

## 국내종 물벼룩 *Simocephalus mixtus*에 의한 습지퇴적물 독성도 측정

이 찬 원 · 권 영 택 · 윤 중 섭 · 문 성 원  
경남대학교 토목환경공학부  
(2002년 5월 8일 접수; 2002년 8월 5일 채택)

## Toxicity test of wetland sediments by *Simocephalus mixtus*

Chan-Won Lee, Young-Tack Kwon, Jong-Sup Yun and Sung-Won Moon  
Department of Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea  
(Manuscript received 8 May, 2002; accepted 5 August, 2002)

A comparison of *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia* and *Simocephalus mixtus* toxicity test was performed to study the relative sensitivities and discrimination abilities with both pore and elutriate water of Woopo wetland sediments. Sediment risk assessment has been done by standardized preparation method of pore and elutriate water described in the joint US EPA-US Army Corps of Engineers manual. *Simocephalus mixtus* which was obtained from Woopo wetlands in Korea was cultured and applied to sediment toxicity test. Water quality in Woopo wetland had great site and seasonal variations. *S. mixtus* was more sensitive than *D. magna* in heavy metal toxicity test. The toxicity results with *S. mixtus* reflected the water quality of elutriate and pore water. The results also suggested that *S. mixtus* could be used as a test organism in estimating potential risk of contaminated sediments.

Key words : *Simocephalus mixtus*, Sediment toxicity, pore water, elutriate water, Woopo wetland

### 1. 서 론

생산활동의 결과로 자연계에 존재하지 않았던 물질들이 수중생태계에 유입되어 침전된다. 이렇게 생성된 퇴적물은 각각 입자크기와 화학적 물리적 성질이 지역 및 계절적인 특성을 나타낸다. 최근 여러 호소와 하천이 도시나 농경지의 농약 및 오폐수의 유입으로 오염되어 가고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 많은 노력이 기울여 지고 있으나, 한번 오염된 이후에는 오염행위를 중지하더라도 그 피해가 장기간 지속되는 특징을 가지고 있다.<sup>1)</sup>

생물을 이용한 수중 생태계의 독성도 평가 방법 중 물벼룩을 이용한 방법은 어류를 이용한 방법보다 경제적이며 단시간에 생태계에 미칠 영향을 파악할 수 있고 측정되지 못한 미지의 오염물질 존재

가능성도 유추 할 수 있는 등 종합적인 평가가 이루어 질 수 있다.<sup>2,14,15)</sup>

물벼룩을 이용한 독성 실험은 광범위하게 실시되어지고 있다. 외국의 경우 유출수에 대한 독성 실험에 물벼룩이 많이 사용되어 지고 있다. 뿐만 아니라 강물에 있어서 중금속 독성 및 퇴적물에서의 독성도<sup>2,3,10,11,13)</sup>에 대한 연구도 이루어졌다.

본 연구에서는 경남 창원군에 위치한 우포늪의 수질 및 퇴적물의 오염도를 파악하였다. 그리고 우포늪에서 서식하는 물벼룩종(*Simocephalus mixtus*)과 국외종으로 독성실험에 적용되고 있는 물벼룩(*Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia*)을 이용하여 우포늪 퇴적물이 물벼룩에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 물벼룩 종간의 민감도를 함께 비교하고, 국내종을 이용하여 퇴적물 독성시험에의 이용 가능성을 확인하고자 하였다.

Corresponding Author : Young-tack Kwon, Department of Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea  
Phone : +82-55-249-2248  
E-mail : kwonyt@kyungnam.ac.kr

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

물벼룩으로 퇴적물의 독성도를 평가하기 위하여 Fig. 1의 우포늪 4개 지점에서 수질 시료와 퇴적물 시료를 채취하였다. 채취 지점은 현장특성을 고려하여 오염원의 유입 및 대표적인 특성을 파악할 수 있는 지점을 선택하였다. 채취시기는 1998년 10월과 1999년 1월, 5월에 각각 채취하였다.

