \phi_1}{\partial x} = h \frac{\partial \phi_2}{\partial x}$$

$$x = 0, a, 0 \leq y \leq b \dots (9)$$

$$d \frac{\partial \phi_1}{\partial y} = h \frac{\partial \phi_2}{\partial y}$$

$$y = 0, b, 0 \leq x \leq a \dots (10)$$

$$\phi_1 = \phi_2 \quad x = 0, a, 0 \leq y \leq b \text{ and } y = 0, b, 0 \leq x \leq a \dots (11)$$

영역(II)에서의 속도포텐셜의 산란형태는 방사조건에 의해 얻어진다.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik_2 \right) \cdot$$

$$(\phi_2 - \phi_2') = 0 \dots (12)$$

ϕ_2' 는 입사파의 속도포텐셜

로서 다음과 같다.

$$\phi_2'(x, y) = \frac{-igH}{2\omega} e^{ik_2(x \cos \beta + y \sin \beta)}$$

$$\dots (13)$$

여기서, H와 β 는 입사파의 파고 및 입사각이다. 영역(I)과 (II)에서 속도포텐셜 ϕ_j 와 Green함수 G_j ($j = 1, 2$)는 Green 제2정리의 적용에 의해 식(14)와 같이 적분방정식을 얻을 수 있다.

$$\int_S (\phi_j \frac{\partial G_j}{\partial n} - G_j \frac{\partial \phi_j}{\partial n}) ds = 0$$

$$\dots (14)$$

Helmholtz 방정식의 자유공간Green 함수는(Chester (1971))

$$G_1 = \frac{i\pi}{2} H_0^{(0)}(k_1 r);$$

$$G_2 = \frac{i\pi}{2} H_0^{(0)}(k_2 r) \dots (15)$$

여기서, $H_0^{(0)}$ 은 1종 0차의 Hankel 함수, 기본점 $P = (x, y)$, 이동점 $Q = (x', y')$ 이고

$$r^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 \dots (16)$$

Green 함수는 $r = r'$ 인 곳을 제외하고, 각각의 파랑장에서 지배방정식을 만족한다. 영역(I)과 영역(II)의 경계조건에 의해 다음과 같은 적분방정식을 얻을 수 있다.

$$\int_T (\phi_2(Q) \frac{\partial G_1}{\partial n}(P, Q)$$

$$-\frac{h}{d} G_1(P, Q) \frac{\partial \phi_2}{\partial n}(Q) ds + \pi \phi_2(P) = 0 \dots (17)$$

$$\int_T \left[\phi_2(Q) \frac{\partial G_2}{\partial n}(P, Q) - G_1(P, Q) \frac{\partial \phi_2}{\partial n}(Q) \right] ds + 2\pi \phi_1(P) = \pi \phi_2(P) = 0 \dots (18)$$

경계 T에서 결합조건에 의하여 ϕ_1 는 소거될 수 있으며 G_1 과 G_2 는 알고있는 값이므로, 미지수는 Pit경계 T의 ϕ_2 뿐이다. Pit경계 T는 일정한 수의 작은 선요소로 절점을 정하여 풀 수 있다. 절점간의 요소에서의 중앙점의 값들이 같다고 가정하고, 식 (17)과 (18)을 매트릭스 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$[A_1][\phi_2] + [B_1][\partial \phi_2 / \partial n] = 0 \dots (19)$$

$$[A_2][\phi_2] + [B_2][\partial \phi_2 / \partial n] = [I] \dots (20)$$

이고, $(\partial \phi_2 / \partial n)$ 에 대하여 풀면

$$([B_2] - [A_2][A_1^{-1}][B_1])[\partial \phi_2 / \partial n] = [I] \dots (21)$$

으로 되고, 표준매트릭스 기법으로 풀 수 있다. 또한 자유표면의 상승량은 동역학적 경계조건으로 부터 계산할 수 있다.

$$\eta_j = -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi_j}{\partial t}$$

여기서, $\eta_j(x, y, z) = \text{Re}[\Delta_j(x, y)e^{i\omega t}]$ 이고, 정방형 Pit ($b/a=1.0$) 및 장방형 Pit ($b/a=2.0$)는 Pit 경계 Γ 를 80~120개의 선요소로 이산화하였다. 또한 길이가 긴 Pit와 폭이 넓은 Pit의 경우에는 Pit경계 Γ 를 220개의 선요소로 이산화하였다.

