

경제성을 고려한 새로운 PAC 선정방법의 적용

김영일[†] · 배병욱*

한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소 · *대전대학교 환경생명공학과

(2006년 5월 29일 접수, 2006년 10월 23일 채택)

Application of Newly PAC Selection Method Based on Economic Efficiency

Young Il Kim[†] · Byung Uk Bae*

Water & Wastewater Research Center, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

*Department of Environmental and Life Engineering, Daejeon University

ABSTRACT : In order to applicate a newly method for powdered activated carbon(PAC) selection based on economic efficiency, PAC adsorption tests were performed for removal of MIB and dissolved organic carbon(DOC) in drinking water supplies. The removal rate of MIB increased when the PAC dose increased. The Coal-based PACs were superior for adsorption of MIB compared to wood-based PACs. PAC adsorption of DOC and UV₂₅₄ were a little different for different PACs and types of raw water, but both were lower than adsorption of MIB. Among the tested PACs, the one called P-1000 was most effective for removal of MIB, DOC and UV₂₅₄. Most of the organics in the tested samples were proven by excitation emission matrix(EEM) results to be fulvic-like materials. Especially, fulvic-like materials, humic-like materials, and soluble microbial byproduct(SMP)-like materials decreased after contact with PAC. P-1000 which had the lowest MIB cost index(MCI) was selected as the optimum PAC for the target water. PAC efficiency and treatability, particle size and distribution, and the cost associated with PAC dosing for MIB removal according to DOC concentration should all be considered before making the final selection of the best PAC for the target water.

Key Words : ¹⁴C-radiolabeled MIB, Dissolved Organic Carbon(DOC), Excitation Emission Matrix(EEM), MIB Cost Index(MCI), Powdered Activated Carbon(PAC), UV₂₅₄

요약 : 경제성을 고려한 새로운 PAC 선정방법을 적용하고자 상수원수 내 MIB와 유기물 제거를 위한 PAC 흡착실험을 수행하였다. PAC 투입량이 증가함에 따라 MIB 제거율은 증가하는 경향을 보였으며, 석탄계 PAC가 목탄계 PAC에 비해 MIB 제거율이 우수한 것으로 나타났다. DOC 및 UV₂₅₄의 제거율은 PAC와 원수 종류에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나, MIB 제거율에 비해 떨어지는 결과를 보였다. MIB, DOC, 그리고 UV₂₅₄ 제거율은 실험에 사용한 PAC들 중에서 P-1000 PAC가 가장 좋았다. EEM 결과에 의하면 모든 시료에 존재하는 대부분의 유기물은 Fulvic산과 유사한 물질인 것으로 판명되었다. 특히, PAC 접촉 이후 대상 시료에 존재하는 유기물 중에서 Fulvic산과 유사한 유기물, Humic과 유사한 유기물, 그리고 SMP와 유사한 유기물 등이 줄어드는 경향을 보였다. 경제성을 고려한 PAC 선정방법에 의해 MCI 값이 가장 낮은 P-1000이 가장 적합한 PAC로 선정되었다. 최종적으로 선정하기에 앞서 PAC의 효율성 및 취급용이성, PAC의 입자크기 및 분포, 그리고 DOC 농도에 따른 PAC 투입비용 등도 고려해야 할 것으로 판단된다.

주제어 : ¹⁴C-radiolabeled MIB, 용존유기탄소, EEM(Excitation Emission Matrix), MCI(MIB Cost Index), 분말활성탄, UV₂₅₄

1. 서론

분말활성탄(powdered activated carbon, PAC)은 상수원수 내에 존재하는 이취미 유발물질, 유기합성 화합물(synthetic organic chemical, SOC), 살충제, 제초제, 색도유발물질 그리고 소독부산물(disinfection by-product, DBP)과 소독부산물 전구 물질(precursor)인 자연유기물질(natural organic matter, NOM) 등을 제거하는데 사용된다.¹⁾ 특히, 이취미 제어를 위해 국내 대부분의 정수장에서는 PAC를 가장 일반적으로 사용하고 있

다.²⁾ PAC의 흡착능은 PAC 자체의 물리화학적 특성(원료, 입자크기 분포 및 공극크기, 요오드수 등) 뿐만 아니라 원수의 물리화학적 특성, 정수장의 운전조건, 그리고 배정물질로 작용하는 자연유기물 등에 의해 영향을 받게 된다.^{3~9)} 따라서 대상정수장에 적합한 PAC는 실제 사용하고자 하는 원수를 대상으로 흡착실험을 수행한 후 결정해야 하나, 대부분의 정수장에서는 매년 고가의 PAC를 사용함에도 불구하고 대상 원수에 적합한 PAC를 선정하기 위한 흡착실험조차 시행하지 않을 뿐만 아니라 선정방법 또한 전무한 실정이다. 이와 같은 실정임에도 불구하고 대부분의 정수장에서는 별다른 대안 없이 제조사에 의해 제공되는 일반적인 정보만을 가지고 경제적으로 이득(가격이 싸다)이 되는 제품을 사용하고 있으며, 이로 인해 실제 효율은 기대하기 어려운 것이 현실이다. 즉, 기

