

폐수에서 이온불균형문제가 생태독성에 미치는 영향 평가

신기식 · 김종민[†] · 이수형 · 이정서 · 이택준

국립환경과학원 물환경공학연구과

Evaluation of Toxicity Influenced by Ion Imbalance in Wastewater

Kisik Shin · Jongmin Kim[†] · Soohyung Lee · Jungseo Lee · Taekjune Lee

Water Environmental Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research
(Received 18 October 2017, Revised 11 January 2018, Accepted 16 January 2018)

Abstract

This paper aims to evaluate the results of toxicity testing with *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri* on wastewater samples which might be influenced by ion imbalance. The effluents from factories were found to be more toxic with high salinity levels than those from public wastewater treatment plant (WTP) and sewage treatment plant (SWP). Cl⁻ ion composition was highest in the effluent, in terms of percentage, which was followed by Na⁺, SO₄²⁻ and Ca²⁺. K⁺ and Mg²⁺ ion was relatively low. The sensitivity of *D. magna* test results was higher than *V. fischeri*. Among samples which were proved by *V. fischeri* testing to be nontoxic, the composition ratio of each ion whether toxic samples or nontoxic samples which were decided by *D. magna* toxicity testing, were compared. Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ion composition ratio showed high level in nontoxic samples whereas SO₄²⁻ and Cl⁻ ion composition ratio was high in toxic samples. Accordingly, SO₄²⁻ and Cl⁻ ion seemed to be considered the ions causing toxicity in effluent. Toxicity from some categories of industries (Mining of non-metallic minerals, Manufacture of basic organic petrochemicals, Manufacture of other basic organic chemicals, Manufacture of other chemical products etc.) seemed to be influenced by salinity. The Ion concentration in influent and effluent were similar. Concentration of Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺ ions were high in influent, however Mg²⁺ and SO₄²⁻ ions were high in effluent.

Key words : *Daphnia magna*, Effluent, Ion imbalance, Salinity, *Vibrio fischeri*

1. Introduction

생태독성을 야기하는 원인물질과 각 물질들이 차지하는 비율은 염(31.4%), 유기화합물(25.7%), 중금속(22.8%), 산화제(14.3%) 및 암모니아(5.7%) 등으로 알려져 있는데 염 성분에 의한 경우가 상대적으로 높은 비율을 차지한다(ME, 2008). 일반적으로 물속에 존재하는 이온들이 일정 농도를 초과하거나 낮은 경우 또는 이온들의 구성 비율이 큰 차이를 보이는 경우 수생 생물에 악영향을 미칠 수 있다. 특히 폐수 배출에 의해 야기될 수 있는 이온 불균형 문제는 생태독성 시험 시 독성을 일으킬 수 있다(SETAC, 2004). 이온 불균형 문제가 높은 수준의 이온 농도뿐만 아니라 배출수 내 이온 농도가 충분하지 않은 경우(응축수의 배출 등)도 포함될 수 있으므로 배출수의 이온 불균형과 연관된 독성은 배출수의 이온농도 및 물농도 비율을 초과하거나 시험

생물종의 생리학적 인내수준을 맞추지 못하는 경우 나타난다. 이런 현상 때문에 시료의 이온 불균형이 모든 상황에서 독성물질로 간주되어야 하는지는 논란이 되고 있다(SETAC, 2004; William et al., 2000). 시험생물종에 대한 이온영향으로 야기된 독성은 이러한 기술적인 관점 외에 배출시설 허가 등 제도적인 관점에서도 복잡한 문제이다(William et al., 2000).

담수에서는 염분농도가 염수에 비해 매우 낮으므로 Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ 등과 같은 이온들이 항상 독성물질로 간주되지 않으나 광산개발이나 관개 또는 석유생산 등과 같은 인위적인 요인에 의해 국지적으로 형성된 염 이온 농도는 대형 무척추동물이나 어류 등에 독성을 야기할 수 있다(Ingersoll et al., 1992; Kimmel and Argent, 2010; U. S. EPA, 2009; Williams et al., 2000). 반면 해수의 염분 농도는 대략 33%~37% 정도이고 Na⁺이온과 Cl⁻이온이 약 85%를 차지하며 나머지는 Mn²⁺, K⁺, Ca²⁺, Br⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ 등으로 구성된다. 이 성분들은 해양생물의 생명유지에 필수적인 이온들이지만 이온 농도가 바닷물 염류의 구성비율과 맞지 않는 경우 오히려 해양생물에 독성으로 작용될 수 있다(Douglas et al., 1996).

