

## 혼화제 · 재가 무시멘트 황토 모르타르의 유동성 및 압축강도 발현에 미치는 영향

양근혁<sup>1)\*</sup> · 황혜주<sup>2)</sup> · 김선영<sup>3)</sup> · 송진규<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>목포대학교 건축공학전공, <sup>2)</sup>목포대학교 건축학과, <sup>3)</sup>전남대학교 바이오하우징, <sup>4)</sup>전남대학교 건축학부

### Effect of Superplasticizers and Admixtures on the Fluidity and Compressive Strength Development of Cementless Mortar Using Hwangtoh Binder

Keun-Hyeok Yang<sup>1)\*</sup>, Hey-Zoo Hwang<sup>2)</sup>, Sun-Young Kim<sup>3)</sup>, and Jin-Gyu Song<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Mokpo University, Jeonnam 534-729, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Architecture, Mokpo University, Jeonnam 534-729, Korea

<sup>3)</sup>Institute of BIO Housing, Chonnam University, Gwangju 500-757, Korea

<sup>4)</sup>Dept. of Architecture, Chonnam University, Gwangju 500-757, Korea

**ABSTRACT** This paper reports test results to assess the influence of superplasticizers and different admixture on the flow and compressive strength development of cementless mortar using developed hwangtoh binder. Test specimens were classified into four groups: series I for the mixing ratio of superplasticizers, series II for a kind and replacement level of admixtures according to the variation of water/hwangtoh binder ratio, series III for the specific surface area and replacement level of ground granulated blast-furnace slag, and series IV for the replacement level of powered superplasticizer agent developed to improve slump loss of concrete. The proper replacement level of each admixture is proposed for enhancement the flow and compressive strength of the hwangtoh binder mortar.

**Keywords** cementless mortar, hwangtoh binder, superplasticizer, admixture, flow

### 1. 서 론

시멘트 제조 시 방출되는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 온실가스의 주요 원인이다. 일반적으로 보통포틀랜드시멘트(OPC) 생산 1톤당 방출되는 이산화탄소 양은 0.8 톤이다. Malhotra<sup>1)</sup>는 전 세계의 OPC 생산으로부터 방출되는 온실가스의 양은 매해 13.5 억톤으로 추산되며 이는 대기 온실가스의 7%에 해당되는 양임을 지적하였다. 뿐만 아니라 OPC는 생산·제조 과정에서 발생하는 먼지와 분진, 1,300°C 이상 온도의 소성과정에서 소비되는 막대한 에너지 및 크롬에 의해 유발되는 피부병 등의 심각한 환경문제를 동반한다<sup>2)</sup>. 하지만 OPC는 구조물의 주요 재료인 모르타르 및 콘크리트의 기본 재료로서 많은 장점을 가지고 있는 것도 사실이다. 최근 콘크리트 산업체들은 OPC가 갖는 환경적 문제를 인지하여 OPC가 갖는 장점을 유지하면서 이산화탄소의 감축을 위해 노력하고 있다. 국외 L사는 OPC 생산 1톤당 이산화탄소의 방출량을 20% 감축시키기 위한 기술개발을 위해 노력하고 있다. 또한 미국 콘크리트 산업은 “Vision 2030: A Vision for the U.S

Concrete Industry”에서 친환경 콘크리트<sup>3,4)</sup>를 만들기 위한 계획을 발표하였다.

친환경 콘크리트에 대한 관심증가는 그 용어 정의도 다각도로 제시되면서 이에 따른 여러 종류의 콘크리트의 개발이 이루어지고 있다. Mehta<sup>5)</sup>는 친환경 콘크리트의 기본 조건으로서 보다 적은 천연자원사용과 에너지 소비, 이산화탄소 방출의 최소 등을 제시하고 있다. 플라이애쉬나 고로슬래그와 같은 산업부산물용 OPC 양에 대해 부분 치환한 콘크리트<sup>6)</sup>, 리사클링을 위한 순환골재 콘크리트<sup>7)</sup> 등이 친환경 측면을 부각하면서 많은 연구 결과들이 보고되고 있다. 국내에서는 1997년 이후 인간에게 유익한 성분들을 함유하고 있을 뿐만 아니라 국민정서에도 친숙한 황토를 20~30% 이하로 치환한 콘크리트 개발을 위한 연구<sup>8-10)</sup>들이 진행되고 있다.

본 연구에서 제시하는 친환경 콘크리트의 정의는 자연과 동화될 수 있는 콘크리트로서 Mehta가 제시하는 기본 개념보다 더욱 적극적이다. 이를 위한 기본조건으로서 이산화탄소의 무방출, 인간을 비롯한 동·식물에게 유익한 성분함유 및 보다 적은 에너지 소비 등이다. 이를 위해 본 연구에서는 시멘트가 없는 황토결합재를 개발하였으며 이를 이용한 모르타르 및 콘크리트의 배합설계와 기초 역학적 특성들에 대한 연구<sup>2,11)</sup>를 수행하였다.

