

동해안 중소어항 인근 해안침식 방지대책 Countermeasures for Beach Erosion around Fishing Port in East Sea of Korea

김규한* · 백종대*
Kyu Han Kim* and Jong Dai Back*

要 旨 : 동해안에 위치한 대부분의 중소어항은 주로 백사장 주위에 건설되어져 있으며, 이러한 어항 구조물은 인근 백사장의 침식에 중요한 영향을 끼쳐왔다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 우선, 사전예측 및 해안침식현상의 정확한 재현을 통해 그 원인을 파악하고 검증할 필요가 있다. 아울러 대상해안에 적합한 침식 대책공법을 강구하여야 한다. 본 연구에서는 경제적인 측면을 고려하여 중소어항 주변해안에 실질적으로 적용할 수 있는 해안침식 대책을 도출하고, 그에 대한 방지효과를 수치시뮬레이션을 통해 검토하였다.

핵심용어 : 중소어항, 백사장침식, 해안침식방지대책, 수치시뮬레이션

Abstract □ Most of fishing ports on the east coast of Korea have constructed around sand beach. Such fishing port structure had caused important effect in erosion of neighborhood sand beach. In order to solve the problems, we have to understand the mechanism through estimations and accurate reproduction beach erosion. Simultaneously, we have to devise a suitable countermeasure for beach erosion to the object coast. This study suggests economically substantial countermeasure for beach erosion around the fishing port and investigates, the preventive effects using a numerical simulation technique.

Keywords : fishing port, beach erosion, countermeasure for beach erosion, numerical simulation

1. 서 론

파랑과 해빈류가 표사이동의 주위력으로 작용하고 있는 동해안에 위치한 대부분의 중소어항 및 어항들은 사빈 해안에 건설되어져 있으며, 어항의 건설로 인해 인근 해안은 표사이동의 평형상태가 붕괴되어 해안선이 후퇴되고 있다(김 등, 1997). 이러한 현상에 의해 인근 백사장은 해안침식이라는 극심한 피해를 입고 있으며, 천혜의 관광자원인 해수욕장의 상실이라는 측면에서 사회적 문제로 파급되고 있는 실정이다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는, 사전예측 및 해안침식 현상의 정확한 재현을 통해 그 원인을 파악하고, 대책을 강구할 필요가 있다.

해안침식 대책에 관한 연구는 그리 많지 않으며, 실제 해안의 과거자료에 의한 침식특성의 규명과 정성적 해석

결과에 따른 대책공법의 방향 등이 주로 제시되어져 왔다(市川等, 1973; 豊島, 1984).

해안침식의 예측 및 재현을 통한 대책공법설정에 관련된 보다 구체적인 연구방법으로는 수치모델에 의한 수치시뮬레이션과 수리모형실험, 그리고 현장조사의 방법이 고려될 수 있으며, 이 세 가지 방법을 동시에 이용한다면 가장 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것이다(Maruyama *et al.*, 1988). 그러나 수리모형실험은 많은 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라, 이동상 상사법칙을 현상에 맞게 설정하여, 시간축척을 유도해야 되는 점등으로 인하여 실험에 착수하기까지에는 많은 노력이 필요하다(Kim, 1993).

따라서, 본 연구에서는 동해안에 위치한 어항 인근해안으로서 해안침식 현상이 지속되고 있는 오산해수욕장을 대상으로 현장 조사를 실시하여 표사이동 특성을 검토하였으며, 관측 결과를 토대로 해안침식 예측모델을 수립하고, 해

*관동대학교 건설환경시스템공학부(Corresponding author: Kyu Han Kim, Division of Civil and Environmental System Engineering, Kwandong University, Yangyang, Kangwondo, 215-800, Korea. kkhkim@kwandong.ac.kr)

안침식의 근본적 원인을 파악하는데 노력하였다. 아울러, 대상지역의 경제적인 측면과 친환경적인 측면을 고려하여 실질적으로 적용 가능한 해안침식 방지 최적 대책공법을 설정하였으며, 대책공법의 효율성을 수치시뮬레이션을 통해 검토하였다.

2. 대상해역의 설정 및 자연조건

Fig. 1에 나타난 해역은 동해안에 위치한 오산항 주변 해안으로서, 저질은 대표입경 0.35 mm의 사빈으로 이루어져 있다. 해저경사는 1/40~1/60의 대체로 완만한 경사를 이루고 있다. 조류 및 해류는 계절에 따라 다소 차이는 있지만 0.05~0.3 m/sec정도를 유지하고 있다. 또한, 본 지역의 연평균 강수량은 1,073.5 mm로서, 연 강수량의 약 60%가 하절기인 6~9월에 집중되어 내리고 있다. 남방파제 외측에 소하천이 있으나, 평상시에는 건천으로 하상경사가 급하고 유역면적이 작아 토사공급량은 무시할 만큼 적은 것으로 판단된다.

3. 수치모형실험 및 현지관측

3.1 수치모형실험 방법

수치모형실험은 최종적인 결과인 지형변동상황을 구하기 앞서 파랑장의 계산과 해빈류장의 계산을 우선 수행하였다.

파랑장의 계산은 파랑의 불규칙성을 고려하여 에너지 평형방정식에 기초한 계산법을 사용하였다(김 등, 1997). 이 계산방법은 각 성분파의 에너지 스펙트럼이 시간적, 공간적으로 보존된다고 가정하고, 천수변형에 따른 굴절, 쇄파 등의 제 현상을 고려하여 심해로부터 천해로의 파고 변화를 순차적으로 계산해 나가는 방법이다. 아울러, 파랑장 계산으로부터 얻어진 잉여응력을 이용하여 해빈류의

계산을 수행하고, 흐름 및 파에 의한 표사량을 구하여 최종적인 해빈변형을 도출하였다.

