

## 산업폐수의 생물독성 발현에 관한 연구

김상훈<sup>†</sup> · 천세억 · 신기식 · 정동일

국립환경연구원 한강물환경연구소

## Evaluation on Environmental Bio-toxicity of Industrial Wastewater

S.-H. Kim<sup>†</sup> · S.-U. Cheon · K.-S. Shin · D.-I. Jung

Han-river Environment Research Laboratory

(Received 4 January 2005, Accepted 30 March 2005)

### Abstract

To investigate bioassay for toxic level evaluation of wastewater, toxic levels were checked influents and effluents of 6 wastewater discharge facilities with *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri*. In view of test duration, *D. magna* is preferred at 48 hours. And it was judged to efficient that one of the two was choosen for toxicity test method (*Daphnia* test and *Vibrio* test). Analysis data for wastewater is average toxic level for influent more higher than effluent. And effluent toxic level is sharp decrease than effluents.

**keywords** : Bioassay, *V. fischeri*, *D. magna*, Influent, Effluents, Test duration, Test method

### 1. 서론

우리나라는 1960년대부터 급진적인 공업화로 산업폐수 발생량이 증가하고 있으며, 현재 전 세계적으로 유통되고 있는 10만 여종의 화학물질 중 3만 8천여종의 화학물질이 국내에서 사용되고 있으며 매년 300여종의 화학물질이 신규로 등록·유통되고 있는 실정이다. 국내유통 화학물질 중 유독물로 지정된 물질은 535종이며 이중 수질환경기준으로 관리하는 물질은 약 10% 정도이다(환경부, 2003).

이러한 물질들은 단일물질로도 심각한 독성을 나타내지만 여러 가지 화학물질들이 혼재할 경우 각 화학물질들의 상승적(synergistic), 길항적(antagonistic), 그리고 상가적(additive)인 영향에 의해 단일물질이 가지는 독성과는 또 다른 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Pohl et al., 1997).

수많은 물질들이 혼재되어 있는 산업폐수는 전술한 바와 같은 작용에 의하여 독성을 나타 낼 가능성을 배제할 수 없기 때문에 공공수계로 배출되는 산업폐수에 대한 현행의 개별물질 규제를 보완할 수 있는 새로운 방법이 요구되고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 생물을 이용한 산업폐수에 대한 독성도의 평가는 침출수, 도시하수, 산업폐수 배출수 등에 대한 독성의 정도를 빠르고 손쉽게 평가할 수 있고 건강적, 생태적 안전성을 보장 할 수 있는 필수적인 방법이라 할 수 있다(Buikema, 1976).

금번 연구에서는 발광 박테리아와 큰물벼룩을 이용하여 폐수배출시설 분류체계상의 6개 폐수배출시설의 폐수 원수

와 방류수에 대한 독성을 평가하고, 향후의 산업폐수관리 정책 수립의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

대상 시설은 수질환경보전법에 분류되어 있는 제지 및 펄프 제조시설(23종-47시설), 살충제 및 기타농약 제조시설(38종-8시설), 도료·인쇄잉크 및 유사제품 제조시설(39종-16시설), 동 압연·압출 및 연신제품 제조시설(58종-6시설), 알루미늄 압연·압출 및 연신제품 제조시설(59종-14시설), 기타 비철금속 압연·압출 및 연신제품 제조시설(60종-3시설)이다.

큰물벼룩을 이용한 독성 시험법은 DIN 38412 L30(DIN, 1989)에 따라 24시간 및 48시간동안 static test를 실시하였고, 희석액은 M4-medium을 사용하였고 시료의 pH값은 조절하지 않았다. 발광박테리아를 이용한 독성 시험법은 DIN 38412 L341, DIN/EN/ISO 11348-2에 따라 15분 동안의 static test를 실시하였다. 사용한 기기는 DIN 38412 L3413(DIN, 1987)에 따른 것으로 인정받은 LUMIstox(Lumistox Co., Germany)를 이용하였다. 큰물벼룩의 배양과 실험 및 박테리아를 이용한 시험은 20°C, 습도 60%인 항온항습실에서 실시되었다.

실험의 결과는 시험기간 동안 시험 생물에 영향이 미치지 않는 시료의 희석배수를 독성 값으로 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. *D. magna* 노출시간 결정

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
haemybin@hanmail.net

기존의 *D. magna*의 시험방법 중 노출시간은 EPA의 경우 24시간, 48시간, 혹은 96시간을 적용할 것을 명시하고 있으며, 프랑스의 어업법의 경우는 24시간, Environment Canada, Standard Method와 OECD등의 시험법에서는 48시간을 적용할 것을 명시하고 있다. 이렇듯 각각의 시험법에서 적용하는 노출시간은 시험 목적 및 용도에 따라 결정된다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 *D. magna*의 노출시간 결정을 위해 각 배출시설의 24시간과 48시간 독성값(회색배수:Td-Toxicity for *Daphnia*)을 비교하였다.

조사결과 전체 조사업소(n=188)의 약 31%에 해당하는 58개의 시료에서 24시간보다 48시간 독성값이 더 높게 나타났다(Fig. 1). 이러한 결과는 배출시설에 따라 생물독성값이 실험시간과 밀접한 관련이 있음을 나타낸다고 판단된다. 따라서 산업폐수가 가지는 독성을 더욱 정확히 측정하고 산업폐수가 수중생태계에 방류되었을 때 수중생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위하여서는 48시간의 노출시간을 채택하는 것이 안전한 것으로 판단이 된다.

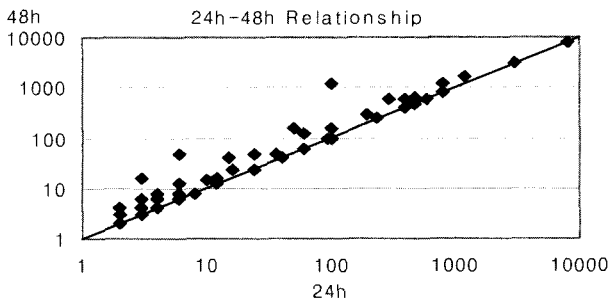


Fig. 1. Comparison of *D. magna*-24h data with 48h data for facilities samples.

### 3.2. 산업폐수의 종합독성 평가

제지 및 펄프 제조시설의 생물독성 결과를 보면 원수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 9(0~240), *V. fischeri*의 평균 독성값이 37(2~480)로 나타나 원수의 독성이 다른 배출시설군에 비해 낮은 것으로 나타났다. 일반적으로 활성슬러지법을 많이 이용하고 있으며, 처리공정은 스크린→응집침전 혹은 응집부상→생물처리조→여과의 공정을 거치며, 절소 및 인의 처리를 위해 3차 처리를 한다. 이러한 처리를 거친 방류수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 1.2(0~8), *V. fischeri*의 평균 독성값은 2.8(2~4)로 방류수에는 독성이 거의 없는 것으로 나타났다.

살충제 및 기타농약 제조시설의 생물독성 결과를 보면 원수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 1,193(0~8,000), *V. fischeri*의 평균 독성값이 883(3~6,000)으로 나타나 원수의 독성이 매우 높은 것으로 나타났다. 폐수는 pH조절→응집→침전→부상 및 폭기→생물학적 처리→침전→슬러지제거의 공정을 거쳐서 처리 하는 데 처리수의 오염물질이 많이 포함되어 있는 경우, 펜톤산화 및 사여과나 활성탄 여과공정 등을 통하여 3차 처리를 한다. 이러한 처리를 거친 방류수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 4(0~8), *V. fischeri*

의 평균 독성값은 2.2(2~3)로 폐수처리공정을 거친 후 독성이 거의 제거되는 것으로 나타났다.

도료·인쇄잉크 및 유사제품 제조시설의 경우 원폐수에 대한 *D. magna*의 평균 독성값은 300(3~1,200), *V. fischeri*의 평균 독성값은 499(3~3,840)로 나타났고 방류수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 6(2~12), *V. fischeri*의 평균 독성값은 22(2~60)로 폐수처리공정을 거친 후에도 다른 배출시설군에 비해 높은 독성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

동 압연·압출 및 연신제품 제조시설의 생물독성 결과를 보면 원수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 37(0~120), *V. fischeri*의 평균 독성값이 6(2~12)으로 나타나 원수의 독성이 낮은 것으로 나타났다. 방류수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값이 1.5(0~2), *V. fischeri*의 평균 독성값은 2.5(2~3)로 폐수처리공정을 거친 후에 생물독성이 거의 무해할 정도로 줄어든 것을 알 수 있다.

알루미늄 압연·압출 및 연신제품 제조시설의 원수의 독성값은 *D. magna*의 경우 평균 55(0~600), *V. fischeri*의 경우 평균 10(3~36)으로 낮았다. 방류수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값은 0.9(0~2), *V. fischeri*의 평균 독성값은 2.7(2~3)로 폐수처리공정을 거친 후 대부분의 독성이 제거된 것으로 나타났다.

기타 비철금속 압연·압출 및 연신제품 제조시설의 생물독성 결과를 보면 원수의 경우 *D. magna*의 평균 독성값은 1,933(1,200~3,000), *V. fischeri*의 평균 독성값은 190(2~240)으로 원수의 독성이 매우 높은 것으로 나타났다. 방류수의 경우 하천으로 직접 방류하는 업소는 1개로 대표적인 독성값으로 볼 수는 없지만 *D. magna*는 독성값이 96, *V. fischeri*의 독성값은 3으로 나타났다(Figure 2, 3).

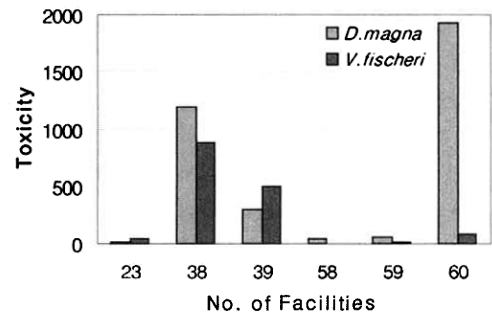


Fig. 2. Toxicity of raws of wastewater.

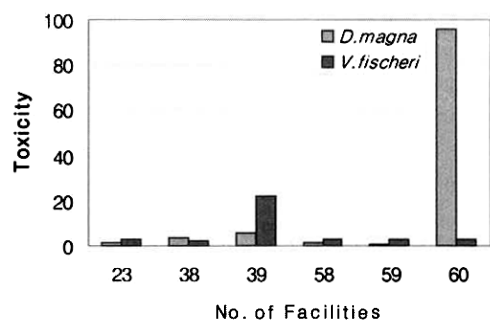


Fig. 3. Toxicity of effluents of wastewater.

### 3.3. 큰 물벼룩과 발광박테리아의 독성시험 방법간 차이 비교

*D. magna*와 *V. fischeri* 두 가지 생물은 독성평가를 위한 시험생물로 사용되고 있지만 두 생물 간의 생리적 차이에 의해 배출시설별로 민감도에 차이가 발생함을 알 수가 있었다(Table 1).

**Table 1.** Difference of sensitivity with facilities.

Facilities	Sensitive organism
Paper and pulp mills	<i>V. fischeri</i>
Pesticide chemicals	<i>D. magna</i>
Paint and printing ink	<i>V. fischeri</i>
Copper extruding and drawing	<i>D. magna</i>
Aluminium extruding and drawing	<i>D. magna</i>
The others nonferrous metals extruding and drawing	<i>D. magna</i>

두 시험생물의 시험방법간의 차이를 비교하기 위해 통계적 방법인 t-검정을 실시한 결과 유의수준 0.05(n=376)에서는 두 시험방법 간에 근소한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 유의 수준을 0.1로 하였을 때, 두 시험방법 간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서, 두 시험 간의 유의수준 정도에 따라 두 시험법을 동시에 채택하거나 두 시험법중 하나만을 채택하여야 하는 경우가 발생하는데, 여기서 두 시험법은 독성 정도에 대한 사전 스크리닝 기능으로서 권고되는 시험법으로 볼 때 유의수준을 높여(P<0.1) 둘 중 하나의 시험법만을 채택하도록 하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

### 3.4. 배출시설별 배출허용 독성값

급번 연구를 통하여 독성값을 구한 6개 폐수배출시설에 대하여 현행 폐수배출허용기준에 독성값을 추가함을 고려하여 허용될 수 있는 방류수의 독성값을 제시하였다(Table 2).

모든 폐수배출허용기준은 폐수 방류수 양에 비하여 방류수역에 적어도 10배 정도의 자연수가 흐르는 것을 감안하여 작성된 것으로서 여기서도 처리수의 평균 독성값을 배출허용 독성값(permissible toxicity)으로 제시하였다. 각 배출시설에서 배출허용 독성값(permissible toxicity)은 방류수 독성값의 평균으로 하며, 방류수역에서의 희석을 감안하여

**Table 2.** Permissible toxicity of effluents to receiving waters

Facilities	<i>D. magna</i>	<i>V. fischeri</i>
Paper and pulp mills	2	3
Pesticide chemicals	4	3
Paint and printing ink	6	10
Copper extruding and drawing	2	3
Aluminium extruding and drawing	1	3
The others nonferrous metals extruding and drawing	10	3

최대허용 독성값은 10을 넘지 않도록 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

제지 및 펄프 제조시설 등 6개 산업폐수 배출시설의 생산공정 및 폐수처리공정을 조사하고, 그 폐수의 특성을 분석함과 아울러 *D. magna*와 *V. fischeri*를 이용하여 독성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

*D. magna*의 시험 시 동일 시료에 대한 24시간 노출 보다 48시간 노출의 경우 독성값이 증가하는 경우가 발생되어 산업폐수가 수중생태계에 끼치는 독성을 최소화시키기 위해서는 *D. magna*의 노출시간을 48시간으로 채택하는 것이 안전한 것으로 판단된다.

제지 및 펄프 제조시설 등 6개 산업폐수 배출시설의 원폐수 및 방류수를 *D. magna*과 *V. fischeri*를 이용하여 각 폐수의 독성을 평가한 결과, 원폐수에서 살충제 및 기타농약 제조시설, 도료·인쇄잉크 및 유사제품 제조시설, 기타 비철금속 압연·압출 및 연신제품 제조시설의 독성이 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 폐수처리를 거친 방류수의 경우 도료·인쇄잉크 및 유사제품 제조시설, 기타 비철금속 압연·압출 및 연신제품 제조시설과 일부 시료를 제외하고는 독성이 현저히 감소된 것으로 나타나 방류수역에 방류수의 10배 이상의 유량이 있는 경우 수생생물에게 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

*D. magna*와 *V. fischeri* 두 생물 간의 독성의 차이를 비교 하기위해 유의수준 0.05(n=376)에서 두 시험방법간의 근소한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 유의수준 0.1에서는 차이가 없는 것으로 나타나 생물독성을 사전 스크리닝 기능으로서 볼 때 유의수준을 높여(P<0.1) 둘 중 하나의 시험법만을 채택하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

또한, 각 배출시설에서 배출허용 독성값(permissible toxicity)은 방류수 독성값의 평균으로 하며, 방류수역에서의 희석을 감안하여 최대허용 독성값은 10을 넘지 않도록 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

환경부, 환경백서 (2003).  
 Buikema, A. L. Jr., Lee, D. R., Cairns, John, Jr., A Screening Bioassay using *Daphnia pulex* for Refinery Wastes Discharged into Freshwater, *Journal of Testing and Evaluation*, **4**(2) pp. 119-125 (1976).  
 DIN, DIN 38412 Teil 32, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamuntersuchung (1987).  
 DIN, DIN 38412 Teil 30, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamuntersuchung (1989).  
 Pohl, H. R., Hansen H. and C. -H. S. J. Chou. Public Health Guidance Values for Chemical Mixtures : Current Practice and Future Directions, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **26**, pp. 322-329 (1997).