수생생물에 필수 이온은 무기이온인 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ 등

[†] To whom correspondence should be addressed.
jytejongm@gmail.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 알려져 있는데 이들의 양이 수생생물이 견딜 수 있는 범위를 초과하거나 부족한 경우 수질환경기준을 준수하더라도 생태독성결과에 독성을 야기하므로 뚜렷한 독성물질이나 유해물질이 배출되지 않는 폐수 처리수에 대해서는 이를 보다 적절하게 관리할 수 있는 제도적 수단이 필요하다. 특히 해양으로 배출되고 생태독성 원인물질이 '염'으로 생각되는 경우 이에 대한 합리적인 독성평가방법이 요구된다. 환경부에서는 이러한 염 성분에 대한 관리대책의 일환으로 폐수배출수의 생태독성원인이 유해물질이 아닌 단순염(鹽) 성분이고 이 배출수가 해양으로 직접 방류되며 이것이 해양생태계에 영향이 없다고 증명할 수 있는 경우 행정처분을 제외시키는 예외 규정을 두고 있다(ME, 2017). 본 연구는 실제 조사된 배출수 등의 독성시험자료를 바탕으로 염을 함유한 폐수배출수가 야기할 수 있는 이온불균형이 물벼룩을 시험생물로 시험하는 생태독성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다.

2. Materials and Methods

개별 사업장 배출수와 공공하수처리시설 및 폐수종말처리시설의 유입수 및 방류수 포함 총 199건의 시료(배출수 및 방류수 147건, 유입수 52건)를 대상으로 물벼룩 및 발광박테리아 2종의 시험생물을 이용하여 생태독성수준을 평가하였다. 물벼룩(*D. magna*)을 이용한 급성독성시험은 수질오염공정시험기준(ME, 2014a)에 따라 시료를 단계별로 배양액을 이용하여 5개 농도군으로 희석한 후 각 농도군별로 물벼룩을 넣고 24시간 후 죽었거나 유영저해를 나타내는 개체수를 확인하여 통계 프로그램(Probit or Trimmed Spearman-Kärber)을 이용, EC_{50} 값을 산출하고 TU값으로 평가하였다. 시험에 사용한 물벼룩은 국립환경과학원에서 계대배양하고 있는 물벼룩을 이용하였다. 발광박테리아를 이용한 독성시험방법은 KS ISO 시험방법(KATS, 2009a)에 따라 *V. fischeri*를 이용하여 원폐수 및 단계별로 염화나트륨 용액(20 g/L)을 이용하여 희석된 시료(50%, 33.3%, 25%, 16.7%, 12.5% ...)를 발광박테리아 현탁액과 혼합시켜 일정시간 경과 후 발광저해율을 측정하고 시료의 발광저해

효과는 EC_{50} 값을 산출하여 TU값으로 평가하였다. 일반적으로 발광박테리아 현탁액과 시료를 같은 양으로 혼합하므로 초기 희석농도는 50%가 된다. 급성 생태독성시험에 적용된 2종의 시험종에 대한 시험조건 및 방법은 Table 1과 같다.

배출수의 염분, 전기전도도, pH, 용존산소는 다항목분석기(YSI model 556, YSI, USA)를 이용하여 측정하였고 경도는 경도계(HI 93735, HANNA Instruments, USA), 잔류염소는 잔류염소측정기(HI 93734, HANNA Instruments, USA), 암모니아는 암모니아 측정기(HI 93715, HANNA Instruments, USA)를 이용하였다. 음이온 물질(Cl^- , SO_4^{2-})분석은 수질오염공정시험기준(ME, 2014b)에 따라 분석하였으며, 양이온 물질(Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+)은 KS ISO 시험방법(KATS, 2009b)에 따라 Ion Chromatography(Professional IC 850, Metrohm, SWISS)를 이용 분석하였다.

3. Results and Discussion

3.1 개별배출업체와 공공하수처리시설의 생태독성 수준 비교

조사된 배출수 및 방류수 시료에서 개별사업장 배출수(126개 사업장)가 물벼룩 독성기준 평균 TU 3.9로서 폐·하수처리장 방류수(21개 사업장)의 평균 TU 0~0.3 보다 높은 수준을 보였고 개별사업장 간 독성도 큰 폭의 차이를 보였다. 염분농도도 개별사업장이 평균 5.6‰로 폐·하수처리장 방류수의 평균 2.7~3.9 보다 상대적으로 높았다. 주요이온 중 SO_4^{2-} 이온은 개별사업장(16.7%) 및 공공하수처리시설(10.6%)에 비해 폐수종말처리장에서 가장 높은 구성비(28.8%)를 보였다(Table 2). 배출수 및 방류수 시료의 주요이온농도 구성비 분포를 보면, 중간값 기준으로 Cl^- 이온이 가장 많은 비율을 차지하였고, 계속해서 Na^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} 순이었으며 K^+ 및 Mg^{2+} 는 상대적으로 가장 낮은 비율을 보였다(Fig. 1).

