

## 활성탄 흡착지에서 응집조건에 따른 자연유기물질과 이·취미(Geosmin, 2-MIB) 파과특성에 관한 연구

### A Study on Adsorption Characteristics of Natural Organic Matter and Taste & Odor Using Activated Carbon

김성진<sup>1</sup> · 홍성호<sup>1,\*</sup> · 신흥섭<sup>2</sup>

Kim, Sung-Jin<sup>1</sup> · Hong, Seong-Ho<sup>1,\*</sup> · Shin, Heung-Sup<sup>2</sup>

1 숭실대학교 환경·화학공학과

2 한국종합엔지니어링

(2006년 11월 17일 논문 접수; 2007년 2월 1일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

It is well-known that the presence of NOM (natural organic matter) in water has a negative effect on removing taste and odor compounds by activated carbon adsorption. Therefore, various means such as enhanced coagulation are applied to reduce the NOM. The presence of taste & odor compounds in drinking water even parts per trillion, is enough to generate customer dissatisfaction. Therefore, the aim of this study was to evaluate carbon usage rate (CUR) for conventional coagulation (CC) and enhanced coagulation (EC) in order to improve the efficiency of adsorption of taste and odor compounds. Also, Effect of CC and EC on molecular weight fraction and the early stage breakthrough of 2-MIB and Geosmin are evaluated. When the enhanced coagulation was adapted for pretreatment for activated carbon adsorption the operation period could be prolonged by 3.5~4 times. CUR for CC was about 2 times greater than CUR for EC and this means that EC has more adsorption capacity than CC. To analyze effect of EC and CC on breakthrough of 2-MIB quantitatively, adsorbed NOM mass was calculated based on unit mass of activated carbon. In the early stage breakthrough of 2-MIB, total adsorbed NOM was 23.72mg/g for CC and 34.56mg/g for EC. Therefore, it is shown that the early breakthrough term of 2-MIB and Geosmin was improved due to increased adsorbability. The low-molecular-weight NOM (500~2000Da) compounds were the most competitive, participating in direct competition with 2-MIB for adsorption site.

**Key words:** Geosmin, 2-MIB, NOM, PAC, coagulation

**주제어:** Geosmin, 2-MIB, 자연유기물질, 분말활성탄, 응집

## 1. 서론

맛·냄새물질은 상수원에서의 조류의 과다 번식으로 인한 부영양화가 그 주된 원인으로 알려져 있으며 주된 물질로는 Geosmin(trans-1,10-dimethyl trans-9 decalol)과 2-MIB(2-methylisoborneol)로 조류의 사체로부터 직접 체외분비 되기도 한다. 이러한 맛·냄새 물질 영향이 수돗물에 대한 소비자들의 불신을 야기시킬 수 있으며 정부와 지자체에서는 이에 대한 해결 방안으로 고도정수처리시설을 도입하고 있는 실정이다. 특히 활성탄 공정의 경우 제거하고자 하는 대상 물질에 따라 활성탄 흡착지에서의 파괴특성(오염물질의 거동)이 다르게 나타나기 때문에 활성탄 공정의 주요 도입목적과 이에 수반되는 부수적인 목적을 달성하기 위하여 보다 정밀한 분석과 최적의 운전방법을 도출하고자 하는 노력이 필요하다. 외국의 경우 기존의 탁도 제거 목적의 응집시설을 이용하여 강화된 응집(enhanced coagulation, EC)을 할 경우 자연유기물질(natural organic matter, NOM) 제거에 큰 효과와 더불어 활성탄 흡착성능을 향상시켜 흡착지의 사용기간을 연장에 따른 경제적 이점을 최대화 할 수 있다고 보고되고 있다(Semmens, M.J., Staples, A.B., Hohenstein, G. 1986). 그러나 국내의 경우 1990년대 이후 활성탄 공정이 과거 보다 많이 보급되었지만 활성탄 공정에 관한 체계적 평가는 아직까지 미비한 실정이다. 활성탄 공정에 대한 평가는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 활성탄 흡착지의 효율 향상 측면과 활성탄에 의한 오염물질 제거 정도를 평가하는 방법으로 분리할 수 있다. 활성탄 흡착지의 효율을 향상시키기 위한 방법으로는 활성탄 흡착지로 유입되는 NOM을 사전에 제거함으로써 흡착성능의 극대화를 통하여 흡착지의 사용기간 및 재생주기 연장에 따른 경제적 효과를 가져 올 수 있다(Semmens, M.J., Staples, A.B., Hohenstein, G. 1986). 특히 Hong 등은 기존응집과 강화된 응집을 통하여 활성탄 흡착지에서의 NOM의 파괴특성을 평가하였으며 강화 응집을 통한 NOM의 저감이 활성탄 부하를 저감시킨다고 보고하였다(홍 등 2003). White와 Thompson 등은 미국내 31곳의 상수원을 통해 강화된 응집을 적용할 경우 높은 TOC 제거율을 얻을 수 있었으며 이러한

