



재생 활성탄의 물성 및 흡착능 평가

Evaluation of Physical Properties and Adsorption Capacity of Regeneration GAC

문지영¹ · 채선희^{2*} · 왕창근³

Ji-Young Mun¹ · Seon-Ha Chae^{2*} · Chang-Keun Wang³

1 한국수자원공사 수도관리처, 2 한국수자원공사 K-water연구원, 3 충남대학교 환경공학과

(2009년6월5일 접수 ; 2009년8월3일 수정 ; 2009년8월5일 채택)

Abstract

The objective of this study was to evaluate the variation of physical properties and adsorption capacity after regeneration of Granular Activated Carbon (GAC). It was found that the loss rate of regenerated carbon was related to the usage time of GAC. The correlations between iodide number and loss rate also determined. Effective size and uniformity coefficient for regenerated GAC were within a similar range compared to virgin GAC. This result indicated that the function as media is recovered. Although iodide number and specific surface area for regenerated GAC were not completely recovered compared to that of virgin GAC, cumulative pore volumes of regenerated GAC were increased. Removal efficiency of organic matter in regenerated GAC was resulted the same or slightly higher than that of virgin GAC. This result indicates that the number of mesopore responsible for removal of organic matter was increased after regeneration.

Key words : Granular activated carbon (GAC), Regeneration, Adsorption

주제어 : 입상활성탄, 재생, 흡착

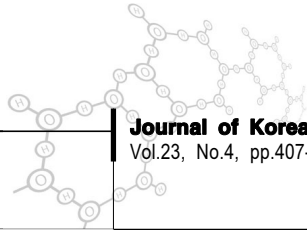
1. 서론

정수처리에서 입상활성탄(Granular Activated Carbon: GAC) 공정은 유기 미량오염물질을 제거하기 위해 광범위하게 사용되어지고 있다. GAC는 맛·냄새를 제거하기 위해 일반적으로 사용되고 있지만, 유기 미량오염물질의 제거를 위해 현재는 범용적으로 사용되고 있으며, 이러한 목적을 위해 GAC는 최적처리기술(Best Available Technology; BET)로서 인정되고 있다. 따라서 GAC의 이용은 점차적으로 엄격해지는 수질기준을 만족하고, 수돗물에서 모든 유기물질이

제거되기를 바라는 수용가들의 부응에 따라 더욱 증가될 것이다.

그러나 GAC는 유기 미량오염물질을 흡착하는데 한정된 능력을 가진 상대적으로 고가의 재질이다. 일단 GAC가 사용되고 나면, 활성탄의 흡착능력은 일반적으로 열 재생(Regeneration)에 의해 회복되고, GAC는 재사용된다. 그 결과로 GAC 공정의 경제성은 소비율(사용율)에 매우 의존적이고, 사용이 되고 나면 새 활성탄으로 교체하기보다는 재생을 하여 사용하는 것이 비용 측면에서 더 효과적인 것으로 알려져 왔다. 재생된 GAC의 비용은 신규 GAC의 가격에 비해

* Corresponding author Tel:+82-42-870-7524, Fax:+82-42-870-7549, E-mail: shchae@kwater.or.kr(Chae, S.H.)



40~60% 범위에 있다(Roskill, 1994). 따라서 GAC 흡착공정의 타당성은 재생의 효율성에 상당히 의존적이다.

국내의 경우 팔당호를 수원으로 하는 수도권지역의 정수장들은 맛·냄새를 처리하기 위하여 순차적으로 고도정수처리시설(오존, 입상활성탄)을 도입하여 가동을 시작하고 있거나 계획을 수립하고 있다. 이에 따라 장·단기 운영 후에 사용된 입상활성탄의 교체나 재생에 대해 검토가 시급한 실정이다. 또한 최근, 활성탄 공급 업체에서는 활성탄의 단가가 상승되어 신규 GAC로 교체 시 고비용의 발생이 예측되고 있다. 사용된 GAC의 재생을 수행할 경우, 재생된 GAC의 품질 및 흡착능의 변화와 더불어 경제성을 포함한 재생의 타당성에 대한 연구가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구의 목적은 장기간 사용된 GAC를 재생하여 재생 전·후에 GAC의 특성을 평가하고, 신규 GAC와 비교하여 용존유기물질의 흡착능의 변화를 평가하는 것이다.

2. 실험방법

2.1 대상 활성탄의 선정

사용된 GAC의 재생 성능 및 재생 GAC의 유기물질 처리효율을 평가하기 위해 선정된 활성탄은 SJ정수장의 파일럿 플랜트에서 5년 동안 운영된 활성탄 흡착지의 GAC 2종

(GAC-5Y, GAC-5Y-EBCT 7)과 BW정수장에 도입 예정인 공정을 모의한 3년 동안 운영된 활성탄 여과지 GAC 1종(F/A-3Y)을 사용하였고, BW정수장에서 1.5년 동안 사용된 활성탄 여과지 GAC 1종(F/A-BW-1.1Y)과 4.3년 동안 BS정수장에서 사용된 활성탄 여과지 GAC 1종(F/A-BS-2.6Y)을 사용하였다. Table 1과 2는 실험에 사용된 활성탄의 사양과 GAC의 특성을 정리한 것이다. 이때 정수장의 실공정에서 운영된 F/A-BW-1.1Y는 시설 가동율 75%를 고려하면 연속 운전으로 가정했을 때 1.1년을 운영한 결과와 동일하며, F/A-BS-2.6Y는 시설 가동율 60%에서 2.6년을 운영한 결과와 같다. 또한 GAC 단위처리용량(Bed Volumes:BV)은 실제 운영된 값을 나타낸 것이다.

