Korean J. Environ. Biol. 18(1) : 153~161(2000)

인공수로에서 산성화 영향에 따른 소백옆새우(*Gammarus sobaegensis*)의 생태독성학적 연구
- 표류행동을 중심으로 -

박 정 호 · 조 동 현 · 정 근[1]

(강원대학교 자연과학대학 생명과학부 생물학전공, [1]농업생명과학대학 자원생물환경부)

적 요 - 본 연구에서는 단각목의 일종인 소백옆새우(*G. sobaegensis*)를 대상으로 인공수로 하에서 pH 변화를 유도시킬 때 발생되는 개체의 표류행동에 대한 이동특성을 알아보았다. 본 종은 낮은 pH 수준의 산성스트레스에서 회피행동이 현저하게 증가한다는 것을 알 수 있었으며, 또한 산성도에 따른 내성범위는 개체의 성숙도 즉 중소형보다 대형개체가 보다 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 산성스트레스에 의한 반응이 대형개체에 비해 소형과 중형개체에 있어서 매우 불규칙적으로 나타난 것은, 각종 수환경 변화에 대한 회피능력과도 같은 운동성의 차이 등을 고려해 볼 수 있었다. 전반적으로 인공수로내의 소백옆새우 대부분 개체들은 전 시기에 걸쳐, pH 4.5 이하의 낮은 수준에서 매우 민감하게 반응 한 후, 즉시 하류역 방향으로 수류의 움직임을 따라 능동적으로 회피 이동하는 특성을 보이는 것으로 나타났으며, pH 3.0 이하의 강한 산성 스트레스 하에서는 오히려 회피능력을 상실하는 것으로 보여졌다. 또한 ANOVA 분석결과, pH ($F = 353.415$, $P < 0.0005$) 이외의 몇몇 환경 요인들 중 수온($F = 66.596$, $P < 0.0005$)과 각 개체의 크기($F = 71.386$, $P < 0.0005$) 등도 낮은 산도에 의한 소백옆새우의 회피행동에 큰 영향을 미치는 주요한 요인이라는 것을 확인할 수 있었다.

서 론

일반적으로 일부 저서성 대형무척추동물들은 여러 가지 원인들에 의한 수환경 변화나 혹은 산란과 피포식 등에 의하여 물의 흐름에 따라 하류로 이동하는 것으로 알려져 있다. 이를 표류 혹은 회피라고 말한다(Waters 1972). 행동학적 측면에서의 표류에는 개체군의 밀도에 따른 영향이라든지 혹은 포식자 등에 대한 능동적 회피 그리고 환경변화에 따른 하류역으로의 수동적 이주 등이 있는 것으로 알려져 있다(McCafferty 1983). 대부분 이러한 행동양식은 저서성 생물보다는 부유성 생물의 일종인 플랑크톤류의 대표적인 특징이라고 알려져 있었으며, 그 외 수서곤충의 일종인 일부 하루살이류와 파리류에서도 확인되고 있다(Borchardt 1993; Helson *et al.* 1993).

독성물질에 대한 수서동물의 반응은 생화학적 분석으로부터 생물계통학적 분석까지 통합적으로 증가되는 여러 생물학적 조직 수준에서 평가될 수 있다. 특히 행동적 반응은 주성같은 단순한 반사나 아가미 호흡 또는 회피이동 등과 같은 운동성 있는 복잡한 행동들의 통합성과 복합성의 다양한 단계로 측정될 수 있다(Gerhardt & Svensson 1996). 지금까지 국내에서의 저서성 대형무척추동물의 행동양식에 관한 연구는 자연 환경 하에서 일부 관찰되어 왔다. 그러나 산성화나 각종 중금속 등과 같은 유해한 물질 등에 노출된다든지 혹은 서식환경의 변화 등과 같은 수환경 변화에서의 연구는 거의 없다고 봐도 무방하다. 특히 실제 계류생태계 내에서 인위적인 수환경 변화에 따른 수서생물의 이동 등에 관한 연구는 전무하다. 이미 유럽이나 미국 등지에서는 적외선, 저항변환기, 비디오 촬영기술 등을 이용하여 옆새우류 뿐만 아니라 일부 깔다구류, 날도래, 강도래류 등 많은 종을 대상으로 다양한 생태독성학적 연구가 시행되고 있다 (Gerhardt 1994; Hughes & Kelly 1996).

최근 들어 수환경의 산성화는 지속적으로 국제적인 관심을 모아왔다(Byrne & Gray 1995). 공업용수의 방출, 화석연료의 연소 등에 의한 산성비 같은 인위적인 산성화가 직접적인 원인이 되었다(Gorham & Vodopich 1992). 그 결과 수중 내 pH의 변화 및 각종 중금속의 유출 등으로 인하여 많은 저서성 대형무척추동물들이 질적

양적인 변화를 보였다(Merritt & Cummins 1996). 그리고 그러한 곳의 서식종을 대상으로 내성유무 및 그 정도에 따라 수질을 감시하고 복원하는 생물학적 감시망 또한 활발히 펼쳐지고 있다(Pöckl & Humpesch 1990; Bradt *et al.* 1995; Amyot *et al.* 1996). 국내에서도 이러한 산성화에 따른 생물군집 변화에 대해서 김과 조(1996), 임 등(1996), 채와 김(1997) 그리고 안 등(1997)의 연구가 시행되었다. 반면 유수생태계인 자연계류에서의 저서성 대형무척추동물을 대상으로 한 연구는 매우 미비한 편이다.

