



## 강변여과에 의한 이·취미 물질 제어 특성에 관한 타당성 연구

### A Feasibility study on Removal Characteristics of Taste and Odor using Bank Filtration Treatment

맹승규<sup>1</sup> · 박노석<sup>2\*</sup> · 임재림<sup>2</sup> · 김성수<sup>2</sup> · 정우창<sup>3</sup>

Sung-Kyu Maeng<sup>1</sup> · No-suk Park<sup>2\*</sup> · Jae-Lim Lim<sup>2</sup> · Seong-Su Kim<sup>2</sup> · Woo-Chang Jeong<sup>3</sup>

1 한국과학기술연구원 물환경센터, 2 한국수자원공사 K-water연구원, 3 경남대학교 토목공학과

(접수 2009년 12월8일; 1차 수정 2010년 4월7일; 2차수정 2010년 6월1일; 채택 2010년 6월10일)

#### Abstract

This study was conducted in order to investigate bulk organic matter characteristics and behavior of geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB) during riverbank filtration, which are general surrogates of taste and odor in drinking water. Column studies were used to simulate bank filtration systems. Most of the aliphatic organic matter was removed effectively after soil passage, and it is believed to be polysaccharides according to LC-OCD and F-EEM analyses. Removal efficiencies of geosmin and 2-MIB within the filtration column reached above 95%. It was found that the removal of total dissolved organic matter has a correlation with that of geosmin and 2-MIB in the near of filtration surface (about 50cm).

**Key words** : Geosmin, 2-MIB, riverbank filtration, column tests, taste and odor

**주제어** : 지오스민, 2-MIB, 강변여과, 컬럼실험, 이·취미

#### 1. 서론

최근 정수 처리 및 공급에서 문제가 되고 있는 이·취미물질을 제어하기 위한 방법으로 생물활성탄의 도입이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 활성탄 공정은 그 전처리로 산화공정(예: 오존 공정)을 필요로 하기 때문에 순수한 의미에서 완전한 생물학적 처리라고 언급하기에는 무리가 있다 (Elhadi et al., 2004). 또한 산화와 생물활성탄의 경우 정수장내 건설 시 건설비 및 정수 생산단가의 상승 및 유지관리의 어려운 점들이 많다. 대표적으로 이·취미 물질을 제거하는 생물학적 처리방식은 강변여과이다 (AWWARF, 2006).

강변여과는 강변에 자연적으로 존재하는 충적층의 오염

저감능력을 이용하여 하천의 표류수가 장기간(약 60일 이상) 강변의 하상 바닥 또는 측면으로 침투되어 물리적 또는 생물학적 기작에 의하여 오염물질이 여과 및 제거되는 기작을 근간으로 한다. 이에 대수층의 분포가 양호한 지역에서는 매우 유효하며 오염된 하천수를 직접 원수로 취수하는 지역에서 안고 있는 기존 정수처리문제 및 하천 수질오염사고의 취약성 등을 개선하기 간접 취수방법으로 도입되고 있다 (김, 2007). 지표수가 대수층을 통과하여 여과되는 동안 물리화학적인 기작과 병행하여 하상에 존재하는 미생물의 생물학적 분해 기작으로 제거된다 (Chittaranjan et al., 2003).

몇몇 연구자들은 조류로 인해 발생하는 대부분의 이·취미

\* Corresponding author Tel:+82-42-870-7525, Fax:+82-42-870-7549, E-mail: nspark@kwater.or.kr(Park, N.)

원인물질들은 생물학적 분해가 가능한 물질들이기 때문에 강변여과 시설로 효과적으로 제거됨을 발표하였다 (Chittaranjan et al., 2003). 급속 및 완속여과와 비교시 강변여과는 매우 긴 여과시간을 가지고 있으며 강변여과의 여과속도는 약 60일에서 1년 정도로 기존 여과방식에 비하여 매우 느리다(김,2007; AWWARF, 2006). 긴 여과속도와 접촉시간으로 인하여 원수 수질의 탁월한 수질향상 효과가 있어 상수 원수 취수방식으로 약 150년 전부터 유럽에서 사용하여 왔다. 특히, 이·취미원인 물질들의 정수장 유입 전에 제거하여 약품 및 정수처리 공정에서의 부하를 감소시킨다는 측면에서 경제적이며 효율적인 방법으로 인식되어 왔다.

강변여과는 지오스민과 2-MIB 제거는 물론 그 외 냄새를 유발하는 여러 원인물질에도 제거 가능성이 있음을 여러 논문에서 언급하고 있다(Lionel et al, 2007; Person et al., 2007; Elhadi et al., 2004; Bruce et al., 2002). 이러한 선행 연구는 궁극적으로 이·취미 유발 물질의 제거 기작이 생물학적 처리에 근간을 둔을 명확히 하고 있다. 특히, 강변여과는 긴 여과시간을 이용하여 호기와 혐기조건을 모두 갖추고 있는 공정으로 전하에 민감한 화학물질 제거에 매우 효과적이다. 일반적으로 기존 정수처리공정에서는 전하의 차이가 존재하는 공정은 없는데 반해 자연 대수층을 이용하여 여과하는 강변여과방식에서는 가능하다. 다음 Fig. 1은 강변여과를 통해 발생하는 미량유해물질의 물리화학적 및 생물학적 기작을 도시한 것이다.

이에 본 연구에서는 이·취미 문제를 해결하기 위하여 간접 취수 방식으로 알려진 강변여과를 이용하여 대표적 이·취미 유발물질로 알려진 지오스민과 2-MIB 제거 특성을 평가하고, 이·취미 물질의 제거에 영향을 주는 수질인자의 영향을 조사하고자 하였다. 이러한 결과는 취수원의 다변화 및 다양한 처리공정을 적용하여 이·취미 유발물질에 대한 효과적인 처리방안을 제시함을 목표로 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험구성 및 표준물질

본 연구에서는 지오스민과 2-MIB 제거율을 평가하기 위해 컬럼(column) 실험을 하였다. 일반적으로 이·취미 물질의 측정은 관능법과 화학적 분석 방법을 이용하고 있는데 본 연구에서는 화학적 분석방법(SPME-GC-MS)을 이용하였다. 이·취미 원인 물질로 지오스민(순도 99.7%, SUPELCO (+/-) Geosmin, Sigma-Aldrich)과 2-MIB (99.9%, 2-Methylisobornel(CAT#: 4M7525-U), Sigma-Aldrich) 표준물질을 사용하였다. 두 물질들을 같은 목표 초기농도로 100 ng/L로 컬럼실험에 사용하였다. 본 농도의 기준은 비록 정수장으로 유입되는 원수보다 실질적으로 농도보다 과다하지만 생물학적으로 분해되는 경향을 깊이에 따라 보기 위하여 고농도로 유입하였으며 기존 논문들에서도 동일한 농도로 실험을 하였다(Ho et al.(2006); Elhadi et al. (2004)).