4. Pit방파제에 의한 회절의 특성

우선 Pit방파제에 의한 파랑의 회절을 조사하기 위하여, 정방형과 장방형의 소규모 Pit 및 폭과 길이비가 작고, 큰 경우의 네 종류의 Pit방파제를 대상으로 하였다. 입사파의 주기는 12초로 일정하게 하였고, 영역(I)과 영역(II)의 수심비 h/d 는 0.5로 일정하게 취하였다.

4.1 정방형($b/a=1$) 및 장방형($b/a=2.0$) Pit방파제에 의한 회절 특성

정방형 Pit에 의한 회절도를 Fig.2(A), (B)에 나타냈다. 이 Pit의 크기는 한 변이 4m씩이고, 전체 파랑장은 x,y 방향으로 50m씩으로 정하였다. 정방형 Pit방파제에 대하여 입사각 $\beta = 0^\circ$ 및 45° 로 입사한 경우 모두 파고감소의 양

상이 유사하게 나타나고 있다.

Pit의 배후수역에서는 상당히 넓은 방사형 모양의 수역에서 파고가 감소되었으며, 감소폭은 약 5%이내로 나타났다. 그러나 Pit영역내에서는 일단 파고가 증가하고, Pit영역을 통과하면서 파고의 감소를 나타내고 있다.

한편, 장방형 Pit에 의한 회절도를 Fig.2(C), (D)에 나타냈다. 이 Pit의 크기는 길이와 폭이 각각 4m, 8m이다. 즉, 장방형 Pit는 정방형의 경우보다 Pit폭이 두배 확대된 경우이고 정방형 Pit의 경우보다도 파고의 감소효과가 증가하였다. 정방형 Pit방파제에서 5%이내의 파고감소를 얻은 것에 비하여, 장방형 Pit의 경우는 5%이상의 파고감소 효과를 보았다. 그리고, 약 10%정도의 파고감소 효과가 Pit방파제 바로 직후의 배후수역에서 나타났다.

파고감소의 특징은 Pit방파제의 배후에서 정방형의 경우와 흡사하게 방사형으로 나타나고 있으며, 파고감소 영역에서 멀어질수록 양쪽에 파고가 약간 증가하면서 입사파조건의 파랑장으로 복원한다.

