

## ACF-Cartridge를 이용한 수중 잔류 염소 제거

이재광 · 고창영\* · 유승곤†

충남대학교 공과대학 화학공학과

\*(주)대동 AC

(1997년 9월 25일 접수, 1998년 2월 11일 채택)

## Removal of Residual Chlorine from Tap Water by Activated Carbon Fiber Cartridge

Jae Kwang Lee, Chang Young Ko\* and Seung Kon Ryu†

Department of Chemical Engineering Chungnam National University

\*Daedong AC Co., 371-22, Shinsoo-Dong, Mapo-Ku, Seoul 121-120

(Received 25 September 1997; accepted 11 February 1998)

### 요 약

음용수의 염소 소독 후에 생성되는 잔류염소(residual chlorine)를 활성탄소섬유 카트릿지를 이용하여 제거하는 동안의 흡착 거동을 연구하였다. 흡착평형 자료는 회분식실험을 이용하여 구하였다. 활성탄소섬유는 약  $1,600 \text{ m}^2/\text{g}$ 의 비표면적과  $7.7 \text{ \AA}$ 의 평균세공반경 및  $0.63 \text{ cm}^3/\text{g}$ 의 세공 부피를 소유하고 있으며, 잔류염소의 흡착량은 약  $1.5(\text{g/g-ACF})$ 이었다. 활성탄소섬유 카트릿지를 사용한 잔류염소의 제거에서, 파과점 이후의 파과곡선은 급격하게 상승하였다.  $100 \text{ g}$ 의 활성탄소섬유로 성형된 한 개의 카트릿지가  $2.0 \text{ ppm}$ 의 잔류염소를 함유한 수돗물을  $0.2 \text{ ppm}$ 의 잔류염소가 유출될 때까지 처리한 양은 평균  $30 \text{ ton}$ 으로서, 파과점에서의 카트릿지의 효율은 이론적 최대능력의  $64 \%$ 이었다. ACF 카트릿지의 재생은 뜨거운 물의 역세척으로 가능하며 물의 온도가 높을수록, 역세척의 수압이 높을수록 유리하였다.  $90^\circ\text{C}$ 의 물로  $2.5 \text{ l/min}$ 으로 역세척한 재생 카트릿지의 수돗물 중 잔류염소의 흡착제거 능력은 새 카트릿지의  $62 \%$ 로 나타났다. 활성탄소섬유 카트릿지는 잔류염소의 제거능력이 탁월하며 재생하여 사용할 수 있다.

**Abstract**—Adsorption behavior of activated carbon fiber cartridge for residual chlorine after chlorination of drinking water was studied. Adsorption equilibrium data were obtained from batch experiments. The ACF used for cartridge shows  $1,600 \text{ m}^2/\text{g}$  specific surface area,  $7.7 \text{ \AA}$  average pore radius,  $0.63 \text{ cm}^3/\text{g}$  total pore volume, and  $1.5 \text{ g/g-ACF}$  adsorption amount of residual chlorine. In removal of residual chlorine from tap water by ACF cartridge, the breakthrough curves were rapidly increased from  $C/C_0=0.1$  to  $C/C_0=0.5$  and slowly approached  $C/C_0=1.0$ . One ACF cartridge was made of  $100 \text{ g}$  activated carbon fiber and a total amount of treated water from  $2.0 \text{ ppm}$  to  $0.2 \text{ ppm}$ (breakpoint,  $C/C_0=0.1$ ) by one ACF cartridge was  $30 \text{ ton}$ . The adsorption efficiency of ACF cartridge was  $64 \%$  of its maximum theoretical adsorption capacity. Regeneration efficiency increased as high as the temperature and back pressure of water. The adsorption efficiency of regenerated cartridge at  $90^\circ\text{C}$ ,  $2.5 \text{ l/min}$  was  $62 \%$  compared with a new one for the removal of residual chlorine from tap water.

Key words: Adsorption, Activated Carbon Fiber, Residual Chlorine

### 1. 서 론

정수나 하수처리과정에서 가장 많이 사용되는 살균제는 염소이다. 기체상태의 염소는  $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ 기압}$  하에서 물에  $7,160 \text{ mg/l}$  정도 용해하여 대부분 가수분해한다[1]. 물 속에  $\text{HOCl}$ 이나  $\text{OCl}^-$ 로 존재하는 염소를 유리잔류염소(free available residual chlorine)라 하고 암모니아나 유기성 화합물과 반응하여 존재하는 것을 결합잔류염소(com-

bined available residual chlorine)라 한다.

수도시설의 위생관리 등에 관한 규칙 제2조(위생상 조치) 제3항은 「수도 전에 있어서의 음료수의 잔류염소가 항상  $0.2 \text{ mg/l}$ (결합잔류염소인 경우는  $1.5 \text{ mg/l}$ ) 이상이 되도록 할 것」으로 기술되어 있다[2]. 따라서 현재 수돗물 공급처인 정수장에서는 가정집 수도꼭지에서의 잔류염소농도가  $0.2 \text{ ppm}$  이상이 되도록 염소살균을 실시하고 있다.

