

항만 인근 해안의 인공 구조물 주변 퇴적 작용 분석

김혜진*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구원

A study on the sedimentation in the vicinity of the groins near harbor

Hye-Jin Kim*

*Korea Ocean Research & Development Institute, MOERI, Daejeon 171, Korea

요 약 : 해안지역에서의 인간 활동이 활발해지면서 다양한 시설물과 해빈 보호를 위한 많은 인공 구조물이 설치되었다. 인공 구조물과 더불어 준설과 매립, 항만 공사 등으로 해저 지형이 급변하면서, 인공 구조물 주변에서의 퇴적 기능의 약화는 더욱 심각한 양상을 보이기도 한다. 항만 주변의 인공 구조물들에 대한 퇴적 작용을 이해하기 위해서 간단하고 효과적인 방법 중 하나는 이동 벡터 모델을 이용하여 표층 퇴적물을 분석하는 것이다. 포항항 주변의 해빈 유실이 심각한 지역에 대해서 인공 구조물 주변의 표층 퇴적물에 대한 입도 특성을 이용하여 퇴적물의 이동 양상을 파악해 보았다. 인공 구조물이 있음에도 불구하고 퇴적물은 항만 쪽으로 복상하는 경향이 뚜렷하게 확인되었다.

핵심용어 : 인공 구조물, 표층 퇴적물, 퇴적 작용, 이동벡터모델

ABSTRACT : As there are many human activities in the coastal regions, various facilities and coastal engineering structures for protecting beach have been built. Dredging work, reclamation and harbor construction have caused the topography of sea floor to change rapidly. So sedimentation in the vicinity of the groins has get dull and the serious aspects sometimes turn up. Analyzing the surface sediments with transport vector model is one of the good methods to understand the sedimentation in the vicinity of the groins. I analyzed the transport vector of the surface sediments in the vicinity of the groins at the region where serious beach erosion happens near Pohang harbor.

KEY WORDS : groin, surface sediment, sedimentation, transport vector model

1. 서 론

최근 들어 해수면 상승과 기상 현상 변화 등의 자연적 환경 변화와 댐 건설, 매립과 준설 등의 인위적 환경 변화로 해안지역의 지형 변화가 가속화되고 있다. 특히, 항만과 인접한 해저지형은 준설 공사를 통해 인위적 침식 작용이 이루어지고 있고, 그러한 인위적 활동과 기타 다양한 환경 변화로 항만 주변 해빈 지형은 예기치 않은 복잡한 지형 변화 작용을 겪는 경우가 있다.

해빈(beach) 지형의 보호를 위해 다양한 방안들이 제시되었는데, 대표적인 해빈 보호 대책으로 돌제(groin)를 들 수 있는데,

최근 돌제의 침식 방지 효과에 대한 문제점이 지적되면서 돌제를 철거하거나 다른 구조물을 추가로 설치하는 사례가 늘고 있다.

해저 지형이 인위적으로 변화하고 있는 항만 주변의 해빈 지형에 대해서 퇴적 작용의 양상을 분석하고 돌제 구조물에 대한 해빈 보호의 역할을 파악하는 것은 항만 인근의 해빈 지형의 퇴적 작용을 이해하고, 장기적으로 해안 지역을 보호하는 차원에서 의미 있는 연구이다.

퇴적물의 입도 특성을 통해서 해안 퇴적 환경의 가장 기본적인 특징을 파악할 수 있다. 퇴적 작용의 특성을 정량적으로 표현하는 대표적인 방법은 퇴적물 입자 크기에 대한 값을 이용하여 퇴적물의 입도 통계치를 산정하고 표층 퇴적물의 입도 분포를 통해 퇴적의 동적 상태를 가시화하는 것이다.

본 연구에서는 항만 인근 해안의 인공 구조물 주변의 퇴적 작

*정회원, hjk@moeri.re.kr 042)868-7235

용을 파악하기 위해서 인공 구조물과 해안 주변의 표층 퇴적물 시료를 160개 지점에서 채취하고 퇴적물 입도를 분석하여 퇴적물의 이동 벡터 모델을 적용하여 퇴적 작용의 양상을 파악해 보았다.

