

## 단기간 탁수와 유속 변동이 부착돌말류 성장에 미치는 영향

김백호 · 박혜진 · 민한나 · 공동수\* · 황순진†

건국대학교 환경과학과

\*경기대학교 생명과학과

### Short-term Effects of Turbid Water and Flow Rate on the Benthic Diatom Community in an Artificial Channel

Baik-Ho Kim · Hye-Jin Park · Han-Na Min · Dong-Su Kong\* · Soon-Jin Hwang†

Department of Environmental Science, Konkuk University

\*Department of Biological Science, Kyunggi University

(Received 15 September 2011, Revised 28 October 2011, Accepted 30 October 2011)

#### Abstract

Short-term effects of current velocity and turbid water on the benthic diatom community and water quality were examined in artificial channel (20×200×10 cm) with two different experiments. The first and second experiments were consisted of different current velocities such as 1 L/min., and 1, 3, and 6 L/min., respectively. The concentration of turbid water is prepared with loess and fixed at 10 and 20 times of the turbidity of control inflow (10 NTU, LTW), respectively. At experiment 1 (EXP-1), introduction of turbid water increased dissolved oxygen, electric conductivity, pH and turbidity, but there were no differences between low- (100 NTU, MTW) and high-turbid water (200 NTU, HTW). However, experiment 2 (EXP-2) did not change any environmental parameters except dissolved total and inorganic nitrogen like EXP-1. MTW in EXP-1 strongly stimulated the growth of benthic diatom, while both MTW (150 NTU) and HTW (300 NTU) in EXP-2 did not increase or decrease the diatom abundance. Over the study, the dominant species was four, *Aulacoseira ambigua*, *Cyclotella stelligera*, *Aulacoseira granulata* and *Achnanthes minutissima*. In EXP-1, two highest species in abundance, *A. ambigua* and *A. granulata* were highly grown in MTW, while *Achnanthes minutissima* high in HTW adversely. These results indicate that the introduction of turbid water can play an important role in the shift of water quality and benthic diatom community in stream ecosystem, especially inflow of soil water in low current velocity.

**keywords** : Artificial channel, Benthic diatom, Current, Turbid water, Water quality

## 1. 서론

최근 한반도의 기후는 주로 여름철에 집중되었던 몬순성 강우의 발생시기, 빈도, 장소, 강우량 등의 예측 불가능하게 되었다(건설교통부, 2005; 오태석과 문영일, 2009). 게다가 국토의 약 70% 이상이 해발고도가 높고 침수가 어려운 화강암으로 구성되어 있어 강우시 토양침식 및 비옥도 감소는 물론 빠른 유출로 인하여 수자원 손실이 매우 크다(Jung et al., 1998).

집중호우는 유역으로부터 각종 영양물질의 빠른 이동과 고농도 탁수를 동반하기 때문에 하천의 수질이나 생태계를 심하게 교란하며(Ford, 1990; Horne and Goldman, 1994), 수중식물의 광합성(빛 차단)이나 호흡(용존산소 감소)을 감소시키고 입자성 영양물질의 점차적 용해를 통하여 부착조류의 성장을 촉진함으로써 궁극적으로 이들과 먹이관계를

갖는 다른 생물들의 종 다양성 및 현존량을 변화시킨다(Kirk, 1983; Wetzel, 2001).

하천의 자연적 또는 인위적 교란에 대한 수중생물들의 생리-생태학적 변화 또는 반응은 역으로 수환경의 질적 변화를 이해하는데 좋은 지표가 된다(Power et al., 1988; Resh et al., 1988). 다른 생물군에 비하여 부착돌말은 짧은 시간내 수질변화에도 매우 민감하게 반응하기 때문에 수질 평가의 지표생물로 이용되고 있다(Feio et al., 2009; Hwang et al., 2011; Kelly and Whitton, 1995; Ponader and Charles, 2008).

탁수발생은 주로 강우에 의한 하천 유역의 토양침식에 의한 것과 유량 변동은 크지 않지만 토목이나 건설공사에 의한 토지절개 과정에서 일어나는데(황상구와 정기영, 2006), 결국 유속이나 유량이 서로 다른 조건에서 탁수유입은 하천의 돌말군집에 영향을 줄 것으로 예상된다. 특히 유속이 느린 조건에서는 탁수농도가 높을수록 부착돌말 군집의 성장에 부정적 영향을 주지만(윤성애 등, 2011), 집중 호우과 같이 유속과 탁수 농도가 동시에 증가할 경우 하천

† To whom correspondence should be addressed.  
sjhwang@konkuk.ac.kr

생태계 부착돌말 군집에 어떠한 영향을 미치는지 또한 탁수 유입이 멈추고 어느 정도 시간이 경과해야 회복되는지 불분명하다.

