

하상재료에 의한 수질변화 특성에 관한 연구

Studies on characteristics of water quality variation by the stream bed materials

홍일*, 이진원**

Hong Il, Lee Jin won

요 지

하천수계는 여러 인자들의 상호작용을 통하여 변화하게 되며, 하천 자정능력에 관한 연구는 이를 중심으로 진행되어 왔다. 여러 환경 요인 중 하상재료는 하천의 조도와 수생태계의 특성을 변화시키게 되며, 유입수의 성상에 따라 수저퇴적물이 쌓이거나, 생물막이 형성되는 매개체 역할을 하게 된다. 특히, 하천의 폭이 좁고 수심이 얇은 개울에서는 하상 퇴적물이 수질에 기여하는 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 국내하천의 경우 하상재료가 주로 모래와 자갈이 주를 이루고 있으며, 수심이 낮아 빛의 투과성이 양호하여 부착조류의 증식 및 하상재료(모래 및 자갈 등)를 기질로 한 생물막 형성 등 하상재료는 하천환경의 변화 및 수질변화가 일어나는데 상당한 기여를 하는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 하천의 하상재료가 설치된 수로를 이용하여 이화학적요소를 조사, 분석함으로써 하상재료를 통한 수질변화 특성을 비교·검토 하였다. 그 결과 하상재료의 입경이 클수록 DO 변화가 더 큰 폭으로 증가하였으며, 수위와 유속의 경우 수위가 낮으면서 유속이 적정수준일 경우 DO 증가가 나타나는 것으로 관측되었다.

하천수가 수로에 의해 순환되면서 유기물 저감속도의 측정결과 초기 흡착, 침전 등의 물리적 작용이 부착조류 증식 등의 생물학적 작용보다 우선되면서 입자성 유기탄소(POC)의 제거속도가 용존성 유기탄소(DOC)의 경우보다 더 빠르고 우선되는 것으로 조사되었다. 영양염류의 경우 부착성조류에 의한 질소 제거능은 실제 질산화작용은 활발히 이루어졌으나 탈질작용에 의한 총질소의 제거는 미비한 것으로 나타났으며, 총인은 입자성유기탄소가 제거되는 것과 유사한 경향을 나타내 제거 기작이 대부분 흡착, 침전에 의한 물리적 자정작용에 기인한 것으로 조사되었다.

또한 하상재료 입경 변화에 따른 수질변화 특성은 기질(하상재료)의 입경이 작을수록 오염물질의 분해능이 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 여러 하천환경 요인 중 하상재료에 의한 하천환경의 다양한 변화는 수질변화 및 자정능력에 큰 영향을 미치게 된다.

핵심용어 : 하상재료, 생물막, 자정작용, 순환수로

1. 서 론

하천은 유하과정에서 오염물질의 희석, 확산, 침전, 흡착 등의 물리적작용, 산화, 환원, 분해, 응집 등의 화학적작용, 및 미생물에 의한 섭취, 산화, 분해 등의 생물학적작용에 의해 자연정화능력을 가진 하나의 시스템으로서 역할을 하게 된다. 그리고 이와 같은 각각의 자정작용은 하천환경요인(지형, 지질, 수심, 유속, 유량, 하상재료), 물리적요인(수온, 조도), 화학적요인(용존산소농도, 유기물, 영양염의 양과 질), 생물학적요인(부착성조류, 저서생물, 식생, 어류의 현재량 및 활동상황 등)에 의한 영향을 받게 된다.¹⁾

* 한국건설기술연구원 수자원연구부-E-mail : hongil93@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 수자원연구부-E-mail : jwlee@kict.re.kr

