

# 초음파 가습기의

## 진동자 분무특성에 대한 연구

김병철 학생 (경기과학고등학교) | 오진현 박사과정, 임기조 교수 (충북대학교 전기공학부)

초음파 가습기용 압전세라믹 진동자의 수증기 분무특성을 확인하기 위해 먼저 압전진동자의 구조를 설계하였고, 압전현상을 해석할 수 있는 ATILA 프로그램을 사용하여 압전진동자의 진동모드를 분석하였다. 압전진동자를 설계하여 3차원 진동모드를 분석한 결과, 경방향과 두께방향의 진동모드가 발생하였으며, 주진동모드는 경방향으로 나타났다. 그러나 초음파 가습기의 무화현상에 의해 수증기를 만들기 위해서는 두께방향의 진동이 중요하며, 두께방향의 최대변위는  $\pm 0.0232 \mu\text{m}$  이었다. 실내의 공기 중으로 방출되는 초음파 가습기의 가습량을 알아보기 위해 습공기선도를 이용하여 송풍기에 의한 공기 유속이  $0.03 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이라 가정하였을 경우, 시간당 가습량은  $468 \text{ ml/hr}$ 이었다. 수증기의 무화현상에서 주파수에 대한 입자크기는 반비례하며, 압전진동자에서 사용한 구동주파수가  $1.65 \text{ MHz}$ 인 경우, 입자의 크기는  $5 \mu\text{m}$  정도였다. 그리고 진동자에 가해지는 구동주파수가  $1.65 \text{ MHz}$ 일 경우,  $6 \mu\text{m}$  정도의 입자크기에 분포도는 25%로 가장 높은 것으로 나타났다.

### 1. 서론

초음파 가습기 (Ultrasonic Humidifier)는 실내의 습도를 쾌적하게 공급하여 호흡기관이나 피부건강을 유지하도록 도움을 주며, 주로 실내가 건조한 겨울철에 많이 이용하게 된다. 그러나 가습기를 제대

로 관리하지 않고 방치하게 되면 다량의 세균 등이 증식하여 인간에게 폐질환과 같은 무서운 질병을 일으킬 수 있다. 이는 초음파 가습기에서 만들어지는 물방울의 크기가  $1\sim 5 \mu\text{m}$  정도로 미세하여 세균이나 곰팡이를 동반해 폐로 전달하는 매개체가 될 수 있기 때문이다. 따라서 가습기의 내부 구조와 특성에 대해 잘 이해하고, 물통과 진동자 부분을 깨끗하게 세척하여 사용한다면 신선하고 쾌적한 습기가 제공 될 것이다.

습도는 넓은 의미로 모든 물질에 포함되어 있는 물의 비율로 우리 생활환경에서 온도만큼이나 중요한 역할을 하며, 대기 중에 습기의 함유는 인간이나 동물 등의 환경에 매우 중요한 요소이다. 특히, 우리 일상생활뿐만 아니라, 지구상의 생명체는 적당한 습도를 가진 공기가 존재하여야 생명을 유지하며, 따라서 인간의 안락한 삶은 온도와 습도의 조절에 의존한다. 또한, 다양한 산업 분야에서 습도의 양에 따라 각종 제품의 품질이나 성능 등이 달라지기 때문에 습도는 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 일반적으로 실내 공기는 약 60% 정도의 적절한 습도를 유지함으로써 호흡장애나 질병을 예방할 수 있으며, 쾌적한 실내분위기를 유지할 수 있다. 실내에 적당한 수증기가 없으면서 온도가 올라가게 되면 건조해진다. 이때 가습기를 이용하여 실내의 습도를 조절하게 되는데, 현재 우리 생활에서 가장 많이 사용하는 가정용 가습기로는 초음파 방식, 가열식 및 혼합식 등 3종류로 크게 구분한다.

나는 어려서 기관지가 약하고 아토피가 심하여



가습기를 많이 사용해왔고, 초음파 가습기를 사용하면서 초음파에 대한 궁금증을 가지게 되었고, 특히 음파에 대한 공부를 하면서 우리 인간을 들을 수 있는 16~16,000 Hz 영역의 가청주파수를 벗어난 높은 주파수를 초음파라고 하여 인간이 결코 들을 수 없으며, 초음파는 소리의 성질도 가지고 있지만, 전파나 빛의 성질도 가지고 있어 여러 용도로 응용되고 있다는 것을 알게 되었다. 따라서 가습기가 초음파로 어떻게 동작하는지 매우 궁금하여 관심을 갖게 되었고, 인터넷을 통하여 초음파 가습기가 동작하는 기본적인 원리와 이론은 알 수 있었지만, 압전재료나 압전 진동자가 가습기 동작원리에 핵심요소라는 사실을 알게 되면서 더욱 많은 궁금증을 갖게 되어 초음파 가습기의 동작과 이론을 공부하게 되었다.

가습기의 기본원리는 전기에 의해 깨끗한 물을 입자로 만들어 실내에 뿌리는 것이다. 초음파 가습기는 구동회로에서 높은 주파수의 전기신호를 발생시켜 물속에 놓인 압전세라믹인 초음파 진동자로 전달하여 초음파를 발생시킨다. 이때, 진동자의 초음파 영역에서의 진동효과에 의해 추진기의 뒤로 진공의 작은 기포가 만들어지는 현상인 캐비테이션(Cavitation)이 일어나 물의 표면에서 미세한 수증기가 튀어나가 안개가 발생하게 된다. 이렇게 발생한 수증기를 외부로 순환시키기 위해 소형팬을 이용하여 날리면 공기 중으로 뿜어져 나오면서 공기 중의 습도를 증가시키는 원리이다.

이와 같은 초음파 가습기의 동작원리 중에 핵심요소는 압전재료와 초음파 진동자이며, 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- ① 압전효과에 대하여 이해하고 압전체의 특성을 고찰한다.
- ② 압전 진동자의 이론과 진동특성을 알아본다.
- ③ 초음파 가습기의 진동자 구조와 설계를 확인한다.
- ④ 가습기의 압전 진동자에 대한 진동 시뮬레이션과 분무특성을 조사한다.
- ⑤ 초음파 진동자의 특성조건을 분석하고 응용을 알아본다.

초음파를 발생시키는 압전 진동자는 초음파 세척

기로도 널리 응용하고 있으며, 동작원리를 살펴보면 물질의 표면을 세척하기 위해 압전체에 교류 전기를 흘려 진동하게 하면, 물의 진동을 일으켜 물질의 표면을 진동시킴으로써 표면에 붙어있는 이물질이나 오염물질을 세척하는 원리이다. 이러한 세척의 용도는 가정용 식기세척, 의료기기세척, 광학부품세척, 유아용품 및 생활용품세척 등 매우 다양하며, 최근에는 첨단산업 분야에도 응용하여 반도체나 디스플레이 제조공정에서 세정작업의 일부를 초음파 세정작업으로 대체하는 추세라고 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 압전현상의 기본 이론

1880년대 프랑스의 Pierre Curie와 Jacques Curie 형제는 수정에 기계적인 응력을 인가하면 왜형(Strain)이 일어나 표면에 전하가 발생하여 결정체 양단에 기전력이 생성되는 압전효과에 대해 발표하였고, Lippman은 압전재료에 외부에서 전계를 인가하면 변형이 발생하는 역압전효과를 발견하면서 압전재료에 대한 연구가 각광을 받기 시작하였다. 그리고 1940년대에 Robert 등이 BaTiO<sub>3</sub> 세라믹스에 높은 직류전압을 인가하여 압전현상이 발생하는 것을 발견함으로써 압전세라믹스에 대한 많은 연구가 본격적으로 진행되었다. 1950년대 Jaffe 등은 PZT계 세라믹스(PbZrTiO<sub>3</sub>)에서 우수한 압전특성이 나타남에 따라 여러 산업 분야에서 뿐만 아니라 일상생활에도 적용하게 되었다. 이와 같은 압전세라믹스는 초음파 진동자, 초음파 탐촉자, 압전 점화장치, 통신용 전자부품, 각종 센서 등에 광범위하게 응용되고 있다. 이 중에서 점화장치나 압전센서는 단순히 압전효과만을 이용하지만, 대부분의 압전소자들은 압전효과와 역압전효과를 동시에 이용하여 용도에 따라 응용하고 있다.

