

맥동식 침전지에서 맛·냄새 유발물질 제거 특성

정일용[†] · 차민환

서울시립대 화학공학과

Removal Property of Taste and Odor Causing Material in Pulsator Clarifier

Il Yong Jeong[†] · Min Whan Cha

Department of Chemical Engineering, University of Seoul

(Received 9 November 2010, Revised 24 January 2011, Accepted 25 January 2011)

Abstract

The removal efficiencies of 2-methylisoborneol (MIB) and geosmin were investigated to reveal removal characteristics of typical organic compounds causing disagreeable taste and odor at the conventional water treatment plant installed with pulsator clarifier patented by the French company Degrémont. The injection rate of Powdered Activated Carbon (PAC) into water was changed step wisely as we conducted jar tests in the laboratory and water treatment in the actual plant. 2-MIB concentration decreased linearly while geosmin did exponentially along with the injection rate of PAC at our jar tests. The removal efficiency of geosmin by PAC injection was considerably higher than that of 2-MIB. In the real pulsator clarifier, 2-MIB concentration started decreasing as the injection rate reached up to 10 mg/L of PAC. On the other hand, the concentration of geosmin in water decreased proportional to the injection rate of PAC. In the sand filtration, removal efficiencies of 2-MIB and geosmin on July were much higher than those on March. It was carefully suggested beforehand and found afterwards that general microorganisms notably existed in the sand filter with no chlorine in filter influent and backwash water and the sand filter biologically activated removed much more odor compounds. It was considered as the reason why the removal efficiency of 2-MIB and geosmin was increased. The microbial activity maybe increased in summer with water temperature rising and low filtration rate possibly increased contact time between odor compounds and general microorganisms.

keywords : 2-methylisoborneol (MIB), Geosmin, Microorganisms, PAC, Pulsator clarifier

1. 서론

수돗물에서 맛, 냄새를 가장 자주 일으키는 원인은 조류이며, 특정 기간 동안에는 방선균도 포함된다. 그 다음으로 수생미생물의 부산물 유입 및 황화수소, 페놀과 같은 화학약품의 유출, 폐·하수에 의한 오염 등이 있다(Kawamura, 2000). 조류에 의해 발생하는 여러 가지 맛·냄새 유발물질들이 Salter and Block (1983)에 의한 연구에 의해 소개되었으며 Izaguirre and Taylor (1995)는 geosmin과 2-MIB에 대한 연구에서 조류와 송수관로에 퇴적된 진흙(mud)으로부터 이들 맛·냄새 유발물질들이 생성된다고 보고했다. 이와 같이 상수원에서 조류에 의해 여러 가지 맛·냄새 유발물질들이 생성되고 있으며, 이 중에서 한강수계에서 정수처리시 가장 중점적으로 처리되고 있는 물질은 2-MIB와 geosmin이다. 한강수계에서 2-MIB는 2, 3, 4 및 5월, geosmin은 주로 6, 7월에 발생이 높은 것으로 조사되었으며(황태문 등, 2006) 이것들은 응집·침전·여과에 의한 재래식 공정에서

제거가 곤란한 실정이다(정성욱 등, 2003). 이를 제거하는 방법으로 최근에 도입되어지는 것이 오존, 입상활성탄 등을 이용한 고도정수처리방법이다. 현재 서울시 정수장에서는 고도정수처리시설이 설치 중에 있으나 시설이 완공되어 실제 정수처리에 도입될 때까지는 어느 정도 시간이 필요하므로 기존 재래식 정수처리공정에 분말활성탄을 이용하여 수돗물에서 맛·냄새 유발물질 농도를 가능한 낮게 유지하고 있으며 Gas Chromatograph/Mass Selective Detector (GC/MSD)를 각 정수장에 설치하여 정수처리공정에서의 2-MIB와 geosmin 농도를 분석하고 이에 따라 분말활성탄 투입량을 조절해왔다. Fig. 1은 2-MIB와 geosmin의 구조를 나타낸 것이다.

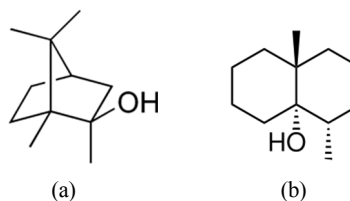


Fig. 1. Structure of 2-MIB and Geosmin. (a) 2-MIB, (b) Geosmin.