\*Corresponding author E-mail : yangkh@mokpo.ac.kr

Received July 28, 2006, Accepted August 31, 2006

©2006 by Korea Concrete Institute

본 연구의 결과는 건강주거 환경개발에 중요한 역할을 담당할 것이다.

본 연구의 목적은 황토결합재(HB)를 사용한 무시멘트 모르타르(HB 모르타르)의 배합설계 개발 및 성능 향상이다. HB 모르타르의 플로우와 압축강도 발현이 상업적으로 이용되는 혼화제와 혼화제에 의해 받는 영향을 평가하였다. 시험체는 혼화제 및 혼화제의 종류와 치환율에 따라 각 시리즈로 구분되었다.

## 2. 실험

### 2.1 시험체 배합상세

본 연구는 HB 모르타르 및 HB 콘크리트를 구조체에 적용하는 최종목표의 기초이다. HB 모르타르의 적정 배합설계 및 유동성과 압축강도 향상을 위하여 혼화제 및 혼화제가 첨가되었다. 시험체는 Table 1에 나타낸 바와 같이 혼화제·재 종류와 치환율에 따라 네 그룹으로 분류되었다. 모든 시리즈에서 잔골재 최대직경( $S_{max}$ )은 압축강도와 건조수축 제어 측면에서 유리한 5.0 mm로 고정<sup>11)</sup>하였다.

HB(hwangtoh binder)는 OPC(ordinary portland cement)에 비해 비중은 낮고 흡수성은 높기 때문에 동일 OPC 모르타르에 비해 유동성이 매우 낮다<sup>11)</sup>. 이를 개선하기 위해 시리즈 I의 실험을 계획하였다. 리그닌계의 감수제의 성분 중 96%는 목질 섬유에서 추출한 천연 리그닌계이며, 상업적으로 이용되는 다른 감수제들에 비해 화학성분이 매우 적다. 하지만 황토를 혼화제로 치환한 콘크리트에서 리그닌계 감수제는 황토와의 반응에서 많은 내부공기를 발생시키며 압축강도 발현을 매우 감소시켰다<sup>12)</sup>. 이를 고려하여 리그닌계와 폴리카르본산계를 1:1로 혼합하였다. 일반적으로 혼화제의 정의는 결합재 양 대비 5% 미만의 혼입재료로서 정의<sup>9)</sup>되므로 이를 고려하여 최대 5%까지 투입하였다. 이전 연구<sup>11)</sup>에서 물/황토결합재 비( $W/HB$ )가 60% 이하 그리고 잔골재/황토결합재 비( $S/HB$ )가 증가

할수록 압축강도는 상승하였지만 플로우가 급격히 감소하였다. 특히  $S/HB$ 가 3.5일 때 HB 모르타르의 압축강도가 급격히 감소하기 때문에 HB 모르타르의 배합에서 한계  $S/HB$ 는 3.0으로 제시하였다<sup>2,11)</sup>. 이를 고려하여 유동성이 가장 불리한  $S/HB$ 는 3.0으로 하였다.

시리즈 II는 HB와 반응성이 좋은 혼화제를 예비 실험으로부터 선정하고 이들의 치환율에 따른 유동성과 압축강도를 평가한 것이다. Fig. 1에는 여러 종류의 혼화제가 15%와 30% 치환된 HB 모르타르의 상대 압축강도의 예비 실험 결과를 나타내었다. 상대 압축강도는 혼화제가 없는 HB 모르타르의 압축강도에 대한 각 혼화제가 치환된 HB 모르타르의 압축강도의 비이다. HB의 강도발현 메커니즘은 포졸란반응이기 때문에 수화반응에 의한 초기강도 향상을 목적으로 시멘트도 혼화제의 개념으로 적용하였다. 각 혼화제가 15% 치환된 경우 재령 1일 강도 증진은 뛰어났지만 28일 강도 증진은 CSA계 팽창시멘트(CSA typed expansive cement, EC)와 고로슬래그(ground granulated blast-furnace slag, GGBS)를 제외하고는 크지 않았다. 반면 30% 치환된 HB 모르타르에서는 실리카푼(silica fume, SF)만 제외하고는 대부분의 혼화제가 1일 강도와 28일 강도 증진에 기여하였다. 하지만 초속경 시

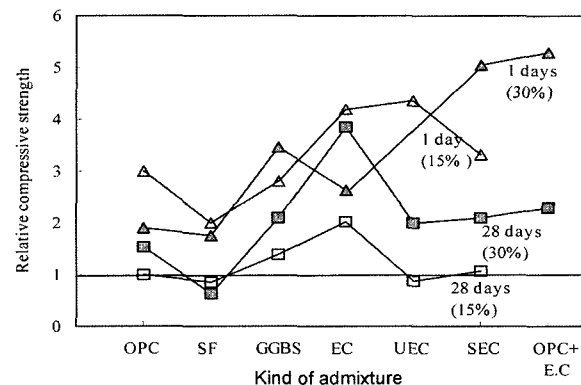


Fig. 1 Influence of different admixture on the relative compressive strength of HB mortar

