

이중베리어방전을 이용한 NOx 제거

論 文

49C-1-7

NOx Removal by using Double Barrier Discharge

金 桐 郁* · 鄭 英 植**

(Dong-Ook Kim · Young-Sik Chung)

Abstract - In this experimental study we proposed the double dielectric barrier discharge (DDBD) reactor to produce as high an electric field as possible. The experiment are conducted for applied voltage from 15 to 20[kV], 1~4[l/min] of gas flow rate and 120[Hz] and 240[Hz] of pulse rate. Superposition discharge(SPD) generated in DDBD which combined the surface discharge with the silence discharge was the most effective to reduce the NOx. In the decomposition efficiency per watt, the low pulse rate gave better efficiency than the high pulse rate. However in DeNOx rate, the high pulse rate gave better performance than the low pulse rate. NOx removal rate and efficiency increased with increasing the applied voltage in all reactors.

Key Words : NOx, double barrier discharge, Superposition discharge

1. 서 론

질소산화물(NOx)은 스모그와 인체에 미치는 영향이 크기 때문에 NOx 배출 허용 레벨에 대한 규제가 엄격해짐에 따라 NOx 가스처리를 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 최근에 NOx의 후처리를 위해 개발되고 있는 방법으로 비열 플라즈마(non-thermal plasma)를 이용한 NOx 처리 기술은 비교적 간단하고 제거 효율이 높아 실용화를 위한 연구가 더욱 가속될 것이다.

비열 플라즈마에서는 전기적 에너지의 대부분이 활성 전자들을 발생시키는데 이용되고 주위의 gas와 이온들에게는 거의 에너지가 전달되지 않는다. 비록 이 전자들이 대기압 상태에서 짧은 시간동안 존재하고, 오염 분자들과는 거의 충돌하지 않지만, 배경가스 분자들과 충돌하여 전자 충돌에 의한 해리와 산화를 통해 반응성이 강한 활성종(radical)을 생성하게 되며, 이 활성종은 질소 분자들을 산화 또는 해리시켜 제거한다. 전기적 기체 방전을 이용한 기술은 전극의 구조 및 공급되는 전력에 따라 다양하게 만들 수 있고, 이 중에서도 펄스 스트리머 코로나 방전(pulsed streamer corona discharge)을 이용한 방법이 많은 주목을 받고 활발히 연구되고 있으며, 탈질/탈황을 위한 코로나 방전은 상승시간이 매우 짧은 좁은 폭을 지닌 고전압 펄스를 두 개의 전극 사이에 인가하여 얻을 수 있다. 전압 상승시간이 길어질수록 공급된 에너지는 친화력이 강한 활성종 등을 발생시키는데 필요한 전자에게만 공급되는 것이 아니라, 이온에게도 동시

에 에너지가 공급되어 기체의 온도를 상승시키는데 이 때 많은 전기 에너지가 소모된다. 코로나 방전은 대형 방전 장치를 구성하여 화력발전소 및 공장 등의 배연가스를 처리할 수 있으며, 장치의 소형화를 통한 자동차 배연가스의 처리에 활용될 수 있다. 그러나 현재 NOx등 대기오염원의 처리 원리인 코로나 방전 및 플라즈마 화학에 대한 이해의 부족과 해석의 어려움으로 최적의 처리장치의 설계에는 많은 난점들을 갖고 있다.

본 연구는 디젤 자동차와 같은 이동 오염원에 적용이 가능하게 소형장치에 적합하도록 화학적 첨가제나 촉매제를 사용하지 않고 적절한 전력 소모를 하면서 NOx 배출량을 줄일 수 있는 건식 반응기를 제안하여, 시동시 고농도의 NOx와 운전시 저농도의 NOx를 분해하기 위해 반응기는 전압을 다양하게 인가할 수 있도록 세 개의 전극으로 구성되었고 코로나 방전을 사용한 NOx 처리에서는 스트리머 코로나를 안정시키는 방법이 고려되어야 하기 때문에, 이를 위해 전극 사이에 유전체 장벽을 삽입하여 스트리머 코로나를 유지하는 유전체 장벽 코로나 방전을 본 연구에서는 사용하였다. 또한 장치의 효율성을 평가하기 위해 기존에 많이 연구된 cylinder-wire 반응기와 비교하였다[1-3].

