

## 항내매몰을 고려한 방파제의 시공순서 검토 Analysis of Construction Procedure of Breakwater in consideration of Harbor Siltation

윤성진\* · 김규한\*\*

Seong-Jin Yoon\* and Kyu-Han Kim\*\*

**요 지** : 동해안에 위치한 어항이나 항만은 주 외력으로서 파랑이 탁월한 특징을 갖고 있다. 아울러, 동해안에 존재하는 강한 해빈류는 어항구조물 주변의 표사이동에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 동해안에 어항이나 항만을 건설할 때에는 설계 시에 해빈류에 기인한 항만 주변의 표사이동 특성을 명확히 검토해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 연도별 해안선변화에 대한 측량자료 및 방파제 주변의 상세 수심측량자료를 이용하여 방파제 시공순서가 항내매몰 및 주변 표사이동에 미치는 영향에 대하여 구체적으로 파악하고자 하였다. 그리고 동해안에 건설되는 어항구조물의 항내에 발생하는 퇴사량 감소를 위한 보다 효율성 있는 시공순서에 대하여 검토하였다.

**핵심용어** : 해빈류, 표사이동, 항내매몰, 시공순서

**Abstract** : The predominant factor considered in the design of harbors in the East Coast of Korea is wave propagating onshore. Also, the strong wave induced current on the east coast have the biggest influence on sediment transport around the harbor structure. Therefore, a consideration of wave induced current due to waves should take place on design when constructing a harbor on east coast. In this study, we studied on the influences of construction procedure on harbor siltation using annual coastal line data and bathymetry data near breakwater. And, this study focused on investigation of the construction procedure for the best way to decrease harbor siltation.

**Keywords** : Wave induced current, Sediment transport, Harbor siltation, Construction procedure

### 1. 서 론

동해안에서는 조석보다 파랑이 탁월하여 동해안에 위치한 대부분의 항만은 주외력으로서 파랑의 작용을 받게 된다. 그러므로, 동해안에서는 항만설계에 파랑에 의한 영향을 가장 많이 고려해야 하며 파랑에 기인하여 발생하는 해빈류는 표사이동에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 동해안에서의 항만설계에 중점을 두어야 할 것은 파랑으로부터의 정온역 확보와 항만 주위의 해빈류에 많은 영향을 받는 항내매몰에 대한 문제이며, 항만설계에 이러한 부분에 대하여 수리모형실험 및 수치모형실험을 이용하여 많은 검토가 이루어지고 있다.

그러나, 거의 대다수의 중소항만 설계시에 이루어지는 검토는 항만이 완공된 후의 항만형상으로만 검토할 뿐, 단계별 방파제 시공 중에 발생하는 항내파고의 변화 및 해빈류의 변화가 항내매몰에 미치는 악영향에 대한 검토에 대해서는 간과하는 경우가 대부분이다.

따라서, 본 연구에서는 방파제 시공순서로 인하여 항입구부 및 항내매몰이 가속화되었다고 판단되는 현지항만의 실측자료(연도별 해안선변화 측량자료 및 방파제 주변의 상세 수심측량자료)를 이용하여 수치시뮬레이션으로 재현하였으며, 방파제 시공순서가 항내파고의 변화 및 항내매몰에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 또한, 그 결과를 이용하여 동해안에서 항내파고 감쇠 및 항내매몰량 감소

\*관동대학교 첨단해양공간개발연구센터 (Corresponding author : Seong-Jin Yoon, Research Center for Marine Environment Development and Technology, Kwandong University, Gangwon, 210-701, Korea, yoonsj@kd.ac.kr)

\*\*관동대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Eng., Kwandong University, Gangwon, 210-701, Korea, kkhkim@kd.ac.kr)

를 위한 시공순서에 대하여 제안하고, 이러한 시공순서가 경제적인 측면에 미치는 영향에 대해서도 검토하고자 하였다.

## 2. 대상항만의 조건

### 2.1 자연조건

본 연구의 대상항만인 공현진항은 Fig. 1에 나타내는 바와 같이 강원도 고성군 죽왕면 공현진리에 위치하며, 주변에는 공현진 해수욕장이 위치하고 있다.

