

Bottom Ash를 잔 골재 대체재로 사용한 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Durability of Concrete using the Bottom Ash as a part of Fine Aggregate

최 세 진^{*} 이 성 일^{**} 정 용^{***} 김 양 배^{****} 오 복 진^{*****} 김 무 한^{*****}
Choi, Se Jin Lee, Seong Il Jeong, Yong Kim, Yang Bae Oh, Bok Jin Kim, Moo Han

ABSTRACT

Recently, the by-product of coal ash has been increased by increase of consumption of electric power. So in view of environmental aspect, it is important to secure a reclaimed land and treatment utility for coal ash.

This is an experimental study to compare and analyze the properties of high volume coal-ash concrete using the bottom ash. For this purpose, the mix proportions of concrete according to the replacement ratio of bottom ash(10, 20, 35, 50%). And then air content, slump, compressive strength, durability test were performed.

According to test results, it was found that the compressive strength of bottom ash concrete was similar to that of plain concrete(BA0). And the carbonation depth of bottom ash concrete increased as the replacement ratio of bottom ash.

1. 서론

최근 전력사용량의 증가에 따라 화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄회량도 증가하여 2000년에는 약 450만톤의 석탄회가 발생하였으며 2010년경에는 발생량이 약 600만톤에 이를 것으로 예상되고 있다.¹⁾

석탄회는 발생장소에 따라 플라이 애쉬, 신더 애쉬, 바텀 애쉬로 구분되고, 이중 바텀 애쉬는 연소실 하부에서 발생하는 석탄회로서 클링커 애쉬(Clinker ash)로 부르기도 하며 석탄회 발생량중에서 약 10~15%를 차지하고 있으나, 발생량에 비해 이를 처리하기 위한 매립지나 처리시설의 확보가 어려워 바텀 애쉬의 처리에 대한 문제가 크게 대두되고 있다. 이에 선진외국의 경우 바텀 애쉬와 같은 매립석탄회를 건설산업에 대량으로 활용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 국내의 경우 이에 대한 체계적인 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 바텀 애쉬를 콘크리트용 잔 골재 대체재로서 건설산업에 대량으로 활용하기 위하여 바텀 애쉬의 치환율에 따른 콘크리트의 내구특성을 비교·검토함으로써 바텀 애쉬의 효율적 활용 방안을

* 정회원, 삼표산업 환경기술연구소, 주임연구원·공박

** 정회원, 삼표산업 환경기술연구소, 연구원

*** 정회원, 삼표산업 환경기술연구소, 차장

**** 정회원, 삼표산업 환경기술연구소, 부장

***** 정회원, 삼표산업 환경기술연구소, 소장·공박

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

표 1 실험계획 및 배합

W/C (%)	BA 치환율 ¹⁾ (%)	단위수량 (kg/m ³)	잔 골재율 (%)	목표 슬럼프 (cm)	단위중량(kg/m ³)				측정항목		
					시멘트	바탕 애쉬	잔 골재	굵은 골재	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트	
60	0	180	41	8±2	300		0	750	1118	• 공기량 (%) • 슬럼프 (cm)	• 압축강도 (kgf/cm ²) - 재령 3, 7, 28, 56일 • 중성화깊이 (mm) - 촉진재령 28, 56일 • 길이변화 (10 ⁻⁴) • 화학저항성 (재령1,48주) - 압축강도, 중량변화율, 상대동탄성계수 • 염소이온 침투깊이(mm) - 촉진 4주
	10						58	675			
	20						116	600			
	35						202	488			
	50						289	375			

주) 1) 잔 골재의 용적에 대한 치환

위한 참고자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 실험은 바탕 애쉬의 치환율에 따른 콘크리트의 내구특성을 비교·검토하기 위한 실험으로 실험계획 및 배합은 표 1에 나타난 바와 같다.

2.2 사용재료 및 비법방법

본 실험에 사용된 각 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 국내 A사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 잔 골재의 경우 조립률 3.04의 제염사를, 굵은 골재는 조립률 6.02의 부순자갈을 사용하였다. 또한 바탕 애쉬는 최대 치수 5mm, 비중 1.97, 강열감량 20.5%의 서천산 바탕 애쉬를 사용하였으며 사진 1은 바탕 애쉬의 SEM 촬영사진을 나타낸 것이다. 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였다.