시험생물별 독성수준을 보면 *D. magna* 시험결과는 전체 시료 평균 TU 3.4로서 *V. fischeri* 시험결과인 TU 2.5보다 높은 수준을 보였다. 물벼룩은 구리이온에 민감하게 반응하

Table 1. Experimental conditions of acute toxicity test with *D. magna* and *V. fischeri*

Test organism	<i>Daphnia magna</i>	<i>Vibrio fischeri</i>
Exposure period	24 hour	30 minute
Test temperature	20 ± 2 (°C)	15 ± 1 (°C)
No. of test organism per each concentration	20	-
No. of repeatability per each concentration	4	4
Age of test organism	less than 24 hour	-
End point	EC50	EC50
Photo period	16h : 8h (light : dark)	-
Dilution ratio of sample	100 %, 50 %, 25 %, 12.5 %, 6.25 %, control	50 %, 33.3 %, 25 %, 16.7 % 12.5 %, ... 0.098 %, control
Salt correction	-	20 ‰

Table 2. Summary of toxicity test results from *D. magna* and *V. fischeri*, salinity and ionic substance concentration on effluent samples

Category	No. of samples		<i>D. magna</i> (TU)	<i>V. fischeri</i> (TU)	Salinity (%)	Na ⁺ (mg/L, %)	K ⁺ (mg/L, %)	Ca ²⁺ (mg/L, %)	Mg ²⁺ (mg/L, %)	SO ₄ ²⁻ (mg/L, %)	Cl ⁻ (mg/L, %)
Factories	126	Range	0 ~ 38.5	0 ~ 73.5	0 ~ 69.8	7 ~ 27890	1 ~ 7384	5 ~ 13755	1 ~ 2588	1 ~ 18207	1 ~ 40562
		Mean	3.9	2.8	5.6	1885	169.0	302	113	1,023	2,650
		Pro-portion	-	-	-	30.7	2.8	4.9	1.8	16.7	43.1
Sewage T/P	4	Range	0	0 ~ 1.9	1.8 ~ 5.4	564 ~ 1560	25 ~ 68	105 ~ 442	16 ~ 151	52 ~ 472	505 ~ 2591
		Mean	0	0.5	3.9	1110	38.0	220	62	346	1,473
		Pro-portion	-	-	-	34.2	1.2	6.8	1.9	10.6	45.3
Wastewater T/P	17	Range	0 ~ 1.4	0 ~ 1.4	0.2 ~ 10.1	21 ~ 9109	3 ~ 328	16 ~ 1534	3 ~ 467	30 ~ 8978	7 ~ 6645
		Mean	0.3	0.1	2.7	1239	62.0	158	75	1,089	1,163
		Pro-portion	-	-	-	32.7	1.6	4.2	2.0	28.8	30.7
Total	147	Range	0 ~ 38.5	0 ~ 73.5	0 ~ 69.8	7 ~ 27890	1 ~ 7384	5 ~ 13755	1 ~ 2588	1 ~ 18207	1 ~ 40562
		Mean	3.4	2.5	5.2	1,789	153	283	107	1,012	2,446
		Pro-portion	-	-	-	30.9	2.6	4.9	1.9	17.5	42.2

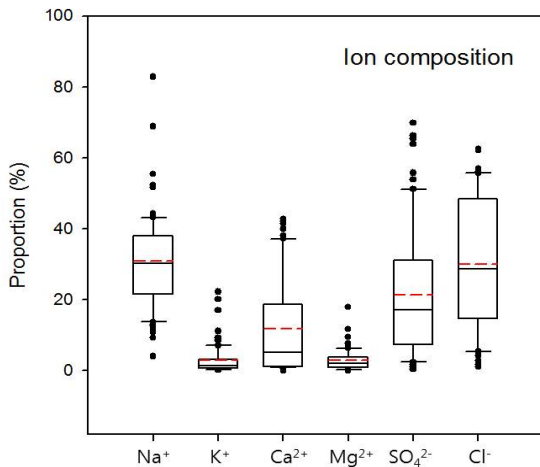


Fig. 1. Major ion composition ratio of effluent samples.