한편, 입사각 $\beta = 45^\circ$ 의 경우에도 0° 로 입사한 경우와 거의 동일한 파고감소 효과를

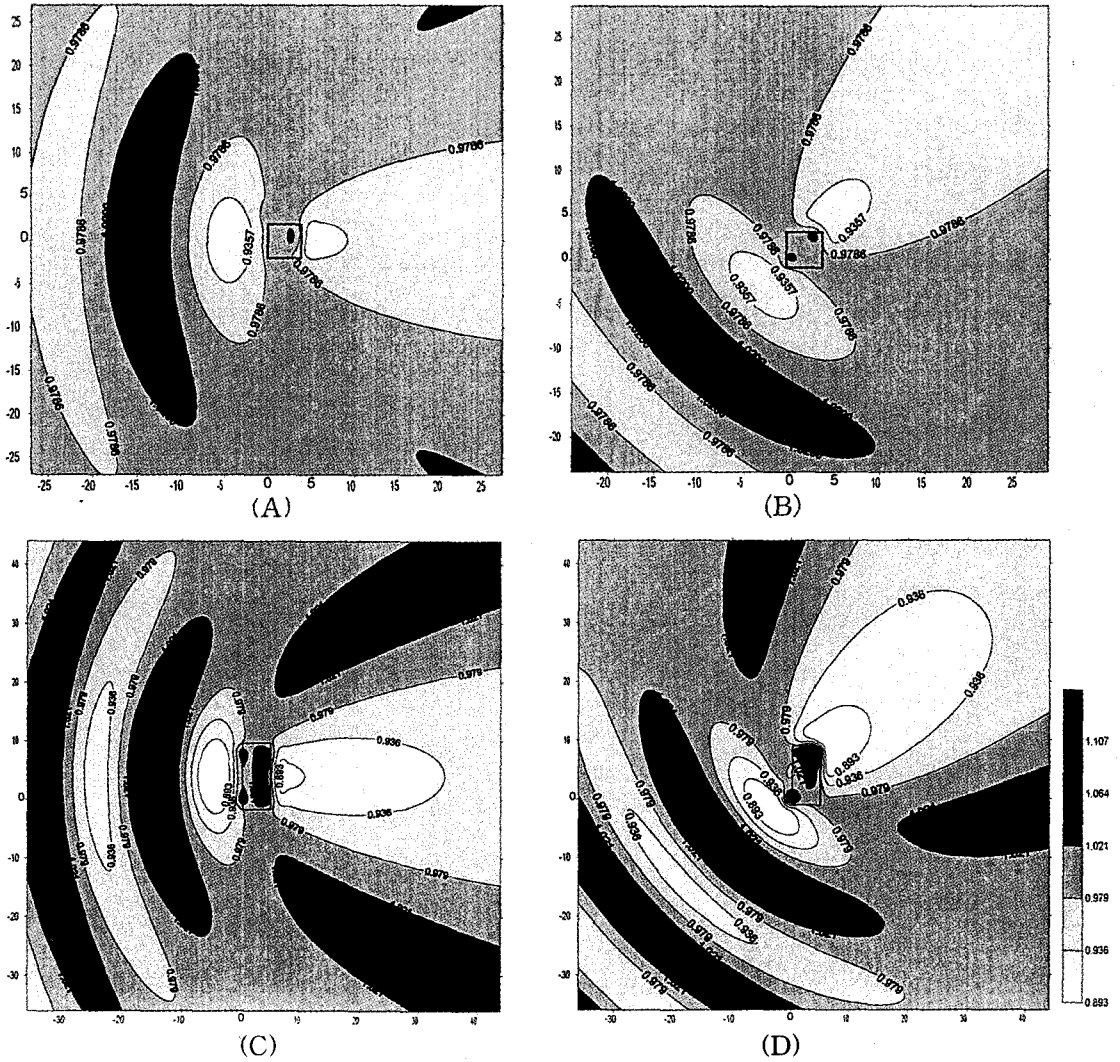


Fig.2(A), (B), (C), (D): Contours of Diffraction Coefficient for single pit with (A), (B): $b/a=1.0$, $\beta=0^\circ$, $\beta=45^\circ$, and (C), (D): $b/a=2.0$, $\beta=0^\circ$, $\beta=45^\circ$

얻었으며, Pit영역 내에서만 파고의 증가분의 분포 위치를 달리하고 있다

4.2 좁고 긴 Pit방파제 ($b/a=0.1$, $b/a=10.0$)에 의한 회절 특성

Fig.3(A), (B)에 나타낸 것

과 같이 Pit의 길이가 폭에 비하여 10배정도 길게 설치된 경우로서 Pit의 길이와 폭은 각각 1000m와 100m($b/a=0.1$)로 하였다. 길이가 긴 Pit는 Pit방파제의 후미에서 10%이상 20%이내의 범위에서 파고감소 효과를 얻었다.

한편, 폭이 넓은 Pit는 Fig.4(A), (B)에 나타낸 것과 같이 Pit의 길이를 10m, 폭을 100m($b/a=10.0$)로 하였다. 폭이 넓은 Pit의 경우에 대하여도 10%이상의 파고 감소 효과를 얻었다. 길이가 긴 Pit 방파제와 비교하여 보

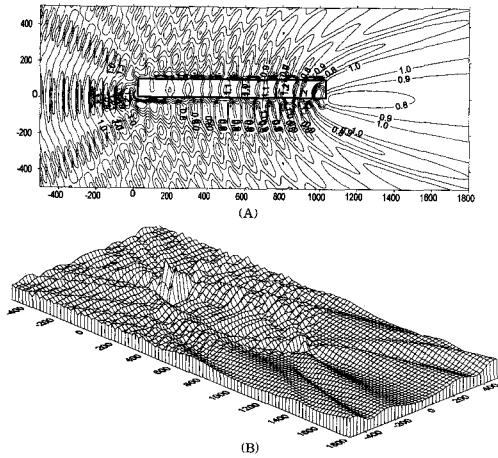


Fig.3(A),(B) : Contour and Surface Projection of Diffraction Coefficient for narrow and long single pit with $b/a=0.1$

있을 때 파고감소의 영역이 증가하였으나 파고감소율은 약간의 차이를 보이고 있다.

