

활성탄과 제올라이트를 이용한 상수원수 중 이취미물질 (2-MIB, Geosmin)의 흡착제거

최정환 · 이홍재* · 김원주 · 박현건¹⁾ · 조주식²⁾ · 허종수

경상대학교 응용생명과학부, ¹⁾진주산업대학교 환경공학과, ²⁾순천대학교 환경농업과학부

(2001년 7월 30일 접수, 2001년 10월 30일 수리)

Adsorptive Removal of 2-Methylisoborneol and Geosmin in Raw Water Using Activated Carbon and Zeolite

Jeong-Hwan Choi, Hong-Jae Lee*, Won-Ju Kim, ¹⁾Hyun-Geoun Park, ²⁾Ju-Sik Cho and Jong-Soo Heo (Division of Applied Life sciences, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea, ¹⁾Dept. of Environmental Engineering, Chinju National Univ., Jinju 660-758, Korea, ²⁾School of Environmental and Agricultural Science, Suncheon National Univ., Suncheon 540-742, Korea)

Abstract : This study was performed to investigate the recovery efficacy of 2-methylisoborneol (2-MIB) and Geosmin, odor contaminants produced by algae, by pretreatment techniques, and also to investigate both adsorption characteristics and removal efficiency to get some information for the effective removal of 2-MIB and Geosmin by batch experiments. In pretreatment experiments, the best recovery efficiency of both odorants at 0.2 and 2 $\mu\text{g/L}$ in raw water was 30 mL of sampling size, 9 g NaCl for salting out headspace of sampling phase and 40 minutes of adsorption. At the best condition, the recovery efficiency of 2-MIB was 85% at 0.2 $\mu\text{g/L}$ and 95% at 2 $\mu\text{g/L}$, whereas the efficiency of Geosmin was lower than that of 2-MIB : 61% at 0.2 $\mu\text{g/L}$ and 81% at 2 $\mu\text{g/L}$. In batch experiments, the removal efficiency of the Geosmin and 2-MIB by adsorbents using distilled water were increased in comparison with raw water, the efficiency in raw water was little different by their concentrations. When these results were applied to the Freundlich adsorption isotherm, the K value of 2-MIB for zeolite, coal activated carbon, and coconut activated carbon was 0.671, 1.811, and 1.340, respectively, and the value of Geosmin was 0.6125, 1.771, and 1.5191, respectively. Thus the adsorption efficiency of 2-MIB and Geosmin was in the order of zeolite, coconut activated carbon, coal activated carbon.

Key words : 2-MIB, Geosmin, recovery efficiency, zeolite, activated carbon, Freundlich adsorption isotherm.

서 론

물은 인간이 살아가는데 필수적인 요소로서¹⁾, 상수원수를 적절히 처리하여 맑고 깨끗한 수돗물을 안정하게 공급하는 것이 매우 중요하다고 하겠다. 그러나 도시화 및 산업화로 인한 수돗물 사용의 증가, 상수원수의 수질오염으로 수돗물에 대한 국민의 불신감을 고조시키고 있다^{2,3)}. 실제로 국민의식 조사에서 수돗물을 그대로 마시는 인구의 비율은 2.8%에 불과한 것으로 보고되었다⁴⁾.

상수처리 한 수돗물에서 실제로 맛, 냄새 등의 이취미가 발생하고⁵⁾ 트리할로메탄과 소독부산물들이 검출되고 있어⁶⁾ 수돗물의 질과 안전성이 위협을 받고 있는 실정이다. 수돗물 불신의 약 30%가 맛, 냄새 등의 이취미 물질인 것으로 보고되고 있고²⁾, 이러한

이취미 물질은 국민의 건강에 직접적인 악영향을 주기보다는 심미적으로 불쾌감을 일으켜 국민의 생활수준의 향상으로 수돗물에 대한 소비자의 욕구가 단순히 정수된 물을 공급받는 개념을 넘어서 이취미 등의 문제까지 완전히 해결된 수돗물을 요구하고 있다^{7,8)}.

수돗물의 이취미를 유발하는 원인은 상수원수가 인위적인 오염물질에 오염되었거나, 상수원수중 조류나 방선균 등이 유발시키는 물질 및 정수처리 공정에서 사용된 소독제에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 특히 우리나라는 상수 취수원으로 호수나 하천 표류수를 대부분 사용하고 있어, 이들 취수원의 부영양화로 인한 조류의 과다 번식으로 불쾌한 이취미가 발생하는 주요 원인이 되는 경우가 많다⁷⁾.

현재 우리나라의 대부분의 정수장에서 운영되고 있는 응집-침전-여과-소독의 정수처리 공정으로는 상수원의 오염으로 인한 이취미 유발물질 및 조류의 독소물질 등을 효과적으로 제거하기 힘든 것이 현실이다¹⁰⁻¹²⁾.

*연락처:

Tel : +82-55-751-5470 Fax : +82-55-757-0178

E-mail : jsheo@nongae.gsnu.ac.kr

이러한 불쾌한 이취미물질 제거에 대한 종합적인 대책으로 일반적으로 오존처리법 및 활성탄처리법 등이 현행 정수처리공정에 연계하여 운영하는 고도정수처리 방법으로 적용되고 있다¹¹⁾. 따라서 이러한 고도정수처리를 운영함에 있어 상수원수 중의 이취미 발생 현황과 이취미 발생시 운전조건의 변화 등 기본적 자료의 정립이 매우 중요하다고 생각된다.

따라서 본 연구는 상수원수중 조류에 의해 발생하는 이취미 물질인 2-MIB 및 Geosmin의 전처리방법에 따른 최적 회수율을 조사하고, 이들 물질의 효과적인 처리를 위하여 회분식 실험에서의 2-MIB 및 Geosmin의 제거 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료

2-MIB 및 Geosmin의 회수율 조사를 위한 시험재료는 이취미 물질인 2-MIB 및 Geosmin은 일본 Wako사의 순도 99%, 농도 0.1 mg/mL 수질시험용 표준용액을 사용하였다. 그리고 methanol로 100 µg/L 농도가 되게 한 다음 증류수로 0.2 및 2 µg/L 농도로 희석하여 사용하였다.