[†] Corresponding author
E-mail: yikimenv@empal.com
Tel: 042-860-0556

Fax: 042-860-0399

존 정수장에서 가격이 비싼 대신 효과가 검증된 외산 활성탄보다 중국이나 국산 활성탄을 많이 사용하는 것은 활성탄의 효율보다는 경제적인 면이 크게 작용하였기 때문이다.¹⁰⁾ 결론적으로 효율을 고려하다보면 경제성이 떨어지고, 경제성을 고려하다보면 효율이 떨어지는 문제가 발생하게 되는 것이다. 이와같은 배경을 바탕으로 본 연구에서는 정수장 운전자가 경제성을 고려하여 대상원수에 가장 적합한 PAC를 선정할 수 있도록 새로운 방법을 제안하였으며, 여러 종류의 상수원수를 대상으로 새롭게 제안된 PAC 선정방법을 평가하였다.

2. 실험방법 및 재료

2.1. 실험대상 상수원수

실험대상 상수원수는 총 3종류로 CAP(Central Arizona Project), SR(Salt River), 그리고 VR(Verde River)이었으며, Table 1에 실험에 사용된 원수의 특성을 나타내었다. 원수의 pH, 수온, 그리고 전기전도도는 현장에서 측정하였으며, DOC, UV₂₅₄, 알칼리도, 그리고 경도 등은 실험실에서 측정하였다. 대상원수는 채취 즉시 고품질에 의한 영향을 최소화하기 위하여 GF/F(0.7 µm, Whatman) 여지를 이용하여 여과하였으며, 여과된 원수에 ¹⁴C-radiolabeled MIB(methyl-¹⁴C, American Radiolabeled Chemicals Inc., USA)를 spike하여 초기 농도가 약 100 ng/L 범위가 되도록 제조한 다음 실험에 사용하였다.

2.2. PAC 종류 및 특성

실험에 사용된 PAC는 총 6종류이었으며(Table 2 참조) 제조회사에 의한 영향을 배제하기 위하여 blind test를 수행하였다. 실험에 사용된 PAC는 먼저 105°C 오븐에서 2시간 동안 건조시킨 다음 초순수를 넣어 slurry 형태(1,000 mg/L)로 실험에 사용하였다.

2.3. PAC 흡착실험

실험결과의 신뢰도를 확보하기 위하여 모든 흡착실험을 동일한 방식으로 두 번씩 실시하였다. 실험을 위해 미리 여과된 상수원수에 MIB를 spike하여 인공원수 2 L를 만든 다음, 여러 개의 40 mL 갈색 바이알에 인공원수를 나누어 담았다. 바이알에 PAC를 각각 10 및 25 mg/L 넣은 다음, PAC가 정수장에서 제거되기까지 걸리는 일반적인 체류시간(약 5시간)동안 교반기(Multi-wrist shaker, Lab-Line, USA)에서 100 rpm의 교반속도로 반응시켰다. 반응이 끝난 이후 PAC에 의한 실험상의 오차를 최소화하기 위하여 시료채취 즉시 0.2

Table 1. Characteristics of raw waters

Raw water	pH	Temp (°C)	DOC (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	SUVA (L/mg-m)	Alkalinity (mg/L)	Hardness (mg/L)	Conductivity (ms/m)
CAP	8.3	12.6	2.77	0.033	1.2	130	325	1,033
VR	8.6	13.8	2.31	0.057	2.5	145	210	525
SR	8.8	13.5	5.03	0.111	2.2	115	250	1,431

Table 2. Characteristics of PAC used in this study

Specification* \ PAC	Aqua Nuchar	Nuchar MWC	P-1000	LQ-325	HDO	WF600
Manufacturer	Mead westvaco	Mead westvaco	Carbo-chem	Carbo-chem	NORIT	Winfield
Source material	Wood	Wood	Coal	Coal	Lignite	Bituminous
Activation	Chemical	Chemical	Steam	Steam	Steam	Steam
Moisture(%)	8	8	8	8	8	8
Iodine number(mg/g)	900	900	1000	800	500	600
Tannin value(mg/L)	175 ~ 250	175 ~ 250	-	-	200	200
Density(g/cc)	0.32~0.40	0.34~0.37	0.50	0.50	0.51	0.40~0.47
Percent passing through #100 mesh (Standard : 99%)	99	95	99	99	99	99
Percent passing through #200 mesh (Standard : 95%)	95	85	95	95	95	95
Percent passing through #325 mesh (Standard : 90%)	90	65	90	90	90	90
Cost(\$/lb)	0.580	0.440	0.425	0.385	0.385	0.333

* All specifications were obtained the reports from the company.

µm nylon membrane 여지(Acrodisc 25 mm syringe filter, Pall Corporation, USA)로 여과한 다음 MIB, DOC, 그리고 UV₂₅₄를 측정하였다.

