

## 낙동강 하구역의 계절적인 토사이동경로 해석 Analysis of Seasonal Sediment Transport pathway in Nakdong Estuary

윤은찬<sup>1</sup>, 이종섭<sup>2</sup>

Eun Chan Yoon<sup>1</sup> and Jong Sup Lee<sup>2</sup>

### 1. 서 론

입도경향분석(grain size trend analysis)은  $\phi$  스케일로 측정된 평균입도, 분급도 및 왜도의 세 가지 퇴적물 입도상수를 공간적으로 비교하여 그 경향을 파악하고 이를 통하여 퇴적물의 순 이동경로를 추정한다. 이러한 입도경향분석법은 퇴적물의 이동경로를 추정하는데 있어서 퇴적물 입도상수들만을 이용하기 때문에 다른 방법들에 비해서 간편하고 수치모델링과 같은 다른 연구들과 연계할 수 있다는 점에서 큰 장점을 지닌다(Hughes, 2005).

입도경향분석법은 McLaren(1981)에 의해 최초로 기본적인 아이디어가 제안된 이후에 많은 연구들이 수행되었고, 대표적인 토사이동경로 해석법은 McLaren and Bowles(1985)에 근거한 McLaren-Bowles 방법(MB법), Gao and Collins(1992)의 이론에 근거한 Gao-Collins 방법(GC법), Le Roux(1994)의 방법에 근거한 Le Roux 방법(Rx법) 등이다. 이러한 입도경향분석법은 만, 대륙붕, 조간대 등 다양한 퇴적환경에서 적용되었다. 국내의 경우 대륙붕(추용식, 2001), 만(신동혁 등, 1998), 해빈(우규철, 오재경, 1999; 이종섭 등, 2007) 등에서 입도경향분석이 사용되었고 주로 GC법을 이용하여 토사이동경로를 추정하였다.

위에서 언급한 주요 방법들은 많은 문제점들을 가지고 있음이 다양한 연구들을 통해서 제기되고 있고(김성환 등, 2007; Poizot et al., 2008), 최근에는 이러한 기존의 기법들에 대한 비교고찰

을 통하여 최적의 기법을 선택하고자 하는 노력들이 진행되고 있다. Poizot et al.(2008)은 기존의 연구들에 대한 상세한 조사를 통하여 기법들의 장·단점을 분석하여 몇 가지 제안을 하였다. 그 내용은 일정한 샘플링간격을 가져야 하며, edge effect를 고려하여야 하고, 분급도를 결정하는데 있어서  $\sigma^2$ 을 이용하고 토사이동경로를 정의하는 경향을 여러 가지 경향을 결합하지 않고 개별적으로 해석해야 한다는 것이다.

대상해역인 낙동강 하구역은 1987년 낙동강 하구둑 건설이후에 하구사주의 변형이 활발하게 일어난 것으로 알려져 있고(김성환, 2005; 김백운 등, 2007), 다양한 분야에서 하구역의 지형변화 특성에 관한 연구들이 수행되고 있다. 기존에 낙동강 하구역 일대에서 이러한 입도경향분석 기법을 적용하여 토사이동경로를 예측한 예는 이 등(1997; 2002)이 McLaren(1985)의 기법을 이용하여 낙동강 하구사주 상류의 주 수로를 따라 토사이동경로를 예측하였고, 김(2007)은 낙동강의 진우도, 신자도 및 도요등의 해안을 따라 관측된 입도매개변수를 이용하여 토사이동경로를 예측하였다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 낙동강 하구사주 내측의 수로나 사주부근에 국한되어 있어서 하구사주 외해쪽의 토사이동에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

