

포항신항의 부진동 저감 대책을 위한 수치모의 Numerical Simulation of Pohang New Harbor for Harbor Resonance Reduction

곽문수¹, 편종근², Xiuying Xing³, Jiin-Jen Lee⁴
Moonsu Kwak¹, Chongkun Pyun², Xiuying Xing³, Jiin-Jen Lee⁴

1. 서 론

포항신항은 250,000DWT 선박을 포함하여 36척의 선박이 동시에 접안할 수 있고, 연간 4,700만 톤의 화물을 처리할 수 있는 우리나라 최대의 산업 항이다. 포항신항은 영일만으로 둘러싸여 있어서 여름철 태풍과의 내습에 안전한 지리적 장점을 지니고 있지만, 영일만의 지형적 특성과 항의 형상 때문에 장주기 파에 의한 항내 부진동 현상이 빈번히 발생하여 하역작업에 지장을 초래하는 사례가 일어나고 있다(Jeong et al, 1997). 포항신항의 부진동에 대한 연구는 1970년대부터 1990년대까지 20년간 지속적으로 이루어져 왔으며, 부진동 대책이 수립되어 시설물들이 건설되었지만 현재도 항만의 가동률을 높이기 위한 부진동 저감 대책이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 포항신항의 현재 상태에 대한 부진동 특성을 유한요소모형으로 수치모의하고 현장 관측 자료와 비교하여 결과의 타당성을 알아보았고, 부진동 저감 대책을 위하여 평면변화 안과 구조양식변화 안에 대하여 수치모의로 검토하였다.

2. 유한요소 모델

2.1 기본방정식

본 연구에서 사용한 유한요소 모델의 기본방정식

1 발표자: 명지전문대학 토목과 부교수

2 명지대학교 토목환경공학과 교수

3 Doctor's Course Student, Univ. of Southern California

4 Professor, Univ. of Southern California

은 에너지보존법칙으로부터 유도된 환경사방정식이다.

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

여기서, $\phi = \phi(x, y)$ 는 속도포텐셜의 수평성분이고, ω 는 각 진동수, k 는 파수, C 는 파의 위상 속도, C_g 는 군속도이다.

이 모델은 임의수심 지형과 임의형상 항만에 적용 가능하며, 파랑의 천수·굴절변형, 회절, 반사 현상을 재현할 수 있으며, 부분흡수 및 부분반사, 투과성 구조물, 저면마찰, 항 입구에서의 에너지 손실 등을 고려할 수 있다(Lee et al, 1998).

2.2 경계조건

계산영역은 Fig. 1과 같이 내부영역과(A)과 외부영역(R)으로 구분한다. 내부영역은 항만을 포함하여 반원형 영역으로 구성되고, 외부영역은 반지름이 무한대인 반원형 영역으로 이루어진다.

유한요소 모델은 다음과 같이 주어진 경계조건들을 이용하여 식(1)을 풀게 된다.

① 부분 흡수 및 반사 경계조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -i\alpha k\phi - \frac{i\alpha}{2k} \frac{\partial^2 \phi}{\partial s^2} \quad (2)$$

② 완전반사 경계조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

③ 투과 경계조건

$$\frac{\partial \phi_T}{\partial n} = K_T \frac{\partial \phi_i}{\partial n} = ikK_T \phi_i \quad (4)$$

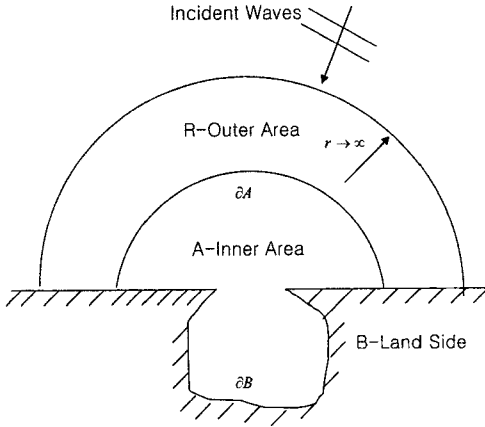


Fig. 1 Sketch of computational domain

④ 항 입구 경계조건

$$\phi_1 = \phi_2 + \frac{g}{i\omega} f_e |U| \frac{U}{2g} \quad (5)$$

⑤저면 경계조건

3. 수치모의

3.1 모델의 적용

수치모의를 위한 계산영역은 영일만의 부진동 특성을 고려하기 위하여 Fig. 2와 같이 영일만 전역을 포함한 대규모로 설정하였다. 계산 격자망은 계산의 효율을 높이기 위하여 항 외측 영역은 큰 격자로 구성하고, 항 내측은 작은 격자로 구성하였으며, 총 5,950 elements 와 24,853 nodes 로 이루어졌다.

