

Humic acid 제거를 위한 국산 입상활성탄의 흡착성능 평가에 관한 연구

신성교 · 김종구 · 박청길

부산수산대학교 환경공학과
(1993년 3월 4일 접수)

A Study on Evaluation of Adsorption Performance of Humic Acid on Granular Activated Carbon

Sung-Gyo Shin, Jong-Gu Kim and Chung-Kil Park

*Department of Environmental Science and Engineering Graduate School,
National fisheries University of Pusan
(Manuscript received 4 March 1993)*

Abstract

Adsorption process using granular activated carbon(GAC) has been considered as one of the most effective water treatment technologies to remove humic acid which is recognized as trihalomethane(THM) precursor in chlorination.

To design the most effective GAC process, it is necessary to conduct the test of adsorption performance by means of isotherm, batch rate and column studies and to select the most effective activated carbon according to raw materials of GAC—lignite and coconut shell.

The objective of this study is to investigate the adsorption performance of humic acid on two activated carbons—lignite activated carbon(LAC) and coconut shell activated carbon(CAC) made in Korea.

It is available to represent UV-abs and trihalomethane formation potential(THMFP) as concentration of humic acid due to good relationship.

The adsorption capacity of humic acid is not concerned with surface area of activated carbon but with pore size related to about 100 Å, and then LAC forming at the extent of mesopore is found to be eight times more effective in adsorption capacity than CAC forming at micropore.

The adsorption capacity of LAC and CAC is better at pH 5.5 than at pH 7.

Pore and surface diffusion coefficients calculated from the diffusion model are $7.61 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{sec}$, $3.52 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ for CAC, and $3.38 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ and $D_s = 1.48 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ for GAC respectively.

From the results of column test it shows that the performance of LAC is also better than CAC and the optimal EBCT(Empty Bed Contact Time) is 4.52min. and activated carbon removes selectively the components of humic acid to be easily formed to THM.

Key words : adsorption performance, humic acid, granular activated carbon, trihalomethane, adsorption capacity

1. 서 론

상수의 정수처리공정에서 살균처리 및 철, 망간 등의 제거를 위해 전통적으로 염소처리공정을 사용하여 왔다.

그러나 처리된 염소는 수중의 천연유기물과 결합하여 Trihalomethane(THM)을 생성하게 되고, 특히 THM중 Chloroform은 미국국립암연구소의 동물시험결과 발암물질 임이 밝혀져 미국을 비롯한 선진국에서는 이미 음용수 중의 THM 농도 허용 기준을 정하고 효과적인 처리방안에 관한 많은 연구를 수행하기에 이르렀다(浦野紘平과 和田洋, 1981; Cotruvo, J. A. and Wu, C., 1978). 이들 THM은 수도원수중 유기물의 약 50%를 차지하는 humic substance와 같은 전구물질이 염소처리시 염소와 반응하여 생성된다(Trussel, R. R. and Umphres, M. D., 1978; 厚生省水道環境部, 1981). 그러나 염소처리로 인한 이런 문제에도 불구하고 염소처리는 그 처리효능이나 경제적인 면에서 여전히 유용한 처리법으로 대부분의 정수장에서 이용되고 있다. 그러므로 효과적인 THM제어를 위해서는 전구물질인 humic substance의 제거가 이루어져야 한다.

이들 humic substance은 식물의 사체, 동물의 배설물 등이 미생물에 의한 분해로 생성되어지며, 유기토양 하천수, 해양, 분뇨처리수, 하수처리수 등에 존재하여 수중의 착색성분을 형성하게 된다. 일반적으로 humic substance은 분자량이 1,000에서 100,000정도를 갖는 거대분자들로 구성되어 있고 산과 알칼리에 대한 용해도 및 분자량의 차이에 의해 humic acid, hmatomelanolic acid 및 fulvic acid로 분류되며, 이 중 humic acid는 분자량이 100,000에 이르는 거대분자로 알칼리에 녹는 성질을 갖는다(浦野紘平과 和田洋, 1981; Trussell, R. R. and Umphres, M. D., 1978). humic acid의 제거를 위해 응집침전을 통한 부분제거가 가능하다. 그러나 원수중의 미량 유기물의 제거 및 보다 강화된 수질 기준을 만족시키기 위해서는 활성탄에 의한 흡착제거가 가장 효과적인 방법인 것으로 알려졌다(Kavanaugh, M. C., 1978).

