

고효율 집진기술 개발 동향

(환경부 G7 연구를 중심으로)

합 병 혼
한 국 중 공 업 (주)
기술연구소 / 수석연구원

1. 머리말

최근 전세계적으로 첨예화된 환경오염 문제 가운데에서 대기오염 문제는 지구전체 인류의 생존에 직결되는 매우 긴박한 문제이므로 대기오염제어기술에 대한 연구개발 및 투자가 전세계적으로 가속화 되고 있다. 따라서 대기오염 문제가 국가적인 사회문제로 대두되면서 대기오염방지장치의 수요가 급증하고, 점차 강화되는 환경오염 규제치로 인하여 고효율이 오염방지장치의 설치가 요구되어 진다.

대기오염방지장치에서 대표적인 집진장치 기술은 대기 및 실내오염제어 뿐만 아니라, 고정도의 첨단 클린룸 수요의 증가등으로 인하여 산업체의 각 분야에서 필수적이면서도 기본적인 기술이다. 대기중의 분진(Dust)은 분자의 응축(Condensation) 및 핵생성(Nucleation) 등에 의하여 발생하는 매우 미소입자($0.05\mu\text{m}$ 단위)와 일반공장 및 작업장 등에서 발생하는 분진($0.1\sim 10\mu\text{m}$)과 그리고 바람에 의한 지표면의 흙, 모래 등에 의한 비

교적 큰 분진 등의 광범위한 조성과 입경분포를 가진다. 이 가운데, 특히 산업발달에 따라 불가피하게 생성되며, 대기오염의 주종을 이루면서 인체에 가장 유해한 분진입자는 산업체의 오일(Oil) 및 석탄연소 보일러, 자동차, 제철/제강 및 시멘트 플랜트 등으로부터 배출되는 미세입자(Fine Particle)들이며, 앞으로 이들의 제어에 관한 연구가 지속적인 관심의 대상이 될 것이다. 한 예로, 석탄연소 화력발전소로부터 $1\mu\text{m}$ 이하의 입자들의 배출량은 무게비로는 1% 이하이지만 입자수의 비율에서는 99%를 차지하고 있다. 이들은 매우 높은 중금속 함유량을 지니고 있기 때문에 인체의 호흡시 심각한 문제를 유발시킬 뿐만 아니라, 이러한 미세입자들은 대기중에 부유하고 있다가 비(Rain)에 의하여 세정되어 수질오염을 유발시키는 원인이 되므로 이러한 집진장치를 포함하는 대기오염 방지기술은 매우 중요하다.

선진 OECD 제국들의 경우, 5~6%의 경제성장율에 대하여 1~2% 수준의 환경투자가 이루어지고 있으며, 이 가운데 공공분야의

투자는 0.6~1.7%에 달하고 있다. 기업의 경우에서도 환경오염 방지시설에 대하여 총 설비투자액의 5~10% 정도로 계상되고 있다. 그런데 우리나라의 경우는, 현재 이들 선진국들에 비하여 약 1/5의 수준에 머무르고 있는데, 우리나라와 같은 산업화를 급진적으로 이룬 국가들인 경우, 국민보건 증진이라는 문제뿐만 아니라, 선진국들의 환경보호 정책을 앞세운 심각한 무역장벽을 탈피하기 위하여 환경오염 문제의 해결은 특히 중요하다. 이런 이유로 환경산업 및 시장의 규모는, 종래의 산업화와 경제의 부수적인 분야로 부터, 21세기의 국제 경제를 주도할 핵심 산업중의 한 분야가 될 것이다. 이 가운데 특히, 대기오염 문제는 에너지 사용의 증가와 각종 산업활동으로 매우 심각하며, 이에 대처하기 위하여 국내적으로는 대기오염 배출기준을 3단계(1단계: '94, 2단계: '95~'98, 3단계: '99~)에 걸쳐 매우 엄격하게 강화할 예정에 있으며, 이에 따라 고체 입자상 및 개스상의 환경오염물질을 제거, 처리하는 오염제어기기의 개발이 한층 가속화 되고 있다.

