

## 낙동강 수계에서의 인공 사향물질 검출 특성

### Detection of Synthetic Musk Compounds (SMCs) in Nakdong River Basin

서창동\*\*\* · 손희종†\*\* · 이인석\* · 오정은\*

Chang-Dong Seo · Hee-Jong Son†\*\* · In-Seok Lee\* · Jeong-Eun Oh\*

\*부산대학교 환경공학과, \*\*부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

\*Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

\*\*Water Quality Institute, Busan Water Authority

(2009년 11월 16일 접수, 2010년 6월 4일 채택)

**ABSTRACT** : The aims of this study were to investigate and confirm the occurrence and distribution patterns of synthetic musk compounds (SMCs) in Nakdong river basin (mainstream and its tributaries). 4 (HHCB, AHTN, AHMI and ADBI) out of 6 polycyclic musk compounds (PMCs) and 1 (musk xylene, MX) out of 5 nitro musk compounds (NMCs) were detected in 29 sampling sites and HHCB (>50%) was predominant compound followed by musk ketone (MK) and AHTN. The total concentration levels of SMCs on February 2009 and on September 2009 in surface water samples ranged from N.D. to 2147 ng/L and N.D. to 1386 ng/L, respectively. The highest concentration level of SMCs in the mainstream and tributaries in Nakdong river were Goryeong and Jincheon-cheon, respectively. The sewage treatment plants (STPs) along the river affect the SMCs levels in river and the SMCs levels decreased with downstream because of dilution effects.

**Key Words** : Synthetic musk compounds, Nitro musks, Polycyclic musks, HHCB, MK, Nakdong river basin.

**요약** : 낙동강 수계에서의 인공 사향물질들의 검출현황을 조사한 결과, 다환 사향물질인 HHCB, AHTN, AHMI 및 ADBI 4종과 염화 사향물질인 MK 1종이 검출되었으며, 본류에서는 HHCB, AHTN 및 MK 3종만이 검출되었다. 낙동강 수계에서 검출된 인공 사향물질들의 구성비율을 조사한 결과, HHCB가 50% 이상을 차지하여 가장 높게 나타났고, 다음으로 MK와 AHTN이 높은 비율을 나타내었다. 낙동강 본류에서 가장 높은 검출농도를 나타낸 지점은 고령지점 (고령교)으로 2월과 9월에 각각 280.4 ng/L와 195.3 ng/L가 검출되었고, 지류에서는 진천천 지점으로 2월에 2146.6 ng/L와 9월에 1386.4 ng/L의 검출농도를 나타내었다. 인공 사향물질들은 낙동강 상류부근에서는 거의 검출되지 않았으나 중류부근인 구미 지점부터 하수처리장 방류수의 영향을 받아서 농도가 증가하였고, 금호강과 진천천 (hot spot)의 영향을 많이 받는 고령지점에서 최대농도를 나타낸 후 하류로 갈수록 희석효과에 의해 농도가 점점 감소하였다.

**주제어** : 인공 사향물질, 염화 사향, 다환 사향, HHCB, MK, 낙동강 수계

## 1. 서론

산업의 발달과 생활수준의 향상으로 인하여 다양한 화학 물질들이 개발, 생산되어 사용, 처리과정을 거치면서 다양한 경로로 환경중에 유입되어 생태계 전반에 심각한 영향을 미치고 있다. 최근 10여년 사이 생활용품이나 개인위생용품에 첨가되는 물질 중 제품의 향기를 만드는 인공 사향 (synthetic musks) 물질이 새로운 유해물질로 간주되어 환경 중에서의 잔류성 및 위해성에 대해 많은 연구가 진행되었다.<sup>1~5)</sup>

사향 (musk) 성분들은 전형적인 사향의 향을 가진 물질들로 다양한 생활용품이나 개인위생용품의 향기를 만드는 필

수적인 물질로 사용되고 있다. 사향 노루 (musk deer, *Moschus moschiferus*)를 통해 채취하는 자연 사향은 비싼 가격과 사향 노루가 멸종 위기에 처함에 따라 인공사향 물질들로 대체되었고<sup>6)</sup>, 향수, 화장품, 로션뿐만 아니라 면도용 크림, 샴푸, 비누, 탈취제 등과 같은 개인위생용품 (personal care products), 섬유 유연제, 세제, 공기 정화제 및 가정용 세정제에 이르는 다양한 가정용품에는 인공 사향 물질들이 첨가되어 제조되고 있다.<sup>7)</sup> 인공 사향물질은 크게 염화 사향 (nitro musks)과 다환 사향 (polycyclic musks)으로 분류되며<sup>8)</sup>, 염화 사향류에는 musk ambrette (MA; 4-tert-butyl-3-methoxy-2,6-dinitrotoluene), musk ketone (MK; 4-aceto-3,5-dimethyl-2,6-dinitro

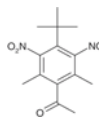
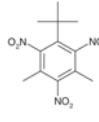
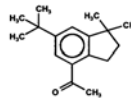
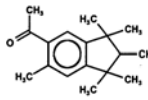
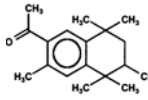
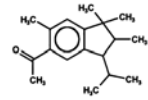
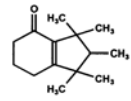
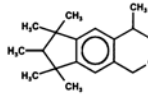
†Corresponding author : E-mail : menuturk@hanmail.net TEL : 051-669-4625 FAX : 051-669-4609

-tert-butylbenzene), musk moskene (MM; 1,1,3,3,5-pentamethyl-4,6-dinitroindan), musk NN, musk xylene (MX; 2,4,6-trinitro-1,3-dimethyl-5-tert-butylbenzene) 등이 있다.<sup>8)</sup> 그러나 염화 사향류들은 그 물질 자체의 독성 때문에 지난 20년 동안 그 이용이 감소되었으나<sup>2,9)</sup>, 이의 대체물질인 다환 사향류들은 미용 및 가정용품에 광범위하게 사용되어 오고 있다.<sup>8)</sup> 다환 사향류에는 HHCB (1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopenta[c]-2-benzopyran), AHTN (7-acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene), ADBI (4-acetyl-1,1-dimethyl-6-tert-butyl-indane), AHMI (6-acetyl-1,1,2,3,3,5-hexamethylindane), ATII (5-acetyl-1,1,2,6-

tetramethyl-3-isopropylindane) 및 DPMI (6,7-dihydro-1,1,2,3,3-pentamethyl-4(5H)-indanone) 등이 있다.<sup>8)</sup> 전세계적인 생산량의 파악은 어려우나 대략적인 염화 사향물질들과 다환 사향물질들의 생산 비율을 보면 염화 사향물질들이 12% 정도를 차지하고, 다환 사향물질들은 85% 이상을 차지한다고 보고되고 있다.<sup>10)</sup> 또한, 생산된 인공 사향물질들의 25% 정도가 세제류의 생산에 사용되는 것으로 보고되었다.<sup>8)</sup>