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험 장치의 개략도는 그림 1과 같이 전원 공급장치, 반응기 및 분석 장치로 구성되어 있다. DC 펄스 고전압 발생 장치의 개략도를 그림 2에 나타냈으며, 전원 공급 장치는 최대 50kV, 30mA의 DC를 공급할 수 있는 직류 고전압 발생장치(Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였으며, 직류 고전압 발생장치에서의 출력된 전압을

* 準 會 員 : 仁 川 大 工 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 仁 川 大 工 大 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1999年 10月 19日

最 終 完 了 : 1999年 12月 8日

RSG(rotary spark gap)를 사용하여 펄스 전압을 만들어 사용하였다. 발생한 펄스 파형을 그림 3에 나타내었다. 전기적인 특성을 측정하기 위해 반응기의 양단에 나타나는 전압과 전류의 파형을 측정하였다. 펄스의 상승시간은 80[nsec]이내이며, 주파수는 120~240[Hz]로 가변 할 수 있다. 전압측정은 고전압 probe(Tektronix P6015A 1000:1)를 사용하고, 전류측정은 전류 증폭기(Tektronix AM 503B)와 전류 probe(Tektronix A6312)를 사용하여 디지털 오실로스코프(Tektronix 724A 500MHz)에 연결하여 측정하였다. 오실로스코프는 컴퓨터에 연결되어 전압 및 전류 값들을 기록하며, 이 값들을 계산하여 반응기가 소모하는 평균전력 값을 산출하였다. NOx의 측정은 NO와 NO₂를 합한 값을 NOx로 나타내는 chemiluminescent NO/NO₂/NOx 분석기 (Advanced Pollution Instrumentation, model 200AU)를 사용하여 측정하였다. 실험에 사용된 모의가스는 NO 1492[ppm]과 N₂를 가스 혼합기에서 농도를 조절하여 사용하였으며, 유속은 1~4[l/min]로 하여 실험을 수행하였다.

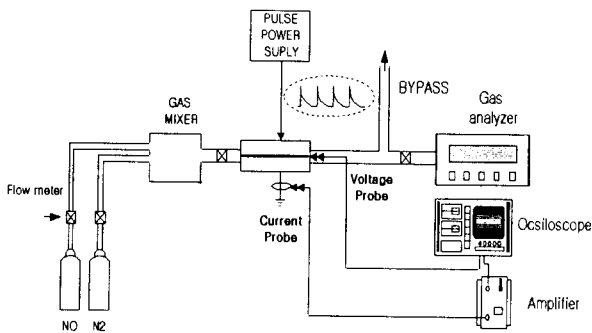


그림 1 실험장치 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

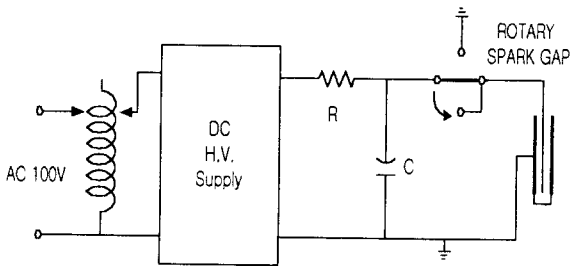


그림 2 펄스전원장치

Fig. 2 Pulse generator apparatus

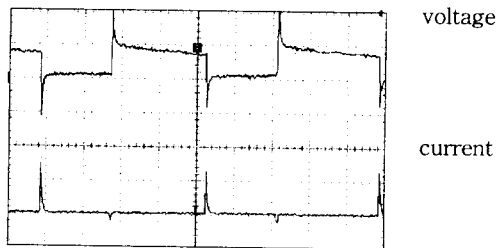


그림 3 DC 펄스 전압 및 전류 파형

Fig. 3 DC pulse voltage and current waveform

2.2 반응기

본 실험에서 사용된 반응기는 그림 4에 나타나있다. 그림 4(a)에 보여진 반응기는 cylinder-wire 반응기로 내경 18mm 외경 20mm의 pyrex 유리관을 유전체 장벽으로 하였으며, 이 유리관 외부에 알루미늄 박막을 감싸서 외부전극으로 사용하고 내부전극은 직경 0.2mm의 스테인레스 선을 전극으로 사용하였다. 그림 4(b)의 반응기는 본 연구에서 제안한 이중 베리어 반응기로 내부 pyrex 유리관과 외부 pyrex 유리관이 있고 그림 4(c)와 같이 내부 유리관에 금속 소구체로 채워진 반응기에 중심전극으로 직경 2.5[mm]의 금속 소구체를 사용하고, 내부전극은 내부 유리관의 외부에 나선형으로 스테인레스 선을 감아서 사용하며, 외부 유리관 외부에 알루미늄 박막을 감싸서 외부전극으로 사용하였다. 이 반응기는 전자가 고전계에서 방출하는 점과 가스의 반응기 거주시간이 NOx 분해에 영향을 미치는 점을 응용하여 극간 거리를 짧게 하기 위해 내부에 금속 소구체를 채웠으며 또한 극간거리는 일정하면서 반응기의 체적을 크게 하기 위해 스테인레스 선을 나선형으로 감았다. 중심에 소구체를 이용하여 극간 거리가 가장 짧은 부분에서 먼저 코로나가 발생하고 전압을 높일 경우 전극을 따라 스트리머가 발생하는 것을 관찰하였다.