국내에서는 탁수발생의 원인(황상구와 정기영, 2006), 수질예측(국립환경과학원, 2006), 탁수조절(정용락 등, 2007), 하천 생물군집에 미치는 영향 - 어류(유삼환 등, 2009), 저서무척추동물(한승철 등, 2007), 식물플랑크톤(박정원 등, 2008; 윤성에 등, 2011) 등 다양한 연구가 시도되어 왔다. 저자들은 집중강우시 발생한 탁수농도를 고려하여 동일한 유속하에서 탁수농도가 부착돌말 군집에 미치는 영향에 대한 연구를 시도하였으나(윤성에 등, 2011), 자연조건에서 집중호우시 유속과 탁수농도는 동시에 변동하기 때문에 이들 요인들의 조합된 조건에서 수질은 물론 부착돌말류 생물량 및 우점종 변화에 대한 연구가 필요하다고 판단하였다.

본 연구는 탁수와 유속이 동시에 변동되는 조건에서 부착돌말 성장 패턴을 파악하기 위하여, 실험실에 인공수로를 설치하고 돌말류 군집 형성을 유도한 다음 단기간 동안 유속과 탁수 농도를 증가시키면서 수질 및 부착돌말의 생물량 및 우점종 등의 변화를 조사하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 인공수로 설치 및 탁수제조

실험에 사용하였던 인공수로는 1차 실험 및 2차 실험 모두 아크릴 재질로 제작하였고 크기(10×300×20 cm)와 형태는 거의 동일하였다(Fig. 1). 실험에 사용된 원수는 부영양 저수지(일감호, 서울) 연안에 설치한 수중 펌프를 이용하여 표층수(~50 cm)를 실내 저류조로 유입하고 중간에 조절밸브를 설치하여 인공수로 유입부에 연결시켰다. 수로를 통과한 물은 배출부를 거쳐 다시 저수지로 환원되도록 하였으며, 유입부를 배출부보다 약간 높게(경사각 0.5도) 하였다. 유입부에 탁수와 혼합하는 소형 공간(10×10×20 cm)을 설치하였고, 배출부에는 유입부와 동일한 크기의 공간을 만들어 일시적으로 정체시켜 채수 및 환경요인 측정에 이용하였다. 수로의 바닥은 남한강 여주 부근에서 상부가 편평한 자갈(가로×세로 10 cm 미만의 크기)을 채취하여 수돗물로 1-2회 정도 세척하고 기질로 제공하였다. 두 차례 실험은 실험종료일까지 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (광도), 24L:0D(광주기) 조건에서 실시하였다. 탁수를 제조하기 위하여 남한강 유역 야산(문막읍, 여주)에서 채취한 황토를 실험실로 옮겨 5일간 풍건시킨 후 메쉬(직경 64  $\mu\text{m}$ )로 거르고 냉암소에 보관하였다. 탁수의 농도는 보관된 토양을 dry oven에서 30분 이상 건조시킨 다음 건조된 황토 200 g과 저수지 원수 100 L를 혼합하여(농도; 2000  $\text{mg L}^{-1}$ , 탁도; 300 NTU) 실험조건에 따라 저수지 원수로 희석하여 사용하였다. 탁수의 처리는 소형 전기펌프(250 W, Hyubshin, Electric industry Ltd., Korea)로 유입부에 설치한 혼합공간에 각각 주입하였다.

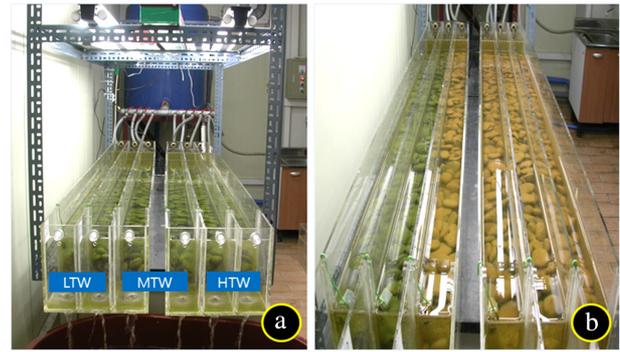


Fig. 1. Over-view of artificial channels before (a) and after (b) treatment of turbid-waters.

LTW: natural lake water

MTW: 10 times higher concentrations of turbid water to LTW

HTW: 20 times higher concentrations of turbid water to LTW

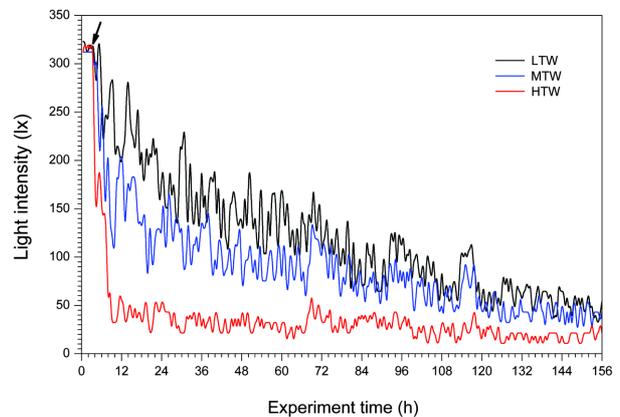


Fig. 2. Variations in light intensity of three channels treated with lake water (LTW), low- (MTW) and high-turbid water (HTW) in the first experiment. Arrow is the time of turbid-water treatment.

