

## 서낙동강 저질의 영양염류 용출특성에 따른 수질 변화 연구

김주인<sup>†</sup> · 전대영 · 이경심 · 유평중  
환경조사과

### Study on Release Characteristics of Nutrients from Sediment in the West-Nakdong River

Kim Chu-in<sup>†</sup>, Jeon Dae-yong, Lee Kyung-sim and Yoo Pyung-jong  
Environmental Research Division

#### Abstracts

To investigate the influence of sediment on the water quality in West-Nakdong River, sediment oxygen demand(SOD) and nutrient fluxes were measured in downstream of West-Nakdong River. In order to compare the main stream with the branch, sediment cores were collected at Gangdong bridge(main stream) and Dunchi2 bridge(Joman branch). The sediments were subjected to controlled oxic and hypoxic conditions and temperature gradients(20°C, 30°C) of the overlying waters in laboratory incubating system.

In SOD analysis, Gangdong bridge was calculated to 0.62 g/m<sup>2</sup>-d and Dunchi2 bridge was calculated 1.62 g/m<sup>2</sup>-d. The level of SOD in West-Nakdong River was classified to sandy sediment, and the level of in Joman River was classified to mud of estuary.

Phosphate(PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) release was elevated at 30°C and large mobilities were observed when they are coupled with a hypoxic and high-temperature. Ammonia(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) was released, while nitrate(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) was linearly absorbed to sediments in Gangdong bridge. However, in Joman bridge, the ammonia fluxes showed no difference at oxic-hypoxic condition and temperature gradients.

During the summer, DO concentration of bottom waters could drop both below 5 mg/L and phosphate(PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) concentrations would significantly increase in the bottom water, resulting in the fertility or eutrophication, especially in Joman Branch.

**Key words** : sediment, SOD, West-Nakdong River, nutrient flux

#### 서 론

강우에 의하여 수계로 유입된 영양물질이나 각종 오염 물질은 입자상태로 침강하며 용존물질이라 하더라도 입자에 흡착되어 상당량이 저층에 퇴적된다. 퇴적물은 하구 바깥으로 운반되는 경우도 있지만 저질에 축적된 영양물질은 분해되어 무기영양염 상태로 수계로 다시 용출되어 내부부하(internal load)의 원인이 된다. 수질의 부영양

화 정도는 외부에서 발생하여 유입되는 오염물질 뿐 아니라 수체 내부에서 발생하는 자생 오염물질의 부하량과 그 상호관련성에 영향을 받는다. 하류는 각종 영양염이 풍부하기 때문에 식물플랑크톤 등 자생유기물 생산성이 높아 저질 퇴적층이 발달하고 내부부하의 기여도가 상대적으로 높다. 국내에서 하천이나 호수의 수질오염이 사회적문제로 부각되고 있고 여러 가지 수질관리 방안이 강구되고 있으나 저질퇴적층에 대한 평가는 소홀히 다루어져 왔다. 낙동강 하류는 삼각주 환경사 평원 지형이고 낙동강,

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : cikim@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2911, Fax : +82-51-309-2969

서낙동강, 조만강과 그 셋강이 충적토 지형으로 그물처럼 연결된 독특한 지형으로 저질의 영향이 어느 곳보다도 크다. 낙동강과 서낙동강 하류지역은 유역에서 발생하여 유입되는 오염물질과 저질 퇴적층에서 발생하는 오염물질에 대한 과영양상태가 만성적으로 지속되어 있는 구간으로 하구둑과 녹산수문의 영향으로 저질 퇴적층이 발달하므로 향후 수질 관리에 있어 저질이 매우 중요한 대상으로 부각될 것이다. 본 연구의 주요 목적은 서낙동강 하류지역에서 저질로부터 용출되는 무기영양염과 저질의 산소소모량을 측정하여 용출특성을 밝히고 동시에 서낙동강 수질 변화에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 조사지 개황

서낙동강은 낙동강 하구둑 17km 상류지점인 대저수문에서 분기되어 유역면적 총 303 km<sup>2</sup> 유로연장 19km이며 김해시 해반천, 구산천, 호계천을 집수역으로 하는 조만강이 좌안에서 유입된다.(Fig. 1) 서낙동강 상류부는 대저수문(1934년 건설)과 하류부에는 녹산수문이 축조되어 호수 상태를 이룬다. 하상경사는 1/24,000~1/30,000 정도의 완경사로 고도가 없는 평야지대로 강변에 수생식물이 풍부하고 흐름이 정체되어 부영영화가 심한 곳이다.

