



등록특허 10-2114779



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년05월25일

(11) 등록번호 10-2114779

(24) 등록일자 2020년05월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01F 13/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B01F 13/0059 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0012908

(22) 출원일자 2019년01월31일

심사청구일자 2019년01월31일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020100060476 A*

KR1020140082377 A*

KR101736797 B1

KR1020090089065 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

김광용

서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12, 105동 701호 (방배동, 래미안방배아트힐)

라자와심

인천광역시 미추홀구 인하로 100, 인하대학교 280A

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 문지희

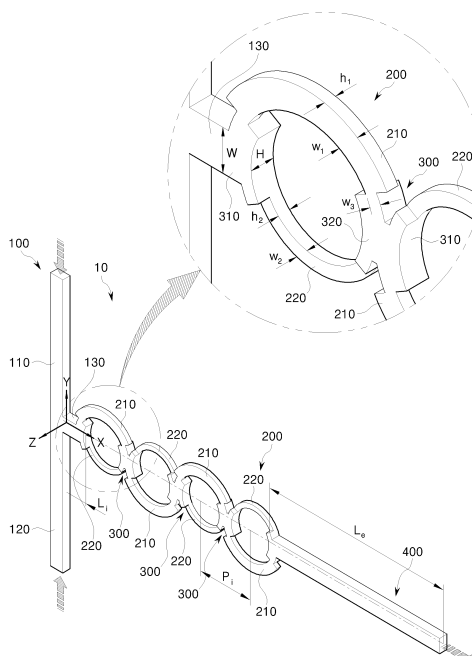
(54) 발명의 명칭 **미세혼합기**

(57) 요약

본 발명에 따른 미세혼합기는 2종류 이상의 유체가 유입되는 유입부; 상기 유입부로부터 유체를 전달받는 반링형상의 제1채널과, 상기 유입부로부터 유체를 전달받고 상기 제1채널과 X축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되며 상기 제1채널의 폭보다 좁은 폭으로 형성되는 반링형상의 제2채널을 포함하고, 상기 제1채널과 상기 제2채널이

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



링형상을 형성하며 서로 이격되어 배치되는 복수개의 서브채널; 상기 복수개의 서브채널 중 인접하는 서브채널 사이에 구비되며, 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 깊이보다 큰 깊이로 형성되는 혼합채널; 및 상기 복수개의 서브채널 및 상기 혼합채널에서 혼합된 유체를 전달받아 배출시키는 배출부를 포함한다.

또한 서브채널이 X축을 중심으로 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치되고, X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되되어 비대칭구조로 형성됨으로써, 유체가 3차원 유동구조로 비대칭 분할되어 이동함으로써 불균형 충돌이 유도되고, 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대하여 높은 혼합성능을 제공할 수 있다. 더불어 제 1채널의 전단은 전단혼합채널의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되며, 제 1채널의 후단은 후단혼합채널의 후방으로 일부 돌출되도록 배치됨으로써, 혼합채널의 돌출된 다단식 구조를 통하여 와류를 생성시켜 혼합성능을 증대시킬 수 있다.

명세서

청구범위

청구항 1

2종류 이상의 유체가 유입되는 유입부와, 상기 유입부로부터 유체를 전달받는 반링형상의 제1채널과, 상기 유입부로부터 유체를 전달받고 상기 제1채널과 X축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되며 상기 제1채널의 폭보다 좁은 폭으로 형성되는 반링형상의 제2채널을 포함하고, 상기 제1채널과 상기 제2채널이 링형상을 형성하며 서로 이격되어 배치되는 복수개의 서브채널과, 상기 복수개의 서브채널 중 인접하는 서브채널 사이에 구비되는 혼합채널, 및 상기 복수개의 서브채널 및 상기 혼합채널에서 혼합된 유체를 전달받아 배출시키는 배출부를 포함하는 미세혼합기에 있어서,

상기 혼합채널은,

일단이 상기 제1채널의 전단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널의 전단에 연결되는 전단혼합채널과, 일단이 상기 제1채널의 후단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널의 후단에 연결되는 후단혼합채널을 포함하는데, 상기 전단혼합채널과 후단혼합채널 각각은 호상을 이루고, 서로 연결되는 지점을 축으로 하여 대칭으로 배치되며, 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 깊이보다 큰 깊이로 형성하고, 상기 전단혼합채널의 전방측 폭은 상기 제1채널의 전단측 폭과 일부분만 연결하며, 상기 후단혼합채널의 후방측 폭은 상기 제1채널의 후단측 폭과 일부분만 연결한 것을 특징으로 하는 미세혼합기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유입부는,

서로 상이한 유체가 각각 유입되는 제 1유입로 및 제 2유입로와,

일측이 상기 제 1유입로 및 제 2유입로와 각각 연통되고, 타측이 상기 서브채널과 연통되는 혼합유입로를 포함하는 미세혼합기.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 복수개의 서브채널 중 인접하는 서브채널은,

X축을 중심으로 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치되는 미세혼합기.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 서브채널은,

상기 제1채널과 상기 제2채널이 X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되는 미세혼합기.

청구항 5

삭제

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제 1채널의 전단은, 상기 전단혼합채널의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되며,

상기 제 1채널의 후단은, 상기 후단혼합채널의 후방으로 일부 돌출되도록 배치되는 미세혼합기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미세혼합기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 2종류 이상의 유체를 효율적으로 혼합시키기 위한 미세 혼합기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 마이크로시스템(Microsystems)은 화학 분석, 생의학 진단, 환경 및 식품 모니터링, 약물 전달 등 수많은 용도로 사용되고 있다. 상기한 마이크로시스템은 마이크로크기의 유체유동의 제어, 혼합, 반응, 분리, 검출 등의 과정을 포함하며 상기한 마이크로크기의 유체유동이 전체 마이크로 분석 시스템의 개발에 중요한 영향을 미치게 된다. 마이크로시스템 중, 유체의 혼합을 위한 미세혼합기는 환자의 혈액샘플과 시약의 혼합 등과 같이 2종류 이상의 유체를 혼합시키기 위한 것으로, 초소형장치에서 분석 또는 생화학 반응을 위해 마이크로 채널에 의하여 운반되는 시료와 시약등의 효과적인 혼합은 필수적인 장치이다.

[0003] 하지만, 마이크로 단위에서 나타나는 유체의 유동은 낮은 레이놀즈 수(Reynolds number)와 페클레 수(Peclet number)를 초래하게 되어, 난류의 형성이 어려워 확산에 의한 혼합을 요구하게 되어 균일한 유체의 혼합물을 얻는 것에 한계가 있다. 부연하면, 마이크로 유체의 유동에 있어서, 난기류가 없는 경우 혼합은 분자의 확산에 의하여 나타나며, 긴 마이크로채널의 길이를 필요로하여 많은 시간이 소요된다. 하지만 상기한 바와 같은, 긴 마이크로채널을 가지는 미세혼합기는, 마이크로 시스템에 통합시키는 것이 복잡하여 적용시키는 것이 바람직하지 않다.