### 2.2. 실험디자인

탁수농도와 유속변동이 인공수로에 형성된 부착돌말의 성장에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다음과 같이 실험을 진행하였다(Table 1).

1차 실험은 2010년 4월 2일부터 4월 18일까지 17일간 실시하였고, 탁수는 4월 11일 13:00부터 19:00까지(6시간 동안) 2시간 간격으로 총 3회 처리하였다. 대조군 (LTW)은 저수지 원수(10 NTU)를 그대로 처리하였고, 저농도(MTW, 100 NTU)와 고농도 처리군 (HTW, 200 NTU)은 탁수 원액을 저수지 원수로 희석하여 실험 하천에 각각 처리하였다(Fig. 2). 1차 실험에서는 하천의 유량을 모두 동일한 조건에서 동일종류의 전기펌프로 주입하였다.

2차 실험은 2010년 5월 18일부터 6월 4일까지 17일간 실시하였으며, 탁수는 5월 28일 14:00부터 익일 13:00까지(24시간 동안) 4시간 간격으로 총 6회에 걸쳐 처리하였다. 탁수와 용량은 저수지 원수를 대조군(LTW, 15 NTU; 1 L/min.), 저농도(MTW, 150 NTU; 3 L/min.)와 고농도 처리군(HTW, 300 NTU; 6 L/min.)으로 1차 실험과 동일한 비율의 탁수 농도에 유속만 3배, 6배로 각각 증가시켰다.

**Table 1.** Experimental designs and different treatment conditions of turbid-waters and flow rates supplied for the study

Characters	Experiment 1			Experiment 2		
	LTW	MTW	HTW	LTW	MTW	HTW
Flow rate (L/min.)	1	1	1	1	3	6
Turbidity (NTU)	10	100	200	15	150	300
Duration (h)	6	6	6	24	24	24
Interval (h)	2	2	2	2	2	2
Number (No.)	3	3	3	6	6	6
Date of treatment (d)	9	9	9	5	5	5
Duration of experiment (d)	17	17	17	13	13	13
Collection site of soil	Munmack, Wonju-City			Munmack, Wonju-City		

Experiment 2 was conducted in duplicate

Each stream was treated with lake water (LTW), low- (MTW) and high-turbid water (HTW).

두 차례 실험동안 적용된 최대 탁수농도는 2007~2010년 환경부 수질측정망의 하절기 탁도 자료를 근거로 하여 설정한 선행연구(국립환경과학원, 2010; 윤성에 등, 2011)에 따라 중정도 탁수 (MTW)를 1차 실험에서는 100 NTU, 2차 실험에서는 150 NTU로 각각 정하고 최대치는 각각의 2배로 설정하였다.

실험은 인공수로 설치 후 기질에 돌말류가 원활하게 유입하도록 약 1주일동안 군집형성기(colonization period)를 거친 다음, 7일 동안 탁수처리 전 조사와 7 일 동안 처리 후 조사를 각각 실시하였다. 탁수처리 전 후 인공수로의 수질 및 부착돌말 군집 조사는 유입수와 배출수의 환경요인(수온, DO, pH, 전도도, 탁도), 질소-인 계열 영양염, 실험수와 기질의 생물량을 각각 분석하였다.

### 2.3. 환경요인분석

수온, 용존산소 (DO), pH, 전도도, 탁도는 Multi-Parameter Monitoring System (YSI 650 MDS-01, YSI, USA)를 이용하여 실험종료일까지 매일 같은 시간에 측정하였다. 부유물질 (SS)과 영양물질 ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , TN,  $\text{PO}_4$ , TP)은 인공수로 유입부와 배출부에서 채수하여 곧바로 분석하였다. 부유물질(SS)은 105°C dry oven (OF-11, JEIO Tech Inc.)에서 24시간 동안 건조시킨 GF/C-filter무게를 측정하고, 실험수를 여과하고 다시 동일하게 dry oven에서 건조시킨 다음 측정된 무게와의 차이로 계산하였다(APHA, 2001). 질소-인 계열의 영양물질은  $\text{NO}_2$ -N은 phenate법,  $\text{NH}_4$ -N은 colorimetric법,  $\text{NO}_3$ -N과 TN은 cadmium reduction법,  $\text{PO}_4$ -P는 ascorbic acid법, TP는 persulfate 분해 후 용존무기인 측정법으로 각각 측정하였다(APHA, 2001).

### 2.4. 엽록소와 부착돌말 분석

부착돌말은 수로바닥에 깔았던 기질을 매일 3개씩 무작위로 택하여 상부 표면을 솔과 증류수를 이용하여 씻어내어 채집, 정용하였다. 시료의 일부는 엽록소 *a*와 유기물 (Ash-free dry-matter: AFDM) 함량을 분석하였으며 나머지는 Lugol용액으로 고정하여 부착돌말류를 검경하는데 사용하였다. 기질의 엽록소 *a*는 시료를 Whatman GF/F로 여과한 후 90% 아세톤으로 24시간 동안 추출하여 APHA (2001)의 방법으로 측정하였다. AFDM은 시료를 GF/F에 여과한 후, 105°C에서 1시간 건조시킨 무게와 이를 550°C

도가니에서 2시간 동안 태운 후 측정된 무게와의 차이로 계산하였다. 채집한 시료는 산처리하여 시료를 세정하고 영구표본을 만든 다음 광학현미경(Axioscop,  $\times 1000$ )하에서 동정, 분류하였다. 돌말류는 각 시료당 500개 이상의 세포를 계수하고 여기에 각 분류군별 상대빈도(relative abundance)를 곱하여 총 세포수로 산정하였고, 종 동정은 Patrick and Reimer (1966), Krammer and Lange-Bertalot (1991a, 1991b, 2007a, 2007b) 등을 참고하였다.