절지동물문 갑각강에 속하는 옆새우류(Amphipoda)는 전세계적으로 20속 1200여종이 알려져 있다(Pennak 1953; Zielinski 1995). 대부분 이들은 저서생물중 매우 많은 개체수를 차지하고 있으며, 먹이순환에 있어서도 중요한 위치에 있다. 주서식처는 오염되지 않은 강, 연못, 계류 그리고 지하수 등과 같이 광범위하게 분포하고 있으며, 생활사가 짧고 오염에 대한 내성이 약하여 국외에서는 이미 많은 생태독성학적 연구에 사용되고 있다(Musko *et al.* 1990; Plenet 1995; Ritterhoff *et al.* 1996). 반면 국내에서는 담수산 옆새우 6종(Lee & Kim 1980, 1986)이 이미 보고되어 있으나, 아직까지 본 종들을 대상으로 한 생태학적 특성 및 독성학적 연구에 대해서는 이루어 진 바 없다.

이에 본 연구는 춘천시 오월리 계류에 서식하고 있는 갑각강 단각목의 일종인 소백옆새우(*Gammarus sobaegensis*)를 대상으로 인공수로에서 인위적인 산성 pH 변화를 유발시켰을 때 나타나는 각 옆새우 개체들의 회피행동에 대한 생태독성학적 특성을 알아보고자 하였다. 또한 추후 계류생태계에 있어서 인위적인 산성화나 다른 수환경 변화가 발생하였을 때, 이를 예측하거나 감시할 수 있는 지표종으로서의 역할을 담당하여 생물학적 감시망에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험생물 및 연구지역

1) 시험생물

강원도 춘천시 서면 오월리 최상류 수역에 서식하는 절지동물문 갑각강 단각목의 소백옆새우(*Gammarus sobaegensis*)를 대상으로 하였다.

2) 연구지역 및 연구기간

연구지역인 오월리 계류(37°57′N, 127°37′E)는 강원도 춘천시 서면에 위치한 소산간 계류로서 유로 길이 약 3.5 km의 1차 하천이다(국립지리원, 1995a, b). 주변 임상은 매우 풍부하며, 하상구조는 암반과 큰돌이 대부분을 이루고 간혹 사질도 나타나는 전형적인 최상류역 계류의 모습을 지니고 있다. 연구기간은 1996년 4월부터 10월 동안 각 3차시기동안 각 시기당 3반복씩 총 9회에 걸쳐 시행되었다. 1차 실험시기는 1996년 6월 17일부터 6월 19일까지, 2차 시기는 1996년 7월 22일에서 24일 그리고 최종 3차 시기는 8월 17일부터 19일이었다.

2. 연구방법

1) 인공수로 제작

기존에 사용된 여러 종류의 인공수로(Niederlehner & Cairns 1990; Dahl & Greenberg 1996)는 초기 배양실험 등이 주목적이었다. 그러나 본 실험에서는 pH 영향에 대한 세밀한 행동 관찰 및 측정을 요함으로 수로형태를 독창적으로 개발 제작하였다. 인공수로의 주재료는 약 5 mm 두께의 목조 합판으로서, 길이 2.4 m, 폭 0.3 m 그리고 높이 0.2 m의 크기로 총 4개를 제작하였다. 총 2.4 m의 수로 길이 중 유입구 초기 30 cm 구간은 산성처리구(A)로서 차단막을 설치하여 소백옆새우(*G. sobaegensis*)에게 직접적인 pH 영향을 주지 않도록 하였다. B구간은 각 pH 수준에 따른 소백옆새우의 행동특성을 알아보기 위한 관찰구이다. 또한 수로 말단부 30 cm는 회피한 옆새우가 부유하여 넘어오는 것을 확인하기 위한 배수구(C)로서 이용되었다(Fig. 1).

완성된 인공수로는 소백옆새우(*G. sobaegensis*)가 채집된 계류에서 약 10 m 떨어진 언덕에 설치하였다. 하상에서 약 2 m 높이의 편평한 곳에 실제 하천의 경사각을 고려하여 약 5°(±1°)의 경사를 두고 철재앵글위에 고정한 후, 인공수로를 설치한 상방 100 m 지점에서 지름 50 mm의 PVC관을 통하여 수체를 유입시켜, 인공수로에 물이 자연유하 되도록 하였다. 또한 유량은 유입구 부분에 원형밸브를 이용하여 약 0.2 *l*/sec의 유량이 0.1 m/sec의 유속을 유지하며 인공수로 안으로 흐를 수 있도록 조정하였다. 그리고 옆새우류가 산림이 울창한 소산간계류에서 주로 서식하며 빛에 대한 회피성을 가지고 있음을 고려하여, 인공수로 상단 1.5 m 부위에 단면적 약 16 m^2의 반투과성 검정 차광막을 설치하였다. 한편 인공수로를 통과한 산성수는 1 cm^3 정도로 분쇄한 다량의 석회석 조각을 모아 놓은 원형용기(50 *l*)에 통과시켜 산도를 완화시킨 후 다시 계류로 방류하였다.

2) 회피행동 분석

각각의 인공수로에 1 M HNO_3를 이용하여 pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5의 값으로 산성 조건을 가하여 산도