물 속에 염소를 주입함으로써 염소의 강한 산화력을 이용하여 살균, 냄새제거 등의 목적은 달성할 수 있지만 최근에 와서 정수장이나 폐수처리장에서의 염소주입(chlorination)은 큰 논란을 불러일으

†E-mail: skryu@hanbat.chungnam.ac.kr

키고 있다. 염소가 수중의 유기물과 결합하여 인체에 해로운 염소화합물을 생성시킬 수 있으며 이 중에는 발암 물질인 것도 있기 때문이다. 즉, 음료를 염소 소독하는 경우에 자연적으로 생성된 Humic substance와 염소가 결합하여 THM(Trihalomethane)을 형성한다는 사실이 1974년에 발견되어 미국과 일본 환경보건국은 음용수의 THM 농도를 0.1 ppm이하로 규제하고 있다[3].

Humic substance를 제거시키는 방법으로는 오존이나 이산화염소에 의한 산화방법, 응집·침전·여과법, 활성탄 흡착 방법이 있다. 오존으로 처리하는 경우에는 THM이 생성되지 않으나 잔류 소독 효과가 없고 인체에 유독한 epoxide가 생성되기도 하며 비용이 많이 든다. 이산화염소로 처리하는 경우에는 그 자체의 독성뿐만 아니라 부생하는 아염소산 이온 및 염소산 이온이 갑상선 호르몬 분비에 이상을 가져오며 빈혈을 유발하는 것으로 판명되어 오히려 더 해로운 물질로 생각된다[4].

현재까지 연구된 바에 의하면 음용수 염소처리과정에서 발생하는 잔류염소화합물 제거방법으로는 입상 활성탄 필터를 사용한 흡착법이 가장 경제적이고 효율적인 것으로 알려져 있다[5].

그런데, 활성탄은 몇 가지 문제점이 있다. 즉, 입상활성탄인 경우에는 전설비가 많이 드는 여과조를 만들어야 하며 여과조에 걸리는 압력손실 외에도 흡착 시간이 길기 때문에 장시간 활성탄내에 고비점 물질이나 중합물이 체류하여 흡착물의 분해나 중합반응이 발생하여 활성탄의 열화가 촉진되며 편류 및 긴 비사용층 길이 등으로 효율이 나쁘며[6], 재생의 어려움으로 그 자체가 폐기물이 되고 있다. 따라서 기상/액상 흡착능력이 월등하고도 사용하기 편리하며 재생성이 우수한 새로운 흡착제의 개발의 필요성이 강력히 요구되고 있다. 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber)는 이러한 요구를 충족시켜주는 새로운 타입의 흡착제이다[7].

본 연구는 수도물 중에 존재하는 잔류염소를 활성탄소섬유 카트릿지를 이용하여 흡착 제거함에 있어서 활성탄소섬유의 우수한 흡·탈착 특성과 성능을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험 재료

카트릿지 제작에 사용한 활성탄소섬유는 직경이 14  $\mu\text{m}$ 인 페놀수지계 Kuractive 16(일본 Kuraray chemical Co.)으로서 길이를 5 mm 이하로 짧게 절단하여 사용하였다. 카트릿지는 범용의 정수기에 사용할 수 있도록 길이 25 cm, 직경 5 cm의 원통형으로 (주)대동AC에 의뢰하여 제작하였으며 한 개의 카트릿지는 평균 100 g( $\pm 3$  g)의 활성탄소섬유를 사용하였다. 평균 충전밀도는 0.125(g/cm<sup>3</sup>)이었다. 수용액중에 잔류염소 농도는 깨끗하게 정제한 수도물에 차아염소산칼슘( $\text{CaCl}_2\text{O}_2$ , 시약급)을 용해시키고 희석하여 조절하였다.

### 2-2. 흡착평형곡선

먼저, 흡착평형에 도달하는 시간을 구하기 위하여 20 ppm의 잔류염소 수용액 30 ml와 0.15 g의 활성탄소섬유가 들어진 여러 개의 100 ml 삼각플라스크를 각각 테프론 테이프로 봉한후 20  $^{\circ}\text{C}$ 로 유지되고 있는 항온조내에서 240 rpm으로 교반하면서 5분 간격으로 한 개씩 꺼내어 흡인 여과용 깔때기로 거르고 자외선 분광광도계로 잔류염소 농도를 측정하여 접촉시간에 대한 흡착량을 측정하였다. 그 결과 Fig. 1과 같이 20분이면 충분히 평형에 도달하나, 잔류염소에 대한 활성탄소섬유의 흡착등온선은 잔류염소의 초기농도가 10-100 ppm인 수용액을 앞의 방법대로 활성탄소섬유와 60분간 접촉하도록 하고 잔류염소 농도를 측정하여 활성탄소섬유 단위 무게당 평형흡착량( $q_e$ , g/g-solid)을 식  $q_e = V(C_0 - C_e)/W$ 에 의하여 구하였다. 여기에서 V는 실험에 사

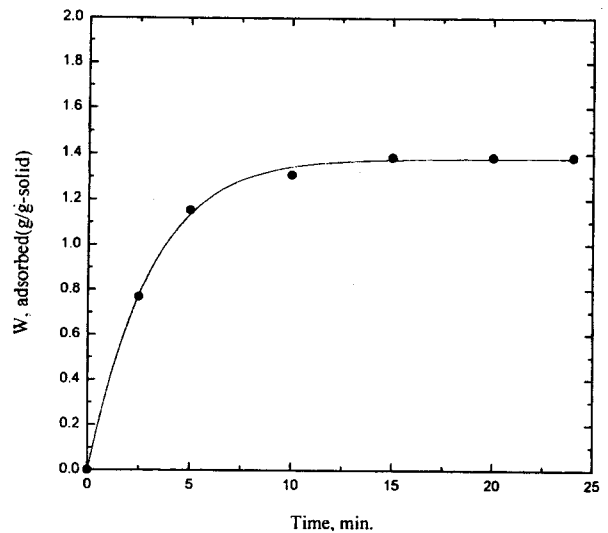


Fig. 1. Batch adsorption of residual chlorine with  $C_0=20$  ppm. (temp.=293 K, 240 rpm)

