

자연 하천의 생태학적 중요 지점으로서 지표수-지하수 혼합대의 생지화학적 기작

김 영 주* / 강 호 정**⁺

Biogeochemical Reactions in Hyporheic Zone as an Ecological Hotspot in Natural Streams

Young Joo Kim* / Hojeong Kang**⁺

요약 : 지표수-지하수 혼합대는 지표수와 지하수의 수리적 교환이 일어나는 하상의 간극수 지역으로 모든 자연 하천에 존재한다. 이 지역은 그동안 다른 특성으로 분리되었던 지표수와 지하수의 전이대로 다양한 미생물이 서식하고 있으며, 하변과는 또 다른 생지화학적인 기작이 일어날 것으로 추정된다. 지금까지의 연구는 미미하지만, 지표수-지하수 혼합대를 고려한 하천 생태 연구는 하천 전체의 생지화학적 기작을 이해하는데 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 본 연구 대상 지역은 내성천(경상북도 예천군 고평교 하류 구간)으로 이 하천은 사질 하상이며, 자연이 그대로 보존되어있다고 평가 받는 자연 직할 하천이다. 토양시료는 하변 달뿌리풀(*Phragmites japonica*) 식생지, 나지, 수변 혼합대와 사주 혼합대 하강류(downwelling), 상승류(upwelling) 지역에서 깊이 별로 채취하여 수분함량, pH 및 용존유기탄소와 같은 토양 이화학적 분석과 체외 미생물 효소(β -glucosidase, N-acetylglucosaminidase, phosphatase and arylsulfatase) 활성도, 미생물 군집구조(eubacteria, denitrifying bacteria)의 특성을 알아보았다. 실험 결과 수변 및 사주 지표수-지하수 혼합대 토양이 많은 수분을 함유하고 있었고, 수분함량과 용존 유기탄소는 양의 상관관계를 보였으며, 체외 미생물 효소 활성도는 용존유기탄소와 양의 상관관계를 보였다. 진정세균 군집구조 또한 수변 및 사주의 지표수-지하수 혼합대에서 독특한 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 지표수-지하수 혼합대를 통해 일어나는 하천의 생지화학적인 순환 전체를 이해하기 위한 기반을 제공한다.

핵심용어 : 지표수-지하수 혼합대, 미생물 특성, 체외효소, T-RFLP

Abstract : Hyporheic zone is an area where hydraulic exchanges occur between surface water and ground water. Such transient area is anticipated to facilitate diverse biogeochemical reactions by providing habitats for various microorganism. However, only a few data are available about microbial properties in hyporheic zone, which would be important in better understanding of biogeochemical reactions in whole streams. The study site is Naesung stream, located in the north Kyoung-Sang Province, of which sediment is sandy with little anthropogenic impacts. Soil samples were collected from a transect placed perpendicular to stream flow. The transect includes upland fringe area dominated by *Phragmites japonica*, bare soil, and soil adjacent to water. In addition, soil samples were also collected from downwelling and upwelling areas in hyporheic zone within the main channel. Soils were collected from 3 depth in each area, and water content, pH, and DOC were measured. Various microbial properties including extracellular enzyme activities (β -glucosidase, N-acetylglucosaminidase, phosphatase and arylsulfatase), and microbial community structure using T-RFLP were also determined. The results exhibited a positive correlation between water content and DOC, and between extracellular enzyme activities and DOC. Distinctive patterns were observed in soils adjacent to water and hyporheic zone compared with other soils. Overall results of study provided basic information

+ Corresponding author : hj_kang@yonsei.ac.kr

* 연세대학교 사회환경시스템 공학부 토목환경공학과 석사과정

** 연세대학교 사회환경시스템 공학부 토목환경공학과 조교수

about microbial properties of hyporheic zone, which appeared to be discernable from other locations in the stream corridor.