경향은 TOC의 초기농도와 원수의 특성에 큰 영향을 받는다는 연구결과를 보고 하였다(White, M., Thompson, J., Harrington, G.W. and Singer, P.C. 1997). 활성탄에 의한 오염물질 제거 정도를 평가하는 방법에는 활성탄 자체가 가지고 있는 흡착능을 평가하는 방법과 연속공정으로 흡착지에서 유속이 존재하는 상태에서 오염물질의 파괴특성을 평가하는 것이다. Newcombe 등의 경우 분말활성탄(Power activated carbon; PAC)을 이용한 흡착 특성 평가를 통하여 활성탄 흡착능에 가장 큰 영향을 미치는 인자중 하나는 NOM이라고 보고하였으며 이러한 NOM의 존재는 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과 경쟁 관계에 있음을 보여 주었다(Newcombe et al., 2002). 또한 Cook 등은 분말활성탄의 투여량과 NOM 농도와 상관관계를 통하여 NOM이 PAC 흡착에 미치는 영향을 평가하였으며 NOM을 분획 후 분자량에 따른 이·취미(2-MIB, Geosmin) 물질과의 경쟁적 흡착관계를 비교평가 하였다. 특히 2-MIB, Geosmin의 흡착에 가장 영향을 미치는 분자량은 저분자량 500~2,000Da으로 보고되고 있다(Cook et al., 2004). 그러나 활성탄 흡착지에 대한 연구는 충분한 원수량 확보와 운전시간 문제 그리고 복잡한 흡착지의 설계 등, 여러 가지 문제로 인하여 활성탄 흡착지에서의 NOM의 흡착거동과 관련된 미량유기물질에 대한 평가는 국내·외적으로 상당히 미비한 실정이다.

활성탄 흡착에 대한 기존 국내·외의 연구의 경우 분말활성탄(PAC)에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 현재 국내 정수장의 경우 GAC(Granular activated carbon; GAC)공정이 1990년대부터 보급화 되었지만 GAC공정에서의 NOM의 파괴특성과 관련된 소독부산물(THMs, HAAs) 및 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질 등 미량유기물질과의 상관관계에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이다. 또한 세부적으로 GAC 공정에서 NOM 파괴에 따른 분자량 분포 변화와 이·취미 물질(2-MIB, Geosmin)과의 상관관계에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 활성탄 흡착지의 수명을 연장시킬 수 있는 기존응집 그리고 강화된 응집을 통한 활성탄 이용률 측정을 평가하고, 활성탄 흡착지에서 NOM이 이·취미(2-MIB, Geosmin) 초기파괴 특성에 미치는 영향을 정량적으로 고찰하고자 하였다. 또

한 활성탄 흡착공정에서 NOM 파과에 따른 분자량 변화와 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과의 상관관계를 비교 평가 하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1. 원수의 특성

본 실험에 사용된 원수는 한강원수를 대상으로 실험을 수행하였으며 실험에 사용된 원수는 DOC농도는 다르지만 일정한 지점에서 채수되어 자연유기물질의 자체의 성상은 크게 변화하지 않는다는 가정 하에 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 원수의 특성은 다음 Table 1에 정리 하였다.

### 2.2. 응집실험

원수에 대한 기존응집과 강화된 응집을 적용하기 위하여 강화된 응집의 경우 Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual (EPA, 1996)에 의해 제시된 방법에 의해 실험을 수행하여 원수의 TOC 제거율을 약 40%를 충족시켜 실험을 수행하였다. 응집제는 Poly aluminum chloride( $Al_2O_3$ , 17%)를 사용하였고 응집 실험 시 마다 응집제를 희석하여 사용하였다. 기존응집은 원수에 대하여 수돗물 수질기준인 0.5NTU에 적합한 탁도를 나타내는 최소 응집제량으로 결정하였고 강화된 응집은 자연유기물질의 제거율이 40%이상을 보이는 최소 투여량으로 결정하였다.

### 2.3. 이·취미(2-MIB, Geosmin) 분석

Geosmin과 2-MIB의 표준시약은 Wako(analytical grade, Japan) 0.1mg/ml, 그리고 Sigma(analytical grade, Germany) 0.1mg/ml를 사용하였다. Geosmin과 2-MIB 분석을 위해 사용된 SPME fiber는 NO.

57248-U(DVB/CAR/PDMS)이였으며, SPME holder는 NO. 57330-U을 사용하였다. 본 실험에서 Geosmin과 2-MIB 분석은 50ml 샘플병에 NaCl 10g 주입하여 약 1분 동안 교반 후 55~60°C의 수욕상에서 30분간 이·취미 물질(Geosmin, 2-MIB)을 fiber에 흡착시켜 GC/MSD(HP 5890 II/MSD 5972)를 이용하여 분석을 수행하였다. 정량분석은 SIM mode를 이용하여 Geosmin의 경우 112m/z와 2-MIB의 경우 95m/z 이온을 선택하여 정량평가를 하였으며 GC/MSD의 운전조건은 다음 Table 2에 나타내었다.

### 2.4. 수질인자 분석

본 연구에서는 탁도, DOC, 그리고  $UV_{254}$  등을 측정하였다. 탁도는 Model 2100 turbidimeter(HACH)를 사용하였으며 침전 60분 후 상등수를 채취하여 측정하였다. DOC는 Combustion 방식의 Analytik Jena multi N/C 3000(Analytik jena, Germany)을 이용하여 NPOC(Non-purfeable organic carbon)방법으로 NDIR(Non-dispersive infrared detector) 검출방식으로 분석을 수행하였다.

