

바텀애시를 활용한 경량골재 제조 및 활용 기술

Manufacture and Utilization Technology of Lightweight Aggregate using Bottom Ash



권성준*
Seung-Jun Kwon

1. 서론

최근 들어 산업발전에 따른 산업부산물과 폐기물 등의 발생량이 큰 폭으로 증가하고 있으며, 이를 처리하기 위한 사회적 손실비용이 막대하여 국가적인 문제로 대두되고 있다. 따라서 이러한 사회적 손실비용을 최소화하고 환경 오염방지와 자원절약을 동시에 해결할 수 있는 방안 중에 하나가 산업부산물의 자원화 또는 재활용하는 것이다. 선진국의 경우 수십 년 전부터 이에 대한 연구개발을 활발히 진행하고 있으나, 국내의 경우는 최근에 들어서야 사회적 관심이 고조되고 있는 실정이다. 특히 산업부산물 중 화력발전소에서 부산되는 바텀애시는 발생량이 많으나 대부분 단순 매립하거나 폐기되고 있어 재활용이 절실히 요구되고 있다.

화력발전소에서 발생하는 플라이애쉬는 포졸란 반응을 가지고 있으므로, 콘크리트 혼화재로서 많이 사용되고 있으며, 수화열 저감, 장기 강도 증가 등 내구성 확보 차원에서 많이 사용되고 있다. 그러나 10~25% 수준으로 발생하는 바텀애쉬의 경우, 주로 매립재로 사용되고 있으며, 추가적인 활용이 필요한 분야이다. 최근 들어 바텀애쉬의 경우 다양한 성능을 만족시키기 위하여, 기포 콘크리트에 대한 적용성 평가¹⁻³⁾, 충전재 콘크리트에 대한 활용성 평

가^{4,5)} 등이 진행되고 있으며, 인공 경량 골재로 사용되어 콘크리트에 활용하기 위한 연구가 진행중이다⁶⁾.

본 절에서는 바텀애쉬를 공학적으로 이용하기 위한 경량골재제조 및 콘크리트에 적용한 특성에 대하여 서술하고자 한다.

2. 바텀애쉬 경량골재의 제조

2.1 석분토와 바텀애쉬를 이용한 인공경량골재

바텀애쉬에 첨가물을 혼입, 가공하여 인공경량 골재를 제조하려는 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 최근 석분토(SD)와 바텀애쉬(BA)를 혼입하여 소성시킴으로서 용착을 유도하고 이를 경량골재로 제조하려는 연구가 시도되었다⁷⁾. 표 1에서는 석분토 및 바텀애쉬의 화학성분을 나타내고 있다.

SD와 BA의 혼입비율에 따른 화학조성은 BA의 혼입비율이 커질수록 Fe_2O_3 의 조성 비율은 적어지고 미연탄소의 조성비율이 커지게 된다. 또한 K_2O 와 Na_2O 의 조성 비율도 커지는 것으로 나타났다. 일반적으로 알려진 인공경량골재를 제조하기 위한 화학조성 범위는 SiO_2 는 52~80%, Al_2O_3 는 10~25%, Fe_2O_3 는 5~10%, CaO 와 MgO 는 0~5%, K_2O 와 Na_2O 는 3~4%정도로 보고되고 있다. 그림 1에서는 SD, BA의 혼입비율별 소성온도에 따른 경량골재의 물성을 나타내고 있다.

