

신탄과 재생탄에서 자연유기물질의 분자량이 이·취미(2-MIB) 흡착능에 미치는 영향

Effect of Molecular Weight of NOM for Adsorption of 2-MIB on Virgin and Reactivated GAC

김성진 · 홍성호* · 최주솔

Sung-Jin Kim · Seongho Hong* · Ju-Sol Choi

숭실대학교 환경·화학공학과

(2007년 8월 7일 논문 접수; 2007년 12월 11일 최종 수정논문 채택)

Abstract

2-methylisoborneol (MIB) is a musty odor compound produced as a secondary metabolite by some cyanobacteria and actinomycetes. It is lead to distrust in tap water due to taste and odor. It is well known that activated carbon (AC) adsorption is the best available technology to remove 2-MIB and geosmin. In this study, physical characteristics of virgin AC and reactivated AC was compared. The effect of variation of NOM molecular weight on adsorption of 2-MIB in virgin AC and reactivated AC were also evaluated. BET surface area was decreased by 13 to 23% and total pore volume was decreased by 18 to 21% due to first and second reactivation compare to the virgin carbon. However, mesopore volume (V_{meso}) was increased about 14% after reactivation. It showed that micropore volume was decreased and move to mesopore or macropore after reactivation. Decreased adsorption capacity of 2-MIB was greatly related to below 3000Da. Adsorption capacity of 2-MIB was rather greater in virgin AC than in reactivated, which is strongly related to micropore volume.

Key words: Geosmin, 2-MIB, M.W. Fraction, Activated carbon, Reactivation

주제어: Geosmin, 2-MIB, 분자량분획, 활성탄, 재생

1. 서 론

국내의 경우 일반적으로 초여름과 가을에 정제된 수역에서 수화현상에 의한 이·취미 유발물질

(geosmin, 2-MIB)의 증가로 정수처리에 상당한 어려움을 겪고 있으며, 이러한 이·취미 물질의 발생은 수돗물에 대한 소비자들의 불신을 야기 시키고 있다. 정부와 지자체에서는 이에 대한 해결 방안으로 고도 정수처리시설(활성탄, 오존, Membrane 공정)을 도입

*Corresponding author Tel: +82-2-620-0628, FAX: +82-2-812-5378, E-mail: shong@ssu.ac.kr (Hong, S.H.)

또는 도입예정에 있다. 특히 활성탄 공정 중 분말활성탄(powdered activated carbon; PAC)과 입상활성탄(granular activated carbon; GAC) 공정의 경우 제거하고자 하는 대상물질에 따라 흡착특성이 달라질 수 있기 때문에 활성탄 공정의 주요 도입목적과 이에 수반되는 부수적인 목적을 달성하기 위하여 보다 정밀한 분석과 최적의 운전방법을 도출하고자 하는 노력이 필요하다.

우리나라의 경우 초기에는 활성탄 공정이 소독부산물의 저감이나 막연한 수질개선의 목적으로 도입되었고, 최근에는 이·취미물질 및 미량유기물질의 저감을 목적으로 도입되고 있지만, 활성탄 흡착공정에서 이·취미물질에 대한 거동 평가는 상당히 미비한 실정이다. 실질적으로 활성탄 흡착공정에서 수중에 존재하는 자연유기물질(natural organic matter; NOM)은 이·취미 물질과의 경쟁흡착으로 이·취미 물질에 대한 흡착능을 감소시키는 주요 인자로 작용하는 것으로 알려져 있다(Newcombe et al., 2002). Cook 등은 이·취미물질의 흡착에 미치는 주요 인자를 정량적으로 평가하기 위하여 분자량 분획을 통한 분자량과 이·취미물질과의 주요 경쟁관계를 비교 평가하였다(Cook et al., 2004). 활성탄 공정은 일반 모래여과와 달리 활성탄에 흡착되는 물질이 시간이 지남에 따라 증가하기 때문에 장기간 사용함에 따라 흡착능이 감소하게 되고 일정 시점 이후 활성탄을 교체 또는 재생하여야 한다. 자체 재생설비를 통해서 하거나 외부용역을 통하여 입상활성탄을 재생하고 있다. 활성탄의 재생에 대한 역사가 길지 않아 이에 대한 연구가 상당히 부족한 것이 현실이다. 활성탄 재생 후에는 활성탄 공극 구조, 공극 부피, 비표면적 등의 물리적 변화를 수반하기 때문에 이에 따른 제거 대상물질의 흡착능이 달라지는 것은 필수적인 결과이다. Westrick 등은 NOM 제거에 있어서 입상활성탄 재생이 제거효율에는 크게 영향을 미치지 않으며 재생 후 Macropore가 발달함에 따라 humic 물질에 대한 제거효율이 신탄에 비해 우수 할 수 있다고 연구 논문을 발표했다(Westrick et al., 1998). 또한 Newcombe 등은 활성탄 흡착공정에서 미량유기물질, 즉 이·취미물질 제거는 Macropore가 아닌 Mesopore 또는 Micropore가 중요한 영향인자라고 보고 한 바 있어(Newcombe et al., 2002) 재생 후 NOM 제거와 미량

