

## 소양호에서 추출한 수중 부식질(AHS)의 오존처리에 대한 연구

안복엽 · 이동석 · 신현상\*

강원대학교 환경공학과  
\*한국원자력연구소 환경연구팀

(1999년 8월 17일 접수, 1999년 11월 30일 채택)

## A Study on the Ozonation of Aquatic Humic Substances(AHS) Extracted from Soyang Lake Water

Bok-Yeop An · Dong-Seok Rhee · Hyun-Sang Shin\*

*Department of Environmental Engineering, Kangwon National University*  
*\*Environmental Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute*

### ABSTRACT

Aquatic humic substance (AHS) was extracted from Soyang lake water using XAD-8 resin, and its concentration distribution in the lake from May to October, 1997 was determined. Ozonation characteristics of the AHS were studied as factors of pH, carbonate ion concentration, and the biodegradability, and structural changes of the AHS were also investigated after ozonation. DOC distribution in Soyang Lake water was 1~3 mg/L, and the concentrations of AHS ranged between 0.2~0.8 mg/L, which was corresponding to 20~30% of DOC. AHS was composed of around 20% of HA and 80% of FA. The optimum pH value for AHS ozonation was in range of pH 7~9. When carbonate ions were added for AHS ozonation as a radical scavenger, it was found that DOC removals were decreased, and the absorbance decreases were increased slightly. Biodegradability of the ozonized AHS was 50% higher than that of unozonated AHS. <sup>13</sup>C-NMR analysis showed that the aromatic compounds of AHS, after ozonation, were decreased from 49% to 17%, and the aliphatic and carboxylic compounds were increased from 34% to 51% and from 17% to 32%, respectively.

---

Key Words : Aquatic Humic Substance(AHS), Ozonation, Carbonate Ion, Biodegradability, <sup>13</sup>C-NMR Analysis

## 요약문

본 연구에서는 XAD-8 수지 추출방법을 이용하여 소양호에 존재하는 수중 부식질의 월별 농도분포를 조사하였고, 추출과정을 통하여 확보한 수중 부식질에 대하여 pH와 탄산이온농도에 따른 오존처리특성을 흡광도와 DOC를 이용하여 검토하였으며, 오존처리한 수중 부식질의 생분해성 및 구조적 변화를 살펴보았다. 1997년 5월에서 10월에 조사된 소양정수장 유입수인 DOC 농도분포는 1~3 mg/L이었고, 수중 부식질의 농도는 0.2~0.8 mg/L로 DOC 농도의 약 20~30%이었다. 수중 부식질 중에서 휴믹산은 약 15~25%, 풀빅산은 약 75~85%로 분포하였다. 오존처리과정의 적정 pH 영역은 오존처리에 따른 부식질의 흡광도 감소율 및 DOC 제거율을 기준으로 판단할 때 pH 7~9 범위이었다. 오존처리과정에서 탄산이온을 첨가하여 라디칼 반응을 억제할 경우 시료의 흡광도 감소율은 증가한 반면, DOC의 제거율은 감소하였다. 오존처리한 시료의 생분해성은 약 50% 이상 증가하였다.  $^{13}\text{C}$ -NMR 분석결과 오존처리 후 부식질 내 방향족화합물의 함량은 49%에서 17%로 감소된 반면, 지방족화합물은 34%에서 51%, 카르복실화합물의 함량은 17%에서 32%로 증가하였다.

주제어 : 수중 부식질, 오존처리, 탄산이온, 생분해성,  $^{13}\text{C}$ -NMR 분석

## 1. 서론

부식질(humic substances: HS)은 동·식물의 사체나 잔류물들이 미생물에 의해 분해되는 과정에서 천연적으로 합성되는 유기고분자 물질로서 일반 수환경에 널리 분포되어 있는 자연발생적인 오염물질이다.<sup>1)</sup> 일반적으로 부식질은 수환경에 존재하는 용존 유기물(DOC)의 약 20~80%를 차지한다.<sup>1,2)</sup> 이러한 부식질은 상수처리과정에서 응집공정을 교란하거나, 활성탄 흡착공정에서 비가역적 흡착의 원인이 되기도 하며, 염소살균 공정에서 THMs 및 유해성 유기염소계 화합물을 생성하는 등의 문제를 야기한다.<sup>3,4)</sup> 따라서 상수원수에 포함된 부식질의 효과적인 제거를 위한 노력이 필요하다.