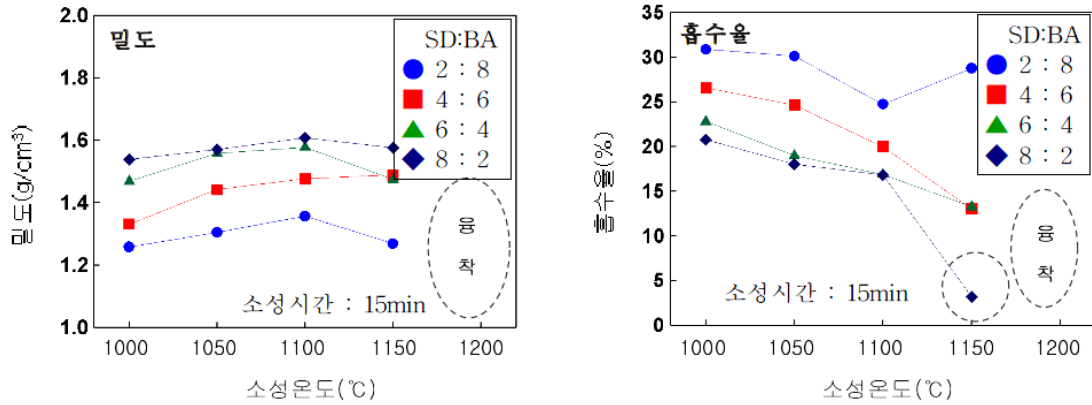
* 한남대학교 건설시스템공학과 교수

Hannam University

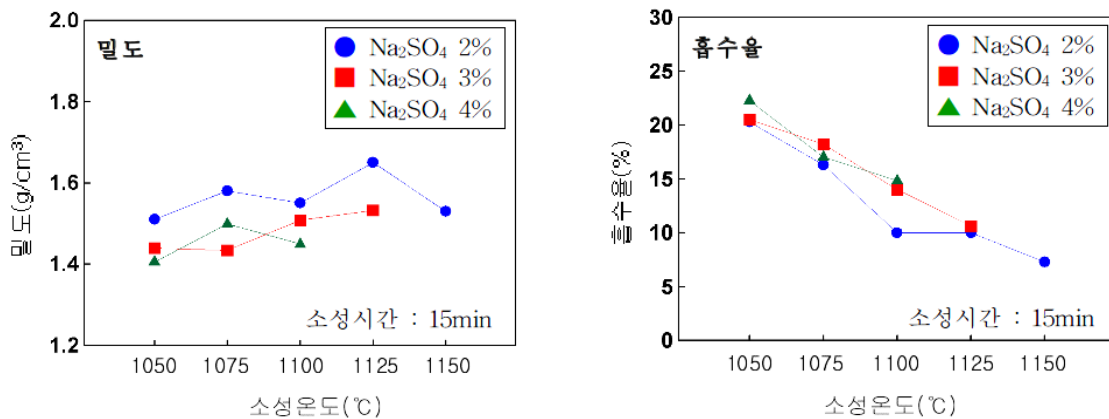
E-mail : jjuni98@hnu.kr

<표 1> 석분토와 바텀애쉬의 화학성분

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C
SD	60.5	16.2	3.27	3.52	0.95	4.84	3.73	0
BA	47.6	21.2	9.75	2.94	1.45	1.05	1.07	10.9



[그림 1] SD, BA 비율별 소성온도에 따른 경량골재의 물성



[그림 2] Na₂SO₄ 첨가율 및 소성온도 변화에 따른 경량골재의 물성

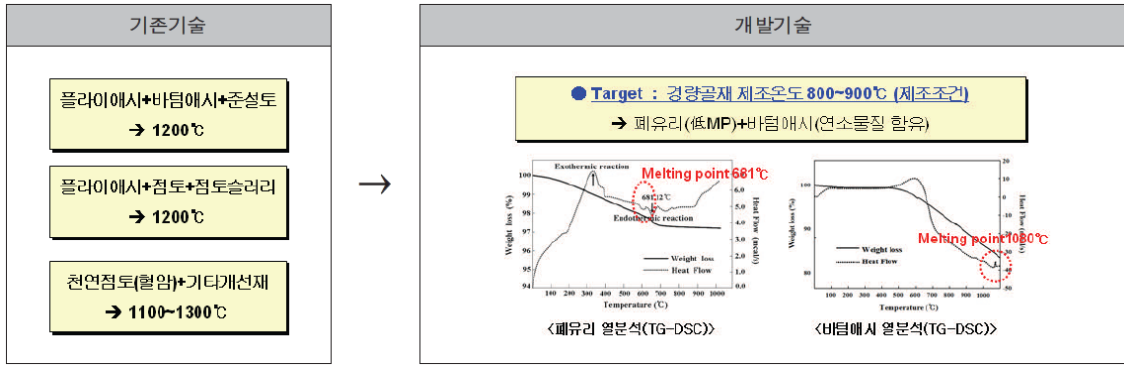
소성온도에 따른 특성으로는 소성온도가 높아질수록 인공경량골재 내의 블랙코아부분의 증가로 인해 밀도는 높아지고 흡수율은 낮아졌는데 특히 1,200°C에서 융착이 발생되었다. 또한 Flux를 첨가함으로써 소성특성을 변화시킬 수 있는데, SD: BA를 5:5로 고정시키고 Na₂SO₄량을 변화시키면서 소성특성을 분석하였다. 그림 2에서는 소성온도 및 Na₂SO₄량의 변화에 따른 물성변화를 나타내었다.