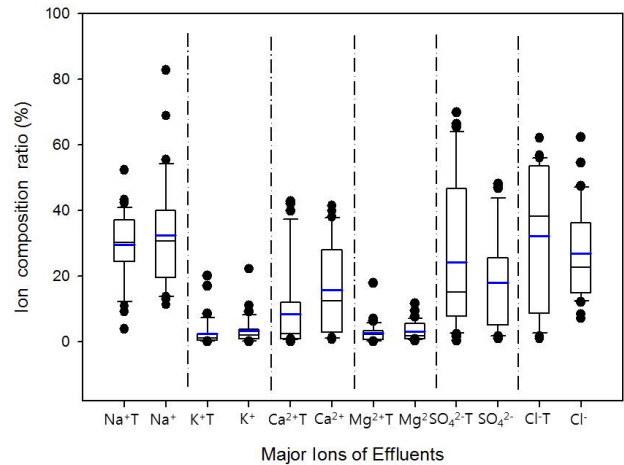


Fig. 2. Comparison of ion composition ratio between toxic effluent samples and nontoxic effluent samples.

고 발광박테리아는 제초제와 차아염소산나트륨에 민감하게 반응하는 등 유해물질의 종류에 따라 민감도도 다른 것으로 알려져 있기는 하나(NIER, 2013a), 본 연구결과 및 선행 연구사례(Kim et al., 2017)로 볼 때 배출수 및 방류수의 독성에 대한 민감도는 *V. fischeri* 보다는 *D. magna*가 더 큰 것으로 판단되었다(Table 2).

*D. magna*는 담수종으로 NaCl 농도에서 EC50이 4~7% 정도이며(NIER, 2013b), *V. fischeri*는 대략 0~90% 정도의 NaCl 농도에서도 성장하였다고 보고된 바 있으므로(Soto et al., 2009) 염 성분 이온이 많이 함유된 시료에서의 이온불균형에 대한 평가는 *D. magna*가 *V. fischeri*보다 민감한 것으로 판단되었다.

Fig. 2는 개별사업장 배출수 시료 중 *V. fischeri*에 독성이 나타나지 않았던 70개 시료를 기준으로 이들 중 *D. magna*로 시험시 독성이 나타나지 않은 시료(TU=0) 32건과 독성이 발현된 시료(TU>1) 38건의 주요이온성분 구성비를 비교하여 도시한 것이다. *V. fischeri*는 대략 90% 정도의

고농도 NaCl에서도 성장하였다고 보고된 바 있으므로(Soto et al., 2009) *V. fischeri*에 독성이 나타나지 않았고 *D. magna*에 독성이 나타난 경우는 독성 원인이 대부분 염분농도에 기인하는 것으로 간주하였다.

독성을 나타낸 배출수 그룹의 주요이온 구성비율은 독성을 나타내지 않았던 배출수 그룹과 이온별로 차이를 보였다. 즉, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 이온들은 독성을 나타내지 않았던 시료 그룹이 더 높은 이온 구성비를 차지하고 있었으며, SO₄²⁻ 및 Cl⁻ 이온은 독성을 보였던 시료에서 더 높은 경향을 보였다. 이 결과로만 볼 때 배출수내 염분 등 이온 성분에서 주로 SO₄²⁻ 및 Cl⁻ 이온이 독성을 높이는 데 관여하는 것으로 사료되었다.

3.2 업종별 생태독성 및 이온불균형 비교

Table 3은 조사 시료 중 업종(폐수배출시설)별로 5개 사업장이상 조사된 업종을 발췌하여 각 업종에 포함되는 개별 사업장들 및 공공 폐·하수처리시설들의 독성수준 평균

Table 3. Average toxicity results and coefficient of variation (CV) of each industrial category which were sampled more than 5 times (except sewage treatment plant)