유기물질을 동시에 이루기 위해서는 이에 대한 심도 있는 연구가 필요하다. 즉, 활성탄 재생 후 NOM의 제거효율은 신탄과 비슷할 수 있으나 이·취미 물질은 재생에 따른 micropore의 감소에 따라서 흡착능이 감소할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 활성탄 흡착에서 신탄과 재생탄의 물리적 특성 변화를 평가하고, NOM의 분자량 변화와 활성탄의 물리적 특성 변화가 2-MIB의 흡착에 어떠한 영향을 미치는지 정량적으로 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 원수의 특성

본 실험에 사용된 원수는 서울시 D 정수장에서 취수하였고, 사용된 원수의 특성은 다음 Table 1에 정리하였다.

2.2. 분자량 분획

원수에 대한 분자량 분포 평가를 위해 사용된 장치는 Stirred ultrafiltration cell(Amicon Model 8400)을 이용하였고, 부유물질로 인한 Membrane의 fouling을 막기 위해 GF/C로 전처리하여 실험을 수행하였다. 막의 전처리 단계로 0.1N NaOH로 세정 후 막에 의한 오염정도를 고찰하기 위해 초순수를 통과시켜 DOC 변화량을 측정하였으며 실험 수행시에는 투과된 물과 남아있는 물의 농도와 부피를 곱하여 총량을 계산 한 후 실험 전 원수의 농도와 비교하여 물질수지를 계산하여 검증하였다. 사용된 Membrane은 Millipore(U.S.)사의 YM10과 YM3이었으며 여과압력은 2.5kg/cm²로 하였다.

Table 1. Characteristics of the raw water

Characteristics of the raw water	
DCC (mg/L)	2.47
Turbidity (NTU)	4.4
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	43
pH	7.49
UV ₂₅₄ (/cm)	0.0352
UV ₂₇₂ (/cm)	0.0266

Table 2. Mass balance of raw water after fractionation

	총 분획 원수	10000Da 이상	10000~3000Da	3000Da 이하
수량(L)	27.4	13.2	7	7.2
UV ₂₅₄ (/cm)	0.0352	0.0506	0.0398	0.0146
UV ₂₇₂ (/cm)	0.0260	0.0413	0.0310	0.0116
DOC(mg/L)	2.47	3.14	2.12	0.901
mass(mg)	67.7	41.5	14.8	6.5
			total 62.8	
mass fraction(%)	-	61.3	21.9	9.6
	-		loss 7.2	

2.3. 이·취미(2-MIB) 분석

2-MIB의 표준시약은 Wako(analytical grade, Japan) 20mg(고상)을 용해시켜 사용하였다. 2-MIB 분석을 위해 사용된 SPME fiber는 NO. 57248-U (DVB/CAR/PDMS)이었으며, SPME holder는 No. 57330-U를 사용하였다. 본 실험에서 2-MIB 분석은 50ml 샘플병에 NaCl 10g을 주입 하여 60~70°C의 수 욕상에서 30분간 교반시키면서 휘발된 2-MIB를 fiber에 흡착 시킨 후 GC/MSD(Agilent 6890N/MSD 5975B)를 이용하여 분석하였다. 정량분석은 Scan mode를 이용하여 2-MIB의 경우 95m/z로 선택하여 정량평가를 하였으며 GC/MSD의 운전조건은 다음 Table 3에 나타내었다.