이러한 결과로부터, 긴 Pit의 경우는 선박의 안전항행을 도모하기 위한 방법으로서 적절하고, 폭이 넓은 Pit는 어항입구부에 설치하여 그 주변의 파형경사를 낮추어 쇄파발생의 억제수단에 유효할 것으로 판단된다.

5. 어항입구부에서 Pit 방파제의 응용 예

어항입구부에 Pit방파제가 설치된 경우에 그 효과를 조사하기 위하여 Pit방파제가 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 검토해 보기로 한다. 이 효

과를 조사하기 위하여는 수심 변화에 대응할 수 있

는 수치모델이 필요하게 된다.

수심변화를 고려할 수 있는 수치모델의 연구는 현재 다수 발표되어 있으며, 각각의 수치모델마다 그 특성을 가지고 있다. 수치모델을 간략히 구분하면, 분류방법에 따라 다를 수 있으나, 첫째, 선형화된 파동방정식으로 부터 시간별로 수위와 유량을 계산하는 방법으로서 Ito and Tanimoto (1972), Maruyama and Kajima(1985), Copeland (1985) 등의 연구, 둘째, Berkhoff가 제시한 緩傾斜

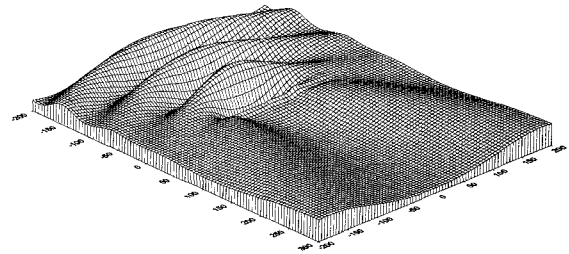
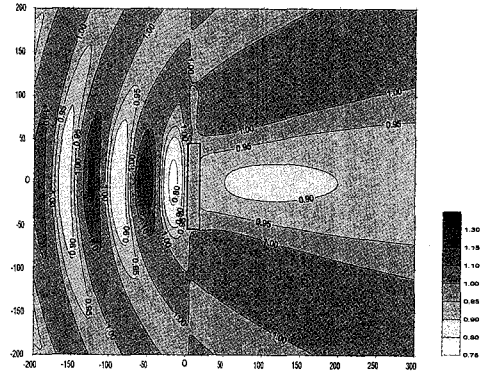


Fig.4(A),(B) : Contour and Surface Projection of Diffraction Coefficient for narrow and long single pit with $b/a=10.0$

방정식의 해를 타원함수로 구하는 형태이며, Berkhoff (1972,1976), Bettess(1976), Booij(1981), Kirby(1984)에 의한 연구를 들 수 있다. 셋째, 拋物線形모형으로서 前進技法을 사용하는 방법으로 Radder(1979)의 연구가 있다. 넷째, 波向線 굴절모델로 파랑이 파향선을 따라 진행하는 방법으로 취급하는 Larsen(1978), Southgate(1985) 등의 연구를 들 수 있다.

이 이외에도 Helmholtz 방정식을 Green정리에 의해 積

분방정식으로 변환하여 사용하는 방법이 있으며, Barailler and Gaillard(1967) 등의 연구를 들 수 있다. 본 연구는 위와 같이 분류한 각각의 연구방법에 대하여 논하려는 의도가 아니며, 수심변화에 대응할 수 있는 수치모형을 선택하여 Pit방파제의 효과에 대하여 검토하려는 것이므로, 위에서 분류한 첫 번째 방법을 채택하여 실시하기로 한다.

