

# 복합 플라즈마 방전에 의한 폐수 중 페놀의 제거

우인성 · 김윤선 · 황명한 · 이건구 · 류부형\*

인천대학교 안전공학과 · \*동국대학교 안전공학과

## 1. 서 론

오존은 공업적으로 상·하수처리, 펄프표백, 반도체절연막 형성, 레지스트막 제거 등 수많은 분야에 이용되고 있으며, 강력한 산화력을 갖고 있으면서 자연분해 해서 산소로 돌아감으로써 잔류독성을 남기지 않기 때문에 환경문제의 근본적인 해결에 도움이 되는 물질로서 큰 주목을 받고 있다. 그러나 생산비용이 극히 높기 때문에 오존 이용이 바람직한 경우라 할지라도 입수가 용이하고 비교적 염가인 염소를 대응하는 일이 많다. 그래서 오존발생효율의 개선을 위한 여러 가지 방법으로 방전형태의 개선으로서 회전전극에 의한 방법, 무성방전과 연면방전의 중첩, 예비방전과 주방전을 중첩한 이중방전등에 의한 고농도 오존발생이 보고되고 있다. 필자 등도 연면방전 전극, 코일형 방전전극 및 연면방전과 코로나방전(Streamer)을 조합한 중첩방전전극에 의하여 분해가스로 산소와 건조공기를 유량 2 l/min로 하여 주파수 5kHz, 10kHz, 15kHz에서 방전전력에 대한 오존발생특성을 실험을 통해 보고하였고, 금년에는 유기물제거장치를 개발하여 각 유량에 따른 페놀의 분해 실험을 통해 낮은 유량에서는 98%이상의 제거율을 보였기에 보고한다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 제작한 오존발생기 시스템 및 연면·코로나 복합 반응기의 구조를 그림 1,2,3에 그리고 유기물제거 실험장치의 개략도를 그림 4에 나타낸다.

연면방전 발생용으로는 패널형 방전전극을 코로나방전발생용으로는 침상전극을 1줄 당 21개를 3줄로 매립한 어레이전극을 사용했다. 양전극은 20mm의 간격으로 방전면을 마주보도록 배치되어있다. 방전용 전원으로는 고주파 가변 주파수전원(5~15kHz) 및 직류고전압전원을 사용했다.

또한 직류전원과 코로나전극사이에 스파크를 방지하기 위해 10M $\Omega$ 의 저항을 직렬로 연결했다. 여기서 생성된 오존을 이용하여 그림4에 나타내는 유기물제거 실험장치로 페놀 폐수를 처리하였는데, 우선 발생한 오존을 용량1 l의 원통형 아크릴flask에 퍼징시켜 500ml의 농도 10~100ppm 페놀용액을 처리하였다. 이때 오존은 유량은 1 l/min~10 l/min이었다. 페놀페수는 U.V를 이용하여 분석하였다

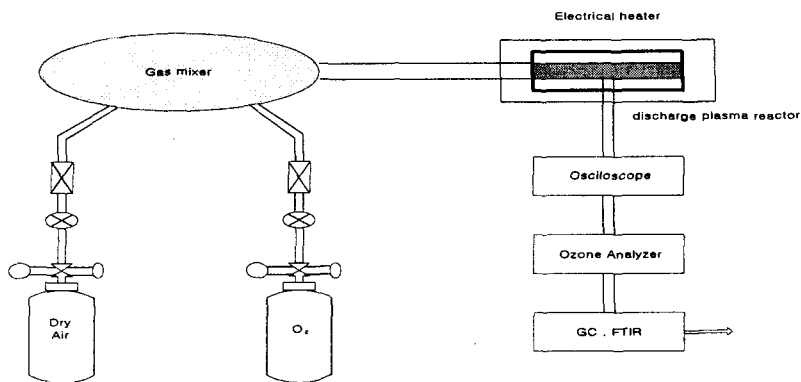
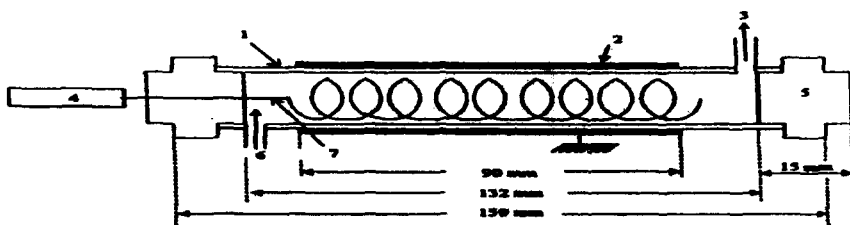


