

## 서울지역 물재생센터 유입·방류수에서 합성사향물질 오염특성연구

수질화학팀·물환경생태팀\*

홍주희·이준연·최예덕·강경화·이진·이순희  
안정희·이효진·하현주\*·윤호균\*·한규문·전재식

## Occurrence of Synthetic Musk Compounds in a Wastewater Treatment Plant in Seoul, Korea

*Water Chemistry Team·Aquatic Ecology Team\**

**Ju-hee Hong, Jun-yeon Lee, Ye-duk Choi, Kyung-hwa Kang,  
Jin-Lee, Soon-hee Lee, Jong-hee An, Hyo-jin Lee, Hyun-ju Ha\*,  
Ho-kyun Yoon\*, Kyu-mun Han and Jae-sik Jeon**

### Abstract

Synthetic musk compounds are widely used as fragrance raw materials in products such as perfumes, cosmetics, detergents, and shampoos. These compounds are discharged into the environment via municipal sewage effluents or sludge after passing through domestic sewage. According to previous research, such synthetic compounds readily bioaccumulate in the environment and the human body with persistent use. This study investigated HHCB(1, 3, 4, 6, 7, 8-Hexahydro-4, 6, 6, 7, 8, 8-hexamethylcyclopenta- $\gamma$ -2-benzopyren) and AHTN(1-(3, 5, 5, 6, 8, 8-hexamethyl-5, 6, 7, 8-tetrahydro-2-naphthalenyl)), the most commonly used synthetic musk compounds, as well as the toxic nitro-musk compounds musk xylene and musk ketone. Analyses of the influent and effluent of a sewage treatment plant in Seoul, a tributary of the Han River, and the main stream of the Han River were carried out. The levels of HHCB, AHTN, and musk ketone detected were similar to those found in previous studies.

**Key words** : synthetic musk compounds, HHCB, AHTN, musk xylene, musk ketone,  
sewage treatment plant

## 서론

사향(musk)은 수컷 사향노루(*Moschus moschiferus* L.)의 생식기 부근의 사향주머니 속 샘 분비물로 독특한 향이 있어 예로부터 고급 향료로 쓰여 왔다(1, 2). 그러나 사향노루의 무분별한 포획으로 천연사향을 구하기 어려워짐에 따라 대체품으로 개발된 것이 합성사향(synthetic musk)이다. 합성사향은 향수, 화장품 뿐 아니라 샴푸, 비누, 세제 등 일상생활에서 사용되는 생활용품에 향을 내는 원료로 널리 사용되고 있다.

합성사향은 구조 및 합성방법에 따라 크게 nitro musk, polycyclic musk, macrocyclic musk로 구분할 수 있으며 이 중 macrocyclic musk는 합성과정이 복잡하고 가격이 비싸 일반적으로 사용하지 않는다(3). nitro musk는 1888년 Baur에 의해 우연히 합성되어 사용되어 왔으나 최근 독성이 밝혀지면서 사용을 제한하는 나라들이 늘고 있다. 이에 상대적으로 독성이 적은 polycyclic musk로 대체되고 있는 실정이다(3). 2006년 기준으로 우리나라의 합성사향물질 사용량은 polycyclic musk(HHCB 60.6톤, AHTN 2.0톤)가 nitro musk(musk ketone 11.6톤, nitro xylene 0.9톤)보다 월등하게 많은 것으로 나타났다(4). 이에 본 연구에서는 polycyclic musk 중 대부분의 사용량을 차지하는 HHCB와 AHTN과(5, 6) Nitro musk의 대표적인 물질 2종(musk-xylene, musk-ketone)을(7, 8) 조사하였다.

2007년 Laurence Roosens은 생활제품 82건에 대한 합성사향물질을 분석한 결과, HHCB는 조사대상 제품의 55%에서 0.02~22,000  $\mu\text{g/L}$ , AHTN은 70%에서 0.005~8,000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도로 검출되었다. 또한 Musk xylene과 Musk ketone은 각각 10%와 9%의 제품에서 <0.003~26  $\mu\text{g/L}$ , <0.003~0.5  $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 검출되었다. HHCB와 AHTN은 향수에서 가장 높은 농도였고, musk xylene은 로션, musk ketone은 헤어케어 제품에서 높게 나타났다(9).