이 방법은 Ito and Tanimoto(1972), Yamamoto(1985)에 의하여 연구되었으며, 수치과동해석법으로 계산지점에서의 線流量 성분 및 水位 변동량을 미지수로 하여 逐次計算을 실시하며, 파랑의 전파상황을 시계열로 전개할 수 있도록 한 것이다. 파랑의 변

Table 1 Patterns of pit breakwaters in the vicinity of fishing harbor entrance

Classification	Pit patterns	Pit No
Case 1	Square Pit	Pit 1
Case 2	Long Pit	Pit 2
Case 3	Wide Pit	Pit 3
Case 4	Without Pit	

화에 대하여는 수심변화에 의한 淺水變形 과 굴절, 회절 및 부분반사에도 적용할 수 있다.

여기에서는 대상으로 하는 Pit방파제는 Table 1에 나타난 것과 같이 세가지 형태로 한정하여 그 효과를 조사하기로 하고, 어항입구부 주변에 설치한 Pit와 수심도에 대하여 Fig.5에 나타냈다.

우선 Pit방파제가 없는 경우 (Case4)와 정방형 Pit방파제 (Case1)가 있는 경우를 비교하여 보면 아래의 Fig.6과 같다.

그림은 입사지점으로 부터 파랑이 전파해 가면서 굴절, 천수 변형의 영향을 받으면서 해안선과 어항내로 전파해 가는 모습을 시간대별로 표현한 것이다. 두 Case의 비교를 쉽게 하기 위하여 같은 시계열별로 좌·우측으로 배열하여 놓았다. 첫 번째 좌·우 한쌍의 그림은 Pit방파제에 파랑이 도달하기 직전의 모습이므로 두 그림의 모양은 같다.

그 다음 밑의 한쌍의 그림은 Pit방파제를 통과한 직후이

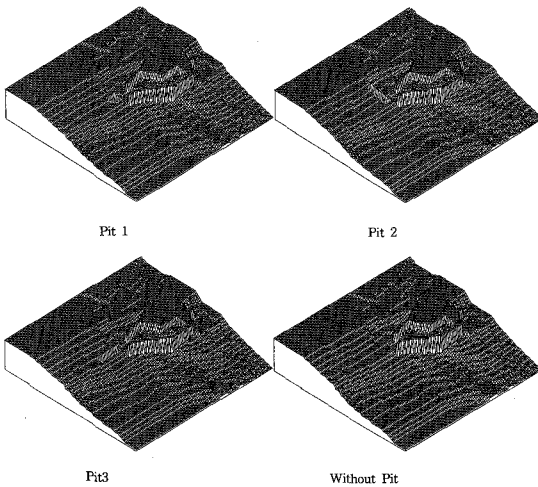


Fig. 5 : Surface projections of pits and water depth

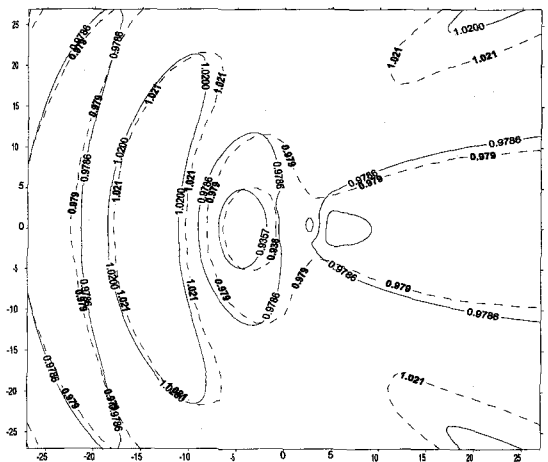
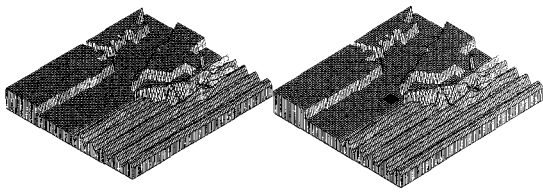
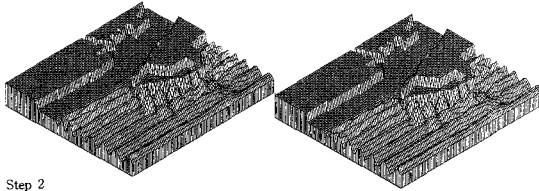