2.2 GAC의 재생

GAC의 재생을 위해 사용된 장비는 로터리관 재생로(Rotary tube Furnace)로 활성탄 시료 2kg을 재생할 수 있는 설비로서 Fig. 1과 같이 스팀보일러, 재생로, 열교환기, 블로워로 구성되어 있다. 재생로의 운전조건은 Fig. 1과 같이 질소가스를 20L/분으로 주입하면서 온도를 상승시키고(온도상승기; 5°C/분), 930°C에서 0~30분 동안 수증기를 82g/분으로 주입시켜 재생시킨 후, 자연냉각으로 재생로를 식혔다.

Table 1. 대상 활성탄의 사양

명칭	GAC-5Y	GAC-5Y-EBCT7	F/A-3Y	F/A-BW-1.1Y	F/A-BS-2.6Y
정수장	SJ (파일럿 규모)	SJ (파일럿 규모)	SJ (파일럿 규모)	BW	BS
공정	GAC	Post O ₃ +GAC*	Pre O ₃ +F/A**	F/A	F/A
수원	한강(팔당댐)	한강(팔당댐)	한강(팔당댐)	한강(팔당댐)	낙동강
사용기간(년)	5	5	3	1.5 [§]	4.3 ^{§§}
Bed Volumes	188,000	376,000	118,000	40,000	112,000
활성탄 종류	Calgon 1240 F-400	Calgon 1240 F-400	Calgon 820 F-820	Calgon 820 F-820	Calgon 820 F-820
입경(mm)	0.42~1.68	0.42~1.68	0.84~2.36	0.84~2.36	0.84~2.36
EBCT (분)	14	7	14	14	12

* 후오존+ 활성탄흡착지(Post-ozonation + GAC Adsorber)

**전오존+ 활성탄여과지(Pre-ozonation + GAC Filter-Adsorber)

§ 시설 가동율(75%) 고려시 실 운전기간은 1.1년

§§ 시설 가동율(60%) 고려시 실 운전기간은 2.6년

Table 2. GAC의 특성

Parameters	Calgon Corp.	
	F-400	F-820
Product name	F-400	F-820
Raw material	Coal	Coal
Effective size(mm)	0.55~0.75	1.0~1.2(1.2)
Mesh size	12×40 ≥1.68mm ≤5% ≤0.42mm ≤4%	8×20 ≥2.38mm ≤5% ≤0.84mm ≤4%
Mean particle dia.(mm)	0.9~1.1	1.6
Dry weight(%)	≤2	2.0
Hardness(%)	≥90	95~97
Uniformity coefficient	1.5~1.9	1.5
pb(g/cm ³)	0.45	0.50~0.57
Surface area(m ² /g)	1,050~1,250	1,027
Iodine number (mg/g)	≥1,050	≥900
Pore volume(cc/g)	0.85~0.95	0.53

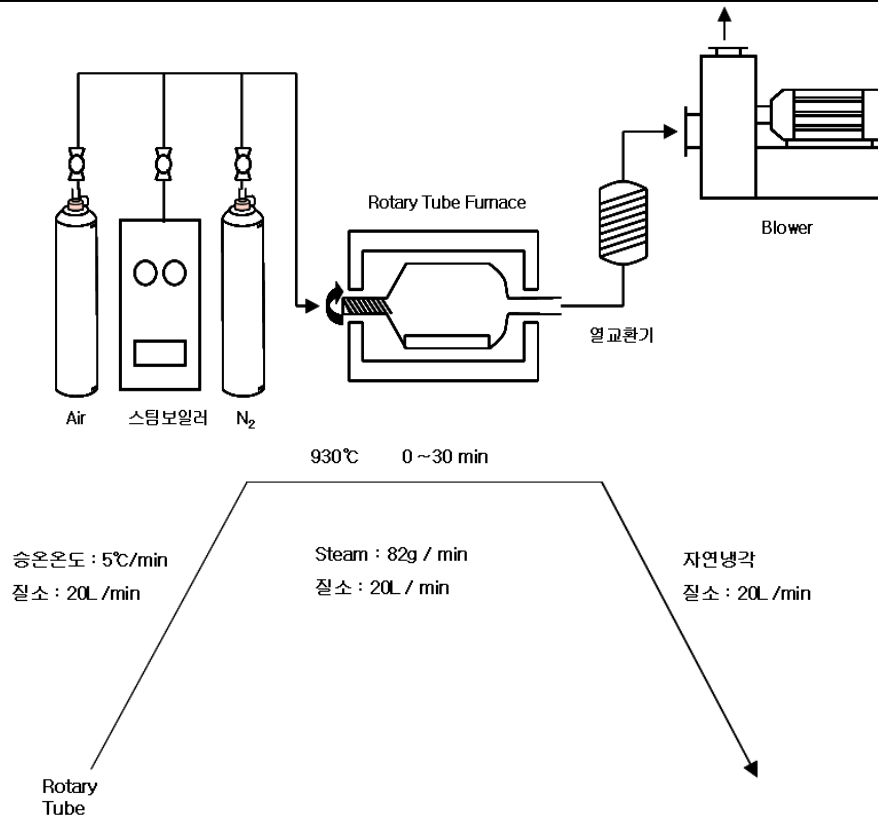


Fig. 1. 활성탄 재생 처리과정 및 활성탄 재생로 운전조건

2.3 분석방법

요오드가(흡착능)는 활성탄 g당 흡착된 요오드의 mg(mg/g)으로서 KSM 1802 시험법에 의해 결정하였다. 활성탄의 세공구조 특성은 ASAP 2020 Sorptometer (Micromeritics Instrument Corp. Norcross, USA)로 액체질소(N₂, 17-2000Å)와 아르곤(Ar, 3.5-1000Å)에서 측정된 흡착-탈착 등온선을 이용하여 분석하였다. 비표면적과 세공크기분포는 Brunauer-Emmet-Teller (BET)와 Barrett-Joyner-Halenda(BJH) 식을 이용하여 계산하였다. 활성탄의 외부 표면구조(회분의 성분)는 주사전자현미경(SEM/EDS; Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-Ray Spectrometer, JEOL JSM-840A SEM/LINK system AN-10000/85S EDS W-hairpin type gun, X10~X300,000, SEI(4.0nm), BSI(10.0nm). 0.2kV~40kV)을 이용하여 관찰하였다.