Table 1 Main variables in each series

Group	Main variables	Scopes
Series I (superplasticizer)	$W/HB$ (%)	50, 60
	Kind of superplasticizer	polycarboxylate+lignin
	Mixing ratio relative to hwangtoh binder in mass(%)	0, 0.5, 3.0, 5.0
	Basic condition	$S/HB = 3.0$
Series II (admixture)	$W/HB$ (%)	50, 60, 70
	Kind of admixture	GGBS, EC
	Mixing ratio relative to whole binder in mass(%)	0, 20, 30, 40, 50
	Basic condition	$S/HB = 3.0$
Series III (GGBS)	Mixing ratio relative to whole binder in mass(%)	0, 10, 20, 30, 40, 50
	Specific surface area of GGBS, $cm^2/g$	4,000, 8,000
	Basic condition	$W/HB = 60\%$ , $S/HB = 3.0$
Series IV (using PSP agent)	$W/HB$ (%)	50, 60
	Mixing ratio of PSP agent relative to whole binder in mass(%)	0, 10, 20, 30
	Mixing term(Min.)	1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30
	Basic condition	$S/HB = 2.0$

멘트(*ultra super early strength cement, UEC*)와 초조강 시멘트(*super high-early strength cement, SEC*)는 비빔 후 유동성 손실이 OPC 모르타르에서 보다는 급격하였기 때문에 HB와 함께 사용되기에는 적합하지 않았다. 이를 고려하여 시리즈 II에서는 GGBS 및 EC를 혼화재로 선택하였다. GGBS는 비표면적  $4,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 급을 이용하였다. 이들 혼화재의 치환율은 *W/HB* 비 60%에서는 20~50%로, *W/HB* 비 50%와 70%에서는 20%와 30%로 하였다.

GGBS는 이산화탄소 방출이 없는 산업부산물로서 HB와의 반응성이 매우 우수하였다. GGBS의 활용성을 높이기 위하여 밀도  $2.89 \text{ g/cm}^3$ 의 비표면적  $4,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 과  $8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 에 대해서 시리즈 III의 실험을 수행하였다. 시리즈 III의 시험체에서 *W/HB*와 *S/HB*는 각각 60%와 3.0이다. *W/HB* 60%일 때 비표면적  $4,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 치환율 20%~50%인 시험체는 시리즈 II의 결과를 이용하였다.

시리즈 IV는 시리즈 I, II의 결과에 근거하여 유동성과 압축강도의 향상을 목적으로 계획되었다. 분말형 혼화제(*powered superplasticizer agent, PSP agent*)는 콘크리트의 시간경과에 따른 슬럼프 손실을 개선시키기 위해 개발된 분말형의 혼화제<sup>13)</sup>이다. 주요 성분은 GGBS로서 폴리카르본산계 감수제가 매우 소량 첨가되어 소성화된 것이다. PSP 제의 밀도는 GGBS와 비슷한  $2.93 \text{ g/cm}^3$ 이며 비표면적은  $6,300 \text{ g/cm}^2$ 이다. PSP 제는 전체 결합재 양의 50%를 치환하여도 순수 폴리카르본산계 감수제의 3% 치환량보다도 적다. OPC 콘크리트에서는 최적 첨가량이 5%로 제시<sup>13)</sup>되고 있지만 본 연구에서는 HB 모르타르의 유동성과 압축강도 향상을 목적으로 30%까지 치환하였다. PSP제의 특성을 고려하여 비빔시간을 변화시켰다.

## 2.2 재료특성

HB<sup>2)</sup>는 황토가 주 성분으로서 압축강도 향상을 위하여 유리석회, 규산나트륨 등의 무기질 성분들을 적정 소량 첨가시킨 것이다. HB에 시멘트는 첨가되지 않았다. HB의 밀도는  $2.48 \text{ g/cm}^3$ 이다. Table 2에는 HB의 주요 성분인 황토와 GGBS 및 EC의 주요 화학적 성분들을 나타내었다. 황토는 실리카( $\text{SiO}_2$ )와 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )이 주요 성분으로서 이들이 산산화칼슘과 반응하여 포졸란반응을 일으킨다.<sup>2)</sup> 반면 GGBS 및 EC는 유리석회( $\text{CaO}$ )가 주요 성분으로서 이들이 황토의 포졸란반응에서 생성되는 아플라이트 젤(*afwilite gel*) 또는 스트래틀링가이드 젤(*stratlingite gel*)과 결합하여 압축강도 상승에 기여한다.

잔골재는 최대직경 5 mm로서 바다모래를 세척한 것이다. 사용된 잔골재의 밀도는  $2.52 \text{ g/cm}^3$ , 흡수율은 1.11, 조립률은 2.49이다.

