(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0142572
(43) 공개일자 2016년12월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01F 13/00 (2006.01) *B01L 3/00* (2006.01)
G01N 1/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01F 13/0059 (2013.01)
B01L 3/5027 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0078463
(22) 출원일자 2015년06월03일
심사청구일자 2015년06월03일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
김광용
서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12 (방배동, 방배아트힐아파트) 105동 701호
아프잘아샤드
인천광역시 남구 한나루로477번길 124-10 (용현동) 101호
(74) 대리인
이원희

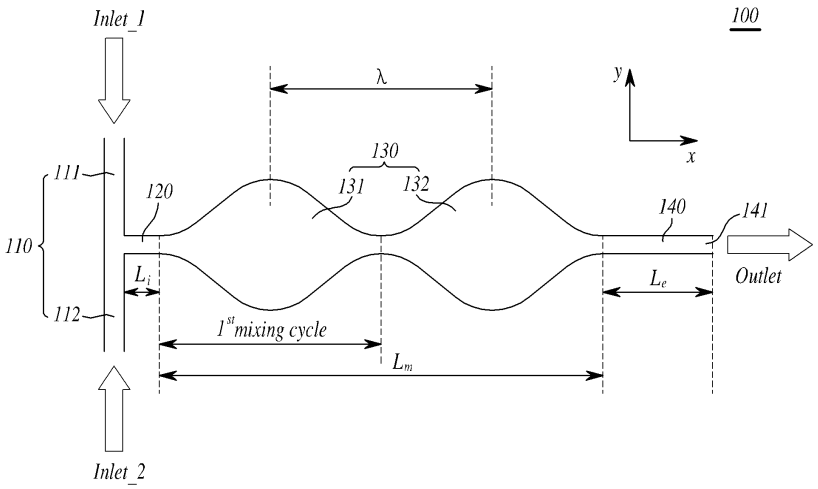
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기 및 이를 이용한 유체 혼합 방법**

(57) 요 약

사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기가 개시된다. 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기는 서로 다른 두 개의 유체가 유입되도록 두 개의 유입구를 포함하는 유입부; y축 길이가 일정하게 증가하고 감소하는 두 개 이상의 채널이 결합되어 사인파형 벽면이 형성되고, 서로 다른 두 개의 유체가 혼합되는 혼합부; 및 상기 혼합부와 연결되어 상기 혼합부에서 혼합된 유체가 배출되는 배출부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 1/38 (2013.01)
G01N 2001/386 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

수동형 미세 혼합기에 있어서,

서로 다른 두 개의 유체가 유입되도록 제1유입구 및 제2유입구를 포함하는 유입부;

y축 길이가 일정하게 증가하고 감소하는 두 개 이상의 채널이 결합되어 사인파형 벽면이 형성되고, 서로 다른 두 개의 유체가 혼합되는 혼합부; 및

상기 혼합부와 연결되어 상기 혼합부에서 혼합된 유체가 배출되는 배출부

를 포함하는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유입부와 혼합부 사이를 연결하는 연결부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 연결부는 상기 제1유입구 및 제2유입구가 만나는 지점에 연결 설치되는 것을 특징으로 하는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 혼합부는 상기 유입부를 통해 유입된 서로 다른 두 유체가 혼합되도록 상기 서로 다른 두 유체를 사인파형 맥동유동을 이용하여 혼합하는 것을 특징으로 하는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 제1유입구, 제2유입구 및 연결부는 T자형을 이루는 것을 특징으로 하는 사인파형 맥동 유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기.

청구항 6

제 1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 따른 축소-확대형 미세 혼합기를 구비하는 랩온어칩.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 따른 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기를 이용하여 미세 유체를 혼합하는 방법으로,

상기 제1 유입구에 유입되는 제1 유체와 상기 제2 유입구에 유입되는 제2 유체는 위상차를 가지며 펄스 파형으로 유입되는 것을 특징으로 하는 유체 혼합 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 위상차는 90 내지 180도 인 것을 특징으로 하는 유체 혼합 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 위상차는 180도 인 것을 특징으로 하는 유체 혼합 방법.

