

Pulse UV 장치를 이용한 먹는 물의 이취미 유발물질 제거효과에 관한 연구 Removal of taste and odor causing compounds in drinking water using Pulse UV System

손진식¹ · 박순호² · 정의택^{1*}

Jinsik Sohn¹ · Soonho Park² · Euitaek Jung^{1*}

1 국민대학교 공과대학 건설시스템공학과, 2 그린엔텍(주)

(2012년 1월 11일 접수; 2012년 4월 5일 수정; 2012년 4월 9일 채택)

Abstract

Problems due to the taste and odor in drinking water are common in treatment facilities around the world. Taste and odor are perceived by the public as the primary indicators of the safety and acceptability of drinking water, and are mainly caused by the presence of two semi-volatile compounds—2-methylisoborneol(2-MIB) and geosmin. Conventional treatment processes in water treatment plants, such as coagulation, sedimentation and chlorination have been found to be ineffective for the removal of 2-MIB and geosmin. Pulse UV system is a new UV irradiation system that is a non-mercury lamp-based alternative to currently used continuous wave systems for water disinfection. This study shows pulse UV system to be effective in treatment of these two compounds. Geosmin removal efficiency of UV process alone achieved approximately 70% at 10sec contact time. 2-MIB removal efficiency of UV only process achieved approximately 60% at 10sec contact time. The addition of H₂O₂ 7mg/L increased geosmin and 2-MIB removal efficiency upto approximately 94% and 91%, respectively.

Key words: Advanced oxidation process, Pulse UV System, Geosmin, 2-MIB, NOM

주제어: 고도산화공정, 펄스 UV 장치, Geosmin, 2-MIB, 자연유기물질

1. 서론

더욱 깨끗하고 맛있는 수돗물을 생산하기 위해 환경부에서는 2009년 7월 1일부터 이취미 유발물질인 geosmin과 2-MIB를 검사항목으로 추가 시행하고 있다(환경부, 2010). 정수처리 시설에서 이취미로 인한 문제는 세계 전역에 걸쳐 발생하고 있다. 이취미는 건강상의 위해성과는 직접적인 관련이 없는 경우가 많지만, 수요자에게 먹는 물의 적합성 및

안전성을 평가하는 척도로 인식되고 있다. 이취미로 인한 소비자들의 불만은 수돗물 수질관리에서 가장 빈번하게 일어나는 문제로 정수처리 공정에서 제거되는 것이 바람직하다(McGuire, 1995; Suffet et al., 1995; Mallevalle et al., 1987; Rangesh et al., 2011).

Geosmin과 2-MIB는 지표수로부터 얻어진 수원에서 주요한 이취미 유발물질로 확인되어져 왔다(Pirbazari et al., 1993). 지표수의 geosmin과 2-MIB은

* Corresponding author Tel: +82-2-910-5060, Fax: +82-2-910-8597, E-mail: etjung@kookmin.ac.kr(E. T. Jung)

일반적으로 여름철에 발생하는 남조류의 물질대사와 생체내분해로부터 유발되며 화학적으로 안정하고 산화에 대한 저항성을 가지고 있다(Watson et al., 2008). Geosmin과 2-MIB는 인체 유해물질과는 관련이 없기 때문에 이 두 화합물에 대한 건강상 영향에 대한 수질기준은 현재까지는 없다(Dionigi et al., 1993a).

이취미를 제거하기 위한 공정으로는 활성탄이나 제올라이트, 분말활성탄을 이용한 흡착 제거 후 오존과 입상활성탄을 이용하는 공정, 혹은 다단식으로 오존을 투여하고 입상활성탄으로 흡착제거하는 공정들이 사용되어지고 있으나, 이와 같은 고도정수처리시설의 도입은 과도한 투자비용과 유지관리 비용이 요구된다(J. Ellis et al., 1993; Anselme, C. et al., 1988; Chen, G et al., 1997).

UV 장치를 이용한 고도산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP)은 이취미 물질 제거를 위한 활성탄, 오존 등 고도처리공정 도입에 대한 대안으로 연구되어 오고 있다. 일반적으로 수처리에 적용될 수 있는 UV 종류에는 저압램프, 중압램프, Pulse 램프가 있으며, 저압램프 및 중압 램프의 경우 현장 적용 실적이 많고 효율평가 등에 대한 연구가 이루어지고 있다(Malley J. P., 1996).

UV는 사용 목적에 따라 UVA, UVB 및 UVC로 나눌 수 있다. UVA(320~400nm)는 블랙 라이트라고도 하며 실내에서 선태닝을 하거나 푸른 조명을 할 때 사용된다. 또한 TiO₂ 등의 광촉매가 활성화될 수 있는 에너지원으로 사용될 수 있어 최근에는 광촉매를 이용한 수처리, 대기처리에 사용되고 있다. UVB(280~320nm)는 Dorno선이라고 부르며 비타민D를 형성하거나 피부에 홍반작용을 일으킨다. UVC(200~280nm)는 살균선이라고 하며 DNA와 단백질 그리고 오존이 잘 흡수하는 파장이다. 따라서 오존을 잘 분해하기 때문에 최근에는 UV/오존 AOP공정에 응용되거나 오존파괴용 그리고 소독용으로 사용되고 있다(이경혁 등, 2002).