## 2.3 측정요소 및 방법

굳지 않은 모르타르에서는 플로우를 경화 모르타르에서는 재령에 따른 압축강도를 측정하였다. 플로우는 KS

**Table 2** Chemical ingredient of each binder(unit: % in mass)  
(a) Hwangthong

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig.loss
40.0	32.9	7.79	0.39	1.54	0.76	1.73	14.89

(b) GGBS(ground granulated blast-furnace slag)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	S	Ig.loss
33.1	13.8	0.29	42.4	6.1	0.4	0.96	0.66	2.29

(c) EC(CSA typed expansive cement)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
1.5	12.5	1.0	52.5	1.5	1.0	29.5	0.5

L 5111 기준<sup>14)</sup>에 따라 불 첨가 후 그리고 1분의 비빔 후 측정하였다. 압축강도는 KS L 5105 기준에 의해 50 mm 입방체 몰드를 이용하여 재령 1일, 3일, 7일, 28일 및 91일에서 측정되었다. 단, 시리즈 IV의 압축강도는 재령 28일에서만 측정되었으며, 플로우를 측정하는 비빔시간에 따라 압축강도 측정을 위한 몰드를 만들었다.

양생은 기건양생을 하였다. 양생실의 온도와 습도를 일정하게 유지하기 위하여  $2 \times 2 \times 1 \text{ m}$ 의 양생실을 만들고 내부에 자동온도제어 전기시스템을 설치하였다. 내부 양생 온도와 습도는 각각  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 와  $70 \pm 5\%$ 를 유지하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

Table 3에는 각 시리즈의 플로우 및 재령에 따른 압축강도를 나타내었다. 압축강도는 몰드 3개의 평균 값이다. 시리즈 IV의 재령 28일 압축강도는 비빔 직후에 만들어진 몰드의 값을 나타내었다. 실험 결과 분석에서는 혼화제·재가 없는 HB 모르타르의 플로우 및 압축강도로 무차원화한 상대 값을 이용하였다.

### 3.1 상대 플로우

#### 3.1.1 혼화재 종류의 영향

Fig. 2에는 시리즈 II에서 혼화재 종류 및 치환율에 따른 *W/HB*와 상대 플로우의 관계를 나타내었다. 혼화재 치환율은 20%와 30%일 때이다. 혼화재가 유동성에 미치는 영향은 *W/HB*에 의해 영향을 받았다. *W/HB*가 50%인 경우 각 혼화재의 치환은 유동성 변화에 전혀 영향을 미치지 않았다. 반면 *W/HB*가 60%인 경우에는 고로슬래그 치환은 유동성을 향상시켰으며, *W/HB*가 70%인 경우 혼화재 30%가 치환되면 약 10%의 유동성을 향상시켰다. GGBS는 *W/HB* 60% 이상에서 HB 모르타르의 유동성 향상에 기여하였다. 이상수 등<sup>15)</sup>은 GGBS가 치환된 콘크리트에서 GGBS의 표면이 OPC 입자의 표면에 비해서 치밀하고, 페이스트와 골재계면의 마찰이 작기 때문에 목표 슬럼프 값이 작을수록 GGBS 치환율 증가에 따른 슬럼프 증가율이 증가함을 보였다. GGBS의 비중이 HB와 비슷한 것을 고려할 때 OPC 콘크리트에서와 같이 GGBS 입자의

**Table 3** Details of test results

(a) Series I

Specimen*	W/HB(%)	SP(%)	F(mm)	$f_{cu}$ (MPa)				
				1d	3d	7d	28d	91d
5-N	50	0	100	14.0	16.9	20.2	24.8	27.8
5-1.0		0.5	100	2.7	15.3	19.8	22.0	23.0
5-3.0		3.0	108	1.7	12.3	18.4	18.3	21.8
5-5.0		5.0	120	0.5	7.4	12.1	16.2	17.4
6-N	60	0	109	7.6	14.7	21.1	23.1	25.8
6-1.0		0.5	109	2.0	14.0	17.1	18.0	17.9
6-3.0		3.0	123	0.6	7.7	13.9	12.8	12.9
6-4.0		4.0	129	0.5	6.9	9.6	12.0	12.8

\*Specimen notation is classified into two parts, one of which gives the W/HB ratio the other refers to the addition ratio of superplasticizer relative to HB in mass, SP

(b) Series II

Specimen*	W/HB(%)	Admixture	$R_A$ (%)	F(mm)	$f_{cu}$ (MPa)				
					1d	3d	7d	28d	91d
5-N	50	-	-	100	6.5	21.0	26.3	26.9	26.3
5B-20		GGBS	20	100	8.4	20.9	24.8	28.0	28.7
5B-30			30	100	8.8	20.5	26.0	30.1	33.4
5E-20		EC	20	100	16.1	23.5	30.4	31.2	35.2
5E-30			30	100	15.0	23.7	27.9	37.5	38.4
6-N	60	-	-	110	5.4	11.9	17.6	20.9	20.1
6B-20		GGBS	20	123	5.4	12.3	16.4	19.6	20.1
6B-30			30	132	5.4	11.8	15.9	18.1	18.6
6B-40			40	137	5.0	12.3	16.9	19.5	19.9
6B-50			50	145	5.3	11.9	17.6	18.1	19.0
6E-20		EC	20	104	14.6	23.6	31.2	34.4	34.7
6E-30			30	105	12.3	22.0	30.0	33.3	33.5
6E-40			40	107	16.0	27.1	31.4	33.0	34.4
6E-50			50	109	14.8	25.0	27.6	31.9	33.8
7-N		70	-	-	109	3.5	11.1	16.8	17.4
7B-20	GGBS		20	109	4.4	13.4	19.0	22.0	22.8
7B-30			30	117	5.5	13.2	16.9	17.5	18.3
7E-20	EC		20	110	8.2	13.2	21.5	27.4	27.8
7E-30			30	119	13.4	16.5	20.9	30.0	30.2