파랑장 계산의 기본 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 D 는 방향 스펙트럼, Q 는 외부에너지의 수지이며, V 는 에너지전파 속도 벡터를 나타내고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

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

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

해빈류의 계산은 다음의 연속방정식 및 운동방정식을 사용하였다.

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

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

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

여기서, $\bar{\eta}$ 는 평균수위 상승량, U, V 는 x, y 방향의 연안

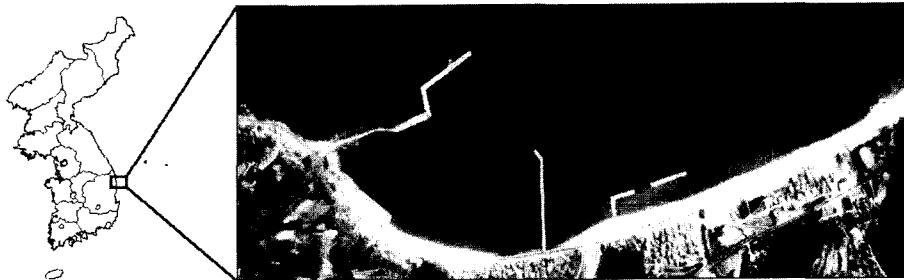


Fig. 1. Investigation site.

류의 유속이며, F_x, F_y 는 저면마찰항, M_x, M_y 는 확산항을 나타내고, R_x, R_y 는 잉여응력(radiation stress)항을 보여준다.

지형변동을 해석함에 있어 기본이 되는 표사량 공식은 다음과 같은 식 (8)~(9)을 이용하였다(Watanabe *et al.*, 1986).

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

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

여기서 q_c 는 흐름에 의한 표사량, q_w 는 파에 의한 표사량, u_* 는 파와 흐름의 공존장에서의 저면마찰속도이고, u_{*c} 는 저질의 이동한계 마찰속도를 나타낸다. u 는 흐름의 수심평균 유속, u_b 는 저면제도 유속의 진폭이다. A_c, A_w 는 무차원 계수이고, F_d 는 표사방향함수, g 는 중력가속도이다.

여기에서 나타내는 해저지형변동 수치모델은 1년이내의 단기간의 해저지형변동을 구하는데 주로 이용될 수 있으며, 동해안에의 현지 적용성은 이미 검토된 바와 같으며 지속적인 모델의 보완이 수행되어 왔다(김 등, 1997, 2001).

이상의 기본 방정식을 토대로 수치계산방법에 의해 계산되는 수치모형실험의 흐름도는 다음의 Fig. 2와 같다.

3.2 수치실험 조건

수치계산을 수행하기 위한 입사파 제원으로서, 파향은 대상해역의 주파향이며, 연간 13.1%의 출현률을 보이는 NE방향으로 취하였다. 또한, 오산항 남측해안은 경상북도

동해안에 위치한 항으로서, 표사이동의 원인으로 조류의 영향보다 파랑에 의한 해빈류의 영향이 상당히 탁월한 지형이므로 파고 및 주기를 해안선 전면 수심에서 쇄파대가 탁월하게 형성될 수 있는 파랑 측, 해빈류에 의해 지형변동이 유발되는 파랑을 설정하기 위해 대상해역의 파랑 통계치에 따른 심해 유의파의 연간 평균치를 환산하여 $H_{1/3}=4.24$ m, $T_{1/3}=9.5$ sec를 사용하였다. 해빈변형 모델의 계산격자는 격자간격을 $\Delta x = \Delta y = 10$ m로 하여 270x320개의 격자로 구성하였다.

차분계산의 시간간격은 안정조건을 고려하여 $\Delta t=0.1$ sec로 하였으며, 해빈류 계산시 레이놀즈 응력항과 저면마찰항의 무차원정수 N 과 저면마찰계수 C_f 의 값은 각각 0.016, 0.02로 하였다.

경계조건은 파랑, 해빈류 모형을 동일하게 구성하고, 계산영역에 대하여 측방경계는 투과경계, 해안측은 폐경계, 심해측은 입사경계로 설정하였다.

다음의 Fig. 3은 계산범위내의 대상해역에 대한 수심도를 나타낸다.

3.3 파랑 및 해빈류장의 검토

흐름에 대한 수치계산에서는 Fig. 4에서 나타낸 것처럼 먼저 에너지 평형방정식에 기초하여 파랑장 계산을 수행한 후, 파랑계산 결과로부터 쇄파 후의 잉여응력을 구하였고, 계산된 잉여응력으로부터 해빈류 계산이 수행되었다. 그 결과는 구조물이 건설되기 이전인 과거인 Fig. 5와 구조물이 축조된 현재인 Fig. 6에 나타난 해빈류 패턴으로부터

