



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0031681
(43) 공개일자 2017년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 11/14 (2006.01) G01N 15/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 11/14 (2013.01)
G01N 11/142 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0031038(분할)
(22) 출원일자 2017년03월13일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2014-0173332
원출원일자 2014년12월04일
심사청구일자 2014년12월04일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
김윤태
부산광역시 남구 분포로 113, LG메트로시티 218동
903호 (용호동)
강효섭
부산광역시 수영구 광안해변로 100 남천삼익비치
아파트, 209동 106호
(74) 대리인
특허법인네이트

전체 청구항 수 : 총 21 항

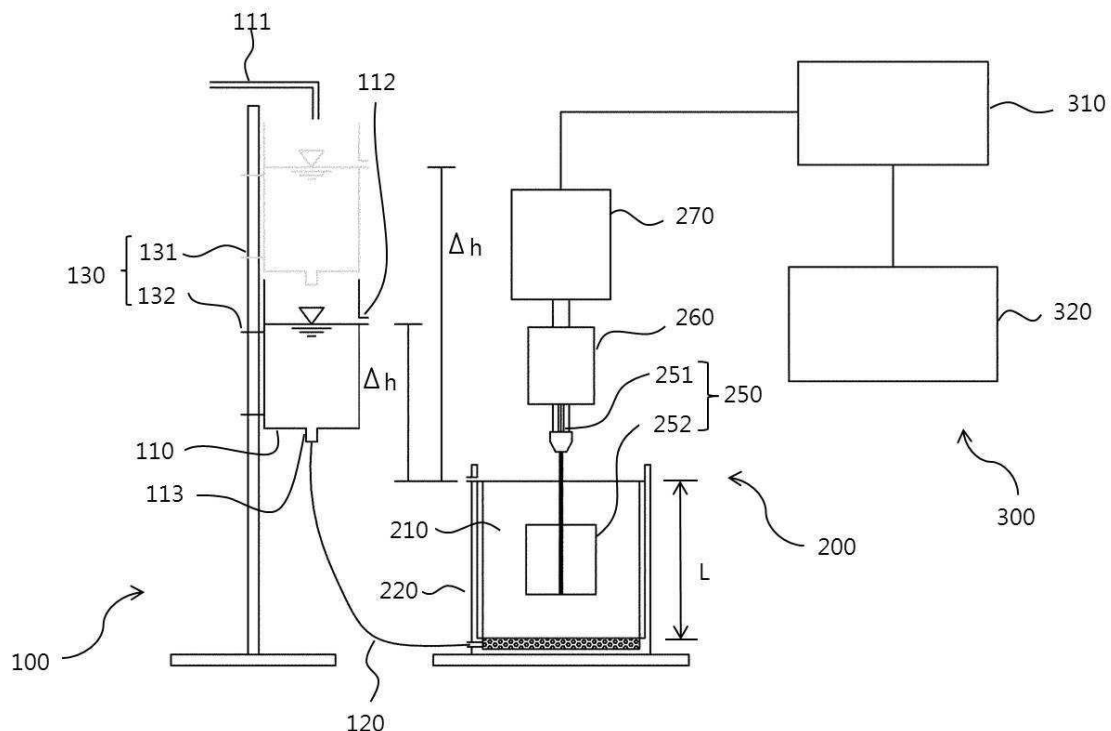
(54) 발명의 명칭 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타 및 이를 이용한 시료의 유변물성 획득방법

(57) 요약

본 발명은 자연사면의 토석류 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영하여 토석류의 유변물성을 산정하
돌고 된 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타에 관한 것으로, 물이 수용된 급수조, 동수경사를 고려하여 물
의 수두 높이를 변경하기 위해 급수조를 이동시키도록 설치된 이동수단과, 공급관을 구비한 공급부; 공급관에 의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



해 급수조와 연결되어 물을 공급받도록 설치된 용기, 토석류 발생 위험지역에서 채취한 토사이면서 용기에 수용된 시료와, 시료에 일부 매립되어 시료를 회전시키도록 설치된 베인을 구비한 측정부;와 베인의 토크와 회전속도를 수신하여 연산하고, 시료의 유변물성을 산출하도록 설치된 제어기를 구비한 제어부;를 포함하고, 해당 지역의 토층 전체의 유효응력이 "0(제로)"가 되어 토석류가 발생하는 시점에서의 시료의 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 것과, 해당 지반의 동수경사 변화 즉, 시료 내의 침투수압의 변화에 따른 레오메타 실험을 수행함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 것이다.

(52) CPC특허분류

G01N 15/08 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

물이 수용된 급수조(110), 동수경사를 고려하여 물의 수두 높이를 변경하기 위해 급수조(110)를 이동시키도록 설치된 이동수단(130)과, 공급관(120)을 구비한 공급부(100);

상기 공급관(120)에 의해 급수조(110)와 연결되어 물을 공급받도록 설치된 용기(220), 토석류 발생 위험지역에서 채취한 토사이면서 용기(220)에 수용된 시료(210)와, 시료(210)에 일부 매립되어 시료(210)를 회전시키도록 설치된 베인(250)을 구비한 측정부(200);와

상기 베인(250)의 토크와 회전속도를 수신하여 연산하고, 시료(210)의 유변물성을 산출하도록 설치된 제어기(320)를 구비한 제어부(300);를 포함하고,

상기 해당 지역의 토층 전체의 유효응력이 "0(제로)"가 되어 토석류가 발생하는 시점에서의 시료(210)의 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 것과, 해당 지반의 동수경사 변화 즉, 시료(210) 내의 침투수압의 변화에 따른 레오메타 실험을 수행함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시료(210)의 유변물성은 시료(210)를 회전시키는 베인(250)의 토크와 회전속도를 측정하여 전단응력과 전단변형률 속도를 산출한 후, 이들을 연산하여 획득한 항복응력과 점성으로 하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 급수조(110)는 물의 수두를 일정하게 유지하기 위해 일정 높이에 가공된 배출구(112)와, 물을 용기(220)로 공급하기 위해 하면 또는 하부에 가공된 공급구(113)를 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 이동수단(130)은 지면에 입상으로 설치된 지지부재(131)와, 지지부재(131)에 착탈 가능하도록 설치되면서 급수조(110)를 지지부재(131)에 고정시키는 체결부재(132)를 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 이동수단(130)은 지면에 입상으로 설치된 지지부재(131), 지지부재(131)를 따라 이동가능하도록 지지부재(131)에 설치되면서 급수조(110)가 고정된 이동부재와, 급수조(110)를 이동시키기 위해 급수조(110)를 이동시키거나 이동부재를 이동시키도록 설치된 동력원을 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 측정부(200)는 용기(220)의 내부 바닥에 설치되면서 상측에 시료(210)가 적층되고, 유입구(221)로 유입된 물을 고루 퍼진 상태에서 시료(210)의 하면 전체에 고루 침투할 수 있도록 용기(220)의 내부 바닥에 설치된 유공관(230)을 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 용기(220)는 공급관(120)의 일측부가 연결되면서 유공관(230)으로 물이 공급되도록 측부 또는 하면에 가공된 유입구(221)를 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 용기(220)는 시료(210)에서 넘치는 물을 외부로 배출하도록 시료(210)의 상면 부근에 가공된 배수구(222)를 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 유입구(221)와 배수구(222)에는 물의 유입량과 배출량을 조절할 수 있도록 각각 밸브를 장착하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 용기(220)의 내벽에는 일정 간격으로 중심을 향해 돌출된 다수의 돌출부(223)를 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 측정부(200)는 시료(210)의 최소 입경보다 더 작은 입도를 가지고, 시료(210)와 유공관(230) 사이에 배치된 필터(240)를 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 동수경사는 용기(220)에 수용된 시료(210)의 상면에서부터 급수조(110)의 수두까지의 높이(Δh)를 시료(210)의 높이(L)로 나눈 값으로 하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 베인(250)은 시료(210)의 중앙 부위에 위치하여 회전하는 날개(252), 날개와 연결된 샤프트(251)를 구비하고,

