

# 정수처리공정에서의 Bisphenol-A & Nonylphenol의 제거

• WA 학술발표내용



● 김 상 구  
1994년 동이대학교 공학박사  
91.7~현재 부산시 수질연구소 근무  
전문계약학사회



● 최 군 구  
1998년 부산대학교 공학박사  
94.7~현재 부산시 수질연구소 근무  
전문계약학사회

## 1. 서론

자연계에 존재하는 호르몬은 많은 양이나 적은 양이나 모두 치명적인 문제를 일으킬 수 있고 내분비계 장애물질(Endocrine disruptors)에 대해서는 정의된 한계 영향수준(threshold)이 없이 미량 노출에서도 영구적으로 차세대에 걸쳐 장애가 발현된다는 점에서 그 위해성은 인류의 생존을 가늠하러 믿을 심각하다. Endocrine disruptors로 정의되는 물질이 수십년간 유용하게 사용되어온 인류가 지금까지 만들어낸 화학물질로써, 세계 곳곳에서 인간을 포함한 전 생태계에서 심변환의 그 장애 사례들이 보고되고 있어 그 물질에 관해 screening, 발암성, 위해성 평가, 오염분포 조사등 국경을 초월하여 연구가 진행되고 있다.

각국에서는 Endocrine disruptors 의심물질 list를 발표하고 있는데 대체로 그 잔류특성상 농약성분이 많고 플라스틱 가소제, 포장코팅제, 색장성분인 Alkylphenols등이 공통적으로 포함되어있다. 그중 비이온계 계면활성제인 Alkylphenol ethoxylates(APEs)계통의 nonylphenol류는 미국 EPA가 잔류, 생체 축적, 독성도에 대해 1에서 3까지 점수를 매겨 높게 그 위해성을 평가하고 있고 유럽 각국에서는 PARCOM(Paris Commission for the Prevention of Marine Pollution)이 1992년부터, 영국의 Scop and Detergent Industry Association은 1997년까

지 사용금지되고, 대체품 개발의 조치를 취하는 등 전세계적으로 널리 40년이상 사용 되어 온, 불완전 생분해성유가치 더욱 유해한 estrogen mimics물질(Soto et al., 1991, Jobling & Sumpter 1993)이다. 그리고 WWF(World Wildlife Fund)선정 endocrine disruptors 의심물질인 Bisphenol-A는 polycarbonate수지를 사용한 캔제품등에서 유래되며 최근 미국 EPA등에서 환경에 경미한 영향을 주는 물질로 규정하고 있으나 그 독성 농도 값과 관계없이 광범위하게 사용되고 있어 Nonylphenol과 함께 일본등에서는 PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)법으로 규제(Japan 2000)하여 그 발생량이 집중, 관리되는 물질이다. 또한, Nonylphenol과 Bisphenol-A는 일본(98, 99 Japan environment agency report)과 한국(2000, Korea environment agency report)전체 수계 조사에 따르면 많은 사용량으로 인해 검출빈도가 매우 높고(60%이상) 수㎍/L단위로 검출되고 있다. Nonylphenol ethoxylate의 경우 미국에서 Lake Mead에서 ng/L수준으로 검출(Roefer et al., 2000)되고, Grand Calumet River에서 0.64㎍/L as NP(Naylor, 1992), Fox River에서 5.5㎍/L 검출되는등 많은 수계에서 오염이 발견되고 있다. 내분비계장애물질이 상수원수 중에 잔류하고 있는 경우에 정수처리 공정 상에서 완전히 이들 물질을 제거하지 못하면 이를 음용하는

이들에게는 내분비계 장애물질에 노출되어 사회적으로 크게 문제가 된다. 그러므로 이러한 endocrine disruptors 물질의 상수원 출현시 적절하게 대응, 그 제어 가능성을 사전에 조사·평가하여 안전한 음용수 생산을 위한 대응책을 마련하는 것이 우선적으로 선행되어야 할 시급한 과제라고 사료된다.

