

곤쟁이, *Archaeomysis kokuboi*에 미치는 phenol의 급성 및 만성독성

김정선 · 진 평
부산수산대학교 해양생물학과

Acute and Chronic Toxicity of Phenol to Mysid, *Archaeomysis kokuboi*

Jeong-Seon KIM and Pyung CHIN

Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

Acute and chronic toxicity of phenol on the mortality, long-term survival and respiration rates of the mysid, *Archaeomysis kokuboi* adult and juvenile were examined. This experiment was conducted by static bioassay procedure with the different salinity at 25°C.

In lethal test, the test animals were exposed to 6 different phenol concentrations to determine LC₅₀ and LT₅₀ (median lethal concentration and time) values.

The LC₅₀ values with the exposure time for the mysid adult ranged from 31.31ppm to 1.49ppm phenol and for the mysid juvenile ranged from 6.90ppm to 0.26ppm in all experimental groups. Mortality was increased with the decrease of salinity.

The 96hr-LC₅₀ values at 16, 24 and 32‰ salinity for the mysid adult were 1.49, 2.71 and 4.53ppm phenol, while the values for the mysid juvenile were 0.26, 0.56 and 0.71ppm, respectively. The ratios of 96hr-LC₅₀ values for the mysid adult to those for the mysid juvenile at 16, 24 and 32‰ salinity were 5.73, 4.84 and 6.38, respectively. The mysid juveniles were more sensitive to phenol than the mysid adults.

Compared LT₅₀ values for the mysid adult with those for the mysid juvenile, the LT₅₀ values for the mysid adult ranged from 384.7 to 29.0 hours at 1.7~12.7ppm phenol concentrations and for the mysid juvenile ranged from 132.2 to 18.7 hours at 0.5~6.0ppm phenol concentrations. The lowest LT₅₀ values for the mysid adult and juvenile were showed at the combination of the highest experimental concentration of phenol and the lowest experimental salinity. The mysid juveniles showed lower LT₅₀ values than those of adults.

The chronic effects of phenol on the mysid at the sublethal effective concentration of phenol were lower in the 32‰ salinity group than 16 or 24‰ salinity groups.

Oxygen consumption rates of the mysid adult were decreased with the increase of phenol concentration and exposure time, and decreased significantly in lower salinity at the same concentration of phenol.

Key words : Mysid, phenol, toxicity, LC₅₀, O₂ consumption

서 론

원유내에 함유된 성분중 벤젠화합물이나 나프탈렌과 같이 분자량이 작은 방향족 탄화수소 화합물은 가용성이 상당히 높아 원유 독성에 관한 연구는 대부분 이들 화합물을 중심으로 수행되었다. 그 중에서 페놀

성 화합물은 다른 탄화수소 화합물보다 용해성이 특히 높기 때문에 수서 생물에 있어서 중요한 독성물질이라고 알려져 있다(Korn et al., 1985).

페놀성 화합물은 대개 정유공장과 유관 산업체에서 배출하는 폐수내에서 검출된다(Turnbull et al., 1954; Gould and Dorris, 1961; Rowe et al., 1983). 자연환경

에 방출되는 여러가지 유기오염제들은 직간접으로 생물체내에 흡수되며, 그 양이 미량일지라도 수서생물에 심대한 장해영향을 미치고, 결국에는 먹이연쇄에서 각 영양단계의 대량 폐사를 유발하여 생태계의 불안정을 초래하게 될 뿐만아니라 식수원에 직접 유입될 경우 인류의 보건에도 심각한 위험을 준다.

Mysid류는 하구 및 연안 생태계에서 어류, 갑각류 및 조류들의 중요한 먹이가 됨으로서 천해생태계의 영양단계에 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 (Brown, 1964; Clutter and Theilacker, 1971; Stickeney et al, 1974; Lasink, 1983; Rossouw, 1983), 그 크기가 비교적 소형이고 채집 및 실험실사육이 용이하여 해양오염에 대한 생물검정재료로 널리 사용되어 왔다 (Nimmo et al., 1979, Ahn and Chin, 1986).

따라서 유기오염제 및 원유성분의 급성 및 만성독성 연구는 곤쟁이류에 대하여서도 상당히 보고되어 있다. Hargreaves et al. (1982)은 곤쟁이, *Neomysis americana*에 대한 나프탈렌의 독성영향 및 체내축적을 조사하였고, Smith and Hargreaves (1984)는 *N. americana*의 산소소비에 미치는 나프탈렌의 영향을 보고하였으며, 그리고 Laughlin and Linden (1983)은 *N. integer*에 미치는 연료유내 수용성획분 (WSF, water soluble fraction)의 급성 및 만성영향을 측정하였다. 뿐만 아니라 Anderson et al. (1974)은 원유의 수용성획분 (WSF)이 기수성 갑각류와 어류에 미치는 급성독성 영향을 연구하였다. 그러나 국내에서는 Lee et al. (1975)이 보고한 백합의 발생과 호흡에 미치는 원유성분의 영향 및 Ahn and Chin (1986)의 곤쟁이, *N. awatchensis*에 대한 원유의 수용성획분 (WSF)의 급성독성 연구결과가 보고되어 있을 뿐이다.

본 연구는 원유성분중의 하나인 페놀을 사용하여 곤쟁이, *Archaeomysis kokuboi*에 미치는 생물학적 영향 평가 및 해양오염에 대한 지표생물로서의 가능성을 검토하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 성체와 치하의 독성차이 및 농도에 따른 치사와 생존정도를 측정하였으며, 그리고 각각의 실험농도와 염분변동이 호흡생리활성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

재 료

실험에 사용한 곤쟁이, *A. kokuboi*는 1992년 11월부터 1993년 8월까지 경남 울산군 서생면 진하리 연안에서 손그물 (망목 1mm)을 사용하여 채집하였다. 채집한 곤쟁이는 2~3시간 내에 실험실로 운반하여 순환여과수조에 적당한 밀도로 유지시키면서 실험에 사용하였다. 사육수조의 수온은 실험수온과 동일한 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지시켰고, 먹이는 갯 부화한 *Artemia* sp. 부화유생을 충분히 제공하였다.