부식질에 대한 연구에 있어서 많은 경우 상업용 Aldrich Humic Acid가 사용되고 있다. 이는 실제 수환경에서 저농도로 분포하는 부식질을 분리·정제하여 실험에 필요한 양을 확보하는데 어려움이 있기 때문이다. 그러나 실제 수계에 분포하는 부식질은 산출지 특성이 있어 추출되는 지역의 환경적 특성 및 원수의 특성에 따라 부식질의 농도 분포 및 특성이 달라진다.<sup>1)</sup> 따라서 연구 대상 지역으로부터 직접 추출한 부식질을 사용함으로써 보다 실질적이고 정확한 연구자료를 얻을 수 있다.

오존처리는 상수처리과정에서의 유기물 및 미생물의 산화·분해를 위한 공정에 널리 적용되고 있다. 오존은 높은 산화력( $E^0 = +2.07\text{V}$ )을 가지고 있어 강산화제 및 살균제로 사용되어 왔고, THMs 생성억제, 맛 제거, 응집침전 개선, 생물학적 활성도 증대 및 2차 오염물질을 유발하지 않는다는 점에서 정수처리에 널리 응용되고 있다. 특히, 고도산화과정(advanced oxidation process: AOP)은 오존분해를 가속화함으로써 OH 라디칼의 생성을 증가시키고 유기물의 분해를 촉진시킨다. AOP에는 오존, 오존/높은 pH, 오존/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , 오존/UV 및 오존/UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  등이 이용되고 있다.<sup>5-7)</sup> 오존의 유기물 산화 메카니즘은 일반적으로 오존분자에 의한 직접반응과 오존의 분해로 생성된  $\cdot\text{OH}$ 에 의한 라디칼 반응에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>5,8,9)</sup> 오존처리의 효율 및 처리공정의 최적화를 위하여 부식질과 오존의 주요 반응형태를 규명하고, 반응에 관여하는 인자들과의 관련성을 밝히는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 소양호에 존재하는 수중 부식질(aquatic humic substances: AHS)의 계절별 농도특성을 조사하였고, 소양호에서 추출한 수중 부식질의 오존처리 특성을 조사하였다. 수중 부식질의 오존처리를 위한 최적 pH 조건을 검토하였고, 처리용액에 대한 pH의 변화와 라디칼 스캐빈저로서 탄

산이온의 첨가에 따른 오존처리 특성을 살펴보았다. 또한, 오존처리에 따른 부식질의 생분해성 변화 및 부식질 분자의 구조적 특성 변화를 고찰하였다.

## 2. 실험방법

부식질은 소양호(소양정수장의 유입수)에서 채취한 물시료(60 l)로부터 XAD 수지흡착 방법을 이용하여 추출하였다.<sup>10)</sup> Amberlite XAD-8(Sigma) 수지는 2.5×50 cm의 유리관에 충전하여 사용하였는데, XAD-8 수지는 사용에 앞서 속실텀(soxhlet) 장치를 사용하여 Hexane, Methanol, Acetonitrile, Methanol 순으로 용매를 바꿔가면서 각각 24시간씩 세척한 후 사용하였다.<sup>11)</sup> Fig. 1에 부식질의 추출과정을 나타내었다. 먼저, 전처리를 거친 XAD-8 컬럼에 부식질이 포함된 물시료(pH < 2)를 통과시켰다. 이 과정에서 수중 부식질은 XAD-8 수지 분자(polyacrylic ester)와의 소수성 상호작용(hydrophobic interaction)에 의해 수지 표면에 흡착된다.<sup>11)</sup> XAD-8 컬럼에 알카리 용액을 통과시켜 흡착된 수중 부식질을 분리해 내었다. 분리된 부식질 용액의 pH를 조절하여 다시 휴믹산(humic acid: HA)과 풀빅산(fulvic acid: FA)으로 나누었다. 얻어진 HA(Na<sup>+</sup>)과 FA(Na<sup>+</sup>) 용액은 양이온교환컬럼(Amberlite IRC-50, 16-50 mesh, Fluka Co.)을 통과시켜 HA(H<sup>+</sup>)과 FA(H<sup>+</sup>) 형태로 바꾸어 준 뒤, 동결건조를 거쳐 분말상태의 시료를 얻었다.

오존처리는 오존발생장치(Fisher사 E502 Model)을 이용하여 실시하였다. 오존반응조는 유리재질로 직경 5cm, 길이 60cm의 실린더형으로 제작하였다. 가스오존과 시료는 3방향 밸브에서 혼합되어 반응조 바닥에서 2cm 높이에 있는 가스분쇄기를 통하여 상향류로 유입시켰다. 반응조의 바닥에는 자석으로 교반할 수 있게 설계하여 시료와 가스오존과의 접촉 빈도를 최대한 높일 수 있도록 하였다. 반응조의 상단에 유출수를 배수할 수 있는 3방향 밸브를 부착하였으며, 반응조 가장 윗부분에 세 곳의 입구를 만들어 pH 전극의 삽입 및 시약주입 등이 가능하게 하였다. 실험에 사용한 장치 및 기구모식도를 Fig. 2에 나타내었다.

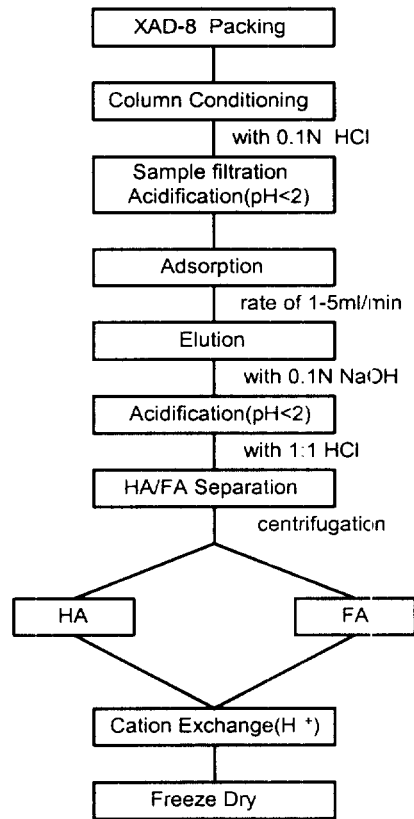


Fig. 1. A schematic diagram for extraction of AHS from Soyang Lake.

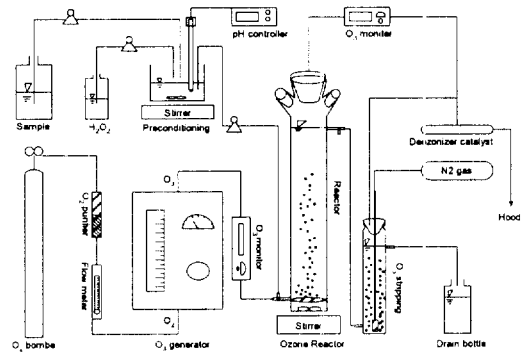


Fig. 2. A schematic diagram of ozonation equipment and apparatus.

시료의 오존처리는 오존주입량을 기준으로 시료의 DOC를 측정하여 6.0±0.5 mgO<sub>3</sub>/min으로 하였다. pH 변화에 따른 부식질의 오존처리 특성실험을 위하여 초기 pH가 3, 5, 7, 9, 11인 용액을 조제하여 실험하였다. 또한 오존처리과정에서의 pH 변화

를 억제하기 위하여 위와 동일한 pH에서의 완충용액을 조제하여 실험하였다. pH의 조절은 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NaOH, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>를 사용하였다. 라디칼 스캐빈저로서 탄산이온농도에 따른 부식질의 오존처리 실험에서는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 이용하였다. 시료의 탄산이온농도는 오존주입량을 기준으로 각각 0.3, 0.6, 1.2 mgO<sub>3</sub>/mgCO<sub>3</sub>로 조정하였다. 이 때 시료의 pH는 10~11의 범위에서 일정하게 유지되었다.

오존처리 전·후의 부식질의 특성분석은 흡광도(absorbance), DOC, 생분해성(biodegradability), <sup>13</sup>C-NMR 등을 측정하였다. <sup>13</sup>C-NMR의 분석은 75.47 MHz에서 작동하는 Bruker AM 300을 사용하였다. <sup>13</sup>C-NMR 스펙트럼은 피크의 정량분석을 위하여 45° 펄스폭(pulse width)에서 0.2 s의 수집시간(aquisition time)과 2.0 s의 이완지연시간(relaxation delay time) 조건으로 Inverse gated decoupling 펄스기법을 사용하였다.<sup>12)</sup> 흡광도는 Cary 3 Varian UV/VIS Spectrophotometer를 사용하였으며, 분석에 사용한 파장은 가시광선 영역의 350 nm의 파장을 이용하였다. DOC의 분석은 UV-Persulfate 산화방식을 이용하는 Phoenix 8000을 이용하였다. 오존처리 전·후의 부식질의 생분해성을 조사하기 위하여 오존처리한 유출수에 질소가스를 10분간 불어넣어 시료내의 잔류오존을 완전히 제거한 후 생활하수를 식종하고 20℃에서 3주간 배양하면서 DOC를 측정하였다. 배양전에 시료의 pH는 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O를 사용하여 조절하였으며, 주입하는 영양소로는 MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 소양호 부식질의 월별 농도분포 특성

소양정수장 유입수의 DOC, AHS, HA, FA의 분포특성을 5월에서 10월까지 조사한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. DOC의 분포는 평균적으로 1~3 mg/L로 나타났으며 7, 8월 장마철에 다소 높은 수치를 보였다(Fig. 3 참조). 이러한 결과는 여름철 장마비에 의하여 호수 주변의 표층 토양이 호수내로

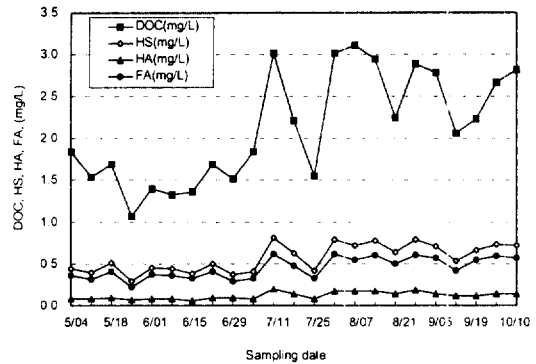


Fig. 3. Distributions of DOC, AHS, HA, FA in Soyang Lake.

유입되면서 토양 부식질이 함께 유입되었기 때문에 사료된다. AHS의 농도분포는 0.2~0.8 mg/L로 전체 DOC 농도의 약 20~30%를 차지하였으며 AHS의 월별 농도분포 역시 7, 8월에 장마철에 상대적으로 높게 나타났다.

한편, 전체 AHS 중 HA의 농도는 0.05~0.2 mg/L였으며 FA의 농도는 0.2~0.6 mg/L로 HA에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 소양호의 수중 부식질은 대부분 FA로서 존재하며, 소량이 HA로 분포함을 알 수 있다. 이러한 결과는 HA에 비해 더 높은 용해도를 가지는 FA의 특성이 기인한 것으로 수중 부식질의 농도분포에 대하여 일반적으로 알려진 문헌의 사실과 일치한다.<sup>11)</sup>

#### 3.2. pH 변화에 따른 부식질의 오존처리 특성

각기 다른 pH 상태(pH 3~11)에 있는 비완충용액 및 완충용액의 오존처리시간에 따른 흡광도의 변화를 Table 1에 나타내었다. 오존처리시간에 따라 시료의 흡광도는 점차 감소하였으며 오존처리 10분 경과 후에 약 76±1%의 흡광도 감소율을 나타냈다. 20분 경과 후의 흡광도 감소율은 78±2%으로 10분 동안의 처리 결과와 유사하였다. 용액의 pH에 따른 흡광도 감소율은 검토된 pH 범위에서 거의 변화가 없었다. 따라서 흡광도 감소율은 용액의 pH에 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

각기 다른 pH 상태(pH 3~11)에서 오존처리시간에 따른 DOC의 변화를 조사하였고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 오존처리시간이 증가함에 따

Table 1. Absorbance decrease(%) with ozonation time at different pH

pH	2 min	5 min	10 min	20 min
3	43.1	69.0	75.6	76.4
5	43.4	68.9	75.5	76.3
7	42.4	68.6	75.4	76.2
9	42.9	67.9	75.1	76.3
11	43.1	47.9	75.4	76.3
3(buffer)	44.8	71.3	77.8	79.9
5(buffer)	44.7	71.1	77.1	79.9
7(buffer)	43.5	70.9	76.6	78.3
9(buffer)	42.5	70.3	76.0	78.9
11(buffer)	48.8	69.4	75.8	77.8

\* absorbance measured at 350 nm

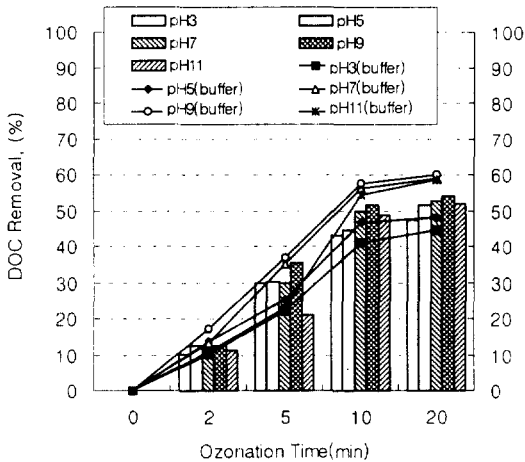


Fig. 4. Variations of DOC with ozonation time at different pH.

라 시료의 DOC는 감소하였다. 평균적으로 2분 처리시에는 초기 DOC 농도의 10~20%로 감소하였으며, 5분 처리시에는 20~35%, 10분 처리시에는 약 40~60% 가량 감소하는 것으로 나타났다. 한편, pH 7~9 영역의 완충용액에서의 DOC 제거율은 처리시간에 관계없이 동일 pH 영역에서의 비완충용액에 비해 약 6~8% 정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 오존처리에 따른 비완충용액에서의 초기 pH 변화에 기인한 것으로 사려된다. 완충용액과 비완충용액에서의 오존처리에 따른 pH 변화를 조사한 결과 비완충용액의 경우 초기 pH가 부식질의 오존처리과정에서 생성되는 유기산에 의해 전반적으로 감소하였으며, 특히 pH 7~9 영역에서 가장 큰 감소

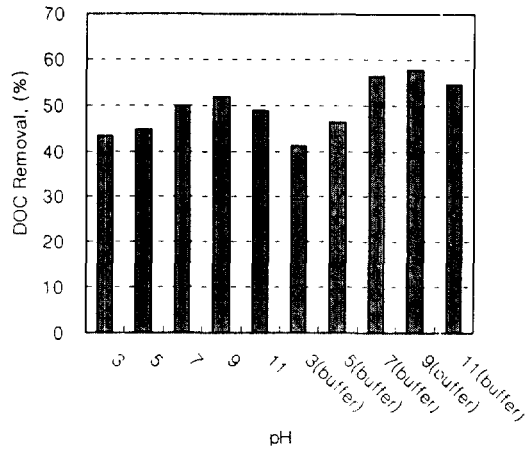


Fig. 5. DOC removal(%) for 10 minutes ozonation at different pH.

율을 보였다.<sup>13)</sup> 따라서 오존처리에 따른 DOC 제거율은 시료용액의 pH 변화에 의해 영향을 받을 수 있다.

Fig. 5에 pH에 따른 DOC 제거율의 관계를 나타내었다. 용액의 pH가 높아질수록 DOC 제거율이 증가하였다. 특히, 완충용액 pH 9에서 가장 높은 제거율을 나타내었다. 이러한 결과는 DOC의 제거가 오존의 분해에 후속되는 라디칼 반응에 의존하고 있음을 시사한다. 오존은 수산화이온(OH<sup>-</sup>)에 의하여 스스로 분해하는 특성을 가지며 분해속도는 산성에서 알카리성으로 갈수록 빨라진다. 따라서 pH가 높아질수록 ·OH의 생성량이 증가하고 DOC의 제거에도 영향을 미치게 된다.<sup>6,7)</sup> 한편 pH 11에서는 DOC 제거율이 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 pH 11에서는 부식질의 오존분해과정에서 생성되는 것으로 알려진 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에 의한 ·OH의 소모반응도 증가하기 때문으로 사려된다.<sup>14)</sup>

### 3.3. 탄산이온농도에 의한 부식질의 오존처리 특성

라디칼 스캐빈저로서 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 첨가하여 라디칼 생성을 억제하였을 경우의 부식질의 오존처리에 따른 흡광도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다 10분 이후의 오존처리 시간에서는 탄산이온을 첨가한 시료와 첨가하지 않은 시료의 흡광도 감소율이 약 77%로 서로 유사하였다. 그러나 10분 이전의 오존처리

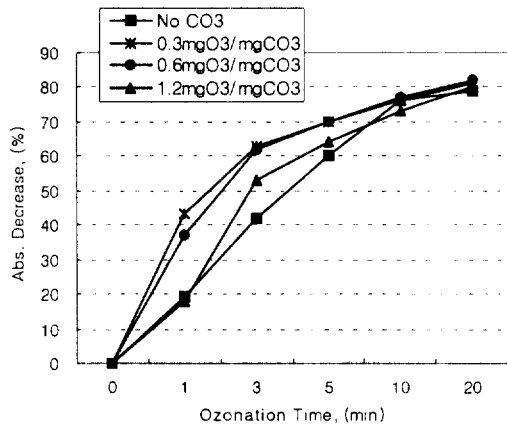


Fig. 6. Variation of absorbance with ozonation time after addition of carbonate ion.

