

# 낙동강 하구 조간대 지하수의 물리적 특성 및 퇴적물 성상에 관한 연구

김헌태\* · 김경희\*\*† · 류성훈\*\* · 이인철\*\*

\*, \*\* 부경대학교 해양공학과

## A Study on Physical Characteristic of Ground water and Sediment Property in Intertidal Flat of Nakdong River Estuary

Heon-Tae Kim\* · Kyunghoi Kim\*\*† · Sung-Hoon Ryu\*\* · In-Cheol Lee\*\*

\*, \*\* Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

**요 약 :** 낙동강 하구역 조간대의 보존 및 관리를 위한 기초적 연구로, 낙동강 하구 조간대를 대상으로 지하수의 물리적 특성 및 퇴적물의 성상을 조사하였다. 조간대의 지하수위 및 지하수온의 변화는 조석에 영향을 받으며, 5,000 m<sup>3</sup>/s 이상의 하천수 방류는 조간대의 지하수위를 상승시킬 뿐만 아니라 지반 내 수십 cm 깊이의 지하수 염분을 감소시키는 것으로 조사되었다. 간조 시 조간대 지하수위의 하강 형태는 조간대 퇴적물의 세립질 함량에 따른 투수도 차이에 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 높은 투수도의 조간대 지반에서는 활발한 지하수 흐름에 의해 세립질의 퇴적이 감소하고 재부상이 증가하여 결과적으로는 낮은 세립질 함량의 조간대 지반을 형성하였다.

**핵심용어 :** 퇴적물 성상, 지하수, 조간대, 낙동강 하구, 모니터링

**Abstract :** In the present study, we investigated the physical characteristics of ground water behaviors and sediment properties in intertidal flat of Nakdong River Estuary. Variations in level and temperature of the groundwater depended on tides. And increase of river discharge led to increase in groundwater level and decrease in ground salinity at a depth of several ten cm. Difference in permeability of the intertidal flat sediments due to content of fine fraction affect velocity of groundwaer level decrease at low tide. Furthermore, enhancement of groundwater flow due to the increase in permeability leaded to decrease of fine fraction in the intertidal flat sediments.

**Key Words :** Sediment property, Groundwater, Intertidal flat, Nakdong River Estuary, Monitoring

### 1. 서 론

낙동강 하구역은 평균유량 7,830 m<sup>3</sup>/s의 낙동강이 유입하고 있는 육지환경과 해양환경의 전이지역으로(Yoon et al., 2010), 사주를 중심으로 조간대가 넓게 형성되어 있다. 하구역 내에는 건전한 생태계가 조성되어져 있고 철새의 먹이가 풍부하여 철새의 월동지 및 이동경로로 이용되는 철새 도래지역이

형성되어져 있다(Yi et al., 2014). 또한 하구역 공간의 중요성을 인정받아 자연환경 보전지역, 습지보호지역, 문화재구역 특별관리해역 등으로 지정되어 있다(Busan Metropolitan City, 2011).

조간대는 해안가에서 조석에 의해 노출과 침수를 반복하는 공간으로, 지구상에 존재하는 생물의 약 20%가 서식하는 생물 다양성 및 생산성이 매우 높은 곳이다(Chang, 2008). 하지만 낙동강 하구역에서는 녹산공단의 조성과 1987년 낙동강 하구둑의 완공, 부산 신항 건설 등 지속적으로 간척 및 매립 사업이 시행되어 왔다. 그 결과 해안선에 많은 변화가 있었고, 넓은 면적의 조간대 및 해초장이 사라지게 되었다. 따라서 생태학적으로 매우 중요한 낙동강 하구역 조간대의

\* First Author : htkim@pknu.ac.kr, 051-629-6584

† Corresponding Author : hoikim@pknu.ac.kr, 051-629-6583

※ 본 연구는 2014년 개최된 추계 해양환경안전학회(한국해양대학교, 11월 27일-28일)에서 발표된 논문 '낙동강 하구역 갯벌의 저질 성상 특성'을 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

보전을 위한 관리가 필요한 시점이다.

조간대에는 지하수가 존재하고 있으며, 지하수위의 변화는 퇴적물의 이동에 영향을 미치고(Turner, 1995; Gabriel et al., 2004), 상부에 서식하는 식생을 결정한다(Woo et al., 2011). 지하수위는 기압, 조석, 증발산 등의 주기적 인자와 파랑, 강수량 등의 비주기적 인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Kang et al., 1997).

지하수는 조간대 지반 내에 생지화학적 반응을 발생시키고, 영양염의 교환을 활성화 시키는 등, 조간대 생태계를 형성하는데 있어서 매우 중요한 인자이다(Rengarajan and Sarma, 2015; Kuwae et al., 2003). 이러한 중요성 때문에 낙동강 하구의 지하수 거동을 해석하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으나, 대부분은 모래 해변에서의 지하수위 변동이나 지하수위와 식생대와의 관계 등에 한정되어 있다(Chang and Kang, 1977; Park et al., 2014).

