

ORIGINAL ARTICLE

산업폐수에 대한 이화학적 분석과 물벼룩 생태독성의 비교

이선희 · 이학성^{1)*}

울산보건환경연구원

¹⁾울산대학교 화학공학부

Comparison between Ecotoxicity using *Daphnia magna* and Physiochemical Analyses of Industrial Effluent

Sun Hee Lee, Hak Sung Lee^{1)*}

Ulsan Institute of Health & Environment, Ulsan 680-845, Korea

¹⁾School of Chemical Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

Abstract

Ecotoxicity assessments with the physiochemical water quality items and the bioassay test using *Daphnia magna* were conducted for 18 selected effluents of 6 industrial types (metal processing, petroleum refining, synthetic textile manufacturing, plating, alcohol beverage manufacturing, inorganic compound manufacturing) being detected toxicity from industrial effluent in Ulsan city, and the interrelationship between total toxic unit (Σ TU) and concentrations of Water Quality Conservation Act in Korea were investigated. The average toxic unit(TU) of effluents for 6 industrial types displayed the following ascending order: petroleum refining (0.2) < synthetic textile manufacturing (0.6) < alcohol beverage manufacturing (0.9) < metal processing (1.3) \leq inorganic compound manufacturing (1.3) < plating (3.0). These values were less than effluent permission standard. Based on the result of substances causing ecotoxicity, the correlation analysis was not easy because most of heavy metals were not detected or were less than effluent permission standard. Toxicological assessment of industrial effluent was suitable for the evaluation of the mixture toxicity for pollutant. The whole effluent toxicity test using a variety of species was needed for the evaluation of industrial wastewater.

Key words : WET(whole effluent toxicity), *Daphnia magna*, Toxic unit(TU), Industrial effluent

1. 서론

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제32조 규정의 해 2011년부터는 폐수종말처리시설, 공공하수처리시설, 공공수역으로 직접 배출되는 1·2종 사업장 그리고 2012년부터는 3·4·5종 사업장의 산업폐수 배출수에

대한 생태독성 배출허용기준이 적용되고 있다. 일반 수질오염물질 48종, 특정수질유해물질 25종에 대해 관리하고 있는 기존의 수질평가만으로는 여러 가지 오염물질들이 혼재되어 있는 산업폐수 방류수의 위해성을 평가하기 어려우므로 수계에 존재하는 잠재적인 독성여부를 알기 위해 통합독성평가가 이루어져야 한다(Kim, 2006;

Received 6 January, 2014; Revised 19 May, 2014;

Accepted 9 June, 2014

*Corresponding author : Hak Sung Lee, School of Chemical Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

Phone: +82-52-259-2252

E-mail: hslee@mail.ulsan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

Table 1. Discharge permission criteria for POTW and industrial effluent

Classification		Regulatory level (TU)	Date of enforcement	
POTW (publicly owned treatment works)		< 1		
Each establishment	1, 2	Clean	2011.1.1	
		Ga, Na, Special		< 2
	3, 4, 5	Clean	2012.1.1	
		Ga, Na, Special	< 2	2016.1.1
Textile dyeing/ Industrial chemicals manufacturing/ Metal plating	1, 2	Ga, Na, Special	< 4	2011.1.1
			< 2	2016.1.1
	3, 4, 5	Ga, Na, Special	< 4	2012.1.1
			< 2	2016.1.1
Inorganic chemical manufacturing /Synthetic colouring matter manufacturing	1, 2	Ga, Na, Special	< 8	2011.1.1
			< 2	2016.1.1
	3, 4, 5	Ga, Na, Special	< 8	2012.1.1
			< 2	2016.1.1

Ra, 2004).