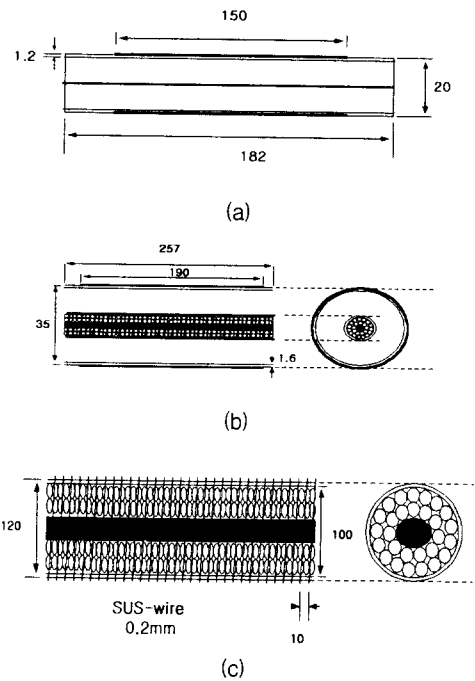


그림 4 반응기 (a) cylinder-wire (b) 이중베리어 (c) 이중베리어 반응기의 내부

Fig. 4 Reactors (a) cylinder-wire (b) double-barrier (c) inside of inner tube of double-barrier reactor

3. 실험 결과

그림 5는 N₂+NO 혼합가스에서 NO가 NO₂로 산화되는 화학 변화의 일반적인 특성을 보여준다. 초기 농도 NO 300[ppm]과 700[ppm]에 대하여 생산된 NO₂는 NO의 제거가 증가됨에서

따라 단조롭게 증가하여 각각 최대 값에 도달한다. 이때 초기 농도 NO 700[ppm]에서 대략 65[ppm]의 NO₂가 산화과정 때문에 생성되며 300[ppm]에서 37[ppm]의 NO₂가 생성되었다.

N₂와 NO 혼합가스에서 화학반응은 주로 초기의 활성화종 생성과정 반응식 (R1)에 의해 유도되고 그 다음 환원과정 식 (R2) 와 산화과정 식 (R3)로 유도된다. 결과적으로 식(R2+R3)의 최종 과정이 생성된다.

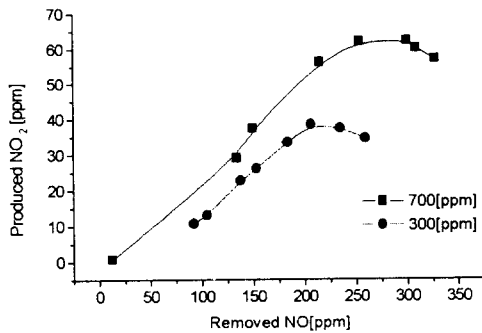
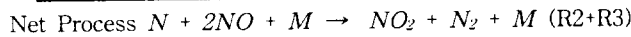
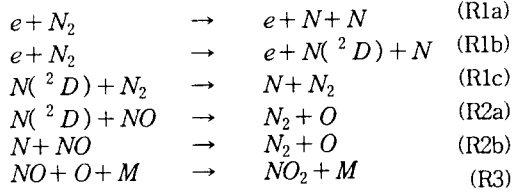
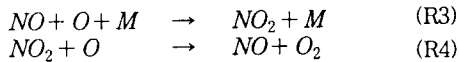


그림 5 농도 NO 700[ppm]과 300[ppm]에서 제거된 NO와 생성된 NO₂

Fig. 5 Removed NO and produced NO₂ at concentration NO 700[ppm] and 300[ppm]

방전 전력이 증가함에 따라 더 많은 NO₂가 반응식 (R3)에 따라 생성될 것이고 이것은 NO₂에서 NO로 전환되는 역반응이 증가하도록 유도한다. 결과적으로 반응식 (R3)와 (R4)는 NO₂의 생성과 NO 제거를 증가시키지 않고 O를 소모할 것이다. 따라서 제거된 NO의 높은 비율이 높은 코로나 에너지 밀도 하에서 반응식 (R2) 때문에 N₂로 감소될 수 있다.



방전 전력을 더욱 증가시키면 생산된 NO₂는 NO를 증가시키면서 역시 줄일 수 있다. 그러나 이러한 경우에 생산된 NO₂의 일부는 반응식 (R5)를 통해 소량의 N₂O로 전환될 것이고, 또한 다른 부산물이 생길 것이지만 우리는 측정하지 못했다. 이러한 실험적인 관찰과 분석에 따라 식 (1)에서와 같이 NO의 산화를 통해 생산된 NO₂는 항상 제거된 NO의 50%를 넘지 않았다.

$$\Delta NO_2 \leq 50\% \cdot \Delta NO \quad (1)$$

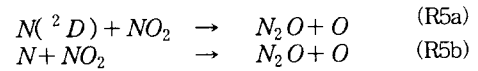


그림 6와 그림 7은 인가 전압에 따른 NO와 NOx 제거율을 보여준다. 여기서 인가전압은 반응기에 투입된 첨두전압을 지시하고 초기농도는 700[ppm]으로 고정하였으며 주파수는 240[Hz]으로 고정하여 유량 2[l/min]에서 실험하였다. 전압을 상승시키면 전기장은 식(2)와 같이 발생되기 때문에 두 개의 반응기에서 인가전압의 상승에 따라 NO와 NOx분해율은 증가되었다. 여기서 r은 방전전극으로 사용된 선의 반경이며 D는 선과 실린더의 거리이다.

$$E = \frac{V}{r \log \frac{D}{r}} \quad (2)$$

DDBD 반응기에 만약 내부전극에 전압을 인가하고 중심전극과 외부전극을 접지하면, 이러한 구성으로 연면방전과 무성방전이 결합된 중첩방전(SPD)이 발생되고, 내부전극에 전압을 인가하고 외부전극을 접지하면 무성방전(SLD)이 발생되며, 내부전극에 전압을 인가하고 중심전극을 접지하면 연면방전(SFD)이 발생한다. 그리고 중심전극에 전압을 인가하고 내부전극을 접지하면 부극성 연면방전(NSFD)이 발생된다. DDBD의 SLD와 CW는 NO와 NOx 분해율에 있어서 유사한 특성(무성방전)을 보여준다. NO와 NOx제거에서 SPD가 그림 8에서 보여주는 것처럼 20[kV] 7.5[W]의 방전으로 각각 최고 약 75%와 70%의 분해율을 보이면서 가장 좋았다. NO와 NOx 분해율에서 SFD가 SLD보다 좋은 이유는 SFD의 전극간 거리가 SLD의 전극거리보다 짧아서 식 (2)에서와 같이 전기장이 강해지기 때문에 강한 코로나의 성장으로 NO와 NOx 분해율을 증가시키므로 SFD가 보다 높은 분해율을 보였다[4].

그림 6과 그림 7에 인가한 전압에 따른 반응기의 소비전력을 그림 8에 도시하였다. 연면방전의 특성이 나타나는 부분에서 전력소비가 높은 것으로 나타났으며 무성방전의 특성이 나타나는 부분에서는 방전전력이 작았다. 이는 극간거리가 작을수록 전자가 양극으로 많이 도달하기 때문에 누설전류와 용량성 전류가 많기 때문이다[5].

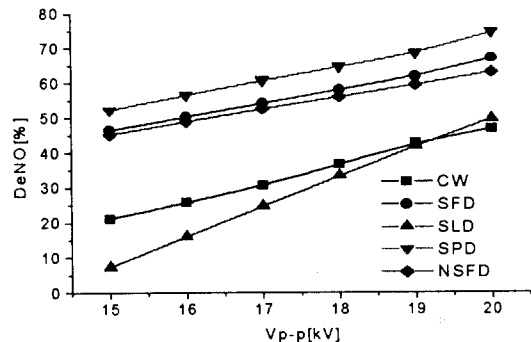


그림 6 700[ppm]과 240[Hz]에서 입력전압에 따른 NO의 제거율. (유량=2[l/min])

Fig. 6 DeNO rate as a function of input voltage at 700 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[l/min])

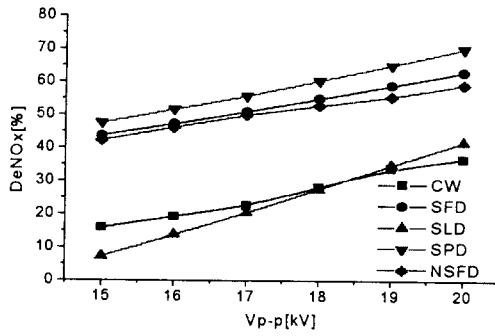


그림 7 700[ppm]과 240[Hz]에서 입력전압에 따른 NOx 제거율. (유량=2[ℓ/min])

Fig. 7 DeNOx rate as a function of input voltage at 700 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

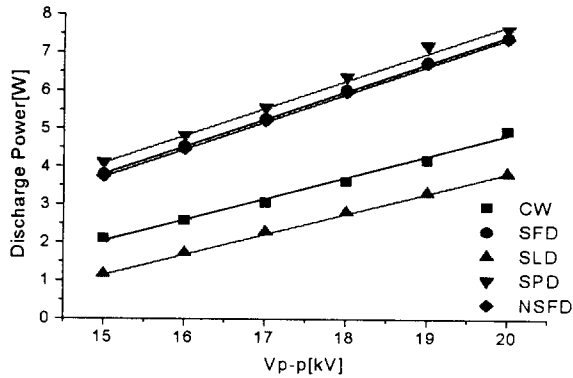


그림 8 700[ppm]과 240[Hz]에서 입력전압에 따른 방전전력 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 8 Discharge power as a function of input voltage at 700 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

그림 9와 그림 10은 전압에 따른 초기농도 300[ppm]에서 NO와 NOx의 분해율을 보여준다. 높은 농도(700[ppm])보다 낮은 농도에서 NO, NOx의 제거율은 전체적으로 상승했다. 20[kV]에서 SPD는 90[%] 이상의 가장 높은 NOx 제거율을 보였지만 700[ppm]에서 보여지는 것만큼 SPD와 SFD에 대해 차이를 보이지 않았다. 이러한 분해율의 상승에도 반응기의 소비전력은 700[ppm]에서 반응기의 소비전력과 비슷했다.