2.4. BET 및 공극분포 평가

신탄과 재생탄의 표면적과 공극분포에 따른 2-MIB의 상관관계를 평가하기 위하여 ASAP 2010 (Micromeritics, USA)를 이용하여 표면적 및 공극분포도를 분석하였다.

2.5. 등온흡착 실험 및 재생조건

입상 활성탄은 미국산 석탄계 F-400 신탄(Calgon carbon Corp. Pittsburgh, USA, F400)과 F400의 재생 1회(F400-1), 재생 2회(F400-2)를 사용하였다. 활성탄은 열재생 되었으며, 열재생시 조건은 건조, 탄화 및 활성화를 거쳐 재생하였으며, 체류시간은 2.5시간, 주입 증기량은 1.2kg H₂O/kg GAC으로 최종 온도는 900°C로 재생하였다. 2-MIB의 등온흡착실험을 위하여 일정한 초기농도에서 활성탄의 양을 변화시키는 'Bottle point isotherm technique'을 수행하였다. 평형에 도달하는 시간을 단축하기 위하여 모든 입상 활

Table 3. The operating conditions of GC/MSD

Items	Condition
Column	HP5 (30m × 0.25mm I.D × 0.25 μ m)
Carrier gas	99.999% He
Oven temp.	hold 2.0 min at 40°C increase 14 min 15°C/min
Quantitation	Scan mode
Injection temp.	250°C
Gas flow	1ml/min
Gas pressure	7.05psi

성탄은 막자사발을 이용하여 325mesh 이하로 분쇄하여 사용하였고 활성탄 투여는 ± 0.3 mg의 오차범위내로 측정하여 투여하였다. 사용된 시료병의 용량은 330ml이었고 시료와 접촉되는 부분에는 테프론 Lid를 사용하여 밀폐시켰으며 각각의 실험조건에 대하여 두 개의 활성탄이 투여되지 않은 대조군을 두었다. 세 종류로 분획되어진 원수에 이·취미 물질인 2-MIB의 초기농도를 208~265ng/L로 spiking하였다. 모든 시료병은 Tumbler에서 10RPM의 속도로 교반하였고 4일후에 모든 샘플을 이탈시켜 투여된 활성탄을 제거하기 위하여 0.45 μ m Millipore membrane으로 여과하여 즉시 분석하거나 즉시 분석이 불가능 할 경우 4°C로 냉장보관 하였다.

2.6. 분석기기

탁도는 Model 2100 turbidimeter(HACH)를 사용하였으며 DOC는 Combustion 방식의 Analytik Jena multi N/C 3000(Analytik jena, Germany)을 이용하였고 NPOC(Non-purfeable organic carbon)방법의 NDIR(Non-dispersive infrared detector)로 분석하였다. UV absorbance는 Analytik Jena SPECORD

200(Aanalytik jena, Germany)를 이용하였고 254nm, 272nm 파장으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 재생에 따른 활성탄의 물리적 특성 변화

Table 4에서는 BET isotherm에 의하여 측정된 F400신탄과 재생탄의 비표면적, V_{tot} (total volume), V_{mic} (micropore volume), V_{meso} (mesopore volume), Micropore area에 대한 물리적 변화 특성을 나타내었다. 재생탄은 신탄과 비교하여 재생 후 BET 표면적의 변화는 1회 재생 시 13%, 2회 재생 시 23%가 감소하였다. V_{tot} 의 경우 1회 재생 시 19%, 2회 재생 시 21%로 BET 표면적과 비슷한 감소율을 나타내었다. 재생탄에서 V_{mic} 와 V_{meso} 의 경우 신탄과 비교하여 다른 특성을 나타내었는데 전체 V_{tot} 의 비율을 100%라 할 때 F400신탄의 경우 V_{mic} 43%, V_{meso} 57%, 재생 후에는 V_{mic} 34%, V_{meso} 66%를 나타내어 재생 후 활성탄의 Micropore와 Mesopore가 크게 달라지는 결과를 고찰할 수 있었다. 또한 Table 4에서는 연속식 흡착실험 후 약 70% 파괴 지점에서(물리적 흡착 평형 상태 가정) Sample을 채취하여 활성탄의 물리적 변화 특성을 고찰한 것이다. F400신탄, 1회 재생탄 그리고 2회 재생탄의 모든 파괴탄에서 BET 표면적, V_{tot} , V_{mic} , V_{meso} , 그리고 Micropore area 모두에서 커다란 차이를 나타내지 않았다. 이는 활성탄의 특정한 site에 흡착이 일어나고 있는 것을 나타내는 것이다.

