저서성 대형무척추동물을 이용한 수중의 다이아지논 및 중금속 제거

이화성 · 유건상^{1)*}

경북 보건환경연구원, ¹⁾안동대학교 응용화학과
(2011년 9월 27일 접수; 2011년 11월 14일 수정; 2011년 12월 19일 채택)

Removal of Diazinon and Heavy Metals in Water by Benthic Macroinvertebrate

Hwa-Sung Lee, Keon-Sang Ryoo^{1)*}

Gyeongbuk Government Public Institute Health & Environment, Daegu 702-839, Korea

¹⁾*Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

(Manuscript received 27 September, 2011; revised 14 November, 2011; accepted 19 December, 2011)

Abstract

The midge samples were undertaken at three streams, representing different surrounding environments, to investigate the contaminant exposure of midge. The content of heavy metals in midge collected in Singil stream were generally higher as a result of input to the industrial effluents with respect to other streams.

Adsorption experiments were done to evaluate the possibility of removing contaminants from water with midge. Diazinon and heavy metals were contaminant target compounds in this study. The removal rate of diazinon in water by midge was 60-75%. In the case of Cu, the removal rate was reached around 90% at the lower initial concentration of 1.87 and 0.81 ppm rather than 4.25 ppm. The reduction of concentration of Cr and Cd according to the lapse of time was similar to the Cu, but their removal rates were shown 50% and 60-74%, respectively. The removal rate of Zn by midge represented relatively high level within the experimental condition. No change in concentration of Cr and As with time were occurred at all experimental conditions. It accounts for the fact that the reduction of Cr and As could not be achieved through the adsorption process, using midge.

Key Words : Benthic macroinvertebrates, Diazinon, Heavy metal, Midge, Removal rate

1. 서론

산업화로 인한 산업구조의 변화와 팽창, 인구 증가 및 도시화가 진행되면서 과거에 비해 하천의 자연서

식환경이 크게 훼손되었으며, 외부 오염원으로부터 오염물질이 쉽게 하천으로 흘러들어와 담수생태계에 서식하는 생물에 악영향을 미친다. 하천내의 생물은 대체적으로 생산자인 조류(algae)에서부터 1차 또는 2차 소비자인 대형무척추동물, 최종소비자인 어류나 다른 대형척추동물, 그리고 분해자인 미생물로 구성된다. 이들 중 담수생태계에서 약 95%를 차지하는 생물은 저서성 대형무척추동물로 어류와 같은 대형동물

*Corresponding author : Keon Sang Ryoo, Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea
Phone: +82-54-820-5453
E-mail: ksr@andong.ac.kr

의 먹이원이 되기 때문에 하천생태계의 먹이사슬 및 물질순환에 있어서 영양단계의 중추적 위치를 차지한다(배 등, 2001; Allan, 1995). 또한 하천과 호수 바닥의 다양한 미소서식처에 적응되어 있고, 이동성이 적으므로 군집의 정량적 연구가 용이하며, 종마다 내성 범위가 다르므로 하천의 수질을 대변하고 지역에 따른 생물종 특이성을 가지므로 수질오염에 대한 지표 생물종으로 널리 이용된다(Ward, 1992).

저서성 대형무척추동물의 종다양성과 풍부성은 인위적 간섭이나 오염이 심해짐에 따라 낮아지나, 오염도가 매우 심한 지역에서도 실지렁이와 깔따구는 매우 높은 개체수밀도를 유지한다(박 등, 2004; 박 등, 2006; 박 등, 2008). 실지렁이는 빈모강(Oligocheata), 물지렁이목(Archioleligocheata), 실지렁이과(Tubificidae)에 속하는 종으로, 수질 5급수에 서식하는 수질지표생물로서도 알려져 있다. 실지렁이는 a-중부수성이나 강부수성의 수역에 대량 서식하면서 생물학적 자정작용의 마지막 단계로서 기여하고 있다(전태성 등, 2005).