이와 같이 하천수계는 여러 인자들의 상호작용을 통하여 변화하게 되며, 하천 자정능력에 관한 연구는 이를 중심으로 진행되어 왔다. 여러 환경 요인 중 하상재료는 하천의 조도와 수생태계의 특성을 변화시키게 되며, 유입수의 성상에 따라 수저퇴적물이 쌓이거나, 생물막이 형성되는 매개체 역할을 하게 된다. 특히, 하천의 폭이 좁고 수심이 얇은 개울에서는 하상 퇴적물이 수질에 기여하는 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 국내하천의 경우 하상재료가 주로 모래와 자갈이 주를 이루고 있으며, 수심이 낮아 빛의 투과성이 양호하여 부착조류의 증식²⁾ 및 하상재료(모래 및 자갈 등)를 기질로 한 생물막(Biofilm) 형성 등 하상재료는 하천환경의 변화 및 수질변화가 일어나는데 상당한 기여를 하는 것으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 하천의 하상재료를 이용하여 이화학적요소를 조사, 분석함으로써 하상재료를 통한 수질변화 정도를 비교·검토하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구는 수리조건 변화에 따른 DO농도의 증감폭을 조사하기 위한 방법(CASE I)과 하상재료Size에 따른 수질변화를 조사하기 위한 방법(CASE II)에 적용하기 위한 실험장치 2Set로 실시하였다.

CASE I 을 수행하기 위해 그림 1에 제시된 옥외수로는 실험유량이 위어에서의 낙차로 인한 DO의 증감폭 변화를 막고 아황산나트륨이 일정하게 혼합시키기 위하여 수로 전반부를 막아 저류조를 설치하였으며, 유량의 방류는 저류지 바닥에서 0.1m 높이의 게이트를 만들어 수위를 조절할 수 있도록 장치하였다. 실험장치의 제원은 옥외수로(50m×1.2m×1.8m), 수로의 하상경사는 1/200이며 하상재료는 높이 0.1m로 수로내 하상을 평평하게 포설하여 실험하였다.

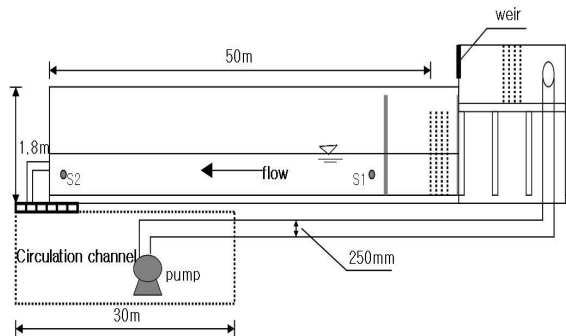


그림 1. 옥외수로 모식도(CASE I)

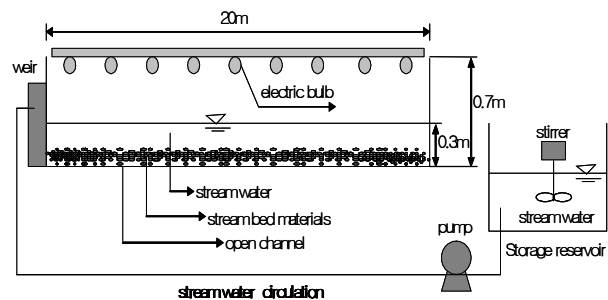


그림 2. 순환식 개수로 모식도(CASE II)

CASE II를 수행하기 위한 장치로 제시된 그림 2의 수리모형도는 저류조의 하천수가 개수로를 통하여 연속적으로 순환할 수 있도록 제작하였으며, 실험장치는 개수로(20m×0.6m×0.7m), 하상재료, 하천수, 투광기, 저류조(2.8m×2.4m×1.6m), 교반기, 펌프(20HP)로 구성되고 순환수는 삼각위어를 통하여 유량을 조절가능하게 하였다.

2.2 실험방법

CASE I 의 경우 각각 직경이 25mm, 70mm 하상재료가 포설된 옥외수로 내에 아황산나트륨과 혼합된 저류조의 물을 서서의 수심변화(3, 4, 5, 6, 7cm)에 따라 방류시키고, 저류조 게이트의 영향

으로부터 DO값이 큰 영향이 없을 것으로 판단되는 2.5m 떨어진 측정지점 S1과 43m뒤인 수로 끝 부분의 측정지점 S2의 DO를 측정하였다.