용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon;DOC) 분석 방법은 Standard Methods 5310C, "Persulfate-Ultraviolet Oxidation Method"로 하였고, 분석기기는 Dohrmann TOC분석기(Dohrmann의 Phoenix 8000)를 사용하였다.

2.4 실험방법

재생 GAC의 유기물 흡착특성을 평가하기 위하여 소규모

급속컬럼 실험 (Rapid Small Scale Column Test; RSSCT)을 수행하였다(Summers R. S., 1996, Knappe D. R. U et al., 1997). 실험장치는 Fig. 2와 같으며, 컬럼용으로 준비된 신규 GAC와 재생 GAC (12×40 mesh, APD 1.0 mm)를 막자사발을 이용하여 갈고, 100×200 mesh 체를 이용하여 체거름하여 APD 0.11 mm의 활성탄을 준비하였다. 준비된 활성탄은 실험실 증류수로 검은 물이 사라질 때까지 완전히 세척하고, 24시간동안 85℃ 오븐에서 건조시켰다. RSSCT에 사용하기 전에 활성탄 공극에 있는 공기를 제거하기 위하여 진공상태에서 증류수에 하룻밤동안 정치시켰다. 컬럼의 활성탄 층을 지지하기 위하여 스테인리스 스틸 스크린과 유리섬유를 테플론관의 아래층에 설치하였고, 준비된 GAC (100×200 mesh, APD 0.11 mm)는 3/16"ID (I.D 3.9 mm) 테플론 관에 충전하였다. 모든 조립품과 관은 테플론 또는 스테인리스 스틸 재질로 설치하였다. RSSCT에 사용된 활성탄컬럼은 실험용 흡착치를 Scaling factor 9.44로하여 축소한 것으로 활성탄 충전 깊이는 공탑 접촉시간(Empty Bed Contact Time;EBCT) 7분, 14분에서 각각 계산하여 충전한다. 정량펌프를 이용하여 위에서 계산된 유량으로 펌프 유량조절밸브를 조정하여 유입수를 통수한다. 처리수는 일정용기에 연속적으로 채취하여 일정 시간마다 처리수량을 확인하여 기록한다. GAC의 손실수두의 증가를 최소화하기 위하여 GAC 컬럼의 전단에 유리섬유로 약 3 cm의 전처리 필터를 설치하였다.

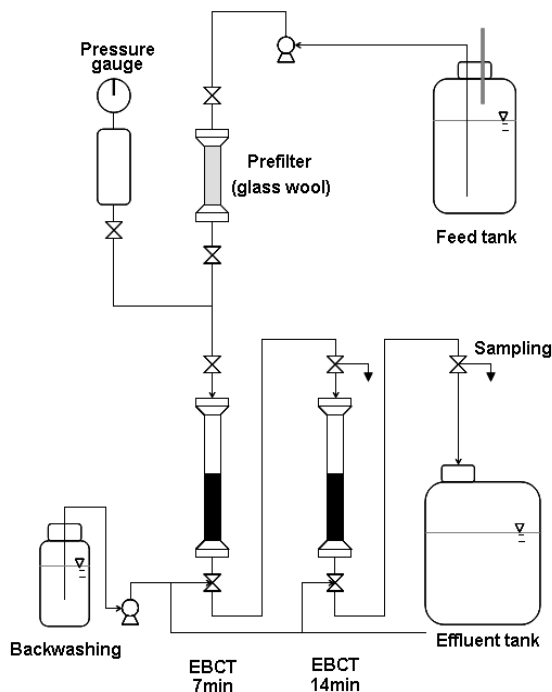


Fig. 2. RSSCT 장치의 설치도

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 재생 활성탄의 물성 변화

Fig. 3은 사용년수에 따른 활성탄의 요오드가의 변화를 나타낸 것으로 활성탄 여과지에 사용된 신규 GAC인 F-400(Calgon 820, Calgon Corp.)의 요오드가는 1,038mg/g이었다. BW정수장에서 1.1년 동안 사용된 후에 704mg/g으로 낮아졌고, BS정수장에서 2.6년 동안 사용된 후에 487mg/g로, 파일럿플랜트에서 3년동안 사용된 후에는 369mg/g로 낮아졌다. 활성탄 흡착지에 사용된 신규 GAC인 F-820(Calgon 1240, Calgon Corp.)의 요오드가는 942mg/g(5년 보관, 5년 전 구매 시 요오드가 1,146mg/g)이었고, SJ정수장 모형플랜트에서 5년동안 사용된 후에 요오드가는 297mg/g으로 낮아졌다. 요오드가는 신규 GAC에서 사용 년수가 짧을수록 급격히 낮아지고, 사용 년수가 길어질수록 완만히 감소하였다. Fig. 3의 실제 사용년수에 따른 감소되는 요오드가의 변화에 대한 그래프를 통해 Eq. 1을 도출하였다.

$$Y = 32.4X^2 - 308.5X + 1028.5, R^2 = 0.99 \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, Y = 요오드가 (mg/g)
X = 사용일수 (년)

Fig. 4는 전오존+활성탄 여과지(Pre O₃+F/A) 공정으로 3년동안 운영된 F/A-3Y(8X20mesh)와 입상활성탄공정으로 5년동안 운영된 GAC-5Y(12X40mesh)에서 신규

