



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0103538
(43) 공개일자 2018년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B06B 1/02 (2006.01) A61B 17/22 (2006.01)
A61K 41/00 (2006.01) A61K 9/00 (2006.01)
A61N 7/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B06B 1/02 (2013.01)
A61K 41/0014 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0030614
(22) 출원일자 2017년03월10일
심사청구일자 2018년08월27일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
손기현
서울특별시 마포구 마포대로 195, 310동 903호 (아현동, 마포 래미안 푸르지오)
이재원
서울시 중랑구 상봉로20길 26 (망우동)
(74) 대리인
서현, 민복기

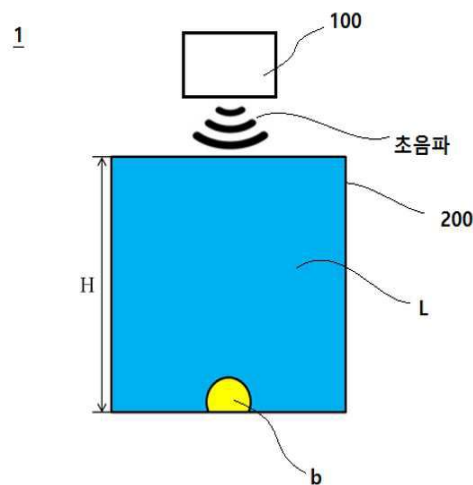
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치

(57) 요약

본 발명은 공기, 수증기 등으로 구성된 기포가 있는 물과 같은 액체가 수용되는 수용기 상부에서 초음파 발생기를 사용하여 수용기의 벽면에 위치한 기포의 크기에 따른 공진 주파수를 가지는 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포의 체적을 증가 및 감소시키는 방법으로 기포의 체적을 조절하며, 더 나아가 기포가 존재하는 액체의 액면의 높이를 초음파의 파장에 따라 조절하는 방법으로 공진효과에 의한 기포의 체적 조절 기능을 극대화하는 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61K 9/0009 (2013.01)

A61N 7/00 (2013.01)

A61B 2017/22088 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201631033.01

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 상변화 조영 향상을 위한 미세액적/기포 거동에 대한 연구

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교

연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

밀도가 ρ , 비열비 γ 인 액체가 수용된 수용기의 저면에 반지름 R 인 기포가 존재하는 경우, 액면 상부에 구비된 초음파 발생장치를 통해 아래의 공진 주파수 f_N 을 갖는 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포를 가압하여 기포의 부피가 감소되도록 조절하는 기포의 체적 조절방법.

- 아래 -

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho R^2} [3\gamma p_o + 2(3\gamma - 1) \frac{\sigma}{R}]}$$

* ρ 는 수조에 담긴 액체 밀도,

* R 은 생성된 기포 반지름,

* P_o 는 대기 압력,

* σ 는 액체의 표면 장력

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 초음파 발생장치는 사인파 형태의 아래의 식에 따른 압력과(P_s)를 액체를 매질로 기포에 전달는 방법으로 기포를 가압하는 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

- 아래 -

$$P_s = P + a * \sin(2\pi * f * t)$$

* a 는 초음파의 진폭

* f 는 초음파의 진동수

* t 는 시간

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기포는 수용기의 바닥면에 위치하고, 상기 기포에서 액면까지의 높이(H)는 초음파의 파장(λ)의 1/4의 크기인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 초음파 발생장치는 구형파 형태의 압력과(P_s)를 기포에 전달하는 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 기포는 수용기의 바닥면에 위치하고, 상기 기포에서 액면까지의 높이(H)는 초음파의 파장(λ)의 1/2의 크기

기인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 초음파 발생장치의 작동을 중단시키면 상기 기포에 가해지는 압력이 제거되어 기포의 부피는 원래의 부피로 회복되는 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 초음파 발생장치가 작동하는 작동 기간과 작동이 중단되는 비작동 기간을 반복시켜 기포의 부피를 미리 결정된 범위로 제어하는 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 초음파 발생장치에 의하여 발생하는 초음파에 의하여 체적이 조절되는 기포의 직경은 $1\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 범위인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 9

제2항 또는 제4항에 있어서,

상기 압력파(Ps)의 진폭 압력은 $1.013\ \text{kPa} \sim 10.13\ \text{kPa}$ 범위인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 공진 주파수(f_N)는 $33\ \text{kHz}$ 내지 $4745\ \text{kHz}$ 인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 11

제3항 또는 제5항에 있어서,

상기 액면의 높이(H)는 $81\ \mu\text{m} \sim 11647\ \mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 기포의 반지름과 상기 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파의 공진 주파수 f_N 은 반비례하고, 액면의 높이(H)는 비례하는 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절방법.