2-MIB 및 Geosmin의 제거효율 조사를 위한 용수는 울산시 회야담 상수원수를 사용하였고, 상수원수의 수질은 분석시의 평균 수질로서 수질특성은 Table 1과 같다.

흡착제는 국산 석탄계 및 야자계 입상 활성탄과 입상 제올라이트를 사용하였으며, 흡착제의 물리성과 흡착특성은 Table 2와 같다.

Table 1. Characteristics of raw water used

Type	pH	Turbidity (NTU)	COD (mg/L)	KMnO ₄ consumption (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Chlorophyll-a (µg/L)
Raw water	6.9	3.5	2.8	2.1	0.7	25

Table 2. Physical properties of adsorbents used

Item	Unit	Coal activated carbon	Coconut activated carbon	Zeolite
Particle size	mesh	8~12	8~12	8~32
Apparent density	(g/cc)		0.40~0.50	
Hardness	(%)	98.5	96.4	97.5
Specific surface area	(m ² /g)		> 1,100	
Iodine number	(mg/g)	1,117	1,120	
Micro pore size	(Å)		5~20	
Macro pore size	(Å)		40~100	
Total pore volume	(cm ³ /g)		0.60~0.70	

회분식 실험에 사용된 각 분말 흡착제는 입상 흡착제를 분쇄시켜 200 mesh (75 µm) 체를 통과시킨 다음 증류수로 세척하여 사용하였다. 그리고 수분을 제거하기 위하여 110°C 항온기에서 24시간 건조시킨 다음 데시케이트에서 방냉시켜 사용하였다.

실험장치 및 방법

2-MIB 및 Geosmin의 회수율 조사에 사용된 실험장치는 fiber를 보호하는 가이드 바늘이 시료가 담긴 40 mL 용량의 teflon 재질의 뚜껑이 있는 vial을 뚫고 들어간 후 가이드 바늘 속에서 fiber가 돌출되어 목적하는 분석물질과 fiber 사이에 농도평형이 이루어져 흡착이 충분히 진행되면 fiber는 vial을 빠져 나오는 방법으로서 fiber에는 polydimethylsiloxan과 같은 목적 분석물질을 흡착하게 하였다. 그리고 시료성분의 혼합과 흡착을 위하여 10 mm stirring bar를 이용하였고, hot plate상에서 시료 온도를 65°C로 유지시켰다.

시료채취량에 따른 회수율 조사에서는 시료량을 각각 25 및 30 mL/vial, 염석제인 NaCl 주입량에 따른 회수율 조사에서는 NaCl 주입량을 각각 0, 3, 5, 7, 9 및 11 g/vial, SPME syringe 주입 위치에 따른 회수율 조사에서는 각각 headspace 및 liquid에 주입, 그리고 흡착시간에 따른 회수율 조사에서는 각각 10, 20, 30, 40, 50 및 60분 흡착시켜, 각 조건에 따른 회수율을 조사하였다.

2-MIB 및 Geosmin의 제거효율 조사를 위한 실험장치는 회분식 실험으로서 마개 있는 500 mL 용량의 삼각플라스크에 각 조건별로 조제된 시료 300 mL를 각각 취하고 20°C, 140 rpm으로 24시간 동안 항온 진탕 한 다음 1시간 정제시켜 상등액을 처리수로 하였다.

흡착제의 주입농도별 2-MIB 및 Geosmin의 제거효율 조사를 위하여는 2-MIB 및 Geosmin을 각각 200 및 400 ng/L 농도로 조

Table 3. GC/MS operating condition for analysis of 2-MIB and Geosmin

Item	Conditions
Column	HP-1 (50 m × 0.2 mmID × 0.33 µmFT)
Injection Temperature	250°C
Interface Temperature	280°C
Carrier Gas	He 0.7 mL/min
Solvent delay	6 min
Ionization Energy	70 eV
Oven Temperature	70°C at 3min 7°C/min → 150°C 0 min 4°C/min → 180°C 0 min 15°C/min → 210°C 2 min
Model	HP5890IIPlus, HP 5989B Mass Spectrometer

제하고 여기에 공시 분말 흡착제인 석탄계 및 아자계 활성탄과 제올라이트를 각각 1.7~33 mg/L 농도가 되게 주입하였다.

분석방법

2-MIB와 Geosmin의 분석은 시료 100 mL에 내부표준용액 (1-chlorododecane 1,000 mg/L) 50 μ L를 넣은 다음 각 조건에 따라 분석하였다.

2-MIB와 Geosmin의 정성확인에는 HP 5989B Mass Spectrometer scan mode에서 Wiley 138. L Library를 이용했고 다시 sim mode로 전환시켜 정량 분석하였다. 이들 물질의 최적 분리 조건을 유지하기 위한 GC/MS 운전조건은 Table 3과 같다.

결과 및 고찰

2-MIB 및 Geosmin 회수율

2-MIB 및 Geosmin을 0.2 및 2 μ g/L 농도로 조제하고 시료량을 25 및 30 mL/vial로 변화시켰을 때의 회수율은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

먼저 2-MIB의 회수율은 0.2 μ g/L 농도의 경우 시료량 25 mL에서는 52%, 30 mL에서는 85% 이었으며, 2 μ g/L 농도의 경우

시료량 25 mL에서 64%, 30 mL에서는 95%의 회수율을 나타내었다. Geosmin의 회수율은 0.2 μ g/L 농도에서는 시료량 25 mL에서 40%, 30 mL에서는 61%이었으며, 2 μ g/L 농도에서는 시료량 25 mL에서는 45%, 30 mL에서는 81%의 회수율을 나타내었다.

2-MIB 및 Geosmin 모두 농도가 증가하고 시료량이 많을수록 회수율이 증가하는 경향이였다. 이와 같이 25 mL와 30 mL 시료량에 의한 2-MIB 및 Geosmin의 회수율 차이는 시료량과 시료량에 따른 vial headspace의 상대적 공간(부피)의 차이로 인한 시린지 끝 부분의 fiber와 분석물질 사이의 접촉빈도의 차이로 원인으로 생각되었다.