Keywords : Hyporheic zone, microbial properties, extracellular enzymes, T-RFLP

1. 서 론

하천을 독립적인 수체가 아닌 주변 환경과 역동적인 상호작용을 하는 시스템으로 보기 시작하면서 하천 생태는 경관의 관점에서 연구되어 왔다. 대표적으로 하변 완충대(Riparian Buffer Zone)에 관한 연구는 육지와 수 생태계의 수평적 연결성에 초점을 두고 있다. 하변은 육상과 수체의 생지화학적 기작의 중간 전이대(ecotone)로 식생의 천이와 영양물질의 활발한 교환이 일어나기 때문에 하천 생태계를 유지하기 위해 중요한 지역으로 주목 받고 있다(Gregory 등, 1991).

또한, 실제 하천의 수체는 수평적 상호작용뿐만 아니라, 수직적으로도 광대한 범람원 대수층과 연결되어 있다(Stanford 와 Ward, 1988). 따라서 지표수와 지하수가 혼합되는 하상 간극수 지역에는 다양한 미생물이 서식하고 있으며, 하변과는 또 다른 생지화학적 기작이 일어날 것으로 추정된다. 지금까지 이에 대한 실제적인 연구는 미미하지만, 하상 간극수 지역을 고려한 하천 생태 연구는 하천생태 전체의 생지화학적 기작을 이해하기 위한 하나의 새로운 연구 분야로 부각되고 있다.

지표수-지하수 혼합대(hyporheic zone)은 하상의 간극수 지역에서 하천과 지하수가 만나는 지역을 지칭한다. 이 지역은 그 동안 다른 특성으로 분리되어 생각하던 지표수와 지하수의 전이대로 실제 수직적 연결로 인한 고유한 생지화학적 특징이 나타난다. 지표수-지하수 혼합대는 최초로 독일의 하천학자 Orghidan(1959)에 의해 하나의 구분되는 지역으로 정의되었으며, Schwoerbel (1961a, 1961b)에 의해서 현대의 생태학적인 접근이 시도되었다.

하천 생태계에서 지표수-지하수 혼합대의 중요한 생태적 기능은 하천의 지형적인 특성에 의해 나타나는 수리적 흐름과 그로 인한 하상의 생지화

학적인 순환에 의해 조절된다(Brunke 와 Gonser, 1997). 하천에서의 흐름은 수로를 따라 움직이는 것에 국한되지 않으며, 하변과 하상의 퇴적물과 토양으로도 확장된다. 이를 하상 간극수 흐름(Hyporheic Flow)이라 하며, 이로 인해 지표수와 지하수의 교환이 일어난다. 하상간극수 흐름은 전이대를 형성하여 높은 생물 다양성을 보이는 수생동물의 서식지인 ‘hyporheal’를 유지한다(Schwoerbel, 1961a; 1961b). 또한 지표수와 지하수의 교환은 지표수로부터 용존 산소와 영양 염류의 이동뿐만 아니라 지하수로부터 열에너지 및 무기염류의 공급을 유도하면서 미생물의 대사작용으로 인한 높은 1차 생산성과 물질순환을 야기한다(Franken 등, 2001).(그림 1)

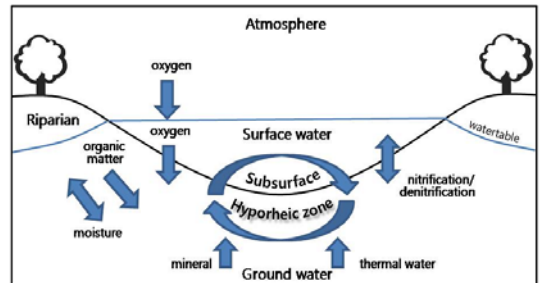


그림 1. 지표수-지하수 혼합대와 주변 생태계의 상호작용

이와 같이 지표수-지하수 혼합대의 생태적 중요성이 보고되었음에도 불구하고 국내외로 연구가 부족한 이유는 하천간극수역과 그 경계에서 일어나는 반응이 지형과 기후의 영향으로 빠르게 변화하며, 지표수와 지하수의 혼합 모델을 적용하기 힘들기 때문이다. 그러나 지표수-지하수 혼합대의 특징을 명확히 파악하고 이를 통한 연구방법론을 제시하는 것은 하천 생태의 전반적인 이해를 위해 무엇보다 시급히 해결해야 할 과제이다.