이 연구에서는 최종적으로 Na₂SO₄ 2%, Fe₂O₃ 1%, 소성 온도 1150°C, 소성시간 15분에서 밀도 1.52g/cm³, 흡수율 7.3%의 인공경량골재를 제조하였다.

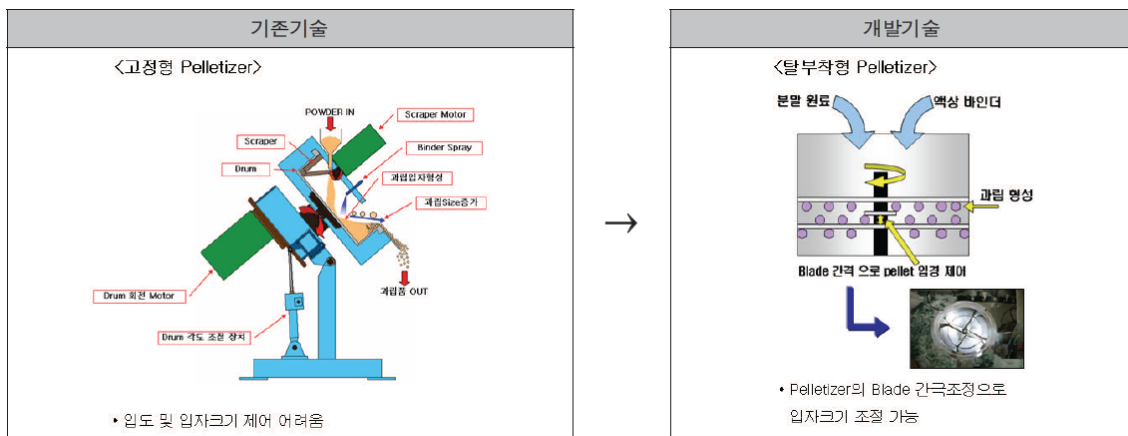
2.2 폐유리와 바텀애쉬를 이용한 인공경량골재

최근들어 녹는점이 낮고 에너지 발현물질(연소물질)을 함유하고 있는 폐유리와 바텀애쉬를 주원료로 사용한 기술이 개발되었다⁸⁾. 기존의 경량골재 소성온도 보다 20~30% 정도 저감시킬 수 있어, 소성제조에 따른 CO₂ 방출량을 최소화시킬 수 있는 장점이 있다. 그림 3은 저온 소성 기술에 대한 기존기술과 개발기술의 차이점을 나타낸 것이다.