F400 신탄의 BET 비표면적과 파괴 후의 비표면적을 비교한 결과 약 45%가 감소한 것으로 나타났으며, V_{tot} 로는 약 51%가 감소하였다. 재생탄에서는 비

표면적이 33~36% 감소하였고, V_{tot} 로는 약 30%가 감소하는 것으로 나타났다. Micropore volume의 경우 신탄에서는 38%가 감소하였으나, 재생탄에서는 변화가 나타나지 않았다. 하지만 Micropore area의 경우 신탄에서는 816m²/g에서 428m²/g으로 약 48% 감소하였으며 1회 재생탄의 경우 612m²/g에서 490m²/g으로 약 20%가 감소하였다. 그리고 2회 재생탄의 경우 600m²/g에서 429m²/g으로 약 29%가 감소하였다. 1회 재생에 의하여 BET 비표면적과 total volume이 모두 감소하는 것으로 나타났는데 이는 재생에 의하여 비표면적이 감소하면서 공극을 구성하고 있는 탄소 산화에 의하여 없어지기 보다는 공극의 붕괴에 의하여 나타난 현상으로 생각된다. 파괴탄에서 micropore의 붕괴와 비표면적이 신탄과 재생탄에서 커다란 차이를 나타내지 않은 이유로는 공극은 존재하나 흡착에는 영향을 미치지 않기 때문으로 사료된다.

이러한 결과는 신탄과 재생탄에서 활성탄의 이용 특성을 파괴 후에 잔존하는 Micropore volume이나 비표면적을 사용전과 비교하여 판단할 수 있을 것으로 생각된다. 신탄의 경우 후기 파괴지점(활성탄의 물리적 흡착능력이 없는 상태로 가정)에서 채취한 V_{mic} (micropore volume)의 경우 0.2m³/g이 남아있고, Micro area의 경우에는 428m²/g이 남아있어 이는 흡착에 영향에 미치지 않는 부분으로 사료된다. 또한 이러한 현상은 1회재생탄과 2회재생탄에서도 비슷한 특성을 나타내었다. 이러한 연구결과는 활성탄의 전체 비표면적 또는 전체공극 중 활성탄이 가진 고유의 흡착기능을 할 수 있는 부분은 전체 micropore volume이나 비표면적 중에서도 선택적으로 작용한다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Characteristics of activated carbon before and after reactivation

samples	surface area (m ² /g)	V_{tot} (cm ³ /g)	V_{mic} (cm ³ /g)	V_{meso} (cm ³ /g)	Micropore area (m ² /g)
F400	1373	0.75	0.32	0.43	816
Ratio of pore volume(%)		100	43	57	
F400-1	1186	0.61	0.21	0.40	612
Ratio of pore volume(%)		100	34	66	
F400-2	1057	0.59	0.20	0.39	600
Ratio of pore volume(%)		100	34	66	
breakthrough-F400	754	0.37	0.20	0.17	428
breakthrough-F400-1	761	0.42	0.21	0.21	490
breakthrough-F400-2	703	0.40	0.19	0.21	429

3.2. 분자량 변화에 따른 신탄과 재생탄의 이·취미 흡착능 평가

3.2.1. 분자량별 신탄과 재생탄에서 2-MIB 흡착능 평가(동일 분자량)

