



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0124507
(43) 공개일자 2024년08월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 11/12 (2006.01) G01N 11/00 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01N 11/12 (2013.01)
G01N 2011/0026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0017094
(22) 출원일자 2023년02월09일
심사청구일자 2023년02월09일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지
질자원연구원)
(72) 발명자
황옥렬
경남 진주시 예나로175번길 12
조해진
경북 포항시 북구 천마로90번길 33
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김중석

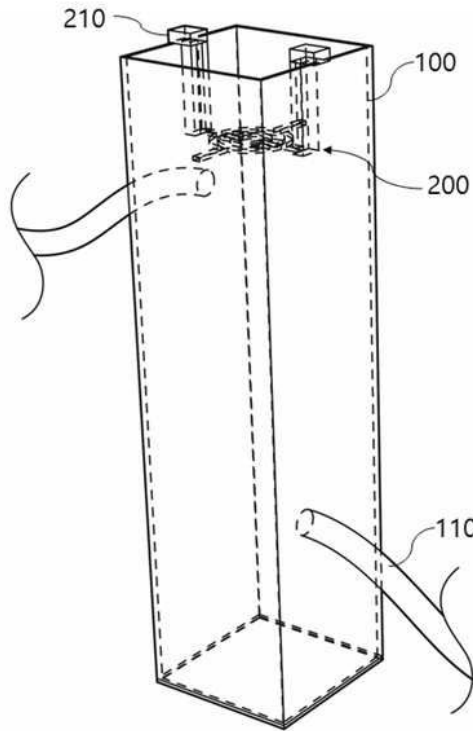
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은, 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템 및 방법에 관한 것으로, 일면에 격자형 눈금이 형성되
고 상부가 개방되며 유체가 수용될 수 있도록 마련되는 실린더부, 상기 실린더부의 상부에 마련되며, 상기 실린
더부의 중심부를 원심으로 한 통과공, 상기 통과공을 통해 통과되어 상기 실린더부 내에 수용된 유체에 침강되는
(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



측정구, 상기 측정구의 침강 속도 및 가속도를 측정하는 측정부 및, 상기 침강 속도 및 가속도에 대한 정보를 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 유동특성산출부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

또한, 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 의한 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법에 있어서, 상기 실린더부에 점도측정 대상인 유체가 수용되도록 하는 준비단계, 상기 측정구가 통과공을 통해 낙하하여 상기 유체 내로 침강되도록 하는 낙하단계, 상기 측정부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보가 습득되도록 하는 속도측정단계 및, 상기 유동특성산출부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보를 기반으로 상기 유체의 점도가 측정될 수 있도록 하는 유동특성산출단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(72) 발명자

김영주

경남 진주시 초장로14번길 29

우남섭

경북 포항시 북구 우창로 166

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615011815
과제번호	133617
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	플랜트연구(R&D)
연구과제명	이수 순환특성 예측 및 연속순환시스템 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국지질자원연구원
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

일면에 격자형 눈금이 형성되고 상부가 개방되며 유체가 수용될 수 있도록 마련되는 실린더부;
상기 실린더부의 상부에 마련되며, 상기 실린더부의 중심부를 원심으로 한 통과공;
상기 통과공을 통해 통과되어 상기 실린더부 내에 수용된 유체에 침강되는 측정구;
상기 측정구의 침강 속도 및 가속도를 측정하는 측정부; 및
상기 침강 속도 및 가속도에 대한 정보를 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 유동특성산출부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 측정부는,
상기 측정구의 침강을 촬영하는 촬영부; 및
상기 촬영부에 의해 촬영된 이미지를 처리하여 상기 측정구의 속도 및 가속도가 도출될 수 있도록 하는 데이터 처리부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템.

청구항 3

제1항의 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 의한 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법에 있어서,
상기 실린더부에 점도측정 대상인 유체가 수용되도록 하는 준비단계;
상기 측정구가 통과공을 통해 낙하하여 상기 유체 내로 침강되도록 하는 낙하단계;
상기 측정부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보가 습득되도록 하는 속도측정단계; 및
상기 유동특성산출부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보를 기반으로 상기 유체의 점도가 측정될 수 있도록 하는 유동특성산출단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 유동특성산출단계는,
상기 측정구의 속도 및 가속도 정보를 통해 유체의 항력계수를 산출하는 항력계수산출단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 유동특성산출단계는,
상기 유체의 항력계수로부터 상기 유체의 유효레이놀즈수를 산출하는 레이놀즈수산출단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 유동특성산출단계는,