[†] To whom correspondence should be addressed. mathane@seoul.go.kr

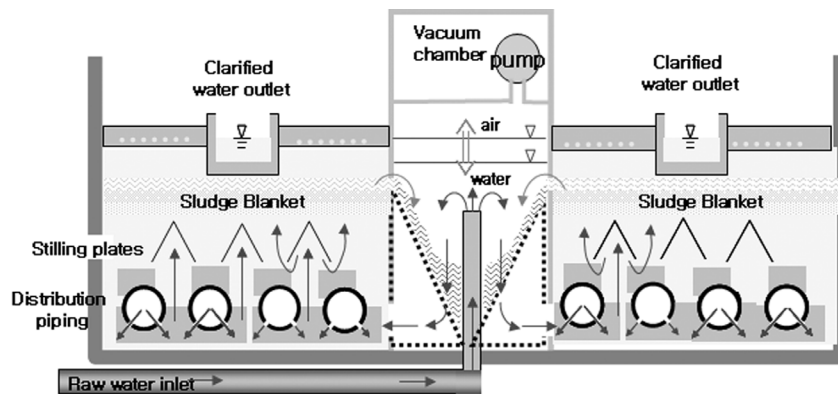


Fig. 2. Pulsator Clarifier.

서울의 G 정수장은 고속응집침전지의 일종인 맥동식 침전지가 설치되어있어 응집이 따로 설치되어있지 않고 침전지에서 응집이 이루어지게 설계되어있다(유명진과 조용모, 2001). 따라서 횡류식 침전지와는 다르게 Fig. 2와 같이 침전지에서 물의 흐름이 위로 상승하게 되어 분말활성탄 투입시 응집에 의해 제거되지 못한 잔류 분말활성탄들이 위로 부상하여 침전지 상정수에 상당히 유출되어 여과지에 유입되게 된다. 이에 따른 여과부하량의 증가로 여과효율이 감소되어 일정량 이상 분말활성탄 투입을 증가시키기 어렵다.

이에 본 연구에서는 팔당 원수에서 분말활성탄 투입율에 따른 Jar test를 통한 실험실적인 맛·냄새 유발물질 제거율, 실제 맥동식 침전지에서의 맛·냄새 유발물질 제거율을 조사했으며, 특히 조류주의보가 발생한 하절기 원수에서 맛·냄새 유발물질 농도가 높을 때, 여과공정에서 맛·냄새 유발물질 제거율이 높아진 원인을 고찰하였고 서울시에서 운영 중인 횡류식 침전방식의 정수장과 원수 대비 정수에서의 제거율을 비교하였다.

2. 연구방법

2.1. Jar test에서 분말활성탄 투입에 따른 2-MIB, geosmin 제거 실험

수온 22°C, pH 7.4에서 팔당 원수를 채수하여 Jar beaker에 2L씩 넣은 후 분말활성탄을 투입한 후 응집약품으로 Poly Aluminum Chloride(PACl) 13 mg/L를 투입하였다. Jar tester(PHIPPS & BIRD)를 150 rpm 1분, 60 rpm 5분, 45 rpm 7분으로 순차교반한 후 30분간 정체시키고 상정수를 채수하였다. 이 과정을 분말활성탄 투입률(0~50 mg/L)별로 반복 시행하였다. 원수 및 Jar test 후 채수한 시료들의 2-MIB, geosmin의 농도를 측정하기 위해 20 mL vial에 extraction salt로 NaCl 3.0 g을 넣고 시료 10 mL를 넣은 후 Solid Phase Micro Extraction(SPME)을 사용하여 전처리하였다. 시료가 담긴 vial을 65°C에서 10분간 가열시킨 후 20 mL vial headspace에 기화된 2-MIB와 geosmin을 흡착용 fiber (supelco)를 사용하여 흡착시키고 250°C에서 GC/MSD(GC : Agilint 6890, MSD : Agilint 5975C)에 탈착시켜 정량 분석하였다.

