

부산 도심하천 하구의 Nonylphenol 거동 특성

김선영 · 노경준¹ · 김동명^{2*}

국립수산과학원 어장환경과, ¹부경대학교 환경공학과, ²부경대학교 생태공학과

Behavior Characteristics of Nonylphenol in the Downstream of River in Busan, Korea

Sunyoung Kim, Kyong-Joon Roh¹ and Dong-Myung Kim^{2*}

National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Nonylphenol is an endocrine-disrupting chemical that is the degradation product of the nonionic surfactants nonylphenol ethoxylates. To understand the contamination and behavioral characteristics of nonylphenol, we measured the nonylphenol concentrations in surface water in the lower reaches of the Suyeong River, Korea. The results were used to estimate the material balance. The target area was divided into three regions to estimate the material balance of nonylphenol. In region 1, in flux of the dissolved nonylphenol was 282.3 g/day and the nonylphenol influx in particulate suspended solids was 1,582.8 g/day. The dissolved nonylphenol outflow discharged toward region 2 was 192.5 g/day, while the adsorption to particulate suspended solids was 89.8 g/day. Within the particulate suspended solids, the outflow to region 2 was 1,250.0 g/day, while the estimated amount settling in the sediments was 422.7 g/day. The adsorption of dissolved nonylphenol to the particulate suspended solids in regions 1 and 2 was 31.8% and 54.9%, respectively. In region 3, the desorption rate was 8.8%.

Key words: Nonylphenol, Endocrine disruptor, Mass balance, Transport

서론

다이옥신, DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane) 등의 유기염소계화합물과 TBT (Tributyltin), TPT (Triphenyltin) 등의 유기 주석화합물, PCBs (Polychlorinated biphenyl) 등의 잔류성유기할로겐화합물, alkylphenols 및 bisphenol A 등의 산업용 화학물질 등이 내분비계 장애물질(Endocrine disrupting chemicals, EDCs 또는 Endocrine disruptors)로 작용한다는 것이 밝혀지면서 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 내분비계 장애물질은 생물체내에서 내분비계의 정상적인 작용을 방해하여 생식이상, 기형, 각종 암을 유발한다고 의심, 추정되는 물질로 오염지역에 서식하는 생물집단에 커다란 위험요소로 영향을 미칠 수 있다(Colborn et al., 1993; Kavlock et al., 1996; KORDI, 2004).

Nonylphenol, octylphenol 등은 비이온성 계면활성제로 사용되는 alkylphenol ethoxylates의 분해산물로서 페놀의 벤젠고리에 알킬그룹이 결합되어 있는 화합물이다. Alkylphenol ethoxylates는 지난 50년 동안 전세계적으로 매년 약 50만톤이 생산되어왔으며 종이, 직물, 페인트, 살충제, 윤활유, 금속, 플라스틱 등의 생산 및 세척과 가정용 세제로 이용되어왔고 이 중 nonylphenol ethoxylates가 세계 시장의 80%를 차지하고 있다(Giger et al., 1984; Renner, 1997). Nonylphenol ethoxylates는 하수처리장 또는 수중생태계에서 ethoxylate기의 순차적인 분해를 통해 nonylphenol을 생성하는데 ethoxylate기가 짧을수록 수생생물에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Shang et al., 1999; Jonker et al., 2001). 특히 nonylphenol의 경우 구조적 안정성과 소수성을 가지는 특징으로 인해 자연환경에서 쉽게 분해되지 않고 모 화합물보다 더 높은 지속성과 농축성을 나타내

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 6545 Fax: +82. 51. 629. 6538

E-mail address: dmkim@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0074>

Korean J Fish Aquat Sci 52(1), 74-80, February 2019

Received 24 January 2019; Revised 11 February 2019; Accepted 12 February 2019

저자 직위: 김선영(연구원), 노경준(강사), 김동명(교수)

기 때문에 저농도에서도 장기간의 노출로 인한 피해가 예상된다. 또한 내분비 에스트로겐의 기능을 모방함으로써 생식의 교란을 야기할 수도 있다(Soto et al., 1991; Ferrara et al., 2001).