상기 항력계수와 유효레이놀즈수의 관계식을 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 점도산출단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 비뉴턴유체 내에서 침강되는 낙구의 속도와 가속도를 통해 점도를 측정하는 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 고분자 용융체 및 솔루션, 입자현탁액, 슬러리, 액적계 등 유변학적 복잡유체(rheologically complex fluid)는 미세구조와 유체역학적 상호작용으로 전단담화(shear-thinning), 항복응력(yield stress) 등 복잡한 점도의 변화를 보이며, 화학공정, 고분자가공, 전자재료(디스플레이 및 이차전지), 식품, 화장품, 페인트, 수처리, 석유 시추 등 다양한 공정에 적용되고 있다.

[0003] 이러한 복잡 유체의 점도를 측정하는 기존의 방법은 기본적으로 유체의 샘플을 취하여 다음 중 하나의 방법을 이용하고 있다. (i) 평판사이에 유체를 넣고 한쪽 평판에 전단력을 주어 전단율을 측정하여 이 둘 사이의 관계를 통해 점도를 측정할 수 있다. (ii) 간단한 원형단면 혹은 얇은 직사각형 미세관에 유체를 흘려 압력차와 유량의 관계를 이용하여 점도를 측정할 수 있다.

[0004] 그런데, 위의 두 방법 모두 운동량보존(힘 평형)의 원리로부터 유도되기 때문에, 매우 간단한 형상(원형평판, 원형단면 미세관, 직사각형 미세관)에 대해서만 적용이 가능할 수 있다.

[0005] 이러한 문제점을 해결하기 위한 선행문헌으로, 대한민국등록특허 제10-2013036호를 살펴보면, 연속적 유동장에서의 점도 측정 방법 및 시스템에 대해 개시되어 있다.

[0006] 그러나 선행기술문헌에서도 구형입자를 낙하시키는 것과 같이 간단한 과정으로 유효점도, 유효전단율, 항력계수 등을 측정하기에는 어렵다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) (선행문헌 1) 대한민국공개특허 제10-2013036호 (2019.08.14.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 바와 같은 선행기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 비뉴턴 유체의 항력계수를 실시간으로 측정하고, 측정된 항력계수를 통해 비뉴턴 유체의 점도를 측정하는 데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 있어서, 일면에 격자형 눈금이 형성되고 상부가 개방되며 유체가 수용될 수 있도록 마련되는 실린더부, 상기 실린더부의 상부에 마련되며, 상기 실린더부의 중심부를 원심으로 한 통과공, 상기 통과공을 통해 통과되어 상기 실린더부 내에 수용된 유체에 침강되는 측정구, 상기 측정구의 침강 속도 및 가속도를 측정하는 측정부 및, 상기 침강 속도 및 가속도에 대한 정보를 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 유동특성산출부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 의한 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법에 있어

서, 상기 실린더부에 점도측정 대상인 유체가 수용되도록 하는 준비단계, 상기 측정구가 통과공을 통해 낙하하여 상기 유체 내로 침강되도록 하는 낙하단계, 상기 측정부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보가 습득되도록 하는 속도측정단계 및, 상기 유동특성산출부에 의하여, 상기 측정구의 속도 및 가속도 정보를 기반으로 상기 유체의 점도가 측정될 수 있도록 하는 유동특성산출단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0011] 상기 과제의 해결 수단에 따른 본 발명은, 현장에서 실린더 내에 구체를 침강시키는 간단한 과정으로 비뉴턴유체의 점도가 측정될 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0012] 또한, 본 발명은, 에너지소산을 관점에서 항력계수와 레이놀즈 수의 관계를 정의하여, 구체의 낙하 시 발생하는 실시간 속도 및 가속도를 통해 비뉴턴유체의 실시간 항력계수 및 전단율이 측정될 수 있도록 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템의 사시도이다.

도 2는, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템의 측면도이다.

도 3은, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템의 평면도이다.

도 4는, 본 발명에 따른 측정부와 유동특성산출부의 구성도이다.

도 5는, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법의 흐름도이다.

도 6은, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법 중 유동특성산출단계의 상세 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0015] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0016] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 “포함” 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.