Fig. 3은 현재 상태의 평면으로써 1992년 5, 6, 7부두의 정온도 향상을 위하여 설치된 제 2파제제(420m)와 1996년 외항방파제가 완성된 후의 모습이다. 그림에 표시된 항내의 점들은 1999년 한국해양연구원에서 실시한 현장관측 점들로서 P1은 제 2파제제 전면, P2는 제 1파제제 전면, P3은 제 6부두 전면, P4는 제 2부두 전면에 설치

되었다.

3.2 수치모의 안

부진동 저감 대책을 위한 수치모의 안은 평면 변화 안과 구조양식변화 안을 임의로 상정하였다.



Fig. 2. Layout of simulation domain with mesh

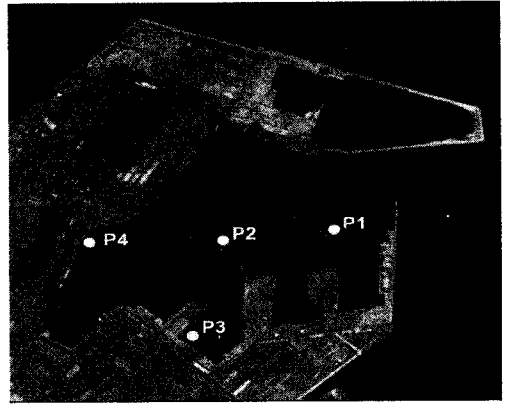


Fig. 3. Photo of present layout and measurement points

① 평면변화 안

평면변화 안은 Fig. 4와 같이 A, B, C, D 안으로 상정하였다. A 안은 현재 상태에서 북방파제를 300m 연장하고 외해 측 투기장과 연결한 것, B 안은 제 2파제제를 일직선상으로 100m 연장한 것, C 안은 제 2파제제를 북쪽으로 100m 연장한 것, D 안은 북방파제를 일직선상으로 300m 연장한 것이다.

② 구조양식 변화 안

구조양식을 변화시킨 E안은 Fig.5와 같이 항내의 여러 곳에 파랑에너지를 흡수할 수 있는 저 반사율 구조물을 설치한 것이다.