본 연구에서는 겨울철 국내에 존재하는 사질

자연하천의 하변 식생지, 나지 지역, 수변 혼합대, 사주 혼합대의 하강류(downwelling), 상승류(upwelling) 지역에서 각각 토양을 채취 하였다. 수변 및 사주 혼합대는 수로와 직접적으로 연결되어있음과 동시에 겨울철 이억하천의 특성상 지하수의 영향을 받을 것으로 예상되는 지역이며, 사주 혼합대는 지하 대수층과 접하면서 종적인 수로의 흐름을 따라 유입되는 지표수의 영향으로 사주 두부에서는 지표수가 유입되는 하강류(downwelling)가 발생하고, 사주 미부에서는 지표수와 지하수의 혼합수가 유출되는 상승류(upwelling)가 발생한다. 연구의 목적은 이와 같은 특징적인 지역에서 토양을 채취하여 기본적인 수화학적 및 분자생물학적 분석을 수행함으로써 지표수-지하수 혼합대의 생지화학적인 특징에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역 및 시료 채취

연구대상지역은 경상북도 봉화군에서 발원하여 경상북도 예천군 용궁면에서 낙동강 상류 우안으로 합류되는 내성천이다. 내성천의 유역면적은 1,815km²이고, 하천연장은 106km이며, 내성천은 자연의 상태를 그대로 보존하고 있다고 평가 받는 자연 직할 하천으로 하상토 입경은 0.062~2.0mm 사이의 모래가 80%로 구성된 사질하천이다.(Suh 등, 1996)

토양시료는 2009년 1월 내성천 고평교 하류 구간 하변 달뿌리풀 식생지, 나지, 수변 혼합대와 사주 혼합대의 하강류(downwelling), 상승류(upwelling) 지역에서 채취하였으며, 각각 직경 4cm 의 금속 코어를 이용하여 깊이 0~10cm, 10~20cm, 20~30cm 에 해당하는 토양을 채취한 후 밀봉 냉장상태로 실험실로 운반하였다.

2.2 토양이화학적 분석

수분 함량의 경우 105 °C에서 24시간 건조하

여 산정하였으며, 유기물 함량의 경우 LOI (600 °C, 24h)를 이용하였다. pH는 토양과 증류수를 1:2로 혼합하여 만든 슬러리를 원심분리 후, 상등액을 취하여 pH meter (Orion 3Star, Thermo)로 측정하였다. 용존유기탄소 (DOC: Dissolved organic carbon)는 토양 2 g과 증류수 15 ml를 혼합한 슬러리를 0.45 µm 필터로 여과한 후, 무기탄소를 제거하기 위해 시료에 산을 첨가하여 Shimadzu-TOC 분석기 (TOC 5000A, Shimadzu)로 분석하였다.

2.3 체외 미생물 효소 활성도

체외 미생물 효소 활성도는 유기물을 분해하는 효소의 활성을 나타내는 인자로 미생물의 정량 없이 토양 미생물의 유기물 분해 능력을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 토양 1g에 체외 미생물 효소 중 β-glucosidase(cellulose를 glucose로 분해), phosphatase(유기인을 PO₄³⁻로 분해), N-acetylglucosaminidase(chitin을 N-acetylglucosamine으로 분해), arylsulfatase(유기황을 SO₄²⁻로 분해) 4가지 형태의 기질을 5ml 주입하여 60분 동안 혼합 배양한 후 원심분리하여 효소의 유기물 분해반응을 정지시키고 효소에 의해 기질이 이용되는 정도를 fluorometer (Fluo Star Optima Microplate reader, BMG Labtech: emission 460 nm/excitation 355 nm)를 이용하여 측정하였다. 체외효소 활성도는 MUF-free (Methylumbelliferon)를 이용하여 형광 보정한 뒤 nmol g⁻¹ min⁻¹로 나타내었다.

