



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년09월12일
(11) 등록번호 10-1305976
(24) 등록일자 2013년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 37/00 (2006.01) G01N 33/53 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0014554
(22) 출원일자 2007년02월12일
심사청구일자 2011년11월02일
(65) 공개번호 10-2008-0075406
(43) 공개일자 2008년08월18일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020040003004 A
KR1020060034390 A
US06063589 A
US06582662 B1

(73) 특허권자
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
(72) 발명자
조윤경
경기도 수원시 영통구 태장로82번길 32, 동수원엘
지빌리지1차 102동 1702호 (망포동)
이정건
서울특별시 서초구 서초중앙로 200, 5동 1001호
(서초동, 삼풍아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인세림

전체 청구항 수 : 총 31 항

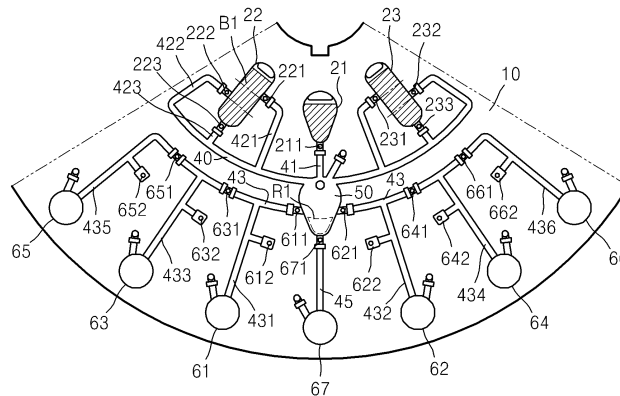
심사관 : 최성수

(54) 발명의 명칭 연속회석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치 및 이를포함하는 미세유동시스템

(57) 요약

연속회석 작업을 자동으로 수행할 수 있는 원심력 기반의 미세유동장치 및 이를 포함하는 미세유동시스템이 개시된다. 본 발명에 따른 연속회석을 위한 미세유동장치는, 회전 가능한 디스크형 플랫폼; 상기 플랫폼상에 배치된 혼합 챔버; 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 채널을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 여러 차례에 걸쳐 일정량씩의 버퍼액을 상기 혼합 챔버에 공급하는 버퍼액 저장부; 및, 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에서 멀게 배치되고, 각각이 상기 혼합 챔버의 일정 수위에 대응되는 중간 배출구로부터 연장된 유로들을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 상기 혼합 챔버에서 여러 차례에 걸쳐 연속 회석된 용액을 순차적으로 수용하는 다수의 회석 용액 챔버를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이범석

경기도 용인시 기흥구 공세로 76, 세원아파트 101
동 913호 (고매동)

박중면

서울특별시 송파구 올림픽로43길 30, 우성아파트
5동 1010호 (풍납동)

이영선

경기도 성남시 분당구 백현로 206, 409동 805호 (정자동, 한솔마을)

특허청구의 범위

청구항 1

회전 가능한 디스크형 플랫폼;

상기 플랫폼상에 배치된 혼합 챔버;

상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 채널을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 여러 차례에 걸쳐 일정량씩의 버퍼액을 상기 혼합 챔버에 공급하는 버퍼액 저장부; 및

상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에서 멀게 배치되고, 각각이 상기 혼합 챔버의 일정 수위에 대응되는 중간 배출구로부터 연장된 유로들을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 상기 혼합 챔버에서 여러 차례에 걸쳐 연속 희석된 용액을 순차적으로 수용하는 다수의 희석 용액 챔버를 포함하는 연속희석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 외부로부터 주입된 시료를 원심력에 의해 상기 혼합 챔버로 공급하는 시료 저장부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 버퍼액 저장부는, 그 내부의 부피가 일정한 부피의 n 배(n 은 자연수이다)에 해당하는 여러 수위 단계마다 개별적으로 구동되는 출구 밸브가 마련된 미터링(metering) 챔버를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 버퍼액 저장부는, 각각 개별적으로 구동되는 출구 밸브를 구비하고 동일한 부피를 갖는, 다수의 버퍼액 챔버를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 희석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 밸브 또는 밸브 군이 마련된 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 밸브 또는 밸브 군은 상온에서 고체 상태인 상전이 물질 분산매에 발열 입자가 분산된 밸브 물질을 포함하고, 상기 밸브 물질이 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파로 인한 열에 의해 용융된 상태로 이동하여 상기 채널을 열거나 닫는 상전이 밸브를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 밸브 군은 열림 밸브와 닫힘 밸브로 이루어진 한 쌍의 상전이 밸브를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 열림 밸브는 상온에서 고체 상태인 밸브 물질로 만들어진 밸브 플러그를 포함하며,

초기에 상기 밸브 플러그가 상기 채널을 단도록 배치되고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융되면서 상기 밸브 플러그의 초기 위치에 인접하게 마련된 드레인 챔버로 이동하여 상기 채널을 여는 상전이 밸브인 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 닫힘 밸브는 상온에서 고체 상태인 밸브 물질로 만들어진 밸브 플러그를 포함하며,

초기 상태에 상기 밸브 플러그는 상기 채널과 연결된 밸브 챔버에 배치되어 상기 채널을 열어두고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융 및 팽창되면서 상기 채널로 유입되어 상기 채널을 닫는 상전이 밸브인 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 상전이 물질 분산매는 왁스, 젤, 열가소성 수지로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 발열 입자는 직경이 1 nm 내지 100 μm 인 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 12

제6항에 있어서,

상기 발열 입자는 외부로부터 전자기파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 코어(core)와 상기 코어를 둘러싸는 셸(shell)로 이루어진 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 13

제6항에 있어서,

상기 발열 입자는 중합체 비드, 퀀텀 닷(quantum dot), 금 나노입자, 은 나노입자, 금속화합물 비드, 탄소입자 및 자성비드로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 14

제5항에 있어서,

상기 밸브 또는 밸브 군은 적어도 하나의 개폐형 밸브를 포함하고, 상기 개폐형 밸브는,

상온에서 고체상태이나 외부에너지원으로부터 에너지를 흡수하면 용융되는 상전이 물질을 포함하는 밸브 물질이 저장되는 밸브 물질 컨테이너(container);

유체의 유로를 형성하는 채널(channel)과 상기 밸브 물질 컨테이너를 연결하는 밸브 연결로; 및,

상기 채널 상에서 상기 밸브 연결로의 양 측에 각각 마련된 한 쌍의 드레인 챔버(drain chamber)를 포함하고,

상기 밸브 물질 컨테이너 또는 밸브 연결로 내부에서 경화(硬化)된 밸브 물질에 상기 외부에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질의 용융, 이동 및, 재경화(再硬化)에 의해 상기 채널이 폐쇄되고, 상기 채널을 폐쇄하는 밸브 물질에 상기 에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질이 상기 드레인 챔버로 배출되어 상기 채널이 개방되도록 구성된 것을 특징으로 하는 미세유동장치.

청구항 15

회전 가능한 디스크형 플랫폼과, 상기 플랫폼상에 배치된 혼합 챔버와, 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 채널을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 여러 차례에 걸쳐 일정량씩의 버퍼액을 상기 혼합 챔버에 공급하는 버퍼액 저장부, 그리고 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에서 멀게 배치되고, 각각이 상기 혼합 챔버의 일정 수위에 대응되는 중간 배출구로부터 연장된 유로들을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 상기 혼합 챔버에서 여러 차례에 걸쳐 연속 희석된 용액을 순차적으로 수용하는 다수의 희석 용액 챔버를 포함하는 미세유동장치;

상기 미세유동장치를 지지하고 제어 가능하게 회전시키는 회전 구동부;

상기 미세유동장치내에서 선택된 밸브를 개별적으로 구동하는 밸브 구동 유닛을 포함하는 원심력 기반의 미세유동시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 밸브 구동 유닛은,

상기 밸브 내의 발열 입자의 발열을 유도할 수 있는 과장대의 전자기파를 방출하는 외부에너지원; 및

상기 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파가 상기 선택된 밸브에 대응되는 영역에 집중적으로 도달하도록 상기 외부에너지원의 위치 또는 방향을 조정하는 외부에너지원 조정수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 외부에너지원 조정수단은 상기 미세유동장치의 플랫폼을 향해 설치된 상기 외부에너지원을 상기 플랫폼의 반지름 방향으로 이동시키는 직선 이동수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 외부에너지원 조정수단은 상기 미세유동장치의 플랫폼을 향해 설치된 상기 외부에너지원을 상기 플랫폼과 평행한 평면상에서 직교좌표에 따라 두 방향으로 이동시키는 평면 이동수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 외부로부터 주입된 시료를 원심력에 의해 상기 혼합 챔버로 공급하는 시료 저장부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 버퍼액 저장부는, 그 내부의 부피가 일정한 부피의 n배(n은 자연수이다)에 해당하는 여러 수위 단계마다 개별적으로 구동되는 출구 밸브가 마련된 미터링(metering) 챔버를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 21

제15항에 있어서,

상기 버퍼액 저장부는, 각각 개별적으로 구동되는 출구 밸브를 구비하고 동일한 부피를 갖는, 다수의 버퍼액 챔버를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 22

제15항에 있어서,

상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 희석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 밸브 또는 밸브 군이 마련된 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 밸브 또는 밸브 군은 상온에서 고체 상태인 상전이 물질 분산매에 발열 입자가 분산된 밸브 물질을 포함하고, 상기 밸브 물질이 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파로 인한 열에 의해 용융된 상태로 이동하여 상기 채널을 열거나 닫는 상전이 밸브를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 밸브 군은 열림 밸브와 닫힘 밸브로 이루어진 한 쌍의 상전이 밸브를 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 열림 밸브는 상온에서 고체 상태인 밸브 물질로 만들어진 밸브 플러그를 포함하며, 초기에 상기 밸브 플러그가 상기 채널을 닫도록 배치되고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융되면서 상기 밸브 플러그의 초기 위치에 인접하게 마련된 드레인 챔버로 이동하여 상기 채널을 여는 상전이 밸브인 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 26

제24항에 있어서,

상기 닫힘 밸브는 상온에서 고체 상태인 밸브 물질로 만들어진 밸브 플러그를 포함하며, 초기 상태에 상기 밸브 플러그는 상기 채널과 연결된 밸브 챔버에 배치되어 상기 채널을 열어두고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융 및 팽창되면서 상기 채널로 유입되어 상기 채널을 닫는 상전이 밸브인 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 27

제23항에 있어서,

상기 상전이 물질 분산매는 왁스, 겔, 열가소성 수지로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 28

제23항에 있어서,

상기 발열 입자는 직경이 1 nm 내지 100 μm 인 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 29

제23항에 있어서,

상기 발열 입자는 외부로부터 전자기파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 코어(core)와 상기 코어를 둘러싸는 셸(shell)로 이루어진 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 30

제23항에 있어서,

상기 발열 입자는 중합체 비드, 퀀텀 닷(quantum dot), 금 나노입자, 은 나노입자, 금속화합물 비드, 탄소입자 및 자성비드로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

