(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0063727
(43) 공개일자 2023년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 19/10 (2006.01) *G01N 15/08* (2006.01)
G01N 33/38 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01N 19/10 (2013.01)
G01N 15/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0149093
(22) 출원일자 2021년11월02일
심사청구일자 2021년11월02일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
김형기
광주광역시 서구 풍암순환로 114 대주3차아파트 306동 105호
(74) 대리인
이버드특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

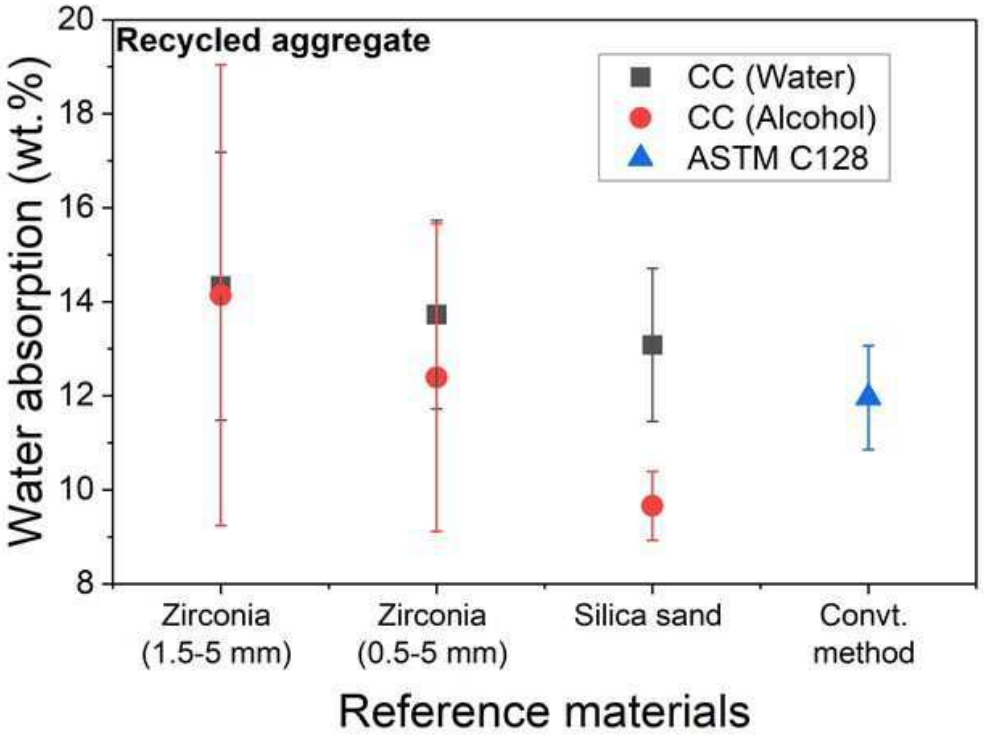
(54) 발명의 명칭 **골재의 흡수율 측정방법**

(57) 요 약

본 발명은 규사, 시멘트를 포함하고 물 대신 알코올을 포함한 시멘트 모르타르와 골재, 시멘트를 포함하고 물 대신 알코올을 포함한 시멘트 모르타르를 사용함으로써 선행특허의 원심분리 방법의 문제점을 해결하고 정확도 및 신뢰성을 향상시키는 데 그 주된 목적이 있다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도20



상기한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 골재의 흡수율 측정방법은, 규사, 시멘트 및 알코올을 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 골재, 시멘트 및 알코올을 배합한 제2 시멘트 모르타르를 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여 알코올을 분리, 제거하는 단계; 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르 내에 포함된 골재를 표건 상태가 된 골재로 가정하고, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)를 이용하여 상기 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함한다.

(52) CPC특허분류
G01N 33/383 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711132627
과제번호 2019R1A4A1028116
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원(R&D)(1311101501551200123430 2)
연구과제명 미래 수요변화 대응을 위한 맞춤형 건축기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 조선대학교 산학협력단
연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1615012184
과제번호 162543
부처명 국토교통부(P26)
과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 국토교통지역혁신기술개발(R&D)(261392120126410041473 02)
연구과제명 호남권 발생 부산물을 활용한 등가열저항 0.5 K.m/W 이하 열교환용 되메움재 적용 지중 열교환기 및 송전선 매설 공법 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 (주)케미우스코리아
연구기간 2021.04.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

규사, 시멘트 및 알코올을 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 골재, 시멘트 및 알코올을 배합한 제2 시멘트 모르타르를 각각 준비하는 단계;

상기 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여 알코올을 분리, 제거하는 단계;

상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르 내에 포함된 골재를 표면건조-내부포화수 상태(Saturated and Surface Dried, 이하 "표건 상태"라 함)가 된 골재로 가정하고, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)를 이용하여 상기 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학식 (1)에서 보듯이 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)는 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타내는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) \quad (1)$$

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학식 (2)에서 보듯이 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)는 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타내는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb}/V_c = f_2\left(V_{a(Solid)}/V_c\right) \quad (2)$$

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학식 (3)에서 보듯이, 상기 규사와 상기 표건 상태의 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)가 동일하다면, 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)와 상기 표건 상태의 골재/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고,

하기 수학식 (4)에서 보듯이, 이로부터 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비(V_{la}/V_c)를 계산한 다음, 이를 이용하여 골재의 흡수율을 최종 계산하는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율

측정방법.

$$V_r/V_c = V_{a(SSD)}/V_c = (V_{a(Solid)} + V_{la})/V_c$$

(3)

$$V_{la}/V_c = V_r/V_c - V_{a(Solid)}/V_c$$

(4)

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (5)와 같이 정의되고,

이 골재의 흡수율(A)은 상기 수학식 (1), 수학식 (2), 수학식 (3), 수학식 (4)를 이용하여 하기 수학식 (6)에 의해 최종 계산되는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$A = 100 \times \frac{M_{la}}{M_{a(Solid)}} = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}}$$

(5)

$$A = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}/V_c}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}/V_c} = 100 \times \frac{\rho_l \{f_1^{-1}(V_{pb}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)\}}{\rho_{a(Solid)} f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)}$$

(6)

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

상기 수학식 (1)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a_1이고,

상기 수학식 (2)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b_1이며,

상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (7)에 의해 최종 계산되는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) = a_1(V_r/V_c) + a_2$$

표준물질의 경우:

$$V_{pb}/V_c = f_2(V_{a(Solid)}/V_c) = b_1(V_{a(Solid)}/V_c) + b_2$$

골재의 경우:

$$A = 100 \times \frac{\rho_l \left\{\frac{1}{a_1}(V_{pb}/V_c - C) - \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)\right\}}{\rho_{a(Solid)} \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)} = 100 \times \frac{\rho_l (b_1 - a_1)}{\rho_{a(Solid)} a_1}$$

(7)

청구항 7

규사를 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 골재를 배합한 제2 시멘트 모르타르를 각각 준비하는 단계;

상기 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여 알코올을 분리, 제거하는 단계;

하기 수학식 1에서 보듯이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)를 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 계산하는 단계;

상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르 내에 포함된 골재를 표면건조-내부포화수 상태(Saturated and Surface Dried, 이하 "표건 상태"라 함)가 된 골재로 가정하고, 하기 수학식 2에서 보듯이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)를 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 계산하는 단계;

하기 수학식 3에서 보듯이, 상기 규사와 상기 표건 상태의 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)가 동일하다면, 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)와 상기 표건 상태의 골재/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고, 이로부터 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및

상기 함수(f_1), 함수(f_2) 및 표건 상태의 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 이용하여 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) \quad (1)$$

$$V_{pb}/V_c = f_2\left(V_{a(Solid)}/V_c\right) \quad (2)$$

$$V_r/V_c = V_{a(SSD)}/V_c = (V_{a(Solid)} + V_{la})/V_c \quad (3)$$

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학식 (4)에 의해 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및

상기 골재의 흡수율(A)을 하기 수학식 (5)와 같이 정의하고, 이 골재의 흡수율(A)을 상기 함수(f_1), 함수(f_2), 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 이용하여 하기 수학식 (6)에 의해 최종 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{la}/V_c = V_r/V_c - V_{a(Solid)}/V_c \quad (4)$$

$$A = 100 \times \frac{M_{la}}{M_{a(Solid)}} = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}} \quad (5)$$

$$A = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}/V_c}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}/V_c} = 100 \times \frac{\rho_l \{f_1^{-1}(V_{pb}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)\}}{\rho_{a(Solid)} f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)}$$

(6)

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 골재의 흡수율 계산 단계는,

상기 수학식 (1)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a_1이고,

상기 수학식 (2)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b_1이며,

이 때, 상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (7)에 의해 최종 계산되는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$A = 100 \times \frac{\rho_l \left\{\frac{1}{a_1}(V_{pb}/V_c - C) - \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)\right\}}{\rho_{a(Solid)} \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)} = 100 \times \frac{\rho_l (b_1 - a_1)}{\rho_{a(Solid)} a_1}$$

(7)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 골재의 흡수율 측정방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 원심분리를 이용한 다공질 인공 골재의 흡수율 측정방법에서, 물 대신 시멘트가 반응하지 않는 에탄올을 사용하고, 표준 물질로서 강모래 대신 규사를 사용함으로써 골재의 흡수율 측정의 정확도와 신뢰도를 향상시킨 골재의 흡수율 측정방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 콘크리트 공학에서 가장 중요한 것은 시멘트, 잔 골재, 굵은 골재 등 모든 구성재료의 품질을 정확하게 평가하고 관리하는 것이다. 배합을 적절히 하여도 이들 구성재료의 특성을 잘못 평가하면 콘크리트의 일관된 목표 성능을 달성하기 어렵다. 골재의 경우 가장 중요한 특성은 골재의 흡수율과 비중이다. 골재의 흡수율과 비중을 잘못 평가하면 콘크리트 내 골재의 과소 사용 및 과다사용으로 이어져 콘크리트의 워커빌리티, 블리딩, 건조수축, 투수성 등의 특성에 변동을 초래할 수 있다.

[0003] 골재의 이러한 기본 특성은 표면건조-내부포화수 상태(Saturated surface-dry condition, 이하, '표건 상태'라 한다)의 정의에 의해 결정된다. 표건 상태는 골재 내부에 존재하는 모든 투과성 기공이 포화되고 표면의 모든 물이 제거됨을 의미한다. 골재를 표건 상태로 만드는 가장 직관적이고 쉬운 방법은 BS EN 1097-6, ASTM C 128, AASHTO T 85 및 뉴욕주 교통부(NYDOT) 시험방법 번호 703-19E에 명시된 "와이핑 방법"으로, 와이핑 방법은 일반적으로 미세한 분말이 없는 굵은 골재 또는 경량 골재에 적용된다. 포화된 골재의 표면의 수분을 제거하기 위해 포화된 골재의 표면을 종이나 면타월을 사용하여 닦는다.

[0004] 또 다른 방법은 BS EN 1097-6, ASTM C 128 및 AASHTO T 84에 명시된 "콘 방법(또는 원추법)"으로, 일반적으로 미세 골재에 적용된다. 만약 미세 골재에 와이핑 방법을 사용하면, 미세 골재의 표면을 닦는 동안 젖은 미세 입자가 손실될 수 있다. 콘 방법은 골재 표면의 수분의 표면장력을 이용한다. 급한 경사를 가진 원추형 몰드에서 압축된 미세 골재는 표면에 습기가 있을 때 몰드를 제거한 후에도 모양을 유지할 수 있으나, 표면이 건조되면 붕괴될 것이다.

[0005] 이 두 가지 방법은 현장에서 적용하기 쉽지만 고유한 한계가 있다. 이 두 가지 방법은 표면 공극이 큰 골재 또는 시멘트 페이스트가 침투할 수 있는 거대 기공을 가진 골재에는 사용하기 어렵다. 최근에는 발전소 바닥재, 폐콘크리트 재활용 골재, 화산암 파쇄물과 같은 대체 미세 골재 및 굵은 골재가 적용되고 있다. 그런데 이런 대체 미세 골재 및 굵은 골재의 표면은 매우 각지고 큰 기공을 가진다. 이러한 형상은 품질관리의 관점에서 골재가 콘크리트에 사용되는데 장애가 된다.

[0006] 표면에 큰 공극이 있는 경우 콘크리트나 모르타르에 혼합 시 시멘트 페이스트가 그 공극에 들어갈 수 있으며, 시멘트 페이스트와 공극 내부의 수분이 섞여 실제 수분/바인더 비율(W/B)이 증가하게 된다. 따라서 표건 상태를 엄격하게 정의하기 위해서는 이러한 큰 표면공극은 '공극'이 아닌 '표면'으로 정의하는 것이 적절하다.

[0007] 표면이 각지고 큰 기공을 가지는 골재에 대하여 기존의 와이핑 방법이나 콘 방법을 사용하는 경우, 골재의 흡수율을 과대평가하고 골재의 표건 상태의 비중을 부정확하게 평가할 가능성이 있다. 한편, 와이핑 방법의 경우 타월의 모세관 흡수에 의해 골재의 수분이 일부 흡수될 가능성이 있다. 또한, 콘 방법의 경우 골재가 표건 상태보다 더 건조한 상태일 때의 흡수율을 평가할 가능성이 있다. 이것은 골재의 표면 공극이 큰 경우 골재 표면의 수분의 증발 속도가 매우 빠르기 때문이다. 표면의 수분은 보다 빨리 건조되기 때문에 다져진 잔골재의 정확한 붕괴 시간을 결정하는 것은 실질적으로 어렵다. 이 경우 골재의 흡수율이 과소평가될 수 있다.

[0008] 골재의 흡수율 평가의 어려움에 대한 다양한 선행 연구가 존재한다. 그 중 하나의 연구 논문에 따르면, 다공성의 각진 표면을 갖는 골재의 경우, 그 모양이나 표건 상태를 부정확하게 정의하게 되면 굳지 않은 콘크리트(fresh concrete)의 특성에 영향을 줄 수 있다고 한다. 일 예로, 굵은 재활용 골재를 사용하는 경우 콘크리트의 슬럼프 값과 블리딩이 모두 증가하는 것으로 나타났다(Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2007), "Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete", Materials and Structures, 40(9), 981-988). 이와 유사한 경향에 대한 연구 결과를 보고한 또 다른 연구 논문도 있다(Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2018). "Fresh-state performance of recycled aggregate concrete: A review.", Construction and Building Materials, 178, 19-31.).

[0009] 또 다른 연구 논문에 따르면, 극도로 거칠고 각진 표면과 다공성 구조를 갖는 석탄 바닥재를 일반 및 고강도 모르타르의 미세 골재를 적용한 실험에서, 각진 바닥재 입자 사이에 맞물림이 있음에도 불구하고 바닥재를 사용함으로써 모르타르 유동이 오히려 증가하였다(김혜경, 전정현, 이혜경(2012), "미세한 저회골재를 결합한 일반 및 고강도 모르타르의 흐름, 흡수 및 기계적 특성", 건축 및 건축 자재, 26(1), 249-256.).