이에 본 연구에서는 낙동강 하구역 조간대의 보존 및 관리를 위한 기초적 연구로, 낙동강 하구 조간대를 대상으로 지하수의 물리적 특성과 침강물 및 퇴적물의 성상을 조사하였다. 그리고 조간대 지반의 투수도가 퇴적물 성상에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 지하수 모니터링

지하수의 모니터링은 2차례 실시하였다. 1차 모니터링은 2007년 8월 22일부터 9월 6일까지 15일간 St.1, St.2, St.3에서, 2차 모니터링은 St.2와 St.2'에서 2008년 6월 15일부터 9월 30일까지 107일간 실시하였다. St.2'은 St.2에서 진우도 중앙으로 약 50 m 이동한 지점이다.

각 정점에 지하수 모니터링을 위한 well을 설치하였으며, well의 설치 개요도는 Fig. 2에 나타내었다. well은 130 cm 길이의 PVC파이프를 이용하였으며, 상부 30 cm가 지표면 위로 노출되도록 매설하였다. well 매설 후, 지하수는 지표면으로부터 약 60~80 cm 아래의 만든 1×3 cm 크기의 다수의 구멍을 통해 well 내부로 유입되며, 퇴적물의 유입을 막기 위하여 구멍 외부에 플라스틱 재질로 된 1 mm 격자크기의 screen net을 설치하였다. well 내부로 유입된 지하수가 측정장치 주변에만 체류하고 well 내부에서의 연직방향 이동을 제한하기 위하여 지표면 아래 60 cm와 80 cm 지점에 캡과 cotton을 설치하였다. 또한 well 최상부에는 뚜껑을 덮어서 빗물의 유입을 막았다.

전 지점의 well에는 수위-수온계(compact TD, JFE advantech)를 설치하였으며, St.2와 St.3에는 수온-염분계(compact CT, ALEC, JFE advantech)를 추가 설치하였다. 설치기기는 센서부

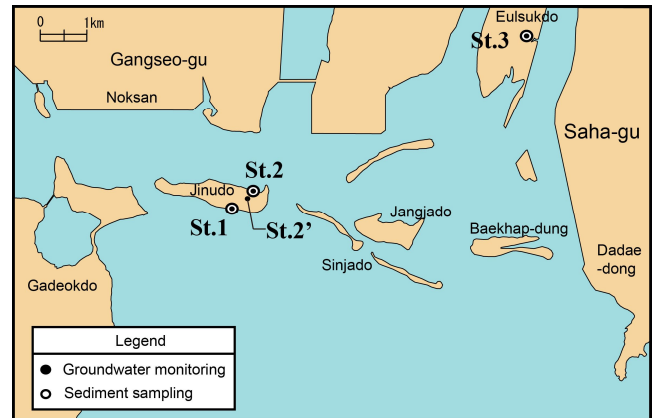


Fig. 1. Map of Nakdong River Estuary and locations for sediments sampling and ground water monitoring.

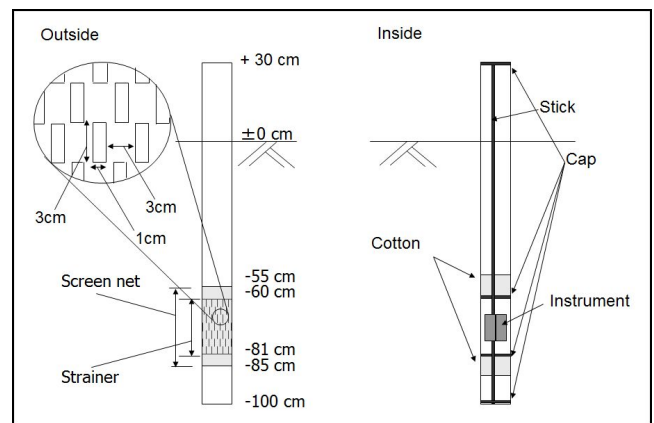


Fig. 2. Conceptual figure of well installed for groundwater monitoring.

가 지표면 아래 70 cm 지점에 위치하도록 조절하였다. 각 정점 부근의 해저면에 수위-수온계를 설치하여 동일기간의 해수위변화를 모니터링 하였으며, St.3 부근에서는 compact CT를 추가로 설치하여 하천수 방류량에 따른 해수의 염분변화를 측정하였다. 또한 레벨 측량을 실시하여 St.2와 St.2'의 지반고 차이를 확인하였다. 하천수 방류량 및 강우량은 각각 수자원 공사의 낙동강 하구둑의 방류량 자료(Kwater) 및 부산기상청(Korea Meteorological Administration)의 일별 강우량 자료를 이용하였다.

### 2.2 퇴적물 및 침강물 조사

하구역 내에서 침강물(SPM)의 포집실험은 St.1, St.2, St.3에서 실시하였다. 실험기간은 2008년 8월 20일부터 9월 2일까지 약 2주간이며, 재부상한 퇴적물이 침강물 포집기로 유입되는 것을 방지하기 위하여 직경 20 cm의 포집기 입구가 조간대 지면으로부터 20 cm의 높이에 위치하도록 설치하였다.