Industrial category	Samples	<i>D. magna</i>		<i>V. fischeri</i>		Salinity	
		mean	CV (%)	mean	CV (%)	mean	CV (%)
3) Mining of non-metallic minerals	8	3.1	17	0.0	-	20.4	25
4) Slaughtering of Livestock, Processing, Preserving of Meat, Seaweeds and Its Products	11	10.4	80	5.9	112	1.1	58
13) Manufacture of Other Food Products	8	2.7	169	3.0	153	0.7	106
17) Spinning of textiles and processing of threads and yarns	12	0.6	156	0.6	276	0.2	54
27) Manufacture of basic organic petrochemicals	5	3.7	85	0.7	146	14.5	82
30) Manufacture of other basic organic chemicals	8	11.2	166	1.3	100	20.6	128
36) Manufacture of synthetic resin and other plastic materials	15	4.0	237	3.5	302	4.6	141
48) Manufacture of other chemical products n.e.c.	8	5.1	100	1.0	202	20.7	111
55) Manufacture of basic iron and steel	7	1.3	67	0.7	168	3.3	97
63) Manufacture of metal processing products	6	3.5	115	14.6	199	1.5	71
75) Waste storage facilities	6	8.1	120	1.6	173	10.8	102
80) Plating of metals	6	24.1	230	4.2	211	4.7	94
Sewage treatment plant	4	0.0	-	0.5	200	3.9	44
Wastewater treatment plant	17	0.3	157	0.1	317	2.7	134

값과 변동계수(CV값)을 나타낸 것이다.

폐수배출시설 업종 중 3)비금속광물광업시설, 27)석유화학계 기초화학물 제조시설, 30)기타 기초유기화학물제조시설, 48)기타 분류되지 아니한 화학제품제조시설 업종은 각 사업장의 평균 염분농도가 14.5%~20.7% 수준으로 높았으나, 이들의 독성을 염분농도의 영향에 저항성이 큰 *V. fischeri*로 평가한 값이 TU 0~1.3 정도로 낮은 수준을 보인 반면, *D. magna*로 평가한 값은 TU 3.1~11.2로 비교적 높은 수준을 보였다. 배출수 시료의 이온불균형(ion imbalance)이 시험생물에 독성을 나타내는 경우 일차적으로 확인할 수 있는 항목은 염분 농도 또는 전도도 수준으로 알려져 있으므로(API, 1998; SETAC, 2004), 일부 시료들의 경우

높은 염분농도가 독성수준에 영향을 미친 것으로 판단되었다(Fig. 3). 물벼룩과 같은 수생생물들은 그들의 체액내 물과 이온농도간의 균형을 유지할 수 있는 생리학적 메커니즘을 가지는데, 오랜기간 동안 수중의 이온농도 혹은 조성이 변동되면 수생생물들은 체내 물과 이온간의 균형을 맞추기 위해 많은 에너지를 사용하게 되면서 성장이나 생식과 같은 중요한 기능에 만성적인 스트레스로 작용하는 것으로 알려져 있다(SETAC, 2004).

Fig. 4는 업종별 포함된 개별사업장들의 *D. magna* 생태독성값 변동계수(CV)를 도시한 것이다. 대부분 100% 이상을 보였으며 특히 36)합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조

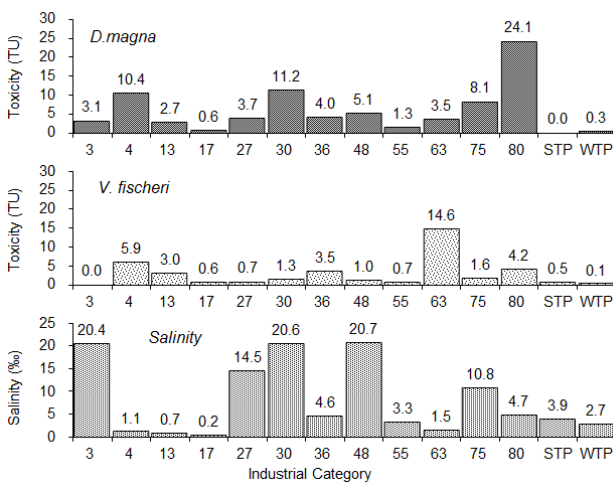


Fig. 3. Comparison between average toxicity results (*D. magna* and *V. fischeri*) and salinity of different industrial categories, sampled more than 5 times (except sewage treatment plant).

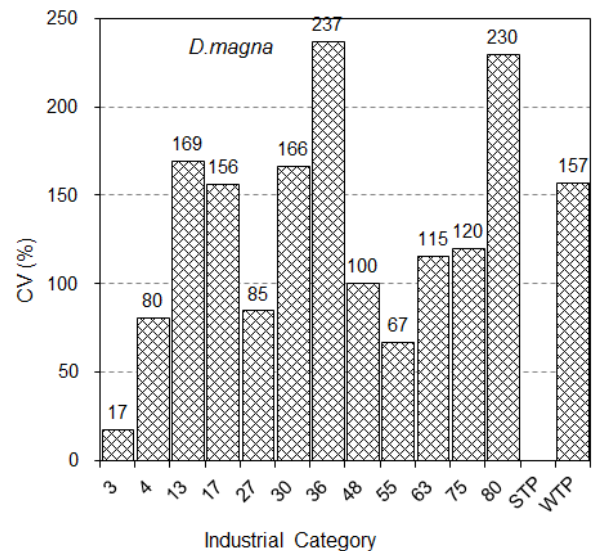


Fig. 4. Comparison of coefficient of variation (CV) for different industrial categories, sampled more than 5 times (except sewage treatment plant).

