

유전체 장벽 방전에 의한 오존발생기의 오존생성 및 하수 수질개선 특성

(The Characteristics of Ozonizer using Dielectric Barrier Discharge and Water Quality Improvement)

이창호·이상호·우성훈****·김종현*·송현직**·이상근***·이광식

(Chang-Ho Lee·Ho-Sang Lee·Sugn-Hun Woo·Jong-Hyun Kim·Hyun-Jig Song·Sang-keun Lee·Kwang-Sik Lee)

영남대학교, 대구광역시청*, 영남이공대학**, (주)아쿠스***, 경운대****

요약

본 연구에서는 Air 및 Oxygen을 원료가스 사용하여 원통형 오존발생기의 오존생성농도를 측정하여 오존발생량 및 오존생성 수율을 계산하였다. 오존발생기에서 발생된 오존을 오존접촉조내의 원수 30[L]에 기상 오존주입량 3[g/m³]를 투입하여 오존접촉 시간의 변화에 따른 오존접촉 실험 6일 후의 녹조 특성을 조사하였다. 오존생성특성 결과 원료가스가 Air인 경우, 최대오존생성 농도는 유량 1.0[l/min]에서 5.5[g/m³], 최대오존발생량은 유량 5.0[l/min]에서 1.0[g/h]를 얻을 수 있었고, 원료가스가 Oxygen인 경우, 최대오존생성농도는 유량 1.0[l/min]에서 51.5[g/m³], 최대오존발생량은 유량 4.0[l/min]에서 45[g/h]를 얻을 수 있었다. 오존접촉 실험 6일 후에서 원수와 오존접촉시간 1분에서 녹조 현상을 관찰할 수 있었고 나머지 오존접촉시간에 따른 오존 처리 수에서는 녹조 생성을 관찰할 수 없었다.

1. 서론

오존은 불안정한 가스로서 화학적으로 매우 활성이 높아 유기화합물, 무기화합물, 특히 유기화합물의 올레핀류 뿐만 아니라 방향족핵도 실온에서 빠르게 분해시키는 특징이 있으며 공기나 물속의 박테리아나 바이러스, 곰팡이 균, 악취를 내는 각종 유해가스 및 인체에 해로운 유기물질(술벤트류, 농약, 중금속 성분 등) 등과 화학 반응을 일으켜 분해시킨다.

소독제로 흔히 사용되는 염소를 이용할 경우 과다 투여 시 발암물질로도 알려진 클로로포름(Chloroform: 트리할로메탄의 한 종류)이라는 2차 부산물을 만들어 내지만 오존을 이용한 살균 시에는 이러한 부산물들이 발생되지 않고 사용되고 남은 오존 자체는 서서히 산소로 완전 분해되어 버리는 등 2차오염의 걱정 없이 사용할 수 있어 응용분야가 점점 넓어지고 있다. 이러한 성질을 때문에 식수나 공기의 살균, 탈취에도 탁월한 능력을 보여 여러 나라에서 정수시설과 산업용 폐수의 정수, 청정산업 분야에 많이 사용되어 지고 있다.

본 연구에서는 Air 및 Oxygen을 원료가스 사용하여 원통형 오존발생기의 오존생성농도를 측정하여 오존발생량 및 오존생성수율을 계산하였다. 그리고 D광역시 하수의 녹조 현상을 관찰하기 위하여 원료가스 Oxygen을 이용하여 오존을 발생시켰으며, 오존발생기에서 생성된 오존을 물과 접촉시키는 오존접촉조의 처리용량은 40[L]로서 하였다. 오존발생기에서 발생된 기상 오존주

입량 3[g/m³]에 오존접촉시간의 변화에 따른 오존접촉 6일 후의 녹조 특성을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림1은 오존 발생기, 원료가스 공급 장치, 전원장치, 계측장치 등으로 오존 발생장치를 구성하여 오존 발생기의 방전 특성 및 오존 생성특성을 연구하기 위한 오존발생시스템치의 개략도이다.

전원장치는 상용의 neon transformer(이하 NT, 입력전압: AC 220 [V], 입력전력: AC 150 [VA])에서 발생하는 교류전원을 사용하였으며, 이때 NT 양 출력 단자에는 동일 크기의 교류고전압이 180[°]의 위상차로 형성되면서 평판형 오존발생기의 두 전극에 각각 인가한다. 이때, 유량의 변화에 따른 방전전압, 방전전류를 고전압 분압기(2000:1), 분류기(10:1)로 측정하고, 방전전력은 digital power meter(0~500 [V], 0~30[A], 0~9999 [W], accuracy ±0.2 [%], Light Star社)를 이용하여 방전시의 전력, NT의 전력 손실, 선로손실 등을 포함한 오존발생 시스템에 소모되는 전력을 측정하였다.

본 연구에서는 유전체 장벽 방전을 이용한 원통형 오존발생기에 투입되는 원료가스인 Air 및 Oxygen 유량 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0[l/min]과 방전전력(Discharge Power)의 변화에 따른 오존생성농도(Ozone Concentration), 오존발생량(Ozone Generation) 및 오존

생성수율(Ozone Yield) 특성을 검토하였다. 하수의 녹조 현상을 관찰하기 위하여 오존주입량 3[g/h]에 대해서 오존 접촉시간(1, 2, 3, 4 및 5분)의 변화 따른 각각의 오존 처리전과 오존 처리후 시료를 4[L] 채수하여 녹조 특성을 검토하였다. 오존의 오존접촉시간을 길게 할 경우 반응조의 크기가 증가하며, 오존주입량을 늘리는 경우는 배오존에 의한 냄새 및 오존유해물질에 의한 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 수처리 시간을 단축시킬 수 있는 적합한 오존접촉시간 및 오존주입량을 선택 및 분석하였다.

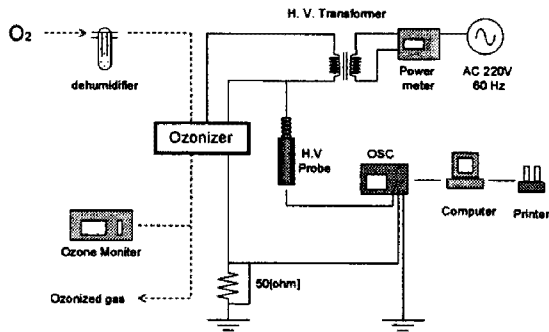


그림 1. 오존발생시스템의 개략도

그림2는 본 연구에서 사용된 오존을 이용한 하수 처리장치의 구성도로 아크릴 원통으로 제작한 오존접촉조를 사용하였으며, 접촉조의 규격은 내경 25[cm], 높이 120[cm]으로써 40[ℓ]용량의 반응조이다. 원료가스 Oxygen을 사용하여 오존을 발생시켰으며, 발생된 오존 3[g/m³]를 오존접촉조에 주입하여 하수를 처리하였다. 이때 Oxygen 유량은 오존발생기에 부착되어 있는 유량계를 이용하여 조절하였다. 또한 오존접촉조에 연결하는 tube는 오존에 의한 부식을 막기 위해 실리콘 tube를 사용하였으며, 기상·액상 접촉반응의 효율을 높이기 위해 오존접촉조 하부에 직경 21[cm]의 원형 diffuser를 설치하여 오존을 효과적으로 산기 시켰고, 시료수의 역류를 막기 위하여 역류방지 밸브를 설치하였다.

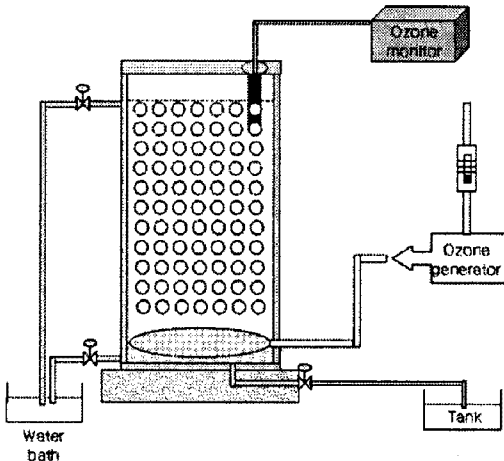


그림 2. 오존을 이용한 하수처리장치의 구성도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유전체 장벽 방전에 의한 오존 특성

그림3과 그림4는 유전체 장벽 방전을 이용한 원통형 오존발생기에 투입되는 원료가스가 Air 및 Oxygen일 때, 원료가스의 유량 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0[ℓ/min]을 매개변수로 한 경우에 방전전력(Discharge Power)의 변화에 따른 오존생성농도(Ozone Concentration), 오존발생량(Ozone Generation) 및 오존생성수율(Ozone Yield) 특성을 검토하였다.

오존생성 결과 원료가스가 Air인 경우, 최대 오존생성농도는 유량 1.0[ℓ/min]에서 5.5[g/m³], 최대 오존발생량은 유량 5.0[ℓ/min]에서 1.0 [g/h]를 얻을 수 있었고, 오존생성 결과 원료가스가 Oxygen인 경우, 최대 오존생성농도는 유량 1.0[ℓ/min]에서 51.5[g/m³], 최대 오존발생량은 유량 4.0[ℓ/min]에서 4.5[g/h]를 얻을 수 있었다.

그림3과 그림4에서 보는 바와 같이 동일한 방전전력에 대하여 유량이 감소할수록 오존생성농도가 상승하는 것으로 나타났다.

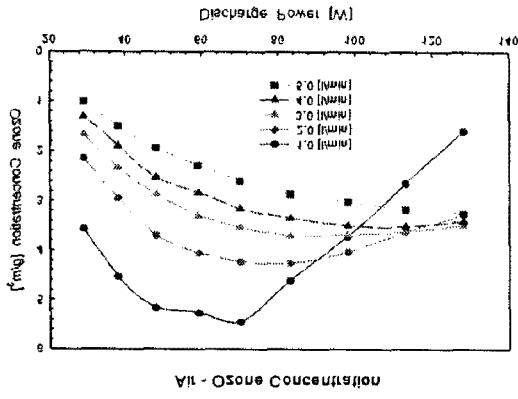
유량이 감소함에 따라서 원료가스가 방전 공간 내에 체류하는 시간이 길어지면서 유전체 장벽 방전에 의해 가속된 전자와 원료가스인 산소분자와의 충돌횟수가 증가함으로 오존을 생성하는 확률이 증대되어 오존생성농도가 증가하게 된다. 그리고 방전관에 투입되는 원료가스의 유량이 적을수록 유속이 느리게 되어 방전 공간 내부의 냉각효과 저하로 인하여 방전전력이 증가할수록 유전체에 의한 유전손실이 방전부에서 열에너지로 변환되어 온도가 증가하여 오존생성보다 해리반응이 촉진되어 오존생성농도의 저하를 가져오게 된다.

그림3과 그림4와 같이 방전전력이 증가함에 따라서 오존생성농도 및 오존발생량이 증가하였으나, 오존생성수율은 증가하다 최대값 이후 포화되어 감소함을 알 수 있었다.

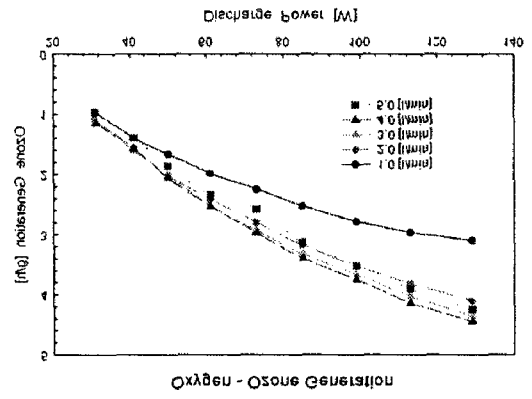
오존생성수율은 유량이 증가함에 따라 상승하는 것으로 나타나고 있다.

즉, 동일한 면적의 방전관에서 유량의 증가는 유속을 증가시키기 때문에 방전 공간 내부의 온도가 낮아짐으로 오존생성에 기여하는 여기산소원자의 발생을 위한 전자의 충돌확률이 증대되어 오존생성수율이 증가하게 된다.

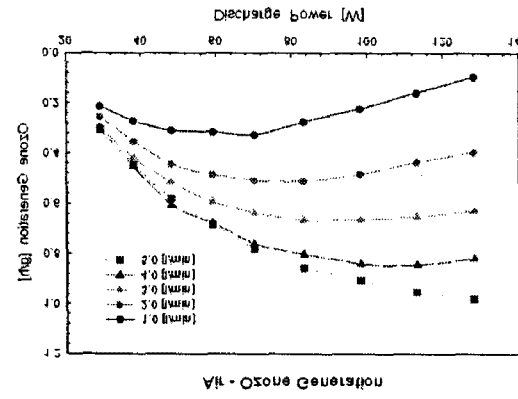
입력전력이 전원장치의 손실과 오존발생부에서 열을 발생시켜 오존의 해리작용을 활성화 시키고 입력전력의 상승에 따른 방전부 내의 온도 상승으로 오존생성 저하 및 수율이 감소하는 것으로 사료된다.



