

Fundamental Investigation Results on Ozone Generation Characteristics by Superimposed Discharge

安 熙 成* · 山 部 長 兵 衛 · 韋 相 烽**
(Hee-Sung AHN · Chobei YAMABE · Sang-Bong WEE)

Abstract - In addition to its strong oxidizing power, the ozone has definite advantages over other commercial oxidants, namely, no undesirable by-products or residues are formed. With growing interest in the improvement of the ozone production in the industrial fields, many types of ozonizer using the electrical discharges have been proposed for the higher efficiency and the higher performance at atmospheric pressure. Among them, a superposition of different type discharges has been proposed. Especially, since the improvement for the low efficiency of dc discharge and narrow gap of surface discharge is required, a dc and an ac voltage are applied to same reaction space (or volume) to increase energy density at the same space. An investigation was focused on the superposition with a dc (streamer) corona and a surface discharge. This paper describes the investigation results on fundamental ozone generation characteristics by this superimposed discharge.

Key Words : 중첩방전, 연면방전, 정극성 스트리머 코로나 방전

1. 서 론

오늘날 자연계에서 불소 다음으로 강한 산화력을 가진 오존은 오래전부터 주로 음용수의 살균·정화처리에 이용되어 왔으며 그 탁월한 효과를 보여주고 있다. [1] 프랑스의 경우 1906년 니스시 정수장에 처음으로 오존이 도입되어 음용수 처리에 적용되기 시작했으나, 우리나라의 경우에는 낙동강 페놀유출사건이 발생한 이후인 1997년부터 대구시 두류정수장에 고도정수처리설비중의 일부로 오존발생장치가 포함되어 수도물의 고도정수처리에 오존이 적용되고 있다.

그리고 오존은 강한 산화력에도 불구하고 불필요한 부산물이 생성되지 않는다는 뛰어난 실용적 장점 때문에 산업계에서 일찍부터 상업용 산화제(예; kaolin, 섬유, 종이펄프 등의 표백처리제)로 널리 이용되어지고 있다. 이 이외에도 현재 기술발전에 따른 오존생성의 경제성 확보와 새로운 수요처 창출 노력에 힘입어 오존은 고전적 적용분야인 정수 및 오폐수처리 이외에도 화학물합성(oleic acid산화, 비타민, 향수 생산), 반도체 표면정화와 같은 새로운 적용분야가 대두되고 있다.[2]

오존은 소량인 경우에는 화학적인 방법으로도 인공적인 합성이 가능하나, 인공적으로 대량 생산하는 경우에는 고전

압방전을 이용한 방법 이외의 수단은 현재까지 알려져 있지 않다. 이러한 고전압을 이용한 오존생성에 대해 1857년 Wener Von Siemens가 금속제질의 두 전극간에 유전체를 삽입하여 인공적으로 대량의 오존을 생성시킬 수 있는 무성방전방식 (Barrier 또는 Silent Discharge Type) 오존발생장치 (오조나이저)를 제안한 이후로 수많은 방식의 오존발생장치가 제안, 연구되고 있다. 이 무성방전방식은 뛰어난 안전성과 조작의 용이성에도 불구하고 저농도, 저수율의 문제를 안고 있다. 즉 이론적 수율계산치 1200 g/kWh에 대해 현재까지 달성된 실제 오존생성수율은 공기를 이용한 경우 7.5%, 산소를 이용한 경우 약 18% 정도의 낮은 수치에 머물고 있는 실정이다[3]. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 하는 것이 현재 오존발생장치의 연구의 주요 현안문제라고 하겠다. 즉 고농도, 고수율의 오존생성을 달성하기 위해 여러 가지 방식의 오존발생장치가 제안되고 있으며, 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다고 하겠다. 이러한 과정에서 제안된 것이 중첩방전방식이다. 동일한 방전공간에 다른 종류의 방전을 중첩시켜 방전공간의 에너지밀도를 높여 오존생성농도와 수율을 높이겠다는 것이 기본적인 생각이다. 중첩방전방식의 예로서는 무성방전과 연면방전의 중첩, 무성방전과 자외선램프를 이용한 자외선과의 중첩, 연면방전과 코로나방전의 중첩 등이 있다. 이러한 중첩방전방식 중에서 본 논문에서는 연면방전과 코로나방전의 중첩에 의한 오존의 기초적인 생성특성에 관한 조사결과를 서술하고자 한다. 특히, 무성방전의 통상적인 전극간 간격인 1mm 보다 넓은 5mm의 전극간 간격에서 연면방전과 같거나 혹은 그 이상의 수율이 가능한지 여부와 중첩효과에 대한 조사결과를 서술하고자 한다. 즉, 오존발생장치의 제조와 유지보

* 正 會 員 : 日 本 佐 賀 大 學 理 工 學 部 博 士 課 程
 ** 非 會 員 : 日 本 佐 賀 大 學 理 工 學 部 教 授
 *** 正 會 員 : 韓 國 技 術 教 育 大 情 報 技 術 工 學 部 副 教 授
 接 受 日 字 : 2002 年 9 月 4 日
 最 終 完 了 : 2002 年 12 月 4 日

수가 힘든 문제점을 안고 있는 무성방전방식의 문제점을 극복하고자 갭간극이 상대적으로 넓지만 오존생성수율이 낮은 코로나방전에 오존생성수율이 높은 연면방전을 중첩시켜 넓은 갭간극에도 무성방전방식의 오존생성수율에 필적하는 오존생성수율을 낼 수 있는 방식으로 기대를 받고 있는 연면방전과 코로나방전의 중첩방전방식에 의한 오존생성에 관한 기초적인 연구 결과에 대해 서술하고자 한다.

