

공공하수처리시설 생태독성 영향인자 조사 연구

A Study on Ecotoxicity of Public Sewage Treatment Plants in Incheon using *Daphnia Magna*

하현섭, 민왕기, 김미자, 이병옥, 한지은, 조영민,
인천보건환경연구원 산업폐수과

Hun Sup Ha, Wang Gee Min, Mee Ja Kim, Byung Ok Lee,
Jee Eun Han, Young Min Cho

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

– ABSTRACT –

This article presents the study of ecotoxicity treatment process with influent, effluent, disinfection and injection of coagulant which were carried out monthly for nine months from March 2012 at the seven targeted public sewage treatment plants in Incheon including Gajwa, Gongchon, Namhang, Seunggi, Geomdan, Mansu and Songdo. It resulted toxicity in the influent but not in the effluent and process with the stages of dilution, filtration, flocculation, sedimentation, disinfection and microbial biodegradation reaction. The average value of influent ecotoxicity was measured 1.9 TU while Namhang had the lowest with 1.0 TU and Gongchon had the highest with 3.2 TU. The main factors of ecotoxication at the inflow of public wastewater treatment facilities are organic compounds, salts and heavy metals. Cluster analysis shows the effluent is not toxic at this moment, Namhang and Songdo need different physicochemical compositions and salinity examinations. Gongchon, Geomdan and Mansu sewage treatment plants have the high organic compounds concentration that need to be sufficiently removed for the effluent to be safe from ecotoxication. In addition, Gajwa and Seunggi are located near the industrial complex, the verification of concentration of heavy metals is needed due to unauthorized discharge.

Key Words : Ecotoxictiy, TU, Public sewage treatment plants, Influent, Effluent

I. 서론

산업의 발달로 인해 유해화학물질의 사용량과 그 종류는 크게 증가하고 있다. 현재 국내에는 약 4만 여종의 유해화학물질이 제조·사용되고 있고, 해마다 400여종의 신규 화학물질이 수입되거나 제조되고 있다. 이에 따라 공공하수처리시설로 유입되는 유입수의 성상도 점점 복잡 다양해지는 양상을 띠고 있어 방류수에 포함된 수많은 화학물질에 의한 수생태계의 위해성 문제가 대두되고 있다. 이런 상황에서 수질유해물질에 대하여 일일이 허용기준을 설정하여 관리하는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 또한 유기오염물질과 영양염류 위주로 관리하고 있는 공공하수처리시설에서는 담수생물에 악영향을 주는 염분이나 유해화학물질이 다량 유입되는 경우 처리 과정에서 문제가 발생할 수 있다. 또한 공공하수처리시설은 처리되는 유량도 많으며, 처리된 방류수는 바로 하천이나 우수지로 흘러 들어가므로 BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, 총대장균군의 항목이 방류수 수질기준을 만족하더라도 생태독성이 초과될 경우 잠재적으로 수생태계를 위협할 수 있다.

생태독성 관리제도란 살아있는 생물을 이용하여 시험수의 독성을 평가하는 방법으로, 현재 우리나라는 물벼룩(*Daphnia magna*)을 이용하여 24시간 후의 영향율을 측정하여 TU(Toxic Unit)라는 단위로 생태독성 수준을 표현하고 있으며, 하수도법 시행규칙 제 3조에 따라 2011년 1월 1일 부터 도금시설 등 35개 업종 폐수가

유입되는 500m³/일 이상의 공공하수처리시설에 대해 생태독성 방류수 수질기준(TU 1)을 적용하고 있다.

이미 여러 선진국에서는 화학물질별 관리 및 독성을 근거로 한 통합독성관리 뿐 아니라 이들 화학물질이 수생태계로 배출되었을 때 미량 화학물질 및 화학물질간의 상호작용에 의한 위해성을 평가하고자 많은 연구를 진행하고 있다.