일반적으로 Freundlich 등온흡착실험에서 $1/n$ 이 2보다 클 경우 등온흡착식의 기울기가 커져 투입흡착탄량을 증가시켜도 흡착물질이 잘 제거되지 않으며, $1/n$ 이 0.1~0.5일 때 흡착능이 용이하며 이 범위 내에서는 K 값이 클수록 흡착능이 우수하며 적용할 수 있는 농도범위가 넓다고 보고되고 있다(나영신 등, 2001). Fig. 1부터 Fig. 3은 동일 농도 조건에서 분자량 변화(3000Da 이하, 3000~10000Da, 10000Da 이상)에 따른 F-400 신탄과 재생탄에서의 2-MIB의 흡착능 변화를 나타내었다. Fig. 1에서는 2-MIB의 초기 농도 212ng/L, 분자량 3,000Da 이하에서 신탄과 재생탄에서의 흡착능을 고찰하였으며, Fig. 1에 나타난 바와 같이 F-400 신탄의 경우 분자량 3,000Da 이하에서는 Freundlich 상수 K 값이 3.93, 재생 1회의 경우 1.02, 재생 2회의 경우 1.43을 나타내어 F-400 신탄에 비해 재생탄에서의 흡착능이 다소 감소되는 결과를 나타내었다. Fig. 2의 분자량 3,000~10,000Da의 경우 F-400 신탄에서는 Freundlich 상수 K 값이 5.50, 재생 1회의 경우 1.69, 재생 2회의 경우 2.00을 나타내었다. Fig. 3에서는 분자량 10,000Da 이상에서 F-400신탄의 경우 Freundlich 상수 K 값은 6.25, 재생 1회에서는 2.55, 재생 2회의 경우 2.48을 나타내어 2-MIB의 흡착능 측면에서는 F-400신탄이 약 3~4배

정도 우수한 흡착능을 나타내었다. 재생1회와 2회에서의 Freundlich 상수 K 값은 BET값의 변화에도 불구하고 거의 비슷한 흡착특성을 나타내었다. 이러한 결과는 활성탄의 물리적 특성 변화와 함께 고찰해 볼 때 신탄 F-400에 비해 재생탄의 물리적 특성 변화가 가장 주요한 원인으로 사료된다. 실질적으로 이·취미물질의 흡착은 활성탄의 미세공극이 발달 할수록 흡착능이 우수하다고 보고되고 있다. Table 4에서 나타난 바와 같이 신탄의 경우 V_{tot} 중 V_{mic} 는 약 43%를 나타내었고 재생 1, 2회의 경우 V_{mic} 의 비율은 약 34% 정도를 나타내어 재생 후 V_{mic} 의 비율이 약 9% 감소되었고 V_{meso} 의 비율이 신탄에 비해 상대적으로 높아져 재생탄에서의 이·취미물질 흡착능 감소의 주된 원인은 V_{mic} 의 감소와 큰 상관성이 있을 것으로 사

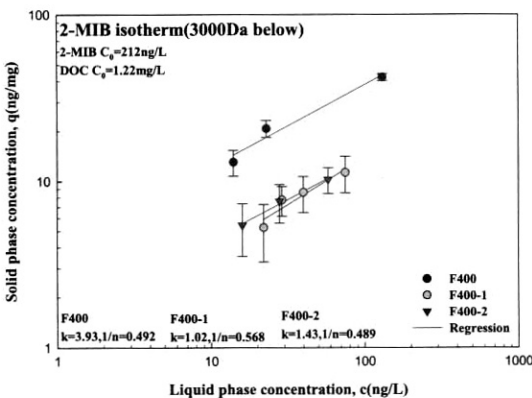


Fig. 1. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB affected by MW of 3,000Da on F-400.

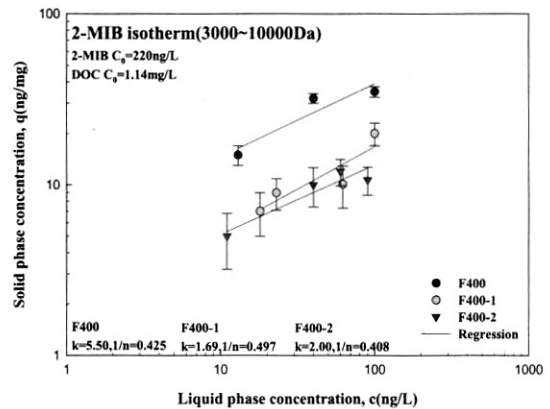


Fig. 2. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB affected by MW of 3,000 to 10,000Da on F-400.