CASEⅡ의 실험조건 중 투광기의 전구는 조도지속시간이 8hr, 직경이 7mm, 25mm, 70mm 하상재료를 이용하여 높이 0.15m로 수로 내 하도에 포설하였다. 시험수는 곡릉천의 하천수를 이용하여 수로수위 0.3m가 되도록 하였으며, 수로 내 수리조건은 유량 0.352 m³/min, 유속 2.93m/sec, 체류시간 6.8min로 일정하게 유지하였으며 하상재료 입경에 따른 수질변화 특성을 파악하기 위하여 저류조의 하천수를 일정한 시간 간격에 따라 시료를 채취하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 CASE I

수중에 용해되어 있는 용존산소는 주로 대기로부터의 재폭기(reaeration)와 조류의 광합성에 의해 공급되므로 물과 공기와의 접촉면적, 유속 등과 함께 산소를 발생하는 식물의 양 및 활성도와 온도 등이 상호작용하여 결정되며, 계절이나 지역에 따라 큰 변화를 나타낸다³⁾. 본 연구에서는 화학적요인과 생물학적인 요인을 최대한 배제하고, 하천의 물리적 요인에 중점을 두어 하상재료의 입경과 수심 및 유속 변화에 따른 측정구간에서의 DO변화량을 조사하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다.

하상재료 입경이 25mm의 자갈을 포설한 경우보다 70mm를 포설한 경우 유속은 더 느리지만 DO변화 값이 수심 5cm를 제외하고 전체적으로 더 크게 증가하는 것으로 관측되었다. 또한 하상재료 크기가 작은 25mm자갈인 경우 수심 3cm보다 4cm에서 유속26.1cm/sec일 때 DO변화량은 가장 크게 나타났으며 70mm자갈일 때 수심 4cm에서 유속 14.2cm/sec일 때 DO변화량은 가장 크게 증가한 것으로 조사되었다.

표 1. 수심과 유속변화에 따른 DO 변화 추이

Depth(cm)	CASE I -A(Size : 25mm)		CASE I -B(Size : 70mm)	
	Velocity (cm/sec)	DO(mg/l)	Velocity (cm/sec)	DO(mg/l)
3	17.4	0.53 ▲	11.8	1.23 ▲
4	26.1	1.07 ▲	14.2	1.27 ▲
5	31.7	0.91 ▲	20.2	0.56 ▲
6	40.8	0.37 ▲	29.8	0.78 ▲
7	50.8	0.40 ▲	37.9	0.65 ▲

3.2 CASE II

하상재료(모래, 자갈 등) 표면에 부착된 미생물 군은 영양분인 유기물, 질소, 인 등을 호기성조건하에서 섭취해 성장하게 되며 시간이 경과함에 따라 점차 안정화된 생물막(Biofilm)을 형성하게 된다. 형성된 생물막은 생산자인 부착조류, 분해자인 세균류, 소비자인 원생동물류와 수서 곤충류 등 다양한 생물군집이 농축된 생태계로서 군집 간 상호관계를 통해 높은 자정능력을 가지게 된다.

특히 수심이 낮고 흐름이 비교적 빠른 소하천에서는 생물막 군집이 유기물 대사에서 매우 큰 비중을 차지하는데, 부착 미생물 군집은 증식속도가 빠르고 환경조건의 변화에 따라 대사활성의 변화가 크므로 부영양화가 일어난 하천의 생물막은 성장과 탈리를 단기간에 반복하여 현존량의

변화가 큰 것으로 알려져 있다.

