

잠제의 해빈침식 방지 기능에 관한 수치적 연구

김 인 철 · 윤 종 성*
동서대학교 토목공학과, *인제대학교 토목공학과
(2006년 4월 11일 접수; 2006년 9월 4일 채택)

Numerical Analysis on the Beach Erosion Prevention Capability of Submerged Breakwaters

In-Chul Kim and Jong-Sung Yoon*

Department of Civil Engineering Dongseo University, Busan 617-716, Korea

**Department of Civil Engineering Inje University, Kimhae 621-749, Korea*

(Manuscript received 11 April, 2006; accepted 4 September, 2006)

The purpose of this research is to examine the beach erosion prevention capability of submerged breakwaters under wave energy condition. To accomplish this objective, the computational domain was divided into two domains : the large and the detailed domain for the Song-Do beach. For each computational domain, numerical models for calculating transformation, wave induced current and beach erosion were used and also these numerical models were carefully applied to three experimental cases such as 1) the present beach condition, 2) the condition for which submerged breakwaters are installed about 240m from the shoreline of beach enlarged by artificial nourishments. The results of this research show that if storm waves attack the present beach, the erosion occurs widely all over the beach. However, when the submerged breakwaters are installed in addition to the artificial nourishments, storm waves can be adequately controlled and strong wave induced currents occur only around the submerged breakwaters resulting in the beach evolution appearing locally only at the western end of the beach.

Key Words : Beach erosion, Song-Do beach, Submerged breakwaters, Wave transformation, Wave induced current, Artificial nourishments

1. 서 론

최근 우리나라에서는 연안역 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 또한 국민의 생활수준 향상으로 인하여 관광자원으로서 해빈의 역할에 대한 인식이 높아지고 있다. 그러나 해빈의 주요 표사공급원의 차단으로 인하여 표사이동에 대한 평형상태가 붕괴되어 인접 해안에 침식이나 퇴적, 하구의 폐색과 같은 바람직하지 못한 현상이 해빈 유실을 가속화시키고 있다.

연안지역의 표사는 유체운동에 의하여 항상 이동하고 있으며, 이러한 해저토사를 움직이게 하는 외

력으로는 파랑, 파랑에 의해 발생하는 해빈류, 조류, 바람 및 하구의 유출류 등을 들 수 있다. 이중에서도 파랑에 의한 표사이동이 가장 탁월하며, 파랑 중에서도 전해파랑이 해안으로 전파되는 경우 많은 물리적인 변화가 일어난다. 따라서 연안지역으로 전파되는 파랑의 변형 및 해빈류를 예측하는 것은 연안해역의 구조물 축조, 항만 시설 확충 및 매립 등 해안지역을 이용하고 개발할 때 우선적으로 해야 할 일이다.

본 연구에서는 폭풍우시 이상파에 의한 단기 해빈유실이 발생하고 있는 송도 해수욕장을 대상으로 현 상태와 잠제(submerged breakwater) 설치 후의 파랑장을 해석하고 해빈류를 정확히 예측하여 현 상태에서 발생할 수 있는 해빈유실에 대한 잠제의 해빈유실 방지 기능을 검토하고자 한다¹⁾.

Corresponding Author : In-Chul Kim, Department of Civil Engineering Dongseo University, Busan 617-716, Korea
Phone: +82-51-320-1818
E-mail: cvkic@dongseo.ac.kr

2. 수치모형

2.1. 파랑변형모형

2.1.1. 광역모형

광역모형은 Karlsson²⁾에 의해 제안된 에너지 평형방정식으로 각 성분파의 에너지 스펙트럼이 시간적, 공간적으로 보존된다고 가정하고 천수변형, 굴절, 회절 등의 현상을 고려하여 심해로부터 천해로의 파고 변화를 순차적으로 계산해나가는 방법을 사용하였다.

2.1.2. 상세역모형

상세역모형은 심해에서 발달된 파가 천해로 전파됨에 따라 생기는 굴절, 회절 및 반사와 같은 파의 변형은 Maruyama와 Kajima³⁾의 시간의존 환경사방정식을 선정하고 쇄파대 내에서는 쇄파로 인한 에너지 감쇠를 고려한 방법을 사용하였으며 구조물에서의 임의반사율 경계는 Tanimoto와 Kobune⁴⁾가 수치파동 해석법에서 제안한 방법을 사용하였다. 무반사 입사경계는 Watanabe와 Maruyama⁵⁾의 투과경계조건을 적용하여 유한차분법으로 수치해를 구하였다.