저압 수은램프의 경우 자외선 발생 효율이 높기는 하나 254nm 파장에 국한되어 있으며 출력이 낮아(120~380W), 폐수의 고도 산화 공정에 사용할 경우 많은 수의 램프를 설치하여야 하는 단점이 있다. 중압 수은램프의 경우는 수은 기체의 UV 재흡수 현상에 의해 고도산화에 사용되는 Ultraviolet-C(UVC)의 180~280nm 발생효율이 크게 저하되는 단점이 있다. 또한 램프의 표면온도가 고온(600~800℃)으로 다량의 냉각수를 공급해야 하고 램프의 수명시간이 짧아 유지관리 비용이 증가한다(조민 등, 2004; 환경부, 2008; Karl G. Linden et al., 2009).

Pulse UV 장치는 power supply에서 출력 에너지를 저장하였다가 순간 방출하여 상대적으로 높은 에너지가 방출되는 원리를 이용하고 있다. 따라서 power supply에서 출력에너지를 저장하는 시간과 방출하는 시간의 간격이 수십~수백 μ s 단위로 상당히 짧은 시간동안 에너지의 저장과 방출이 반복된다. pulse 램프는 Xenon이나 Krypton 기체가 충전되어 있어 램프 내에서 UV의 재흡수 현상이 없고, 짧은 시간동안 순간적으로 고출력의 UV를 발생시키기 때문에 200~320nm의 빛을 충분히 낼 뿐만 아니라 에너지 측면에서도 계속해서 높은 전력을 공급해야 하는 연속 방전 램프들에 비해 효율이 훨씬 높고 유효투과거리도 긴 장점이 있다(안영석 등, 2009; Zuzana Bohrerova et al., 2008; Liang et al., 2003) 하지만 최근 개발된 pulse UV 장치를 이용한 이취미 유발물질의 제거효과에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 이취미 제거의 새로운 대안으로 떠오르고 있는 pulse UV 장치를 이용하여 이취미 유발물질인 2-MIB와 geosmin의 제거효과를 고찰하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료 특성

본 실험에서 사용한 이취미 물질은 SPELCO사의 2-MIB+geosmin 샘플을 사용하였고, 이 샘플을 각각 증류수와 Humic 물질 및 Fulvic 물질을 희석한 시료에 50~100ng/L 농도를 spike하여 실험에 사용하였다. 시료들은 채수 후 실험실에서 4℃로 보관되었고, 측정은 표준시험방법(Standard method)에 따라 수행되었다. 한강원수는 UF 필터를 이용하여 부유물질을 제거한 후 실험하였다. 실험에 사용된 시료의 특성은 Table 1에 나타내었다. 일반적인 하천수의 NOM(Natural Organic Matter) 농도와 비슷한 조건에서 이취미 제거효율을 알아보기 위해 Humic acid A와 Fulvic acid A의 농도를 2mg/L로 하였고 NOM의 농도 차이에 의한 이취미 제거효율을 알아보기 위해 Humic acid B와 Fulvic acid B의 농도를 5mg/L로 하였다.

Table 1 Characteristics of raw water

	pH	DOC (mg/L)	Turbidity (NYU)	UV254 (cm ⁻¹)
Humic A (2mg/L)	5.96	1.30	0.127	0.058
Humic B (5mg/L)	6.00	2.48	0.245	0.092
Fulvic A (2mg/L)	6.51	1.37	0.161	0.034
Fulvic B (5mg/L)	6.47	2.51	0.232	0.106

2.2 실험장치

Pulse UV 장치는 μs 단위로 pulse 파장이 방출 되도록 G사에서 자체 제작한 장치를 사용하였으며, Fig 1과 같이 power supply와 램프, UV Reactor로 구성되어 있다. UV Reactor 후단에는 필요시 사용하기 위해 냉각장치를 설치하였다. Power supply 조건 값은 Table 2에 나타내었다. Power supply에서는 2000V, 20Hz의 전류를 발생하여 램프를 점멸

시키고 UV Reactor 내부는 20L 용적으로 1개의 제논램프를 포함하고 있다. 램프는 기존의 중저압 램프에 사용된 수은(Hg)램프 대신에 친환경적인 제논(Xe)를 충전한 램프를 사용하였다. UV 조사거리는 15cm로 하였다.

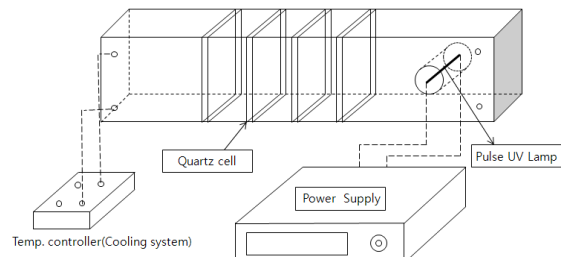


Fig. 1 A Schematic of Pulse UV System

Table 2 Electrical Properties of the Power Supply

item	data
Po avg max	6,000W
P peak max	2,000kW
Vo max	2,000V
Io max	2,000A
Frequency	20Hz
Pulse width	100 μs

2.3 실험방법

Pulse UV 조사시간, H₂O₂ 주입량을 달리 가지는 실험을 실행 하였고 NOM이 이취미 유발물질 제거에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 순수 Humic 물질, Fulvic 물질을 각기 저울에 달아 증류수에 2mg/L, 5mg/L의 농도로 희석한 시료와 한강원수에 이취미 유발 물질을 spike하여 실험하였다. 이취미 물질의 농도는 지표수에서 발생될 시 통상적인 농도인 50~100ng/L으로 희석하여 실험하였다.

