

## PhATE™ 모형을 적용한 금강수계 중 의약품 농도 추정

임득순 · 박정임†

순천향대학교 환경보건학과  
(2009. 1. 7. 접수/2009. 1. 22. 수정/2009. 2. 7. 채택)

### Predicting Environmental Concentrations of Selected Pharmaceuticals Using the PhATE™ Model in Keum-River, Korea

Deucksoon Lim · Jeongim Park†

Department of Environmental Health Sciences, Soonchunhyang University, Asan, Korea  
(Received January 7, 2009/Revised January 22, 2009/Accepted February 7, 2009)

#### ABSTRACT

In recent years, pharmaceuticals in the aquatic environment have become a matter of increasing public concern. Environmental risk assessment (ERA), including an exposure assessment, is considered the best scientifically based approach for evaluating the potential effects of pharmaceuticals on ecosystems. Computerized exposure models constitute an important tool in predicting environmental exposures of pharmaceuticals. This paper presents the applicability of an exposure model by comparing measured data of selected pharmaceuticals with predicted environmental concentrations from an exposure model. PhATE™ (Pharmaceutical Assessment and Transport Evaluation) model developed by the Pharmaceutical Research and Manufacturers of America (PhRMA) was adapted to run simulations for the Keum River. A set of 7 pharmaceuticals of high production in Korea was modeled. The PECs generated by the PhATE™ model that were then compared to the measured concentrations. The PhATE™ model predicted concentrations for 7 pharmaceuticals including acetaminophen, acetylsalicylic acid, erythromycin, ibuprofen, lincomycin, mefenamic acid, and naproxen were in good agreement with actual measured concentrations, which demonstrated the utility of PhATE™ as a predictive tool. In conclusion, PhATE™, although it does not intend to accurately represent reality, could be utilized for rapid predictions of the environmental concentrations of pharmaceuticals.

**Keywords:** pharmaceuticals, environment exposure modeling, PhATE™, Keum river

#### I. 서 론

환경 중 의약품의 검출과 거동이 새로운 사회적 이슈로 떠오르고 있다.<sup>1)</sup> 의약품은 인체의 질병치료 및 예방에 필수적이고, 농업, 축산업, 수산업분야에서도 질병치료, 예방, 동·식물의 성장촉진, 면역력 증가 등의 이유로 광범위하게 사용되고 있다. 이렇게 인간사회와 농·축·수산업에서는 의약품은 필수불가결한 것이지만 환경적인 측면에서 의약품질은 수질오염과 그에 따른 위해성이 우려되는 하나의 화학물질이라고 볼 수 있다.

의약품질은 화학구조가 매우 복잡한 물질로 다양한

작용기와 물리화학적 특성 및 생물학적 특성을 지니며, 특정한 약리효과를 위해 생산된 생리활성물질이다. 인체에 사용된 의약품질 중 일부는 투여용량의 약 80~90%가 뇨를 통해 활성물질로 배출되기도 한다.<sup>2,3)</sup> 하수처리장으로 모인 의약품질은 하수처리과정에서 분해되거나 슬러지에 흡착되어 일부는 걸러질 수 있다. 그러나 공공하수처리장에서 효과적으로 제거되지 못한 의약품질은 지표수로 유입되고 식수원에 도달할 수 있다.<sup>4)</sup> Marta carballa 등<sup>5)</sup>은 조사대상 의약품질의 40~90% 정도만이 공공하수처리시설에서 제거되었다고 보고한 바 있다.

환경 중에 존재하는 의약품질이 인체와 생태계에 미치는 영향을 추정하기 위하여 환경 중 농도에 근거한 노출평가를 포함한 위해성평가가 필요하다. 노출평가는 환경 매체 중 농도를 직접 측정하는 방법과 환경 중

†Corresponding author : Department of Environmental Health Sciences, Soonchunhyang University  
Tel: 82-41-530-1269, Fax: 82-41-530-1272  
E-mail : jeongim@sch.ac.kr

유입과 거동을 반영하는 추정모형을 활용하는 방법이 있다. 환경 중의 의약품질은 농도가 매우 낮고 분석이 어렵기 때문에 환경 중 농도를 측정하는 것은 많은 시간과 비용이 소모된다. 또한 환경 시료를 채취하여 분석하는 것은 시료채취 지역의 전반적인 농도 수준과 분포를 보여주지 못하고 한 순간의 농도만을 보여주는 제한점이 있다. 따라서 의약품질의 환경 중 노출평가를 위하여 환경 중 농도 추정모형을 활용하는 방법을 적극적으로 고려할만하다.<sup>6)</sup>