콘크리트의 비법은 100ℓ의 강제식 펜타입 믹서를 사용하여 건비법과 모르타르비법을 행한 후, 굵은 골재를 투입하는 비법방식을 실시하였다.

표 2 사용재료

시멘트	• 1종 보통포틀랜드시멘트 • 비중 : 3.15, • 분말도 : 3,265cm ² /g
잔 골재	제염사 최대 치수 : 5mm 비중 : 2.56 조립률 : 3.04
굵은 골재	부순자갈 최대 치수 : 20mm 비중 : 2.65 조립률 : 6.02
바탕 애쉬	강열감량 : 20.5% 최대 치수 : 5mm 비중 : 1.97 조립률 : 2.93 흡수율 : 5.8%
혼화제	나프탈렌계, 액상, 비중 : 1.20

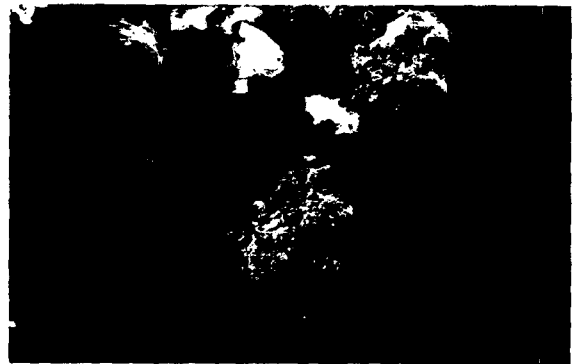


사진 1. 바탕 애쉬의 SEM 촬영사진

2.3 시험방법

콘크리트 시험은 각각 KS규준에 준하여 실시하였으며, 콘크리트의 길이변화 시험은 10×10×40cm의 각형 공시체를 제작하여 KS F 2424에 준하여 실시하였고, 화학저항성 시험은 28일 표준양생을 실시한 $\Phi 10 \times 20$ 원주 공시체를 5%의 H₂SO₄용액에 침시시켜 각각의 침지재령별 콘크리트의 물성을 평가하였다.

또한, 염소이온 침투깊이는 일본 건축학회 『철근콘크리트조 건축물의 내구성 조사·진단 및 보수지침(안)·동해설』에 규정된 플로리신나 트롬법에 준하여 실시하였고, 촉진 중성화 시험은 10×10×40cm의 공시체를 제작하여 촉진중성화 시험기(온도 20±2℃, 습도 60±5%, 탄산가스 농도 5±2%)에서 8주간 촉진중성화를 실시한 후 1% 페놀프탈레인 용액을 분무기로 분무하여 표면으로부터 적색으로 변화하지 않는 부분을 중성화 깊이로 하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성 검토 및 분석

3.1.1 고성능감수제 첨가율

그림 1은 바텀 애쉬 치환율에 따른 고성능감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능감수제의 첨가율은 바텀 애쉬를 치환하지 않은 플레인콘크리트(BA0)의 경우 0.6%, 바텀 애쉬를 치환한 BA10~BA50의 경우 0.7~0.8% 수준으로, 바텀 애쉬 치환율에 관계없이 유사하게 나타났다.

3.1.2 공기량

그림 2는 바텀 애쉬 치환율에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로, BA10을 제외하고 공기량이 2.5~3.5% 수준으로 대체적으로 유사하게 나타났다.

