

습식 공기청정기

(Wet Air Cleaner)

배 귀 남
한국과학기술연구원
기전연구부 / 선임연구원

1. 머리말

경제발전에 의해 사람들의 생활수준이 향상되고 환경오염이 심각한 사회문제로 대두되면서 실내환경에 대한 관심이 점차 고조되고 있다. 현대인들은 하루 시간의 80% 이상을 주택, 사무실, 지하공간 등의 실내공간에서 생활하며 지내고 있다. 이처럼 실내에서 대부분의 시간을 보내는 현대인들에게 있어 쾌적한 실내환경은 일의 효율성을 증대시키고 나아가 인간의 건강을 유지하는데 매우 중요하다.

쾌적하고 건강한 실내환경의 구성요소로는 온열, 공기질, 소리, 빛, 공간 등이 있다. 인간은 이 중에서 온열환경을 가장 민감하게 느끼므로, 인간의 쾌적감과 온열환경간의 관계를 파악하기 위한 연구는 일찌기 19세기 말부터 미국, 유럽 등지에서 시작되었다. 이러한 연구결과들이 공조기기 등의 제품에 반영되어 현재 복사냉난방, 저속환기, 개별공조, 향공조 시스템 등이 실용화되고 있다.

한편, 1970년대 초 석유파동으로 인하여

구미 각국에서 에너지 절약을 위해 기존 건물에서 환기량을 감소시키고, 에너지 절약형 건축자재를 많이 사용하게 되었다. 이로 인해 실내공기 중의 오염물질 농도가 상승되어 결과적으로 사무실내 직장인들에게서 건물 증후군(Sick Building Syndrome)이 발생되었다. 이 때부터 실내공기오염에 관한 연구가 활발히 수행되기 시작하였다. 최근에는 에너지 비용의 상승에 따라 일반 주택 뿐만 아니라 공공건물에 이르기까지 에너지 절약을 위한 다양한 기술이 개발되고, 실내공기오염 방지를 위한 각종 대책이 제안되고 있다. 특히, 작업장에서의 실내환경 뿐만 아니라 일반인이 생활하는 실내에서 환경오염의 발생원과 그것이 인체에 미치는 영향을 파악하여 보나온 실내 생활환경을 유지함으로써 인간의 건강 증진과 복지 향상을 도모하고 있다.

표 1에 나타낸 바와 같이 실내공기 오염물질은 크게 가스상 물질, 입자상 물질 그리고 복합적인 물질로 구분된다. 이러한 실내공기 오염물질을 제거하는 방법은 오염물질의 실내 침입을 허용하지 않는 것과 침입은 허용

하되 제거하는 것으로 크게 나뉜다. 전자는 다시 오염 발생원을 제거, 격리하는 방법과 발생원의 성질을 변화시켜 무공해화시키는 방법이 있다. 후자는 공기청정기에 의해 오염 물질을 제거하는 방법과 환기에 의해 실외로 배출하는 방법이 있다. 이 4가지 방법은 오염물질에 대한 대처가 열거한 순서대로 적극성이 줄어드는 특징이 있다.

표 1. 실내공기 오염물질

가스상 물질	이산화탄소 (CO ₂)
	일산화탄소 (CO)
	질소산화물 (NO _x)
	황산화물 (SO _x)
	포름알데히드 (HCHO)
	오존 (O ₃)
	수증기 (습도)
입자상 물질	라돈 낭해종
	부유분진
	석면
	알레르겐
	미생물
복합 예	담배 연기
	개방형 연소기구로부터의 배기가스 오염
	냄새
	휘발성 유기화합물 (VOC)
	건물 증후군 (SBS)

환기에 의한 실내공기 중의 오염물질 제거는 가장 소극적인 방법이지만, 실내공기 중의 오염물질이 가스상 물질인 것과 에어로졸인 것, 또한 이들 오염물질의 거동을 잘 알지 못

하고 더욱이 제거하지 않으면 안될 오염물질이 어떤 종류이든지 모든 오염물질을 확실히 실외로 배제시키는 장점이 있다. 특히, 휘발성 유기화합물, 담배 연기, 연소 배기가스, 냄새와 같은 복잡한 특성을 갖는 오염물질의 제거법으로는 가장 실용성이 높은 방법이다. 단, 환기되는 외기의 오염물질 농도가 실내공기 중의 오염물질 농도보다 낮은 것이 전제되어야 한다.