1990년대 후반부터 미국 및 유럽을 중심으로 이들 물질에 대한 규제사업이 시작되었고 우리나라에서도 1999년부터 환경부를 중심으로 nonylphenol을 포함한 내분비계 장애물질에 대한 국내의 오염실태 조사와 위해성 평가를 진행하고 있다(MEV and NIER, 2000). 수역에 대한 국내외의 모니터링 연구는 호수, 하천 및 내만을 대상으로 수행되어 지고 있다(Isobe et al., 2001; Rice et al., 2003; Fries and Puttmann, 2003; Ham et al., 2004; Li et al., 2004a; Li et al., 2004b; Lee et al., 2005; NIER, 2006; NIER, 2007; Wu et al., 2007). 그러나 alkylphenol ethoxylates의 지속적인 생산과 사용에 의해 우리나라의 일부 하천과 하구에서도 높은 수준의 nonylphenol이 검출되고 있고 대부분의 alkylphenol ethoxylates가 계면활성제와 세정제로서 하수를 통해 하천이나 호수, 바다와 같은 수생태계에 직접적으로 영향을 미침에도 불구하고 하천과 해양환경 중의 잔류특성이나 농도 및 거동에 대한 자료 누적이 부족한 실정이다.

수영강은 유역면적 내 부산인구의 1/3이 거주하고 있는 도심 하천으로 본류 유역의 주거지 및 공장지대로부터 각종 오폐수가 유입되고 있어 해양으로의 nonylphenol 운송수단으로 작용할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 수영강 하류의 표층수에서 nonylphenol의 농도를 바탕으로 물질수지를 산정하여 nonylphenol의 오염 현황 및 거동 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

연구지역

수영강은 하천연장 28.4 km, 유역면적 199.57 km²인 지방 2급 하천으로 경남 양산군의 원효산에서 발원하여 남하하면서 철마천, 석대천, 온천천이 지류를 형성하여 수영1호교를 거쳐 수영만으로 유입된다. 회동수원지를 중심으로 한 상류지역은 상수도보호구역으로 지정되어 오염원이 적고 수질이 양호한 편이나 본류유역은 주거지와 공장지대가 밀집되어 있어 각종 오폐수의 유입으로 인한 수질 및 퇴적물의 오염이 우려되며 해류를 따라 수영만 전체에 영향을 끼칠 것으로 사료된다(Pack, 1997; Busan Metropolitan City, 2003).

시료 채수 및 분석

수영강의 표층수를 수평채수기를 이용하여 채수하였고, 잠재적 오염을 막기 위해 잔류농약분석용 등급(pesticide grade)의 메탄올로 3회 이상 세척한 2 L의 갈색 경질 유리병에 담아 실험실로 운반하였다. 채수한 시료 2 L를 유리섬유 여과지(GF/F 47 mm, Whatman)를 이용하여 여과하였으며 여과시킨 수시료는 -20℃ 이하에서 냉동 보관하였다.

전처리에 이용된 유기용매는 잔류농약분석용등급인 용매를

사용하였고, 추출하기 전에 모든 초자기구는 초순수로 세척한 후 400℃ 이상에서 2시간 이상을 가열하였다.

여과한 시료는 고상추출(Solid phase extraction, SPE)을 위해 dichloromethane 10 mL, methanol 5 mL와 H₂O 5 mL로 conditioning시킨 NEXUS (200 mg/6 mL)에 통과시키고 H₂O 5 mL와 H₂O와 methanol을 1:1로 혼합한 용액 5 mL로 세정하였다. 카트리지를 컬럼을 건조시킨 후 dichloromethane 6 mL로 용리시켰다. 60℃에서 N₂ gas로 증발시킨 뒤 n-Hexane 2 mL를 첨가하였다. 정제에 사용되는 isolate-NH₂ (1 g/6 mL)는 acetone 10 mL와 n-Hexane 10 mL로 conditioning하였고 여기에 시료를 통과 시킨 후 dichloromethane과 n-Hexane를 1:1로 혼합한 용액 8 mL로 세정하였다. dichloromethane과 ethyl acetate를 1:1로 혼합한 용액 8 mL와 acetone 8 mL로 용리시킨 용액을 각각 유리관에 담아 N₂ gas로 증발시켰다. Acetone 100 µL와 BSTFA 100 µL를 첨가하여 유도체화한 후 GC-MS (Gas chromatography-mass spectrometry)를 이용하여 검출하였다(Isobe et al., 2001; Isobe and Takada, 2004).