청구항 13

초음파 발생장치 및;

액체 수용기;를 포함하고,

상기 액체 수용기에는 밀도가 ρ , 비열비 γ 인 액체가 수용되며, 상기 초음파 발생장치는 상기 액체 수용기의 액면 방향으로 초음파를 조사하고, 상기 액체 수용기의 저면에 존재하는 기포의 반지름 R인 경우, 상기 초음파 발생장치는 아래의 공진 주파수 f_N 를 갖는 초음파를 발생시켜 기포를 가압하여 기포의 부피가 감소되도록 기포의 체적을 조절하는 기포의 체적 조절장치.

- 아래 -

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho R^2} [3\gamma p_o + 2(3\gamma - 1) \frac{\sigma}{R}]}$$

* ρ 는 수조에 담긴 액체 밀도,

* R 은 생성된 기포 반지름,

* P_o 는 대기 압력,

* σ 는 액체의 표면 장력

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파는 사인파 형태의 평면파이며, 상기 액체 수용기에 수용되는 액체의 액면의 높이는 상기 액체 수용기의 저면으로부터 상기 초음파 발생장치에서 발생하는 공진 주파수 공진 주파수 f_N 인 초음파의 파장(λ)의 1/4의 크기인 것을 특징으로 하는 기포의 체적 조절장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치에 관한 것이다. 보다 상세하게, 본 발명은 공기, 수증기 등으로 구성된 기포가 있는 물과 같은 액체가 수용되는 수용기 상부에서 초음파 발생기를 사용하여 수용기의 저면에 위치한 기포의 크기에 따른 공진 주파수를 가지는 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포의 체적을 증가 및 감소시키는 방법으로 기포의 체적을 조절하며, 더 나아가 기포가 존재하는 액체의 액면의 높이를 조사되는 초음파의 파장에 따라 조절하는 방법으로 공진효과에 의한 기포의 체적 조절 기능을 극대화하는 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 본 발명은 공기, 수증기 등으로 구성된 기포가 있는 물과 같은 액체가 수용되는 수용기 상부에서 초음파 발생기를 사용하여 수용기의 벽면에 위치한 기포의 크기에 따른 공진 주파수를 가지는 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포의 체적을 증가 및 감소시키는 방법으로 기포의 체적을 조절하며, 더 나아가 기포가 존재하는 액체의 액면의 높이를 초음파의 파장에 따라 조절하는 방법으로 공진효과에 의한 기포의 체적 조절 기능을 극대화하는 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치에 관한 것이다.

[0003] 최근 초음파 영역에서의 기포 거동은 체외 파쇄술 및 선택적 약물전달 등의 의료용 진단 및 시술뿐만 아니라 Lab-on-a-chip (LOC) 장치에서의 화학적 혼합 기술, 초음파 세척 및 캐비테이션 등에 기술이 적용 및 연구되고 있다.

[0004] 기존의 초음파 영역에서의 기포 거동에 대한 연구는 다양한 분야에서 활용이 시도되고 있다.

[0005] 구체적인 예로서, 수 μm 직경의 혈관 내 조영제 기포를 이용하는 초음파 검사에 활용되거나, 혈관 내의 기포의 크기를 성장시켜 혈관을 차폐시키는 방법으로 혈류를 막아 암세포와 같은 인체에 유해한 세포 및 물질의 괴사 및 차단을 시키는 기술이 연구되고 있으며, 기포 내에 약물입자를 포함하여 체내에 주입시킨 후 치료가 필요한 조직 근처에서 초음파를 이용하여 가압하여 기포를 터트려 약물을 전달하는 기술에도 적용이 시도되고 있다.

[0006] 이와 같이 초음파를 이용한 기포의 제어 기술은 의료용 이외에도 Lab-on-a-chip (LOC) 장치에서의 화학적 혼합 기술, 초음파 세척 및 캐비테이션 등에 기술이 적용 및 연구되고 있다.