용된 수용액의 부피, W는 실험에 사용된 활성탄소섬유의 무게이며  $C_0$ 와  $C_e$ 는 각각 잔류염소의 초기농도와 평형농도이다. 그리고 흡착제의 액상흡착 능력을 나타내는 요오드와 메틸렌블루 탈색능력을 한국공업규격시험 방법에 따라 실시하였다.

### 2-3. 카트릿지에 의한 고정층 흡착

실험에 사용하기 위하여 제작한 정수장치의 개략도를 Fig. 2에 도시하였다. 실험에서 사용한 원수는 일반 수도물을 정수기로 정수하여 저수조(용적 600 l)에 채워 사용하였고 이어서, 정량 물펌프(천세, model 615)로서 저수조의 물을 장치의 본체로 공급하였다. 염소 용액은 저장조(용적 50 l)에 준비하여 맥동 펌프(천세, model AX 1-12)로 본체에 공급하였고, 저수조에서 공급되는 수도물과 완전히 혼합을 위해 혼합기(천세, model ANI-S-SM 40A)를 이용하였다. 원하는 유량은 유량계로 조절하였고, 압력 게이지로 ACF 카트릿지에 걸리

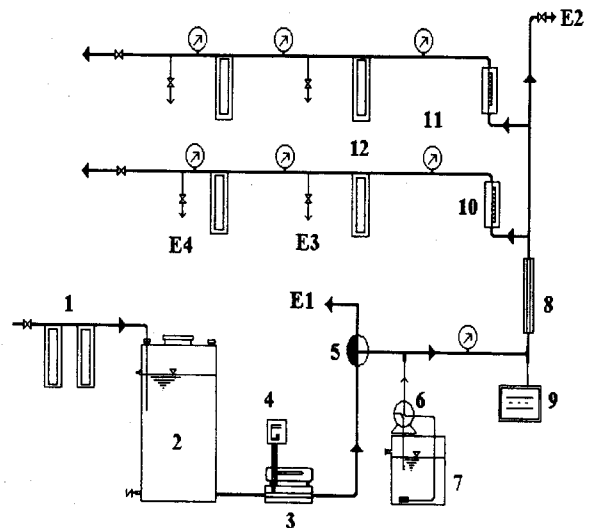


Fig. 2. Experimental apparatus.

- |                       |                    |                      |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| 1. ACF filter         | 2. Water reservoir | 3. Water pump        |
| 4. Feeding controller | 5. Relief valve    | 6. Peristaltic pump  |
| 7. Feed reservoir     | 8. In-line mixer   | 9. Sensor, indicator |
| 10. Flow meter        | 11. Pressure gauge | 12. Thermocouple     |

Table 1. Various experimental conditions

Exp. no.	Input conc. (ppm)	Column no.	Flow rate (l/min)	Temp.(°C)
1	2	1	5	20
2	2	1	10	20
3	4	1	5	20
4	2	2	5	20

는 압력차를 측정하였다. 장작 정수기는 1단계 및 2단계로 정수할 수 있으며, 3열로 배열되어 있어 동시에 유출액의 농도를 측정할 수 있도록 구성하였다. 실험조건을 Table 1과 같이 하였고, 실험 자료는 한 조건에서 6회이상 실시한 다음 최대값과 최소값을 제외한 나머지를 평균하여 이용하였다.

또한, 정수실험에 사용된 카트릿지의 재생성을 알아보기 위해 탈착시킨 카트릿지를 이용하여 실험하였다. 탈착은 각각 80 °C와 90 °C의 물을 유량 2.5 l/min로 정수실험과는 반대의 방향으로 10시간 흘려보냈으며 탈착 후 카트릿지는 실온에서 건조시킨 후 다시 건조기에서 100 °C로 24시간 건조 후 사용하였다.

## 2.4. 잔류염소 분석

잔류염소의 농도 분석은 미 환경보전국의 수질 처리 방법인 'Standard methods'의 수중 잔류염소 측정에 관한 기준 중 자외선 분광광도계를 이용한 방법에 따라 시행하였다[8]. 즉, 염소 이온에 의해 발색되는 발색제 DPD(N, N-Diethyl-P-phenylenediamine) 시약과 결합잔류염소에 의해 발색되는 KI(Potassium Iodine) 시약을 이용하여 자외선 분광광도계(Model: Milton roy spectronic 601)로 흡광도를 측정하고, 미리 작성된 흡광도에 대한 농도의 검정곡선에 따라 농도로 환산하는 것으로, 최저 분석 가능 농도는 0.01(mg/l)이고 분석오차는  $\pm 0.005$  ppm이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 재료의 세공특성

본 실험에 사용한 섬유상 흡착제인 페놀수지계 활성탄소섬유(Kuractive-16)를 77 K에서 질소흡착에 의한 등온흡착곡선을 측정(Micromeritics, model ASAP 2400)한 결과가 Fig. 3과 같으며 그 특성치를