청구항 10

제 7항에 있어서,

상기 축소-확대형 미세 혼합기의 스트로우홀 수는 0.15 내지 0.4인 것을 특징으로 하는 유체 혼합 방법.

청구항 11

제 7항에 있어서,

상기 제1유체 및 제2유체의 펄싱 속도(V_o)와 정상 유동 속도(V_s)의 속도비(V_o/V_s)는 2 이상인 것을 특징으로 하는 유체 혼합 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기 및 이를 이용한 유체 혼합 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 서로 다른 두 유체를 효과적으로 혼합하기 위한 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기 및 이를 이용한 유체 혼합 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 미세장치들에서 유체의 혼합을 제어하는 문제는 랩온칩(lab-on-chip)을 비롯한 여러 응용분야에서 매우 중요한 과제가 되고 있다. 이러한, 유체의 혼합을 통해 양질의 생산을 얻기 위해서는 고성능의 미세혼합기가 필요하게 된다. 여기서, 랩온어칩(lab-on-a chip)은 분리, 혼합, 반응 및 해석 등을 하나의 칩에서 수행하는 장치를 뜻한다.

[0003] 이러한, 상기 미세혼합기는 크기가 작아서 유동의 대부분이 층류가 되는데, 이는 유체혼합의 효율을 현저히 떨어뜨리는 요인이 된다. 더불어, 층류의 경우, 유체의 혼합은 분자확산에 의존하므로 혼합이 매우 느리게 진행된다. 따라서 혼합과정을 촉진시킬 수 있는 여러 종류의 미세혼합기를 개발하는 것은 매우 중요하고, 지난 수십년 동안 이와 같은 혼합과정을 촉진시킬 수 있도록 하기 위해 다양한 종류의 미세 혼합기가 개발되었다. 이러한,

상기 미세혼합기는 크게 능동형(active), 수동형(passive) 미세혼합기로 분류된다.

[0004] 먼저, 상기 능동형 미세혼합기는, 유동자체의 에너지가 아닌 움직이는 요소나 전기적 힘과 같은 외부 에너지원을 이용하여 유체를 혼합하는 혼합기이다. 이러한, 상기 능동형 미세혼합기는 혼합성능이 좋은 반면에 제조가 어렵고 미세유체의 누출이 생길 수 있으며, 외부의 에너지를 사용한다는 단점이 있다.

[0005] 반면에, 상기 수동형 미세혼합기는, 미세유로 내부에 정적인 여러 미세 구조물을 배치시켜 유동이 서로 맞닿는 면적을 증가시키거나 유동을 복잡하게 함으로써 혼합을 유도하는 혼합기이다. 이러한, 상기 수동형 미세혼합기는 외부 에너지를 사용하지 않으나, 상기 능동형 미세혼합기에 비해 혼합성능이 떨어지는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-1005676호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 서로 다른 두 유체의 혼합의 성능이 향상되도록 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기를 제공하는데 있다.

[0008] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기 구비하는 랩온어칩을 제공하는데 있다.

[0009] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기를 이용한 유체 혼합 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위한, 본 발명에 따른 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기는 서로 다른 두 개의 유체가 유입되도록 제1유입구 및 제2유입구를 포함하는 유입부; y축 길이가 일정하게 증가하고 감소하는 혼합채널이 두 개 이상 결합되어 사인파형 벽면이 형성되고, 서로 다른 두 개의 유체가 혼합되는 혼합부; 및 상기 혼합부와 연결되어 상기 혼합부에서 혼합된 유체가 배출되는 배출부를 포함할 수 있고, 상기 유입부와 혼합부 사이를 연결하는 연결부를 더 포함할 수 있다.

[0011] 이 때, 상기 연결부는 상기 제1유입구 및 제2유입구가 만나는 지점에 연결 설치될 수 있다. 또한, 상기 제1유입구, 제2유입구 및 연결부는 T자형을 이룰 수 있다.

[0012] 본 발명에 따른 유체 혼합 방법은 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기를 이용하여 미세 유체를 혼합하는 방법으로, 상기 제1 유입구에 유입되는 제1 유체와 상기 제2 유입구에 유입되는 제2 유체는 위상차를 가지며 펄스 파형으로 유입될 수 있다.