2. 실험장치 및 측정시스템

중첩방전을 이용해 오존을 발생시키는 오존발생장치 본체는 그림 1에서와 같이 연면방전을 위한 평판전극과 코로나방전을 위한 텅스텐 와이어전극으로 구성되어 있다. 평판전극은 순도 96%의 알루미늄(Al_2O_3) 기반에 산화루테튬(RuO) 재질의 금속전극이 위아래에 코팅되어 있다. 평판 윗부분에 설치되어 접지용 전극으로 사용되는 코팅전극의 폭은 2mm, 평판 밑부분에 설치되어 있는 코팅된 2줄의 고압용 strip 전극의 폭은 각각 1mm씩이다. 재료표면에서의 이온충돌에 의한 2차전자방출이 비교적 다른 금속재질에 비해 많은 텅스텐을 코로나방전용 전극으로 이용하였으며, 실험에 사용된 와이어의 직경은 0.1mm이다[4]. 이 두전극간의 갭간격은 5mm이며, 유량 1.0, 1.5, 2.0L/min.의 공업용 산소가 이 사이를 통과하면서 이 중 일부가 고전압방전에 의해 오존으로 변환된다. 이때 이용된 연면방전을 위한 교류인가전압은 3에서 6.6kVrms, 코로나방전을 위한 정극성직류인가전압은 8.2kV이고 부극성직류인가전압은 -6에서 -7.2kV이다.

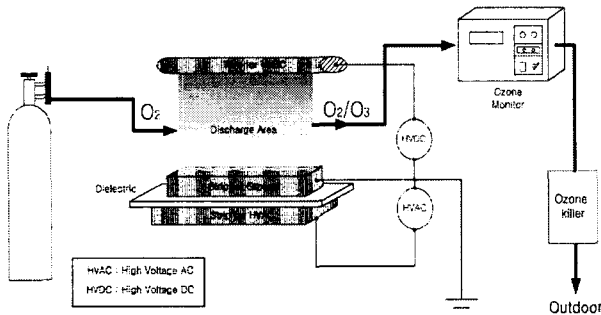


그림 1 오존발생시스템과 측정시스템의 개요

Fig. 1 Schematic diagram of ozone generation system and measurement system

오존발생장치 본체에서 생성된 오존은 오존모니터로 그 농도를 측정한다. 오존농도 측정장비로 사용된 EG-2001 오존모니터는 일본 荏原實業社(에바라)에서 제작된 장치로, 253.7nm 파장의 자외선을 최대 흡수하는 오존의 특성을 이용한 측정방식을 채용하고 있다. 즉 오존모니터를 통과하는 가스에 저압수은램프에서 발생시킨 상기 파장의 자외선을 조사하여 어느 정도로 자외선이 흡수되었는가에 따라 발생된 오존농도를 알 수 있게된다.

두 금속선의 열팽창계수 차이에 따라 발생하는 전압차로 온도를 알아낼 수 있는 열전대(thermocouple)를 가스가 빠져나가는 출구부근에 설치하여 방전에 의한 오존발생장치

내부의 가스온도 변화를 측정하였다. 이를 위해 0.1mm의 직경을 가지는 세라믹 피복의 Almel과 chromel wires를 열전대로 사용하였다.

Tektronix사의 TDS 380P 오실로스코프와 横河(요코가와)사의 2011 휴대용 DC milli-ampere meter를 이용하여 코로나방전의 방전전력을 측정하였다. 연면방전의 경우는 코로나방전의 직류전류계를 대신하여 측정용 콘덴서(방전에 의해 생성된 전하량을 측정)를 접지부에 직렬로 연결한 후 측정된 콘덴서 양단 전압과 오존발생장치 본체(평판전극)에 인가된 교류고전압을 오실로스코프에 입력하여 생성시킨 V-Q Lissajous 도형(원래 두 신호의 위상차를 알아내기 위해 개발되어 사용되는 측정기법)의 내부면적을 계산하면 방전전력을 알아 낼 수 있다[1]. 이렇게 측정된 단독방전시의 방전전력들을 더한 값을 중첩방전시의 방전전력으로 사용하였다.

