

고열을 이용한 잔류 오존(O_3)처리에 관한 연구

김 재 우

경원전문대학 환경공업과

The study on the treatment of the remaining Ozone(O_3) by the high heater

Jae Woo Kim

Department of Environmental Engineering, Kyungwon Junior College.

Abstract

If a pollutant invade at liquid and gas, it will be use ozone in order to remove or sterilize. Ozone excessively supply in order to receive satisfactory efficiency. If excessive ozone leave like that, second-problem will be occur. This study used high heater in order to treat occurred ozone. ; the results were as follows :

1. As initial ozone is supplied with 1.789 g/m³ : For the 40, 50, 60, 70(V) of electric potential, O_3 removal efficiency was treated 34.41, 73.78, 98.60, 98.97%(Time of operation ; after 5 min.).
2. As initial ozone is supplied with 3.645 g/m³ : For the 40, 50, 60, 70(V) of electric potential, O_3 removal efficiency was treated 1.78, 69.27, 99.18, 98.68%(Time of operation ; after 5 min.).
3. As initial ozone is supplied with 4.759 g/m³ : For the 50, 60, 70(V) of electric potential, O_3 removal efficiency was treated 61.29, 99.29, 99.18%(Time of operation ; after 5 min.).
4. Used electric power is 15.38, 24.00, 35.29, 46.15(W/hr) at the 40, 50, 60, 70(V) of the electric potential.
5. Regarding electric power and O_3 removal efficiency, Used electric potential economized at 60(V).

I. 서 론

오존은 상온에서 무색의 기체이며, 공기중에서 오존 농도가 30%이상이면 폭발할 위험이 있으나, 산소보다 용해도는 높고, 분압이 훨씬 작으므로 일 반적인 온도나 압력에서 수 ppm이상의 오존을 발생시키기는 매우 힘들다. 또한 오존은 강력한 산화

제로서 산성에서 불소와 OH-기 다음으로 높은 환원전위(2.07V)를 가지며, 알카리성에서도 환원전위가 1.24V를 나타내므로, 백금과 은을 제외한 모든 금속, 미생물 및 유기물질 등을 산화시킨다^{1,2)}. 이러한 특징을 가지고 있는 오존을 이용한 오존처리는 자체의 강력한 산화력을 이용하여 원수중에 존재하는 난분해성 유기물질의 결합력이 약한 곳을

공격·분해하여 성상을 변화시켜 제거하는 공정으로서 THM 전구물질과 악취물질의 제거에 효과적이다^{3~5)}. 또한 오존은 살균 효과가 우수하여 소량의 접촉에 의해서도 대부분의 세균을 사멸시키며, 염소 살균과는 다르게 THM 등의 미량의 염소 유기화합물을 생성하지 않기 때문에 이산화염소와 함께 대체 살균제로도 사용되고 있다. 이러한 오존은 정수처리 공정에 살균제로서 먼저 도입되었다. Demeritens가 1886년 오존에 살균력이 있다는 것을 발견한 이후 독일의 지멘스사가 Martinikenfeld 정수장에 파일롯 플랜트를 설치하여 박테리아에 대한 살균력을 검증하였다⁶⁾. 최근에는 이러한 오존을 대기를 정화시키는 곳에서도 이용되고 있다. 따라서 액체상태나 기체상태에서 살균하기 위하여 오존이 많이 사용되고 있다. 사용될 오존은 충분한 효율을 얻기 위하여 대부분이 필요량보다 많은(과잉)량을 공급하는데, 이렇게 과잉된 오존을 그대로

둔다면 많은 2차적인 문제점이 대두된다^{7~9)}. 따라서 본 연구에서는 이렇게 발생된 오존을 빠르고 안전하게 파괴하기 위하여 강한 열을 사용하여 실험하였다. 이때 가장 효율적인 열을 투입하기 위하여 오존량에 대하여 요구되는 전력량을 측정하고, 이에 대한 효율성을 알아보았다.