일반적으로, 플라이 애쉬를 콘크리트에 사용할 경우 플라이 애쉬의 미연탄소분에 의해 공기량

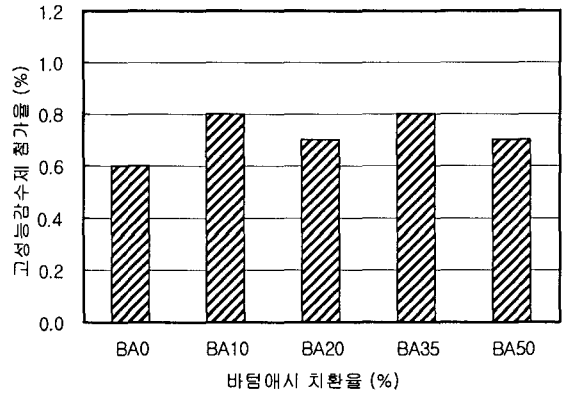


그림 1 바텀 애쉬 치환율에 따른 고성능감수제 첨가율의 변화

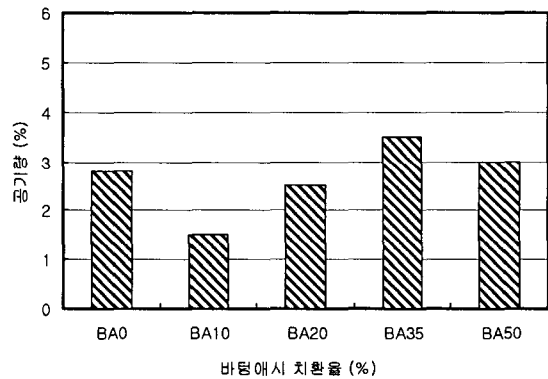


그림 2 바텀 애쉬 치환율에 따른 공기량의 변화

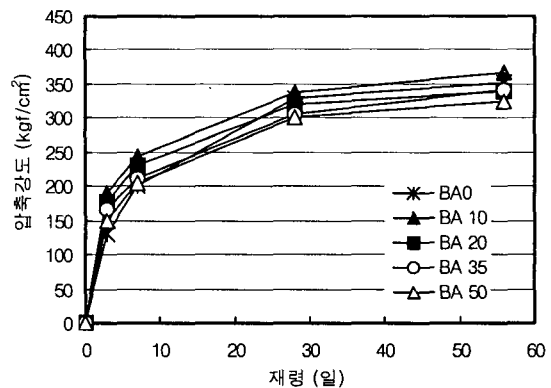


그림 3 바텀 애쉬 치환율에 따른 압축강도의 변화

이 감소하는 것으로 알려져 있으나, 바텀 애쉬를 치환한 본 연구에서는 그러한 경향은 나타나지 않았다.

3.2 경화 콘크리트의 특성 검토 및 분석

3.2.1 압축강도

그림 3은 바텀 애쉬 치환율에 따른 각 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 바텀 애쉬 치환율에 따른 유의할 만한 경향은 나타나지 않았다.

일반적으로 플라이 애쉬를 단위시멘트량의 일부로 치환하여 사용할 경우 플라이 애쉬 치환율이 증가함에 따라 초기강도가 저하하는 문제점이 발생할 수 있으나, 바텀 애쉬를 잔 골재 대체재로 사용한 본 연구의 경우 그러한 초기강도 저하현상은 나타나지 않았다.

3.2.2 중성화 깊이

그림 4는 촉진재령 4주 및 8주에서의 바텀 애쉬 치환율에 따른 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로 대체적으로 바텀 애쉬 치환율 및 촉진재령이 증가함에 따라 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났다.

3.2.3 길이변화

그림 5는 바텀 애쉬 치환율에 따른 콘크리트의 길이변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 바텀 애쉬를 치환한 콘크리트와 플레인콘크리트(BA0)의 길이변화가 대체적으로 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 플레인콘크리트의 경우 16주후의 길이변화가 7.13×10^{-4} , 바텀 애쉬를 치환한 경우 $6.75 \sim 7.60 \times 10^{-4}$ 의 수준으로 유사하게 나타났으며, 바텀 애쉬 치환율에 따른 유의할 만한 경향은 보이지 않고 있다.

3.2.4 화학저항성

그림 6은 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 침지재령이 증가함에 따라 대체적으로 압축강도가 저하하고 있음을 알 수 있으며, 바텀 애쉬 치환율에 따른 유의할 만한 경향은 보이지 않고 있다.

그림 7은 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 중량변화율을 나타낸 것으로서 침지재령이 증가함에 따라 중량이 감소하고 있음을 알 수 있으며, 또한 침지재령별로 살펴보면 침지재령 56일 후의 중량변화율이 바텀 애쉬 치환율에 관계없이 96.15~96.65%의 수준으로 유사하게 나타났다.