2.2. 분말활성탄 투입에 따른 정수처리공정별 맛·냄새 유발물질 농도 측정

실공정에서 착수정에 분말활성탄 투입량을 0~10 mg/L로 하여 투입하고 이에 따른 공정별 맛·냄새 물질을 측정하기 위해 전염소처리를 하지 않은 원수, 맥동식 침전지 상정수, 전체 여과수가 합쳐지는 공동수로의 여과수, 송수 관로상의 정수를 채수하여 2-MIB와 geosmin의 농도를 측정하였다.

2.3. 여과사에서 미생물 채취

여과사에 미생물이 존재하는지 여부를 조사하기 위해 여과사를 여과사층 깊이별(30 cm, 60 cm, 90 cm)로 채취하였다. 여과사는 멸균된 스푼을 이용하여 1~2g 채취하였고 0.01M phosphate-saline buffer (PBS)가 담긴 멸균통에 넣었다. 여과사를 담기 전·후 멸균통의 무게를 재고 그 차이로부터 분석에 사용된 여과사의 무게를 계산하였다. 채취한 시료는 초음파 세척기에 넣고 5분간 sonication 하였고 각 시료의 1 mL를 취해 10단계 희석법으로 희석한 후 R2A 배지를 이용하여 pour plate 방법으로 21 ± 1.0°C에서 7일간 배양 후 계수하였다. 계수된 미생물 수는 여과사의 무게로 나누어 여과사 1g당 미생물량을 계산하였다.

2.4. 여과시설 규모 변경에 따른 맛·냄새 유발물질 농도 측정

정수장 성능개선공사 및 고도정수처리시설 도입에 따라 여과지 규모가 총 40지에서 24지로 축소되어 여과속도가 50 m/day에서 83 m/day로 증가되었다. 이러한 시설변경이 맛·냄새 유발물질의 제거율에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 원수 및 정수를 채수하여 맛·냄새 유발물질 농도를 측정하였고 이에 따른 제거율을 서울시 다른 정수장과 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Jar test에서 분말활성탄 투입에 따른 맛·냄새 유발물질 제거 결과

원수에서 측정된 2-MIB와 geosmin 농도는 각각 15 ng/L,

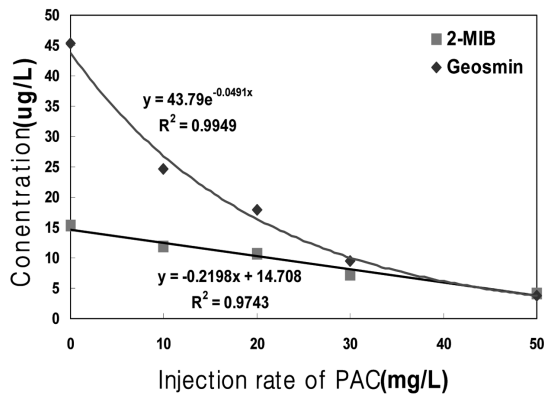


Fig. 3. Removal rate of 2-MIB and geosmin at the rate of PAC injection in raw water.

43 ng/L로 geosmin이 높게 나타났다. Fig. 3은 분말활성탄 투입율별로 Jar test를 실시한 후 상정수를 채수하여 2-MIB와 geosmin 농도를 측정된 결과이다. 2-MIB 농도는 분말활성탄 투입율에 따라 거의 선형적으로 감소하고(R = 0.97), geosmin의 경우는 지수함수적으로 감소하였다(R = 0.99). 그러나 2-MIB는 감소되는 직선의 기울기값이 작은 형태의 그래프로 나타나 분말활성탄 투입량이 증가하여도 제거되는 농도가 낮은 것을 알 수 있었으며 geosmin의 경우는 초기에는 많이 제거되었으나 분말활성탄을 20 mg/L 이상 투입시킨 후부터 제거 효율이 감소하였다. 실제 정수처리공정에서는 분말활성탄 투입량이 매우 높은 경우 잔류 분말활성탄이 많아져 정수에 누출되어 흑수가 발생할 수 있어 실제적으로는 30 mg/L 이하로 투입하며 맥동식 침전 방식에서는 누출량이 더 많아 분말활성탄 투입량을 이보다 더 낮게 운영한다. 따라서 실제 정수처리에서 분말활성탄 투입에 따른 제거효과는 2-MIB보다 geosmin 이 상대적으로 높다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