미국, 일본 등을 비롯한 선진국들에서는 대기오염 제어기술 분야에 투자가 이미 오래전부터 시작, 개발되어 개발도상국에 수출하여 막대한 외화를 획득하고 있는데, 집진기술에 관하여, 전기집진장치와 여과포 집진장치에 대한 연구개발이 주종을 이루고 있다. 먼저, 전기집진장치인 경우, 일본과 유럽을 중심으로 간헐전류 공급방식과 광폭판공간에 관한 연구가 집진효율의 증대와 동시에 설치비 및 운전비의 절감면에서 연구/개발되고 있으며, 미국을 중심으로 산화황의 제어기술에 의한 고전기저항 분진의 집진효율 증대에 관한 연

구가 진행되고 있다. 그리고, 여과포 집진장치는 저유황 부산물의 집진에 매우 효과적이기 때문에 미국의 서부를 중심으로 그 수요가 점차 증가되고 있으며, 가장 큰 문제점인 여과필터의 압력손실저감, 수명 및 효율예측능력, 그리고 고온용 여과재료 개발 및 산업적용에 관한 연구가 계속적으로 추진되고 있다.

선진국들의 경우, 새로운 형상 및 방식의 고효율 집진장치의 각 적용별 응용기술 및 모델변경 등에 대한 연구가 계속적으로 진행중에 있으며, 우리나라의 경우에서도, 특정 프로세스를 제외한 대부분의 경우, 아직도 외국의 특정회사와의 기술제휴선을 구성하여 설치, 적용되고 있으나, 환경부의 G7 연구 및 통상부의 공업기반기술 등의 개발사업으로 활발한 연구가 진행되고 있다.

환경부의 G7 고효율 집진기술 개발사업은 당사인 한국중공업(주)의 주관으로 92년부터 95년까지(1단계), 96년부터 99년까지(2단계)로 총 6년동안 전기집진기, 산업용 여과포집진장치 및 고온용 세라믹 여과 집진기술의 개발을 위하여 산학연의 유기적인 연구가 진행되고 있는데, 여기서는 환경부 G7 연구를 중심으로 우리나라 집진기술의 개발동향을 고찰하기로 한다.

2. 1단계 집진기술 개발사업 추진현황

2.1 전기집진장치(Electrostatic Precipitator, E.P.)

전기집진장치는 코로나 방전을 이용하여 분진에 전하를 부여시키고 극성을 가진 분진

을 전기장속으로 이동시켜 분진을 부착, 수거하는 장치이다. 따라서 이 장치는 초기 시설비가 고가이나, 광범위한 입경분포의 분진입자에 대하여 매우 효과적이며 고온유동에서도 적합할 뿐만 아니라, 작동시 압력손실이 매우 낮은 많은 장점을 가지고 있기 때문에, 현재 가장 많이 사용되어지고 있는 집진장치이다. 최근의 여러가지 분진에 대하여 집진효율의 예측기술과 고전기저항의 분진문제 등에 관하여 집중적인 연구가 수행되고 있으며, 전기집진기에서 방전부와 집진부는 집진기 전체 체적의 90% 이상을 차지하기 때문에 이에 대한 최적설계는 궁극적으로 소요동력의 최소화, 집진기 전체 크기의 최소화에 의한 시공원가 절감을 가져오기 때문에 전기집진기 연구에서 가장 중요하다고 할 수 있다.

따라서, 제1단계의 전기집진장치의 연구에서는 이러한 고집진효율과 설치원가의 절감효과를 위하여 집진판간격의 확대화를 위한 석탄화력발전소용 광폭전기집진기 개발을 목표로 두고 있으며, 아울러 제1단계의 연구를 통하여 전기집진기 핵심구성 요소들에 대한 기본설계 기술을 확립하고 있다.

일반적으로 전기집진기는 보일러 등의 분진발생부에서 집진기 본체 내로 배연기체를 유도하는 덕트(Duct) 및 확대부(Diffuser)부, 유입되는 입자에 전기를 띠게하는 방전부 및 고전압 발생장치, 대전된 입자를 포집하는 집진부, 그리고 집진판으로부터 애쉬(Ash)를 제거하는 동시에 방전극에 진동을 주어 부착된 애쉬를 제거함으로써 지속적인 효율을 유지시켜 주는 역할을 하는 추타(Rapping)장치 등으로 구성된다. 그러므로 이들의 각 구성요소들에 대한 핵심기술의 이해와 세부설

계 기술의 확립은 고효율의 전기집진기를 제작하는데 필수적이다.

제1단계는 총 연구기간은 3년으로 하여, 1, 2차년도에서는 산학연의 체계적인 연계에 의하여 이들의 4부분의 핵심구성요소들에 대한 기본설계 기술을 확립하고 3차년도에서는 Pilot 플랜트에 의한 실증실험을 한다.

먼저 전기집진기의 가스정류장치 개발 부분에서는, 태안 1,2호기 전기집진기 유동모델 시험과 Singapore의 Senoko 플랜트 등의 국내외에서 설치되는 실 플랜트의 모델유동시험을 통하여 전기집진기내에서 유동분포를 균일하게 조절함으로써 전기집진기내의 압력손실을 최소화함과 동시에 집진효율을 극대화할 수 있는 유체유동 조절을 위한 실험적 연구를 마무리 하였으며, 이에 따른 수치해석 프로그램을 개발중에 있다. 또한, 추타부분의 연구에서는 유한요소법에 의한 진동 모드 해석 프로그램이 개발되었으며, 이에 대한 검증은 홀로그래피 간섭계를 이용한 실험 결과와 비교, 분석되고 있다.

그리고 전기집진기의 가장 핵심부분인 집진/방전부의 연구에서는 광폭화를 위한 Bench-Scale의 실험과 수치계산을 바탕으로, 집진/방전극의 고효율화 독자모델 개발을 위한 실험이 2차년도에서 수행되고 있으며, 실용화 실증시험을 위한 Pilot 전기집진기의 제작이 완료되었으며, 현재 기계연구원에서 실험중에 있다.

아울러 전기집진기의 하전부와 에너지 절약 제어부분의 연구에서는 세미펄스(Semi-Pulse)방식의 하전공급 시스템의 기초연구를 통하여 시제품이 제작중에 있으며, 전기집진기 내·외부에 발생하는 각종 상황(분진량,

하전전압, 하전전류, 각종 기기상태등)을 매 순간마다 수집 분류, 분석하여 운전자에게 정보를 전달할 수 있는 전기집진기 Monitoring System 개발과 역전리 현상분석 및 특성연구, 그리고 전기집진기 입·출구의 분진량을 측정·분석하여 집진기 하전장치가 최적의 동작을 하도록 제어신호를 공급하는 분진농도 추종제어 시스템 개발이 진행되고 있다.

2.2 여과포(Fabric Filter) 집진장치

여과포 집진장치는 유리 또는 세라믹 섬유상의 여과포에 분진유동을 통과시켜 분진을 부착, 수거하는 장치이다. 따라서 이 장치는 광범위한 입경분포의 여러종류의 분진입자에 대하여 매우 효과적이거나, 여과포의 재질 문제 등으로 보일러 등에서 배출되는 고온유동에서는 부적합하고, 작동시 압력손실이 매우 높은 결점을 가지고 있다. 최근에는 저유황 석탄의 연소시 생성되는 고전기저항의 분진의 경우 그 적용범위가 미국의 서부지역을 중심으로 확대되어지고 있다. 전기집진기인 경우, 분진의 물리적 전기적 특성에 따라 집진효율이 민감한 반면 여과포 집진의 경우에는 분진의 종류 및 특성에 관계없이 집진효율이 매우 높다. 단지, 여과포의 재질, 에너지 소모와 압력손실 및 수명 등의 문제에서 많은 연구가 집중되고 있다.

제1단계의 여과포 연구에서는 고온용 세라믹 여과포에 관한 연구와 일반산업용 여과포에 대한 연구에 관하여 수행되어지고 있다. 고온(600℃) 이상의 소각로에서 장착하여 효율적으로 유해가스과 분진을 장기간 안정적으로 여과시킬 수 있는 세라믹 섬유를 이용

한 고온가스 필터의 개발은, 국내의 관련 유사기반 제조기술을 효율적으로 이용함으로써 관련업체로 하여금 신제조기술 습득과 기술축적, 외국으로부터의 기술종속을 벗어나게 할 수 있다.