#### (1) 전기분극

물질에 전계를 인가하면 하전입자 (Charged Particle)의 운동은 두 종류로 나눌 수 있는데, 하나는 거시적인 거리를 하전입자가 이동하는 것으로 이러

한 이동은 전계를 제거할 때까지 계속되어 전기전도 현상이 일어난다. 다른 하나는 전계의 인가에 의해 하전입자는 미시적인 거리만 이동하고 전계를 계속 가하더라도 그 이상 이동하지 않으며, 이를 유전성이라 한다. 절연체에서는 전류가 통하지 않으며, 유전체 (Dielectrics)에서는 전계에 의해 전기분극 (Electric Polarization)을 유기한다. 절연체나 유전체는 직류에 대해 전류가 흐르지 않지만, 유전율이 높은 유전체에서는 교류 전류가 흐르기 때문에 절연체와 확실히 다르다.

유전체 내의 분자는 원자를 구성하는 전자가 일반적으로 원자핵에 강하게 구속되어 있으며, 또한 전자에 의한 음전하의 중심은 핵이 가진 양전하의 중심과 일치하기 때문에 전기적으로 중성이다. 그러나 직류 전계를 인가하면 양전하와 음전하의 중심이 미소의 변위를 일으켜 전기쌍극자 (Electric Dipole)를 만드는 분극현상이 나타난다. 따라서 다양한 분극이 일어날 때까지 전하의 이동이 있기 때문에 전기전도가 발생한다. 이러한 경우에 흐르는 전류는 분극의 종류나 유전체의 종류에 따라 일시적으로 흐르는 전류뿐만 아니라, 수분 혹은 수일간 계속 흐르는 전류도 있다.

유전체와 같은 물질은 구성원자가 양 혹은 음으로 대전되어 이온화되는 경우가 있으며, 이러한 이온성 결정에 전계를 인가할 경우, 양이온은 음극 쪽으로, 음이온은 양극 쪽으로 끌려 이동하며, 전자운도 변위를 일으켜 전기쌍극자를 구성하는데, 이러한 현상을 유전체의 전기분극이라 한다. 전기분극이란 유전체 중의 하전입자가 전계 (E)의 인가에 의해 미소거리를 이동하여 전기쌍극자를 일으키는 상태를 나타내는 것으로 그림 1에서 보여준다.

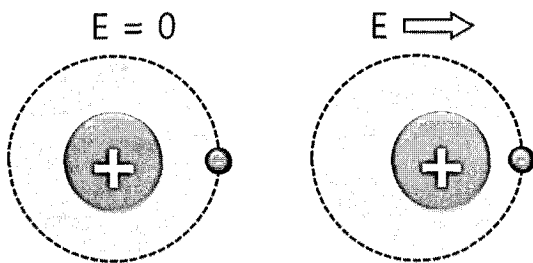


그림 1. 유전체의 전기분극.

그림에서 전계가 가해지지 않은 평형상태, 즉 정상상태에서는 원자의 중심에 핵이 있고 주위를 전자가 회전하며, 양전하의 중심과 음전하의 중심이 일치하게 된다. 그러나 전계가 가해지면, 전자운이 미소변위를 일으켜 중심이 원자핵의 중심과 일치하지 않게 되어 쌍극자를 만들게 된다. 이를 전기분극이라 하며, 이외의 분극의 종류로는 이온의 변위에 근거를 둔 이온분극, 유극성 분자의 배향에 의한 배향분극, 공간전하의 결정립과 분역 내의 이동으로 발생하는 공간전하분극 등이 있다.

결정체에서 양전하의 중심과 음전하의 중심이 일치하지 않으면 자발분극 (Spontaneous Polarization)이 존재한다. 실제로 결정의 표면에 분자나 이온 등이 흡착되어 결정 내에 자발분극을 상쇄시키기 때문에 외부에서는 분극을 관측할 수 없으며, 평형상태를 유지한다. 그러나 결정체에 온도를 급격히 변화시키면 열팽창에 따라 결정체 내에 분극의 크기가 변한다. 이때 표면에 흡착되어 있는 물질의 분극크기는 변하지 않기 때문에 비평형상태가 된다. 따라서 결정체 전체를 통해 분극이 발생하는 것처럼 크게 증가하게 된다. 이를 초전성 (Pyroelectricity)이라고 하고, 그림 2에서 자세히 나타낸다.

결정체 중에서 결정체 내에 자발분극의 방향이 외부 전계를 인가하면 변하는 것이 있으며, 이를 강유전성 (Ferroelectricity)이라 한다. 그리고 자연 상태에서는 결정체 내에 양과 음전하의 중심이 일치하지만, 결정체를 변형시키면 중심이 벗어나는 것을 압전성 (Piezoelectricity)이라 한다. 이와 같이 외부에서 전계나 응력을 가하지 않은 경우에도 분극이 발생하는 것을 자발분극이라 하며, 그림에서와 같이

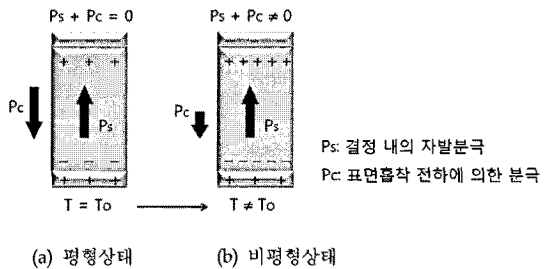


그림 2. 결정체의 분극현상.

$P_5$ 로 표시한다.

### (2) 압전체의 분극처리

분말의 압전소재를 소결하여 압전체를 형성하고, 분극처리전과 분극처리후의 분극상태를 그림 3에서 나타낸다. 그림에서 나타나듯이 분극처리전의 압전체는 결정 내에 자발분극이 다양한 방향으로 나타난다.

이와 같은 과정에서 전계를 인가하면 분역반전이 일어나면서 그림 3(b)에서와 같이 결정체의 길이가 늘어나며, 쌍극자는 모두 전계방향으로 향하게 된다. 그리고 전계를 제거하면 쌍극자의 방향이 약간 흐트러지는 경향을 갖지만, 거의 전계방향을 향하며 길이는 다소 줄어든다. 이때, 결정체의 길이는 분극처리전보다 약간 길며, 이를 잔류 변위라고 한다.

### (3) 압전효과

압전효과에는 직접효과(정효과)와 역효과가 있으며, 압전체의 직접효과는 외부에서 응력을 가하면 압전체의 출력단으로 기전력이 발생하는 현상이고, 이와 반대로 역효과는 압전체에 전압을 인가하면 분극되어 왜형이 생겨 기계적인 변위를 일으키는 것으로, 이러한 두 현상을 구별 없이 압전현상이라 부른다.

그림 4는 압전소자의 직접효과를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이, 전극 사이에 압전체가 놓여 있고, 압전체는 위 방향으로 분극되어 있다. 외부 응력이 가해지지 않은 경우에는 전극에 출력전압이 생성되지 않지만, 그림 4(b)와 같이 외부 응력이 압축되는 경우에는 상부 전극에는 양으로, 하부 전극에는 음으로 전압이 발생한다. 그리고 그림 4(c)와 같이 소자에 신장력이 가해지면, 상부 전극에는 음으로, 하부 전극에는 양으로 전압이 발생하여 압축력의 경우와 반대로 출력전압을 얻을 수 있다. 이상

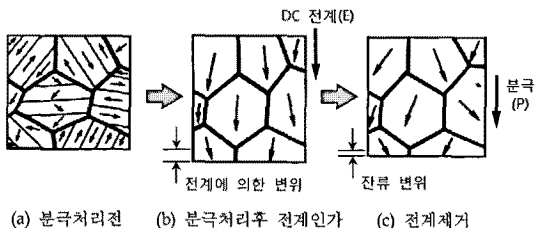


그림 3. 분극처리 현상.