합성사향물질은 사용범위가 넓고 생활용품으로 사용됨으로 사용량의 90% 이상이 생활하수로 유입된다(10). 그러나 하수처리시설에서 처리율은

46~54%이며, 처리된 부분 또한 슬러지형태로 환경 중에 배출된다(11). 합성사향물질은 난분해성이라 환경 중에 잔류하고, 친유성이므로 인체 내 유입 시 지방조직에 축적된다. 인체지방세포와 우유, 심지어 모유 중에서도 HHCB와 AHTN이 검출되어 Kannan 등은 안전성을 제기하였다(12).

Kathryn 등은 합성사향물질 중 nitro musk 화합물이 약한 내분비계 교란물질로 작용하며, 쥐를 대상으로 실험한 결과 여러 가지 암을 유발하는 물질로서 benzo-a-pyren 등과 존재할 경우 상승효과에 의해 독성을 증가시킨다고 보고하였다(13).

또한 합성사향물질의 독성과 관련하여 미국 환경청(US EPA)에서는 미국으로 수입되는 화학물질(Chemical), 혼합물(mixture), 제품(article)은 반드시 사전에 화학물질 관리법인 독성물질관리법(TSCA, Toxic Substances Control Act)을 만족하여야 하며, 부적합한 제품은 수입 금지, 반출되거나 법적처분을 받도록 하고 있다(14). 합성사향물질은 생산량과 사용량이 많아 환경 중 유출량이 많고, 잔류성(Persistent), 생물농축성(bioaccumulative), 독성(Toxic)이 있어 관리대상물질로 등재되어 있다(10).

유럽화학물질청(ECHA, European Chemical Agency)은 신화학물질 관리제도(REACH, Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical)를 통하여 고위험성우려물질(SVHC, Substances of very high concern List)을 지정하고, 해당 물질이 포함된 원료나 제품의 제조 또는 수입 시 사전허가를 받도록 하고 있다(13, 15). HHCB, AHTN, musk-xylene은 강한 잔류성과 강한 생물농축성(vPvB : very persistent, very Bioaccumulative)으로 인해 SVHC List에 포함되어 관리되고 있다.

또한 유럽화학물질청에서는 HHCB를 급·만성 수생태계 독성물질로 분류하고 있으며, musk-xylene과 musk-ketone은 급·만성 수생태계 독성물질, 발암가능물질로 분류하여 주의를 요하고 있다(15). 합성사향물질이 수생태계에 영향을 끼치지 않을 예측무영향농도(PNEC, Predicted No Effect Concentration)를 HHCB 4.4  $\mu\text{g/L}$ , AHTN 2.8  $\mu\text{g/L}$ , musk ketone 1.0  $\mu\text{g/L}$ , musk

xylene 1.1  $\mu\text{g/L}$ 로 설정하였다(5~8).

2009년 서 등은(16) 낙동강유역 하천수의 합성사향물질 조사에서 HHCB 17.0~1445.4 ng/L, AHTN 3.4~137.2 ng/L, musk ketone은 1.0~127.1 ng/L의 범위였고 musk xylene은 검출되지 않았다. 2010년 이 등의(17) 낙동강 유역 하천수 및 하수처리장 유출·방류수에 대하여 합성사향물질 오염실태를 조사한 결과에서 하천수 시료의 77%에서 HHCB가 0.11~1.06  $\mu\text{g/L}$ , AHTN은 27%의 시료에서 0.10~0.17  $\mu\text{g/L}$ 였고, musk-xylene 및 musk ketone은 불검출되었다. 또한 하수처리장 유입수는 HHCB 0.65~7.05  $\mu\text{g/L}$ , AHTN 0.15~0.96  $\mu\text{g/L}$  그리고 musk ketone은 0.31~1.08  $\mu\text{g/L}$ 로 검출되었고, 방류수에서는 HHCB 0.21~3.77  $\mu\text{g/L}$ , AHTN 0.10~0.55  $\mu\text{g/L}$ , musk ketone은 0.28~0.70  $\mu\text{g/L}$ 으로 나타났다(17).

이와 같이 합성사향물질에 대한 국내·외 선행 조사가 있었으나 인구밀집도가 높고 화학제품 사용량이 많은 서울지역에 대한 관련조사가 부족하여 본 조사를 통해 합성사향물질에 대한 분석방법

을 정립하고 서울시내 물재생센터 유입·유출수 및 한강수계 지천 및 본류 등을 대상으로 오염특성을 조사하여 합성사향물질의 환경오염 방지대책의 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 대상 합성사향물질

Polycyclic musk 중 대부분의 사용량을 차지하는 HHCB와 AHTN과(5, 6) Nitro musk의 대표적인 물질 2종(musk-xylene, musk-ketone)을(7, 8) 대상으로 하였으며 그 화학적 특성은 표 1과 같다.

### 2. 시료채취

조사대상지역은 서울지역 발생하수를 처리하는 4개 물재생센터(난지, 중랑, 탄천, 서남) 유입수와 방류수 13개 지점 및 지천 2개 지점과 한강본류 2개 지점으로 하였으며, 채수는 2016년 10월과 11

**Table 1.** List of synthetic musk compounds used in this study

| Compound name  | Cas No.                 | M.W   | Chemical formula                                 | Chemical structure |
|--|-------------------------|-------|--|--------------------|
| HHCB<br>(1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopenta- $\gamma$ -2-benzopyren, Galaxolide) | 1222-05-5               | 258.4 | $\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{O}$             |                    |
| Polycyclic musk  |                         |       |  |                    |
| AHTN<br>(1-(3,5,5,6,8,8-hexamethyl-5,6,7,8-tetrahydro-2-naphthalenyl)ethanone, Tonalide)             | 21145-77-7<br>1506-02-1 | 258.4 | $\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{O}$             |                    |
| Musk xylene<br>(5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-meta-xylene)   | 81-15-2                 | 297.3 | $\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_6$ |                    |
| Nitro musk   |                         |       |  |                    |
| Musk ketone<br>(1-(4-tert-butyl-2,6-dimethyl-3,5-dinitrophenyl)ethanone)                             | 81-14-1                 | 294.3 | $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$ |                    |

월에 걸쳐 진행하였다. 물재생센터 유입수와 유출수를 수질오염공정시험기준에 따라 채수하였으며 한강 지천 중 중랑 물재생센터의 영향을 받는 중랑천의 상류와 하류 각 1지점씩을 포함하였다. 한강본류는 성수대교와 성산대교부근에서 배를 타고 강 가운데 지점 수표면 으로부터 약 50 cm 지점에서 채수하였고, 전체 시료채수지점은 그림 1과 같다. 시료는 2L 유리병에 기포 없이 가득 채취하였으며, 분석하기 전까지 4°C 이하로 냉장 보관하여 24시간 이내에 분석하였다.

### 3. 시약 및 기구

HHCB 표준물질은 Dr.Ehrenstorfer(Germany) 및 TRC(Canada)사, AHTN의 표준물질은 Dr.hrenstorfer(Germany) 및 Sigma-aldrich사, Musk

xylene과 Musk ketone은 미국의 Sigma(USA)사의 제품을 사용하였다. 내부표준물질은 CHIRON Norway) 제품 Fluoranthene-d10을 사용하였으며, 분말형태로 구매된 모든 표준물질은 각각 아세톤(99.5% 이상)에 용해하여 표준원액을 조제하였고, 희석액으로 아세톤을 이용하였다.

추출용매는 HPLC급의 Dichloromethane(Fisher)과 n-Hexane(Fisher)으로 사용하였다. 실험에 사용된 모든 초자 및 기구는 사용 전 Acetone과 n-Hexane으로 이중 세척 후 사용하였으며 정제수는 Fisher 제품을 사용하였다.

