

## LC-MS-MS를 이용한 전통 활성슬러지 공정과 생물학적 영양염류 제거 공정의 슬러지 중 NP2EO 및 OP2EO의 분석

엄정훈 · 임병진\* · 엄석원 · 김민영 · 김현욱\*\*†

서울특별시보건환경연구원, \*국립환경과학원, \*\*서울시립대학교 환경공학과

### Analysis of NP2EO and OP2EO in Sludge from a Conventional Activated Sludge Process and a Biological Nutrient Removal Process using a LC-MS-MS System

Jung-Hoon Uhm, Byung Jin Lim\*, Seok-Won Eom, Min-Young Kim, and Hyunook Kim\*\*†

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul 137-130, Korea

\*National Inst. of Environmental Research, Incheon, Korea

\*\*Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Received May 21, 2009, accepted September 16, 2009

This study was conducted to examine NP2EO and OP2EO which are in the primary and secondary settling tank sludge at the municipal wastewater treatment system(MWTS). This MWTS has two parallel paths of treatments. One is a traditional aerobic biological treatment system, and the other is a advanced treatment system, A<sup>2</sup>O. The result is that at the traditional system NP2EO was 772.9 µg/kg and OP2EO was 20.0 µg/kg in the primary settling tank sludge, and in the secondary one, NP2EO was 1,570.5 µg/kg and OP2EO was 40.0 µg/kg, respectively. And at the A<sup>2</sup>O system NP2EO was 49.6 µg/kg and OP2EO was 0.8 µg/kg in the primary settling tank sludge, and in the secondary tank, NP2EO was 272.3 µg/kg and OP2EO was 15.4 µg/kg. For analysis, we used LC-MS-MS to get better separating efficiency, and the ionizing method was ESI(+). Ammonium acetate was supplemented as ionization support material.

**Key words:** NP2EO, OP2EO, MWTS, Traditional aerobic biological treatment system, Advanced treatment system, LC-MS-MS

## 1. 서 론

알킬페놀류(APs: alkyl phenols)는 중요한 내분비계 장애물질(EDCs: endocrine disrupting chemicals) 중 하나이다. 알킬페놀(APs)은 알킬기의 탄소 수에 따라 여러 종류가 있을 수 있지만, 그 중 옥틸페놀(OP: Octylphenol)과 노닐페놀(NP: Nonylphenol), 그리고 이들 APs의 Ethoxyl기 유도체인 알킬페놀에톡실레이트(APEOs: Alkylphenol ethoxylates)가 EDCs로 주목받고 있다.<sup>2,4)</sup> 노닐페놀(NP)과 옥틸페놀(OP)은 여러 석유 화학제품의 중간물질로 이용되며, APEO는 여러 가지

용도로 사용이 되는데, 그중 가장 중요한 부분은 세척 부분으로 전체 사용량의 약 30% 정도를 차지하고 있다. 또 이런 비이온성계면활성제 뿐 아니라 페인트 유화제, 농약 등 다양한 용도로 이용되고 있으며, 산업체의 제조 공정 외에도 우리 주변에서 쉽게 볼 수 있는 피임약, 염색약, 모발보호제 등의 가정용품에도 APEOs가 사용된다.<sup>2,3,15)</sup>

여러 APEOs 중에서 옥틸페놀에톡실레이트(OPEOs: Octylphenol ethoxylates) 및 노닐페놀에톡실레이트(NPEOs; Nonylphenol ethoxylates)가 사용량이 많으며 특히 관심의 대상이다. NPEOs는 전체 사용량의

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail:

90~95%를 차지하며, 나머지의 대부분은 OPEOs이다. NPEOs는 계면 활성이 뛰어나며 저렴하여, 비이온성 세제로 이용되고, 표면장력을 줄이기 위한 습윤제, 각종 첨가제 등으로도 널리 쓰이고 있다.<sup>2,3,6)</sup> 1997년 현재 European Union에서 사용량은 77,600톤으로 추정되며, 1992년 영국에서의 사용량은 17,600톤, 1988년 미국에서는 약 200,120톤, 1995년 세계적으로 650,000톤이 사용된 것으로 추정되고 있다.<sup>3)</sup> 우리나라에서는 NP를 전량 수입하여 사용되고 있으며 대부분이 25% 이상 함유된 제품형태로 수입되고 수입규모는 2004년 기준으로 11,216톤이었다.<sup>15)</sup> 산업체 혹은 일반 가정에서 여러 가지 용도로 사용된 NPEOs와 OPEOs 중 일부는 하천이나 도시하수처리장 등으로 유입되는 것으로 추정되고 있다.