[0004] 한편 미세혼합기는 혼합 메커니즘에 따라 크게 능동(Active) 미세혼합기 및 수동(Passive) 미세혼합기의 두 가지 유형으로 분류 할 수 있다. 능동 미세혼합기는 마이크로채널 내부에 유동발생 수단을 구비하여, 혼합성능을 향상시킨 미세혼합기인 것으로, 능동 미세혼합기의 유체 흐름은 외부 에너지 또는 외부 자극에 의하여 혼합성능이 향상되도록 구성된다.

[0005] 종래의 상기한 능동형 미세혼합기에 관한 기술로는 대한민국 등록특허 10-0769306호가 개시되어 있다.

[0006] 하지만 종래의 능동 미세혼합기는, 수동 미세혼합기에 비하여 높은 혼합성능을 가질 수 있으나, 유동발생 수단을 위한 장치를 필요로하여 복잡하게 형성되며, 미세 소량 유체의 누출 가능성 및 제조원가의 상승의 단점이 있다. 또한 능동 미세혼합기는 장치의 복잡성에 의하여 마이크로 시스템과 통합시키는 데 어려움이 있다.

[0007] 반면, 수동 미세혼합기는 마이크로 채널 내부에 정적인 미세구조를 도입하여, 유체가 혼합되도록 하는 미세혼합기인 것으로, 외부 에너지 입력이 필요하며 일정한 유량을 유지하기 위해 압력 헤드가 사용된다. 대부분의 수동 미세혼합기는 복잡한 형상을 통하여 혼합 유체 간의 계면 영역을 증가시켜 혼합율을 향상시키게되며, 제조 및 시스템 통합의 편의성 때문에 선호되나, 능동 미세혼합기에 비하여 채널 길이가 길고 혼합 시간이 오래 소요된다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해소하기 위하여 창출된 것으로, 능동적인 제어 시스템 없이도, 원활한 유체의 혼합이 가능하여 혼합효율을 향상시킨 미세혼합기를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 미세혼합기는, 2종류 이상의 유체가 유입되는 유입부와, 상기 유입부로부터 유체를 전달받는 반링형상의 제1채널과, 상기 유입부로부터 유체를 전달받고 상기 제1채널과 X축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되며 상기 제1채널의 폭보다 좁은 폭으로 형성되는 반링형상의 제2채널을 포함하고, 상기 제1채널과 상기 제2채널이 링형상을 형성하며 서로 이격되어 배치되는 복수개의 서브채널과, 상기 복수개의 서브채널 중 인접하는 서브채널 사이에 구비되는 혼합채널, 및 상기 복수개의 서브채널 및 상기 혼합채널에서 혼합된 유체를 전달받아 배출시키는 배출부를 포함하고, 상기 혼합채널은 일단이 상기 제1채널의 전단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널의 전단에 연결되는 전단혼합채널과, 일단이 상기 제1채널의 후단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널의 후단에 연결되는 후단혼합채널을 포함하는데, 상기 전단혼합채널과 후단

혼합채널 각각은 호상을 이루고, 서로 연결되는 지점을 축으로 하여 대칭으로 배치되며, 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 깊이보다 큰 깊이로 형성하고, 상기 전단혼합채널의 전방측 폭은 상기 제1채널의 전단측 폭과 일부분만 연결하며, 상기 후단혼합채널의 후방측 폭은 상기 제1채널의 후단측 폭과 일부분만 연결한다.

[0010] 여기서 상기 유입부는, 서로 상이한 유체가 각각 유입되는 제 1유입로 및 제 2유입로와, 일측이 상기 제 1유입로 및 제 2유입로와 각각 연통되고, 타측이 상기 서브채널과 연통되는 혼합유입로를 포함할 수 있다.

[0011] 또한 상기 복수개의 서브채널 중 인접하는 서브채널은, X축을 중심으로 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치될 수 있다.

[0012] 또한 상기 서브채널은, 상기 제1채널과 상기 제2채널이 X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치될 수 있다.

[0013] 삭제

[0014] 또한 상기 제 1채널의 전단은, 상기 전단혼합채널의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되며, 상기 제 1채널의 후단은, 상기 후단혼합채널의 후방으로 일부 돌출되도록 배치될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 미세혼합기는, 유체가 복수개의 서브채널과 혼합채널을 순차적으로 이동하도록 구성되어 유체의 진행방향에 따라 단면적이 좁아지다 넓어지는 것을 반복하도록 형성됨에 따라 유체의 혼합효율을 향상시킬 수 있다.

[0016] 또한 서브채널이 X축을 중심으로 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치되고, X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되되어 비대칭구조로 형성됨으로써, 유체가 3차원 유동구조로 비대칭분할되어 이동함으로써 불균형 충돌이 유도되고, 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대하여 높은 혼합성능을 제공할 수 있다.

[0017] 더불어 제 1채널의 전단은 전단혼합채널의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되며, 제 1채널의 후단은 후단혼합채널의 후방으로 일부 돌출되도록 배치됨으로써, 혼합채널의 돌출된 다단식 구조를 통하여 와류를 생성시켜 혼합성능을 증대시킬 수 있다.

[0018] 또한 레이놀즈 수에 대응하여 폭크기($w3/w1$) 또는 깊이크기($h1/h2$)를 조정함으로써, 미세혼합기의 혼합효율을 증대시킬 수 있는 최적의 치수를 채용가능하다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 미세혼합기를 개략적으로 도시한 사시도,
 도 2는, 도 1의 미세혼합기의 혼합성능을 실험하기 위한 비교 미세혼합기의 형상을 도시한 사시도,
 도 3은 도 1의 미세혼합기 및 도 2의 비교 미세혼합기의 레이놀즈 수의 따른 혼합지수 및 압력강하를 비교한 그래프,
 도 4는 도 1의 미세혼합기 및 도 2의 비교 미세혼합기의 예상 유동구조를 분석한 해석이미지,
 도 5는 도 1의 미세혼합기 및 도 2의 비교 미세혼합기의 y-z평면의 속도 벡터 및 농도 등고선을 나타내는 해석이미지,
 도 6은 도 1의 미세혼합기의 레이놀즈 수에 따른 염료잔량 분율을 도시한 해석이미지,
 도 7은 도 1의 미세혼합기의 레이놀즈 수에 따른 혼합지수를 도시한 그래프,
 도 8은 도 1의 미세혼합기의 폭크기($w3/w1$) 및 깊이크기($h1/h2$)에 따른 혼합성능에 대한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명