[0010] 이에 반해 또 다른 연구 논문에 따르면, 재활용 골재를 사용함으로써 혼합 직후의 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 블리딩이 감소하였고, 시간의 경과에 따른 슬럼프 손실 또한 크게 증가하였다. 골재와 시멘트 페이스트의 총 부피가 이 연구의 모든 혼합물에 대하여 상수임을 고려할 때 시간의 경과에 따른 슬럼프 손실은 재활용 골재의 흡수율을 과소평가한 것과 관련이 있을 수 있다(Yang, K. H., Chung, H. S., & Ashour, A.F. (2008). "Influence of Type and Replacement Level of Recycled Aggregates on Concrete Properties.”).

[0011] 또 다른 연구 논문에 따르면, 보통 강도의 콘크리트에서 부순 자갈을 표면에 큰 기공을 가진 화산석(논문에서'honeycomb(벌집)'으로 언급)로 대체한 실험에서, 부순 자갈과 화산석 모두 각진 입자 모양을 가졌음에도 불구하고 화산석를 사용함에 따라 작업성이 저하되었다(Hossain, K.M.A.(2004). "Properties of volcanic scoria based lightweight concrete", Magazine of Concrete Research, 56(2), 111-120.).

[0012] 위에서 언급된 일련의 연구에서도 특수한 유형의 골재에 대하여서는 표건 상태의 정의나 흡수율을 정확하게 측정하는 방법에 대한 구체적인 설명은 없었다. 이러한 결과는 표건 상태를 정의하는 기존의 방법(예로 와이핑 방법, 콘 방법을 들 수 있다)이 모든 유형의 골재, 특히 거칠고 각진 표면 및 다공성 표면을 갖는 골재에 대해서는 적용될 수 없음을 의미한다 할 것이다.

[0013] 이와 같은 기존 방법의 한계를 극복하기 위해 본 발명자는 대한민국 등록특허 제10-1697221호(2017.01.11 등록)(이하 "선행특허"라 함)에서 "원심분리(Centrifugal Compaction, CC)"라는 대체 방법을 제안하였다. 본 발명자는 원심분리 방법을 적용할 경우 아래에 분리된 시멘트 페이스트의 조성이 일정하게 되는 현상을 응용해, 원심분리를 통해 시멘트 페이스트를 일종의 표준 유체로 만든 뒤, 고전적인 아르키메데스 원리를 기반으로 골재의 비중을 계산하였다.

[0014] 원심분리 방법에서 골재의 부피를 측정하기 위한 유체로는 시멘트 페이스트가 사용된다. 시멘트 페이스트는 물-시멘트 비율(Water-Cement ratio, 이하, 'W/C'라 한다)에 따라 특성이 달라지므로, 골재를 함유한 페이스트를 원심분리하여 W/C가 균일하도록 하고, 골재의 형상을 고려하지 않고 골재의 정확한 부피를 평가하였다.

[0015] 위 선행특허에서는 물-시멘트-골재 혼합물, 즉 모르타르를 사용한 제한된 실험으로 단순히 원심분리 방법의 실행가능성을 확인하였다. 그러나 시멘트 페이스트 및 모르타르는 시멘트 수용액이라서 시간이 지남에 따라 시멘트의 수화작용으로 물성이 변할 수 있다. 잘 알려진 바와 같이 시멘트는 기본적으로 혼합 직후에 반응한다. 먼저, 시멘트 클링커와 석고의 일부는 물에 용해되어 시멘트가 혼합되는 즉시 수화물을 형성한다. 이렇게 형성된 수화물은 원심분리 중 시멘트 및 골재의 다짐에 방해가 될 수 있고, 이는 골재의 표건 상태의 정확한 정의에 영향을 미칠 수 있다.

[0016] 본 발명은 여러가지 골재의 표건 상태를 정의하기 위한 원심분리 방법의 신뢰성을 개선하기 위해 수행되었다. 시멘트와 알코올이 반응하지 않기 때문에 알코올-시멘트 페이스트가 원심분리 방법에 도입되었다. 회전시간, 시멘트의 종류, 초기 액체-시멘트 비(Liquid-to-Cement ratio, L/C), 골재의 종류 등의 여러가지 실험 요인을 적용하고 원심분리 후 페이스트와 모르타르의 부피를 측정하였다. 원심분리 방법으로 여러가지 골재의 흡수율과 표건 상태 밀도를 얻고, 이를 기존의 방법으로 얻은 골재의 흡수율 및 표건 상태 밀도와 비교함으로써 원심분리 방법의 신뢰성에 대하여 개선하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0017] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1697221호(2017.01.11 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명은 다공질의 골재의 흡수율 및 비중을 측정할 때 물 대신 에탄올을 사용함으로써 물과 시멘트의 반응으로 인한 측정 오차를 제거하는데 목적이 있다.

[0019] 또한, 본 발명은 다공질의 인공 골재의 흡수율을 측정할 때, 표준 물질로서 흡수율이 0인 규사를 사용함으로써 측정의 정확도와 신뢰도를 향상시키는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0020] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 골재의 흡수율 측정방법은 규사, 시멘트 및 알코올을 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 골재, 시멘트 및 알코올을 배합한 제2 시멘트 모르타르를 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여 알코올을 분리, 제거하는 단계; 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르 내에 포함된 골재를 표면건조-내부포화수 상태(Saturated and Surface Dried, 이하 "표건 상태"라 함)가 된 골재로 가정하고, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)를 이용하여 상기 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함한다.

[0021] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 (1)에서 보듯이 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)는 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타낼 수 있다.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c)$$

[0022] (1)

[0023] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 (2)에서 보듯이 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)는 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타낼 수 있다.

$$V_{pb}/V_c = f_2\left(V_{a(Solid)}/V_c\right)$$

[0024] (2)

[0025] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 (3)에서 보듯이, 상기 규사와 상기 표건 상태의 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다

짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)가 동일하다면, 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)와 상기 표건 상태의 골재/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고, 하기 수학식 (4)에서 보듯이, 이로부터 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비(V_{la}/V_c)를 계산한 다음, 이를 이용하여 골재의 흡수율을 최종 계산할 수 있다.

[0026]
$$V_r/V_c = V_{a(SSD)}/V_c = (V_{a(Solid)} + V_{la})/V_c \quad (3)$$

[0027]
$$V_{la}/V_c = V_r/V_c - V_{a(Solid)}/V_c \quad (4)$$

[0028] 또한, 상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (5)와 같이 정의되고, 이 골재의 흡수율(A)은 상기 수학식 (1), 수학식 (2), 수학식 (3), 수학식 (4)를 이용하여 하기 수학식 (6)에 의해 최종 계산될 수 있다.

[0029]
$$A = 100 \times \frac{M_{la}}{M_{a(Solid)}} = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}} \quad (5)$$

[0030]
$$A = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}/V_c}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}/V_c} = 100 \times \frac{\rho_l \{f_1^{-1}(V_{pb}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)\}}{\rho_{a(Solid)} f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)} \quad (6)$$

[0031] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 상기 수학식 (1)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a_1이고, 상기 수학식 (2)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b_1이며, 상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (7)에 의해 최종 계산될 수 있다.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) = a_1(V_r/V_c) + a_2$$

[0032] 표준물질의 경우:

$$V_{pb}/V_c = f_2(V_{a(Solid)}/V_c) = b_1(V_{a(Solid)}/V_c) + b_2$$

[0033] 골재의 경우:

$$A = 100 \times \frac{\rho_l \left\{\frac{1}{a_1}(V_{pb}/V_c - C) - \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)\right\}}{\rho_{a(Solid)} \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)} = 100 \times \frac{\rho_l (b_1 - a_1)}{\rho_{a(Solid)} a_1}$$

[0034]

[0035] (7)

[0036] 한편, 본 발명에 따른 골재의 흡수율 측정방법은, 규사를 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 골재를 배합한 제2 시멘트 모르타르를 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여 알코올을 분리, 제거하는 단계; 하기 수학식 1에서 보듯이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)를 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 계산하는 단계; 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르 내에 포함된 골재를 표면건조-내부포화수 상태(Saturated and Surface Dried, 이하 "표건 상태"라 함)가 된 골재로 가정하고, 하기 수학식 2에서 보듯이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)를 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의

부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 계산하는 단계; 하기 수학식 3에서 보듯이, 상기 규사와 상기 표건 상태의 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)와 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트 부피비(V_{pb}/V_c)가 동일하다면, 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)와 상기 표건 상태의 골재/시멘트 부피비($V_{a(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고, 이로부터 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및 상기 함수(f_1), 함수(f_2) 및 표건 상태의 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 이용하여 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함하는 원심분리를 이용한 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c)$$

[0037] (1)

$$V_{pb}/V_c = f_2(V_{a(Solid)}/V_c)$$

[0038] (2)

$$V_r/V_c = V_{a(SSD)}/V_c = (V_{a(Solid)} + V_{la})/V_c$$

[0039] (3)

[0040] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 (4)에 의해 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 액체/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및 상기 골재의 흡수율(A)을 하기 수학식 (5)와 같이 정의하고, 이 골재의 흡수율(A)을 상기 함수(f_1), 함수(f_2), 상기 표건 상태의 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{la(SSD)}/V_c$)를 이용하여 하기 수학식 (6)에 의해 최종 계산하는 단계;를 포함할 수 있다.

$$V_{la}/V_c = V_r/V_c - V_{a(Solid)}/V_c$$

[0041] (4)

$$A = 100 \times \frac{M_{la}}{M_{a(Solid)}} = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}}$$

[0042] (5)

$$A = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}/V_c}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}/V_c} = 100 \times \frac{\rho_l \{f_1^{-1}(V_{pb}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)\}}{\rho_{a(Solid)} f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)}$$

[0043] (6)

[0044] 또한, 상기 골재의 흡수율 계산 단계는, 상기 수학식 (1)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 규사/시멘트의 부피비(V_r/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a_1이고, 상기 수학식 (2)에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 다짐된 제2 시멘트 모르타르/시멘트의 부피비(V_{pb}/V_c)가 상기 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{a(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀 분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b_1이며, 이 때, 상기 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 (7)에 의해 최종 계산될 수 있다.

$$A = 100 \times \frac{\rho_l \left\{\frac{1}{a_1}(V_{pb}/V_c - C) - \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)\right\}}{\rho_{a(Solid)} \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)} = 100 \times \frac{\rho_l (b_1 - a_1)}{\rho_{a(Solid)} a_1}$$

[0045] (7)

발명의 효과

[0046] 본 발명의 골재의 흡수율 측정 방법은 다공질의 인공 골재의 흡수율을 측정할 때 물과 시멘트의 반응으로 인한

측정 오차 및 표준 물질의 흡수율 오차로 인한 영향을 제거함으로써 인공 골재의 흡수율 측정의 정확도를 개선하는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 레이저 회절법으로 측정한 SP 시멘트와 SS 시멘트의 입도 분포를 나타내는 그래프이다.

도 2는 본 발명의 실험에서 사용된 여러가지 유형의 골재들의 사진이다.

도 3은 위 골재들의 표면을 확대하여 관찰한 사진이다.

도 4는 체질로 측정한 소정의 골재의 입도 분포((size gradations)를 나타내는 그래프이다.

도 5는 회전시간에 따른 SP 시멘트 페이스트와 SS 시멘트 페이스트의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다.

도 6은 초기 L/C 값에 따른 SP 시멘트 페이스트와 SS 시멘트 페이스트의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다.

도 7은 회전시간에 따른 SP 시멘트 모르타르와 SS 시멘트 모르타르의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다.

도 8은 초기 L/C 값에 따른 규사-SS 시멘트 모르타르의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다.

도 9는 골재로 지르코니아 볼(5㎜)를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 10는 골재로 지르코니아 볼(1.5㎜)를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 11는 골재로 지르코니아 볼(0.5㎜)를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 12는 골재로 규사를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 13는 골재로 강모래를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 14는 골재로 팽창혈암을 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 15는 골재로 재생 골재를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 16는 골재로 화력발전소 바닥재를 사용한 경우에 $(V_{a(Solid)}/V_c)$와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 17은 도 9 내지 도 16의 각 실험에서 선형 회귀 분석 그래프의 기울기를 나타낸 그래프이다.

도 18은 원심분리 방법을 통해 측정한 강모래의 흡수율 그래프이다.

도 19은 원심분리 방법을 통해 측정한 팽창혈암의 흡수율 그래프이다.

도 20은 원심분리 방법을 통해 측정한 재생 골재의 흡수율 그래프이다.

도 21은 원심분리 방법을 통해 측정한 화력발전소 바닥재의 흡수율 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명은 생략한다.

[0049] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있고 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0050] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0051] 본 출원에서, 설명되는 각 단계들은 나열된 순서와 상관없이 수행될 수 있다.

[0052] 본 출원에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는다.

[0054] 본 발명의 기술구성을 상세히 설명하기에 앞서, 선행특허의 원심분리 방법에 대하여 간단히 알아본다.

[0055] <원심분리 방법>

[0056] 먼저, 천연 골재(다공질 골재 제외), 물, 시멘트를 배합한 제1 시멘트 모르타르 및 다공질 인공 골재, 물, 시멘트를 배합한 제2 시멘트 모르타르을 각각 준비한다.

[0057] 제1 시멘트 모르타르 및 제2 시멘트 모르타르를 각각 원심분리시켜 밀집 다짐된 제1 시멘트 모르타르, 제2 시멘트 모르타르로부터 잉여수를 분리, 제거한다.

[0058] 일련의 수학식을 이용하여 다공질 인공 골재의 흡수율을 계산한다.

[0060] 본 발명이 선행특허와 다른 점은 시멘트 모르타르의 배합 시 물뿐만 아니라 알코올도 사용된다는 점이다. 따라서 본 명세서에서는 잉여수, 수분이라는 용어와 함께 '잉여 액체', '액체'와 같은 용어가 사용된다. 또한, 위 선행특허에서는 제1 시멘트 모르타르에 배합되는 골재가 '천연 골재(Natural aggregate)'로 명명되고 이 천연 골재로서 '강모래'가 사용된다. 이와 달리, 본 발명에서는 제1 시멘트 모르타르에 배합되는 골재가 '표준 물질'로 명명되고 이 표준 물질(Reference material)로서 여러가지 골재(강모래, 규사, 지르코니아)가 사용된다.

