

## 소규모 어항의 항내매몰 방지대책 검토 Countermeasures for the Siltation in Small Fishery Harbors

김 규 한\*  
Kyu Han Kim\*

**요 약** : 동해안에 위치한 대부분의 중소어항의 표사이동에는 파랑과 해빈류가 주외력으로 작용하고 있으며, 주변은 사빈해안을 이루고 있다. 또한, 대부분이 소규모 어항이므로 항 입구부가 쇄파대 내에 위치하고 있어서 지형변화가 극심하며, 항 입구부 및 항내에 심각한 매몰현상이 발생되고 있다. 이와같은 문제를 해결하기 위해서는 우선, 사전예측 및 항내매몰 현상의 정확한 재현을 통해 그 원인을 파악할 필요가 있다. 또한, 경제적인 측면을 고려하여 중소어항에 실질적으로 사용될 수 있는 매몰방지 대책안을 도출하고, 그에 대한 방지효과를 수치시물레이션을 통해 검토하고자 한다.

**핵심용어** : 어항, 해빈류, 현지관측, 지형변동, 표사이동, 항내매몰, 방지대책

**Abstract** □ The sediment at the majority of fishery harbors located on the east coast of Korea are affected by the waves and wave-induced currents as the main external force. And the surroundings of the harbors are composed of sandy beaches. Because many harbors are small and their entrances are located in the wave-breaking zone, they suffer severe siltation and topographical changes. In order to solve the problems, we have to understand the mechanism through estimations and accurate reproduction of the harbor siltation phenomenon. We suggest economically substantial countermeasures for harbor siltation in the small fishery harbors and investigate the preventive effects using a numerical simulation technique.

**Keywords** : fishery harbors, wave induced currents, field observations, topographical change, sediment transport, harbor siltation, countermeasures

### 1. 서 론

파랑과 해빈류가 표사이동의 주외력으로 작용하고 있는 동해안에 위치한 대부분의 중소항만 및 어항들은 사빈해안에 건설된 소규모 어항이 주를 이루고 있으며, 항 입구부가 쇄파대 내에 위치하고 있으므로 지형변화가 극심하여, 항 입구부 및 항내에 매몰현상이 발생되고 있다. 이러한 현상들로 인하여 항내수심을 유지하기 위해 거의 매년 준설을 실시할 뿐 아니라, 항내매몰로 인해 수심이 낮아져 배가 좌초되어 인명피해가 발생하는 등 극심한 피해를 입고 있어 항내 및 항로매몰이 적지 않은 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는, 사전예측 및 항내매몰 현상의 정

확한 재현을 통해 그 원인을 파악할 필요가 있다.

항내매몰의 예측 및 재현을 위한 연구방법으로는 수치모형실험과 수리모형실험, 그리고 현장조사의 방법이 고려될 수 있으며, 이 3가지 방법을 동시에 이용한다면 가장 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것이다(Maruyama *et al.*, 1988). 그러나 수리모형실험은 많은 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라, 이동상 상사법칙의 구축에 따른 문제점이 존재하여 손쉽게 실험에 착수하기 어려운 실정이다(Sonu, C.J., 1972). 본 연구에서는 항내매몰이 극심한 동해안에 위치한 소규모 어항을 대상으로 하여, 현장조사의 결과를 토대로 항내매몰 예측모형을 수립하고, 매몰현상의 근본적 기구를 파악함으로써, 대상어항의 특성에 맞는 최적대책공법을 설정하고 그 효과를 검토하였다.

\*관동대학교 건설환경시스템공학부(Division of Civil and Environmental System Engineering, Kwandong University, Yangyang, Kangwondo 215-800, Korea)

## 2. 대상해역의 설정 및 자연조건

Fig. 1에서 알 수 있듯이 대상어항인 기사문항은 동해안에 위치한 소규모 어항으로 주변해안은 사빈으로 이루어져 있다. 해저경사는 1/40~1/60의 대체로 완만한 경사를 이루고 있으며, 항 주변부의 수심은 3~5 m 정도이고, 저질입경  $d_{50}=0.45$  mm 정도의 모래로 이루어져 있다. 조류 및 해류는 계절에 따라 다소 차이는 있으나 약 0.1~0.3 m/s 정도를 유지하고 있다. 항을 유지해주는 북방파제의 위치는 파랑의 영향은 다소 막을 수 있도록 설치되어 있으며, 해안을 따라 발달하는 해빈류의 영향을 제어하기에는 어려운 상황이다. 항의 남측에는 유입하천이 있으나 규모가 작고 토사의 유입이 거의 없으므로 항 주변과 항내매몰에는 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

