

울산지역 주요 하천에서의 의약품 및 개인관리용품 분포현황

권혜옥 · 심원진^{1,2} · 김희영¹ · 오정은¹ · 최성득[†]

울산과학기술대학교 도시환경공학부, ¹부산대학교 사회환경시스템공학부, ²한국화학융합시험연구원 화학환경리치팀

Distribution of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Main Rivers of Ulsan, Korea

Hye-Ok Kwon, Won-Jin Sim^{1,2}, Hee-Young Kim¹, Jeong-Eun Oh¹, and Sung-Deuk Choi[†]

School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 689-798, Korea

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Busan National University, Busan 609-735, Korea

²Environmental Chemical Evaluation and REACH Team, Korea Testing and Research Institute, Ulsan 681-802, Korea

Received July 27, 2011/Accepted September 30, 2011

Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) have been recognized as emerging contaminants in freshwater. In recent years, a lot of monitoring studies have been carried out, and wastewater treatment plants (WWTPs) were identified as a major source of PPCPs. As Ulsan is a metropolitan city and there are more than four rivers and six WWTPs, we conducted the first PPCP monitoring study to investigate the level, pattern, and geographical distribution of PPCPs in Ulsan. We collected 19 river water samples and analyzed 29 PPCPs using an LC/MS/MS. Among the target compounds, 26 compounds were detected from the samples; Antibiotics, analgesic and antipyretics, and beta-blockers were dominant compounds. As lincomycin and atenolol were frequently detected with the highest concentrations, they were listed as priority PPCPs in Ulsan. The highest total concentration of PPCPs was measured at a sampling site near the Eonyang WWTP, demonstrating that the WWTP is an important source of PPCPs. However, the overall spatial distribution of PPCPs suggests that non-point sources are also important in Ulsan.

Key words: PPCP, Lincomycin, River, Water pollution, Ulsan

1. 서 론

일반가정, 축산농가, 병원 등에서 사용되는 의약품 및 개인관리용품(Pharmaceuticals and Personal Care Products: PPCPs)이 하수처리장 방류수, 하천, 호소 등에서 검출됨에 따라 이에 대한 관심이 증가하고 있다.¹⁻³⁾ PPCPs는 건강, 미용, 농축수산업 등에 사용되는 화학물질들을 통칭하는 용어로서 항생제, 진통해열소염제, 지질조절제와 같은 의약품질을 비롯하여 향수, 샤워용품, 곤충기피제와 같은 개인용품과 위생용품에 함유된 성분들을 포함한다.⁴⁾ 이러한 물질 중에서 항생제

와 같은 의약품질은 투여용량의 80~90%가 체외로 배출되며 물에 잘 녹는 성질이 있으므로 수환경에 지속적으로 유입된다.⁵⁾ 수계로 유입된 PPCPs가 인체에 직접적으로 미치는 영향은 아직까지 규명되지 않았지만,⁴⁾ 장기간 노출될 경우에는 수생태계에 영향을 줄 수 있다.⁶⁾ 축산농가에서는 의약품질이 함유된 다량의 가축분뇨가 발생하는데, 정화처리시설, 퇴비화시설, 액비화시설을 설치하여 자체처리하거나 위탁처리하고 있다.⁷⁾ 그러나 상당량의 가축분뇨는 적절하게 처리되지 않은 채 무단투기되거나 빗물 등과 함께 주변 토양과 하천을 오염시키므로 비점오염원으로 간주된다. 반면에 생활하수

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-52-217-2811, Fax: 82-52-2809, E-mail: sdchoi@unist.ac.kr

