(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0108294
(43) 공개일자 2023년07월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 21/00 (2006.01) *B01D 21/26* (2006.01)
G01N 15/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
B01D 21/0087 (2013.01)
B01D 21/265 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7019785
(22) 출원일자(국제) 2021년11월24일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년06월13일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/060842
(87) 국제공개번호 WO 2022/115619
국제공개일자 2022년06월02일
(30) 우선권주장
63/118,472 2020년11월25일 미국(US)

(71) 출원인
도날드슨 컴파니, 인코포레이티드
미합중국 미네소타 55431 블루밍턴 웨스트 94번가 1400
(72) 발명자
모라벡, 데이비스 비.
미합중국 미네소타 55431 블루밍턴 웨스트 94번가 1400
쿠암, 대릴 엘.
미합중국 미네소타 55431 블루밍턴 웨스트 94번가 1400
(74) 대리인
(유)한양특허법인

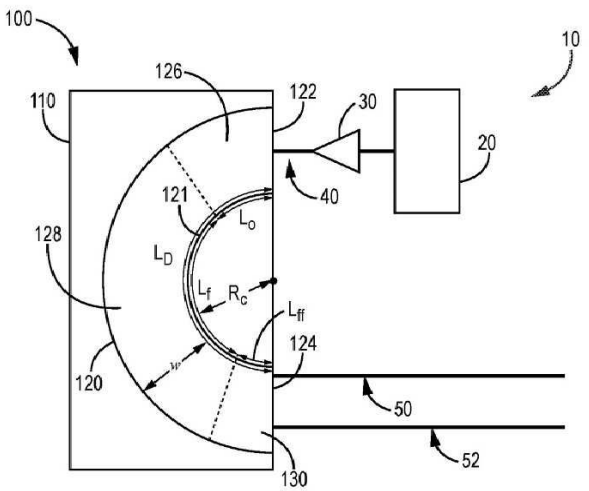
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 **최적의 미세채널 길이를 갖는 수리동력학적 분리기**

(57) 요 약

수리동력학적 분리기는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성된다. 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비하고, 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비하고, 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡된다. 액체 채널은 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지며 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지고, 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 갖는다. 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = 1598.8\frac{R_c a w^2}{Re D_H^3} + 6.4$ 이며, a는 입자 직경이다. 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = 156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$ 이다. 다양한 실시예에서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = \frac{Re w^2}{8 D_H} + 24.3$ 이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 15/00 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

기재; 및

상기 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 상기 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 상기 액체 채널을 포함하되;

상기 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

상기 액체 채널은 상기 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

상기 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

상기 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = 1598.8\frac{R_c a w^2}{Re D_H^3} + 6.4$인, 수리동력학적 분리기.

청구항 2

제1항 및 제3항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

청구항 3

제1항 내지 제2항 및 제4항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입자 직경(a)은 상기 수력 직경(D_H)의 8% 보다 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 4

제1항 내지 제3항 및 제5항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널 길이(L_D)는 상기 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 5

제1항 내지 제4항 및 제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널 길이(L_D)는 상기 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 6

제1항 내지 제5항 및 제7항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입자는 상기 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

청구항 7

제1항 내지 제6항 및 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

청구항 9

입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

기재; 및

상기 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 상기 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 상기 액체 채널을 포함하되;

상기 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

상기 액체 채널은 상기 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

상기 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

상기 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = \frac{Rew^2}{8D_H} + 24.3$ 인, 수리동력학적 분리기.

청구항 10

제9항 및 제11항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

청구항 11

제9항 내지 제10항 및 제12항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입자 직경(a)은 상기 수력 직경(D_H)의 8%보다 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 12

제9항 내지 제11항 및 제13항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널 길이(L_D)는 상기 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 13

제9항 내지 제12항 및 제14항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널 길이(L_D)는 상기 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

청구항 14

제9항 내지 제13항 및 제14항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입자는 상기 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

청구항 15

제9항 내지 제14항 및 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 16

제9항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

청구항 17

직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

기재; 및

상기 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 상기 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고

유입구 및 토출구를 구비하는 상기 액체 채널을 포함하되;

상기 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하는 만곡된 내벽 및 외부 반경을 획정하는 만곡된 외벽을 구비하며,

상기 액체 채널은 상기 만곡된 내벽을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

상기 액체 채널은 상기 액체 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

상기 직사각형 단면은 상기 내벽과 상기 외벽 사이에 채널 폭(w)을 가지고, 상기 채널은 상기 채널 폭이 상기 유입구와 상기 토출구 사이에서 테이퍼지는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 18

제17항 및 제19항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 폭은 상기 토출구를 향하여 증가하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 19

제17항 내지 제18항 및 제20항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 채널 폭은 상기 유입구와 상기 토출구 사이에서 일정한 비율로 증가하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 20

제17항 내지 제19항 및 제21항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 폭은 토출구를 향하여 감소하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 21

제17항 내지 제20항 및 제22항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 내부 반경은 상기 유입구에서 상기 토출구까지 일정한, 수리동력학적 분리기.

청구항 22

제17항 내지 제21항 및 제23항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 외부 반경은 상기 유입구와 상기 토출구 사이에서 외향 테이퍼지는, 수리동력학적 분리기.

청구항 23

제17항 내지 제22항 및 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 액체 채널은 제1 채널 폭 및 제1 액체 채널 길이를 갖는 제1 영역, 제2 채널 폭 및 제2 액체 채널 길이를 갖는 제2 영역, 및 상기 제1 영역에서 상기 제2 영역까지 연장되는 테이퍼 영역 길이를 갖는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 제1 영역은 상기 제2 영역보다 큰 길이를 가지는, 수리동력학적 분리기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전반적으로 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 최적의 미세채널 길이를 갖는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 수리동력학적 분리기는 탄화수소 액체, 음료, 수용액 등과 같은 유체 스트림에서의 입자의 집중 및/또는 분리를 위해 다양한 산업에 사용된다. 유체에서 부유하는 입자는 (예를 들어, 연료 또는 유압 시스템과 같은) 시스템 공정에서 문제를 야기할 수 있거나, (예를 들어, 오렌지 주스의 심이나 맥주 또는 와인의 불순물과 같이) 일반적으로 소비자에게 바람직하지 않을 수 있거나, (하수 처리에서와 같이) 유체와는 상이한 가공 단계를 거칠 수 있다. 에너지 소비와 시간의 측면에서 입자 분리 및 효율을 개선하기 위해 최소 압력 강하로 적절한 입자 분리

를 달성하도록 이러한 수리동력학적 분리기를 설계하는 것이 바람직할 수 있다.

발명의 내용

[0003] 본원에 개시된 기술의 일부 실시예는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 수리동력학적 분리기는 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성된다. 수리동력학적 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비한다. 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비한다. 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 갖는다. 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지고, 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 갖는다. 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, 여기서 $L_f = 1598.8\frac{R_c a w^2}{Re D_H^3} + 6.4$ 이다.

[0004] 다양한 실시예에서, 이러한 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비한다.

[0005] 본원에 개시된 일부 실시예는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 수리동력학적 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비하고, 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비한다. 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 갖는다. 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지고, 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 갖는다. 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, 여기서 $L_f = 156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$ 이다.

[0006] 다양한 실시예에서, 이러한 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비한다.

[0007] 일부 실시예는 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 수리동력학적 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비하고, 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비하고, 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 갖는다. 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 갖는다. 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 갖는다. 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = \frac{Rew^2}{8D_H} + 24.3$ 이다.

[0008] 다양한 실시예에서, 이러한 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭

을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비한다.

[0009] 일부 실시예는 입자 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 수리동력학적 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비한다. 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고, 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비한다. 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 중심축을 중심으로 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 갖는다. 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지고, 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 갖는다. 액체 채널은 중심축을 중심으로 집속각(α)을 가지고, 여기서 $\alpha = 265{,}682\frac{aw^2}{\pi Re\, D_H{}^5} + 45.1$ 이다. 액체 채널은 집속각(α)과 같거나 큰 호 측도(arc measure)를 획정하기 위해 중심축을 중심으로 원주상으로 연장된다.

[0010] 다양한 실시예에서, 이러한 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 호 측도는 집속각보다 40% 이하 더 크다. 추가적으로 또는 대안적으로, 호 측도는 360° 보다 크고, 액체 채널은 나선을 획정한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 호 측도는 360° 보다 작다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비한다.

[0011] 일부 실시예는 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기에 관한 것이다. 분리기는 기재 및 기재에 의해 획정되는 액체 채널을 구비한다. 액체 채널은 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 액체 채널은 유입구 및 토출구를 구비한다. 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하는 만곡된 내벽 및 외부 반경을 획정하는 만곡된 외벽을 구비한다. 액체 채널은 만곡된 내벽을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 갖는다. 액체 채널은 액체 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 갖는다. 직사각형 단면은 내벽과 외벽 사이에 채널 폭(w)을 가지고, 채널은 채널 폭이 유입구와 토출구 사이에서 테이퍼지는 테이퍼 영역을 구비한다.

[0012] 이러한 일부 실시예에서, 채널 폭은 토출구를 향하여 증가한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 채널 폭은 유입구와 토출구 사이에서 일정한 비율로 증가한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 채널 폭은 토출구를 향하여 감소한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 내부 반경은 유입구에서 토출구까지 일정하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 외부 반경은 유입구와 토출구 사이에서 외향 테이퍼진다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 제1 채널 폭 및 제1 액체 채널 길이를 갖는 제1 영역, 제2 채널 폭 및 제2 액체 채널 길이를 갖는 제2 영역, 및 제1 영역에서 제2 영역까지 연장되는 테이퍼 영역 길이를 갖는 테이퍼 영역을 구비한다. 이러한 일부 실시예에서, 제1 영역은 제2 영역보다 큰 길이를 갖는다.

[0013] 추가적으로 또는 대안적으로, 시스템은 제1 영역 및 제2 영역에서 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀하다. 추가적으로 또는 대안적으로, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 구비한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 입자 직경(a)은 제1 영역의 수력 직경(D_H) 및 제2 영역의 수력 직경의 8%보다 크다.