[0017] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0018] 본 발명에 대한 해결하고자 하는 과제, 과제의 해결 수단, 발명의 효과를 포함한 구체적인 사항들은 다음에 기재할 실시예 및 도면들에 포함되어 있다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0019] 본 발명의 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템을 설명하기에 앞서, 본 발명은 유효전단율 상수를 통해 비뉴턴유체의 전단율을 정의하고, 상기 전단율에 따라 점도와 레이놀즈수를 정의하여 항력계수와 레이놀즈수의 관계가 정의될 수 있도록 한 점을 착안하여 개시된 발명이다. 즉, 본 발명은, 낙구를 통해 비뉴턴유체의 항력계수를 실시간으로 측정하여 레이놀즈수와 항력계수의 관계식을 통해 실시간으로 점도를 측정할 수 있도록 한다.

[0020] 먼저, 유효전단율 $\dot{\gamma}_{eff}$ 은, 비뉴턴유체의 전단율을 의미한다. 또한, 유효레이놀즈수 Re_{eff} 는 비뉴턴유체에서의 레이놀즈수를 의미한다. 이러한 유효전단율은, 하기 수학적식1과 같이, 레이놀즈수에 따른 유효전단율계수 K_s 와 실시간 속도 및 구의 직경으로 정의할 수 있는 겉보기전단율 $\dot{\gamma}_{app}$ 의 곱으로 나타낼 수 있으며, 점도와 유효전단율의 경우 레오미터로 정밀하게 측정된 비뉴턴유체의 점도거동과 동일한 거동을 보인다.

[0021] [수학적식1]

[0022] $\dot{\gamma}_{eff} = K_s \dot{\gamma}_{app}$

[0023] 또한, 낙구에 작용되는 힘의 평형을 이용하여, 하기와 같이 항력계수에 관한 식으로 정리할 수 있다.

[0024] [수학식2]

$$F=W-F_D-F_B \quad ,$$

$$W=m_s g=\rho_s g V, F_D=\frac{1}{2} C_D \rho_f u^2 A, F_B=\rho_f g V \quad (V=(\pi D^3)/6, A=(\pi D^2)/4)$$

[0026]

[0027] 합력F는 중력W에서 항력F_D와 부력F_B를 뺀 값과 평형을 이루므로, 상기 수학식2를 정리하면, 하기 수학식3과 같이 항력계수 C_D에 관한 식으로 정리될 수 있다. 이때, m_s는 구의 질량, g는 중력가속도, ρ_s는 구의 밀도, V는 구의 부피, C_D는 항력계수, ρ_f는 유체밀도, u는 구의 속도, A는 구의 단면적이다.

[0028] [수학식3]

$$C_D=\frac{4D}{3} \frac{\rho_s}{\rho_f} \frac{1}{u^2} [(\frac{\rho_s-\rho_f}{\rho_s})g - \frac{du}{dt}]$$

[0029]

[0030] 또한, 뉴턴유체의 경우 항력계수와 레이놀즈수 간의 관계가 잘 나타나 있지만 비뉴턴유체의 경우 경험적으로 얻은 식을 사용하거나 다른 유체모델을 통해 항력계수와 레이놀즈수 사이의 관계가 정의되도록 한다. 그러나, 본 발명에서는, 비뉴턴유체 내로 침강되는 낙구의 항력계수와 레이놀즈수 사이 관계를 유효점도 기반 유효레이놀즈수를 도입함으로써 비뉴턴유체의 점도를 도출할 수 있다. 이와 관련하여, 레이놀즈수의 범위에 따른 항력계수와 유효레이놀즈수는 하기 수학식4와 같이 나타난다.

[0031] [수학식4]

$$Re \leq 0.3, C_D=\frac{24}{Re_{eff}}, Re_{eff}=\frac{24}{C_D}$$

[0032]

$$0.3 \leq Re \leq 0.5, C_D=\frac{26.5}{Re_{eff}^{0.88}}, Re_{eff}=(\frac{26.5}{C_D})^{\frac{1}{0.88}}$$

[0033]

$$5 \leq Re \leq 100, C_D=\frac{18.6}{Re_{eff}^{0.64}}, Re_{eff}=(\frac{18.6}{C_D})^{\frac{1}{0.64}}$$

[0034]

[0035] 즉, 상기 수학식4의 관계에 의해, 항력계수나 유효레이놀즈수 중 어느 하나의 값이 정해진 경우, 나머지 하나의 값을 산출할 수 있다. 이때, 하기 수학식5와 같이, 유효레이놀즈수는 점도를 기반으로 정의된다.

[0036] [수학식5]

$$Re_{eff}=\frac{\rho u D}{\mu_{eff}}$$

[0037]

[0038] 따라서, 항력계수가 산출되면 유효레이놀즈수가 산출되며, 상기 수학식5를 통해 점도가 산출될 수 있다.

