

미량오염물질 및 맛 냄새유발물질의 제거를 위한 오존/AOP 및 활성탄 공정의 적용성에 관한 연구

하정태·임지열*·길경익***

하남시청 교육지원과

*고려대학교 건축사회환경공학과

**서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Study on the applicability of the ozone / AOP and activated carbon process for the removal of trace organic contaminants and taste odor causing substances

Jeongtae Ha · Jiyeol Im* · Kyungik Gil***

Department of Educational Support, Hanam City

*School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

**Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received: 29 October 2014, Revised: 01 April 2015, Accepted: 01 April 2015)

요약

정수처리공정에서 미량유기물질과 맛·냄새물질인 2-methylisoborneol (2-MIB)와 geosmin의 제거특성을 파악하기 위하여 오존 및 advanced oxidation process (AOP)와 입상활성탄으로 구성된 biological activated carbon (BAC)공정과 활성탄 단독공정인 granular activated carbon (GAC)공정에 대한 pilot plant를 수행하였다. 운전 결과, 2-MIB 159 ng/L, geosmin 371 ng/L의 고농도에서 오존 1.0 mg/L 주입시 42%, 86%의 제거율을 나타냈으며 H₂O₂ 0.5 mg/L를 추가주입한 AOP 공정에서 각각 58%, 90%의 제거율 상승을 나타냈다. 또한 BAC공정에서 99.8%의 제거율을 나타냈으며 GAC 공정에서 2 ng/L이하의 처리성능을 보였다. 따라서 미량유기물질 및 맛·냄새 물질의 지속적인 제거를 위해서는 오존/AOP와 활성탄의 처리효과를 조합한 BAC 공정이 효과적으로 나타났으며, 활성탄지의 흡착능을 지속적으로 유지하기 위해서 유입농도에 따른 오존/AOP 공정의 최적화가 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 조류, 2-MIB, Geosmin, Ozone, AOP, GAC, BAC

Abstract

This study was conducted to assess the removal characteristics of taste and odor causing compounds(2-MIB and geosmin) and micro organic matters. GAC and BAC process consisting of Ozone/AOP and activated carbon was applied. As a result, the influent concentration of 2-MIB 159 ng/L and geosmin 371 ng/L were removed 42% and 86% by ozone 1.0 mg/L, and 58%, 90% by AOP(ozone 1.0 mg/L + H₂O₂ 0.5 mg/L). Also it showed less than 2 ng/L effluent in GAC process and 99.8% removal efficiency in BAC process. Therefore, BAC process combining ozone/AOP and GAC is effective for persistent removal of micro organic matters, taste and odor. It is needed for optimization of Ozone/AOP process according to influent concentrations.

Key words : Algae, 2-MIB, Geosmin, Ozone, AOP, GAC, BAC

1. 서론

최근 상수도 취수원의 수질관리와 개선을 위한 다양한 노력에도 불구하고 여전히 기후변화로 인한 수온의 상승, 강우강도 및 갈수기 증가 등의 영향에 따라 수질악화를 초래

할 가능성이 높은 것으로 예상되고 있다. 또한 국내 정수처리시설 중 20년 이상 노후화된 시설은 전국 지방상수도시설의 약 48%, 고도정수처리가 도입된 시설은 약 19%로 강화되는 먹는 물 수질 기준을 만족시키는데 한계가 있다. 따라서 기존 정수처리시설의 처리효율 향상 및 먹는 물 수질 기준 만족을 위해 고도정수처리시설의 도입을 필요로 하고 있다(MOE, 2013). 특히 여름철 한강수계 취수원의 조류발생으로 인한 수돗물의 맛·냄새파동의 경우와 같이 최근 정수처리공정에서 맛·냄새 문제가 점차 대두되고 있는 상황이

* To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

다(Seoul city, 2007, 2013). 먹는 물과 관련된 맛·냄새 물질은 대부분 조류에 의한 생물작용이 주요 원인으로 알려져 있다. 특히 남조류(Blue green algae)는 geosmin과 2-MIB 같은 물질을 발생시키는 주요 조류로 화학적으로 안정하고 산화에 대한 저항성을 가지고 있어 기존의 정수 처리 방법으로는 제거하기가 매우 어려운 것으로 보고되고 있다(Bruce, 2002). 고도정수처리에서 오존에 의한 맛·냄새 유발물질의 제거 메카니즘은 C=C 이중결합 및 방향족화합물의 Ring Hydroxylation에 작용하거나 Free Radical에 직접 반응하여 carbonyls를 형성하므로, 같은 구조를 갖고 있는 2-MIB 및 geosmin을 효과적으로 제거할 수 있다고 알려져 있다(Bartels, 1987). 또한 AWWRF(1990, MDW)에서는 geosmin과 2-MIB를 제거하기 위해 AOP공정중 오존과 과산화수소를 조합한 PEROXONE(O₃+H₂O₂)을 이용한 연구를 수행하였으며 오존 단독처리보다 과산화수소를 혼합하는 것이 효과적이고 최적 PEROXONE ratio는 0.2로 제시하였다. 활성탄은 맛·냄새 유발물질의 종류, 활성탄의 특성, 원수에 포함된 유기물의 성질에 따라 흡착능력이 다르기 때문에 목표수질에 따른 적정 처리조건을 설정하여야 하며 GAC는 비극성을 갖고 있는 맛·냄새 유발물질 흡착에 효과적인 것으로 알려져 있다.(Lalezary, 1986)