2.4 미생물 군집구조

본 실험에서는 T-RFLP(Terminal restriction fragment length polymorphism) 방법을 이용하여 각 시료의 미생물 군집 구조 분석을 수행하였다. 특히, 토양 내 일반적인 미생물의 군집 구조를 살펴 볼 수 있는 진정세균(eubacteria)과 하천변에서 질소 제거에 주요 역할을 담당하는 탈질세균(Denitrifying bacteria)의 군집을 분석하였다.

진정세균의 경우 16S rRNA gene을 이용하였으며, 탈질 세균은 탈질 과정 중 첫 과정에 관여하는 아질산염 환원효소의 유전자인 nirS gene을 분석하였다.

Genomic DNA isolation kit을 사용하여 DNA를 추출 한 후, 각각의 고유한 primer set을 이용하여 PCR을 수행하였다(PTC-100, MJ Research, Waltham, MA, USA). 이 때, T-RFLP 분석을 위해 형광물질인 6'-FAM (6-carboxyfluorescein)을 표지하였다. T-RFLP 분석을 위해서는 증폭된 기능성 유전자의 PCR 산물을 DNA purification kit를 이용하여 정제, 농축하고 Hha I 제한효소 (Promega Co.)를 이용하여 절단하여 반응이 끝난 DNA 절편을 에탄올 침전법으로 농축, 정제한 후 Automatic Sequencer로 T-RF pattern을 획득하였다. 획득된 T-RF pattern을 토대로 PC-ORD software 통계처리를 통해 토양에 분포하는 생물 군집의 다양성을 대변하는 다양성 지수를 산출하고, nonmetric multidimensional scaling ordination method를 이용하여 시료 별 세균 군집구조의 차이를 분석하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 토양 이화학적 특성

채취한 토양 시료의 평균 수분 함량은 달뿌리풀 식생지와 나지 지역에서 각각 4.46%(±0.63), 2.26%(±0.32)로 낮게 나타났으며, 수변 혼합대와 사주 혼합대 상승류 및 하강류 지역에서는 15.74%(±5.80), 19.54%(±1.30), 16.17%(±2.85)로 수체에 가까운 지역에서 보다 높은 값이 측정되었다. 또한 모든 지역에서 깊은 토양으로 갈수록 수분함량이 증가하는 경향을 보였다.(그림 2) 이는 지하에 존재하는 범람원 대수층의 영향으로 고려되며, 달뿌리풀 식생지의 경우 지하수위가 낮음에도 불구하고 나지보다 높은 함수율을 보이는 것은 식생 뿌리의 삼투압으로 인한 수분 흡수 현

상으로 사료된다.

용존유기탄소는 수분함량과 비슷한 경향을 나타내지만, 특징적으로 달뿌리풀 식생지 20~30cm에서 높은 값을 보이는 것은 식생 뿌리에서 유래한 탄소원이 측정 결과에 영향을 주었음을 의미한다. pH는 전체적으로 6.2~7.2로 중성의 상태를 유지하였다.

3.2 체외 미생물 효소 활성도

체외 미생물 활성도는 유기물을 분해하는 효소의 활성으로 하변의 식생 활동의 부산물로 공급되는 탄소 기반 물질과 하천수로부터 유입되는 영양물질의 영향을 받는다(de la Paz Jimenez, 2002). 연구결과를 살펴보면, 지표수로부터 공급받는 영양 염류와 지표수-지하수 혼합대로부터 공급받는 탄소기반 유기물을 모두 접하고 있다고 보이는 수변 혼합대와 사주 혼합대 하강류 지역이 가장 높은 미생물 활성도를 나타내었다(그림 3) (Jones 와 Holmes, 1996). 또한 달뿌리풀 식생지 20~30cm에서 높은 미생물 활성도를 보이는 것은, 식생의 뿌리가 탄소 및 수분 공급과 같이 미생물이 활동하기 적합한 환경을 제공함으로써 나타나는 현상으로 사료된다.