통합독성관리는 수질유해물질 관리 방안의 하나로 수계의 생태계에서 생산자와 소비자 역할을 하는 조류, 발광박테리아, 무척추동물(물벼룩), 어류에 미치는 독성을 조사하는 것으로 이는 수생태계에 서식하는 생물종을 사용하여 산업폐수 방류수의 독성을 평가함으로써 수질유해물질을 통합적으로 관리할 수 있는 장점을 가지며, 또한 개별항목으로 관리하는 것보다 시간과 비용 면에서 효과적이다(Buikema 등, 1976; Grothe와 Dickson, 1995). 그 중에서도 물벼룩은 높은 번식력, 짧은 순응기간, 시험의 용이성, 구입 및 배양의 용이성, 저렴한 비용, 독성물질에 대한 민감성, 결과의 중복성이 크기 때문에 오랜 기간 여러 가지 독성물질을 평가하는데 유용하게 사용되어져 왔다(Anderson, 1944; Wong, 1995).

따라서 본 연구에서는 울산지역에 위치한 1~5종 사업장 18개소를 대상으로 물벼룩(*Daphnia magna*) 생태독성 평가를 실시하여 생태독성 원인을 조사하고 원인물질을 저감시킬 수 있는 방안을 마련하는데 기초자료로 활용하고자 한다. Table 1에는 산업폐수 배출업종별 생태독성 규제수준 및 규제시기를 나타내고 있다. 청정지역(Clean), 가지역(Ga) 및 나지역(Na)은 각각 환경기준 I등급, 환경기준 II등급 및 환경기준 III, IV, V 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에

영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역을 의미하며, 특례지역(Special)은 환경부장관이 공단폐수 종말처리 구역으로 지정하는 지역 및 개발에 관한 법률 제8조의 규정에 의하여 지정하는 농공단지들을 의미한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 범위

울산지역 1~5종 사업장 중 생태독성값이 나타난 6개 업종 18개소 배출수를 선택하여 수질분석 및 생태독성 평가를 수행하였으며, Table 2에 생태독성 평가대상 업종과 업체 수를 나타내었다.

Table 2. Industry type and number of discharge facilities

Industry type	Number of facilities
Metal processing	5
Petroleum refining	3
Synthetic textile manufacturing	3
Plating industry	3
Alcohol beverage manufacturing	2
Inorganic compound manufacturing	2

1종 사업장 7개소, 3종 사업장 2개소, 4종 사업장 4개소, 5종 사업장 5개소가 운영되고 있었으며, 그 중 2개소는 “가”지역, 16개소는 “나”지역에 방류수를 배출한다. 또한 업종별로는 금속가공제품 제조시설(분류번호; 63) 5개소, 석유정제품 제조시설(분류번호; 26) 3개소, 화학섬유 제조시설(분류번호; 49) 3개소, 도금 제조시설(분류번호; 80) 3개소, 알콜음료 제조시설(분류번호; 14) 2개소, 기초무기화합물 제조시설(분류번호; 31) 2개소가 분포되어 있다. 일일 폐수 발생량은 11~26,933 m³/d로 다양했으며, 대부분 물리·화학·생물학적 처리 후, 폐수를 배출하고 있다.

2.2. 물벼룩(Water flea)

물벼룩이 생태독성평가에 중요한 시험생물로 선택되어 온 이유는 전 세계적으로 넓게 분포하고 있으며, 담수 먹이연쇄의 중요한 위치를 점하여 동물성 플랑크톤 집단을 대표하고, 단위생식으로 유전적 동질성 확보가 가능하며, 크기가 작아 다루기 편하고, 실내사육도 용이하며, 다른 무척추동물에 비해 약제에 대한 감수성이 높기 때문이다(Jung, 2001). 물벼룩이 다른 생물에 비하여 상대적으로 민감성이 큰 이유는 아가미에서 비교적 많은 양의 물과 접촉하여 물이 창자를 통과하는데 있으며, 물벼룩은 2분 동안에 체내 수분의 80%를 교환할 수 있다. 이러한 이유로 독성물질에 대한 민감성이 매우 높으며, 배양과 민감성에서 다른 생물에 비하여 장점을 가지고 있어 국제기구의 시험법에서는 시험생물로 *Daphnia magna*를 사용하도록 권장하고 있다. 담수 수서 무척추동물인 물벼룩은 배양이 매우 간편하고, 시험에 요구되는 시간이 짧으며, 자연수계에 존재하는 대부분의 유해 화학물질에 대한 민감도가 매우 우수하기 때문에 전 세계적으로 독성시험에 사용되어 왔다.