상기 측정부(200)는 샤프트(251)를 회전시키도록 설치된 구동원(270)과, 베인(250)의 토크를 측정하기 위해 샤프트(251) 상에 설치된 토크센서(260)를 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제어부(300)는 구동원(270)과 연결되면서 제어기(320)에 의해 제어되는 회전속도조절장치(310)를 더 구비하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 베인(250)은 베인 직경(D)이 35~100mm이고, 샤프트 직경(d)이 12.5~16.5mm이며, 베인 높이(H)가 $1D < H < 2.5D$ 이고, 날개 경사각이 0° (수직) 또는 45° 이며, 날개 두께가 평균 2mm 또는 1.5~3mm이고, 날개 수가 4개이며, 베인 면적 비율이 베인 면적/총 스윙면적 $<12\%$ 으로 하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 베인(250)과 용기(220)는,

베인 높이(H)와 베인 직경(D)은 $H/D < 3.5$ 이고, 용기 내경(DT)와 베인 직경(D)은 $DT/D > 2.0$ 이며, 베인 날개 상면에서 시료(240)의 상면까지의 높이(Z1)와 베인 직경(D)은 $Z1/D < 1.0$ 이고, 베인 날개 하면에서 용기의 바닥까지의 높이(Z2)와 베인 직경(D)은 $Z2/D < 0.5$ 로 하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항의 베인 타입 레오메타를 이용하여 토석류의 발생 시점은 유효응력이 "0(제로)"인 상태에서의 유변물성을 획득하기 위한 것과, 동수경사 변화로 인한 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성에 관한 데이터를 획득하기 위해,

토석류 발생 위험지역에서 해당 지역에서 시료(210)를 채취하여 용기(220)에 담은 제10단계(S10);

급수조(110)에 물을 공급하고, 상기 해당 지역에서의 동수경사를 고려하여 시료(210) 상면으로부터의 급수조(110)에 수용된 물의 수두 높이를 설정하기 위해 급수조(110)의 높이를 선정한 후 고정하는 제20단계(S20);

상기 급수조(110)에서 유입된 물이 침투수압에 의해 시료(210)의 하부에서 상부로 침투하는 제30단계(S30);

상기 시료(210)를 베인(250)으로 회전시키는 제40단계(S40);

상기 베인(250)의 토크와 회전속도를 수집하여 유효응력이 "0(제로)"인 상태에서의 시료(210)의 유변물성을 획득하는 것과, 동수경사 변화로 인한 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 대한 유변물성의 데이터를 획득하는 제50단계(S50);를 포함하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타를 이용하여 시료의 유변물성 획득방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제20단계(S20)에서 급수조(110)에 공급된 물이 배출구(112)를 통해 배출되면서 물의 수두가 일정하게 유지하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타를 이용하여 시료의 유변물성 획득방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 제30단계(S30)에서 급수조(110)의 물이 공급구(113)와 공급관(120)을 통해 용기(220)의 하부 또는 하면의 유입구(221)를 통해 용기에 공급하고, 용기(220)에 공급된 물이 유공관(230)을 통과하여 고루 퍼진 후 시료(210)의 하면 전체에 대해 고루 접촉하면서 침투수압에 의해 시료(210)의 상측으로 침투하며, 시료(210)에서 넘치는 물을 용기(220)의 배수구(222)를 통해 외부로 배출하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타를 이용하여 시료의 유변물성 획득방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 제40단계(S40)는 제어기(320)와 회전속도조절장치(310)의 신호로 구동하는 구동원(270)에 의해 회전하는 베인(250)이 시료(210)의 중앙 부위를 회전시키면 시료(210)의 외곽부위와 용기(220)의 내벽에 돌출된 돌출부(223) 간에 인위적인 간섭을 발생시켜 시료 간에 전단을 유발하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타를 이용하여 시료의 유변물성 획득방법.

청구항 21

제17항에 있어서,

상기 제50단계(S50)에서 제어기(320)에서 상기 베인(250)의 토크와 회전속도를 수신하여 전단응력과 전단변형률 속도를 산출한 후, 시료(210)의 항복응력과 점성을 도출하는 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타를 이용하여 시료의 유변물성 획득방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 레오메타에 관한 것으로, 보다 상세하게는 자연사면의 토석류 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영하여 토석류의 유변물성을 산정하도록 된 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타 및 이를 이용한 시료의 유변물성 획득방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 산지가 전 국토의 70% 이상을 차지하는 우리나라는 급경사지가 매우 많으며, 매년 여름철 장마와 태풍 그리고 집중 호우로 인해 급경사지가 파괴되어 많은 피해가 발생한다. 특히, 급경사지에서는 파괴된 토사가 계곡의 물과 합쳐지면서 급격히 흘러내리는 토석류(土石流)가 발생하여 하류측 시설물 파손과 경작지 황폐화를 유발시키는 사례가 증가하고 있다.