Fig. 1은 NPEOs의 구조를 나타내고 있는 것으로 위에서 언급한 바와 같이 NP에 Ethoxylate체가 결합된 형태이다. 물론, OPEOs는 앞의 Alkyl기의 탄소수가 8개가 된다. Ethoxylate체는 하나에서 수십 개까지 결합이 가능하나, 일반적으로 6~12개가 결합되어 있다. Ethoxylate체는 단위 결합체에 존재하는 산소 원자 때문에 결합체의 길이가 길어질수록 수용성이 강해진다. 즉, 구조적으로 앞의 Alkyl기는 지용성이며, 뒤의 Ethoxylate체는 수용성을 띄어 계면활성제의 성질이 생겨나는 것이다. 실제로 비이온성 세제에는 다양한 동족체가 포함되어 있으며, Ethoxylate체 결합수가 9개이거나 10개 중심으로 포이슨분포(Poisson distribution)를 가진다.<sup>1,2)</sup>

APEOs의 위해성은 Ethoxylate chain의 길이에 따라 달라지며 Chain의 길이가 짧아질수록 독성은 더 높아지게 된다. NP2EO 및 OP2EO는 비록 NP와 OP보다는 독성 및 에스트로겐 작용이 약하지만 명백한 내분비계장애물질이다.<sup>2,4)</sup>

일단 환경 하천에 배출된 NPEOs는 Ethoxylate체 부분이 대체로 빠른 생물학적 분해과정을 거쳐 점점 chain이 짧아진다. 즉, 미생물이 벤젠고리나 소수성기를

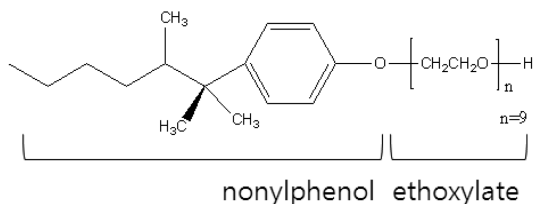


Fig. 1. Structure of nonylphenolethoxylate (NP9EO).

직접 분해하기 보다는 Ethoxylate체의 연결을 끊어가는 것으로 알려져 있다. Ethoxylate체의 길이가 2개 정도까지는 분해가 비교적 빠르나(<12 hr) 그 이후 NP와 OP로의 변화 및 무기물로의 완전한 분해는 상당히 느리게 일어나며 그 과정 또한 명확하지 않다. 완전 분해에 소요되는 시간은 수십 일이 걸릴 수도 있다고 하며, 미량의 물질이 계속 잔존할 수 있다고 주장하는 이들도 있다.<sup>2,5,6)</sup>