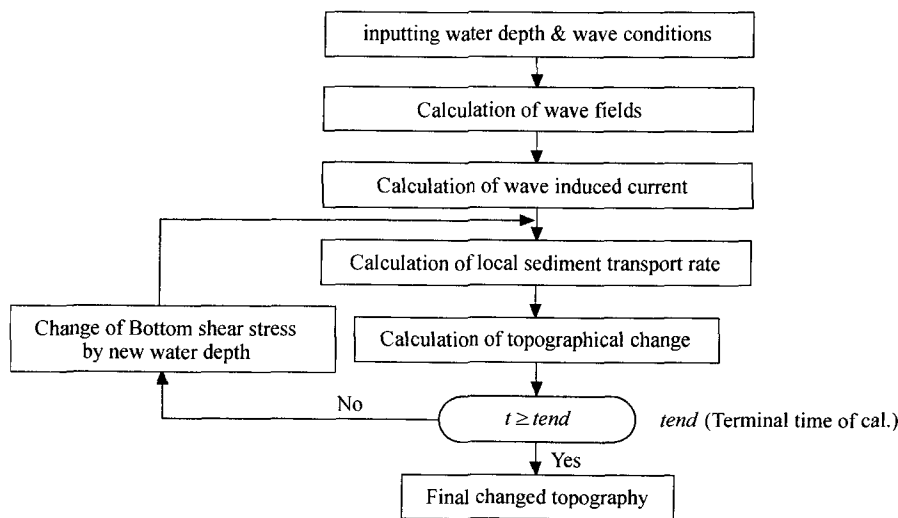


Fig. 2. Flow chart of the numerical model.

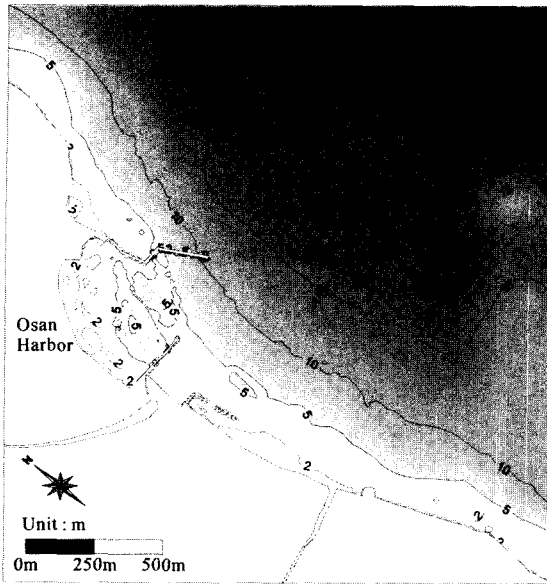


Fig. 3. Contour map of bathymetry.

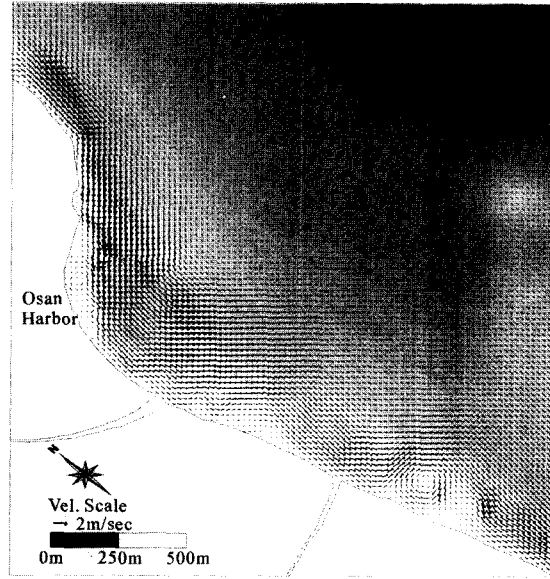


Fig. 5. Flow patterns of calculated wave induced currents.

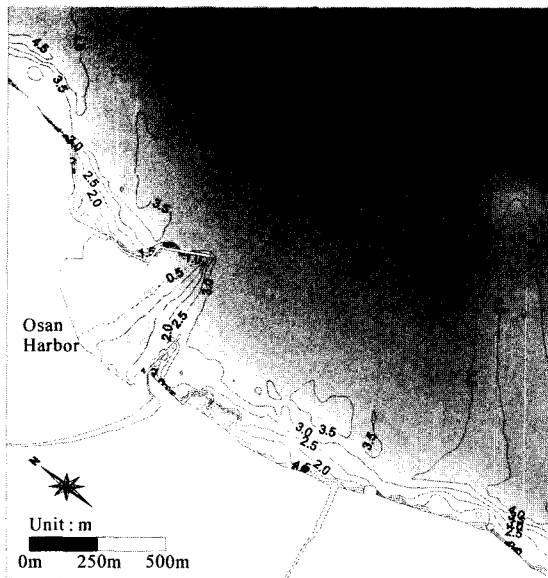


Fig. 4. Contour map of wave height.

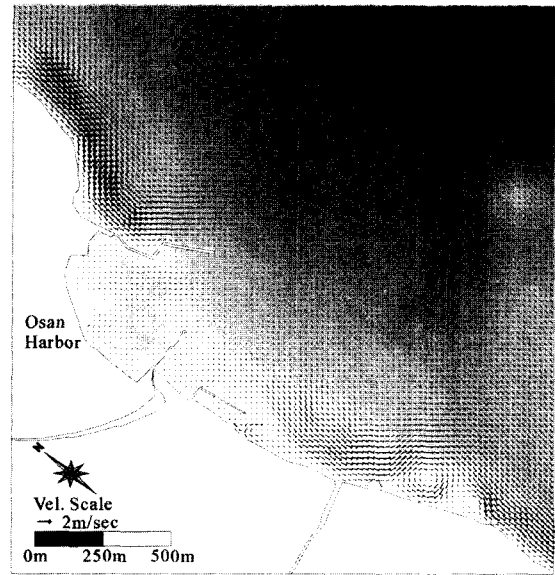


Fig. 6. Flow patterns of calculated wave induced currents.