2.4. 분석방법

MIB 농도를 구하기 위하여 시료 내 방사능(radioactivity) 수치를 액체섬광계수기(Scintillation Counter, GMI, Beckman LS6500, USA)를 이용하여 측정하였다. 섬광측정을 위해 먼저 섬광용액(ScintiSafe Plus, Fisher Scientific, USA) 17.5 mL와 시료 2.5 mL를 표준측정용기에 넣고 혼합한 다음 10분 동안 섬광을 계수하였다. 최종적으로 MIB 농도는 미리 작성된 방사능 수치와 MIB 농도와의 검량선을 이용하여 산정하였다.

시료 내 존재하는 유기물의 PAC 흡착 전후 특성변화를 간접적으로 알아보기 위하여 형광광도계(LS 50B luminescence spectrometer, Perkin Elmer)를 이용하여 EEM(excitation emission matrix)을 측정하였다. EEM 측정을 위해 형광광도계의 여기(excitation)와 발산(emission) 슬릿의 간격을 10 nm, 주사(scan) 속도를 1,000 nm/min으로 고정하였으며, 여기 파장을 200~400 nm, 발산 파장을 280~550 nm까지 각각 증가시키면서 강도(intensity) 값을 구하였다. 실험에 의해 구해진 값들을 바탕으로 Chen 등이 개발한 방법을 이용하여 EEM을 분석하였다.¹¹⁾ Fig. 1은 EEM 분석결과의 예를 나타낸 것으로, 그림에 보는 바와 같이 여기 파장과 발산 파장에 따라 총 4개의 지역으로 나눌 수 있다. 일반적으로 짧은 excitation 파장(<250 nm)과 짧은 emission 파장(<350 nm)사이의 등고선(contour) 피크(peak)가 존재하면 대상 피크가 tyrosin과 같은 방향성 단백질(aromatic protein)과 연관이 있으며(Region A), 중간 excitation 파장(250~280 nm)과 짧은 emission 파

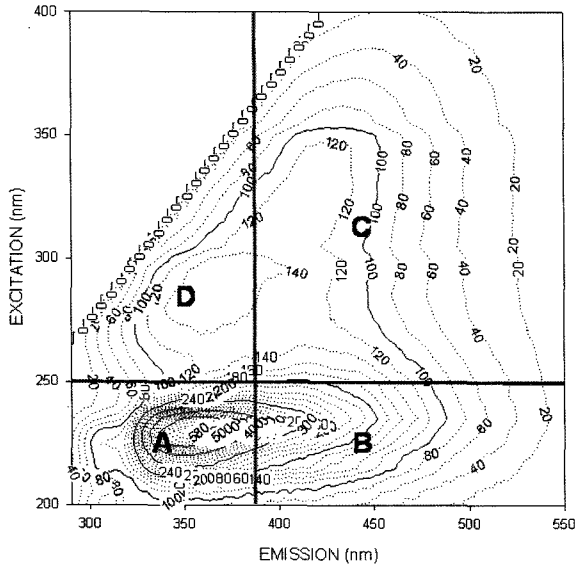


Fig. 1. Example of typical EEMs result with region division.

장(<380 nm) 사이에 피크는 SMP(soluble microbial product)와 유사한 물질들이다(Region D). 긴 excitation 파장(>280 nm)과 긴 emission 파장(>380 nm) 사이에 존재하는 피크는 Humic 산과 유사한 물질들이며(Region C), 짧은 excitation 파장(<250 nm)과 긴 emission 파장(>380 nm) 사이의 피크는 Fuvic 산과 유사한 물질들이다(Region B).

한편, pH는 pH meter(YSI-60, YSI), DOC는 TOC 분석기(TOC-5050A, Shimadzu), UV₂₅₄는 UV/VIS 흡광광도계(Multi-Spec-1501, Shimadzu), 전기전도도(conductivity)는 전기전도도계(YSI-30, YSI), 알칼리도(AL-DT, Hach)와 경도(HA-DT, Hach)는 Digital Titrator를 이용하여 측정하였다. 한편, SUVA(specific UV absorbance)는 계산식(UV₂₅₄/DOC×100)을 이용하여 산정하였다.

3. 실험결과

3.1. PAC 흡착실험을 통한 상수원수 내 MIB 제거

Fig. 2는 세 종류의 상수원수에 PAC를 각각 10 및 25 mg/L 투입하였을 때 원수 및 PAC 종류에 따른 MIB의 잔존율(C/C₀)을 나타낸 결과이다. MIB 잔존율은 PAC를 10 및 25 mg/L를 투입하였을 때 각각 0.44~0.92, 0.18~0.72의 범위를 보였는데, MIB 잔존율의 범위는 원수의 특성과 PAC 종류에 따라 상당히 큰 것으로 나타났다. PAC 투입량이 증가함에 따라 MIB 제거율이 증가하는 경향을 보였으며,¹²⁾ 이전의 연구결과에서와 같이 석탄계(coal-based) PAC가 목탄계(wood-based) PAC에 비해 MIB 제거율이 우수한 것으로 나타났다.¹³⁾ Najm 등은 탁도, 색도, DOC 그리고 AOC(assimilable organic carbon) 제거에 있어 역청탄(bituminous-based) GAC과 갈탄(lignite-based) GAC의 성능이 유사하다고 보고한 바 있다.¹⁴⁾ 한편, DOC 농도가 가장 낮은 VR에서 PAC의 MIB 제거율이 가장 좋았으며, CAP와 SR이 그 다음 순이었다. 이는 원수 내 배경물질로 존재하는 DOC와 MIB의

