

九龍浦港의 開發과 波及效果에 關한 研究

李 重 雨*

A Study on the Development of Guryongpo Harbor and Its Impact

*Joong-Woo Lee**

目 次

Abstract	3.2 數值實驗結果
1. 序 論	4. 結 論
2. 數值모델理論	5. 後 記
3. 數值實驗	參考文獻
3.1 港灣環境	

Abstract

Numerical model simulations are conducted for the evaluation of the water level variation in and out of the harbor due to the development and improvement of a harbor. The method used for the numerical analysis is the hybrid element method which includes energy dissipation due to imperfect reflection at the shore boundary and friction at the bottom. The model also includes the radiation condition on the open boundary by the analytic formulation and is applied to a real harbor, Guryongpo Harbor at the east coast of Korea.

The result of experiment within the selected wave frequency band shows that the amplification factor out of the harbor is more than 2.0 at 32 sec period and strong responses near 20 sec, 25 sec, 54 sec periods in the harbor. Moreover, simulation results indicate that other longer wave periods affect to the variation of water level and horizontal water particle velocity exist. Thus, it seems to be necessary to modify the planform and the design of the harbor structures for the coming development.

*正會員, 韓國海洋大學 港灣·運送工學科 教授

1. 序 論

港灣開發과 이에 수반되는 영향은 그 지역 자연환경은 물론이고 經濟, 社會 全般에 걸쳐서 그波及效果가 크다고 하겠다. 점차로 자연보호에 대한 욕구가 높아지고 있는 현대에 있어서 자연에 변화를 가져오는 개발에는 항상 신중하고 주도면밀한 조사와 분석을 가하여 과오를 범함이 없어야 할 것이다. 지금까지의 개발을 주도하고 있는 측의 타당성조사는 일반적으로 政治, 經濟, 社會적인 側面을 상당히 강조하여 자연에 대한 부차적 파급효과를 뒤로 한 예가 많았다. 또한 개발측의 능력에 대한 한계성때문에 세밀한 分析을 하지 못한 경우를 찾아볼 수 있는데 여기서는 港灣開發計劃中 실제 建設過程에서는 考慮하지 못했던 港內海域의 海面副振動에 관한 문제를 數值實驗을 통하여 다루고자 한다.

海面副振動이라고 하면 호수나 灣에서의 수면이 장주기로 승강하는 현상을 기술하는 것으로 자세히 살펴보면 호수나 만의 固有振動週期에 비교적 가까운 주기를 가진 外部의 長週期波가 진입할 때 공진에 의해서 훨씬 증폭되어 나타난다. 일반적으로 항만에서 해수의 수직 방향운동은 단지 수 cm에 불과한 것으로 나타나기도 하지만 때로는 입사파고의 수배에서 수십배에 이르기도 한다. 또한 긴 入射波長으로 인해 수평방향의 운동이 장거리에 영향을 미쳐 정박중인 船體에 Surge 및 Sway 운동을 가져오고 荷役作業제한, 항내의 각종 정박시설에 손상 등을 일으키고 있다.

따라서 港灣開發의 기술 부족과 항만지역에서 발생한 문제점들을 인식 하지 못했기 때문에 이들은 수정, 보완되지 않아 기존의 항만은 더욱 황폐하게 되는 것이다.

外海에서는 이와같은 微小振幅長週期波의 발생 원인에 대한 연구가 계속 진행되어 왔다. 과거, 바람에 의한 海水의 堆積, 氣壓變動 또는 海底地震을 그 발생원인으로 본 때도 있었고 Munk(1949)는 기파대(Surf Zone)에서 비선형과 과정을 통한 'Surf Beats'로 발생한다고 보고 해변의 경우는 入射波의 1%정도가 반사되어 장주기파형을

갖는다고 했다. 그러나 Carr(1953)는 이를 반박하여 'Surf Beats' 과정이 해수의 장주기의 수직 방향운동에는 관여하나 가장 중요한 水平方向要素가 없음을 지적하였다. Wilson(1968)은 Los Angeles 및 Long Beach항의 연구에서 계절적인 주기 및 강도를 가지는 副振動現狀을 지적하고 남반구의 폭풍이 장주기파의 원인임을 암시하였다. Keith등(1970)은 페루의 San Nicholas항의 연구에서 간혹 장주기파군이 일반적인 海象상태에서 발견할 수 있음을 알고 부진동 요인에 지역 Surf Beats외에 진행파를 포함시켰다. Durham(1976)의 기록에는 다시 장주기 항만부진동에서의 관측에너지 수준은 입사장주기파의 에너지수준과 상관있음을 보였다. 어느 경우든 항만의 부진동과 관련된 문제점은 선박에 대해 손상과 하역작업의 지연을 초래하고 또한 항만고정구조물에 영향을 미치는 것은 물론, 조석이나 하천으로부터의 범람, 해일등 기타 海面上승요인과의 중복에 따른 상승효과를 가져온다는 것이다.

그러나 이를 규명하기 위한 수리모델 분석은 단주기파에 대해서만 행할 수 밖에 없고 또한 관측장비의 부족과 노후화로 실제 港灣設計에서 副振動에 대한 구체적인 고려는 제대로 행하여지지 않아 건설후에 항만을 이용하는 자로부터 많은 지적을 받고 있는 실정이라 數值實驗에 의존할 필요가 있는 것으로 사료된다.

