

## ACF-Cartridge를 이용한 수중 잔류 염소 제거

이재광, 유승곤, 고창영\*  
충남 대학교 공과대학 화학공학과, 대동전기\*

The removal of residual chloride from aqueous solution  
onto activated carbon fiber cartridge

J.K. Lee, S.K. Ryu, C.Y. Ko\*  
Dept. of Chem. Engin. Chungnam National Univ., Deadong electric Co.\*

### 서론

보건복지部令 제 106에 규정된 우리 나라의 음료수 수질 기준을 보면 수돗물 공급 쪽지에서의 잔류염소의 농도가 0.2ppm이상이 되도록 상수도 정수 과정에서 염소 소독을 실시하여야 한다. 그런데 물 속에 염소를 주입함으로써 살균, 냄새 제거, BOD제거 등의 목적은 달성 할 수 있지만, 잔류염소는 수중의 유기물과 결합하여 인체에 해로운 염소 화합물을 생성시킬 수 있으며 이들 중에는 THM(Trihalomethane)과 같은 발암물질인 것도 있다.[1] 잔류염소의 제거를 위한 방법중 가장 실용적으로 사용해 오고 있는 방법은 활성탄에 의한 흡착 제거 방법이다. 한편, 새로운 흡착제로 주목받고 있는 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)는 분말상 또는 입상 활성탄이 갖는 단점을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 균일하고 작은 미세공들이 모두 표면에 노출되어 있으므로 확산 저항이 작아서 매우 신속한 흡착 속도를 보이며 직포나 부직포 등으로 성형하여 사용할 수 있는 잇점이 있다. 본 실험에서는 활성탄소섬유를 이용하여 카트리지를 만들고 이를 실제의 정수기에 넣은 후 염소 농도를 조절한 수돗물을 통과시키면서 잔류염소 제거 성능을 밝히고자 하였다.

### 실험

실험에 사용된 염소 용액은 차아염화칼슘( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ )을 증류수에 녹여 제조하였다. 이 용액을 다시 정제 수돗물과 섞어 잔류염소의 농도가 2~4ppm이 되도록 조절하여 카트리지를 통과시켰다. 15°C에서의 용액의 pH는 약 8.5이고 용존 이온들은  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{HClO}$ 이다. 카트리는 페놀계 활성탄소섬유(일본 Kuraray Chemical Co. A-15) 100g을 성형하여(대동전기) 만들었다. 활성탄소섬유의 특성을 Table 1.에 정리하였다. 실험 장치는 Fig.1에 도시하였다. 유량은 1.5 l/min~15 l/min로 공급되었고, 카트리지 장입 칼럼은 두개를 직렬로 연결한 것을 다시 3개조로 병렬로 연결하여 동시에 3개를 측정할 수 있으며, 또한 각 라인마다 유량이 다르게 조절할 수 있도록 하였다. 정제된 수돗물의 공급

은 정량 펌프를 사용하였고 염소 용액은 정량 용액 공급 펌프를 사용하였으며 이들은 inline mixer에서 완전히 혼합되어 농도가 조절되어 유로를 통과한다. 잔류염소의 분석은 Standard Methods[2] DPD Colorimetric Method를 기준으로 하여 실행하였다. 농도 분석을 위해 사용한 기기는 자외선 분광기(Milton Roy Spectronic 601)이며 0.01ppm까지 정확히 측정하였다. 실험 조건을 Table 2.와 같이 하였고, 결과는 한 조건에서 6회 이상 실시한 다음 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지를 평균하여 정하였다.

Table 1. Properties of phenol-resin based ACF.

Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Total pore volume (cc/g)	Average pore radius(Å)
1570	0.762	9.71

Table 2. Experimental conditions.