### 2. 자료 및 방법

#### 2.1 자료

대상해역의 토사이동 경로 예측을 위한 입도

<sup>1</sup> 부경대학교 토목공학과 박사과정

<sup>2</sup> 부경대학교 건설공학부 교수

조직상수들은 2007년 하계, 춘계 및 2008년 동계 및 춘계에 걸쳐 약 90일 간격으로 낙동강 하구역의 주요 수로 및 하구사주 외해를 포함하는 광역에서 최대간격 1 km로 관측된 자료들을 이용하였다. Fig. 1은 이러한 4회에 걸친 관측에서 조사된 정점들의 위치를 나타낸다. 하계의 1차 조사는 2007년 7월 31일부터 8월 1일의 기간에 Fig. 1의 S1 ~ S70 정점에서 샘플링을 수행하였고, S51 정점을 제외한 69개 정점의 자료를 분석하였다. 추계의 2차 조사는 2007년 10월 31일부터 11월 1일의 기간에 S1 ~ S74의 74개 정점에서 샘플링을 수행하여 입도분석을 수행하였다. 동계의 3차 조사는 2008년 1월 29일부터 30일의 양일간 S64 정점을 제외한 75개 정점에서 샘플링을 수행하여 입도분석을 수행하였다. 춘계의 경우 2008년 4월 29 ~ 30일의 기간에 전체 76개 정점에서 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 분석방법에 따라 체분석을 통하여 사질 크기(62.5  $\mu\text{m}$ ) 이상 입자의 입도분석을 수행하였고, Laser diffraction size 분석법을 이용하여 사질 크기 이하의 니질(mud)의 입도분석을 수행하였다(Konert and Vandenberghe, 1997). 입도매개변수들은 기존의 프로그램 중에서 퇴적물의 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 및 퇴적물의 등급별 비율과 분류도 등을 제시할 수 있는 GRADISTAT(Blott and Pye, 2001) 프로그램을 이용하여 각 정점별 자료를 분석하였다.

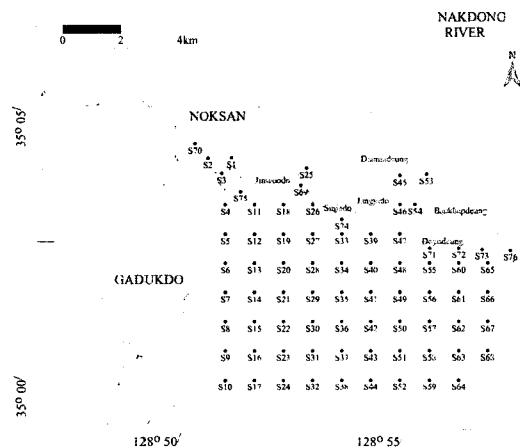


Fig. 1. Bed material Sampling position.

Fig. 2는 각 조사에서 나타난 퇴적물의 평균입

경 분포를 나타낸다. 하계의 경우 사질퇴적물이 하구의 주요 사주에서 2 ~ 4 km 거리까지 고르게 분포하고 외해로 갈수록 니질퇴적물이 우세하게 나타난다. 그리고 추계의 경우 전반적인 패턴은 하계와 유사하지만 서쪽인 진우도 남쪽에서 하계에 비해 사질퇴적물이 크게 증가한 특징을 보인다. 동계의 경우에는 신자도 전면의 몇몇 정점에서 니질의 퇴적물이 나타나 이전과 상이한 특징을 보인다. 그리고 춘계의 경우에는 동계에 나타났던 신자도 전면의 니질퇴적물이 증가하였던 구역이 더욱 확대되어 진우도 동쪽 해안까지 니질의 퇴적물이 나타난다. 이러한 분포에서 낙동강 하구역의 퇴적물이 계절별로 이동특성이 상이하다는 것을 확인할 수 있다.