## 낙동강 하구 조간대 지하수의 물리적 특성 및 퇴적물 성상에 관한 연구

포집된 침강물의 회수시 각 정점의 표층 퇴적물을 샘플링 하였다. 채취한 퇴적물 및 침강물은 75  $\mu\text{m}$ 의 체를 이용하여 분리하고 건조로에서 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 건조한 후, 중량을 측정하였다. 건조된 시료는 600 $^{\circ}\text{C}$ 에서 6시간 연소시켜 강열 감량(IL)을 계산하였다. 또한 PerkinElmer 2400 Series-II CHNS Elemental Analyzer를 이용하여 입자태 유기탄소와 입자태 유기질소의 원소량을 측정하였다. 본 연구에서는 75  $\mu\text{m}$  이하의 입자를 세립질(fine fraction), 75  $\mu\text{m}$  이상의 입자를 조립질(coarse fraction)로 정의하였다(Hibino et al., 2011).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 낙동강 하구 지하수의 물리적 특성

1차 모니터링 기간 중의 각 정점별 지하수 및 해수의 수위변화는 Fig. 3에 나타내었다. 또한 St.2, St.3의 지하수와 St.3의 해수 염분변화를 Fig. 4(a)에, 낙동강 하구둑의 방류량은 Fig. 4(b)에 나타내었다.

모니터링 기간 중 낙동강 하구역의 최대조차는 약 1.8m였으며, 지하수위는 모든 정점에서 조석의 영향을 받는 것으로 나타났다(Fig. 3). 최저지하수위는 약 0.4~0.8m의 위치에 형성되어 정점별로 차이가 있었으며, 이는 정점별 지반고의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

St.3의 해수 염분은 0~15 psu의 범위로 하천수 방류량에 따라 큰 폭으로 변화하였다(Fig. 4(a)). 하천수 방류량이 1,000  $\text{m}^3/\text{s}$  이하에서는 염분 농도는 4 psu 이상이었으나, 하천수 방류량이 5,000  $\text{m}^3/\text{s}$ 를 넘어가는 8월 30일 이후에는 0 psu를 유지하였다.

St.2 및 St.3에서의 지하수 염분은 각각 3~6 psu, 2~3 psu의 범위로 분포하였다. 하구둑 전면에 위치하여 하천수 방류의 영향이 큰 St.3에서 St.2에 비해 1~3 psu 정도 낮은 것으로 조사되었다. St.3의 해수 염분은 하천수 방류량 증가와 동시에 감소한 반면, St.3의 지하수 염분은 하천수 방류량이 5,000  $\text{m}^3/\text{s}$ 를 초과한 후 2일이 지난 9월 1일부터 감소하기 시작하였으며, 감소량은 1 psu 정도였다. 즉 하천수 방류량의 변화는 조간대 지표면 아래 수십cm 범위의 지하수 염분에도 영향을 미치고 있는 것을 확인하였으며, 방류된 하천수가 조간대의 지표면 아래 60cm까지 도달하기까지는 약 2일 정도가 소요되는 것을 알 수 있었다.

해수의 수위변화를 살펴보면, St.1에서는 대조기 이후 만조 수위가 꾸준히 낮아졌지만, St.2와 St.3에서는 9월 2일까지 만조 수위가 낮아지지 않았다. 반면 간조 수위는 하천수 방류량 증가에 따라 St.2와 St.3에서 높아졌다. 이는 방류된 하천수가 사주로 인해 빠른 시간 내에 외해로 유출하지 못하고 사주 배후면에 체류하기 때문으로 판단된다(Yoon et al., 2005). 하천수의 체류는 조간대의 지하수위를 상승시켜, 8월

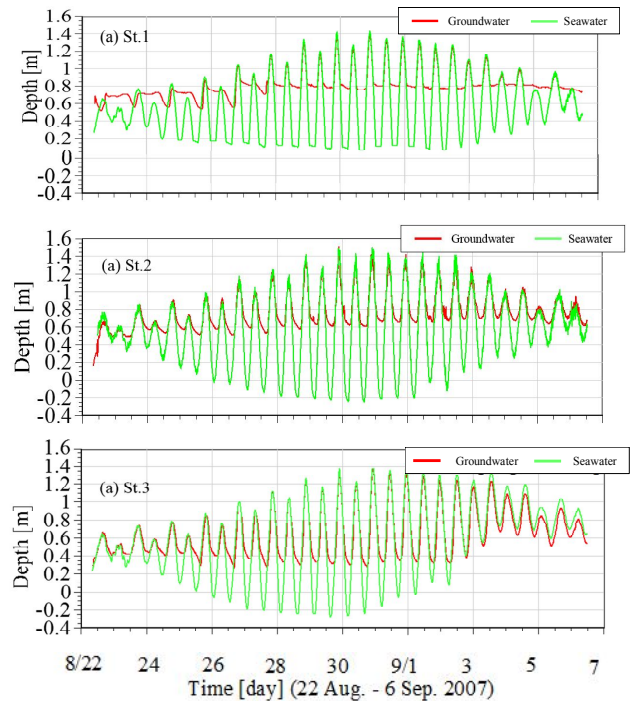


Fig. 3. Temporal changes in groundwater level and sea level.

