

## 염색폐수의 수질독성시험을 이용한 한국의 수질배출허용기준 평가연구

김영희 · 이민정 · 최경호 · 어수미\* · 이흥근†

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, \*서울시 보건환경연구원

### Assessment of Korean Water Quality Standards for Effluent Discharged from the Dye Industry Based on Acute Aquatic Toxicity Tests Using Microbes and Macroinvertebrates

YoungHee Kim · MinJung Lee · Kyungho Choi · SooMi Eo\* · HongKeun Lee†

Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

\*Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

(Received May 20, 2004; Accepted August 5, 2004)

#### ABSTRACT

Acute aquatic toxicity of effluents discharged from five dyeing plants in Gyeong-gi province were evaluated to assess whether the current Korean water quality standards(KWQS) could protect aquatic life. Chemical analyses of all parameters regulated under KWQS, except for E-coli, were also carried out to determine regulation compliance of the samples. All the effluent samples were satisfied with KWQS except for the color in only one sample. In acute *Daphnia magna* toxicity tests, significant mortality was observed in one of five samples and EC<sub>50</sub> was 12.1%(95% confidence interval 9.1-16.2), which was in compliance with KWQS. The result of the Microtox assay indicated that acute microbial toxicity existed in effluents from three out of five plants, two of which were in compliance with KWQS. The agreement between regulation compliance of chemical concentrations of effluent and observed toxicity from various biological toxicity tests was very poor to fair ( $\kappa = 0.194\sim 0.250$ ). The data presented suggest that exposure to dyeing wastewater which were in compliance with Korean water quality standards may not be safe to aquatic biota, and multiple tropical levels should be considered in aquatic toxicity monitoring of dyeing industry.

**Keywords:** water quality standards, dyeing industries, whole effluent toxicity, acute toxicity test, Microtox

#### I. 서 론

우리나라의 수질환경보전법(1990년 제정, 법률 제 04260호)은 1963년 제정된 공해방지법을 모체로 하고 있으며 100여종에 달하는 업종에서 29종의 항목에 대하여 규제기준을 정하고 있다.<sup>1)</sup>

그러나 산업의 발전과 더불어 유해화학물질의 사용량과 종류가 크게 증가함에 따라 폐수에 의해 수생태계로 배출되는 오염물질의 종류도 자연히 증가하였고 1980년대 이후부터는 우리나라 4대강을 포함한 하천수

질이 점점 악화되고 있어 화학물질의 배출을 개별적 수치기준으로 규제하고 있는 현행 배출허용기준의 개선이 요구되고 있다. 여러 선진국에서는 이미 이러한 문제점을 보완하기 위한 제도를 마련하고 있다. 미국 환경보호청(US EPA)은 126개 독성물질에 대하여 이용목적별(상수원의 보호, 담수생태계의 보호, 해양생태계의 보호)로 기준을 설정하고 최대농도(급성기준치)와 축적된 연속농도(만성기준치)로 수질환경기준을 정하는<sup>2)</sup> 동시에 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)의 방류허가를 얻기 위해서는 방류수독성시험(WET test; Whole Effluent Toxicity test)을 의무적으로 실시하도록 하고 있다.<sup>3)</sup>

또한, Yoder와 Rankin은 '생태계에 대한 수질영향을 평가하기 위하여 화학적 기준만을 사용하는 것은 광범

†Corresponding author : Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University  
Tel: 82-2-740-8871, Fax: 82-2-762-8760  
E-mail : leehk@snu.ac.kr

위한 생물학적 측정을 포함하지 못하기 때문에 자원정책과 관련된 규제에 불완전성을 유발시킬 수 있다'고 지적하고 있고,<sup>4,5)</sup> 개별 화학물질에 대한 수치적 규제가 수생물에 대한 독성영향을 반영하지 못하고 있다는 연구도 보고되고 있다.<sup>6,7)</sup>

국내에서도 유해화학물질의 독성연구 및 산업폐수의 독성저감을 위한 폐수처리기술의 연구가 진행되고 있고,<sup>8)</sup> 환경부에서도 현행 수질배출허용기준을 보완하기 위한 수단으로 방류수독성시험을 수질오염물질의 관리수단으로 도입하려는 연구를 진행 중이다.<sup>2,9)</sup>