그림 11, 그림 12와 그림 13, 그림 14는 각각 초기농도 700[ppm]과 300[ppm]에서 방전전력에 따른 NO와 NOx의 분해율을 보여준다. 같은 방전전력에서 DDBD와 CW는 NOx의 분해율에서 저농도(300[ppm])가 고농도(700[ppm])보다 높았으며 SPD가 700[ppm]에서 가장 효과적이었다. 그러나 300[ppm]에서 SPD, SFD 그리고 NSFD는 유사한 분해율을 보였으며, SFD와 NSFD는 다른 극성을 사용하였지만 유사한 분해율을 보였다. 낮은 방전전력으로 SLD와 CW(무성방전)은 다른 것보다 유용했다[6].

그림 15와 그림 16은 유량을 2[ℓ/min]로 하고 주파수를 240[Hz], 그리고 입력전압을 19[kV]로 할 때 농도에 따른 NO와 NOx의 분해율을 도시하였다. 농도에 따른 분해율에서 CW 반응기는 저농도에서 높은 분해율을 보이며 DDBD

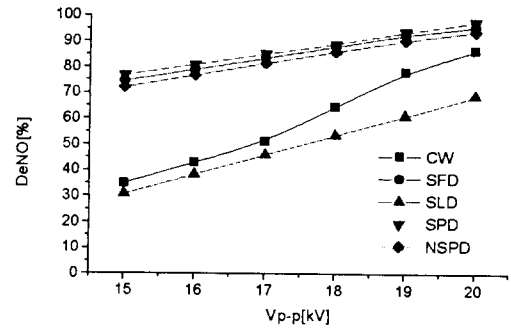


그림 9 300[ppm]과 240[Hz]에서 입력전압에 따른 NO 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 9 DeNO rate as a function of input voltage at 300 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

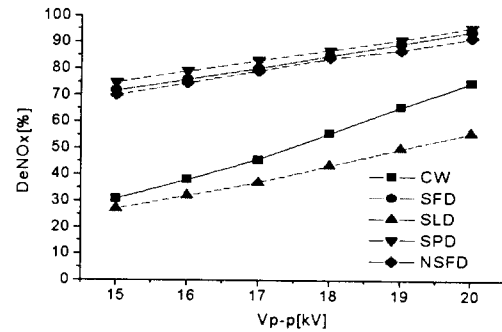


그림 10 300[ppm]과 240[Hz]에서 입력전압에 따른 NOx 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 10 DeNOx rate as a function of input voltage at 300 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

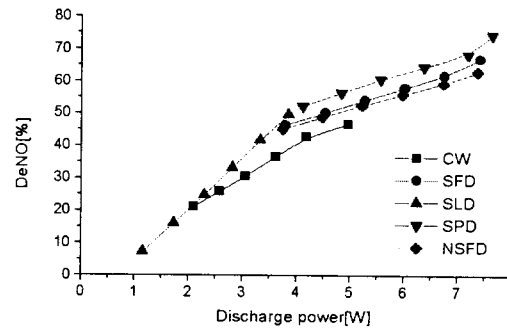


그림 11 700[ppm]과 240[Hz]에서 방전전력에 따른 NO 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 11 DeNO rate as a function of discharge power at 700 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

반응기는 일정한 비율로 분해율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 전체적으로 반응기의 체적이 큰 이유로 가스의 거주시간이 길기 때문에 화학반응이 CW형 반응기가 보다 안정적으로 일어나며, 또한 NOx분자의 농도가 높을수록 소모전력이 크게 되지만 NOx가스에 충분한 에너지를 전달하지 못하기 때문에 농도가 높을수록 전체적으로 분해율이 감소하는 것을 알 수 있다.

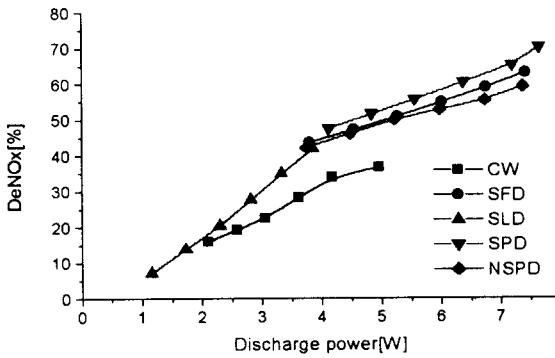


그림 12 700[ppm]과 240[Hz]에서 방전전력에 따른 NOx 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 12 DeNOx rate as a function of discharge power at 700 [ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