### 2.4. 분자량 분포 분석

유기물질의 분자량 분포를 측정하기 위해 UV detector를 장착한 HPLC를 이용하여 운전시스템 High Performance Liquid Chromatograph(HPLC, LC-20AD Shimadzu)로 HPLC 내에 장착된 UV/vis Detector( SPD-20AD, Shimadzu)와 변형된 실시간 TOC 분석기(Ionics Sievers 820)를 사용하였다. 검량선 작성을 위해 사용된 표준물질은 Polyethylene glycol(PEG)를 사용하였으며 표준물질은 이동상 용

Table 1. Characteristics of the raw water

| Characteristics of the raw water |               |
|----------------------------------|---------------|
| Dissolved organic carbon (mg/L)  | 1.8~2.27      |
| Turbidity (NTU)                  | 1.5~7.5       |
| Alkalinity mg/L as $CaCO_3$      | 23~56         |
| pH                               | 6.5~8         |
| $UV_{254}$ (/cm)                 | 0.0279~0.0332 |
| $UV_{272}$ (/cm)                 | 0.0223~0.0269 |

Table 2. The operating conditions of GC/MS

| Items          | Condition   |
|----------------|---|
| Column         | HP5 (30m×0.25mm I.D×0.25 $\mu$ m)   |
| Carrier gas    | 99.999% He  |
| Injector temp. | 250°C   |
| Detector temp. | 260°C   |
| Oven temp.     | Init.; 2.0 min at 40°C<br>1 step; 10°C/min to 90°C at 1 min<br>2 step; 30°C/min to 260°C at 6 min |
| Quantitation   | Selected Ion Monitoring mode  |
| Mass range     | 10~250  |
| Pressure       | 8psi  |

액을 용매로 하여 5.0mg/L의 용액으로 제조하였다. 이동상 용액은 0.004M의 phosphate buffer와 0.025M sodium sulfate로 조제하여 pH를 유지시켰으며 UV측정은 DOC와의 선형적인 상관관계가 있는 254nm 파장을 이용하여 검출하였다.

### 2.5. Mini-column 설계

활성탄은 석탄계 활성탄인 Calgon사의 F400을 사용하였고 mini-column 실험 수행을 위하여 활성탄을 분쇄 후 100\*200mesh로 체가름 한 뒤 미분탄의 체거를 위하여 여러 번 세척하였다. Mini-Column설계에 관한 식은 RSSCT의 설계식의 이론을 바탕으로 하여 Mini-Column에 필요한 각각의 인자를 산출하였다. 설계식은 유사성과 무차원 해석을 통하여 식이 전개되었으며 이러한 식의 상관관계는 Small Column과 Large Column의 활성탄 입경에 대한 함수로부터 결정되었다. 설계식은 확산속도가 일정하다는 가정하에 전개되었으나, Small Column의 실험과 속도실험을 통하여 GAC의 입경 감소와 비례하여 확산계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 상관관계를 바탕으로 하여 설계식에서 입경의 의존도를 반영하도록 수정하여 실험을 수행하였다. 설계기본인자는 EBCT(Empty Bed Contact Time), 수리학적부하율, 표면속도(v), 시간(t) 등이 있으며, SF(Scaling Factor)는 Large Column과 Small Column에서의 입자 직경비로 산출 될 수 있다(홍 등, 2003).

$$SF = d_{LC} / d_{SC} \quad (1)$$

활성탄 입경에 대한 입자내부 확산계수(D)의 독립성과 EBCT는 각각 아래 식으로 나타낼 수 있으며, x는 확산계수이다.

$$D_{SC} = (d_{SC} / d_{LC})^{x-2} \times D_{LC} = SF^{2-x} \times D_{LC} \quad (2)$$

1. D: diffusion coefficient

2. x: diffusivity factor

$$EBCT_{SC} = (d_{SC} / d_{LC})^{2-x} \times EBCT_{LC} = t_{SC} / t_{LC} \quad (3)$$

유사성이 유지되고 입자 내부 확산상수가 활성탄 입경의 함수가 아닐 경우 x=0인 일정 확산속도

**Table 3.** The operating conditions of Mini-column

| Parameter                | EBCT=15min<br>100*200 mesh |
|--------------------------|----------------------------|
| Particle diameter(mm)    | 0.112                      |
| SF                       | 96                         |
| Type of GAC              | F400                       |
| EBCT <sub>SC</sub> (min) | 0.1554                     |
| Column length (cm)       | 5.6                        |
| Column diameter (mm)     | 3.5                        |
| V <sub>SC</sub> (m/h)    | 7.23                       |
| Flow rate (mL/min)       | 3.48                       |

(Constant diffusivity design)가 이용된다. Mini-Column의 장점은 시간적으로 짧은 시간대에서 파과 곡선을 살펴 볼 수 있다는데 있다. 따라서 Mini-Column은 주로 활성탄의 특성을 Isotherm이 아닌 Kinetic 측면에서의 비교에 이용되며 특정한 물질에 대한 파과 특성을 단 시간 내에 관찰하는데 용이하게 사용된다. Mini-Column을 이용하여 이에 따른 EBCT<sub>SC</sub>, length, 유량, 유속, 시료량 등을 산정하기 위해서는 세공내로의 확산이 입자 크기와 무관하다는 전제 하에 x=0으로 본다. 실제 흡착지의 EBCT 및 활성탄 입경크기(dLC)는 각각 15min, 1.1mm로 가정하고 Mini-Column에서의 활성탄 입경크기(dSC)는 각각 0.112mm(100\*200 mesh)로 하여 Mini-Column에서 사용되는 설계인자는 다음 Table 3과 같다.