그러나 국내 대부분의 독성연구는 폐수원수나 제품생산원료를 대상으로 하고 있으며, 독성저감을 위한 처리기술의 개발 등에 관심이 집중되고 있다. 수생태계로 직접 배출되는 방류수는 폐수배출업종에 따라 방류수에 포함되어 있는 오염물질의 종류가 다르고 배출특성도 다양하기 때문에 수질오염물질의 관리수단으로 방류수독성시험을 도입하기 위해서는 각 업종별 방류수에 대한 심화된 독성연구가 요구된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 우리나라 폐수배출업체 중 오염물질의 배출비중이 비교적 크다고 판단된 염색폐수를 대상으로 생물독성시험을 통하여 우리나라 수질환경보전법의 배출허용기준이 수생물을 보호하기 위한 화학물질의 배출규제수단으로서 역할을 적절하게 수행하고 있는지를 평가하고, 방류수독성시험을 수질오염물질관리수단으로 도입하기 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

염색폐수의 생물독성시험을 위해 경기도에 위치한 5곳의 염색폐수배출업소에서 최종방류수를 채취하였다( $n = 15$ ). 염색폐수배출업소는 수질환경보전법에 규정된 업종분류에 따라 섬유 가공염색업으로 등록된 업체 중에서 염색폐수의 대표성을 확보하기 위해 가능한 한 다양한 제품생산업체와 배출다양성을 고려하여 선정하였다.

A업체는 염색조합으로서 약 4000 m<sup>3</sup>/일 규모의 폐수를 활성슬러지법으로 처리하며 배출허용기준은 '나' 지역의 적용을 받는다. B업체는 나염조합이고 폐수배출량은 100,000 m<sup>3</sup>/일, 배출허용기준 적용지역은 '나' 지역이다. C염색업체의 폐수배출량은 1500 m<sup>3</sup>/일, 배출허용기준은 '나' 지역이고, D업체와 E업체의 폐수배출량은 각각 100 m<sup>3</sup>/일, 2200 m<sup>3</sup>/일이며 배출허용기준 적용지역은 '가' 지역이다. B, C, D, E업체 모두 활성슬러지법을 이용하고 있다.

### 2. 연구방법

#### 1) 시료채취 및 보관

2004년 4월동안 7일 간격으로 3차례에 걸쳐 총 15개의 시료를 채취하였다. 용기는 모두 멸균된 것을 사용하였고 노르말렉산 분석용 시료는 유리병에 채취하였다. 채취한 시료는 냉장조건하에서 즉시 실험실로 운반하였으며 실험기간동안 4°C 이하로 냉장 보관하였다.

#### 2) 이화학적 분석

이화학적 분석을 위한 측정항목선정은 수질환경보전법의 배출허용기준에 제시된 항목을 대상으로 대장균군수를 제외한 총 25항목을 선정하였다. 그 외에 경도, 알카리도, 용존산소 및 잔류염소를 측정하였다. 분석은 채취한 모든 시료를 대상으로 실시하였으며 측정방법은 수질오염공정시험법에 따라다.

#### 3) 생물독성시험

##### (1) Microtox 시험

Microtox 시험은 형광성 박테리아(*Vibrio fischeri*)를 화학물질에 노출시킨 후 발광량의 변화를 측정하는 방법으로 독성을 측정한다. SDI(Newark, DE, USA)사로부터 냉동건조상태의 *Vibrio fischeri*를 구입하여 재조합용액(Microtox reconstitution solution)으로 활성화시킨 다음 '81.9% Basic test'(최고농도 81.9%)를 적용하였으며 방류수농도의 81.9% 이하에서 독성이 관찰되지 않은 것은 독성이 없는 것으로 보았다. 활성화시킨 *Vibrio fischeri*는 3시간 이상 사용하지 않았으며, 5분과 15분 동안 시료에 노출시킨 다음 나타난 반응을 측정하였다. 시료는 Microtox용 희석수(Microtox diluent)로 희석하였다.