과 같이 외부 응력을 가한 경우에 기계적 에너지가 전기적 에너지로 변환할 수 있지만, 앞서 기술한 것과 같이 전기적 신호를 줄 경우에 기계적인 응력으로 변환되어 나타날 수 있다.

그림 5는 압전 소자의 역효과를 나타내고 있는 원리도이다. 그림 5(a)에서는 외부로부터 전압을 인가하지 않은 경우로 압전 소자에 변위가 발생하지 않은 것을 나타내고 있다. 그러나 그림 5(b)에서와 같이, 압전 소자의 상부에  $\oplus$ 극으로, 하부에  $\ominus$ 극으로 외부에서 전압을 인가하게 되면 압전체의 내부 전하와 인가전압 사이의 반발로 인하여 압전 소자는 기계적으로 압축된다. 그림 5(c)와 같이 상부에  $\ominus$ 극으로, 하부에  $\oplus$ 극으로 전압을 인가하면 압전체의 내부 전하와 인가전압이 서로 끌어당겨 압전 소자는 역시 기계적으로 늘어나게 된다. 또한, 그림 5(d)와 같이 외부 전압을 수십 kHz 이상의 교류 전압을 인가하면 전압의 주파수에 대응하는 초음파 에너지가 방출하게 되어 초음파 진동자로 만들 수 있다. 이와

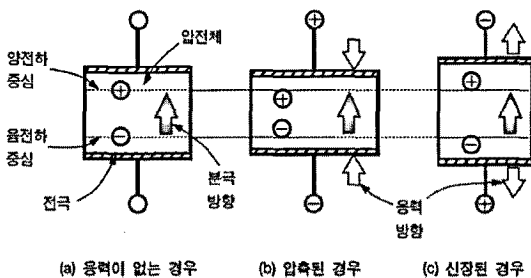


그림 4. 압전체의 직접효과.

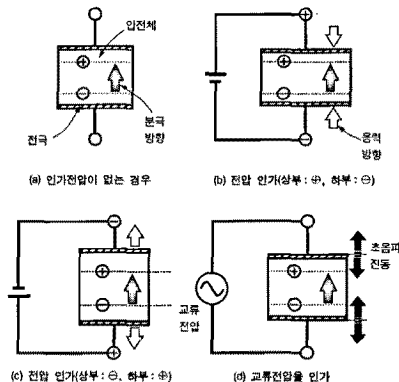


그림 5. 압전체의 역효과.

같이 압전 진동자의 기본 원리는 압전체를 분극처리 한 후에 분극의 방향과 반대로 전압을 인가하면 압전체가 팽창이나 수축작용을 반복하게 된다. 대체로 압전세라믹은 동작 주파수가 매우 높기 때문에 초음파 검출에 사용된다.

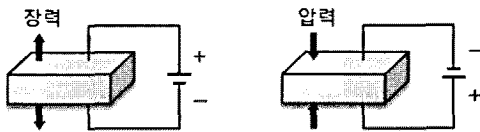
그리고 압전효과에는 정효과와 역효과 이외에, 종효과와 횡효과가 있으며, 그림 6에서 나타낸다. 그림 6(a)에서 나타난 바와 같이, 전계가 인가되는 방향과 동일한 방향으로 왜형이 발생하여 늘어나거나 줄어들면 종방향 (Longitudinal Effect)라고 하고, 그림 6(b)에서와 같이 전계 인가방향과 수직으로 기계적인 왜형이 발생하여 신축하면 횡효과 (Transversal Effect)라고 한다.

#### (4) 압전효과의기본 요소

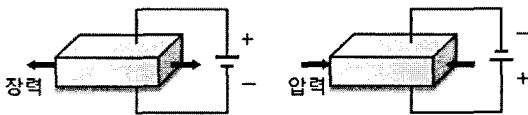
결정체에는 응력 (Stress ; T)이나 왜형 (Strain ; S)과 같은 기계적인 탄성의 양과 전계 (Electric Field ; E) 및 전속밀도 (Electric Flux Density ; D) 혹은 분극 (Polarization ; P)과 같은 전기적인 양 사이에서 압전효과를 서로 관련시키는 요소로서 전기-기계결합계수 (Electro-mechanical Coupling Factor ; k)가 있으며, 다음 식으로 나타낸다.

$$k^2 = \frac{\text{변환된 기계적 에너지}}{\text{인가된 전기적 에너지}} \quad (1)$$

압전현상은 전기 에너지와 기계 에너지 사이에 변환하는 인자가 존재하며, 압전성을 나타내는 다양한 압전요소 중에서 효과적인 성능을 나타내는 것이



(a) 종효과



(b) 횡효과

그림 6. 압전효과.

전기-기계결합계수와 품질계수 (Quality Factor ; Q)이다. 품질계수에는 전기적 품질계수 (Electric Quality Factor ;  $Q_e$ )와 기계적 품질계수 (Mechanical Quality Factor ;  $Q_m$ )가 있으며, 전기적 품질계수는 전기적 손실계수 ( $\tan \delta$ )의 역수이고, 반면에 기계적 품질계수는 압전진동자의 기계적 진동 흡수로 인하여 나타나는 응력에 대한 변위를 나타낸다. 특히, 기계적 품질계수는 주파수 공진-반공진법에 의해 측정되는 공진 주파수 (Resonance Frequency ;  $f_R$ )와 반공진 주파수 (Anti-resonance Frequency ;  $f_A$ )에 의해 다음 식으로 나타낸다.

$$Q_m = \frac{1}{2\pi f_R R_1 C_f \left[ 1 - \left( \frac{f_R}{f_A} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

여기서,  $R_1$ 은 임피던스가 최소가 되는 공진 주파수에서의 임피던스값을 나타내고,  $C_f$ 는 정전용량의 커패시턴스이다.

그리고 중요한 압전 요소가 압전 상수 (Piezoelectric Strain Constant, 혹은 압전왜형계수 ;  $d$ )이다. 이는 왜형  $S(= \Delta l/l)$ 와 인가되는 전계에 의해 나타나며, 다음 식으로 나타낸다.

$$\frac{\Delta l}{l} = dE \quad (\text{정 분극일 경우}) \quad (3)$$

$$\frac{\Delta l}{l} = -dE \quad (\text{음 분극일 경우})$$

여기서,  $l$ 은 압전체의 길이이고,  $\Delta l$ 은 압전효과에 의한 길이방향으로의 변위이며,  $E$ 는 인가되는 전계이다.

압전체에서 압전성을 나타내는 기본식은 다음과 같이 나타내는데,

$$S = s^E T + dE \quad (4)$$

$$D = dT + \epsilon^T E$$

여기서,  $S$ 는 단위길이당 신축을 나타내는 왜형,  $s$ 는 영율의 역수인 탄성 컴플리언스 (Elastic

Compliance),  $T$ 는 단위면적당 가해지는 응력,  $d$ 는 압전왜형계수,  $E$ 는 단위길이당 인가되는 전계,  $D$ 는 전속밀도,  $\epsilon$ 는 유전율이다. 그리고 위첨자  $E$ 와  $T$ 는 각각 전계와 응력이 일정하거나 0일 때의 값을 의미한다. 만일,  $E$ 와  $T$ 가 0일 경우에 상기 식은 다음과 같다.

$$T=0 \text{ 일 경우 : } S=dE, D=\epsilon E \quad (5)$$

$$E=0 \text{ 일 경우 : } S=sT, D=dT$$

식으로부터 전계에 비례하는 응력과 음력에 비례하는 전계를 얻을 수 있으며, 이는 정적 응력과 정전계를 인가한 경우에 대한 표현이다. 그러나 실제로 압전체의 진동이 있을 경우에는 와가 0이 아니기 때문에 식 (4)에 의해 해석하여야 한다.