II. 실험

1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 반응시스템의 모식도를 나타낸 것이다.

2. 실험조건

본 연구에서는 오존발생장치에서 오존의 량을 다양하게 발생시켜 공기와 함께 유량측정장치에 통과시키고 유체의 유량을 측정한 후 또 다시 오

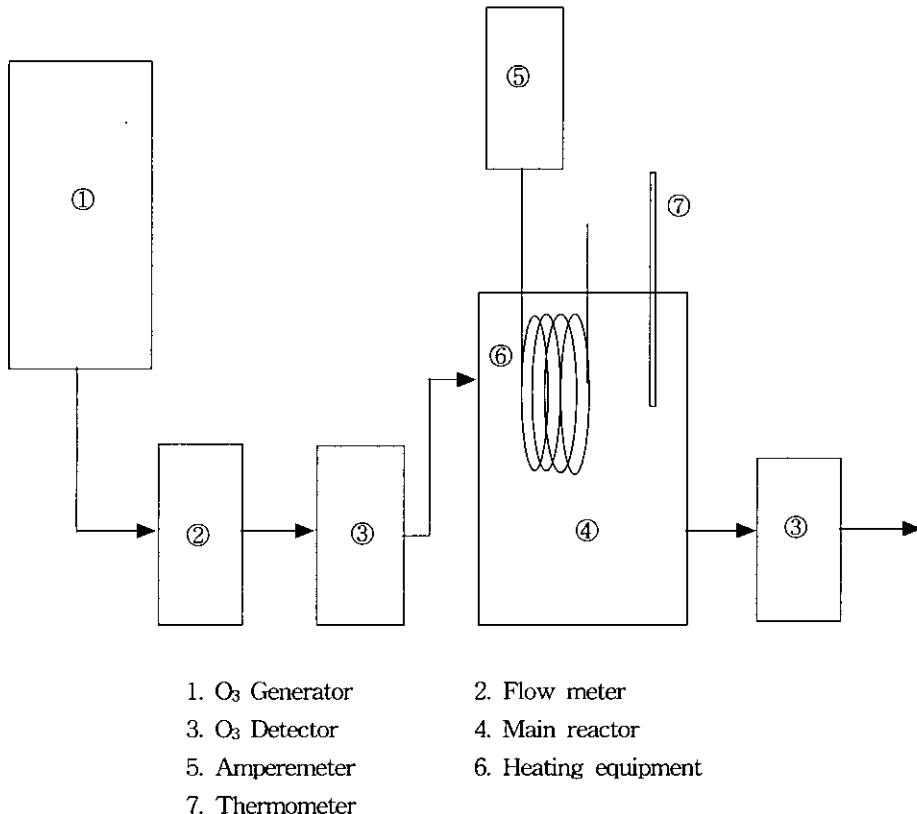


Fig. 1. Schematic diagram of the process.

존측정기에 통과시켜 오존의 양을 인식한 후 오존 파괴장치인 본 반응기에 투입시켰다. 본 반응기는 고열을 발생시킬 수 있는 장치가 설치되었으며, 이곳에서 오존이 빠른 시간에 파괴될 수 있도록 하였으며, 열에 강한 파이렉스(Palax) 재질로 제작하였다. 이곳에서 온도를 측정하였으며, 고열발생장치에 공급되는 전류량을 측정할 수 있게 하였으며, 본 반응기의 유출구를 통하여 유출되는 유체 중 포함하고 있는 오존의 양을 측정하기 위하여 오존 측정기에 통과하였다.

3. 실험분석방법

3-1. 오존발생량 측정

3-1-1. 오존측정기에 의한 방법

오존측정기(Orbisphere laboratories-3600 analyzer)에 의하여 직접 측정하였다.