본 연구에서는 내분비계장애물질 중의 하나인 Nonyl-phenol과 Bisphenol-A가 원수에 상존하고 있거나 혹은 간헐적으로 상수원에 출현시 이러한 수원을 이용하여 정수처리하는 경우 일반적으로 정수처리 공정으로 사용되고 있는 응집침전, 산화(염소와 오존처리), 분말활성탄 및 입상활성탄처리를 통한 제거 효율을 평가해보기 위하여 알루미나 계통과 철염계통의 응집제를 이용한 응집에 의한 제거효과를 평가하였다. 산화에 의한 제거과정을 평가하기 위하여 오존과 염소를 이용하여 산화제 주입농도별 제거효과를 평가 하였으며, 분말활성탄을 이용하여 전처리 단계에서의 분말활성탄 주입농도별 제거 효과 및 원료가 다른 새가지 입상활성탄 종류별 즉 석탄계(coal), 목탄계(wood), 야자계(coconut) 입상활성탄의 흡착특성과 활성탄을 수년간 운전하여 흡착능이 거의 소진된 입상활성탄을 이용하여 흡착능력을 평가하여 보았다.

## 2. 실험방법

### [2.1. 시료분석]

낙동강 원수(2001.3/19~2001.3/28)에 Bisphenol-A 및 Nonylphenol시약을 spike해 전처리 장비인 SPE(Solid Phase Extraction)장치와 미량 분석 장치로 HPLC(High Performance Liquid Chromatography)를 이용하여 실험하였다. 이 때의 원수 성상은 Table 1과 같고, 전처리 과정을 Fig. 1에, HPLC 분석조건을 Table 2에 표시했다.

Table 1. Characteristics of raw water

Parameters	pH	Turbidity NTU	Alkalinity mg/L	DOC mg/L	UV254 cm <sup>-1</sup>
Measurement	8.2~8.5	5.1~9.4	42~43	2.16~2.25	0.01466~0.04534

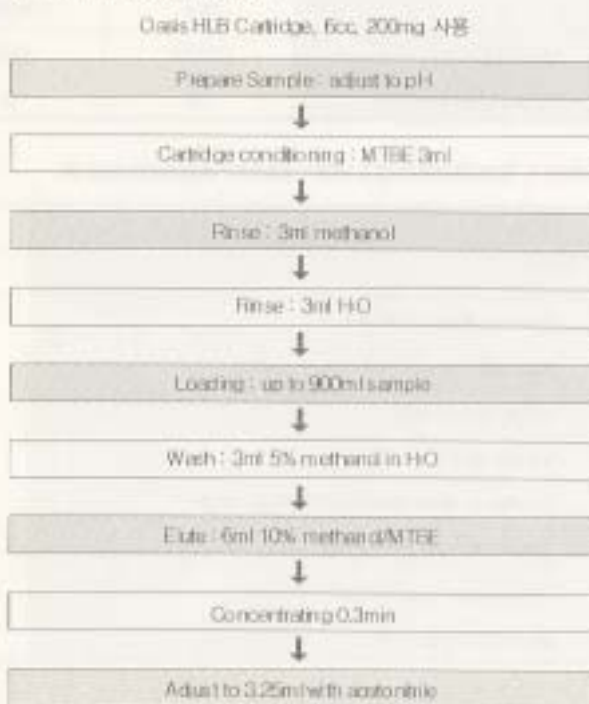
Table 2. Analysis conditions of HPLC (Waters 486)

Items	Conditions
Column	Chromolith Columns RP-18e 150×4.6mm
Mobile	A : pH3.0 phosphate buffer(15mM)
Phase	B : acetonitrile
Gradient	60% A initial, then linear gradient to 100% B in 20min
FlowRate	0.5ml/min
UVDetector	278 nm(0.02AUFS)
Injection	250.µl

### [2.2. 전오존 및 전염소 산화실험]

오존발생기(PCI사:G-1)는 medium frequency corona discharge 방법으로 air를 이용하여 오존을 발생시켰으며, 높이 6m(유효높이 5.0m), 내경 0.14m, 부피 0.077m<sup>3</sup>인 반응기를 2초 직렬로 설치하였으며 반응기 하

Fig. 1. SPE Method (preparation).



부에서 diffuser를 이용하여 오존을 주입하였으며 오존과 시료수는 counter current 형태로 반응시켰다. Bisphenol-A 및 Nonylphenol 표준 희석 용액을 원수와 동시에 정량펌프를 사용 연속 주입하였고 전오존 주입량은 단계별로 1, 2, 4, 6, 10mg/L으로 조절 주입하였으며 오존 접촉시간은 5분으로 하였다. 염소는 정수장에서 사용하는 Cl<sub>2</sub>가스를 증류수에 포집, 농도 측정후 1L 삼각 플라스크에서 단계별로 염소 농도를 1~9mg/L로 조절, 시료와 밀접하여 1시간 접촉 후 잔류 Bisphenol-A 및 Nonylphenol 농도를 측정하였다.