와 공장폐수는 하수관거를 통해 하수처리장으로 수집·처리되지만, 전국 하수도 보급률(89.4%)과 하수관거 보급률(75.4%)을 고려하면 상당량의 하·폐수가 적절하게 처리되지 않고 하천이나 토양·지하수로 유입되는 것으로 보인다.⁸⁾ 또한 기존 하수처리장은 방류수 배출허용기준(BOD, COD, SS, TN, TP 등) 준수를 목적으로 설치·운영되고 있으므로, 기존 수처리 공정으로는 PPCPs와 같은 미량유기오염물질 처리에 한계가 있다.¹⁾ 하수처리장 방류수 중 PPCPs는 수계로 유입되어 생태계를 교란시킬 가능성이 있으며,⁶⁾ 하수처리 부산물인 슬러지를 농지 객토에 사용할 경우에는 PPCPs가 농작물에 흡수되고,⁹⁾ 강우에 의해 주변 토양, 지하수, 하천을 오염시킬 수 있다. 지금까지 수계 PPCP 오염실태에 대한 연구들은 주로 국외에서 수행되었다.¹⁰⁻¹²⁾ 국내에서는 2006년 국립환경과학원에서 4대강(한강, 금강, 낙동강, 영산강) 하천수, 하수처리장, 축산폐수에서 16종의 의약품물질을 검출하였으며,¹³⁾ 최근에는 국내연구진들이 분석법 정립과 실태조사를 활발히 수행하고 있다.¹⁴⁻²⁴⁾

울산광역시에서는 최근(2011년 6월) 울산석유화학단지에서 발생하는 폐수를 처리하기 위한 시설용량 85,000 m³/일 규모의 용암폐수처리장을 준공했으며, 2012년까지 47,000 m³/일 규모의 굴화하수처리장과 5,000 m³/일 규모의 강동하수처리장을 준공할 예정이다. 또한 2015년까지는 100,000 m³/일 규모의 농소하수처리장을 신설할 계획이다.²⁵⁾ 이러한 울산지역의 하수처리량 증가를 고려할 때, 울산수계에서 PPCP 오염이 지속적으로 악화될 것으로 우려된다. 따라서 본 연구에서는 울

산지역 주요 하천에서 PPCP 농도수준과 지리적 분포를 파악하고자 한다. 이를 통해 오염원을 추적하고 집중관리 대상물질을 선정하여, PPCP 관리방안 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

2010년 6월 울산지역 주요 하천 19개 지점(태화강 7개 지점, 회야강 7개 지점, 여천천 3개 지점, 동천강 2개 지점)에서 시료를 채취하였다(Fig. 1). 시료채취지점은 수계 전반에 걸쳐서 골고루 위치하도록 선정하였으며 추후 연구를 위해서 접근이 비교적 용이한 곳을 선택하였다. 시료는 채취 직후 실험실로 운반하여 3.5 M 황산을 가하여 pH 2로 조절한 후 4°C 이하에서 냉장보관 하였다. 전처리와 기기분석은 시료채취 2주 이내에 완료하였다.

2.2. 분석항목 선정

PPCPs에 해당하는 물질은 매우 다양하므로, 기존 문헌과 국립환경과학원 조사항목을 고려하여 총 29종(항생제 10종, 진통해열소염제 6종, 지질조절제 2종, 호르몬류 5종, 베타차단제 3종, 항발작제 1종, 살균제 1종, 각성제 1종)을 분석항목으로 선정하였다(Table 1).

2.3. 기기분석

시료로부터 PPCPs를 추출하기 위하여 HLB(Hydro-

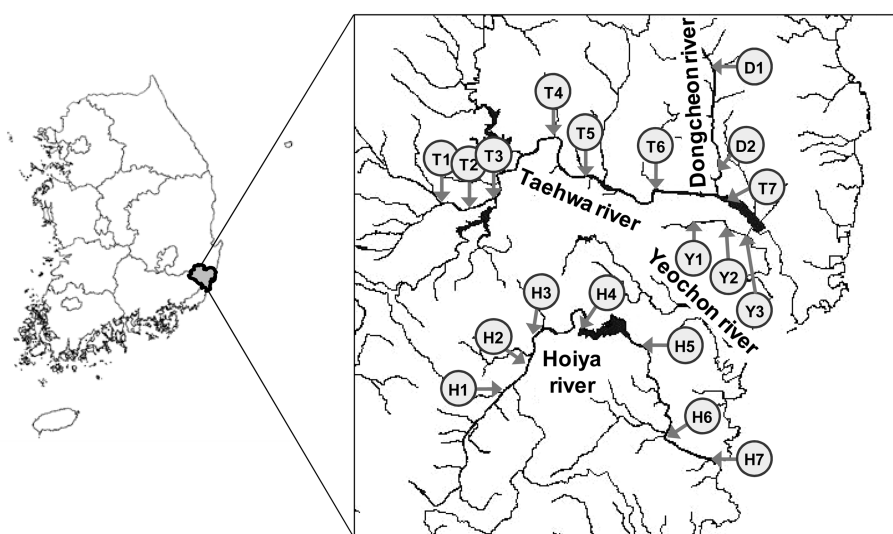


Fig. 1. Locations of sampling sites and main rivers in Ulsan, Korea.

