

◎ 論 文

釜山港開發에 따른 波浪分析和 海面副振動에 관한 研究⁺

李 重 雨*·金 知 妍**

(1991년 6월 7일 접수)

A Study on the Analysis of Water Waves and Harbor Oscillations due to the Development of Pusan Harbor

Joong-Woo Lee and Ji-Yeon Kim

Key Words : 水理모델(Hydraulic Model), 境界條件(Boundary Condition), 港灣副振動(Harbor Oscillation), 波浪場(Wave Field), 共振(Resonance), 現場觀測(Field Observation), 增幅比(Amplification Factor), 放射(Radiation)

Abstract

An accurate estimation of water level variation when the waves propagate to the coastal region is very important for the port and harbor development plan. This study describes the application of a hybrid element model to harbor oscillation problem due to the construction of shore structure and implementation of shore boundary. The site selected is Pusan Harbor area with the third development and the Artificial Island plan. The observed water level changes at the site are compared with the result of the numerical experiment. The model gives a very important prediction of water level changes for navigation and harbor design.

1. 緒 論

새로운 港灣設計나 기존의 港灣을 보완하고 향상시키기 위한 계획 등에 필수적이라고 할 수 있는 분야는 의도하는 構造物을 설치하기 전과 후에 있어서 만과 항에서의 入射波에 대한 反應을 예측하

는 것이다. 따라서 이에 대한 문제를 더욱 효과적으로 해결하기 위해서는 工學的인 分析에 걸맞는 최선의 방법을 개발하는 것이 요구되며 또한 이를 개선하는데 노력과 투자를 아끼지 않아야 할 것이다. 특히 정확하고 효과적인 波浪의 變化에 관한 모델은 解析的일 수도 있고 水理모델(hydraulic model)이나 數値모델(numerical model)일 수도

+ 1991년도 한국해양공학회 춘계 학술대회 발표(1991년 5월)

* 정회원, 한국해양대학 항만·운송공학과

** 한국해양대학 대학원

있지만 서로 長短點을 지니고 있고 또한 대규모의 비용과 영구적인 시설물 설치, 나아가서는 자연환경의 변경이라는 관점에서 工事前에 충분한 分析과 檢討가 필요하므로 신중한 결정을 내려야 한다.

여기서 언급하고 있는 海面副振動은 港內 또는 灣內에서의 수면이 장주기로 승강하는 현상을 기술하는 것으로 港 또는 灣의 固有振動週期에 비교적 가까운 주기를 가진 外部의 長週期波와의 共振現象에 의해서 入射波보다 훨씬 높은 파를 나타내 보인다.

外海에서 이와같은 微小振幅長週期波의 발생원인에 대한 여러 연구²⁾들이 계속 실행되었는데 어느 경우든 항만의 부진동은 선박에 대해 손상과 하역작업에의 지연을 초래하고 또한 항만고정구조물에 영향을 미치는 것은 물론, 조석이나 하천으로부터의 범람, 해일 등 기타 해면 상승요인과의 중복에 따른 상승효과는 매우 심각하여 이러한 부진동의 발견과 진폭의 감소에 관심을 갖게 되는 것이다.

水理모델을 통한 파랑의 분석은 단주기파에 대해서만 행할 수 밖에 없으므로 부진동의 분석은 현장관측과 數值實驗을 통하여 실행하나 현장관측의 경우는 항만의 구조물 건설전 즉 현상에서의 관측만 가능하고 구조물 변경에 대한 분석은 건설이 이루어진 후에 시행될 수 있어서 예측은 불가능하며 기기설비의 과대 및 장시간에 걸친 조사가 필요하다.

본 연구는 可變水深 港灣海域에서 부진동조사를 위한 현장관측에 병행하여 장주기파의 傳播에 대해 연안 및 항만의 반응을 數值的으로 豫測하는 것으로 기존의 類似 數值모델에서 제외시킨 海底摩擦이나 境界面에서 波의 吸收 등을 도입하고 反射된 파의 放射條件을 적용하여 모델에 도입, 이를 실제 부산항의 광역개발에 적용한 예를 보이고 있다.

2. 副振動觀測

부진동의 현장관측을 위해 해양연구소가 개발한 ISTG(Intelligent Seiche & tide gauge)를 1990년 봄, 여름, 가을, 겨울에 걸쳐 Fig. 1과 같이 Station

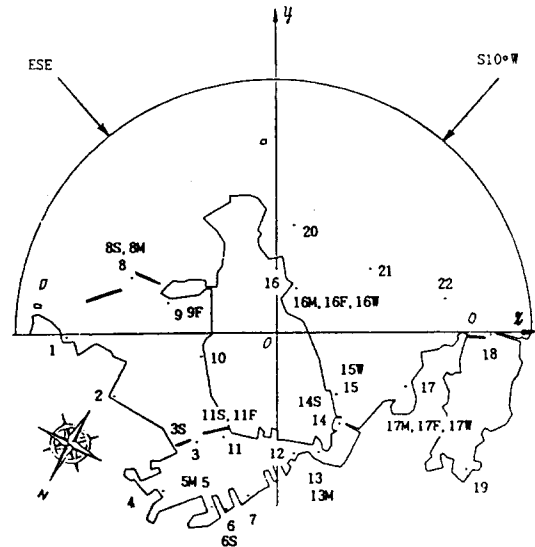


Fig. 1 Selected stations for the field observation (S, M, F, W, Spring, Summer, Fall, Winter) and numerical response

3, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17에 투입하였는데 선정된 위치점은 항내계류 선박의 거동 및 구조물에 중요한 영향을 미치리라 예상되거나 모델검정에 중요한 지점으로 현상 및 장래 인공섬을 계획할 때의 해변변화를 수치실험을 통해 조사하기 위한 것이나 비교를 위해 유사한 지점의 일부를 선택하였다.