##### (2) 물벼룩급성독성시험

US EPA의 표준 독성시험법<sup>10)</sup>을 따라 물벼룩을 이용한 48시간 급성독성시험(48Hr Static Non-renewal Acute Test)을 수행하였다. 독성평가에 적용할 희석농도 범위를 정하기 위해 예비시험을 실시하였으며 본 시험에서는 예비시험의 결과에 따라 선정한 최고농도에서 2배 희석방법(0.5 order dilution)에 의해 대조군을 포함한 6개 농도를 정하였다. 희석에 사용된 합성 희석수(MHW : Moderately Hard Water)는 증류수와 NaHCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, MgSO<sub>4</sub> 및 KCl을 이용하여 US EPA의 표준독성시험법에 따라 제조하였다. 대상생물은 *Daphnia magna*를 이용하였으며 각 농도별로 반복처치군(replicate)은 4개로 하였고 시료 당 120마리의 *D. magna*를 각 실험수(20 ml)에 5마리씩 나누어 사용하였다. 물벼룩은 동일한 코흐트에서 부화된 지 24시간 이내의 개체만을 사용하였다. 관찰최종점(endpoint)은 운동성소실(immobilization)로서 시험동물

을 자극하였을 때 5초 이내에 움직이지 못하는 것으로 정의된다. *D. magna*는 서울대학교 보건대학원 환경독성학 실험실에서 배양하는 코호트를 이용하였으며 독성시험동안 먹이를 공급하지 않았고 실험수(test solution)도 교체하지 않았다. *D. magna*의 운동성소실여부는 노출후 24시간, 48시간에 각각 관찰하였고 시험시작전과 종료 후에 각각 농도별 시험수의 온도, pH, 전기전도도를 측정하였다.

(3) 표준지표 독성시험(Standard Reference Toxicity Test)

시료의 유해오염물질에 대한 시험동물의 상대적인 민감도가 일정하게 유지되는지를 확인하기 위해 표준지표독성시험을 수행하였다. *D. magna*를 지표독성물질(reference toxicant)에 급성노출시켜 구한 EC<sub>50</sub>를 이전에 얻은 값들과 비교하여 시험동물의 저항성이 일정하게 유지되는지 확인하였다. 지표독성물질로는 NaCl을 사용하였다. 지표독성시험은 *D. magna* 급성독성시험과 동일한 방법으로 수행되었으며, 이 결과가 이전에 축적된 결과로부터 크게 벗어날 경우(>2S.D)에는 이 시험동물로 수행한 독성시험의 결과를 이용하지 못한다.

3) 통계적 분석

독성평가를 위한 통계방법의 선정은 US EPA 표준시험법<sup>10)</sup>의 절차에 따라서 정하였으며 사망에 대한 NOEC(No Observed Effect Concentration)와 LOEC를 구하기 위해 Fisher's Exact test를 사용하였으며, 모든 통계 값에서 p-value는 0.05로 하였다. 배출허용기준의 준수여부와 생물독성발현여부의 상관관계를 살펴보기 위해서는 일치도 평가를 위한 Kappa 값을

구하였다(Fleiss, 1981).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 염색폐수의 이화학적 특성

국내 섬유가공 및 염색폐수의 방류량은 2002년 기준으로 약 600,000 m<sup>3</sup>/일로 약 1800업체에서 배출되며,<sup>11)</sup> BOD, COD, SS 외에 Cu나 Pb 등의 특정수질유해물질이 검출되기도 한다.<sup>9,12)</sup>

본 연구에서는 Table 1과 같이 배출허용기준 항목(대장균군수제외)중 BOD, COD, SS와 Color, n-H, Zn, Fe, Mn, T-Cr, T-N, T-P, ABS만 검출되었고 중금속등의 유해화학물질들은 검출되지 않았으며 E업체가 색도 항목에서 배출허용기준을 초과한 것 외에는 모두 배출허용기준의 80% 이내의 양호한 수질이었으며, 동일업체 내에서의 1, 2, 3차 시료사이의 농도 변화도 크지 않았다.

#### 2. 생물독성시험 결과

##### 1) Microtox 시험

미생물을 이용한 독성시험은 각종 방류수와 자연계의 물이 갖는 독성을 신속하게 평가하기 위해 선호되는 방법이다. 특히, Microtox시험은 시간과 비용이 많이 소요되는 물벼룩독성시험이나 어류독성시험을 대체한 신속한 스크리닝 방법이나 보조적인 목적으로 많이 사용되고 있는 시험이다.<sup>13)</sup>

