

저온플라즈마를 이용한 공기청정기술

왕 정 호 | 연세대학교

E-mail : hwangjh@yonsei.ac.kr

공기청정기술에서 과거부터 최근에 이르기까지 가장 중요한 문제는 산업화, 공업화로 인해 생겨난 발전시설, 운송기기, 그 외 제품의 제작 및 가공공정 등에서 발생하는 배출가스인 NOx, SOx, VOCs, CH4, CO2, CFC 및 기타 유해가스를 저비용, 고효율로 처리하는 것이다. 그래서, 많은 연구자들은 이에 대한 최적 기술을 찾아내기 위해 최근 수십 년 간 연구하였고, 기존에 사용되던 후처리기술을 비롯해 저온 플라즈마라는 기술을 최대 이슈로서 연구에 전념하고 있으며, 이러한 저온 플라즈마를 생성하기 위한 여러 기술이 많이 연구되고, 그 분야도 점차적으로 확대되고 있는 추세이다. 고체, 액체, 기체에 이어 물질의 제 4의 상태로 불리는 플라즈마를 이용한 산업기술은 제조산업분야에서부터 환경제어분야까지 필수기술로 주목받고 있으며, 그 중에서도 그 실용성과 적용범위가 큰 저온(상온~150℃)/상압(atmospheric pressure) 플라즈마에 관한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

저온/상압 플라즈마는, 특수한 방전 시스템을 이용하여 플라즈마의 온도는 낮지만(상온~1,000 K), 전자(electron)의 온도를 10,000~100,000 K로 높게 유지시킴으로써 각각의 목적에 따라 다양하게 적용된다.

저온 플라즈마 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 전자빔 투사와 전기적 방전이 바로 그것이다. 전자빔 투사 기술은 사용목적에 따라, 처리 대상이 되는 가스에 직접적으로 전자빔을 투사하여 물질을

분해시키거나, 이온화시키는 기술이다. 하지만, 이러한 방식의 오염제거 기술에서 이용되는 Accelerator 와 X-ray 설치비가 고가이고, 그 자체의 유해성으로 인해 이 기술은 전기적 방전을 이용한 기술로 대체하려는 움직임이 있다. 전기적 방전 기술은 전극형상과 전력공급 등에 관련하여 여러 가지 방법으로 응용될 수 있다. 이런 각각의 기술은 광범위한 가스상 오염물질의 분해 및 그로 인해 동시에 계속적으로 생성되는 오염물질의 분해도 가능하다.

그리고, 최근에 와서는 몇몇의 분야에서 이러한 저온 플라즈마 기술이 기존의 오염제거 시설의 대안으로 응용되고 있다. 이는 캐나다의 McMaster University의 J. S. Chang의 논문인 “Energetic Electron Induced Plasma Processes for Reduction of Acid and Greenhouse Gases in Combustion Flue Gas”에도 언급되었고, 이에 최근에 자신이 수행했던 NOx, SOx, COx, VOCs 및 기타 유해가스와 오존합성에 대한 제어기술이 수록되었다. 그리고, U.S. Army CRDEC(Chemical Research Development and Engineering Center)의 D. E. Tevault는 “Application of Plasma Technology for Proposed Air Purification Systems”에서 화학교전에서의 공기에서 독성물질을 분리하는 기술을 연구했으며, 현재는 연구가 중단된 상태이나, 산업적인 목적뿐만 아니라 국방에 관한 목적으로도 많은 연구가 필요하다고 한다.

전기적 방전을 이용한 저온/상압 플라즈마의 중

류로는 유전체 장벽 방전(Dielectric Barrier Discharge; DBD), 코로나 방전(Corona Discharge), 마이크로웨이브 방전(Microwave Discharge) 등이 있고, 공기청정기술에 주로 이용되는 기술은 DBD 기술과, 코로나 방전 기술이다. DBD 기술은 한 쌍의 전극에서 한쪽 또는 양쪽 전극의 표면을 유리 등의 절연체(혹은 유전체)로 감싸고 전극간에서 직접방전이 일어나지 않도록 해 두고 교류 전압을 가하는 경우로 유전체의 전하축적(Charge Build-Up)현상을 이용하여 교류전원에 의해 인가되는 전압효율을 극대화시켜서 균일한 스트리머(Streamer) 혹은 Glow Discharge를 얻는다. 이는 또한 무성방전(Silent Discharge)라고도 불리며, 보통 1 기압 정도에서 사용된다. DBD 기술은 설치 및 가동의 간단함과 저비용으로 효율적인 처리를 할 수 있다는 장점으로 가스상 및 입자상 물질의 제어에 대한 여러 분야에서 연구되고 있다.