2.3. 물벼룩 배양 및 급성독성시험

시험생물 준비 및 생태독성 분석방법은 수질오염공정시험기준 제49항 물벼룩을 이용한 급성독성 시험법에 따라 시행하였다. 대상 시험종인 물벼룩의 배양조건은 온도 20±1 °C, 광조건은 1,000 Lux 이하, 광주기는 light : dark = 16 : 8 h, 용존산소는 3 mg/L 이상으로 하였다. 먹이는 주먹이인 *Chlorella sp*와 보조먹이인 YCT를 3 : 1로 1일 1회, 배양액 1 L 기준으로 2.5 mL 공급하였다.

시험수는 원수(100%), 50, 25, 12.5, 6.25%로 준비하여 4번의 반복실험을 하였으며, 실험용액 50 mL에 물벼룩 5마리씩 투입하였다. 이때 희석수는 물벼룩 배양용액을 사용하였으며, 배양액은 pH 7.6~8.1, 경도 160~180 mg/L, 알칼리도 100~120 mg/L로 유지되었다.

실험에는 3회 이상 어린 개체를 생산한 어미로부터 얻은 개체 가운데 생후 24시간 이내의 신생아를 선별하여 사용하였으며, 시험 중에는 먹이 공급을 하지 않았다. 24시간 후의 유영저해 및 사망여부를 관찰하여 그 결과 반수영향농도(EC₅₀)를 구한다. 유영저해란 시험용기를 조용히 움직여 준 후, 약 15초 후에 관찰하여 일부기관(촉각, 후복부 등)은 움직이나 유영하지 않는 것을 말하며, 반수영향농도는 일정 시험기간 동안 시험생물의 50%가 유영저해를 일으키는 시료농도(시험수 중 시료의 함유율 %)이다.

2.4. 생태독성값 계산

(Korea Environment Corporation, 2011)

생태독성값(TU, toxic unit) 계산은 단위시험기간 동안 물벼룩의 50%가 유영저해를 일으키는 농도(시험수 중 시료 함유율 %)인 EC₅₀을 100/EC₅₀으로 환산한 값이다.

1. 100% 시료에서 물벼룩의 0~10%에 영향이 있을 경우에는 TU를 0으로 한다.
2. 100% 시료에서 물벼룩의 10~49%에 영향이 있을 경우에는 0.02 × 영향받은 퍼센트로 TU를 계산한다.
3. 50% 이상 영향이 있을 경우에는 통계프로그램을 이용하여 EC₅₀을 구한 후, 생태독성값을 계산한다(US EPA, 2006).

2.5. 표준독성시험

시험 물벼룩의 민감도와 실험절차의 전반적인 신뢰성을 점검하기 위하여 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇)을 표준 독성물질로 사용하여 표준 독성시험을 수행하였다. K₂Cr₂O₇의 24 h EC₅₀ 값이 0.9 ~ 2.1 mg/L의 범위 내에 있으면 시험이 정당하게 이루어졌음을 인정할 수 있는데, 본 연구에서 K₂Cr₂O₇을 이용한 10회의 표준 독성 시험 결과, 24 h EC₅₀ 값이 0.98 ~ 1.35 mg/L의 범위 내에 있었으며, 평균값이 1.12 mg/L이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 업종별 생태독성평가

현재 국내의 폐수 배출시설은 유사업종별로 묶어 82개의 배출시설로 분류하여 각 배출시설별로 일일폐수발생량을 기준으로 1~5종 사업장으로 구분하여 관리하고, 배출허용기준 적용은 청정지역, 가지역, 나지역, 특례지역의 4가지로 구분하여 적용하고 있다.

