ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
*Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 27, No. 3, pp. 363-371, June, 2013
http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2013.27.3.363

# Effect of Characteristics of Activated Carbon Particles on Oragnic Removal and Membrane Permeability in Activated Carbon - Membrane Process

## 활성탄-막 공정에서 활성탄 입자 특성이 유기물 제거와 막 여과 효율에 미치는 영향

**Sang-Jun Han · Seong-Ho Hong* · Sang-Ho Lee**

한상준 · 홍성호* · 이상호

숭실대학교 · 숭실대학교 · 국민대학교

**Abstract :** In this study, effect of activated carbon size on flux and fouling of membrane was investigated on activated carbon and membrane hybrid system. The activated carbon was prepared with crushing and screening. The activated carbon was named by A100, B100, A200, B200, A325 and B325 due to size of activated carbon. The permeability for A100, B100, A200 and B200 showed no significant difference. However, the permeability for A325 and B325 was decreased rapidly and was lowed due to increase the concentration of NOM. Main resistance for A100, B100, A200 and B200 was identified as irreversible fouling. However main resistance for A325 and B325 was identified as reversible fouling. The smaller activated carbon adsorbs NOM faster than bigger particles, which can show high permeability at early stage of the operation and then showed faster decrease of permeability at end of the operation.

**Key words : Activated carbon, membrane, Activated carbon size, humic-acid**
**주제어 : 활성탄, 막, 활성탄 입자크기, 막오염**

## 1. 서 론

생활하수와 산업폐수의 증가로 인해 먹는 물의 원수인 강의 수질은 개선되기 보다는 점차 오염되어가고 있다. 원수의 수질은 개선되지 않고 있으나, 대다수의 국민의 의식 수준 향상과 경제적인 풍요에 따라 먹는 물에 대한 기대는 양적인 문제를 떠나 질적인 향상을 요구하고 있는 것이 현실이다. 먹는물 수질기준을 만족하는 것 이상의 수질을 바라고 있다. 이를 반영하기 위하여 물을 생산하는 정수처리공정에도 많은 변화가 있다. 과거에는 표준정수처리공정(conventional treatment)를 적용하여 입자성물질의 제거와 미생물의 불활성화가 주 목적이었다. 하지만 현재는 이보다 훨씬 다양한 유기물질 및 미생물을 제거하는 공정들이 도입되고 있다. 우리나라에서는 대표적으로 고도처리공정으로 오존처리와 입상활성탄 공정이 도입되었다. 오존처리와 입상활성탄의 조합 공정이 원생동물류의 제거와 미량유기물질의 제거에 효과가 있는 것은 사실이다. 하지만 소규모 정수장에 적용하는 경우에는 경제적으로나 운영적인 측면에 어려움이 있다. 이 후에 막처리 공정이 도입되어 소규모 정수장에 설치되어 운영되고 있다. 막처리 공정은 운전의 자동화 및 원생동물류의 제거에는 상당한 효과가 있으나, 막의 기공의 크기에 따라 달라질 수 는 있으나, 미량유기

• Received 18 April 2013, revised 10 June 2013, accepted 12 June 2013.
* Corresponding author: Tel : +82-2-820-0628 Fax : +82-2-812-5378 E-mail : shong@ssu.ac.kr

물질의 제거에는 한계가 있다. 특히 요즘과 같이 수원에서 조류의 번성에 따라 이취미물질인 geosmin과 2-MIB 등이 고농도로 검출되는 경우에는 막 단독으로 처리하여 소비자가 원하는 수질을 만족하는데는 한계가 있다.

따라서 이를 극복하는 방법으로 막과 분말활성탄의 조합 공정으로 운영한다면, 원생동물류의 제거와 미량유기물질의 제거를 달성할 수 있다 (Lee, 2009). 하지만 분말활성탄은 막의 기공을 막아 전체적인 유량을 감소시키는 요인으로 작용할 수 있는 단점이 있다. 막의 fouling에 영향을 미치는 인자는 분말활성탄 이외에도 수중에 존재하는 자연유기물질 및 무기물질들도 있다. 하지만 자연유기물질의 경우에는 분말활성탄에 흡착되어 분말활성탄을 투여함에 따라 자연유기물질에 의한 fouling은 저감될 수 있다 (Stoquart, 2012). 이러한 역학관계를 고려하여 보면 분말활성탄이 막에 부정적인 영향을 주기도 하지만, 자연유기물질의 제거와 같은 긍정적인 효과도 있다.