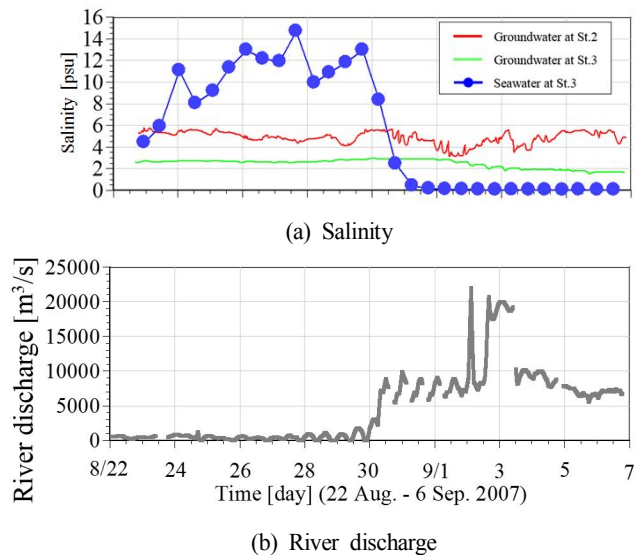


Fig. 4. Temporal changes in (a) salinity and (b) river discharge.

30일 간조 시(지하수위보다 해수면이 낮은 시간)의 지하수위를 기준으로 9월 3일 St.2에서는 약 10 cm, St.3에서는 30 cm 이상의 지하수위의 상승을 확인할 수 있었다. 하지만 St.1에서는 하천수 방류에 의한 지하수위의 상승량은 미미하였다.

간조 시 해수위가 지하수위보다 낮아지면 지하수위는 하강하고 특정 깊이(지하수면)에 도달하면 하강을 멈추게 된다(Kang et al., 1997). 간조 시 각 정점별 지하수위의 하강형

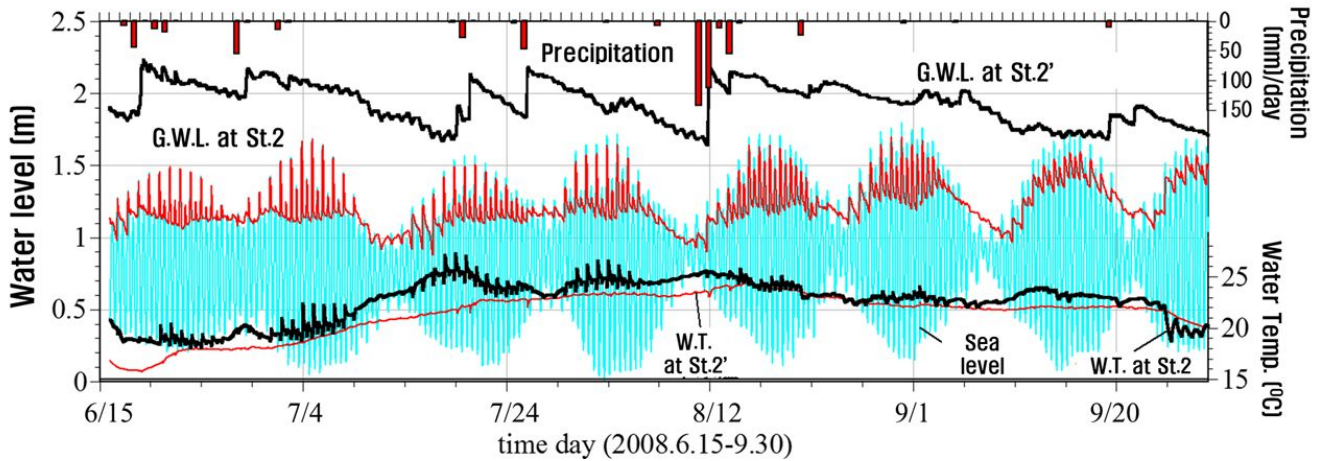


Fig. 5. Variations in groundwater level (GWL) and groundwater temperature at St.2 and St.2'.

태를 살펴보면, St.1에서는 해수위 하강과 동시에 지하수위가 하강하여 0.8 m 부근에서 하강이 멈추는 것으로 나타났다. 하지만 St.2와 St.3에서는 간조 시에 계속해서 지하수위가 낮아졌으며, 그 시간은 St.3에서 더욱 길었다. 간조 시의 지하수위의 하강형태는 조간대 지반의 투수도에 의존하며 투수도가 낮을수록 지하수면에 도달하는데 많은 시간이 소요된다. 즉, 조간대 지반의 투수도는 St.1에서 가장 크고 St.3에서 가장 작은 것을 알 수 있다.