## 2.2 연구방법

기존의 입도상수해석법들은 토사이동경로를 정의하는 경향(trend)이 모두 다르고 각기 장·단점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 기법들을 선택적으로 사용할 수 있는 모델들이 개발되어지고 있고 대표적인 예가 eCSedtrend(Poizot and Mear, 2008) 모형이다. eCSedtrend는 기존의 방법들이 토사이동경로를 정의하는 어떤 특정한 경향 또는 경향들의 결합을 이용하고, 특정한 필터링 방법을 사용하는데 반하여 토사이동의 경로를 정의하는 경향을 사용자가 임의로 지정할 수 있고 특성거리, 필터링의 여부 및 방법 등을 사용자가 지정할 수 있는 GUI 모형이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 eCSedtrend 모형을 이용하여 토사이동경로를 예측하였고, Poizot et al.(2008)의 연구에서 언급된 권장사항에 따라 토사이동경로를 정의하는 경향을 결합하지 않고 개별적인 경향별로 퇴적물의 이동경로를 계산하였다.

## 3. 토사이동경로 해석결과

토사이동경로의 해석은 Fig.1의 76개 정점의 자료 중 샘플링 간격이 다른 수로의 자료들을 제외하고 1 km의 샘플링 간격을 가지는 정점들에 대하여 수치계산을 수행하였다. 그리고 토사이동경로를 정의하는 경향은 각각의 계절에서 FB+, FB-, CB+, CB-의 네 가지 경향에 대하여 독립적으로 수치계산을 수행하였고 필터링을 수행하였을 경우와 하지 않았을 경우에 대하여 각각 수치계산을 수행하였다. Fig. 3은 하계에 필터링을 하지 않은 경우에 네 가지 경향에 대한 토사이동경로를 나타낸다.