2-MIB 및 Geosmin을 0.2 및 2 μ g/L 농도로 조제하여 시료량을 30 mL/vial, 염석제 주입량을 0, 3, 5, 7, 9 및 11 g/vial로 하였을 경우의 회수율은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 염석제 (NaCl) 주입량의 증가에 따라 회수율이 증가하는 경향이였다. 2-MIB의 회수율은 0.2 및 2 μ g/L 농도에서 NaCl을 9 g/vial 주입하였을 때 83 및 94%로서 최대 회수율을 나타내었고, Geosmin의 회수율은 0.2 및 2 μ g/L 농도에서도 NaCl을 9 g/vial 주입하였을 때 60 및 82%로 최대회수율을 나타내었다. 2-MIB 및 Geosmin 모두 NaCl을 9 g/vial 주입하였을 경우 NaCl을 첨가하지 않을 때보다 2-MIB의 경우는 약 4배, Geosmin의 경우는 약 7배 이상 회수율

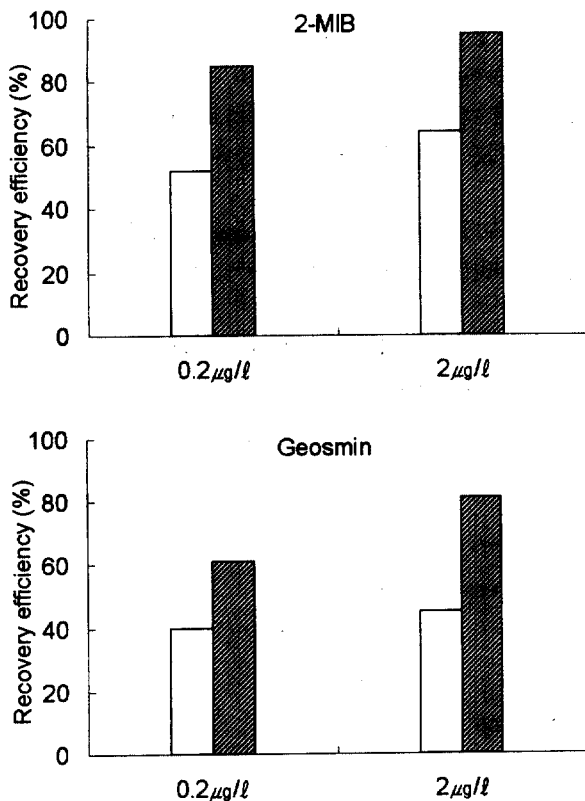


Fig. 1. Recovery efficiency of 2-MIB and Geosmin by sample volume with two concentrations.
 □ : 25mL/vial ■ : 30mL/vial

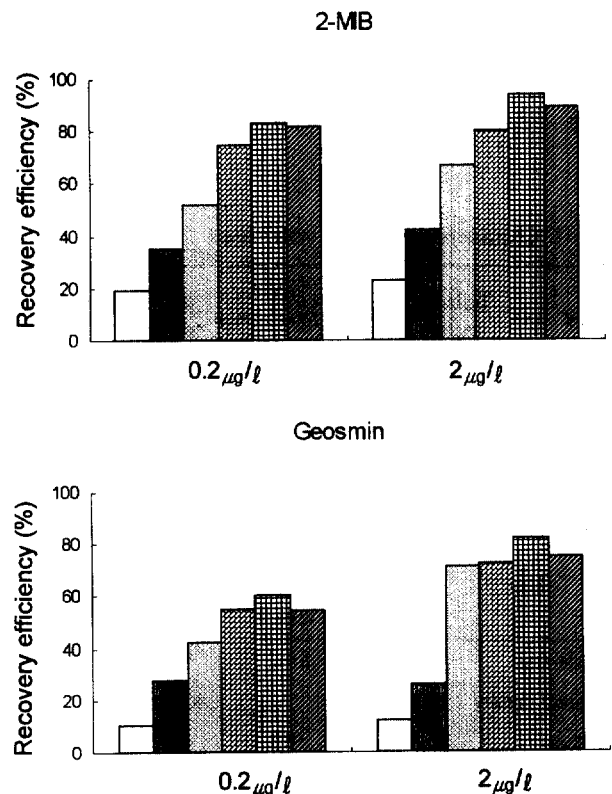


Fig. 2. Recovery efficiency of 2-MIB and Geosmin by NaCl dosage with two concentrations.
 □ : 0 g/vial □ : 3 g/vial □ : 5 g/vial
 ▨ : 7 g/vial ▩ : 9 g/vial ■ : 11 g/vial

이 높았는데 이는 염석제로 쓰인 NaCl이 이온결합으로 이루어져
 물분자와 결합하여 수중에 용해되어 있는 2-MIB 및 Geosmin이
 vial head- space상에 있는 SPME syringe fiber에 쉽게 흡착되었
 기 때문이라고 생각된다.

유¹³⁾의 연구에 의하면 NaCl의 첨가량이 증가함에 따라 흡착되
 는 2-MIB 와 Geosmin의 양도 변하게 되는데 28%정도까지는 비
 례해서 증가하다가 그 이상부터는 증가량이 크지 않았다고 하였
 으며, 또한 Geosmin의 전처리를 purge & trap법으로 할 경우,
 Geosmin은 구조상 -OH기를 가지고 있는 알콜성이기 때문에 물
 과 수소결합을 하여 purge할 경우 물로부터 잘 떨어지지 않으
 므로 salting out를 시키면 좋은 결과를 얻을 수 있다고 보고하였다¹⁴⁾.
 손 등¹⁵⁾은 추출용매로 MTBE를 사용한 액/액 추출법에서는
 시료에 염석제를 투여하였을 때가 추출율이 높았고, 염석제 5 g
 을 투여하였을 때가 회수율 75% 정도로 가장 높게 나타났으며
 이는 염석제가 물에 포화되어 물의 비중을 높임으로서 Geosmin
 이 용매중에 쉽게 추출되도록 하기 때문이라고 하였다. 그러나
 본 연구에서는 염석제인 NaCl 주입량을 11 g/vial으로 처리하였
 을 경우에는 2-MIB 및 Geosmin의 회수율이 감소하였는데 이와
 같은 결과는 염석제의 과량 첨가시에는 흡착 저하 현상으로 시료
 중에 포화되고 남은 염석제가 흡착제의 흡착을 방해하는 물질로
 작용하기 때문인 것으로 생각되었다.

