



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0063136
(43) 공개일자 2019년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C04B 18/06 (2006.01) B28B 1/04 (2006.01)
C04B 18/08 (2006.01) C04B 20/00 (2006.01)
C04B 28/04 (2006.01) C04B 103/32 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C04B 18/06 (2013.01)
B28B 1/045 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0162006

(22) 출원일자 2017년11월29일

심사청구일자 2017년11월29일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

한국동서발전(주)

울산광역시 중구 종가로 395(북정동)

(72) 발명자

김재홍

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

윤진영

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

유미특허법인

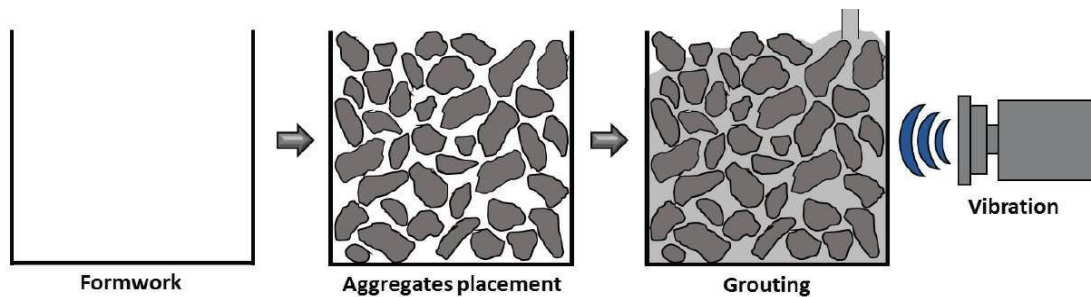
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 바텀애시골재 콘크리트의 조성물 및 제조 방법

(57) 요약

콘크리트 조성물 및 콘크리트 구조물의 제조 방법에 관한 것으로, 바텀 애시를 준비하는 단계; 상기 준비된 바텀 애시를 거푸집에 채우는 단계; 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계; 및 그라우트가 주입된 콘크리트 조성물을 건조 및 양생하는 단계;를 포함하는 콘크리트 구조물의 제조 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C04B 18/08 (2013.01)

C04B 20/0076 (2013.01)

C04B 28/04 (2013.01)

C04B 2103/32 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

바텀 애시 및 그라우트를 포함하고,
상기 바텀 애시의 입도는 2.5 내지 10 mm인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 그라우트는 골재, 물 및 바인더를 포함하고,
바인더에 대한 물의 중량비율(물/바인더) 0.3 내지 0.5인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 그라우트 내 골재는 플라이 애시를 포함하고, 골재 100중량%에 대해 플라이 애시의 함량은 0중량% 초과 및 60중량% 미만인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 그라우트는 유동성 첨가제를 포함하는 것인 콘크리트 조성물.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 유동성 첨가제는 PCE(polycarboxylated bated superplasticizer)인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 바텀 애시의 24 시간 수분 흡수율은 15 내지 30%인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 바텀 애시의 밀도는 800 내지 900 kg/m³인 것인 콘크리트 조성물.

청구항 8

바텀 애시를 준비하는 단계;
 상기 준비된 바텀 애시를 거푸집에 채우는 단계;
 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계; 및
 그라우트가 주입된 콘크리트 조성물을 건조 및 양생하는 단계;
 를 포함하는 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
 상기 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계;에서,
 상기 그라우트를 거푸집 상부에서 주입하여 그라우트의 자중에 의해 거푸집 상부에서 하부로 내려가며 상기 골재 사이 공간을 채우고,
 이때 상기 거푸집 외부에 진동다짐을 가하는 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,
 상기 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계;에서,
 상기 그라우트를 거푸집 하부로 주입하여 거푸집의 하부부터 그라우트가 채워지는 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,
 상기 바텀 애시의 입도는 2.5 내지 10 mm인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,
 상기 그라우트는 골재, 물 및 바인더를 포함하고,
 바인더에 대한 물의 중량비율(물/바인더) 0.3 내지 0.5인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,
 상기 그라우트 내 골재는 플라이 애시를 포함하고, 골재 100중량%에 대해 플라이 애시의 함량은 0중량% 초과 및 60중량% 미만인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 그라우트는 유동성 첨가제를 포함하는 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 유동성 첨가제는 PCE(polycarboxylated bated superplasticizer)인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 16

제10항에 있어서,

상기 바텀 애시의 24 시간 수분 흡수율은 15 내지 30%인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

청구항 17

제10항에 있어서,

상기 바텀 애시의 밀도는 800 내지 900 kg/m³인 것인 콘크리트 구조물의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 콘크리트 조성물 및 콘크리트 구조물의 제조 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 바텀애시골재 콘크리트의 조성물 및 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 국내 전력생산량이 증가함에 따라 석탄 연료 사용이 크게 증가하였고, 이에 따른 석탄회 발생량도 증가하고 있는 추세이다. 석탄회는 포집되는 장소에 따라 플라이 애시, 바텀 애시, 신더 애시 등으로 분류되며, 일부 재활용이 되는 플라이 애시와 달리 석탄회의 20%를 차지하는 바텀 애시는 전량 매립되고 있다. 향후 매립지 포화 및 환경오염 문제를 해결하기 위해 바텀 애시를 건설재료로 재활용하기 위한 기술개발이 필요한 실정이다.

[0004] 바텀 애시는 내부에 공극이 많아 밀도가 낮고 입도가 콘크리트용 굵은 골재와 유사한 특징을 가지지만, 흡수율이 높고 물성이 열악하여 콘크리트의 일정한 품질 유지와 품질 관리가 어려워 사용이 제한되는 실정이다. 특히 콘크리트를 배합하는 과정에서 믹싱이나 진동 다짐 작업 중 바텀 애시 골재의 낮은 강도로 인해 바텀 애시 골재가 파괴될 수 있는데, 이때 파괴된 골재 내부에 있던 물이 빠져 나와 블리딩을 일으킬 수 있고, 건조된 바텀 애시 골재를 사용할 경우 시간에 따라 골재가 콘크리트의 물을 흡수하여 콘크리트의 유동성을 떨어뜨리는 요인이 되기도 한다. 따라서, 이러한 문제로 인하여 현재 바텀 애시 골재를 건설재료로 활용하는데 어려움이 있다.

[0005] 바텀 애시 골재의 열악한 물성을 고려하여 배합 중 발생하는 골재 파쇄 문제를 해결하고, 콘크리트의 품질 유지 및 품질 관리가 가능한 새로운 시공방법이 요구되는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 바텀애시 골재를 이용한 콘크리트 구조물의 시공 방법에 관한 것으로, 기존에 전량 매립되던 바텀애시를 건설재료로 활용하고자 한다. 더욱 상세하게는 바텀애시 콘크리트의 품질관리 및 성능시험을 수행하고, 이

를 바탕으로 적합한 배합비를 선정하여 프리캐스트 제품을 제작하여 향후 다양한 건설현장에 적용할 수 있도록 한다.