[0013] 이 때, 상기 위상차는 90 내지 180도 일 수 있고, 상기 위상차는 180도 일 수 있다. 또한, 상기 축소-확대형 미

세 혼합기의 스트로우홀 수는 0.15 내지 0.4일 수 있다. 또한, 상기 제1유체 및 제2유체의 펄싱 속도(V_o)와 정상 유동 속도(V_s)의 속도비(V_o/V_s)는 2 이상일 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따른 사인파형 맥동유동을 이용한 축소-확대형 미세 혼합기에 의하면, 시간에 따라 변화하는 맥동유동을 적용함으로써, 미세혼합기의 길이를 최소화하면서도 향상된 유체 혼합 성능을 얻을 수 있고, 이를 통해 DNA, 단백질, 세포 등의 생체 시료 분석을 위한 랩온어칩(Lab-on-a chip)과 같은 미세 유체 시스템에 적용시켜 미세 유체 시스템에서 보다 효과적이고 빠른 분석을 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 사인파형 벽면을 가진 축소-확대형 미세 혼합기의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1주입구 및 제2주입구에서 위상차가 180° 인 경우 시간에 따른 유속의 사인파형 변화를 나타내는 그래프이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 미세혼합기 형태 및 축소-확대 미세혼합기의 혼합지표를 나타내는 표이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내는 개략도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내느 개략도이다.

도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내는 개략도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트로우홀 수와 혼합 지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 속도비와 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이놀즈 수와 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 사인파형 유로의 파장과 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트로우홀 수, 속도비, 레이놀즈 수, 사인파형 유로, 및 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명할 수 있다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 할 수 있다. 또한 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 당업자에게 자명하거나 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 사인파형 벽면을 가진 축소-확대형 미세 혼합기의 개략도이다.

[0018] 도 1을 참조하면, 축소-확대형 미세 혼합기(100)는 서로 다른 두 유체의 혼합의 성능이 향상되도록 사인파형 맥동유동을 이용한 미세혼합기로써, 유입부(110), 연결부(120), 혼합부(130) 및 배출부(140)을 포함할 수 있다. 또한, 축소-확대형 미세 혼합기(100)는 서로 다른 두 개의 유체를 혼합하는 경우, 향상된 유체 혼합 성능을 얻을 수 있다.

[0019] 유입부(110)는 서로 다른 두 개의 유체가 유입되도록 두 개의 유입구(111, 112)를 포함할 수 있다. 이 때, 유입부(110)는 혼합을 위한 유체를 유입시키는 통로 역할을 하는 것으로, 제1유입구(111) 및 제2유입구(112)로 분리

구성되어 서로 다른 유체를 각각 유입시킬 수 있다.

[0020] 또한, 혼합부(130)는 일측 단부가 유입부(110)에 연결 설치되어 유입부(110)를 통해 유입된 유체들을 혼합시키면서 이동시킬 수 있도록 하는 통로 역할을 할 수 있다. 즉, 혼합부(130)는 서로 다른 두 개의 유체가 혼합되게 하는 역할을 할 수 있다. 또한, 혼합부(130)는 y축 길이가 일정하게 증가하고 감소하는 동일한 형상의 두 개 이상의 채널이 결합되어 사인파형 벽면이 형성될 수 있다. 예를 들어, 혼합부(130)는 y축 길이가 일정하게 증가하고 감소하는 동일한 형상의 제1혼합 채널(131)과 제2혼합 채널(132)이 결합되어 사인파형 벽면이 형성될 수 있다. 즉, 혼합부(130)의 유로는 미세혼합기의 길이에 따른 일정한 간격으로 두 개의 보조 유로로 나뉘어 질 수 있다. 여기서, 벽면 형상을 $y = A \sin(2\pi x / \lambda)$의 사인파형으로 정의할 때, 벽면의 최대 높이는 2A 이고, 도 1에 나타낸 λ의 길이는 A의 5배 내지 7.5배로 정의할 수 있다. 또한, 혼합부(130)의 가로 길이(L_m)는 2 λ일 수 있다.