[0014] 상기 내용은 각각의 실시예 또는 모든 구현예를 설명하기 위한 것이 아니다. 오히려, 첨부 도면을 고려하여 예시적인 실시예들의 후술하는 상세한 설명 및 청구범위를 참조함으로써, 예시적인 실시예들의 보다 완전한 이해가 명확해지고 인식될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 실시예와 일치하는 예시적인 수리동력학적 분리기 시스템의 개략도이다.

도 2는 도 1의 액체 채널의 단면도이다.

도 3은 액체 채널의 길이를 따른 입자 집속을 나타낸 그래프이다.

도 4는 액체 채널과 일치하는 상이한 딘 수에 대한 통상적인 반경류 프로파일들의 그래프이다.

도 5는 반경류 속도를 획정하는 종래의 수식에 대한 실험 결과의 그래프이다.

도 6은 반경류 속도를 획정하는 신규의 수식에 대한 실험 결과의 그래프이다.

도 7은 입자 집속 길이를 획정하는 제1 수식에 대한 실험 결과의 그래프이다.

도 8은 입자 집속 길이를 획정하는 제2 수식에 대한 실험 결과의 그래프이고, 여기서 제2 수식은 입자 크기를 고려한다.

도 9는 액체 채널의 호 측도를 획정하는 제3 수식에 대한 실험 결과의 그래프이다.

도 10은 나선형 액체 채널을 갖는 예시적인 수리동력학적 분리기를 나타낸 개략도이다.

도 11은 도 10의 예시적인 수리동력학적 분리기의 대향도이다.

도 12는 실시예와 일치하는 다른 예시적인 시스템이다.

본 기술은 첨부 도면과 관련하여 다양한 실시예의 후술하는 상세한 설명을 고려시 보다 완전하게 이해 및 인식될 수 있다.

도면은 주로 명료함을 위해 표현된 것이며, 그 결과 반드시 실제의 크기로 그려진 것은 아니다. 또한, 체결구, 전기 부품(배선, 케이블 등), 및 이와 유사한 것을 포함하지만 이에 제한되지 않는 다양한 구조/부품은, 이러한 구조/부품의 포함이 본원에 설명된 다양한 예시적인 실시예의 이해에 필요하지 않은 경우, 또는 도시된 실시예들의 양태를 더 잘 예시하기 위해, 도식적으로 도시되거나 일부 또는 모든 도면에서 생략될 수 있다. 그러나, 특정 도면에서의 이러한 구조/부품의 도시/설명의 부재는 어떤 방식으로든 다양한 실시예의 범주를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 수리동력학적 분리기는 내부 유체 유동으로 인한 힘에만 의존하는 유체 스트림 내에서 입자를 집속할 수 있는 미세유체 장치이다. 입자는 유체 스트림의 일부로부터 분리될 수 있고/있거나 유체 스트림 내에서 다른 크기의 입자로부터 분리될 수 있다. 수리동력학적 분리기는 일반적으로 유입구 및 적어도 2개의 유동 분기를 갖는 토출구를 구비한 유체 채널을 획정한다. 특정 크기 범위 내의 입자가 2개의 유동 분기 중 하나에 집속되거나 집중될 수 있다. 예를 들어, 임계 크기 범위를 초과하는 입자가 2개의 유동 분기 중 하나에 집속된다. 유체 유동의 집중된 부분은 시스템으로부터 제거되거나 추후 가공을 위해 보관될 수 있다. 남은 입자는 적어도 2개의 유동 분기를 통해 흐를 수 있다.

[0017] 도 1은 본원에 개시된 기술의 일부 구현예와 일치하는 예시적인 시스템(10)의 개략도이다. 시스템(10)은 유체 스트림에서 부유하는 입자를 집속하도록 구성되는 수리동력학적 분리기 시스템이다. 시스템(10)은 유입구(122) 및 토출구(124)를 구비한 수리동력학적 분리기(100)를 구비한다. 유체 펌프(30)가 유체 공급원(20)과 수리동력학적 분리기(100) 사이의 유체 연통을 형성한다. 특히, 유체 펌프(30)는 유체 공급원(20)으로부터 유입 유동 채널(40)을 통해 수리동력학적 분리기(100)의 유입구(122)로 유체를 펌핑하도록 구성된다. 유체는 수리동력학적 분리기(100)의 액체 채널(120)을 통해 토출구(124)로 흐르도록 구성된다. 제1 토출 분기(50) 및 제2 토출 분기(52)가 토출구(124)로부터 다른 시스템 또는 다른 시스템 구성요소로 이어질 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 토출 분기(50)를 통해 흐르는 유체는 제2 토출 분기(52)를 통해 흐르는 유체에 비해 특정 크기 범위 내에서 더 높은 농도의 입자를 갖도록 구성된다.

[0018] 본원에 개시된 기술과 일치하는 수리동력학적 분리기는 일반적으로 기재(110)로 구성된다. 기재(110) 내에는, 액체 채널(120)이 획정되어 있다. 기재는 다양한 재료 및 재료 조합으로 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 기재는 고분자일 수 있다. 일부 예에서, 기재는 폴리디메틸실록산(PDMS)이다. 일부 실시예에서, 기재는 유리를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 기재는 비반응성 금속을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 기재는 감압성 접착제와 같은 하나 이상의 접착층을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 기재는 2개 이상의 재료일 수 있고, 그에 따라 채널들의 벽은 2개 이상의 재료일 수 있다.

[0019] 액체 채널(120)은 일반적으로 액체 유동을 수용하도록 구성된다. 액체 채널(120)은 유입구(122) 및 토출구(124)를 획정한다. 액체 채널(120)은 유입구(122)에서 토출구(124)까지 채널 길이(L_0)를 획정한다. 액체 채널(120)은 일반적으로 중심축(x)을 중심으로 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡된다. 이로써, 액체 채널(120)은 채널 호 측도를 획정하기 위해 중심축(x)을 중심으로 원주상으로 연장된다. 본 예에서, 액체 채널(120)은 중심축(x)을 중심으로 약 180° 연장된다. 본 예에서, 내부 반경(R_C)은 채널의 길이를 따라 실질적으로 일정하지만, 다른

일부 예에서, 내부 반경(R_c)은 달라질 수 있다.

[0020] 액체 채널(120)은 일반적으로 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며, 이는 도 2에 나타나 있다. 액체 채널(120)의 단면은 채널(120)을 통과하는 유체 유동의 방향에 대략 수직이다. 채널(120)은 도 2에 보이는 높이(h)와 도 1 및 도 2 모두에 보이는 폭(w)을 갖는다. 채널(120)은 또한 수력 직경(D_H)을 갖는다. 하기 수식이 직사각형 단면을 갖는 미세유체 채널의 수력 직경을 산출하기 위해 사용된다:

[0021] $$D_H = \frac{2 \times \text{높이} \times \text{폭}}{\text{높이} + \text{폭}}$$.

[0022] 액체 채널(120)은 예를 들어 성형 작업, 포토리소그래피, 및 3D 프린팅을 통해 기재(110)에 형성될 수 있다. 일부 예에서, 액체 채널(120)은 플라스틱 사출 성형 또는 엠보싱을 통해 기재(110)에 형성된다. 다른 접근안이 또한 액체 채널(120)을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 다양한 실시예에서, 수리동력학적 분리기(100)는 병렬로 작동하도록 구성되는 복수의 액체 채널(120)을 획정한다. 다양한 실시예에서, 수리동력학적 분리기(100)는 적어도 10개의 액체 채널을 구비한다. 다양한 실시예에서, 수리동력학적 분리기(100)는 적어도 50개의 액체 채널 또는 적어도 100개의 액체 채널을 구비한다.

[0023] 수리동력학적 분리기(100)가 복수의 액체 채널을 구비하는 일부 실시예에서, 하나의 액체 채널(120)이 단일 기재층 내에 획정될 수 있다. 이러한 일부 실시예에서, 다수의 기재층이 적층 구성으로 층상화될 수 있고, 그에 따라 각각의 기재층에 의해 획정되는 복수의 액체 채널(120) 각각이 또한 적층 구성이 된다. 적층된 기재층들 및 액체 채널들(120)은 수리동력학적 분리기(100)를 형성한다. 수리동력학적 분리기(100)는 (유입구(122)와 같은) 각각의 미세유체 채널 유입구의 상류에 이와 직접 유체 연통하도록 유입 유동 채널(40)을 획정할 수 있다. 유입 유동 채널(40)은 일반적으로 각각의 액체 채널(120)의 수력 직경보다 큰 수력 직경을 가질 것이다. 수리동력학적 분리기(100)는 각각의 토출구(124)의 하류에 이와 직접 유체 연통하도록 위치되는 제1 토출 분기(50) 및 제2 토출 분기(52)를 획정할 수 있다. 제1 토출 분기(50) 및 제2 토출 분기(52) 각각은 일반적으로 각각의 액체 채널의 수력 직경보다 큰 직경을 가질 것이다. 이러한 구성은 유리하게는 채널들을 통과하는 유동을 균등화할 수 있다.

[0024] 액체 채널(120)은 액체 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성된다. 만곡된 채널 내의 유체 유동은 2개의 무차원 수, 레이놀즈 수와 딘 수에 의해 설명된다. 레이놀즈 수는 관성력 대 점성력의 비율을 나타내고, 다음과 같이 획정된다:

[0025] $$Re = \frac{\rho U D_H}{\mu}$$,

[0026] 식 중, ρ는 유체 밀도, U는 평균 유체 속도, μ는 유체의 역학 점도이다. 수리동력학적 분리기에서, 레이놀즈 수는 통상적으로 작고(1000 미만), 이는 유동 프로파일이 층상임을 의미한다. 다양한 실시예에서, 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성된다. 다양한 실시예에서, 시스템은 5 내지 20의 딘 수를 갖도록 구성된다. 딘 수는 만곡된 파이프 내의 유체 거동을 나타내고, 유체에 작용하는 관성력, 구심력, 점성력을 고려한다. 딘 수는 다음과 같이 획정된다:

[0027] $$De = Re\sqrt{\frac{D_H}{2R_c}}$$.