[0039] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

[0040] 본 발명의 바람직한 제1실시예에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템은, 도 1 내지 도 4를 참조하면, 일면에 격자형 눈금이 형성되고 상부가 개방되며 유체가 수용될 수 있도록 마련되는 실린더부(100), 상기 실린더부의 상부에 마련되며, 상기 실린더부의 중심부를 원심으로 한 통과공(200), 상기 통과공(200)을 통해 통과되어 상기 실린더부(100) 내에 수용된 유체에 침강되는 측정구(300), 상기 측정구(300)의 침강 속도 및 가속도를 측정하는 측정부(400) 및, 상기 침강 속도 및 가속도에 대한 정보를 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 유동특성산출부(500)를 포함한다.

[0041] 일례로, 상기 실린더부(100)는, 지면과 수직된 방향으로 길게 형성되어 내부에 수용되는 유체 내부에서 측정구(300)가 침강되는 구간이 길어질 수 있도록 한다. 또한, 상기 실린더부(100)의 일면에는 격자형 눈금이 마련됨으로써, 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도 측정에 대한 정확도가 향상될 수 있도록 한다, 그리고, 상기 실린

터부(100)의 눈금은, 상기 실린더부(100) 내부에 수용된 유체가 교환되더라도 같은 수위만큼 채워질 수 있도록 교정에 도움이 될 수 있도록 한다. 또한, 상기 실린더부(100)는, 상기 실린더부(100)의 상단부 및 하단부에 각각 연결되는 유체순환호스(110)를 포함한다. 상기 유체순환호스(110)는, 상기 실린더부(100) 내에 유체가 공급되거나 배출될 수 있도록 하여 내부의 유체가 순환되도록 하여 유체의 온도가 유지될 수 있도록 한다.

[0042] 또한, 상기 통과공(200)은, 양측으로부터 연장되어 마련되는 결속부(210)에 의해 상기 실린더부(100)의 상부 양측에 각각 연결되어 고정되며, 상기 측정구(300)가 항상 같은 위치에서 낙하할 수 있도록 가이드하는 역할을 한다. 이때, 상기 통과공(200)의 일면에는 상기 측정구(300)가 통과될 수 있도록 마련되는 홀이 마련된다. 또한, 상기 통과공(200)의 원심이 상기 실린더부(100)의 중심부와 일치하게 마련됨으로써, 상기 측정구(300)가 상기 실린더부(100)의 중앙부에서 낙하할 수 있는 것이다.

[0043] 또한, 상기 측정부(400)는, 유체 내에서 침강되는 상기 측정구(300)를 촬영하고, 촬영된 이미지로부터 측정구(400)의 속도 및 가속도를 도출하는 역할을 한다. 일례로, 상기 측정부(400)는, 상기 측정구(300)의 침강을 촬영하는 촬영부(410) 및, 상기 촬영부(410)에 의해 촬영된 이미지를 처리하여 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도가 도출될 수 있도록 하는 데이터처리부(420)를 포함한다. 상기 촬영부(410)는, 상기 실린더부(100)의 일면과 대응되도록 배치되는 고속촬영 카메라를 포함하여 상기 측정구(300)의 침강 모습이 정밀하게 촬영될 수 있도록 한다. 상기 데이터처리부(420)는, 상기 촬영된 이미지 데이터로부터 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도가 도출될 수 있도록 한다. 이때, 순간 침강 속도는 측정구(300)의 위치와 침강 시간으로 결정될 수 있다.

[0044] 또한, 상기 유동특성산출부(500)는, 상기 측정부(400)로부터 수집된 측정구(300)의 속도 및 가속도 정보로부터 상기 유체의 유동특성을 산출하는 역할을 한다. 이때, 상기 유동특성산출부(500)는, 기저장된 수학적식을 통해 상기 실린더부(100)에 수용된 유체의 항력계수와 레이놀즈수의 관계로부터 실시간으로 점도가 산출될 수 있도록 한다.

[0045] 일례로, 상기 유동특성산출부(500)는, 상기 측정구(300)에 적용되는 힘의 평형을 통해 도출된 하기 수학적식3을 이용하여, 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도로부터 유체의 항력계수를 도출할 수 있다.

[0046] [수학적식3]

$$C_D = \frac{4D}{3} \frac{\rho_s}{\rho_f} \frac{1}{u^2} \left[\left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) g - \frac{du}{dt} \right]$$

[0047]

[0048] 이때, g 는 중력가속도, ρ_s 는 구의 밀도, V 는 구의 부피, C_D 는 항력계수, ρ_f 는 유체의 밀도, u 는 구의 속도, A 는 구의 단면적이다.