본 연구에서는 정수 내 함유된 미량오염물질 및 맛·냄새 물질을 처리하기 위하여 Ozone/AOP공정 및 활성탄공정으로 구성된 pilot plant를 적용하여 유입수 수질변화에 따른 고도정수처리공정별 처리특성을 분석하였으며, 이러한 결과를 통하여 처리대상물질별 오존/AOP 및 활성탄 조합공정의 적용성 검토 및 최적화를 위한 기초자료를 도출하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 Pilot plant

경기도 H시 정수장 원수 함유된 오염물질에 대한 고도처리공정의 처리특성을 분석하기 위하여 두 공정으로 pilot plant를 운전하였다. 첫 번째 BAC 공정(BAC process)은 전처리로 오존/AOP 이후 BAC를 통한 처리, 두 번째는 GAC 공정(GAC process)으로 활성탄 단독 처리 공정이며, 각 공정에 대한 모식도는 Fig. 1을 통해 확인 할 수 있다. 두 공정에서 미량유기물질, 소독 및 산화부산물, 맛·냄새 물질 등 주요 항목에 대한 처리효과를 분석하기 위하여 단위공정 및 조합공정 등을 대상으로 오존 및 PEROXONE 의한 처리효과, BAC와 GAC에서의 처리효과 등에 대한 실험을 수행하였다.

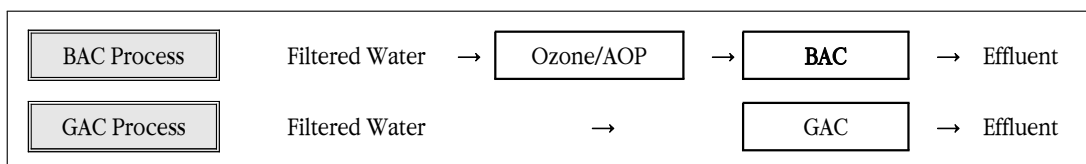


Fig. 1. Flow scheme of BAC and GAC Process.

Table 1. Specifications of ozone system

List	Specification	Unit
Ozone Contact Column(STS304)	Ø200 × 5.0 mH	set
Ozone Generating Equipment	20 g/h	set
Dissolved Ozone Meter	0~10 ppm	set

Table 2. Specifications of carbon filter

List	① BAC	② GAC
Column Height	φ 400×H6.0 m	φ 400×H6.0 m
EBCT(min)	16	16
Linear Velocity(LV)	10 m/hr	10 m/hr
Type of Activated Carbon	coal base	coal base
Bed hight(BH)	2.5 m	2.5 m

PEROXONE 공정(AOP공정)은 오존보다 산화력이 더욱 강력한 OH radical의 생성을 극대화하기 위한 공정으로, 오존에 과산화수소(H₂O₂)를 주입하였다. PEROXONE 공정에서 과산화수소 주입비가 적정 투입비 보다 낮을 경우는 오존의 공급량 보다 과산화수소의 공급량이 적어서 충분한 OH 라디칼의 생성이 이루어지지 않으며, 적정 투입비 보다 높을 경우는 과량으로 공급된 과산화수소가 OH 라디칼과 반응하여 OH 라디칼(2.80 eV)보다 산화력이 낮은 HO₂ 라디칼(hydro-peroxyl radical, 1.70 eV)을 생성하기 때문에 PEROXONE 공정의 효율을 감소시킨다(Roche, P., 1994). 하지만 과산화수소/오존의 최적 주입비는 여러 연구결과들에서 0.2~1.4 정도로 다양하게 보고되고 있어 유입수 성상과 반응기형태와 같은 다양한 변수의 영향을 받는 것으로 보고되었다(Acero, J. L, 2001). 고도정수처리에 적용된 PEROXONE 공정의 경우 과산화수소/오존 주입비는 0.3~0.5의 범위가 대부분으로서 본 실험에서 오존은 0.5~1.5 mg/L, 과산화수소는 0.3~0.5 mg/L의 범위로 주입하였다.

Pilot plant의 오존/AOP 공정과 활성탄공정의 시설제원은 table 1 및 table 2와 같다. 본 pilot plant는 고도정수처리 공정들과 유기적으로 연계되어 있는 오존/AOP의 처리효과와 활성탄의 처리효과를 상호 보완할 수 있도록 조합함으로써 효율적이고 경제적인 최적조건을 도출하고자 운전하였다.

2.2 Spiking Test

맛·냄새물질에 대한 처리효과를 분석하기 위하여 인위적으로 원수에 2-MIB와 geosmin시료를 주입하여 spiking test를 실시하였으며(Ham, 2012), 유입농도는 2011년~2013년 동안 서울시 6개소의 정수장으로 유입되었던 원수 중 맛·냄새 유발물질의 최대농도 및 장래 발생가능성을 고려하여

Table 3. Operating conditions of spiking test for taste and odor

Conditions			Low Conc.(L)			High Conc(H)		Remarks
			L-1	L- 2	L-3	H- 4	H- 5	
Influent (ng/L)*	2-MIB		31	55	78	95	181	
	Geosmin		40	98	146	196	454	
Ozone/AOP	Injection Rate (mg/L)	O ₃	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.5	0.5~1.5	
		H ₂ O ₂	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	0.5	0.5	
	Contact Time (min)		8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
Carbon Filter	EBCT (min)		15	15	15	15	15	

* Using 1 mL-100 mg/L Standard Solutions by Supelco co.

2-MIB는 31~181 ng/L, geosmin은 40~454 ng/L로 조정하였으며 table 3에 spiking test시 실험 조건을 나타내었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 원수수질 특성분석

3.1.1 미량유기물질

Total Organic Carbon(TOC), Dissolved Organic Carbon (DOC) 및 Biological Dissolved Organic Carbon(BDOC)의 경우 먹는 물 수질기준 항목에는 포함되어 있지 않지만, 유기물질을 직접적으로 확인할 수 있는 주요 항목이다. Table 4을 통해 pilot plant 운전 기간 중 오존/AOP 공정과 GAC공정으로 유입되는 사여과수 내 TOC, DOC, BDOC 그리고 UV254의 농도를 확인 할 수 있다. Pilot plant 운전 기간 중 TOC 0.86~1.58 mg/L, DOC 0.64~1.49 mg/L 그리고 BDOC 0.16~0.41 mg/L의 범위를 보였다. DOC/TOC는 평균 84%로 대부분의 유기물질이 용존상으로 존재하고 있었으며, 생물학적 분해가능물질의 비율인 BDOC/TOC는 평균 27.7%로 나타났다. 또한 난분해성 유기물질의 지표인 UV254는 0.013~0.03 mg/L로 유입되었다.

3.1.2 SUVA 254 분석

SUVA254는 소독부산물 생성 유기물 농도를 대표하는 측정항목이며, 용존성 유기물질 중에서 소독부산물을 형성하는 휴믹물질을 분석하기 위한 값으로서, 이 값이 클수록 불포화 지방산 함량이 높은 것으로 알려지고 있다. SUVA254가 3이하인 경우는 휴믹산의 농도가 낮고, 유기물은 친수성이거나 방향족성이 낮으며 분자량도 상대적으로 낮고, SUVA254 4이상인 유기물의 특성이 소수성이거나 방향족

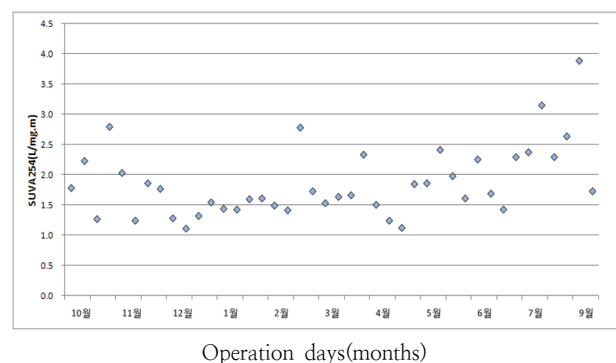
유기물과 분자량이 비교적 큰 유기물이 많다고 할 수 있다. 또한 SUVA254 2이하인 경우에는 THMs와 HAAs 형성과는 상관성이 없는 것으로 보고하고 있다(Ates. N., 2007). specific UV absorbance(SUVA 254)는 USEPA의 National Primary Drinking water Regulation에 제시된 식(1)을 이용하였다.

$$SUVA_{254}(L/mg.m) = 100(cm/m) \times \{UV_{254} \text{ nm}(cm^{-1})/DOC(mg/L)\} \quad \text{식(1)}$$

식(1)에 의해 산정된 SUVA254 값은 평균 1.87이고 대체적으로 3.0이하를 나타냄으로써 친수성, 비방향족, 저분자량의 특성을 가진 물질들이 상대적으로 많고, THM보다는 HAAs 생성과 관련성이 많은 것으로 분석되었다(Edzwald, 1999). Table 5는 유입수 내 SUVA254 값을 확인 할 수 있다.

Table 5. Range of SUVA254 value

	Max.	Min.	Avg.	Remarks
SUVA254(L/mg.m)	3.89	1.12	1.87	

**Fig. 2.** Variation of SUVA254 value.**Table 4.** Characteristics of TOC, DOC, BDOC and UV254 in influent.

	Concentration(mg/L)			Composition(%)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
TOC	1.58	0.86	1.20	100	100	100
DOC	1.49	0.64	1.01	94.3	74.4	84.2
BDOC	0.41	0.16	0.28	27.5	25.0	27.7
UV254	0.013	0.03	0.018	-		

3.2 공정별 처리특성 분석

3.2.1 미량유기물질 제거특성

가. 활성탄 TOC 파과특성

Fig. 3에서는 활성탄 bed volume(BV, volume treated/volume of empty GAC bed)에 따른 TOC변화를 통해 TOC 파과특성을 파악한 결과, BV가 증가할수록 TOC 제거 효율이 완만하게 감소하는 경향을 보였으며, Bed Volume 35,000에서 유입농도 및 처리수질에 따른 활성탄파과시점으로 고려할 수 있는 TOC에 대한 C_e/C_o 0.6과 처리수질 0.8 mg/L 이하를 유지하고 있는 것으로 나타났다(K-water, 2009).