그림 8은 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것

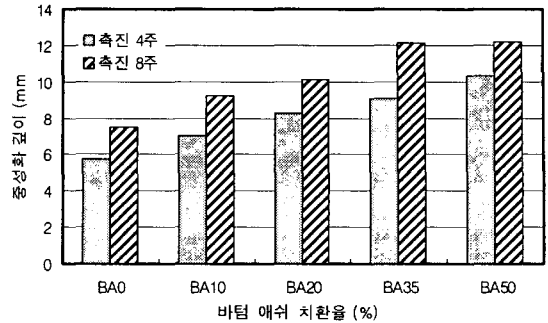


그림 4. 바텀 애쉬 치환율에 따른 중성화깊이의 변화

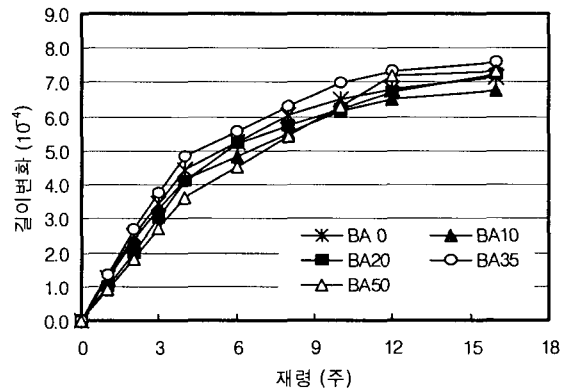


그림 5. 바텀 애쉬 치환율에 따른 길이변화

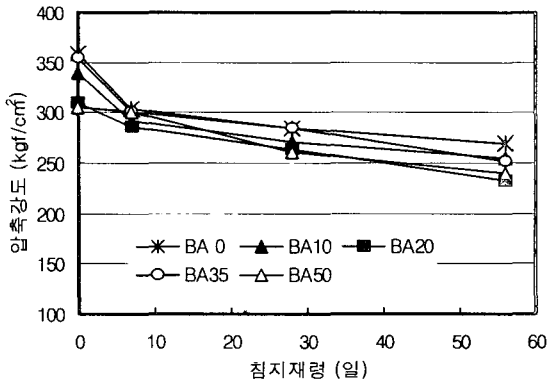


그림 6. 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 압축강도의 변화

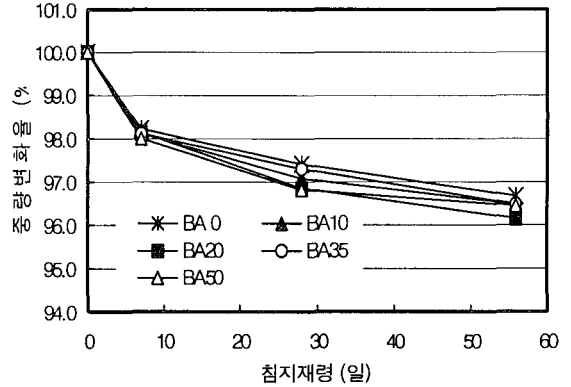


그림 7. 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 중량변화율

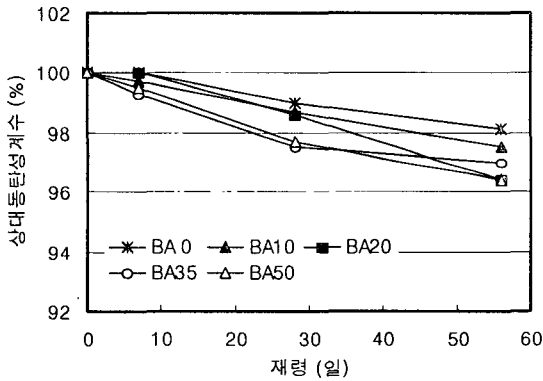


그림 8. 5% H₂SO₄용액 침지재령별 바텀 애쉬 치환율에 따른 상대동탄성계수의 변화

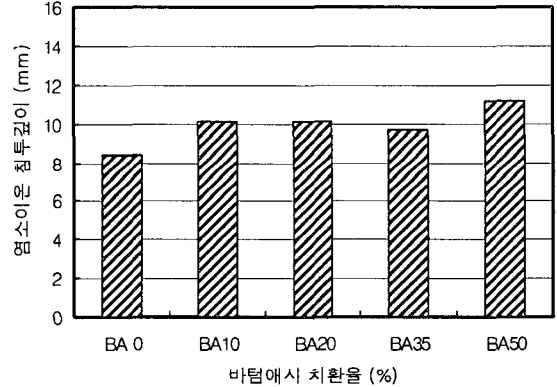


그림 9. 바텀 애쉬 치환율에 따른 염소이온 침투깊이의 변화

으로서 침지재령이 증가함에 따라 상대동탄성 계수가 저하하고 있음을 알 수 있으며, 또한 바텀 애쉬를 치환한 경우 침지재령 56일 후의 상대동탄 성계수가 96.4~97.5%로서 98.1%를 나타낸 플레인콘크리트에 비해 다소 낮게 나타났다.

3.2.5 염소이온 침투깊이

그림 9는 바텀 애쉬 치환율에 따른 염소이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 바텀 애쉬를 치환한 경우 염소이온 침투깊이가 9.7~11mm 수준으로서 8.4mm를 나타낸 BA0에 비해 상대적으로 크게 나타났다.

이는 바텀 애쉬의 이송시스템상 해수에 의한 이송시 소량의 염분이 함유되었으며, 또한 잔 골재인 제염사에 비해 바텀 애쉬의 비중이 낮고 흡수율이 높은 다공질 특성에 기인한 것으로 사료된다. 바텀 애쉬 치환율별로 살펴보면 BA50을 제외하고 9.7~10.1mm로 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

