12 상온 VOCs 제거 기술로 공기질 스마트하게 관리!

울산지역본부 김수한 친환경재료공정그룹 수석연구원은 첨단정형공정그룹 최준 수석연구원, 청정화학응용소재그룹 백자연 선임연구원, 첨단하이브리드생산기술센터 문건대 선임연구원과의 공동 연구를 통해 플라스마를 생성시키는 전자빔을 이용해 공기 중 유해 화합물을 없애는 '휘발성유기화합물(VOC) 제거 시스템' 기술을 개발하고 있다.

VOC는 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체 유기화합물로, 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx)과 함께 초미세먼지의 원인물질이 되거나 사람에게 암을 일으키는 원인으로 지목되면서 이를 제거할 기술 개발이 시급한 상황이다.

연구팀은 실내 공기에 포함된 VOC 중 인체 유해성이 큰 톨루엔과 포름알데히드를 기준치 이하로 떨어뜨리는 기술을 개발하고 있다. 톨루엔은 특유의 향기로운 냄새가 나는 투명한 무색 액체로 중추신경계 손상을 유발한다. 포름알데히드는 실온에서 자극성이 강한 냄새를 내는 무색 기체로 세계보건기구(WHO)가 지정한 1급 발암물질이다.

연구팀은 공기 중에 포함된 1ppm의 VOC를 95%이상 제거하는 시스템을 개발해 톨루엔은 0.08ppm(1ppm은 100만분의 1) 이하, 포름알데히드는 0.12ppm 이하로 줄이는 방법을 연구하고 있다.

기존의 플라스마와 촉매를 이용한 VOC 제거기술은 상온에서 활용이 불가능하고 전기 소비가 많은데다 VOC 제거 과정에서 사람 몸에 유해한 오존이 많이 발생하는 문제가 있었다. 무엇보다 VOC 분해 메커니즘이 불분명하다는 단점이 있다.

활성탄 필터를 이용해 VOC를 제거하는 방식은 가격이 저렴하고 효율이 99%에 이르는 장점이 있지만 흡착량을 조절하기 어렵고 필터를 주기적으로 교체해야 하는 번거로움도 있다. 김 수석연구원은 "촉매를 사용해 열로 태우거나 분해하는 방법을 쓰면 99%이상의 VOC를 제거할 수 있다"고 설명했다.

초고온에서 핵과 전자가 분리된 기체 상태인 플라스마를 만드는 데 사용되는 전자빔을 이용한 VOC 제거 시스템

아직까지 촉매를 사용한 방법은 온도가 보통 150℃, 높게는 200℃까지 필요하다. 실내의 VOC를 제거하기 위해 상온에서도 작동하는 VOC 제거 시스템을 개발해야 한다. 연구팀은 상온에서도 작동하는 VOC 제거 시스템을 만들기 위해 플라스마와 촉매를 융합할 계획이다.

상온에서도 작동하는 저온 플라스마를 활용해 분해반응 에너지를 촉매에 제공하고 고다공성을 가진 촉매가 VOC를 분해하는 원리다. 김 수석연구원은 "공진 구조의 장치 설계를 통해 전기를 적게 쓰고 오존 발생량을 제어하는 저온 플라즈마를 개발하고 있다"며 "라디칼, 이온 발생량을 최적화해 유해 화합물의 제거 효율을 높일 예정"이라고 말했다.

연구팀은 VOC 분해 촉매에 대해서도 제거효율을 높인다는 계획이다. 계층구조를 가지는 나노 지지체로 촉매를 만들 경우 기공크기와 기공도 조절이 가능해 VOC 분해효율이 높아진다는 게 연구팀의 설명이다. 다공성 금속 유기 구조체 내부에 금속나노입자를 넣으면 촉매 내구성을 떨어뜨리는 금속나노입자 뭉침현상을 방지할 수 있다는 연구 결과도 얻었다.

또한 연구팀은 촉매의 원가를 낮추기 위해 현재 사용하는 백금 대신 철이나 니켈을 사용하는 방안도 검토 중이다.

VOC 제거 시스템은 국내외에서 특허 출원 건수가 늘어나는 등 국내뿐 아니라 해외에서도 관심사다. 2017년 전 세계 총 특허 출원건수는 199개며 이는 미국과 중국의 비중이 높다. 한국의 경우 2000년도 전후를 기점으로 특허 출원건수가 급격하게 증가했다가 이후 지속적으로 유지되고 있다. 하지만 아직까진 VOC 제거 시스템 기술시장은 '성장기 단계'로 평가되고 있다.

김 수석연구원은 VOC 제거시스템이야말로 국내 최대 산업도시이자 대규모 석유화학단지가 있는 울산에 가장 필요한 기술이라고 판단한다. 국립환경과학원 조사결과에 따르면 2015년 기준 울산은 전국 시도를 비교했을 때 1인당 VOC배출량이 84.9㎏으로 가장 높다. 두 번째로 높은 전남보다 2배에 이르는 양이다. 또한 경기도의 경우 타 지역에서 발생한 VOC가 대기흐름에 날아가 쌓이고 있는 경기도의 경우는 총 VOC 배출량이 18만8801t으로 가장 높아 해당 기술이 유효할 것으로 여겨진다.

VOC 제거 시스템, 배출량 높은 울산·경기도에 필요

현재 연구팀은 VOC 제거 시스템을 학교, 병원, 어린이집, 다중역사 등 21개 시설에 적용하기 위해 수요기업과 공동연구를 통한 공기청정기 시제품 제작 및 상용화 기술을 개발할 계획이다.

김 수석연구원은 "몇몇 중소기업과 연구협력을 위한 긴밀한 대화를 나누고 있다"며 "울산시를 넘어 다중 공공시설용 제품 판매를 목표로 하고 있다"고 전했다.

김수한 친환경재료공정그룹 수석연구원.