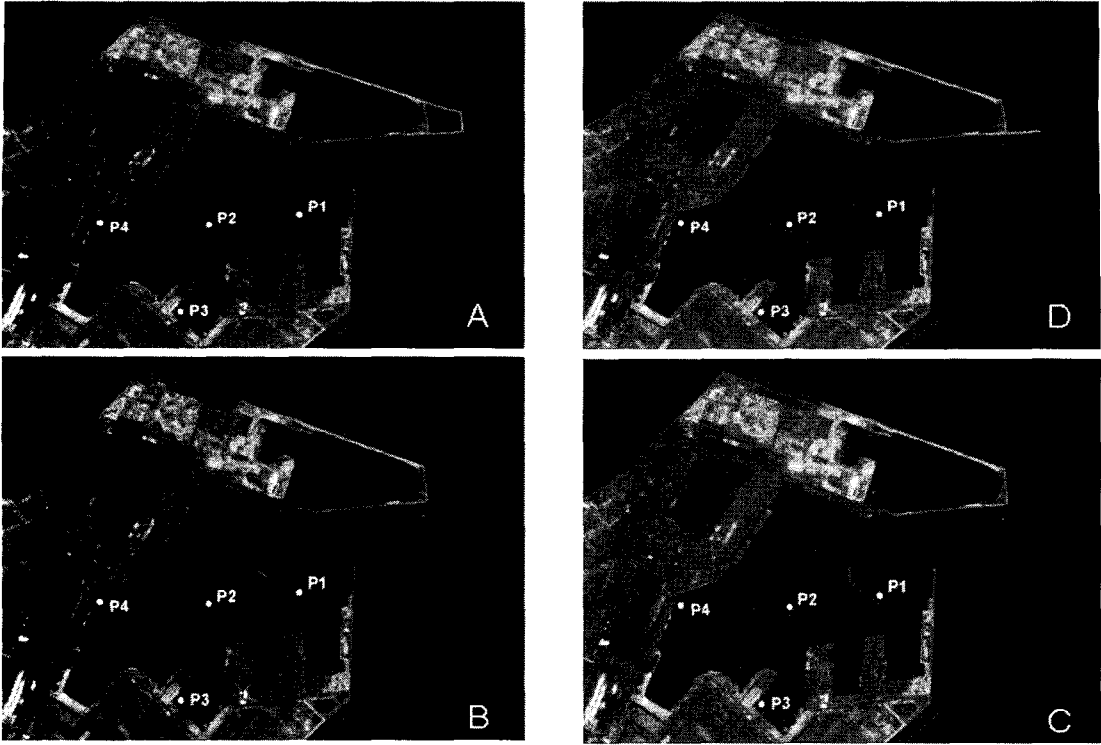


Fig. 4. Photos of modification cases (A-D)

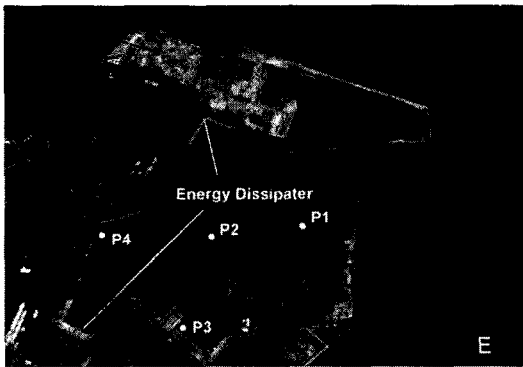


Fig. 5. Photo of modification case (E)

3.3 수치모의 결과

수치모의 결과, Case A는 Case D와 매우 흡사하였고, Case B, C는 항의 수 면적 규모에 비해서 평면변화 길이가 작아서 현재 상태의 결과와 차이가 없었다. 따라서 본 논문에서는 현재 상태, Case D, Case E의 결과를 비교하여 각 관측점 별로 Fig. 6에 나타내었다. 그림은 주파수에 따른 파랑 응답곡선을 표시한 것으로서 가로축은 파랑의 주파수이고, 세로축은 각 관측점의 파고를 입사파고

로 나누어 무차원 파고로 표시한 진폭계수 (amplification factor)이다.

P1점의 결과는 저주파수대에서 몇 개의 뚜렷한 공진주파수가 나타남을 볼 수 있다. 이해하기 쉽도록 주기로 표시하면 80분, 32분, 23~27분, 8.3분에서 진폭계수가 2 이상의 큰 값을 나타내었다. 진폭계수가 크다는 것은 파랑의 에너지가 크다는 것과 같은 의미이다. 평면을 변화시킨 Case D는 현재 상태의 결과와 차이가 없음을 확인할 수 있고, 저반사율 구조양식을 상정한 Case E는 주기 23~27분, 8.3분에서 진폭계수가 크게 감소함을 볼 수 있다.

P2점의 결과는 저주파수대에서 P1점과 동일한 공진주기를 나타내었으나, 8.3분에서는 P1의 결과와는 다르게 큰 진폭계수 값을 나타내지 않았다. Case D의 결과는 주기 2.8분에서 현재 상태보다 진폭계수가 조금 감소함을 볼 수 있지만 그 이외에서는 현재 상태와 다르지 않다.