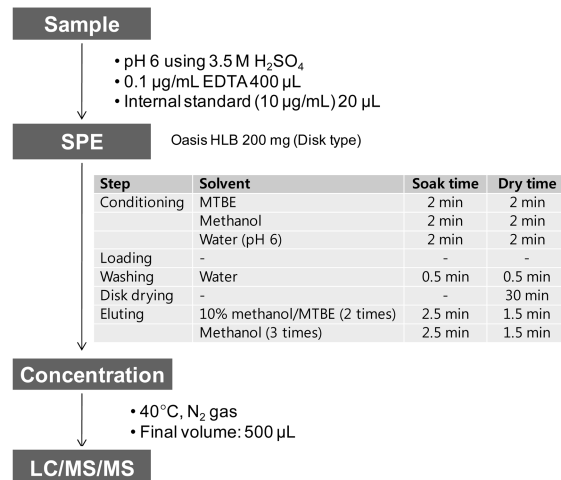
Table 1. Target compounds in this study

| Types | Compounds | Types | Compounds |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Antibiotic | Lincomycin | Analgesic and antipyretic | Acetaminophen |
| | Trimethoprim | | Mefenamic acid |
| | Sulfathiazole | | Ibuprofen |
| | Sulfamerazine | | Diclofenac |
| | Sulfamethazine | | Naproxen |
| | Sulfamonomethoxine | Ketoprofen | |
| | Sulfachloropyridazine | Beta-blocker | Atenolol |
| | Sulfamethoxazole | | Metoprolol |
| Lipid regulator | N-Acetyl sulfamethoxazole | Hormone | Propranolol |
| | Sulfadimethoxine | | Estrone |
| Germicide | Clofibric acid | | 17 β -Estradiol |
| | Gemfibrozil | | 17 α -Estradiol |
| Anti-seizure | Crotamiton | | Carbamazepine |
| Stimulant | Carbamazepine | 17 α -Ethinylestradiol | |

philic-Lipophilic Balance) 카트리지를 장착한 자동추출 장치(SPE-DEX, Horizon technology 4790, USA)를 이용하였다. 추출 전에 3.5 M 황산을 가하여 시료 pH를 6으로 조절하고, 0.1 $\mu\text{g/mL}$ EDTA(Ethylenediamine Tetra Acetic Acid) 400 μL 와 10 $\mu\text{g/mL}$ 내부표준물질(Sulfathiazole- d_4 , Ibuprofen- $^{13}\text{C}_3$, 17 β -estradiol- $^{13}\text{C}_2$) 20 μL 를 주입하였다. 카트리지(Oasis HLB 200 mg)에 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether), 메탄올, 증류수를 미리 흘려준 후 시료를 통과시키고 증류수로 세척하여 건조시켰다. 분석대상물질은 10% 메탄올/MTBE 혼합용액과 메탄올로 용리한 후 농축하여 액체크로마토그래프/질량분석기(LC/MS/MS, Agilent 6460 MSD, USA)를 이용하여 정성·정량하였다. 분석대상물질의 이온화법으로는 전기분무이온화방식(Electrospray Ionization: ESI)을 사용하였으며, MRM(Multi-Reaction Monitoring) 방식으로 분석하였다(Fig. 2). 분석대상물질의 물리화학적 특성에 맞게 세 그룹으로 나누어 분석하였으며, 구체적인 분석법(컬럼 성상, 컬럼 오븐 온도, 이동상, MS 조건 등)은 본 연구진이 작성한 보고서에 수록되어 있다.²⁶⁾

2.4. 정도관리

검정곡선 작성을 위해 0.01~2 $\mu\text{g/L}$ 의 농도 범위(5점)에서 표준물질 혼합용액을 조제하여 시료와 동일하게 전처리하였다. 검량선의 상관계수(R^2)는 0.99 이상이었으며 분석대상물질들은 내부표준법을 사용하여 정