깔따구는 곤충강(Insecta), 파리목(Diptera), 깔따구과(Chironomidae)에 속하며, 다양한 오염물질을 대상으로 독성실험에 이용되어지고, 근래에 들어서는 분류학자나 생태학자뿐만 아니라 분자생물학자, 유전학자들에게 널리 사용되고 있다(심 등, 2009; 원 등, 2006; 유 등, 2005). 일반적으로 깔따구는 오염된 도심하천 바닥에서 유기물질이나 하상입자로 집을 지어 서식한다(Kawai 등, 1986). 깔따구는 담수생태계의 단일 생물군으로서 가장 종류가 다양하고 개체수가 풍부하며 생물내성이 강하여 오염된 하천에서 우점종으로 나타난다(Na 등, 2005). 다량의 오수와 산업폐수가 유입되는 하천 등 극한 오염상태에서도 생존하는 깔따구는 오염에 대하여 적응뿐 아니라 오염물질들을 분해하거나 제거(Tsumuraya 등, 1984; 심 등, 2009)할 수 있는 능력이 있는 것으로 알려져 있어, 최근에 깔따구 개체 수에 따라 유기물의 분해능을 평가하는 등 다양한 연구가 시도되고 있다.

각종 오염물질을 분해 및 제거 능력이 있는 저서생물을 발굴하여 산업적으로 활용하는 것은 환경생물학적으로 큰 가치가 있다. 본 연구는 깔따구를 이용하여 수중의 diazinon과 중금속의 제거능력을 측정하고 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 깔따구(midge) 사육

본 실험에서는 깔따구(midge)를 실험종으로 선정하였다. 깔따구의 유충은 종내 경쟁이 심하여 동종포식 현상이 일어나기 때문에 개체 당 사육면적을 넓게 해주었다. 알은 플라스틱 상자(60 x 36 x 14 cm)에 살균된 강모래(직경 < 0.05 mm)와 하루이상 폭기시킨 1차 증류수 조건에서 사육하였고 먹이로는 tetramin을 사용하였다.

2.2. 실험 조

가로, 세로, 높이가 각각 50 cm, 32 cm, 15 cm인 수조에 증류수 1 L와 깔따구 1 g(대략 1,000 마리 내외)을 넣어 실험조를 제작하였다. 이때 물의 온도는 약 24 °C이었다. Diazinon (Seongbo Chemical Co. Ltd., Korea)은 5 mg/L과 10 mg/L 되게 수조에 각각 첨가하였다. Cu는 0.8 mg/L - 4.2 mg/L, Ni는 0.9 mg/L - 4.3 mg/L, Zn은 0.9 mg/L - 1.8 mg/L, Cd은 0.9 mg/L - 4.9 mg/L, Pb은 1.9 mg/L - 8.2 mg/L, Cr은 0.9 mg/L - 1.9 mg/L, As는 5.1 µg/L - 10.8 µg/L되게 첨가하여 실험에 사용하였다. 중금속은 모두 Kanto Chemical Co., Inc., Japan에서 구입하였다.

2.3. Diazinon 분석 전처리

깔따구 생체와 수질 시료 중의 diazinon 추출을 다음과 같이 행하였다. 깔따구 1 g을 100 mL 원심분리관에 넣고 1 N HCl 용액 10 mL를 가하여 잘 혼합하여 섞고 다시 n-hexane 40 mL를 가하여 10 분간 격렬히 진탕하고 이것을 원심분리한 후 n-hexane 층을 분액깔때기에 옮겼다. 다시 n-hexane 40 mL를 원심분리관에 가하고 위와 동일한 방법으로 조작하여 얻어진 n-hexane 층을 250 mL 분액깔때기에 합하였다.

수질 시료로부터 diazinon을 추출하기 위해, 수질 시료 500 mL를 1 L 분액깔때기에 취하여 NaCl 5 g을 넣어 녹인 다음 지시약으로 메틸오렌지용액(0.1 W/W%)를 사용하여 HCl (1+1)을 넣어 pH를 3-4로 조정하였다. 여기에 n-hexane 50 mL를 넣어 약 3분간 세세 흔들어 섞고 분리하여 수층을 다시 분액깔때기에 옮겼다. 수층에 다시 n-hexane 25 mL를 넣어 추출 조작을 2회 이상 반복하고 n-hexane 층을 250 mL 분액깔때기에

합하였다. n-hexane 층은 소량의 무수황산나트륨으로 탈수시켰다. 이 후 회전증발농축기를 이용하여 40 °C에서 n-hexane 층을 증발시키고 실온에서 조심하여 질소를 불어넣어 잔류 n-hexane 층을 모두 증발시켰다.