홍수시 서낙동강 하류지역의 침수를 방지하고 배수능력을 확보하기 위하여 녹산수문 옆에 녹산배수펌프장(2011)을 준공하였다. 서낙동강 유역은 도시인구가 많고 농경지가 발달하여 생활하수 및 강유출에 의한 오염부하가 매우 높은 곳이다. 또한 과학산업단지, 에코델타시티 등 서부산 개발에 의한 개발오염부하가 높게 예상되는 곳으로 2007년부터 수질오염총량관리가 적용되는 유역이다. 조만강은 김해로부터 유입되는 생활하수 등의 영향으로 오염도가 높았으나 김해화목하수처리장(1999)과 장유하수처리장(2001)의 준공으로 오염부하량이 많이 감소하였다. 평상시 서낙동강과 조만강은 수심이 2~3m로 얕고 하구 수문건설로 호수화된지 70여년 동안 저질퇴적층이 발달하여 수질에 대한 저질의 영향이 매우 큰 곳으로 유역으로의 알려져 있다.

### 저질의 채취

저질의 산소소모율(SOD) 및 영양염 용출 측정용 시료는 서낙동강 본류 강동교, 조만강의 둔치2호교 2개 지점에서 시료를 채취하였다. 조사지점은 서낙동강과 조만강의 유역 중에서 수생식물이 풍부하고 지형상 흐름이 정체되어 저질이 많은 곳으로 선정하였다. SOD와 영양염 측정용 저질은 대형 Van Veen Grab sediment sampler로 표토 저질을 채취하고 교란되지 않게 채집하여 비닐백에 넣고 냉암상태로 실험실로 운반하여 곧 바로 측정하였



Fig. 1. Map of the sampling station for the sediment study in West-Nakdong River.

다. 현장의 하천수를 GF/C를 여과하여 직상수로 사용하였으며 20L 용기에 보관해 두었다가 적정 용존산소를 유지하였다. 측정하고자 하는 온도에서 1~2 시간 후 안정시킨 후 시작하였다.

SOD

하천의 퇴적물은 수역의 유속이 저하되고 정체되는 지점에서 퇴적현상이 가속화되고 유기물 등의 분해로 인해 하천의 자정작용 한계를 초과 할 때 수체의 DO를 고갈시킨다. 미국 EPA에서는 산소소모율(SOD, Sediment Oxygen Demand) 측정을 위하여 퇴적물 표층에서 종단면에 따라 확산되는 산소 유동을 이용한 모델법, 반응조를 사용한 실험실 측정법, 최근에 많이 적용하고 있는 반응조를 직접 현장에 설치하여 측정하는 현장법 등을 추천하고 있다. 이 중에서 상대적으로 장비의 준비 및 설치가 용이한 실험실 측정법을 이용하여 강동교와 둔치2호교 저질의 SOD 측정을 실시하였다.

저질의 산소소모율은 강동교 지점에서 2012년 10월 31일에서 11월 1일까지 측정하였고 조만교 지점은 12월 10일~12일까지 측정하였다. SOD를 측정하는 장치는 Fig. 2와 같다.

아크릴 재질인 SOD chamber(φ 10cm×20cm)에 채취한 저질을 5cm 높이로 정치시키고 용존산소를 포화시킨 BOD 희석수를 주입하였다. Chamber에 물을 연속적으로 순환시키면서 용존산소(DO)는 oxygen monitor (Thermo ORION STAR A213365)로 측정하여 기록하였다. SOD는 단위면적 및 DO가 감소하는 기울기를 이용

하여 구하였다. 1개 시료에 대해 8시간 이상 기록하였으며 실험실 온도는 20℃로 계속 유지하였다.