치하는 채집된 개체중에서 포란한 암컷들을 선별하여 지수식 사육수조에 사육하면서 보육장에서 갯 방출된 것을 곧바로 실험에 사용하였다. 성체는 측정전에 10일 이상 실험수온 및 염분에 순화시킨 후 건강한 개체를 선별하여 실험에 투입하였다.

방 법

실험용액은 phenol 원액을 염분 32, 24 및 16‰의 여과해수에 녹여 표준용액 (1000ppm)을 만들고, 이것을 희석시켜서 각각의 농도를 갖는 시험수를 제조하였다. 급성 독성실험의 농도구는 성체 (체장, 8~12 mm)의 경우 0.2, 0.6, 1.7, 4.5, 7.5 및 12.7ppm으로 하였으며, 치하 (생후 2~4일)는 0.05, 0.1, 0.5, 1, 3 및 6ppm으로 하였다. 그리고 장기 생존측정구의 페놀농도는 아치사영향농도 (96hr-LC₂₀)와 그의 반농도를 선택하여 실험하였고, 대조구는 phenol을 첨가하지 않은 같은 염분의 해수를 사용하였다.

Phenol에 의한 곤쟁이 성체 및 치하의 급성 독성영향을 파악하기 위하여 각 농도구에 개체를 투입하여 96시간 동안 폐사율을 측정하였다. 실험동물은 공식을 방지하기 위하여 500ml 유리병에 성체 및 치하를 각각 1마리씩 실험농도별로 투입하였으며, 매일 일정한 시간에 폐사한 개체를 관찰하여 사망율로서 나타내었다. 실험수온은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지시켰고, 수질악화를 예방하기 위하여 매일 새 용액으로 반량 교환하였으며, 측정동안 먹이는 공급하지 않았다.

그리고 폐사측정의 결과는 probit분석법에 의하여 폭로시간별로 반수치사농도 (LC₅₀) 및 반수치사시간 (LT₅₀)을 산출하였다.

곤쟁이 성체의 phenol에 대한 만성독성의 영향측정은 급성독성 측정결과에서 산출한 아치사 영향농도 (96hr-LC₂₀)와 이의 반농도를 선택하여 2개 농도구

에서 20일간 실시하였다. 실험기간동안 2일에 한번씩 새로운 용액으로 반량 환수하였고, *Artemia* sp. 부화 유생을 충분히 제공하였다. 광주기는 12시간을 교대로 명암을 조절하였고, 매일 일정한 시간에 사망개체를 수거하여 시간의 경과에 따른 생존율로서 나타내었다.

*A. kokuboi*의 산소소비에 미치는 phenol의 영향은 수온 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 산소검량기 (YSI Model 58)로 측정하였다. 측정은 급성 독성실험에 적용한 phenol 농도 및 염분에 폭로시킨 개체들 중에서 4일간에 걸쳐 매일 5마리씩 생존개체를 무작위추출하여 산소소비량을 1시간동안 측정하였다. 결과는 실험전 후의 용존 산소차로서 정량하였으며, 단위건중에 대한 단위시간당 산소소비량으로 나타내었다. 측정시의 모든 해수는 미리 미공여과 (공경, $0.45\mu\text{m}$) 시킨 것을 사용하였다.

실험동물의 건중은 산소소비량의 측정이 끝난 후 산소검량병에서 개체를 끄집어 낸 즉시 증류수로 행구고 항온건조기에 넣어 70°C 에서 24시간 건조시킨 다음 desiccator에 12시간 두었다가 칭량하였다.

성체의 사망률과 반수치사농도 (LC_{50})

곤쟁이, *A. kokuboi* 성체에 대한 페놀의 독성영향을 파악하기 위하여 수온 25°C , 염분 16, 24 및 32‰ 조건하에서 페놀농도 0.2~12.7ppm 범위에서의 폐사율을 경과시간별로 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

염분 16‰ 에서 대조구의 폐사율은 96시간이 경과하는 동안 8%였으며, 실험구에서는 일반적으로 페놀농도의 증가와 폭로시간 경과에 따라 폐사율은 현저히 증가하였는데, 7.5ppm에서 폭로 24시간째의 폐사율은 40%였고, 96시간에는 전개체가 폐사하였다. 24시간에서 96시간의 폭로동안 반수치사농도는 14.87~1.49ppm으로 현저하게 낮아지는 경향을 보였다(Table 1).

염분 24‰ 에서는 폐사율이 16‰ 에 비하여 다소 낮은 값을 보였다. 페놀농도 7.5ppm에서 24시간 폭로동안에 폐사율은 30%였고 96시간에는 약 80%가 폐사하였다. 폭로시간별 반수치사농도는 24시간에서는 20.77ppm, 96시간째에는 2.71ppm으로 나타났다(Table 1).