[0007] 그러나, 아직 액체 내부에서 기포를 제거하거나 또는 생성하는 기술에 대해서는 어느 정도 기술이 축적되었으나, 정밀하게 액체 내부의 기포의 체적을 증가 또는 감소시켜 원하는 크기로 기포의 체적을 조절하는

기술에 대해서는 연구가 시급하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 액체가 수용되는 수용기 상부에서 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포의 체적을 증가 및 감소시키는 방법으로 기포의 체적을 조절하며, 더 나아가 기포가 존재하는 액체의 액면의 높이를 초음파의 파장에 따라 조절하는 방법으로 공진효과에 의한 기포의 체적 조절 기능을 극대화하는 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치를 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 밀도가 ρ , 비열비 γ 인 액체가 수용된 수용기의 저면에 반지름 R 인 기포가 존재하는 경우, 액면 상부에 구비된 초음파 발생장치를 통해 아래의 공진 주파수 f_N 을 갖는 초음파를 기포 방향으로 조사하여 기포를 가압하여 기포의 부피가 감소되도록 조절하는 기포의 체적 조절방법을 제공할 수 있다.

[0010] - 아래 -

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho R^2} [3\gamma p_o + 2(3\gamma - 1) \frac{\sigma}{R}]}$$

[0011]

[0012] 여기서, ρ 는 수조에 담긴 액체 밀도, R 은 생성된 기포 반지름, P 는 대기 압력, σ 는 액체의 표면 장력이다.

[0013] 이 경우, 상기 초음파 발생장치는 사인과 형태의 아래의 식에 따른 압력파(P_s)를 기포를 가압할 수 있다.

[0014] - 아래 -

[0015] $P_s = P + a * \sin(2\pi * f * t)$

[0016] 여기서, a 는 초음파의 진폭, f 는 초음파의 진동수, t 는 시간이다.

[0017] 또한, 상기 기포는 수용기의 바닥면에 위치하고, 상기 기포에서 액면까지의 높이(H)는 초음파의 파장(λ)의 1/4의 크기일 수 있다.

[0018] 그리고, 상기 초음파 발생장치는 구형파 형태의 압력파(P_s)를 기포에 전달할 수 있다.

[0020] 이 경우, 상기 기포는 수용기의 바닥면에 위치하고, 상기 기포에서 액면까지의 높이(H)는 초음파의 파장(λ)의 1/2의 크기일 수 있다.

[0021] 또한, 상기 초음파 발생장치의 작동을 중단시키면 상기 기포에 가해지는 압력이 제거되어 기포의 부피는 회복될 수 있다.

[0022] 이 경우, 상기 초음파 발생장치가 작동하는 작동 기간과 작동이 중단되는 비작동 기간을 반복시켜 기포의 부피를 미리 결정된 범위로 제어할 수 있다.

[0023] 또한, 상기 초음파 발생장치에 의하여 발생하는 초음파에 의하여 체적이 조절되는 기포의 직경은 $1 \mu m \sim 100 \mu m$ 범위일 수 있다.

[0024] 그리고, 상기 압력파(P_s)의 진폭 압력은 $1.013 \text{ kPa} \sim 10.13 \text{ kPa}$ 범위일 수 있다.

[0025] 또한, 상기 공진 주파수(f_N)는 33 kHz 내지 4745 kHz 일 수 있다.

[0026] 여기서, 상기 액면의 높이(H)는 $81 \mu m \sim 11647 \mu m$ 일 수 있다.

[0027] 또한, 상기 기포의 반지름과 상기 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파의 공진 주파수 f_N 은 반비례하고, 액면의 높이(H)는 비례할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 초음파 발생장치 및 액체 수용기;를 포함하고, 상기 액체 수용기에는 밀도가 ρ , 비열비 γ 인 액체가 수용되며, 상기 초음파 발생장치는 상기 액체 수용기의 액면 방향으로 초음파를 조사하고, 상기 액체 수용기의 저면에 존재하는 기포의 반지름 R 인 경우, 상기 초음파 발생장치는 아래의 공진 주파수 f_N 를 갖는 초음파를 발생시켜 기포를 가압하여 기포의 부피가 감소되도록 기포의 체적을 조절하는 기포의 체적 조절장치를 제공할 수 있다.