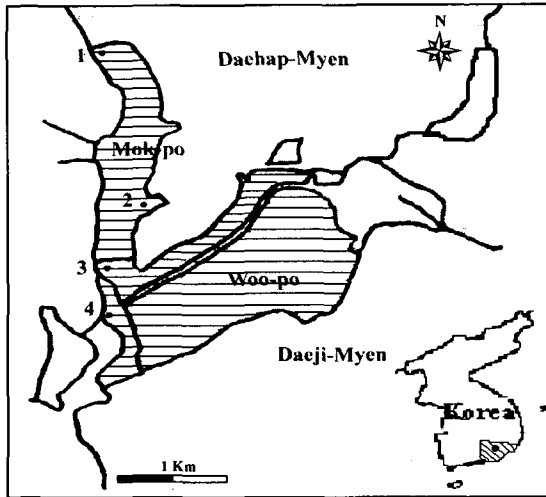


Fig. 1. Sampling sites in Woo-po wetlands.

독성도 실험에 사용된 물벼룩은 Fig. 2와 같이 *D. magna*, *C. dubia* 그리고 *S. mixtus* 로 3종이었으며 이들은 담수 무척추 동물로 갑각류에 속한다.

*D. magna*는 한국화학연구소에서, *C. dubia*는 충북대학교 환경공학과에서 분양 받아 실험실에서 3년 동안 배양한 물벼룩이다. 그리고 국내종인 *S. mixtus*는 경남 창원군 우포늪에 서식하고 있는 종을 채취하여 배양하였다. 실험에 사용된 종들은 모두 호소와 하천 등지에서 서식한다. 또한 이들은 계절에 따라 형태적인 변화를 일으키며, 먹이부족, 수온 변화 등 서식환경에 따라 성장과 증식이 달라진다.

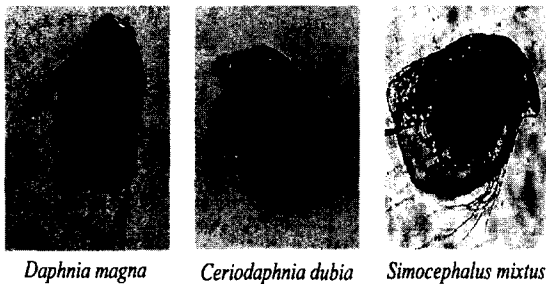


Fig. 2. Photograph of Water fleas used in this study.

2.2. 실험방법

수질 분석 항목 COD, T-P 및 T-N은 수질오염 공정시험법<sup>8)</sup>으로 하였으며, 퇴적물의 강열감량(Ignition loss, IL), COD, T-N, T-P 그리고 유기질소(TKN)의 측정은 일본저질조사방법<sup>9)</sup>에 준하여 실시하였다. 물벼룩을 이용한 퇴적물의 독성도 평가 시험 용액 조제는 간극수 추출법과 용출수 추출법을 사용하였다.

간극수 추출법<sup>2)</sup>은 퇴적물을 45분 동안 20℃에서 8,000 rpm(2949×g)으로 원심분리하여 여과한 후 실험하였고, 4℃에 보관하며 7일 이내에 실험하였다. 용출수 추출법은 장<sup>4)</sup>이 적용한 방법으로 퇴적물과 용출 media의 비를 1:4로 하여 30분 동안 300 rpm으로 교반한 후 상등액을 여과하여 실험하였다. 물벼룩의 독성도 판단은 50%가 치사하는 농도(Lethal concentration 50, LC50)와 치사 소요시간(Lethal time 50, LT50)으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 우포늪 수질

우포늪의 수질은 계절별 지점별로 변화가 심하며, COD 7.3~9.4 mg/L, T-P 0.113~1.500 mg/L, T-N 1.800~5.050 mg/L를 나타내었다. 우포늪 수질의 COD, T-P, T-N 평균농도는 각각 8.5 mg/L, 0.130 mg/L, 2.831 mg/L로 나타나 호소수질기준 4 등급에 해당하였다.