본 연구에서 선정한 18개 배출시설의 방류수 중에서 독성반응이 나타난 배출시설은 9개 업체로 전체의 50%를 차지하였다. 반면, 수질환경보전법의 오염물질 배출허용기준을 위반한 업체는 3개 배출시설로 17%를 차지했다. 이러한 결과는 현재의 수질환경보전법의 오염물질 배출허용기준만으로 산업폐수 방류수를 효과적으로 관리할 수 없다는 것을 보여주는 결과이다. 따라서 배출시설의 방류수를 제어하기 위해서는 폐수배출공정, 오염물질의 종류, 처리능력 등의 폐수 특성을 고려하여야 할 것으로 판단되며, 폐수가 배출되었을 때 수계에 나타나는 유해성을 알아보기 위해 업종별로 물벼룩 독성값을 구하여 원인물질을 조사하였다.

3.2. 금속가공제품 제조시설(MP)

금속가공제품 제조시설의 수질결과는 Table 3에 나

타내었으며, 중금속 중 Mn, Cu, Cr, Pb, Cd, As는 검출되지 않았다. 생산규모가 3~5종으로 모두 '나' 지역에 배출하며, 도장 및 기타 피막처리업이나 조립금속제품 제조시설 등으로 폐수방류량은 15~421 m³/d 이었다.

독성값이 초과되었던 MP 3 시료의 경우, 높은 COD 농도값(107.3 mg/L)이 생태독성 시험종의 독성값에 직·간접적으로 영향을 준 것으로 보이지만, 생태독성의 원인 물질을 찾기 위해서는 다른 항목의 분석도 필요한 것으로 보인다. 반면, MP 5 시료의 경우 T-N 133.557 mg/L, T-P 79.841 mg/L로 검출되어 수질오염물질의 배출허용기준치를 초과하였으나, Zn 1.889 mg/L 등 중금속 농도가 기준치 이내였고, 생태독성값도 낮게 나타났다. 금속가공제품 제조시설의 경우, 디부틸틴, 옥틸페놀 등 유기화합물이 독성원인 물질인 사례를 볼 때 유기화합물 분석 및 지속적인 독성값 모니터링이 필요한 것으로 생각된다(Korea Ministry of Environment, 2011).

3.3. 석유정제품 제조시설(PR)

석유정제품 제조시설의 수질결과는 Table 4에 나타내었으며, 중금속 중 Cr, Pb, Cd, As는 검출되지 않았다. 생산규모는 모두 1종으로 모두 '나' 지역에 배출하며 폐수방류량은 9,350~26,933 m³/d 이었다.

Table 3. Physicochemical analyses and toxic unit for the effluent of metal processing

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Zn (mg/L)	TU
MP 1	7.0	4.4	3,090	1.5	4.7	0.5	2.329	0.027	ND	0
MP 2	7.2	6.4	358	3.4	11.2	4.2	12.412	0.546	ND	0
MP 3	6.8	3.0	1,543	31.5	107.3	33.6	15.279	2.027	ND	3.4
MP 4	7.5	2.8	1,900	30.5	61.5	35.7	5.563	3.589	ND	1.5
MP 5	7.1	7.4	2,261	5.0	17.4	17.8	133.557	79.841	1.889	1.6
Mean	7.1	4.8	1,830	14.4	40.4	18.4	33.828	17.206	0.378	1.3

Table 4. Physicochemical analyses and toxic unit for the effluent of petroleum refining

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	TU
PR 1	6.8	3.0	5,490	2.8	5.2	3.9	7.698	0.067	0.033	0.220	0
PR 2	7.4	4.0	5,940	1.0	8.2	1.3	3.437	0.052	0.016	0.476	0.7
PR 3	7.0	4.3	1,067	1.4	13.9	0.1	11.488	0.078	0.291	0.128	0
Mean	7.1	3.8	4,166	1.7	9.1	1.8	7.541	0.066	0.113	0.275	0.2

Table 5. Physiochemical analyses and toxic unit for the effluent of synthetic textile manufacture