정수처리용 활성탄은 분말활성탄과 입상활성탄

을 사용할 수가 있는데 분말활성탄의 경우 재생불가로 인한 비용의 증가, 취급곤란, 침전조에서의 침전물의 분리제거 곤란 및 폐 슬러지의 처분 등 많은 문제점이 있다. 현재 우리나라의 거의 모든 정수장에서는 분말활성탄을 사용하고 있으나 상기 문제점들로 인해 입상활성탄 사용에 관한 검토가 이루어 지고 있으며 일부 시설계획중에 있다(釜山直轄市廳, 1990; 韓國水資源公社, 1990; Boeing, P. H. and Beckmann, B. B., 1980; 浦野紘平의, 1982).

입상활성탄을 이용한 상수처리시 흡착제거 대상 물질에 따른 원료별 활성탄의 적절한 선택이 대단히 중요하다. Boeing 외(1980)는 humic substance의 제거를 위한 적정 활성탄의 선택을 위해 역청탄 및 갈탄을 원료로 한 활성탄에 대한 흡착용량 시험을 수행하였고, 浦野紘平 외(1982)는 14종류의 각 원료별 활성탄에 대한 흡착용량 시험을 수행하였다. 이들의 연구결과 각 원료별 활성탄의 흡착능력이 큰 차이를 보였다. 국내에서는 수증기부활법에 의한 야자활성탄이 생산의 대부분을 차지하고 이들 야자껍질활성탄이 정수처리공정에 이용되고 있다. 그러나 활성탄 흡착탑의 효율적 설계를 위해서는 처리대상물질에 따른 적정활성탄의 선택이 필요하다.

본 연구는 humic acid 제거를 위해 국내 생산중인 야자껍질 및 갈탄활성탄 2종류를 선정하여 정수용 활성탄의 적정 선정 및 효율적 활용을 위한 활성탄 선정상의 기준 및 평가에 대한 기초자료로서 이들 활성탄의 원료별 세공분포특성에 따른 humic acid의 흡착용량 및 성능을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 재 료

2.1.1. humic acid

Aldrich chemical company Inc.의 humic acid 표준시약을 사용하여 1M NaOH에 용해 시킨 후 5C 여과지를 이용하여 여과된 여액만을 알칼리 가용성 humic acid 용액으로 사용하였다.

2.1.2. 활성탄

국산 입상 야자껍질 활성탄(Coconut Shell Activated Carbon, CAC) 및 입상 갈탄 활성탄(Lignite Activated Carbon, LAC)을 본 시험에 사용하였고 제조사로 부터 주어진 이들 활성탄의 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of activated carbon used

	Coconut shell activated carbon	Lignite activated carbon
Moisture, %	1.7	1.5
Volatile matter, %	1.4	2.2
Ash, %	1.7	4.0
Bulk density, g/cc	0.44	0.46
Hardness	97.4	91.3
Iodine value, mg/g	1,140	876
MB adsorption, ml/g	250	130
Surface area, m ² /g	1,108	733

이들 활성탄은 필요 크기로 분쇄하고 증류수로 수차례 세척하여 105°C에서 2시간 건조시킨 후 사용하였다.

2.1.3. THM 표준용액

THM생성능(THMFP) 측정을 위해 사용된 표준용액은 Wako pure chemical industries Ltd.의 THM 혼합표준용액을 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 활성탄의 흡착성능

1) 흡착용량

Humic acid 3.4, 6.8, 13.6, 33.9 및 67.8ppm 용액 100ml를 각각 취하고 LAC 0.1g, CAC 0.03g을 각각 투입한 후, 충분한 흡착평형이 일어날 수 있도록 2일간 170rpm으로 25°C 등온반응조에서 혼합시킨다. 흡착평형상태에 도달하면 humic acid용액의 농도를 자외선 흡수 분광법과 THMFP법으로 측정한다. 이때 흡착평형시간을 단축시키기 위해 각 활성탄은 200mesh 이하로 분쇄하여 증류수로 수차례 세척한 후 105°C에서 2시간 건조후 사용하였다.

또한 Semmens 의(1986)가 제안한 pH에 따른 흡착실험으로 부터 최적 pH를 알아보기 위해 각 용액의 pH를 5.5와 7.0으로 하여 각각 실험하였다.