추출조작에서 얻은 잔류물을 n-hexane 2 mL에 넣어 녹여 아래와 같이 정제하였다. Florisil (입경 147-246 μm , 130 °C 3시간 건조 후 데시케이터에서 30 분간 방냉)을 충전한 컬럼(10 mm x 300 mm)에 정제한 액을 피펫으로 흡입하여 컬럼의 상부에 넣고 n-hexane 2 mL로 농축기의 플라스크를 씻어서 같은 방법으로 컬럼의 상부에 넣었다. 컬럼 하부의 콕크를 열고 액면이 무수황산나트륨의 상단에 이를 때까지 n-hexane을 유출시켜 10 mL 메스실린더에 받았다.

다음에 n-hexane 70 mL를 컬럼에 넣어 콕크를 열고 매초 한 방울의 속도로 유출시켜 수기의 액량이 5 mL가 되면 버리고 다른 100 mL 메스실린더에 유출액 70 mL를 받았다. 유출액을 농축기에 옮기고 추출조작에서와 같은 방법으로 농축하여 유출액을 모두 휘산시켰다. 잔류물에 n-hexane 2 mL로 정확히 넣어 녹이고 이를 기기 분석시료로 하였다.

2.4. 중금속 분석전처리

시료(수질 : 50 mL, 깔따구 : 1 g 내외) 각각을 Microwave Digestion System 반응용기(teflon)에 넣고 수질시료에는 염산 2 mL와 질산 3 mL를, 깔따구 시료는 깔따구가 포함된 증류수 50 mL에 염산 2 mL와 질산 3.0 mL를 첨가한 후 밀폐된 teflon을 10분 동안 200 °C에서 가열하고 다시 15분 동안 200 °C에서

가열하였다. 이 후 가열된 용기를 식힌 후 뚜껑을 열어 용기와 용액을 초순수로 씻어내고 총 부피를 정확하게 50 mL로 취하였다.

2.5. 분석기기

Diazinon은 Agilent GC 7890 NPD로 측정하였다. 전처리된 시료 중 As와 Pb은 원자흡수 분광광도계(AAS, Varian, SpectrAA 220FS)로 Cr, Cu, Zn, Cd, Ni은 유도결합플라즈마 분광기(ICP, Spectra, Flame Modula S)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 깔따구 생체의 Diazinon 및 중금속 함유량

지역 하천별로 저서성 대형무척추동물인 깔따구의 중금속과 diazinon 함유량을 Table 1에 나타내었다. 반변천은 경상북도 안동시 임동면과 길안면을 흘러 임하면, 남선면을 지나 용상동에서 낙동강으로 흘러드는 하천으로 주위가 대부분 농촌지역으로 되어 있다. 중랑천은 한강의 여러 지류중 하나로 서울시 성동구 금호동과 성수동 1가의 강변북로 다리에서 한강과 합류하는 하천으로 서울 도심내의 하천 중에서 제일 길다. 신길천은 경기도 안산시 단원구 신길동을 흘러 시흥천과 합류하여 시화호로 흘러드는 하천으로 주위가 모두 공단지역이다.

반변천, 중랑천, 신길천에서 채취한 깔따구에서 Cr이 모두 검출되었다. Cr의 함유량은 반변천이 0.94 mg/Kg, 중랑천 1.19 mg/Kg, 신길천 1.80 mg/Kg으로 신길천에서 살고 있는 깔따구가 반변천 깔따구보다

Table 1. Diazinon and heavy metal content in midge in several streams

	Cr (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	As ($\mu\text{g/Kg}$)	Diazinon (mg/Kg)
Banbyun stream (Gyeongbuk Andong)	0.94	2.70	n.d.*	n.d.	13.53	192.52	n.d.	n.d.
Jungrang stream (Seoul Seongdonggu)	1.19	6.65	n.d.	n.d.	24.01	286.55	n.d.	n.d.
Singil stream (Gyeonggido Ansan)	1.80	188.25	0.86	14.48	124.33	357.09	n.d.	n.d.

*n.d.; not detected

대략 2배 정도 높은 농도를 보였다. Cu의 경우, 신길천 갈따구가 다른 지역에 서식하고 있는 반변천과 중랑천 갈따구보다 매우 높은 수준인 대략 30~70배 이상의 Cu를 함유하고 있는 것으로 나타났다. Cd는 반변천과 중랑천의 갈따구에서는 검출되지 않았으나 신길천에서는 검출되었고 그 농도는 0.86 mg/Kg 이었다. Pb의 경우도 Cd와 마찬가지로 반변천과 중랑천에서 채취한 갈따구에서는 확인되지는 않았으나 신길천 갈따구에서는 14.48 mg/Kg 정도로 검출되었다.

