

오존 주입율에 따른 골프장 연못물의 수질개선

이 용 두 · 김 창 영*

제주대학교 환경공학과, *제주산업정보대학 환경공학과

Water Quality Improvement of Golf Course Ponds by Ozone Dose

Yong-Doo Lee and Chang-Young Kim*

Department of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

**Department of Environmental Engineering, Cheju College of Technology, Cheju-do 690-714, Korea*

Ozone is a relatively new water quality management tool in the green industry and a powerful oxidizer and sterilizer. This study was conducted to investigate water quality improvement by ozone dose.

The results obtained are summarized as follows :

1. SS dropped 58% in Lab test and decreased 77% of SS field study.
2. The removal efficiency of chlorophyll-a is about 90% at 50mg/ℓ of ozone dose.
3. Improvement transparency is increased about 18cm(or degree) with 10mg/ℓ ozone delivery in Lab test. But improvement of transparency is increased 50cm after 30 days of ozone in full scale test.
4. TOC removal rate was 80% in Lab test with 0.25g/l/hr ozonization during 150min.

Key words : Ozone (Dose), golf course ponds, water quality, improvement

서 론

수요에 대응하여 골프장이 급속히 증가하고 있고 이러한 골프장에는 수자원 확보와 경관미의 개선 및 해저드(Hazard)로서의 역할 때문에 인공연못(pond)을 다양하게 사용하고 있다. 이러한 연못에는 클럽하우스의 오수 및 코스에 살포한 비료, 농약 등의 유입으로 안정적인 수질관리가 어려운 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 국내 골프장의 경우, 여러 가지 방법들을 동원하여 수질관리를 하고 있으나 이론적 이해와 지식의 부족으로 거의 방치하거나 경험에 의한 기초적인 관리만 이루어지고

있다.

그러므로 골프코스 관리의 중요한 영역인 골프장 Ponds관리를 위해 보다 전문적이고 지속적인 관리를 수행해야 하며 대중 스포츠화에 따른 친수 공간으로서의 기능과 자연을 이용하는 경기라는 특성에 맞게 환경에 피해가 적은 친 환경적 개념을 기본으로 해야 할 것이다.

한편, 제주도의 경우는 수자원의 대부분을 지하수에 의존하고 있는데, 지하수의 함양지역에서 골프장의 개발이 이루어지고 있는바, 골프장의 배출수는 상호 연결된 Ponds로 순환시키면서 조경용수 및 관개용수 등으로 이용되나 강우시 혹은 불가피하게 조정지에서 인근 수계로 배출되는 경우 함유된 농약 및 유기물의 배출은 지하수에 위협을 줄

수 있다.

오존은 이러한 상황에서 강력한 산화제이며 살균제이고, 물리·화학적 처리에 비해 보다 관리가 쉽고 용이해서 21세기의 수질 관리문제를 해결하기 위한 방법으로 주목받고 있다.

1893년 네덜란드에서 실시한 최초의 오존처리 목적은 살균이었지만, 현재에는 살균뿐만이 아니라 유기물질제거, 탈취, 조류제거 등에 이용되고 있다.

본 연구에서는 오존주입량의 변화에 따른 조류제거, SS제거 및 TOC변화 특성 파악을 위한 실내실험과 현장에서 오존처리를 행한 경우의 처리특성을 비교하여 골프장 연못물의 수질개선 특성을 파악하는 데 그 목적을 두고 연구를 수행하였다.

실험장치 및 방법

실내실험

실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 실험장치에 사용된 반응조는 투명 아크릴판을 사용하여 내경 19.5cm, 높이 100cm로 제작하였다. Ozone 발생기는 주입량이 5g/hr이다.

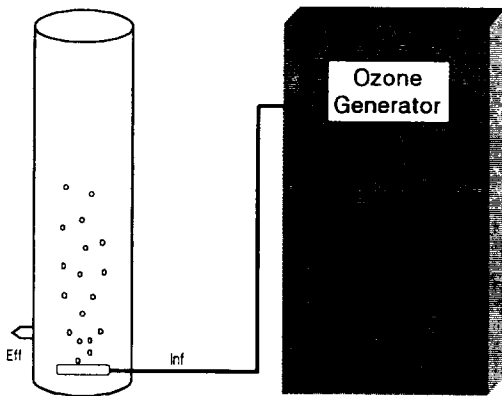


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

실험방법

실험에 사용된 원수는 골프장 Pond의 물이고, 모

든 실험은 회분식으로 수행되었다. 반응조에 20ℓ의 물을 채워서 오존주입량의 변화에 따라 반응기의 하부에 설치된 산기관을 통하여 오존을 공급하면서 실시하였다. 실험방법은 SS, chlorophyll-a, T-P, 대장균군은 수질오염공정시험법에 의거 분석하였고, 투시도는 일본 하수시험방법에 따라 분석하였다. 그리고 TOC는 TOC Analyzer (TOC-180, TEKMAR-DOHRMANN)로 행하였으며, pH는 pH meter를 사용했으며, 잔류오존농도는 Standard Method에 의한 Indigo법에 따라 분석하였다.

현장실험

실험재료

제주도의 D골프장 pond에 농약을 직접 살포한 후 수로를 통한 외부로부터의 유입수를 차단하고 정기적으로 채수하여 분석하였다.

pond A의 경우 수심 1.55m, 담수량은 6180m³이며, pond B의 경우 수심 2m, 담수량은 6000m³이며, 농약을 살포하여 분수로써 48시간 혼합시켰다. 시료 채취시 각 pond에 대표지점 5곳을 선정하여 채취하였고 각각 분석하여 평균하여 계산하였다.

시료채취는 5월 6일 농약 살포 후 충분히 혼합된 48시간 이후인 5월 8일 시작하여, 6월 10일에 종료하였다.

한편, 오존주입기는 pond A에 설치하여 실험 기간 중 지속적으로 공급하였다. 주입률은 0.1049mg/L/day 정도로 실시하였다.

분석방법

주요수질항목은 호수의 영양상태를 평가하는 항목과 경관미에 관련이 있는 SS, T-P, chlorophyll-a, 투시도를 선정하였고, SS, T-P, chlorophyll-a는 수질오염공정시험법에 의거 분석하였고, 투시도는 일본 하수시험방법에 따라 분석하였다.

결과 및 고찰

실내실험

오존 주입량과 SS(부유물질)의 변화

오존은 유기물질을 분해해서 분자량을 감소시키고, 입자간의 입체 장애를 없애서 입자간 결합하기 쉽게 한다. 그리고, 불안정상태에 있는 수중의 유기물질을 일부 중합하고, 유기물질 자신이 물에서 석출, 혹은 입자에 흡착해서 입자간의 가교 역할을 하게 되며, 또 오존은 유기물질과 철(III), 마그네슘(II)과의 결합을 절단하고 무기염 응집제를 만든다(Reckhow, 1986). 이로 인해서 오존에 의한 응집효과의 향상이 이루어져 현탁물질이 제거되어 진다. 그리고 오존처리의 2차적인 효과는 현탁질(clay turbidity)의 응집·침전에 기여하는 것으로 알려져 있다(森岡, 1994). Fig. 2를 보면, SS의 초기농도는 26.75mg/L정도이나 오존처리를 행한 경우 오존 주입량이 30mg/L일 경우 10.5mg/L로 약 60%까지 제거되었다.

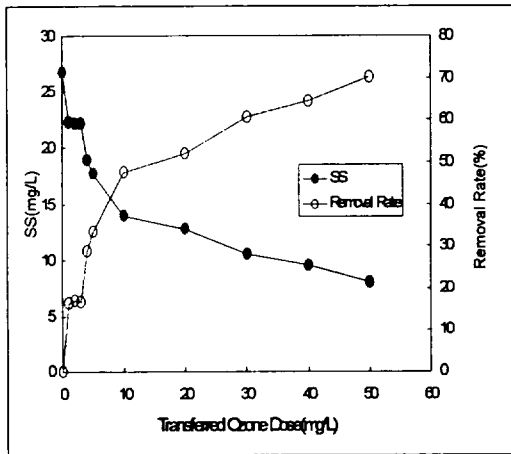


Fig. 2. Variation of SS with ozone dose.

오존 주입량이 30mg/L를 넘었을 경우에는 SS의 제거율은 조금씩 증가하였다.

오존 주입량과 chl-a의 변화

조류에 함유되어있는 chlorophyll은 4종(chlorophyll a, b, c, d)정도 알려져 있고, 그 중 chlorophyll a는 모든 조류에, b는 녹조류에, c는 규조류에, d는 와편조류 등에 함유되어 있으므로 각각의 양을 측정하는 것에 의해 식물플랑크톤의 개략적인 현존량을 파악하는 것이 가능하다(후생성,

1995). 수중에 영양염류가 유입되어 식물성플랑크톤이 대량 번식하게 되면 클로로필의 농도도 높아지게 되고 이러한 관계를 이용하여 수역의 영양단체를 파악한다. 오존은 산화 과정을 통하여 유기물을 줄이거나 제거한다. 산화과정은 박테리아에 의존하지 않고 영양분을 빠르게 분쇄한다. 영양분 및 기타 고체 물질은 물기둥 속에 부유된 상태로 있으며, 산화작용은 양이온을 더함으로써 이 전하를 바꾸어 영양분을 산화시킨다(Barebo, 1998).

Fig. 3에서 원수의 chl-a 농도는 89.2mg/L이며, 오존 주입량이 50mg/L일 때 chl-a 농도는 8.2mg/L로 제거율 약90%로 효과가 크게 나타났다.

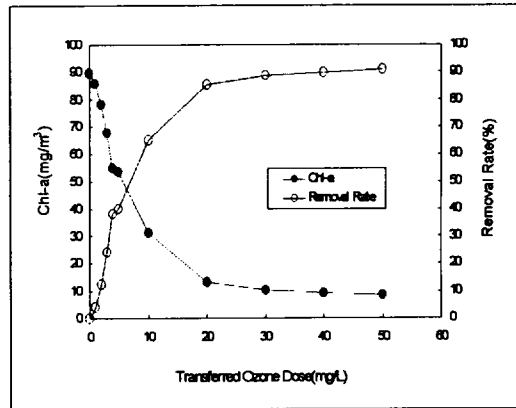


Fig. 3. Variation of chl-a with ozone dose.

오존 주입량과 투시도의 변화

투시도가 나빠지는 원인은 대개가 부유 고형물이나 식물성 플랑크톤 때문이다. 오존은 식물성 플랑크톤인 조류를 억제하는 방식과 비슷한 방식으로 이 식물의 영양분의 근원을 제거함으로써 처리한다(星, 1995; 海賀, 1995; 尾崎, 1995).

투시도는 혼탁의 영향을 받는다. 혼탁 현상은 작은 입자들이 물 속에 부유해 있어 물이 흐르고 더러운 모양이 되게 하는 것이다. 이러한 "콜로이드성"의 입자들은 그 표면이 전하를 띠고 있어 입자가 부유해 있도록 하는 것이다. 오존은 이 표면 전하를 중화시켜 입자들을 응집하도록 한다. 즉 침전시키는 것이다. 진흙도 혼탁을 가져오는 혼탁 물질 중의 하나이다(森岡, 1995; 内海, 1995; 大石, 1995;

淺見, 1995).

Fig. 4는 투시도의 실험결과를 보여 주고 있다. Fig. 4에서 보듯이 초기값이 12.5cm에서 오존 주입량이 10mg/L인 경우에는 17.83cm까지 상승되고 있다. 이것은 조류 및 SS의 제거와 크게 상관성을 가진다.

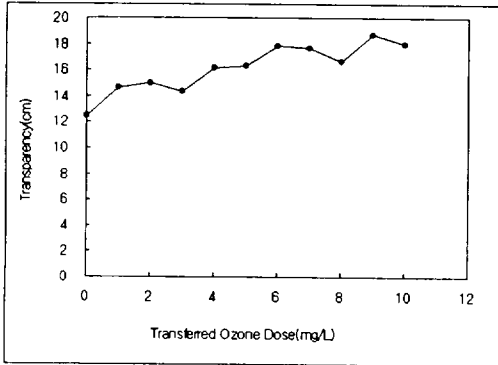


Fig. 4. Variation of Transparency with ozone dose.