위해성 평가의 일환으로 사용되는 생물검정은 일반적으로 박테리아, 조류, 물벼룩, 어류, 수서 곤충 등의 수생생물이 많이 이용되고 있으며 그중에서도 물벼룩은 높은 번식력, 짧은 생활사, 시험의 용이성, 독성물질에 대한 민감성, 결과의 재현성이 크기 때문에 오랜 기간 여러 가지 독성물질을 평가하는데 유용하게 사용되어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 혼합물의 독성상호작용을 인지하는데 효과가 뛰어난 물벼룩을 이용하여 인천 관내의 7개 공공하수처리장에 대한 생태독성 수준을 평가하고 수질항목과 생태독성간의 상관성 분석을 통해 공공하수처리시설에 영향을 주는 생태독성원인을 파악하여 그에 따른 최적의 관리대책을 제시하여 공공하수처리시설 운영의 참고자료로 활용하고자 한다.

II. 조사내용 및 방법

2.1 조사대상

조사는 인천관내의 공공하수처리시설 중 유입수의 성상, 시설용량, 운영공법, 지리적 특성과 하수 배제방식의 차이를 대표할 수

있는 가좌, 공촌, 남향, 송기, 검단, 만수, 송도공공하수처리장을 대상으로 하였으며, 처리장 위치는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Sampling sites(Location) on public sewage treatment plant in Incheon

각 공공하수처리장의 간략화 된 모식도를 Fig. 2에 나타내었다. 분석지점은 각 하수처리장의 유입수, 유출수와 처리과정 중 외부적 요인(응집제 및 소독)의 전·후 지점을 조사하였다.

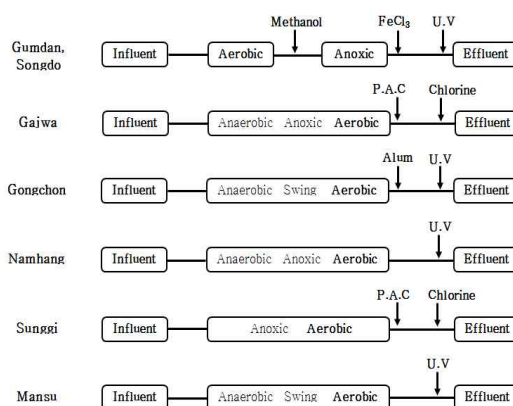


Fig. 2. Sewage treatment process

처리장별 처리공법, 처리용량, 하수배제방식, 응집제와 소독방식은 Table 1과 같다. 처리용량별로는 가좌와 송기하수처리장이 처리용량이 가장 크며, 나머지 하수처리장의 경우는 100,000 m³/day미만이다. 생태독성에 영향을 줄 수 있는 염소소독은 가좌, 송기하수처리장에서 사용 중이며, 나머지 하수처리장에서는 U.V 소독을 실시하고 있다.

Table 1. Characteristic of public sewage treatment plant 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	Biostyr	30,000	Separated system	Ferric chloride	U.V
Mansu	Azenit	70,000	Separated system	-	U.V

2.2 조사항목 및 방법

가. 수질 일반 및 유해물질 분석

시료채취 후 36 시간 이내에 물벼룩을 이용한 생태독성시험을 실시하였다. 흡광광도법(AA280FS)을 이용하여 Cr, Mn, Pb, Cd, Zn, Fe, Hg, Cu, As 등의 중금속 항목을 분석하였고, BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, ABS, Cl⁻ 등의 항목은 수질오염공정시험 방법에 의해 분석하였다. 경도는 portable meter(HANNA), 잔류염소는 pocket colorimeter(HACH)를 이용하였으며, pH, 전기전도도, 염분 등은 다항목 수질측정기(YSI 600XL)를 이용하여 분석하였다.

나. 생태독성 분석

생태독성 실험은 국제적인 시험종인 물벼룩(*Daphnia magna*)을 이용하여 수질오염공정시험법 제 49 항에 따라 채수한 시료에 생후 24시간 미만의 어린물벼룩(neonate)을 24시간 노출시킨 후 물벼룩의 50%가 유영저해(immobilization)를 일으키는 시료농도(EC₅₀)를 결정하고 단위환산에 의해 생태독성값(TU)을 계산하였다. (TU = 100/EC₅₀)

다. 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 공공하수처리장의 생태독성에 영향을 주는 주된 요인(Principle component)을 파악하였다. 또한 요

인분석을 통해 축약된 주요인들을 기준으로 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 물벼룩 표준독성

ISO에서는 용존산소농도가 2 mg/L 이상이고, 대조군의 유영 저해율이 10%이하이며, 표준독성물질인 다이크롬산칼륨의 24시간 EC₅₀ 값이 0.9~2.1 mg/L의 범위 내에 있으면 시험 물벼룩은 정상적인 조건에서 수행되었다고 인정 한다. 본 연구기간 동안 자체적으로 실시한 다이크롬산칼륨의 24시간 EC₅₀ 값은 0.65~1.07 mg/L 이었고, 평균 0.94 mg/L를 나타냈다. 월별 다이크롬산칼륨의 EC₅₀ 값은 Fig. 3과 같다.

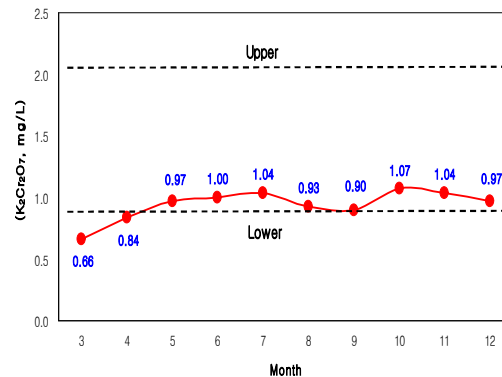


Fig. 3. Response curve of standard toxicity test using K₂Cr₂O₇

3.2 물벼룩 독성결과

조사 결과 인천관내 7개 공공하수처리시설의 유입수에서는 생태독성이 나타났으나, 방류수 및 처리과정의 공정수에서는 독성이

발현되지 않았다. 생태독성이 발현된 유입수에 대하여 월별 생태독성 값을 Fig. 4에 나타냈다.

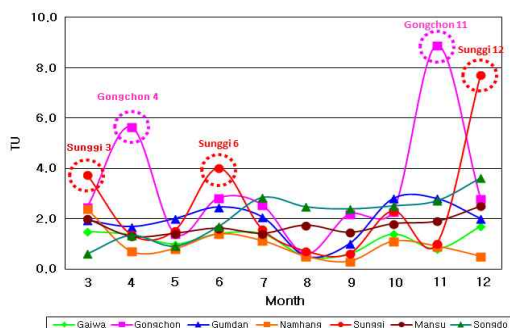


Fig. 4. Response curve of toxicity test on sewage influent

공촌하수처리장의 4월과 11월, 승기하수처리장의 3월, 6월, 12월의 생태독성 값은 평상시보다 높게 나타났는데, 이를 제외할 경우에는 평균 생태독성은 1.6 TU, 범위는 0.5~3.0 TU로 월별 일정한 양상을 나타내고 있다. 공촌하수처리장의 4월과 11월에는 유

기물의 농도가 매우 높게 분석되었고, 승기하수처리장의 3월, 6월, 12월에는 Cu, Zn, Pb, As 등의 중금속 농도가 평상시 보다 높게 측정되어 생태독성에 영향을 준 것으로 사료된다.

Table 2에는 7개 하수처리장의 유입수에 대한 생태독성과 유기화합물 성분들의 평균 값을 나타냈다. 생태독성은 공촌하수처리장에서 3.2 TU로 가장 높았고, 남향하수처리장에서 1.0 TU로 가장 낮았다. 승기하수처리장의 경우 유입수 평균 COD_{Mn}의 농도는 105.3 mg/L로 7개 하수처리장중 가장 높게 분석되었고, COD_{Mn}/BOD₅ 비가 약 80%로 난분해성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 다른 합류식 하수처리장과 비교하여도 SS, T-N, T-P의 농도가 높게 측정되었으며, 생태독성 역시 높게 나타났다. 이러한 원인으로는 승기하수처리장으로 남동산업단지의 사업장 처리수가 유입되어, 난분해성 유기물 및 T-N, T-P 등의 농도가 높게 나오는 것으로 판단된다.

Table 2. Average water quality(TU & Organic Compounds) of sewage influent (unit : mg/L)

Component	public sewage treatment plant						
	Gajwa	Gongchon	Gumdan	Namhang	Sunggi	Mansu	Songdo
TU	1.2	3.2	1.9	1.0	2.4	1.7	2.1
COD _{Mn}	67.3	90.1	84.7	36.0	105.3	75.4	75.7
BOD ₅	93.6	193.0	156.9	58.0	131.4	202.4	163.0
SS	51.4	148.9	121.7	87.4	140.5	158.3	164.5
T-N	29.482	39.096	37.579	20.702	31.391	29.148	36.437
T-P	2.388	3.607	3.490	2.016	3.342	3.302	3.783

Table 3에는 유입수의 pH, 경도, ABS, Cl⁻, 잔류염소, 전기전도도, 염분의 평균값을 나타냈다. 잔류염소는 7개 하수처리장에서 거의 검출되지 않았으며, pH의 경우도 약 7.0 정도를 유지하고 있어, 잔류염소와 pH에 의한 생태독성은 영향이 없는 것으로 나타났다으며, 경도 또한 영향을 주지 않았다.

남향하수처리장과 송도하수처리장은 다른 하수처리장에 비하여 Cl⁻, 전기전도도, 염분의 농도가 매우 높게 분석되었다. 남향하수처리장은 해역 근처에 위치하고 있고, 하수배제구역 내에 토사석 채취가공업 등의 사업장이 많아서, 여기서 방류된 처리수가 하

수처리장 유입수로 구성되었기 때문인 것으로 보여 진다. 또한 송도하수처리장은 유입관거의 위치적 특성상 해수의 유입 가능성이 높기 때문에 염성분이 높게 나타난 것으로 사료된다.

문헌연구에 따르면 물벼룩에 영향을 미치지 않는 염분 농도는 4‰ 이하라고 보고되는데, 남향하수처리장의 유입수 최대 염분 농도는 3.91‰를 나타낸 적이 있다. 따라서 남향, 송도하수처리장의 경우 별도의 오염원이 없더라도 염분농도에 의해 생태독성이 발현될 가능성이 높기 때문에 지속적인 염분 모니터링이 필요하다.

Table 3. Average water quality(TU & Salt) of sewage influent (unit : mg/L)

Component	public sewage treatment plant						
	Gajwa	Gongchon	Gumdan	Namhang	Sunggi	Mansu	Songdo
TU	1.2	3.2	1.9	1.0	2.4	1.7	2.1
pH	7.0	6.9	7.0	6.8	7.0	7.0	6.9
Hardness	182	169	77	185	151	99	190
ABS	1.26	1.82	2.12	0.87	1.88	2.41	1.76
Cl ⁻	403	409	69	637	271	134	909
Residual chlorine	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Electric conductivity	1999	1788	638	4032	1503	835	3548
Salinity	1.03	0.91	0.31	2.15	0.75	0.41	1.86

* Electric conductivity(μs/cm), Salinity(‰)

Table 4에는 7개 공공하수처리장 유입수에 대한 중금속 성분의 평균값을 나타냈다. 송기하수처리장에서 12월에 Pb이 검출된 것

을 제외하면 7개 공공하수처리장 유입수 모두 As, Hg, Cd, Pb은 거의 검출되지 않거나 낮은 농도를 나타내고 있다. 따라서 As, Hg,

Cd, Pb에 의한 생태독성의 영향은 적은 것으로 보여 진다. 남향하수처리장의 경우 중금속성분의 농도가 모두 낮게 측정되었는데, 생태독성 값도 1.0 TU로 가장 낮은 값을 나타냈다.

하수배제구역 내에 공단이 위치한 가좌와 승기하수처리장은 중금속 농도가 전반적으로 높게 나타났는데, 특히 승기하수처리장

은 Cr, Mn, Fe, Cu, Zn 등의 농도가 높게 나타났다. 또한 가좌하수처리장의 유입수도 생태독성에 영향을 줄 수 있는 Cu, Zn 등의 농도가 높게 분석되었다. *Daphnia magna*는 중금속 혼합농도에 민감하게 반응하므로, 공공처리시설로 연계되는 사업장 폐수에 대해서는 현행의 중금속 기준보다 더 엄격한 기준이 필요하지 않나 고려해 볼 사항이다.

Table 4. Average water quality(TU & Heavy Metal) of sewage influent (unit : mg/L)

Component	public sewage treatment plant						
	Gajwa	Gongchon	Gumdan	Namhang	Sunggi	Mansu	Songdo
TU	1.2	3.2	1.9	1.0	2.4	1.7	2.1
Cr	0.060	0.045	0.050	0.048	0.088	0.039	0.043
Mn	0.204	0.263	0.069	0.165	0.261	0.113	0.282
Fe	0.558	0.518	0.434	0.414	1.315	0.351	0.773
Cu	0.104	0.012	0.012	0.008	0.297	0.015	0.020
Zn	0.160	0.062	0.050	0.033	0.442	0.058	0.094
As	0.007	0.002	0.002	0.018	0.007	0.003	0.006
Hg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cd	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000

3.3 상관관계분석

상관관계분석은 상관계수(r)의 부호(±)로부터 관련성의 방향에 대한 정보를 얻을 수 있고, 상관계수의 값으로부터 변수들 간의 결합 강도를 예측하는데, 절대값이 1에 가까울수록 관련성은 강한 것이고 0에 가까울수록 관련성은 약하다고 할 수 있다.

Table 5에는 Pearson 상관계수를 이용한

각 항목들 간의 유의수준, 상관계수, 실험 대상의 수를 나타내었다. 7개 공공하수처리장의 유입수에 대한 생태독성과 수질일반 항목 간의 상관관계분석 결과 COD_{Mn}, BOD₅, SS, T-N, T-P, ABS는 유의수준 0.01이하에서 양의 상관관계를 보였고, 중금속과 염분, 잔류염소, pH 등과는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

Table 5. Statistical correlation analysis between TU and physicochemical properties

Component	Toxic Unit		
	Pearson correlation coefficient(r)	Significance level	N
COD _{Mn}	.682 ^{★★}	.000	70
BOD ₅	.636 ^{★★}	.000	70
SS	.446 ^{★★}	.000	70
T-N	.596 ^{★★}	.000	70
T-P	.434 ^{★★}	.000	70
pH	-.013	.917	70
Hardness	.052	.671	70
ABS	.445 ^{★★}	.000	70
Cl ⁻	.036	.768	70
Residual chlorine	-.132	.276	70
Electric conductivity	-.075	.539	70
Salinity	-.086	.480	70
Cr	.127	.322	70
Mn	.408 ^{★★}	.001	70
Fe	.241	.057	70
Cu	-.084	.513	70
Zn	.053	.678	70
As	-.055	.669	70
Hg	(a)	.	70
Cd	.089	.489	70
Pb	(a)	.	70

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

물벼룩에 많은 영향을 주는 것으로 알려진 중금속, 잔류염소, 염분, pH 와는 낮은 상관관계를 나타냈는데, 이것은 공공하수처리시설의 유입수 특성이라고 판단된다.

공공하수처리시설의 유입수는 대부분 가정 하수로 구성되며, 일부는 사업장의 처리된 방류수가 유입되므로 상대적으로 유기화합물의 농도가 높고, 중금속의 농도가 낮기 때문이다.

3.4 요인분석

주성분 분석법을 이용하여 요인을 추출한 결과 3개의 요인이 추출되었다. 추출된 세 요인의 초기고유치 (Eigenvalue)는 각각 4.874,

3.409, 2.255로서 이것은 요인추출 기준으로 지정한 고유치 1 이상인 요인만 추출한 것을 의미한다. 이 값이 큰 요인이 상대적으로 중요한 요인이라는 것을 의미한다.

설명된 총분산에 대해 요인 1은 33%로 가장 설명력이 높으며, 요인 2는 26%, 요인 3은 16% 만큼의 설명력을 나타내며, 이들 3개 요인에 의한 설명력은 75%로 분석된다. 주성분 분석법을 이용한 총 분산 값은 Table 6과 같다.