2. 연구 대상 지역

본 연구는 해변 유실 문제가 심각한 사회 문제로까지 대두된 포항항 남단의 송도 지역을 대상으로 수행하였다. 이 지역의 남단에는 형산강 하구와 포항제철 공단이 위치하고 있으며, 북단에는 포항 항만과 북부 해수욕장이 위치하고 있다.

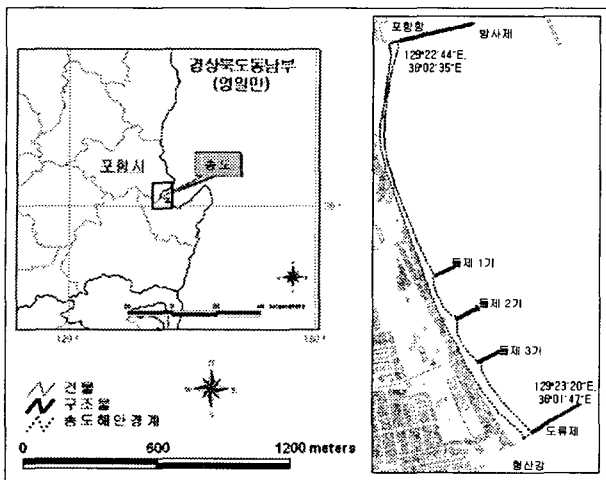


Fig 1. Study area

이 지역에는 1978-1979년의 두 차례의 폭풍에 의한 해변 유실로 인한 지형 변화 이후에 1979년 5월에 3기의 투과성 사석 돌제를 설치하였다. 돌제 사이의 간격은 200m이고, 중앙에는 80m 길이의 T형 돌제를 설치하고, 좌·우측에는 80m길이의 T자형 돌제를 2기 설치하였다. 1979년 12월부터 1981년 7월까지 포항제철의 제4기 투기 설비를 위한 부지를 조성하기 위해 형산강 하구 우측 지역에 약 20,587,000m²의 토양을 매립하였다. 1981년 4월부터 1983년 7월까지 포철 4-2기 원료처리 부지 조성을 위해 2,871,000m²의 토양 매립 공사가 수행되었다. 1987년에는 동빈 내항 입구 방파제를 연장하였고, 포항제철의 제 3투기장 건설 공사가 시작되었다. 이후 포항제철공단 주변과 포항 항만에서는 계속적인 매립과 준설 공사들이 진행되어왔고, 현재 포항 구항과 포항제철 신항 이외에 영일만 북쪽의 죽천리 및 우목리 전면에 영일만 신항 건설 공사를 수행 중에 있다. 포항항만 인근 지역은 항로 유지를 위해서 공유수면 관리 및 준설 공사가 현재에도 꾸준히 진행 중이다.

이 지역은 인근 해역에서의 활발한 인위적 지형 형성 작용과 돌제, 도류제, 방사제 등의 다양한 인공 구조물이 설치되어 있다는 것이 특징이며, 이러한 환경에서 해변 유실이 심각하게 발생하고 있다.

3. 퇴적물 시료 채취와 통계

현재 연안에서의 퇴적물 특성과 이동 경로를 파악하기 위해서 표층 퇴적물의 입도 분석을 실시하였다. 시료 채취는 범(berm)과 비치페이스(beach face), 인공 구조물 주변에서 이루어졌다. 범과 비치페이스는 스위시와 백워시에 의한 퇴적물 이동 및 퇴적이 직접적으로 이루어지는 곳으로 역동적인 힘의 작용을 받고 있으므로 퇴적물의 이동 경로를 파악하기 위한 시료 채취가 적합한 곳이다. 범과 비치페이스 지역에서 해안선을 따라 평행 방향으로 등간격 지점에서 채취하였다. 비치페이스 지역은 20m 간격으로, 범 지역은 50m 간격으로 채취하였다. 돌제 주변은 돌제를 기준으로 상단과 하단에서 동시에 채취하였고 돌제를 기준으로 5m 떨어진 상·하단의 지점에서 표층 시료를 채취하였다. 채취 지점의 정확한 위치는 GPS를 이용하여 측량하였다. 또한 구조물을 기준으로 연구지역을 총 5개의 구역으로 구분하였다.