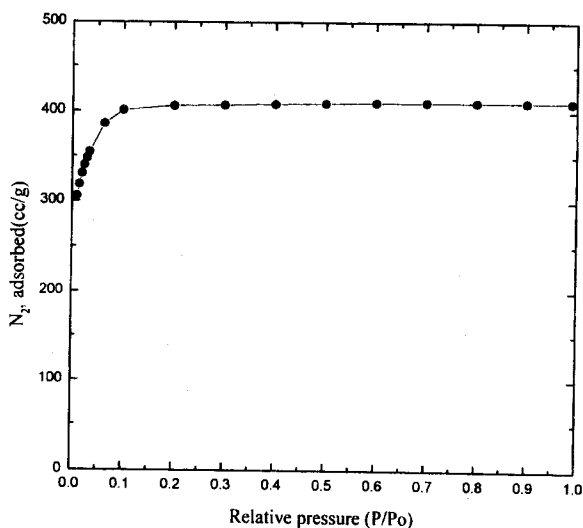
Fig. 3. Adsorption isotherm of  $N_2$  at 77 K on phenol-resin ACF.

Table 2. Physical properties of ACF

Properties	Values	Unit
Surface area	1600	[m <sup>2</sup> /g]
Average pore radius	7.7	[Å]
Micro-pore area	1500	[m <sup>2</sup> /g]
Total-pore volume	0.63	[cc/g]
Micro-pore volume	0.52	[cc/g]

Table 2에 정리하였다.

Table 2에서, 흡착제의 미세공 표면적이 1,500 m<sup>2</sup>/g을 나타내고 있어서 이미 많은 세공이 발달되어 있음을 알 수 있고 세공 반경과 부피로부터 세공이 대부분 미세공으로 이루어졌음을 알 수 있다. 총비표면적은 약 1,600(m<sup>2</sup>/g)으로서 기존의 입상활성탄보다 높은 값을 나타내고 있는데, 그 중 미세공 표면적이 약 94 % 차지하고 있다.

### 3-2. 회분식 흡착

Fig. 1은 흡착평형에 도달하는 시간을 얻기 위해 농도 20 ppm의 용액에 여러 개의 시료를 동시에 진탕시키면서 5분 간격으로 한 개씩 꺼내어 농도를 측정하는 것이다. 그림에서, 흡착량이 약 10분 정도부터는 미소하게 증가하며 20분 정도 이후로는 거의 일정하게 되는 것을 알 수 있었다. 이는 활성탄소섬유가 대부분 미세공으로 표면에 노출되어 있어 흡착 과정 중 대기공(macro pore)과 중기공(meso pore)으로의 전달과정이 생략되어 흡착에 걸리는 시간을 단축시킨 것으로 보인다[9].

액상흡착 능력을 알아보기 위한 요오드와 메틸렌블루 탈색력을 측정한 결과를 Fig. 4에 보였다. 그림에서 등온선들은 favorable한 형태를 보이고 있고 흡착량은 분자량이 적은 요오드(Formula weight: 126.9, Size: 0.3×0.3×0.7[nm])가 분자량이 큰 메틸렌블루(Formula weight: 319.87, Size: 1.6×0.84×0.47[nm])보다 약 1.8배 더 많이 흡착되어 분자 크기가 작은 흡착질의 흡착에 유리한 것으로 나타났다.

Fig. 5는 활성탄소섬유에 대한 잔류염소의 흡착등온선을 도시한 것이다. 등온선은 예상대로 favorable한 형태를 나타내고 있었으며 특히 등온선의 전면이 가파른 형태를 보이고 있다. 이는 고정층의 파과곡선에서 유리한 조건을 제공할 것으로 보인다.

한편, 잔류염소의 흡착량이 1.5(g/g)로 요오드 1.8(g/g)보다 흡착량

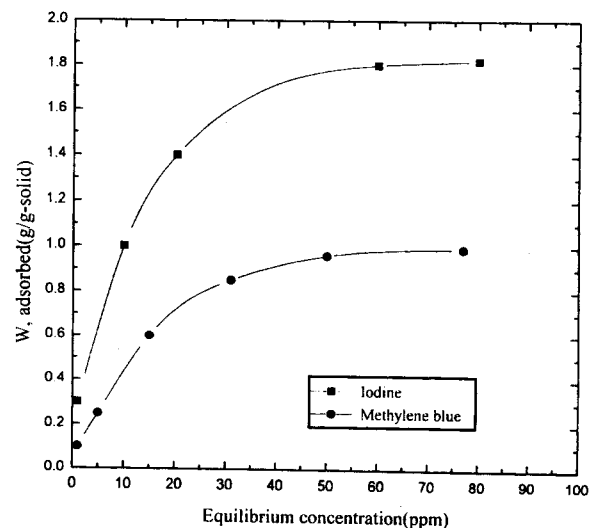


Fig. 4. Decolorization capacity of methylene blue and iodine on ACF. (temp.=293 K, 240 rpm)