환경 중 화학물질의 농도를 예측하기위하여 다양한 종류의 모형이 사용되고 있다. 그러나 의약품질에 적용 가능한 모형은 제한적이다. 미국 식품의약청(US FDA)이나 유럽연합 유럽의약청(European Medicines Agency, EMEA)의 의약품질 환경위해성 평가 제도에서 일차 스크리닝 목적으로 적용하는 추정모형은 의약품질의 생산량과 하수발생량에 근거하여 환경 중 농도를 예측한다. 이들 모형은 환경 중 농도에 영향을 미칠 수 있는 변수들을 매우 보수적으로 가정하여 계산하므로 예측값이 매우 불확실하기 때문에 좀 더 실제에 가까운 예측 모형이 필요하다. 따라서 의약품질 농도에 영향을 미치는 환경적, 공간적 및 시간적 변수와 의약품질의 환경 중 거동을 반영할 수 있는 정교한 모형이 개발되고 있다. 특히 인체의약품질의 경우 수계별 접근에 기반한 모형, 즉 GIS에 기반한 모형은 수계정보와 수리학적 정보를 다루는 데에 유용하다. 환경 중 인체의약품질의 농도를 추정하는 모형으로 GIS에 기반한 모형은 PhATE<sup>TM</sup><sup>7)</sup>와 GREAT-ER<sup>8)</sup>이 있다.

이 연구에서는 모형 자체의 접근성과 입력변수의 확보가 용이한가를 고려하여 미국제약협회(Pharmaceutical Research and Manufacturers of America, PhRMA)가 개발하여 이미 미국의 11개 수역<sup>7)</sup>에 적용한 바 있는 PhATE<sup>TM</sup>(Pharmaceutical Assessment and Transport Evaluation)를 선정하였다. PhATE<sup>TM</sup> 모형을 우리나라 중부 내륙지방 최대하천인 금강에 적용할 수 있도록 구축하여 금강수계로 유입된 인체의약품질의 환경 중 예상농도(Predicted Environment Concentrations, PECs)를 추정하였다. 또한 금강 유역 일부 지점에서 실제 측정된 환경 중 농도와 PhATE<sup>TM</sup>로 추정한 농도를 비교함으로써 PhATE<sup>TM</sup> 모형 활용의 타당성을 검토하였다.

## II. 연구방법

### 1. 대상지역 및 대상의약품질 선정

이 연구의 대상지역은 우리나라 제 3수계인 금강 수

계 중·하류 지역으로 대청댐 조정지부터 금강하구언까지이다. 대청댐 조정지·감천하류, 매평수위표, 미호천합류점, 공주수위표, 어천하류점, 금강하구언 등 총 20개의 금강권역 표준유역을 대상으로 하였다.<sup>9)</sup> 대상 수계의 유로연장 총길이는 135.4 km, 유역면적은 2517.5 km<sup>29)</sup>이고, 인구는 약 2,485,260명<sup>10)</sup>이다.

대상 의약품질은 우리나라에서 많이 생산되어 환경 중으로 높은 농도로 유입될 가능성이 있으면서, 환경 중 농도를 실측한 자료가 있는 물질 중에서 선정하였다. 박 등<sup>11)</sup>의 연구에서 2003년 기준으로 국내 연간 총생산량이 7000 kg이 넘는 122개의 의약품질을 선정한 바 있다.

미국식품의약청(US FDA)에서 정한 심화된 환경 위해성평가가 필요한 환경유입농도(Expected Introduction Concentration, EIC)의 수준은 1 µg/토씨 하천에 적용할 경우 환경중 희석계수 10을 적용하면 0.1 µg/l에 해당한다.<sup>14)</sup> 0.1 µg/l은 국내 총생산량 7000 kg 이상인 의약품질을 우리나라 인구 4,800만명<sup>12)</sup>이 1인당 하루 400 l<sup>13)</sup>의 하수를 발생하였을 때에 해당한다. 이중 국립환경과학원에서 2006년과 2007년에 실시한 ‘환경중 의약품질 분석방법 연구 및 노출실태조사 I, II’ 연구<sup>15,16)</sup>에서 이 연구의 대상지역인 금강수계중 농도를 측정 한 바 있는 acetaminophen, acetylsalicylic acid, erythromycin, ibuprofen, lincomycin, mefenamic acid, naproxen 등 7개 의약품질을 선정하였다(Table 1).