청구항 31

제22항에 있어서,

상기 밸브 또는 밸브 군은 적어도 하나의 개폐형 밸브를 포함하고, 상기 개폐형 밸브는, 상온에서 고체상태이나 외부에너지원으로부터 에너지를 흡수하면 용융되는 상전이 물질을 포함하는 밸브 물질이 저장되는 밸브 물질 컨테이너(container);
 유체의 유로를 형성하는 채널(channel)과 상기 밸브 물질 컨테이너를 연결하는 밸브 연결로; 및,
 상기 채널 상에서 상기 밸브 연결로의 양 측에 각각 마련된 한 쌍의 드레인 챔버(drain chamber)를 포함하고,
 상기 밸브 물질 컨테이너 또는 상기 밸브 연결로 내부에서 경화(硬化)된 밸브 물질에 상기 외부에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질의 용융, 이동 및, 재경화(再硬化)에 의해 상기 채널이 폐쇄되고, 상기 채널을 폐쇄하는 밸브 물질에 상기 에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질이 상기 드레인 챔버로 배출되어 상기 채널이 개방되도록 구성된 것을 특징으로 하는 미세유동시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- [0032] 본 발명은 원심력 기반의 미세유동장치에 관한 것으로, 더 상세하게는 디스크 형상의 플랫폼에 배치된 미세유동 구조물 내에서 시료의 연속희석(serial dilution)을 자동으로 수행할 수 있도록 한 미세유동장치와 이러한 미세유동장치를 포함하는 미세유동시스템에 관한 것이다.
- [0033] 일반적으로 미세유동장치를 구성하는 미세유동 구조물에는 소량의 유체를 가두어 둘 수 있는 챔버와, 유체가 흐를 수 있는 채널, 유체의 흐름을 조절할 수 있는 밸브, 그리고 유체를 받아 소정의 기능을 수행할 수 있는 여러 가지 기능성 유닛 등이 포함될 수 있다. 소형의 칩(chip) 상에서 생화학적 반응을 포함한 시험을 수행할 수 있도록 칩 형태의 기관에 이러한 미세유동 구조물을 배치한 것을 일컬어 바이오 칩이라고 하고, 특히 여러 단계의 처리 및 조작을 하나의 칩에서 수행할 수 있도록 제작된 장치를 랩온어칩(lab-on-a chip)이라 한다.
- [0034] 미세유동 구조물 내에서 유체를 이송하기 위해서는 구동 압력이 필요한데, 구동 압력으로서 모세관압이 이용되기도 하고, 별도의 펌프에 의한 압력이 이용되기도 한다. 최근에는 콤팩트디스크 형상의 플랫폼에 미세유동 구조물을 배치하여 원심력을 이용하는 미세유동장치들이 제안되고 있다. 이를 일컬어 랩씨디(Lab CD) 또는 랩온어디스크(Lab-on a disk)라 하기도 한다. 그런데, 이 경우는 프레임에 고정되지 않고 회전하기 때문에 바닥에 고정된 채로 작동되는 랩온어칩과 여러 가지 면에서 다르다.
- [0035] 한편, 화학적 또는 생물학적 실험에는 다양한 농도의 시료가 요구되는 경우가 많다. 그 대표적인 예로서, 세포 수의 계수 또는 유전자 발현 등의 정량 분석을 위한 캘리브레이션(calibration) 등을 들 수 있다. 미세유동 칩 상에서 다양한 농도의 시료를 만들 수 있는 장치를 제공하기 위해서는 미국 특허 제 US 5,836,004호 및 US 6,705,357호 등이 제안된 바 있다. 그러나, 전자는 전기침투(electroosmosis) 현상을 이용한 것이어서 높은 구동전압을 필요로 하고, 후자는 지수함수 형태의 농도 구배(gradient)를 제공할 수 없는 등의 미해결 과제를 안고 있다. 또한 상기의 장치들은 디스크형 플랫폼상에 구현하기 어렵다.
- [0036] 최근 디스크 형상의 플랫폼상에서 원심력을 이용하여 유체를 손쉽게 이동시키는 다양한 원심력 기반의 미세유동 장치들이 개발됨에 따라, 그와 같은 디스크형 플랫폼상에서 자동으로 다양한 농도의 시료를 제공할 수 있는 장치가 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

[0037] 본 발명은 최초로 시료를 주입하는 한 차례의 수작업 외에 별도의 수작업 없이 자동으로 다양한 농도의 시료를 제공할 수 있는 연속회석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치 및 이를 포함하는 미세유동시스템을 제공하는 데 그 목적이 있다.

발명의 구성 및 작용

[0038] 본 발명에 따른 연속회석을 위한 미세유동장치는, 회전 가능한 디스크형 플랫폼; 상기 플랫폼상에 배치된 혼합 챔버; 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 채널을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 여러 차례에 걸쳐 일정량씩의 버퍼액을 상기 혼합 챔버에 공급하는 버퍼액 저장부; 및, 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에서 멀게 배치되고, 각각이 상기 혼합 챔버의 일정 수위에 대응되는 중간 배출구로부터 연장된 유로들을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 상기 혼합 챔버에서 여러 차례에 걸쳐 연속 회석된 용액을 순차적으로 수용하는 다수의 회석 용액 챔버를 포함한다.

[0039] 상기 미세유동장치는 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 외부로부터 주입된 시료를 원심력에 의해 상기 혼합 챔버로 공급하는 시료 저장부를 더 포함할 수 있다.

[0040] 상기 버퍼액 저장부는, 그 내부의 부피가 일정한 부피의 n 배(n 은 자연수이다)에 해당하는 여러 수위 단계마다 개별적으로 구동되는 출구 밸브가 마련된 미터링(metering) 챔버를 포함할 수 있고, 이와 달리 상기 버퍼액 저장부는, 각각 개별적으로 구동되는 출구 밸브를 구비하고 동일한 부피를 갖는, 다수의 버퍼액 챔버를 포함할 수도 있다.

[0041] 상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 회석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 밸브 또는 밸브 군이 마련되는 것이 바람직하다. 상기 밸브 또는 밸브 군은 상온에서 고체 상태인 상전이 물질 분산매에 발열 입자가 분산된 밸브 물질을 포함하고, 상기 밸브 물질이 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파로 인한 열에 의해 용융된 상태로 이동하여 상기 채널을 열거나 닫는 상전이 밸브를 포함할 수 있다.

[0042] 여기서, 상기 밸브 군은 열림 밸브와 닫힘 밸브로 이루어진 한 쌍의 상전이 밸브를 포함할 수 있다. 상기 열림 밸브는 초기에 상기 밸브 플러그가 상기 통로를 닫도록 배치되고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융되면서 상기 밸브 플러그의 초기 위치에 인접하게 마련된 드레인 챔버로 이동하여 상기 통로를 여는 상전이 밸브일 수 있고, 상기 닫힘 밸브는 초기 상태에 상기 밸브의 플러그는 상기 통로와 연결된 밸브 챔버에 배치되어 상기 통로를 열어두고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융 및 팽창되면서 상기 통로로 유입되어 상기 통로를 닫는 상전이 밸브일 수 있다.

[0043] 상기 상전이 물질 분산매는 왁스, 젤, 열가소성 수지로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나일 수 있고, 상기 발열 입자는 직경이 1 nm 내지 100 μ m 일 수 있다. 또한, 상기 발열 입자는 외부로부터 전자기파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 코어(core)와 상기 코어를 둘러싸는 셸(shell)로 이루어진 것일 수 있다. 상기 발열 입자는 중합체 비드, 퀀텀 닷(quantum dot), 금 나노입자, 은 나노입자, 금속화합물 비드, 탄소입자 및 자성 비드로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0044] 상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 회석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 적어도 하나의 개폐형 밸브가 마련될 수 있고, 상기 개폐형 밸브는, 상온에서 고체상태이나 외부에너지원으로부터 에너지를 흡수하면 용융되는 상전이 물질을 포함하는 밸브 물질이 저장되는 밸브 물질 콘테이너(container); 유체의 유로를 형성하는 채널(channel)과 상기 밸브 챔버를 연결하는 밸브 연결로; 및, 상기 채널 상에서 상기 밸브 연결로의 양 측에 각각 마련된 한 쌍의 드레인 챔버(drain chamber)를 포함하고, 상기 밸브 물질 콘테이너 또는 밸브 연결로 내부에서 경화(硬化)된 밸브 물질에 상기 외부에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질의 용융, 이동 및, 재경화(再硬化)에 의해 상기 채널이 폐쇄되고, 상기 채널을 폐쇄하는 밸브 물질에 상기 에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질이 상기 드레인 챔버로 배출되어 상기 채널이 개방되도록 구성된 것일 수 있다.

[0045] 본 발명에 따른 연속회석을 위한 미세유동장치를 포함하는 미세유동시스템은, 회전 가능한 디스크형 플랫폼과, 상기 플랫폼상에 배치된 혼합 챔버와, 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 채널을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 여러 차례에 걸쳐 일정량씩의 버퍼액을 상기 혼합 챔버에 공급하는 버퍼액 저장부, 그리고 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에서 멀게 배치되고, 각각이 상기 혼합 챔버의 일정 수위에 대응되는 중간 배출구로부터 연장된 유로들을 통해 상기 혼합 챔버와 연결되어, 상기 혼합 챔버에서 여러 차례에 걸쳐 연속 회석된 용액을 순차적으로 수용하는 다수의 회석 용액 챔버를 포함하는 미세유동장치; 상기 미

세유동장치를 지지하고 제어 가능하게 회전시키는 회전 구동부; 상기 미세유동장치내에서 선택된 밸브를 개별적으로 구동하는 밸브 구동 유닛을 포함한다.