\*Specimen notation includes three parts. The first part indicates W/HB ratio and the second part implies the kind of admixture and the other gives the mixing ratio of admixture relative to whole binder in mass,  $R_A$

(c) Series III

Specimen*	W/HB(%)	S.A <sup>#</sup> (cm <sup>2</sup> /g)	$R_B$ (%)	F(mm)	$f_{cu}$ (MPa)				
					1d	3d	7d	28d	91d
B4-10	60	4,000	10	113	5.4	11.9	17.0	20.5	20.8
B8-10			10	128	4.3	13.8	18.2	22.9	22.9
B8-20		8,000	20	135	5.4	17.8	21.0	24.6	25.2
B8-30			30	137	6.7	20.2	25.4	28.3	28.5
B8-40			40	142	7.0	20.4	24.5	28.1	29.5
B8-50			50	145	7.0	20.7	24.8	27.7	27.9

\*Specimen notation includes two parts. The first part means the specific surface area of GGBS and the other refers to the mixing ratio of GGBS relative to whole binder in mass,  $R_B$

# S.A indicates the specific surface area of GGBS

(d) Series IV

Specimen	W/HB(%)	$R_p$ (%)	F(mm)								$f_{cu}^{\#}$ (MPa)
			Mixing time(Min.)								
			1	3	5	7	10	15	20	30	
5-N	50	-	103	-	-	-	-	-	-	-	25.5
5-10		10	150	137	139	139	132	129	129	120	28.9
5-20		20	158	147	145	146	149	154	149	140	28.0
5-30		30	165	171	169	165	161	164	158	159	22.9
6-N	60	-	126	-	-	-	-	-	-	-	21.9
6-10		10	171	181	191	182	177	172	165	170	22.5
6-20		20	215	216	220	209	203	204	194	193	23.9
6-30		30	210	215	211	218	213	210	201	200	20.0

\*Specimen notation includes two pars. The first part gives W/HB ratio and the other means the mixing ratio of PSP agent relative to whole binder in mass,  $R_p$

# Compressive strength measured from mold made after 1 Min.'s mixing

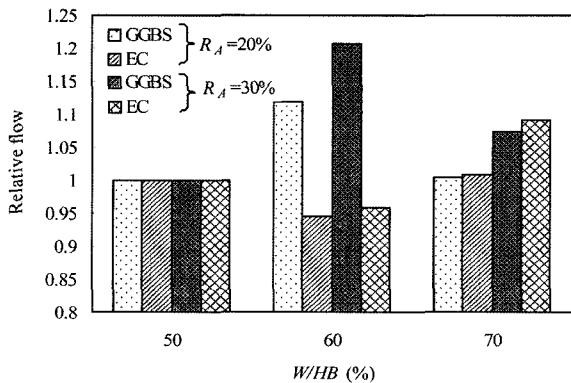


Fig. 2 Relative flow against W/HB(series II)

특성이 HB 모르타르의 플로우 향상에 기여하고 있다고 판단된다.

3.1.2 혼화제 혼입률 및 혼화제 치환률의 영향

Fig. 3에는 혼화제 혼입률과 상대 플로우의 관계를 나타내었다. 고성능 감수제의 투입량의 증가는 유동성을 개선시키지만 그 정도는 크지 않았다. 고성능 감수제 투입률(SP) 1% 이하에서는 HB 모르타르의 유동성이 전혀 개선되지 않았으며 5%까지 첨가하여도 플로우의 증가율은 20% 정도였다. 최재진<sup>16)</sup>은 OPC 콘크리트에서 유동화제의 첨가량과 슬럼프 증가량은 거의 비례관계에 있으며 적정 첨가량 1%에서 감수율 20~30%, 즉 물-시멘트비 60%인 경우 슬럼프 증가비는 1.6~1.8임을 지적하였다. 고성능 감수제가 HB 모르타르의 유동성에 미치는 영향은 OPC 콘크리트의 경우에 비해 매우 둔화되었다.