터 확인할 수 있다. 여기서, 해빈류(Wave induced current)는 연안류(longshore current)와 이안류(rip current)로 구분하여 조사하였으며, 이하에서는 해안에 평행하게 이동하는 흐름을 연안류, 해안에 직각으로 이동하는 흐름을 이안류로 표기하기로 한다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 알 수 있듯이 NE 방향의 파랑 내습시 구조물 건설 이전에는 북측에서 남측 해안으로 강

한 연안류의 흐름이 존재하였으나, 북방파제의 연장에 의해 북측에서 남측으로 향하는 연안류가 차단되었으며, 오산항 남측해안은 이안제 내측으로 향하는 흐름과 남측으로 향하는 연안류가 동시에 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

수치모형실험에 의한 결과의 검증과 추후 지형변동계산의 보정을 위하여, 오산항 남측해안 주변해역에 대해 현

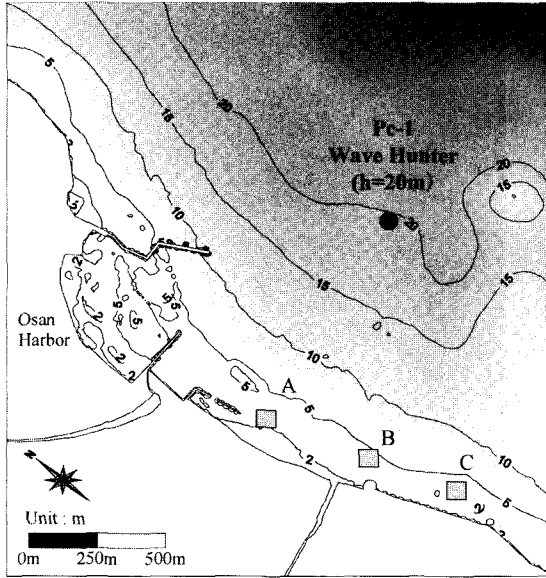


Fig. 7. Field investigation point.

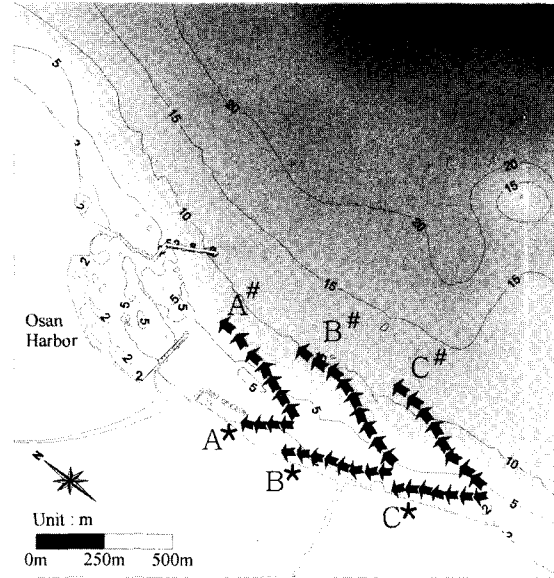


Fig. 8. Flow patterns of observed field data.

지관측을 실시하였다.

현지관측은 파랑관측 및 해빈류 관측을 Fig. 7에 나타난 지점에서 하계(2001. 6. 20~2001. 7. 22)와 동계(2002. 1. 17~2002. 2. 01)에 각각 수행하였다. 수심 20m지점에서 수행된 파랑관측은 I·O tech사 제품의 파고계(Wave Hunter)를 현지 해역에 설치하여 실시하였으며, 해빈류 관측은 A, B, C의 3지점으로 나누어 해빈류 부표를 이용하여 실시하였다.

Fig. 7은 대상해역의 관측위치를 나타낸 것이며, 해빈류 부표 추적결과는 Fig. 8에 나타내었다. 또한, 관측에 의한 파랑자료를 파향과 파고($H_{1/3}$), 주기($T_{1/3}$)에 대해 정리하면 Fig. 9와 Fig. 10과 같다.

해빈류 관측결과, 거의 부자가 하계(A*, B*, C*)에는 남측에서 북측으로 이동하였으며, 동계(A#, B#, C#)에도 대부분의 부자가 남측에서 북측으로 이동하지만, 하계의 결과와 다르게 NE방향으로 이동하여 외해로 빠져나가는 경