### 2. 생산량에 근거한 환경농도 추정

생산량에 근거한 의약품질의 환경 중 예측농도는 유럽의약청(European Medicines Agency: EMEA)에서 제시하는 방법<sup>17)</sup>에 따라 다음 식 (1)과 같이 공공하수처리시설을 통하여 하천으로 유입되는 양을 기준으로 계산하였다. 식 (1)은 당해연도에 생산된 의약품은 모

**Table 1.** Selected pharmaceuticals, their usage and production volume in 2003

Pharmaceuticals	Usage	Production volume (kg) <sup>11)</sup>
Acetaminophen	Analgesics/antipyretic	710,872
Acetylsalicylic acid	Analgesics/antipyretic	48,794
Erythromycin	Antibiotics	7,957
Ibuprofen	Anti-inflammatory Analgesics	149,346
Lincomycin	Antibiotics	7,595
Mefenamic acid	Analgesics/antipyretic	59,531
Naproxen	Anti-inflammatory Analgesics	43,136

두 사용되고, 의약품질의 환경 유입경로는 공공하수처리시설이며, 체내의 의약품질 대사와 하수처리 과정 중의 제거 등 손실은 고려하지 않는 것을 가정하였다. 하수처리 과정 중 시설내의 의약품 물질대사와 손실은 고려하지 않았고, 환경 중 의약품질의 농도는 생산량, 인구, 하수발생량의 함수로서 전국의 농도는 동일한 것으로 추정하였다.

$$PEC_{surface\ water}(gL^{-1}) = \frac{A \times (1 - R/100)}{365 \times P \times V \times D} \quad (1)$$

식 (1)에서 A는 의약품질의 연간 생산량(g/year), R은 하수처리시설의 제거율(0으로 설정), P는 국내 의약품의 사용인구수(2003년 기준 48,000,000명), V는 일인당 하루 발생하수량(400 L/day<sup>12</sup>), D는 환경 중에서의 희석 배수로써 10으로 설정하였다.

### 3. 금강 PhATE™ 구축

#### 1) 금강수계의 분획(Segment)

금강수계의 공공하수처리시설을 조사하였다. 2007년

도 하수도 통계<sup>10</sup>에서 하수처리량이 비교적 큰 공공하수처리시설(STP)은 대전STP, 조치원STP, 청주STP, 공주STP, 부여STP, 논산STP 등 모두 6곳으로 조사되었다. 공공하수처리시설 위치와 지천에 따라 금강수계를 9곳으로 분획하였다(Fig. 1). 금강수계에 있는 마을 단위의 하수처리장들의 총 처리용량은 8,495 m<sup>3</sup>/day<sup>13</sup>로 금강수계 주요 6개 하수처리장 처리량(976,519 m<sup>3</sup>/day)의 약 1% 정도이므로 마을하수처리시설은 PhATE™ 모형구축의 입력변수에서 제외하였다. Table 2에 금강수계의 주요 하수처리시설별 일일 최대처리량, 일일 평균 처리량, 서비스인구, 다음 세그먼트까지의 거리를 정리하였다.

세그먼트 1에는 유입된 의약품질의 양을 확인할 수 없어 가상의 대청하수처리시설을 만들어 박<sup>6</sup>의 연구에서 사용한 입력값과 동일하게 입력하였고, 청주·조치원은 조치원에서 청주까지의 세그먼트 정보가 부족하여 청주STP와 조치원STP, 두 곳의 용량을 합하여 가상의 청주조치원 STP 하나의 하수처리시설로 간주하였다.

#### 2) PhATE™ 입력정보

PhATE™ 모형을 적용하기위하여 해당 수계의 세그먼트 정보(평균유량, 평균유속, 수심, 하천폭), 대상 의약품질의 사용량, 인체대사율 및 하수처리시설의 제거율 등의 정보가 필요하다.

각 세그먼트의 평균유속과 평균수심을 금강수계 하천 정비 기본계획<sup>18</sup>의 Qual2E 수리모형 입력자료(속도계수, 속도지수, 깊이계수, 수심지수)를 이용하여 도출하였다. 평균유속과 평균수심은 유량-유속( $V = aQ^b$ ), 유량-수심( $D = cQ^d$ ) 관계식에 속도계수(a), 속도지수(b), 깊이계수(c), 수심지수(d)와 2002년도 평균유량(Q)<sup>19</sup>을 대입하여 세그먼트별 평균유속과 평균수심을 산출하였다.  $Q = AV$ 에 유량(Q)과 유속(V)을 대입하여 면적(A)를 산출하였고, 면적(A)를 수심으로 나누어 세그먼트별 하폭을 산출하였다. m/s와 km를 PhATE™의 입력단위

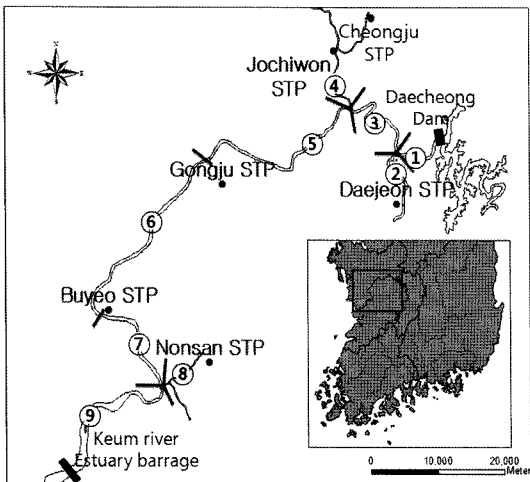


Fig. 1. Segmentation scheme of the Keum River for PhATE™.