장기파랑산출자료집(해양수산부, 2000)을 이용하여 파랑제원을 조사한 결과, 대상해안이 위치한 동해안은 일반적으로 NE~SE 방향의 파랑이 연안에서의 표사이동에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.2 실측자료

실측자료에는 단계별 방파제 시공순서 및 각 단계별 시공기간이 있으며, 연도별 해안선변화 측량자료와 방파제 주변의 상세 수심측량자료가 있다. 연도별 해안선변화 측량자료에는 각 시공단계별 방파제 남단의 해안선 관측자료가 있으며, 방파제 주변의 상세 수심측량자료는 2001년 11월의 수심측량 자료와 2006년 2월에 수행된 수심측량 자료를 이용하였다.

이상의 실측자료는 수치시물레이션을 Calibration을 수행하는데 이용하였다.

Fig. 2는 2001/11의 수심측량 자료와 2006/02의 수심측량 자료의 차로서 Net의 값으로 나타낸 것이며, 이것은 항만시공 중 4년간의 실제 지형변화량에 해당된다.

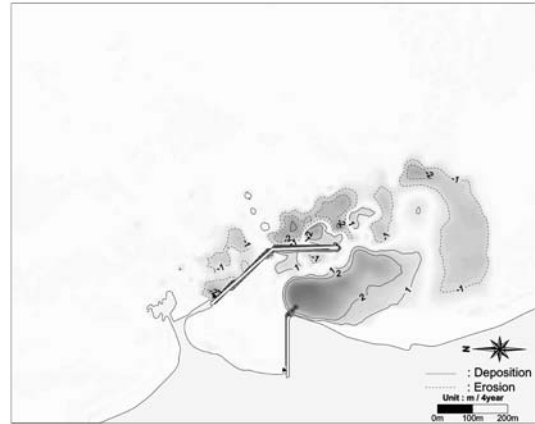


Fig. 2. Net sediment transport rate using bathymetry data.

단, 2006년 2월에 실시한 수심측량자료는 방파제 주변 및 항입구부와 방파제 선단의 매몰구역에 대해서만 측량된 자료이므로, 외해측 및 항 북측의 퇴적·침식 상황은 상호 비교할 수 없었다.

### 2.3 시공단계별 구조물 및 해안선 변화

Fig. 3에 실제공사의 시공단계별 구조물 변화(해양수산부, 2001) 및 방파제 남측의 해안선 관측자료를 나타내었으며, 방파제 연장길이의 수치는 Table 2에 검토안의 수치와 같이 나타내었다. 방파제 남단의 해안선 변화는 방파제가 건설된 이후인 공사 3단계(2003/12)부터 발생하는 것을 알 수 있으며, 시간이 경과될수록 해안선이 전진하는 것을 알 수 있다.

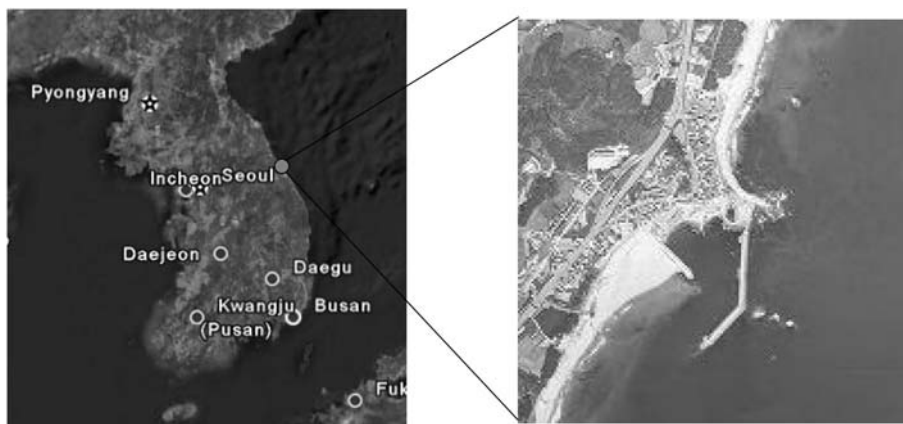


Fig. 1. Aerial photo of investigation site.