Microtox시험은 5개 업체에서 수집된 각각 3개의 방류수시료에 대해 수행되었고, Table 2의 결과에서와 같

**Table 1.** Mean chemical concentrations measured in effluents from five dye industry wastewater treatment plants

	BOD	COD	SS	color	n-H	Fe	Zn	Mn	T-Cr	T-N	T-P	ABS
Sample A	49.1 (8.56)	58.5 (5.02)	17.8 (4.51)	208 (40.06)	1.4 (1.08)	2.0 (0.73)	ND -	0.8 (0.01)	ND -	49.4 (4.78)	0.1 (0.03)	1.0 (0.17)
Sample B	44.1 (3.77)	53.5 (12.7)	13.0 (0.40)	187 (27.15)	1.9 (0.59)	3.0 (1.91)	0.1 (0.02)	0.6 (0.32)	0.08* (NA)	18.4 (2.64)	0.1 (0.06)	0.9 (0.07)
Sample C	43.5 (7.13)	66.7 (11.2)	11.3 (1.88)	235 (38.38)	2.5 (1.40)	1.0 (0.31)	0.051* (NA)	ND -	ND -	3.0 (0.36)	0.1 (0.04)	0.7 (0.05)
Sample D	27.3 (2.18)	43.1 (8.9)	7.0 (3.01)	71 (13.06)	3.1 (0.80)	0.4 (0.32)	ND -	ND -	ND -	34.3 (6.93)	0.2 (0.08)	0.6 (0.06)
Sample E	42.6 (5.28)	49.3 (22.1)	14.8 (7.45)	309 (52.23)	3.1 (0.66)	0.5 (0.35)	ND -	ND -	ND -	4.6 (1.22)	0.1 (0.08)	0.9 (0.15)

Unit : mg/l, do(color)

ND = Non-Detected; T- = total; NA = Not Available

The values in parentheses are standard deviations of each chemical concentrations.

\*detected in only one sample.

**Table 2.** Microtox 5 minute median effective concentrations (EC<sub>50</sub>s) of effluent samples from dye industry

	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D	Sample E
First sampling	>82	>82	>82	>82	24.1 (24.8~21.1)
Second sampling	>82	53.5 (46.9~60.8)	>82	>82	58.8 (52.4~65.8)
Third sampling	>82	41.4 (1.4~1165)	>82	>82	79.7 (68.8~92.4)

Unit : %.

The values in parentheses are 95% confidence intervals.

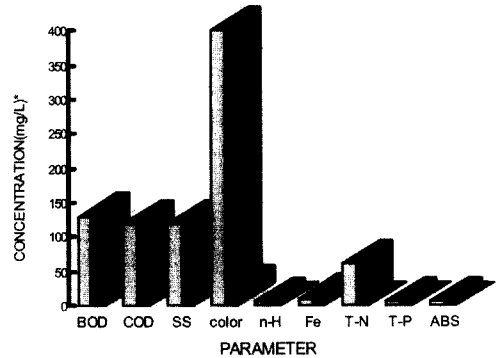
>82 means that toxicity was not observed under 81.9% of effluent concentration.

이 미생물에 대한 5분 노출 독성은 B와 E업체에서만 관찰되었다. B업체는 1차 시료에서는 독성이 없었고 2차 시료와 3차 시료에서 반수치사농도(EC<sub>50</sub>)를 구할 수 있었고 5분 노출 EC<sub>50</sub>가 각각 53.5%, 41.4%였다. 그러나 3차 시료의 경우는 95% 신뢰구간의 범위가 매우 커서 반수치사농도에 대한 신뢰도를 확신하기 어려웠다. E업체는 전반적으로 모든 시료에서 독성이 검출되었으며 시료에 따라서 5분 노출 EC<sub>50</sub>가 24.1%~79.7%로 3배정도의 큰 차이를 보였으나 검출된 화학물질간의 농도차이는 크지 않았다.

2) 물벼룩 급성독성시험

5개의 시료에 대하여 1차, 2차, 3차 시료 채취 때마다 시험을 실시하였다. 지표독성물질(reference toxicant)로 NaCl을 사용한 표준독성시험(standard reference toxicity test)을 수행하였으며, 그 결과를 Control chart에 넣어 비교한 결과 시험생물은 일정한 수준내의 민감성을 보였다.<sup>10)</sup> 시험결과는 Table 3과 같이 시료 C에서만 3회 시험 모두 독성이 강하게 관찰되었고 나머지 시료에서는 독성이 매우 미약하거나 전혀 나타나지 않았다. 그러나 5개의 방류수가 모두 비슷한 오염물질농도를 가지고 있어 방류수내에 배출허용기준에 포함되지 않은 독성유발 화학물질이 존재하거나 화학물질의 혼합배출에 의한 영향일 가능성을 보여주고 있다. 특히, 가장 높은 독성을 보인 C업체 3차 시료의 화학물질농도(BOD, COD, SS, 용해성철, T-N이 각각 53.2 mg/l, 66 mg/l, 14 mg/l, 1.2 mg/l, 3.5 mg/l)와 나머지 시료의 검출범위(BOD : 28~54 mg/l, COD :