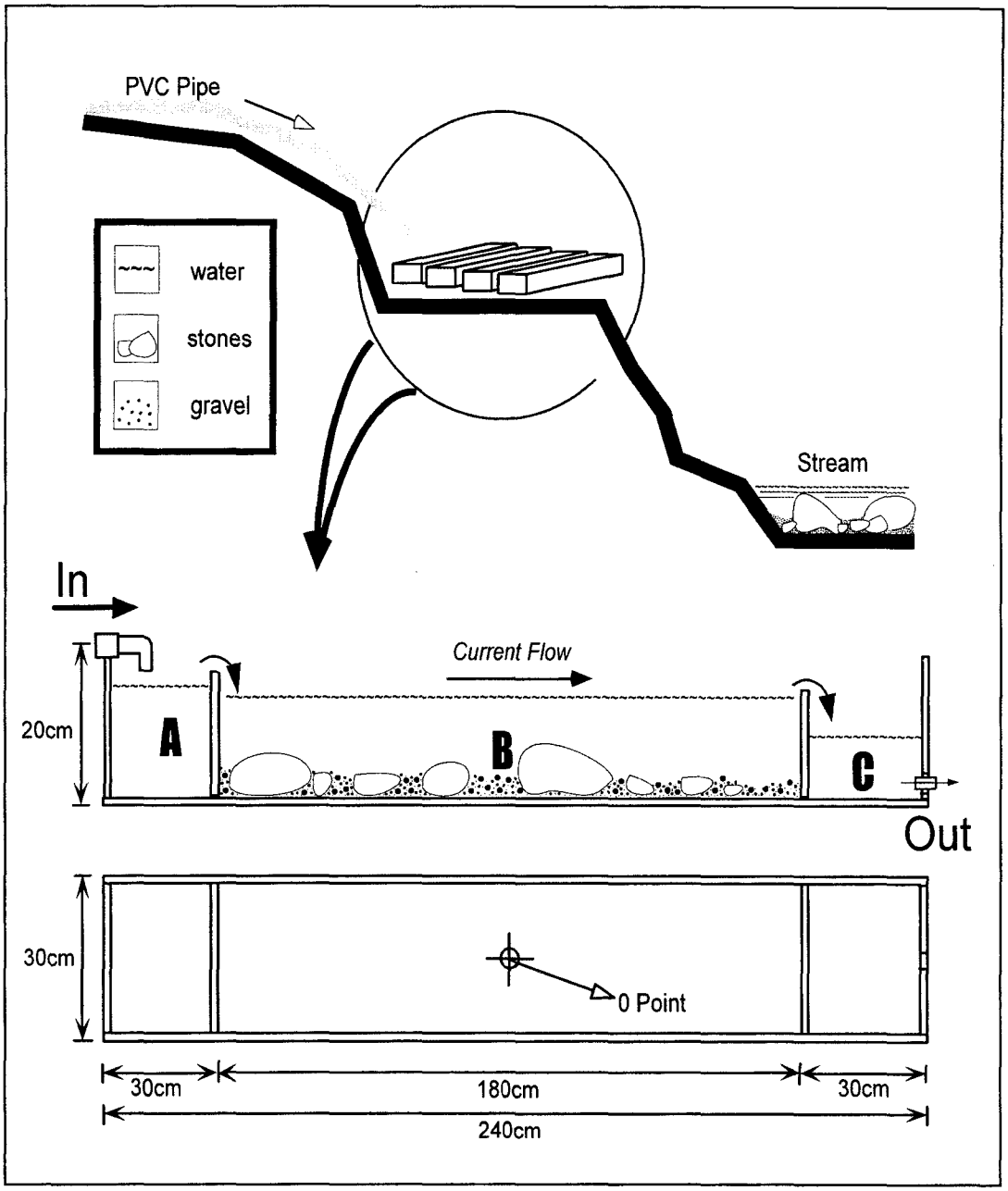

Fig. 1. Layout of the artificial channel for observation to drift behavior of *G. sobaegensis* (A: Acid mixture part, B: Test part, C: Drain part).

에 대한 회피이동변화를 관찰 및 측정하였다. 또한 각 크기별 개체에 따른 회피행동에 대한 오차율을 줄이기 위하여 3차례의 조사시기동안 조사시기별 각 3회에 걸쳐 수행하였다. 산처리액인 1 M HNO_3은 목적한 pH 수준이 유지되도록 인공수로 내의 산성처리구(A)내에 약 1 ml/sec(±50%)의 속도로 지속적으로 투여하였으며, 대조군으로는 연구지역 내 계류 원수 pH 6.5(±0.5)를 사용하였다. 매 실험시 각 수로에는 암수 구별 없이 소형(5 mm 이하), 중형(6~10 mm), 대형(11 mm 이상) 각 10마리씩 총 30마리를 인공수로의 중앙부(0 point)에 넣고, 각 수로에 대한 순화시간(인공수로에 옆새우 투여 약 6시간~12시간 후)이 경과한 후 본 실험에 임하였다(Fig. 1). 특히 인공수로 하상은 본 연구지역의 자연계류와 유사한 형태(큰돌 : 작은돌 : 모래 = 5 : 3 : 2, 암반제외)로 조성을 해 주었으며, 먹이로는 갈참나무(*Quercus aliena*) 낙엽을 넣어주었다.

1시간동안 산도변화를 유발시켰을 때 인공수로의 배수로 부분까지 수류를 따라 내려온 엽새우를 회피한 것으로 판정하였다. 또한 이렇게 회피한 개체의 수와 기타 환경조건 등을 고려하여 각 처리구와 엽새우와의 관계를 통계분석프로그램인 SYSTAT® Version 7.01 (SPSS, Inc 1997)을 이용하여 ANOVA를 통해 생태독성학적 특성을 분석해 보았다.

결 과

1. 서식처 특성

1차 실험시기인 1996년 6월 17일부터 6월 19일까지의 연구지역 수온을 살펴보면 약 12.5(±0.5)°C를 나타냈으며, 2차시기인 1996년 7월 22일에서 24일 사이에는 약 13.3(±0.5)°C를 보여주었다. 그리고 최종 3차시기인 8월 17일부터 19일에는 약 18.2(±0.5)°C를 나타내었다. 또한 실험기간 중 계류의 pH는 약 6.5(±0.5) 대역의 중성을 유지하고 있었으며, 전기전도도는 약 34 μMHOS 그리고 용존산소는 평균 8(±0.5) ppm 내외를 보여주어 본 수역이 전형적인 1차 산간계류의 특징을 나타내고 있음이 확인되었다.