### 4. 분석

#### 1) 전처리

시료 200 mL를 250 mL 분액여두에 취하여 내

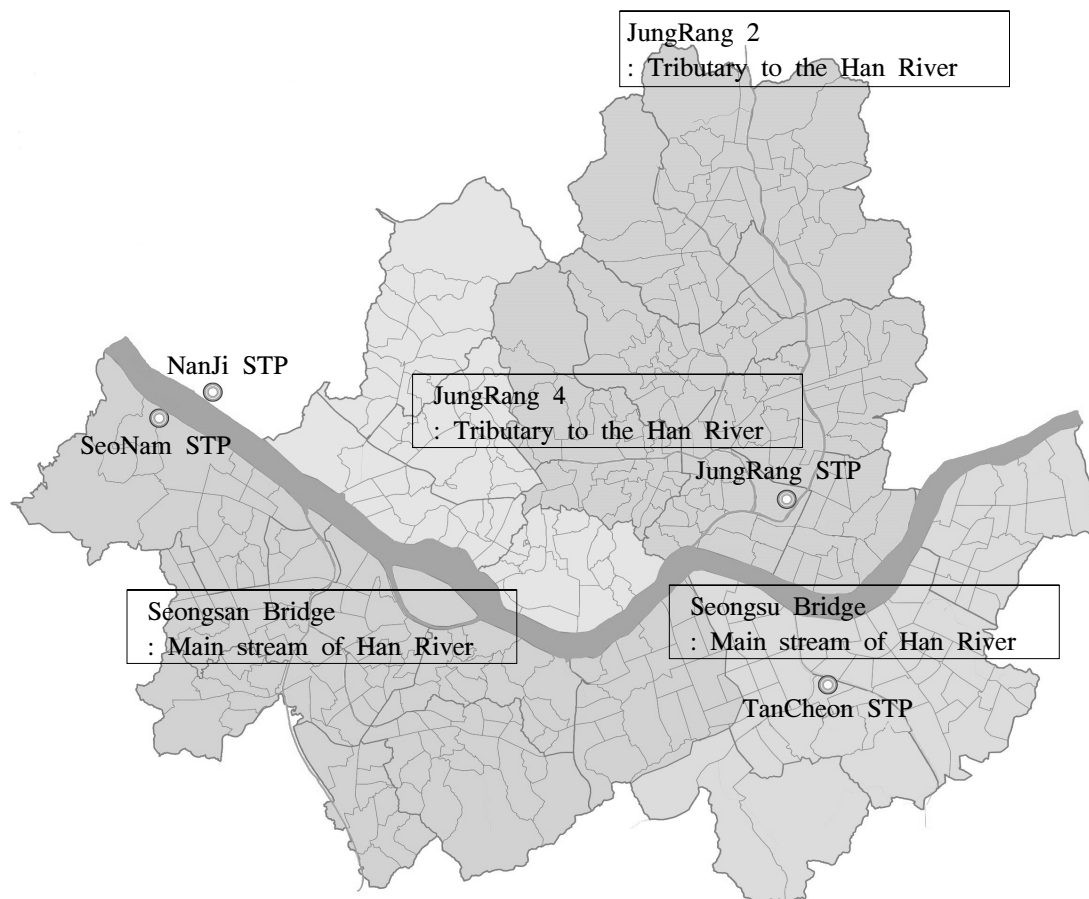


Fig. 1. Sampling sites in the Han River basin.

부표준물질(Fluoranthene-d10)을 주입하고 디클로로메탄 10 mL과 헥산 10 mL를 이용하여 2회에 걸쳐 액·액 추출한 후 용매층을 무수황산나트륨을 이용하여 수분을 제거하여 농축튜브에 합친 후 질소농축기를 이용하여 1 mL까지 농축 후 시험액으로 하였다.

## 2) 기기분석

액·액 추출과 농축을 마친 시험액은 Shimadzu사(Japan)의 기체크로마토그래프/질량분석기(GC/MS) QP-2020으로 분석하였으며, 컬럼은 Chrom-1MS(30 m × 0.25 μm × 0.25 μm)이며 GC/MS 분석

조건 및 정량이온과 확인이온은 표 2와 표 3과 같다.

## 결과 및 고찰

### 1. 분석정도관리

본 실험 데이터의 신뢰성 확보를 위해 0.05~10 μg/L의 농도 표준물질을 첨가한 8개의 시료를 준비하여 전처리과정을 거친 후 GC/MS로 분석하여 그림 2와 같이 검정곡선을 작성하였다. 표 4에 나타난 바와 같이 측정 항목 모두에서 직선성이 0.99 이상으로 양호하였으며, 정제수에 0.25 μg/L

**Table 2.** Analytical conditions used for GC/MSD

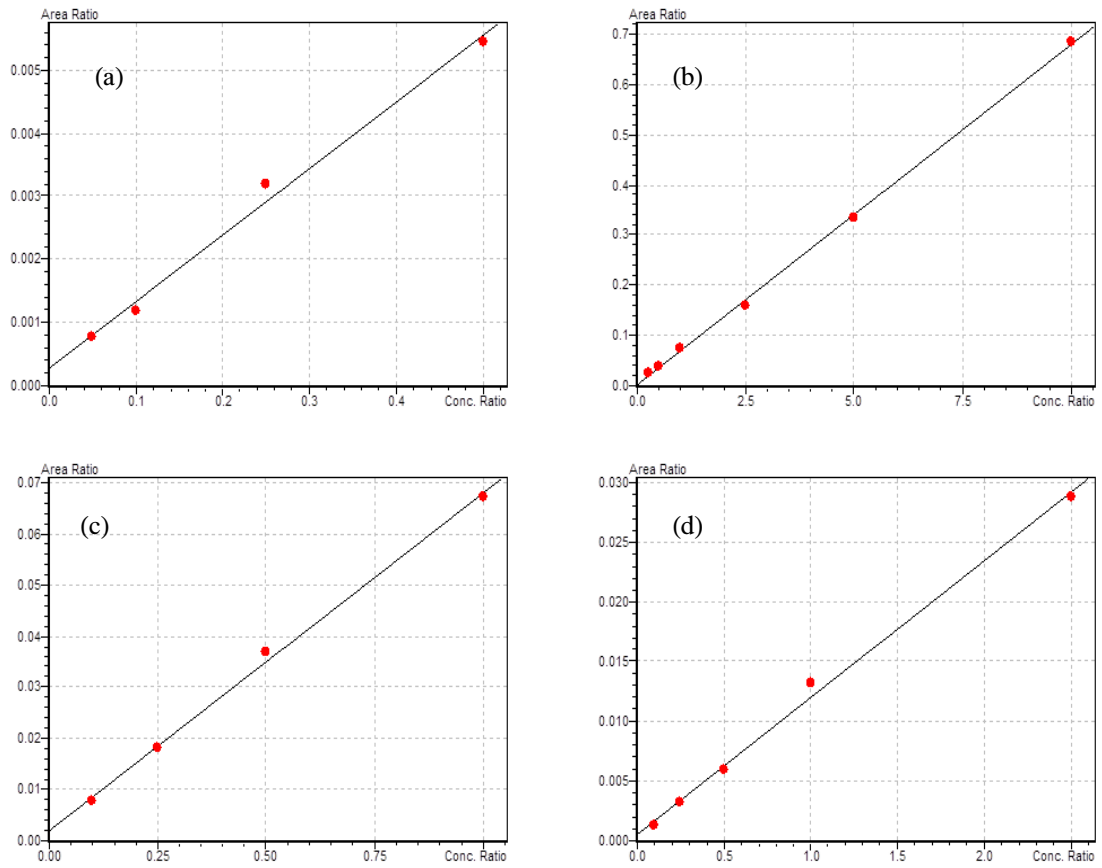
| Parameter       | Condition   |
|-----------------|---|
| Column          | Chrom-1MS, 100% Dimethylpolysiloxane(30 m × 0.25 μm × 0.25 μm)    |
| Oven Temp.      | 120°C(2 min) → 10°C/min → 160°C(3 min) → 2.5°C/min → 250°C(2 min) |
| Injection Temp. | 230°C   |
| Carrier gas     | He  |
| Inj. Volume     | 1 μL (Split mode, split ratio 2.0)                                |
| Column Flow     | 0.90 mL/min   |

**Table 3.** Retention time and selected ions for the target compounds

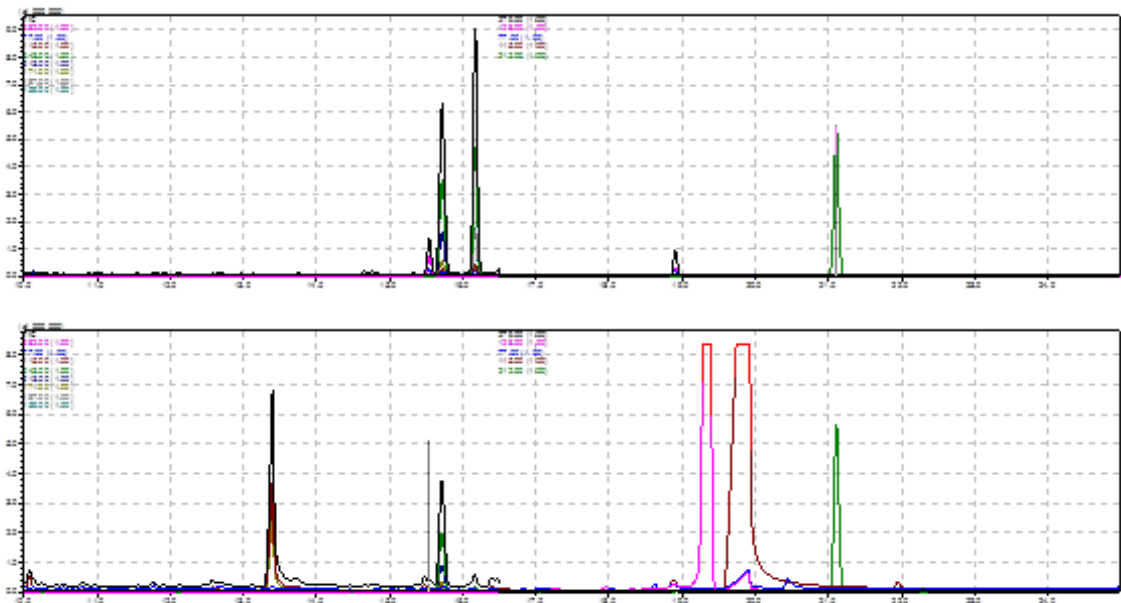
|             | Retention time | m/z | Reference ion |
|-------------|----------------|-----|---------------|
| Musk xylene | 15.542         | 282 | 77, 115       |
| HHCB        | 15.720         | 243 | 213, 171      |
| AHTN        | 16.174         | 243 | 187, 159      |
| Musk ketone | 18.909         | 279 | 128, 77       |
| F-d10(IS)   | 21.108         | 212 | 106, 213      |

**Table 4.** Method quality control data for the target compounds

|             | Conc. Range (μg/L) | Linearity (r <sup>2</sup> ) | MDL (μg/L) | LOQ (μg/L) | Accuracy (%) | Precision (RSD%) | Relative Percent Difference(%) |
|-------------|--------------------|-----------------------------|------------|------------|--------------|------------------|--------------------------------|
| HHCB        | 0.25~10            | 0.9993                      | 0.074      | 0.236      | 99.35        | 6.55             | 5.25                           |
| AHTN        | 0.1~1.0            | 0.9978                      | 0.034      | 0.107      | 85.40        | 15.89            | 2.87                           |
| Musk xylene | 0.05~0.5           | 0.9924                      | 0.062      | 0.196      | 104.4        | 4.41             | 7.84                           |
| Musk ketone | 0.1~2.5            | 0.9960                      | 0.037      | 0.117      | 101.9        | 6.74             | 3.32                           |



**Fig. 2.** Calibration curve of (a) musk xylene, (b) HHCb, (c) AHTN and (d) musk ketone.



**Fig. 3.** Total ion chromatograms of (A) standard and (B) STP Influent.

로 표준물질을 첨가한 시료 7개를 전처리 후 분석하였다. 표준편차를 구하여 자유도 6에서의 student t값(3.14)을 곱하여 방법검출한계(MDL : Method Detection Level)로 하였으며 표준편차에 10을 곱한 값을 정량한계(LOQ : Limit of quantification)로 산정하였다. 또한 정제수에 0.50 µg/L로 표준물질을 첨가한 시료를 여러 개 준비하여 동일한 전처리과정을 거친 후 반복 시험한 결과값과 인증값과의 상대백분율을 구하여 정확도를 산정하였다. 정밀도는 상대표준편차(RSD : relative standard deviation)를 평균값으로 나눈 후 백분율 값으로 나타내었다. 또한, 전처리과정의 오차를 확인하기 위하여 정제수를 동일한 전처리과정으로 처리한 방법바탕시료를 분석하여 시험과정에서 오염이 없음을 확인하였으며 이중시료(Duplicate)를 각각 분석하여 두 시료의 측정값차를 두 시료 측정값의 평균값으로 나누어 상대편

차백분율(RPD : relative percent difference)를 구하였다. 항목별 방법검출한계와 정량한계 및 정확도, 정밀도 결과는 표 4와 같다.

## 2. 물재생센터 유입·방류수 분석결과

서울시내 난지, 중랑, 탄천, 서남 4개 물재생센터의 유입수 5지점과 방류수 8개 지점을 분석한 결과, 유입수의 경우 HHCB 5.399~8.403 µg/L, AHTN 0.349~0.488 µg/L, musk ketone 0.793~1.500 µg/L의 농도로 각각 나타났으며, 방류수의 경우 HHCB 2.019~2.707 µg/L, AHTN 0.106~0.137 µg/L, musk ketone 0.395~0.632 µg/L의 농도로 각각 검출되었다. musk xylene은 유입수와 방류수 모두에서 정량한계 미만으로 불검출되었다.