시설과 80)도금시설 업종은 CV값이 200% 이상으로 나타나 같은 업종이라도 각 개별사업장간 독성값은 큰 차이를 보였다. 가장 낮은 값을 나타낸 3)비금속광물광업시설 업종은 구성원 모두 해사를 세척하여 골재를 생산하는 해사

세척시설로 유사한 폐수처리과정을 거치기 때문에 생각된다.

Table 4 및 Fig. 5는 폐수종말처리시설(12개소) 및 공공하수처리시설(4개소)의 유입수 및 방류수의 주요이온농도와

Table 4. Concentration of major ions in the influent and effluent which were discharged from wastewater treatment plants and sewage treatment plants

Facilities	Na ⁺ (mg/L)		K ⁺ (mg/L)		Ca ²⁺ (mg/L)		Mg ²⁺ (mg/L)		SO ₄ ²⁻ (mg/L)		Cl ⁻ (mg/L)	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
A	73	63	10	6	19	16	6	5	92	87	9	7
B	216	194	16	17	108	113	3	3	297	274	253	274
C	28	83	4	5	42	47	11	13	19	30	38	183
D	11	21	3	3	31	31	5	6	17	54	13	14
E	256	261	74	65	38	58	30	23	42	121	376	378
F	2,917	3,005	108	75	529	176	312	276	3,063	2,284	2,927	3,041
G	536	380	25	19	149	73	10	6	460	278	328	244
H	62	76	12	16	58	66	13	21	35	92	60	79
I	67	218	30	61	48	48	8	7	39	78	60	153
J	707	1,079	24	18	97	175	11	17	93	138	1,060	1,538
K	38	36	13	13	24	33	3	6	15	58	34	28
L	9,516	9,109	474	328	1,545	1,534	184	467	4,430	8,978	10,487	6,645
As	1,295	1,215	31	25	113	110	76	56	441	472	1,711	1,546
Bs	2,038	1,101	71	29	273	224	19	24	686	423	2,781	1,251
Cs	665	564	32	28	100	105	50	16	433	505	250	52
Ds	1,302	1,560	69	68	408	442	128	151	382	437	2,137	2,591