2. 회피경향

실험결과, 1차 시기에서는 각 크기의 소백엽새우가 pH 수준이 낮아질수록 회피하는 개체수가 전반적으로 증가하는 경향이 나타났고, 특히 pH 4.0 이하로 갈수록 회피행동을 보이는 엽새우의 수가 급격히 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 pH 대역이 변함에 따른 각 크기별 회피 개체수는 다소 다른 것으로 나타났다(Fig. 2). 그러나 대조구인 계류 원수에서는 인공수로 말단부로 회피한 엽새우가 단 1개체도 없었다.

2차 시기에서도 1차시기와 유사한 경향으로 각 pH 대역에 따른 회피한 엽새우 개체수가 pH 4.5를 전후하여 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. pH 대역 변화에 따른 크기별 회피 개체수는 소형과 중형의 경우 각각 1차시기와 다른 즉 회피한 총개체수가 1차에 비하여 적은 특이한 양상을 보여주었다.

최종 3차 실험시기에서도 pH 수준이 낮아짐에 따라 회피하는 개체수는 증가하는 동일한 양상을 보여주었다. 그리고 pH 4.0 이하에서는 회피한 총개체수가 다른 pH 수준에 비하여 현저히 많았던 것 또한 1, 2차 실험시기와 같은 경향임을 알 수 있었다. 그러나 pH 대역에 따른 크기별 회피 개체수는 대형의 경우에는 1, 2차와 같이 상승 후 하강하는 양상이나, 소형과 중형의 경우는 전 시기 모두 불규칙한 상태를 보였다.

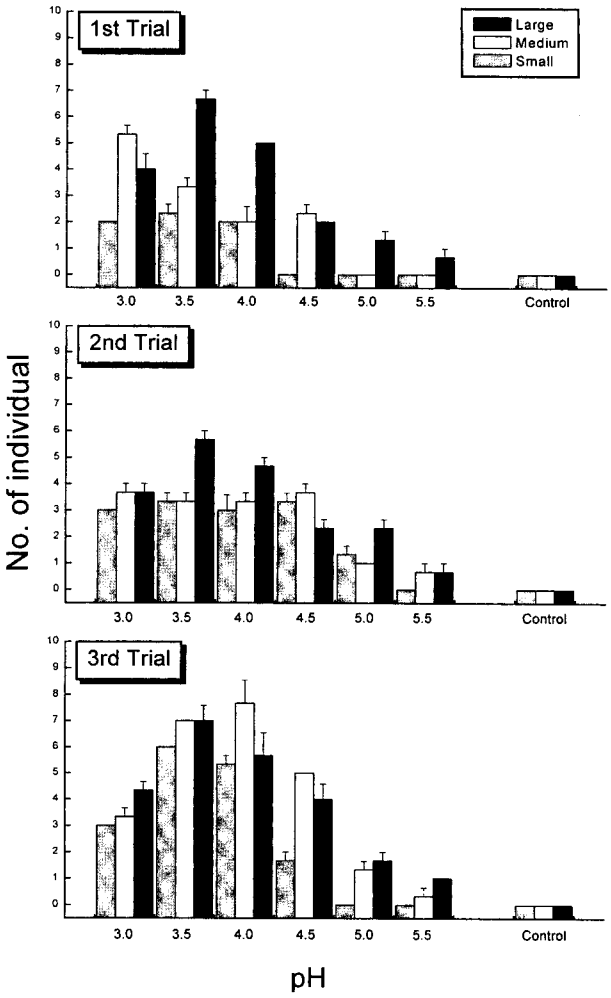

Fig. 2. The variation of drift by pH depression for *G. sobaegensis* at artificial channel (Error bars: S.E.).

3. 분산분석

소백엽새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동에 미친 여러 가지 요인들을 대상으로 분산분석(Analysis of variance)을 수행하였다(Table 1). 회피행동에 영향을 미친 요인으로서는 조사시의 수온과 인공투여 pH 수준 그리고 각 개체의 크기 등을 고려하였다.

ANOVA 분석결과, 각 요인들 중 pH는 매우 높은 F값(353.415)을 보여주어 소백엽새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동에 가장 많은 영향을 끼친 요인이라는 것을 알 수 있었다. 또한 각 개체의 크기와 처리시의 수온 또한 F값이 각각 71.386과 66.596으로서 매우 높은 값을 보여주었다. 즉, 각 처리군의 차이는 0.05% 유의수준하에서 보았을 때 고도로 유의성이 있다는 것이 확인되었다. 각각의 단독요인으로서의 영향 뿐만 아니라 수온과 pH 그리고 수온과 개체의 크기, pH와 개체의 크기와 같은 복