[0049] 또한, 상기 유동특성산출부(500)는, 하기 수학적식4 및 수학적식5를 통해 상기 유체의 유효레이놀즈수가 도출될 수 있도록 하고, 상기 유효레이놀즈수를 통해 유체의 유효점도가 도출될 수 있도록 한다.

[0050] [수학적식4]

$$Re \leq 0.3, C_D = \frac{24}{Re_{eff}}, Re_{eff} = \frac{24}{C_D}$$

[0051]

$$0.3 \leq Re \leq 0.5, C_D = \frac{26.5}{Re_{eff}^{0.88}}, Re_{eff} = \left(\frac{26.5}{C_D} \right)^{\frac{1}{0.88}}$$

[0052]

$$5 \leq Re \leq 100, C_D = \frac{18.6}{Re_{eff}^{0.64}}, Re_{eff} = \left(\frac{18.6}{C_D} \right)^{\frac{1}{0.64}}$$

[0053]

[0054] [수학적식5]

$$Re_{eff} = \frac{\rho u D}{\mu_{eff}}$$

[0055]

[0056] 또한, 상기 유동특성산출부(500)는, 레이놀즈수에 따른 유효전단율계수와 측정구(300)의 속도 및 직경을 통해 산출되는 겔보기전단율로부터 유체의 유효전단율을 산출할 수 있다. 이때, 레이놀즈수에 따른 유효전단율계수는 하기 수학적식6과 같이 나타난다.

[0057] [수학식 6]

[0058] $Re_{eff} \leq 0.3, K_S = 0.4779$,

[0059] $0.3 \leq Re_{eff} \leq 5, K_S = 0.5855 Re_{eff}^{0.185}$,

[0060] $5 \leq Re_{eff} \leq 100, K_S = 0.4163 Re_{eff}^{0.440}$

[0061] 즉, 상기 유동특성산출부(500)는, 상기 항력계수로부터 유효레이놀즈수를 산출하고, 유체의 점도 및 전단율이 산출될 수 있도록 하는 것이다.

[0063] 이하에서는, 본 발명에 따른 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법에 대해 설명하기로 한다.

[0064] 도 5 및 도 6을 참조하면, 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 시스템에 의한 낙구를 이용한 비뉴턴유체의 점도측정 방법에 있어서, 본 발명은, 상기 실린더부(100)에 점도측정 대상인 유체가 수용되도록 하는 준비단계(S100), 상기 측정구(300)가 통과공(200)을 통해 낙하하여 상기 유체 내로 침강되도록 하는 낙하단계(S200), 상기 측정부(400)에 의하여, 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도 정보가 습득되도록 하는 속도측정단계(S300) 및, 상기 유동특성산출부(500)에 의하여, 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도 정보를 기반으로 상기 유체의 점도가 측정될 수 있도록 하는 유동특성산출단계(S400)를 포함한다.

[0065] 먼저, 상기 준비단계(S100)는, 점도 측정 대상인 유체의 점도 측정을 위한 준비과정에 해당된다. 상기 실린더부(100)에 상기 유체순환호스(110)를 통해 유체가 채워질 수 있도록 한다(S100). 또한, 상기 유체는 상기 실린더부(100)의 눈금을 기반으로 기설정된 높이만큼 채워질 수 있다(S100). 또한, 상기 유체는 상기 유체순환호스(110)에 의해 계속 순환되어 기설정된 온도로 유지되도록 한다(S100).

[0066] 다음으로, 상기 낙하단계(S200)는, 상기 측정구(300)가 상기 통과공(200)을 통해 낙하하여 유체 내에 침강할 수 있도록 하는 역할을 한다. 이때, 상기 측정구(300)를 적어도 3회 이상 수차례 낙하될 수 있도록 한다.

[0067] 다음으로, 상기 속도측정단계(S300)는, 상기 측정부(400)를 통해 상기 낙하단계(S200)에 의해 유체 내에서 침강되는 측정구(300)의 속도 및 가속도를 측정하는 역할을 한다. 이때, 수차례 침강된 측정구(300)의 속도 및 가속도의 평균치가 산출되도록 한다(S300).

