

활성탄을 이용한 저농도 오존(OZONE) 제거에 관한 연구

양원호 · 최경호 · 정문식
서울대학교 保健大學院 環境保健學科

A Study on the Removal of Low-Concentration Ozone by means of Activated Carbon

Won-Ho Yang, Kyung-Ho Choi and Moon-Shik Zong

Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

This study was carried out to find the adverse health effects of ozone by papers, the potential indoor sources of ozone by papers, and then the removal mechanism of ozone by experiments. The exposure of individuals to excessive levels of ozone both in the industrial and ambient environment is a continuing public health concern. Ozone indoors may play a role in generating secondary pollutants that may have adverse health effects. The removal efficiency of ozone was studied by (1) the effect of concentration on breakthrough time, (2) the effect of flow rate on breakthrough time, (3) the effect of adsorbent's weight on breakthrough time, (4) the effect of temperature on breakthrough time, (5) the application of Langmuir's isotherm equation in using activated carbon. The followings are the conclusions that were derived from this study.

1. In the effect of concentration on breakthrough time, the adsorption capacity of activated carbon was inversely proportional to ozone concentration (0.1, 0.2, 0.3 ppm).

2. In the effect of flow rate on breakthrough time, the service life of activated carbon was inversely proportional to flow rate (2, 8, 14 l/min).

3. The difference in removal efficiency of ozone between weights(100 mg and 150 mg) was seen. And when weight of activated carbon was 100 mg and 150 mg, pressure loss was 4-5mmHg and 6-7mmHg, respectively. It is required to study relations among flow rate and adsorbent's weight and ventilation quantity, too.

4. Generally, Langmuir's equation, one of the oldest and most used frequently isotherm equation, applies to chemisorption. In case of ozone, when the weight of activated carbon was 70 mg and temperature 40, slope(1/a) was 6.25×10^{-1} and intercept(1/ab) was 1.9×10^{-4} (average $r=0.94$).

Keywords : Ozone, Chemisorption, Activated carbon, Adverse health effects, Isotherm equation.

I. 서 론

오존(Ozone)에 관해 가장 먼저 '오존층 파괴'의 심각성을 떠올린다. 실제로 대기 성층권에 존재하는 오존층(지상 10-50 km)은 유해한 자외선(UV)을 흡수함으로써 대류권에서의 열 평형 뿐만 아니라 인간, 농작물, 생태계의 보존에 있어서 큰 역할을 담당하고 있다. 그러한 오존층이 CFCs의 염소에 의해 파괴될 수 있다는 것을 1974년 화학자 F.Sherwood Rowland가 Nature지에 발표함으로써 전세계적으로 큰 관심을 불러 일으켰다.¹⁾ 그 이후 여러 연구에 의해 오존층 파괴²⁾에 의한 피해들이 보고되고 있다. 한편, 미국의 L.A.에서는 광화학스모그가 1954년 이후 발생하기 시작했는데, 그 주요 원인은 인구증가, 자동차 수의 증가, 석유계 연료 소비량의 증가, 기온역전 등이었다. 이때 생성된 대표적 산화성 물질인 오존에 의한 피해가 식물, 고무제품, 박물관의 미술품, 동물 및 인간 신체의 영향 등 폭넓은 범위에 걸쳐 나타남으로써 오존에 대한 관심과 연구

계적으로 큰 관심을 불러 일으켰다.¹⁾ 그 이후 여러 연구에 의해 오존층 파괴²⁾에 의한 피해들이 보고되고 있다. 한편, 미국의 L.A.에서는 광화학스모그가 1954년 이후 발생하기 시작했는데, 그 주요 원인은 인구증가, 자동차 수의 증가, 석유계 연료 소비량의 증가, 기온역전 등이었다. 이때 생성된 대표적 산화성 물질인 오존에 의한 피해가 식물, 고무제품, 박물관의 미술품, 동물 및 인간 신체의 영향 등 폭넓은 범위에 걸쳐 나타남으로써 오존에 대한 관심과 연구

