



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0071666
(43) 공개일자 2016년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 19/10 (2006.01) B01D 17/038 (2006.01)
G01N 15/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0179096
(22) 출원일자 2014년12월12일
심사청구일자 2014년12월12일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

(72) 발명자
김형기
광주광역시 서구 풍암순환로 86, 103동 102호 (풍암동, 삼능남양아파트)

(74) 대리인
신용현, 송정부

전체 청구항 수 : 총 9 항

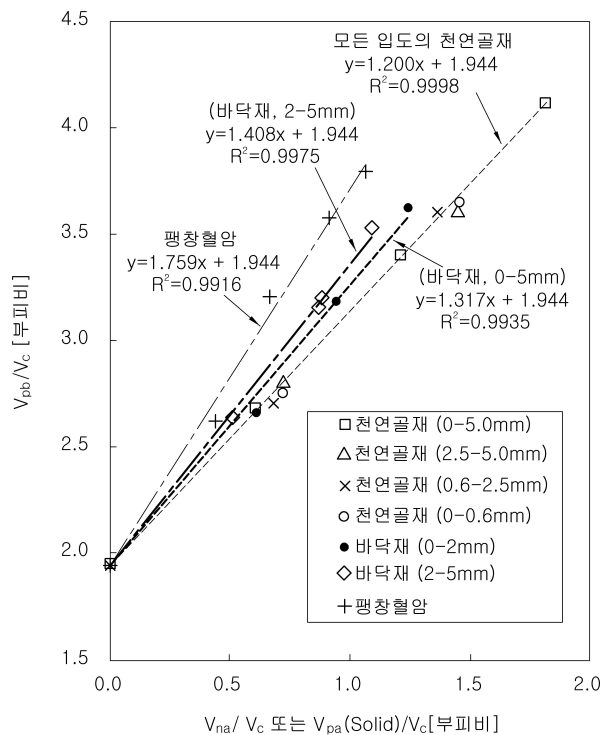
(54) 발명의 명칭 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법

(57) 요약

본 발명은 천연 골재를 포함한 시멘트 몰탈과 다공질 골재를 포함한 시멘트 몰탈을 원심분리에 의해 잉여수를 제거함으로써 동등한 시멘트 배합 조건을 형성하고, 이 동등한 시멘트 배합 조건을 다공질 골재의 표면건조-내부포화수(Saturated and Surface dried) 조건으로 산정함으로써, 다공질 골재의 정확한 흡수율을 보다 손쉬운 방법으

(뒷면에 계속)

대표도 - 도10



로 측정할 수 있도록 해주는 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 제공하는데 그 주된 목적이 있다.

상기한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법은, 천연 골재를 배합한 제1 시멘트 몰탈 및 다공질 골재를 배합한 제2 시멘트 몰탈을 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 몰탈 및 제2 시멘트 몰탈을 각각 원심분리시켜 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈, 제2 시멘트 몰탈로부터 잉여수를 분리, 제거하는 단계; 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈 내에 포함된 다공질 골재를 표면건조-내부포화수 상태가 된 다공질 골재로 가정하고, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)를 이용하여 상기 다공질 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함한다.

명세서

청구범위

청구항 1

천연 골재를 배합한 제1 시멘트 몰탈 및 다공질 골재를 배합한 제2 시멘트 몰탈을 각각 준비하는 단계;

상기 제1 시멘트 몰탈 및 제2 시멘트 몰탈을 각각 원심분리시켜 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈, 제2 시멘트 몰탈로부터 잉여수를 분리, 제거하는 단계;

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

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학적 (1)에서 보듯이 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)는 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타내는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정 방법.

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

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학적 2에서 보듯이 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)는 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타내는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{pb(pa(SSD))}/V_c = f_2(V_{pa(solid)}/V_c) \quad (2)$$

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학적 3에서 보듯이, 상기 천연 골재와 상기 표건 상태의 다공질 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 동일하다면, 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)와 상기 표건 상태의 다공질 골재/시멘트 부피비($V_{pa(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고,

하기 수학적 식 4에서 보듯이, 이로부터 상기 표건 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산한 다음, 이를 이용하여 다공질 골재의 흡수율을 최종 계산하는 것을 특징으로 하는 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법.

$$V_{na} / V_c = V_{pa(SSD)} / V_c = (V_{pa(solid)} + V_{wpa(SSD)}) / V_c \quad (3)$$

$$V_{wpa(SSD)} / V_c = V_{na} / V_c - V_{pa(solid)} / V_c \quad (4)$$

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율(A)은 하기 수학적 식 5와 같이 정의되고,

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

$$A = 100 \times \frac{M_{wpa(SSD)}}{M_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] \quad (5)$$

$$A = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%] \quad (6)$$

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

상기 수학적 식 1에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)가 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a이고,

상기 수학적 식 2에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b이며,

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

$$A = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%] = 100 \times \frac{b - a}{\rho_{pa(solid)} \times a} [\%] \quad (7)$$

청구항 7

천연 골재를 배합한 제1 시멘트 몰탈 및 다공질 골재를 배합한 제2 시멘트 몰탈을 각각 준비하는 단계;

상기 제1 시멘트 몰탈 및 제2 시멘트 몰탈을 각각 원심분리시켜 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈, 제2 시멘트 몰탈

로부터 잉여수를 분리, 제거하는 단계;

하기 수학적 식 1에서 보듯이, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)를 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 계산하는 단계;

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

하기 수학적 식 3에서 보듯이, 상기 천연 골재와 상기 표건 상태의 다공질 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 동일하다면, 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)와 상기 표건 상태의 다공질 골재/시멘트 부피비($V_{pa(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고, 이로부터 상기 표건 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및

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

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

$$V_{pb(pa(SSD))}/V_c = f_2(V_{pa(solid)}/V_c) \quad (2)$$

$$V_{na}/V_c = V_{pa(SSD)}/V_c = (V_{pa(solid)} + V_{wpa(SSD)})/V_c \quad (3)$$

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

하기 수학적 식 4에 의해 상기 표건 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및

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

$$V_{wpa(SSD)}/V_c = V_{na}/V_c - V_{pa(solid)}/V_c \quad (4)$$

$$A = 100 \times \frac{M_{wpa(SSD)}}{M_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] \quad (5)$$

$$A = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_c)} [\%] \quad (6)$$

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는,

상기 수학식 1에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)가 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회기분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a 이고,

상기 수학식 2에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회기분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b 이며,

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

$$A = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)}/V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_c)} [\%] = 100 \times \frac{b - a}{\rho_{pa(solid)} \times a} [\%]$$

(7)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 다공질 골재의 공극 특성을 고려하여 원심분리를 통해 다공질 골재의 흡수율을 보다 정확하게 측정할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 골재란 콘크리트, 몰탈, 석회 반죽, 역청질 혼합물 등과 같이 결합체에 의해서 혼합되어 일정한 강도를 갖도록 해주는 건설용 재료로서, 물, 혼합재 및 결합재를 제외하고 화학적으로 안정된 것을 의미한다. 이 중에서 콘크리트용 골재가 대부분을 차지하는데, 콘크리트 중 골재가 차지하는 용적이 70 ~ 80%에 이르므로, 골재의 물성과 함량이 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성 등에 미치는 영향이 매우 크다.

[0003] 골재는 그 생성 원인에 따라 천연 골재와 인공 골재로 구분된다. 천연 골재는 자연 작용에 의해 암석으로부터 생긴 골재로서, 강모래, 강자갈, 산모래, 산자갈, 육상모래, 육상자갈, 바닷모래 등이 있다. 이 천연 골재는 오랜 시간동안 침적 작용에 의해 생성된 것이므로 내부 조직이 치밀하고, 표면에 공극이 거의 없다.

[0004] 인공 골재는 산업 폐기물을 재활용하여 만든 골재로서, 고로 슬래그 쇄석, 플라이 애쉬(Fly ash), 화력발전소 바닥재(Coal bottom ash), 도시 소각재(MWSI bottom ash), 팽창성 혈암(expanded shale) 등이 있다. 현재, 천연 골재의 양이 급격히 감소되고 있고, 환경적인 측면에서도 천연 골재의 확보가 점점 어려워지고 있어 인공 골재의 중요성이 증가하고 있다. 또한, 산업 폐기물을 단순히 폐기하거나 매장하는 것보다 인공 골재로 재생하여 사용하면, 중금속이 콘크리트에 고착되어 침출되지 않기 때문에 환경오염을 예방할 수 있을 뿐만 아니라 천연 골재보다 저렴한 비용으로 사용할 수 있어 공사비 절감에도 기여한다. 이러한 점에서 볼 때, 앞으로 인공 골재의 사용은 더욱 활성화될 것으로 예상되고 있다.

[0005] 다만, 인공 골재는 천연 골재와 비교해 사용 상 몇가지 문제점이 있다. 특히, 인공 골재의 흡수율을 정확히 측정하지 못해 물/시멘트 배합비의 정확한 설정이 어렵다는 문제점이 있다. 이는 고로 슬래그 쇄석, 플라이 애쉬와 같은 입자가 미세한 인공 골재보다 화력발전소 바닥재, 팽창성 혈암과 같은 입자가 굵고 내,외부에 공극이 많이 생성된 인공 골재에 있어서 더 큰 문제점으로 지적되고 있다.