**Fig. 2.** Analytical method for PPCPs used in this study.

량하였다. 분석방법의 회수율, 정확도, 정밀도를 파악하기 위해, 증류수에 표준물질을 첨가하여 0.5 $\mu\text{g/L}$ 로 만든 후 세 번 추출하여 분석하였다. 회수율의 경우 일부 물질은 50% 이하를 보였으나, 정확도와 정밀도는 각각 96~126%와 2~16%(상대표준편차) 범위를 나타내어 유효하였다. 실제시료에 함유된 방해물질의 영향(matrix effect)을 확인하기 위하여 시료에 표준물질을 주입하여 (0.5 $\mu\text{g/L}$ 농도로 조정) 3회 반복 측정하였다. 그 결과, 실제시료에서의 정확도는 77~129%, 정밀도(상대표준편차)는 0~19%를 나타내어 방해물질 영향이 허용가능한 수준이었다. 또한 분석대상 PPCPs의 엄격한 정량을

위해서 정량한계(Limit of Quantitation: LOQ)를 신호 대 잡음비(signal/noise: S/N)가 10 이상인 농도로 정의하였으며, 물질별로 0.088~8.266 ng/L의 범위로 나타났다. 실험과정에서 발생할 수 있는 오염을 확인하기 위하여 바탕시료를 분석한 결과, 실험과정 중 오염발생은 없는 것으로 나타났다. 자세한 QA/QC 결과는 본 연구진이 작성한 보고서에 수록되어 있다.²⁶⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 농도수준

울산수계 19개 지점에서의 PPCP 농도수준(평균, 최소값, 최대값)을 Table 2에 요약하였다. 항생제 린코마이신(Lincomycin)이 모든 지점에서 검출되었으며 분석대상 PPCPs 중에서 가장 고농도로 검출되었다(13~2620 ng/L, 평균 317 ng/L). 린코마이신 다음으로는 베타차단제 아테놀올(Atenolol)이 고농도(평균 229 ng/L)로 검출되었으며 각성제 카페인(Caffeine)이 그 뒤를 따랐다(평균 81 ng/L). 진통해열소염제 중에서는 아세트아미노펜(Acetaminophen), 메페나믹산(Mefenamic acid), 나프록센(Naproxen)이 주로 검출되었다. 국내·외 수계에서의 PPCP 검출사례를 조사한 결과,²⁶⁾ 울산수계에서 검출된

대부분의 PPCPs는 기존에 보고된 수준과 비슷하거나 낮은 수준이었다. 그러나 린코마이신은 낙동강 하천수(34±22 ng/L)와²¹⁾ 부산수계 하수처리장 말단 하천수(165 ng/L)¹⁹⁾ 보다 고농도로 검출되었으므로, 향후 지속적인 모니터링이 필요하다.

최근 식약청 발표에 의하면,²⁷⁾ 2010년 국내 의약품 생산실적은 항생제(1위), 진통해열소염제(2위), 혈압강하제(3위), 소화성궤양용제(4위), 순환계용약(5위) 순이었다. 특히, 혈압강하제 생산량이 지속적으로 증가하고 있는데, 이는 고령화 사회를 반영하는 것으로 해석되었다. 이러한 추세를 고려하면 다수의 불특정 의약품질을 지속적으로 모니터링하기 보다는 생산량 추세와 고농도 검출현황을 고려하여 보다 효율적인 관리대책을 수립하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 개별 PPCP의 검출빈도와 평균농도를 고려하여(Fig. 3), 울산수계에서 지속적으로 모니터링할 필요가 있는 관리대상 물질을 선정하였다. 전체 19개 시료 중에서 린코마이신, 페페나믹산, 카르바마제핀(Carbamazepine)은 모든 시료에서 검출되었으며, 트리메토프림(Trimethoprim), 아테놀올, 카페인은 18개 시료에서 검출되었다. 이러한 검출빈도와 위에서 언급한 농도수준을 고려할 때, 린코마이신과 아테놀올을 울산수계 집중관리 대상물질로 선정하였

Table 2. Levels of PPCPs in river waters collected in Ulsan, Korea (Unit: ng/L)

| Types | Compounds | Mean | Min | Max | Types | Compounds | Mean | Min | Max | |
|------------|--------------|--------|-----|------|-------------------------------|-----------|------|-----|-----|----|
| Antibiotic | LIN | 317 | 13 | 2620 | Analgesic & Anti-inflammatory | ACT | 35 | ND | 112 | |
| | TMP | 13 | ND | 43 | | MFN | 45 | 4 | 235 | |
| | STH | 1 | ND | 5 | | IBP | 19 | ND | 112 | |
| | SMR | 3 | ND | 13 | | DCF | 9 | ND | 107 | |
| | SMZ | 24 | ND | 280 | | NPX | 26 | ND | 118 | |
| | SMM | 2 | ND | 8 | | KTP | 3 | ND | 14 | |
| | SCP | 5 | ND | 13 | Lipid regulator | CFB | 3 | ND | 16 | |
| | SMX | 15 | ND | 53 | | GFB | 3 | ND | 18 | |
| | Beta-blocker | SMX-Ac | 6 | ND | 47 | Hormone | E1 | 3 | ND | 7 |
| | | SDM | 3 | ND | 7 | | β-E2 | ND | ND | ND |
| ATN | | 229 | ND | 1900 | α-E2 | | ND | ND | ND | |
| MTP | 5 | ND | 13 | E3 | 5 | | ND | 32 | | |
| Stimulant | PRP | 8 | ND | 37 | EE2 | ND | ND | ND | | |
| | CAF | 81 | ND | 208 | Germicide | CTM | 28 | ND | 146 | |
| | | | | | Anti-seizure | CBM | 32 | 7 | 132 | |

ND stands for not detected.

Lincomycin: LIN, Trimethoprim: TMP, Sulfathiazole: STH, Sulfamerazine: SMR, Sulfamethazine: SMZ, Sulfamonomethoxine: SMM, Sulfachloropyridazine: SCP, Sulfamethoxazole: SMX, N-Acetyl sulfamethoxazole: SMX-Ac, Sulfadimethoxine: SDM, Acetaminophen: ACT, Mefenamic acid: MFN, Ibuprofen: IBP, Diclofenac: DCF, Naproxen: NPX, Ketoprofen: KTP, Clofibrac acid: CFB, Gemfibrozil: GFB, Atenolol: ATN, Metoprolol: MTP, Propranolol: PRP, Estrone: E1, 17β-Estradiol: β-E2, 17α-Estradiol: α-E2, Estriol: E3, 17α-Ethinylestradiol: EE2, Crotamiton: CTM, Carbamazepine: CBM, Caffeine: CAF

다. 린코마이신은 대표적인 항생제이며, 아테놀올은 혈압강하제로 사용되는 의약품으로서 국내 생산실적 상위권에 속하는 물질이다. 향후, 울산지역에서의 의약품 질 소비량, 수환경 잔류농도, 생태독성 등을 고려하여 집중 관리대상물질을 체계적으로 선정할 필요가 있다. 또한 국내에서 많이 사용되고 있는 요오드계 x-ray 조영제 등 수계에서 검출 가능성이 큰 의약품질에 대한 추가연구도 수행할 필요가 있다.

3.2. 지리적 분포

울산수계 전반의 PPCP 오염분포를 파악하기 위해, 시료별 총 농도 분포도를 작성하였다(Fig. 4). 주거지역과 공단은 중·하류에 밀집되어 있으므로(지도상에서 우측방향), 하류에서 PPCP 오염도가 증가할 것으로 예상하였다. 그러나 실제로는 PPCP 농도의 지리적인 경향을 찾기 어려웠다. 울산지역 6개 주요 하수처리장 중에서 3개 하수처리장은 해안가에 위치하고 있으므로, 울산수계 PPCP 오염에 주된 영향을 미치는 하수처리장은 내륙에 위치한 연양하수처리장(W3), 회야하수처리장(W4), 여천위생처리장(W6)으로 예상된다. 회야강 H4 지점, 태화강 T2 지점, 여천천 Y2 지점은 이들 하수처리장 방류수 배출구에 인접한 지점이므로 PPCPs가 고농도로 검출될 것으로 예상되었으며, 실제로 태화강 T2 지점에서는 본 연구에서 가장 고농도(5.6 µg/L)로 검출되었다. 반면에 회야강 H4, 여천천 Y2 지점에서는 주변 지점과 비슷하거나 오히려 낮은 농도를 보였으므로, 하수처리장 방류수가 주변 하천수에 빠르게 희석되었을 가능성이 있다. 한편, 회야강에서는 당초 예상과는 다른 지점(H1, H5)에서 PPCPs가 고농도로 검출되었다. H1 지점은 하수처리장 상류에 위치하므로 하수처리장 방류수 영향을 받지 않는 지점이며, H5 지점은

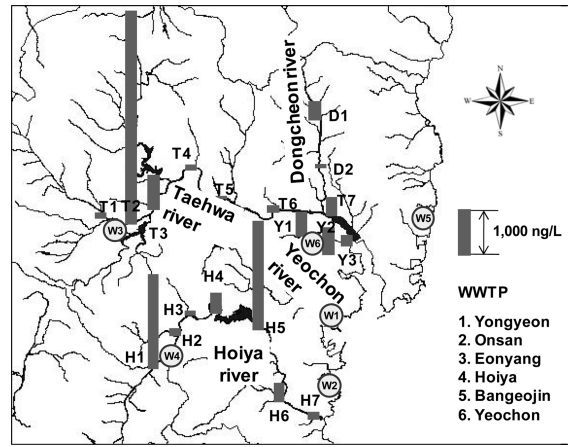


Fig. 4. Spatial distribution of total concentration of PPCPs in river waters in Ulsan, Korea.

하수처리장 하류에 위치하고 있으나 하수처리장과의 거리를 고려할 때 직접적인 영향이 적을 것으로 예상되며 회야호에 의한 희석효과도 예상되는 지점이다.

위의 결과를 고려할 때, 울산수계에서는 하수처리장이 PPCPs의 주요 오염원이지만 수계 전체의 농도분포를 결정하지 않는 것으로 보인다. 울산광역시 하수관거 보급률은 87%로서,²⁵⁾ 미처리 하수가 하천으로 유입될 가능성이 있다. 또한 동물용 항생제로 사용되는 설파메독사졸(Sulfamethoxazole)이 대부분의 지점에서 검출된 것을 고려하면(Fig. 3), 수계 근처 곳곳에 위치한 축산농가 등의 비점오염원 영향도 상당할 것으로 예상된다.

하천에 따른 PPCP 종류별 평균농도와 분포를 살펴보면(Fig. 5), 회야강과 태화강은 비슷한 농도수준이며, 동천강과 여천강은 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 이 결과는 회야강과 태화강이 여천천과 동천강에 비해 대형하천이며 보다 다양한 용도로 사용되고 비점오염원

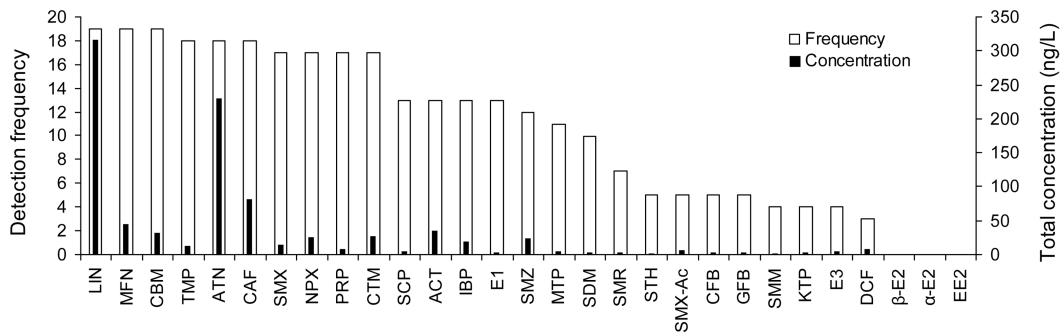


Fig. 3. Detection frequency and average concentration of each PPCP in river waters in Ulsan, Korea. The total number of samples is 19.