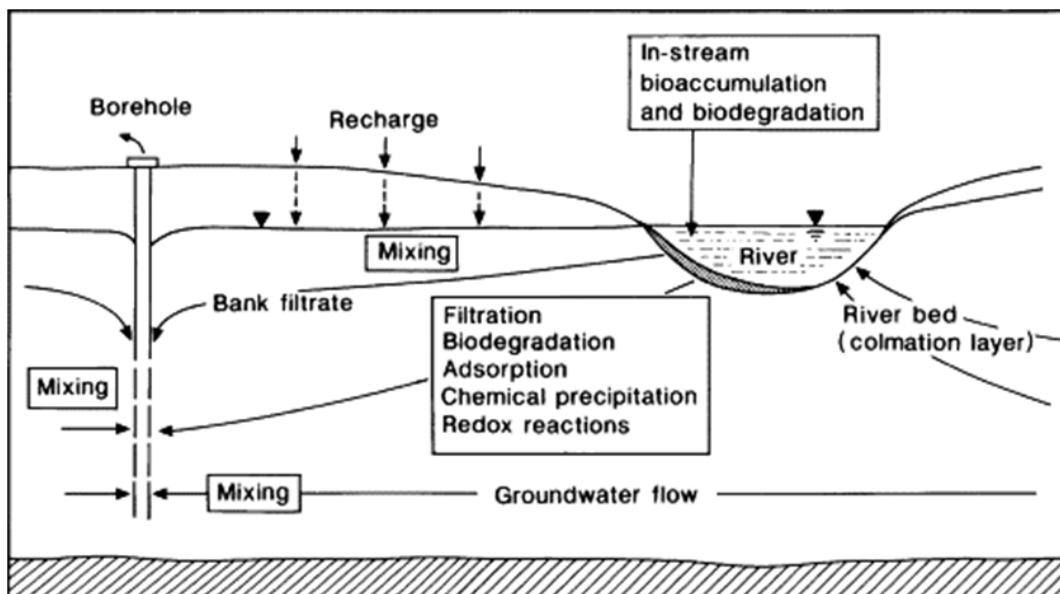


Fig. 1 Riverbank filtration schematic diagram (Chittaranjan et al., 2003)

### 2.2 지오스민과 2-MIB 측정방법

자연유기물질과 함께 미량으로 용존되어 있는 지오스민과 2-MIB를 측정하려면 전처리가 매우 중요하다. 감지농도와 검출 한계가 아주 낮고 많은 양의 시료가 필요하므로 원인 물질별 회수율이 높은 전처리의 선정은 요구되어진다. 이에 본 연구에서는 전처리 방법으로 Solid Phase Microextraction (SPME)을 이용하였다. 지오스민과 2-MIB 샘플은 0.45  $\mu\text{m}$  여과 후 독일 드레스덴 공대(TU-Dresden, Germany)에서 분석하였다. SPME 화이버(fiber)에 측정물질이 흡착되도록 한 후 260°C로 가열된 GC injection port에 다시 탈착시킴으로써 물질을 분리해낸다. SPME를 이용하는 경우 소모되는 시료량이 다른 전처리 방법과 비교하여 적으며 분석시간이 짧고 간단하다. 전처리 후 분리된 샘플은 GC-MS를 이용하여 측정하였다. 자세한 분석 방법은 본 샘플을 분석한 연구팀에서 이미 발표한 기존 논문을 참고하며 동일한 방법으로 분석되었다(Kutschera et al. (2009)).

### 2.3 유기물 특성 분석

원수의 유기물 특성분석을 위하여 DOC, UV254,

Specific UV absorbance(SUVA), Fluorescence Excitation Emission Matrix(F-EEM), LC-OCD (Liquid Chromatography- Organic Carbon Detection)를 측정하였다. 모든 시료들은 보관 시 생물학적 분해를 방지하기 위하여 0.45 $\mu\text{m}$  필터(Whatman)를 이용하여 여과 후 즉시 시료냉장고에 4°C로 저장하였고, 3일 안으로 분석하였다. 총유기물 측정장치 (Shimazu TOC-VCN)를 이용하여 용존유기물을 측정하였으며 FEEM분석은 형광분석장치 FluoroMax-3spectrofluorometer (HORIBA Jobin Yvon)를 사용하였으며 시료전처리를 위하여 0.01 N KCl을 이용하여 pH 2로 조정하였으며 용존 유기물 농도를 모든 시료에 일정하게 1mg/L로 희석하였다. 이러한 전처리는 샘플 내에 있는 중금속으로 인한 형광분석에 영향인자들을 줄이기 위해서 필요하다. Table 1은 형광분석시 자연유기물에 대한 특정 Excitation (EX) 파장과 Emission (EM) 파장을 나타내었으며 각 EX 그리고 EM 파장의 세기를 Fig. 2 통하여 보여주었다. LC-OCD 분석은 분자량에 따른 유기물의 특성을 Biopolymers, Humics, Building Blocks, Acids 그리고 Neutral 분리하여 나타내었다 (DOC-Labor Dr. Huber, Karlsruhe/Germany). 기존 Size Exclusion

Table 1 Characteristics of organic matter by F-EEM spectra

Region	Excitation(nm)	Emission(nm)	Description
Region 1	250-260	380-480	Humic-like peaks
Region 2	330-350	420-480	Humic-like peaks
Region 3	275	340	Protein-like peaks

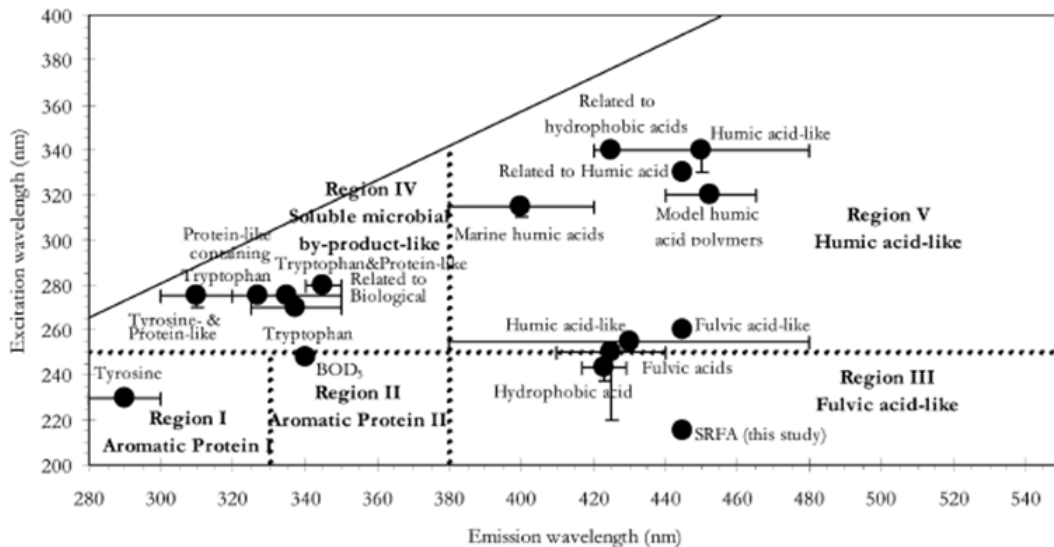


Fig. 2 F-EEM regions based on different organic matter characteristics(Chen et al., 2003)

Chromatography 기법을 이용한 동일한 방법으로 실시간으로 유기물을 측정하여 분자량에 따른 유기물 특성을 구분하여 보여주었다.

