

어류 독성법을 이용한 매립지 침출수중 시안 평가

연익준[†] · 박종호¹ · 전태성 · 최현일² · 류재근 · 류권걸³

충주대학교 환경공학부, ¹충청북도 내수면연구소, ²(주)포스코건설, ³충북대학교 환경공학과

Estimation of Cyanide in Landfill Leachate using Toxicity Test with Bagrid Catfish Juvenile

Ik-jun Yeon[†], Jong-ho Park¹, Tae-sung Jun, Hyun-ill Choi²,
Jae-keun Ryu, and Kwon-gul Rhu³

Department of Environmental Engineering, Chungju National University, Chung-ju 380-702, Korea

¹Department of Inland Fisheries Research Institute, The Provincial of Chung Cheong Buk-Do, Chung-ju 380-250, Korea

²POSCO Engineering & Construction Co., Ltd, Seoul 135-777, Korea

³Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju 361-763, Korea

Received April 2009, accepted June 2009

The toxic impact of cyanide on bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* juvenile was examined 96 hr LC₅₀ value of cyanide was 1.90 mg/L. Chronically, bagrid catfish were exposed for 30 days to cyanide at the concentrations of at 63, 95, 190, and 380 µg/L, representing 3.3, 5.0, 10.0, and 20.0% of the 96 hr LC₅₀, respectively. Survival rate was significantly affected when the concentration was over 63 µg/L after 10 days. Growth rate, specific growth rate (SGR), and feed efficiency were reduced over time as concentration dependent manner. Growth rates of the exposed groups were significantly reduced by 28.06-60.63% comparing to the control fish, SGR were decreased by 1.50-4.72% and feed efficiency was declined by 6.10-11.90%. It can be concluded that if *P. fulvidraco* is chronically exposed to cyanide over 63 µg/L, the physiological damages might affect growth the fish.

Key words : *Pseudobagrus fulvidraco*, Cyanide, LC₅₀, Survival, Growth

1. 서 론

폐기물 문제는 우리의 일상생활과 가장 밀접한 환경 문제의 하나로서 주목되고 있다. 특히 매립결과 발생되는 침출수는 주변하천 및 지하수오염의 주원인이 되고 있다. 침출수의 경우, 일반도시하수와는 달리 유기오염 물질을 비롯한 유해성 화학물질, 중금속 물질이 다량 포함되어 그 효율적처리가 어려울 뿐만 아니라, 하천으로 유입되면 수질생태계에 심각한 영향을 미치게 된다. 이러한 오염현상의 발현은 일정시차를 두고 갑자기 나타나는 화학적 시한폭탄(Chemical Time Bomb(CTB))의 특성을 가진다¹⁾.

침출수의 조성은 여러 가지 요인에 의해 개별 매립장마다 독특한 특성을 가지며 같은 매립장에서도 폐기물의 분해단계에 따라 상이하다. 따라서 침출수 특성에 적합한 처리공법을 도출하고 환경오염을 방지하기 위해서는 침출수 특성에 대한 철저한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 수생생태계로 유입된 침출수의 독성적 영향을 평가하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있지만 수질에 대한 이화학적 분석만으로는 여러 가지 한계가 있다. 그 이유는 다양한 물질이 용존되어 있는 수질의 정확한 분석이 쉬운 일이 아니며 이들 물질의 혼합에 따른 상호작용 측면을 고려해야 하기 때문이다. 이러한

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-(0)43-841-5359, Fax: +82-(0)43-841-5350, E-mail : ijyn@cju.ac.kr

이유로 어류, 패류, 물벼룩 및 박테리아 등 다양한 생물학적 지표를 사용하여 오염의 수준을 파악하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다^{2,4)}.