P3점의 결과는 저주파수대, 즉 주기 80분, 32분, 23~27, 8.3분에서는 P1, P2점의 결과와 같은 공진주기를 나타내지만, 주기 3분~6분 사이에서는 다

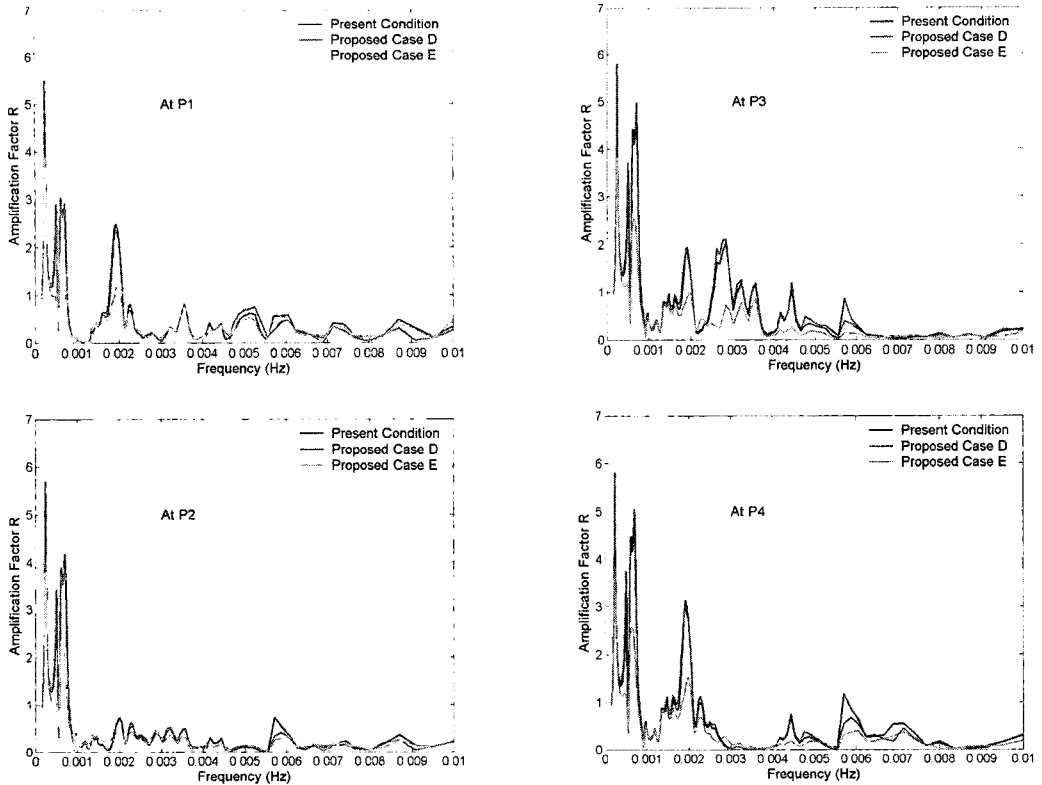


Fig. 6. Comparison between present condition, Case D and Case E

큰 두 점에서 나타나지 않았던 큰 진폭계수가 나타났다. 이는 P3점이 제 5, 6, 7부두로 둘러 싸여 있는 좁은 수역에 위치하여 공진주기가 달라짐을 알 수 있다. 평면을 변화시킨 Case D는 현재 상태의 결과와 다르지 않았지만, 저반사율 구조양식을 상정한 Case E는 주기 3분~25분 사이의 진폭계수가 현재 상태에 비하여 크게 감소함을 알 수 있다.

P4점의 결과는 P1점의 결과와 비슷한 공진주기를 나타내었고, Case D의 결과는 현재 상태와 다르지 않았으나 Case E의 결과는 진폭계수가 현재 상태보다 크게 감소함을 알 수 있다.

4. 결론

포항신항의 부진동 저감 대책을 위한 수치모의 실험 결과, 방파제를 확장하여 평면을 변화시킨 안은 부진동 저감효과가 없었으나, 항내 여러 곳에 저반사율 구조양식을 설치하여 파랑 에너지를 흡수시킨 안은 부진동을 효과적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구의 수행을 위한 관동대학교 첨단해양공간개발연구센터의 지원에 감사를 드립니다. 또한 현장 관측 자료를 제공해 준 한국해양연구원의 정원무 박사에게 감사드립니다.

참고문헌

- Jeong W.M., Oh S.B., Chae J.W. and Kim S.I. (1997). Analysis of the wave induced downtime at Pohang new harbor. *J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 9(1), 24-34.
- Lee, J.J., Lai C.P. and Li Y. (1998). Application of computer modeling for harbor resonance studies of Long Beach and Los Angeles harbor. *Proceedings of 26th, ICCE, ASCE*, 1196-1209.