Wiegel(1964) 이후로 계산기의 발달과 함께 부진동에 관한 수치실험에 Raichlen(1966), Lee(1969, 1971), Hwang 및 Tuck(1970), Shaw(1976), Houston(1976), Durham(1978), Lepelletier(1980), Lee(1989) 등과 같이 수치기법상에도 다양한 발전을 가져왔다고 하겠다.

우리나라에서도 부진동에 관한 통계적인 자료를 이(1966), 추(1974) 등이 제시하였고, 이(1986), 박(1986) 등이 數值모델로 기초연구를 하여 이에 대한 관심을 불러 일으켰지만 여전히 방법과 모델의 한계성을 벗어날 수 없었다.

본 연구에서는 앞서의 數值解析에 누락시켜온 海岸 및 海底 境界面과 開放 境界面上的 制반조건을 고려하여 數值解析의 정도를 높이고 실제의

九龍浦港 開發案에 적용하여 開發後에 있을 변화
 나 그 영향을 살펴보고자 한다.

2. 數值모델理論

一般的으로 海洋에서는 波의 重疊, 碎波, 不規則性, 粘性, 에너지확산 등의 많은 現象이 波의 傳播에 한 부분을 차지하고 있고 이 모든 것들을 하나의 數值모델에 導入하는 것은 매우 어렵다. 여기에는 여전히 特別한 處理가 必要한데 本 計算에서는 海底摩擦을 考察한 修正된 Helmholtz 方程式 即 變換된 緩傾斜方程式(Transformed mild slope equation) 式(1)을 使用하고 Fig. 1과 같은 問題領域에서 그 境界值條件으로 式(2) - 式(5)를 使用하기로 한다.

- C_g : 波의 群速度
- C : 波速, $C^2 = g/k \tanh kh$
- h : 水深 $h(x, y)$
- g : 地球의 重力加速度
- k : 波數($2\pi/L$)
- ω : 波의 角周波數($2\pi/T$)
- ϕ : 2次元 複素速度포텐셜函數, $\phi(x, y)$

海底摩擦 factor λ 는 海底最大流速에 비례한다고 가정하여 다음 式(2)와 같이 定意하는데 여기서 β 는 地域에 따라 變하는 無次元의 係數, α_0 入射波의 波振幅, γ 는 波와 海底摩擦사이의 位相差(phase difference)이다.

$$\lambda = \frac{1}{1 + i \frac{\beta \alpha_0 e^{\gamma}}{h \sinh kh}} \dots\dots\dots (2)$$

그 예로 $\beta=0$ 이면 $\lambda=1$ 로 方程式(1)은 海底摩擦이 포함되지 않은 緩傾斜 波浪式이 된다. 여기서 適用하게 되는 港灣水域을 Fig. 1과 같이 任意形狀과 可變水深을 導入한다고 할때 섬, 海邊, 防波堤, 埠頭 등 境界面에서의 垂直方向에 대한 流速이 存在함을 反射係數(Reflection Coefficient, K_r)을 使用하여 나타내면 境界面을 따라 다음과 같다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \Gamma \phi, \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $\Gamma = ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r}$ 이다.

海底摩擦係數 β 와 유사하게 係數 $r=0$ 일 때, 即, $K_r=1$ 로 境界面에서 完全反射할 경우는 式(3)이 一般的으로 數值모델에서의 境界條件처럼 境界面에서 流體速度의 垂直成分, $\partial \phi / \partial n$ 은 0이 됨을 알 수 있다. 또한 水路나 防波堤와의 gap에 대해서는 水理모델 경우처럼 Wave Absorber를 使用할 必要없이 $K_r=0$ 로 둬으로써 같은 效果를 얻을 수 있다.

傳統的인 有限要素法(Finite Element Method, FEM)에 의한 副振動에 의 接近은 必要水域을 三

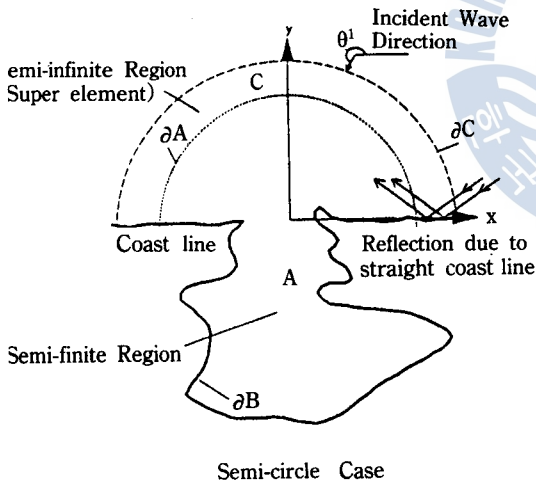


Fig. 1 Definition Sketch of the Problem Region in the Harbor

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi) + \frac{C_g}{C} \omega^2 \phi = 0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서
 ∇ : 水平方向 gradient 연산자