Table 2. Summary of key information on six STPs included in this study<sup>10</sup>

STP Name	Capacity (m <sup>3</sup> /day)	Treatment Volume (m <sup>3</sup> /day)	Population	Flow Rate (millions of gallons / day)	Next Segment Distance (mile) <sup>18</sup>
Daecheong	-	-	10,000	1717.1	2.49
Daejeon	900,000	621,953	1,475,961	164.3	6.22
Cheongju	305,000	297,873	714,744	79.2	14.92
Jochiwon	35,000	31,869	129,862	8.4	21.13
Gongju	15,000	11,708	80,115	3.1	6.84
Nonsan	20,000	13,116	132,814	3.5	4.97

**Table 3.** Hydrological input data of the Keum River for PhATE™

Segment	Mean Flow (ft <sup>3</sup> /s)	Velocity (ft/s)	Depth (ft)	Width (ft)	Length (mile)
1	2656.55	1.09	4.84	502.15	2.49
2	653.39	0.77	2.12	400.35	6.21
3	3421.07	2.24	3.26	468.37	10.56
4	1509.56	1.51	3.55	280.64	14.91
5	5108.30	3.85	5.83	227.23	15.53
6	5996.04	3.51	9.01	189.45	21.13
7	6331.78	0.40	12.58	1265.49	6.84
8	555.11	0.59	5.34	175.09	4.97
9	7311.30	0.16	16.02	2827.33	21.75

**Table 4.** Human loss and treatment loss of the selected pharmaceuticals

Pharmaceuticals	Human loss(%)	STP removal(%)
Acetaminophen	95 <sup>20)</sup>	99 <sup>27)</sup>
Ibuprofen	87 <sup>21)</sup>	29 <sup>28)</sup>
Mefenamic acid	52 <sup>22)</sup>	81 <sup>28)</sup>
Acetylsalicylic acid	94 <sup>23)</sup>	2 <sup>28)</sup>
Naproxen	1 <sup>24)</sup>	8 <sup>28)</sup>
Erythromycin	2 <sup>25)</sup>	6 <sup>28)</sup>
Lincomycin	4 <sup>26)</sup>	2 <sup>28)</sup>

**Table 5.** Measured environment concentrations of the selected pharmaceuticals presented in the NIER reports 2006 and 2007

Pharmaceutical	Year	Keum River (µg/l)	
		Segment 2*	Segment 5**
Acetaminophen	2006 <sup>14)</sup>	0.073	0.065
	2007 <sup>15)</sup>	<LOD	<LOD
Acetylsalicylic acid	2006 <sup>14)</sup>	-	-
	2007 <sup>15)</sup>	0.165	0.15
Ibuprofen	2006 <sup>14)</sup>	0.2	0.176
	2007 <sup>15)</sup>	<LOD	<LOD
Mefenamic acid	2006 <sup>14)</sup>	-	-
	2007 <sup>15)</sup>	0.009	0.009
Naproxen	2006 <sup>14)</sup>	0.120	N.D.
	2007 <sup>15)</sup>	0.007	0.005
Erythromycin	2006 <sup>14)</sup>	0.004	<LOD
	2007 <sup>15)</sup>	0.013	<LOD
Lincomycin	2006 <sup>14)</sup>	0.027	<LOD
	2007 <sup>15)</sup>	<LOD	0.017

Segment 2\*: Yuseong-Gu, Daejeon Segment 5\*\*: Nam-myeon, Yeongi-gun, Chungnam.

인 ft/s와 mile로 환산하였다(Table 3).

Table 4는 대상 의약품의 인체대사율과 공공하수처리시설의 제거율을 기존의 문헌과 자료에서 조사하여

구한 것이다. 하수처리시설에서 제거율이 보고되지 않은 의약품의 경우 US EPA의 EPI Suite™ ver. 2.0을 이용하여 추정하였다. EPI Suite™는 물리적성분 추정프로그램으로 KOWWIN™, AOPWIN™ 등 17가지의 프로그램으로 이루어졌으며, 이중 STPWIN™은 활성슬러지에 근거한 하수처리시설의 미생물에 의한 생물분해, 진흙의 흡착, 공기 중으로 탈기 등 3가지를 고려하여 하수처리제거율을 추정한다.<sup>30)</sup>

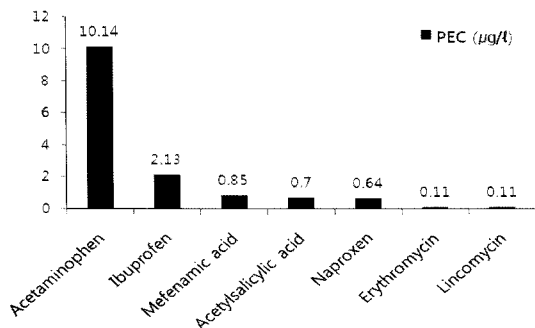
#### 4. PhATE™의 적용성 검증을 위한 환경 중 측정농도(MEC) 수집