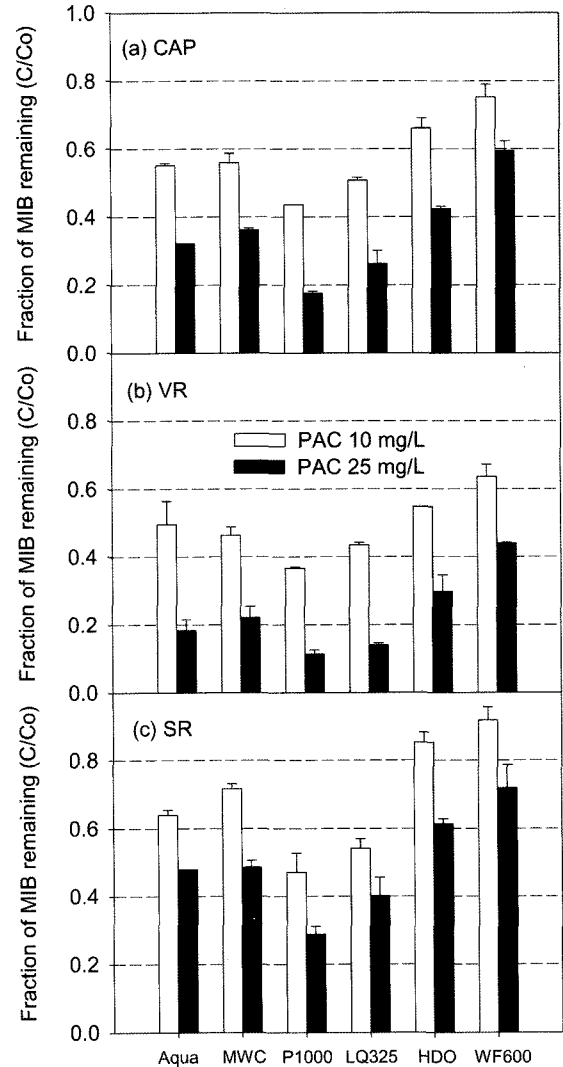


Fig. 2. Fraction remaining of MIB according to PAC dosage and brand in three different waters.

경쟁효과(competitive effect)로 인해 PAC의 흡착효율이 떨어졌기 때문이다.¹⁵⁾ 원수 종류에 관계없이 P-1000 PAC의 MIB 제거율이 가장 높았으며, LQ325와 AquaNuchar가 다음으로 좋은 효율을 보였다.

3.2. PAC 흡착실험을 이용한 상수원수 내 NOM 제거

Fig. 3은 세 종류의 상수원수에 PAC 25 mg/L를 투입한 경우 원수 및 PAC 종류에 따른 DOC 및 UV₂₅₄의 잔존율(C/C₀)을 나타낸 결과이다. DOC 및 UV₂₅₄의 잔존율은 각각 0.77~0.93, 0.55~0.75의 범위이었으며, UV₂₅₄ 제거율이 DOC 제거율에 비해 더 높게 나타났다. 전체적으로 DOC 및 UV₂₅₄의 제거율은 PAC와 원수 종류에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나, MIB 제거율에 비해 떨어지는 결과를 보였다. 이는 원수 내 MIB의 농도(수 ng/L)가 DOC 농도(수 mg/L)에 비해 약 10⁻³~10⁻⁴ 정도 작은 농도로 존재할 뿐만 아니라 분자량 또한 상대적으로 DOC에 비해 작기 때문에 제거율이 더 높아진 것으로 판단된다.¹⁵⁾

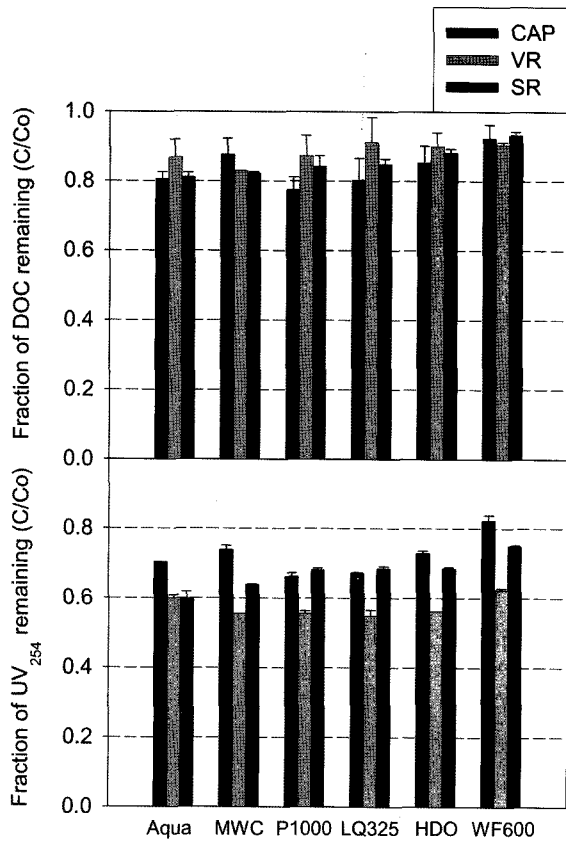


Fig. 3. Fraction remaining of DOC and UV₂₅₄ according to PAC dosage and brand in three different waters.