혼화제 치환율과 상대플로우의 관계가 Fig. 4에 주어졌다. EC(expansive cement)의 밀도는 3.14 g/cm<sup>3</sup>로서 HB에 비해 크다. EC 치환율이 증가할수록 전체 결합재 용적이 감소하지만 치환율 50%에서도 Fig. 4 (a)에 나타낸 바와 같이 유동성 개선에는 도움이 되지 않았다. 반면 Fig. 4. (b) 및 플로우 형상을 보여주는 Fig. 5에서 알 수 있듯이 HB 모르타르의 플로우는 GGBS 치환율의 증가에 비례하여 증가하였다. 특히 비표면적 8,000 cm<sup>2</sup>/g의 GGBS가

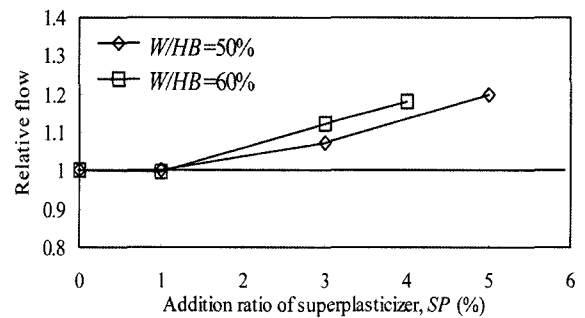
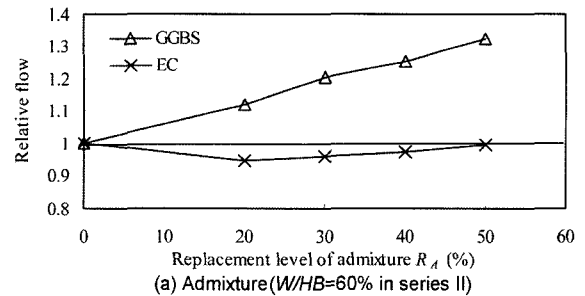
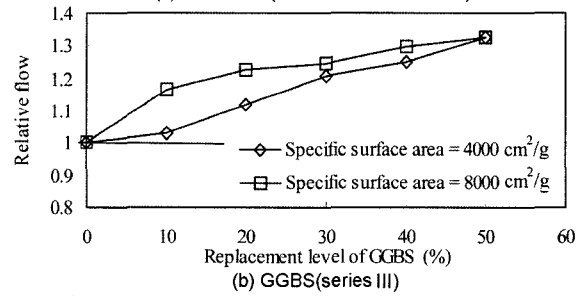


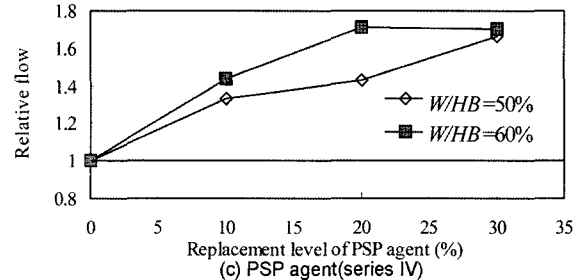
Fig. 3 Relative flow against addition ratio of superplasticizer



(a) Admixture(W/HB=60% in series II)



(b) GGBS(series III)



(c) PSP agent(series IV)

Fig. 4 Relative flow against replacement level of admixture

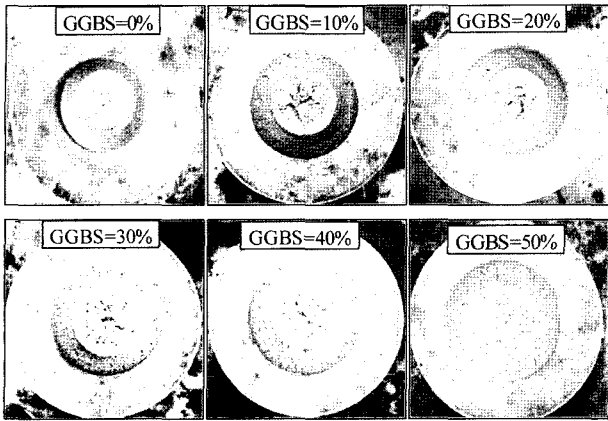


Fig. 5 Shape of flow according to the replacement level of GGBS(specific surface area = 8,000 cm<sup>2</sup>/g)

4,000 cm<sup>2</sup>/g의 GGBS에 비해 플로우 향상에 유리하지만 치환율 30% 이상에서 GGBS의 비표면적 변화에 따른 플로우의 차이는 매우 작았다. Fig. 4 (c)에는 PSP제가 치환된 HB 모르타르의 상대 플로우를 나타내었다. PSP제가 치환된 HB 모르타르의 플로는 PSP 제가 없는 HB 모르타르와의 비교를 위해 Table 3의 동일 믹싱시간인 1분의 플로우 값을 이용하였다. PSP 제는 고성능 감수제 또는 GGBS에 비해서도 매우 높은 유동성 향상을 보였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이  $W/HB = 50\%$ 일 때 GGBS가 HB 모르타르의 플로우 향상에 영향이 없는 것과 비교할 때 PSP 제는 HB 모르타르의 유동성 향상에 매우 효과적이었다.

### 3.1.3 PSP 제 배합시간의 영향

Fig. 6에는  $W/HB = 60\%$ 일 때 PSP 제가 10% 치환된 HB 모르타르의 시간경과에 따른 플로우 변화 형상을, Fig. 7에는 PSP 제 배합시간에 따른 배합시간 1분에 대한 상대 플로우를 각각 나타내었다.  $W/HB = 60\%$ 인 경우 배합시간 3분까지는 플로우가 좋아지며 그 이후에는 플로우가 감소하였다. 하지만 배합시간 30분까지 5-10 시험체를 제외하고는 초기 플로우의 90% 이상을 유지하였다. 특히 6-10 시험체의 경우 배합시간 30분에서도 초기 플로우 값 이상을 유지하였다.