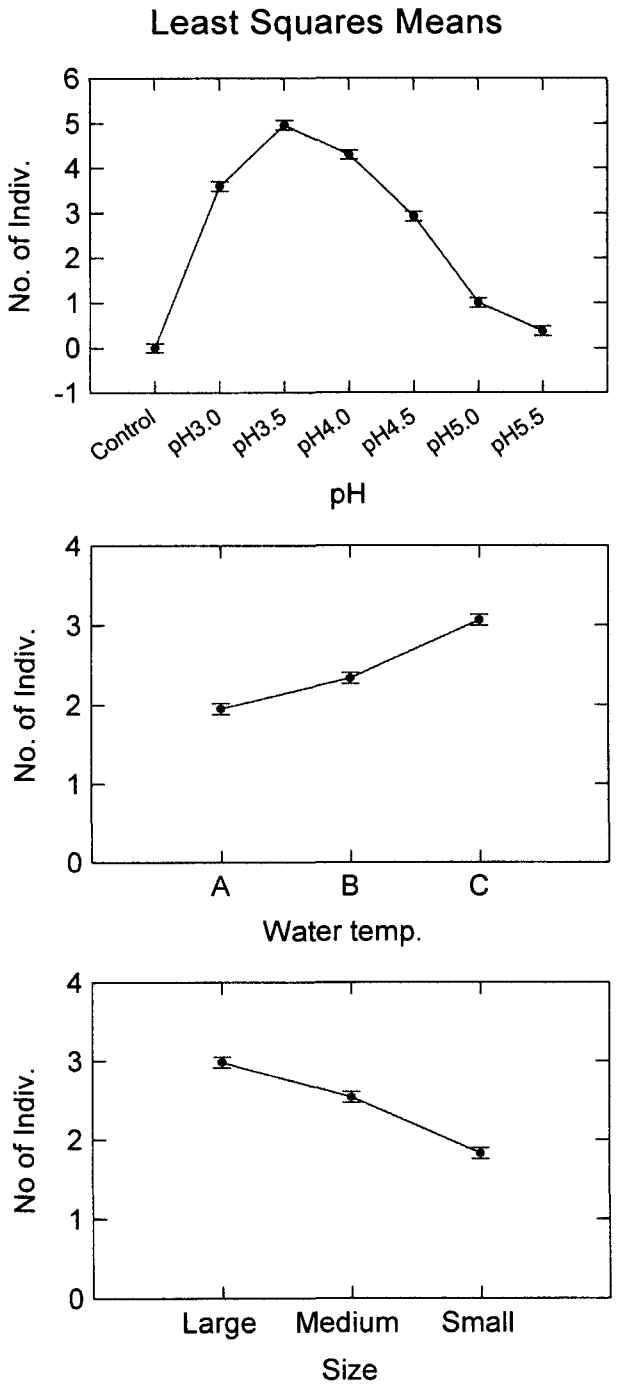

Fig. 3. ANOVA interaction plot for the number of individual to the pH degree, the water temperature and the size classes. Error bar were standard deviation (Water temp. - A : 12.5°C, B : 13.3°C, C : 18.2 °C).

합적 요인도 각각의 F값이 18.599, 8.623, 8.959 등으로 나타나 이러한 복합요인들 또한 소백옆새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동을 결정하는데 매우 큰 영향을 미친

Table 1. Analysis of variance for the effect of water temperature, pH depression and size of individual on drift rate of the *G. sobaegensis*

Source	Sum of squares	df	Mean square	F-ratio (F value)	P[1)]
WT[2)]	40.169	2	20.085	66.596	<0.0005
pH	639.513	6	106.586	353.415	<0.0005
Size	43.058	2	21.529	71.386	<0.0005
WT*pH	67.312	12	5.609	18.599	<0.0005
WT*Size	10.402	4	2.601	8.623	<0.0005
pH*Size	32.423	12	2.702	8.959	<0.0005
WT*pH*Size	45.894	24	1.912	6.341	<0.0005
Error	38.000	126	0.302		

[1] Statistical significances were tested by oneway analysis of variances among group
[2] Water temperature

것으로 나타났다.

ANOVA 분석 중 최소제곱평균(Least squares means)에 의하여 확인된 각 요인들 간의 관계를 알아본 결과, 소백옆새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동은 pH 5.0을 정점으로 그 이하의 수준으로 갈수록 매우 급격히 감소한다는 것을 알 수 있었다(Fig. 3). 즉 pH 3.5 수준하에서 최고점에 달했고, 반면 pH 3.0에서는 보다 낮은 수치를 보여주었다.

각 실험시기에 확인된 상이한 수온 하에서의 소백옆새우(*G. sobaegensis*) 회피행동은 매우 다양하게 확인되었다. 수온이 상승할수록 옆새우개체들의 회피수도 동시에 증가하였던 것이다. 3차 시기의 수온은 실험 기간 중 가장 높은 평균 18.2(±0.5)°C를 보여주고 있었으며 이는 1차 시기의 수온인 약 12.5(±0.5)°C와 2차 시기의 약 13.3(±0.5)°C 보다 월등하게 높은 것이었다. 그리고 각 개체의 크기에 따른 회피행동은 중소형보다 대형개체가 보다 높다는 것이 확인되었다. 또한 상대적으로 1, 2차에 비해 높은 수온을 나타냈던 3차 조사시에서는 pH 4.5 이하에서 회피행동이 급격히 증가한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 즉 수온이 12~13°C로 늘 일정하다면 옆새우의 회피행동을 증감하는 pH 대역은 pH 4.5 이하일 것으로 생각된다.

고 찰

본 연구결과, 저서성 대형무척추동물이며 수생태계 내의 주요한 분쇄자의 일종인 소백옆새우(*G. sobaegensis*)를 자연환경과 유사한 조건의 인공수로 하에서 산성강하물에 노출시켰을 때 산성화가 진행된 수환경에 적응을 하는 개체는 거의 없는 것으로 확인되었다.