### 3.2 진우도 지하수의 물리적 특성

진우도의 St.1 ~ St.2를 가로지르는 내륙부는 요지(凹地)가 형성되어져 있으며, 강우에 의한 우수 및 대조기 만조시에 유입된 해수는 요지에 존재하는 갈대습지에 체류한다. Fig. 5에는 2차 모니터링 기간 중의 St.2와 St.2'에서 관측된 지하수위와 해수위, 지하수 및 해수의 수온, 일일강우량의 변화를 나타내었다.

St.2'의 지하수위는 St.2에 비해 1 m 이상 높았다. 강우시 St.2'의 지하수위는 상승하였으며(150 mm/day의 강우에 약 70 cm 정도 상승) 비강우시에는 하강하였다. 또한 소조기에 St.2에서 지하수면의 하강이 관측되었다. 이상의 결과로부터, 진우도에서는 St.2'에서 St.2를 향한 지하수 흐름이 존재하고 있으며, 내부 습지로부터의 지하수 공급으로 인해 St.2에서는 간조 시에도 급격한 지하수위 감소가 없는 것을 알 수 있다. St.2의 지하수위 변화는 조석에 의존하고 있지만, 6월과 9월을 비교해보면 의존도의 차이가 존재한다. 수온 또한 조석에 따라 변화하지만, 강우 후에는 St.2의 지하수위가 상승하여 조석의 영향이 적어지고, St.2'와의 수온차가 적어지는 것으로 나타났다. 종합해보면 St.2의 지하수는 내륙부로부터 유출되는 지하수의 영향을 크게 받고 있는 것으로 결론지을 수 있다.

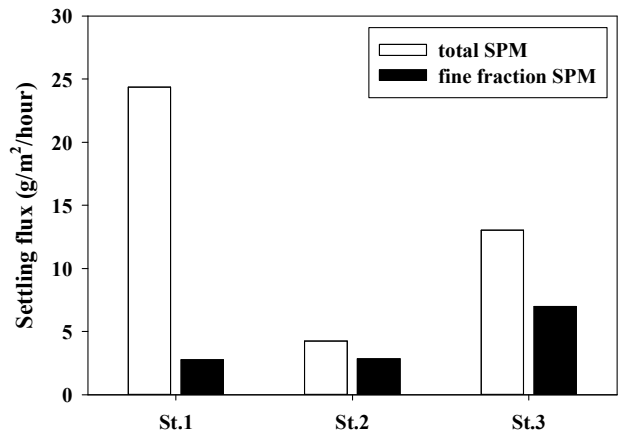


Fig. 6. Settling flux of total and fine fraction of SPM.

### 3.3 침강물 플럭스

Fig. 6에 총 침강물과 세립질 침강물의 침강 플럭스 조사 결과를 나타내었다. 낙동강 하구역내의 갯벌구간에서의 총 침강플럭스는 약 5~25 g/m²/hour의 범위로, St.1 주변에서 최대, St.2 주변에서 최소값을 나타내었다. St.1의 주변은 사질 지반의 쇄파대로, 쇄파로 인한 표사의 수송량이 많기 때문인 것으로 나타났다(Park et al., 2014). 반면, St.2와 St.3 주변 해역은 외해로부터 유입하는 파랑이 사주에 의해 차단되고 유속이 매우 약하기 때문에 세립질이 전체 침강량의 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 판단된다(Lee et al., 2008).

### 3.4 퇴적물 및 침강물 성상

Fig. 7에는 각 정점별 침강물과 퇴적물의 세립질 함량, IL, 세립질 및 조립질의 IL을 나타내었다. 퇴적물 중의 세립질 함량은 St.1, St.2, St.3에서 각각 1% 이하, 6%, 66%로 St.3에서 60% 이상 높은 값을 보였다. 반면, St.2와 St.3에서 침강물

중의 세립질 함량은 각각 67%와 53%로 St.2에서 14% 정도 높게 나타났다 (Fig. 7(a)).

실트, 클레이질의 지반에서는 사질 지반에 비해 투수도가 수십 배에서 수천 배 이상 낮아진다(Park, 2015). 따라서 St.3의 높은 세립질 함량이 조간대 지반의 투수도를 낮추고 있는 것을 알 수 있다. 또한 지하수 흐름이 약한 갯벌에서는 세립질 입자의 퇴적이 촉진될 뿐만 아니라(Hibino et al., 2008), 세립질 퇴적물의 재부상이 억제된다(Kim et al., 2009). 즉 St.2에서 침강물 중의 세립질 함량이 높음에도 불구하고 퇴적물 중의 세립질 함량이 적은 것은 상대적으로 높은 투수도로 인해 더욱 활발한 지하수 흐름이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

퇴적물의 IL은 1~4%의 범위로 St.1에서 최소, St.3에서 최대값을 보인 반면 침강물의 IL은 3~7%의 범위로 St.1에서 최소, St.2에서 최대였다(Fig. 7(b)). 세립질의 IL은 5~9%의 범위로 St.3에서 가장 낮았지만(Fig. 7(c)), 조립질의 IL은 퇴적물과 침강물에서 각각 1~2%, 2~4%의 범위로 정점별 차이는 크지 않았다(Fig. 7(d)). 이상의 결과로부터 세립질의 IL이 조립질의 IL에 비해 수배 정도 큰 값을 가지며, 세립질의 함량에 따라 퇴적물 및 침강물의 IL이 결정되는 것을 알 수 있었다(Fig. 8).