2) 흡착속도

Humic acid 13.6ppm의 용액 1000ml에 CAC 2.5g, LAC 0.75g을 각각 투입하고 용액의 pH를 5.5로 맞추는 후 액경막 물질이동계수의 영향을 무시할 수 있는 1,500rpm으로 교반하면서 시간별 용액의 농도변화를 측정하였다.

이때 반응조는 등온조건을 유지하기 위해 25°C 수조내에서 행해졌으며 완전 혼합이 일어날 수 있도록 직경 16cm의 반응조내 1.5cm의 baffle 4개(Fig. 1)를 설치하였다(Hand, D. W. and Crittenden, J. C., 1983).

3) Column test

직경 12mm의 glass column에 35×80 mesh의 CAC와 LAC를 각각 15cm 채우고 6.8ppm의 humic acid용액을 pH 5.5에서 mini-pump를 사용하여 2.5 ml/min와 5ml/min의 유량으로 흘려 보내고 통수후 시간에 따른 농도변화를 측정하고 유출특성을 조사한다. 또한 단시간내 활성탄의 파과곡선(波過曲線)을 살펴보기 위해 동일조건하에서 LAC를 10cm 채우고 통수후 시간에 따른 농도변화를 자외선 흡수분광법과 THMFP로 측정한다. 이때 column내 활성탄의 지지와 유출을 막기위해 glass wool을 사용한다(Fig. 1).

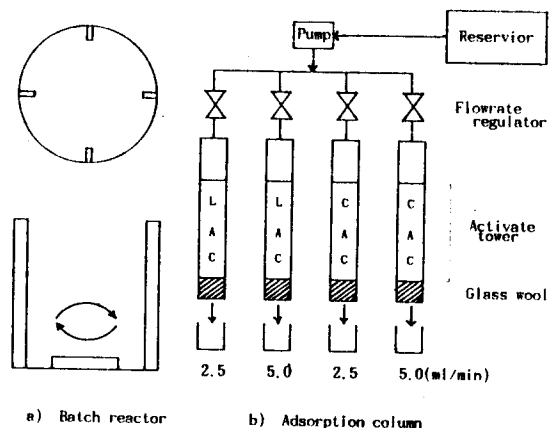


Fig. 1. Schematic of the batch reactor and the adsorption column.

2.2.2. 세공분포특성

모관응축이론에 의한 BJH(Barret, Joyer & Halenda)의 세공분포 측정원리를 이용한 세공분포 측정을 Nitrogen가스 흡착을 통한 Micromeritics Instrument사의 자동 세공분포 측정장치로 조사하였다.

2.2.3. humic acid의 농도측정

1) 자외선 흡수 분광법(UV-abs)

Shimadzu사의 UV 흡광광도계로 254nm 에서 흡광도를 10mm Cell을 사용하여 측정하였다.

2) THM생성능(Trihalomethane Formation Potential, THMFP)

25ml vial에 시료수 약 75%를 채우고 완충용액을 사용하여 pH를 7에 맞춘 후 차아염소산나트륨을 이용하여 과잉량의 염소처리후 25℃ 일정 온도 하에서 2일간의 반응시간이 경과한 후 상부 head 부분을 gastight syringe로 GC에 주입하여 측정하는 Head space법에 의해 분석하였다. 이때 THM 분석을 위해 사용된 Shimadzu GC-7A의 조건은 Table 2와 같다(厚生省水道環境部, 1980; Edwards, A. C. and Cresser, M. S., 1987).

Table 2. Operating condition of GC for analysis of THMFP

Column size	: 2m×3mm
Column packing material	: Silicon DC 550 10% on chromosorb W(AW-DMCS) 80/100mesh
Column temperature	: 120℃
Injection temperature	: 300℃
Detector temperature	: 300℃
Detector	: ECD
Carrier gas	: Nitrogen
Carrier gas flowrate	: 40ml/min.
Sample injection volume	: 0.015ml

3. 결과 및 고찰

3.1. humic acid 농도변화와 자외선흡광도 및 THMFP과의 상관관계

Fig. 2는 humic acid의 농도변화에 따른 254nm 에서 흡광도와와의 상관관계를 나타낸 것으로 상관계수 $r=0.998$ 의 좋은 상관관계를 보였다. 이는 Edward 외(1987)가 상수원수에서 TOC와 흡광도 값들에 대한 상관관계 연구조사 결과와 일치하며, humic acid의 농도평가에도 유용한 방법으로 사료된다.