- [0046] 상기 밸브 구동 유닛은, 상기 밸브 내의 발열 입자의 발열을 유도할 수 있는 파장대의 전자기파를 방출하는 외부에너지원; 및 상기 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파가 상기 선택된 밸브에 대응되는 영역에 집중적으로 도달하도록 상기 외부에너지원의 위치 또는 방향을 조정하는 외부에너지원 조정수단을 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 외부에너지원 조정수단은 상기 미세유동장치의 플랫폼을 향해 설치된 상기 외부에너지원을 상기 회전체의 반지름 방향으로 이동시키는 직선 이동수단을 포함할 수도 있고, 이와 달리 상기 외부에너지원 조정수단은 상기 미세유동장치의 플랫폼을 향해 설치된 상기 외부에너지원을 상기 플랫폼과 평행한 평면상에서 직교좌표에 따라 두 방향으로 이동시키는 평면 이동수단을 포함할 수도 있다.
- [0048] 상기 미세유동시스템에서, 상기 미세유동장치는 상기 플랫폼상에 상기 혼합 챔버보다 중심에 가깝게 배치되고, 외부로부터 주입된 시료를 원심력에 의해 상기 혼합 챔버로 공급하는 시료 저장부를 더 포함할 수 있다.
- [0049] 상기 버퍼액 저장부는, 그 내부의 부피가 일정한 부피의 n배(n은 자연수이다)에 해당하는 여러 수위 단계마다 개별적으로 구동되는 출구 밸브가 마련된 미터링(metering) 챔버를 포함할 수 있고, 이와 달리 상기 버퍼액 저장부는, 각각 개별적으로 구동되는 출구 밸브를 구비하고 동일한 부피를 갖는, 다수의 버퍼액 챔버를 포함할 수도 있다.
- [0050] 상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 희석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 밸브 또는 밸브 군이 마련되는 것이 바람직하다. 상기 밸브 또는 밸브 군은 상온에서 고체 상태인 상전이 물질 분산매에 발열 입자가 분산된 밸브 물질을 포함하고, 상기 밸브 물질이 외부에너지원으로부터 조사된 전자기파로 인한 열에 의해 용융된 상태로 이동하여 상기 채널을 열거나 닫는 상전이 밸브를 포함할 수 있다.
- [0051] 여기서, 상기 밸브 군은 열림 밸브와 닫힘 밸브로 이루어진 한 쌍의 상전이 밸브를 포함할 수 있다. 상기 열림 밸브는 초기에 상기 밸브 플러그가 상기 통로를 닫도록 배치되고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융되면서 상기 밸브 플러그의 초기 위치에 인접하게 마련된 드레인 챔버로 이동하여 상기 통로를 여는 상전이 밸브일 수 있고, 상기 닫힘 밸브는 초기 상태에 상기 밸브의 플러그는 상기 통로와 연결된 밸브 챔버에 배치되어 상기 통로를 열어두고, 상기 밸브 플러그가 열에 의해 용융 및 팽창되면서 상기 통로로 유입되어 상기 통로를 닫는 상전이 밸브일 수 있다.
- [0052] 상기 상전이 물질 분산매는 왁스, 젤, 열가소성 수지로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나일 수 있고, 상기 발열 입자는 직경이 1 nm 내지 100 μm 일 수 있다. 또한, 상기 발열 입자는 외부로부터 전자기파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 코어(core)와 상기 코어를 둘러싸는 셸(shell)로 이루어진 것일 수 있다. 상기 발열 입자는 중합체 비드, 퀀텀 닷(quantum dot), 금 나노입자, 은 나노입자, 금속화합물 비드, 탄소입자 및 자성 비드로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0053] 상기 혼합 챔버의 중간 배출구로부터 상기 다수의 희석 용액 챔버로 연결되는 각각의 유로에는 이들을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 적어도 하나의 개폐형 밸브가 마련될 수 있고, 상기 개폐형 밸브는, 상온에서 고체상태이나 외부에너지원으로부터 에너지를 흡수하면 용융되는 상전이 물질을 포함하는 밸브 물질이 저장되는 밸브 물질 콘테이너(container); 유체의 유로를 형성하는 채널(channel)과 상기 밸브 챔버를 연결하는 밸브 연결로; 및, 상기 채널 상에서 상기 밸브 연결로의 양 측에 각각 마련된 한 쌍의 드레인 챔버(drain chamber)를 포함하고, 상기 밸브 물질 콘테이너 또는 밸브 연결로 내부에서 경화(硬化)된 밸브 물질에 상기 외부에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질의 용융, 이동 및, 재경화(再硬化)에 의해 상기 채널이 폐쇄되고, 상기 채널을 폐쇄하는 밸브 물질에 상기 에너지원으로부터 에너지가 공급되면 그 밸브 물질이 상기 드레인 챔버로 배출되어 상기 채널이 개방되도록 구성된 것일 수 있다.
- [0054] 본 명세서에서 버퍼액은 시료를 희석할 용매를 의미하고, 희석 용액은 버퍼액과 시료의 혼합액을 의미한다. 연속희석이란 시료와 버퍼액을 일정한 부피비로 희석하고, 이렇게 희석된 희석 용액과 버퍼액을 다시 동일한 부피비로 희석하는 과정을 여러 차례 반복하면서 서로 지수함수의 관계에 있는 여러 농도의 희석 용액을 얻는 작업을 의미한다.
- [0055] 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 첨부된 도면들에서 동일한 도면 부호는 동일한 구성 요소를 나타낸다. 도시된 챔버 및 채널 등의 구조물은 그 형상이 단순화되고, 그 크기의 비가 실제

와 달리 확대되거나 축소된 것일 수 있다.

- [0056] 도 1은 본 발명에 따른 연속회석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치의 일 실시예를 도시한 평면도이다. 본 실시예에 따르면, 미세유동장치는 디스크 형상의 플랫폼(10)과 상기 플랫폼(10) 위에 마련된 다수의 챔버(21~23, 50, 61~67), 상기 다수의 챔버들 사이사이를 연결하는 다수의 채널(40, 41, 43, 45, 등) 그리고 상기 다수의 채널을 통한 유체의 흐름을 통제하는 다수의 밸브(211, 43~83, 631~233, 611, 612, 621, 622, 631, 632, 641, 642, 651, 652, 661, 662, 671)를 포함한다.
- [0057] 상기 플랫폼(10)은 성형이 용이하고, 그 표면이 생물학적으로 비활성인 아크릴, PDMS 등의 플라스틱 소재로 만들어질 수 있다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니고, 화학적, 생물학적 안정성과 광학적 투명성 그리고 기계적 가공성을 가지는 소재이면 족하다. 상기 플랫폼(10)은 여러 층의 판으로 이루어질 수 있다. 판과 판이 서로 맞닿는 면에 챔버나 채널 등에 해당하는 음각 구조물을 만들고 이들을 접합함으로써 상기 플랫폼(10) 내부에 공간과 통로를 제공할 수 있다. 판과 판의 접합은 접착제나 양면 접착테이프를 이용한 접착이나 초음파 용착 등 다양한 방법으로 이루어질 수 있다.
- [0058] 상기 플랫폼(10) 상에 시료와 버퍼액의 혼합을 위한 혼합 챔버(50)가 마련된다. 플랫폼(10) 상에서 상기 혼합 챔버(50)보다 중심에 가까운 쪽에는 채널(40)을 통해 상기 혼합 챔버(50)와 연결되어 여러 차례에 걸쳐 일정량의 버퍼액을 상기 혼합 챔버(50)에 공급하는 버퍼액 저장부가 마련되고, 외부로부터 주입된 시료를 상기 혼합 챔버(50)에 공급하는 시료 저장부가 마련될 수 있다.
- [0059] 상기 버퍼액 저장부는 다양한 형태를 가질 수 있으나, 본 실시예에 따르면 그 내부의 부피가 일정한 부피(B1) 즉, 한 번에 상기 혼합 챔버(50)로 이송될 버퍼액 부피의 n배(n은 자연수이다)에 해당하는 여러 수위 단계마다 개별적으로 구동되는 출구 밸브(43~83, 631~233)가 마련된 미터링(metering) 챔버(22, 23)를 포함할 수 있다. 도면에서 왼쪽의 미터링 챔버(22)를 참조하여 좀 더 구체적으로 설명하면, 상기 미터링 챔버(22)의 각 출구 밸브(43~83)는 각각의 진입 채널(421~423) 및 상기 채널(40)을 통해 상기 혼합 챔버(50)와 연결된다. 개별적으로 구동되는 상기 다수의 출구 밸브(43~83)로는 외부에너지원에 의해 구동되는 상전이 밸브는 물론, 모세관 밸브(capillary valve), 소수성 밸브(hydrophobic valve), 기계식 밸브(mechanical valve), 지오메트릭 밸브(geometric valve) 등 다양한 밸브를 채용할 수 있다. 예를 들어 모세관 밸브를 채용하는 경우에는 개방 회전수가 가장 낮은 밸브를 가장 높은 수위에 대응되는 밸브(221)로 채용하고, 개방 회전수가 가장 높은 밸브를 가장 낮은 수위에 대응되는 밸브(223)로 채용할 수 있다.
- [0060] 상기 시료 저장부는 구체적으로 시료 챔버(21)와 상기 시료 챔버(21)와 상기 혼합 챔버(50)를 연결하는 채널(41)을 통한 유체 흐름을 제어하는 상기 시료 챔버(21)의 출구 밸브(211)로 구성될 수 있다. 다만, 연속회석을 하고자하는 최초의 시료를 상기 혼합 챔버(50)에 직접 주입하는 경우, 상기한 시료 저장부는 생략될 수도 있다.
- [0061] 플랫폼(10) 상에서 상기 혼합 챔버(50)보다 중심에서 먼 쪽에는 회석된 시료 용액들이 농도별로 수용될 다수의 회석 용액 챔버(61~67)가 마련된다. 다수의 회석 용액 챔버(61~66)와 상기 혼합 챔버(50)의 연결은, 상기 혼합 챔버(50)의 중간 배출구에 직접 연결된 채널(43)과 상기 채널(43)로부터 갈라져서 상기 다수의 회석 용액 챔버(61~66)에 각각 대응되는 다수의 분기 채널(431~436)을 통해 이루어질 수 있다. 다만, 가장 농도가 낮은 회석 용액을 수용할 회석 용액 챔버(67)는 상기 혼합 챔버(50)의 최 외곽에 마련된 출구 밸브(671)에 직접 연결된 채널(45)을 통해 상기 혼합 챔버(50)와 연결될 수 있다.
- [0062] 상기 혼합 챔버(50)의 중간 배출구란, 원심력을 이용하여 상기 혼합 챔버(50) 내의 용액을 상기 중간 배출구를 통해 밖으로 내보낼 때, 상기 중간 배출구와 상기 혼합 챔버(50)의 최 외곽 사이의 공간에 일정한 부피(R1)의 용액이 남도록 하는 위치를 말한다. 상기 채널(43)은 혼합 챔버(50)의 한쪽 또는 양쪽 중간 배출구에 연결될 수 있다. 즉, 상기 채널(43)과 상기 혼합 챔버(50)가 연결되는 상기 중간 배출구의 위치에 따라서 한 차례의 회석 후 상기 혼합 챔버(50)에 남겨지는 회석 용액의 부피(R1)가 결정된다.
- [0063] 상기 채널(43)은 전술한 다수의 분기 채널(431~436)과 함께 상기 혼합 챔버(50)에서 상기 다수의 회석 용액 챔버(61~66)로 각각 이어지는 다수의 유로를 형성한다. 각각의 유로에는 유체의 흐름을 개별적으로 제어하기 위한 하나의 밸브 또는 다수의 밸브로 이루어진 밸브 군이 마련될 수 있다. 본 실시예에 따르면, 각각의 유로(예를 들어 상기 채널(43)과 제1 분기 채널(431)로 이루어진 유로)에는 하나의 열림 밸브(611)와 하나의 닫힘 밸브(612)로 구성된 밸브 군이 마련되어 있다. 상기 열림 밸브(611)와 닫힘 밸브(612)는 모두 외부에너지원에 의해 개별적으로 구동되는 상전이 밸브일 수 있다.