3.3 미생물 군집구조

진정세균(eubacteria)과 기능성 세균군집인 탈질세균 (denitrifying bacteria)의 군집구조를 분석한 결과 평균 다양도 지수는 각각 3.23(±0.63)과 3.56(±0.39)로 나타났다.(표 1)

상대적으로 낮은 값을 보인 사주 혼합대 상승류 0~10cm 지역과 하강류 10~20cm 지역을 제외한 곳에서 비슷한 진정세균 군집 다양도가 나타났으나(표 1), NMS(nonmetric multidimensional scaling ordination) 분석 결과 사주 혼합대와 하변이 서로 다른 군집구조를 지니고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.(그림 4) 그러나 지표수-지하수 혼합대의 그룹 중 수변 혼합대 0~10cm와 10~20cm 지역이 사주 혼합대의 군집구조 특성

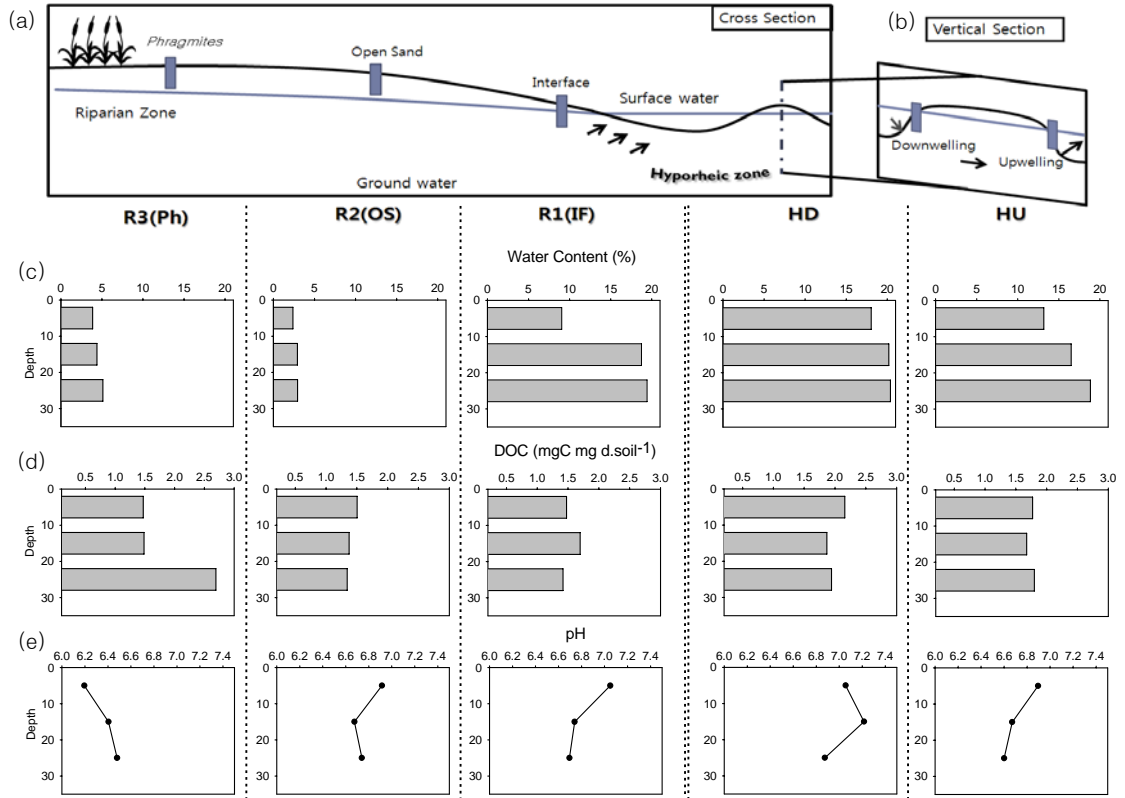


그림 2. (a)내성천 고평교 하류 구간 횡단면 모식도 (b) 수로 종단면 모식도 (c) 토양 깊이에 따른 수분 함량(%) (d) 용존유기탄소량 (e) pH (R3(Ph): 달뿌리풀 식생 지역, R2(OS): 나지 중간 지역, R1(IF): 수변 혼합대, HD: 사주 혼합대 하강류 지역, HU: 사주 혼합대 상승류 지역)

