

# 곤쟁이 *Neomysis awatschensis* 의 생존, 성장 및 산소소비에 미치는 구리, 카드뮴, 크롬의 독성

강주찬 · 김흥윤\* · 진 평\*\*

부경대학교 어병학과, \*국립수산진흥원 여천수산종묘배양장, \*\*부경대학교 해양생물학과

## Toxicity of Copper, Cadmium and Chromium on Survival, Growth and Oxygen Consumption of the Mysid, *Neomysis awatschensis*

Ju-Chan KANG, Heung-Yun KIM\* and Pyung CHIN\*\*

Department of Fish Pathology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

\*Yochun Fisheries Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Chunnam 556-905, Korea

\*\*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

In order to estimate toxicity of copper, cadmium and chromium on survival, growth and oxygen consumption of the estuarine mysid, *Neomysis awatschensis*, adult and juvenile, the experiments were conducted by renewal bioassay method at  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  and  $20 \pm 1\text{‰}$  salinity. The 96hr-LC<sub>50</sub> of the mysid exposed to cadmium, copper and chromium was 20.2, 11.3 and 670.4  $\mu\text{g/l}$  in adult and 3.4, 1.9 and 49.4  $\mu\text{g/l}$  in juvenile, respectively, and were ranked in order of toxicity : copper > cadmium > chromium. Survival rates of the mysid exposed to the sublethal concentrations of heavy metals for 40 days were significantly affected by cadmium  $\geq 1.0 \mu\text{g/l}$  and copper  $\geq 0.6 \mu\text{g/l}$  concentrations. The growth rate of the mysid exposed to cadmium  $\geq 2.0 \mu\text{g/l}$  and copper  $\geq 1.2 \mu\text{g/l}$  concentrations were significantly reduced than that exposed to normal condition, but there was no affect on intermoult period. Oxygen consumption rate of the mysid exposed to heavy metals was significantly reduced with increasing heavy metals concentrations. The results of the present study led us to conclude that concentrations levels of cadmium  $\geq 1.0 \mu\text{g/l}$  and copper  $\geq 0.6 \mu\text{g/l}$  of the estuarine could markedly affect the distribution and population of the mysid by reduced survival, growth and oxygen consumption rate.

Key words : *Neomysis awatschensis*, heavy metals, toxicity, survival, growth, oxygen consumption

### 서 론

연안환경으로 유출되는 중금속은 산업구조의 변천과 더불어 중금속 오염원의 종류에 있어서도 복잡하고 다양한 형태로 변모되며, 산업폐수나 산업폐기물의 형태로 자연환경에 노출된 중금속은 직접적으로 또는 여러가지 변화를 거치면서 생물체내에 흡수된다. 따라서 연안해역에 유입된 중금속은 그 양이 소량일지라도 수서생물에 축적되고 (Rainbow, 1985; White and Rainbow, 1985), 결국 먹이망을 통해 인류의 보건에도 악영향을 초래한다 (Kobayashi, 1971).

해양생물에 대한 중금속 독성 연구는 해산 및 하구 무척추동물들 중에서 특히, 갑각류에 대하여 수온과 염분에 따른 독성적 영향을 중심으로 주로 단기간에 걸친 수서생물의 치사농도 혹은 저해성을 밝히고 있다 (McLeese, 1974; Ahsanullah, 1976; Arnott and Ahanullah, 1979). 일반적으로 급성 독성실험은 오염물질에 대한 생물체의 민감성을 측정하는 데에 주로 이용되고, 생태계내에서 오

염원의 농도는 반수치사농도 (LC<sub>50</sub>) 보다 훨씬 낮게 존재한다. 그러므로 특정 오염원의 만성적 독성이 수서생물에 미치는 영향을 급성 독성시험만으로 파악하기는 어렵기 때문에, 아치사농도 (sublethal concentration)에서 동물의 생존 또는 생리적 변화를 조사하는 것이 독성 오염원에 대한 보다 현실적인 정보를 기대할 수 있다. 아치사 농도에서 중금속의 독성 연구에 의하면 동물의 섭식, 대사 및 생식 등에 영향을 미치며 (Thurberg et al., 1973; Gentile et al., 1982; Toudal and Riisgaard, 1987), 많은 종류의 효소활성 역시 중금속에 의한 저해영향이 현저함을 보고하고 있다 (Gaudy et al, 1991).

한편, 수서생물의 중금속 흡수, 생체내 축적 및 독성에 대한 내성의 정도는 중금속 종류와 생물종에 따라 차이를 보이며 (Rainbow and White, 1989), 갑각류의 삼투조절이나 대사적응성은 생활사의 단계 및 탈피를 전후하여 상이하다 (Lee and Buikema, 1979). 이 점을 감안하면 중금속 독성에 대한 내성과 대사조절능 역시 성장단계에 따라 다를 것으로 예상된다.

곤쟁이류는 식용이나 해산어류의 먹이생물로서 생태적으로 중요한 위치에 있다. 이들은 개체의 크기가 비교적 소형이면서 연중생식을 하여 다세대를 형성하며, 중금속 오염이 예상되는 연안 기수역에 주로 분포한다. 또한 이들은 1회에 다량 채집이 가능할 뿐만아니라, 실험실내 사육이 용이하여 해양오염에 대한 생물검정 시험의 재료로서 장점이 많다(Nimmo et al, 1979; Gaudy et al, 1991). 본 연구에서는 cadmium, copper 및 chromium이 곤쟁이의 치하와 성체에 미치는 급성독성과 생존, 성장, 대사 등에 미치는 만성적 영향을 검토하였다.