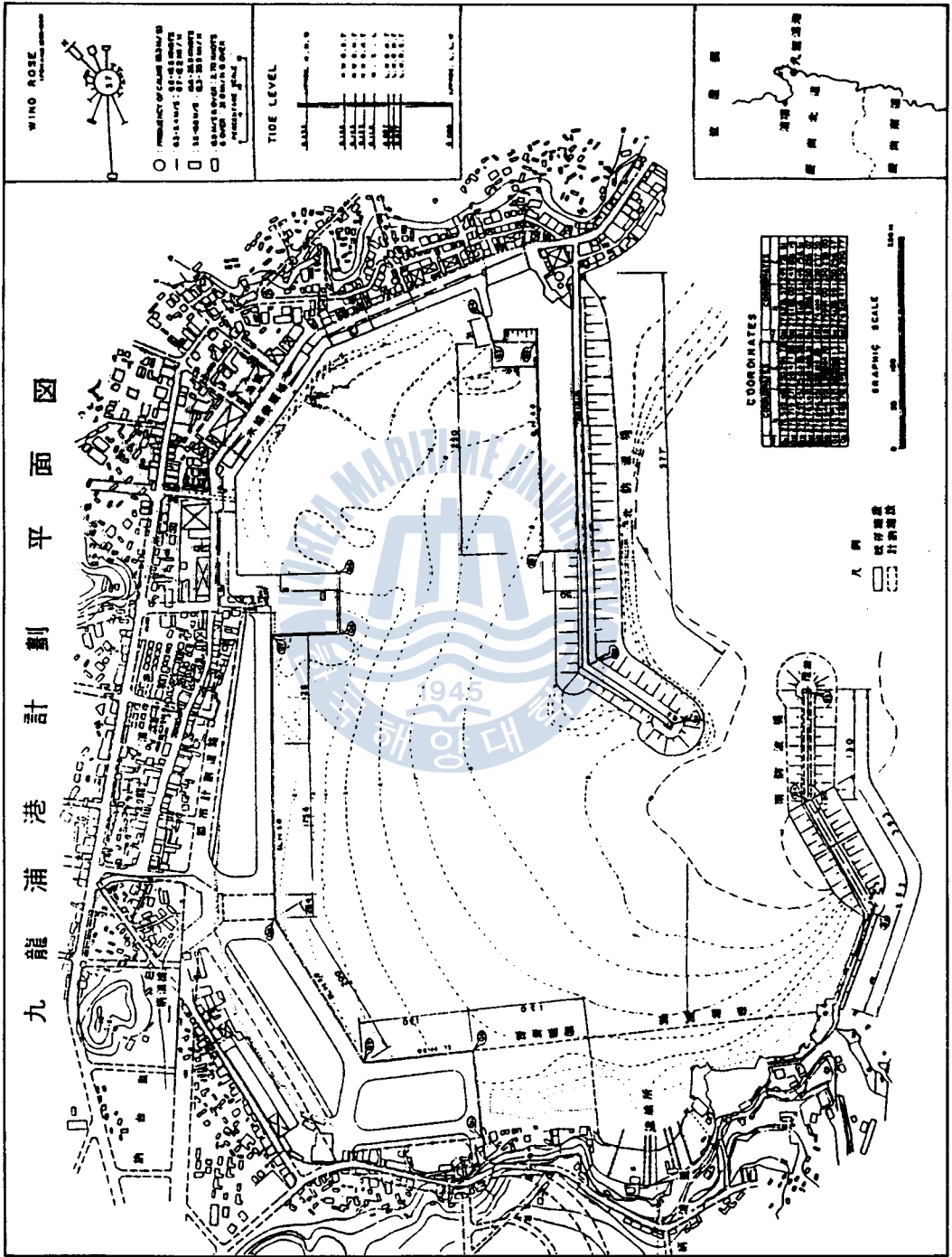


Fig. 3 Location and Base Map of Guryongpo Harbor

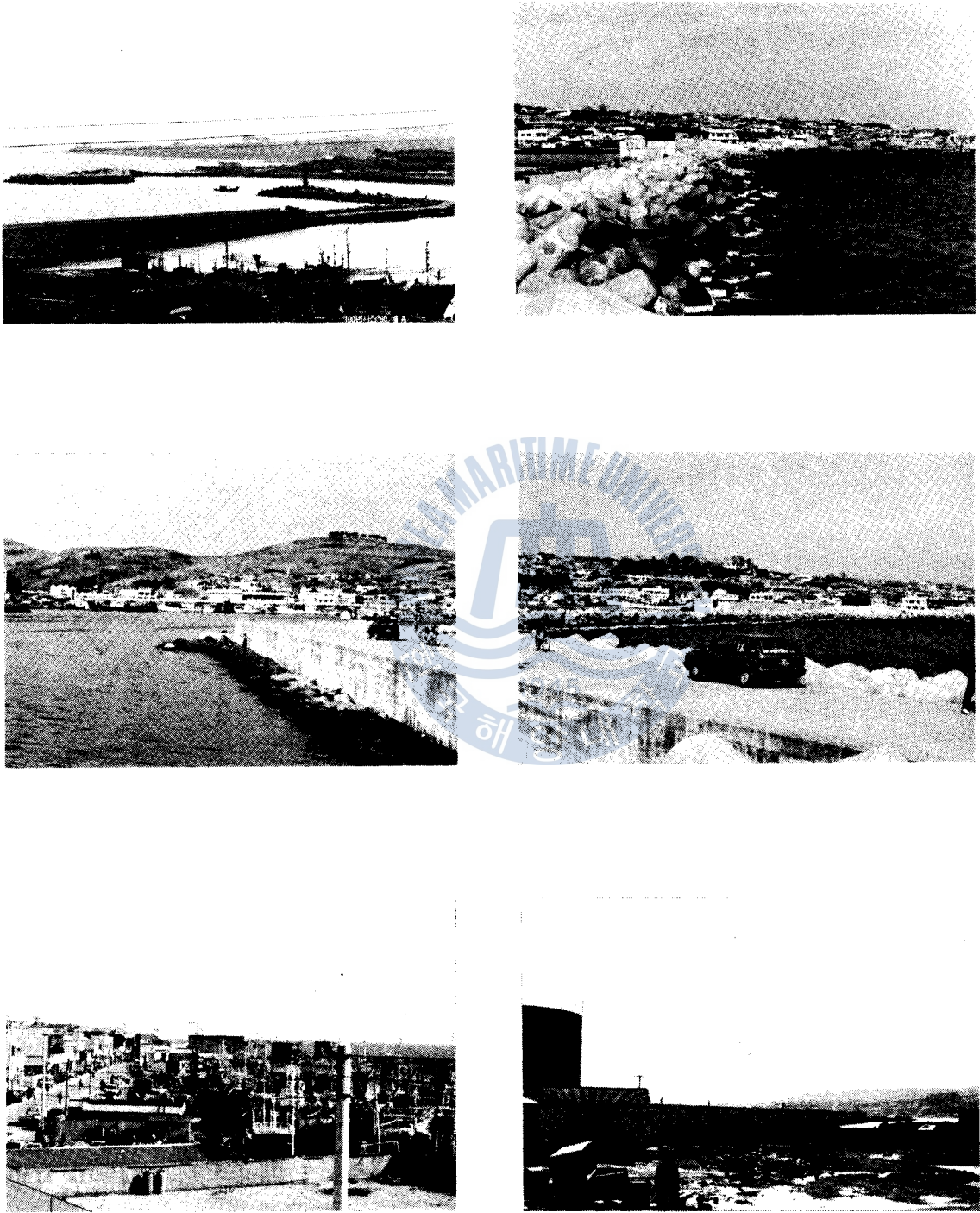


Fig. 4 General Views of Guryongpo Harbor

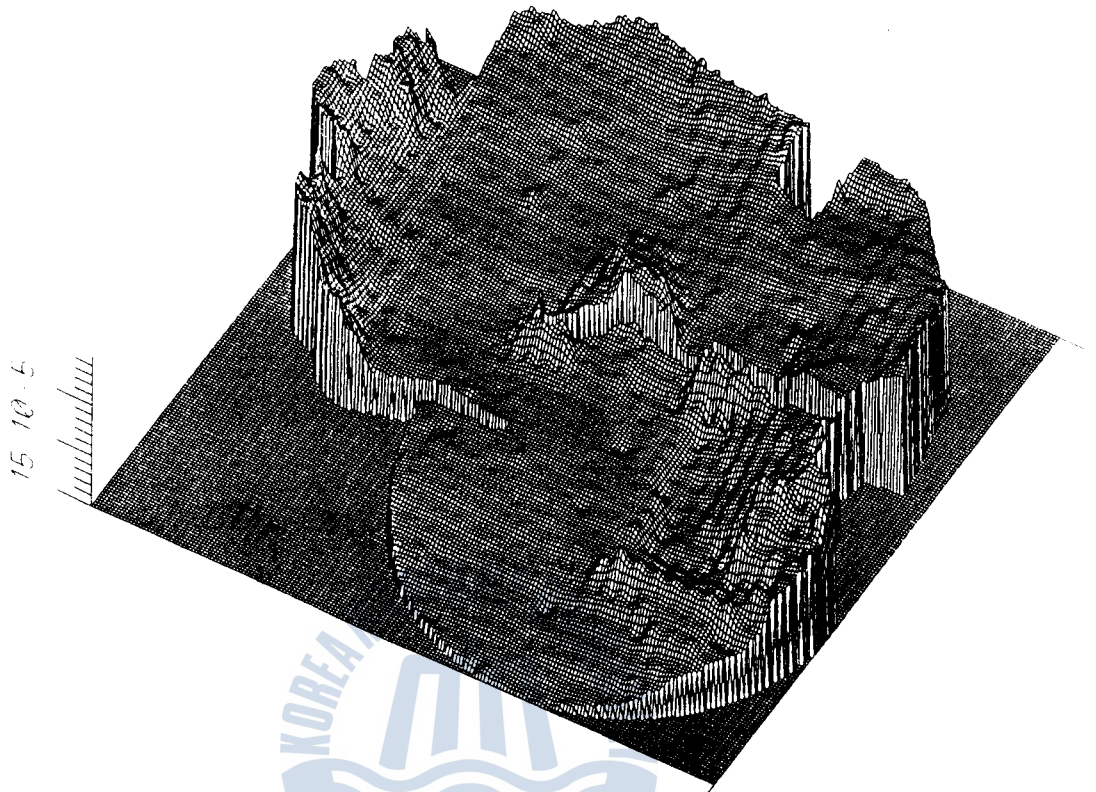


Fig. 8 Bottom Profile of Guryongpo Harbor

3.2 數值實驗結果

Fig. 9와 Fig. 10은 現場調查를 통하여 海岸構造物 및 自然境界面에 대한 파랑의 반사율을 0.5에서 0.95에 이르는 다양한 값으로 선택하여 실제 항만에 유사하도록 하였고 海底摩擦係數로 입증된 바(Lee, 1989a)와 같이 0.05를, 지각을 $-\pi/4$ 로 하여 20sec에서 60sec에 대한 반응을 數值實驗한 것으로 波高의 增幅率을 나타낸다.

反應曲線 중에서 실선은 SSE방향(모델에서 232.5°)이고 점선은 NE 방향(345°)을 가리킨다.