- [0008] 보다 구체적으로, 바텀애시 골재의 배합 중 파쇄문제를 해결하고, 콘크리트의 품질 유지 및 관리가 가능한 새로운 시공방법을 제시하고자 한다. 또한 바텀애시 콘크리트의 최적 배합비를 선정하여 프리캐스트 제품을 제작하여 실제 건설현장에 적용하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 구현예에서는, 바텀 애시 및 그라우트를 포함하고, 상기 바텀 애시의 입도는 2.5 내지 10 mm인 것인 콘크리트 조성물을 제공한다. 이러한 적정 범위의 입도를 선택하여야 바텀 애시의 공극률 및 밀도가 콘크리트 제조를 위해 적절한 범위 내에 있을 수 있다. 이에 대한 구체적인 설명은 실시예에서 하도록 한다.
- [0011] 상기 그라우트는 골재, 물 및 바인더를 포함하고, 바인더에 대한 물의 중량비율(물/바인더) 0.3 내지 0.5일 수 있다. 이는 그라우트의 유동적인 부분을 고려한 범위이다. 바텀 애시를 사용할 경우 이러한 범위 내에서 적절히 조절될 수 있다.
- [0012] 상기 그라우트 내 골재는 플라이 애시를 포함하고, 골재 100중량%에 대해 플라이 애시의 함량은 0중량% 초과 및 60중량% 미만일 수 있다. 플라이 애시의 사용으로 경제성을 확보할 수 있으나, 일정 수준을 초과하게 되면 강도에 문제가 될 수 있다. 이 부분에 대한 설명은 실시예 부분에서 후술하도록 한다.
- [0013] 상기 그라우트는 유동성 첨가제를 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 유동성 첨가제는 PCE(polycarboxylated bated superplasticizer)일 수 있다. 다만, 이는 일 예시일 뿐 당업에게서 사용되는 다양한 물질이 사용될 수 있다.
- [0015] 상기 바텀 애시의 24 시간 수분 흡수율은 15 내지 30%일 수 있다. 또한, 상기 바텀 애시의 밀도는 800 내지 900 kg/m³일 수 있다. 전술한 바텀 애시의 입도와 함께 콘크리트 제조를 위해 전술한 범위 내에서 각각의 스펙이 제어될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 일 구현예에서는, 바텀 애시를 준비하는 단계; 상기 준비된 바텀 애시를 거푸집에 채우는 단계; 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계; 및 그라우트가 주입된 콘크리트 조성물을 건조 및 양생하는 단계;를 포함하는 콘크리트 구조물의 제조 방법을 제공한다.
- [0017] 상기 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계;에서, 상기 그라우트를 거푸집 상부에서 주입하여 그라우트의 자중에 의해 거푸집 상부에서 하부로 내려가며 상기 골재 사이 공간을 채우고, 이때 상기 거푸집 외부에 진동다짐을 가할 수 있다.
- [0018] 상기 그라우트를 상기 바텀 애시가 채워진 거푸집에 주입하는 단계;에서, 상기 그라우트를 거푸집 하부로 주입하여 거푸집의 하부부터 그라우트가 채워질 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 구현예에 따른 콘크리트 구조물의 제조 방법에서는 전술한 본 발명의 일 구현예에 따른 콘크리트 조성물이 사용될 수 있으며, 이에 대한 설명은 생략하도록 한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명에 따른 바텀 애시 골재를 이용한 콘크리트 구조물의 시공방법을 적용하게 되면, 바텀 애시 골재의 열악한 물성에 따른 골재 파쇄 문제와 높은 흡수율에 따른 콘크리트 유동성 감소 문제가 모두 해소되는 효과를 기대할 수 있다.
- [0022] 또한 바텀 애시 콘크리트를 프리캐스트 제품에 적용함으로써 바텀 애시를 건설재료로 재활용할 수 있는 친환경 사업 기술을 개발할 수 있다.
- [0023] 또한 콘크리트 구조물의 특수성과 극지방 및 해상과 같이 운용하는 시공 장비에 대한 제약 및 현지 시공이 어려운 곳에 대한 작업 여건을 고려할 때 시공 및 작업의 용이함을 제공받는 효과를 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 콘크리트 구조물의 시공 방법의 개략도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 바텀 애시의 입도-부피 분포 결과이다.
- 도 3은 BA1과 BA2의 형상 및 단면 사진이다.
- 도 4는 BA1과 BA2 미세 구조 사진이다.
- 도 5는 BA1, BA1과 BA2의 흡수율이 매우 비슷한 경량 골재(LWA) 및 일반 골재 (NWA)의 수분 흡수 특성을 평가한 결과이다.
- 도 6은, 그라우트 혼합물의 미니 슬럼프 유동 시험 결과이다.
- 도 7은 그라우트 혼합물의 플라이 애시 함량에 따른 특성 분석 결과이다.
- 도 8은, G50F40으로 BA1 및 BA2 콘크리트 구조물의 단면을 보여준다.
- 도 9는 7 일과 28 일간의 경화 후 플라이 애시를 함유한 그라우트 혼합물의 압축 강도를 보여준다.
- 도 10은 바텀 애시 콘크리트 구조물의 압축 강도의 변화를 측정한 결과이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 바텀 애시 콘크리트 구조물의 단면 사진이다.
- 도 12는, G40-F50의 바텀 애시 콘크리트 구조물의 단면이다.
- 도 13은 본 발명의 일 구현예의 방법으로 시공된 콘크리트의 공시체를 보여주는 사진이다.
- 도 14는 본 발명의 일 구현예의 방법으로 시공된 콘크리트 시편의 단면을 보여주는 사진이다.
- 도 15는 본 발명의 일 구현예의 방법으로 시공된 바텀 애시 콘크리트를 사용해 제작된 블록을 보여주는 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하, 본 발명의 구현예를 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이는 예시로서 제시되는 것으로, 이에 의해 본 발명이 제한되지는 않으며 본 발명은 후술할 청구범위의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0027]
- [0028] 구체적인 예를 들어, 본 발명에서 제시하고 있는 바텀 애시를 이용한 구조물의 시공 방법은, 먼저 화력발전소에서 파쇄되어 생산된 바텀애시 골재의 입도를 선정하고 선택된 바텀애시 골재를 거푸집 내에 채우게 된다.
- [0029] 위의 단계를 수행하여 바텀 애시를 거푸집에 채운 후 그라우트를 거푸집에 주입하는 단계를 수행하게 된다. 즉 그라우트를 거푸집에 주입하여 바텀애시 골재 간 공간을 그라우트가 채우는 형태이다.
- [0030] 위와 같이 그라우트를 거푸집에 주입하게 될 때, 두 가지 방법 중 어느 하나의 방법을 선택하게 되며, 여기서 선택된 방법으로 그라우트를 거푸집에 주입하게 된다.
- [0031] 첫 번째 방법은, 그라우트를 바텀애시 골재 상부에 붓고 그라우트의 자중에 의해 거푸집 상부에서 하부로 내려가며 골재 사이 공간을 채우는 방법이다. 이때 그라우트의 채움성능을 향상시키기 위해 거푸집 외부에 진동다짐을 가할 수 있다. 두 번째 방법은 주입호스를 거푸집 바닥에 두고 주입펌프를 이용해 거푸집 바닥부터 수위를 높여가며 그라우트를 채우는 타입이다.
- [0032] 위와 같은 시공 방법을 적용하게 되면, 거푸집에 바텀애시 골재를 미리 채운 후 그라우트를 주입하기 때문에, 물성이 열악한 바텀애시 골재가 파쇄되는 것을 방지할 수 있고, 사전에 배합된 일반 콘크리트와 달리 그라우트의 유동성능에 의해서 콘크리트의 채움 성능이 결정되는 것이므로 시간에 따른 바텀애시 콘크리트의 유동 특성에 변화가 거의 없다.
- [0033] 이후 건조 및 양생하든 단계에서는 일반적인 콘크리트의 건조 방법과 동일하게 일정기간 양생을 적용하여 시공을 완료하게 된다.

- [0034] 제작된 바텀애시 콘크리트에 대한 품질관리 및 성능시험 단계에서는 콘크리트 공시체의 단면을 절단하여 그라우트의 채움성능을 평가하고, 성능시험을 위해 재령 28일 시편에 대한 압축강도 시험을 수행하게 된다. 이때 바텀애시 콘크리트의 채움 성능 및 압축강도 결과를 바탕으로 최적 배합비를 선정하게 된다.
- [0035] 상기 바텀 애시 콘크리트의 성능시험 결과를 바탕으로 최종적으로 프리캐스트 제품의 시방서 기준에 맞춰 적합한 제품을 생산할 수 있다.
- [0036] 대표적인 프리캐스트 제품인 콘크리트 호안 및 옹벽블록의 경우 요구되는 블록(50 mm 정육면체 시편)의 압축강도 기준이 1종 19.0 MPa 이상, 2종 22.0 MPa 이상으로 바텀애시 콘크리트 제작 시 모두 충족할 수 있는 것을 확인하였다.
- [0037] 결론적으로, 본 발명의 바텀애시 골재를 이용한 콘크리트 구조물의 시공 방법은 바텀애시 콘크리트에서 가장 큰 문제로 제기 되었던 바텀애시 골재 파쇄 문제 및 흡수율에 따른 배경기술의 제반 문제를 모두 해소할 수 있게 된다.
- [0038] 특히, 바텀애시 골재를 옹벽블록과 같은 프리캐스트 제품으로 활용하여 기존에 전량 매립되었던 바텀애시를 재 활용하여 매립지 포화 문제, 환경오염 등과 같은 문제를 해소할 수 있게 된다.
- [0040] 이하 본 발명의 바람직한 실시예 및 비교예를 기재한다. 그러나 하기 실시예는 본 발명의 바람직한 일 실시예일 뿐 본 발명이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0042] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 콘크리트 구조물의 시공 방법의 개략도이다.
- [0043] 먼저, 골재(바텀애시)를 거푸집에 넣은 다음, 상기 골재 사이를 그라우트로 채울 수 있다. 이때, 거푸집 외부에 진동을 가하여 주입성을 향상시킬 수 있다.
- [0044] 도 1에 도시되지 않은 예로, 주입호스를 거푸집 바닥에 두고 주입펌프를 이용해 거푸집 바닥부터 수위를 높여가며 그라우트를 채우는 방법도 활용될 수 있다.
- [0045] 위와 같은 시공 방법을 적용하게 되면, 거푸집에 바텀애시 골재를 미리 채운 후 그라우트를 주입하기 때문에, 물성이 열악한 바텀애시 골재가 파쇄되는 것을 방지할 수 있고, 사전에 배합된 일반 콘크리트와 달리 그라우트의 유동성능에 의해서 콘크리트의 채움 성능이 결정되는 것이므로 시간에 따른 바텀애시 콘크리트의 유동 특성에 변화가 거의 없다.
- [0047] **실시예**
- [0048] **사용한 재료**
- [0049] 그라우트의 제조시에는 상업적으로 입수할 수 있는 일반 포틀랜드 시멘트 및 클래스 F 플라이 애시(fly ash)가 사용되었다.
- [0050] 시멘트는 $3,130 \text{ kg/m}^3$ 의 밀도와 $366 \text{ m}^2/\text{kg}$ 의 분말도(Blaine fineness)를 가지고 있다.
- [0051] 플라이 애시는 $2,240 \text{ kg/m}^3$ 의 밀도와 $362 \text{ m}^2/\text{kg}$ 의 분말도(Blaine fineness)를 가지고 있다.
- [0052] 그라우트 혼합물의 원하는 유동성을 얻기 위해, PCE(polycarboxylated bated superplasticizer)를 추가하였다. PCE의 투입량은 그라우트의 w/b 비율에 따라 조절 하였다.
- [0053] 시멘트, 플라이 애시 및 바텀 애시의 화학 성분은 하기 표 1을 참조한다.
- [0054] 플라이 애시 및 바텀 애시는 시멘트에 비해 CaO 함유량이 훨씬 적지만 실리카(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)이 많다. 플라이 애시와 바텀 애시는 모두 비정질 실리카(glass phase)를 가지고 있으며, 시멘트와 혼합 시 장기적으로 콘크리트의 기계적 성능과 내구성을 향상시키는 포졸란 반응을 일으킬 수 있다.

표 1

[0055]

Content	Cement	Fly ash	Bottom ash
CaO	64.9%	5.6%	10.7%
SiO ₂	18.0%	55.1%	51.5%
Al ₂ O ₃	4.4%	27.1%	23.9%
Fe ₂ O ₃	3.3%	5.0%	5.8%
SO ₃	3.6%	1.1%	0.1%
MgO	3.3%	1.3%	1.8%
K ₂ O	1.1%	1.0%	0.7%
Na ₂ O	0.2%	0.8%	1.6%

[0056]

본 실시예에서는, 공냉식 건식 시스템과 2 차 분쇄 공정을 거친 국내 화력 발전소의 바텀 애시를 사용하였다.

[0057]

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 바텀 애시의 입도-부피 분포 결과이다. 0.1 mm 이하의 미립자를 제외한 바텀애시의 입도는 0.1~15mm 정도이다. 콘크리트 구조물 생산시, 그라우트 혼합물의 주입성을 보장하기 위해 응집체의 최소 크기가 필요하며 BA1 (5.0-10.0 mm) 및 BA2 (2.5-5.0 mm)를 범위로 선택하였다.

[0058]

전체 바텀애시 대비 BA1 및 BA2의 총 부피는 54 %이며, 해당 부피만큼 화력 발전소의 바텀 애시 처리량은 감소할 것으로 기대된다.

[0059]

도 3은 BA1과 BA2의 형상 및 단면 사진이다. 또한, 도 4는 BA1과 BA2 미세 구조 사진이다.

[0060]

BA1과 BA2 응집체 모두 다공성 구조와 긴 모양임을 알 수 있다.

[0062]

일반적으로, 바텀 애시 입자는 다공성이며 높은 흡수성을 갖는다. ASTM C127에 따라 다른 골재와 비교한 바텀 애시의 흡수율을 평가하기 위해 수분 흡수 시험을 실시하였다.

[0063]

시험 방법은 공기 중 응집체의 질량을 측정하고, 이후 응집체를 물 속에 침지시킨다. 이후 포화 표면 건조(SSD) 조건에서 응집체의 질량을 측정하고 대기 중의 질량과의 차이를 계산한다.

[0065]

도 5는 BA1, BA1과 BA2의 흡수율이 매우 비슷한 경량 골재(LWA) 및 일반 골재(NWA)의 수분 흡수 특성을 평가한 결과이다. LWA는 중국에서 생산되는 dol의 한 종류이며 1,100 kg/m³의 밀도를 갖도록 생산되어 시판되고 있다. NWA는 일반적으로 콘크리트에 사용되는 굵은 골재로 2,600 kg/m³의 밀도로 암석을 파쇄하여 만들어진 골재이다.

[0066]

BA1의 24 시간 수분 흡수율은 25.7 %로, LWA (11.8 %)와 NWA (0.4 %)보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 또한 BA1의 수분 포화율은 LWA보다 훨씬 빠르다.

[0068]

BA1과 BA2의 물리적 특성의 차이는 크기 분포를 제외하고는 거의 없다.

[0069]

BA1 및 BA2의 비중은 ASTM C127에 따라 1,040 kg/m³ 및 1,120 kg/m³이었으나, 이 값은 골재의 부피 결정 방법으로 인해 일부 값의 보정이 필요하다.

[0070]

이 방법은 골재의 실제 고체 부분만을 고려한다. 다만, 경량 골재의 경우, 많은 수의 개폐 모공이 있다. 공기 질량과 SSD 조건의 차이는 공극의 부피를 나타내며 공극 포함 밀도는 계산 될 수 있어야 다공성 골재의 정확한 충전 밀도를 계산할 수 있다.

[0071]

이를 고려한 BA1 및 BA2의 밀도는 810 kg/m³ 및 840 kg/m³이다. BA1 (470 kg/m³, 59 %) 및 BA2 (460 kg/m³, 54 %)의 벌크 밀도 및 패킹 밀도도 측정된다.

[0073] **그라우트 혼합 비율**

[0074] 그라우트 혼합 비율 설계에서, 그라우트의 충전 능력과 시멘트 함량은 BA1과 BA2의 미세 골재를 고려하였다. 그라우트 혼합물의 작업성을 평가하기 위해 미니 슬럼프 유동 시험을 수행 하였다. 미니 슬럼프 콘의 치수는 ASTM C230 사양에 따라 상단 직경 70 mm, 하단 직경 100 mm 및 높이 50 mm 이다. 미니 슬럼프 흐름의 테스트 과정은, 금형을 채우고 스프레드 직경을 측정 후, 이를 들어 올린다. 이의 결과는, Tregger 방정식을 사용하여 유변학적 특성을 추정하게 된다.

[0076] 하기 표 2에 나타난 바와 같이, 그라우트의 물 대 바인더 비율 (w/b)은 상이한 PCE 투여량 및 플라이 애시 대체 비율로 0.3 내지 0.5로 조절되었다.

[0077] 그라우트 혼합 비율 설계에서, 0.3-0.5의 w/b의 모든 샘플에 대해, 플라이 애시의 대체 비율을 0 내지 100 %로 변화시켜 플라이 애시가 그라우트 흐름 변화에 미치는 영향을 평가하였다.

[0078] 그러나 플라이 애시 함량이 높을수록 콘크리트의 기계적 성능이 현저하게 감소한다.

[0079] 압축 강도 시험에서, 0.4 그라우트 및 콘크리트의 w/b는 플라이 애시의 60 %에서 100 % 로의 대용량 치환 조건으로 시험하였다.

[0080] 그라우트 혼합물의 부피는 유동 시험에서도 2L 이상이었으며, 바텀 애시 콘크리트 구조물의 생산량도 2L 이상이 었다.

표 2

Label	w/b	Mix proportion (kg) ^s			PCE dosage per cement mass
		Water	Cement	Fly ash	
G50-F0	0.5	1.0	2.0	0	0.10%
G50-F20			1.6	0.4	
G50-F40			1.2	0.8	
G50-F60			0.8	1.2	
G50-F80			0.4	1.6	
G50-F100			0	2.0	
G40-F0	0.4	0.8	2.0	0	0.35% to 0.85%
G40-F20			1.6	0.4	
G40-F40			1.2	0.8	
G40-F60			0.8	1.2	
G40-F80			0.4	1.6	
G40-F100			0	2.0	
G30-F0	0.3	0.6	2.0	0	0.85%
G30-F20			1.6	0.4	
G30-F40			1.2	0.8	
G30-F60			0.8	1.2	
G30-F80			0.4	1.6	
G30-F100			0	2.0	

[0083] 콘크리트 구조물의 생산에 그라우트 혼합물의 채움성능은 중요한 요소 중 하나이다. 기존 유동 시험을 이용한 그라우트 혼합물의 유동성 시험은 대략적인 충전 능력을 평가할 수 있다.

[0084] 널리 사용되는 방법 중 하나는 그라우트 혼합물의 유동성을 측정하기 위한 플로우 콘 테스트이다. 플로우 콘 테스트는 12.7 mm의이 미터를 가진 노즐을 사용하여 1,725 mL의 콘에서 그라우트의 유출 시간을 측정하는 것이다.

[0085] 또 다른 방법은 미니 슬럼프 유동 시험이다. 이 테스트는 300 mL 콘을 채운 뒤 콘을 들어올려, 이때 유체의 최종 퍼짐을 직경과 시간으로 측정하는 방법이다. 스프레드 직경이 넓을수록 그라우트 유동성이 우수함을 나타낸

다.

[0086] 그라우트 유동 시험은 그라우트 혼합물의 충전 능력을 평가하는데 유용하지만, 미니 슬럼프 시험은 그라우트 유동학적 특성의 평가에 효과적이다.

[0087] 이전의 많은 연구에서 슬럼프 시험의 확산 및 확산 시간은 혼합물의 항복 응력 및 점도와 각각 관련되어 있다고 생각되었다.

[0088] 시험 결과에 기초하여, 그라우트 혼합물의 유동성은 정량적으로 평가될 수 있으며 또한 소정의 바텀 애시에 대한 혼합물의 최소 필요 유동성을 제한할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 그라우트 혼합물의 유동성과 유변학적 성질을 평가하기 위해 미니 슬럼프 시험을 선택하였다.

[0090] 바텀 애쉬 콘크리트 구조물은 $50 \times 50 \times 50\text{mm}$ 의 입방체 몰드로 제조되었다. 이들은 압축 강도와 미세 구조를 측정하기 위한 추가 분석에 사용되었다.

[0091] 콘크리트 구조물은 그라우트를 몰드의 표면에 붓고 중력에 의해 골재 전체를 채우게 되는 방법으로 제조되었다. 이 방법은 일반적으로 대형 골재에 사용되지만, 유동성이 좋은 그라우트 혼합물을 사용하여 10mm 크기의 작은 골재에도 적용 할 수 있다.

[0093] 실험예

[0094] 그라우트 유동성 평가

[0095] 도 6은, 그라우트 혼합물의 미니 슬럼프 유동 시험 결과이다.

[0096] 일반적으로 혼합물의 자유 수분 함량과 화학 혼화제의 투여량은 페이스트의 유동성을 결정한다. 0.5의 w/b의 경우, 유동성이 높고 소량의 PCE가 첨가 되었으나, 0.3의 w/b는 양호한 유동성을 얻기 위해 바인더 질량비로 PCE를 0.85% 사용 하였다.

[0097] 이 모든 그라우트 혼합물은 플라이 애시 함량이 증가함에 따라 유동성이 감소함을 보여 주었다. 이것은 이전 연구와 비교하여 모순된 결과이다. 보다 구체적으로 플라이 애시의 둥근 모양은 볼 베어링 효과를 통해 콘크리트의 작업성을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 유동성 감소의 이유는 불확실 하지만, 플라이 애시의 품질 문제로 첨가된 PCE가 플라이 애시의 미연탄소분에 흡착하게 되어 유동성이 감소하게 될 수 있다.

[0099] 도 7은 그라우트 혼합물의 플라이 애시 함량에 따른 특성 분석 결과이다.

[0100] 미니 슬럼프 유동 시험 결과에 기초하여, 그라우트 혼합물의 유동학적 특성은 플라이 애시 대체율이 증가하면 항복 응력과 점도가 동시에 증가하는 것으로 나타난다.

$$\tau_y = 0.0066D_f^{-5.81}$$

[0102] (1)

$$\eta_p = \tau_y(0.00641T_f - 0.00194)$$

[0103] (2)

[0105] 주입성 평가

[0106] 그라우트의 주입성을 평가하기 위해, 바텀 애시 골재의 입방체 시편을 2 조각으로 잘라내어 그라우트의 충전 성능을 분석 하였다.

[0107] 도 8은, G50F40으로 BA1 및 BA2 콘크리트 구조물의 단면을 보여준다.

[0108] 절단 중에 콘크리트의 강도가 약하기 때문에 팁에 파쇄 또는 파손이 발생했다. 그러나, 바텀 애시 사이의 격자간 공극은 그라우트 매트릭스로 잘 채워지는 것이 분명하다. G50F40 그라우트는 바텀 애시 골재의 높은 흡수성

때문에 골재 내부로 침투하였다.

[0110] **압축 강도 평가**

[0111] 도 9는 7 일과 28 일간의 경화 후 플라이 애시를 함유한 그라우트 혼합물의 압축 강도를 보여준다. 혼합물의 w/b 비율은 0.3 내지 0.5로 다양하다. 60 %에서 100 %까지의 높은 플라이 애시 함량 시료의 압축 강도는 w/b가 0.4 인 그라우트에 대해서만 측정되었다.

[0112] 도 9로부터, 경화 시간에 따라 그라우트 혼합물의 압축 강도가 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 시료의 압축 강도는 플라이 애시 함량이 높을수록 포졸란 반응이 느려서 감소한다.

[0113] 28 일 경화시 그라우트 혼합물의 압축 강도는 60.8 MPa 이었지만, 플라이 애시 함량에 반비례하고 100 % 플라이 애시 그라우트에서 0 MPa로 수렴되었다.

[0115] 도 10은 바텀 애시 콘크리트 구조물의 압축 강도의 변화를 측정한 결과이다.

[0116] 실험 결과에 따르면 바텀 애시 골재의 다공성 및 약한 강도 때문에 바텀 애시 구조물의 압축 강도가 그라우트 골재의 압축 강도보다 훨씬 낮다.

[0117] BA1과 BA2를 사용하여 바텀 애시 콘크리트 구조물의 압축 강도는 그라우트 혼합물의 압축 강도 변화 형태와 전혀 일치하지 않았다.

[0118] 도 10에서 BA1과 BA2 콘크리트는 최대 허용 응력 값을 가지며 도 9에서의 그라우트 혼합물의 압축 강도에 관계 없음을 알 수 있다.

[0119] 일반적으로, 일반 중량 응집체를 갖는 재래식 콘크리트에서의 파손은 응집체와 매트릭스 사이의 계면 전이 영역에서부터 시작된다.

[0120] 그러나, 바텀 애시 콘크리트와 같은 경량 골재 콘크리트의 경우, 골재 그 자체에 의해 파손이 유발 될 수 있다.

[0122] BA1 콘크리트의 경우, w/b 비율이 높은 그라우트 혼합물은 28 일 경화시 압축 강도가 크게 증가하는 경향이 있다. 7 일 및 28 일에서의 G50-F0에 의한 BA1의 압축 강도는 15.0 MPa 및 24.3 MPa이었다.

[0123] 증가율은 62 %이며 G50-F0 그라우트의 경우 69 %와 유사하다. 반면에, 다른 샘플들은 28 일 동안 압축 강도가 약간 증가하거나 동일한 수준을 유지하고 있다.

[0124] 경화일 동안, G30-F20을 이용한 BA1 콘크리트의 압축 강도 증가 비는 4 %로 증가하였으며 그라우트의 경우 55 % 였다. G30-F0를 사용한 BA1 콘크리트의 경우, 28 일의 압축 강도는 7 일의 결과와 비교하여 심지어 감소했다.

[0125] 이러한 결과는 허용 가능한 최대 응력을 제한하는 BA1 응집체의 파손으로부터 비롯된 것이다.

[0126] 즉, 플라이 애시 대체율에 상관없이 BA1 콘크리트의 압축 강도가 유지되는 것이 중요함을 나타낸다.

[0128] BA2 콘크리트의 압축 강도의 진화 패턴은 BA1과 유사하지만 최대 압축 강도의 값은 상이하다. 높은 w/b 비율 그라우트를 갖는 BA2 콘크리트의 압축 강도의 발달은 경화 시간에 따라 증가하고, 플라이 애시 함량이 높을수록 감소한다.

[0129] 7 일에 G30을 사용한 BA2 콘크리트의 결과를 토대로 최대 허용 압축 강도는 BA1 콘크리트와 40MPa로 일치한다.

[0130] 그러나, 28 일경 경화시 압축 강도가 증가하거나 감소하는 것으로 나타났다. 이 문제는 그라우트 주입 중에 BA2 콘크리트 구조물 생산에서의 진동 과정과 관련이 있을 수 있다. 이러한 진동은 매우 작은 크기의 BA2 골재 (2.5 ~ 5.0mm)가 콘크리트에 품질 문제를 야기 할 수 있는 충분한 요소가 될 수 있다.

- [0133] 콘크리트 구조물의 생산에서, 콘크리트 내의 시멘트 함량을 줄이기 위해서는 플라이 애시의 사용이 필요하다. 플라이 애시를 사용하면, 초기 기계적 성능이 감소될 수 있으나, 경제적인 측면을 고려해야 한다.
- [0134] 또한, 포플란 반응을 통해 콘크리트의 유동성 증가, 조기 수화열의 감소 및 콘크리트의 장기 내구성 향상과 같은 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 유동성 측면에서 플라이 애시의 사용은 모순된 결과를 보여 유동성을 감소시켰다. PCE의 흡착 및 분산 효과는 시멘트 입자에만 효과적인 일 것으로 추정된다.
- [0136] 바텀 애시 콘크리트 구조물의 생산에서 중력을 이용하여 그라우트를 충분히 충전시켰다. 미니 슬럼프 시험에 기초하여 그라우트의 유동성 및 유변학적 성질을 평가하였고 충전 능력은 단면 분석에 의해 확인되었다.
- [0137] 바텀 애시 콘크리트 구조물은 균등하게 분포된 골재 및 그라우트 매트릭스를 보여준다. 또한, 바텀 애시에 그라우트의 충분한 침투가 관찰되었다.
- [0138] 바텀 애시의 높은 수분 흡수로 물과 시멘트 입자가 골재 내부로 침투할 수 있다. 결과적으로 골재와 그라우트 매트릭스 사이의 접착력은 매우 증가 할 수 있다. 비록 고흡수성 골재가 주입 중에 그라우트의 가공성을 감소시키지만, 그 후에는 응집체와 매트릭스 사이의 인터록킹으로 기계적 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0140] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 바텀 애시 콘크리트 구조물의 단면 사진이다.
- [0141] 일반적으로 기존 콘크리트의 압축 강도는 경화 시간, w/b 비 및 시멘트 함량에 비례하여 증가하였다.
- [0142] 이는 전통적인 콘크리트의 파괴가 기질과 골재 사이의 계면 지대 (interfacial-transition zone)에 기인하기 때문이다. 그러나, 바텀 애시 콘크리트 구조물의 파손은 종래의 콘크리트와 상이하다.
- [0143] 우선, 콘크리트의 파괴는 많은 양의 약한 골재로부터 기인될 수 있다. 두 번째로, 그라우트와 부분적으로 또는 전체적으로 결합된 바텀 애시는 상이한 기계적 성능을 갖는다. 마지막으로, 바텀 애시 콘크리트 구조물의 압축 강도의 증가는 제한적이다.
- [0145] w/b 0.4와 0.5를 갖는 바텀 애시 콘크리트는 그라우트에서 플라이 애시 함량이 높을수록 압축 강도가 감소함을 보였다.
- [0146] 그러나 0.3 그라우트가 있는 결과는 다르다. w/b 0.3 그라우트를 갖는 BA1 콘크리트의 경우, 플라이 애시 함량에 관계없이 28 일 동안 36.6 MPa에서 압축 강도가 유지되거나 감소되었다. 28 일에 G40F0를 사용한 BA1 콘크리트의 압축 강도의 감소가 측정 오차와 관련이 있을지라도, BA1 응집체의 콘크리트 성능에 대한 영향은 명백하다.
- [0147] BA2 콘크리트의 경우 7 일째 0.3 그라우트를 사용하였으나 압축 강도의 증가 또는 감소와 같은 측정 문제도 나타났다. BA2의 입자 크기는 2.5mm에서 5.0mm로 분포하는데, 이는 매우 작고 미세한 골재로 분류된다.
- [0148] 따라서 충분한 그라우트 주입성을 얻기 위해서는 더 많은 진동이 필요하다. 진동은 그라우트가 골재로 침투하는 것을 증가시킬 수 있다. 심한 진동은 콘크리트의 불균질성을 초래하고 압축 강도를 변화시킨다. 그럼에도 불구하고 BA2 콘크리트의 최대 허용 압축 강도는 7 일 w/b 0.3 그라우트 및 28 일 G40F0를 사용하는 BA2 콘크리트를 기준으로 40.1 MPa 미만일 수 있다. BA1 및 BA2 콘크리트의 최대 압축 강도는 유사했다.
- [0150] 본 발명의 일 구현예에서는, 바텀 애시 재활용을 위해 콘크리트 구조물의 주조 방법을 제안한다.
- [0151] 이 방법은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.
- [0152] (1) 콘크리트 내 바텀 애시의 함량이 많다.
- [0153] (2) 바텀 애시 골재의 파손 방지
- [0154] (3) 고속 그라우팅 공정
- [0155] 그라우트의 요구량은 콘크리트에서 40 %로 높기 때문에 비용을 줄이기 위해 그라우트에 플라이 애시를 사용하는

것이 유리하다.

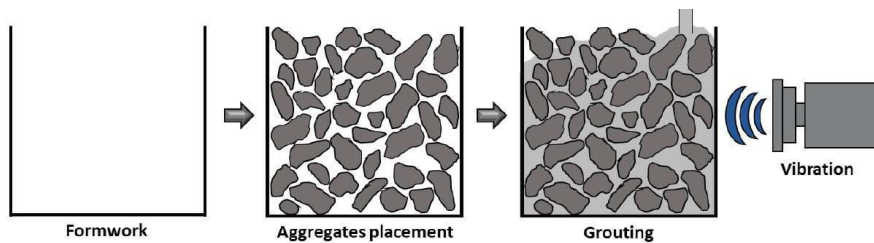
[0156] 미니 슬럼프 유동 시험은 그라우트 혼합물의 유동성 및 유동학적 특성을 평가하는 데 사용되었다. 혼합물 내 플라이 애시 함량이 높을수록 그라우트의 유동성이 감소한다. 콘크리트의 그라우트 혼합물의 충전 능력은 샘플의 단면을 절단함으로써 평가되었다.

[0157] 바텀 애시 콘크리트 구조물의 압축 강도는 그라우트와 골재 모두에 의해 제어된다. 그라우트의 w/b 비율이 높을수록 압축 강도는 경화일과 함께 증가한다. 그러나 낮은 w/b 비율 그라우트를 갖는 콘크리트의 압축 강도는 그라우트 내 경화 시간과 플라이 애시 함량에 관계없이 유지되었다.

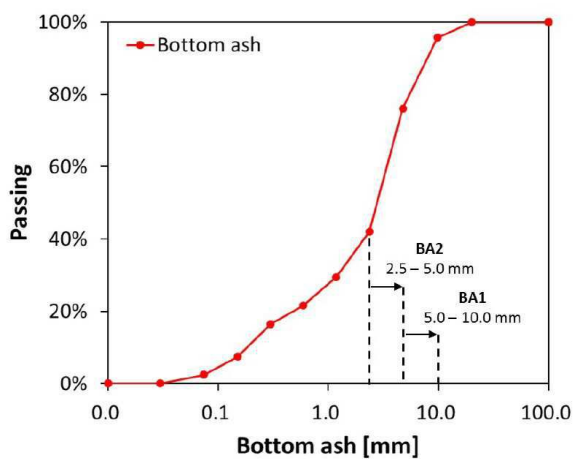
[0159] 본 발명은 상기 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

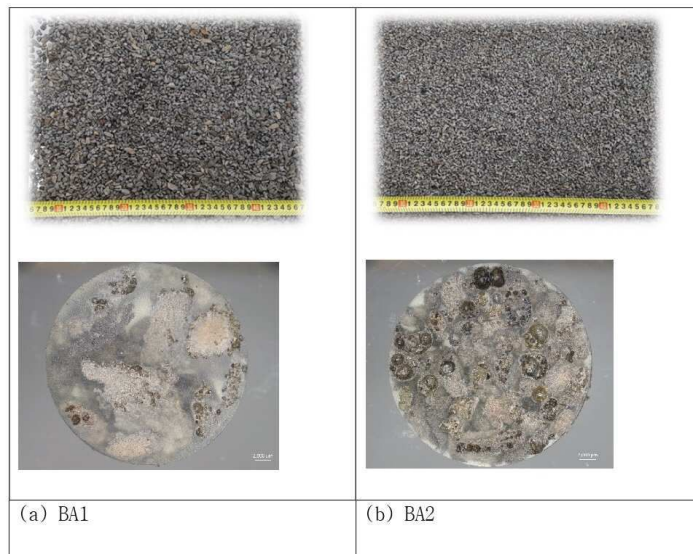
도면1



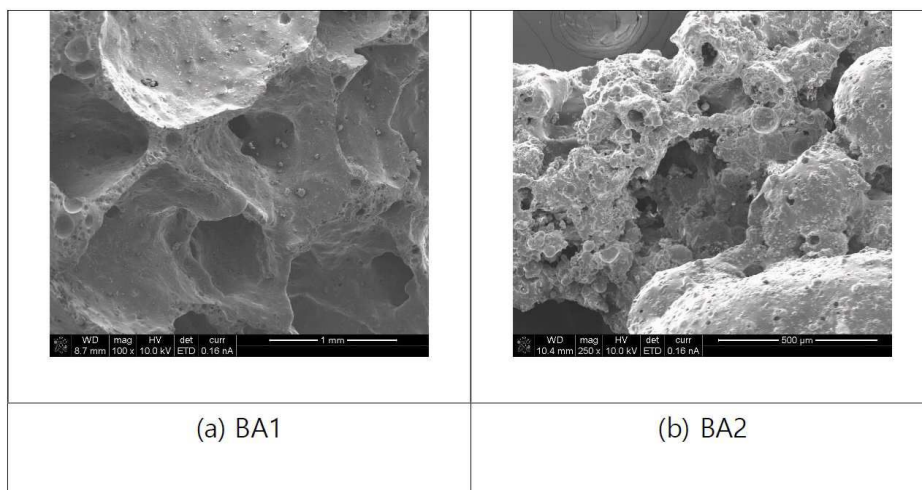
도면2



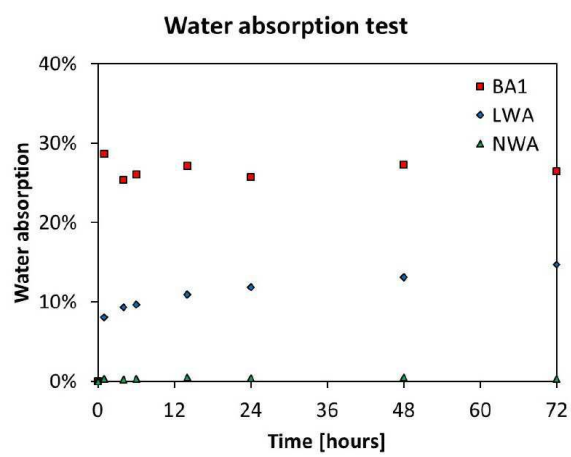
도면3



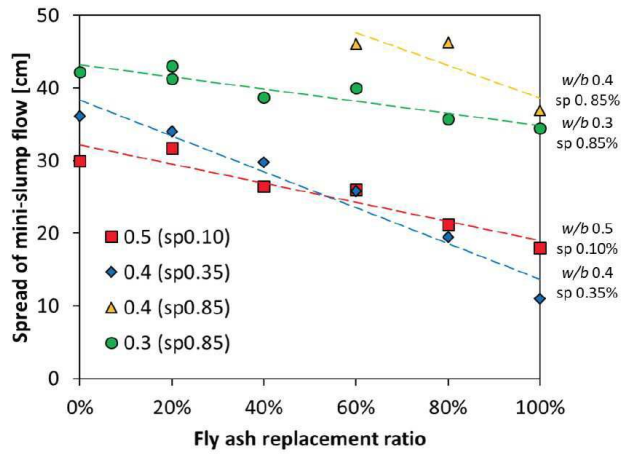
도면4



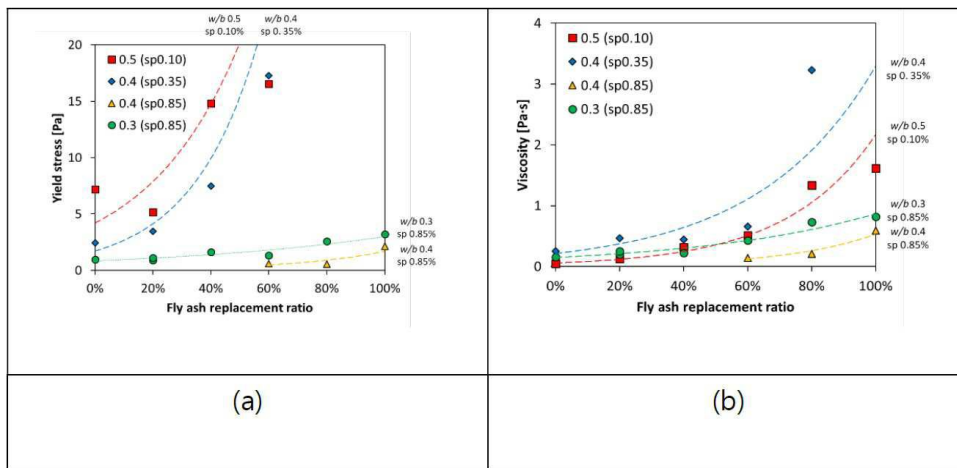
도면5



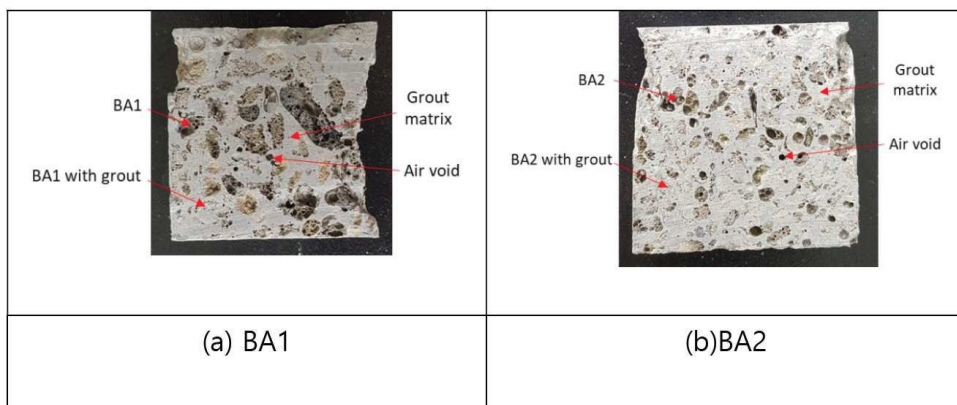
도면6



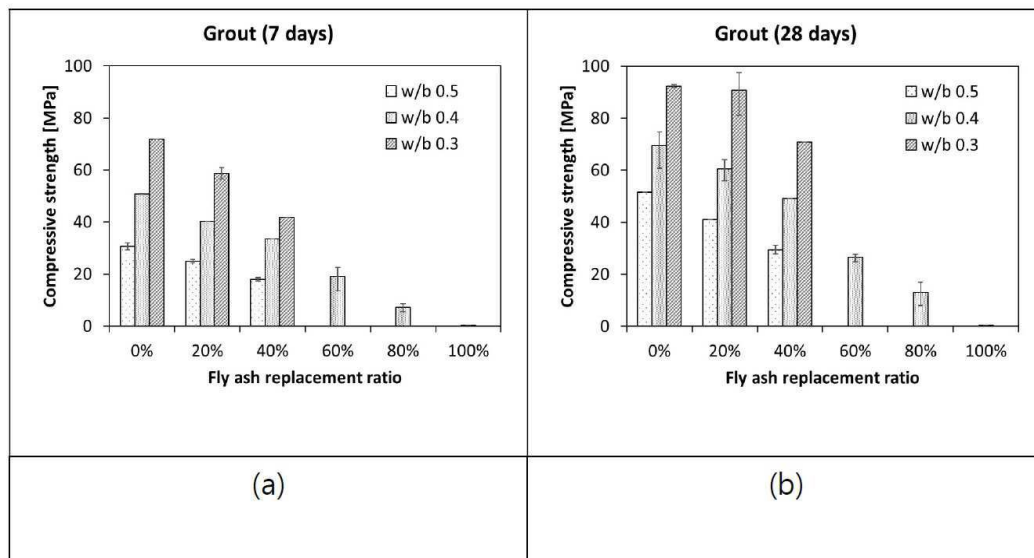
도면7



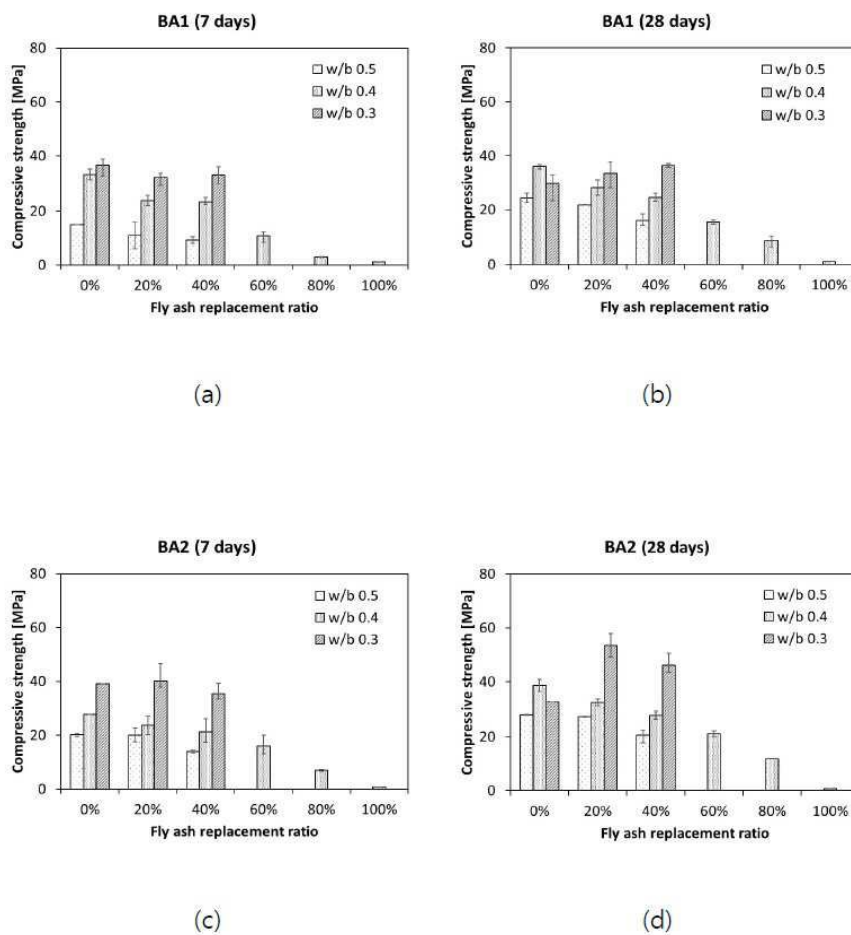
도면8



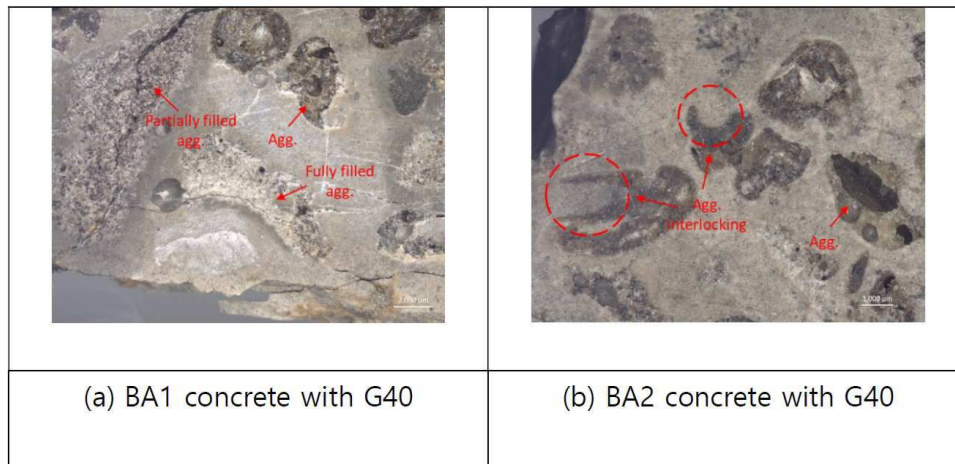
도면9



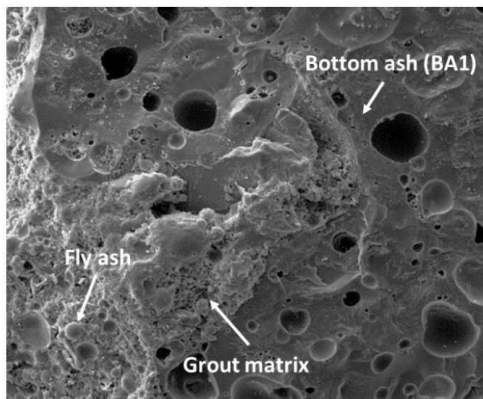
도면10



도면11



도면12



도면13



도면14



도면15

	
타일블록	보도블록