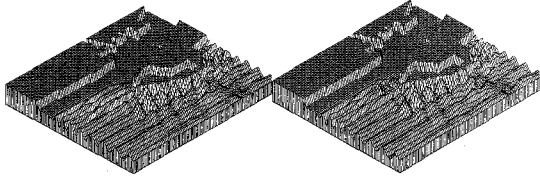
Fig. 8 : Comparison of Diffraction contours by the present study(solid line)and obtained by Williams(dotted line)



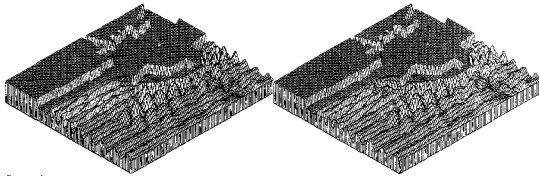
Step 1



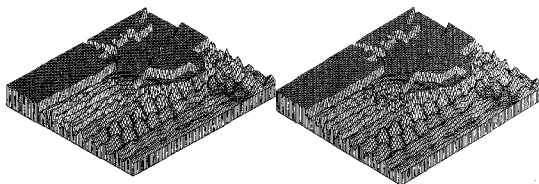
Step 2



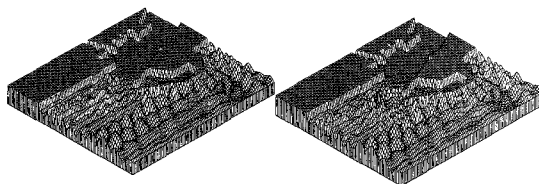
Step 3



Step 4

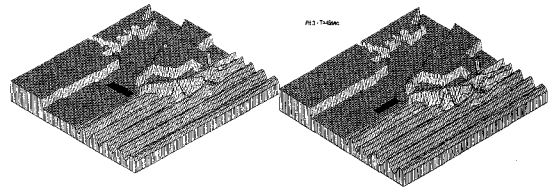


Step 5

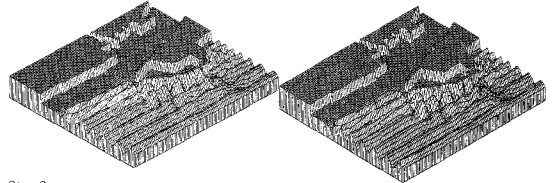


Step 6

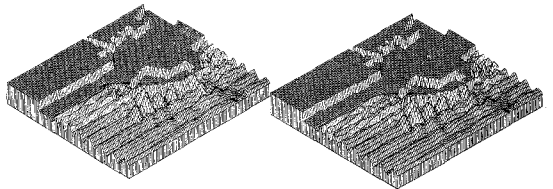
Fig. 6 : Comparison of surface projections (Left : without pit, Right : square pit)



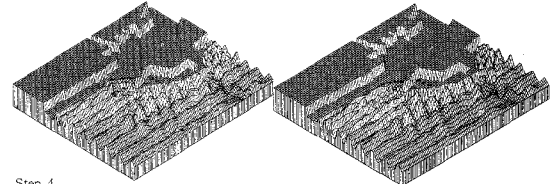
Step 1



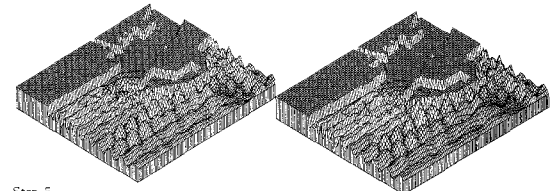
Step 2



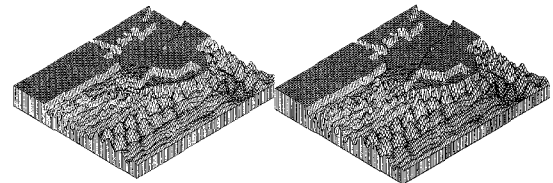
Step 3



Step 4



Step 5



Step 6

Fig.7 : omparison of surface projections for pit 2 and pit 3 (Left : pit 2, Right : pit 3)

고, Pit방파제의 영향을 받아 파고가 감소되었으며, 파형경사도 완만하게 변화하였다. 한편 Pit방파제를 완전히 통과한 후, 양측의 파고분포는 Pit방파제 부근에서 조금씩 차이가 나타나고 있으며, Pit방파제의 효과를 확인할 수 있었다.