[0029] - 아래 -

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho R^2} [3\gamma p_o + 2(3\gamma - 1) \frac{\sigma}{R}]}$$

[0030]

[0031] 여기서, ρ 는 수조에 담긴 액체 밀도, R 은 생성된 기포 반지름, P_o 는 대기 압력, σ 는 액체의 표면 장력이다.

[0032] 또한, 상기 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파는 사인파 형태의 평면파이며, 상기 액체 수용기에 수용되는 액체의 액면의 높이는 상기 액체 수용기의 저면으로부터 상기 초음파 발생장치에서 발생하는 공진 주파수 공진 주파수 f_N 인 초음파의 파장(λ)의 1/4의 크기일 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명에 따른 기포의 체적 조절방법 및 기포의 체적 조절장치에 의하면, 수용기 저면에 위치한 기포의 크기에 대응하는 공진 주파수를 갖는 초음파를 초음파의 파장과 일정 비율의 크기의 높이를 갖는 수면 상에서 조사하면, 초음파-기포에 의한 공진 현상과 진폭이 가장 큰 파장 길이를 고려한 수용기 높이 효과에 의한 공진 현상이 증폭되는 다중 공진에 의해 기포가 위치하는 지점의 압력을 조절할 수 있으므로, 변화된 압력에 의하여 기포의 체적을 성장, 수축 및 제거 등의 거동을 조절할 수 있다.

[0034] 더 나아가, 위와 같은 기포의 성장, 수축 또는 제거 효과는 수용기 저면과 기포의 접촉각이 작을수록 액체의 압축성 효과가 증대되어 시간에 따라 더욱 높은 가압형태를 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명에 따른 기포 체적 조절방법에 사용되는 기포 체적 조절장치의 구성도를 도시한다.

도 2은 액면 위에서 초음파가 발생하는 상태에서 액체 수용기에 수용된 액체 내부에서 위치에 따른 압력 변화를 도시한다.

도 3은 기포와 액체 수용기 저면의 접촉각에 따른 압력 변화를 도시한다.

도 4는 액체 수용기의 시간의 흐름과 수면 높이에 따라 기포에 가해지는 압력의 대기압에 대한 증가비율의 크기 변화를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명된 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록, 그리고 당업자에게 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조 번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0037] 도 1은 본 발명에 따른 기포 체적 조절방법에 사용되는 기포 체적 조절장치(1)의 구성도를 도시한다.

[0038] 본 발명은 밀도가 ρ , 비열비 γ 및 표면장력 σ 인 액체가 수용된 수용기(200)의 저면에 반지름 R 인 기포(b)가 존재하는 경우, 대기압이 P_o 인 조건에서 액면 상부에 구비된 초음파 발생장치(100)를 통해 아래의 공진 주파수 f_N 를 갖는 초음파를 기포(b) 방향으로 조사하여 기포에 압력을 인가하여 기포의 부피가 감소되도록 조절하는 기포의 체적 조절방법 및 동일한 방법이 사용되는 기포의 체적 조절방법 및 그 기포의 체적 조절장치를 제공할 수 있다.

[0039] 본 발명에 따른 기포의 체적 조절장치(1)는 물 등의 액체가 담긴 수용기(200)의 내부 벽면, 구체적으로 저면에

미세한 공기 등의 기체로 구성되는 기포(b)를 형성한다. 생성된 기포의 반지름(R)에 따라 기포의 공진 주파수 f_N 은 다음과 같은 식에 따라 결정된다.

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho R^2} [3\gamma p_o + 2(3\gamma - 1) \frac{\sigma}{R}]}$$

[0041] ----- 제1식

[0042] 여기서, ρ 는 수조에 담긴 액체 밀도, R은 생성된 기포 반지름, P는 대기 압력, σ 는 액체의 표면 장력을 의미한다. 즉, 기포의 공진 주파수는 기포의 크기 또는 액체의 성질 등에 따른 기포의 특성을 의미한다. 따라서, 기포의 크기 등이 커지는 경우에는 제1 식을 통해 확인 가능하듯이 각각의 기포의 공진 주파수는 감소되는 것으로 이해될 수 있다.

[0043] 본 발명에 따른 기포의 체적 조절장치는 도 1에 도시된 바와 같이, 액체의 수용기(200)의 액면 바로 상부에 구비된 초음파 발생기(100)는 다음과 같은 사인파 형태의 압력파(P_s)를 조사하여 액체 매질을 통해 압력파(P_s)가 수용기(200) 저면에 위치하는 기포에 전달될 수 있다.

