



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년04월09일
 (11) 등록번호 10-1383646
 (24) 등록일자 2014년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C04B 18/12 (2006.01) C04B 14/22 (2006.01)
 C04B 14/28 (2006.01) C04B 38/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0059757
 (22) 출원일자 2012년06월04일
 심사청구일자 2012년06월04일
 (65) 공개번호 10-2013-0136153
 (43) 공개일자 2013년12월12일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100952225 B1
 KR101056708 B1
 KR1019880012494 A

(73) 특허권자
제주대학교 산학협력단
 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102 (아라일동, 제주대학교)
신상엽
 제주특별자치도 서귀포시 동홍중앙로66번길 36-6, 702호 (동홍동, 레노시스시티2)
조미경
 제주특별자치도 서귀포시 동홍서로 57, B동 902호 (동홍동, 아이진아파트)
 (72) 발명자
김귀식
 제주특별자치도 제주시 동화로1길 11, 103동 503호(화북일동, 화북1아파트)
김현관
 제주특별자치도 제주시 조천읍 신흥로1길 5-2 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인 충정

전체 청구항 수 : 총 7 항

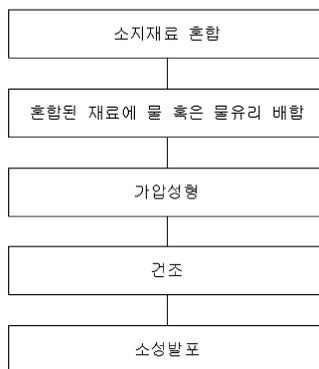
심사관 : 퇴-송종민

(54) 발명의 명칭 **현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 현무암 석분슬러지 80~100중량%, 제주점토 10~20중량%, 유리분말 50~100중량%, 탄산칼슘 5~10중량%로 배합한 소지재료를 물과 함께 혼합하여 성형체로 성형한 후, 상기 성형체를 소성발포 및 건조하여 제작하거나, 현무암 석분슬러지 100중량%와 탄화규소(SiC) 0.5~1.0중량%로 배합하고 물유리 20중량%를 넣어 혼합한 소지재료를 성형체로 성형한 후, 상기 성형체를 소성발포 및 건조하여 제작함으로써, 환경오염을 유발할 수 있는 현무암 석분슬러지를 효율적으로 이용하여 저가의 경량골재를 만들 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김충욱

제주특별자치도 서귀포시 남원읍 한신로199번길 12

조미경

제주특별자치도 서귀포시 동홍서로 57, B동 902호
(동홍동, 아이진아파트)

신상엽

제주특별자치도 서귀포시 동홍중앙로66번길 36-6,
702호 (동홍동, 레노시스시티2)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	00046642
부처명	중소기업청
연구사업명	산학연 공동기술개발사업
연구과제명	현무암 석분슬리지를 이용한 건축자재 개발
기여율	1/1
주관기관	제주대학교 산학협력단
연구기간	2011.06.01 ~ 2012.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

80~90중량%의 현무암 석분슬러지와 10~20중량%의 제주점토를 혼합한 혼합물 100중량% 기준으로, 상기 혼합물과 50~100중량%의 유리분말 및 5~10중량%의 탄산칼슘(CaCO₃)을 배합한 소지재료를 물과 함께 혼합하여 성형체로 성형한 후, 상기 성형체를 소성발포 및 건조하여 제작한 것을 특징으로 하는 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재.

청구항 2

제1항에 있어서,

물과 함께 혼합된 상기 소지재료의 함수율은 10~15중량%인 것을 특징으로 하는 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재.

청구항 3

제1항에 있어서,

물과 함께 혼합된 상기 소지재료는 승온속도를 5℃/min 이상으로 하고, 1,100~1,200℃의 소성온도에서 10~20분간을 유지한 후 냉각하는 것을 특징으로 하는 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

볼밀장치를 이용하여 석분슬러지, 제주점토, 유리분말 및 탄산칼슘(CaCO₃)을 배합하여 소지재료를 만드는 단계;

상기 소지재료에 물을 첨가하는 단계;

물이 첨가된 상기 소지재료를 성형하여 성형체를 만드는 단계;

상기 성형에 의해 일정한 형상으로 된 성형체를 건조하여 소성하는 단계; 및

건조된 상기 성형체를 고온발포하는 단계;