시료 분석에는 모세관 칼럼(Capillary column) DB-5가 장착된 GC-MS (Shimadzu GCMS-QP2010 Plus)를 이용하였다. 칼럼 승온조건은 처음 60℃에서 2분 동안 유지하였고, 이후 1분당 10℃씩 올려 260℃에서 머무르게 하였다. 시료 주입방법은 splitless mode (비분할 주입법)로 하였고, 운반기체는 헬륨(He, 99.999%)을 이용하여, 분당 1.2 mL로 흘려주었다(Table 1). 시료의 각 성분의 머무름 시간과 피크의 면적을 내부표준물질(Nonylphenol-d4)의 면적과 비교하여 정성 및 정량 분석을 행하였다(Fig. 2). 표준물질과 내부표준물질의 정량이온과 확인이온의 질량을 Table 2에 나타내었다.

검량선 및 회수율

Nonylphenol 표준물질을 0.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0,

Table 1. GC-MS analyzing conditions of nonylphenol

GAS CHROMATOGRAM	
GC-2010 Shimadzu	
Column	DB-5 (30 mx0.25 mm i.d.x0.25 µm)
Inj. Temp.	250℃
Col. Temp.	60℃ (2 min)→10℃→260℃
Carrier Gas	He 1.2 mL/min
Injection	Splitless with surge 1 µL/Injection
MASS SPECTRUM	
QP-2010 Plus Shimadzu	
Mode	MS
Transfer line Temp.	260℃
Ion Source Temp.	200℃

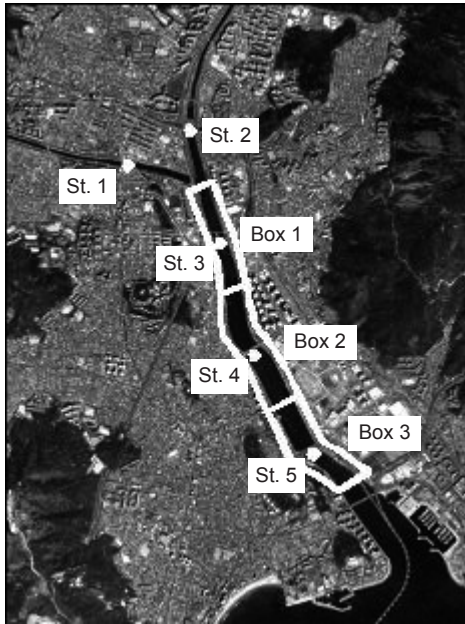


Fig. 1. Study area, sampling stations and boundary of boxes.

100.0, 200.0, 500.0, 1000.0 ng/L의 농도로 단계별로 조제하였고, 내부표준물질을 100.0 ng/L의 농도로 추가하여 분석하였다.

하천수의 수시료에서 검출된 nonylphenol의 값들을 검증하기 위해서 cica-reagent에서 구입한 표준물질을 순수이온수에 주입하여 수시료 추출방법과 동일한 방법으로 분석·검출하여 회수율을 검토하였다.

물질수지 산정

물질수지 계산은 일정 지역 내에서 일정기간 동안, 몇 가지 변수에 대한 실측 데이터를 이용하여 물질의 유입, 유출 flux를 구하고, 그 결과를 해석하여 물질의 순환 및 이송 특성을 밝히는 방법이다.

수영강 하류에서 nonylphenol의 물질수지를 산정하기 위하

Table 2. Key ions and retention time of nonylphenol and surrogate chemicals

Material	Nonylphenol	Nonylphenol-d4
	207	
Quantitative ion	221	296
	235	
Key ion (m/z)	163	
Reference ion	179	183
	193	
Retention time	16.11-16.86	18.17

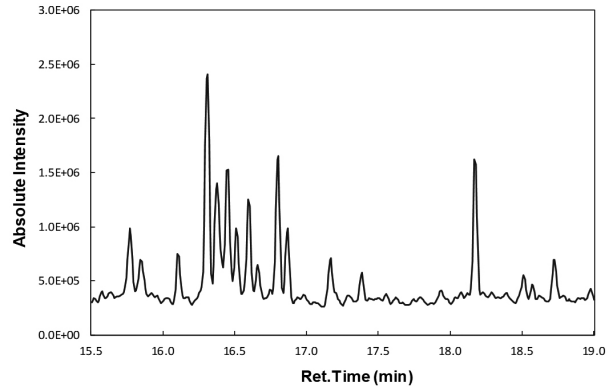


Fig. 2. Chromatogram of Nonylphenol standard solution and internal standard.