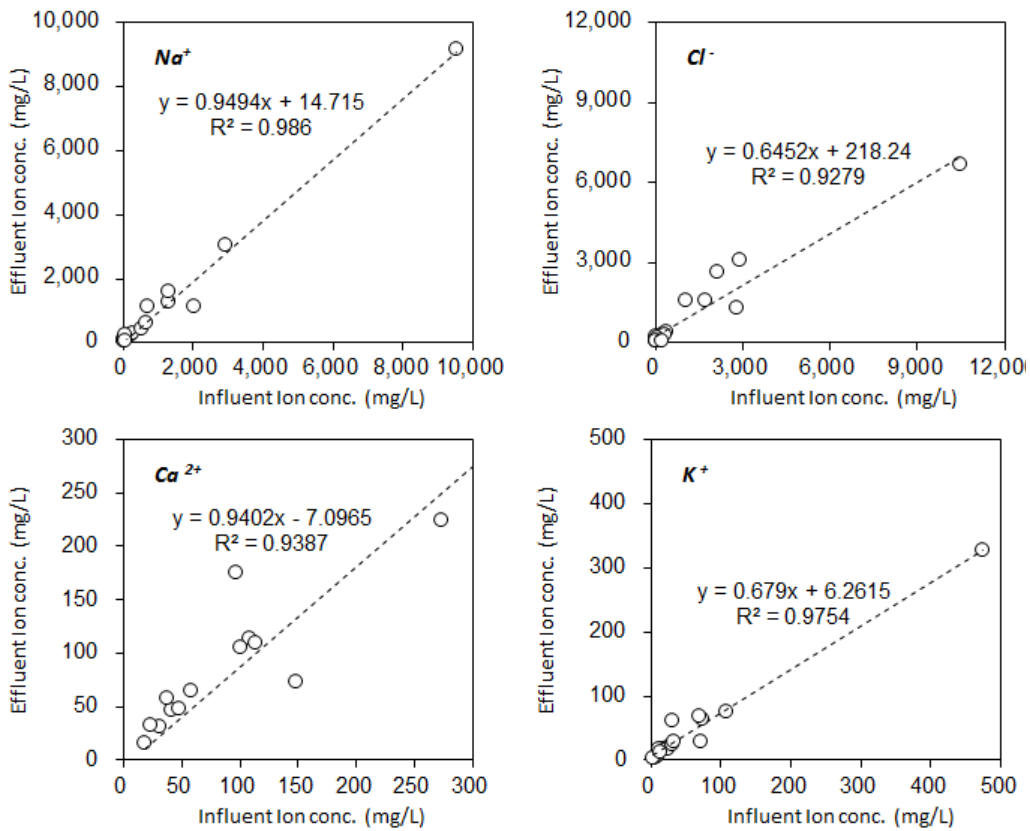


Fig. 5. Relationship between major ion concentration in influent and effluent which were discharged from wastewater treatment plants and sewage treatment plants.

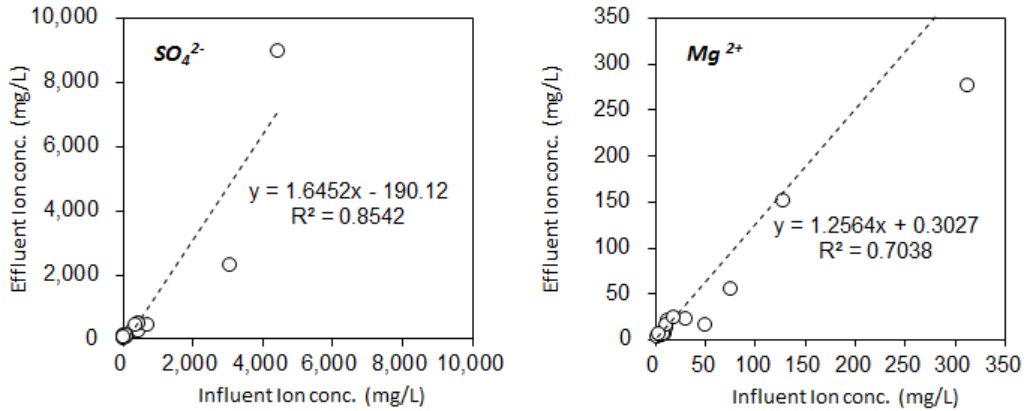


Fig. 5. Relationship of major ion concentration between influent and effluent which were discharged from wastewater treatment plants and sewage treatment plants (continued).

각 이온별로 유입수와 방류수의 상관정도를 도시한 것이다. 모두 r^2 값이 0.70 (Mg^{2+})~0.99 (Na^+) 정도 수준으로 폐수 처리 전후 이온농도는 큰 차이가 없었으며, 추세선의 기울기로 판단할 때 Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} 이온은 기울기가 1보다 작아 유입수가 방류수보다 높은 이온농도를 보였고, Mg^{2+} , SO_4^{2-} 이온은 추세선의 기울기가 1보다 크게 나타나 유입수보다 방류수의 이온농도가 더 높은 경향을 보였다(Fig. 5).

4. Conclusion

본 연구는 폐수의 독성시험자료를 바탕으로 폐수배출수의 이온농도 및 이온 불균형이 물벼룩을 시험생물로 시험하는 생태독성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 총 199건의 폐수 시료를 대상으로 수행되었다. 폐수처리수를 개별사업장과 폐·하수처리장개별사업장으로 구분하였을 때 평균적인 생태독성수준과 염분농도는 개별사업장이 높았다. 주요이온농도 구성비는 Cl^- 이온이 가장 많은 비율을 차지하였고, 계속해서 Na^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} 순이었으며 K^+ 및 Mg^{2+} 는 상대적으로 가장 낮았다. 시험생물별 독성에 대한 민감도는 *V. fischeri* 보다는 *D. magna*가 더 큰 것으로 판단되었다.

*V. fischeri*에 독성이 나타나지 않았던 시료를 대상으로 *D. magna*에 독성을 나타낸 그룹과 나타내지 않았던 그룹간의 이온농도 구성비율을 비교하였을 때 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 이온들은 독성을 나타내지 않았던 시료에서, SO_4^{2-} 및 Cl^- 이온은 독성을 보였던 시료에서 더 높은 이온 구성비를 차지하였다. 따라서 배출수내 유해물질이 없는 경우 주로 SO_4^{2-} 및 Cl^- 이온이 독성을 높이는 데 관여하는 것으로 생각되었다.