분말활성탄과 막여과의 조합공정에 대한 연구는 지금까지 다양하게 진행되었다. 그러나 아직까지 분말활성탄-막여과 조합공정의 최적 운전조건은 완벽하게 규명되지 않았다. (Stoquart, 2012). 분말활성탄이 막에 미치는 영향에 대해서 최근 연구가 진행되었으나 (Kim, 2009; Kim, 2010), 아직까지 분말활성탄의 특성을 막오염 메카니즘과 연관한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 분말활성탄과 막여과의 조합공정에서 분말활성탄의 특성이 막에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 자세히 고찰하였다. 또한 분말활성탄의 투여에 따라 자연유기물질의 감소 특성을 파악하였으며, flux에 미치는 영향에 대해서도 고찰하였다.

## 2.실험 재료 및 방법

### 2.1 원수의 특성

본 연구에 쓰인 원수는 humic acid(Sigma-Aldrich, U.S.A)를 초순수에 녹여 고농도로 조제한 후, 이 원액을 수돗물에 희석하여 사용하였으며, 각 실험에 사용되는 물은 한 번에 제조하여 사용하였다. 원수의 특성은 Table 1.에 정리 하였다.

Table 1. Characteristics of source waters

| pH | Turbidity (NTU) | DOC (mg/L) | $UV_{254}$ ($cm^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 8.16 ~ 8.21 | 0.35 ~ 0.36 | 1.92 ~ 2.51 | 0.017 ~ 0.020 |

### 2.2 활성탄

본 연구에서는 2종류의 석탄계 활성탄을 사용하였으며, 두 가지의 활성탄은 공극의 특성과 분포도가 달라 자연유기물질의 흡착능에서 차이를 나타내었다. 입경의 크기에 따라 막의 flux에 미치는 영향을 평가하기 위하여 분말활성탄을 분쇄 후 체거름하여 제조하였다(김 2007). 입경을 100×200, 200×325 그리고 325mesh 이하의 활성탄으로 구분하여 실험하였고, 100×200의 사이즈는 A100과 B100으로, 200×325의 사이즈는 A200과 B200으로 그리고 325mesh 이하의 사이즈는 A325와 B325으로 명명하였다.

Table 2. Characteristics of activated carbon

| | Surface area($m^2$/g) | | | Pore vloume($cm^3$/g) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | Micro (d<2nm) | Meso (d>2nm) | Total | Micro (d<2nm) | Meso (d>2nm) |
| A | 991 | 889 | 103 | 0.558 | 0.379 | 0.179 |
| B | 833 | 779 | 55 | 0.414 | 0.312 | 0.102 |

### 2.3 막 및 모듈

본 연구에 사용된 멤브레인은 Millipore社의 원형 막으로 막 모듈의 크기에 맞게 잘라서 사용하였다. 세공 크기는 0.22 ㎛이고 nitrocellulose 재질의 친수성 막이다. 막 모듈은 평판형이고, 여과 방식은 cross flow 여과 방식을 사용하였다.

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
*Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 27, No. 3, pp. 363-371, June, 2013

Table 3. Membrane Characteristics

| | |
|---|---|
| Filteration mode | Cross flow |
| Meterial of membrane | Nitrocellulose |
| Pore size(㎛) | 0.22 |
| Membrane Process | Microfilteration |
| Wettability | Hydrophilic |
| Filter Surface | Plane |
| Thickness(㎛) | 180 |
| Porosity(%) | 75 |
| Effective membrane area($cm^2$) | 31.5 |

## 2.4 활성탄-막 여과 장치

막 여과 공정 처리 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다. 구성은 2개의 feed tank와 펌프, 압력 센서, 수위 조절 센서 및 밸브, 전자 저울, 컴퓨터, 용액 이송용 튜브로 이루어져 있으며, feed tank의 재질은 막의 오염도 및 교반이 용이 할 수 있도록 원통형의 반투명 아크릴 비커를 사용하였으며, 수위를 조절하기 위한 수위 조절계와 밸브를 장착하였다. 막의 특성상 온도에 따라 물의 점성계수가 변하여 flux가 변하므로 온도계를 부착하여 온도에 따라 점도를 보정 하였다. 용액의 이송에 사용되는 튜브는 오염도를 확인 할 수 있도록 투명한 재질의 튜브를 사용하였다. 활성탄은 feed tank에 바로 주입하였으며, feed tank의 물을 펌프를 이용하여 모듈에 이송하여 투과하였고 투과하지 못한 물은 회수되어 다시 feed tank로 돌아오게 하였다. 투과된 물은 전자저울과 연결된 컴퓨터에 의해 기록되며, 압력센서의 값도 기록된다. 유량조절에 의한 정압식으로 운전하였으며, 실험결과는 flux를 막간차압으로 나눈 투과도의 형태로 나타내었다(김 2009).