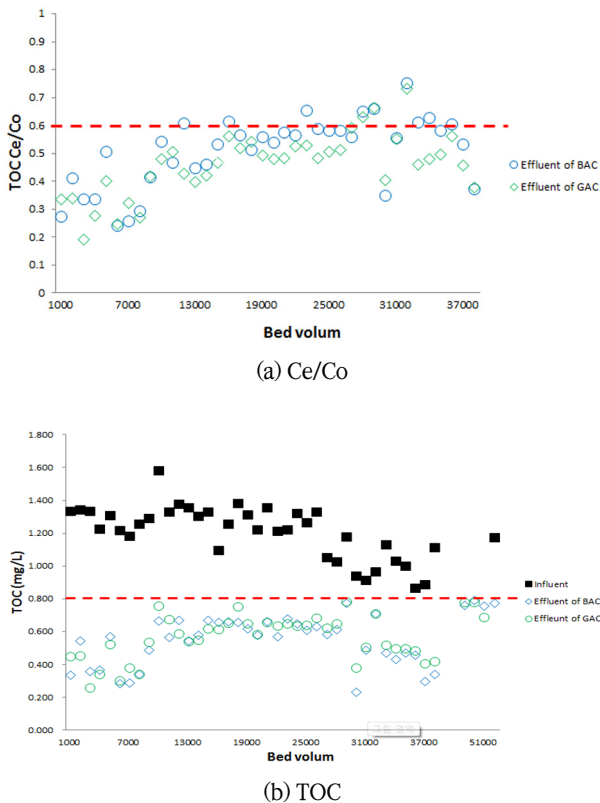


Fig. 3. TOC Breakthrough Characteristic Curves versus Bed Volume.

나. 오존처리효과 분석

Table 6는 오존 주입량에 따른 TOC와 DOC 제거 효율 그리고 BDOC 증가율을 나타내었다. 오존 처리 시설 유입수 내 TOC농도는 약 0.86~1.58 mg/L의 범위에었으며 평균 1.2 mg/L로 유입되었다. 오존 1.0 mg/L 주입시 유출수 농도는 1.05 mg/L로 감소하였으며, 오존에 의한 TOC 감소효과는 약 12.8% 정도로 나타났다. DOC와 BDOC의 변화에 대한 오존의 영향을 보면 DOC는 오존 1.0 mg/L 주입시 10.7%의 제거효율을 나타냈고, BDOC의 경우 약 22.7%가 증가하였다. TOC와 DOC 제거 효율에서 오존주입율(mg O₃/L)이 증가함에 따라 제거효율도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 유출수 내 BDOC의 비율이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 오존에 의해 난분해성 유기물이 산화되어 생분해성으로 변환된 것으로 판단된다. Fig. 4에서는 오존주입량과

오존처리수의 잔류오존농도를 측정하여 실제 사용된 오존소 모량대비 DOC 제거량과의 상관관계를 검토하였다. 분석 결과 상관계수(R²) 0.77로써 높은 상관성을 지니고 있는 것으로 나타났으며, 오존 1.0 mg/L 주입시 잔류오존 0.2 mg/L, 오존소모량 0.8 mg/L에서 실측 DOC 농도는 유입 1.05 mg/L, 유출 0.90 mg/L으로써 DOC 제거량은 0.15 mg/L이며 상관관계식을 통한 계산결과는 0.10 mg/L로 나타나, DOC 제거를 위한 오존 주입을 결정에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Variation of TOC, DOC, BDOC by Ozone injection rate

O ₃ injection (mg/L)	TOCrm (%)	DOCrm (%)	BDOC increasing rate (%)
0.50	0.90	0.30	2.70
1.00	12.86	10.72	22.77
1.50	37.29	29.60	38.70

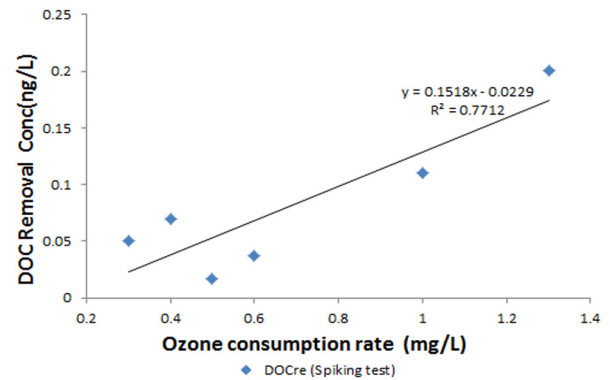


Fig. 4. DOC Removal Rate versus Ozone Consumption Rate.

다. GAC 및 BAC공정 처리특성

Fig. 5에서는 Pilot Plant 운전 기간 중 12월~6월간 BAC와 GAC 공정에서의 TOC 운전 결과를 보여주고 있다. 운전 기간에 따른 유입농도 변화를 살펴보면 TOC는 12월~3월의 동절기보다 4월~6월에서 낮은 농도로 유입되었는데 이는 강우에 의한 희석에 의해 나타나는 현상으로, 겨울철과 봄철의 강우량 차이에 의한 것으로 설명될 수 있다. BAC와 GAC 공정에서 각각 27~77%과 27~81%, 평균 55%의 제거효율을 나타냈으며 유출수 내 TOC농도는 0.5 mg/L 정도로 검출되었다.

Table 7는 공정 별 오존 주입량에 따른 BAC 공정 그리고 GAC 공정 내 DOC(BDOC) 농도 및 제거 효율을 나타내었다. DOC의 경우 0.64~1.49 mg/L, 평균 1.01 mg/L가 유입되어 각 공정별 평균 유출농도는 BAC 0.40 mg/L, GAC 0.42 mg/L를 나타내고 있다. 또한 BDOC의 경우 0.16~0.41 mg/L, 평균 0.27 mg/L가 유입되어 오존공정에 의한 생분해성이 0.18~0.58 mg/L로 약 30% 정도 증가되었으며, 공정별 BDOC 처리효율은 오존 1.0 mg/L 주입시 BAC 44.2%, GAC의 경우 22.6% 제거율을 나타내어 BAC공정이 GAC에 비해 다소 높은 제거효율을 나타내었으며 운영기간이 경과할수록 BAC공정에서의 BDOC의 제거율이 점차 안정적으로 증가하는 경향을 보였다.

Table 7. DOC(BDOC) Removal of BAC and GAC

Influent (mg/L)	BAC					GAC	
	Injection Rate O ₃ (mg/L)	Ozone_eff.		Conc. (mg/L)	removal (%)	Conc. (mg/L)	removal (%)
		Conc. (mg/L)	removal (%)				
0.643 (0.161)	0.5	0.533 (0.178)	17.1 (△10.6)	0.214 (0.099)	66.7 (44.4)	0.218 (0.098)	66.1 (39.1)
1.011 (0.274)	1.0	0.899 (0.362)	11.1 (△32.1)	0.403 (0.202)	60.1 (44.2)	0.420 (0.212)	58.5 (22.6)
1.494 (0.411)	1.5	1.168 (0.577)	21.8 (△40.4)	0.603 (0.369)	59.4 (36.0)	0.646 (0.327)	56.8 (20.4)

* ()는 BDOC

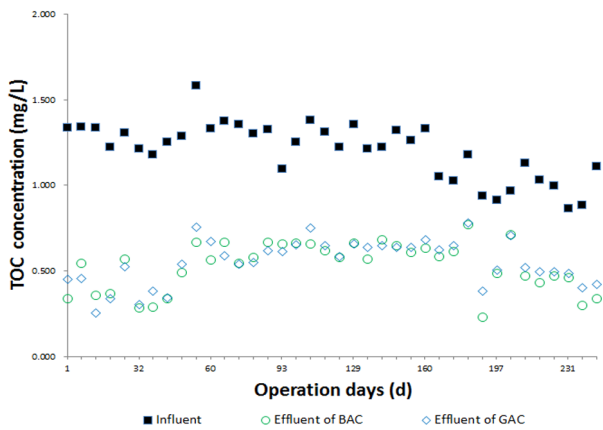


Fig. 5. Operation results of TOC in pilot plant.

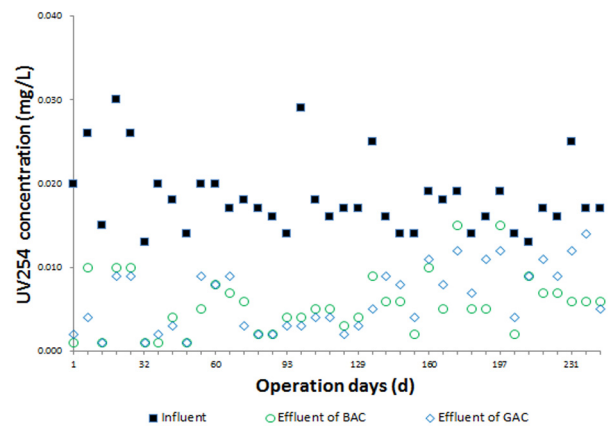


Fig. 6. Operation results of UV254 in pilot plant (in case of ozone 1mg/L).

3.2.2 UV254

Fig 6에서는 난분해성 유기물질 및 부식질의 간접지표로 활용되고 있는 UV254는 0.013~0.030 Abs./cm의 범위에서 유입되어 오존 주입농도 1.0 mg/L에서 27.8%, 오존/AOP공정의 오존 주입농도 1.0 mg/L, 과산화수소 0.3~0.5 mg/L에서 평균 39.3%를 나타내 과산화수소 주입을 통한 AOP 적용 시 처리효율이 약 10% 이상 증가하였다. 각 공정별 평균제거율은 오존 1.0 mg/L를 주입한 BAC 공정 70.0% 그리고 GAC 65.2%로 오존처리를 수반한 BAC공정에서 UV254의 처리효율이 높은 것으로 나타났다.

3.2.3 소독부산물 전구물질(THMFP, HAAFP)

가. THMFP
Table 8와 같이 Trihalomethan Formation Potential (THMFP)는 0.017~0.067 mg/L의 범위로 유입되어 오존처리에 의해 약 9.5%, AOP 처리에 의해 약 17.1%가 제거되었으며 각 공정별 평균제거율은 오존주입 시 BAC 57.1%, GAC 52.4%를 나타내었고, AOP 처리 시 BAC 80.0%, GAC 71.4%로써 오존보다 AOP에 의한 제거효과가 높아 THMFP 제거율을 높이기 위해서는 AOP와 조합된 활성탄 공

Table 8. THMFP Removal versus O₃ Injection Rate and AOP

Influent (mg/L)	BAC					GAC		
	Injection Rate		Ozone_eff		Conc. (mg/L)	removal (%)	Conc. (mg/L)	removal (%)
			Conc. (mg/L)	removal(%)				
0.042	O ₃	• O ₃ : 1.0 mg/L	0.038	9.5	0.018	57.1	0.020	52.4
0.035	AOP	• O ₃ : 1.0 mg/L • H ₂ O ₂ : 0.4 mg/L	0.029	17.1	0.007	80.0	0.010	71.4

Table 9. HAAFP Removal versus O₃ Injection Rate and AOP

Influent (mg/L)	BAC					GAC		
	Injection Rate		Ozone		Conc. (mg/L)	removal (%)	Conc. (mg/L)	removal (%)
			Conc. (mg/L)	removal(%)				
0.064	O ₃	• O ₃ : 1.0 mg/L	0.052	18.8	0.033	48.4	0.041	35.9
0.082	AOP	• O ₃ : 1.0 mg/L • H ₂ O ₂ : 0.4 mg/L	0.052	36.6	0.033	59.8	0.031	62.2

정인 BAC공정이 효과적일 것으로 판단된다. 또한 Haloacetic acids (HAAs)는 유기물이 함유되어 있는 물을 염소처리 하였을 때 생성되는데, 일반적으로 Humic과 Fulvic 물질 등과 같은 유기물은 HAAs의 생성에 중요한 전구물질이 된다. Table 9은 유입수, BAC 공정 유출수 그리고 GAC 공정 유출수 내 Haloacetic acid Formation Potential(HAAFP)의 농도 및 제거 효율을 나타내고 있다. 유입되는 HAAFP는 0.007~0.237 mg/L이었으며, 이 중 오존 처리에 의해 약 18.7 %, AOP 처리에 의해 약 36.6 %가 제거되었다. BAC 공정과 GAC 공정에서 HAAFP의 평균제거율은 오존 적용 시 BAC 공정 48.4%, AOP 적용 시 BAC 공정 59.8% 그리고 GAC 공정은 35.9%을 보였다. 따라서 THMF와 HAAFP 제거에 있어 AOP와 조합된 BAC공정이 효과적일 것으로 판단된다.

3.2.4 맛·냄새물질

Fig. 7에서 보면 2-MIB는 O₃ 주입시 유입농도 100 ng/L 이하까지 73%이상의 제거효율을 보였으나, 그 이상 농도가 증가할수록 그 제거율이 다소 낮아지는 경향을 보였다. 또한 AOP의 처리효과는 전반적으로 O₃ 단독공정보다 높은 제거효율을 보였으며 특히 2-MIB의 경우 고농도(159 ng/L) 유입시 O₃ 42%, AOP 58%의 제거율을 나타냈으나 Geosmin의 경우 고농도(371 ng/L) 유입시 O₃ 86%, AOP

90%의 제거율을 나타냈다. 이는 AOP 공정이 2-MIB와 geosmin 정수장 유입 부하 변화에 적절히 대처 할 수 있으며, 안정적인 처리를 기대 할 수 있을 것으로 보인다.

Fig. 8은 오존소비량(오존주입량 - 처리수 잔류오존량)과 2-MIB와 geosmin 제거량과 간의 상관성을 분석한 결과를 보여주고 있다. 오존소비량과 2-MIB와 geosmin의 상관계수는 0.88로 이는 오존소비량과 2-MIB와 geosmin 제거량의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이는 오존소비량이 증가할수록 2-MIB와 geosmin의 제거량이 증가한다는 것을 의미한다. 따라서 유입수 내 2-MIB와 geosmin 농도에 따른 적정 오존 주입량을 파악 할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9 (a) 2-MIB의 다양한 유입농도에서 처리특성을 보면, BAC 공정의 경우 오존주입에 의해 유입농도가 80 ng/L 정도까지 약 80% 이상의 제거효과로 10 ng/L 이하의 낮은 농도가 BAC로 유입됨에 따라 100% 제거되었으며 고농도인 181ng/L가 유입되었을 경우 오존에 의해 약 48% 제거된 후 94 ng/L가 BAC에 유입되었으나 BAC에서 모두 제거되었다. 또한 오존 주입없이 활성탄 단독공정인 GAC의 경우 고농도 유입시에도 3 ng/L 이하의 처리수질을 나타내었다. Geosmin의 경우 오존주입에 의해 유입농도가 454 ng/L 이하에서 약 88% 이상 제거되었으며 나머지는 BAC에서 2 ng/L 이하로 제거가 되었고, GAC의 경우 10 ng/L 이하의 처리수질을 나타내었다. 이러한 결과는

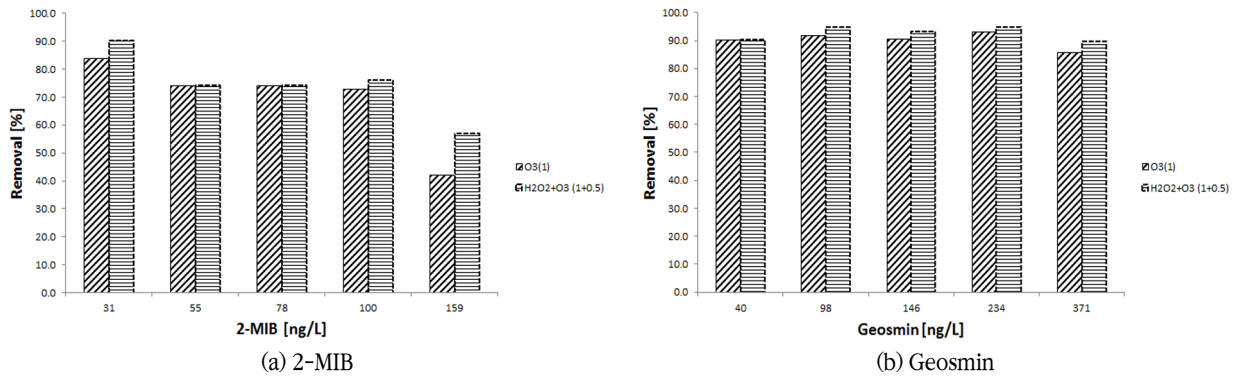


Fig. 7. 2-MIB and geosmin Removal by O₃ and AOP.

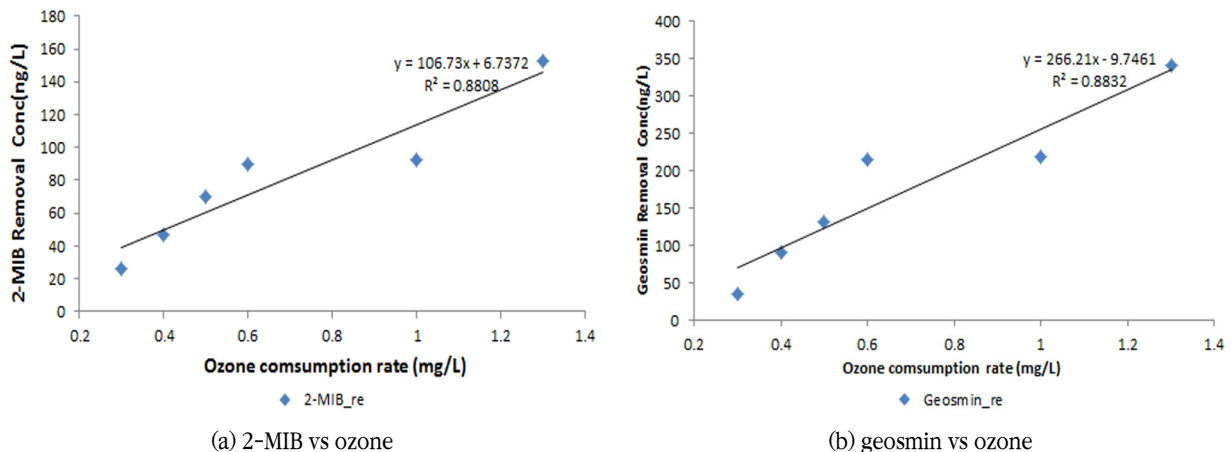


Fig. 8. Relationships between 2-MIB and geosmin vs O₃ consumption rate.

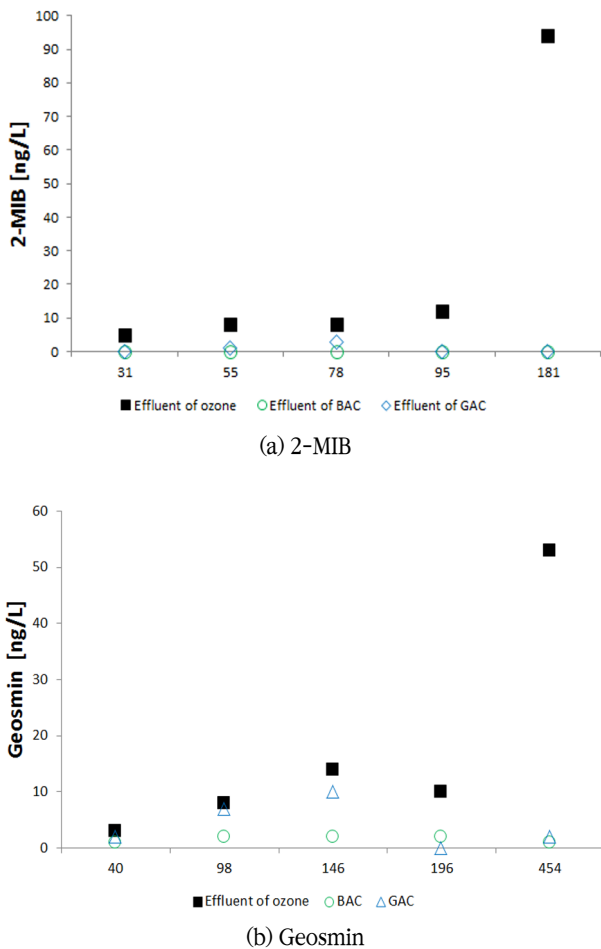


Fig. 9. 2-MIB and geosmin removal rate versus influent concentrations.

spiking test 시점이 bed volume 35,000 정도에서 활성탄이 충분한 흡착능을 보유하고 있어 단기적이고 일시적인 고농도의 2-MIB 및 geosmin의 유입시에는 양호한 처리효과를 유지할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 취수원의 조류발생에 따라 장기간 맛·냄새 물질의 유입이 예상될 경우 활성탄의 흡착능 상태에 따라 파과에 도달하는 시간에 영향을 끼치게 되므로 이러한 경우 본 연구에서 제시한 오존/AOP와 2-MIB, geosmin과의 상관관계를 기초로 유입농도에 따라 오존/AOP 주입을 조절에 의해 최대한 제거하여, 후속시설인 활성탄 흡착지에 부하를 줄여줌으로써 활성탄의 흡착능을 최대한 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

오존/AOP와 활성탄조로 구성된 BAC공정과 활성탄 단독공정인 GAC공정에 대하여 오존 0.5~1.5 mg/L, H₂O₂ 0.3~0.5 mg/L, 활성탄조 EBCT 15min의 운전조건으로 실험하였으며, 원수의 수질은 TOC 0.86~1.58 mg/L, DOC 0.64~1.49 mg/L의 범위이었으며 TOC : DOC : BDOC = 100 : 84 : 28의 구성비를 나타냈다.