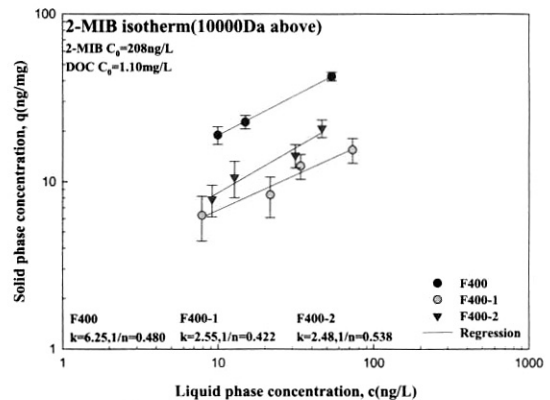


Fig. 3. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB affected by MW of 10,000Da on F-400.

료된다. 또한 기존 연구에 의하면 재생탄과 신탄에 대한 NOM(humic and fulvic acid) 흡착 거동을 고찰한 결과 재생탄과 신탄 모두 비슷한 흡착특성을 가지거나 재생 후 Macropore의 발달로 재생탄의 흡착효율이 향상 될 수 있다는 연구결과를 발표 하였지만 (Westrick *et al.*, 1998). 본 연구에서는 2-MIB와 같은 미량유기물질 제거측면에서 재생탄의 흡착능이 상당히 감소되는 결과를 나타내고 있다. 따라서 재생공정을 도입하거나 재생탄 사용시 활성탄의 물리적 특성 변화와 미량유기물질의 흡착과의 상관관계는 반드시 고려되어야 할 것으로 사료된다.

3.2.2. 신탄과 재생탄에서 분자량 변화가 2-MIB 흡착에 미치는 영향

기존 연구에 의하면 PAC를 이용한 이·취미물질의 흡착능에 영향을 미치는 인자는 수중에 존재하는 NOM이라고 보고되었고, 그 중 저분자 물질이 고분자 물질보다 이·취미 물질과의 높은 경쟁적 흡착관계로 인하여 흡착능을 감소시킨다고 보고되었다. 흡착능 감소의 주요 요인으로는 고분자 물질보다 저분자 물질이 높은 경쟁적 흡착으로 인하여 이·취미물질의 흡착능을 감소시킨다고 보고하였다(Ebie K., Li F. *et al.*, 2001). 그러나 이러한 연구는 NOM의 농도 구배에 따른 2-MIB의 흡착능 변화를 고려하지 않았기 때문에 주요경쟁반응에 대한 현상을 설명하기에는 무리가 있다고 판단된다. 즉, 실질적으로 동일한 NOM 농도 조건에서 이·취미물질과 분자량 변화에 따른 흡착능을 평가하는 것이 이·취미물질과의 경쟁

적 반응을 비교 평가 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 동일한 NOM 농도 조건하의 신탄과 재생탄에서 분자량 변화에 따른 이·취미물질의 흡착능을 비교 평가 하였다.

Fig. 4부터 Fig. 6은 신탄과 재생탄에서 분자량 변화가 2-MIB의 흡착에 미치는 영향을 평가한 것이다. Fig. 4에서 나타난 바와 같이 신탄 F-400에서는 분자량 3,000Da 이하에서 Freundlich 상수 K값은 3.93, 분자량 3,000~10,000Da 이하의 경우 5.50, 10,000Da 이상에서는 6.25를 나타내어 10,000Da 이상과 비교하여 분자량 3,000Da에서 Freundlich 상수 값이 약 37% 정도 감소되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 2-MIB의 흡착에서 분자량 10,000Da 이상이 분자량 3,000Da 이하보다 활성탄

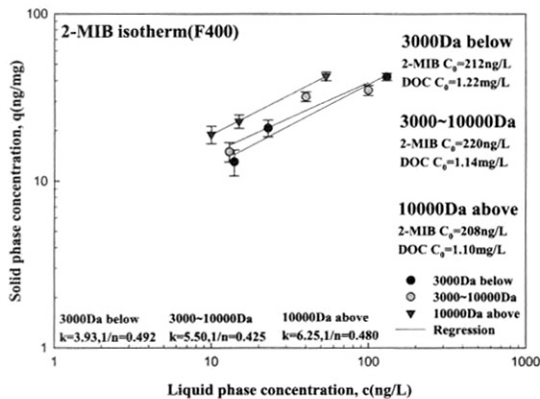


Fig. 4. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB on virgin F-400 with various MW fraction.