모델시뮬레이션은 20sec에서 30sec의 주기의 파에 대해 1sec 증분마다 각방향에 대하여 실행하였고 30sec에서 60sec의 범위에서는 매 2sec 증분마다 실행한 것이다. Fig. 9의 Station 1에서는 전주기에 대하여 SSE방향의 파랑에 대한 반응이

NE방향보다 높으나 Station 2에서 5까지는 두 방향에 대해 비슷한 반응을 나타내고 있다.

그러나, 內港에 들어와 Station 6에서 12에 이르는 수직안벽 주위에서는 비록 반응 패턴이 두 방향에 대해 유사함을 보이나 주기 20sec 전후에 대해서는 정반대의 반응을 보여주고 있는 것이 그 특징이다. 즉, NE 방향에 대하여 증폭률 20 이상을 보이는 반면 SSE 방향에 대해서는 증폭률 1이하의 값으로 나타나고 있다.

선택된 주파수밴드에서 Fig. 9와 Fig. 10을 보면 20sec, 25sec, 54sec 전후에서 높은 반응을 나타내는데, 전체 주파수 밴드에서 항만 입구 내측에 위치한 조선소 및 수리시설 주위에서는 비교적 낮은 반응을 나타내는 것은 완만한 水深變化의 海邊을 이루어 파가 소멸하기 때문으로 볼 수 있

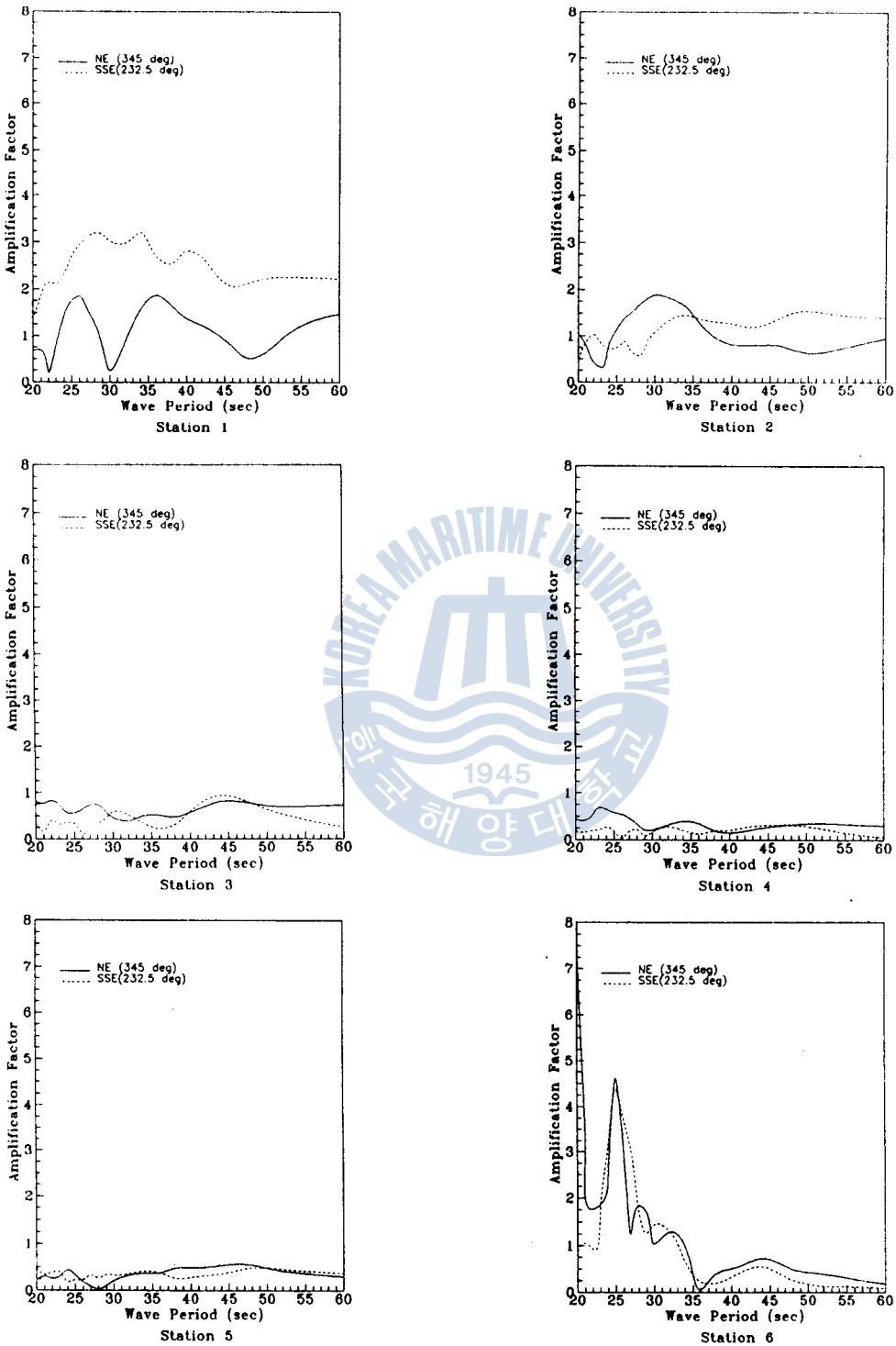


Fig.9 Frequency Response Curve – Wave Height Amplification Factor for Guryongpo Harbor at Stations 1 through 6