2. 실험결과

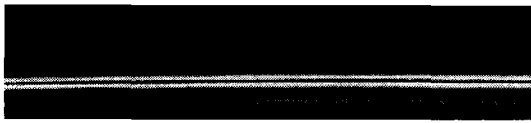
2.1 방전형태의 육안관찰

본격적인 오존농도의 측정에 앞서 방전형태의 변화를 육안으로 관찰하고 사진촬영을 실시하였다. 평판전극의 코팅전극의 양쪽 옆면 경계선이 보일 수 있도록 약간 위에서(각도를 주고) 사진을 찍었으며, 그 결과는 그림 2에서 보는바와 같다. 먼저 연면방전의 경우에는 그림 2(a)에서와 같이 strip 전극의 양 경계선을 따라 일정하게 강한 빛을 내는 안정적인 방전이 발생한다는 것을 알 수 있다. 코로나 방전의 경우에는 인가직류전압의 극성에 따라 방전형태가 판이하게 다르게 나타났다. 즉, 정극성의 경우에는 그림 2(b)와 같이 물줄기로 이루어진 샤워 커튼과 같은 방전이 와이어전극과 평판전극 사이에 발생하였으며, 이를 정극성 스트리머 코로나방전이라고 부른다. 본 실험에서의 안정적인 정극성 스트리머 코로나 방전의 경우 그 방전의 발광강도가 매우 약했으며, 그 상태에서 인가전압을 약간이라도 증가시키면 바로 spark가 발생하였다. 이는 와이어와 평판전극간의 정전용량이 10pF 이하로 외부전원으로부터 공급되는 1회 방전에 필요한 에너지 또는 전자밀도가 spark 발생에 필요한 임계치에 상당히 접근해 있는 상태에서 정극성 스트리머 코로나방전이 발생되었다고 추정된다.

이에 반해 부극성의 경우에는 그림 2(d)와 같이 와이어전극 주변에만 다수의 강한 빛을 내뿜는 광점이 안정적으로 형성되어 있었으며 그 이외 공간에서는 아무것도 발견할 수 없었다. 이로부터 부극성 외부전압이 와이어전극에서 가장 강하고 평판전극으로 갈수록 줄어들기 때문에 와이어전극 부근에서만 전자가 방전에 필요한 충분한 에너지를 얻어 방전을 일으킬 수 있다는 사실을 알 수 있다. 이를 부극성 코로나방전이라고 부른다.

중첩방전의 경우 방전형태는 그림 2(c), (e)와 같이 단독방전시의 형태가 유지되나 방전에서 방출되는 빛의 강도가 강해지거나 광점의 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 사실로부터 중첩효과는 이러한 방전공간의 강화된 방전에 의해 발생하며, 강화된 방전은 방전공간의 전계강도 강화와 연면방전에 의한 코로나방전의 전자밀도 증가(혹은 방전체적 증가)에 의해 유발될 수 있다는 가능성을 생각해 볼

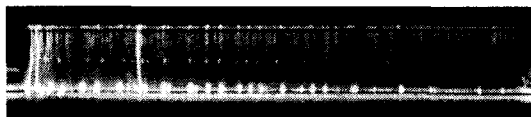
수 있다. 또한 정극성 스트리머 코로나방전이 부극성 코로나방전에 비해 방전체적이 훨씬 크기 때문에 중첩효과도 클 것으로 예상할 수 있다.



(a) 연면방전
(a) Surface discharge



(b) 정극성 스트리머 코로나 방전
(b) Positive streamer corona discharge



(c) 연면방전과 정극성 스트리머 코로나 방전의 중첩방전
(c) Superimposed discharge with surface discharge and positive streamer corona discharge



(d) 부극성 코로나 방전
(d) Negative corona discharge

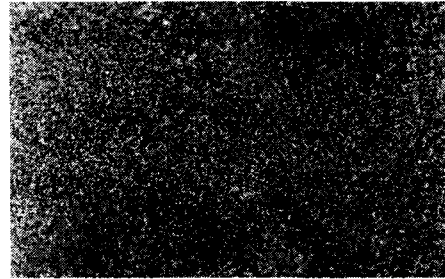


(e) 연면방전과 부극성 코로나 방전의 중첩방전
(e) Superimposed discharge with surface discharge and negative corona discharge

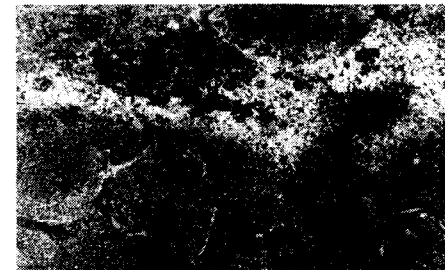
그림 2 방전형태
Fig. 2 Discharge aspect

그리고 코로나방전이 아닌 spark에 의한 전극표면변화를 조사하기 위해 평판전극의 strip 전극표면을 100배 확대하여 spark 발생 전후 상태를 비교하였다. 그 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 spark가 발생한 후에는 전극표면 일부가 spark에 의해 녹아 화산 분화구처럼 둥근 고리 모양의 요철이 형성된 것을 알 수 있다. 일단 spark에 의해 손상된 전극