#### 2.4 미생물 활성도

유기물의 생물학적 분해능력을 파악하기 위하여 컬럼 내부의 미생물 활성도를 측정하였다. 미생물의 활성도를 파악하기 위해서는 여러 방법들이 있다. 본 연구에서는 간편하고 재현성이 좋은 ATP (adenosine triphosphate)를 이용하였다. ATP를 이용하여 컬럼 실험에 사용되는 모래의 미생물 활성도를 측정하였다. 기존에 이미 발표된 논문 Magic-Knezev et al., (2004)과 동일한 방법으로 수행하였다. 먼저 미생물의 탈착을 위하여 물리적인 방법과 화학적인 방법 중 초음파(40W) 방식을 이용한 물리적 탈착 방법을 사용하였다. 초음파 처리시간에 따른 ATP 회수율 실험을 수행한 결과, 약 120초의 초음파 조사가 모래에 붙어 있는 총 ATP의 90%이상을 회수할 수 있는 시간으로 조사되었다.

#### 2.5 컬럼 실험

강변여과를 모사하기 위하여 2.5m nPVC(직경 100mm)관을 연결하여 총 여과깊이 5m가 될 수 있도록 컬럼 2 세트를 설치하였다(Fig. 3 참조). 깊이에 따른 제거효율을 파악하기 위해서 13개의 시료포트를 컬럼에 설치하였다. 원수로

써 첫 번째 컬럼(SC1)에는 네델란드의 델프트운하 지표수를 두 번째 컬럼(SC2)에는 Hoek van Holland 하수처리장 처리수와 델프트운하 지표수를 50:50으로 섞은 혼합수를 사용하였다. 유입 시 호기조건을 조성하기 위하여 폭기조를 이용하여 용존산소를 5 mg/L 이상 유지하였다. 강변여과에서는 세척이 없기 때문에 컬럼의 물리적인 막힘 현상을 줄이기 위하여 마이크로 sieve(38 $\mu$ m)로 여과한 후 컬럼에 주입하였다. 지표수와 하수처리장 혼합수를 원수로 선정된 것은 지오스민과 2-MIB의 거동에 하수처리수가 미치는 영향을 조사하기 위함이다. 본 컬럼 실험에 사용되었던 모래의 크기는 직경 0.8~1.25 mm로 사용되었으며 초기에 HCl과 NaOH로 세정 후 컬럼에 충전하였다. 컬럼은 실험 전에 미생물들의 활성을 조성하기 위하여 30일간 하수처리장 처리수를 유입시켜 용존유기물의 제거율이 안정화된 조건에서 지오스민과 2-MIB 실험을 수행하였다. 강변여과의 경우 상위 여과층에 생물학적 활성도를 가지고 있기 때문에 컬럼도 동일한 조건을 조성하였다. 이를 위해서 본 두 컬럼의 여과속도는 1.25 m/day로 급속 및 완속 모래여과에 비하여 낮게 운전하여 용존유기물 제거 안정적으로 제거 된 후 0.63 m/day 운전하였다 (Acclimation period). 실질적으로 강변여과 속도는 대수층의 지질 조건에 따라 큰 차이가 있지만 평균적으로 8.64 m/day 여과속도 가지고 있는 지층은 적합하다고 한다 (Grischek, 2009). 그러나 본 여과속도는 폐색층을 고려하지 않은 전체 대수층의 평균 투수계수이며 생물학적으로 조성되는 하상 폐색층의 경우 여과속도가  $10^{-8}$

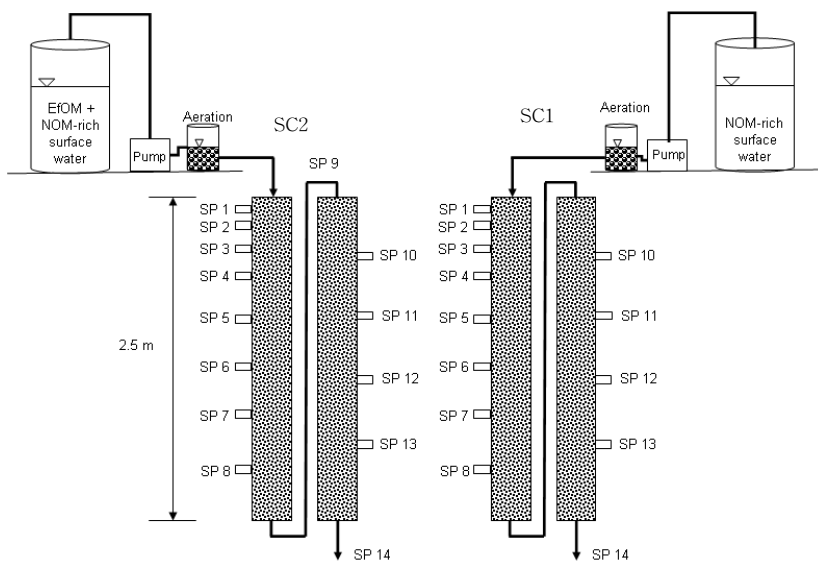


Fig. 3 Schematic diagram of the soil column experimental setup  
(SC1: Delft canal water, SC2: Delft canal water + Secondary effluent)

m/s (0.000864 m/day) 저하되는 것이 일반적이다 (Schubert, 2003). 본 실험에서는 실질적으로 강변여과에서 발생하는 폐색층과 체류시간을 고려하여 약 1/10 이상 감소하여 약 0.63 m/day 운전하였다. 실험 전 컬럼의 여과 속도를 정확하게 조사하기 위해서 추적자 실험을 수행하였다. 통상 컬럼 실험에서는 계산된 여과 속도와 달리 실제 여과속도는 빠르게 나타난다. 추적자 실험은 전기전도도를 이용하여 수행하였으며 유입수에 소량의 NaCl을 주입하고 유출관에 전기전도도 측정계 (WMW, Germany)를 이용하여 전도도를 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 원수수질 분석

다음 Table 2은 원수의 수질을 분석한 결과를 정리한 것이다. 실험 방법에서 언급하였듯이, 델프트 운하 샘플은 네덜란드 델프트시의 운하물을 사용하였으며, 하수처리장 처리수는 Hoek van Holland 하수처리장의 처리수를 사용하였다. Hoek van Holland 하수처리장은 산화구 방식을 이용하여 도시하수를 처리하고 있다.