3.2. 정수처리공정별 맛·냄새 유발물질 농도 측정

갈수기(3월)에 분말활성탄 투입에 따라 정수처리공정별로 2-MIB와 geosmin의 농도를 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. 2005년 서울시 일부 정수장을 대상으로 실험한 결과에서는 분말활성탄 투입 없이 횡류식 침전지에서의 맛·냄새 유발물질의 제거효율을 조사한 결과 약 10%로 나타났다(서울특별시상수도연구소, 2005). 그래서 맥동식 침전지에서도 이와 유사한 정도로 응집·침전에 의해 2-MIB 농도가 일정부분 저감될 것으로 추측하였으나, 분말활성탄 10 mg/L 투입 이전에는 원수보다 침전수의 2-MIB 농도가 오히려 증가하였다. 횡류식 침전지가 증력에 의해 하부로

슬러지를 침전시키는 방식임에 비해 맥동식 침전지는 응집 약품에 의해 생성된 플러크가 침전지 하부에서 상부로 상승하면서 침전지 중간에서 증력과 상승하는 힘과 적절히 조화를 이루어 중간에 머무르게 되면서 블랑켓층이라 하는 슬러지층을 형성한다(Degremont, 1979). 응집약품과 혼합된 시료가 맥동에 의해 침전지 하부에서 위로 유입되어 생성된 슬러지층을 통과하면서 슬러지층에 존재하는 맛·냄새 유발물질과 접촉하면서 오히려 맛·냄새 유발물질 농도가 증가하는 결과를 초래한다고 판단할 수 있으며, 긴 슬러지 체류시간 및 슬러지 성장에 기인한다고 생각할 수 있다.

geosmin의 경우는 원수에서 매우 낮은 농도로 측정되어서 정확하게 말하기 어렵지만 2-MIB보다 분말활성탄에 의한 제거 효율이 크다는 Jar test 결과와 동일하게 실제 정수처리공정에서도 분말활성탄 투입에 따른 제거효율이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있었다. 갈수기인 3월에는 원수에서 2-MIB와 geosmin이 저농도로 존재하여 제거효율이 비교적 낮은 수치를 나타낸 것으로 생각되지만 갈수기인 3월에 맥동식 침전지에서 맛·냄새 유발물질을 제거하기 위해 분말활성탄을 투입할 경우, 분말활성탄에 의한 맛·냄새 유발물질 저감효과를 가져오기 위해서는 분말활성탄이 최소 10 mg/L 투입되어야 한다는 것을 알 수 있었다. 여과공정에서도 일부 맛·냄새 유발물질이 제거되지만 제거율은 매우 낮게 나타났다.

남조류의 급격한 증가 및 지속에 따라 조류주의보가 발령된 시기인 7월에 공정별 맛·냄새 유발물질 농도를 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다. 이 시기에는 정수에서 검출되는 맛·냄새 유발물질 농도에 따라 분말활성탄 투입량을 조절하여 투입하였다(정수에서 10 ng/L 이하로 유지하도록 투입). 이에 따라 원수에서는 geosmin 농도가 매우 높게 나타났으나 분말활성탄 투입률은 0~5 mg/L이하로 원수에서의 농도에 비해 상대적으로 낮은 수준을 나타내었다. geosmin은 분말활성탄 투입이 없었을 때는 침전지에서 제거가 거의 이루어지지 않았지만, 분말활성탄 투입량에 따라 제거율이 증가했다. 2-MIB의 경우는 geosmin보다 원수에서 상대적으로 낮은 농도로 측정되었고 3월에 나타난 것과 같이 침전지 상정수에서 농도가 다소 증가되는 현상이 나타났다. 따라서 하절기에도 분말활성탄 투입 없이 맥동식 침전지에서의 응집·침전에 의한 맛·냄새 유발물질의 저감은 거의 없는 것으로 판단된다.