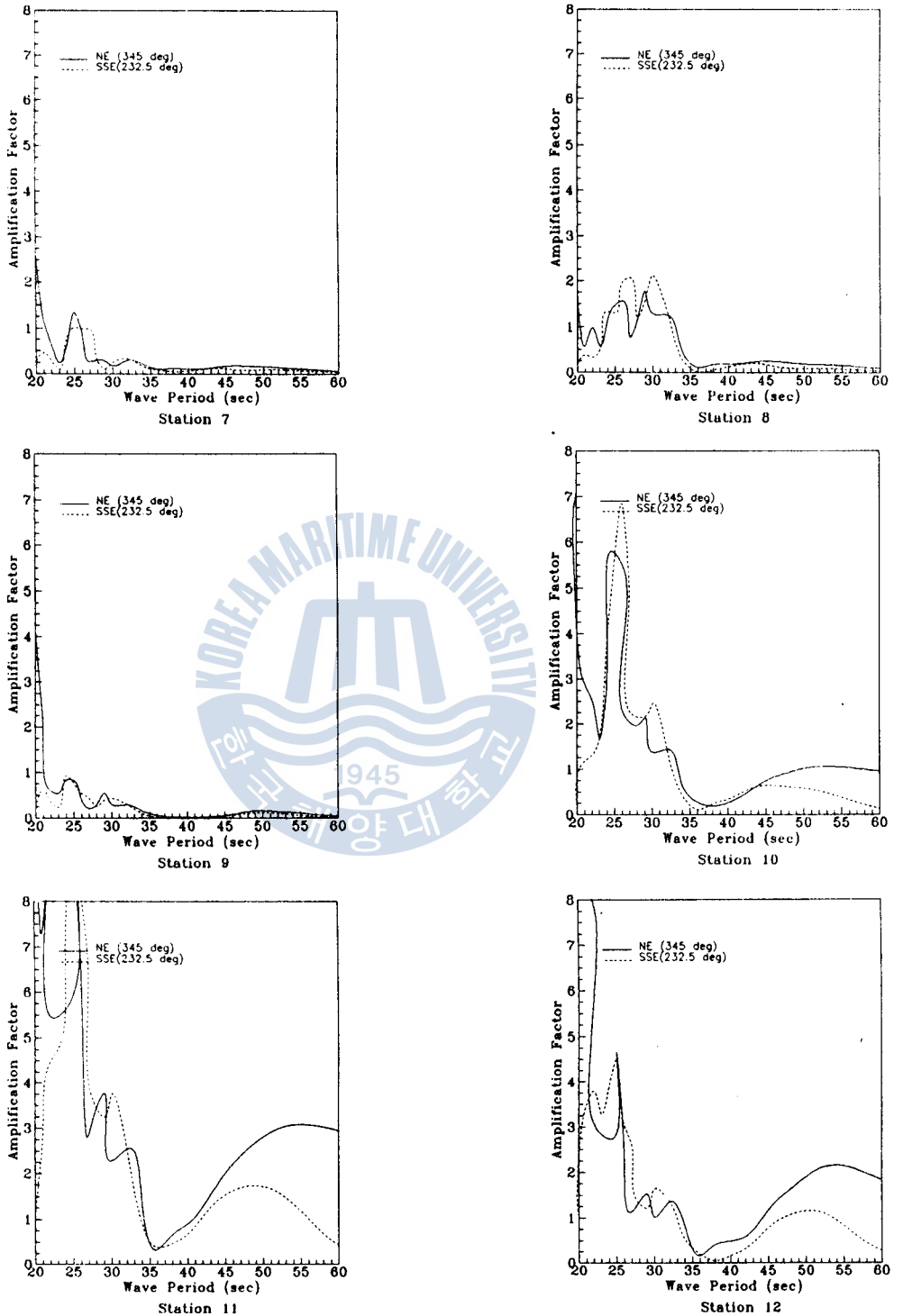


Fig.10 Frequency Response Curve – Wave Height Amplification Factor for Guryongpo Harbor at Stations 7 through 12

으나 內港에서는 垂直岸壁의 강한 重複波가 副振動을 가속하여 swell 및 장주기파에 대한 대비가 있어야 할 것으로 사료된다.

港灣 反應이 만입구측의 해변으로 인해 감소된 것으로 보아 이 지역을 부두지역으로 더욱 개발할 경우 증폭을 더욱 가중 할 것으로 예측되며 內港 垂直岸壁을 消波隔壁으로 대처할 필요가 있음을 지적하고자 한다. 특히 NE 방향 파랑은 동기 계절풍 및 태풍 시즌에 발생하고 있어서 폭풍이 통과한 다음의 장주기파에 대한 항만내 해면 변화에 대해 유의하여야 할 것이다.

Fig. 11은 각각 20sec, 30sec, 60sec 주기의 NE 방향파(A)와 SSE 방향파(B)에 대한 항만 내의 수역의 해면변화를 2차원으로 나타내 보인 것이다. 대부분의 경우 대항에서 평온하나 station(10)에서 station(12)에 이르는 해역은 높은 증폭율을 나타내고 특히 이해역은 이곳 주민과 어선 선주들이 해마다 이와 유사한 항만 반응으로 피해를 호소하고 있는 실정이다. Fig. 12는 각각 25sec, 60sec, 120sec 주기의 NE 방향파(A)와 SSE 방향파(B)에 대한 표준화한 파의 수평방향속도 성분을 나타내고 있다.

4. 結 論

九龍浦港의 開發에 따른 海面副振動 현상을 조사하기 위해 하이브리드 요소법을 사용한 수치모델을 적용하여 보았다. 항만의 다양한 평면계획이 있으나 浦項地方海運港灣廳이 최종 채택안으로 하고 실제 이에따라 건설중인 제5안에 대해서만 시뮬레이션 하였다.