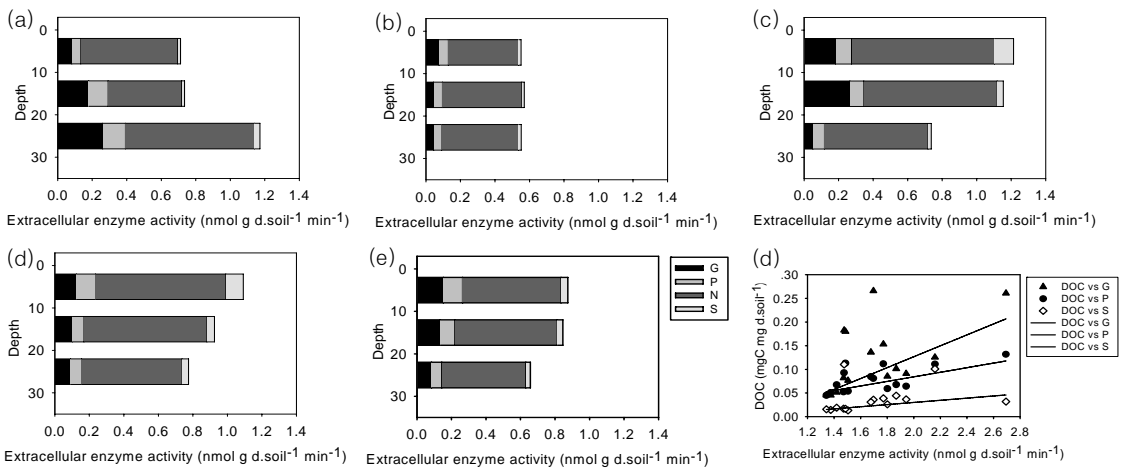


그림 3. 각 지역의 토양 깊이에 따른 미생물 효소 활성도 (a) 달뿌리풀 식생 지역: R3(Ph), (b) 나지 중간 지역: R2(OS), (c) 수변 혼합대: R1(IF), (d) 사주 혼합대 하강류 지역: HD, (e) 사주 혼합대 상승류 지역: HU, (f) 용존유기탄소와 미생물 효소 활성도의 상관관계 도표 (β -glucosidase(G), phosphatase(P), N-acetylglucosaminidase(N), arylsulfatase(S))

표 1. 진정세균(eubacteria)과 탈질세균(denitrifying bacteria) 군집 다양도 지수

	depth	R3(Ph)	R2(Me)	R1(IF)	HD	HU
Eubacteria	0~10cm	2.83	-	3.84	3.51	2.48
	10~20cm	3.54	2.96	3.48	1.47	3.69
	20~30cm	3.52	3.30	3.25	3.68	3.62
Denitrifying bacteria	0~10cm	3.54	-	3.34	3.98	3.54
	10~20cm	3.90	3.24	3.41	2.85	3.87
	20~30cm	3.87	3.45	3.10	4.33	3.45

* Diversity = $-\sum (P_i \cdot \ln(P_i))$ = Shannon`s diversity index
 where P_i = importance probability in element i (element i relativized by row total)

과 비슷한 경향을 보이는데 이는 하천수 뿐만이 아니라 겨울철 낮아지는 지하수위로 인해 형성되는 이득하천의 특성상 지하 대수층과의 교환으로 사주 혼합대와 비슷한 지표수-지하수 혼합대 환경을 지니고 있기 때문으로 사료된다.

한편, 탈질 세균 군집 구조는 다양도 뿐만이 아니라 NMS분석 결과에서도 지역 및 깊이에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다(그림 4). 이와 같은 결과는 본 연구 지역에서의 탈질 세균의 군집 구

조는 지표수-지하수 혼합대라는 환경 외의 다른 인자가 영향을 주고 있음을 시사해 준다.