한편, 원수 중에 총경도 농도가 높을수록(Table 1 참조) DOC 제거효율이 증가하였는데, 이는 일반적인 지표수 농도의 Ca²⁺

와 Mg²⁺가 용액 내에 존재할 때, 대표적인 NOM물질인 humic산의 흡착이 급격하게 늘어난 이전의 연구와 동일한 결과이다.^{16,17)} 한편, UV₂₅₄ 제거율은 SUVA 값이 가장 큰 원수인 VR에서 가장 우수한 것으로 나타났는데, SUVA 값이 크다는 것은 시료 내에 대체적으로 분자량이 큰 소수성(hydrophobic) 물질들이 더 많이 존재한다는 것이며, 이러한 물질들이 상대적으로 PAC에 쉽게 흡착되어 UV₂₅₄ 값의 감소를 야기한 것으로 판단된다. DOC와 UV₂₅₄ 제거율도 MIB 제거율에서와 마찬가지로 P-1000이 가장 좋은 효율을 보였다. 그러나 원수 종류에 따른 DOC와 UV₂₅₄ 제거율은 PAC 종류에 관계없이 서로 상반된 결과를 보였다. DOC 제거율은 CAP에서 가장 좋은 효율을 보인 반면, UV₂₅₄ 제거율은 DOC 제거율에서 가장 낮은 효율을 보인 VR이 가장 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 유기물을 측정하는 두 개의 인자(DOC, UV₂₅₄)가 서로 의미하는 유기물 특성이 틀리기 때문이며,¹⁸⁾ 이를 극복하기 위해서는 두 개의 인자를 모두 사용하여 유기물의 특성을 정확히 분석해야 할 것으로 판단된다.

3.3. EEM 분석

시료의 유기물 특성을 평가하기 위하여 실험에 사용한 PAC중에서 대표적으로 AquaNuchar PAC 25 mg/L를 투입한 경우의 EEM 분석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 모든 시료의 형광강도 값을 공정하게 비교하기 위하여 형광강도 값을 시료의 DOC 농도로 나누어 정규화(normalization) 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 시료의 주요 등고선 피크는 여기 230 nm, 발산 415 nm(Region B, Fig. 1참조)에 존재하여 대부분의 유기물이 Fulvic산과 유사한 유기물인 것으로 판명되었다.¹⁹⁾ 그림에 의한 등고선만으로는 시료들간의 정량적

Table 3. Quantification of EEM fluorescence in the water samples

Sample	Fluorescence intensity at four regions†				Fluorescence intensity of dominant peak‡	DOC (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	SUVA (m ⁻¹ (mg/L) ⁻¹)
	A	B	C	D				
CAP	35.6 (15.0%)*	60.0 (39.0%)	20.0 (7.5%)	16.9 (38.5%)	71.5	2.77	0.033	1.2
VR	82.6 (12.0%)	155.0 (38.7%)	59.7 (6.8%)	34.8 (42.5%)	170.7	2.31	0.057	2.5
SR	42.4 (10.0%)	101.7 (39.0%)	43.2 (6.5%)	22.2 (44.5%)	116.6	5.03	0.111	2.2
CAP treated with PAC 25 mg/L	23.0 (20.7%)	27.3 (43.4%)	4.9 (6.7%)	4.4 (29.2%)	52.0	2.18	0.024	1.1
VR treated with PAC 25 mg/L	107.1 (16.4%)	152.6 (42.6%)	38.8 (6.4%)	25.9 (34.6%)	125.0	2.00	0.034	1.7
SR treated with PAC 25 mg/L	12.6 (14.6%)	19.1 (40.4%)	6.3 (7.0%)	4.4 (38.0%)	88.5	4.15	0.066	1.6

† Region A represents Protein-like DOC : λ_{excitation} = 210 nm; λ_{emission} = 345 nm

Region B represents Fulvic acid-like DOC : λ_{excitation} = 210 nm; λ_{emission} = 440 nm

Region C represents Humic acid-like DOC : λ_{excitation} = 320 nm; λ_{emission} = 440 nm

Region D represents SMP-like DOC : λ_{excitation} = 280 nm; λ_{emission} = 350 nm

‡ Fluorescence intensity of dominant peak at 230nm excitation, 415 emission in the sample.

