

## 오존 및 오존/UV 산화법을 이용한 휴믹산의 분해와 THM 발생능의 감소

### Decomposition of Humic Acid and Reduction of THM Formation Potential by Ozone and Combined Ozone/Ultraviolet Oxidation

朴柱錫\* · 朴兌鎭\*\* · 權峰琦\*\*\*

Ju-Seok Park\* · Tae-Jin Park\*\* · Bong-Kee Kwon\*\*\*

#### Abstract

This research was based on comparing ozonation with combined ozone/ultraviolet oxidation through the methods of reducing THM produced during water treatment.

The results were as follows ;

1. The decline of THM concentration was appeared according as ozone dosage increases with ozonation and combined ozone/ultraviolet oxidation. The more effective method was the treatment of irradiating UV then ozonation. In the beginning of reaction the decline rate of THM formation potential was low, I thought it was because that the reaction of ozone and humic acid needed times to be steady state, or that THM formation potential existed according to humic acid.

2. The effect of combined ozone/ultraviolet oxidation when ozone dosage was 4.2mg/L min was almost the same that of ozonation when ozone dosage was 8.6mg/L min.

3. In experiment of TOC decline through ozonation and combined ozone/ultraviolet oxidation, TOC concentration was also dropped according to increasing ozone dosage and the more effective results were showed in treatment of irradiating UV than ozonation. But the similar TOC remove rates were showed in experiment of changing with ozone dosage during combined ozone/ultraviolet oxidation TOC remove rates were low in proportion to the remove rates of THM formation potential, it was considered that humic acid was made low molecule itself though ozonation and ozone/ultraviolet oxidation.

Moreover, the high degree of remove efficiency will be get though the treatment of activated carbon or GAC treatment after combined ozone/ultraviolet oxidation.

\* 서울産業大學校 環境工學科 教授

\*\* 서울産業大學校 環境工學科 大學院

\*\*\*서울大學校 都市工學科 大學院

1. 서 론

염소는 19세기 중반부터 소독제로 사용되어 왔고 현재도 세계의 많은 정수처리장에서 소독제로서 염소를 사용하고 있다. 그런데 1974년 네델란드의 Rook, Beller, USEPA의 Kronen 등은 염소가 처리수 중의 유기물과 반응하여 발암물질로 알려진 Chloroform 등의 Trihalomethane (THM)을 생성함을 밝혀 지구 여러나라에서 THM에 대한 경각심이 고조되어 일상 마시고 사용하는 상수중의 THM 제거에 관한 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이 THM에 대해 수중에 존재하는 총 THM의 농도를 미국과 일본은 100ppb, 독일은 50ppb 이하로 규제하고 있다. 우리나라에서도 1990년 6월부터 수질검사기준으로 항목을 추가시켰으며 기준치를 100ppb 이하로 정하고 있어 이에 따르는 연구와 대책이 요구되는 실정이다.

수중에 THM이 존재하지 않도록 처리하는 방법들의 기본 원리는 THM 생성 자체를 억제하는 것과 생성된 THM을 제거하는 것이다. 생성된 THM을 제거하는 방법의 원리는 THM의 물리적 성질, 즉, 휘발도 및 물속에서의 확산 정도를 이용하여 물과 분리시키는 것이다. 또한 THM의 생성을 억제하는 방법의 원리는 THM의 반응물이 되는 물질의 존재를 제거하는 것이다. 즉, 전구물질인 humic substance을 제거하거나 유리염소가 존재하지 않도록 살균 처리를 하는 것이다.

아울러 오존을 산화제로 선택하는 경우 THM을 직접 제거하는 효과는 없지만, THM의 생성에 반응물로 작용하는 유리 염소를 전혀 제공하지 않는 살균법이며, 전구물질의 제거에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 오존은 대다수의 유기물과 반응이 느리거나 전혀 반응하지 않는 등 매우 선택적인 단점을 지니고 있다. 이에 오존의 단점을 보완하여 그 효율을 증대시키는 오존/UV산화법 등 고급산화법(AOP, Advanced Oxidation Process)의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 고급산화법으로

처리하였을 때, 오존의 처리효율을 증진시킬 수 있기 때문에 훨씬 경제적인 처리방법이 될 수 있다.

본 연구에서는 THM이 발생하기 전에 그 발생능(formation potential)을 억제하는 방법으로 오존(O<sub>3</sub>)처리와 최근에 와서 연구가 활발히 진행되고 있는 오존(O<sub>3</sub>)/UV산화법에 대해 그 처리 결과 및 처리 특성을 비교하는데에 본 연구의 목적이 있다.

II. 이론적 고찰

1. THM의 생성 원리

THM은 기본적으로 정수처리의 과정 중 염소 처리공정에서 유기물인 전구물질과 유리염소와 반응하여 염소화합물로 생성된다. THM 생성 원리는 다음과 같다.<sup>1)</sup>

Free Chlorine + THM humic Substances

→ Trihalomethanes + other product

THM을 생성하는 유기물질을 전구물질이라 부르며, 이중 THM 전구물질로서는 Humic substance와 Acetyl기를 갖는 간단한 저분자 및 고분자 탄소화합물로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

Humic Substances는 착색성분을 이루고 총 유기물질중 40~50%를 차지하며<sup>3),4)</sup> 식물의 사체, 동물의 배설물등이 미생물에 의해서 분해되는 과정에서 생성되는 고분자 및 저분자 물질을 총괄적으로 Humic Substance라고 한다.<sup>5)</sup> Acetyl기를 갖는 저분자 유기물질로서는