C/N비는 총유기탄소와 총유기질소의 비를 나타내며, 해양 퇴적물 내로 유입된 유기물의 기원을 해석하는 지표로서 이용되고 있다(Park et al., 1995; Shin et al., 2010). C/N비는 해양성 식물플랑크톤의 경우 약 6.625이고(Redfield, 1958), 해양 기원의 유기물질이 퇴적된 경우는 8 이하이며(Pocklington and Leonard, 1979), 육상 기원 유기물은 10~12 이상으로 알려져 있다(Parsons, 1975; Malet et al., 2008).

Fig. 9는 퇴적물 및 침강물에 존재하는 입자태 유기물질의 원소분석 결과를 나타낸다. 각 정점에서 침강물의 C/N비는 약 10정도로 육상 및 해양기원의 유기물이 혼재하고 있는 것을 알 수 있다. 퇴적물에 존재하는 입자태 유기물질 결과를 살펴보면, St.1과 St.2의 C/N비는 각각 약 8.0과 9.0으로 특히 의해 측과 가까운 St.1의 조간대 퇴적물은 해양 기원의 유기물이 높은 비율로 퇴적되어 있는 반면, 낙동강 하구둑 가까이에 위치한 St.3에서는 C/N비가 11.7 이상의 육상 기원 유기물의 퇴적량이 많음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

낙동강 하구역 조간대의 보존 및 관리를 위한 기초적 연구로, 낙동강 하구 조간대를 대상으로 지하수의 물리적 특성 및 퇴적물의 성상을 조사하였다.

조간대의 지하수위 및 지하수온의 변화는 조석에 의존하

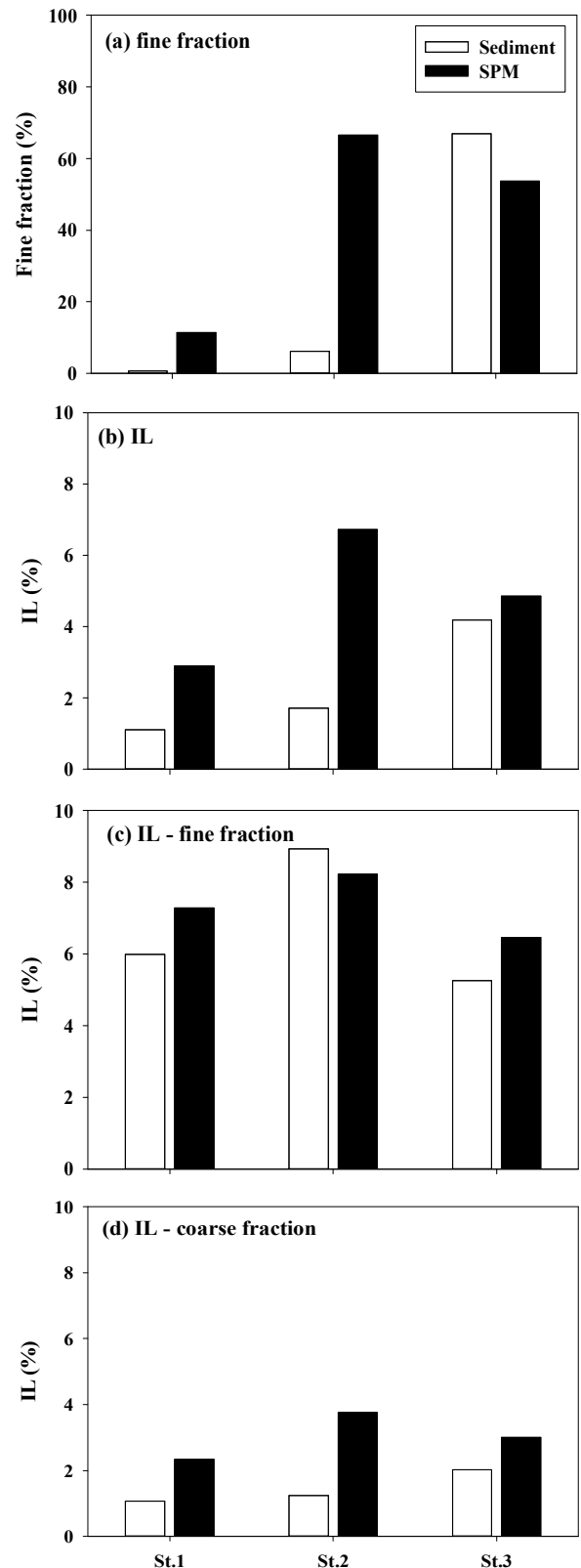


Fig. 7. Comparison of sediment properties sampled at each point of Nakdong River Estuary.