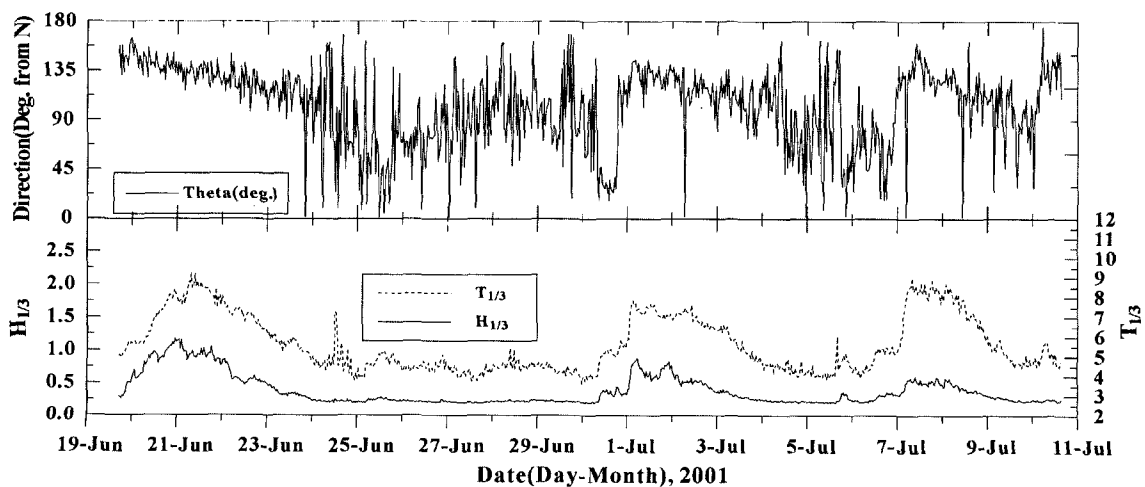


Fig. 9. Time series of $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ and wave direction(Summer).

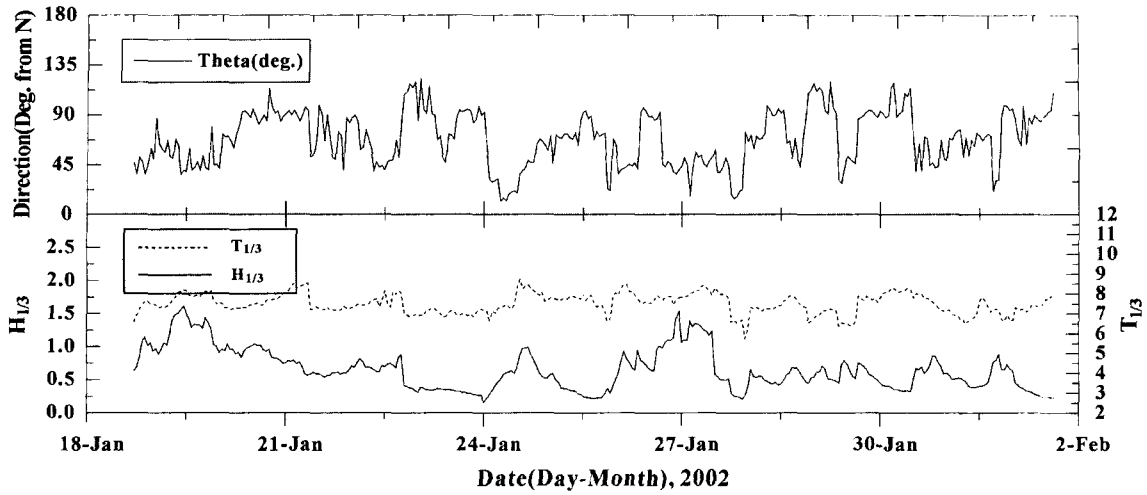


Fig. 10. Time series of $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ and wave direction(Winter).

향을 나타내주었다. 이러한 결과는 하계 관측시에는 SE 파향이 내습하였고 동계에는 ESE파향의 내습과 동시에 남서풍이 강하게 불었기 때문이라고 사료된다. 단, 부자관측에서는 바람이 강할 경우, 바람의 영향을 무시하기 어려운 단점을 지니고 있다고 보여진다.

파랑관측 결과, 하계에는 유의파고가 0.2 m~1.2 m를 나타내지만, 평균적으로 0.5 m를 초과하는 일수가 비교적 적다. 또한, 동계에는 유의파고가 0.2 m~1.6 m로, 하계와는 달리 평균적으로 0.5 m이상의 파랑이 높은 빈도로 출현

하고 있음을 알 수 있다. 현지관측결과와 수치모형실험결과와의 비교검토를 토대로 무차원 매개변수 A_c , A_w 에 대한 보정을 수행하였다.

3.4 지형변동 수치모형실험

지형변동 계산결과를 이용하여 퇴적 및 침식에 대한 등치선도를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 구조물 건설 이전에는 북측에서 남측으로 향하는 강한 연안류에 의해 남측으로 이동하는 표사가 주

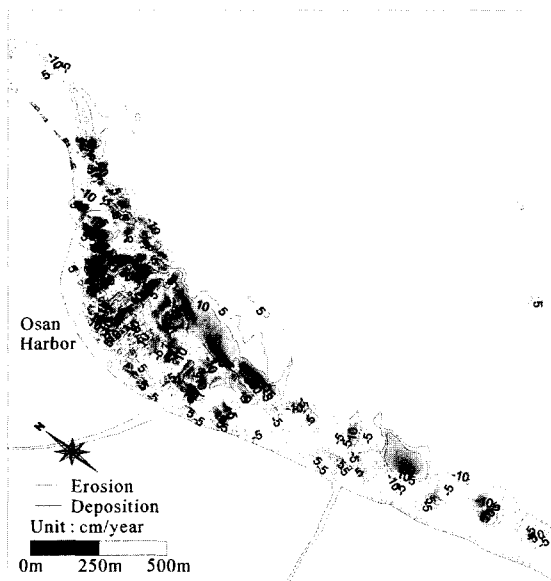


Fig. 11. Contour map of topographical change (before).

