

## 유전체 장벽 방전에 의한 벤젠의 분해

이용훈, 박동화\*

인하대학교 화학공학과

(dwpark@inha.ac.kr\*)

## The decomposition of benzene by dielectric barrier discharge

Yong Hun Lee, Dong - Wha Park\*

Department of Chemical Engineering, INHA University

(dwpark@inha.ac.kr\*)

### 서론

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds :VOCs )은 대기중에 휘발되어 악취나 오존을 발생시키는 탄화수소화합물을 일컫는 말로, 피부접촉이나 호흡기 흡입을 통해 신경계에 장애를 일으키는 발암물질이다. 일반화된 기술로서는 소각공법,촉매공법,흡착 또는 생물학적 여과공정 등이 있다. 저온플라즈마 공정은 위 기술들과 비교하여 짧은 체류시간과 상온에서 높은 분해율을 나타내는 것으로 알려져 있다[1].기존의 화학약품에 의한 세정이나 활성탄을 이용한 흡착법 등에 비해 유지 관리가 쉽다는 장점과 유해가스를 간헐적으로 배출되는 초청정 반도체공정에서 소각 및 촉매를 이용하는 방식으로는 고온의 열원을 지속적으로 유지할 수 없기 때문에 고온의 열원을 이용하지 않고 유해가스를 분해하거나 산화처리하기 위 한 기술로서 저온플라즈마를 이용하고 있다. 때문에 최근 각광 받고 있는 저온플라즈마공정은 NOx 제거 , VOCs,분해, 실내공기 청정화 등에서 광범위하게 연구되고 있다.[2]

본 연구에서는 유전체 장벽 방전에 의한 벤젠의 분해경향과 분해 생성물의 선택성에 대하여 조사하였다. 분해공정은 상온과 대기압에서 수행되었으며, 방전전압,체류시간,농도 등의 공정변수에 따른 분해율을 조사하였다. 분해율은 GC(CHROMPACK,CP9001)로,

분해된 가스 (CO,CO<sub>2</sub>)는 Fourier Transform Infrared Spectrometer(FT - IR,BOMEN Inc. MB - Series)로 분석하였다.

### 실험장치 및 방법

저온 플라즈마 반응기는 전극의 종류, 입력 전원의 종류, 전극간의 거리, 유전체의 유무, 촉매 또는 유전 Pellet 의 유무 및 최대 입력 전력 등 다양한 요소에 의하여 영향을 받게된다. 따라서 본 연구에서는, 매우 단순한 구조지만 가장 많이 연구되고 있는 wire - cylinder, barrier discharge, 또는 packed bed 형태로 쉽게 전환이 가능한 cylinder 형상을 선택하였다.

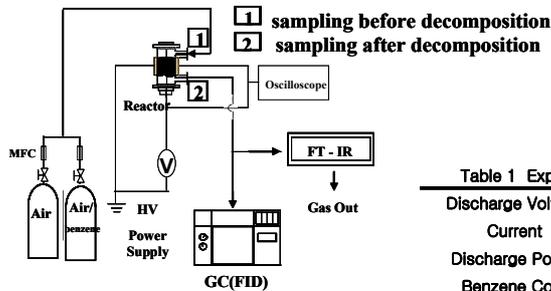


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Experimental Condition	
Discharge Voltage	10~14kV
Current	0.65~1.5mA
Discharge Power	6.5W~21W
Benzene Con.	200~1000ppm
Residence Time	4s~16s
Pressure	1atm

Fig 1.는 실험장치의 전체 구성도와 실험조건을 보여주고 있다. Air 는 희석가스로 사용되었으며 소스가스로는벤젠 500ppm 및 1000ppm 사용되었다.유량은 MFC 를 이용하여

조절하였고 전원 공급장치로는 주파수 60Hz 인 AC power supply(neon transformer)가 사용되었다. 반응기에 공급되는 power 측정에는 오실로스코프(Tektronix TDC 3012), 고전압프로브(10,000x), 전류프로브(Tektronix A6303)가 이용되었다. 모든 실험은 상온, 대기압에서 수행되었다. 벤젠농도는 200ppm , 500ppm , 1000ppm 으로 희석하여 분해물을 조사하였다. 반응기내의 체류시간을 변화시키기 위하여 Air/Benzene 가스를 50,100,200ml/min 으로 변화시켰다.공급되는 전압은 AC 10,12,14kV 세단계로 변화시켰으며, 반응기에 공급된 에너지는 전압,전류 프로브를 통하여 오실로스코프에서 얻어진 전압과 전류의 곱으로서 측정되었다. 플라즈마방전에 의한 벤젠의 분해정도는 FID(Flame Ionization Detector)가 설치된 가스크로마토그래피(CHROMPACK, CP9001)를 사용하여 벤젠의 농도를 측정하였다. 분석을 위한 시료는 플라즈마 반응기 전단과 반응기 후단의 2 곳에서 채취하였다. 반응기 출구에서는 방전 부산물은 FT - IR 를 통하여 연속적으로 확인하였다. 저온 플라즈마를 이용한 벤젠의 분해

공정에서 공정 변수에 따른 벤젠의 분해 정도를 비교하기 위하여 아래와 같이 분해율을 정의 하였다.

$$\text{벤젠의 분해율(\%)} = \frac{[\text{방전 전 벤젠 농도}] - [\text{방전 후 벤젠농도}]}{[\text{방전 전 벤젠 농도}]} \times 100$$

**결과 및 고찰**

유전체 반응기에 의한 벤젠의 제거 특성 비교

● 방전전압과 유량에 따른 벤젠의 영향

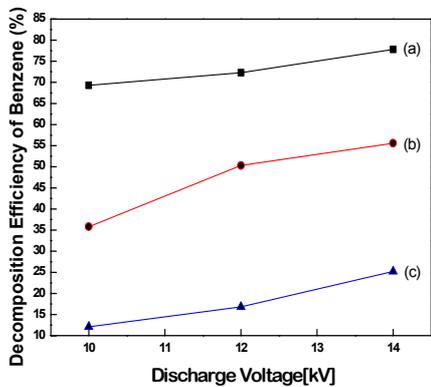


Fig. 2. Decomposition efficiency of C6H6 as a function of discharge voltage (benzene concentration:1000ppm a) 50ml/min b) 200ml/min c) 800ml/min.)

Fig 2. 유량을 50,200,800ml/min 일때 초기 벤젠의 농도 1000ppm 을 전압 10,12,14kV 로 변화할 때 벤젠의 분해율을 나타내고 있다. 방전전압이 증가할수록 생성되는 전자들이 많아지는데. 이들 전자들이 반응가스와 충돌을 통하여 반응가스를 이온화 또는 해리시킨다. 이러한 과정을 통하여 반응성이 강한 라디칼(Radical)과 오존(O3)이 생성되고 벤젠의 분해율이 증가한다. 유량이 작을수록

기체의 체류시간이 길어지기 때문에 벤젠의 분해율이 증가한다.

● 벤젠의 농도변화에 따른 벤젠 분해의 경향

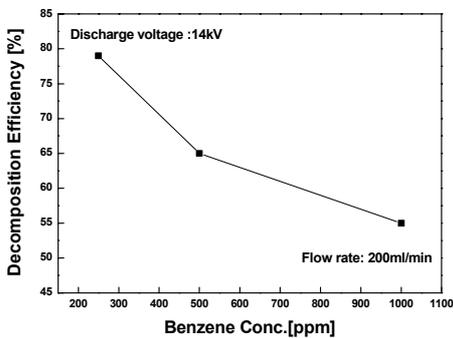


Fig. 3. Decomposition efficiency of C6H6 as a function of benzene concentration (Discharge Voltage :14kV Flow rate:200ml/min)

Fig 3. 반응가스의 전체유량과 방전전압이 일정할 때, 벤젠의 농도 변화에 따른 벤젠 분해율을 나타낸다. 벤젠의 분해율은 반응기로 공급되는 벤젠의 농도가 증가할수록 감소하였다. 반응물의 농도가 작을수록 반응기 내부에 걸리는 압력 P 가 작아지기 때문에 벤젠의 분해율은 증가하였다. 따라서 Fig 3.의 결과를 통하여 비교적 낮은 농도의 벤젠 분해

공정일수록 분해율이 증가하는 것을 알 수 있었다.