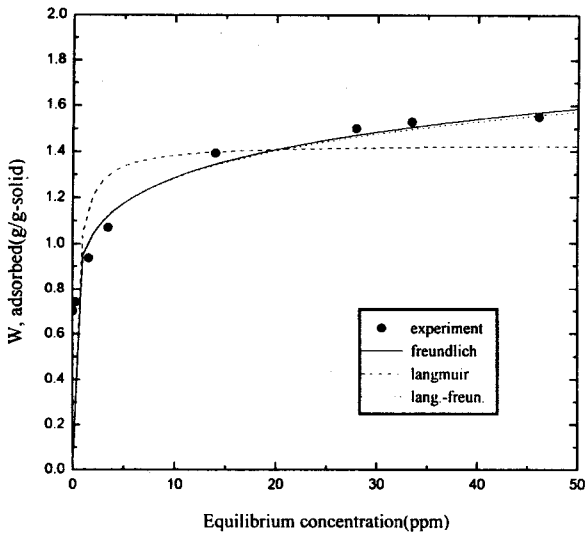


Fig. 5. Equilibrium adsorption isotherm of residual chlorine on ACF. (293 K, 240 rpm, 60 min)

이 적게 나타났다. 이것은 잔류염소화합물이 가지고 있는 결합사슬에 의해, 단분자 형태인 요오드보다도 분자 면적을 넓게하여 상대적으로 잔류염소화합물이 요오드보다 한 분자당 흡착제 표면에서 차지하는 면적이 커진 영향으로 보인다. Suzuki 등[10]은 분자체체질 효과, 흡착질 상호작용력, 분자결합구조 그리고 이온 상태 등이 수용액 성분의 흡착에 영향을 미친다고 보고하였다.

흡착등온식은 흡착제에서 흡착속도와 탈착속도가 같은, 동적 평형이라고 가정하는 속도론적 접근 방식으로서 물리 흡착과 화학 흡착의 경우에 간단하고 유용한 Langmuir식

$$q_e = q_m BC_e / (1 + BC_e) \quad (1)$$

Zeldowitsch에 유도된 고전적인 실험등온식 Freundlich식

$$q_e = kC_e^{1/n} \quad (2)$$

그리고 흡착질이  $n$ 개의 점을 점유한다는 가정에서 Freundlich등온식에 적용된 혼성등온식인 Langmuir-Freundlich식

$$q_e = q_m BC_e^{1/n} / (1 + BC_e^{1/n}) \quad (3)$$

등으로 나타냈다[11].

Table 3에 이들 3가지 식에 적용한 결과들을 정리하였다. 흡착등온식의 파라미터는 실험 자료를 이용 최소자승법으로 구하였다.

Fig. 5에서는 Freundlich식과 Langmuir-Freundlich식이 실험치에 근사하게 접근하였고 Langmuir등온식은 자료상관에 부적합한 것으로 나타나고 있다. 이는 Langmuir등온식의 내재적 가정들의 적용이 어려운 것으로 보이며, 흡착이 여러 가지의 요인들에 의해 영향을 받고 있음을 나타내고 있다. Table 3에서 Freundlich상수  $1/n$ 값이 0.13으로 1보다 적어 favorable한 것으로 나타났으며, 이는 특히 낮은 농도에서 높은 흡착강도를 뜻하고 있다.

Table 3. Parameters of isotherm equations for residual chlorine at 293 K

Langmuir		Freundlich		Langmuir-Freundlich	
$q_m$	1.4331[g/g]	$k$	0.9515	$q_m$	11.9873[g/g]
$B$	2.7235[1/ppm]	$n$	7.6548	$B$	0.0862[(1/ppm) $^{1/n}$ ]
				$n$	6.9762

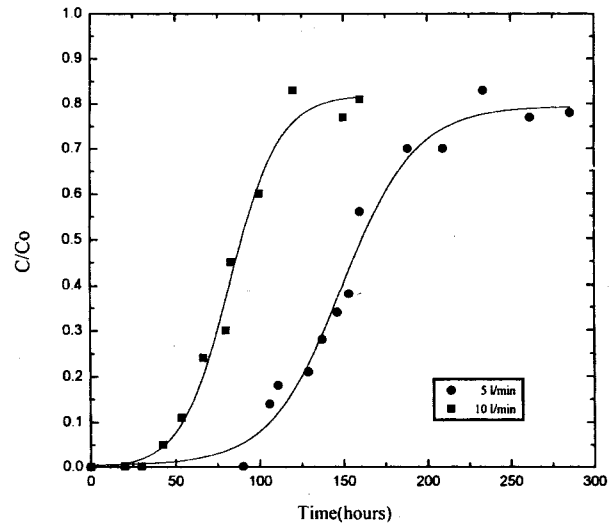


Fig. 6. Breakthrough curves of chlorine on ACF-cartridge. ( $C_0=2$  ppm, different flow rate, temp. 293 K)

### 3-3. 고정층 흡착

정수 실험장치를 이용한 고정층 흡착실험에서는 먼저, 접촉 시간에 대한 흡착 영향을 알아보기 위하여 유량을 각각 5 l/min과 10 l/min으로 조절하고 시간에 따른 파과곡선을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 이때 line안에서의 유속은 각각 11.8 cm/sec, 23.6 cm/sec이다. 두 조건에서 파과점을  $C/C_0=0.1$ 로 하였을 때 파과점에 이르는 시간은 평균 105시간과 55시간으로서 약 2배의 차이를 보이고 있었으나 파과전의 제거율은 99.9%로 같았다. 처리한 수량은 32.77 ton과 31.5 ton으로 약 1 ton정도의 차이를 보이고 있으나 큰 차이는 아니라고 판단된다. 정수용 활성탄소(CGF, 18×40)를 충전하고 흡착실험한 결과는 약 15 ton으로서[12] 활성탄소섬유 카트릿지 월등한 정수능력이 있음을 알 수 있었다. 유속을 2배로 증가시켰음에도 불구하고 처리된 양에서 큰 차이를 보이지 않은 것은 흡착제에서 국부의 흡착속도가 유체의 수송과정보다 훨씬 빨라 유속이 23.6 cm/sec인 유량 10 l/min 정도의 범위 안에서는 충분한 흡착능력이 발휘된 것으로 보이며, 또한 두 실험조건에서 비슷한 형태와 기울기의 파과곡선은 파과점 이후의 급속한 상승을 보이는데 이는 흡착제