갈따구 중의 Zn 농도는 반변천 < 중랑천 < 신길천 순으로 높게 나타났다. 하천별 Zn의 농도는 반변천 13.53 mg/Kg, 중랑천 24.01 mg/Kg, 그리고 신길천 124.33 mg/Kg이었다. 신길천에서 서식하고 있는 갈따구의 Zn 함유량은 반변천 갈따구 보다 Zn의 농도가 대략 10배 수준 높았다. 반변천, 중랑천, 그리고 신길천 갈따구에서 Ni이 검출되었으나 농도의 정도차이는 그다지 크지 않았다. As는 반변천, 중랑천, 신길천 갈따구 모두 검출한계 이상에서 검출되지 않았다. 유기인계 살충제인 diazinon은 반변천, 중랑천, 신길천 갈따구 모두에서 검출되지 않았다.

3.2. 갈따구에 의한 Diazinon의 제거

Fig. 1은 갈따구에 의한 수중의 diazinon을 농도별

(5와 10 mg/L), 시간별(1~4일)로 나타낸 표이다. Diazinon은 물에서 가수분해 반감기는 138일이다 (Http, 2011). 따라서 실험 기간 4일 동안에는 diazinon의 분해는 거의 없다고 보고 갈따구에 의한 diazinon 제거율을 해석하였다. 수 중의 초기농도 10 mg/L의 경우에, 1일차부터 4일차 까지 diazinon의 농도가 6.37 mg/L 부터 3.99 mg/L까지 줄어들었다. 4일차에 갈따구에 의한 diazinon의 제거율을 1일차의 농도로 비교하여 계산한다면 4일차는 1일차의 약 60%였다. 이를 제거율 60%로 표현하였다. 초기농도를 위 농도보다 1/2로 줄인 5 mg/L의 경우에도 초기농도 10 mg/L과 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 diazinon의 농도가 감소하였으며 4일차에 갈따구에 의한 diazinon 제거율은 75% 정도였다. 따라서 갈따구는 수중에서 diazinon을 제거할 수 있는 재료로서의 뛰어난 가능성을 보인다 하겠다.

3.3. 갈따구에 의한 중금속의 제거

3.3.1. Cu 제거

Fig. 2는 갈따구에 의한 수중의 Cu를 초기농도별 (4.25, 1.87, 0.81 mg/L), 시간별(1~6일)로 나타낸 것이다. 수중의 Cu의 초기 농도가 4.25 mg/L인 경우에, 날짜가 6일차가 되었을 때 Cu의 농도는 3.58 mg/L 정

Fig. 1. Removal rate of diazinon in water by midge.

도로 잔존하였으며 초기농도와 비교해서 커다란 차이를 보이지 않았다. 위의 조건에서 깔따구에 의한 6일차 Cu 흡착제거 능력은 15.8 %이었다. 그러나 실험을 초기농도가 수중 농도인 1.87 mg/L에서 시작하였을 때 1일차는 0.92 mg/L, 3일차 0.50 mg/L으로 점차적으로 줄어드는 경향을 보였으며 6일차에 이르러서는 Cu의 농도가 대략 0.14 mg/L에 이르렀다. 결과적으로 6일차까지의 Cu의 제거율은 92.5%이었다. 더 나아가

Cu의 수중의 초기농도를 위의 조건보다 대략 반으로 줄인 0.81 mg/L의 경우에도, Cu의 농도가 1일차 0.24 mg/L, 3일차 0.10 mg/L, 6일차 0.04 mg/L으로 상당히 감소하였으며 Cu의 제거율은 95.1%에 도달하였다. 이러한 결과들을 고찰해 볼 때, 깔따구에 의한 수중의 Cu 제거는 수중의 Cu 농도가 4 mg/L이상인 조건보다 더 낮은 농도에서 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

(Initial concentration in water : 4.25 mg/L).

(Initial concentration in water : 1.87 mg/L).

(Initial concentration in water : 0.81 mg/L).

Fig. 2. Removal rate of Cu in water by midge.