한편, Pit 2 및 Pit 3의 경우에 대하여 비교한 것은 Fig.7에 나타내었다. Fig.6의 표현방식대로 왼쪽과 오른쪽으로 분리하여 시간경과에 따른 시계열 파고변화모습을 나타낸 것이다. 두 조건의 Pit 모두 파고감소 효과를 얻을 수 있었으며, 감소양상에는 약간의 차이가 나타나고 있으나, 어항입구부 주변에서의 쇄파발생 억제를 위하여는 Pit 2의 경우가 가장 유리한 것으로 보인다. 또한 항내의 파고분포는 Pit방파제가 없는 것에 비하여 Pit 1, Pit 2, 그리고 Pit 3의 경우에 파고감소 효과를 얻었다.

6. 수치모형의 타당성 검토

본 연구에서 수치모형은 첫째, 경계적분방정식을 이용한 Pit방파제에 의한 회절특성, 그리고 둘째, Pit방파제를 어항입구부에 설치한 경우의 수

심변화를 고려한 파랑전파 및 변형(천수변형, 굴절 및 회절, 부분반사등을 고려)의 효과를 조사하기 위하여 2종류의 수치모형을 사용하였으나, 그 타당성과 합리성을 조사하여 보기로 한다.

Fig.8은 본 연구에서 얻어진 결과에 대하여 타당성을 검토하기 위하여 기존의 Williams(1990)에 제시한 결과와 비교한 것이며, 동일한 조건하에서 얻어진 결과의 그림이다. 정방향 Pit에 입사각 $\beta = 0^\circ$ 인 경우에 대하여 회절도를 비교하

였으며, 양측의 결과는 매우 만족할 만한 일치를 보이고 있다.

한편, 세 종류의 Pit방파제를 어항입구부에 설치하였던 경우에 사용된 파랑모형의 타당성 조사는 Ito and Tanimoto(1972)에 의해 제시한 원형 암초에 대한 수리모형실험결과와 비교를 하였다.

파랑의 굴절에 대하여 반구체의 암초를 설치하였고, 본

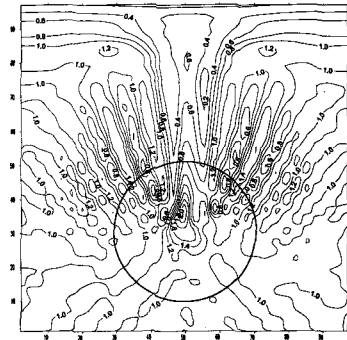


Fig. 9 : Contour of wave height over a shoal obtained by the present study

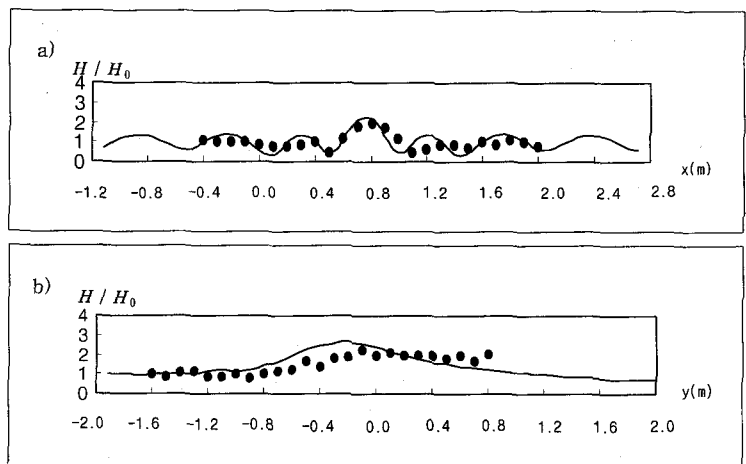


Fig. 10 : Comparison of wave heights over a shoal at a) $y = 0(m)$, and b) $x = 0.8(m)$, obtained by the present study(solid line) and Ito and Tanimoto(Symbol).