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.



1. Quartz (Di:13mm, Do:15mm)
2. Aluminum
3. Sample gas out
4. High voltage power supply
5. Teflon stopper
6. Sample gas in
7. Tungsten (0.9mm)

Fig.2. Schematic diagram of discharge plasma reactor

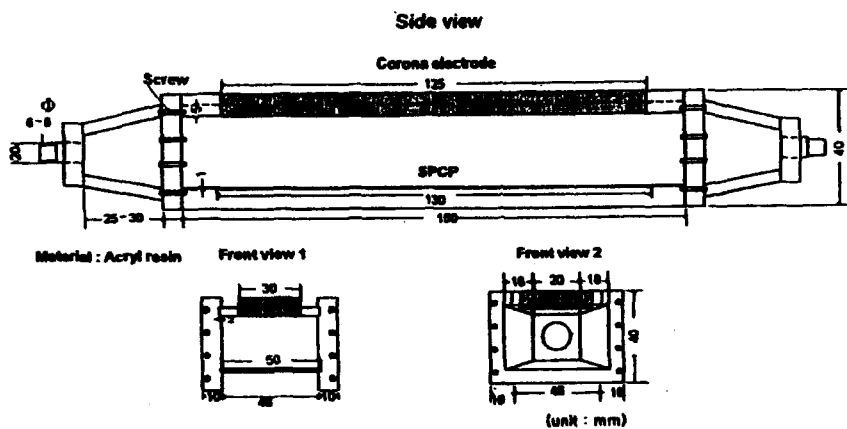


Fig.3. Structure of surface / Corona mixed reactor

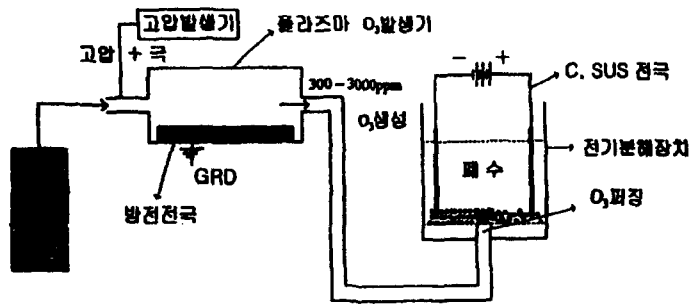


Fig.4. Schematic of Waste Water Treatment Reactor by Ozone

### 3. 결과 및 고찰

그림5는 연면방전전극을 사용하여 구동주파수 변화에 대한 오존 발생량을 나타낸 것이다. 실험은 연면방전 전압을 인가하면서 건조공기를 유량 2ℓ/min로 흘려보내고 주파수를 5kHz, 10kHz, 15kHz로 변화시켰을 때 방전 전력에 대한 오존발생량을 측정하였다. 여기서 방전전력에 대한 오존 발생량은 각 주파수에서 방전전력이 증가함에 따라 최대값을 나타내다가 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 오존의 최대 발생량은 주파수 5kHz일 때 방전전력 25W에서 2900ppm이고, 10kHz일 때 방전전력 19W에서 2800ppm을 나타내었고, 15kHz일 때 방전전력 21W에서 3100ppm의 오존이 발생하였다. 또한 방전전력이 커짐에 따라 급격히 감소하였고 방전전력 46W이상에서는 100ppm이하이었다. 이것은 오존이 열에 의하여 산소로 분해되기 때문으로 사료된다.

그림6은 구동주파수 변화에 따른 방전전압과 오존발생량을 나타낸 것이다. 여기서 주파수에 따른 방전전압과 오존농도는 5kHz일 때 7.6kV, 2900ppm이고 10kHz일 때 5.9kV, 2800ppm이며 15kHz일 때 5.5kV, 3100ppm이었고, 주파수가 클수록 방전전압이 낮아지고 오존농도도 높았다.

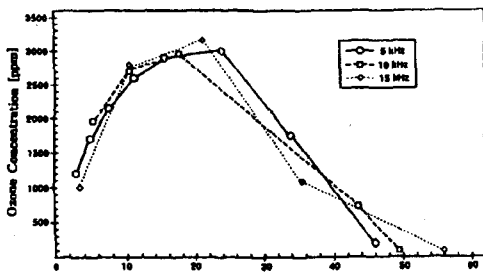


Fig.5. Effect of frequency on ozone generation (SPCP, Dry air, 2ℓ/min)

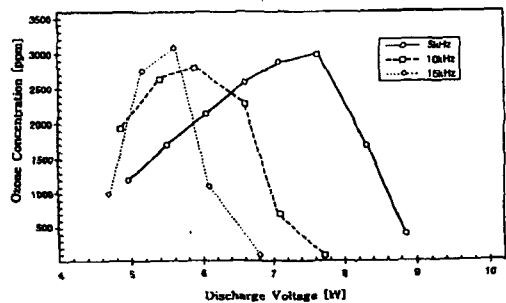


Fig.6. Effect of frequency on peak to peak discharge voltage (SPCP, Dry air, 2ℓ/min)

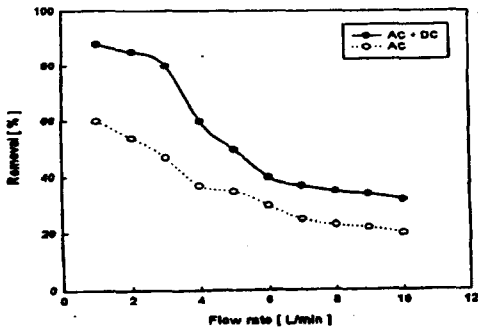


Fig. 7 Effect of flow rate on removal

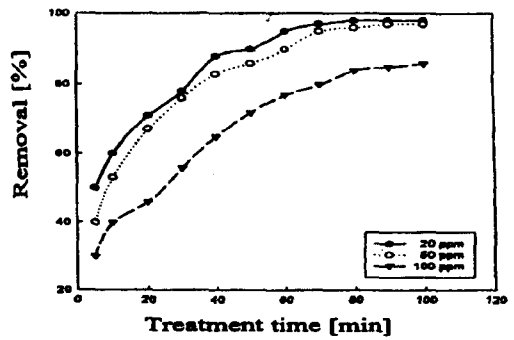


Fig. 8. Effect of initial concentration on removal

한편, 오존에 의한 수처리의 응용은 수중의 미생물의 제거와 유기화합물의 제거기술으로써 강한 비평형 플라즈마에 의하여 산소와 물분자를 분해하여 산화성이 강한 O와 OH라디칼을 발생시켜 폐수중의 오염물질과 화학반응을 일으켜서 살균작용과 분해반응을 하여 제거하는 것이다.

그림 7은 유량변화에 따른 페놀 수용액의 제거율을 나타낸 것이다. 여기서 유량이 크게 되면 오존발생량이 작아져서 페놀의 분해율은 감소하는 것을 알 수 있고, 1 l/min일 때 오존량은 8000ppm이고, 10 l/min일 때 800ppm이었다.

그림 8은 페놀수용액의 농도에 따른 제거율을 나타낸 것으로 실험조건은 유량 2 l/min이고 농도 20~50ppm의 저농도 일 때는 반응시간 100분에서 98%의 제거율을 나타내었으나 100ppm에서는 80%이었다.

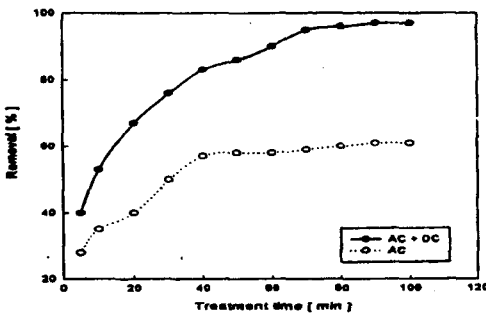


Fig. 9. Effect of discharge type on removal for phenol concentration : 50ppm

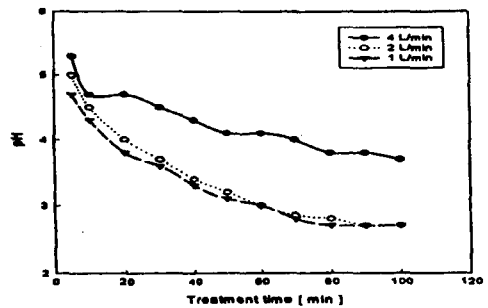


Fig. 10. Effect of pH on removal

그림 9는 방전형태에 따른 페놀의 분해율을 나타낸 것으로 AC단일방전일 때 보다 AC+DC중첩방전일때가 훨씬 높았다.

그림 10은 유량 1 l/min~4 l/min일 때 오존에 의한 페놀의 분해반응으로 얻어지는 pH변화를 나타낸 것이다. 여기서 페놀의 제거율의 증가를 나타내는 pH의 감소는 100

분동안 처리하는사이에 유량이 4 l/min인 경우 5.4에서 3.8로, 2 l/min인 경우 5에서 2.7로, 1 l/min인 경우 4.7에서 2.7로 각각 감소하였다. 이것은 OH이온이 반응에 작용하여 H<sup>+</sup>이온이 증가하는 것으로 사료된다.

그림 11은 오존에 의한 페놀 폐수의 제거실험시 얻어지는 전기전도도를 나타낸 것으로 처리시간에 따라 전기전도도는 증가하는 경향에 있다.

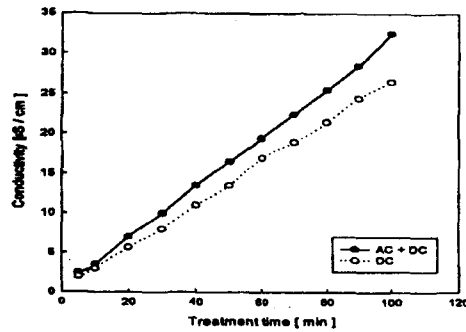


Fig.11. Effect of conductivity on removal

#### 4. 결 론

연면방전전극, 코일형 방전전극 및 연면방전과 코로나 방전(Streamer)을 조합한 중첩 방전전극에 산소와 건조공기(분해가스)를 흘려보내고 각전압, 주파수를 5kHz, 10kHz, 15kHz로 하여 방전전력에 대한 오존발생특성을 조사하였고 이 오존에 의한 페놀폐수를 처리하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오존의 최고생성농도는 주파수5kHz일 때 방전전력 24W, 3000ppm이고, 10kHz일 때 18W, 2900ppm이고, 15kHz일 때 20.5W, 3100ppm이었다.
2. 주파수에 따른 방전전압은 5kHz일 때 5.6kV, 10kHz일 때 6kV, 15kHz일 때 7.6kV로 주파수가 낮을수록 낮았다.
3. 오존에 의한 페놀폐수처리 실험시 오존의 농도 50ppm이하에서 제거율 98%이었고, 유량이 작을수록 제거율은 증가하였고, 방전전압 9kV에서 최대이었다.