[0003] 여기서, 토석류란 오랫동안 풍화작용(風化作用)을 받아 토사와 암석편이 많이 생긴 산사면이 폭우나 장마로 인해 물로 포화되어 그 무게가 마찰력을 지탱하지 못하여 흘러내리는 현상을 말한다. 이러한 토석류는 계곡을 따라 흘러내리는 과정에서 토사와 큰 암석 그리고 다량의 유목을 포함하게 되며, 흐름의 선단부에 이러한 큰 암괴와 유목이 집중되어 있으므로 큰 파괴력을 지니게 된다. 자연지형에서 발생하는 토석류는 계곡을 따라 먼 거리

를 이동하다가 지형 경사가 완만해지거나 저수지가 있는 경우 큰 피해 없이 퇴적되지만 이동 경로에 가옥이나 도로 등의 시설물 등이 있는 경우에는 이들을 완전히 파손시키거나 토사로 완전히 매몰시키는 형태의 큰 피해를 유발하게 된다. 특히, 산지 비탈면을 인접하여 지나는 도로의 경우에는 계곡부에서 발생하는 유량을 도로 하부로 통과시키기 위해 소교량, 횡단 배수시설을 설치하게 되는데, 이들 계곡부에서 토석류가 발생하면 1차적으로 소교량을 파손시키거나 횡단 배수시설을 완전히 막고, 2차적으로 다량의 토석과 유목이 도로에 유입시켜 도로의 기능을 장시간 마비시키며, 3차적으로는 계곡부에서 발생한 유수가 도로를 월류하면서 도로성토체를 세굴, 파괴시키는 막대한 피해가 발생한다.

[0004] 한편, 유변학은 물질의 유동과 변형에 대한 특성, 즉 유변물성을 파악하는 학문이다. 일 예로, 어느 물질에 대한 유변물성은 시료의 항복응력(yield stress)과 점성(viscosity)을 측정하여 얻을 수 있다. 이러한 측정은 일 예로, 회전식 측정방법과 모세관 점도계를 수행할 수 있다. 이때, 회전식 측정방법의 경우 대체적으로 레오메타를 이용한다.

[0005] 여기서, 레오메타는 물질의 탄성률, 점성률, 응력 완화, 크리프, 동적 점탄성 등의 측정에 사용되는 장치로, 전단속도가변 점도계를 지칭하기도 하고, 토크 모멘트와 유체의 점도 간의 비례 관계를 기반으로 하여 유체의 점도를 측정하도록 이루어진다. 이 레오메타는 실시 예로, 원통에 수용된 유체를 블레이드로 회전시키도록 구성되고, 이 블레이드의 걸리는 토크(torque)와 회전 속도와와 관계를 통해 유동물질의 항복응력(yield stress)과 점성을 관계를 측정하는 장치이다. 이러한 레오메타는 아스팔트나 시멘트 등의 건축분야와, 페인트나 잉크 등 화학분야 및 이외에도 식품 공학에 주로 해당 물품의 점도를 측정하기 위해 사용되고 있다.

[0006] 한편, 토석류의 최대 이동거리, 속도 및 충격압 등과 같은 토석류 거동특성은 토석류 발생 지점의 토질특성, 유동화에 영향을 미치는 내외부인자 즉, 수리-역학적 특성 및 지형학적 특성에 의해 좌우된다. 이들 유동관련 특성들은 유변학에서 다루는 항복응력, 점성과 같은 유변물성을 통해 해석할 수 있으며, 이러한 유변학적 특성은 토석류 거동특성을 결정하는 주요 매개변수이다.

[0007] 그럼에도 불구하고, 현재까지는 자연사면에서의 토석류 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영한 토석류 유변물성을 측정할 수 있는 장비는 없으며, 이와 관련된 연구 또한 미진한 상태이다. 기존 토석류 유변물성 연구에 대한 사례를 분석해 보면, 타 연구 분야에서 적용한 방식과 장비를 그대로 이용하고 있는 실정이다. 자연현상을 모사한 토석류의 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영할 수 있는 유변물성 시험장치가 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 미국 제US7624625호(2008.05.13. 공개)
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-0877494호(2009.01.09. 공고)
(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-1410484호(2014.06.23. 공고)
(특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 제10-1009471호(2011.01.19. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 상기된 요구를 감안하여 안출된 본 발명의 목적은, 자연사면에서의 토석류 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영한 실험을 수행함으로써, 자연현상에 가까운 토석류 유변물성 값을 산정하도록 된 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타 및 이를 이용한 시료의 유변물성 획득방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기된 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타는, 물이 수용된 급수조, 동수경사를 고려하여 물의 수두 높이를 변경하기 위해 급수조를 이동시키도록 설치된 이동수단과, 공급관을 구비한 공급부; 공급관에 의해 급수조와 연결되어 물을 공급받도록 설치된 용기, 토석류 발생 위험 지역에서 채취한 토사이면서 용기에 수용된 시료와, 시료에 일부 매립되어 시료를 회전시키도록 설치된 베인을 구비한 측정부;와 베인의 토크와 회전속도를 수신하여 연산하고, 시료의 유변물성을 산출하도록 설치된 제어기를 구비한 제어부;를 포함하고, 해당 지역의 토층 전체의 유효응력이 "0(제로)"가 되어 토석류가 발생하는 시점에서의 시료의 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 것과, 해당지반의 동사경사 변화 즉, 시료 내의 침투수압의 변화에 따른 레오메타 실험을 수행함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성에 관한 데이터를 획득하도록 된 것을 특징으로 한다.
- [0011] 여기서, 시료의 유변물성은 시료를 회전시키는 베인의 토크와 회전속도를 측정하여 전단응력과 전단변형률 속도를 산출한 후, 이들을 연산하여 획득한 항복응력과 점성으로 하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 급수조는 물의 수두를 일정하게 유지하기 위해 일정 높이에 가공된 배출구와, 물을 용기로 공급하기 위해 하면 또는 하부에 가공된 공급구를 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또, 일 실시 예로 이동수단은 지면에 입상으로 설치된 지지부재와, 지지부재에 착탈 가능하도록 설치되면서 급수조를 지지부재에 고정시키는 체결부재를 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또, 다른 실시 예로 이동수단은 지면에 입상으로 설치된 지지부재, 지지부재를 따라 이동가능하도록 지지부재에 설치되면서 급수조가 고정된 이동부재와, 급수조를 이동시키기 위해 급수조를 이동시키거나 이동부재를 이동시키도록 설치된 것을 특징으로 한다.
- [0015] 그리고, 측정부는 용기의 내부 바닥에서부터 상측에 시료가 적층되고, 유입구로 유입된 물을 고루 퍼진 상태에서 시료의 하면 전체에 고루 침투할 수 있도록 용기의 내부 바닥에 설치된 유공판을 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 용기는 공급관의 일측부가 연결되면서 유공판으로 물이 공급되도록 측부 또는 하면에 가공된 유입구를 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또, 용기는 시료에서 넘치는 물을 외부로 배출하도록 시료의 상면 부근에 가공된 배수구를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 여기서, 유입구와 배수구에는 물의 유입량과 배출량을 조절할 수 있도록 각각 밸브를 장착하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 용기의 내벽에는 일정 간격으로 중심을 향해 돌출된 다수의 돌출부를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 또, 측정부는 시료의 최소 입경보다 더 작은 입도를 가지고, 시료와 유공판 사이에 배치된 필터를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 그리고, 동수경사는 용기에 수용된 시료의 상면에서부터 급수조의 수두까지의 높이(Δh)를 시료의 높이(L)로 나눈 값으로 한다.
- [0022] 한편, 베인은 시료의 중앙 부위에 위치하여 회전하는 날개, 날개와 연결된 샤프트를 구비하고, 또한 측정부는 샤프트를 회전시키도록 설치된 구동원과, 베인의 토크를 측정하기 위해 샤프트 상에 설치된 토크센서를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 또한, 제어부는 구동원과 연결되면서 제어기에 의해 제어되는 회전속도조절장치를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 그리고, 베인은 베인 직경(D)이 35~100mm이고, 샤프트 직경(d)이 12.5~16.5mm이며, 베인 높이(H)가 $1D < H < 2.5D$ 이고, 날개 경사각이 0° (수직) 또는 45° 이며, 날개 두께가 평균 2mm 또는 1.5~3mm이고, 날개 수가 4개이며, 베인 면적 비율이 베인 면적/총 스윙면적 $<12\%$ 으로 하는 것을 특징으로 한다.
- [0025] 또한, 베인과 용기는, 베인 높이(H)와 베인 직경(D)은 $H/D < 3.5$ 이고, 용기 직경(DT)와 베인 직경(D)은 $DT/D > 2.0$ 이며, 베인 날개 상면에서 용기의 상단까지의 높이(Z1)와 베인 직경(D)은 $Z1/D < 1.0$ 이고, 베인 날개 하면에서 용기의 바닥까지의 높이(Z2)와 베인 직경(D)은 $Z2/D < 0.5$ 로 하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 한편, 상술된 본 발명에 따른 베인 타입 레오메타를 이용하여 토석류의 발생 시점인 즉, 유효응력이 "0(제로)"