가 시작되었다.^{3,4)} 특히, 오존은 그 자체의 산화력으로 인해 인체의 점액성 막을 가진 부분 즉, 눈, 코, 인후 점막을 자극할 뿐 아니라 0.12 ppm이상의 농도에서는 기침, 호흡 곤란, 불쾌감, 두통, 눈 자극, 피부작열감 등을 느낀다고 보고되고 있다. 그리고 전반적으로 저하된 면역기능에서 오존 자체나 오존의 부산물 등이 carcinogenesis를 일으킨다고 의심되고 있어 관심이 증가되고 있다.^{5,6)}

우리 나라의 경우 전국의 대도시를 중심으로 광화학 스모그가 자주 발생하고 있으며⁷⁾, 서울시의 오존농도가 대기환경 기준치(0.1 ppm)를 초과한 경우가 자주 발생했을 뿐만 아니라 0.322ppm이라는 매우 높은 농도에 이르기도 했다. 이에 따라, 오존정보체계^{8,9)}가 실시되고 있다. 그러나, 정작 사람들이 70-80%이상을 보내는 실내공기(Indoor air)의 오존농도에 대해서는 관심이 적다. 실내(가정, 사무실, 차량 그리고 산업장)와 실외의 오염물질의 비(Indoor/Outdoor ratio)는 대부분 0.6-0.9(창문 등의 열기 또는 닫기, 환기 등에 의해)를 나타내지만, 오존(Ozone)의 경우 0.1-0.25인 것으로 나타나고 있다.^{10,11)} 그 이유는 반응성이 강한 오존이 실내로 유입 후에 실내 공기 오염물(VOCs)과 반응으로 낮은 값으로 나타나고 있기 때문이다. 문제점은 오존과 실내 오염물의 반응으로 더욱 유해한 물질이 생성된다는 것이다.¹²⁻¹⁴⁾ 또한 오존은 고전압과 자외선을 사용하는 실내 기계장치에서도 발생될 수 있으며^{14,15)}, 더구나 상업용으로 이용되는 공기청정기는 오존을 이용하기까지 하고 있다.¹⁶⁾

이 연구의 목적은 현 상황에서 계속증가 상태의 대기 광화학스모그에 의한 오존의 발생은 장기적 계획 하에 연구대상이지만, 실내에서의 많은 시간을 보내는 대부분의 사람은 실내의 오존 발생 또는 대기 오존의 실내유입으로 그 자체로도 유해하며 더욱 유해한 물질이 생성될 수 있으므로, 오존을 제거하는 메카니즘을 연구함으로써 국민 환경·보건상의 안전을 기하는 것이다. 이 연구에서는 활성탄(Activated carbon)을 이용한 저농도 오존 제거에 관해 연구하여, 마스크(Smog mask¹⁷⁾, Respirator¹⁸⁾,

Aircraft ventilation systems¹⁹⁾, 광화학스모그 때의 박물관²⁰⁾ 또는 일반 실내의 환기장치 등에 사용될 수 있는 오존필터에 기초·응용될 수 있도록 하는 것이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 장치

(1) 활성탄

시판중인 J회사의 입상활성탄을 사용하였다. 사용된 활성탄^{21,22)}의 기본 성분은 Table 1과 같다. 원자 조성은 C(88%), H(0.5%), N(0.5%), S(6-7%), O와 미량의 회성분으로 구성되어 있다.

(2) 실험장치

오존발생기(Ozone generator)는 고전압 전극과 집지 전극사이에 세라믹 재질의 절연체를 끼워 교류 고전압(7,000V)을 인가하면서 산소를 함유한 기체를 통과시켜 오존을 발생시켰다.²³⁾ 오존측정용 자외선 측정기(Ultraviolet detectors for ozone:Ozone monitor)는 PCI사의 Model NO LC-12을 사용하였고, 측정범위(Range)는 0-9.999 ppm였다. 펌프(Pump)는 Millpore사의 Model DOA -152-AA와 유량을 조절하기 위해서 유량계를 사용하였다. Wavelength Dispersive X-ray(WDX)는 Microspec사의 Model WDX-3pc를 사용하였다.