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1. 기존응집과 강화응집에 따른 파과 특성

기존응집과 강화된 응집에 따른 활성탄 파과특성을 비교 평가하기 위해 응집조건과 처리수량에 따른 활성탄 흡착지에서의 파과특성을 Fig. 1에 나타내었다. 활성탄 흡착지로 유입되는 DOC 농도는 기존응집의 경우 1.31에서 1.32mg/L를 강화된 응집의 경우 0.958에서부터 1.02mg/L로 각각 유입되었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 기존응집과 강화된 응집 모두 활성탄 초기 유출수 즉, 흡착이 안되는 부분의 DOC 농도는 약 0.2mg/L로 강화된 응집에 의해서도 크게 저감되지 않는 것으로 나타났다. 또한 BV(Bed Volume)에 따른 기존응집과 강화된 응집후 활성탄 흡착지에서의 파과특성을 비교 하면 흡착지에서 40%

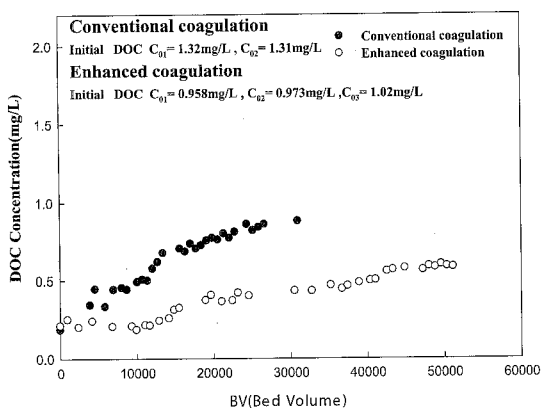


Fig. 1. Effect of pretreatment on DOC breakthrough for surface water using F-400.

의 파과를 기준으로 기존응집의 경우 약 8,000~9,000BV를 처리할 수 있으나 강화응집의 경우 약 18,000BV를 처리할 수 있다. 60%의 파과에서는 기존응집의 경우 약 18,000~19,000BV를 강화응집에서는 36,000~37,000BV를 처리할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 실질적으로 원수를 응집처리 후 최종 처리수가 0.5mg/L에서 재생하겠다면 기존응집으로 처리한 경우는 약 10,000BV 처리 후에 재생을 하여야 하며 강화된 응집으로 처리한 경우에는 35,000~40,000BV를 처리한 후에 재생을 하여야 한다. 따라서 강화된 응집 적용 후 활성탄 재생주기를 최소 3.5~4배까지 연장시킬 수 있다는 기존의 연구와 일치한다고 사료되어진다(홍 등 2003).

#### 4.2. 기존응집과 강화된 응집 후 활성탄 이용률(CUR) 평가

활성탄 이용률(Carbon usage rate; CUR)은 처리수의 단위 부피당 교체 혹은 재생되어야만 하는 활성탄의 양으로 정의되며, 처리수의 수질에도 큰 영향을 준다. 경제성 측면에서는 가능한 작은 이용률을 선택해야 하며, 동시에 유출수 수질기준을 만족시키기 위해서는 충분히 큰 값이어야 한다. 이러한 활성탄 이용률은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$CUR = \frac{\text{carbon}(M)}{5\text{Effluent volum}(V)} \quad (4)$$

Table 4. Evaluation of CUR after conventional and enhanced coagulation

|                     | Con. coagulation<br>(CUR g/L) | Enhanced coagulation<br>(CUR g/L) |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Breakthrough of 25% | 0.0351                        | 0.0181                            |
| Breakthrough of 40% | 0.0177                        | 0.0090                            |
| Breakthrough of 60% | 0.0083                        | 0.0040                            |

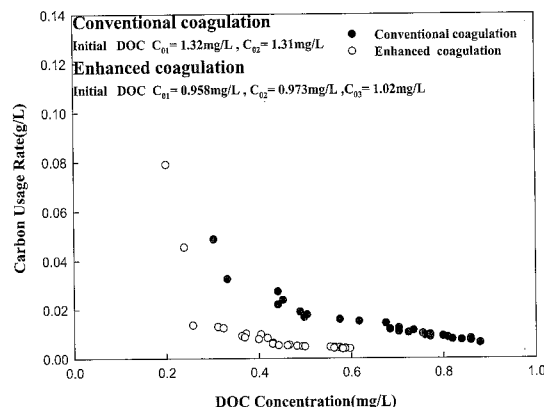


Fig. 2. Evaluation of CUR after conventional and enhanced coagulation.