이 가운데 어류를 이용한 생물검정시험에 관한 연구는 많으며 이에 이용되는 주요 담수어종은 송사리(*Oryzias latipes*), 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어(*Carassius auratus*), fathead minnow(*Pimephales promelas*) 및 무지개송어(*Salmo gairdneri*) 등 다양하다⁵⁻⁹⁾. 어류에 대한 시험방법은 국제적으로 잘 확립되어있으며, 대표적으로 OECD시험방법, 미국 EPA시험방법 등을 들 수 있고, 시험종으로는 오랜 기간 동안 연구가 이루어진 외국의 zebrafish, fathead minnow, bluegill 및 일본산 송사리를 사용하기도 한다. 우리나라에서도 1997년 유해화학물질 시험방법을 제시할 때, OECD시험방법에 추천된 어류를 시험어종으로 채택하였다. 그러나 외국에서 선정된 어종들은 대부분 우리나라의 수계에 분포하고 있지 않은 종이거나, 분포하더라도 연중 시험이 가능한 연령확보가 불가능하여 유해화학물질의 생태독성법을 평가하는 데는 적절하지 않으므로, 우리나라에 서식하는 어종에 대한 시험법의 확립이 필요하였다.

동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*)는 아시아 전역에 분포하고 있으며 우리나라에서는 서해와 남해로 유입되는 하천의 중·하류에 널리 서식하고 있다¹⁰⁾. 특히, 물흐름이 느린 정체된 수역을 좋아하며 이동성이 크지 않아 특정오염물질에 노출될 우려가 많으나 본 어종에 대한 독성적 연구는 거의 없다. 본 연구는 동자개 치어를 이용하여 매립장 침출수중 시안(CN) 노출에 의한 급성독성 및 생존, 성장 및 사료효율에 미치는 만성적 영향을 검토하였다.

수생생물에 대한 Cyanide의 급성독성의 차이는 종에 따라 다르게 나타났고 이를 Table 3에 나타내었다. 담수어종 가운데 Cyanide 독성에 아주 민감한 것으로 알려진 *G. affinis*는 96hr LC₅₀이 0.32 mg/L으로 보고되었고 파랑볼우럭, *Lepomis macrochirus*와 잉어, *Cyprinus carpio*도 비교적 감수성이 강한 것으로 알려져 있다. 반대로 붕어, *Carassius auratus*와 *I. punctatus*의 경우는 타 어종에 비해서 Cyanide에 대한 민감도가 낮은 것으로 알려져 어종에 따른 차이가 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 경향은 생육단계에 따라서도 크게 나타나는데 *L. cyanellus*의 경우 체중이 1.1 g의 경우는 96 hr LC₅₀이 0.93 mg/L이었고, 15 g은 1.70 mg/L으로 나타났^{11,12)}.

무지개송어에 Cyanide 310 µg/L를 150일 동안 만성

적으로 노출시켰을 때 대조구에 비해 25% 정도 낮은 성장률을 보였다¹³⁾. 그러나 *Danio rerio*의 경우는 Cyanide 20 µg/L에서 28일간 노출시켰을 때 대조구보다 37% 이상 감소하는 것으로 보고되었¹⁴⁾. 이러한 성장감소는 다른 유기인계 농약에서도 같은 경향을 나타내었다. Fonofos를 30일 동안 *Lepomis macrochirus*에 노출시킨 결과 성장 감소가 유발되었¹⁵⁾, carbaryl의 경우도 *Macropodus cupanus*를 노출시킨 결과 성장률은 감소하는 것으로 나타났¹⁶⁾.

2. 실험방법

2.1 시료채취

측정기간은 우기를 피하여 계절별로 1회씩 측정하였고, 측정일수는 각 1주일간으로 하였다. 시료채취는 고밀도 폴리에틸렌 시료병으로 채수하여 4°C에서 보존하였다. 조사지점의 수질은 유해화학물질 5개 항목(CN, ABS, PCB, As, Org-P), 중금속류 4개 항목(Pb, Hg, Cd, Cr⁶⁺) 및 COD_{Mn}으로 총 10개 항목에 대해 측정하였다. 분석방법은 수질오염·폐기물·토양오염 공정시험방법¹⁷⁾ 및 Standard Methods¹⁸⁾에 준하여 실시하였다. 채취한 시료는 질산-과염소산분해법으로 전처리한 후 As, Pb, Cd, Hg 및 Cr⁶⁺은 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP, Optima 5300DV, Perkinelmer Co., USA), CN은 분광광도계(HP 8453 Spectrophotometer, Hewlett-Packard Co., USA)로 분석하였다. PCB, Org-P은 미국 환경청 공정시험법¹⁹⁾에 근거하여 시료를 추출한 후 가스크로마토그래피(GC, GC 6890, Agilent Co., USA)로 분석하였다.