2.4 분석항목 및 방법

2.4.1 DOC의 측정

본 연구에서 DOC는 샘플을 0.45 μm 로 여과한 후의 TOC로 정의하였으며 DOC의 측정은 UV산화법

으로 분석되는 Sievers사의 TOC 5310C 기기를 사용하였다.

2.4.2 UV₂₅₄의 측정

시료를 필터를 통해 여과한 후 시료 중에 용존유기물량과 흡광도는 서로 상관관계가 있으므로 시료 중 유기물량을 확인할 수 있는 지표로서 사용할 수 있다.

UV₂₅₄는 시료를 0.45 μ m 여과지를 써서 여과한 후 UV spectrometer를 사용하여 254nm파장에서 초순수 대비 흡광도를 측정하였다. 이 때 석영셀은 1cm를 사용하였고 분석된 값은 흡광도를 셀길이로 나눈 1/cm로 표현하여 나타내었다. 본 연구에서는 UV₂₅₄를 HACH사의 DR4000 Spectrophotometer를 사용하였다.

2.4.3 Geosmin/2-MIB의 측정

2-MIB와 geosmin은 SPME(Solid Phase Micro Extraction)법으로 전처리 장치(MPS-2)로 휘발시켜 SPME fiber에 흡착시킨 후, GC/MS로 분석하였다. GC/MS의 geosmin/2-MIB 분석 조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 3 GC/MS Condition for analysis of 2-MIB & Geosmin

Item	Conditions
Column	HP-5MS (30m×0.25mm I.D×0.25 μ m film thickness)
Carrier gas flow	He at 1.0 mL/min
Injection port temp.	270°C
MSD transfer line temp.	280°C
Retention time	24 min
Oven temperature	Init. : 5 min 50°C step 1 : 15°C/min to 65°C , 5 min step 2 : 15°C/min to 215°C , 1 min step 3 : post run 280°C, 2 min

3. 결과 및 고찰

3.1 반응 시간과 H₂O₂ 주입량에 따른 이취미 물질 제거특성

Pulse UV 장치를 이용하여 geosmin과 2-MIB의 제거효율을 알아보기 위하여 pH 7, 온도 20°C, 조사거리는 15cm에서 실험을 수행하였다. Geosmin과 2-MIB의 초기 농도는 50.00ng/L 였으며 pulse UV의 반응 시간은 0sec, 3sec, 5sec, 10sec로 하였다. 초기값(Co)에서 pulse UV 장치의 반응시간이 10초일 때 geosmin과 2-MIB의 C/Co 값은 각각 0.31과 0.40으로 감소하였다. 반응시간이 5초까지는 2-MIB의 제거가 잘 되었지만 5초 이후에는 거의 변화가 없었다. 반면 geosmin은 10초까지 꾸준히 제거되어 2-MIB보다 더욱 높은 제거율을 보였다 (Fig 2 (a)). Jung et al.(2004)은 오존 농도를 3.8mg/L로 하고 접촉시간을 6.4분으로 하였을 때 2-MIB의 제거율이 약 80%로 나타났다고 보고하였고 S.C. Tung et al.(2004)은 오존을 0.91mg/L·min으로 10분 접촉시 2-MIB가 90% 이상 제거되었다고 보고 하였다. 이와 같이 오존 공정을 이용하여 이취미 물질을 상당량 제거하기 위해서는 약 5~10분 정도의 접촉시간이 필요하지만 Pulse UV를 이용하면 수 초 내에 이취미 물질을 상당량 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

Fig 2의 (b)(c)(d)는 H₂O₂가 이취미 물질 제거에 미치는 영향을 보여주고 있다. H₂O₂ 3mg/L, 5mg/L, 7mg/L을 각각 반응기에 주입한 후 UV 조사시간을 0sec, 3sec, 5sec, 10sec로 하여 실험을 진행하였다. H₂O₂의 농도가 3mg/L일 때 geosmin과 2-MIB의 제거는 H₂O₂를 주입하지 않았을 경우와 제거율에 큰 차이가 나지 않았다(Fig 2 (b)).