Table 2 Influent Characteristics of Delft Canal water and secondary effluent(Hoek van Holland, The Netherlands)

Parameters	Units	Delft canal water	Secondary effluent
O <sub>2</sub>	mg/L	8.5	7.5
pH	-	7.8	7.11
Temperature	°C	13	11.1
Electric Conductivity	µS/cm	1236	1150
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	0.49	< 0.1
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	3.46	4.79
PO <sub>4</sub> -P	mg/L	0.30	1.23
SO <sub>4</sub>	mg/L	212	78
DOC	mg/L	18.61±2.02	15.62±2.31
UVA <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>	0.599±0.05	0.418±0.05
SUVA	L/mg-m	3.22±0.16	2.68±0.05

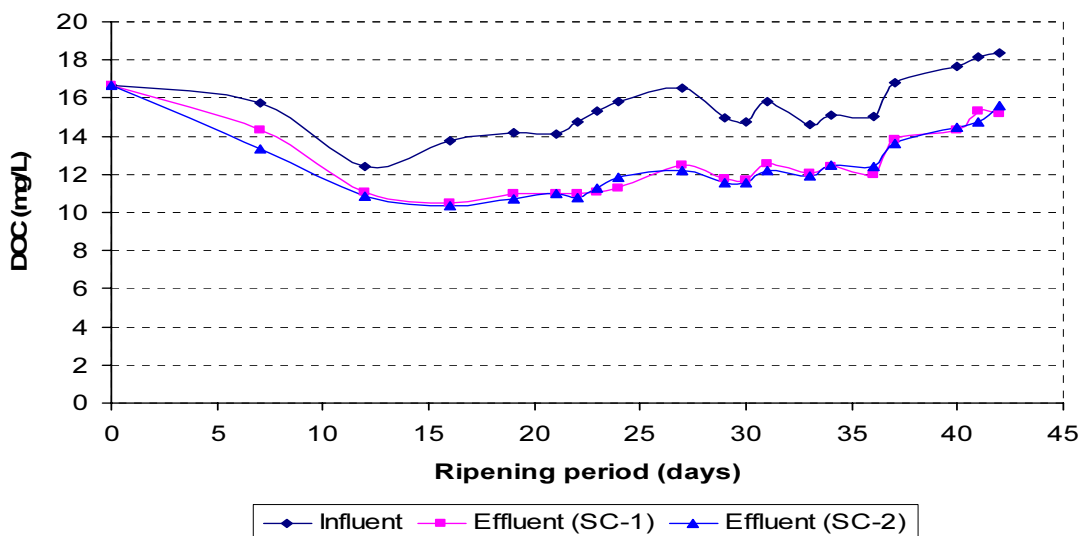


Fig. 4 Change in DOC concentration of influent and effluent during ripening of the soil columns (Influent: DCW+SE, HLR=1.25 m/d, Column depth= 5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

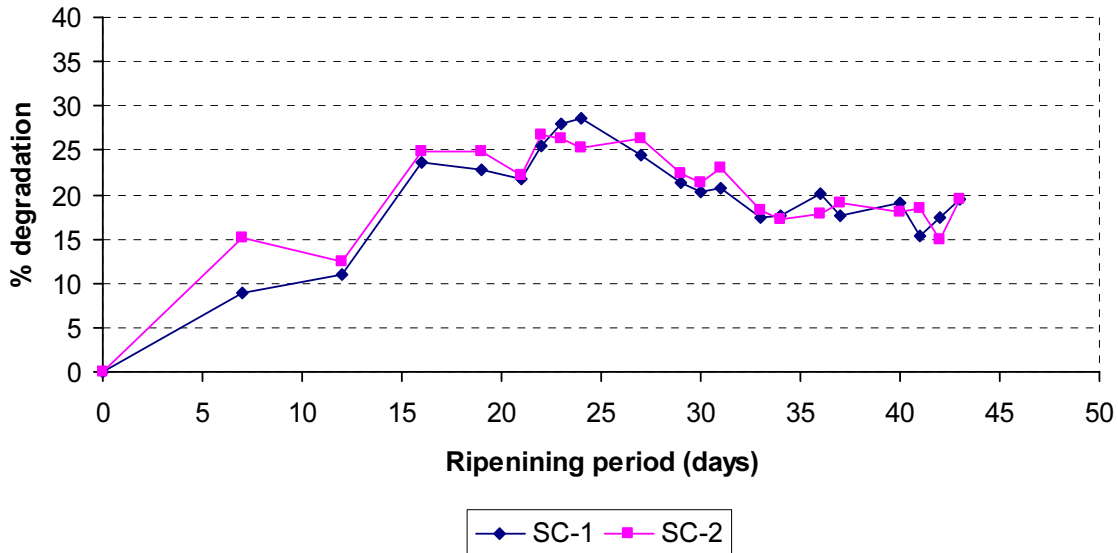


Fig. 5 Change in DOC degradation in the soil columns during the ripening period (Influent: DCW+SE, HLR=1.25 m/d, Column depth=5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

#### 4.2 컬럼 순응 실험 결과

컬럼내 미생물의 활성도를 높여 강변여과 현장과 유사하게 강물이 하상에 유입될 때 생물학적 반응이 일어나도록 같은 환경을 모사하였다. 순응기간의 단축을 위해서 텔프트 운하와 하수처리장 처리수를 50:50으로 혼합하여 호기조건으로 운전하였다(Fig. 4와 Fig. 5 참조). 운전 40일 후 용존 유기물 제거율이 20%로 안정적으로 제거되었으며 컬럼 원수의 용존 유기물 평균농도는  $15.71 \pm 1.17$  mg/L 이었으며, 컬럼 1의 유출수는  $12.53 \pm 1.65$  mg/L, 그리고 컬럼 2의 유출수는  $12.43 \pm 1.64$  mg/L로 나타났다.

#### 4.3 컬럼 1(혼합수) 운전 결과

다음 Fig. 6은 여과속도 0.63 m/day로 운전하는 경우 컬럼 깊이에 따른 SUVA 변화를 측정하였다. SUVA는 유기물의 방향족성(aromaticity) 보여주는 인자이며 높을수록 휴민성 물질 성분을 나타내는 인자로 일반적으로 생물학적 분해도 매우 낮다. 컬럼 깊이에 따라 SUVA가 증가하는 것으로 나타나고 있으며 이러한 결과는 지방족 화합물(aliphatic) 한 부분들이 Aromatic 한 유기물과 비교하여 분해가 상대적으로 쉽게 분해되어 SUVA가 증가하는 경향을 보여주는 것이다. 유입수 용존 유기물의 농도는 15.14 mg/L이었으며, 유출수의 용존 유기물 농도는 12.61 mg/L로 평균 17%의 제거율을 보였다. 실제 강변여과 시설에서