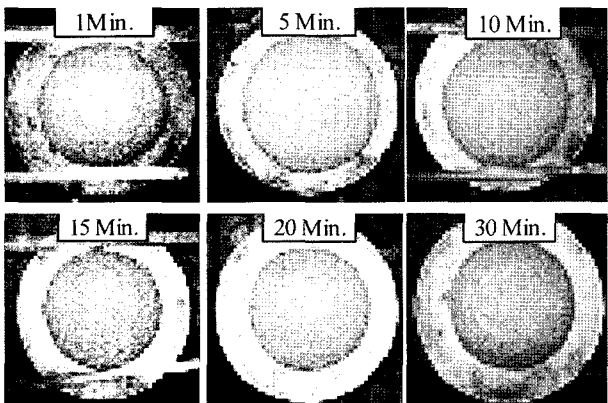


Fig. 6 Shape of flow of HB mortar with PSP agent against the elapsed time (specimen 6-10 in series IV)

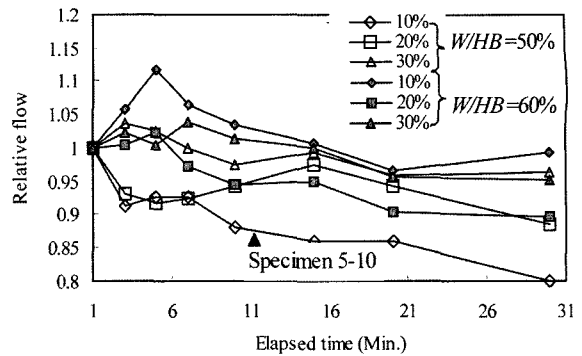


Fig. 7 Relative flow against the elapsed time for HB mortar with PSP agent(series IV)

## 3.2 상대 압축강도

### 3.2.1 혼화제 혼입률

Fig. 8에는 시리즈 I의 고성능 감수제 혼입률과 재령에 따른 상대 강도의 관계를 나타내었다. 고성능 감수제가 혼입된 경우 재령 1일 강도는 거의 발취를 하지 못하였다. 재령 28일 및 91일 압축강도도 고성능 감수제 혼입률이 증가할수록  $W/HB$ 에 관계없이 급격히 감소하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 고성능 감수제의 혼입이 HB 모르타르의 유동성 향상에 거의 기여를 못하는 반면 압축강도의 급격한 저하를 초래하므로 HB 모르타르에서 현재 상업적으로 이용할 수 있는 고성능 감수제의 혼입은 적합하지 않다고 판단된다.

### 3.2.2 혼화제 종류 및 치환율

Fig. 9는 시리즈 II에서 혼화제 치환율( $R_A$ ) 20%와 30%일 때 재령에 따른 상대 압축강도의 관계를 나타내었다. EC가 치환된 HP 모르타르의 재령 1일 강도는 시멘트의 수화반응에 의해 순수 HB 모르타르의 1일 강도에 비해 2~3배 증가하였다. 하지만 재령 3일 이후 혼화제가 치환된 HB 모르타르의 상대 압축강도는 감소하였다. 이는 순수 HB 모르타르의 압축강도 발현이 포졸란 반응에 의해 3일 이후 증가하기 때문이다. EC는 GGBS에 비해 HB 모르타르의 압축강도 증진에 매우 효과적이었으며 장기 91일 강도에서도 HB 모르타르의 압축강도를 130% 이상 상승시켰다. 특히  $W/HB = 50\%$  보다는  $W/HB = 60\%$ 와  $W/HB = 70\%$ 인 모르타르에서 강도증가를

