(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월30일
(11) 등록번호 10-2499395
(24) 등록일자 2023년02월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01F 22/02* (2006.01) *G06F 17/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G01F 22/02* (2013.01)
*G06F 17/10* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0016273
(22) 출원일자 2022년02월08일
심사청구일자 2022년02월08일
(56) 선행기술조사문헌
CN103994798 A
KR1020000071197 A
KR1020090078926 A

(73) 특허권자
**울산과학기술원**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
**표석훈**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
**박성우**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
**아무제거 아지즈**
미국 노스캐롤라이나 5010 그레이호크 피엘 에이 팩스,27539
(74) 대리인
**김민규**

전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 김윤선

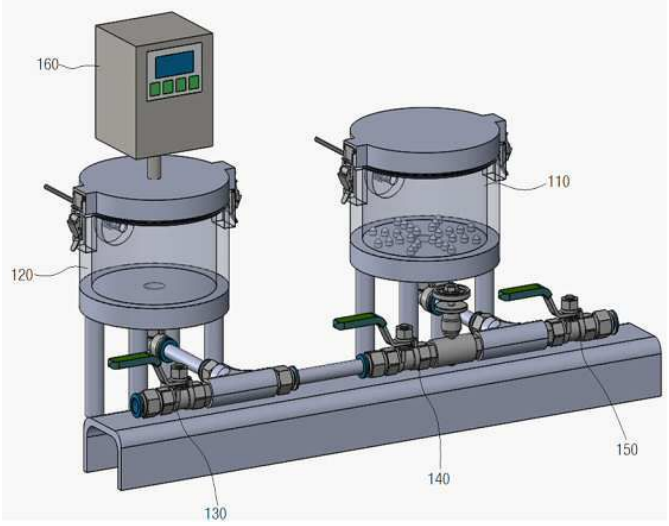
(54) 발명의 명칭 **진부피 측정장치 및 그것을 이용한 진부피 측정 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 진부피 측정장치 및 그것을 이용한 진부피 측정 방법에 관한 것이다.

이러한 본 발명의 실시예에 따르면, 진부피 측정장치를 이용한 진부피 측정 방법에 있어서, 대기압(P0)을 측정하는 단계, 상기 진부피 측정장치의 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 열고, 제2 밸브(V2)를 닫는 단계, 제1 챔버에 연결된 진공펌프를 작동시킨 후, 상기 제1 밸브(V1)를 닫고, 상기 제1 챔버의 압력(P1) 값을 측정하는 단계, 상기 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 닫고, 상기 제2 밸브(V2)를 열어 제2 챔버의 압력 값(P2)을 측정하는 단계, 상기 제2 밸브(V2)를 닫은 뒤 상기 제3 밸브를 여는 단계 및 상기 측정된 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 이용하여 상기 제1 챔버에 존재하는 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계를 포함한다.

*대 표 도* - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1345341243 |
| 과제번호 | 2021R1A6A3A01086584 |
| 부처명 | 교육부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 이공학학술연구기반구축(R&D) |
| 연구과제명 | 바텀애시를 이용한 탄소중립형 건축 무기단열재 개발 |
| 기 여 율 | 1/2 |
| 과제수행기관명 | 울산과학기술원 |
| 연구기간 | 2021.09.01 ~ 2022.08.31 |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1615011909 |
| 과제번호 | 163958 |
| 부처명 | 국토교통부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 국토교통과학기술진흥원 |
| 연구사업명 | 국토교통기술촉진연구(R&D) |
| 연구과제명 | 데이터 인프라 구조물을 위한 능동형 파장흡수 구조재료 개발 |
| 기 여 율 | 1/2 |
| 과제수행기관명 | 울산과학기술원 |
| 연구기간 | 2021.04.01 ~ 2021.12.31 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

진부피 측정장치를 이용한 진부피 측정 방법에 있어서,

대기압(P0)을 측정하는 단계;

상기 진부피 측정장치의 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 열고, 제2 밸브(V2)를 닫는 단계;

제1 챔버에 연결된 진공펌프를 작동시킨 후, 상기 제1 밸브(V1)를 닫고, 상기 제1 챔버의 압력(P1) 값을 측정하는 단계;

상기 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 닫고, 상기 제2 밸브(V2)를 열어 제2 챔버의 압력 값(P2)을 측정하는 단계;

상기 제2 밸브(V2)를 닫은 뒤 상기 제3 밸브를 여는 단계; 및

상기 측정된 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 이용하여 상기 제1 챔버에 존재하는 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계를 포함하는 진부피 측정 방법.

### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버의 부피(Vsc)를 연산하는 진부피 측정 방법:

$$P0 * (Vsc - Vs) = n0 * RT$$

여기서, R은 상수, T는 절대온도, n0는 제1 챔버의 gas 분자수이다.

### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제2 챔버의 부피(Vec)를 연산하는 진부피 측정 방법:

$$P1 * Vec = n1 * RT$$

여기서, n1은 제2 챔버의 gas 분자수이다.

### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버와 제2 챔버가 연결되었을 때의 챔버 전체의 부피를 연산하는 진부피 측정 방법:

$$P2 * (Vsc - Vs + Vec) = (n0 + n1) * RT$$

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 아래의 수학식에 적용하여 상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 진부피 측정 방법:

$$Vs = Vsc + \left(\frac{P2-P1}{P2-P0}\right) * Vec$$

**청구항 6**

진공펌프를 포함하는 제1 챔버;

측정 대상물을 포함하는 제2 챔버;

상기 제1 챔버에 연결되는 제1 밸브;

상기 제1 챔버와 상기 제2 챔버 사이에 연결되는 제2 밸브;

상기 제2 챔버에 연결되는 제3 밸브;

상기 제1 챔버 내부 및 상기 제2 챔버 내부의 압력을 측정하는 측정장치; 및

상기 측정장치를 통해 측정된 압력을 이용하여 상기 측정 대상물의 부피를 연산하는 연산장치를 포함하는 진부피 측정장치.

**청구항 7**

청구항 6에 있어서,

상기 측정장치는 상기 제1 챔버에 연결된 진공펌프를 작동시킨 후, 상기 제1 밸브(V1)를 닫고, 상기 제1 챔버의 압력(P1) 값과 대기압(P0)을 각각 측정하고,

상기 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 닫은 후 상기 제2 밸브(V2)를 열어 제2 챔버의 압력 값(P2)을 측정하는 진부피 측정장치.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서,

상기 연산장치는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버의 부피(Vsc)를 연산하는 진부피 측정장치:

$$P0 * (Vsc - Vs) = n0 * RT$$

여기서, R은 상수, T는 절대온도, n0는 제1 챔버의 gas 분자수이다.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서,

상기 연산장치는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제2 챔버의 부피(Vec)를 연산하는 진부피 측정장치:

$$P1 * Vec = n1 * RT$$

여기서, n1은 제2 챔버의 gas 분자수이다.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서,

상기 연산장치는

아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버와 제2 챔버가 연결되었을 때의 챔버 전체의 부피를 연산하는 진부피 측정장치:

$$P2 * (Vsc - Vs + Vec) = (n0 + n1) * RT$$

**청구항 11**

청구항 10에 있어서,

상기 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 아래의 수학식에 적용하여 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 진부피 측정장치:

$$Vs = Vsc + \left(\frac{P2-P1}{P2-P0}\right) * Vec$$

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 진부피를 측정하기 위한 진부피 측정장치 및 그것을 이용한 진부피 측정방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0003] 물체의 가장 기본이 되는 성질로는 밀도가 있으며, 밀도는 부피와 질량의 측정치로부터 산출해낼 수 있다.

[0004] 밀도의 산출을 위해 물체의 부피와 질량을 측정하면서, 질량은 널리 보급된 전자저울을 이용하여 상당히 정확한 수치까지 손쉽고 정확하게 측정할 수 있으나, 부피의 경우는 상대적으로 측정이 곤란하여 물체의 모양이 직육면체나 구와 같은 특정한 형태를 이루지 않는 이상 정확한 부피를 알아내는 데는 어려움이 따르며, 다양한 형태를 지닌 물체의 부피를 측정하기 위하여 기존의 눈금 실린더를 이용할 수도 있다. 그러나 눈금 실린더는 긴 원통의 형태를 이루고 있으므로, 원통의 넓이가 좁으면 미세한 부피를 측정할 수 있지만 큰 물체를 투입하는 것이 불가능하고, 원통의 넓이가 넓으면 큰 물체를 투입할 수 있지만 미세한 부피를 측정할 수 없는 문제가 있다.

[0005] 이러한 물체의 부피를 측정하기 위해 물을 이용해 왔으나, 이 방법은 피 측정 시료의 형상이 복잡하면 공극 없이 물을 채우는 과정이 어렵다. 또한 단순한 형상인 경우에도 물을 넣은 후 기포를 없애는 과정이 필요하므로 측정 방법이 번거롭다. 그리고, 피 측정 시료와 물과의 작용이 문제가 될 때는 측정이 곤란하다.

[0006] 이러한 문제로 가스를 이용하는 gas pycnometer 방법을 이용하여 피 측정 시료의 부피를 측정하였다.

[0007] 그러나 gas pycnometer 방법의 경우 부피 측정시 정확한 부피를 측정할 수 있지만, 헬륨을 사용하기 때문에, 챔버 및 장비의 높은 가공기술이 요구되어 부피 측정을 위한 가격이 증가하는 문제가 있다.

[0008] 따라서, 정확한 부피를 측정하고 gas pycnometer 방법보다 낮은 가공 방법으로 제작하여 가격을 낮춘 진부피 측

정장치와 그 측정장치를 이용한 측정 방법이 필요하게 되었다.