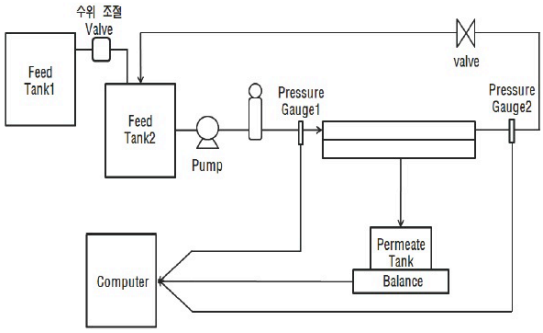


Fig. 1. Activated carbon-membrane system

## 2.5 흡착 동역학 실험

활성탄 입자크기에 따른 유기물의 흡작능을 확인하기 위하여 흡착 동역학 실험을 실시하였다. 실험은 2회를 실시하였으며, 5 %이상의 오차가 발생 하였을 경우 1회 더 실시하여 재현성을 확인하였다. 또 모든 실험은 온도계를 이용하여 온도를 측정 하였고, 20 ℃에 맞추어 보정하였다. 활성탄을 0.3 mg의 오차범위 내로 측정하여 시료병에 투입하였다. 시료병의 용량은 330 ml이고 시료와 접촉되는 부분에는 테프론 Lid를 사용하여 밀폐시켰으며 각각의 실험조건에 대하여 활성탄이 투여되지 않은 대조군을 두었다. 모든 시료병은 tumbler에서 10 RPM의 속도로 교반하였고 15분, 30분, 45분, 60분, 120분에 샘플을 이탈시켰다. 활성탄을 제거하기 위해 0.45 ㎛ membrane으로 여과하여 샘플을 채취하였고, 시료는 즉시 분석하거나 4 ℃로 냉장 보관하였다(김 2006). 다음 1차 반응식에 의하여 K 값을 계산하였다.

$$C_t = C_0^{-k \cdot t} \qquad (식-1)$$

## 2.6 Resistance in series model

막의 오염 원인을 분석하기 위해서 Resistance in series model을 적용하였다. 초순수를 이용하여 10분간 운전하여 초기 막 저항을 측정하였다. 활성탄과 막 조합 공정의 운전을 하고 난 후 총 막 저항을 측정하였다. 다시 비가역적 저항의 값을 측정하기 위하여 막 모듈에서 막을 제거하고 막 표면을 초순수를 이용하여 1분간 세척하였고, 다시 막을 모듈에 장착하고 10분간 유량을 측정하였다. 측정한 총 저항에서 비가역적 저항 값을 빼서 가역적 저항 값을 계산하였다(추 1999). 측정한 유량은 최고값과 최저값을 제외

한 나머지의 평균을 사용하였다.