염분 32‰ 의 정상해수에서 곤쟁이 성체의 폐사에 미치는 페놀의 영향은 페놀농도 0.2~12.7ppm에서 96시간 폭로동안의 폐사율은 염분 16 및 24‰ 에 비하여 다소 낮은 값을 나타내었다. 최고 페놀실험농도인

결 과

Table 1. LC_{50} of phenol for *A. kokuboi* adult with the exposure time at 16, 24, and 32‰ salinity at 25°C

Salinity (‰)	No. of test organisms	Exposure time(hrs)				
		24	48	72	96	
16	LC_{50} (ppm)	60	14.87	6.81	2.24	1.49
	95% confidence limits		10.97 20.15	5.21 8.91	1.81 2.77	1.22 1.83
	Slope of probit line		0.96	0.97	1.21	1.58
24	LC_{50} (ppm)	60	20.77	13.65	6.02	2.71
	95% confidence limits		15.80 27.31	10.57 17.63	5.00 7.24	2.24 3.30
	Slope of probit line		2.21	1.16	1.52	1.38
32	LC_{50} (ppm)	60	31.31	19.47	7.88	4.53
	95% confidence limits		23.42 41.86	14.75 25.71	6.54 9.48	3.76 5.45
	Slope of probit line		1.26	1.17	1.56	1.48

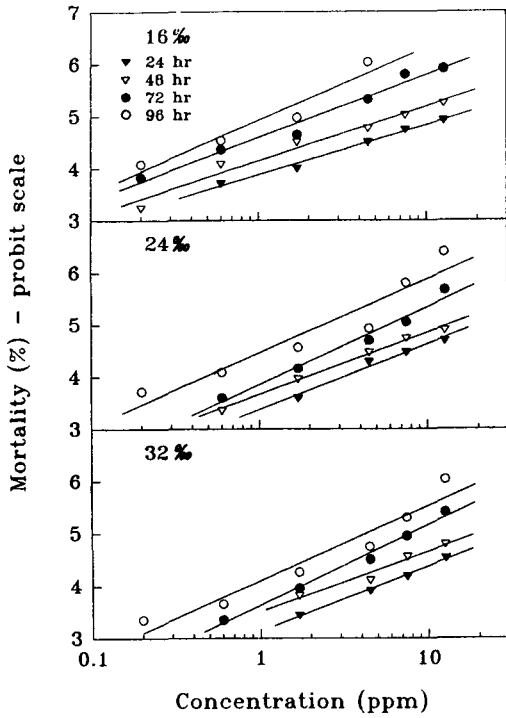


Fig. 1. Effects of phenol on the mortality of *A. kokuboi* adult at 16, 24, and 32‰ salinity.

12.7ppm에서 폭로 24시간째의 폐사율은 32%였고, 96시간째에는 85%로 증가하였다. 폭로 24시간에서 96시간의 반수치사농도는 31.31~4.53ppm이었다(Table 1).

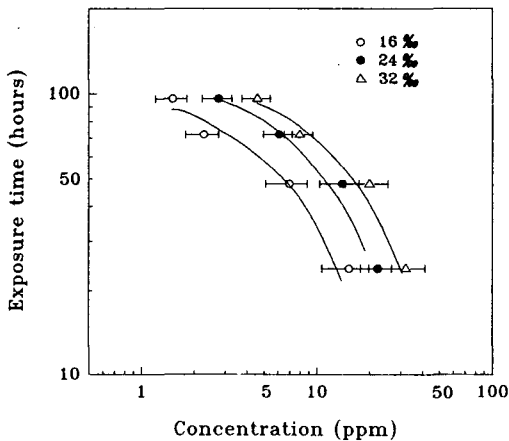


Fig. 2. Toxicity curve for median lethal concentration of phenol at 16, 24, and 32‰ salinity in *A. kokuboi* adult. Horizontal bars show the range of 95% confidence limits.

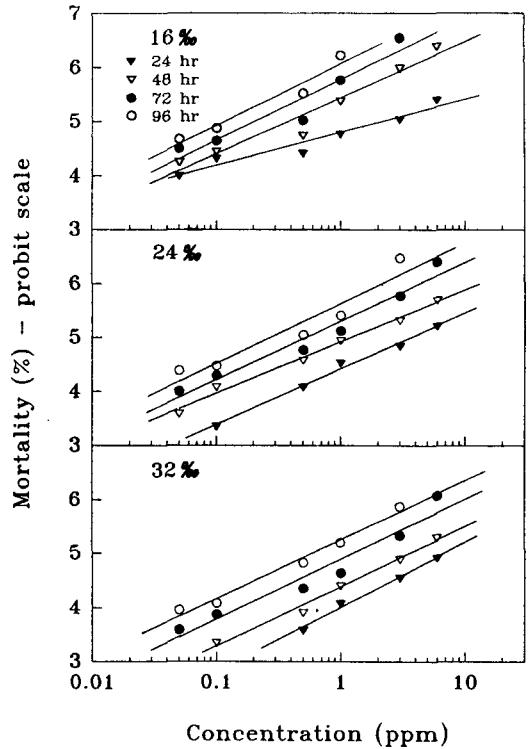


Fig. 3. Effects of phenol on the mortality of *A. kokuboi* juvenile at 16, 24, and 32‰ salinity.

Fig. 2는 염분 16, 24 및 32‰에서 각 페놀농도별 LC₅₀값을 폭로시간에 대한 곡선으로 나타낸 것이다. 곤쟁이 성체에 대한 페놀의 독성영향은 저염분에서 더 현저하였으며, 반수치사농도는 페놀농도의 증가와 단기간의 폭로시간 경과에도 급격히 저하하여 급성독성의 경향을 나타내었다.