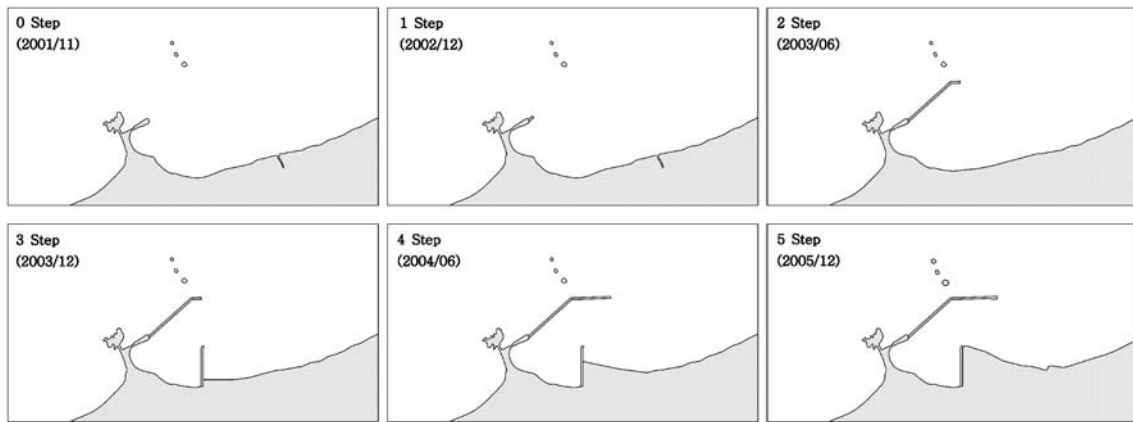


Fig. 3. Variation of structures & coastal line (Cases of real construction).

### 3. 수치모형실험의 개요

#### 3.1 개요

본 연구에서 검토 대상지역인 동해안은 지역에 따라 다소 차이는 있으나, 조위차가 약 30 cm 이내로서 조류에 의한 해저질의 이동은 파랑에 의한 흐름 즉, 해빈류가 해저질의 이동에 미치는 영향에 비해 매우 미약하다고 할 수 있다. 그러므로, 대상해역의 해빈변형은 조류보다는 파랑에 의해 발생하는 해빈류를 해저질 이동의 기본 외력으로 설정하였다. 따라서, 본 연구에서는 대상해역에 대한 파랑변형 수치계산을 수행하여 파고분포 및 계산된 파고에 의한 Radiation stress를 산출한다. 또한, 이 결과를 이용하여 해빈류 유동상황을 재현한 후, 대상해역의 해빈류 흐름특성을 파악하여 지형변동 재현 및 예측계산을 수행하는데 이용하였다.

Table 1에 대상해역의 수치모형실험의 개요를 요약하여 정리하였다.

Table 1. Outline of numerical model

구분	내용
사용모형	파랑변형실험 : 에너지평형방정식 모형
	해빈류실험 : 단층 2차원 천수방정식 모형
	지형변동실험 : Power 모형
모형구성	격자구성 (150×120격자), 격자간격 : 10 m 수심자료 : 최신해도 및 수심측량자료
입력자료	파향별 에너지평균파 제원 NE : H=2.05 m, T=5.65 sec E : H=1.57 m, T=5.15 sec SE : H=1.31 m, T=4.91 sec

#### 3.2 Calibration 및 시공단계별 수치계산

Calibration은 실측자료(2001/11 및 2006/02의 수심측량 자료)를 이용하여 4년간의 실제 지형변동량을 산출하고, 이 값을 이용하여 지형변동 수치계산에서 4년간의 지형변동량을 정성적, 정량적으로 재현하고자 하였다. 또한, 이때의 factor를 이용하여 각 시공단계별 지형변형 수치계산을 수행하였다(김 등, 1997; Kuroiwa et al., 1993; Shimizu et al., 1990).

#### 3.3 검토안의 시공단계

Fig. 4에 나타내는 바와 같이 검토안의 0, 1, 5단계에서는 실제 시공(Fig. 3참조)시의 방파제 연장길이와 같다. 2~4 단계의 연장길이는 Table 2에 나타내었으며, 각 단계에서 외곽방파제 및 방사제의 연장길이의 합은 동일하도록 설정하였다.

### 4. 수치모형실험의 결과

#### 4.1 재현실험 결과

재현성 여부를 검토하기 위하여 Fig. 5에 실측결과 및 계산결과에 대한 지형변화량을 나타내었으며, (a)는 실측결과, (b)는 수치계산 결과를 나타낸다.

항입구부 및 그 남측의 퇴적 및 침식 경향, 외곽방파제 전면의 침식 경향 등 실측데이터가 존재하는 범위에 대한 재현에 초점을 맞추었으며, 시간scale을 조절하여 정량적인 측면도 재현하고자 하였다.