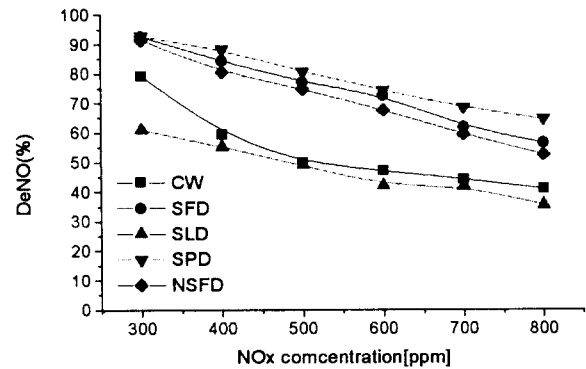


그림 15 농도에 따른 NO 제거율 (입력전압=19[kV], 주파수=240[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 15 DeNO rate as a function of concentration (Input voltage=19[kV], frequency=240[Hz], flow rate =2[ℓ/min])

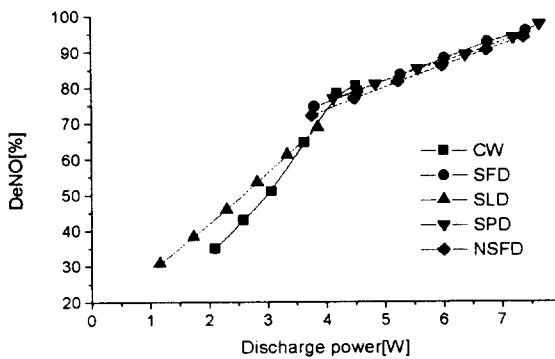


그림 13 300[ppm]과 240[Hz]에서 방전전력에 따른 NO 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 13 DeNO rate as a function of discharge power at 300[ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

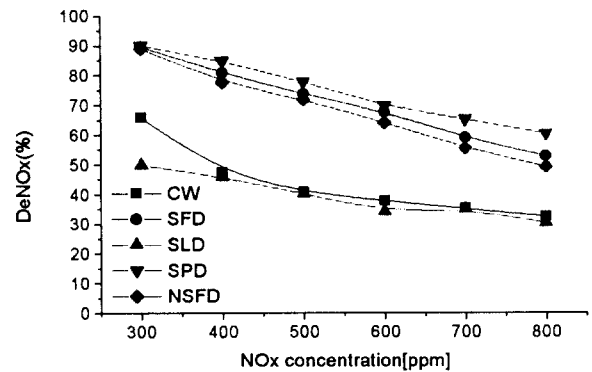


그림 16 농도에 따른 NOx 제거율 (입력전압=19[kV], 주파수=240[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 16 DeNOx rate as a function of concentration (Input voltage=19[kV], frequency=240[Hz], flow rate =2[ℓ/min])

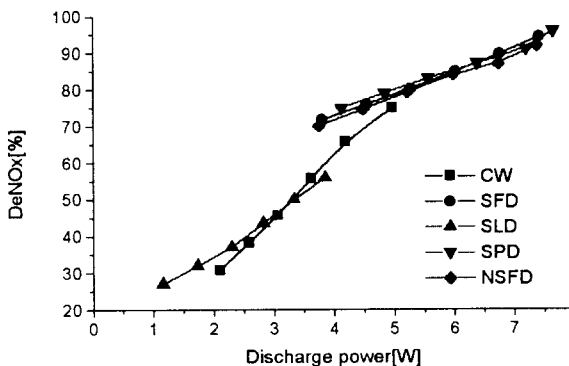


그림 14 300[ppm]과 240[Hz]에서 방전전력에 따른 NOx 제거율 (유량=2[ℓ/min])

Fig. 14 DeNOx rate as a function of discharge power at 300[ppm] and 240[Hz] (flow rate =2[ℓ/min])

그림 17과 그림 18은 입력전압을 19[kV], 주파수 240[Hz], NOx를 700[ppm]으로 하였을 때 유량에 따른 NO와 NOx의

분해율을 도시하였다. 유량 증가시 CW형 반응기와 DDBD형 반응기의 차이는 감소하며 이는 스트리머 방전으로 인해 방출된 전자가 유량이 증가할수록 효과적으로 NOx가스를 해리시키지 못하여 미분해된 상태로 배출되며 DDBD 반응기에서 연면방전일 경우 스트리머 코로나의 성장이 내부로 집중되어있기 때문에 무성방전시보다 유량에 따라 급격한 하락을 보인다고 판단된다.

그림 19와 그림 20은 700[ppm], 120[Hz]의 주파수, 그리고 유량 2[ℓ/min]에서 NO와 NOx의 분해율을 보여준다. 그림 6과 그림 7에서의 높은 주파수는 보다 많은 펄스가 발생되므로 방전수가 많아져 펄스의 수가 많을수록 소비전력과 함께 더욱 높은 분해율을 보인다[7]. 그러나 일본의 T.Oda 교수는 500[Hz]에서 1[kHz]사이의 주파수가 가장 좋은 주파수대라고 보고했다. 이러한 이유는 활성종과 전자의 수명 때문이며 주파수가 보다 높아지면 잔여 이온으로 에너지가 소모될 것이기 때문이다.