치하의 사망률과 반수치사농도 (LC₅₀)

곤쟁이 치하에 대한 페놀의 독성영향을 측정하기 위하여 성체와 같이 수온 25℃, 염분 16, 24 및 32‰의 조건하에서 페놀농도 0.05~6ppm 범위에서의 폐사율을 경과시간별로 측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

염분 16‰에서 치하의 폐사율을 살펴보면, 폐사측정에 적용한 phenol 농도가 성체에 비해 낮았음에도 불구하고 폭로시간이 경과함에 따라 치하의 폐사율은 현저하게 증가하였으며, 페놀 3ppm에서 96시간째에는 전개체가 폐사하였고, 6ppm에서는 72시간째에 일어났

Table 2. LC₅₀ of phenol for *A. kokuboi* juvenile with the exposure time at 16, 24, and 32‰ salinity at 25°C

Salinity (‰)	No. of test organisms	Exposure time(hrs)				
		24	48	72	96	
16	LC ₅₀ (ppm)	60	3.51	0.80	0.49	0.26
	95% confidence limits		2.53 4.87	0.66 0.98	0.40 0.50	0.21 0.32
	Slope of probit line		0.83	1.38	1.46	1.48
24	LC ₅₀ (ppm)	60	3.65	1.45	0.97	0.56
	95% confidence limits		2.75 4.84	1.13 1.86	0.79 1.18	0.45 0.69
	Slope of probit line		1.02	1.06	1.43	1.37
32	LC ₅₀ (ppm)	60	6.90	3.48	1.35	0.71
	95% confidence limits		5.22 9.12	2.70 4.51	1.06 1.71	0.56 0.90
	Slope of probit line		1.17	1.14	1.11	1.20

다. 폭로 24시간에서 96시간의 반수치사농도는 3.51~0.26ppm으로 (Table 2) 매우 낮은 값을 보임에 따라 페놀이 성체뿐만 아니라 치하에 대해서도 뚜렷한 단기급성독성의 경향을 나타내었다.

염분 24‰에서 폐사율은 16‰에 비하여 다소 낮은

값을 보였다. 페놀농도 0.5ppm에서는 96시간이 경과하는 동안 약 50%의 개체가 폐사하였고, 페놀 농도가 높을수록 그 시간은 점차 단축되었다. 폭로시간별 반수치사농도는 24시간에서 96시간까지 3.65~0.56ppm이었다(Table 2).

염분 32‰에서 치하의 폐사율은 저염분구에 비하여 다소 낮았으며, 대조구의 폐사율은 96시간제에 5%로서 역시 낮았다. 그리고 전개체의 폐사는 실험 최고농도인 6ppm에서 96시간제에 나타났으며, 실험기간동안 반수치사농도는 6.90~0.71ppm으로서 다른 저염분구에서보다 높은 값을 보였다(Table 2).

염분 16, 24 및 32‰에서 각 페놀농도별 LC₅₀값을 폭로시간에 대한 곡선으로 Fig. 4에 나타내었다. 곤

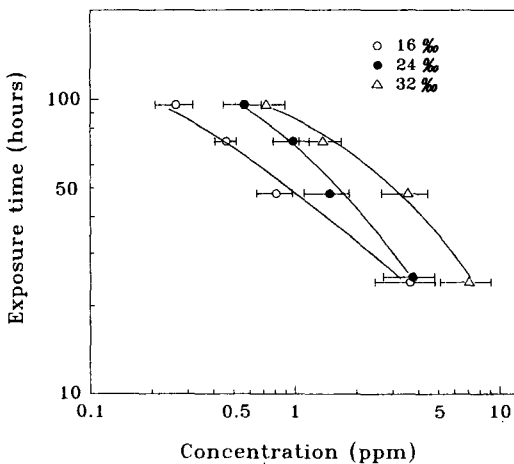


Fig. 4. Toxicity curve for median lethal concentration of phenol at 16, 24, and 32‰ salinity in *A. kokuboi* juvenile. Horizontal bars show the range of 95% confidence limits.

Table 3. The ratio of median lethal concentrations of phenol for *A. kokuboi* adult and juvenile

Salinity (‰)	Adult		Juvenile		Adult/Juvenile LC ₅₀ ratio
	LC ₅₀ (ppm)	Time (hr)	LC ₅₀ (ppm)	Time (hr)	
16	1.49	96	0.25	96	5.73
24	2.71	96	0.56	96	4.84
32	4.53	96	0.71	96	6.38

Table 4. Estimated LT₅₀ to each concentration at 16, 24 and 32‰ by probit analysis (adult)

Salinity(‰)	Concentration(ppm)	LT ₅₀ (hour)	95% confidence limit	Slope of probit line
16	1.7	107.6	88.2~131.4	1.525
	4.5	46.4	40.7~ 52.9	2.297
	7.5	25.1	30.5~ 40.6	2.359
	12.7	29.0	24.9~ 33.8	2.229
24	1.7	209.1	167.2~261.7	1.564
	4.5	131.0	97.8~175.7	1.026
	7.5	53.0	45.5~ 61.9	1.922
	12.7	37.8	33.4~ 43.0	2.483
32	1.7	384.7	284.8~579.8	1.309
	4.5	159.4	125.1~200.1	1.415
	7.5	72.8	61.9~ 85.6	1.828
	12.7	44.7	39.2~ 51.0	2.310

Table 5. Estimated LT₅₀ to each concentration at 16, 24 and 32‰ by probit analysis (juvenile)

Salinity(‰)	Concentration(ppm)	LT ₅₀ (hour)	95% confidence limit	Slope of probit line
16	0.5	58.9	49.7~ 69.9	1.709
	1	31.1	27.1~ 35.7	2.291
	3	23.5	20.9~ 26.4	3.338
	6	18.7	16.4~ 21.2	3.656
24	0.5	92.9	76.6~112.6	1.548
	1	52.7	42.9~ 64.8	1.396
	3	30.2	26.3~ 34.6	2.333
	6	20.9	18.0~ 24.3	2.509
32	0.5	132.2	112.1~155.2	2.090
	1	92.2	77.5~109.7	1.737
	3	44.6	38.5~ 51.6	2.032
	6	28.5	24.8~ 32.8	2.493

쟁이 치하에 대한 폐놀의 독성영향도 성체의 경우와 같은 경향을 나타내었다.