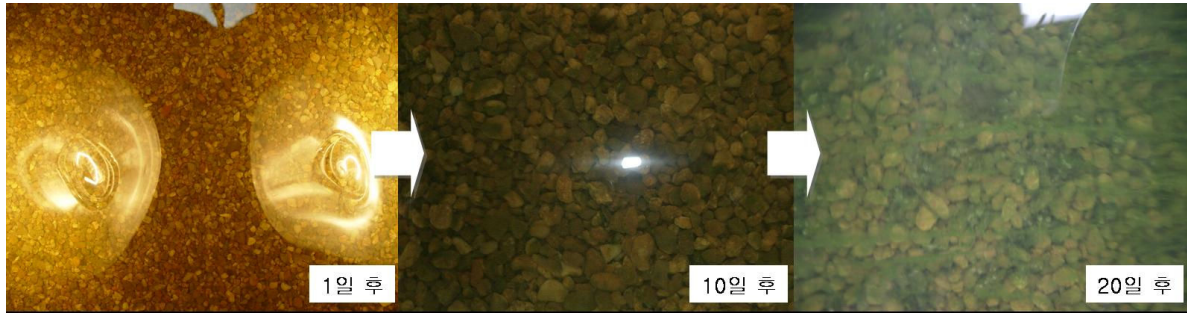


그림 3. 수로 내 하상재료에 부착된 부착조류 증식

본 연구에서는 하상재료를 기질로 하여 형성되는 부착성 조류의 형성과정을 이해하고 그 과정에서 오염물질 제거 능력을 파악하고자 하였다. 부착조류의 생성은 그림 3에서 살펴보면 순환수로 운전 후 8일 경과 후부터 하상재료에 부착조류가 생성되는 것으로 관측되었고, 20일 이상 경과 후에는 실타래 형태의 조류가 발생하는 것으로 조사되었다.

위와 같이 생성되는 부착조류의 생체량 (Biomass)을 시간에 따라 측정함으로써 그림 4에서와 같이 부착조류의 증식속도를 제시하였다.

또한 하상재료를 기질로 하여 형성되는 부착성 미생물은 수중의 유기물 및 영양염류를 이용하여 증식하므로써 수중의 수질변화에 영향을 주게 된다. 수로 내 수질변화 특성을 파악하기 위해 사용된 시험용수의 평균수온은 22℃, DO는 7.8mg/L ~ 8.9mg/L로 평균 96.9%의 포화율을 나타냈으며, pH는 6.9 ~ 7.4로 시험기간 동안 큰 변화 없이 거의 중성에 가까웠다. 측정항목 중 유기물의 경우 광합성 산물의 단위를 탄소단위로 하여 비교적 정확하고 신속히 측정할 수 있기 때문에 총 유기탄소(TOC)를 측정하였다. 그리고 수로 내 수질변화를 보다 세분화하여 파악하고자 입자성 유기탄소(POC)와 용존성 유기탄소(DOC)로 분리하여 측정하였다.