인 상태와 동수경사 변화 즉, 시료 내의 침투수압의 변화에 따른 레오메타 실험을 수행함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 시료의 항복응력 및 점성과 같은 유변물성에 관한 데이터를 획득하기 위해, 토석류 발생 위험 지역에서 시료를 채취하여 용기에 담은 제10단계(S10); 급수조에 물을 공급하고, 해당 지역에서의 동수경사를 고려하여 시료 상면으로부터의 급수조에 수용된 물의 수두 높이를 설정하기 위해 급수조의 높이를 선택한 후 고정하는 제20단계(S20); 급수조에서 유입된 물이 침투수압에 의해 시료의 하부에서 상부로 침투하는 제30단계(S30); 시료를 베인으로 회전시키는 제40단계(S40); 베인의 토크와 회전속도를 수집하여 유효응력이 "0(제로)"인 상태와 시료 내의 동수경사 변화 즉, 침투수압의 변화에 대한 유변물성을 획득하는 제50단계(S50);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 여기서, 제20단계(S20)에서 급수조에 공급된 물이 배출구를 통해 배출되면서 물의 수두가 일정하게 유지되도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 또한, 제30단계(S30)에서 급수조의 물이 공급구와 공급관을 통해 용기의 하부 또는 하면의 유입구를 통해 용기에 공급하고, 용기에 공급된 물이 유공판을 통과하여 고루 퍼진 후 시료의 하면 전체에 대해 고루 접촉하면서 침투수압에 의해 시료의 상층으로 침투하며, 시료에서 넘치는 물을 용기의 배수구를 통해 외부로 배출하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 또, 제40단계(S40)에서 제어기와 회전속도조정장치의 신호로 구동하는 구동원 에 의해 회전하는 베인이 시료의 중앙 부위를 회전시키고, 이때 시료의 외곽부위는 용기 내벽에 돌출된 돌출부와 인위적인 간섭을 발생시켜 시료 간에 전단을 유발하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 그리고, 제50단계(S50)에서 제어기에서 베인의 토크와 회전속도를 수신하여 전단응력과 전단변형률속도를 산출한 후, 시료의 항복응력과 점성을 도출하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0031] 상술된 바와 같이 본 발명에 따르면, 어느 특정 지역의 토사에 대해 물을 침투시켜 유변물성을 측정함으로써, 토석류가 발생하는 시점, 즉 유효응력이 "0(제로)"가 되는 조건에서의 점성과 항복응력과 같은 유변물성을 산정할 수 있는 효과가 있다. 따라서, 이 데이터를 토대로 토석류 발생 시점의 역학적 매커니즘을 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 토석류 발생 초기 시점에서의 거동특성을 파악할 수 있는 효과가 있다.

[0032] 또한, 급수조에 수용된 물의 수두와 용기에 수용된 시료의 상면 간의 길이를 시료의 높이를 연산하는 동수경사를 고려 즉, 시료 내의 침투수압이 고려된 실험을 함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성에 관한 데이터를 획득하는 과정을 통해 자연현상과 유사한 조건의 유변물성을 산정할 수 있으며, 이를 통해 산정된 유변물성을 수치 해석에 적용하여 토석류 이동거리, 이동속도 및 충격력 등과 같은 토석류 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있다. 이러한 토석류 거동특성은 토석류 방지 구조물 설계 및 재난 위험지역 범위를 설정하는데 이용할 수 있는 효과가 있다.

[0033] 그리고, 본 발명의 레오메타는 입자가 작고 균질한 시료에 대해서만 유동특성을 측정할 수 있는 종래의 레오메타에 비해, 모래, 흙, 돌과 자갈 등을 포함한 토사는 물론 다양한 크기의 입자를 갖는 시료의 유동특성을 측정할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 본 명세서에서 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 안된다.

도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타가 개략적으로 도시된 구성도이다.

도 2는 도 1에 도시된 저장용기와 베인이 도시된 측단면도이다.

도 3은 도 2에 도시된 저장용기의 평단면도이다.

도 4a 내지 도 4d는 도 1의 레오메타를 이용하여 모래시료를 시험한 결과가 도시된 그래프이다.

도 5는 도 1의 레오메타를 이용한 토석류의 유변성을 측정하기 위한 방법이 도시된 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 쉽게 실시할 수 있도록 바람직한 실시 예를 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명의 바람직한 실시 예에 대한 동작 원리를 상세하게 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0036] <구성>

[0037] 토석류는 집중호우로 인해 물이 상부 토층(土層)에 침투하거나, 토층 하부의 암반층에서 간극수압의 증가와 침투로 토사층 전체가 유효응력이 "0(제로)"인 상태에서 발생한다. 또한 토석류의 이동거리, 속도 및 충격압 등과 같은 토석류의 거동특성은 토석류의 항복응력, 점성과 같은 유변물성에 의존한다. 이와 같이 실제 현장에서의 토석류 유변물성은 토립자 내의 간극 유체의 압력에 의존하기 때문에 수리-역학적 특성이 반영된 유변물성 산정은 토석류 연구에서 중요하다.