3.3.2. Cd 제거

깔따구에 의한 수중의 Cd를 농도별, 시간별로 Fig. 3에 나타내었다. 제거실험을 수중의 초기농도 4.24 mg/L에서 시작하였을 때, 날씨가 지남에 따라 Cd의 농도는 약간씩 줄어들었고 초기농도와 6일차 Cd 농도 (3.67 mg/L)를 비교하였을 때 Cd의 제거율은 13.6%이었다. 이와 같은 제거율은 Cu의 초기 농도가 4.25 mg/L인 경우의 제거율과 비슷한 경향을 보였다. 그러

나 Cd의 초기농도를 1/2로 줄인 상태(1.91 mg/L)인 조건에서 실험을 하였을 때 1일차, 3일차, 5일차, 6일차 Cu 농도는 각각 1.56, 1.20, 0.99, 0.76 mg/L의 수중의 농도로 서서히 줄어들었고 6일차까지의 제거율은 60.2%이었다. Cd의 농도를 0.86 mg/L 수준까지 낮춘 실험조건에서는 1일차가 0.49 mg/L, 3일차는 0.33 mg/L, 최종적으로 6일차에 이르러서는 Cd의 농도가 0.23 mg/L이었다. 위 조건에서 깔따구에 의한 수

(Initial concentration in water : 4.24 mg/L).

(Initial concentration in water : 1.91 mg/L).

(Initial concentration in water : 0.86 mg/L).

Fig. 3. Removal rate of Cd in water by midge.

중의 Cd 흡착 제거율은 73.3% 정도의 수준을 보였다. 깔따구에 의한 수중의 Cd 제거율은 초기농도별로 13.6%, 60.2%, 그리고 73.3%이었으며 높은 초기농도 보다는 낮은 초기농도에서 보다 더 효과적임을 알 수 있었다.

3.3.3. Ni 제거

Fig. 4는 사육된 깔따구를 이용하여 농도별, 시간별

로 수중의 Ni 제거율을 나타낸 그림이다. 수중의 초기 농도가 4.29 mg/L인 Ni의 실험의 경우에 1일차의 농도는 4.15 mg/L, 4일차 농도는 3.86 mg/L, 6일차의 농도는 3.64 mg/L이었다. 실험결과에서 나타난바와 같이, 비록 시간을 3일, 5일 더 연장하였다 하더라도 Ni 농도는 약간만 줄었으며 이 조건에서 깔따구에 의한 Ni 제거율은 15.0%이었다. 한편 수중의 Ni의 초기농도를 반으로 줄인 농도(2.00 mg/L)에서 실험을 행하

(Initial concentration in water : 4.29 mg/L).

(Initial concentration in water : 2.00 mg/L).

(Initial concentration in water : 0.91 mg/L).

Fig. 4. Removal rate of Ni in water by midge.

였을 때, 1일차부터 6일차 까지 날짜가 지남에 따라 Ni의 농도는 약간씩 줄어드는 경향을 보였다. 이때 6일차의 Ni 농도는 1.07 mg/L이었고 계산결과 Ni 제거율은 46.5%이었다. Ni의 초기농도가 0.91 mg/L의 조건에서 1일차, 3일차, 5일차, 6일차의 Ni 농도는 점차적으로 줄어들었으며 그 농도는 각각 0.69 mg/L, 0.58 mg/L, 0.58 mg/L 그리고 0.46 mg/L으로 6일차 때의 제거율은 대략 49.2% 수준을 보였다. 실험 결과 Ni의

농도별 제거율은 Cu, Cd보다는 비교적 낮은 수준을 보였다.

3.3.4. Pb 제거

Fig. 5는 깔따구에 의한 수중의 Pb 제거실험을 농도별로 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이, 초기농도가 7.5 mg/L인 경우에 1일차부터 6일차 까지 Pb의 농도는 점차적으로 감소하였으나 그다지 큰 변화를 보이지 않았다. 깔따구에 의한 6일차 때의 Pb 제

(Initial concentration in water : 7.50 mg/L).

(Initial concentration in water : 3.94 mg/L).

(Initial concentration in water : 1.86 mg/L).

Fig. 5. Removal rate of Pb in water by midge.