2.2. 해빈류모형

기류력을 제공하는 중폭파랑장에서의 라디에이션 응력(radiation stress)⁵⁾은 식이 비교적 간단하고 파랑장에서 구한 선유량과 수면변위의 수치오차를 최소화 시킬 수 있는 Watanabe와 Maruyama⁵⁾의 식을 이용하여 라디에이션응력의 분포를 구하여 해빈류모형의 기류력으로 사용하였다. 또한 해빈의 제 현상 특히 해저물질의 이동과 그에 따른 해저지형의 변화와 밀접한 관계가 있으므로 비압축성유체에 관한 연속방정식과 운동방정식을 수심 적분하여, 비정

상, 비선형 형태의 평균류에 대한 기본방정식을 유도하고 기본방정식 중의 수평확산, 저면마찰 및 라디에이션(radiation) 응력을 고려하여 대상해역의 해빈류 유동상황을 예측하였다.

2.3. 해저지형변동모형

해저지형변동을 예측하는 방법^{6,7)}은 다수 존재하나 파랑장과 해빈류장에서 계산되어진 각 지점에서의 조건으로부터 파에 의한 표사이동량 즉, 부상 flux와 침강 flux의 차이에 의한 국소지형변동량을 산출하여 전체적인 지형상황을 구하는 度辺⁸⁾의 power모형을 사용하여 단기적인 변동상황을 예측하였다.

3. 모형의 현지적용

송도해수욕장은 우리나라 남쪽해역에 위치하고 있으며 부산남항과 인접하여 남동측으로 개방된 포켓만의 지형을 유지하고 있는 곳으로 외해역으로부터 파랑의 영향을 직접 받는 곳이다.

1973년부터 2001년까지의 해빈폭을 항공사진으로 검토해 보면 Fig. 1 ~ Fig. 3에 제시한 바와 같이 1973년에는 최대 해빈폭이 평균 30m 정도였으나 1987년 태풍 Thelma 내습 후 5m~8m의 모래사장이 유실되었고, 이로 인하여 1988년부터 격년으로 약 800m³의 모래를 투입하여 1998년에는 1975년의 사장폭을 회복하였다. 그러나 2000년 태풍 Saomai의 영향으로 다시 모래사장이 10m정도 유실되어 그 사장폭이 과거에 비하여 현저하게 감소되었음을 알 수 있다. 그리고 해수욕장 부근의 도시개발로 인하여 모래사장의 북서 끝단에 해안도로가 개설되고 도로 아래에 직립 옹벽이 설치되어 자연 상태에서, 특

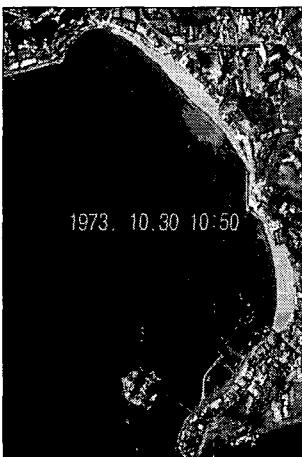


Fig. 1. Song-Do beach on Oct. 30, 1973.



Fig. 2. Song-Do beach on Nov. 1, 1987.



Fig. 3. Song-Do beach on Jan. 1, 2001.

히 폭풍시 이상파가 내습하는 경우 파랑이 해수욕장 전면까지 밀어 닥쳐, 높은 파랑에너지가 전파되고 있으며 특히 해수욕장 전면까지 밀어 닥친 파랑이 도로 아래에 직접 옹벽까지 쳐올라 되돌아가는 파랑이 모래사장의 유실을 가속화 시키므로 단기적인 해빈유실이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 실정을 감안할 때 송도해수욕장의 해빈유실의 원인은 평상시의 파랑이 아닌 폭풍시 내습하는 이상파의 영향을 클 것으로 예상됨으로 그에 대한 대책방안을 강구하고자 기존의 모래사장을 확장하여 위에서 언급한 처오름파에 의한 모래유실을 방지하고, 해안선 부근의 높은 파고로부터 모래사장을 보호하기 위하여 잠제를 해수욕장 전면 해역에 설치하여 파랑을 강제적으로 감쇠시켜 해빈유실을 방지하고자 한다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 심해에서 발달한 파랑이 천해역으로 진행하여 변형되는 양상을 정확히 파악하기 위하여 광역과 상세역으로 실험영역을 구분하였으며, 광역은 심해입사파의 전파양상이 정확하게 재현될 수 있도록 파랑의 천수변형이 거의 일어나지 않는 해역까지 구성하였으며, 광역모형에서 재현할 수 없는 반사특성 및 섬이나 해안구조물 등에 의한 파랑 차폐효과를 보다 정확히 재현할 수 있도록 송도해수욕장을 중심으로 상세역 실험영역을 설정하였다. 그리고 송도해수욕장의 침식방지에 대한 수치모형 실험개요는 Table 1과 같다.