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	TU
SM 1	6.0	3.8	390	2.2	9.7	2.2	6.581	0.592	ND	0.017	0
SM 2	7.4	4.3	120	4.5	18.9	8.0	12.509	0.082	0.109	ND	1.8
SM 3	7.9	3.8	2,410	1.6	8.5	1.0	3.397	0.341	ND	ND	0
Mean	7.1	4.0	971	2.8	12.4	3.7	7.496	0.338	0.036	0.006	0.6

Table 6. Physiochemical analyses and toxic unit for the effluent of plating industry

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	TU
PI 1	6.6	2.8	3,100	3.2	9.2	0.1	8.321	0.744	0.042	0.088	2.2
PI 2	7.2	3.0	4,610	7.0	23.6	2.4	20.781	3.064	70.620	0.180	6.9
PI 3	7.2	6.0	18,400	4.8	11.9	0.3	16.403	0.007	ND	ND	0
Mean	7.0	3.9	8,703	5.0	14.9	0.9	15.168	1.272	23.554	0.089	3.0

PR 2 시료를 제외하고 나머지 2개의 시료에서는 독성이 나타나지 않았는데, PR 2 업체의 경우, BOD, COD 등은 비교적 낮았으나 Mn 0.476 mg/L 등 중금속 농도가 상대적으로 높았다.

3.4. 화학섬유 제조시설(SM)

화학섬유 제조시설의 수질결과는 Table 5에 나타내었으며, 중금속 중 Cu, Cr, Pb, Cd, As는 검출되지 않았다. 생산규모는 모두 1종으로 모두 '나' 지역에 배출하며 폐수방류량은 791 ~ 4,150 m³/d 이었다.

물벼룩 독성시험 결과, SM 2 배출수 시료를 제외하고 나머지 2개의 시료에서는 독성이 나타나지 않았다. 화학섬유 제조시설의 경우 아크릴로니트릴, 에틸렌글리콜 등 유기화합물이 독성원인 물질인 사례를 볼 때 유기화합물질 분석 및 지속적인 독성값 모니터링이 필요할 것이다(Korea Ministry of Environment, 2011).

3.5. 도금시설(PI)

도금시설의 수질결과는 Table 6에 나타내었으며, 중금속 중 Mn, Cu, Cr, Pb, Cd, As는 검출되지 않았다. 생산규모는 4~5종으로 소규모 시설이고, '가, 나' 지역에 배출하며, 폐수방류량은 30 ~ 80 m³/d 이었다.

도금공장 폐수의 물벼룩 독성시험 결과, PI 2 배출수 시료를 제외하고 기준값 TU 4 이내로 나타났다. 도금시설의 경우, 여러 가지 유독성 물질 중에서도 중요한 것은 크롬,

아연, 구리, 니켈, 주석, 시안화물 등이며, 산·알칼리성 세정제, 유분 등이 함유되어 있어 이들 물질의 관리에 주의가 요구된다고 알려져 있다(Kim 등, 2010).

PI 2 시료의 경우, 다른 시료에 비해 Zn이 배출수 중 가장 높은 농도(70.620 mg/L)로 검출되었을 때 독성값이 6.9로 초과되었으며, 기술지원을 통한 공정방법 개선 이후 재분석 시, Zn 0.419 mg/L일 때, TU 2.2로 기준치 이내 값을 나타내었다.

3.6. 알콜음료 제조시설(AM)

알콜음료 제조시설의 수질결과는 Table 7에 나타내었으며, 중금속 중 Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Cd, As는 검출되지 않았다. 생산규모는 모두 5종으로 소규모 시설이고, '가, 나' 지역에 배출하며, 폐수방류량은 11 ~ 12 m³/d 이었다.

AM 1 시료의 경우, BOD가 135.9 mg/L로 수질오염 배출허용기준을 초과하였으나 생태독성값은 1.8로 기준값 TU 2이내였다. 알콜음료 제조시설의 경우, 고농도 유기성 폐수가 생태독성의 주요 원인물질인 사례가 많아 생물반응조의 적정 운영이 필요한 것으로 보인다(Korea Ministry of Environment, 2011).