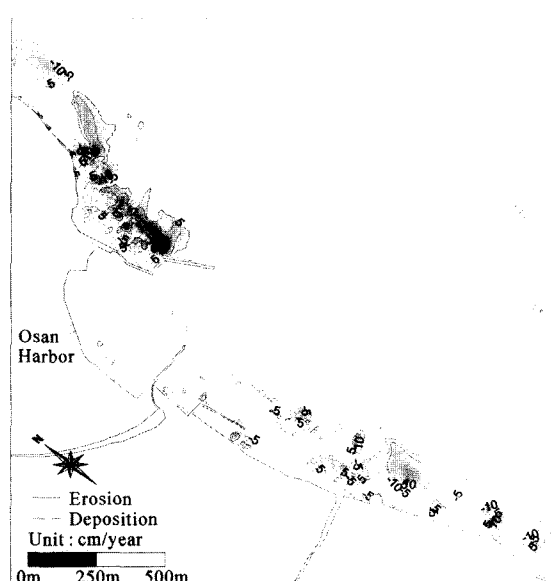


Fig. 12. Contour map of topographical change (present).

를 이루어 오산항 전면에 대규모의 연안 사주가 형성되는 것이 확인되었다.

그러나, 구조물이 축조된 현재는 북측에서 남측으로 향하던 표사공급이 북방파제에 의해 차단되고, 과거의 평형상태가 붕괴되어 항 남측해안에는 해안침식이 진행될 수 밖에 없음을 확인할 수 있었다.

4. 해안침식 방지대책의 검토

4.1 방지대책의 구성

본 연구의 대상 어항은 파랑이 탁월한 동해안에 위치한 어항으로서, 방파제 구조물 설계시 해변변형 및 표사이동을 사전에 검토하여 북방파제의 연장을 계획하였다면, 오산항 남측해안에서의 심각한 해안침식 현상은 미연에 방지 또는 저감시킬 수 있었을 것이다.

특히, 항내매물을 제어하기 위해 기존계획에 추가하여 방파제를 연장한 것이 해안침식을 가중시키는 가장 큰 원인으로 작용한 것으로 사료된다. 이미 북방파제 112m와 남방사제 203 m의 연장계획이 설정되어있다.

이와 같은 상황에서 해안침식을 100% 방지할 수 있는 대책은 강구되기 쉽지 않다. 또한 경제적인 측면을 고려해 볼 때 과감한 대규모의 방지대책 구성은 곤란한 실정이다.

따라서, 이러한 조건하에서 가장 적합한 해안침식 방지대책을 강구하기 위해서는 해변류 및 표사이동 수치모형실험 결과를 토대로 가능한 한 현 상태를 유지한 채 최소규모의 침식저감안을 도출할 수밖에 없을 것으로 사료된다.

Table 1은 대책안 구성상황을 나타낸 것이다. 대책안 A는 북방파제가 남측해안에 미치는 영향을 최소화하기 위해 북

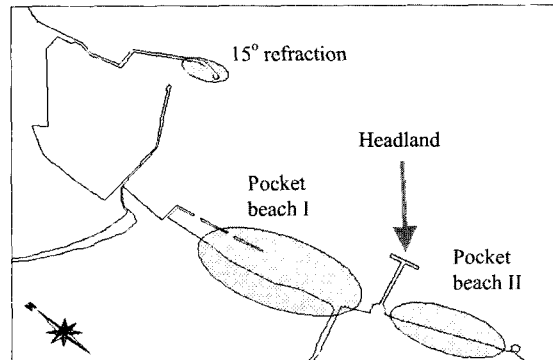


Fig. 13. Setup of the countermeasures.

방파제를 15° 내측으로 굴절시키고 남측해안에 Headland와 이안제 1기를 추가한 안이다.

B안은 A안의 이안제 대신 잠제 4기를 추가한 안이며, C안은 잠제 2기를 추가한 안이다. 이와 같은 대책안의 설정 배경은 Fig. 13에서 알 수 있듯이 남측해안에 Headland를 건설하여 해안을 Pocket Beach화하여 안정해빈을 형성할 수 있도록 하기 위해 설정된 대책안들이다.

4.2 방지대책의 도출

각각의 대책안에 대해 수치모형실험 등 각종 검토를 수행하였다. 또한, 이미 계획되어져 있는 북방파제 연장시 예상되는 추가 침식구역을 Tanaka(1976)의 경험적 연구 결과를 토대로 Fig. 14에 나타내었다. 아울러, 각 대책안별 지형변동 수치실험결과를 Fig. 15~Fig. 17에 나타내었다.

북방파제와 남방사제를 연장하고 이안제 100 m 1기와 Headland 300 m 1기를 설치한 A안은 Headland 구조물

Table 1. Cases of the countermeasures

Case	A	B	C
Shapes			
Characteristics	North breakwater: 15° refraction Headland: 300 m installment 1 offshore breakwater installment (100 m)	North breakwater: 15° refraction Headland: 300 m installment 4 submerged breakwater installment (70 m)	North breakwater: 15° refraction Headland: 300 m installment 2 submerged breakwater installment (70 m)

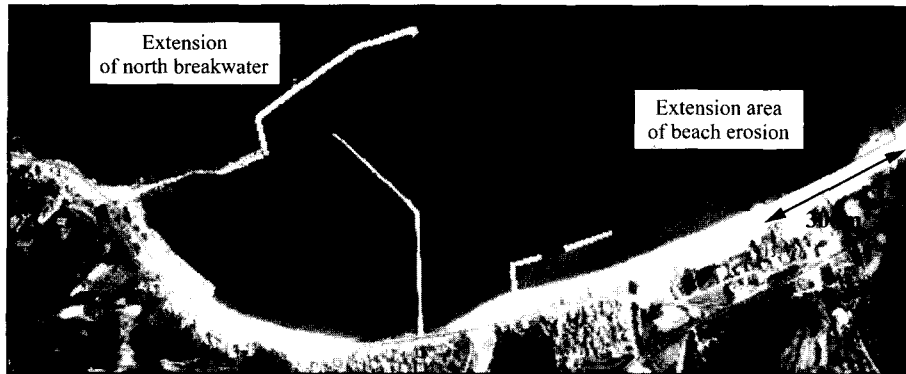


Fig. 14. Expectation area of erosion.

