



## 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

최세진<sup>1)\*</sup> · 정 용<sup>1)</sup> · 오복진<sup>1)</sup> · 김무한<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 삼표산업(주) 환경기술연구소 <sup>2)</sup> 충남대학교 건축공학과

(2003년 6월 10일 원고접수, 2003년 10월 30일 심사완료)

### An Experimental Study on the Engineering Properties of Concrete according to W/C and Replacement Ratio of Bottom Ash

Se-Jin Choi<sup>1)\*</sup>, Yong Jeong<sup>1)</sup>, Bok-Jin Oh<sup>1)</sup>, and Moo-Han Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Environmental R&D Center, Sam Pyo Industrial Co., Ltd., 133-111, Seoul

<sup>2)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

(Received June 10, 2003. Accepted October 30, 2003)

#### ABSTRACT

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

This is an experimental study to compare and analyze the engineering properties of concrete according to W/C and replacement ratio of bottom ash. For this purpose, the mix proportions of concrete according to W/C(40, 50, 60%) and replacement ratio of bottom ash(0, 10, 20, 35, 50%) were established, and then tested for slump, chloride content, setting time, bleeding content, compressive strength. Also the durability test of concrete with W/C 60% was performed.

According to test results, it was found that the bleeding content of concrete decreased as the replacement ratio of bottom ash increased. And the chloride content of concrete using the bottom ash increased as the replacement ratio of bottom ash increased, but it is satisfied with the chloride content of fresh concrete  $0.30 \text{ kg/m}^3$  below (「concrete standard specification」 regulation value). The compressive strength of concrete using the bottom ash was similar to that of BA0 concrete after 28 days of curing and the carbonation depth of concrete was increased according to increase of the replacement ratio of bottom ash.

**Keywords :** bottom ash, setting time, bleeding content, compressive strength, carbonation

#### 1. 서 론

최근 전력사용량의 증가에 따라 화력발전소에서 발생하는 석탄회량도 증가하고 있으며, 이로 인한 환경오염, 생태계파괴 등의 문제가 크게 대두됨에 따라, 이러한 석탄회를 재활용하기 위한 노력이 국가·사회적으로 시급히 요구되고 있다.<sup>1-9)</sup>

석탄회는 발생장소에 따라 Fly Ash(플라이애쉬), Cinder Ash(신더애쉬), Bottom Ash(바텀애쉬)로 구분되고 있으며, 이중 바텀애쉬는 연소실 하부에서 발생하는 회로 Clinker Ash(클링커애쉬)라고도 하며, 총석탄회 발생량 중에 약 10~15%를 차지하고 있다. 그러나 발생량에 비해 이를 처리하기 위한 매립지나 처리시설의 확보가 어려워 석탄회의 처리에 대한 문제가 중요시 되고 있다.

또한 최근 천연골재 공급량의 한계 및 바다모래(해사) 채취에 관한 규제 등에 따라 콘크리트용 골재를 대체할 수 있는 대체재의 개발이 크게 부각될 것으로 예상되며, 바텀애쉬를 콘크리트용 잔골재 대체재로 사용할 경우 바다모래 및 부순모래 세척에 따라 손실되는 미립분을 보완할 수 있어 그 활용성이 크다고 할 수 있다.<sup>3,10-13)</sup>

특히 석탄회중 플라이애쉬는 활용율이 매년 증가하고 있으나, 바텀애쉬의 경우에는 거의 대부분이 매립·폐기되고 있다. 또한 바텀애쉬 자체의 물리·화학적 성질이 열악하기 때문에 바텀애쉬를 잔골재 대체재로서 콘크리트에 활용하기 위해서는 이에 대한 검토가 충분히 이루어져야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 바텀애쉬의 콘크리트용 잔골재 대체재로서의 적용성을 검토하기 위하여 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 굳지않은 특성 및 압축강도, 내구성 등의 공학적 특성을 비교·검토함으로써 바텀애쉬의 효율적 활용방안 및 이용기술의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

\* Corresponding author

Tel : 02-476-5483 Fax : 02-476-5485

E-mail : csj2378@hanmail.net

**Table 1** Experimental plan and mix proportions

W/C (%)	Factor*	Aiming slump (cm)	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	s/a (%)	Unit weight** (kg/m <sup>3</sup> )				Test items	
					C	BA	S	G	Fresh	Hardened
40	BA 0	8±2	180	41	450	0	700	1043	• Slump (cm) • Chloride content (kg/m <sup>3</sup> ) • Setting time (hr.) • Bleeding content (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	• Compressive strength (MPa) • Carbonation depth(mm) • Drying shrinkage*** • Sulphate resistance*** • Depth of chloride-ion penetration(mm)***
	BA10					54	630			
	BA20					108	560			
	BA35					189	455			
	BA50					269	350			
50	BA 0				360	0	730	1088		
	BA10					56	657			
	BA20					112	584			
	BA35					167	475			
	BA50					281	365			
60	BA 0				300	0	750	1043		
	BA10					58	675			
	BA20					116	600			
	BA35					202	488			
	BA50					289	375			

\* BA : Bottom Ash, Number is replacement ratio of fine aggregate volume  
 \*\* C : Cement S : Sand G : Gravel, \*\*\* Tested for W/C 60%

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 배합은 Table 1에서 보는 바와 같이 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 각종 공학적 특성을 비교·검토하기 위하여 단위수량을 180kg/m<sup>3</sup>로 고정한 후, 물-시멘트비를 40, 50, 60%의 3 수준, 잔골재에 대한 바텀애쉬의 대체율을 0, 10, 20, 35, 50%의 5수준으로 설정하였다. 또한 슬럼프의 경우 비중, 흡수율 등 바텀애쉬의 열악한 물리적 성질을 고려하여 목표슬럼프를 8±2cm로 다소 낮게 설정하였다.

### 2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 Table 2에서 보는 바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트, 잔골재는 세척사, 굵은골재는 부순자갈, 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였으며, 바텀애쉬는 최대치수 5mm, 조립율 2.93의 서천산 미세척 바텀애쉬를 표건상태로 맞추어 사용하였다. 또한 Table 3은 본 실험에 사용한 바텀애쉬의 화학성분을 나타낸 것이다.

콘크리트의 비빔방법은 수차례의 예비시험을 통해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 용량 100ℓ의 강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 잔골재, 바텀애쉬를 투입하여 건비빔을 30초간 행한 후, 물과 굵은골재, 고성능감수제를 투입하여 약 2분간 비빔을 실시하는 분할투입방법을 사용하였다.

한편, Fig. 2는 바텀애쉬 및 제염사의 입도분포곡선을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 바텀애쉬는 표준

입도분포곡선을 대체로 만족하고 있으며, 제염사의 경우 0.3mm 이하의 미립분이 다소 부족한 것으로 나타났다. 또한 Fig. 3은 바텀애쉬의 SEM사진으로서 사진에서 보는 바와 같이 입형이 매우 불규칙적이고 표면이 다공성임을 알 수 있다.

### 2.3 실험방법 및 측정항목

굳지않은 콘크리트의 특성을 검토하기 위하여 슬럼프, 염화물 함유량, 응결시간 및 블리딩량을 측정하였으며, 경화 콘크리트의 경우 압축강도(재령 3, 7, 28, 56일) 및 길이변화를 비교·검토하였다. 또한, 바텀애쉬를 사용한 콘크리트의 내구성을 검토하기 위하여 촉진중성화 28, 56일의 중성화 깊이 및 물-시멘트 60%의 경우 화학저항성, 염소이온침투깊이를 측정하였다.

**Table 2** Properties of materials

Materials	Physical property
Cement	Ordinary portland cement Specific gravity(S.G.): 3.15 Fineness: 3,265(cm <sup>2</sup> /g)
Fine aggregate	Sea sand, G <sub>max</sub> : 5mm, F.M.: 3.04 S.G.: 2.56
Coarse aggregate	Crushed stone, G <sub>max</sub> : 20mm F.M.: 6.5, S.G.: 2.65
Bottom-Ash	G <sub>max</sub> : 5mm, F.M.: 2.93, LOI: 20.5% Ratio of water absorption: 5.8% S.G.: 1.97
Admixture	Superplasticizer (naphthalene-based)

**Table 3** Chemical analysis of bottom ash

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
45.5	27.8	5.7	1.9	0.9

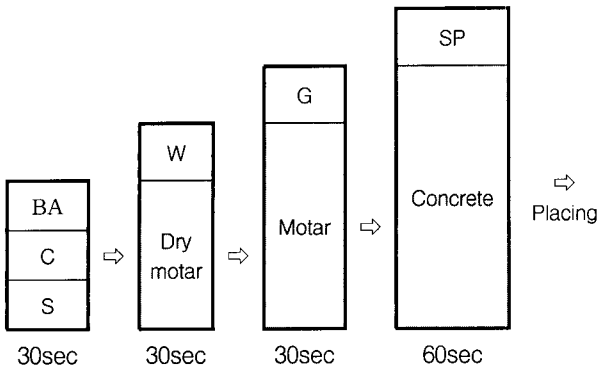


Fig. 1 Mixing method of concrete

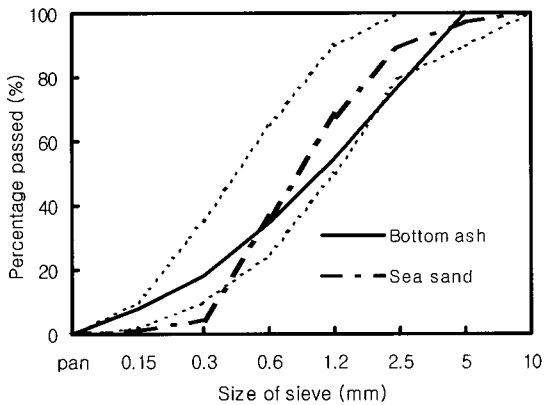


Fig. 2 Grading curve

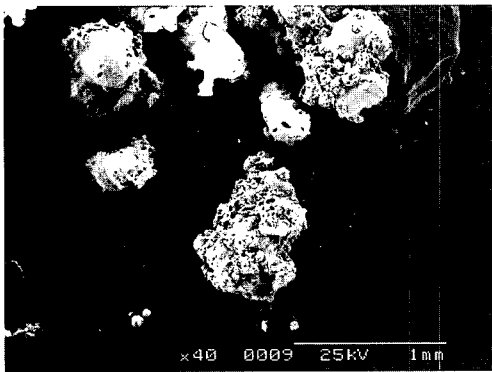


Fig. 3 SEM of bottom ash

공기량, 슬럼프, 응결시간 및 블리딩량 시험은 KS기준에 준하여 측정하였으며, 콘크리트의 염화물 함유량 시험은 MARUTO사의 이온선택 전기방식의 CL-203Z를 이용하여 굳지않은 콘크리트의 전염화물량을 측정하였다. 또한 중성화 시험은 10×10×40cm의 공시체를 제작하여 20±2℃에서 4주간 수중양생을 행한 후 상대습도 60±5%, 온도 20±2℃에서 1주간 정치하였다. 그 후에 온도 20℃, 습도 50%, CO<sub>2</sub> 농도 5%로 촉진중성화 시험을 행하여 촉진 중성화 28, 56일에 1% 페놀프탈레인 용액을 이용하여 중성화깊이를 측정하였다.

콘크리트의 길이변화 시험은 10×10×40 cm의 각형 공시체를 제작하여 KS F 2424에 준하여 실시하였고, 화학저항성 시험은 28일 표준양생을 실시한  $\phi$ 10×20 cm 원주공시체를 5%의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액에 침지시켜 각각의 침지재령별 콘크리트의 물성을 평가하였다. 또한, 염소이온 침투깊이는 일본 건축학회 「철근콘크리트조 건축물의 내구성 조사·진단 및 보수지침(안)·동해설」에 규정된 플로리신나트륨법에 준하여 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Table 4는 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 측정결과를 나타낸 것이다.

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성 검토

##### 3.1.1 고성능감수제 첨가율의 변화

Fig. 4는 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 고성능감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서, 물-시멘트비가 낮을수록 상대적으로 많은 양의 고성능감수제가 요구됨을 알 수 있는데, 이는 물-시멘트비가 낮아짐에 따라 결합재량이 많아져 점성이 증가했기 때문으로 판단된다.

또한, 바텀애쉬 대체율에 따른 변화를 살펴보면, 물-시멘트비 60%에서는 대체로 유사하게 나타났으나 물-시멘트비 40, 50%에서는 바텀애쉬 대체율이 증가함에 따라 고성능감수제 첨가율이 다소 증가하고 있는데, 이는 낮은 물-시멘트비 수준에서 잔골재에 비해 흡수율이 상대적으로 높은 바텀애쉬가 단위수량의 일부를 흡수함으로써 유동성을 확보하기 위한 고성능감수제 첨가율이 다소 증가한 것으로 사료된다. 따라서, 낮은 물-시멘트비 수준에서 바텀애쉬를 대량 대체할 경우 바텀애쉬의 흡수율을 고려한 단위수량 및 고성능감수제 첨가율의 수준을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 블리딩 및 응결시험의 검토 및 분석

Fig. 5는 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 블리딩량의 변화를 나타낸 것으로, 물-시멘트비가 감소할수록, 또한 바텀애쉬 대체율이 증가할수록 블리딩량이 감소하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 석탄회를 단위시멘트량의 일부로 치환하는 경우 블리딩량이 감소하는 것으로 알려져 있으며<sup>4-6)</sup>, 바텀애쉬를 잔골재의 일부로 치환한 본 실험의 경우에도 유사한 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 6은 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있듯이 물-시멘트비 60%에 비해 물-시멘트비 40, 50%에서 바텀애쉬 대체율에 따른 변화가 상대적으로 적

Table 4 Experiment results

W/C (%)	Factor	Fresh concrete				Hardened concrete						
		dosage of SP* (%)	Slump (cm)	Bleeding content (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	Chloride content (Cl <sup>-</sup> , kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (MPa)				Carbonation depth (mm)		Depth of Cl <sup>-</sup> penetration (mm)
						3d	7d	28d	56d	28d	56d	
40	BA 0	0.8	7.0	0.14	0.045	25.4	38.3	69.9	83.1	1.50	1.00	-
	BA10	0.7	8.5	0.11	0.061	25.2	36.7	66.0	76.4	2.40	2.80	-
	BA20	0.8	7.0	0.06	0.064	29.9	38.2	65.0	70.7	2.30	3.70	-
	BA35	1.0	9.5	0.04	0.067	35.4	41.1	73.4	78.7	2.70	3.10	-
	BA50	1.2	8.0	0.03	0.095	32.0	41.3	67.8	72.2	2.90	3.00	-
50	BA 0	0.6	7.5	0.28	0.026	18.4	27.4	53.0	59.9	3.38	4.22	-
	BA10	0.6	8.0	0.26	0.060	19.0	26.7	58.1	66.3	4.64	6.60	-
	BA20	0.8	7.0	0.22	0.055	18.4	29.4	53.4	64.2	4.76	6.36	-
	BA35	0.9	8.0	0.17	0.075	19.7	29.7	55.5	62.2	5.24	6.88	-
	BA50	1.1	6.5	0.10	0.090	18.9	24.8	48.6	60.2	6.74	8.06	-
60	BA 0	0.6	10.0	0.50	0.052	13.0	20.1	32.8	35.2	5.73	7.50	8.4
	BA10	0.8	7.0	0.45	0.051	19.0	24.3	33.6	36.7	7.00	9.20	10.1
	BA20	0.7	7.5	0.38	0.079	17.7	23.0	32.0	34.0	8.28	10.10	10.1
	BA35	0.8	10.5	0.39	0.082	16.6	21.2	30.6	34.1	9.05	12.10	9.7
	BA50	0.7	7.0	0.08	0.097	14.9	20.5	30.1	32.5	10.30	12.20	11.2

\* Superplasticizer

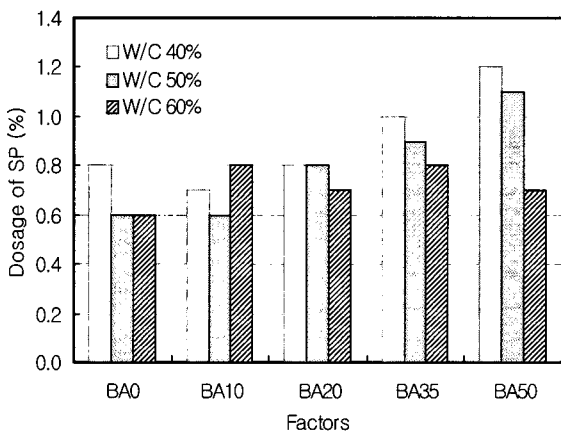


Fig. 4 Variation of dosage of SP

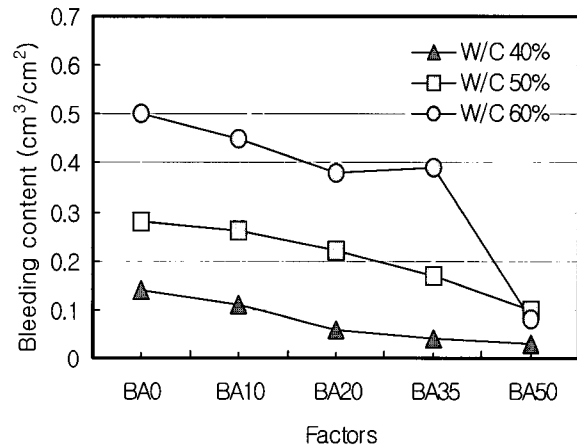


Fig. 5 Variation of bleeding content

게 나타났으며, 대체적으로 초결 도달시간의 경우 약 7~9 시간, 종결 도달시간의 경우 약 8~11시간으로 나타났다.

### 3.1.3 염화물 함유량 검토 및 분석

Fig. 7은 바텀애쉬를 사용한 굳지않은 콘크리트의 염화물 함유량 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 물-시멘트비에 따른 유의할 만한 경향은 보이지 않았으며, 대체적으로 바텀애쉬 대체율이 증가할수록 콘크리트 내의 염화물량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이는 석탄화력발전소의 이송 시스템상 바텀애쉬를 매립지로 이송할 경우 해수를 이용하기 때문에 바텀애쉬에 소량의 염분이 포함된 것으로 판단된다<sup>23)</sup>.

그러나 바텀애쉬를 대체한 모든 콘크리트에 있어서 건설교통부제정 「콘크리트표준시방서」에서 제안하고 있는 콘크리트 내의 전 염화물이온량 0.30 kg/m<sup>3</sup> 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

## 3.2 경화콘크리트의 특성 검토

### 3.2.1 압축강도 검토 및 분석

물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 Fig. 8에서 보는 바와 같이, 물-시멘트비가 낮을수록 압축강도가 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, 또한 동일 물-시멘트비의 경우에 있어서 바텀애쉬 대체율에 관계없이 유사하게 나타났다.

일반적으로 플라이애쉬를 단위시멘트량의 일부로 치환하여 사용할 경우 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 초기강도가 저하하는 문제점이 발생할 수 있으나,<sup>46-8,14-19)</sup> 바텀애쉬를 잔골재 대체재로 사용한 본 연구의 경우 그러한 초기강도 저하현상은 나타나지 않았다.

특히, 물-시멘트비 40, 50%의 경우 바텀애쉬를 대체한 모든 배합에서 재령 28일의 압축강도가 48.6~73.4 MPa의 수준을 발현함으로써, 바텀애쉬를 잔골재의 일부로 대체한

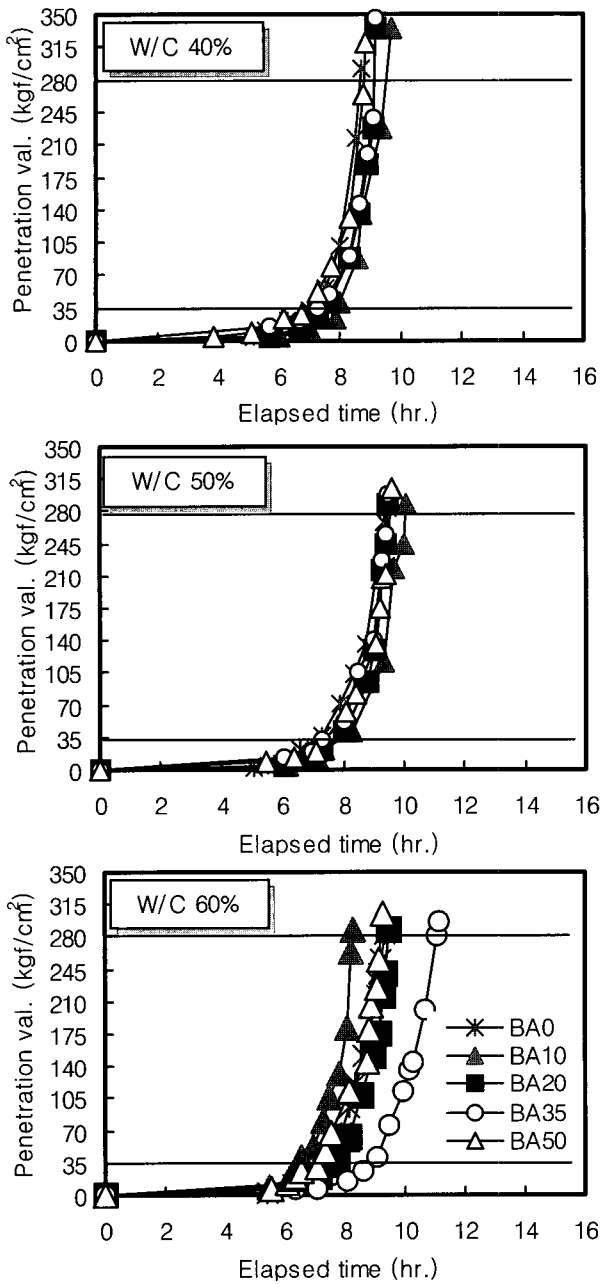


Fig. 6 Variation of penetration resistance

고강도콘크리트의 제조가능성을 확인할 수 있었다.

### 3.2.2 중성화 특성의 검토 및 분석

Fig. 9는 축진재령 28, 56일에서의 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 중성화깊이의 변화를 나타낸 것으로, 대체적으로 바텀애쉬 대체율이 증가함에 따라 중성화깊이가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 바텀애쉬의 다공성 및 치환율의 증가에 따라 압축강도가 다소 저하함으로서 CO<sub>2</sub>의 확산속도가 빨라져 중성화깊이가 증가한 것으로 사료된다.<sup>17,18,20,21)</sup>

이러한 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트 중성화 깊이

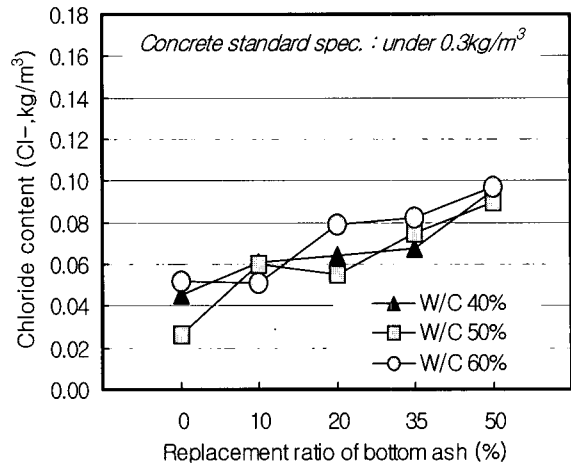


Fig. 7 Variation of chloride content

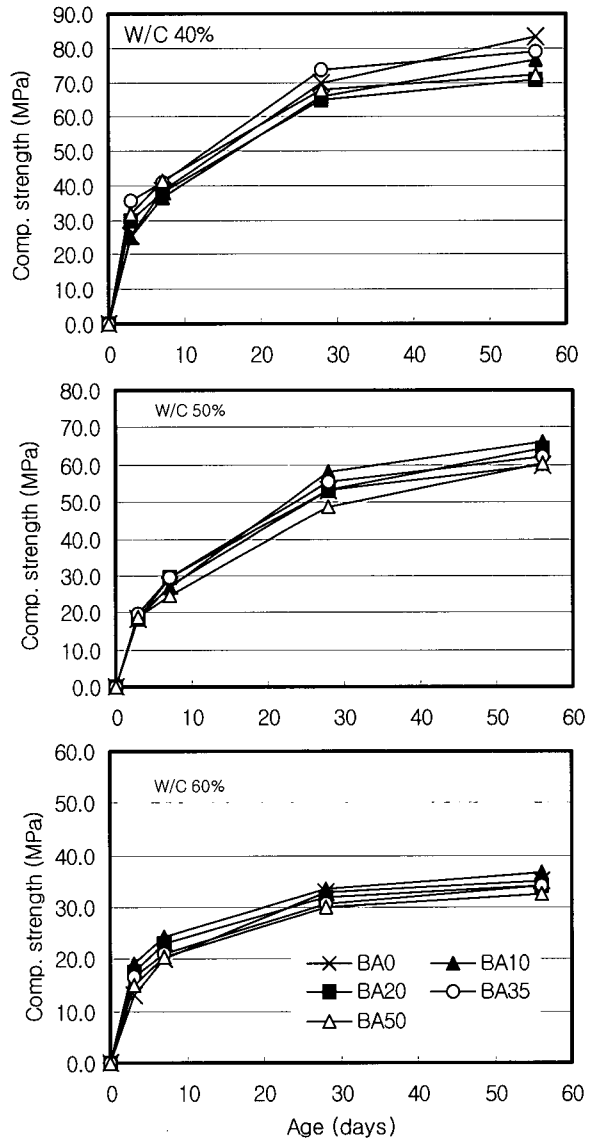


Fig. 8 Variation of compressive strength according to the age

의 차이는 물-시멘트비가 낮아질수록 감소하고 있으며, 촉진재령 28일에 비해 촉진재령을 증가시킨 촉진재령 56 일의 경우가 증산화깊이가 상대적으로 크게 나타났다.

### 3.2.3 길이변화 검토 및 분석

Fig. 10은 물-시멘트비 60%인 배합에서 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 길이변화를 나타낸 것으로서, 그림

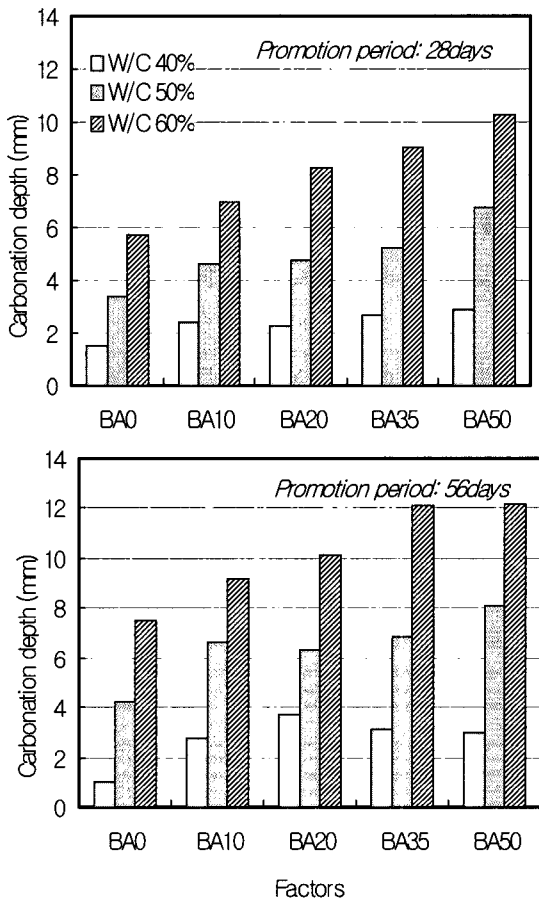


Fig. 9 Variation of carbonation depth

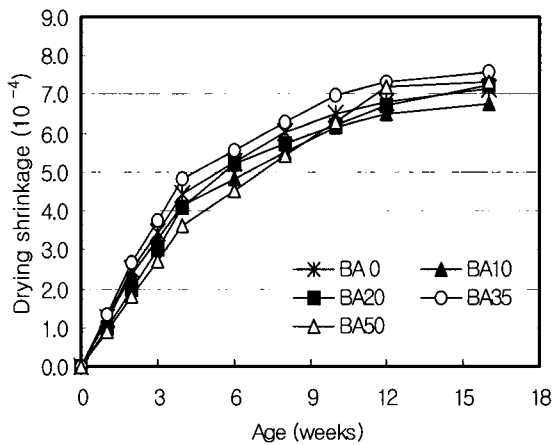


Fig. 10 Variation of drying shrinkage

에서 보는 바와 같이 바텀애쉬를 대체한 콘크리트와 플레인콘크리트(BA0)의 길이변화가 대체적으로 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 재령 16주후의 길이변화가 바텀애쉬 대체율에 관계없이  $6.7 \sim 7.5 \times 10^{-4}$  수준으로 유사하게 나타났다.

### 3.2.4 화학저항성 검토 및 분석

Fig. 11은 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 침지재령별 바텀애쉬 대체율에 따른 압축강도, 중량변화율 및 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것으로서 우선 침지재령에 따른 압축강도의 변화를 살펴보면, 바텀애쉬 대체율에 관계없이 침지재령이

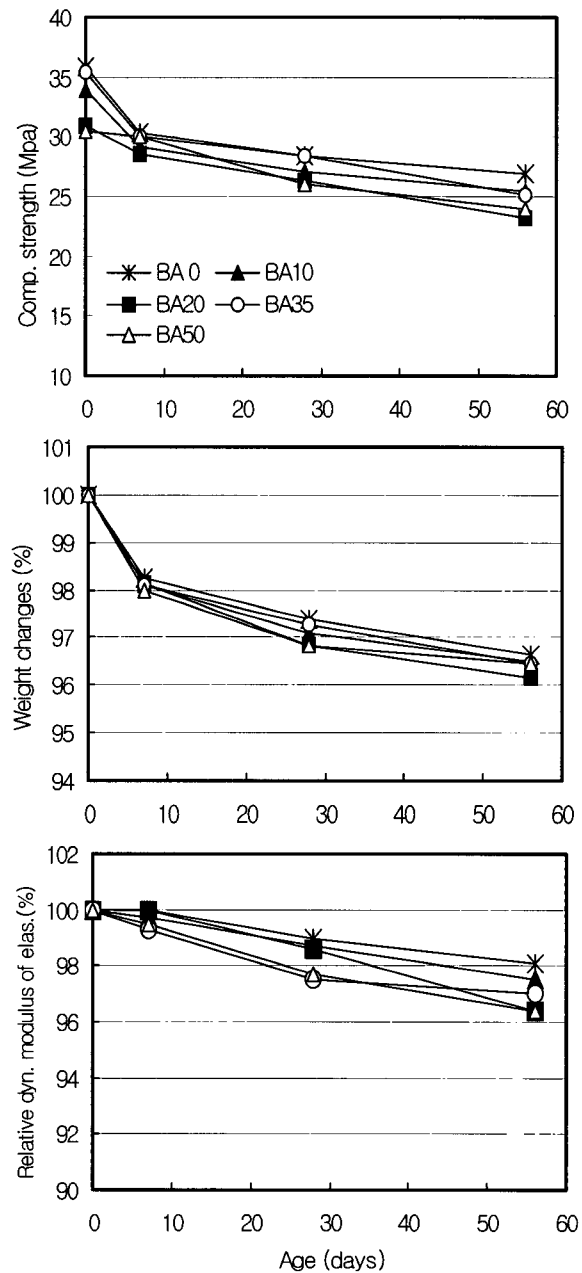


Fig. 11 Variation of sulphate resistance according to the age

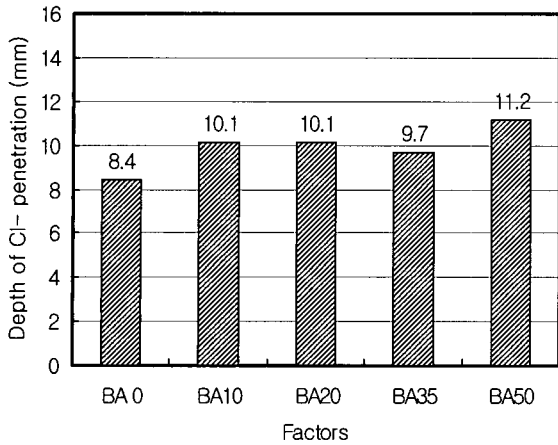


Fig. 12 Depth of chloride-ion penetration

증가함에 따라 대체적으로 압축강도가 저하하고 있음을 알 수 있다. 또한 침지재령에 따른 증량변화를 및 상대동탄성계수의 경우도 압축강도변화와 유사하게 침지재령이 증가함에 따라 증량 및 상대동탄성계수가 저하하고 있음을 알 수 있다. 특히 바텀애쉬를 대체한 경우 침지재령 56일 후의 상대동탄성계수가 플레인콘크리트에 비해 다소 낮게 나타났다.

### 3.2.5 염소이온 침투깊이 검토 및 분석

Fig. 12는 바텀애쉬 대체율에 따른 염소이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 바텀애쉬를 대체한 경우 염소이온 침투깊이가 9.7~11.2mm 수준으로서 8.4mm를 나타낸 BA0에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이는 바텀애쉬의 이송시스템상 해수에 의한 이송시 소량의 염분이 함유되었으며, 또한 잔골재인 제염사에 비해 바텀애쉬의 비중이 낮고 흡수율이 높은 다공질 특성에 기인한 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고성능감수제 첨가율의 경우, 물-시멘트비 40, 50% 수준에서 바텀애쉬 대체율이 증가함에 따라 고성능감수제 첨가율이 다소 증가하는 것으로 나타나, 낮은 물-시멘트비 수준에서 바텀애쉬를 대량 대체할 경우 바텀애쉬의 흡수율을 고려한 단위수량 및 고성능감수제 첨가율의 수준을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다
- 2) 블리딩량의 경우, 바텀애쉬의 대체율이 증가함에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났으며, 응결시간은 바텀애쉬 대체율에 관계없이 BA0 (plain concrete)과 대체적으로 유사한 수준으로 나타났다.

- 3) 콘크리트 내의 염화물 함유량은 바텀애쉬 대체율이 증가할수록 염화물량이 다소 증가하였으나, 건설교통부 제정 「콘크리트표준시방서」에서 제안하고 있는 콘크리트 내의 전 염화물이온량  $0.30 \text{ kg/m}^3$  이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 압축강도의 경우, 물-시멘트비가 감소할수록 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 특히 물-시멘트비 40, 50%의 경우 바텀애쉬를 사용한 모든 배합에서 재령 28일의 압축강도가 48.6~73.4MPa의 수준을 발현함으로써 바텀애쉬를 사용한 고강도콘크리트의 제조가 가능할 것으로 사료된다.
- 5) 바텀애쉬 대체율이 증가함에 따라 상대적으로 중성화 깊이가 증가하였으며, 물-시멘트비가 감소함에 따라 이러한 중성화 깊이의 차이가 감소하는 것으로 나타났다.
- 6) 길이변화를 검토한 결과, 바텀애쉬 대체율에 관계없이 유사하게 나타났으며, 화학저항성은 침지재령이 증가함에 따라 대체적으로 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 또한 바텀애쉬를 대체한 경우 염소이온 침투깊이가 상대적으로 크게 나타났다.

## 참고문헌

1. 최세진, 김무한 외, “석탄회를 잔골재 대체재로서 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 20권 1호, 2003, pp.59~64.
2. 차동원 외, “한전의 석탄회 및 탈황석고 재활용 현황”, 고성능콘크리트국제워크숍 논문집, 서울대학교, 1999, pp.245~270.
3. 최세진, 김무한, “플라이애쉬를 잔골재 대체재로 사용한 모르타르의 유동성 및 압축강도특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 18권 12호, 2002, pp. 91~96.
4. Nader Ghafoori and Yuzheng Cai, “Laboratory-Made Roller Compacted Concretes Containing Dry Bottom Ash,” *ACI Material Journal*, Vol.95, March-April, 1998, pp.121~130.
5. 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”, 日本建築學會學術講演梗概集, 1999, pp. 437~454.
6. “Use of Fly Ash in concrete(ACI Committee 226),” *ACI Material Journal*, Vol.84, No.5, 1987, pp.381~409.
7. 김완영 외, “수로터널 라이닝시 요구되는 콘크리트의 물적특성에 관한 연구”, WRRRI-98-1, 수자원연구소 1998. pp.61~93
8. 이진용 외, “플라이애쉬 함유량이 콘크리트의 특성에 미치는 영향”, 고성능콘크리트국제워크숍 논문집, 서울대학교, 1999, pp.271~285.
9. 최세진, 김무한 외, “플라이애쉬를 대량 사용한 콘크리트

- 트의 배합설계를 위한 기초적 연구”, 콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 13권 1호, 2001, pp.641~646.
10. 김성수 외, “Bottom-ash(무연탄)를 적용한 고유동충전재의 물리·역학적 성능비교”, 한국콘크리트학회논문집, 13권 1호, 2001, pp.263~268.
  11. 이상수, “플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 공학적 특성 및 그 현장適用性에 관한 研究”, 박사학위논문, 충남대학교, 2000.
  12. 김무한 외, “플라이애쉬 품질에 따른 고유동콘크리트의 유동특성 및 공학적특성에 관한 실험적연구”, 대한건축학회 대전·충남지부 논문집, 15권 1호, 1998, pp.157~162.
  13. 김무한, 최세진 외, “플라이애쉬의 치환방법 및 치환율에 따른 플라이애쉬를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 18권 2호, 2002, pp.123~130.
  14. 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, 日本建築学会, 1999, pp.437~454.
  15. V. M. Malhotra et al, “Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash from Sources in the U.S.,” *ACI Materials Journal*, Vol.90, No.6, 1993, pp.535~544.
  16. 小山智幸 ほか, “石炭灰をコンクリートに大量使用するための安定化処理に関する研究”, *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol.22, No.2, 2000, pp.115~120.
  17. 松尾栄治 ほか, “フライアッシュを細骨材代替に用いたモルタルの配合にする基礎的研究”, *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol.22, No.2, 2000, pp.1141~1146.
  18. 友沢史紀 ほか, “フライアッシュを大量使用したコンクリートの微細組織と圧縮強度”, *日本建築学会構造系論文集* 第517号, 1999, pp.11~16.
  19. A. Bilodeau and V.M. Malhotra, “High-Volume Fly Ash System,” *International Workshop on High Performance Concrete Utilizing Supplementary Cementitious Materials*, Seoul National University, 1999, pp.43~64.
  20. Narang K.C., “Portland and Blended Cement,” *9th International Congress on the Chemistry of Cement*, Vol.1, 1992, pp.239~246.
  21. 友沢史紀 ほか, “フライアッシュを外割混合したモルタルの中性化特性”, *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol.21, No.2, 1999, pp.109~114.

## 요 약

최근 전력사용량의 증가에 따라 화력발전소에서 발생하는 석탄회량도 증가하고 있으며, 이로 인한 환경오염, 생태계 파괴 등의 문제가 크게 대두됨에 따라 이러한 석탄회를 재활용하기 위한 노력이 국가사회적으로 시급히 요구되고 있다.

본 연구는 물-시멘트비 및 바텀애쉬 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 비교·검토하기 위하여, 물-시멘트비를 40, 50, 60%, 바텀애쉬 대체율을 0, 10, 20, 35, 50%로 설정하여 제조한 콘크리트의 특성을 비교·분석함으로써 바텀애쉬의 효율적 활용 방안 및 이용기술의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

실험결과, 블리딩량의 경우 바텀애쉬 대체율이 증가할수록 다소 감소하였으며, 바텀애쉬를 대체한 콘크리트의 염화물 함유량은 대체율이 증가할수록 상대적으로 증가하였으나, 콘크리트 표준시방서에서 제안하고 있는  $0.3 \text{ kg/m}^3$  이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 압축강도의 경우 바텀애쉬를 대체한 콘크리트와 플레인콘크리트가 유사한 수준으로 나타났으며, 바텀애쉬 대체율이 증가할수록 상대적으로 중성화 깊이가 증가하였으나 물-시멘트비가 감소함에 따라 이러한 차이가 감소하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 바텀애쉬, 응결시간, 블리딩량, 압축강도, 중성화