(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0156554
(43) 공개일자 2023년11월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01L 3/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
B01L 3/502723 (2013.01)
B01L 2200/0684 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0056096
(22) 출원일자 2022년05월06일
심사청구일자 2022년05월06일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
이창수
대전광역시 유성구 대학로 99, 충남대학교 공과대학 1호관 258호(궁동)
손희성
대전광역시 중구 목동로 37, 109동 102호(목동, 목양마을아파트)
(74) 대리인
김원준

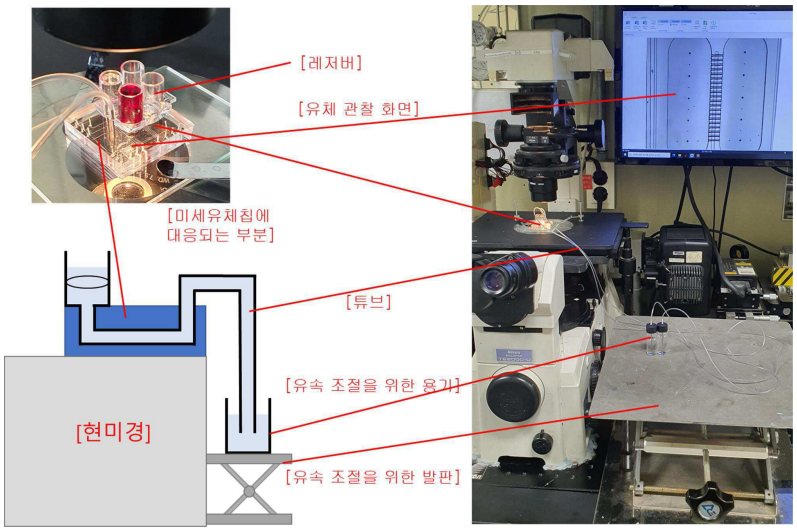
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **미세유체 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 미세유체의 유속을 간편하고 정밀하게 제어하는 미세유체 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하나 또는 복수개의 유체 레저버; 상기 유체 레저버와 연통되는 하나 또는 복수개의 미세유로 유출구를 가지는 미세유체칩; 상기 미세유로 유출구에 일대일로 연결된 하나 또는 복수개의 배출튜브; 및 상기 하나 또는 복수개 배출튜브의 출구측 말단높이를 조절하는 승하강수단;을 포함하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템에 관한 것이다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
B01L 2200/16 (2013.01)
B01L 2400/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711137700
과제번호 2021R1A5A8032895
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원(R&D)
연구과제명 생체시계 기반 항노화 융합연구 센터
기 여 율 30/100
과제수행기관명 고려대학교세종캠퍼스
연구기간 2021.06.01 ~ 2028.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711156820
과제번호 2021R1A2C3004936
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 노화기전 분석/ 제어를 위한 고속 단일세포 스크리닝 및 생체분자구조 분석 시스템
기 여 율 40/100
과제수행기관명 충남대학교
연구기간 2021.03.01 ~ 2026.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 9991006746
과제번호 202011D10-01
부처명 다부처
과제관리(전문)기관명 (재단)범부처전주기의료기기연구개발사업단
연구사업명 범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)
연구과제명 (주관)병원균 진단 및 약제 내성 동시 검사용 현장 진단 플랫폼 개발
기 여 율 30/100
과제수행기관명 충남대학교산학협력단
연구기간 2020.09.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 또는 복수개의 유체 레저버;

상기 유체 레저버와 연통되는 하나 또는 복수개의 미세유로 유출구를 가지는 미세유체칩;

상기 미세유로 유출구에 일대일로 연결된 하나 또는 복수개의 배출튜브; 및

상기 하나 또는 복수개 배출튜브의 출구측 말단높이를 조절하는 승하강수단;을 포함하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 승하강수단은,

상기 하나 또는 복수개 배출튜브 전체의 출구측 말단높이를 조절하는 것을 특징으로 하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 승하강수단은,

상기 하나 또는 복수개 배출튜브 각각의 출구측 말단높이를 조절하도록 하나 또는 복수개 설치되는 것을 특징으로 하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템.