3.1. 수치실험안

3.1.1. Case 1 실험안

모래사장 폭 10m~20m의 현상태의 해수욕장에

적용하는 실험안이다.

3.1.2. Case 2 실험안

양빈공에 의해 모래사장폭을 경사 1/50로 평균 50m, 경사 1/20로 평균 73m로 확장하고 해안선에서 평균 240m 이격된 거리에 잠제(천단고 D.L.(-)0.5, 천단폭 40m)의 연장 200m×1개소=200m, 연장 100m×1개소=100m, 잠제간격을 50m로 설치하여 해수욕장의 모래침식을 방지하고자 하는 안이다.

위에서 언급한 실험안에 대한 내용을 정리하면 Table 2와 같다.

3.2. 파랑변형 수치모형실험

3.2.1. 광역

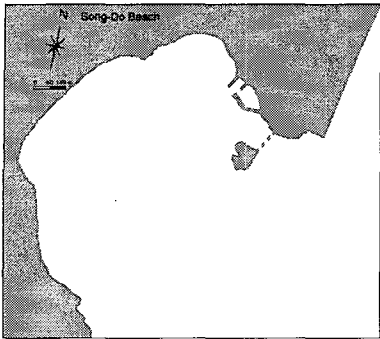

본 실험에서는 주파수 스펙트럼에서는 단일 주파수, 방향 분포함수에 대해서는 14방향으로 하여 불규칙성을 나타내었고, 파랑이 감쇠거리가 짧은 나불형태에서의 $S_{max} = 25$ 를 사용하였다.

1998년 3월 태종대 파랑관측소의 파랑자료 중에서 최대 유의파고 조건(파고 3.8m, 주기 12.6sec)을 심해 입사파⁹⁾로 환산하여 산출한 심해 이상파조건을 적용한 계산한 결과를 Fig. 4과 Fig. 5에 도시하였다. 이상파랑의 전파특성은 심해에서 내습하여 수심이 비교적 깊은 심해역에서는 파랑의 굴절현상 없이 그대로 진행하다가 천해역에서는 해안쪽으로 완만히 굴절하는 양상을 보여주고 있다. 한편 영도 남쪽 전면해역은 수심이 천퇴처럼 형성되어, 천퇴 배후에서 파랑이 증첩되어 해안에 그대로 도달하고 있음을 알 수 있다. 그리고 부산 남항 및 감천항 전

Table 1. Summary of numerical models

Models	Wave transformation models		Wave induced current models	Bottom topography change models
	Energy equilibrium equation	Hyperbolic mild slope equation		
Domain	Large area	Detailed area	Detailed area	Detailed area
Experimental scope	15.0km×21.5km	1.0km×2.4km	1.0km×2.4km	1.0km×2.4km
Grid spacing	100m	5m	5m	5m
Number of grid	150×215	200×480	200×480	200×480
Incident condition	Wave height : 4.7m Period : 12.6sec Wave Dir. : S Number of direction components: 14 Number of frequency components: one $S_{max} : 25$	Wave height : 4.2m Period : 12.6sec Wave Dir. : S12°E	Wave heights and directions, Radiation stresses	Wave heights and directions, Wave induced current
D.L	H.W.L at Busan port : 143.0cm			

Table 2. Schematic views on the numerical experiment

Case 1	Remarks	Case 2	Remarks
	Present beach		Artificial nourishments and Submerged breakwaters

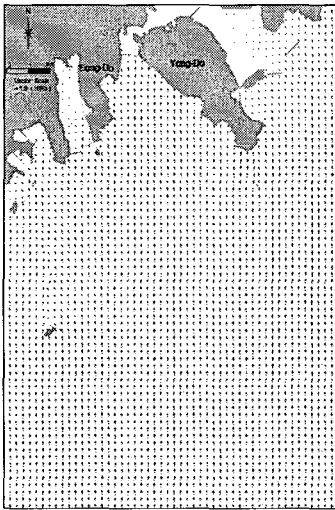


Fig. 4. Computed wave field in the large domain.



Fig. 5. Computed normalized wave height in the large domain.

면해역에서는 파랑에너지의 감쇠 없이 부산 남항 및 감천항 방파제 쪽으로 파랑이 전파되고 있으나 본 연구영역인 송도만 입구부에서는 수심의 지형적 요인으로 파랑의 굴절현상이 일어나 파고비가 감소되어 나타나고 있다.