## 3. 항내매몰에 관한 수치모형실험 및 현지관측

### 3.1 3차원 해빈변형모델의 수치계산방법

파랑장 계산에 있어서는, 파랑의 불규칙성을 고려한 에너지 평형방정식에 기초한 계산법을 사용하였다(김 등, 1997). 이 계산방법은 각 성분파의 에너지 스펙트럼이 시간적, 공간적으로 보존된다고 가정하고, 천수변형에 따른 굴절, 쇄파 등의 제한상을 고려하여 심해로부터 천해로의 파고변화를 순차적으로 계산해 나가는 방법이며, 기본방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \nabla \cdot (DV) - Q = 0 \tag{1}$$

여기서  $D$ : 방향 스펙트럼,  $Q$ : 외부에너지의 수치,  $V$ : 에너지전파와 속도벡터이며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial f}, \frac{\partial}{\partial \theta} \right\} \tag{2}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_f \\ V_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_g \cos \theta \\ C_g \sin \theta \\ \frac{\partial f}{\partial t} \\ \frac{C_g}{C} \left( \frac{\partial C}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cos \theta \right) \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$C_g = \frac{C}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sin 2kh} \right) \tag{4}$$

여기서,  $x, y$ 는 좌표,  $\theta$ 는 파향,  $C_g$ 는 군속도,  $C$ 는 파속,  $k$ 는 파수,  $h$ 는 수심이다.

해빈류의 계산은 다음의 연속방정식 및 운동방정식을 사용하였다.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h + \bar{\eta})U + \frac{\partial}{\partial y}(h + \bar{\eta})V = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + F_x - M_x + R_x = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + F_y - M_y + R_y = 0 \tag{7}$$

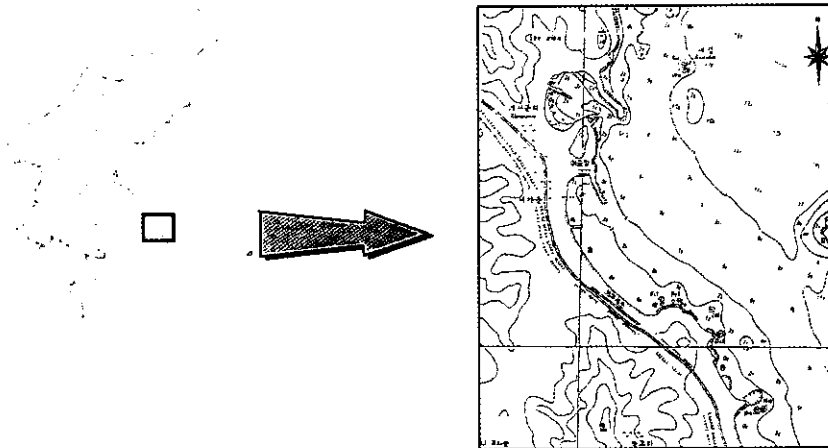


Fig. 1. Investigation site.

여기서,  $\eta$ : 평균수위 상승량,  $U, V$ :  $x, y$  방향의 연안류의 유속,  $F_x, F_y$ : 저면마찰항,  $M_x, M_y$ : 확산항,  $R_x, R_y$ : 잉여응력(radiation stress)항을 나타낸다.

지형변화의 계산은 국소표사량 평가식을 사용하였으며(渡邊 等, 1984), 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$q_c = A_c(u_*^2 - u_{*c}^2) \cdot u/g \tag{8}$$

$$q_w = A_w \cdot F_d(u_*^2 - u_{*c}^2) \cdot u_b/g \tag{9}$$

여기서  $q_c$ : 흐름에 의한 표사량,  $q_w$ : 파에 의한 표사량,  $u_*$ : 파와 흐름의 공존장에서의 저면마찰속도,  $u_{*c}$ : 저질이동한계 마찰속도,  $u$ : 흐름의 수심평균유속,  $u_b$ : 파의 저면궤도유속의 진폭,  $A_c, A_w$ : 무차원계수,  $F_d$ : 표사방향함수,  $g$ : 중력가속도이다.

이상의 수치계산방법을 이용하여 계산되는 흐름도는 다음의 Fig. 2와 같다.