영양염 용출 배양실험

저질의 영양염 용출 실험은 강동교와 둔치2호교 두지점을 대상으로 하였다. 일반적으로 저질에서 영양염 용출을 측정하는 방법은 회분식(batch)과 연속식(Continuous)으로 구분되고 현장에서 측정하거나 실험실 조건으로 측정하며 물질수지방정식을 이용하여 산정하기도 한다. 본 실험은 현장조건을 모의한 실험실 조건에서 회분식으로 측정하였다. 아크릴 챔버(직경10cm ×높이 20cm)에 저질을 5cm 깊이로 정치하고 직상수는 현장수를 GF/C로 여과하여 1.5L를 사용하였다.(Fig. 3) 직상수는 호기조건을 유지하기 위하여 계속 포기하여 포화농도(8mg/L이상)를 유지하였고 빈산소 상태를 만들기 위해 질소가스로 20분이상 포기하여 1mg/L 이하로 유지하여 주입하였다. 또한 온도의 영향을 알아보기 위하여 각각 20℃와 30℃를 유지하여 온도에 따른 용출량을 평가하였다. 총 100시간을 배양하였으며 시료는 부정기적으로 10mL씩 뽑고 배양실험 초기에 채워넣었던 직상수를 다시 채워주었다. 배양후 채취된 직상수는 GF/C로 여과하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>를 수질자동분석기(TRACCS 2000 Bran Luebbe CO.)로 분석하였다.

서낙동강 수질 자료

서낙동강의 저질에 의한 영양염류의 영향을 파악하기 위해 수질현황은 국가수질측정망 자료를 이용하였고 필요

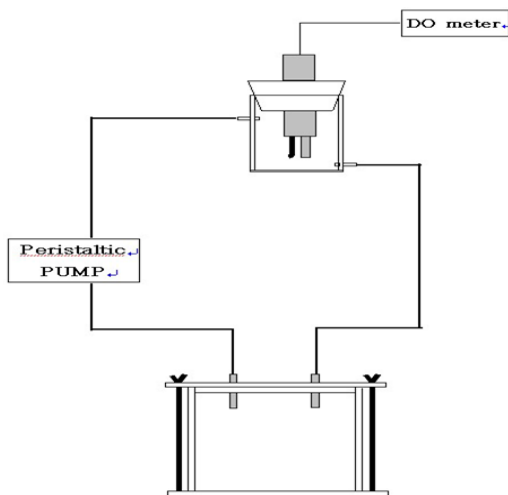


Fig. 2. Schematic of SOD measurement Apparatus.

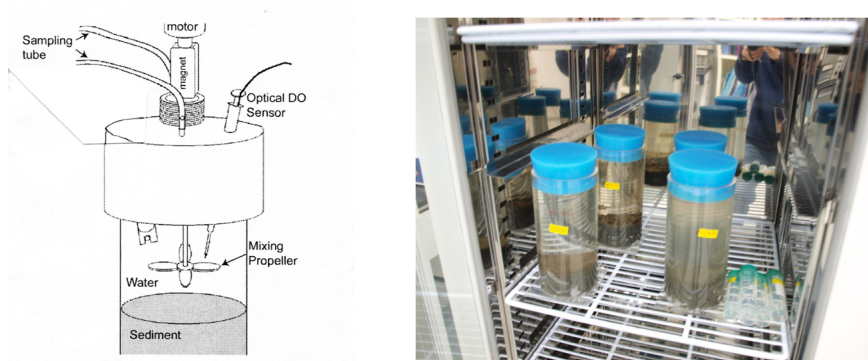


Fig. 3. A schematic diagram of the sediment incubation chamber.

시 현장에서 시료 채취한 심층과 표층의 수질 분석자료를 사용하였다.

존산소의 소비가 더 빨리 진행되는 것으로 나타났다. 이 해 비해 동천의 경우 저질의 오염도가 높아 2.73 mg/L 용존산소가 소비되는 것으로 나타났다.