자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

- [0021] 따라서 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 균등한 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0022] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0023] 도 1을 참조하면, 본 발명에 실시예에 따른 미세혼합기(10)는 2종류 이상의 유체를 혼합시키기 위한 것으로, 유입부(100), 복수개의 서브채널(200), 혼합채널(300) 및 배출부(400)를 포함한다.
- [0024] 상기 유입부(100)는 서로 혼합시키기 위한 유체를 전달하기 위한 것으로, 유체가 이동하는 유로가 형성되어 2종류 이상의 유체가 유입된다. 상기 유입부(100)는 제1유입로(110), 제 2유입로(120), 혼합유입로(130)를 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제 1유입로(120)는 2종류 이상의 유체가 각각 유입된다. 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제 1유입로(120)는 서로 마주보는 방향으로 배치되며 일측에서 2종류 이상의 유체가 각각 유입되고 타측이 서로 연통되도록 형성된다. 따라서 상기 제 1유입로(110)의 일측에서 타측으로 유체가 유입되고, 상기 제 2유입로(120)의 일측에서 타측으로 상기 제 1유입로(110)로 유입되는 유체와 상이한 유체가 유입되어, 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제 2유입로(120)의 타측에서 2종류 이상의 유체가 서로 혼합될 수 있다. 부연하면 상기 제 1유입로(110)를 통하여 물-염료 용액이 유입되고, 상기 제 2유입로(120)를 통하여 물이 유입되는 것이 바람직하나 이에 한정하는 것은 아니며 유체의 종류는 상기 미세혼합기(10)의 용도에 따라 적절하게 변경하여 적용할 수 있을 것이다.
- [0026] 상기 혼합유입로(130)는 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제2 유체로(120)로부터 유체를 전달받아, 후술(後述) 할 서브채널(200)로 전달한다. 즉 상기 혼합유입로(130)는 일측이 상기 제 1유입로(110) 및 제 1유입로(120)와 각각 연통되고, 타측이 상기 서브채널(200)과 연통되어, 유체를 서브채널(200)로 유입시킬 수 있다. 부연하면 상기 혼합유입로(130)는 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제 1유입로(120)의 타측에 수직방향으로 배치되어, 상기 제 1유입로(110) 및 상기 제 1유입로(120)의 타측에서 혼합된 2종류 이상의 유체를 전달받을 수 있으며, 상기 혼합유입로(130)를 통하여 2종류 이상의 유체가 서로 혼합되면서 상기 서브채널(200)로 유입될 수 있다.
- [0027] 상기 복수개의 서브채널(200)은 링형상으로 형성되어 상기 유입부(100)로부터 유체를 전달받아, 유체가 상기 복수개의 서브채널(200)을 이동하는 과정 중에 서로 혼합될 수 있다. 상기 복수개의 서브채널(200)을 서로 이격되어 유체의 이동방향을 따라 순차적으로 배치된다. 상기 서브채널(200)은 제 1채널(210)과 제 2채널(220)을 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 제 1채널(210)은 상기 유입부(100)로부터 유체를 전달받으며, 반링형상으로 형성된다. 즉 상기 제 1 채널(210)은 반링형상을 따라 유체가 이동하는 유로가 형성되어, 상기 혼합유입로(130)로부터 혼합된 2종류 이상의 유체가 유입되어 이동가능하다. 즉 상기 제 1채널(210)은 일단이 상기 유입부(100)와 연통되어 상기 유입부(100)로부터 2종류 이상의 유체를 전달받으며, 유체는 상기 제 1채널(210)을 따라 일측에서 타측으로 이동하면서 서로 혼합될 수 있다. 부연하면 상기 제 1채널(210)은 일단이 상기 혼합유입로(130)의 타측과 연통되어 유체를 전달받을 수 있으며, 더욱 구체적으로는 후술(後述) 할 전단혼합채널(310)로부터 유체를 전달받는 것이 바람직하다.
- [0029] 상기 제2채널(220)은 상기 유입부(100)로부터 유체를 전달받으며, 반링형상으로 형성된다. 상기 제 2채널(220)은 상기 제1채널(210)과 X축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되어 상기 제 1채널(220)과 상기 제 2채널(220)이 링 형상을 형성할 수 있다. 즉 상기 제 2채널(220)은 반링형상을 따라 유체가 이동하는 유로가 형성되어, 상기 혼합유입로(130)를 따라 이동하는 유체가 상기 제 1채널(210) 및 상기 제 2채널(220)로 분리되어 이동하게 된다. 부연하면 상기 제 2채널(220)은 일단이 상기 유입부(100)와 연통되어 상기 유입부(100)로부터 2종류 이상의 유체를 전달받으며, 상기 제 2채널(220)을 따라 일측에서 타측으로 이동하면서 유체가 서로 혼합될 수 있다. 상기 제 2채널(220)은 일단이 상기 혼합유입로(130)의 타측과 연통되어 유체를 전달받을 수 있으며, 더욱 구체적으로는 후술(後述) 할 전단혼합채널(310)로부터 유체를 전달받는 것이 바람직하다.
- [0030] 한편, 상기 복수개의 서브채널(200) 중 인접하는 서브채널(200)은, X축을 중심으로 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치되는 것이 바람직하다. 즉, 상기 복수개의 서브채널(200)중 하나의 서브채널(200)의 제 1채널(210)이 중심부가 Y축방향으로 볼록한 반링형상으로 배치되는 경우, 상기

하나의 서브채널(200)과 인접하게 배치되는 서브채널(200)의 제 1채널(210)은 중심부가 -Y축 방향으로 볼록한 반링형상으로 배치되는 것이 바람직하다. 이때 상기 하나의 서브채널(200)의 제 2채널(220)은 중심부가 -Y축 방향으로 볼록한 반링형상으로 배치되며, 상기 하나의 서브채널(200)과 인접하게 배치되는 서브채널(200)의 제 2채널(220)은 중심부가 Y축 방향으로 볼록한 반링형상으로 배치되는 것이 바람직하다. 따라서 상기 복수개의 서브채널(200) 중 인접하는 서브채널(200)의 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)의 위치가 X축을 중심으로 반복적으로 바뀌진 상태로 배치됨으로서 유체의 유동을 원활히 하여 유체의 혼합효율을 증대시킬 수 있다.

[0031] 상기 혼합채널(300)은 상기 복수개의 서브채널(200) 중 인접하는 서브채널(200) 사이에 구비되어, 상기 서브채널(200)과 연통되어 유체를 전달받는다. 즉, 상기 혼합채널(300) 및 상기 서브채널(200)은 일체로 구성되어, 서로 연통되며 유체는 상기 서브채널(200) 및 상기 혼합채널(300)을 순차적으로 반복하며 이동가능하다. 더욱 구체적으로는, 유체는 상기 제 1채널(210) 및 상기 제 2채널(220)에서 분리되고, 상기 혼합채널(300)에서 확산혼합되어, 분리 및 확산혼합을 반복수행함으로써 혼합효율을 향상시킬 수 있다. 상기 혼합채널(300)은 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)의 깊이(h_1, h_2) 보다 큰 깊이(H)로 형성된다. 따라서 유체가 이동하는 유로가 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)을 지나 상기 혼합채널(300)로 이동하도록 구성됨으로써, 깊이(h_1, h_2, H)가 좁아졌다 넓어지는 구조가 반복되도록 형성되어 상기 혼합채널(300)에서 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)으로 이동하기 전 점차적으로 가압되고, 확산거리가 감소하게 되어 혼합성능이 향상될 수 있으며, 가압된 유체가 상기 혼합채널(300)로 다시 확산이동하면서 혼합유체 사이의 접촉 계면영역을 증가시켜 혼합성능이 증대될 수 있다. 한편 상기 혼합채널(300)의 폭(W)은 상기 제1채널(210)의 폭(W1)과 상기 제 2채널(220)의 폭(W2)의 합인 크기로 형성되는 것이 바람직하다. 상기 혼합채널(300)은 전단혼합채널(310)과 후단혼합채널(320)을 포함할 수 있다.