바텀 애쉬를 잔 골재 대체재로 사용한 콘크리트의 내구성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 바텀 애쉬 치환율이 증가함에 따라 상대적으로 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났으며 바텀 애쉬 치환율에 따른 길이변화는 유의할 만한 차이는 보이지 않았다. 화학저항성의 경우 침지재령이 증가함에 따라 대체적으로 압축강도가 저하하는 것으로 나타났으며, 바텀 애쉬를 치환한 경우 플레인 콘크리트와 비교해 압축강도가 다소 낮게 나타났다.
- 2) 5% H₂SO₄용액에 침지실험을 실시한 결과, 침지재령이 증가함에 따라 콘크리트의 중량이 감소하였으며, 중량변화율은 침지재령 56일 후에 96.15~96.65%의 수준으로서 대체로 유사하게 나타났다. 또한, 침지재령 56일 후의 상대동탄성 계수는 바텀 애쉬를 치환한 경우 96.4~97.5%로서 98.1%를 나타낸 플레인콘크리트에 비해 낮게 나타났다.
- 3) 바텀 애쉬를 치환한 경우 염소이온 침투깊이가 상대적으로 크게 나타났는데, 이는 바텀 애쉬의 이송 시스템상 해수에 의한 이송시 소량의 염분이 함유되었으며 또한, 잔 골재인 제염사에 비해 바텀 애쉬의 비중이 낮고 흡수율이 높은 다공질 특성에 기인한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 차동원 외, 한전의 석탄회 및 탈황석고 재활용 현황, 고성능 콘크리트 국제 워크숍 논문집, 1999.10, pp.245~270
2. 김무한 외, 플라이 애쉬의 치환방법 및 치환율에 따른 플라이 애쉬를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 18권 2호, 2002. 2, pp.123~130
3. Nader Ghafoori, Yuzheng Cai, Laboratory-Made Roller Compacted Concretes Containing Dry Bottom Ash, ACI Material Journal, 1998. 5, pp.224~251
4. 松藤 泰典ほか、石炭灰のコンクリートの大量使用に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 1999. 9, pp.437~454
5. Use of Fly Ash in concrete(ACI Committee 226) ; ACI Material Journal, Vol.84, No.5, pp.381~409, 1987
6. 김성수 외, Bottom-ash(무연탄)를 적용한 고유동충전재의 물리·역학적 성능비교, 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 1호, 2001. 5, pp.263~268