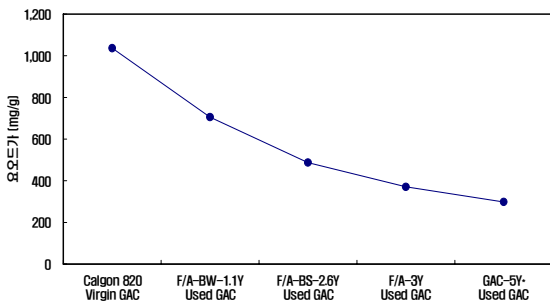
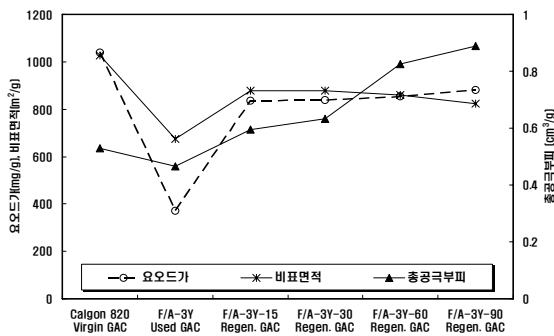
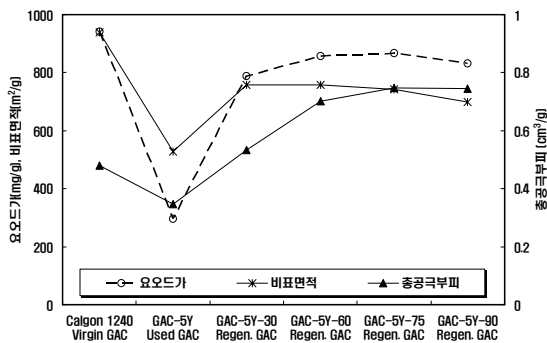


Fig. 3. GAC의 사용년수에 따른 요오드가의 변화 (*Calgon 1240, 신규 GAC 요오드가 942mg/g)



(a)



(b)

Fig. 4. F/A-3Y와 GAC-5Y의 조건(신규·사용된·재생 GAC;활성화시간)별 요오드가, 비표면적, 총공극부피의 변화 ;(a)F/A-3Y(8X20mesh, Pre O₃+F/A), (b)GAC-5Y(12X40mesh, GAC

GAC, 운영기간동안 사용된 GAC과 재생조건에서 활성화시간(15, 30, 60, 75, 90분)을 변화시킨 재생 GAC에 대해 요오드가, 비표면적과 총공극부피의 변화를 나타낸 것이다. 신규 GAC, 사용된 GAC과 재생 GAC의 요오드가와 비표면적은 유사한 경향을 나타냈으며, 재생 GAC의 요오드가와 비표면적은 신규 GAC 대비 각각 80~91%와 74~85%의 회복율을 나타냈다. 이에 비해 재생 GAC의 총공극부피는 신규 GAC의 총공극부피에 비해 높게 나타났으며, 활성화시간의 증가에 따라 급격하게 증가하는 현상을 나타냈다. 재생을 통해 활성탄의 비표면적은 신규 GAC의 비표면적 만큼 회복되지 못했지만, 총공극부피는 신규 GAC보다 재생 GAC에서 높게 나타났다. 이는 활성탄의 세공크기가 변화되었음을 시사하는 것이다. 즉 미세공은 중세공으로 이동하였고, 중세공은 대세공으로 변화된 것이다.

Fig. 5는 F/A-3Y와 GAC-5Y에서 신규 GAC, 사용된 GAC과 재생 GAC에 대해 손실율, 회분, 밀도, 총공극부피의 관계를 도시한 것이다. 회분은 신규 GAC에 비해 활성탄 내부에 흡착된 미량유기오염물질로 인해 사용된 GAC에서 증가된 현상을 보였고, 재생 GAC에서도 활성화시간에 따라

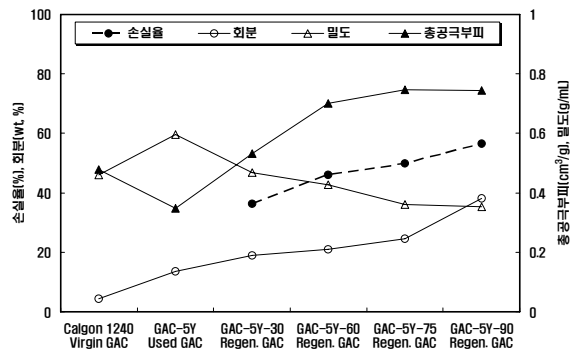
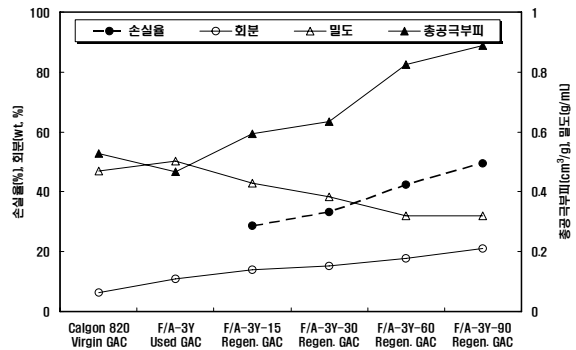


Fig. 5. F/A-3Y와 GAC-5Y의 조건(신규·사용된·재생 GAC;활성화시간)별 손실율, 회분, 밀도, 총공극부피의 관계; (a)F/A-3Y(8X20mesh, Pre O₃+F/A), (b)GAC-5Y(12X40mesh, GAC)

완전히 증가되었다. 재생 GAC에서 회분의 증가는 밀도의 감소를 유발시켰다. 재생 GAC에서 재생 전·후에 활성탄의 단위그램당 손실된 무게의 비율인 손실율은 활성화시간에 따라 회분의 증가와 거의 비례관계에 있었으며, 이들 값은 총공극부피의 증가와도 상관관계가 있음을 제시하였다. Fig. 4와 Fig. 5의 결과는 재생조건에서 활성화 시간의 증가로 인한 요오드가의 회복성은 완만한 증가를 보인 반면에 손실율과 총공극부피는 이에 비례하지 않고 다소 급격한 증가를 보였다. 이는 일정 값 이상의 요오드가를 만족하는 경우 손실율을 최소화하는 임계 재생조건의 선정이 필요함을 시사하는 것이다.