[0032] 상기 전단혼합채널(310)은 상기 서브채널(200)의 전단에 배치되는 것으로, 일단이 상기 제1채널(210)의 전단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널(220)의 전단에 연결된다. 이때 상기 제 1채널(210)의 전단은, 상기 전단혼합채널(310)의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되는 것이 바람직하다.

[0033] 상기 후단혼합채널(320)은 상기 서브채널(200)의 후단에 배치되는 것으로, 일단이 상기 제1채널(210)의 후단에 연결되고, 타단이 상기 제2채널(220)의 후단에 연결된다. 이때 상기 제 1채널(210)의 후단은, 상기 후단혼합채널(320)의 후방으로 일부 돌출되도록 배치되는 것이 바람직하다. 따라서 상기 혼합채널(200)에 상기 제 1채널(210)의 전단 및 후단이 돌출된 다단식 구조로 배치됨으로써, 유체의 유동에 와류를 생성시켜 혼합성능을 증대시킬 수 있다.

[0034] 한편, 상기 서브채널(200)은, 상기 제1채널(210)과 상기 제2채널(220)이 X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치될 수 있다. 즉, 상기 제 1채널(210)의 전단이 상기 전단혼합채널(310)의 일단의 Z축방향의 일측에 연결되는 경우, 상기 제 2채널(210)의 전단은 상기 전단혼합채널(310)의 타단의 Z축방향의 타측에 연결되는 것이 바람직하다. 따라서 상기 서브채널(200)은, 상기 제1채널(210)과 상기 제2채널(220)이 X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되며, 상기 복수개의 서브채널(200) 중 인접하는 서브채널(200)은, X축을 중심으로 상기 제1채널(210) 및 상기 제2채널(220)의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치됨으로써, 상기 제1채널(210) 및 상기 제 2채널(220)이 서로 비대칭으로 형성되어, 유체가 3차원 유동구조로 비대칭분할 및 재결합을 반복하고, 단면적이 좁아졌다 넓어지는 것을 반복하며 이동함으로써, 불균형 충돌이 유도되어 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대하여 높은 혼합성능을 제공할 수 있다.

[0035] 상기 배출부(400)는 상기 복수개의 서브채널(200) 및 복수개의 혼합채널(300)에서 혼합된 유체를 전달받아 배출시키기 위한 구성으로, 상기 배출부(400)는 상기 복수개의 서브채널(200)의 말단에 구비되는 서브채널(200)의 타측에 형성된다. 더욱 구체적으로는 상기 배출부(400)의 일단이 상기 서브채널(200)의 후단에 연결되는 후단혼합채널(320)에 연결되어 상기 복수개의 서브채널(200) 및 복수개의 혼합채널(300)를 따라 이동하며 혼합된 유체를 전달받아 배출시킨다.

[0036] 한편 도 2는 본 발명의 상기 미세혼합기(10)와 상이한 구조를 갖는 비교 미세혼합기(1,2,3)들을 도시한 것으로, 상기 미세혼합기(10)와 비교 미세혼합기(1,2,3)들은 서브채널(200)의 형상에 차이를 갖는다. 상기 미세혼합기(1)는 유입부(10a)를 통하여 유체가 유입되며, 서브채널(20a)의 제1채널(21a)제 2채널(22a) 및 혼합채널(30a)이 서로 대응하는 폭과 깊이를 가지도록 형성된다. 또한 상기 미세혼합기(2)는 유입부(10b)를 통하여 유체가 유입되며, 서브채널(20b)의 제 2채널(22b)과 혼합채널(30b)이 서로 대응하는 폭과 깊이를 가지도록 형성되고, 상기 제1채널(21b)은 제 2채널(22b)과 혼합채널(30b)의 깊이보다 작은 깊이로 형성되어 단면적이 변화된다. 그리고 상기 미세혼합기(3)는 유입부(10c)를 통하여 유체가 유입되며, 서브채널(20c)의 제 1채널(21c)과 혼합채널(30

c)이 서로 대응하는 폭과 깊이를 가지도록 형성되며, 상기 제2채널(22c)은 제 1채널(21c)과 혼합채널(30c)의 깊이보다 작은 깊이로 형성되어 단면적이 변화된다.

[0037] 도 3 내지 도 8는, 본 발명의 미세혼합기(10)와 비교 미세혼합기(2,3)의 혼합성능을 비교하기 위한 실험결과 그래프 및 해석이미지 인것으로, 상기 미세혼합기(10)와 비교 미세혼합기(2,3)의 유체흐름과 흐름은 상용 소프트웨어 ANSYS CFX 15.0®을 사용하여 수치적으로 분석되었으며, 삼차원 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 수치적으로 계산한다. 상기 유입부(100)로 유입되는 유체는 염료수용액이며, 25 ℃의 온도에서의 물성치를 사용한다. 또한 상기 제 1유입로(110)로 공급되는 유체는 염료수용액이고, 몰농도비율(molar concentration fractions)은 1로 설정되며, 상기 제 2유입로(120)로 공급되는 유체는 물이고, 몰농도비율은 0으로 설정된다. 상기 염료수용액의 확산 계수, 밀도 및 동적 점도는 $1.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$, $997 \text{ kg} / \text{m}^3$, $0.00089 \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 이다.

[0038] 상기 미세혼합기의 유체혼합을 정량적으로 분석하기 위하여, 유동방향에 수직한 임의의 단면 내에서 혼합지수는 다음의 [수학식 1]과 같이 정의하며, 질량비의 분산을 다음의 [수학식 2]과 같이 정의한다.

[0039] [수학식 1]

$$M = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_{max}}$$

[0040]

[0041] [수학식 2]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c_i - \bar{c}_m)^2}$$

[0042]

[0043] 여기서 N은 단면 내 격자점의 수, c_i 는 격자 I점에서의 질량비, 그리고 $\bar{c}_m$ 은 최적 혼합질량비를 나타낸다.

[0044] 한편, 상기 실험에 대한 기본적인 파라미터로는, 다음의 [표 1]과 같으며, 여기서 W는 혼합채널의 폭, H는 혼합채널의 깊이, P_i 는 혼합 단위 피치, L_t 는 서브채널의 길이, 제 2채널 대비 제 1채널의 폭의 비율인 $W1/W2=2$ 로 설정된다.