### 3.2 계산조건

수치계산을 수행하기 위한 입사파 제원으로서, 파향은 대상해역의 주파향인 NE방향으로 취하였고, 파고 및 주

기는 해빈류에 의한 해빈변형을 계산할 경우, 해안선 전면 수심에서 쇄파대가 형성될 수 있는 파랑 즉, 해빈류에 의해 지형변동이 발생하는 파랑을 설정하기 위해 대상해역의 파랑관측 통계치(장기파랑산출자료집, 해양수산부, 1996)에 따른 심해 최대유의파의 연간 평균치를 환산하여  $H_{1/3} = 2.61$  m,  $T_{1/3} = 8.1$  s를 사용하였으며, 매물현상의 재현은 30일을 기준으로 하였다. 대상해역에 대한 계산격자는 격자간격을  $\Delta x = \Delta y = 10$  m로 하여  $190 \times 150$ 개의 격자로 구성하였다.

또한, 대상어항인 기사문항은 강원도 동해안에 위치한 향으로서, 표사이동의 원인으로 조류의 영향보다 파랑에 의한 해빈류의 영향이 상당히 탁월한 지역이므로 평균조위를 0.2 m로 설정하여 파랑장 계산시에만 이용하였다. 차분계산의 시간간격은 안정조건을 고려하여  $\Delta t = 0.1$  s로 하였다. 해빈류 계산시 레이놀즈 응력항과 저면마찰항의 무차원정수  $N$ 과 저면마찰계수  $C_f$ 의 값은 각각 0.016, 0.02로 하였고, 경계조건은 파랑, 해빈류 모형을 동일하게 구성하고, 계산영역에 대하여 측방경계는 투과경계, 해안측은 개경계, 심해측은 입사경계로 설정하였다.

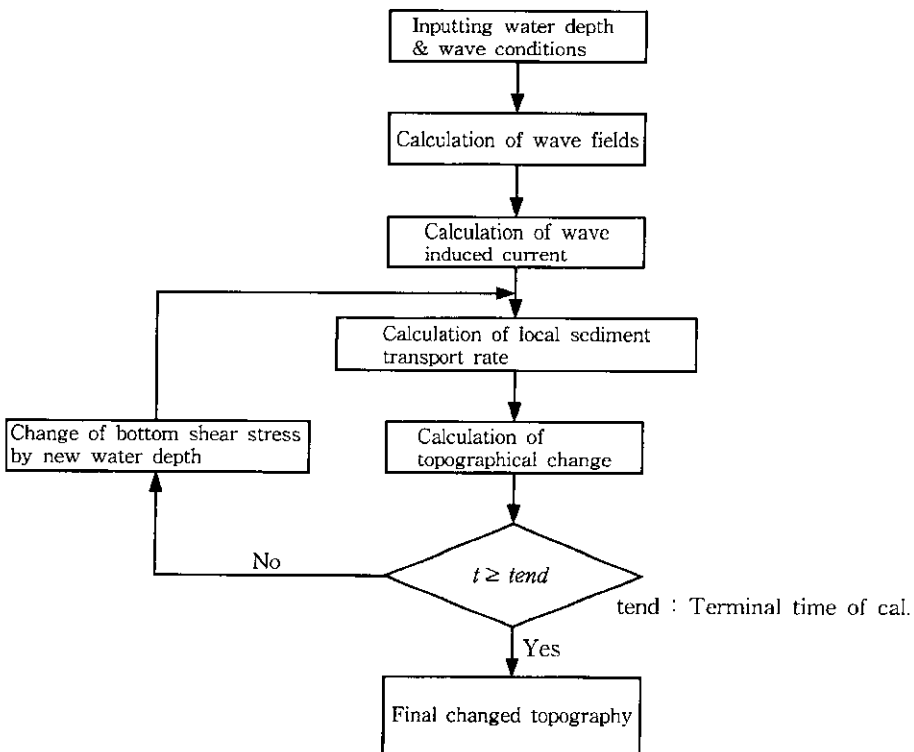


Fig. 2. Flow chart of the numerical model.

다음의 Fig. 3은 계산범위내의 대상해역에 대한 수심도를 나타낸다.

3.3 해빈류장의 검토

흐름에 대한 수치계산에서는 Fig. 4에서 나타난 것처럼 먼저 에너지 평형방정식에 기초하여 파랑장 계산을 수행한 후, 파랑계산 결과로부터 쇄파 후의 잉여응력을 구하였고, 계산된 잉여응력으로 부터 해빈류 계산이 수행되며, 그 결과는 Fig. 6에 나타난 해빈류 벡터로 부터 확인할 수 있다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 남측에서 유발되는 해빈류는 연안류의 특성에 의해 해안선을 따라 북측으로 이동한 후, 세갈래로 나뉘어 그 일부는 이안류로 전환되어 심해지역으로 이동하고 있다. 또한, 별도의 일부 흐름은 해안으로 향하는 질량수송류로 전환되었다가 남측 방향의 연안류로 바뀌고 다시 이안류로 전환되는 흐름을 나타내고 있으며, 이것은 일종의 순환류 역할을 하고 있다.