수환경에서의 인공 사향물질들에 대한 연구는 주로 하·폐수 처리장의 처리공정에서의 거동 및 제거효율에 관한 연구<sup>11~15)</sup>와 강이나 호소수 등에서의 검출에 관한 연구가 많이 수행되었다.<sup>16)</sup> 하·폐수 처리공정에서의 인공 사향물질들의 제거는 활성 슬러지 공정에서 흡착 및 생물분해에 의해 50~

**Table 1.** Physico-chemical properties of the nitro and polycyclic musks used in this study

Compounds	Trade name	CAS No.	M.W.	Chemical structure	Molecular formula	Log Kow
<i>Nitro musks</i>						
Musk ambrette	-	123-69-3	268.3	-	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.17
Musk ketone	-	81-14-1	294.3		C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.11
Musk moskene	-	116-66-5	278.3	-	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3.19
Musk NN	-	105-95-3	270.4	-	-	4.71
Musk xylene	-	81-15-2	297.3		C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O <sub>6</sub>	2.25
<i>Polycyclic musks</i>						
ADBI	Celestolide <sup>®</sup>	13171-00-1	244.4		C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O	6.6 <sup>25)</sup>
AHMI	Phantolide <sup>®</sup>	15323-35-0	244.4		C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O	6.7 <sup>25)</sup>
AHTN	Tonalide <sup>®</sup>	1506-02-1	258.4		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	5.7 <sup>26)</sup>
ATII	Traseolide <sup>®</sup>	68140-48-7	258.4		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	8.1 <sup>25)</sup>
DPMI	Cashmeran <sup>®</sup>	33704-61-9	206.3		C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	4.9 <sup>25)</sup>
HHCB	Galaxolide <sup>®</sup>	1222-05-5	258.4		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	5.9 <sup>26)</sup>

90% 정도 제거되는 것으로 보고되고 있으며, 몇몇 경우는 50% 이하의 저조한 제거율을 나타낸 경우도 있다.<sup>11,12,14,17)</sup> 이러한 이유로는 각각의 하·폐수 처리장 유입수의 성상 및 유입되는 인공 사향물질의 농도와 처리시설 규모 및 공정 운전방식의 차이에 따른 것으로 보고하고 있다.<sup>10,13,17,18)</sup> 일반 하천 및 강을 대상으로 한 인공 사향물질 분포에 대한 연구 결과에 따르면 하수처리장을 중심으로 인구밀도가 높은 지점에서 인공 사향물질들의 농도가 높게 검출되어 하수처리장 방류수가 인공 사향의 주요 배출원인 것으로 보고되고 있다.<sup>16)</sup>

인공 사향물질들은 높은 생물축적성<sup>19)</sup> 때문에 수중 생물들에서의 검출빈도가 높고, 검출되는 농도는 인공 사향물질들의 사용량 (HHCB > AHTN > musk xylene > musk ketone)과 비례하는 것으로 보고되었다.<sup>20,21)</sup> 인체에서의 검출은 성별 및 연령과는 무관하며, 이들의 친지질성 (lipophilic) 때문에 인체 내의 다른 조직 보다 지방 (adipose)에서 가장 높은 농도로 검출되었다고 보고되었으며, 여성 호르몬인 에스트로젠과 유사한 작용을 하는 것으로

나타나 일종의 내분비계 장애효과를 유발한다고 알려져 있다.<sup>22~24)</sup>

따라서 본 연구에서는 낙동강 수계를 중심으로 본류 및 본류로 유입되는 지천 등을 중심으로 염화 사향류 (nitro musks) 5종과 다환 사향류 (polycyclic musks) 6종에 대한 수환경에서의 잔류량 평가 및 물질별 검출 특성을 외국의 경우와 비교·분석함으로써 향후 인공 사향물질의 관리 방안 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

#### 2.1.1. SMCs 표준물질 및 전처리 재료

인공 사향 표준물질은 염화 사향류 5종인 musk ambrette (MA), musk ketone (MK), musk moskene (MM), musk NN (MN) 및 musk xylene (MX)과 다환 사향류 6종인 ADBI, AHMI, AHTN, ATII, DPMI 및 HHCB를 독일의 Dr.