사용한 기기의 성능은 매 0.5초 간격에서 100여 초까지의 간격으로 순간 水位를 관측할 수 있으나 본 연구에서는 간격을 5초로 정하고 약 30초 이상의 주기를 가진 장주기파를 관측하도록 하였는데 그중 Station 6(북내항) Station 14(남항)에서의 봄에 측정한 결과만을 나타내면 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. 여기에서 Station 6의 경우 미약한 수분대의 단주기가 50분대의 주기와 혼재하여 기록되고 있고 특히 55분대에서 높은 에너지분포를 나타내며 Station 14에서는 10분 이상의 진동이 큰 에너지로 이보다 작은 주기의 진동과 중첩되고 있음을 나타내고 있다. 전체 관측결과로는 부진동중 55분대, 25분대, 15분대에서 증폭비가 큰 반응이 나타났으며 10분대 이하에서는 비교적 낮은 반응을 보였지

만 Station 및 계절에 따라 5분대에서 비교적 높은 반응을 보이는 곳도 조사되었다.

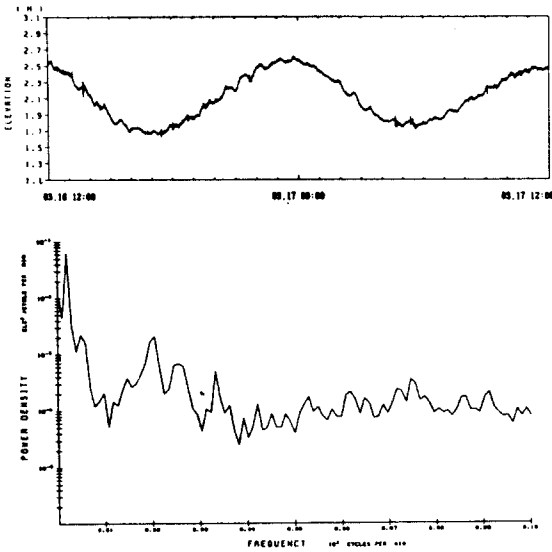


Fig. 2 Observed temporal variation of the water level(a) and analysed power density(b) at station 6 for spring time

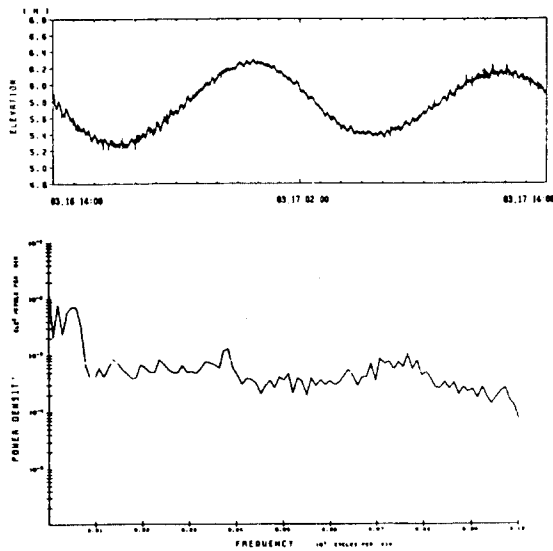


Fig. 3 Observed temporal variation of the water level(a) and analysed power density(b) at station 14 for spring time

3. 適用方程式

해면진동 및 파의 변환에 대한 기본방정식의 정식화와 수치적 접근을 간략하게 소개하면 다음과 같다. 정식화 과정에서 波浪場은 선형이고 시간으로 보아 주기적이라 가정하여 외해에서 내해로 파가 입사해 들어올 때 해역을 유한해역구간 A와 무한구간 C로 구분하고 이들 영역은 반원 모양의 개방경계면 ∂A 로 연결되는 것으로 한다(Fig. 4 참조). 이때 해안선 경계를 ∂B 로 하고 반무한구간은 직선형 해안경계로부터 수평방향 $y \geq 0$ 으로 무한대까지 확장되어 있는 것으로 하며, 구간 C에서는 수심이 일정하고, 해저마찰은 입사파에 대해 존재하지 않는 것으로 둔다. 이와 같이 정의된 해역에서의 기본방정식은 해저마찰 ξ 를 고려하여 식(1)과 같이 정리된다.

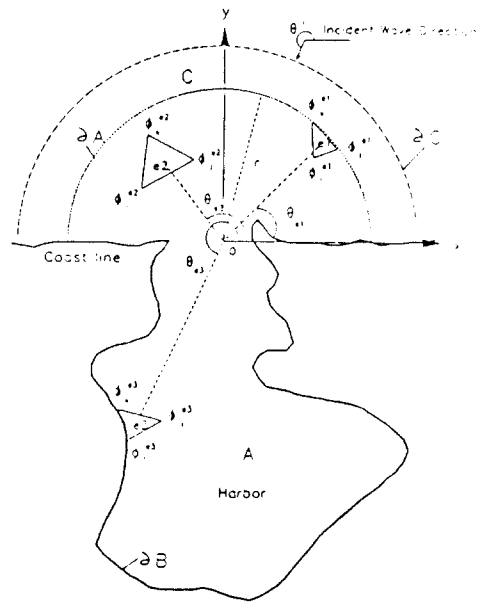


Fig. 4 Classification of different regions for numerical scheme.