실내공기오염이 심각해짐에 따라 실내공기 오염물질을 적극적으로 제거하기 위하여 공기청정기(공기정화기)가 공공건물, 병원, 사무실, 주택 등에서 사용되고 있으며, 그 보급률도 계속 증가하고 있다. 공기청정기 수요의 증가로 인해 다양한 기능의 공기청정기가 시판되고 있다. 초창기에는 부유분진을 제거하기 위하여 필터만을 내장시킨 공기청정기가 사용되었으나, 가스상 물질, 냄새 등이 오염물질로 인식되면서 화학필터, 활성탄 필터 등이 공기청정기에 추가로 내장되어 판매되고 있다. 또한, 음이온이 인체에 좋은 영향을 미친다고 알려져 음이온 발생 기능도 추가되고 있다. 지금까지 주로 사용되고 있는 공기청정기는 부유분진 제거를 위해 판넬 필터나 재생여재 필터를 사용하는 기계식, 코로나 방전에 의해 공기를 이온화시켜 부유분진을 제거하는 정전식, 그리고 이 두가지를 결합시킨 복합식으로 구분되고 있다. 이러한 공기청정기를 건식 공기청정기(Dry Air Cleaner)라 부르고, 이에 반해 물을 이용하여 공기오염물질을 제거시키는 것을 습식 공기청정기(Wet Air Cleaner)라 부른다.

환경오염이 날로 심각해짐에 따라 제품이나 기술개발에 있어서도 환경오염을 우선적

으로 고려하여야 하는 시대가 되었다. 예를 들면, 현재 환경보전을 위해 CFC 계열의 냉매가 규제되고 있으며, 이와 관련하여 다양한 CFC 대체 냉매가 개발되고 있다. 특히, 유럽에서는 물, 공기, 프로판 등의 자연 냉매를 이용한 기술이 활발히 개발되고 있다. 공기청정 분야에 있어서는 대기오염 방지 측면에서 오염물질 배출공장에서 나오는 부유분진 및 유해가스 등을 제거하기 위하여 습식 스크러버(Wet Scrubber)가 사용되어 왔다. 이러한 원리를 실내 공기 오염물질 제거에 적용하는 기술이 독일, 일본 등지에서 개발되어 사용되고 있다. 일본의 경우 처음에는 공조 시스템의 일부로 공기오염물질 제거 뿐만 아니라 온·습도 제어 기능을 담당하는 장치로 사용되었는데, 최근에는 사무실, 주택 등에서도 사용할 수 있는 소형 습식 공기청정기가 개발되어 시판되고 있다.

건식 공기청정기에 대해서는 비교적 잘 알려져 있어 각종 성능평가 기준도 마련되어 있지만, 습식 공기청정기에 대해서는 잘 알려져 있지 않은 실정이다. ASHRAE Handbook에서도 부유분진 제거용 건식 공기청정기만을 다루고, 다만 대기오염 방지 측면에서 공장으로부터 배출되는 가스나 부유분진을 제거하기 위한 습식 스크러버 등에 대해서만 언급되어 있는 정도이다. 따라서, 본 고에서는 습식 공기청정기의 기본 요소가 되고 있는 습식 스크러버와 싸이클론(Cyclone)의 작동원리에 대하여 살펴본 후, 현재 시판되고 있는 습식 공기청정기의 구조 및 작동원리, 주요 기능 등에 대하여 소개하고자 한다.