또한, 보다 정확한 결과를 산출하기 위하여 시공단계별로 나누어 수치계산을 수행하되 각 단계의 지형변화량을

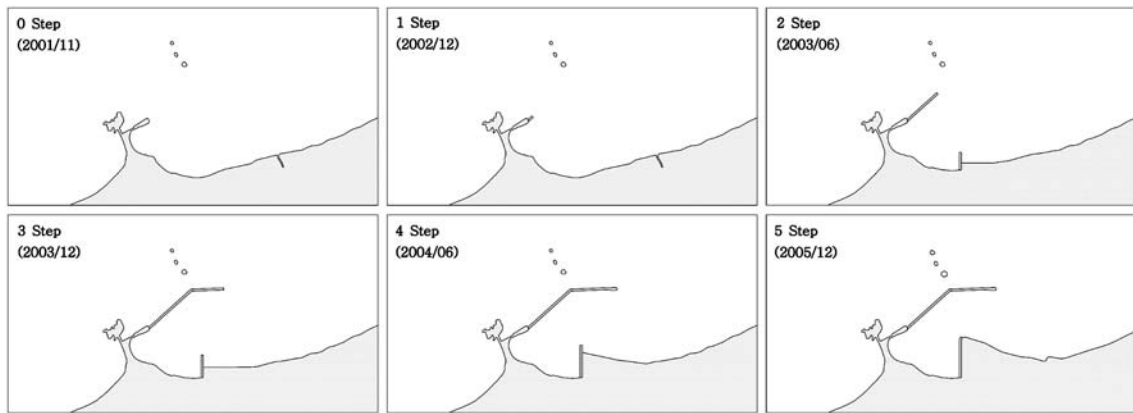


Fig. 4. Variation of structures & coastal line (Countermeasures).

Table 2. Construction length of breakwater

단 계	방파제 연장길이		비 고
	외곽방파제	방사제	
0	0 m	0 m	구조물 동일
1	30 m	0 m	구조물 동일
2	270 m	0 m	
3	270 m	220 m	
4	400 m	220 m	
5	430 m	220 m	구조물 동일
0	0 m	0 m	구조물 동일
1	30 m	0 m	구조물 동일
2	170 m	100 m	
3	370 m	120 m	
4	430 m	190 m	
5	430 m	220 m	구조물 동일

다음 단계의 수심데이터에 더하여 계산하는 couple형 방식으로 계산을 수행하였다(Maruyama and Takagi, 1988). 또한, 각 단계의 지형변화량을 더한 총 지형변화량을 구하여 그 결과를 실측데이터와 비교하였으며, 대체적으로 양호한 결과가 얻어졌다고 생각한다.

4.2 시공단계별 계산결과

시공순서 중 0단계 및 1단계와 5단계는 실제시공 및 검토안의 방파제 시공순서가 동일하므로, 이하에서는 2단계~4단계만을 비교한 결과만 나타내었다.

Fig. 6에서 표시된 영역은 Fig. 7~Fig. 9에서 나타내는 영역을 나타낸다.

Fig. 7~Fig. 9는 각각 파랑변형, 해빈류, 지형변동의 결과를 나타내었다. 각각의 그림에는 좌측으로부터 2단계,

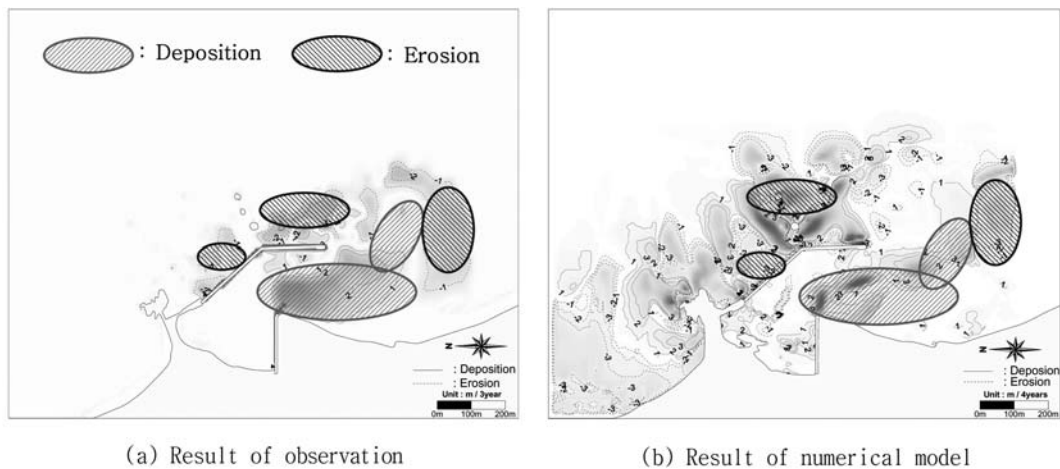


Fig. 5. Comparison of observation & calculation.