Table 6. Total Variance Explained

Component	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	4.874	34.811	34.811	4.874	34.811	34.811	4.602	32.871	32.871
2	3.409	24.352	59.163	3.409	24.352	59.163	3.642	26.013	58.884
3	2.255	16.108	75.271	2.255	16.108	75.271	2.294	16.387	75.271
4	.973	6.949	82.220						
5	.689	4.923	87.173						
6	.502	3.585	90.728						
7	.394	2.813	93.541						
8	.254	1.814	95.355						
9	.196	1.397	96.752						
10	.176	1.255	98.007						
11	.151	1.076	99.083						
12	.073	.519	99.603						
13	.055	.395	99.998						
14	.000	.002	100.000						

3.5 군집분석

요인 분석결과 주요인으로 축약된 3개의 변수들(유기화합물, 염, 중금속)을 사용하여 계층적 군집방법(Hierarchical Clustering Method)으로 인천관내 7개 하수처리장의 유입수를 군집분석한 덴드로그램은 Fig. 5와 같다. 그림에서 가로축은 군집간의 거리를 나타내며, 세로축은 각각의 개체를 나타낸다. 군집분석 결과, 인천관내 7개 공공하수처리장의 유입수는 3개의 군집으로 분류되었다. 먼저 검단, 만수, 공촌하수처리장이 하나의 군집으로 가좌와 승기 그리고 남향과 송도하수처리장이 각각 군집을 이루었다.

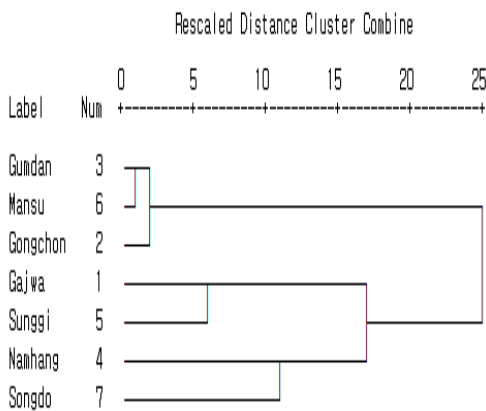


Fig. 5. Dendrogram of public sewage in Incheon

각 군집별 특징을 살펴보면 검단, 만수, 공촌하수처리장은 유기물의 농도가 높으며, 염 성분과 중금속 성분이 상대적으로 낮은 편이다. 여기서 검단과 만수하수처리장이 공촌하수처리장보다 거리가 가까운데, 이는 공촌하수처리장이 검단과 만수하수처리장보

다 염 성분 농도가 다소 높기 때문이다. 또한 다른 군집들보다 군집내 거리가 가깝기 때문에 검단, 만수, 공촌하수처리장의 유입수는 성분이 비슷한 것으로 나타났다.

두 번째 군집은 가좌와 승기하수처리장으로 다른 군집보다 중금속 농도가 높은 것이 특징이다. 승기하수처리장은 가좌하수처리장보다 유기물과 중금속 농도가 높아 첫 번째 군집보다 군집 내 거리가 멀게 분석되었다.

세 번째 군집인 남향과 송도하수처리장은 염성분이 높다는 공통점이 있으며, 남향하수처리장은 유기물과 중금속 농도가 송도하수처리장보다 낮아서 군집 내에서 거리가 존재하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

인천광역시에 소재하는 공공하수처리시설 중 가좌, 공촌, 검단, 남향, 승기, 만수, 송도하수처리장에 대하여 유입수 및 유출수, 처리 과정의 공정수에 대한 수질항목 및 생태독성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인천관내 7개 공공하수처리장에 대한 생태독성 결과, 유입수에서는 생태독성이 나타났으나 방류수 및 처리과정의 공정수에서는 생태독성이 발현되지 않았다. 유입수에서 나타난 독성은 하수처리장의 처리공정을 거치면서 희석, 여과, 응집, 침전, 소독, 미생물의 생분해 반응을 통해 공정수와 방류수에서는 생태독성이 감소하는 것으로 확인되었다.

