

관내 개별 사업장 방류수 생태독성 평가

Ecotoxicity Assessment of industrial Effluent in Incheon

신문기, 곽완순, 이병옥, 민성은, 정유진, 오영태, 심재덕
인천보건환경연구원 산업폐수과

Moon Khee Shin, Wan Sun Kawak, Byung Ok Lee, Seong Eun Min,
Yu Jin Jung, Young Tae Oh, Jae Duck Shim

Division of Industrial Wastewater, Incheon Institute of Public Health and Environment

- ABSTRACT -

To evaluate ecotoxicity from industrial effluents in Incheon, physico-chemical analysis of water pollutants and a set of biotests using *Daphnia magna* were performed with industrial effluent groups including Land transport and automotive repair, Primary metals manufacturing, Fabricated metal products machinery and equipment, Waste water treatment and others. Ecotoxicity of public sewage treatments were also monitored for the evaluation. The industrial effluent groups of Land transport and automotive repair (0.8 TU), Wastewater treatment (1.5 TU) and Others (0.6 TU) are within enhanced ecotoxicity criteria (Current standard: 2.0 ~ 4.0 TU; After 2016: 2.0 TU) while the rest groups did not fit the standard that Fabricated metal products machinery and equipment is 2.6 TU, the Primary metals manufacturing is 5.4 TU. The group of Fabricated metal products, machinery and equipment manufacturing was mainly affected by Cu while the Primary metals manufacturing group was affected by Cu, Cr and Cl⁻. Correlation analysis reveals that COD, TN, TP, CN, Residual chlorine, Cl⁻, Conductivity, Salinity, Ammonia nitrogen and Cu were significantly correlated with ecotoxicity ($P < .01$). Also factor analysis shows Ammonia nitrogen, Residual chlorine, TN and Salinity were found to be the most significant causes of ecotoxicity. Though regions including Gajwa, Sunggi, Gongchon, Namhang and Songdo(2) have zero ecotoxicity in public sewage treatment effluent, Gumdan region's 2.5 TU ecotoxicity did not meet the standard (1.0 TU).

Key Words : Industrial effluent, Toxicity, *Daphnia magna*, Factor analysis,

I. 서론

환경부에서는 생태적으로 안전한 물 환경 조성 및 수질환경기준 및 평가기법의 선진화를 위해 “물환경관리 기본계획(‘06~‘15)”을 하천·호소·연안수계 등 전국토의 물환경 개선을 위한 국가기본방침으로 도입하였다. 유해화학물질은 매년 약 400여종이 신규 유통되고 있으며 국내에는 약 41,000여종, 전 세계적으로 보면 약 246,000여종의 유해화학물질들이 현재 유통 중인 것으로 알려져 있다.

이러한 유해화학물질의 급격한 증가로 이들이 환경에 노출되는 것을 통제하기 위한 개별 대응은 매우 어렵다(국립환경과학원, 2014). 특히 산업폐수는 환경자료가 매우 부족한 실정이어서 환경기준을 적절히 도출하기 어려운 경우가 많이 발생하고 있으며, 여러 유해물질의 혼합독성을 예측하기 어렵고 화학분석을 포괄적으로 수행하기에는 기술적 측면과 경제적 측면에서 한계점을 가지고 있다(조원실 등, 2011; Kim et al., 2008). 실제로 이화학 기준을 만족하는 방류수에서 생태독성이 발생됨에 따라 수생태계에 대한 손상이 우려되어 왔다. 따라서 환경부는 수계로 배출되는 유해물질의 독성을 통합적으로 관리하고 수생태계 위해성 등 수용체 중심의 수질관리체계 구축을 위해 2011년부터 생태독성 관리제도를 도입하였다. 또한 1~5종 폐수배출시설에 대한 배출수 생태독성 배출허용기준을 2012년부터 전면 적용하였고, 2016년부터는 생태독성 기

준을 강화할 예정이다.

본 연구에서는 인천광역시 관내 생태독성 기준을 적용받는 35개 업종 중 생태독성 값이 크며 의뢰 횟수가 많은 육상운수·자동차 수선시설, 제1차금속제조시설, 조립금속제품·기계·장비제조 시설, 폐수처리시설 등의 산업폐수 4개 업종과 이 밖의 기타업종을 대상으로 수질오염배출허용기준이 설정된 수질오염물질 항목의 이화학 분석과 물벼룩을 이용한 급성생태독성시험을 실시하였다. 이를 통해 사업장 업종별 생태학적 독성수준 평가, 업종별 방류수에 대한 수질오염물질과 생태독성과의 상관성 분석을 실시하였다. 또한 관내 공공처리시설 유입수, 방류수의 생태독성을 월단위로 모니터링 하였다. 이를 통해 생태독성에 영향을 주는 원인물질 파악하고 관리대책을 제시코자 한다.

II. 조사내용 및 방법

2.1 조사대상

2.1.1 폐수배출시설

인천광역시에 소재하는 폐수처리배출시설 설치 업소 3,621개소(1종-11개, 2종-26개, 3종-63개, 4종-169개, 5종-3,352개)에 대하여 매월 시·군·구, 검·경에서 정기적인 지도점검 및 수사상 필요에 의해 채수 의뢰되는 시료 중 생태독성 기준이 적용되며 생태독성 값이 높을 것으로 추정되는 육상운수·자동차 수선시설, 제1차금속제조시설, 조립금속제품·기계·장비제조 시설, 폐수처리시설 업종을 주 대상으로 하였으며 기타 업종으로는 원유정제업, 육지동물가공업, 화장품 제조업 등 총 130개의 시료를 분석 평가하였다.

Table 1. Industry type and number of discharge facilities

Industry type	Number of facilities
Land transport and automotive repair	44
Primary metals manufacturing	33
Fabricated metal products, machinery and equipment manufacturing	28
Wastewater treatment	10
Others	15
sum	130

2.1.2 공공처리시설

관내의 공공처리시설 중 유입수의 성상, 시설용량, 운영공법, 지리적 특성과 하수 배제방식의 차이를 대표할 수 있는 가좌, 공촌, 남향, 승기, 검단, 송도제2 공공처리시설을 대상으로 하였으며, 처리장 특성은 <표 2> 위치는 <그림 1>과 같다.

2.2 이화학적 분석

시료는 냉장상태로 운반하고, 분석 할 때까지 냉장보관(4℃)하였으며, Cr, Mn, Pb, Cd, Zn, Fe, Hg, Cu, As 등의 중금속 항목과, BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, ABS, Cl⁻, CN,

페놀, 등의 항목은 수질오염공정시험방법에 의해 분석하였다. 경도는 portable meter(HANNA), 잔류염소는 pocket colorimeter(HACH)를 이용하였다.

