Journal of Korean Society on Water Environment, Vol. 33, No. 4, pp. 481-486 (July, 2017)
pISSN 2289-0971 eISSN 2289-098X https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.4.481

간접방류사업장 관련 폐수의 생태독성수준 및 특성 평가

김종민† · 신기식 · 이수형 · 이정서 · 이택준

국립환경과학원 물환경공학연구과

Evaluation of Ecotoxicity and Characteristics on Indirect Effluents and Related Wastewater

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

Water Environmental Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research
(Received 25 May 2017, Revised 13 July 2017, Accepted 21 July 2017)

Abstract

This paper aims to evaluate the characteristics of direct and indirect effluents'toxicity level and difference between two test durations (24 h and 48 h) of test method. The proportion of the indirect effluent samples which exceeded the ecotoxicity permit limitations (TU 1 or TU 2) showed more than 2 times higher than that of direct effluent samples. However, effluent toxicity of Wastewater Treatment Plants (WTPs) indicated less than TU 1 regardless of influent toxicity. From this results, treatment process was thought to have a good efficiency. WTP Salinity was very similar between influent and effluent. This trend could be reconfirmed by the component ratio of ion concentration between them and Na^+, SO_4^{2-}, Cl^- ions which have a greater percentage than other ions. In addition, in case of high salinity, toxicity value also showed high level. To judge from above results, indirect effluents which were exempted from application of ecotoxicity standards, may need a new effluent limitations regardless of the treatment efficiency of WTP. According to circumstances, effective countermeasure may need to restrain the discharge of salinity-contained effluents which came from indirect-effluent factories. Test duration comparative study indicated that 48 h results were higher toxicity (exceeding rate of ecotoxicity criteria) than 24 h by the 5 to 5.4 percentage. 24 h test duration seemed to be useful in case of rapid detection, whereas 48 h test method could be applied for reinforcement of ecotoxicity regulatory system.

Key words : *D. magna*, indirect effluents, permit limitations, test duration

1. Introduction

우리나라에서 현재 운영되고 있는 폐수관리체계는 개별적인 오염물질에 대한 허용기준을 제시하고 방류수에 대한 생태독성시험을 통하여 하천 또는 호소, 연안 등으로 유입하는 배출수의 안정성을 판단하고 있다. 그러나 배출수를 공공폐수종말처리시설로 유입하여 연계 처리(간접 방류)하는 사업장 배출수의 경우 하천 등 수계로 직접 방류하는 배출수에 비해 완화된 배출허용기준이 적용되며, 생태독성 기준의 적용은 면제되고 있다. 게다가 공공 하·폐수 종말처리시설은 법적 방류수 수질기준 항목인 유기물질이나 영양염류 처리 위주로 설계되어 있으므로(Jo et al., 2012) 염분이라든가 유해물질은 처리가 어려워 해당 하·폐수처리시설의 정상적인 운영이 어려운 사례가 빈번한 것으로 알려져 있다((KECO, 2016; MOE and KECO, 2015)

간접방류와 관련하여 국내와 외국의 산업폐수 관리체계를 비교해보면 미국의 경우 간접방류사업장을 일반 간접방류 사업장(IU: Industrial Users), 중요한 간접방류사업장(SIU: Significant Industrial Users), 산업체 범주 간접방류사업장(CIU: Categorical Industrial Users)로 세분화 하여 관리하고 있으며 배출허용기준을 농도기준으로 적용하는 국내와는 달리 산업체 범주 간접방류사업장은 업종별 전처리기준을 농도 또는 질량 기준으로 적용하고 있다(U. S. EPA, 2004). 독일의 경우 간접방류사업장은 해당 폐수 처리수가 유입되는 하수처리장과 상의하여 방류허가를 받아야 하며 방류허가를 받기 위해서는 방류전에 사업장에서 폐수에 있는 오염물질의 제거율을 명시토록 규정되어있다(BMUB, 2004). 그러나 우리나라는 생태독성제도를 최초 도입시 간접방류사업장은 생태독성 기준을 적용받지 않도록 규정되어 있어, 일부 높은 생태독성을 갖는 간접방류사업장의 배출수가 방류되는 경우 폐수종말처리장에서 적절한 처리를 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

본 연구는 개별사업장 배출수 및 폐수처리장 방류수의 생태독성 수준 조사결과를 통하여 직접 및 간접방류시스

† 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.