소백옆새우(*G. sobaegensis*)에 대한 산성스트레스는

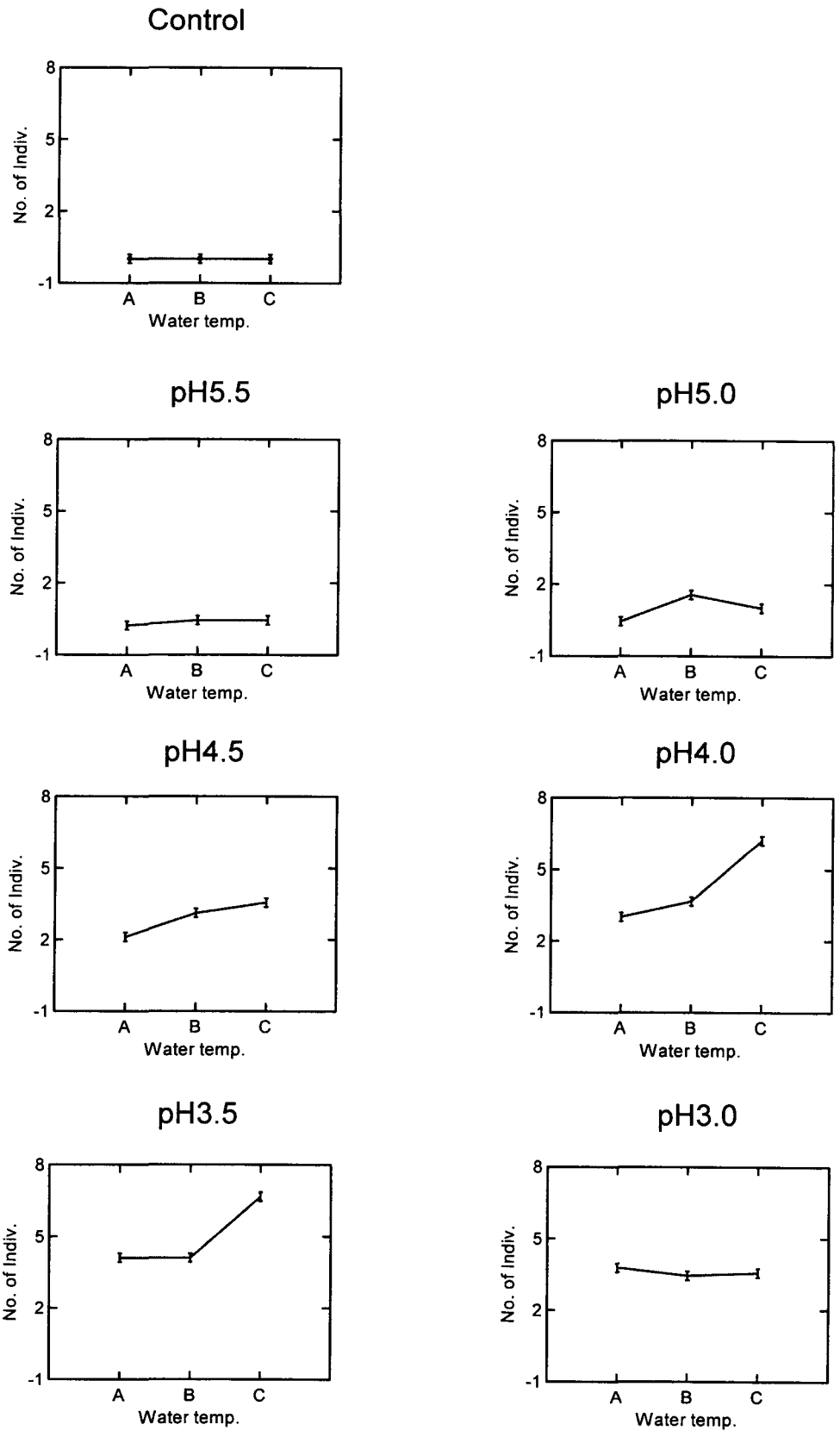

Fig. 4. Least squares means between the water temperature and the number of individual to the pH level for *G. sobaegensis* by acid stress.

pH가 약 3.5에서 4.0사이 일 때 가장 큰 행동변화를 야기하는 정점으로 보여진다. 그러나 그 이하에서는 스트레스가 너무도 강하여 회피 등과 같은 생존능력을 일부 상실하는 것은 아닌가 생각된다. 즉 pH 4.0 이상에서는 비교적 회피능력의 정도가 충분한 듯하여 많은 개체가 크기에 관계없이 하류역으로 회피할 수 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 pH 저하에 따른 소백옆새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동은 각 크기의 개체들 모두 회피이동거리와 회피시간에 따른 다소의 차이는 보여지나, 전반적으로 하류역으로 이동하려는 경향은 매우 일률적으로 나타났다. 이러한 반응은 인공수로 내에서 대조군을 대상으로 시행한 예비실험 하에서, 각 옆새우 개체들은 유속, 유량 또는 하상의 물리적인 변화가 가해져도 수류에 따른 하류역 방향으로의 회피는 확인되지 않았다. 즉 화학적 자극인 pH 변화에서의 옆새우 표류행동은 물의 이동에 따른 수동적인 행동이 아닌 각 개체의 능동적인 움직임에 의한 회피행동이다. 특히 회피행동이 pH 3.5 수준에서 최고점에 달했고, 반면 pH 3.0에서는 보다 낮은 수치를 보여주었다. 이는 소백옆새우(*G. sobaegensis*)의 회피행동이 오히려 극심한 산성 스트레스로 인하여 미처 회피하지도 못하는 개체가 발생하였기 때문으로 생각된다. 중소형 개체를 제외한 나머지 대형개체에 있어서는 pH 대역이 높아짐에 따라 회피한 개체수도 증가 후 다시 감소하는 즉 산성도에 따라 반응하는 일반적인 경향을 보여주었다(Pilgram & Burt 1993; Howe *et al.* 1994). 이러한 결과는 대형개체가 중소형개체에 비하여 pH에 대한 수용능력이 보다 더 크거나(Rosseland & Staurnes 1994), 혹은 이동능력이 다소 뛰어나기에 그 증감의 폭이 작은 것으로 생각된다.