2.3 급성독성시험

생태독성 실험은 국제적인 시험종인 물벼룩(Daphnia magna)을 이용하여 수질오염공정시험법 제49항에 따라 채수한 시료에 생후 24시간 미만의 어린물벼룩(neonate)을 24시간 노출시킨 후 물벼룩의 50% 유영저해 (immobilization)를 일으키는 시료농도 (EC50)를 결정하고 단위환산에 의해 생태독성값 (TU)을 계산하였다(TU = 100/EC50).

2.4 통계학적 분석

이화학적 항목 분석 값과 물벼룩을 이용한 생태독성 값의 통계학적 분석은 SPSS for Windows(ver. 12.0)프로그램을 사용하였다. Pearson 상관분석을 통해 생태독성과 이화학적 항목 간의 유의성을 살펴보고, 요인분석(Factor analysis)을 통해서 변수를 추출하여 요인별로 구분하였으며, 이를 통해 산업폐수가 생태독성에 영향을 주는 주된 요인 (Principle component)을 파악하였다.

Table 2. Characteristic of public sewage treatment plants in Incheon

Site	Treatment Method	Treatment Capacity (m ³ /day)	Sewage Collective	Coagulant	disinfection
Gajwa	BNR	350,000	Combined system	P.A.C	Chlorine
Gongchon	KSMBR	65,000	Separated system	Alum	U.V
Namhang	Bio-SAC	65,000	Combined system	-	U.V
Sunggi	MLE	275,000	Combined system	P.A.C	Chlorine
Gumdan	Biostyr	40,000	Separated system	Ferric chloride	U.V
Songdo(2)	Biostyr	30,000	Separated system	Ferric chloride	U.V

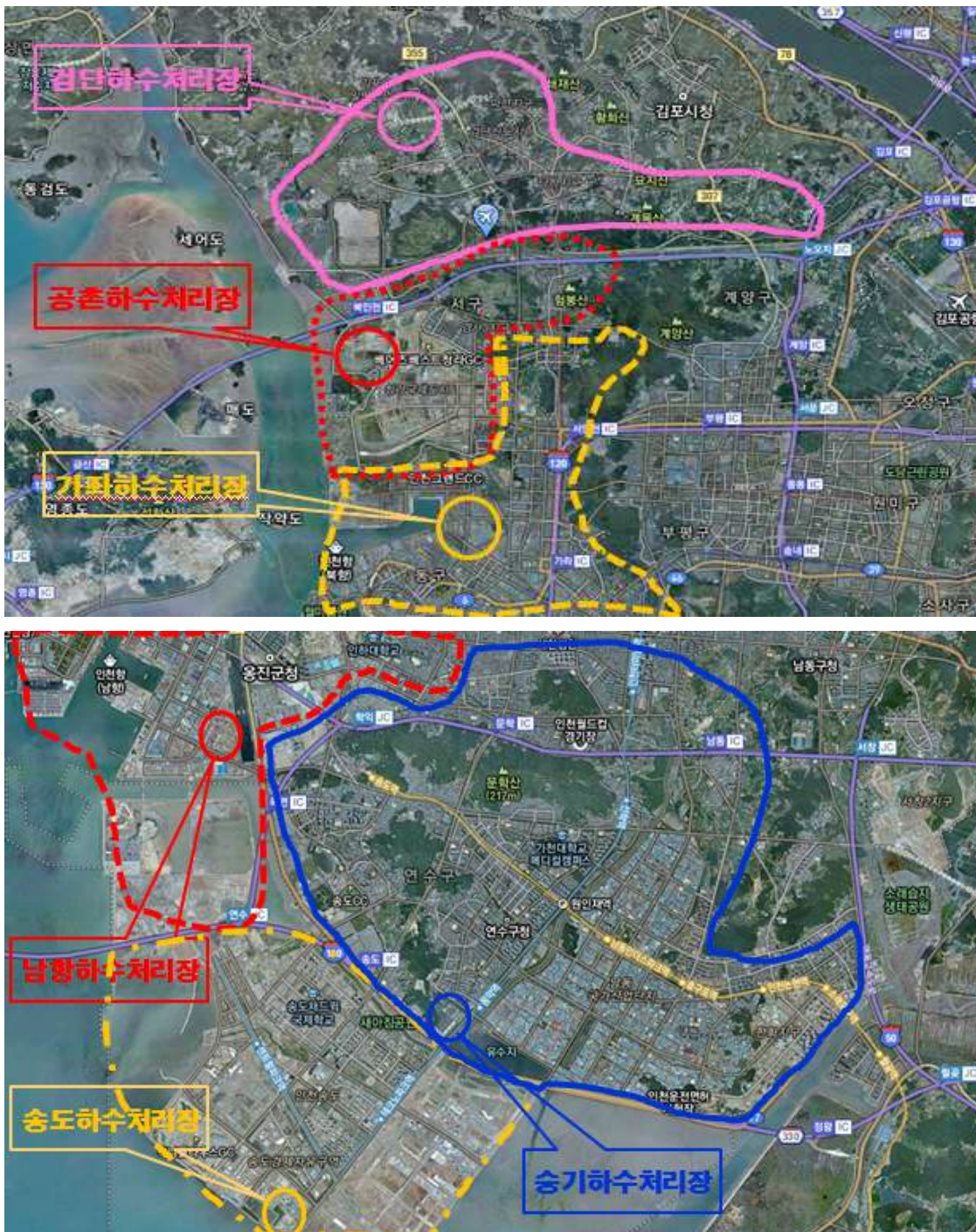


Fig. 1. Location of public sewage treatment plants in Incheon

Ⅲ. 결과 및 고찰

3.1 물벼룩 표준 독성

물벼룩을 이용한 생태독성 시험결과의 신뢰성과 독성물질에 대한 물벼룩의 민감도를 확인하기 위해 표준독성시험을 월 1회 실시하였다. 표준독성물질(Standard Reference toxicity substance)은 다이크롬산포타슘($K_2Cr_2O_7$)을 사용하였다.

24시간 동안 물벼룩의 50%가 유영저해를 일으키는 농도 EC_{50} 값이 0.9~2.1 mg/L의 범위 내에 있으면 내부정도관리를 만족한 것으로 보는데, 2014년 자체적으로 실시한 $K_2Cr_2O_7$ 24시간 EC_{50} 값은 0.81~1.19 mg/L 이었고, 평균 0.96 mg/L를 나타냈다. 8월에 물

벼룩 상태가 일시적으로 나빠졌었고 한 달 정도 시간을 통해 정상으로 회복하였으며, 그 이후로는 정상범위 내에서 큰 변동이 없어 안정적인 조건에서 실험이 이루어지고 있음을 보여준다. 월별 다이크롬산포타슘의 EC_{50} 값은 <그림 2>와 같다.