[0045] [표 1]

Geometric Parameter	Value (in μm)
Length of initial part of main channel, L_i	500
Exit channel length, L_e	2950
Total length, L_t	7950
Pitch length, P_i	1200
Width of main channel, W	300
Width of major subchannel, w_1	200
Width of minor subchannel, w_2	100
Width of dislocation, w_3	100
Depth of major subchannel, h_1	100
Depth of minor subchannel, h_2	100
Total depth of main channel, H	200

[0046]

[0047] 도 3의 (a)는 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 레이놀즈 수의 따른 혼합지수를 비교한 것이며, 도 3의 (b)는 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 레이놀즈 수(Reynolds number; Re)에 따른 압력강하를 비교한 것이다. 도 3의 (a)에 도시된 바와 같이, 가장 낮은 레이놀즈 수(Re)인 0.1일 경우, 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 혼합지수가 가장 큰 것으로 나타나며, 이는 혼합확산을 위한 유체의 체류시간이 가장 길기 때문인 것으로 예상된다. 한편, $Re=20$ 에서 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 혼합지수가 가장 큰 차이를 나타내며, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)의 혼합지수는 비교 미세혼합기(2;M1)의 대략 2배인 97%인 것으로 나타난다. 즉 상기 비교 미세혼합기(2;M1)는 $Re = 60$ 을 제외하고 가장 낮은 혼합지수를 나타내며, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)는 가장 높은 혼합지수가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 도 4의 (b)를 참조하면, 레이놀즈 수에 관계없이, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)의 압력강하가 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이는 비교 미세혼합기(2;M1)의 두배 이상인 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 발명의 미세혼합기(10;M3)가 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)에 비하여 높은 혼합

비율 및 압력가하가 발생함을 확인할 수 있으며, 레이놀즈 수가 $Re=10$ 내지 $Re=100$ 인 범위에 걸쳐 가장 높은 혼합성능을 제공한다는 것을 확인할 수 있다.

[0048] 도 4는 레이놀즈 수(Re)가 20일 경우, 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 예상 유동구조를 분석한 것으로, 도 4의 (a)는 비교 미세혼합기(2;M1), 도 4의 (b)는 비교 미세혼합기(3;M2), 도 4의 (c)는 본 발명의 미세혼합기(10;M3)에 대한 예상 유동구조이고, 도 4의(d)는 혼합채널(300,30b,30c)에서의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 예상 유동구조 이미지이다. 상기 제 1유입로(110)로 공급되는 염료수용액은 적색으로 표시되며, 상기 제 2유입로(120)로 공급되는 물은 녹색으로 표시되어 유체의 예상 유선을 확인할 수 있다. 상기 염료수용액 및 물이 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 제 1채널(210,21b,21c) 및 제 2채널(220,22b,22c)로 유입되어, 혼합채널(300,30b,30c)에서 접촉하게 된다. 도 4에서 확인할 수 있듯이, 비교 미세혼합기(2;M1)의 경우, 물과 염료수용액이 각각 제 1채널(21b) 및 제 2채널(22b)로 유동되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 혼합이 거의 나타나지 않는다는 것을 의미한다. 하지만, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)의 경우, 제 1채널(210) 및 제 2채널(220)에서 물과 염료수용액의 혼합이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 더욱 구체적으로는 도 4의 (d)를 참조하면, 비대칭으로 형성된 제 1채널(210), 제 2채널(220) 으로부터 이동된 유체가 혼합채널(300)에서 확장 및 신축됨으로써, 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)에 비하여 유체가 원활하게 유동한다는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통하여 혼합효율이 향상될 것을 확인할 수 있다.

[0049] 도 5는 레이놀즈 수(Re)가 20일 경우, 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 제 1채널(major sub-channel; $x/Lt = 0.27$), 제 2채널(minor sub-channel; $x/Lt = 0.27$) 및 혼합채널(collision zone; $x/Lt = 0.35$)에서 yz 평면의 속도 벡터 및 농도 등고선을 나타낸 것으로, 도 5를 참조하면, 비교 미세혼합기(2;M1)는 제 2채널(22b)에서, 비교 미세혼합기(3;M2)는 제 1채널(21c)에서 딥 소용돌이(Dean vortices)가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면 본 발명의 미세혼합기(10;M3)는 제 1채널(210) 및 제 2채널(220) 모두에서 딥 소용돌이가 나타나며 가장 높은 혼합이 발생한다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 비교 미세혼합기(3;M2)는 혼합채널(30c)에서 y-z 평면 상에 단순한 단일 방향 흐름 구조를 나타내는 반면, 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1)는 유체 계면의 능동적인 확장 및 신축을 유발하는 와류를 포함하는 복잡한 유동 구조를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 발명의 미세혼합기(10;M3)가 비교 미세혼합기(2;M1)비하여 혼합성능이 향상됨을 확인가능하다.

[0050] 한편, 다음의 [표 2]는 레이놀즈 수(Re)가 20일 경우, 본 발명의 미세혼합기(10;M3) 및 비교 미세혼합기(2;M1,3;M2)의 서브채널(200)에서의 질량 분율과 질량 유속 비율을 나타낸 것으로, 질량 분율이 1에 가까울수록 두 유체의 질량분율이 동일하다는 것을 타나다며, 질량 유속비율이 1에서 멀어질수록 충돌 불균형이 커질 것으로 예상된다.

[0051] [표 2]

Micromixer	Mass fraction ratio (dye-water solution to water)								Mass flux ratio (major sub-channel to minor sub-channel)
	Mixing Unit-1		Mixing Unit-2		Mixing Unit-3		Mixing Unit-4		
	major sub-channel	minor sub-channel	major sub-channel	minor sub-channel	major sub-channel	minor sub-channel	major sub-channel	minor sub-channel	
M1	0.99/0.01 = 99	0.20/0.80 = 0.25	0.07/0.93 = 0.07	0.76/0.24 = 3.16	0.89/0.11 = 8.09	0.26/0.74 = 0.35	0.16/0.84 = 0.19	0.71/0.29 = 2.44	0.68
M2	0.61/0.39 = 1.56	0.0002/0.9998 = 0.0002	0.40/0.60 = 0.67	0.90/0.10 = 9	0.58/0.42 = 1.38	0.10/0.90 = 0.11	0.42/0.58 = 0.72	0.70/0.30 = 2.33	5.88
M3	0.75/0.25 = 3.00	0.0002/0.9998 = 0.0002	0.42/0.58 = 0.72	0.54/0.46 = 1.17	0.54/0.46 = 1.17	0.33/0.67 = 0.49	0.51/0.49 = 1.04	0.48/0.52 = 0.92	1.73

[0052]

[0053] [표 2]를 참조하면, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)가 4번째 서브채널(Mixing Unit-4;200)의 제1채널(major sub-channel; 210)에서 1.04이며, 제 2채널(minor sub-channel; 220)에서 0.92로 나타난다. 즉, 본 발명의 미세혼합기(10;M3)가 비교 미세혼합기(2;M1)에 비하여 가장 좋은 질량 분율을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 본 발명의 미세혼합기(10;M3)의 질량 유속비율은 1.73으로 효과적인 불균형 충돌을 발생시켜, 혼합효율이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0054] 도 6은 본 발명의 미세혼합기(10)의 레이놀즈 수에 따른 염료잔량 분율을 도시한 것으로, 3개의 혼합채널(300) 및 상기 미세혼합기(10)의 출구 ($x/Lt=0, 0.19, 0.35, 0.50, 1$)에서의 단면 평면상의 염료 질량 분율 윤곽을 해

석한 이미지이다. 여기서 레이놀즈 수(Re)는, 0.1, 1, 20, 50으로 설정되었다. 도 6을 참조하면, Re=20 및 Re=50에서 유체계면의 왜곡이 관찰되며, 혼합채널(300)의 형상에 의하여 유체 계면영역이 확장되고 신축함을 반복함으로써, 혼합이 유도되는 것을 확인할 수 있다. 또한 레이놀즈 수의 증가에 따라 혼합효율이 증가하여 더 짧은 길이로 완전하게 혼합되는 것을 확인할 수 있다.