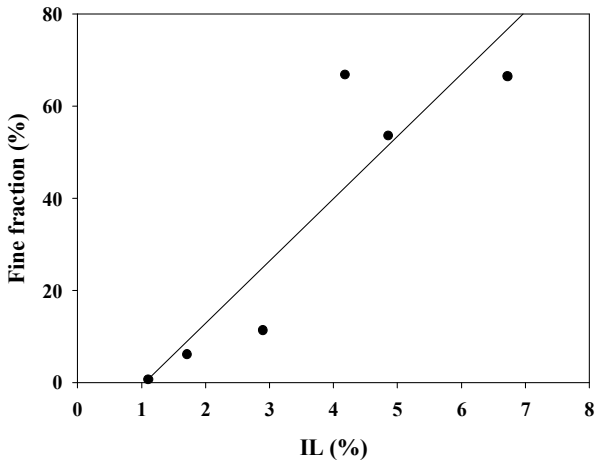


Fig. 8. Relationship between IL and fine fraction.

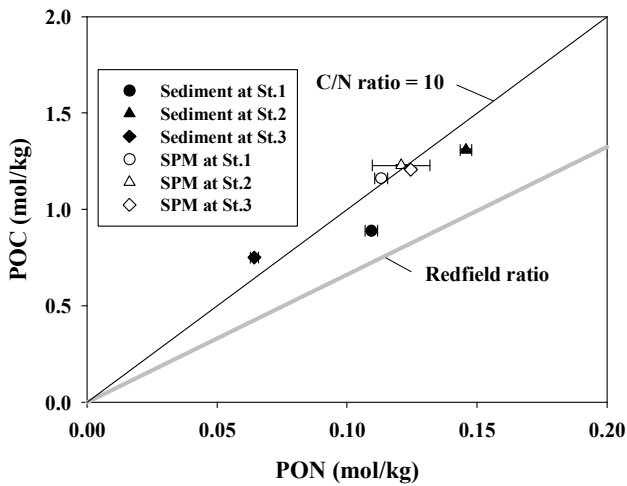


Fig. 9. Relationship between PON and POC of sediment and SPM.

여 변화하였다. 또한, 5,000 m<sup>3</sup>/s 이상의 하천수 방류는 조간대의 지하수위를 상승시키고, 방류 2일 후에는 조간대 지반내 수십 cm 깊이의 지하수 염분을 감소시켰다. 진우도에는 중심부에 위치한 습지에서 조간대를 향한 지하수흐름이 존재하고 있으며, 내부 습지로부터의 지하수 공급에 의해 조간대에서는 간조 시에 급격한 지하수위 감소가 없는 것으로 조사되었다.

조석에 따른 조간대 지하수위의 변화 속도는 퇴적물의 세립질 함량(투수도)에 의존하였으며, 투수도의 증가는 지하수 흐름을 활발히 하여 조간대 퇴적물의 세립질 함량을 감소시켰다. 진우도의 St.2에서는 침강물 중의 세립질 함량이 높음에도 불구하고 퇴적물 중의 세립질 함량이 적었으며, 이는 조간대 지반에서 낮은 세립질 함량으로 인해 상대적으로 높은 투수도를 가지게 되어 활발한 지하수 흐름이 존재하기 때문인 것으로 조사되었다.

낙동강 하구역 내에 존재하는 침강물은 C/N비가 약 10 정도로 육상 및 해양기원의 유기물이 혼재하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 진우도 조간대 퇴적물은 해양 기원의 유기물의 영향이 큰 반면, 낙동강 하구둑 가까이에 위치한 조간대 지반에서는 육역 기원 유기물의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(C-B-2014-0414)에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Busan Metropolitan City(2011), Monitoring for Nakdong River Estuary System, Busan Metropolitan City.
- [2] Chang, J. H.(2008), Criteria and Evaluation of Local Tidal Flat for Designation Conservation Sites in the Southwestern Coast of Korea, Journal of Environmental Science, Vol. 17, pp. 1391-1402.
- [3] Chang, N. K. and B. C. Kang(1977), Changes of Plant Communities to Continuum and Species Diversity on the Gradient of the Water Table in the Delta of the Nakdong-river, Korean Journal of Animal Science, Vol. 19, No. 6, pp. 453-458.
- [4] Gabriel, B., M. Valerie, D. Julien, C. Olivier, L. Robert and D. Jean-Paul(2004), Chemical Characterization of Porewaters in an Intertidal Mudflat of the Seine Estuary: Relationship to Erosion-Deposition Cycles, Marine Pollution Bulletin, Vol. 49, pp. 163-176.
- [5] Hibino, T., K. Komai, S. Fukuoka and M. Mizuno(2008), Effect of the Inflowing River Water through the Soil on the Ground Water in Tidal Flat, Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 52, pp. 1309-1314. (in Japanese with English Abstract)
- [6] Hibino, T., K. H. Kim and K. Nagao(2011), Modeling of Settling and Deposition of Suspended Organic Matter considering Biodegradation, Coastal Engineering Journal, Vol. 53, pp. 180-200.
- [7] Kang, H. Y., N. Kobayashi and C. R. Ryu(1997), Tide, Swash Infiltration and Groundwater Behavior, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 11, pp. 153-162.
- [8] Kim, K., M. Abe, K. Komai and T. Hibino(2009), An effect of pore water infiltration on the re-suspension of sea bottom sediment. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.