[0028] 수리동력학적 시스템(10)은 일반적으로 액체 채널(120) 내에서 입자를 집속하도록 구성된다. 본원에 사용된 바와 같이, "입자"라는 용어는 유체에 분산되는 별개의 양의 재료를 지칭한다. 입자로 형성될 수 있는 재료의 비제한적 예로, 먼지, 금속, 세포, 기포, 지방, 물방울이 포함된다. 하나의 특정 예에서, 물방울은 에멀젼을 형성하기 위해 가솔린 또는 디젤 연료와 같은 탄화수소 유체에 분산될 수 있다. 다른 예에서, 기포는 작동유에 분산될 수 있다. 또 다른 예에서, 세포는 수용성 유체에 분산될 수 있다. 또 다른 예에서, 입자는 오렌지 주스의 심, 우유의 지방, 및 맥주 또는 와인의 불순물일 수 있다.

[0029] 다양한 구현예에서, 수리동력학적 분리기(100)는 액체 채널(120)의 수력 직경의 8%보다 큰 직경을 갖는 입자를 집속하도록 구성된다. 채널 수력 직경의 8%보다 큰 직경을 갖는 입자는 딘 수가 5 내지 25 범위일 때 일반적으로 내벽을 향하여 집속된다. 수리동력학적 분리기는 일반적으로 채널 높이의 50%와 같거나 작은 직경을 갖는 입자를 집속하도록 구성된다. 다양한 예에서, 본원에 제공된 산출을 위해, 입자는 0.5보다 큰 진구도를 갖는다. 비구형 입자의 경우, 본원에 제공된 산출을 위해, 입자 직경은 등가 구형 직경인 것으로 간주된다. 다양한 실시

예에서, 본원에 개시된 기술과 일치하는 수리동력학적 분리기는 액체 채널(120) 내에서 액체보다 최대 3배 더 조밀한 밀도를 갖는 입자를 집속하도록 구성된다.

[0030] 입자 집속은 두 별개의 단계에서 일어난다. 제1 단계는 부유하는 입자가 액체 채널(120)을 가로질러 액체 채널(120)의 가장자리로 이동하는 입자 이동 단계이다. 입자 이동 단계는 일반적으로 액체 채널 유입구(122)에서 시작되고, 액체 채널(120)의 입자 이동 영역(126)을 획정하기 위해 액체 채널(120)의 입자 이동 길이(L_o)를 연장한다. 이러한 영역에서, 액체 채널(120)의 내벽(121) 상의 추가 집속이 관찰되지 않는다. 제2 영역은 내벽(121) 상의 집속의 양이 채널 길이를 따라 선형으로 증가하는 선형 집속 영역(128)이다. 집속은 최대 입자 집속에 도달할 때까지 계속된다. 최대 입자 집속에 도달한 후에는 추가 집속이 관찰되지 않는다. 선형 집속 영역(128)은 최대 입자 집속을 달성하는 데에 요구되는 길이인 선형 집속 길이(L_f)를 갖는다. 선형 집속 영역(128)은 일반적으로 입자 이동 영역(126)으로부터 채널 토출구(124)를 향하여 연장된다.

[0031] 선형 집속 영역(128) 후의 액체 채널(120)의 길이는 완전 집속 영역(130)으로 지칭된다. 완전 집속 영역(130)은 선형 집속 영역(128)에서 토출구(124)까지 연장되는 길이를 갖는다. 다양한 구현예에서, 최대 입자 집속을 여전히 달성하면서, 액체 채널(120)에 걸친 압력 강하를 낮춤으로써 시스템의 에너지 요건을 감소시키기 위해 완전 집속 영역(130)을 제한하거나 제거하는 것이 바람직할 수 있다.

[0032] 도 3은 만곡된 액체 채널의 길이를 따른 3개의 입자 집속 단계를 나타내는 대표적인 집속 거동을 도시한 그래프이다. 입자 이동 영역(126)은 채널 길이의 대략 처음 16 ㎜를 차지하고, 선형 집속 영역(128)으로 이어진다. 이 예에서, 선형 집속 영역(128)은 액체 채널의 길이를 따라 약 114 ㎜에서 최대 입자 집속을 달성한다. 최대 입자 집속값에 도달하면, 입자 집속은 거의 일정하게 유지될 수 있다. 장치의 이러한 영역은 완전 집속 영역(130)으로 간주된다. 이 예에서, 완전 집속 영역 내의 최대 집속 백분율은 약 90%이다(즉, 90%의 입자가 집속된다).

[0033] 수학적으로, (도 1에 도시된 것과 같은) 만곡된 채널 내에서 최대 입자 집속을 달성하기 위해 요구되는 선형 집속 영역의 길이는 채널을 통과하는 입자 속도의 반경방향 성분에 기반하는 선형 함수이다. 기존의 문헌(예를 들어, Di Carlo, D., Irimia, D., Tompkins, R. G., Toner, M.; Continuous Inertial Focusing, Ordering, and Separation of Particles in Microchannels. Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A., Nov. 2007, Vol. 104, No. 4, 18892-7 참조)에 따르면, 딘 유동 프로파일의 반경방향 성분의 크기 또는 선형 집속률(U_D)은 다음과 같다:

[0034] $$U_D \sim \frac{De^2\mu}{\rho D_H}$$.

[0035] 이러한 관계는 텍사스 플라노 소재의 Siemens PLM Software의 STAR-CCM+ 소프트웨어에서 전산 유체 역학을 사용하여 직사각형 채널에 테스트되었다. 반경방향 유동 성분을 측정하기 위해, 기능 프로브가 주요 유체 유동 방향을 따라 별개의 반경방향 위치들에서 채널의 깊이(Z 방향)와 정렬되는 가상 유체 도메인의 중앙에 삽입되었다. 예시적인 일련의 통상적인 반경방향 유동 프로파일들이 도 4에 도시되되, 반경방향 속도는 채널의 중심을 통과하는 깊이의 함수이다. 도시된 유동 프로파일들은 가변 딘 수에 걸친 단일 장치 기하형상 및 유체 조합이지만, 일정한 채널 높이(h; 150 ㎛), 폭(w; 500 ㎛), 및 내부 반경(R_C; 20 ㎜)을 갖는다. 이러한 좌표계에서, 양의 유동 속도는 유체가 장치의 외벽을 향하여 이동 중임을 나타내는 반면, 음의 유동 속도는 유체가 장치의 내벽을 향하여 이동 중임을 나타낸다. 채널 깊이의 중심에서 최대 반경방향 유동 성분이 관찰된다. 이는 유체 관성으로 인해 외벽을 향하는 최대 속도에 해당한다. 채널 깊이의 중심의 위와 아래에서 대칭적으로 관찰되는 2개의 최소 반경방향 유동 성분이 있다. 이러한 유동 성분은 내벽을 향하는 재순환 유동이며, 이는 궁극적으로 입자를 최종 집속 위치로 수동적으로 이동시키는 역할을 한다.

[0036] 4개의 상이한 딘 수(De = 5, 10, 15, 20)에서 상이한 액체 채널 폭에 대한 최소 반경방향 유동 속도가 딘 유동 프로파일의 반경방향 성분의 크기에 대한 문헌 수식에 대해 표시되고, 이는 도 5에 반영된다. 수식은 상이한 액체 채널 폭에 걸친 선형 관계를 획정하지 않으므로, 반경방향 속도의 정확한 예측자가 아님을 알 수 있다. 추가적인 테스트 및 분석의 과정에 걸쳐, 하기 관계가 선형 집속률(U_D)에 대해 밝혀졌다:

[0037] $$U_D \sim \frac{De^2\mu}{\rho w}$$.

[0038] 이러한 수식은 최소 반경방향 속도에 대해 표시되었고, 결과는 도 6에 반영된다. 상이한 액체 채널 폭을 갖는 장치들로부터의 데이터가 단일 선형 곡선으로 축소됨을 알 수 있다. 이러한 관계는 수리동력학적 분리기와 관련

이 있는 딘 수 범위(5 < De < 25)에 걸쳐 장치 기하형상(폭, 높이, 및 R_C) 및 유체 특성(점도 및 밀도)을 변경할 때 유효하다. 구체적으로, 최소 반경방향 속도는 다음과 같이 밝혀졌다:

[0039] $$U_D = -0.02597 * \frac{De^2 \mu}{\rho w} - 1.107 * 10^{-4}$$,

[0040] 식 중, μ는 cP 단위, w는 미크론 단위, ρ는 g/cm^3 단위, U_D는 m/s 단위이다.

[0041] 최소 반경방향 속도에 기반하여, 최대 입자 집속을 획득하기 위한 선형 집속 영역의 길이를 결정하는 수식이 도출될 수 있다. 속도는 액체 채널의 폭에 걸쳐 거의 일정하고, 그에 따라 입자가 내벽까지 액체 채널의 폭을 통과하는 데에 걸리는 시간은 다음과 같다:

[0042] $$t \propto \frac{w}{U_D} = \frac{w^2 \rho}{De^2 \mu}$$.

[0043] 이로써, 선형 집속 영역의 길이는 다음과 같다:

[0044] $$L_f \propto tU = \frac{w^2 \rho}{De^2 \mu} \mathrm{U}$$,

[0045] 식 중, U는 유체의 평균 하류 속도이다. 하기 수식을 대입하면,

[0046] $$U = \frac{Re\mu}{\rho D_H}$$

[0047] 다음과 같이 산출되고:

[0048] $$L_f \propto \frac{Re}{De^2} \frac{w^2}{D_H} = \frac{2R_C}{Re} \left(\frac{w}{D_H}\right)^2$$,

[0049] 보다 구체적으로는, 다음과 같이 산출된다:

[0050] $$L_f = 156.2 \frac{R_C}{Re} \left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$$.

[0051] 선형 집속 영역은 일반적으로 더 높은 딘 수에서 더 짧고, 본원에 개시된 기술과 일치하는 수리동력학적 분리기에 대한 작동 범위는 5 내지 25 범위의 딘 수이기 때문에, 선형 집속 길이(L_f)는 일반적으로 하기 수식의 최소치일 것이다:

[0052] $$L_f = \frac{Rew^2}{8D_H} + 24.3$$.