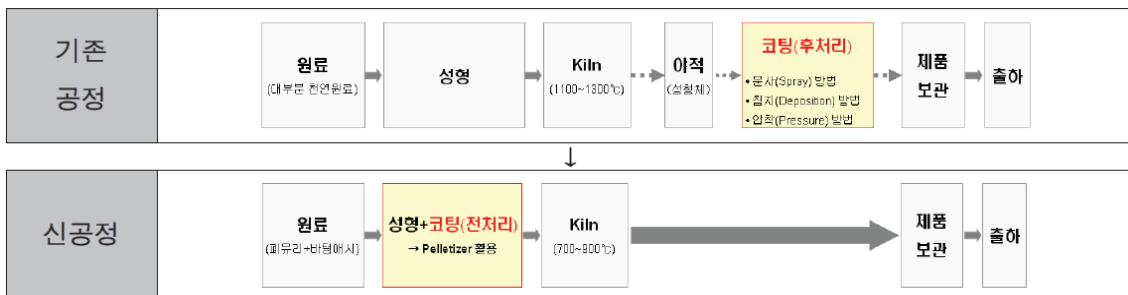
또한 이 기술은 입자크기 제어기술과 제조공정 효율성



[그림 3] CO₂ 방출량 감소를 위한 저온소성기술



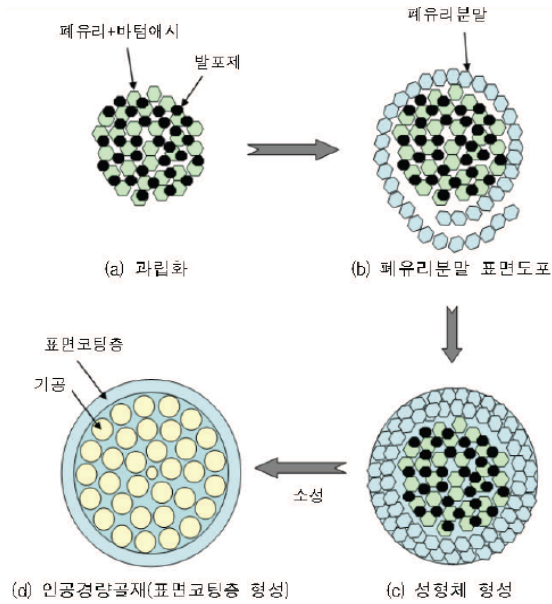
[그림 4] 입자크기 제어기술



[그림 5] 제조공정의 효율화

을 가지고 있는데, 그림 4 및 그림 5에서 나타내었다. 경량골재는 다량의 개기공을 형성하여 흡수율이 매우 크고 이에 따라 단열특성 등 물성발현에도 한계를 갖게 된다. 이 기술은 킬른 소성 전에 성형체 표면에 폐유리분말을 도포한 후 소성함으로써 경량골재의 표면을 폐유리분말이 고온에서 용융하여 용융상을 이루게 하는 액상소

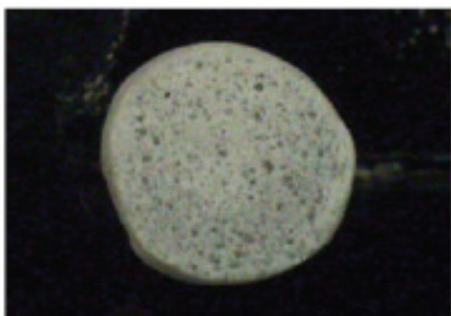
결반응을 유발시켜 경량골재의 표면에 발포되지 않은 유리질층이 형성되게 유도하는 것이다. 그림 6에서는 폐유리분말을 사용해서 성형체의 표면을 코팅한 후, 소성공정을 통해 유리질의 표면층을 형성시켜 인공경량골재를 만드는 과정이며, 그림 7은 개선된 인공경량골재의 외관 및 단면 사진을 나타내고 있다.