[0038] 본 발명은 이러한 토석류 발생과 거동특성에 대한 수리-역학적 특성을 반영한 시험장치를 제시하고자 한다. 이를 위해 다양한 침투수압의 물이 시료 하부로부터 침투할 수 있도록 한 상태에서 실험을 수행할 수 있게 개발되었다. 수두 차 조절을 통해 침투수압의 변화 즉, 동수경사 변화에 따른 시료의 유변물성을 산정하도록 구성된다. 여기서, 항복응력, 점성과 같은 유변물성은 시료에 회전을 일으켜 얻어진 토크(torque)와 회전속도와 의 관계를 통해 전단응력과 전단변형률속도관계로 변환하여 산정할 수 있다. 이와 같이, 자연사면의 토석류 발생에 대해 토층(土層)의 하부에서 유동하는 물의 특성 즉, 동수경사를 고려한 실험을 수행함으로써, 보다 더 자연현상에 가까운 토석류의 유변물성 값을 산정할 수 있도록 구성된다. 좀 더 자세히 설명하자면, 시료(일 예로 해당 지역의 흙)가 담긴 용기의 하부로 침투하는 물이 침투수압에 의해 시료의 하부에서 상부로 침투하도록 구성되고, 다양한 수두차에 의한 다양한 동수경사 하에서 실험을 수행하여 시료의 항복응력, 점성과 같은 시료의 유변물성을 수치로 산정하도록 구성된다. 따라서, 토층 하부에서 물이 간극수압의 증가와 상향 침투로 인해 토층 전체의 유효응력이 감소되고, 토층 전체의 유효응력이 "0(제로)"이 될 때, 즉 토석류 발생 시점에서의 유변물성을 산정할 수 있다. 또한, 시료 내의 동수경사 변화 즉, 침투수압의 변화에 따른 실험을 수행함으로써, 토립자 내의 간극 유체의 압력변화에 따른 유변물성을 산정할 수 있다. 이를 통해 토석류 초기 발생 시점에서의 유변물성 값과 토석류 초기 발생 메카니즘을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 토석류 이동시 토립자 내의 간극유체에 작용하는 압력의 변화에 따른 유변물성을 산정할 수 있다. 이를 통해 자연현상과 유사한 조건의 유변물성을 산정할 수 있다.

[0039] 이를 감안하여 구성된 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 물흐름 특성을 고려한 베인 타입 레오메타는 도 1에 도시된 바와 같이, 공급부(100), 측정부(200)와 제어부(300)를 포함하여 이루어진다.

[0040] 공급부(100)는 물을 공급하는 곳으로, 급수조(110), 공급관(120)과 이동수단(130)을 포함하여 이루어진다.

[0041] 먼저, 급수조(110)는 별도로 마련된 저수조(미도시)와 연결된 급수관(111)으로부터 물을 공급받아 저장하고, 이 저장된 물을 후술된 측정부(200)의 용기(220)에 공급하도록 설치된다. 이 급수조(110)는 항상 일정한 양의 물을 저장하기 위해 상부의 어느 일부위에 가공된 배출구(112)와, 물을 용기(220)에 공급하기 위해 하부 또는 하면에 가공된 공급구(113)를 구비한다.

[0042] 여기서, 배출구(112)는 저수조에서 공급된 물이 급수조(110)에 저장되면서 일정 높이 이상이 되면 외부로 배출할 수 있도록 가공된다. 따라서, 배출구(112)에 의해 급수조(110)에는 항상 일정 높이의 물을 저장할 수 있고, 이로 인해 어느 높이에 위치한 급수조(110)는 항상 일정한 수압으로 물을 용기(220)에 공급하게 된다. 물론, 배출구(112)에는 개폐를 위한 별도의 밸브가 설치될 수 있고, 수동으로 조작 또는 제어부(300)에 의해 자동 제어될 수 있다.

[0043] 그리고, 공급구(113)는 급수조(110)의 물을 용기(220)에 공급하기 위해 급수조(110)의 하부 또는 하면에 가공된다. 이 공급구(113)에는 개폐를 위한 별도의 밸브가 설치될 수 있고, 수동으로 조작 또는 제어부(300)에 의해 자동 제어될 수 있으며, 밸브의 개방 정도를 조정하여 물의 유량을 조절할 수 있다. 한편, 공급구(113)를 통해

배출되는 물의 수압 및 유속은 동수경사에 따른 설정 값에 의해 정해지지만, 동수경사의 조건을 만족할 수 있도록 별도의 모터(미도시)로 강제 공급할 수도 있고, 이때 동수경사, 수압, 유량 및 유속 등의 데이터를 저장하고, 이 데이터에 부합하도록 모터를 작동시킬 수 있다.

[0044] 한편, 공급관(120)은 급수조(110)의 물을 용기(220)에 공급하도록 급수조(110)의 공급구(113)와 용기(220)의 유입구(221)를 연결하여 설치된다. 여기서, 공급관(120)은 유입구(221)가 용기(220)의 측부에 마련된 경우 급수조(110)의 측면으로 물을 공급하게 되고, 유입구(221)가 용기(220)의 하면에 마련된 경우 급수조(110)의 하면으로 물을 공급하게 된다. 이때, 공급관(120)을 통해 용기(220)로 공급된 물은 시료(210)의 하면 전체에 대해 고루 침투할 수 있도록 별도의 유공판(230)을 설치할 수 있고, 이에 대한 설명은 후술한다.

[0045] 그리고, 이동수단(130)은 급수조(110)를 높이 방향으로 이동시켜 급수조(110)의 높이를 조정하고, 궁극적으로는 급수조(110)에 저수된 물의 수두(水頭) 높이를 변경하기 위한 수단이다. 이 이동수단(130)을 통해 급수조(110)를 이동시켜 동수경사의 조건을 제공한다. 이때의 동수경사는 급수조(110)에 수용된 수두와, 용기(220)에 수용된 시료(210)의 상단의 높이(Δh)를 시료(210)의 높이(L)로 나눈 값으로 표시할 수 있다.

[0046] 또한, 이동수단(130)은 급수조(110)를 높이 방향으로 이동시키기 위해 지면에 입상으로 설치된 지지부재(131)와, 지지부재(131)에 일정 높이로 급수조(110)를 장착시키도록 설치된 체결부재(132)를 포함한다. 이때, 체결부재(132)는 급수조(110)를 지지부재(131)에 장착시키면서 지지부재(131)에 대해 착탈 가능하도록 설치된다. 따라서, 토석류의 유변성을 측정하기 위한 해당 지역의 특성 즉, 해당 지역의 토층 하부에서 유동하는 물의 유동 특성을 고려하여 급수조(110)의 위치를 변경할 필요가 있는 경우, 해당 지역의 특성을 고려하여 급수조(110)의 위치를 정하고, 체결부재(132)로 급수조(110)를 지지부재(131)에 단단히 고정할 수 있다. 이때, 급수조(110)의 위치를 정확히 확인할 수 있도록 지면으로부터의 높이를 지지부재(131)에 눈금과 숫자로 표시하는 것이 바람직하다.