은 spark 발생지점에서 고정적으로 spark가 발생하는데, 이는 이러한 요철 부분에서 spark가 고정적으로 발생하기 때문이라고 추정된다. 또한 분화구 같은 요철 부근의 일부 영역에서 전극재질인 산화 루테튬이 증발해버려 알루미늄이 그대로 노출되어 하얀 띠처럼 보이고 있다



(a) 사용전 전극
(a) New electrode



(b) 스파크에 의해 손상된 전극표면
(b) Electrode surface condition after spark

그림 3 스파크에 의한 전극표면 손상
Fig. 3 Damage of electrode surface by spark

2.2 오존 농도

오존농도는 전압인가로부터 10분간에 걸쳐 30초 간격으로 측정하였다. 이러한 측정은 재현성을 확인하기 위해 최소 2회 이상 실시되었다. 또한 오존농도는 최초의 전압인가로부터 대략 1분 30초 정도 지나면 포화에 이르고, 그 이후로는 부극성 코로나방전의 경우를 제외하고 전부 7% (24ppm) 이내의 변동을 보일 정도로 매우 일정한 발생량을 보여주고 있다. 이러한 결과를 근거로 오존발생 기초특성을 분석하기 위한 데이터로 10분 측정치를 이용하였다.

방전공간에서의 각 방전에 대한 방전전력밀도(방전전력과 가스유량의 비)별 오존농도는 그림 4에서 보는바와 같다[5]. 여기서 단위기체체적당 투입에너지인 방전전력밀도는 물리적으로 입자 1개당 투입에너지에 해당된다[6]. 단독 정극성 스트리머방전의 경우 오존을 생성시킬 만큼 충분히 강한 방전이 아니어서 오존 생성량은 0이다. 따라서 중첩방전시의 오존농도가 단독 연면방전시의 오존농도 또는 단독 부극성 코로나방전시의 오존농도보다 크다면 중첩효과가 있다고 판단할 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 정극성 스트리

이며 코로나방전과 연면방전의 중첩방전시의 오존농도는 측정전 예상대로 방전전력밀도가 700mW/L/min.(약 44Wh/L) 이하인 영역에서 가장 크다는 사실을 확인할 수 있다. 이때 발생된 최대 오존농도를 유량별로 살펴보면 1.0L/min.에서 675ppm, 1.5 L/min.에서 468ppm, 그리고 2.0L/min.에서 385ppm이었다. 이는 가스유량증가에 따른 오존발생량 감소라는 일반적인 경향과 일치하고 있으며, 그 원인은 가스의 방전공간내의 체류시간(방전공간의 체적과 가스유량의 비)이 가스유량 증가에 따라 감소하여 인가전압에 의해 가속된 전자와의 충돌시간이 그만큼 감소되기 때문인 것으로 알려져 있다[5].

오존농도측정전의 예상대로 직류전원의 극성에 따른 차이가 나타났다. 즉 방전전력밀도가 700mW/(L/min.) 이하인 영역에서 정극성 스트리머 코로나 방전을 연면방전과 중첩시킨 경우가 부극성 코로나방전을 연면방전과 중첩시킨 경우에 비해 오존농도가 높게 측정되었다. 이는 정극성 스트리머 코로나방전의 방전체적이 부극성 코로나방전의 방전체적보다 크기 때문인 것으로 추정된다. 이 결과로부터 정극성 스트리머 코로나 방전과 연면방전의 중첩에 있어 정극성 스트리머 코로나 방전이 부극성 코로나 방전에 비해 오존생성에 더 효과적이라고 할 수 있다.

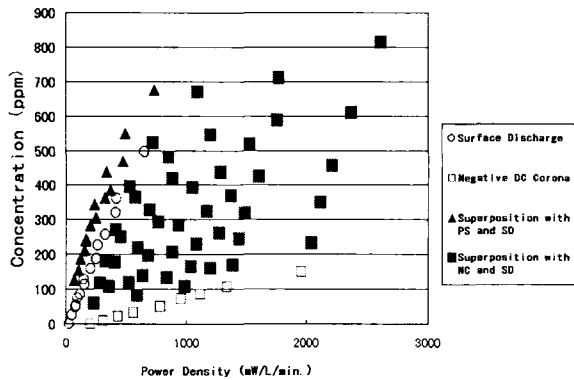


그림 4 각 방전별 발생오존발생농도 비교(SD:연면방전, PD : 정극성 스트리머 코로나 방전, NC : 부극성 코로나 방전)

Fig. 4 Comparison of ozone concentration for each discharge (SD: surface discharge, PD: positive streamer corona discharge, NC: negative corona discharge)

중첩방전 효과를 알아보기 위해 중첩방전시 측정치와 단독방전시의 측정치의 합을 비교하였다. 즉 단독 연면방전과 단독 정극성 스트리머 코로나 방전시의 오존농도 측정치를 더한 값과 이 두 방전을 중첩시켰을 때 측정한 오존농도치를 비교하여 이 두 값 사이의 차이가 0보다 크면 중첩효과(superposition 또는 synergetic effect)가 있다고 판정하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 정극성 스트리머 코로나 방전을 이용한 중첩방전에서 중첩효과가 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 중첩효과는 그림 6에서 보는바와 같이 약 300mW의 방전전력에서 포화되며 1.0L/min.의 유량에서 최대 250ppm인 것을 알 수 있다. 또한 유량 1.5L/min.와

2L/min.에서의 중첩효과가 큰 차이를 보이지 않고 있는 것 - 즉 포화특성을 나타내는 것 -은 그림 4에서와 같이 유량 증가에 따른 전자의 충돌시간 감소로 인한 것임을 알 수 있게 해준다. 이 결과로부터 중첩효과는 큰 방전전력보다 작은 방전전력영역에서 더욱 더 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

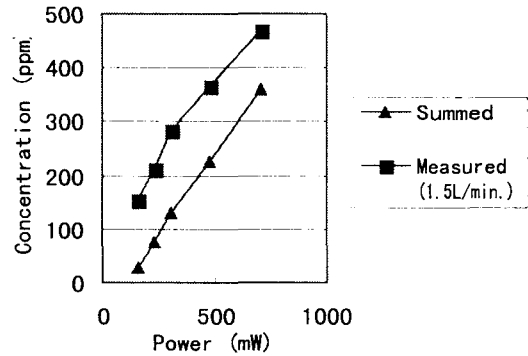


그림 5 중첩방전시 오존농도 측정치와 단독 방전시 오존농도 측정치의 합산치의 비교 (유량 1.5 L/min.)

Fig. 5 Comparison of measured ozone concentration in superimposed discharge and sum of those in each individual discharge (flow rate: 1.5 L/min.)

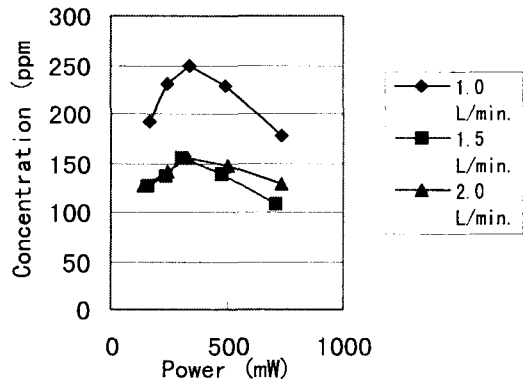


그림 6 유량별 중첩효과의 비교

Fig. 6 Comparison of superposition effects with gas flow rates

2.3 오존 생성수율

방전전력밀도에 대한 각 방전별 오존생성수율은 그림 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 연면방전과 정극성 스트리머 코로나 방전을 중첩한 경우에 다른 방전에 비해 오존생성수율이 크며, 그 중에서도 낮은 방전전력에서 오존생성수율이 가장 큰 것(1.5 L/min.유량에서 235.6g/kWh)을 알 수 있다. 여기에서의 최대 오존생성수율은 무성방전의 일반적인 오존생성수율과 비슷한 수준이다[4]. 또한 그림에서 알 수 있듯이 중첩방전의 오존생성수율은 방전전력밀도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 이로부터 중첩효과는 낮은 방전전력영역에서 매우 효과적이라는 사실을 확인할 수 있다. 이는 연면방전이 약한 정극성 스트리머 코로나 방전에 추가로 전자를 공급해 스트리머방전을 강화시

켜주기 때문이라고 여겨진다.

그리고 방전전력밀도 증가에 따른 감소에도 불구하고 중첩방전의 오존생성수율이 단독 연면방전의 오존생성수율에 비해 크다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 중첩방전이 단독방전에 비해 오존생성에 효과적이라는 사실을 확인할 수 있다. 또한 중첩방전에서도 정극성 스트리머 코로나 방전을 이용하는 것이 부극성 코로나 방전을 이용하는 것보다 방전체적이 크므로 오존생성에 유리하다는 인가전압의 극성 효과도 확인할 수 있었다.

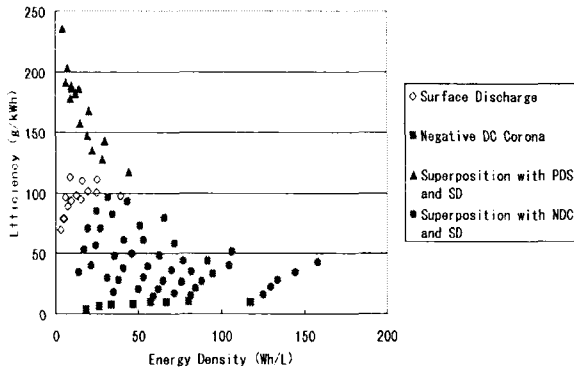


그림 7 각 방전별 오존생성수율 비교
Fig. 7 Comparison of ozone generation efficiency for each discharge

2.4 오존발생장치 내부의 가스온도 변화

오존발생장치의 가스출구 부근에서의 방전에 의한 오존발생장치 내부의 가스온도 변화 측정결과는 그림 8과 같다. 방전전의 오존발생장치 내부의 초기 온도는 25.4°C이다. 그림에서 보듯이 연면방전의 경우 방전전력밀도에 대한 온도 변화가 매우 작은 것을 알 수 있는데 이는 상대적으로 짧은 방전거리에 의한 고전계강도의 영향으로 추정된다. 이에 비해 중첩방전이나 부극성 코로나방전의 경우 방전전력밀도에 대한 온도 변화가 매우 큰 것을 알 수 있다. 즉 연면방전과 정극성 스트리머 코로나 방전의 중첩방전의 경우 2L/min.의 유량과 방전전력밀도 730mW/L/min.(약 44Wh/L)에서 최대 40.4°C까지 온도가 상승하여 초기 온도(방전전 가스온도)와 15°C의 차이를 보여주고 있다. 상대적으로 큰 이러한 온도상승은 방전공간에서의 이온의 온도 상승과 관계 있는 것으로 보여진다. 왜냐하면 스트리머방전에 비해 방전체적이 적은 부극성 코로나방전에서의 온도 상승이 정극성 스트리머 코로나 방전의 경우에 비해 크다는 사실은 전자의 온도상승보다는 주로 이온의 온도상승에 의한 것으로 추정할 수 있다. 따라서 중첩방전에서의 급격한 온도상승도 방전공간에 존재하는 이온에 의한 온도상승으로 인해 유발된 것으로 판단된다.

2.5 방전전류 파형

중첩효과의 발생조건을 조사하기 위한 첫단계로 방전별 방전전류 파형을 조사하였다. 그 결과 연면방전의 경우 그

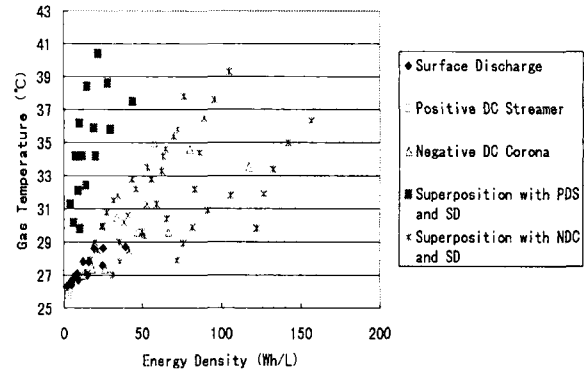
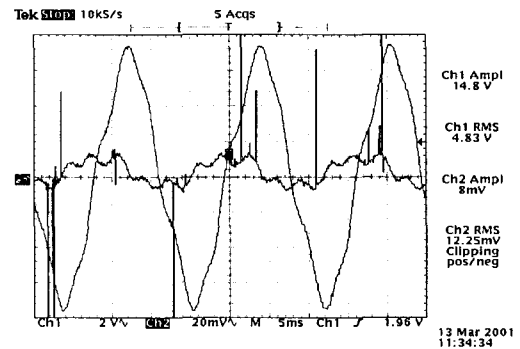
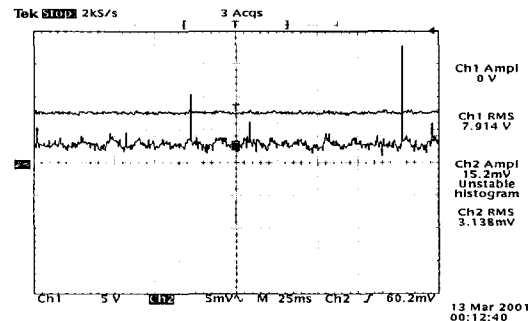


그림 8 각 방전별 오존발생장치 내부의 가스온도 변화
Fig. 8 Change of gas temperature of ozonizer for each discharge

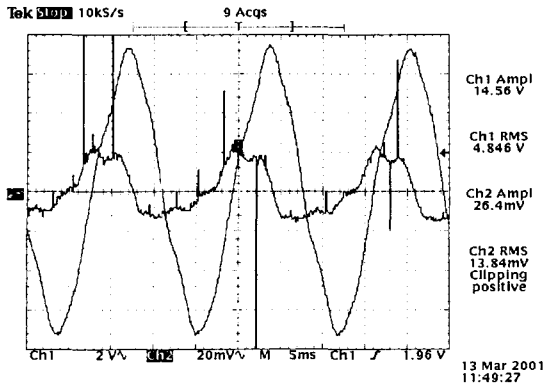
림 9(a)에서 보는 바와 같이 60Hz 한 주기 동안 4주기씩 2번 즉 반주기동안만 방전전류가 나타난다. 이에 비해 그림 9(b)에서와 같이 정극성 스트리머 코로나 방전은 2~5주기에 1회씩 방전이 발생한다. 이러한 단독방전들을 중첩시키면 그림 9(c)와 같이 한 주기 내내 방전이 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다.