[0044] $P_s = P + a * \sin(2\pi * f * t)$ ----- 제2식

[0045] 여기서, a는 초음파의 진폭, f는 초음파의 주파수 및 t는 시간을 의미한다.

[0046] 이 때, 초음파의 파장(λ)은 $\lambda = c / f$ 로 정의되며, 여기서 c는 매질로서의 수용기에

[0047] 수용되는 액체(L) 내에서의 음속을 의미한다.

[0048] 초음파 발생기에서 조사되는 평면 압력파(P_s)의 파장 λ 는 사인파 주기함수 형태에 의해 $\lambda / 4$ 에서 가장 큰 진폭을 가지게 된다. 반면 구면파의 경우, 가장 큰 진폭을 가지는 파장은 $\lambda / 2$ 이 될 수 있다.

[0049] 따라서, 초음파 발생장치(100)에서 발생된 초음파가 전달되는 액면의 높이 H, 즉 초음파 발생기(100)부터 수용기 저면까지의 λ 파장을 갖는 초음파가 경유하는 거리 $H = \lambda / 4$ 을 만족하게 되면, 수용기 저면에 위치하는 기포는 발생기에서 조사되는 압력파(P_s)로서의 초음파가 가장 큰 진폭일 때에 만나게 되어 다중 공진현상이 발생 된다.

[0050] 따라서, 초음파 발생장치가 가장 큰 진폭을 가지는 파장(λ) 길이에 해당하는 높이($H = \lambda / 4$)를 가지는 액면 상부에서 제1 식에 따른 기포의 공진 주파수(f_N)와 일치하는 주파수를 갖는 압력파(P_s)로서의 초음파를 조사하게 되면, 다중 공진 현상 등에 의하여 기포의 압력 변화는 증폭될 수 있고, 기포에 가해지는 압력 역시 최대가 될 수 있다.

[0051] 이와 같은 원리를 통해, 액체 수용기의 벽면, 즉 저면에 위치한 공기 등의 기포의 체적을 성장, 수축 및 제거하는 등의 기포의 체적조절이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

[0052] 본 발명에서 미세 기포 크기에 따른 공진 주파수 및 공진 효과가 증폭되는 수면의 높이(H)들의 예시는 아래의 표 1와 같다.

[0053] 본 발명에 따른 기포의 체적 조절방법을 사용할 수 있는 범위는 실험적으로 확인한 결과 다음과 같은 조건에서 효과적임을 확인하였다.

[0054] 우선, 미세 공기 등의 기포의 크기는 $1 \mu m \sim 100 \mu m$, 초음파 발생기에서 조사되는 압력파(P_s)의 압력 진폭은 $1.013 \sim 10.13 kPa$, 기포의 크기에 따른 공진 주파수와 일치하도록 초음파 발생장치에서 발생되는 초음파의 주파수는 $33 kHz \sim 4745 kHz$, 다중공진 조건을 만족하는 수면의 높이 H는 $81 kHz \sim 11647 \mu m$ 범위에서 발명의 효과가 입증됨을 확인할 수 있었다. 물론, 기포의 반지름, 공진 주파수 또는 액면의 높이 등의 위 범위를 벗어나는 경우에도 어느 정도의 체적 조절이 가능하였으나, 현저한 효과를 얻기 위해서는 위 범위를 만족하도록 변수를 조절하는 것이 바람직하다.

[0055] 아래의 표 1에 도시된 바와 같이, 상기 기포의 반지름(R)에 따른 공진 주파수(f_N)은 반비례하고, 액면의 높이(H)는 비례하는 관계라는 것을 확인할 수 있다.

[0056] 기포의 반지름(R)과 공진 주파수(f_N) 그리고 더 나아가 기포와 액면의 높이(H) 조건이 아래의 표에 도시된 바와 같은 조합으로 결정되는 경우, 다중 공진에 의한 압력파(P_s)에 따른 기포의 체적 조절 기능이 극대화될 수 있다.