[0068] 다음으로, 상기 유동특성산출단계(S400)는, 상기 속도측정단계(S400)로부터 측정된 속도 및 가속도 정보를 통해 유체의 항력계수를 실시간으로 산출하고, 상기 항력계수로부터 유체의 점도가 산출되도록 한다. 일례로, 상기 유동특성산출단계(S400)는, 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도 정보를 통해 유체의 항력계수를 산출하는 항력계수산출단계(S410), 상기 유체의 항력계수로부터 상기 유체의 유효레이놀즈수를 산출하는 레이놀즈수산출단계(S420) 및, 상기 항력계수와 유효레이놀즈수의 관계식을 통해 상기 유체의 점도를 산출하는 점도산출단계(S430)를 포함한다.

[0069] 먼저, 상기 항력계수산출단계(S410)에서는, 상기 유동특성산출부(500)에 의하여, 하기 수학식3을 통해 상기 측정구(300)의 속도 및 가속도로로부터 유체의 항력계수가 도출될 수 있도록 한다.

[0070] [수학식3]

[0071]
$$C_D = \frac{4D}{3} \frac{\rho_s}{\rho_f} \frac{1}{u^2} \left[\left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) g - \frac{du}{dt} \right]$$

[0072] 다음으로, 상기 레이놀즈수산출단계(S420)는, 상기 유동특성산출부(500)에 의하여, 레이놀즈수의 값에 따른 항력계수와 유효레이놀즈수의 관계식인 하기 수학식4를 통해 상기 유체의 유효레이놀즈수가 산출될 수 있도록 한다.

[0073] [수학식4]

[0074]
$$Re \leq 0.3, C_D = \frac{24}{Re_{eff}}, Re_{eff} = \frac{24}{C_D}$$
 ,

$$0.3 \leq Re \leq 0.5, C_D = \frac{26.5}{Re_{eff}^{0.88}}, Re_{eff} = \left(\frac{26.5}{C_D}\right)^{\frac{1}{0.88}}$$

$$5 \leq Re \leq 100, C_D = \frac{18.6}{Re_{eff}^{0.64}}, Re_{eff} = \left(\frac{18.6}{C_D}\right)^{\frac{1}{0.64}}$$

즉, 상기 레이놀즈수산출단계(S420)는, 상기 항력계수와 수학식4로부터 유체의 유효점도 기반 유효레이놀즈수가 산출될 수 있도록 한다.

다음으로, 상기 점도산출단계(S430)에서는, 상기 항력계수산출단계(S410) 및 레이놀즈수산출단계(S420)에서 산출된 유체의 실시간 항력계수와 유효레이놀즈수의 관계를 통해 유효점도가 산출될 수 있도록 한다. 일례로, 상기 점도산출단계(S430)는, 상기 유동특성산출부(500)에 의하여, 하기 수학식5에 상기 항력계수에 의해 도출된 유효레이놀즈수를 대입하여 유효점도가 산출될 수 있도록 한다.

[수학식5]

$$Re_{eff} = \frac{\rho u D}{\mu_{eff}}$$

또한, 상기 점도산출단계(S430)는, 상기 유동특성산출부(500)에 의하여, 유효레이놀즈수에 따른 유효전단율계수와 측정구(300)의 속도 및 직경을 통해 산출되는 겔보기전단율로부터 유체의 유효전단율이 산출될 수 있도록 한다. 이때, 유효레이놀즈수에 따른 유효전단율계수는 하기 수학식6과 같이 나타난다.

[수학식 6]

$$Re_{eff} \leq 0.3, K_S = 0.4779$$

$$0.3 \leq Re_{eff} \leq 5, K_S = 0.5855 Re_{eff}^{0.185}$$

$$5 \leq Re_{eff} \leq 100, K_S = 0.4163 Re_{eff}^{0.440}$$

따라서, 본 발명은, 측정구(300)의 속도 및 가속도를 통해 비뉴턴유체의 항력계수를 측정하여 유효레이놀즈수를 산출하고, 상기 유효레이놀즈수로부터 유체의 점도 및 전단율이 예측될 수 있도록 한다.

이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 하고, 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타나며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

100 : 실린더부

110 : 유체순환호스

200 : 통과공

210 : 결속부

300 : 측정구

400 : 측정부

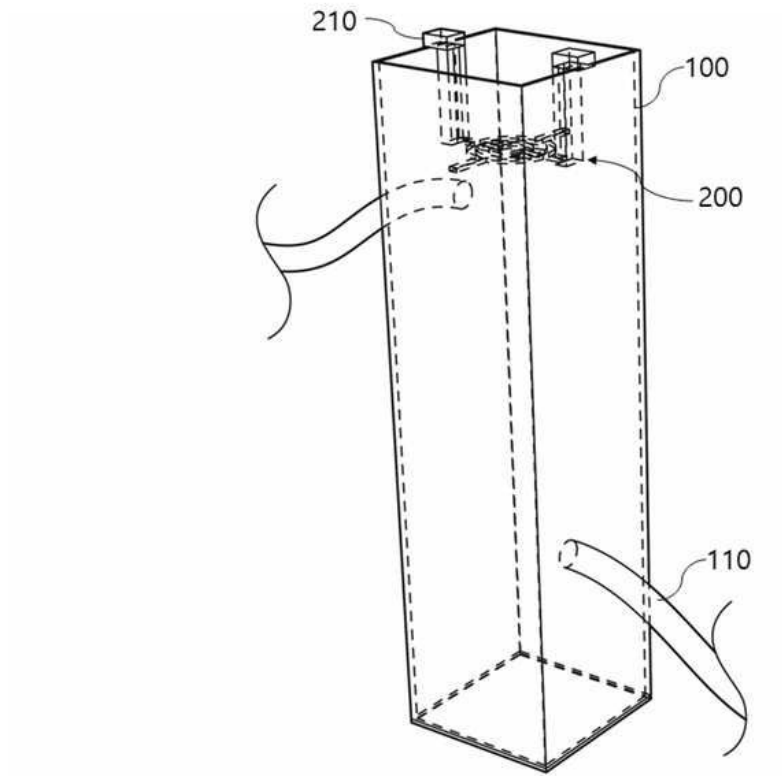