Fig. 6은 활성탄 사용일수(년)에 따른 재생 GAC의 무게 손실율과의 관계를 그래프화 하였고, 상관 관계식을 Eq.2와 같이 도출하였다. 이는 GAC의 운영이나 재생 시에 재생에 의해 손실되는 GAC의 양을 산정하여 보충되어야 할 신규 GAC의 양을 결정하는데 이용할 수 있다.

$$Y = 8.89X + 0.73, \quad R^2 = 0.98 \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, Y = 활성탄 2kg 재생시 재생 후 남은 활성탄 무게 비율, 손실율(%)
X = 사용일수 (년)

Fig. 7은 사용일수에 따른 GAC들(GAC-5Y, GAC-5Y-EBCT7, F/A-3Y, F/A-BW-1.1Y, F/A-BS-2.6Y)의 세공크기별 누적공극부피를 도시화한 것이며, Table 3은 재생 전·후에 활성탄의 세공크기변화와 누적공

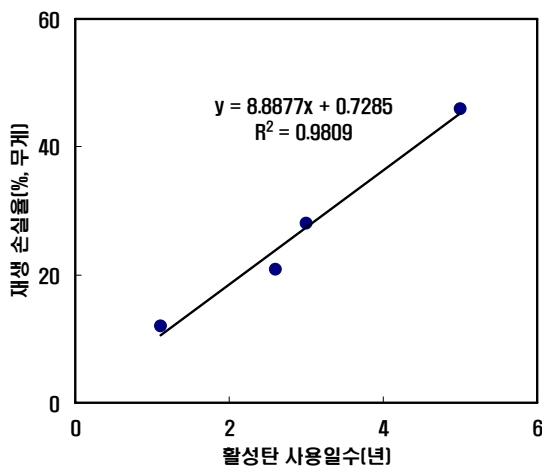


Fig. 6. 재생 GAC에서 사용일수에 따른 손실율의 상관관계

극 부피 변화를 나타낸 것이다. 신규 GAC에 비해 재생 GAC의 누적 공극부피가 더 컸으며, 특히 중세공의 영역인 20~500Å에서 그 차이가 더 뚜렷하게 나타났다. Table 3에서 보여지는 것처럼 전체적인 활성탄 단위무게당 공극부피는 증가하였으며, 20Å미만의 미세공은 감소한 반면 500Å이상의 대세공과 20~500Å범위의 중세공은 증가하였다. 이는 재생과정을 통해 미세공은 중세공으로, 중세공은 대세공으로 세공크기가 변화되었음을 시사하는 것이다. 이러한 결과는 Fig. 4와 5에서 신규 GAC에 비해 재생 GAC에서 총공극부피가 증가했던 원인으로 판단된다. 이러한 세공크기의 변화는 재생 GAC의 흡착능의 변화와 용존유기물의 제거에도 영향을 미칠 것으로 생각된다.

3.2. 재생 GAC에서 무기물질의 분포

Fig. 8은 신규 GAC (Calgon 1240), 5년 사용된 GAC (GAC-5Y)와 재생 후 재생 GAC에서 회분 중의 무기물질의 분포도를 나타낸 것이다. 신규 GAC에 비해 사용된 GAC와 재생 GAC에서 Ca이 상대적으로 증가한 것을 알 수 있다.

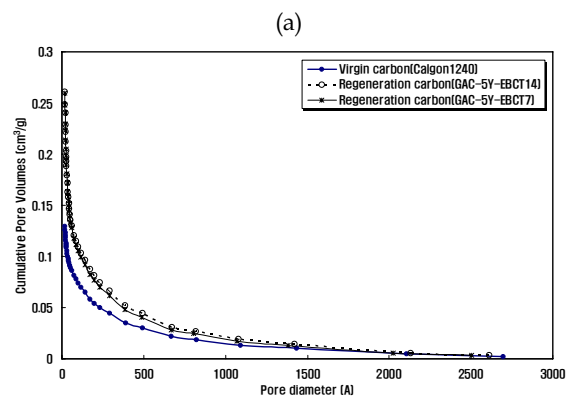
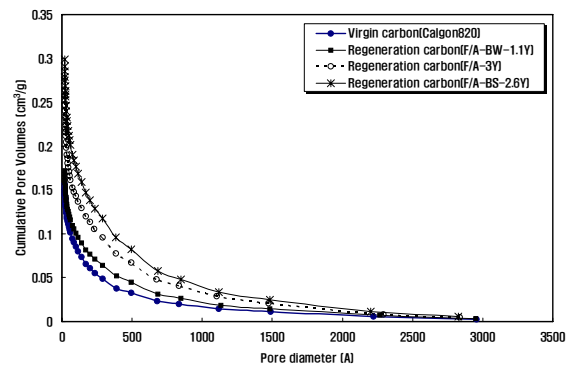


Fig. 7. 신규 GAC와 재생 GAC에서 세공크기별 누적 공극 부피; (a)F/A(8X20mesh), (b)GAC(12X40mesh)

Table 3. 재생 전·후 활성탄의 세공크기변화와 누적공극부피변화

Pore Size	F/A-3Y 재생 전, 후 누적 공극부피				GAC-5Y 재생 전, 후 누적 공극부피			
	Virgin (Calgon820)	Regen. (F/A-3Y)	증가량 (cm ³ /g)	증가율(%)	Virgin (Calgon1240)	Regen. (GAC-5Y-EBCT14)	증가량 (cm ³ /g)	증가율(%)
계	0.498	0.584	0.087	17.4	0.417	0.629	0.211	50.7
Macropore (>500A)	0.030	0.062	0.032	106.9	0.023	0.041	0.013	46.7
Mesopore (20<d<500)	0.114	0.180	0.066	58.2	0.090	0.184	0.094	104.3
Micropore (<20)	0.354	0.343	-0.011	-3.2	0.299	0.403	0.104	34.9

(cm³/g)