$$\frac{\partial}{\partial x} \xi C C_g \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \xi C C_g \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{\omega^2 C_g}{C} \phi = 0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 C 는 파속, C_r 는 파의 군속도로 이는 파수 k 와 수심 h 를 정의하여 식(2)와 같이 표시한다.

$$C_r = \frac{C}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \dots\dots\dots (2)$$

또한 해저마찰은 식(3)으로 나타내는데 이때 β (x, y)는 무차원의 해저마찰계수, γ 는 유체의 수평 방향속도성분과의 위상차를, a_0 는 입사파의 진폭을 가리킨다.

$$\xi \left\{ \left(1 + \frac{i\beta a_0}{h \sinh kh} \exp(i\gamma) \right) \right\} = 1 \dots\dots\dots (3)$$

주어진 x, y 방향의 좌표계에서 수평방향 유속 u, v 와, 자유표면의 상하이동 η , 동수압(hydrodynamic pressure) p_d 는 시간함수를 분리한 공간속도 포텐셜 ϕ 및 해수밀도 ρ 를 사용하여 식(4)~(7)로 정리된다.

$$u(x, y, z, t) = \xi f \frac{\partial \phi}{\partial x} \exp(-i\omega t) \dots\dots\dots (4)$$

$$v(x, y, z, t) = \xi f \frac{\partial \phi}{\partial y} \exp(-i\omega t) \dots\dots\dots (5)$$

$$\eta(x, y, t) = \frac{i\omega}{g} \phi \exp(-i\omega t) \dots\dots\dots (6)$$

$$p_d(x, y, z, t) = \rho \omega \phi \exp(-i\omega t) \dots\dots\dots (7)$$

이때 f 는 $\cosh k(z+h)/\cosh kh$ 로 파랑장의 수직방향 변화율을 가리킨다.

해안경계면 ∂B 에서의 경계조건은 반사계수 K_r 을 사용하여 불완전반사 및 산란을 고려하여 식(8)로 하고 개방경계에서 Sommerfeld의 放射條件 (radiation condition)으로 $y \geq 0$ 인 모든방향의 무한구간에서 조건식 (9)를 만족하는 것으로 한다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} - ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \phi = 0 \dots\dots\dots (8)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \phi^s = 0 \dots\dots\dots (9)$$

여기서 n 은 경계면에서 외부로 수직방향을, ϕ^s 는 방사되어 나가는 파의 속도포텐셜을 나타낸다.

4. 數值解析方法

이것으로 식(1)의 基本方程式을 포함한 完全한 境界值 問題의 形態를 갖춘 셈이 된다. 이와같은 境界치 문제를 풀기 위해 수치해석방법으로 複合 要素法(HEM)을 사용⁸⁾ 하기로 한다.

上記의 境界條件式(8), (9)를 만족시키며 식(1)을 풀이하는 것은 一般的으로 困難하고 有限要素法에서의 變分法(variational method)을 使用하여 그 汎函數(functional) $F(\phi)$ 가 一定하도록 즉, 境界條件式들을 汎函數에 加해서 이 汎函數를 最小로 하도록 하는 形態로 變換한다.

이에 따라 最終 最小化할 汎函數는 Green의 第1의 同一性의 原理 및 Gauss定理에 의해 境界條件式을 포함시키면 積分方程式의 形態로 다음 식(10)과 같이 된다.

$$F(\phi) = \iint_A \frac{1}{2} \left[\xi C C_r (\nabla \phi)^2 - \frac{C_r}{C} \omega^2 \phi^2 \right] dA + \int_{\partial A} \frac{1}{2} \xi C C_r (\phi_c - \phi^l) \frac{\partial (\phi_c - \phi^l)}{\partial n_A} ds - \int_{\partial B} \frac{1}{2} \xi C C_r ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \phi^2 ds - \int_{\partial A} \xi C C_r \phi_A \frac{\partial (\phi_c - \phi^l)}{\partial n_A} ds - \int_{\partial A} \xi C C_r \phi_A \frac{\partial \phi^l}{\partial n_A} ds + \int_{\partial A} \xi C C_r \phi^l \frac{\partial (\phi_c - \phi^l)}{\partial n_A} ds + \int_{\partial A} \xi C C_r \phi^l \frac{\partial \phi^l}{\partial n_A} ds \dots\dots\dots (10)$$

이때 ϕ^l 는 入射波의 複素速度포텐셜이고 ϕ_A 와 ϕ_c 는 각각 Fig. 4에서 정의된 (A) 및 (C) 區間에서의 複素速度포텐셜을 가리킨다. 식(10)에 유한구간을 삼각요소로, 무한구간을 극대요소로 하는 하이브리드 요소법으로 접근하여 變換過程을 거치면 一般的인 形態의 代數方程式(algebraic equation)로 간략화하여 表現할 수 있으며 이를 Gauss소거법에 의해 그해를 구할 수 있다. 이 複素速度포텐

설의 解는 파고로 전환되어 대응하는 週期에 대한 增幅率을 2, 3次元的인 그래픽 및 反應曲線으로 정리할 수 있다.