수치모형실험에 의한 계산시 보정과 결과의 검증을 위하여, 대상항을 중심으로 주변해역에 대해 현지관측을 실시하였다. 관측은 관측시간을 1997년 5월 29일 10:00 부터 17:00까지, 관측지점을 A, B, C의 3지점으로 나누어 해빈류 추적부표를 이용하여 실시하였다. 관측결과 얻어진 각 지점에서의 유행분포는 Fig. 5에 나타내었으며, A, B의 흐름은 항 입구부 주변에서 A', B'로 이동되며, C는 C' 이동되는 순환류현상을 보여주었다.

계산치와 관측치를 비교해 본 결과 세 지점 모두 정성적인 면에서 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있고, 동일지점에서 순환류 현상이 발생하고 있어, 한편으로 계산결과의 타당성을 입증해 주고 있다고 할 수 있다.

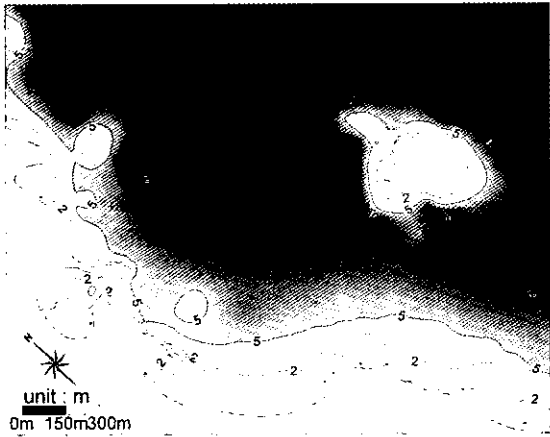


Fig. 3. Contour map of bathymetry.

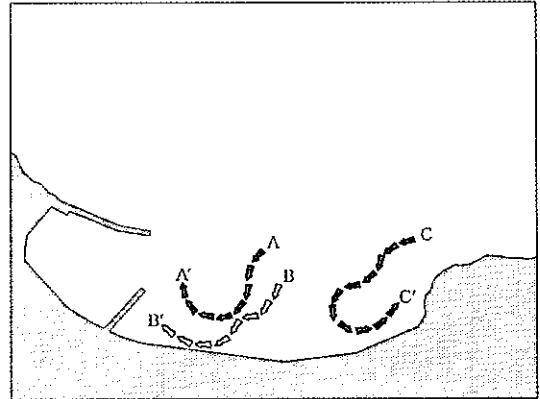


Fig. 5. Flow patterns of observed field data.

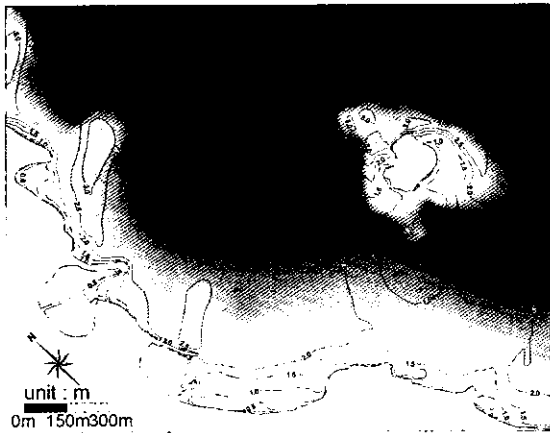


Fig. 4. Contour map of wave height.

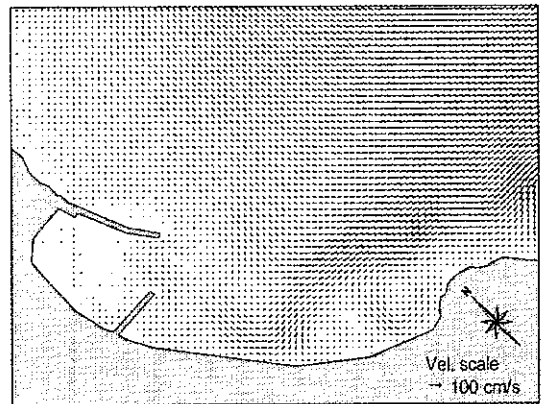


Fig. 6. Flow patterns of calculated wave induced currents.