2-MIB 및 Geosmin을 0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도로 조제하여 시료량
 을 30 mL/vial, NaCl 주입량을 9g/vial, sampling 위치를 head-
 space와 liquid상에서 처리 할 경우의 회수율은 Fig. 3에서 보는
 바와 같다.

0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도에서 2-MIB의 회수율은 headspace상에서
 각각 약 84 및 93%이었고, Liquid상에서는 각각 약 28 및 27%
 로서 모든 농도에서 sampling 위치가 headspace상 일 경우가
 liquid상 일 경우에 비하여 약 3배 이상 회수율이 높았다. 0.2 및
 2 $\mu\text{g/L}$ 농도에서 Geosmin의 회수율은 headspace상에서 각각 약
 63 및 82%, Liquid상에서는 43 및 32%으로서 sampling 위치가
 headspace상 일 경우가 liquid상 일 경우에 비하여 약 1.5~2.5배
 이상 회수율이 높았다.

2-MIB와 Geosmin을 0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도로 조제하여 시료량을
 30 mL/vial, NaCl 주입량을 9 g/vial, sampling 위치를 head-
 space로 한 다음 흡착시간을 각각 10, 20, 30, 40, 50 및 60분으로
 하여 2-MIB 및 Geosmin의 회수율을 조사한 결과는 Fig. 4에서
 보는 바와 같다.

2-MIB의 회수율은 0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도 모두에서 흡착시간 40
 분까지 증가하였으며, 이때의 회수율은 각각 약 85 및 95%이었
 다. 그리고 그후 흡착시간이 길어짐에 따라서는 별 차이가 없었다.

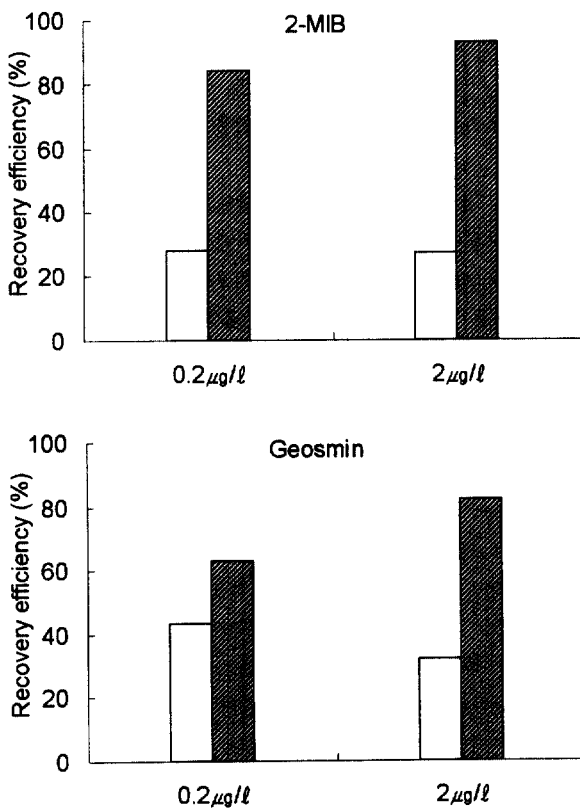


Fig. 3. Recovery efficiency of 2-MIB and Geosmin by sampling phases with two concentrations.
 □ : Liquid ■ : Headspace

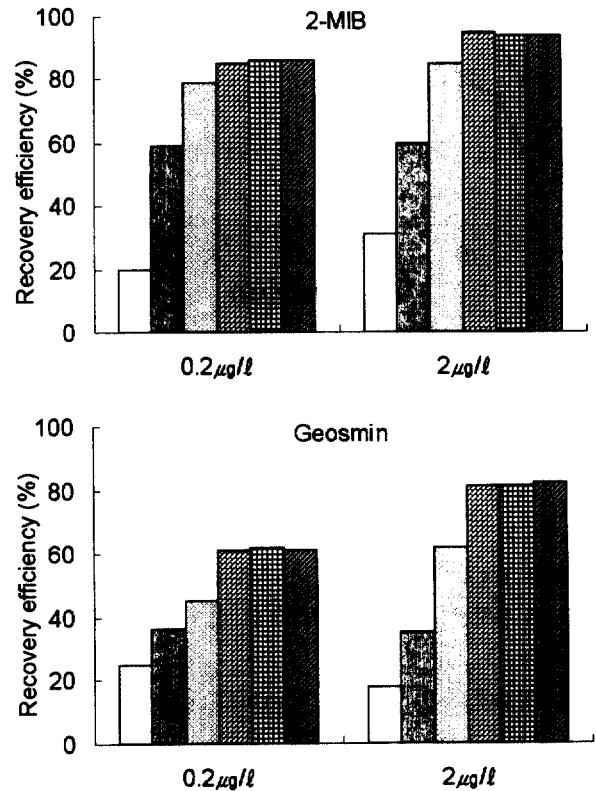


Fig. 4. Recovery efficiency of 2-MIB and Geosmin by adsorption times with two concentrations.
 □ : 10min □ : 20min □ : 30min
 □ : 40min □ : 50min □ : 60min