5. 數値모델實驗 및 分析

수치계산이론을 기초로 수립한 모델의 有效性은 이미 여러 기존 모델이나 실험결과와 비교를 통하여 입증된 바 있다(Lee, 1989, 1990). 여기서는 수립된 모델을 釜山港 3단계 개발 공사와 인공섬 개발 계획을 토대로 하여 시뮬레이션 모델을 수립하기로 한다. 모델에는 釜山北內港 및 北外港을 포함하여 釜山南港 및 南外港과 감천항까지를 그 영역으로 하고 海底摩擦係數 β 를 수정하여 0.05로 港灣의 反應曲線을 살펴보기로 한다. 이 영역 내에는 중앙에 영도를 포함하여 오륙도, 서도, 생도의 섬과 北內外港 방파제 및 南港 방파제 등이 해안선과 분리하여 수제선을 이루고 있으며 이를 제1모델 수립으로 하고 인공섬 및 인공섬 건설과 병행하게될 외부 방파제 축조가 제2모델 수립에 첨가되었다.

釜山港 오륙도측의 승두말과 감천항 우단측의 자단말을 모델의 좌우한계로 한 영역은 그 규모로 보아 영도의 중심에서 반경 6.75km 以內의 海域이 되는데 外海 측을 개방경계면, 內陸 측은 해안선을 그 경계면으로 구성하였다. 釜山 北內港의 경우, 海域은 4km×2km, 수심은 제1부두 및 연안여객부두의 6-8m를 제외하고는 10-12m를 유지하고 있다. 釜山北外港의 경우는 그 규모로 보아 대략 4.5km×2.5m로 水深이 10-25m로 緩慢하게 변하고 있고 北內港에 이르는 水路는 13m以上으로 유지하고 있다. 또한 釜山 南港의 海域은 1.2km×1km로 평균수심 6m 정도이며 南外港 측은 6m에서부터 境界까지 25m 정도로 緩慢히 변화하고 있다.

유한요소망의 구성은 유한요소의 마디간 거리를 최대 150m를 한계로 하였고 이를 정리하면 다음과 같다.

정리된 모델에서 매트릭스 밴드폭이 비교적 높게 나타나는 것은 개방경계면에서의 파의 방사조건을 해석해도 도입하기 위해 개방경계면상의 node 순을 전체 node 배열의 최후에 위치시켜서

구 분	node수	개방경계 node 수	요소수	매트릭스의 밴드폭
제1모델 3단계완료후	5007	155	9314	263
제2모델 인공섬 계획	4687	156	8499	305

對角行列(diagonal matrix)이 되도록 했기 때문이며 이를 위해 특별히 프로그램을 개발하였다.

廣範圍한 港灣水域으로 이 港에 대한 여러 共振 mode를 計算하는 시뮬레이션은 방대한 컴퓨터 사용시간의 제약때문에 여기에서는 特定周波數範圍와 選擇된 週期에 대한 海面의 패턴을 나타내 보이는 것으로 한다. 시뮬레이션 주파수 범위는 60 sec에서 600sec로 하고 그 이상의 장주기파에 대해서는 부진동 관측기록분석으로 이상반응을 나타낸 주기와 방향만을 선택하였다. 이 港에 대한 波의 方向別 海面의 패턴을 보기 위해 釜山港 第3段階開發事業에 따른 波浪解析調查報告書(1984) 및 其他 觀測報告書에 의한 有意波의 方向을 分析하였고 N50°E와 S10°W 方向이 主를 이룸을 알 수 있었다. 또한 태풍의 時期에는 ESE의 방향에서도 강한 파가 빈번히 발생하고 있음을 알았으나 이중 N50°E 방향은 영도 및 오륙도, 승두말 등으로 차단이 되고 있고 이는 短周期波이므로 모델실험에서는 제외하였다. 태풍의 시기에는 ESE방향으로 태풍이 지난 이후에는 이 방향에 따른 長周期波가 도래하는 것으로 보고 이를 主方向으로 하였으며 S10°W 방향은 인공섬 계획지역에 계획 방파제에 거의 直角方向으로 작용하여 영향을 미치는 것으로 短周期波의 방향이나 이를 시뮬레이션에 고려하였다.

파의 도래방향은 현재의 부산항(부산항 제3단계 개발 완료후)과 인공섬계획하의 부산항에 각각 도입하면 Fig. 1로 나타낼 수 있는데 그림에서 보는 바와 같이 모델에 도입된 좌표축은 X축이 진북(true north)에 대하여 240° 기울어져서 S10°W 방향과 ESE 방향의 경우는 모델에서 각각 230°, 307.5°로 입사되는 것으로 나타났다.

제1모델과 제2모델을 구성하기 위해 관련해역을 삼각요소로 나누면 Fig. 5와 Fig. 6으로 나타낸다.