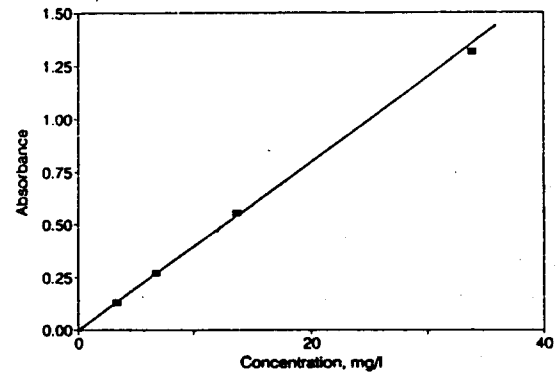


Fig. 2. Relation between humic acid concentration and absorbance.

Fig. 3은 humic acid의 농도 변화에 따른 THMFP와의 상관관계를 나타낸 것으로 상관계수 $r=0.996$ 의 좋은 상관관계를 보였다. 이때 반응조건은 Cl_2 주입량 10ppm, pH7, 온도 20℃를 유지시키고 48시간 반응시킨후 측정된 값으로 10ppm의 humic

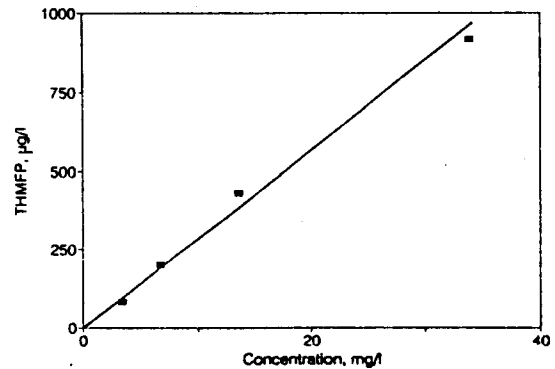


Fig. 3. Relation between humic acid concentration and THMFP.

acid에 대한 THMFP 값이 280ppb를 보여 동일조건에서 Fluka AG(CH-9470 Bushs) humic acid 표준시약을 사용하여 실험한 황 외(1990)의 결과인 230ppb에 비교해 비교적 높은 값을 나타내었다. 이는 Summer 외(1987)의 본실험에 사용한 Aldrich사의 시약을 이용하여 실험한 결과에서 Aldrich사의 제품이 비교적 큰 분자량 분포를 보이며 THMFP이 더 큰 값을 보인 결과와 일치하였다.

3.2. 활성탄의 원료별 세공분포특성

Fig.4는 질소흡착을 통해 측정된 mesopore(10Å) 이상의 LAC 및 CAC의 세공직경분포를 나타낸 것이다.

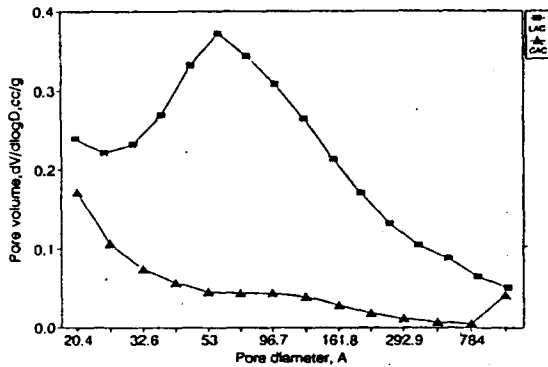


Fig. 4. Pore size distribution of LAC and CAC tested by nitrogen adsorption.

LAC의 경우 CAC에 비해 100Å을 전후한 mesopore 영역의 세공이 매우 발달해 있음을 볼 수 있다. 이들의 세공용적을 살펴보면 LAC의 경우 0.6195cc/g, CAC 경우 0.5597cc/g을 보였고, 비표면적은 733.5m²/g, 1108.6m²/g을 각각 보였다. 이는 야자활성탄의 경우 10Å 이하의 micropore 영역의 세공이 발달되어 비표면적은 LAC에 비해 1.5배 정도 넓음에도 세공용적은 더 적은 값을 보였다. 한편 LAC는 비교적 큰 mesopore 영역의 세공이 발달함에 따라 경도가 91.3으로 야자활성탄의 97.4에 비해 적은 값을 갖게 되어 흡착탑 충전사용시 역세척 등의 과정에서 유속에 의한 부서짐에 의해 흡착층의 막힘현상 등이 발생하게 된다(黃善振, 1990).