**결과 및 고찰**

**실험 결과**

**SOD**

본 연구에서는 2012년 10월에 강동교 저질과 둔치2호 교 저질에 대한 SOD 분석을 실시하여왔다. 두 지점에서 저질에 의한 용존산소 소비 거동 형태는 Fig. 4과 같이 나타났다. 비교 대조군으로서 대표적인 도심하천인 동천의 저질의 SOD 값을 비교 대조군으로 표시하였다. 8시간 연속으로 실시된 실험에서 강동교의 저질은 0.7 mg/L의 DO가 소비된 것에 비하여 둔치2호교는 1.3 mg/L로 용

$$SOD(g/m^2 \cdot d) = \text{용존산소감소율}(mg/L \cdot hr) \times \text{직상수 부피}(L) \times \text{반응조 단면적}^{-1}(cm^{-2}) \times 240 \quad (1-1)$$

SOD량 계산은 위의 식 1-1을 이용하여 산정된 강동교 지점의 SOD는 0.62(g/m<sup>2</sup>·d), 둔치2호교 지점은 1.12(g/m<sup>2</sup>·d)로 각각 나타났다. Table 1의 SOD 기준값 분류에서 강동교 지점은 모래하상수준을 나타내었고 둔치교 지점은 하구빨에 해당하였다. 이는 서낙동강 본류는 비교적 양호한 저질 환경을 나타내지만 조만강 유역 하류부는 수질은 많이 개선되었으나 저질은 다소 오염이 되었

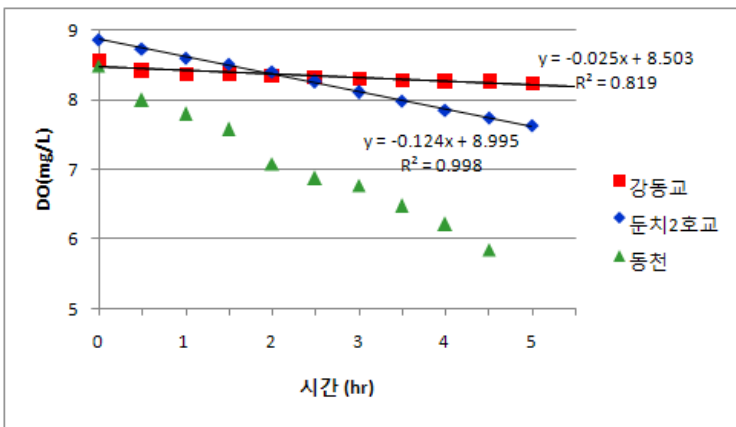


Fig. 4. Consumption rate of DO by sediment in West-Nakdong River and Joman stream.

Table 1. Some Sediment Oxygen Demand Values

| 바닥 형태와 위치 | SOD(g O <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> -day) @20℃ |      |
|-----------|---|------|
|           | 범위  | 평균   |
| 도시하수 유입구  | 2~10.0  | 4    |
| 도시하수 하류부  | 1~2   | 1.5  |
| 하구빨       | 1~2   | 1.5  |
| 모래 하상     | 0.2~1.0   | 0.5  |
| 무기질 하상    | 0.05~0.1  | 0.07 |

Table 2. The Characteristics of sediment in Wesr-Nakdong River

(단위 : mg/kg)

| 하천명      | 지 점 명 | pH  | Cu    | Cd    | Pb   | Zn     | Mn     | As    | Hg     | Cr+6 | COD     | 유기물<br>함량<br>(%) |
|----------|-------|-----|-------|-------|------|--------|--------|-------|--------|------|---------|------------------|
| 대전천      | 화명교   | 7.0 | 0.451 | 0.037 | 1.23 | 6.572  | 34.592 | 0.049 | 0.0016 | 0.00 | 8034.1  | 1.5              |
| 낙동강      | 물금    | 7.3 | 1.879 | 0.049 | 2.56 | 6.792  | 50.251 | 0.069 | 0.0039 | 0.00 | 8931.5  | 1.9              |
| 서낙<br>동강 | 강동교   | 7.7 | 3.120 | 0.044 | 5.24 | 31.817 | 91.977 | 0.105 | 0.0063 | 0.00 | 14959.9 | 3.6              |
|          | 조만교   | 7.6 | 3.856 | 0.043 | 7.64 | 9.412  | 182.81 | 0.190 | 0.0149 | 0.00 | 15265.2 | 4.3              |

다고 볼 수 있다. 대표적인 도심하천인 동천 자료에 비교해 보았을때 서낙동강과 조만강은 동천 등에 비해서는 양호한 저질로 평가할 수 있을 것이다.