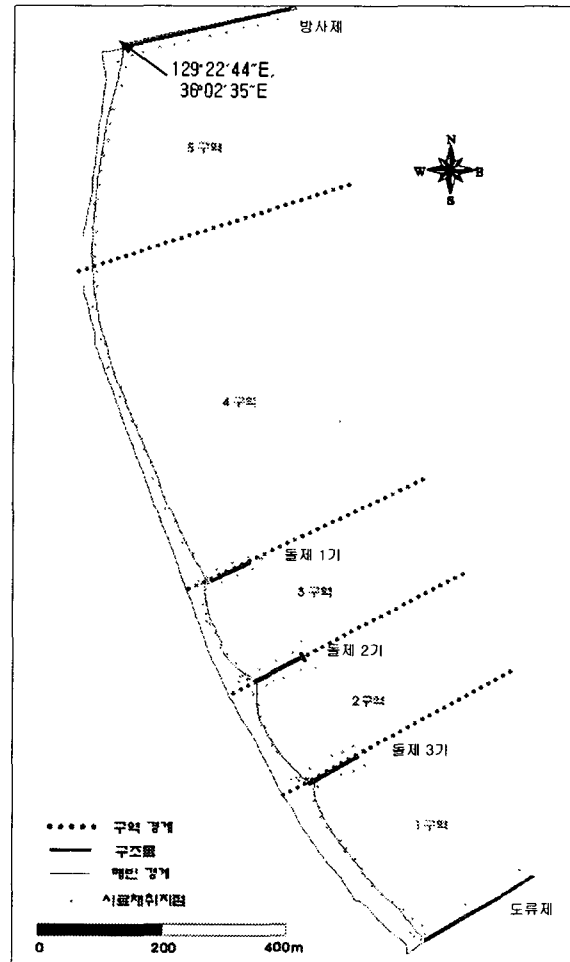


Fig 2. Location of sampling

채취한 시료는 과산화수소(H₂O₂)를 이용해 40℃에서 2시간 정도 가열하여 유기물을 완전히 제거하였다. 염산(HCl)을 이용한 탄산염의 제거를 통해 쇄설성 퇴적물내 포함되어 있는 패각

등으로 인해 발생할 수 있는 입도 분석의 오차 범위를 최소화하였다. 유기물과 탄산염이 제거된 각각의 시료는 총 네 차례 증류수로 세척한 후에 습식 체질(wet sieving)을 통해 4φ(62μm) 이상의 입도를 갖는 세립질 퇴적물(fine fraction)과 그 이하의 조립질 퇴적물(coarse fraction)로 분리하였다. 습식 체질 이후 체에 남은 시료를 건조기를 이용해 60°C에서 완전 건조를 하였다. 건조된 4φ이하의 조립질 시료는 0.5φ간격의 체가 단계별로 장착된 진탕 체질기(Ro-tap sieve shaker)를 이용하여 10분간 체질한 후 입도별로 중량비를 구하였다. 퇴적물의 물리적 특성을 파악하기 위해 실험을 통해 구해진 등급별 무게 백분율에 McBride(1971)에 의한 모멘트 통계처리 방법(Moment statistics)을 적용하여 평균입도(Mean Size), 분급도(Sorting), 왜도(Skewness), 첨도(Kurtosis) 등의 통계학적 변수들을 구하였다.

$$\text{평균입도 } Mz = \sum_{i=1}^n PiXi$$

$$\text{분급도 } \sigma = \left[\sum_{i=1}^n (Pi (Xi - Mz)^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{왜도 } Sk = \left[\sum_{i=1}^n (Pi (Xi - Mz)^3) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{첨도 } K_o = \left[\sum_{i=1}^n (Pi (Xi - Mz)^4) \right]^{\frac{1}{4}}$$

여기서, Pi = 각 입도 계층의 빈도 퍼센트
 Xi = 입도 계층
 n = 입도 계층의 개수

4. 이동 벡터 모델

모든 퇴적 환경에서 입도 분포는 퇴적물의 이동과 퇴적의 동적 상태를 나타내는 기본적인 정보이다. 입도 분포의 특성은 순수 퇴적물 이동 경향을 나타낸다. 이는 표층 퇴적물의 입도 분포가 퇴적 환경(해빈, 하천 등) 보다는 침식, 이동, 퇴적 작용의 결과라는 개념에 기초한 것이다.