의약품의 환경 중 측정농도(MECs)는 국립환경과학원의 “환경 중 의약품질 분석방법 연구 및 노출실태조사 I, II”중 금강의 의약품질 검출 자료(Table 5)를 사용하였다. 이 연구에서 구분한 9개 세그먼트 중 2번과 5번 세그먼트농도 자료가 가용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 생산량에 따른 환경 중 예상농도 추정

의약품의 생산량과 하수발생량에 근거한 EMEA의 환경 중 예상농도 추정모형은 앞의 식 (1)에서 보인 바와 같이 관심이 되는 대상 수계의 특성이나 대상의약품질의 환경 중 거동과는 상관없이 우리나라 전체 물 환경에 대하여 하나의 농도를 예측한다. 이 연구의 대상의약품질의 환경 중 예상농도를 식(1)에 따라 추정된 결과는 다음 Fig. 2와 같다. 2003년 연간 생산량이 710,872 kg인 acetaminophen의 환경 중 예상농도는 10.14 µg/l로 추정되었다. 마찬가지로 나머지 6개 의약품질의 환경 중 예상농도는 각 의약품질의 연간 생산량에 비례한다. ibuprofen 2.13 µg/l, mefenamic acid 0.85 µg/l, acetylsalicylic acid 0.70 µg/l, naproxen 0.64 µg/l, erythromycin 0.11 µg/l, lincomycin 0.11 µg/l로 추정되었다.

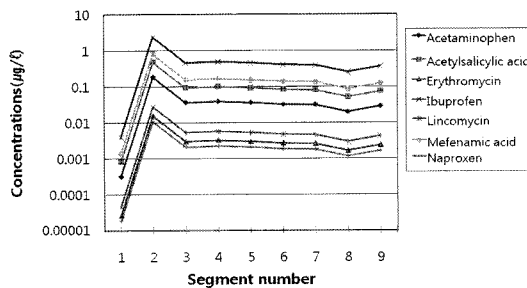


**Fig. 2.** Predicted Environmental Concentrations of the selected 7 pharmaceuticals using the equation from the EMEA's technical guidance.

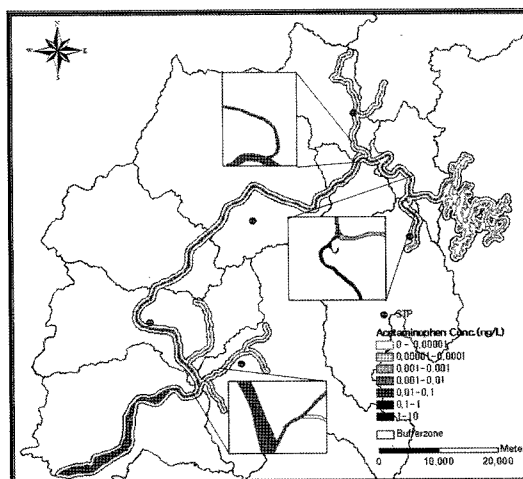
**2. PhATE™를 적용한 금강수계 중 예상농도 추정**

PhATE™를 적용하여 추정한 의약품의 환경 중 예상농도는 금강수계의 하수처리시설 정보, 세그먼트별 지리정보 및 수리정보(Table 2, Table 3, Table 4), 대상의약품질의 인체대사율 및 하수처리시설의 제거율(Table 5)을 반영한다. PhATE™모형으로 추정한 환경 중 예상농도는 앞서 간단한 수식에 의한 예측농도(생산량에 따른 환경 중 예상농도 추정)와는 다르게 나타났다. 우선 대상의약품질의 인체대사율과 하수처리시설의 제거효율이 반영되었으므로 예상농도의 순서가 다르게 나타났다. 즉  $ibuprofen > mefenamic\ acid > acetylsalicylic\ acid > acetaminophen > lincomycin > erythromycin > naproxen$  순으로 추정되었다(Table 6, Fig. 3).

또한 환경 중 예상농도가 금강수계의 각 세그먼트별로 다르게 추정되었다. 중부내륙지역에서 가장 처리능력이 큰 대전하수종말처리장이 위치한 세그먼트 2지점(갑천하류)에서 7개의 의약품질의 농도 값이 가장 높게 나타나는 것을 볼 수 있다(Table 6, Fig. 3). 세그먼트 2지점에서 모든 의약품질이 EMEA의 정교한 평가가 필요한 수준인 action limit  $0.01\ \mu\text{g/l}^{29}$ 를 초과하였다. 앞의 간단한 추정식에 의하면 7개 모든 의약품질의 환경



**Fig. 3.** PhATE™ modeled segmental concentrations of the selected 7 pharmaceuticals.



**Fig. 4.** PhATE™ modeled segmental concentrations of acetaminophen, map result (some segments were intentionally magnified).