2.2 실험어의 사육

동자개, *P. fulvidraco* 치어는 C연구소에서 분양 받아 실험에 사용하였다. 실험실로 이송한 동자개는 300 L 순환여과식 수조에서 시판되는 메기용 부상사료(Purina Ltd., Korea)를 공급하여 20일간 순응시킨 후, 외관상 질병의 증세가 나타나지 않고 먹이 불임이 좋은 개체 (체중, 3.48±0.29 g)를 선발하여 사용하였다.

Cyanide(99.9% purity, Supelco, USA)은 표준원액(100 mg/L)을 조제하였고, 환수 때마다 매일 희석하여 노출용액을 조제하여 사용하였다.

급성독성실험은 PVC 수조(12 L)를 이용해 지수식으로 실시하였으며 실험용수는 매일 전량 환수하였고, 환경조건을 조절하여 Cyanide 독성 이외의 다른 요인에

의한 영향을 최대한 배제하였다. 실험농도는 예비실험을 바탕으로 1.0-2.4 mg/L의 범위에서 대조구를 포함하여 9개 농도구 (0, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4 mg/L)를 3반복으로 설정하였고, 각 농도구에는 동자개 치어를 10마리씩 투입하여 96시간 노출시키면서 생존률을 조사하였다.

만성독성실험은 PVC 수조(30 L)에서 급성독성실험에서 도출된 96 hr LC₅₀ 값(1.90 mg/L)을 기준으로 각각 3.3, 5, 10, 20%인 63, 95, 190 및 380 µg/L와 대조구를 포함하여 5개 농도구를 설정하여 30일 동안 노출하였다. 각 실험구에는 동자개 치어를 30마리씩 투입하였으며 3반복으로 실험하였다. 사료 공급은 하루에 체중의 2%를 오전과 오후로 2회(09:00, 17:00) 나누어 공급하였다. 동자개의 생존은 24시간을 기준으로 치사 개체를 확인하였으며, 성장률, 사료효율 및 specific growth rate(SGR)에 대한 Cyanide의 독성 영향을 10 일마다 체중을 측정하여 계산하였다²⁰. 급성 및 만성독성 실험기간 동안 공급한 실험용수의 수질분석 결과는 Table 1과 같다.

Cyanide 독성이 동자개의 성장 및 사료효율에 미치는 영향은 10일 간격으로 3회 측정된 평균값으로 나타났다. 실험결과는 one-way ANOVA(Fisher PLSD test)와 Fisher's r-test를 실시하여 P<0.05 또는 P<0.01에서 통계적 유의성을 판단하였다.

실험은 22±1°C로 유지되는 항온실에서 96시간동안 실시하였으며 24시간마다 LC₅₀(50% Lethal Concentration)을 구하였다. 실험용수의 수질분석 결과는 Table 1과 같다. 그 외의 실시한 실험방법은 US EPA¹⁹에서

Table 1. Chemical components of the water used in the experiment of metal acute toxicity

Item	Ranges
Temperature	22±1°C
pH	7.0±0.7
Dissolved Oxygen (DO)	7.5±0.54 mg/L
Ammonium nitrogen	0.3±0.1 mg/L
Nitrite-nitrogen	0.01±0.008 mg/L
Nitrate-nitrogen	2.10±1.05 mg/L
Chemical Oxygen Demand (COD)	2.04±0.33 mg/L
Total hardness as CaCO ₃	1.88±0.09 mg/L
CN	ND*
Hg	ND*
Cu	ND*
Pb	ND*