[0009] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 등록특허 제10-0416207호(2004.01.31. 공고)에 개시되어 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위해 도출된 것으로, 복수의 밸브와 챔버를 이용하여 측정 대상물의 부피를 측정하기 위한 진부피 측정장치 및 그것을 이용한 진부피 측정 방법의 제공을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 실시예에 따르면, 진부피 측정장치를 이용한 진부피 측정 방법에 있어서, 대기압(P0)을 측정하는 단계, 상기 진부피 측정장치의 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 열고, 제2 밸브(V2)를 닫는 단계, 제1 챔버에 연결된 진공펌프를 작동시킨 후, 상기 제1 밸브(V1)를 닫고, 상기 제1 챔버의 압력(P1) 값을 측정하는 단계, 상기 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 닫고, 상기 제2 밸브(V2)를 열어 제2 챔버의 압력 값(P2)을 측정하는 단계, 상기 제2 밸브(V2)를 닫은 뒤 상기 제3 밸브를 여는 단계 및 상기 측정된 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 이용하여 상기 제1 챔버에 존재하는 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계를 포함한다.

[0014] 상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는 아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버의 부피(Vsc)를 연산할 수 있다.

[0015] $$P0 * (Vsc - Vs) = n0 * RT$$

[0016] 여기서, R은 상수, T는 절대온도, n0는 제1 챔버의 gas 분자수이다.

[0017] 상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는 아래의 수학식을 이용하여 상기 제2 챔버의 부피(Vec)를 연산할 수 있다.

[0018] $$P1 * Vec = n1 * RT$$

[0019] 여기서, n1은 제1 챔버의 gas 분자수이다.

[0020] 상기 샘플의 부피(Vs)를 연산하는 단계는 아래의 수학식을 이용하여 상기 제1 챔버와 제2 챔버가 연결되었을 때의 챔버 전체의 부피를 연산할 수 있다.

[0021] $$P2 * (Vsc - Vs + Vec) = (n0 + n1) * RT$$

[0022] 상기 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 아래의 수학식에 적용하여 상기 샘플의 부피(Vs)를 연산할 수 있다.

[0023] $$Vs = Vsc + \left(\frac{P2-P1}{P2-P0}\right) * Vec$$

[0024] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 진공펌프를 포함하는 제1 챔버, 측정 대상물을 포함하는 제2 챔버, 상기 제1 챔버에 연결되는 제1 밸브, 상기 제1 챔버와 상기 제2 챔버 사이에 연결되는 제2 밸브, 상기 제2 챔버에 연결되는 제3 밸브, 상기 제1 챔버 내부 및 상기 제2 챔버 내부의 압력을 측정하는 측정장치 및 상기 측정장치를 통해 측정된 압력을 이용하여 상기 측정 대상물의 부피를 연산하는 연산장치를 포함한다.

### 발명의 효과

[0026] 상기 방법 및 특징을 갖는 본 발명에 따르면, 기존의 gas pyc 장치를 이용하여 다공성 재료의 공극량을 측정하는 방법보다 가격을 낮출 수 있다.

[0027] 또한, 기존의 부피를 측정하여 공극량을 측정하기 위한 방법은 측정 대상물의 크기가 한정되나, 본 발명에 따르면 측정 대상물의 크기에 대응되어 부피를 측정할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치의 3D 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치를 이용한 진 부피 측정 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 분말 시료의 부피를 측정하였을 때, 기존의 gas pycnometer와의 오차를 나타낸 표이다.

도 5는 도 4b를 그래프로 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 다공성 시편에 적용한 결과를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 무게의 상대 변화에 따른 normalized를 나타낸 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 구현예(態樣, aspect)(또는 실시예)들을 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0031] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 구현예(태양, 態樣, aspect)(또는 실시예)를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, ~포함하다~ 또는 ~이루어진다~ 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0032] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0033] 본 명세서에서 기재한 ~제1~, ~제2~ 등은 서로 다른 구성 요소들임을 구분하기 위해서 지칭할 것일 뿐, 제조된 순서에 구애받지 않는 것이며, 발명의 상세한 설명과 청구범위에서 그 명칭이 일치하지 않을 수 있다.

[0034] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치의 3D 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치를 나타낸 도면이다.

[0035] 도 1 및 도 2에서 나타낸 것처럼, 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치(100)는 제1 챔버(110), 제2 챔버(120), 제1 밸브(130), 제2 밸브(140), 제3 밸브(150), 측정장치(160) 및 연산장치(미도시)를 포함한다.

[0036] 먼저, 제1 챔버(110) 및 제2 챔버(120)는 동일한 크기를 가지는 원기둥 형태로 형성되며, 하측에 형성된 홀에 배관이 연결되어 있으며, 각각의 배관은 제1 밸브(130), 제2 밸브(140) 및 제3 밸브(150)와 연결된다.

[0037] 제2 챔버(120)는 측정 대상물을 포함할 수 있으며, 측정 대상물은 다공성을 포함하는 물질일 수 있다.

[0038] 다음으로, 제1 밸브(130), 제2 밸브(140) 및 제3 밸브(150)는 각각 공기의 흐름을 제어하기 위해 사용되며, 제1 밸브(130)는 진공펌프(미도시)와 연결되어 제1 챔버(110)의 압력을 낮출 수 있다.