* Percentage distribution of volumetric fluorescence among the four regions.¹¹⁾

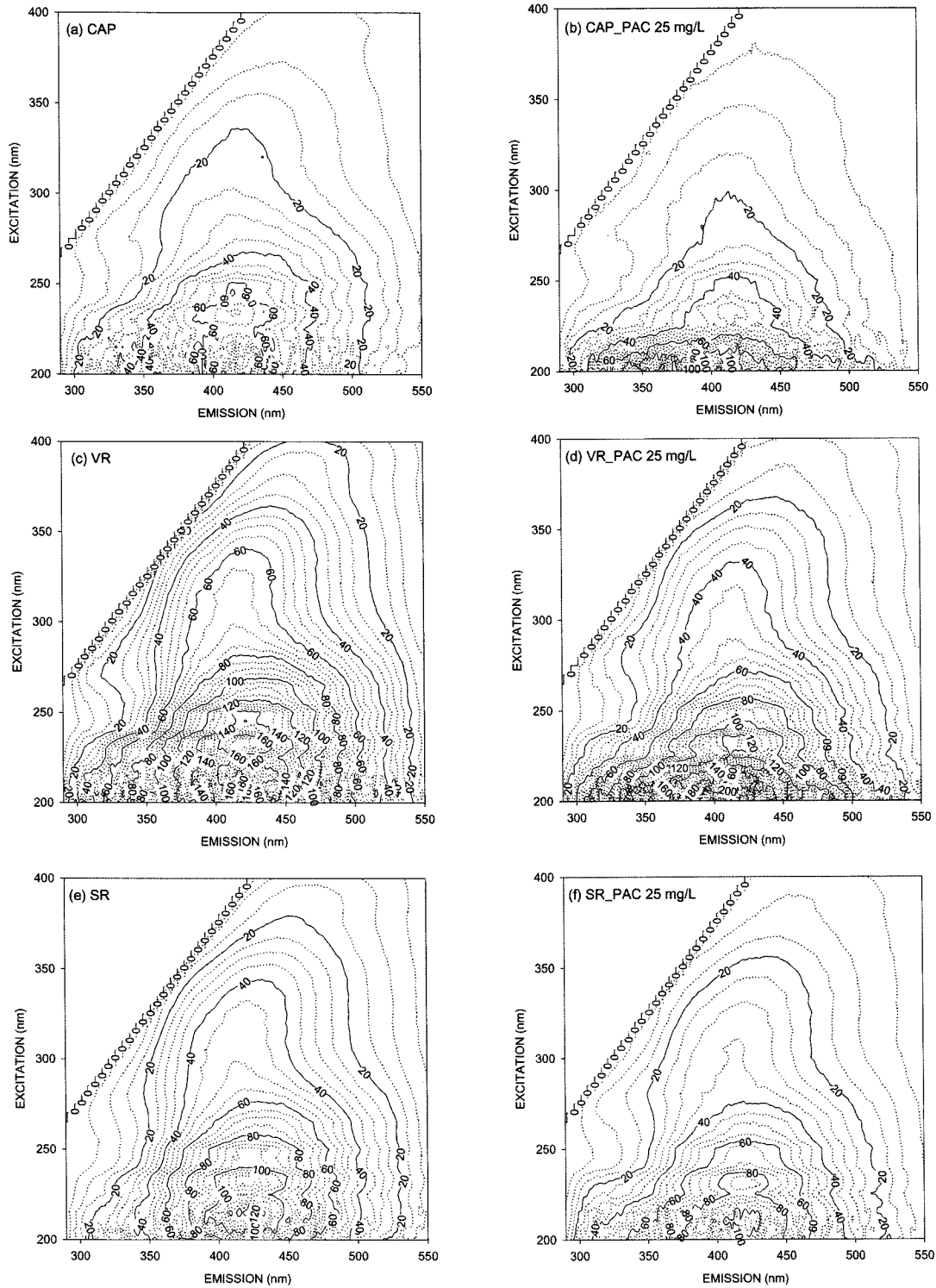


Fig. 4. EEMs for water samples before and after PAC treatment in three different waters. Normalized to 1 mg C/L.

인 비교가 어려워 Table 3에 EEM 분석결과를 요약 정리하였다. 주요 등고선 피크(Fulvic산과 유사한 유기물)에서 형광강도 값은 SUVA 값의 변화와 유사하게 CAP가 가장 작고 VR이 가장 크게 나타났는데, 형광강도 값이 크다는 것은 대상 원수 내에 Fulvic산과 유사한 유기물이 많이 포함되어 있다는 의미이다. 특히, PAC와 접촉한 이후 대상 시료에 존재

하는 유기물은 PAC에 의해 쉽게 제거될 수 있는 Fulvic산과 유사한 유기물(Region B), Humic과 유사한 유기물(Region C), 그리고 SMP와 유사한 유기물(tyrosin 또는 aromatic protein, Region D) 등이 줄어드는 경향을 보였는데, 이러한 경향은 CAP와 SR에서 현저하게 나타난 반면, VR에서는 상대적으로 적게 나타났다.