### 2.5. 자료분석

두 1, 2차 실험에서 대조군과 처리군간의 수질 및 부착돌말 군집의 차이에 대한 통계학적 유의성 검증을 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 시행하고 두 군 간의 차이는 Tukey's HSD test 방법으로 사후 검증하였으며 모든 통계적 유의성은  $\alpha=0.05$  수준에서 평가하였다(SPSS Inc., v. 12.0).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 환경요인의 변화

동일한 유속에서 탁수 처리를 처리할 경우(EXP-1), 용존산소( $P<0.0001$ ), 전기전도도( $P<0.0001$ ), pH( $P<0.001$ ), 탁도( $P<0.05$ ) 등은 뚜렷하게 증가하였으나 처리농도간에 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 용존성 질소만 유의하게 감소하였을 뿐( $P<0.05$ ), 나머지 영양염, 부유물질, 엽록소 등은 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 2). 한편 유속과 탁수 농도를 동시에 증가시킬 경우 (EXP-2), 용존성 질소( $P<0.05$ )와 총질소만( $P<0.001$ ) 감소하였을 뿐, 다른 요인들은 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 2). 이상의 결과는 EXP-1와 유사한 탁수농도 및 유속에서 수행하였던 윤성에 등 (2011)의 결과와 일치하지만, 탁수 농도와 유량을 동시에 증가시킨 EXP-2에서는 탁도는 물론 다른 환경요인들도 유의한 변화를 보이지 않았다. 결국 하천으로 탁수의 유입이 강우(유량)와 동반되는 경우와 공사로 인하여 유입될 경우 수질이나 생물군집에 미치는 영향 또한 상당한 차이를 보일 것으로 사료되었다. 다만 유속이 느린 조건이 빠른 조건보다 수질에 큰 영향을 주지만(김우구 등, 2006; <http://www.water-research.net/Watershed/turbidity.htm>), 탁수의 농

**Table 2.** Comparisons of water quality parameters in different turbid-waters and flow rates in artificial channels

Experiments	Parameters	LTW	MTW	HTW	F	P
Experiment 1	Dissolved oxygen (mg/L)	11.1±0.1 <sup>a</sup>	11.5±0.2 <sup>b</sup>	11.8±0.3 <sup>b</sup>	11.781	0.00006
	pH	8.5±0.0 <sup>a</sup>	8.7±0.0 <sup>b</sup>	8.7±0.0 <sup>b</sup>	10.958	0.00011
	Conductivity (µS/Cm)	286.4±1.8 <sup>a</sup>	298.9±1.1 <sup>b</sup>	298.9±1.2 <sup>b</sup>	9.541	0.00030
	Turbidity (NTU)	7.8±0.4 <sup>a</sup>	12.1±2.4 <sup>a,b</sup>	19.0±9.0 <sup>b</sup>	4.409	0.01712
	Dissolved inorganic nitrogen (µg/L)	59.8±1.5 <sup>b</sup>	48.7±1.9 <sup>a</sup>	48.9±2.6 <sup>a</sup>	8.677	0.00123
	Total nitrogen (mg/L)	2.4±0.0	2.3±0.1	2.4±0.0	1.191	0.31931
	Dissolved inorganic phosphorus (µg/L)	21.8±0.9	25.5±0.9	21.8±1.6	1.447	0.25275
	Total phosphorus (µg/L)	35.7±1.2	39.9±1.2	38.6±1.5	1.523	0.23612
	Suspended solids in water (mg/L)	11.8±0.5	13.7±0.9	13.6±0.5	2.984	0.07595
	Chlorophyll-a in water (mg/L)	15.2±1.5	20.1±2.1	20.7±2.5	2.385	0.11652
Experiment 2	Dissolved oxygen (mg/L)	11.9± 0.2	12.6±0.5	12.5±0.4	1.797	0.17735
	pH	8.7±0.0	8.8±0.1	8.8±0.0	0.812	0.44996
	Conductivity (µS/Cm)	301.4±1.8	298.9±3.0	299.0±3.1	0.354	0.70382
	Turbidity (NTU)	20.4±2.3	22.3±5.9	23.8±5.9	0.223	0.80051
	Dissolved inorganic nitrogen (µg/L)	43.5±1.9 <sup>b</sup>	36.3±1.6 <sup>a</sup>	36.9±1.2 <sup>a</sup>	4.389	0.01969
	Total nitrogen (mg/L)	1.7±0.1 <sup>b</sup>	1.4±0.0 <sup>a</sup>	1.4±0.0 <sup>a</sup>	8.705	0.00082
	Dissolved inorganic phosphorus (µg/L)	29.3±1.3	32.2±1.6	32.2±1.8	1.366	0.26799
	Total phosphorus (µg/L)	89.2±2.9	91.0±4.5	92.1±8.2	0.113	0.89349
	Suspended solids in water (mg/L)	14.0±1.4	16.8±2.8	16.2±3.9	0.448	0.64227
	Chlorophyll-a in water (mg/L)	42.9±2.1	33.7±3.5	37.4±5.5	2.103	0.13674