따라서 활성탄 이용률은 단위 수량을 처리하는데 필요한 활성탄의 양을 나타낸다. 또한 활성탄 파과 곡선은 유출수의 농도와 처리수량 또는 BV(Bed Volume)와의 상관관계로 나타낼 수 있는데 BV는 처리수의 체적을 GAC 체적으로 나눈 값으로 서로 다른 조건의 컬럼에서 나온 데이터를 표준화 시키고 경제성 측면에서 활성탄의 사용률을 평가하는데 유용한 인자로 활용되어진다.

Table 4에 나타난 바와 같이 DOC 파과율에 따른 기존응집과 강화된 응집의 CUR 값을 세부적으로 비교 평가한 결과 강화된 응집의 CUR 값이 기존응집의 CUR값에 비해 약 2배 정도 우수하게 나타났다. 이러한 연구결과는 기존에 수행되었던 활성탄 흡착능 실험에서 강화된 응집 후 수중에 존재하는 고분자물질과 초기농도의 감소로 활성탄 흡착능이 증가한다는 Hong과 Shon 등의 연구결과와 상당히 유사한 결과를 나타내었으며(홍 등 2003), 강화된 응집 후 활성탄 흡착지의 운전기간 및 처리수량을 향상시킬 수 있다는 결론에 신뢰성을 높이는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되어진다.

### 4.3. 기존응집과 강화된 응집 후 이취미(2-MIB) 파괴 특성

활성탄 흡착지에서의 2-MIB와 Geosmin의 파괴 경향은 전형적 유기물 흡착형태인 S자 형태의 곡선은 나타나지 않았다. 본 연구에서는 전형적인 S자 형태의 파괴특성 보다는 기존응집 그리고 강화된 응집 후 DOC 파괴에 따른 2-MIB와 Geosmin의 초기파괴특성의 상관성을 도출하고자 하였다. Fig. 3과 Fig. 4에서는 기존응집과 강화된 응집 후 활성탄 흡착지에서 2-MIB와 Geosmin의 파괴와 NOM과의 경쟁흡착 관계를 검증하기 위해 기존응집과 강화된 응집을 통한 NOM의 파괴 특성이 2-MIB와 Geosmin의 파괴에 미치는 영향을 평가하였다. Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 기존응집 후 2-MIB의 초기파괴는 DOC 파괴율 38%, 운전일수 111일에서 초기농도 4.5ng/L를 시작으로 파괴가 진행되었으며 강화된 응집의 경우

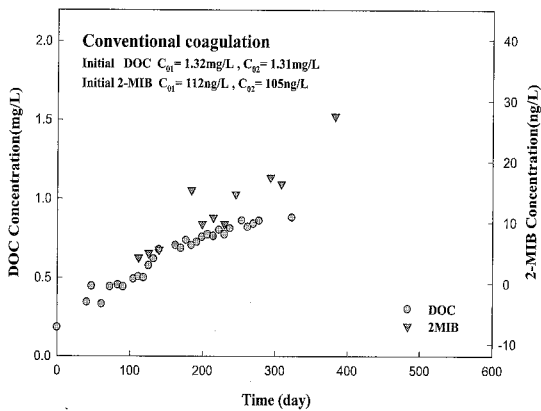
DOC 파괴율 44%, 운전일수 212일에서 초기농도 5ng/L로 시작되어 기존응집에 비해 강화된 응집에서 2-MIB의 초기파괴 기간이 약 2배 정도 길어지는 결과를 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에서는 기존응집과 강화된 응집에서의 Geosmin의 파괴특성을 나타낸 것이다. 기존응집의 경우 Geosmin의 초기파괴는 DOC 파괴율 52%, 운전일수 245일, 초기농도 2.8ng/L에서 파괴가 진행되었으며 강화된 응집의 경우 DOC 파괴율 51%, 운전일수 약 400일에서 초기농도 2.8ng/L로 초기파괴가 진행되어 강화된 응집에서 Geosmin의 초기파괴 기간이 약 1.6배 정도 길어지는 결과는 나타내었다. 이러한 결과는 Cook 등이 제시한 수중의 NOM이 PAC(Powder activated carbon)의 흡착효율을 감소시키고 감소된 흡착효율은 2-MIB와 Geosmin의 흡착효율까지 저감시킨다는 연구결과와 상당히 유사한 결과를 나타내었다(Cook et al., 2001). 또한 본 연구에서는 기존연구(Cook et al., 2001)에서 제시한

**Table 5.** Breakthrough curve of 2-MIB on DOC curve after conventional and enhanced coagulation

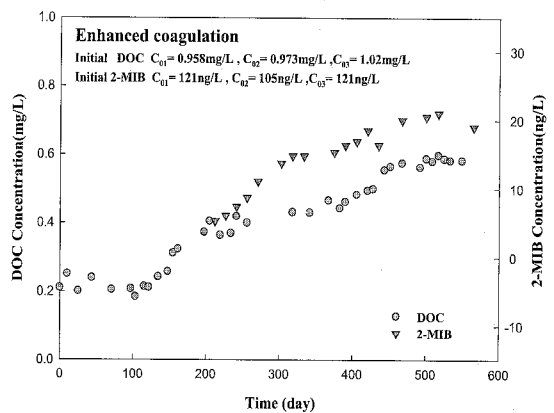
|                  | DOC파괴율 | 2-MIB초기파괴 농도(ng/L) | 초기파괴(day) | 운전일수 약 500일 |
|------------------|--------|--------------------|-----------|-------------|
| Con. coagulation | 38%    | 4.5                | 111       | 4.5~27ng/L  |
| Enh. Coagulation | 44%    | 5                  | 212       | 5~20ng/L    |