3.3. 활성탄의 원료별 흡착용량

Fig. 5은 LAC와 CAC에 대해 Freundlich 등온흡착실험을 통해 구한 결과를 도시한 것이고, 이를 통해 얻은 각각의 흡착상수 1/n과 k값이 Table 3에 나타나 있다.

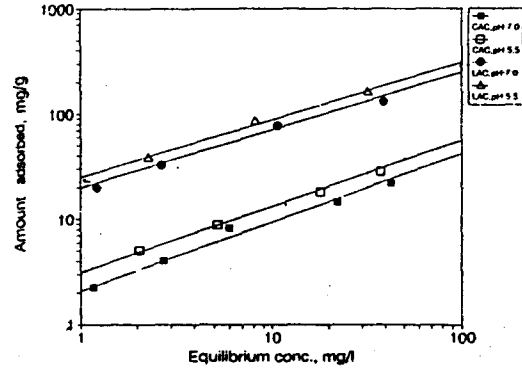


Fig. 5. Freundlich isotherm tested at pH 5.5 and 7.0 for LAC and CAC.

Table 3. Comparison of adsorption coefficient tested with Freundlich isotherm for LAC and CAC

adsorption coefficient	LAC		CAC	
	pH 5.5	pH 7	pH 5.5	pH 7
1/n	0.5400	0.5492	0.6268	0.6531
K, mg/g-Ac	25.0	20.0	3.1	2.1

LAC 와 CAC의 흡착용량을 비교해 보면 흡착상수 1/n값이 LAC의 0.54에 비해 CAC는 0.65로 0.11 정도의 높은 값을 보였다. 또한 k값은 LAC의 25.0 mg/g-Ac에 비해 CAC는 3.1mg/g-Ac로 8배 정도 높은 값을 보였다. 北川 외는 Freundlich 등온흡착 실험결과 1/n이 2보다 큰 값을 보이면 등온흡착선의 기울기가 크게되어 활성탄양을 증가시켜도 흡착질이 잘 제거되지 않으며, 1/n값이 0.1~0.5의 범위내에서 저농도 흡착처리에 적합하며 이 범위 내에서 k값이 클수록 수처리에 효과적이라 하였다. 이상의 결과로부터 LAC는 CAC에 비해 흡착용량 면에서 대단히 우수함을 알 수 있다. 이는 세공분포와 대단히 밀접한 관계가 있으며, Cornel등은

humic acid의 분자량이 1,000~5,000일 경우 Stokes-Einstein radius, r_{SE} (hydrodynamic radius)가 12Å 정도이며 분자량 50,000~100,000일 경우 59 Å까지의 값을 갖는다 하였다. 즉, 이는 humic acid와 같은 고분자 물질의 흡착제거를 위한 흡착제로서 활성탄은 적어도 mesopore 이상의 세공영역에서 만이 흡착에 관여할 수 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 5는 pH 7과 pH 5.5에서 각각 실험한 결과를 보여 주고 있다. LAC와 CAC 모두 1.3과 1.5배 정도의 높은 흡착상수 k 값을 보여 pH 5.5에서 흡착능이 큼을 알 수 있다. 이는 pH가 중성상태일 경우 활성탄표면과 humic acid의 carboxylic group의 해리에 의해 각각이 음전하를 띠게 되며 정전기반발력이 작용하게 되어 이들의 흡착을 어렵게 한다. 그러나 pH의 저하로 인한 양전하의 추가에 따른 전기적 중성상태가 이루어져 정전기적 반발력이 줄어들어 흡착이 보다 용이해진다.

Fig. 6은 LAC와 CAC의 THMFP에 대한 Freundlich 등온흡착 실험결과를 나타낸 것이다. 이들의 흡착상수 값은 LAC의 경우 $1/n=0.6259$, $k=81.8\mu\text{g/g}-\text{Ac}$ 였고 CAC는 $1/n=0.7123$, $k=9.3\mu\text{g/g}-\text{Ac}$ 로 $1/n$ 값이 UV-abs를 통한 실험보다 높은 값을 나타내었다. 이는 THM의 저농도 흡착이 비교적 힘들다는 사실을 보여준다. k 값은 UV-abs의 결과 유사한 9배 정도의 차이를 보여 THM에 대한 흡착용량 역시 CAC가 LAC의 흡착용량에 비해 적은 값을 보임을 알 수 있다.