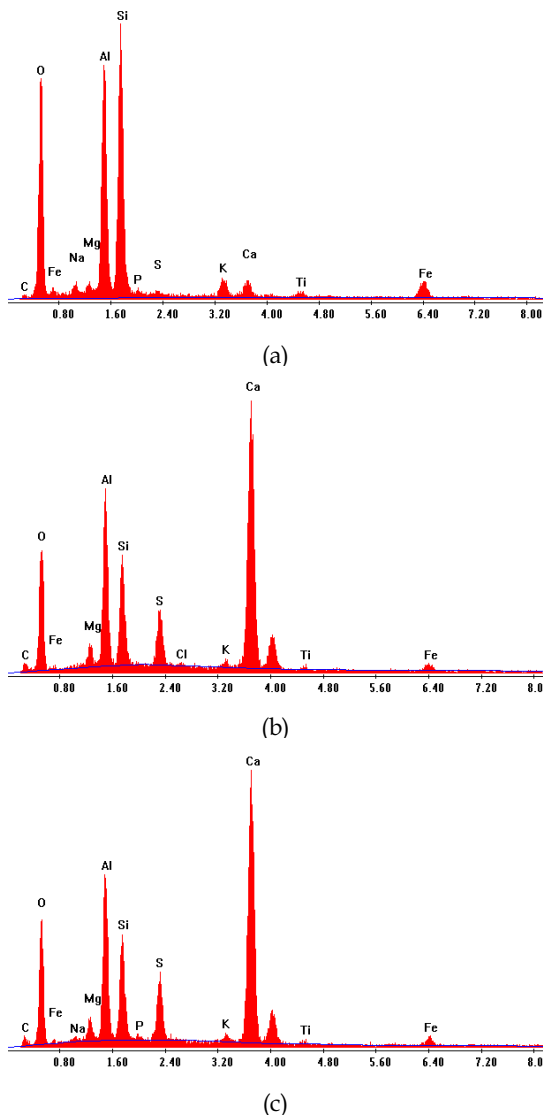


Fig. 8. GAC(GAC-5Y)의 무기물질 분포:(a)신규 GAC, (b)사용된 GAC, (c)재생 GAC

이를 명확하게 알아보기 위해 Fig. 9에서 GAC 단위그램당 무기물질의 무게(mg) 변화를 도시하였다. 신규 GAC에 비해 사용된 GAC에서 Ca, Al, Si, Fe, Mg과 같은 금속류가 증가되었고, 재생 후에 무기물질의 무게가 더욱 증가한 것으로 나타났다. 일반적으로 입상활성탄 흡착지는 운영 중에 5~15%(wt)의 무기물질을 축적하는 것으로 알려져 있다 (San Miguel et al, 2001). 축적된 무기물질의 성분은 원수의 특성, 수처리과정 중에 사용된 약품 등에 따라 다양하다 (Pilard et al, 1995). Table 4에서 제시된 것처럼 GAC의 회분은 신규 GAC에서 4.3%(wt)에서 사용된 GAC와 재생 GAC에서 각각 13.6%(wt)와 18.8%(wt)로 증가하였다. 이들 회분(wt, %)중에 함유된 무기물질의 양을 정량화하기 위해 활성탄 단위그램(g)당 무기물질의 무게(mg)로 환산 하였을 때, Ca은 신규 GAC에서 0.9mg/g GAC 을 나타냈고, 5년 사용 후에 35.5mg/g GAC으로 증가하였고, 재생 후에 48.7mg/g GAC로 높아졌다. Ca은 자연수(원수) 중에 일반적으로 존재하는 흔한 물질로 흡착지로의 통수를 통해 지속적으로 축적되고, 수처리과정 중에 소석회와 같은 알카리제의 사용으로 인해 축적된다(Steven et al., 2002). GAC에서 Ca의 축적의 중요성은 열재생 중에 Ca이 축매 금속으로서 GAC 내 미세공의 손실을 유발하기 때문이다. 이러한 미세공의 손실은 결국 세공 내 유기물질의 흡착과 관련되어 제거효율에 영향을 미칠 것이다.

3.3. 재생 활성탄의 입경 변화

재생 GAC에 대한 입경의 변화는 여재로서의 기능이나 미분탄에 의한 손실에 영향을 미치기 때문에 중요한 인자 중의 하나이다. Table 5와 Fig. 10과 11은 신규 GAC와 재생 GAC의 입경 분포 변화를 나타낸 것이다. Table 5에서 12x40mesh 입경의 신규 GAC에 비해 재생 GAC의 최대 입경은 1.69mm에서 1.60mm으로, 최소 입경은 0.45mm에서 0.50mm로 거의 변경되지 않았다. 8x20mesh 입경의 신규

Table 4. GAC(GAC-5Y)에서 무기물질의 농도

Inorganic Compounds (mg/GAC g)	Virgin (Calgon 1240)	Used (GAC-5Y)	Regeneration (GAC-5Y)
Ash (wt, %)	4.3	13.6	18.9
Ca	0.9	35.3	48.7
Al	7.5	16.2	22.7
Si	9.4	10.4	14.5
Fe	2.3	3.0	4.8
Mg	0.6	2.7	3.7

Table 5. 신규 GAC와 재생 GAC의 입경 특성

구 분	최대경(mm)	최소경(mm)	균등계수	유효경(mm)
Virgin(Calgon 1240)	1.69	0.45	1.73	0.64
Regeneration(GAC-5Y)	1.60	0.50	1.49	0.67
Virgin(Calgon 820)	1.99	0.86	1.43	1.03
Regeneration(F/A-BS-2.6Y)	1.9	0.52	1.34	1.02
Regeneration(F/A-3Y)	1.72	0.87	1.31	1.03
Regeneration(F/A-BW-1.1Y)	1.82	0.81	1.29	0.96

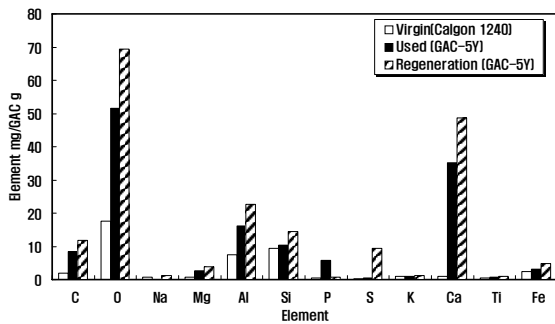


Fig. 9. GAC(GAC-5Y)의 단위그램당 무기물질의 무게(mg) 분포: (a) 신규 GAC, (b) 사용된 GAC, (c) 재생 GAC

GAC는 최대 입경이 1.99mm에서 1.72~1.90mm로 감소한 경향이 있었으나 큰 범위로 낮아지지는 않았다. 균등계수는 재생 후에 12x40mesh 활성탄인 경우 1.73에서 1.49로, 8x20mesh 활성탄인 경우 1.43에서 1.29~1.34로 감소하는 경향을 나타냈으나, 크게 낮아지지는 않았다. 유효경은 신탄과 재생탄이 거의 같은 값을 유지하였다.