청구항 4

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 승하강수단은,

배출튜브로 배출되는 미세유체의 종류 및 배출튜브의 규격에 따라 사전에 정의된 높이와 유속의 상관관계에 의해 제어되는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템.

청구항 5

승하강수단을 제어하여 청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 의한 미세유체 시스템의 개별 미세유체 유속을 제어하는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 미세유체의 유속을 간편하고 정밀하게 제어하는 미세유체 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 미세유체 시스템(microfluidic system)은 소량의 시료와 시약만을 사용, 반응시간의 단축, 다양한 조건의 실험을 하나의 칩에서 한 번에 수행함으로써 고효율적인 스크리닝(high-throughput screening)이 가능하기 때문에 적은 시약과 에너지 소비, 높은 휴대성과 신속성, 우수한 해상도와 민감도 등의 장점을 가지고 있다.

[0003] 미세유체 시스템에서 원하는 결과 획득을 위해서는 사용되는 미세유체의 유속(즉, 단위시간당 첨가량)을 정교하게 제어하는 것이 필수적인데, 미세유체 시스템에서의 미세유체의 수송은 통계적 수송(statistical transport)과 유도 수송(directed transport)의 두 가지 방식으로 이루어지고 있다. 통계적 수송은 농도구배에 의한 확산 기작으로 유체가 이동되는 것인데 초기(유입구에서)의 유체 농도가 확정되어 있는 것이 일반적이어서 이에 의한 미세유체 유속 제어는 실질적으로 매우 어렵다. 유도 수송은 유체에 일(work)을 가하여 유체를 이동시키는 것으로, 대부분의 미세유체시스템에서는 압력조절 방식으로 유속을 조절하고 있다.

[0004] US 2019/0064158(Microfluidic device, system and method)에서는 모세관 힘과 기액계면상에 작용하는 가스압을 활용하여 유체의 유속을 제어하고 있으며, CN 103667057(미세 흐름 제어 칩에 기초한 세포가 창후 세포 마이그레이션 생물학적 행동을 모니터링하는 방법)에서는 레저버에 미세유체를 첨가하여 액면 압력차를 발생시킴으로써 미세유체의 유속을 제어한다. CN 110479391(고체 추적 식각 나노홀에 기초한 저전압 고성능 전기침투 마이크로 펌프 칩)에서는 고성능 전기 삼투 펌프를 이용하여 미세유체 유속을 제어하고 있다.

[0005] 이러한 압력조절방식에 의하면 고가의 정밀장비(전용 특수 밸브, 펌프 등)가 필요할 뿐 아니라 디바이스에 장착된 레저버가 강하게 본딩되어야 하는 단점이 있고, 미세유체의 유속제어가 '직감적으로' 이루어지기 어렵다.

[0006] 한편, 대기압을 이용해 높은 곳의 액체를 낮은 곳으로 이동시키는 사이펀(Siphon) 현상은 널리 알려져 있지만 현재까지 이러한 사이펀 현상을 미세유체 시스템에 적용하여 미세유체의 유속을 제어하는 사례는 제시된 바 없다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) US 2019/0064158

(특허문헌 0002) CN 103667057

(특허문헌 0003) CN 110479391

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 단순하고 경제적인 방법으로 미세유체의 유속을 미세하게 조절할 수 있는 시스템과 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명은

[0010] 하나 또는 복수개의 유체 레저버; 상기 유체 레저버와 연통되는 하나 또는 복수개의 미세유로 유출구를 가지는 미세유체칩; 상기 미세유로 유출구에 일대일로 연결된 하나 또는 복수개의 배출튜브; 및 상기 하나 또는 복수개 배출튜브의 출구측 말단높이를 조절하는 승하강수단;을 포함하는, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0011] 이상과 같이 본 발명에 의하면 미세유체칩의 유체 배출튜브의 출구측 높이를 조절하는 것을 통해 간편하고 단순한 방식으로 미세유체의 유속을 제어하게 된다.

[0012] 이러한 본 발명에 의하면 종래 압력조절방식에서 필요했던 고가의 정밀장비 대신에 미세유체 배출튜브의 높이를

조절하는 승하강장비를 활용하여 미세유체의 유속을 간편하게 제어할 수 있게 된다.