$$R_t = R_m + R_c + R_f \qquad (식-2)$$

$R_t$=총 여과저항
$R_m$=막의 고유 여과저항
$R_c$=케이크 층에 의한 여과 저항
$R_f$=막오염에 의한 여과 저항

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 자연 유기 물질의 흡착 동역학 특성

실험에 사용한 활성탄에 의한 자연유기물질의 흡착 특성을 파악하기 위하여 흡착 동역학 실험을 수행하였다. Fig. 2과 Fig. 3에 활성탄 A와 B의 입자크기에 따른 흡착 동역학 결과를 나타내었다. 활성탄 A에 대한 반응속도 상수 K를 1차 반응에 의하여 계산한 결과를 Table 3.에 나타내었다. A100에서 0.12/hr, A200에서 0.25/hr, A325에서 0.39/hr로 나타나. A100에서 가장 늦은 흡착 속도를 보였고, A325에서 가장 빠른 흡착 속도를 보였다. 반응 시간 120분이 경과한 후에는 자연유기물질이 A100에서 20 %가 제거 되었고 A200에서 45 %가 제거 되었으며, A325에서 62 %가 제거되었다. A325가 가장 많은 자연유기물질이 제거 되었다. 자연유기물질의 제거는 1차 반응의 형태로 초기 15분에 가장 많은 자연유기물질이 제거되었으며 시간이 지남에 따라서 제거율이 줄어드는 것으로 나타났다. 활성탄의 입자크기가 커지면서 흡착속도와 흡착량이 줄어드는 것으로 나타났으며, 이것은 자연유기물질의 확산속도(diffusivity)는 활성탄 입경의 제곱에 반비례하여 입경이 작을수록 확산속도의 증가에 의한 것이다(Tayyab 2004). 활성탄 B의 K값은 B100에서 0.08/hr, B200에서 0.1/hr, B325에서 0.14/hr로 B325에서 가장 크게 나타났다. 활성탄 A와 마찬가지로 입자크기가 작은 활성탄인 B325에서 가장 빠른 흡착속도를 보였고, B100에서 가장 느린 흡착속도를 나타냈다. 또 자연유기물질의 제거 역시 활성탄A와 같은 형태인 1차 반응의 형태로 나타났지만 활성탄A에 비하여 활성탄B에서는 흡착속도가 작았으며, 제거율 또한 적은 것으로 나타났다. 세공분포가 고르거나 meso 영역의 비율이 높으면 mircopore의 공극막힘현상을 최소화 할 수 있어 미세세공의 사용을 최대화 할 수 있다고 보고되었다. 또 mesopore가 커짐에 따라 자연유기물질의 제거 효율이 향상된다고 보고하였다(박 2009). 위의 Table 2.와 같이 meso 영역이 더 큰 활성탄 A가 자연유기물질 제거가 우수한 것으로 판단된다.

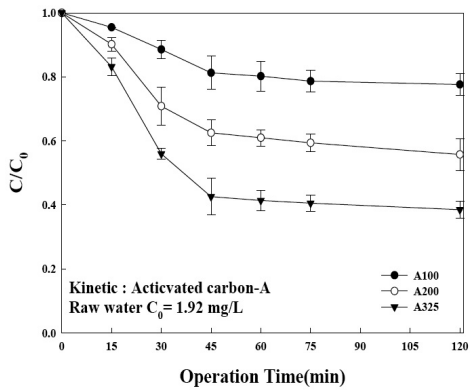


Fig. 2. Kinetic of NOM for activated carbon A

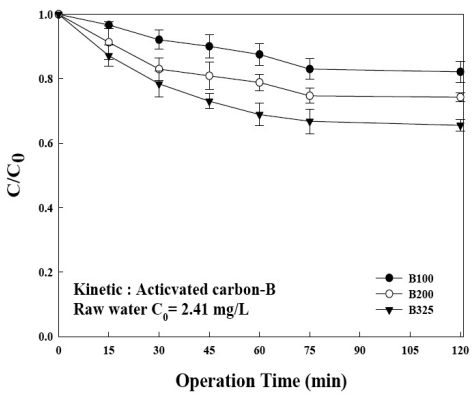


Fig. 3. Kinetic of NOM for activated carbon B

Table 3. Result of Kinetic

| Activated Carbon | K | Activated Carbon | K |
|---|---|---|---|
| A100 | 0.12/hr | B100 | 0.08/hr |
| A200 | 0.25/hr | B200 | 0.1/hr |
| A325 | 0.39/hr | B325 | 0.14/hr |

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
*Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 27, No. 3, pp. 363-371, June, 2013

### 3.2 활성탄의 입자크기에 따른 활성탄 - 막 공정의 영향

활성탄–막 공정에서 입자 크기에 따른 flux의 변화에 대한 실험 결과를 Fig. 4과 Fig. 5에 나타내었다. 원수는 humic acid 원액을 수돗물에 희석하여 DOC 농도를 1.5 ~ 2.5 mg/L로 제조하였다. 활성탄 A와 B를 이용하여 활성탄–막 공정의 실험을 수행하였다. 실험에서 측정된 투과수의 flux는 모듈의 유효넓이와 시간으로 변환하여 LMH (L/m2 · hour)으로 나타내었고 이를 압력과의 관계를 나타내는 permeability(LMH/kPa)로 변환하여 나타내었다.