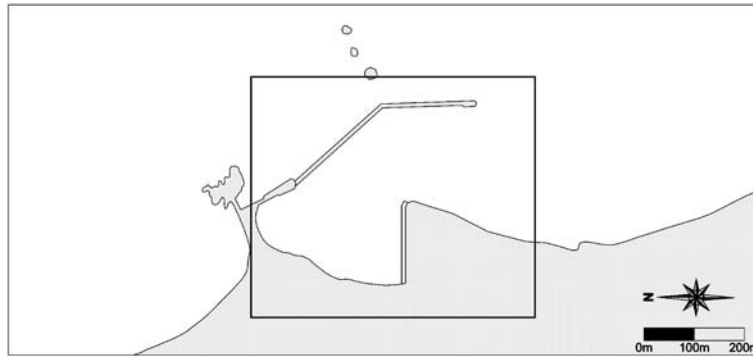


Fig. 6. Compared area.

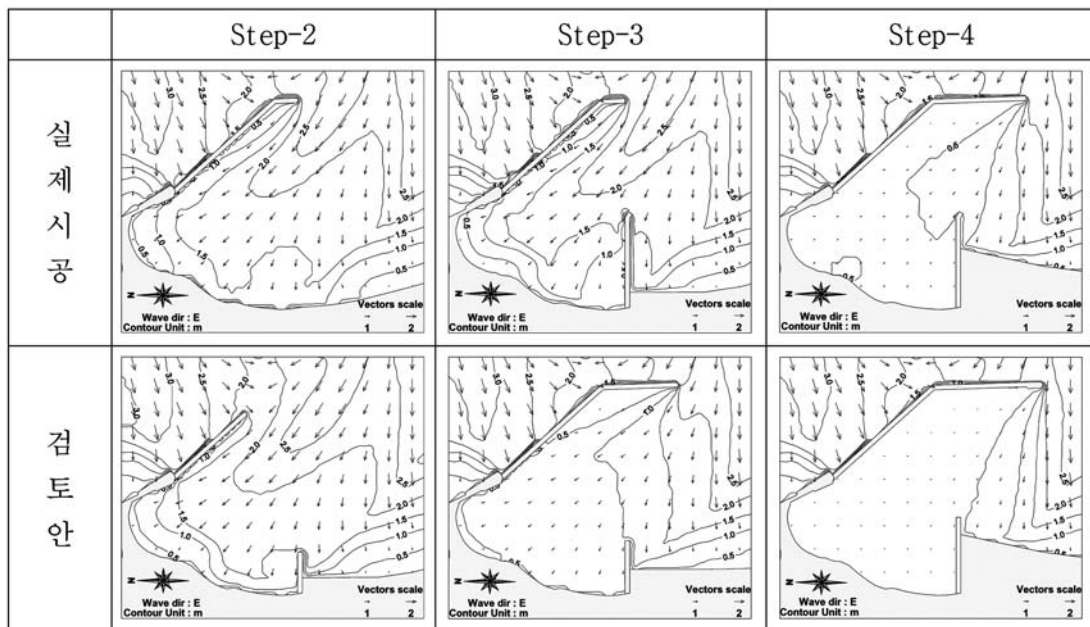


Fig. 7. Result of wave direction vector & wave height contour.

3단계, 4단계의 결과를 나타내었으며, 상단에는 실제공사, 하단에는 검토안의 결과를 나타내었다.

Fig. 7에는 파고·파향벡터+등파고선도를 나타내었다. 2단계에서는 실제공사와 검토안이 거의 비슷한 파고분포를 나타내고 있다. 3단계에서 외곽방파제의 길이가 연장된 검토안의 결과를 보면 실제시공에 비해 항내파고가 감소하는 것을 알 수 있다. 4단계에서는 그다지 큰 차이는 없으나, 0.5 m 등파고선을 비교해 보면 검토안의 항내파고가 실제시공에 비해 다소 감소하는 것을 알 수 있다. 항내의 파고감쇠 측면에서 실제시공과 검토안을 비교해 본 결과 검토안의 파고감쇠 효과가 우수한 것을 알 수 있었다.