**Table 6.** Breakthrough curve of Geosmin on DOC curve after conventional and enhanced coagulation

|                  | DOC파괴율 | Geosmin초기파괴 농도(ng/L) | 초기파괴(day) | 운전일수 약 380일 |
|------------------|--------|----------------------|-----------|-------------|
| Con. coagulation | 52%    | 2.8                  | 245       | 2.8~5ng/L   |
| Enh. Coagulation | 51%    | 2.8                  | 400       | 2.8~5ng/L   |



**Fig. 3.** Breakthrough curve of 2-MIB after conventional coagulation.



**Fig. 4.** Breakthrough curve of 2-MIB after enhanced coagulation.

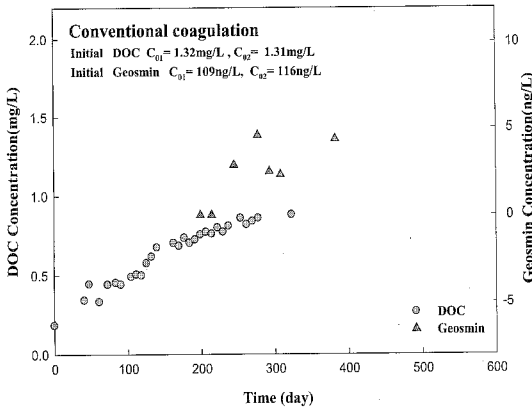


Fig. 5. Breakthrough curve of Geosmin after conventional coagulation.

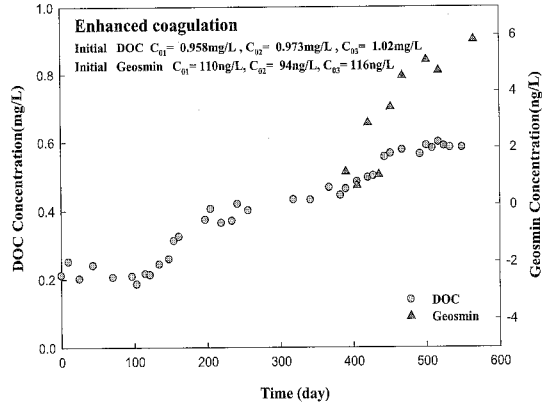


Fig. 6. Breakthrough curve of Geosmin after enhanced coagulation.

회분식 등은 흡착 실험과 달리 실질적인 활성탄 흡착지에서의 NOM의 거동과 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질의 상관관계를 도출하고자 하였다.

#### 4.4. 기존응집과 강화응집 후 이·취미(Geosmin, 2-MIB) 초기 파파시 단위 g당 유기물질 흡착량

Table 7과 Table 8에서는 실질적으로 강화된 응집 후 활성탄 흡착능 향상이 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질 파파에 미치는 영향을 기존응집과 강화된 응집 후 활성탄 단위 g당 NOM의 흡착량을 정량적으로 평가하였다. 산출방법은 활성탄 흡착지로 유입되는 운전기간 동안의 NOM의 유입총량을 산정한 후 2-MIB와 Geosmin의 초기 파파까지 NOM의 유출총량을 계산하여 (유출면적(mg/L\*hr)\*유출유량(L/hr)) 활성탄 단위 g당 NOM의 총 흡착량을 계산

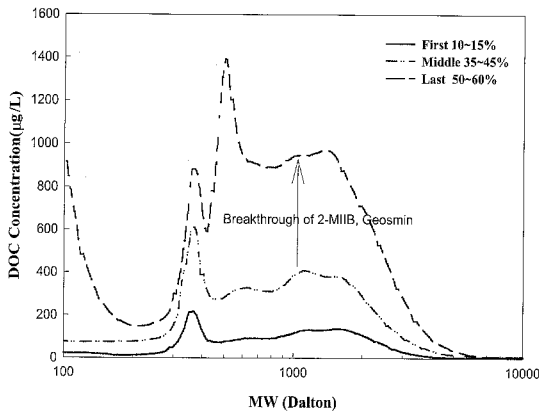
하였다. 앞서 설명한 바에 따르면 2-MIB의 Geosmin의 초기파파 특성은 기존응집과 강화응집 후 비슷한 DOC 파파율(%)에서 2-MIB와 Geosmin의 초기파파가 진행되는 결과를 고찰하였다. 그러나 이러한 결과는 DOC 파파율은 비슷했지만 운전일수가 다르게 나타났기 때문에 실질적인 DOC와의 상관성을 평가하기에는 무리수가 있다고 판단된다. 따라서 DOC가 2-MIB와 Geosmin 파파에 미치는 영향을 활성탄 단위 g당 흡착된 유기물량으로 평가 하였다. Table 7과 Table 8에 나타난 바와 같이 기존응집 후 흡착지에서 2-MIB의 초기 파파시 자연유기물질 총흡착량은 23.72mg/g, Geosmin 초기 파파시 자연유기물질 총흡착량은 41.97mg/g을 나타내었다. 그러나 강화된 응집에서는 2-MIB 초기 파파에서는 34.56mg/g을, Geosmin 초기 파파에서는 57.07mg/g으로 실질적으로 강화된 응집에서 활성탄 단위 g당 흡착량이 다소 증

Table 7. Solid phase con. of NOM on breakthrough of taste & odor after enhanced coagulation <mg/g>

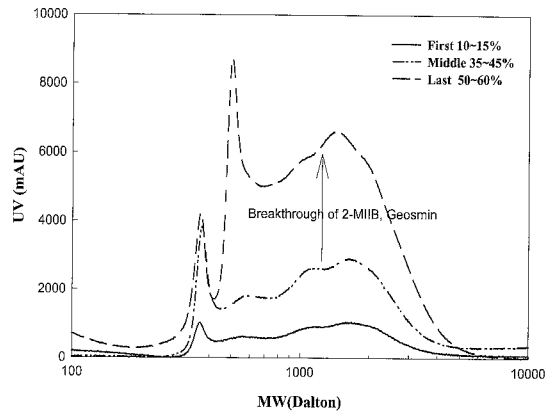
| F-400   |       |   |       |
|---|-------|---|-------|
| <2-MIB>   |       | <Geosmin>   |       |
| Influent NOM total mass for operating time <mg>       |       | Influent NOM total mass for operating time <mg>         |       |
| Influent mass per hour<mg/hr>                         | 0.204 | Influent mass per hour<mg/hr>                           | 0.204 |
| Influent NOM mass at 52.8 hr <mg>                     | 10.78 | Influent NOM mass at 97.1hr<mg>                         | 19.83 |
| Effluent NOM total mass for operating time<mg>        |       | Effluent NOM total mass for operating time<mg>          |       |
| Area <mg/L*hr>  | 13.66 | Area <mg/L*hr>  | 32.29 |
| Effluent total mass <mg>                              | 2.84  | Effluent total mass <mg>                                | 6.70  |
| total adsorption mass until breakthrough of 2-MIB<mg> | 7.95  | total adsorption mass until breakthrough of Geosmin<mg> | 13.13 |
| Solid phase concentration <mg/g>                      | 34.56 | Solid phase concentration <mg/g>                        | 57.07 |

**Table 8.** Solid phase con. of NOM on breakthrough of taste & odor after conventional coagulation <mg/g>

| F-400   |       | F-400   |       |
|---|-------|---|-------|
| <2-MIB>   |       | <Geosmin>   |       |
| Influent NOM total mass for operating time <mg>       |       | Influent NOM total mass for operating time <mg>         |       |
| Influent mass per hour<mg/hr>                         | 0.274 | Influent mass per hour<mg/hr>                           | 0.274 |
| Influent NOM mass at 27.8 hr <mg>                     | 7.59  | Influent NOM mass at 61hr<mg>                           | 16.65 |
| Effluent NOM total mass for operating time<mg>        |       | Effluent NOM total mass for operating time<mg>          |       |
| Area <mg/L*hr>  | 10.27 | Area <mg/L*hr>  | 33.71 |
| Effluent total mass <mg>                              | 2.13  | Effluent total mass <mg>                                | 7.0   |
| total adsorption mass until breakthrough of 2-MIB<mg> | 5.45  | total adsorption mass until breakthrough of Geosmin<mg> | 9.65  |
| Solid phase concentration <mg/g>                      | 23.72 | Solid phase concentration <mg/g>                        | 41.97 |



**Fig. 7.** Changed of M.W distribution through activated carbon processes using DOC detector.



**Fig. 8.** Changed of M.W distribution through activated carbon processes using UVA detector.

가하는 경향을 나타내었다. 본 실험결과 강화된 응집 후 활성탄 단위 g당 흡착효율이 기존응집에 비해 약 25~30% 우수하게 나타났으며 유기물 흡착량 증가로 인한 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질의 초기 파괴기간이 연장되는 결과를 확인 할 수 있었다.

#### 4.5. 활성탄 파괴율에 따른 분자량 분포와 이취미(2-MIB, Geosmin)파괴 특성 비교

활성탄 흡착지에서 NOM과 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질의 경쟁적 관계는 Newcombe, Cook 등에 의해서 많은 연구가 진행되었다(Newcombe, Cook, 2002). 그러나 본 연구에서는 Newcombe와 Cook 등이 제시한 회분식 등온흡착결과와 달리 유속이 존재하는 활성탄 흡착지에서의 분자량 분포 특성 변화와 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질 파괴특성과의 상관성을 도출하고자 하였다. Fig. 7에서는 활성탄 파괴진

행에 따른 분자량 분포변화특성을 고찰한 것이다. 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과 분자량 분포와의 상관성을 살펴 볼 때 초기파괴 시점과 달리 중기 파괴에서 후기파괴로 진행 될 수록 500~2000Da의 분자량이 크게 증가되는 경향을 나타내었다. Fig. 8에 나타난 UV를 통한 초기, 중기, 후기 파괴 부분에 대한 분자량 분포 특성에서도 상당히 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 활성탄 흡착지에서 NOM파괴율과 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과의 상관성을 관련 지어 볼 때 실질적인 활성탄 흡착지에서 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과 가장 경쟁적 흡착관계를 가지는 분자량 범위는 약 500~2000Da이 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 Cook 등이 제시한 기존 연구결과와 상당히 일치하였으나 본 연구결과는 실질적인 흡착지에서의 NOM과 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질과의 경쟁적 관계를 평가했다는 점에서



상당히 의미 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되어 진다.

## 5. 결 론

강화된 응집 후 NOM과 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질이 흡착에 미치는 영향을 고찰하기 위해 활성탄을 이용하여 mini-column실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

강화된 응집 후 흡착이 안되는 물질은 기존응집과 강화된 응집 모두 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 파괴특성 측면에서 강화된 응집이 기존응집에 비해 우수한 것으로 나타났다. 즉, 원수를 기존응집과 강화된 응집으로 처리하여 활성탄 흡착지에서 유출수의 농도가 0.5mg/L에서 활성탄 재생 계획 시 강화된 응집이 기존응집과 비교하여 BV(Bed volume)측면에서 약 3.5~4배 정도의 차이를 나타내었다. 또한 활성탄 이용률 측면과 비교해 볼 때 활성탄 이용률은 강화된 응집 후 기존응집에 비해 약 2배 정도 우수하게 나타났다. BV와 CUR 값에서 차이를 나타내는 원인으로서는 실질적으로 강화된 응집 후 초기농도의 감소에 따른 흡착능 향상이 주된 원인일 것으로 사료된다.

강화된 응집 후 활성탄 부하저감으로 인하여 2-MIB와 Geosmin의 초기파괴 시 까지 활성탄 단위 g 당 유기물 흡착량이 기존응집에 비해 약 25~30% 향상되었으며 유기물 흡착량 증가로 인한 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질의 초기파괴 기간이 연장된 것으로 사료되어 진다.

활성탄 흡착지에서 중기 파괴 시점부터 분자량 500~2,000Da 범위가 크게 증가하는 경향과 관련 지어 볼 때 이·취미(2-MIB, Geosmin)물질 파괴에 가장 큰 영향을 미치는 분자량은 500~2,000Da과 큰 상관관계가 있음을 나타내었다.

## 사 사

본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어

어 졌음.

## 참고문헌

1. 홍성호, 김성진, 오현제 (2003) 강화된 응집이 활성탄 흡착에 미치는 영향, *상하수도학회지*, 17(3), pp. 378-385
2. Newcombe G, Morrison J, Hepplewhite C. (2002) Simultaneous adsorption of MIB and NOM onto activated carbon: I Characterisation of the system and NOM adsorption. *Carbon*, 40, pp. 2147-2156.
3. Cook D, Newcombe G, Sztajn bok P. (2001) The application of powdered activated carbon for MIB and geosmin removal: predicting PAC doses in four raw water. *Water Res.*, 35(5), pp. 1325-1333.
4. Semmens, M.J., Staples, A.B., Hohenstein, G. (1986) "Influence of Coagulation On Removal of Organics by Granular Activated Carbon, *J. AWWA*, 78(8), pp. 80-84.
5. White, M.C., Thompson, J.D., Harrington, G.W. and Singer, P.C. (1997) Evaluation Criteria for Enhanced Coagulation Compliance, *J. AWWA*, 89(5), pp. 64-77
6. Lloyd S. W., Lea J.M., Zimba P.V., Grimm C.C. (1998) Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneolin waterusing solid phase micro extraction procedures. *Water Res* 32, pp. 2140-2146.
7. McGuire, M.J. and Suffet, I.H. (1984) Aqueous chlorine activated carbon interactions. *Jour. envir. enrgg.*, 110(3), pp. 629-642.
8. Newcombe G, Drikas M. (1996) MIB removal: adsorption capacity and kinetics of eight activated carbons. In: proceeding of the Australian Water and Wastewater Association Water TECH Conference, Sydney, pp. 615-620.
9. Najm I., (1996) Advances in the Mathematical modeling of PAC adsorption processes. *J. AWWA*, 88(10), pp. 79-89.
10. Lalezary, S., Pirbazari, M., Dale, M.S., Tanaka, T.S. and McGuire, M.J. (1998) Optimizing the Removal of Geosmin and 2-MIB by Powered Activated Carbon, *AWWA*, 80(3), pp. 76-82.
11. Tsair-Fuh Lin, Chia-Ling Liu, Feng-Chen Yang and Hsu-wen Hung (2003) Effect of residual chlorine on the analysis of geosmin, 2-MIB and MTBE in drinking water using the SPME technique. *Water Research*, 37, pp. 21-26.
12. US EPA (1996) ICR Manual for Bench -and Pilot-Scale Treatment Studies, EPA814-B-96-003.