[그림 6] 표면코팅을 통한 인공경량골재 개선



(a) 외관



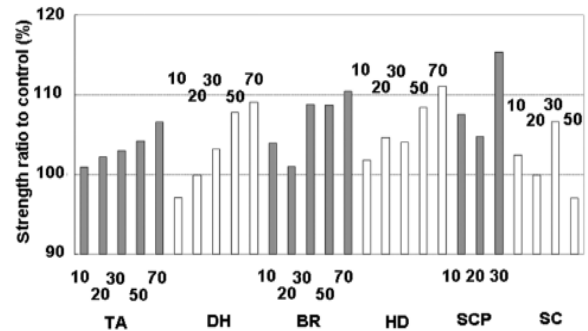
(b) 단면

[그림 7] 제조된 인공경량골재

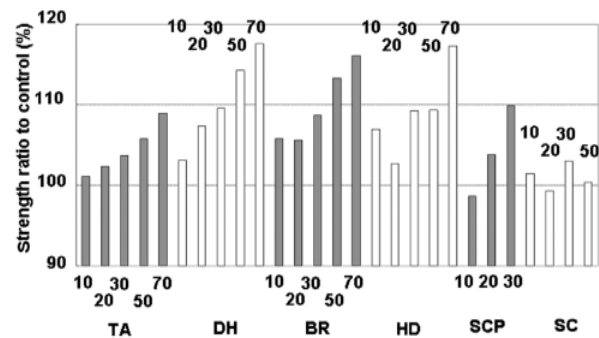
3. 바텀애쉬를 잔골재로 사용한 콘크리트의 특성

3.1 일반 콘크리트 적용

바텀애쉬는 일반적으로 화력발전소 인근의 매립지에 매립되는데, 최근들어 이러한 매립회를 이용하여 콘크리트를 제조하려는 연구가 시도되고 있다⁹⁾. 국내의 6개의 매립회를 채취하여 세척한 후 체가름을 수행하여 콘크리트를 제조하였다. 이 연구에서는 매립회로 제조된 콘크리트의 공학적, 내구적 특성이 분석되었는데, 시간이 경과함에 따라 기준 콘크리트보다 약간 큰 슬럼프 손실이 평가되었으며, 공기량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그림 8에서는 기준콘크리트와 비교한 강도비율을 나타내고 있다. 산지별로 차이는 보이고 있으나 비교적 100%에 가까운 강도성능을 보이고 있다.



(a) 28일 강도



(b) 90일 강도

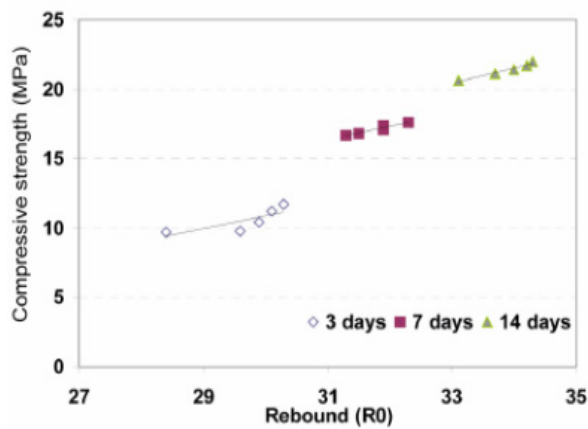
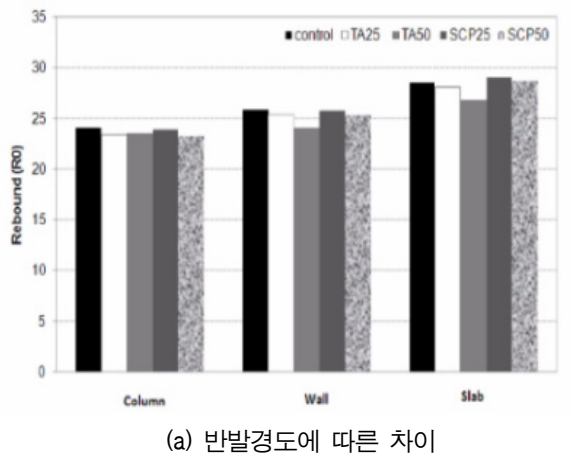
[그림 8] 기준 콘크리트와 비교한 매립회 콘크리트의 강도변화

또한 매립회 콘크리트를 이용하여 식물모형시험의 적용성 평가에 대한 연구가 수행된 예가 있다¹⁰⁾. 레미콘을 이용하여 대량 타설을 수행하였으며, 응결시간, 코어의 내구성 평가, 건조수축 및 수화열 등이 평가되었다. 그림 9에

서는 Mock up 시험의 구조물 제조과정을 나타내고 있으며 그림 10에서는 반발경도법과를 나타내고 있다. 일반 콘크리트와 큰 차이는 보이지 않았으며, 그림 11의 수화열 거동에서 역시 큰 차이는 보이지 않았다.