## 재료 및 방법

곤쟁이 *Neomysis awatschensis*는 경남 김해군 송정리 연안의 간석지 일대에서 손그물을 사용하여 채집하였다. 채집한 곤쟁이는 2~3시간내에 실험실의 PVC 수조에 수용하고, *Artemia* sp. 부화유생을 먹이로 공급하여 사육하면서 실험에 사용하였다. 곤쟁이의 순치 및 실험의 전과정은 20°C로 조절된 항온실에서 실시하였고, 염분은 서식지의 환경을 고려하여  $20 \pm 1\%$ 로 조절하였다. 모든 실험과정 동안 실험동물간의 공식을 방지하기 위하여 실험구는 용량 1ℓ 유리병 20개에 시험용액 500 ml을 넣은 다음 성체와 치하를 각각 1마리씩 넣어 분당 50 ml 정도로 포기하였고, 광주기는 25W의 형광등을 이용하여 명암을 조절 (12L : 12D)하였다.

곤쟁이에 대한 96시간 반수치사농도 (96hr-LC<sub>50</sub>)는 각 중금속의 독성 정도와 아치사농도 (96hr-LC<sub>20</sub>)를 설정하기 위하여 실시하였다. 96hr-LC<sub>50</sub> 실험에 사용한 곤쟁이 성체는 실험실에서 10일 이상 순치시킨 체장 6~8 mm의 개체를, 치하는 보육낭 (brood pouch)에서 방출된 후 2~7일된 것을 중금속 농도별로 각각 20개체씩 사용하였다.

실험용액은 cadmium chloride, copper (II) sulfate 및 potassium dichromate를 자연해수에 용해시켜 cadmium, copper, chromium에 대한 1,000 mg/ℓ의 표준용액을 만든 다음 실험염분으로 조절한 희석해수로서 제조하였다. 이때 침전성 중금속은 sodium citrate를 등비를 첨가하였다. 96hr-LC<sub>50</sub> 실험의 chromium 농도는 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1,000, 5,000 µg/ℓ, cadmium과 copper는 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1,000 µg/ℓ의 8개 농도구를 설정하였다. 실험기간 동안 중금속의 농도변화 및 수질악화를 예방하기 위하여 실험용액은 매일 새로운 용액으로 교환하였고, 먹이는 공급하지 않았다.

곤쟁이의 생존, 성장 및 탈피에 미치는 중금속의 만성적 영향을 파악하기 위하여, 실험실 사육중인 암컷의 보

육양에서 당일 방출된 치하를 각 실험구에서 40일간 사육하였다. 측정치하에 대한 96hr-LC<sub>20</sub>과 이의 1/2 농도인 2개의 농도구를 설정하고, 치하 20개체를 중금속 종류별 각 실험구에 개체별로 수용하였다. 실험용액은 2일에 한번씩 새로운 용액으로 교환함과 동시에 먹이는 *Artemia* sp. 부화유생을 충분히 공급하였고, 대조구는 중금속을 첨가하지 않은 같은 해수를 사용하였다. 40일간 아치사농도에 노출시킨 치하의 생존, 탈피기간 (intermoult period), 탈피회수, 체장성장 및 산소소비는 대조구의 각 항목과 비교하였다. 한편, 탈피체는 탈피 후 체형이 쉽게 손상되지만 미각 (uropod)은 원형을 유지하므로 체장 성장은 수거한 탈피체의 미각장을 측정하여 체장을 환산하였다. 다양한 크기의 곤쟁이 67마리의 체장과 미각장의 관계는 체장 (mm) = 0.174 + 4.651 · 미각장 (mm) (r=0.9952) 이고, 미각장과 체장간에는 암수 성에 따른 차이는 없었다. 체장은 안병을 제외한 액각에서 제6복절의 끝까지, 미각장은 제6복절의 끝에서 강모 (剛毛)를 제외한 미각의 외지 (外肢) 끝까지 측정하였다. 산소소비에 대한 중금속의 영향은 20일 동안 중금속 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 µg/ℓ 농도에 노출시킨 개체들 중에 5개체에 대한 산소소비를 수온 20 ± 0.1°C에서 호흡검량장치 (YSI 5301) 및 산소측정기 (YSI 53)를 사용하여 건조중량 mg당 1시간 동안 소비한 산소량을 Kim and Chin (1991)의 방법으로 3회 반복 측정하였다. 96hr-LC<sub>50</sub>은 probit 분석법 (Finney, 1971)으로 산출하였고, 40일간 아치사농도의 노출에 따른 대조구와 실험구 사이의 유의성은 분산분석 (ANOVA)에 의해 검정하였다.

## 결 과

### 1. 반수치사농도 (LC<sub>50</sub>)

곤쟁이 성체와 치하에 대한 cadmium, copper 및 chromium의 96hr-LC<sub>50</sub>은 Table 1과 같다. 성체의 96hr-LC<sub>50</sub>은 chromium이 670.4 µg/ℓ이었으나 cadmium과 copper의 경우에는 각각 20.2 µg/ℓ과 11.3 µg/ℓ으로서, chromium에 비해 cadmium과 copper는 현저하게 낮은 값을 보였다. 96hr-LC<sub>50</sub>을 기준으로 성체에 대한 중금속 종류별 독성 순위는 copper > cadmium > chromium 순이었다. 곤쟁이 치하의 96hr-LC<sub>50</sub>은 cadmium, copper 및 chromium이 각각 3.4 µg/ℓ, 1.9 µg/ℓ, 49.4 µg/ℓ으로서 성체와 마찬가지로 독성 순위는 copper > cadmium > chromium 순이었다.