[0013] 본 발명에 의하면 단순하고 경제적인 방식으로 미세유체의 유속을 정교하게 제어할 수 있게 되므로 진단용 칩, 유기합성, 세포배양, 마이크로 반응기 등, 생물학에서부터 고분자, 화학 등에 이르기까지 다양한 분야의 화학/바이오 연구 및 의료 현장 등에서 미세유체 시스템의 실험적 또는 산업적 이용의 활성화에 기여하는 등 미세유체 시스템에 대한 접근성과 활용도를 대폭 증대시킬 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1a은 선행기술(A)과 본 발명(B)에 의한 유속제어 방식의 차이를 보여주는 개념도.

도 1b는 높이조절에 의해 유속이 제어될 수 있음을 보여주는 개념도.

도 2는 유체 유속 조절 실증을 위해 제작한 본 발명에 의한 미세유체 시스템의 사진과 개념도.

도 3a는 미세유체 유속측정을 위한 미세유체칩의 개념도.

도 3b는 본 발명에 의한 실시예에서 배출튜브 출구측 말단의 높이차이(ΔZ)에 따라 유속이 증가함을 보여주는 사진.

도 3c는 본 발명에 의한 실시예에서 배출튜브 출구측 말단의 높이차이(ΔZ)와 유속의 상관관계를 보여주는 도표.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하 첨부된 도면과 실시예를 들어 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 이러한 도면과 실시예는 본 발명의 기술적 사상의 내용과 범위를 쉽게 설명하기 위한 예시일 뿐, 이에 의해 본 발명의 기술적 범위가 한정되거나 변경되는 것은 아니다. 이러한 예시에 기초하여 본 발명의 기술적 사상의 범위 안에서 다양한 변형과 변경이 가능함은 당업자에게는 당연할 것이다.

[0016] 전술하였듯이 본 발명은, 미세유체 레저버, 미세유체칩 및 통상적인 공기펌프 또는 액체펌프형 미세유체 유속 제어수단을 가지는 미세유체 시스템에서 공기펌프 또는 액체펌프형 미세유체 유속 제어수단 대신 배출튜브의 출구측 말단높이를 조절하는 승하강수단을 가지고 있어, 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템에 관한 것이다. 본 발명은 미세유체 시스템에서 미세유체의 유속을 제어하는 것에 관한 것이므로 미세유체칩 자체의 규격이나 특성, 용도 등에 제약됨 없이 본 발명을 적용할 수 있음은 본 발명이 속한 기술분야의 지식인에게 당연할 것이다.

[0017] 도 1a에 선행기술(A)과 본 발명(B)에 의한 유속제어 방식의 차이를, 도 1b에 본 발명에 의한 소위 '사이펀 효과'를 활용하는 방식에 의해 유속제어가 가능함을 개념적으로 도시하였다.

[0018] 본 발명에서 상기 레저버는 미세유체칩에 사용되는 각종 용액이 담겨진 작은 컨테이너로서, 하나 또는 복수개 설치된다. 전술하였듯이, 선행기술에 의하면 펌프 작동에 의한 공기압 또는 액체 공급에 의한 가압이 레저버 내부에 가해지므로 레저버와 미세유체칩 사이에 약한 결합부위가 있는 경우 미세유체의 누설이 발생할 수 있으므로 상당히 단단하게 고정되어 있어야 한다. 이에 반하여 본 발명에서는 가압이 발생하는 것이 아니기 때문에 레저버와 미세유체칩 사이의 결합에 크게 신경쓰지 않아도 된다.

[0019] 본 발명에서 상기 미세유체칩은, 널리 알려진 바와 같이 미세반응이 수행되는 공간으로 상기 유체 레저버와 연통되는 하나 또는 복수개의 미세유로 유출구를 가진다. 본 발명은 미세유체칩 자체에 관한 것이 아니므로 이에 대한 상세한 설명을 생략한다.