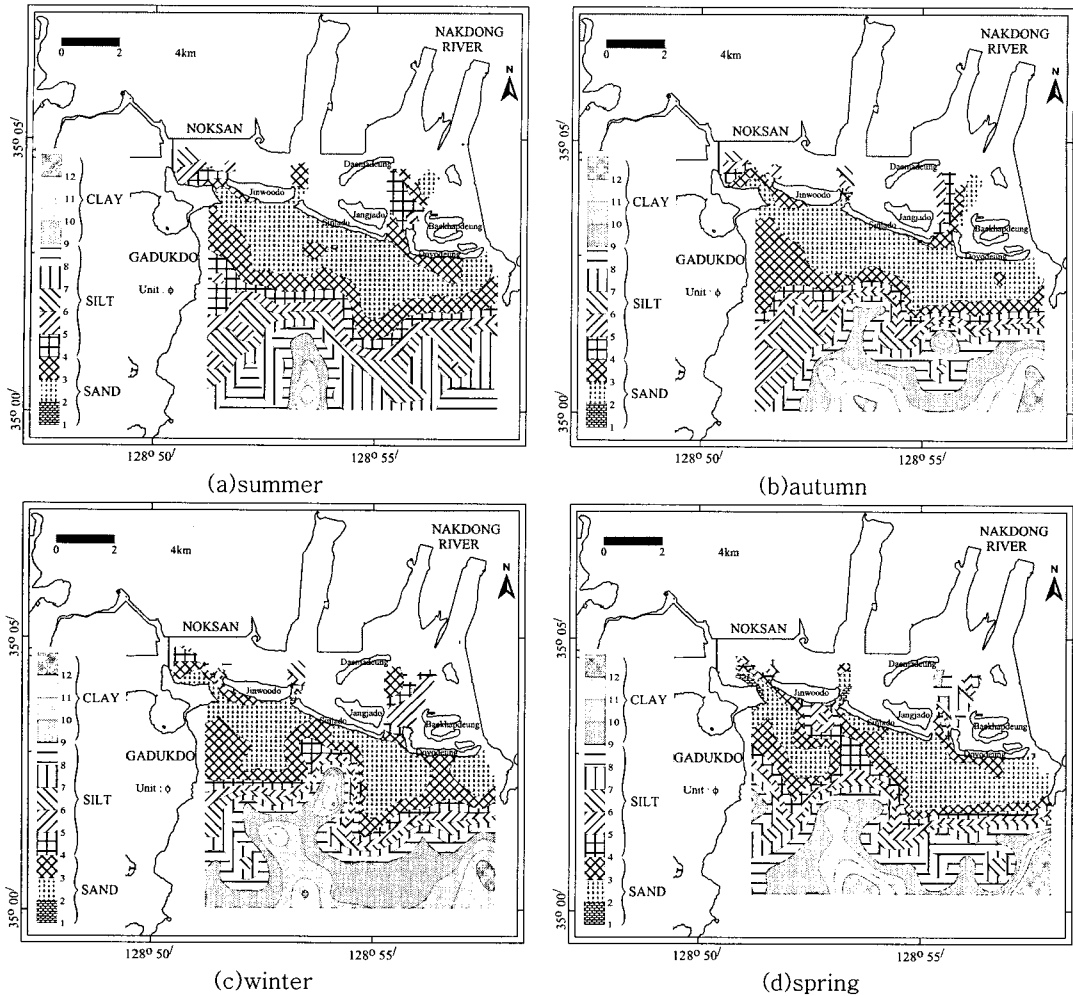


Fig. 2. Mean grain size in summer(a), autumn(b), winter(c) and spring(d) season.

하계의 토사이동경로 해석 결과 FB+의 경향은 신자도와 진우도 사이의 수로 남쪽과 신자도와 도요동 사이의 수로 남쪽에 한정되어 나타난다. FB-의 경향은 신자도 남쪽의 점토질이 우세하게 나타난 지역에서 형성된다. 그리고 CB+의 경우 낙동강 하구역의 수심이 깊은 외해쪽에서 우세하게 나타나며 CB-는 사질퇴적물이 주로 존재하는 낙동강 하구사주 전면의 2 ~ 4km 범위에 집중되었다.

추계의 경우 FB+ 경향은 수로 전면에서 이동벡터를 형성하고 외해쪽에서 신자도 남쪽의 니질퇴적물이 우세하게 분포하는 지역들에서 북쪽 또는 남쪽으로 향하는 이동벡터가 형성된다. FB-의 경우 진우도 남쪽에서 이러한 경향이 우세하게 나타나고 도요동의 외해쪽에서도 남서쪽으로 향하

는 이동벡터가 형성된다. CB+와 CB- 경향은 하계와 마찬가지로 각각 수심이 깊은 외해쪽과 사주 전면에서 우세하게 나타나고 북향또는 북서향의 이동벡터가 우세하게 나타난다.

동계에는 이동벡터가 이전의 계절들에 비하여 상당히 복잡하게 나타난다. 특히 FB+의 경향이 도요동 전면과 신자도 남쪽의 외해쪽에서 우세하게 나타난다. 그리고 CB+와 CB-의 경우 외해쪽과 사주전면에 나타나는 주요 특징은 유사하지만 이동정도가 상대적으로 하계 및 추계에 비해서 작아지는 것을 확인할 수 있다.

춘계의 경우 FB+의 경향은 산자도와 도요동 사이 수로의 남쪽과 신자도 외해쪽의 니질퇴적물이 우세한 지역에 한정되어 나타난다. CB+와 CB-의 경향도 다른 계절들과 유사하게 외해쪽과 사주부근으로 분리되어 나타난다.