현재까지 알킬페놀류 및 APEOs 측정을 위한 국가공인분석방법은, 각 기관이나 연구자들마다 상이한 방법을 채용하고 있다<sup>7)</sup>. 즉, 우선 Gas Chromatograph-Mass Detector(GC-MS)를 이용하는 방법이 있는데, 시료의 유도체화를 실시하는 방법과 실시하지 않는 방법이 있으며, 이 밖에 Liquid Chromatograph-Mass Detector(LC-MS), LC-MS-MS, LC-Fluorescence Detector방법 등이 있다.<sup>8,9)</sup> LC-MS를 이용한 방법을 통해서 시료를 분석할 경우, 분석 대상물질을 이온화하여야 한다. 이 대상물질의 이온화 방법에는 ESI(+) 또는 (-)법, APCI법 또한 (+), (-)법 등이 있다. NP, OP와 짧은 Ethoxylate체인 NP2EO, OP2EO 등은 포화탄화수소 및 벤젠기가 주 구성성분으로 분석기기의 Ion Source에서 이온화가 쉽게 이루어지지 않는다. 그런 이유로 이동상에 Ammonium acetate, Formic acid, Acetic acid, Ethylacetate, Trifluoroacetic acid (TFA) 등의 이온화보조제를 첨가하여야 하는데 적절한 물질의 선택 및 첨가량이 최적화 되어 있지 않은 상태이다. 이렇게 표준화된 분석방법이 부재한 상황과 더불어 APEOs의 형태가 다양하며 Ethoxylate체의 연결 상태에 따라 구조가 불안정하다는 이유 등으로 인해서 환경 중에 존재하는 이들 물질에 대한 분석이 많이 이루어지지 않고 있다.

도시하수슬러지에 대해 조사한 외국의 사례를 보면 일본에서 Tateda *et al.*이 9곳의 도시하수처리장에서 분석한 결과 NP2EO의 값은 N.D.~19,800  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 평균 6,000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 정도의 값을 가지고 있다고 발표하였다.<sup>11)</sup> 그러나 미국의 Loyo-Rosales *et al.*이 조사한 바로는 Tateda *et al.*의 조사 결과의 수 십배 이상의 NP2EO와 OP2EO가 슬러지에 존재한다고 한다.<sup>9)</sup> 우리나라에서는 환경부에서 전국 하천 및 저질에 대하여 내분비계장애물질에 대하여 실태조사를 매년 실시하고 있으며 옥틸, NP은 거의 검출이 되고 있지 않다. 그러나 도시하수처리장에서 발생하는 슬러지 중에 포함된 NP2EO 및 OP2EO에 대한 연구조사결과는 거의 없으

며 게다가 분석방법이 각각 상이하여 직접적인 비교가 매우 어려운 형편이다. 하지만 하수처리장에서 발생하는 슬러지를 재활용하거나 또는 폐기하기 위해서는 이에 대한 조사 및 이해가 꼭 필요하다 할 수 있을 것이다.

이에 실제 하수처리장의 슬러지를 이용하여 NP2EO와 OP2EO의 분석방법을 고찰하고 결과를 살펴보기로 하겠다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료채취

본 연구에서 사용된 시료는 서울시내에 위치한 한 도시하수처리장에서 채취하였다. 본 처리장은 일일 170만 m<sup>3</sup>의 하수를 기존의 생물학적 처리조 외에 고도처리공정(A<sup>2</sup>O조)을 병렬 설치하여 처리하고 있다. 즉, 유입수의 일부는 기존 재래방식(전통 활성슬러지 공법)으로 처리하고, 일부는 고도처리 방식(A<sup>2</sup>O 공법)으로 처리하고 있다. A<sup>2</sup>O공정은 차례로 혐기조(anaerobic)-무산소조(anoxic)-호기조(aerobic) 등의 단위공정으로 구성되어 있는 공법으로 유입수 중의 유기물질은 물론, 질소와 인을 모두 처리할 수 있다. 즉, 질소와 인을 제거할 수 있는 미생물 종들이 시스템 내에 존재한다.

재래방식의 생물학적 처리조에서 유출되는 MLSS는 2차 침전지에서 고액이 분리되고, 고형물이 제거된 처리수는 염소 소독조에 유입되어 살균된다. 고도 처리조인 A<sup>2</sup>O조 후단에 생물막 여과지와 오존소독시설을 설치하고 생물반응조 유출수를 추가 처리하여 하천으로 최종방류하고 있다.

전통 활성 슬러지 공법에 대한 시료채취는 1차침전지 슬러지와 2차침전지 슬러지 및 탈수 공정을 거친 슬러지케이크에 대해서 이루어졌으며, 고도처리공정에 대한 시료 채취는 1차침전지 슬러지, 2차 침전지슬러지에 대해서 이루어졌다. 시료는 채취 후 수 시간 이내에 실험실로 운반하여 4°C 이하로 냉장 보관하였다.