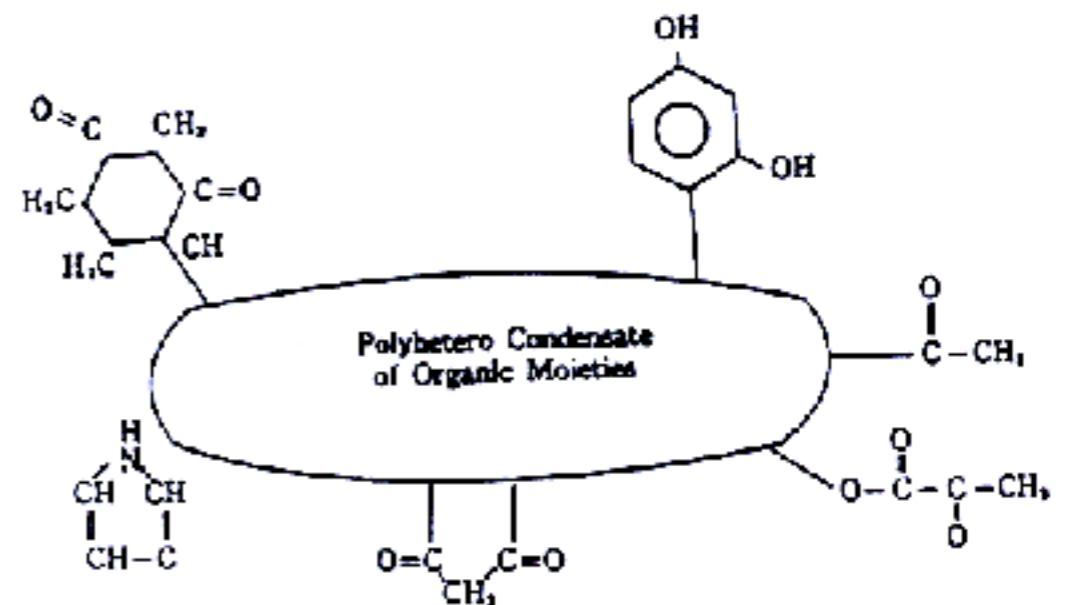


그림 1. 전구물질의 구조

acetone, aldehyde 등이 있으나 자연상태에서 이들에 의한 THM 생성은 Humic Substance에 비해 매우 적으며 또한 자연수중 함량이 매우 적어 전구물질로서는 큰 문제가 되고 있지 않다.<sup>6)</sup>

Humic Substance에는 Humic acid, Fulvic acid가 있고, 이들 중간적인 성질을 갖는 Hymatomelanic acid로 분류한다. Humic acid와 Hymatomelanic acid는 산성에서 불용성이라 산성 수중에서 콜로이드 상태로 존재하기 때문에 쉽게 침전분해되며, Fulvic acid는 산·염기에서 가용성이고 수중에서 용존상태로 존재하기 때문에 THM 전구물질로 문제가 되고 있는 것이다.<sup>7),8)</sup> 이중 분자량이 큰 전구물질의 분자구조는 Quinone Polyhydroxy Benzene Amino Acid, Aromatic Carbon acid 등의 총합체로서 매우 거대한 분자일 것으로 추정되고 있다.

THM에는 4가지 종류가 있는데 Chloroform (CHCl<sub>3</sub>), Bromoform(CHBr<sub>3</sub>), Bromodichloromethane(CHBrCl<sub>2</sub>) 그리고 Dibromochloromethane(CHBr<sub>2</sub>Cl)으로 Chloroform 발생율이 일반적으로 나머지 셋보다 현저히 많다. 이들 4종류의 THM 화합물을 Total Trihalomethane(TTHM)이라 부른다.<sup>9)</sup>

## 2. 오존에 의한 THM의 발생 억제

일반적으로 오존에 의한 수도 원수의 선처리는 THM 생성의 가능성을 낮춘다고 알려져 있다.<sup>14)</sup>

Glaze<sup>5)</sup>등에 의한 Texas 호수중의 THM 전구물질의 오존에 의한 산화에서는 초기에 급격한 감소를 보이다가 이후 완만한 감소 추세를 보였다.

Humic substance는 일반적으로 오존 처리 후에 분자 구조가 변화하여, 분자 극성이 증가하고 친수성이 커지며, 생물학적으로 쉽게 분해될 수 있는 구조로 변화된다고 알려져 있다. 그러나 오존처리에 의해 CO<sub>2</sub>로 완전히 산화되지 않는으나, THM을 생성하지 않는 acetic acid, formic acid, oxalic acid 등의 주요 최종

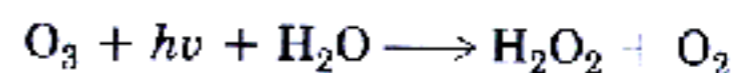
생산물로 변환된다.

## 3. Ozone/UV AOP(고급산화법, Advanced Oxidation Processes) 공정

오존의 강한 산화력(전위차: 2.07V)과 모든 유기물을 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 완전분해할 수 있는 이론적 특성에도 불구하고 실제로는 대다수의 유기물과의 반응이 느리거나(예: 맛 냄새 유발물질인 Geosmin, MIB와 THM과 같은 포화탄화수소, 농약 등), 혹은 어떤 유기물과는 전혀 반응을 하지 않는 경우가 흔히 있다. 반면에 오존의 분해 부산물인 OH radical은 오존자체보다 높은 전위차(3.08V)를 가지며 거의 모든 유기물과 매우 빠른 속도로 골고루 반응하는 특성이 있다.<sup>12)</sup>

유기물이 제거될 수 있는 경로는 오존분자에 의하여 직접적으로 제거될 수 있는 직접경로(Direct reaction pathway)와 OH radical에 의하여 분해되는 간접경로(Indirect reaction pathway)로 구분된다. 따라서 오존을 수처리에 이용할 경우 처리수에서 오존분자와 반응성이 강한 물질이 많이 존재한다면 반응이 직접 경로에 의하여 진행될 수 있도록 하고, 오염물질과 오존의 반응이 상대적으로 느린 경우 간접경로의 특성을 살려 OH radical의 생성을 증가시킬 수 있도록 조건을 조성하는 것이 효율적이다.<sup>13)</sup>

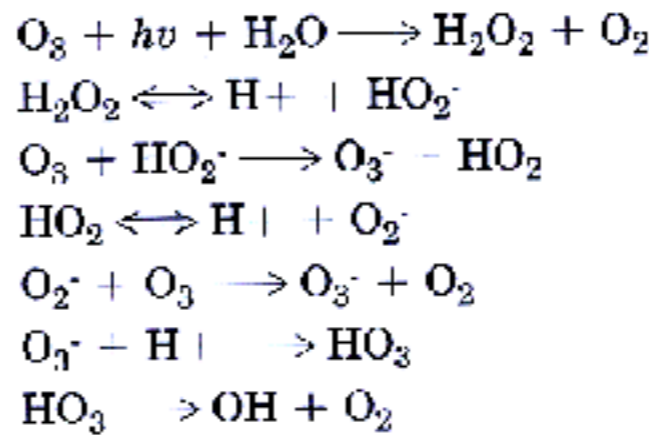
용존 오존의 광분해 메카니즘은 Taube와 Payton, Glaze 등에 의하여 연구되었는데, 용존 오존이 자외선에너지에 의하여 광분해되는 초기반응의 결과로 과산화수소가 중간물질로 생성된다.



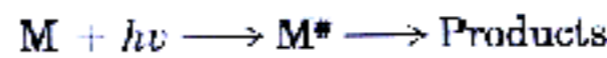
오존은 자외선 영역인 254nm에서 흡수성이 강하며(Molar Extinction Coefficient: 2900 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>), 1몰의 오존과 1몰의 photon이 반응하여 1몰의 과산화수소를 생성하게 된다. 생성된 과산화수소는 PEROXONE AOP에서와 같은 경로로 OH radical을 생성하게 된다(Fig 2-6).

Ozone/UV AOP에서 기대할 수 있는 처리 및

Ozone Transfer ———> Photolysis of Ozone



Photon Transfer  $\xrightarrow{hv}$  Photolysis of Substrate



Net Equation  $3O_3 + H_2O + hv \longrightarrow 2OH + 4O_2$

그림 2. Ozone/UV AOP에 의한 OH radical 생성 메카니즘

짐은 유기물이 UV에만 의해서도 직접적으로 제거될 수 있는 광분해 반응(photolysis of substrate)이 일어날 수 있기 때문이다.



따라서 유기물의 자외선 에너지에 대한 몰흡광계수(Molar extinction coefficient)와 분해수율(quantum yield)이 높다면 Ozone/UV AOP는 매우 효과적인 유기물 처리공정으로 사용할 수 있다. 그림 2는 Ozone/UV AOP에 의한 OH radical 생성 메카니즘을 나타내고 있다.

은 THM 전구물질의 지표가 된다.

본 연구에서는 염소와 반응하여 THM을 생성하는 전구물질로서 humic acid를 사용하였다.

Humic acid는 토양에서 추출하는 방법도 있으나, 시간이 많이 소요되고 성분조성이 실험에 부적당해, 실험용 humic acid(Fluka AG, CH-9470 Buchs)를 이용하였다. 즉, 시판 humic acid의 일정량을 초순수 증류수에 녹인 것을 stock solution으로 하고 이것을 희석하여 실험에 사용하였다. 전구물질과 반응하는 염소는 차아염소산 나트륨을 사용하였으며 이 용액은 실험 시작 전에 유효염소농도를 측정하여

III. 실험 장치 및 방법

1. 실험 장치

본 실험에서 사용된 반응기는 3L 용적의 아크릴로 제작되었으며, 반응조 상부를 통하여 내부로 방전관의 길이가 25cm인 15Watt의 UV Lamp(Trojan Technol. Inc)를 설치하였다.

한편 오존 발생기는 (주)현대오존의 제품을 사용하였다.

본 실험 장치도는 그림 3에 나타낸 바와 같다.

2. 실험 방법

2.1. 오존 및 오존/UV 처리에 의한 THM 발생능의 변화

THM의 발생능은 일정 조건에서 시료를 염소 처리하여 생성되는 THM의 양을 말하며, 이것

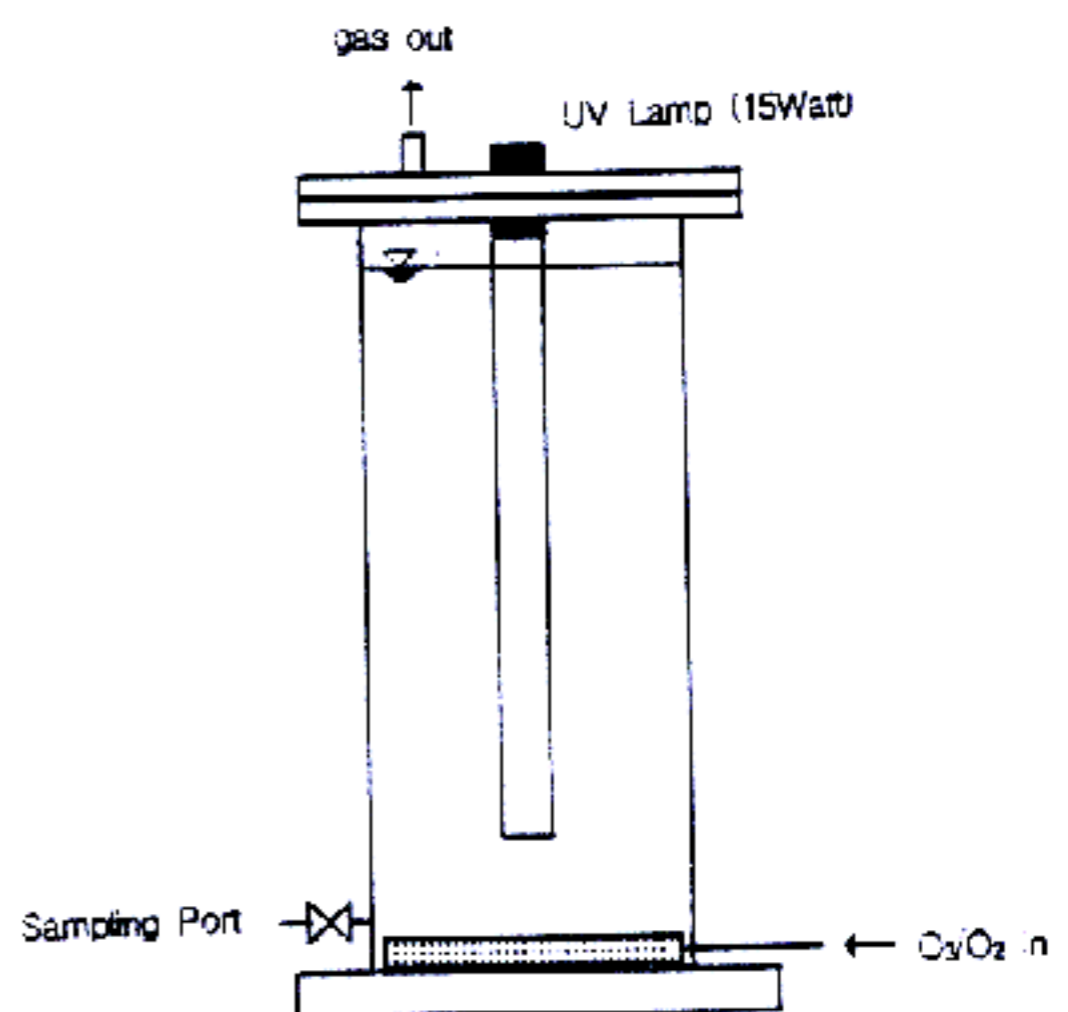


그림 3. 실험 장치도

세산에 사용하였다.

오존 및 오존/UV에 의한 전구물질의 감소 실험에서는 염소와 humic acid가 일정조건에서 반응한 후 발생한 THM을 전구물질의 지표로 사용하였다.

본 실험에서는 humic acid 용액과 일정 조건에서 오존 및 오존/UV 반응 후 시료의 일부를 취하여 vial에 담고 주입염소농도 10mg/L로 염소를 첨가하여 20°C에서 24시간 반응시켰고, 24시간 반응 후 1N 아황산나트륨 용액을 가하여 잔류염소를 제거시켰다.

반응이 끝난 후의 시료에 대하여 THM 발생량 측정법은 G·C를 이용한 head space법에 의해 측정하였다. Head space법에는 용량 10~100mL인 vial이 많이 사용되고 있는데 본 실험에서는 20mL 용량 vial을 사용하였으며, 시료는 10mL씩 취하였다. 시료 주입 후 기밀을 유지하기 위해 teflon sheet, silicon rubber로 시료를 담은 vial의 입구를 막고 alminuim cap를 이용하여 밀봉하였으며, 충분히 흔들어서 20°C에서 1시간 방치하여 기체-액체 평형에 도달한 다음, gas tight syringe로 vial의 head space의 기체를 취하여 G·C 분석을 하였다. THM 분석의 G·C 측정조건은 표 1과 같다.

한편 주입오존의 농도 측정은 idometric method를 이용하였으며, 오존 발생기에서 발

생된 오존화 가스를 KI 용액에 통과시켜 유리된 iodine을 티오황산나트륨(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)으로 적정하여 오존량을 계산하였다. 이때 사용하는 티오황산나트륨은 사용시마다 농도를 표정하였다. 실험에 사용된 오존화 가스중의 오존농도는 기체 유량이 3L/min일 때, 각각 2.4, 4.2, 8.6mg/L min으로 하였다.

### 2.2. 오존 및 오존/UV 처리에 의한 TOC의 변화

오존 및 오존/UV 처리에 의한 TOC(Total Organic Carbon)의 변화 실험에서는 일정농도의 humic acid용액(TOC 약 9mg/L)을 일정 조건의 오존 및 오존/UV와 반응한 후, TOC meter(SIEVERS 800)를 이용하여 분석하였다.

## IV. 실험 결과 및 고찰

### 1. 오존 및 오존/UV 처리에 의한 THM 발생능의 변화

오존 및 오존/UV에 의한 전구물질의 감소 실험은 Fig 1에 그려진 반응기로 실험하였다.

Humic acid농도와 주입염소농도를 각각 10mg/L로 하고 pH 7의 조건으로하여, 오존 주입농도 2.4, 4.2, 8.6mg/L min의 조건으로 오존만으로 처리하였을 때와 각각의 오존 주입농도에 대하여 UV(15Watt) Lamp를 켜 상태로 실험을 하였다. 그림 4, 5, 6, 7, 8에 나타난 바와 같이 오존 주입농도가 높아짐에 따라 THM의 농도도 직계 나타나 THM 발생능도 감소됨을 볼 수 있고, 각각의 오존주입농도에 대하여 오존만으로 처리하였을 때보다 UV를 조사하면서 처리하였을 때에 훨씬 더 나은 THM 발생능의 제거율을 보이고 있다. 반응 초기에 THM 발생능의 감소율이 적은 것은 도입된 오존과 humic acid의 반응이 정상상태에 이르는데 얼마간의 시간이 필요하거나, 이 시점까지 오존에 의해 변화한 humic acid의 일부분이 여전히 THM 발생능으로 존재하기 때문이라고 생각되어진다.

표 1. Gas chromatography 측정 조건

Model	HP 5890 series II plus
Column	DB 624 - 30m × 0.32mm × 1.8 μm
Detector	ECD
Initial Temp.	40°C
Initial Hold Time	12 min
Temp. Rate	9°C/min
Final Temp.	120°C
Final Hold Time	4 min
Detector Temp.	220°C
Column Flow	1.3 mL/min
Aux. Flow	59 mL/min
Carrier gas	N <sub>2</sub> gas
시료전처리 장치	Headspace Autosampler (Tekman 7000)