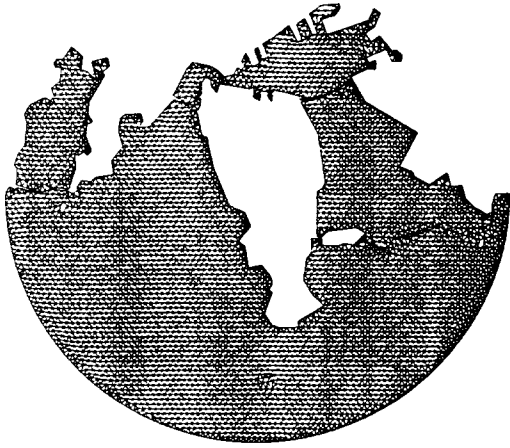


Fig. 5 Discretization of the present Pusan harbor with triangular elements (5007 nodes and 9314 elements)



Fig. 6 Discretization of the artificial island project of Pusan harbor with triangular elements (4687 nodes and 8527 elements)

이들 해역을 digitize하여 수심을 모델에 도입, 나타난 2차원 해저형상은 현재의 부산항에 대해서는 Fig. 7과 같은데 장래 인공섬 계획은 동일한 수심을 사용하고 호안 및 매립, 준설의 경우를 고려하였다. 해저면의 형상을 보면 외해에서 내항으로 점진적인 수심의 변화를 보이고 있는데 북외항에서는 항계에서 부터 북내항으로 이르는 帶狀의

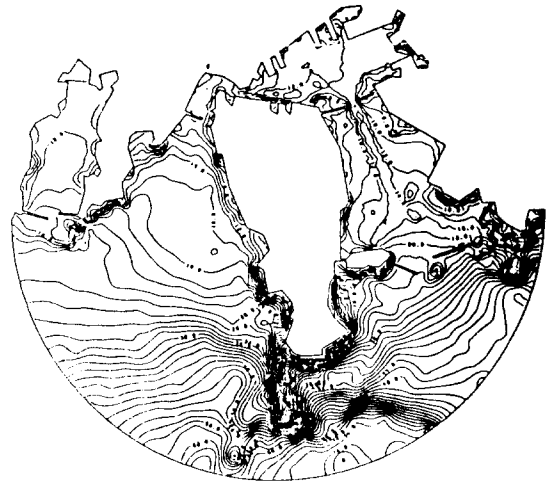


Fig. 7 Bathymetry of the present Pusan harbor

水路가 준설되어 있음을 알 수 있다. 한편 영도 남단의 생도 부근에서는 비교적 복잡한 양상을 띠고 있으며 이는 단주기의 외파를 고려할 때 ESE 방향의 파에 대해서는 남항 외측의 해역에 barrier 역할을, S10°W 방향의 파에 대해서는 북외항 측 해역에 barrier 역할을 담당하고 있음을 예상할 수 있다.

해안경계조건은 반사계수(K_r)로서 해안구조물의 종류에 따라 달리 적용하였는데 직립방파제, 직립부두, 암벽, 호안, 사석제, 해변 등의 순으로 반사계수를 0.95에서 0.35까지 현지조사를 통해 지역에 따라 가변하는 값을 적용하였다.

Fig. 1에서 언급한 좌표계에서 방향별 모델의 실험을 방대한 시간이 소요되었다. Fig. 8~11은 주기를 60sec로 하고 S10°W방향에 대한 결과를 2, 3차원으로 각각 나타낸 것으로 현재와 인공섬계획의 경우이다. Fig. 8, 9의 경우 영도 측 남항반사제에서 호안에 3배이상의 강한반응을 일으키고 반사된 파는 송도측 철청소 암벽역과 횡방향의 진동 mode를 보이면서 삼각형 모양으로 만입된 해역에서 입사파와 반사 파가 혼재하는 형상을 나타내고 있으며 북외항 방파제 부근에서는 입사된 파가 방파제에 반사되어 외부로 향하고 있고 북외항은 평균 0.5이하의 증폭비를, 북내항전역에서는 낮고 안정된 반응을 나타내고 있다.

ps060a 0.05-S10W-60sec-no is.

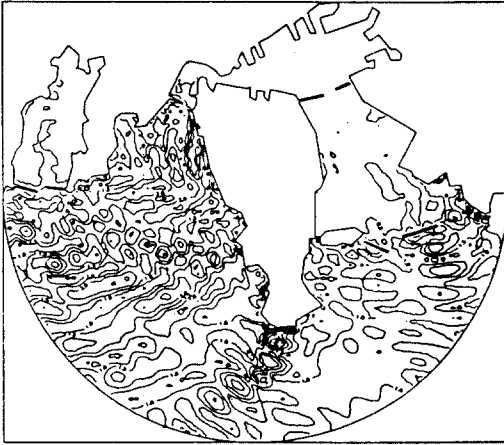


Fig. 8 Contours of wave height amplification factor for the present Pusan harbor (60sec S10°W)

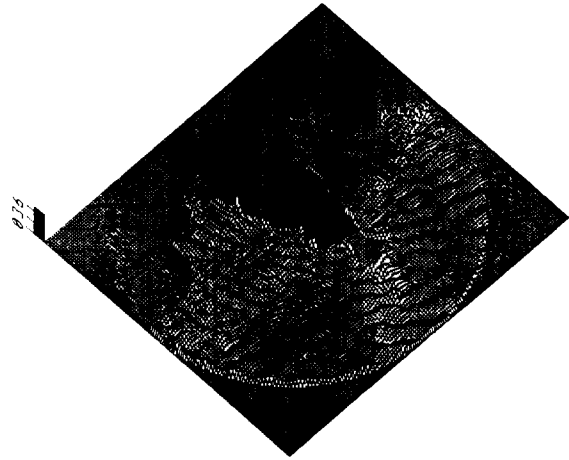


Fig. 10 Contours of wave height amplification factor for the Pusan harbor with the artificial island project (60sec, S10°W)

ps060a 0.05-S10W-60sec-w/ is. corr.