심해 이상파의 광역 실험결과로부터 송도해수욕장 상세역의 입사경계에 해당되는 입사파 제원을 추출하면 상세역의 입사파 제원은 파고 4.2m, 주기 12.6sec, 파향 S12°E이다.

3.2.2. 상세역

이상파가 내습하는 경우의 각 실험안의 파랑변형 수치 실험한 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다.

현 상태에서의 파랑변형 계산결과를 보면, 외해에서 입사된 파랑이 비교적 깊은 수심에서 쇄파되어 해안선에 도달하고 있음을 알 수 있으며 관심영역인 송도해수욕장의 모래사장 전면수역의 파고가 1.0m~3.0m의 분포를 보이고 있으므로 현 상태로서는 이상파 내습시 파랑으로 인한 모래사장의 침식 현상을 피할 수 없을 것으로 판단된다.

장래 계획 해안도로에서 평균 240m 이격된 지점에 잠제 2개소(200m×1개소=200m, 100m×1개소=100m)를 설치한 Case 2의 계산결과를 살펴보면, 잠제 천단을 지나서 파랑이 쇄파되어 해안선까지 전파되는 파랑 에너지가 Case 1과는 달리 해안선 전면수역에서 특히 잠제 배후부에서는 감소함을 알 수 있고, 잠제 천단을 지나지 않는 파랑과 잠제 끝단에서 굴절되는 파랑이 중첩되어 서측해안선과 동측해안선으로 파랑의 집중현상이 나타남을 알 수 있다. 그리고 인공 양빈한 계획 해안선 부근 수역의 파고가 현 상태에 비해 작게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

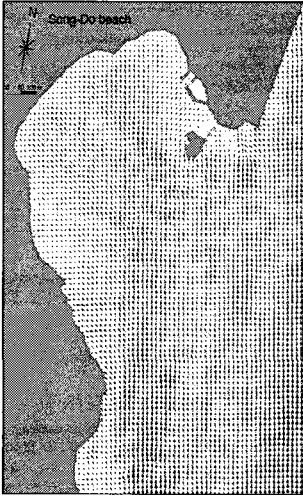


Fig. 6. Computed wave field. (Case 1)



Fig. 8. Computed current field. (Case 1)

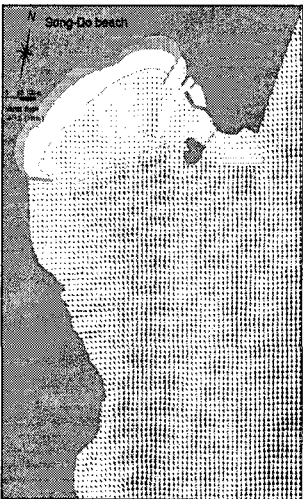


Fig. 7. Computed wave field. (Case 2)



Fig. 9. Computed current field. (Case 2)

3.3. 해빈류 수치모형실험

각 안별 해빈류 수치 실험한 결과를 Fig. 8와 Fig. 9에 도시하였다.

현 상태에서 해빈류에 대하여 수치 실험한 계산 결과를 보면, 송림공원 앞 해안의 전면수역에는 해안쪽으로 향하는 강한 흐름과 좌·우측에 와류가 나타나고 거북섬과 기존 어항 사이로 강한 북서방향의 연안류가 탁월하게 나타남과 동시에 거북섬을 중심으로 시계방향으로 선회하여 기존 어항쪽으로 향하는 흐름이 형성되고 있다. 또한 모래사장 전체 수역에서 비교적 약한 와류가 국소적으로 나타나고 있음을 볼 수 있다.

Case 2에 대하여 해빈류를 계산한 결과를 보면, 잠제 2개소를 중심으로 강한 와류가 발생하며 특히

서측 잠제(200m)에서 발생하는 와류는 남서방향으로 향하는 흐름이 탁월하게 나타나며 모래사장 중심부 수역에 발생하는 흐름의 크기는 미약하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.4. 해저지형변동 수치모형실험

현 상태와 해빈침식방지공인 잠제가 설치된 실험안에 대한 해저지형변동 수치 실험한 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 도시하였다.

현상태에서 이상파가 내습하고 24시간 경과 후의 해저지형변동의 수치실험에서 암석지반으로 형성된 송림공원 전면해역과 연육제 부근 해역은 해저지형변동이 발생하지 않게 경계조건을 부여하였다.