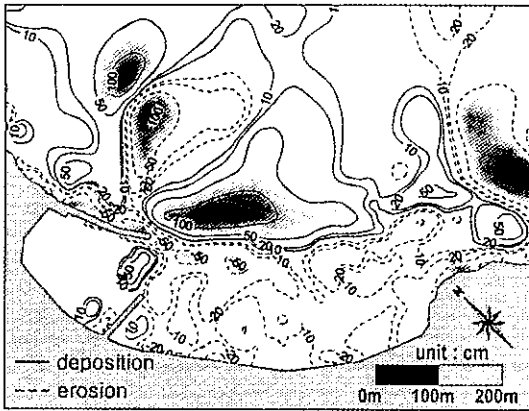


Fig. 7. Contour map of topographical change.

3.4 항내매물에 관한 수치모형실험

30일간의 지형변동 계산결과를 이용하여 퇴적 및 침식에 대한 등치선도를 Fig. 7에 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 항 입구부에서 심각한 매물현상이 일어나고 있음을 알 수 있다.

본 수치모형실험에서는 단기간 동안의 시뮬레이션 결과이므로 항내쪽의 매물현상보다 항입구의 매물이 두드러지게 나타나고 있으나, 시간의 경과에 따라 항 입구부에서 항내측으로 매물상황은 이동할 것으로 사료된다.

4. 항내매물 방지대책의 검토

4.1 방지대책의 구상(I)

본 연구에서 다루고자 하는 어항은 파랑이 탁월한 동해안에 위치한 소규모 어항으로서, 방파제 구조물 설계

시 사전에 해빈변형까지 검토되었더라면, 항내매물 현상은 미연에 방지 또는 저감시킬 수 있었을 것이다(Noda, 1966). 이와같이 항내매물을 고려하지 않은채 북방파제 및 남방파제가 이미 축조된 상황에서는 항내매물을 100% 방지할 수 있는 대책은 강구되기 쉽지 않다. 더구나, 소규모 어항으로서 과감한 방지대책의 구상은 경제적인 측면에서 곤란한 실정이다. 이와같은 상황에서 항내매물을 저감시킬 수 있는 대책으로는 해빈류 및 표사이동 수치모형실험 결과를 토대로 가능한 현상태를 유지한채 소량의 방파제연장을 이용하여 항내매물을 저감시키는 안을 도출할 수밖에 없을 것이다(Ozaki, 1964).

Table 1은 대책안 구성상황을 나타낸 것이다. 단, 보다 많은 투자경비를 고려한다면 보다 효율적인 대책안이 강구될 수 있으나, 3가지 구상안은 앞서 언급한 바와 같이 소규모 어항이라는 점을 감안하여 최소경비로서 최대효과를 얻을 수 있는 안을 구상하여 설정해 본 것이다.

대책안 중에서 A안은 탁월파향인 NE파향을 고려하면서, 기존의 북방파제와 남방사체를 각각 50m와 60m로 연장한 안이며, B안은 기존의 북방파제 및 남방사체를 각각 30m씩 연장시키고 남측해안에 약 70m 정도의 방사체를 추가 설치한 안이다. C안은 이안제를 설치하여 돌보로현상을 인위적으로 발생시켜서 매물감소 효과를 기대한 안이다.

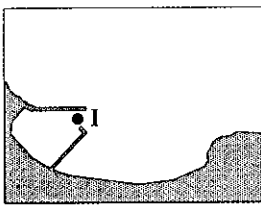
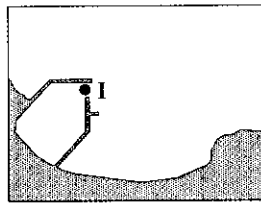
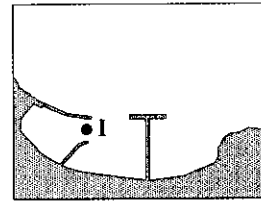
4.2 방지대책의 구상(II)

방지대책 구상(I)에서는 비교적 적은 경비로 항내매물을 저감시키고자 하는 안에 대해 실험해 보았으나, 현

Table 1. Cases of the countermeasures (I)

Cases	A	B	C
Shapes			
Characteristics	50m extension of north breakwater. and 60m extension of south groin.	30m extension about north breakwater and south groin. and 70m additional installment of south groin.	50m installment of two offshore breakwaters in south projecting part.