3.7. 기초무기화합물 제조시설(IM)

기초무기화합물 제조시설의 수질결과는 Table 8에 나타내었으며, 중금속 중 Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Cd, As

Table 7. Physicochemical analyses and toxic unit for the effluent of Alcohol beverage manufacturing

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	TU
AM 1	6.5	1.0	525	135.9	48.9	18.3	23.745	0.305	1.8
AM 2	7.5	1.3	857	43.2	91.8	19.2	9.971	0.802	0
Mean	7.0	1.2	691	89.6	70.4	18.8	16.858	0.554	0.9

Table 8. Physicochemical analyses and toxic unit for the effluent of Inorganic compound manufacturing

	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	TU
IM1	7.9	3.7	4,460	1.5	8.2	4.7	12.493	1.060	2.5
IM2	8.0	2.0	5,580	3.5	10.1	3.4	90.377	0.697	0
Mean	8.0	2.9	5,020	2.5	9.2	4.1	51.435	0.879	1.3

는 검출되지 않았다. 생산규모는 1종 및 5종으로 '나' 지역에 배출하며, 폐수방류량은 30 ~ 3,500 m³/d 이었다.

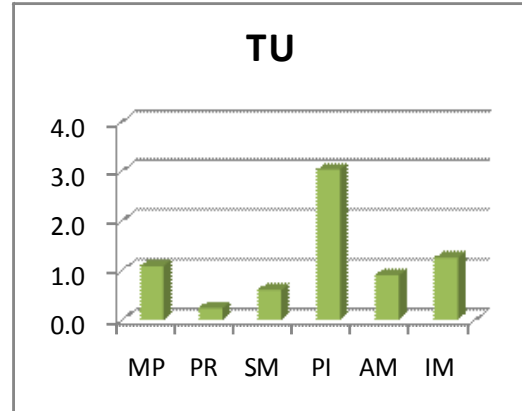
IM 2 시료의 경우, T-N이 90.377 mg/L로 수질오염 배출허용기준을 초과하였으나 생태독성값은 나타나지 않았다. 기초무기화합물 제조시설의 경우, 가성소다 등 염이 독성원인 물질인 사례를 볼 때 염에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다(Korea Ministry of Environment, 2011).

3.8. 업종별 물벼룩 독성값과 오염물질 농도와의 상관관계 분석

D. magna 독성평가 결과(24 h 급성 독성시험)를 Fig. 1에 나타내었다. 업종별 평균 생태독성값을 측정된 결과, 도금시설 TU 3.0, 기초무기화합물 제조시설 TU 1.3, 금속가공제품 제조시설 TU 1.3, 알콜음료 제조시설 TU 0.9, 화학섬유 제조시설 TU 0.6, 석유정제품 제조시설 TU 0.2 순으로 나타났다.

물벼룩 생태독성값과 이화학적 항목의 상관분석을 실시한 결과를 Table 9에 나타내었는데 SPSS 프로그램을 사용하여 pearson 상관분석을 하였다. 중금속과 생태독

성값과의 상관관계 분석결과 Zn 만이 99% 신뢰수준으로 0.793의 양의 상관관계를 나타내었고, 나머지 항목들과는 상관관계를 나타내지 않았다. 이는 도금제조시설 중 아연이 초과되었을 경우, 생태독성값 또한 초과된 결과에 기인한 것으로 보인다.

**Fig. 1.** The average toxic unit for industrial effluent in *D. magna* test.**Table 9.** Statistical correlation analysis between TU and physicochemical items

		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Zn	Fe	Mn	Cu
TU	r	0.106	0.161	0.184	0.008	0.050	0.793*	0.314	-0.135	-0.182
	p	0.676	0.522	0.465	0.974	0.844	0.000	0.205	0.593	0.471

r : Pearson correlation coefficient, * Correlation coefficients are significant at 0.01 level.

p : significant probability(both).

물벼룩 생태독성값과 이화학적 항목의 상관분석에 대한 선행 연구결과에 의하면 생태독성값과 BOD, COD, 중금속 등의 농도와 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타나고 있는데(Lee, 2008), 이는 산업시설의 공정마다 다양한 폐수 발생 특성을 나타내며, 배출수의 농도수준이 낮거나 불검출 항목이 많아 상관관계 분석이 매우 낮은 것으로 사료된다.

4. 결 론

울산지역 1~5종 사업장 18개소를 대상으로 물벼룩 (*Daphnia magna*) 생태독성 평가를 실시하였으며, 생태독성이 초과된 사업장의 방류수를 대상으로 이화학적 분석을 하여 생태독성 원인을 파악하였다. 그 결과 18개소 배출수 중 금속가공제품 제조시설, 석유정제품 제조시설, 화학섬유 제조시설, 도금시설, 알콜음료 제조시설에서 물벼룩 독성이 나타났다.

배출허용기준에 제시된 일부 화학물질을 평가한 결과, 폐수 방류수 대부분이 배출허용기준을 만족하더라도 생태독성이 유발되는 것을 확인할 수 있었으며, 같은 업종이라도 물벼룩 독성값은 크게 달라질 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉 수질오염 배출허용기준만으로는 산업폐수 배출수에 포함되어 있는 수질유해물질을 관리하는데 한계가 있으며, 생물학적 모니터링 방법인 전 방류수 독성 평가를 통해 배출수에 존재하는 오염물질의 혼합독성을 평가할 수 있다.

물벼룩 독성값과 오염물질 항목간의 상관분석을 실시한 결과, Zn을 제외한 나머지 항목들에서는 상관관계가 나타나지 않았다. 이는 산업폐수 배출시설에 따라 다양한 폐수 특성을 나타내고, 대부분 자체 처리를 거친 후 방류하기 때문에 배출수의 농도 수준이 대부분 기준치 이내이며, 범위가 좁고 불검출되는 항목이 많아 상관분석이 용이하지 않았다.

참고문헌

- Anderson B. G., 1944, The toxicity thresholds of various substances found in industrial wastes as determined by the use of *D. magna*, Sewage Works Journal, 16(6), 1156-1165.
- Buikema, A. L., Lee D. R., Cairns J., 1976, A screening bioassay using *Daphnia pulex* for refinery wastes discharged into freshwater, J. of Testing and Evaluation, 4(2), 119-125.
- Grothe, D. R., Dickson, K. L., 1996, Whole effluent toxicity testing; an evaluation of methods and prediction of receiving system impacts, SETAC Press, Florida, USA 9-346.
- Jung J. W., 2001, Acute and chronic toxicity of heavy metals to *Daphnia magna*, J. Environ. Sci. Intl., 10(4), 293-298.
- Kim S. H., 2006, Bioassay of industrial effluent using the water flea (*Daphnia magna*) and bioluminescent bacteria (*Vibrio fischeri*), Ph. D. Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea.
- Kim S. Y., Yoon N. N., Ji H. S., Han S. M., Kwon D. M and Lee K. S., 2010, Characteristics of Ecotoxicity in industrial effluent using *Daphnia magna*, The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment 20(1), 131-142.
- Korea Environment Corporation, 2011, <https://www.biowet.or.kr/iwt/ko/test/EgovTestReference.do>.
- Korea Ministry of Environment, 2011, Ecotoxicological management manual, 13-136, Seoul, Korea.
- Lee S. J., 2008, Study on toxicity identification evaluation in industrial wastewater using *D. magna*, Master Dissertation, Seoul, Hankuk University of Foreign Studies, Korea.
- Ra J. S., 2004, Whole effluent toxicity (WET) test of discharging water and wastewater treatment plant using *Daphnia magna* and *Selenastrum capricornutum*, J. of Korean Society of Environmental Engineers, 26, 1326-1333.
- US Environmental Protection Agency, 2006, <http://www.epa.gov/eerd/stat2.htm>.
- Wong, P. T. S., 1995, Bioassessment of water quality, Environ. Toxicity & Water Quality, 10, 9-17.