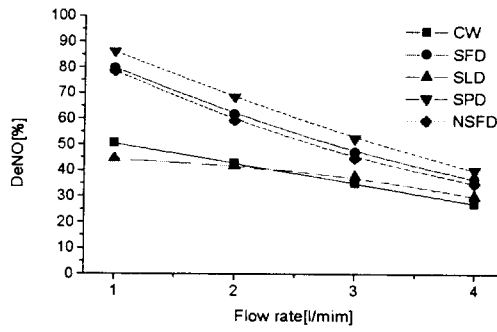


그림 17 유량에 따른 NO 제거율 (농도=700[ppm], 입력전압 =19[kV], 주파수=240[Hz])

Fig. 17 DeNO rate as a function of flow rate (concentration=700[ppm], Input voltage=19[kV], frequency=240[Hz])

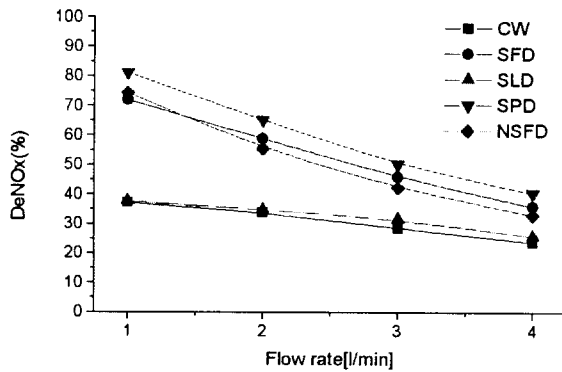


그림 18 유량에 따른 NOx 제거율 (농도=700[ppm], 입력전압 =19[kV], 주파수=240[Hz])

Fig. 18 DeNOx rate as a function of flow rate (concentration=700[ppm], Input voltage=19[kV], frequency=240[Hz])

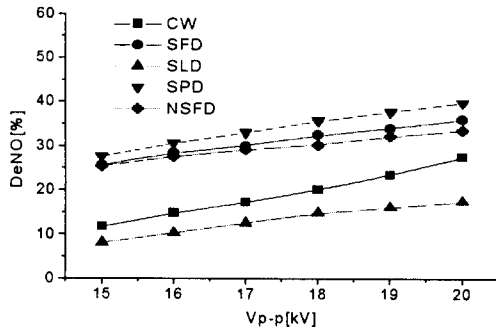


그림 19 입력전압에 따른 NO 제거율 (농도=700[ppm], 주파수=120[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 19 DeNO rate as a function of input voltage (concentration=700[ppm], frequency=120[Hz], flow rate=2[ℓ/min])

그림 21과 그림 22는 각각 120[Hz]와 240[Hz]에서 인가전압에 따른 방전전력당 NOx분해율을 도시하였다. 두 개의 주파수에서 SLD를 제외하고 15[kV]에서 가장 좋은 전력당 NOx 분해율을 보였다. SPD와 SFD는 인가전압이 상승됨에

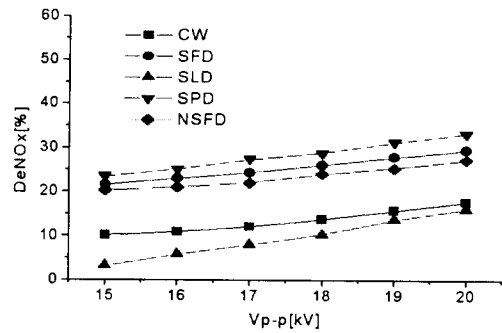


그림 20 입력전압에 따른 NOx 제거율 (농도=700[ppm], 주파수 =120[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 20 DeNOx rate as a function of input voltage (concentration=700[ppm], frequency=120[Hz], flow rate=2[ℓ/min])

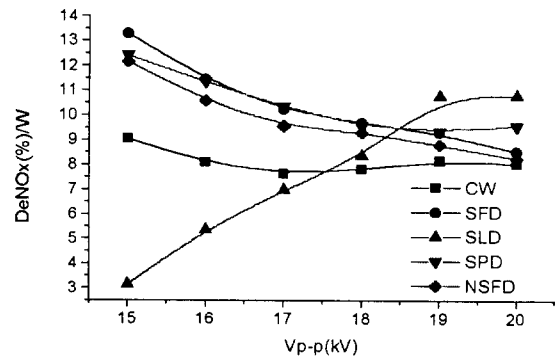


그림 21 입력전압에 따른 방전전력 당 NOx 제거율 (농도=700[ppm], 주파수=120[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 21 DeNOx rate per watt as a function of input voltage (concentration=700[ppm], frequency=120[Hz], flow rate=2[ℓ/min])