본 연구를 통해 핵심적으로 개발될 수 있는 대기오염 방지기술을 살펴보면, 소각에 의한 ① 폐기물 감량 처리기술, ② 소각중 발생하는 유해가스 및 분진 여과기술, ③ 폐열의 적극적 재활용기술등의 제반 주요기술 자립을 가능하게 하는, ④ 세라믹 고온가스 필터 제조기술과 ⑤ 고온가스 필터 이용기술 등이 있다. 성능이 우수한 고온용 세라믹 가스여과체의 필수조건으로써 높은 포집효율, 낮은 통기성, 높은 기계적 강도 및 내부식성 등을 들 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 세라믹 섬유를 이용하여 고온가스 필터를 설계, 제작함으로써, 현재 국내에서 고온(600℃)과 관련된 각종 산업에서 그 이용이 증가하고 있는 ⑥ 세라믹 섬유 제조기술을 촉진시키고 세라믹섬유의 제품과 밀접한 관계가 있는 ⑦ 진공성형(Vacuum Forming)기술의 선진화를 이룩하고자 한다.

그리고, 일반 산업용 여과포 개발 연구에서는, 업종별 산업공정에서 배출되는 기체의 화학적특성, 배출분진의 특성을 규명하고, 업종별 산업공정의 현장 분위기와 열악한 분위기에 적합한 여과포재질의 선정 및 혼합기술 및 표면처리기술과 최적 탈진기술 등을 개발하므로써 여과포의 수명연장 및 고성능을 유지하도록 한다. 따라서, 배출기체의 특성과 배출분진 특성에 적합한 여과포집진장치의 운전기술 및 설계기술을 표준화하여 산업체에 적용하므로써 장치의 고효율화가 가

능하게 하는 것을 목표로 두고 있다.

3. 향후추진계획 및 결론

이상에서 언급된 바와 같이, 집진장치는 환경 규제치의 강화에 따라 그 수요가 지속적으로 증가하면서 고집진 효율화가 요구되어 지는데, 아직도 각각의 적용 경우에 따라 실험 데이터에 의존하여 설계, 설치되어 지고 있다.

앞으로도 집진장치는 계속적으로 전기집진장치와 여과포 집진장치에 대한 연구 개발이 주종을 이룰 것으로 전망되는데,

— 전기집진장치인 경우, 제1단계 연구의 광폭전기집진기 개발에서 전기집진장치의 전반적인 핵심부분에 대한 기반설계 기술 확보와 국내현실에 적합한 고효율의 독자모델의 광폭전기집진기가 개발될 것이며, 제2단계에서는 1단계 연구에서 개발된 기본기술을 토대로, 전기집진기의 가장 문제점인 재비산과 역전리 현상을 궁극적으로 방지하는 고성능 전기집진기 개발을 위한 연구가 계속될 것이다. 결국, 운전 에너지 절감 및 집진효율 증대의 측면에서 전기집진기 개발의 추세는 광폭전극공간(Wide Plate Spacing)방식, 이동집진전극방식 및 펄스하전공급방식 등에 관한 연구와 유입황 제어 기술, 전처리 하전 및 2단하전 방식 등에 관한 연구가 앞으로 지속적으로 진행될 것이다. 여기서 먼저, 광폭전극 공간 방식은 많은 집진기 메이커들에서 채택되고 있는 첨단기술로서, 이는 판간격의 확대에 따라 공간전하를 증가시키고 결국 높은 집진 전기장울 형성시키면서, 더욱더 균일한 전류밀도와 공기역학적 요소들을 증가시

키는 방식으로 알려져 있으며, 펄스하전방식은 원형 와이어의 코로나 전극에서 더욱더 균일한 코로나를 형성시키고 이는 결국 분진층을 통하여 균일한 전류분포를 가져온다고 알려져 있다. 그리고 더욱 짧은 펄스 간격이 효율적이라고 알려져 있는데, 이는 이온 구름(Cloud)이 분진층에 도달하기전에 고전압이 소멸될 수 있게하여 스파크 발생을 억제시킬 수 있기 때문이다. 앞으로 이러한 효과들은 이러한 기술의 더욱더 정확한 적용을 위하여 지속적으로 시험되어지고 정량화 되어져야 할 것이다.

— 여과포 집진장치에서도 현재의 가장 큰 문제점인 여과필터의 압력손실저감, 수명 및 효율예측 능력에 관한 연구가 계속적으로 추진될 것이다. 이에 따라, 음파의 사용 및 정전기를 이용한 압력손실의 감소 및 집진효율의 증대에 관한 연구가 진행될 것이다. 그리고 암모니아와 SO₃ 등을 첨가 주입하여 입자들간의 응집력을 증가시켜 분진층의 공극율(Porosity)를 증가시켜 압력손실을 저감하고 탈진시 분진의 재비산을 감소시키는 연구가 지속적으로 수행될 것이다.