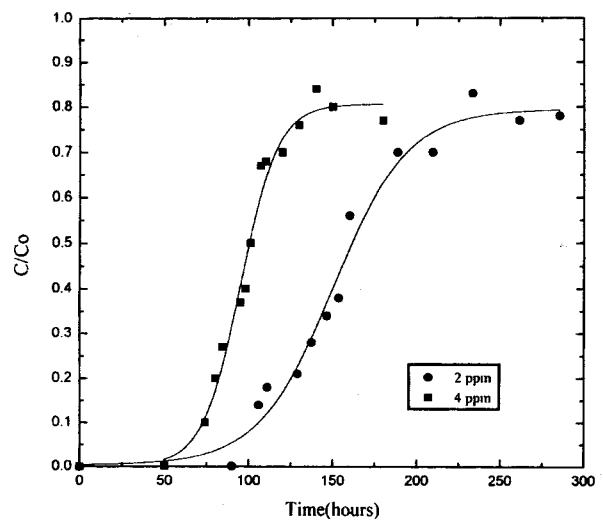


Fig. 7. Breakthrough curves of chlorine on ACF-cartridge. (flow rate 5 l/min, different input conc., temp. 293 K)

가 매우 좁은 물질전달지역(mass transfer zone)을 보이는 것이다. 좁은 물질전달지역을 보이는 것은 흡착층의 비 사용층의 길이가 짧다는 뜻이며 이는 흡착제가 매우 효율적으로 사용되었다는 뜻이다. 비 사용층의 길이는 일정하므로 흡착층의 길이가 길수록 효율이 높아진다. 그러므로 ACF카트릿지의 두께가 커지면 오염물의 처리효율이 훨씬 증가할 것이다.

Fig. 7은 유체의 유입농도변화에 대한 영향을 알아 보기 위한 실험 결과이다. 유입농도가 4 ppm일 때의 파과점은 72시간으로 처리량은 평균 18.27 ton이었다. 유입농도가 2 ppm일 때 처리량 31.5 ton의 반이 나올 것으로 예상했던 처리량 약 15 ton보다 약 3 ton 정도를 더 처리하였는데, 농도의 증가가 흡착제의 표면에 더 잦은 분자 충돌 기회를 가져다 주어 분자확산에 도움을 준 것으로 생각된다. 파과 곡선의 형태도 역시 유입농도가 큰 쪽이 더욱 가파르게 상승하고 있음을 보여주고 있는데, 이는 유리한 형태의 등온곡선에 있어서는 고농도 전선이 저농도 전면보다 더 빠르게 이동하는 현상의 영향이라 판단된다[11].

Fig. 8은 유입농도 2 ppm, 유량이 5 l/min인 조건에서 첫 번째 칼럼을 통과시켜 정수한 물을 두 번째 칼럼에 연속적으로 흘려보내면서 유출수의 농도를 시간에 따라 측정한 결과이다. 두 번째 칼럼에서의 파과 시간은 159시간이고 처리량은 47.6 ton이었다.

두 번째 칼럼에서 파과 곡선의 형태는 앞의 조건들에 비해 덜 가파른 형태를 보이며, 파과후 굴곡은 전 칼럼의 곡선 형태에 따른 일정한 변화를 보여주고 있다. 이는 첫 번째 칼럼을 통과한 처리수에 존재하는 잔류염소 이외에 불순물의 영향이라 보아진다. 즉 우선적으로 잔류염소를 흡착하나 그외에도 흡착될 수 있는 물질의 존재로 인하여 두 번째 칼럼에서는 계속적으로 잔류염소 이외의 불순물을 흡착함으로써 잔류염소에 대한 흡착점의 많은 손실을 가져온 것으로, 원수를 완전히 증류수로 사용하였다면 더 좋은 결과를 얻었을 것이다. 또한 파과전에서는 일정한 제거효율을 보이고 있어 같은 종류의 흡착제를 사용할 경우에는 흡착제의 양이 제거효율에 대한 조절 조건임을 보여준다.

Fig. 9는 각 조건의 파과실험 자료를 이용하여 경과 시간에 대한 상대농도 변화의 기울기를 도식한 것이다. 각 조건에서의 기울기 값은 아래와 같다.