본조사에서 물재생센터 유입수에 대한 합성사향물질 검출농도는 HHCB > musk ketone >

**Table 5.** Concentration of synthetic musk compounds in STP influent/effluent and Han river

| Sampling point | Polycyclic musk |            | Nitro musk        |                   |       |
|----------------|-----------------|------------|-------------------|-------------------|-------|
|                | HHCB(µg/L)      | AHTN(µg/L) | Musk xylene(µg/L) | Musk ketone(µg/L) |       |
| STP1           | Influent        | 5.399      | 0.349             | N.D.              | 0.793 |
|                | Effluent #1     | 2.458      | 0.112             | N.D.              | 0.424 |
|                | Effluent #2     | 2.698      | 0.121             | N.D.              | 0.449 |
| STP2           | Influent        | 6.508      | 0.480             | N.D.              | 1.144 |
|                | Effluent #1     | 2.620      | 0.121             | N.D.              | 0.516 |
|                | Effluent #2     | 2.707      | 0.137             | N.D.              | 0.195 |
| STP3           | Influent #2     | 6.246      | 0.353             | N.D.              | 0.984 |
|                | Influent #3     | 8.403      | 0.485             | N.D.              | 1.500 |
|                | Effluent #2     | 2.019      | 0.106             | N.D.              | 0.632 |
| STP4           | Effluent #3     | 2.385      | 0.112             | N.D.              | 0.472 |
|                | Influent        | 7.506      | 0.488             | N.D.              | 1.336 |
|                | Effluent #1     | 2.565      | 0.131             | N.D.              | 0.417 |
| J1             | Effluent #2     | 2.255      | 0.115             | N.D.              | 0.395 |
|                | J1              | 2.312      | 0.169             | N.D.              | 0.430 |
| J2             | J2              | 3.229      | 0.212             | N.D.              | 0.583 |
|                | S1              | 0.467      | N.D.              | N.D.              | N.D.  |
| S2             | 0.594           | N.D.       | N.D.              | N.D.              |       |

AHTN > musk xylene의 순으로 이는 국내 합성 사향물질 사용량 분포와도 일치하였다.(4) 이는 일상생활에서 사용되는 합성사향물질이 대부분 생활하수로 배출되었기 때문으로 판단된다.

### 3. 지천 및 한강본류 분석결과

물재생센터에서 처리되지 않고 방류되는 합성사향물질은 한강으로 유입될 수 있어 중량물재생센터 방류수의 영향을 받는 지천인 중량천의 상류, 하류지점과 한강본류에 대해 조사한 결과는 표 5와 같이 나타났다.

중량천의 경우 지천의 상류지점인 중량 #2의 농도가 방류수 수준으로 예상보다 높게 검출되었다. 이는 물재생센터 방류수 일부를 고도처리 후 중량천 상류로 방류하여 중량천의 하천유지용수로 사용하고 있기 때문인 것으로 추정된다.

상류지점인 중량 #2 지점보다 하류지점인 중량 #4 지점에서 HHCB, AHTN, musk ketone이 약간 높은 수준으로 검출되었는데 이는 중량 #4지점 부근에서 방류되는 중량 물재생센터 방류수의 영향으로 판단된다.

한강본류의 경우 HHCB만 미량 검출되었으며, 나머지 항목은 검출되지 않았다. 이는 희석 수량의 증가로 인한 희석효과 때문인 것으로 판단된다. 검출농도는 성수대교지점이 약간 더 높게 나타났다. 이는 성수대교가 물재생센터 방류구와 거리가 더 가까워 방류수의 영향을 받는 것으로 추정된다. 지천 및 본류에서 검출된 농도는 수생태계 예측무영향농도(PNEC)보다 낮은 수준이었으나 분석횟수와 분석지점이 적어, 향후 지점과 횟수를 늘려 지속적인 모니터링을 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 결 론

서울지역 발생하수를 처리하는 4개 물재생센터 유입수와 방류수 그리고 방류하수가 미치는 영향을 파악하기 위해 인근 한강본류와 지천에 대한 4종류 합성사향물질을 조사 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분석방법은 액·액추출 및 질소농축의 전처리를 거친 후 GC/MS로 분석하였으며, 각 물질별 방법검출한계는 0.034~0.074 µg/L였다.
2. 4개의 물재생센터 유입수 및 유출수에서 HHCB, AHTN, musk ketone이 검출되었으며, 그 중 HHCB가 대부분 차지하였으며 musk ketone, AHTN 순으로 선행 연구결과와 유사한 수준이었다.
3. 한강지천인 중량천과 한강본류 2지점을 분석한 결과 지천에서는 HHCB, AHTN, musk ketone이 검출되었으며, 본류에서도 HHCB가 검출되었으나, 검출농도는 수생태계 예측무영향농도(PNEC)보다 낮았다. 일상생활에서 사용빈도가 많고 생활하수 및 방류수에서 검출됨에 따라 향후 지속적인 모니터링 할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. [네이버 지식백과] 사향 [麝香, musk, Moschus] (화학대사전, 2001. 5. 20., 세화)
2. <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=578951&cid=46639&categoryId=46639>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic\\_musk](https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_musk)
4. In-Seok Lee, Un-jung Kim, Jeong-Eun Oh, Minkyu Choi and Dong-Woon Hwang : Comprehensive monitoring of synthetic musk compounds from freshwater to coastal environments in Korea : With consideration of ecological concerns and bioaccumulation, Science of the total environment 470:471, 1502~1508, 2014.
5. ECHA : 1,3,4,6,7,8-hexamethylcyclopenta-γ-2-benzopyran summary risk assessment report, 2008.
6. ECHA : 1-(5,6,7,8-tetrahydro-3,5,5,6,8,8-hexamethyl-2-naphthyl) ethan-1-one(AHTN) summary risk assessment report, 2008.



7. ECHA : 5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylene (musk xylene) summary risk assessment report, 2005.
8. ECHA: 4'-tert-butyl-2',6'-dimethyl-3',5'-dinitroacetophenone(musk ketone) summary risk assessment report, 2005
9. Laurence, R, Adrian, C and Hugo, N : Concentrations of synthetic musk compounds in personal care and sanitation products and human exposure profiles through dermal application, *Chemosphere*, 69:1540~1547, 2007.
10. US, EPA : TSCA Work Plan Chemical Risk Assessment HHCB, 2014.
11. Hao, W, Jing, Z, Fudie, G, Yi, Y, Hejun, D, Yongning, W, Jean, DB and Bing, S : Simultaneous analysis of synthetic musks and triclosan in human breast milk by gas chromatography tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*, 879: 1861~1869, 2011.
12. Kurunthachalam, K, Jessica, LR, Yun, Se-Hun, Emily, EP, Lin, T, Boris, JR and Beuce, DR : Polycyclic musk compounds in higher trophic level aquatic organisms and humans from the United States, *Chemosphere*, 61:693~700, 2005.
13. Kathryn, MT, Marc, W and James, S : Human exposure to nitro musks and the evaluation of their potential toxicity : an overview, *Environmental Health* 13:14, 2014.
14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Toxic\\_Substances\\_Control\\_Act\\_of\\_1976](https://en.wikipedia.org/wiki/Toxic_Substances_Control_Act_of_1976)
15. [https://echa.europa.eu/documents/10162/13626/annex\\_vi\\_clp\\_table\\_en.xlsx/7e62b5d4-ea9f-4671-8022-e52cde88c2a](https://echa.europa.eu/documents/10162/13626/annex_vi_clp_table_en.xlsx/7e62b5d4-ea9f-4671-8022-e52cde88c2a)
16. 서창동, 손희중, 이인석, 오정은 : 낙동강 수계에서의 인공 사향물질 검출 특성, *대한환경공학회지*, 32(6):615~624, 2010.
17. 이인정, 이철구, 허성남, 이재관 : 국내하천수 및 하수처리장 유입·방류수의 합성머스크화합물 오염실태 조사. *대한환경공학회지*, 33(11): 821~826, 2011.
18. HERA : Polycyclic musks AHTN(CAS 1506-02-1) and HHCB(CAS 1222-05-05) Environmental Section, 2004.
19. Yuichi, H, Jessica, LR, Bommanna, GL, Kurunthachalam, SK, Kenneth, S and Kurunthachalam, K : Occurrence and fate of polycyclic musks in wastewater treatment plants in Kentucky and Georgia, USA, *Chemosphere*, 68:2011~2020, 2007.
20. <http://www.chemspider.com/>
21. 환경부: 고시 2017-4호, 수질오염공정시험기준, 2017.