3-1-2. 적정에 의한 방법

밀폐된 용기에 2% KI용액 1ℓ를 채운 후 Sampler를 통해 오존화 공기의 유량을 확인하면서 정확히 5분간 KI용액에 접촉시킨다. 오존이 KI용액을 통과하면 요오드가 유리되어 노란색으로 변색되면서 점점 짙어진다. 정확히 5분을 통과시킨 후 2,000mℓ로 합하여 황산을 가해 pH를 1~2로 맞춘 뒤 0.1N 티오황산나트륨으로 적정한다. 색깔이 옅어지기 시작하면 1%의 전분용액을 2~3mℓ 넣고, 계속 적정하여 무색이 될 때가 종말점이며, 소비된 티오황산나트륨량으로부터 오존발생량을 계산한다.(청색 → 무색)

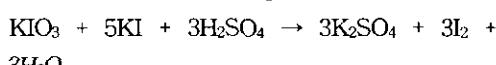
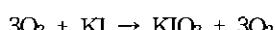
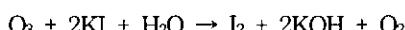
* 오존발생량 계산

$$\text{O}_3(\text{mg}/\text{hr}) = 0.1\text{N} - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{소비량} \times \text{factor} \\ \times 2.4 \times 12$$

여기서 : 2.4 ; 0.1N-Na₂S₂O₃ mℓ = O₃ 2.4mg

12 : 5분을 60분으로 환산

* 오존 측정에 관한 반응식



III. 결과 및 고찰

액체상태나 기체상태에 오염물질이 침입하면 이를 제거하거나 살균하기 위하여 오존을 사용할 수 있다. 사용할 오존은 충분한 효율을 얻기 위하여 대부분 필요량보다 많은(과잉)량을 공급하는데, 이렇게 과잉된 오존을 그대로 둔다면 많은 2차적인 문제점이 대두된다. 따라서 본 연구에서는 이렇게 발생된 오존을 빠르고 안전하게 파괴하기 위하여 강한 열을 사용하였다. 이때 가장 효율적인 열을 투입하기 위하여 다음과 같이 실험을 하였다. Fig. 2는 본 반응기에 부착된 오존발생기에서 발생되는 오존량의 변화를 알아보기 위하여 오존 발생기에 소모된 전류량의 변화에 따라 반응시간과 발생된 오존 양을 측정하였다. Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 오존발생기의 전류량을 160, 170, 180, 190V로 변화함에 따라 발생된 오존량이 0.36, 1.789, 3.645, 4.759g/m³이었다. 일정한 전류량에서 충분한 오존량을 얻기 위하여 오존발생기를 10분 동안 오존을 발생하게 하였으며, 10분 후 오존발생기에서 오존을 공급하지 않게 조작하였다. 이때 변화를 20분까지 관찰하였다. 이 그림에서 보여 준 것과 같이 반응시간 6분이 경과 후 거의 안정한 상태에 도달하였다. 반응시간이 10분 경과 후 오존 발생기에서 공급되었던 오존을 차단하였으나, 즉시 오존측정기에서 0을 가리키지 않고, 서서히 감소됨을 알 수 있었다.

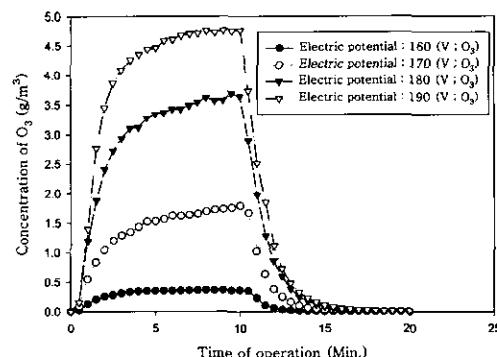


Fig. 2. Concentration of O₃ vs. time of operation on the electric potential of O₃

Fig. 3은 오존발생기에서 발생되는 초기 오존량이 1.789g/m^3 에서 강열발생기에 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. Fig. 3에 나타낸 것과 같이 강열발생기에 공급된 전류량이 0 V일 때 반응시간 10분 경과된 후 공급되어지는 오존량을 정지시킨 상태이다. 강열발생기에 공급된 전류량이 40V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 1.789g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과한 후 강열발생기에 전류량을 40V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류 오존을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에도 1.062g/m^3 이나 남아 있었다. 강열발생기에 공급된 전류량이 50V 일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 1.789g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과한 후 강열발생기에 전류량을 50V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에 0.392g/m^3 남아 있었다. 강열발생기에 공급된 전류량이 60V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 1.789g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과 후 강열발생기에 전류량을 60V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에는 0.014g/m^3 밖에 남아 있지 않았다. 강열발생기에 공급된 전류량이 70V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 1.789g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과한 후 강열발생기에 전류량을 70V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에는 0.013g/m^3 밖에 남아 있지 않았다. 따라서 초기 오존량이 1.789g/m^3 으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존 잔류량으로 보아 양호하다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 오존발생기에서 발생되는 초기 오존량이 3.645g/m^3 에서 강열발생기에 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존

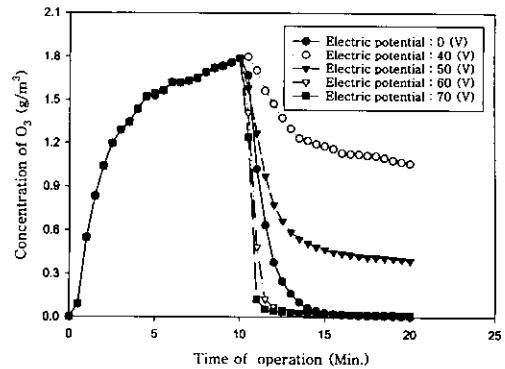


Fig. 3. Concentration of O_3 vs. time of operation for the 1.789g/m^3 of the O_3 concentration of the O_3 concentration.

의 양을 측정하였다. Fig. 4에 나타낸 것과 같이 강열발생기에 공급된 전류량이 0V일 때 반응시간 10분 경과된 후 공급되어지는 오존량을 정지시킨 상태이다. 강열발생기에 공급된 전류량이 40V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 3.645g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 후 강열발생기에 전류량을 40V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 량을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과된 후에도 3.345g/m^3 이나 남아 있었다. 강열발생기에 공급된 전류량이 50V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 3.645g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과한 후 강열발생기에 전류량을 50V로 공급하여 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에 0.995g/m^3 이나 남아 있었다. 강열발생기에 공급된 전류량이 60V 일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 3.645g/m^3 으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과한 후 강열발생기에 전류량을 60V로 공급하여 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 량은 반응시간 20분 경과된 후에는 0.018g/m^3 밖에 남아 있지 않았다. 강열발생기에 공급된 전류량이 70V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에 공급되는 전류량을 차단된 상태에서

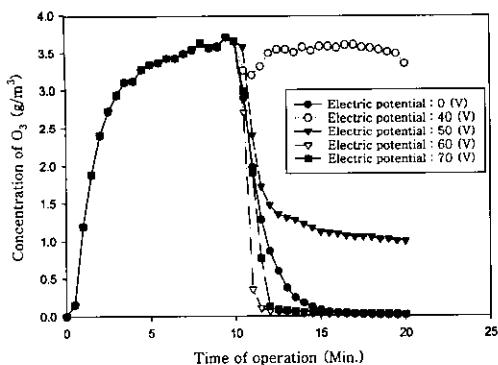


Fig. 4. Concentration of O₃ vs. time of operation for the 3.645g/m³ of the O₃ concentration of the O₃ concentration.

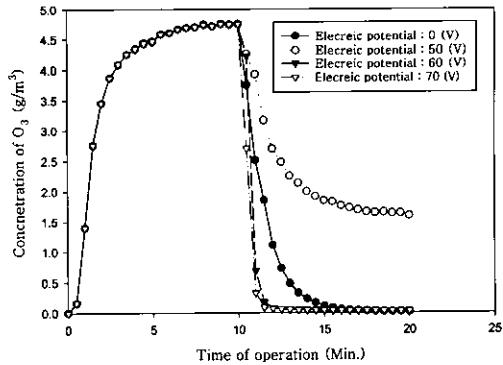


Fig. 5. Concentration of O₃ vs. time of operation for the 4.759g/m³ of the O₃ concentration of the O₃ concentration.

오존량을 3.645g/m³으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과된 후 강열발생기에 전류량을 70V로 공급하여 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에는 0.021g/m³ 밖에 남아 있지 않았다. 따라서 초기 오존량이 3.645g/m³으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존발생기의 전류량으로 보아 양호하였다.

Fig. 5는 오존발생기에서 발생되는 초기 오존량이 4.759g/m³에서 강열발생기에서 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응 진행된 후 잔류오존의 양을 측정하였다. Fig. 5에 나타낸 것과 같이 강열발생기에서 공급된 전류량이 0V일 때 반응시간 10분 경과된 후 공급되어지는 오존량을 정지시킨 상태이다. 강열발생기에서 공급된 전류량이 50V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에서 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 4.759g/m³으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과된 후 강열발생기에서 전류량을 50V로 공급하여 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과 후에 1.597g/m³이 남아 있었다. 강열발생기에서 공급된 전류량이 60V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에서 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 4.759g/m³으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과된 후 강열발생기에서 전류량을 60V로 공급하여 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오

존량은 반응시간 20분 경과된 후에 0.019g/m³ 밖에 남아 있지 않았다. 강열발생기에서 공급된 전류량이 70V일 때 반응시간 10분까지는 강열발생기에서 공급되는 전류량을 차단된 상태에서 오존량을 4.759g/m³으로 공급하였으며, 반응시간 10분 경과된 후 강열발생기에서 전류량을 70V로 공급하여 오존파괴반응이 진행한 후 오존파괴반응이 진행한 후 잔류오존의 양을 측정하였다. 이 때 잔류오존의 양은 반응시간 20분 경과된 후에 0.029g/m³ 밖에 남아 있지 않았다. 따라서 초기 오존량이 4.759g/m³으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존의 잔류량으로 보아 양호하다고 볼 수 있다.

Fig. 6은 오존발생기에서 발생되는 초기오존량이 1.789g/m³에서 강열발생기에서 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존 처리율을 측정한 것이다. Fig. 6에 나타낸 것과 같이 강열발생기에서 공급된 전류량이 40V일 때, 반응시간 5분 경과된 후 오존처리율이 34.41% 밖에 처리되지 않았고, 반응시간 10분 경과된 후에도 오존처리율 40.64% 밖에 처리되지 않았다. 또한 강열발생기에서 공급된 전류량이 50V일 때, 반응시간 5분 경과된 후 오존처리율이 73.78%였고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 78.09%였다. 그리고 강열발생기에서 공급된 전류량이 60V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 72.89%였고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이

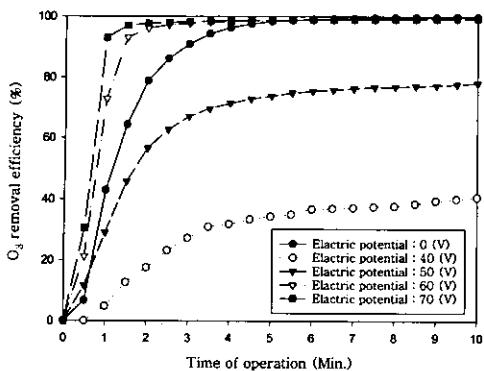


Fig. 6. O₃ removal efficiency vs. time of operation for the 1.789g/m³ of the O₃ concentration.