[0053] 입자 집속률(즉, 선형 집속 영역의 기울기)을 사용하여, 추가 80%의 입자를 집속하기 위해 요구되는 길이가 산출되었다. 추가 80%의 입자를 집속하면, 장치 유입구에서 10 내지 20%의 입자가 이미 집속 위치에 있기 때문에, 집속 효율이 90%를 초과하게 된다. 실험 결과와 연관이 있는 관찰된 집속 길이는 상기의 집속 길이(L_f) 수식에 대해 표시되었고, 이는 도 7에 반영된다. 오차 막대는 선형 집속 영역의 기울기의 불확실성에 기반하는 표준 오차에 해당한다. 이러한 적합은 장치 폭 및 곡률 반경의 변화에 의해 좌우되는 뚜렷한 경향을 보여준다. 데이터를 더 자세히 관찰하면, 집속 길이(L_f)가 입자 크기에 따라 좌우됨을 알 수 있다. 구체적으로, 작은 입자는 큰 입자보다 빠르게 집속된다. 실제로, 상이한 크기의 입자에는 상이한 양력이 가해지고, 그에 따라 상이한 높이에서 장치의 폭을 통과할 것이다. 선형 집속 길이(L_f)를 구하여 이에 입자 갇힘(a/D_h)을 곱하면, 다음과 같이 산출되고:

[0054] $$L_f \propto \frac{2R_C a w^2}{Re D_H^3}$$,

[0055] 보다 구체적으로는, 다음과 같이 산출된다는 것이 밝혀졌다:

[0056] $$L_f = 1598.8 \frac{R_C a w^2}{Re D_H^3} + 6.4$$.

[0057] 이는 도 8에 반영된 바와 같이 관찰된 실험 집속 길이에 대해 표시된다. 데이터는 선형 적합으로 축소되었고,

0.95보다 큰 R^2 값이 주어졌다.

[0058] 선형 집속 영역(L_f)의 관점에서 설명되는 대신에, 선형 집속 영역은 또한 중심축(x)을 중심으로 한 선형 집속 영역(128)의 호 측도인 집속각(α)의 관점에서 설명될 수 있고, 이는 다음과 같거나:

[0059] $$\alpha \propto \frac{aw^2}{\pi Re\, D_H{}^3},$$

[0060] 또는 보다 구체적으로는, 다음과 같다:

[0061] $$\alpha = 265{,}682\frac{aw^2}{\pi Re\, D_H{}^3} + 45.1.$$

[0062] 이는 도 9의 실험 데이터에 대해 표시된다. 나타낸 바와 같이, 본원에 개시된 기술과 일치하는 다양한 액체 채널은 360° 보다 큰 집속각을 요구하고, 이는 "간단한" 수리동력학적 분리기로는 완전 집속이 일어날 수 없음을 의미하는데, 여기서 "간단한" 수리동력학적 분리기는 액체 채널이 중심축(x)을 중심으로 한 완전 회전보다 작은 것을 말한다. 중심축(x)을 중심으로 한 일 회전 내에서 입자를 완전히 집속하는 액체 채널은 일반적으로 작은 폭, 높은 레이놀즈 수, 및 큰 수력 직경을 갖는다.

[0063] 본원에 개시된 기술과 일치하는 다양한 수리동력학적 시스템의 실제 입자 이동 길이(L_0) 및 입자 집속 길이(L_f)를 측정한 일련의 실험이 수행되었다. 가변 장치 높이 및 폭의 수리동력학적 분리기가 표준 방법을 사용하여 PDMS 및 유리 슬라이드로 형성되었다. 형광 표지된 입자의 용액이 5 내지 25의 딘 수 내에서 공지된 유속으로 수리동력학적 분리기 채널에 도입되었다. 영상은 CMOS 카메라를 사용하여 수리동력학적 분리기를 따른 다양한 위치에서 촬영되었다. 영상 처리가 채널 위치 및 길이의 함수로서 입자 농도를 식별하기 위해 사용되었다. 입자 집속 길이(L_f)가 또한 상기에 제공된 수식에 따라 산출되었다. 결과는 아래 표 1에 반영된다.

표 1

[0064]

번호	실험 L_0 (mm)	실험 L_f (mm)	실험 (L_0/(L_0+L_f))	L_0/L_f	$L_f = 156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$	$L_f = 1598.8\frac{R_c aw^2}{ReD_H^3} + 6.4$
1	13	381	3.30%	3.4%	395	370
2	0	87	0%	0%	82	110
3	13.5	140	8.70%	9.6%	145	148
4	16.5	138	10.70%	12.0%	105	101
5	20.7	286	6.70%	7.2%	271	297
6	5.9	58	9.10%	10.2%	62	69
7	19.4	68	22.30%	28.5%	50	48
8	7	222	3.10%	3.2%	161	188
9	16.5	133	11.00%	12.4%	136	155
10	5.2	133	3.80%	3.9%	99	105
11	18.9	65	22.50%	29.1%	77	76
12	12.6	61	17.20%	20.7%	64	59
13	16.9	62	21.50%	27.3%	103	76
14	18.5	47	28.20%	39.4%	77	53
15	12.6	44	22.30%	28.6%	64	41
16	30.8	138	18.30%	22.3%	174	168

[0065] 실험 결과에 걸쳐, 입자 집속 길이(L_f)는 입자 이동 길이(L_0)보다 컸다. 입자 이동 길이(L_0)는 총 액체 채널 길이(L_D)의 0% 내지 총 액체 채널 길이(L_D)의 28.2% 범위였다. 또한, 입자 이동 길이(L_0)는 입자 이동 길이(L_f)의

0% 내지 입자 이동 길이(L_f)의 39.4% 범위였다. 이로써, 일부 실시예에서, 본원에 개시된 기술과 일치하는 액체 채널은 입자 이동 길이(L_f)에 거의 상응하는 액체 채널 길이(L_D)를 가질 것이다. 다양한 실시예에서, 본원에 개시된 기술과 일치하는 액체 채널은 입자 이동 길이(L_f)보다 큰 액체 채널 길이(L_D)를 가질 것이다. 수집된 데이터에 기반하여, 많은 실시예에서, 액체 채널 길이(L_D)는 입자 이동 길이(L_f)보다 40% 미만 더 큰 것으로 보인다. 액체 채널 길이(L_D)는 입자 이동 길이(L_f)보다 30% 이하 더 클 수 있다. 액체 채널 길이(L_D)는 입자 이동 길이(L_f)보다 20% 이하 더 클 수 있다. 일부 실시예에서, 액체 채널 길이(L_D)는 입자 이동 길이(L_f)보다 3% 내지 20% 더 클 수 있다.

[0066] 도 10 및 도 11은 일부 실시예와 일치하는 다른 예시적인 수리동력학적 분리기(200)의 개략도를 도시한다. 도 10은 수리동력학적 분리기의 개략적인 사시도, 도 11은 수리동력학적 분리기의 유입구측의 개략적인 대향도이고, 여기서 액체 채널(220)은 점선으로 표시된다. 수리동력학적 분리기(200)는 모순되는 경우를 제외하고 일반적으로 상기의 설명과 일치한다. 수리동력학적 분리기(200)는 액체 스트림에 분산되는 입자를 집속하도록 구성된다. 수리동력학적 분리기(200)는 기재(210)로 구성된다. 기재(210)는 유입구(222) 및 토출구(224)를 구비한 액체 채널(220)을 획정한다. 액체는 유입구(222)로부터 토출구(224)로 수리동력학적 분리기(200)의 액체 채널(220)을 통해 흐르도록 구성된다.

[0067] 액체 채널(220)은 유입구(222)에서 토출구(224)까지 채널 길이(L_D)를 획정한다. 액체 채널(220)은 일반적으로 중심축(x)을 중심으로 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡된다. 이로써, 액체 채널(220)은 채널 호 측도를 획정하기 위해 중심축(x)을 중심으로 원주상으로 연장된다. 본 예에서, 액체 채널(220)은 중심축(x)을 중심으로 약 810° 연장된다. 본 예에서, 내부 반경(R_C)은 채널의 길이를 따라 실질적으로 일정하다. 본 예에서, 액체 채널(220)은 중심축(x)을 중심으로 나선을 형성한다. 액체 채널(220)의 나선형 배치는 일정한 내부 반경(R_C) 및 중심축(x)을 중심으로 한 다수의 회전 모두를 수용한다. 그러나, 일부 실시예에서, 내부 반경은 일정하지 않다.

[0068] 액체 채널(220)은 일반적으로 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며, 이는 도 11의 유입구(222)에 나타나 있다. 액체 채널(220)의 단면은 채널(220)을 통과하는 유체 유동의 방향에 대략 수직이다. 채널(220)은 도 2에 보이는 높이(h)와 도 11에 보이는 폭(w)을 갖는다. 채널(220)은 또한 개시된 바와 같이 수력 직경(D_H)을 갖는다.

[0069] 상기에 논의된 예들과 마찬가지로, 입자 집속은 두 별개의 단계에서 일어날 수 있다. 액체 채널 길이(L_D)를 최적화하기 위해, 액체 채널의 전체 길이가 입자 이동 길이(L_0)와 입자 집속 길이(L_f)가 되도록, 완전 집속 영역이 방지된다. 액체 채널 길이(L_D) 및/또는 호 측도의 최적화는 일반적으로 상기의 논의와 일치한다.

[0070] 도 1 내지 도 2 및 도 10 내지 도 11의 예와 일치하는 실시예와 같은 다양한 실시예에서, 높이(h), 폭(w), 및 내부 반경(R_C)과 같은 액체 채널 치수는 액체 채널의 길이를 따라 실질적으로 일정한데, 이는 이러한 치수가 액체 채널의 길이를 따른 치수의 가중 평균값의 5% 넘게 달라지지 않음을 의미한다. 본원에 제공된 수식들은 일반적으로 액체 채널 길이의 최적화를 위한 것이고, 여기서 액체 채널은 실질적으로 일정한 내부 반경(R_C)을 갖는다. 일부 실시예에서, 채널 폭(w)은 채널의 길이를 따라 실질적으로 일정하지 않다. 이러한 실시예에서, 채널 길이를 따른 채널 폭(w)의 가중 평균이 액체 채널 길이의 최적화를 위해 본원에 제공된 수식들에 사용될 수 있다. 다양한 예에서, 최적화된 채널 길이는 집속 영역 내의 채널 치수의 가중 평균에 기반할 수 있다.