[0061] 한편, 위 선행특허에서는 제2 시멘트 모르타르에 배합되는 골재가 '다공질 인공 골재(Porous artificial aggregate)'로 명명되고 'pa'로 축약되나, 본 발명에서는 제2 시멘트 모르타르에 배합되는 골재는 단순히 다공질 골재로 명명되고 'a'로 축약된다.

[0063] 모르타르 혼합물 속 시멘트의 부피(V_c) 및 모르타르 혼합물 속 표준 물질의 부피(V_r)가 일정할 때는 혼합물의 초기 액체 함량에 관계없이 원심분리로 잉여 액체를 제거한 후의 혼합물의 부피(V_{bp})는 일정해야 한다. 원심력에 의해 고체 입자가 최대한 다짐되기 때문이다. 즉, V_{bp}는 초기 혼합액이 아닌 V_c와 V_r에 의해 지배적으로 영향을 받는다.

[0064] V_{bp}는 V_c와 V_r에 비례한다. V_{bp}, V_c, V_r의 정규화된 관계식은 다음과 같다.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) \qquad V_r/V_c = f_1^{-1}(V_{pb}/V_c)$$

[0065] and (1)

[0066] 고체-액체 혼합물의 부피는 고체 부분의 부피에 의해 결정된다는 아르키메데스의 원리에 따르면 V_{pb}는 골재의 모양이나 크기에 의해서는 거의 영향을 받지 않는다. 따라서 V_c가 일정한 혼합물에서 표건 상태 골재의 부피가 표준 물질의 부피와 동일할 때, 즉 $V_{a(SSD)} = V_r$인 경우, 표건 상태 골재 혼합물의 V_{pb}는 표준 물질 혼합물의 V_{pb}와 동일했다. 이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_r/V_c = V_{a(SSD)}/V_c = (V_{a(Solid)} + V_{la})/V_c \qquad V_{pb}/V_c$$

[0067] for identical condition (2)

[0068] 따라서, 상기 수학식 2를 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

$$V_{la}/V_c = V_r/V_c - V_{a(Solid)}/V_c$$

[0069] (3)

[0070] 여기에서 $V_{a(Solid)}$는 골재의 고체 부분의 부피이고, V_{la}는 표건 상태 골재에 흡수된 물의 부피이다.

[0071] 한편, 골재의 공극 부피비(Volume porosity, Φ), 즉 V_{la}와 $V_{a(SSD)}$ 간의 부피 비율에 대하여 다음 방정식이 성립된다.

$$V_{la} = \Phi V_{a(SSD)} = \Phi V_r$$

[0072] (4)

[0073] 위 수학식 4를 수학식 3에 대입하여 정리하면 아래 수학식 5가 성립한다.

$$V_{a(Solid)}/V_c = (1-\Phi)\, V_r/V_c$$

[0074] (5)

[0075] 수학식 1과 수학식 5를 연합하면 V_{pb}, V_c, and $V_{a(Solid)}$ 간의 관계식이 다음과 같이 나온다.

$$V_{pb}/V_c = f_1\left(\frac{V_{a(Solid)}/V_c}{1-\Phi}\right) = f_2\left(V_{a(Solid)}/V_c\right)$$

[0076]

$$V_{a(Solid)}/V_c = f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)$$

[0077] and (6)

[0078] 콘크리트 공학에서 골재의 흡수율(A)은 다음과 같이 정의된다:

$$A = 100 \times \frac{M_{la}}{M_{a(Solid)}}$$

[0079] (7)

[0080] 여기서 M_{la}는 표건 상태 골재에 흡수된 수분의 질량이고, and $M_{a(Solid)}$는 골재의 고체 부분의 질량이다.

[0081] 표준 물질과 골재를 배합한 모르타르의 V_{pb}/V_c가 같은 경우, 식 3, 6, 7로부터 다음 방정식을 세울 수 있다.

$$A = 100 \times \frac{\rho_l V_{la}}{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}} = 100 \times \frac{\rho_l\, V_{la}/V_c}{\rho_{a(Solid)}\, V_{a(Solid)}/V_c}$$

$$= 100 \times \frac{\rho_l\{f_1^{-1}(V_{pb}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)\}}{\rho_{a(Solid)} f_2^{-1}(V_{pb}/V_c)}$$

[0082] (8)

[0083] 여기서, A가 '흡수율'이므로 ρ_l은 물의 밀도여야 하고, $\rho_{a(Solid)}$는 골재의 고체 부분의 밀도, 즉 ASTM C 128에 따라 겉보기 밀도라고도 한다.

[0084] 선행특허에서와 마찬가지로 함수 f1과 f2는 다음과 같이 선형임을 알 수 있다.

$$V_{pb}/V_c = f_1(V_r/V_c) = a_1(V_r/V_c) + a_2$$

[0085] 표준 물질의 경우:

$$V_{pb}/V_c = f_2\left(V_{a(Solid)}/V_c\right) = b_1\left(V_{a(Solid)}/V_c\right) + b_2$$

[0086] 다공질 골재의 경우: (9)

[0087] 수학식 9의 절편인 a_2 및 b_2는 골재가 없는 페이스트 혼합물에서 V_{pb}/V_c를 의미하기 때문에 서로 같아야 한다.

$$a_2 = b_2 = C$$

[0088] (10)

[0089] 따라서, 식 11의 A 값은 식 8, 9, 10에서 계산할 수 있다.

$$A = 100 \times \frac{\rho_l \left\{ \frac{1}{a_1}(V_{pb}/V_c - C) - \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C) \right\}}{\rho_{a(Solid)} \frac{1}{b_1}(V_{pb}/V_c - C)} = 100 \times \frac{\rho_l (b_1 - a_1)}{\rho_{a(Solid)} a_1}$$

[0090] (11)

[0091] 이 방정식은 V_{pb}/V_c, V_r/V_c 및 $V_{a(Solid)}$ 간의 관계식의 기울기를 알면 골재의 흡수율을 계산할 수 있음을 의미한다.

[0092] 표건 상태 골재의 질량은 골재의 고체 부분의 질량과 골재에 흡수된 수분의 질량의 합이므로 다음의 수학식이 성립한다.

$$M_{a(SSD)} = M_{a(Solid)} + M_{la}$$

[0093] (12)

[0094] 따라서 표건 상태 골재의 밀도는 다음 방정식으로 구할 수 있다.

$$\rho_{a(SSD)} = \frac{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)} + \rho_l V_{la}}{V_{a(SSD)}} = \frac{\rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)} + \rho_l V_{la}}{V_{a(Solid)} + V_{la}}$$

[0095] (13)

[0096] 여기에서 다음의 수학식이 성립한다.

$$\rho_{wa} V_{wa} = \frac{A}{100} \rho_{a(Solid)} V_{a(Solid)}$$

[0097] (14)

[0098] 그러므로, 다음의 수학식이 성립한다.

$$\rho_{a(SSD)} = \frac{1 + \frac{A}{100}}{(\frac{A}{100}/\rho_l)(+(1/\rho_{a(Solid)})}$$

[0099] (15)

[0101] 본 발명에서는 선행특허의 실험에서 증류수가 사용된 것과 달리 일반 수돗물과 순도 99% 이상의 에탄올이 사용되었다. 일부 수성(water-based) 혼합물의 경우 고형분 함량이 30.2wt%인 폴리카르복실산 에테르 기반의 WRA(High-range water reduction agent, 유동화제)를 적용하여 원심분리방법에 대한 영향을 평가하였다.

[0103] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 대해 설명한다.

[0104] 도 1은 레이저 회절법으로 측정한 SP 시멘트와 SS 시멘트의 입도 분포를 나타내는 그래프이다.

[0105] 본 발명에서는 두 개의 서로 다른 제조사에서 생산된 상용화된 일반 포틀랜드 시멘트가 사용되었고, 본 발명에서 각 시멘트는 제조사에 따라 'SP' 시멘트와 'SS' 시멘트로 명명된다. 이 두 시멘트는 현장에서 가장 많이 사용되고 한국 규격(KS) L 5201과 CEM II/B-S, ASTM C595 Type I 규격을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 에탄올과 비중병을 사용하여 측정한 SP 시멘트와 SS 시멘트의 비중은 각각 3.03과 3.02였다. 두 시멘트 모두 강도를 얻기 위해 화학적 결합제가 사용되지 않았기 때문에 실험 결과는 화학적 조성과 응결시간, 강도 등의 성능의 영향을 반영하지 않는다.

[0106] 그러나 두 시멘트의 입도 분포는 매우 중요한 인자이므로 시멘트 입도와 관련된 단순 지표인 블레인 분말도를 측정하는 대신 ISO 13320에 따른 레이저 회절법으로 정확하게 측정하였다. HELOS/KR machine (Sympatec GmbH) covering 0.18 to 8,750 μm를 사용하였으며, 입자 농도가 20,000 ppm 미만인 시멘트-에탄올 현탁액을 사용하고 시멘트 입자가 균일하게 분산되도록 외부 초음파 처리 1시간 후에 측정을 수행했다. 도 1에서 보는 바와 같이 두 시멘트는 서로 다른 공장에서 제조되었음에도 불구하고 비슷한 입도 구배(size gradations)를 보였고 D50의

범위는 12㎛ 내지 15 ㎛였다.

[0107] 도 2는 본 발명의 실험에서 사용된 여러가지 유형의 골재들의 사진이다.

[0108] 도 3은 위 골재들의 표면을 확대하여 관찰한 사진이다.

[0109] 도 3에서 검정색 막대의 길이는 2㎜에 해당한다.

[0110] 본 발명의 실험에서는 여러가지 유형의 골재가 물-시멘트 페이스트 및 알코올-시멘트 페이스트와 혼합되었다.

[0111] 표 1은 본 실험에서 사용된 골재들의 물리적 특성을 정리한 표이다.

표 1

[0112]

	겉보기 비중 ($=\rho_{a(Solid)}$)	표건 상태 비중	흡수율 [wt.%]	적용된 규격 *	입자의 모양
지르코니아 (0.5㎜)	5.87	5.87	0	-	완벽한 구 결함 없음
지르코니아 (1.5㎜)	5.87	5.87	0	-	
지르코니아 (5㎜)	5.87	5.87	0	-	
규사	2.66	2.65	0.10	ASTM C 128	상대적 구 결함 없음
강모래	2.57	2.55	0.3	ASTM C 128	상대적 구
팽창혈암	2.40	1.95	19.5	NYDOT 703-19E	완벽한 구큰 표면 기공 없음
재생 골재	2.63	2.24	12.0	ASTM C 128	각짐 표면 기공 많음
발전소 바닥재	2.16	1.82	15.2	ASTM C 128	극도로 각짐 표면 기공 매우 많음

[0113] * (표건 상태에서 재료의 흡수율과 비중을 측정하기 위하여 적용시킨 기존의 표준 시험 방법)

[0114] 표 1 및 도 2에서와 같이, 입도가 각각 0.5㎜, 1.5㎜ 및 5㎜인 세 종류의 지르코니아(Zirconia, 산화지르코늄) 볼이 사용되었다. 이 지르코니아 볼은 볼밀 공정용으로 제작된 것으로, 순도 95% 미만의 것이다. 도 3에서 확인되는 바와 같이 지르코니아 볼의 표면에는 결함이 존재하지 않는다.

[0115] 도 2의 규사(Silica sand)는 표면에 결함이 없어 압축강도 150MPa 이상인 초고성능 콘크리트의 잔골재로 사용된다. 표1에서 확인되는 바와 같이 규사의 물 흡수율은 0%에 가깝다. 도 3에서 확인되는 바와 같이 표면은 지르코니아 볼보다 각진 입자 모양을 하고 있다. 본 발명의 실험에서는 표 1의 물질 가운데 흡수율이 극히 낮은 지르코니아와 규사를 '표준 물질'로 사용하였다.

[0116] 도 2의 강모래(River sand)는 기존의 콘크리트 및 모르타르용 잔골재인 강모래를 수조에서 세척하고 건조 후 체에 걸러 0.05㎜ 이하의 미세먼지와 물에 부유하는 유기물 입자를 제거한 것이다. 선행특허에서는 제1 시멘트 모르타르에 배합되는 골재로서 강모래를 사용했지만 표 1에서 확인되는 바와 같이 강모래도 약간의 흡수율을 가지고 있기 때문에 본 발명에서는 이를 개량하였다. 도 2의 팽창혈암(Expanded shale)은 구형의 인공 경량 골재이다. 팽창혈암은 그 표면에 큰 공극이 없으므로 기존의 와이핑 방법(NYDOT Test method No. 703-19E)으로도 표건 상태를 쉽게 정의할 수 있었다.

[0117] 본 발명자의 선행된 연구에서는 시멘트 입자가 팽창혈암의 내부로 침투하지 못함을 주사전자현미경을 이용한 후방산란 전자영상으로 화학적 매핑하여 확인하였다. 이러한 이유로 팽창혈암은 원심분리 방법의 신뢰도를 나타내는 지표로 사용될 수 있다.

[0118] 재활용 골재는 지역 건설폐기물 처리시설에서 파쇄된 콘크리트로부터 얻었다. 이 파쇄 콘크리트를 세척한 후, 10㎜ 체는 통과하지만 0.15㎜ 체는 통과하지 못하도록 크기를 조절하였다.

[0119] 무연탄을 사용하는 미분탄 연소 시스템을 갖춘 지역 화력발전소의 석탄 바닥재는 바다 근처의 화산재 연못에서 얻었다. 이 바닥재도 세척한 후 염분을 제거하고 위 재활용 골재와 동일한 그라데이션으로 크기를 제어했다. 본 실험에서는 원심분리 방법을 잔골재와 굵은 골재 모두에 적용할 수 있어 5㎜ 체로 이들 골재를 잔골재와 굵은 골재로 분리하지 않았다.

[0121] 도 4는 체질로 측정한 소정의 골재의 입도 분포(size gradations)를 나타내는 그래프이다.

[0122] 본 발명의 실험에서 사용된 지르코니아 볼(입도가 각각 0.5mm, 1.5mm 및 5mm의 세 종류), 규사, 강모래, 팽창혈암, 재생 골재 및 화력발전소 바닥재를 각각 약 0.075mm, 0.15mm, 0.3mm, 0.6mm, 1.1mm, 2.1mm, 5mm 체로 체질하였다.

[0124] <실험 방법>

[0125] 본 발명의 실험에서는 지르코니아 볼, 규사, 강모래, 팽창혈암, 재생 골재, 화력발전소 바닥재가 물-시멘트 페이스트 및 알코올-시멘트 페이스트와 혼합되었다. 물-시멘트 혼합물과 알코올-시멘트 혼합물은 각각 10L 용량 믹서로 혼합되었다. 본 발명의 실험에서는 알코올도 사용되기 때문에 W/C 대신 '액체-시멘트 중량비(L/C)'를 혼합비로 도입하였다. 따라서 물과의 혼합물의 경우 L/C 값은 W/C 값과 동일하다.