여과지에서 2-MIB와 geosmin은 모두 높은 제거율을 나타냈으며 특히 geosmin의 경우 분말활성탄을 투입하지 않은 경우에도 90% 이상의 높은 제거율을 나타냈다. 여과수와 정수에서 2-MIB와 geosmin의 농도는 거의 비슷하였으

Table 1. Result of measuring 2-MIB and geosmin through water treatment process on March (Period of backwash : 72h)

Injection rate of PAC (mg/L)	Date	Temperature of water (°C)	Raw water (ng/L)		Sedimentation water (ng/L)		Filtration water (ng/L)		Clean water (ng/L)	
			2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin
0	3/25	8.0	18.10	4.35	20.18	4.18	19.79	.368	17.69	3.04
5	3/27	7.7	8.95	2.86	10.39	2.42	11.51	2.17	12.86	2.69
10	3/28	7.6	8.39	2.91	7.78	ND	6.54	ND	6.42	ND

Table 2. Result of measuring 2-MIB and geosmin through water treatment process on July (Period of backwash : 48h)

Injection rate of PAC (mg/L)	Date	Temperature of water (°C)	Raw water (ng/L)		Sedimentation water (ng/L)		Filtration water (ng/L)		Clean water (ng/L)	
			2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin	2-MIB	geosmin
0	7/18	26.6	9.96	34.74	13.84	33.94	7.85	4.32	5.56	2.45
	7/19	26.1	14.84	50.37	17.32	48.34	7.93	2.84	8.54	3.46
3.5	7/14	26.5	5.85	51.12	9.26	22.36	2.69	0.13	4.05	1.56
	7/15	26.7	9.18	97.7	13.06	42.31	5.73	3.58	5.58	2.84
5	7/16	26.0	12.79	114.12	16.16	48.45	4.29	1.89	6.53	2.66
	7/17	26.1	10.09	151.95	12.99	55.10	5.48	2.94	5.77	2.35

며 모두 10 ng/L 이하로 측정되어 여과후 염소로 소독한 후 맛·냄새 유발물질이 제거되지는 정확하게 알 수 없었다.

이렇게 갈수기인 3월보다 하절기인 7월에 맛·냄새 유발물질 제거율이 높은 원인으로서는 다음과 같이 생각되어 진다.

갈수기에는 원수에서 2-MIB가 geosmin보다 농도가 높고 하절기에는 반대로 geosmin 농도가 높았다. 이들을 제거하기 위해 투입하는 분말활성탄은 geosmin에 대한 흡착능이 2-MIB보다 우수하기 때문에(배병욱과 김영일, 2003) 침전지에서 geosmin의 제거율이 2-MIB보다 높은 것으로 판단된다. 또한 수온이 높을수록 물의 점도가 낮아 응집효율이 증가하므로 갈수기보다 착수정에 투입된 분말활성탄이 보다 많이 응집되어 중간에 가라앉지 않고 침전지에 형성된 슬러지블랑켓층에 많이 남아있게 된다. 따라서 긴 체류시간에 의해 분말활성탄과의 접촉시간이 증가하여 갈수기보다 geosmin이 보다 많이 흡착되어 침전지에서 제거율이 높아진 것으로도 생각된다. 정수처리시투입된 응집제의 투입률이 서로 상이한 점도 있으나 응집제는 분말활성탄의 2-MIB와 geosmin의 흡착능에 거의 영향을 미치지 않는다는 연구결과(이정규 등, 2001)가 보고된바 있어 이것은 고려하지 않았다.

여과지에서 맛·냄새 유발물질 제거율이 높은 이유는 먼저, 맥동식 침전지 상정수에 분말활성탄이 일부 유출되어 여과지 표면에 쌓이게 되므로 여과지에서의 잔류활성탄에 의한 흡착·제거를 생각할 수 있다. 하지만 분말활성탄 투입량이 5 mg/L로 낮고 접촉시간도 짧기 때문에 여과지 표면의 분말활성탄 때문에 제거율이 높게 나오지는 않을 것이고 보조적인 것으로 생각된다.

여과공정에서 2-MIB와 geosmin이 제거되는 다른 원인은 완속여과지에서처럼 미생물에 의해 생성된 생물막에 의한 제거이다. 완속여과지에서의 2-MIB와 geosmin의 제거율은 거의 99%로서 생물처리에 의한 결과이다. 하수처리에서는 생물막 공법의 여러 방식으로 생물 분해를 실시하며, 일본의 大津市정수장에서는 완속여과시스템에서 보다 대량처리를 위해 생물접촉여과 방식으로 여재내 미생물군을 부착증식시키고 원수를 접촉시켜 미생물이 산화 분해하여 정화시키는 방법을 사용하여 2-MIB 70%정도의 제거율을 나타냈다(일본수도협회, 1996). 팔당 원수는 아니지만 대청호 원수를 가지고 실험적으로 생물막을 이용하여 맛·냄새 유발물질 제거율을 조사한 연구에서는 체류시간이 2시간 이상의 경우 geosmin이 80%이상 제거된 경우(신항식 등, 1994)

가 있으며 실험적으로 제작된 모래여과지에 생물막을 이용하여 2-MIB와 geosmin을 제거시키는 연구에서도 여과사에 존재하는 미생물량에 따라 제거효율이 증가된 결과가 보고되었다(Ho et al., 2007).