수온에 따른 각 개체크기별 회피유형은 역시 수온이 상승할수록 모든 크기의 옆새우가 급증하는 것으로 확인되었다. 결국 수온의 증가로 인하여 소백옆새우(*G. sobaegensis*)에게 산성도 증가에 따른 스트레스 상승효과(Pilgrim & Burt 1993)가 발생한 것은 아니었는지 보다 자세히 살펴볼 필요가 있으며, 앞으로 수온 외 또 다른 수환경 요인과의 상관관계도 상세히 연구해야 할 것으로 여겨진다. 특히 중소형 개체들은 지속적으로 성장과 탈피를 거치며 생육하게 되는데 이에 따른 생리적 변화로 인하여 각종 스트레스에 대한 완충능력이 대형개체들보다 떨어질 수 있는 가능성(Sutcliffe & Hildrew 1989)을 배제할 수 없으며, 추후 이에 따른 보다 자세한 연구가 요구된다. 그리고 수생태계에 있어 주요한 사실 중 하나는 저서성 대형무척추동물에 대한 산성화의 영향이 pH 단독으로 작용하는 것이 아니라 수온의 증가 혹은 감소에 따라 그 내성의 정도가 최대 9배 이상 나타난다는 연구(Pilgrim & Burt 1993) 등을 미루어 볼 때 산성화의 영향이 얼마나 수온과 밀접한 관계가 있는지 유추해 볼 수 있다.

일반적으로 독성에 대한 민감도는 성숙한 개체보다 어린 개체가 보다 더 높은 것으로 알려져 있다(Ramamoorthy & Baddaloo 1995). 그러나 소백옆새우(*G. sobaegensis*)를 대상으로 pH 저하를 유도한 본 실험에서는, 전반적으로 pH 4.0 이하에서 대형개체보다 중소형개체가 보다 덜 회피하는 매우 불규칙한 상태를 보여주고 있다는 것이 의문으로 남는다. 이처럼 중형과 소형에서 산성 스트레스에 의한 반응이 대형에 비해 상당히 불규칙적으로 나타나는 것은, 수환경 변화에 따른 운동성 차이(Gerhardt 1996), 그리고 성장과 탈피, 산란 등에 의한 왕성한 에너지 대사 요구(Gorham & Vodopich 1992)나 주변환경에 대한 적응력 감소(Sutcliffe & Hildrew 1989)로 대형개체에 비하여 산성스트레스에 대한 완충능력이 부족하기 때문으로 생각되나 앞으로 보다 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 여겨진다.

행동적 반응은 화학적 자극요소의 최초이며 가장 민감한 지표이고 생물조사 목적을 위한 커다란 기능을 제공한다. 결국 본 소백옆새우(*G. sobaegensis*)와 같은 계류성 저서생물을 대상으로 많은 생태독성학적 연구들이 야외와 실험실에서 동시에 지속적으로 수행된다면, 추후 수환경의 산성화 뿐만 아니라 그 밖의 계류생태계 수환경 변화에 따른 수생물군집의 다양한 변화를 미리 예측할 수 있을 것으로 여겨진다. 더불어 이와 관련된 여러 종류의 저서성 대형무척추동물 개체군 변이 및 군집 변화를 확인 및 예측할 수 있는 생물학적 감시망으로서의 기능을 충분히 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구의 일부는 1996년도 한국자연보존협회 학술연구비 지원에 의해 수행되었다. 귀 기관의 연구비 지원에 사의를 표합니다.

그리고 본 연구의 실험종인 소백옆새우(*G. sobaegensis*)를 동정 확인하여 주신 단국대학교 이경숙 교수님께 감사를 드리며, 전 실험기간 동안 야외 실험과 실내 배양 등 각종 분석과 관찰을 도와 준 강원대학교 생물학과 정동섭 군과 김한신 군 그리고 강혜숙, 이복섭, 이순진 양에게 진심으로 감사드립니다.

또한 부족한 논문을 세심하게 읽어주시고 많은 조언을 아끼지 않으신 편집위원 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

국립지리원(1995) a. 1 : 25000 지형도 No. 223-4, 도엽번호 NJ 52-9-07-2 춘천. 국립지리원.

국립지리원(1995) b. 1 : 50000 지형도 No. 223, 도엽번호 NJ 52-9-07 춘천(Ch'unch'ŏn). 국립지리원.

김진경, 조도순(1996) 인공산성비가 돌피와 바랭이의 생장과 경쟁에 미치는 효과. 한국생태학회지 **19**(1) : 71-80.

안영범, 조홍범, 최영길(1997) 산성화에 따른 수계 세균 군집 및 세포외 효소의 활성도 변화. 한국육수학회지 **30**(3) : 243-252.

이경숙(1986) 한국산 단각류의 계통분류학적연구 남한 담수산 옆새우과(갑각류)의 1신종 *Gammarus hoonsooi*. 한국동물학회지 **29**(3) : 165-170.

임병진, 박수영, 변명섭, 이철우, 임은숙, 윤승모(1996) 수질오염 조기감시를 위한 물벼룩독성경보장치 활용. 한국육수학회지 **29**(2) : 119-132.

채기숙, 김범철(1997) 산성화가 식물플랑크톤 종조성에 미치는 영향. 한국육수학회지 **30**(3) : 203-212.

Amyot M, B Pinel-Alloul, PGC Campbell & JC Desy (1996) Total metal burdens in the freshwater amphipod *Gammarus fasciatus*: contribution of various body parts and influence of gut contents. *Freshwater Biology* **35** : 363-373.

Borchardt D (1993) Effects of flow and refugia on drift loss of benthic macroinvertebrates: implications for habitat restoration in lowland stream. *Freshwater Biology* **29** : 221-227.

Bradt P, T Tereska & K Melnikoff (1995) Acid tolerance in *Caecidotea communis*, say 1918: Indicator of lake acidification in northeastern pennsylvania. *Journal of the Pennsylvania Academy of Science* **69**(2) : 43-48.

Byrne C & NF Gray (1995) Field acute toxicity method for the assessment of acid mine drainage using macro-invertebrates. *Fresenius Environmental Bulletin* **4** : 583-588.