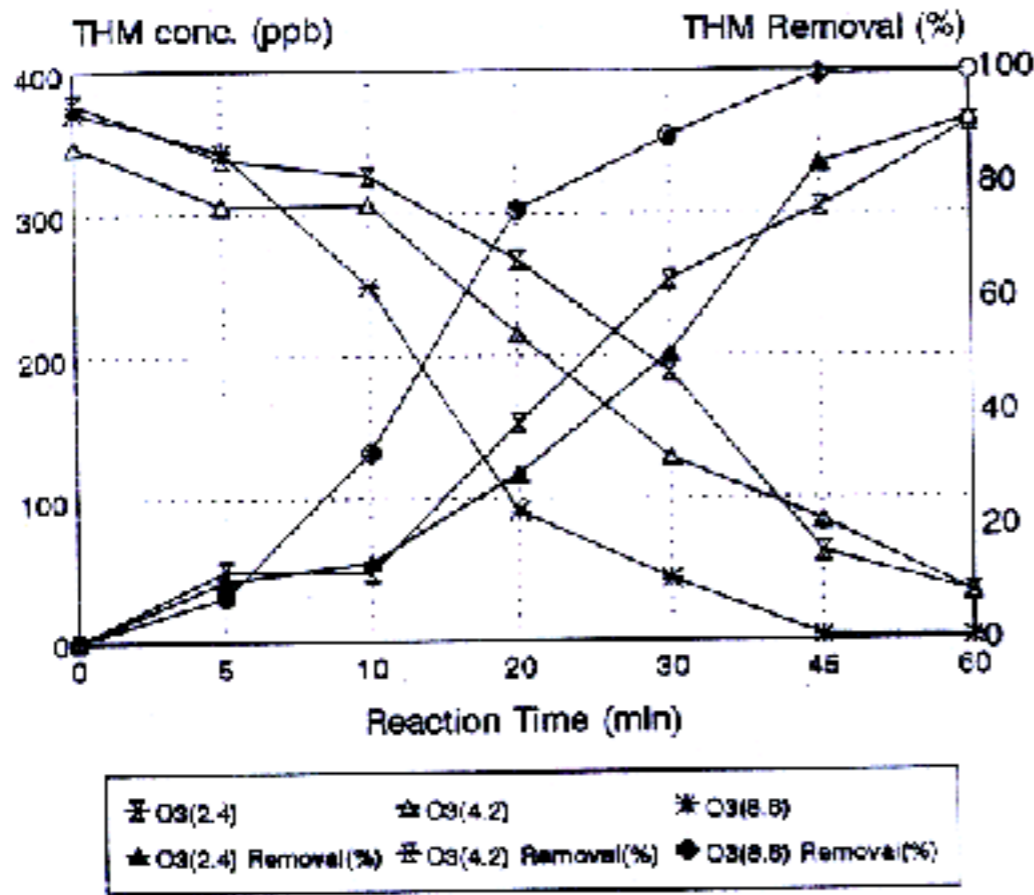


그림 4. 오존주입농도의 변화에 따른 THM 농도 및 제거율의 변화

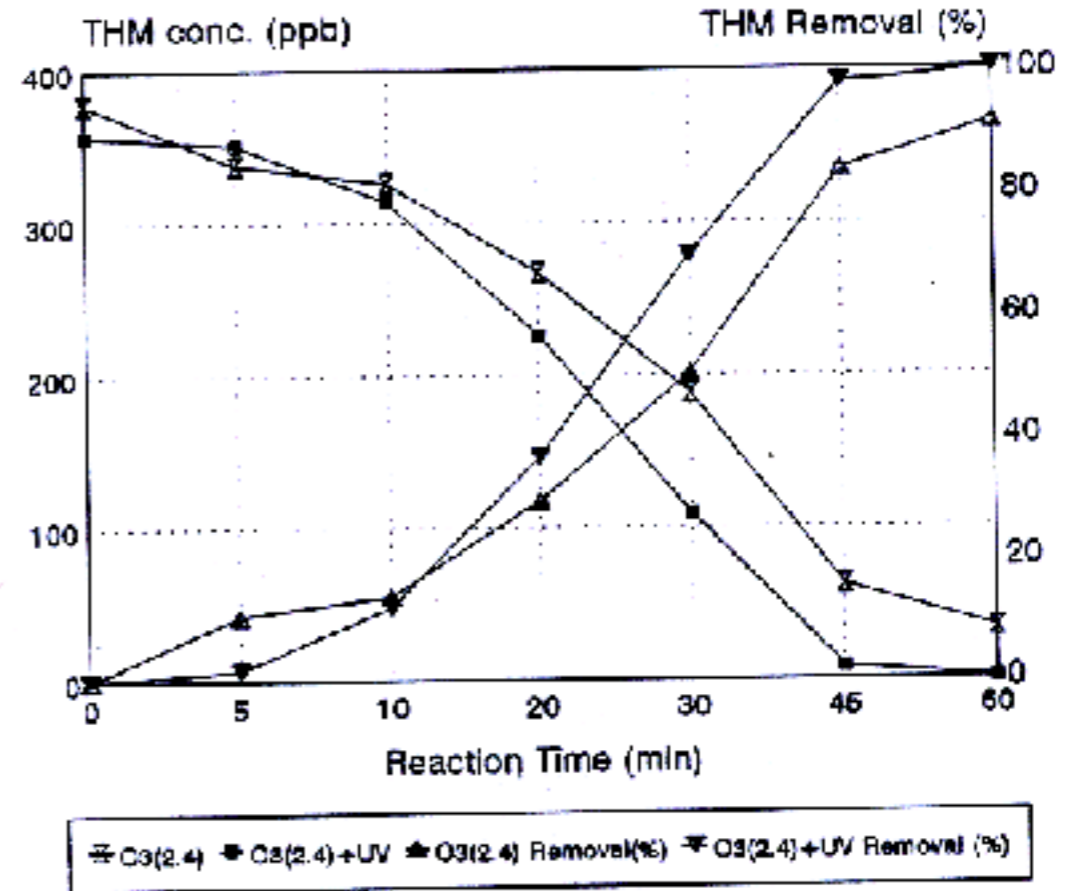


그림 6. 오존단독처리와 UV병용처리시 THM 농도 및 제거율의 변화(오존주입농도: 2.4mg/L · min)

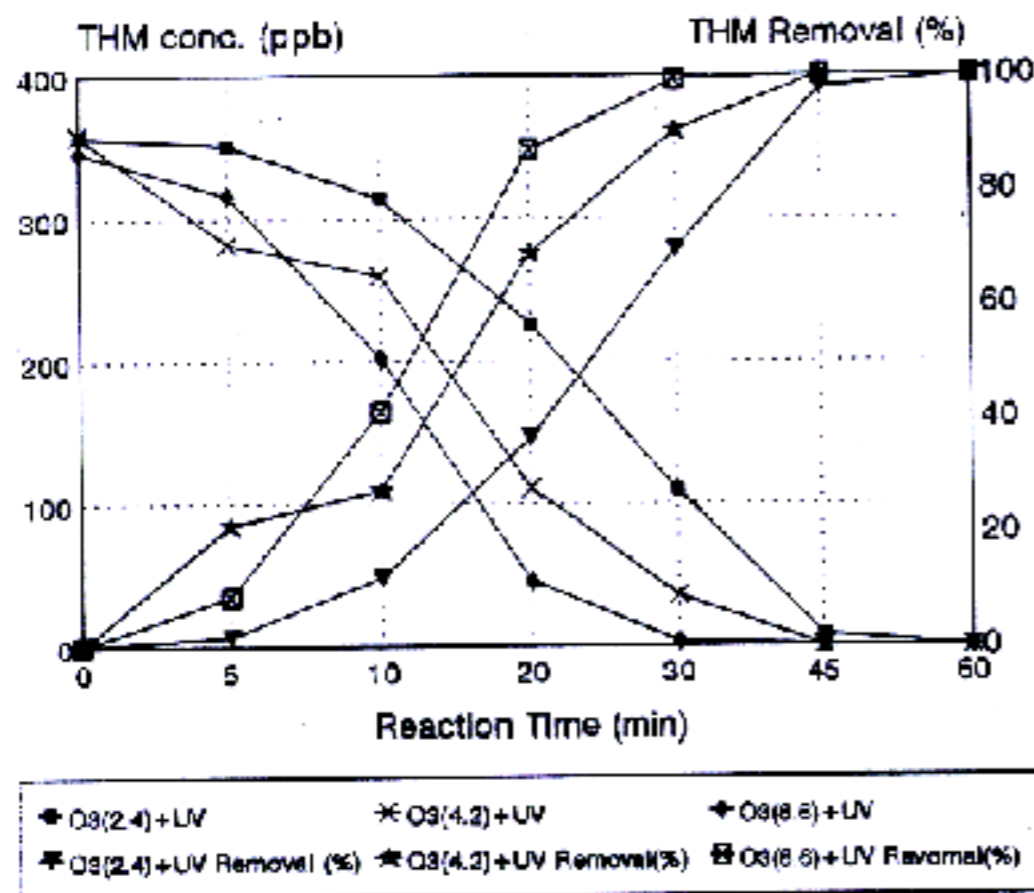


그림 5. UV 조사와 오존주입농도의 변화에 따른 THM 농도 및 제거율의 변화

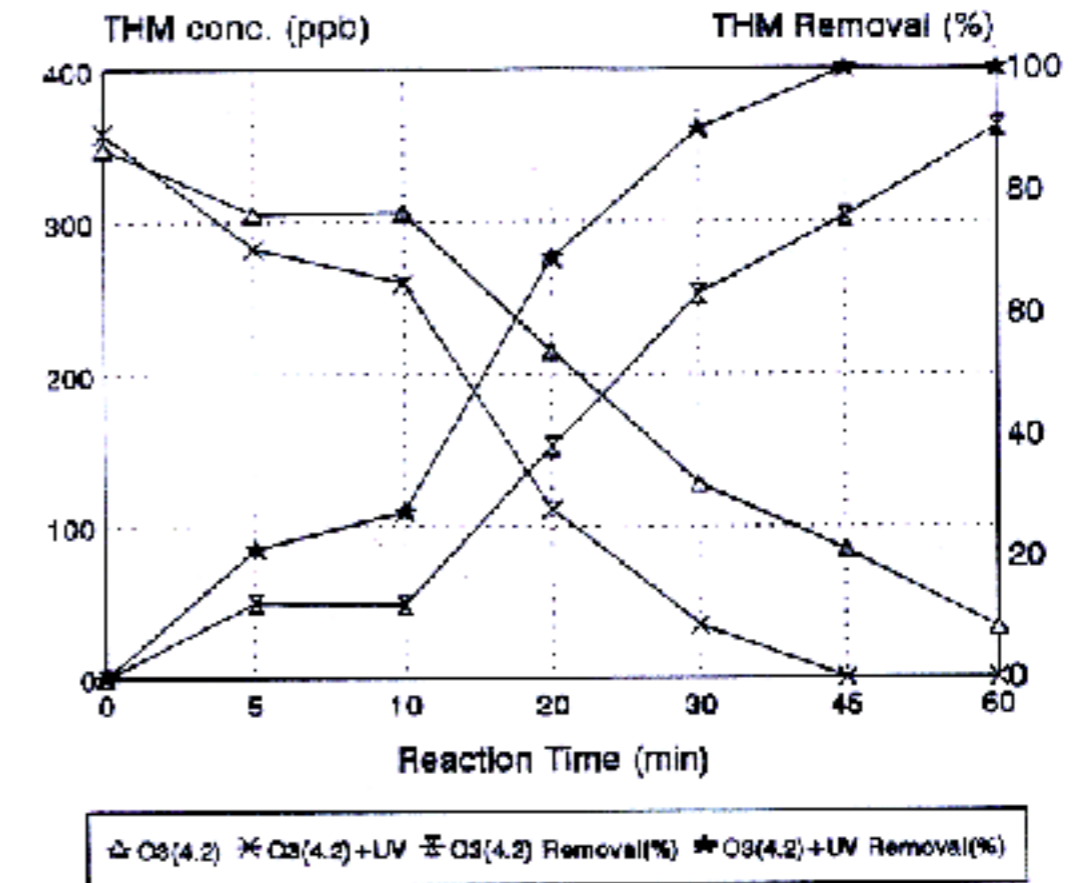


그림 7. 오존단독처리와 UV병용처리시 THM 농도 및 제거율의 변화(오존주입농도: 4.2mg/L · min)

오존주입농도를 2.4mg/L min으로하여 60분간 반응시켰을 경우, 오존처리만 하였을 때에는 약 92%의 THM 발생능의 제거율을, 오존/UV처리를 하였을 경우 100%의 제거율을 얻었다.

오존주입농도를 4.2mg/L min으로하여 반응시켰을 경우, 오존처리만 하였을 때에는 60분간 반응 후 약 90%의 THM 발생능의 제거율을, 오존/UV처리를 하였을 경우 45분 경과 후 100%의 제거율을 얻었다.

오존주입농도를 8.6mg/L min으로하여 반응시켰을 경우, 오존처리만 하였을 때에는 반응시간 30분 경과 후 약 86%의 THM 발생능의 제거율을, 오존/UV처리를 하였을 경우 99%의 제거율을 얻었다.

아울러 그림 9에서 나타난 바와 같이 UV를 조사하면서 오존처리를 하였을 때에는 오존주입율을 4.2mg/L min으로만 하여도 오존주입율을 8.6mg/L min으로하여 오존만으로 처리하였

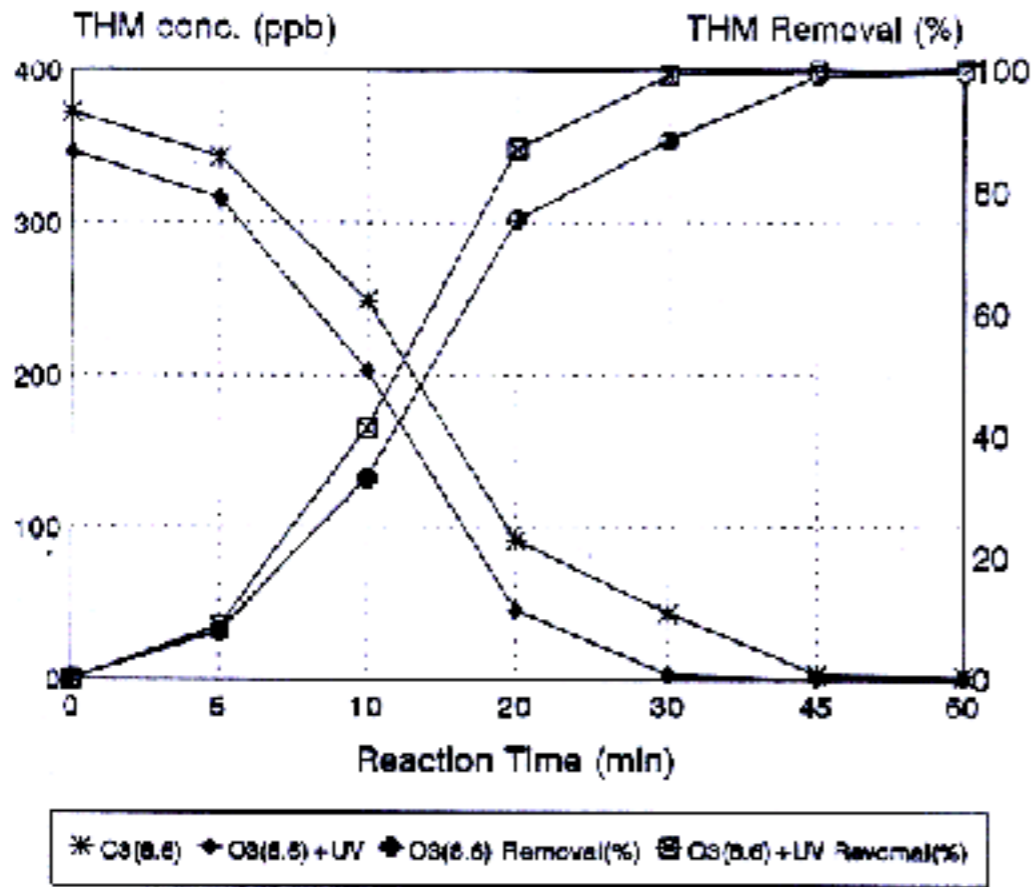


그림 8. 오존단독처리와 UV병용처리시 THM 농도 및 제거율의 변화(오존주입농도: 8.6mg/L · min)

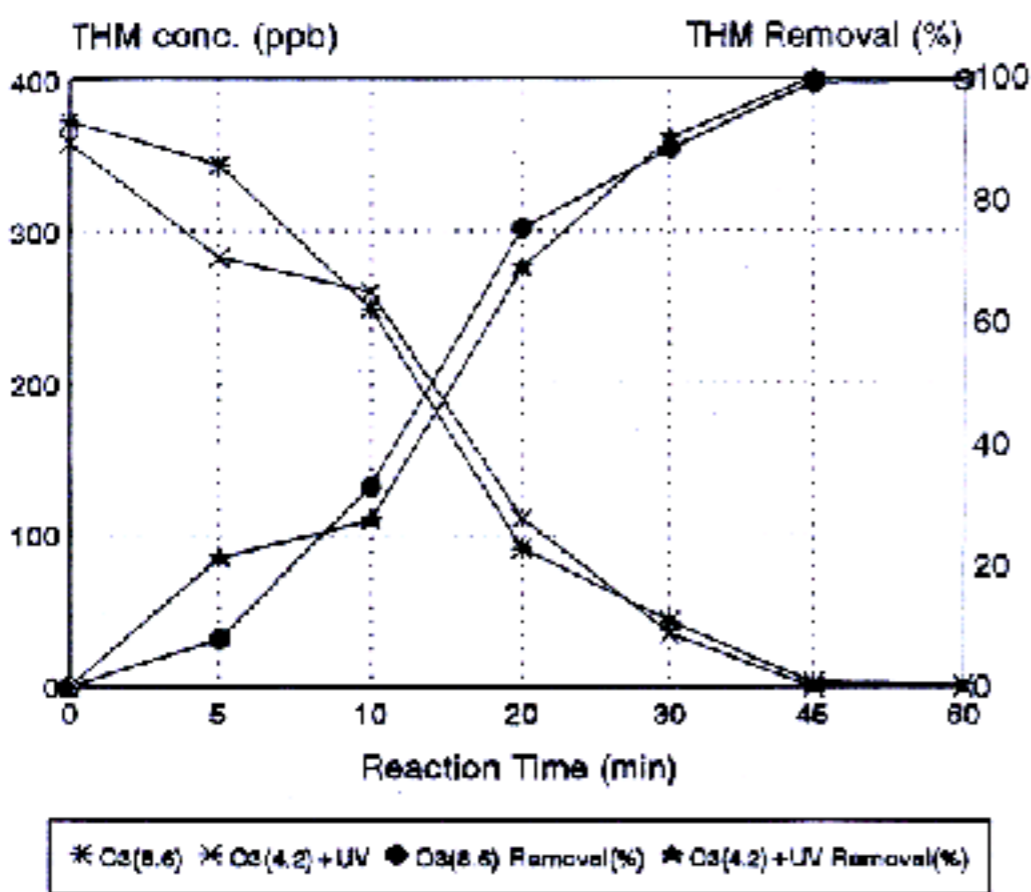


그림 9. 오존단독처리(오존주입농도: 8.6mg/L · min)와 UV병용처리시(오존주입농도: 4.2mg/L · min) THM 농도 및 제거율의 변화

을 때와 거의 같은 THM 발생능의 감소율을 얻을 수가 있었다.

### 3. 오존 및 오존/UV 처리에 의한 TOC의 변화

오존 및 오존/UV에 의한 TOC의 감소 실험은 THM 발생능의 변화 실험을 한 후의 각각의 시료를 TOC meter를 이용하여 분석하였다.

그림 10에 나타난 바와 같이 오존 주입농도

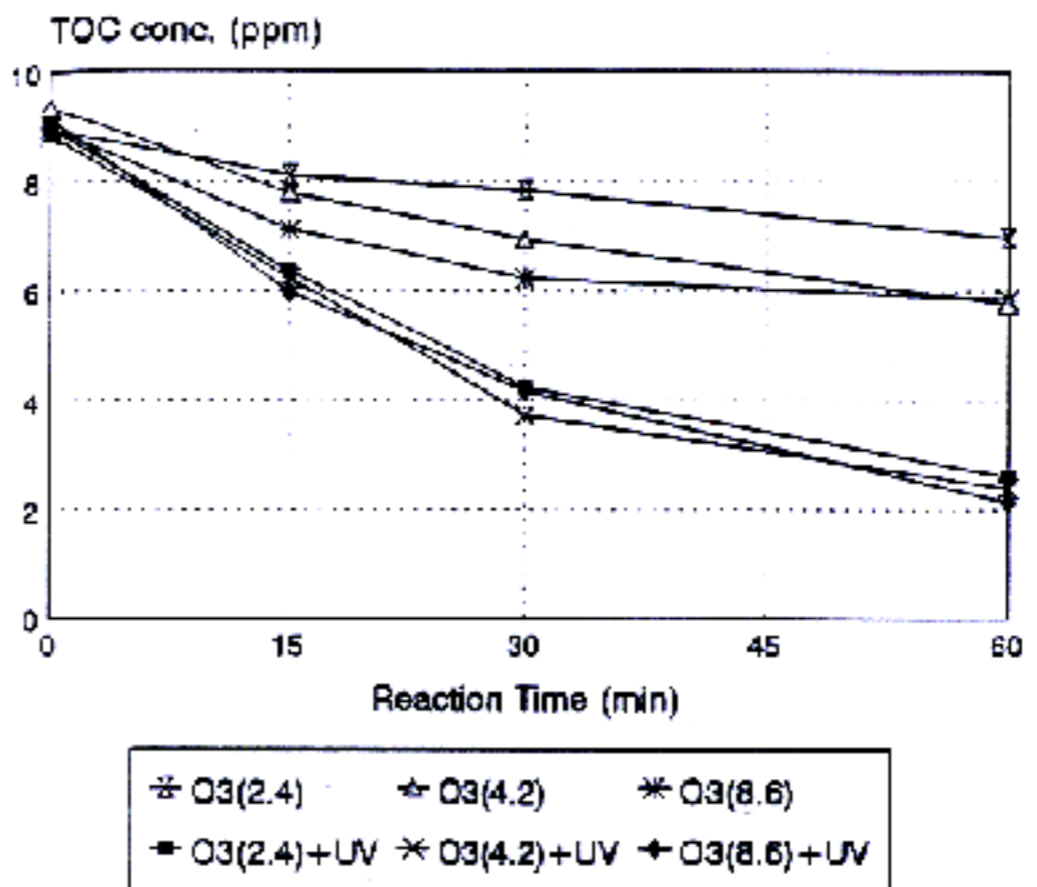


그림 10. 오존주입농도의 변화 및 UV 조사에 따른 TOC 농도의 변화

가 높아짐에 따라 TOC의 농도도 역시 감소됨을 볼 수 있고, 각각의 오존주입농도에 대하여 오존만으로 처리하였을 때보다 UV를 조사하면서 처리하였을 때 훨씬 더 나은 TOC 제거율을 보이고 있다. 그러나 UV 조사를 하면서 주입오존농도를 변화시킨 실험에서는 거의 같은 TOC 제거율을 나타내었다.

한편, THM 발생능의 감소율에 비하여 적은 TOC 제거율을 보이고 있는데 이는 오존 및 오존/UV처리를 통하여 THM 전구물질인 humic acid를 완전히 분해하기 보다는 humic acid 자체를 저분자화하는 것으로 생각되어지고, 아울러 오존/UV 처리 후 활성탄 처리 혹은 생물처리를 통하여 훨씬 나은 제거효율을 얻을 것이라 사료된다.

## V. 결 론

수처리시 발생하는 THM을 억제하는 방법으로 오존처리와 오존/UV병용 처리시의 비교 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오존 및 오존/UV처리에 의한 THM 발생능 감소에 있어서는 오존 주입농도가 높아짐에 따라 THM의 농도도 적게 나타나 THM 발생능도 감소됨을 볼 수 있고, 오존만으로 단독처리하였을 때보다 UV를 조사하면서 처리하였을

때에 훨씬 더 나은 THM 발생능의 제거율을 보이고 있다. 반응 초기에 THM 발생능의 감소율이 적은 것은 도입된 오존과 humic acid의 반응이 정상상태에 이르는데 얼마간의 시간이 필요하거나, 이 시점까지 오존에 의해 변화한 humic acid의 일부분이 여전히 THM 발생능으로 존재하기 때문이라고 생각되어진다.

2. UV를 조사하면서 오존처리를 하였을 때에는 오존주입율을 4.2mg/L min으로만 하여도 오존주입율을 8.6mg/L min으로하여 오존만으로 처리하였을 때와 거의 같은 THM 발생능의 감소율을 얻을 수가 있었다.

3. 오존 및 오존/UV처리에 의한 TOC 감소 실험에서는 오존 주입농도가 높아짐에 따라 TOC의 농도도 역시 감소됨을 볼 수 있고, 오존만으로 처리하였을 때보다 UV를 조사하면서 처리하였을 때에 훨씬 더 나은 TOC 제거율을 보이고 있다. 그러나 UV 조사를 하면서 주입 오존농도를 변화시킨 실험에서는 거의 같은 TOC 제거율을 나타내었다. 한편, THM 발생능의 감소율에 비하여 적은 TOC 제거율을 보이고 있는데 이는 오존 및 오존/UV처리를 통하여 THM 전구물질인 humic acid를 완전히 분해하기 보다는 humic acid 자체를 서분자화하는 것으로 생각되어지고, 아울러 오존/UV 처리 후 활성탄 처리 혹은 생물처리를 통하여 훨씬 나은 제거효율을 얻을 것이라 사료된다.

### 감사의 글

본 논문은 교내학술연구조성 연구과제에 의해서 연구되었으며 지원에 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. Rook, J. Chlorination Reactions of Fulvic acid in Natural Water AS & T, Vol 11. 1977. p478
2. Morris, T & BAUM, B. Precursors Mechanisms of Haloform Formation in the Chlorination of Water Supplies, Presented at Gatlinburg Cong. 1977.
3. Josephus J.: Humic Substances, Environs, ski.

- Teaching. Vol 1, 16 1982. 20A.
4. 浦野統平, 和田洋: 水中のリハロメタン, (II) 生成反應-水處理技術 22, 1981. p.757
5. Reboh M. and Mana J.: Classification of organic in Secondary Effluents, Environs. Ski. Teaching Vol 5, 1971, p.606.
6. Stevens A. A et al: Chlorination of Organics in Drinking water. AWWA Vol 68, 1976. p.615.
7. Trussel R.R and Umphres M.D: An Overview of analysis of trace Organic in Water. AWWA Vol 70, p.595, p.604, 612, 1978.
8. Bad. Cork D., Singer, P.,: Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic acid, J. AWWA June, 1977.
9. 丹保憲仁, '水道とトリハロメタン', 東京: 夫報堂出版株式會社, 1983, p.3
10. J.C.Morris Baum, B., "Precursors and Mechanisms of Haloform Formation in the Chlorination at water Supplies", Environmental Impaction and Health Effects, Vol 31, 1981.
11. Hogue, J & H.Badder: Rate constants of Reactions of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water, Water Resources, 1983, 17, 173.
12. Francis P.D: Oxidation by UV and Ozone of organic contaminants dissolved in deionized and raw mains water. Ozone Sci. Eng. 1987, 9, 369.
13. Glaze W.H., Kang J. W. and Chapin D.H.: The chemistry of water treatment processes involving Ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, Ozone Sci. Engng, 1987, 9, 89.
14. W. Kuhn, "Use of Ozone and activated carbon in German waterworks," Proceedings of 7th Ozone World Congress, International Ozone Association, pp.67-72, 1985
15. 米國環境保護廳 編, 眞柄泰基 監譯, "飲料水とトリハロメタン制御" 公害對策技術同友會, September 1981.
16. Aieta, E.M., K.M. Reagon, J.S. Lang, L. McReynolds, J.W. Kang, and W.H. Glaze(1988), "Advanced Oxidation Processes for Treatment Groundwater Contaminated with TCE and PCE: Pilot Scale Evaluation," Journal of AWWA, 80: 5: 64
17. Adams B.A., Substances Producing Taste in Chlorinated Water., Water and Sew. Works., 33, 109, 1991
18. Andrea M. et al., Detemination of Chlorite and



- Chlorate in Chlorinated and Chloraminated Drinking Water by Flow Injection Analysis and Ion Chromatography., *Anal. Chem.*, **64**, 496, 1992.
19. Aston R., *Eng. Expt. Sta. Bull.*, **10**, 54-8, 1987
20. Bader, H., J. Hoigne, "Determination of Ozone in Water by Indigo Method: A Submitted Standard Method," *Ozone Sci. & Engng.*, **4** : 169 (1982)
21. Glaze, W.II., "Drinking-water treatment with ozone," *Environ. Sci & Tech.*, Vol.21, No.3, 1987
22. AWWA., 'Water Treatment', 1986
23. Glaze, W.H., and J.W. Kang (1989), "Description of a Kinetic Model for the Oxidation of Hazardous Materials in Aqueous Media With Ozone and Hydrogen Peroxide in a Semi-batch Reactor," *Industrial & Engineering Chemistry Reserch*, **28** : 11: 1573