## 2.2 압전체의 응용

압전체에는 물리적인 성질과 기능에 따라 다양한 종류가 있고, 재료에 따라 물리적인 상수나 특성도 매우 다르다. 즉, 전기-기계결합계수에만 영향을 받는 압전부저나 양호한 음질을 필요로 하는 압전 스피커는 높은 유전율과 기계적 강도가 필요하다. 그리고 압전진동자 혹은 압전 변압기 등은 발열문제가

표 1. 압전체의 형태에 따른 주진동모드.

Vibration Mode	Condition	Shape
Thin disk radial mode	$d \geq 20t > 15t$	
Shear mode	$z > 4y > 40x$	
Longitudinal mode	$t \geq 5d > 2d$ $z_z(5x, 5y) > (2x, 2y)$	
Transverse mode	$\left(\frac{x}{z}\right)^2 \text{ and } \left(\frac{x}{y}\right)^2 \geq 10$	
Laterally clamped thickness mode	$t \approx 10d$	

수반되는 고전력 응용소자는 기계적 품질계수가 높은 재료를 사용하여야 한다. 그러므로 용도에 따라 재료의 조성, 압전성 관련 상수나 전기적 물성 등이 고려된다.

현재 사용하고 있는 초음파 발생법은 기계적 구동과 전기적 구동으로 나눌 수 있다. 과거에는 수정 진동자를 초음파 발생원으로 사용해왔지만, 이 중에서 강력한 초음파 발생원으로 비교적 많이 사용되는 것이 BaTiO<sub>3</sub>, PZT, Nickel 및 Ferrite 등이 있으며, 최근에는 주로 세라믹 소재를 많이 사용하고 있다. 표 1은 압전진동자의 형태에 따른 진동모드를 나타낸다.

따라서 각기 다른 응용 분야에서 요구하는 압전 특성은 매우 다르며, 연구를 통해 먼저 초음파 가슴기에서 필요로 하는 압전 진동자의 요건을 살펴보고, 다른 분야에서 요구하는 요구되는 압전세라믹의 재료특성을 고찰하여 알아볼 것이다.

일반적으로 산업용으로 사용하는 초음파 진동자의 주파수 영역은 가청주파수의 범위인 9 kHz에서부터 수 MHz까지이며, 압전진동자를 이용한 가슴기에서 사용하는 초음파의 주파수는 1.6 MHz에서 2.4 MHz까지의 영역으로 1.74 MHz를 가장 많이 사용한다. 초음파를 발생시키는 발생원으로는 전자유도현상, 자왜현상 및 압전현상 등이 이용되는데, 압전세라믹을 이용한 압전형 진동자는 구조가 간단하고 출력특성이 우수하며 온도나 습도특성이 우수하다는 장점을 가진다. 그리고 연구를 통하여 초음파 가슴기의 전기적인 특성과 내부구조를 고찰하여 가슴기의 동작원리를 자세히 이해하고자 한다. 초음파 가슴기의 진동자 구조를 관찰한 다음에는 진동자를 설계하여 진동 시뮬레이션에 대해 알아보고, 가슴기의 초음파 분무특성을 조사하고자 한다.

PZT계 세라믹스는 높은 압전정수를 가지기 때문에 초음파 발생재료로서 폭넓게 사용하고 있는데, 압전세라믹 진동자로서 요구하는 특성으로는

- ① 기계적인 진동을 크게 하기 위해 항전계가 크고, 기계적인 강도가 큰 재료를 요구하며
- ② 전기-기계 에너지 변환효율을 높이기 위해 전기기계결합계수가 큰 재료가 필요하고,

- ③ 기계적인 진동에 의해 발열이 발생하기 때문에 내열성이 좋은 재료이어야 하며,
- ④ 특성변화가 작은 재료이어야 한다.

이와 같은 초음파 진동자의 특성조건을 분석하여 현재 적용하고 있는 진동자의 특성과 문제점을 살펴보고 초음파 진동자를 동력으로 사용하는 각종 응용을 알아볼 것이다. 일반적으로 초음파의 주파수를 높일수록 액체의 입자를 미세하게 할 수 있는데, 분무 시에 입자의 균일화와 입자를 더욱 미세하게 하는 미립화 등은 에너지와 연료를 절약하고 공해를 방지할 수 있다는 장점으로 의약품 도포공정, 반도체나 디스플레이 제조공정 등의 첨단 산업에서 응용이 가능하다. 또한, 초음파를 사용하여 액체를 분무하는 방법으로 초음파 진동자 표면에서 직접 진동 에너지를 전달받아 액체나 연료가 분무하도록 하는 응용도 있다.

### 3. 연구 방법

초음파를 발생하여 동작하는 가습기를 이해하기 위한 연구방법으로 먼저 기존에 초음파 가습기로써 상품화되어 생산되고 있는 압전진동자의 구조를 살펴보고, 대표적으로 국내업체에서 제조되는 가습기용 압전세라믹 진동자의 특성을 나타내는 제품사양을 조사하며, 초음파 가습기의 설계와 동작원리를 알아보도록 한다. 이와 같은 초음파 가습기의 기본적인 구조와 설계를 바탕으로 압전진동자의 진동 시뮬레이션을 수행하여 정확한 분무특성을 파악하고자 한다.

#### 3.1 가습기 진동자의 구조

압전진동자 (Piezoelectric Ultrasonic Transducer)는 전기에너지를 기계적인 에너지인 초음파 진동으로 변환하는 압전소자이다. 초음파 가습기나 초음파 세척기 등에 사용되는 압전진동자는 구동회로부터 신호를 받아 기계적인 진동으로 변환하며, 압전진동자의 성능은 조립된 상태에서의 공진주파수에 의해 결정된다. 이러한 공진주파수는 압전진동자의

시편 형상에 의존하여 동작하게 된다. 압전진동자는 압전 시편의 두께방향으로 발생한 미소 진동의 진폭을 증폭시킨 초음파를 집적하여 대상물에 전달함으로써 전기에너지를 기계적인 에너지인 초음파 진동으로 변환한다.

그림 7은 압전진동자의 구조를 나타낸다. 일본실용신안 (소52-121709호)에서 제시한 “액체무화기의 압전진동자 취부장치”에서는 압전진동자를 경사지게 설치하여 액체무화기의 분무 효율을 향상시킨 기술로 압전진동자를 경사지게 설치한 원천기술을 소개하고 있다.

그림 7과 8에서는 압전진동자의 조립과 설치를 나타내는데, 압전진동자를 경사지게 지지하는 것은 플라스틱이나 고무재질의 절연체이다. 이와 같은 하부 지지대는 환형의 플레이트와 이러한 플레이트의 직경보다 작은 직경을 가지도록 위로 돌출시켜 상부가 경사진 형상을 가지는 원통형 축벽과 상기 경사지게 지지되는 압전진동자와 동일한 경사를 가지도록 상

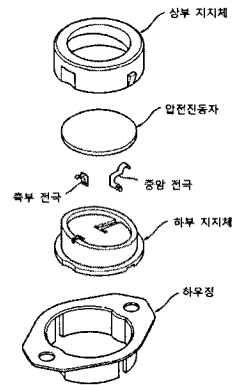
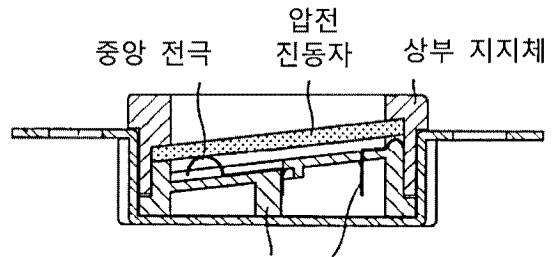


그림 7. 압전진동자의 구조 및 조립.



하부 지지체 측부 전극  
그림 8. 압전진동자의 설치.



기 원통형 측벽의 상부에 형성된 경사면과 같은 경사를 이루고, 상기 원통형 측벽의 내측으로 턱을 형성하도록 일체로 형성되는 격벽을 포함하고 있다.