3.2 업종별 방류수 수질 및 생태독성 현황

3.2.1 업종별 생태독성 분석 결과

[육상운수 및 자동차 수선시설]에서의 생태독성은 0.8 ± 2.6 (N=44) TU, [폐수처리시설] 1.5 ± 2.0 (N=10) TU로 평균 독성 값이 강화된 기준(현행 TU 2~4, 2016년부터 TU 2 이하) 이내였으나, [조립금속 제품 및 장비제조 시설] 2.6 ± 4.2 (N=28) TU, [제1차금속제조시설] (도금업 등)에서는 5.4 ± 6.6 (N=33) TU로 강화된 기

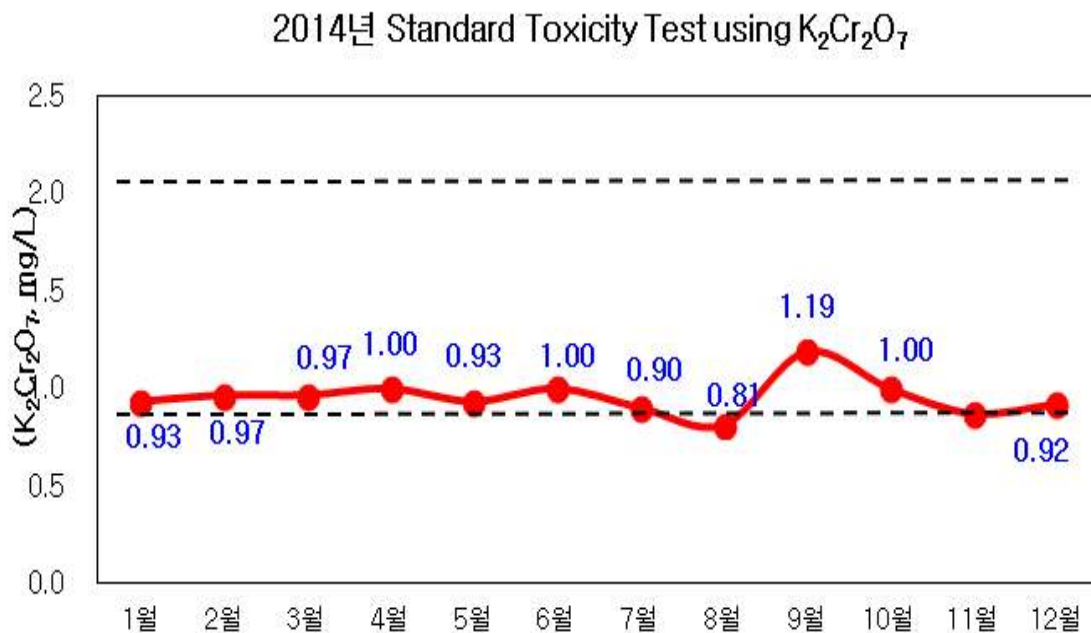


Fig. 2 Response curve of standard toxicity test using $K_2Cr_2O_7$

Table 3. Eco-toxicity test of wastewater using *Daphnia magna* and water quality characteristics by industry type

Pollutants	Land transport and automotive repair	Primary metals manufacturing	Fabricated metal products, machinery and equipment manufacturing	Wastewater treatment	Others
COD (mg/L)	18.9	35.1	60.1	45.9	23.9
BOD (mg/L)	14.5	12.7	56.2	46.5	9.3
SS (mg/L)	13.4	23.0	8.2	7.7	11.9
T-N (mg/L)	3.352	23.006	14.193	18.585	11.110
T-P (mg/L)	0.103	0.880	0.501	0.133	0.215
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	305.8	214.5	315.9	235.5	381.3
CN (mg/L)	0.000	0.068	0.013	0.047	0.001
Phenol (mg/L)	0.001	0.003	0.035	0.009	0.002
ABS (mg/L)	0.682	0.303	0.028	0.018	0.116
Residual chlorine (mg/L)	0.03	0.15	0.10	0.02	0.03
Conductivity (μ S/cm)	595	4287	1942	583	3066
Salinity (‰)	0.2	2.6	1.0	0.2	1.6
Ammonia nitrogen (mg/L)	0.827	7.718	8.246	6.690	6.643
Cr (mg/L)	0.005	0.111	0.019	0.032	0.019
Mn (mg/L)	0.165	0.025	0.070	0.390	0.046
Fe (mg/L)	2.549	0.510	0.590	0.541	0.524
Cu (mg/L)	0.082	0.221	0.893	0.080	0.006
Zn (mg/L)	0.314	0.082	0.186	1.098	0.029
As (mg/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hg (mg/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cd (mg/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cl ⁻ (mg/L)	124.5	534.9	263.2	77.1	460.9
Eco-toxicity (TU)	0.8	5.4	2.6	1.5	0.6

준을 초과하였다. 기타 업종에서는 0.6 ± 2.2 (N=15)로 생태독성이 낮았다. [육상운수 및 자동차 수선시설], [기타]업종에서의 중앙값(Median)이 0.0 TU로 대부분 시료에서 생태독성이 나타나지 않았으나, [제1차금속 제조시설]에서는 생태독성 16 TU 이상인 사례가 33건 중 총 7회로 21.2 %의 비율로 높고, 평균이 5.4 TU로 높았다.

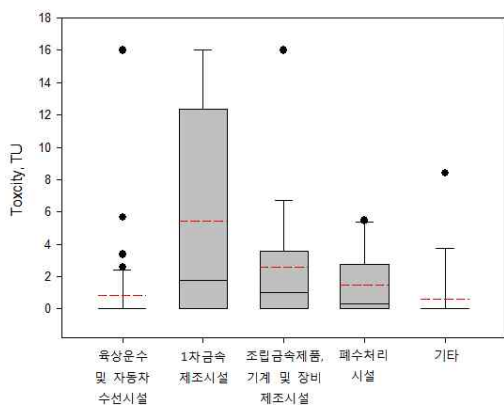


Fig. 3. Comparison of ecotoxicity by industry type

3.2.2 업종별 이화학적 분석 결과

업종별 이화학적 분석 결과, [육상운수 및 자동차 수선시설] 업종의 경우 주로 세차업 시설로 계면활성제를 많이 쓰기 때문에 ABS 농도가 평균 0.682 mg/L로 높았으며, 철 성분이 2.549 mg/L로 타 업종대비 약 5배로 높게 측정되었다. 세차업종에서 세척수로 많이 이용하는 지하수에 칼슘, 마그네슘, 탄산나트륨에 의한 부식으로 차량에서 철 성분이 많이 용출된 것으로 판단된다.