[0055] 도 7은 본 발명의 미세혼합기(10)의 레이놀즈 수에 따른 혼합지수를 나타낸 그래프인 것으로, 혼합 지수는 X축 방향의 서브채널(200)의 입구, 4개의 혼합채널(300) 및 배출구(400)를 따라 6영역의 상이한 위치의 y-z 평면상에서 계산되었다. 도 7을 참고하면, 레이놀즈 수에 따라 혼합지수의 증가율은 $Re \geq 10$ 에 대하여 두 번째 혼합채널(300)에서 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Re=20에서 혼합지수 증가율은 높은 관성력으로 인하여 상기 미세혼합기(10)의 내부에서 효과적인 혼돈이류가 시작됨을 확인할 수 있다.

[0056] 도 8은 본 발명의 미세혼합기(10)의 폭크기(w_3/w_1) 및 깊이크기(h_1/h_2)에 따른 혼합성능에 대한 그래프인 것으로, 도 8의 (a)는 폭크기(w_3/w_1)에 따른 혼합성능의 영향을 확인할 수 있으며, 도 8의 (b)는 깊이크기(h_1/h_2)에 따른 혼합성능의 영향을 확인할 수 있다. 다음의 [표 3]은 폭크기(w_3/w_1) 및 깊이크기(h_1/h_2)에 대한 설계 파라미터의 범위인 것이며, 혼합채널(300)의 총 깊이(H), 축 방향 길이(Lt) 및 피치(Pi)는 일정하게 유지되었다.

[0057] [표 3]

Parameter	Lower limit	Upper limit	Reference
w_3/w_1	0.25	1.0	0.5
h_1/h_2	0.25	4.0	1.0

[0058]

[0059] 도 8의 (a)에 도시된 바와 같이, 출구에서의 혼합 지수의 폭크기(w_3/w_1)의 변화는 레이놀즈 수에 크게 의존하는 것을 확인할 수 있다. 즉 레이놀즈 수의 Re=1과 Re=60에서 혼합 지수에 대한 폭크기(w_3/w_1)에 따른 영향은 없으나, 레이놀즈 수의 Re=10과 Re=30에서 폭크기(w_3/w_1)가 증가함에 따라 크게 혼합 지수는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 레이놀즈 수의 Re=10과 Re=30에서 혼합지수가 143%와 63%로 변화하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 폭크기(w_3/w_1)=0.25인 가장 낮은 비율에서 상기 서브채널(200)의 흐름 영역의 가장 큰 변화를 일으키므로, 유체의 혼합을 촉진시킨다는 것을 확인할 수 있으며, 폭크기(w_3/w_1)=1인 가장 높은 비율에서, 상기 서브채널(200)에서 유동 영역의 변화가 없어 유동을 방해하는 팽창 소용돌이를 유도하지 않아 혼합효율이 저하된다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 깊이크기(h_1/h_2)는 낮은 레이놀즈 수인 Re=1과 Re=10에서 혼합 지수의 변화에서 최소값을 갖는 V추세가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉 혼합 지수에서의 변화는 상기 제 1채널의 깊이(h_1)의 변화와 함께 관찰되는 것을 확인할 수 있으며, 레이놀즈 수의 Re=1과 Re=10에서 깊이크기(h_1/h_2)의 변화에 따라 혼합 지수에서 79%와 43%의 변화가 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 그러나, Re=30 및 Re=60에서 깊이크기(h_1/h_2)에 대한 혼합 지수는 12 % 미만의 변화가 관찰되었으며, 이러한 결과는 Re=10에서 폭크기(w_3/w_1)를 0.5에서 0.25로 변경시키거나, Re=1 또는 Re=30에서 깊이크기(h_1/h_2)를 1.0에서 0.25로 변경시켜, 미세혼합기(10)의 혼합효율을 증대시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

[0060] 본 발명에 따른 미세혼합기는, 유체가 복수개의 서브채널과 혼합채널을 순차적으로 이동하도록 구성되어 유체의 진행방향에 따라 단면적이 좁아지다 넓어지는 것을 반복하도록 형성됨에 따라 유체의 혼합효율을 향상시킬 수 있다.

[0061] 또한 서브채널이 X축을 중심으로 상기 제1채널 및 상기 제2채널의 위치가 반복적으로 바뀌진 상태로 배치되고, X축 및 Y축을 기준으로 서로 대칭상태로 배치되되어 비대칭구조로 형성됨으로써, 유체가 3차원 유동구조로 비대칭분할되어 이동함으로써 불균형 충돌이 유도되고, 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대하여 높은 혼합성능을 제공할 수 있다.

[0062] 더불어 제 1채널의 전단은 전단혼합채널의 전방으로 일부 돌출되도록 배치되며, 제 1채널의 후단은 후단혼합채널의 후방으로 일부 돌출되도록 배치됨으로써, 혼합채널의 돌출된 다단식 구조를 통하여 와류를 생성시켜 혼합성능을 증대시킬 수 있다.

[0063] 또한 레이놀즈 수에 대응하여 폭크기(w_3/w_1) 또는 깊이크기(h_1/h_2)를 조정함으로써, 미세혼합기의 혼합효율을 증대시킬 수 있는 최적의 치수를 채용가능하다.