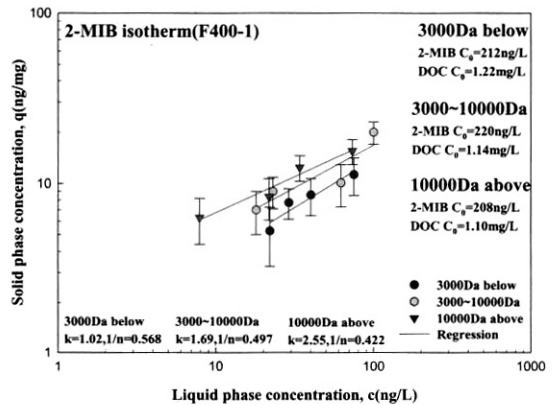


Fig. 5. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB on once reactivated F-400 with various MW fraction.

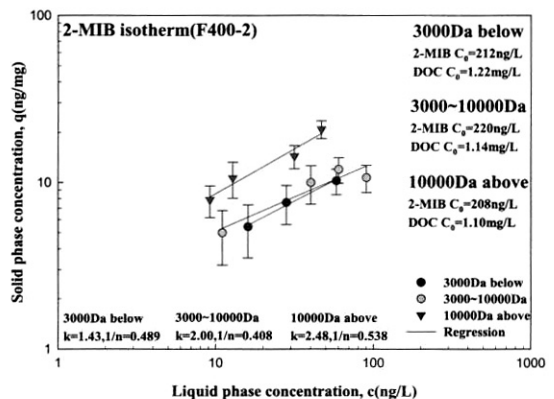


Fig. 6. Comparison of adsorption capacity for 2-MIB on twice reactivated F-400 with various MW fraction.

Table 5. Comparison of Freundlich constant K and 1/n value for 2-MIB with various MW

2-MIB	3000Da below		3000 10000Da		10000Da above	
	K	1/n	K	1/n	K	1/n
F400	3.93	0.49	5.50	0.43	6.25	0.48
F400-1	1.02	0.57	1.69	0.50	2.55	0.42
F400-2	1.43	0.49	2.00	0.41	2.48	0.54

흡착 site에 대한 약한 경쟁을 하고 상대적으로 3,000Da 이하의 분자량이 2-MIB 물질과 흡착 site에 대하여 강한 경쟁을 하여 흡착상수 K값 감소의 주요 원인으로 작용한 것으로 사료되어진다. Fig. 5와 Fig. 6에서 재생 1회와 재생 2회의 활성탄에서도 신탄 F-400보다 Freundlich 상수 K값은 약 2~3배 정도 낮게 나타났지만 전체적으로 분자량 3,000Da 이하의 모든 활성탄에서의 2-MIB의 흡착능은 감소되는 결과를 나타내었다. 이러한 연구결과는 Newcombe 등이 제시한 작은 분자량이 활성탄의 micropore volume에 가장 크게 영향을 미쳐 비슷한 분자량을 가진 2-MIB와의 경쟁적 흡착관계로 흡착효율을 감소시킨다는 연구결과와 상당히 일치하였다.