저질의 일반적인 상태를 알아보기 위하여 서낙동강과 인근 지역의 저질의 유기물 함량과 중금속 분석을 한 결과 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 조만강(조만교)가 서낙동강 본류(강동교) 지점에 비해 높은 유기물 함량과 중금속 오염도를 보이고 있으며 육안관찰에서도 강동교 지점은 사질 70% 니질이 30% 정도 섞인 황갈색을 띄었고 조만교 지점은 사질이 30%, 니질이 70% 정도의 검은 색깔을 띄었다.

**영양염 용출 배양실험**

서낙동강 강동교와 조만교 둔치2호교 지점을 대상으로 저질을 교란되지 않게 채취하여 실험실로 즉시 운반하여 용출실험을 하였다. 저질의 실험구는 호기조건과 빈산소 조건 2가지로 구분하였고 20℃, 30℃에서 각각 용출량을 구하였다.

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 용출**

서낙동강 강동교와 조만교 둔치2호교의 채취한 저질의 용출 배양 실험에서 시간에 따른 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 농도 변화는 Fig. 5와 같다. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 용출은 20℃ 조건일때 강동교와 둔치2호교 모두 값이 줄어들거나 큰 변화가 없게 나타났으며 30℃ 이상 일 때 용출량이 크게 증가하였다. 특히 30℃ 빈산소 상태에서 48시간이 지나면 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 용출이 지속적으로 크게 증가하였다.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 용출**

서낙동강 강동교와 조만교 둔치2호교의 채취한 저질의 용출 배양 실험에서 시간에 따른 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 농도 변화는 Fig. 6과 같다. 강동교 지점에서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 용출은 시간이 지남에 따라 증가하였으나 온도 변화에 따라 그 변화는 크지 않았다. 둔치2호교의 경우 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의가 시간이 지남에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났고 온도나 호기, 빈산소 여부에 따라 큰 차이는 나타나지 않았다.

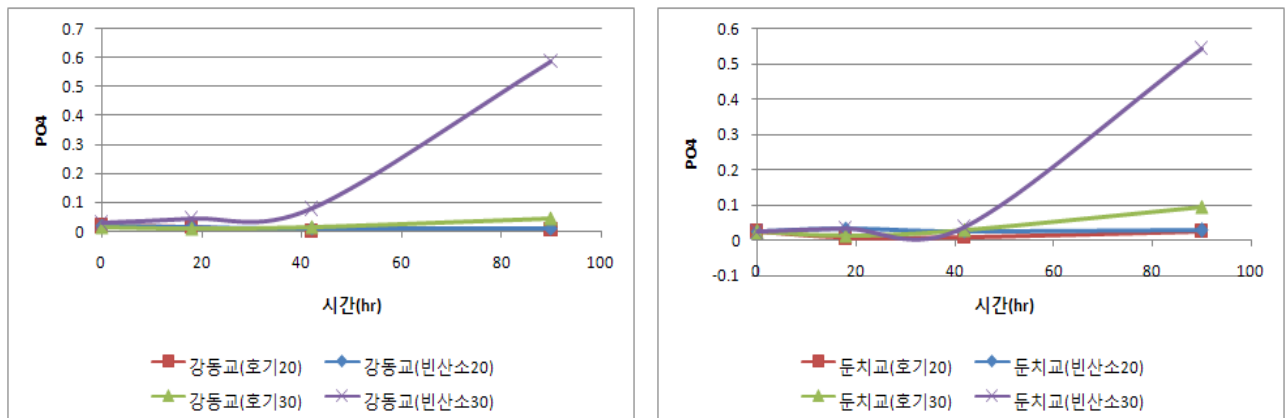


Fig. 5. Phosphate release from sediment at oxic and hypoxic condition at West-Nakdong River and Joman Stream.



**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 용출**

서낙동강 강동교와 조만강 둔치2호교의 채취한 저질의 용출 배양 실험에서 시간에 따른 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도 변화는 Fig. 7과 같다. 강동교 지점에서 20℃ 조건일때는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 점차 줄어들었으며 30℃ 일때는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 급격히 감소하였으며 빈산소 상태일때 더욱 감소폭이 증가하였다. 둔치2호교의 경우 온도에 따라 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 감소하는 경향이 나타났으며 강동교와 달리 20℃일때에도 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 저감은 일정하게 지속적으로 진행되었다.