압전진동자에 전원을 공급하는 중앙 전극(+)과 측부 전극(-)을 각각 삽입하기 위한 두 삽입홈이 형성되어 있다. 중앙 전극을 삽입하는 삽입홈은 격벽의 중앙 부위에 형성되며, 이러한 격벽에 형성된 중앙 전극을 삽입하는 삽입홈으로부터 경사진 방향의 일측으로 중앙 전극의 폭과 두께 만큼 오목형상의 중앙전극 지지홈을 형성하여 중앙 전극을 배치하도록 한다. 이때, 압전진동자에 접촉되는 중앙 전극의 접촉부가 중앙으로부터 최대한 이격되도록 설치되는 것이 바람직하다. 한편, 중앙 전극 지지홈이 형성되는 격벽의 반대방향의 외곽 쪽에는 측부 전극을 삽입하는 삽입홈이 형성되며, 삽입홈이 형성된 쪽의 원통형 측벽 상에 측부 전극의 접촉부가 안착되는 안착홈이 형성된다. 이렇게 함으로써 중앙 전극이 삽입홈에 삽입되어 결합 시 지지돌기가 중앙 전극을 견고하게 지지하게 된다. 또한, 하부 지지체는 환형의 플레이트의 하단부 일측을 절개하여 중앙 전극 및 측부 전극에 연결되는 전선을 인입하는 전선 인입부를 구비한다. 또한, 하부 지지체의 환형의 플레이트 외경에 각각 적어도 하나 이상의 고정홈을 형성하여 하우징 결합 시에 하우징 내경에 형성되는 고정돌기와 대응하여 결합되도록 함으로써 좌우 방향으로 회전되지 않도록 지지 및 고정할 수 있다. 상부 지지체는 하부 지지체에 대응하여 압전진동자를 상부에서 지지하며, 플라스틱이나 고무재질의 절연체이다. 상부 지지체는 상부가 환형의 플레이트 형상을 이루며, 환형의 플레이트 외경에서 일체화되어 하부로 연장한 원통형의 측벽을 가지어 압전진동자가 상부 지지체와 하부 지지체 사이에서 이탈되지 않고 고정되도록 한다.

상부 지지체의 외경에 적어도 한개 이상의 고정돌기를 형성하여 하우징의 내경에 형성한 고정홈에 대응하여 결합되도록 함으로써 압전진동자를 지지하는 하부 지지체와 상부 지지체가 결합된 결합체를 하우징에 수직인 방향으로 결합되도록 배치하고, 수평 방향의 좌우로 결합체가 회전되지 않도록 지지 및 고정한다. 하우징은 원통형상의 측벽의 상단부

에 적어도 두개 이상의 볼트 체결홈을 구비하는 플레이트를 설치하여 구성된다. 이러한 볼트 체결홈에 볼트를 삽입하여 초음파 가습기나 초음파 세척기 등의 장치에 결합한다.

압전진동자의 설치를 위한 조립을 알아보면, 하부 지지체의 격벽에 형성된 두 삽입홈 각각에 중앙 전극 및 측부 전극을 각각 삽입하여 결합하고, 하부 지지체의 경사진 상부면에 압전진동자를 재치하면 중앙 전극 및 측부 전극의 접촉부가 압전진동자 하부면에 접촉되게 된다. 이와 같은 상태에서 상부 지지체를 하부 지지체와 결합한 후, 결합체에 하우징을 수직인 방향으로 삽입하여 결합하되, 고정돌기가 하부 지지체의 고정홈 및 상부 지지체의 고정홈에 삽입되도록 하고, 고정홈에 상부 지지체의 고정돌기가 삽입되어 결합되도록 한다. 하우징의 고정홈 및 하부 지지체의 전선 인입부를 통해 전선을 인입하여 중앙 전극 및 측부 전극의 하부에 전선을 연결한다.

표 2에서는 대표적인 초음파 가습기용 압전진동자의 특성에 대한 제품사양을 나타내고 있으며, 표 3은 가습기용 압전진동자가 초음파를 발생할 수 있도록 구성되는 발진회로의 입력 규격을 나타내고 있다.

### 3.2 초음파 가습기의 구조와 동작

그림 9는 건조한 실내를 알맞은 습도로 유지하기 위해 사용하는 초음파 가습기의 내부 구조를 나타낸다. 그림에서 나타나듯이 물탱크가 놓여 있는 가습기 수조실의 물은 송수관을 통하여 무화실로 공급된

표 2. 초음파 가습기용 압전세라믹 진동자.

항목	단위	규격	
		KPZ14-TR2016	KPZ14-TR2024
무화량	CC/Hr	350 ± 50	50 ± 20
공진주파수 (f <sub>r</sub> )	MHz	1.65 ± 0.05	2.40 ± 0.05
공진 저항 (Z <sub>r</sub> )	Ω	Max 1.5	Max 1.5
정전용량 (C <sub>p</sub> )	pF	1,500 ± 10%	1,450 ± 10%
전기-기계결합계수	%	Min 58	Min 50
수위	mm	38	30

표 3. 초음파 가습기용 발진회로.

항목	단위	규격	
		KPZ14-TR2016	KPZ14-TR2024
입력 전압	V	AC 48	AC 24
입력 전류	mA	Max AC 600	Max AC 550



다. 무화실의 바닥에 위치하여 초음파를 발생시키는 압전진동자는 고주파 전기신호를 기계적인 고주파의 진동으로 변환하고, 무화실의 수중에서 진동이 강해지면 방사되는 음압이 커져 집중된다. 따라서 그림에서와 같이 물기둥이 만들어지며, 물기둥의 주변에 경계면과 표면에는 간섭파를 형성하게 된다. 음파의 진동에 의해 형성되는 순간적인 진동은 물을 낮은 압력의 증기로 빨리 들어가는 공동화(Cavitation) 현상을 발생시킨다. 이때, 발생하는 수증기의 크기는 보통 0.5~5 μm 정도로 매우 작기 때문에 공기 증으로 흡수가 빠르며, 표면에 안개와 같이 형성된다. 이와 같이 액체의 표면장력을 뛰어넘어 미립화된 증기가 공기 증으로 방출되는 액체 표면에서의 모세관(Capillary) 파장은 Kelvin 방정식

으로 구할 수 있다.

$$\lambda^3 = \frac{2\pi T}{\rho f_s^2} \quad (6)$$

그리고 액체의 표면파 주파수  $f_s$ 는 구동주파수  $f$ 의 1/2임으로

$$\lambda = \left( \frac{8\pi T}{\rho f^2} \right)^{1/3} \quad (7)$$

이다. 따라서 증발하는 수증기 입자의 크기는 다음 식으로 표현한다.

$$D = 0.34 \left( \frac{8\pi T}{\rho f^2} \right)^{1/3} \quad (8)$$

여기서,  $T$ : 표면장력,  $\rho$ : 액체의 밀도,  $f$ : 구동주파수이다.

무화되는 수증기의 양은 일반적으로 300~500 ml/hr 정도이며, 압전진동자의 도금 소재에 따라 다소 의존하게 된다. 이와 같은 수증기를 외부로 분무하기 위해 소형의 송풍기를 사용하면 공기 증으로 뿜어져 나오게 되어 건조한 공기 중에 습도를 증가시키게 된다. 진동자 지지체는 산화로 인한 부식을 방지하기 위해 합성수지로 형성되어 사용수명을 오래 유지할 수 있고, 인체에 무해한 청정의 분무를 지속할 수 있다. 그림 10은 국내업체에서 생산되는 대표적인 초음파가습기의 내부 사진을 보여준다.

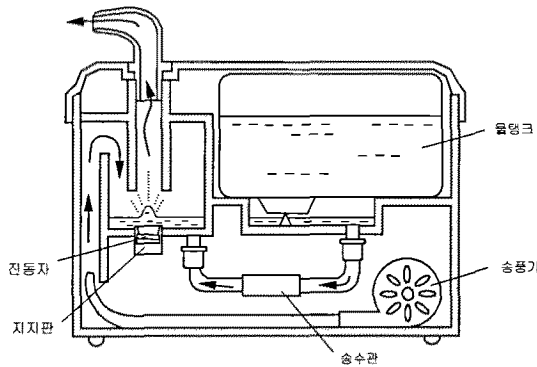


그림 9. 초음파 가습기의 구조.

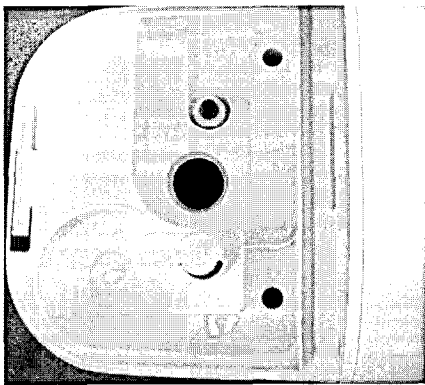


그림 10. 초음파 가습기의 내부 사진.

#### 4. 연구 결과 및 고찰

본 연구는 초음파 가습기의 분무특성에 대한 내용으로 압전진동자의 소재에 대해 파악하고, 진동자를 설계하여 유한요소법을 이용하여 해석되는 ATILA로 진동모드의 특성을 조사한다. 그리고 무화현상에 의해 발생하는 수증기의 입자와 가습량에 대해 기술한다.

##### 4.1 압전진동자의 시뮬레이션

###### (1) 진동자의 재료

본 연구에서 사용한 초음파 가습기용 압전세라믹

진동자는 경원화라이트공업주식회사에서 생산하고 있는 제품번호는 KPZ14-TR2016으로, 그림 11에서 진동자의 외형을 나타낸다. 압전재료는 PZT계열의 상품명 PZT4라는 소재이며, 미국특허를 통하여 PZT4의 정확한 조성비를 확인할 수 있었고, 조성비는  $(Pb_{0.94}Sr_{0.06})(Zr_{0.527}Ti_{0.473})O_3$ 이다.

표 4는 PZT4의 물성특성을 나타내는 기술적 사양이다. 업체의 제품특성에 의하면 무화량이 많고, 내구성이 뛰어나며, 분무 능력이 우수한 압전진동자로 알려져 있다. 따라서 초음파 가슴기용 압전진동자로 널리 적용되고 있다.

그림 12는 디스크형 압전진동자의 구조를 나타내는데, 경원화라이트공업주식회사의 특허를 조사하여 확인하였다. 내부의 압전체는 PZT4로 구성되어 있고,

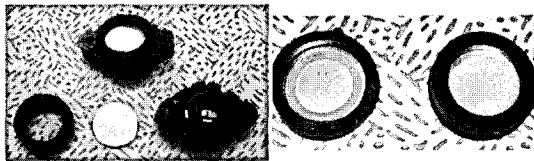


그림 11. 압전진동자의 외형.

표 4. 압전세라믹 진동자 (PZT4)의 기술적 사양.

항목	규격	항목	규격
기계적 품질계수( $Q_m$ )	800	손실계수	0.008
전기-기계결합계수( $k_p$ )	0.58	밀도( $g/cm^3$ )	7.60
전속밀도( $D_{33}$ )	270	Curie 온도( $T_c$ )	325
유전상수( $\epsilon$ )	1,300	입자크기( $\mu_m$ )	5~7

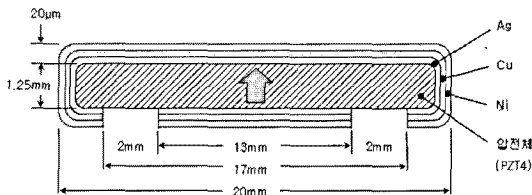


그림 12. 압전진동자의 설계.

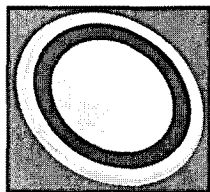


그림 13. Inventor를 이용한 압전진동자의 3차원 설계.

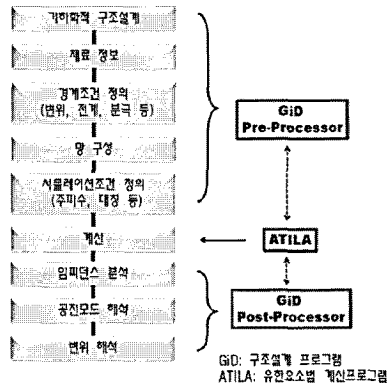
외부는 3층의 전극과 탄성체로 형성되어 있다. 압전 진동자는 일반적인 디스크형의 압전체 구조와는 달리 디스크의 측면까지 전극으로 구성하여 하부의 중앙 전극은 양극(+)로, 상부와 측부 전극은 음극(-)로 연결하게 된다. 그림 13은 3차원 CAD 프로그램인 Inventor를 이용하여 압전진동자를 설계하였다.

### (2) ATILA에 의한 진동자의 진동모드 해석

ATILA는 압전현상과 자기왜곡 물질이 갖는 2,3 차원 구조물의 해석을 위해 고안된 유한요소법 (FEM) 소프트웨어 프로그램이다. ATILA의 구조는 전기와 역학, 유체와 구조물의 결합상태를 해석하기 때문에 주로 압전체를 응용하는 초음파 모터, 초음파 압전진동자, 압전센서, 압전변압기, 가속도계, 압전펌프 및 수중청음기 등에 적용한다.

ATILA를 이용하여 압전진동자를 해석하는 순서는 그림 14에서 나타난다. 순서에 따라 먼저 그림 12와 동일한 압전진동자의 구조를 설계하였고, 진동자의 소재에 대한 각종 정보를 입력하였다. 그리고 압전진동자의 경계조건을 정의하기 위해 가해지는 입력전압과 진동자의 분극 등을 할당하여 입력하였다.

다음으로 구조에 정보를 제공하기 위해 진동자 표면과 체적에 대한 망을 구성하였고, 그림 15는 3차원적인 진동자의 망 구성에 대한 것을 나타내고 있다. 시뮬레이션 조건으로 입력전압은 교류 48 V와 구동주파수 1.65 MHz를 입력하였다. 이와 같은 전 단계의 GiD 구조프로그램 과정을 수행하고, ATILA 계산프로그램을 실시한 후, 나머지 후단계의 GiD 프



GiD: 구조설계 프로그램  
ATILA: 유한요소법 계산프로그램

그림 14. ATILA 해석 순서도.

로그를 수행한 결과를 그림 15에서 3차원 진동모드로 나타내고 있다.

3차원 진동모드는 경방향 진동과 두께 진동을 나타내고 있다. 표 1에서 나타난 바와 같이, 진동자의 직경과 두께를 비교하면 15배 이상이기 때문에 주진동모드는 경방향으로의 진동이고, 작은 두께 진동모드도 발생하게 된다. 압전진동자에 의한 초음파 가습기의 무화현상을 확인하기 위해 두께방향의 진동모드는 2차원적으로 그림 16에서 나타내고 있다. ATILA의 두께방향 진동모드를 분석한 결과, 최대 변위는  $\pm 0.0232 \mu\text{m}$  정도임을 확인할 수 있었다.

### (3) 전극 형태에 의한 진동모드 해석

기존의 초음파 가습기용 압전진동자의 진동모드와 비교하기 위해 디스크 형태의 압전체에 전극 모양을 3가지 다른 형태로 진동자를 설계하여 ATILA로 진동모드를 분석한 것이 그림 17에 나타난다. 그림 17(a)는 압전체의 직경과 두께의 비율을 15배로 하였고, 상부 전극과 하부 전극은 크기를 다르게 하여 전극 A형이라 하였다. 그림 17(b)에서는 직경과 두께의 비율을 15배, 전극의 배치는 하부 전극 대신에 측부에 전극을 배치하여 전극 B형으로 정하였다. 마지막으로 전극 C형은 그림 17(c)와 같이 상부와 하부에 동일한 크기의 전극을 배치하였고, 두께방향으

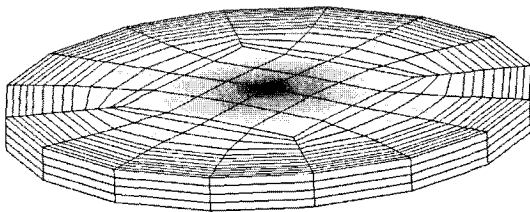


그림 15. ATILA에서 설계한 압전진동자와 진동모드.

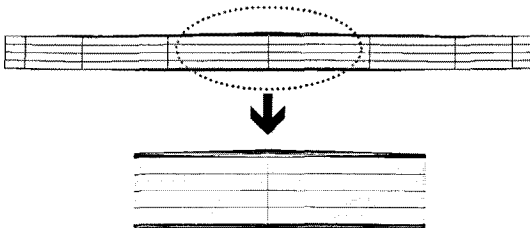


그림 16. ATILA에 의한 2차원 진동모드.

로의 진동모드를 확인하기 위해 압전체의 두께를 3배로 증가하여 직경과 두께의 비율이 15배 이하로 작아지게 설계하였다.

이와 같은 3가지 전극 형태를 설계하여 ATILA로 변위에 대한 분석을 실시하여 그림 17과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이미 표 1에서 제시한 진동모드와 동일하게 그림 17(a)와 17(b)의 진동모드는 경방향으로 주진동이 발생하고, 미약한 두께진동이 일어난다. 그림 17(c)에서는 주진동모드가 두께방향이며, 경방향 진동은 거의 나타나지 않았다. 이와 같은 결과에서 3가지 전극형태의 경방향 진동모드를 제외한 두께방향(z-축)으로의 변위를 살펴보면, 최대 변위는 각각 A형:B형:C형=0.42:0.039:40.1  $\mu\text{m}$ 으로 나타났다.

이와 같은 결과는 그림 15에서 설계한 가습기용 압전진동자의 두께방향 변위보다 더 큰 변위값을 나타내고 있지만, 전극 A, B, C형의 공진주파수는 각각 83.9 kHz, 96.7 kHz 및 86 kHz를 나타내었다.

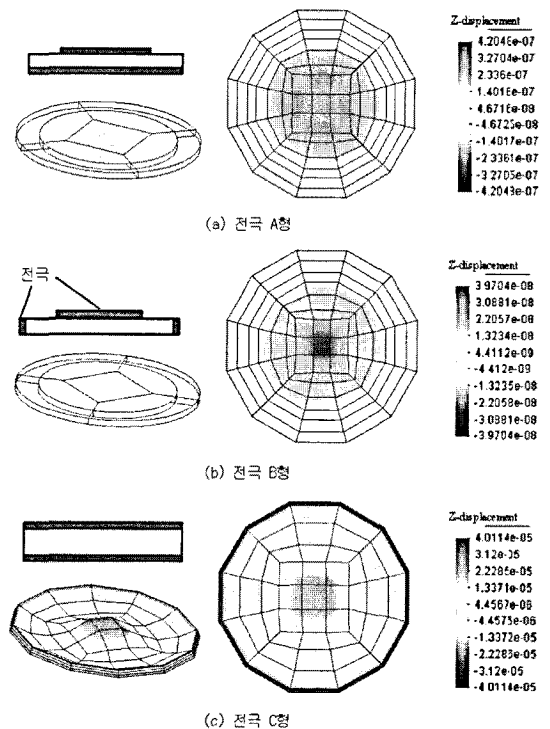


그림 17. 전극 형태에 따른 진동모드.

## 4.2 초음파 가습기의 분무특성

### (1) 가습량의 계산

가장 이상적인 습도를 얻기 위해서는 가습공간의 환경조건을 충분히 고려하여야 한다. 그림 18은 습공기선도 (Psychrometric Chart)를 나타내는데, 이를 이용하여 증기 가습량을 계산할 수 있다. 예를 들어, 현재 공기 상태가 건구온도 5℃, 습구온도 4℃이고, 송풍기에 의한 공기의 유속이 0.03 m<sup>3</sup>/sec이며, 원하는 공기 상태는 건구온도 22℃, 상대습도 50%라고 가정한다. 선도에서 현재의 공기 상태점 (A)과 원하는 공기 상태점 (B)을 얻는다. 그리고 A점에서 오른쪽으로 평행하게 선을 긋고, B점에서의 건구온도 22℃와 교차하는 C점을 찾는다. 여기서 선 AC는 최종 건구온도 22℃를 유지하기 위한 열량값이다. 습공기선도로부터 A점에서 공기의 열량은 16.5 kJ/kg이고, C점에서 공기의 열량은 34.0 kJ/kg이다. 따라서 두 점 사이의 열량 차이는 17.5 kJ/kg이다. 그리고 C점에서의 공기의 체적은 0.84 m<sup>3</sup>/kg임으로 공기에 열기의 부하량은 다음과 같다.

$$\frac{0.03 [m^3/sec]}{0.84 [m^3/kg]} \times 17.5 [kJ/kg] = 0.63 [kJ/sec] \quad (9)$$

가습량을 결정하기 위해 B점과 C점에서 오른쪽 쪽으로 평행하게 선을 그어, 수분함유량이 각각 0.0046 kg/kg air와 0.0082 kg/kg air를 얻는다. 따라서 가습 부하량은 0.0036 kg/kg air임으로 추가습 부하량은

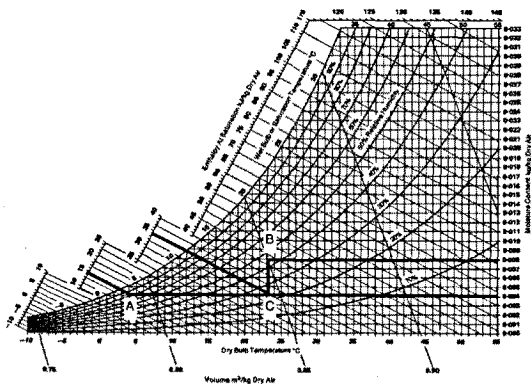


그림 18. 습공기선도.

다음 식으로 얻게 된다.

$$\frac{0.03 [m^3/sec]}{0.84 [m^3/kg]} \times 17.5 [kJ/kg] = 0.63 [kJ/sec] \quad (10)$$

그러므로 추가습량은 1초에 0.13 g를 나타내며, 시간당으로 환산하여 계산하면, 시간당 가습량은 468 ml/hr이다. 일반적으로 초음파 가습기의 가습량은 300~500 ml/hr 정도인 것으로 알려져 있다. 이와 같이 현재의 공기 상태와 최종적으로 원하는 공기의 조건을 알게 되면, 습공기선도를 이용하여 공기의 상태점을 구하여 가습량을 얻는다.

### (2) 입자크기와 분포도

Lang 등은 식 (8)을 토대로 수증기의 무화현상에

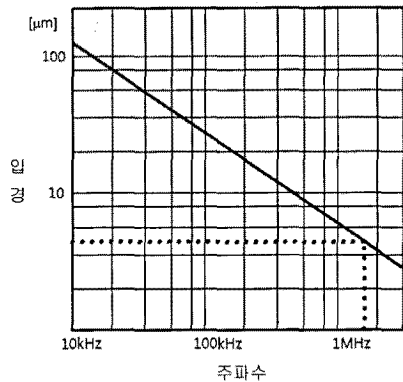


그림 19. 물의 무화현상에 의한 주파수와 입자크기.