농도/유량/칼럼수 : 기울기  $[d(C/C_0)/d(\text{hours})]$  at  $C/C_0=0.1-C/C_0=0.9$   
 2/5/1 : 0.00578, 2/5/2 : 0.00263, 4/5/1 : 0.01158, 2/10/1 : 0.01098

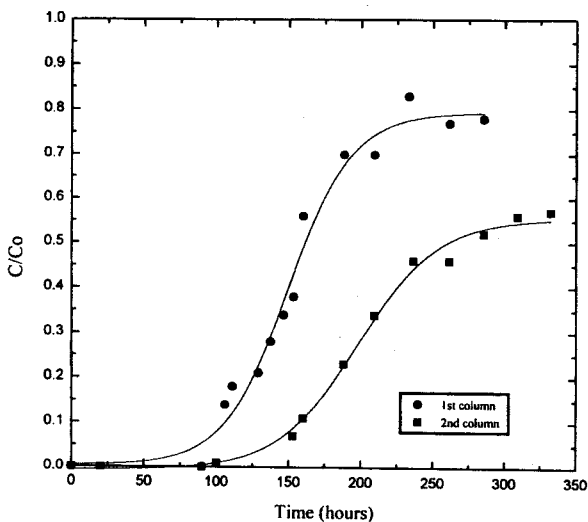


Fig. 8. Breakthrough curves of chlorine on ACF-cartridge.  
(flow rate 5 l/min,  $C_0=2$  ppm, temp. 293 K)

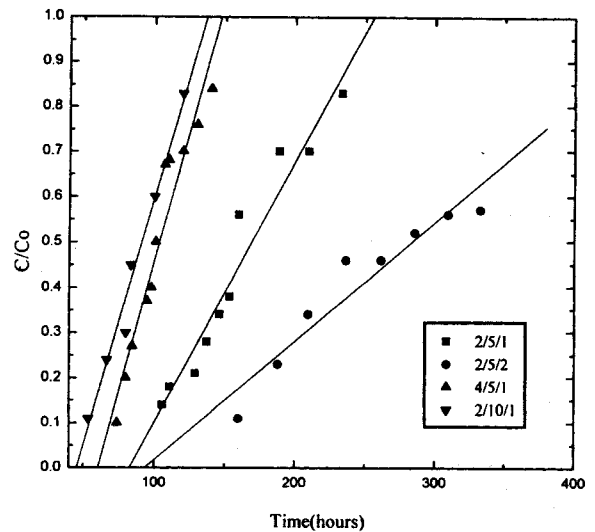


Fig. 9. Slope of breakthrough curves from  $C/C_0=0.1$  to  $C/C_0=0.9$  at each of the conditions.  
(input conc./flow rate/column No.)

이 중 가장 큰 기울기는 유입농도가 가장 큰 조건에서인 0.01158로 압축성 파동전면을 제공하는 조건(등온선이 favorable한 형태)은 유입농도가 증가할수록 더 큰 영향을 주며 전파 속도도 더 빠르게 함을 알 수 있다. 이상의 각 조건에 대한 정수결과를 Table 4에 나타내었다. 흡착량은 아래의 식에 의해 주어졌다.

$$q_e = \frac{V \int_0^\infty (C_0 - C_{out}) dt}{W} \quad (4)$$

흡착 성능( $\eta$ )은 다음 식에 의해 구하였다[13].

$$\eta = \frac{q_b}{q_s} \times 100 \quad (5)$$

$q_s$ : 포화 흡착량

$q_b$ : 파과점까지의 흡착량

고정층 안에서 흡착질의 물질전달대(MTZ)의 이동속도( $v_z$ )는 단위 시간당 전달된 용질의 양을 흡착층 단위길이당 흡착제에 축적된 양으로 나누어 구하였으며 식은 아래와 같다[13].

$$v_z = \frac{U_0 C_0}{\rho_p (1 - \epsilon) q} \quad (6)$$

Table 4에서 가장 높은 흡착 성능은 유입농도가 4 ppm일 때의 71.1%로 Fig. 8에서의 기울기와 비례하였으며, 물질전달대의 속도는 유입농도가 증가할수록 유속이 증가할수록 증가하였다.

Fig. 10에는 80 °C, 90 °C에서 2.5 l/min의 유속으로 탈착 과정을 거친 재생 카트릿지에 대한 파과실험의 결과이다. 탈착온도가 80 °C와 90 °C일 때 재생 카트릿지의 파과점이 각각 52시간, 65시간이었으며

Table 4. Characterization of ACF cartridges at various flowing conditions

Condition	Condition [ppm/flow rate (l/min)/column No.]				
Condition	$t_b$ [hr]	$t_f$ [hr]	$\eta$ [%]	$Q$ [ton]	$v_z$ [cm/s]
2/5/1	105	163	64.6	31.5	$1.36 \times 10^{-3}$
2/10/1	55	92	59.7	32.77	$2.22 \times 10^{-3}$
4/5/1	72	101	71.1	18.27	$2.42 \times 10^{-3}$
2/5/2	159	260	61.6	47.6	—

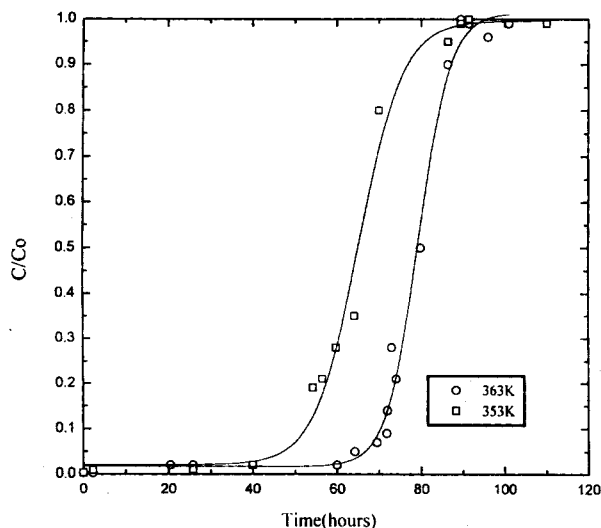


Fig. 10. Breakthrough curves of residual chlorine on regenerated (back washing by water at 353 K and 363 K, 10 hr, 2.5 l/min) ACF cartridge.