[0039] 이때, 제1 밸브(130), 제2 밸브(140) 및 제3 밸브(150)는 사용자에 의해 제어되거나 자동으로 제어될 수 있다.

[0040] 다음으로, 측정장치(160)는 각각의 제1 챔버(110) 및 제2 챔버(120)에 연결되어 각각의 시점에서의 제1 챔버(110) 및 제2 챔버(120)의 압력을 측정한다.

[0041] 다음으로, 연산장치(미도시)는 제1 측정장치(110) 및 제2 측정장치(120)를 통해 측정된 압력을 이용하여 측정 대상물의 부피를 연산한다.

[0042] 이때, 연산장치(미도시)는 스마트폰(smartphone), 태블릿 PC(tablet personal computer), 이동 전화기(mobile phone), 영상 전화기, 전자책 리더기(e-book reader), 데스크탑 PC (desktop PC), 랩탑 PC(laptop PC), 넷북 컴퓨터(netbook computer), 워크스테이션(workstation), 서버, PDA(personal digital assistant), PMP(portable multimedia player), MP3 플레이어, 모바일 의료기기, 카메라, 또는 웨어러블 장치(wearable device), 인공지능 스피커(AI speaker) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0043] 이하에서는 도 3을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정 방법을 설명한다.

[0044] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 진부피 측정장치를 이용한 진 부피 측정 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0045] 먼저, 도 3에서 나타낸 것처럼, 측정장치(160)를 이용하여 대기압(P0)을 측정한다(S310).

[0046] 이때, 측정장치(160)를 통해 측정되는 대기압은 740torr 내지 760torr가 측정되며, 본 발명에서는 설명의 편의상 측정되는 대기압(P0)을 750torr로 설정하여 설명한다.

[0047] 다음으로, 제1 밸브(130) 및 제3 밸브(150)를 열고, 제2 밸브(140)를 닫은 상태에서, 제1 밸브(130)에 연결된 진공펌프를 작동시킨 후, 제1 밸브(130)를 닫고, 제1 챔버의 압력(P1) 값을 측정한다(S320).

[0048] 즉, 제1 밸브(130) 및 제3 밸브(150)를 열고, 제2 밸브(140)를 닫은 상태인 경우, 제2 챔버(120)의 압력을 대기압(P0)과 동일한 상태로 유지한다. 이때, 제2 챔버(120)의 압력은 750torr로 측정된다.

[0049] 그리고 본 발명의 실시예에서는 진공펌프를 작동시킨 후 제1 챔버(110)의 압력(P1)은 300torr로 측정되었으나, 제1 챔버(110)의 압력(P1)은 조건에 따라 변경될 수 있다.

[0050] 그리고 제1 챔버(110)의 압력(P1)은 진공펌프를 일정 시간 동안 동작시킨 후 제1 밸브(130)를 닫은 뒤 일정 시간 후 측정한다.

[0051] 다음으로, 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)를 닫고, 제2 밸브(V2)를 열어 제2 챔버의 압력 값(P2)을 측정 후 제2 밸브(V2)를 닫은 뒤 제3 밸브(V3)를 오픈한다(S330).

[0052] 제1 밸브(V1) 및 제3 밸브(V3)가 닫혀있고, 제2 밸브(V2)가 열려있는 경우,제1 챔버(110)와 제2 챔버(120) 내부로 외부로부터의 공기의 유입을 차단하고 제1 챔버(110)와 제2 챔버(120)는 연결된다.

[0053] 그러면 제1 챔버(110)에 존재하던 공기가 제2 챔버(120)로 이동하게 되며, 일정 시간이 지난 후 제2 챔버(120)의 압력 값(P2)을 측정한다. 이때, 본 발명의 실시예에서는 P2 값이 470torr로 측정되었지만, 측정환경에 따라 변동될 수 있다.

[0054] 다음으로, 연산장치(미도시)는 측정된 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 이용하여 제1 챔버(110)에 존재하는 샘플의 부피(Vs)를 연산한다(S340).

[0055] 먼저, 연산장치(미도시)는 아래의 수학식 1을 이용하여 제1 챔버의 부피(Vsc)를 연산한다.

*수학식 1*

[0056] $$P0 * (Vsc - Vs) = n0 * RT$$

[0057] 여기서, R은 상수, T는 절대온도, n0는 제1 챔버의 gas 분자수이다.

[0059] 다음으로, 연산장치는 아래의 수학식 2를 이용하여 제2 챔버의 부피(Vec)를 연산한다.

*수학식 2*

[0060] $$P1 * Vec = n1 * RT$$

[0061] 여기서, n1은 제2 챔버의 gas 분자수이다.

[0063] 다음으로, 아래의 수학식 3을 이용하여 제1 챔버(110)와 제2 챔버(120)가 연결되었을 때의 챔버 전체의 부피를

연산한다.