중 예상농도가 US FDA의 action limit  $0.1\ \mu\text{g/l}$ 를 초과한 반면, PhATE™ 모형을 적용한 결과는 세그먼트 2지점에서  $ibuprofen(2.4\ \mu\text{g/l})$ ,  $mefenamic\ acid(0.8\ \mu\text{g/l})$ ,  $acetylsalicylic\ acid(0.5\ \mu\text{g/l})$ ,  $acetaminophen(0.2\ \mu\text{g/l})$  등 4개 의약품질이 US FDA의 action limit인  $0.1\ \mu\text{g/l}$ 을 초과하는 것으로 나타났다(Table 6, Fig. 3). Fig. 4는 acetaminophen의 금강 수계 환경 중 농도를

**Table 6.** Segmental PECs using PhATE™ of the selected pharmaceuticals

Pharmaceuticals	PhATE™ estimated PECs (µg/l)								
	Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9
Acetaminophen	0.0003	0.1873	0.0360	0.0393	0.0357	0.0322	0.0316	0.0198	0.0288
Ibuprofen	0.0040	2.3966	0.4608	0.5023	0.4571	0.4124	0.4039	0.2538	0.3691
Mefenamic acid	0.0014	0.8157	0.1568	0.1710	0.1556	0.1404	0.1375	0.0864	0.1256
Acetylsalicylic acid	0.0008	0.4837	0.0930	0.1014	0.0922	0.0832	0.0815	0.0512	0.0745
Naproxen	0.0000	0.0107	0.0021	0.0023	0.0020	0.0018	0.0018	0.0011	0.0017
Erythromycin	0.0000	0.0155	0.0030	0.0033	0.0030	0.0027	0.0026	0.0016	0.0024
Lincomycin	0.0000	0.0275	0.0053	0.0058	0.0052	0.0047	0.0046	0.0029	0.0042