[0021] 또한, 연결부(120)는 상기 유입부(110)과 혼합부(130) 사이를 연결할 수 있다. 연결부(120)는 두 개의 유입구(111, 112)가 만나는 지점에 연결 설치될 수 있다. 여기서, 두 개의 유입구(111, 112)와 혼합부(130)는 T자형의 형상으로 이루어질 수 있다. 연결부(120)의 가로 길이(L_i)는 λ의 0.1 내지 0.5배일 수 있다.

[0022] 또한, 배출부(140)는 혼합부(130)과 연결되어 혼합부(130)에서 혼합된 유체가 배출구(141)를 통해 배출되도록 할 수 있다. 이 때, 배출부(140)의 가로 길이(L_e)는λ의 0.5 내지 2배일 수 있다.

[0023] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1주입구 및 제2주입구에서의 시간에 따른 유속의 사인파형 변화를 나타내는 그래프이다.

[0024] 도 2를 참조하면, 그래프에 나타낸 값은 펄싱 위상차가 180° 인 경우로써, 시간에 따라 제1투입구(111) 및 제2투입구(112)의 평균 투입 속도를 나타낸다.

[0025] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다양한 미세혼합기 형태 및 축소-확대 미세혼합기의 혼합지표를 나타내는 표이다.

[0026] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 축소-확대형 미세 혼합기와 다른 형태의 미세혼합기의 혼합 성능을 비교할 수 있다. 보다 상세하게, 본 발명에 따른 축소-확대형 미세혼합기는 다른 형태의 미세 혼합기와 비교하여 높은 혼합 성능을 나타낸다. 펄싱(pulsing)이 없는 경우, 축소-확대형 미세 혼합기의 혼합지표는 0.14로써, 다른 형태의 미세혼합기의 혼합지표와 비교하여 가장 낮은 값을 갖는다. 또한, 펄싱이 있는 경우, 축소-확대형 미세혼합기의 혼합지표는 0.83으로써, 다른 형태의 미세혼합기의 혼합지표와 비교하여 가장 높은 값을 갖는다. 즉, 펄싱이 있는 경우, 일직선형 미세혼합기와 비교하여 축소-확대형 미세 혼합기의 혼합지표는 66.7% 향상됨을 알 수 있다. 따라서, 혼합 성능은 미세혼합기의 형태에 의존함을 알 수 있다.

[0027] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내는 개략도이다.

[0028] 도 4를 참조하면, 축소-확대 미세혼합기(100)에서 최적의 혼합 조건을 알아보기 위한 실험으로, 하기 표1에 조건에 따라 혼합 성능을 평가하였다. 즉, 펄싱이 없는 경우, 하나의 투입구에서만 펄싱이 있는 경우, 두 투입구 모두에서 펄싱이 있는 경우에 대해 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능을 평가하였고, 특히, 두 투입구 모두에서 펄싱이 있는 경우에는 펄싱 위상차에 따른 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능을 평가하였다. 이 때, 도 4(a) 내지 도 4(e)는 질량 분율 분포를 나타내는 상태도이고, 시간 $t = 0/T_0$이고, 스트로우홀 수(Strouhal number) $St = 0.278$ 이고, 속도비 $V_0/V_s = 1.88$ 을 기준으로 실험하였다.

표 1

Inlet flow setting	Mixing index
(a) No pulsing	0.14
(b) Pulsing from single inlet	0.40
Pulsing from both inlets	
(c) In phase ($\varphi = 0$)	0.14
(d) 90° phase difference ($\varphi = 90°$)	0.35
(e) 180° phase difference ($\varphi = 180°$)	0.83

[0029]

[0030] 평가 결과, 도 4(a)와 같이 펄싱이 없는 경우, 혼합 지표(Mixing index)는 0.14로써, 혼합 성능이 실험결과 중 가장 낮았다(표1참조). 도 4(b)와 같이 하나의 투입구에서만 펄싱이 일어나는 경우, 혼합지표는 0.40으로써, 도 4(a)의 펄싱이 없는 경우보다 혼합 성능이 향상되었다. 다음으로, 도 4(c) 내지 도 5(e)는 두 투입구 모두에서 펄싱이 일어나는 경우에 대해 실험한 결과를 나타낸다. 여기서, 도 4(c)는 펄싱 위상차가 0° 인 경우로써, 혼합지표는 0.14이고, 펄싱이 없는 경우와 같은 혼합 성능을 나타내었다. 도 4(d)는 펄싱 위상차가 90° 인 경우로써, 혼합지표는 0.35이고, 펄싱이 없는 경우나, 두 투입구 모두에서 펄싱이 일어나면서 펄싱 위상차가 0° 인 경우에 비해 혼합 성능이 향상되었으나, 하나의 투입구에서만 펄싱이 일어나는 경우보다는 혼합성능이 좋지 못하였다. 도 4(e)는 펄싱 위상차가 180° 인 경우로써, 혼합지표는 0.83이고, 본 실험 중에 가장 높은 혼합 성능을 나타내었다.