템별 특성, 시험방법에 따른 차이 등을 검토, 평가함으로써 생태독성제도 개선에 필요한 근거를 제안하고자 수행되었다.

2. Materials and Methods

배출수를 폐수종말처리시설로 방류하는 간접방류사업장 및 폐수종말처리시설의 선정은 2014년 및 2015년 지도단속 결과자료를 참고하여 가급적 생태독성이 높은 수준을 나타낸 폐수종말처리시설과 이곳으로 폐수를 배출하는 사업장을 대상으로 하였다. 이에 따라 총 12개 폐수종말처리장 유입수 및 방류수(총 24건)와 이곳으로 폐수를 배출하는 71개 간접방류사업장 배출수를 포함 총 95건의 시료를 조사하였다. 이와는 별로로 2012년 및 2016년 기 수행된 생태독성 미적용 업종 사업장 배출수의 생태독성 실태조사 자료(NIER, 2012; Kim et al., 2017)와 생태독성기준을 적용받는 35개 업종에 해당하는 사업장 배출수 생태독성 조사결과(MOE, 2009)에서 48시간 노출시험결과가 있는 데이터를 대상으로 직접방류사업장과 간접방류사업장 배출수로 구분하여 데이터 분석에 인용하였다. 폐수종말처리시설의 경우 2014년 국립환경과학원에서 기존에 조사된 5개 처리장의 유입수 및 방류수 자료(Shin et al., 2014)를 추가하여 인용하였다(총 시료수 : 663건).

물벼룩 급성독성시험은 시료를 단계별로 5개 농도군으로 희석한 후 각 농도군별로 물벼룩을 넣고 24시간 후 죽었거나 유영저해를 나타내는 개체수를 확인하여 통계 프로그램을 이용, EC_{50} 값을 산출하였다. 동일 시료에 대하여 계속해서 노출시간만 48시간으로 연장하여 같은 방법으로 결과를 산출하였다. 급성 생태독성시험에 적용된 시험조건 및 방법은 Table 1과 같다(NIER, 2014). 폐수처리수 중의 염분농도, 전기전도도, pH, 용존산소 농도는 다항목 측정기(Yellow Springs Instrument model 556, OH, USA)를 이용하여 측정하였으며 경도는 경도계(HI 93735, HANNA Instruments), 잔류염소는 잔류염소측정기(HI 93734, HANNA Instruments)를 이용하여 측정하였다. 암모니아는 수질오염공정시험방법의 암모니아성 질소 분석법에 따라 수행하였다. 이온성 물질(Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}, Cl^{-})분석은 Ion Chromatography (Professional IC 850, Metrohm)를 이용하여 분석하였다.

급성독성시험 정도관리를 위해 수질오염공정시험기준(NIER, 2014)에 따라 표준독성시험을 10회 수행하였다. 그 결과 EC_{50} 값은 0.94 ~ 1.32 mg/L 범위를 보여 수질오염공정시험기준에서 정한 적정 범위(0.9 ~ 2.1 mg/L)를 만족하였다.

3. Results and Discussion

3.1 간접방류사업장과 직접방류사업장 배출허용기준 초과율 비교

Fig. 1은 총 663건의 시료에 대하여 24시간 및 48시간 노출시험으로 분석된 물벼룩 급성독성시험결과를 직접방류 및 간접방류 방식별, 생태독성기준 초과 비율별로 구분하여 도시한 것이다. 기준초과비율은 현재 생태독성기준치로 사용중인 TU 1 (폐·하수종말처리장 배출허용기준, 청정지역 방류시 배출허용기준)및 TU 2(가, 나, 특례지역 방류시 기준치), 그리고 참고치로 TU 4 및 TU 8을 기준으로 초과비율을 산정하였으며, 기준 이내($0 \leq$ TU <1)에 해당하는 시료수 비율을 별도로 표기하였다.

시료의 생태독성이 TU 1을 초과하는 비율은 직접방류사업장 배출수(21 % ~ 26.8 %)에 비해 간접방류사업장 배출수가 2배 이상 높은 수준(46.6 % ~ 49.1 %)을 나타냈다. TU 2, 4, 8 초과비율도 유사한 경향을 보였으며, 이 같은 결과는 간접방류사업장의 경우 제도적으로 배출수의 생태독성 관리를 직접적으로 받지 않는 시스템에 기인한 것으로 사료된다.

물벼룩을 이용한 급성독성 시험조건에서 노출시간에 따른 독성수준은 시험법별로 차이를 보인다(Table 2). 우리나라 수질오염공정시험기준(NIER 2014))에서는 24시간으로 정하고 있으나 KS | ISO 시험법(KATS, 2014)에서는 24시간 또는 48시간으로 정하고 있다. 또한, US EPA 시험법(U. S. EPA, 2002)에서도 시험목적이나 규제기관의 요구사항에 따라 24시간, 48시간 및 96시간까지 선택 할 수 있도록 하고 있다. 반면에 영국(Environment Agency, 2007) 및 캐나다(Environment Canada, 2000)는 해당 시험법에 48시간으로 정하고 있으며, OECD 관련 시험법에서는 48시간을 주 방법으로 하되 24시간은 선택사항으로 가능하도록 명시하고 있다(OECD, 2004). 따라서 시험법 상 노출시간을 24

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

Test organism	*Daphnia magna*	Remarks
Exposure period	24 hour	48 hour tests were added
Test temperature	20 ± 2 (℃)	
No. of test organism per each concentration	20	
No. of repeatability per each concentration	4	
Age of test organism	less than 24 hour	
End point	EC_{50}	
Photo period	16 h : 8 h (light : dark)	
Dilution ratio of sample	100 %, 50 %, 25 %, 12.5 %, 6.25 %, control	

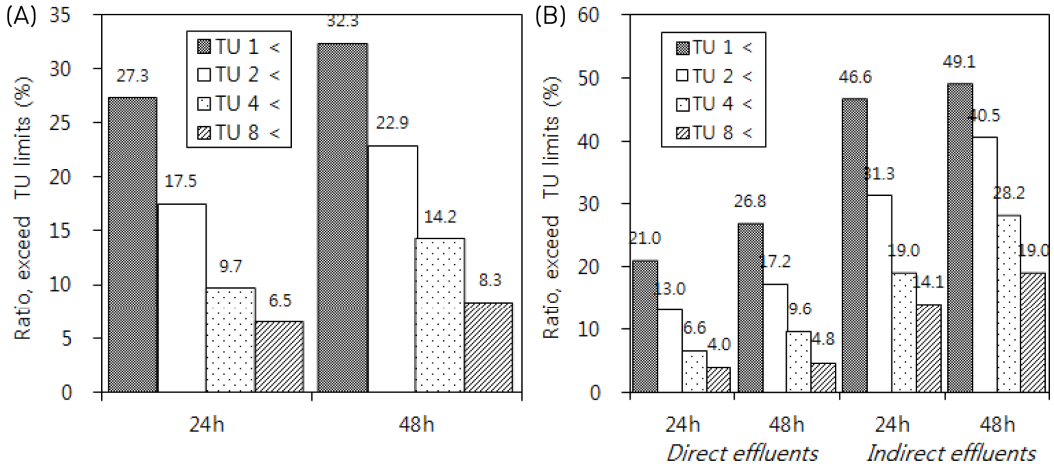

Fig. 1. Comparison of number of sample proportion between direct effluent and indirect discharged effluent which exceeded the effluent limitations (TU 1 ~ TU 4). (A) By test durations (24 h, 48 h), (B) By effluent discharging method.

Table 2. Test duration at each acute toxicity test method with *D. magna*

	Country/Institution	Test duration	Remarks
Standard Method for Water Pollutants	South Korea	24 h	
ISO 6341	ISO	24 h, 48 h	Available options, depending on the requirement of users or national authorities
US EPA	U.S.A.	24 h, 48 h, 96 h	Available options, depending on the objectives of the test and requirements of the regulatory authority.
Environment Agency	United Kingdom	48 h	
Environment Canada	Canada	48 h	
OECD	OECD	48 h (24 h, optional)	Results are analysed in order to calculate the EC_{50} at 48 h. Determination of the EC_{50} at 24 h is optional.

시간으로 하는 것과 48시간으로 하는 것 중 어떤 것이 더 타당한지 여부에 대해 논쟁하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 생각되며 우리나라 실정이나 법 체계에 맞게 선택 적용하는 것이 타당할 것으로 보인다.

이번 조사결과에서 TU 1 초과시료는 전체 663건 시료중 24시간 노출 그룹이 181건(초과율 27.3 %), 48시간 노출 그룹이 214건(초과율 32.3 %)이었으며, TU 2 초과시료는 24시간 노출 그룹이 116건(초과율 17.5 %), 48시간 노출 그룹이 152건(초과율 22.9 %)로서 48시간 노출시험방법을 도입할 경우 24시간의 경우보다 약 5 %~5.4 % 정도 생태독성 배출허용기준 초과율이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 1B). 이 결과는 48시간 시험결과가 24시간 시험결과보다 배출허용기준을 초과한 시료가 대략 5 % 정도 많았다는 의미이므로 시험기간이 약 2배 소요되는 상대적으로 긴 시험기간을 고려할 때 목적에 따라 신속한 결과도출이 요구되는 경우라면 현재와 같은 24시간 노출시험방법을 적용하는 것이 오히려 더 적절할 수도 있을 것이고, 생태독성제도를 강화하기 위한 목적이라면 48시간 시험방법을 도입함으로써 5 % 정도의 기준 강화 효과를 기대할 수 있을 것이다.

3.2 간접방류사업장 배출수 및 연계된 폐수종말처리장 방류수의 생태독성 수준

2016년도 실제 조사된 12개 폐수종말처리장으로 폐수를 간접 방류하는 사업장 총 수는 334개소(NIER, 2016)이었으며 이들 중 21.3 %에 해당되는 71개 간접방류사업장 배출수의 물벼룩 급성독성수준(24 h)과 이들 폐수가 유입되는 각 폐수종말처리시설 유입수 및 방류수의 물벼룩 급성독성수준은 Table 3과 같다.

간접방류사업장별 배출수의 생태독성 수준은 TU 0~56.3까지 각 사업장별로 큰 차이를 나타냈다. 각 폐수종말처리시설별 유입수 생태독성값은 각 처리장별로 TU 0~13.1 정도의 차이를 보였으나 방류수에서는 12개 처리시설 중 1곳을 제외하고는 모두 생태독성 기준(TU 1) 이하로 나타났다(TU 0~0.5). 이 결과로 볼 때 조사된 폐수종말처리시설 방류수의 생태독성 수준은 유입수의 상태에 상관없이 비교적 적절하게 저감되고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 2는 조사된 12개 폐수종말처리장 유입수와 방류수를 대상으로 물벼룩 급성독성값과 염분농도를 비교하여 도시한 것이다. 방류수의 생태독성수준은 폐수처리과정에서 비교적 효율적으로 저감되는 것으로 나타났으나 염분농도는 유입수 및 방류수간에 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서

Table 3. Summary of acute toxicity test results on indirect effluents and wastewater treatment plants (WTP)

WTP	Indirect effluents				WTP	
	Total samples	Tested samples	Ratio (%)	Toxicity range (TU)	Toxicity (TU)	
					Influent	Effluent
A	11	1	9.1	0.4	0.4	0.5
B	5	5	100	1.3 ~ 18.0	13.1	0
C	22	6	27.3	0 ~ 37.0	1.7	0
D	17	8	47.1	0 ~ 1.9	0.3	0.3
E	28	13	46.4	0 ~ 26.4	2.9	0
F	55	6	10.9	1.4 ~ 22.6	3.4	1.4
G	53	9	17	0 ~ 3.9	0	0
H	60	7	11.7	0 ~ 11.3	1.4	0
I	3	2	66.7	0 ~ 1.6	1.8	0
J	12	3	25	0 ~ 6.3	1	0
K	12	2	16.7	1.5 ~ 9.9	0	0
L	56	9	16.1	0 ~ 56.3	1.7	0.4
Total	334	71	21.3			

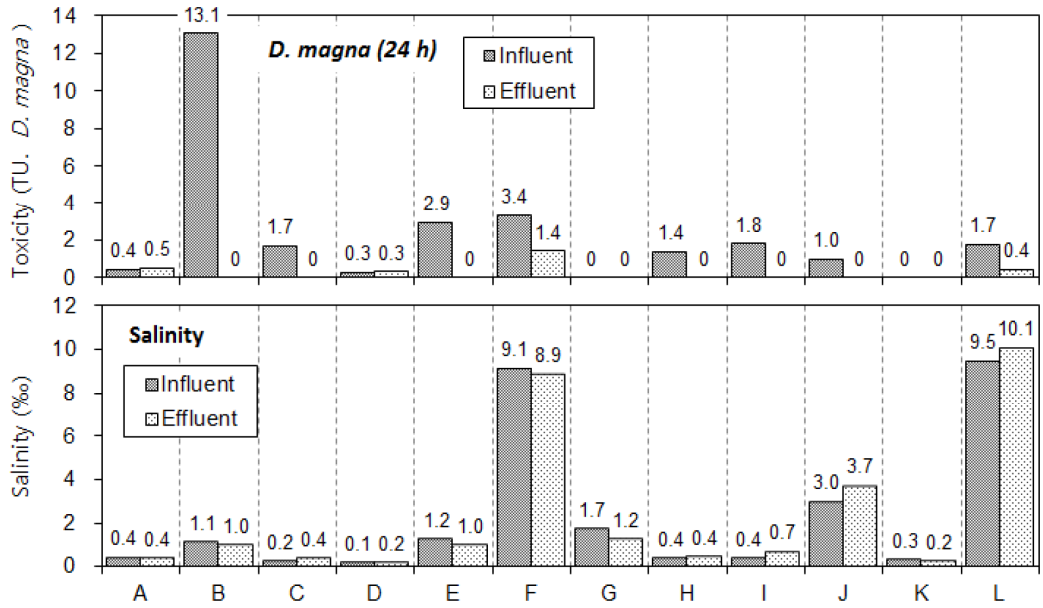

Fig. 2. Comparison of the results of acute toxicity between influent and effluent at each wastewater treatment plant (WTP).

폐수종말처리장의 처리과정에서 염분제거효율은 상대적으로 낮은 것으로 평가되었다. 이 같은 결과는 폐수종말처리장 유입수 및 유출수에 대한 염도 및 주요 이온성분(Na^+, Cl^-) 농도 제거율 분석결과에서도 확인할 수 있었다(Fig. 3).

Fig. 4는 각 폐수종말처리장 유입수 및 방류수와 이곳으로 유입되는 간접방류사업장 배출수의 염분 농도를 비교하여 도시한 것이다. 염분농도가 상대적으로 높았던 F 및 L 폐수종말처리장의 경우 이곳으로 폐수를 배출하는 간접방류사업장 배출수의 염분농도도 뚜렷하게 높은 수준을 보였으며, 생태독성 값도 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 간접방류사업장 배출수에 대해서는 폐수종말처리장의 처리효율에 상관없이 생태독성 배출허용기준을 적용받는 것이 가장 바람직한 것으로 판단되나 우선적인 기준마련이 어렵다면 폐수종말처리시설에서 처리효율이 낮게 나타난 염분농도만이라도 간접방류사업장에서의 배출이 억제될 수 있도록 제도적인 조치가 필요할 것으로 생각된다.

4. Conclusion

조사된 시료 중 생태독성기준(TU 1 또는 TU 2)을 초과하는 시료수 비율은 직접방류사업장 배출수에 비해 간접방

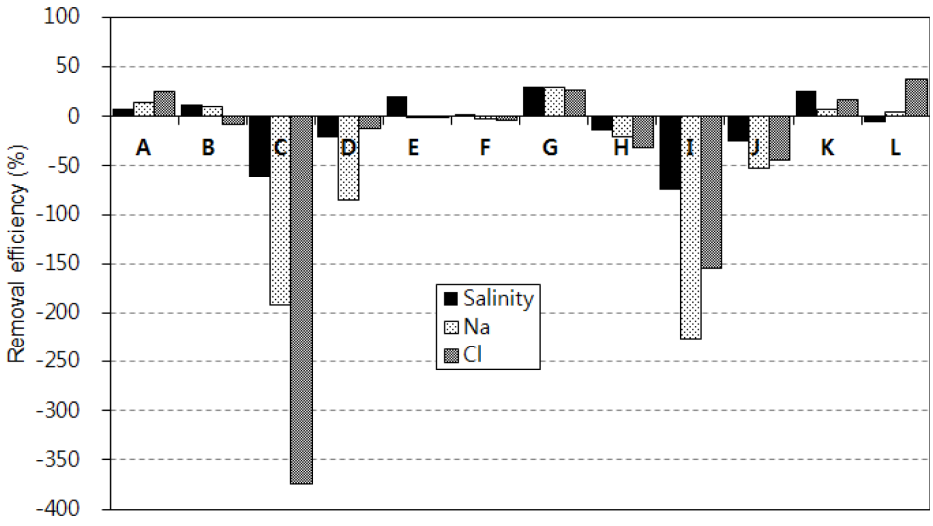

Fig. 3. Removal efficiency of salinity and major ion (Na^+, Cl^-) concentration between influent and effluent which discharged from wastewater treat plants (WTP)\

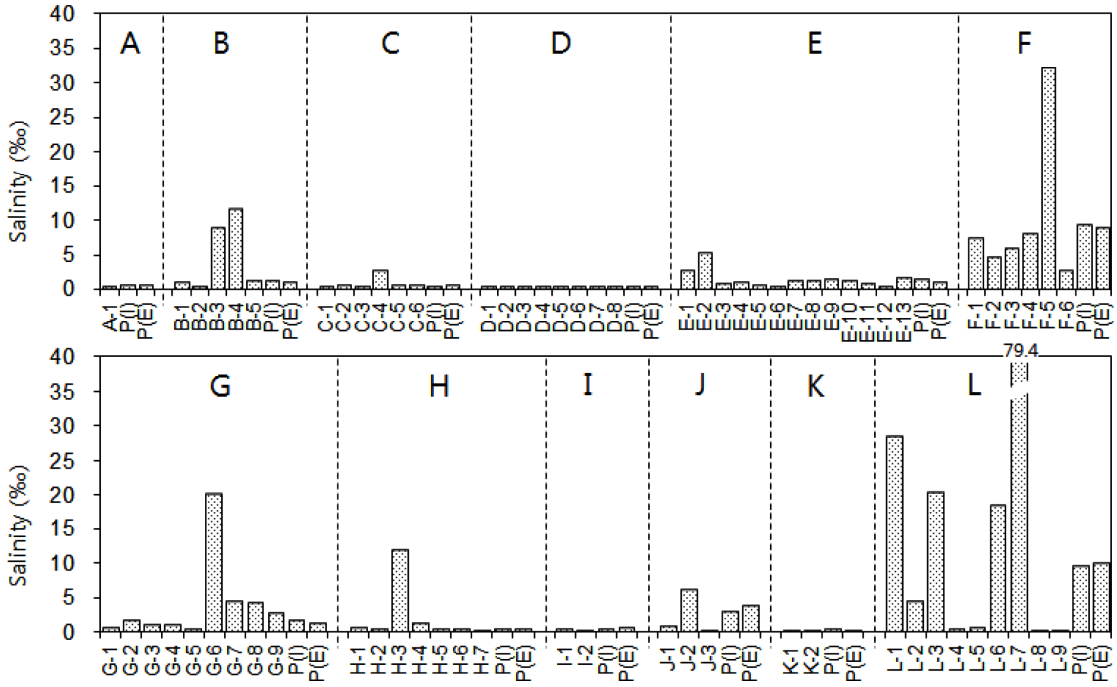

Fig. 4. Salinity of each indirect effluent (A, B, C ... L) and wastewater treatment plant (P). P(I) : influent, P(E) : effluent

류사업장 배출수가 2배 이상 높은 수준을 나타냈다. 그러나 간접방류사업장 배출수를 연계 처리하는 폐수종말처리시설 방류수의 경우 유입수의 독성수준에 관계없이 대부분 TU 1 이하를 나타내고 있어 폐수처리과정에서 비교적 효율적으로 독성이 저감되는 것으로 보였으나 염분농도는 유입수 및 방류수간에 큰 차이를 보이지 않았고, 염분농도가 높은 경우 생태독성 수준도 상대적으로 높은 경향을 보였다.

따라서 간접방류사업장 배출수에 대해서는 폐수종말처리장의 처리효율에 상관없이 생태독성 배출허용기준을 적용받는 것이 가장 바람직한 것으로 판단되나 우선적인 기준마련이 어렵다면 폐수종말처리시설에서 처리효율이 낮게 나타난 염분농도만이라도 간접방류사업장에서의 배출이 억제될 수 있도록 제도적인 조치가 필요할 것으로 생각된다.

동일 시료를 대상으로 24시간과 48시간 시험방법에 따른 생태독성 기준초과율을 비교한 결과 48시간 시험결과가 24시간의 경우보다 약 5 %~5.4 % 정도 생태독성 배출허용기준 초과율이 증가하였다. 시험기간이 약 2배 소요되는 상대적으로 긴 시험기간을 고려할 때 신속한 결과도출이 요구되는 경우라면 현재와 같은 24시간 노출시험방법을 적용

하는 것이 오히려 더 적절할 수도 있을 것으로 사료되며, 생태독성제도를 강화하기 위한 목적이라면 48시간 시험방법을 도입함으로써 5% 정도의 기준 강화 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

References

Environment Agency. (2007). *The Direct Toxicity Assessment of Aqueous Environmental Samples using the Juvenile Daphnia magna Immobilisation Test,* Methods for the Examination of Waters and Associated Materials.

Environment Canada. (2000). *Biological Test Method: Reference Method for Determining Acute Lethality of Effluents to Daphnia Magna,* EPS 1/RM/14 Second Edtion, Method Development and Application Section, Environmental Technology Center.

Federal Ministry for the Environment (BMUB). (2004). *Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters,* Waste Water Ordiance. Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany,

Jo, E. S., Kim, B. R., and Kim, Y. M. (2012). *Improvement Study on Indirect Effluent Discharge System*, Korea Environment Institute.

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

Korea Environment Corporation (KECO). (2016). *Collected Data from Ecotoxicity management Team,* Korea Environment Corporation. [Korean Literature]

Korean Agency for Technology and Standards (KATS). (2014). *Water Quality - Determination of the Inhibition of the mobility of Daphnia magna Struss (Cladocera Crustacea) - Acute Toxicity Test,* KS_ISO 6341:2014, Korean Agency for Technology and Standard. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2009). *A Study on Ecotoxicity Source Tracking of Industrial Waste Water (III)*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Ministry of Environment and Korea Environment Corporation (MOE and KECO). (2015). *Semina for TMS of Water Quality & Ecotoxicity Study*, Ministry of Environment and Korea Environment Corporation. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2012). *Ecotoxicity Survey Results on Effluent of Industrial Categories Which Were Exempted from Applying of Effluent Limitations,* Institute of Environmental Research. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2014). *Standard Method for Water Pollutants ES 04704.1, -Acute Toxicity Testing with Daphnia magna-*, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2016). *List of Indirect Effluents Factories*, Collected Data from each Waste Water Treatment Plants, National Institute of Environmental Research.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2004). *Guideline for Testing of Chemicals, Daphnia sp. Acute Immobilisation Test,* Organization for Economic Cooperation and Development.

Shin, K. S., Kim, J. M., Yu, S. J., Huh, I. A., Kim, J. H., Lee, J. S., Kim, W. K., Lee, S. K., and Rhew, D. H. (2014). *Management of facilities discharging high concentration of 'Salinity' causing toxicity (WET) (1),* National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]

United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2002). *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. Fifth Edition,* Office of Water, Washington, D.C. EPA 821-R-02-012, United States Environmental Protection Agency.

United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA.). (2004). NPDES Compliance Inspection Manual. EPA 305-X-04-001, United States Environmental Protection Agency.