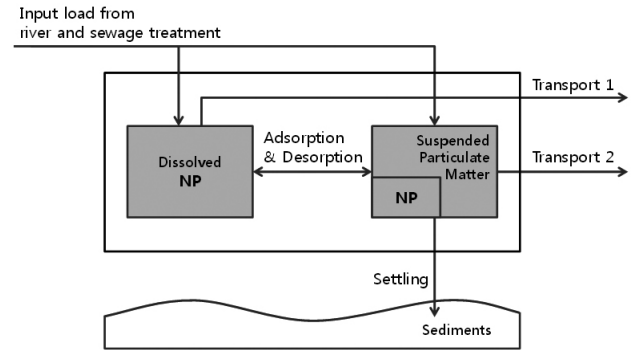


Fig. 3. Schematic diagram of the fate and transport of chemicals in the box.

여 대상지역을 3개의 box로 구분하였고(Fig. 1), 물리, 화학적 과정을 하나의 box 내에서 일어나는 반응으로 가정하여 nonylphenol의 거동을 해석하였다. 하천수로 유입되는 nonylphenol의 유입원과 유입경로는 다양하지만 본 연구에서는 육상지역에서 용존 물질로 유입되는 부하와 입자성 물질로 유입되는 부하를 고려하였고, box 내부의 nonylphenol 거동 및 box 단면간의 nonylphenol 수송량 변화에 주안점을 두었다. Box 내의 상태 변수는 용존 nonylphenol과 입자성 물질 내 nonylphenol이며, box 외부로부터의 유입은 하천과 하수처리장 방류수로부터의 부하를 고려하였다. Box에 유입된 화학물질의 입자성 부유물질에 대한 흡착 및 탈착, 퇴적물로의 침강과 box 경계를 통한 box 외부로의 수송을 고려하여 물질수지를 산정하였다(Fig. 3).

결과 및 고찰

검량선 및 회수율

검량곡선은 선형회귀분석을 하였고 Fig. 4과 같이 좋은 상관

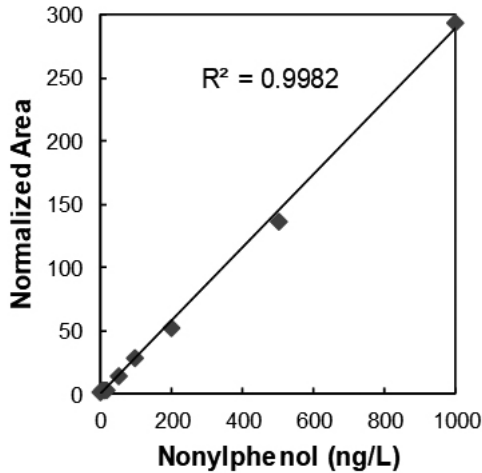


Fig. 4. Calibration curves of Nonylphenol standard solution.

성과 직선성($R^2=0.9982$)을 나타내었다. 검토된 추출방법에 따른 nonylphenol의 회수율 범위는 92.37-118.08 %로 나타났다.

Nonylphenol 분포

연구대상 지역인 수영강 하류에서 2010년 8월, 11월과 2011년 7월에 조사한 분석결과를 Table 3에 나타내었다. 2010년 8월의 nonylphenol 농도 범위는 162.9-449.3 ng/L로 평균 251.3 ng/L였고, 11월에는 142.0-446.9 ng/L의 범위로 평균 258.0 ng/L의 분포를 보였다. 2011년 7월의 nonylphenol 농도 범위는 144.0-569.0 ng/L로 평균 303.8 ng/L의 분포를 보여 2010년 8월과 11월보다 평균값이 다소 높은 결과를 나타내었다.

지점별로 살펴보면 2010년 8월에는 과정교 인근 지점인 St.3에서 가장 높은 농도를 보였고, 11월에는 안락교 인근의 St.1에서 가장 높았으며 2011년 7월 역시 St.1에서 가장 높은 농도를 보였다. 세 번의 조사에서 모두 좌수영교 인근 지점인 St.4에서 가장 낮은 농도로 검출되었다. 조사기간 동안의 각 지점별 농도를 평균한 결과 149.6-412.7 ng/L의 범위로 온천천의 수영강 합류 전 지점인 St.1에서 가장 높은 농도를 보였고, St.4에서 가장 낮았다(Fig. 5).