Table 2. Cases of the countermeasures (II)

Cases	D	E	F
Shapes			
Character-istics	Total cutting length : 120m Total extension length : 260m	Total cutting length : 160m Total extension length : 450m	Total cutting length : 0m Total extension length : 380m

제의 어항자제가 항내매물 검토가 수행되지 않은 채 건설되어졌으며, 항 입구가 쇄파대 내에 위치하므로 항내 매물을 제어하기란 쉽지 않은 상황이다. 따라서, 대규모 투자경비를 감안하더라도 항내 및 항 입구부의 매물현상을 방지할 수 있는 대책을 별도로 검토해 보기로 한다. 다음 Table 2는 설정된 대책안을 나타내고 있다. 대책안 중에서 D안은 기존의 남방사제를 E방향으로 80 m, 다시 N방향으로 20 m를 연장하고, 북방파제를 선단부로부터 120 m 절단한 후, SE방향으로 160 m를 재설치하여 최소한의 방파제 연장길이로 항 입구부를 쇄파대 외로 두고자한 안이다. E안은 기존의 남방사제에서 직선으로 80 m, NE방향으로 110 m를 연장한 후 해빈류 흐름을 차단하기 위해 30 m의 돌제를 두었으며, 북방파제는 160 m 절단한 후 230 m의 방파제를 재설치하여 항 입구부를 최대한 쇄파대 외로 두는 안이다.

또한, F안은 기존의 북방파제 및 남방사제를 각각 30 m씩 연장하고, 항 남측해안에 폭 120 m, 길이 200 m의 T형 돌제를 설치함으로써, 남측해안에서부터 유발되는 해빈류 흐름을 차단코자 하였다.

4.3 매물방지대책의 수치실험 결과

각각의 대책안에 대한 수치모형실험 결과로 Fig. 8에 각 안별로 항 입구부에서 최대매물고가 발생하는 지점 I에서의 1일별 증가량을 나타내었으며, Fig. 9~ Fig. 14는 각 대책안의 30일 후의 지형변동량을 나타내고 있다. 북방파제와 남방사제만을 각각 50 m, 60 m 연장한 A안은 연장직후에는 항입구부에 현안과 거의 같은 매물고를 보이고 있으나, 시간이 경과될수록 항내매물의 저감효과가 나타나고 있고, 항내로 침입하는 표사가 상당히 저감되는 것을 알 수 있다. 70 m의 방사제를 축조

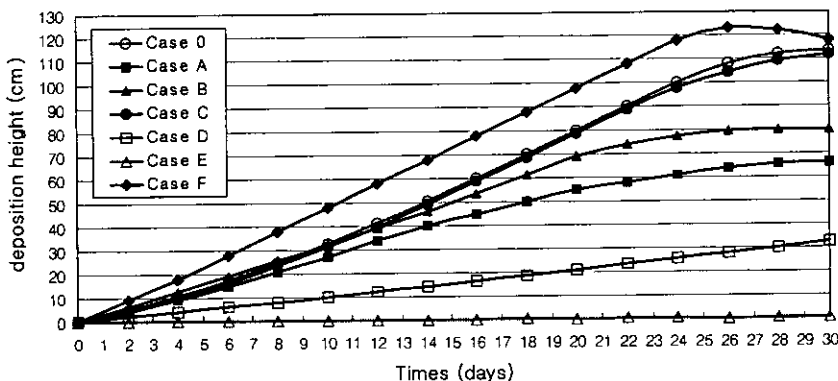


Fig. 8. Comparison of time histories of maximum deposition height.

한 B안의 실험결과는 Fig. 10에 나타내었으며, 방사제의 축조에 의해 남측해안의 해빈류 흐름방향이 변화하여 항내의 표사 침입은 상당히 저감되었으나 항 입구

부의 매물은 초기에는 현안보다도 더 증가하였다가 시간이 경과할수록 저감되는 것을 알 수 있었다. 해안과 평행하게 이안제를 설치한 C안은 현안과 거의 같은 매

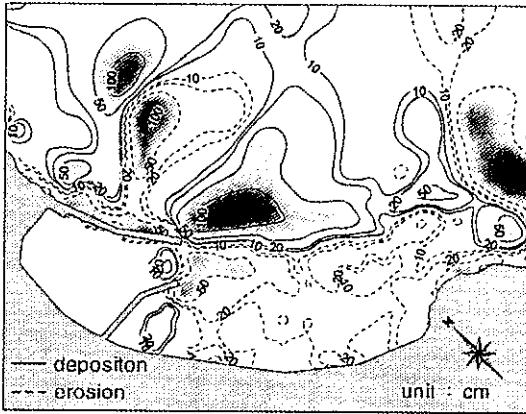


Fig. 9. Contour map of topographical change(Case A).