34~64 mg/l, SS : 6~23 mg/l, 용해성철 : 0.8~4.3 mg/l, T-N : 3~43 mg/l)가 차이를 보이지 않고 있어 화학물질에 대한 수치적 규제 외에 수생생물에 대한 영향을 최소화하기 위한 규제수단이 필요함을 증명해주고 있다. 우리나라에서 유통되고 있는 화학물질의 종류는 약 3만 6천종에 달하며, 폐수 중에는 유해한 미량유기화학물질들이 다량 함유되어 있고 업종별로 도금액은 100종, 유기화학플라스틱 및 합성섬유제조업은 50여종, 금속다듬질업(metal finishing)은 110여종의 유해화학물질들이 사용되고 배출 가능한 것으로 알려져 있기 때문에 이들 물질들에 대하여 개별적으로 배출규제기준을 부여하고 관리하는 것은 쉽지 않은 일이다.<sup>2)</sup>



**Fig. 1.** Comparison of Korean Water Quality Standards(gray bar) and concentration (black bar) of the given contaminants in sample C which resulted in 50% mortality of daphnids. \* For color, unit was do.

**Table 3.** Effective concentration 50% (EC<sub>50</sub>) of acute *Daphnia magna* toxicity test on effluent samples from dye industry

	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D	Sample E
First sampling	>100	>100	15.2 (9.6~15.8)	>100	>100
Second sampling	>100	75.7 (55.9~102.6)	30.1 (17.0~53.4)	>100	>100
Third sampling	>100	>100	12.1 (9.1~16.2)	>100	>100

Unit : %.

The values in parentheses are 95% confidence intervals.

>100 means that toxicity was not observed under 100% of effluent concentration.

**Table 4.** The 2 × 2 contingency table of regulation compliance of chemical concentration and results from acute toxicity test with *Daphnia magna*

		48Hr acute <i>D. magna</i> Test		
		Toxic	Non_toxic	Total
Regulation Compliance	Violation	1	0	1
	Non-Violation	4	10	14
	Total	5	10	15

**Table 5.** The 2 × 2 contingency table of regulation compliance of chemical concentration and results from Microtox test

		Microtox Test		
		Toxic	Non_toxic	Total
Regulation Compliance	Violation	1	0	1
	Non-Violation	5	9	14
	Total	6	9	15

3) 배출허용기준과의 비교분석

독성이 발현되는 방류수의 농도수준을 알아보기 위하여 급성물벼룩독성시험에서 가장 강한 독성이 관찰된 C업체 3차 시료의 반수치사농도를 개별 오염물질농도로 전환하여 Fig. 1에서와 같이 개별물질의 배출허용기준과 비교한 결과, 시료중 오염물질의 농도가 배출허용기준보다 매우 낮은 경우에도 물벼룩치사를 일으키는 생물독성이 관찰되었다. 우리나라 수질배출허용기준이 수계에 대한 생물학적 영향을 줄이기 위한 제도로서 적합한가를 평가하기 위해서는 배출허용기준 준수여부와 독성시험에 의한 생물학적 독성발현의 일치성여부를 분석하기 위하여 독립성상관분석을 위한 Kappa 값을 산출하였다. 염색폐수를 대상으로 얻은 급성물벼룩독성시험과 Microtox 시험의 Kappa 값은 각각 0.250, 0.194로 산출되었다(Tables 4,5). 이는 Fleiss(1981)의 Kappa 값 분류체계<sup>14)</sup>(Kappa > 0.75 : excellent agreement, 0.75 > Kappa > 0.4: good agreement, 0.4 > Kappa : poor agreement)에 의하면 매우 낮은 일치도를 보이는 것으로 배출허용기준의 준수가 생물독성의 발현과는 관련성이 깊지 않은 것으로 보인다. 즉, 배출허용기준이 생물독성에 대한 영향을 저감시키기 위한 역할을 수행하지 못하고 있다고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 현행 수질환경보전법에 의한 수치적 배출규제 및 오염물질에 대한 배출허용기준 설정농도

가 수생태계를 보호하기 위한 장치로서 얼마나 적합한가를 평가하기 위하여 염색업체의 방류수를 대상으로 미생물을 이용한 급성노출시험과 물벼룩급성노출시험을 수행하였다. 본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

시험대상 방류수의 오염물질농도는 5개 업체(A, B, C, D, E)중 E업체의 1차 시료에서색도(381도)가 기준치(300도)를 초과한 것 외에는 모두 배출허용기준 이내의 수준이었고 중금속 등 유해화학물질은 대부분 검출되지 않았다.