[0006] 예를 들어, 인공 골재를 재활용하기 위해 콘크리트를 배합할 때, 천연 골재를 대체하여 사용하는데, 이 때, 천연 골재와 인공 골재를 정확한 부피비로 치환하여 투입하게 된다. 천연 골재는 내부가 치밀하고 공극이 거의 없기 때문에 골재의 흡수율은 거의 정확하게 측정된다. 따라서, 천연 골재, 물, 시멘트를 배합할 때, 천연 골재가

함유하고 있는 물의 함량을 정확하게 고려하여 물/시멘트 배합비를 설계할 수 있고, 그 결과 원하는 콘크리트의 강도, 워커빌리티 등을 얻을 수 있다.

[0007] 그러나, 다공질 골재의 경우 내,외부에 공극이 많아 골재의 정확한 흡수율을 측정하기 어려운 문제점이 있었다. 따라서, 측정된 인공 골재의 흡수율보다 인공 골재의 실제 함수량이 더 많은 경우에는 배합 시에 물이 설계된 양보다 더 많아지기 때문에 콘크리트의 강도가 저하되고, 측정된 인공 골재의 흡수율보다 인공 골재의 실제 함수량이 더 적은 경우에는 배합 시에 물이 인공 골재 내로 흡수되어 콘크리트의 워커빌리티를 저하시키는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 이러한 종래의 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것으로서, 천연 골재를 포함한 시멘트 몰탈과 다공질 골재를 포함한 시멘트 몰탈을 원심분리에 의해 잉여수를 제거함으로써 동등한 시멘트 배합 조건을 형성하고, 이 동등한 시멘트 배합 조건을 다공질 골재의 표면건조-내부포화수(Saturated and Surface dried) 조건으로 산정함으로써, 다공질 골재의 정확한 흡수율을 보다 손쉬운 방법으로 측정할 수 있도록 해주는 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 제공하는데 그 주된 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법은, 천연 골재를 배합한 제1 시멘트 몰탈 및 다공질 골재를 배합한 제2 시멘트 몰탈을 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 몰탈 및 제2 시멘트 몰탈을 각각 원심분리시켜 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈, 제2 시멘트 몰탈로부터 잉여수를 분리, 제거하는 단계; 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈 내에 포함된 다공질 골재를 표면건조-내부포화수 상태(Saturated and Surface Dried, 이하 "표건 상태"라 함)가 된 다공질 골재로 가정하고, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)를 이용하여 상기 다공질 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함한다.

[0010] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 (1)에서 보듯이 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)는 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타낼 수 있다.

[0011]
$$V_{pb(na)} / V_c = f_1(V_{na} / V_c) \quad (1)$$

[0012] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 2에서 보듯이 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)는 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타낼 수 있다.

[0013]
$$V_{pb(pa(SSD))} / V_c = f_2(V_{pa(solid)} / V_c) \quad (2)$$

[0014] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 3에서 보듯이, 상기 천연 골재와 상기 표건 상태의 다공질 골재를 동일한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 동일하다면, 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)와 상기 표건 상태의 다공질 골재/시멘트 부피비($V_{pa(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고,

[0015] 하기 수학적 식 4에서 보듯이, 이로부터 상기 표건 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산한 다음, 이를 이용하여 다공질 골재의 흡수율을 최종 계산할 수 있다.

$$[0016] \quad V_{na} / V_c = V_{pa(SSD)} / V_c = (V_{pa(solid)} + V_{wpa(SSD)}) / V_c \quad (3)$$

$$[0017] \quad V_{wpa(SSD)} / V_c = V_{na} / V_c - V_{pa(solid)} / V_c \quad (4)$$

[0018] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율(A)은 하기 수학적 식 5와 같이 정의되고, 이 다공질 골재의 흡수율(A)은 상기 수학적 식 1, 수학적 식 2, 수학적 식 3, 수학적 식 4를 이용하여 하기 수학적 식 6에 의해 최종 계산될 수 있다.

$$[0019] \quad A = 100 \times \frac{M_{wpa(SSD)}}{M_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] \quad (5)$$

$$[0020] \quad A = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%] \quad (6)$$

[0021] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 상기 수학적 식 1에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)가 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a 이고, 상기 수학적 식 2에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b 이며, 상기 다공질 골재의 흡수율(A)은 하기 수학적 식 7에 의해 최종 계산될 수 있다.

$$[0022] \quad A = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%] = 100 \times \frac{b - a}{\rho_{pa(solid)} \times a} [\%] \quad (7)$$

[0023]

[0024] 한편, 본 발명의 또 다른 측면에 따른 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법은, 천연 골재를 배합한 제1 시멘트 몰탈 및 다공질 골재를 배합한 제2 시멘트 몰탈을 각각 준비하는 단계; 상기 제1 시멘트 몰탈 및 제2 시멘트 몰탈을 각각 원심분리시켜 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈, 제2 시멘트 몰탈로부터 잉여수를 분리, 제거하는 단계; 하기 수학적 식 1에서 보듯이, 상기 밀집 패킹된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)를 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 계산하는 단계; 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈 내에 포함된 다공질 골재를 표건 상태가 된 다공질 골재로 가정하고, 하기 수학적 식 2에서 보듯이, 상기 밀집 패킹된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)를 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 계산하는 단계; 하기 수학적 식 3에서 보듯이, 상기 천연 골재와 상기 표건 상태의 다공질 골재를 동일

한 부피비로 치환하는 때에, 상기 밀집 패키징된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)와 상기 밀집 패키징된 제2 시멘트 몰탈/시멘트 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 동일하다면, 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)와 상기 표준 상태의 다공질 골재/시멘트 부피비($V_{pa(SSD)}/V_c$)가 동일하다고 가정하고, 이로부터 상기 표준 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및 상기 함수(f_1), 함수(f_2) 및 표준 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 이용하여 다공질 골재의 흡수율을 계산하는 단계;를 포함한다.

[0025]
$$V_{pb(na)} / V_c = f_1(V_{na} / V_c) \quad (1)$$

[0026]
$$V_{pb(pa(SSD))} / V_c = f_2(V_{pa(solid)} / V_c) \quad (2)$$

[0027]
$$V_{na} / V_c = V_{pa(SSD)} / V_c = (V_{pa(solid)} + V_{wpa(SSD)}) / V_c \quad (3)$$

[0028] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 하기 수학식 4에 의해 상기 표준 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 계산하는 단계; 및 상기 다공질 골재의 흡수율(A)을 하기 수학식 5와 같이 정의하고, 이 다공질 골재의 흡수율(A)을 상기 함수(f_1), 함수(f_2), 상기 표준 상태의 다공질 골재 내의 흡수된 물/시멘트 부피비($V_{wpa(SSD)}/V_c$)를 이용하여 하기 수학식 6에 의해 최종 계산하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0029]
$$V_{wpa(SSD)} / V_c = V_{na} / V_c - V_{pa(solid)} / V_c \quad (4)$$

[0030]
$$A = 100 \times \frac{M_{wpa(SSD)}}{M_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] \quad (5)$$

[0031]
$$A = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%] \quad (6)$$

[0032] 또한, 상기 다공질 골재의 흡수율 계산 단계는, 상기 수학식 1에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패키징된 제1 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(na)}/V_c$)가 상기 천연 골재/시멘트의 부피비(V_{na}/V_c)의 함수(f_1)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_1)의 기울기값이 a이고, 상기 수학식 2에서 보는 바와 같이, 상기 밀집 패키징된 제2 시멘트 몰탈/시멘트의 부피비($V_{pb(pa(SSD))}/V_c$)가 상기 다공질 골재의 순수 고체부분/시멘트의 부피비($V_{pa(solid)}/V_c$)의 함수(f_2)로 나타날 때, 선형 회귀분석 결과 상기 함수(f_2)의 기울기값이 b이며, 상기 다공질 골재의 흡수율(A)은 하기 수학식 7에 의해 최종 계산될 수 있다.

$$A = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_o) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_o)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_o)} [\%] = 100 \times \frac{b - a}{\rho_{pa(solid)} \times a} [\%]$$

[0033]

[0034]

(7)

발명의 효과

[0035]

상기와 같이 구성된 본 발명에 따른 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 사용하면, ASTM C 128 측정방법, 뉴욕 교통국(NYDOT) 측정방법 등 종래 다공질 골재의 흡수율 측정방법보다 더욱 정확한 측정이 가능하다.

[0036]

또한, 본 발명에 따르면, 천연 골재 및 다공질 골재를 원심분리 후에 각각의 관계식의 기울기 값을 계산해냄으로써 다공질 골재의 흡수율을 측정할 수 있으므로 매우 간편하게 사용할 수 있다.

[0037]

또한, 본 발명에 따르면, 표면 공극이 매우 많아서 종래의 ASTM C 128 측정방법으로는 측정 자체가 아예 불가능했던 다공질 골재에 대해서도 흡수율 측정이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0038]

도 1은 거시공극이 형성된 다공질 골재를 촬영한 사진.

도 2는 다공질 골재의 공극 특성을 나타낸 도면.

도 3은 다공질 골재의 흡수율 측정 오차를 나타낸 도면.

도 4는 일정 조건 하에서 천연 골재의 원심분리 전, 후의 상태를 나타낸 도면.