한편 곤쟁이의 성체와 치하에 대한 폐놀독성의 차를 살펴보기 위하여 각 염분별로 성체와 치하의 96시간 반치사농도비를 구하여 Table 3에 나타내었다. 치하에 대한 성체의 반치사농도비는 16‰에서 5.73, 24‰에서 4.84 그리고 32‰에서 6.38로서 성체에 비하여 치하에 미치는 폐놀독성이 현저히 큰 것으로 나타났다.

반수치사시간 (LT₅₀)

곤쟁이 성체와 치하에 대한 반수치사시간 (LT₅₀)을 산출하여 각각 Table 4와 5에 나타내었다.

성체의 경우, 염분 16‰에서 실험 폐놀농도 1.7ppm과 12.7ppm 사이의 반수치사시간은 107.6~29.0시간이었으며, 염분이 높을수록 반수치사 유발시간은 점차 길어졌다. 12.7ppm에서 LT₅₀값들은 16, 24, 32‰의 염분에서 각각 29.0시간, 37.8시간 및 44.7시간으로 나타났으며, 특히 저염분과 고폐놀농도의 조합구(16‰, 12.7ppm)에서 반수치사시간은 가장 짧았다.

치하의 반수치사시간은 성체와 비교하여 볼 때 상당히 낮은 값을 나타내었으며 폐놀농도 6ppm일 때

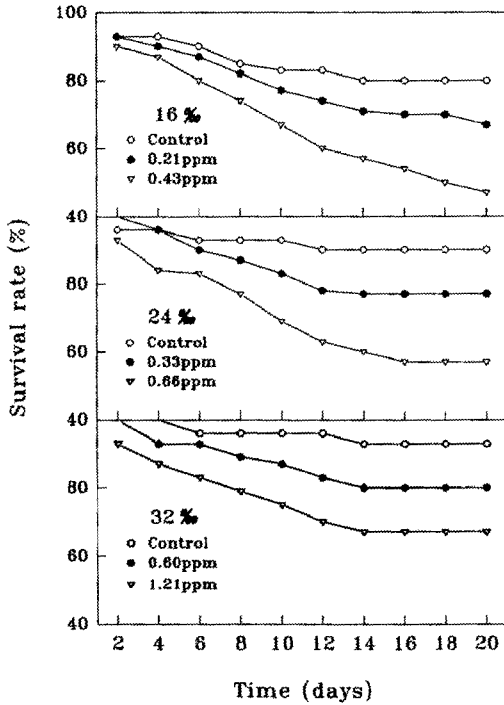


Fig. 5. Long-term survival rates of *A. kokuboi* exposed to the sublethal concentrations of phenol at 16, 24, and 32‰ salinity.

염분 16, 24 및 32‰에서 LT₅₀값은 각각 18.7, 20.9, 및 28.5시간으로 나타났다.

역시 최저염분과 최고폐놀농도의 조합구 (16‰, 6ppm)에서 가장 낮은 LT₅₀값을 보였으며, 성체에 비해서 현저히 낮은 값을 나타내었다.

장기생존률에 미치는 영향

곤쟁이 성체를 실험실 사육조건에 10일 이상 순화시킨 다음 염분별 아치사농도 (96hr-LC₂₀)와 이의 반농도에서 20일간 사육하고, 생존율을 측정하였다(Fig. 5).

대조구의 생존율에 대한 20일간의 폐놀농도별 생존율 감소백분율을 보면, 염분 16‰에서 0.21ppm일 때 16%, 0.43ppm에서는 41%의 생존율감소를 보였고, 24‰의 경우 0.33ppm에서 15%, 0.66ppm에서는 37%의 감소율을 보였다. 그리고 32‰에서는 0.6ppm일 때 14%, 1.21ppm에서는 28%의 감소율을 었다. 아치사영향농도의 반농도에서는 염분에 따라 생존율에 차이가 없었으나, 아치사영향농도일 경우에는 염분이 낮아짐에 따라 생존율은 감소하는 경향을 보였다. 특히 염분 16‰에서의 아치사영향농도인 0.43ppm에서는 전 실험기간에 걸쳐 폐

사가 발생함으로써 다른 염분의 경우에 비해 폐놀의 저해영향이 더욱 뚜렷하게 나타났다.

호흡에 미치는 영향

폐사실험에 적용한 염분 및 폐놀농도에서 곤쟁이 성체를 96시간 동안 폭로시키면서 생존개체중 매일 5마리씩을 선발하여 1시간동안의 산소소비량을 측정하였다(Fig. 6). 그 회귀직선식의 경사값은 Table 6에 나타내었다.

염분 16‰에서, 전체적인 경향은 24‰의 결과와 유사하였으나 4일째 고농도에서 현저한 감소를 보였다. 대조구에 비해 12.7ppm에서의 산소소비감소율은 89%로서 이는 폐사직전의 상태임을 반영한다.

24‰에서 특히 3일째의 산소소비는 고농도에 폭로된 개체일수록 뚜렷하게 감소되었고, 4일째의 산소소비 경향은 모든 농도구에서 비슷한 값을 나타내었으나 현저히 낮은값을 보였다. 그리고 32‰의 결과에 비해 산소소비량은 전반적으로 감소되었다.

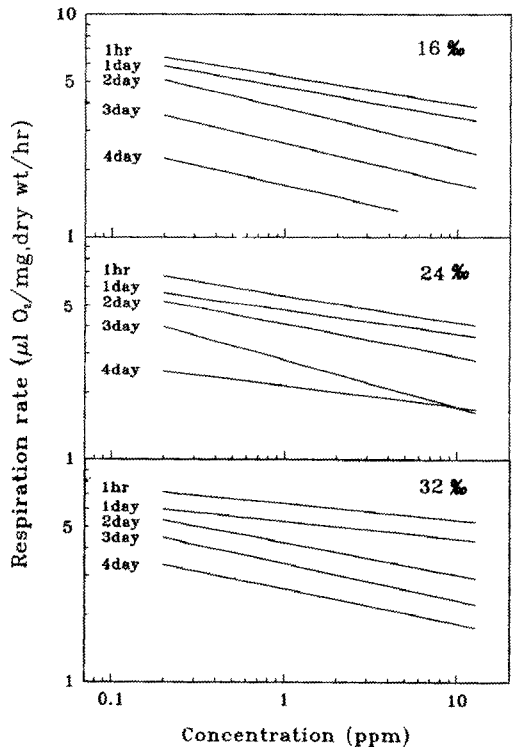


Fig. 6. Effects of phenol on the oxygen consumption of *A. kokuboi* with exposure time at 16, 24, and 32‰ salinity.

Table 6. Slope o regression equations in log₁₀ respiration(Y) on log₁₀ phenol concentration (X)

Elapsed time	Salinity (‰)		
	16	24	32
1 hour	0.1251	0.1225	0.0736
1 day	0.1368	0.1096	0.0781
2 day	0.1841	0.1481	0.1454
3 day	0.1801	0.2132	0.1661
4 day	0.1059	0.0950	0.1553

32‰의 경우, 실험구의 산소소비량은 시간이 경과함에 따라 감소하였으나, 폭로 후 1시간과 1일은 비슷한 경향과 값을 보였으며, 2일째부터 감소하는 경향을 보였다. 페놀농도 12.7ppm에 폭로된 개체의 산소소비량은 대조구에 비해 2일, 3일, 4일에 현저한 차이를 보였다.

고 찰

원유성분중 주된 저해성분중의 하나인 페놀이 곤쟁이, *A. kokuboi*의 생존과 호흡산소소비에 미치는 영향을 조사하였다. Phenol이 곤쟁이의 생리기능을 억제시킨다는 사실은 명백한 것이지만, 동일한 농도일지라도 생체의 생리적 특성의 차이에 따라서 미치는 영향이 다를 수 있는 반면 환경의 변화에 의해서도 다르게 나타날 수 있기 때문에, 염분의 변화에 따른 페놀의 저해성을 생물검정하였다.

Clark and Finley (1975)는 오염원의 물리화학적 특성과 오염물질의 양 및 폭로시간에 따라 동물의 생체 반응은 달라진다고 보고하였으며, O'Hara (1973)는 게에 미치는 카드뮴의 독성영향이 수온 및 염분에 따라 달라지는 바를 조사하였다.

본 실험의 *A. kokuboi*는 염분이 감소하고 폭로시간이 지속됨에 따라 반수치사농도는 낮은 값을 보였으며, 폐사실험에 적용한 페놀농도에서 측정된 산소소비율 또한 같은 경향을 보였다. 그리고 96시간 아치사농도에서 염분별로 20일간 폭로시켜 곤쟁이의 생존율을 조사한 바에 의하면 비록 저농도의 페놀일지라도 생존율에 상당한 감소를 초래하고 특히, 저염분에서는 생존율이 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다.

Sullivan (1977)은 카드뮴에 폭로시킨 게의 폐사율은 염분이 낮을 수록 증가하고 반치사농도값은 감소한다고 보고하였으며, Gould (1980)는 American lobster, *Homarus americanus*의 경우 카드뮴에 폭로되었을 때 저염분조건이 대부분의 조직내 효소 활성을 저하시킨다고 보고하였다. 이외에도 다수의 보고 (Lisle and Roberts, 1988; Gasca-Leyva et al., 1991; Voyer and McGovern, 1991)에서 독성 물질과 저염분에 폭로된 개체들의 생존율이 서식처의 염분에 폭로된 것에 비해 뚜렷한 감소를 보임으로서 염분 변화가 유독물질의 독성 작용을 가중시키는 원인을 제공한다고 할 수 있다. 이러한 점으로 보아 곤쟁이에 있어서도 염분변화는 페놀 독성작용을 가중시키는 요인의 하나로 보여진다.

페놀 독성실험의 결과들은 실험수온 및 방법과 실험동물 등의 차이때문에 반치사농도 또한 다양하게 보고되어 있다. Buikema et al. (1979)은 수 중의 무척추동물에 대하여 페놀독성을 조사하고 이들의 96시간-LC₅₀는 2~1,860ppm, 어류에서는 96시간-LC₅₀값이 4.2~34ppm의 범위라고 보고하였다. 그리고 Korn et al. (1985)은 pink salmon, *Oncorhynchus gorbusha*와 Kelp shrimp, *Evalus suckley*의 원유내 페놀성 수용성획분(WSF)에 대한 96시간-LC₅₀값은 각각 3.73ppm 및 10.31ppm으로 보고하였다. 또한 Lee et al. (1975)은 백합연구에서 페놀 농도 10ppm에 24시간 폭로시켰을 때 대조군에 비하여 약 50%의 기형 발생을 유발한다고 보고하였다. *A. kokuboi*의 96시간-LC₅₀값은 염분에 따라 차이를 보이지만 1.49~4.53ppm으로서, Buikema et al. (1979)과 Korn et al. (1985)이 보고한 반수치사농도와 비교할 때 비교적 낮은 값으로 보여지며, 실험조건 및 방법상 다소의 차이를 감안하더라도 페놀에 매우 민감한 반응을 보이는 종으로 생각된다.

그리고 *A. kokuboi*에 대한 페놀의 96시간 아치사농도와 이의 반응도의 실험구에서 20일간 폭로시킨 결과는 비록 영향농도라 할지라도 만성독성작용으로 상당한 생존율의 감소를 초래하고 있음을 보여주었다.

갑각류의 대사율은 그 환경의 수온뿐만 아니라 삼투압에도 많은 영향을 받으며 환경요인중에서 염분은 갑각류의 생리현상에 다양한 영향을 미친다(Chin, 1972; Sastry, 1979; Moreira et al., 1980; Vernberg et al., 1981).

페놀에 폭로시킨 곤쟁이의 산소소비감소율도 폐사율

과 마찬가지로 저염분에서 현저하게 증가하였다. 이러한 현상은 저염분에 따른 생리적 억압에 대한 대사보상작용과 폐놀의 독성이 호홉대사의 효소 활성을 저해 시킴으로서 그 상호작용의 결과라고 생각되며, 결국에는 개체의 폐사를 초래하게 되는 원인이 된다.

Roed (1980)는 다모류의 일종인 *Ophryotrocha labronica*에 대한 카드뮴 및 저염분이 개체의 성장률을 감소시키고, 성 성숙 도달시간을 지연시킬 뿐만 아니라 성숙개체의 크기에 영향을 준다고 하였다. 또한 Lapota et al. (1993)은 유기오염서, 이들 독성물질에 폭로된 개체는 각장의 크기가 작아져서 성장에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 마찬가지로 본 연구에서도 급성독성 실험 결과 곤쟁이의 경우 서식지의 염분농도보다 낮은 염분에서 독성물질의 저해성이 현저히 증대되는 것으로 보아 성장, 생식 및 발생 등에도 막대한 영향을 미칠 것으로 여겨진다.

실제 자연 환경에서는 실험에 이용된 만큼의 농도가 존재하는 것이 드물다. 하지만 개체의 치사를 수반할 만큼 급성적인 농도가 아니라 할지라도 장기간에 걸쳐 계속적으로 작용하게 될 때, 그 개체의 생리적 기능이 받는 지속적인 장애는 그 생존 여부에 관계없이 결국은 만성적 장애를 초래하여 생체의 성장에 손상을 가하게 되리라고 생각된다. 또한 난발생에 미치는 영향까지 고려한다면 그 저해성은 결코 간과할 수 없다고 하겠다.

어떤 오염원에 대한 지표생물로서 가장 중요한 것은 그 오염원에 대한 민감성에 있다.

결론적으로 *A. kokuboi*는 폐놀의 농도가 증가할수록 호홉률은 현저하게 감소하였고 반수치사농도 및 반수치사시간은 타종에 비해 월등히 낮았다. 그리고 아치사영향농도에서 측정된 장기생존율은 대조군에 비하여 상당한 감소를 보임으로써 폐놀독성에 대해 아주 민감함을 보였다. 또한 일회에 대량채집이 가능하고 실험실 사육이 용이하며, 먹이생물로서 중요한 점 등 생물검정재료로서 많은 장점을 지니고 있다. 따라서 *A. kokuboi*는 원유 및 유기오염체에 대한 생물검정 지표생물로서 그 가능성이 기대된다.

요 약

연안 천해에 서식하는 근저성 (epibenthic) 동물플랑크톤의 일종인 곤쟁이, *A. kokuboi*를 수온 25°C와 염분 16, 24 및 32‰에서 *Artemia* sp. 부화유생을 먹이로 공급하면서 성체와 치하에 대한 폐놀의 급성 및 만성독성 영향을 조사하였다.

전 실험구에서 시간경과별 반수치사농도는 성체의 경우 31.31~1.49ppm 폐놀농도 범위였으며, 치하에서는 6.90~0.26ppm 범위였다. 폐놀에 의한 폐사율은 염분이 낮을수록 증가하였다.

성체에 대한 폐놀의 96hr-반수치사농도는 염분 16, 24 및 32‰에서 각각 1.49, 2.71 및 4.53ppm였으며 치하에서는 동일 염분에서 각각 0.26, 0.56 및 0.71ppm였다. 치하에 대한 성체의 96시간-반수치사농도의 비는 염분 16, 24 및 32‰에서 각각 5.73, 4.84 및 6.38로서 성체에 비해 치하가 훨씬 더 민감했다.

성체와 치하의 반수치사시간 (LT₅₀)을 비교하면, 성체는 폐놀실험농도 1.7~12.7ppm 범위에서 반수치사시간은 384.7~29.0 시간의 범위를 나타내었으며, 치하의 경우 폐놀실험농도 0.5~6.0ppm 범위에서 반수치사시간은 132.2~18.7 시간의 범위였다. 성체와 치하에서 가장 낮은 반수치사시간값은 폐놀의 실험최고농도와 최저실험염분의 조합구에서 나타났으며, 성체보다 치하가 훨씬 낮은 값을 보였다.

A. kokuboi 성체에 대해 아치사영향농도와 그 반농도에서 행한 장기생존영향을 보면, 염분 32‰에 폭로된 개체들이 16 또는 24‰ 염분구에 폭로된 개체들보다 높은 생존율을 나타내었다.

성체의 산소소비율은 폐놀의 농도가 증가하고 폭로시간이 경과할수록 현저히 감소하였으며, 동일한 폐놀농도에서도 염분이 낮을수록 현저히 감소하였다.

결론적으로 곤쟁이, *A. kokuboi*는 폐놀독성에 대해 매우 민감한 생리적 반응을 보였다. 따라서 생물검정을 위한 지표생물로서의 가능성이 기대된다.

참 고 문 헌

- Ahn, K. W. and P. Chin. 1986. Acute toxicity of Kuwait crude oil (WSF) to mysid, *Neomysis awatschensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 19, 599~607.
- Anderson, J. W., J. M. Neff, B. A. Cox, H. E. Tatem

- and G. M. Hightower. 1974. Characteristics of dispersions and water-soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans. *Mar. Biol.*, 27, 75~88.
- Brown, A. C. 1964. Food relationships on the intertidal sandy beaches of the Cape peninsula. *S. Afr. J. Sci.*, 60, 35~41.
- Buikema, A. L., M. J. McGinness and J. C. Cairns. 1979. Phenolics in aquatic ecosystems: A selected review of recent literature. *Mar. Environ. Res.*, 2 (2), 87~181.
- Chin, P. 1972. The effect of salinity on respiratory metabolism of the mysid, *Neomysis awatchensis* (BRANDT). *Publ. Mar. Lab. Pusan Fish. Coll.*, 5, 31~36.
- Clark, R. C., Jr. and J. S. Finley. 1975. Uptake and loss of petroleum hydrocarbons by the mussel *Mytilus edulis*, in laboratory experiments. *Fish. Bull.*, 73, 508~515.
- Clutter, R. I. and G. H. Theilacker. 1971. Ecology efficiency of a pelagic mysid shrimp; estimation from growth, energy budget and mortality studies. *Fish. Bull. Nat. Oce. Atmospheric Ad. U. S.*, 69, 93~115.
- De Lisle, P. F. and M. H. Roberts, Jr. 1988. The effect of salinity on cadmium toxicity to the estuarine mysid *Mysidopsis bahia*: role of chemical speciation. *Aquatic Toxicology*, 12, 357~370.
- Gasca-Leyva, J. F. E., C. A. Martinez-Palacios and L. G. Ross. 1991. The respiratory requirements of *Macrobrachium acanthurus* (Weigman) at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 93, 191~197.
- Gould, E. 1980. Low-salinity stress in the American lobster, *Homarus americanus*, after chronic sublethal exposure to cadmium: Biochemical effects. *Helgoländer meeresunters.*, 33, 36~46.
- Gould, W. R. and T. C. Domis. 1961. Toxicity changes of stored oil refinery effluents. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 33, 1107~1110.
- Hargreaves, B. R., Smith, C. Q. Thompson and S. S. Herman 1982. Toxicity and accumulation of naphthalene in the mysid *Neomysis americana*: Interactions with environmental temperature. In *Physiological Mechanisms of Marine Pollutant Toxicity*. F.J. Vemberg, eds. Academic Press, New York. pp. 391~412.
- Kom, S., D. R. Stanley, D. L. Cheatham and D. W. Brown. 1985. Contribution of phenol and p-cresol to the toxicity of crude oil to pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fry and kelp shrimp (*Eualus suckleyi*). In *Marine pollution and physiology: Recent advances*, University of South Carolina Press, pp. 447~458.
- Lapota, D., D. E. Rosenberger, M. F. Platter and P. F. Seligman. 1993. Growth and survival of *Mytilus edulis* larvae exposed to low levels of dibutyltin and tributyltin. *Mar. Biol.*, 115, 413~419.
- Laughlin, R. B. and O. Linden. 1983. Oil pollution and Baltic mysid: Acute and chronic effects of the water soluble fractions of light fuel oil on the mysid shrimp *Neomysis integer*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 12, 29~41.
- Lasink T. A. 1983. The impact of surf-zone fish communities on faunal assemblages associated with sandy beaches: a review. In *Sandy beaches as ecosystems*. eds., McLachlan, A. and T. Tunk Publishers, The Hague.
- Lee, B. D., T. Y. Lee and P. Chin. 1975. Effects of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam *Meretrix lusoria* (RODING). *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Pusan*, 8, 31~38.
- Moreira, G. S., J. C. McNamara, P. S. Moreira and M. Weinrich. 1980. Temperature and salinity effects on the respiratory metabolism of the first zoal stage of *Macrobrachium holthuisi* Genofre & Lobo (Decapoda: Palaemonidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 47, 141~148.
- Nimmo, D. R., L. H. Bahner, R. A. Rigby, J. M. Shepard 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 STP634, American society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 109~116.
- O'Hara, J. 1973. The influence of temperature and salinity on the toxicity of cadmium to the fiddler crab, *Uca pugilator*. Fish. Bull., 71, 149~153.
- Roed, K. H. 1980. Effects of salinity and cadmium interaction on reproduction and growth during three successive generations of *Ophryotrocha labronica* (Polychaeta). Helgol. Wiss. Meeresunters. 33, 47~58.
- Rossouw G. J. 1983. The importance of non-teleost fishes (Elasmo- branches) in the surf zone with special reference to *Rhinobatus annulatus*. In Sandy beaches as ecosystems, eds., McLachlan, A. and T. Tunk Publishers, The Hague.
- Rowe, D. W., J. B. Sprague and T. A. Heming. 1983. Sublethal effects of treated liquid effluent from a petroleum refinery. I. chronic toxicity to flagfish. Aquat. Toxicol., 3, 149~159.
- Sastry, A. N. 1979. Metabolic adaptation of *Cancer irroratus* developmental stages to cyclic temperatures. Mar. Biol., 51, 243~250.
- Smith, R. L. and B. R. Hargreaves. 1984. Oxygen consumption in *Neomysis americana* (Crustacea: Mysidacea), and the effect of naphthalene exposure. Mar. Biol., 79, 109~116.
- Stickney, R. R., G. L. Taylor and R. W. Heard. 1974. Food habits of Georgia estuarine fishes. In: Four species of flounders. U.S. Fish Wbll. Serv. Fish. Bull., 72, 515~525.
- 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. freshwater Res., 28, 739~743.
- Turnbull, H. A. J. G. Demann and R. F. Weston. 1954. Toxicity of various refinery materials to freshwater fish. Industrial Engineering Chem., 45, 324~333.
- Voyer, R. A. and D. G. McGovern. 1991. Influence of constant and fluctuating salinity on responses of *Mysidopsis bahia* exposed to cadmium in a life-cycle test. Aquatic Toxicology, 19, 215~230.
- Vernberg, W. B., G. S. Moreira and J. C. McNamara. 1981. The effect of temperature on the respiratory metabolism of the developmental stages of *Pagurus criniticornis* (Dana) (Anomura: Paguridae). Mar. Biol. Lett., 2, 1~9.

1994년 12월 7일 접수

1995년 1월 10일 수리