[0031] 이로써, 축소-확대 미세혼합기(100)는 두 투입구 모두에서 펄싱이 일어나면서 펄싱 위상차가 180° 인 경우에 혼합 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 이 때, 서로 다른 두 유체가 만나는 접촉면이 증가하고, 상기 두 유체의 경계면이 없어짐에 따라 혼합 성능이 증진되었다는 사실을 확인할 수 있다.

[0032] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내는 개략도이다.

[0033] 도 5를 참조하면, 레이놀즈 수(Reynolds number) $Re = 0.5$ 이고, 속도비 $V_o/V_s = 1.88$ 인 경우, 스트로우홀 수의 변화에 따른 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능을 평가 하였다. 이 때, 스트로우 수는 맥동의 진동수와 관련되는 유체유동의 파라미터이다.

[0034] 도5(c) 및 도 5(d)에서와 같이, 작은 스트로우홀 수(각각 0.070 및 0.139)를 가지는 경우, 혼합 성능은 떨어졌다. 또한, 도 5(b)와 같이, 스트로우홀 수가 0.278으로 증가한 경우, 두 유체의 경계면 증가로 인하여 혼합 성능은 향상되었다.

[0035] 그러나, 도 5(a)와 같이, 스트로우홀 수가 0.556으로 더욱 증가하면, 상하 벽면 근처에 비혼합 유체가 존재하게 되어 혼합 성능은 오히려 감소되었다(도 7참조).

[0036] 따라서, 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합성능은 스트로우홀 수에 따라 영향을 받으며, 최적의 혼합 성능을 위한 최적의 스트로우홀 수는 0.278임을 알 수 있다.

[0037] 도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 축소-확대 미세혼합기의 혼합 결과를 나타내는 개략도이다.

[0038] 도 6을 참조하면, 레이놀즈 수와 스트로우홀 수는 각각 0.5 및 0.278로 고정되어 있는 경우, 펄싱 속도(V_o)와 정상 유동 속도(V_s)의 속도비에 따른 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능을 평가하였다.

[0039] 도6(a) 내지 도 6(d)를 비교하면, 속도비가 증가할수록 두 유체 경계면의 진동은 커지고, 두 유체의 경계면도 증가한다. 이를 통해, 펄싱 속도(V_o)와 정상 유동 속도(V_s)의 속도비(V_o/ V_s)는 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능에 영향을 미치는 중요한 요소임을 알 수 있으며, 상기 속도비가 증가할수록 혼합 성능도 증가함을 알 수 있다.

[0040] 도 8을 참조하여 보다 상세하게 설명하면, 도 8은 도 6실험의 결과를 나타낸 그래프로써, 본 발명의 일 실시예에 따른 속도비와 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

[0041] 혼합지표(MI_o)는 속도비(V_o/V_s)가 증가할수록 증가한다. 보다 상세하게, 혼합지표는 속도비가 1.88미만인 경우 급속히 증가하였고, 속도비가 1.88이상인 경우 천천히 증가하였다. 속도비가 3.76인 경우, 혼합지표는 90%에 이르며, 속도비가 7.52인 경우, 속보비가 3.76인 경우와 비교하여 혼합지표는 2% 증가한다. 즉, 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합성능은 속도비가 증가할수록 증가하나, 속도비가 일정값(V_o/V_s= 3.76) 이상인 경우에는 증가폭이 감소함을 알 수 있다.