거울은 21.3%를 보였다. 위의 조건과 비교하여 Pb의 초기농도를 1/2로 줄였을 때(3.94 mg/L), 1일차 Pb의 농도는 급격히 줄어들어 0.52 mg/L 수준까지 떨어졌다. 이 후 2일차, 3일차, 4일차, 5일차, 6일차로 시간이 경과함에 따라 Pb의 농도는 더욱 떨어져 그 농도는 0.04 mg/L까지 이르렀다. 6일차 후의 깔따구에 의한 Pb 제거율은 99%이었다. 더 나아가 위 조건보다 농도를 더욱 낮춰 수중의 초기농도가 1.86 mg/L인 조건에서 실험 하였을 때의 날짜별 농도의 변화율을 살펴보면, 위의 결과와 마찬가지로 1일차부터 6일차까지의 Pb 농도는 0.13 mg/L에서 0.012 mg/L까지 상당히 줄어들었고 이 농도조건에서 깔따구에 의한 Pb 제거율은 99.4%이었다. 결과적으로, 깔따구는 높은 초기농도보다는 낮은 초기농도에서 더 향상된 Pb의 제거율을 보였다.

3.3.5. Zn 제거

깔따구에 의한 수중의 Zn 제거 실험결과를 Fig. 6에 나타내었다. Zn의 수중 초기농도를 1.88 mg/L에서 시작하였을 때, 1일차의 Zn 농도 0.96 mg/L, 3일차의 농도 0.41 mg/L, 6일차의 농도는 0.25 mg/L로 6일차까지 Zn 농도는 점차적으로 감소하였으며 이때의 Zn 제거율은 86.7%에 이르렀다. Zn의 초기농도가 0.92 mg/L인 조건에서도 위의 초기농도 조건에서와 마찬가지로

가지로 1일차부터 6일차 까지 시간이 경과함에 따라 Zn의 농도가 0.05 mg/L까지 줄어들었고 매우 높은 수준의 제거율(94.6%)을 나타내었다.

3.3.6. Cr 제거

깔따구에 의한 수중의 Cr 제거실험의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Cr의 초기농도가 1.91 mg/L인 경우에 1일차, 3일차, 6일차 수중에 있는 Cr 농도는 각각 1.71 mg/L, 1.55 mg/L, 1.39 mg/L으로 점차적으로 줄어드는 경향을 보였으나 그다지 큰 폭의 감소를 보이지 않았다. 6일차까지의 Cr 제거율은 기껏해야 27.2%에 불과하였다. 위의 조건보다 초기농도를 반으로 줄인 0.925 mg/L에서 실험을 행하였을 때 1일차부터 6일차까지의 시간이 경과함에 따라 Cr의 농도는 감소되는 경향을 보였다. 그러나 Cr의 제거효율은 27.4%로 그다지 높지 않았다. 이러한 실험결과는 깔따구에 의한 수중의 Cr 제거 효과가 미비하다는 것을 보여준다.

3.3.7. As 제거

Fig. 8은 1일차부터 6일차까지 깔따구에 의한 As의 제거실험 결과를 나타낸 것이다. 여기서 비소의 수중 초기 농도는 11.7 $\mu\text{g/L}$ 이었고 1일차, 2일차, 3일차, 5일차, 6일차 동안의 시간이 경과하였다 하더라도 농도

Fig. 7. Removal rate of Cr in water by midge.

Fig. 8. Removal rate of As in water by midge.

의 변화를 전혀 보이지 않았다. 위에서 언급한 농도보다 1/2 줄인 5.64 µg/L의 조건에서 실험을 하였을 때에도 시간의 증가에 따라 농도의 변화량은 거의 보이지 않았다. 결과적으로, 초기농도별 실험에서 깔따구로는 수중의 As를 전혀 제거할 수 없다는 결론을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

지역 하천별로 저서성 대형무척추동물인 깔따구 중의 중금속(Cr, Cu, Cd, Pb, Zn, Ni, As)과 diazinon 함유량 측정, 그리고 깔따구에 의한 수중의 오염물질 제거율을 통한 실험에 의해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 깔따구 중의 중금속 농도는 일반적으로 반변천(경북 안동) < 중랑천(서울) < 신길천(인천 시화공단) 순으로 높게 나타났다. 시화공단에 위치해 있는 신길천 깔따구 생체에서 Cu의 농도는 반변천과 중랑천 지역에 서식하고 있는 깔따구보다 매우 높은 수준인 대략 30~70배 이상의 Cu를 함유하고 있었다. 신길천 깔따구의 Zn 함유량은 반변천 깔따구 보다 Zn의 농도가 대략 10배 수준 높았다. As와 다이아지논은 반변천, 중랑천,

신길천 깔따구 모두에서 전혀 검출되지 않았다.