2. 습식 스크러버(Wet Scrubber)의 작동원리

습식 스크러버는 분무액에 물리적인 힘을 가해 액적을 만들어 분진이 포함된 기체와 충돌 및 접촉시켜 부유분진을 포집하면서 동시에 유해가스도 처리할 수 있는 장치이다. 부유분진을 포함한 액적은 중력 집진장치나 원심력 집진장치를 이용하여 기체와 분리시킨다. 대부분의 경우 세정액으로 물을 사용하나 화학약품을 분무액에 첨가하여 유독성 기체와 반응시켜 유독성 기체를 제거하는데 사용되기도 한다. 그림 1에 습식 스크러버의 예로 보일러에서 발생하는 연소가스와 재를 제거하기 위해 1930년에 개발된 싸이클론 분무 스크러버(Cyclonic-spray Scrubber)의 구조를 나타냈다. 먼지를 포함한 기체가 좁은 구멍을 통해 나선형으로 선회하여 중앙의 상부에서 축 방향으로 빠져 나가는 구조를 갖

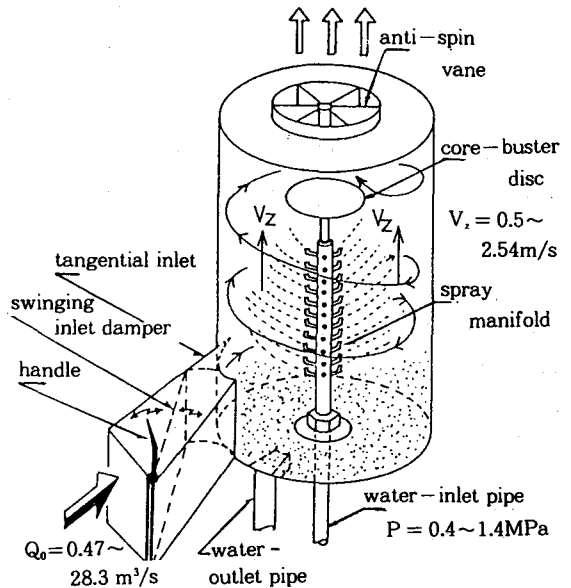


그림 1 싸이클론 분무 스크러버의 개략도

고 있다. 이 때 축에 설치된 많은 노즐을 통해 수평으로 분사된 물방울은 원통면을 향해 나선형 경로를 따라 이동한다. 이런 장치는 물속에 암모니아 또는 약알칼리 용액 속에 황화수소(H_2S)를 흡수하는데 효과적이다.

습식 스크러버에서 액적에 의한 부유분진의 포집은 다음과 같이 4가지 포집 메카니즘에 의해 이루어진다.

① 관성충돌 및 직접차단

액적과 부유분진간의 관성충돌에 의한 분진의 포집성능은 관성변수의 크기에 좌우되며, 관성변수의 크기는 기체의 상대속도와 액적 크기의 함수이다. 기류에 포함된 부유분진이 액적에 접근하면서 액적과 충돌하여 포집되어 기류와 분리되는 현상을 관성충돌에 의한 분진포집이라 하며, 이것은 분진의 크기보다는 분진의 질량 또는 관성력에 좌우된다. 그러나, 직접차단에 의한 분진포집은 부유분진의 질량 또는 관성력보다는 분진의 크기에 좌우된다. 부유분진이 기류를 따라 액적 주위를 지날 때 액적의 표면과 분진간의 거리가 분진 직경의 1/2 정도 되는 조건에서 직접차단이 일어나 액적이 부유분진을 포집한다.

② 냉각에 의한 응축성장

냉수의 분사로 증기 온도가 노점 온도 이하로 떨어지면 증기가 미세한 분진을 핵으로 하여 응축하기 때문에 분진이 커진다. 분진이 커지면 포집이 용이하여 집진효율이 증가하게 된다.

③ 확산에 의한 액적표면 접촉

확산에 의한 분진 포집은 $1\mu m$ 이하의 미세한 분진에 작용하는 포집 메카니즘이다. 기류의 속도가 느린 조건에서 분진의 크기가 작고, 고온 조건과 저기압 조건에서 확산효과가

크다.