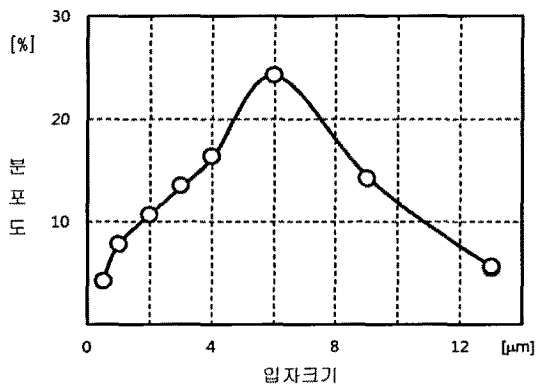


그림 20. 대표적인 가습기의 입자크기와 분포도 (f=1.65 MHz).

서 주파수에 대한 입자크기를 실험하여 그림 19에 나타내었다. 즉, 그림에서와 같은 로그 그래프에서 입자의 크기는 주파수에 반비례하며, 식 (8)과 유사하다. 압전진동자에 가해진 구동주파수가 1.65 MHz 일 경우에 입자의 크기는  $5\ \mu\text{m}$  정도이며, 전극 A, B, C형의 공진주파수 (83.9 kHz, 96.7 kHz 및 86 kHz)의 경우, 입자크기는 대략 30~40  $\mu\text{m}$  정도로 무거워지기 때문에 공기 중으로 분출하기 어려울 것이다.

그림 20은 대표적인 초음파 가슴기의 입자크기와 분포도를 나타내며, 진동자에 가해지는 구동주파수가 1.65 MHz일 경우에 다른 입자크기의 수증기보다 6  $\mu\text{m}$  정도의 입자크기에 대한 분포도가 25 %로 가장 높은 것으로 나타났다. 그림에서와 같이 발생하는 수증기에는 입자 크기가 큰 것도 포함하고 있지만, 공기 중으로 배출되는 과정에서 입자크기가 큰 수증기는 초음파 가슴기의 출구 내부 통로에 붙게 되어 대부분 제거되며, 설령 가슴기의 배출구를 통과하여 공기 중으로 방사되더라도 입자의 크기가 큰 경우에 공기 중에서 멀리 분산되기 어려울 것이다.

## 5. 결론

### 5.1 압전진동자의 진동모드

초음파 가슴기용 압전세라믹 진동자의 수증기 분무특성을 확인하기 위해 압전현상의 구조물을 해석할 수 있는 ATILA 프로그램을 사용하여 압전진동자의 진동모드를 분석하였다. 먼저 압전진동자를 설계하여 3차원 진동모드를 분석한 결과, 경방향과 두께 방향의 진동모드가 발생하였으며, 주진동모드는 경 방향으로 나타났다. 그러나 초음파 가슴기의 무화현상에 의해 물의 표면장력을 뛰어 넘는 수증기를 만들기 위해서는 두께방향의 진동이 중요하며, 두께방향의 최대변위는  $\pm 0.0232\ \mu\text{m}$ 이었다.

압전진동자의 두께방향 진동모드를 증가시키기 위해 전극 형태를 3가지로 분류하여 ATILA 프로그램으로 분석하였다. 결과적으로 3가지 진동모드의 두께방향 최대변위는 각각 0.42, 0.039 및 40.1  $\mu\text{m}$ 로 나타났으며, 가슴기용 압전진동자의 변위보다 증가하였다. 그러나 3가지 전극 형태의 ATILA 설계프로

그램에서 사용한 구동주파수는 100 kHz 이하였으며, 식 (8)에서 주파수가 낮아지면, 수증기 입자의 크기는 커지게 된다.

### 5.2 압전진동자의 분무특성

실내의 공기 중으로 방출되는 초음파 가슴기의 가슴량을 알아보기 위해 습공기선도를 이용하여 확인할 수 있었다. 송풍기의 구조와 가슴기의 내부 구조에 대한 환경조건에 따라 다르며, 송풍기에 의한 공기 유속이 0.03  $\text{m}^3/\text{sec}$ 이라면, 시간당 가슴량은 468 ml/hr이었다.

수증기의 무화현상에서 주파수에 대한 입자크기는 식 (8)에서 나타났듯이 반비례하며, 압전진동자에서 사용한 구동주파수가 1.65 MHz인 경우, 입자의 크기는  $5\ \mu\text{m}$  정도였다. 그리고 초음파 가슴기의 입자크기와 분포도에 대한 곡선에서 알 수 있듯이, 진동자에 가해지는 구동주파수가 1.65 MHz일 경우에 6  $\mu\text{m}$  정도의 입자크기에 분포도가 25 %로 가장 높은 것으로 나타났다. 발생하는 수증기에는 입자 크기가 큰 것도 포함하고 있으며, 공기 중으로 배출되는 과정에서 입자크기가 큰 수증기는 가슴기의 출구통로에 달라붙게 되어 대부분 제거되며, 가슴기의 배출구를 통과하여 공기 중으로 방사되더라도 입자의 크기가 큰 경우에 공기 중에서 멀리 분산되기 어려울 것이다.

### 5.3 활용 및 전망

먼저, 실험을 통하여 아쉬웠던 점은 초음파 가슴기용 압전진동자를 직접 제조하여 구현하고자 하였지만, 압전세라믹스를 제조하는 과정이 쉽지 않았고, 고등학생 수준에 너무 어려운 연구라는 점이었다. 그리고 압전세라믹스를 이해하기에도 충분한 시간을 갖지 못하여 압전진동자를 시뮬레이션 하여 압전특성을 조사하였고, 교재와 특허를 이용하여 초음파 가슴기의 분무특성을 파악하고자 노력하였다.

참고문헌을 비롯하여 여러 논문을 분석한 결과에 의하면, 압전재료를 이용하여 압전 진동기, 압전센서, 압전 펌프 및 각종 압전부품이나 기기에 매우 다양하게 응용하고 있으며, 최근 반도체나 디스플레이의 세척장비에 응용되기 위해 활발히 연구되고 있다

고 한다. 또한, 초음파 가습기의 압전진동자가 갖는 장점인 수증기의 입자크기가 작고 공기 중에 흡수가 빠르다는 점을 응용하여 환자개인용 소형 가습기를 비롯하여 농업용 대형 가습기로 적용할 수 있을 것이며, 가정용 방향제에도 적용한 가전제품이 개발될 수 있을 것으로 전망한다.

### 참고 문헌

- [1] 박창엽, 압전세라믹스, 생능출판사, 1992, pp. 6-33
- [2] 박창엽, 전기전자용 압전세라믹스, 반도출판사, 2002, pp. 39-50
- [3] 조영화, 압전세라믹스, 한국과학기술정보연구원, 2002, pp. 25-32
- [4] 공개특허, 10-2004-0034130, 경원웨어라이트공업주식회사, 2004
- [5] 특허등록번호, 2004180530000, 주식회사오성사, 2004
- [6] 미국특허, 05091348, Sol-gel method of making ceramics, 1992
- [7] 박승호, ATILA Tutorial, Micromechatronics, Inc., 2009
- [8] 공개특허, 특1996-057994, 쌍용자동차주식회사, 1996
- [9] 배상태 외 4인, “압전세라믹 진동자를 이용한 초음파 분무기의 분무특성”, 한국전기전자재료학회논문지, 제22권 5호, pp. 405-410, 2009. 5.
- [10] 이종락, 초음파와 그 사용법, 세화출판사, 2007, pp. 165-174

### 제재역력



성 명 : 김병철

- ◆ 학 력
- 현재
- 경기과학고등학교 재학



성 명 : 오진현

- ◆ 학 력
- 2007년
- 충북대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 2009년
- 충북대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 현재
- 충북대학교 대학원 전기공학과 박사과정



성 명 : 임기조

- ◆ 학 력
- 1973년
- 한양대학교 공대 전기공학과 공학사
- 1980년
- 한양대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 1986년
- 한양대학교 대학원 전기공학과 공학박사

- ◆ 경 력
- 1977년 - 1981년
- 국방과학연구소
- 1981년 - 현재
- 충북대학교 전자정보대학 전기공학부 교수
- 1994년 - 2000년
- 한국전기전자재료학회 평의원, 이사
- 2009년
- 한국전기전자재료학회 차기회장
- 현재
- 한국전기전자재료학회 학회장