그 결과 20sec, 25sec 및 54sec 전후에서 항만내 垂直岸壁 주위의 해석에 강한 副振動이 발견되어 태풍 및 동기 계절풍 시즌에 swell에 대한 대책이 필요하다고 사료되며 港灣內 埠頭增設을 위해 채택안 이상으로 개발할 때에는 더욱 심한 항

만 반응으로 증폭율을 심화시킬 것으로 예측된다. 그러나, 수치시뮬레이션을 통한 종합적인 분석과 결론을 위해서는 본 연구에서 선택한 주파수 밴드 이상으로 실험할 필요가 있음을 부가하여 둔다.

5. 後 記

이상으로 數値解析을 통하여 다른 방법으로 찾아볼 수 없었던 부진동 현상과 설계 변동에 따른 영향만을 살펴보았다. 그러나 그외에도 九龍浦港이 안고있는 港灣設計상의 문제점은 항만내 해수의 순환을 차단한 북방파제의 연장부분과 연차적으로 확장된 남방파제의 설계가 내항과 연결된 하천 및 생활 하수관으로 부터의 오물, 이에 부가하여 년중 계속되는 수산가공 과정으로부터 어류 폐기물등의 침전, 선박으로 부터의 투기 등으로 항내 오염을 급증시키고 있어 관계기관은 물론 항만이용자들의 의식에 변화를 가져오지 않는 한 항만의 장래는 어둡게만 보인다.

또한 항만기능을 합리화하기 위하여 인접 교통로의 정비와 확대, 오염배출구의 정비, 기능별 부두의 재배치 등이 필연적이라 하겠다. 즉, 수산가공시설과 급유, 급수, 배후지 이용 등을 고려한 화물별, 선박별 부두배열은 한 예로 들 수 있다.

九龍浦港이 제2종 항만으로서의 기능은 浦項의 종합제철단지와 같은 臨海 産業團地가 조성된 현실로 비추어 볼 때 사라말에서 부터 S방향으로의 T자형 방파제의 설계와 외부해역에 이안제(Detached Breakwater)를 Fig. 13과 같이 두어 조류나 외파 및 표사로부터 항만을 보호하고 새로 조성된 외항부분을 개발하여 포항으로 출입하는 물류의 육지 연계지점으로, 또한 조선 및 수리와 급유, 급수 등의 보급으로 漁港기능에 부가한 商港 또는 工業港으로의 발전이 앞으로 나아가야 할 방향이 아닌가 한다.