**고찰 : 서낙동강 수질과 저질의 영향**

**SOD**

서낙동강 강동교의 SOD를 측정된 결과 모래하상 수준

의 저질의 상태를 나타내었고 조만강 둔치2호교 지점의 저질의 SOD는 그 보다 조금 더 오염된 수준을 나타내었다. 이는 둔치2호교 지점이 녹산수문과 근접하여 있어 정체가 심하고 조만강 유역으로부터 유입된 저질층이 많이 쌓여 산소소비에 영향을 주는 것으로 판단된다. 입도조성 또한 둔치2호교 지점이 니질에 더욱 가깝고 색깔도 더욱 검은 것으로 보아 저질이 더욱 오염되고 무기영양염의 용출에 더욱 기여하고 있을 것이다.

**저질의 영양염류**

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 온도가 증가할수록 용출량이 증가하고 특히 고수온(30℃) 빈산소 조건에서 지수적함수적으로 용출된다. 따라서 여름철 고온수기 야간의 심층의 빈산소 조건에서 저질에서 많은 양의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>가 용출될 가능성이 높다.

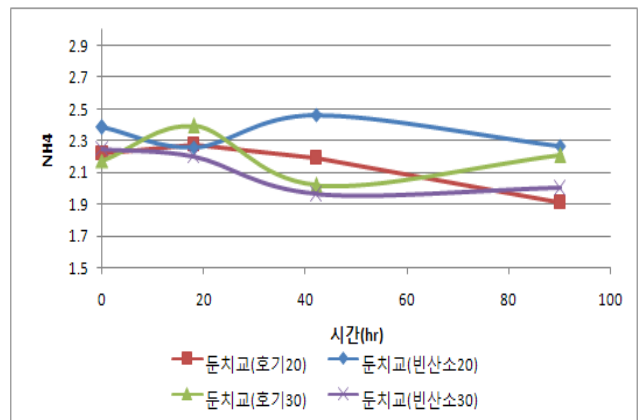
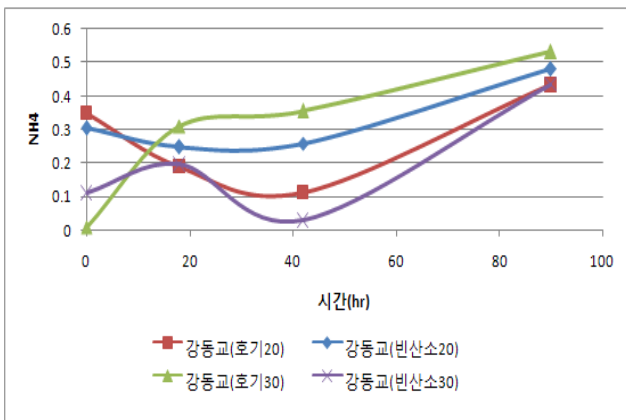


Fig. 6. Ammonium release from sediment at oxic and hypoxic condition at West-Nakdong River and Joman Stream.

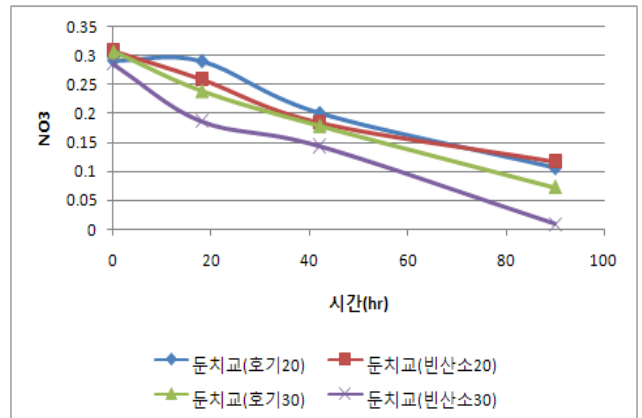
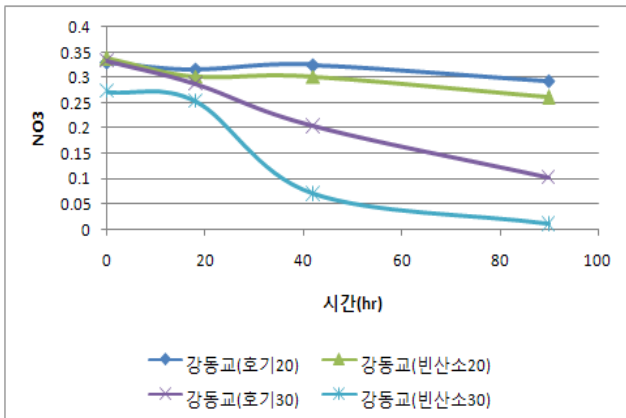