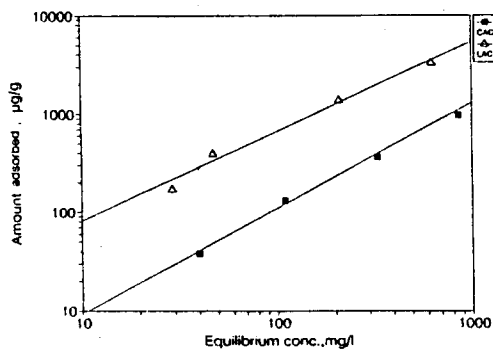


Fig. 6. Freundlich isotherm tested for THMFP at pH 5.5

3.4. 세공확산계수 및 표면확산계수

Hashimoto-Miura 외(1976)의 비등온흡착식에 의한 세공 및 표면확산계수를 구하기 위해 제안한 방법에 따라 표면확산계수와 세공확산계수를 구한 값이 Table 4에 나타나있다. LAC는 $D_s=1.48 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$, $D_p=3.38 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 이고 CAC의 경우 $D_s=3.52 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$, $D_p=7.61 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{sec}$ 으로 각각 나타났다. Lee 외(1983)의 HSDM(Homogeneous Surface Diffusion Model)을 이용하여 CMBR(Completely Mixed Batch Reactor)로 구한 결과는 $D_s=1.3 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec} \sim 6.0 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ 의 값을 보였으며, Weber 외(1978)은 $D_s=15 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ 의 값을 보여, Lee등이 실험한 값의 범위내임을 알 수 있다. 또한 Summer 외(1987)가 HSDM과 PSDM(Pore Surface Diffusion Model)을 이용하여 Aldrich사의 CHA(Commercial humic Acid)를 사용하여 DCBR(Differential Column Batch Reactor)로 측정된 값은 $D_s=1.3 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec} \sim 1.4 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$, $D_p=2.5 \sim 3.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 의 값을 보여 본 실험값과 비교적 잘 일치하였다.

Table 4. Pore and surface diffusion coefficient of two activated carbons

	Coconut shell activated carbon	Lignite activated carbon
D_p , m^2/sec	7.61×10^{-13}	3.38×10^{-12}
D_s , m^2/sec	3.52×10^{-15}	1.48×10^{-15}

일반적으로 흡착공정에서 액경막물질이동계수, 세공확산계수 및 표면확산계수를 비교하여 이들 중 가장 낮은 속도 단계가 전 흡착공정의 속도를 지배하는 속도제어단계가 된다. 액경막물질이동계수는 세공확산계수와 표면확산계수에 비해 훨씬 빠른 값을 보이며, 실험결과 세공확산계수가 표면확산계수 보다 빠른 값을 보였다. 그러므로 활성탄에 의한 humic acid의 흡착공정에서는 표면확산이 속도제어단계가 된다.

또한 수치해를 통해 구한 표면확산모델과 실험을 통해 나타난 값들을 비교 도시한 결과가 Fig. 7에 나타나 있다.