[0042] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이놀즈 수와 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

[0043] 도 9를 참조하면, 스트로우홀 수와 속도비는 각각 0.278과 1.88로 고정되어 있는 경우, 레이놀즈 수에 따른 혼합성능을 평가하였다.

[0044] 레이놀즈 수에 따른 혼합 지표는 거의 일정하다. 그러므로, 레이놀즈수가 4.0 이하인 경우, 축소-확대 미세혼합기(100)의 혼합 성능은 레이놀즈 수에 따라 거의 변화하지 않으며, 축소-확대 미세혼합기(100) 혼합 성능의 주요 요소가 되지 못함을 알 수 있다.

[0045] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 사인파형 유로의 파장과 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

[0046] 도 10을 참조하면, 축소-확대 미세혼합기의 사인파형 벽면의 형상에 따라 혼합성능이 다르기 때문에, 레이놀즈 수, 스트로우홀 수, 속도비가 각각 0.5, 0.278, 1.88로 고정되어 있는 경우, 파장과 진폭의 비(λ/A)에 따른 혼합성능을 평가하였다. 파장과 진폭의 비(λ/A)는 6 내지 7.5의 범위가 바람직함을 알 수 있다.

[0047] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 스트로우홀 수, 속도비, 레이놀즈 수, 사인파형 유로의 파장, 및 혼합지표 사이의 관계를 나타내는 표이다.

[0048] 도 11을 참조하면, 도 11의 그래프는 도 7 내지 도 10의 그래프를 통합한 것으로, 축소-확대 미세혼합기의 혼합성능을 향상시키기 위한 가장 적합한 스트로우홀 수, 속도비, 레이놀즈 수에 따른 혼합지표를 나타낸다. 즉, 최적의 혼합지표는 속도비가 7.52인 경우에 0.92까지 도달함을 알 수 있다.

[0049]

[0050] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0051] 100: 축소-확대형 미세 혼합기