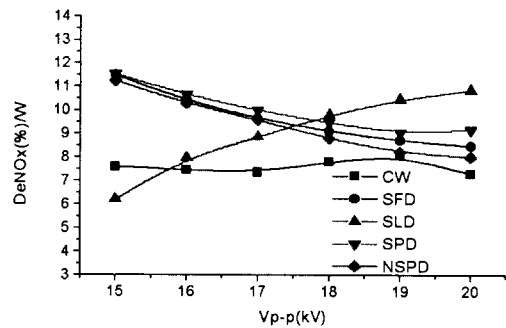


그림 22 입력전압에 따른 방전전력 당 NOx 제거율 (농도 =700[ppm], 주파수=240[Hz], 유량=2[ℓ/min])

Fig. 22 DeNOx rate per watt as a function of input voltage (concentration=700[ppm], frequency=240[Hz], flow rate=2[ℓ/min])

따라 서서히 감소하였고 SLD는 증가하였다. 주파수가 240[Hz]에서 분해율은 높았지만 120[Hz]에서 전력당 분해효율은 240[Hz]보다 좋았다. 그리고 CW는 두 개의 그림에서 상대적으로 덜 변화했다.

4. 결 론

본 실험은 이중 베리어 방전 반응기를 응용한 반응기로서 연면방전 특성과 무성방전 특성을 동시에 가지고 있으며 전극 간격을 좁히고 가스의 거주시간을 길게 하여 NO_x가스를 분해, 분석하였다.

- 1) 실험에서 DDBD 반응기의 연면방전(SFD, NSFD, SPD)특성이 있는 방전에서 분해율이 높았지만 에너지 소비가 높은 것으로 나타났다.
- 2) 연면방전의 특성이 있는 반응기에 접지전극을 추가하여 무성방전과 중첩시켰을 때 방전영역이 반응기 내에 전체적으로 넓어지며 대략 7~9% 정도의 상승 분해율을 보였다.
- 3) 이 반응기는 디젤 자동차와 같은 이동원에서 시동시에 배출되는 높은 농도의 오염물질을 연면방전과 무성방전의 특성을 중첩시켜 높은 분해율에 응용하고 운전시에 저농도를 무성방전 특성을 이용하여 소비전력을 낮출 수 있다고 사료된다.
- 4) 농도와 유량이 증가할수록 분해율은 하락하며, 특히 유량에 따른 NO, NO_x제거에 보다 효과적으로 가스에 전자가 충돌할 수 있는 기하학적인 구성이 필요하다고 생각되었다.
- 5) 첨두전압과 펄스 주파수가 증가할수록 NO, NO_x의 제거량이 증가하였다. 그러나 단위 소비전력당 NO_x제거량을 고려할 때, 에너지의 투입방법으로써 펄스 주파수를 증가시키는 것보다는 첨두전압을 증가시키는 것이 에너지 이용 면에서 효율적으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] V. Puchkarev and M. Gundersen, "Energy efficient plasma processing of gaseous emission using a short pulse discharge", American Institute of Physics vol. 71, no. 23, pp. 3364-3366, 1997.
- [2] B. M. Penetrante, et al., "Basic energy efficiency of plasma production in electrical discharge and electron beam reactors", Proceedings of NEDO Symposium on Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control, pp. 69-84, 1996
- [3] S. Hosokawa, et al., "Application of PPCP for Reduction of Gaseous Pollutants Exhausted from incineration Plant", Proceedings of NEDO Symposium on Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control, pp. 109-114, 1997.
- [4] S. Masuda, et al., "Novel plasma chemical technologies - PPCP and SPCP for control of gaseous pollutants and air toxics", Journal of electrostatics vol. 34, pp. 415-438, 1995.
- [5] T. Oda, et al., "Non-thermal Plasma Processing for VOCs Decomposition and NO_x Removal in Flue Gas", Proceedings of NEDO Symposium on Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control,

pp. 1-15, 1996.

- [6] J. S. Chang, et al., "Corona Discharge Processes", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 19, no. 6, pp. 1152-1165, 1991.
- [7] T. Oda, et al., "Decomposition of Dilute Trichloroethylene by Non-thermal Plasma Frequency Dependence and Environmental Effect", Proceedings of NEDO Symposium on Non-thermal Discharge Plasma Technology for Air pollution Control, pp. 49-57, 1997.

저 자 소 개



김 동 옥 (金桐郁)

1971년 1월 5일 생. 1998년 인천대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 032-770-8433
E-mail : g981037@lion.inchon.ac.kr



정 영 식 (鄭英植)

1958년 2월 14일 생. 1982년 인하대 전기공학과 졸업. 1985년 미국 University of Pittsburgh 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991년~현재 인천대 공대 전기공학과 부교수.

Tel : 032-770-8433, Fax : 032-765-8118
E-mail : yscst@lion.inchon.ac.kr