[0020] 본 발명에서 상기 배출튜브는, 상기 미세유로 유출구에 일대일로 연결된 하나 또는 복수개의 튜브로서 상기 유체 레저버에서 공급되어 미세유체칩의 유로를 거쳐 외부로 배출되는 반응후 미세유체의 배출통로이다. 종래기술에 의하면 배출튜브가 필수적인 것은 아니며, 배출튜브가 존재한다고 하더라도 반응액을 수집하는 용도이지 유체의 유속제어와는 무관하다.

[0021] 본 발명에서 상기 승하강수단은, 상기 하나 또는 복수개 배출튜브의 출구측 말단높이를 조절하는 소정의 장치이다. 실제 배출튜브의 출구측 말단은 배출되는 반응액을 담기 위한 소정의 배출용기 내에 위치하게 되는 것이 일반적이므로, 승하강수단은 결국 배출용기의 높이를 조절하는 것이라 할 수 있다.

[0022] 본 발명에서 상기 승하강수단은, 도 1a와 도 2에서 나타낸 바와 같이 수동 또는 전동식 등 다양한 방식으로 구

현될 수 있음은 당연하다. 예를 들면 상기 승하강수단은, 배출튜브의 출구측 말단이 연결된 배출용기가 올려지는 안착대와, 상기 안착대를 상하로 이동시키는 전동장치 및 소정의 방식으로 상기 전동장치의 구동을 제어하는 제어부 등으로 이루어질 수 있을 것이다. 이때 상기 제어부는, 배출튜브로 배출되는 미세유체의 종류 및 배출튜브의 규격에 따라 사전에 정의된 높이와 유속의 상관관계에 의해 상기 전동장치의 구동을 제어하는 것이 바람직하다.

[0023] 미세유체칩의 용도와 특성에 따라서 유출구에 일대일로 연결된 배출튜브는 하나일 수도 있고 복수개일 수도 있다. 배출튜브가 복수개인 경우 필요에 따라 배출튜브의 일부가 독립적으로 높낮이 제어가 될 수 있을 것이다. 즉, 승하강수단을 제어함으로써 전술한 본 발명에 의한 미세유체 시스템의 개별 미세유체 유속을 제어하는 방법이 가능해진다.

[0024] 이하 본 발명에 의한 위치에너지를 이용하여 미세유체의 유속을 제어하는 미세유체 시스템을 제작하고 테스트한 실시예를 설명한다.

[0025] **[실시예]**

[0026] **1. 시스템의 구성**

[0027] 도 2에 첨부된 사진처럼, 본 발명에 의한 미세유체 시스템을 구현하였다.

[0028] 내경 7㎜ PDMS 재질의 레저버, 8개의 미세유로 유출구를 가지는 미세유체칩을 포함하는 시스템에서 2개의 유출구에 내경 0.5㎜ 실리콘 재질의 배출튜브를 연결하였고, 배출튜브의 출구측 말단 높이는 수동으로 조절하였다.

[0029] **2. 배출튜브 출구측 말단 높이 변화에 따른 미세유체 유속 제어 테스트**

[0030] 미세유체의 유속을 측정하기 위하여 미세유체칩 자체를 도 3a에 도시한 것처럼 '유속측정장치' 형태로 제작하였다. 유속측정장치는 수평이며, 그림에서 우상 방향 입구가 레저버와, 좌하 방향 출구가 배출튜브와 연결되었다. 배출튜브의 하부 출구측 말단은 승하강수단에 의해 그 높이를 조절할 수 있도록 하였다.

[0031] 레저버에 '증류수 + 20% magneta pigment'의 미세유체 300㎕를 담고, 레저버 바닥과 배출튜브 출구측 말단의 높이차이(ΔZ)를 변화시키면서 유속의 변화를 확인할 수 있도록 사진을 확보하였고(도 3b) 높이차이(ΔZ)와 미세유체 유속과의 상관관계(도 3b)를 분석하였다.

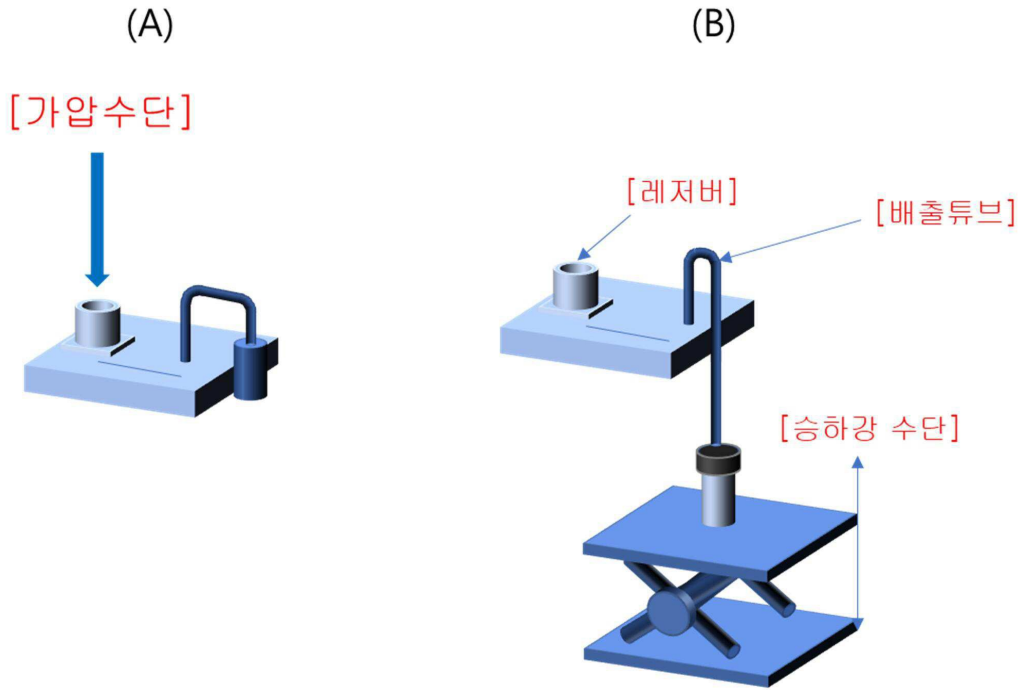
[0032] 도 3b는 유속측정장치에서 유체가 위에서 아래로 흐르는 모습의 사진으로 사진 '전'은 0초일 때 각 위치를 통일하여 관찰한 사진이며, 사진 '후'는 0초로부터 정확히 1초가 지난 시점에 다시 관찰한 사진이다. 도면에서 개략적으로 확인할 수 있듯이, 높이차이(ΔZ)가 증가할수록 단위 시간당 유체의 이동거리가 증가하였다.

[0033] 도 3b에서 얻어진 데이터로 높이차이(ΔZ)에 따른 1분당 흐른 유체 유량을 선형 회귀분석하여 도 3c에 그래프로 나타내었다. 도 3c에서 볼 수 있듯이, 높이차이(ΔZ) 0 ~ 85.5cm 구간에서 Y=0.25257X에 약 98%의 선형성을 보였으며, 0 ~ 25.5cm 구간에서 Y=0.11552X에 약 99%의 선형성을 나타내었다. 높이차이(ΔZ) 약 30cm를 기준으로 전후로 다른 선형 특성을 보이는 것은 본 실시예 진행 환경에서 높이차이(ΔZ) 약 30cm 이하에서는 유체와 미세유로 벽면과의 shear stress가 심화 되어 drag force 작용에 의한 것으로 조사되었다(도시 생략).

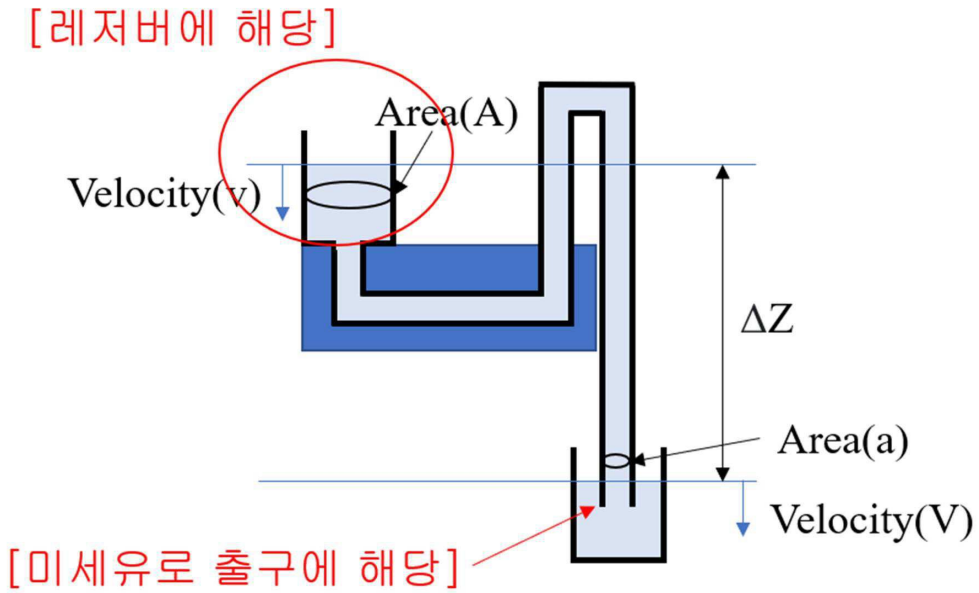
[0034] 이러한 실시예 결과는, 본 발명의 미세유체 시스템에 의하면 배출튜브의 말단의 높이를 조절함으로써 micro/nano 수준에서 미세유체의 유속을 제어할 수 있음을 증명해주는 것이다.

도면

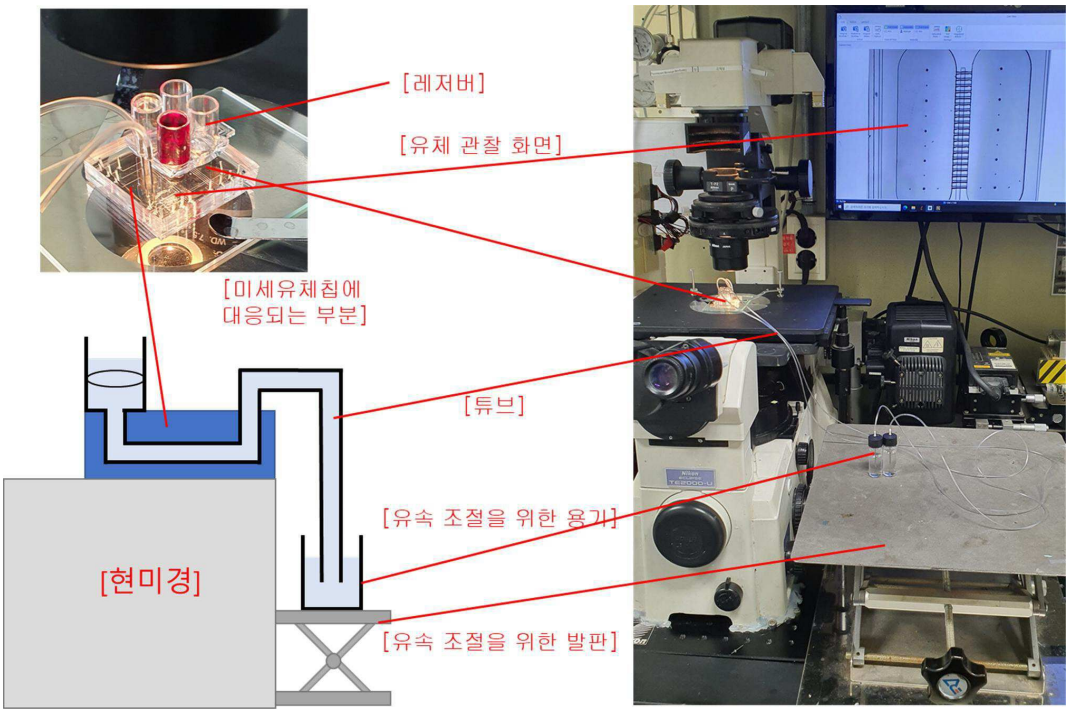
도면1a


(A)
(B)
[가압수단]
[레저버]
[배출튜브]
[승하강 수단]