H₂O₂의 농도가 5mg/L에서는 2-MIB는 반응시간이 3초일 때 50% 이상의 제거율이 나타났고 10초 조사시 C/Co값이 0.17로 높은 제거효율이 나타났다. Geosmin은 5초 조사시 50%이상의 제거효율을

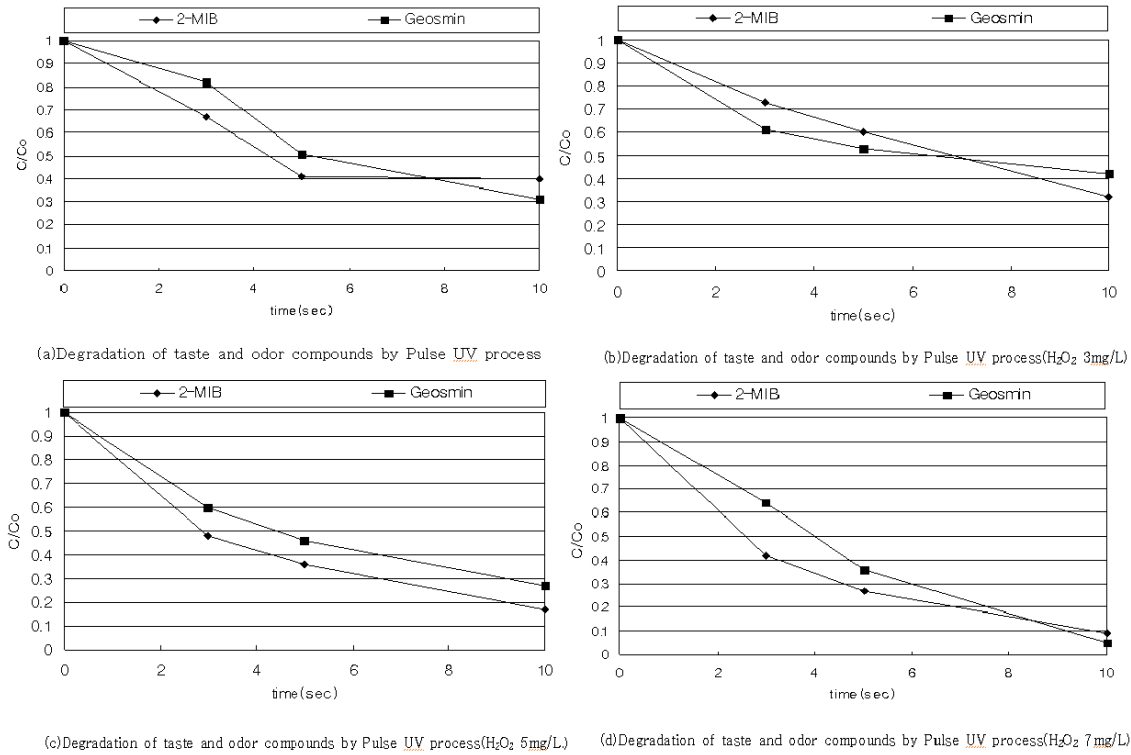


Fig. 2 Degradation of taste and odor compounds according to the H₂O₂ amount and contact time

보였으며, 10초 조사시 C/Co값이 0.27로 높은 제거 효율이 나타났다(Fig 2 (c)).

H₂O₂의 농도가 7mg/L에서는 2-MIB는 3초 조사만으로 C/Co값이 0.42로 감소했고 10초 조사시 0.09(처리후 농도 4.5ng/L)로 감소되었다. Geosmin은 반응시간이 5초일 때 C/Co값이 0.36으로 감소되었고, 10초일 때 0.05(처리후 농도 2.5ng/L)로 감소되었다(Fig 2 (d)). H₂O₂의 농도가 3mg/L에서는 geosmin과 2-MIB의 제거효율에 큰 차이가 없었으나, H₂O₂ 농도가 5mg/L이상에서는 H₂O₂의 농도가 높아질수록 제거효율이 높아지고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 2-MIB에 비해 geosmin의 제거효율이 높게 나타났다.

Glaze et al.(2004), Linden et al.(2002), Modifi et al.(2002) 등의 연구에 따르면 높은 UV 조사량이 적용되지 않으면 UV 단독 처리는 이취미의 산화에는 비효율적이라고 보고하고 있다. 하지만 본 연구에서 사용한 pulse UV 장치는 H₂O₂의 주입 없이도 이취미 물질을 수초 내에 50%이상 제거하고 있다. Pulse UV 장치가 저압, 중압 UV장치에 비해 이취미 물질을 효과적으로 산화시킬 수 있는 것으로 볼 때, 본 연구에서 사용한 pulse UV 장치가 넓은 파장 영역대에서 높은 UV 조사량을 발생시킨다고 할 수 있다.

UV/H₂O₂ 산화과정에서는 자외선 파장에 의해 H₂O₂의 O-O결합의 분할에 의해 아래식과 같이 OH radical이 생성된다.



실험결과에 따르면 낮은 농도의 H₂O₂(3mg/L)에 서는 pulse UV에 의한 geosmin과 2-MIB의 제거와 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 이 조건에서는 OH radical의 생성이 적은 것으로 판단된다. H₂O₂ 5mg/L과 7mg/L에서는 geosmin과 2-MIB의 제거효 유이 높아지고 있어 OH radical에 의한 효과가 나 타나고 있으나, UV 조사에 의한 직접적인 처리효과 에 비해서는 그 효과가 작게 나타나고 있다.

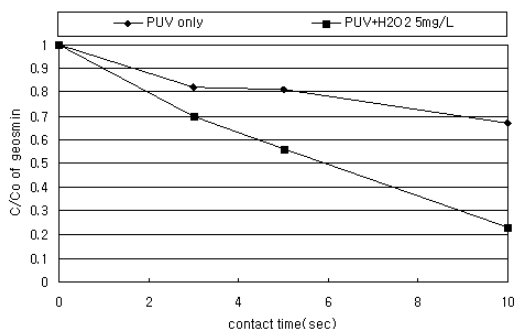
3.2 Humic acid에 따른 이취미 물질 제거특성

Pulse UV 장치로 이취미 제거시 NOM이 미치는 영향을 알아보기 위해 증류수에 humic acid 물질을 2mg/L와 5mg/L로 만든 시료에 geosmin과 2-MIB를 spike하여 실험을 진행하였다.