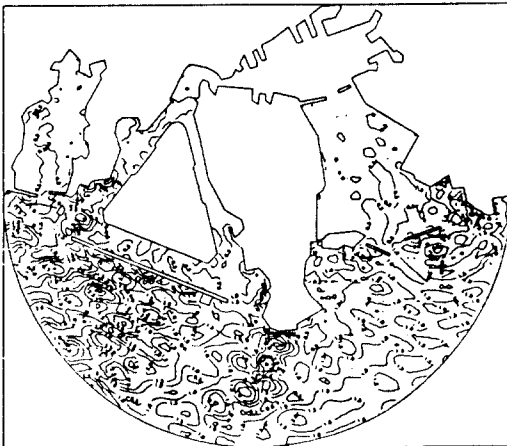


Fig. 9 Surface patterns for the present Pusan harbor (60sec, S10°W)

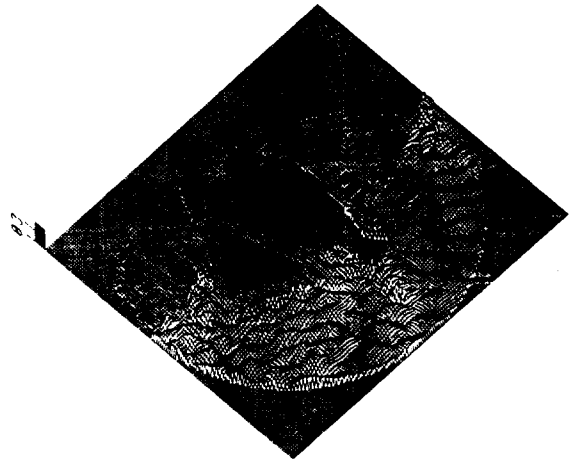


Fig. 11 Surface patterns for the Pusan harbor with the artificial island project (60sec, S10°W)

Fig. 10, 11의 경우 인공섬계획으로 중리지역, 생도후부 태종대부근역, 용호부두에서 승두말에 이르는 해역이 상당히 높은 반응을 나타내고 있으며 일반적인 경향으로는 인공섬 방파제와 북외항 방파제 외역에서 혼합파가 나타나 인공섬을 계획하지 않은 상태보다 높게 나타난다. 이의 영향은 반

대측인 북외항의 항입구측과 승두말측까지 미치고 있다. 인공섬 방파제의 내측 중앙부위를 보면 증폭비가 각각 3.0, 2.2에 이르고 있어서 이의 저감 대책이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 12 및 13은 현재의 부산항에 대해 55분의 주기, 인공섬계획으로 10분의 주기에 대한 반응의 예를 나타낸 것이다. 관측에서 나타난 55분내에

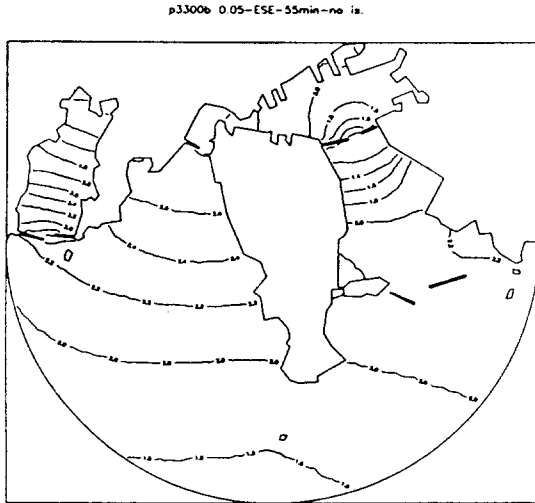


Fig. 12 Contours of wave height amplification factor for the present Pusan harbor (55min, ESE)

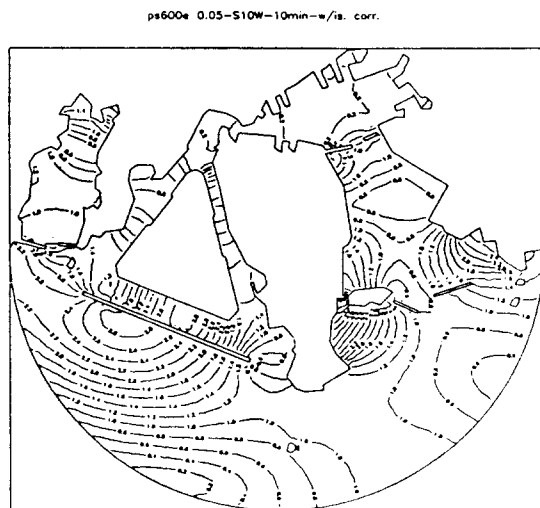


Fig. 13 Contours of wave height amplification factor for the Pusan harbor with the artificial island project (600sec, S10°W)

대해서는 감천항과 남항에 이르는 삼각형의 만에 매우 높게 반응하고 있음을 알 수 있다.

한편 55분은 물론 24.6분 및 34분의 주기에서 모델실험 결과 남외항의 높은 증폭비를 보였는데 이는 남외항의 평면적 형상 및 수심의 분포에 기

인한다. 특히 tsunami의 주기대역이 이와 같은 주기대역이고 해안 및 해저형상이 이들 주파수대를 증폭시키고 있는 것으로 해석이 되는데 이에 대한 실례는 태평양상 빈번하게 tsunami의 영향을 받고 있는 하와이섬의 Hilo항에서 찾아볼 수 있다. 칠레, 알류산열도 등지에서 발생한 이들 장주기파가 Hilo항을 6-12m 높이까지 덮친 예는 과거 기록으로 쉽게 알아볼 수 있으며 이는 Hilo항의 해안형상이 남외항과 같이 삼각형으로 만입되어 특히 피해가 심한 것으로 나타났다. 한국은 일본열도에 의해 大洋上에서 발생하는 tsunami에는 보호되고 있으나 간혹 동남해안에서 기록되고 있고 특히 동해안에는 1983년대에 많은 어항들이 이에 피해를 받은 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 주기의 외파에 대한 수치실험과 여기서 실행된 결과는 중대한 의미를 부여한다고 하겠다.

또한 남항에서 영도의 중리측 수로는 S10°W 방향에 대해 인공섬이 차단하고 있어서 인공섬 계획 전보다 정온한 상태를 보이고 있지만 남항에서 송도측 수로에 대해서는 파가 바로 유입되고 있고 방파제에 의해 생성된 중복파가 두도와 인공섬 방파제 사이로 유입되어 입구에서 송도 혈청소 부근 역까지에는 증폭비 2배 이상의 반응을 보이고 있으나 남항과 북내외항은 인공섬 설치 전후와 별로 차이를 보이지 않고 있다.

태종대와 조도동단에 이르는 해안역을 보면 두 파향 공히 최고 3.4정도 이상의 높은 증폭비를 나타내었는데 이는 삼각형의 만입해안선에 수심이 급격히 변화하여 이 주기의 파에 증폭되는 것으로 볼 수 있고 이는 비단 10분대 뿐만 아니라 이보다 짧은 주기에 대해서도 발생하고 있음을 수치실험이나 현장의 目測에 의해 나타나고 있다.

이 이외의 장주기에 대한 북외항의 반응은 현재의 항만에 대해 실험한 바와 유사한 경향을 보이어나 다소 높은 현상을 보였다.

모델 시뮬레이션을 행하여 선택한 주파수 밴드에 대한 입사파 방향별 항만의 反應特性曲線중 Station 6과 14에서 인공섬계획 전후의 경우를 도시하면 Fig. 14, 15와 같다. Fig. 14에서는 북내항의 경우 북외항 및 북내항 방파제와 남항방파제 및 영도대교하의 병목구간 등 이중으로 파의 유입이

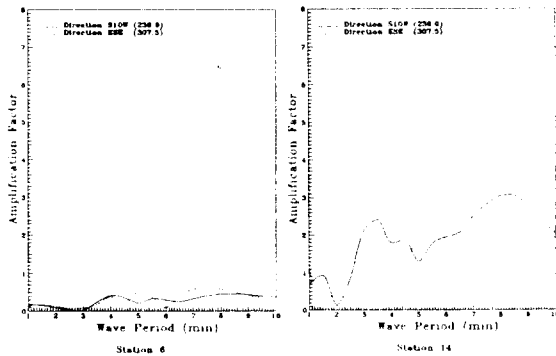


Fig. 14 Frequency response curves for the present Pusan harbor at station 6 and 14

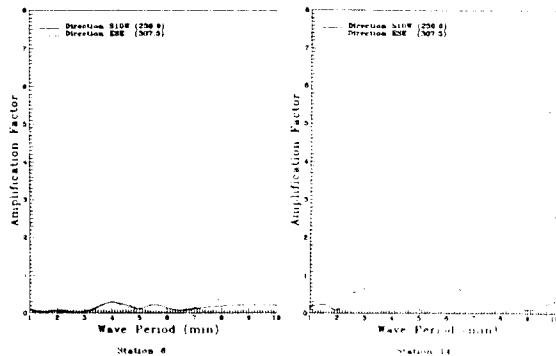


Fig. 15 Frequency response curves for the Pusan harbor with the artificial island project at station 6 and 14

차단되는 공간으로 인하여 예상한 바와 같이 선택한 단주기의 영역에서는 St. 4에서 평균적으로 0.5 이하의 낮은 증폭비를 보이고 있고 북내항 방파제의 개방면 부근역(St. 3, St. 11)과 북내항의 남향측 한계부근(St. 12)에서는 10분대로 옮겨감에 따라 증폭비 1로 접근하고 있는데 이들 주파수 영역으로는 아직 관측점인 Station 6에서 기록되는 범주에 들지 않은 것을 알 수 있다.

그러나 남향에서는 남외항의 삼각형으로 만입된 영역에서 횡방향의 진동에 의해 유입되는 영향으로 Station 14에 나타난 바와 같이 주기 8분 내지 9분대에서 증폭비가 2.2 및 3.2로 높게 나타나고 있으며 이지점 방사제 외측에서 해안에 가깝고 남향방사제 부근으로 접근할수록 증폭비가 훨씬 높

아 이들 해역이 현실적으로 태풍 및 저기압의 통과전후에 상승적으로 파도로 침수되거나 파손되는 부분임을 관련시킬 수 있다.

한편 Fig. 15를 보면 북내외항에 대해서는 북외항 방파제의 존재로 다소 영향은 있으나 ESE 방향의 파가 S10°W 방향의 파보다 높게 나타나고 남내외항에서는 이와 반대로 여전히 S10°W 방향의 파가 높게 나타나고 있는 경향을 보이고 있다. 그러나 전체적으로는 인공섬 계획에 의해 남향은 물론 북내외항에서의 정온도가 높아지며 반응의 경향은 인공섬을 계획하기전과 유사한 형태를 유지함을 지적할 수 있다.