초기 연구(Pettijohn et al., 1972)에서는 퇴적물 입도 크기가 방향을 따라 감소한다고 파악되었다. 그러나 이와 같은 세립화(down-drift fining)는 보편적으로 적용되지 않는다. 예를 들면 해빈에서 퇴적물이 연안 이동시 세립화(Pettijohn and Ridge, 1932)와 조립화(McCave, 1978; Nordstrom, 1981) 경향이 모두 나타난다. 따라서 입도 크기 조직변수만으로 이동경로를 정의하는 것은 한계가 있었다.

McLaren and Bowles(1985)에 의해 제안된 일차원적 퇴적물 이동 경로 모델은 순수 퇴적물 이동 경로를 평균입도, 분급도, 왜도의 공간적 변화와 관련지었다. 이 모델은 다음과 같은 가설을 기반으로 한다. 1) 퇴적물의 이동에서 기원지보다는 더욱 세

립화되어지고, 분급이 양호해지며, 보다 음의 왜도를 나타낸다. 2) 지연 퇴적물(lag deposit)은 더욱 조립하고, 더 분급이 양호하고, 더 양의 왜도를 지닌다. 3) 연속적으로 이동하는 퇴적물은 더욱 세립화되거나 조립화될 수 있으나, 분급은 더욱 양호해지고 왜도는 보다 양성으로 치우친다.

이 모델에 따르면 순수 이동 방향에서 하향지점(downstream site)에서의 퇴적물들은 두 가지 양상과 관련된다. 상향지점들 보다 좀더 분급이 양호하고 세립하며, 보다 음의 왜도를 가지거나 상향지점들 보다 좀더 분급이 좋고 조립하며 보다 양의 왜도를 가진다.

Gao and Collins(1992)의 이차원 퇴적물 이동 벡터(transport vector) 모델은 일차원적 모델을 수정·발전시킨 것이다. 이 모델에서 퇴적물의 이동 작용과 관련된 입도 경향, 천해역에서 시료 채취지점들에 대한 이동 벡터의 정의, 특징적 벡터에서 길이에 기초한 유의도 검증에 대한 분석이 구현되었다. 이 모델은 이론적인 적용의 제한성에도 불구하고 퇴적물 이동 경로를 파악하는 가장 효율적 모델로 이용되고 있다.

표층 퇴적물의 이동경로를 파악하기 위하여 표층 퇴적물 입도 분포의 통계변수인 평균입도, 분급도, 왜도를 퇴적물의 이동 경향 벡터(trend vector)를 계산하는데 이용하였다. 정점 A에서 B로 퇴적물이 이동할 때 일어날 수 있는 통계변수들의 경우의 수 중에서 기존 연구자들(McLaren and Bowles, 1985; Gao and Collins, 1992; Chu, 2001)에 의해 제안된 바와 같이 다음 두 가지 경우를 택하였다.

- case 1: $\sigma_B \leq \sigma_A, Mz_B > Mz_A$ and $Sk_B \leq Sk_A$
- case 2: $\sigma_B \leq \sigma_A, Mz_B < Mz_A$ and $Sk_B \geq Sk_A$

여기서, A = A 퇴적물의 정점(경위도 좌표값)
 B = B 퇴적물의 정점(경위도 좌표값)
 Mz = 평균입도
 σ = 분급도
 Sk = 왜도

위 두 가지 경우가 이동 경향 벡터를 계산하기 위해 사용되었다. 이동 경향 벡터는 일시적으로 이웃하는 특정거리(Dcr)를 정한 후, 이 거리 안에 포함되는 정점들에 대하여 각 통계변수들의 비교를 실시한다. 따라서 각 정점들에서는 하나 이상의 경향 벡터가 형성될 수 있다. 이러한 모든 경향 벡터들에 대한 합을 실시하여 단위 길이(unit length)를 가지는 하나의 벡터를 계산한 후, 여기에 내포된 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 특정거리내의 각 정점에서 합산된 벡터들의 평균 연산을 실시하여 최종적인 이동 벡터(transport vector)를 구하였다.