3.4. PAC 선정방법의 적용

대상원수에 적합한 PAC를 선정하기 위해서는 대상물질에 대한 처리효율 뿐만 아니라 PAC의 비용도 중요한 인자이다.²⁰⁾ 따라서 효율성과 경제성을 고려하여 대상원수에 적합한 PAC를 선정하기 위해 MCI(MIB cost index)를 새롭게 개발하여 적용하였다. MCI는 식 (1)과 같이 계산되며, MCI를 계산하기 위해서는 PAC 흡착실험에서 구해진 MIB 잔존율과 PAC 단가가 필요하게 된다. 즉, 경제성을 고려하여 대상원수에 가장 적합한 PAC는 가장 낮은 MCI 값을 갖는 PAC인 것이다.

$$MCI = [MIB \text{ 잔존율}] \times [PAC \text{ 단가}] \quad (1)$$

Fig. 5는 식 (1)을 이용하여 6종류 PAC를 평가한 결과이다. PAC 흡착실험결과에서와 마찬가지로 가장 낮은 MCI 값을 보인 P-1000 PAC가 모든 원수에 가장 적합한 PAC라

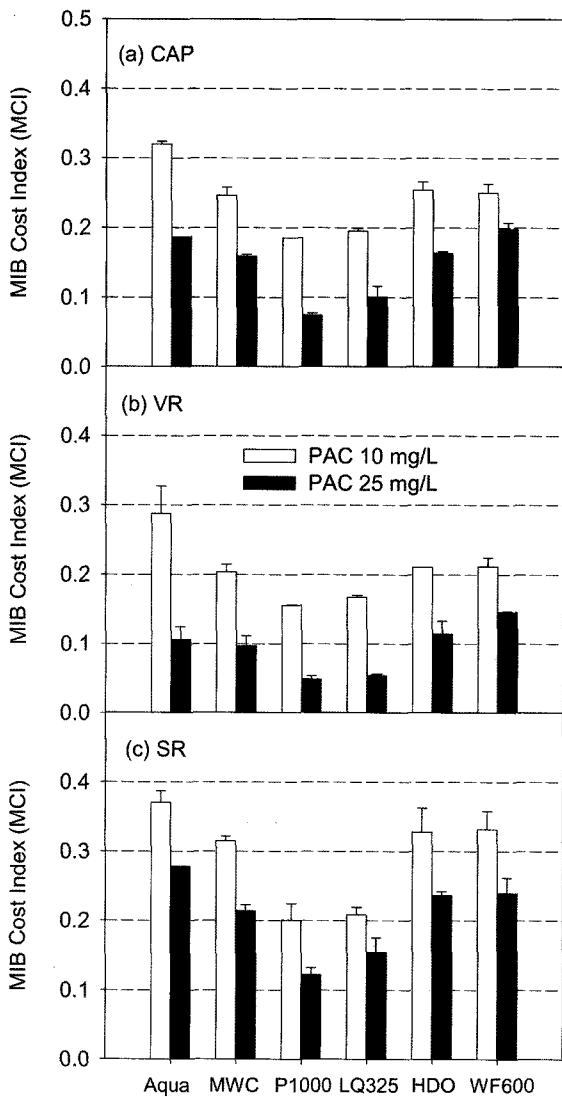


Fig. 5. MIB cost index(MCI) according to PAC dosage and brand.

할 수 있다. MCI 결과에 의해 최종 PAC를 선정하기에 앞서 PAC의 효율성 및 취급 용이성, 그리고 PAC의 입자크기 및 분포 등도 고려해야 하며, 원수 내 존재하는 DOC 농도와 PAC 투입에 따른 비용과는 직접적인 연관성은 없으나, 원수의 DOC 농도가 증가하면 MIB 제거를 위한 PAC 투입비용 또한 증가하기 때문에 이러한 점도 고려해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

1) 실험대상 상수원수 중에서 DOC 농도가 가장 낮은 VR이 MIB와의 경쟁효과가 적어 PAC에 의한 MIB 제거율이 가장 좋았다. PAC 투입량이 증가함에 따라 MIB 제거율은 증가하는 경향을 보였으며, 석탄계 PAC가 목탄계 PAC에 비해 MIB 제거율이 우수한 것으로 나타났다. 원수 종류에 관계없이 MIB의 제거율은 P-1000이 가장 높은 제거율을 보였다.

2) DOC 및 UV₂₅₄의 제거율은 PAC와 원수 종류에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나, MIB 제거율에 비해서는 다소 떨어지는 결과를 보였다. DOC와 UV₂₅₄ 제거율은 MIB 제거율에서와 마찬가지로 P-1000이 가장 좋은 제거율을 보였다. 특히, UV₂₅₄ 제거율은 SUVA 값이 가장 큰 원수인 VR에서 우수한 것으로 나타났으며, SUVA 값이 크다는 것은 시료 내에 대체적으로 분자량이 큰 소수성 물질들이 더 많이 존재한다는 것으로 이러한 물질들이 상대적으로 PAC에 쉽게 흡착되어 UV₂₅₄ 값의 감소를 야기한 것으로 판단된다.

3) EEM을 통하여 유기물 특성을 정량적으로 분석한 결과, 모든 시료에 존재하는 대부분의 유기물은 Fulvic산과 유사한 물질인 것으로 판명되었다. 주요 등고선 피크에서 형광광도 값은 SUVA 값의 변화와 유사하게 CAP가 가장 작고 VR이 가장 크게 나타났다. 특히, PAC 투입 이후 대상 시료에 존재하는 유기물 중에서 PAC에 의해 쉽게 제거될 수 있는 Fulvic산과 유사한 유기물, Humic과 유사한 유기물, 그리고 SMP와 유사한 유기물 등이 줄어드는 경향을 보였다.