한편, 코로나 방전은 극도의 고전압에 의해 흔히 사용되는 Wire 및 Pin 형태의 전극 주위의 기체가 전기적으로 불안정하게 분해되어서, 하전입자가 부분적으로 발생, 소멸을 반복하면서 방전현상을 지속하는 것으로 일반적으로 전류의 발생은 작으며, 전기집진기, 공기정화장치 등에 이용되고 있다. DBD 기술은 코로나 방전과 비교할 때 방전을 통해 생성되는 균일한 Streamer에 의해 생성되는 반응활성종(Radical)의 농도가 높아서, 유해가스(e.g. NOx, SOx, VOCs etc.)의 처리와 입자상 물질의 산화 및 하전을 통한 응집 등의 기술에 적합하고, 또한 그 시스템의 제작 및 운용, 그리고, 유지에 탁월한 장점을 지니고 있어서 현재 가장 활발히 공기청정기술에 응용되는 분야 중에 하나이다. 방전에 유전체가 사용되면 이를 모두 DBD라고 말할 수 있고, 코로나 방전에도 실제로 유전체가 이용된 연구가 많이 이루어지고 있으므로, 이도 DBD의 한 범

주에 포함된다고 할 수 있다. 이렇게 목적에 따라 반응기 형상, 전기적 특성, 방전 방식 등의 특징에 따라 DBD 기술도 매우 다양하게 된다.

DBD에 관련되는 기술을 몇 가지 설명하면, 미국의 Tecogen Inc.의 R. W. Breault의 논문인 "Reaction Kinetics for Flue Gas Treatment of NOx"에서는 막대형 전극과 석영튜브를 유전체로 사용하여 반응기에서 NOx를 질산으로 산화시켜 이를 워터트랩에서 흡수한 다음 중화하여 제거하는 메카니즘을 유량, 체류시간, 온도, 유입가스의 성분, 전압 및 주파수 등의 변수를 고려해 설명하였다. 그리고, 일본의 Ibaraki University의 K. Fujii는 그의 논문 "Simultaneous Removal of NOx, COx, SOx and Soot in Diesel Engine Exhaust"를 통해 실차 테스트를 통해 가스상 물질 및 입자상 물질까지도 제거하려는 시도를 하였다. 그리고, 유해물질 제어에 있어서, 중요한 역할을 하는 전기적 특성에 관한 연구들도 이루어지는데, 러시아의 Kurchatov Institute of Atomic Energy의 V. A. Abolentsev의 논문인 "Laboratory Studies of Plasmochemical Oxidation Process Energized by Pulsed Streamer Discharge"에서는 DBD 반응기 내에서 H2S를 분해할 때, Pulse 주기를 빠르게 해주었을 때, 분해 반응 및 에너지 효율을 증가시킬 수 있다는 연구를 발표하였다.

또한 VOCs(Volatile Organic Compounds)의 분해에 대한 연구도 많이 이루어지고 있는데, 이는 일본 오사카대학의 T. Yamamoto와, 미국 Los Alamos National Laboratory의 L. A. Rosocha 등은 발암성 물질인 VOCs를 이전의 활성탄을 이용하여 처리하는 방법보다 설치 및 유지비의 감소, 작동의 용이함 등을 지닌 DBD 기술을 이용해서 처리하였고, 그 외 오존층 파괴의 주요 원인 물질인 Freon 가스등의 유해 물질도 분해시키는 연구를 시

도하고 있다. 또한 이러한 화학물질의 분해에 대한 화학적인 분석을 시도하는 연구가 복합 화합물(e.g. 포름알데히드, 벤젠, 시안화수소 etc.)에 대해 화학적 전환에 필요한 에너지를 측정하는 연구와 함께 미국 Auburn University의 W. C. Neely에 의해 이루어졌고, 스위스 Asea Brown Boveri Corporate Research Center의 B. Eliasson, 중국의 Tianjin University의 Chang. J. Liu 등에 의해 온실가스 중의 주요한 하나인 CO₂를 다시 탄화수소로 환원시키는 연구가 이루어졌다. 기타 내연기관 등과 연관한 DBD 기술에는 엔진을 연구하는 엔지니어들에 의해 행해지고 있는 것으로써, DBD를 이용해서 오존(O₃)를 생성한 후 이를 엔진의 흡기

구로 흘러 보내 연소가 이루어지게 함으로써, 연소 효율이 개선되어 배출가스의 저감을 달성하는 내용으로 이루어지고 있고, 그 외에도, 여러 연구자들이 여러 종류의 유해가스에 대해 DBD 기술을 이용한 다양한 연구를 시도하고 있으며, 공업화가 이루어진 전 세계의 대부분의 국가 내에서 여러 분야의 연구자들이 다양한 접근을 통해 DBD 기술에 관심을 보이고 있다. 이러한 여러 정황을 파악할 때 우리도 주위에 산재하는 여러 공기청정에 관련된 문제들의 해결에 있어서, 이러한 기술을 고려하여 새롭게 응용하는 것은 실로 가치가 있는 일이 될 수 있음을 인식해야 할 것이다.