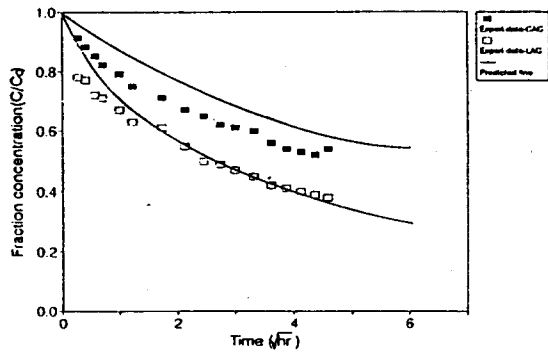


Fig. 7. Sensitivity of the surface diffusion model

3.5. Column 흡착성능

Fig. 8은 두 활성탄에 대해 pH 5.5에서 EBCT (Empty Bed Contact Time) 3.39분과 6.79분으로 하여 48시간 흡착시험하여 구한 유출곡선이다. CAC의 경우 EBCT 3.39분 일때 통수후 5시간, EBCT 6.79분 일때 13시간후 초기농도의 50%가 유출됨을 보였다. LAC의 경우 EBCT 3.39분 및 6.79분 모두가 통수후 48시간 운전 종료시까지 초기 농도의 50% 유출점에 도달되지 않음을 알 수 있다. 이는 흡착용량실험 결과와 일치하며 두 활성탄의 흡착성능 차이를 입증해 준다. 그러나 통수후 48시간 경과시 LAC의 경우 경도 값이 낮아 유속에 의한 부서짐으로 흡착층이 막혀 심각한 압력손실이 발생하였다. 이는 흡착탑 운영시 역세척주기의 결과와 관계되며 경제적인 흡착탑 운영을 위해 목적처리효율을 고려한 적정 EBCT의 선정이 필요하다.

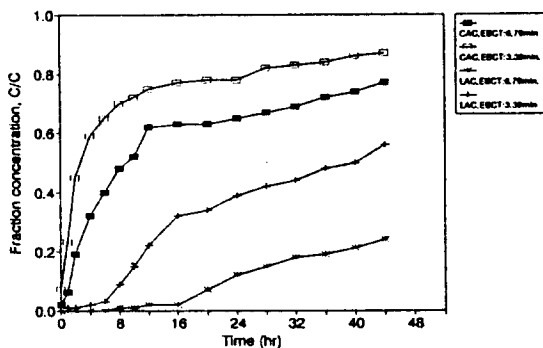


Fig. 8. Break-through curve of LAC and CAC in EBCT 3.39 and 6.79 min.

그래서 LAC에 대해 역세척주기와 처리효율을 고려한 적정 EBCT의 선정을 위해 유입수 200ppb의 THMFP으로 하여 EBCT 4.52와 2.26분으로 흡착실험한 결과가 Fig. 9에 나타나있다. THMFP에 대한 흡착제거 성능은 통수 초기에는 흡광도에 비해 잘 흡착되지 않는 경향을 보였으나, 흡광도가 초기농도의 50%유출 후에도 THMFP의 경우 쉽게 유출농도가 증가하지 않음을 알 수 있다. 이는 THMFP에 대한 Freundlich 등은 흡착시험결과에서도 볼 수 있듯이 흡착상수 $1/n$ 값이 크서 비교적 저농도 흡착에서는 다소 흡착력이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 일정 농도 이상에서는 오히려 흡광도값보다 좋은 흡착력을 보임을 알 수 있다. 浦野紘坪 외(1981)의 column흡착실험에서도 유사한 결과가 나타났으며 이는 활성탄이 humic acid의 성분중 THM을 형성하기 쉬운 물질에 대해 선택적으로 흡착을 한 결과이며, 현재 음용수 수질 기준인 THM 100ppb를 만족시키기 위한 우수한 정수처리 공정이 될 수 있음을 말해준다.

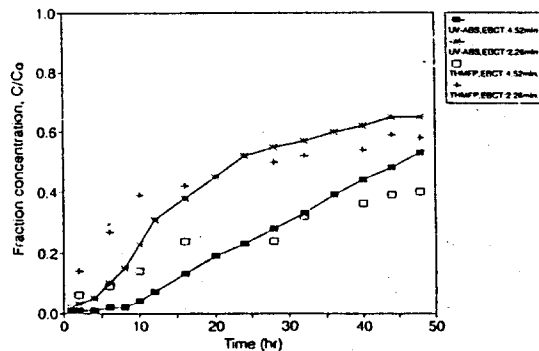


Fig. 9. Break-through curve of LAC for THMFP and UV-abs

4. 결 론

THM생성의 전구물질인 humic acid의 제거를 위한 상수처리용 입상활성탄의 선정, 평가 및 흡착탑 설계를 위한 설계 parameter의 계산을 얻기 위한 실험의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) humic acid의 농도 표현수단으로 UV-abs와 THMFP은 상관계수 0.99이상으로 좋은 상관관계를 보였다.

2) humic acid의 활성탄에 대한 흡착용량은 비표면적보다는 100Å을 전후한 mesopore영역의 세공분포와 관계가 있어, mesopore 영역의 세공이 특히 발달한 갈탄활성탄이 micropore영역의 세공이 발달한 야자껍질 활성탄에 비해 8배 정도의 더 큰 흡착용량을 보인다.