Dahl J & L Greenberg (1996) Effect of habitat structure on habitat use by *Gammarus pulex* in artificial streams. *Freshwater Biology* **36** : 487-495.

Gerhardt A & E Svensson (1994) Monitoring of behavioural patterns of aquatic organisms with an impedance conversion technique. Environment International. **20** : 209-219.

Gerhardt A (1996) Behavioural early warning responses to polluted water. *Environ. Sci. & Pollut. res.* **3** : 63-70.

Gorham CT & DS. Vodopich (1992) Effects of acidic pH on predation rates and survivorship of damselfly nymphs. *Hydrobiologia* **242**(1) : 51-62.

Helson BV, NJ Payne & KMS Sundaram (1993) Impact assessment of spray drift from silvicural aerial applications of permethrin on aquatic invertebrates using mosquito bioassays. *Environmental Toxicology and Chemistry* **12** : 1635-1642.

Howe GE, LL Marking, TD Bills, JJ Rach & FL Mayer (1994) Effects of water temperature and pH on toxicity of terbufos, trichlorfon, 4-nitrophenol and 2, 4- dinitrophenol to the amphipod *Gammarus pseudolimnaeus* and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Toxicology and Chemistry* **13** : 51-66.

Hughes NF & LH Kelly (1996) New techniques for 3-d video tracking of fish swimming movements in still or flowing water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53** : 2473-2483.

Lee KS & HS Kim (1980) On the geographical distribution and variation of freshwater *Gammarus* in Korea, Including descriptions of four new species. *Crustaceana, Suppl* **6** : 44-67.

McCafferty WP (1983) Aquatic Entomology; The Fishermen's and Ecologist' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives. pp. 28-52.

Merritt RW & KW Cummins (1996) An Introduction to the Aquatic Insects of North America (Third Edition). Kendall/Hunt Publishing company. pp. 29-97.

Musko IB, W Meinel, R Krause & M Barlas (1990) The impact of Cd and different pH on the amphpod *Gammarus fossarum* KOCH (Crustacea: Amphipoda). *Comp. Biochem. Physiol* **1** : 11-16.

Niederlehner BR & J Cairns (1990) Effects of increasing acidity on aquatic protozoan communities. *Water, Air, and soil Pollution* **52** : 183-196.

Pennak RW (1953) Chapter 21. Amphipoda. pp. 435-446. *In* Fresh-water Invertebrates of the United States, *The Ronald Press Company, New York*.

Pilgrim W & DB M Burt (1993) Effect of acute pH depression on the survival of the freshwater amphipod *Hyalella azteca* at variable temperatures. *Hydrobiologia* **254** : 91-98.

Plenet S (1995) Freshwater amphipods as biomonitors of metal pollution in surface and interstitial aquatic system. *Freshwater Biology* **33** : 127-137.

Pöckl M & UH Humpesch (1990) Intra- and inter-specific variation in egg survival and brood development time Austrian population of *Gammarus fossarum* and *G. roeseli* (Crustacea: Amphipoda). *Freshwater Biology* **23** : 441-455.

Ramamoorthy S & EG Baddaloo (1995) Handbook of chemical toxicity profiles of biological species. volume 1. aquatic species. pp. 1-384.

Ritterhoff J, GP Zauke & R Dallinger (1996) Calibration of

the estuarine amphipods, *Gammarus zaddachi* Sexton (1912), as biomonitors: toxicokinetics of cadium and possible role of inducible metal-binding proteins in Cd detoxification. *Aquatic Toxicology* **34** : 351-369.

Rosseland BO & M Staurnes (1994) Physiological mechanisms for toxic effects and resistance to acidic water: an ecophysiological and ecotoxicological approach. *In* Acidification of Freshwater Ecosystems: Implication for the Future (*eds*. Steinberg CEW and Wright RF). John Wiley & Sons. pp. 227-246.

SPSS Incorporation (1997) SYSTAT 7.01 SPSS Incorporation.

Sutcliffe DW & AG Hildrew (1989) Invertebrate communities in acid streams. In Acid toxicity and Aquatic animals (*eds*. Morris R, Taylor EW, Brown DJA and Brown JA, Society of Experimental Biology. seminar series 34). Cambridge University Press, Cambridge, U. K. pp. 13-29.

Waters TF (1972) The drift of stream insects. *Annu. Rev. Entomol* **17** : 253-272.

Zielinski D (1995) Life history of *Gammarus balcanicus* Schaferna, 1922 from the bieszczady mountains (Eastern carpathians, Poland). *Crustaceana* **68**(1) : 61-72.

Ecotoxicological Study of *Gammarus sobaegensis* by pH Depression in Artificial Channels
– Drift behavior –

Jung-Ho Park, Dong-Hyun Cho and Keun Chung[1]

(Department of Biology and [1]Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea)

Abstract - This study was carried out to examine the drift of *Gammarus sobaegensis* by acid stress as pH depression in Oweol creek from April 1996 to October 1996. The behavioral drifting was revealed to the characteristics of *G. sobaegensis* that is tend to increase as acid stress. And, tolerance level of *G. sobaegensis* to pH depression was different among the size classes. Individuals belong to small to medium size classes were weak in lower pH. Pattern of response in *G. sobaegensis* has a lower tolerance to acid stress at below pH 4.0 than above pH 5.0 in the artificial channel and show the possibility as an effective aquatic ecotoxicity test organism. The result of analysis of variance, water temperature (F-ratio = 66.596, $P<0.0005$) and the size classes (F-ratio = 71.386, $P<0.0005$) except pH level (F-ratio = 353.415, $P<0.0005$) were showed to the major factor for drift behavior by acid depression. [*Gammarus*, pH, Drift, Acid stress, Ecotoxicity test].