( $C_0=2.0$  ppm, 5 l/min, temp. 293 K)

재생성은 각각 50 %, 62 %로 고온일수록 더 나은 재생성을 주는 것으로 나타났다.

파과곡선의 기울기는 재생전의 것에 비해 더욱 가파르게 나타났으며, 파과전의 제거율은 97(%)로 일정하게 나타났다. 이는 흡착점이 모두 재생되지 못하고 가공입자와 겔 표면만이 재생되었지만, 칼럼안에서의 물질전달대는 충분히 형성되고, 제거효율 면에서도 그 능력이 재생후에도 일정함을 보여주는 것이며, 가파른 형태를 보인 것은 흡착에 관여할 수 있는 흡착제의 흡착점이 줄어 결과적으로 적은 양의 흡착제를 충전시켰을 때의 결과와 같은 것으로 보여진다.

#### 4. 결 론

실험에 사용한 활성탄소섬유는  $1,600(m^2/g)$ 의 넓은 비표면적과 평균세공반경이  $7.7\text{\AA}$ 의 미세공으로 이루어져 있어 신속한 흡착속도와 큰 흡착능력이 있으며 정수용 카트릿지를 만들어 사용할 수 있다. 활성탄소섬유에 대한 잔류 염소의 평형흡착곡선은 favorable한 형태를 나타내었으며 흡착등온식은 Freundlich식과 혼성 등온식에 의해 잘 근사되었다. 카트릿지를 이용한 고정층 실험에서 한 개 활성탄소섬유 카트릿지는 2.0 ppm의 잔류염소수를 0.2 ppm에 이르기까지 5 l/min로 평균 31.5 ton 처리했는데, 이는 활성탄소의 약 2배에 해당된다. 효율 면에서는 고농도, 큰 유속에서 유리하였으며 카트릿지의 두께를 증가시킬수록 효과적인 것으로 판단된다. 카트릿지의 재생성은  $90^\circ\text{C}$ 에서 탈착한 경우가 62 %,  $80^\circ\text{C}$ 에서는 50 %로 고온에서 탈착한 경우가 더 좋았다.

#### 사용기호

B : Langmuir coefficient

C : concentration of adsorbate in fluid [mg/l];  $C_m$ , in feed;  $C_e$ , in equilibrium;  $C_{out}$ , in effluent  
 k : Freundlich coefficient  
 n : Freundlich exponent  
 q : adsorbate loading, g/g-solid;  $q_b$ , at break point;  $q_m$ , maximum value;  $q_e$ , at equilibrium with the fluid  
 t : time, h;  $t_b$ , at break point of adsorption;  $t_m$ , at  $c/c_0=0.5$   
 $u_o$  : superficial velocity of fluid [cm/s, m/s]  
 V : volume of solution [ $\text{cm}^3$ ]  
 $v_z$  : velocity of transfer zone [cm/s]  
 W : weight of adsorbent [g]

#### 그리스 문자

$\epsilon$  : external void fraction of bed  
 $\rho_p$  : density of particle [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $\eta$  : bed capacity [%],  $(q_b/q_e) \times 100$

#### 감 사

본 연구는 (주)대동AC의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- Butterfield, C. T.: "Bactericidal Properties of Chloramines and Free Chlorine in Water", Pub. Health Rp ts., Vol. 63(1948).
- Environmental Department: The Rules on Waterwork's Sanitation-Management, 34, 702-1(1996).
- Aikai Kiko.: Japan Waterwork-Association Magazine, 557, 25(1981).
- Kim, H., Park, H.-C. and Moon, H.: HWAHAK KONGHAK, 33 (6), 764(1995).
- Weber, W. J.: "Physicochemical Process for Water Quality Control", Chap. 5, Wiley Interscience, New York, 413(1972).
- Chae, J.-S., Ko, K.-R., Jung, C.-H., Rhee, B.-S. and Ryu, S.-K.: HWAHAK KONGHAK, 31(1), 99(1993).
- Kim, Y.-O., Ko, K.-R., Park, Y.-T. and Ryu, S.-K.: HWAHAK KONGHAK, 30(3), 347(1992).
- Arnold, E. G., Lenore, S. C. and Andrew, D. E.: "Standard Methods", 4500-Cl G. DPD Colorimetric Method, American Public Health Association(1992).
- Moon, H., Park, C. and Lee, W.-K.: Korean J. Chem. Eng., 7(4), 250(1990).
- Motoyuki, S.: "Adsorption Engineering", Kodansha LTD., Tokyo (1990).
- Yang, R. T.: "Gas Separation by Adsorption Processes", Butterworths(1987).
- Lee, J.-K. and Ryu, S.-K.: Daedong AC Report(I), Chungnam Univ.(1996).
- McCabe, W. L., Smith, J. C. and Peter, H.: "Unit Operations of Chemical Engineering", Chap. 25, McGraw-Hill Inc.(1985).