Fig. 10과 11에서 각 활성탄의 입경별 통과중량 백분율 분포와 체크기 별 통과중량 비율을 도시하였다. 신규 GAC와 재생 GAC의 통과중량 백분율 분포는 거의 유사한 곡선을 나타내고 있으며, 체크기(mesh) 별 통과중량 비율도 유사한 경향을 나타내고 있다. 12x40mesh 활성탄은 신규·사용

된·재생 GAC 모두에서 16x25mesh 범위에 집중되어 있고, 8x20mesh 활성탄은 16~20mesh 범위에 있었다.

3.4 재생 GAC에서 용존유기물질의 제거

Fig. 12는 신규 GAC(Calgon 1240)와 재생 GAC(GAC-5Y)를 이용하여 S정수장 공정수(여과수)를 유입수로 하여 용존유기물질(DOC)를 대상으로 실험실규모에서 소규모모속컬럼실험(RSSCT)을 수행한 결과를 도시한 것이다. 신규 GAC와 재생 GAC에서 BV에 따른 DOC의 제거율을 EBCT 7분과 14분에서 운영한 결과를 비교하였다. EBCT 7분에서 운전 초기인 BV 5,000까지 DOC 제거율이 유사하였으나, 이후 BV 35,000까지 재생 GAC의 DOC 제거효율이 더 높게 나타났다. EBCT 14분에서는 BV 15,000까지 DOC 제거율에 차이가 없었다. 3.1절에서 신규 GAC의 요오드가와 비표면적은 각각 942mg/g, 936m²/g였고, 재생 후에 857mg/g, 758m²/g로 감소하였다. 1회 재생 시 GAC의 요오드가와 비표면적이 신규 GAC의 수준으로 회복되지 않았더라도 재생 GAC의 DOC 처리효율에는 크게 영향을 미치지 않았다. 오히려 EBCT 7분의 경우에는 신규 GAC에 비해 재생 GAC에서 DOC 처리효율이 약 10% 높게 나타났는데, 이는 재생 후에 미세공이 중세공으로 변화되어 유기물의 흡착이 주로 발생하는 중세공의 영역이 커짐에 따라 DOC의 제거효율도 증가한 것으로 판단된다.