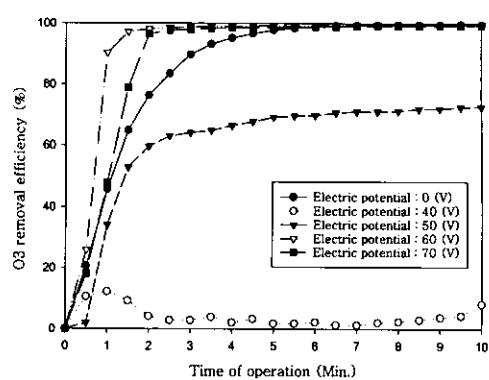


Fig. 7. O₃ removal efficiency vs. time of operation for the 3.645g/m³ of the O₃ concentration.

99.22%이었다. 또한 강열발생기에 공급된 전류량이 70V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 93.01%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 99.27%이었다. 따라서 초기 오존량이 1.789g/m³으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존량 파괴효과(제거율)로 보아 양호하다고 볼 수 있었다.

Fig. 7은 오존발생기에서 발생되는 초기 오존량이 3.645g/m³에서 강열발생기에 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응 진행된 후 잔류오존의 처리율을 측정한 것이다. Fig. 7에 나타낸 것과 같이 강열발생기에 공급된 전류량이 40V일 때, 반응시간 5분 경과된 후 오존처리율이 1.78%밖에 처리되지 않았고, 반응시간 10분 경과된 후에도 오존처리율이 8.23%밖에 처리되지 않았다. 또한 강열발생기에 공급된 전류량이 50V일 때, 반응시간 5분 경과된 후 오존처리율이 69.27%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 72.70%이었다. 그리고 강열발생기에 공급된 전류량이 60V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 90.26%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 99.51%이었다. 또한 강열발생기에 공급된 전류량이 70V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 47.79%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 99.42%이었다. 따라서 초기 오존량이 3.645g/m³으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존량 파괴효과(제거

율)로 보아 가장 양호하였다.

Fig. 8은 오존발생기에서 발생되는 초기 오존량이 4.759g/m³에서 강열발생기에 공급되는 전류량 변화에 따라 오존파괴반응이 진행된 후 잔류오존의 처리율을 측정한 것이다. Fig. 8에 나타낸 것과 같이 강열발생기에 공급된 전류량이 50V일 때, 반응시간 5분 경과된 후 오존처리율이 61.29%밖에 처리되지 않았고, 반응시간 10분 경과된 후에도 오존처리율이 66.44%밖에 처리되지 않았다. 또한 강열발생기에 공급된 전류량이 60V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 85.48%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 99.60%이었다. 그리고 강열발생기에 공급된 전류량이 70V일 때, 반응시간 1분 경과된 후 오존처리율이 97.13%이었고, 반응시간 10분 경과된 후에는 오존처리율이 99.39%이었다. 따라서 초기 오존량이 4.759g/m³으로 공급될 때 강열발생기의 전류량이 60, 70V로 운전할 때가 오존량 파괴효과로 보아 양호하였다.

Fig. 9는 강열발생기에 공급되는 전류량에 따라 사용된 전력량과 이에 대한 오존처리율(반응시간 5분 경과 후)을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 나타낸 것과 같이 강열발생기에 공급된 전류량에 따라 소비된 전력량은 비례하고, 이에 대한 오존처리율은 강열발생기에 공급된 전류량이 60, 70V일 때가 99%이상으로 높은 처리율을 얻었다. 따라서 본 연구에서는 강열발생기에 공급되는 전력량과 오존파

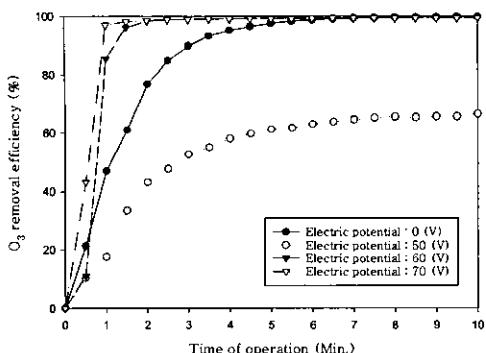


Fig. 8. O₃ removal efficiency vs. time of operation for the 4.759g/m³ of the O₃ concentration.