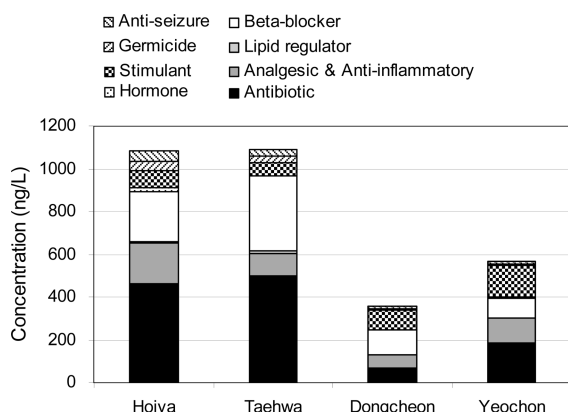


Fig. 5. Averaged total concentrations of PPCP groups for each river in Ulsan, Korea.

영향을 많이 받기 때문이라고 해석될 수 있다. 그러나 고농도 PPCPs가 검출된 T2, H1, H5 지점 자료를 제외하면 하천별 평균농도는 비슷한 수준으로 울산수계 전반적으로 비슷한 농도수준이라고 할 수 있다. 대부분의 하천에서는 항생제와 진통해열소염제 비율이 높았으나, 동천강에서는 항생제 비율이 다소 낮은 수준이었다. 시료별 농도경향과 오염특성을 보다 자세히 살펴보기 위하여 PPCP 개별물질의 농도비(상대적인 비율)를 입력자료로 사용하여 주성분분석과 군집분석을 실시하였다(Data not shown). 하수처리장 하류에 위치하고 서로 가까이 위치한 일부 시료들은 비슷한 농도경향을 보였으나, 하천에 따른 시료의 군집화가 이루어지지 않았다. 즉, 하천별로 특정한 오염경향이 있다기 보다는 하수처리장 위치, 하수처리량, 인구밀도, 축산농가 등 비점오염원 위치 등이 복합적으로 작용하여 수계전체의 PPCP 농도분포와 경향을 결정하는 것으로 판단된다.

3.3. 후속연구 제안

본 연구에서는 울산수계 최초로 PPCP 모니터링을 수행하여 오염상태를 조사하였으며, 이 결과를 토대로 PPCP 분포에 대한 원인을 규명하고 고농도 검출항목에 대한 해결방안을 제시할 필요가 있다. 이를 위한 단계별 후속연구를 Fig. 6에 제시하였다. (1) 산발적으로 분포한 비점오염원에서의 PPCP 배출에 관한 연구가 수행되어야 하며, (2) PPCP 주요 배출원인 하수처리장에 대한 종합적인 연구가 필요하다. 특히 각 하수처리장은 처리공정이 상이하여 오염물질 제거율에 많은 차이가 있으므로, 공정별 처리효율에 대한 연구가 이루어

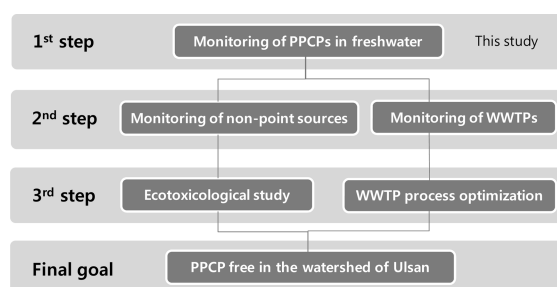


Fig. 6. Further studies for PPCPs in Ulsan, Korea.

져야 한다. (3) 또한 일부 의약품질의 대사산물 모니터링과 수생태계 위해성 평가가 필요하며, (4) 최종적으로 PPCPs를 효과적으로 제거하기 위한 공정 최적화 방안을 마련하고 신기술을 개발해야 한다.