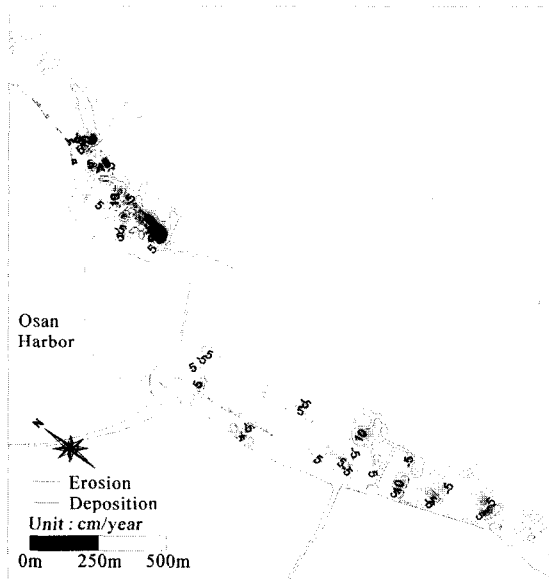


Fig. 15. Contour map of topographical change(Case A).

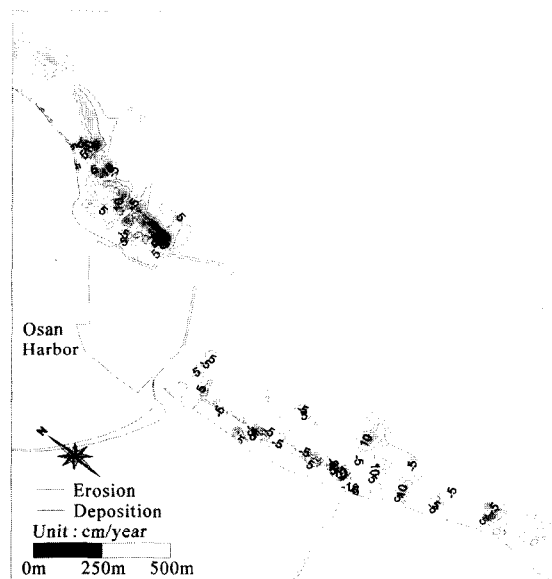


Fig. 16. Contour map of topographical change(Case B).

에 의해 연안류가 차단되고 Headland 구조물 양 측면에서 유발되는 Vortex 현상으로 인해 Headland의 두부에 퇴적현상이 발생되어 Pocket beach를 형성하며, 이안제 배후의 톱보로 현상으로 인해 퇴적현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다. A안의 이안제 대신 70 m 잠제 4기를 설치한 B안은 A안과 유사한 해변변형 패턴이 나타나지만, Headland 좌측해안에 침식현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다. A안의 이안제 대신 70 m 잠제 2기를 설치한 C안은 A안과 유사한 지형변동 경향이 나타나는 것을 발견할 수 있다.

이와 같은 결과를 앞서 Tanaka의 연구결과를 근거로 Fig. 14에서 보여지는 유력한 침식예상구역 30 m×300

mm(폭×길이)에 대해 각 실험안에 대한 수치실험 결과를 이용하여 비교해보았다. Fig. 18에서 보여지듯이 현재상태는 (-)를 나타내어 침식이 계속 진행될 것으로 예상되며, 대책안 Case A, B, C 모두 (+)의 값을 나타내 줌으로서 퇴적현상으로 전환될 수 있을 것으로 예상된다. Case A와 Case C의 경우는 Case B에 비해 퇴적현상이 보다 탁월한 것으로 예측된다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 사질로 구성된 침식성 해안을 대상으로 백사장 전면의 파랑변형, 해빈류 경향 및 지형변동 수치

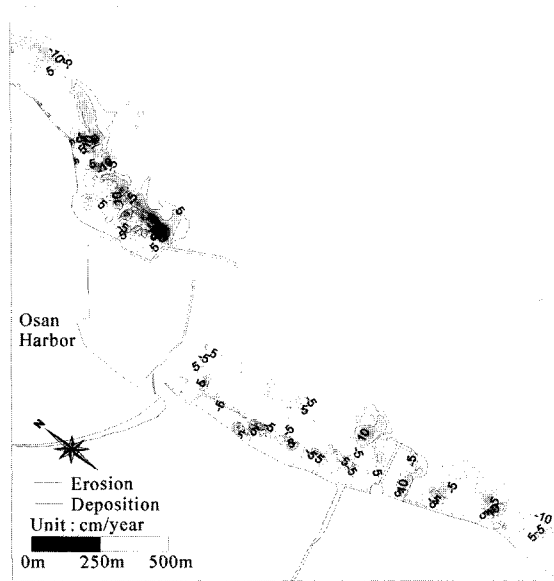


Fig. 17. Contour map of topographical change(Case A).