Table 1. Water quality in Woo-po wetland

	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Sep. 1998	9.4	1.643	0.150
Jan. 1999	7.3	1.800	0.128
May 1999	8.9	5.050	0.113

3.2. 우포늪 퇴적물의 특성

퇴적물의 강열감량(Ignition Loss), COD, T-N, T-P, 유기질소(Organic Nitrogen as Kjeldahl Nitrogen, TKN)를 측정하여 Table 2에 나타내었다. Table 2의 결과는 우포늪의 지점별 퇴적물에 함유된 유기물의 농도를 평균하여 나타내었다.

Table 2. Nutrients concentration of sediment collected in Woo-po wetlands

	Sep. 1998	Jan. 1999	May 1999
Ignition Loss (%)	12	11	13
Sediment COD (mg/g)	48	34	34
TKN (mg/g)	20	21	24
T-P (mg/g)	2.06	0.25	3.27

국내종 물벼룩 *Simocephalus mixtus*에 의한 습지퇴적물 독성도 측정

우포늪의 퇴적물의 강열감량, TKN은 비슷한 분포를 보이고 있으며 저질 COD는 1998.10에 48 mg/g으로 가장 높았으며, T-P는 1999년 1월에 0.25 mg/g으로 가장 낮게 나타났다. 우포늪 저질유기물 농도를 USEPA 퇴적물 기준에 적용하면 COD는 비오염지역에 속하며 유기질소와 총인의 농도는 심한 오염지역에 속하는 것으로 나타났다.

3.3. 우포늪 퇴적물에서 추출한 용출수와 간극수의 특성

우포늪의 퇴적물에서 추출한 용출수와 간극수의 COD, 암모니아성 질소, 총인의 측정값은 Table 3과 같으며 용출수와 간극수의 지점별 평균농도를 표에 나타내었다. 간극수와 유기물 농도는 월별차이가 크게 나타났고, 겨울철 간극수의 COD 농도가 높은 이유는 퇴적물 내에 아직 분해되지 못한 유기물이 존재하기 때문인 것으로 생각된다.

Table 3. Nutrients concentration of elutriate water and pore water in Woopo wetlands sediment

Site		Sampling date		
		Sep. 1998	Jan. 1999	May 1999
Elutriate water	COD (mg/L)	81.4	48.9	29.0
	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	4.4	8.1	1.3
	T-P (mg/L)	3.400	0.094	0.620
Pore water	COD (mg/L)	89.9	228.0	32.5
	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	10.1	12.0	2.5
	T-P (mg/L)	4.780	0.300	0.300

3.4. 국내종과 외국종의 독성민감도 비교

우포늪에서 서식하고 있는 물벼룩(*S. mixtus*)과 국내·외 독성실험에 사용되고 있는 물벼룩(*D. magna*)의 독성민감도를 Table 4에 비교하여 나타내었다. 3회 실험한 결과를 평균하여 표시하였으며, 중금속(Cd, Zn, Cu)을 이용하여 독성 실험대상종의 50%가 치사되는 농도(LC50)를 비교하였다. 수치가 작을수록 독성물질에 민감하게 반응함을 의미한다. *C. dubia*의 자료는 Margaret *et. al.*<sup>5)</sup>을 인용하였다.

Table 4. Comparison of *D. magna* and *S. mixtus* in LC50 (48h)

	Cd	Zn	Cu
<i>D. magna</i> <sup>(a)</sup>	97(118)	59(68)	47(54)
<i>S. mixtus</i>	44	56	35
<i>C. dubia</i> <sup>(b)</sup>	(110)	(76)	(27)

<sup>(a)</sup> D. I. Mount and T. J. Norberg, (1984)

<sup>(b)</sup> Margaret W. Toussaint, Tommy Rshedd, Willian, H. Van der schalie, (1995)

물벼룩이 중금속에 대하여 나타내는 반응을 조사하기 위하여 3종류의 중금속(Cu, Zn, Cd)으로 비교 실험한 결과 Cd에 대해서 가장 민감하게 반응을 하였고, 국내종인 *S. mixtus*는 *D. magna*보다 더 민감하게 반응을 하였다. *S. mixtus*는 Cu, Zn에 국외종인 *D. magna*, *C. dubia*보다 더 민감하게 반응을 하였다. 이는 물벼룩을 이용한 독성측정에서 국내종의 적용가능성을 보여주는 결과이다.

