
전기화학적 처리법을 적용한 실증 규모
THC 제거장치 개발

이 택 순

경남녹색환경지원센터

제1장 서론

1. 연구의 배경

오늘날 인류가 당면한 가장 큰 문제는 급격한 산업화와 인구의 도시 집중화로 인하여 발생하는 환경문제가 될 것으로 생각된다. 이러한 환경문제는 자연생태계 또는 지구환경 보전 문제 보다는 인간 삶의 풍요로움과 안락함을 발전·유지시키기 위해 더 많은 새로운 화학물질을 개발·생산 및 유통으로 발생하는 문제이다. 우리나라의 경우 약 3만8천 여종의 화학물질이 유통되고 있는 것으로 조사되어있고, 전 세계적으로는 약 10만 여종의 화학물질이 유통되고 있는 것으로 조사되고 있다. 환경문제는 인간의 삶의 질을 저하시키는 중요한 문제로 앞으로 우리가 해결해야 하는 가장 중요한 문제로 대두되고 있다.¹⁾ 과거의 중요한 환경문제는 수질오염의 영향으로 이용 가능한 수자원의 부족이 가장 큰 문제였다면, 오늘날 중요한 환경문제로 부각되고 있는 문제는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)에 의한 악취발생, 지구 온난화 문제, 광화학 반응으로 인한 오존오염 등과 같은 여러 가지 형태의 대기질 악화 문제가 가장 중요한 오염문제가 되고 있다. 이러한 문제는 환경에 악영향을 미치는 문제에 국한되는 것이 아니라, 우리 삶의 질과도 밀접한 영향을 가지는 문제이기 때문에 대기환경에 관한 관심은 날로 증대되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 대기환경보전 및 대기질 개선을 위한 오염원 규제가 강화되고 있다. 우리나라의 경우 2005년 2월 10일 “악취방지법”을 시행하여 악취발생물질 및 휘발성유기화합물(VOCs) 물질을 규제하기 시작하였으며, 이것은 대기환경과 관련한 민원 대부분이 악취와 관련된 민원이 대부분을 차지하기 때문이다. 이외에도 민원이 심한 지역의 경우 악취관리지역으로 지정하여 지속적으로 주기적으로 관리하고 있다. 우리나라의 휘발성유기화합물(VOCs) 물질 관리는 벤젠, 톨루엔, 휘발유, 원유, 메탄올 등 37개의 대표적인 휘발성유기화합물(VOCs) 물질에 대하여 환경부고시 제2001-36로 지정하여 본격적인 관리를 시작하였으며, 석유화학업 외 10여개 업종에 대하여 휘발성유기화합물(VOCs) 규제대상 시설로 지정하여 휘발성유기화합물(VOCs) 방지시설 설치를 의무화 하고 있다. 뿐만 아니라 UN은 1979년 “장거리월경대기오염협약” 과 국가연합유럽경제위원회 의정서를 1991년 체결하여 휘발성유기화합물(VOCs)의 지구 전체 차원의 총량규제를 시작하였다. 휘발성유기화합물(VOCs) 물질 배출원은 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 나누어 볼 수 있다. 자연적 배출원은 습지에서서 혐기성 박테리아에 의한 메탄생성, 나무에서

발생하는 테라핀(Terpene), 초지에서 생성되는 에스테르(Ester)와 케톤(Ketone) 등이 있다. 인위적 배출원은 점 배출원, 이동 배출원, 비점 배출원으로 나눌 수 있다. 점 배출원은 도장시설, 세정시설, 인쇄시설 등과 같은 제조업체를 예로 들 수 있으며, 이동 배출원은 자동차와 같이 이동하면서 휘발성유기화합물(VOCs)을 배출하는 것을 말하며, 비점 배출원은 아스팔트 포장, 건물도장, 폐기물 매립장 등을 예로 들 수 있다.

휘발성유기화합물(VOCs)는 탄소와 수소만으로 결합된 탄화수소류, 질소나 황을 함유한 탄화수소류, 할로겐 탄화수소류 등 상온·상압에서 기체 상태로 존재하는 모든 유기성 물질을 휘발성유기화합물(VOCs)로 통칭하고 있으며, 대기환경보전법에서는 “탄화수소류 중 석유화학제품 및 유기 용제류 그 밖의 물질로 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것을 말한다.”라고 정의하여 악취방지법 외 대기환경보전법에서도 관리하고 있다. 그러나 법적인 규제대상 시설 외에도 휘발성유기화합물(VOCs) 배출시설은 우리 생활주변에 산재해 있으며 이러한 시설은 특정한 배출시설 외의 불특정한 시설(세탁업, 주유소, 인쇄소, 자동차 정비업체, 소규모 도장시설 등)에서도 배출됨으로 인해 관리에 어려움을 겪고 있다. 휘발성유기화합물(VOCs)은 휘발성유기화합물(VOCs)에 노출되는 특정 배출시설의 노동자 외에 대기 중으로 배출될 경우 일반적인 국민 모두에게 영향을 미칠 정도로 광범위한 오염을 발생시키는 특성이 있다. 환경부에서 발표한 규제대상 휘발성유기화합물(VOCs) 배출업소수는 2016년 12월 말 기준 약 57,500개에 달하고, 배출량은 2014년 기준 약 906톤으로 말하고 있으나, 규제 대상외 시설에 대하여 조사한 경우는 없는 것으로 알려져 있다.^{2),3),4)} 예를 들어 동네 세탁소에서 사용하는 유기용제류나 산업공정에서 세척 목적으로 사용되는 유기용제 사용시설은 규제대상에서 제외된 실정이다.