Exp. No.	Conc. of solution(ppm)	Flow rate (l/min)	Column No.	Temp. (°C)	pH
1	2	5	1	15	8~8.5
2	2	5	2	15	8~8.5
3	2	10	1	15	8~8.5
4	4	5	1	15	8~8.5

### 결과 및 고찰

입구 농도 2ppm인 용액을 5 l/min과 10 l/min의 유량으로 카트리지를 통과시키면서 시간에 따라 측정한 유출 용액의 잔류 염소량을 Fig.2에 보였다. 그림으로부터 파괴점을  $C/C_0=0.1$ 로 취하면 10 l/min인 경우는 60hr, 5 l/min인 경우는 120hr에 도달하였다. 시간을 유량으로 환산하면 90%의 잔류염소를 처리하는데 그 처리량은 각각 약 36ton으로 10 l/min과 5 l/min의 처리한 양은 같았다. Fig.3에는 유속 5 l/min에서 입구 농도 2ppm과 4ppm에 대한 비교를 하였다. 4ppm인 경우 파괴점을 98hr에 2ppm인 경우 120hr에 도달하였는데, 입구 농도가 클수록 많은 잔류 염소가 전달되어 파괴가 일찍 일어남을 보여준다. 그림에서  $C/C_0$ 가 0.8인 부근에서 더이상 증가하지 못함을 보여주는데, 이는 정제한 수돗물에 미량으로 존재하는 불순물들이 카트리지의 표면에 여과되어 활성탄소섬유의 흡착 능력을 제한하기 때문으로 해석된다. Fig.4에서는 입구 농도 2ppm, 유속 5 l/min에서 이중 칼럼을 통과하였을 때의 결과이다. 첫 번째 칼럼 파괴 도달 시간이 120hr이고 두 번째 칼럼 파괴 시간은 170hr로 약 1.4배의 효과를 보였다. 파괴점 전에 제거 성능에서 첫 번째 칼럼의 유출수 농도는 0.06ppm이고 두 번째 칼럼의 유출수 농도는 0.03ppm 이하로 상당히 저농도까지 제거가 가능함을 보여준다. Fig.5에서는 각각의 결과에서의 제거율을 보인 것이다. 앞의 결과에 따라 제거율

은 농도와 유량에는 반비례함을 알 수 있고, 파과점 이후 제거율은 급격하게 감소함을 보여준다. Table 1.의 실험 조건에 따라 제거된 흡착질의 양과 흡착층의 효율 그리고 평균 제거율을 Table 3.에 정리하였다.[3]

Table 3. The adsorption capacity of Cartridge( $W$ :adsorbate loading(g/g solid))

Exp. No.	$W_b$ (break point) (g/g)	$W_s$ (saturated) (g/g)	$W_b/W_s$ (bed capacity) (%)	removal ratio(%)
1	0.79	1.28	61	98
2	1.15	2.05	56	99
3	0.83	1.38	60	98
4	1.06	1.55	68	97

Table 3.에서, 같은 유속에서 농도가 다른 조건1과 조건4를 비교 할 때 층의 효율 면에선 입구 농도가 큰 조건4가 더욱 좋음을 보여주는데, 이는 농도가 클수록 흡착제의 기공으로의 확산 속도와 표면을 덮고 있는 정도가 큰 것으로 보인다. 유속 차의 영향을 조건1과 조건3에서 비교하면 제거 양이나 층효율이 거의 비슷한 것으로 나타나 10 l/min까지의 범위 내에서는 흡착 속도가 거의 비슷한 것으로 볼 수 있다. 농도와 유속이 같은 조건에서, 이중 칼럼인 조건 2는 예상대로 조건1보다 약 2배의 제거 양을 보여주지만 층효율은 약 10%정도 떨어짐을 보여주는데 수중에 잔류염소 이외의 불순물을 제거하는데 기공들이 소모된 것으로 보인다. 제거율에선 이중 칼럼일 경우가 가장 좋았고 유속이 같은 경우엔 농도가 크면 제거율은 약간 떨어짐을 보이지만, 같은 농도에선 유량의 영향이 10l/min의 안에서는 없는 것으로 보인다. 이상의 결과에서 카트리지를 이용한 잔류염소의 제거능에선 조건3의 경우가 가장 효과적임을 보여준다. 하지만 아주 저농도까지의 제거를 위해서는 유속을 느리게 하고 칼럼을 직렬로 연결하여 이용함이 좋을 것으로 보인다.