3.5. 물벼룩 독성도

물벼룩 독성도는 우포늪 퇴적물의 용출수와 간극수를 이용하여 실험하였고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 독성도는 LT50과 치사율(3 day)을 측정하였다.

Table 5. Toxicity test of elutriate and pore water from Woopo wetlands sediment

Item		<i>D. magna</i>	<i>S. mixtus</i>	<i>C. dubia</i>
LT50(hr) <sup>a)</sup>	elutriate water	109	54	84
	Pore water	101	42	77
3d-mortality rate(% <sup>b)</sup>	elutriate water	18	27	33
	Pore water	14	33	45
3d-mortality rate(% <sup>c)</sup>	elutriate water	5	24	30
	Pore water	7	37	41

<sup>a)</sup>1998. 10 <sup>b)</sup>1999. 1 <sup>c)</sup>1999. 5

1998년 10월에는 물벼룩의 50%가 치사하는 시간(LT50)으로 측정하였으며, 1999년 1월과 5월에는 LT50의 측정이 곤란하여 치사율을 이용하였다. Table 5의 LT50과 치사율은 각 지점의 독성도를 평균하여 작성하였다. LT50과 치사율에서 모두 간극수가 용출수보다 높게 독성이 측정되었다. 이는 간극수내 유기물의 농도가 용출수보다 높기 때문으로 생각된다. 1999년 1월과 5월에 채취한 퇴적물의 물벼룩 치사율을 비교할 때 대체로 1999년 1월의 퇴적물 독성도가 높게 나타났고, 이는 Table 3의 암모니아 등 오염물질농도와 같은 경향을 보여주고 있다. *D. magna*는 *S. mixtus*와 *C. dubia*보다 독성도 측정의 민감도가 낮았다. LT50 측정시 *S. mixtus*가 *C. dubia*보다 민감하게 반응을 하였으나 3-day mortality rate 측정시 *S. mixtus*의 민감도가 저하되었다. 이는 *S. mixtus*가 서식하였던 환경에 적응해 있고, *C. dubia*는 외래종으로 우포늪의 서식환경에 노출되지 않았기 때문일 수 있다. 따라서 우포늪의 경우 생태 변화를 모니터링할 때 자생종을 이용하여 개체수 또는 독성도 변화를 측정하는 것이 바람직할 것이다.

Table 6. *D. magna* and *C. dubia* sediment toxicity test in Namstream

	<i>D. magna</i>	<i>C. dubia</i>
LT50(hr)	7.33	33.9

Table 6은 경남 창원시 기계공업단지의 공단 하천인 남천의 퇴적물을 채취하여 *D. magna*, *C. dubia*의 퇴적물 독성도를 측정된 결과이다.<sup>4)</sup> 이를 1998. 10월 채취한 우포늪 퇴적물의 간극수(pore water) 실험결과와 비교할 때 *D. magna*의 경우 10배 이상 독성이 높게 나타났다. 따라서 우포늪의 퇴적물은 상대적으로 아직까지는 크게 오염되지 않았음을 나타내고 있다. 하지만 퇴적물의 질소와 인의 농도가 높게 나타나 늪의 생태계보전을 위한 지속적인 관리가 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우포늪에 자생하는 물벼룩(*S. mixtus*)과 외래종(*D. magna*, *C. dubia*)을 이용하여 수계의 독성도 평가를 측정 비교하여 국내종 물벼룩의 독성측정 생물로서의 활용 가능성에 대하여 연구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 우포늪의 수질은 계절별, 지점별로 변화가 심했으며, 우포늪의 퇴적물은 US EPA 퇴적물 기준으로 COD는 비오염 지역에 속하며, 유기질소와 총인 농도는 오염 우심 지역에 속하는 것으로 나타났다. 그러나 공단 하천인 남천 퇴적물의 물벼룩 독성도 측정결과에 비교할 때 훨씬 낮게 나타났다.
- 2) 퇴적물에서 추출한 용출수와 간극수의 물벼룩 독성도 측정결과 간극수가 용출수보다 독성이 높게 측정되었다. 이는 간극수내 유기물의 농도가 용출수보다 높은 경향과 일치하였다.
- 3) LT50 측정에서 *S. mixtus*가 *D. magna*와 *C. dubia*보다 민감하게 반응하였으며, 3d-mortality test에서는 *C. dubia*보다 민감도가 저하되었으나 큰 차이는 없었다.
- 4) 증금속을 이용하여 *S. mixtus*와 *D. magna*의 독성도를 비교하였을 때 두 종 모두 Cd에 민감하게 반응하였으며, *S. mixtus*가 *D. magna*보다 더 민감하게 반응하였다. *S. mixtus*는 Cu, Zn에서 *C. dubia*보다 민감한 반응을 나타내어 국내종인 *S. mixtus*는 독성측정 생물로 활용될 수 있음을 보여주었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2002학년도 경남대학교 학술논문게재 연구비 지원으로 이루어졌다.