- [0064] 도 2a 내지 도 2c는 상기 도 1의 미세유동장치를 이용하여 연속희석을 수행하는 과정을 보인다. 먼저 화살표①과 같이, 시료 챔버(21)의 출구 밸브(211)를 열고 원심력을 이용하여 최초 농도의 시료를 상기 혼합 챔버(50)로 이송한다. 그런 다음 제1 희석 용액 챔버(61)로 연결된 유로(43, 431)의 열림 밸브(611)를 열고, 원심력을 이용하여 화살표②와 같이 제1 희석 용액(최초 농도)을 이송한다. 이송이 끝나면 상기 제1 희석 용액 챔버(61)로 연결된 제1 분기 채널(431)의 닫힘 밸브(612)를 닫는다. 이때, 상기 혼합 챔버(50) 내에는 일정한 부피(R1)의 시료가 남게 된다.
- [0065] 다음으로, 상기 미터링 챔버(22)의 제1 출구 밸브(221)를 열고 화살표③과 같이 일정 부피(B1)의 버퍼액을 혼합 챔버(50)로 이송하고 혼합한다. 이 결과 시료 최초 농도의 $R1/(R1+B1)$ 배로 희석된 제2 희석 용액이 만들어진다. 그 다음 제2 희석 용액 챔버(62)로 연결된 유로(43, 432)의 열림 밸브(621)를 열고, 원심력을 이용하여 화살표④와 같이 제2 희석 용액을 이송한다. 이송이 끝나면 상기 제2 희석 용액 챔버(62)로 연결된 제2 분기 채널(432)의 닫힘 밸브(622)를 닫는다. 이때, 역시 상기 혼합 챔버(50) 내에는 일정한 부피(R1)의 제2 희석 용액이 남게 된다.
- [0066] 다음으로, 상기 미터링 챔버(22)의 제2 출구 밸브(222)를 열고 화살표⑤와 같이 일정 부피(B1)의 버퍼액을 혼합 챔버(50)로 이송하고 혼합한다. 이 결과 시료 최초 농도의 $(R1/(R1+B1))^2$ 배로 희석된 제3 희석 용액이 만들어진다. 그 다음 제3 희석 용액 챔버(63)로 연결된 유로(43, 433)의 열림 밸브(631)를 열고, 원심력을 이용하여 화살표⑥과 같이 상기 제3 희석 용액을 이송한다. 이송이 끝나면 상기 제3 희석 용액 챔버(63)로 연결된 제3 분기 채널(433)의 닫힘 밸브(632)를 닫는다. 이때, 역시 상기 혼합 챔버(50) 내에는 일정한 부피(R1)의 제3 희석 용액이 남게 된다.
- [0067] 상기와 유사한 과정을 반복함으로써 제4 내지 제6 희석 용액 챔버(64~66)에도 각각 직전의 희석 용액보다 $R1/(R1+B1)$ 배씩 희석된 희석 용액을 제공할 수 있다. 상기 혼합 챔버(50)에서 마지막으로 희석된 희석 용액은 상기 혼합 챔버(50)의 반지를 방향 최 외곽에 마련된 출구 밸브(671) 및 그와 연결된 채널(45)을 통해 제7 희석 용액 챔버(67)로 이송된다.
- [0068] 이상에서 살펴본 바와 같이, 연속희석 작업의 농도 스케일을 정하는 요소는 B1과 R1이다. 한 차례의 희석 과정을 거칠 때마다 $R1/(R1+B1)$ 배씩 용액의 농도가 희석된다. 예를 들어, R1과 B1이 각각 $40\mu\text{l}$ 로 서로 같으면, 상기 제1 내지 제7 희석 용액 챔버(61~67)에는 각각 최초 시료 농도의 1배, 2^{-1} 배, 2^{-2} 배, 2^{-3} 배, 2^{-4} 배, 2^{-5} 배, 2^{-6} 배에 해당하는 농도의 희석 용액들이 담겨 진다. 다른 예로, R1이 $10\mu\text{l}$ 이고, B1이 $90\mu\text{l}$ 이면, 상기 제1 내지 제7 희석 용액 챔버(61~67)에는 각각 최초 시료 농도의 1배, 10^{-1} 배, 10^{-2} 배, 10^{-3} 배, 10^{-4} 배, 10^{-5} 배, 10^{-6} 배에 해당하는 농도의 희석 용액들이 담겨 진다.
- [0069] 도 3a 내지 도 3g는 상기 도 1의 미세유동장치를 이용하여 연속희석을 수행하는 과정을 보이는 사진들이다. 상기 도 1의 미세유동장치를 이용하여 염료 용액의 연속희석을 수행하면서 다양한 농도의 희석 용액이 얻어지는 것을 눈으로 확인할 수 있도록 하였다. 도 3a는 시료 챔버에 최초 농도의 시료로서 염료 용액이 주입된 것을 보인다. 최초 농도의 시료는 주입구를 통해 시료 챔버에 수작업으로 주입된다. 도 3b는 최초 농도의 시료가 혼합 챔버(50)로 이송된 상태를 보인다. 도 3c는 상기 혼합 챔버(50)에서 채널(43)과 연결된 중간 배출구 이상의 시료가 제1 희석 용액 챔버(61)로 이송된 상태를 보인다. 상기 중간 배출구 아래에는 일정 부피(R1)의 시료가 그대로 남아 있다. 도 3d는 상기 혼합 챔버(50)에 미터링 챔버(22)로부터 한 수위 단계에 해당하는 일정 부피(B1)의 버퍼액을 추가하고 혼합한 뒤, 다시 상기 중간 배출구 이상의 용액을 제2 희석 용액 챔버(62)로 이송한 모습을 보인다. 따라서 상기 제2 희석 용액 챔버(62)에는 $R1/(R1+B1)$ 배로 한 차례 희석된 희석 용액이 수용된다. 이와 같은 과정을 반복하여, 도 3e는 제3 희석 용액 챔버(63)에는 $R1/(R1+B1)$ 배씩 두 차례 희석된 희석 용액이 수용된 모습을 보이고, 도 3f는 상기 혼합 챔버(50)에 다시 일정 부피(B1)의 버퍼액을 추가 및 혼합하여 희석된 용액을 보인다. 중간 과정을 생략하고 도 3g는 모든 희석 용액 챔버(61~67)에 각각 다른 농도의 희석 용액들이 수용된 모습을 보인다. 희석 용액 색깔의 진하고 옅은 정도에 따라 각기 다른 농도로 희석되었음을 눈으로 확인할 수 있다.
- [0070] 이렇게 해서 만들어진 다양한 농도의 희석 용액들은 다양한 용도로 활용될 수 있다. 예를 들면, 세포 계수(cell counting)나 유전자의 정량적 분석을 위한 실시간 PCR용 검량선(standard curve 또는 calibration curve) 작성에도 활용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 미세유동장치는 다른 기능을 수행하는 원심력 기반의 미세유동장치와 함께 하나의 플랫폼상에 집적되어 다양한 농도의 시료를 활용한 결과물을 손쉽게 제공할 수도 있다.
- [0071] 도 4는 본 발명에 따른 연속희석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치의 다른 실시예를 도시한 평면도이다. 본

실시예는 상기 도 1의 실시예와 비교하여, 혼합 챔버(50)와 다수의 회석 용액 챔버(61~66)들을 각각 연결하는 다수의 유로에서 유체의 흐름을 제어하는 밸브의 종류 및 그 배치에 차이점이 있다. 본 실시예에 따르면, 상기 혼합 챔버(50)의 양 중간 배출구에 직접 연결된 채널(44)로부터 갈라진 다수의 분기 채널(441~446)에 각각 하나씩의 개폐형 밸브(613, 623, 633, 643, 653, 663)를 배치할 수 있다. 상기 개폐형 밸브(613, 623, 633, 643, 653, 663)는 외부에너지원에 의해 개별적으로 구동되는 상전이 밸브의 일 예로서, 유로를 열고 닫는 동작을 모두 수행할 수 있고, 필요에 따라서는 열고 닫는 동작을 수 차례 반복할 수도 있다.

[0072] 도 5는 본 발명에 따른 연속회석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치의 또 다른 실시예를 도시한 평면도이다. 본 실시예는 상기 도 1의 실시예와 비교하여, 버퍼액 저장부의 형태에 차이가 있다. 본 실시예에 따르면, 미터링 챔버(22, 23)를 사용한 상기 도 1의 실시예와 달리, 버퍼액 공급 회수에 해당하는 개수의 버퍼액 챔버(24~29)를 구비하고, 각각의 버퍼액 챔버(24~29)에 개별적으로 구동되는 출구 밸브(241, 251, 261, 271, 281, 291)를 구비할 수 있다. 이러한 출구 밸브로는 상기 도 1의 실시예에서와 마찬가지로 외부에너지원에 의해 개별적으로 구동되는 상전이 밸브(열림 밸브) 뿐만 아니라 서로 다른 회전수 조건에서 개방되는 모세관 밸브, 소수성 밸브 등 다양한 밸브들이 채용될 수 있다.

[0073] 도 6은 본 발명에 따른 연속회석을 위한 원심력 기반의 미세유동장치의 또 다른 실시예를 도시한 평면도이다. 본 실시예는 상기 도 5의 실시예와 비교하여, 혼합 챔버(50)와 다수의 회석 용액 챔버(61~66)들을 각각 연결하는 다수의 유로에서 유체의 흐름을 제어하는 밸브의 종류 및 그 배치에 차이점이 있다. 본 실시예에 따르면, 혼합 챔버(50)의 양 중간 배출구에 직접 연결된 채널(46)에 각각 하나씩의 개폐형 밸브(601, 602)를 배치하고, 상기 채널(46)에서 상기 개폐형 밸브(601, 602)보다 하류로부터 갈라진 다수의 분기 채널(461~466)에 각각 개별적으로 구동되는 단힘 밸브(612, 622, 632, 642, 652, 662)를 배치할 수 있다. 상기 개폐형 밸브(601, 602)는 적어도 3회씩 개방과 폐쇄를 반복할 수 있는 것이 바람직하다. 반복적으로 작동될 수 있는 상기 개폐형 밸브(601, 602)와 상기 다수의 단힘 밸브(612, 622, 632, 642, 652, 662)의 조합에 의해 상기 혼합 챔버(50)와 다수의 회석 용액 챔버(61~66)를 연결하는 각각의 유로들을 개별적으로 열고 닫을 수 있다. 도 7은 상기 도 1 및 도 4 내지 도 6의 미세유동장치에 채용된 열림 밸브를 보이는 평면도이고, 도 8a 내지 도 8b는 상기 도 7의 열림 밸브의 작동 모습을 보이는 단면도이다. 열림 밸브(631)는 상온에서 고체 상태인 밸브 물질로 만들어진 밸브 플러그(83)를 포함한다. 상기 밸브 물질로는 상온에서 고체 상태인 상전이 물질로 이루어진 분산매에 발열 입자가 분산되어 있는 재료를 사용할 수 있다. 상기 고체 상태의 상기 밸브 플러그(83)가 배치된 초기 위치에 인접한 상기 채널(43)의 상류 및 하류에는 그 폭 또는 깊이가 확장되어 여유 공간을 제공하는 한 쌍의 드레인 챔버(82)가 배치된다.

[0074] 상기 밸브 플러그(83)는 상온에서 개구부(83A)를 중심으로 채널(43)의 소정 부분을 빈틈없이 막아 입구(I) 측으로부터 유입되는 유체(F)의 흐름을 차단한다. 상기 밸브 플러그(83)는 고온에서 용융되어 상기 채널(43)의 상, 하류 측에 인접하게 배치된 상기 드레인 챔버(82)로 이동하여, 유체(F)의 유로를 개방한 채로 다시 응고(83' 참고)된다. 상기 개구부(83A)는 미세유동장치 제작시에 용융된 밸브 물질을 투입하여 밸브 플러그를 형성할 수 있는 주입구 역할도 수행한다.