표 1

[0057]

R(μm)	$F_N(\text{kHz})$	H (μm)
1	4.745×10^3	8.113×10^1
2	2.041×10^3	1.886×10^2
5	7.252×10^2	5.308×10^2
7.5	4.689×10^2	8.209×10^2
10	3.461×10^2	1.112×10^3
20	1.687×10^2	2.281×10^3
50	6.646×10^1	5.792×10^3
75	4.415×10^1	8.719×10^3
100	3.305×10^1	1.164×10^4

[0058] 본 발명의 실시예에 따른 구체적인 시험 결과를 도 2 내지 도 4를 참조하여 설명한다.

[0059] 구체적인 시험조건은 다음과 같다. 압력파(P_s)로서의 초음파의 진폭 압력은 $a = 2.026 \text{ kPa}$ 이며, 수중 공기 기포의 고유 진동수(f_N)와 같은 진동수 $f=725\text{kHz}$ (수증기의 경우, 비열비 γ 값이 변하게 되어 진동수도 변화)의 사인과 형태의 평면파가 조사되는 초음파 발생기가 액면 상부에 위치하며, 파장 λ 이 $2,124 \mu\text{m}$ 인 평면파의 가장 큰 진폭을 가지는 $\lambda/4$ 에 해당하는 높이 $H=531 \mu\text{m}$ 의 수용기에 물을 채운 후, 수용기 저면에 반지름이 $5 \mu\text{m}$ 인 공기 기포를 생성한다.

[0060] 도 2은 액면 위에서 초음파가 발생하는 상태에서 액체 수용기에 수용된 액체 내부에서 위치에 따른 압력 변화를 도시한다.

[0061] 초음파 발생기에서 조사되는 압력파(P_s)는 그래프의 청색 실선과 같은 반복적인 사인과 형태를 갖는다.

[0062] 매질(물 등의 액체) 을 통해 전달되는 압력파(P_s)는 수용기의 저면에 위치한 기포에 도달하게 되는데, 수용기의 높이 효과와 물의 압축성 특성에 의해 적색 실선 그래프에 도시된 바와 같이 시간이 지남에 따라 압력이 증가됨을 확인할 수 있다.

[0063] 즉, 기포의 반지름, 초음파의 주파수 그리고 더 나아가 기포와 액면의 높이가 적절하게 조합되는 경우, 액체 매질 상부에서 조사되는 초음파가 액체 내부의 수용기 저면에 위치한 기포에 도 2의 적색 그래프와 같은 형태의 크기가 시간에 따라 증가하는 사인과 형태의 압력파(P_s)를 전달하여, 기포를 가압하는 방법으로 기포의 체적을 조절할 수 있음을 발견하였다. 즉, 상기 초음파 발생장치(100)의 작동이 유지되는 작동 기간에는 기포의 체적이 서서히 감소되고, 초음파의 발생을 중지하는 비작동 기간에는 다시 기포의 체적이 서서히 회복될 수 있으므로, 초음파 발생장치(100)의 작동기간과 비작동 기간을 적절하게 조합하는 경우에는 원래의 기포의 크기를 일정 범위로 축소한 후 의도된 범위에서 축소된 기포의 체적을 유지할 수도 있다.

[0064] 즉, 시간에 따라 압력파(P_s)의 크기가 증대되므로, 급격하게 기포를 제거하는 종래 소개된 기술들과 구별된다. 기존의 연구들이 기포의 크기를 조절할 수 있음을 전제로 하여 다양한 활용을 모색하였으나, 구체적으로 기포의 체적이 어떠한 방법으로 조절되는지 특히 기포의 크기, 초음파의 주파수, 파장과 액면의 높이 등의 관계에 대하여는 연구된 바가 없었으나, 위와 같은 조건에 의하여 기포의 체적을 적극적으로 제어할 수 있게 되었다.

[0065] 도 3은 기포와 액체 수용기 저면의 접촉각에 따른 압력 변화를 도시한다.

[0066] 수용기 저면에 위치한 기포는 초음파-기포에 의한 공진 현상과 진폭이 가장 큰 파장 길이를 고려한 수용기 높이 효과에 의해 공진 현상이 증폭되는 다중 공진에 의해 기포가 위치하는 지점의 압력이 급격하게 변하게 된다.

[0067] 시간이 지남에 따라 기포가 없을 때의 압력 변화 (도 2의 적색 실선) 보다 급격하게 가압되어 $1 \text{ Mpa} \sim 2 \text{ Mpa}$ 까지 가압되며, 변화된 압력에 의하여 기포는 성장, 수축 및 제거 등의 거동을 나타내게 된다.