[1차금속 제조시설]에서 유기물질뿐만 아니라, CN(0.068 mg/L), 잔류염소(0.15 mg/L), 전기전도도(4,287 μ S/cm), 염분(2.6 %),

Cr(0.111 mg/L), 염소이온(534.9 mg/L) 등이 높게 분석되었다. 물벼룩 생태독성에 영향을 주는 주요인자인 Cu가 0.221 mg/L로 조사되었는데 Cu의 48h EC_{50} 값이 0.021~0.146 mg/L(Mount et al., 1984), Cr이 0.111 mg/L으로 48h EC_{50} 0.08~0.19 mg/L로 충분히 독성을 일으킬 만한 농도였다. 이외 생태독성에 영향을 줄 수 있는 요인으로 CN과 산세공정시 부산물로 발생하는 염소 등이 있다.

[조립금속 제품 기계 및 장비 제조시설]에서는 COD(60.1 mg/L), BOD(56.2 mg/L), 페놀(0.035 mg/L), 암모니아성 질소(8.246 mg/L), Cu(0.893 mg/L) 등이 높게 측정되었다. 암모니아성 질소 및 Cu 농도가 생태독성에 영향을 주는 것으로 평가된다.

[폐수처리시설]에서는 Mn(0.390 mg/L), Zn(1.098 mg/L)으로 Zn의 48h EC_{50} 0.909~0.923 mg/L(Lucia Guilhermino, 1997)을 넘는 농도로 생태독성에 영향이 있었을 것으로 판단된다.

[기타업종]에서는 경도(381.3 mg/L as $CaCO_3$)가 높게 측정되었으나 CN, 페놀, 중금속 등 생태독성에 영향을 줄 수 있는 오염물질은 없는 것으로 조사되었다.

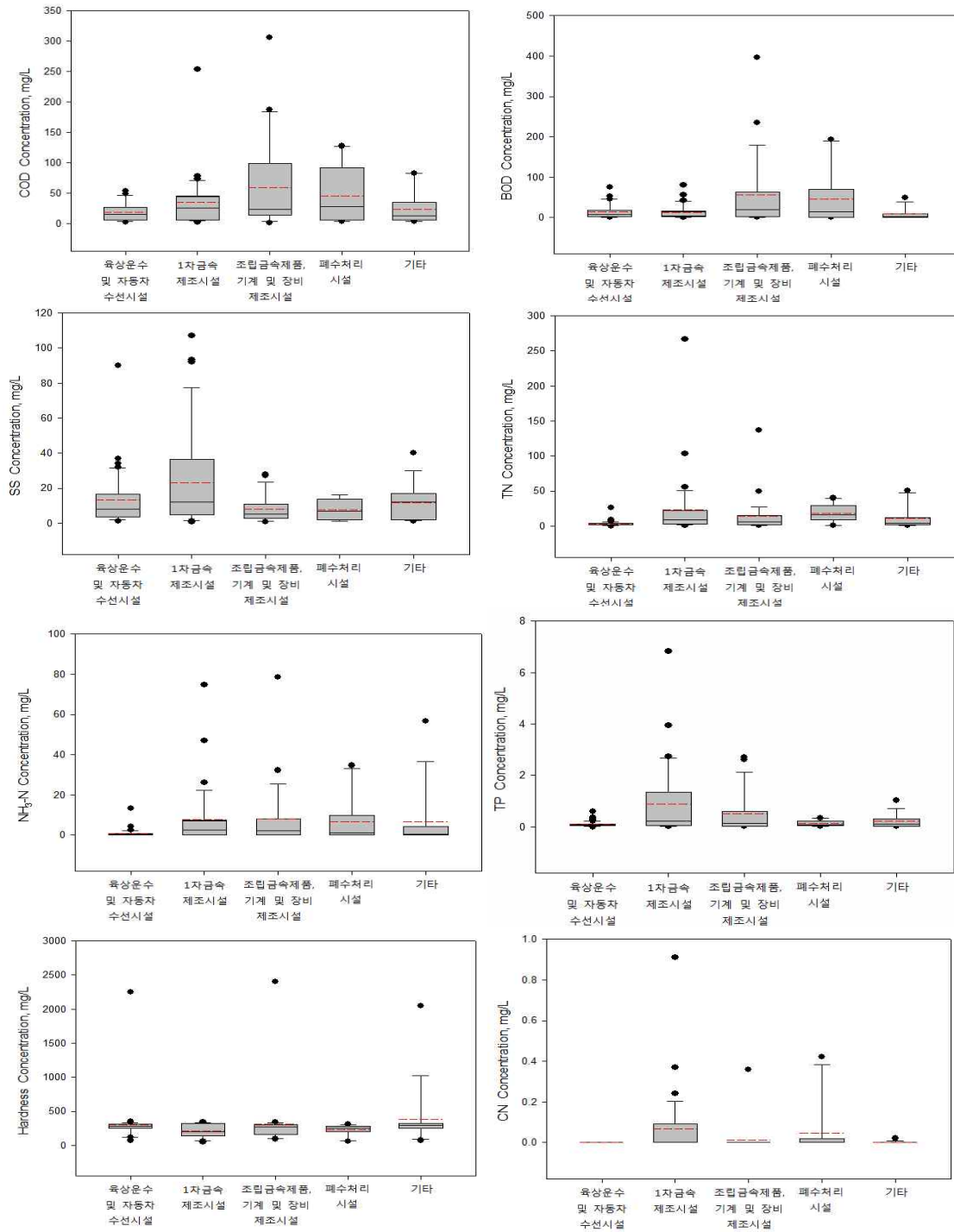


Fig. 4. Comparison of wastewater characteristics by industry type

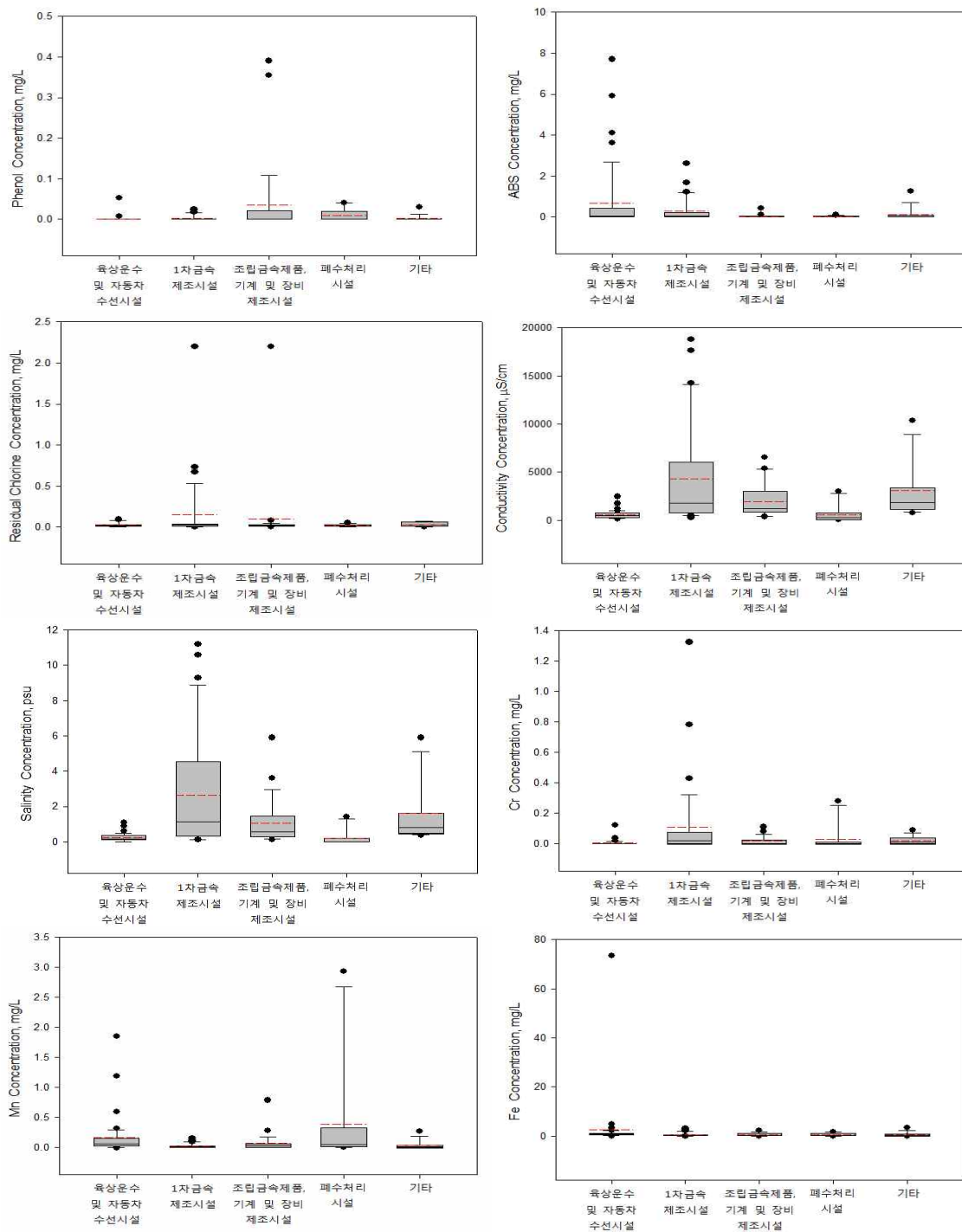


Fig. 4. Comparison of wastewater characteristics by industry type(continue)

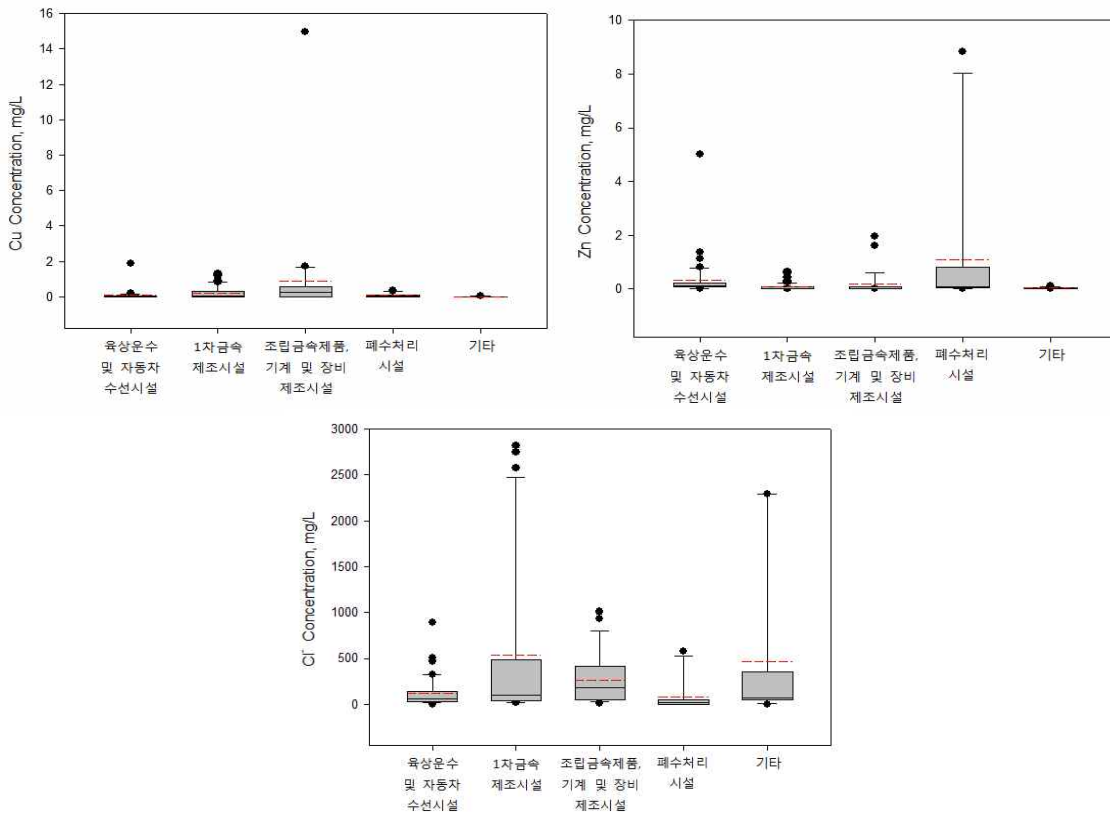


Fig. 4. Comparison of wastewater characteristics by industry type(continue)

3.3 생태독성과 오염물질별 통계분석

3.3.1 상관분석

상관관계(Correlation)란 변수들 간의 관계를 말하는 것으로, 두 개 이상의 변수에 있어서 한 변수가 변화함에 따라 다른 변수가 어떻게 변화하는지와 같은 변화의 강도와 방향을 상관관계라고 한다. 상관관계분석(Correlation analysis)은 측정변수들 간의 관계의 강도를 제시함으로써 변수들 간 관련성에 대한 대체적인 윤곽을 제시해준다. 상관관계분석은 상관계수(Correlation coefficient)로 계산하며, r 이라는 문자로 표현한다. 상관계수(r)의 부호(\pm)로부터 관련성의 방향에 대한 정보를 얻을 수 있고, 상관계수의 값으

로부터 변수들 간의 결합 강도를 예측하는데, 절대값이 1에 가까울수록 관련성은 강한 것이고 0에 가까울수록 관련성은 약하다고 할 수 있다(송지준, 2008).

물벼룩 생태독성 수치와 이화학적 항목의 상관분석을 실시한 결과 COD, TN, TP, CN, 잔류염소, 염소이온, 전기전도도, 염분, 암모니아성 질소, Cu 등에서 유의수준 0.01 이하에서 상관관계를 나타내었다. 염분은 기존 연구사례(류태권 등, 2010)에서 10 psu 이상에서는 100 % 치사율을 보이는 등 높은 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 염분 이외에 TN, CN, 암모니아성 질소에서 높은 상관관계가 있는 것으로 조사되었다.

Table 4. Statistical correlation analysis between TU and physicochemical properties

Component	Pearson correlation coefficient(r)	Significance level
COD	.3729**	.000
BOD	.0083	.925
SS	.0938	.288
TN	.4568 **	.000
TP	.4083 **	.000
Hardness	.0999	.258
CN	.4394 **	.000
Phenol	-.0521	.556
ABS	.2205	.012
Residual chlorine	.5034 **	.000
Electric conductivity	.4600 **	.000
Salinity	.5461 **	.000
Ammonia nitrogen	.4196 **	.000
Cr	.1955	.026
Mn	.1251	.156
Fe	.2430	.005
Cu	.3584 **	.000
Zn	.0465	.599
Cl-	.3973 **	.000

note) ** : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

3.3.2 요인분석

요인분석(Factor analysis)은 변수들 간의 상호연관성을 분석하여 이들 간의 공통적으로 작용하고 있는 내재된 요인을 추출하여 전체 자료를 대변할 수 있는 변수로 수를 줄이는 기법이다. 즉 상관관계가 높은 요인들이 가지고 있는 공통성을 중심으로 하나의 동질적인 요인으로 묶어주는 분석방법이다. 따라서 요인분석을 이용하면 여러 개의 변수 형태로 주어진 많은 정보를 몇 개의 핵심적인 내재 요인으로 축약하여 나타냄으로써 정

보에 대한 이해와 추가분석을 용이하게 할 수 있다(김영주 등, 2009).

가. 분석방법

본 연구에서는 탐색적 요인분석을 실시하였으며, 입력변수들의 총 분산을 이용한 주성분 분석법(principal component analysis)을 이용하여 요인을 추출하였다. 염분(Salinity) 농도 값과 수치 특성이 명확하게 유사한 전기전도도와 염소이온 항목은 요인분석에서 방해로 작용하기 때문에 분석에서 제외하였다.

나. 공통성(Communality)

<표 5>는 추출된 요인들에 의해서 각 변수가 얼마나 설명되는지를 나타내는 공통성을 보여준다. 한 변수의 공통성은 그 변수의 분산이 추출된 요인들에 의해 설명되는 정도를 가리키며 0과 1사이의 값을 갖는다. 개별인자의 공통성(Communality) 값이 0.5보다 작을 경우에는 요인분석에서 배제하여야 하는데 Hardness(r경도), CN, Cr, Mn, Zn의 경우 0.5 이하로 요인분석에서 배제하였다.

Table 5. Communalities

Component	Initial	Extraction
COD	1.000	.880
BOD	1.000	.819
SS	1.000	.515
TN	1.000	.626
TP	1.000	.657
Hardness	1.000	.458
CN	1.000	.490
Phenol	1.000	.569
ABS	1.000	.569
Residual Chlorine	1.000	.567
Salinity	1.000	.663
Ammonia nitrogen	1.000	.738
Cr	1.000	.489
Mn	1.000	.462
Fe	1.000	.807
Cu	1.000	.610
Zn	1.000	.436
Toxicity	1.000	.775

다. KMO와 Bartlett의 검정

KMO와 Bartlett의 구형성 검정은 현재 분석되는 자료가 요인분석에 적합한지를 판단하는 기준이 된다. KMO값은 표준 적합도를 나타내는 값이며 0.5 이상이면 자료가 요인분석에 적합하다고 보는데, 결과 값은 0.587

로 변수들의 선정이 적절한 것으로 판단된다. Bartlett의 구형성 검정은 변수간의 상관행렬이 단위행렬인지의 여부를 판단하는 검정으로 유의확률이 0.000이므로 요인분석의 사용이 적합하다고 결론 내릴 수 있다.

Table 6. KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		.587
Bartlett's Test of sphericity	Approx. Chi-square	724.285
	degree of freedom	78
	significance	.000

라. 설명된 총 분산

요인분석의 목적은 데이터를 축소하는데 있다. 즉 데이터의 손실을 최소화하면서 전체를 설명할 수 있는 요인으로 표현해야 하는데, 이렇게 축약된 요인으로 결정하는 방법으로는 고유 값을 기준으로 하는 방법과 총 분산 중 요인이 설명하는 비율에 따라 결정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 고유 값을 기준으로 요인의 수를 결정하였다. 요인 추출수를 지정하기 위하여 고유 값은 1을 기준으로 하였고, 그 결과 4개의 요인이 추출되었다. 추출된 세 요인의 초기고유치(Eigenvalue)는 각각 3.725, 2.014, 1.684, 1.299로서 이것은 요인추출 기준으로 지정한 고유치 1 이상인 요인만 추출한 것을 의미한다. 고유치는 그 요인이 설명하는 분산의 양을 나타내는 것이므로 이 값이 큰 요인이 상대적으로 중요한 요인이라는 것을 의미한다.

설명된 총분산에 대해 요인 1은 25.8 %로 가장 설명력이 높으며, 요인 2는 17.3 %, 요

인 3 은 13.4 %, 요인 4는 10.6 % 만큼의 설명력을 나타내며, 이들 4개 요인에 의한 설명력은 67.1%로 분석된다. 주성분 분석법을 이용한 총 분산 값은 <표 7>과 같다.

마. 요인행렬

요인추출을 통해 얻어진 요인행렬을 해석하기 쉬운 형태로 변환하기 위하여 요인들을 회전시킨다. 요인을 회전하는 이유는 변수의 설명적인 요인들을 회전시킴으로써 요인의 해석을 돕고자 하는데 있다. 즉 회전을 통해 각 요인들이 주어진 변수를 명확하게 반영할 수 있도록 도와준다. 인자들을 회전시키는 방법에는 성분 간의 각도를 직각으로 유지하면서 회전시키는 직교회전과 직각을 유지하지 않으면서 회전시키는 사각회전이 있는데, 본 연구에서는 일반적으로 가장 많이 사용하는 베리맥스 회전(Varimax rotation)을 사용

하였다.

바. 분석결과

요인추출방법으로는 주성분 분석법을 이용하고, 회전은 kaiser 정규화가 있는 베리맥스를 6반복하여 수렴된 주 요인 분석 결과를 <표 8>과 같이 나타내었다. 분석결과를 종합하면 13개의 설명변수는 요인분석을 통해 4개의 요인으로 추출 되었다. 요인 1은 생태독성과 관련성이 있는 요인들로 암모니아성 질소, 잔류염소, TN, 염분으로 구성된다. 요인 2는 BOD, 페놀, COD로 구성되고, 요인 3은 ABS, Fe, 요인 4는 TP, SS, Cu 등으로 구성된다.

Table 7. Total Variance Explained

NO.	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.725	28.654	28.654	3.725	28.654	28.654	3.357	25.820	25.820
2	2.014	15.496	44.150	2.014	15.496	44.150	2.245	17.267	43.087
3	1.684	12.957	57.107	1.684	12.957	57.107	1.747	13.435	56.522
4	1.299	9.991	67.098	1.299	9.991	67.098	1.375	10.575	67.098
5	.944	7.263	74.361						
6	.909	6.991	81.352						
7	.747	5.748	87.100						
8	.388	2.987	90.088						
9	.366	2.816	92.903						
10	.317	2.437	95.340						
11	.283	2.180	97.520						
12	.247	1.902	99.423						
13	.075	.577	100.00						

Table 8. Rotated Component Matrix

	Principal Component			
	1	2	3	4
Toxicity	.803	-.018	.289	.080
Ammonia nitrogen	.756	.144	-.009	-.277
Residual Chlorine	.719	-.099	-.052	.163
TN	.709	.175	-.054	.062
Salinity	.702	.017	-.013	.376
BOD	.052	.912	-.022	-.051
Phenol	-.133	.762	-.065	.185
COD	.544	.761	.050	-.085
ABS	.017	-.027	.895	.125
Fe	.018	-.015	.894	-.079
TP	.396	-.037	-.008	.647
SS	.084	.286	.142	.592
Cu	.384	.328	.172	-.534

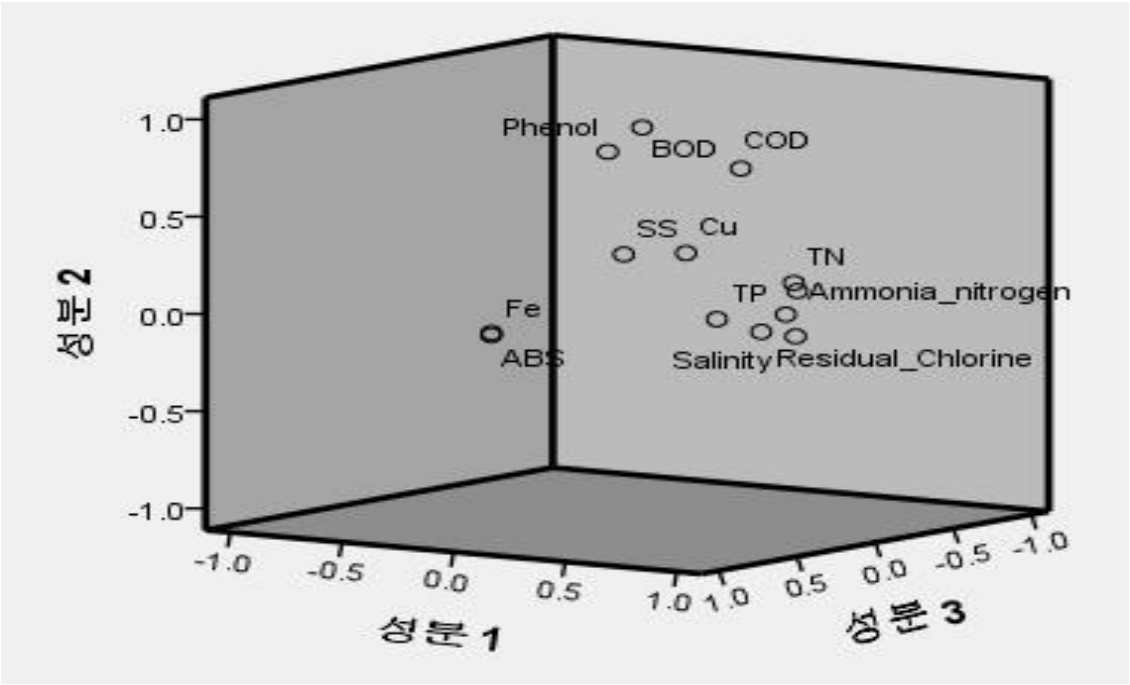


Fig. 5. Component plot in Rotated space

Table 9. Eco-toxicity of public sewage treatment facilities using *Daphnia magna* (unit : TU)

Site		Average	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Nov	Dec
Average	Influent	4.0	3.8	4.7	3.5	2.9	3.7	5.4	3.9	3.8	4.7	3.6
	Effluent	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.1	2.1	1.2
Gajwa	Influent	2.4	1.8	1.7	2.1	1.5	2.5	7.2	2.3	1.4	1.3	1.8
	Effluent	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sunggi	Influent	3.3	1.5	3.1	1.7	1.1	5.1	4.8	6.7	1.2	7.0	1.2
	Effluent	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gong-chon	Influent	2.6	3.9	3.1	3.2	2.5	4.3	1.1	1.7	1.3	2.5	2.8
	Effluent1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Effluent2	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
Nam-hang	Influent	0.8	1.6	1.5	1.6	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0
	Effluent	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Song-do(2)	Influent	2.2	2.7	2.5	2.6	2.8	2.5	3.0	2.5	3.0	0.0	0.0
	Effluent	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gum-dan	Influent	12.6	11.0	16.0	9.5	9.4	5.9	16.0	9.9	16.0	16.0	16.0
	Effluent	2.5	0.8	0.8	0.0	1.3	0.0	0.0	1.5	0.5	12.7	7.1

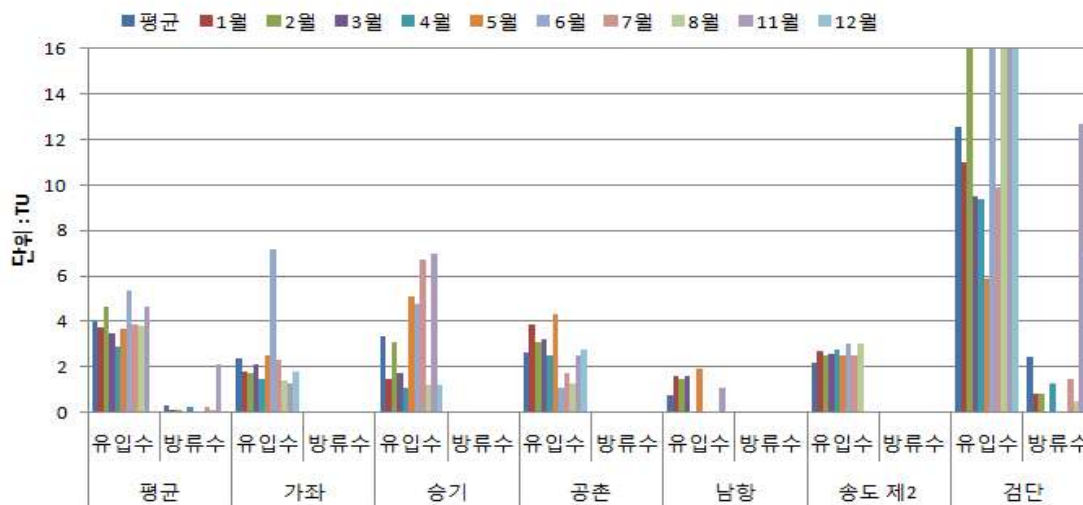


Fig. 6. Comparison of Eco-toxicity by public sewage treatment facilities

3.4 공공처리시설 생태독성 분석

공공처리시설의 생태독성 조사 결과, 유입수의 평균 생태독성은 TU 4.0이고, 검단 12.6 > 승기 3.3 > 공촌 2.6 > 가좌 2.4 > 송도제2 2.2 > 남향 0.8 순으로 검단 유입수의 생태독성이 가장 높았다. 방류수의 평균 생태독성

은 TU 0.3으로, 검단에서 평균 생태독성이 TU 2.5로 가장 높았으며 4월과 7월, 11, 12월에 방류수 수질기준(생태독성 TU 1 이하)을 초과하였고, 타 지역은 TU 0으로 조사되어 수질기준을 만족하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 육상운수·자동차 수선시설, 제1차금속제조시설, 조립금속제품·기계·장비제조 시설, 폐수처리시설 등의 산업폐수 4개 업종과 이 밖의 기타업종을 대상으로, 수질오염물질 항목의 이화학 분석과 물벼룩을 이용한 급성생태독성을 평가하였고, 관내 공공처리시설 유입수, 방류수의 생태독성을 모니터링 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. [육상운수 및 자동차 수선시설]의 경우 생태독성이 0.8 TU로 조사되어 생태독성에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 조사되었다. 그러나 세차장의 경우 정기적으로 폐수가 배출되기 보다는 계절별, 요일별로 폐수 처리량이 많아질 수 있기 때문에 계면활성제 제거를 위해 기존(활성탄) 공정뿐만 아니라 일시적으로 공정 전단에 UV 또는 오존산화 공정을 추가하여 처리할 경우 충분히 제거 될 것으로 판단된다.

2. [1차금속 제조시설]의 경우 주된 생태독성 영향인자로 Cu, Cr 등 중금속을 포함한 폐수와 염소이온 등의 영향이 크며 생태독성이 5.4 TU로 매우 높게 분석되었다. 물리화학적 처리 공정으로 중금속을 제거하기 어려운 경우 이온교환수지, 킬레이트 수지 등의 전처리가 필요하며 폐수 배출량이 많은 수세공정의 단위공정 후단에 중금속 제거시설을 추가로 설치함으로써 독성 원인 물질을 저감 할 수 있을 것으로 판단된다 (김시영 등, 2010).

3. [조립금속 제품 기계 및 장비 제조시설]의 주요업종은 인쇄회로기판 제조업으로 주로 화학적처리 공정을 통해 폐수를 배출

하고 있다. 생태독성 영향인자는 구리가 있으며 생태독성 저감을 위해 폐수배출량이 적을 경우 이온교환수지를 이용해 방류수의 중금속 및 생태독성을 완전히 처리할 수 있으나 운영비용이 과다할 경우 응집침전방식을 이용할 수 있으며 이 경우 유기물질 제거를 위해 생물학적처리공정의 도입이 필요하다(김호중, 2010).

4. 폐수배출시설의 물벼룩 생태독성 수치와 이화학적 항목의 상관분석을 실시한 결과 COD, TN, TP, CN, 잔류염소, 염소이온, 전기전도도, 염분, 암모니아성 질소, Cu 등에서 유의수준 0.01 이하에서 상관관계를 나타내었다.

5. 폐수배출시설의 요인분석(factor analysis) 결과 생태독성과 관련성이 있는 요인들로 암모니아성질소, 잔류염소, TN, 염분 등 4 항목이 가장 큰 영향을 주는 것으로 평가되었다.

6. 공공처리시설의 생태독성 조사 결과가 좌, 승기, 공촌, 남향, 송도제2 등의 하수처리시설 방류수의 생태독성은 0 TU로 생태독성이 없는 것으로 조사되었으나, 검단폐수처리시설 방류수의 경우 평균 2.5 TU로 기준(1 TU 이하)을 초과하였다. 원인은 주변 도금업 및 화학제품제조업에서 발생하는 폐수 성상이 검단폐수처리시설에서 운영하는 생물여과막(Biostyr)공법과 맞지 않아 발생되었으며, 이에 따라 공정개선과 함께 유입되는 오염원의 효율적인 제거가 있어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Guilhermino, L., Diamantino, T. C., Ribeiro, R., Goncalves, F., Soares, A. M. V. M. (1997) Suitability of test media containing EDTA for the evaluation of acute metal toxicity to *Daphnia magna* Straus, *Ecotox. Environ. Safe.*, 38, 292-295
- Kim EH, Jun YR, Jo H, Shim K, Jung J. (2008) Toxicity identification in metal plating effluent; Implications in establishing effluent discharge limits using bioassays in Korea. *Mar Pollut Bull.* 57(6-12), 637-644
- Mount, D. I., Norberg, T. J., (1984) A seven-day life cycle cladoceran toxicity test, *Environmental toxicology and chemistry*, 3(3), 425-434
- Versteeg, D. J., Stalmans, M., Dyer, S. D., janssen, C. (1997) *Ceriodaphnia* and *Daphnia*, A comparison of their sensitivity to xenobiotics and utility as a test species, *Chemosphere*, 34(4). 869-892.
- 김시영, 윤나나, 지화성, 한상민, 권동민, 이경심 (2010) The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, 20(1), 131-142
- 김영주, 김희갑 (2009) 환경통계학
- 김호중 (2010) 인하대학교 공학대학원 환경공학과 석사학위 논문
- 류태권, 조재구, 김경태, 양창용, 정기은, 윤준현, 최경희 (2010) 다양한 시험생물종을 이용한 산업폐수 생태독성 평가 및 원인물질 탐색, *Environmental Health & Toxicology*, 25(3), 207-214
- 물환경관리 기본계획 (2006) 환경부
- 생태독성 시험 운영 실무지침 (2014) 국립환경과학원
- 송지준 (2008) SPSS/AMOS 통계분석방법
- 인천광역시 홈페이지 (2014) <http://field.incheon.go.kr/posts/184/639?curPage=1> [cited 17 October 2014].
- 조원실, 김상훈, 양형재 (2011) 경기지역 산업시설 방류수 생태독성 영향 평가, *한국환경보건학회지*, 34(2), 113-123