Fig. 8에는 해빈류벡터도를 나타내었다. 결과를 보면, 2단계에서는 실제시공의 경우 북상하는 연안류가 그대로 항내로 유입되고 있으나, 검토안의 경우 방사제가 시공되어 항내로 유입되는 연안류가 차단되고 있다. 3단계와 4단계에서는 각각 방사제의 연장길이에 차이는 있으나 해빈류 패턴 및 해빈류속은 그다지 차이를 보이지 않는다.

Fig. 9에는 지형변동량의 결과를 나타내었다. 결과를 보면, 2단계에서는 연안류 패턴에서도 알 수 있었듯이 실제시공의 경우 다량의 항내매몰이 발생하는 것을 알 수 있다. 3단계에서는 실제시공과 검토안의 해빈류 패턴은 비슷하였으나 회절파의 영향으로 항내에 소량의 지형변화가

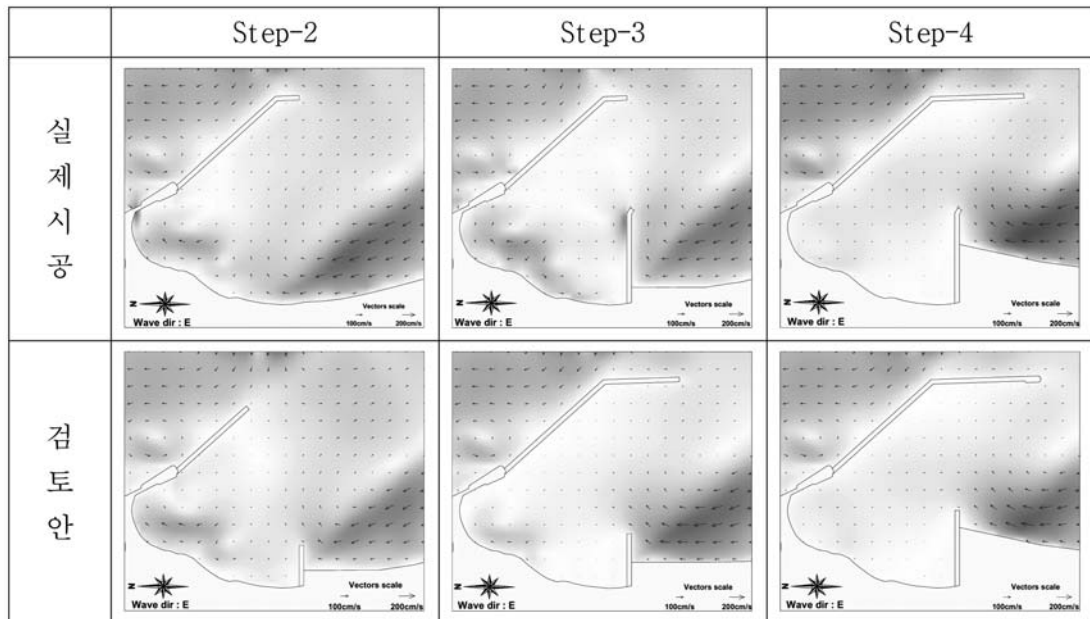


Fig. 8. Flow pattern of wave induced current.