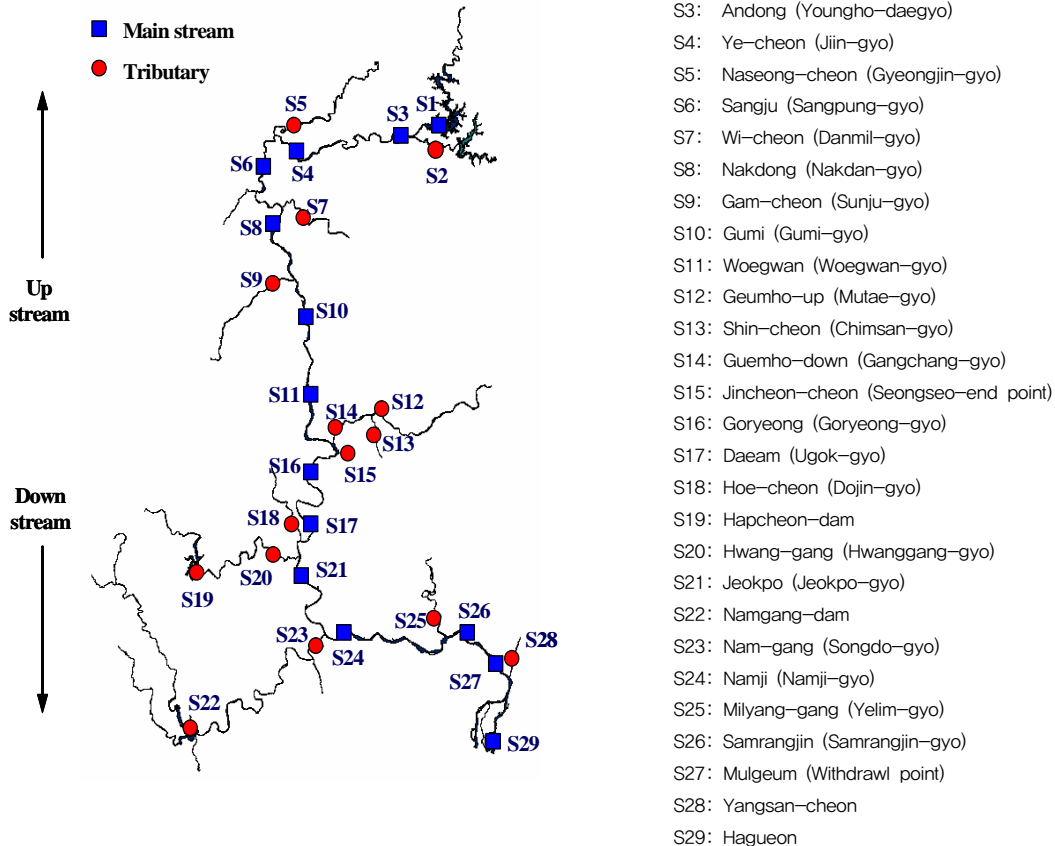


Fig. 1. Description of the sampling sites in Nakdong river basin.

Ehrenstorfer사에서 구입하여 분석에 사용하였으며, internal standard와 recovery standard로는 musk xylene (MX)-*d*<sub>15</sub>과 phenanthrene-*d*<sub>10</sub>을 Dr. Ehrenstorfer사에서 구매하여 실험에 사용하였다.

시료수 중에 함유된 인공 사향의 추출에 사용된 용매는 HPLC용 등급의 dichloromethane (Merck)과 *n*-hexane (Merck)을 사용하였으며, 무수황산 나트륨 (anhydrous sodium sulfate, Merck)은 사용하기 전에 450°C에서 전처리 (baking)한 후 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 인공 사향물질에 대한 물리, 화학적 특성을 Table 1에 나타내었다.

### 2.1.2. 낙동강 수계 시료채수 지점

시료는 2009년 2월과 9월에 2번 채수하였으며, 깨끗이 세척한 1 L 용량의 갈색 유리병에 채수한 후 시료의 변질을 막기 위해 0.5% 메탄올 (v/v)을 첨가하여 분석 전까지 4°C로 냉장 보관하였다.

시료채수 지점은 낙동강 본류 14개 지점과 지류 15개 지점을 선택하여 채수하였으며, Fig. 1에 채수지점인 29개 지점을 간략히 나타내었고, 본류 채수지점은 ■, 지류 채수지점은 ●로 나타내었다.

## 2.2. 실험방법

### 2.2.1. SMCs 추출 및 농축<sup>27)</sup>

시료 500 mL를 1 L 용량의 분액여두에 분취하여 internal STD인 musk xylene-*d*<sub>15</sub> 40 ng을 spiking한 후 dichloromethane (DCM) 100 mL를 주입하여 10분간 추출하고, 추출이 끝난 후 dichloromethane 용매층을 무수황산

나트륨 층을 통과시켜 용매층 내의 수분을 제거하였다. 이어서 DCM 추출이 끝난 시료수 500 mL에 *n*-hexane 100 mL를 주입하여 다시 10분간 추출한 후 무수황산 나트륨 층을 통과시켜 용매층 내의 수분을 제거하였다. 수분이 제거된 DCM과 *n*-hexane 용매를 250 mL 용량의 Zymark 농축관에 주입하여 질소농축기 (Turbo Vap II, Zymark, USA)를 사용하여 농축한 후 recovery STD인 phenanthrene-*d*<sub>10</sub> 80 ng을 주입하여 최종 volume을 50 μL로 하였다.

### 2.2.2. SMCs 분석<sup>27)</sup>

인공 사향물질은 GC/MSD (6890N, Agilent, USA/5973N, Agilent, USA)로 분석하였으며, GC 컬럼은 DB-5MS (J&W Scientific, USA)를 사용하였다. 모든 시료수에 대한 인공 사향물질들의 LOQ (limit of quantification)들은 1~3 ng/L 범위였고, MX-*d*<sub>15</sub>의 회수율은 83.2±9.9%였다. 인공 사향물질 분석에 사용된 GC/MSD의 분석조건을 Table 2에 나타내었다.

인공 사향물질 STD와 internal 및 recovery STD의 검출 시간 (retention time, RT)을 Fig. 2 (a), 낙동강 본류 고령 지점 (S16)과 지류인 진천천 지점 (S15)을 분석한 total ion chromatogram (TIC)을 Fig. 2 (b)와 (c)에 나타내었다. 분석 대상인 인공 사향물질의 경우 DPMI 21.27분, ADBI 28.57분, AHMI 30.22분, MA 32.73분, ATII 33.15분, HHCB 33.28분, MX 33.33분, AHTN 33.43분, MM 33.83분, MK 35.17분, MN 35.76분이었고, recovery STD인 phenanthrene-*d*<sub>10</sub>은 31.79분, internal STD인 MK-*d*<sub>15</sub>은 33.03분이었다.

Table 2. Analytical conditions of the GC/MSD

GC
- Column: 60 m (L) × 0.32 mm (ID) × 0.25 μm (film thickness)
- Oven Temp.: Initial Temp. 50°C, Hold 1.5 min,
- 1st rate 10°C to 150°C, 2nd rate 2°C to 190°C, 3rd rate 25°C to 290°C
- Injection volume: 2 μL (splitless mode)
- Gas flow: 1.0 mL/min.
MSD
- SIM mode (selected ion)
nitro-musks: MA (253, 268), MK (279, 294), MM (263, 278), MN (227, 211, 187), MX (282, 297)
polycyclic-musks: ADBI (229, 244, 173), AHMI (229, 244), AHTN (243, 258), ATII (215, 173, 258), DPMI (191, 206, 135, 163), HHCB (243, 258, 213)

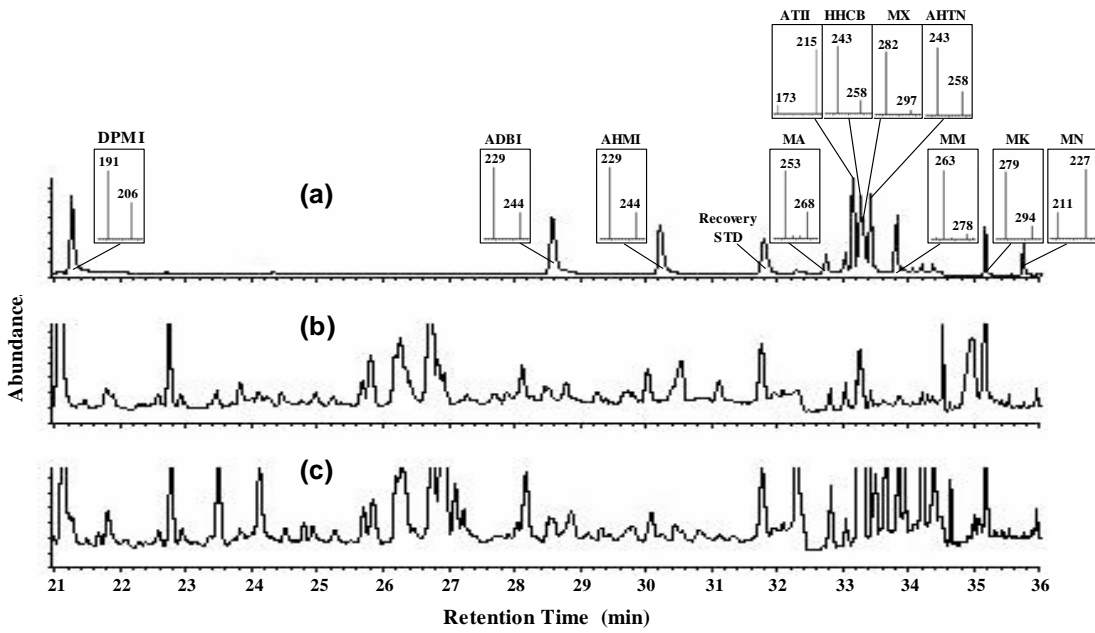


Fig. 2. Total ion chromatogram (TIC) of (a) SMC standards, (b) Goryeong (S16) and (c) Jincheon-cheon (S15).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 낙동강 수계에서의 SMCs 검출 현황

낙동강 본류와 지류를 포함한 전 수계에서의 인공 사향물질 검출현황을 Fig. 3에 나타내었다. 안동댐 (S1)부터 낙동 (S8)까지의 상류지역에서는 불검출 또는 검출농도가 아주 낮게 나타난 반면, 구미 (S10)에서 대암 (S17)에 이르는 낙동강 중류의 경우 검출농도가 상류나 적포 (S21) 이남인 하류보다 월등히 높게 나타나고 있다. 지류인 진천천 (S15)의 경우 2월에 2146.6 ng/L와 9월에 1386.4 ng/L의 검출농도를 나타내었다. 이와 같은 현상을 자세하게 살펴보기 위해 지류를 제외한 낙동강 본류에서의 인공 사향물질 검출농도를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에는 지류의 하수처리장 (STP)의 존재 유·무에 따른 낙동강 본류에서의 인공 사향물질 검출농도를 조사하여 나타내었다. 지류에 하수처리장이 존재하더라도 방류량 적거나 지류의 상류에 위치하여 본류에 영향을 미치지 않는 경우는 제외하였다. 본류의 경우 예천 (S4)부터 검출되었으며, 예천 (S4) 하류로는 본류에 영향을 미치는 하수처리장들이 각 지류나 본류 부근에 위치하고 있어 인공 사향물질은 지속적으로 검출되며, 구미 (S10)의 경우 지류인 감천 (S9)에 위치한 하수처리장의 영향을 받아 검출농도가 상승한 것으로 보이며, 왜관 (S11)의 경우는 유입되는 본류 주변에 위치한 구미 하수종말처리장 (330,000 m<sup>3</sup>/day)과 중소 규모의 하수처리장에서 방류한 방류수가 인공 사향물질의 농도 증가에 기여한 것으로 나타나고 있다. 또한, 고령 (S16)의 경우

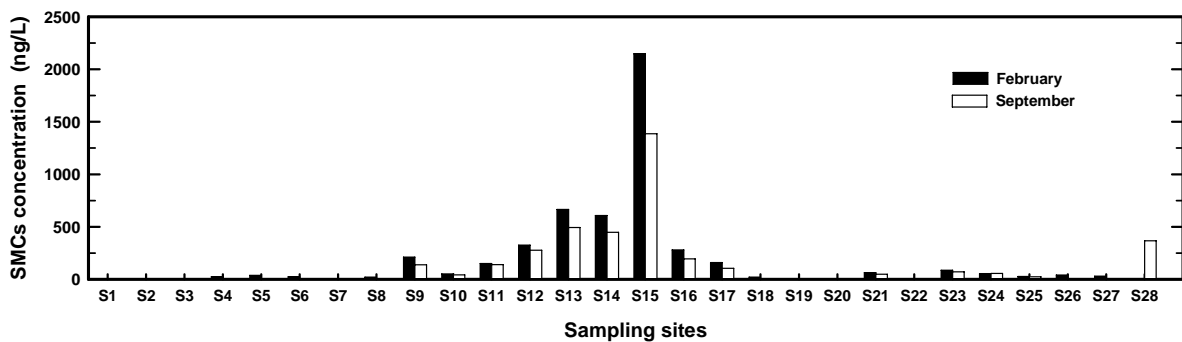


Fig. 3. Variation of total SMCs concentration in the Nakdong river basin.

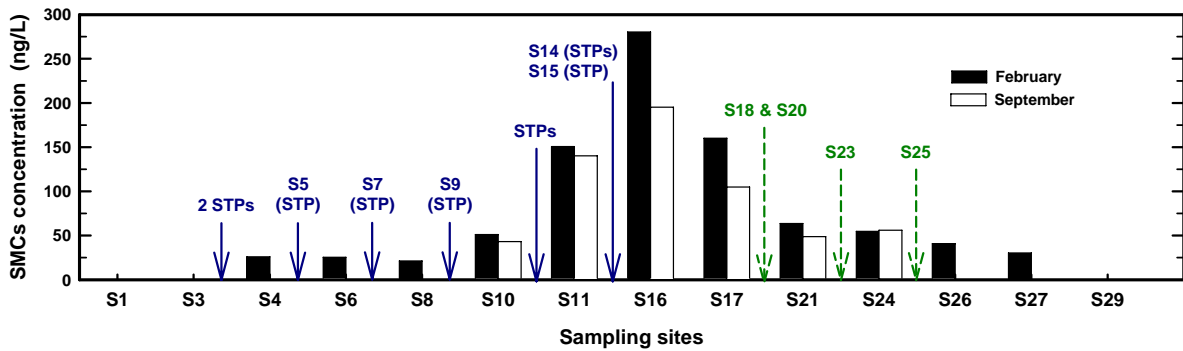


Fig. 4. Variation of total SMCs concentration in main stream of Nakdong river basin.

는 본류의 채수지점 중에서 가장 높은 검출농도인 280.4 ng/L (2월)와 195.3 ng/L (9월)를 나타내어 금호강 (S12~S14)과 진천천 (S15)에 위치한 하수처리장의 방류수에 많은 영향을 받는 것으로 나타나고 있으며, 고령 (S16) 하류로는 지류인 회천 (S18), 황강 (S20), 남강 (S23) 및 밀양강 (S25)과 같은 지류의 유입에 의한 희석효과로 인공 사함물질 검출 농도가 감소하는 것을 알 수 있다.

낙동강 본류의 인공 사함물질 농도 증가에 미치는 지류들의 영향을 파악하기 위하여 Fig. 5에는 각각의 지류들에서의 인공 사함물질 검출농도를 살펴보았다. 비교적 높은 검출농도를 나타내는 지류들은 감천 (S9), 금호강 (S12~S14), 진천천 (S15) 및 하류에 위치한 양산천 (S28)으로 나타나고 있으나 양산천 (S28)의 경우는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 낙동강 하구연 (S29)에서 인공 사함물질이 검출되지 않았기 때문에 본류에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본류에 영향을 미치는 지류는 구미 (S10)에 영향을 미치는 감천 (S9)과 고령 (S16)에 영향을 미치는 금호강 (S12~S14)과 진천천 (S15)이며, 본류에서의 최고 검출농도 보다 높게 검출되는 지류들은 금호강 (S12~S14)과 진천천 (S15)으로 나타나고 있어 Fig. 6에는 금호강 (S12~S14)과 진천천

(S15) 부근을 hot spot으로 선정하여 주변에 대한 하수처리장 위치 및 방류량에 대해 조사한 것을 나타내었다.

Hot spot 부근을 조사한 결과, 10,000 m<sup>3</sup>/day 처리용량의 A 하수처리장과 40,000 m<sup>3</sup>/day 처리용량의 B 하수처리장 및 47,000 m<sup>3</sup>/day 처리용량의 C 하수처리장이 금호강 상류 지점 (S12)의 상류에 위치하고 있어 금호강 상류지점 (S12)은 이 3개의 하수처리장에 영향을 받고 있으며, 신천 지점 (S13)은 관거를 통해 하천의 유지용수로 공급되는 100,000 m<sup>3</sup>/day의 D 하수처리장 방류수와 45,000 m<sup>3</sup>/day 처리용량의 E 하수처리장 방류수의 영향을 많이 받는다. 금호강 하류 지점 (S14)의 경우는 금호강 유역에 있는 8개 하수처리장 (A~G STP)의 영향을 받고 있으나 금호강 상류와 신천의 합류 및 주변 지천들의 유입에 따른 희석효과로 신천 지점 (S13) 보다는 다소 낮은 검출농도를 나타내었다. 진천천 지점(S15)의 경우 하천유량의 대부분이 H 하수처리장 방류수로 유지되고 있어 조사된 지류들 중에서 가장 높은 검출농도를 나타내었다. 따라서 hot spot 부근의 채수지점들은 하수처리장 방류수의 영향이 지배적인 것으로 나타나 본류인 고령 지점 (S16)이 Fig. 4에서 보는 바와 같이 본류에서 인공 사함물질들의 검출농도가 가장 높은 것으로 나타나고 있다.

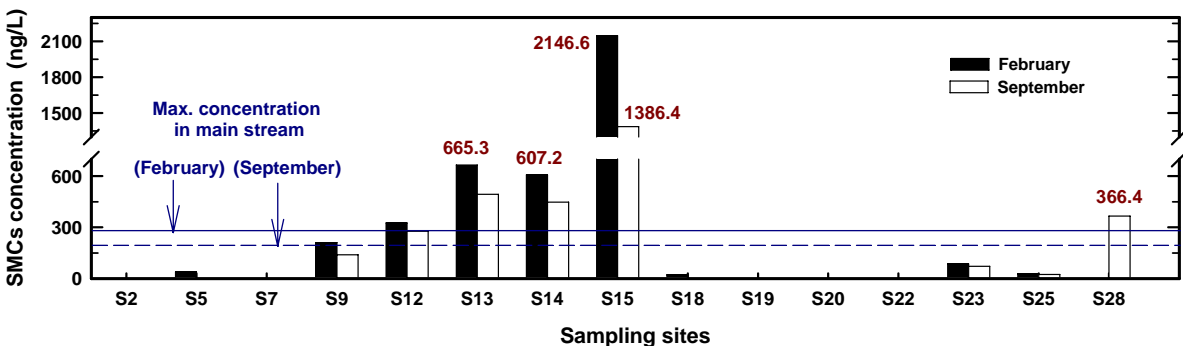


Fig. 5. Variation of total SMCs concentration in tributaries of Nakdong river basin.

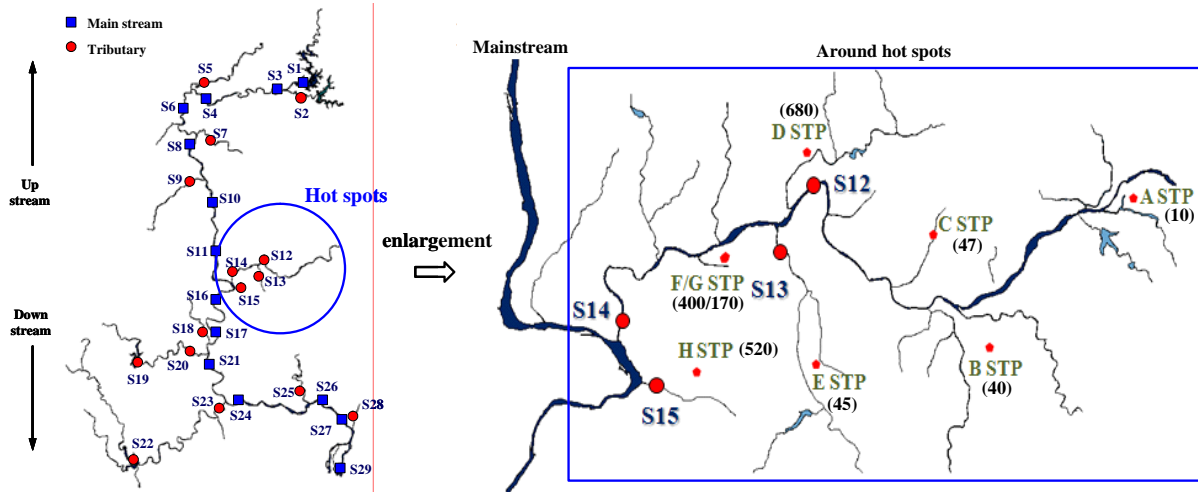


Fig. 6. Description of STP locations and their capacities (unit:  $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ ) around hot spots.

### 3.2. 낙동강 본류 및 지류에서 검출된 SMCs 구성 비율

낙동강 본류와 지류에서 검출된 인공 사향물질들의 구성 비율을 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 본류에서 검출된 인공 사향물질들에 대한 구성비율을 나타낸 Fig. 7을 보면 본류 총 14개 지점을 대상으로 2월에는 11개 지점과 9월에는 6개 지점에서 검출되었으며, 검출된 물질들은 2월과 9월 모두 3종으로 HHCB, AHTN 및 MK였으며, 인공 사향물질이 검출된 모든 지점에서 HHCB의 구성비율이 50% 이상으로 나타났고, 2월에는 낙동 지점 (S8)에서 95%, 9월에는 구미 지점 (S10)에서 76% 정도로 가장 높은 구성비율을 나타내었다. 지류에서 인공 사향물질 검출농도가 가장 높은 고령 지점 (S16)의 경우 HHCB의 비율이 2월과 9월 66%와 60% 정도로 나타났고, 상류에서 하루로 갈수록 HHCB의 비율이 감

소하고, AHTN과 MK의 비율이 증가하는 경향을 보였다.

지류에서 검출된 인공 사향물질들에 대한 구성비율을 나타낸 Fig. 8을 보면 지류 총 15개 지점을 대상으로 2월에는 9개 지점과 9월에는 8개 지점에서 검출되었으며, 검출된 물질들은 2월에 HHCB, AHTN, AHMI, ADBI 및 MK 5종과 9월에는 HHCB, AHTN, AHMI 및 MK 4종이 검출되었다. 인공 사향물질이 검출된 모든 지점에서 HHCB의 구성비율이 60% 이상으로 나타났고, 2월에는 회천 지점 (S18)에서 89%, 9월에는 남강 지점 (S23)에서 84% 정도로 가장 높은 구성비율을 나타내었다. 지류에서 검출농도가 가장 높은 진천천 지점 (S15)의 경우 HHCB의 비율이 2월과 9월에 67%와 70% 정도로 나타났고, 지류들 중에서 HHCB의 구성비율이 가장 낮은 지점은 밀양강 지점 (S25)으로 2월과 9월에 각각 63%와 66% 정도로 나타났다.

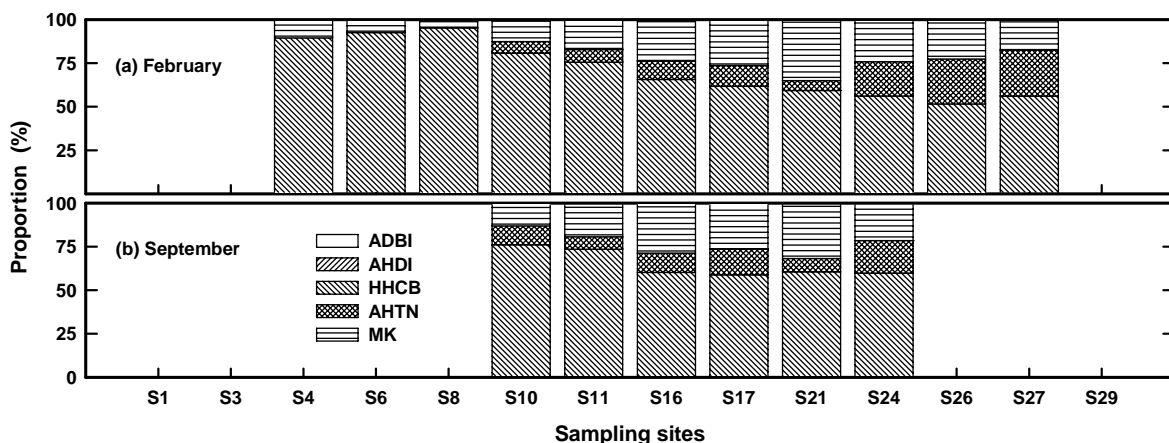


Fig. 7. The proportion of SMCs species in the mainstream of Nakdong river basin.



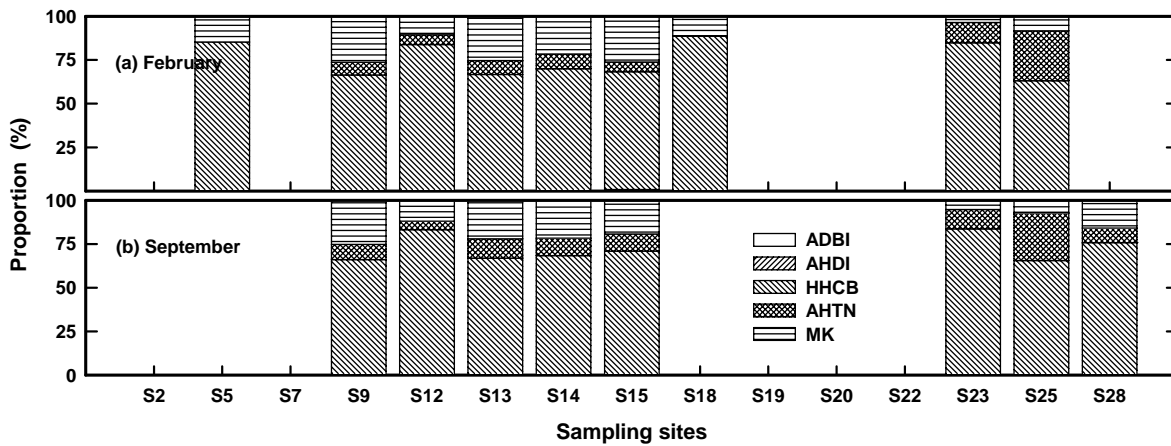


Fig. 8. The proportion of SMCs species in tributaries of Nakdong river basin.

### 3.3. 낙동강 수계에서의 SMCs 검출 특성

낙동강 본류와 지류에서의 인공 사향물질 검출특성을 조사한 것을 Table 3에 나타내었다. 본류 및 지류를 합쳐서 검출빈도 및 검출지점들에서의 평균농도가 가장 높은 물질은 HHCB와 MK로 2월과 9월에 각각 20개 및 14개 지점에서 검출되었고, 평균농도는 2월과 9월에 각각 173.6 ng/L와 190.4 ng/L로 나타났으며, 다음으로 AHTN > AHMI > ADBI 순으로 나타났다. 또한, 다환 사향물질 (PMCs) 군과 염화 사향물질 (NMCs) 군으로 나누어 비교해보면 검출지점들에서의 PMCs와 NMCs의 평균농도는 2월과 9월에 PMCs가 193.6 ng/L와 217.0 ng/L, NMCs가 58.2 ng/L와 53.5 ng/L로 나타나 PMCs가 NMCs 보다 3~4배 정도 높게 검출되는 것으로 나타났다. 검출지점에서 검출된 5종의 총합(total)에 대한 평균농도는 250~270 ng/L로 조사되었고, 가장 낮게 검출된 지점에서는 21~24 ng/L, 가장 높은 지점에서는 354~484 ng/L의 범위였다.

### 3.4. 낙동강 수계에서의 COD와 SMCs 농도와의 상관관계

29개 시료채수 지점에 대해 SMCs 농도와 COD 농도와의 상관관계를 평가한 것을 본류, 지류 및 hot spot으로 나누어

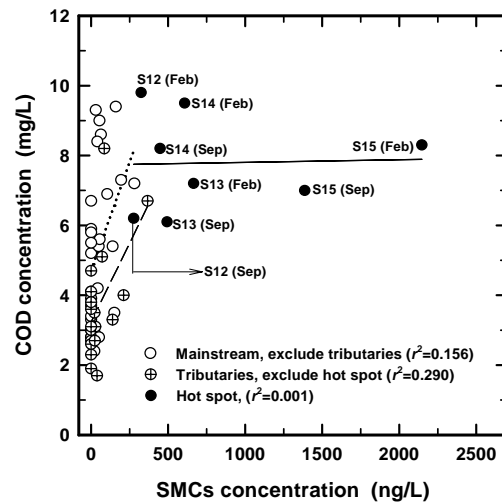


Fig. 9. Relationship between SMCs and COD concentration in Nakdong river basin.

Table 3. Concentration levels of SMCs (ng/L) in the Nakdong river basin at detected sites (ng/L)

	HHCB		AHTN		AHMI		ADBI		PMCs <sup>a</sup>		MK		NMCs <sup>b</sup>		total	
	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.	Feb.	Sep.
Avg.	173.6	190.4	24.7	26.6	5.4	5.6	3.3	-	193.6	217.0	58.2	53.5	58.2	53.5	251.8	270.5
SD	326.1	251.5	30.3	35.3	4.7	-	3.3	-	357.9	286.1	127.1	69.8	127.1	69.8	484.1	354.9
Min.	17.0	15.8	3.4	3.8	2.5	5.6	1.5	-	19.4	22.4	1.0	1.8	1.0	1.8	21.2	24.1
Max.	1445.4	976.5	119.5	137.2	10.8	5.6	8.2	-	1584.0	1113.6	562.7	267.1	562.7	267.1	2146.6	1380.8
DF <sup>c</sup>	20/28	14/29	15/28	14/29	3/28	1/29	4/28	0/29			20/28	14/29				
LOQ	2.0		2.0		1.0		1.0				1.0					

<sup>a</sup>PMCs: polycyclic musk compounds, <sup>b</sup>NMCs: nitro musk compounds, <sup>c</sup>DF: detection frequency



Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 본류, 지류 및 hot spot에서의 SMCs와 COD 농도와의 상관성은 아주 낮은 것으로 조사되었다.

#### KSEE

### 4. 결론

낙동강 수계를 중심으로 본류와 지류 등을 중심으로 인공 사향물질들에 대한 물질별 검출 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 낙동강 수계에서 검출된 인공 사향물질은 다환 사향물질인 HHCB, AHTN, AHMI 및 ADBI 4종과 염화 사향물질인 MK 1종이 검출되었으며, 본류에서는 HHCB, AHTN 및 MK 3종만이 검출되었다.
- 2) 낙동강 본류에서 가장 높은 검출농도를 나타낸 지점은 고령지점 (고령교)으로 2월과 9월에 각각 280.4 ng/L와 195.3 ng/L가 검출되었고, 지류에서는 진천천 지점으로 2월에 2146.6 ng/L와 9월에 1386.4 ng/L의 검출농도를 나타내었다.
- 3) 낙동강 수계에서 검출된 인공 사향물질들의 구성비율을 조사한 결과, HHCB가 50% 이상을 차지하여 가장 높게 나타났고, 다음으로 MK와 AHTN이 높은 비율을 나타내었다.
- 4) 낙동강 수계에서의 인공 사향물질들은 상류에서는 거의 검출되지 않았으나 구미 지점부터 하수처리장 방류수의 영향을 받아서 농도가 증가하였고, hot spot의 영향을 많이 받는 고령지점에서 최대농도를 나타낸 후 하류로 갈수록 희석효과에 의해 농도가 점점 감소하였다.