### 2.2. 시료전처리

슬러지 시료에 포함된 수분은 원심분리(10,000 rpm, 10분)와 침전물에 대한 풍건을 통해서 제거하였다. 약 2일 정도 후드 안에서 오염에 주의하며 건조시킨 후, 중량을 측정된 이후에 Soxhlet추출하였다. 추출용매는 Dichloromethane을 이용하였으며 8시간 이상 추출하여 충분한 추출이 이루어지도록 하였다. 추출한 용매

는 회전증발농축기를 이용하여 최대한 농축 한 이후, 10% Methanol in MTBE(Methyl tertiary butyl ether)를 이용하여 시료가 들어있는 Flask를 충분히 헹구어 용매전환 한 후, HLB 카트리지로 정제하였다. 실험에 사용한 HLB cartridge는 Oasis社에서 제조한 20 cc 1g 제품을 사용하였으며, 모든 용매는 HPLC급 이상을 사용하였다. 초자는 세제를 사용하지 않고 수돗물과 초순수로 초음파 세척 후, Acetone, n-Hexane, Dichloromethane 순으로 용매 세척하여 사용하였다. Soxhlet 장치는 Acetone으로 Pre-soxhlet 5시간을 실시하여 장치를 세척한 후 다시 Acetone, n-Hexane, Dichloromethane 순으로 용매 세척하였다. 시료의 정제 전에 HLB cartridge conditioning을 실시하였으며, 15 mL Methanol로 1회 elution한 이후에 15 mL 10% Methanol in MTBE로 2회 elution 하였다. HLB cartridge 정제를 거친 시료는 표선을 보정한 Conical tube에 받아 조심스레 0.5 mL까지 질소 기화 농축한 후 50 mM Ammonium Acetate를 첨가하여 최종량을 1 mL로 하였다.

회수율시험은 5회 실시하였으며, HLB cartridge에

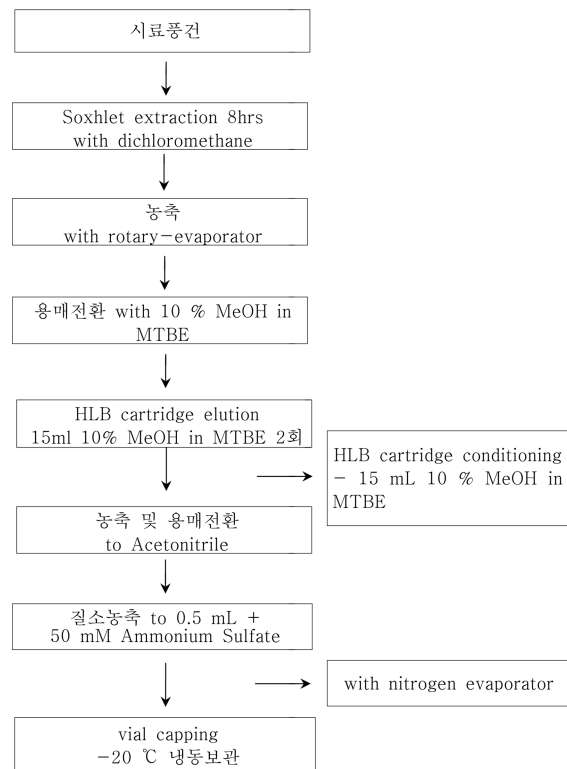


Fig. 2. Sample pre-treatment procedures.

표준물질을 직접 Spiking하고 이후 과정은 시료의 전처리과정과 동일하게 실시하였다. 시료의 전처리 과정을 Fig. 2에 요약하여 나타내었다.

### 2.3. Standard 제조 및 검량곡선 확인

NP2EO, OP2EO 표준용액은 Dr. Ehrenstofer GmbH社에서 제조한 순도 99.0~99.5%의 제품을 구매하여, 원액을 희석 조제하였다. 표준용액의 농도는 Table 1에 제시하였으며, 검량곡선 그래프와 R<sup>2</sup>값을 Fig. 3에 표현하였다.