*ND: Not Detected

추천한 'Short-term method for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving waters to freshwater organism'의 조건을 따랐다. 급성독성의 결과로서 LC₅₀은 24시간마다 치사한 개체를 관찰하여 US EPA에서 제공한 Probit program(version 1.5)에 의해 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

Cyanide 노출에 따른 동자개 치어의 급성독성 실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 대조구에서는 실험기간 동안 치사가 발생하지 않았으며 Cyanide 노출구에서는 높은 치사율을 나타내었다. 또한 24시간부터 96시간까지 LC₅₀ 값의 차이는 0.1 mg/L으로 큰 변화를 보이지 않았으며 96 hr LC₅₀은 1.90 mg/L로 조사되었다.

Cyanide에 만성적으로 노출에 따른 동자개의 생존률을 조사한 결과 대조구의 생존률은 98.0%로 나타났고, Cyanide 63 µg/L 이상의 농도에서 노출 후 10일부터 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1). 실험종료시 대조구의 생존률을 기준으로 Cyanide 63 µg/L 농도구에서는

Table 2. LC₅₀ values and 95% confidence limits of cyanide for *Pseudobagrus fulvidraco* juvenile

Time (hr)	LC ₅₀ (mg/L)	95% confidence limits	
		Lower	Upper
24	2.00	1.86	2.10
48	1.97	1.84	2.08
72	1.93	1.80	2.01
96	1.90	1.76	2.00

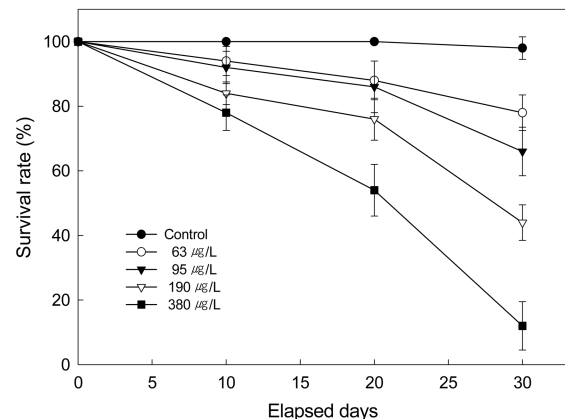


Fig. 1. Survival rate of *Pseudobagrus fulvidraco* juvenile exposed to sub-lethal concentrations of cyanide for 30 days.