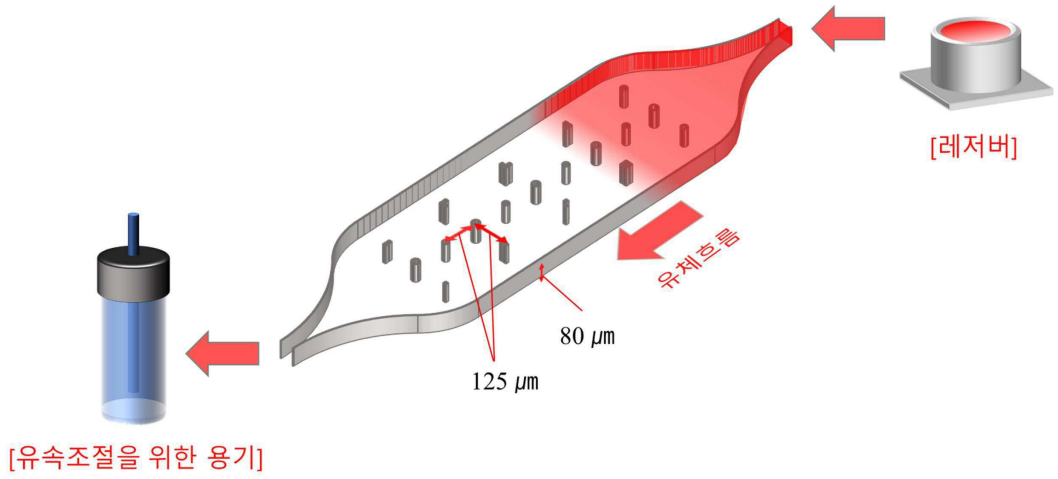
도면1b


[레저버에 해당]
Area(A)
Velocity(v)
ΔZ
Area(a)
Velocity(V)
[미세유로 출구에 해당]