Nonylphenol 물질수지

Box 외부에서 내부로의 nonylphenol 유입량을 산정하기 위해서 문헌 자료를 바탕으로 수영강 하류로 유입되는 하천 유입수와 하수처리장 방류수의 유량을 조사하였다. 온천천의 유

Table 3. Concentration of nonylphenol in Suyeong river (ng/L)

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Avg.
2010 Aug.	222.2	201.9	449.3	162.9	220.2	251.3
2010 Nov.	446.9	219.6	208.4	142.0	273.3	258.0
2011 July	569.0	326.9	319.6	144.0	159.3	303.8

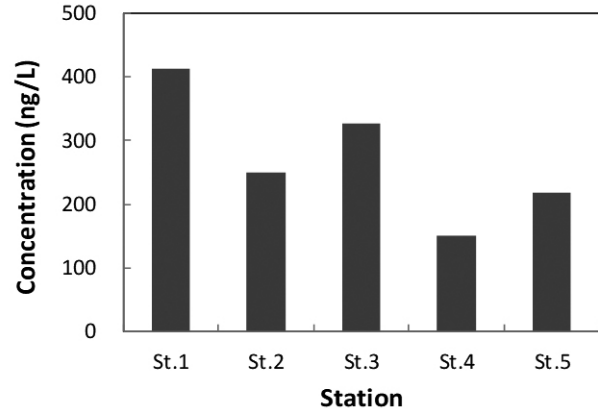


Fig. 5. Average concentration of nonylphenol in each station.

량은 보건환경연구원(BIHE, 2007)에서 2007년 8월에 조사한 59,000 m³/day를 이용하였고, 낙동강으로부터 끌어오는 하천 유지용수 30,000 m³/day가 포함된 유량이다. 수영강 상류로부터의 유량은 회동댐 방류량 30,000 m³/day와 동부하수처리장에서 석대천으로 공급하는 하천유지용수량인 18,720 m³/day를 바탕으로 48,720 m³/day로 산정하였다. 수영하수처리장과 동부하수처리장의 경우 1일 방류량인 422,00 m³/day와 72,500 m³/day의 유량을 이용하였다. 하천으로부터 유입되는 유량은 107,720 m³/day이고, 하수처리장 방류수의 유량은 494,500 m³/day로 총 602,220 m³/day이다.

분석을 통해 실측된 결과를 바탕으로 수영강 하류의 물질수지를 산정하였다. Box 1에 282.3 g/day의 용존 nonylphenol과 1,582.8 g/day의 입자성 부유물질 내 nonylphenol 유입부하가 발생하였고, box 2로의 용존 nonylphenol 유출량은 192.5 g/day, 입자성 부유물질로 흡착량은 89.8 g/day로 나타났다. 입자성 부유물질 내 nonylphenol은 box 2로 유출되는 양이 1,250.0 g/day, 퇴적물로의 침강량은 422.7 g/day로 계산되었다. Box 2의 용존 nonylphenol은 입자성 부유물질에 흡착되는 경로가 105.7 g/day로 가장 크게 나타났으며, 입자성 부유물질 내 nonylphenol에서 퇴적물로 침강되는 경로는 186.1 g/day로 세 box 중 가장 적은 침강량을 보였다. Box 3에서 외해로의 유출은 용존 형태로의 유출이 95.9 g/day로, 입자성 부유물질로의 유출이 516.5 g/day로 산정되었고, 입자성 부유물질에서 용존 nonylphenol로 탈착되는 경로가 나타났으며 퇴적물로의 침강량이 세 box 중에서 가장 많았다(Fig. 6).

Box 내로의 유입을 100.0%로 보았을 경우, 유출율은 box 1에서 68.2%, box 2에서 45.1%, box 3에서 100.0%로 나타나 Box 3에서 가장 높은 비율을 보였다. 용존 nonylphenol에서 입자성 부유물질로의 흡착은 box 1과 box 2에서 각각 31.8%, 54.9%로 나타났고 box 3에서는 8.8%의 탈착률을 보였다. 입자성 부유물질에서는 box 1과 box 2의 외부로의 유출율이 74.7%와 86.3%로 높은 비율을 차지했고 box 3에서는 퇴적물로의 침강

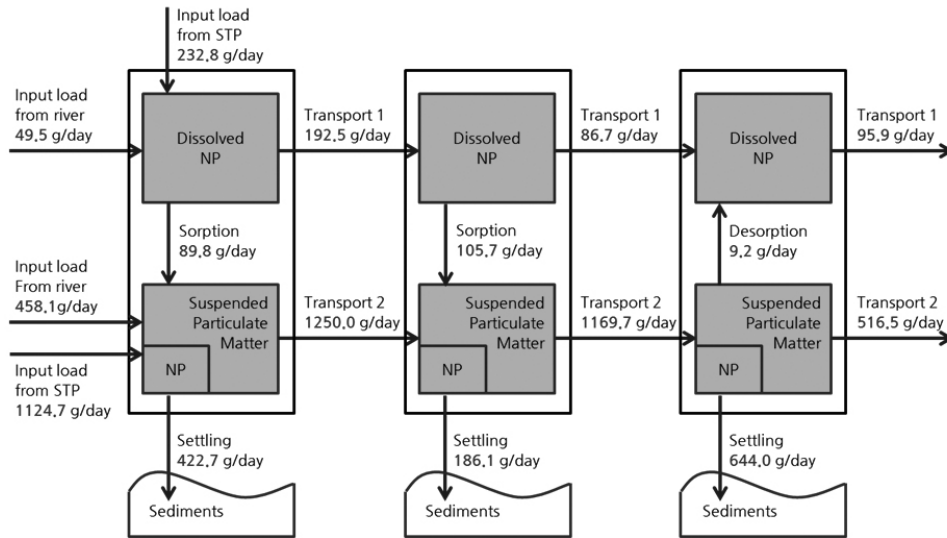


Fig. 7. Estimates of the Nonylphenol % flux.

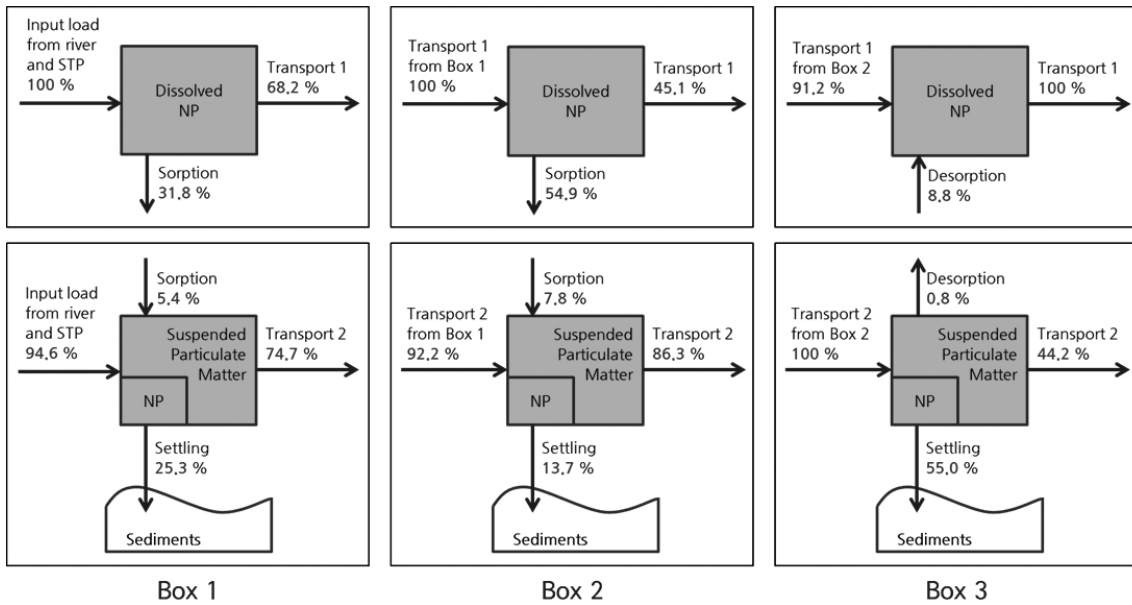


Fig. 6. Estimates of the mass balance in 3 boxes.

율이 55.0%로 외부로의 유출율인 44.2%보다 높게 나타났다 (Fig. 7).

입자성 부유물질에 흡착되어 퇴적물로 침강되는 nonylphenol 침강량은 box 1, box 2, box 3에서 각각 422.7 g/day, 186.1 g/day, 644.0 g/day로 box 2에서 상대적으로 낮은 값을 나타내었으며, 침강비율은 box 1과 box 2, box 3에서 각각 25.3%, 13.7%, 55.0%로 box 3가 다른 box보다 높은 값을 나타내었다. 이러한 차이는 상류측의 더 높은 부유물질 농도와 기수역인 대

상수역의 유속, 체류시간 등에 기인한 것으로 판단되며, 현재의 결과를 바탕으로 추후 상세 모델을 통한 기수역의 유해물질 시물레이션이 시행된다면 각 프로세스에 대한 산정이 좀 더 명확해질 것으로 사료된다.

고 찰

조사기간 동안 수영강 표층수의 nonylphenol 농도 범위는

144.0-569.0 ng/L으로 국내의 다른 하천과 유사한 수준을 나타내었다. 2011년에 조사된 낙동강 하구의 경우 143.2-1,311.5 ng/L의 농도범위를 나타내었으며, 공단에 입접한 지역의 하구에서는 9,189.7-10,931.5 ng/L의 높은 농도를 나타내었다. 국내 일반하천 24개 지점에 대한 국립환경과학원의 연구에서 nonylphenol의 농도는 ND (Not detected)-6,660 ng/L로 보고되었다(NIER, 2006; NIER, 2007). 한강의 경우 표층수에서는 23.2-187.6 ng/L (Li et al., 2004a)의 범위였으며, 상수원 유역의 지류천에서 ND-12,724 ng/L, 취수장 원수중에서 122-2,724 ng/L의 범위를 보였다(Ham et al., 2004). 광양만으로 유입되는 섬진강 하구의 표층수에서 nonylphenol의 농도는 10.9-63.5 ng/L로 광양만 내해의 평균농도인 20.9 ng/L보다 2배 이상 높은 49.1 ng/L의 평균 농도값을 보였다(Li et al., 2004b). 낙동강 중류의 하수처리장 유입수에서는 공장폐수 및 가정하수에서 각각 4,330 ng/L, 1,700 ng/L의 농도로 검출되었고 인근 하천에서 100 ng/L이상의 농도로 전 지역에서 검출되었다(Lee et al., 2005).

국외의 연구결과를 살펴보면, 일본의 동경만으로 유입되는 하천에서 nonylphenol농도는 50-1,080 ng/L (Isobe et al., 2001)로 보고되었고, 미국의 도심하천에서 110-500 ng/L (Rice et al., 2003)로 검출되었다. 또 하수처리장 방류수의 영향을 받는 독일의 하천과 중국의 호수에서 각각 28-1,220 ng/L (Fries and Puttmann, 2003)과 1,940-32,850 ng/L (Wu et al., 2007)로 보고되었다. 이러한 연구결과로부터 수영강의 nonylphenol농도는 국외의 연구결과에 비해서는 비교적 낮은 수준임을 알 수 있다. 또한 미국과 유럽에서 환경유해농도로 규정하는 1 µg/L (Renner, 1997)보다는 낮은 수준이지만 조사가 수행된 전 지점에 걸쳐서 검출되고 있기 때문에 지속적인 모니터링 및 인근지역에 대한 더 넓은 범위의 조사가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 물질수지 산정의 첫 단계로 대상지역을 정상상태로 해석하였지만, 대상지역은 도심 하천의 하류부로 조석의 영향 등 유동 현상이 복잡한 지역이므로 추후 연구에서는 해수 유동모델과의 연계 등이 필요할 것으로 사료된다. 또한 물질수지 산정결과 퇴적물에도 많은 양의 nonylphenol이 축적되어 있을 것으로 판단되어 퇴적물에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료되며 대상지역의 지속적인 모니터링을 통한 자료의 축적을 바탕으로 nonylphenol의 거동에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

References

Busan Metropolitan City. 2003. Fundamental Planning Report

for River Improvement Works. Busan Metropolitan City 265, 17-19.

BIHE (Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment). 2007. Characteristics of Aquatic Environment in Close-to-Nature Oncheon Stream. The annual report of BIHE 17, 63-75.

Colborn T, Vom Saal FS and Soto AM. 1993. Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. Environ Health Perspect 101, 378-384.