2. 생태독성이 발현된 유입수에 대한 요인 분석결과, 생태독성에 영향이 있는 성분은 유기화합물, 염, 중금속의 3 분류로 구분되며, 현재는 염과 중금속의 영향보다는 유기 화합물에 의한 생태독성 값이 나타나고 있다. 일반적으로 물벼룩은 중금속 혼합 농도에 민감한 것으로 보고되어 있는데, 공공하수처리시설의 유입수 특성상 염과 중금속의 농도가 낮고 상대적으로 유기화합물의 농도가 높아서 기존의 결과와는 다른 양상을 나타냈다.
3. 군집분석 결과, 7개 공공하수처리장은 염분 농도가 높은 남항과 송도하수처리장, 중금속 농도가 높은 가좌와 송기하수처리장, 유기화합물 성분이 높은 검단, 공촌, 만수하수처리장으로 분류되었다. 남항, 송도하수처리장은 다른 이화학 성분과 더불어 염분농도의 검토가 필요하며, 가좌와 송기하수처리장은 중금속 농도의 점검이 요구된다. 따라서 염분이나 중금속 성분을 자동으로 모니터링하는 시스템을 갖춘다면 더 안정적으로 생태독성 기준을 준수할 수 있을 것이다.
4. 염소소독과 응집제 사용 전·후 생태독성 값은 변하지 않았다. 따라서 현재의 소독 방식과 응집제의 주입은 생태독성에 영향을 주지 않으며, 독성제어를 위한 추가 시설이나 새로운 공법의 개발은 필요하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 염소소독은 장기적으로 자외선 소독이나 오존 살균 등의 대체 방법으로 전환이 바람직하며, 유입 유량과 수질에 따라 응집제의 사용량도 달라지므로, 응집제의 농도별 주입량에 따른 생태독성의 영향을 관찰하여 허용 가능한

응집제 사용량을 체계화하는 것도 앞으로의 연구과제가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 환경부, 2008, “생태독성관리제도 시행 및 정착을 위한 5개년 종합계획“, pp.1~33.
2. 환경부, 한국환경공단, 2010 “생태독성저감 기술지원사례집(Ⅳ)“, p.16.
3. 환경부, 2009, “하수도법“.
4. EPA, 1985, “Methods for measuring the acute toxicity of effluent to freshwater and marine organism“ (3th edition), EPA-600/4-85-013.
5. OECD, 2000, “Series on testing and assessment“, No. 23.
6. Wong, P. T. S., Dixon, D. G., 1985, “Bioassessment of Water Quality“, Envo. Toxicity & Water Quality, 10.
7. 김상훈, 2006, “물벼룩과 발광박테리아를 이용한 산업폐수의 생물독성 평가에 관한 연구“, 한양대학교 대학원 박사학위논문.
8. 환경부, 2009, “수질오염공정시험기준 제 49항 물벼룩을 이용한 급성 독성시험법“, 환경부 고시 제 2009-9호.
9. 김영주, 김희갑, 2009, “환경통계학“.
10. 송지준, 2008, “SPSS/AMOS 통계분석방법“.
11. 이훈영, 2006, “이훈영의 SPSS를 이용한 데이터 분석“, pp. 337~338.
12. 허만형, 2001, “통계분석론“, pp. 555~556.
13. 장원경, 2005, “SPSS 12.0을 이용한 자료 분석의 이해와 응용“, pp. 318~322.
14. Schuytema, G. S., Nebeker, A. V.,

- Stutzman, T. W., 1997, "Salinity tolerance of *Daphnia magna* and potential use for estuarine sediment toxicity tests, Arch. Environ. Contam. Toxicol., 33. pp. 194~198.
15. Mount, D. I., Norberg, T. J., 1984, "A seven-day life cycle cladoceran toxicity test, Environmental toxicology and chemistry, 3(3), pp. 425~434.
16. Khangarot, B. S., Ray, P. K., 1987, "Correlation between heavy metal acute toxicity values in *Daphnia magna* and Fish, Environ. Contam. & Toxicol., 38, pp. 722~726.
17. 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, pp. 292~295.
18. 정재원 외, 2001, "물벼룩에 대한 중금속의 급성 및 만성독성", 한국환경과학회지, 10(4), pp. 293~298.
19. 윤나나, 2008, "물벼룩을 이용한 부산시 도심하천 및 수로의 생물독성평가", 부산대학교 대학원 석사학위논문.