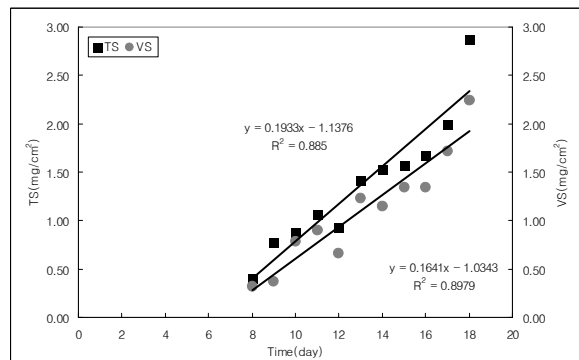


그림 4. 수로 내 부착조류의 증식속도

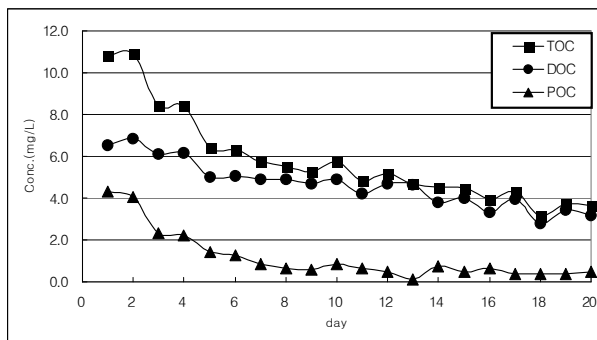


그림 5. 수로 내 유기물 농도 변화

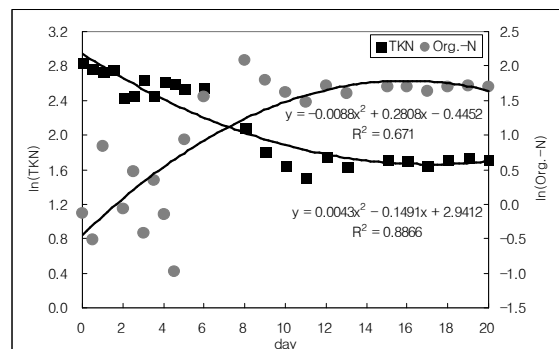


그림 6. 수로 내 TKN, Org.-N 농도 변화

그 결과 그림 5에서와 같이 DOC 농도는 TOC의 80%로 대부분을 차지하였으며, 약 15일 경과 후는 TOC 농도가 안정화되는 것으로 조사되었다. 그리고 유기탄소의 제거속도를 비교한 결과 POC의 제거속도가 DOC의 경우보다 더 빠르고 우선되는 것으로 나타났으며 이는 침전 및 흡착 등 물리적 작용이 부착성조류 증식 등의 생물학적 작용보다 우선되기 때문인 것으로 보인다.

또한 부착조류에 의한 질소의 제거능을 파악하고자 질산화작용과 탈질작용을 조사한 결과 그림 6에서와 같이 TKN(암모니아성 질소+ 유기질소)과 Org.-N의 차로 나타내는 암모니아성 질소의 경우 7일 경과 후 대부분 질산성 질소로 전환되어 질산화 작용이 활발하게 일어난 반면 하상 생물막에 의한 탈질작용은 미비한 것으로 조사되었다.

하상재료 입경 변화에 따른 수질변화 특성은 그래프의 기울기에 의해 저감속도가 결정되며 그 결과 그림 7에서와 같이 7m, 25mm, 70mm 순으로 TOC 저감속도가 큰 것으로 조사되었다. 즉 기질(하상재료)의 입경이 작을수록 오염물질의 분해능이 클 것으로 사료된다.

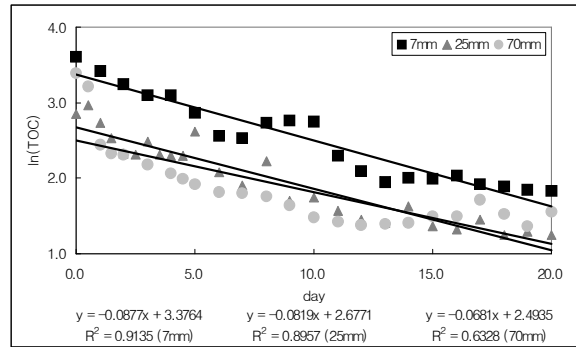


그림 7. 하상재료 입경에 따른 TOC 저감속도

4. 결론

하상재료의 입경이 클수록 DO 변화가 더 큰 폭으로 증가하였으며, 수위와 유속의 경우 수위가 낮으면서 유속이 적정수준일 경우 DO 증가가 나타나는 것으로 조사되었다. 수로 내의 입자성 유기탄소의 제거속도는 입자성 유기탄소 경우보다 더 빠르고 우선되었으며, 질산화 작용은 활발한 반면 탈질작용은 미비한 것으로 나타났다. 그리고 총인의 경우 입자성 유기탄소와 유사한 경향을 나타냈으며, 하상재료의 입경이 작을수록 오염물질의 분해능은 큰 것으로 조사되었다.

이와 같이 여러 하천환경 요인 중 하상재료에 의한 하천환경의 다양한 변화는 수질변화 및 자정능력에 큰 영향을 미치게 된다.

감사의 글

본 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업의 도시관류하천의 유지유량확보 및 자연정화기능향상 기술(과제번호 : 2003-06003-0006-0)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 井上降信(1995). 河床附着生物膜에 의한 河川流下過程의 水質變化. 한국물환경학회 수질개선 시스템 개발에 관한 한-일 심포지움, pp. 217-232
2. 신재기, 조경제(1998). 대청천에서 부착조류의 1차 생산성. 한국육수학회, 제31권 제4호, pp. 294-302
3. 이선경, 심규철, 김재영, 김준민, 장남기(1994). 곡릉천 생태계의 오염부하량과 계절에 따른 자정능의 변화. 한국생태학회, 제17권 제3호, pp. 355-366