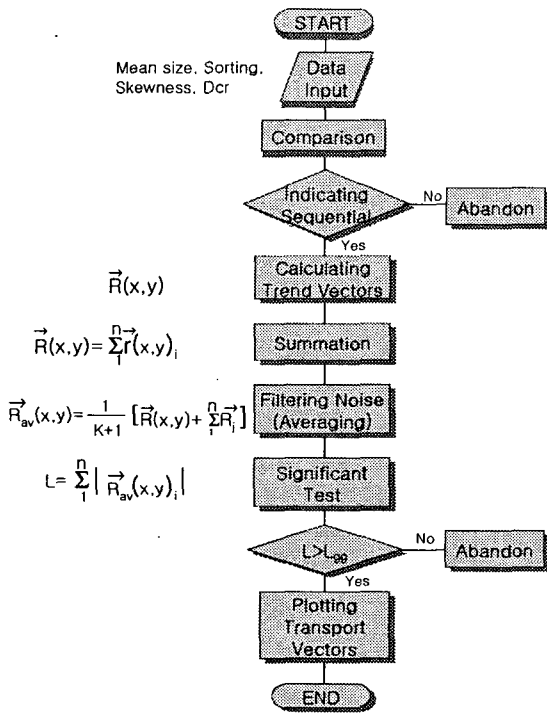


Fig 3. Flow of calculating transport vector

5. 퇴적물 이동 양상

이동 벡터 모델을 적용한 결과를 도시화하면 각각의 인공 구조물 주변의 퇴적 양상을 다음과 같이 파악할 수 있다.

1구역에서는 돌제 3기 하단의 해안선 주변에서 퇴적물이 부상하고 있으며, 중앙 퇴적물은 남하하고 있다. 또한 도류제 주변의 퇴적물은 대체로 외해로 이동하고 있다. 1구역의 중앙 부분에서 퇴적물이 도류제 방향으로의 이동이 우세하므로 1구역 중앙 해변의 퇴적물이 해저로 이동하는 것으로 나타났다.

2구역의 돌제 2기 하단에서 퇴적물이 일부 남하하거나 외해로 이동하며, 중앙 부분에서도 남하하거나 외해로 이동하는 양상이 나타난다. 돌제 3기 상단의 해변 부근에서는 퇴적물이 부상하거나 육지 방향으로 이동하고 있어 2구역의 돌제 주변 일부 해변에서는 퇴적 작용이 진행 중이다.

3구역의 돌제 1기 주변에서 퇴적물이 대체로 부상하며, 돌제 1기와 인접한 돌제 주변의 해변에서 퇴적물은 남하하고 있으며, 3구역의 중앙 부분의 퇴적물은 외해로 이동하고 있다. 반면 돌제 2기 상단 부분에서는 퇴적물이 부상하고 있다. 즉, 3구역에서는 돌제 1기 하단에서 해변 유실을 일으키는 지형 형성 작용이 진행 중이며, 돌제 2기 상단에서는 연안류 방향을 따라 부상하고 있다. 그러나, 퇴적물이 부상하면서 중앙 부분에 이르러 외해로 유출될 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 3구역의 여러 지점들에서 퇴적물이 지체되지 않고 외해 방향으로 이동하여 구역내 퇴적 작용은 미약하다.

4구역의 퇴적물은 다양한 이동 양상을 보인다. 대부분의 지점에서 퇴적물이 부상하고 있으며, 4구역 남단의 일부 퇴적물은 외해로 이동하거나 남하하는 경향을 보인다. 4, 5구역은 일부 국소 지점을 제외하고는 퇴적물이 부상하고 있다.