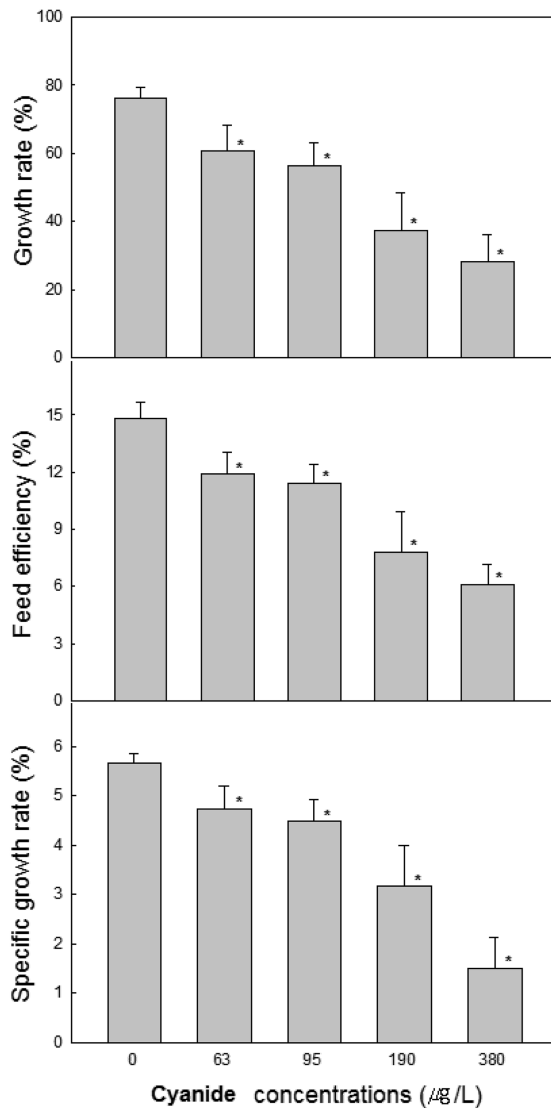


Fig. 2. Mean growth rate, specific growth rate and feed efficiency of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* juvenile exposed to sub-lethal cyanide for 30 days. Vertical bars denote a standard error of the mean. *A significant difference from control ($P < 0.05$).

79.6%, 95 µg/L는 67.3%, 190 µg/L는 44.9%, 380 µg/L는 12.20%의 생존률을 나타냈다.

Cyanide 노출에 따른 동자개의 성장 및 사료효율의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 대조구의 평균 성장률은 $76.22 \pm 3.12\%$ 로 가장 양호하였고, Cyanide의 농도가 증가할수록 감소하였는데, 63 µg/L 이상에서는 대조구와 비교하여 유의한 성장차이가 조사되었다($P < 0.05$). 즉, Cyanide 농도 63, 95, 190 및 380 µg/L에서 대조구에 비해 각각 28.06 ± 8.04 , 37.45 ± 11.19 , 56.47 ± 6.79 및 $60.63 \pm 7.61\%$ 의 낮은 성장률을 나타냈다.

Cyanide 노출에 따른 동자개의 사료효율은 Cyanide 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. Cyanide 63 µg/L 이상에 노출된 동자개는 대조구 ($14.8 \pm 0.87\%$)에 비해 유의하게 감소하여 성장률과 비슷한 경향을 보였다($P < 0.05$). 즉, Cyanide 농도 63, 95, 190 및 380 µg/L에서 대조구에 비해 각각 6.10 ± 1.02 , 7.80 ± 2.09 , 11.40 ± 1.01 및 $11.90 \pm 60.8\%$ 의 낮은 사료효율을 나타냈다.

동자개의 SGR은 Cyanide 농도 63, 95, 190 및 380 µg/L에서 대조구($5.67 \pm 0.18\%$)보다 각각 1.50 ± 0.63 , 3.17 ± 0.81 , 4.47 ± 0.44 및 $4.72 \pm 0.47\%$ 가 감소하여 노출 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, Cyanide 농도 63 µg/L 이상에서 대조구에 비해 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

4. 결 론

본 연구에서 실시한 동자개 치어(3.48 g)의 급성독성 결과, 96시간 LC_{50} 값이 1.90 mg/L으로 조사되어 냉수성 어종인 *Oncorhynchus clarki*보다 다소 낮았고, 담수 어종의 평균값인 1.43 mg/L 보다 높게 나타났다²¹⁾.

수중의 Cyanide은 광분해 되거나 유기물질에 흡착됨으로서 10일 내에 소실되기 때문에 수생생태계에서 지속적으로 유지되기보다는 비교적 단기간에 출현했다가

Table 3. Toxicity data for aquatic species exposed to cyanide during acute toxicity tests

Species	Size (g)	LC_{50} (mg/L)	References
<i>Gambusia affinis</i>	0.6	0.32	Johnson and Finley (1980) ¹⁵⁾
<i>Cyprinus carpio</i>	10	0.85	Lahav and Sarig (1969) ²⁷⁾
<i>Lepomis cyanellus</i>	1.1	0.93	Johnson and Finley (1980) ¹⁵⁾
<i>Lepomis cyanellus</i>	15	1.70	Pickering et al., 1962) ¹⁶⁾
<i>Oncorhynchus clarki</i>	3.4	1.97	Mayer and Ellersieck (1986) ²⁸⁾
<i>Carassius auratus</i>	1-2	2.60	Pickering et al. (1962) ¹⁶⁾
<i>Ictalurus punctatus</i>	1.4	2.65	Mayer and Ellersieck (1986) ²⁸⁾

소멸되는 경향을 보여²²⁾ 본 연구에서는 Cyanide의 노출기간을 30일로 설정하여 실험하였다.