발광미생물(*Vibrio fischeri*)을 이용한 Microtox 시험 결과에서는 B와 E업체에서만 독성이 관찰되었다. B업체는 2차, 3차 시료에서 모두 유사한 수준의 독성을 보인 반면 E업체는 시료간의 독성차이(EC<sub>50</sub> : 24.1~79.7%)가 매우 컸다.

물벼룩(*Daphnia magna*)을 이용한 급성독성시험에서는 C업체에서만 매우 강한 독성(EC<sub>50</sub> 12.1%, 95% confidence interval : 9.1~16.2)이 관찰되었고 나머지 업체에서는 독성이 매우 약하거나 관찰되지 않았다. 이와 같이 염색폐수의 경우 동일한 시료, 시험종에 따라 독성발현이 매우 다르게 나타나는 경향이 있어, 물고기, 조류등을 대상으로 한 독성시험도 추가적으로 수행되어야 할 필요성이 제기된다.

그러나 배출허용기준을 만족한 염색공정 방류수에서도 독성이 관찰되었고 배출허용기준의 준수여부와 생물독성 발현여부의 일치도 분석에서도 Kappa 값이 0.194~0.250으로 매우 낮게 나타나 현행 배출허용기준이 수 생물 보호를 위한 고려가 충분히 반영되어 있지 않음을 보여주고 있으며 수치적 규제만으로 오염물질의 배출을 제어하여 수생태계를 보호하는 것이 쉽지 않음을 나타내주고 있다. 따라서 방류수 배출에 의한 수생물의 독성영향을 감소시키기 위한 배출허용기준의 재평가 또는 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 수질환경보전법 : <http://www.moleg.go.kr/> (logged on April, 2004)
2. 환경부 : 수질유해물질의 통합독성관리제도 도입방안 연구. 한국화학연구원부설 안전성평가연구소, 1-25, 2002.
3. US EPA, Whole Effluent Toxicity : [http://cfpub1.epa.gov/npdes/wqbasepermitting/wet.cfm?program\\_id=2](http://cfpub1.epa.gov/npdes/wqbasepermitting/wet.cfm?program_id=2) (logged on April, 2004)
4. Yoder, C. and Rankin, E. : The role of biological indicators in a state water quality management process. *Environ. Monit. Assess.*, **51**, 61-88, 1998.
5. Bardour, M., Gerrisen, J., Griffity, G., Frydenborg, R., McCarron, E., White, J. and Bastian, M. : A framework for biological criteria for Florida streams using

- benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol Soc.*, **15**, 185-211, 1996.
6. Choi, K., Meier, P. and Zong, M. : Relationship of chemical-based effluent regulations of Korea to aquatic toxicities to microbes, macroinvertebrates, and fish. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **72**, 1067-1074, 2004.
  7. 최경호 : 도금공장의 폐수배출관리를 위한 생물학적 독성시험의 적용성평가. 서울대학교 보건대학원 박사학위논문, 1998.
  8. 낙동강수질검사소 : 염색폐수중의 난분해성물질 배출 특성 및 처리에 관한 연구(I). 국립환경연구원보, **21**, 435-448, 1999.
  9. 환경부 : 수질유해물질의 통합독성관리제도 도입방안 연구(II). 한국화학연구원부설 안전성평가연구소, 43-65, 2003.
  10. US Environmental Protection Agency : Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving waters to Freshwater and Marine Organisms. 4th ed., edited by C. I. Weber. EPA-600/4-90/027, 1991.
  11. 환경부 : 폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구. 한국과학기술연구원, 2001.
  12. 환경부 : 공장폐수의 발생과 처리(2002). 173-175, 2003.
  13. Dutka, B. and Kwan, K. : Comparison of three microbial toxicity screening tests with the Microtox test. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **27**, 753-757, 1981.
  14. Fleiss : Stistical methods for rates and proportions. 2nd, John Wiley and Sons, New York, Lewis, 1981.