오존 주입량과 pH의 변화

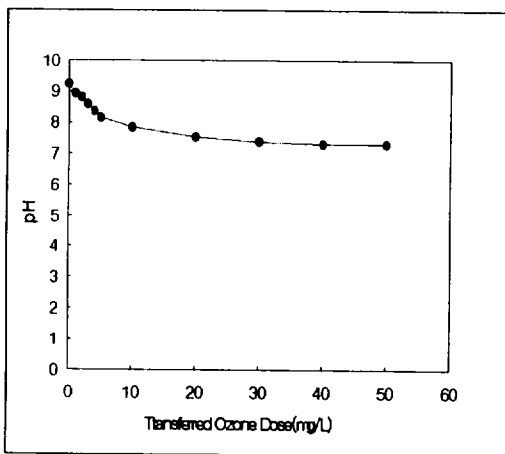


Fig. 5. Variation of pH with ozone dose.

조류가 있는 물속에는 조류의 광합성작용에 의해 이산화탄소가 소비되므로 pH는 9~10정도로 나타난다(곽, 1998). 본 실험에서 원수의 pH는 9.1이다. 여기에 오존처리를 하면 조류의 제거에 의해 pH가 감소하는 것이다. Fig. 5에서 보듯이 오존 주입량의 증가에 따라 pH는 감소하다가, 오존 주입량이 10mg/L

이상부터는 pH가 7에 가까워지고 있다. 그리고 더 이상의 오존 주입량 증가에 따른 변화도 볼 수 없다.

Ozone은 pH값에 직접 영향을 미치지 않지만, 식물성 플랑크톤이 pH를 높이기 때문에 식물성 플랑크톤의 감소와 함께 pH는 중성에 가깝게 된 것이라 판단된다(小阪과 門脇, 1995).

오존 주입량과 TOC의 변화

오존 주입을 하면, 생분해성 유기물이 제거 되고, 생물 난분해성 유기물인 경우는 일부가 오존 산화를 받아서 생물 분해성이 높은 친수성 성분으로 분해 된다고 한다.

오존 주입율을 0.25g/l/hr로 했다. Fig. 6에서 보듯이 TOC값은 반응시간이 증가에 따라 서서히 감소하다가 오존처리 시간이 60분인 경우 22mg/L에서 120분일 때 13.4mg/L로 급격히 떨어지고 있다. TOC의 제거율은 오존 주입 시간이 150분인 경우 약 80%의 제거율을 보이고 있다.

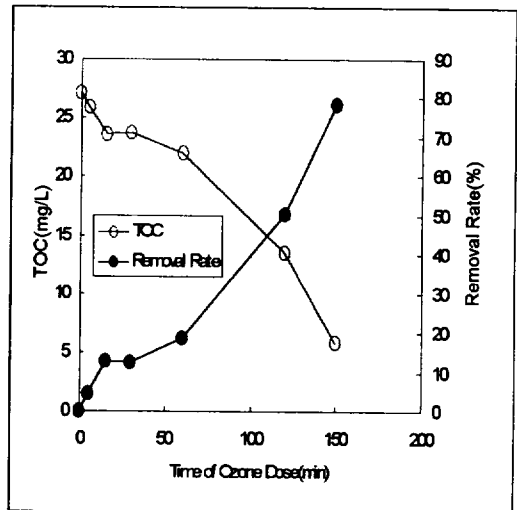


Fig. 6. Variation of TOC with ozone dose.

대장균군의 오존에 대한 감수성

미생물이 소독 등에 의해 활성을 잃는 것을 부활화라 하며, 병원성 미생물인 경우 사람에게 감염시키지 못하는 것을 의미한다. 병원미생물이 소독제에 대하여 부활화 되는 정도를 감수성이라 하며,

감수성이 높다는 것은 부활화 되기 쉽다는 것이다. 오존에 의한 세균의 부활화는 그 강한 산화력에 의해 세균의 세포벽을 직접 파괴시키는 것에 의해 알 수 있다. 오존은 강력한 산화제이고 또한 살균제이며 주입량이 많으면 박테리아, 바이러스성 병원균, Cyst 등을 죽인다(大垣, 1995).

대장균군수를 오존 주입량에 따라 최적화수법(MPN법)을 사용해서 측정한 결과 Fig. 7과 같다. Fig. 7을 보면 원수의 값은 5000MPN/100mL로 나왔다. 오존 주입량을 5mg/L로 한 경우 Ct 값이 0.23으로 170MPN/100mL로 나와 약 97%의 제거율을 보이고 있다.

따라서 대장균군은 Ozone 주입에 의해 거의 대부분이 제거되어지는 것으로 보여진다.

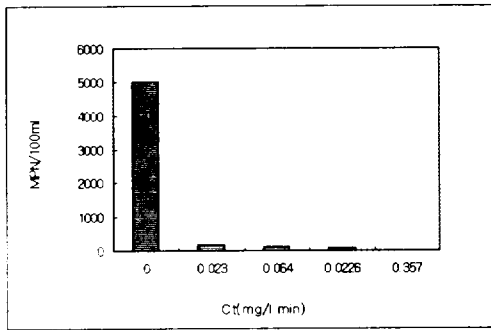


Fig. 7. Variation of E.coil group with ozone dose.

잔류 오존 농도의 변화

Fig. 8은 오존 주입량에 따른 잔류오존 농도를 측정된 결과이다. 잔류 오존 농도의 측정은 오존 주입량이 부족하여 처리 효과가 저하되거나 과잉으로 인한 오존의 제조에 필요한 경제적 손실 즉, 오존 주입량을 제어하기 위함이다(Yuta, 1994).

Fig. 8을 보면 오존 주입량이 증가하면서 잔류 오존 농도도 계속 증가하다가 오존 주입량이 20mg/L 이후에는 잔류오존 농도가 일정 해지고 있는데 이것은 오존의 포화범위를 벗어났기 때문이라 판단된다.

현장실험

오존처리와 SS(부유물질)의 변화

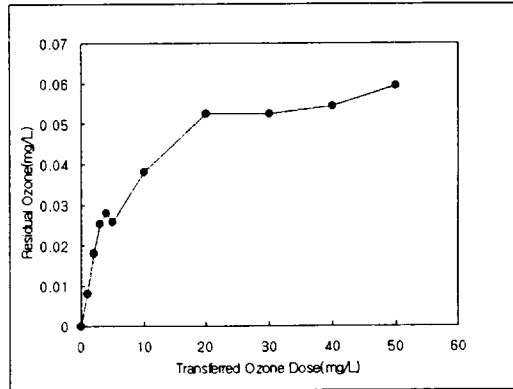


Fig. 8. Variation of residual ozone with ozone dose.

Fig. 9에 나타난 바와 같이 부유물질의 초기농도는 8.75~10.5mg/L정도이나 오존처리를 행한 경우는 약 80% 제거되었다. 실험 개시일 7일후 pond B에서의 급격한 상승은 집중적인 강우에 의한 영향으로 판단되며 일주일정도 지나 회복이 되는 현상을 나타내며, pond A에서는 지속적인 오존처리로 영양염류의 유입과 토사의 유입에도 불구하고 약간의 상승만 있을 뿐이다. 한편 급격한 상승의 요인 중에 시료 채취시 미세 토사의 유입도 가능성이 있다. 그러나 전체적인 경향은 오존처리를 행함으로써 강우시에도 안정적이며 회복이 빠르고 조류의 억제효과에 따른 낮은 SS 농도를 지속적으로 유지하는 것이 가능하다고 판단된다.

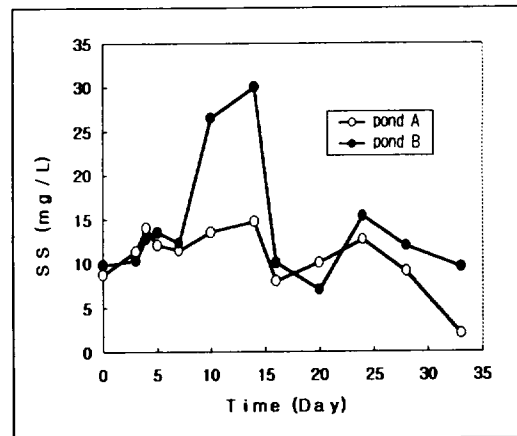


Fig. 9. Variation of SS at pond A with ozonization and pond B without ozonization.

오존처리와 chl-a의 변화

Fig. 10은 오존 처리시 및 미처리시의 chl-a농도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 chl-a의 농도는 오존 주입후 10일경 초기치 보다 매우 높게 나타났는데 이는 물리적인 혼합현상과 강우로 인한 영양염류의 유입이 주된 원인이며 시료 채취시 수 표면의 물을 채취하였으므로 고농도의 부유하는 조류를 측정한 결과이므로 다소 높게 나타난 결과라고 판단된다.

따라서 오존주입 후 30일 경부터 그 효과가 탁월하며 지속적으로 처리를 행할 경우 조류의 발생은 억제 가능하리라 판단된다.

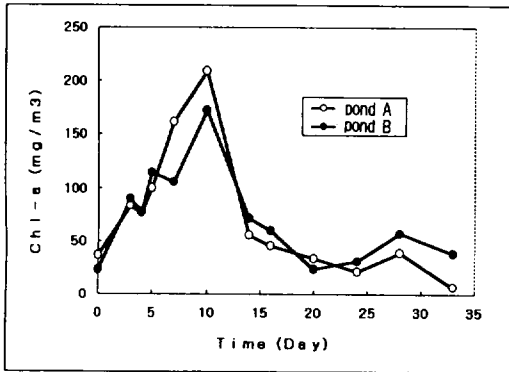


Fig. 10. Variation of chl-a at pond A with ozonization and pond B without ozonization.

오존처리와 투시도의 변화

실험결과 Fig. 11에서 보듯이 오존처리 후 15일이 지난 시점부터 투시도의 개선이 현저하게 나타났으며, 30일 경과후에는 50cm까지 증가하였다. 이는 투시도가 조류 및 SS의 제거와 크게 상관성을 가졌기 때문으로 판단된다.

오존처리와 T-P의 변화

Fig. 12는 각 연못의 T-P 농도 변화를 나타내고 있다.

Forsberg과 Ryding에 의하면 T-P농도가 대략 25-100mg/m³ 정도에서 부영양과 과영양 상태를 나타낸다고 한다. 이에 따르면 오존처리 이전의 pond A와 pond B는 각각 부영양과 과영양 상태를 나타내

고 있다. 오존 주입후 20일 이후부터 그 효과가 크게 나타나기 시작했다. 지속적인 오존처리로 인의 분해는 가능하며 제한인자를 제거함으로써 부영양화는 방지할 수 있다고 판단된다.

T-P의 저감효율은 84%정도로 나타나고 있다.

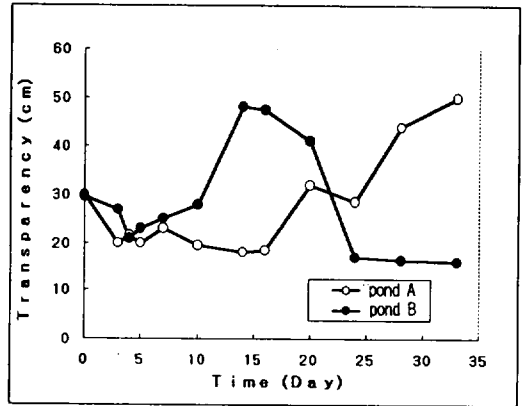


Fig. 11. Variation of Transparency at pond A with ozonization and pond B without ozonization.

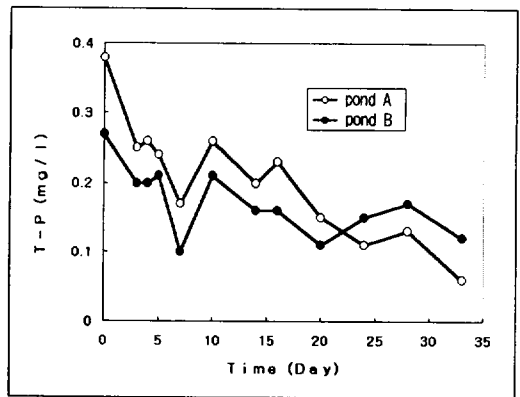


Fig. 12. Variation of T-P at pond A with ozonization and pond B without ozonization.

결론

골프장 Ponds의 경관미를 개선하고, 유기물질의 저감을 위해 오존처리를 한 실험 결과는 다음과

같다.

실내실험에서는 원수의 chl-a 농도가 오존 주입량이 50mg/L 일 때 클로로필a 농도가 89.2 mg/L에서 8.2mg/L로 제거율이 약 90%의 효과를 보인다. 그리고 현장실험에서는 오존주입 후 30일 경과부터 효과가 탁월하게 나타나고 있다.

실내실험에서의 SS의 초기농도는 26.75mg/L 정도이나 오존처리를 행한 경우 오존 주입량이 50mg/L일 경우 10.5mg/L로 약 60%의 제거율을 나타냈고, 현장실험에서는 약 80%의 오존처리에 의한 저감효과를 보이고 있다.

투시도의 개선은 실내실험에서는 오존 주입량이 10mg/L 일 때 12.5cm에서 17.8cm로의 변화를 보이고 있고, 현장실험에서는 30cm에서 50cm로의 개선을 보이고 있다.

실내실험에서의 TOC의 경우, 오존주입을 150분 행하였을 경우 원수의 TOC 27mg/l에서 5.8mg/l로 약 80%의 저감효과를 보이고 있다.

현장실험에서의 T-P의 저감효율은 84% 정도로 나타나고 있다.

참고문헌

- 강준원, 1994. 고급산화법(AOP)의 수처리 응용. 첨단환경기술, 1, 6~7.
- 곽종운, 1998. 무기응집제의 특성과 수처리 응용. 첨단환경기술, 9, 80~84.
- 후생성 생활위생국 수도권환경부 감수, 1995. 상수시험방법. 일본수도협회.
- 內山廣, 1993. 오존による懸濁物質の凝集. 水處理技術, 34(1), 25~33.
- 內海英雄, 市川和洋, 韓相國, 1995. 라지칼による反應機構. 水道協會雜誌, 64(10), 41~43.
- 大垣眞一郎, 1995. 오존による消毒. 水道協會雜誌, 64(10), 14~17.
- 大石克則, 1995. 오존處理における有機副生成物. 水道協會雜誌, 64(10), 43~45.
- 山田春美, 1995. 副生成物とTHMFPの舉動. 水道協會雜誌, 64(10), 19~26.
- 森岡崇行, 1995. 오존による反應の機序. 水道協會雜誌, 64(10), 38~40.
- 小阪教由, 門脇文俊, 1995. 오존による水淨化試驗報告. 東急車輛技報, No. 45, 17~30.
- 安武重雄, 1994. 폐수처리시 오존의 이용. 첨단환경기술, 1, 49~55.
- 杉光英俊, 1998. 快適な水環境の創造おけ오존の利用. 水環境學會誌, 21(3), 2~8.
- 須藤隆一, 1992. 環境淨化를 위한 微生物學. 일진사
- 中山繁樹, 1995. 오존發生の原理と오존發生機. 水道協會雜誌, 64(10), 7~9.
- 淺見眞理, 相澤貴子, 眞柄泰基, 1995. 오존處理による無機復生成物. 水道協會雜誌, 64(10), 45~47.
- Barebo, C., 1998. Water quality management for golf course lakes and ponds using ozone. 한국토양환경학회지, 2, 113~114.
- Reckhow, D.A., Singer, P.C., Trussell, R.R., 1986. AWWA Ann. Conf.
- Etsuo, N., 1994. 오존의 특성에 대하여, 오존의 특성에 대하여. 첨단환경기술, 1, 33~36.
- Yuta, M., 1994. 用水에서의 오존응용. 첨단환경기술, 1, 37~48.