④ 냉수면에서 열영동에 의한 침착

열영동에 의한 집진효과는 고온 기체 중에 포함된 미세한 분진이 온도차에 의해 생기는 열영동력에 의해 저온 수면으로 이동되어 침착되는 것을 말한다. 분진의 크기가 작을수록 이러한 영향이 크다.

3. 싸이클론(Cyclone)의 작동원리

싸이클론은 원심력을 이용하여 분진을 포집하는 장치이다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 싸이클론의 입구로 유입된 기체는 원추형 원통 내부를 나선형으로 회전하는데, 기체 중에 포함된 부유분진은 원심력에 의해 단순 원통 또는 원추형 원통 내부 벽면에서 기체와 분리되어 벽면을 타고 아래 방향으로 흘러 내려 분진 저장조에 저장된다. 원추형 원통의 중앙 부분은 음압으로 유지되기 때문에 부유분진과 분리된 기체는 상부로 상승하여 출구로 배출된다. 싸이클론의 내부에서 형성되는 원심력은 부유분진 중량의 1,000배 이상으로 작용하기 때문에 크기가 $10\mu m$ 인 부유분진까지도 분리가 가능하다고 추정된다. 그러나, 싸이클론 내부에서 복잡한 2차적인 흐름과 난류가 혼합되어 있기 때문에 이 흐름의 거동을 이론적으로 규명하기는 어렵다. 따라서, 싸이클론의 성능을 이론적으로 추정하기 위해서 원심력에 의한 입자의 반경 방향 침강속도와 반경 방향 기류속도가 같은 경우의 분진 크기를 분리한계 입경(cut diameter)이라고 추정하여 사용하고 있다. 그러나, 부유분진의 원심력에 의한 침강속도는 분진의 반경 방향의 위치에 따라 원심력의 크기