[0075] 상기 밸브 플러그(83)에 열을 가하기 위해서 상기 미세유동장치(100) 외부에는 외부에너지원(도 16의 130L 참고)이 배치되고, 상기 외부에너지원(130L)이 상기 밸브 플러그(83)의 초기 위치 즉, 상기 개구부(83A)와 그 주변을 포함하는 영역에 전자기파를 조사한다. 이때, 상기 외부에너지원(130L)은 예를 들면, 레이저 빔을 조사하는 레이저 광원일 수 있고, 그 경우 적어도 하나의 레이저 다이오드(laser diode)를 포함할 수 있다. 상기 레이저 광원은 펄스 레이저를 조사하는 경우 1 mJ/pulse 이상의 에너지를 갖는 펄스 레이저를, 연속파동 레이저를 조사하는 경우 10 mW 이상의 출력을 갖는 연속파동 레이저를 조사할 수 있다.

[0076] 아래에서 도 11 내지 도 14를 참조하여 설명한 실험에서는 808 nm 파장의 레이저를 조사하는 레이저 광원을 사용하였으나, 반드시 이 파장의 레이저 빔을 조사하는 것에 한정되는 것은 아니며, 400 내지 1300 nm의 파장을 갖는 레이저를 조사하는 레이저 광원이면, 상기 미세유동시스템의 외부에너지원(130L)으로 채용될 수 있다.

[0077] 전술한 채널(43)은 디스크형 플랫폼(10)을 이루는 상판(12) 또는 하판(11) 내면에 형성된 입체 패턴에 의해 제공될 수 있다. 상기 상판(12)은 외부에너지원에서 조사된 전자기파가 상기 밸브 플러그(83)에 입사할 수 있도록 투과시키고, 외부에서 유체(F)의 흐름을 관측할 수 있도록 할 수 있는, 광학적으로 투명한 재료로 만들어진 것이 바람직하다. 그 예로서, 유리 또는 투명 플라스틱 소재는 광학적 투명성이 우수하고, 제조 비용이 저렴하다는 면에서 유리하다.

[0078] 상기 밸브 플러그(83)에 분산된 발열 입자는 수천 마이크로미터(μm) 폭을 갖는 채널(43) 내에서 자유롭게 유동

가능하도록 1 nm 내지 100 μm 의 직경을 갖는 것일 수 있다. 상기 발열 입자는 레이저가 조사되면 그 복사 에너지에 의해 온도가 급격히 상승하여 발열하는 성질을 가지며, 왁스에 고르게 분산되는 성질을 갖는다. 이러한 성질을 갖도록 상기 발열 입자는 금속 성분을 포함하는 코어(core)와, 소수성(疏水性)을 띤 셸(shell)을 포함하는 구조를 가질 수 있다. 예컨대, 상기 발열 입자는 강자성 물질인 Fe로 이루어진 코어와, 상기 Fe에 결합되어 Fe를 감싸는 복수의 계면활성성분(surfactant)으로 이루어진 셸을 구비한 구조를 가질 수 있다. 통상적으로, 상기 발열 입자들은 캐리어 오일(carrier oil)에 분산된 상태로 보관된다. 소수성 표면구조를 갖는 상기 발열 입자가 고르게 분산될 수 있도록 캐리어 오일도 소수성인 것이 바람직하다. 왁스에 상기 발열 입자들이 분산된 캐리어 오일을 부어 혼합함으로써 상기 밸브 플러그(83)의 소재를 제조할 수 있다. 상기 발열 입자의 입자 형태는 상기 예로써 든 형태에 한정되는 것은 아니며, 중합체 비드, 퀀텀 닷(quantum dots), 금 나노입자(Au nanoparticles), 은 나노입자(Ag nanoparticles), 금속화합물 비드(beads with metal composition), 탄소입자(carbon particles) 또는 자성비드(magnetic bead)일 수도 있다. 상기 탄소입자에는 흑연(graphite)입자도 포함된다.

[0079] 상기 밸브 플러그(83)를 이루는 상전이 물질은 왁스(wax)일 수 있다. 상기 발열 입자들이 흡수한 전자기파의 에너지를 열에너지의 형태로 주위에 전달하면 왁스는 이로 인해 용융되어 유동성을 가지게 되며, 이로써 플러그(83)가 붕괴되고 유체(F)의 유로가 개방된다. 상기 플러그(83)를 구성하는 왁스는 적당한 녹는점을 가지는 것이 바람직하다. 녹는점이 너무 높으면 레이저 조사를 시작한 후 용융될 때까지 시간이 오래 소요되어 개방 시점의 정밀한 제어가 어려워지고, 반대로 녹는점이 너무 낮으면 레이저가 조사되지 않은 상태에서 부분적으로 용융되어 유체(F)이 누출될 수도 있기 때문이다. 상기 왁스로는, 예컨대 파라핀 왁스(paraffin wax), 마이크로크리스탈린 왁스(microcrystalline wax), 합성 왁스(synthetic wax), 또는 천연 왁스(natural wax) 등이 채용될 수 있다.

[0080] 한편, 상기 상전이 물질은 겔(gel) 또는 열가소성 수지일 수도 있다. 상기 겔로는, 폴리아크릴아미드(polyacrylamide), 폴리아크릴레이트(polyacrylates), 폴리메타크릴레이트(polymethacrylates), 또는 폴리비닐아미드(polyvinylamides) 등이 채용될 수 있다. 또한, 상기 열가소성 수지로는, COC, PMMA, PC, PS, POM, PFA, PVC, PP, PET, PEEK, PA, PSU, 또는 PVDF 등이 채용될 수 있다.

[0081] 도 9는 상기 도 1 및 도 4 내지 도 6의 미세유동장치에 채용된 닫힘 밸브를 보이는 평면도이고, 도 10은 상기 도 9의 닫힘 밸브의 작동 모습을 보이는 단면도이다.

[0082] 상기 닫힘 밸브(632)는 입구(I)와 출구(O)를 가지는 채널(433)과 상기 채널(433)의 중간에 연결된 밸브 물질 콘테이너(85), 그리고 상온인 초기에는 고체 상태로서 상기 밸브 물질 콘테이너(85) 내에 충전되어 있다가 가열되면 용융 및 팽창되면서 밸브 연결로(86)를 통해 상기 채널(433)로 유입되고 다시 응고되면서 상기 채널(433)을 차단하는 밸브 물질(V)을 포함한다.

[0083] 상기 닫힘 밸브(632) 또한 전술한 열림 밸브(631)와 마찬가지로, 미세유동장치(100)의 플랫폼(10)을 이루는 상판(12) 또는 하판(11) 내면에 형성된 입체 패턴에 의해 제공될 수 있다. 상기 상판(12)은 외부에너지원에서 조사된 전자기파를 투과시킬 수 있고, 외부에서 유체(F)를 관측할 수 있도록 할 수 있는, 광학적으로 투명한 재료로 만들어진 것이 바람직하다. 아울러, 상기 상판(12)은 상기 전자기파(예를 들면, 레이저 빔)가 상기 밸브 물질(V)에 더 잘 입사할 수 있도록 상기 밸브 물질 콘테이너(85)에 대응되는 개구부(85A)를 가질 수도 있다. 상기 개구부(85A)는 미세유동장치 제작시에 용융된 밸브 물질을 투입하는 주입구 역할도 수행한다.

[0084] 상기 밸브 물질(V)을 이루는 상전이 물질(P)과 발열 입자(M)에 관한 사항은 앞서 열림 밸브(631)의 예를 통해 설명한 바와 같다. 또한, 상기 밸브 물질(V)에 전자기파를 제공하는 외부에너지원에 관한 사항도 앞서 설명한 바와 같다.

[0085] 밸브 물질 콘테이너(85) 내에 응고되어 있는 밸브 물질(V)에 레이저 빔이 조사되면 상기 발열 입자(M)가 에너지를 흡수하여 상기 상전이 물질(P)을 가열시킨다. 이로 인해 상기 밸브 물질(V)은 용융되면서 부피가 팽창하고, 밸브 연결로(86)를 통해 상기 채널(433)로 유입된다. 상기 채널(433) 내에서 유체(F)와 접촉하면서 다시 응고된 밸브 물질(V)은 상기 채널(433)을 통한 유체(L)의 흐름을 차단한다.

[0086] 전술한 열림 및 닫힘 밸브의 반응 시간을 측정한 실험의 결과는 다음과 같다. 실험을 위한 테스트 칩에서 작동 유체의 압력은 46kPa로 유지하였다. 압력 유지를 위해 시린지 펌프(Havard PHD2000, USA)와 압력 센서(MPX 5500DP, Freescale semiconductor Inc., AZ, USA)를 사용하였다. 상기 밸브에 전자기파를 조사하는 외부에너지원으로는 방출파장이 808nm이고, 출력이 1.5W인 레이저 광원을 사용하였다. 밸브의 반응 시간에 관한 데이터는

고속촬영 장치(Fastcam-1024, Photron, CA, USA)의 결과물 분석을 통해 얻었다. 상기 밸브 플러그로는 발열 입자인 평균 직경 10nm의 자성비드가 캐리어 오일에 분산된 이른바 자성유체(ferrofluid)와 파라핀 왁스가 1 대 1의 비율로 혼합된, 즉 자성유체의 부피비가 50%인 이른바 자성 왁스를 사용하였다.

[0087] 도 11은 상기 도 7의 열림 밸브의 작동 모습을 보이는 일련의 고속촬영 사진들이다. 상기 열림 밸브의 밸브 플러그에 레이저 빔을 조사하기 시작한 때로부터 상기 밸브 플러그가 용융되어 채널이 열릴 때까지의 반응 시간은 0.012초였다.

[0088] 도 12는 상기 도 9의 닫힘 밸브의 작동 모습을 보이는 일련의 고속촬영 사진들이다. 상기 닫힘 밸브의 밸브 물질 콘테이너에 레이저 빔을 조사하기 시작한 때로부터 상기 밸브 물질이 용융 및 팽창되어 채널을 닫을 때까지의 반응 시간은 0.444초였다. 종래의 왁스 밸브의 반응 시간이 2 내지 10초였던 점에 비교하면 월등히 빠른 반응임을 알 수 있다.

[0089] 도 13은 상기 도 7의 열림 밸브에서 밸브 플러그에 포함된 자성유체의 부피비와 밸브 반응시간의 관계를 보이는 그래프이다. 대체로 자성유체의 부피비(volume fraction)가 커지면서 반응 시간이 짧아지는 추이를 보인다. 그러나, 이와 별개로 자성유체의 부피비가 70% 이상으로 커지면 밸브 플러그의 최대 허용압력(maximum hold-up pressure)이 낮아지는 경향이 있다. 따라서, 상기 밸브 유닛에서 밸브 플러그에 포함될 자성유체의 부피비는 반응 시간에 대한 요구와 최대 허용압력에 대한 요구의 절충에 의해 정해질 수 있다.