1) 오존주입(1.0 mg/L)에 의해 THMFp는 9.5%, HAAFP

는 18.8%로 제거되었으며, AOP(오존 1.0 mg/L, H₂O₂ 0.4 mg/L)에 의해 17.1%, 36.6% 제거율이 증가되었고, BDOC는 GAC에서 22.6%, BAC에서 오존주입에 의해 32.1% 증가된 후 44.2% 제거됨으로써 흡착 이외에 생물학적분해에 의한 제거 효과로 판단된다.

2) 2-MIB, Geosmin에 대한 Spiking Test 결과 고농도(2-MIB 159 ng/L, Geosmin 371 ng/L)일 때 AOP 처리시 각각 58%, 90% 제거되어 오존(42%, 86%)에 비해 높은 제거효과를 나타냈다.

3) BAC공정에서 2-MIB(181 ng/L)는 100% 제거, Geosmin(454 ng/L)은 2 ng/L 이하로 처리되었으며, GAC 공정에서는 각각 3 ng/L, 10 ng/L 이하의 처리수질을 나타냈다.

실험결과, 고농도의 맛·냄새물질 유입시에도 오존/AOP 및 활성탄의 조합공정으로 충분한 대응능력을 확보할 수 있는 것으로 분석되었으며, 장기적인 유입시를 대비하여 유입농도별 오존/AOP공정의 최적화를 통하여 활성탄 흡착지로 유출되는 농도를 제한함으로써 활성탄의 흡착능을 지속적으로 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Acerro, JL and von Gunten, U (2001). haracterization of oxidation processes: ozonation and the AOP O₃/H₂O₂, *J. AWWA*, 93(10), pp. 90-100.
- Ates, N, Kitis, M and Yetis, U (2007). Formation of chlorination by-products in waters with low SUVA - correlations with SUVA and differential UV spectroscopy, *Water Research*, 41, pp. 4139-4148.
- AWWRF (1990). Pilot-Scale Evaluation of Ozone and PEROXONE, Metropolitan Water District of Southern California, AWWA, Denver, Co.
- Bartels, JHM, Brady, BM and Shffet, IH (1987). Taste and Odor in Drinking Water Supplies-Phase I & II, American Water Works Association, Denver, Co.
- Bruce, D, Westerhoff, P and Brawley-Chesworth, A (2002). Removal of 2-methylisoborneol and geosmin in surface water treatment plants in Arizona, *J. of Water Supply*, 51, pp. 183-197.
- Edzward, JK, Tobiason, JE (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view, *Water Sci. Technol.*, 40(9), pp. 63-70.
- Ham, YW, Ju, YG, Oh, HK, Lee, BW, Kim, HK, Kim, DG and Hong, SK (2012). Evaluation of Removal Characteristics

- of Taste and Odor causing Compounds and Organic matters using Ozone/Granular Activated Carbon(O₃/GAC) Process, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 26(2), pp. 237-247. [Korean Literature]
- K-water and Korea Water Resources Corporation (K-water, KWRC) (2005). *Efficient removal of taste and odor in Hangang area watershed(III)*, KIWE-IWW-04-01, Korea Water Resources Corporation [Korean Literature]
- K-water and Korea Water Resources Corporation (K-water, KWRC) (2010). *Optimization of Ozone and GAC for Goyang and Banwol WTP and Development of Advanced Oxidation Process for filed application*, KIWE-WS1-10-06, Korea Water Resources Corporation [Korean Literature]
- Lalezary, S, Pribazari, M and McGuire, MJ (1986). Oxidation of Five Earthy-Musty Taste and Odor Compounds, *J. of AWWA*, 78(3) pp. 62-69.
- Lloyd, SW, Lea, JM, Zimba, PV and Grimm, CC (1998). Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneol in water using solid phase micro extraction procedures, *Water Research*, 32, pp. 2140-2146.
- Ministry of Environment (2013). *Statistics of Waterworks, The survey on business type*, 11-1480000-000181-10, Ministry of Environment [Korean Literature]
- Roche, P, Volk, C, Carbonnier, F and Paillard, H (1994). after oxidation by ozone/hydrogen peroxide using the Ozotest or Peroxotest methods, *Ozone Sci. Eng.*, 16(2) pp. 135-155.
- Seoul Waterworks Research Institute (SWRI) (2007). *The Report of Seoul City's Advanced Water Treatment III*, Seoul Waterworks Research Institute [Korean Literature]
- Seoul Waterworks Research Institute (SWRI) (2013). *The guideline of operating manual of Seoul city's Advanced Water Treatment Plant*, Seoul Waterworks Research Institute [Korean Literature]