

부영양호 원수의 냄새유발 물질 탈기 특성

Air stripping of odor causing materials from eutrophic lake water

박노백¹ · 송용효¹ · 나광주² · 박상민³ · 전항배¹

Park, Noh-Back¹ · Song, Yong-Hyo¹ · Na, Gywang-Joo² · Park, Sang-Min³ · Jun, Hang-Bae¹

1 충북대학교 환경공학과, 2 한국수자원공사 충청운영처, 3 한국과학기술연구원 환경기술연구단

(2007년 12월 20일 접수 ; 2008년 9월 19일 수정 ; 2008년 10월 1일 채택)

Abstract

Algal blooms in a local eutrophic lake often produces the musty and earthy taste & odor problems. Since the odor causing compounds(OCCs) including geosmin and 2-MIB have their own volatility, the OCCs can be removed from water by air stripping methods. Removal of TON(threshold odor number) as an index for OCCs could be fitted well with the first order equations($R^2=0.9$ above), where the air stripping coefficient of TON, k was in the range between 0.0055 and 0.0097 according to the aeration time. k within 30min aeration tests was 0.0097, while it was 0.0055 where the aeration time extended to 150min. With 15 mg/L of PAC, removal of TON was not simulated with 1st order equation within 30min aeration. Within 30min aeration, OCCs rather than geosmin and/or 2-MIB could be removed easily by air stripping or PAC adsorption, while OCCs such as geosmin and/or 2-MIB could be removed slowly by air stripping after 30min aeration. Geosmin and 2-MIB were not readily removed by air stripping(k of them were 0.0018~0.0047 and 0.0018~0.0034, respectively at different air flow rates). Geosmin could be removed by air stripping a little better than 2-MIB.

Key words : Odor causing compounds(OCCs), Air stripping, Geosmin & 2-MIB

주 제 어 : 냄새유발물질(이취미), 탈기, 지오스민 & 2-엠아이비

1. 서론

냄새를 발생시키는 물질은 휘발성이 있는 유기물질(VOCs)이기 때문에 수용액으로부터 휘발하여 대기 중에 체류하면서 냄새로 감지된다. 휘발성 유기물질(VOCs)들은 각각 고유의 헨리상수를 갖고 있으며, 휘발성의 정도는 헨리상수에 따라 결정된다. 탈기는 액체 내에 작은 공기방울을 넣

어 물속의 휘발성 물질을 공기방울내로 이동시킨 다음 대기 중으로 방출시키는 것이다. 휘발성(헨리상수)이 큰 물질들은 탈기에 의해서 쉽게 물로부터 제거할 수 있다(Metcalf, 2004). 상수원수에서 종종 관측되는 Geosmin과 2-MIB의 헨리상수는 각각 6.66×10^{-5} 과 $5.76 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/mol}$ (Gilligly, 1998)으로 벤젠이나 TCE(5.49×10^{-3} , $1.17 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/mol}$)등에 비하면 작은 값이나, 휘발성

을 갖고 있기 때문에 탈기에 의해 어느 정도 제거가 가능할 것이다.

계절별 주기적으로 발생하는 상수원수의 이취미 문제는 전국적으로 발생하고 있으며, 특히 댐으로 조성된 인공호수에서는 발생 빈도나 강도가 점점 증가하고 있다(임, 2007). Geosmin과 2-MIB가 대표적인 이취미 원인물질로 알려져 있으며, 남조류에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다. 냄새유발물질을 제거하는 가장 효과적인 방법으로 오존산화와 활성탄 흡착공정이 제안되고 있으며, 보조적인 방법으로 분말활성탄(PAC)이 사용돼 오고 있다(배, 2003; 김, 2007; Cook et al., 2001; Newcombe et al., 2002).

탈기법은 고농도 암모니아 질소를 함유하고 있는 폐수의 처리에 적용되어 왔다. Bonmaiti(2003) 등은 탈기에 의한 암모니아 질소제거연구에서 수온과 pH를 각각 80°C와 11.5로 조절할 경우 돈분 원폐수에서 암모니아를 효과적으로 제거할 수 있었다. 혐기성 소화공정을 거칠 경우 pH 조절없이 수온만 올려 거의 90%이상을 제거할 수 있었다. 암모니아의 헨리상수는 $1.76 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/mol}$ (Schnoor, 1996)로 낮은 편이기 때문에 휘발성이 낮아 탈기가 잘 되지 않지만, 적절한 환경조건과 반응시간(3~4시간)을 제공해 줄 경우 충분한 제거효율을 얻을 수 있었다. Geosmin이나 2-MIB는 암모니아와 유사한 정도의 휘발성을 갖고 있기 때문에 탈기에 의한 제거효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 상수원수를 대상으로 탈기에 의한 냄새원인물질의 제거성능 평가에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 상수원수에 존재하는 냄새유발물질들의 탈기에 의한 제거 특성을 관찰하였으며, 냄새유발물질과 geosmin 및 2-MIB의 탈기에 의한 제거효율을 측정하고, 취기강도와와의 상관성 등을 분석하였다.

2. 실험방법 재료

상수원수로부터 탈기에 의한 냄새유발물질 제거실험은 1L 메스실린더를 이용한 실험실 규모와 20L 원통형 아크릴 컬럼을 이용한 파일럿 규모로 수행되었다. 파일럿 실험을 위하여 폭기장치와 정밀 공기 유량계를 설치하여 공기량을 제어해 주었고, 분말활성탄을 15 mg/L 주입한 후 냄새유발물질 제거 효율을 함께 평가하였다. 산기석은 일반적으로 수족관 등에서 사용되는 구형과 원판형을 이용하였으며, 기포의 크기는 정확하게 측정할 수는 없었으나 공기 주입량에 따라

Table 1. Characteristics of the synthetic raw water sample

구 분	Geosmin (ng/L)	2-MIB (ng/L)	DOC (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	TON
raw water	8.9	6.1	1.9	0.0594	7.7
synthetic water	54.5	54.9	2.1	0.0534	300 이상

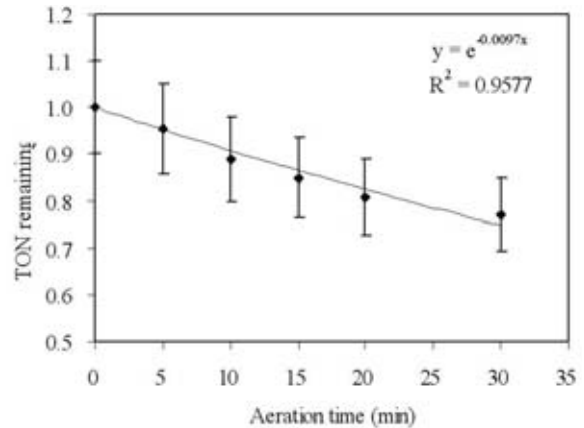


Fig. 1. TON remaining as a function of aeration time within 30 min. (No. of samples: 20, aeration rate: 5 L/min, 20°C).

2~5 mm 정도 이었다. 공기 주입량은 5~20 L/min의 범위로 하였으며, 폭기시간에 따라 냄새유발물질을 분석하였다. 자연원수를 사용한 실험은 1L 메스실린더를 이용하였고, 합성 시료를 이용한 실험은 파일럿 실험장치를 이용하여 수행하였다.

냄새가 발생하는 기간 중 대청호 원수를 채수하여 geosmin과 2-MIB 최종농도가 약 50 ng/L이 되도록 조절 후 사용하였다. 현 취수장에서 과거 관측된 geosmin 농도가 최대 43.1 ng/L이었고, 대청호 다른 취수지점에서는 최대 80.1 ng/L까지 검출된 바 있다. 이외 기타 유기물질농도나 원수수질자료는 Table 1과 같다. 탁도는 10 NTU 전후이고, pH는 7~8 범위로 큰 변화가 없었다.

모든 실험은 20°C로 유지되는 실험실에서 수행하였고, 냄새강도는 관능시험법인 TON으로 분석하였으며, 냄새 유발물질인 geosmin과 2-MIB를 측정하였다. Geosmin과 2-MIB는 농도가 너무 낮기 때문에 SPME(Solid phase micro extraction)를 이용하여 이들의 물질을 농축한 후 GC/MS를 이용하여 분석하였다(임, 2007). 기타의 수질항목은 Standard Methods(APHA, 1998)에 준하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자연원수의 폭기시간에 따른 냄새 제거

상수원수내 이취미 유발물질의 탈기에 의한 제거특성을 관찰하기 위하여 원수를 채수하여 1L 메스실린더에 채운 후 폭기강도를 5 L/min로 조절한 후 폭기시간에 따라 냄새강도(TON)를 측정하였다. Table 2는 유사한 강도의 취기를 갖는 원수를 채수하여 20회 분석한 후 평균값과 표준편차를 정리한 것이다. 폭기시간을 5분 간격으로 30분 동안 실시하여 각 시간대별 시료의 냄새강도를 측정하였다. 원수의 TON은 평균 7.7 TON 이었으며, 폭기 30분 후 평균 22.9%

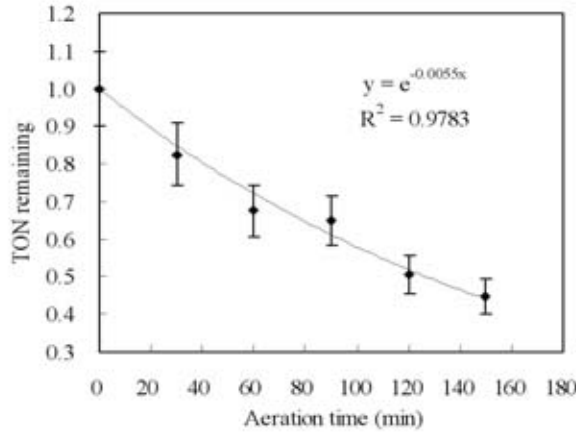


Fig. 2. TON remaining as a function of aeration time within 150 min. (No. of samples: 20, aeration rate: 5 L/min, 20°C).

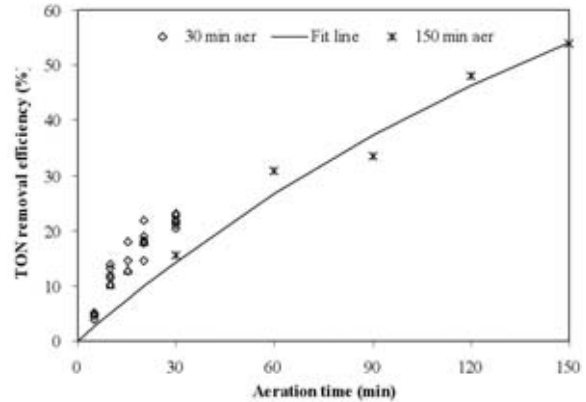


Fig. 3. TON removal efficiency as a function of aeration time. (fitting lines are simulated removal efficiencies with equation (5) and indents are experimental results at different aeration modules).

제거되었다.

폭기에 의한 TON 제거를 일차함수로 가정할 경우 (Bonmaiti, 2003) 식(1)과 같고, 이를 적분하여 정리하면 식(2)와 같다.

$$d(\text{TON})/dt = -k(\text{TON}) \quad (1)$$

$$\text{TON}(t) = \text{TON}(0) e^{-kt} \quad (2)$$

여기에서 k는 폭기에 의한 냄새유발물질 전달(탈취)계수 (min^{-1})라고 할 수 있다. 폭기시간에 따른 TON의 제거효율 $E(t)$ 은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$E(t) = \{\text{TON}(0) - \text{TON}(t)\} / \text{TON}(0) \times 100 \quad (3)$$

$$E(t) = 100 \{1 - \text{TON}(t) / \text{TON}(0)\} \quad (4)$$

식(2)를 식(4)에 대입하여 정리하면, 폭기시간에 따른 TON 제거효율을 나타내는 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(t) = 100 (1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

Table 2에 정리되어 있는 모든 실험 자료를 폭기시간에 따른 잔류 TON으로 도시하고(Fig. 1), 식(2)에 따라 회귀분석을 수행하면, 냄새유발물질(TON)의 탈취계수, k 값은 0.0097, 이때 R^2 값은 0.96이었다. 이결과로부터 탈기에 의한 냄새유발물질 제거는 일차함수에 따른다는 것을 알 수 있다.

Table 3은 폭기시간을 150분까지 연장시킬 경우 TON의 제거효율을 측정된 것이다. 120분 폭기로 약 50% 정도의 TON이 제거되었다. Fig.3은 Table 3의 모든 실험 자료를 폭기시간에 따라 도시한 것으로 TON 제거가 1차함수를 잘 따른다는 것알 수 있으며, TON 탈취계수, k와 R^2 값은 각각 0.0055, 0.98이었다. 이 때 k의 절대값이 30분 폭기시켜 도출된 값(0.0097, Fig.2)보다 작다는 것을 알 수 있다. 물론 두 실험에 사용한 원수는 Table 2, 3과 같이 같은 것이 아니었고, 실험조건도 완벽하게 같지 않았지만, 동일한 실험 장치를 사용하였고, 유사한 환경조건에서 실험을 수행하였으므로 단순히 원수의 차이에서 오는 결과나 실험오차로 해석하기에는 문제가 있다. 자연수내 냄새의 원인물질은 다양하고, 각기 탈기특성이 다르기 때문에 폭기시간 초기에 휘발성이 큰 냄새유발물질이 제거되고, 휘발성이 적은 물질들이

Table 2. Removal of odor causing compounds(OCCs) as a function of aeration time within 30 min(aeration rate : 5 L/min, # of samples : 20)

Aeration time(min)	0	5	10	15	20	30
Average (TON)	7.7±0.67	7.3±0.78	6.8±0.82	6.5±0.74	6.2±0.69	5.9±0.70
Removal Eff.(%)	0.0	4.6	11.1	15.0	19.3	22.9

Table 3. Removal of odor causing compounds(OCCs) as a function of aeration time at an extended aeration(aeration rate : 5L/min, # of samples : 10)

Aeration time(min)	0	30	60	90	120	150
Average (TON)	8.0 ±0.9	6.6 ±0.5	5.4 ±0.5	5.2 ±0.4	4.1 ±0.5	3.9 ±0.5
Removal Eff.(%)	0.0	17.5	32.5	35.0	49.4	55.3

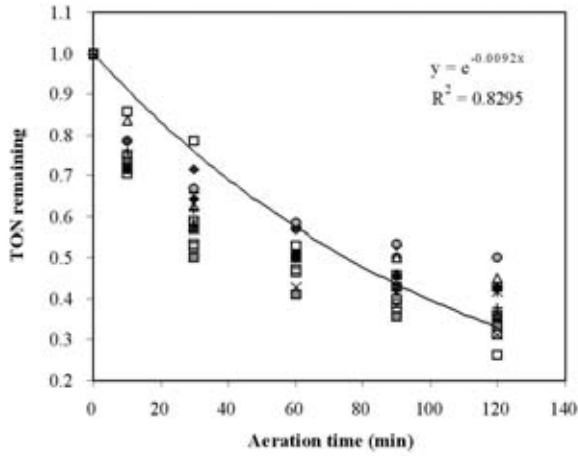


Fig. 4. TON remaining as a function of aeration time at PAC dose of 15 mg/L (No. of samples: 20, aeration rate: 5 L/min, 20°C).

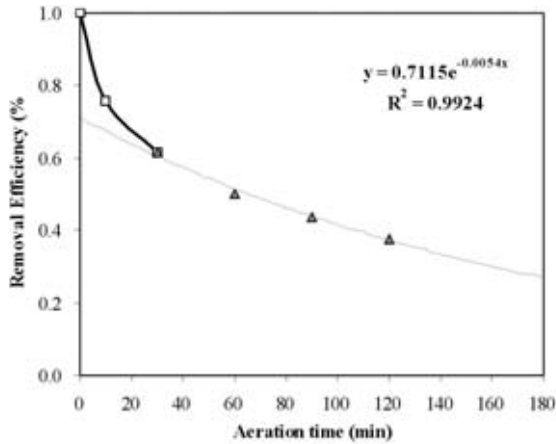


Fig. 5. Regression results of the average data after 30 min aeration in Fig. 4 at PAC dose of 15 mg/L.

폭기시간에 따라 서서히 탈기될 것이다.

본 실험결과에서 30분 폭기시간동안 TON의 변화는 주로 휘발성이 큰 냄새유발물질의 탈기에 기인하고, 보다 긴 폭기 시간에서는 휘발성이 낮은 냄새유발물질의 탈기를 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 30분 이내의 짧은 폭기 시간동안 TON의 제거속도가 크게($k=0.0097$) 나타나고, 보다 긴 폭기시간동안 관찰한 실험결과에서는 TON의 제거속도가 다소 낮게($k=0.0055$) 나타난 것으로 추정된다. 상수에서 대표적인 냄새유발물질인 geosmin이나 MIB는 휘발성이 다소 낮아 쉽게 탈기되지 않는다.

Fig. 3은 Table 3의 제거효율과 식(5)을 이용한 회귀식을 도출하였고, Fig. 1의 30분 폭기시간에 따른 TON의 변화를 제거효율로 계산하여 함께 중첩시킨 것이다. 30분 폭기한 실험결과들은 150분 폭기한 결과로부터 도출된 회귀분석곡선보다 대부분 더 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 물론 Fig. 3의 모든 실험 자료를 동시에 회귀분석할 수도 있으나,

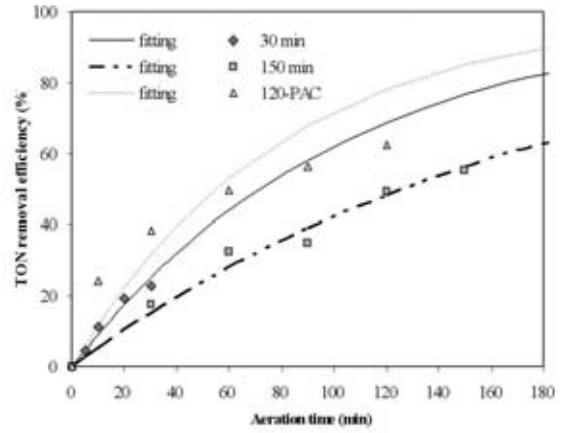


Fig. 6. TON removal efficiency as a function of aeration time (fitting lines are simulated removal efficiencies with equation (5) and indents are experimental results at different aeration modules).

30분 전후의 실험 자료를 분리하여 분석하는 것이 실험 자료간 상관관계가 높고, 식(2)나 (5)에 근거하여 TON 제거가 잘 모의되고 있다. 특히, 상수에서 냄새는 쉽게 제거되는 물질이 아니라 잘 제거되지 않는 geosmin이나 2-MIB와 같은 물질이 문제가 되기 때문에 폭기시간을 길게 하여 기초 동력학적 자료를 도출하고, 짧은 폭기시간의 결과나 분말활성탄을 동시에 사용한 탈기실험의 결과를 비교 분석하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 그러나 자연원수 중 냄새유발 물질로 휘발성이 커 쉽게 탈기되는 물질에 대한 문헌이 거의 없고, 물질분석이 어려워 정성 및 정량적인 자료를 얻는 못하였다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Fig. 4는 분말활성탄을 15 mg/L 주입한 후 폭기시간에 따라 TON의 변화를 도출한 것이다. 회귀분석결과 상관성은 R^2 값이 0.83으로 다른 실험결과에 비하여 작고, 60분 이전의 TON 값이 특히 낮았다. 분말활성탄 흡착이 30분 후에 거의 정상상태에 도달한다는 문헌의 결과(배, 2003)로부터 위의 현상을 설명할 수 있으므로 30분까지는 흡착이 TON 제거에 관여하고 그 후부터 탈기에 의하여 제거되는 것으로 추정할 수 있다. Fig. 5는 Fig. 4의 실험자료 평균치를 취하고, 30분 전후의 자료를 분리한 후 회귀분석 한 결과이다. 폭기시간 30분 전의 실험 자료에 대해서는 분석이 어려웠으며, 30분 이후의 실험 자료의 식(2)에 의한 회귀분석결과 TON 탈취계수, k 와 R^2 값은 각각 0.0054, 0.99이었다. 이 결과는 150분 연장 폭기시킨 실험결과(0.0055, 0.98, Fig. 2)와 유사한 값으로 위의 가설이 합리적임을 입증해 주고 있다.

이상의 결과로부터 30분내에 분말활성탄 흡착에 의해 냄새유발물질은 빠르게 흡착되고, 그 이후에는 활성탄 흡착능이 소진되면서 탈기에 의해 제거되는 것으로 생각된다. 30분 내의 탈기 실험결과에서와 같이 이 시간 내에 흡착 제거되는 냄새유발물질은 geosmin이나 2-MIB 뿐만 아니라 기타 쉽

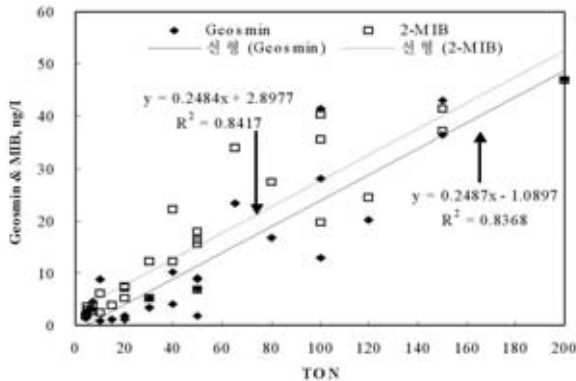


Fig. 7. Regression results of Geosmin as a function of aeration time at different aeration rate with synthetic water samples.

게 제거될 수 있는 냄새유발물질로 추정되며, 30분 이후부터는 주로 geosmin이나 2-MIB와 같은 휘발성이 낮은 물질들이 탈기되는 것으로 해석할 수 있다. Fig. 6은 30분 탈기실험, 150분 탈기실험, PAC 15 mg/L 첨가 후 120분 탈기실험 결과의 평균값과, Fig. 1, 2, 4에서 도출된 회귀분석식을 함께 도시한 것이다. 30분 탈기한 실험결과로부터 도출된 회귀분석식에 의한 TON 제거효율 모의 결과는 그림에서와 같이 폭기시간이 증가함에 따라 과도하게 평가되고 있다는 것을 알 수 있다. 분말활성탄 주입 후 수행한 탈기실험결과는 30분 이전에는 과소하게 그 이후에는 과도하게 모의하고 있는 것으로 나타났다. 150분 탈기한 실험결과는 식(5)에 의하여 잘 모의되고 있다.

그러나 실제 정수장에서 일반적으로 설계에 반영하고 있는 분말활성탄 접촉초의 수리학적 체류시간이 20~30분 정도이기 때문에 탈기만으로는 휘발성이 큰 일부의 냄새유발물질

만 제거할 수 있고, 보다 효율적인 냄새유발물질 제어를 위해서는 분말활성탄과 탈기를 병행하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한, 효율적인 탈기방법을 도입하거나 폭기방법을 사용할 경우 폭기량을 증가시키거나 기포의 크기를 작게 해 줌으로써 제거효율을 극대화 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 합성원수의 폭기시간에 따른 냄새 제거

자연원수에 Table 1과 같이 geosmin과 2-MIB를 첨가하여 농도를 각각 약 55 ng/L로 높인 후 탈기에 의한 제거특성을 분석하였다. 모든 실험은 파일롯 실험 장치를 사용하여 수행하였고, 공기량을 달리하여 탈기 효율을 측정하였다. 기타의 실험방법 및 조건은 자연원수를 사용한 실험과 동일하게 하였다. Fig. 7은 여러 실험결과 동시에 측정한 TON과 geosmin 및 2-MIB 농도와의 상관관계를 도시한 것이다. 실험결과는 geosmin과 2-MIB가 동시에 들어 있는 시료를 대상으로 실험하였으므로 geosmin과 2-MIB 조합에 의한 TON의 결과이다. 2-MIB의 농도가 geosmin보다 약간 높게 나타난 것은 여러 TON 제거실험에서 geosmin이 2-MIB에 비해 더 잘 제거되기 때문이며, geosmin 및 2-MIB의 농도에 따른 TON과의 상관성은 R²값이 약 0.84 정도이다. Geosmin과 2-MIB의 농도가 각각 50 ng/L 이상에서는 TON 값이 300 이상으로 관측되었으나, TON 실험상 재현성이 떨어지는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 200 TON 이하의 시료만 실험결과 분석에 사용하였다.

Table 4는 합성원수에서 탈기에 의해 geosmin과 2-MIB의 제거실험 결과를 정리한 것이다. 실험은 공기량을 5~20 L/min로 증가시키면서 폭기시간에 따라 냄새유발물질과 DOC 및 UV-254 흡광도를 측정하였다. 위의 시료에 대하여

Table 4. Removal of odor causing compounds at different aeration rate and aeration time with synthetic water samples

Aeration(L/min)	Aeration time(min)	Geosmin(ng/L)	2-MIB(ng/L)	DOC(mg/L)	UV254
Raw water	0	54.5	54.9	2.072	0.0534
5	15	53.2	52.8	2.028	0.0529
	30	50.8	51.1	1.968	0.0526
	45	49.6	49.8	1.954	0.0525
	60	49.3	49.0	1.921	0.0524
10	15	51.9	52.4	1.984	0.0526
	30	49.0	49.7	1.956	0.0523
	45	47.0	49.6	1.940	0.052
	60	46.9	49.0	1.927	0.052
15	15	47.7	49.8	1.977	0.0523
	30	45.8	48.3	1.923	0.0518
	45	43.4	46.9	1.895	0.0518
	60	43.3	47.5	1.895	0.0517
20	15	47.6	49.8	1.964	0.0522
	30	44.5	47.1	1.904	0.0516
	45	44.4	47.4	1.886	0.0515
	60	42.5	46.1	1.888	0.0514

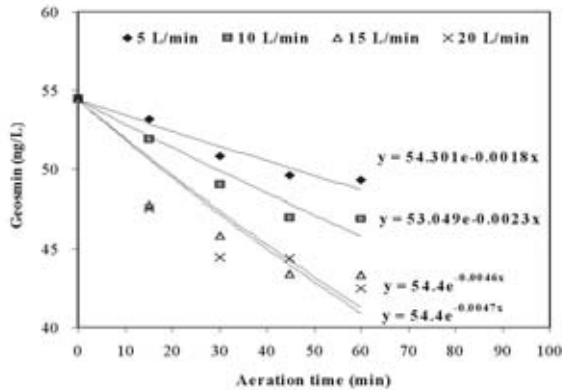


Fig. 8. Regression results of 2-MIB as a function of aeration time at different aeration rate with synthetic water samples.

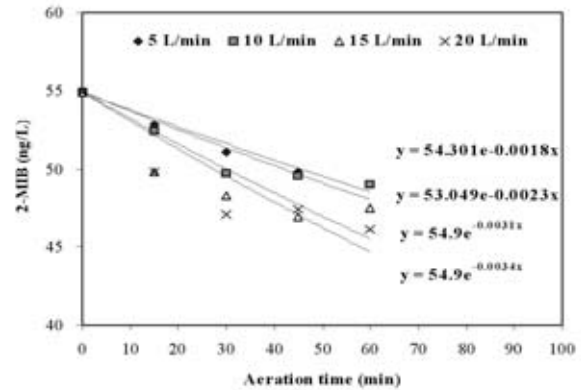


Fig. 9. Regression results of 2-MIB as a function of aeration time at different aeration rate with synthetic water samples.

TON을 분석한 결과 모두 200 TON 이상으로 측정되어 분석에서 제외시켰다. 공기량 5 L/min에서 30분 폭기시킨 결과 geosmin, 2-MIB, DOC의 제거효율은 각각 6.8, 6.9, 5.0% 이었다. Table 2에서 TON으로 측정된 제거효율이 약 23% 정도인 것에 비하면, 매우 낮은 값이다. 20 L/min에서 60분 탈기시킨 경우에도 geosmin과 2-MIB의 제거효율이 각각 22.0, 16.0% 정도로 낮았다(Table 3에서 5 L/min, 60분 탈기시킬 경우 TON 제거효율은 약 33%). 초기 geosmin과 2-MIB농도가 너무 높아 TON 제거효율을 분석하기 어려웠으나, geosmin과 2-MIB가 휘발성이 크기 않아 탈기에 의해 잘 제거되지 않는 물질임을 보여주고 있으며, 자연원수내 TON이 8정도로 낮아 쉽게 제거되는 냄새유발물질의 제거가 반영되지 않았기 때문인 것으로 해석된다.

Geosmin과 2-MIB의 탈기에 의한 제거특성을 관찰하기 위하여 TON과 같이 식(2)을 이용하여 회귀분석 하였다. Fig. 8은 공기량을 달리하였을 경우 geosmin의 회귀분석 결과이다. 공기량이 15 L/min이상일 경우 R² 값이 0.8 정도로 상관성이 떨어지는 것으로 나타났으나, 탈기속도상수 k는 공기량이 5, 10, 15, 20 L/min으로 증가할 경우 각각 0.0018, 0.0023, 0.0046, 0.0047로 절대 값이 증가하고 있다(Table 5). 탈기의 경우 공기량과 기포의 크기 등과 같은 물리적인 조건이 중요하며, 기체와 액체의 접촉방법 및 장치에 따라 효율이 좌우된다는 것을 암시해 주고 있다.

Fig. 9는 2-MIB 회귀분석 결과이다. 2-MIB의 경우도 geosmin과 유사한 경향을 보이나, 공기량이 증가함에 따라 k(min⁻¹)의 값의 증가폭이 적다. 즉, 공기량을 크게 해 주더라도 탈기에 의해 2-MIB의 제거효율 향상이 작다는 것이다.

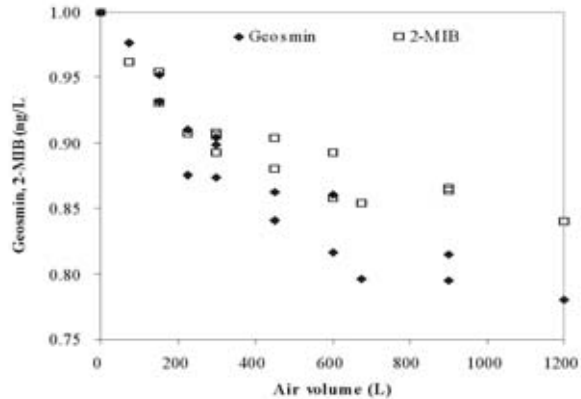


Fig. 10. Geosmin and 2-MIB remaining as a function of total aeration volume with synthetic water samples.

이는 여러 탈기실험에서 관찰된 결과와 일치하는 것으로 2-MIB가 탈기에 의한 제거특성이 geosmin에 비하여 작다는 것을 의미하는 것이다. 이러한 결과는 Fig. 10에서 더 명확하게 보여주고 있다. 이 그림은 시료에 주입한 총 공기량(L)에 따라 geosmin과 2-MIB의 잔류률을 도시한 것이다. 총 공기 주입량이 1200L에서 geosmin과 2-MIB의 탈기에 의한 제거효율은 각각 22%와 16%로 약 6%정도 차이가 있었다.

4. 결론

부영양호 원수에서 해마다 주기적으로 발생하는 이취미 문제 해결의 일환으로 냄새유발물질의 탈기특성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 냄새의 지표로 TON(threshold odor number)을 사용

Table 5. Air stripping coefficients, k(min⁻¹) of geosmin and 2-MIB at different aeration rate(L/min)

Aeration rate (L/min)	5	10	15	20
Geosmin	0.0018	0.0023	0.0046	0.0047
2-MIB	0.0018	0.0023	0.0031	0.0034

- 한 결과 TON의 제거는 일차함수에 따랐고($R^2=0.9$ 이상), 폭기시간에 따라 탈취계수, k 는 0.0055~0.0097로 나타났다.
- 2) 폭기시간을 30분 전후로 짧게 한 실험에서는 탈취계수, k 가 크고(0.0097), 폭기시간을 150분까지 연장한 실험에서는 탈취계수, k 가 작았다(0.0055). 150분 폭기로 TON은 약 55.3% 제거되었다.
 - 3) PAC 15 mg/L를 주입하고 폭기시킨 결과 폭기시간 30분 전후에서 TON 제거특성이 상이한 것으로 나타났다. 30분 폭기시간에서 TON은 PAC에 의한 흡착과 일부 탈기에 의해 제거되어 1차함수로 잘 모의되지 않았고, 30분 이후 실험결과부터는 1차함수로 잘 모의할 수 있었다. 30분 후의 TON 변화는 휘발성이 낮은 냄새유발물질이 탈기에 의해 제거된 것으로 생각된다.
 - 4) Geosmin과 2-MIB가 약 50 ng/L씩 존재할 경우 TON은 300이상이고, TON이 200이상부터는 재현성이 떨어졌다. 공기주입량에 따라 geosmin의 탈취계수, k 는 0.0018~0.0047이었고, 2-MIB는 0.0018~0.0034로 나타났다.
 - 5) 2-MIB보다 geosmin이 탈기에 의해 더 잘 제거되었고, 두 물질 다 TON을 구성하는 일반적인 냄새유발물질들보다 휘발성이 낮은 것으로 나타났다. 폭기 30분전에 제거된 냄새유발물질은 geosmin이나 2-MIB이외의 다른 냄새유발물질이며, 아직 밝혀지지 않았지만, 탈기나 PAC 흡착에 의해 쉽게 제거되는 것으로 생각된다.



참고문헌

1. 임재림, 이경혁, 김성수, 채선하 (2007) "한강수계 고도정수처리 공정에서의 유기물과 맛 냄새의 제거특성", *상하수도학회지*, 21(1), pp. 13-25.
2. 김성진, 홍성호, 신희섭 (2007) "활성탄 흡착지에서 응집조건에 따른 자연유기물질과 이취미(Geosmin, 2-MIB) 파과특성에 관한 연구", *상하수도학회지*, 21(1), pp. 91-99.
3. 배병욱, 김영일 (2003) "Geosmin과 2-MIB 제거를 위한 분말 활성탄 최적 투입량 결정", *대한환경공학회지*, 25(8), pp. 955-962.
4. APHA, AWWA, WEF (1998) "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", 20th ed.
5. Metcalf & Eddy (2004) "*Wastewater Engineering - Treatment, disposal and reuse*", 4th, ed. McGraw Hill, Inc.
6. Schnoor, Jerald L. (1996) "*Environmental Modeling - Fate and transport of pollutants in water, air, and soil*", John Wiley & Sons, Inc.
7. Cook, D, Newcombe, G, and Sztajnbock, P. (2001) "The application of powdered activated carbon for MIB and Geosmin removal: Predicting PAC doses in four raw waters", *Wat. res.*, 35(5), pp. 1325-1333.
8. Newcombe, G., Morrison, J., Hepplewhite, C., and Knappe, D.R.U. (2002) "Simultaneous adsorption of MIB and NOM onto activated carbon. II. Competitive effects", *Carbon*, 40, pp. 2147-2156.
9. Bonmaiti, August, Flotats, Xavier (2003) "Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion", *Waste Management*, 23(3), pp. 261-272.
10. Gillogly, Thomas Edward Tokuo (1998) "*MIB adsorption in drinking water treatment*", Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois.

1. 임재림, 이경혁, 김성수, 채선하 (2007) "한강수계 고도정수처리 공정에서의 유기물과 맛 냄새의 제거특성", *상하수도학회지*,