[ 2.3. 분말활성탄 흡착 및 응집침전 실험 ]

Table 3 The Bed Volumes of GAC columns

Species	coal		coconut		wood
	new	regeneration	new	regeneration	
Bed Volume (L)	170,000	89,600	89,600	89,600	89,600
Operating periods (Yr)	5.9	3.1	3.1	3.1	3.1

Table 4 Specification of a virgin granular activated carbon

ITEM	Properties		
	Coal(calgon)	Coconut (samchunri)	Wood(pica)
Apparent density (g/cm <sup>3</sup> )	0.430	470	23
Hardness number (%)	98	99	98
Iodine value (mg/g)	1100	1200	900
MB adsorption (ml/g)	256	245	250
Residual material after mesh (8 X 32 mesh)	99.5	99	-
Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	1100	1230	1611
Total pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	0.61	0.54	1.21
Mean pore radius (Å)	23	18	28

톱밥을 원료로 한 분말활성탄을 증류수 세척 후 110℃에서 건조후 주입농도 범위를 1~10ppm으로 하여 2L 사각Jar에 시료와 함께 주입후 120rpm으로 15분간 교반 후 GF/C(1.2m)여과지로 걸러서 여과수 내에 잔류하는 농도를 측정하였다. 응집실험은 알루미늄계 응집제 4종 (ALUM, PAC, PACs, PASS)과 철염(Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)계 응

집제를 사용했으며, 응집평가는 2L 사각 Jar-test를 통하여 잔류탁도를 평가하여 응집효율이 좋은 응집제주입량을 선정하여 응집실험을 하였다. 응집조건은 120rpm 1min 급속교반 후 60rpm, 9min 완속교반, 20분 침전 후 상정수를 GF/C 필터에 여과 후 농도를 측정하였다.

[ 2.4. Pilot-plant 입상활성탄(Granular Activated Carbon,GAC) 흡착실험 ]

입상활성탄은 coal(calgon제), wood(pica제), 아자계(samchunri) 3종류의 탄을 이용하였으며 Coal 과 Coconut을 원료로 한 활성탄은 과거 3년정도 사용한 활성탄을 한번 재생하여 재 충전 후 현재 약 3년 정도 운전

Table 5 Operating Conditions of GAC Reactor

Parameter	GAC Reactor
EBCT (min)	15
LV (m/h)	12
Bed depth (m)	2.5

• : Empty Bed Contact Time  
 \*\* : Linear Velocity

한 활성탄과 신탄을 충전한 후 현재까지 약 1~3년정도 운전 중인 활성탄 및 공장에서 바로 생산된 신탄을 이용하여 흡착능을 평가하였다.

실험은 각각의 활성탄으로 구분하여 충전된 컬럼에 여과수와 함께 정량펌프를 이용, Bisphenol-A 와 Nonylphenol을 연속으로 정량 주입하여 약 24시간 운전 한 후 활성탄 여과수를 채수하여 농도를 측정하였다. 각각의 입상활성탄 운전일자 경과에 따른 bed volume ( $m^3/(m^2/day)$ )값을 Table 3에 표시했고 그 때의 활성탄의 정상과 GAC감염의 운전 조건을 Table 4, Table 5에 표시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### [3.1. 시료분석]

수계에 존재하는 Bisphenol-A 및 Nonylphenol은  $ng/L$  수준의 매우 낮은 농도이므로 우선 분석 결과의 신뢰성과 재현성을 평가하기 위하여 먼저 낙동강 원수에 Bisphenol-A 및 Nonylphenol시약을 spike해 앞서 설명한 분석방법으로 실험했다. 그 결과 정량한계가 각각 약  $50ng/L$ ,  $250ng/L$ 이고,  $500ng/L$  농도 level에서 회수율 (recovery)이 97~110%, 재현성은 3회 replicates로 2%이내의 편차값(RSD)을 보였으며, 그때 RT (Retention time:RT)값 변동은  $\pm 5sec$  이내로 나타나

신뢰성을 확인 할 수 있었다.

#### [3.2. 전오존 및 전염소 산화 실험]

Pilot-plant의 첫단계 공정으로써 Table 1의 성상을 가진 원수에 연속적으로  $O_3$ 을 단계적으로 접촉시킨 결과 Fig. 2과 3의 Experiment 1에서 저립  $O_3$  1ppm 주입으로 Bisphenol-A  $844ng/L$ , 및 Nonylphenol  $2.62ug/L$ 의 초기농도값을 각각 최고 60.4%, 88.8% 제거시켜 산화에 의한 제거효과를 확인할 수 있었고,  $O_3$  4ppm이상 주입에서 이들 물질은 완전히 제거되었다.

池一軒(1999)에 의해 Bisphenol-A, West(2000)에 의해 Nonylphenol의  $O_3$ 산화가 효과적인 것으로 발표되었고 Zwiener and Frimmel(2000)은 clofibric acid, diclofenac과 같은 비량의 잔류성 화합물의 제거에  $O_3$ 이 강력한 산화 제거 기능을 한다고 보고한 점 등을 고려해 볼 때 본 실험 결과로써  $O_3$ 산화는 Bisphenol-A 및 Nonylphenol과 같은 endocrine disruptor물질들의 효율적인 제어 수단으로 선택될수 있을 것으로 기대된다.  $Cl_2$  산화 공정은 Fig. 2과 3의 Experiment 2에서 보듯이 Bisphenol-A 및 Nonylphenol 초기농도 각각  $1000ng/L$ ,  $5.25ug/L$ 에서  $Cl_2$  1ppm 주입으로 각각 57.5%, 5.1% 제거되고 완전히 제거시키기 위해서는  $Cl_2$  5ppm이상 주입해야 할 것으로 나타나  $O_3$ 과 비교해서 산화력이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 한편 Bisphenol-A의 경

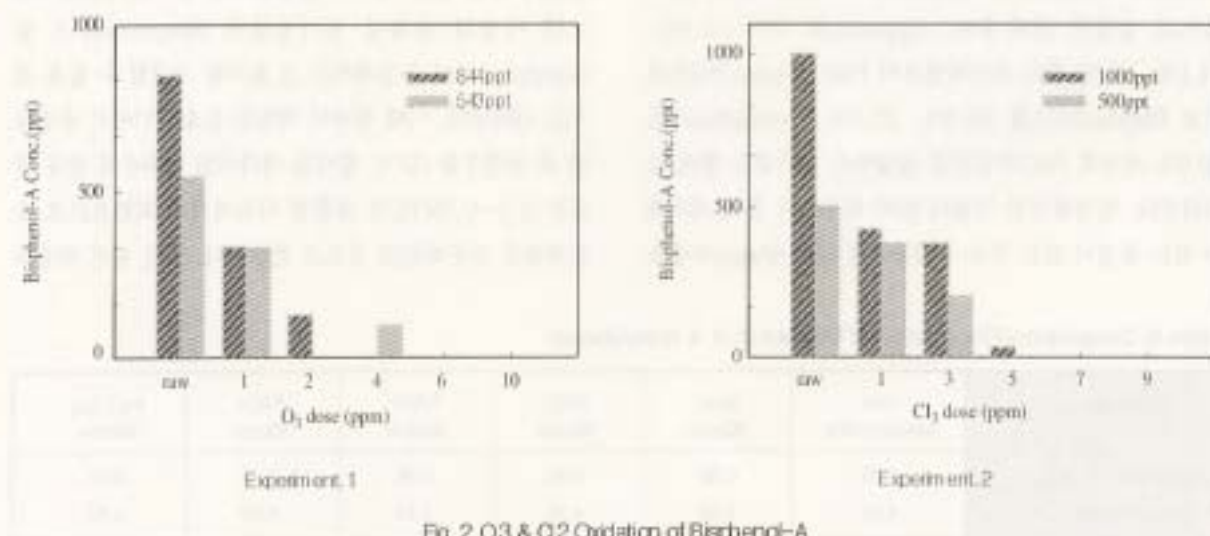
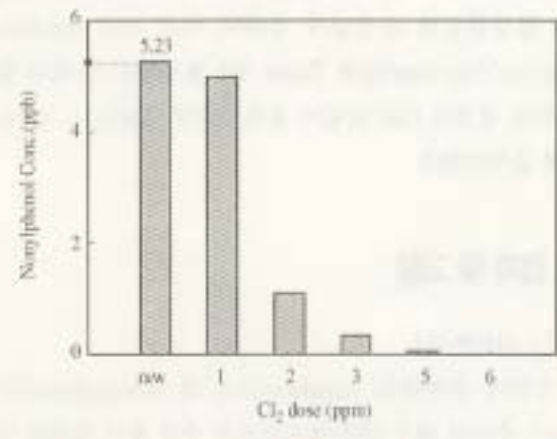
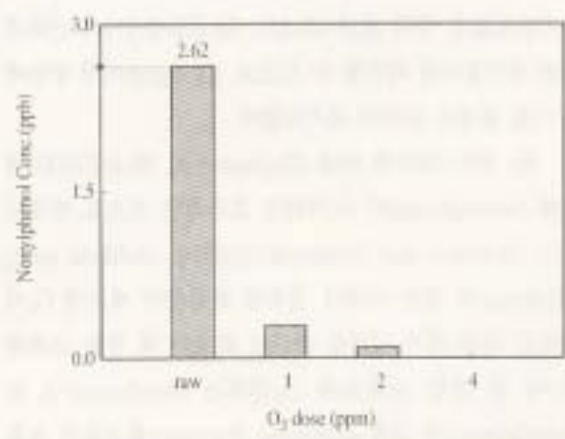


Fig. 2.  $O_3$  &  $O_2$  Oxidation of Bisphenol-A.

우 O<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub> 실험에서 초기농도값을 낮추어 실험하였을때 제거효율이 조금 떨어지는데 이것은 서로 다른 원수 성상에 의한 차이일것으로 예상되지만 다른 수질오염항목의 같은 산화제 투입량에서의 산화효과와 비교한다면 endocrine disruptor 물질에 대해 여전히 산화제거는 효과적인 제어공정으로 볼 수 있을 것이다.

로 PAC를 사용하면 endocrine disruptor 물질을 흡착 제거 할 수 있으며, 또한 PAC를 이용한 정수과정의 초기단계에서의 처리로, 이어지는 후오존, GAC 등의 후속공정에 부담을 줄여줄 수 있는 공정으로써 중요한 의미를 지니는 것으로 볼 수 있다.

주로 현탁물질을 제거하는 공정인 Coagulation,



Experiment 1

Experiment 2

Fig. 3. O3 & Cl2 Oxidation of Nonylphenol

[ 3.3. 분말활성탄 흡착 및 응집침전 실험 ]

Powdered Activated Carbon(PAC)를 이용한 jar-test 는 실제 정수장에서 사용되는 규합을 원료로한 PAC를 투입농도 1, 3, 5, 7, 10 ppm범위에서 Bisphenol-A 1053ppt, 497ppt 및 Nonylphenol 5.02ppb의 초기농도값으로 실험한 결과 PAC 3ppm으로 각각 14.9%, 14.1%, 17.5%정도 제거하였으며 PAC 10ppm주입으로 비교 Bisphenol-A를 38.8%, 35.5%, Nonylphenol을 39.9% 제거해 PAC주입량을 늘일수록 제거량도 함께 증가되었다. 임상활성탄 시설이 없이 원수중의 흡착 제거해야 하는 물질이 있는 경우 응집공정에 앞서 수ppm수준으

floculation에서의 endocrine disruptor 물질들의 제거시도는 Sorg(1977)에 의한 cadmium을 응집제를 이용한 실험을 통해 중금속 물질의 제거를 입증한 바 있으나, 본 연구에서 Bisphenol-A 및 Nonylphenol등을 원수중에 투입하여 응집 침전 시킨후 실험결과를 정리한 Table 6을 보면 미량의 잔류성 유기물질인 Bisphenol-A 및 Nonylphenol의 응집제거는 그 효과를 기대할 수 없을 것으로 나타났다. 이때 원수의 탁도는 8.4NTU에서 응집침전 후 상정수를 GF/C 필터를 여과시킨 여과수의 잔류 탁도는 0.2~0.3NTU로 충분한 탁도제거가 되었으므로 응집작용은 충분하였던 것으로 판단된다. 응집 침전 반응후

Table 6. Coagulation/Floculation of Bisphenol-A & Nonylphenol

Species	Initial concentration	Alum 50ppm	PAC1 45ppm	PAC3 45ppm	PAC5 30ppm	Fe <sub>2</sub> (Cl) <sub>3</sub> 45ppm
Bisphenol-A ug/L	1.00	0.93	0.96	0.94	0.96	0.94
Nonylphenol ug/L	4.50	4.56	4.35	4.43	4.50	4.40

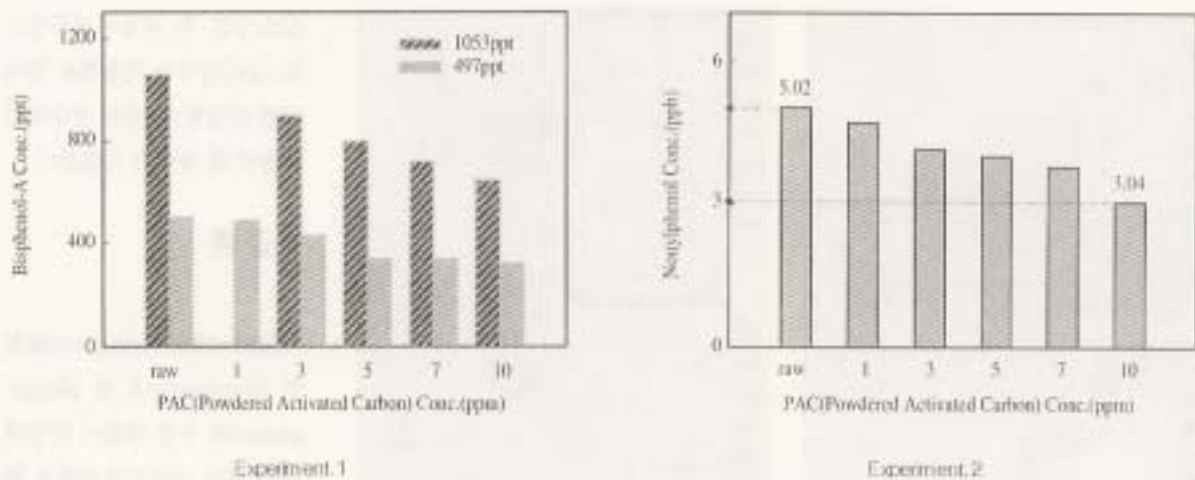


Fig. 4. PAC adsorptions of Bisphenol-A Activated Carbon, GAC) 흡착 실험

의 약간의 농도 차이는 확인할 수 있었으나 이는 원수중의 현탁물에 의한 흡착 효과에 의한 것으로 추측된다 그러나 충분한 응집효과가 있었어도 이들 물질에 대한 제거효과는 아주 미미해 Coagulation/flocculation 공정으로는 endocrine disruptor 물질의 제거를 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

[ 3.4. Pilot-plant 임상활성탄(Granular Activated Carbon, GAC) 흡착 실험 ]

Endocrine disruptor 물질들에 관한 GAC 흡착제거에 관해서는 atrazine & simazine(Miltner et al. 1989), PCBs & toxaphene(Pirbazari et al. 1992), DDT & endrin & lindane(Robeck et al. 1965), pharmaceuticals(Sacher et al. 2000), Nonylphenols(West 2000)의 보고로 제거효과는 탁월한 것으로 입증되었다. 기존의 정수공정으로는 제거할 수 없는 물질로 증명되고 있는데 본 실험에서는 GAC 활성탄의 종류, 사용기간에 따라 Table 7에서 처럼 7가지 경우로 구분하여 그 흡착제거 가능성을 조사하였다.

GAC 1, GAC 2는 실제 정수장에서 사용하는 임상활성탄으로 실험용 활성탄을 제작하여 EBCT 15min, bed volume 36~64가 되도록 Bisphenol-A, Nonylphenol 농도 1 $\mu$ g/L, 2.5 $\mu$ g/L, 시료를 통과시켜 유출수의 농도를 측정 한 결과 100% 제거되어 강한 흡착효과를 볼 수 있었다. GAC 3~GAC 7은 pilot-plant에서 3~5years 이상 장기간 운전되어 DOC등에 대해 효과가 활성탄은 그 재료별로 실험한 것으로 Table 3에 운전기간 경과에 따른 각각의 bed volume값을 표시했다. 그 결과 Bisphenol-A, Nonylphenol의 초기 농도 각각 2.3 $\mu$ g/L, 2.9 $\mu$ g/L의 시료를 역시 전량 흡착 제거하여 endocrine disruptor 물질들에 관해서도 GAC공정의 우수한 흡착 제거 능력을 입증할 수 있었다. Lee(2001)등에 의한 장기간 운전된 생물활성탄 공정에서의 농약의 일종인 simazine의 흡착제거 연구에서도 볼 수 있듯이 자연 유기물에 의한 활성탄의 파과후 흡착능력의 저하 후에도 endocrine disruptor 물질에 관해 생물분해가 아닌 흡착제거가 가능하다는 사실은 활성탄의 흡착용량에 관해 재평가가 이뤄져, 이들 물질의 흡착에 관한 활성탄의 pore distribution 영향, 파과 시기 조사등 알

Table 7. The cases of GAC experiments

Species	GAC 1	GAC 2	GAC 3	GAC 4	GAC 5	GAC 6	GAC 7
Characteristics	coal new	coal 1 year	coal 5.9 years	re-coal 3.00 years	coconut 3.00 years	re-coconut 3.00 years	wood 3.00 years

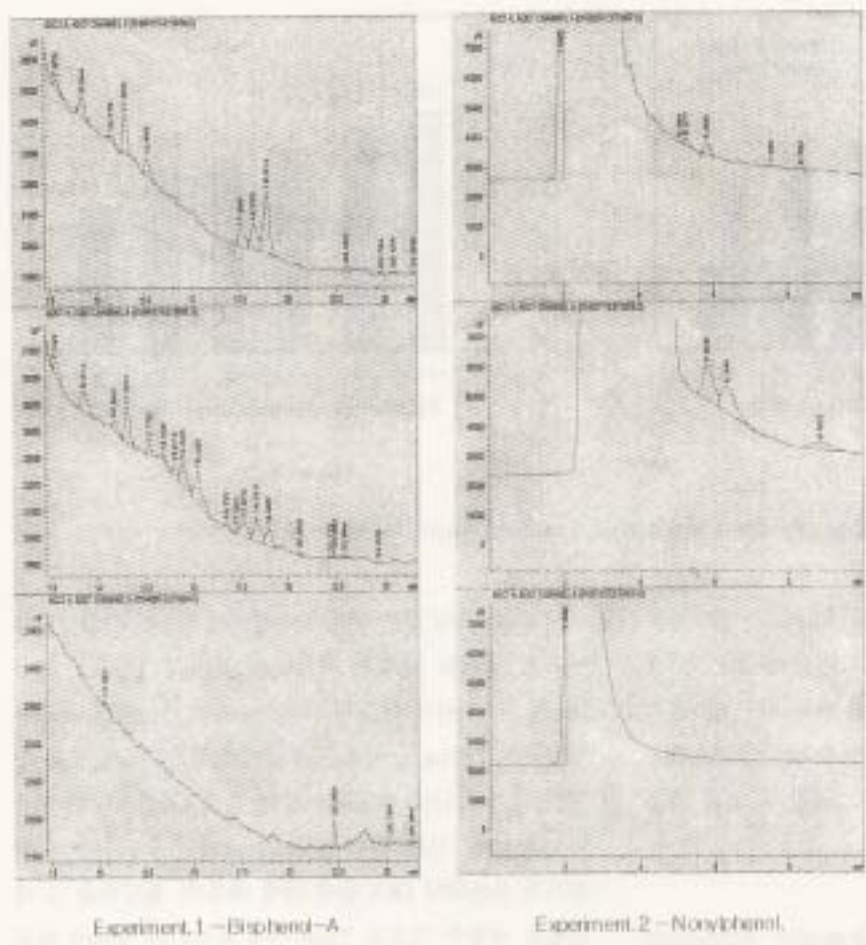


Fig. 5. Peak patterns of Bisphenol-A & Nonylphenol with PAC, Cl<sub>2</sub> Oxidation, GAC

으로의 연구 과제를 인계하였다. 또한 다른 공정과 GAC 흡착을 비교하기 위해 Fig. 5의 HPLC분석 크로마토그램을 보면, 왼쪽의 분말활성탄 처리그림은 원수피크와 피크 패턴은 같고 피크크기만 조금 낮다고 보고, 전공정이 모두 비스페놀-A와 노닐페놀에 대해 상당량의 제거는 하고 있는데 가운데의 염소처리 패턴을 보면 없었던 피크가 새로이 생겨난 것을 볼 수 있고 아래쪽의 입탄 피크는 전시간 동안 깨끗하다. Fig. 5의 노닐페놀의 경우도 염소처리의 경우 원수에 없었던 잠피크들이 여럿 생겨난 것을 볼 수 있는데, 이는 산화제등과 결합한 부산물들이 아닐까 추측되며, 본 그림에서 볼 수 있듯이 제거효율로만 판단하면 염소 1ppm주입으로 이 물질들 자체는 60% 정도 제거시키지만 완전한 처리는 아닌 것으로 보여지며, 결국 산화 공정의 적정 운영으로 endocrine disruptor물질들의 농도를

감소시킨 후 최종처리공정으로 GAC공정을 적용하는 것이 가장 안심할 수 있는 정수처리 공정이 될 것이라 사료된다.

#### 4. 결론

Endocrine disruptors물질인 Bisphenol-A 및 Nonylphenol의 수중 검출시 SPE전처리 법과 HPLC분석법을 활용, 이들을 효율적으로 제어하기 위한 정수처리 공정별 제거 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전오존 및 전염소 검출 산화시 O<sub>3</sub> 1ppm 주입으로 Bisphenol-A 844ppt, 및 Nonylphenol 2.62ppb의 초기농도에서 각각 최고 60.4%, 88.8%제거시켜 산화에 의한 제거효과를 확인할 수

있었고, O<sub>3</sub> 4ppm이상 주입으로는 100% 제거됨을 알 수 있었다. 또한 염소처리는 초기농도 각각 1000ppt, 2.6ppb에서 Cl<sub>2</sub> 1ppm 주입으로 각각 57.5%, 5.1%제거되고 완전히 제거시키기 위해서는 Cl<sub>2</sub> 5ppm이상 주입해야 가능함을 알 수 있어 오존에 비하면 산화력이 조금 떨어지는 것을 알 수 있었다.

2. PAC & Coagulation/Flocculation Jar-Test로써 Bisphenol-A, Nonylphenol은 알루미늄계와 철염계의 다양한 종류의 응집제 사용으로도 응집효과는 확인할 수 없었으며 PAC로는 정수처리 초기단계에서 Bisphenol-A, Nonylphenol을 효율적으로 관리할수 있는 가능성을 제시해 주었다. 즉 Bisphenol-A, 1053ppt, 497ppt및 Nonylphenol 5.02ppb의 초기농도값에서 PAC 3ppm주

입으로 각각 14.9%, 14.1%, 17.5%정도 제거하였으며 PAC 10ppm주입으로 최고 Bisphenol-A를 38.8%, 35.5%, Nonylphenol을 39.9% 제거해 주입량을 늘일수록 제거효율을 높일수 있었다.

3. 활성탄 종류와 사용기간등을 달리한 pilot-plant에서

의 GAC 실험 결과 3-5년이 경과된 활성탄을 사용하더라도 24시간 접촉후의 유출농도 조사결과 100% 제거되어 정수처리공정중 가장 효과적인 처리공정임을 입증했다.

## 참고문헌

1. Soto, A.M. et al, p-Nonyl-phenol : an estrogenic xenobiotic released from modified polystyrene, *Environmental Health Perspectives*, 92:167-173, 1991
2. Jobling, S. and Sumpter, J.P. Detergent components in sewage effluent are weakly estrogenic to fish: An in vitro study using rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*)hepatocytes, *Aquatic Toxicology*, 27: 361-372, 1993.
3. Japan 2000 : <http://www.env.go.jp/chemi/ptr/risk0.html>
4. 98, 99 Japan environment agency report : <http://www.env.go.jp/chemi/nd/index.html>
5. 한국(2000, Korea environment agency report) : <http://www.me.go.kr/www/index.html>
6. Roefler, P., Snyder, S., Zegers, R.E., Rering, D.J., and Frank, J.L. : Endocrine Disrupting Chemicals in a Source Water, *Journal AWWA*, 92, 8, 52-58, 2000
7. 池一科, 栗富功, 西川 弘 : 内分泌機能作用が疑われるいくつかの化学物質の促進酸化処理, *Proceeding of 8th Annual Conference on Ozone Science and Technology, in Japan, Kagoshima, (1999)*
8. West P. : State of Endocrine Disruptors Research in Europe, in proceedings, Sunday Seminar, 2000 AWWA Annual Conference & Exposition, Denver, Co., June 11-15, 2000
9. Zwiener C, and Frimmel FH : Oxidative Treatment of Pharmaceuticals in water, *Water Research*, 34, 6, 1881-1885, 2000
10. Sorg, T.J. : Treatment Techniques for the Removal of Inorganic Contaminants from Drinking Water, *Treatment Techniques for Meeting the Interim Primary Drinking Water Regulations*, EPA-905-B-77-005, 2-36, 1977
11. Millner, R.J, Baker DB, Soeth TF, and Frank CA : Treatment of Seasonal Pesticides in Surface Waters, *Journal AWWA*, 81, 1, 43-52, 1989
12. Pibazari, M, Badriyha BN, Kim SH, and Millner R.J. : Evaluating GAC Adsorbents for the Removal of PCBs and Toxaphene, *Journal AWWA*, 84, 2, 83-90, 1992
13. Sachet, F, B Haist-Gulte, Branch HJ, Preuss G, Wille U, N Zulei-Sabert, M Meisenheimer, H Welsh, and TA Ternes(2000) : Behavior of Selected Pharmaceuticals during Drinking Water Treatment, Extended abstract, ACS Division of Environmental Chemistry, 40, 1, 116-118
14. Lee, SH et al : 長期間運轉した生物活性炭におけるシマンソンの吸着量, *Journal JWWA*, 70, 1, 17-25, 2001