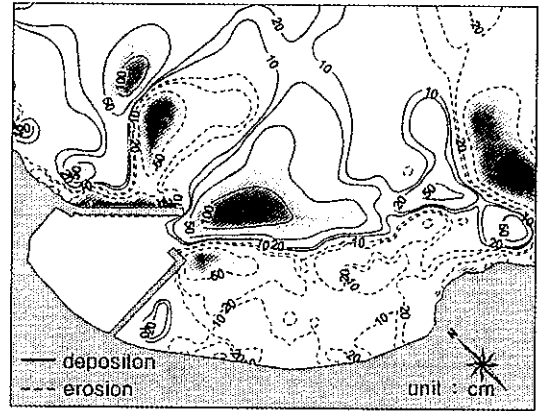


Fig. 12. Contour map of topographical change(Case D).

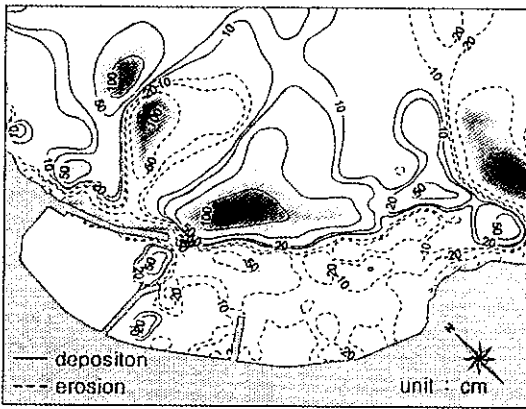


Fig. 10. Contour map of topographical change(Case B).

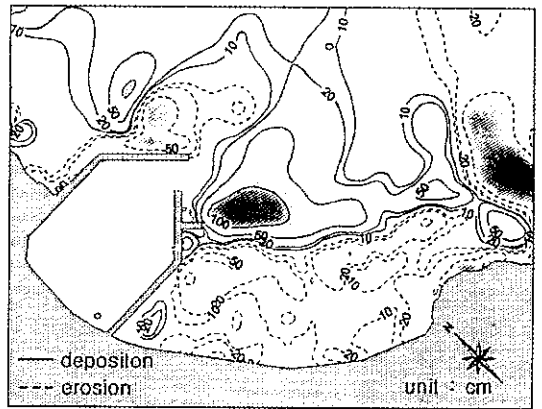


Fig. 13. Contour map of topographical change(Case E).

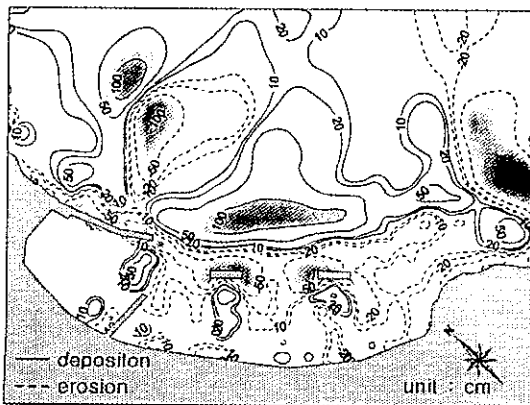


Fig. 11. Contour map of topographical change(Case C).

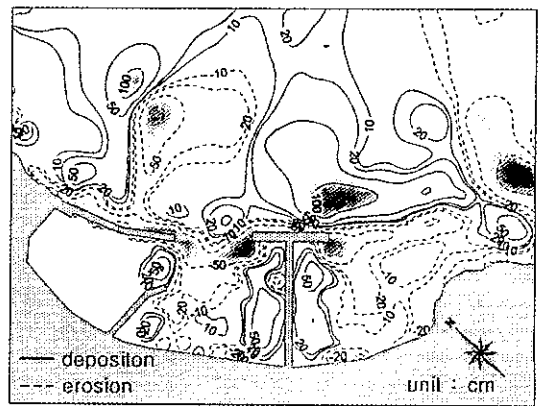


Fig. 14. Contour map of topographical change(Case F).

물상황을 보이고 있다.

기존의 구조물을 최소한 절단하면서 항 입구부를 쇠파대 외로 옮기려고 한 D안의 수치모형실험 결과, 항 입구부 및 항내의 매몰현상은 저감 또는 방지할 수 있었으나, 항로에서의 매몰현상은 대규모 경비를 투자하였음에도 불구하고 그다지 큰 효과는 볼 수 없었다.