곤쟁이 성체와 치하에 대한 중금속의 독성을 비교하기 위하여 96hr-LC<sub>50</sub>의 비를 산출하여 본 바 (Table 2), cadmium, copper 및 chromium에서 각각 6.0, 5.9 및 13.6로

**Table 1. Lethal concentrations of cadmium, copper and chromium to the mysid, *Neomysis awatschensis*, adult and juvenile**

	Heavy metal	*Experimental condition				96hr-LC <sub>50</sub> (µg/l)
		Temperature (°C)	Salinity (‰)	pH	Dissolved oxygen (mg/l)	
Adult	Cadmium	20 ± 0.8	20 ± 0.5	8.0 ± 0.6	6.3 ± 1.0	20.2
	Copper	20 ± 0.9	20 ± 0.7	7.8 ± 0.8	6.5 ± 0.9	11.3
	Chromium	20 ± 0.9	20 ± 0.4	7.7 ± 0.7	6.3 ± 0.7	670.4
Juvenile	Cadmium	20 ± 1.0	20 ± 0.8	8.0 ± 0.9	6.7 ± 1.1	3.4
	Copper	20 ± 0.7	20 ± 1.0	7.9 ± 0.6	6.5 ± 0.8	1.9
	Chromium	20 ± 0.8	20 ± 0.7	7.8 ± 1.0	6.6 ± 0.7	49.4

\*Data were presented as mean ± SD (n=5)

**Table 2. Ratios in 96hr-LC<sub>50</sub> for adults and juvenile of the mysid, *N. awatschensis*, exposed to cadmium, copper and chromium**

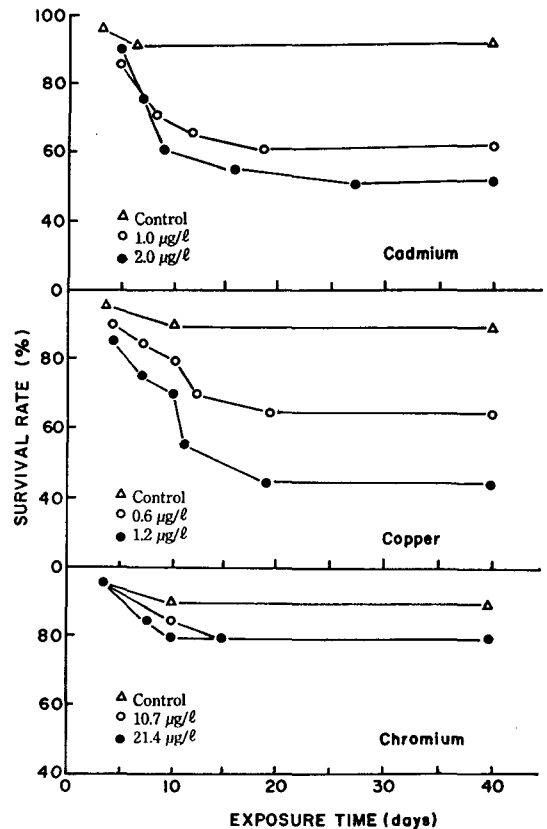
Heavy metal	96hr-LC <sub>50</sub> (µg/l)		LC <sub>50</sub> ratio (Adult/Juvenile)
	Adult	Juvenile	
Cadmium	20.17	3.37	6.0
Copper	11.29	1.93	5.9
Chromium	670.44	49.35	13.6

성체에 비해 치하에서 독성이 강하게 작용하였다. 또한, chromium은 cadmium과 copper에 비해 2배 이상의 높은 값을 나타냄으로써 cadmium과 copper 보다 독성이 약한 것으로 나타났다.

## 2. 생존율

곤쟁이 치하를 각 중금속의 아치사 농도와 이의 1/2 농도에 40일간 사육하면서 생존율을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 실험종료시 대조구는 90%의 생존율을 보였다. 중금속 종류와 농도별 치하의 생존율은 대조구와 비교하여 cadmium 1.0 µg/l에서는 30%, 2.0 µg/l에서는 40% 감소하였으며, copper 농도 0.6 µg/l과 1.2 µg/l에서는 각각 30% 및 45% 낮은 값을 보였다. 이에 반하여 chromium 10.7 µg/l와 21.4 µg/l에 노출시킨 실험구의 생존율은 대조구에 비하여 약 10% 감소하는 현상을 보였다.

한편, cadmium 1.0 µg/l에서는 노출시간이 경과할수록 치하의 생존율은 감소하다가 18일 이후에는 폐사개체가 발견되지 않았다. 그러나 cadmium 2.0 µg/l에서는 노출 후 27일까지 생존율이 감소하였으나 그 이후에는 폐사개체가 없었다. Copper 0.6 µg/l 및 1.2 µg/l에서 치하의 생존율은 고농도에서 낮았지만 18일 이후에는 노출시간이 지속되어도 생존율 감소는 없었다. Chromium에서 치하의 생존율은 15일부터 농도에 따른 차이를 보이지 않았으며, cadmium과 copper에서의 생존율 보다 높았다.

**Fig. 1. Survival rates of *Neomysis awatschensis* exposed to sublethal concentrations of cadmium, copper and chromium.**

## 3. 탈피 및 성장

곤쟁이 치하를 중금속 종류와 농도별로 개별사육하면서 성장과 탈피에 미치는 영향을 조사하는 동안 각 개체의 탈피회수는 10~11회였다. 이러한 결과로부터 10회의 탈피까지 소요되는 누적기간과 연속적인 각 탈피기간의

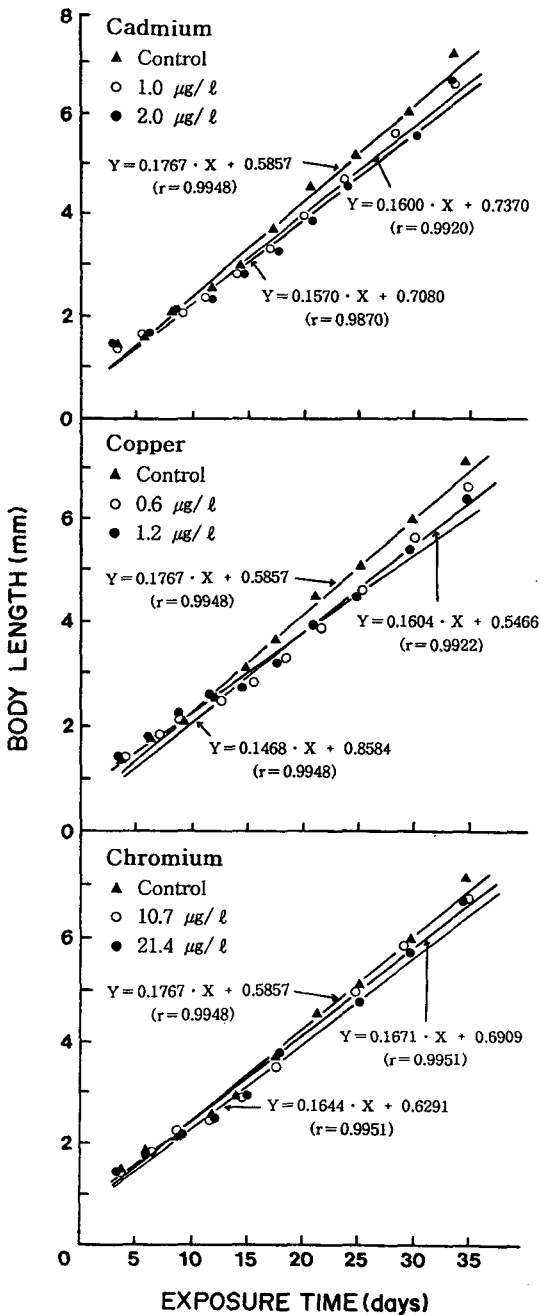


Fig. 2. Growth in body length of *N. awatschensis* exposed to sublethal concentrations of cadmium, copper and chromium.

평균값을 Table 3에 표시하였다. 치하의 탈피기간은 탈피회수가 증가함에 따라 길었으나 대조군에 비해 중금속 농도별 탈피기간에는 차이가 없었다. 또한 10회 탈피까지 소요되는 평균기간은 대조군에서 36.3일이었고, 실험군에

서는 36.0~36.7일이 소요되어 중금속 종류와 농도에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

Cadmium, copper 및 chromium의 아치사 농도에 노출시킨 치하의 성장을 중금속 종류 및 농도별로 노출시간에 대한 체장성장 회귀식으로 Fig. 2에 나타내었다. Cadmium과 copper의 아치사농도에서는 회귀직선식의 기울기값이 낮아져서 성장이 둔화되는 현상을 보였는데 cadmium 2.0  $\mu\text{g}/\text{l}$ 과 copper 1.2  $\mu\text{g}/\text{l}$ 에 노출된 실험군과 대조군의 기울기값 사이에는 99% 신뢰관계에서 유의한 차이를 보였다 ( $P < 0.01$ ). 그리고 chromium의 각 농도에서는 노출시간에 대한 체장성장의 기울기는 대조군과 유의한 차이가 없었다.

보육장에서 방출된 치하(평균체장, 1.48 mm)를 cadmium, copper 및 chromium의 아치사 농도와 이의 반응도에 40일간 노출시키면서 10회 탈피 후의 체장과 평균 체장성장률을 조사하였다 (Table 4). 10회 탈피 후에 대조군의 평균 체장은 7.1 mm, 평균 체장성장률은 0.41 mm/day였다. Cadmium 2.0  $\mu\text{g}/\text{l}$ 과 copper 1.2  $\mu\text{g}/\text{l}$ 에 노출된 개체는 체장 1.48 mm에서 각각 6.31, 6.26 mm로 성장하였고, 평균 체장성장률은 0.120~0.127 mm/day로서 대조군에 비하여 성장률이 낮았다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 chromium의 각 농도에 노출된 실험군의 성장은 대조군과 유의한 차이가 없었다.

한편, 중금속 독성이 각 탈피사이의 체장증가에 미치는 영향을 파악하기 위하여 10회까지의 탈피회수를 기준으로 각 탈피간 체장증가율을 산출하였다 (Table 5). Cadmium과 copper의 아치사 농도에 노출시킨 치하의 각 탈피간 체장증가율은 대조군과 비교하여 1~6회 탈피까지는 낮은 값을 보이다가 이후에는 대조군과 비슷한 체장증가율을 보였다. 이에 반하여 chromium의 아치사 영향농도에 폭로된 치하는 10회의 탈피까지 각 탈피간 체장증가율이 감소하는 현상은 없었다.

#### 4. 산소소비

Cadmium, copper 및 chromium의 각각의 농도에 20일간 노출시킨 곤쟁이의 산소소비량을 Fig. 3에 표시했다. 산소소비량은 중금속 농도가 높을수록 감소하였다. Cadmium 50  $\mu\text{g}/\text{l}$ 과 copper 100  $\mu\text{g}/\text{l}$  이상의 농도에서는 실험개체가 전부 사망하여 결과를 얻을 수 없었으며, 각 중금속의 농도가 높을수록 산소소비량은 완만하게 감소하였고, 중금속 농도가 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  이상에서는 산소소비량의 저하가 현저하였다. 한편, 대조군의 산소소비량을 기준으로 하여 중금속농도에 따른 산소소비량은 cadmium과 copper는 5  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 크롬은 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  농도에서 약 50% 감소하였다.

**Table 3. Mean intermoult period of the mysid, *N. awatschensis*, juvenile exposed to sublethal concentrations of cadmium, copper and chromium for 40 days**

Order of successive moulting	Intermoult period (days)						
	Control	Copper ( $\mu\text{g}/\ell$ )		Cadmium ( $\mu\text{g}/\ell$ )		Chromium ( $\mu\text{g}/\ell$ )	
		0.6	1.2	1.0	2.0	10.7	21.4
1	3.2	3.3	3.1	2.9	2.8	3.0	3.1
2	2.6	2.9	2.8	2.6	2.9	2.9	2.9
3	3.1	3.0	3.0	3.2	3.0	3.2	3.2
4	3.2	3.1	3.0	3.0	3.2	3.3	3.0
5	3.0	3.1	3.1	3.2	3.4	2.9	3.2
6	3.4	3.3	3.2	3.3	3.2	3.5	3.3
7	3.7	3.8	3.5	3.8	3.7	3.6	3.8
8	4.0	4.2	4.5	3.7	4.0	4.6	3.7
9	4.9	4.8	4.3	4.9	4.2	4.7	4.6
10	5.2	5.3	5.3	5.3	5.2	5.4	5.3
Cumulative sum	36.3	36.7	36.0	35.9	35.6	36.6	36.1

**Table 4. Growth of body length and daily growth rates of *N. awatschensis* juvenile exposed to sublethal concentrations of cadmium, copper and chromium**

Heavy metal	Concentration ( $\mu\text{g}/\ell$ )	Exposure time (days)	Moulting frequency	Body length (mm)		Mean growth rate (mm/day)
				Initial	Final	
Cadmium	1.0	40	10	1.48	6.50	0.126
	2.0	40	10	1.48	6.31	0.121
Copper	0.6	40	10	1.45	6.54	0.127
	21.2	40	10	1.48	6.26	0.120
Chromium	10.7	39	10	1.48	6.68	0.133
	21.4	39	10	1.48	6.64	0.132
Control	0	40	10	1.48	7.10	0.141

**Table 5. The percentage increase in body length at each moult of *N. awatschensis* exposed to sublethal concentration of heavy metals as compared with control group**

Heavy metal	Concentration ( $\mu\text{g}/\ell$ )	Order of successive moulting			
		1~4	4~6	6~8	8~10
Cadmium	1.0	96	93	100	100
	2.0	96	91	101	102
Copper	0.6	104	82	99	100
	1.2	102	88	102	102
Chromium	10.7	103	97	96	98
	21.4	98	104	99	98
Control	0	100	100	100	100

## 고 찰

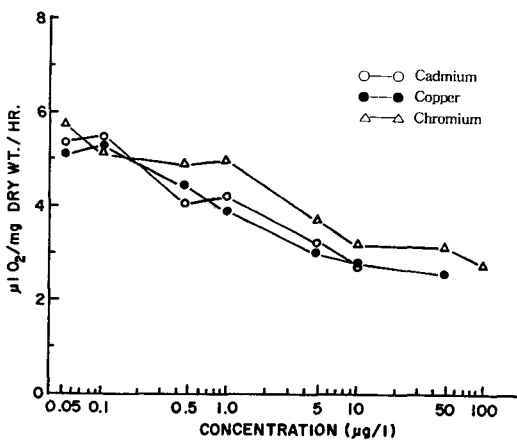
중금속이 수서생물에 미치는 독성은 수온과 염분 등의 환경요인과 동물의 생리적 상태 및 생물종에 따라 다르게 나타나고 (McLeese, 1974; Ahsanullah, 1976; Sullivan, 1977; Arnott and Ahsanullah, 1979; De Listle and Roberts, 1988; Birregaard, 1990), 일반적으로 일정 농도일지라도 노출기간이 길면 독성은 큰 것으로 알려져 있다. 특히, 갑각류는 주기적인 탈피를 거듭하면서 성장하므로

탈피시기에 삼투조절과 같은 생리적 변화가 극심하며 삼투조절 능력은 큰 개체가 작은 개체에 비하여 높다 (Thurberg et al., 1973; Anger et al., 1989).

수온 20°C, 염분 20‰에서 copper, cadmium 및 chromium에 노출시킨 곤쟁이 성체의 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각 20.2  $\mu\text{g}/\ell$ , 11.3  $\mu\text{g}/\ell$ , 670.4  $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 치하에서는 copper가 1.9  $\mu\text{g}/\ell$ , cadmium에서 3.4  $\mu\text{g}/\ell$  및 chromium에서는 49.4  $\mu\text{g}/\ell$ 로서 성체에 비하여 반수치사 농도는 현저하게 낮았으나 치사독성은 copper>cadmium>chromium 순으로 동

**Table 6. LC<sub>50</sub> of three marine crustacea exposed to cadmium, copper and chromium**

Heavy metal	Species	Time (hr)	LC <sub>50</sub> (µg/ℓ)	Source
Cadmium	<i>Mysidopsis bahia</i>	96	110	Lussler et al. (1985)
	<i>Daphnia magna</i>	48	65	Robert and Michael (1976)
	<i>Neomysis awatschensis</i>	96	20.2	Present study
Copper	<i>Mysidopsis bahia</i>	96	181	Lussler et al. (1985)
	<i>Daphnia magna</i>	48	9.8	Robert and Michael (1976)
	<i>Neomysis awatschensis</i>	96	11.3	Present study
Chromium	<i>Mysidopsis bahia</i>	96	2,030	Lussler et al. (1985)
	<i>Neomysis awatschensis</i>	96	670.4	Present study



**Fig. 3 The oxygen consumption of *N. awatschensis* exposed to cadmium, copper and chromium for 20 days.**

일하였다. 곤쟁이 성체와 치하에서 보인 반수치사농도의 차이는 개체크기 차이에 기인한 당연한 결과로 볼 수 있다. 일반적으로 갑각류의 탈피기간은 수온이 높고 개체의 크기가 작을수록 탈피기간은 짧다. 수온 15°C와 25°C에서 동종에 대해 보고된 체장별 탈피기간 (Kim and Chin, 1991)과 본 실험의 아치사 농도에서 측정된 탈피기간을 적용하면 96시간 노출 동안 치하는 최대 2회, 성체는 1회 내지는 탈피가 전혀 없었던 개체가 상당수 존재하였을 것으로 추정된다. 따라서 성체와 치하에서 보인 LC<sub>50</sub>의 차이는 개체크기에 따라 독성에 대한 내성과 삼투조절 능력이 다르고, 탈피가 빈번한 치하에서는 탈피기에 중금속의 영향이 가중되어 나타난 복합적인 현상으로 생각 된다.

한편, 급성 독성실험의 LC<sub>50</sub>은 오염원에 대한 실험생물의 민감성을 측정하는 데에 일반적으로 이용되므로 지표생물로서 가능성을 검토하는 수단으로 활용될 수 있다. 곤쟁이 성체에 대한 96hr-LC<sub>50</sub>을 갑각류에 대하여 보고된 독성시험의 결과와 비교하여 본 바 (Table 6), copper에

서는 *Daphnia magna*에 비하여 비교적 높은 값을 보인 반면, 곤쟁이류 일종인 *Mysidopsis bahia* 보다는 낮았다. 그리고 cadmium과 chromium에 노출된 성체의 반수치사 농도는 *M. bahia*와 *D. magna*에 비해 현저하게 낮았다. 그러나 갑각류 유생에 대한 독성시험의 결과는 희소하지만 copper에 대한 LC<sub>50</sub>은 *Hormarus gammarus*의 유생이 10 µg/ℓ로 보고되어 있는데 (Kenneth and Christensen, 1972), 곤쟁이 치하와는 생활사와 치하 발생과정상 생육 단계가 상이하므로 직접적인 비교는 어렵다.

곤쟁이 치사에 미치는 중금속 종류별 독성은 copper > cadmium > chromium 순이었다. 굴에 대한 중금속의 독성은 copper > cadmium > zinc의 순이었고 (Connor, 1972), *M. bahia*는 곤쟁이에서 보인 독성순위와 동일하였다 (Lusser et al., 1985). 그러므로 각 중금속에 대한 치사 정도는 생물종의 내성에 따라 그 농도에 차이를 보이지만 중금속 종류별 독성은 유사하게 작용하는 것으로 추정된다.

한편, 곤쟁이 치하에 대한 성체의 96hr-LC<sub>50</sub> 농도비는 copper, cadmium, chromium에서 각각 5.9, 6.0 및 13.6이었다. Chromium에서 보인 높은 농도비는 성체에 비해 치하의 생존에 미치는 chromium의 독성이 상대적으로 높았음을 의미하며, 또한 copper와 cadmium에서 보인 낮은 치하와 성체에 대한 치사 독성이 chromium에 비하여 상대적으로 훨씬 높아서 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 따라서 반수치사 농도비는 오염원의 독성이 생물의 생활사 또는 성장단계별로 미치는 영향을 판단하는 지표로 이용될 수 있을 것으로 여겨진다.

곤쟁이 치하를 중금속 종류별로 아치사 농도에 40일간 노출시키면서 생존에 미치는 독성 영향을 조사한 결과, copper와 cadmium에서는 대조군에 비하여 노출 20일을 전후하여 30% 이상 생존율이 감소하였고, 일정기간 이후에는 노출이 지속되어도 생존을 감소현상은 없었다. 이러한 결과는 영향농도의 중금속에 장기간 노출되더라도 생존개체는 성장이 진행되고, 성장함에 따라 중금속에 대한 내성이 증가함으로써 나타난 결과로 보여진다.

그러나 40일간 노출 후 생존개체의 체장은 대조군에 비하여 특히, cadmium과 copper 노출군에서 작았고, 각 탈피간 체장증가율은 10회의 탈피중에서 4~6회체의 탈피기에 다소 낮은 값을 보였지만 탈피기간에 미치는 중금속 영향은 없는 것으로 나타났다. Gentile et al. (1982)은 곤쟁이에 비하여 성체의 최대체장이 훨씬 큰 곤쟁이류의 *M. bahia*와 *M. bigelowi*를 cadmium 10  $\mu\text{g}/\ell$ 에 장기간 노출시킨 결과, 성성숙 개시시기에 두 종 모두에서 형태 이상이 관찰되었고, 보육낭에서 1차로 치하가 방출 (initial reproduction)된 후에는 cadmium 영향으로 비롯된 두흉갑의 기형에 의해 탈피가 연속적으로 일어나지 못하게 되어 그 결과로 어미는 폐사하여 연속적인 생식 (successive reproduction)이 진행되지 않았고, 이러한 저해기작은 탈피과정, chitin의 침착 및 삼투조절 관련 효소반응에 미치는 cadmium의 영향으로 추정하였다. 이러한 점으로 보아 비록 본 연구에 적용한 만성독성 농도는 상기 두 종에 적용된 농도보다 낮지만 곤쟁이의 성장에 미치는 독성적 영향 특히, cadmium 2.0  $\mu\text{g}/\ell$ , copper 1.2  $\mu\text{g}/\ell$  이상의 농도에서는 상당할 것으로 생각된다. 즉, cadmium, copper 및 chromium은 곤쟁이 성체와 치하의 생존과 성장에 미치는 독성이 현저하였고, 저농도의 중금속일지라도 생존율과 성장률이 감소하는 경향은 뚜렷하였다.

중금속에 노출된 해산동물은 효소활성 수준을 직접적으로 저해하여 산소소비의 변화를 초래하지만 (Bryan, 1971), 해산 무척추동물인 경우 요각류의 *Acartia clausi*는 copper의 영향으로 산소소비가 증가하고 (Moraitou-Apostolopoulou et al., 1979), 진주담치 *Mytilus edulis*는 감소 (Brown and Newell, 1972)하는 반면, 요각류의 *Pseudocalanus* sp.와 *Calanus* sp.의 산소소비는 copper에 노출 동안 일정하게 유지된다는 결과도 보이고 있다 (Reeve et al., 1977). 3종의 중금속에 대하여 조사한 곤쟁이의 산소소비는 중금속별로, 그리고 실험한 모든 농도에서 감소하였는데 아치사농도의 cadmium에 노출시킨 곤쟁이류 *Leptomysis linguvura*는 cadmium의 농도가 높을수록 산소소비가 감소하여 (Gaudy et al., 1991) 본 연구와 부합하였다.

곤쟁이는 연안의 기수역에 주로 서식하므로 연안으로 중금속이 유입 될 때, 급성 및 만성적 농도에 노출될 가능성이 많으며, 저농도의 중금속일지라도 장기간 노출되면 곤쟁이의 생존, 성장 및 산소소비가 감소하는 점으로 보아, 그들의 분포 및 개체군에 많은 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

## 요 약

곤쟁이 *Neomysis awatschensis*의 치하와 성체에 대한 중금속의 급성독성 수준과 아치사 농도에서 생존, 성장, 탈피 및 산소소비에 미치는 cadmium, copper 및 chromium의 독성을 검토하였다.

Cadmium, copper 및 chromium에 대한 곤쟁이 성체의 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각 20.2, 11.3, 670.4  $\mu\text{g}/\ell$ , 치하에서는 각각 3.4, 1.9 및 49.4  $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 성체와 치하의 96hr-LC<sub>50</sub>을 기준으로 중금속의 독성은 copper > cadmium > chromium 순이었다.

치하를 각 중금속의 아치사 농도에 40일간 노출시키면서 생존, 성장 및 탈피에 미치는 영향을 조사한 결과, 생존율은 cadmium이  $\geq 1.0 \mu\text{g}/\ell$ , copper  $\geq 0.6 \mu\text{g}/\ell$ 에서 유의한 감소를 보였다. 성장률은 cadmium  $\geq 2.0 \mu\text{g}/\ell$ 와 copper  $\geq 1.2 \mu\text{g}/\ell$ 의 농도에서 유의한 감소가 관찰되었으나 탈피기간에는 영향이 없었다. 산소소비는 중금속 농도가 높을수록 감소하였고, 대조구의 산소소비를 기준으로 하여 중금속 농도에 따른 산소소비는 cadmium과 copper는 5  $\mu\text{g}/\ell$ , chromium은 10  $\mu\text{g}/\ell$  농도에서 약 50% 감소하였다.

이상의 결과로부터 하구역에 cadmium이  $\geq 1.0 \mu\text{g}/\ell$ , copper가  $\geq 0.6 \mu\text{g}/\ell$ 의 농도가 존재할 경우 곤쟁이의 분포와 개체군의 크기에는 많은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- Ahsanullah, M. 1976. Acute toxicity of cadmium and zinc to seven invertebrate species from a Western port, Victoria. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 27, 187~196.
- Anger, K., J. Harms, C. Puschel and B. Seeger. 1989. Physiological and biochemical changes during the larval development of a brachyuran crab reared under constant conditions in the laboratory. Helgöland Meeresunters, 43, 225~244.
- Arnott, G. H. and M. Ahsanullah. 1979. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to three species of marine copepod. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 30, 63~71.
- Bjreggaard, P. 1990. Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Carcinus maenas*. Mar. Biol., 106, 199~206.
- Brown, B. E. and R. C. Newell. 1972. The effects of copper and zinc on the metabolism of the mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., 16, 108~118.

- Bryan, G. W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) in marine and estuarine organisms. Proc. R. Soc. (Ser. B), 117, 389~410.
- Connor, P. M. 1972. Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar. Pollut. Bull., 3, 190~192.
- De Lisle, P. F. and M. H. Roberts Jr. 1988. The effects of salinity on cadmium toxicity to the estuarine mysid *Mysidopsis bahia*: role of chemical speciation. Aquat. Toxicol., 12, 357~370.
- Finney, D. J. 1971. Probit Analysis. 3rd ed. Cambridge Univ. Press, London, 333 pp.
- Gaudy, R., J. P. Guerin and P. Kerambrum. 1991. Sublethal effects of cadmium on respiratory metabolism, nutrition, excretion and hydrolase activity in *Leptomysis lingvura* (Crustacea: Mysidacea). Mar. Biol., 109, 493~501.
- Gentile, S. M., J. H. Gentile, J. Walker and J. F. Heltshe. 1982. Chronic effects of cadmium on two species of mysid shrimp: *Mysidopsis bahia* and *Mysidopsis bigelowi*. Hydrobiologia, 93, 195~204.
- Kenneth, E. B. and G. M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1691~1700.
- Kim, H. Y. and P. Chin. 1991. Growth and energy budget of opossum shrimp, *Neomysis awatschensis*. Korean J. Zool., 34, 594~609 (in Korean).
- Kobayashi, J. 1971. Relation between "Itai-itai" disease and the pollution of river water by cadmium from mine. In S.H. Jenkins ed., Advances in water pollution research, 1970. Vol. 1, Pap. I-25, 7 p., Pergamon Press, Oxford.
- Lee, D. R. and A. L. Buikema. 1979. Molt-related sensitivity of *Daphnia pulex* in toxicity testing. J. Fish. Res. Bd. Can., 36, 1129~1133.
- Lussler, S. M., J. H. Gentile and J. Walker. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia*. Aquat. Toxicol., 7, 25~35.
- McLeese, D. W. 1974. Toxicity of copper at two temperature and three salinities to the American lobster, *Homarus americanus*. J. Fish. Res. Bd. Can., 31, 1949~1952.
- Moraitou-Apostolopoulou, M., G. Verriopoulos and P. Lentzou. 1979. Effects of sublethal concentration of cadmium as possible indicators of cadmium pollution for two populations of *Acartia clausi* (Copepoda) living at two differently polluted areas. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 9, 97~100.
- Nimmo, D. R., L. H. Bahner, R. A. Rigby, J. M. Sheppard and A. J. Wilson Jr. 1979. *Mysidopsis bahia* an estuarine species suitable for life-cycle toxicity tests to determine the effects of a pollutant. ASTM STP 634, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 109~116.
- Rainbow, P. S. 1985. Accumulation of Zn, Cu, and Cd by crabs and brancles. Estuar. Coast. Shelf Sci., 21, 669~686.
- Rainbow, P. S. and S. L. White. 1989. Comparative strategies of heavy metal accumulation of crustacean: zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. Aquat. Toxicol., 16, 113~126.
- Rainbow, P. S. and S. L. White. 1990. Comparative accumulation of cobalt by three crustacean: a decapod, an amphipod and a barnacle. Aquat. Toxicol., 17, 113~126.
- Reeve, M. R., Gamble, J. C. and M. C. Walter. 1977. Experimental observation on the effects of copper on copepod and other zooplankton: controlled ecosystem pollution experiments. Bull. Mar. Sci., 92~104.
- Robert, W. W. and P. F. Michael. 1976. Acute and chronic toxicity of copper to four species of *Daphnia*. J. Fish. Res. Bd. Can., 33, 1685~1691.
- Sullivan, J. K. 1977. Effects of salinity and temperature on the acute toxicity of cadmium to the estuarine crab *Paragrapsus gaimardii* (Milne Edwards). Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 28, 739~743.
- Thurberg, F. P., M. A. Dawson and R. S. Collier. 1973. Effects of copper and cadmium on osmoregulation and oxygen consumption in two species of estuarine crabs. Mar. Biol., 23, 171~175.
- Toudal, K. and H. U. Riisgaard. 1987. Acute and sublethal effects of cadmium on ingestion, egg production and life-cycle development in the copepod *Acartia tonsa*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 37, 141~146.
- White, S. L. and P. S. Rainbow. 1985. Accumulation of cadmium by *Palaemon elegans* (Crustacea: Decapoda). Mar. Ecol. Prog. Ser., 32, 17~25.

1996년 11월 25일 접수

1997년 9월 5일 수리