2. 실험방법

오존의 흡착 시험방법은 Fig. 1과 같다. 보정

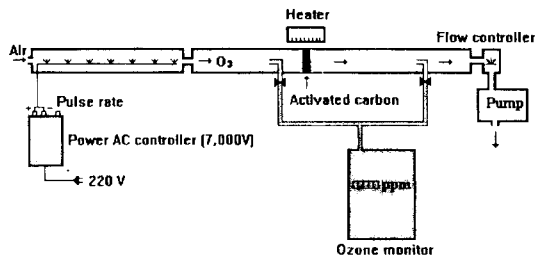


Fig. 1. Schematic diagram of ozone test system.

Table 1. Characteristics of activated carbon

Particle Density g/cm ³	Bulk Density g/cm ³	Packed density g/cm ³	Space rate	Volume cm ³ /g	Specific surface area	Mean diameter Å	Thermal conduction Cal/m · hr · °C	Specific heat Cal/g · °C
2.1	0.8	0.48	0.39	0.75	1100	21	0.15	0.23

(Calibration)된 오존직독기로 계속적으로 오존의 농도를 추적(Monitoring)하였다. 오존직독기의 정확성과 신뢰성을 검증키 위해서 실험 전에 매번 NIOSH Manual의 분석기법²⁴⁾으로 샘플 기간 30분 동안의 오존 농도와 Ozone monitor 1분 간격 값의 30분 평균과 비교하였다. 활성탄 층 양끝에는 mesh(250)를 사용하였고, 실험전체 기간동안 연구실 background ozone 농도 범위는 0.001-0.009 ppm였다.

(1) 오존 농도별 제거율

주파수를 이용 오존농도를 조절하고, Fig. 1과 같이 활성탄 층을 통과한 오존이 오존직독기에 검출될 수 있도록 설계했다. 농도는 대기환경기준을 고려하여 0.1 ppm, 그 이상의 농도 0.2 ppm, 0.3 ppm으로 조정했다. 연구실 온도 20-25°C, 유속 2 l/min, 활성탄의 양 70 mg였으며 흡착제로 사용한 활성탄에는 히터(Heater)를 이용하여 40°C의 열을 가하여 주었다. 본 실험에서 다른 조건 즉, 유속과 활성탄의 양은 일정하게 하고, 오존 농도는 교류고전압(7,000V)을 인가하면서 산소를 함유한 기체를 통과시켜 오존을 발생시켰다. 정량의 오존 농도를 만드는 데는 활성탄의 양, 유속, 교류고전압의 주파수의 조정 등이 영향을 주었으며, 따라서 오존 농도별 제거율 실험은 정확하고 신뢰성 있는 오존 농도(0.1, 0.2, 0.3 ppm)를 만드는 데는 유속별, 중량별, 온도별 오존 제거율과 달리 유속 2 l/min, 활성탄의 양 70 mg을 사용하였다.

(2) 유속별 오존 제거율

활성탄 층을 통과하는 유속은 유량계를 이용하여 2, 8, 14 l/min으로 조정하였으며, Fig.1과 같이 활성탄을 통과한 오존이 오존직독기에 검출될 수 있도록 설계했다. 연구실 온도 20-25°C, 활성탄의 양 100 mg, 농도 0.08 ppm이었으며 흡착제로 사용한 각각의 활성탄에는 히터(Heater)를 이용하여 40°C의 열을 가하여 주었다.

(3) 중량별 오존 제거율

활성탄 층의 중량을 100, 150 mg으로 정량하여 Fig. 1과 같이 활성탄을 통과한 오존이 오존직독기에 검출될 수 있도록 설계했다. 펌프의 같은 유량을 각각의 활성탄 양을 통과한 후에 압력을 측정하였다. 연구실 온도 20-25°C, 유속 8 l/min, 농도 0.08 ppm이었으며 흡착제로 사용한 각각의 활성탄에는 히터(Heater)를 이용하여 40°C의 열을 가하여 주었다.