3) humic acid의 활성탄에 대한 흡착은 pH 7.0에 비해 pH 5.5에서 더 큰 흡착능을 보였다.

4) humic acid의 활성탄 세공확산계수와 표면 확산계수는 야자껍질활성탄은 $D_p=7.61 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{sec}$ 와 $D_s=3.52 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ 였으며, 갈탄활성탄은 $D_p=3.38 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 와 $D_s=1.48 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{sec}$ 임을 각각 보였다.

5) Column흡착 실험결과 갈탄활성탄이 우수한 흡착성능을 보였으며 최적 EBCT는 4.52분 이었으며 humic acid 성분 중 특히 THM을 생성하기 쉬운 성분에 대해 선택적으로 활성탄에 의한 흡착제거가 이루어진다.

참 고 문 헌

- 黄善振, 朴仲鉉, 1990, 水處理時 發生하는 THM의 發生特性 및 節減方案, 韓國上水道學會誌, 1, 25-31.
- 黄善振, 1990, 高度淨水處理에 關한 活性炭處理 技術研究, 韓國上下水道學會誌, 6pp.
- 釜山直轄市廳, 1990, 上水道原水 水質惡化에 따른 改善對策.
- 韓國水質源公社, 1990, 오존 및 活性炭 水處理에 關한 研究報告書.
- Cotruvo, J. A. and Wu, C., 1978, Controlling Organics, Why Now ..., AWWA, 70, 590pp.
- Trussell, R. R. and Umphres, M. D., 1978, The Formation of Trihalomethanes, AWWA, 604-612.
- Kavanaugh, M. C., 1978, Modified Coagulation for Improved Removal of Trihalomethane Precursors, AWWA, 613pp.
- Boening, P. H. and Beckmann, B. B., 1980, Activated Carbon Versus Resin Adsorption of humic Substance, AWWA, 54pp.
- Hashimoto, K. and miura, K., 1975, Intraparticle Diffusivities in Liquid-Phase Adsorption with Nonlinear Isotherms, Chemical Engineering(Japan), 8, 367pp.
- Hashimoto, K. and Miura, k, 1976, A Simplified Method to Design Fixed-Bed Adsorbers for Freundlich Isotherm, Chemical Engineering (Japan), 9, 388pp.
- Hand, D. W. and Crittenden, J. C., 1983, User-Oriented Batch Reactor Solutions to the Homogeneous Surface Diffusion Model, J. Environmental Engineering, 109, 82-101.
- Lee, M. C. and Crittenden, J. C., 1983, Design of Carbon Bed to Remove humic Substance, J. Environmental Engineering, 109, 82-101.
- Summers, R. S. and Roberts, P. V., 1987, Rate of humic Substance Uptake During Activated Carbon Adsorption, J. Environmental Engineering, 113, 1133-1349.
- Crittenden, J. C. and Weber, W. J., 1978, Predictive Model for Design of Fixed Bed Adsorbers : Parameter Estimation and Model Development. J. Environmental Engineering, 104, 186-197.
- Derssman, R. C. and Stevens, A. A., 1979, Comparison of Method for Determination of Trihalomethanes in Drinking Water, AWWA, 392-396.
- Edwards, A. C. and Cresser, M. S., 1987, Relationships Between Ultra-violet Absorbance and Total Organic Carbon in Two Upland Cachements, Water research, 21, 49-56.
- Semmens, M. J. and Norgaard, G. E., 1986, Influence of pH on The Removal of Organics by Granular Activated Carbon, AWWA, 89-93.
- 北川陸夫, 活性炭水處理技術と 管理, 日刊工業新聞社, 74pp.
- 慶伊富長, 1965, 吸着, 共立出版株式會社, 95-119.

浦野紘平, 和田洋, 1981, 水中トリハロメタン-
(□)生成反應-水處理技術, 22pp.
厚生省水道環境部, 1981, 水道における總トリハロ
メタン對策について, 水道協會雜誌, 591, 76pp.

浦野紘平, 山本英二, 網谷辛二, 1982, 粒狀活性炭
のフミン酸吸着特性, 水道協會雜誌, 573, 37pp.
厚生省水道環境部, 1980, 水道水中の 總トリハロ
メタン測定方法について 水道協會雜誌, 105,
205pp.