(a) 연면방전시 방전전류와 교류인가전압파형
(a) Waveform of discharge current and applied voltage for surface discharge

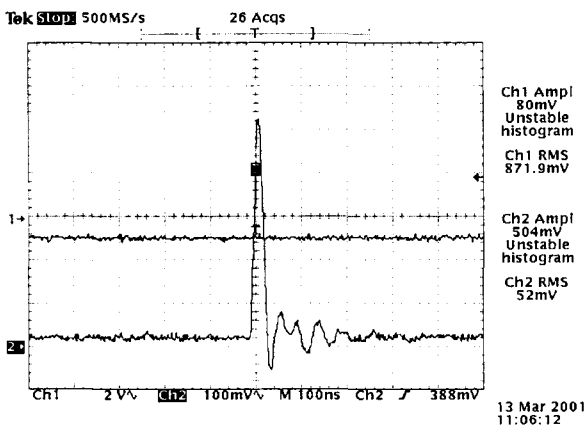


(b) 정극성 스트리머 코로나 방전의 방전전류와 교류인가전압 파형
(b) Waveform of discharge current and applied voltage for positive streamer corona discharge



(c) 연면방전과 정극성 스트리머 코로나 방전의 중첩방전시 방전전류와 교류인가전압파형 (4.1kVrms(AC)+7.4kV(PDC))

(c) Waveform of discharge current and applied voltage for superimposed discharge with positive streamer corona discharge and surface discharge (4.1kVrms(AC)+7.4kV(PDC))



(d) 중첩방전시 방전전류의 세부 파형
(d) Detailed waveform of discharge current for superimposed discharge

그림 9 방전전류와 인가전압 파형의 비교
Fig. 9 Comparison of waveform of discharge current and applied voltage for each discharge

이 그림에서 연면방전에서는 방전이 발생하지 않는 영역에서 연면방전 전류의 크기에 비해 작지만 독립적으로 발생하는 방전전류는 연면방전에서 공급된 전자들에 의해 강화된 정극성 스트리머 코로나방전에 의한 것으로 보여지며 연면방전과는 발생시점이 완전히 구별된다. 따라서 중첩효과는 이와 같이 강화된 정극성 스트리머 코로나방전에 의해 나타나는 것으로 볼 수 있으며, 발생시점이 독립적이라는 점으로부터 중첩방전의 방전전력을 단독방전의 방전전력 위 합산치로 보아도 큰 무리는 없다고 판단된다.

또한 이러한 방전전류의 피크치 중에 하나를 선택하여 확대하여 보면 그림 9(d)와 같다. 첫 번째 펄스의 폭이 약

50ns인 이 방전전류 파형은 중첩방전시 측정된 것이나 단독 연면방전시의 방전전류 파형과 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이에 비해 단독 정극성 스트리머 코로나방전의 방전전류 파형은 첫 번째 피크의 크기가 중첩방전의 방전전류 첫 번째 피크치에 비해 약 50배 정도 작았다.

2.5 직류전원의 극성 효과

직류전원 극성에 의한 오존생성농도의 차이를 재확인하기 위해 gap 간극이 9mm인 별도의 오존발생장치를 이용하여 오존농도를 측정하였다. 그 결과는 그림 10과 같으며 위의 실험결과와 마찬가지로 방전체적이 큰 정극성 스트리머 코로나 방전을 사용한 중첩방전이 부극성 코로나 방전을 사용한 중첩방전보다는 더 많은 오존을 생성시킴을 알 수 있다. 이로서 오존생성에는 정극성 스트리머 코로나 방전이 부극성 코로나 방전에 비해 효과적이라는 사실을 다시 한번 더 확인할 수 있었다.

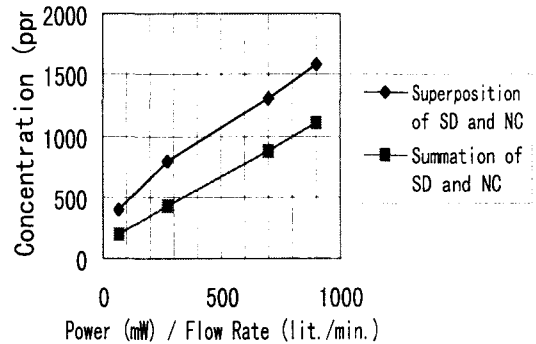


그림 10 직류전원의 극성에 따른 오존생성농도의 변화(9mm gap)

Fig. 10 Variation of ozone concentration by polarity of dc power (9 mm gap)