- [0068] 더 나아가, 위와 같은 기포의 성장, 수축 또는 제거 효과는 수용기 저면과 기포의 접촉각이 작을수록 액체의 압축성 효과가 증대되어 시간에 따라 더욱 높은 가압형태를 나타낼 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0069] 따라서, 기포의 체적 조절의 응답성 또는 체적 변화비율을 조절하기 위해서는 기포를 상대적으로 납작하게 형성하거나, 초음파를 통한 사전 가압 등을 통해 기포의 체적 변화가 필요한 순간에서의 체적 조절 성능을 극대화할 수도 있을 것으로 예상된다.
- [0070] 도 4는 액체 수용기의 시간의 흐름과 수면 높이에 따라 기포에 가해지는 압력의 대기압에 대한 증가비율의 크기 변화를 도시한다.
- [0071] 실시예에 부합되는 공진효과를 최대화할 수 있는 조건 $H = \lambda / 4$ 가 아닌 경우, 즉 기포의 반지름, 그에 따른 제1식에 의한 초음파의 주파수를 동일하게 하고 액면의 높이를 초음파의 파장의 75% 정도로 구성한 청색 실험($H=0.75 \lambda$), 50% 정도로 구성한 녹색 실험($H=0.50 \lambda$)의 경우에는 기포의 크기에 따라 초음파의 주파수 등을 다중 공진 조건에 만족시켰다고 하여도 시간에 따른 압력파(P_s)의 크기 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 즉, 시간이 흘러도 기포의 체적 변화가 크게 발생되지 않음을 확인할 수 있다.
- [0072] 반면, 액면의 높이를 초음파의 파장의 25% 정도로 구성한 적색 실험, 즉 초음파의 파장(λ)의 1/4에 해당하도록 액면의 높이를 설정($H=0.25 \lambda$)한 경우에는 시간에 따른 압력파(P_s)의 크기가 공진 현상에 의하여 가파르게 증가되어 기포의 체적조절 기능이 극대화될 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0073] 본 명세서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 당업자는 이하에서 서술하는 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경 실시할 수 있을 것이다. 그러므로 변형된 실시가 기본적으로 본 발명의 특허청구범위의 구성요소를 포함한다면 모두 본 발명의 기술적 범주에 포함된다고 보아야 한다.