[0071] 도 12는 일부 실시예와 일치하는 또 다른 예시적인 수리동력학적 분리기 시스템의 개략도이다. 도 1을 참조하여 상기에 논의된 바와 같이, 시스템은 유체 공급원(20), 펌프, 유입 유동 채널(40), 및 토출 유동 분기들(50, 52)을 구비한다. 시스템은 모순되는 경우를 제외하고 일반적으로 상기의 설명과 일치하는 수리동력학적 분리기(300)를 구비한다. 수리동력학적 분리기(300)는 액체 스트림에 분산되는 입자를 집속하도록 구성된다. 수리동력학적 분리기(300)는 기재(310)로 구성된다. 기재(310)는 유입구(322) 및 토출구(324)를 구비한 액체 채널(320)을 획정한다. 액체는 유입구(322)로부터 토출구(324)로 수리동력학적 분리기(300)의 액체 채널(320)을 통해 흐르도록 구성된다.

[0072] 액체 채널(320)은 유입구(322)에서 토출구(324)까지 채널 길이(L_D)를 획정한다. 액체 채널(320)은 일반적으로 중심축(x)을 중심으로 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡된다. 이로써, 액체 채널(320)은 채널 호 측도를 획정하

기 위해 중심축(x)을 중심으로 원주상으로 연장된다. 본 예에서, 액체 채널(320)은 중심축(x)을 중심으로 약 180° 연장된다. 본 예에서, 내부 반경(R_C)은 채널의 길이를 따라 실질적으로 일정하지만, 다른 일부 실시예에서, 내부 반경은 일정하지 않다.

[0073] 액체 채널(320)은 일반적으로 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며, 이는 현재 보이지 않는다. 액체 채널(320)은 현재 보이지 않는 높이(h)와 도 12에 보이는 제1 채널 폭(w_1) 및 제2 채널 폭(w_2)을 갖는다. 이러한 특정 예에서, 액체 채널(320)은 일정한 폭을 갖지 않는다. 채널 폭은 유입구와 토출구 사이에서 테이퍼진다. 구체적으로, 액체 채널(320)의 제1 영역(326)은 제1 폭(w_1)을 획정하고, 액체 채널(320)의 제2 영역(328)은 제2 폭(w_2)을 획정하며, 테이퍼 영역(327)은 제1 폭(w_1)으로부터 제2 폭(w_2)으로의 원활한 전이를 제공하기 위해 제1 폭(w_1)과 제2 폭(w_2) 사이에서 연장된다. "테이퍼"라는 용어는 제1 폭(w_1)과 제2 폭(w_2) 사이의 단차진 전이와 같은 급격한 전이를 배제하는 비교적 점진적인 확장/수축을 의미하도록 본원에 사용된다. 테이퍼는 예를 들어 선형이거나 포물선이거나 기하급수적일 수 있다. 테이퍼 영역의 길이를 따른 테이퍼 형상 조합을 비롯하여, 다른 테이퍼 형상이 또한 가능하다.

[0074] 일부 실시예에서, 제1 영역(326) 및 제2 영역(328)은 대략 동일한 길이를 가질 수 있지만, 본 실시예에서, 제1 영역(326)은 제2 영역(328)보다 짧다. 일부 실시예에서, 제1 영역(326)은 제2 영역(328)보다 큰 길이를 갖는다. 일부 실시예에서, 테이퍼 영역(327)은 제1 영역(326) 또는 제2 영역(328) 중 하나 또는 둘 다보다 길다. 본 예에서, 액체 채널(320)의 외벽(323)의 반경만이 제1 영역(326)과 제2 영역(328) 사이에서 테이퍼진다. 다른 일부 실시예에서, 외벽(323)의 반경 및 내벽(321)의 반경이 제1 영역(326)과 제2 영역(328) 사이에서 테이퍼진다. 또 다른 실시예에서, 내벽(321)의 반경만이 제1 영역(326)과 제2 영역(328) 사이에서 테이퍼진다.

[0075] 폭이 작은 폭에서 큰 폭까지 테이퍼지는 액체 채널의 실시예가 일부 구현예에서 바람직할 수 있다. 액체 채널(320)의 폭이 작을수록, 입자가 내벽(321)을 향하여 집속되는 경로가 짧아진다. 액체 채널(320)의 폭이 클수록, 채널(320)을 따른 압력 강하가 낮아지고, 이는 채널(320)을 통해 액체를 펌핑하기 위해 요구되는 에너지를 감소시킨다. 이로써, 일부 구현예에서, 액체 채널(320)의 길이의 적어도 일부를 따라 증가하는 액체 채널 폭을 갖는 것이 바람직할 수 있다.

[0076] 일부 구현예에서, 최적의 채널 길이는 이러한 산출에서 액체 채널(320)의 길이를 따른 폭의 가중 평균을 사용함으로써 개산될 수 있다. 도 12와 일치하는 일부 구현예에서, 최대 집속을 달성하기 위해, 다음이 해당된다:

[0077] $$1 \leq \frac{L_{w1}}{L_{f(w1)}} + \frac{L_{w2}}{L_{f(w2)}},$$

[0078] 식 중, L_{w1} 및 L_{w2}는 각각 채널의 (제1 폭(w_1)을 갖는) 제1 영역(326) 및 (제2 폭(w_2)을 갖는) 제2 영역(328)의 실제 길이이다. $L_{f(w1)}$ 및 $L_{f(w2)}$는 각각 제1 영역(326)과 일치하는 채널 및 제2 영역(328)과 일치하는 채널의 이론적인 선형 집속 길이이다. 테이퍼 영역(327)의 길이가 L_{w1} 및 L_{w2}에 대해 비교적 작은 경우, 선형 집속 길이(L_f)는 다음과 같다:

[0079] $$L_f = \alpha L_{f(w1)} + (1-\alpha) L_{f(w2)},$$

[0080] 식 중, $\alpha = \frac{L_{w1}}{L_{f(w1)}}$ 이며, 제1 영역(326) 내에 일어나는 집속의 백분율에 해당하고, $(1-\alpha) = \frac{L_{w2}}{L_{f(w2)}}$ 이며, 제2 영역(328) 내에 일어나는 추가 집속의 백분율에 해당한다. "비교적 작은"이라는 표현은 테이퍼 영역(327)이 제1 영역(326)과 제2 영역(328)의 결합된 길이의 30%, 20%, 또는 심지어 10%보다 작은 것을 의미한다.

[0081] 다른 일부 구현예에서, 집속 영역의 총 길이의 산출을 위해, 테이퍼 영역의 제1 부분이 제1 영역(326)의 길이의 일부로 간주될 수 있고, 테이퍼 영역의 제2 부분이 제2 영역(328)의 길이의 일부로 간주될 수 있다. 예를 들어, 테이퍼 영역(327)의 길이의 절반이 제1 영역(326)의 길이의 일부로 간주될 수 있고, 테이퍼 영역(327)의 길이의 나머지 절반이 제2 영역(328)의 길이의 일부로 간주될 수 있다. 다른 접근안이 또한 사용될 수 있다.

[0082] 예

[0083] 예 A(물 중 25 ㎛ 입자)

[0084] 수리동력학적 분리기가 물 중 25 ㎛ 입자를 집속하도록 설계된다. 주요 파라미터는 표 2에 나타나 있다. 입자가

집속되는 유속 범위는 약 1.3 mL/분 내지 6.5 mL/분이다(딘 수 = 5.1 내지 25.3). 표 3에 나타낸 바와 같이, 선형 집속 영역 길이가 이러한 유속에 대해 산출된다. 시스템 압력 강하는 직선 채널 산출에 기반하는 추정 압력 강하이며, 이차 유동의 미미한 손실 또는 효과를 포함하지 않는다.

표 2

유체 밀도 (g/mL)	0.998
채널 높이 (μm)	150
채널 폭 (μm)	500
수력 치수 (μm)	231
점도 (cP)	1
곡률 반경 (mm)	20
입자 갇힘	0.11

[0085]

표 3

		$156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2+24.3$		$1598.8\frac{R_c a w^2}{ReD_H^3}+6.4$	
유속 (mL/분)	딘 수 (De)	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)
0.95	5.1	245	415	250	423
1.90	10.1	135	456	128	434
2.85	15.2	98	498	87	442
3.80	20.2	79	535	67	448
4.75	25.3	68	575	55	465

[0086]

[0087] 예 B(연료 중 10 ㎛ 입자, 가변 곡률 반경)

[0088] 수리동력학적 분리기가 연료 중 10 ㎛ 입자를 집속하도록 설계된다. 주요 파라미터는 표 4에 나타나 있다. 선형 집속 영역 길이 및 추정 압력 강하가 일정한 딘 수(De = 10)에서 상이한 수리동력학적 분리기 반경에 대해 산출될 수 있다. 이러한 데이터는 표 5에 나타나 있다. 시스템 압력 강하는 직선 채널 산출에 기반하는 추정 압력 강하이며, 이차 유동의 미미한 손실 또는 효과를 포함하지 않는다. 더 큰 곡률 반경에서, 채널을 통과하는 유속이 증가하지만, 압력 강하 증가라는 단점이 있다.

표 4

유체 밀도 (g/mL)	0.85
채널 높이 (μm)	100
채널 폭 (μm)	150
수력 치수 (μm)	120
점도 (cP)	3
입자 갇힘	0.08

[0089]

표 5

			$156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$		$1598.8\frac{R_c a w^2}{ReD_H^3} + 6.4$	
곡률 반경 (mm)	유속 (mL/분)	딘 수	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)
10	3.4	10	43.3	10633	21.6	5304
20	4.8	10	51.2	17749	28.4	9828
30	5.9	10	57.1	24331	33.4	14228
40	6.8	10	62.3	30596	37.8	18570

[0090]

[0091] 예 C(와인 중 8 내지 12 ㎛ 입자)

[0092] 수리동력학적 분리기가 와인 중 8 내지 12 ㎛ 입자를 집속하도록 설계된다. 이는 정화 중에 맥주 또는 와인으로부터 거품을 제거하는 과정을 나타낸다. 주요 파라미터는 표 6에 나타나 있다. 표 7에 나타낸 바와 같이, 선형 집속 영역 길이가 상이한 유속에 대해 산출된다. 가장 큰 입자 크기(12 ㎛)가 이러한 산출을 위해 사용된다. 시스템 압력 강하는 직선 채널 산출에 기반하는 추정 압력 강하이며, 이차 유동의 미미한 손실 또는 효과를 포함하지 않는다.