지하수 희석으로 제거율이 15~20% 증가하는 경우가 있다(AWWARF, 2006). 그러나, 본 연구에서는 지하수에 의한

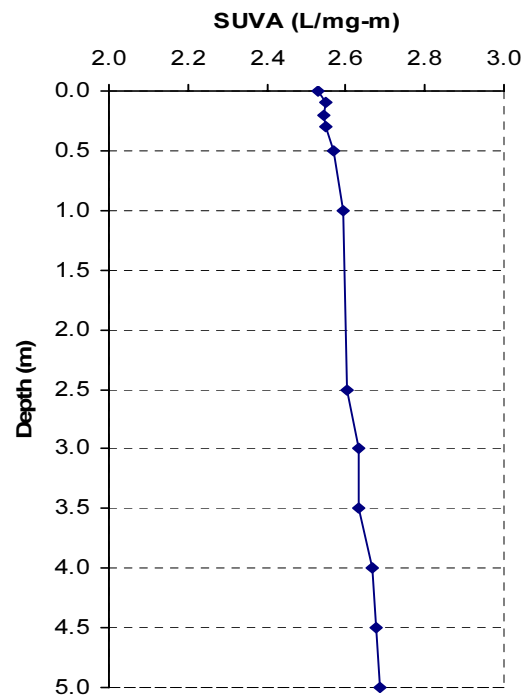


Fig. 6 SUVA profile of SC1 under steady state conditions (Influent: DCW+SE, HLR=0.63 m/d, Column depth=5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

희석 영향을 고려하지 않았다. 하수처리장 처리수로 인한 유기물 증가영향은 고도하수처리장의 처리수인 관계로 전형적인 활성슬러지 방식 처리수와 비교하여 유기물 증가비율이 높지 않은 것으로 판단되었다. 생물학적으로 처리되어 방류되는 처리수의 경우 활성슬러지로부터 유출되는 바이오폴리머(Soluble Microbial Products)로 인하여 자연유기물과의 유기물 특성이 다르다.

**Fig. 7**은 컬럼 깊이에 따른 용존 유기물, 용존산소 및 ATP 분석 결과를 도시한 것이다. 컬럼 유입부분 50 cm에서 전체 용존 유기물의 54%가 제거됨을 보였다. 용존 산소와 생물활성도의 지표로 사용한 ATP의 경우 용존유기물의 감소에 따라 저하되어 상관성을 보여주었다. 이는 용존 유기물의 제거는 미생물들의 용존산소 소모와 생물활성도의 감소

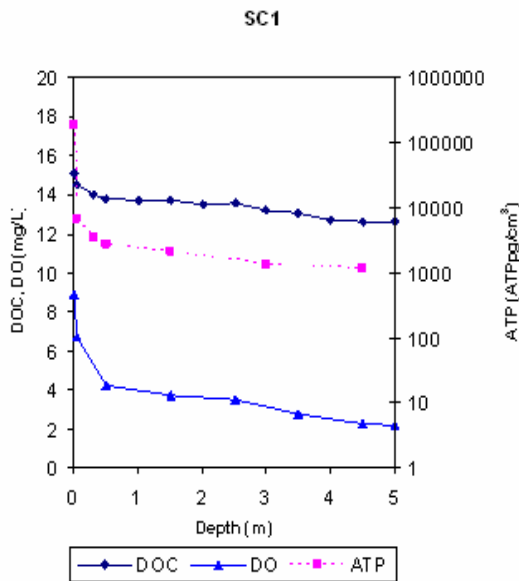


Fig. 7 ATP, DO and DOC profile of SC1 at a HLR 0.63 m/day

로 나타났으며, 용존 유기물의 제거기작은 생물학적 반응으로 인해 제거되었음을 입증한다. 만약 물리적 여과방식으로 제거되었다면 미생물의 활성이 없었던 순응 컬럼 초기에 동일한 용존 유기물 감소율이 관찰되었을 것이다. 그러므로 **Fig 6**에서 보여주듯 생물학적으로 분해되기 쉬운 유기물들이 지방성(aliphatic) 화합물의 형태로 존재하기 때문에 SUVA는 증가하는 경향을 보여주었다. 생물학적 분해로 인하여 지방족 유기물들은 쉽게 분해되고 방향족(aromatic) 형태의 휴민성 유기물질들이 쉽게 제거되지 않는 것으로 관찰되었다.

대부분의 지표수에서는 용존 유기물의 경우 상당부분 휴민성 특성을 가지고 있으며 이러한 유기물들 중 40~60%정도가 형광을 발산할 수 있는 특성을 가지고 있다(Baker, 2001). F-EEM 분석을 이용하여 컬럼 실험 전과 후를 비교하여 유기물 변화 및 제거를 파악하였다. 실험방법에서 언급한대로 Region 1과 2는 모두 휴민성 물질을 대표하는 지역 파장대이다. 컬럼 실험 전과 후의 차이는 두 지역의 형광세기로 관찰할 수 있는데, Region 1의 경우 형광세기가 처리수에서 9% 저하된 것으로 볼 수 있다. Region3의 파장은 protein을 나타내는 부분으로 생물학적으로 분해가 쉬운 유기물이 측정된다. 컬럼 실험에서 약 17%정도 분해 가능한 용존 유기물이 존재하였으며 컬럼을 통하여 제거되었다. 또한, 상당한 부분 BDOC 로 고려된다. 본 F-EEM실험에서 protein 계열물질들의 지역파장 Excitation: 275 nm, Emission: 340 nm)이 관측되지 않아 대부분 Polysaccharide 상태의 DOC로 존재하는 것으로 예측하였다(**Fig. 8**).

이러한 예측은 LC-OCD UV254 파장에서 나타나지 않았지만 OCD에서 변화의 차이를 보여주어 UV254에서 측정되지 않는 Polysaccharide 형태로 존재하는 것으로 예측된다. BDOC 구성에 큰 부분을 차지하고 있는 바이오폴리머의

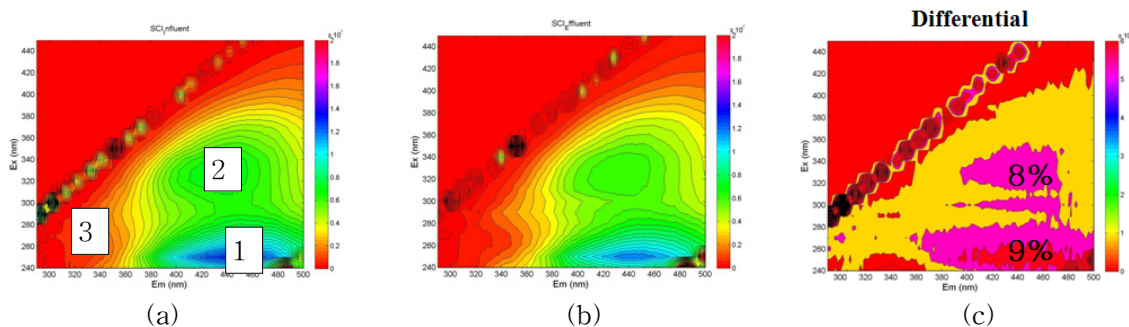


Fig. 8 FEEM spectra for SC1 under steady state; (a)Influent: DCW+SE, (b)Effluent, (c) Differential, HLR=0.63 m/d, Column depth= 5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