[0064] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본

발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

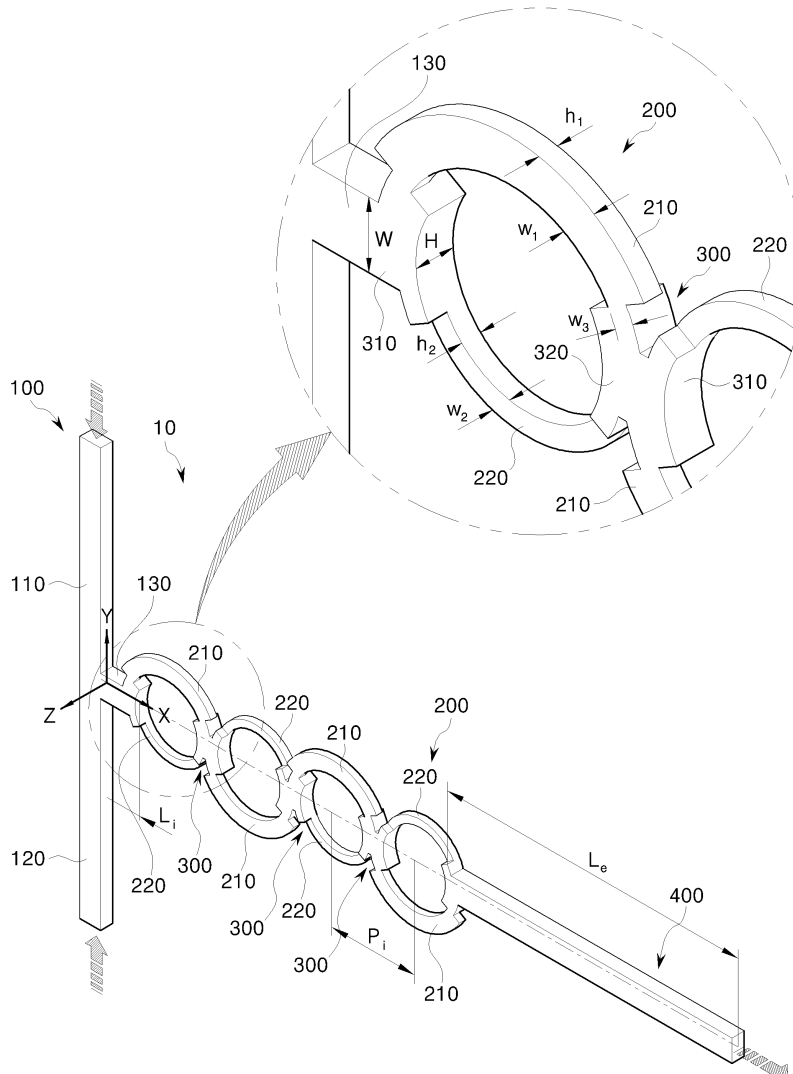
부호의 설명

[0065]

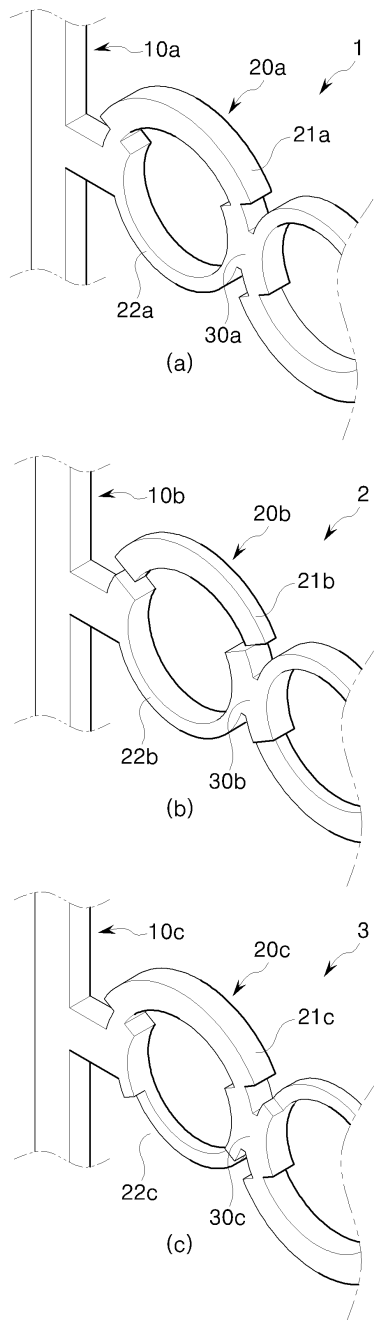
10 : 미세혼합기	100 : 유입부
110 : 제 1유입로	120 : 제 1유입로
130 : 혼합유입로	200 : 서브채널
210 : 제 1채널	220 : 제 2채널
300 : 혼합채널	310 : 전단혼합채널
320 : 후단혼합채널	400 : 배출부