*수학식 3*

[0064] $$P2 * (Vsc - Vs + Vec) = (n0 + n1) * RT$$

[0066] 다음으로, 수학식 1 및 수학식 2를 상기의 수학식 3에 대입하여 아래의 수학식 4로 변경한다.

*수학식 4*

[0067] $$Vs = Vsc + \left(\frac{P2-P1}{P2-P0}\right) * Vec$$

[0069] 그러면, 연산장치(미도시)는 상기의 수학식 4에 기 측정한 대기압(P0), 제1 챔버의 압력 값(P1) 및 제2 챔버의 압력 값(P2)을 대입하여 샘플의 부피(Vs)를 측정한다.

[0070] 이하에서는 도 4 내지 도 5를 이용하여 측정 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0071] 도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 분말 시료의 부피를 측정하였을 때, 기존의 gas pycnometer와의 오차를 나타낸 표이고, 도 5는 도 4b를 그래프로 나타낸 도면이다.

[0072] 도 4a 및 도 4b에서 나타낸 것처럼, 슬래그(slag), 시멘트(cement), 강모래(river sand), 메타카올린(metakaolin), 백시멘트(white cement), BA1 및 규사(silica sand)를 본 발명의 실시예를 이용하여 각각의 부피 값을 측정하였다. 또한, 도 4의 표의 He pyc는 기존의 gas pycnometer의 가스를 헬륨으로 이용했을 경우 측정된 부피를 의미한다.

[0073] 도 4a 내지 도 5에서 나타낸 것처럼, 테스트 결과 He pyc와 약 4.0% 이내의 오차를 가지는 것으로 확인할 수 있다. 이러한 본 발명의 실시예인 진부피 측정 방법은 기존의 측정 방법과 오차범위 내로 측정되는 것을 확인할 수 있으며, 기존의 gas pycnometer 장치를 이용하여 다공성 재료의 공극량을 측정하는 방법보다 가격을 낮출 수 있다.

[0074] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 다공성 시편에 적용한 결과를 나타낸 도면이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 파우더가 없을 때의 질량을 1로 두고 알루미늄 파우더가 증가함에 따라 재료의 질량이 얼마만큼 감소하는가를 나타낸 도면이다.

[0075] 먼저, 도 6에서 나타낸 것과 같이 X 축은 알루미늄 파우더의 배합 비이고 Y 축은 측정된 시편들의 공극율이며, X 축이 클수록, 알루미늄 파우더를 많이 첨부할수록 재료의 공극은 더 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

[0076] 즉, 물(ASTM), CT 및 본발명(Vacuum pyc)을 이용하여 공극 측정 실험을 진행한 결과 본 발명이 물과 CT를 이용하여 각 시편이용한 방법보다 공극율을 정확하게 측정할 수 있다.

[0077] 즉, 도 7에서 나타낸 것처럼, 도 6에서 사용된 시편과 동일한 시편을 이용하며, 이러한 시편은 내부에 형성된 공극의 차이가 있으며, 가각의 시편의 밀도는 일정해야하며, Normalized된 질량과 부피가 일정해야한다. 즉, 도 7에서 나타낸 weight와 동일한 경향을 보이는 방법이 정확하다.

[0078] 따라서, 도 7에서 나타낸 것과 같이 weight 그래프와 본발명(Vacuun pyc)와 동일하게 나타났으며, 기존의 CT 및 물(ASTM) 방법보다 정확한 것을 확인할 수 있다.

[0080] 이상에서 첨부된 도면을 참조하여 설명한 본 발명은 통상의 기술자에 의하여 다양한 변형 및 변경이 가능하고, 청구범위를 통해 한정되지 않은 이러한 변형 및 변경은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