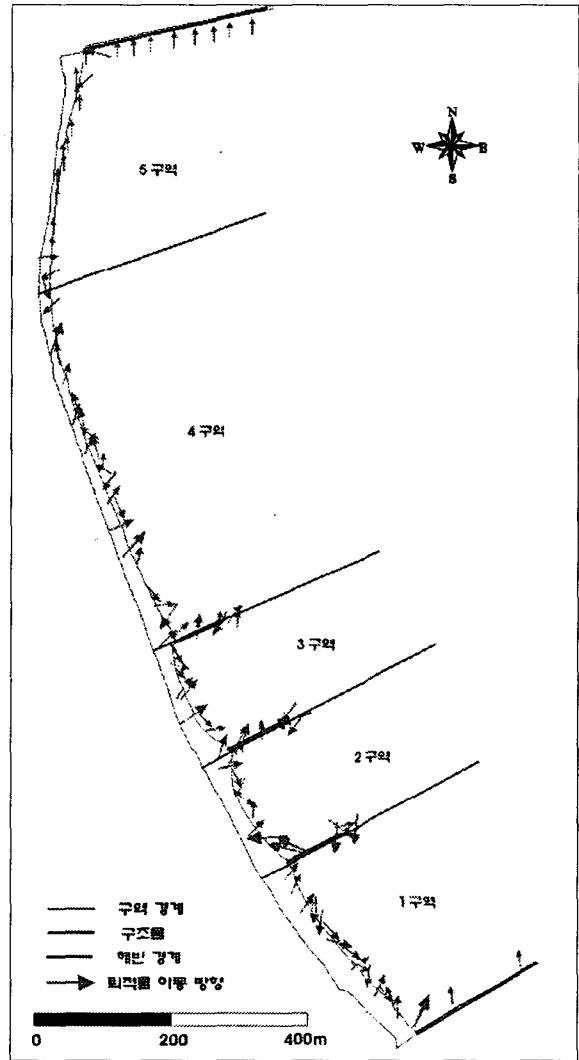


Fig. 4 Transport vector map

5구역의 대부분 지점에서 퇴적물은 북쪽으로 이동하고 방사제와 해변이 접한 부분에는 해변 방향으로 이동한다. 이러한 이동 양상으로 방사제 하단의 해변의 퇴적 작용이 활발하게 일어난다. 5구역 남단에는 범의 퇴적물이 외해 방향으로 이동하거나 비치페이스의 퇴적물이 범으로 이동하는 양상도 나타난다.

돌제 주변 해변 중에 돌제 3기 상단을 제외한 모든 구역에서 퇴적물이 돌제를 따라 해저로 이동하거나 돌제 주변 지역을 벗어난 해저 방향으로 이동하고 있다. 연구지역에서 돌제는 퇴적물이 해변으로 이동하여 퇴적되도록 하는 해변 보호의 역할을 하지 못하고 있으며, 다만 퇴적물이 돌제를 따라 돌제 주변 해저로 이동하게 할 뿐이다. 이러한 돌제 주변 해저로의 퇴

퇴적물 이동 현상은 돌체가 불안정한 해저지형으로부터 해빈을 보호하지 못하고 있음을 보여준다. 또한 인근 항만과 공단 주변에서 계속되는 준설 공사의 영향으로 해저지형으로의 퇴적물 이동 경향이 두드러지는 것으로 판단된다.

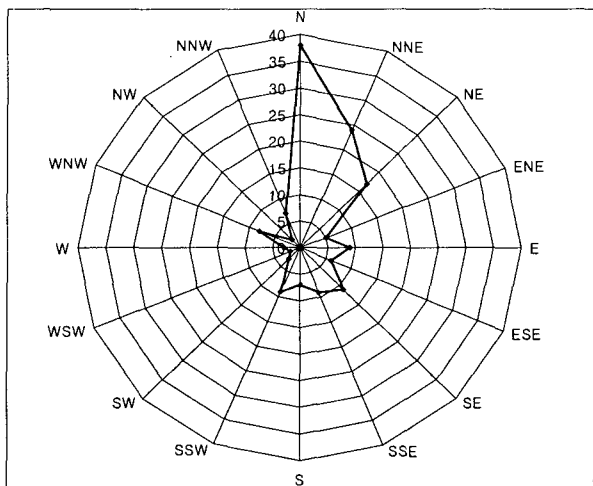


Fig 5. Direction of sedimentation

Fig 5. 은 퇴적물 이동 벡터 모델의 결과를 16방위별 빈도 분포를 나타내고 있다. 대체로 퇴적물이 북쪽 방향으로 이동하고 있으며, 일부 외해 방향이나 남쪽 방향으로 이동하고 있다. 또한 서쪽(육지쪽)으로 퇴적물이 이동하는 지점은 가장 빈도가 낮게 나타나고 있어 해빈지형의 퇴적물 유실 현상을 잘 반영하고 있다.