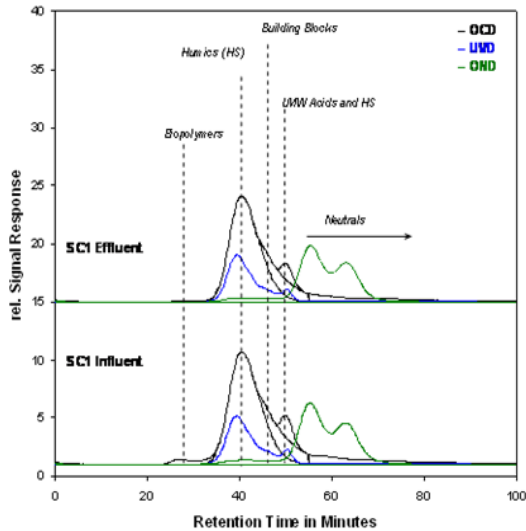


Fig. 9 LC-OCD chromatogram for SC1 (Delft canal water and wastewater effluent 1:1) (Maeng et al., 2008)

경우 protein과 polysaccharide로 구성되어 있는데, 형광 분석을 하는 경우 polysaccharide는 관측되지 않으며 protein 계열의 물질만 측정이 가능하기 때문이다.

다음 Fig. 10은 하수처리장 처리수와 지표수의 혼합수가

강변여과 모의 컬럼으로 유입되는 경우 지오스민과 2-MIB의 거동을 도시한 것이다. 일반적으로 이·취미 원인물질들의 경우 계절에 따라 큰 변동이 있다. 조류가 발생하는 계절과 발생하지 않는 시기에 따라 이·취미 물질들의 정수장 유입이 결정되므로 컬럼 실험에서도 이와 같은 영향을 고려하였다. 지오스민과 2-MIB 유입 후 16일이 지난 후 12일간 유입을 하지 않았으며 이후 다시 유입하여 컬럼에서의 적응시기 및 제거효율을 평가하였다. 초기 지오스민과 2-MIB 유입을 하더라도 제거효율이 매우 높아 사람들이 느낄 수 없을 정도로 검출되었다. 또한 지오스민과 2-MIB 유입을 잠시 중단하고 다시 주입하는 경우에도 동일하게 제거효율이 높았다. 이러한 결과로 강변여과 시스템 설치 후 지오스민과 2-MIB 유입이 바로 일어난 경우 생물학적 활성화가 되지 않은 초기에는 검출 될 수 있으나 미생물들의 활성화가 높아지면서 제거에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 본 실험을 통해서 지오스민과 2-MIB 제거율은 95% 이상 보여주었으며 지오스민과 2-MIB와 같은 생물학적으로 분해 가능한 물질들은 매우 효과적으로 제거 되었다.

#### 4.4 컬럼 2(지표수) 운전 결과

다음 Fig. 11은 지표수만 유입되는 컬럼2의 경우 SUVA의 경향을 깊이별로 도시한 것이다. 컬럼1과 마찬가지로 여과속도는 0.63 m/day로 운전한 결과이다. 컬럼 1과 비교해서는 휴먼성 유기성분들이 많이 포함되어 있는 특성을 가지고 있는 관계로 SUVA의 증가는 나타나지 않았다. 하수처

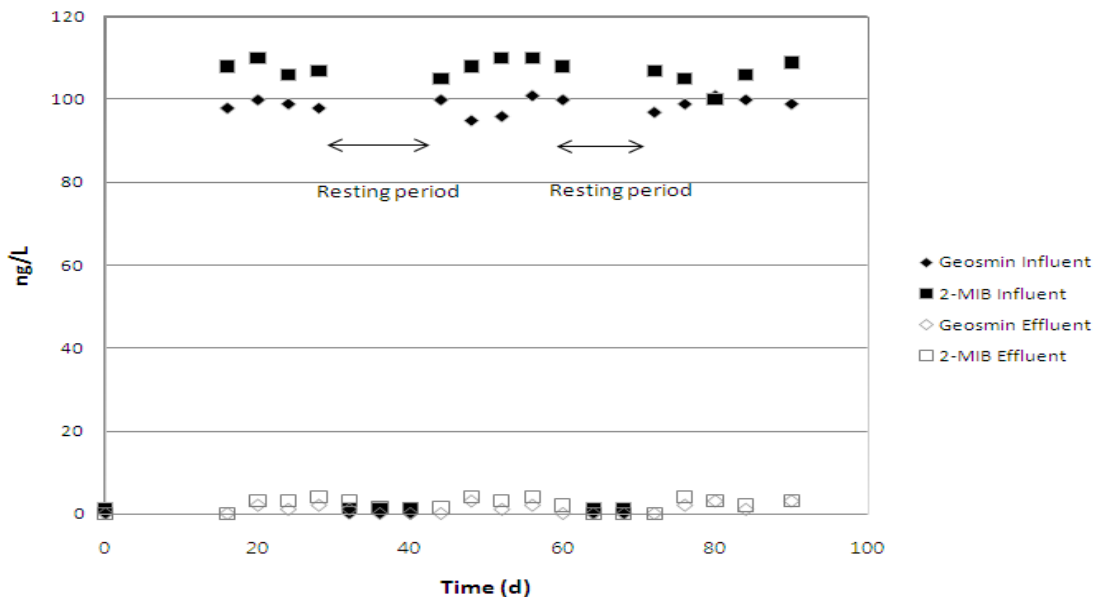


Fig. 10 Removal of geosmin and 2-MIB through SC1



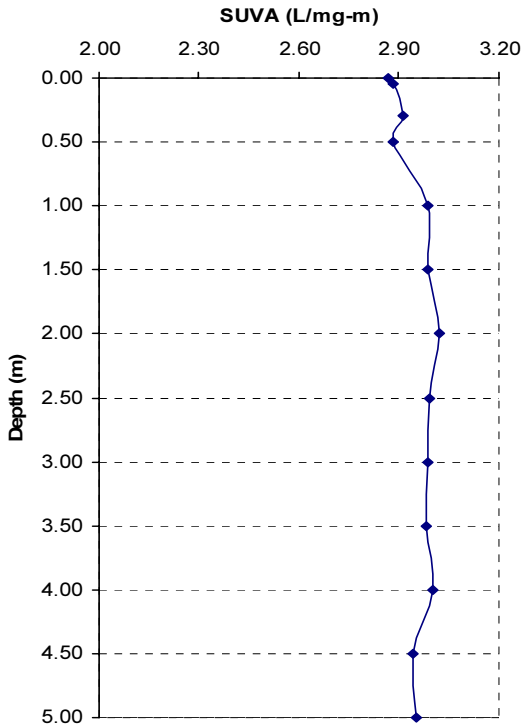


Fig. 11 SUVA profile of SC2 under steady state conditions (Influent: DCW, HLR=0.63 m/d, Column depth= 5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

리장 처리수의 영향을 받는 경우 생물학적으로 분해 가능한 aliphatic 한 유기물 특성을 가지고 있으므로 SUVA 가 증가하는 경향을 보여주었다 (Fig. 6 참조).