Dissolved inorganic nitrogen is sum of NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>

Values are mean and standard deviation (n=7 for all)

Small characters indicates significant differences by Tukey's HSD test

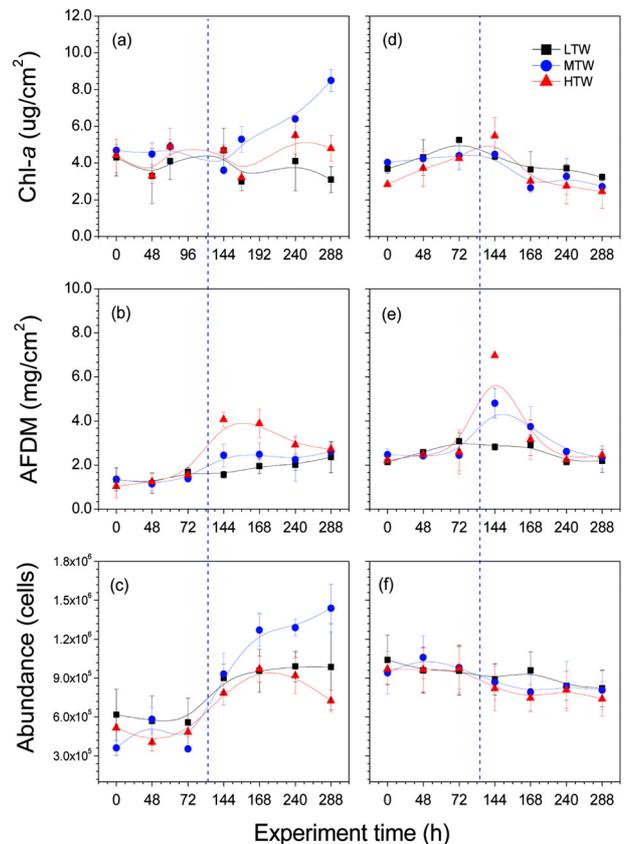
도나 성질에 따라 다양성을 보일 것으로 예상되며 따라서 빠른 유속에서 탁수유입에 대한 영향을 추후 연구가 요구 되었다.

### 3.2. 엽록소 및 부착돌말의 변화

EXP-1에서는 탁수처리후 기질 AFDM은 예상했던 대로 고농도 처리군(HTW)에서 가장 높게 증가한 반면, 엽록소 *a* 와 부착돌말 현존량은 저농도 처리군(MTW)에서 HTW보다 상대적으로 높게 나타났다(Fig. 3). EXP-2의 경우 기질 AFDM은 EXP-1과 유사하게 처리기간 동안 일시적으로 높게 증가한 반면, 엽록소 *a*와 부착돌말류 현존량은 유의한 변화를 보이지 않았다(Fig. 3). 결국 유속이 느린 조건에서는 부착돌말 군집은 저농도 탁수유입에 따라 성장촉진을 보였으나 빠른 조건에서는 유의한 변화를 보이지 않았다. 이에 반해 고농도 탁수에서 부착돌말의 성장억제를 보인 것은 고농도 탁수의 높은 침강에 의한 빛 차단(canopy)의 영향으로 해석된다(박찬갑과 강미아, 2006). 특히 유속이 느린 조건에서 고농도 탁수는 부착돌말 현존량을 대조군보다 더 낮은 수준까지 억제하였으며, 빠른 조건에서는 엽록소 *a*나 부착돌말 현존량 모두에게 유의한 영향을 미치지 않았다. 이는 토목공사나 건설로 인한 토양유실과 같이 유속이 느린 조건에서 고농도 탁수의 유입은 하천생태계에 매우 큰 영향을 줄 것으로 판단되었다.

### 3.3. 주요 돌말류의 변화

실험기간 동안 출현한 부착돌말류는 각각 41종, 39 종으로 나타났으며, 가장 높은 생물량을 보인 분류군은 *Aulacoseira ambigua*, *Cyclotella stelligera*, *Aulacoseira granulata*, *Achnanthes minutissima* 등 4종으로, 이들 현존량의 합은



**Fig. 3.** Variations in chlorophyll-a (Chl-a), organic matter (AFDM) and total abundance of diatom cells in each channel treated with lake water (LTW), low-turbid water (MTW) and high-turbid water (HTW) in both the first (left) and second experiments (right). Vertical dot-line is the treatment time of turbid-water.