이러한 연구들에서 생물막에 의한 2-MIB와 geosmin 제거율이 높게 나타나므로 여과공정에서제거율이 높은 원인도 생물막에 의한 것임을 생각할 수 있다. 맥동식 침전지는 특성상 동절기를 제외하고는 침전지중간에 존재하는 슬러지 층에 의해 잔류염소가 거의 전부 소모된다. 그래서 전염소 처리에 의해 원수에 존재하는 미생물이 불활성화되었다고 해도 침전지 이후에는 미생물재성장이 일어날 수 있으며 관로에 부착되어 생물막을 형성할 수도 있다(신종은 등, 2006). 역세척 시에도 역세척수가 잔류염소가 거의 없는 여과수가 사용되어지므로 재성장 되거나 외부 공기를 통해 유입된 미생물들이 여과지로 유입되어 벽면 또는 사층내 플러입자 또는 분말활성탄 표면에 부착하거나 여과사 표면에 코팅되어 생물막이 형성될 가능성이 높다. 수온이 높은 경우 미생물에 의해 2-MIB와 geosmin 제거율이 높게 나타나는데(김학철 등, 2009), 실제 갈수기보다 수온이 높은 하절기에 여과지에서 맛·냄새 유발물질 제거율이 높은 것도 이러한 경우처럼 미생물들의 개체수가 늘어나 맛·냄새 유발물질이 상대적으로 많이 분해되어 나타난 결과라고 유추할 수 있다. 역세척속도가 0.24 m³/m²·min으로 상수도 시설기준(일반적으로 0.4~0.6 m³/m²·min)보다 낮게 설계되어 역세척으로 여과사층에 부착된 미생물들을 완전히 제거하기 어렵기 때문에 3월보다 역세척주기는 짧지만 여과사에 미생물들이 일정량 잔존하여 계속해서 개체수를 증가시켜 geosmin 제거율이 지속적으로 높게 나타난 것으로 생각된다. Table 3은 7월에 여과사를 깊이별로 채취하여 배지에 미생물을 배양시켜 측정된 미생물량을 나타낸다. 여과지 표면에 미생물의 수가 많이 존재하였고 하부로 갈수록 적게 나타났다. 직접적으로 생물막을 측정하지 않았지만 여과사에 상당량의 미생물들이 측정되는 점이 미생물에 의한 맛·냄새 유발물질 제거가 가능함을 나타낸다.

Table 3. Microbial quantity through depth of sand filter

Depth of sand filter	Microbial quantity (10 ⁶ cfu/g)	Note
30 cm	9.7	Microbial quantity per 1g of sand
60 cm	4.1	
90 cm	3.0	

여과속도의 경우, 여과사의 깊이는 120 cm로 높으나 생산량 감소로 인해 실제 평균 여과속도가 50 m/day(일일 평균 수돗물 생산량 24만톤)로 설계시(생산용량 :100만톤, 여과속도 : 180 m/day)보다 매우 낮으며 상수도 시설기준에 명시된 급속여과지 여과속도(120~150 m/day)와 비교해도 낮다. 그래서, 여과지를 통과하는 시간(약 34.6 min)이 상수도시설기준으로 계산한 값(11.5~14.4 min)보다 상대적으로 길어지므로 여과시 미생물들과의 접촉시간이 증가하여 제거효과가 상승하는 것으로 생각된다.