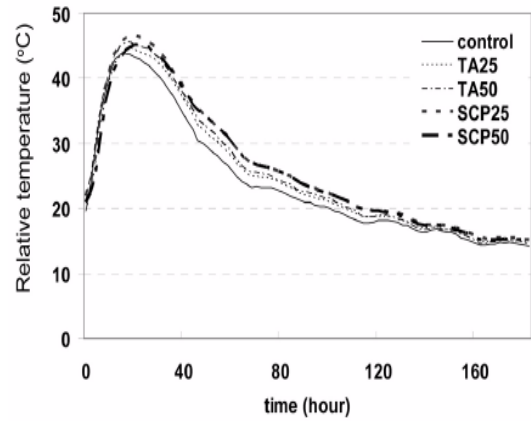


[그림 9] 매립회 콘크리트 구조물 제조

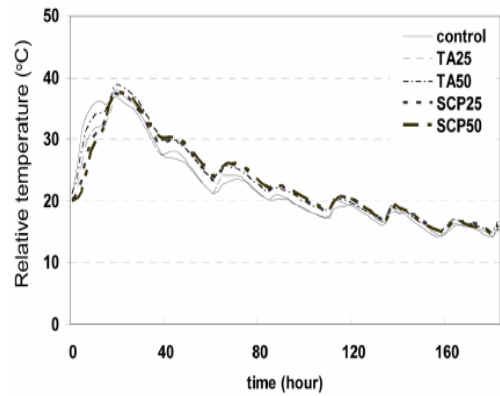


(b) 반발경도와 압축강도와의 관계

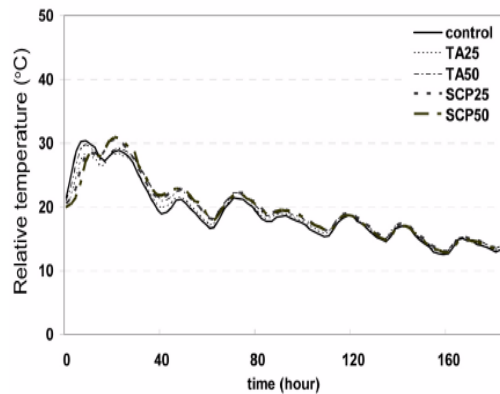
[그림 10] 반발경도법에 따른 매립회 콘크리트 강도



(a) 기둥의 수화열



(b) 벽체의 수화열



(c) 슬래브의 수화열

[그림 11] 매립회 콘크리트의 부재별 수화열

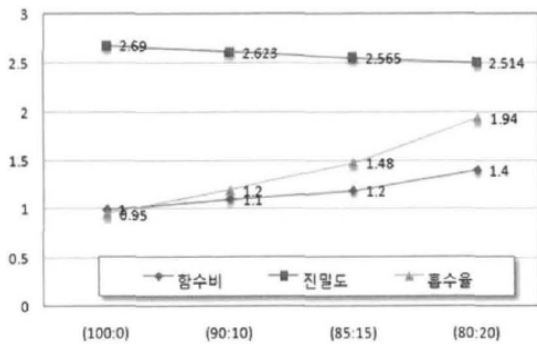
이 연구에서는 매립회 콘크리트가 기준 콘크리트에 비하여 그 성능이 크게 저하되지 않으며, 일반적으로 요구되는 콘크리트의 성능 기준을 만족하고 있음을 확인하였다. 또한 매립회 콘크리트를 적극적으로 활용하기 위해서는 매립지 골재의 품질 관리를 통하여 미연 탄소 등이 제거되어야 함을 시사하였다.

3.2 지반동상 방지재로 적용

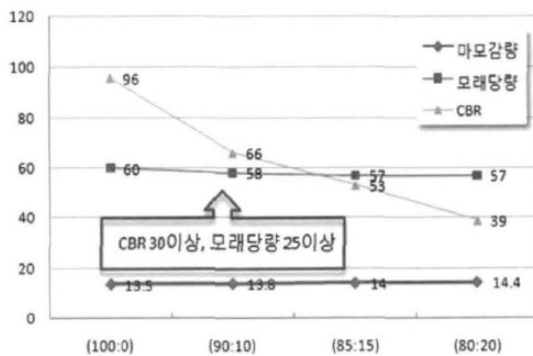
바텀애쉬 골재의 다공성 특성을 이용하여 지반의 동결 저감 방지재로 적용하려는 연구가 시도되었다¹¹⁾.

바텀애쉬 경량골재의 혼입을 용적배합으로 10%, 15%, 20% 쇄석골재 대체로 혼입하여 동상방지층 실험을 실시하였다. 함수비는 혼입률 증가에 따라 미세하게 감소하는 경향을 보였지만 흡수율 및 진밀도는 혼입률 증가에 따라 높아지는 상승곡선을 나타내었다. 또한 도로공사 표준시방서에서는 모래당량 25 이상이며, CBR은 30 이상을 보조기준에 요구하고 있으며, 동상방지층은 이보다 낮은 성능(20 이상, 10 이상)에도 만족하도록 규정하고 있다. 이 실험에서는 전 배합에서 품질기준에 만족하는 결과값을 보이고 있었다.

그림 12에서는 혼합비에 따른 물리적 특성의 변화를 나타내었으며, 그림 13에서는 마모감량 및 CBR 값을 나타내고 있다.



[그림 12] 혼입률에 따른 함수비, 밀도, 흡수율 변화



[그림 13] 마모감량 및 CBR변화

참고문헌

1. 김진만, 곽은구, 조성현, 강철, “통계적 방법에 의한 바텀애쉬를 사용한 경량 기포 콘크리트의 최적 배합 결정,” 콘크리트학회 논문집, 21권, 1호, 2009, pp. 3-11.
2. 김상철, 안상구, “Bottom Ash를 사용한 기포 콘크리트의 배합설계 및 압축강도 특성,” 콘크리트학회 논문집, 21권, 3호, 2009, pp. 283-290.
3. 최세진, 정용, 오복진, 김무한, “물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트 공학적 특성에 관한 실험적 연구,” 콘크리트학회 논문집, 15권, 6호, 2003, pp. 880-847.
4. 원종필, 이용수, “Bottom Ash를 혼합한 저장도 고유동 충전재의 특성,” 콘크리트학회 논문집, 13권, 3호, 2001, pp. 294-300.
5. 원종필, 이용수, 이준자, “Bottom Ash를 재활용한 저장도 고유동 재료의 내구성 및 환경영향평가,” 콘크리트학회 논문집, 14권, 2호, 2002, pp. 223-230.
6. 조병완, 박승국, 권병윤, “알칼리 활성화 석탄회(Fly Ash, Bottom Ash) 인공 경량 골재 및 콘크리트 적용,” 콘크리트학회 논문집, 16권, 6호, 2004, pp. 751-757.
7. 윤섭, 김정빈, 정용, 김양배, “석분토와 바텀애쉬를 이용한 경량골재 제조”, 한국콘크리트 학회 가능학술대회 논문집, 2008, pp. 381-384.
8. 공태응, 권춘우, 이수형, 이한백, “폐유리와 바텀애쉬를 사용한 에너지 저소비형 친환경 인공경량골재 개발”, 한국건축시공학회, 제11권, 제3호, 2011, pp. 31-39.
9. 이봉춘, 정상화, 김주형, 권성준, “국산매립회의 골재 특성 평가 및 매립회 콘크리트의 내구성능 평가”, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.23, No.3, 2011, pp.311-320.
10. 이봉춘, 정상화, 채성태, 권성준, “국산 매립회 골재를 사용한 콘크리트 구조물의 적용성 평가”, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.23, No.5, 2011, pp.541-550
11. 문종욱, “지반의 동결저감 대책기술을 수립하기 위한 클링커 애쉬 인공경량골재 개발에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 제 23권, 제6호, 2009, pp.116-125.