(4) 온도별 오존 제거율

오존이 통과하는 활성탄 층에 일반 실내 환경에서

의 온도 20-25°C와 히터(Heater)를 이용하여 40°C로 활성탄에 열을 가해 주었을 때, Fig. 1과 같이 활성탄을 통과한 오존이 오존직독기에 검출될 수 있도록 설계했다. 연구실 온도 20-25°C, 활성탄 양 100 mg, 유속 8 l/min, 농도 0.08 ppm이었으며 흡착제로 사용한 각각의 활성탄에는 히터(Heater)를 이용하여 40°C의 열을 가하여 주었다.

(5) 등온흡착식

본래의 활성탄과 오존과 반응후의 활성탄의 탄소 정성분석으로 Wavelength Dispersive X-ray (WDX)를 이용하여 조사하였고, 실험방법 (1)의 결과를 이용하여 등온흡착식에 적용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 오존농도별 제거율

활성탄을 이용한 오존 농도 0.1, 0.2, 0.3 ppm의 제거율은 Table 2와 같으며 이를 비교한 것을 Fig. 2에 나타내었다.

오존 농도 0.1, 0.2, 0.3 ppm일 때 제거율의 형태

Table 2. Removal % for ozone at various concentrations

Time(min)	Removal %		
	0.1 ppm	0.2 ppm	0.3 ppm
0	100.00	99.01	97.29
60	93.64	90.88	86.56
120	80.91	76.44	72.37
180	61.82	55.42	48.80
240	41.82	32.87	26.90
300	31.82	24.37	15.44
360	12.73	8.56	2.60
420	9.09	0	0
480	0	0	0

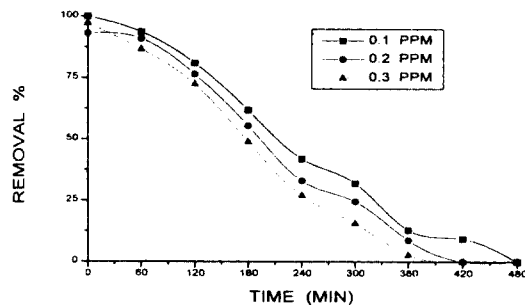
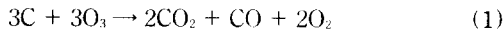


Fig. 2. Removal curve for ozone at various concentrations.

는 비대칭의 S자 모양을 나타냈으며, 농도가 높을수록 활성탄 흡착능의 감소가 더 높음을 알 수 있다. 오존의 흡착메카니즘은 활성탄의 기공에 오존이 물리적으로 흡착되는 것과 흡착된 오존이 분해되면서 나오는 활성화 산소가 활성탄과 반응하여 CO₂로 되어서 제거되는 2가지이며 식(1)로 나타낼 수 있다.



활성탄 흡착법(Chemisorption)은 광화학스모그 때 발생할 수 있는 오존농도의 범위와 오존이 발생할 수 있는 고전압을 이용한 복사기 등에서 발생하는 오존농도의 범위의 제거에 효율적 경제적으로 이용될 수 있는 것으로 나타났다.

2. 유속별 오존 제거율

활성탄을 이용한 유속 2, 8, 14 l/min별 오존 제거율은 Table 3과 같으며 이를 비교한 것을 Fig. 3에 나타내었다.

활성탄 층을 통과하는 유속 2, 8, 14 l/min일 때,

Table 3. Removal % for ozone at various flow rates

Time(min)	Removal %		
	2 l/min	8 l/min	14 l/min
0	100.00	100.00	99.95
60	96.22	95.00	93.69
120	91.79	84.80	79.59
180	83.49	70.00	59.79
240	74.66	55.00	40.57
300	62.95	41.25	28.22
360	50.09	21.25	11.09
420	38.90	12.50	0.95
480	26.57	3.75	0
540	18.79	0	0
600	6.79	0	0
660	0	0	0

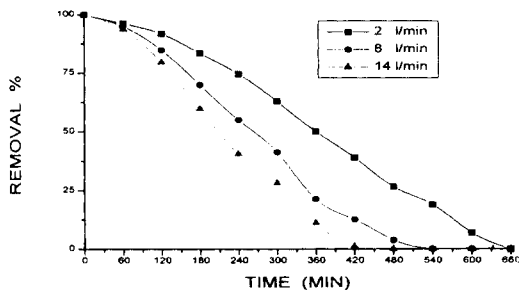


Fig. 3. Removal curve for ozone at various flow rates.

유속이 적을수록 오존 제거율이 높아 활성탄의 Service life는 유속과 반비례하는 것으로 나타났다. 유속이 빠른 경우 오존과 활성탄 단층과 와류, 이류, 확산 등의 접촉시간이 그만큼 적어지므로 제거율이 감소되리라 생각되며, 활성탄 층이 매우 얇거나 유속이 매우 높은 경우 강한 충동을 고려하면 오존의 제거율이 증가될 수도 있을 것으로 사료된다.

3. 중량별 오존 제거율

활성탄의 중량 100 mg, 150 mg별 오존 제거율은 Table 4와 같으며 이를 비교한 것을 Fig. 4에 나타내었다.

활성탄의 100 mg일 때보다 150 mg일 때 오존 제거의 효율이 더 높았다. 그리고, 활성탄 양에 따른 압력강하는 필요한 환기량을 고려할 때 매우 중요하며, 압력강하를 측정 한 결과는 활성탄 양 100 mg과 150 mg, 각각의 압력손실이 4-5mmHg와 6-7 mmHg를 나타냈다. 즉 활성탄의 양이 높을수록 압력손실은 더욱 높아질 것이며, 따라서 활성탄을 이용한 오존 제

Table 4. Removal % for ozone at various weights.

Time(min)	Removal %	
	100 mg	150 mg
0	100.00	100.00
60	95.00	97.00
120	84.80	87.65
180	70.00	83.44
240	55.00	74.64
300	41.25	59.80
360	21.25	50.94
420	12.50	37.65
480	3.75	23.51
540	0	11.31
600	0	3.94
660	0	0

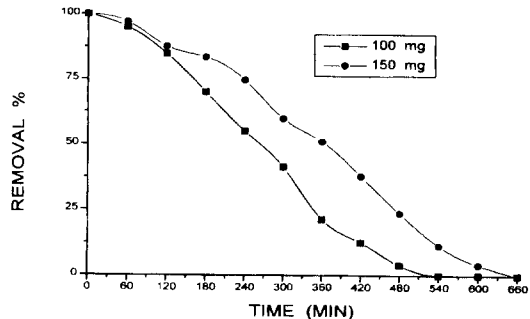


Fig. 4. Removal curve for ozone at various weights.

거의 경우, 필요한 환기량 제거해야할 오존량 요구되는 활성탄의 중량에 관한 상관성에 관한 연구가 요구된다.

4. 온도별 오존 제거율

활성탄에 일반환경에서의 온도 20-25°C와 40°C의 열을 가해주었을때 오존 제거율은 Table 5와 같으며 이를 비교한 것을 Fig. 5에 나타내었다.

실험결과 40°C의 열을 활성탄 층에 가하여 줄 때 일반환경(20-25°C)에서 보다 더욱 효율적으로 오존이 제거되었다. 활성탄은 열을 받음으로써 활성이 높아져 제거율이 높아진 것으로 사료된다.그 이상의 온도 즉, 50°C부터는 오존이 자체 분해되며, 310°C 이상은 오존의 분해율이 100%인 것으로 보고되고 있다.²²⁾ 오존의 경우 활성탄 층에 평상시의 온도보다 15-20°C정도의 열을 가하여 활성탄의 활성을 높임으로써 효율적인 제거를 할 수 있었다.

5. 등온흡착식

Table 5. Removal % for ozone at various temperatures.