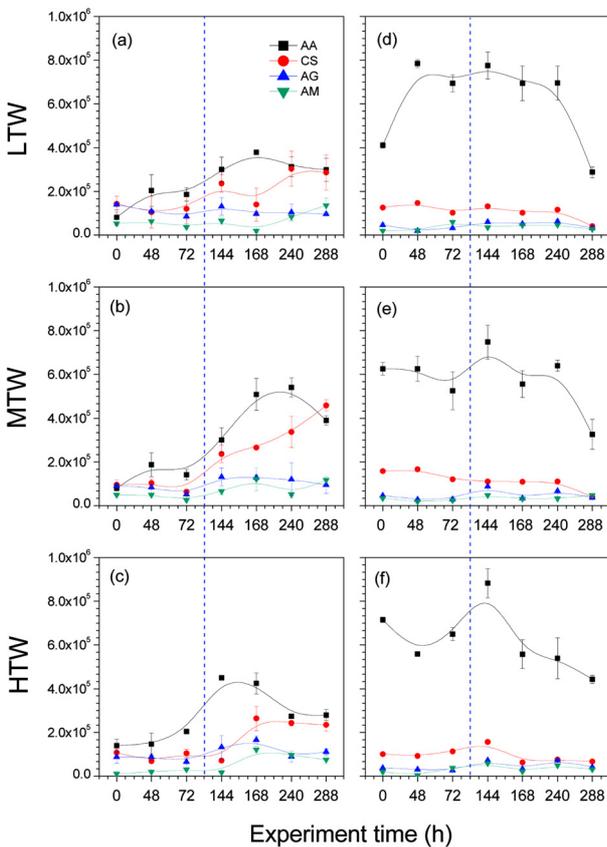
각 실험에서 총 현존량의 80% 이상을 차지하였다(미발표). 부착돌말 현존량은 EXP-1보다 EXP-2에서 높았으며, 두 차례 실험에서 가장 높은 현존량을 보였던 *A. ambigua* 는 특히 EXP-2에서는 나머지 주요종에 비해 약 5배 이상의 높은 현존량 수준을 나타냈다. EXP-1에서 *A. ambigua* (MTW; +17.2%, HTW; +2.7%), *C. stelligera* (MTW; +23.9%, HTW; +4.5%)는 뚜렷하게 저농도 탁수처리군에서 부착돌말의 높은 성장을 유도하였으며 *A. granulata* (MTW; +39.8%, HTW; +38.8%)는 가장 높은 성장추진을 보였으나 처리군간의 차이는 나타나지 않았다. 이에 반해 *A. minutissima* (MTW; +20.9%, HTW; +40.5%)는 MTW보다 HTW에서 상대적으로 더 높은 성장을 보였다(Fig. 4). EXP-2에서 *A. ambigua* 는 EXP-1과 다르게 같은 기간 대조군보다 MTW (-1.7%), HTW(-3.1%)에서 모두 현존량 감소를 나타냈으며 *C. stelligera* (MTW; -32.8%, HTW; +15.2%), *A. granulata* (MTW; +1.8%, HTW; +6.1%) 또한 탁수농도에 따라 서로 다른 반

전체적으로 느린 유속에서 탁수의 유입은 빠른 유속보다 부착돌말 성장을 촉진하였으며 빠른 유속에서는 엽록소 *a* 와 부착돌말의 유의한 변화를 보이지 않았고, 분류군과 탁수농도에 따라 증가 또는 감소 등의 서로 다른 반응을 보였다. 특히 제1 우점종이었던 *Aulacoseira ambigua* 와 *A. granulata* 는 빠른 유속과 탁수에 의해 성장 억제가 뚜렷한 반면, *Achnanthes minutissima* 는 두 차례 실험에서 모두 유사한 성장을 나타냈다. 두 그룹간의 차이는 정확히 확인할 수 없으나 전자의 두 종은 부유성이 강하고 후자는 국내 하천에서 매우 흔히 발견되는 부착성이 강한 보편종으로 (Hwang et al., 2011) 두 종의 생태적 차이에서 비롯된 것이 아닌가 사료된다. 또한 제2 우점종인 *Cyclotella stelligera* 는 유속이 가장 느린 조건에서(1 L/min.) 낮은 성장을, 중정도 유속에서(3 L/min.) 강한 성장 억제, 그리고 가장 빠른 유속에서는(6 L/min.) 다시 약한 성장을 보였다. 이러한 결과는 *C. stelligera* 가 자연하천보다는 유속이 느리거나 호수 등에서 보편적으로 발견되는 종으로(Hustedt, 1930), 중정도 유속에서 오히려 성장이 억제되는 것은 설명하기 어렵다. 따라서 유속과 탁수가 복합적으로 형성되는 하천이나 호수에서의 개체군 성장(박정원 등, 2005)에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