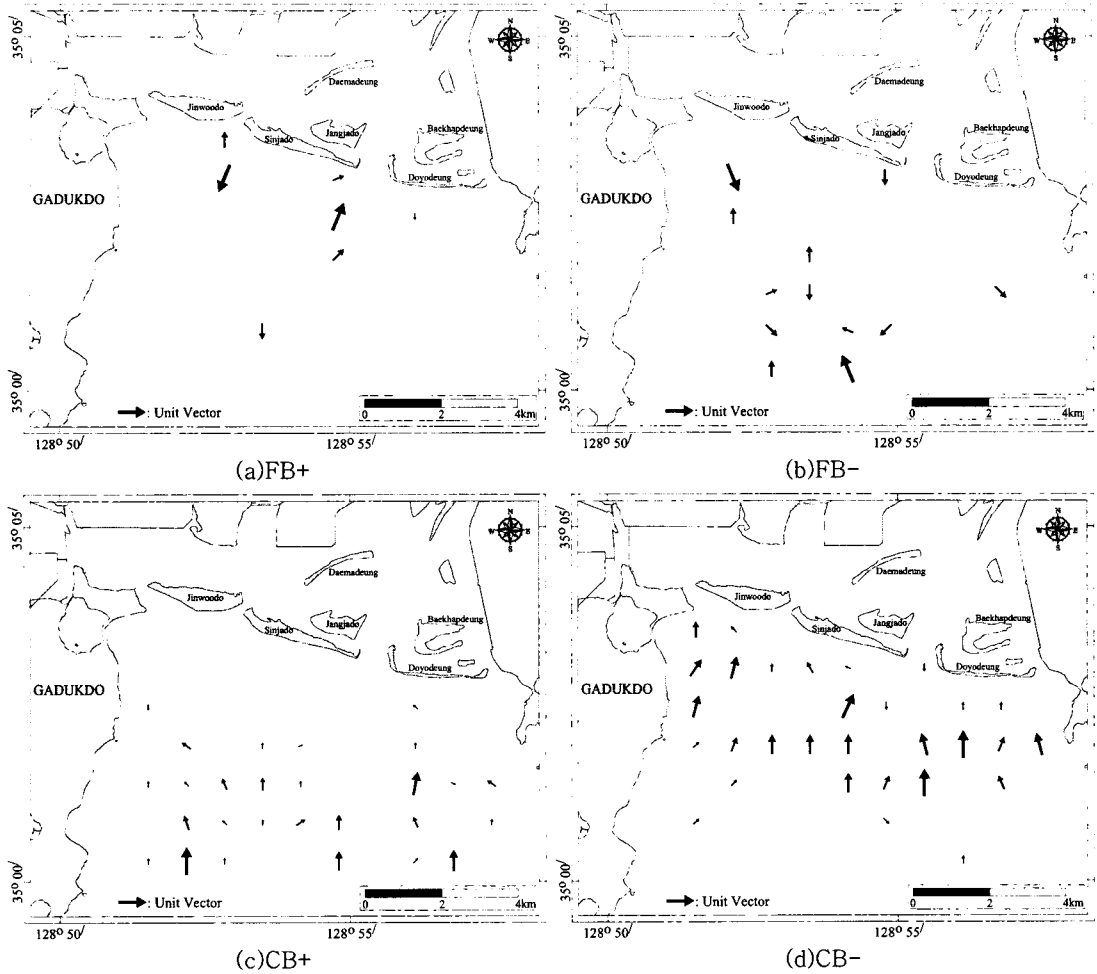


Fig. 3. Sediment Transport pathway in summer season.

#### 4. 결 론

입도경향 분석법을 이용하여 낙동강 하구역의 계절적인 토사이동경로 추정을 위하여 낙동강 하구역 일원에서 계절적으로 관측된 퇴적물의 입도 조직상수들을 eCSedtrend 모형에 적용하여 토사이동경로를 추정하였다. 계절별 토사이동경로를 네 가지 경향별로 분석한 결과 전반적으로 낙동강 하구역에서 지배적인 경향은 CB+와 CB- 경향으로 나타났고 각각 외해쪽과 사주부근으로 나뉘어 이러한 경향이 모든 계절에서 탁월하게 나타났다. 그리고 FB+와 FB-의 경향은 계절별로 편차가 크게 나타났다.

이러한 입도경향분석법은 경험적인 지식에 의존하는 것이므로 차후 수치모형 등의 결과들과

연계하여 추가적인 고찰을 수행하여야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- Gao, S. and Collins, M. (1992). Net Sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of 'transport vectors'. *Sedimentary Geology*, 81(1/2), 47-60.
- McLaren, P. and Bowles, D. (1985). Sedimentary Facies and Environmental Changes The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J. Sedimentary Petrology*, 55(4), 457-470.
- Poizot, E. and Mear, Y. (2008). eCSedtrend: A new software to improve sediment trend analysis, *Computers & Geoscience*, 34, 827-837.