### 2.4. 분석기기 및 방법

본 연구에서는 Thermo Scientific에서 제조한 LC-MS-MS를 이용하여 슬러지 중에 존재하는 NP2EO와 OP2EO를 분석하였다. 이온화 방법으로는 ESI (+) 방식을 사용하였다.<sup>8),9),10),11)</sup> NP2EO 및 OP2EO는 이온화되면 각각 [M+NH<sub>4</sub>]<sup>+</sup>를 형성하게 되어, 원래의 분자량에 18이 증가한 326.17, 312.16이 parent ion으로 된다. 본 연구에 사용된 기기의 분석조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Concentration of calibration standards

	CS1(mg/L)	CS2(mg/L)	CS3(mg/L)	CS4(mg/L)
NP2EO	0.009	0.018	0.090	0.450
OP2EO	0.010	0.019	0.095	0.475

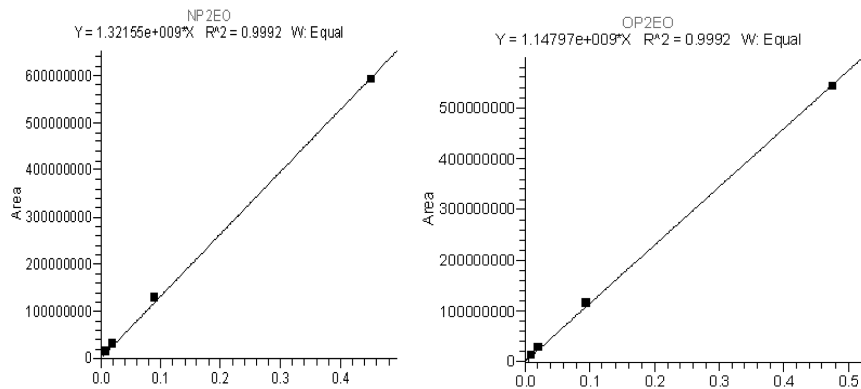


Fig. 3. Calibrations curve for NP2EO and OP2EO and their R<sup>2</sup>.

Table 2. LC-MS-MS operation parameters

Target compounds	m/z Parent mass	m/z Product mass	Collision energy	Spray voltage (V)	Vaporizer temperature (°C)	Sheath gas pressure (psi)	Aux gas pressure (psi)
NP2EO	326.17(+)	183.0	10	4,800	200	40	25
OP2EO	312.16(+)	182.9	13				

Table 3. Conditions of eluants on LC

	50 mM Ammonium Acetate	Methanol	flow rate (μL/min)
0.0 min	60	40	250
17.0 min	0	100	250
20.0 min	60	40	250
25.0 min	60	40	250

LC의 이동상으로는 50 mM Ammonium Acetate 및 메탄올을 이용하였으며, gradient 조건은 Table 3에 제시한 바와 같다.

### 2.5. 회수율 및 검량한계

본 전처리 및 분석방법의 회수율 및 검량한계를 Table 4에 나타내었다. MDL(method detection limit)은 국립환경연구원에서 편찬한 “내분비계장애물질의 측정 및 분석방법(I)”에 기재되어 있는 방법으로 측정하였다.<sup>12)</sup> 즉, 목표검출한계의 2~5배가 되도록 정제수에

Table 4. Recover efficiency and MDL of analytical method used in this study

	Recovery(%)	MDL(μg/L)
NP2EO	88.0	0.0035
OP2EO	86.6	0.0018

분석대상물질을 넣고 첨가회수시험을 7회 행한 후 검출값의 표준편차(s)를 구하여 DL=1.943s의 식을 이용하여 값을 구하였다.