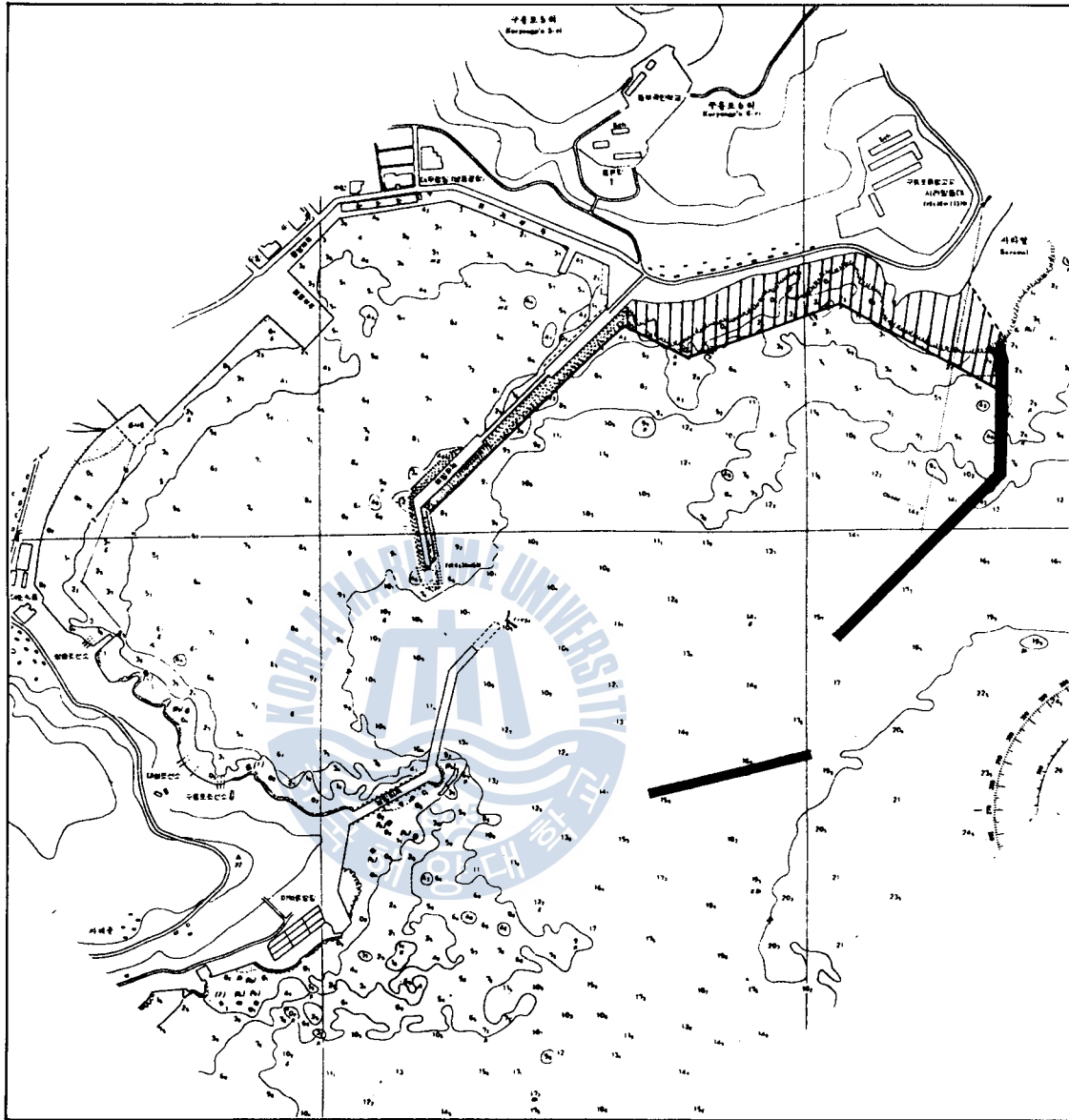


Fig. 13 A Proposed Plan for the Future Development of Guryongpo Harbor

參考文獻

강시환, 이동영, 이종우 등(1989), "연안방재 시설의 설계기준 산출연구(I)," 한국과학기술원 해양연구소 BSPG 00076-230-2.

박한일(1986), "영일만과 포항신항이 해면부진동에 관한 수치실험연구", 서울대학해양학과(석사 이석우(1966), "한국연안의 해면부진동", 수로보, pp. 111-140.

이상룡(1986), "항만 부진동 해석을 위한 기초"

구”, 한국과학기술원 해양연구소 연구보고 BSPE 00069-110-2.

이중우(1989b), “항만설계에 있어서 하이브리드 요소법의 응용에 관한 연구 - 부산항 3단계 개발 계획을 중심으로”, 한국항만학회지 제3권 제1호.

포항지방해운항만청(1987a), “구룡포항 집안시설 실시설계 보고서 및 부록.”

포항지방해운항만청(1987b), “구룡포항 수리모형 실험 보고서.”

추교승(1974), “포항항의 해면부진동 현상”, 수로 연보, pp. 3-10.

Bottin, Jr. R. R., Sargent, F. E. and Mize, M. G. (1985), “Fisherman’s Wharf Area, San Francisco Bay, California, Design for Wave Protection,” US Army Engineer WES, Tech. Report CERC-85-7.

Carr, J. H. (1950), “Long Period Waves or Surges in Harbors,” Transactions, ASCE, Vol. 118, pp. 588-603.

Houston, J. R. (1976), “Long Beach Harbor Numerical Analysis of Harbor Oscillation : Report 1 - Existing Conditions and Proposed Improvements,” US Army Engineer WES, Misc. Paper H-76-20.

Durham, D. L. (1978), “Numerical Analysis of Harbor Oscillations for Barbers Point Deep-Draft Harbor,” US Army Engineer, WES, Tech. Report H-78-20.

Durham, D. L. et al. (1976), “Los Angeles and Long Beach Harbors Model Study : Analysis of Wave and Ship Motion Data,” Tech. Rept. H-75-4, Report 3, US Army Engineer, WES, Miss.

Hwang, L. and Tuck, E. O. (1970), “On the Oscillations of Harbors of Arbitrary Shape,” J. Fluid Mech., Vol. 42, Part 3, pp. 447-464.

Houston, J. R. (1976), “Long Beach Harbor Numerical Analysis of Harbor Oscillations,” Rept. 1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, H-76-20.

Ippen, A. T. and Goda, Y. (1963), “Wave Induced

Oscillations in Harbors : The Solution for A Rectangular Harbor Connected to the Open Sea,” Hydro. Lab., MIT.

Keith, J. M. and Murphy, E. J. (1970), “Harbor Study for San Nicholas Bay, Peru,” J. Waterways and Harbor Division, ASCE, Vol. 96, No. WW2, pp. 251-273.

Lee, J. J. (1969), “Wave Induced Oscillations in Harbors of Arbitrary Shape,” W. M. Keck Lab. of Hydraulic and Water Resources, CIT, Rept. No. KH-R-20.

Lee, J. J. and Raichlen, F. (1971), “Wave Induced Oscillations in Harbors with Connected Basins,” W. M. Keck Lab. of Hydraulics and Water Resources, CIT, Rept. No. KH-R-26.

Lee, J. W. (1987), “A Finite Element Simulation of Waves Approaching A Coastal Area”, University of Hawaii.

Lee, J. W. (1989a), “Hybrid Element Analysis of Water Waves for Harbor Design,” University of Hawaii, Ph. D. Dissertation.

Lepelletier, T. G. (1980), “Tsunamis-Harbor Oscillations Induced by Nonlinear Transient Long Waves,” W. M. Keck Lab. of Hydraulics and Water Resources, CIT, Rept. No. KH-R-41.

Munk, W. H. (1949), “Surf Beats,” Transactions, American Geophysical Union, Vol. 30, No. 6, pp. 849-854.

Raichlen, F. (1966), “Harbor Resonance,” Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Company, pp. 281-340.

Shaw, R. P. (1976), “Long Period Forced Harbor Oscillations,” Topics in Ocean Engineering (ed. Bretschneider, C. L.), Vol. 3, pp. 29-40.

Wiegel, R. L. (1964), “Oceanographical Engineering,” Prentice-Hall, pp. 115-124.

Wilson, B. W. et al. (1968), “Wave and Surge-Action Study for Los Angeles-Long Beach Harbors,” Vol. II, Science Engrg. Associates, Cal.