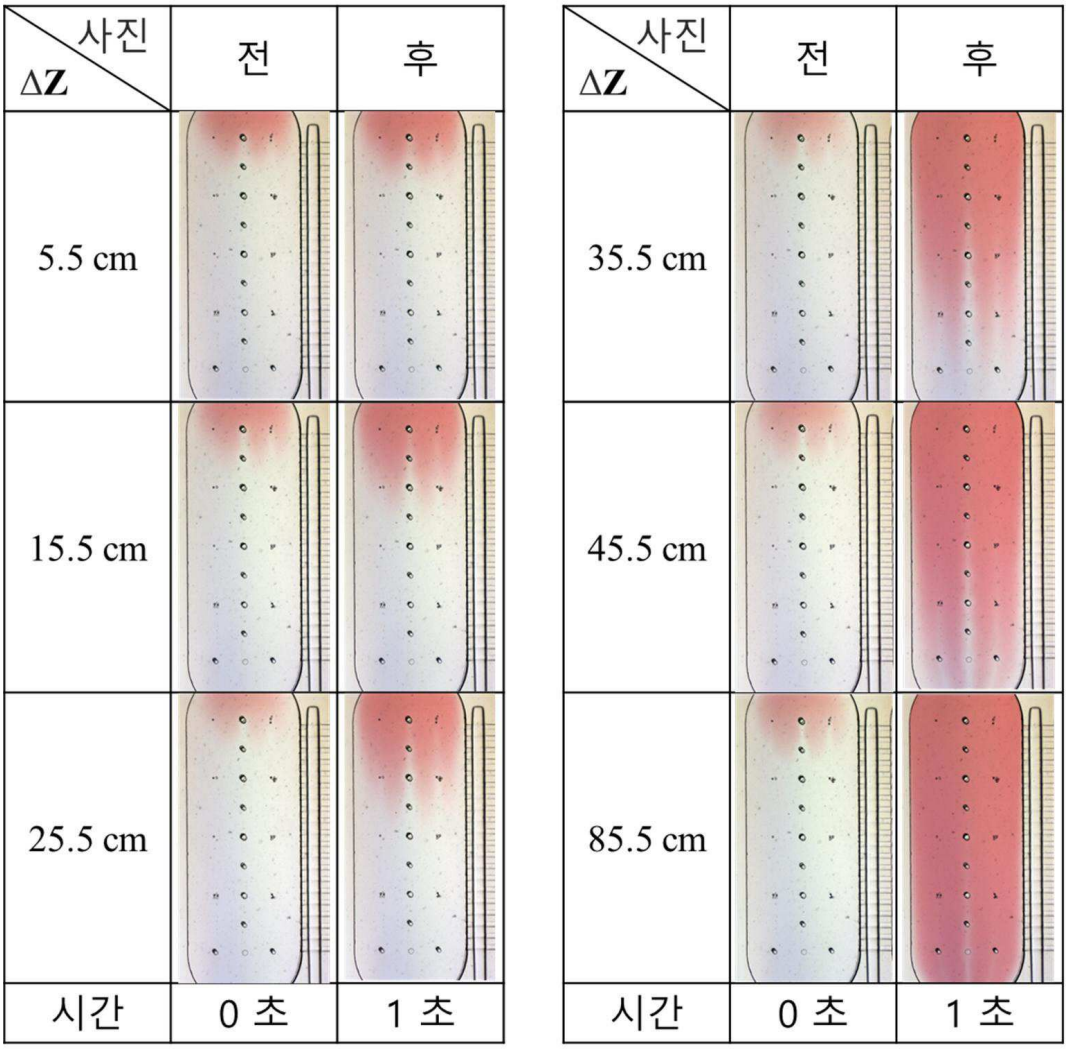
도면2


[레저버]
[유체 관찰 화면]
[미세유체칩에
대응되는 부분]
[튜브]
[유속 조절을 위한 용기]
[현미경]
[유속 조절을 위한 발판]

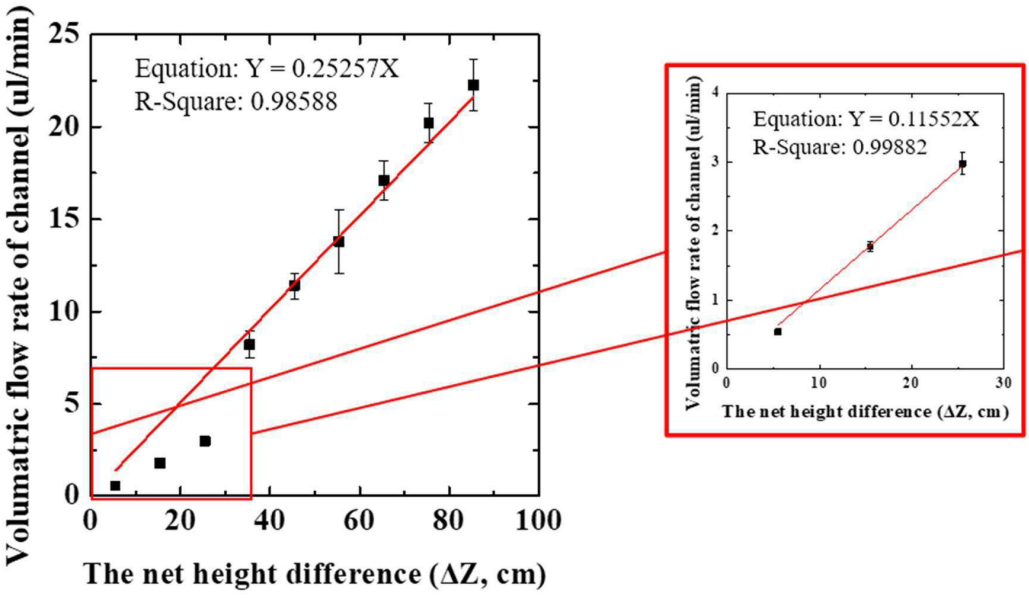
도면3a


[레저버]
유체흐름
80 μm
125 μm
[유속조절을 위한 용기]

도면3b


사진
ΔZ
전
후
5.5 cm
15.5 cm
25.5 cm
시간
0 초
1 초
사진
ΔZ
전
후
35.5 cm
45.5 cm
85.5 cm
시간
0 초
1 초

도면3c


Equation: Y = 0.25257X
R-Square: 0.98588
Volumatric flow rate of channel (ul/min)
The net height difference (ΔZ, cm)
Equation: Y = 0.11552X
R-Square: 0.99882
Volumatric flow rate of channel (ul/min)
The net height difference (ΔZ, cm)