

유기물 산화처리를 위한 오존 막접촉기의 설계 및 평가

김기홍, 나상호, 정동관*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*우암신소재, 경기도 안성시 미양면 강덕리 산 67-5

nkhkim@kaeri.re.kr

1. 서론

오존은 강력한 산화력($E_0 = 2.07 \text{ V}$)을 갖고 있고, 오존처리과정에서 생성되는 하이드록실기(OH 라디칼)는 대부분의 유기물을 매우 빠르게 산화시킬 수 있기 때문에 매우 매력적인 물질이다. 그러나 오존은 상온에서 용해도가 약 5 ppm 이하이므로 유기물을 산화시키기에 오존의 농도가 매우 낮다. 또한 오존은 일부 유기물과의 반응이 느리거나 반응하지 않는 단점도 갖고 있다. 따라서 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 다른 산화공정(H_2O_2 , UV, Peroxide, 및 촉매) 등과 조합하여 사용하기도 한다. 그러나 무엇보다도 오존의 물 또는 폐액에 대한 용해도를 증가시킬 필요가 있다. 보통 오존의 용해도를 증가시키기 위해서 다양한 기술들이 이용되고 있지만 Fig.1과 같이 membrane contactor, ejector 및 diffuser 등이 널리 사용되고 있는 대표적인 장치이다. 이들의 기본 원리는 오존 기체를 물에 미세하게 분산시켜 오존 기체가 물에 확산되도록 하여 용해시키는 것이다.

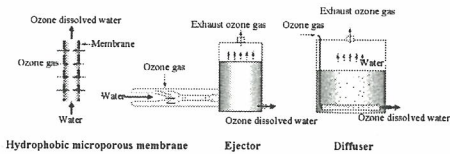


Fig. 1. Various apparatus for O_3 dissolution.

이들 기술중 hollow fiber membrane은 기체와 액체간의 반응을 위한 접촉면을 극대화시킬 수 있는 장치로 널리 알려져 있다. 그리고 hollow fiber membrane(중공사막)은 기체만 통과시키고 물 등의 용액은 통과시키지 않는 물질이어야 하고(hydrophobic), 특히 오존에 대하여는 화학적으로 안정하여야 한다. 현재 널리 이용되고 있는 중공사막은 PVDF,

polysulphone 등의 다양한 고분자물질로 이루어져 있지만 이들을 막접촉기 모듈로 만들기 위해서는 중공사막의 양단을 에폭시수지나 우레탄수지 등의 열경화성수지로 모듈케이스에 접착 및 고정시키게 된다. 그러나 사용된 이들 접착제는 오존과 접촉하게 되므로 이 또한 오존에 의해 처리되어야 하는 처리대상이 되기도 한다. 그리고 중공사막이 소수성을 갖도록 중공사막을 코팅하기도 하는데, 이는 공정처리 압력에 견디지 못하게 되어 중공사막으로서의 기능을 상실하게 하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 내화학적 및 내구성이 우수하고 전혀 중공사막과 접촉기 모듈케이스사이에 접촉제를 사용하지 않는 PTFE 중공사막 접촉기를 제작하여 실험에 이용하였다. 본 연구는 막 접촉기를 제작하기 위하여 접촉기의 설계 기준을 살펴보고, 또한 오존 막접촉기를 제작하여 이의 오존의 용해도를 평가하여 오존의 적용 가능성을 평가하고 실제의 방사성 유기폐액의 처리를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 본론

Fig. 2와 같이 막접촉기에서 중공사막에 의해 수중에 용해되는 오존량은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{K_{OV}} = \frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_m} + \frac{H_Y}{k_l} \quad (1)$$

여기서 K_{OV} 는 총괄 물질전달계수, k_g 는 가스 측에 있는 막의 물질전달계수, k_m 은 막자체에서의 물질전달계수 그리고 k_l 은 액상측에 있는 막의 물질전달계수이다. 헨리상수인 H_Y 는 오존의 경우에 상당히 크기 때문에 (1)식은