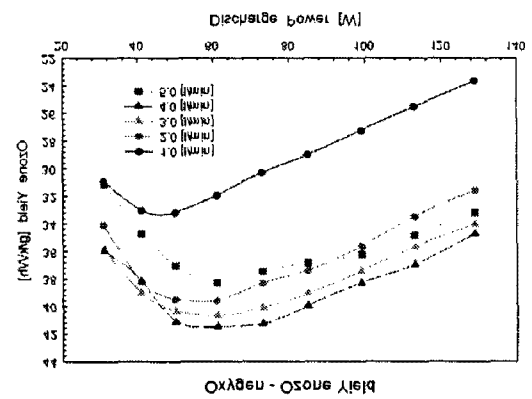
가. 오존생성농도



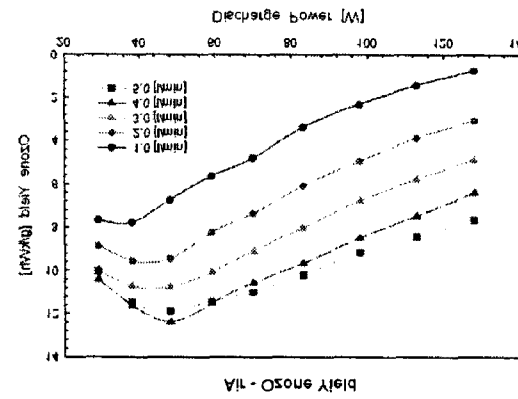
나. 오존발생량



나. 오존발생량



다. 오존생성수율



다. 오존생성수율

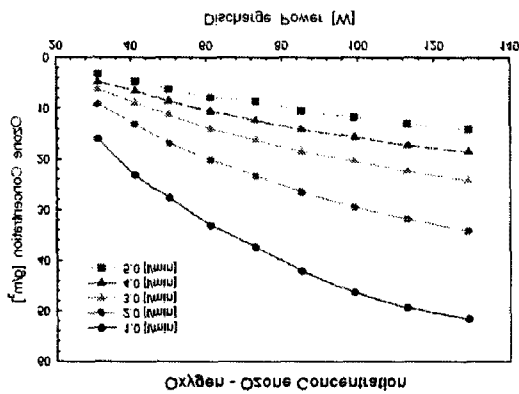
그림 4. Oxygen일 때 방전전력에 따른 오존생성 특성

그림5는 원료가스의 유량(1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0)을 매 개변수로 하였을 때, 방전전력에 따른 원료가스인 Air와 Oxygen의 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율 특성을 비교하여 나타낸 것이다.

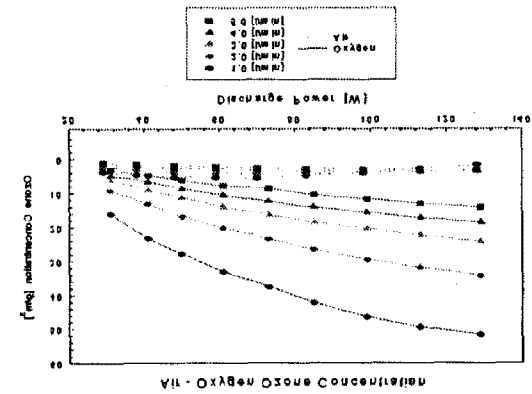
그림5에서 보는 바와 같이 동일한 유량 및 방전전력에서 원료가스가 Air 보다 Oxygen을 사용했을 때 오존 발생기의 오존생성특성이 우수함을 알 수 있다.

원료가스가 Oxygen인 경우 최대 오존생성농도는 약 9.3배 증가하였고, 최대 오존발생량은 약 47배 증가했음을 알 수 있었다.

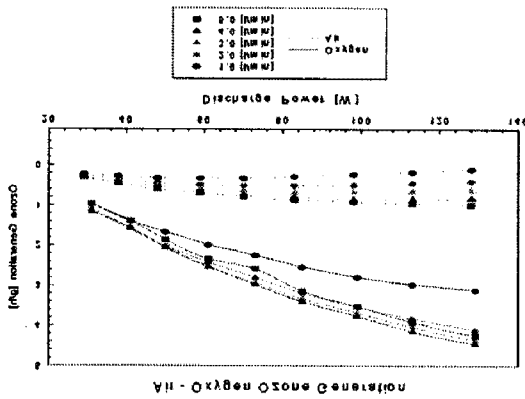
그림 3. Air일 때 방전전력에 따른 오존생성 특성



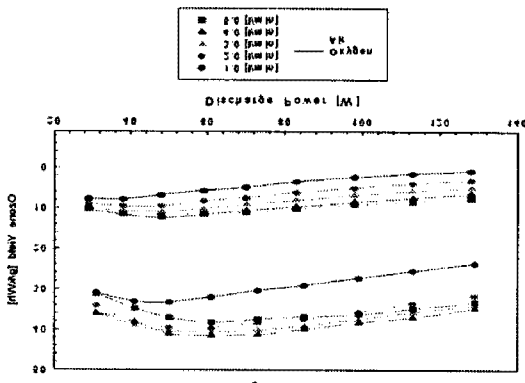
가. 오존생성농도



가. 오존생성농도



나. 오존발생량



다. 오존생성수율

그림 5. Air - Oxygen일 때, 방전전력에 따른 오존생성 특성

3.2 오존접촉시간 경과에 따른 녹조 특성

오존이 녹조 현상에 미치는 영향을 조사하기 위하여 오존처리후의 시간경과에 따른 녹조 특성을 관찰하기 위하여 D광역시의 하수 30[L]에 원료가스 Oxygen을 사용하여 발생시킨 기상 오존주입량 3[g/m³]와 오존접촉시간(1, 2, 3, 4 및 5분)의 변화에 따른 오존접촉 실험 6일 후의 녹조 특성을 사진 1에 나타내었다.

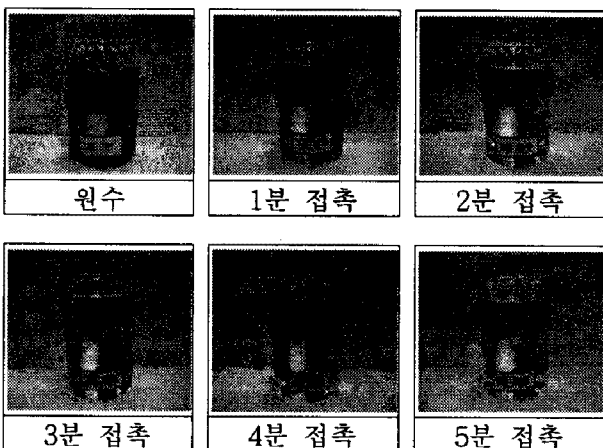


사진 1. 오존접촉시간에 따른 녹조 특성

3.1절의 결과를 토대로 오존주입량의 변화에 따른 하수의 오존처리효과를 위하여 고농도의 오존이 발생하는 산소를 원료가스로 선택하였다.

사진 1에서 보는 바와 같이 오존접촉 실험 6일 후에 원수와 오존접촉시간 1분에서 녹조 생성 변화가 일어났고, 나머지 오존접촉시간에 따른 처리수에서는 녹조 생성을 관찰할 수 없었다. 오존접촉시간에 따른 녹조 현상을 관찰한 결과 하수 원수 30[L]을 오존 처리할 경우 오존접촉시간은 3분이면 충분할 것으로 사료된다. 또한 이때 용존 오존농도는 0.8[ppm]이다.

4. 결론

본 연구에서는 Air 및 Oxygen을 원료가스 사용하여 원통형 오존발생기의 오존생성농도를 측정하여 오존발생량 및 오존생성수율을 계산하였다. 오존발생기에서 발생된 기상 오존주입량 3[g/m³]에 오존접촉시간의 변화에 따른 오존접촉 6일 후의 녹조 특성을 조사하였다.

오존발생기의 오존생성특성은 원료가스가 Air인 경우, 최대 오존생성농도는 유량 1.0[l/min]에서 5.5[g/m³], 최대 오존발생량은 유량 5.0[l/min]에서 1.0[g/h]를 얻을 수 있었고, 원료가스가 Oxygen인 경우, 최대 오존생성농도는 유량 1.0[l/min]에서 51.5[g/m³], 최대 오존발생량은 유량 4.0[l/min]에서 4.5[g/h]를 얻을 수 있었다. 오존 처리수에서 원수와 오존접촉시간 1분에서 녹조 현상을 관찰할 수 있었고 나머지 오존접촉시간에 따른 오존 처리수에서는 녹조 생성을 관찰할 수 없었다. 녹조 생성 관찰 결과 신천 유지용수를 방류해서 끝나는 시점까지를 고려하면 오존접촉시간 3분이면 충분히 녹조 생성을 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) 李 廣植, 李 東仁, "氣體放電에 의한 오존생성과 그 應用", 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會 論文集, pp.32
- (2) Byung-Joon Chun, Sang-Keun Lee, Kwang-Sik Lee, "Ozone Generation Characteristics of a Piled Plate-Type Ozonizer", KIEE International Trans. on EA, 12C, No.1, pp.33~37, 2002.
- (3) H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, "A study on the high voltage nozzle type ozonizer", Proceedings of the 11th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Vol.2, pp.320~ 323, 1995
- (4) 황순진. 1998. 경기도 인공호수의 효과적인 수질개선 방안. 경기개발연구원 연구보고서
- (5) Carlson, C. A., H. W. Ducklow and A. F. Michaels. 1994. Annual flux of dissolved organic carbon from the eutrophic zone in the northwestern Sargasso Sea. Nature 371: 405-408.