[0047] 여기서, 이동수단(130)은 상술된 실시 예와 같이, 단순한 구조로 설치할 수도 있고, 이 외에 급수조(110)를 높이 방향으로 이동시킬 수 있는 별도의 동력원(미도시)을 더 포함할 수 있다. 동력원을 포함하는 경우, 제어부(300)에서 동력원을 제어하도록 설치되고, 동력원을 가동 및 정지시키면서 미리 입력된 높이에 급수조(110)를 자동으로 이동시킬 수 있다. 이렇듯 급수조(110)의 자동 이동을 위해 동력원 이외에 급수조(110)와 체결되면서 지지부재(131)를 따라 이동하도록 설치된 이동부재를 더 포함할 수 있다. 여기서, 동력원은 급수조(110)를 직접 이동시키거나 이동부재를 가동시켜 급수조(110)를 이동시키도록 설치될 수 있다. 또한, 급수조(110)의 자동 이동을 위해 동력원과 이동부재 이외의 통상의 부품 및 부재들을 더 설치할 수 있다.

[0048] 측정부(200)는 도 1 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 시료(210), 용기(220), 유공판(230), 필터(240), 베인(250), 토크센서(260)와 구동원(270)을 포함하여 이루어진다. 여기서, 급수조(110)의 물은 용기(220)의 하부 또는 하면으로 공급되도록 하고, 물이 침투수압에 의해 시료(210)의 하부에서 상부로 넘칠 때까지 침투하도록 이루어진다.

[0049] 먼저, 시료(210)는 토석류의 발생 가능한 지역에서 채취한 흙을 대상으로 한다. 물론, 시료(210)는 흙 뿐만 아니라 해당 지역의 일정 면적 내에서 채취된 모래, 자갈, 돌 등을 모두 포함할 수도 있다.

[0050] 또한, 용기(220)는 시료(210)를 담은 원통형의 부재로, 일정 높이와 일정 직경을 갖는다. 여기서, 용기(220)와 베인(250) 간의 높이와 직경에 관련된 조건에 대해서는 후술한다. 또한, 용기(220)는 공급관(120)의 일측부와 체결되도록 하부 또는 하면에 마련된 유입구(221)와, 용기(220)의 시료(210)에 침투한 후 시료(210)에서 넘치는 물을 외부로 배출할 수 있도록 용기(220)의 상부에 가공된 배수구(222)를 포함한다. 이때, 배수구(222)는 용기(220)에 수용된 시료(210)의 표면과 동일하거나 유사한 높이에 가공되어 시료(210)에서 넘치는 물을 외부로 배출한다. 물론, 유입구(221)와 배수구(222)에는 각각 유입밸브와 배수밸브가 장착될 수 있다. 여기서, 유입밸브는 급수조(110)에서 공급된 물이 용기(220)에 유입되도록 하고, 배수밸브는 시료(210)에서 넘치는 물이 외부로 배출되도록 한다. 또한, 도 2와 도 3에서와 같이, 용기(220)의 내벽에는 중심을 향해 돌출되도록 다수의 돌출부(223)를 구비한다. 이 돌출부(223)는 베인(250)이 회전하여 시료(210)를 회전시킬 때 인위적으로 시료(210)와 간섭을 발생시킴으로써, 베인(250)의 회전력에 의해 시료(210)가 한 덩어리처럼 회전하는 현상을 방지하며, 시료 간의 전단을 유발하기 위해 구비된 것이다. 이러한 돌출부(223)는 용기(220)와 일체형으로 제작할 수도 있고, 별도의 부재를 고정시켜 마련할 수도 있다. 이때, 별도의 부재는 용기(220)의 내벽에 부착된 상태에서 용기(220)의 외부에서 용기(220)를 관통한 나사 또는 볼트 등으로 체결되어 설치될 수 있다. 또한, 돌출부(223)는 용기(220)에 수용된 시료(210)의 높이와 동일하거나 유사한 높이를 갖는 것이 바람직하고, 이외에도 다수가 일정 간격을 갖도록 배치되면서 높이 방향으로 설치될 수도 있고, 다수가 지그재그 형태로 설치될 수도 있다.

[0051] 또, 유공판(230)은 용기(220)로 공급된 물이 시료(210)의 하면 전체에 대해 고루 침투할 수 있도록 하는 부재이다. 이 유공판(230)은 상호 연결된 다수의 홀을 구비한다. 따라서, 용기(220)의 유입구(221)로 유입된 물은 유공판(230)을 거치면서 고루 퍼진 상태가 되고, 이후 침투수압에 의해 물이 시료(210)에 침투하게 된다.

[0052] 그리고, 필터(240)는 필터(240)의 위에 배치된 시료(210)가 유공판(230)으로 유실되지 않도록 하는 부재이다. 따라서, 필터(240)는 시료(210)의 최소 입정보다 더 작은 입도를 갖는다.

[0053] 또한, 베인(250)은 시료(210) 내에 위치하여 시료(210)를 시계 또는 반시계 방향으로 회전시키도록 설치된다. 이 베인(250)은 구동원(270)과 연결된 샤프트(251)와, 샤프트(251)의 일측부에 고정된 다수의 날개(252)를 구비한다. 여기서, 날개(252)는 시료(210)의 중앙에 위치되도록 한다. 이렇게 배치된 베인(250)은 구동원(270)에 의해 시계 또는 반시계 방향으로 회전하면서 시료(210)를 회전시킨다.

[0054] 여기서, 베인(250)은 ASTM D2573에서 제시한 조건을 수용하고, 그 조건은 아래 [표 1]과 같다.

표 1

항목	범위
베인 직경(D)	35~100 mm(1.5~4 inch)
베인 샤프트 직경(d)	12.5~16.5 mm(0.5~0.65 inch)
베인 높이(H)	$1D < H < 2.5D$
베인 날개 경사각(i)	0° (수직) 또는 45°
베인 날개 두께	평균 2mm, 1.5~3mm
베인 날개 수	4개
베인 면적 비율(vane area ratio)	베인 면적(area of vanes)/총 스윙 면적(gross area swept)<12%

[0056] 또한, 이 베인(250)의 제원과 용기(220)와의 조건은 "누엔과 보거의 베인 직경 권장 조건(1985년)(Recommended Vane Dimensions from Nguyen and Boger)"과 부합하도록 하고, 그 조건은 아래 [표 2]와 같다.