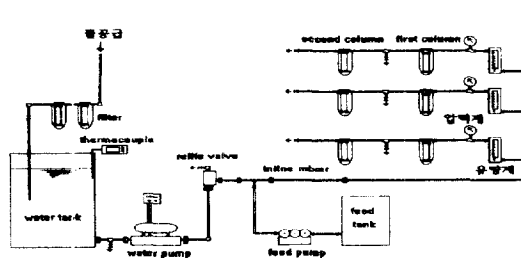


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

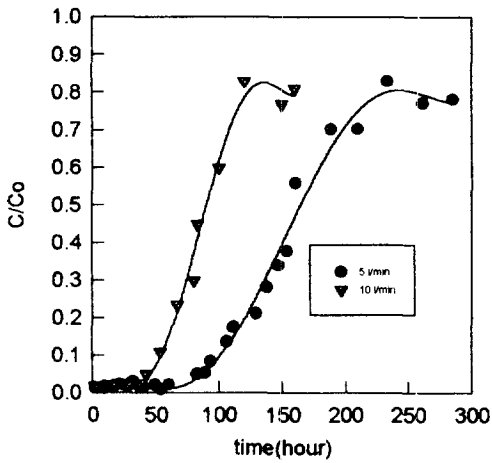


Fig. 2 Breakthrough curve of residual chloride.(Conc.=2ppm, Temp.=15 °C)

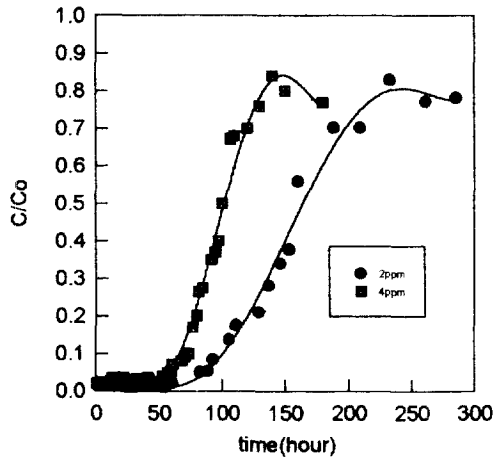


Fig. 3 Breakthrough curve of residual chloride.(Flow rate=5l/min, Temp.=15 °C)

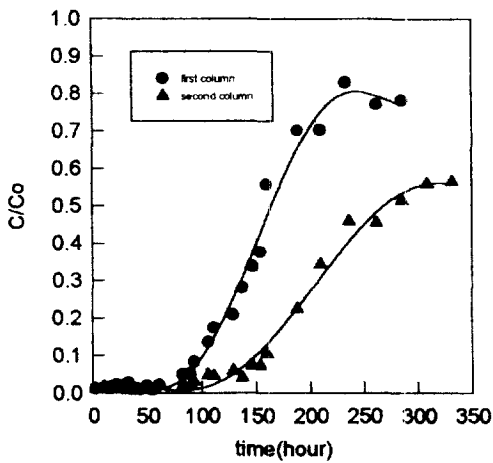


Fig. 4 Breakthrough curve of residual chloride. (Conc.=2ppm, Temp.=15 °C, Flow rate=5l/min)

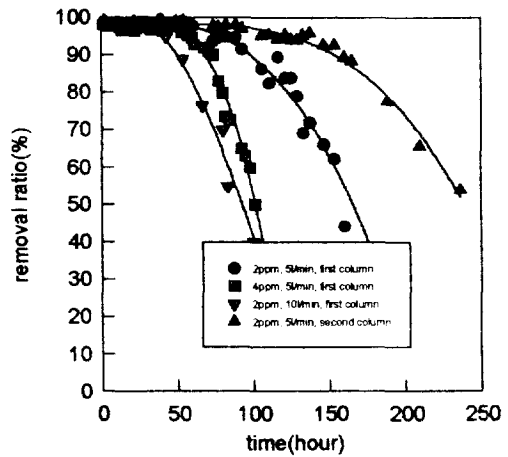


Fig. 6 The removal capacity of residual chloride by the ACF-Cartridge.

참고문헌

1. 崔義熙, 趙光明: 環境工學, 清文閣(1995)
2. Arnold E.G., Lenore S.C., Andrew D.E.: STANDARD METHODS, American Public Health Association(1992)
3. Warren L.McCabe, Julian C.Smith, Peter Harriott: UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, McGraw-Hill Inc.(1985)