본 연구는 인공수로에 탁수농도와 유속의 변화가 부착돌말류의 성장에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험수로 부영양 저수지의 표층수를 사용하였다. 대부분의 인공수로 실험에서 자연수(하천)를 직접 그대로 이용한 경우는 보기 어렵고 대부분 지하수나 음용수의 지속적인 순환과 영양염 첨가를 통하여 새로운 계로서의 모델하천을 가정하고 있다 (Wang et al., 1999). 본 실험에서는 인공수로에 부착돌말 군집이 형성되도록 기질을 넣고 일주일 정도의 군체형성기를 가졌으나(Kostel et al., 1999) 부착성보다 부유성 돌말의 불가피한 간섭을 배제하기 어려웠으나 격일 간격으로 엽록소 *a* 농도와 부착돌말류 밀도를 조사하면서 같은 시기 하천(섬강, 여주)의 돌말류 밀도와 유사한 수준( $10^{4-5}$  cells/cm<sup>2</sup>)에 도달하면 실험을 실시하였다. 따라서 자연하천에서 서식하는 부착돌말 군집과는 다소 차이가 있으며 이러한 결과를 자연하천에서 탁수와 유속의 효과로 설명하기는 어렵다. 결국 기후변화에 따른 하천에서의 탁수 영향을 보다 정확하게 해석하기 위하여 하천 메조코즘(Wong et al., 2004)과 같은 현장실험은 물론 강우나 하천내 건설공사 전, 후에 탁수의 화학적 성질, 농도를 포함한 유속(유량)의 복합적인 효과에 대한 현장실험이 필요가 있다고 판단되었다.

### 4. 결론

단기간 동안 탁수와 유속 변동이 하천의 수질 및 부착돌말류 성장에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위하여 실험실에 인공수로를 설치하고 동일한 유속과 서로 다른 탁수 농도가 다른 경우 (EXP-1), 그리고 유속과 탁수 농도를 동시에 증가하면서(EXP-2) 동일한 장소에서 채취한 황토를 메쉬로 거른 다음 처리하고 수질 및 부착돌말류의 변화를



**Fig. 4.** Variations cell abundance of four major diatom species in each channel treated with lake water (LTW), low- (MTW) and high-turbid water (HTW) in both the first (left) and second experiments (right). Vertical dot-line is the treatment time of turbid-water.

AA: *Aulacoseira ambigua*, CS: *Cyclotella stelligera*  
 AG: *Aulacoseira granulata*, AM: *Achnanthes minutissima*

을 나타냈다. 한편 *A. minutissima* 는 EXP-1에서와 유사한 성장패턴을 나타냈다(Fig. 4).

조사하였다. 결과는 다음과 같다. 유속이 일정한 조건에서 (1 L/min.) 탁수를 농도별로 처리할 경우, 용존산소, 전기전도도, pH, 탁도 등은 뚜렷하게 증가하였으나 처리농도간에 유의한 차이는 보이지 않았다. 이에 반해 유속(1, 3, 6 L/min)과 탁수 농도가 동시에 같이 증가할 경우, 용존산소를 포함한 모든 환경요인의 변화는 뚜렷하지 않았으나 1차 실험과 동일하게 질소계열 영양염의 유의한 감소를 나타냈다. EXP-1의 저농도 탁수에서는 고농도보다 상대적으로 높은 부착돌말 성장을 유도한 반면 EXP-2에서는 탁수농도에 상관없이 유의한 변화를 보이지 않았다. 두 실험기간 동안 우점하였던 돌말류는 *Aulacoseira ambigua*, *Cyclotella stelligera*, *Aulacoseira granulata*, *Achnanthes minutissima* 등이었으며, EXP-2와 다르게 EXP-1에서 가장 높은 현존량을 보였던 *A. ambigua* 와 *A. granulata* 는 저농도 처리군에서, *Achnanthes minutissima* 은 고농도 처리군에서 각각 높은 성장을 보였다. 결국 유속이 느린 조건에서 탁수유입은 유속이 빠른 조건보다 하천의 수질 및 부착돌말류의 성장에 상대적으로 뚜렷한 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 2011년도 한강수계 환경기초조사사업 “기후변화가 수생태계에 미치는 영향과 대응전략”의 일환으로 수행되었으며, 실험과 분석을 도와주신 애크람군에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 건설교통부(2005). *하천시설기준*.
- 국립환경과학원(2006). *낙동강 본류 탁도 예측기법에 관한 연구*.
- 국립환경과학원(2010). *수생태계 건강성 조사 및 평가 최종 보고서*. 환경부.
- 김우구, 정관수, 이용곤(2006). 임하호 유입지천의 수온과 탁도 변화. *한국하천호수학회지*, **39**(1), pp. 13-20.
- 박정원, 이경락, 최재신, 김한순(2005). 임하댐의 탁수 형성 후 식물플랑크톤 군집 동태. *한국유수학회지*, **38**(3), pp. 429-434.
- 박찬갑, 강미아(2006). 조류성장에 미치는 점토탁수의 영향 평가. *지질공학*, **16**(4), pp. 403-409.
- 오태석, 문영일(2009). Empirical simulation technique 기법을 이용한 집중호우의 극한강우 평가. *한국토목학회지*, **29**(2B), pp. 141-153.
- 유삼환, 김정숙, 신명자, 이종은, 서울원(2009). 임하호 유입 지천에 서식하는 어류에 미치는 영향. *생명과학회지*, **19**(10), pp. 1410-1416.
- 윤성애, 유경아, 박지형, 김백호, 황순진(2011). 인공수로에서 고농도 탁수가 수질 및 부착규조류 군집에 미치는 영향. *한국하천호수학회지*, **44**(1), pp. 75-84.
- 정용락, 류환, 김유경, 예평, 정세웅(2007). 선택취수에 따른 대형조 탁수조절 효과 및 수질영향 분석. *한국수자원학회지*, **40**(8), pp. 601-615.
- 한승철, 이학영, 서울원, 심재현, 이종은(2007). 임하호의 탁