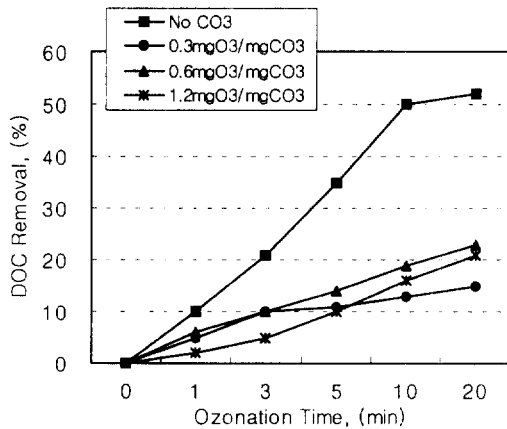


Fig. 7. Variation of DOC with ozonation time after addition of carbonate ion.

시간에서는 탄산이온의 첨가로 ·OH의 생성을 억제한 시료에서의 흡광도 감소율이 탄산이온을 첨가하지 않은 시료에 비해 오히려 약 10~20% 증가하였다. 시료 용액에서의 ·OH의 생성 억제는 곧 ·OH에 의한 분자오존의 소모반응의 감소를 의미하므로, 이러한 결과는 흡광도 유발물질의 제거가 ·OH과의 반응보다는 분자오존과의 직접반응에 의존함을 제시한다.

Fig. 7에 라디칼 스캐빈저로서 탄산이온의 첨가에 따른 DOC의 변화를 나타내었다. DOC 제거율은 탄산이온의 첨가로 ·OH 생성이 억제된 시료에서 감소를 보였으며 처리시간이 증가함에 따라 감소폭도

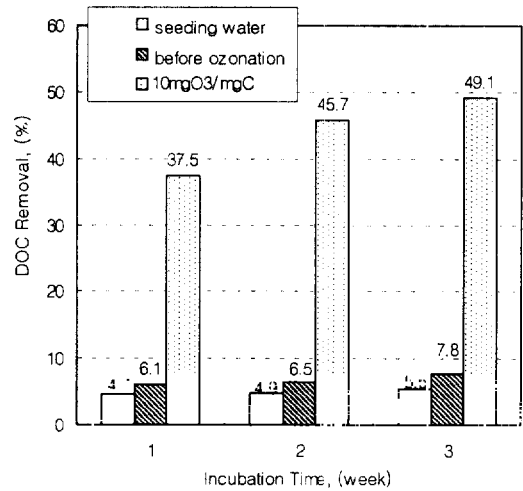


Fig. 8. Biodegradability of AHS extracted from Soyang Lake.

증가하였다. 라디칼 스캐빈저로서 탄산이온의 첨가에 따른 DOC 제거율의 감소는 Fig. 6에서 제시한 흡광도 감소율의 증가와는 반대되는 경향으로서 오존처리에 따른 흡광도의 감소가 곧 DOC의 제거를 의미하지는 않음을 나타낸다. 즉, DOC의 제거는 오존의 분해에 이어서 생성되는 ·OH 라디칼 반응에 크게 의존하고 있음을 시사하며, 흡광유발 물질의 제거는 분자오존과의 직접반응에 의해 부식질 분자 내 흡광유발 물질이 구조적 변화를 일으킴으로써 진행됨을 시사한다.<sup>15)</sup> 한편, 오존처리시간에 따른 DOC 제거율(Fig. 7)과 흡광도 감소율(Fig. 6)을 비교할 때 DOC 제거는 흡광도의 감소보다 훨씬 느리게 진행됨을 알 수 있었다.

### 3.4. 오존처리 전·후 부식질의 생분해성 변화

오존처리 전과 후의 생분해성의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 오존처리 후 부식질의 생분해성은 매우 향상되는 것으로 나타났다. 식중하역 약 3주 동안 배양한 결과 오존처리를 하지 않은 시료는 약 8%의 DOC에 해당하는 유기물만이 미생물에 의해 섭취된 반면에 오존처리를 거친 시료는 약 50%의 DOC에 해당하는 유기물이 미생물에 의해 제거되었다. 이러한 결과는 오존처리 후 부식질의 고분자 구조가 미생물이 섭취하기에 용이한 구조로 변환되었음을 시사한다.

### 3.5. 오존처리 전·후 부식질의 구조적 변화

오존처리 전·후의 부식질의 구조적 특성 변화를 확인하기 위하여 <sup>13</sup>C-NMR 분석을 실시하였고 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 오존처리 전(Fig. 9(a))과 오존처리 후(Fig. 9(b))에 얻어진 부식질의 <sup>13</sup>C-NMR 스펙트럼은 지방족탄소(0~105 ppm), 방향족탄소(105~165 ppm), 카르복실탄소(165~180ppm) 영역에서 넓은 피크모양을 보였다.<sup>12)</sup> <sup>13</sup>C-NMR 스펙트럼의 피크세기의 정량을 통하여 부식질 분자의 구조적 특성 변화에 대한 정량적인 정보를 얻었고 그 결과를 Table 2에 제시하였다. 오존처리 후 부식질내 방향족화합물의 함량은 49%에서 17%로 감소되었다. 반면에 지방족화합물은 오존처리 전

(34%)에 비하여 51%로 증가하였다. 부식질내 산성작용기에 해당하는 카르복실화합물 역시 오존처리 전(17%)에 비하여 32%로 증가하였다. 이러한 결과는 오존처리에 의하여 고분자량의 부식질이 산화, 분해됨으로써 알데히드, 카르복실산 등이 풍부하며 생물학적인 분해가 용이한 지방족 탄소가 풍부한 구조로 전환되었음을 나타낸다.<sup>15,16)</sup>

## 4. 결 론

본 연구에서는 용존 유기물질의 대표격인 부식질의 오존처리 특성을 검토하기 위하여, 소양호에서 추출한 수중 부식질을 대상으로 최적의 오존처리 조건을 설정하였으며 오존처리에 따른 흡광도 감소율과 DOC 제거율의 조사를 통하여 부식질과 오존의 주요 반응형태를 살펴보았다. 또한 오존처리 전과 후의 부식질의 구조적인 변화를 밝혔고, 오존처리 후의 생분해성 변화에 대한 결과와의 관련성을 언급하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 소양호의 DOC 농도분포는 1~3 mg/L이며, AHS의 농도는 0.2~0.8 mg/L로 DOC 농도의 약 20~30%이었다. AHS 중 HA는 약 15~25%, FA는 약 75~85%로 구성되는 것으로 나타났다.
- 2) 시료의 pH를 변화시키면서 오존처리를 한 결과 pH 7~10 범위에서 높은 DOC 및 흡광도 감소율을 보였으며 특히, 완충 pH 9에서 가장 좋은 제거효율을 보였다.
- 3) 라디칼 스케빈저로써 첨가한 탄산이온에 의한 오존처리의 실험결과 라디칼 반응이 억제될 경우 흡광유발 물질의 제거가 평균 10~20% 향상되는 반면, DOC의 제거는 약 30% 이상이

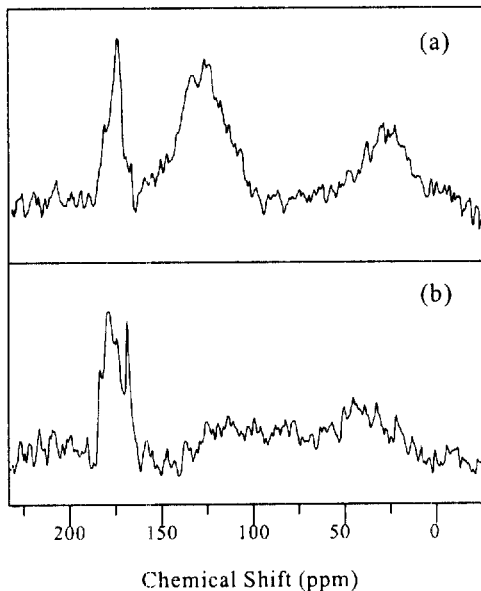


Fig. 9. <sup>13</sup>C-NMR spectra of AHS extracted from Soyang Lake (a) unozonized AHS, (b) ozonized AHS.

Table 2. The relative intensities of various carbons in the AHS determined by <sup>13</sup>C NMR spectroscopy

AHS	<i>C</i> <sub>aliphatic</sub>	<i>C</i> <sub>aromatic</sub>	<i>C</i> <sub>carboxyl</sub>	<i>C</i> <sub>aromatic</sub>
	(0~90 ppm)	(110~160 ppm)	(160~190 ppm)	<i>C</i> <sub>aliphatic</sub>
Unozonized	34 ± 3	49 ± 4	17 ± 1	1.44
Ozonized	51 ± 5	17 ± 2	32 ± 3	0.33

\* The values were measured with an area meter using a video screen and normalized at 100%

감소하였다. 이러한 결과는 흡광유발 물질의 제거는 분자오존과의 반응에 의존하며 DOC 제거는 라디칼 반응에 의존하는 경향이 있음을 시사한다.

- 4) 부식질의 오존처리 전·후 생분해성 실험 결과 오존처리하지 않은 시료는 생분해성이 매우 작은 반면(DOC 제거율 < 5%), 오존처리를 거친 시료는 DOC의 약 50% 이상이 미생물에 의해 제거되었다. 이는 부식질을 오존처리 함으로서 고분자성 부식질분자가 미생물이 섭취하기에 용이한 저분자 구조로 산화·분해되었음을 시사한다.
- 5)  $^{13}\text{C}$ -NMR 분석결과 오존처리 후 부식질 분자 내 방향족화합물의 함량은 49%에서 17%로 감소된 반면, 지방족화합물 및 카르복실화합물은 오존처리 전 각각 34%, 17%에서 오존처리 후 51% 및 32%로 증가하였다.

## 사 사

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설 연구소과제(과제번호: 0897082-1-2)연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. Aiken G. R., Mcknight D. M., Wershaw, R. L. and MacCarthy P., Humic substances in soil, sediment, and water, John Wiley & Sons, New York, pp. 1~303 (1985).
2. Buffle J., Complexation reactions in aqueous systems: An analytical approach, Ellis Horwood Limited, Chichester, pp. 90~144(1988).
3. Boyce S. D. and Hornig J. F., "Reaction pathways of trihalomethane formation from the halogenation of dihydroxyaromatic model compounds for humic acid," *Environ. Sci. Technol.*, **17**(4), 202~211 (1983).
4. Killops S. D., "Volatile ozonation products of aqueous humic material," *Water Res.*, **20**(2), 153~156(1986).
5. 강준원, "오존, 과산화수소, UV를 이용한 고급 산화처리 공정의 kinetic에 관한 연구," *대한환경공학회지*, **15**(2), 501~510(1993).
6. 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. & Eng.*, **9**(4), 335~352(1987).
7. Arai H., Arai M. and Sakuramoto A., "Exhaustive degradation of humic acid in water by simultaneous application of radiation and ozone," *Water Res.*, **20**(7), 885~891(1986).
8. Nakamuro K., Ueno H., Nakao M. and Sayto Y., "Formation of Hydrogen Peroxide by Aqueous Ozonation of Humic Acid and Aromatic hydrocarbons," *Chemosphere*, **20**(5), 525~531(1990).
9. Gilbert E., "Biodegradability of Ozonation Products as a Function of COD and DOC Elimination by the Example of Humic Acids," *Wat. Res.*, **22**(1), 123~126(1988).
10. Dagnault, S. A., Noot, D. K., Williams, D. T., Huck, P. M., "A Review of the Use of XAD Resins to Concentrate Organic Compounds in Water," *Water Res.*, **22**(7), 803~813(1988).
11. Thurman E. M. and Malcolm R. L., "Preparative isolation of aquatic humic substances," *Environ. Sci. Technol.*, **15**(4), 463~466(1981).
12. Preston C. M., NMR of humic substances and coal, Wershaw R. L., Mikita M. A. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, ML., USA, pp. 3~10(1987).
13. 안복엽, 소양호에서 추출한 수중 부식질 (AHS)의 오존처리 특성, 강원대학교 석사학위논문.



pp. 21~22(1999).

14. Brunet P., Bourbigot, M. M. and Dore M., "Oxidation of organic compounds through in the combination ozone-hydrogen peroxide." *Ozone Sci. & Eng.*, **6**, 163~183 (1985).
15. Killops S. D., "Volatile ozonation products of aqueous humic material." *Water Res.*, **20**(2), 153~165(1986).
16. Glaze W. H., Koga M. and Cancilla D., "Ozonation byproducts. 2. Improvement of an aqueous-phase derivatization method for the detection of formaldehyde and other carbonyl compounds formed by the ozonation of drinking water." *Environ. Sci. Technol.*, **23**(7), 838~847(1989).