3.3. 여과시설 규모 변경에 따른 맛·냄새 유발물질 제거율 변동

정수시설 성능개선공사 및 고도정수처리시설 도입에 따라 여과지가 총 40지에서 24지로 축소됨에 따라 평균 여과속도가 50 m/d에서 83 m/d로 증가되었다. 여과속도 증가에 따른 맛·냄새 유발물질 제거율 변동을 알아보기 위해 원수에서 geosmin 농도가 높게 측정되었던 2009년 6월 16일부터 30일 동안 분말활성탄 투입률, 원수 및 정수에서의 geosmin 농도, geosmin 제거율 등을 측정하고 같은 시기의 황류식 침전시설이 설치되어 있는 서울시의 다른 정수장에서 같은 항목들을 측정하여 나타난 값들을 평균하여 Fig. 4에 나타내었다. 이시기의 평균 수온은 25°C이다.

먼저 여과속도가 증가된 경우의 geosmin 제거율은 약 84%로 증가 전(90% 이상)보다 다소 저감되어 여과속도가 제거율에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 제거율이 낮아지기는 했지만 다른 정수장과 비교해보면 여전히 매우 높은 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 타 정수장들은 공통적으로 황류식 침전지를 운영하고 있어 물의 유입이 수평으로 이루어지며 슬러지를 중력에 의해 바닥에 가라앉혀 처리하여 침전지에서 맥동식 침전지와 비교하여 분말활성탄과 접촉하는 시간이 상대적으로 매우 적으며, 침전지 상정수에 잔류염소가 0.1 mg/L 이상 유지되고 역세척수 또한 잔류염소 농도가 높은 정수를 사용하고 있어 여과사가 잔류염소에 의해 소독되어 미생물이 불활성화 되기 때문에 여과지에서 미생물에 의한 맛·냄새 유발물질 제거 효과를 기대할 수 없다. 따라서 맛·냄새 유발물질 제거를 분말활

성탄에 의한 흡착에만 의존하고 있어 분말활성탄 투입량이 G 정수장 보다 상대적으로 높고 제거율은 낮은 것으로 생각된다. 즉, 맥동식 침전방식과 여과지의 생물막이 맛·냄새 유발물질들을 제거하는데 분말활성탄 투입량을 증가시키는 것보다 효과적이라고 할 수 있으며 분말활성탄 투입량이 적은 만큼 경제적이다.

4. 결론

수돗물에서 대표적인 맛·냄새 물질인 2-MIB와 geosmin에 대해 맥동식 침전방식에서의 분말활성탄 투입에 따른 Jar test 및 정수처리공정에서의 제거 효율을 조사하였다.

먼저, Jar test의 경우 분말활성탄 투입에 따라 2-MIB는 선형적으로, geosmin의 경우는 지수함수적으로 감소하였으며 geosmin의 경우가 분말활성탄에 의한 제거 효율이 상대적으로 높게 나타났다.

정수처리공정별로 2-MIB와 geosmin의 농도를 측정된 결과, 분말활성탄을 투입하지 않은 경우 침전수에서 농도가 증가하였으며 2-MIB의 경우는 분말활성탄을 10 mg/L 이상, geosmin의 경우는 5 mg/L 이상 투입시 제거되었다. 갈수기인 3월의 경우에는 여과공정에서의 제거율이 낮게 나타났으나 원수에서 geosmin의 농도가 높게 나타난 7월에는 2-MIB의 제거율은 55%, geosmin의 제거율은 93% 정도로 나타났다.

하절기에 geosmin 제거율이 높은 원인으로 첫째는 수온이 높아져 응집효율이 증대되어 맛·냄새 유발물질 제거를 위해 투입된 분말활성탄이 응집에 의해 보다 많이 플러키되면서 중간에 가라앉은 것이 감소하여 침전지에 형성된 슬러지블랑켓층에 많이 존재하여 처리수와의 접촉시간이 증가하여 제거효율이 증가된 것으로 생각된다. 둘째는 맥동식 침전방식의 특성으로 여과지 유입수에 잔류염소가 거의 없고 역세척수 또한 정수가 아닌 여과지 공동수로수를 사용해서 잔류염소가 없어 미생물들이 재성장하거나 외부 공기에 있는 미생물들이 여과지에 유입되어 여과지에 미생물들이 존재할 가능성이 높아 수온이 높은 하절기에 미생물이 증대되어 미생물에 의한 맛·냄새 유발물질 제거가 이루어진 것으로 생각된다. 여과속도 또한 상대적으로 낮아 미생물들에 의한 분해 효과를 증대시킨 것으로 판단된다.