### 참고문헌

1. Rimkus, G. G., "Polycyclic musk fragrances in the aquatic environment," *Toxicol. Lett.*, **111**, 37~56(1999).
2. Gatermann, R., Biselli, S., Hühnerfuss, H., Rimkus, G. G., Hecker, M., and Karbe, L., "Synthetic musks in the environment. Part 1: Species-dependent bioaccumulation of polycyclic and nitro musk fragrances in freshwater fish and mussels," *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **42**, 437~446(2002).
3. Hutter, H. P., Wallner, P., Moshhammer, H., Hartl, W., Sattelberger, R., Lorbeer, G., and Kundi, M., "Blood concentrations of polycyclic musks in healthy young adults," *Chemosphere*, **59**, 487~492(2005).
4. Schmid, P., Kohler, M., Gujer, E., Zennegg, M., and Lanfranchi, M., "Persistent organic pollutants, brominated flame retardants and synthetic musks in fish from remote alpine lakes in Switzerland," *Chemosphere*, **67**, S16~S21(2007).
5. Raab, U., Preiss, U., Albrecht, M., Shahin, N., Parlar, H., and Fromme, H., "Concentrations of polybrominated diphenyl ethers, organochlorine compounds and nitro musks in mother's milk from Germany (Bavaria)," *Chemosphere*, **72**, 87~95(2008).
6. OSPAR (Oslo and Paris) Commission, Hazardous Substances Series, Musk Xylene and Other Musks, OSPAR Secretariat, London, UK, (2004).
7. Balk, F. and Ford, R. A., "Environmental risk assessment for the polycyclic musks, AHTN and HHCB. I. Effect assessment and risk characterization," *Toxicol. Lett.*, **111**, 81~94(1999).
8. Peck, A. M., "Analytical methods for the determination of persistent ingredients of personal care products in environmental matrices," *Anal. Bioanal. Chem.*, **386**, 907~939(2006).
9. Chou, Y. J. and Dietrich, D. R., "Toxicity of nitromusks in early lifestages of South African clawed frog (*Xenopus laevis*) and zebrafish (*Danio rerio*)," *Toxicol. Lett.*, **111**(1~2), 17~25(1999).
10. Heberer, T., "Occurrence, fate and assessment of polycyclic musk residues in the aquatic environment of urban area—a review," *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, **30**(5~6), 227~243(2002).
11. Yang, J. J. and Metcalfe, C. D., "Fate of synthetic musks in a domestic wastewater treatment plant and in an agricultural field amended with biosolids," *Sci. Total. Environ.*, **363**, 149~165(2006).
12. Bester, K., "Retention characteristics and balance assessment for two polycyclic musk fragrances (HHCB and AHTN) in a typical German sewage treatment plant," *Chemosphere*, **57**, 863~870(2004).
13. Horii, Y., Reiner, J. L., Loganathan, B. G., Kumar, K. S., Sajwan, K., and Kannan, K., "Occurrence and fate of polycyclic musks in wastewater treatment plants in Kentucky and Georgia, USA," *Chemosphere*, **68**, 2011~2020(2007).

14. Zeng, X., Sheng, G., Gui, H., Chen, D., Shao, W., and Fu, J., "Preliminary study on the occurrence and distribution of polycyclic musks in a wastewater treatment plant in Guangdong, China," *Chemosphere*, **69**, 1305~1311(2007).
15. Shek, W. M., Murphy, M. B., Lam, J. C. W., and Lam, P. K. S., "Synthetic polycyclic musks in Hong Kong sewage sludge," *Chemosphere*, **71**, 1241~1250(2008).
16. Dsikowitzky, L., Schwarzbauer, J., and Littke, R., "Distribution of polycyclic musks in water and particulate matter of Lippe River (Germany)," *Organic Geochemistry*, **33**, 1747~1758(2002).
17. Simonich, S. L., Federle, T. W., Eckhoff, W. S., Rottiers, A., Webb, S., Sabaliunas, D., and Wolf, W., "Removal of fragrance materials during U.S. and European wastewater treatment," *Environ. Sci. Technol.*, **36**(13), 2839~2847(2002).
18. Clara, M., Strenn, B., Gans, O., Martinez, E., Kreuzinger, N., and Kroiss, H., "Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants," *Water Res.*, **39**(19), 4797~4807(2005).
19. Tanabe, S., "Synthetic musks-arising new environmental menace?," *Mar. Pollut. Bull.*, **50**, 1025~1026(2005).
20. Nakata, H., "Occurrence of synthetic musk fragrances in marine mammals and sharks from Japanese coastal waters," *Environ. Sci. Technol.*, **39**, 3430~3434(2005).
21. Wan, Y., Wei, Q., Hu, J., Jin, X., Zhang, Z., Zhen, H., and Liu, J., "Levels, tissue distribution, and age-related accumulation of synthetic musk fragrances in Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*): comparison to organochlorines," *Environ. Sci. Technol.*, **41**, 424~430(2007).
22. Schreurs, R. H., Sonneveld, E., van der Saag, P. T., Van der Burg, B., and Seinen, W., "Examination of the in vitro (anti)estrogenic, (anti)androgenic and (anti)dioxin-like activities of tetralin, indane and isochroman derivatives using receptor-specific bioassays," *Toxicol. Lett.*, **156**, 261~275(2005).
23. Schreurs, R. H., Sonneveld, E., Jansen, J. H., Seinen, W., and Van der Burg, "Interaction of polycyclic musks and UV filters with the estrogen receptor (ER), androgen receptor (AR) and progesterone (PR) in reporter gene bioassays," *Toxicol. Sci.*, **83**, 264~272(2005).
24. Mori, T., Iida, M., Ishibashi, H., Kohra, S., Takao, Y., Takemasa, T., and Arizono, K., "Hormonal activity of polycyclic musks evaluated by reporter gene assay," *Environ. Sci.*, **14**, 195~202(2007).
25. Balk, F. and Ford, R. A., "Environmental risk assessment for the polycyclic musks AHTN and HHCB in the EU-I. Fate and exposure assessment," *Toxicol. Lett.*, **111**, 57~79(1999).
26. Paasivirta, J., Sinkkonen, S., Rantalainen, A. L., Broman, D., and Zebuhr, Y., "Temperature dependent properties of environmentally important synthetic musks," *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, **9**(5), 345~355(2002).
27. Lee, I. S., Lee, S. H., and Oh, J. E., "Occurrence and fate of synthetic musk compounds in water environment," *Water Res.*, **44**, 214-222(2010).