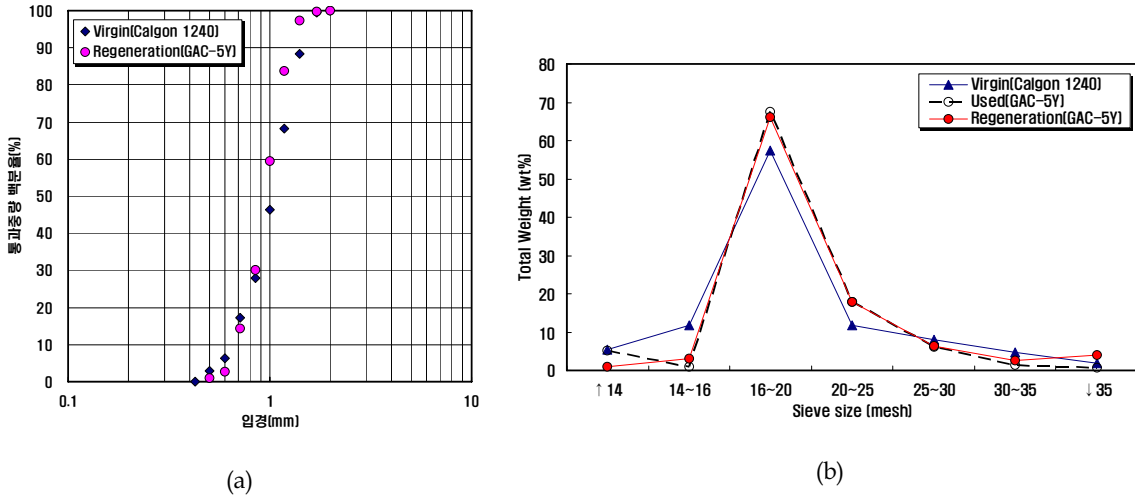


Fig. 10. 재생 GAC(12X40mesh)의 입경 분포; (a) 입경별 통과중량 백분율 분포, (b) 체크기(mesh)별 통과중량 비율

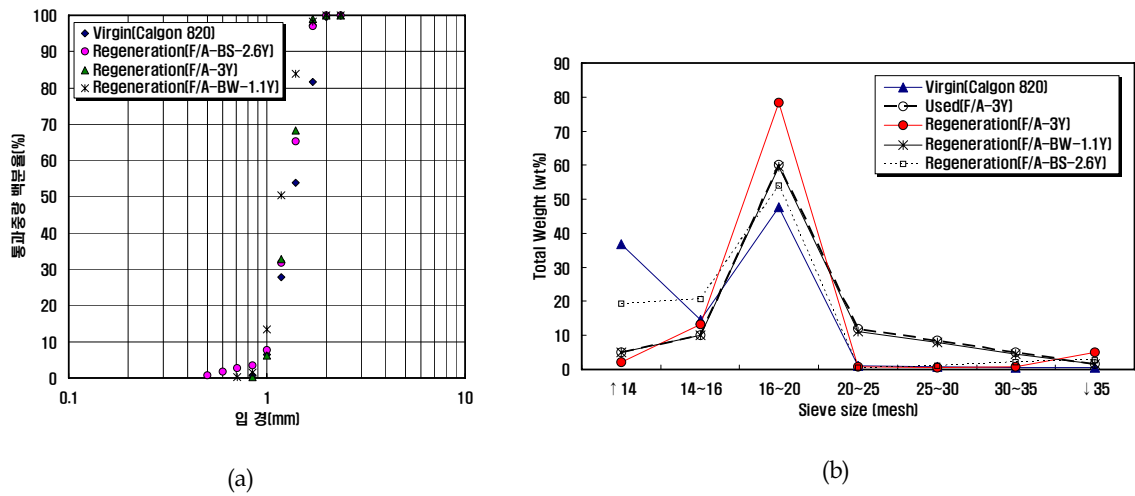


Fig. 11. 재생탄(8X20mesh)의 입경 분포; (a) 입경별 통과중량 백분율 분포, (b) 체크기(mesh)별 통과중량 비율

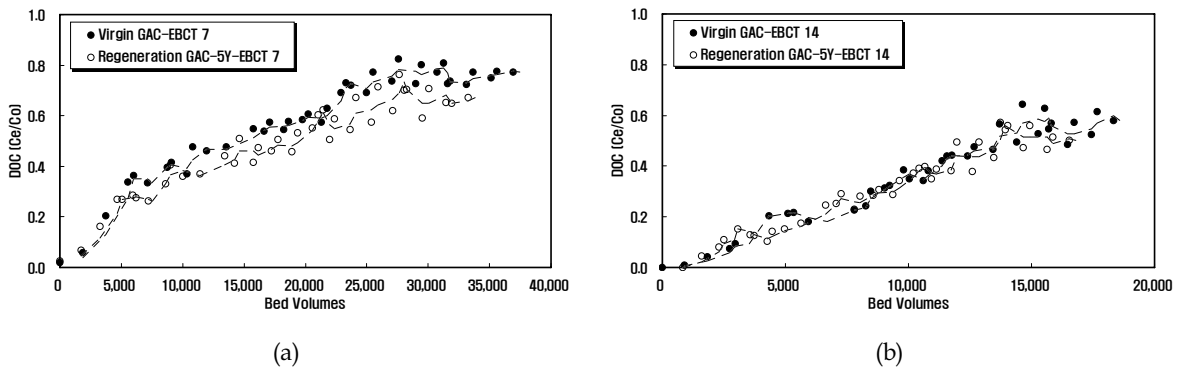
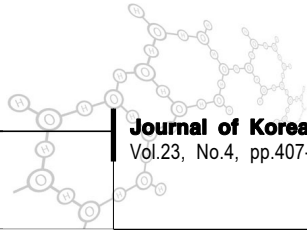


Fig. 12. 신규 GAC와 재생 GAC에서 BV에 따른 DOC의 제거효율 비교; (a) EBCT 7분, (b) EBCT 14분



4. 결 론

1) 입상활성탄 흡착지에서 GAC의 사용일수(X, 년)에 따른 요오드가(Y, mg/g)와 재생 후 재생 GAC에서 손실된 활성탄의 무게 비율인 무게 손실율(Y, %) 사이의 상관관계는 각각 $Y = 32.4X^2 - 308.5X + 1028.5$ ($R^2 = 0.99$)와 $Y = 8.89X + 0.73$ ($R^2 = 0.98$)로 도출되었다.

2) GAC의 재생을 통해 활성탄의 비표면적은 신규 GAC의 비표면적 만큼 회복되지 못했지만, 세공크기별 누적공극 부피 중 중세공(20~500Å)의 증가로 인해 총공극부피가 신규 GAC 보다 재생 GAC에서 증가되었다. 이는 재생 GAC에서 Ca, Al, Si, Fe, Mg 등의 무기물질(금속류)이 미세공에 축적되어 재생 후에 회분이 증가되었고, 세공의 크기도 커지는 결과를 초래하였다.

3) 신규 GAC와 재생 GAC에서 입경의 변화를 비교한 결과, 균등계수는 다소 감소하였지만 유효경은 유사 범위에 있었으며, 입경별 통과중량 백분율 분포도 유사하게 나타나 GAC의 재생은 입경의 변화를 유발시키지 않았다.

4) 재생 GAC에서 요오드가와 비표면적은 신규 GAC의 값 만큼 회복되지 않았지만, 용존유기물질(DOC)의 처리효율은 약 10% 정도 높거나 같았다. 이는 재생을 통해 용존유기물질의 흡착이 주로 발생하는 중세공이 증가된 영향으로 판단된다.

참고문헌

1. Knappe D. R. U., Snoeyink V. L., Roche P., Prados M. J. and Bourbigot M. M. (1997) The Effect of Preloading on Rapid Small-scale Column Test Predictions of Atrazine Removal by GAC Adsorbers, *Water research*, 31(11), pp. 2899-2909.
2. Pilard M (1995) Impact of Mineral Elements on the Regeneration Process of Activated Carbon Used in Potable Water Treatment, *Water Supply*, 3:3/4:1.
3. Roskill (1994) The Economics of Activated Carbon. 5th edition, Roskill information Service Ltd., London.
4. San Miguel G. (2001) The Regeneration of Field-spent Granular Activated Carbons, *Water Research*, 35(11), p2740.
5. Steven D. Lambert, Guillermo San Migule and Nigel J.D. Graham (2002) Deleterious effects of inorganic compounds during thermal regeneration of GAC: A review, *J. of AWWA*, 94(12), pp. 109-119.
6. Summers R. S., S. Hopper and S. Hong (1996) GAC Precursor Removal Studies, *ICR Manual for Bench- and Pilot-Scale Treatment Studies. EPA 814-B-96-003, USEPA, Office of Water.*