4. 결 론

울산지역 주요 하천인 태화강, 회야강, 여천천, 동천강에서 총 29종의 PPCPs를 모니터링한 결과, 일부 호르몬류를 제외하고 26종의 다양한 물질들이 검출되었다. 특히 항생제, 진통해열소염제, 베타차단제, 각성제 등이 주로 검출되었는데, 이는 국내 의약품질 생산량과 체내 배출특성으로 인한 것으로 보인다. 항생제 린코마이신과 베타차단제 아테놀올은 거의 모든 지점에서 비교적 고농도로 검출되었으므로 집중관리 대상으로 선정되었다. PPCPs의 지리적 분포는 내륙에 위치한 하수처리장, 산발적으로 위치한 축산농가, 부족한 하수처리 시설로 인한 비점오염원에 의해 결정되는 것으로 판단된다. 본 연구는 수생태계-미량오염물질 관련연구가 미약한 울산지역에서 최초로 PPCP 오염현황을 조사한 사례이며, 단계별 후속연구도 제안하였다. 실제로 이 연구결과를 기초로 (1) 하수처리 과정에서의 의약품물질 처리와 (2) 고도산화 정수처리를 통한 의약품질 제어 연구들이 진행되고 있다. 향후 이러한 연구들이 울산지역의 지속가능하고 안전한 하천 이용과 수생태독성 연구를 활성화하는데 기여할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 울산지역환경기술개발센터 연구개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. D. S. Aga, 2008. Fate of pharmaceuticals in the environment and in water treatment systems. CRC Press, Boca Raton.
2. A. Pal, K. Y.-H. Gin, A. Y.-C. Lin, and M. Reinhard, *Science of the Total Environment*, **2010**, 408, 6062-6069.
3. K. E. Murray, S. M. Thomas, and A. A. Bodour, *Environmental Pollution*, **2010**, 158, 3462-3471.
4. US-EPA, 2011. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) <http://www.epa.gov/ppcp/>.
5. 김명현, 박정임, 김영희, 최경호, *한국환경보건의학회지*, **2006**, 32, 462-468.
6. K. Fent, A. Weston, and D. Caminada, *Aquatic Toxicology*, **2006**, 76, 122-159.
7. 국립환경과학원, 2004. 축산폐수 처리 통계.
8. 환경부, 2010. 2009 하수도통계.
9. C. Wu, A. L. Spongberg, J. D. Witter, M. Fang, and K. P. Czajkowski, *Environmental Science and Technology*, **2010**, 44, 6157-6161.
10. W. Chenxi, A. L. Spongberg, J. D. Witter, M. Fang, and K. P. Czajkowski, *Environmental science and Technology*, **2010**, 44, 6157-6161.
11. L. Lishman, S. A. Smyth, K. Sarafin, S. Kleywegt, J. Toito, T. Peart, B. Lee, M. Servos, M. Beland, and P. Seto, *Science of the Total Environment*, **2006**, 367, 544-558.
12. C.-P. Yu, and K.-H. Chu, *Chemosphere*, **2009**, 75, 1281-1286.
13. 국립환경과학원, 2006. 환경 중 의약품질 분석방법 연구 및 노출실태조사.
14. 서천규, 김병주, 조현우, 남윤구, 김탁현, 이면주, 명승운, *한국환경분석학회지*, **2009**, 12, 273-282.
15. 구소현, 조현우, 명승운, *한국환경분석학회지*, **2007**, 10, 237-247.
16. 김정희, 최재원, 이재희, 백경희, *대한환경공학회지*, **2007**, 29, 610-617.
17. 이민주, 류재나, 오재일, 김현배, *대한환경공학회*, **2009**, 783-792.
18. 김준우, 김종구, 장효상, 조현서, 다카오유지, 아리조노코지, *한국환경과학회지*, **2009**, 18, 245-254.
19. 이은영, 심원진, 오정은, *한국환경분석학회지*, **2008**, 11, 130-143.
20. S. D. Kim, J. Cho, I. S. Kim, B. J. Vanderford, and S. A. Snyder, *Water Research*, **2007**, 41, 1013-1021.
21. W.-J. Sim, J.-W. Lee, and J.-E. Oh, *Environmental Pollution*, **2010**, 158, 1938-1947.
22. Y. Yoon, J. Ryu, J. Oh, B.-G. Choi, and S. A. Snyder, *Science of the Total Environment*, **2010**, 408, 636-643.
23. W. J. Sim, J. W. Lee, E. S. Lee, S. K. Shin, S. R. Hwang, and J. E. Oh, *Chemosphere*, **2011**, 82, 179-186.
24. 장태수, 홍영민, 권오성, 김현욱, *한국환경분석학회지*, **2009**, 12, 103-129.
25. 울산광역시, 2010. 환경백서 울산의 환경.
26. 최성득, 2010. 울산지역 수환경에서의 의약품질 및 개인관리용품 오염실태 조사. 울산지역환경기술개발센터.
27. 식약청, 2011. 의약품안전정책과 보도자료(6월 23일).