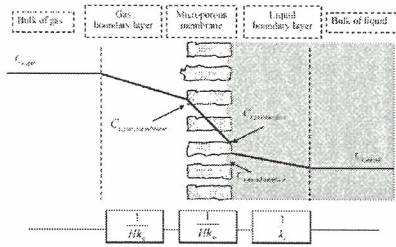


Fig. 2. Relationship between mass transfer and membrane.

$$K_{OV} = k_l / H_Y \quad (2)$$

가 되어진다. 따라서 오존의 용해 증가를 위해서는 k_l 값의 크기가 커야한다. 일반적인 화학공학계산에 근거하여 k_l 은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$k_l = C \times (4D^2 \times V/n\pi)^{1/3} \times 1/d \quad (3)$$

여기서 C 는 농도, n 는 막의 수, D 는 확산계수, d 는 막의 내부 직경 그리고 V 는 물의 유량이다. (3)식에서 액상에서의 물질전달계수를 크게 하기 위해서 상수나 운전조건에 해당하는 변수들을 제외하면 막의 수량(n)과 막의 내부 직경(d)을 작게 하여야 함을 알 수 있다. 반면에 막의 내부 직경이 작게 되면 압력손실이 커지게 된다. 그 압력 손실, Δp 는 (4)식과 같다.

$$\Delta p = \frac{32 \mu L u}{d^2} \quad (4)$$

여기서 u 는 평균 단면속도, μ 는 유체의 점도, d 는 막 내부 직경 그리고 L 은 막의 길이이다. 압력손실과 막의 내부 직경사이의 관계는 서로 상반적이기 때문에 이 둘 사이에는 최적의 조건을 찾을 필요가 있다. 이와 같은 조건들을 고려하여 Fig. 3과 같은 막접촉기를 제작하였으며, 이 막접촉기를 이용하여 오존 용해도를

평가하기 위한 실험장치를 Fig. 4에 나타냈다. 또한 막과 막접촉기의 제반 구성내용을 Table 1과 2에 나타냈다.

Table 1. Membrane Characteristics

Membrane material	Pore size(μm)	Membrane porosity (%)	Membrane thickness (μm)
PTFE	0.1	23	500

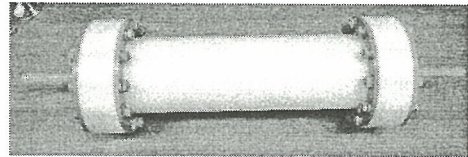


Fig. 3. PTFE membrane contactor

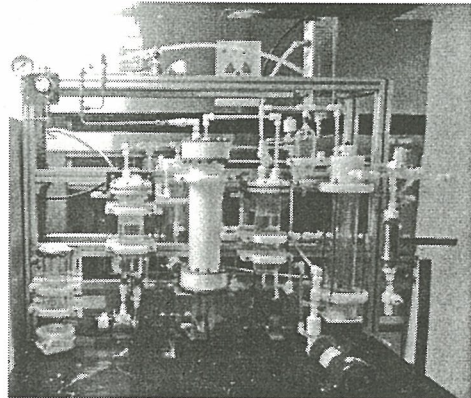


Fig. 4. Experimental setup for ozone dissolution.

3. 결론

오존 막접촉기에 공급되는 오존 기체의 농도 및 유량을 각각 122.5 g/m^3 , 1 l/min 로 하고, 상온에서 초순수 물의 유량을 1 l/min 으로 하였을 때, 얻어진 오존의 용해도는 21.2 ppm 이었다.

Table 2. Contactor Module Characteristics.

Fiber i.d. (mm)	Fiber o.d. (mm)	Effective module length(mm)	Internal specific area(m^2/m^3)	Internal specific area(m^2)	Number of fiber
1.0	2.0	30	4000	0.21	223