- 수가 어류상 및 어류생장에 미치는 영향. *생명과학회지*, **17**(8), pp. 1104-1110.
- 황상구, 정기영(2006). 안동 임하댐 유역의 지질과 임하호 고탁수의 원인. *자원환경지질*, **39**(6), pp. 771-786.
- APHA (2001). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. American Public Health Association. Washington, D.C. USA.
- Feio, M. J., Almeida S. F. P., Craveiro, S. C., and Calado, A. J. (2009). A comparison between biotic indices and predictive models in stream water quality assessment based on benthic diatom communities. *Ecological Indicators*, **9**(3), pp. 497-507.
- Ford, D. E. (1990). *Reservoir Transport Process*. In: K. W. Thornton, B. L. Kimmel, and F. E. Payne (eds.), *Reservoir Limnology-Ecological Perspectives*, John Wiley and Sons, Inc.
- Horne, A. J. and Goldman, C. R. (1994). *Limnology*, 2nd ed. McGraw-Hill, Inc.
- Hustedt, F. (1930). *Bacillariophyta*. In Pascher, A. *Die Süßwasser-flora, Mitteleuropas*. Heft 10. 2nd Ed. Verlag von Gustav Fischer, Germany.
- Hwang, S. J., Kim, N. Y., Yoon, S. A. Kim, B. H., Park, M. H., You, K. A., Lee, H. Y., Kim, H. S., Kim, Y. J., Lee, J. H., Lee, O. M., Shin, J. K., Lee, E. J., Jeon, S. L., and Joo, H. S. (2011). Distribution of benthic diatoms in Korean rivers and streams in relation to environmental variables. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.*, **47**(supplement), pp. 15-33.
- Jung, Y. S., Yang, J. E., Park, C. S., Kwon, Y. G., and Joo, Y. K. (1998). Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han river basin. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, **31**(2), pp. 170-176.
- Kelly, M. G., and Whitton, B. A. (1995). The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. Appl. Phycol.*, **7**(4), pp. 433-444.
- Kirk, J. T. O. (1983). *Light and Photosynthesis in Aquatic Environments*, 1st Ed., Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Kostel, J. A., Wang, H., Amand, A. L. S., and Gray, K. A. (1999). Use of a novel laboratory stream system to study the ecological impact of PCB exposure in a periphytic bio-layer. *Water Res.*, **33**(18), pp. 3735-3748.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/3 : *Bacillariophyceae* 3. Teil : *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*, In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, and D. Mollenhauer (eds.), Elsevier Book Co., Germany.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/4 : *Bacillariophyceae* 4. Teil : *Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis*, In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, and D. Mollenhauer (eds.), Elsevier Book Co., Germany.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (2007a). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/1 : *Bacillariophyceae* 1. Teil : *Naviculaceae*, In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, and D. Mollenhauer (eds.), Elsevier Book Co., Germany.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (2007b). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/2 : *Bacillariophyceae* 2. Teil : *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*, In: H. Ettl, J.

- Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.), Elsevier Book Co., Germany.
- Patrick, R. and Reimer, C. W. (1966). *The Diatoms of the United States Exclusive of Alaska and Hawaii*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia.
- Ponader, K. C., Charles, D. F., Belton, T. J., and Winter, D. M. (2008). Total phosphorus inference models and indices for coastal plain streams based on benthic diatom assemblages from artificial substrates. *Hydrobiologia*, **610**(1), pp. 139-152.
- Power, M. E., Stout, R. J., Cushing, C. E., Harper, P. P., Hauer, F. R., Matthews, W. J., Moyle, P. B., Statzner, B., and De Badgen, I. R. W. (1988). Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *J. North Am. Benthol. Soc.*, **7**(4), pp. 456-479.
- Resh, V. H., Brown, A. V., Covich, A. P., Gurtz, M. E., Li, H. W., Minshall, G. W., Reice, S. R., Sheldon, A. L., Wallace, J. B., and Wissmar, R. C. (1988). The role of disturbance in stream ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **7**(4), pp. 433-455.
- Wang, H., Kostel, J. A., Amand, A. L. S., and Gray, K. A. (1999). 2. The response of a laboratory stream system to PCB exposure: study of periphytic and sediment accumulation patterns. *Water Res.*, **33**(18), pp. 3749-3761.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology : Lake and River Ecosystems*, 3rd ed., Academic Press, San Diego, California. USA.
- Wong, D. C. L., Toy, R. J., and Dorn, P. B. (2004). A stream mesocosm study on the ecological effects of a C12-15 linear alcohol ethoxylate surfactant. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **58**(2), pp. 173-186.