를 포함하여, 제1항 내지 제3항 중의 어느 한 항의 경량골재를 제조하는 것을 특징으로 하는 경량골재의 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

80~90중량%의 현무암 석분슬러지와 10~20중량%의 제주점토를 혼합한 혼합물 100중량% 기준으로, 상기 혼합물과 50~100중량%의 유리분말 및 5~10중량%의 탄산칼슘(CaCO₃)을 배합하여 소지재료를 만드는 것을 특징으로 하는 경량골재의 제조방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 소지재료에 10~15중량%의 함수율로 물을 첨가하는 것을 특징으로 하는 경량골재의 제조방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

물과 함께 혼합된 상기 소지재료는 승온속도를 5℃/min 이상으로 하고, 1,100~1,200℃의 소성온도에서 10~20 분간을 유지한 후 냉각하는 것을 특징으로 하는 경량골재의 제조방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 현무암 석분슬러지를 이용하여 토목 건축자재 등의 다양한 용도로 사용할 수 있는 경량골재 및 상기 경량골재를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 제주도에 널리 산재되어 있는 암석은 주로 현무암으로 석제가공 공장에서 원석을 채석하여 판석, 경계석 등으로 절단 및 연마한 후 도로 포장재나 건축재로 주로 이용하고 있다. 현무암은 염기성화산암에 속하고 암석학적으로 단단한 종류의 암석으로 SiO₂ 함유량이 47~52% 범위이고, 크고 작은 기공을 포함하는 다공질이 많으며 주로 회색 및 흑색의 색상을 나타낸다.

[0003] 현무암 석재 제품의 생산과정은 석산에서 채석된 5ton 크기 이상의 원석을 다이아몬드 톱이 장착된 절단기를 이용하여 제품 크기에 맞도록 절단하고, 중간 톱과 작은 톱, 연삭기 등을 이용하여 가공하는 재단과정을 거친 후 형태가 완성되면, 연마작업 및 모따기 과정을 거쳐 석제품이 완성된다.

[0004] 석재 가공과정에서 원석의 약 50% 이상이 폐석 및 석분슬러지로 발생하여 산업폐기물이 된다. 특히, 석분슬러지는 매립지 확보가 어려워져 야적되어 있는 상태가 대부분으로 분진으로 인한 대기, 토양 및 지하수오염 등의 환경문제를 유발시킨다.

[0005] 석제가공과정에서 발생하는 석분슬러지는 그 입도가 75 μ m 이하가 65%, 75~250 μ m가 34%일 정도로 미세하여, 석분슬러지만을 시멘트 등의 바인더로 고정하는 것이 어려우므로 현무암 폐 석분슬러지의 재활용에 관한 연구는 석분슬러지를 소성하여 제품을 제조하는 기술이 연구되고 있다.

[0006] 그 중 석분슬러지를 소성 발포하여 만든 다공질 경량 발포자재는 녹화, 단열, 원예, 수질정화, 건축, 토목 등 많은 용도로서 활용할 수 있으므로 순환형 사회구축에 있어서도 꼭 필요한 고부가가치를 가진 상품으로 간주되고 있다.

[0007] 다공질 경량 발포골재를 제조하기 위해서는 중요한 인자는 시료의 성질과 소성방법이므로, 먼저 시료의 화학조성이 발포범위에 있는지를 파악해야한다. 일반적으로 Riley의 발포조성범위 SiO₂ 60~70%, Al₂O₃ 15~25%, Fe₂O₃ 5~10%, CaO+MgO 0~6%, Na₂O+K₂O 3~4%를 지표로 하여, 이를 SiO₂-Al₂O₃-Flux의 3성분계 좌표로 표시하여 발포범위를 판단한다.

[0008] 한편, 다른 중요한 발포인자는 소성방법이다. 소성방법은 발포온도, 발포온도까지 도달하는 승온속도 및 온도 유지시간이 중요하다. Imani 등은 소성방법을 급열법 혹은 준급열법과 서열법으로 구분하였다. 급열법은 노내 온도가 소정의 온도에 도달했을 때 시료를 투입하고 그 온도에서 약 10분간 유지한 후 냉각하는 것이고, 준급열법은 승온속도를 10~25℃/min로 가열하여 소정의 온도에서 약 10분간 유지한 후 냉각하는 것이며, 서열법은 승온속도를 10℃/min 이하로 하여 소정의 온도에서 약 10분간 유지한 후 냉각하는 것이다. 따라서 경량 발

포골재를 제조하기 위해서는 소지재료들의 화학성분을 파악하여 시료를 조성해야 하고, 적절한 소성방법을 선정하여야 한다.

[0009] 본 출원과 유사한 목적의 연구로서는 현무암 폐석분슬러지를 소지재료로 하여 인공다포체를 제조한 대한민국 특허 제10-0952225호가 있으나, 본 출원과는 소지재료의 종류, 시료의 조성 및 소성방법 등이 다르다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-0952225호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 석재 가공과정에서 발생하는 현무암 폐석분슬러지의 재활용 방안에 관한 것으로 석분슬러지를 주재료로 점결제 및 발포제를 혼합한 후 성형건조하고 하고 소성발포하여 제조한 경량골재 및 상기 경량골재를 제조하는 방법에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해 본 발명의 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재를 제조하기 위한 방법으로서, 현무암 석분슬러지 80~100중량%, 제주점토 10~20중량%, 유리분말 50~100중량%, 탄산칼슘 5~10중량%로 배합하여 시료를 만드는 단계; 상기 시료에 흡수율이 10~15중량%이 되도록 물을 첨가하는 단계; 20MPa의 가압력에 의해 일정한 형상으로 성형하는 단계; 상기 성형체를 건조하는 단계; 및 급열법으로 발포하는 단계를 포함하여 경량골재를 제조하는 것을 특징으로 하고 있다.

[0013] 한편, 경량골재를 제조하는 다른 방법으로서, 현무암 석분슬러지 100중량%와 탄화규소(SiC) 0.5~1.0중량%로 배합하는 단계; 물유리 20중량%를 넣어 혼합하는 단계; 상기 혼합물을 20MPa의 압력으로 가압하여 일정한 형상의 성형체로 성형하는 단계; 상기 성형체를 건조하는 단계; 및 급열 혹은 서열법으로 발포하는 단계를 포함하여 경량골재를 제조하는 것을 특징으로 하고 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재는 현무암 인조석을 제조할 때 골재로 사용함으로써 무게가 가벼운 건축 및 토목자재를 제작할 수 있다. 이 외에도 다음과 같은 환경에 이롭고 경제적인 성과를 달성할 수 있다.

[0015] 즉, 환경공해를 유발할 수 있는 폐석 및 석분슬러지의 폐기비용 절감할 수 있는 효과가 있다. 인공적으로 만든 경량 인조석은 자연석 현무암의 질감에 큰 차이가 없으므로 자연석의 대체품으로 충분한 효과가 있다.

[0016] 앞으로 제주도에서 환경과피 등의 이유로 석산의 확보가 어렵게 되므로 수입 물량이 많아 질 것이나, 현무암 석분슬러지를 이용하여 현무암 자연석으로 만든 골재에 버금가는 제품을 생산할 수 있게 되므로 수입대체의 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재의 제조방법 순서도

도 2은 제주점토의 배합비에 따른 경량 발포골재의 비중과 흡수율 그래프

도 3은 제주점토의 배합비에 따른 경량 발포골재 사진

도 4는 유리분말 50wt% 일 때의 경량 발포골재의 비중과 흡수율 그래프

도 5는 유리분말 100wt% 일 때의 경량 발포골재의 비중과 흡수율 그래프

도 6은 유리분말 50wt% 일 때의 경량 발포골재의 사진

- 도 7은 유리말 100wt% 일 때의 경량 발포골재의 사진
- 도 8은 탄산칼슘 배합비에 따른 경량 발포골재의 비중과 흡수율
- 도 9는 탄산칼슘의 배합비에 따른 경량 발포골재의 사진
- 도 10은 탄화규소(SiC)의 첨가량에 따른 경량 발포골재의 사진

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 본 발명에 따른 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재 및 그 제조방법의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조로 하여 상세히 설명한다. 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다.
- [0019] 경량골재의 제조는 발포소성에 의해 가능하다. 그 기구는 소지재료의 가열에 의해 적당한 점성을 가진 용융액이 생성하고, 공존하는 가스발생 물질로부터 가스가 발생하여 용융액이 가스와 함께 팽창하여 다포체가 형성되어 급랭에 의해 고정된다.
- [0020] 따라서 경량골재를 제조하기 위해서는 원료의 화학성분의 파악이 필요하다. 일반적으로 Riley의 발포조성범위 SiO₂ 60~70%, Al₂O₃ 15~25%, Fe₂O₃ 5~10%, CaO+MgO 0~6%, Na₂O+K₂O 3~4%를 지표로 하여, 이를 SiO₂-Al₂O₃-Flux의 3성분계 좌표로 표시하여 발포범위를 판단한다.
- [0021] 아래의 표 1에 현무암 석분슬러지와 제주 점토의 화학성분을 나타내었다. 현무암 석분슬러지와 제주점토의 화학성분을 Riley의 발포조성범위를 나타내는 SiO₂-Al₂O₃-Flux의 3성분계 좌표에 표시하여 보면, 점토의 경우 발포조성범위 내에 위치하므로 소성하면 발포가 되지만, 석분슬러지는 발포조성범위 밖에 위치하므로 현무암 석분슬러지만을 가지고 발포골재를 제조할 수 없다.

표 1

화학성분	현무암석분슬러지	제주점토
SiO ₂	50.61	62.26
Al ₂ O ₃	14.35	15.55
TiO ₂	2.07	1.21
Fe ₂ O ₃	11.91	6.88
MnO	0.15	0.08
MgO	7.59	0.97
CaO	8.78	0.51
Na ₂ O	2.77	0.91
K ₂ O	0.71	1.87
P ₂ O ₅	0.28	0.08
LOI	0.56	9.33

- [0023] 따라서, Al₂O₃에 대한 SiO₂의 상대적인 비율이 높게 하고 가스발생을 많게 하는 발포제를 사용하여, 소성시 생성되는 용융액의 양을 증가시켜서 성형체 내부에서 발생하는 가스가 외부로 방출되는 것을 막아 발포가 되도록 하였다.
- [0024] SiO₂의 비율을 높게 하기 위해 유리분말을, 성형성을 양호하게 하는 점결체로서 제주점토를, 그리고 발포제로서 탄산칼슘(CaCO₃)을 선택하였다. 이들 소지재료를 혼합하기 위해서 분말형태가 아닌 제주점토와 유리는 불밀장치를 이용하여 입도 300mesh 이하의 분말로 만들었다.
- [0025] 경량골재를 제조하는 순서는 도 1에서 나타낸 것처럼 소지재료의 혼합, 성형, 건조 및 소성발포이다. 아래의 표 2에 소지재료들의 배합비를 나타낸다. B100 시험편은 현무암 석분슬러지 100중량%를 말하며, BC91은 현무암 석분슬러지 90중량%와 제주점토 10중량%가 혼합된 시험편임을 나타낸다. 현무암 석분슬러지와 제주점토의 혼합물

을 100중량%로 정한 후 이를 기준으로 유리분말과 탄산칼슘(CaCO₃)을 첨가하였다.

표 2

[0026]

시험편	석분슬러지	제주점토	유리분말	탄산칼슘
B100	100%	0%	100%	5%
BC91	90%	10%	50%, 100%	0%, 5%, 10%
BC82	80%	20%	100%	5%

[0027]

성형은 소지재료를 혼합한 후 함수율 10중량%가 되도록 물을 가하여 폐석분 성형기를 이용하여 성형하였다. 10중량%의 함수율은 재료를 손으로 쥐었을 때 재료의 형상이 유지되는 정도로써, 함수율이 15중량%를 넘어갈 경우 가압과정에서 문제가 생기고, 함수율 10중량% 이하에서는 재료 사이의 결합이 제대로 이루어지지 않았다.

[0028]

성형에 이용한 석분 성형기는 유압식으로 작동하며, 20MPa의 가압력으로 성형하였고, 성형체의 건조는 전기로를 이용하여 100℃에서 12시간하였다. 소성방법은 급열법으로 소성온도는 1100℃, 1150℃ 및 1200℃에서, 유지시간은 15분으로 행하였다.

[0029]

도 2에 점토의 첨가량에 따른 경량골재의 비중 및 흡수율을 나타내었다. 모든 배합비에서 물에 뜨는 경량골재를 제조할 수 있었지만 BC91 시험편의 경우가 가장 우수하였다. 현무암 석분슬러지 100중량%인 B100 시험편의 경우 BC91 시험편보다 비중이 크고, 반대로 BC82 시험편보다 작다. 이는 도 3에 나타난 점토의 첨가량에 따른 발포골재의 단면을 통해서도 알 수 있다. BC91 시험편의 경우가 다른 시험편에 비하여 기공의 크기가 더 큼을 알 수 있고, B100, BC82 순으로 기공의 크기가 감소함을 확인할 수 있다.

[0030]

다음으로, 유리분말의 첨가량이 발포골재의 제조에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 현무암 석분슬러지 90중량%, 제주점토 10중량%, 탄산칼슘(CaCO₃)을 5중량%로 고정하고, 유리분말의 양을 배합물의 50중량%와 100중량%의 경우에 대하여 소성온도 1,100, 1150 및 1200℃로, 유지시간을 15분간 급열법으로 소성을 하였다.

[0031]

도 4와 5에 유리분말의 첨가량에 따른 발포골재의 비중 및 흡수율을 나타내고, 도 6과 7에 발포골재의 형상을 나타내었다. 유리분말 첨가량이 100중량%, 소성온도 1,150℃에서 가장 우수한 결과를 나타내었고, 동일한 소성온도일지라도 유리분말의 첨가량이 많음에 따라 시험편의 표면에 더 많은 용융상이 형성되어짐을 알 수 있다.

[0032]

그리고, 탄산칼슘의 첨가량이 발포골재의 제조에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 현무암 석분슬러지 90중량%, 제주점토 10중량%, 유리분말 100중량%로 고정하고 탄산칼슘(CaCO₃)을 5중량%와 10중량% 첨가한 경우 소성온도 1,150℃, 유지시간 15분간, 급열법으로 소성을 하여 발포골재를 제조하였다.

[0033]

도 8에 탄산칼슘 첨가량에 따른 비중과 흡수율을, 도 9에 탄산칼슘의 첨가량에 따른 경량 발포골재 형상 및 단면을 나타내었다. 탄산칼슘의 첨가량이 증가함에 따라 과도한 용융상이 형성하여 소성 수축력을 증가시키므로 치밀화되어 흡수율은 감소하게 된다. 그러나 소성 수축력의 증가로 인하여 압축강도는 증가될 것이라 판단되어진다.

[0034]

한편, 발포공정의 개선을 위하여 본 발명에서 검토한 발포방법을 아래의 표 3에 나타낸다.

표 3

[0035]

방법	주 재료	SiO ₂ 보충제	발포조제	결합제	성형	소성방법	결과
1	석분슬러지	유리분말	탄산칼슘	제주점토	물	급열법	발포
2	석분슬러지	유리분말	탄화규소	제주점토	물	급열법	과다발포
3	석분슬러지	물유리	탄산칼슘			서열법	소성
4	석분슬러지	물유리	탄화규소			서열법	발포

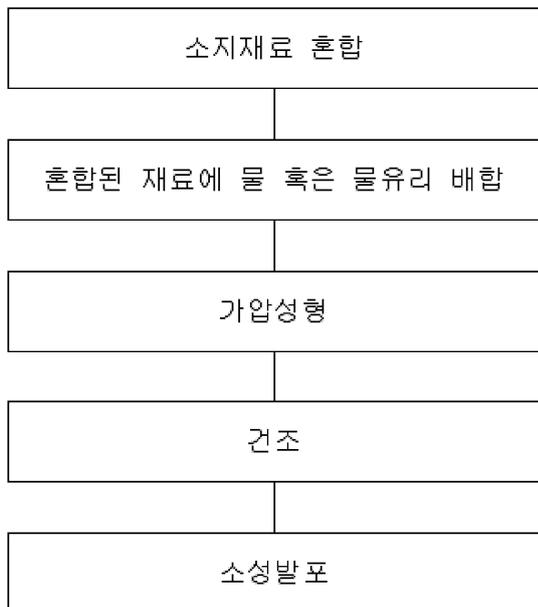
[0036]

방법 1에 대하여는 앞 절에서 설명한 것처럼 발포골재를 제조할 수 있지만 복잡한 제조공정을 거쳐야 된다. 소지재료들을 혼합하기 위해서 모든 재료들이 분말이어야 하므로, 제주점토를 분쇄하여 분말을 만들고, 또 유리를 분쇄한 후 분말로 만들어서 이들 및 석분슬러지와 탄산칼슘을 볼밀장치로 균일하게 혼합하여야 한다. 그리고 성형을 한 후 성형체를 급열하는데, 이는 1,150℃의 고온에서 가마의 문을 열고 성형물을 투입하여야 하므로 방화복을 착용하고 작업을 하여야 하는 어려움이 많았다.

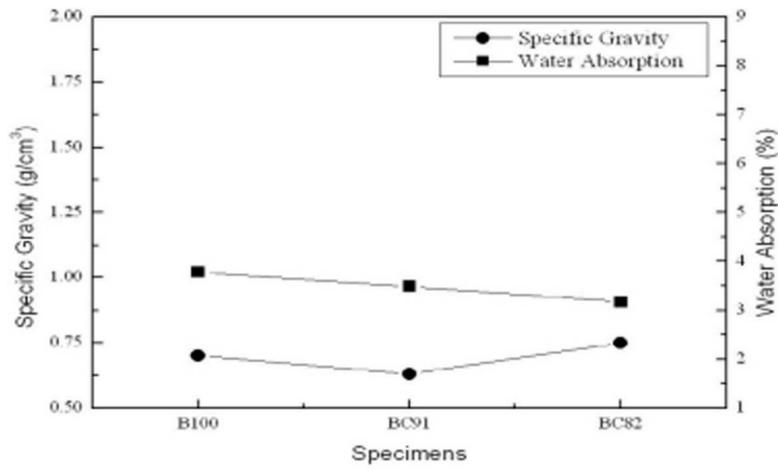
- [0037] 따라서 이 방법을 현장에서 적용하기에는 약간의 어려움이 있으므로 SiO₂의 보충과 결합제로서 물유리를 사용하고 서열법으로 소성을 하였다.
- [0038] 상기한 표 4의 방법 2에서 나타낸 바와 같이, 방법 1에서 발포제를 탄산칼슘 대신 탄화규소로 대체하여 발포한 결과 슬럼프 및 발포가 과다하게 발생하여 압축강도 등에 문제가 있었다. 그러나 발포조제로서 탄화규소가 탄산칼슘보다 발포성능이 우수함을 알 수 있었다.
- [0039] 방법 3에서 SiO₂의 보충과 결합제로서 물유리를 사용하고, 발포제로서 탄산칼슘을 사용하여 일반소성을 한 경우 발포가 되지 않았다. 방법 4에서 발포제로 탄화규소(SiC)를 사용하여 석분슬러지와 물유리와 혼합 성형한 후 서열법으로 소성하여 발포골재를 제조할 수 있었다. 이에 방법 4를 기준으로 하여 발포골재를 제조하는 것으로 하였다.
- [0040] 석분슬러지 1400g을 100중량%로 하여 물유리 20중량%, 탄화규소 0.5중량%를 배합한 경우와 탄화규소 1.0중량%를 혼합한 경우에 대하여 경량 발포골재를 제조하는 것으로 하였다. 소지재료의 혼합은 석분슬러지와 탄화규소를 볼밀장치로 1시간 30분 정도 혼합한 후 물유리를 첨가하였다. 물유리를 20중량%를 첨가한 경우가 성형성이 가장 우수하였다.
- [0041] 20MPa의 압력으로 가압 성형한 후 100℃에서 3시간 동안 건조하고, 승온속도 5℃/min의 서열법으로 1,150℃의 소성온도에서 15분간을 유지하여 소성발포를 하였다.
- [0042] 이렇게 제작한 탄화규소를 0.5중량%와 1.0중량%를 배합한 경우의 발포골재를 도 10에 나타내었다. 질감은 자연석과 유사하며, 색감은 자연석보다 양호하다. 탄화규소를 0.5wt.% 배합한 경우의 압축강도는 평균 35MPa, 비중은 평균 1.84, 흡수율은 3.4%이었으며, 탄화규소를 1.0wt.% 배합한 경우의 압축강도는 평균 29MPa, 비중은 평균 1.83g/cm³, 흡수율은 평균 5.7%이었다.
- [0043] 이상과 같이 본 발명에 따른 현무암 석분슬러지를 이용한 경량골재 및 그 제조방법에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 당업자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 물론이다.

도면

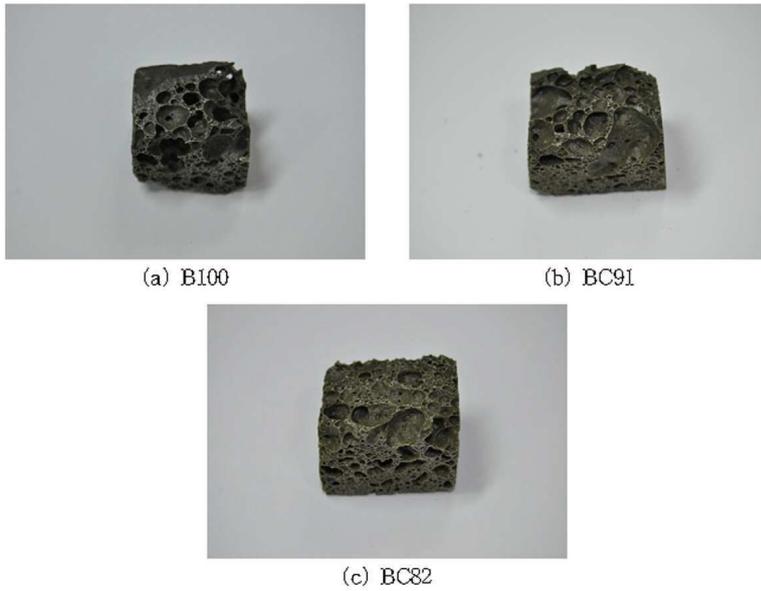
도면1



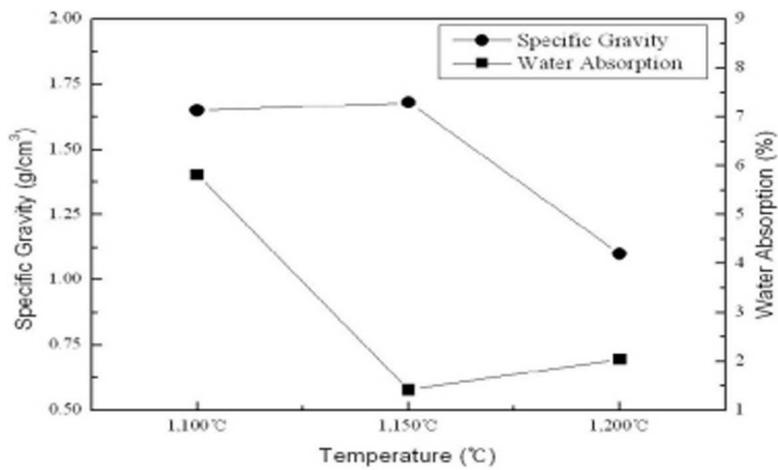
도면2



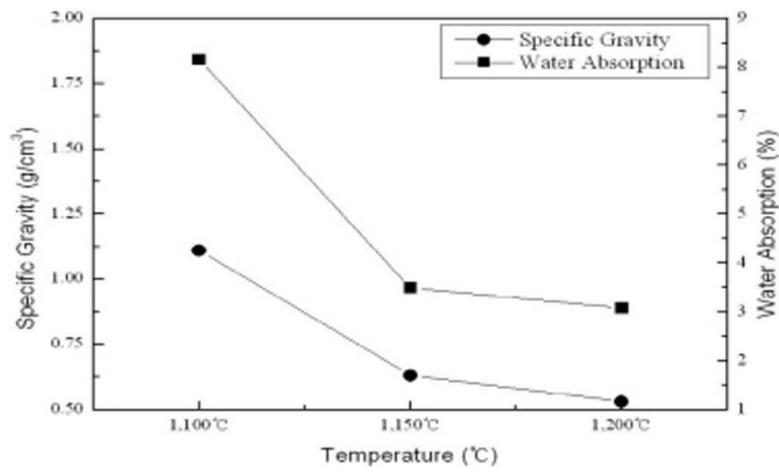
도면3



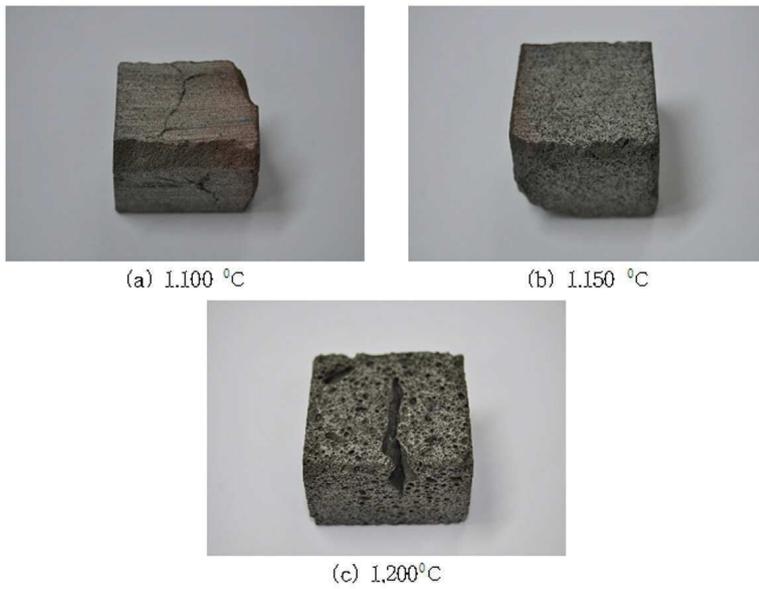
도면4



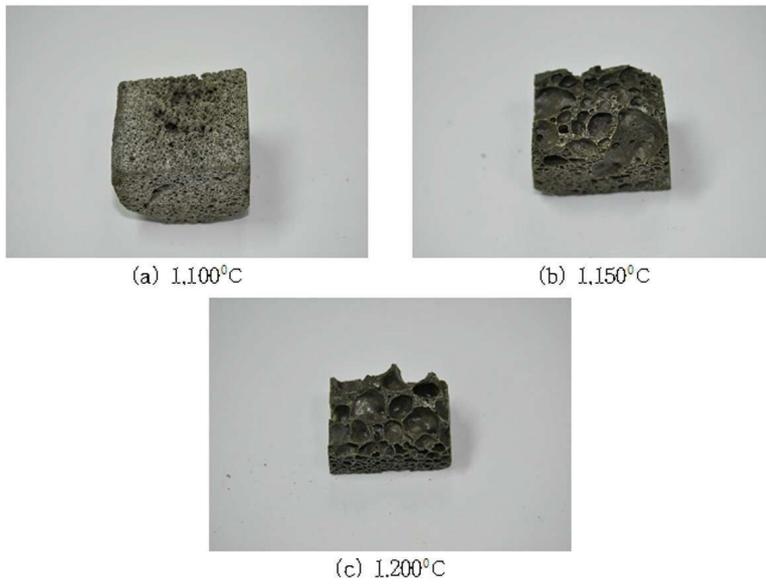
도면5



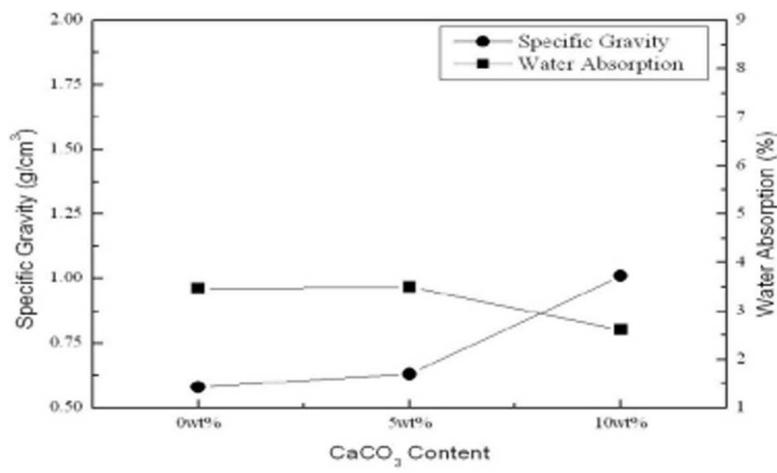
도면6



도면7



도면8



도면9



(a) 0%



(b) 5%



(c) 10%

도면10



(a) 탄화규소 0.5%



(b) 탄화규소 1.0%