3.4 상관관계 분석

측정 결과를 토대로 비슷한 경향을 보이는 요소들을 상관관계 분석을 한 결과 용존유기탄소는 수분함량 및 N-acetylglucosaminidase을 제외한 모든 제외미생물 활성도와 유의한 관계가 나타났다.(표 2)

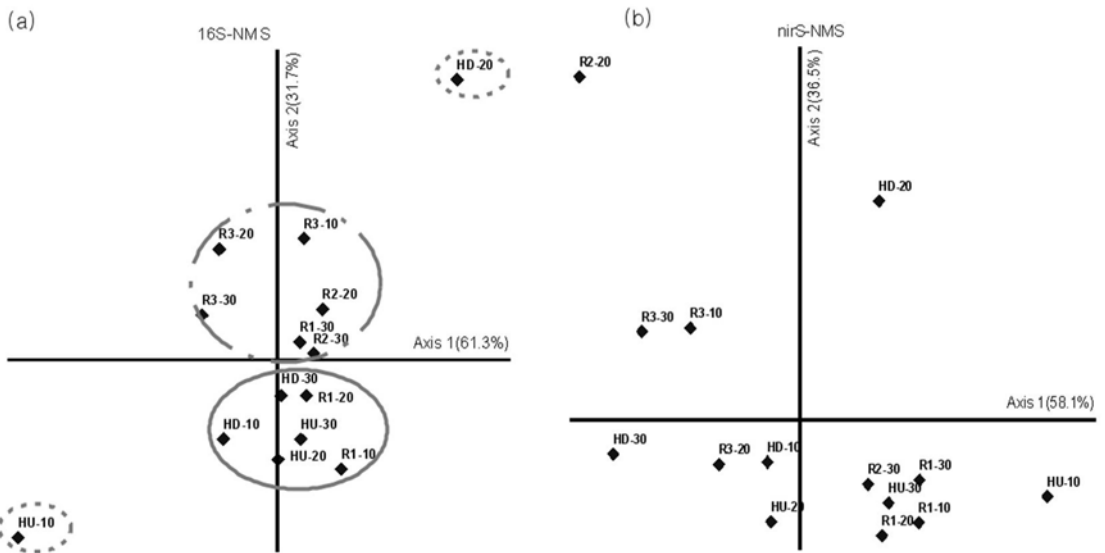


그림 4. 각 지역 깊이에 따른 미생물 군집구조 NMS((nonmetric multidimensional scaling ordination) 분석 (a) 진정세균(eubacteria) (b) 탈질 세균(Denitrifying bacteria) (R3(Ph): 달뿌리풀 식생 지역, R2(OS): 나지 중간 지역, R1(IF): 수변 혼합대, HD: 사주 혼합대 하강류 지역, HU: 사주 혼합대 상승류 지역 / 10: 깊이 0-10cm, 20: 깊이 10-20cm, 30: 깊이 20-30cm)

표 2. 용존유기탄소량(DOC)과 수분함량(WC) 및 체외효소활성도 상관관계(β -glucosidase(G), phosphatase(P), N-acetylglucosaminidase(N), arylsulfatase(S))

Spearman's rho	WC	G	P	N	S
DOC	0.040*	0.037*	0.026*	0.111	0.015*

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

특정적으로 낮은 수분함량에도 높은 용존유기탄소 농도를 보이는 달뿌리풀 식생지 20~30cm 지역을 제외하고 용존유기탄소와 수분함량의 유의한 양의 상관관계($P < 0.05$)는 수분함량이 높은 지역인 사주 혼합대에서 확인되는 높은 용존유기탄소 농도로 더 분명하게 나타난다.(그림 2) 이와 같은 경향은 내성천이 모래 80%에 자갈이 섞인 하상으로 통수능이 크고, 겨울철 하천이 수위가 낮아지면서 지하수가 하천으로 유출되는 이득하천임을 고려할 때(Ha 등, 2006), 하변 식생의 뿌리로부터 지표수-지하수 혼합대를 통해 사주로 탄소가 공급되고 있음을 추정해 볼 수 있다.