Fig. 7. Nitrate release from sediment at oxic and hypoxic condition at West-Nakdong River and Joman Stream.

강동교 지점에서  $\text{NH}_4^+$  와  $\text{NO}_3^-$ 의 용출량은 역상관관계를 가졌으며 저질에서 용출되는  $\text{NH}_4^+$ 의 양이 많을수록  $\text{NO}_3^-$ 는 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 온도가 높을수록 빈산소 조건일수록  $\text{NH}_4^+$ 의 용출량과  $\text{NO}_3^-$  감소량은 증가하였다. 이는 온도의 증가에 따라 저질 표면의 질화세균의 영향으로  $\text{NO}_3^-$ 가  $\text{NH}_4^+$ 로 전환되었을 것으로 추정된다.

하지만 둔치2호교 지점은  $\text{NO}_3^-$ 의는 온도와 시간에 따라 직선적으로 감소하였으나  $\text{NH}_4^+$ 는 큰 변화없이 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 둔치2호교 지점의 저질은 높은  $\text{NH}_4^+$  농도를 가지고 있으며 온도에 따른  $\text{NH}_4^+$ 가 용출되지만 그와 동시에 탈기가 진행되어 수중의 암모니아 농도를 낮춘 것으로 판단된다.

### 서낙동강의 수질과 저질 영양염의 관계

서낙동강의 과거 5년간의 자료를 검토해 보았을 때 일반적으로 조류의 성장이 많은 때는 동절기이며 특히 2,3월에  $\text{Chl-a}$ 가  $100 \text{ mg/m}^3$  이상의 농도를 나타내며 규조류가 우점되어 나타났다. 동절기 2,3월은 갈수기이며 농업 용수 저장을 위해 수문의 개폐가 적어져 체류시간이 증가하는 요인도 있지만 온도변화에 의한 대순환이 일어나는 시기로 저질의 영양염류가 상승하여 조류성장에 영향을 미칠 수도 있을 것이다. 이 시기는 수온이 낮아 저질에 의해 용출된 영양염류의 영향은 영향이 적을 것으로 판단된다.

그러나 하절기는 높은 수온으로 인해 실험에서 본 바와 같이 저질의  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  등의 용출가능성이 높다. 아래층은 상층에 비해 빈산소상태를 유지하므로 영양염류의 용출이 용이하다. 2010년 하절기 녹조류의 대번성(bloom)을 이루었던 강동교 지점은 평소에 비해  $\text{PO}_4^{3-}$  농도가 높게 나타났으며, 조류사멸 이후  $\text{PO}_4^{3-}$  농도가 급격히 상승하는 패턴을 보여주는 것으로 보아 고수온기에는 외부오염부하 뿐만 아니라 저질에서 유발되는 영양염류의 영향도 매우 큰 것으로 판단된다. 특히 하절기 상층의  $\text{PO}_4^{3-}$ 는 작으나 하층의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 상층에 비해 높게 유지되어 하층의  $\text{PO}_4^{3-}$  저질에서 유입된  $\text{PO}_4^{3-}$ 가 조류로 섭취됨을 알 수 있었다.

둔치2호교 지점은 강동교에 비해 하절기 조류의 발생량과 발생빈도가 높았으며 하류의 특성상 체류시간이 길고 조만강의 오염부하가 더 높은 영향과 함께 강동교에 비해 저질에 의한 영양염류의 영향도 더욱 클 것으로 판단된다.