110: 투입부

111: 제1투입구

112: 제2투입구

120: 연결부

130: 혼합부

131: 제1혼합채널

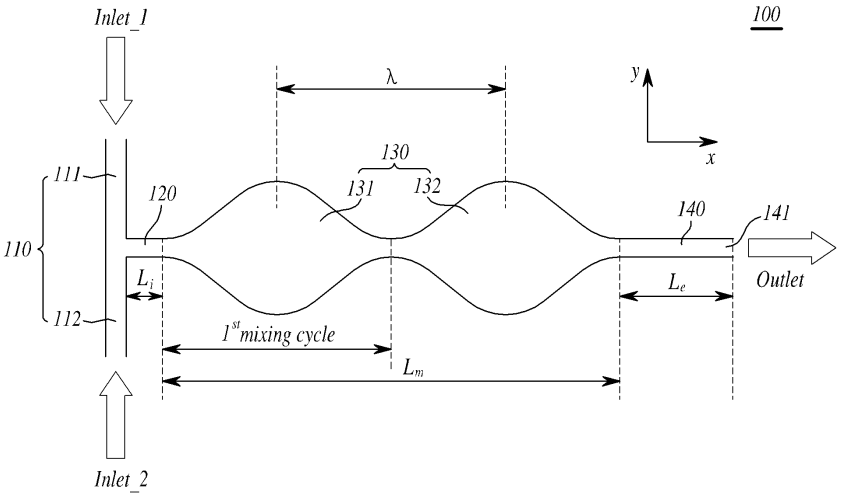
132: 제2혼합채널

140: 배출부

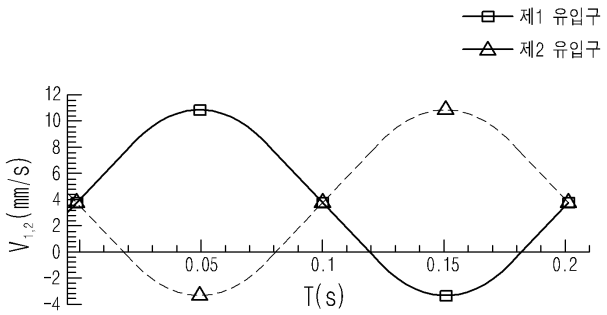
141: 배출구

도면

도면1



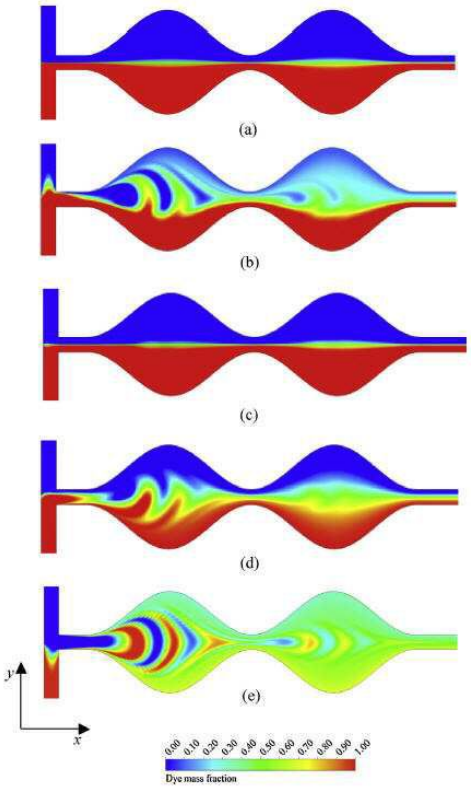
도면2



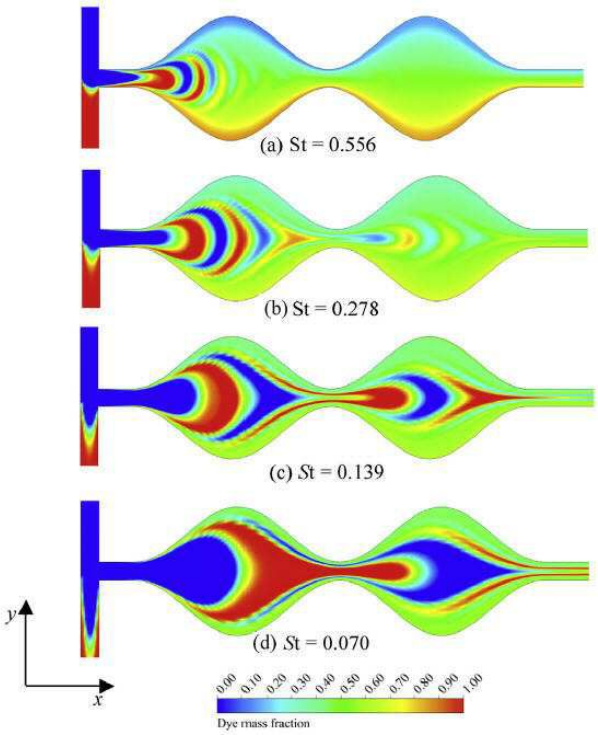
도면3

미세혼합기 형태	유형	MI_o (no pulsing)	MI_o (pulsing)	MI_o variation over a cycle (%)
	일직선형	0.15	0.51	10
	구형파형	0.17	0.70	9
	지그재그형	0.16	0.68	2
	사인파형	0.18	0.66	5
	축소-확대형	0.14	0.83	0.1

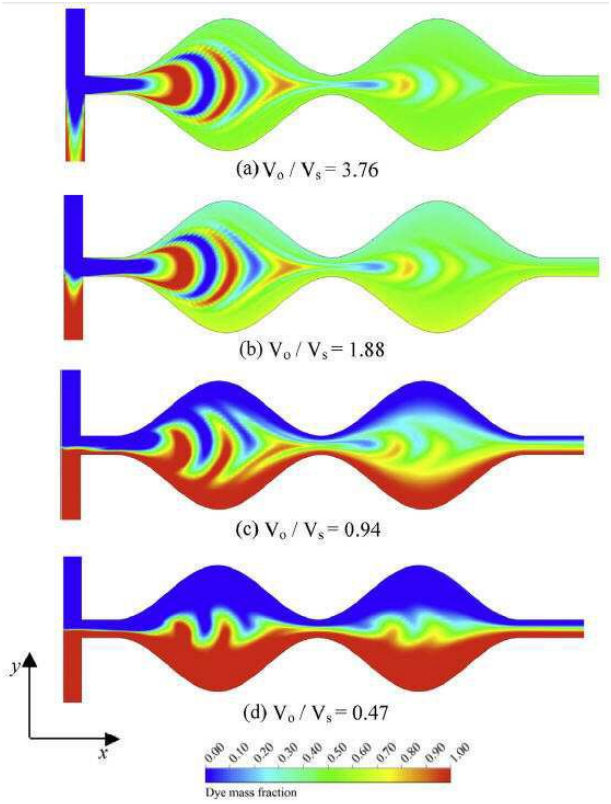
도면4


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
y
x
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Dye mass fraction