도면

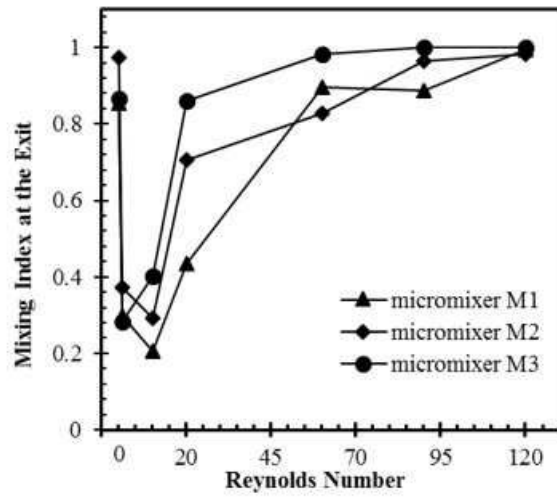
도면1



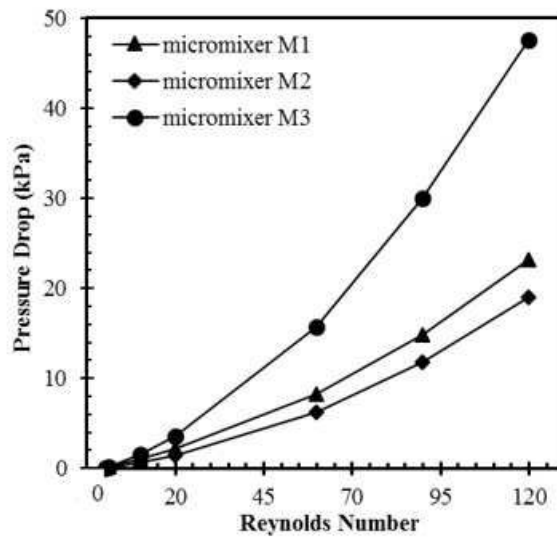
도면2



도면3

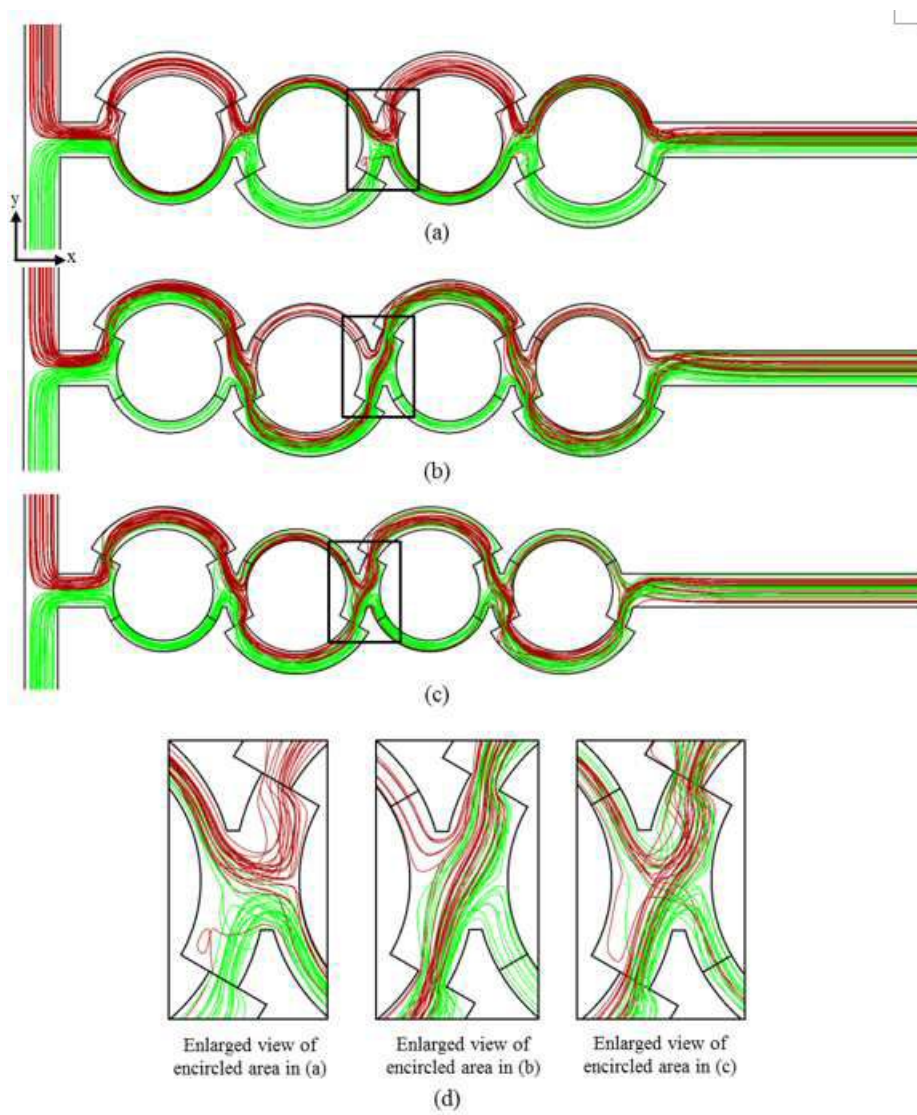


(a)

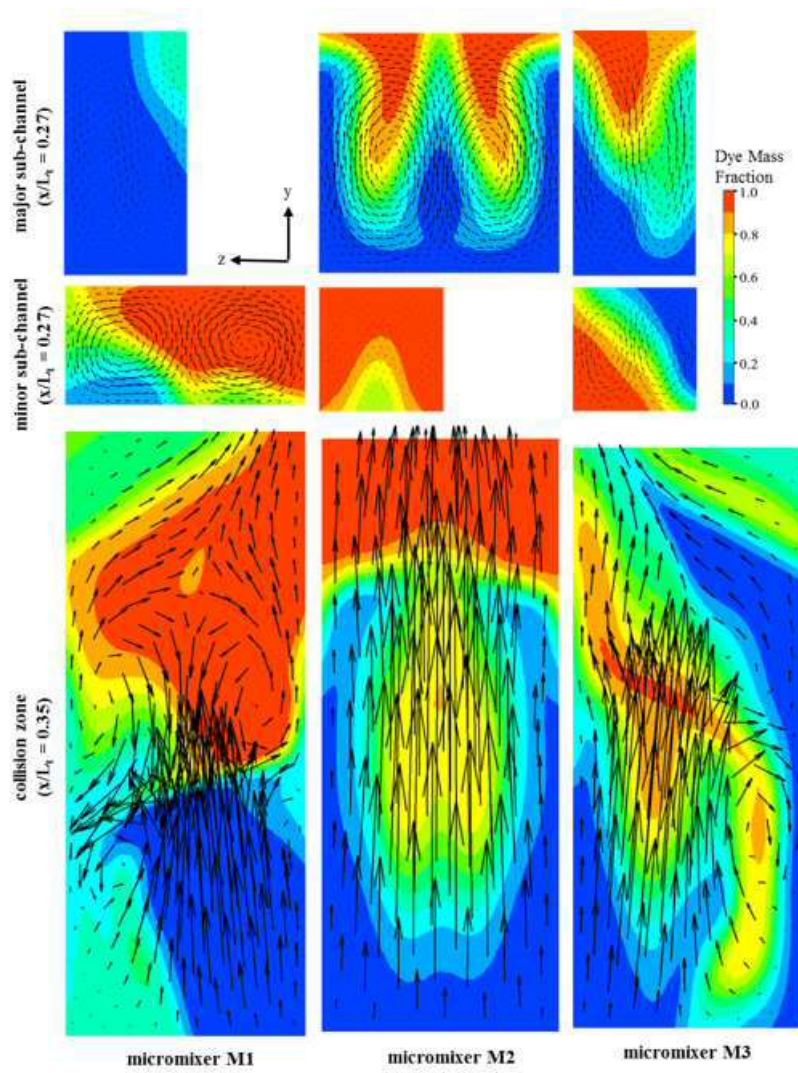


(b)

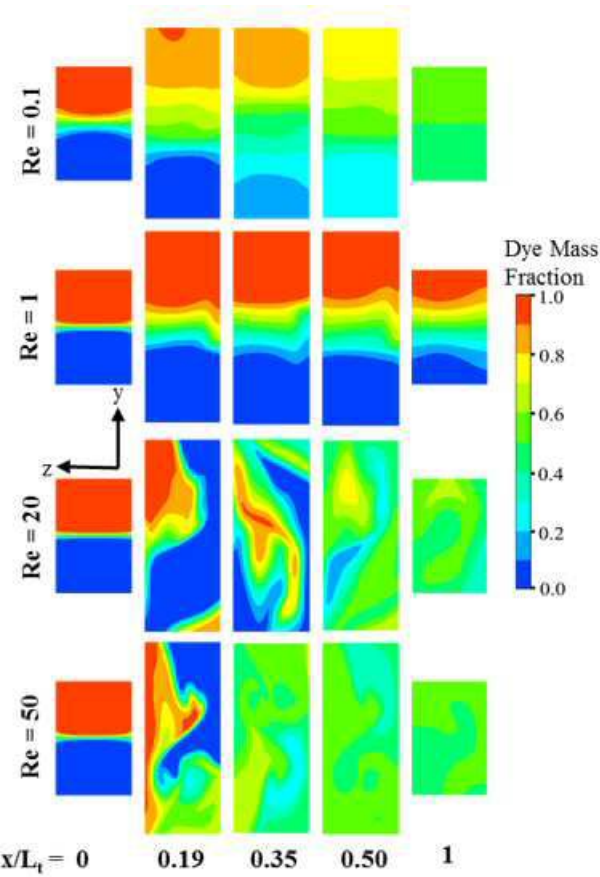
도면4



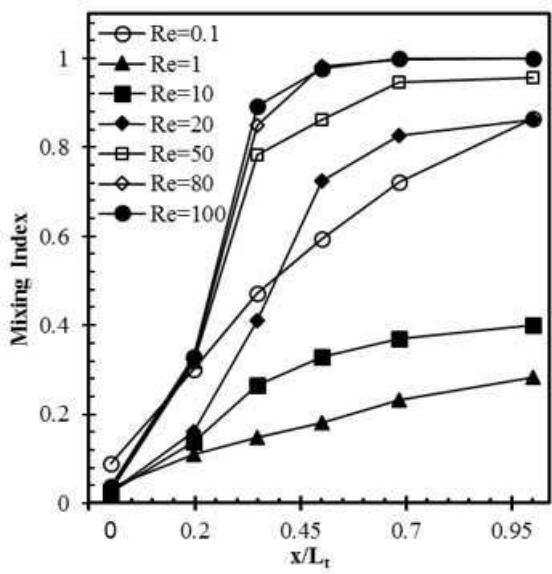
도면5



도면6



도면7



도면8