Cyanide의 만성농도에 노출된 동자개의 생존률 변화는 Cyanide 63 µg/L 이상의 농도에서 나타났다. 실험 종료시 대조구에 비해 Cyanide 63 µg/L 농도에서는 79.6%, 95 µg/L는 67.3%가 감소하였고 노출농도와 시간이 증가할수록 생존률 감소는 크게 증가하는 경향을 보였다. Spacie²³⁾는 *Tilapia mossambica* 치어를 Cyanide에 30일간 노출시켰을 때 23.0 µg/L에서부터 생존률이 유의적으로 감소되었다고 보고하였으나, Rorex²⁴⁾는 Cyanide 20 µg/L에 250일간 *D. rerio*를 노출시킨 결과 대조구에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다고 하여 만성 노출시에도 어종간의 생존률 차이는 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서 Cyanide 노출에 따른 동자개의 성장률 변화는 노출농도 및 노출시간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 Cyanide 63 µg/L 이상에서 유의한 감소를 나타내었다(P<0.05). 또한, 190 및 380 µg/L에서도 대조구에 비해 50.9 및 63.2%의 낮은 성장을 나타냈다. Cyanide 노출에 따른 동자개의 SGR 변화는 63, 95, 190 및 380 µg/L에서 대조구보다 각각 16.8, 21.2, 44.1 및 73.5%가 감소하였다.

따라서 본 연구의 결과는 어류가 만성적으로 노출되었을 때 성장을 감소가 유발된다는 일반적인 가설과 동일한 결과를 나타내었다. 하지만, Roex²²⁾에 의하면 Cyanide 0.9 µg/L와 같은 저농도에 *Danio rerio*를 노출시켰을 때 사료 섭취력이 증가하였으나, 성장률에는 변화를 나타내지 않았다고 보고하여 저농도의 Cyanide에서 어류의 성장률이 변화하지 않을 수도 있다. 또한, 어류의 성장률 감소의 원인이 유기인계 농약 노출에 따른 AChE 활성저해 때문인 것을 밝히고 있어^{25, 26)}, 이와 관련한 연구는 좀더 진행되어져야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 하천, 호수 및 양식장 등에서 동자개가 Cyanide 농도 1.90 mg/L에 노출되게 되면 치명적인 피해를 받을 수 있으며, 만성 농도하에서는 63 µg/L 이상에서 30일 이상 지속되었을 때 생존 및 성장 장애를 유발할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임.