표 6

유체 밀도	(g/mL)	1.05
채널 높이	(μm)	75
채널 폭	(μm)	150
수력 치수	(μm)	100
유체 점도	(cP)	1.8
곡률 반경	(mm)	20
입자 갇힘	(8μm)	0.08
입자 갇힘	(12μm)	0.12

[0093]

표 7

		$156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$		$1598.8\frac{R_c a w^2}{ReD_H^3} + 6.4$	
유속 (mL/분)	딘 수 (De)	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)	Lf (mm)	시스템 압력 강하 (mbar)
1.16	5	94	9070	63	6040
2.32	10	59	11390	49	9300
3.48	15	48	13900	34	9940
4.64	20	42	16210	27	10440

[0094]

[0095] 예 D(2개의 폭을 갖는 장치)

[0096] 수리동력학적 분리기가 와인 중 8 내지 12 ㎛ 입자를 집속하도록 설계된다. 일부 구현예에서, 이러한 분리기는 정화 중에 맥주 또는 와인으로부터 거품을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 수리동력학적 분리기는 상이한 폭(w_1, w_2)을 갖는 2개의 영역, 및 1 ㎜ 이하의 길이를 갖는 비교적 작은 전이 영역을 구비한다. 유속은 3.48 mL/분이다. 주요 파라미터는 표 8에 나타나 있다. 분리기는 제1 영역에서 집속의 α% 및 제2 영역에서 집속의 (1-α)%를 달성하도록 구성되고, 그에 따라 입자는 제2 영역의 끝에서 완전히 집속된다. 각각의 영역의 길이(L_{w1}, L_{w2}) 및 총 집속 길이(L_f)가 표 9에서 산출된다.

표 8

[0097]

유체 밀도 (g/mL)	1.05
유체 유속 (mL/ 분)	3.48
채널 높이 (μm)	75
채널 폭 영역 1 (μm)	100
채널 폭 영역 2 (μm)	150
수력 치수 영역 1 (μm)	86
수력 치수 영역 2 (μm)	100
유체 점도 (cP)	1.8
곡률 반경 (mm)	20
입자 갇힘 영역 1 (8μm)	0.09
입자 갇힘 영역 1 (12μm)	0.14
입자 갇힘 영역 2 (8μm)	0.08
입자 갇힘 영역 2 (12μm)	0.12

표 9

[0098]

		$156.2\frac{R_c}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2+24.3$			$1598.8\frac{R_c a w^2}{Re D_H^3}+6.4$		
영역 1 집속 (α)	영역 2 집속 (1 − α)	L_{w1} (mm)	L_{w2} (mm)	L_f (mm)	L_{w1} (mm)	L_{w2} (mm)	L_f (mm)
0%	100%	0	48	48	0	34	34
25%	75%	9	36	45	5	26	31
50%	50%	18	24	42	11	17	28
75%	25%	26	12	38	16	9	25
100%	0%	35	0	35	21	0	21

[0099] 더 좁은 채널(영역 1) 내의 집속의 백분율을 증가시킴으로써, 전체 집속 길이를 감소시킬 수 있다는 것이 일반적으로 관찰될 수 있지만, 이는 더 작은 채널 치수로 인한 압력 강하 증가의 대가로 일어날 것이다. 최적의 설계는 응용 요건에 따라 좌우될 것이다.

[0100] 예시적인 실시예

[0101] 실시예 1. 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

[0102] 기재; 및

[0103] 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및

토출구를 구비하는 액체 채널을 포함하되;

[0104] 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

[0105] 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

[0106] 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

[0107] 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = 1598.8\frac{R_C a w^2}{Re D_H^3} + 6.4$ 인, 수리동력학적 분리기.

[0108] 실시예 2. 실시예 1 및 3 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

[0109] 실시예 3. 실시예 1 내지 2 및 4 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 큰, 수리동력학적 분리기.

[0110] 실시예 4. 실시예 1 내지 3 및 5 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0111] 실시예 5. 실시예 1 내지 4 및 6 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0112] 실시예 6. 실시예 1 내지 5 및 7 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

[0113] 실시예 7. 실시예 1 내지 6 및 8 내지 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

[0114] 실시예 8. 실시예 1 내지 7 및 9 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

[0115] 실시예 9. 실시예 1 내지 8 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0116] 실시예 10. 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

[0117] 기재; 및

[0118] 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 액체 채널을 포함하되;

[0119] 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

[0120] 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

[0121] 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

[0122] 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = 156.2\frac{R_C}{Re}\left(\frac{w}{D_H}\right)^2 + 24.3$ 인, 수리동력학적 분리기.

[0123] 실시예 11. 실시예 10 및 12 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

[0124] 실시예 12. 실시예 10 내지 11 및 13 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8% 보다 큰, 수리동력학적 분리기.

[0125] 실시예 13. 실시예 10 내지 12 및 14 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0126] 실시예 14. 실시예 10 내지 13 및 15 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0127] 실시예 15. 실시예 10 내지 14 및 16 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

[0128] 실시예 16. 실시예 10 내지 15 및 17 내지 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

[0129] 실시예 17. 실시예 10 내지 16 및 18 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

[0130] 실시예 18. 실시예 10 내지 17 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0131] 실시예 19. 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

[0132] 기재; 및

[0133] 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 액체 채널을 포함하되;

[0134] 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

[0135] 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

[0136] 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

[0137] 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)와 같거나 크고, $L_f = \frac{Rew^2}{8D_H} + 24.3$ 인, 수리동력학적 분리기.

[0138] 실시예 20. 실시예 19 및 21 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

[0139] 실시예 21. 실시예 19 내지 20 및 22 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8%보다 큰, 수리동력학적 분리기.

[0140] 실시예 22. 실시예 19 내지 21 및 23 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0141] 실시예 23. 실시예 19 내지 22 및 24 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널 길이(L_D)는 선형 집속 길이(L_f)보다 30% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0142] 실시예 24. 실시예 19 내지 23 및 25 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

[0143] 실시예 25. 실시예 19 내지 24 및 26 내지 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

[0144] 실시예 26. 실시예 19 내지 25 및 27 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

[0145] 실시예 27. 실시예 19 내지 26 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0146] 실시예 28. 입자 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

[0147] 기재; 및

[0148] 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 액체 채널을 포함하되;

[0149] 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하도록 만곡되며 중심축을 중심으로 곡선을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

[0150] 액체 채널은 곡선의 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

[0151] 직사각형 단면은 높이, 폭(w), 및 수력 직경(D_H)을 가지고,

[0152] 액체 채널은 중심축을 중심으로 집속각(α)을 가지며, 집속각 $\alpha = 265{,}682\frac{aw^2}{\pi Re\, D_H{}^3} + 45.1$ 이고, 액체 채널은 집속각(α)과 같거나 큰 호 측도를 획정하기 위해 중심축을 중심으로 원주상으로 연장되는, 수리동력학적 분리기.

[0153] 실시예 29. 실시예 28 및 30 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 시스템은 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

[0154] 실시예 30. 실시예 28 내지 29 및 31 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자 직경(a)은 수력 직경(D_H)의 8% 보다 큰, 수리동력학적 분리기.

[0155] 실시예 31. 실시예 28 내지 30 및 32 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 호 측도는 집속각보다 40% 이하 더 큰, 수리동력학적 분리기.

[0156] 실시예 32. 실시예 28 내지 31 및 33 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 호 측도는 360° 보다 크고, 액체 채널은 나선을 획정하는, 수리동력학적 분리기.

[0157] 실시예 33. 실시예 28 내지 32 및 34 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 호 측도는 360° 보다 작은, 수리동력학적 분리기.

[0158] 실시예 34. 실시예 28 내지 33 및 35 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

[0159] 실시예 35. 실시예 28 내지 34 및 36 내지 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

[0160] 실시예 36. 실시예 28 내지 35 및 37 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

[0161] 실시예 37. 실시예 28 내지 36 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 제1 채널 폭을 갖는 제1 영역과 제2 채널 폭을 갖는 제2 영역, 및 제1 채널 폭에서 제2 채널 폭까지 연장되는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0162] 실시예 38. 직경(a)을 갖는 입자가 분산된 액체를 분리하도록 구성되는 수리동력학적 분리기로서,

[0163] 기재; 및

[0164] 기재에 의해 획정되는 액체 채널로, 채널 내에 레이놀즈 수(Re)를 갖는 액체를 공급받도록 구성되고 유입구 및 토출구를 구비하는 액체 채널을 포함하되;

[0165] 액체 채널은 내부 반경(R_C)을 획정하는 만곡된 내벽 및 외부 반경을 획정하는 만곡된 외벽을 구비하며,

[0166] 액체 채널은 만곡된 내벽을 따라 액체 채널 길이(L_D)를 가지고,

[0167] 액체 채널은 액체 채널 길이를 따라 직사각형 단면을 가지며,

[0168] 직사각형 단면은 내벽과 외벽 사이에 채널 폭(w)을 가지고, 채널은 채널 폭이 유입구와 토출구 사이에서 테이퍼지는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0169] 실시예 39. 실시예 38 및 40 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 채널 폭은 토출구를 향하여 증가하는, 수리동력학적 분리기.

[0170] 실시예 40. 실시예 38 내지 39 및 41 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 채널 폭은 유입구와 토출구 사이에

서 일정한 비율로 증가하는, 수리동력학적 분리기.

[0171] 실시예 41. 실시예 38 내지 40 및 42 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 폭은 토출구를 향하여 감소하는, 수리동력학적 분리기.

[0172] 실시예 42. 실시예 38 내지 41 및 43 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 내부 반경은 유입구에서 토출구까지 일정한, 수리동력학적 분리기.