[0126] 골재를 섞지 않은 페이스트 혼합물의 경우 초기 L/C 값이 0.40 내지 0.55인 범위에서 여러가지 혼합물을 준비하였다. 골재를 섞은 모르타르 혼합물의 경우 초기 L/C 값을 0.50으로 고정하고 여러가지 유형의 골재를 사용하여 골재-시멘트의 질량비가 0.7 내지 2.5 범위 내에 있도록 한 다양한 모르타르 혼합물을 준비하였다.

[0127] 요약하면, 시멘트, 액상, 골재의 종류별로 골재와 시멘트의 비율이 다른 4개 내지 6개의 혼합물을 설계하였고, 동일한 혼합비에 대하여 2개 내지 4개의 굳지 않은 시료를 사용하여 V_{pb}/V_c의 평균값을 얻었다. 본 실험에서 페이스트 혼합물 및 모르타르 혼합물의 총 수는 129개였다.

[0128] 또한, WRA는 1wt.%/시멘트의 고정 투여량으로 물과 함께 일부 혼합물에 혼합되었다. WRA의 비율은 물에 비해 상대적으로 매우 낮기 때문에 V_{pb}/V_c를 계산할 때 원심분리 후 WRA의 고체 부분 사이의 분리는 고려하지 않았다.

[0129] 혼합 시 주의할 사항이 있다. 첫째, 현탁액에서 시멘트 입자의 균일한 분포를 방해하는 시멘트 덩어리의 응집을 방지하기 위해 혼합하는 동안 물 또는 알코올을 시멘트에 서서히 부어야 한다. 둘째, 캡(스플래시 가드)이 믹싱 볼을 덮고 있어 혼합 중 및 혼합물을 원심분리 병에 붓기 전에 액체, 특히 알코올의 증발뿐만 아니라 높은 L/C의 혼합물이 튀는 경우가 있다. 셋째, 증발을 방지하기 위해 혼합과정을 2분 이내에 완료하였다. 시멘트 입자는 알코올에 균일하게 분포되었으며 혼합물에서 덩어리가 발견되지 않았다.

[0130] 굳지 않은 혼합물을 깔때기와 삽을 사용하여 내경 62mm, 높이 85mm의 단단한 플라스틱 병에 붓고 높이 약 60 ± 10mm로 채웠다. 병에 담긴 혼합물의 부피는 약 200 ±, 30 ml였다. 병을 원심분리기(Conbi 408, Hanil Science Inc.)에 넣었다. 본 실험에서 회전속도는 4000rpm이었다. 그림 8에서 보는 바와 같이 이 시험장치의 회전자 반경은 병 속 혼합물의 높이를 고려하여 약 100-150mm이므로 상대원심력은 대략 1600-2600g(=1.12 x 반경 x (rpm/1000)2)의 범위에 해당하고, 이는 매우 높은 압축력이다. 페이스트 혼합물 및 모르타르 혼합물에 대해 각각 1분 내지 60분 및 5분 내지 15분 범위에서 회전시간을 다양하게 변화시켜서 실험했다.

[0131] 원심분리 후, 잉여 액체와 다짐된 혼합물은 완벽하게 분리되었고 이 다짐된 혼합물은 아래로 흐르지 않았다. 잉여 액체는 따로 채집했고 맨눈으로는 시멘트 알갱이를 발견하기 어려웠다. 잉여수(물과의 혼합물을 원심분리하여 얻은 잉여 액체)의 경우 시멘트에 함유된 일부 덩어리(클링커)와 석고가 수용액에 용해되어 색상이 노랗게 변하였다. 잉여수를 채취하여 오븐에서 건조시킨 결과 탄산칼슘으로 추정되는 백색 분말이 석출됨을 알 수 있었다. 반면 잉여 알코올(알코올과의 혼합물을 원심분리하여 얻은 잉여 액체)의 경우, 원심분리 이후 색변화는 없었는데, 이는 시멘트가 알코올에 용해되지 않았기 때문이다.

[0132] 병에 들어있는 혼합물의 질량을 CC로 잉여 액체를 제거하기 전과 후에 측정하였고, 잉여 액체의 질량은 다음 식과 같이 계산하였다.

$$M_{Sample} = M_{a(Solid)} + M_c + M_{lb} + M_{lnb} = x_{a(Solid)}M_{Sample} + x_cM_{Sample} + x_lM_{Sample}$$

[0133] (16)

[0134] 여기서 M_{sample}, $M_{a(Solid)}$, M_c, M_{lb}, M_{lnb}는 각각 원심분리 전 혼합물의 질량, 골재의 고체 부분의 질량, 시멘트의 질량, 잉여 액체의 질량 및 원심분리 후 시멘트 페이스트 내 액체(블리딩 되지 않은 액체, non-blood liquid)의 질량이다. $x_{a(Solid)}$, x_c, x_l는 각각 골재의 고체 부분, 시멘트, 액체의 질량분율로, 각각은 혼합비로부터

구하였다. 본 실험을 통해 M_{sample}과 M_{lb}를 얻었고, 재료의 혼합비와 비중으로부터, $M_c(=x_cM_{sample})$ 및 $M_{a(Solid)}(=x_{a(Solid)}M_{sample})$를 계산하였다.

[0135] 이 값들을 사용하여 혼합물의 V_{pb} 값을 얻었다.

$$V_{pb} = \frac{M_{a(Solid)}}{\rho_{a(Solid)}} + \frac{M_c}{\rho_c} + \frac{M_{lnb}}{\rho_l}$$

[0136] (17)

[0137] 여기에서 $V_c=M_c/\rho_c$ 및 $V_{a(Solid)}=M_{a(Solid)}/\rho_{a(Solid)}$를 계산한 다음, 식 7에서 f_1과 f_2의 회귀 분석 모델을 이끌어낼 수 있다.

[0139] <실험 결과>

[0140] 1. 회전시간(revolution duration)과 초기 L/C의 영향

[0141] 도 5는 회전시간에 따른 SP 시멘트 페이스트와 SS 시멘트 페이스트의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다. 도 5의 각 실험에서 SP 시멘트 또는 SS 시멘트는 물, 물+WRA 또는 알코올과 혼합되었다. 도 5의 각 실험에서 초기 L/C 값은 0.5이다.

[0142] 도 5에서 물과 SS 시멘트를 사용한 실험 가운데 일부 실험의 결과를 보면 회전시간을 5분에서 15분까지 증가시킬 때 V_{pb}/V_c 값이 증가하는 것으로 나타나는 부분도 있다. 그러나 이는 상식적인 측면에서 V_{pb}/V_c 값의 증가가 맞다고 결론 내기 어렵다. 왜냐하면 이론대로라면 시간이 지날수록 혼합물의 입자가 더 치밀하게 배치되어야 하므로 V_{pb}/V_c 값이 감소해야 하는데, 실험 결과는 오히려 증가했기 때문이다. 이 값이 증가한 것으로 나타났던 것은 시멘트의 수화 반응에 의해 시멘트 표면에 수화물이 성장하였고, 이에 따라 시멘트 입자의 유효 크기가 늘어났기 때문으로 받아들이는 편이 옳다. 한편, V_{pb}/V_c 값이 증가하는 이러한 현상은 알코올을 사용한 경우 발견되지 않는다. 이는 알코올은 시멘트와 반응하지 않음을 암시한다.

[0143] 한편 도 5에서 물에 WRA를 사용한 경우는 대부분 V_{pb}/V_c 값이 WRA를 사용하지 않은 경우에 비해 상대적으로 낮은데, 이는 WRA가 시멘트 입자를 잘 분산시켜 좀 더 치밀하게 시멘트 입자를 배치하였음을 의미한다. 이 경우 역시 회전 시간이 증가함에 따라 V_{pb}/V_c 값이 증가한다. 즉, 물에 WRA를 사용한 경우에도 수화가 발생함을 암시한다고 판단된다. 알코올을 사용하여 회전시간을 1분에서부터 60분까지 실험한 결과, 회전시간이 1분 이상만 되면 거의 동일한 V_{pb}/V_c 값을 갖게 됨을 확인하였다.

[0144] 도 6은 초기 L/C 값에 따른 SP 시멘트 페이스트와 SS 시멘트 페이스트의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다. 도 6의 각 실험에서 SP 시멘트 또는 SS 시멘트는 물 또는 알코올과 혼합되었다. 도 6의 각 실험에서 회전시간은 10분이다.

[0145] 도 5 및 도 6의 그래프를 보면 (물과 WRA을 혼합한 경우를 제외하고는) 회전시간 및 초기 L/C 값에 상관없이 모든 샘플의 V_{pb}/V_c 값이 1.9 내지 2.1 사이의 값을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 평균과 표준편차 값을 고려할 때 상대 표준편차 값이 4% 이하로 매우 낮다. 이 실험 결과는 시멘트 페이스트의 V_{pb}/V_c 값은 혼합된 재료가 물이든 알코올이든 크게 차이가 없음을 의미함과 동시에 시멘트의 종류와도 큰 상관이 없음을 의미한다.

[0146] 참고로 본 실험에서 V_{pb}/V_c 값의 평균은 물과 알코올에 상관없이 1.98이었는데, 선행 실험에서 다른 시멘트를 원심분리 방법으로 실험한 경우에 계산된 V_{pb}/V_c 값인 1.94와 매우 유사하다고 할 수 있다. 선행 실험에는 시험관을 이용했고 본 실험에서는 플라스틱 병으로 실험했다. 즉, 원심분리 시 용기의 크기는 V_{pb}/V_c 값에 미치는 영향이 크지 않음을 의미한다.

[0148] 도 7은 회전시간에 따른 SP 시멘트 모르타르와 SS 시멘트 모르타르의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다. 도 7의 각

실험에서 SP 시멘트는 규사 또는 지르코니아 볼(직경 1.5㎜)과 물, 물+WRA 또는 알코올과 혼합되었다. 또한 SS 시멘트는 규사와 물, 물+WRA 또는 알코올과 혼합되었다. 도 7의 각 실험에서 초기 L/C 값은 0.5이고 모르타르 중 규사 및 지르코니아 볼(1.5㎜)의 함량은 100 wt.%/시멘트이다.

[0149] 도 7의 각 실험에서 회전시간이 5분 내지 15분의 범위에서 증감하더라도 V_{pb}/V_c 값은 크게 변화하지 않았다. 도 7의 각 실험에서도 WRA를 사용했을 때 상대적으로 낮은 V_{pb}/V_c 값이 나타남을 확인하였고 물과 알코올에 관계없이 V_{pb}/V_c 값은 유사하였다.

[0150] 도 8은 초기 L/C 값에 따른 규사-SS 시멘트 모르타르의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프이다. 도 8의 각 실험에서 SS 시멘트는 규사와 물 또는 알코올과 혼합되었고 모르타르 중 규사의 함량은 100 wt.%/시멘트이다. 도 8의 각 실험에서 회전시간은 10분이다.

[0151] 초기 L/C 값이 클수록 일부 V_{pb}/V_c 값이 미약하게 증가함을 확인하였으나, 결과적으로 V_{pb}/V_c의 차이는 평균값 대비 0.1 수준(COV 3% 수준)이었다.

[0153] 2. 골재 함유량(aggregate content)의 영향

[0154] 도 9는 골재로 지르코니아 볼(5㎜)를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0155] 도 10는 골재로 지르코니아 볼(1.5㎜)를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0156] 도 11는 골재로 지르코니아 볼(0.5㎜)를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0157] 도 12는 골재로 규사를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0158] 도 13는 골재로 강모래를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0159] 도 14는 골재로 팽창혈암을 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0160] 도 15는 골재로 재생 골재를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0161] 도 16는 골재로 화력발전소 바닥재를 사용한 경우에 ($V_{a(Solid)}/V_c$)와 (V_{pb}/V_c)의 관계를 나타낸 그래프이다.

[0162] 도 9 내지 도 16의 각 실험에서 원심분리의 회전시간은 5분이고, 초기 L/C 값은 0.50이다. 붉은 실선은 사용된 시멘트와 액체의 종류에 상관없이 모든 데이터에 대한 선형 회귀 분석 결과이고, 반투명 붉은 면은 y 절편을 고정한 상태에서 기울기의 신뢰도 90% 결과를 의미한다. 각각의 점은 2개 내지 3개의 샘플에서 얻어진 평균 값이다. 모든 결과에 대해 y 절편은 시멘트 및 액체의 종류에 상관없이 위의 페이스트 실험에서 얻은 V_{pb}/V_c 평균값인 1.98로 고정하였다.

[0163] 도 9 내지 도 16에서 보이는 것처럼 실험에 사용된 액체와 시멘트의 종류에 따라 붉은 실선의 기울기는 미약하게 차이를 나타낸다.

[0164] 도 17은 도 9 내지 도 16의 각 실험에서 선형 회귀 분석 그래프의 기울기를 나타낸 그래프이다. 사용된 액체와 시멘트의 종류가 동일한 실험들의 선형 회귀 분석 결과, R^2 값(그래프 상 점선)이 모두 0.99 수준으로 매우 선형성이 강한 특징이 있다. 그러나 액체와 시멘트의 종류에 따라 각 샘플의 경사는 크게 0.25 수준의 편차를 갖는다. 참고로 도 9 내지 도 16에서 액체나 시멘트의 종류에 상관없이 모든 샘플에 대해 신뢰도 90%에 대한 기울기의 편차는 0.02 이다. 시멘트의 종류에 상관없이 물과 알코올에 대한 실험 결과를 종합하면 선형 회귀 분석 값의 신뢰도는 R^2 0.97으로 미약하게 감소하는 경우가 발생한다. 시멘트의 종류에 상관없이 액체의 종류에 대해서만 실험 결과를 확인하면 물-모르타르와 알코올-모르타르의 기울기 차이는 0.03-0.10 사이로 감소한다. 즉, 물을 사용해 실험하면 앞에서 언급된 바와 같이 시멘트가 용해되거나 반응하는 문제가 있으나 계산된 V_{pb}/V_c 값에는 크게 영향을 미치지 않을 수 있다는 것, 그리고 실험의 편차(R^2 값)는 물과 알코올 모두 유사한 수준이란 것을 확인하였다.

[0165] 도 9 내지 도 17의 실험 결과에서 가장 중요한 것은 표준 소재로 사용할 수 있는 입자인 지르코니아와 규사의 기울기가 모두 1이 아닌 1.05-1.25 범위에 있다는 것이다. 만약 아르키메데스 원리에 따라 이상적인(homogenous) 유체를 사용했다면, 이 기울기는 반드시 1.0 이어야 한다. 즉, 도 9 내지 도 16의 그래프의 x축과 y축에서와 같이 유체 내 고체의 부피가 증가하면 정확히 그 증가한 부피만큼 유체와 고체의 부피의 합은 증가해야 한다. 그러나 물 또는 알코올을 사용한 시멘트 페이스트는 이상적인 유체가 아니며 유체 내 입자들의 배치에 따라 원심분리 이후 부피가 달라지게 된다

[0166] BSE image로 측정한 바와 같이 이는, 월 이펙트(wall effect) 때문이라 할 수 있다. 즉, 골재 주변에는 상대적으로 유체의 부피가 증가하는(즉, 시멘트 입자가 채워지지 않는) 부분이 존재하고, 이 부분의 부피는 골재 부피의 5% 내지 20%임을 의미한다. 또한, 이러한 효과는 상대적으로 골재의 비표면적이 넓은 경우(즉, 골재의 크기가 작은 경우)에 더 크게 나타날 수 있다. 따라서 표준 물질의 경우라도 식 9의 기울기는 입자의 크기에 따라 달라질 수 있다. 이러한 이유로 기본적으로 0.5㎜ 지르코니아 볼 샘플의 기울기가 1.5㎜, 5.0㎜ 지르코니아 볼 샘플의 기울기보다 상대적으로 크게 계산된 이유이다(그리고 이러한 결과는 시멘트의 종류와 상관이 없다). 그러나 실제 현장에서 0.5㎜ 이하의 골재는 콘크리트의 성능을 떨어뜨리는 요소이므로 사용이 제한되고, 만약 존재하더라도 잔골재 중 1% 이하여야 한다.

[0167] 1.5㎜ 지르코니아 볼 샘플의 기울기와 5.0㎜ 지르코니아 볼 샘플의 기울기는 차이가 매우 작다. 선행된 연구에서는 동일한 강모래를 사용했을 때 강모래의 크기가 달라져도 기울기가 같음을 확인하였다. 따라서 표준물질에 대한 기울기를 결정할 때, 골재의 크기의 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

[0169] <원심분리 방법으로 측정한 흡수율>

[0170] 도 18은 원심분리 방법을 통해 측정한 강모래의 흡수율 그래프이다. 이 그래프의 중앙값은 도 17의 시멘트의 종류에는 상관없이 슬로프 값만을 토대로 식 11 로 계산된 흡수율을 의미한다. 그리고 오차막대(error bar)들은 각각 여러 종류의 시멘트를 사용하여 얻은 흡수율을 의미한다. 먼저 편의를 위해 지르코니아를 표준물질로 사용했을 때의 $V_{a(Solid)}$를 V_r이라고 한다. 지르코니아를 표준물질로 사용하는 경우 액체의 종류에 상관없이 흡수율이 높게 측정될 뿐 아니라 시멘트의 종류에 대한 표준편차가 크다. 1.5㎜ 지르코니아 볼 및 5㎜ 지르코니아 볼의 흡수율에 대하여는 하나의 직선(첫번째 직선)을 그렸고, 그 옆에 0.5㎜ 지르코니아 볼의 흡수율도 포함하여 하나의 직선(두번째 직선)을 그렸다.

[0171] 실험을 계획하는 단계에서 흡수율이 없고 가장 완전한 구형의 표준 물질로 지르코니아 볼을 고려하였다. 그러나 지르코니아는 비중이 매우 높아 원심분리 중 아래로 이동하였고, 지르코니아 입자 간 거리가 가까워지면서 계면이 과도하게 가깝게 배치되어 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 점을 고려하면, 지르코니아는 형상 자체로는 표준 물질이지만, 비중이 높아 실험 결과에 오류를 발생시킬 수 있다는 한계가 존재한다.

[0173] 도 19은 원심분리 방법을 통해 측정한 팽창혈암의 흡수율 그래프이다.

[0174] 도 20은 원심분리 방법을 통해 측정한 재생 골재의 흡수율 그래프이다.

[0175] 한편 규사는 입형이 완전한 구는 아니지만, 흡수율이 0에 가까우며 밀도가 시멘트와 크게 다르지 않기 때문에 원심 분리를 해도 입자가 아래로 처지지 않는다. 도 18 내지 도 20에서 강모래와 팽창혈암과 같이 입형이 구에 가깝고 표면에 큰 기공이 없는 골재는 기존의 표준 시험 방법을 사용하여 얻은 흡수율(파란색 세모)과 규사 및 원심분리 방법을 사용하여 얻은 흡수율 간에 차이가 거의 없는 것을 알 수 있으며, 특히 알코올을 사용했을 때는 더욱 그러하다. 즉, 기존의 표준 시험 방법(ASTM C 128 또는NYDOT)으로 평가하더라도 엄밀한 의미의 흡수율을 측정하기 위해서는 알코올을 액체로, 규사를 표준 물질로 사용해야 함을 의미한다.

[0176] 도 18 내지 도 21에서 규사를 표준 물질로 사용했을 때, 모든 경우에서 물로 측정한 흡수율이 알코올로 측정한 흡수율보다 높은데, 이는 시멘트의 수화 때문인 것으로 판단된다. 식 11에 따르면, 측정된 흡수율이 커지기 위해서는 분자인 b-a 값이 크거나 분모인 a 값이 작으면 된다. 즉 b 값이 상대적으로 크거나 a 값이 작으면 된다. 계수 b는 앞에서 언급한 것과 같이 골재의 계면에 영향을 받고, 만약 물과 같이 시멘트가 반응해 골재의 계면부, 즉 ITZ(Interfacial Transition Zone)에 수화물이 생긴다면 b 가 상대적으로 높아지게 된다. 그러나 알코올의 경우 이러한 계면상 수화물은 발생할 수 없다. 즉 도 18 내지 도 21에서 알코올에 비해 약간 높은 물의 흡수율은 시멘트와 물의 반응 때문이라고 판단된다. 이 점을 고려하면 알코올을 사용하는 것이 물을 사용하

는 것 보다 더 안정적인 방법이라 할 수 있다.

[0178] 도 21은 원심분리 방법을 통해 측정한 화력발전소 바닥재의 흡수율 그래프이다.

[0179] 도 20 및 도 21을 보면 알코올을 이용해 규사로 측정된 흡수율이 기존의 표준 시험 방법(NYDOT 기준 혹은 ASTM)으로 측정된 흡수율에 비해 상대적으로 낮다. 특히 바닥재의 경우 표면이 매우 거칠기 때문에 NYDOT 같은 와이핑 방법을 사용하면 극단적으로 큰 편차를 나타난다. 바닥재의 경우 알코올 및 규사와 섞일 때 가장 낮은 흡수율을 보인다.

[0180] 규사 및 알코올을 사용한 원심분리 방법이 좋은 것은 1) 골재의 고체 부분 중량만 알고 있다면 흡수율이 매우 빠른 시간에 측정된다는 것, 2) 이론적으로 매우 정확한 흡수율을 얻을 수 있다는 것이다. 또한 식 9의 슬로프 값이 1.0 이 아니었다는 점을 고려할 때, 만약 시멘트 페이스트와 모르타르, 콘크리트의 물시멘트비가 동일하고 골재가 표건 상태라고 하더라도 계면에서의 수분량이 높기 때문에 상대적으로 시멘트 매트릭스 부분의 w/b는 골재량과 골재의 크기에 따라 다를 수 있다는 것을 간접적으로 확인하였다.

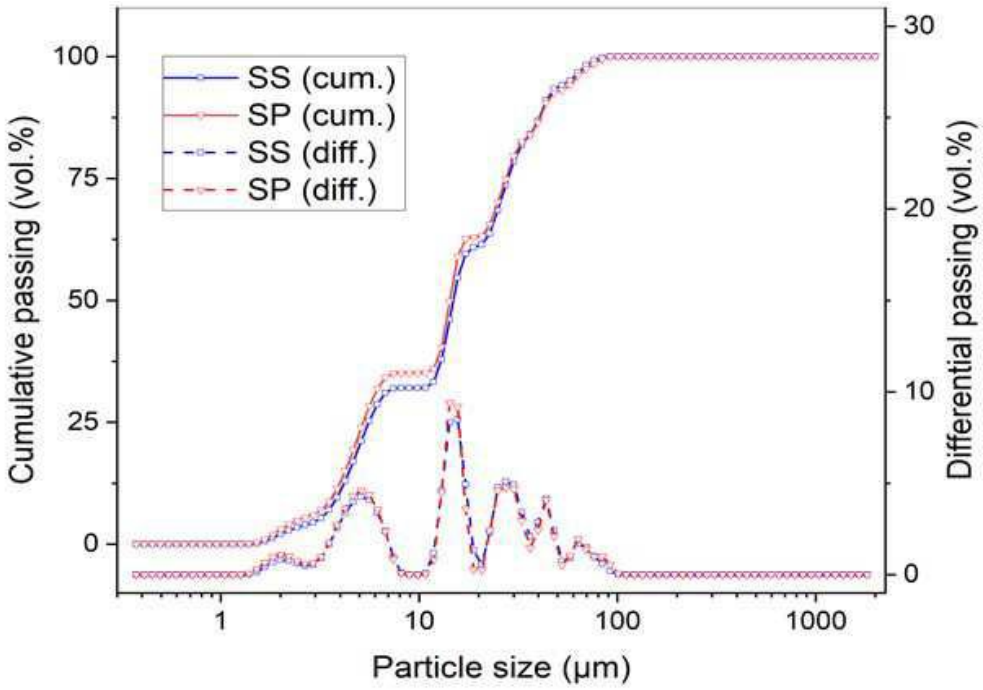
[0181] 본 발명의 각 실시예에 개시된 기술적 특징들은 해당 실시예에만 한정되는 것은 아니고, 서로 양립 불가능하지 않은 이상, 각 실시예에 개시된 기술적 특징들은 서로 다른 실시예에 병합되어 적용될 수 있다.

[0182] 따라서, 각 실시예에서는 각각의 기술적 특징을 위주로 설명하지만, 각 기술적 특징이 서로 양립 불가능하지 않은 이상, 서로 병합되어 적용될 수 있다.

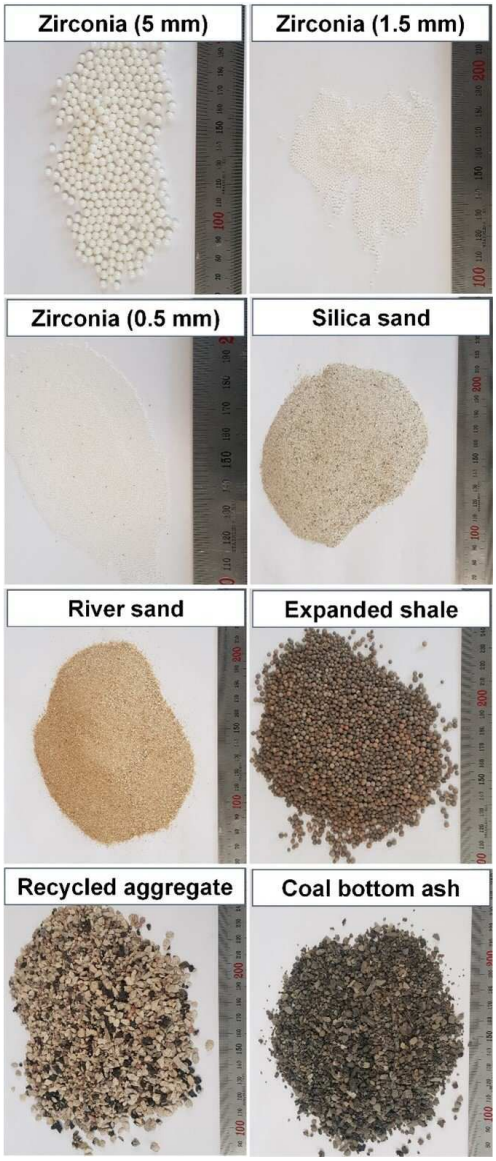
[0183] 본 발명은 상술한 실시예 및 첨부한 도면에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자의 관점에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 본 명세서의 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

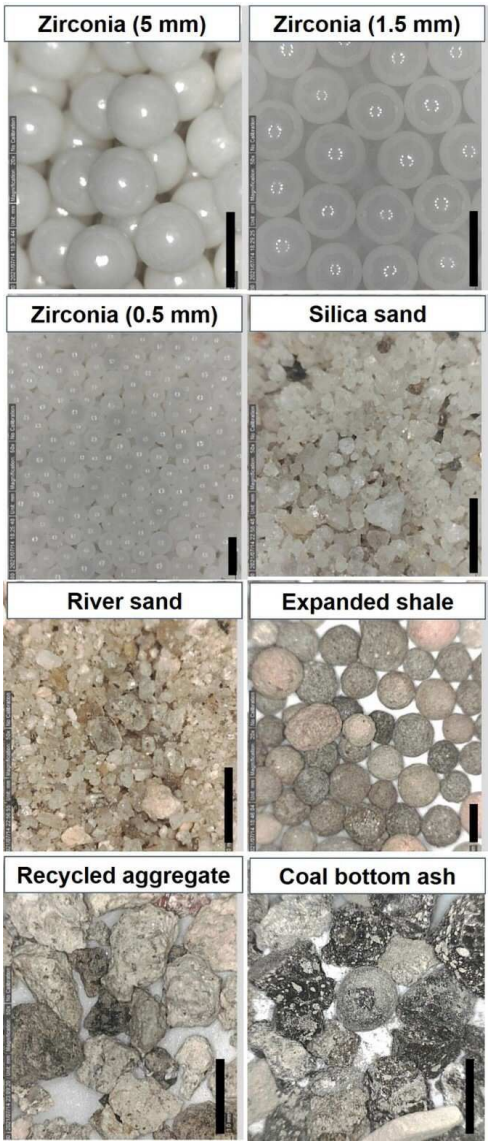
도면1



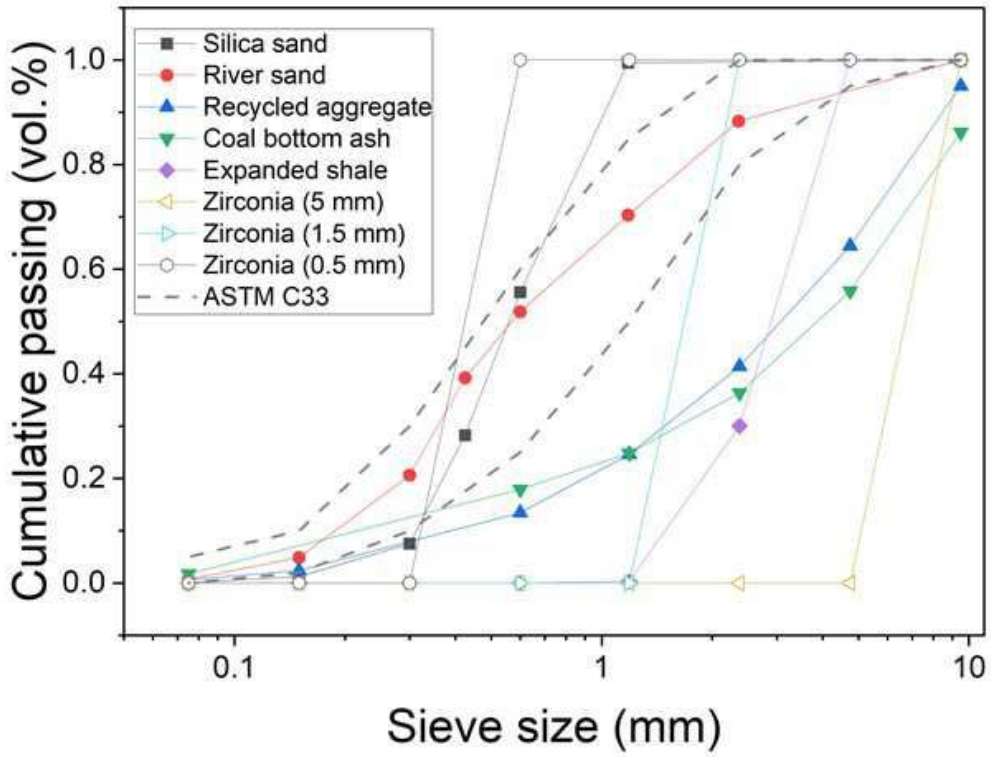
도면2


Zirconia (5 mm)
Zirconia (1.5 mm)
Zirconia (0.5 mm)
Silica sand
River sand
Expanded shale
Recycled aggregate
Coal bottom ash

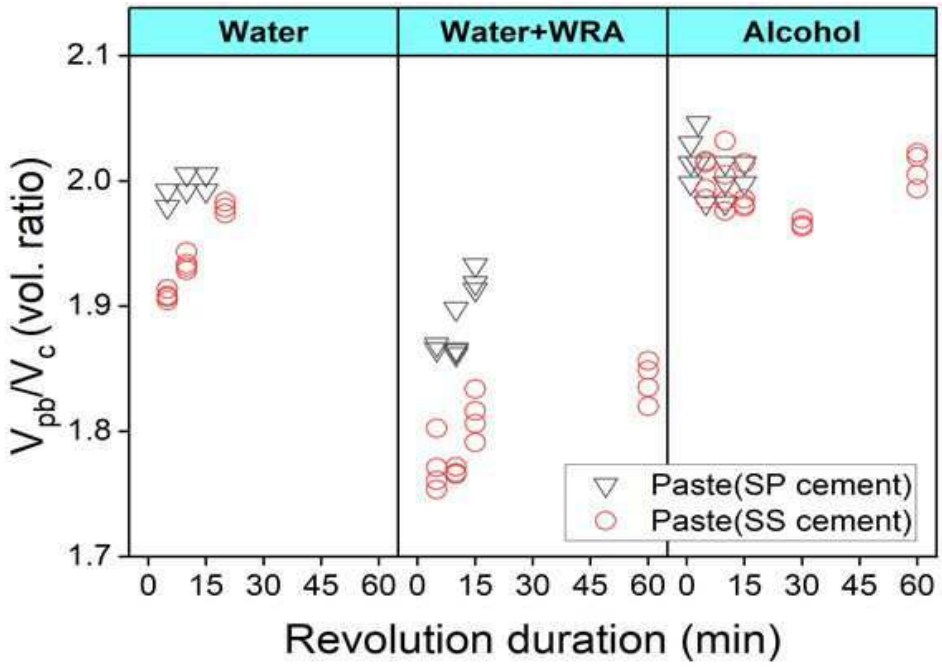
도면3


Zirconia (5 mm)
Zirconia (1.5 mm)
Zirconia (0.5 mm)
Silica sand
River sand
Expanded shale
Recycled aggregate
Coal bottom ash

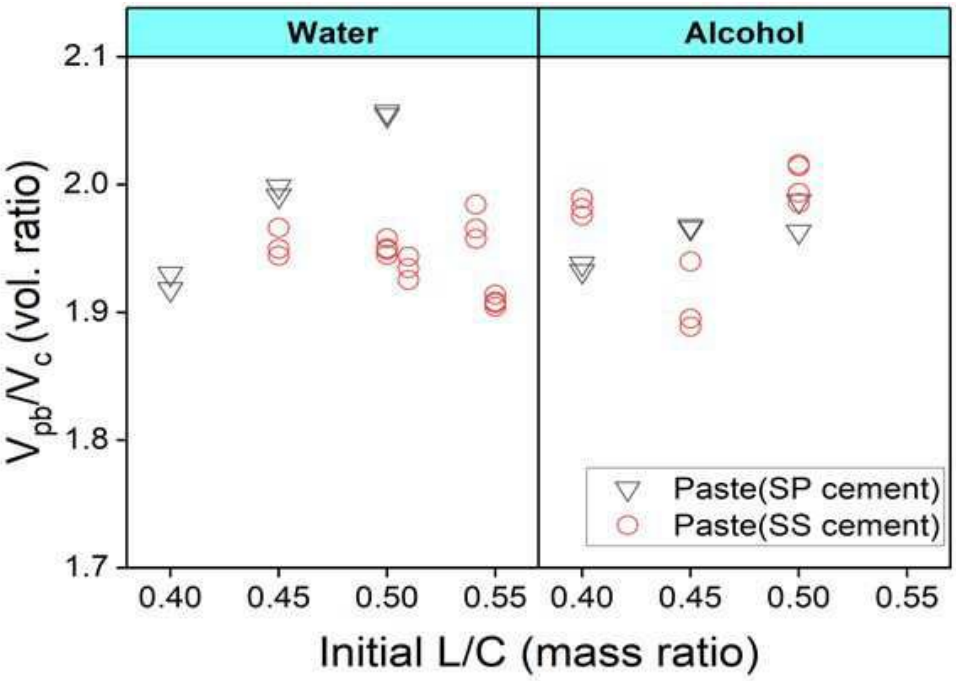
도면4


Silica sand
River sand
Recycled aggregate
Coal bottom ash
Expanded shale
Zirconia (5 mm)
Zirconia (1.5 mm)
Zirconia (0.5 mm)
ASTM C33
Cumulative passing (vol.%)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.1
1
10
Sieve size (mm)

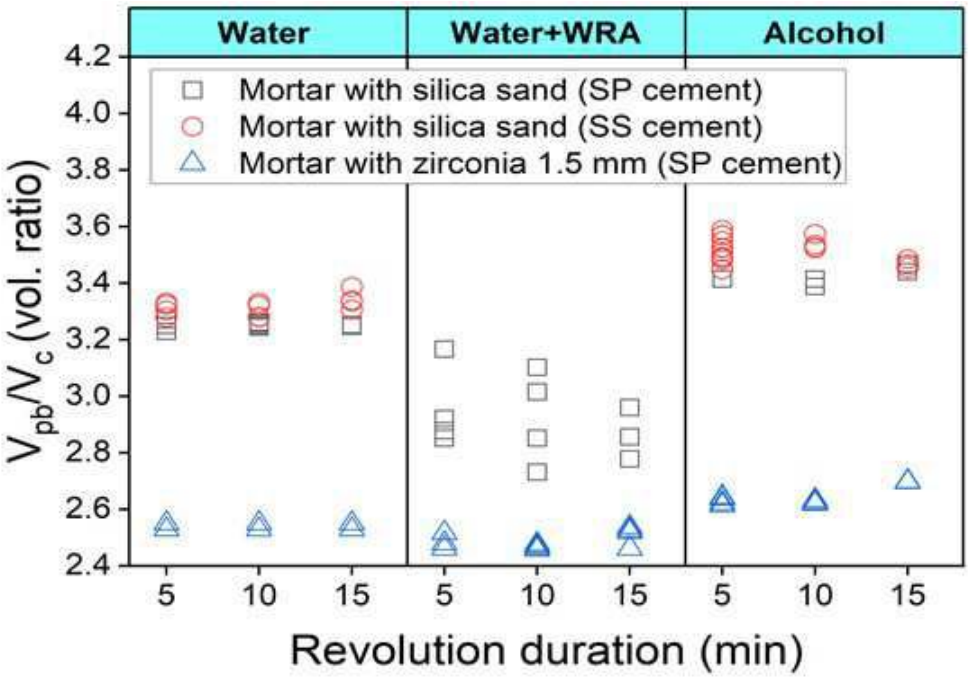
도면5


Water
Water+WRA
Alcohol
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
0
15
30
45
60
Paste(SP cement)
Paste(SS cement)
Revolution duration (min)

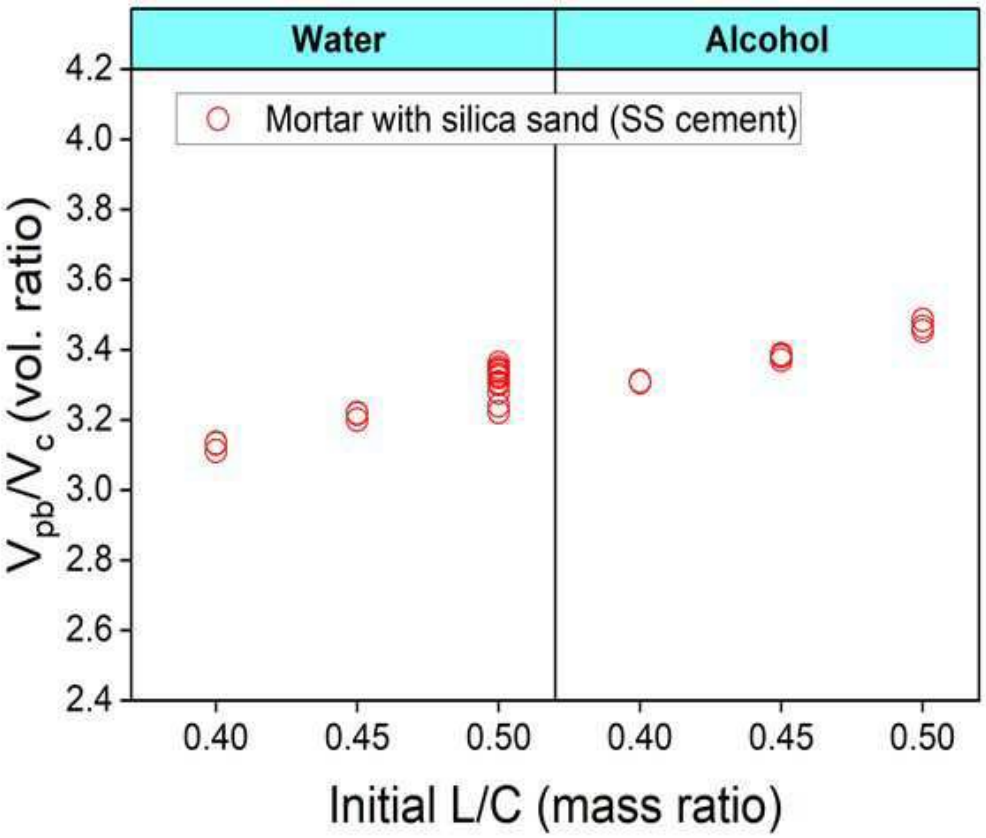
도면6


Water
Alcohol
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
0.40
0.45
0.50
0.55
Paste(SP cement)
Paste(SS cement)
Initial L/C (mass ratio)

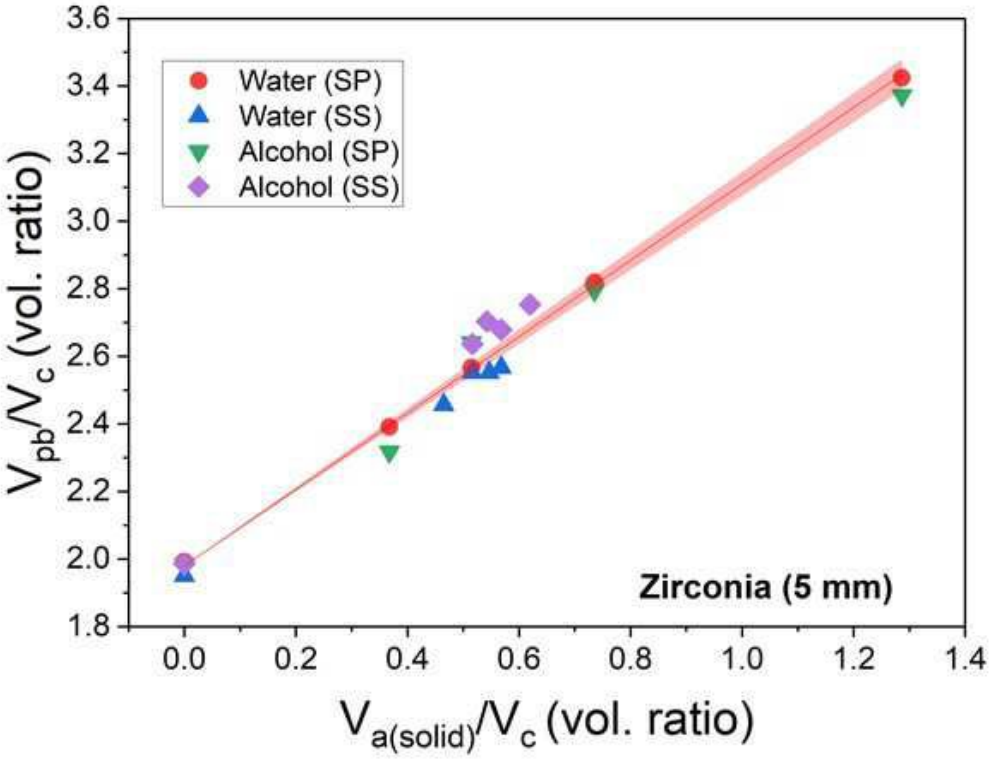
도면7


Water
Water+WRA
Alcohol
Mortar with silica sand (SP cement)
Mortar with silica sand (SS cement)
Mortar with zirconia 1.5 mm (SP cement)
4.2
4.0
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
5
10
15
Revolution duration (min)

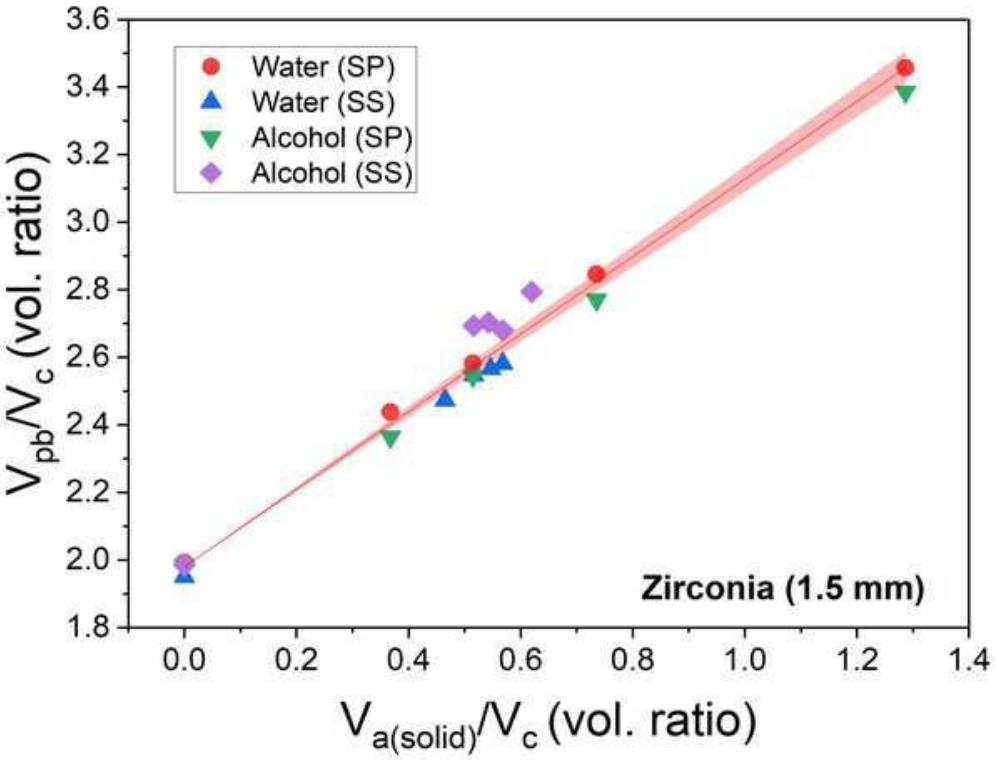
도면8


Water
Alcohol
Mortar with silica sand (SS cement)
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
4.2
4.0
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
0.40
0.45
0.50
0.40
0.45
0.50
Initial L/C (mass ratio)

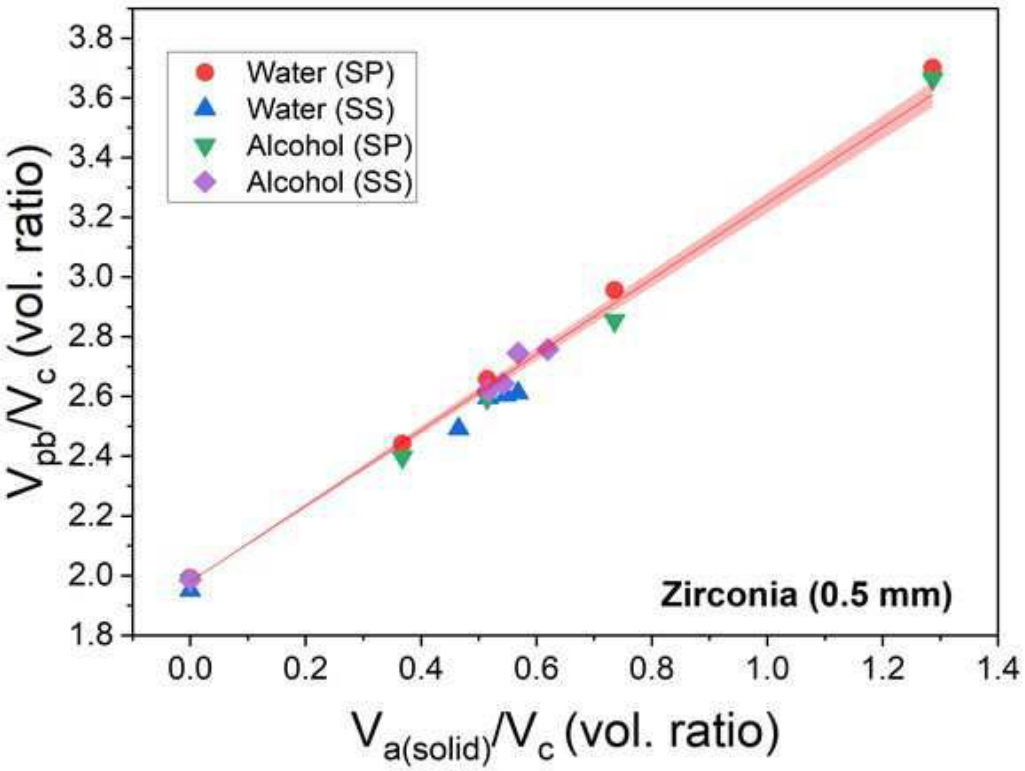
도면9


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Zirconia (5 mm)
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)

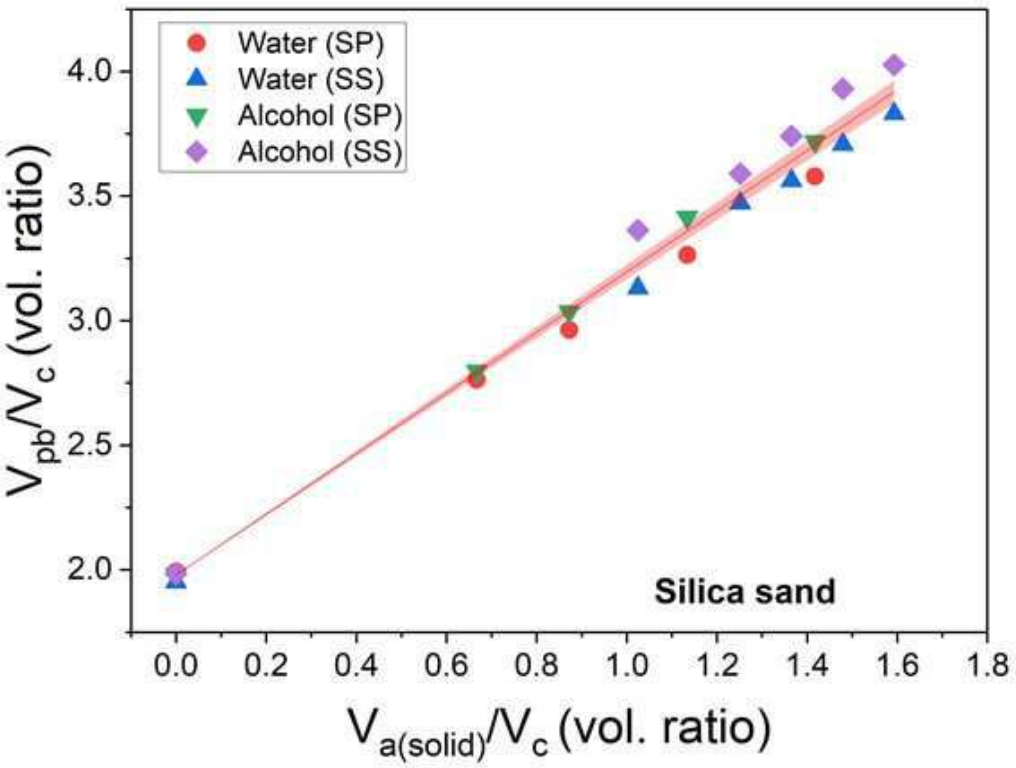
도면10


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Zirconia (1.5 mm)
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4

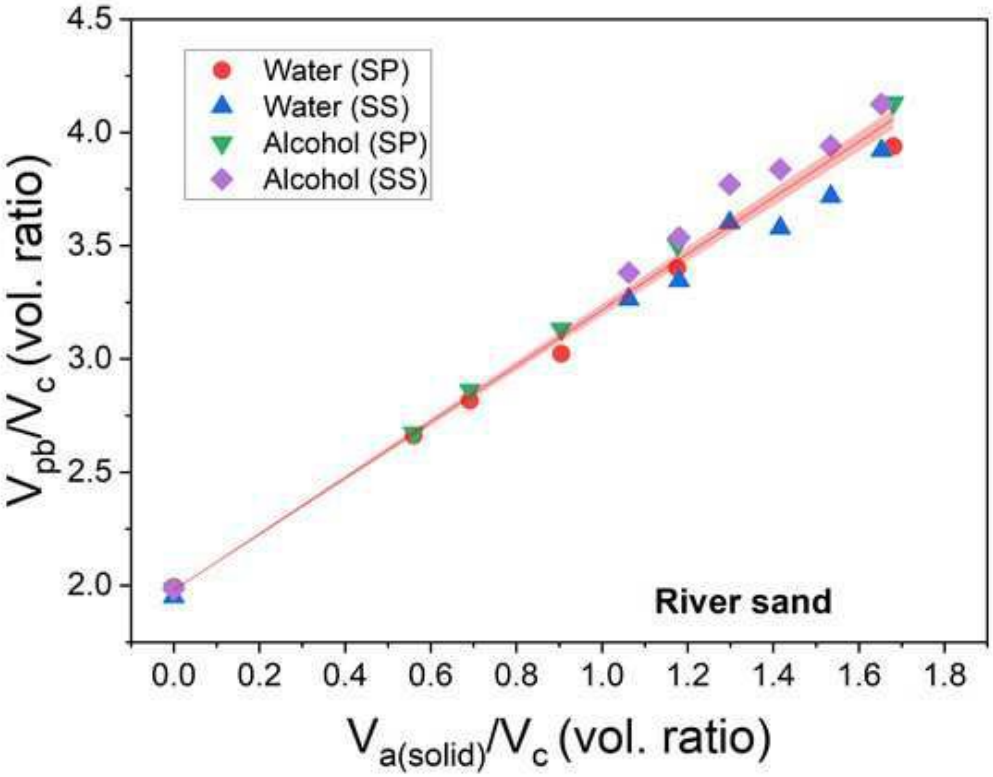
도면11


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Zirconia (0.5 mm)
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4

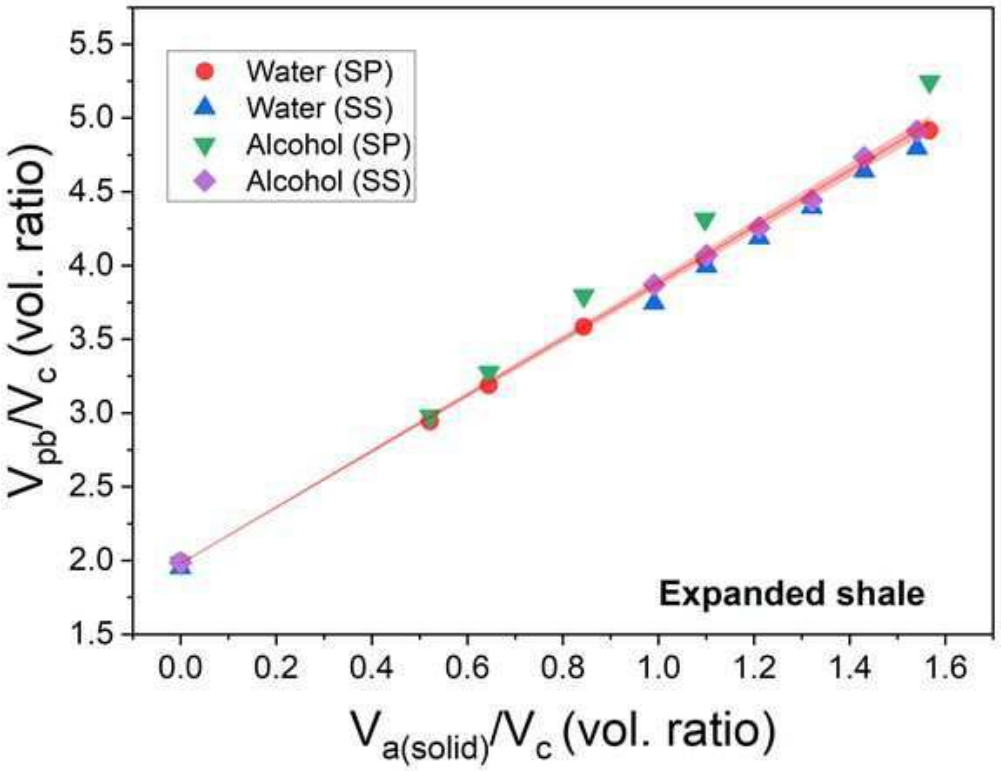
도면12


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Silica sand
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8

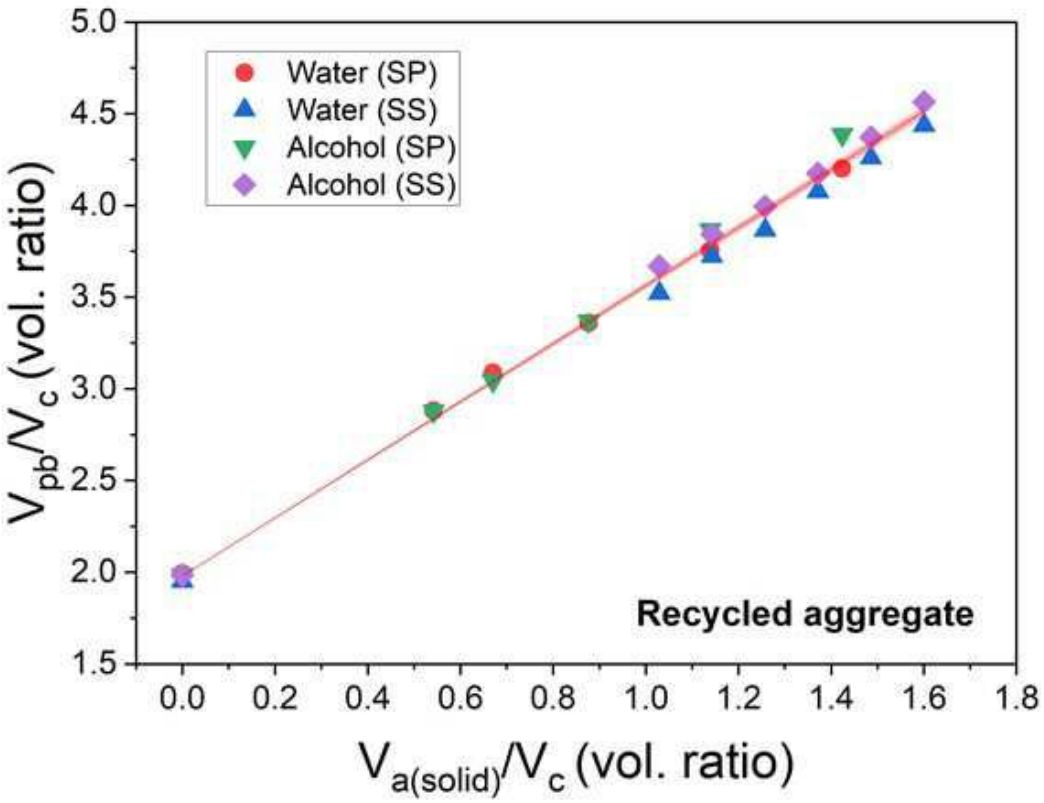
도면13


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
River sand
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8

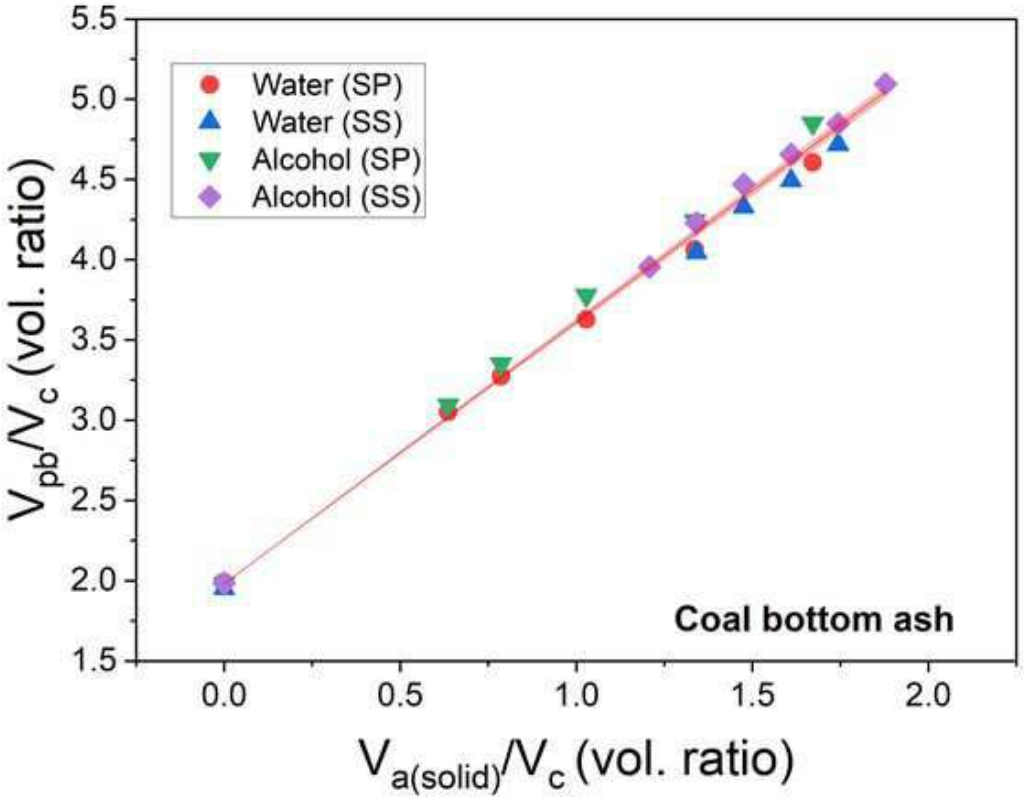
도면14


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Expanded shale
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6

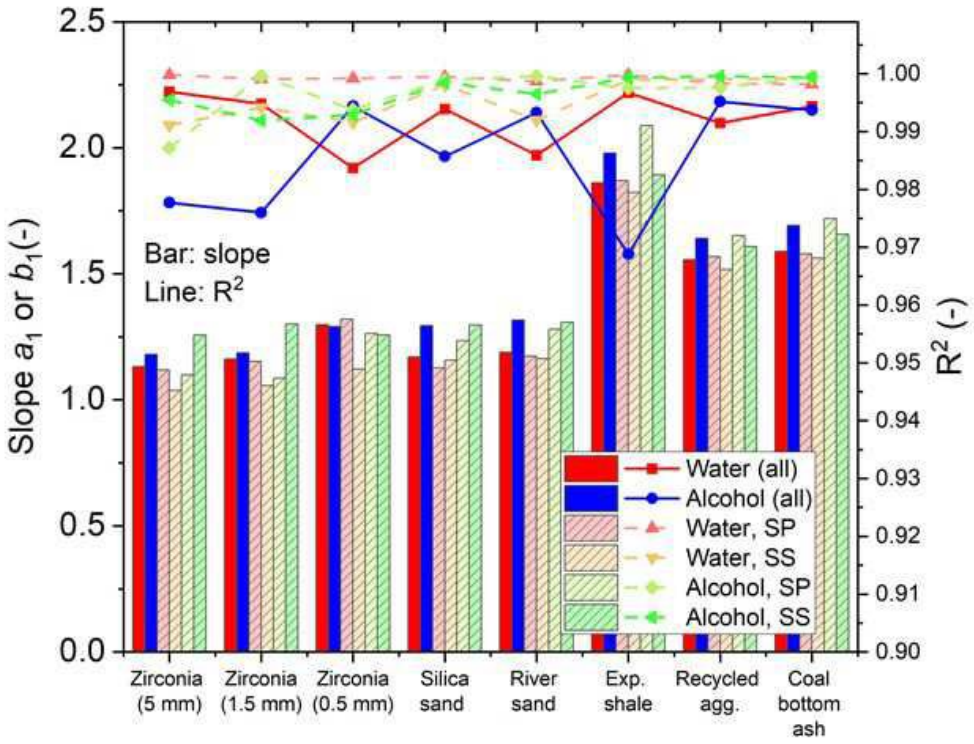
도면15


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Recycled aggregate
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8

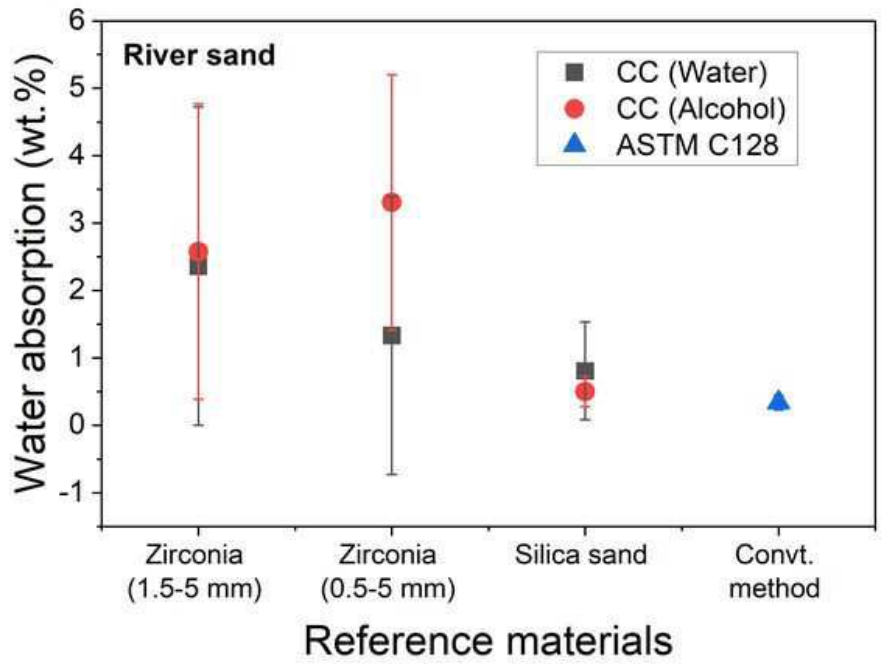
도면16


Water (SP)
Water (SS)
Alcohol (SP)
Alcohol (SS)
Coal bottom ash
V_{pb}/V_c (vol. ratio)
$V_{a(solid)}/V_c$ (vol. ratio)

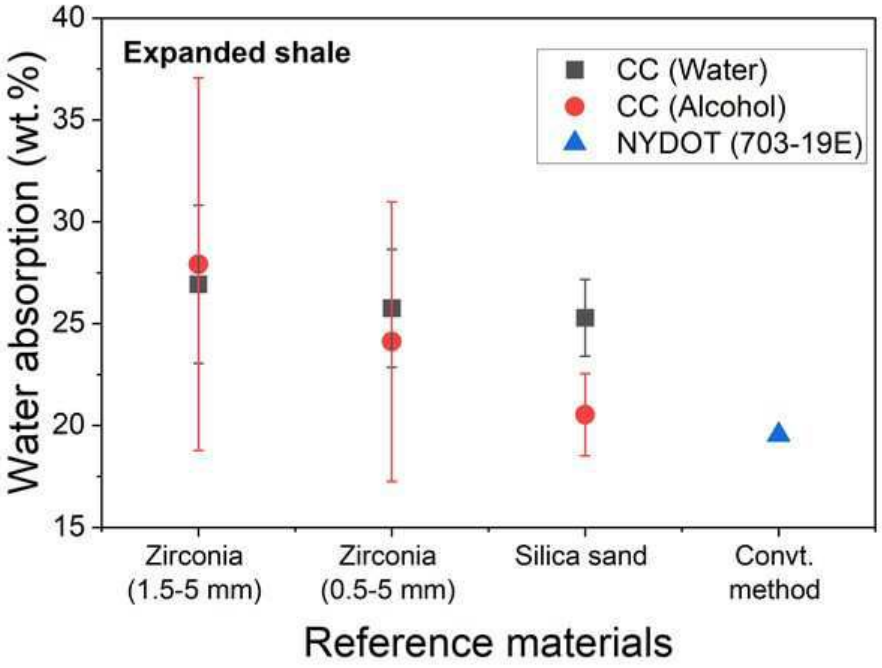
도면17


Bar: slope
Line: R^2
Slope a_1 or b_1(-)
R^2 (-)
Water (all)
Alcohol (all)
Water, SP
Water, SS
Alcohol, SP
Alcohol, SS
Zirconia (5 mm)
Zirconia (1.5 mm)
Zirconia (0.5 mm)
Silica sand
River sand
Exp. shale
Recycled agg.
Coal bottom ash

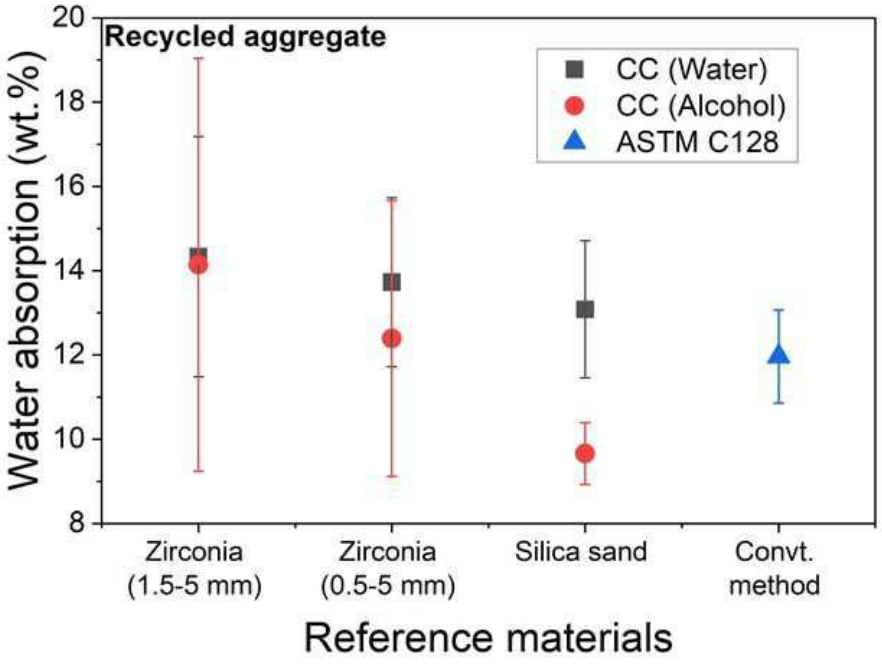
도면18


River sand
CC (Water)
CC (Alcohol)
ASTM C128
Water absorption (wt.%)
6
5
4
3
2
1
0
-1
Zirconia (1.5-5 mm)
Zirconia (0.5-5 mm)
Silica sand
Convt. method
Reference materials

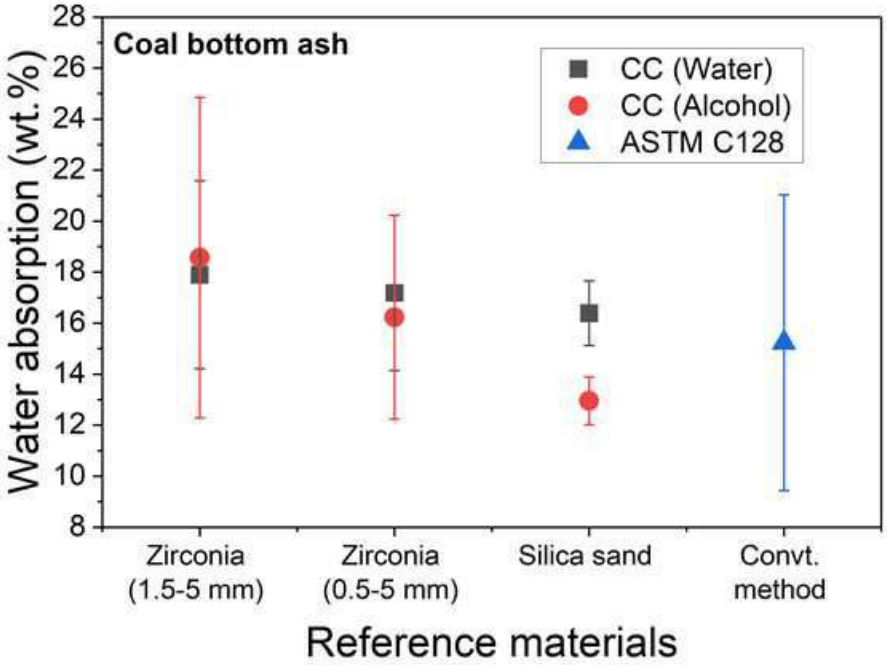
도면19


Expanded shale
CC (Water)
CC (Alcohol)
NYDOT (703-19E)
Water absorption (wt.%)
40
35
30
25
20
15
Zirconia (1.5-5 mm)
Zirconia (0.5-5 mm)
Silica sand
Convt. method
Reference materials

도면20


Recycled aggregate
CC (Water)
CC (Alcohol)
ASTM C128
Water absorption (wt.%)
20
18
16
14
12
10
8
Zirconia (1.5-5 mm)
Zirconia (0.5-5 mm)
Silica sand
Convt. method
Reference materials

도면21


Coal bottom ash
CC (Water)
CC (Alcohol)
ASTM C128
Water absorption (wt.%)
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
Zirconia (1.5-5 mm)
Zirconia (0.5-5 mm)
Silica sand
Convt. method
Reference materials