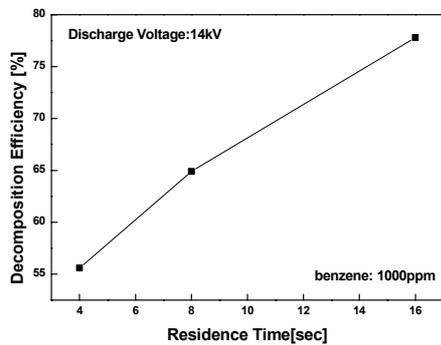


Fig. 4. Decomposition efficiency of  $C_6H_6$  as a function of gas residence time (Discharge:14kV benzene:1000ppm)

#### ● 체류시간에 따른 벤젠 분해의 영향

Fig 4. 반응가스의 체류시간은 벤젠 분해 공정에서 중요한 공정 변수 중에 하나이다. 방전전압이 14kV 일정 할 때, 반응가스의 체류시간에 따른 벤젠의 분해율을 나타낸다. 벤젠의 분해율은 반응가스의 체류시간이 길어지면 반응가스에 더 많은 에너지가 축적되므로 벤젠의 분해율이 증가하는 것으로 해석 할 수 있다.

#### ● 전압에 따른 벤젠의 분해 생성물

Fig 5. a)는 방전 전에 벤젠피크를 확인하였고 b)c)d)는 방전 전압을 증가 시킬 때 분해 생성물을 확인하였다. 분해 생성물로는  $CO, CO_2, N_2O$  등의 방전 부산물이 생성됨을 알 수 있었다. 이것은 공기로 희석된 벤젠이 유전체 장벽 방전에 의하여  $CO, CO_2$  로 산화한 걸을 알 수 있다. 방전 전압이 증가함에 따라  $CO, CO_2$  의 생성량이 증가 하였고 오존( $O_3$ )이 량이 많이

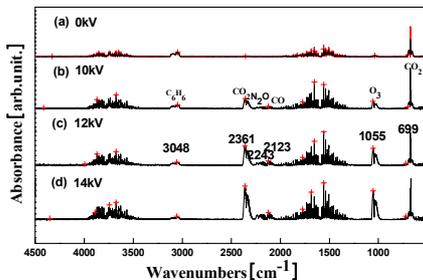


Fig. 5. Typical FT-IR spectra in DBD plasma reactor for benzene decomposition experiments (a) before discharge, (b)(c)(d) after discharge (benzene concentration: 1000 ppm, gas flow rate: 50ml/min).

발생하는 걸을 알 수가 있었다.

## 고찰

유전체 장벽 방전공정을 이용하여 벤젠의 분해를 하였다. 비교적 간단한 실험장치를 통해 상온과 대기압하에서 실험을 수행하였고 공정 특성상 후처리 공정 없이 벤젠의 분해를 할 수 있었다. GC 와 FT-IR 분석을 통해 벤젠의 분해와 분해생성물을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] Hitishi Kohno, Alexander A. Berezin, Jen-shih Chang, Senior Member, IEEE, Minru Tamura, Toshiaki Yamamoto, Akira Shibuya and Shigeo Honda, Member, IEEE, IEEE Trans.Ind.Appl.,34,953~966(1998).
- [2] Aihua Zhang, Shigeru Futamura and Toshiaki Yamamoto, J. Air & Waste Manage. Assoc.,49,1442~1448(1999)