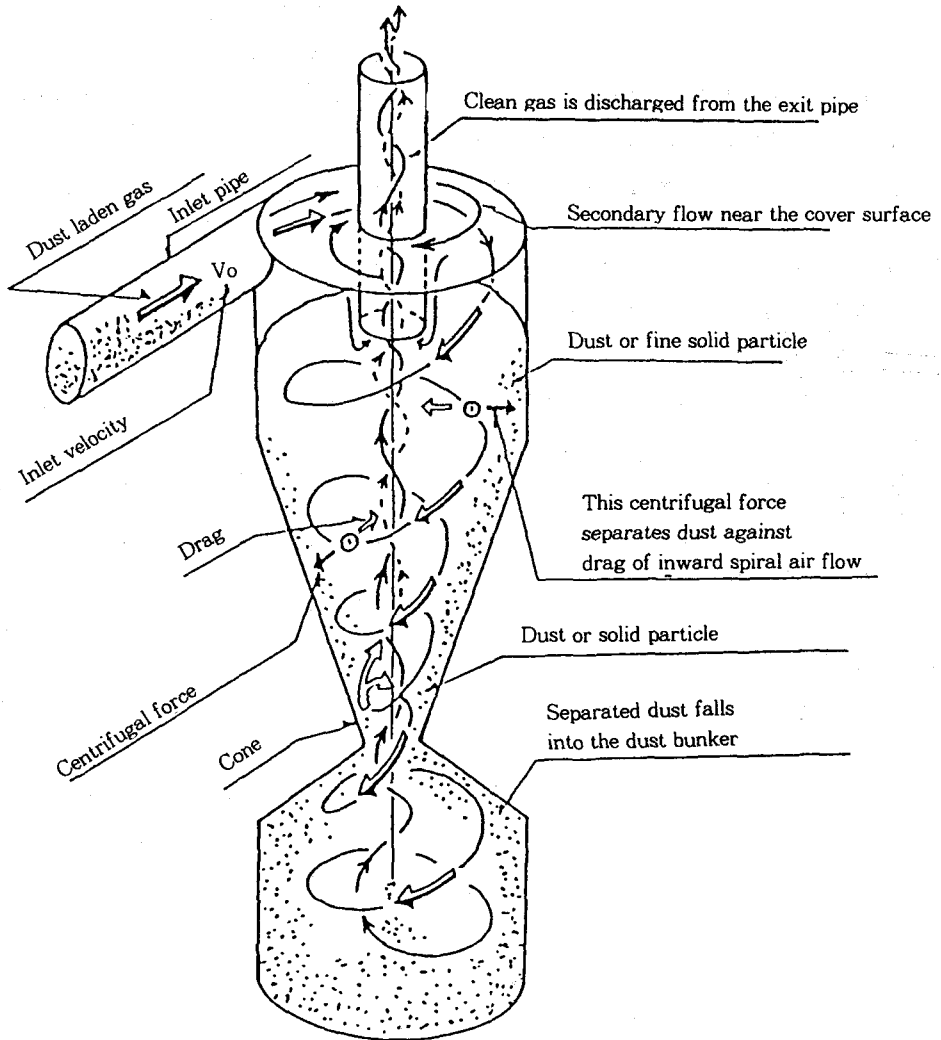


그림 2 싸이클론의 개략도

가 변하므로 정확한 값을 추정하기는 어렵다. 또한, 기류의 반경 방향 속도분포도 원주 방향과 축 방향의 위치에 따라 크게 변하므로, 분진의 침강속도와 기류속도는 대부분 평균 값을 구하여 사용하고 있다. 따라서, 싸이클론의 부유분진 분리성능과 압력손실은 경험식과 추정식을 이용하고 있다.

4. 습식 공기청정기의 작동원리

습식 공기청정기는 물이 최고의 자연 필터라는 개념에서 출발하고 있다. 기계적 필터만이 부유분진을 제거할 수 있다는 관념을 전기적 필터가 타파하였으나, 인위적으로 전기장을 만들게 됨으로써 오존 발생 등의 부차

적인 문제가 파생되었다. 그러므로, 우리 주위에 자연적으로 존재하는 물을 이용함으로써 부차적인 문제를 없애고 오히려 실내 가습과 같은 부수적인 효과를 얻고자 하는 것이 습식 공기청정기이다. 본 고에서는 현재 시판되고 있는 습식 공기청정기의 작동원리와 기능을 소개함으로써 습식 공기청정기에 대한 이해를 돕고자 한다. 그런데, 습식 공기청정기에 관한 자료가 잘 알려져 있지 않으므로, 부득이 본 고에서는 두 회사(독일의 Venta와 일본의 (株)ジオクト) 제품에 한정하여 소개함을 아쉽게 생각한다.

4.1 독일 Venta사 제품

물의 수막을 이용하여 공기 중의 부유분진을 제거하므로 공기세척기(Air Washer)라고 부르는데, 단면 구조는 그림 3에 나타난 바와 같다. 공기세척기의 작동원리는 다음과 같다. 모터에 의해 팬과 디스크(bio-disk)가 구동되는데, 팬에 의해 흡인된 실내공기는 수

많은 디스크(그림 4의 경우 84장)의 회전에 의해 형성된 수막을 통과하면서 부유분진 등의 오염물질이 물속에 침전되어 제거된다. 실내공기 오염물질 중에서 부유분진은 물에 흡착되어 제거되고, 다른 오염물질을 제거하기 위해서는 특별한 약품을 첨가하여 사용한다. 즉, 미생물을 제거하기 위해서는 살균력이 있는 bio-absorber, 질소산화물, 황산화물 등 가스상 물질을 제거하기 위해서는 gas-absorber라는 약품을 물에 첨가하여 사용한다. 또한, 자연향을 발생시키기 위하여 장미향이나 신록향 등을 첨가할 수 있으며, 미세한 물 입자의 증발에 의한 가습효과가 있다.

4.2 일본 (株)ジオクト사 제품

클린룸과 같은 청정도를 요하는 작업공간의 공조 시스템에서는 HEPA(High Efficiency Particulate Air) 필터와 같은 고성능 필터가 필수적인 것으로 인식되고 있는데, 작업자의 건강 측면에서 보면 계속 순환되고 있

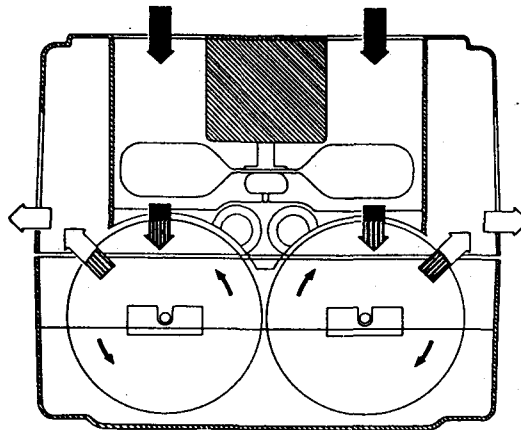


그림 3 공기세척기의 구조

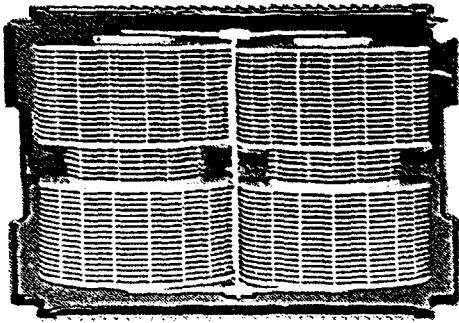


그림 4 공기세척기 디스크의 모습

는 공기 중에는 부유분진 뿐만 아니라 음이온 등도 필터에 의해 제거되므로, 작업자의 건강에 나쁜 영향을 미친다고 생각된다. 그리하여 일본에서는 필터를 대체할 수 있는 공기여과방식으로 그림 5에 나타낸 바와 같은 습식 공기청정 시스템(Water Catch Type Clean System)을 생각하게 되었다. 이 시스템의 작동원리는 다음과 같다. 실내공기는 팬(①)에 의해 공기청정기(②)로 보내지고, 공

기청정기 내에서 물을 분무하여 공기 중의 분진, 잡균을 제거하여 기수(氣水)분리와 열교환을 동시에 행하게 된다. 여기서 빠져나온 공기는 기수분리기(③)에서 다시 한번 물과 분리된다. 이러한 공기는 온·습도 조절기(④)에서 희망하는 온·습도의 공기를 만들어 다시 실내로 공급되게 된다. 외부공기는 흡인장치(⑤)에서 흡인하여 공기청정기로 보내지게 된다. 이렇게 만들어진 청정공기 속에는 인간의 건강 증진에 도움이 되는 성분이 있다고 생각하여 이 회사에서는 청정공기를 진기(眞氣)라 부르며, 물질 특허를 따기 위해 준비하고 있다. 그리고, 이런 공기청정기를 진기발생기라 부르고 있다. 습식 공기청정 시스템은 이와 같이 처음에는 공조 시스템의 일부로 공기오염물질 제거 뿐만 아니라 온·습도 제어 기능을 담당하는 장치로 개발되었으나, 최근 들어 공기청정 기능만을 하는 소형 습식 공기청정기가 개발되어 사용되고 있

- ① MAIN FAN
- ② AIR CLEANER
- ③ SEPARATOR
- ④ AIR CONTROLLER
- ⑤ OA FAN & FILTER
- ⑥ CHILLER
- ⑦ STRAINER TANK
- ⑧ BOILER
- ⑨ INJECTION PUMP
- ⑩ HOT WATER PUMP

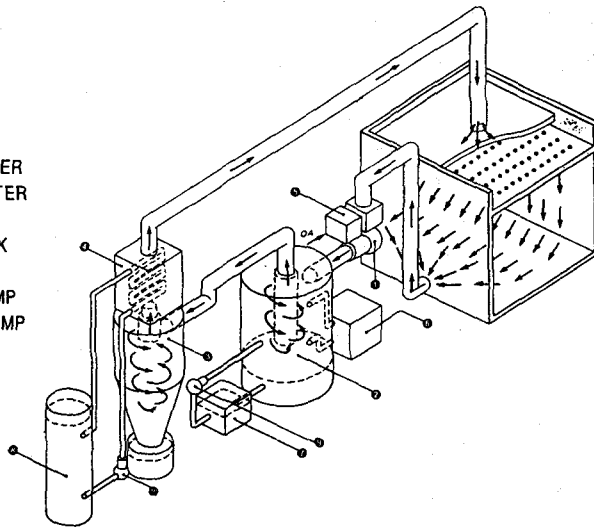


그림 5 습식 공기청정 시스템

다.

최근의 연구에 의하면 음이온에는 분진 제거 효과, 곰팡이 제거 효과, 탈취 및 가스상 물질 제거 효과, 습도조절 효과, 대전방지 효과가 있는 것으로 알려져 음이온에 관심을 모으게 되었다.

음이온을 인공적으로 만드는 방법으로 코로나 방전을 이용하는 방법이 널리 알려져 있다. 이 방법은 양극과 음극간에 높은 전압을 걸어 코로나 방전을 일으켜서 전극간에 발생하는 다량의 전자에 의해 공기 중의 산소를 음이온으로 만드는 것이다. 그러나, 부산물로서 인체에 유해한 오존과 질소산화물이 발생하는 결점이 있다.

음이온을 발생시키는 다른 방법으로 물의 이온해리를 이용하는 방법이 있다. 비 또는 그 밖의 강수와 관련하여 물이 분열하는 경우 부근의 공기가 전리하는 현상을 Lenard 효과(폭포 효과)라고 한다. 20세기 초반 물리학자인 Lenard는 물방울이 금속판에 충돌하여 분해할 때 부근의 공기 중에 이온이 발생하며, 분열한 물방울의 대전량 총계는 맨 처음 물방울의 전기량보다도 많아진다고 발표하였다. 그리고, 공기 중에 발생하는 이온의 전하와 분열에 의해 증가한 물방울의 전기량이 같다는 것이 실험적으로 밝혀졌다. 그 후 Simpson은 보다 정밀한 장치를 이용해 Lenard의 실험을 반복 수행하였는데, 물방울이 공기 중에서 분열하는 것만으로 Lenard와 똑같은 효과를 얻었다. 그리고, 공기 중에 발생한 이온은 물방울의 전하에 관계없이 음이온이며, 물방울이 분열할 때 발생하는 이온과 같은 양의 양전하를 얻는다는 것을 보고하였다.

(株)ジオクト사의 습식 공기청정 시스템은 Lenard 실험을 재현하여 음이온을 발생시키는 장치로, 물을 분무시켜 음이온을 만드는 습식 스크러버와 기체와 액체를 분리시키는 싸이클론이 핵심적인 부품이다. 즉, 물줄기를 금속판에 충돌시켜 미세한 물방울로 분열시킨 후 공기의 힘으로 수송하여 원심력 분리에 의해 기체와 액체로 분리시켜 음이온을 빼내는 것이다. 이 때 금속판에 물줄기를 충돌시키는 충돌 에너지와 기체와 액체를 분리하는 능력이 음이온 발생량을 결정하는 중요한 요소이다. 이 장치는 물방울을 분열시키기 때문에 부산물로서 유해성분이 생기지 않는 장점이 있다. 그리고, 물의 해리를 이용하기 때문에 다습한 공기를 만들며, 기수분리 기능을 높임으로써 미세하고 다습한 공기를 얻을 수 있다. 물방울이 미세하기 때문에 물방울이 물체 표면에 부착되어도 물체가 젖지는 않는다.