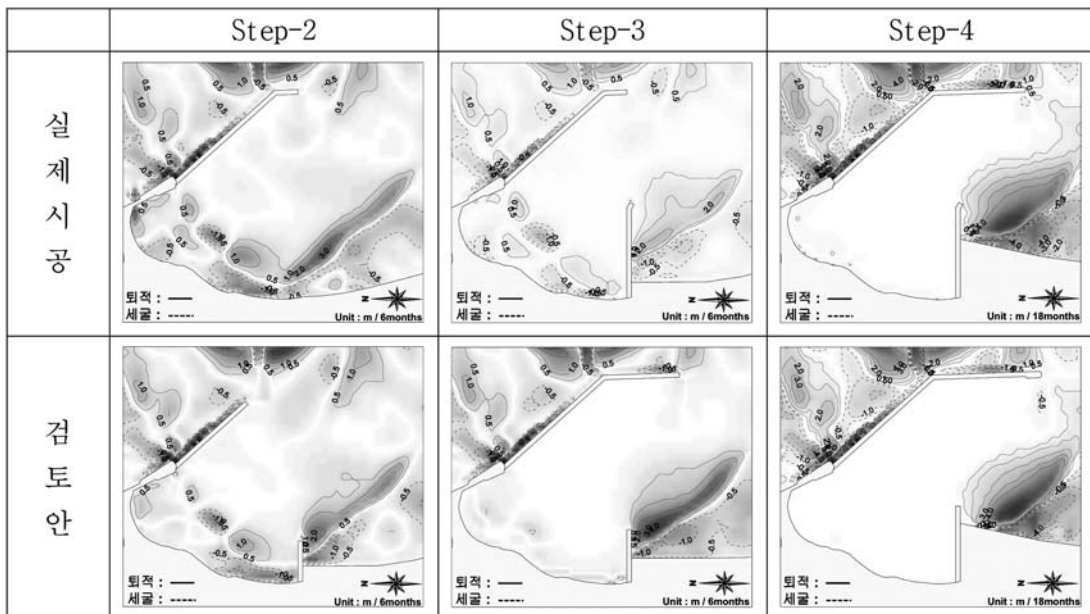


Fig. 9. Result of topographical change.

발생하는 것을 알 수 있다. 4단계에서는 외곽방파제 및 방사제의 길이가 충분히 연장되어 실제시공, 검토안 모두 지형변화는 거의 발생하지 않고 있다. 항내매물 측면에서도 검토안의 결과가 우수한 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11~Fig. 12에는 Fig. 10에서 나타내는 위치에서,

시공단계별 항내파고 변화 및 지형변화량을 수치적으로 비교한 결과를 나타내었다.

Fig. 11에는 항내파고의 변화를 나타내었으며, 횡축은 시공단계, 종축은 파고비를 나타낸다. A, B점 모두 검토안의 경우가 파고가 감소된 것을 알 수 있으며, 이것은 실

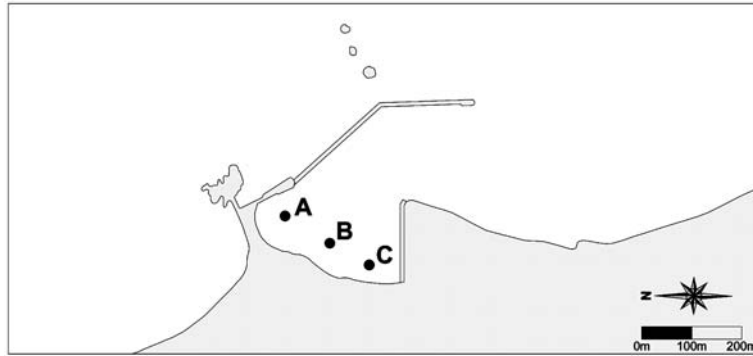


Fig. 10. Compared position.

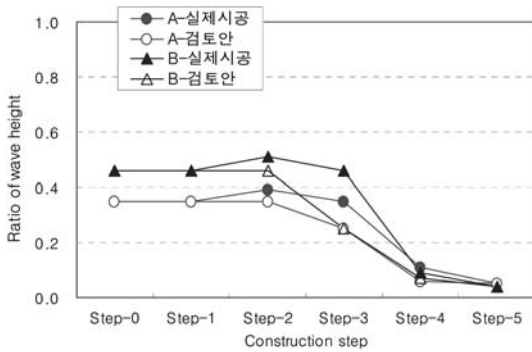


Fig. 11. Result of wave height.

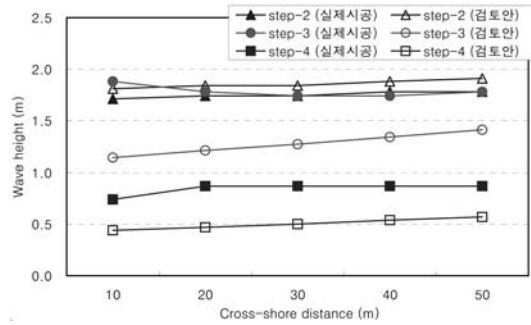


Fig. 13. Distribution of wave height at the front of secondary breakwater.