- 2) 깔다구에 의한 수중의 diazinon 제거율은 60~75% 수준이었다.
- 3) 수중의 초기농도가 4.25 mg/L인 Cu의 경우에, 날짜가 6일이 지났어도 수중의 Cu 농도변화는 거의 없었다. 그러나 초기농도를 1.87 mg/L과 0.81 mg/L으로 낮추었을 때 깔다구에 의한 수중의 Cu 농도가 급속히 줄어들어 제거율은 약 90%를 상회하였다. 깔다구에 의한 Ni와 Cd의 제거실험 결과도 Cu와 비슷한 경향을 보였으나 Ni의 제거율은 50%, Cd는 60~73% 수준의 범위를 보였다.
- 4) 수중의 초기농도가 3.94 mg/L과 1.86 mg/L인 Pb의 제거실험 조건에서, 기간이 6일차에 이르러 농도가 각각 0.04 mg/L과 0.012 mg/L으로 급격히 감소하였고 Pb의 제거율은 거의 99% 수준에 도달하였다.
- 5) 실험에서 행한 초기농도 조건(1.88과 0.92 mg/L)에서 깔따구에 의한 수중의 Zn의 제거율은 86~95% 수준의 범위를 나타내었다.
- 6) Cr과 As는 시간이 경과하여도 농도의 변화가 전혀 없었기 때문에 깔따구로 전혀 제거할 수 없었다.

참 고 문 헌

- 박종표, 이상호, 김태원, 2004, 흐름 메커니즘에 의한 깔따구의 분포, 한국수자원학회, 404-408.
- 박종표, 이상호, 이정민, 2006, 수리 구조물의 영향을 받는 순화수로서의 깔따구 분포, 한국수자원학회, 1017-1021.
- 방현우, 이창훈, 정경석, 2008, 4-tert-octylphenol에 노출된 *Chironomus plumosus*의 생태독성과 기형, 환경독성학회지, 23(4), 277-284.
- 배연재, 이병훈, 2001, 한국 하천생태계의 환경 훼손과 담수 절지동물의 생물다양성 피해 및 보전, 한국곤충학회지, 31(2), 63-76.
- 심하식, 박병도, 이영보, 최영철, 김종길, 박해철, 2009, 농업생태계 깔따구 유충의 다양성 및 우점종 님퐁깔따구를 이용한 유기물 분해능 평가, 환경생물학회지, 27(1), 31-39.
- 원두희, 전영철, 권순직, 황순진, 안광국, 이재관, 2006, 저서성 대형무척추동물을 이용한 한국수생물지수의 개발과 생물학적 수계환경평가 적용, 한국물환경학회지, 22(5), 769-784.
- 유동현, 손진오, 모형호, 배연재, 조기중, 2005, 오시마즈 깔따구와 리파리깔따구(파리목: 깔따구과)의 중금속에 대한 급성 독성 및 유영능력 비교, 한국환경생물학회지, 23(2), 98-105.
- 전태성, 박종호, 2005, 양어장 배출수 수질정화를 위한 실지렁이의 이용가능성, 충주대학교 석사논문집, 201-206.
- Allan, J. D., 1995, Stream ecology, structure and function of running waters, Chapman & Hall, London, 156-161.
- http://pesticideinfo.org/Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=P C35079, 2011.
- Kawai, K., Konishi, K., 1986, Fundamental studies on chironomid allergy, I. Culture Methods of Some Japanese Chironomids (Chironomidae, Diptera). Jpn. H. Sanit. Zool., 37, 47-57.
- Na, K. B., 2005, Taxonomy of the Chironomidae (Diptera, Insecta) in Seoul-Gyeonggi area, Korea, The thesis of Master degree in Seoul Women's University, 81.
- Tsumuraya, T., Moriya, K., Matsumoto, T., Mori, T., 1982, The ecology and control of *Chironomus yoshimatsui* in the sewage water treatment plant. Yousi to Haisui, 24, 1356-1362.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, John Wiley & Sons, New York, 23-28.