계산결과는 Fig. 10에 도시한 바와 같이 기존어항

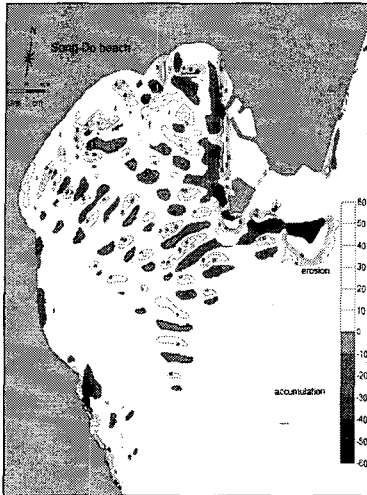


Fig. 10. Bottom topography changes. (Case 1)

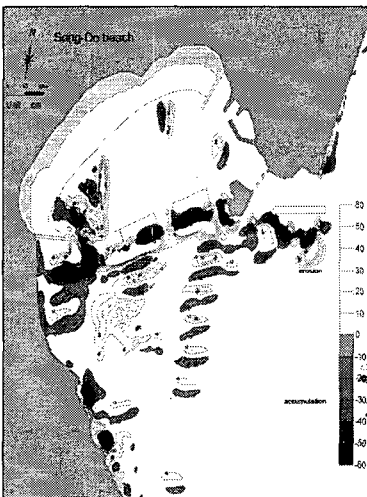


Fig. 11. Bottom topography changes. (Case 2)

의 배후 및 전면해역에는 퇴적과 침식현상이 번갈아 나타나고 있으나 침식현상이 대체로 두드러지게 나타난다. 탑스빌 전면수역을 중심으로 동측 모래사장에서는 비교적 광범위하게 침식과 퇴적현상이 번갈아 발생하나 서측 전체 모래사장에서는 주로 퇴적현상이 반복적으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

Case 2에 대한 24시간 경과 후의 해저지형변동의 수치실험에서 현 상태에서 나타난 기존어항의 배후 및 전면해역 그리고 모래사장의 전체 해역의 퇴적과 침식현상이 모두 사라지고 다만 모래사장의 서측 끝단에서 비교적 광범위한 퇴적과 침식현상이 일어나며, 서측 해안선에서 침식현상이 두드러지게 나타나고 있다.

4. 결 론

각각의 실험안을 수치모형실험을 통하여 비교·분석한 결과, 모래사장의 확장과 해안선에서 평균 이격거리 240m에 잠제(천단고D.L(-)0.5, 천단폭 40m)의 연장 200m×1개소, 100m×1개소를 이격거리 50m로 설치하는 안은 모래사장 쪽으로 전파되는 이상 파랑을 가장 효과적으로 제어할 수 있으며 이로 인해서 발생하는 강한 해빈류도 인공해빈의 침식현상에는 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 그리고 현상태를 해저지형변동 측면에서 비교·검토한 결과, 현상태에서 나타나는 기존어항의 배후 및 전면해역 그리고 모래사장 전체 해역의 퇴적과 침식현상이 모두 사라지고, 다만 모래사장의 서측 끝단에서 비교적 광범위한 퇴적과 침식현상이 일어나는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 부산광역시 서구, 2002, 송도일원 침식방지공사 기본 및 실시설계용역 보고서, 부산광역시 서구청.
- 2) Karlsson, T., 1969, Refraction of continuous ocean wave spectra, Proc. ASCE, 95, No.WW4, 437-448.
- 3) Maruyama, K. and R. Kajima., 1985, Two dimensional wave calculation method based on unsteady mild slope equation, Rep. Electric Central Res. Inst. No.384041.
- 4) Tanimoto, K. and K. Kobune, 1975, Computation of waves in a harbor basin by a numerical wave analysis method, Proc. 22nd Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, 249-253.
- 5) Watanabe, A. and K. Maruyama, 1986, Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking, Coastal Eng., 29, 19-39.
- 6) Deguchi, I., 1984, A Basic study on the sediment transport and beach topography change, Ph.D. Thesis, Univ. of Osaka.
- 7) Sawaragi, T., J. S. Lee and I. Deguchi, 1984, A Study on the wave induced current and the change of topography around estuary, Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, 411-415.
- 8) 度辺晃, 1984, 丸山康樹, 清水隆夫, 神山勉, 構造物設置に伴う三次元海濱變形の數値豫測, 第31會 海岸工學講演論文集, 406-410.
- 9) 부산광역시 서구, 2000, 송도해수욕장 일원 종합개발기본계획 및 사업타당성조사(부록), 부산광역시 서구청.