3. 결 론

이상의 실험결과를 종합해보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 갭간극이 9mm인 오존발생장치에서 중첩방전이 낮은 방전전력밀도구간(700 mW/L/min. 이하)에서 오존생성에 매우 효과적이라는 사실을 확인하였다. 그 중에서 정극성 스트리머 코로나 방전을 연면방전에 중첩시킨 경우가 부극성 코로나 방전을 중첩시킨 경우보다 더욱 오존 생성에 효과적이었다. 이는 갭간극이 9mm인 다른 발생장치에서도 확인할 수 있었다. 그 이유로는 오존생성에 가장 큰 영향을 미치는 스트리머 코로나 방전의 방전체적이 코로나 방전에 비해 매우 크기 때문인 것으로 판단된다.
- (2) 중첩방전시 연면방전에 의해 공급된 전자가 스트리머 코로나 방전을 강화시키고 이 강화된 방전에 의해 연면방전시 휴지기간에 해당되는 시점에 스트리머 코로나 방전이 연면방전과 독립적으로 발생하며, 이 독립적으로

발생한 방전에 의해 중첩효과가 나타난다고 추정된다. 따라서 중첩효과는 증가된 전자밀도(혹은 방전체적)에 의해 스트리머 코로나 방전공간에서 발생한다고 할 수 있다.

- 3) 중첩방전의 오존생성수율은 단독 연면방전의 오존생성수율보다 높다는 사실을 확인(최대 235.6g/kWh)하였으며, 이 최대 오존생성수율은 무성방전의 일반적인 오존생성수율과 비슷한 수준이다. 이 사실로부터 넓은 갭간격(5mm)에서의 오존생성에 중첩방전이 매우 효과적인 수단이 될 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다.
- 4) 오존발생장치 내부의 가스온도는 중첩방전에 의해 상당히 급속히 증가된다는 것을 알 수 있다. 이는 방전공간 중에 존재하는 이온의 온도 상승에 기인하는 것으로 추정된다.

상기와 같이 추정 수준에 머물고 있는 중첩효과의 발생원인을 좀 더 구체적으로 밝힐 수 있도록 추가적인 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구(관리번호:00-역-02)는 2000년도 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소의 주관으로 수행되었음을 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] U. Kogelschatz, "Advanced Ozone Generation", Process Technologies for Water Treatment, Edited by Samuel Stucki, Plenum Publishing Corporation, 1988, pp. 87-120
- [2] Rip G. Rice, "Century 21 - Pregnant with ozone", Proceedings of the 15th Ozone World Congress, Oral Presentation Volume I, London, U.K., 11th - 15th September 2001, pp.1 - 27
- [3] 岸田 治夫, 放電によるオゾン生成における重疊効果に関する研究, 武蔵工業大學 博士學位論文, 1998, pp.5-28
- [4] Sanborn C. BROWN, Basic Data of Plasma Physics, 1966 - 2nd Edition, THE M.I.T. PRESS, pp.233-234
- [5] C. Monge, R. Peyrous, and B. Held, "Optimization of a Corona Wire-to-Cylinder Ozone Generator. Comparison with Economical Criteria. Part I: Oxygen", Ozone Science & Engineering, Vol. 19, No. 6, December 1997, pp.533-547.
- [6] 太田 幸治, 和田 昇, 葛本 昌樹, "極短ギャップ兩面冷却式オゾン發生器によるオゾン發生特性", 日本電氣學會論文誌A, 120巻 6號, 2000年, pp. 695-700

저 자 소 개



안희성 (安熙成)

1965년 서울 출생. 1988.2 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1988.2 한국전기연구소 송변전연구실 입소. 765kV 송전선로에서의 전자과장해 연구담당 선임연구원으로 근무. 1998.10. 일본 사가대학 이공학부 공학계연구과 야마베(山部)연구실 석사과정 입학. 2000.9 동 연구실 석사 졸업. 2000.10 한국전기연구원 퇴원. 2000.10 사가대학 2000.10 사가대학 이공학부 공학계연구과 야마베(山部)연구실 박사과정 입학. 중첩방전에 의한 오존발생특성에 관한 연구 수행중.

Tel : 81-952-28-8642, Fax : 81-952-28-8651
E-mail : 00ts12@edu.cc.saga-u.ac.jp



야마베 초우베 (山部長兵衛)

1944.12.14 兵庫縣 출생. 1972.3 大阪大學 大學院 工學研究科 碩士課程(電氣工學 專攻) 졸업. 1974. 10 大阪大學 大學院 工學研究科 博士課程(電氣工學 專攻) 중퇴. 1974.10 大阪大學 工學部 助手. 1975.7 名古屋大學 工學部 助手. 1979.4 名古屋大學 工學部 講師. 1980~1981 미국 콜로라도대학 天體物理聯合研究所 客員研究員. 1983.11 名古屋(나고야)大學 工學部 助教授. 1993. 6 佐賀(사가)大學 理工學部 教授.

Tel : 81-952-28-8642, Fax : 81-952-28-8651
E-mail : yamabe@esp.ee.saga-u.ac.jp



위상봉 (韋相烽)

1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1981년~1983년 효성중공업 연구소 연구원. 1983년~1990년 한국전기연구원 선임연구원 1990년~현재 한국기술교육대 정보기술공학부 부교수

Tel : 041-560-1166, Fax : 041-564-3261
E-mail : weesb@kut.ac.kr