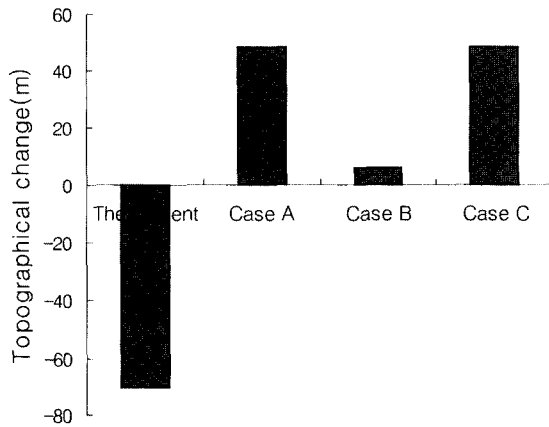


Fig. 18. Result of topographical change.

실험을 실시하였다. 동시에 현재의 해안침식 및 해빈류 현황을 잘 재현할 수 있도록 현지 관측 및 각종 자료를 수집하여 현지해안의 표사이동 특성을 면밀히 검토하고, 현 상태의 해안침식을 제어할 수 있는 대책공법을 구상하여 보았다.

대상 해역의 해안침식은 구조물 건설 이전에 북측에서 남측해안으로 이동하던 표사가 구조물의 건설에 따라 차단되었으며, 어항 공사중 북측으로 이동하는 연안류에 의해 항내매몰이 발생되고 그 매몰된 토사가 원 유출지역으로 환원되지 못하여 대상 해역의 총 표사량이 감소된 것에 그 원인이 있다고 사료된다. 아울러 항내매몰을 저감하기 위해 계획된 북방파제의 연장은 해안침식을 가중

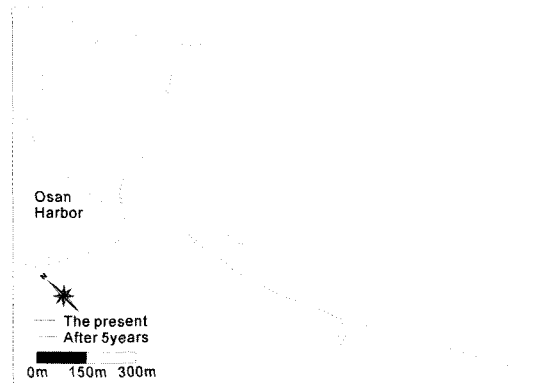


Fig. 19. Result of One line model(after 5 years).

시키고 있다.

그러나, 이미 북방파제의 연장계획이 설정된 상태이기 때문에 Case A~C와 같은 최소규모의 침식저감안이 강구되었다. 남측해안에서 발생하는 침식 현상을 방지하고 해안침식 제어 및 안정된 해빈을 유지하기 위해서는 북방파제의 연장을 최소화 할 필요가 있다. Case A~Case C의 안중에서 Case A와 Case C가 자료검토 및 실험결과 우수한 안이라 판단되나, 그 중에서도 경제적 측면을 고려하면 Case A가 보다 타당한 안이라 사료된다. 물론 해안 경관측면에서는 잠제가 이안제보다 우수할 것으로 판단되나, 이미 인근에 설치되어있는 기존 이안제와의 조화를 생각하면 잠제가 더 바람직하다고만 할수는 없을 것이다.

아울러, Case A에 대해 장기간의 지형변화 현상을 재현하기 위해 One line model에 의한 검토를 수행하였다. One line model의 입력 조건은 현장관측자료를 사용하였으며, 대상해역의 주파향인 NNE, NE, ENE 방향의 파랑에 대해 해안선 변형실험을 각각 수행한 후, 각 방향의 해안선 변화량을 모두 조합하여 Fig. 19에 해안선 변동상황으로 나타내었다. 해안선 변화를 살펴 본 실험결과 이안제와 해안선사이에 톰보로(Tombolo)현상이 유발되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 14에서처럼 침식이 예상되었던 구역에서 침식현상이 사라지고 헤드랜드 남측구간은 헤드랜드와 암초 사이에 포켓비치(Pocket Beach)가 형성되어 전체적으로 안정된 해안을 이루게 됨을 확인할 수 있다.

참고문헌

Kim, 1993. Scale effects and Geometry of sand ripples under wave effects., Journal of Korean Society of Coastal and

- Ocean Engineers., 5(4), 1993.12
- 김규한, 백승화, 편종근, 1997. 海濱變形模型을 이용한 港內埋沒豫測, 한국해양공학회지, 9(4) pp. 201-207.
- 김규한, 류형석, 윤재욱, 2001. 안정해빈 형성에 의한 해안 침식 제어, 대한토목학회 학술발표논문집.
- Watanabe, A.M., Maruyama, T.S. and Sakakiyama, T., 1986. Numerical prediction model of three-dimensional beach deformation around a structure, *Coastal Eng. in Japan*, JSCE, 29, pp. 19-39.
- Maruyama, K. and Takagi, T., 1988. A simulation system of nearshore sediment transport for the coupling of the seabottom topography, waves and currents, IAHN Symp. On Mathematical Modeling of Sediment Transport in the Coastal Zone, pp. 300-309.
- Tanaka, N. and Sato, S., 1976. Topographic Change Resulting from Construction of a Harbor on a Sandy Beach, Kashima Port, *Proc. 15th Coastal Eng.*
- 市川武 佐藤正大 遠藤泰司 前田建 野口雄二, 1973. 田子の浦海岸の侵食對策に關する研究, 海岸工學論文集, 日本土木學會, Vol. 20, pp. 513-518.
- 豊島修, 1984. 清水(静岡)海岸の侵食防止工法(1私案), 海岸工學論文集, 日本土木學會, Vol. 31, pp. 330-334.

Received August 29, 2002

Accepted October 9, 2002