## *부호의 설명*

[0081] 100: 진부피 측정장치 110: 제1 챔버

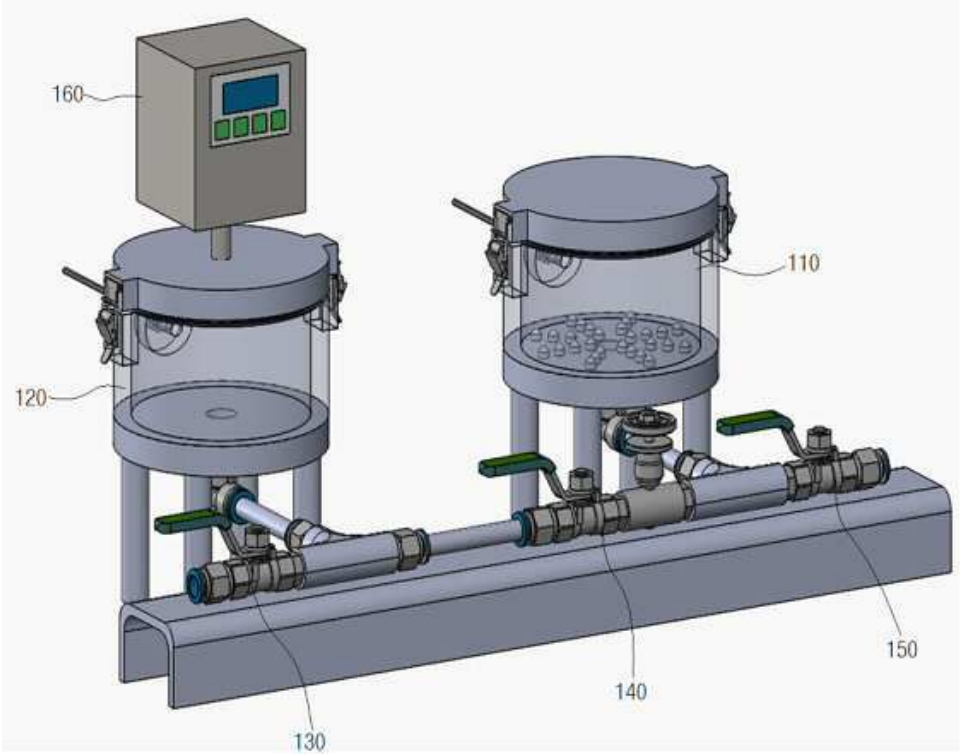
120: 제2 챔버 130: 제1 밸브

140: 제2 밸브 150: 제3 밸브

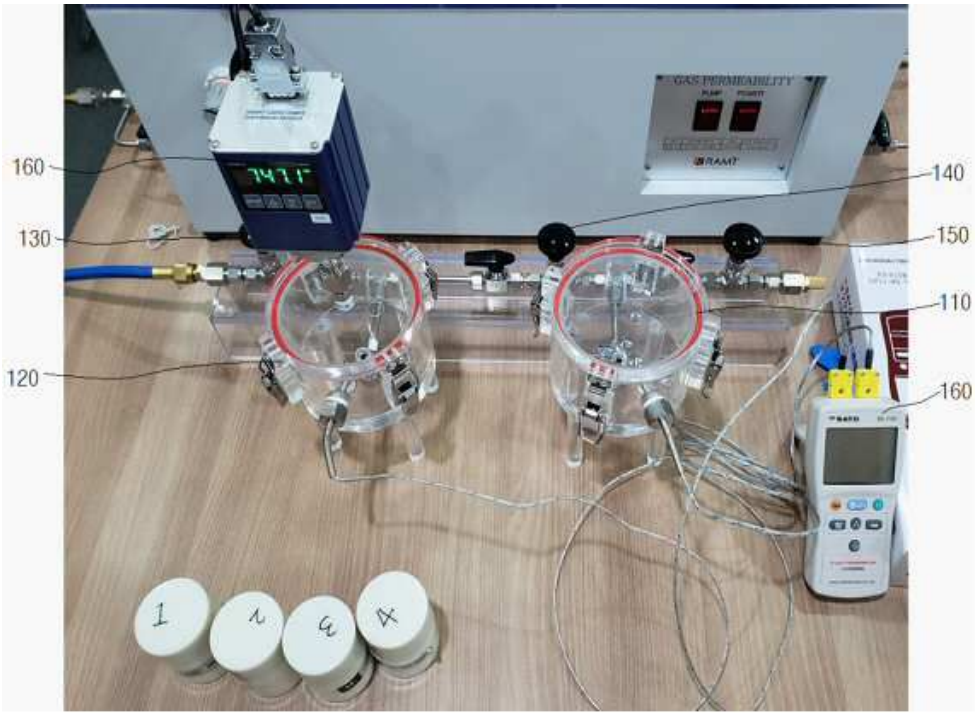
160: 측정장치

## 도면

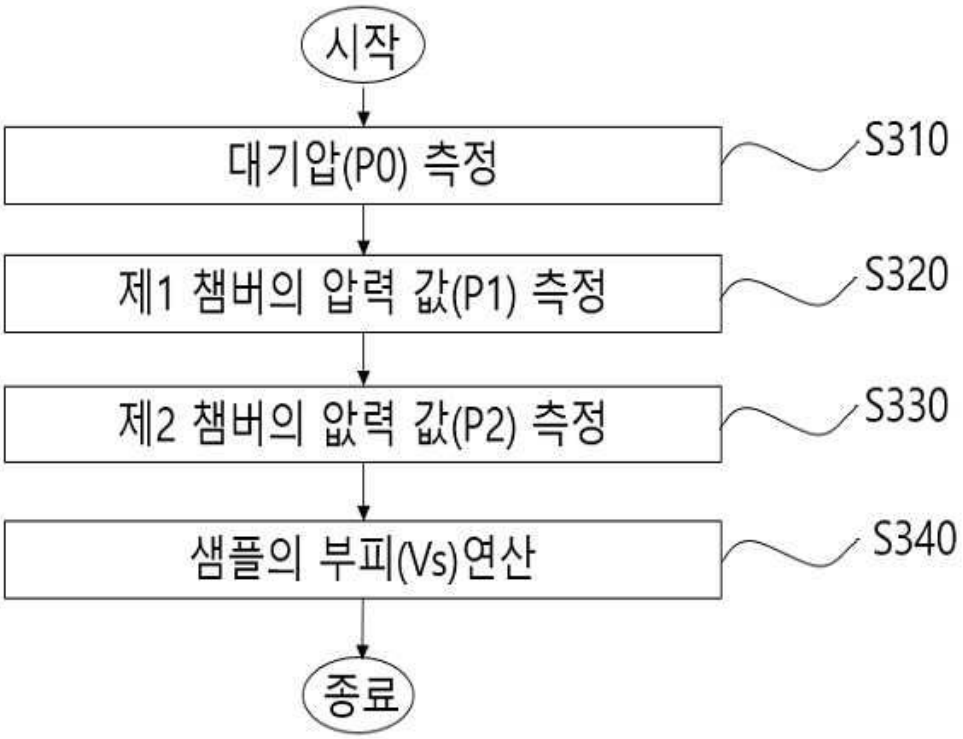
### 도면1



도면2


160
130
120
140
150
110
160

도면3


시작
대기압(P0) 측정
S310
제1 챔버의 압력 값(P1) 측정
S320
제2 챔버의 압력 값(P2) 측정
S330
샘플의 부피(Vs)연산
S340
종료

도면4a

| Materials | Gas pycnometer | ASTM | | Vacuum pycnometer | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Density (g/cm$^3$) | Error (%)[a] | Density (g/cm$^3$) | Error (%)[a] |
| Slag | 2.91 | 2.84[b] | -2.3 | 2.99 | 2.8 |
| Cement | 3.13 | 3.21[b] | 2.5 | 3.19 | 1.9 |
| White cement | 3.08 | 3.17[b] | 3.1 | 3.04 | -1.2 |
| Silica fume | 2.35 | 2.27 | -3.6 | 2.38 | 1.1 |
| Metakaolin | 2.63 | 2.50 | -4.9 | 2.67 | 1.5 |
| River sand | 2.68 | 2.64 | -1.3 | 2.62 | -2.1 |
| Silica sand | 2.69 | 2.67 | -0.6 | 2.68 | -0.2 |
| Bottom ash | 2.26 | 2.24 | -0.8 | 2.21 | -2.1 |