낙동강 하구 조간대 지하수의 물리적 특성 및 퇴적물 성상에 관한 연구

- B2. 65, pp. 971-975. (in Japanese with English abstract)
- [9] Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr/>.
- [10] Kuwae, T., E. Kibe and Y. Nakamura(2003), Effect of Emersion and Immersion on the Porewater Nutrient Dynamics of an Intertidal Sandflat in Tokyo Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 57, pp. 929-940.
- [11] Kwater, <http://busan.kwater.or.kr/>.
- [12] Lee, I. C., S. P. Lim, H. S., Yoon and C. R. Ryu(2008), Topographical Change Monitoring of the Sandbar and Estimation of Suspended Solid Flux in the Nakdong River Estuary, *Journal of the Korean Society of Marine Environmental Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 70 - 77.
- [13] Malet, N., P. G. Sauriau, M. Ryckaert, P. Malestroit and G. Guiljou(2008), Dynamics and Sources of Suspended Particulate Organic Matter in the Marennes-Oleron Oyster Farming Bay: Insights From stable Isotopes and Microalgae Ecology, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 78, pp. 576-586.
- [14] Park, Y. C., H. S. Yang, P. Y. Lee and P. J. Kim(1995), Environmental Characteristics of the Seawater and Surface Sediment in the vicinity of Pusan Harbor Area in Winter, *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 28, No. 5, pp. 577-588.
- [15] Park, J. H.(2015), A Study on the Characteristics of Internal-Waterlevel Fluctuation with a Topography at the Estuary Sand Bar, Doctoral Thesis, Pukyong National University, p. 54.
- [16] Park, J. H., H. S. Yoon and I. C. Lee(2014), Analysis of Ground Watertable Fluctuation at the Sandy Barrier Island on Jinu-do in Nakdong River Estuary. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 4, pp. 382-388.
- [17] Parsons, T. R.(1975), Particulate Organic Carbon in the Sea. in J. P. Riley and G. Chemical Oceanography(ed. by J. P. Riley and G. Skirrow), 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, London, England, p. 647.
- [18] Pocklington, R. and J. D. Leonard(1979), Terrigenous Organic Matter in Sediment of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 36, pp. 1250-1255.
- [19] Redfield, A. C.(1958), The Biological Control of Chemical Factors in the Environment, *American Scientist*, Vol. 46, pp. 205-222.
- [20] Rengarajan, R. and V. V. S. S. Sarma(2015), Submarine Groundwater Discharge and Nutrient Addition to the Coastal Zone of the Godavari Estuary, *Marine Chemistry*, Vol. 172, pp. 57-69.
- [21] Shin, W. S., Y. D. Lee, M. Fujibayashi, Y. Nagahama, M. Nomura and O. Nishimura(2010), The Origin of Sediment Organic Matters at Tidal Flat in Estuary, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 32, No. 1, pp. 1177-1184.
- [22] Turner, I. L.(1995), Simulation the influence of Groundwater Seepage on Sediment Transported by the Sweep of the Swash Zone across Macro-tidal Beaches. *Marine Geology*, Vol. 125, pp. 153-174.
- [23] Woo, H. S., S. J. Chung and H. J. Cho(2011), A Field Survey and Analysis of Ground Water Level and Soil Moisture in a Riparian Vegetation Zone, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 10, pp. 797-807.
- [24] Yi, Y. M., U. S. Yeo and K. Sung(2014), Soil Properties of Barrier Island Habitats in the Nakdong River Estuary. *Journal of Wetland Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 355 - 362.
- [25] Yoon, H. S., C. H. Yoon, C. I. Ryu and J. H. Park(2010), Effects of Busan-Gimhae Precipitation Conditions on the Real Barrage Discharge in the Nakdong River Basin. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 16, No. 2, pp. 169-174.
- [26] Yoon, H. S., I. C. Lee and C. R. Ryu(2005), Numerical Simulation for Net-water Flux of the Cross-sectional area in the Nakdong River Estuary. *Journal of the Korean Society of Marine Environmental Engineering*, Vol. 8, No. 4, pp. 186-192.

---

Received : 2015. 07. 23.

Revised : 2015. 09. 03. (1st)

: 2015. 10. 02. (2nd)

Accepted : 2015. 10. 27.