여과시설 규모 축소로 인해 여과속도가 증가된 경우에 geosmin의 제거율이 기존 93%에서 84%로 다소 낮아져 여과속도가 제거율에 다소 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그리고, 서울시 다른 정수장과 geosmin 제거효율을 비교하였을 때 분말활성탄 투입율이 가장 낮았으나 정수에서의 geosmin 농도는 다른 정수장과 비슷하게 유지되었다. 그 이유는 황류식 침전방식에서는 여과지에서 미생물에 의한 맛·냄새 제거 효과 없이 오직 응집과 분말활성탄 흡착에 의해서만 맛·냄새 유발물질이 제거되기 때문에 맥동식 침전방식보다 제거 효율이 낮은 것으로 판단된다.

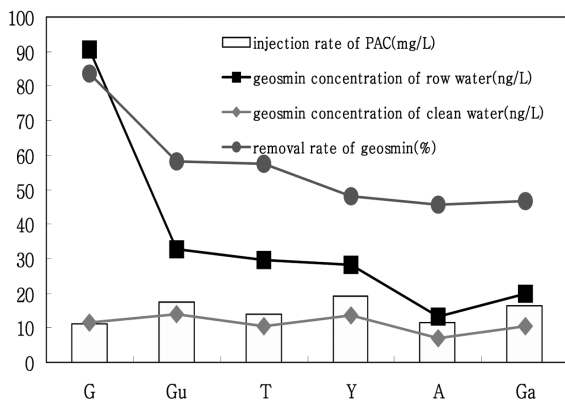


Fig. 4. Comparing injection rate of PAC and removal rate of geosmin at Water Treatment Plants in Seoul.

사 사

이 논문은 2009년도 서울시립대학교 연구년 교수 연구비의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

김학철, 최일환, 정애숙(2009). 온도와 미생물이 2-MIB와 Geosmin에 미치는 영향. *공동추계학술발표회 논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회*, pp. 29-30.

배병욱, 김영일(2003). Geosmin과 2-MIB 제거를 위한 분말활성탄 최적 투입량 결정. *대한환경공학회지*, **25**(8), pp. 955-962.

서울특별시상수도연구소(2005). *2005년 맛·냄새 유발물질 조사 및 분말활성탄 최적주입을 평가*. pp. 192-221.

신종은, 장미정, 유명진(2006). 정수처리공정에 따른 관재질별 biofilm 특성에 관한 연구. *추계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회*, pp. 363-370.

신항식, 임경호, 최계윤, 광창호, 이의신(1994). 생물막을 이용한 상수원수의 고도처리. *추계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회*, pp. 289-294.

유명진, 조용모 공역(2001). *용수처리, 동화기술*.

이정규, 이상봉, 김동윤(2001). 자연수중 이취미 물질의 분말활성탄 흡착시 응집제 영향. *수질보전 한국물환경학회*

지, **17**(2), pp.169-177.

일본수도협회(1996). *생물원인의 맛, 냄새 대책 지침*, 서울특별시수도기술연구소.

정성욱, 백경희, 김태규, 정은재(2003). 분말활성탄 처리에 의한 맛·냄새물질 흡착능 연구. *공동추계학술발표회 논문집, 한국물환경학회·대한상하수도학회*, pp. 113-116.

황태문, 오현제, 최윤정, 남숙현(2006). 한강수계 상수 원수의 맛·냄새 물질 발생 특성 및 감시시스템에 관한 연구. *공동추계학술발표회 논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회*, pp. 248-252.

Degremont (1979). *Water Treatment Handbook*, John Wiley & Sons, USA.

Ho, L., Hoefel, D., Bock, F., Saint, C. P., and Newcombe, G. (2007). Biodegradation rates of 2-methylisoborneol(MIB) and geosmin through sand filters and in bioreactors. *Chemosphere*, **66**, pp. 2210-2218.

Izaguirre, G. and Taylor, W. D. (1995). Geosmin and 2-Methylisoborneol Production in a Major Aqueduct System. *Wat. Sci. Tech.*, **31**(11), pp. 41-48.

Kawamura, S. (2000). *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, John Wiley & Sons, USA.

Saltor, G. P. and Block, V. C. (1983). Isolation and Identification of Odorous Compounds from A Lake Subject to Cyanobacterial Blooms. *Wat. Sci. Tech.*, **15**, pp. 229-240.