[a] Relative error to the commercial helium pycnometer.

[b] The specific gravities of the hydraulic materials were measured using kerosene and others using water.

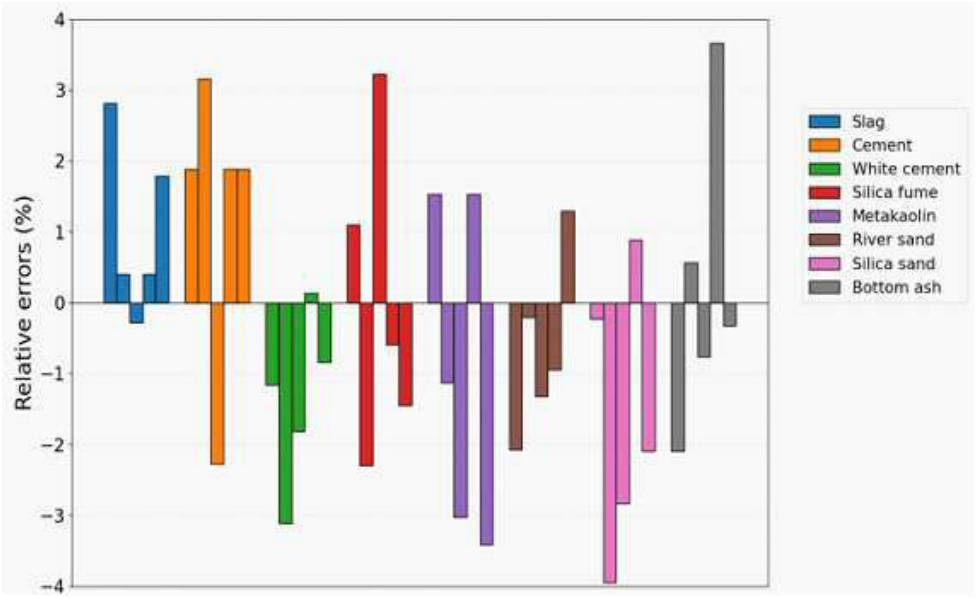
도면4b

| Materials | Density (g/cm$^3$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1st Test | 2nd Test | 3rd Test | 4th Test | 5th Test | Average | CV (%)[a] | Error (%)[b] |
| Slag | 2.99 | 2.92 | 2.90 | 2.92 | 2.96 | 2.94 | 1.1 | 1.0 |
| Cement | 3.19 | 3.23 | 3.06 | 3.19 | 3.19 | 3.17 | 1.8 | 1.3 |
| White cement | 3.04 | 2.98 | 3.02 | 3.08 | 3.05 | 3.03 | 1.1 | -1.4 |
| Silica fume | 2.38 | 2.30 | 2.43 | 2.34 | 2.32 | 2.35 | 2.0 | 0.0 |
| Metakaolin | 2.67 | 2.60 | 2.55 | 2.67 | 2.54 | 2.61 | 2.2 | -0.9 |
| River sand | 2.62 | 2.67 | 2.64 | 2.65 | 2.71 | 2.66 | 1.2 | -0.7 |
| Silica sand | 2.68 | 2.58 | 2.61 | 2.71 | 2.63 | 2.64 | 1.8 | -1.6 |
| Bottom Ash | 2.21 | 2.27 | 2.24 | 2.34 | 2.25 | 2.26 | 1.9 | 0.2 |

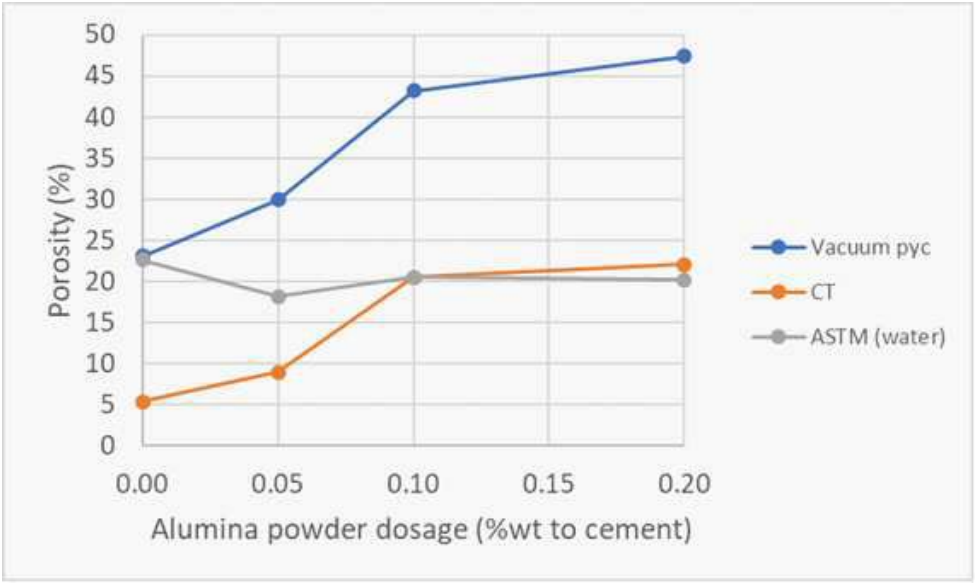
[a] Coefficient of variation.

[b] Relative error to the commercial helium pycnometer.

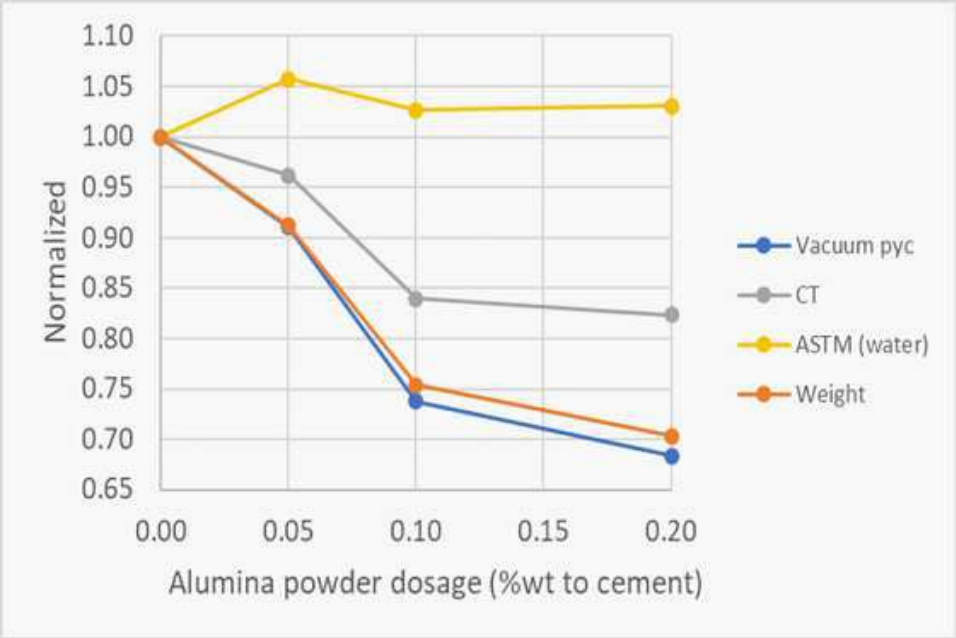
도면5


Relative errors (%)
4
3
2
1
0
−1
−2
−3
−4
Slag
Cement
White cement
Silica fume
Metakaolin
River sand
Silica sand
Bottom ash

도면6


Porosity (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
Alumina powder dosage (%wt to cement)
Vacuum pyc
CT
ASTM (water)

도면7


1.10
1.05
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
Normalized
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
Alumina powder dosage (%wt to cement)
Vacuum pyc
CT
ASTM (water)
Weight