경제성을 고려하지 않고 막대한 공사비를 투자하여 항 입구부를 완전히 쇠파대 외로 옮기는 E안의 실험결과 는 항입구부 및 항내의 매몰은 거의 완전히 방지할 수 있었다. 남방사제 남측에 상당한 양의 퇴적현상이 여전히 존재하나 항로에 끼치는 영향은 적을 것으로 사료 된다. 기존 방파제 및 방사제를 각각 30 m씩 연장하고 남측해안에 T형의 돌제를 설치한 F안의 결과는 Fig. 14에 나타나듯이 항내매몰의 표사원인 항 남측의 침식현상은 방지할 수 있었으나 항과 돌제 사이에서의 와류로 인해 항입구의 매몰현상이 현안의 상황보다도 더욱 증가함을 알 수 있었다.

## 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 사질퇴적 환경의 소규모 어항을 대상으로 어항 전면의 파랑변형, 해빈류 경향 및 항내매몰에 관한 지형변동 수치실험을 실시하였다. 아울러, 현재의 매몰상태 및 해빈류 현황을 잘 재현할 수 있도록 모형내의 각종 parameter를 보정하고 재설정하였다. 보정된 수치모형을 이용하여 현상태의 매몰현상을 제어할 수 있는 대책공법을 구상하여 보았다. 항내매몰의 원인은, 해안선을 따라 진행하던 해빈류가 항 입구부 전면에서 구조물로 인하여 형성되는 순환류를 들 수 있다. 또한, 근본적인 원인으로서 항 입구부가 지형변동(topographical change)이 극심한 쇠파대 내에 위치하고 있기 때문이라고 생각된다. 일반적으로, 항 입구부를 쇠파대 외로 둔다면 지형변동에 의한 항내매몰 현상을 최대로 저감시킬 수 있겠지만, 본 연구에서는 경제성 및 소요경비를 고려하여 현상태를 토대로 최소의 추가설비를 고려했을 경우의 최적안과 반대로 대규모 투자경비를 고려한 경우의 최적안에 대해 그 성능을 각각 검토해 보았다.

항내매몰을 완전히 제어하기 위해서는 그룹(II)에서 검토된 바와 같이 Case D 또는 Case E가 타당할 것으

로 판단된다. 그러나 본 연구에서 검토된 영세한 소규모 어항의 경우, 1종, 2종 어항과는 달리 그 건설 및 관리를 지방기초단체장이 맡고 있는 실정이므로, 경제성 측면에서 실현성이 없는 안이며, 예산이 확보되더라도 현재의 어선 세력으로는 공사비만큼의 수익효과가 없다고 사료된다. 결국, 이러한 점을 감안한다면 우선 Case A 또는 Case B에 의해 매몰량을 저감시키고 2, 3년에 1회 정도의 항구부 준설을 시행한 뒤 준설토를 항 남측 해수욕장의 침식구간에 양분하는 Sand bypassing 방법을 이용하는 것이 경제성을 고려한 최적의 대책공법이 될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 '97 핵심연구과제(971-1204-018-2)의 지원에 의하여 도출된 연구의 일부로 재단의 지원에 심심한 감사의 뜻을 전한다.

## 참고문헌

- 김규한, 백승화, 편종근, 1997. 海濱變形을 이용한 港內埋沒豫測, 한국해안·해양공학회지, 9(4): pp. 201-207.
- 渡邊晃, 丸山康樹, 1984. 屈折·回折·碎波減衰を含む波浪場の數値解析法, 第31回海岸工学講演會論文集, 土木學會, pp. 103-107.
- Maruyama, K. and Takagi, T., 1988. A simulation system of nearshore sediment transport for the coupling of the sea-bottom topography, waves and currents, *IAHR Symp. on Mathematical Modelling of Sediment Transport in the Coastal Zone*, pp. 300-309.
- Noda, H., 1966. Model study on the filling-up of a fishing harbor by drifting sand, *Proc. 10th Coastal Engrg. Conf., ASCE*, Vol. 1, pp. 564-594.
- Ozaki, A., 1964. On the effect of an offshore breakwater on the maintenance of a harbor constructed on a sandy beach, *Proc. 9th Coastal Engrg. Conf., ASCE*, pp. 323-345.
- Sonu, C.J., 1972. Field observation of nearshore circulation and meandering currents, *J. Geophys. Res.*, 77(18), pp. 3232-3247.