표 2

항목	범위
베인 높이(H)/베인 직경(D)	$H/D < 3.5$
용기 내경(DT)/베인 직경(D)	$DT/D > 2.0$
베인 날개 상면에서 시료의 상면까지의 높이(Z1)/베인 직경(D)	$Z1/D < 1.0$
베인 날개 하면에서 용기의 바닥까지의 높이(Z2)/베인 직경(D)	$Z2/D < 0.5$

[0058] 또, 토크센서(260)는 샤프트(251) 상에 설치되어 베인(250)의 실제 토크를 측정한다. 이때, 회전속도조절장치(310)에서 설정된 토크가 구동원(270)에서 수행되어 베인이 회전하도록 구성되어 있지만, 경우에 따라 회전속도조절장치(310)에서 설정된 토크와, 구동원(270)에 의해 회전하는 베인(250)에서의 실제 토크가 다를 수 있다. 따라서, 보다 정확한 데이터를 얻기 위해서 베인(250)에 토크센서(260)를 설치하고, 이 토크센서(260)를 통해 베인(250)에서의 실제 토크를 측정하는 것이다. 만약, 회전속도조절장치(310)에서의 토크 값과 토크센서(260)에서의 토크 값의 차이가 미미할 경우, 회전속도조절장치(310)에서 설정된 토크 값으로 대체되도록 하고, 이때 토크센서(260)의 가동을 중지시키거나 경우에 따라 토크센서(260)를 설치하지 않을 수도 있다.

[0059] 그리고, 구동원(270)은 베인(250)의 샤프트(251)와 연결되고, 후술된 회전속도조절장치(310)와 제어기(320)에 의해 가동하도록 설치된다. 이 구동원(270)은 일 예로 모터를 사용할 수 있다.

[0060] 한편, 제어부(300)는 회전속도조절장치(310)와 제어기(320)를 포함하여 이루어진다.

[0061] 먼저, 회전속도조절장치(310)는 미리 설정된 토크 및 회전속도로 구동원(270)이 작동하도록 구동원(270)과 연결된다. 또한, 회전속도조절장치(310)는 제어기(320)와 연결되어 제어기(320)에서 수신한 제어신호에 의해 회전속도 및 토크가 조절된다.

[0062] 그리고, 제어기(320)는 회전속도조절장치(310)를 제어하도록 설치된다. 이 제어기(320)에는 입력된 토크와 회전

속도에 대한 제어신호를 회전속도조절장치(310)에 전송한다. 또한 제어기(320)는 측정된 데이터와, 측정된 데이터를 연산하여 얻은 결과 데이터를 저장하고, 이를 표시할 수 있도록 구성되고, 일 예로 모니터를 포함한 컴퓨터일 수 있다. 따라서, 제어기(320)는 물이 침투하는 과정에서 토크센서(260)와 회전속도조절장치(310)에서 발생한 토크와 회전속도 또는, 회전속도조절장치(310) 단독의 토크와 회전속도에 대한 데이터를 수신 및 연산하여 전단응력과 전단변형률 속도를 산출하고, 이 산출된 값을 토대로 항복응력과 점성 데이터를 획득한다. 또한, 획득한 데이터를 모니터에 표시한다.

[0063] <실험 예>

[0064] 상술된 본 발명의 레오메타를 이용하여 일 예로 모래의 특성을 실험해 보았다. 이 실험을 통해 동수경사에 따른 전단변형률속도와 전단응력과의 관계는 도 4a에 도시된 바와 같고, 동수경사에 따른 전단변형률속도와 점성과의 관계는 도 4b에 도시된 바와 같으며, 동수경사에 따른 항복응력 변화는 도 4c에 도시된 바와 같고, 동수경사에 따른 점성 변화는 도 4d에 도시된 바와 같다.

[0065] 이때, 동수경사에 따른 전단변형률속도, 전단응력, 점성, 항복응력 등을 산출하는 방식에 대해서는 후술한다.

[0066] 본 발명에서는 도 4a 내지 도 4d의 결과를 얻기 위해 여러 유동곡선 모델 중 빙엄(Bingham) 모델을 적용하여 항복응력과 점성을 산정하였다. 이때, 빙엄의 모델식은 다음 [수학식 1]과 같다.

수학식 1

$$\tau = \tau_y + \eta \dot{\gamma} \quad (\text{여기서, } \tau: \text{전단응력}, \tau_y: \text{항복응력}, \eta: \text{점성}, \dot{\gamma}: \text{전단변형률 속도})$$

[0068] 즉, 레오메타 실험을 통해 전단응력과 전단변형률속도를 산정한 후 이를 통해 항복응력과 점성을 산정한다.

[0069] 또한, 각각의 회전속도 하에서 얻어진 최대토크 값(Mmax)은 아래 [수학식 2]를 통해 항복응력을 산정할 수 있다. 이 [수학식 2]는 누엔과 보거(Nguyen and Boger)(1983) 및, 바르네스와 누엔(Barnes and Nguyen)(2001)에 의해 고안되었다.

수학식 2

$$\sigma_y = \frac{2M_{\max}}{\pi d^3 \left(\frac{h}{d} + \frac{1}{3} \right)}$$

[0071] 여기서 σ_y 는 항복응력, $M_{\max}$ 는 최대 토크 값, d 는 베인의 지름, h 는 베인의 높이를 나타낸다.

[0072] 또한, 전단변형률속도는 시료(210)에서 발생하는 변형률 변화에 따른 시간 변화율로 정의된다. 본 발명에서의 전단변형률 속도는 알데르만 에트 알.(Alderman et al.)(1991)에 의해 제안된 아래 [수학식 3]을 이용하여 산정하였다.

수학식 3

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{2\omega}{\left[1 - \frac{R_v^2}{R_c^2}\right]} = \frac{2\omega R_c^2}{R_c^2 - R_v^2}$$

[0073]

[0074]

여기서 ω 는 베인의 회전속도, R_c 는 용기의 반지름, R_v 는 베인의 반지름을 나타낸다.

[0075]

결론적으로, 전단응력은 [수학식 2]을 통해 산정할 수 있다. 여기서, [수학식 1]의 항복응력은 각각의 전단변형률속도에서의 최대 토크 값을 통해 산정된 값으로, 빙엄 모델의 항복응력 값과는 다르다. 또한, [수학식 2]의 항복응력은 빙엄 모델의 전단응력으로 간주된다. 또한, 전단변형률속도는 [수학식 3]을 통해 산정한다.