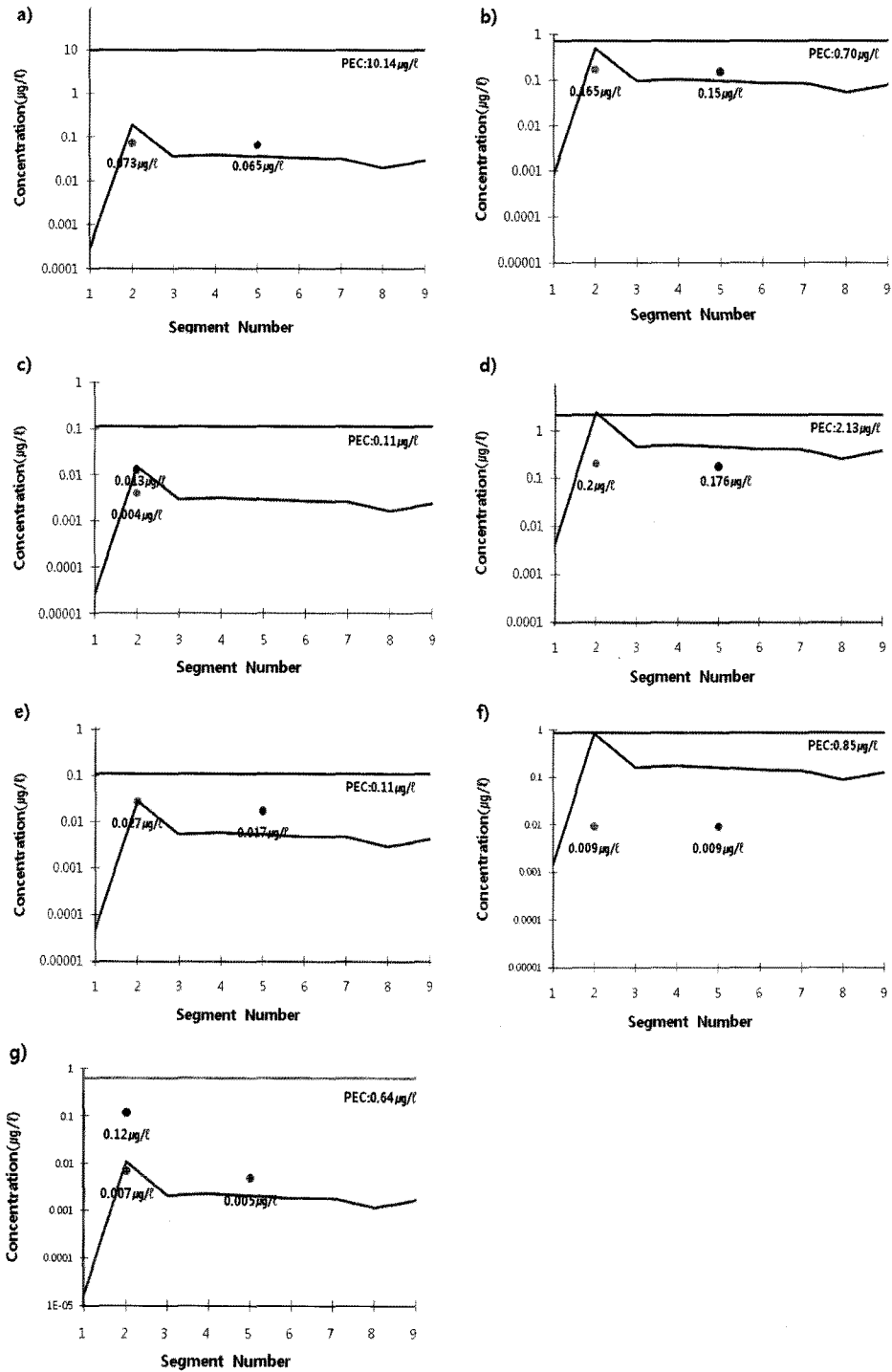


Fig. 5. PhATE™ modeled segmental concentrations of pharmaceuticals with comparison to the PECs and MECs in the Keum River (dots indicate the MECs from NIER reports 2006 and 2007), (a) acetaminophen, (b) acetylsalicylic acid, (c) erythromycin, (d) ibuprofen, (e) lincomycin, (f) mefenamic acid, (g) naproxen.

PhATE™ 모형으로 추정된 결과를 GIS로 표현한 결과이다.

### 3. 모형을 이용한 의약품질의 환경 중 예상농도와 환경시료 측정농도의 비교

acetaminophen, acetylsalicylic acid, erythromycin, ibuprofen, lincomycin, mefenamic acid, naproxen 등 7개 의약품질에 대하여 모형을 이용한 환경 중 예상농도(PECs)를 환경시료 측정농도(MECs)와 비교하였다(Fig. 5).

acetaminophen, acetylsalicylic acid, erythromycin, ibuprofen, lincomycin, mefenamic acid의 MEC는 PhATE™로 추정된 PEC와 비교할 때 0.6~2.7, 2.9~6.1, 1.2~4, 2.6~12.0, 1~3.4, 17.3~90.7배 범위로 나타났다. naproxen의 MEC는 PhATE™의 PEC보다 세그먼트 2지점에서 0.64~10.9배 범위로 추정되었고, 세그먼트 5지점에서는 MEC보다 2.5배 낮게 추정되었다. PhATE™에 의한 의약품질의 환경 중 농도를 추정하는 것이 지역적 특성이나 대상의약품질의 대사 특성을 고려하지 않고 간단한 수식으로 예측하는 것(PECs in the graphs of Fig. 2) 보다 전반적으로 환경시료 측정농도 수준에 더 가까운 경향을 보였다.

## IV. 결 론

이 연구에서는 PhATE™ 모형을 우리나라 중부 내륙 지방 최대하천인 금강에 적용할 수 있도록 구축하여 금강수계로 유입된 인체의약품질 7종의 환경 중 예상농도(Predicted Environment Concentrations, PECs)를 추정하였다. 또한 금강 유역 일부 지점에서 실제 측정된 환경 중 농도와 PhATE™로 추정된 농도를 비교함으로써 PhATE™ 모형 활용의 타당성을 검토하였다.

PhATE™로 금강수계의 환경 중 의약품질 농도를 추정된 결과 하수처리용량이 가장 큰 대전하수처리시설이 있는 세그먼트 2지역에서 가장 높은 농도를 나타냈다. acetaminophen, acetylsalicylic acid, erythromycin, ibuprofen, lincomycin, mefenamic acid의 MEC는 PhATE™로 추정된 PEC와 비교할 때 0.6~2.7, 2.9~6.1, 1.2~4, 2.6~12.0, 1~3.4, 17.3~90.7배 범위로 나타났다. naproxen의 MEC는 PhATE™의 PEC보다 세그먼트 2지점에서 0.64~10.9배 범위로 추정되었고, 세그먼트 5지점에서는 MEC보다 2.5배 낮게 추정되었다. PhATE™에 의한 의약품질의 환경 중 농도를 추정하는 것이 지역적 특성이나 대상의약품질의 대사 특성을 고려하지 않는 간단한 수식으로 예측하는 것보다 환경시

료 측정농도 수준에 전반적으로 더 가까운 경향을 보였다.