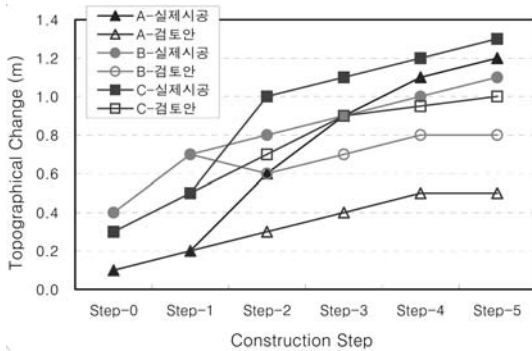


Fig. 12. Result of changed topography.

제시공에 비하여 검토안의 항내파고 감쇠 효과가 우수하다는 것을 의미한다.

Fig. 12에 지형변화량의 누적량에 대한 결과를 나타내었다. A~C 모든 점에서 검토안의 결과가 우수하며, A점의 경우는 약 2배까지도 지형변화량이 감소하였다.

Fig. 13은 2단계~4단계의 실제시공 및 검토안에 대한 방사제 선단 전면의 범선파고 분포를 나타낸 것이다. 2단

계에서는 실제시공과 검토안이 비슷한 파고분포를 보이고 있지만, 3단계 및 4단계에서는 검토안의 파고분포가 30 cm~80 cm 정도 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

이것은 항만 시공 초기에 항내로 유입되는 연안표사를 차단하여 항내매몰이 발생되지 않을 만큼의 방사제를 시공하고, 다음 단계부터는 외곽방파제를 우선 시공하여 그만큼 정온역을 빨리 확보하였기 때문이다.

## 5. 결 론

방파제 시공순서가 항내 파고감쇠에 미치는 영향을 검토한 결과, 실제시공에서의 방사제 시공길이를 감소시켜서 외곽방파제를 우선 연장했던 검토안의 경우가 실제시공에 비해 파고감쇠 효과가 우수한 것을 확인하였다.

시공순서에 따른 항내매몰에 대한 영향을 검토해 본 결과, 외곽방파제를 먼저 시공한 후 나중에 방사제를 시공하는 방법보다는, 방사제의 일부를 우선 시공하여 항내매몰의 원인이 되는 연안류를 우선적으로 차단하였기 때문

에 항내매물 방지 측면에서는 더 효과적인 것을 알 수 있었다. 동해안에서는 일반적으로 파랑 및 파랑에 기인한 해빈류가 강하기 때문에 우선적으로 정온역부터 확보하여야 하는 경우가 아니라면 연안류에 의한 연안표사의 항내침입을 방지할 수 있도록 최소한의 방사제를 먼저 시공하는 것이 중요하다고 생각된다.

검토안에서 제시한 시공순서를 보면, 연안류를 차단하여 항내매물이 진행되지 않을 정도의 최소한의 방사제를 시공하고 외곽방파제를 완공하여 정온역을 우선 확보한 상태에서 방사제의 연장 시공시 설계파를 재산정하여 설계파고를 감소시킴으로서 경제적인 항만 건설에 유용한 결과라고 사료된다.

또한, 항만 시공중 및 시공후에는 반드시 정기적인 파랑 및 표사에 대한 모니터링을 실시하고 이 결과를 통하여 파랑 및 표사이동의 변화를 사전에 검토하여 항만 시공에 따른 문제를 최소화하여야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구의 일부는 RIC 사업의 지원에 의한 것입니다.

### 참고문헌

- 김규한, 백승화, 편종근 (1997). 해빈변형을 이용한 항내매물 예측. 한국해안·해양공학회지, 9(4), 201-207.
- 해양수산부 (2001). 공현진항 실시설계 용역 보고서, 426-444.
- Kuroiwa, M., Noda, H. and Takahashi S. (1993). Numerical simulation on the sediment entrainment into a harbor. Annual Journal of Japan Coastal Eng., JACE, Vol.40, 501-505 (in Japanese).
- Maruyama, K. and Takagi, T. (1988). A simulation system of nearshore sediment transport for the coupling of the seabottom topography, waves and currents. IAHR Symp. on Mathematical Modelling of Sediment Transport in the Coastal Zone, 300-309.
- Shimizu, T., Kondo, K. and Watanabe, A. (1990). Study on field applicability of the calculation formula of the local sediment transport rate. Annual Journal of Japan Coastal Eng., JACE, Vol.37, 274-278 (in Japanese).

---

Received November 22, 2006

Accepted February 22, 2007