참고문헌

1. Smidt, G. R. B., Report of the workshop on chemical time bombs. Chemical time bombs project, Foundation for Ecodevelopment De bilt, Utrecht, **1990**, June 21-23, p. 35
2. Bitton, G., Rhodes, K., and Koopman, B., CerioFast : an acute toxicity test based on *Ceriodaphnia dubia* feeding behavior. *Environ. Toxicol. Chem.*, **1986**, 15, 123-131.
3. 박중호, *Ceriodaphnia dubia*를 이용한 단기급성독성조사법 개발 및 응용, *충북대학교박사학위논문*, **2003**.
4. 박중호, 이상일, 조영옥, *Ceriodaphnia dubia*의 먹이 섭생 기작과 온도조절에 근거한 급성독성조사법의 비교, *한국물환경학회지*, **2004**, 20(1), 48-54.
5. Johansson-Sjoberck, M. L., and Larsson, A., Effects of inorganic lead on delta-aminole vulinic acid dehydratase activity and hematological variables in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **1979**, 8, 419-431.
6. Flik, G., Stouthart, X. J. H. X., Spanings, F. A. T., Lock, R. A. C., Fenwick, J. C. and Wendelaar Bonga, S. E., Stress response to waterborne Cu during early life stages of carp, *Cyprinus carpio*, *Aquacult. Toxicol*, **2002**, 56, 167-176.
7. Ling K. H., Sin Y. M., and Lam T. J., Effect of copper sulphate on ichthyophthiriasis (white spot disease) in goldfish (*Carassius auratus*), *Aquaculture*, **1993**, 18(2), 23-25.
8. Sippel, A., Geraci, J., and Hodson, P., Histopathological and physiological responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to sublethal levels of lead. *Wat. Res.*, **1983**, 17, 1115-1121.
9. Grindley, J., Toxicity to rainbow trout and minnow of some substances known to be present in wastewater discharge to rivers, *Ann. Appl. Biol*, **1964**, 33, 103-112.
10. Choi K. C., Jeon S. R., Kim I. S., and Son Y.M., *Coloured Illustrations of The Freshwater Fishes of Korea*, **2002**.
11. Johnson, W.W. and M.T. Finley. Handbook of Acute Toxicity of Chemicals to Fish and Aquatic Invertebrates. Fish Wildl. Serv., U.S. D.I., Washington, D.C., **1980**, 98.
12. Pickering, Q.H., C. Henderson and A.E. Lemke. The toxicity of organic phosphorus insecticides to different species of warmwater fishes. *Trans. Am. Fish.*, **1962**, Soc., 91, 175-184.
13. Banas, W.P. and J.B. Sprague. Absence of acclimation to parathion by rainbow trout during sublethal expo-

- sure. Water Res., **1986**, 20(10), 1229-1232.
14. Roex, E.W.M., M.C.T. van Langen and C.A.M. van Gestel. Acute toxicity of two compounds with different modes of action to the zebrafish, *Danio rerio*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., **2002**, 68(2), 269-274.
 15. Fairchild, J. F., E.E. Little and J.N. Huckins. Aquatic hazard assessment of the organophosphate insecticide fonofos. Arch. Environ. Contam. Toxicol., **1992**, 22(4), 375-379.
 16. Arunachalam, S. and S. Palanichamy. 1982. Sublethal effects of carbaryl on surfacing behaviour and food utilization in the air-breathing fish, *Macropodus cupanus*. Physiol. Behav., **1982**, 29(1), 23-27.
 17. 동화기술편집위원회, 수질오염 · 폐기물 · 토양오염 공정 시험방법, **2008**, 816.
 18. APHA, AWWA and WPCF, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., Washington, D. C., **1992**. 1350.
 19. US EPA, Short-term Method for Estimating the Chronic Toxicity of Effluent and Receiving Waters to Freshwater Organism, EPA-821-R-02-013, Fourth Edition, Washington. D.C. U.S. EPA, **2002**.
 20. McGeer, J.C., C. Szebedinszky, G. McDonald and C.M. Wood. Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout. 1: Iono-regulatory disturbance and metabolic costs. Aquat. Toxicol., **2000**, 50, 231-243.
 21. Extonet. <http://extonet.orst.edu/pips/parathio.htm>, **1993**.
 22. Howard, P.H. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals, Vol. III: Pesticides. Lewis Publishers, Chelsea, MI., **1989**, 712.
 23. Spacie, A. Acute and Chronic Parathion Toxicity to Fish and Invertebrates. U.S. EPA, Washington, D.C., **1976**, 106.
 24. Roex, E.W.M., R. Keijzers and C.A.M. van Gestel. Acetylcholinesterase inhibition and increased food consumption rate in the zebrafish, *Danio rerio*, after chronic exposure to parathion. Aquat. Toxicol., **2003**, 64(4), 451-460.
 25. Eaton, J.G. Chronic malathion toxicity to the bluegill (*Lepomis macrochirus* Rafinesque). Water Res., **1970**, 4, 673-684.
 26. Goodman, L.R., D.J. Hansen, D.L. Coppage, J.C. Moore and E. Matthews. Diazinon[®]: chronic toxicity to, and brain acetylcholinesterase inhibition in, the sheepshead minnow, *Cyprinodon variegatus*. Trans. Am. Fish. Soc., **1979**, 108, 479-488.