## 결론

서낙동강의 저질의 영양염류가 수질에 미치는 영향을 알아보기 위해 강동교와 둔치2호교의 저질을 채취하여 산소소모율(SOD)과 영양염 용출실험을 실시한 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1. 강동교의 SOD는  $0.62(\text{g/m}^2\cdot\text{d})$ , 둔치2호교 지점은  $1.12(\text{g/m}^2\cdot\text{d})$ 로 각각 나타나 둔치2호교 지점이 강동교에 비해 더 높은 산소소모율을 나타내었다. 강동교 지점은 모래하상수준을 나타내었고 둔치2호교 지점의 SOD는 하구 뻘에 해당하였으며 동천 등의 오염하천에 비해서는 양호한 하상상태를 보였다.
2. 강동교에서 저질을 채취하여 빈산소상태와 호기상태로 구분하여  $20^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ 에서 영양염 용출실험을 한 결과  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 용출은 주로  $30^\circ\text{C}$ 에서 지수적으로 용출되어 온도에 관한 함수였으며  $\text{NH}_4^+$ 는 시간이 지남에 따라 직선적으로 용출되었으며  $\text{NO}_3^-$ 는 암모니아와 역상관관계를 나타내었다. 특히 온도가 높을수록 빈산소 조건일수록  $\text{NH}_4^+$ 의 용출량과  $\text{NO}_3^-$  감소량은 증가하였다.
3. 둔치2호교에서는 영양염 용출실험을 한 결과  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 용출은 주로  $30^\circ\text{C}$ 에서 지수적으로 용출되어 온도에 관한 함수였으며  $\text{NO}_3^-$ 는 시간이 지남에 따라 직선적으로 감소하였고  $\text{NH}_4^+$ 는 용출이 됨과 동시에 탈기되어 농도변화가 크지 않았다.
4. 저질의 영양염류는 동절기에 비해 하절기 고온수기에 더 많은 용출을 할 것이다. 서낙동강 본류(강동교)에 비해 조만강(둔치2호교)의 산소소모량이 많아 빈산소상태가 유지될 가능성이 높게 되어 강동교에 비해 저질의 영양염류 용출이 더 많을 것으로 판단된다.
5. 고수온기에는 아래층은 상층에 비해 빈산소상태를 유지하므로 영양염류의 용출이 용이하다. 특히 하절기 상층의  $\text{PO}_4^{3-}$ 는 작으나 하층의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는 상층에 비해 높게 유지되어 하층의  $\text{PO}_4^{3-}$  저질에서 유입된  $\text{PO}_4^{3-}$ 가 조류로 섭취됨을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 임지혁, 충주호 퇴적물에서의 SOD와 영양염 용출 특성, 한국하천호수학회, 2010, 임지혁
2. 최선호, 저질퇴적층의 산소소모량(SOD) 추정에 관한 STELLA 모델, 인제대학교 석사학위논문(2004).

3. 이태희, 이동섭, 서낙동강 하구에서 퇴적물과 강물 경계면을 통한 질산염의 플럭스, 해양극지연구, Vol26(4), (2004).
4. 정하영, 조경제, 낙동강 하류 수계에서 저질퇴적층의 SOD와 영양염 용출, 한국하천호수학회, Vol36(3), (2003).
5. 정하영, 조경제, 낙동강 하류 수계에서 저층수 및 저질퇴적층의 환경, 한국하천호수학회, Vol36(3), (2003).
6. 오중민, 기흥저수지 퇴적물과 수층 경계에서의 오염물질 특성에 관한 연구, 한국하천호수학회(2002).
7. 박동규, 남해연안 해양퇴적물의 저질산소요구량과 영양염류 용출, 한국해양학회(1995).
8. Measurements of Sediment Oxygen Demand Characteristics of the Upper Illinois Waterway (1974, Illinois state water survey)
9. 환경부, 수질오염공정시험기준(2012).
10. 최종욱 등, 해수도수에 따른 동천 수질개선 효과 모의 분석, 부산시보건환경연구원보, 제18-1권, pp.110~111(2010).
11. 김창모, 하천 유기퇴적물 오염현황 및 특성연구, 한양대학교 석사학위 논문, pp.14~18(1999).
12. Thomann, R. V. and Mueller, J. A., Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, HAPPER & ROW PUBLISHERS, New York, p.292(1987).