컬럼 1과 마찬가지로 컬럼 2에서도 깊이에 따른 용존 유기물, 용존산소 그리고 ATP분석을 수행하였으며, 그 결과 상부에서 50 cm 까지 용존 유기물 16.42 mg/L로 측정되어

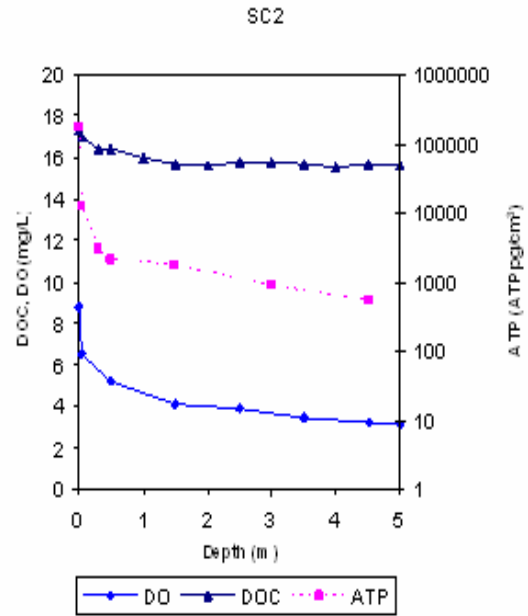


Fig. 12 ATP, DO and DOC profile of SC2 at a HLR 0.63 m/day

총 유기물 제거율이 약 55% 차지하고 있는 것으로 관측되었다. 또한, 용존 산소 및 ATP 분석을 통하여 용존 유기물의 저감과의 상관관계를 컬럼 깊이에 따라 보여주었다(Fig. 12 참조). 이는, 용존 유기물의 제거는 생물학적 분해를 통하여 제거되었음을 보여주고 있다.

컬럼 1의 경우와 마찬가지로 FEEM 분석을 이용하여 컬럼 2의 유기물 변화 및 제거를 조사하였다. 휴민성 계열의 물질을 나타내는 region 1 파장과 region 2 파장의 형광세기가 3% 그리고 4% 감소되었다. 컬럼 1에서 나타났던 protein 계열의 region 3 파장은 검출되지 않았다 (Fig. 13 참조). 검출된 바이오 폴리머는 polysaccharide 형태의 유

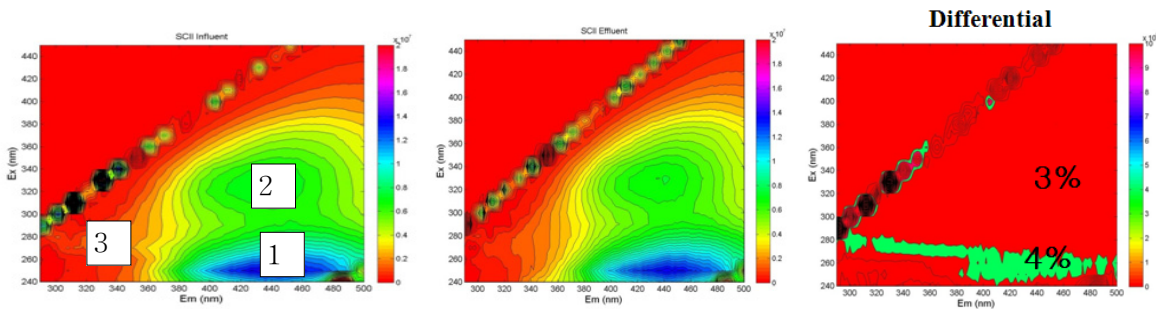


Fig. 13 FEEM spectra for SC2 under steady state (Influent: DCW, HLR=0.63 m/d, Column depth= 5 m, media size 0.8 - 1.25 mm, aerobic condition)

기물질로 유추할 수 있다. 또한 UV 254 nm파장에서도 protein이 감지되지 않은 것으로 polysaccharide로 확신할 수 있다 (Fig. 14 참조).

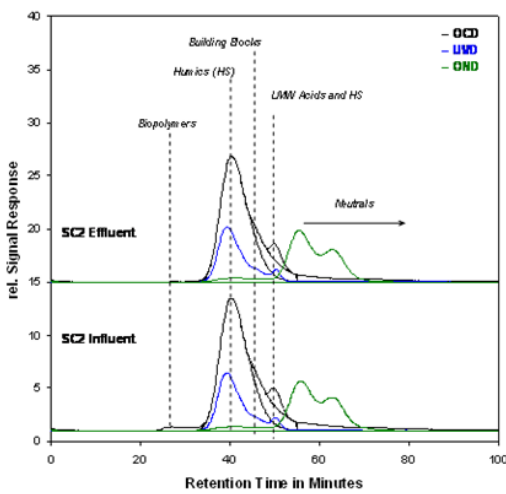


Fig. 14 LC-OCD/OND chromatogram for SC2(Delft canal water) (Maeng et al., 2008)

나머지 세분화된 유기물질, 휴민성 및 낮은 분자량의 유기산 부분들은 컬럼 1결과와 유사하게 나타난바 대부분 용존 유기물 제거는 바이오 폴리머 부분들이 기여한 것으로 판단된다. 바이오폴리머의 함유율이 컬럼 2의 경우 컬럼 1과 다르게 하수처리장 처리수의 영향을 받지 않아 낮게 측정되었다.

강변여과에서 하수처리장 처리수의 영향이 없는 지표수 대상으로 지오스민과 2-MIB의 제거 및 거동 실험을 컬럼 (SC2)을 대상으로 수행하였다(Fig. 15 참조). 컬럼 1의 실험결과와 같이 초기 유입시 지오스민과 2-MIB 제거 효율이 매우 높아 처리수의 검출 농도가 사람이 느낄 수 없는 수준까지 제거되었다. 또한 지오스민과 2-MIB 유입을 12일간 멈추고 재주입하는 경우에도 제거율이 95%이상에 달하였다. 지오스민과 2-MIB는 생물학적으로 분해 가능한 물질로 강변여과에서는 매우 효과적으로 제거가 되는 것으로 관찰되었다. 그러나 홍수시기와 같은 폐색층이 손실되어 생물학적 활성도가 떨어지는 경우 지오스민과 2-MIB제거에 영향이 있을 수 있다. 기존에 발표한 논문에 의하면 Sodium Azide를 이용하여 생물학적 활성도를 줄인 경우 지오스민과 2-MIB 제거율이 저감되는 것으로 나타났다 (Uhl et al. (2006)). 그러므로 홍수와 같은 빠른 유속으로 인하여 생물학적으로 활성도가 높은 폐색층이 손실되는 경우 지오스민과 2-MIB의 제거율의 저감을 보여줄 수 있다.