이러한 장치는 슈퍼 클린룸, 원내 감염방역 공조설비, 식품가공, 보존, 해동, 동·식물의 사육, 사우나 설비, 건강룸 등에 응용되고 있다.

5. 맺음말

경제발전의 부산물인 환경오염이 심각한 사회문제로 대두되고, 특히 대도시에서 대기오염이 두드러짐에 따라 실내 공기질(Indoor Air Quality)에 대한 관심이 고조되고 있다. 실내 공기질 개선을 위해 다양한 공기청정기가 시판되고 있으며, 현재 국내 시장 규모도 1,000억원 정도로 추산되고 있다. 지금까지는 주로 건식 공기청정기가 대부분을 차지하고

있었는데, 점차 습식 공기청정기도 보급되어 가고 있는 추세이므로, 본 고에서는 간략하게나마 습식 공기청정기의 작동원리에 대하여 소개하였다. 습식 공기청정기를 개발하여 시판하고 있는 업체에서는 습식 공기 청정기가 물을 사용함으로써 부유분진 제거뿐만 아니라 다양하게 인간의 건강을 증진시키는데 기여한다고 임상적인 또는 단편적인 실험결과들을 보고하고 있다. 아직 습식 공기청정기의 다양한 효과에 대해서는 과학적으로 입증되지 못한 부분이 많으므로, 본 고에서는 상세하게 언급하지 못하였다. 일본 (株)ジオクト사의 습식 공기청정기에 관련된 연구주제를 표 2에 나타냈는데, 이처럼 다양한 연구들이 현재 수행되고 있으며, 향후 다양한 습식 공기청정기가 개발되어 시판되리라고 예상되므로, 가까운 장래에 습식 공기청정기의 원리, 기능 등에 대해서도 정립될 수 있으리라고 여겨진다.

- 참고 문헌 -

1. Ogawa, A., 1984, Separation of Particles from Air and Gases, Vol. II, CRC Press, Inc., Boca Raton, U.S.A.
2. ASHRAE, 1992, ASHRAE Handbook - 1992 Systems and Equipment - .
3. 한국에너지기술연구소, 1992, 대기오염방지를 위한 분진제어기술(I), 과학기술처, KE-91032S.
4. 黒田計記, 1992, "Water Catch Type Clean Control System(습식청정기술)", 제2회 클린룸 기술과 오염제어에 관한 국제 심포지움, 한국공기청정연구조합, 공기조

- 화냉동공학회, 1992. 11. 10, 서울, pp. 63 ~88.
5. 浜 光太郎, 1994, "眞氣技術의 基礎研究와 應用研究", 眞氣技術, 第1卷, 第2號, (株)ジオクト, 東京, 日本, pp. 27~29.
6. 배귀남, 1995, "실내공기와 온열환경", 공기조화냉동공학, 제24권, 제1호, pp. 14~28.
7. 오명도, 1995, "공기청정기 성능 시험 및 평가", 1995년도(제11회) 공기청정기기술 세미나, 한국공기청정연구조합, 1995. 5. 23, 서울, pp. 93~129.

표 2. 진기기술의 기초연구와 응용연구 주제

순번	연구 주제
1	Lenard 효과에 의해 생성되는 성분의 평가(진기 성분의 해명)
2	진기 공조장치에 의한 인공사료 무균 양잠(진기 바이오 클린룸)
3	건강상의 음이온 효과에 관한 연구(진기 사우너, 진기룸)
4	백혈병 등의 무균치료실로서 진기 바이오 클린룸의 적용 연구
5	청정 사육장치에 의한 누에의 인공사료육 기술의 확립에 관한 연구(진기 바이오 클린룸)
6	부(-)하전 고습도 공기가 식품 특성에 미치는 효과에 관한 기초적 연구(진기보존고, 진기해동보존고)
7	저장곡물, 콩류 및 신선 식품류에 관한 부하전 고습도 공기를 이용한 신보존 시스템의 개발 연구
8	부하전 고습도 공기(진기)의 주성분 구조에 관한 연구