폐수배출시설 업종 중 3)비금속광물광업시설, 27)석유화학계 기초화학물 제조시설, 30)기타 기초유기화학물제조시설, 48)기타 분류되지 아니한 화학제품제조시설은 염분농도, *V. fischeri* 시험결과 및 *D. magna* 시험결과를 종합적으로 판단할 때 염분농도가 독성을 야기한 원인으로 판단되었다.

폐하수처리시설 유입수와 방류수간 이온농도차이는 크지

않았으며 Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} 이온은 유입수의 이온농도가, Mg^{2+} , SO_4^{2-} 이온은 방류수의 이온농도가 더 높은 경향을 보였다.

수생생물의 경우 외부와 내부의 이온균형을 맞추기 위해 에너지를 소모하는데 환경 변화에 따른 이온불균형이 나타나면 이것은 성장이나 생식시기에 만성적인 독성으로 작용하게 되므로 폐수처리수의 생태독성을 평가하는 경우 이러한 이온성 물질들의 불균형에 의한 영향도 고려되어야 하며, 이러한 불균형을 해소시키기 위한 폐수처리공정 개선 등의 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- American Petroleum Institute (API). (1998). *The Toxicity of Common Ions to Freshwater and Marine Organisms*, Document 0300-029. Washing DC.
- Douglas, W. S., Grasso, S. S., Hutton, D. G., and Schroeder K. R. (1996). Ionic Imbalance as a Source of Toxicity in an Estuarine Effluent, *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 31(3), 426-432.
- Ingersoll, C. G., Dwyer, F. J., Burch, S. A., Nelson, M. K., Buckler, D. R., and Hunn, J. B. (1992). The Use of Freshwater and Saltwater Animals to Distinguish Between the Toxic Effects of Salinity and Contaminants in Irrigation Drain Water, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11, 503-511.
- Kim, J. M., Shin, K. S., Lee, S. H., Lee, J. S., and Lee, T. J. (2017). Evaluation of Effluent Toxicity which were Exempted from Applying of Ecotoxicity Criteria, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 33(2), 197-202. [Korean Literature]
- Kimmel, W. G. and Argent, D. G. (2010). Stream Fish Community Responses to a Gradient of Specific Conductance, *Water Air & Soil Pollution*, 206, 49-56.
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). (2009a). *Water Quality - Determination of the Inhibitory Effect of Water Samples on the Light Emission of Vibrio fischeri (Luminescent Bacteria Test) - Part 3: Method using Freeze-dried Bacteria*, KS_ISO 11348-3:2009, Korean Agency for

- Technology and Standards. [Korean Literature]
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). (2009b). *Water Quality - Determination of dissolved Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} and Ba^{2+} Using Ion Chromatography-Method for Water and Waste Water*, KS_ISO 14911:2009, Korean Agency for Technology and Standards. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2008). *The Total Plan of Five Years about Ecotoxicity Emission Control System Implementation and Settlement*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2014a). *Standard Method for Water Pollutants ES 04704.1, - Acute Toxicity Testing with *Daphnia magna** -, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2014b). *Standard Method for Water Pollutants ES 04350.1b, - Anions-Ion Chromatography* -, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2017). *Water Quality and Aquatic Ecosystem Conservation Act*, Ministry of Environment [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2013a). *A Study for Proposal of New Acute Toxicity Test Organism (I)*, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2013b). *A Study of QA/QC Method for WET(Whole Effluent Toxicity) - Preparation of QA/QC and Operation Manual for WET-*, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). (2004). *Technical Issue Paper: Whole Effluent Toxicity Testing: Ion Imbalance*, Pensacola FL, USA: Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Soto, W., Gutierrez, J., Remmenga, M. D., and Nishiguchi, M. K. (2009). Salinity and Temperature Effect on Physiological Responses of *Vibrio fischeri* from Diverse Ecological Niches, *Microbial Ecology*, 57, 140-150.
- Williams, D. D., Williams, N. E., and Cao, Y. (2000). Road Salt Contamination of Ground Water in a Major Metropolitan Area and Development of a Biological Index to Monitor its Impact, *Water Research*, 34, 127-138.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2009). *The Effects of Mountaintop Mines and Valley Fills on Aquatic Ecosystems of the Central Appalachian Coal-fields*, EPA/600/R-09/138A. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC.