

## Ivermectin, praziquantel, tamiflu, triclosan의 환경위해성평가

류태권\* · 김정곤\* · 김경태\*\* · 이재우\*\* · 김지은\*\* · 조재구\*\* ·  
윤준현\* · 이재안\*\* · 김필제\*\* · 류지성\*†

\*화학물질안전원 사고예방심사과, \*\*국립환경과학원 위해성평가연구과

## Environmental Risk Assessment for Ivermectin, Praziquantel, Tamiflu and Triclosan

Taekwon Ryu\*, Jungkon Kim\*, Kyungtae Kim\*\*, Jaewoo Lee\*\*, Jieun Kim\*\*,  
Jaegu Cho\*\*, Junheon Yoon\*, Jaean Lee\*\*, Pilje Kim\*\*, and Jisung Ryu\*†

\*Accident Prevention and Assessment Division, National Institute of Chemical Safety

\*\*National Institute of Environmental Research

### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to assess environmental risk on the emerging contaminants of concern, such as ivermectin, praziquantel, tamiflu and triclosan. Furthermore, we tried to provide a more efficient management practice and a basis for future studies of risk assessment on those substances.

**Methods:** Predicted no effect concentration (PNEC) and predicted environmental concentration (PEC) were determined through modeling and literature reviews. Environmental risk assessment was evaluated by calculating HQ (hazard quotient) by a comparison of PEC (or measured environmental concentration (MEC)) and PNEC.

**Results:** HQ value of tamiflu calculated from MEC was 1.9E-03. For ivermectin and triclosan, the HQ values were not available because these were not detected in the aquatic environment. The toxicity of ivermectin and triclosan showed a very low value, indicating a high level of HQ. However, praziquantel can be categorized into the material that do not require management since they have less than HQ 1.

**Conclusion:** Based on the results of the initial risk assessment, it is assumed that the ivermectin and triclosan have potential to cause direct adverse effects on the aquatic environment. To conduct an accurate environmental risk assessment, the further study on PEC estimation of such contaminants should be actively carried out.

**Keywords:** Environmental risk assessment, contaminants of emerging concerns, pharmaceuticals, personal care products

### I. 서 론

현대인의 삶의 질이 향상되면서 의약품과 개인위생용품의 소비가 지속적으로 늘고 있다. 이에 따라 건강증진 및 위생적인 생활의 편익이 제공되지만 치약, 비누, 샴푸, 의약품 등에 포함된 화학물질이 하

천에 유입되어 생태계 교란을 일으키는 등 의도하지 않은 부정적인 영향이 나타나고 있다.<sup>1)</sup>

1990년 미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency, US EPA) 수질관리국은 환경적 문제를 야기할 수 있는 화학물질을 포괄적으로 지칭하는 신규관심오염물질(contaminants of emerging

†Corresponding author: National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34111, Republic of Korea, Tel: +82-42-605-7044, Fax: +82-42-605-7065, E-mail: jsgood4u@korea.kr

Received: 01 April 2018, Revised: 12 April 2018, Accepted: 20 April 2018

concerns, CECs)를 발표하였다.<sup>2)</sup> CECs에는 난연제인 PBDE (polybrominated diphenyl ether), POPs (persistent organic pollutants), 항생제를 포함하는 PPCPs (pharmaceuticals and personal care products), 나노물질 등이 포함된다. 이 물질들의 물리화학적 특성이나 유해성, 지속적인 환경오염 가능성, 사용량 등을 고려하면 환경보건 측면에서 중요하므로 체계적인 관리가 필요하다.<sup>3)</sup>

환경 중 CECs의 현황파악과 관리대책 마련을 위한 연구는 유럽과 미국을 중심으로 꾸준히 수행되어 왔고, 미국 식품의약품안전청(Food and Drug Administration, FDA)과 유럽연합 의약품질청(The European Agency for the Evaluation of Medicinal Products, EMA)에서는 인체용 의약품 및 동물용 의약품의 환경위해성평가를 위한 지침을 제시하고 있다. 미국에서는 1999년에서 2000년까지 의약품, 호르몬제제, 기타 유기물질 등 95개 물질의 수계 환경수준을 평가한 보고서를 미국 지질조사국에서 발표하였고 이때부터 본격적인 연구가 시작되었다.<sup>4)</sup> 이 연구에서 미국 전체 30개 주에 있는 139개의 하천 중 80%에서 다수의 화학물질이 검출되었다. 그리고 유럽연합 EMA에서는 Directive 2001/62/EU에 근거하여 인체용 의약품질 판매허가 단계에서 환경위해성 평가자료 제출을 의무화하고 있다. EMA 산하 “The Committee for Proprietary Medical Product for Human Use (CHMP)”에서 “Guidance on the environmental risk assessment of medical products for human use”에 환경위해성평가에 대한 구체적인 내용을 소개하고 있으며, Questions and answers on “Guidance on the environmental risk assessment of medical products for human use”을 통해 지침에 대한 이해를 돕고 있다. 그러나 현재 환경 중 의약품질 관리에 구체적으로 적용되는 국제적인 규약은 없다. 외국에서는 잔류의약품질 유래와 유입경로부터 광분해, 생물분해, 흡착 등과 같은 물환경에서의 거동, 수중에서 검출되는 잔류의약품질의 종류, 특성, 분석방법, 생태독성 자료 등 다양한 분야에서 연구가 진행되어 왔다.<sup>5-11)</sup> 뿐만 아니라 최근에는 여러 잔류의약품질들의 혼합노출 독성연구에도 관심이 확장되고 있다.<sup>12)</sup>

국내에서 환경중의 잔류의약품질로 인한 환경오염과 환경독성에 대한 많은 연구는 2000년대 후반부

터 본격적으로 시작되었다. Kim *et al.*(2007)은 우리나라에서 10종의 의약품에 대한 잠재적인 환경위해성평가에 대한 연구를 진행하였고, 잠재적인 유해성이 있는 물질에 대해 더 많은 연구가 필요하다고 제안했다. Choi *et al.*(2008)은 우리나라 한강의 4개 하수처리 시설에서 유입수 및 방류수의 잔류의약품질에 대한 계절적 환경 중 농도변화와 처리 효율에 대해서 연구하였다. Kim *et al.*(2009)은 만경강 지표수에서 의약품과 개인보호 제품들의 검출에 대한 연구를 진행하였고 세계의 여러 나라들에서 검출된 농도와 비교하는 연구를 진행하였다. 수의약품의 경우에는 치료용뿐만 아니라 소, 돼지, 닭, 수산양식과 같은 산업동물의 성장촉진 및 질병예방을 위한 목적으로 사용된 후 축산폐수, 가축분뇨 등을 통해 환경중으로 배출된다.<sup>16)</sup> 이런 수의약품은 인체용 의약품과는 달리 하수처리과정 없이 고농도로 환경중에 직접 배출될 가능성이 크므로 인체의약품보다 더 복잡한 경로를 통해 물환경을 오염시킨다.<sup>17)</sup> Kim *et al.*(2008)은 척추동물 의약품을 사용량에 따라 순위를 정하고 정해진 물질들에 대해서 위해도 등급을 결정하는 연구를 수행하였다. 하지만, 외국에서는 현재까지 지속적인 연구가 수행되는 반면, 국내에서는 잔류의약품질의 환경문제에 대한 연구 관심이 줄어들면서 현황을 파악하기 어려운 지경에 이르렀다.

CECs의 환경위해성평가를 위하여 PPCPs 물질을 중심으로 국내외 연구동향 및 환경 중 검출수준, 잠재적 유해성, 난분해성(log Kow 등), 사회적 이슈, 환경 중 잔류성 및 유해성 등을 고려하여 평가대상 물질을 선정하였다. PPCPs의 종류가 방대하여 전체 물질을 목록화하는 것은 현실적이지 않아 사회적으로 관심이 증가하고 있는 구충제, 항바이러스제 그리고 개인위생용품의 소독제 중에서 독성과 사용량이 우려스러운 ivermectin, praziquantel, tamiflu 그리고 triclosan 등 4종을 선정하였다. 자세한 선정기준은 다음과 같다. 우리나라에서 다량 사용되는 육상동물용 구충제는 fenbendazole, ivermectin, milbemycin oxime, triclabendazole 등이며,<sup>18)</sup> 이 중 ivermectin은 매우 낮은 농도에서도 독성을 나타내는 특징을 가지고 있어<sup>19)</sup> 유럽에서 관심물질로서 연구되고 있는 물질이기 때문에 이번 연구대상으로 선정하였다. 수산용 구충제는 bithionol, fumagillin, praziquantel, trichlorfon, formalin 등이 많이 쓰인다.<sup>20)</sup> 통계청 농

어업동향과에서 발표한 2017년 어류양식동향 조사 결과에 의하면 양식어종별 어가수는 조피볼락(우럭)이 26.1%로 가장 많았으므로 우럭양식에 많이 사용하는 구충제인 praziquantel의 사용량이 많을 것으로 판단되어 연구대상에 포함하였다. 또한 2009년 신종 플루 발병으로 인하여 사용량이 많아진 tamiflu 및 대사체는 일반 하수처리과정에서는 제거되지 않아 대부분이 수계로 배출되는 것으로 보고되고 있어<sup>21)</sup> 환경위해성평가가 필요한 물질이라고 판단되어 선정하였다. 마지막으로 개인위생용품의 항균성분인 triclosan은 신종플루 발생과 함께 사용이 늘어 환경 중으로의 배출이 증가되었고 환경 중에 미량으로 존재하지만, 미생물의 내성을 키우고 또한 처리 분해 과정을 통해 독성이 강한 페놀류나 다이옥신을 생성한다는 점에서 관심이 증가하고 있어 대상물질로 선정하였다.<sup>13,22,23)</sup>

의약품 관련 국제협약과 규제는 앞으로 더욱 강화될 것으로 전망되고 있으므로 환경 중 의약품 문제에 관심을 기울이는 것은 국제적인 동향에 비추어 시의적절한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 의약품을 포함한 지속적인 CECs의 환경위해성 연구의 필요성을 제기하고, 신뢰성 있는 유해성 자료 및 노출 자료를 수집하여 환경위해성평가에 적용함으로써 효율적 환경보건 관리방안 제고 및 향후 위해성평가 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 평가대상물질 환경위해성평가를 위한 자료 수집

EPI Suite™ (Estimation Programs Interface Suite, U.S. Environmental Protection Agency)는 물질의 환경 거동, 분배, 물성, 독성 등을 스크리닝 수준에서 예측하는 프로그램으로 측정값이 있을 때에는 측정값을 우선적으로 사용해야 한다. 그러나 선정된 평가대상물질은 연구가 많이 이루어지지 않은 물질로서 실측 물성정보를 얻기가 어려워 이 프로그램을 활용하여 예측하였다.

### 2. 평가대상물질 환경위해성평가

대상물질의 환경위해성평가를 위한 절차와 방법은 환경부예규 제415호 “환경유해인자의 위해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침”과 선행연구<sup>24)</sup>

에서 도출된 프레임워크를 절충하여 적용하였다.

### 2.1. 예측환경농도(predicted environmental concentration, PEC) 추정

환경위해성평가에서 실제 환경 중 노출수준을 파악하는 것이 중요하므로 노출정보는 문헌들과 모델을 활용하여 국내 물환경의 검출농도를 도출하였다. 미국 FDA에서는 신약 의약품의 허가 단계에서부터 환경에 대한 영향을 고려하기 위해, 의약품의 환경 중 농도를 추정하는 방법으로 예상유입농도(expected introduction concentration, EIC)를 활용하고 있는데, EIC 값을 추정하고 1 ppb 이상으로 예측될 경우 단계별 접근법에 따라 대상 의약품에 대한 환경위해성평가가 수행된다.<sup>25)</sup> 본 연구에서도 보수적인 추정접근방식으로서 이를 적용하였다. EIC 예측방식은 당해년도 생산된 의약품은 모두 사용되며 공공하수처리시설로 유입되고 미국 전역의 의약품 생산과 사용은 지역의 인구수와 폐수발생량과 비례한다고 가정하며 의약품의 대분해 산물은 고려하지 않는다.

$$EIC=A \times B \times C \times D$$

$$A = \text{연간 생산량(kg/year)}$$

$$B = \text{일일 하수 처리량의 역수}(1.214 \times 10^{11} \text{ L/day})$$

$$C = \text{year}/365 \text{ day}$$

$$D = 10^9 \text{ } \mu\text{g/kg}$$

EIC 산정 방식은 대단히 보수적인 PEC 산정방법이며 더욱이 미국의 생활환경을 바탕으로 고안되었으므로, 본 연구에서는 좀 더 현실적인 PEC를 추정하기 위하여 2007년 환경부에서 개발된 KORisk<sup>26)</sup> 모델에 적용하였다. 이 모델은 지리정보시스템(geographic information system, GIS)를 기반으로 한 다중매체 모델로서 현존하는 화학물질에 대한 위해성평가를 할 수 있는 모델이다. 모델을 구동하기 위한 입력변수로는 사용량, 배출계수(하수처리장의 처리용량), 물리화학적 특성값(분자량, 수용성, 헨리상수, 독성값, 생물농축계수, 매질별 반감기, 미생물분해 효율 등), 환경인자(하천의 유량 등) 있고 결과값으로 매체별 누출평가, 물질별·지역별 생태위해도, 물질별·지역별 인체위해도를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 KORisk에서 전국을 대상으로 대상물질의 물리화학적 특성값과 하수처리장의 처리용량(1.859

$\times 10^{10}$  L/일)를 적용하여 PEC을 산정하였다.

## 2.2. 예측무영향농도(predicted no effect concentration, PNEC) 결정

PNEC 산출은 가용한 생태독성자료의 질과 양에 따라 확률론적 방법과 결정론적 방법이 적용될 수 있다. 평가대상물질의 경우 연구가 거의 이루어지지 않은 물질로 중민감도분포를 도출할 수 있는 독성정보의 확보는 어려웠다. 따라서, 가용한 생태독성자료 중 가장 민감한 생물종을 대상으로 평가계수 (assessment factor, AF)를 적용하여 보수적인 PNEC을 구하는 결정론적 방법을 활용하였다.<sup>27)</sup>

## 2.3. 평가대상물질의 위해도 정량화

물환경에서 환경위해성평가는 환경 중 오염수준(실측환경농도[measured environmental concentration, MEC] 또는 PEC)과 CECs의 PNEC를 비교하여 유해지수(hazard quotient, HQ)를 산정하고, 그 결과 HQ가 “1” 이상이면 환경 중 유해물질의 오염수준이 생태계에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 존재한다는 것을 의미한다. 여기서, HQ는 PEC를 PNEC로 나눈 값이다.

# III. 연구결과 및 고찰

## 1. 물리화학적 특성 및 수생태 독성에측값 산출

EPI Suite™를 통하여 예측한 물리화학적 특성은 Table 1과 같다. Ivermectin과 triclosan의 경우 수용해도가 매우 낮고 옥탄올 물분배계수(log Kow)는 비

교적 높은 물질로 조사되었고, tamiflu는 수용해도가 높고 log Kow가 낮았다.

## 2. 평가대상물질의 PNEC 결정

PNEC은 생태독성 문헌조사 결과 가장 민감한 생물종의 관찰점에 해당하는 독성값을 선택한 후 가용자료의 질과 종류를 고려하여 AF를 적용<sup>27)</sup>하여 도출하였다(Table 2). Ivermectin의 가장 민감한 문헌독성값은 물벼룩 *Daphnia magna* 무영향농도(no observed effect concentration, NOEC)가  $3E-07 \mu\text{g/L}^{19)}$ 로 낮았다. *D. magna*를 이용한 생식독성 실험은 21일 동안 노출된 물벼룩의 산자수(생산된 새끼의 수)의 저해를 관찰한다. Ivermectin의 경우 3개의 영양단계에 존재하는 생물종(조류, 물벼룩, 어류)에 대하여 모두 만성 NOEC값이 존재하므로 안전계수 10을 적용하여 PNEC를 산출하였다. Praziquantel은 문헌 중 가장 민감한 독성값으로 *Clarias gariepinus* LC<sub>50</sub> 13,400  $\mu\text{g/L}$ 을 이용하였다.<sup>28)</sup> Praziquantel은 3개 영양단계에서 모두 급성독성값만 있어 안전계수 100을 적용하여 PNEC을 도출하였다. Tamiflu에 적용한 독성값은 문헌에서 물벼룩 *D. magna* NOEC로 보고된 10,000  $\mu\text{g/L}^{29)}$ 이며, 담수 조류의 EC<sub>50</sub>값과 물벼룩 NOEC의 2개 영양단계 값을 적용하여 안전계수 50으로 PNEC를 도출하였다. Triclosan의 경우 3개 영양단계인 조류, 물벼룩, 어류에 대하여 모두 만성 NOEC가 존재하므로 안전계수 10을 적용하였다. 만성독성값 중 가장 민감한 것은 조류 *Pseudokirchneriella subcapitata* NOEC로 보고된 0.2  $\mu\text{g/L}$ 이었으며<sup>30)</sup> 이를 이용하여 PNEC를 산출하였다.

**Table 1.** Summary of physico-chemical properties estimated by EPI Suite™

	Ivermectin	Praziquantel	Tamiflu	Triclosan
Formula/Mol. mas	C <sub>48</sub> H <sub>74</sub> O <sub>14</sub> /875.12	C <sub>19</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /312.42	C <sub>16</sub> H <sub>28</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /312.41	C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub> /289.55
Boiling point (°C)/Melting point (°C)	943.48/349.84	478.14/202.39	445.20/187.00	373.62/136.79
Vapor pressure [Pa]	1.6E-28	9.94E-7	1.74E-6	0.00062
Water solubility (mg/L, 25 °C)	0.0002715	88.38	1592	4.621
log Kow	4.61	2.42	0.95	4.66
log Koc[L/kg] (Kow method)	1.952	2.169	1.247	3.925
Henry's law (atm·m <sup>3</sup> /mole)	5.089E-27	3.470E-11	3.383E-12	3.834E-6
Half-life (days)	0.018	0.163	0.080	0.664
BCF (L/kg wet-wt)	508.1	18.46	3.162	642.2

EPI Suite™=Estimation Programs Interface Suite (U.S. Environmental Protection Agency, USA)

**Table 2.** Predicted no effect concentration (PNEC) of research materials

Substance	PNEC* (µg/L)	AF	Organism	Endpoint	Toxicity value (µg/L)	Reference
Ivermectin	3E-08	10	<i>D. magna</i>	21 d-reproduction NOEC	3E-07	Lopes <i>et al.</i> (2009)
Praziquantel	134	100	<i>C. gariepinus</i>	24 hr-LC <sub>50</sub>	13,400	Obiekezie and Okafor (1995)
Tamiflu	200	50	<i>D. magna</i>	21 d-reproduction NOEC	10,000	Straub (2009)
Triclosan	0.02	10	<i>P. subcapitata</i>	72 hr-NOEC (growth)	0.20	Yang <i>et al.</i> (2008)

LC<sub>50</sub>=50% lethal concentration; NOEC=no observed effective concentration; AF=assessment factor.

\*PNEC=(Lowest LC<sub>50</sub> or NOEC)/AF

**Table 3.** Measured concentrations in the environment and model-based predicted environmental concentration (PEC)

Substance	MEC (µg/L) <sup>32)</sup>	Amount (kg) <sup>32)</sup>	PEC (µg/L)	
			EIC	KORisk
Ivermectin	ND	1,647	0.024	0.186
Praziquantel	-	4,210	0.062	0.170
Tamiflu	0.037-0.374	2,250	0.033	0.091
Triclosan	ND	67,160	1.003	2.545

MEC=measured environmental concentration; PEC=predicted environmental concentration; EIC=expected introduction concentration; KORisk=KORea Risk assessment.

*P. subcapitata*를 이용한 조류독성시험은 72시간 동안 시험물질에 노출시킨 후 조류의 성장저해를 관찰하여 NOEC 값을 도출한다.

### 3. PEC 추정

환경 중 CECs의 농도를 예측하기 위해서는 두 종류의 모형을 사용하였다. 대상물질이 국내에서 생산되는 물질이 아니므로 수입량으로 생산량(유통량)을 대체하였으며, 두 모형에 적용한 물질유통량은 보수적인 평가를 위하여 유통이 많이 이루어진 연도의 자료를 활용하였다. Table 3에 평가대상물질의 실측한 환경 중 농도와 보수적으로 추정한 PEC 값을 제시하였다. 국립환경과학원 조사 결과 ivermectin은 환경 중에서 검출되지 않은 것으로 나타났고, praziquantel은 환경 중에서 검출된 기존 보고가 없었다. 그래서 농림수산검역검사본부의 협조를 받아 동물위약품협회에서 국내유통량 자료를 확보하였으며 환경부 하수처리량 통계자료와 연계하여 EIC 간이추정방법으로 PEC를 산출하였다. Ivermectin은 전량 수입되어 국내에서 유통되고 있다. 2010년 유통량으로 추정한 EIC에 물환경으로 유입된 후 희석을 고려하여 희석배수 10을 적용하면<sup>30)</sup> ivermectin의

PEC는 0.024 µg/L로 나타났다. 그리고 환경부에서 개발된 KORisk로 추정한 PEC은 0.186 µg/L로 약 8배 정도 차이를 나타냈다.

Praziquantel은 환경 중 측정농도 자료는 파악할 수 없었으며, 국내 유통량 자료와 환경부 하수처리량 통계자료를 활용하여 보수적인 EIC와 KORisk로 PEC을 추정하였다. Praziquantel도 전량 수입되어 국내에서 유통되고 있다. 최대 유통량을 보인 2010년의 자료를 활용하여 EIC 간이추정방법과 KORisk로 산출한 PEC은 각각 0.062 µg/L와 0.170 µg/L로 나타났다. 항바이러스제 tamiflu는 한강, 금강, 낙동강, 영산강의 13개 지점 하천수를 대상으로 신종플루 대유행 시기인 2009년 2월에 채취하여 분석한 결과 0.037~0.374 µg/L의 범위로 검출되었다.<sup>21)</sup> 국내 유통량은 건강보험심사평가원에서 건강보험청구(심사처리전) 자료를 활용하였으며, EIC 간이추정방법과 KORisk로 산출한 결과, 각각 0.033 µg/L와 0.091 µg/L로 나타났으며 서로 약 2.7배 정도의 차이를 보였다.

Triclosan은 비누, 치약, 구강세정제, 세제, 여드름 전용크림 등에 널리 사용되고 있는 항균제로 위해성에 대한 논란이 지속되어 왔다. 현재 기준화학물질

**Table 4.** Hazard quotient values of research materials

Substance	MEC ( $\mu\text{g/L}$ )	PEC <sub>EIC</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	PEC <sub>KORisk</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	PNEC ( $\mu\text{g/L}$ )	Hazard quotient*		
					based on MEC	based on PEC <sub>EIC</sub>	based on PEC <sub>KORisk</sub>
Praziquantel	-	0.062	0.170	134	-	4.6E-04	1.3E-03
Ivermectin	ND	0.024	0.186	3E-08	-	8.0E+05	6.2E+06
Tamiflu	0.374	0.033	0.091	200	1.9E-03	1.7E-04	4.6E-04
Triclosan	ND	1.003	2.545	0.02	-	50.2	127.3

MEC=measured environmental concentration; PEC<sub>EIC</sub>=predicted environmental concentration estimated by expected introduction concentration; PEC<sub>KORisk</sub>=predicted environmental concentration estimated by KORea Risk assessment model; PNEC=predicted no effect concentration; ND=not detected.

\*Hazard quotient=PEC/PNEC

및 대량화학물질뿐만 아니라 유독물로서 분류되어 관리되고 있다. 또한 식약청고시 제2013-2호 “화장품 원료지정에 관한 규정”에 의해 화장품 내 배합한도가 0.3%로 규정되어 있다. Triclosan은 개인위생용품의 사용이 늘어나면서 물환경으로 유입되고 있으며, 환경 중 농도는 낙동강, 금호강, 남강, 수영강 등 하천수 20개 지점을 대상으로 조사한 결과 하천수와 더불어 조사된 하수처리장의 유입수에서는 상당량 검출되고 있지만 하수처리과정을 거치면서 대부분의 방류수에서는 거의 검출되지 않는 것으로 보고되고 있다.<sup>31)</sup> Triclosan의 국내 유통량은 화학물질 유통량 조사결과를 활용하였으며, 전량 수입하여 사용되고 있기 때문에 수입량을 조사한 결과 67.16 톤으로 집계되었다. 이를 통해 EIC 간이추정방법과 KORisk를 통해 산출한 결과 PEC은 각각 1.003  $\mu\text{g/L}$ 와 2.545  $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며 약 2.5배 정도의 차이를 보여 모든 대상물질에서 KORisk 모형이 EIC 간이추정방법보다 보수적으로 평가하는 것으로 나타났다.

#### 4. 평가대상물질의 위해성 정량화

본 연구에서 수집하고 생산된 PEC와 PNEC을 활용하여 평가대상물질의 HQ를 산정한 결과는 Table 4와 같다. Praziquantel은 실측값이 없어 EIC 간이추정방법과 KORisk 모형에서 추정된 PEC을 적용한 결과, HQ가 1에 크게 미치지 않은 것으로 나타났고, tamiflu는 실제 환경 중에 다소 검출되었지만 HQ가 1보다 작아 praziquantel과 함께 위해성이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 ivermectin과 triclosan은 HQ가 각각 6.2E+06와 127.3으로 위해성 높은 것으로 나타났다. 그러나 ivermectin과 triclosan은 실제 국내 물환경 중에서 검출되지 않는 것으로 보고되고 있다.<sup>32,33)</sup>

이들 물질이 물환경 중에서 검출되지 않은 것은 검출한계가 낮거나, 두 가지 물질의 log Kow값이 4.61과 4.66으로 비교적 높아 물환경에서 유기물질상으로 분배되기 때문일 수도 있다. Triclosan의 경우 하수처리장에서의 처리율이 90% 이상이라는 연구보고도 있어 물환경 중에서 검출되지 않는다는 결과의 신빙성을 더하고 있다.<sup>10,34)</sup> 또한, ivermectin에 대한 폐쇄생태계(mesocosm) 실험<sup>35)</sup>과 실제 물환경에서 triclosan의 환경위해성평가 결과<sup>36)</sup>는 두 가지 물질의 높은 독성에도 불구하고 물환경에서 검출되는 농도가 낮아 위해하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 독성이 매우 높은 물질의 경우에는 PEC값을 추정할 수 있는 모형의 중요성이 크므로 보다 정확한 평가를 위해서는 유용한 모형개발이 필수적이다.

## IV. 결론

잔류성, 생물농축성 등 환경에 부정적인 영향이 우려되는 CECs 4종 ivermectin, praziquantel, tamiflu, triclosan에 대한 유해성 자료와 노출자료를 수집하여 환경위해성평가를 수행하였다. 위해도 정량화를 위한 HQ 산출결과, praziquantel과 tamiflu는 1보다 작아 잠재적인 위해성은 낮은 것으로 판단된다. Ivermectin과 triclosan은 산출된 HQ값이 높았지만, 이는 예측환경농도를 이용하여 추정한 값으로 불확실성이 크다. 특히, 위해도 추정의 정확도를 향상시키기 위해서는 현재의 보수적인 PEC 추정 방식의 개선을 위한 연구가 필요하다. 또한, 우리나라에서는 현재 CESs에 대한 정확한 정의가 없고 물질별로 관리주체가 상이하여 체계적인 관리가 어려운 실정으로, 환경에 잠재적 위해가 예상되는 CECs에 대한

선행연구를 통한 우선관리대상물질 확대와 관계부처 간의 협의로 효과적인 관리체계 구축이 필요하다.

## References

1. Johnson AC, Donnachie RL, Sumpter JP, Jürgens MD, Moeckel C, Pereira MG. An alternative approach to risk rank chemicals on the threat they pose to the aquatic environment. *Sci Total Environ.* 2017; 599-600: 1372-1381.
2. EPA US. EPA Continues Work to Understand Potential Impacts of Pharmaceuticals in Water. EPA US; 2008.
3. Fairbairn DJ, Karpuzcu ME, Arnold WA, Barber BL, Kaufenberg EF, Koskinen WC, et al. Sources and transport of contaminants of emerging concern: A two-year study of occurrence and spatiotemporal variation in a mixed land use watershed. *Sci Total Environ.* 2016; 551-552: 605-613.
4. Kolpin DW, Furlong ET, Meyer MT, Thurman EM, Zaugg SD, Barber LB, et al. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: A national reconnaissance. *Environ Sci Technol.* 2002; 36(6): 1202-1211.
5. Ajo P, Preis S, Vornamo T, Mänttari M, Kallioinen M, Louhi-Kultanen M. Hospital wastewater treatment with pilot-scale pulsed corona discharge for removal of pharmaceutical residues. *J Environ Chem Eng.* 2018; 6(2): 1569-1577.
6. Vasiliadou IA, Sánchez-Vázquez R, Molina R, Martínez F, Melero JA, Bautista LF, et al. Biological removal of pharmaceutical compounds using white-rot fungi with concomitant FAME production of the residual biomass. *J Environ Manage.* 2016; 180: 228-237.
7. Hamon P, Moulin P, Ercolei L, Marrot B. Performance of a biomass adapted to oncological ward wastewater vs. biomass from municipal WWTP on the removal of pharmaceutical molecules. *Water Res.* 2018; 128: 193-205.
8. Ahmed MJ, Hameed BH. Removal of emerging pharmaceutical contaminants by adsorption in a fixed-bed column: A review. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018; 149: 257-266.
9. Muter O, Perkons I, Selga T, Berzins A, Gudra D, Radovica-Spalvina I, et al. Removal of pharmaceuticals from municipal wastewaters at laboratory scale by treatment with activated sludge and biostimulation. *Sci Total Environ.* 2017; 584-585: 402-413.
10. El-taliawy H, Casas ME, Bester K. Removal of ozonation products of pharmaceuticals in laboratory Moving Bed Biofilm Reactors (MBBRs). *J Hazard Mater.* 2018; 347: 288-298.
11. Lin L, Jiang W, Xu P. Comparative study on pharmaceuticals adsorption in reclaimed water desalination concentrate using biochar: Impact of salts and organic matter. *Sci Total Environ.* 2017; 601-602: 857-864.
12. Li S-W, Lin AY-C. Increased acute toxicity to fish caused by pharmaceuticals in hospital effluents in a pharmaceutical mixture and after solar irradiation. *Chemosphere.* 2015; 139: 190-196.
13. Kim SD, Cho J, Kim IS, Vanderford BJ, Snyder SA. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Res.* 2007; 41(5): 1013-1021.
14. Choi K, Kim Y, Park J, Park CK, Kim M, Kim HS, et al. Seasonal variations of several pharmaceutical residues in surface water and sewage treatment plants of Han River, Korea. *Sci Total Environ.* 2008; 405(1): 120-128.
15. Kim J-W, Jang H-S, Kim J-G, Ishibashi H, Hirano M, Nasu K, et al. Occurrence of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in surface water from Mankyung river, South Korea. *J Health Sci.* 2009; 55(2): 249-258.
16. Lee H-Y, Lim J-E, Kwon O-K, Kim S-C, Seo Y-H, Yang J-E, et al. Removal of antibiotics in soil and water: A literature review. *J Agric & Life Sci.* 2009; 20: 45-54.
17. Jaffrézic A, Jardé E, Soulier A, Carrera L, Marenge E, Cailleau A, et al. Veterinary pharmaceutical contamination in mixed land use watersheds: from agricultural headwater to water monitoring watershed. *Sci Total Environ.* 2017; 609: 992-1000.
18. Kim Y, Jung J, Kim M, Park J, Boxall ABA, Choi K. Prioritizing veterinary pharmaceuticals for aquatic environment in Korea. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2008; 26(2): 167-176.
19. Lopes C, Charles S, Vollat B, Garric J. Toxicity of ivermectin on cladocerans: comparison of toxic effects on *daphnia* and *ceriodaphnia* species. *Environ Toxicol Chem.* 2009; 28(10): 2160-2166.
20. Choi K, Kim P, Park J. Pharmaceuticals in environment and their implication in environmental health. *J Environ Health Sci.* 2009; 35(6): 433-446.
21. Shin S, Kang Y, Park J, Koo S, Hwang S, Kim W, et al. Characteristics of tamiflu occurrence in surface water using LC/MS/MS. *Analytical Science &*

- Technology*. 2010; 23(2): 147-154.
22. Rule KL, Ebbett VR, Vikesland PJ. Formation of chloroform and chlorinated organics by free-chlorine-mediated oxidation of triclosan. *Environ Sci Technol*. 2005; 39(9): 3176-3185.
  23. Morrall D, McAvoy D, Schatowitz B, Inauen J, Jacob M, Hauk A, et al. A field study of triclosan loss rates in river water (Cibolo Creek, TX). *Chemosphere*. 2004; 54(5): 653-660.
  24. Kim YH, Kim J, Ji J, Park Y, Lee J, Kim S, et al. Environmental risk assessment of residual pharmaceutical (I). National Institute of Environmental Research; 2008.
  25. Drug Information Branch. Guidance for industry on environmental assessment of human drug and biological applications. Administration FaD; 1998.
  26. Kim Y, Yang J, Lee D. Regional risk assessment by monitoring and estimation program. Ministry of Environment of Korea; 2007.
  27. Ministry of Environment. Guidelines for procedure and methodology for risk assessment of environmental hazardous factors. Established rule-585 2016.
  28. Obiekezie A, Okafor N. Toxicity of four commonly used chemotherapeutic compounds to fry of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell). *Aquacult Res*. 1995; 26(6): 441-445.
  29. Straub JO. An environmental risk assessment for oseltamivir (Tamiflu®) for sewage works and surface waters under seasonal-influenza- and pandemic-use conditions. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2009; 72(6): 1625-1634.
  30. Yang LH, Ying GG, Su HC, Stauber JL, Adams MS, Binet MT. Growth-inhibiting effects of 12 antibacterial agents and their mixtures on the freshwater microalga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Environ Toxicol Chem*. 2008; 27(5): 1201-1208.
  31. Lee I, Lee C, Huh S, Yoon Y, Shin S, Yoon J, et al. Development of analytical method and monitoring of personal care products in the Nakdong river system. National Institute of Environmental Research; 2009.
  32. Choi H, Lee J, Ryu J, Joung K, Ryu T, Cho J, et al. Environmental risk assessment for contaminants of emerging conce. National Institute of Environmental Research; 2011.
  33. Beretta M, Britto V, Tavares TM, da Silva SMT, Pletsch AL. Occurrence of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in marine sediments in the Todos os Santos Bay and the north coast of Salvador, Bahia, Brazil. *J Soils Sediments*. 2014; 14(7): 1278-1286.
  34. Hollender J, Zimmermann SG, Koepke S, Krauss M, McArdell CS, Ort C, et al. Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by asnd filtration. *Environ Sci Technol*. 2009; 43(20): 7862-7869.
  35. Sanderson H, Laird B, Pope L, Brain R, Wilson C, Johnson D, et al. Assessment of the environmental fate and effects of ivermectin in aquatic mesocosms. *Aquat Toxicol*. 2007; 85(4): 229-240.
  36. Lyndall J, Barber T, Mahaney W, Bock M, Capdevielle M. Evaluation of triclosan in Minnesota lakes and rivers: Part I-ecological risk assessment. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2017; 142: 578-587.