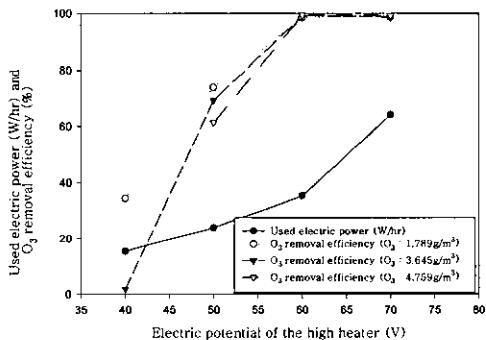


Fig. 9. Used electric power and O₃ removal efficiency vs. electric potential of the high heater

과능력으로 보아 강열발생기에 공급되는 전류는 60V가 가장 경제적이라고 사료된다.

IV. 결 론

과잉으로 투입되었거나 잔존되어 있는 오존을 빠르고 안전하게 파괴하기 위하여 강한 열을 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 초기 오존량이 1.789g/m³으로 공급될 때 : 강열발생기에 공급된 전류량이 40, 50, 60, 70V에 대하여 오존처리량이 34.41, 73.78, 98.60, 98.77%(반응시간 5분 경과 후)이었다.
- 초기 오존량이 3.645g/m³으로 공급될 때 : 강열발

생기에 공급된 전류량이 40, 50, 60, 70V에 대하여 오존처리량이 1.78, 69.27, 99.18, 98.68%(반응시간 5분 경과 후)이었다.

- 초기 오존량이 4.759g/m³으로 공급될 때 : 강열발생기에 공급된 전류량이 50, 60, 70V에 대하여 오존처리량이 61.29, 99.29, 99.18%(반응시간 5분 경과 후)이었다.
- 강열발생기에 공급된 전류량이 40, 50, 60, 70V 일 때 소비된 전력량은 15.38, 24.00, 35.29, 46.15(W/hr)이었다.
- 강열발생기에 공급된 전류량에 따라 소비된 전력량은 비례하고, 이에 대한 오존제거율은 강열발생기에 공급된 전류량이 60, 70V일 때가 99% 이상으로 높은 처리율을 얻었다. 따라서 본 연구에서는 강열발생기에 공급되는 전력량과 오존파괴능력으로 보아 강열발생기에 공급되는 전류는 60V가 가장 경제적이라고 사료된다.

V. 참 고 문 헌

- Masschelein, W. J. Ed.: Ozonation manual for water and wastewater treatment, JAWWA, p.66~73, 1985.
- Monk, Robert D. G., et al.: Prepuurchasing Ozone Equipment, JAWWA, p.49~54, 1985.
- Peyton, G. R. and Glaze, W. H.: Mechanism of photolytic ozonation, ACS symposium series 327, p.76~88. (Washington, DC: Am. Chem. Soc.) 1986.
- Taube, H.: Photochemical reactions of ozone in solution, Trans. Faraday Soc., 53 1957.
- 권봉기, 박충현, 오존에 의한 고도정수처리에 관한 실험적 연구, 상하수도학회지 제2권 2호, 1989.
- J. M. Taylor: Some characteristics of ozone in relation to treatment, J. Institution of Water Engineers, 1947.
- Ferguson D. W., McGuire M. J., Koch R. L. and Wolfe E. M.: Comparing peroxone and ozone for controlling taste and odor compounds, disinfection by-products and microorganisms.,

- J. AWWA. 84(4). p. 181~191, 1990.
8. Glaze W. H.: Reaction products of ozone, Environ. health perspectives 69. p. 151~157, 1986.
9. Glaze, W. H., Kang J. W. and Chapin D. H.: The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, Ozone Sc. and Engrg., 9. p. 335, 1987.