[0076]

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 상술한 실시예들은 모든 면에 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허등록청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허등록청구범위의 의미 및 범위 그리고 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

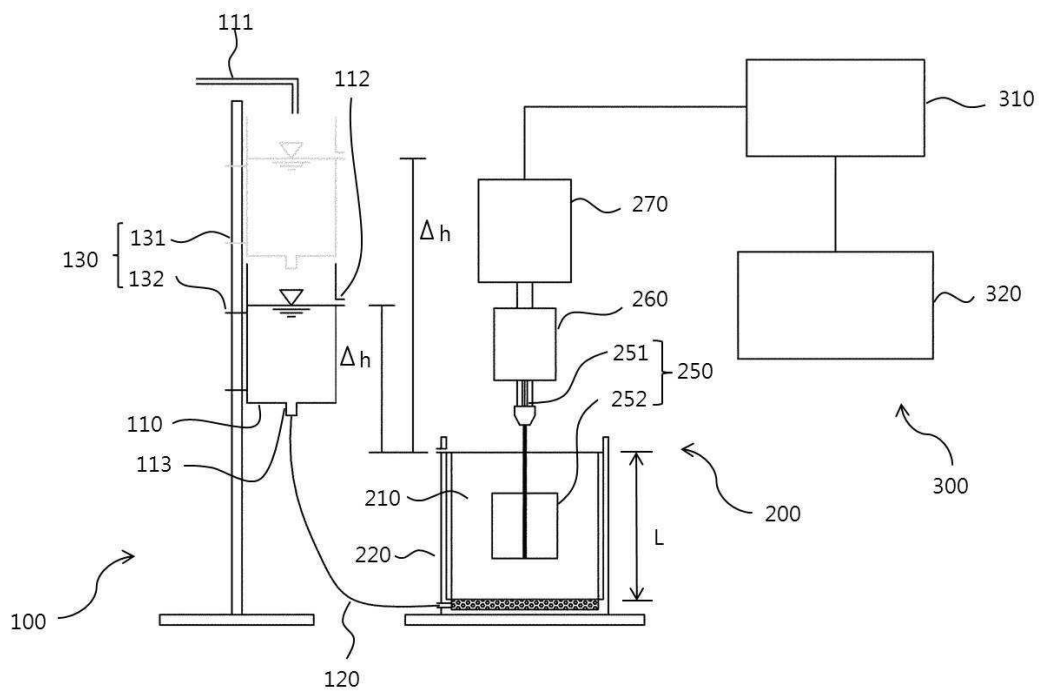
[0077]

100:공급부
110:급수조
111:급수관
112:배출구
113:공급구
120:공급관
130:이동수단
131:지지부재
132:체결부재
200:측정부
210:시료
220:용기
221:유입구
222:배수구
223:돌출부
230:유공관

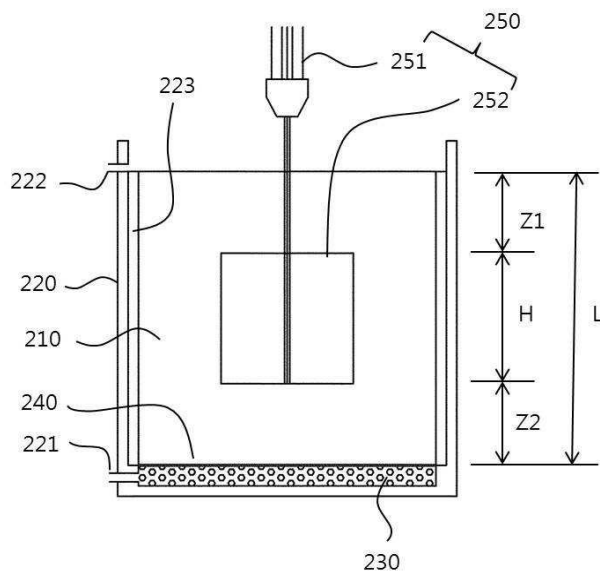
- 240: 필터
- 250: 베인
- 251: 샤프트
- 252: 날개
- 260: 토크 센서
- 270: 구동원
- 300: 제어부
- 310: 회전속도조절장치
- 320: 제어기

도면

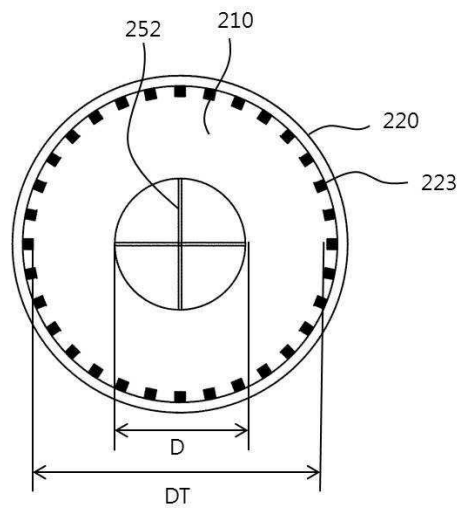
도면1



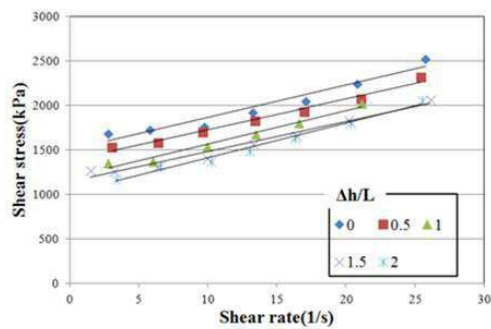
도면2



도면3

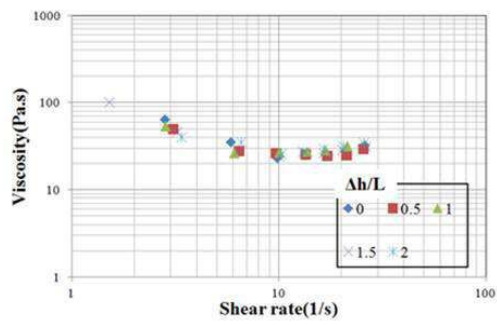


도면4a

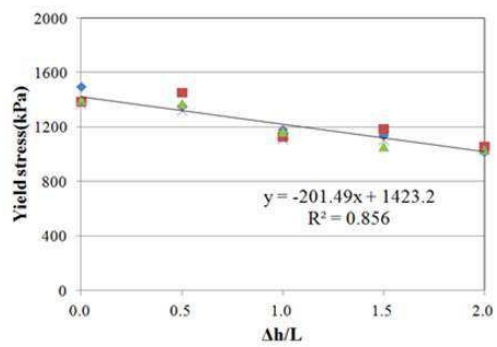


[동수경사에 따른 전단변형률속도와 전단응력과의 관계]

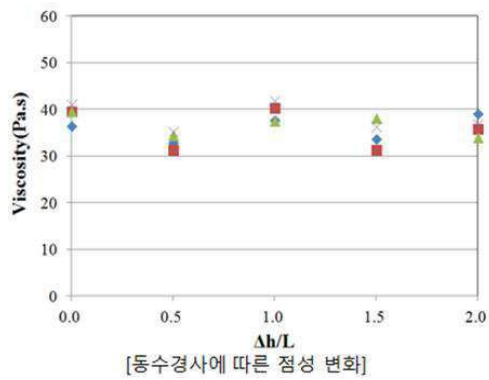
도면4b



도면4c



도면4d



도면5