이 연구 결과는 의약품질의 환경 중 농도를 추정하는데에 환경 중 유입과 거동을 반영하는 모형의 활용이 적극 검토되어야 할 필요가 있음을 시사한다. 모형을 활용함으로써 환경 중 의약품질 분석의 기술적 어려움과 많은 비용이 소모되는 것을 극복할 수 있을뿐더러 농도의 계절적, 공간적 변화를 포함한 노출특성을 이해하는 데에도 도움이 될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 순천대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습니다(과제번호: 20080151).

## 참고문헌

- Daughton, C. G., Jones-Lepp, T. (Eds.) : Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Scientific and Regulatory Issues. Symposium Series 791, American Chemical Society, Washington DC, 2001.
- Ternes, T. A. : Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, **32**(11), 3245-3260, 1998.
- Kim, M. H., Park, J. I., Kim, Y. H. and Choi, K. H. : Prioritizing human use antibiotics for Environmental health management and estimating their environmental concentrations in Korean waterway. *Korean Journal of Environmental Health*, **32**(5), 462-468, 2006.
- Koo, S. H., Cho, H. W. and Myung, S. W. : Analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from the environmental samples by LC/ESI-MS/MS. *Korean Society for Environmental Analysis*, **10**(4), 237-247, 2007.
- Carballa, M., Omil, F., Lema, J. M., Llompart, M., García-Jares, C., Rodríguez, I., Gómez, M. and Ternes, T. : Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research*, **38**(12), 2918-2926, 2004.
- Park, J. I. : Environmental Risk Assessment of Pharmaceuticals : Model Application for Estimating Pharmaceutical Exposures in the Han River Basin, Korea Environment Institute, Seoul 2007.
- Anderson, P. D., D'aco, V. J., Shanaha, P., Ahpra, S. C., Buzby, M. E., Cunningham, V. L., Duplessie, B. M., Hayes, E. P., Marstrocco, F. J., Parke, N. J., Rader, J. C., Samuelian, J. H. and Schwab, B. W. : Screening Analysis of human Pharmaceutical Compounds in U.S. Surface Waters. *Environmental Science and Technology*, **38**(3), 838-849, 2004.
- Schowaneck, D. and Webb, S. : Exposure simulation for pharmaceuticals in European surface waters with

- GREAT-ER. *Toxicology Letters*, **131**(1-2), 39-50, 2004.
9. Water Management Information System, <http://www.wamis.go.kr>.
  10. Ministry of Environment : Statics of Sewerage, 2008.
  11. Park, J. I : An approach for Developing aquatics Environmental Risk Assessment Framework for Pharmaceuticals in Korea, Korea Environment Institute, Seoul 2006.
  12. Korea National Statistical Office, <http://www.nso.go.kr>
  13. Ministry of Environment, Korea Land Corporation : Study for calculating the unit load of wastewater generation from housing areas and for estimating its treatment cost, 2001.
  14. US EPA : Guidance for the Industry : Environmental Assessment of Human Drug and Biologics Applications, 1998
  15. National Institute of Environmental Research : Development of analytical methods for pharmaceuticals and personal care products and their occurrences in the Environment I, 2006.
  16. National Institute of Environmental Research : Development of analytical methods for pharmaceuticals and personal care products and their occurrences in the Environment II, 2007.
  17. Jones, O. A. H., Voulvoulis, N. and Lester, J. N. : Aquatic environmental assessment of the top 25 English prescription pharmaceuticals. *Water Research*, **36**(20), 5013-5022, 2002.
  18. Ministry of Construction & Transportation : Master Planning Reports on River Improvement of Geum River, 2002.
  19. Ministry of Construction & Transportation : Annual Hydrological Report, 2002.
  20. <http://pre-pg.blogspot.com/2008/01/acetaminophen-tylenol.html>
  21. <http://dmd.aspetjournals.org/cgi/content/full/26/4/332>
  22. [http://www.rxlist.com/cgi/generic/mefenamic\\_cp.htm](http://www.rxlist.com/cgi/generic/mefenamic_cp.htm)
  23. <http://www.freepatentsonline.com/4601895.html>
  24. <http://doi.wiley.com/10.1002/jps.2600691105>
  25. <http://home.intekom.com/pharm/adcock/a-eryth.html>
  26. <http://www.emea.europa.eu/pdfs/vet/mrls/049798en.pdf>
  27. Gómez, M. J., Martínez Bueno, M. J., Lacorte, S., Fernández-Alba, A. R. and Agüera, A. : Pilot survey monitoring pharmaceuticals and related compounds in a sewage treatment plant located on the Mediterranean coast. *Chemosphere* **66**(6), 993-1002, 2007.
  28. US EPA : EPI Suite ver. 2.0, <http://epa.gov/opptintr/exposure/pubs/episuite.htm>
  29. EMEA : Guideline on the Environmental Risk Assessment of Medicinal Products for Human Use, 2006.
  30. US EPA, <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm>