

물시멘트비 및 Bottom Ash 대체율에 따른 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Concrete according to Water-Cement Ratio and Bottom Ash Replacement Ratio

이 종 호*
Lee, Jong Ho
김 용 로**
Kim, Yong Ro

조 봉 석*
Cho, Bong Suk
최 세 진**
Choi, Se Jin

이 태 희*
Lee, Tae Hee
김 무 한***
Kim, Moo Han

ABSTRACT

Recently, the coal ash production has been increased by increase of consumption of electric power. So it is important to find a reclaimed place and treatment utility for treating coal ash.

Accordingly, in this study we performed an experimental study to compare and analyze the properties of concrete according to W/C and bottom ash replacement ratio.

As a result of this study, it was found that the bleeding content was decreased according to decrease of W/C and increase of bottom ash replacement ratio, and the compressive strength of concrete using bottom ash was similar to plain concrete(replacement ratio 0%).

1. 서 론

최근 전력사용량의 증가에 따라 화력발전소에서 발생하는 석탄회량은 지속적으로 증가하고 있어 2000년에는 약 450만톤의 석탄회가 발생하였으며 2010년경에는 발생량이 약 600만톤에 이를 것으로 예상하고 있다.¹⁾

한편 석탄회는 발생장소에 따라 플라이애시, 신더애시, 바텀애시로 구분되고 있으며 이중 바텀애시는 연소실 하부에서 발생하는 석탄회로 클링커애시라고도 하며 총석탄회 발생량 중 약 10~15%를 차지하고 있으나, 발생량에 비해 이를 처리하기 위한 매립지나 처리시설의 확보가 어려워 바텀애시의 처리에 대한 문제가 중요시 되고 있다. 또한 최근 천연골재 공급량의 한계 및 바다모래 채취에 관한 규제 등에 따라 콘크리트용 골재를 대체할 수 있는 대체재의 개발이 크게 부각될 것으로 예상되며, 바텀애시를 콘크리트용 잔골재 대체재로 사용하기 위해서는 바텀애시의 특성을 고려하여 바텀애시의 콘크리트에 대한 적용성 검토가 충분히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 바텀애시의 콘크리트용 잔골재로서의 적용성을 검토하기 위하여 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 콘크리트의 굳지않은 성상 및 경화성상을 분석함으로써 바텀애시의 효율적 활용방안 및 이용기술의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 물시멘트비 및 바텀애시 대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교·검토하기 위하여 단위수량을 $180\text{kg}/\text{m}^3$ 로 고정된 후 물시멘트비를 40, 50, 60%의 3수준으로 설정하고, 바텀애시 대체율을 잔골재 용적에 대하여 0, 10, 20, 35, 50%의 5수준으로 설정하였다.

또한 굳지않은 콘크리트의 특성을 검토하기 위하여 슬럼프, 응결시간 및 블리딩량을 KS기준에 준하여 측정하였으며 경화 콘크리트의 경우 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 측정하였다. 특히 콘크리트의 염화물함유량은 사진 1과 같은 MARUTO사의 이온선택 전기방식의 CL-203Z를 이용하여 굳지않은 콘크리트의 전염화물량(CI)을 측정하였다.

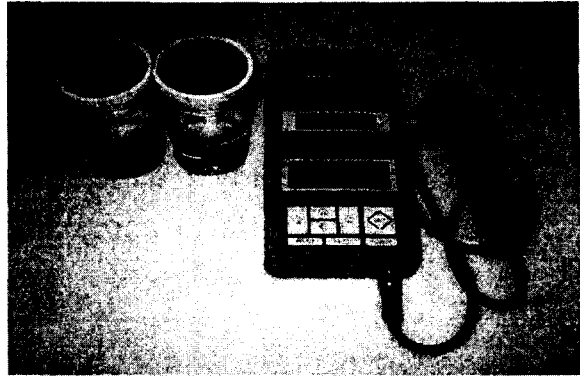


사진 1 CL-203Z 염화물함유량 측정기

2.2. 사용재료 및 비빔방법

본 연구에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 2에서 보는 바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘

표 1 실험계획 및 배합

W/C (%)	바텀애시 대체율 (%)	목표 슬럼프 (cm)	단위수량 (kg/m^3)	잔골재율 (%)	절대용적 (l/m^3)				단위중량 (kg/m^3)				측정항목			
					C	BA	S	G	C	BA	S	G				
40	0	8 ± 2	180	41	143	0	274	394	450	0	700	1043	· 슬럼프 (cm) · 염화물함유량 (kg/m^3) · 응결시간 (hr.) · 블리딩량 (cm^3/cm^2) · 압축강도 (kg/cm^2)			
	10					27	246			54	630					
	20					55	219			108	560					
	35					96	178			189	455					
	50					137	137			269	350					
50	0				114	180	41	114	0	285	411	360		0	730	1088
	10								29	257				56	657	
	20								57	228				112	584	
	35								100	185				167	475	
	50								143	143				281	365	
60	0				95	180	41	95	0	293	422	300		0	750	1118
	10								29	264				58	675	
	20								59	234				116	600	
	35								103	190				202	488	
	50								147	147				289	375	

C : 시멘트, BA : 바텀애시, S : 잔골재, G : 굵은골재

트, 잔골재는 최대치수 5mm의 제염사, 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순자갈, 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였다. 또한 바텀애시는 최대치수 5mm의 서천산 바텀애시를 사용하였다.

또한 콘크리트의 비빔방법은 용량 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 시멘트, 잔골재, 바텀애시를 투입하고 건비빔을 30초간 행한 후, 물과 굵은골재, 고성능감수제를 투입하여 약 2분간 비빔을 실시하는 분할투입방법을 사용하였다.

3. 실험결과 분석 및 검토

표 2 사용재료의 물리적 성질

종류	물리적 성질
시멘트	보통포틀랜드시멘트, 비중 : 3.15 분말도 : 3,265 (cm ² /g)
잔골재	제염사, 최대치수 : 5mm 조립율 : 3.04, 비중 : 2.56
굵은골재	부순자갈, 최대치수 : 20mm 조립율 : 6.5, 비중 : 2.65
바텀애시	최대치수 : 5mm, 강열감량 : 20.5% 흡수율 : 5.8%, 비중 : 1.97
혼화제	나프탈렌계 고성능감수제

표 3은 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 콘크리트의 시험결과를 나타낸 것이다.

3.1. 블리딩량 및 블리딩 정지시간의 분석 및 검토

그림 1은 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 블리딩량의 변화를 나타낸 것으로서 물시멘트비 40%의 경우 블리딩량이 약 0.03~0.15cm³/cm², 50%에서는 약 0.1~0.3cm³/cm², 60%에서는 약 0.08~0.45cm³/cm²의 수준으로 물시멘트비가 감소할수록 블리딩량이 상대적으로 적게 나타났으며, 또한 물시멘트비가 동일한 경우 바텀애시의 대체율이 증가할수록 블리딩량은 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 플라이애시를 시멘트에 대하여 대체하는 경우 플라이애시를 사용함에 따라 블리딩량이 감소하는 것으로 알려져 있으며,⁴⁾ 바텀애시를 잔골재의 일부로 대체한 본 실험의 경우에도 유사한 경향을 보이

표 3 시험결과

W/C (%)	바텀애시대체율 (%)	슬럼프 (cm)	블리딩량 (cm ³ /cm ²)	염화물 함유량 (kg/m ³)	응결시간		압축강도 (kgf/cm ²)		
					초결 (h : m)	종결 (h : m)	3일	7일	28일
40	0	7.0	0.14	0.045	7 : 00	8 : 30	254	383	699
	10	8.5	0.11	0.061	7 : 55	9 : 25	252	367	660
	20	7.0	0.06	0.064	7 : 35	9 : 15	299	382	650
	35	9.5	0.04	0.067	7 : 00	9 : 10	354	411	734
	50	8.0	0.03	0.095	6 : 45	8 : 40	320	413	678
50	0	7.5	0.28	0.026	7 : 35	9 : 45	184	274	530
	10	8.0	0.26	0.06	8 : 20	10 : 10	190	267	581
	20	7.0	0.22	0.055	7 : 50	9 : 50	184	294	534
	35	8.0	0.17	0.075	7 : 35	9 : 45	197	297	555
	50	6.5	0.10	0.090	7 : 30	9 : 55	189	248	486
60	0	10.0	0.50	0.052	7 : 20	9 : 25	130	201	328
	10	7.0	0.45	0.051	6 : 50	8 : 25	190	243	336
	20	7.5	0.38	0.079	7 : 45	9 : 45	177	230	320
	35	10.5	0.39	0.082	9 : 00	11 : 05	166	212	306
	50	7.0	0.08	0.097	7 : 10	9 : 20	149	205	301

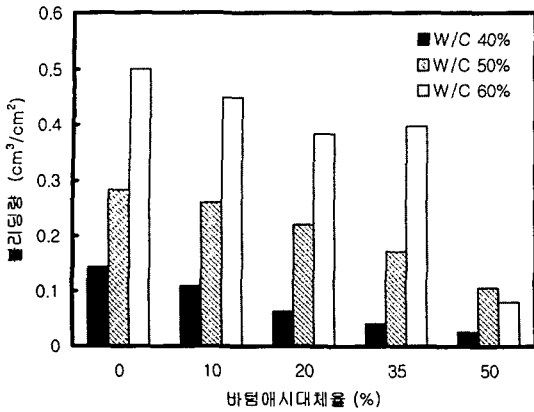


그림 1 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 블리딩량의 변화

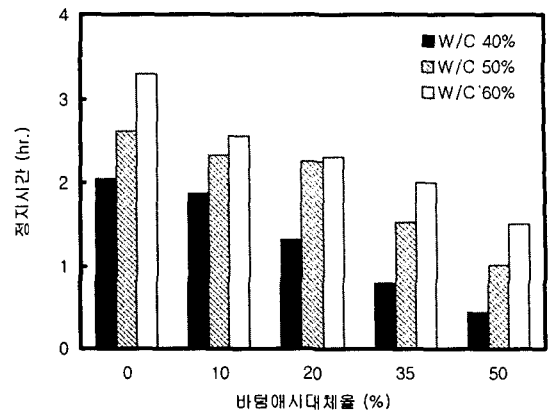


그림 2 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 블리딩 정지시간의 변화

고 있는 것을 알 수 있다.

그림 2는 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 블리딩 정지시간의 변화를 나타낸 것으로서 전반적으로 블리딩량의 변화와 유사한 경향으로 나타났다.

3.2. 염화물함유량의 분석 및 검토

물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 염화물 함유량의 변화는 그림 3에서 보는 바와 같이 물시멘트비에 따른 염화물 함유량의 차이는 크게 나타나지 않았다.

또한 바탕애시의 대체율이 증가할수록 콘크리트내의 염화물함유량(Cl⁻)이 상대적으로 증가하는 것으로 나타났는데 이는 바탕애시의 이송 시스템상 해수에 의한 이송으로 소량의 염분이 함유되었기 때문으로 사료된다. 그러나 바탕애시 대체율에 관계없이 모든 배합에서 건설교통부제정 「콘크리트표준시방서」에서 제안하고 있는 콘크리트 내의 전염화물이온량 제한치인 0.30kg/m³이하를 만족하는 것으로 나타나 바탕애시를 잔골재대체재로서 50%까지 대체한 본 연구의 범위에서 염분으로 인한 철근부식 등의 문제점은 없을 것으로 사료된다.

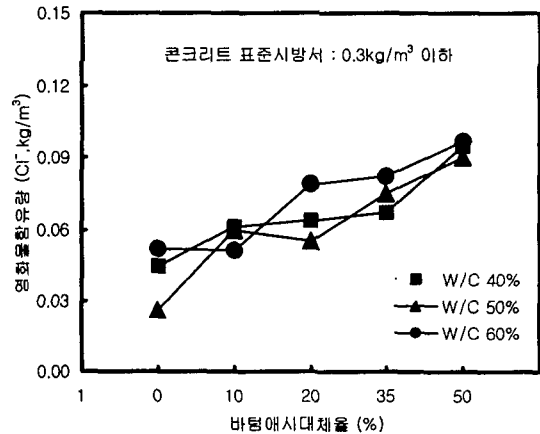


그림 3 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 염화물함유량의 변화

3.3. 응결시간의 분석 및 검토

그림 4는 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 따른 콘크리트의 관입저항치 변화를 나타낸 것으로 초결도달시간은 약 7~9시간, 종결도달시간의 경우 8~11시간으로 물시멘트비 및 바탕애시대체율에 관계없이 모든 배합에서 유사한 수준으로 나타났다. 일반적으로 플라이애시를 대체한 콘크리트의 경우 응결시간이 다소 지연되는 것으로 알려져 있으나⁶⁾ 본 연구의 범위에서 바탕애시의 대체에 따른 응결지연

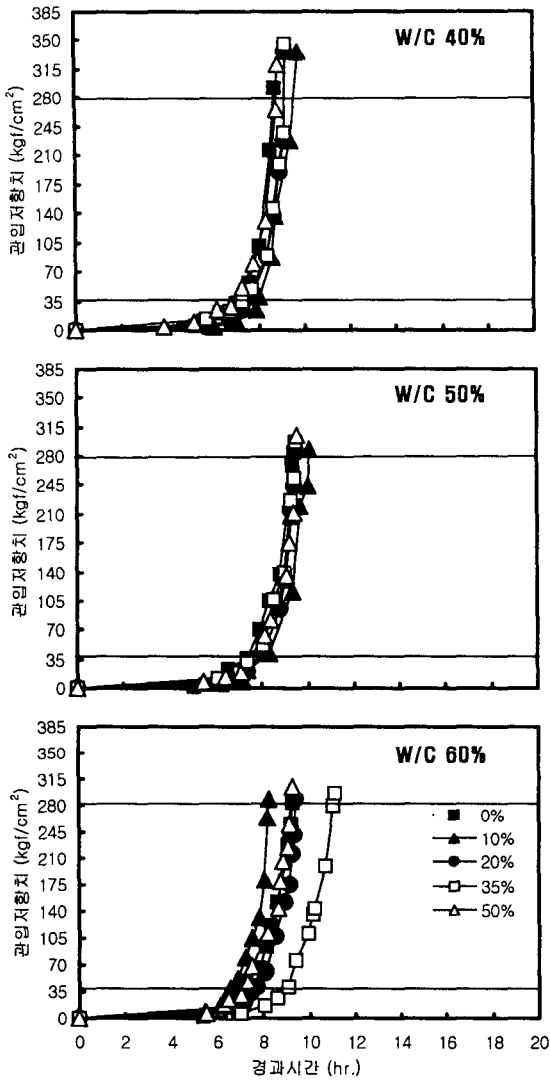


그림 4 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 콘크리트의 관압저항치 변화

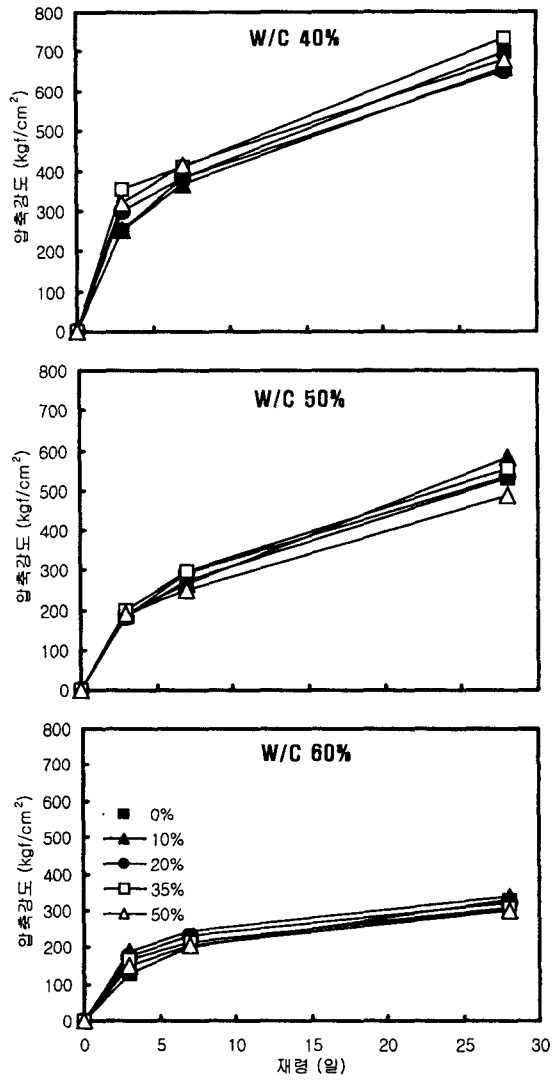


그림 5 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 압축강도의 변화

현상은 나타나지 않았다.

3.4. 압축강도의 분석 및 검토

그림 5는 각 재령별 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 물시멘트비가 감소할수록 상대적으로 높은 압축강도를 나타내고 있으며, 또한 동일 물시멘트비에 있어서 바텀애시를 대체한 경우 전반적으로 바텀애시를 대체하지 않은 콘크리트와 유사한 수준으로 나타나고 있다. 일반적으로 플라이애시를 단위시멘트량에 대하여 대체하는 경우 플라이애시의 대체율이 증가함에 따라 초기재령에서 낮은 압축강도를 발현하는 것으로 알려져 있으나⁶⁾ 바텀애시를 잔골재 대체재로 사용한 본 연구의 경우 바텀애시대체에 따른 초기압축강도저하 등의 유의할 만한 경향은 나타나지 않았다.

4. 결 론

물시멘트비 및 바텀애시대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 블리딩량의 경우 물시멘트비가 감소할수록 상대적으로 감소하는 것으로 나타났으며 바텀애시의 대체율이 증가할수록 블리딩량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 응결시간의 경우 물시멘트비 및 바텀애시대체율에 관계없이 모든 배합에서 대체적으로 유사한 수준으로 나타났다.
- 3) 염화물함유량의 경우 물시멘트비에 따른 차이는 작은 것으로 나타났으며 바텀애시대체율이 증가할수록 염화물함유량이 다소 증가하였으나 모든 배합에서 「콘크리트표준시방서」에서 제안하고 있는 콘크리트 내의 전 염화물이온량 제한치인 0.30kg/m^3 이하를 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 압축강도의 경우 물시멘트비가 감소할수록 상대적으로 높은 압축강도를 나타내고 있으며 동일 물시멘트비에 있어서 바텀애시대체율에 관계없이 유사한 수준으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지기술학술진흥사업 「석탄회를 대량 활용한 환경부하저감형 콘크리트의 제조기술 개발」 중 일부임을 밝히며 본 연구의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 차동원 외, 한전의 석탄회 및 탈황석고 재활용 현황, 고성능 콘크리트 국제 워크숍 논문집, 1999.10, pp.245~270
2. Nader Ghafoori, Yuzheng Cai, Laboratory-Made Roller Compacted Concretes Containing Dry Bottom Ash, ACI Material Journal, 1998. 5, pp.224~251
3. 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,
4. ACI Committee 226, Use of Fly Ash in concrete, ACI Material Journal, Vol.84, No.5, 1987, pp.381~409
5. 김무한 외, 플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 배합설계를 위한 기초적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 제13권 1호, 2001. 5, pp.641~646
6. 김무한 외, 플라이애시의 치환방법 및 치환율에 따른 플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제18권 2호 통권160호, 2002. 2, pp.123~130
7. K.Wesche, Fly Ash in Concrete-Properties and Performance, Report of Technical Committee 67-FAB use of Fly Ash in Building, RILEM, 1991
8. A. Bilodeau and V.M. Malhotra, High-Volume Fly Ash System, International Workshop on high performance concrete utilizing supplementary cementitious materials, pp.43~64, 1999.10
9. 山田有一 ほか, 石炭灰の有効利用に関する研究, 東京電力技術研究所報告書, pp.82~132, 1985.4
10. 野口貴文, 新世紀の鉄筋コンクリート高強度コンクリート, 建築雑誌, Vol.113, No.1420, 1998.03, pp.38~40