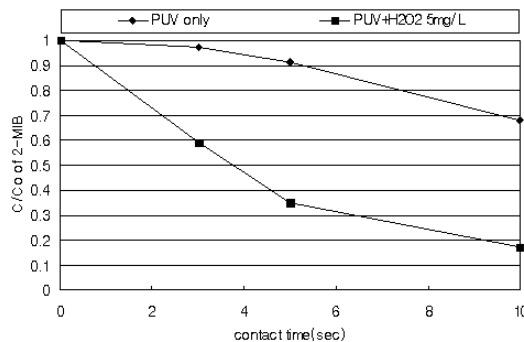
Fig 3은 humic acid 물질이 이취미 제거에 미치

는 영향을 보여주고 있다. Humic acid가 2mg/L일 때 geosmin의 초기 농도가 66.60ng/L의 상태에서 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값이 0.67까 지 감소하였다. H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 0.23 까지 감소하였다. 2-MIB의 경우 초기 농도 46.82ng/L에서 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값이 0.68까지 감소하였으며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 C/Co값은 0.17까지 감소하고 있다 (Fig 3 (a) (b)).

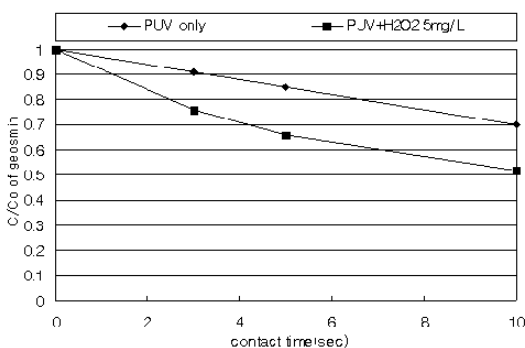
Humic acid가 5mg/L일 때 geosmin의 초기 농도 가 89.44ng/L인 상태에서 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값이 0.70까지 감소하였으며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 0.52까지 감소하였다. 2-MIB 의 경우 초기 농도 78.57ng/L에서 pulse UV 단독 으로 10초 조사 시 C/Co값은 0.65까지 감소하였으 며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 C/Co값은 0.55까 지 감소하고 있다(Fig 3 (c) (d)).



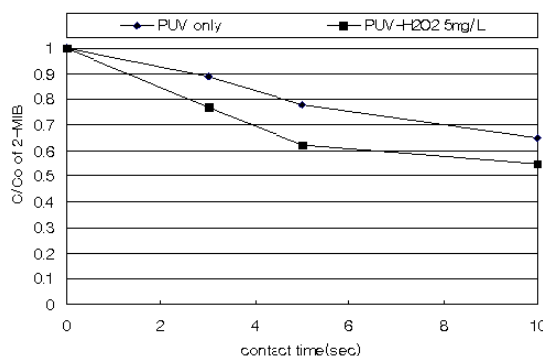
(a) Degradation of geosmin with humic acid(2mg/L) by Pulse UV/H₂O₂ process



(b) Degradation of 2-MIB with humic acid(2mg/L) by Pulse UV/H₂O₂ process



(c) Degradation of geosmin with humic acid(5mg/L) by Pulse UV/H₂O₂ process



(d) Degradation of 2-MIB with humic acid(5mg/L) by Pulse UV/H₂O₂ process

Fig. 3 Degradation of taste and odor compounds according to the humic acid

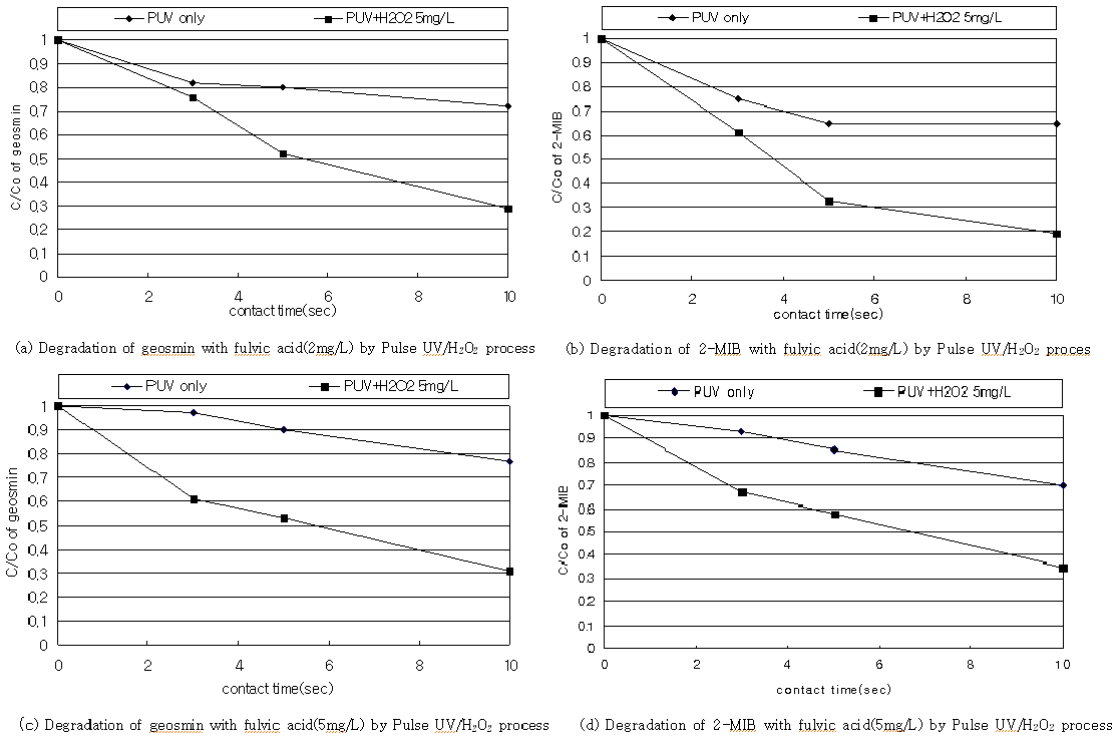


Fig. 4 Degradation of taste and odor compounds according to the fulvic acid

3.3 Fulvic acid에 따른 이취미 물질 제거특성

Humic acid 상태에서와 마찬가지로 NOM이 미치는 영향을 알아보기 위해 증류수에 fulvic acid 물질을 2mg/L와 5mg/L로 만든 시료에 geosmin과 2-MIB를 spike하여 실험을 진행하였다.

Fig 4는 fulvic acid 물질이 이취미 제거에 미치는 영향을 보여주고 있다. Fulvic acid 2mg/L일 때 geosmin의 초기 농도 47.10ng/L에서 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값이 0.72까지 감소하였다. H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 0.29까지 감소하였다. 2-MIB의 경우 초기 농도 48.59ng/L에서 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값이 0.65까지 감소하였으며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 C/Co값은 0.19까지 감소하였다(Fig 4 (a)(b)).

Fulvic acid가 5mg/L일 때 geosmin의 초기 농도 119.07ng/L에서 pulse UV 단독으로 10초 조사

시 C/Co값이 0.77까지 감소하였으며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 0.31까지 감소하였다. 2-MIB의 경우 초기 농도가 98.51ng/L일 때 pulse UV 단독으로 10초 조사 시 C/Co값은 0.70까지 감소하였으며, H₂O₂를 5mg/L 주입하게 되면 C/Co값은 0.35까지 감소하였다(Fig 4 (c)(d)).

3.4 NOM이 이취미 유발물질 제거에 미치는 영향 고찰

유기물의 제거는 UV에 의해 유기물의 분자가 분해되는 직접적인 광분해 반응(photolysis of substrate)과 H₂O₂가 UV를 흡수하여 분해되면서 발생하는 OH radical이 분자를 분해시키는 산화 반응으로 나누어 볼 수 있다. 물속에 NOM이 존재하면 NOM과 다른 유기물질과의 경쟁(competition)이 일어나 광분해와 OH radical에 의한 처리효과가 낮아

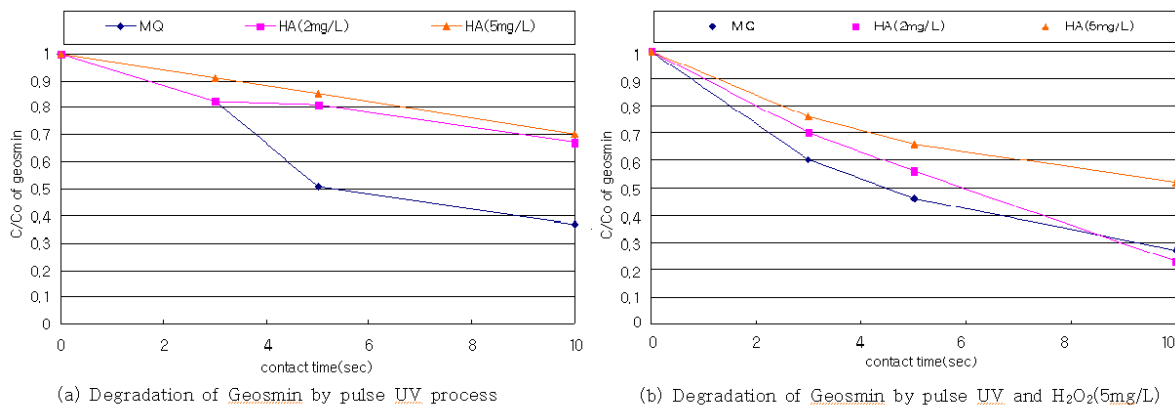


Fig. 5 Comparison of Geosmin Degradation by Pulse UV Process and Pulse UV/H₂O₂(5mg/L) Process

지게 된다. NOM이 존재하는 경우 pulse UV만에 의한 처리와 AOP(UV/H₂O₂)에 의한 처리 모두 이취미 물질의 처리효과가 상당히 감소하고 있다. 특히, NOM 농도가 5mg/L인 경우 NOM이 없는 경우와 비교하여 처리효율이 40% 정도까지 감소하는 것으로 나타나, 높은 농도의 NOM이 존재하는 경우 geosmin과 2-MIB의 제거효과가 저하될 우려가 있다. 이러한 점은 UV를 이용하여 이취미 물질을 제거하는 경우 UV 처리전 정수처리공정에서 충분한 유기물질 제거가 필요하다는 것을 의미한다.

H₂O₂를 주입하지 않고 UV 단독처리에 의한 geosmin의 제거효율을 살펴보면, humic acid 물질이 2mg/L 존재하는 경우 제거효율이 급격하게 감소하고 있으나, humic acid 농도가 5mg/L로 높아지는 경우에는 제거효율의 감소는 크게 나타나지 않고 있다(Fig 5 (a)). 반면, UV에 H₂O₂ 5mg/L를 주입한 경우에는 자연유기물질의 농도가 높아짐에 따라 점진적으로 제거효율이 감소함을 알 수 있다(Fig 5(b)). 2-MIB와 Fulvic acid 물질에 대하여도 유사한 경향을 나타내었다(그래프 생략). 이러한 결과는 상대적으로 낮은 농도의 NOM이 존재하는 경우에도 UV의 조사에 의한 광분해 효과가 NOM에 의해 직접적으로 영향을 받는다는 것을 의미한다. 반면, H₂O₂에 의해 생성된 OH radical은 NOM 및 이취미 유발물질과 화학적 반응이 일어나기 때문에

NOM 농도가 높아짐에 따라 점진적으로 제거효율이 저하되는 것으로 판단된다.

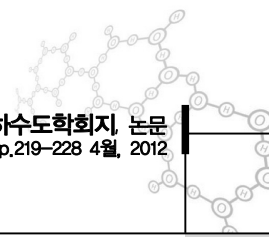
자연유기물질 중 humic acid와 fulvic acid가 존재하는 경우를 비교하면 전반적으로 humic acid 물질이 존재하는 경우가 fulvic acid 물질이 존재하는 경우보다 이취미 물질의 제거효과가 낮게 나타났다. 일반적으로 humic acid의 분자량이 fulvic acid의 분자량보다 상당히 크기 때문에 같은 농도하에서도 UV와 OH radical이 humic acid와 반응하는 경우가 큰 것으로 추론된다.

4. 결론

Pulse UV 장치를 이용하여 먹는물의 이취미 유발물질인 geosmin과 2-MIB의 제거특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 증류수에 주입한 geosmin과 2-MIB를 pulse UV 장치 단독으로 10초 조사시 geosmin은 최대 60.18%, 2-MIB는 최대 62.75%의 제거효율을 보였다. Pulse UV 단독처리시 Geosmin과 2-MIB를 50%이상 제거하기 위해서는 5초 이상의 조사시간이 필요하였다.

2. AOP(UV/H₂O₂)를 적용한 경우 제거효율은 UV 단독 적용시 보다 높게 나타나는 경향을 보였으나, 낮은 H₂O₂의 농도(3mg/L)일 때의 제거효율은 UV 단독으로 처리 할 때와 비교하여 큰 차이가 없었



다. H₂O₂농도를 5mg/L이상 주입한 경우 제거효율은 H₂O₂농도가 높을 수록 효과적이었으며, H₂O₂ 7mg/L를 주입한 경우 geosmin은 최대 94.3%, 2-MIB는 최대 91.2%의 제거효율을 보였다.

3. 자연유기물질은 UV를 이용한 이취미 물질 제거효과에 상당한 영향을 주었다. NOM이 없는 경우와 비교하여 NOM 농도가 5mg/L인 경우 처리효율이 40% 정도까지 감소하는 것으로 나타나, 높은 농도의 NOM이 존재하는 경우 geosmin과 2-MIB의 제거효율이 크게 저하되었다. 이러한 결과는 UV를 이용하여 이취미 물질을 제거하는 경우 UV 처리전 정수처리공정에서 충분한 유기물질 제거가 필요하다는 것을 의미한다.

4. NOM이 2mg/L와 5mg/L로 존재하는 경우 pulse UV 처리만으로는 이취미 물질을 50%이상 제거할 수 없었다. AOP(UV/H₂O₂ 5mg/L)를 적용한 경우 NOM 농도 2mg/L에서 UV 조사시간이 5초 이상일 경우 50%이상의 제거효율을 나타내었다. Fulvic acid 농도가 5mg/L인 경우 UV 조사시간 10초에서 50%이상 제거효율을 나타내었으나, humic acid 농도 5mg/L인 경우에는 10초 조사시간에서도 50%이상의 제거효율을 얻지 못했다.

5. Pulse UV는 H₂O₂와 함께 사용함으로써 짧은 시간안에 이취미 물질의 효율적인 제거가 가능하기 때문에 오존공정을 대체할 수 있는 고도정수처리 공정으로 적용가능성이 높다. 본 연구는 실험실에서 제한된 조건하에서 수행한 것으로, 알칼리도 및 아질산/질산이 존재하는 실제 원수를 대상으로 이취미 물질의 제거효과에 대한 후속적인 연구가 수행될 필요가 있다.

참고문헌

안영석, 양동진, 채선하, 임재림, 이경혁 (2009) 펄스 UV 램프를 이용한 미생물 소독 및 2-MIB 제거 특성, *상하수도학회지*, 23(1) pp. 69-75

이경혁, 이성철 (2002) 자외선을 이용한 소독 및 유기물 제거기술, *첨단환경기술* 1, pp. 1~10

조민, 김지연, 윤제용 (2004) UV조사(Ultraviolet Irradiation)에 의한 미생물의 불활성화, *첨단환경기술* 12(2) pp. 5-12

환경부 (2008) 고효율 펄스 UV 시스템을 기반으로 한 정수장 소독 plant의 실증 사업화, 그린엔텍(주)

환경부 (2010) 먹는물수질관리지침

A.A. Modifi, J.H. Min, L.S. Palencia, B.M. Coffey, S. Liang and J.F. Green (2002) Task 2.1. Advanced oxidation processes and UV photolysis for treatment of drinking water, Report, California Energy Commission, Sacramento, California, USA

Anselme, C., Suffet, I.H. and Mallevalle, J. (1988) Effects of ozonation on tastes and odors, *JAWWA* 80(10) pp. 45-51

Bohrerova, Z., Shemer, H., Lantis, B., Impellitteri, C., Linden, K.G. (2008) Comparative Disinfection Efficiency of Pulsed and Continuous Wave UV Irradiation Technologies, *Water Research*, 42(12) pp. 2975-2982

Chen, G., Dussert, B.W. and Suffet, I. H. (1997) Evaluation of granular activated carbons for removal of methylisoborneol to below odor threshold concentration in drinking water, *Water Research* 31(5) pp. 1155-1163

Dionigi C P, Lawlor T E, McFarland J E, Johnsen P B, 1993a. Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 *Salmonellatyphimurium* tester strains. *Water Research* 27 pp. 1615-618

Dionigi C P, Lawlor T E, McFarland J E, Johnsen P B, 1993b. Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 *Salmonella typhimurium* tester strains. *Water Research* 27 pp. 1615-618

J. Ellis, W. Korth (1993) Removal of geosmin and methylisoborneol from drinking water by adsorption on ultrastable zeolite-Y, *Water Research* 27(4) pp. 535-539

Jung, S. W., Beak, K. H. and Yu, M.J. (2004) Treatment of taste and odor material by oxidation adsorption, *Water Science and Technology* 49(9) pp. 289-295

Karl G, Linden, Gwyam Shin, Jungkeun Lee, Karl Scheible,

- Chengyue Shen, Phyllis Posy (2009) Demonstrating 4-log adenovirus inactivation in a medium-pressure UV disinfection reactor, *JAWWA* 101(3) pp. 90-99
- K. Linden, E. Rosenfeldt, S. Johnson and B. Melcher, (2002) Direct UV and UV oxidation process for treatment of taste and odor causing compounds in water Proceedings, *Water Quality Technology Conference* pp. 511-520.
- Mallevalle, J., and Suffet, I. H. (1987) Identification and Treatment of Taste and Odors in Drinking Water, Report of American Water Works Association Research Foundation
- Malley J. P., 1996, Ultraviolet light disinfection technology in drinking water application an Overview, *EPA* 881-R-96-002.
- McGuire M J, 1995. Off-flavor as the consumer's measure of drinking water safety. *Water Science and Technology* 31 pp. 1-8
- Mofidi, A.A., Baribeau, H., Rochelle, P. A., Ricardo de Leon, Coffey B.M., Green, J.F. (2009) Disinfection of *Cryptosporidium parvum* with polychromatic UV light, *JAWWA* 93(6) pp. 95-109
- Pirbazari M, Ravindran V, Badriyha B N, Craig S, McGuire M J, 1993. GAC adsorber design protocol for the removal of off-flavors. *Water Research* 27 pp. 1153-166
- Rangesh Srinivasan, George A. Sorial (2011) Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review, *Journal of Environmental Sciences* 23(1) pp. 1-13
- S. C. Tung, T. F. Lin and S. D. Lai (2004) The effect of oxidation on 2-MIB concentration with the presence of cyanobacteria, *Water Science and Technology* 49(9) pp. 281-288
- Suufet, I. H., Mallevalle, J., and Kawczynski, E. (1995) Advances in Taste and Odor Treatment and Control, Report of American Water Works Association Research Foundation
- Sun Laing, Joon H. Min, Marshall K. Davis, James F. Green, Donald S. Remer (2003) Use of Pulsed-UV Processes to Destroy NDMA, *JAWWA* 59(9) pp. 121-131
- Watson S B, Ridal J, Boyer G L, 2008. Taste and odour and cyanobacterial toxins: impairment, prediction, and management in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65 pp. 1779-796.
- W.H. Glaze, R. Schep, W. Chauncey, E.C. Ruth, J.J. Zarnoch, E. Aieta, C.H. Tate and M.J. McGuire (1990) Evaluating oxidants for the removal of model taste and odor compounds from a municipal water supply. *JAWWA* 82(5) pp. 79-84
- Zuzana Bohrerova, Hilla Shemer, Robert Lantis, Christopher A, Impellitteri, Karl G. Linden (2008) Comparative Disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies, *Water Research* 42 pp. 2975-2982