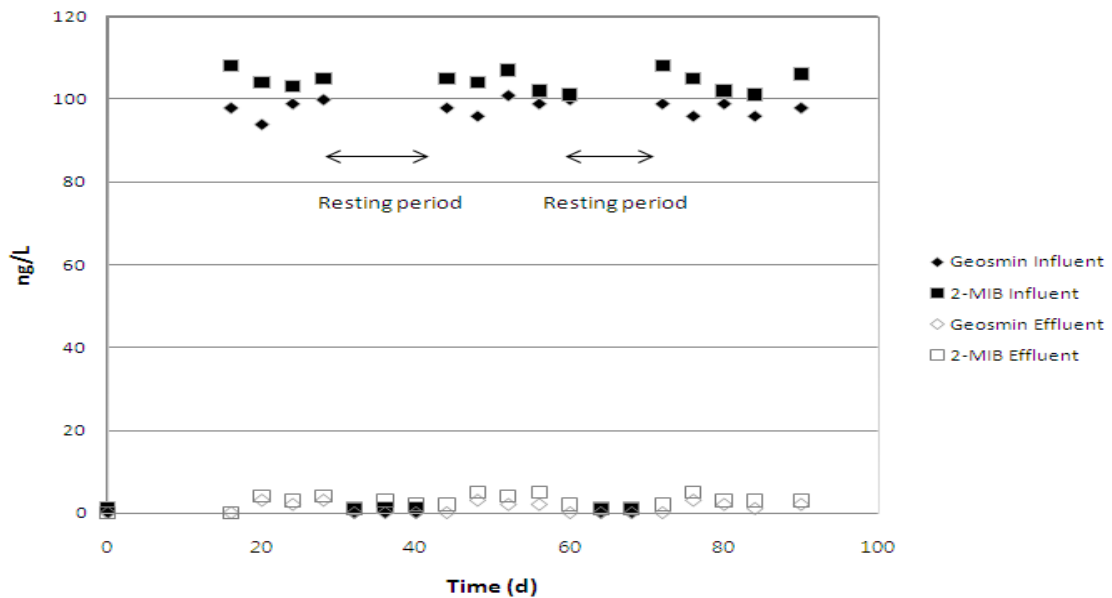


Fig. 15 Removal of geosmin and 2-MIB through SC2

## 5. 결론

본 연구는 강변여과에서의 이-취미 원인물질인 지오스민과 2-MIB 제어 및 거동을 조사하고자 2007년 11월부터 2008년 10월까지 컬럼 실험을 통하여 가능성을 도출하고자 하였다. 이에 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 하수처리장 처리수의 영향으로 원수 중에 포함되어 있는 바이오폴리머 (polysaccharides) 계열의 유기물들이 효과적으로 제거 되었으며 지오스민과 2-MIB의 제거로 매우 높게 나타났다. 또한, 하수처리장 처리수로 인한 원수의 유기물 특성이 변하더라도 강변여과 후 영향을 받지 않은 원수와 비교하여 처리수의 유기물 특성이 유사하게 나타났다.
- (2) 하수처리장 처리수의 영향을 받은 원수의 경우 컬럼 실험 용존 유기물 제거율은 17%이었으며 델프트운하를 원수로 사용하는 경우 약 10% 제거율을 보여주었다. 지오스민과 2-MIB 제거율은 생물학적 분해를 통하여 유출수에서 사람들이 느끼지 못하는 농도로 검출되었으며 95%이상 제거율을 나타내었다.
- (3) 컬럼의 유입부분 50 cm 안에서 총 용존 유기물의 50% 이상이 제거되었으며 동시에 지오스민과 2-MIB 제거율도 용존 유기물의 제거와 상관관계를 보였다.

## 참고문헌

- AWWARF (2006) Riverbank filtration : An Evaluation of RBF Hydrology and Impacts on Yield, AwwaRF Louisville Water Company, Denver.
- Baker, A. (2001) Fluorescence Excitation - Emission Matrix Characterization of Some Sewage-Impacted Rivers. *Environmental Science and Technology*, Vol. 35, No. 5, pp. 948-953
- Bruce D., Westerhoff P., and Brawley-Chesworth A. (2002) Removal of 2-methylisoborneol and geosmin in surface water treatment plants in Arizona, *J Water SRT - Aqua*, Vol. 51, pp. 183-198.
- Chittaranjan R., Gina M and Ronald B. L (2003) Riverbank Filtration-Improving Source Water Quality, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Chen W., Westerhoff P., Leenheer J.A. and Booksh K. (2003) Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter, *Environ. Sci. Tech.* 37, pp. 5701-5710
- Elhadi S.L.N, Huck P.M. and Slawson R.M. (2004) Removal of geosmin and 2-MIB by biological filtration, *Water Science and Technology*, Vol. 49, No. 9, pp. 273-280
- Grischek T., Chittaranjan R.(2009) Bank filtration as managed surface-groundwater interaction, *International Journal of Water*, Vol. 5, No. 2, pp.125-139
- Ho L., Hoefel D., Aunkofer W., Meyn T., Keegan A., Brookes J., Saint C., Newcombe G. (2006) Biological filtration for the removal of 땀미 metabolites from drinking water, *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. 6, pp. 153-159
- Kutschera, K., B?rnick, H., & Worch, E. (2009) Photoinitiated oxidation of geosmin and 2-methylisoborneol by irradiation with 254nm and 185nm UV light. *Water Research*, Vol. 43, pp. 2224-2232.
- 김승현 (2007) 우리나라에서의 강변여과와 하상여과의 비교, 대한환경공학회지, Vol. 29, No. 10, pp.1154 ~ 1162.
- Lionel Ho, D. Hoefel, F. Rock, C.P. Saing, G. Newcombe (2007) Biodegradation rates of 2-MIB and geosmin through sand filters and in bioreactors, *Chmosphere*, Vol 66, pp. 2210-2218.
- Maeng, S. K., Sharma, S. K., Amy, G., & Magic-Knezev, A. (2008). Fate of effluent organic matter (EfOM) and natural organic matter (NOM) through riverbank filtration. *Water Sci. Technol.*, Vol 57, pp. 1999-2007.
- Magic-Knezev, A., & van der Kooij, D. (2004). Optimisation and significance of ATP analysis for measuring active biomass in granular activated carbon filters used in water treatment. *Water Res.*, Vol. 38, pp. 3971-3979.
- Persson F., Heinicke G., Hedberg T., Hermansson M., Uhl W. (2007) Removal of geosmin and MIB biofiltration - an investigation discriminating between adsorption and biodegradation, *Environmental Technology*, Vol. 28, pp. 95-104.
- Schubert J. (2003) German experience with riverbank filtration systems, in: C. Ray, G. Melin, R.B. Linsky (Eds.), *Riverbank filtration: Improving source-water quality*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht