

# 高電壓 Nozzle 에서 流出하는 氣體의 放電特性에 관한 研究

( 송 현직, 김 상구, 전 영주, 이 광식, 이 동인 )  
영남대학교

## A Study on Discharge Characteristics in Flowing Gas at High Voltage Nozzle

( Hyun-Jig Song, Sang-Ku Kim, Young-Ju Jeun, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee )  
Yeungnam University

### Abstract

This paper describes ozone concentration and discharge characteristics in flowing O<sub>2</sub> with variation of Re at high voltage nozzle( HVN ).

HVN type ozonizer is equipped with ten nozzle.

The important conclusions obtained from this paper are as follows.

For constant pulse width( Pw ) and pulse frequency( Pf ) the more Re increases, the higher corona onset voltage( Vc ) rise. Vc is inversely proportional to Pw and Pf. Ozone concentration( O<sub>3con</sub> ) increases with less Re for constant Pw and Pf. O<sub>3con</sub> increases with less Pw. O<sub>3con</sub> is proportional to Pf.

### 1. 서론

최근 고도의 경제성장과 산업발달로 인하여 세계적 규모로 대기오염에 의한 環境破壞가 심각한 문제로 대두되고 있어 환경오염의 원인이 되는 물질의 使用規制 및 환경오염물질의 제거장치에 대한 관심이 증대되고 있다.

이와 같은 측면에서 기체방전현상을 이용한 ozonizer 에 대한 연구가 진행되고 있다. [1, 2, 3]

이러한 관점에서 1840년 독일의 W. Von Siemens 에 의하여 無聲放電( silent discharge )을 이용한 ozonizer 가 처음 제작된 이래 독일, 미국 및 일본 등을 비롯한 선진국에서는 예로부터 이에 관한 연구를 다방면으로 진행하고 있는 실정이다. [4, 5]

한편 이와 같은 ozonizer 를 이용하여 오존을 발생시키는 계통에서는 오존을 생성하는 放電領域의 諸特性에 영향을 미치는 因子( 放電領域을 통과하는 원료 gas 의 온도, 압력, 방전전력 밀도, 전극주위의 냉각, 흐름상태, 전극형상 및 인가전압의 특성 등 )에 관한 연구가 중요한 것으로 인식되어지고 있어 이에 대한 연구가 [6] 진행되고 있으나, 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 기체방전현상을 이용한 高電壓 nozzle( HVN ) type 의 ozonizer 를 고안하여 정( + )극성 高電壓 pulse 를 인가시 원료 gas 가 산소일 때 pulse width( Pw ), pulse frequency( Pf ) 및 Reynolds number( Re ) 변화에 따른 유체흐름의 분석을 통한 放電特性 및 오존생성농도를 검토함으로써 새로운 type 의 ozonizer 개발을 위한 기초자료로 제공하는데 그 목적을 두고 있다.

### 2. 관련이론

#### 2.1 高電壓 Nozzle 에서의 유체분포이론

원료 gas 가 산소일 때, HVN type ozonizer 의 入口, 内部電極 및 nozzle 에서 유체흐름장의 역학적 현상을 알아보기 위하여 아래 식 ( 1 ), ( 2 ) 와 같이 적용하였다. [7]

$$Q = A \cdot U \quad ( 1 )$$

여기서 Q : 유량 [m<sup>3</sup>/s]      U : 유속 [m/s]

A : 관의 단면적 =  $\pi \cdot D^2/4$  [m<sup>2</sup>]

D : 관의 직경 [m]

$$Re = \frac{U \cdot 2r_0}{\nu} \quad ( 2 )$$

여기서 r<sub>0</sub> : 관의 반경 [m]

$\nu$  : 산소의 동점성 계수( 13[°C] )

$$= 1.46 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

식 ( 1 ) 의 유속( U )은 유량( Q )이 HVN type ozonizer 의 全流路에서 일정하다는 조건하에서 다음 표 1 의 관의 직경( D ) 및 단면적( A ) 를 이용하여 계산하였으며, 그 결과와 위의 식 ( 2 ) 를 이용하여 계산한 Reynolds number( Re ) 를 표 2 에 나 타내었다.

표 1. D 및 A 의 측정치  
table. 1. measured value of D and A

D × 10 <sup>-3</sup> [m]		A × 10 <sup>-4</sup> [m <sup>2</sup> ]	
D <sub>1</sub>	10	A <sub>1</sub>	0.8
D <sub>2</sub>	29	A <sub>2</sub>	6.6
D <sub>3</sub>	3	A <sub>3</sub>	0.07

여기서 D<sub>1</sub>, A<sub>1</sub> : ozonizer 入口의 D 및 A

D<sub>2</sub>, A<sub>2</sub> : ozonizer 내부전극內的 D 및 A

D<sub>3</sub>, A<sub>3</sub> : ozonizer nozzle 에서의 D 및 A

표 2. Q, U 및 Re 의 계산치  
table. 2. calculated value of Q, U and Re

Q [m <sup>3</sup> /s] × 10 <sup>-4</sup>	U [m/s]			Re × 10 <sup>4</sup>		
	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	Re <sub>1</sub>	Re <sub>2</sub>	Re <sub>3</sub>
0.304	0.39	0.046	0.43	0.026	0.009	0.008
0.456	0.58	0.069	0.64	0.040	0.014	0.013
0.760	0.96	0.115	1.07	0.066	0.023	0.022
3.040	3.90	0.461	4.28	0.263	0.091	0.088
5.320	6.73	0.806	7.49	0.460	0.159	0.154

여기서 Q : ozonizer 유입유량

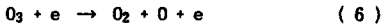
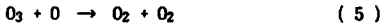
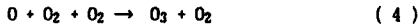
U<sub>1</sub>, Re<sub>1</sub> : ozonizer 入口의 U 및 Re

U<sub>2</sub>, Re<sub>2</sub> : ozonizer 내부전극內的 U 및 Re

U<sub>3</sub>, Re<sub>3</sub> : ozonizer nozzle 에서의 U 및 Re

## 2.2 산소원으로 Ozonizer 에 있어서 기체방전에 의한 오존생성이론

일반적으로 ozonizer 의 방전공간에 산소를 통과시키면 低濃度 오존영역에서는 주로 다음과 같은 화학반응식에 의해 O<sub>3</sub> 가 생성한다.



여기서 e 는 가속된 電子이고 식 ( 3 ), ( 6 ) 은 전자가 O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 에 충돌하여 이것을 解離하는 것을 나타낸다. 또한 식 ( 3 ), ( 4 ) 는 O<sub>3</sub> 의 生成反應式이며, 이 식에서 좌변의 마지막 O<sub>2</sub> 와 우변의 O<sub>2</sub> 는 제 3 物체로서 純酸素中에서는 O<sub>2</sub> 이다.

이와 같은 生成反應과 동시에 식 ( 5 ), ( 6 ) 과 같은 O<sub>3</sub> 의 分解反應이 공존하여 어떤 후로 分離도 이루어지므로 發生量( 濃度 )은 放電의 조건이나 核反應의 속도에 영향을 주는 조건에 의해 변화한다.[8]

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

새로운 type 의 ozonizer 개발을 위한 기초자료를 제공하고저 gas 의 흐름을 放電領域에 균일화시켜 放電形態가 광범위한 영역으로 확산되도록 설계 및 제작된 그림 1 과 같은 HVN type ( 전극간 거리( d ) : 10[mm], 총길이 : 200[mm] ) ozonizer 에 대하여 알아보면 다음과 같다.

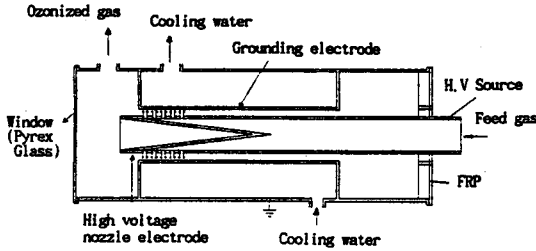
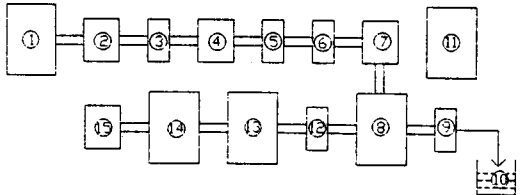


그림 1. HVN type ozonizer 의 개략도

fig. 1. schematic diagram of HVN type ozonizer

HVN type ozonizer 의 外部電極界는 stainless 강( 재질 : 범용 SUS 304, 두께 : 4[mm] )을 사용하였으며, 内部電極界는 stainless 강( 재질 : 범용 SUS 304, 두께 : 2[mm] )을 사용하여 그 표면에 직경 3[mm] 의 高電壓 nozzle 을 10개 내어 gap 사이를 흐르는 gas 의 흐름이 균일할 수 있도록 설계 및 제작하였다.



① 液體酸素 chamber ② 氣化器 ③ 1次 減壓計 ④ mist filter ⑤ 2次 減壓計 ⑥ ozonizer 入口 flowmeter ⑦ HVN type ozonizer ⑧ 高電壓 pulse 발생기 ⑨ ozonizer 出口 flowmeter ⑩ KI 計정법용 용액조 ⑪ U.V 분광광도계 ⑫ high voltage probe ⑬ digital storage oscilloscope ⑭ PC( CPU 80486 ) ⑮ printer ( Deskjet 500 )

그림 2. 실험장치의 배치도  
fig. 2. experimental devices

또한 실험장치의 배치도는 그림 2 와 같으며, HVN type ozonizer 에서 생성하는 오존의 농도를 측정하기 위하여 ozonizer 에서 생성한 오존화 gas 를 ㉑ 와 같은 flowmeter( 0 ~ 0.00017 [m<sup>3</sup>/s], Yamata ) 를 이용하여 每 실험마다 0.0001[m<sup>3</sup>/s] 의 sample 오존화 gas 를 KI 計정법으로 계산하였다.[9]

電源裝置는 入力電壓 : 1φ 220[V] 60[Hz], 出力電壓 : 30[kV] 의 正( + )極性 高電壓 pulse 發生器로써 Pultec 社 제품을 이용하였다.

### 3.2 실험방법

高電壓 pulse 發生器에서 출력되는 고전압을 전극간 거리( d ) 가 10[mm] 인 HVN type 의 ozonizer 에 인가할 때, pulse width( Pw ) 가 3, 10, 30 및 100[μs] 의 경우에서 pulse frequency( Pf ) 와 Re 를 각각 3, 10, 30, 100[Hz] 와 0.009 ~ 0.154 × 10<sup>4</sup> 로 변화시켜가면서 全방전 nozzle 영역에 원활한 streamer corona 가 발생하는 방전조건에서의 streamer corona 開始電壓( Vc )을 측정하였으며, 그때의 오존생성농도( O<sub>3con</sub> )를 측정 및 계산하였다.

또한 Pf 가 3, 10, 30, 100[Hz] 의 경우에서 Pw 와 Re 를 각각 3, 10, 30, 100[μs] 와 0.009 ~ 0.154 × 10<sup>4</sup> 로 변화시켜가면서 전술한 바와 같은 방법으로 Vc 를 측정하였으며, O<sub>3con</sub> 을 측정 및 계산하였다.

한편 유동 gas ( 氣體酸素 ) 의 흐름상태와 放電現象과의 관계를 검토하기 위하여 2.1 에서 서술한 U 중에서 高電壓 nozzle 에서의 U<sub>3</sub> ( 0.43 ~ 7.49[m/s] ) 를 채택하여 식 ( 1 ) 과 식 ( 2 ) 를 이용하여 변환한 Re<sub>3</sub> ( 0.009 ~ 0.154 × 10<sup>4</sup> ) 로 그 諸特性을 검토하였다.

여기서 Vc 는 高電壓 pulse 發生器를 3[kV/s]로 상승시켜갈 때 streamer corona 가 발생할 때의 전압이며, 측정치는 5회 측정하여 산술평균한 것이다.

## 4. 결과 및 검토

### 4.1 Pw 일정시, Pf 와 Re 변화에 따른 방전특성 및 오존생성농도와의 관계

通常 전기적 입력이 일정할 때 방전을 일으킬 수 있는 공간이 커질수록 산소를 분해하여 오존을 생성할 확률이 증가하는 것으로 알려지고 있다.[10]

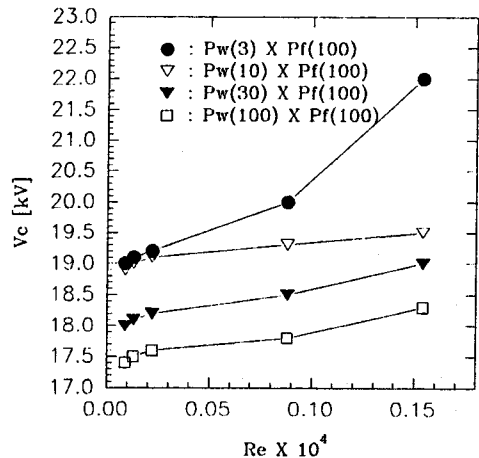


그림 3. Pw 일정( 3, 10, 30, 100[μs] )시, Pf 와 Re 에 대한 Vc 의 관계, ( Pf = 100[Hz] )

fig. 3. relation of Vc versus Pf and Re for constant Pw( 3, 10, 30, 100[μs] ), ( Pf = 100[Hz] )

이를 토대로 HVN type 의 ozonizer 에 정(+)극성 고전압 pulse 인가시 pulse width( Pw ) 가 3, 10, 30 및 100[ $\mu$ s] 의 경우에서 pulse frequency( Pf ) 와 Re 를 각각 3, 10, 30, 100[Hz] 와 0.009 ~ 0.154  $\times 10^4$  로 변화시켜갈 때, 소방전 nozzle 영역에 원활한 streamer corona 가 발생하는 방전조건으로 확인된 Pf = 100[Hz] 에서의 streamer corona 開始電壓( Vc ) 을 측정된 결과 그림 3과 같다.

그림에서와 같이 Vc 는 Pw 가 각각 3, 10, 30, 100[ $\mu$ s] 로 일정할 때 Re 가 증가할수록 상승하였으며, 또한 어느 일정한 Re 영역에서 Pw 가 증가할수록( 3  $\rightarrow$  10  $\rightarrow$  30  $\rightarrow$  100[ $\mu$ s] ) Vc 가 저하하는 결과로 나타났다.

즉 Re 가 증대함에 따라서 streamer corona 에 의해서 생성한 공간전하가 유속분포에 준하여 ozonizer 의 出口側으로 편이된 결과 Vc 가 상대적으로 상승하였으며, 어느 일정한 Re 영역에서 Pw 가 증가함에 따라서( 3  $\rightarrow$  10  $\rightarrow$  30  $\rightarrow$  100[ $\mu$ s] ) Vc 가 저하하는 것은 방전영역에 인가되는 Duty Factor( D.F ) 의 증가로 인하여 高電壓 nozzle 에서 발생하는 streamer corona 에 의해 방전로의 초당 보유허량이 증대된 결과이다.

또한 그림 3의 경우에서 KI 적정법을 이용하여 측정된 음광도로 오존생성농도( O<sub>3con</sub> )를 계산한 결과를 그림 4 에 나타내었다.

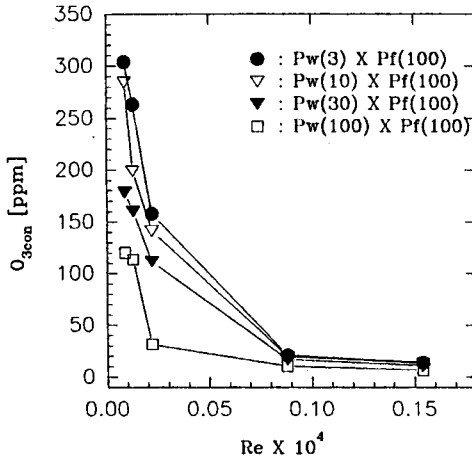


그림 4. Pw 일정( 3, 10, 30, 100[ $\mu$ s] )시, Pf 와 Re 에 대한 O<sub>3con</sub> 의 관계, ( Pf = 100[Hz] )

fig. 4. relation of O<sub>3con</sub> versus Pf and Re for constant Pw ( 3, 10, 30, 100[ $\mu$ s] ), ( Pf = 100[Hz] )

그림에서와 같이 O<sub>3con</sub> 은 어느 일정한 Re 에서 Pw 가 감소할수록 증가하는 경향이다. 여기서 Re 가 일정하다는 것은 유입산소가 일정하며 유량에 의한 전극의 냉각효과도 일정하다. 그림과 같이 Pf 가 일정할 때 Pw 가 적을수록 O<sub>3con</sub> 이 상승하는 것은 Pw 가 상대적으로 클 때는 nozzle 내의 온도가 Pw 가 적을 때보다 더욱 높게 된다. 그 결과 생성된 O<sub>3con</sub> 의 해리작용이 Pw 가 적을 때보다 상대적으로 큰 결과로 해석할 수 있다.

또한 각 Pw 에서 Re 가 감소할수록 O<sub>3con</sub> 이 증가하는 결과로 나타나는 것은 Re 가 감소할수록 소방전 nozzle 영역에서 streamer corona 의 형태가 안정하게 유지되었는데 이렇게 streamer corona 가 안정히 유지될 때 오존생성이 가장 활발하다고 사료된다.

그 결과 Pw( 3[ $\mu$ s] )  $\times$  Pr( 100 [Hz] ) 의 방전조건에서 Re = 0.009  $\times 10^4$  경우에 최대 304 .1[ppm] 의 오존생성농도를 얻을 수 있었다.

#### 4.2 Pf 일정시, Pw 와 Re 변화에 따른 방전특성 및 오존생성과의 관계

Pf 가 3, 10, 30 및 100[Hz] 의 경우에서 Pw 와 Re 를 각각 3, 10, 30, 100[ $\mu$ s] 와 0.009 ~ 0.154  $\times 10^4$  로 변화시켜가면서 4.1 에서 기술한 바와 같은 방법으로 Pw = 3[ $\mu$ s] 에서의 Vc 를 측정된 결과, Pf 가 각각 3, 10, 30, 100[Hz] 로 일정할 때 Re 가 증가할수록 Vc 가 상승하였으며, 또한 어느 일정한 Re 영역에서 Pf 가 증가할수록( 3  $\rightarrow$  10  $\rightarrow$  30  $\rightarrow$  100[Hz] ) Vc 가 낮아지는 결과로 나타났다.

또한 위의 방전조건에서 KI 적정법을 이용하여 측정된 음광도로 O<sub>3con</sub> 을 계산한 결과 O<sub>3con</sub> 은 어느 일정한 Re 에서 Pf 가 증가할수록 상승하는 경향이며, 각 Pf 에 있어서 Re 가 낮아질수록 O<sub>3con</sub> 가 상승한 결과, Pf( 100[Hz] )  $\times$  Pw( 3[ $\mu$ s] ) 방전조건에서 Re = 0.009  $\times 10^4$  경우에 최대 302.8[ppm]의 오존생성농도를 얻을 수 있었다.

이와 같이 Pf 가 증가할수록 O<sub>3con</sub> 이 상승하는 것은 同一한 Pw( 3[ $\mu$ s] )에 대하여 streamer corona pulse 의 발생빈도가 상승함에 기인한다.

각 Pf 에서 Re 가 감소할수록 O<sub>3con</sub> 이 증가하는 경향인데, Re 가 감소할수록 소방전 nozzle 영역에서 streamer corona 의 형태가 안정하게 유지된 결과 이에 따른 결과로 해석된다.

## 5. 결론

고전압 nozzle( HVN ) type 의 ozonizer 를 고안하여 nozzle 에서 유출하는 기체의 방전특성 및 오존생성농도 관계를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. pulse width( Pw ) 와 pulse frequency( Pf ) 가 각각 일정시, Re 가 증가함에 따라서 streamer corona 개시전압( Vc )이 상승하였다.
2. Pw 와 Pf 가 증가할수록 Vc 가 저하하였으며, Re 가 낮아질수록 오존생성농도( O<sub>3con</sub> )가 증가하였다.
3. Pw 일정시, Re = 0.009  $\times 10^4$  에서 최대 304.1[ppm] 의 오존생성농도를 얻을 수 있었다.
4. Pf 일정시, Re = 0.009  $\times 10^4$  에서 최대 302.8[ppm] 의 오존생성농도를 얻을 수 있었다.

이상의 결과를 이용하므로써 환경계통에 적용할 수 있는 HVN type ozonizer 의 개발을 위한 기초적 자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

### 參考文獻

- [1] 井關昇, "OzonizerにおけるOzone生成機構と今後の課題", 静電氣學會誌, pp.142~149, 1983
- [2] 海賀 信好 等 "水處理施設としてのOzone發生器の改良", 水質汚染研究, 第13号, pp.647~653, 1990
- [3] K.Namba et al, "Ozonizer with PSA Oxygen Enrich System", JRED, NO.119, pp.45~48, 1988
- [4] 井關昇, "Ozonizerの watersaturation and Ozone反應の環境科學的適用性に関する研究", 電気省省科學研究費綜合研究(B), 放電研究, No.80, 1980
- [5] 日本電氣學會放電應用分科會, 電氣學會技術報告, II-127, 1982
- [6] 田中憲一郎 外, "同軸圓筒型もきOzonizerの流體解析(II)", ED-91-184, pp.1~8, 1991
- [7] Hyun-jig Song and Kwang-Sik Lee, "A Study on Discharge Characteristics in Flowing Gas with Variation of Temperature", KIEE, Vol.42, No.4, pp.68~75, 1993
- [8] 田畑則一 等, "Ozonizerの諸特性", 電氣學會放電研究會資料, 1985
- [9] 海賀 信好, "Ozone發生裝置ならびOzone濃度の測定", Trans.of IEE, Vol.34, No.4, pp.41 ~ 45, 1992
- [10] 田園一郎, "正極性Streamer Corona放電によるOzone發生效率向上に関する研究", ED-91-65, pp.31~37, 1991