410 : 촬영부

420 : 데이터처리부

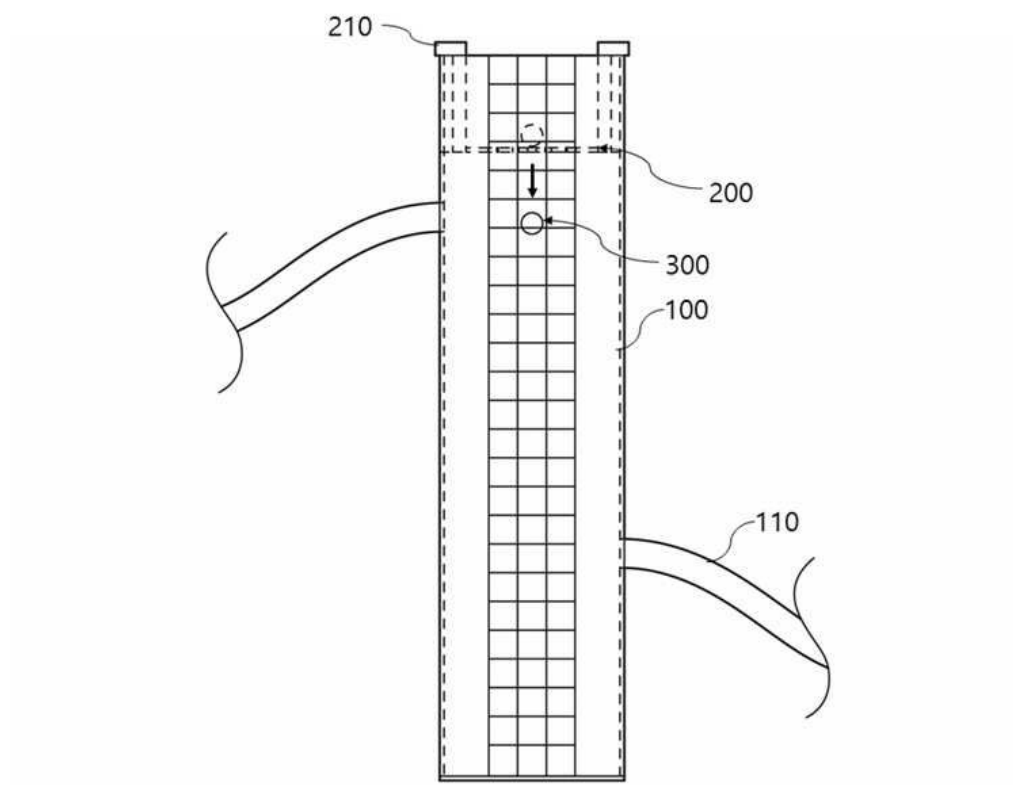
500 : 유동특성산출부

도면

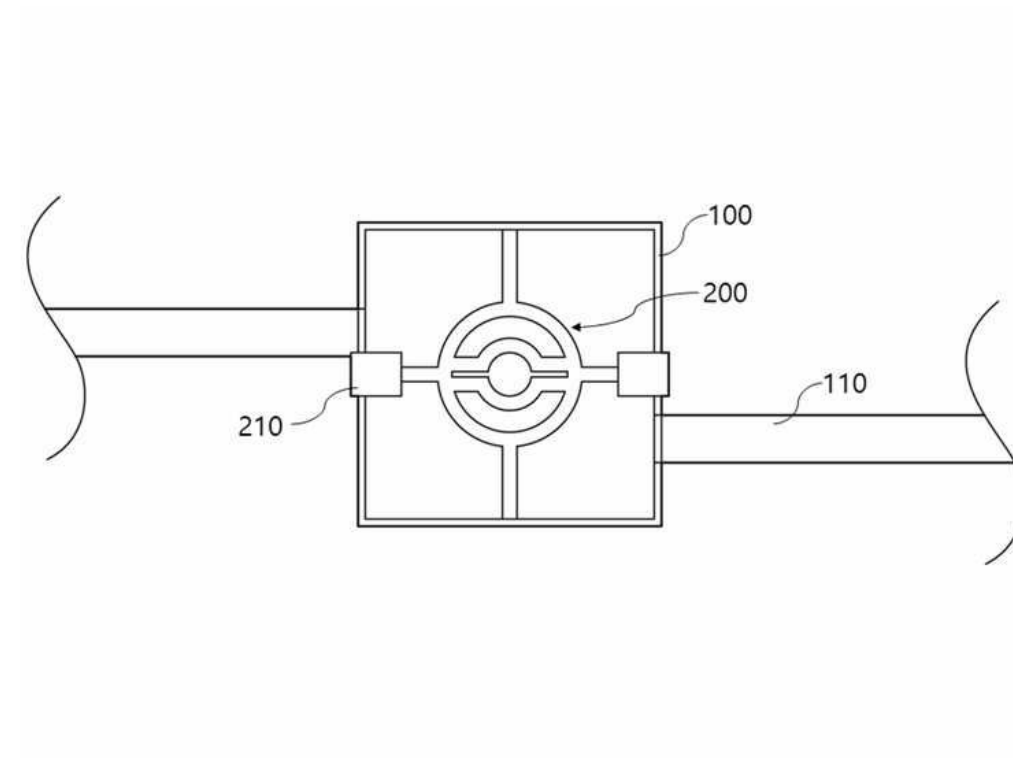
도면1



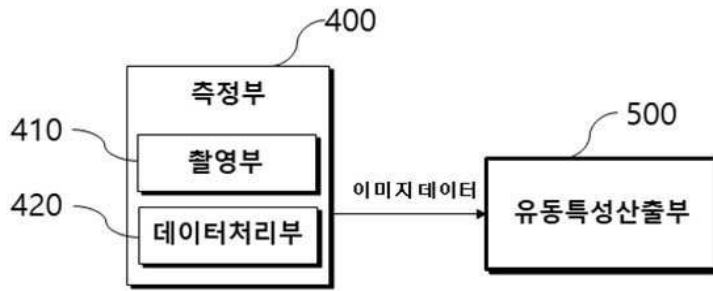
도면2



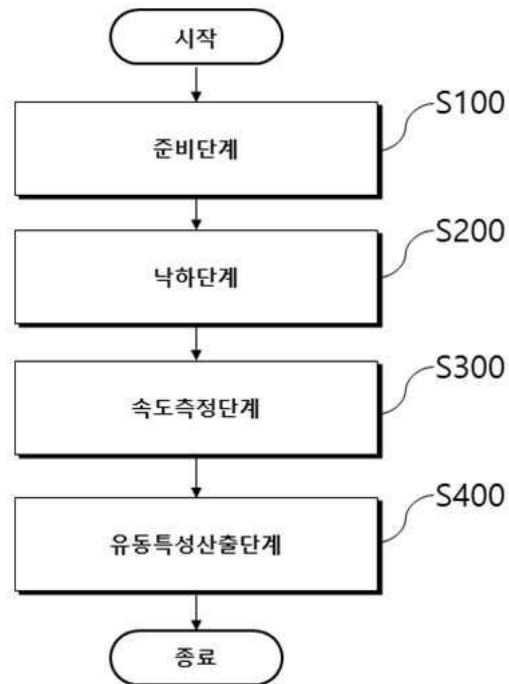
도면3



도면4



도면5



도면6