A100과 A200 그리고 A325에서 초기에 82 ~ 88 LMH/kPa의 투과도를 나타냈으며 입자 크기가 클수록 높은 투과도를 나타냈다. 시간이 지남에 따라 120분에 A100과 A200은 3 %와 1 %가 감소되어 별 차이가 없었지만 A325는 17 %가 감소하였다. 시간이 지남에 따라서 감소율의 차이는 크게 나타났다. 운전 후반 210분에는 A100과 A200에서 14 %와 12 %가 감소되었고, A325에서 31 %로 제거율이 크게 나타났다. A100과 A200은 비교적 비슷한 투과도의 감소를 보였다. A325는 급격한 투과도의 감소를 나타냈다. 활성탄 B역시 초기에는 75 ~ 78 LMH/kPa의 비슷한 투과도를 보였고 시간이 지남에 따라 120분에서 1 %의 감소율을 보이며 B100과 B200은 비슷한 투과도를 나타냈으나, B325는 8 %의 제거율을 보이며 B100과 B200에 비하여 크게 감소하였다. 실험 후기 240분에는 B100과 B200에서 13 %와 11%의 제거율을 보였고, B325에서 21 %의 제거율을 보이며 차이는 더욱 벌어졌다. 활성탄 A와 B 모두에서 비슷한 형태의 제거 곡선을 그렸으나. 활성탄A에 비하여 활성탄 B에서의 감소폭은 작은 것으로 나타났다. 수중 유기물이 존재 하지 않고 활성탄만 있는 경우 막의 투과도를 Fig. 6에 나타내었다. 수중 유기물이 없을 때에도 활성탄에 의해 투과도가 감소하는 것으로 나타났다. 활성탄의 크기가 작은

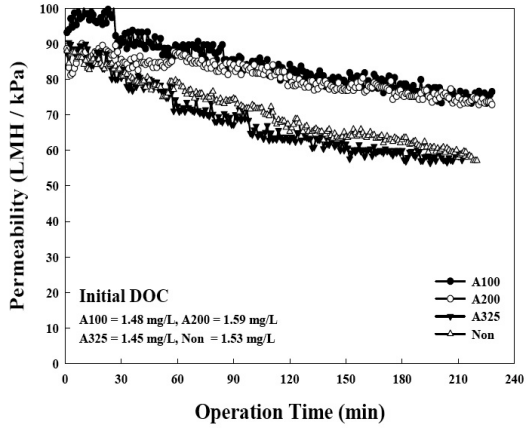


Fig. 4. Permeability curve for activated carbon A

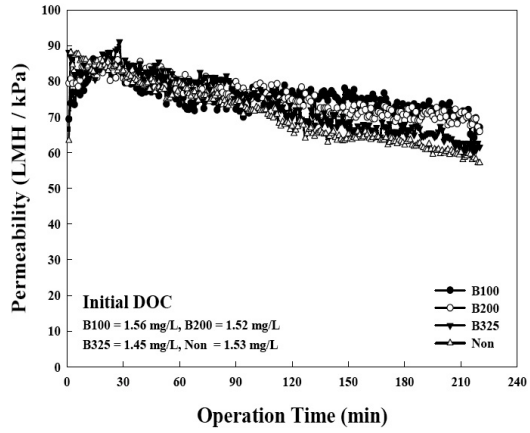


Fig. 5. Permeability curve for activated carbon B

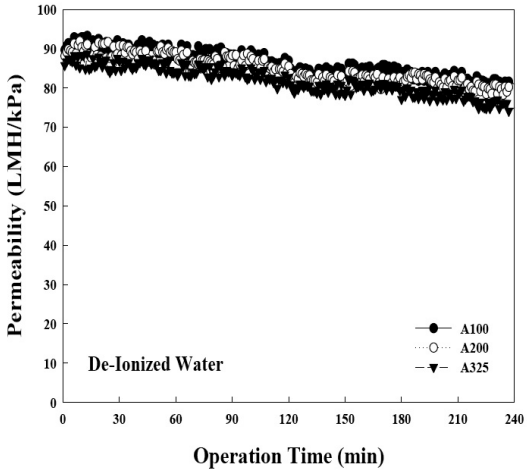


Fig. 6. Permeability curve for non activated carbon

활성탄에서 막의 투과도가 가장작은 것으로 나타났으며 감소폭은 가장 크게 나타났다.

활성탄의 입자크기에 따라서 활성탄이 흡착하는 유기물질의 양이 다르기 때문에 결과를 나타낸 것으로 보인다.(Carlos 1999) 활성탄-막 공정의 결과는 A100, A200, B100 그리고 B200에서 흡착동역학의 결과에서처럼 흡착량에 따른 투과도를 보였다. 그러나 활성탄 A325와 B325에서 더 낮게 나타난 이유는 A100과 A200에서는 활성탄이 막에 fouling되는 것이 적어 투과도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났지만, A325에서는 많은 양의 활성탄이 fouling되어 자연유기물질과 함께 복합적으로 fouling되었기 때문이다. 이 결과를 확인하기 위하여 Resistance in series model을 이용하여 막에 걸리는 저항을 측정하고 fouling의 원인을 파악하였다.

### 3.3 Resistance in series model

Resistance in series model 모델을 통하여 막에 걸리는 저항을 측정하고 fouling의 원인을 고찰하고자 하였다. 결과를 Table 4.과 Table 5.에 나타내었다. Rm 값은 멤브레인이 가지는 저항을 나타낸다. Rc는 막오염 중 세척에 의해 제거가 되는 저항을 나타낸다. Rf 값은 막의 오염중 세척에 의해 제거 되는 않는 저항이다. 이 모든 저항을 합하여 Rt로 나타낸다(김 2010). A100과 A200은 Rc과 Rf값을 비교하였을 때 Rc의 값이 매우 적은 것으로 나타났다. 하지만 A325는 Rc값이 크게 증가하였다. 활성탄-막여과 공정의 결과와 비슷한 결과를 보였다. A100과 A200은 비슷한 결과를 보인 반면 A325는 다른 결과를 나타냈다. 활성탄의 크기가 작아질수록 Rc가 차지하는 비율이 커진다. 활성탄 B 역시 B100과 B200에서는 회복되는 막오염이 낮은 것으로 나타났고, B325에서는 회복되는 막오염이 높은 것으로 나타나 위의 결과를 뒷받침하였다(추 1999).

### 3.4 Permeate의 DOC 제거율

유출수의 수질을 확인하기 위하여 permeate의 DOC 농도를 측정하고 그 결과를 Fig. 6와

Table 4. Analysis of Resistances for the case of membrane filtration with activated carbon A

| Resistance | Activated Carbon particle size | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A100 | | A200 | | A325 | |
| | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) |
| $R_m$ | 3.60 | 75.8 | 3.60 | 74.8 | 3.60 | 57.7 |
| $R_c$ | 0.39 | 8.2 | 0.09 | 1.9 | 0.96 | 15.4 |
| $R_f$ | 0.76 | 16.0 | 1.12 | 23.2 | 1.67 | 26.3 |
| Rt | 4.75 | 100 | 4.81 | 100 | 6.23 | 100 |

Table 5. Analysis of Resistances for the case of membrane filtration with activated carbon B

| Resistance | Activated Carbon particle size | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | B100 | | B200 | | B325 | |
| | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) | Value($10^{10}$/m) | Percent(%) |
| $R_m$ | 3.6 | 74.9 | 3.6 | 69.3 | 3.6 | 64.1 |
| $R_c$ | 0.15 | 3.1 | 0.12 | 2.3 | 0.54 | 9.7 |
| $R_f$ | 1.06 | 22.0 | 1.48 | 28.4 | 1.48 | 26.3 |
| Rt | 4.81 | 100 | 5.20 | 100 | 5.62 | 100 |

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
*Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 27, No. 3, pp. 363-371, June, 2013

Fig. 7에 나타내었다. 막은 약 5 %의 자연 유기물질의 제거를 보였다. 활성탄 A는 초기 A100에서 17 %, A200에서 20 % 그리고 A325에서 37 %의 제거율을 보이며 초기에 많은 양의 자연 유기물질이 제거 되었으며, 점차 제거율이 줄어들어 운전 후기에는 A100에서 15 %, A200에서 16 % 그리고 A325에서 23 %가 제거율을 보이며 제거율이 줄어들었다. 입자크기에 따라서는 입자크기가 작은 A325에서 가장 많이 제거 되었고, 입자크기가 커짐에 따라 제거율이 작았다. 초기에 투입된 활성탄이 많은 양의 자연유기물질을 제거하였고 시간이 지남에 따라 흡착할 수 있는 활성탄이 줄어들게 되어 제거율도 감소한 것으로 보인다.

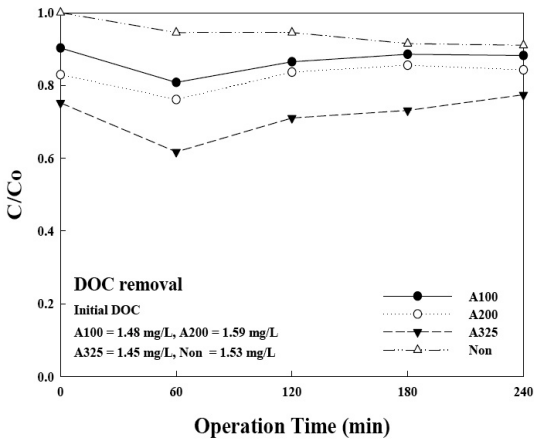


Fig. 6. DOC remove for permeate (activated carbon A)

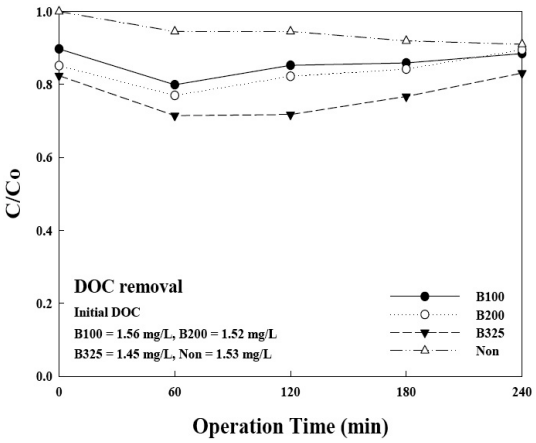


Fig. 7 DOC remove for permeate (activated carbon B)

활성탄 B 역시 초기에 B100에서 18 %, B200에서 19 % 그리고 B325에서 24 %가 제거되어 활성탄 A와 같이 초기에 높은 제거율을 보였으며 시간이 지남에 따라 제거율이 감소하여, B100에서 11 %, B200에서 10 % 그리고 B325에서 18%의 제거율을 보였다. 역시 활성탄 A같은 형태를 보였다. 하지만 활성탄 A에 비하여 제거율이 적었고 이는 흡착 동역학에서의 결과처럼 meso 영역이 작은 활성탄 B에서 흡착능이 작은 것으로 판단된다. 입자크기가 작을수록 빠르게 자연 유기 물질을 제거 하였으며, 제거율도 크게 나타났다.(김 2007) 초기에 대부분의 흡착 가능한 유기물들을 제거하면서 이후에는 흡착 할 수 있는 활성탄이 줄어들어 제거율이 감소한 것으로 나타났으며, 자연 유기 물질이 fouling의 원인이 되는 것으로 판단된다.(Amphol 2008)

### 3.5 활성탄 세척에 의한 영향

활성탄에 의한 영향을 알아보기 위하여 세척하지 않은 활성탄을 이용하여 운전한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 활성탄의 세척은 초순수를 이용하여 세척하였으며, 세척하였을 때 물위에 활성탄이 뜨지 않을 때 까지 실시하였다. A100과 A200 그리고 A325 모두 세척한 활성탄에 비하여 투과율이 크게 감소하였다. 세척하기 전의 미세한 활성탄이 막 표면에 fouling 되어 영향을

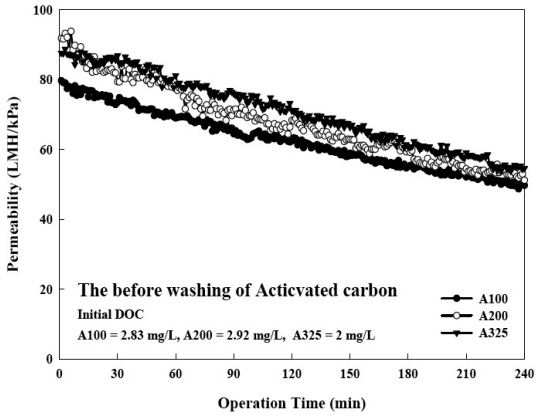


Fig. 8. Permeability curve for before washing activated carbon

미치는 것으로 파악된다. 활성탄의 세척 후에는 A100과 A200은 미세한 활성탄이 세척으로 인해 제거되어 막의 공극 크기에 비하여 입자가 큰 활성탄만 남아 자연유기물질의 흡착만 fouling에 영향을 주기 때문에 A100과 A200은 투과도의 차이가 적은 것으로 판단된다. A325는 일정 크기 이하의 활성탄으로 막의 공극 크기와 비슷한 크기의 입자가 있어서 막 표면에 cake 층을 형성하여 투과도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 활성탄의 특성이 막여과 공정의 효율에 미치는 영향을 파악하고자 하였으며, 다음과 같은 연구결과와 결론을 도출할 수 있었다.

1. 활성탄A와 B의 흡착능을 비교하여 본 결과 meso영역이 큰 활성탄A에서 흡착능이 크게 나타났다. 또 활성탄의 입자크기가 작을수록 확산 속도가 빨라 빠른 흡착 속도를 보였다.
2. 활성탄의 크기가 상대적으로 큰 경우(A100, A200, B100, B200)에는 막 투과도의 감소가 완만하게 진행되었으며, 물리적인 세정으로는 제거되지 않는 막오염의 비중이 높게 나타났다 이는 활성탄이 막 표면에 쌓여서 케이크가 형성되더라도 투과성이 높아서 막의 투과도에 영향을 주지 않고, 유입수 내의 자연유기물의 농도가 주로 막의 투과도에 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 활성탄이 자연유기물을 많이 흡착하여 제거한다면 플럭스가 향상되는 현상이 나타난다.
3. 활성탄의 크기가 작은 경우(A325, B325)에는 막의 투과도 감소가 빠르게 진행되었으며, 물리적 세정으로 제거되는 막오염의 비중이 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 투과도가 낮은 활성탄의 케이크층이 막 표면에 형성되어 막의 전체 투과도에 영향을 주기 때문으로 판단된다.
4. 미세한 크기의 활성탄 입자가 존재하는 경우 막오염이 상대적으로 빠르게 진행되었으며, 이는 크기가 작은 활성탄에 의하여 막 표면에서 투과성이 낮은 케이크층을 형성되기 때문으로 판단된다.
5. 따라서 활성탄과 막여과를 결합한 시스템에서는 자연유기물질에 대한 높은 흡착능을 가지면서 막 표면에서의 케이크 형성을 유발하지 않는 적절한 입자크기를 가지는 활성탄을 선택하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임. (No. 2010-0024107)

## 참고문헌

Céline Stoquart, Pierre Servais, Pierre R. Bérubé, Benoit Barbeau, “Hybrid Membrane Processes using activated carbon treatment for drinking water: A review” Journal of Membrane Science, 411-412, 1-12 (2012)

Sangho Lee, Jin-Woo Lee, Sejoong Kim, Pyung-Kyu Park, Jae-Hyuk Kim, Chung-Hak Lee, “Removal of 17β-estradiol by powdered activated carbon -Microfiltraion hybrid process: The effect of PAC deposition on membrane surface”, Journal of Membrane Science, 326(1), 84-91 (2009)

Byoung-Soo Kim (2009) “Assesment of Impact of Powered Activated Carbon on MF Membrane Process”. Chungnam National University. p3-19,25

Byong-Joon Kim (2010) “Mechanism Investigation of Membrane Fouling in Powdered Activated Carbon Adsorption - Ultrafiltration Processes”. Kyungpook National University. p14-19

Sung-Jin Kim (2007) “Assessment of adsorption characteristics of 2-MIB and geosmin using virgin and reactivated carbon”. Soong-

ISSN (Print) 1225-7672
ISSN (Online) 2287-822X
*Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 27, No. 3, pp. 363-371, June, 2013

sil university. p.49-50, 65-66

Young-ll Kim, Byung-Uk Bae, Seong-Su Kim (2006) "Effect on particle Size of Activated Carbon for Taste and Odor and Organic Compound Removal". Koream Society of Water and Wastewater 2006 , p397-405

Jeong-Sun Bak (2009) "Effects of Meso-and MIcro-pore of Activated carbon on The Adsorption of NOM" Soongsil University, p21-28

Kung-Jae Lee, cheol-Woo Lee, Lim-Suk Kang (2004) "Characteristics of NOM removed by a PAC-UF membrane process". 2004 Korean Society environmental Engineers D-1-3

Kwang-Ho Choo, Chung-Hak Lee (1999) "Understanding of Membrane Fouling in terms of Surface Free Energy Change". The membrane soc of korea. p119-122

Amphol Awom, Paitip Thiravetyan, Woranan Nakbanpote (2008) " Preparation and characteristics of agricultural wate activated carbon by physical activation having micro and mesopores". Journal of Analytical and Applied Pyrolysis P279-285

Carlos Campos (1999) "Modeling powerred activated carbon performance in membrane filteration systems". University of Illinois at Urbana-Champaign

Tayyab Ahsfaq Butt (2004) "Effect of pre-treatment on humic acid adsorption by granular activated carbon". KAIST