또한, 용존유기탄소는 모든 식생의 생명활동이 적어지는 겨울철에 미생물의 탄소 공급원으로서 미생물의 활성을 자극하게 되며, 연구 결과와 같이 미생물 활성도와 용존유기탄소의 농도가 유의한 관계(β -glucosidase, phosphatase, arylsulfatase $P < 0.05$)를 보이는 것을 알 수 있다.(그림 3(d))

4. 결론

본 연구에서는 하변 및 지표수-지하수 혼합대 토양의 기본적인 수화학적 및 분자생물학적 분석을 통하여 하천 생태계에서 중요한 영향을 미칠 것으로 평가되는 지표수-지하수 혼합대의 생지화학적 특성에 대한 기초자료를 제시하였다. 연구 결과를 통해 알아낸 수분함량과 용존 유기탄소, 그리고 미생물 효소 활성의 상관관계와 미생물 군집구조의 특성을 기반으로 지표수-지하수 혼합대를 통해 일어나는 생지화학적인 순환을 밝히는 것은 하천 생태계 전반을 이해하는데 중요한 역할을 할 것이다. 또한, 더 나아가 지표수-지하수 혼합

대에 대한 연구는 이와 같은 중요성을 간과한 하상준설이나 토지이용도 변화, 하천복원에 적용하여 자연형 하천을 건설하는데 큰 역할을 할 수 있음을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 Eco-STAR Project (07-I-2), 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업 (06건설핵심B01) 및 2009년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 (2009-0079549)의 지원을 받아 작성되었습니다.

참고 문헌

1. Brunke, M. & Gonser, T., The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*, Vol. 37, pp. 1-33, 1997.
2. de la Paz Jimenez, M., Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology and fertility of soils*, Vol. 35, pp. 302., 2002.
3. Franken, R. J. M., Storey, R. G. & Williams, D. D., Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream. *Hydrobiologia*, Vol. 444, pp. 183-195, 2001.
4. Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A. & Cummins, K. W., An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*,

- Vol. 41, pp. 540-551, 1991.
5. Ha, K.-C. K., Kyung-Seok ; Koh, Dong-Chan ; Yum, Byoung-Woo ; Lee, Kang-Kun, Time Series Analysis of the Responses of the Groundwater Levels at Multi-depth Wells According to the River Stage Fluctuations. Economic and environmental geology Vol. 39, pp. 269-284, 2006.
 6. Jones, J. B. & Holmes, R. M., Surface-subsurface interactions in stream ecosystems. Trends in Ecology & Evolution, Vol. 11, pp. 239-242, 1996.
 7. Orghidan, T., Ein neuer lebensraum des unterirdischen wassers: Der hyporheische biotop. Archiv für Hydrobiologie Vol. 55, pp. 392-414, 1959.
 8. Schwoerbel, J., Über die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebensraumes. Arch. Hydrobiol. Suppl., Vol. 25, pp. 182-214, 1961a.
 9. Schwoerbel, J., Subterrane Wassermilben (Acari: Hydrachnellae, Porohalacaridae und Stygothrombiidae), ihre Ökologie und Bedeutung für die Abgrenzung eines aquatischen Lebensraumes zwischen Oberfläche und Grundwasser. . Archiv für Hydrobiologie Supplement, Vol. 25, pp. 242-306, 1961b.
 10. Simek, M. & Cooper, J. E., The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. European Journal of Soil Science, Vol. 53, pp. 345-354, 2002.
 11. Stanford, J. A. & Ward, J. V., The hyporheic habitat of river ecosystems. Nature, Vol. 335, pp. 64-66, 1988.
 12. Suh Seung Duk, Kim Hwal Con, Woo Hyo Seop, A study on Estimation by Depth Integrating Method of sediment Dischargc. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 38(1), pp. 90-97, 1996.