돌체가 설치된 구역들은 퇴적물이 북상하거나 도류제 쪽으로 이동하기 때문에 연구지역 내에서의 해빈 침식이 계속해서 일어나는 것으로 사료된다.

6. 결론 및 고찰

본 연구를 통해서 인공 구조물의 퇴적 작용 억제 효과는 아주 미약하며, 항만이 위치한 북쪽 방향으로 퇴적물의 이동 경향이 뚜렷함을 파악할 수 있었다. 이러한 퇴적 작용으로 방사제에 퇴적물이 과다하게 퇴적되어 항만 주변 해저로 방사제 주변 퇴적물이 이동할 가능성이 있는 것으로 판단된다. 퇴적물이 이동 경향이 연안류에 의해 지배적인 영향을 받는다고 가정하더라도 항만 인근의 준설로 인한 해저 지형의 변화가 연구지역의 퇴적물 이동을 더욱 가속화할 수 있을 것이다. 보다 정확한 퇴적 작용의 원인 규명은 다양한 연구를 통해 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 규명된 인공 구조물과 표층 퇴적물의 이동 경로 양상은 연구지역의 퇴적 환경을 이해하는 기초 자료가 될 수 있다. 기존의 퇴적물 입도 자료를 이용하여 퇴적 환경을 해석하는 것에서 좀 더 나아가 입도 자료를 이용한 이동 벡터를 산출하였고 그 결과 돌체 주변에서는 평상시에도 해빈

퇴적물이 유실되어 이동하고 있음을 파악할 수 있었고, 또한 항만 지역으로 퇴적물이 북상하는 경향을 확인할 수 있었다.

본 연구에 이용된 퇴적물 시료는 해안선과 구조물 주변을 따라서 채취되었기 때문에 연구지역의 전체적인 퇴적물 이동 양상을 해석하는 데에 제한점이 있다. 또한, 해저 퇴적물의 이동 양상을 파악하지 못하여 해빈에서 침식하여 이동한 퇴적물의 해저 이동 경로를 구체적으로 파악할 수 없다.

따라서 해안 지역 전체에서 이루어지는 퇴적물의 이동 경향의 파악은 불가능하였지만, 해안선과 구조물을 따라 표층 퇴적물의 이동 방향을 파악하는 것은 가능하였다.

퇴적물이 조립하고 단조로운 지형에서 이동 벡터 결과는 유의미하고 해안선 주변 퇴적물의 지형 형성 작용을 이해할 수 있기 때문에 퇴적물 이동 경로를 산출한 결과는 연구 지역의 퇴적물의 해안 이동에 대한 경향을 파악하는 데 유용하였다.

후 기

후기는 필요시 작성하실 수 있습니다(외부 지원으로 간주)

참고 문헌

- [1] 유규철, 오재경(1999), "동해 연안 표층 퇴적물의 이동경로", 한국해양해양공학회지, Vol.11 No.1, pp. 50-55.
- [2] Chu, Y.S. (2001), "Sediment dynamics and maintenance processes of linear tidal sand body : Jangan sandbank in the central West coast of Korea", Thesis of Seoul National Univ.
- [3] Gao, S. and Collins, M.(1992), "Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of 'transport vectors'", *Sedimentary Geol.*, Vol 80, pp.47-60.
- [4] McCave, I. N.(1978), "Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern English", *Mar. Geol.*, Vol. 28, pp. M43-M51.
- [5] McBride, E. F.(1971), "Mathematical treatment of size distribution data; In *Procedures in Sedimentary Petrology*", Wiley-Interscience.
- [6] McLaren, P. and Bowels, D.(1985), "The efforts of sediment transport on grain-size distributions", *J. Sed. Petrol.*, Vol. 55, pp. 457-470.
- [7] Nordstorm, K. F. (1981), "Differences in grain size distribution with shoreline position in a spit environment", *Northeast, Geol.*, Vol. 3, pp.252-258.
- [8] Pettijohn, F. G. and Ridge, J. D. (1932), "A textural variation series of beach sands from Cedar Point, Ohio", *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 2, pp.76-88.
- [9] Pettijohn, F. G., Potter, P. D. and Siever, R. (1992), *Sand and sandstone*. Springer-Verlag (New York).