전기여과포의 경우, 미세입자의 집진효율과 먼지층의 성장 형상 및 압력손실에서 상당한 감소를 가져온다고 알려져 있다. 요구되는 집진효율에 대하여 향상되는 집진효율은 덜 조밀한 필터 여재의 사용을 가능하게 하고 따라서 이것은 압력손실을 감소시킬 수 있다. 여기서는, 여재의 재료가 전기력을 향상시킬 수 있도록 하는 제조공법 및 화학처리 공법 개발과 필터 백(Bag)내에 방전극을 삽입하여 전기력을 부여하여, 가스 유동에 수직되는 충분한 힘을 부여하여 입자들을 먼저 기체유

동에서 제거하고 여재의 상류측에서 부착시키게 하는 것으로, 이것은 여재내로 미소입자의 침투에 기인되는 눈막힘(Blinding)을 감소시키고 동시에 집진효율을 향상시킨다. 그리고, 필터로 유입되는 분진에 하전을 가하는 방법으로, 입자가 필터에 도달되기전 정전기적인 하전이 주어질 때 필터에서의 압력손실은 또한 감소되어지는데, 한예로 하전입자는 하전 케이크(Cake)에 접근함에 따라 감소되어지며 따라서 보다 성긴(Loose) 먼지층이 형성되어지므로, 예비하전된 먼지는 보다 다공성(Porous)의 먼지층을 형성하며 표면이 훨씬 거칠고 따라서 압력손실을 대폭적으로 줄일 수 있다.

그리고, 이러한 여과포 집진기술의 연료성상, 배출기체 및 포집분진의 특성 변화에 따라 성능변화가 없고 고효율 유지가 가능하도록 광범위한 산업분야에 적용할 수 있도록 하는 설치 적용, 운전기술의 확보에 지속적인 연구가 병행될 것이다.

또한 PFBC(Pressurized Fluid Bed Combustors) 시스템 등의 고온고압에서의 집진에서는 여러가지 형태의 세라믹 필터의 적용이 이루어지고 있는데, 이 때는 역기류 탈진 시스템에 관한 연구와 세라믹 필터 여재의 기계적인, 열적인 손상(수명)이 문제가 되고 있는데, 이에관한 여재 제조공정 및 운전연구가 국내외에서 수행되어지고 있다. 향후, 각종 소각로 및 산업체의 고온 배기 가스(예로, 용해로 및 제철소의 용광로 및 제철소의 용

광로, 다이젤 기관등)에 포함된 분진, NO_x, CO 등을 규제치 이하로 낮추기 위해서는 600°C 이상의 온도에서 장기적으로 안정하게 사용될 수 있는 세라믹 고온 가스 필터에 대한 산업계의 요구가 지속적으로 증가될 것으로 기대된다. 오랜시간동안 안정적으로 사용할 수 있는 다공질 가스 필터의 파괴강도 및 내부식성을 증대시킬 수 있는 결합제(Binder)와 기지(Matrix) 소재에 대한 국내·외 연구 개발 노력이 집중될 것으로 전망된다. 또한 600°C 이상의 고온에서 세라믹 고온 가스 필터와 더불어 사용될 수 있는 세라믹계 촉매(Catalysis)의 합성과 효율에 대한 연구가 더욱 활발해 질 것으로 예상된다.

앞으로 급속한 산업발전에 수반되어 각종 산업체, 발전소 및 소각설비 등으로부터 배출되는 유해분진 및 가스들의 급격한 증가와 국제적으로 환경오염 규제치가 점차 강화됨에 따라 고효율 대기오염 방지기기의 수요가 증대할 것인데, 현재 국내의 환경제어기기 설계 및 제작은 선진국의 기술에 대부분 의존하고 있으며 국내 기술개발에 대한 노력 및 투자가 없이는 해외기술에 종속될 추세에 있다. 따라서, 장기적으로 자체기술의 개발노력에 의한 기술자립과 환경제어기기 관련 시장 증대에 대비한 제품 기술의 확립이 매우 절실한데, 앞으로 이러한 대기오염제어기기의 설계 및 제작기술 등에 관하여 G7 프로젝트를 통한 산학연의 체계적인 연계연구와 정부의 과감한 투자가 계속적으로 요구되어 진다.