[0173] 실시예 43. 실시예 38 내지 42 및 44 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 외부 반경은 유입구와 토출구 사이에서 외향 테이퍼지는, 수리동력학적 분리기.

[0174] 실시예 44. 실시예 38 내지 43 및 45 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 제1 채널 폭 및 제1 액체 채널 길이를 갖는 제1 영역, 제2 채널 폭 및 제2 액체 채널 길이를 갖는 제2 영역, 및 제1 영역에서 제2 영역까지 연장되는 테이퍼 영역 길이를 갖는 테이퍼 영역을 구비하는, 수리동력학적 분리기.

[0175] 실시예 45. 실시예 44에 있어서, 제1 영역은 제2 영역보다 큰 길이를 가지는, 수리동력학적 분리기.

[0176] 실시예 46. 실시예 38 내지 45 및 47 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 시스템은 제1 영역 및 제2 영역에서 5 내지 25의 딘 수(De)를 갖도록 구성되는, 수리동력학적 분리기.

[0177] 실시예 47. 실시예 38 내지 46 및 48 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자는 액체보다 최대 3배 더 조밀한, 수리동력학적 분리기.

[0178] 실시예 48. 실시예 38 내지 47 및 49 내지 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 토출구는 제1 토출구 및 제2 토출구를 포함하는, 수리동력학적 분리기.

[0179] 실시예 49. 실시예 38 내지 48 및 50 중 어느 한 실시예에 있어서, 액체 채널은 복수의 동일한 액체 채널 중 하나인, 수리동력학적 분리기.

[0180] 실시예 50. 실시예 38 내지 49 중 어느 한 실시예에 있어서, 입자 직경(a)은 제1 영역의 수력 직경(D_H) 및 제2 영역의 수력 직경의 8%보다 큰, 수리동력학적 분리기.

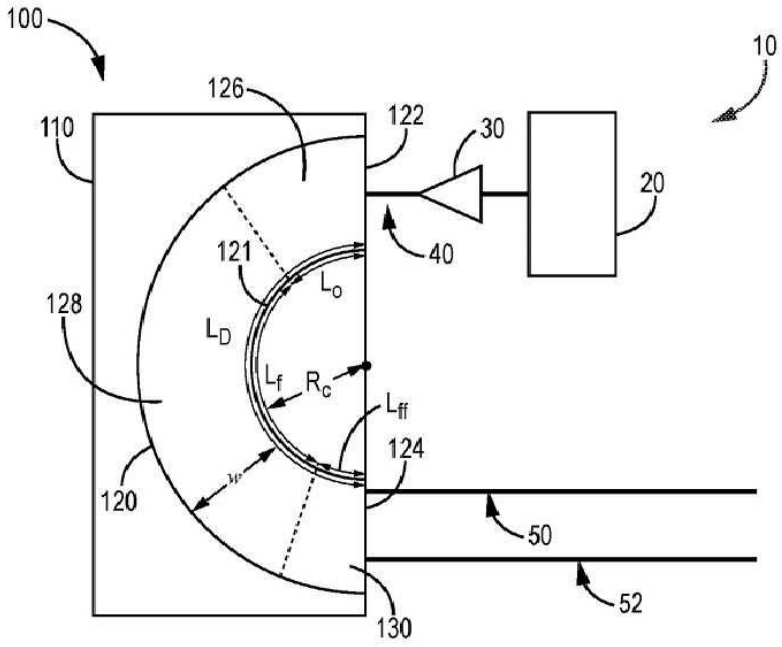
[0181] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 사용된 바와 같이, "구성되는"이라는 표현은 특정 작업을 수행하거나 특정 구성을 채택하도록 구축되는 시스템, 기기, 또는 다른 구조를 나타냄을 또한 주목해야 한다. "구성되는"이라는 단어는 "배치되는", "구축되는", "제조되는" 등과 같은 유사한 단어들과 상호교환가능하게 사용될 수 있다.

[0182] 본 명세서 내의 모든 공개 및 특허 출원은 이러한 기술이 속하는 분야의 통상의 숙련 수준을 나타낸다. 모든 공개 및 특허 출원은, 각각의 개별 공개 또는 특허 출원이 구체적으로 및 개별적으로 참조로 포함된 것과 동일한 정도로, 본원에 참조로 포함된다. 본 출원의 개시와 본원에 참조로 포함된 임의의 문헌의 개시(들) 사이에 불일치가 존재하는 경우, 본 출원의 개시가 우선한다.

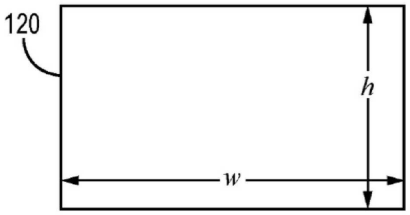
[0183] 본 출원은 본 주제의 수정 또는 변경을 포괄하도록 의도된다. 상기 설명은 제한이 아닌 예시를 위한 것이고, 청구범위는 본원에 명시된 예시적인 실시예들에 제한되지 않음을 이해해야 한다.

도면

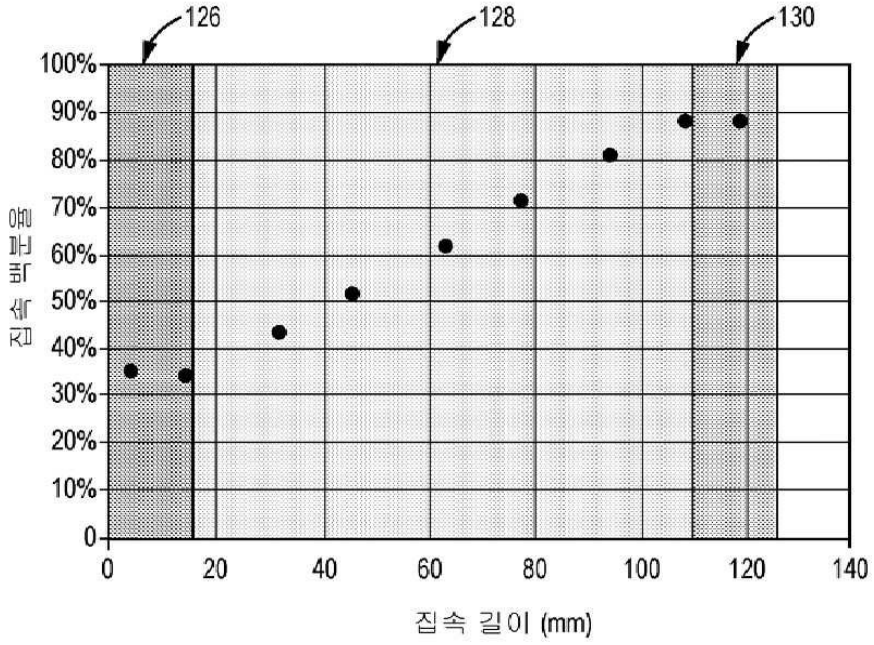
도면1


100
10
126
110
122
30
20
40
121
L_o
128
L_D
L_f
R_c
L_{ff}
124
120
w
50
52
130

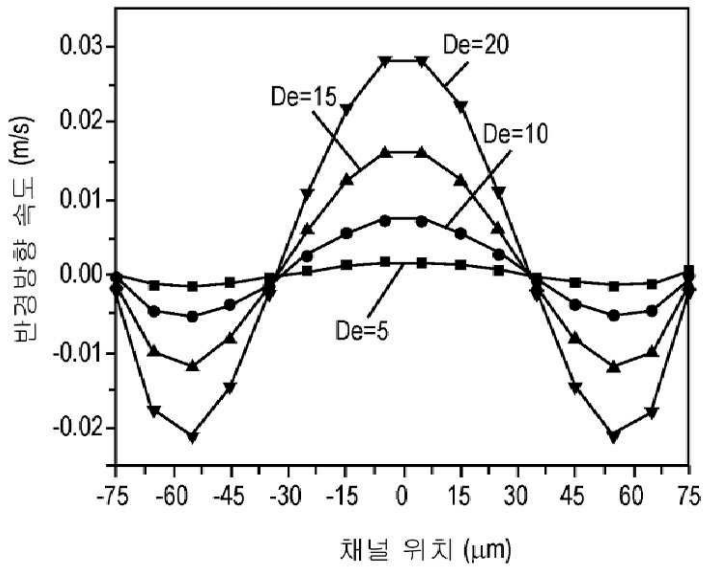
도면2


120
h
w

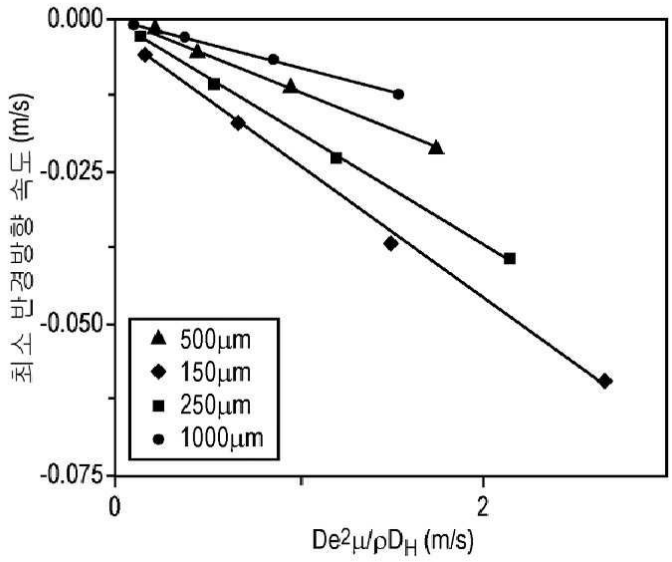
도면3


126
128
130
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0
집속 분율
0
20
40
60
80
100
120
140
집속 길이 (mm)