수치모델의 적용이라는 관점에서 특히 주의하여야 할 것은 공진 mode 부근의 주기에서는 peak값이 해안경계의 반사계수에 매우 민감하게 나타나는데 직립구조물과 같은 경계에 대해 계수의 미세한 감소가 peak 값을 대폭 감소시키므로 결과를 분석할 때 이를 인지하지 못하고 지나쳐버리는 경우라고 하겠다.

또한 계절별 관측분석자료를 조사해보면 관측치에는 파향이 전방향에 대하여 반응한 것으로 비교적 해저마찰, 반사, 등 여러 파라메타들을 합리적으로 모델에 도입하였다면 단일방향을 기준으로 하여 결과가 도출되는 수치해석보다 높게 나타날 수 있는 것이 사실이다. 이와는 달리 관측의 경우, 물론 계절별로 관측을 행하여 가능하면 발생할 수 있는 장주기외파를 측정하도록 하고 이의 분석으로 필요 해역에의 부진동을 규명하게 되는데, 역시 특정 장주기외파의 발생은 한해에 이루어 지지 않는 경우가 있으므로 앞에서 기술한 관측기록 주요 주기에 나타나지 않는 경우가 발생하므로 이는 여전히 수치해석이나 이론적 접근의 길밖에 없다고 하겠다.

6. 結 論

제3단계 부산항개발 및 인공섬 계획에 따라 북외항, 북내항, 남향, 감천항을 포함한 광역해역에 대한 해변변화를 현장관측 및 수치실험을 통하여 분석하였다. 부진동에 대한 특성의 파악 및 예측은

항내정박 및 접안선박의 거동, 하역과 구조물 안정에 관련된 중요한 문제로 해양연구소에서 개발한 해수위 변화 관측기기 ISTG를 사용하여 공동으로 선정된 Station에 대해 1990년 4계절에 걸쳐 時系列관측자료를 스펙트럼분석으로 나타난 이상 반응주기와 복합요소법을 동원한 수치해석으로 이를 비교 분석하였다. 관측 및 수치실험결과 북내항 및 남항역을 기준으로 55분대, 25분대, 15분대의 부진동 mode가 발견되었으며 10분이하의 주기에서는 5분전후의 진동이 각 Station에서 기록됨을 알았다.

본 연구에서 다루고 있는 수치모델로 분석한 자료를 현장 관측자료와 비교해 보면 장소에 따라 다소 차이가 있으나 5분대와 10분대의 기록으로는 영도의 중리측(St. 16)은 여름의 파향은 영도가 파를 차단하므로 겨울의 경우가 높은 증폭비를 보이고, 송도측(St. 17), 남항 방사제 부근역(St. 14, St. 15) 및 영도대교 아래(St. 13), 북내항 동방파제 후위(St. 3), 조도(St. 9) 등에서 유사한 증폭비를 보였다. 그이의 북내항에서는 5.5분 및 6분대에 St. 7, 9, 10, 11 등에서 파향에 따라 증폭비 1.0전후로 반응하여 관측기록에 접근함을 나타냈다.

여기서 주목하여야 할 것은 비록 관측지점에서 증폭비를 나타내고 있으나 이들 지점이 초기 예상되는 중요 반응 지점이라 간주하여 장기간이 소요되는 관측장비를 계절별로 투입하였다는 것인데 이는 실제 반응이 아주 높게 나타날 수 있는 지점과 일치하지 않는 경우가 대부분이므로 관측지점만이 문제해결을 위한 필연적이라는 관념에서 탈피하여야 하며 전체 영역을 파악하기 위해서는 수치해석의 결과를 2, 3차원적으로 나타낸 바와 같은 분석으로 주기별 반응에 따른 문제 영역을 다루어야 할 점이다.

後記

이 논문은 1990년도 교육부지원 학술진흥재단의 자유 공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

參考文獻

- 1) 강시환, 이동영, 이종우 등, “연안방재 시설의 설계기준 산출연구(I)”, 한국과학기술원 해양연구소 BSPG 00076-230-2, 1989
- 2) 이종우, “구룡포항의 개발과 파급효과에 관한 연구”, 한국항해학회지 제14권 제1호, p. 39, 1990
- 3) 한국종합기술개발공사, 일본테트라포드주식회사 등, “부산항 제3단계 개발사업 수리모형실험 보고서”, 1984a
- 4) 한국종합기술개발공사, 일본테트라포드주식회사 등, “부산항 제3단계 개발사업 파랑해석조사 보고서”, 1984b
- 5) Abramowitz, M. and I. A. Stegun, “Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, National Bureau of Standards”, Applied Mathematics Series 55, 1964
- 6) Behrendt, L. and I. G. Jonsson, “The Physical Basis of the Mild-slope Wave Equation”, Coastal Engineering, pp. 941-954, 1984
- 7) Berkhoff, J. C. W., “Computation of Combined Refraction-Diffraction”, Proc, 13th. Coastal Engng. Conf., Vancouver 1972, ASCE, Vol. 1, pp. 471-490, 1972
- 8) Lee, J. W., “Hybrid Element Analysis of Water Waves for Harbor Design”, Ph. D. Diss., Department of Ocean Engineering, University of Hawaii, 1989
- 9) Lee, J. W., “Open Channel Effects in a Mathematical Model and Modification of Harbor, The Proceedings of the PACOMS '90, Int. Soc. of Offs. and Polar Engineers, Vol II, pp. 61-70, 1990
- 10) Mei, C. C., “The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves”, John Wiley & Sons, 1983