Time(min)	Removal %	
	20-25°C	40°C
0	64.77	100.00
60	56.25	95.50
120	45.45	84.80
180	42.05	70.00
240	26.80	55.00
300	18.18	41.25
360	6.82	21.25
420	0	12.50
480	0	3.75
540	0	0

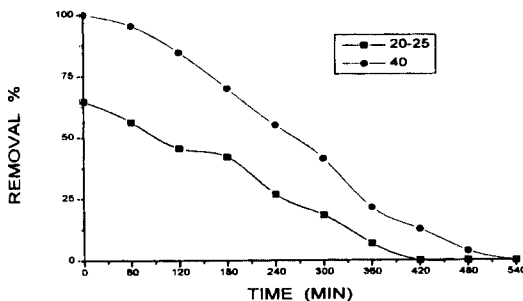


Fig. 5. Removal curve for ozone at various temperatures.

활성탄의 탄소가 오존과 반응으로 상대적으로 양이 줄어들음을 알 수 있으며, 오존 제거율 0% 후에도 탄소가 남아있는 것은 오존과 반응하는 것이 어느 정도 단층에 국한되어 있음을 알 수 있다. 그리고, 화학적흡착의 메카니즘은 다음과 같으며, 오존의 흡착과정을 Fig. 6으로 나타내었다. Wavelength Dispersive X-ray(WDX)의 분석결과는 Fig. 7에 나타내었다.

흡착에 관한 많은 이론이 있으며 그 중에서 등온흡착식(Isotherm equation)으로 알려진 Langmuir 이론은 흡착된 기체는 증기상에서 이상기체로 작용하고, 흡착된 기체는 단 분자층에 국한한다는 가정으로 화학흡착에 대해 간단한 모형 메카니즘을 제공



Fig. 6. Adsorption process (Granule cross section).

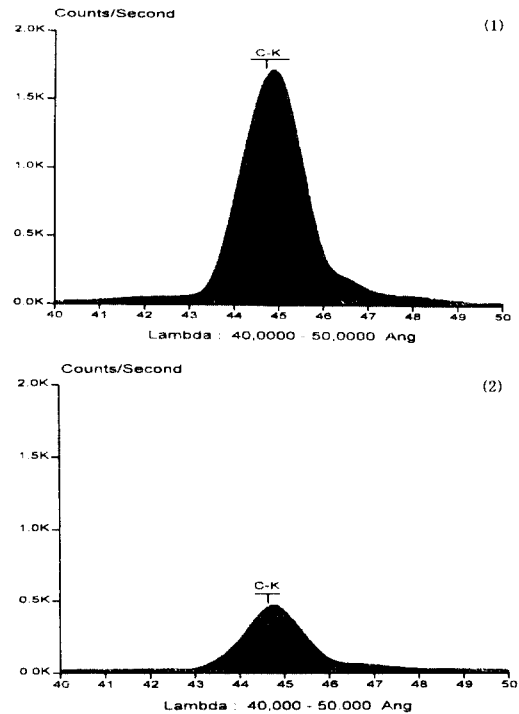
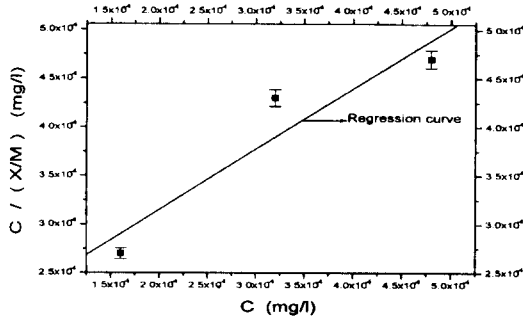


Fig. 7. Qualitative analysis of activated carbon by wavelength dispersive X-ray. (1) Original activated carbon. (2) Activated carbon reacted on ozone at 40°C.

Table 6. Parameters for langmuir isotherm equation.

C(mg/l)	1.6×10^{-4} (0.1 ppm)	3.2×10^{-4} (0.2 ppm)	4.8×10^{-4} (0.3 ppm)
X/M(mg/mg)	5.926×10^{-1}	7.442×10^{-1}	1.0212×10^0
C/(X/M)(mg/l)	2.7×10^{-4}	4.3×10^{-4}	4.7×10^{-4}

**Fig. 8.** Linearized Langmuir isotherm for ozone on activated carbon.

한다. 따라서, 저농도 오존의 제거율을 Langmuir의 등온흡착식에 적용하였다.²⁵⁾

Langmuir의 방정식은 다음으로 표현된다.

$$\frac{X}{M} = \frac{abC}{1+bC} \quad (2)$$

여기서, X : 활성탄에 흡착된 오존(O₃)의 양 (mg)

M : 활성탄 단위중량 (mg)

C : 흡착후 평형농도 (mg/l)

a, b : 상수

또한 식(2)는 다음과 같이 선형(Linear)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C}{X/M} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a}C \quad (3)$$

Table 6의 결과를 이용 식(3)에 대입하여 회귀곡선(Regression curve)을 구한 것을 Fig. 8에 나타냈다.

오존 농도별 제거율(실험방법 1)의 결과를 식(2)에 적용하여 X/M과 C/(X/M)의 값을 Table 6으로 나타내었다.

Fig. 8에서 Langmuir모델에 적용한 등온(40°C)흡착식은 $1/a$ (기울기) = 6.25×10^{-1} 이고, $1/ab$ (y절편) = 1.9×10^{-4} 로 나타냈다 (평균 $r=0.94$).

IV. 결 론

이 연구에서는 실내에서의 오존 발생원 및 오존의

위해성(Health effects)을 문헌을 통해 고찰해보고, 활성탄(Activated carbon)을 이용한 저농도 오존(Ozone)에 관해 농도(0.1, 0.2, 0.3 ppm), 유속(2, 8, 14 l/min), 중량(100, 150 mg), 온도(20-25, 40°C)별 제거율을 실험하고 Langmuir의 등온흡착식(Isotherm equation)에 적용하였다. 이 연구는 마스크(Smog mask, Respirator), Aircraft ventilation systems 또는 환기장치 등에 사용될 수 있는 오존필터 기초·응용될 수 있을 것이며, 주요 결과는 다음과 같다.

1. 오존 농도 0.1, 0.2, 0.3 ppm에서 활성탄을 이용한 제거율은 농도가 높을수록 활성탄 층의 흡착능 감소는 더 컸다. 활성탄 흡착법(Chemisorption)은 광화학스모그때 발생될 수 있는 오존농도의 범위와 오존이 발생될 수 있는 고전압을 이용한 복사기 등에서 발생되는 오존농도의 범위의 제거에 효율적 경제적으로 이용될 수 있는 것으로 나타났다.

2. 활성탄 층을 통과하는 유속 2, 8, 14 l/min일 때, 유속이 적을수록 오존 제거율이 높아 활성탄의 Service life는 유속과 반비례함이 나타났다. 유속이 높은 경우 오존과 활성탄 층과 와류, 이류, 확산 등의 접촉시간이 그만큼 적어지므로 제거율이 감소하는 것이라 사료된다.

3. 활성탄의 양이 100 mg보다 150 mg일 때 오존 제거율이 높았으며, 활성탄 중량 각각의 압력손실이 4-5 mmHg와 6-7 mmHg로 나타났다. 따라서, 압력손실을 고려할 경우 필요한 환기량 제거할 오존량을 결정한 후 필요한 활성탄의 중량을 결정하여야 한다.

4. 40°C의 열을 활성탄 층에 가하여 줄 때 일반환경의 온도(20-25°C)에서 보다 더욱 효율적으로 오존이 제거되었다. 오존의 경우 활성탄 층에 평상시의 온도보다 15-20°C정도의 열을 가하여 활성을 높임으로써 효율적인 제거를 할 수 있었다.

5. Wavelength Dispersive X-ray(WDX)의 결과는 활성탄을 이용한 오존 흡착제거는 Langmuir 등온흡착식에 적용할 수 있음을 나타냈으며, 등온(40°C)일 때 $1/a$ (기울기) = 6.25×10^{-1} 이고, $1/ab$ (y절편) = 1.9×10^{-4} 로 나타났다(평균 $r=0.94$).

참고문헌

- Mario J. Molina and F. Sherwood Rowland : Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes : Chlorine Atomic Catalysed Destruction of Ozone, Nature., 249, 810-812, 1974.