## 2.6. NP2EO 및 OP2EO 분석법 고찰

각 국가에서 사용중인 Nonylphenol 및 Octylphenol 분석법에 대해서 확인하기 위하여 2007년 실시한 EU Water Framework Directive(WFD)의 실험실간 교차시험에서는 실험실마다 다양한 분석기기(예를 들면, LC-MS-MS, GC-MS, LC-fluorescence)를 사용되고 있는 것을 확인하였다. 이 중에서 LC-MS-MS를 사용한 방법이 탁월한 결과를 보이는 것을 확인하였다.<sup>7)</sup> NP2EO, OP2EO의 분석에 있어서도 여러 방법이 있으나 본 실험실에서는 LC-MS-MS를 이용하였으며 이온화방식으로는 ESI(+)-법을 이용하였다. 주 이동상은 Methanol, 이온화보조제로 이동상에 50 mM Ammonium Acetate를 병행하여 사용하였다. 이온화보조제를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우 상당한 감도의 차를 보였으며, ESI(-), APCI(+),(-)법에 비하여 ESI(+)-법의 감도가 가장 좋았다. 분석대상물질은 Ethoxylate체를 가진 다른 동족체 화합물들 및 APnEC(Alkylphenoxy carboxylic acid) 등이 분석대상물질로 존재하기 때문에 LC-MS 등의 방법에 비하여 LC-MS-MS 방법이 유리하다.<sup>8),10)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 1차 침전지 슬러지중의 NP2EO 및 OP2EO 농도

재래식 호기성 처리조의 1차 침전지에서 슬러지 중의 NP2EO의 농도는 772.9 µg/kg, OP2EO는 20.0 µg/kg의 값을 나타내어 OP2EO에 비하여 NP2EO의 농도가 높은 것을 확인하였다. 일반적으로 NP2EO의 사용량이 많은 것으로 알려져 있는데, 슬러지 중의 농도 또한 예

측한 바와 같이 나타났다. 한편 이 침전지 슬러지를 고액 분리하여 상정수 500 ml를 분석한 결과, NP2EO의 농도는 1.652 µg/L이었으며, OP2EO의 농도는 0.094 µg/L이었다. 본 연구의 분석 대상체들은 소수성(즉, 이들 화합물의  $K_{ow} = 3.8\sim 4.8$ )<sup>6)</sup>이기 때문에, 슬러지 중에 포함된 양은 수용액 중에 포함된 양에 비하여 수백 배 높은 것으로 파악되었다(Table 5).

고도처리조 1차 침전지에서 채취한 슬러지에서 검출된 NP2EO의 농도는 49.6 µg/kg이었고, OP2EO의 농도는 0.8 µg/kg의 값을 보였다. 재래식 호기성 처리조의 1차침전지 슬러지 중 농도와 비교할 때, NP2EO, OP2EO의 값의 비율은 비슷한 경향을 보였지만, 값 자체는 상당히 낮은 것으로 파악되었다. 이는 재래식 호기성 처리조의 1차침전지와는 달리 고도처리 시설의 1차침전지의 경우, 일단 슬러지를 슬러지인발장치에 일정시간 체류를 시키고 그 후 농축조로 이송하고 있었는데, 이 과정에서 NP2EO 및 OP2EO가 분해되었던 것으로 판단된다.<sup>13),14)</sup> 또한 같은 날 시료를 채취하였지만, 유입수 자체의 유입경로가 다르고 Grab Sampling 방법으로 시료채취를 한 것도 결과의 차이를 유발하는 것으로 판단된다. 한편, 고액 분리수 중에 존재하는 NP2EO와 OP2EO의 농도는 각각 4.940 µg/L와 0.120 µg/L이었다(Table 5).

### 3.2. 최종 침전지 슬러지중의 NP2EO 및 OP2EO 농도

재래식 호기성 처리조의 2차 침전지 하부에 침전된 슬러지 중에 존재하는 NP2EO의 농도는 1,570.5 µg/kg이었으며, OP2EO의 농도는 40.0 µg/kg으로 나타났다. 이는 같은 날 취한 시료를 기준으로 1차 침전지의 슬러지와 비교해 볼 때, 약 2배의 높은 농도이다. 좀 더 많은 조사가 필요하지만, 생물학적 처리과정 중에서 긴 사슬을 가진 Ethoxylate체가 부분적으로 분해되고 수중의 NP2EO 등이 생물 floc에 흡착되었기 때문이라고