Ferrara F, Fabietti F, Delise M, Bocca AP and Funari E. 2001. Alkylphenolic compounds in edible molluscs of the Adriatic sea (Italy). Environ Sci Technol 35, 3109-3112.

Fries E and Puttmann W. 2003. Occurrence and behaviour of 4-nonylphenol in river water of Germany. J Environ Monit 5, 598-603.

Giger P, Brunner H and Schaffner C. 1984. 4-Nonylphenol in sewage sludge: accumulation of toxic metabolites from non-ionic surfactants. Science 225, 623-625.

Ham YK, Oh SJ and Kim SW. 2004. Monitoring of Bisphenol A and Nonylphenol in Waterworks System of Seoul, Korea. Anal sci and tech 17, 423-433.

Isobe T, Nishiyama H, Nakashima A and Takada H. 2001. Distribution and behavior of nonylphenol, octylphenol, and nonylphenol monoethoxylate in Tokyo metropolitan area: their association with aquatic particles and sedimentary distribution. Environ Sci Technol 35, 1041-1049.

Isobe T and Takada H. 2004. Determination of degradation products of alkylphenol polyethoxylates in municipal waste waters and rivers in Tokyo, Japan. Environ Tox and Chem 23, 3, 599-605.

Jonkers N, Knepper TP and Voogt PD. 2001. Aerobic biodegradation studies of nonylphenol ethoxylates in river water using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. Environ Sci Technol 35, 335-340.

Kavlock RJ, Daston DP, DeRosa C, Fenner-Crisp P, Gray LE, Kaattari S, Lucier G, Luster M, Mac MJ, Maczka C, Miller R, Moore J, Rolland R, Scott G, Sheehan DM, Sinks T and Tilson HA. 1996. Research Needs for the Risk Assessment of Health and Environmental Effects of Endocrine Disruptors: A Report of the U.S. EPA-sponsored Workshop. Environ Health Perspect 104, 715-740.

MEV (Ministry of Environment) and NIER (National Institute of Environmental Research). 2000. Report of research projects of endocrine disrupting chemicals. MEV and NIER, Sejong and Seoul, Korea, 897.

NIER (National Institute of Environmental Research). 2006. Environmental monitoring of endocrine disrupting chemicals. MEV 104, 33-83.

NIER (National Institute of Environmental Research). 2007. 8th report of research projects of endocrine disrupting chemicals. MEV 31, 24-25.

KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute).

2004. Effect of endocrine disrupting compounds on coastal ecosystem. MEST 183, 35-36.
- Lee SH, Lee SH and Lee CH. 2005. sources of Alkylphenol Polyethoxylate and their fate in the central Nakdong river basin. Korean J Environ eng 27, 1277-1284.
- Li DH, Kim M, Shim WJ, Yim UH, Oh JR and Kwon YJ. 2004a, Seasonal flux of nonylphenol in Han River, Korea. Chemosphere 56, 1-6.
- Li DH, Kim M, Shim WJ, Yim UH, Hong SH and Oh JR. 2004b. Distribution of Nonylphenol in Gwangyang bay and the surrounding streams. Korean J Environ Biol 22, 71-77.
- Park MS. 1997. A study on the water quality characteristics of the Suyeong river. Master Thesis, Korea national university of education, Cheongju, Korea.
- Renner R. 1997. European bans on surfactant trigger transatlantic debate. Environ Sci Technol 31, 316A-320A.
- Rice CP, Schmitz-Afonso I, Loyo-Rosales JE, Link E, Thoma R, Fay L, Altfater D and Camp MJ. 2003. Alkylphenol and alkylphenol-ethoxylates in carp, water, and sediment from the Cuyahoga River, Ohio. Environ Sci Technol 37, 3747-3754.
- Shang DY, Macdonald RW and Ikonomou MG. 1999. Persistence of nonylphenol ethoxylate surfactants and their primary degradation products in sediments from near a municipal outfall in the strait of Georgia, British Columbia, Canada. Environ Sci Technol 33, 1366-1372.
- Soto AM, Justicia H, Wray JW and Sonnenschein C. 1991. P-Nonylphenol: an estrogenic xenobiotic released from "modified" polystyrene. Environ Health Perspect 92, 167-173.
- Wu ZB, Zhang Z, Chen SP, He F, Fu GP and Liang W. 2007. Nonylphenol and octylphenol in urban eutrophic lakes of the subtropical China. Fresenius Environ Bull 16, 227-234.