- 2) Thomas Peter : The stratospheric ozone layer-an overview, *Environmental Pollution.*, 83, 69-79, 1994.
- 3) D.H.Horstman and W.F.McDonnell : Ozone concentration and Pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm, *Am.Rev.Respir.Dis.*, 142, 1158-1163, 1990.
- 4) L.J.Folinsbee and W.F.McDonnell : Pulmonary function and symptom responses after 6.6-hour exposure to 0.12ppm ozone with moderate exercise. *JAPCA.*, 38, 28-35, 1988.
- 5) J.T.Zelikoff : Immunomodulating effects of ozone on macrophage functions important for tumor surveillance and host defense, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 34, 449-467, 1991.
- 6) D.G.Thomassen : Preneoplastic transformation of rat tracheal epithelial cells by ozone, *Toxicol. Appl.Pharmacol.*, 109(1), 137-148, 1991.
- 7) 이기원 : 서울시 대기중 오존 오염도의 연도별 변화와 그 영향인자에 관한 연구, 연세대학교 석사학위 논문, 1992.
- 8) 손정수 : 광화학스모그 경보체계의 구성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 1993.
- 9) 환경부 : 환경백서, 1995.
- 10) WHO Regional Office for Europe Copenhagen : Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, Europe, 315-317. 1987.
- 11) C.J.Weschler and A.T.Hodgson : Indoor chemistry : ozone, volatile organic compounds, and carpets, *Environ.Sci.Technol.*, 26, 2371-2377, 1992.
- 12) Junfeng Zhang : Indoor air chemistry : formation of organic acids and aldehydes, *Environ. Sci. Technol.*, 28, 1975-1981, 1994.
- 13) C.J.Weschler and Michael Brauer : Indoor ozone and nitrogen dioxide : a potential pathway to the generation of nitrate radicals, dinitrogen pentoxide, and nitric acids indoors, *Environ.Sci. Technol.*, 26, 179-184, 1992.
- 14) R.J.Allen and R.A.Wadden : Characterization of potential indoor sources of ozone, *Am.Ind. Hyg. Assoc.J.*, 39, 466-471, 1978.
- 15) Torben Bruun : Ozone and other air pollutants from photocopying machines, *Am.Ind.Hyg. Assoc.J.*, 47, 659-665, 1986.
- 16) M.F.Boeniger : Use of ozone generating devices to improve indoor air quality, *Am.Ind.Hyg. Assoc.J.*, 56, pp. 590-598, 1995.
- 17) W.S.Linn : Laboratory evaluation of a disposable half-mask for protection against ozone, *Am.Rev. Respir.Dis.*, 126, 818-821, 1982.
- 18) G.O.Nelson and C.A.Nicholas : Respirator cartridge efficiency studies : VIII. summary and conclusions, *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.*, 11, 514-525, 1976.
- 19) Anne O'Donnel : Air quality, ventilation, temperature and humidity in aircraft, *ASHRAE Journal*, 33, 42-46, 1991.
- 20) 상공자원부 : 전기집진기의 개발 (클린룸 전 처리용 정전기 필터 개발). 한국기계연구원, 50-55, 1995.
- 21) 구본준 : 활성탄을 이용한 배기가스 탈황 및 탈질에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1994.
- 22) A.R.Johnston : Ozone removal capability of a welding fume respirator containing activated charcoal, *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.*, 50, 451-454, 1989.
- 23) 문재덕 : 오존發生裝置의 最近의 研究開發動向, 전기학회지, 33(8), 495-503, 1984.
- 24) NIOSH Manual of Analytical Methods : Ozone in air, 1, 171-181. 1992.
- 25) Y.H.Yoon : Application of Gas Adsorption Kinetics, I. A Theoretical Model for Respirator Cartridge Service Life, *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.*, 145(8), 509-516, 1984. II. A Theoretical Model for Respirator Cartridge Service Life, *Am.Ind.Hyg. Assoc.J.*, 145(8), 517-524, 1984.