Table 5. Levels of NP, OP, NP2EO, and OP2EO in different sludges

		NP, µg/kg	OP, µg/kg	NP2EO, µg/kg	OP2EO, µg/kg
Conventional Activated Sludge	Primary sludge	15.83	29.17	772.92	20.00
	Secondary sludge	45.50	84.50	1,500	40.00
	Sludge cake	35.48	35.48	1,400	26.13
A <sup>2</sup> O	Primary sludge	19.80	22.20	49.60	0.80
	Sludge from anaerobic tank	55.00	152.00	709.00	17.00
	Sludge from anoxic tank	40.00	98.67	245.30	10.67
	Secondary sludge	56.9	131	272.0	15.4

생각된다. 한편 고도처리과정의 2차 침전지 하부 슬러지 중의 농도는 NP2EO 272.3 µg/kg, OP2EO 15.4 µg/kg 농도를 나타내었는데, 이 역시 1차 침전지 슬러지보다 증가한 값이며, 증가량은 재래식 호기성 처리조에서의 증가정도에 비하여 컸다.

### 3.3. 최종 슬러지 케익 중의 NP2EO 및 OP2EO 농도

혐기성 소화와 탈수공정을 거친 슬러지 케익 재래식 호기성 처리공정의 후단에서만 채취할 수 있었다. 슬러지 중에 존재하는 NP2EO와 OP2EO의 농도는 각각 1,400 µg/kg과 26.1 µg/kg으로 나타났다. 이는 1차 침전지와 2차 침전지에서 생산된 슬러지 중 NP2EO와 OP2EO의 농도에 비하여 소량 감소한 값이지만, 혐기성 소화과정이 NP2EO와 OP2EO의 분해에 별 효과를 나타내지 않는 것으로 판단되었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 NP2EO 및 OP2EO에 대한 분석을 위해서 LC-MS-MS를 이용하였다. 분석대상 물질의 선택성과 감도를 위해서, ESI(+)의 이온화방법을 적용하였고, 이동상에 Ammonium Acetate 등의 이온화 보조제를 첨가하였다. 그러나, Loos *et al*도 밝혔듯이 NP1EO, OP1EO 등은 NP2EO 및 OP2EO에 비하여 감도가 1/10~1/100 정도 밖에 되지 않아 분석이 되지 않았다.<sup>10</sup> 차후에 이에 대한 평가가 이루어져야 한다고 판단된다. 또한 NP2EO 및 OP2EO의 최종 분해 형태라고 예상되는 NP 및 OP의 경우는 APCI(-) 또는 ESI(-)법으로 분석하여야 하기 때문에 NP2EO 및 OP2EO 등과 동시분석이 불가능하였다.<sup>9,10</sup> 이후에 NP와 OP에 대한 분석도 추가로 실시되어야 할 것이다.

서울에 위치하는 도시하수처리장에서 운영되는 전통 활성슬러지 시스템과 고도하수처리시스템의 1차 침전지에서 채집된 슬러지에 존재하는 NP2EO의 양은 772.9 µg/kg, 49.6 µg/kg이었으며, OP2EO의 양은 20.0 µg/kg, 0.8 µg/kg으로 파악되었다. 한편, 같은 날 채취한 2차 침전지들의 슬러지 중에 존재하는 NP2EO의 농도는 각각 1,570.5 µg/kg, 272.3 µg/kg이었고, OP2EO의 농도는 40.0 µg/kg, 15.4 µg/kg으로 1차 침전지 슬러지 중의 농도에 비하여 증가하였다. 이는 다양한 Ethoxylate체를 가진 동족체들이 짧은 사슬의 APEOs로 전환되었음을 시사하며, 또한 기존의 생물학

적 하수처리 시스템이 적어도 슬러지내의 짧은 사슬의 APEOs를 분해하는데 효율적이지 않음을 보여준다.

혐기성소화와 탈수를 거친 후 슬러지 내에도 여전히 높은 농도의 NP2EO와 OP2EO이 존재하는 것으로 파악되었다.