[0090] 도 14는 상기 도 7의 열림 밸브에서 외부에너지원으로 사용된 레이저 광원의 파워와 밸브 반응시간의 관계를 보이는 그래프이다. 출력이 높아질수록 반응 시간이 짧아지는 추이를 보인다. 그런데, 레이저 광원의 출력이 1.5W에 근접하면 반응 시간의 변화가 완만해지고, (그래프에 표시되지는 않았으나) 1.5W를 넘어서면 소정의 최소 반응으로 수렴한다. 파라핀 왁스를 통한 열 전도율의 제약이 따르기 때문이다. 상기 실험에서는 이와 같은 이유로 출력이 1.5W인 레이저 광원을 사용하였다. 그러나, 본 발명의 외부에너지원이 여기에 한정되는 것은 아니다.

[0091] 도 15a 내지 도 15f는 상기 도 4 및 도 6의 미세유동장치에 채용된 개폐형 밸브의 작동 과정을 순차적으로 도시한 사시도이다.

[0092] 도 15a 내지 도 15f를 참조하면, 상기 도 4 및 도 6의 미세유동장치에 채용된 개폐형 밸브(601, 등)는 외부에너지원에 의해 개별적으로 구동되는 상전이 밸브의 일 예로서, 밸브 물질 콘테이너(95)와, 상기 밸브 물질 콘테이너(95)에 주입되는 밸브 물질(V)과, 유체(F)의 유로를 형성하는 채널(46)과 상기 밸브 물질 콘테이너(95)를 연결하는 밸브 연결로(96)와, 상기 채널(46) 상에서 상기 밸브 연결로(96)의 양 측에 각각 마련된 한 쌍의 드레인 챔버(drain chamber, 92)를 포함한다. 또한, 상기 밸브 물질(V)에 에너지를 공급하기 위한 에너지원의 일 예로서, 레이저 광원(130)을 포함한다. 상기 레이저 광원(130)은 전자기파의 일종인 레이저(L)를 조사하지만, 본 발명의 에너지원은 레이저 광원(130)에 한하지 않으며 적외선(IR)을 조사(照射)하거나, 고온 가스를 분사(噴射)하여 밸브 물질(V)에 에너지를 공급하는 것일 수도 있다.

[0093] 상기 밸브 물질 콘테이너(95)와, 채널(46)과, 밸브 연결로(96)와, 드레인 챔버(92)는 서로 접합(bonding)된 상판(12) 및 하판(11)을 포함하여 이루어진 디스크형 플랫폼(10)에 형성될 수 있다. 상판(12)과 하판(11)의 접합 방법은 접착제나 양면 접착 테이프를 이용할 수도 있고, 초음파 용착에 의할 수도 있다. 구체적으로, 상기 하판(11)에 밸브 물질 콘테이너(95), 채널(46), 밸브 연결로(96) 및, 한 쌍의 드레인 챔버(92)가 음각 패턴으로 형성되고, 상기 상판(12)에는 밸브 물질 콘테이너(95)에 밸브 물질(V)을 주입하기 위한 개구부(95A)가 형성되어 있다. 상기 채널(46)과 밸브 연결로(96)는 폭이 대략 1mm, 깊이가 대략 0.1mm 정도의 미세 채널이다. 상기 드레인 챔버(92)는 대략 3mm 정도의 깊이를 갖도록 형성되며, 상기 밸브 물질 콘테이너(95)는 드레인 챔버(92)보다 낮은 깊이, 예컨대 1mm 정도의 깊이를 갖도록 형성될 수 있다.

[0094] 도 15a에 도시된 바와 같이 밸브 물질 콘테이너(95)에 주입되어 경화(硬化)된 밸브 물질(V)에 레이저 광원(130)을 이용하여 잠시 동안 레이저빔(L)을 조사하면 상기 밸브 물질(V)이 폭발적으로 용융 팽창하여 밸브 연결로(96)를 통해 채널(46)로 유입된다. 도 15b에 도시된 바와 같이 상기 채널(46)로 유입된 밸브 물질(V)은 모세관 현상에 의해 진행하며 일부가 한 쌍의 드레인 챔버(92)에 수용되고, 나머지는 상기 한 쌍의 드레인 챔버(92) 사이의 채널(46) 내에 남겨져 경화됨으로써 채널(46)을 폐쇄하는 밸브 플러그를 형성한다. 따라서, 유체(F)는 채널(46)을 따라 흐를 수 없는 상태가 된다.

[0095] 도 15c에 도시된 바와 같이 한 쌍의 드레인 챔버(92) 사이에서 경화된 밸브 물질(V)에 레이저 광원(130)을 이용하여 다시 잠시 동안 레이저빔(L)을 조사하면, 경화되었던 밸브 물질(V)이 다시 폭발적으로 용융 팽창하여 한 쌍의 드레인 챔버(92)에 수용됨으로써 도 15d에 도시된 바와 같이 채널(46)이 다시 개방되고, 유체(F)가 채널

(46)을 따라 흐를 수 있는 상태가 된다.

[0096] 다시 도 15e에 도시된 바와 같이 밸브 물질 콘테이너(95)와 밸브 연결로(96)에 남아있는 밸브 물질(V)에 레이저 광원(130)을 이용하여 잠시 동안 레이저빔(L)을 조사하면, 경화되었던 밸브 물질(V)이 다시 폭발적으로 용융 팽창하여 채널(46)로 유입되고, 도 15f에 도시된 바와 같이 드레인 챔버(92)에 수용되지 않고 채널(46) 상에 남겨져 경화된 밸브 물질(V)이 다시 채널(46)을 폐쇄한다. 이처럼 밸브 물질(V)이 대부분 드레인 챔버(92)에 수용될 때까지 레이저빔(L)의 조사를 반복적으로 수행하여 채널(46)을 반복적으로 개폐할 수 있다.

[0097] 도 16은 상기 도 1 또는 도 4 내지 도 6 중 어느 하나의 미세유동장치를 포함하는 미세유동시스템의 일 실시예를 보이는 사시도이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 미세유동시스템은 전술한 본 발명의 미세유동장치(100)를 포함한다. 본 실시예에 따른 미세유동시스템은 전술한 개별 구동 방식의 상전이 밸브(211, 221~223, 231~233, 601, 602, 611, 612, 613, 등)에 소정의 전자기파를 조사하여 에너지를 공급하는 외부에너지원(130L)을 포함한다. 상기 외부에너지원(130L)은 마이크로웨이브, 적외선, 가시광선, 자외선 및 X-선 등 다양한 파장의 전자기파 중에서 선택된 소정 파장대의 전자기파를 조사할 수 있는 장치일 수 있다. 또한, 이러한 전자기파를 근거리의 표적에 집중적으로 조사할 수 있는 장치이면 더 바람직하다. 상기 외부에너지원(130L)의 파장은 상기 밸브 물질(V)에 포함된 발열 입자(M)에 의해 흡수가 잘 되는 범위인 것이 바람직하다. 따라서, 상기 외부에너지원(130L)에서 전자기파를 발생시키는 소자는 발열 입자(M)의 소재 및 표면 조건에 따라 적절히 선택될 수 있다. 상기 외부에너지원(130L)은 예를 들면, 레이저 빔을 조사하는 레이저 광원일 수 있고, 그 경우 적어도 하나의 레이저 다이오드(laser diode)를 포함할 수 있다. 레이저 빔의 파장과 출력 등 세부적인 사항은 주 사용 대상인 미세유동장치(100)의 상전이 밸브에 포함된 발열 입자의 종류에 따라서 정해질 수 있다.

[0098] 상기 미세유동시스템은 상기 외부에너지원(130L)의 위치 또는 방향을 조정하여, 이로부터 조사된 전자기파가 상기 미세유동장치(100) 중의 원하는 영역에, 구체적으로는 상기 미세유동장치(100)에 포함된 다수의 상전이 밸브들 중 선택된 어느 하나에 해당하는 영역에 집중적으로 도달할 수 있도록 하는 외부에너지원 조정수단(미도시)을 포함한다. 상기 도 16의 미세유동시스템에서 외부에너지원 조정수단(미도시)은 미세유동장치(100)의 플랫폼(10)을 향해 설치된 상기 외부에너지원(130L)을 그 위에 표시된 화살표 방향, 즉 플랫폼(10)의 반지름 방향으로 움직일 수 있다. 상기 외부에너지원(130L)을 직선 이동시키는 메커니즘은 다양하게 제공될 수 있으며, 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이므로 본 명세서에서는 그에 대한 설명을 생략한다.

[0099] 한편, 상기 미세유동시스템은 상기 플랫폼(10)을 구동하는 회전 구동부(140)를 포함한다. 도면에 도시된 회전 구동부(140)는 상기 플랫폼(10)을 안착시키고, 회전력을 전달하기 위한 일 부분이고, 도면에 도시되지는 않았지만, 상기 플랫폼(10)을 원하는 속도로 또는 원하는 각도만큼 회전시킬 수 있는 모터 및 그와 관련된 부품들을 포함할 수 있다. 상기 외부에너지원 조정수단(미도시)과 마찬가지로 상기 회전 구동부(140)에 대한 구체적인 구성의 예는 본 명세서에서 생략하기로 한다. 상기 도 16의 미세유동시스템에서 상기 외부에너지원(130L)은 상기 외부에너지원 조정수단(미도시)과 상기 회전 구동부(140)의 도움으로 전자기파를 상기 미세유동장치(100) 중의 선택된 영역에 집중적으로 조사할 수 있다.

[0100] 한편, 본 발명에 따른 미세유동시스템은 상기 미세유동장치(100)를 이용한 연속회석의 결과물인 회석 용액의 농도 또는 회석 용액을 이용한 다양한 실험의 결과를 광학적으로 관측할 수 있는 광검출부(150)를 더 구비할 수 있다. 예를 들어, 염색된 세포 용액의 연속회석 시에 상기 광검출부(150)를 이용하여 각 회석 용액 챔버(61~67)를 관측함으로써 회석된 세포 용액의 농도를 검증할 수도 있다.

[0101] 도 17은 상기 도 1 또는 도 4 내지 도 6 중 어느 하나의 미세유동장치를 포함하는 미세유동시스템의 다른 실시예를 보이는 사시도이다. 본 실시예에 따른 미세유동시스템에서, 미세유동장치(100)와 회전 구동부(140) 및 외부에너지원(130P) 자체에 관한 사항은 앞서 설명한 도 16의 실시예와 같다. 다만, 본 실시예에 따른 미세유동시스템의 경우, 외부에너지원 조정수단(미도시)은 플랫폼(10)을 향해 설치된 상기 외부에너지원(130P)을 상기 플랫폼(10)과 평행한 평면상에서 서로 직교하는 두 방향(예를 들면, 도면상의 x축과 y축 방향, 화살표 참조)으로 이동시켜 상기 플랫폼(10) 상의 목표 지점에 전자기파가 도달하도록 하는 평면 이동수단을 포함할 수 있다.