도 5는 다른 조건 하에서 천연 골재의 원심분리 전, 후의 상태를 나타낸 도면.

도 6은 천연 골재 및 다공질 골재의 원심분리 전, 후의 상태를 나타낸 도면.

도 7은 도 6의 역의 경우도 성립함을 나타낸 도면.

도 8은 다공질 골재의 몇 가지 종류를 촬영한 사진.

도 9는 시멘트 페이스트의 원심분리 후의 선형 회기분석 결과를 나타낸 그래프.

도 10은 시멘트 몰탈의 원심분리 후의 선형 회기분석 결과를 나타낸 그래프.

도 11은 일정 조건 하에서 시멘트 몰탈의 V_{pb}/V_c 값을 나타낸 그래프.

도 12는 본 발명에 따른 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 설명하는 그래프.

도 13은 본 발명에 따른 다공질 골재의 흡수율 측정방법의 정확성을 검증하는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039]

이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.

[0040]

본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다.

[0041]

본 발명의 기술구성을 상세히 설명하기에 앞서, 종래에 건축용 골재의 흡수율 측정에 사용되었던 방법에 대하여 간단히 알아본다.

[0042]

첫째, ASTM C 128 측정방법(KS F 2504 기준)은, 측정 대상인 골재를 물속에 24시간 정도 담궈서 충분히 수분을

흡수시킨다. 그 후 골재를 평평한 용기에 퍼서 따뜻한 공기 속에서 서서히 건조시킨다. 잔골재를 원뿔형 몰드에 다지는 일이 없이 서서히 넣은 다음, 표면을 다짐대로 가볍게 25회 다진 후에 원뿔형 몰드를 수직으로 빼 올린다. 원뿔형 몰드를 빼 올릴 때, 잔골재의 원뿔이 흘러내리지 않으면 다시 잔골재를 퍼서 헤쳐 말린다. 동일한 시험을 잔골재의 원뿔 표면이 흘러내릴 때까지 반복하여 실시한다. 수분이 포화된 상태와 수분이 증발하여 표면이 흘러내린 상태를 기준으로 각각 중량을 측정하고, 그 차이를 이용하여 해당 골재의 흡수율을 계산한다.

[0043] 이 ASTM C 128 측정방법은 골재 표면에 물이 있으면 표면장력에 의해 고정되어 있고, 표면에 물이 없으면 골재끼리 쉽게 떨어지게 된다는 원리를 이용하여 골재의 흡수율을 측정하는 방법이다. 이 측정방법은 강모래와 같이 표면이 매끄럽고 내부 조직이 치밀한 경우에 정확도가 높으나, 다공질 인공골재와 같이 표면 형상이 거친 경우에는 표면이 물이 없더라도 잘 흘러내지 않게 되므로, 측정 정확도가 저하된다. 통상적으로 이 방법을 이용하여 측정된 흡수율은 실제 흡수율보다 더 낮게 나타난다.

[0044] 돌재, 뉴욕주 교통국(NYDOT) 측정방법(Test method No. 703-19E)은, 측정 대상인 골재를 물 속에 충분히 담궈서 수분을 포화시킨다. 그 후, 골재의 표면을 수건으로 계속 닦아낸다. 골재의 표면에서 물이 더 이상 묻어나오지 않을 때에 해당 골재가 표면 건조 상태에 있다고 판단하고, 수분이 포화된 상태와 골재의 표면에 물이 더 이상 묻어나오지 않는 상태를 기준으로 각각 중량을 측정하고, 그 차이를 이용하여 해당 골재의 흡수율을 계산한다.

[0045] 그러나, 이 측정방법은 표면에 거시 공극이 존재하는 경우 거시 공극 내부에 채워진 물은 수건으로 닦아지는 않지만, 실제로 시멘트 몰탈과 배합되면 거시 공극 내부에 시멘트 입자들이 침투하게 된다. 그 결과, 거시 공극에 있던 물이 시멘트 몰탈 내에 배출되어 정확한 물/시멘트 배합비를 얻을 수 없게 된다. 통상적으로 이 방법을 통해 측정된 골재 흡수율은 실제 흡수율보다 더 높게 나타난다.

[0046] 도 1은 다공질 골재의 대표적인 예인 화력발전소 바닥재(bottom ash)의 실제 표면 사진을 나타낸다. 강모래와 같이 표면이 매끈한 천연 골재와 달리 바닥재는 표면이 매우 거칠고 다양한 크기의 공극이 형성되어 있음을 알 수 있다. 이 공극을 통해 수분이 흡수되는 정도가 다양하여 앞서 설명한 종래의 흡수율 측정방법으로는 정확한 측정에 어려움이 있었다.

[0047] 도 2는 다공질 골재에 시멘트 페이스트와 배합된 상태에서 공극 내 수분의 흡수 형태를 개략적으로 도시한 것이다. 시멘트 몰탈을 만들기 위하여, 물(10), 시멘트 입자(20), 다공질 골재(30)를 일정한 비율로 배합한다. 이 때, 물/시멘트 배합비가 시멘트 몰탈의 최종 강도를 결정하는 중요한 요소가 되므로 정확한 배합비가 요구된다. 다공질 골재(30)에는 여러 가지 종류의 공극이 존재하는데, 골재의 표면에 시멘트 입자(20)가 들어갈 수 있을 만큼의 큰 크기를 갖는 거시 공극(31), 골재의 표면에 시멘트 입자(20)가 들어가지 못할 만큼의 작은 크기를 갖는 미세 공극(32), 골재의 내부에 존재하는 내부 공극(33) 등이 있다.

[0048] 만약 다공질 골재(30)가 충분히 수분 포화된 상태에 있다면, 상기 거시 공극(31), 미세 공극(32), 내부 공극(33) 등은 물(10)로 포화된다. 이 상태에서 시멘트 몰탈을 형성하기 위해 물(10), 시멘트 입자(20)와 혼합하는 때에는, 다공질 골재(30)가 더 이상 수분을 흡수하거나 배출하지 않을 것이라는 가정하에서 물/시멘트 배합비를 계산한다. 그러나, 실제로 다공질 골재(30)의 거시 공극(31)에는 시멘트 입자(20)가 침투하면서 그 내부에 있던 물이 외부로 배출된다. 그 결과, 초기에 계산된 물/시멘트 배합비에 영향을 미치게 된다.

[0049] 이것이 상술한 뉴욕주 교통국의 흡수율 측정방법이 다공질 골재에 대한 흡수율 계산의 정확도가 떨어지는 원인이라고 지적한 바 있다. 즉, 도 3의 (a)에 도시된 바와 같이, 다공질 골재(30)는 거시 공극(31)에는 물이 채워져 있지 않고, 미세 공극(32) 및 내부 공극(33)에는 물이 포화된 상태에서 측정하여야 정확한 골재의 흡수율을 계산할 수 있는 것이다. 그러나, 뉴욕주 교통국의 흡수율 측정방법은 도 3의 (b)와 같이 거시 공극(31)에도 물이 채워진 상태에서 측정하기 때문에 골재 흡수율이 실제보다 더 높게 나타나는 것이다.

[0050] 본 발명은 이러한 종래의 흡수율 측정 오차를 감소시킬 수 있도록 다공질 골재에 대한 새로운 형태의 흡수율 측정방법을 제공한다. 즉, 표면에 거시 공극을 갖는 다공질 골재의 흡수율을 원심분리를 통해 측정하는 방법을 제공한다.

[0051] 물, 시멘트, 골재가 배합된 시멘트 몰탈을 일정 회전속도 이상으로 원심분리시키면 잉여수 부분과 고체 부분으로 분리된다. 상기 고체 부분은 시멘트, 골재, 그 사이에 수분으로 구성되는데, 이 고체 부분은 상호 최대한 밀집 패킹된다. 그 결과, 다공질 골재의 거시 공극 내부에도 시멘트 입자로 충전되어 공극 내부의 물이 배출된다. 따라서, 다공질 골재는 도 3의 (a)와 같이 미세 공극(32), 내부 공극(33)에만 물이 포화된 상태가 되어 시멘트 몰탈의 배합시에 더 이상 물을 흡수하거나 배출하지 아니하므로, 표면건조-내부포화수(Saturated and Surface dried, 이하 "표건 상태"라 함)에 있다고 산정할 수 있다. 원심분리된 상태에서 천연 골재와 다공질 골재는 모

두 표건 상태로서 동일한 거동을 나타낸다고 전제할 수 있다. 본 발명은 이러한 전제로부터 출발하여 다공질 골재의 흡수율을 더욱 간단하면서도 정확하게 측정할 수 있는 방법을 제공한다.