2. 연구내용 및 범위

산업 현장에서 발생하는 오염물질을 처리하기 위하여 수많은 기술들이 개발되어 왔으며, 수많은 처리법들이 현장적용에 성공하여 환경질 개선에 크게 공헌하였다. 이러한 기술 중 전기분해법은 여러 방면에서 많은 검토가 이루어지고 있는 기술로 1970년대 초반 새롭게 등장한 기술이다. 그러나 여러 국가에서 활발히 연구되는 것에 비하여 확실한 이론이나 실제 폐수처리에 적용성 등은 확립되어 있지 않은 분야이기도 하지만 폐수 중 오염물질을 산화·환원분해, 가스발생 등의 복합작용에 의해 쉽게 분해하고, 기존의 처리법에 비해 경제성이나 처리효율 면에서 유리한 것으로

보고되기도 한다. 전기화학적 처리법이 산업 현장에 적용되기 시작한 것은 1980년 대로 O. Groterud와 L. Smoczynski는 전해법으로 폐수 중 인 제거 기술을 제시하였고, M. S. E. Abdo 와 Rasheed S, Al-Ameeri 등이 납 구슬을 양극으로 이용하여 폐수 중 색도제거 효율을 검증하기도 하였다.⁵⁾ 전기화학적 수처리 기술은 물을 전기분해하여 산화제를 생성시켜 오염물질을 분해하는 것이다.

전기분해 과정에서 생성되는 대표적인 산화제는 O_3 , H_2O_2 , $\cdot OH$ 와 같은 물이 직접 분해되면서 자체적으로 생성되는 활성 산소종 산화제와 수중에 존재하는 전해질에 의해 발생하는 차아염소산($HOCl$), 차아염소산이온(OCl^-)와 같은 염소계 산화제가 있다.⁶⁾ 1960~1970년대까지는 염소계 산화제 생성에 매우 효과적인 DSA (Dimensionally stable anodes) 전극에 관한 연구가 활발히 진행되어 활성 산소종 보다는 염소계 산화제에 관한 연구가 산업적으로 주목을 받았으나, 1980년대 들어서 활성산소 발생에 효과적이면서 안정성이 강한 보론도핑다이아몬드(Boron doped diamond 이하 BDD) 전극이 개발되면서 전극물질의 기술적 진보가 이루어지고 있다. 활성 산소종은 염소계 산화제에 비하여 산화력이 강하고, 자극적인 염소가스 등의 발생이 적으며, 산화제의 원료가 되는 물질을 첨가할 필요가 없다는 장점이 있다. 그러나 현재까지 각종 전극들의 산화제 발생 메커니즘 대부분은 생성되는 산화제의 종류 및 유기물 분해 결과로부터 추정되기 때문에 구체적이지 않고 실험적으로 명확히 규명되지 않고 있다.⁷⁾

앞서 기술한 전기화학적 오염물질 처리기술들이 폐수처리 분야에 국한되어 연구되어 왔으며, 대기오염 분야에의 전기화학적 처리법 적용은 전무한 실정이다. 이는 폐수처리의 경우 폐수와 전해수의 직접적인 접촉을 통한 산화처리가 가능하지만, 대기오염물질은 배출형태가 가스 상태이기 때문에 전해수와의 직접접촉산화 가능성이 낮을 것으로 예상되어 연구가 부진했던 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 수 많은 종류의 휘발성유기화합물(VOCs) 배출시설 중 도장시설을 대상으로 배출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 관리를 위한 전기화학적 처리 기술을 개발하고자 한다. 도장시설의 경우 거의 대부분의 배출시설이 흡착에 의한 방지시설을 설치하여, 배출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 관리를 수행하고 있으나, 주요 흡착제인 활성탄의 흡착능이 배출시설에서 배출하는 오염물질을 완벽하게 처리하지 못하는 고질적인 문제점을 보이고 있으며, 열 연소의 경우 초기설치 비용과 지속적인 유지관리 비용 발생의 부담으로 설치에 어려움이 있는 실정이다. 이로 인한 문제를 해결하기 위하여 전기화학적 방법을 이용하여 휘발성유기화합물(VOCs) 물질처리의 가능성을 검정하고 물질별 분해조건에 따른 제거효율을 검증하여 법규 준수 가능성을 검토하고자 한다.