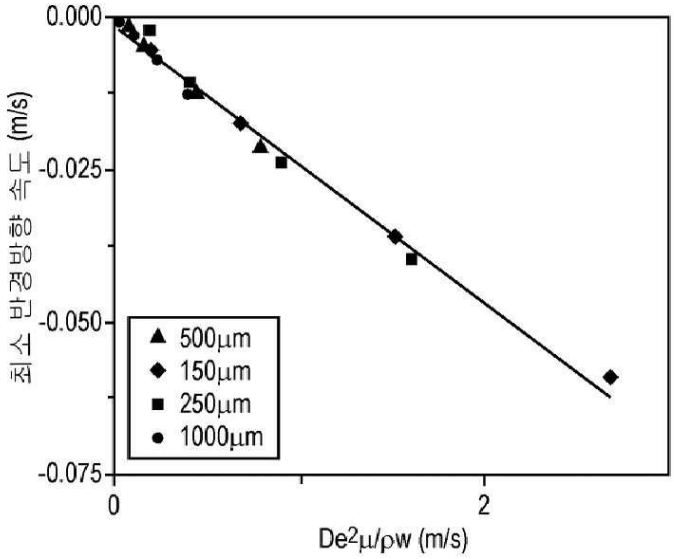
도면4


0.03
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
반경방향 속도 (m/s)
De=20
De=15
De=10
De=5
-75
-60
-45
-30
-15
0
15
30
45
60
75
채널 위치 (μm)

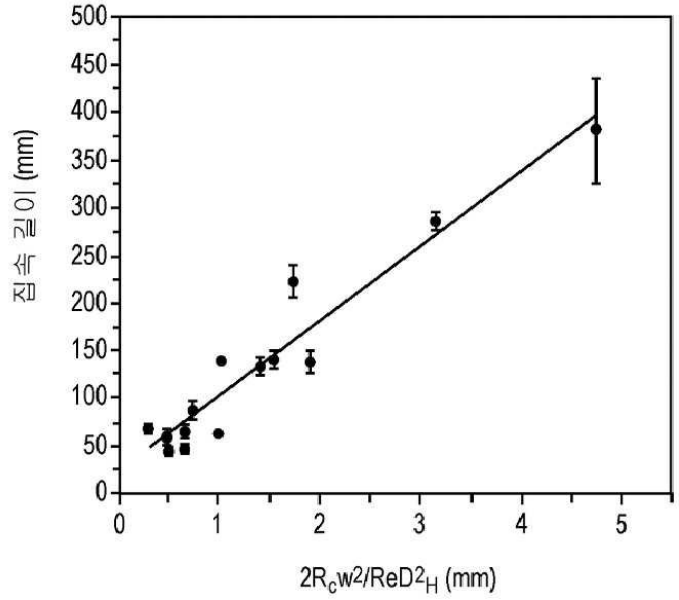
도면5


0.000
-0.025
-0.050
-0.075
0
2
최소 반경방향 속도 (m/s)
De²μ/ρD_H (m/s)
500μm
150μm
250μm
1000μm

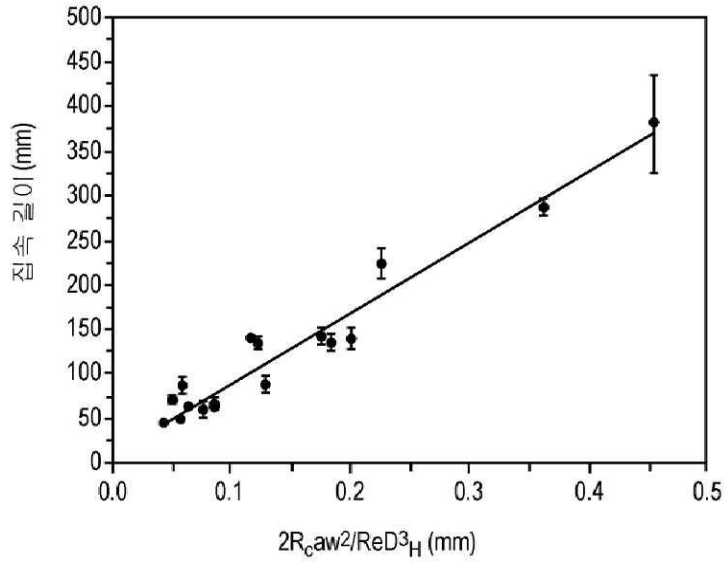
도면6


0.000
-0.025
-0.050
-0.075
0
2
최소 반경방향 속도 (m/s)
De²μ/ρw (m/s)
500μm
150μm
250μm
1000μm

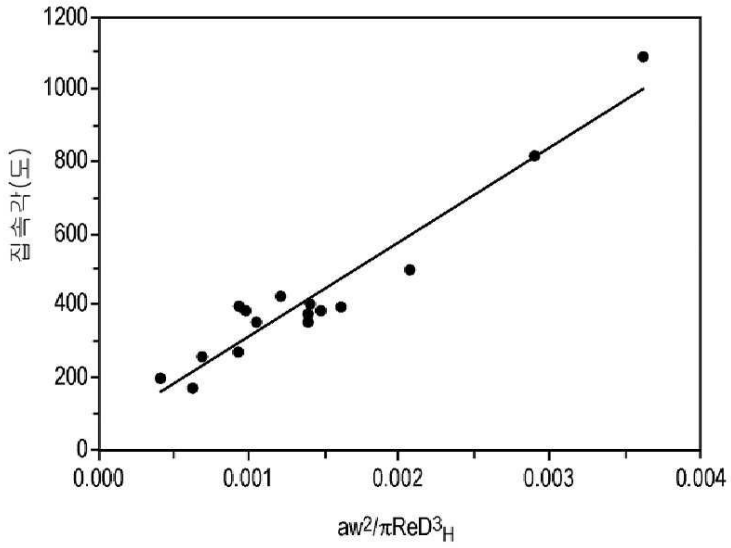
도면7


500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
1
2
3
4
5
접속 길이 (mm)
$2R_cw^2/ReD^2_H$ (mm)

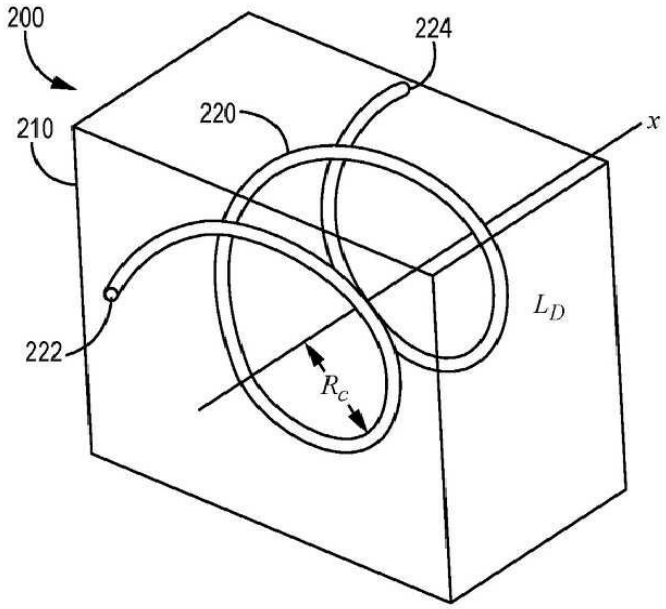
도면8


500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
접속 길이 (mm)
$2R_caw^2/ReD^3_H$ (mm)

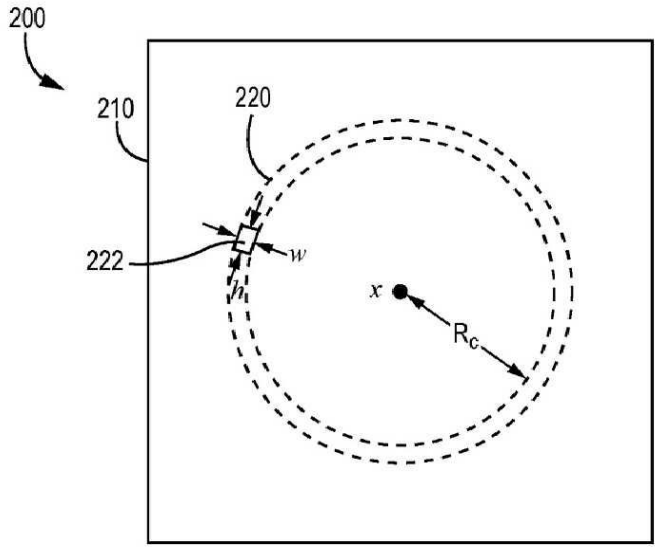
도면9


1200
1000
800
600
400
200
0
0.000
0.001
0.002
0.003
0.004
접속각(도)
aw2/πReD3H

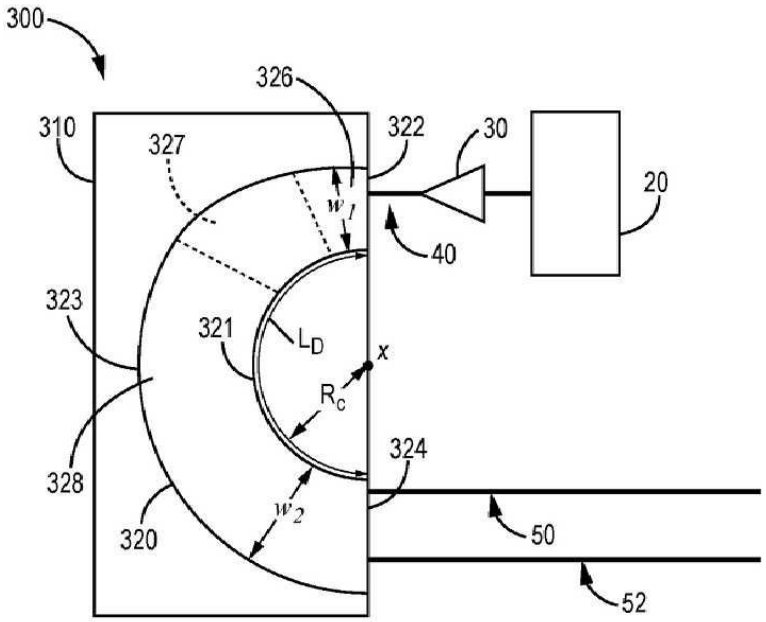
도면10


200
224
220
210
x
222
L_D
R_c

도면11


200
210
220
222
w
h
x
Rc

도면12


300
326
310
327
322
30
20
w1
40
323
321
LD
x
Rc
324
328
320
w2
50
52