#### 참 고 문 헌

- 1) US EPA, Selecting remediation techniques for contaminated sediment, EPA 832-B39-001, 1993b.
- 2) Giesy, J. D., R. L. Graney, C. J. Rosiu, and Benda, A., 1988, Comparison of three sediment bioassay methods using Detroit river sediments, *Env. Toxi. Chem.*, 7, 483-498.
- 3) Landrum, P. F., B. J. Eadie, and W. R. Faust, 1991, Toxicokinetic and Toxicity of mixture of sediment associated polycyclic aromatic hydrocarbons to the amphipod *Diporeia* Sp. *Env. Toxi. chem.*, 10, 35-46.
- 4) 장풍국, 1998, 물벼룩의 사망률 및 포란율을 이용한 하천수계의 독성도, 경남대학교 석사논문.
- 5) Margaret, W. Toussaint, Tommy R. Shedd, William, and H. Van der Schalie, 1995, A Comparison of standard acute toxicity tests with rapid screening toxicity tests, *Env. Toxi. Chem.*, 14, 907-915.
- 6) Phipps, G. L., G. T. Ankly., and D. A. Benoit, 1993, Use of the aquatic oligochaete *Lumbriculus Variegatus* for assessing toxicity and bioaccumulation, *Env. Toxi. chem.*, 12, 269-279.
- 7) Mount, D. I. and T. J. Norberg, 1984, A seven-day life cycle cladoceran toxicity test, *Env. Toxi. Chem.*, 3, 425-434.
- 8) 동화기술, 1995, 수질오염·폐기물 공정시험방법.
- 9) 日本環境廳, 1988, 低質調査方法とその解説, 日本環境測定分析協會.
- 10) Malueg, K. W., G. S. Schuytema, J. H. Gakstatter, and D. F. Krawczyk., 1984, Toxicity of sediments from three metal contaminated areas, *Env. Toxi. chem.*, 3, 279-291.
- 11) Lee, S. K., D. Freitag, C. Steinberg, A. Kettrup, and Y. H. Kim, 1993, Effects of dissolved humic materials on acute toxicity of some organic chemicals to aquatic organisms, *Wat. Res.*, 27(2), 199-204.
- 12) Burton C. Suedel and J. H. Rodgers, Jr., 1994, Development of formulated reference sediments for freshwater and estuarine sediment testing, *Env. Toxi. chem.*, 13, 1163-1175.

- 13) Burton G. Jr. Allen, and C. Macpherson, 1995, Sediment toxicity testing issues and methods, In: Handbook of ecotoxicology, 70-103.
- 14) 이찬원, 권영택, 2000, 습지 퇴적물의 생태 환경 독성도 평가, 한국습지학회지 2(1).
- 15) Qureshi, A. A., K. W. Flood, Thompson, S. R., Janhurst, S. M., Innis, C. S., and Rokosh, D. A., 1982, Comparison of a luminescent bacterial test with other bioassays for determining toxicity of pure compounds and complex effluents, In: Aquatic Toxicity and Hazard Assessment: Fifth Conference, ASTM S7P 766, 179-195.