- [0052] 본 발명의 이해를 돕기 위하여 골재의 건조 상태를 나타내는 용어를 간단히 설명한다. 골재는 자연 상태에서 물을 함유하고 있는 정도가 다른데, 이를 4가지 경우로 분류한다.
- [0053] 첫째, 내부까지 완전히 건조되어 수분을 전혀 함유하고 있지 않는 상태로서 절대건조 상태 또는 완전건조 상태라고 한다. 둘째, 자연상태에서 골재의 공극 중 일부만 물이 채워져 있고 표면은 건조된 상태로 있는 경우에 이를 기건 상태(공기 중에서 건조된 상태)라고 한다. 셋째, 물 속에서 꺼낸 골재의 표면만을 형겟으로 닦아 내게 되면 내부의 공극은 물로 포화되어 있고 표면만 건조되는데, 이를 표면건조 내부포화수 상태, 줄여서 표건 상태라고 한다. 넷째, 골재를 물속에 담가두었다가 며칠 후에 꺼내면 내부 공극이 물로 포화될 뿐만 아니라 표면에 도 물기가 남아 있게 되는데, 이를 습윤 상태라고 한다.
- [0054] 시멘트 배합 시에 골재가 완전건조 또는 기건 상태에 있으면 골재가 물을 빨아들이게 되고 골재가 습윤 상태에 있으면 표면에 묻은 물(표면수)이 배출되기 때문에, 물/시멘트 배합비에 영향을 주게 된다. 따라서, 시멘트를 배합할 때에는 골재가 표건 상태에 있다고 가정하고 실험을 하기 때문에, 표건 상태에서의 흡수율을 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 즉, 골재의 표건 상태에서의 흡수율을 정확하게 알 수 있다면, 현재 골재의 흡수율을 측정하고, 흡수율과의 차이만큼 물의 배합비를 조절함으로써 물/시멘트 배합비를 정확하게 제어할 수 있다.
- [0055] 여기서, 골재의 흡수율(Water content ratio of aggregate)은 골재의 현재 표면 및 내부에 있는 물의 전체 질량의 절대건조 상태에서의 골재의 질량에 대한 백분율을 의미한다. 골재의 흡수율은 현재 골재의 질량과 오븐에 완전 건조시킨 골재의 질량을 각각 측정함으로써 쉽게 계산할 수 있다. 골재의 흡수율(effective absorption ration of aggregate)은 골재가 표건 상태가 될 때까지 흡수하는 물의 총 질량의 절대건조 상태에서의 골재의 질량에 대한 백분율을 의미한다. 따라서, 흡수율이 70%인 골재의 현재 흡수율이 50%라면 시멘트 배합비에 20%만큼 골재가 물을 흡수할 것이므로, 이를 감안하여 물/시멘트 배합비를 계산하면 된다.
- [0056] 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명은 원심분리를 이용하여 다공질 골재를 표건 상태로 만든 다음에 천연 골재와의 거동이 동일하다고 전제하에서 다공질 골재를 계산할 수 있는 방법을 제공한다. 이를 위해, 원심분리에 따른 천연 골재와 다공질 골재의 거동에 대한 전제 조건을 도 4 내지 도 7을 참조로 상세히 설명한다.
- [0057] 도 4에 도시된 바와 같이, 3가지 경우에 있어서 시멘트 몰탈 내에 배합된 천연 골재(Natural Aggregate, 50)의 부피(V_{na})와 시멘트(40)의 부피(V_c)가 동일하다면, 원심분리 후에 잉여수(60)를 제거하고 남은 밀집 패킹된 시멘트 몰탈의 부피(V_{pb})가 동일하다. 원심력이 충분히 강할 경우, 원심력 다짐을 통해 시멘트 페이스(70) 및 골재 입자가 최고로 밀집된다. 이 밀집 상태는 입자량에 의해서만 영향을 받으며, 초기 배합수량과 관계가 없게 된다. 따라서, 원심분리 후에 발생된 잉여수(bleeding water)를 제거할 경우, 남아 있는 고체 부분의 부피는 최고로 밀집 패킹된 시멘트, 골재 그리고 그들 사이의 수분량이 되고, 이 고체 부분의 부피는 배합수량에 관계없이 동일하다.
- [0058] 도 5에 도시된 바와 같이, 3가지 경우에 있어서 시멘트 몰탈 내에 배합된 천연 골재(50)의 부피(V_{na})는 달라지지만 시멘트(40)의 부피(V_c)가 동일하다면, 원심력 다짐을 통해 밀집 패킹된 시멘트 몰탈의 부피(V_{pb})는 천연 골재의 부피(V_{na})에 비례하여 증가할 것이다. 즉, 잉여수를 제거한 시멘트 몰탈의 부피(V_{pb})는 V_{na} 와 V_c 의 양에만 영향을 받으므로, V_c 가 고정될 경우 V_{pb} 는 V_{na} 에만 영향을 받게 되며 이 둘 사이에는 일정한 비례 관계가 성립한다.
- [0059] 나아가, V_c 가 동일하지 않더라도, V_c 로 V_{pb} 와 V_{na} 를 일반화(Normalizing)시키면, 모든 시멘트 몰탈에서 아래 수학적 식 1과 같은 공식이 성립하게 된다.

수학식 1

[0060]
$$V_{pb(na)} / V_c = f_1(V_{na} / V_c)$$

[0061] 도 6에 도시된 바와 같이, 2가지 경우에 있어서 시멘트(40)의 부피(V_c)가 동일하고, 천연 골재(50)의 부피(V_{na})와 표건 상태(SSD 상태)의 다공질 골재(Porous Aggregate, 80)의 부피($V_{pa(SSD)}$)가 동일하다면, 원심력 다짐을 통해 밀집 패킹된 시멘트 몰탈의 부피(V_{pb})는 천연 골재의 경우($V_{pb(na)}$)와 다공질 골재의 경우($V_{pb(pa(SSD))}$)가 동일할 것이다. 이는 천연 골재를 표건 상태의 다공질 골재로 치환하는 경우에도 밀집 패킹된 시멘트 몰탈의 부피가 동일하다는 것을 의미한다.

[0062] 도 7은 도 6의 역의 경우도 성립함을 나타낸다. 즉, 원심분리에 의해 밀집 패킹된 시멘트 몰탈의 부피(V_{pb})가 천연 골재(50)의 경우($V_{pb(na)}$)와 다공질 골재(80)의 경우($V_{pb(pa(SSD))}$)가 동일하고 배합된 시멘트의 부피(V_c)가 동일하다면, 원심분리 전에 천연 골재(50)의 부피(V_{na})와 표건 상태의 다공질 골재(80)의 부피($V_{pa(SSD)}$)가 동일하다.

[0063] 지금까지의 가정을 바탕으로 천연 골재와 다공질 골재의 원심분리 후의 V_{pb}/V_c 값이 같다면, V_c 값에 관계없이 아래 수학식 2가 성립한다고 정리할 수 있다.

수학식 2

[0064]
$$V_{na} / V_c = V_{pa(SSD)} / V_c = (V_{pa(solid)} + V_{wpa(SSD)}) / V_c$$

[0065] 여기서, $V_{pa(SSD)}$ 는 시멘트 몰탈 내에 표건 상태의 다공질 골재의 부피이고, $V_{pa(solid)}$ 는 시멘트 몰탈 내에 다공질 골재의 고체부의 부피(물을 제외한 순수 고체부분만의 부피)이며, $V_{wpa(SSD)}$ 는 표건 상태인 다공질 골재 내에 포화 흡수된 물의 부피를 나타낸다. 상기 수학식 2는 시멘트 페이스트 내에 시멘트 입자 크기와 골재 입자 크기의 차이가 매우 커서 시멘트 입자 간의 밀집 패킹은 골재의 형상에 영향을 미치지 아니하고, 시멘트 페이스트의 양에 비해 골재의 양이 매우 적어서 골재 간의 거리가 충분히 떨어져 있을 때 성립한다.

[0066] 상기 수학식 2를 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

수학식 3

[0067]
$$V_{wpa(SSD)} / V_c = V_{na} / V_c - V_{pa(solid)} / V_c$$

[0068] 이 때, 천연 골재의 시멘트 몰탈과 다공질 골재의 시멘트 몰탈의 V_{pb} 는 원심분리 후에 잉여수를 제거한 다음 측정하면 계산이 가능하고, V_{na} 와 $V_{pa(solid)}$ 는 초기 배합비로부터 계산이 가능하므로, 구하고자 하는 $V_{wpa(SSD)}$ 를 계산할 수 있다.

[0069] 이 때, 일반적인 다공질 골재의 경우에는 $V_{wpa(SSD)}/V_{pa(SSD)}$ 는 골재의 공극 부피비(Volume porosity, \emptyset)를 나타내는 고정값이다. 따라서, 다공질 골재와 일반 골재의 V_{pb}/V_c 값이 같을 때, 하기 수학식 4가 성립한다.

수학식 4

$$[0070] \quad V_{wpa(SSD)} = \Phi V_{pa(SSD)} = \Phi V_{na}$$

[0071] 위 수학식 4를 수학식 3에 대입하여 정리하면 아래 수학식 5가 성립한다.

수학식 5

$$[0072] \quad V_{pa(solid)} / V_c = (1 - \Phi) V_{na} / V_c$$

[0073] 따라서, 상기 수학식 1에서 보는 바와 같이, 천연 골재를 배합한 시멘트 몰탈의 V_{pb}/V_c 는 V_{na}/V_c 를 단독변수로 하는 함수이고, 수학식 5에서 보는 바와 같이, 다공질 골재에 있어서 $V_{pa(solid)}/V_c$ 또한 V_{na}/V_c 를 단독변수로 하는 함수이다. 이를 하기 수학식 6으로 표현할 수 있다.

수학식 6

$$[0074] \quad V_{pb(pa(SSD))} / V_c = f_2(V_{pa(solid)} / V_c)$$

[0075] 상기 수학식 1 내지 수학식 6을 이용하여, 다공질 골재의 흡수율(A), 즉, 표준 상태에서의 함수율을 다음과 같이 계산할 수 있다. 여기서, $\rho_{pa(solid)}$ 는 다공질 골재의 순수 고체부의 밀도를 의미한다.

수학식 7

$$[0076] \quad A = 100 \times \frac{M_{wpa(SSD)}}{M_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%]$$

[0077] 여기서, 원심분리 후에 천연 골재의 밀집 패키징된 시멘트 몰탈의 부피($V_{pb(na)}$)와 다공질 골재의 밀집 패키징된 시멘트 몰탈의 부피($V_{pb(pa(SSD))}$)가 같을 때, 상기 수학식 7은 상기 수학식 1, 수학식 3, 수학식 6을 대입하여 다음과 같이 최종 성립된다.

수학식 8

$$[0078] \quad A = 100 \times \frac{V_{wpa(SSD)}}{\rho_{pa(solid)} \times V_{pa(solid)}} [\%] = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)} / V_c) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))} / V_c)} [\%]$$

[0079] 따라서, 본 발명에 따르면, 천연 골재의 시멘트 몰탈과 측정 대상인 다공질 골재의 시멘트 몰탈을 각각 준비하고, 원심분리 후에 각각의 시멘트 몰탈에 대한 상기 수학적 1, 수학적 6의 관계식을 실험적으로 측정한 다음, 그 때의 V_{pb}/V_c 를 계산하면 다공질 골재의 흡수율을 최종 계산할 수 있게 된다. 본 발명에 따르면, 시편을 원심분리 시킨 후에 관계식만 f_1, f_2 를 선형 회기분석을 통해 계산해내면 간단하게 해당 골재의 흡수율을 측정할 수 있다. 그러므로, 본 발명은 종래의 ASTM C 128 측정방법이나, 뉴욕주 교통국(NYDOT) 측정방법(Test method No. 703-19E)에 비해 매우 간단한 측정방법을 제공해 준다.

[0080] (실시예)

[0081] 본 발명에 따른 흡수율 측정방법의 정확도를 알아보기 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다.

[0082] 비표면적 약 3400 cm^2/g 이고 비중이 3.15인 포틀랜드 1종 시멘트를 준비한다. 골재는 천연 잔골재로서 4가지 입도를 가진 강모래를 준비하고, 다공질 골재로서 2가지 입도의 화력발전소 바닥재(bottom ash)와 인공경량골재인 팽창혈암(Expanded shale)을 각각 준비한다. 각 골재의 비중은 하기 표 1과 같다.

표 1

[0083]	표준 상태에서의 비중 (Specific gravity in S.S.D)	진비중 (True specific gravity = $\rho_{pa(solid)}$)
천연 잔골재 (강모래)	2.58	2.58
화력발전소 바닥재 (Bottom ash) (0 - 2 mm)		1.94
화력발전소 바닥재 (Bottom ash) (2 - 5 mm)		1.90
인공경량골재 팽창혈암 (Expanded Shale)	1.92	2.35

[0084] 도 8은 본 실험의 측정 대상 3가지 인공 다공질 골재의 실제 사진을 나타낸다. 도 8의 (a), (b)에 개시된 화력발전소 바닥재는 입도가 일정하지 못하고 형태도 비정형적이어서 기존의 종래의 ASTM C 128 측정방법으로는 측정이 불가능한 문제점이 있었다. 도 8의 (c)에 개시된 인공경량골재 팽창혈암은 퇴적 황토를 1100°C의 고열로 팽화시킨 것으로서 내포되어 있던 휘발성 물질이 팽화되면서 다양한 기공이 형성된다. 이 팽창혈암은 화력발전소 바닥재에 비해 상대적으로 입도가 크고 형태가 구형을 이루므로 종래의 뉴욕주 교통국(NYDOT) 측정방법에 의해 비교적 정확하게 흡수율 측정이 가능하였다.

[0085] 따라서, 본 실시예에서는 본 발명에 따른 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 사용할 경우에 종래에 측정이 불가능했던 다공질 골재의 흡수율 측정이 가능한지 여부, 비교적 정확하다고 알려진 종래의 흡수율 측정방법에 대비하여 어느 정도 정확성을 나타내는지 여부에 대하여 알아본다.

[0086] 실험을 위하여 골재를 사용하지 않은 시멘트 페이스트, 천연 골재를 사용한 시멘트 몰탈, 다공질 골재를 사용한 시멘트 몰탈을 배합하여 준비하였는 바, 각각의 배합표를 나타내면 하기 표 2와 같다.

표 2

골재의 종류	무계비 ¹⁾			부피비 ²⁾	
	물 ³⁾	천연 골재	다공질 골재	V_{na}/V_c	$V_{pa(solid)}/V_c$
골재사용안함 (시멘트 페이스트)	0.46			0	
	0.51			0	
	0.55			0	
천연 골재 (입도 0-5 mm)	0.590	0.510		0.606	
	0.578	1.022		1.212	
	0.568	1.532		1.817	
천연 골재 (입경 2.5-5.0 mm)	0.590	0.614		0.727	

	0.578	1.226		1.454	
천연 골재 (입도 0.6-2.5mm)	0.583	0.578		0.684	
	0.558	1.152		1.366	
천연 골재 (입도 0-0.6mm)	0.585	0.609		0.721	
	0.587	1.228		1.456	
화력발전소 바닥재 (입도 2-5mm)	0.600		0.530		0.879
	1.000		1.000		1.658
	0.6000		1.000		1.658
	0.525		0.314		0.518
	0.567		0.535		0.888
	0.622		0.663		1.098
화력발전소 바닥재 (입도 0-2mm)	0.470		0.378		0.614
	0.581		0.581		0.943
	0.572		0.766		1.244
	0.783		0.988		1.605
인공경량골재 팽창혈암	0.551		0.328		0.441
	0.677		0.496		0.666
	0.717		0.685		0.918
	0.689		0.795		1.066

[0088] 1) 무게비: 시멘트 무게 비율

[0089] 2) 부피비: 입자의 비중을 기준으로 계산

[0090] 3) 물: 배합시 투입된 물과 골재 내에 포함된 물의 합

[0091] 완전히 굳지 않은 시멘트 페이스트와 시멘트 몰탈은 배합 후에 14ml 튜브 10 ~ 12 ml 정도로 담겨졌다. 원심분리는 4000rpm의 속도(상대 원심력은 2800 ~ 3182xg)로 10분간 지속하였다. 원심분리 후에 발생한 잉여수량은 오차 0.05g 이내의 저울을 이용해 측정하였다. 잉여수량의 정확한 측정을 위하여 동일한 실험을 4 ~ 6회 반복 실시하였고, 모든 값을 평균하여 나타내었다.

[0092] 상기 표 2에 나타난 배합비를 기준으로 원심분리 이후의 시멘트 몰탈 및 페이스트의 부피를 계산하였으며, 여기서 잉여수량만큼을 뺀 값이 V_{pb} 값이 되었다. 이외에도 V_c , V_{na} , $V_{pa(solid)}$ 등의 값을 표 2의 배합표를 이용하여 측정하였다.

[0093] <시멘트 페이스트의 원심분리 결과>

[0094] 도 9는 시멘트 페이스트(골재 포함되지 않음)의 원심분리 후의 선형 회기분석 결과를 나타낸다. 도 9의 (a)에서 보듯이 시멘트 페이스트의 초기 물/시멘트 비(W/C)가 증가할수록 원심분리 후에 잉여수로 제거된 수량(Bleeding water, W_b)은 선형적으로 증가하였다. 반면, 잉여수로 제거되지 않은 수량(Non-Bleeding water, W_{nb})은 변화되지 않았다. 또한, 도 9의 (b)에서 보듯이 시멘트 페이스트의 초기 W/C 량에 관계없이 V_{pb}/V_c 값은 항상 일정하게 나타났다. 이로써, 상기 수학적 1에서 나타난 바와 같이, 시멘트의 부피가 일정할 경우에는 밀집 패킹된 시멘트 페이스트의 부피 즉 V_{pb} 는 항상 동일하다는 것이 실험적으로 검증되었다.

[0095] <시멘트 몰탈의 원심분리 결과>

[0096] 도 10은 여러 가지 골재를 사용한 시멘트 몰탈의 원심분리 후에 선형 회기분석 결과를 나타낸다. 실험 결과 다음 2 가지를 알 수 있다.

[0097] 첫째, 천연 골재에 대한 추세를 보면 V_{pb}/V_c 는 V_{na}/V_c 와 선형관계를 갖는다는 것이다. 선형 회기분석 결과 그 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다(R^2 값이 거의 0.99 이상). 특히, 도 9 및 도 10에서 나타난 바와 같이, 추

세선의 y축 절편은 시멘트 페이스트 상태일 때의 V_{pb}/V_c 와 동일하며, 그 값은 1.944로 결정된다. 따라서, 상기 수학적 식 1은 다음과 같이 표시된다.

수학적 식 9

[0098]
$$V_{pb(na)} / V_c = a (V_{na} / V_c) + 1.944$$

[0099] 위 선형 회귀분석 결과는 상기 수학적 식 1을 도출한 가정이 옳다는 것을 증명한다.

[0100] 이와 유사하게, 여러 가지 종류의 다공질 골재에 대한 추세선을 보면 V_{pb}/V_c 는 $V_{pa(solid)}/V_c$ 와도 선형관계가 성립한다. 이 또한, R^2 값이 0.99 이상으로 선형 회귀분석 결과의 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다. 천연 골재의 경우와 마찬가지로 추세선의 y축 절편을 1.944로 하면, 상기 수학적 식 6은 다음과 같이 표시된다.

수학적 식 10

[0101]
$$V_{pb(pa)} / V_c = b (V_{pa(solid)} / V_c) + 1.944$$

[0102] 둘째, 천연 골재의 경우에 V_{pb}/V_c 는 V_{na}/V_c 와의 선형관계는 골재의 입도에 영향을 크게는 받지 않는 것으로 나타났다. 이를 설명하기 위해 상기 수학적 식 9, 수학적 식 10에 따른 기울기값(a 및 b)을 선형 회귀분석을 통해 계산한 결과를 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

[0103]

골재 종류	입도	기울기 값 a, b	R^2
천연 골재	0 - 5mm	a = 1.200	0.9999
	2.5 - 5 mm	a = 1.154	0.9995
	0.6 - 2.5 mm	a = 1.193	0.9974
	0 - 0.6 mm	a = 1.164	0.9994
	모든 입도에 대해	a = 1.200	0.9998
화력발전소 바닥재	0 - 2 mm	b = 1.317	0.9935
	2 - 5 mm	b = 1.408	0.9975
인공경량골재 팽창혈압	1 - 2 mm	b = 1.759	0.9916

[0104] 천연 골재의 입도가 2.5 - 5 mm, 0.6 - 2.5 mm, 0 - 0.6 mm의 경우에 기울기값 a는 거의 동일하다. 그리고, 도 11에 도시된 바와 같이, 수학적 식 9, 수학적 식 10을 이용하여 V_{na}/V_c 또는 $V_{pa(solid)}/V_c$ 가 1.0일 때 여러 입도의 천연 골재가 함유된 시멘트 몰탈의 V_{pb}/V_c 값을 비교해 보면, 천연 골재의 입도에 관계없이 V_{pb}/V_c 값이 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 이는 천연 골재의 크기가 시멘트 입자에 비해 충분히 크기 때문에 골재의 입도가 원심분리에 의한 시멘트 페이스트 내의 고체부의 밀집 패킹에 크게 영향을 주지 않기 때문인 것으로 추측된다. 따라서, 수학적 식 9, 수학적 식 10은 골재의 입도에 관계없이 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[0105] 상기 수학적 식 8에 수학적 식 9, 수학적 식 10을 대입하면, 다공질 골재의 흡수율(A)은 다음과 같이 구해진다.

수학식 11

$$A = 100 \times \frac{f_1^{-1}(V_{pb(na)}/V_o) - f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_o)}{\rho_{pa(solid)} \times f_2^{-1}(V_{pb(pa(SSD))}/V_o)} [\%] = 100 \times \frac{b - a}{\rho_{pa(solid)} \times a} [\%]$$

[0106]

[0107]

여기서, a, b는 표 3에서 구해진 추세선의 기울기값이 된다. 결과적으로, 다공질 골재의 흡수율(A)는 원심분리 결과로 도출되는 천연 골재의 추세선의 기울기값(a)와, 다공질 골재의 추세선의 기울기값(b)과, 다공질 골재의 고체부 밀도($\rho_{pa(solid)}$)만 알면 간단히 계산이 가능하다.

[0108]

도 12는 본 발명에 따른 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 도식적으로 설명하는 그래프이다. 상기 수학식 3에 따르면, 천연 골재의 시멘트 몰탈과 다공질 골재의 시멘트 몰탈의 V_{pb}/V_c 값이 같을 경우 수학식 3, 수학식 8을 이용하여 이미 계산 가능한 V_{na}/V_c 또는 $V_{pa(solid)}/V_c$ 값을 이용하여 흡수율(A)를 계산할 수 있다. 도 12에서 y 축에서 하나의 V_{pb}/V_c 값에서 수평선을 긋는 경우 V_{na}/V_c (또는 $V_{pa(SSD)}/V_c$ 에 해당되는 추세선에서 만나는 점과 $V_{pa(solid)}/V_c$ 에 해당하는 추세선에서 만나는 점의 차이값이 V_{wpa}/V_c 값이 된다는 것을 도식적으로 알 수 있다.

[0109]

하기 표 4는 수학식 11에 표 3에서 계산된 a, b 값을 대입하여 흡수율(A)을 계산한 결과와 종래의 흡수율 측정방법에 의해 측정된 결과를 함께 나타낸다.

표 4

[0110]

골재의 종류	흡수율(A)		
	발명에	비교예(ASTM C 128)	비교예(뉴욕 교통국)
화력발전소 바닥재 (입도 0 - 2 mm)	5.03	3.5 ~ 5.5	
화력발전소 바닥재 (입도 2 - 5 mm)	9.12		9.7 ~ 12.5
인공경량골재 팽창혈암	19.82		19.6 ~ 19.9

[0111]

먼저, 종래의 뉴욕 교통국(NYDOT) 측정방법에 의해 비교적 정확하게 측정 가능하였던 인공경량골재 팽창혈암의 흡수율(19.6 ~ 19.9)과 본 발명에 따라 측정된 흡수율(19.82)을 비교해 보면 거의 동일하다는 것을 확인할 수 있다. 팽창혈암의 경우 표면에 시멘트 입자가 침투할 만한 거시 공극이 거의 없기 때문에 이론적으로 본 발명에 따른 측정방법과 뉴욕 교통국(NYDOT) 측정방법의 결과가 동일하게 나타날 것이다. 이로써, 본 발명에 따른 흡수율 측정방법은 팽창혈암에 의해 적용 가능하다는 것을 알 수 있다.

[0112]

다음으로, 화력발전소 바닥재(입도 0 - 2 mm)에 대한 흡수율 측정 결과를 보면, 종래의 ASTM C 128 측정방법으로 측정한 흡수율(3.5 ~ 5.5)보다 본 발명에 따라 측정된 흡수율(5.03)이 약간 크게 나타났다. 입자의 전단 저항각이 큰 화력발전소 바닥재의 경우 기존 ASTM C 128 측정방법에 의할 경우 표면이 건조된 후에도 흘러내지 않으며, 그 결과, 통상적으로 측정 흡수율이 실제 흡수율보다 더 낮게 나타난다는 것은 이미 상술한 바와 같다.

[0113]

마지막으로, 화력발전소 바닥재(입도 2 -5 mm)에 대한 흡수율 측정 결과를 보면, 종래의 ASTM C 128 측정방법으로는 측정이 불가능하였으나 본 발명에 따르면 측정이 가능하였다. 또한, 뉴욕 교통국(NYDOT) 측정방법으로 측정한 흡수율(A)은 9.7 ~ 12.5 인데 반해, 본 발명에 따라 측정된 흡수율은 9.12 로서 약간 작게 나타났다. 뉴욕 교통국(NYDOT) 측정방법에 따르면, 거시 공극에 있던 물이 시멘트 몰탈 내에 배출되어 통상적으로 측정 흡수율이 실제 흡수율보다 더 높게 나타난다는 것도 이미 상술한 바와 같다.

[0114]

이상에서 설명한 실험 결과를 종합해 보면, 본 발명에 따른 원심분리를 이용한 다공질 골재의 흡수율 측정방법을 사용하면, 기존의 측정방법이 측정하지 못하던 다공질 골재에 대해서도 흡수율 측정이 가능할 뿐만 아니라, 여러 가지 다공질 골재에 대하여 실제 흡수율에 더 가까운 정확한 측정치를 나타낸다.

[0115]

도 13은 표 4에 개시된 계산된 흡수율(A)을 이용하여 도 10의 $V_{pa(solid)}/V_c$ 값을 $V_{pa(SSD)}/V_c$ 로 환산하여 다시 도시한 것이다. 그 결과, 골재의 크기와 종류에 상관없이 선형적 경향성을 갖는 것을 알 수 있었으며, 이는 상기 수

학식 3을 도출한 가정이 옳은 것임을 입증한다.

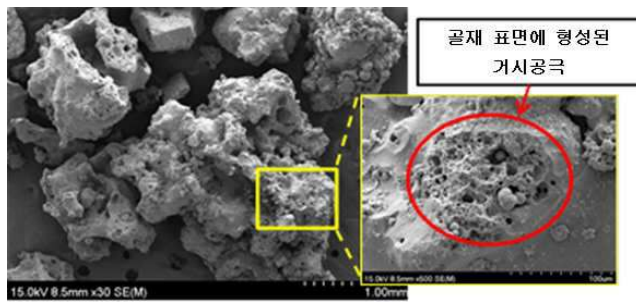
[0116] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변경이 가능함은 물론이다.

부호의 설명

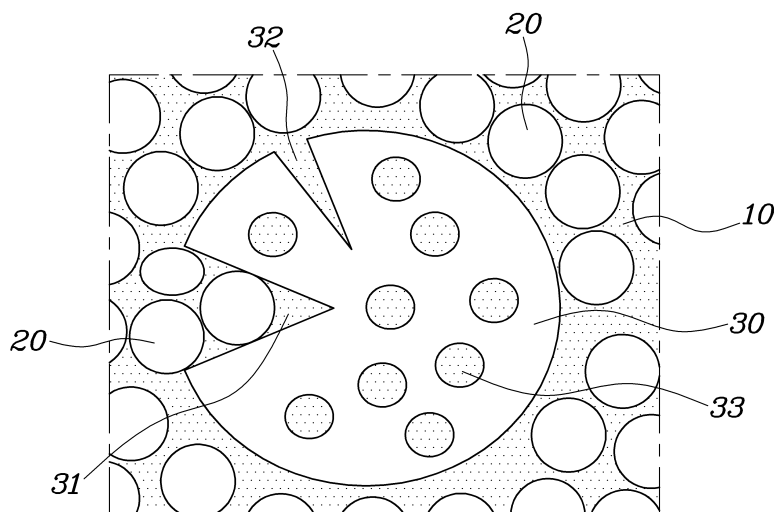
- [0117] 10: 물 20: 시멘트 입자
 30: 다공질 골재 31: 거시 공극
 32: 미세 공극 33: 내부 공극
 40: 시멘트 페이스트 50: 천연 골재
 60: 잉여수 70: 패킹된 시멘트 페이스트
 80: 다공질 골재(SSD)

도면

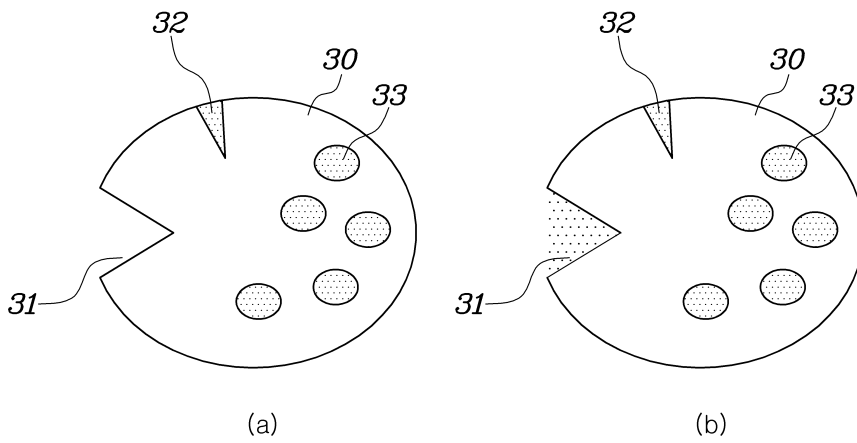
도면1



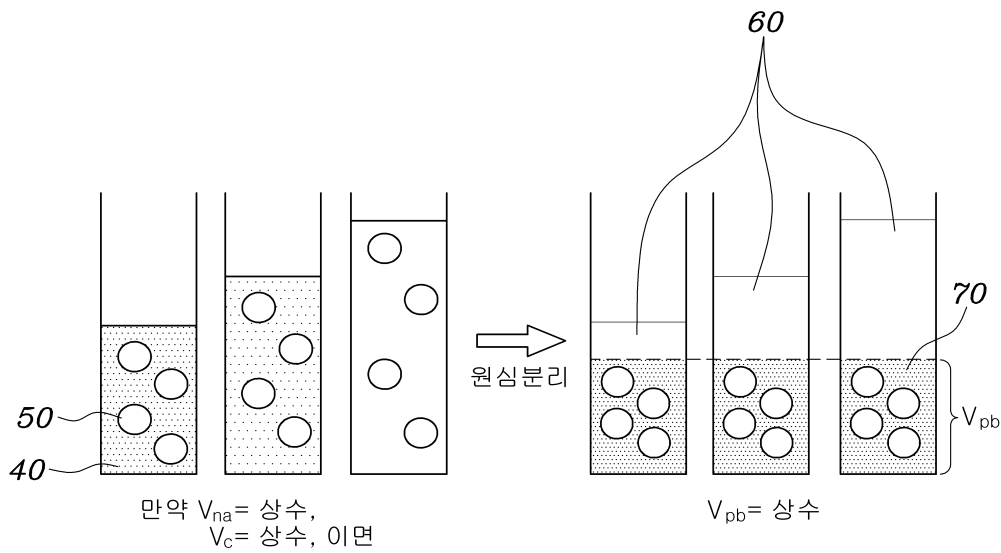
도면2



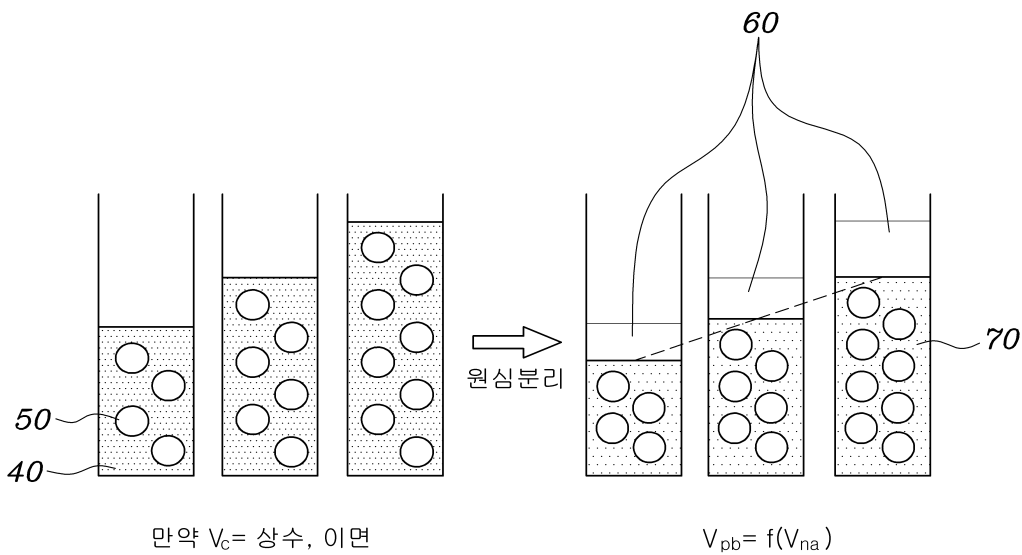
도면3



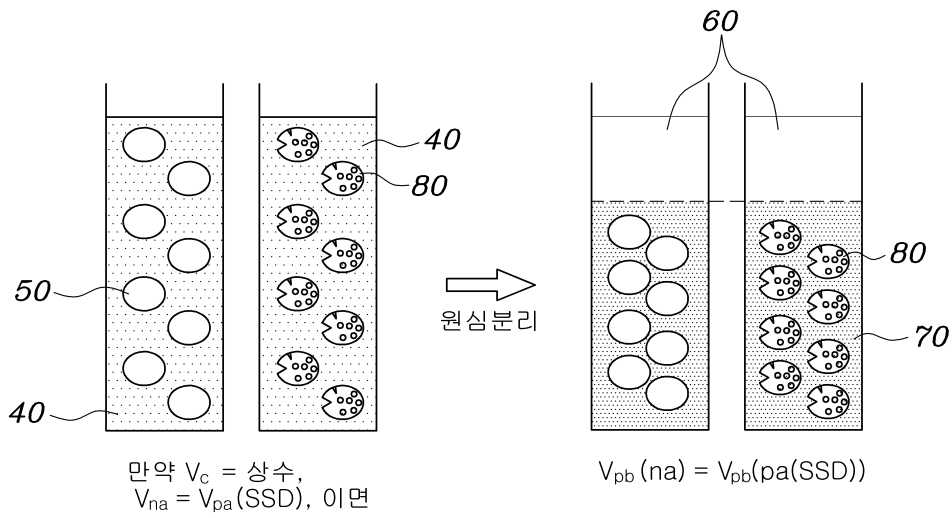
도면4



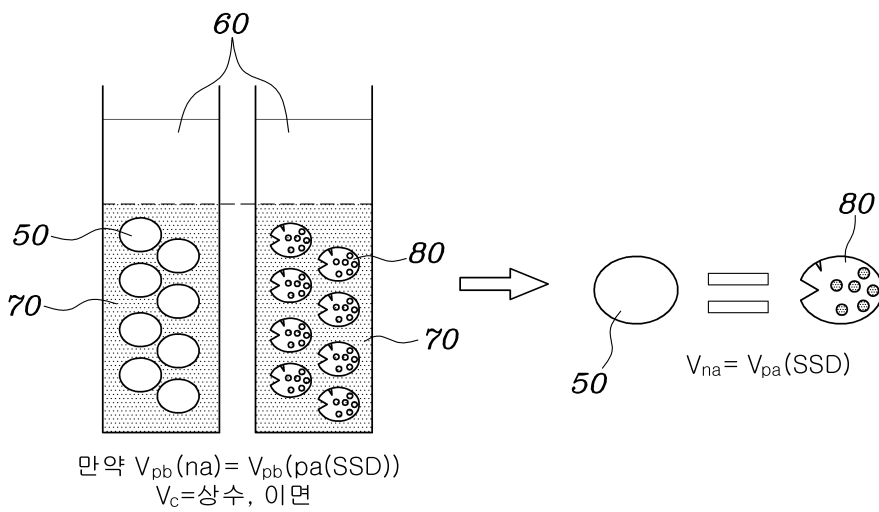
도면5



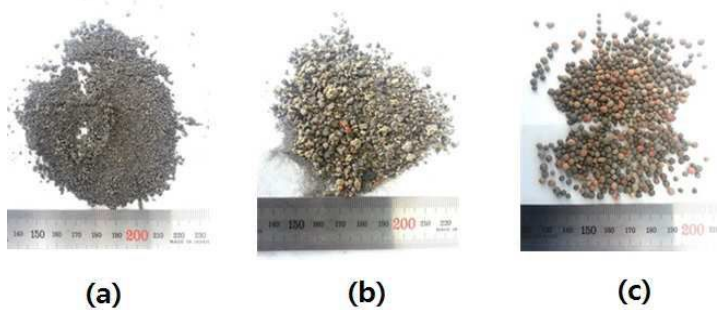
도면6



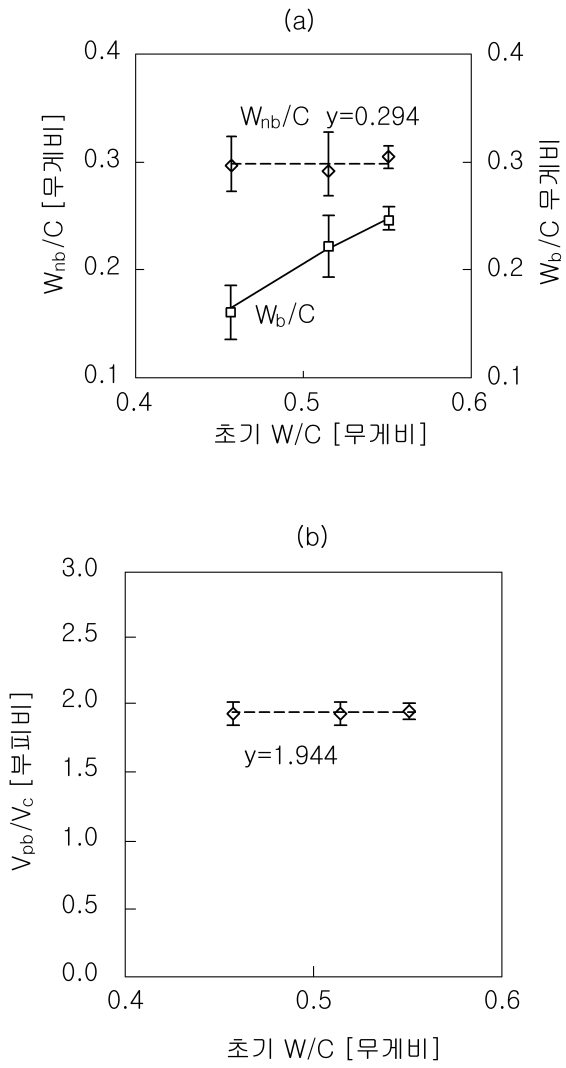
도면7



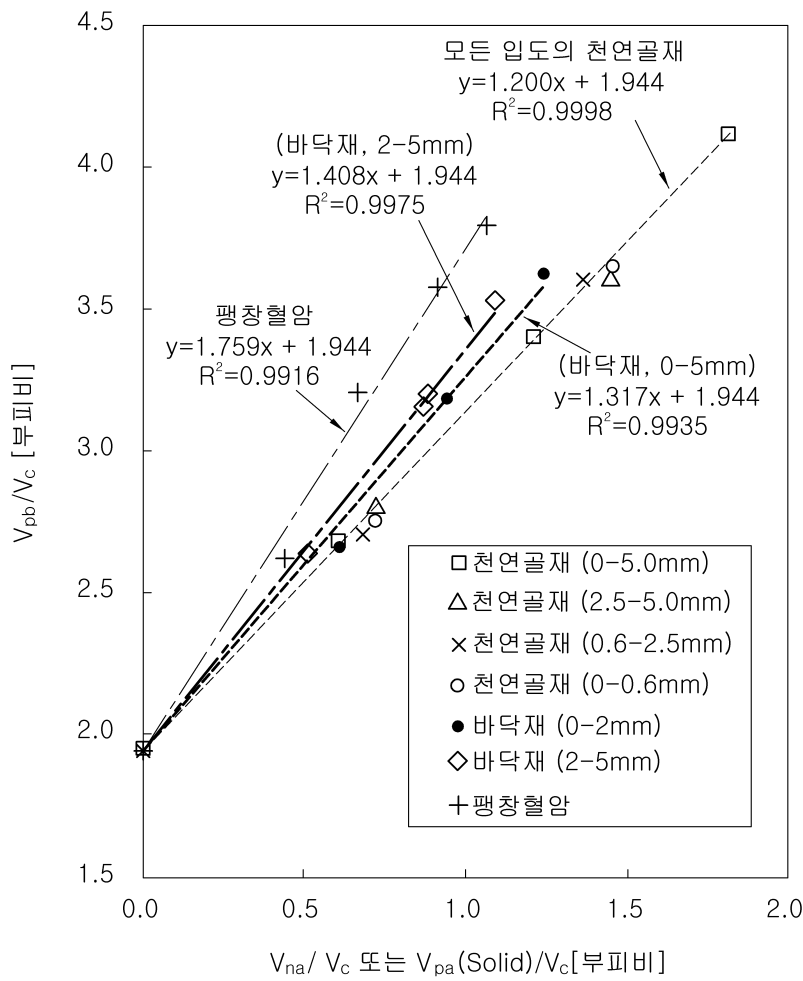
도면8



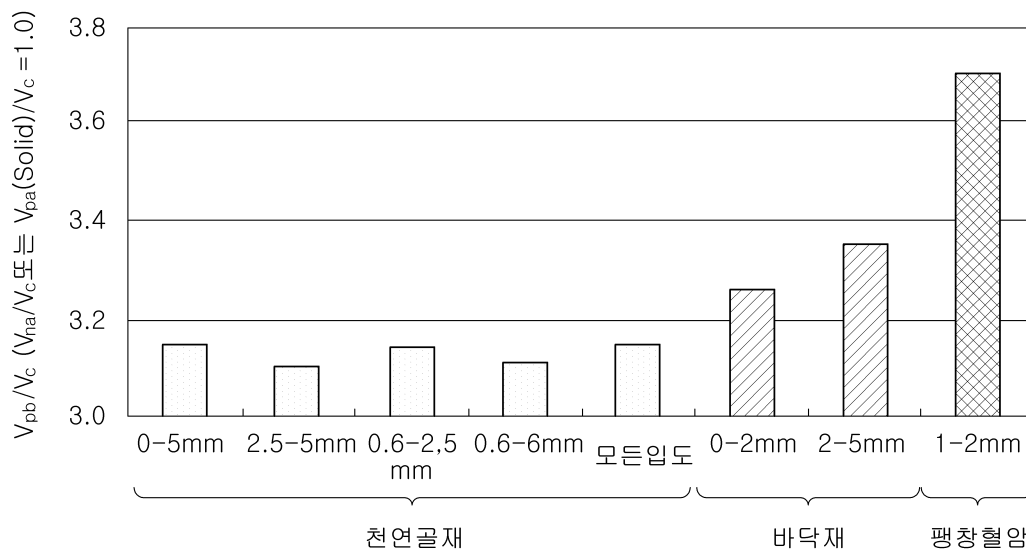
도면9



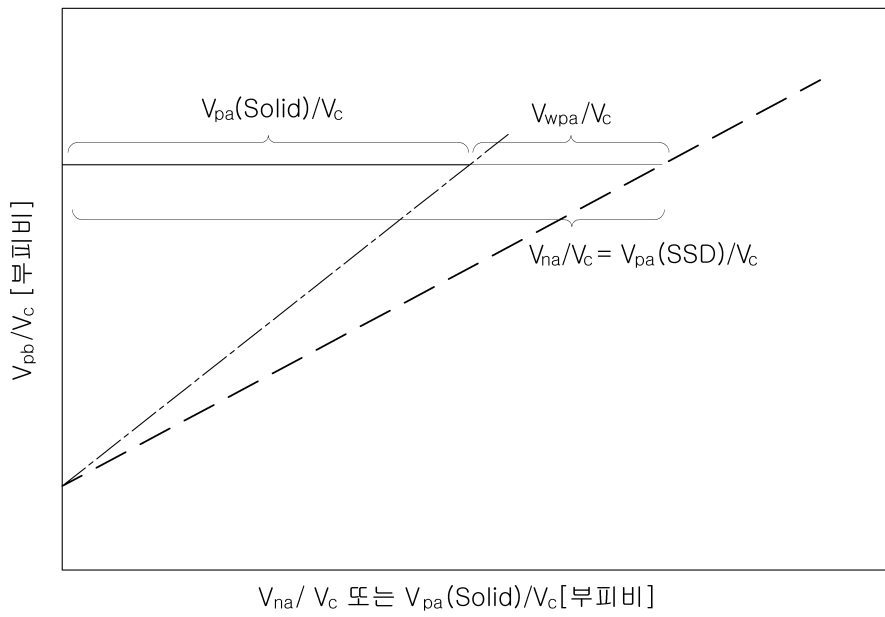
도면10



도면11



도면12



도면13