## 참고문헌

- Philip Dickey, Washington Toxics Coalition, "Troubling Bubbles: Alkylphenol Ethoxylates Surfactants", [http://www.zerowaste.org/ugca/mtgIII/Presentation\\_Troubling\\_Bubbles.pdf](http://www.zerowaste.org/ugca/mtgIII/Presentation_Troubling_Bubbles.pdf)
- Michael Warhurst, A., "An Environment Assessment of Alkylphenol Ethoxylates and Alkylphenols", 1995, Friends of the Earth.
- OSPAR Commission, "Nonylphenol/Nonylphenoethoxylate", 2001.
- Caroline Cox, "Nonyl phenol and related chemicals", 2003, *Journal of Pesticide/Spring 1996* vol.16, No.1, (corrected 4/2003)
- Fujita, M., Ike, M., Mori, K., Kaku, H., Sakaguchi, Y., Asano, M., Maki, H., Nishihara, T., "Behavior of nonylphenol ethoxylates in sewage treatment plants in Japan-biotransformation and ecotoxicity", 2000, *Water Science and Technology*, vol. 42 Nos 7-8, pp.20-30
- Vazquez-Duhalt, R., Marquez-Rocha, F., Ponce, E., Licea, A.F., Viana, M.T., "Nonylphenol, An integrated vision of a pollutant", 2005, *Applied Ecology and Environmental Research*, 4(1), 1-25
- Loos, R., Wollgast, J., Castro-Jimenez, J., Mariani, G., Huber, T., Locoro, G., Hanke, G., Umlauf, G., Bidoglio, G., Hohenblum, P., Moche, W., Weiss, S., Schmid, H., Leiendecker, F., Ternes, T., Navarro Ortega, A., Hildebrandt, A., Barcelo, D., Lepom, P., Dimitrova, I., Nitcheva, O., Polesello, S., Valsecchi, S., Boutrup, S., Sortkjaer, O., R. de Boer, Staeb, J., "Laboratory inter-comparison study for the analysis of nonylphenol and octylphenol in river water", 2008, *Trends in Analytical Chemistry*, vol.27, No. 1
- Jeffrey B. Plomley, Patrick W. Crozier, Vince Y. Taguchi, "Characterization of nonyl phenol ethoxylates in sewage treatment plants by combined precursor ion scanning and multiple reaction monitoring", 1999, *Journal of Chromatography A*, 854, 245-257
- Jorge E. Loyo-Rosales, Clifford P. Rice, Alba Torrents, "Octyl and nonylphenol ethoxylates and carboxylates in wastewater and sediments by liquid chromatography/tandem mass spectrometry", 2007, *Chemosphere*, 68, 2118-2127

10. Robert Loos, Georg Hanke, Gunther Umlauf, Steven J. Eisenreich, "LC-MS-MS analysis and occurrence of octyl- and nonylphenol, their ethoxylates and their carboxylates in Belgian and Italian textile industry, waste water treatment plant effluents and surface waters", **2007**, *Chemosphere*, 66, 690-699
11. Tateda, M., Hung, N. V., Kaku, H., Asano, M., Ike, M., Fujita, M., "Development of a routine analytical procedure for nonylphenol polyethoxylates and their biodegradation products in sludge from sewage treatment plants", **2001**, *Water Science and Technology*, vol.44, no.10, 101-106
12. 국립환경연구원, "내분비계장애물질의 측정 및 분석방법(I)", **1999**
13. Beatrice Teurneau, "Biodegradation of Nonylphenol Ethoxylates", **2004**, Dept. of Biotechnology, Lund University, p.10
14. Porter, A. J., Hayden, N. J., "Nonylphenol in the Environment: A Critical review", Department of Civil and Environment Engineering, University of Vermont, [www.emba.uvm.edu/~nhayden/npreview.pdf](http://www.emba.uvm.edu/~nhayden/npreview.pdf)
15. 환경부, "노닐페놀 취급제한물질로 지정 추진", **2006**, 환경부보도자료