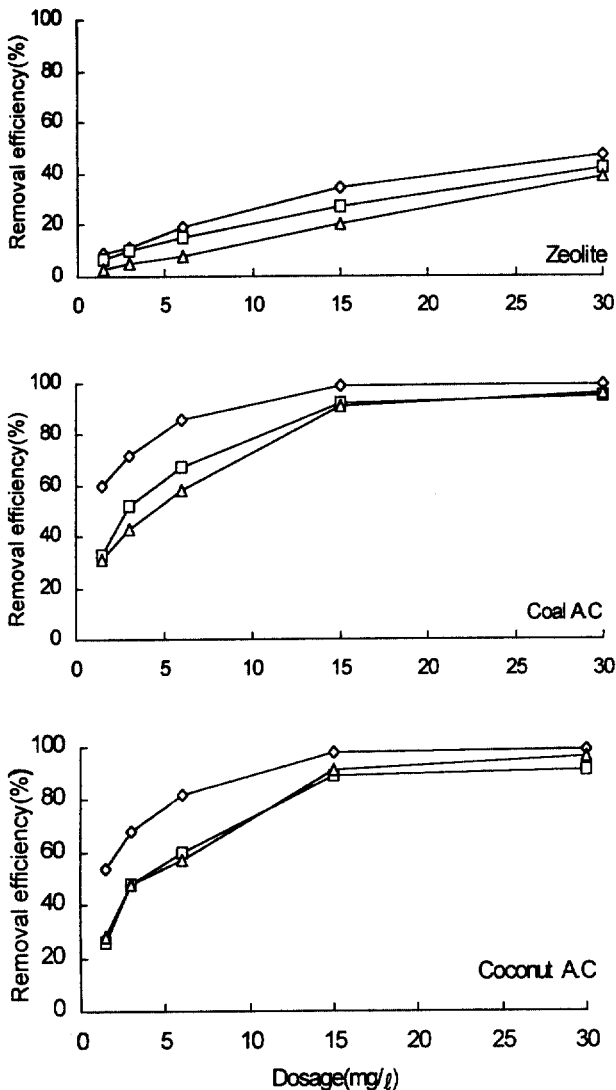


Fig. 5. Removal efficiency of 2-MIB according to the adsorbents dosage at the batch experiments.

◇ : Distilled water 210 ng/l □ : Raw water 210 ng/l △ : Raw water 400 ng/l

Geosmin의 회수율은 0.2 및 2 μg/L 농도에서도 2-MIB와 비슷한 경향으로서 흡착시간 40분에 각각 약 61 및 81%의 최대회수율을 나타내었다.

전처리방법에 따른 2-MIB 및 Geosmin의 최적회수율은 0.2 및 2 μg/L 농도에서 모두 시료채취량을 30 mL, 염석제인 NaCl를 9 g 주입하고, SPME syringe주입 위치를 headspace로 하며, 흡착시간을 40분 이상으로 하였을 경우가 가장 높게 나타났으며, 최적전처리 조건에서의 회수율은 0.2 및 2 μg/L 농도에서 2-MIB의 경우 각각 약 85 및 95%, Geosmin의 경우 61 및 81%로 조사되었다.

이와 같이 최적 전처리 조건에서의 SPME법에 의한 2-MIB 및 Geosmin의 회수율은 다른 전처리방법인 CLSA법의 2-MIB 및

Geosmin 회수율^{16,17)} 약 28~37% 및 31~71%, SDE법¹⁸⁾의 약 35~56% 및 39~70%에 비해 우수한 것으로 판단되었다.

2-MIB 및 Geosmin의 제거효율

2-MIB 및 Geosmin 제거효율조사는 2-MIB 및 Geosmin을 각각 200 및 400 ng/L 농도로 조제하고 여기에 흡착제인 석탄계 및 야자계 분말 활성탄과 분말 제올라이트의 주입농도별로 분석하였다.

흡착제 주입농도에 따른 2-MIB의 제거효율을 조사한 결과 Fig. 5에서 보는바와 같이 제올라이트 흡착제의 경우 주입량이 증가함에 따라 2-MIB의 제거율이 증가하여 최대 47%가 제거되었다. 그리고 회석수 종류 및 농도별 2-MIB의 제거율은 증류수 210 ng/L > 원수 210 ng/L > 원수 400 ng/L의 순으로 제거율이 높았다.

석탄계 분말 활성탄의 경우 2-MIB의 제거율은 흡착제 주입농도 16.7 mg/L에서 91~99.1%, 33 mg/L에서 95~99.5%가 제거되었으며 회석수 종류 및 농도별 2-MIB의 제거율은 증류수 210 ng/L > 원수 400 ng/L ≥ 원수 210 ng/L의 순으로 제올라이트 흡착제와 비슷한 경향으로서 회석수를 증류수로 사용했을 경우에 상수원수를 사용하였을 경우에 비하여 2-MIB가 많이 제거되었다.

야자계 분말 활성탄의 경우 2-MIB의 제거율은 흡착제 주입농도 16.7 mg/L에서 89~98%, 33 mg/L에서 91~99%가 제거되었으며, 석탄계 활성탄에 비해 약간 낮은 흡착능을 나타내었으며, 회석수 종류 및 농도별 2-MIB의 제거율은 증류수 210 ng/L > 원수 400 ng/L > 원수 210 ng/L의 순으로 석탄계나 제올라이트와 마찬가지로 회석수를 증류수로 사용하였을 경우가 2-MIB가 많이 제거되었다.

이와 같은 결과는 증류수 중에는 단일 성분으로 2-MIB가 존재하지만 상수원수 중에는 이들 물질 외에 다량의 유기물도 함께 포함되어 있어 이런 유기물들도 같이 흡착되고 또한 휴민질과 같은 거대 분자를 가지는 물질들에 의해 흡착을 방해하므로 2-MIB의 흡착능이 저하되는 것으로 생각되었다.

흡착제별 제거효율은 석탄계 활성탄 ≥ 야자계 활성탄 > 제올라이트의 순으로서 제올라이트가 가장 낮은 제거효율을 보여 흡착제로서의 처리효율이 적은 반면 활성탄에서는 석탄계가 야자계보다 다소 높은 제거효율을 보였다.

이와 같이 석탄계가 야자계활성탄 보다 2-MIB 및 Geosmin의 제거효율이 높은 것은 활성탄 흡착이 물리흡착이기 때문에 흡착제의 물리성과 관능기 및 흡착제의 재질, 그리고 세공분포에 큰 영향을 받기 때문인 것으로 생각되었고, 김 등¹⁹⁾의 IBMP 및 IPMP의 흡착실험에서도 석탄계 활성탄이 야자계 활성탄에 비해 처리효율이 다소 높은 것으로 보고하였다.

그리고 석탄계와 야자계 활성탄 흡착제 주입시, 원수중의 2-MIB 400 ng/L에 대한 흡착제의 제거효율은 2-MIB 210 ng/L일 때와 비교하면 비슷하거나 다소 높았는데 이러한 현상은 활성탄의 경쟁흡착모델로 설명될 수 있다. 즉 원수중에는 BOM (background organic matter)이 존재하며 이것은 제거대상물질인 SOC

(synthetic organic chemicals)와 활성탄 표면의 흡착부위에서 경쟁적으로 흡착한다. 이로 인해 활성탄에 대한 SOC의 흡착능은 SOC의 농도가 증가함에 따라 원수중의 일정한 BOM농도 보다 상대적으로 낮게 되어 증가하게 된다²⁰. Frick 등²⁰의 연구에 의하면 10 mg/L의 lignin sulfonic acid (LSA)가 존재하는 시료수에 대한 등온흡착실험에서 p-nitrophenol 초기농도가 감소함에 따라 p-nitrophenol의 흡착능 또한 감소하였고, Thomas 등²¹에 의하면 자연유기물질이 존재하는 원수에서는 미량화합물의 흡착에 대해서 특이한 관계가 존재하며 atrazine의 경우 초기농도가 약 50 µg/L보다 낮을 때에는 초기농도와 상관없이 그 물질의 제거율은 일정하다고 했으며 본 실험의 2-MIB 농도 변화에 따른 제거효율에서도 이와 유사한 경향을 나타내었다.

흡착제 주입 농도에 따른 Geosmin의 제거효율을 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 제올라이트 흡착제의 경우 주입량이 증가함에 따라 Geosmin의 제거율이 증가하여 최대 52%가 제거되었다. 그리고 희석수 종류 및 농도별 Geosmin 제거율은 증류수 210 ng/L > 원수 210 ng/L > 원수 400 ng/L의 순으로 제거율이 높았다.

석탄계 활성탄의 경우 Geosmin의 제거율은 흡착제 주입농도 16.7 mg/L에서 약 93~99%, 33 mg/L에서 97~99.5%가 제거되었으며, 희석수 종류 및 농도별 Geosmin의 제거율은 증류수 210 ng/L > 원수 400 ng/L > 원수 210 ng/L의 순이었다.

야자계 활성탄의 경우 Geosmin의 제거율은 흡착제 주입농도 16.7 mg/L에서 89~98%, 33 mg/L에서 91~99%가 제거되었다.

흡착제별 Geosmin의 제거효율은 2-MIB와 비슷한 경향을 보여 석탄계 활성탄 > 야자계 활성탄 > 제올라이트의 순으로서 제올라이트는 아주 낮은 제거효율을 보였고 활성탄에서는 석탄계가 야자계보다 다소 높은 제거효율을 보였다. 이는 석탄계를 원료로 하는 활성탄의 경우에는 그 세공분포가 5 Å~12 Å까지의 미세세공이 폭넓게 분포되어 있고 그 성능이 균일하므로 다른 재질의 활성탄에 비해 흡착능이 우수하다는 김 등¹⁹의 결과와 유사했다.

상수원수 중 2-MIB 및 Geosmin 제거율로부터 얻어진 데이터를 이용하여 흡착제 주입량에 따른 2-MIB와 Geosmin의 흡착량과 평형상태에서 용액중에 남아있는 이들 물질의 농도를 토대로 Freundlich 등온흡착식에 적용시켜 검토하였다.

흡착제 단위 mg당 2-MIB와 Geosmin 흡착량 (log X/M)과 평형상태에서 용액중에 남아있는 2-MIB와 Geosmin의 평형농도 (log C)와의 상관관계를 검토한 결과 Fig. 7 및 8에서 보는바와 같이 각 흡착제 모두에서 서로 고도의 유의성 있는 정(+)의 상관성을 보였다.

이러한 상관관계식을 토대로 용액중 2-MIB 및 Geosmin 농도에서 Freundlich 등온흡착식에서의 경험적인 상수인 흡착능력을 나타내는 K값과 흡착경향을 나타내는 1/n값을 구한 결과 Table 4에서 보는 바와 같이 2-MIB 및 Geosmin의 흡착능력을 나타내는 K의 값은 석탄계 활성탄 > 야자계 활성탄 > 제올라이트의 순으로 석탄계 활성탄이 1.8105 및 1.7705로서 가장 높게 나타났으며,

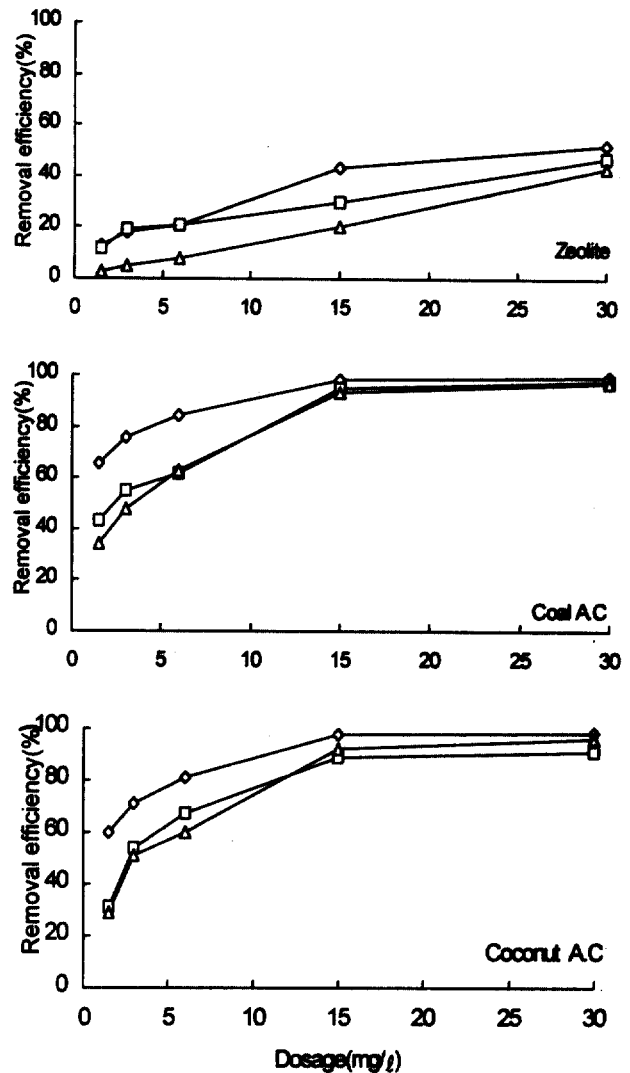


Fig. 6. Removal efficiency of Geosmin according to the adsorbents dosage at the batch experiments.

◇ : Distilled water 210 ng/l □ : Raw water 210 ng/l △ : Raw water 400 ng/l

Table 4. Calculated K and 1/n values from Freundlich adsorption isotherm.

Compounds	Adsorbents	log K	K	1/n
2-MIB	Zeolite	-0.1733	0.6710	0.2799
	Coal Activated Carbon	0.2578	1.8105	0.6217
	Coconut Activated Carbon	0.1271	1.3400	0.6670
Geosmin	Zeolite	-0.2129	0.6125	0.3003
	Coal Activated Carbon	0.2481	1.7705	0.6639
	Coconut Activated Carbon	0.1816	1.5191	0.6692

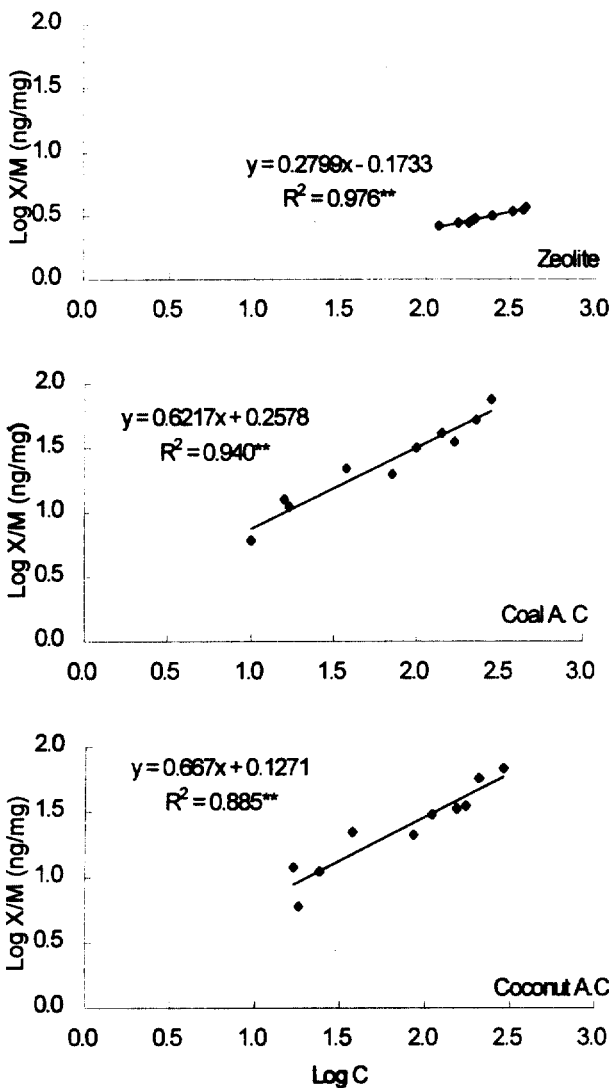


Fig. 7. Relationships between $\log C$ and $\log X/M$ of Freundlich adsorption isotherm for 2-MIB in the raw water.

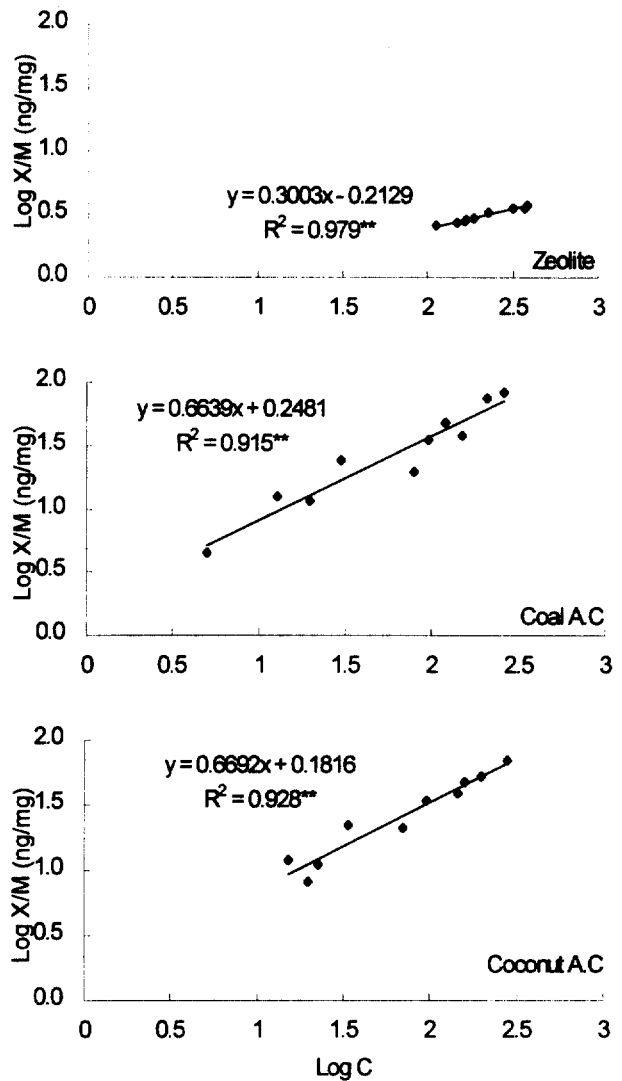


Fig. 8. Relationships between $\log C$ and $\log X/M$ of Freundlich adsorption isotherm for Geosmin in the raw water.

다음은 야자계 활성탄으로서 1.3400 및 1.5191, 제올라이트가 0.6710 및 0.6125로서 가장 낮은 흡착능력을 나타내었다. 또한 2-MIB 및 Geosmin의 흡착경향을 나타내는 $1/n$ 값은 석탄계 활성탄이 0.6217 및 0.6639, 야자계 활성탄이 0.6670 및 0.6692, 그리고 제올라이트가 0.2799 및 0.3003으로서 야자계 활성탄이 석탄계 보다 약간 높게 나타났다.

요 약

상수원수중 조류에 의해 발생하는 이취미물질인 2-MIB 및 Geosmin의 전처리방법에 따른 회수율 조사와 이들 물질의 효과적인 처리를 위한 회분식 실험에서의 제거효율을 조사한 결과는

다음과 같다.

전처리 방법에 따른 2-MIB 및 Geosmin의 회수율은 0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도에서 모두 시료채취량을 30 mL, 염석제인 NaCl를 9 g 주입하고, SPME syringe주입 위치를 headspace로 하며, 흡착시간을 40분 이상으로 하였을 경우가 가장 높게 나타났으며, 최적전처리 조건에서의 회수율은 0.2 및 2 $\mu\text{g/L}$ 농도에서 2-MIB의 경우 각각 약 85 및 95%, Geosmin의 경우 61 및 81%로 조사되었다.

회분식 실험에서의 2-MIB 및 Geosmin의 각 농도별 제거효율은 모든 흡착제에서 증류수를 사용하여 조제하였을 경우가 상수원수로 조제하였을 경우에 비해 높았고, 상수원수로 조제하였을 경우에는 농도에 따라서는 별 차이가 없었다.

흡착제의 종류에 따라 Freundlich 등온흡착식에 적용한 결과

흡착능력을 나타내는 K값은 제올라이트, 석탄계 활성탄 및 야자계 활성탄에서 2-MIB이 경우 각각 약 0.671, 1.811 및 1.340이었고, Geosmin의 경우 각각 약 0.613, 1.771 및 1.519로서, 2-MIB 및 Geosmin 모두 석탄계 활성탄 > 야자계 활성탄 > 제올라이트 순이었다.

참고 문헌

1. 환경부 (1998) 수돗물에서의 미량유해물질 분석법 연구 및 합유실태조사(6차), p.15.
2. Hayes, K. P. and Burch, M. D. (1989) Odorous compounds associated with algal blooms in South Australian Waters, *Water Research*. 23(1), 115
3. 환경부 (1997) 수돗물에서의 미량유해물질 분석법 연구 및 합유실태 조사(5차), p.1.
4. 정결호 (1995) 상수도 정책과 과제, 고도정수처리기술에 관한 심포지움, p.8.
5. 신항식, 전항배 (1998) 상수에서 조류 및 조류 부산물질 제거 방안, '98 국제 환경문제 심포지움, 영남대학교 부설 환경문제 연구소. p.85.
6. Rook J. J. (1972) Production of portable water from a highly polluted, *Water treatment and examination*. 21, 259.
7. 김영석, 이영호 (1992) 수돗물의 맛, 냄새 유발물질 처리방안에 관한 연구, 한국건설기술연구원, p.1.
8. 한국건설기술연구원 (1989) 상수 수질 향상을 위한 효과적인 조류제거에 관한 연구, p.2.
9. Black, C. A. (1976) Taste and odor control utilizing granular activated carbon in the plains region of the American water work system, *American water works service company*. Inc.
10. 이수식 (1990) 상수도 고도정수처리 동향 및 전망, 울산건설기술연구회 정기세미나, p.3.
11. 울산시상수도사업본부 (1998) 상수원수의 이취미물질과 조류에 의한 독소물질의 검사 및 분석법조사, p.3-4.
12. 류성호, 김성현 (1992) Pilot plant를 이용한 요도카와 강 원수중의 미량유기물 제거를 위한 고도정수처리 실험, 대한상하수도학회지. 1, 71.
13. 유재정 (1999) 낙동강 수질 조사 연구, 울산대학교 환경연구소 정기 세미나, p.37-47.
14. Issam N. N. (1991) Effect of initial concentration of a SOC in natural water on its adsorption by activated carbon, *J. AWWA*. August. 83(8), 57-63.
15. 손희종, 조이규, 정철원, 배효무, 이수애, 이상원, 최근주(1998) 흡착제를 이용한 수중의 미량이취물질 분석법 개발에 관한 연구, 부산시수질검사소, 상수도연구보, 4, p.100-106.
16. 김영석 (1995) 수돗물에서 Geosmin과 2-MIB 처리에 관한 연구, 고려대학교 대학원 박사학위논문, p.11-12.
17. Hwang, C. J., Krasner, S. W., McGuire, M. J., Moylan, M. S. and Dale, M. S. (1984) Determination of subnanogram per liter levels of earth-musty odorants in water by the salted closed-loop stripping methods, *Envir. Sci. Tech.* 18(7), 535-539.
18. Mallevalle, J. and Suffet, I. H. (1987) Identification and treatment of taste and odors in drinking waste, *AWWARE (90518)*. Denver. p.347.
19. 김영웅, 최은재, 유명호, 정종문, 박흥기, 이상원, 서인숙, 류재익, 이상훈 (1997) 이취미물질(IBMP, IPMP)의 흡착제거 및 공정별 제거효율, 부산시수질검사소, 상수도연구보, 3, p.16-17.
20. Frick, B. (1980) Predicting competitive adsorption effects in granular activated carbon filters, *Activated Carbon Adsorption of organics from the aqueous phase*, Ann Arbor SCI. Publ., Ann Arbor, mich. 1, 68.
21. Gillogly, T. E. T., Snoeyink, V. L., Elarde, J. R., Wilson, C. M. and Royal, E. P. (1998) 14C-MIB adsorption on PAC in natural water, *J. AWWA*. January. 90, 99.