수치모델에 사용된 격자는 98×98 의 격자이며, 격자간격 $4S$ 는 파장의 $1/5$ 에 해당하는 $40m$ 를 사용하였다. 계산시간 범위는 11초 간격으로 0초~143초이며, 그 중에서 파랑이 발생하여 암초를 완전히 통과할 때의 상황을 재현하였다.

Fig.9에 나타낸 것과 같이 입사파에 대한 파고비 분포는 암초의 중앙부에서 파향선이 교차하는 파교점(caustics) 부근에서는 파고가 높아지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 Fig.10본 연구에 의한 수치모델 결과와 Ito and Tanimoto에 의한 수리모형실험의 결과를 각 지점별로 비교를 한 것이며, 비교적 좋은 일치를 얻었다.

7. 결론

본 연구는 어항입구부의 주변수역에서 쇄파발생의 억제 를 위하여, Pit방파제 설치에 따른 파랑감소 효과를 조사한 것이다. 우선, 4종류의 Pit방파제 조건에 따라 회절파의 특성을 조사하였으며, 조사방법은 Green정리에 의해 얻어지는 적분방정식으로 접근하여 경계요소법을 이용하였다.

이러한 결과들을 응용하여 어항입구부의 주변수역에 3종류의 Pit방파제를 설치하여

파고감소의 효과에 대하여 수치적으로 검토하였다. 또한, 본 연구에서 얻어진 결과들에 대한 적합성과 타당성의 조사를 위하여 기존의 연구결과들과 비교 검토하였으며, 비교적 만족할 만한 결과를 얻었다.

이러한 연구를 통하여 Pit방파제의 특징을 살펴보면, 수치계산상의 결과에서는 Pit방파제의 형상이 정방향보다는 장방향의 경우가 유리한 것으로 나타나고 있으며, 입사파고에 비하여 약 10% 정도로 감소한 것으로 나타나고 있다. 또한, 길이가 긴 것과 폭이 넓은 Pit방파제들의 경우에도 각각의 파고감소 효과는 거의 유사한 것으로 나타났고, 파고감소 효과가 입사파고의 10~20% 까지 얻을 수 있었다.

Pit방파제에 경사각으로 입사하는 경우에는 파고감소율이 큰 차이를 나타내고 있지 않으나, 배후의 파고감소 수역이 경사입사각의 형태로 나타나고 있다. 본 연구에서는 3종류의 Pit방파제를 어항입구부에 설치하고, 파랑감소 효과에 대하여 조사하였다. 이러한 경우에 대한 파랑의 조사방법에는 회절이외에도 수심변화 및 굴절, 천수변형을 별도로 고려할 필요가 있기 때문에 이에 대응할 수 있는 적절한 수

치모델을 사용하였다.

Pit방파제를 설치하여 파고감소 효과가 얻어졌으나, Pit방파제가 없는 경우에 비하여 Pit부분에서는 10%이상의 파고감소율을 얻을 수 있었고, Pit의 배후수역에서는 평균적으로 20%이상의 감소율을 얻었다.

향후, 어항입구부에서의 쇄파발생 억제책 혹은 항내정온도 향상 등의 목적에 따라 Pit방파제의 형상과 복수 Pit방파제의 설치에 따라 그 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 보인다.

한편, 이외에도 Pit방파제의 설치에 어항입구부에서의 항로의 안정성 확보나 공사중인 외곽시설물을 보호하기 위한 경우에도 활용될 수 있을 것으로 기대되는데, 특히, Pit방파제에 의한 파랑감소 효과는 장주기파에 대하여도 효과적이라는 Williams(1990)의 연구보고가 있으며, 만내 혹은 항내에서의 부진동 억제책에도 활용될 수 있을 것으로 보인다.

그리고 Pit방파제의 설치에 따라 얻어지는 준설토는 침식이 발생하는 인근 해빈에서 활용될 수 있고, 해상 경관 등을 해치지 않으며 수역의 고도이용, 수질 등의 환경보전 차원에서 그 역할을 기대할 수 있을 것으로 전망된다. ◻