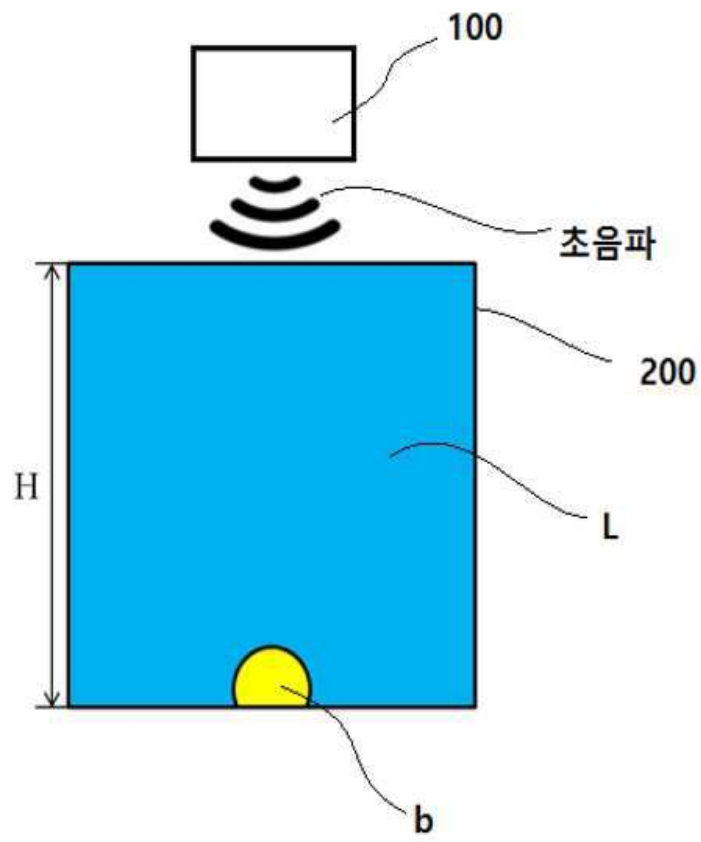
부호의 설명

- [0074] 100 : 초음파 발생장치
200 : 액체 수용기
b : 기포
L : 액체

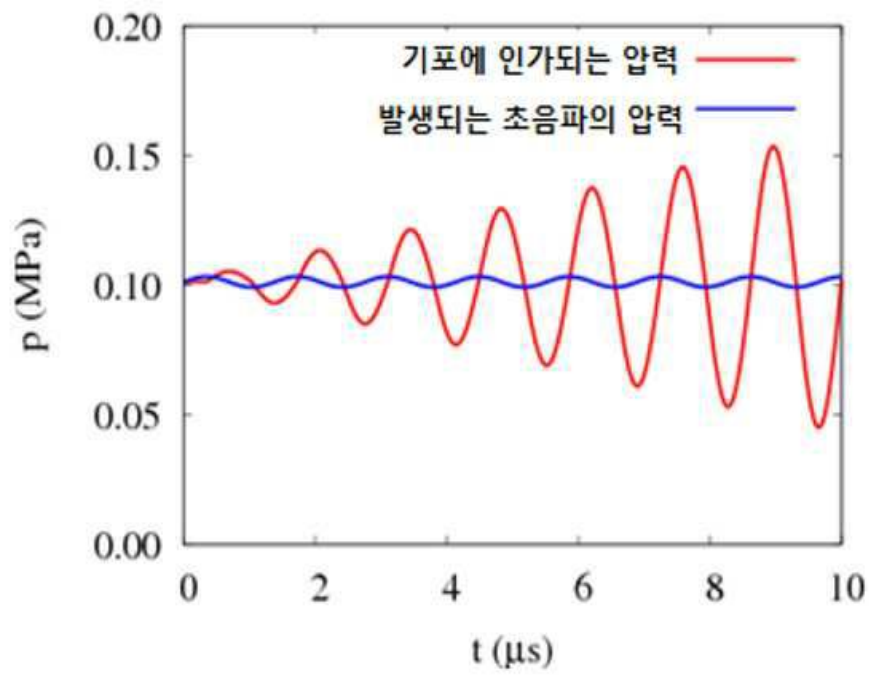
도면

도면1

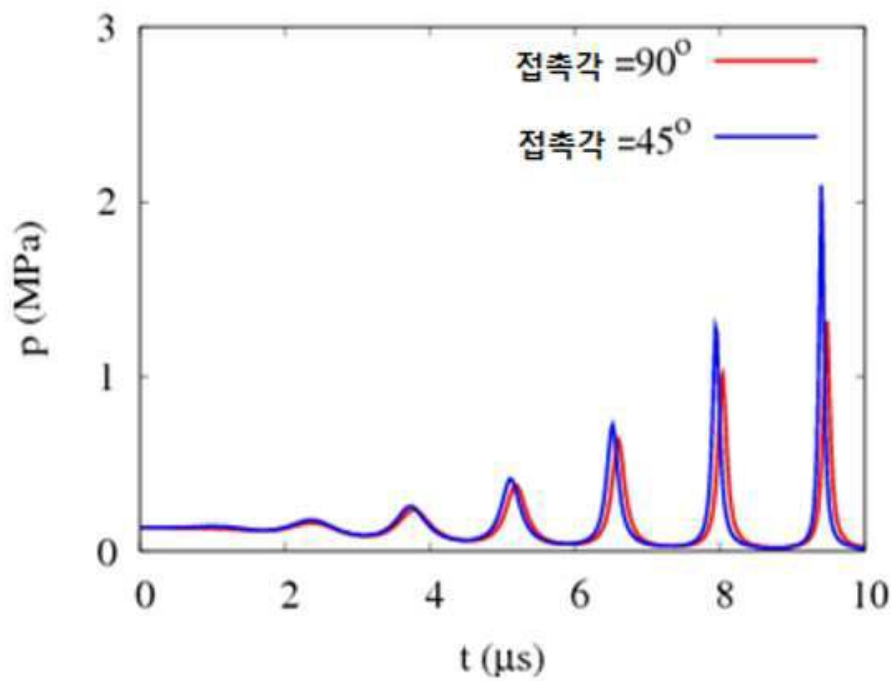
1



도면2



도면3



도면4