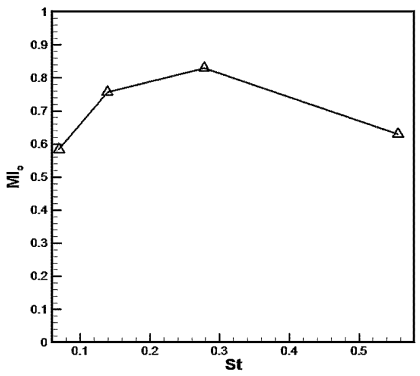
도면5


(a) St = 0.556
(b) St = 0.278
(c) St = 0.139
(d) St = 0.070
y
x
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Dye mass fraction

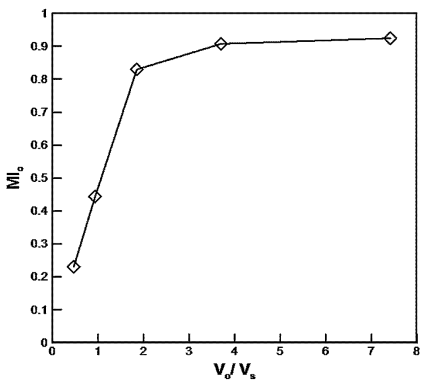
도면6


(a) $V_o / V_s = 3.76$
(b) $V_o / V_s = 1.88$
(c) $V_o / V_s = 0.94$
(d) $V_o / V_s = 0.47$
y
x
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Dye mass fraction

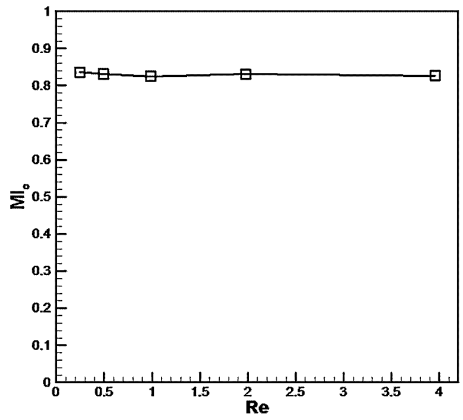
도면7


MI_o
St
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

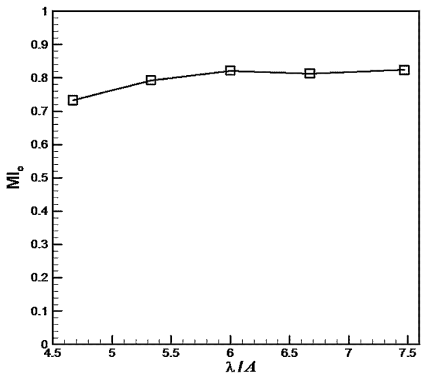
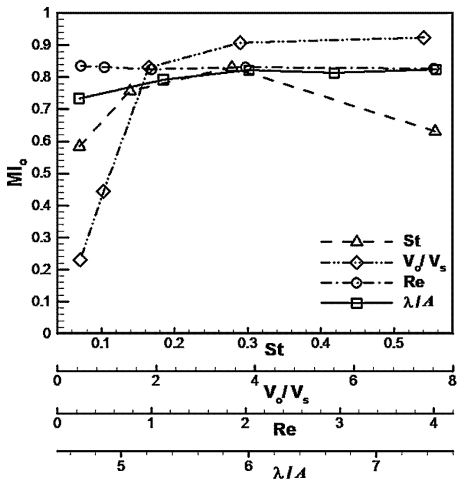
도면8


MI_o
V_o / V_s
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
0 1 2 3 4 5 6 7 8

도면9



도면10



도면11