5. 결 론

신탄과 비교하여 활성탄 재생 후에는 BET는 13~23%, V_{tot} 는 18~21%로 감소하였다. 재생탄에서 V_{mic} 와 V_{meso} 의 경우 신탄과 비교하여 다른 특성을 나타내었는데 신탄의 V_{mic} 43%, V_{meso} 57%, 재생 후에는 V_{mic} 34%, V_{meso} 66%를 나타내어 재생 후 활성탄의 공극분율이 크게 달라지는 결과를 나타내었다. 과탄에서 micropore volume과 비표면적의 변화는 신탄과 재생탄에서 커다란 차이를 나타내지 않았다. 활성탄에서 2-MIB 흡착능 감소에 가장 크게 영향을 미치는 자연유기물질의 분자량은 3,000Da 이하인 것으로 나타났다. 신탄 F-400과 재생탄에서 2-MIB의 흡착능은 신탄에서 비교적 우수하게 나타났는데 이러한 결과는 재생 후 total volume의 감소와 micropore volume과, mesopore volume의 비율 변화가 재생탄에서 2-MIB 흡착능 감소에 주된 원인으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 재생공정을 도입하거나 재생탄 사용시 활성탄의 물리적 특성 변화와 2-MIB의 미량 유기물질과 자연유기물질과의 경쟁적 흡착관계가 반

드시 고려되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김성진, 홍성호, 신흥섭 (2007) 활성탄 흡착지에서 응집 조건에 따른 자연유기물질과 이·취미(Geosmin, 2-MIB) 파괴특성에 관한 연구. *상하수도학회지*, **21**(3), pp. 91-99.
2. 나영신, 류동춘, 김상구, 배은영, 송미정, 손희종, 이상준 (2001) 생물활성탄 공정에서 신탄과 재생탄의 수처리 특성. *대한환경공학회지*, **23**(6), pp. 1001-1012.
3. 홍성호, 김성진, 오현재 (2003) 강화된 응집이 활성탄 흡착에 미치는 영향. *상하수도학회지*, **17**(3), pp. 378-385.
4. Newcombe G., Morrison J., Hepplewhite C. (2002) Simultaneous adsorption of MIB and NOM onto activated carbon: I Characterisation of the system and NOM adsorption. *Carbon*, **40**, pp. 2147-2156.
5. Cook D., Newcombe G., Sztajn bok P. (2001) The application of powdered activated carbon for MIB and geosmin removal: predicting PAC doses in four raw water. *Water Res.*, **35**(5), pp. 1325-1333.
6. Semmens, M.J., Staples, A.B., Hohenstein, G. (1986) Influence of Coagulation On Removal of Organics by Granular Activated Carbon. *J. AWWA*, **78**(8), pp. 80-84.
7. White, M.C., Thompson, J.D., Harrington, G.W. and Singer, P.C. (1997) Evaluation Criteria for Enhanced Coagulation Compliance. *J. AWWA*, **89**(5), pp. 64-77.
8. Lloyd S. W., Lea J.M., Zimba P.V., Grimm C.C. (1998) Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneolin waterusing solid phase micro extraction procedures. *Water Res*, **32**, pp. 2140-2146.
9. McGuire, M.J. and Suffet, I.H. (1984) Aqueous chlorine

- activated carbon interactions. *Jour. envir. enrg.*, **110**(3), pp. 629-642.
10. Newcombe G., Drikas M. (1996) MIB removal: adsorption capacity and kinetics of eight activated carbons. In: proceeding of the Australian Water and Wastewater Association Water TECH Conference, Sydney, pp. 615-620.
 11. Najm I. (1996) Advances in the Mathematical modeling of PAC adsorption processes. *J. AWWA.*, **88**(10), pp. 79-89.
 12. Lalezary, S., Pirbazari, M., Dale, M.S., Tanaka, T.S. and McGuire, M.J.(1998) Optimizing the Removal of Geosmin and 2-MIB by Powered Activated Carbon, *AWWA*, **80**(3), pp. 76-82.
 13. Tsair-Fuh Lin, Chia-Ling Liu, Feng-Chen Yang and Hsu-wen Hung (2003) Effect of residual chlorine on the analysis of geosmin, 2-MIB and MTBE in drinking water using the SPME technique. *Water Research*, **37**, pp. 21-26.
 14. US EPA (1996) ICR Manual for Bench -and Pilot -Scale Treatment Studies, EPA814-B-96-003.
 15. Ebie K., Li F., Azuma Y., Yuasa A., Hagashita T. (2001) Pore distribution effect of activated carbon in adsorbing organic micropollutants from natural water. *Water Res.*, **39**(1), pp. 25-37.