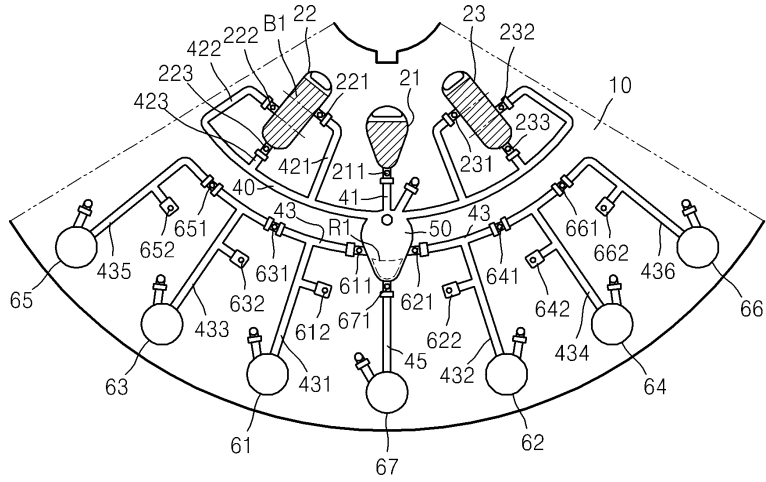
[0102] 또한, 도면에 도시되지는 않았으나, 외부에너지원 조정수단은 상기 플랫폼(10) 위쪽의 어느 한 지점에 그 위치가 고정된 외부에너지원의 방향을 변화시켜 방출된 전자기파가 목표 지점에 도달하도록 구성될 수도 있다.

[0103] 이상에서 본 발명에 따른 바람직한 실시예가 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

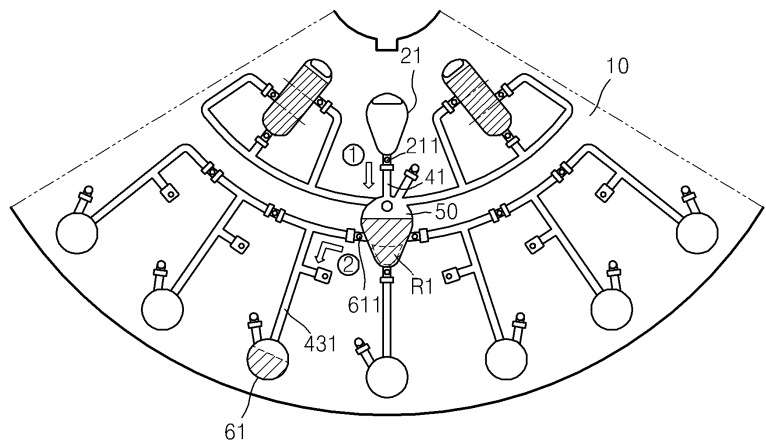
- [0027] 211, 43~83, 631~233, 671: 출구 밸브
- [0028] 431~436, 441~446, 461~466: 분기 채널
- [0029] 601, 602, 613, 623, 633, 643, 653, 663: 개폐형 밸브
- [0030] 611, 621, 631, 641, 651, 661: 열림 밸브
- [0031] 612, 622, 632, 642, 652, 662: 닫힘 밸브

도면

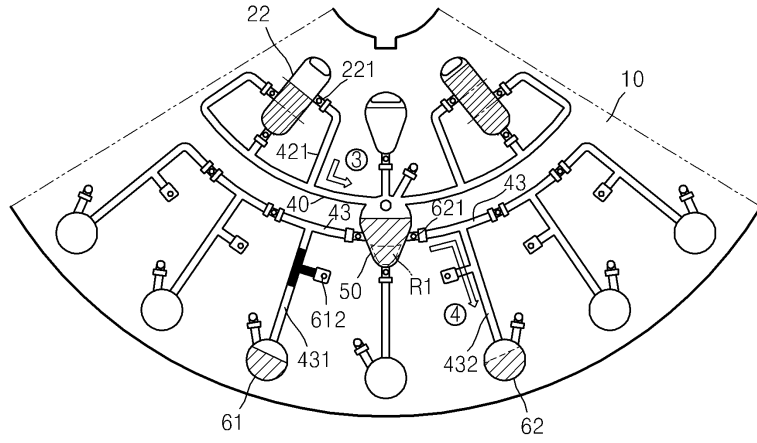
도면1



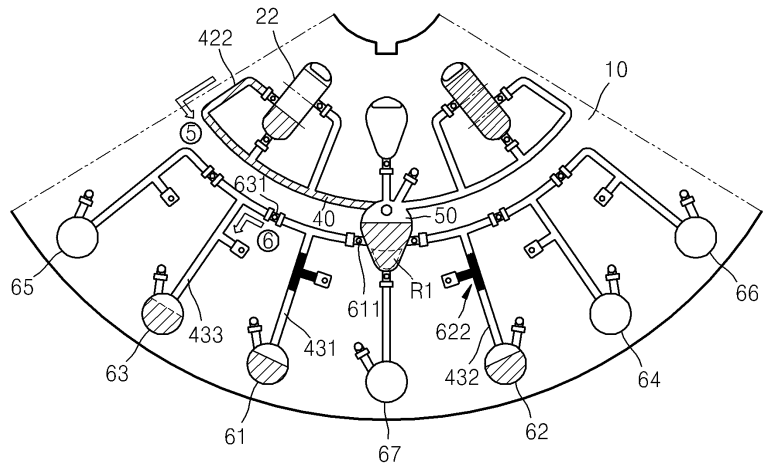
도면2a



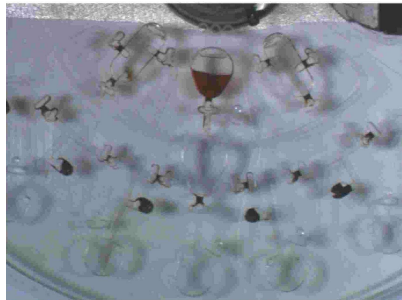
도면2b



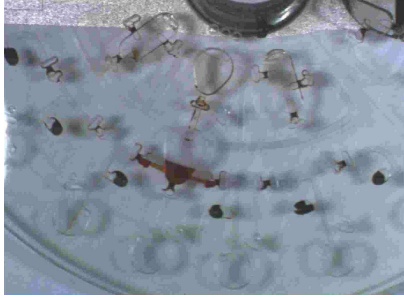
도면2c



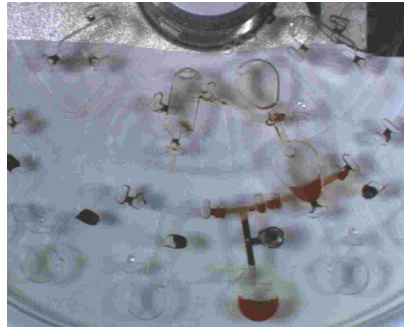
도면3a



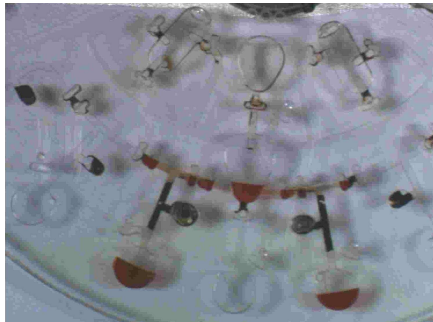
도면3b



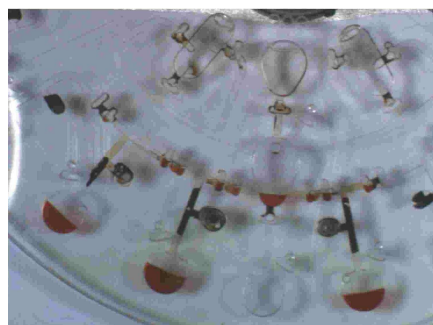
도면3c



도면3d



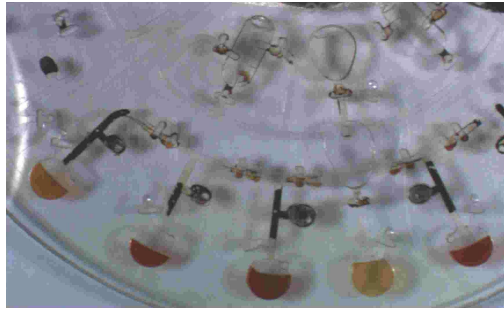
도면3e



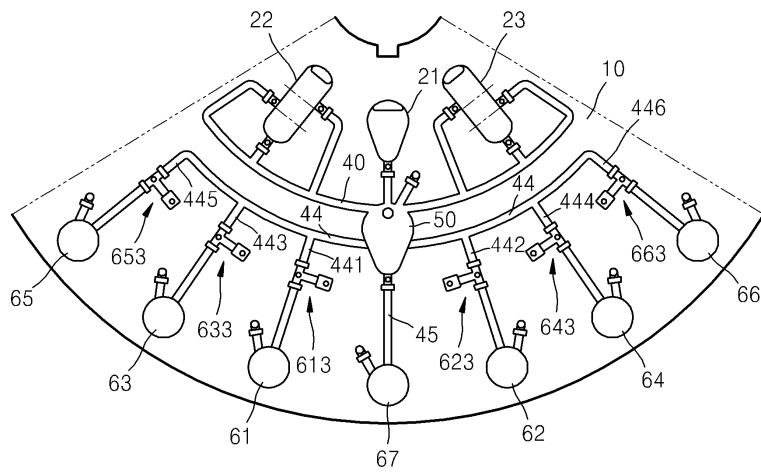
도면3f



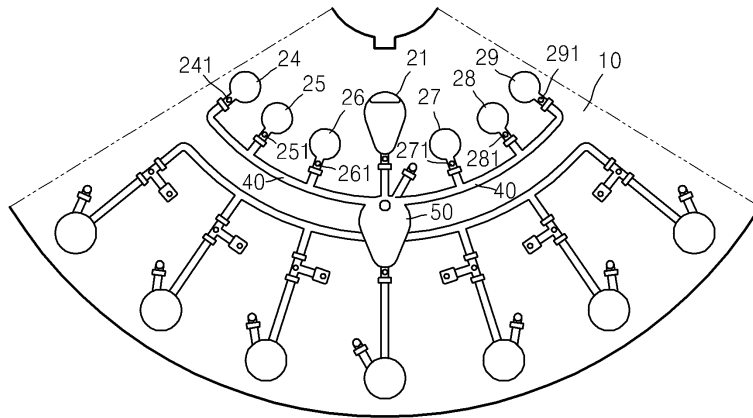
도면3g



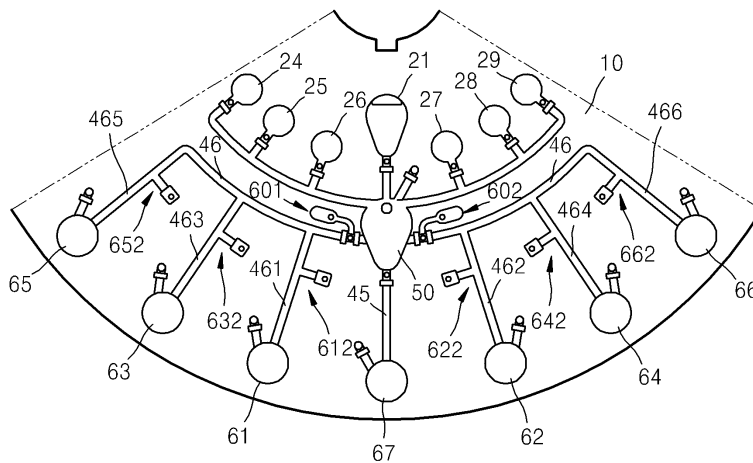
도면4



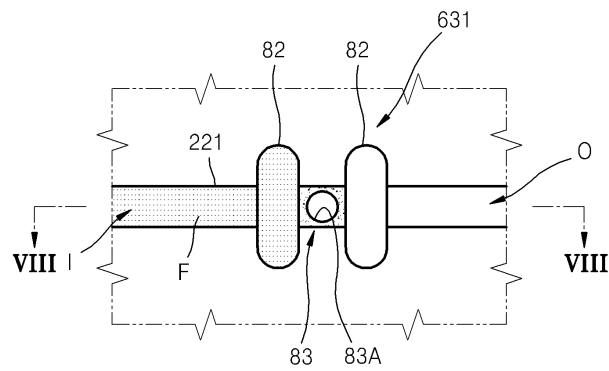
도면5



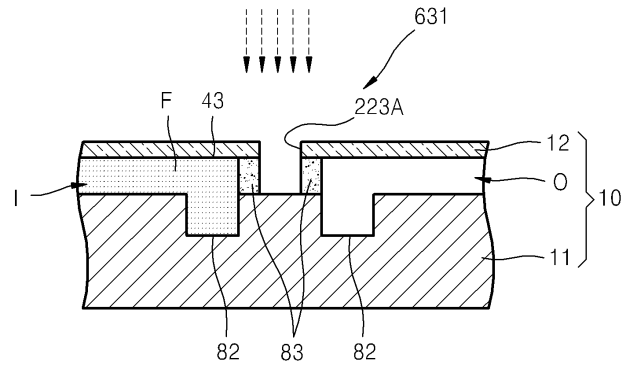
도면6



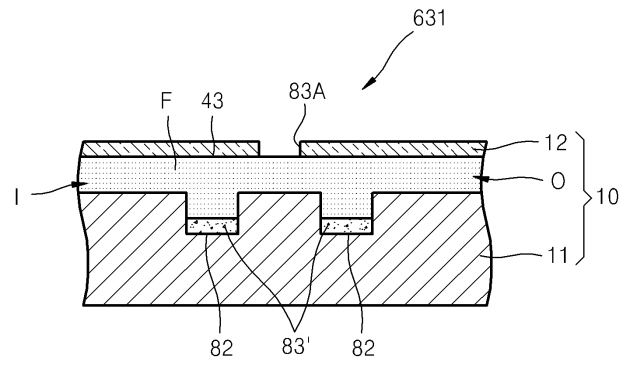
도면7



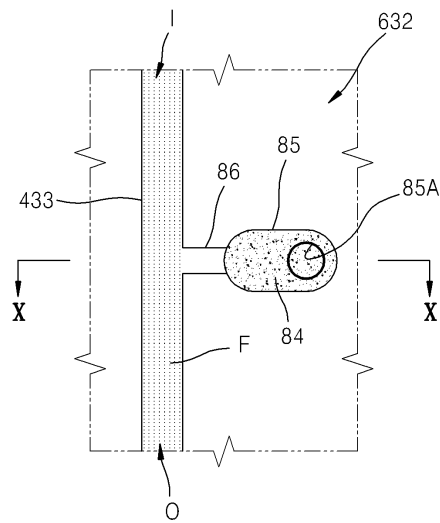
도면8a



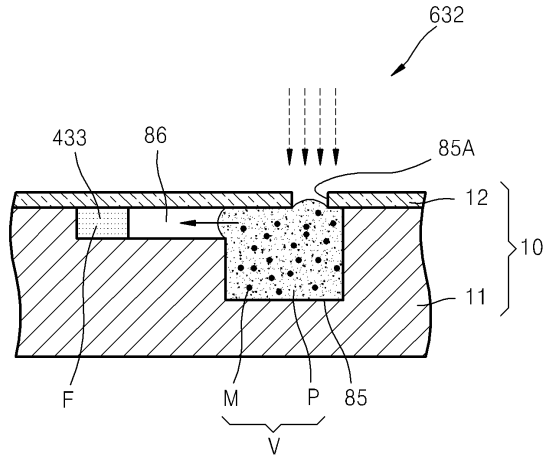
도면8b



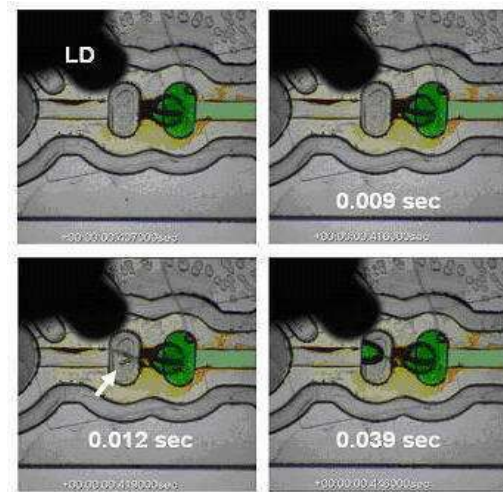
도면9



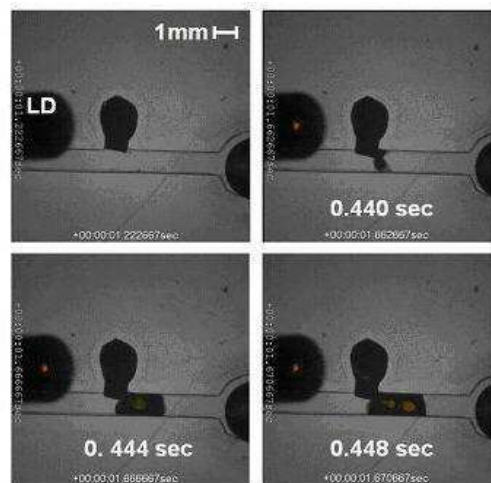
도면10



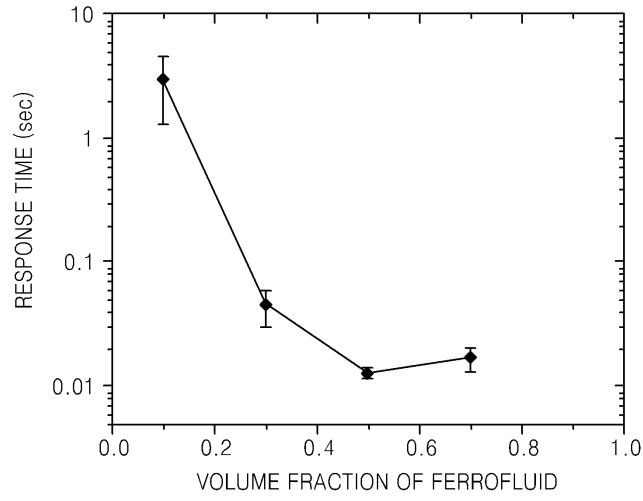
도면11



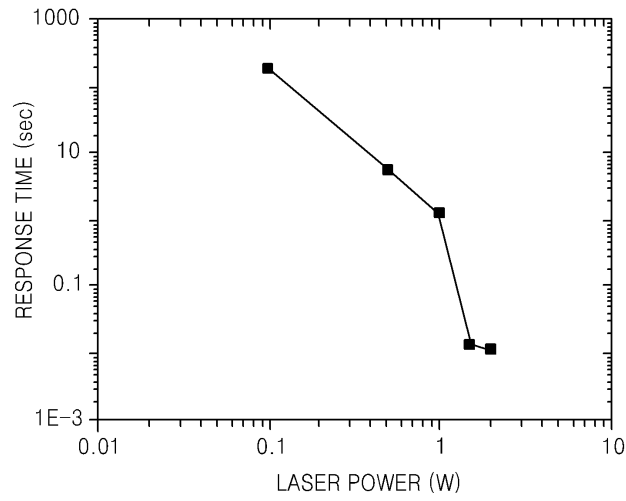
도면12



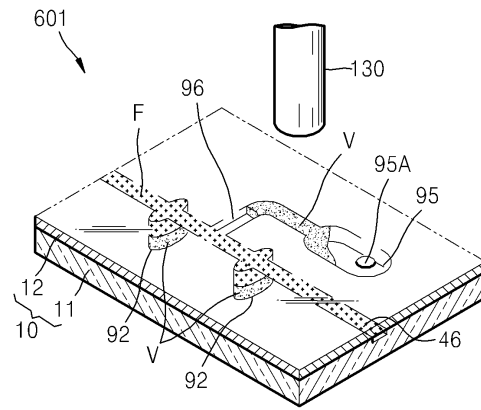
도면13



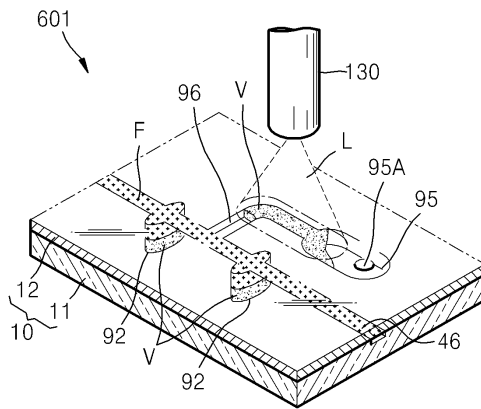
도면14



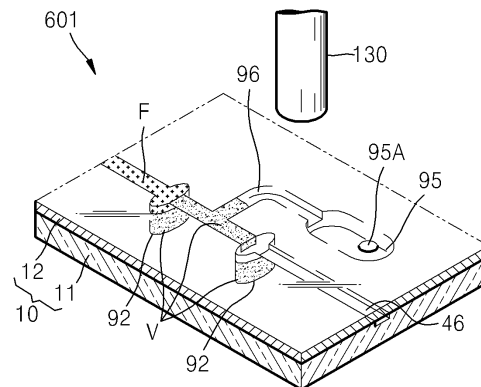
도면15d



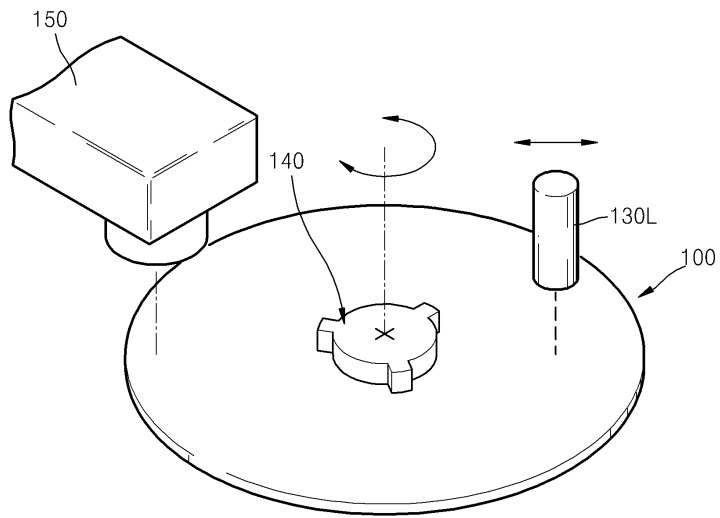
도면15e



도면15f



도면16



도면17