4) PAC 흡착실험을 바탕으로 경제성을 고려한 PAC 선정 방법을 세 종류의 원수에 적용한 결과, PAC 투입량에 관계없이 가장 낮은 MCI 값을 보인 P-1000 PAC가 가장 적합한 PAC로 선정되었다. 최종적으로 선정하기에 앞서 PAC의 효율성 및 취급용이성, PAC의 입자크기 및 분포, 그리고 DOC 농도에 따른 PAC 투입비용 등도 고려해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Najm, I. N., Snoeyink, V. L., and Galvin, T. L., Powdered activated carbon for the control of organic compounds, American Water Works Association Research Foundation(1991).
2. Suffet, I. H., Mallevalle, J., and Kawczynski, E., Advances in taste and odor treatment and control, Ame-

- rican Water Works Association Research Foundation(1995).
3. Matsui, Y., Fukuda, Y., Inoue, T., and Matsushita T., "Effect of natural organic matter on powdered activated carbon adsorption of trace contaminants: characteristics and mechanism of competitive adsorption," *Water Res.*, **37**(18), 4413~4424(2003).
 4. Li, Q., Snoeyink, V. L., Mariñas, B. J., and Campos, C., "Pore blockage effect of NOM on atrazine adsorption kinetics of PAC: The roles of PAC pore size distribution and NOM molecular weight," *Water Res.*, **37**(20), 4863~4872(2003).
 5. Najm, I. N., Snoeyink, V. L., Suidan, M. T., Lee, C. H., and Richard, Y., "Effect of particle size and background natural organics on the adsorption efficiency of PAC," *AWWA*, **82**(1), 65~72(1990).
 6. Newcombe, G., Morrison, J. Hepplewhite, C., and Knappe, D., "Simultaneous adsorption of MIB and NOM onto activated carbon: II. Competitive effects," *Carbon*, **40**(12), 2147~2156(2002).
 7. Newcombe, G., Drikas, M., and Hayes, R., "Influence of characterised natural organic material on activated carbon adsorption: II. Effect on pore volume distribution and adsorption of 2-methylisoborneol," *Water Res.*, **31**(5), 1065~1073(1997).
 8. Pelekani, C., Snoeyink, V. L., "Competitive adsorption in natural water: Role of activated carbon pore size," *Water Res.*, **35**(5), 1209~2019(1999).
 9. Knappe, D., Matsui, Y., Snoeyink, V. L., Roche, P., Prados, M., and Bourbigot, M., "Predicting the capacity of powdered activated carbon for trace organic compounds in natural waters," *Environ. Sci. Technol.*, **32**(11), 1694~1698(1998).
 10. 수자원 환경, "수자원 특집 ; 수처리의 최후 보루 활성탄관리 허슬하다," **166**, pp. 40~46(2002).
 11. Chen, W., Westerhoff, P., Leenheer, J., and Booksh, K., "Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter," *Environ. Sci. Technol.*, **37**(24), 5701~5710(2003).
 12. Liang, C., Wang, D., Yang, M., Sun, W., and Zhang, S., "Removal of earthy-musty odorants in drinking water by powdered activated carbon," *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, **40**(4), 767~778(2005).
 13. Ng, C., Losso, J. N., Marshall, W. E., and Rao, R. M., "Physical and chemical properties of selected agricultural byproduct-based activated carbons and their ability to adsorb geosmin," *Bioresource Technology*, **84**(2), 177~185(2002).
 14. Najm, I., Kennedy, M., and Naylor, W., "Lignite versus bituminous GAC for biofiltration - a case study," *AWWA*, **97**(1), 94~101(2005).
 15. Quinlivan, P. A., Li, L., and Knappe, D.R.U., "Effects of activated carbon characteristics on the simultaneous adsorption of aqueous organic micropollutants and natural organic matter," *Water Res.*, **39**(8), 1663~1673(2005).
 16. Randtke, S. and Jepsen, C. P., "Effects of salts on activated carbon adsorption of fulvic acids," *AWWA*, **74**(2), 84~93(1982).
 17. Duan, J., Wilson, F., Graham, N., and Tay, J. H., "Adsorption of humic acid by powdered activated carbon in saline water conditions," *Desalination*, **151**(1), 53~66(2002).
 18. Leenheer, J. A. and Croue, J.-P., "Characterizing aquatic dissolved organic matter," *Environ. Sci. Technol.*, **37**(1), 19A~26A(2003).
 19. Mobed, J. J., Hemmingsen, S. L., Autry, J. L., and McGown, L. B., "Fluorescence characterization of IHSS humic substances: Total luminescence spectra with absorbance correction," *Environ. Sci. Technol.*, **30**(10), 3061~3065(1996).
 20. Newcombe, G. and Cook, D. J., "The application of activated carbon for the removal of tastes and odours: Is your cheap PAC costing you too much?," *Opflow*, **28**(3), 1~5(2002).