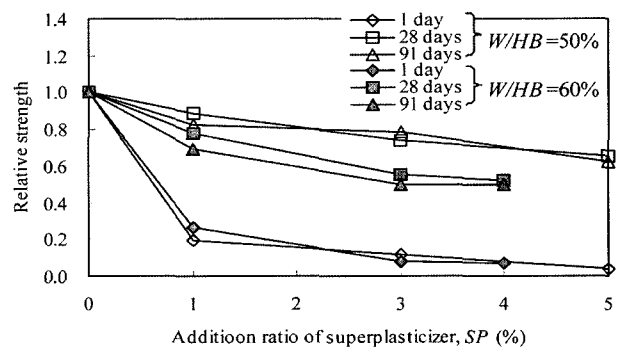


Fig. 8 Relative strength versus addition ratio of superplasticizer

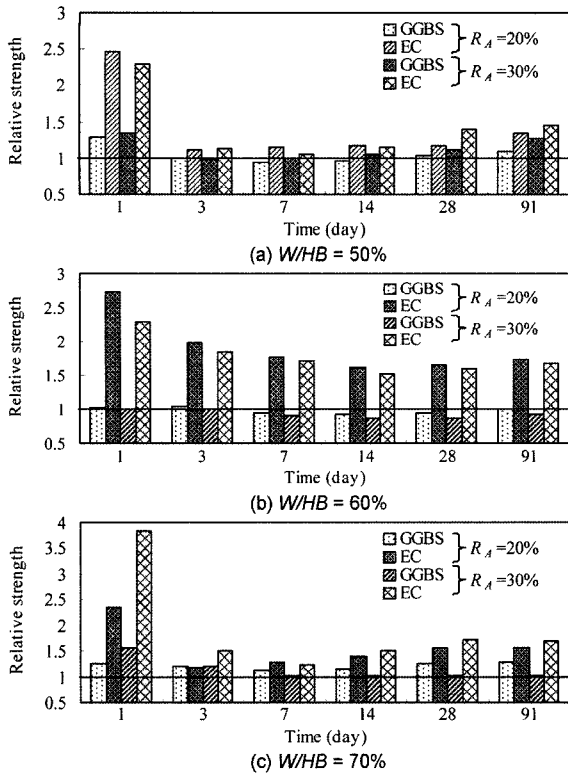


Fig. 9 Relative strength according to age

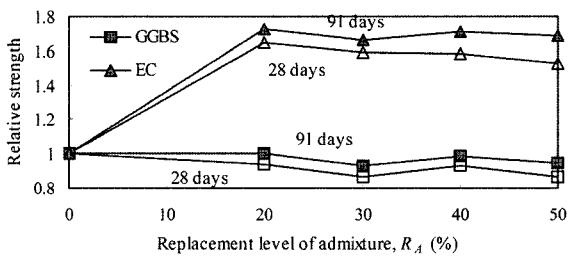


Fig. 10 Relative strength against replacement level of different admixture(W/HB = 60%)

이 현저하였다. Fig. 10에는 GGBS 및 EC의 치환율과 W/HB = 60%인 HB 모르타르의 재령 28일과 91일 상대 압축강도의 관계를 나타내었다. GGBS가 치환된 HB 모르타르의 28일 및 91일 상대 압축강도는 GGBS 치환율의 증가와 함께 감소하였다. 반면 HB 모르타르의 압축강도 증진에 가장 효율적인 EC의 치환율은 20% 수준이었다. EC의 주요 화학적 성분은 Table 2 (c)에서 보여주듯이 CaO와 SO<sub>3</sub>이다. 이 중 SO<sub>3</sub>는 HB에 첨가된 무기질과의 반응에 의해 에트링가이트(ettringite, 3C<sub>3</sub>A·3CaSO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O)의 형성에 기여하고 있다고 판단된다. 에트링가이트는 경화 페이스트의 체적을 증가시키는 역할을 하기 때문에 첨가량이 많으면 팽창균열로 인한 손상이 생길 수 있다. 이로 인해 OPC에서는 시멘트 양의 2.5~3% 이내로 제한하고 있다<sup>17)</sup>. HB 모르타르는 황토의 높은 흡수성으로 인해 OPC 모르타르에 비해 건조수축이 크다<sup>11)</sup>. 일반적으로 콘크리트의 압축강도는 건조수축에 의한 내부 미세균열로 인해 감소될 수 있다. 또한 에트링가이트를 형성하는 SO<sub>3</sub>양이 많으면 오히려 팽창균열로 인해 OPC 콘크리트 강도가 감

소되는 것과 같이 HB 모르타르에서도 치환율 20% 이상에서 강도가 감소하였다. 이는 EC가 치환된 HB 모르타르의 건조수축은 에트링가이트에 의한 팽창효과에 의해 보상되며 이로 인해 강도상승효과를 얻고 있음을 보여준다.

### 3.2.3 고로슬래그(GGBS) 치환율

Fig. 11에는 비 표면적이 8,000 cm<sup>2</sup>/g인 GGBS의 치환율과 상대강도의 관계를 나타내었다. 비 표면적이 4,000 cm<sup>2</sup>/g인 GGBS의 치환율과 28일 상대강도의 관계는 Fig. 10에 주어졌다. 비 표면적이 4,000 cm<sup>2</sup>/g인 GGBS는 HB 모르타르의 강도를 오히려 감소시켰다. 하지만 비 표면적이 8,000 cm<sup>2</sup>/g인 GGBS가 치환된 HB 모르타르의 상대강도는 치환율 30%까지는 치환율에 비례하여 증가하며 치환율 30% 이후에는 증가율이 둔화되었다. 비 표면적 8,000 cm<sup>2</sup>/g인 GGBS가 30% 치환되었을 때 HB 모르타르의 재령 7일 이후 압축강도는 평균 35% 증가하였다. 이맹호 등<sup>18)</sup>은 OPC 모르타르에서 GGBS의 비표면적이 클수록 수화생성반응이 효과적이기 때문에 GGBS의 분말도가 8,000 cm<sup>2</sup>/g을 치환한 경우 분말도 4,000 cm<sup>2</sup>/g을 치환한 경우에 비해 평균 40% 높은 강도증진이 있음을 보였다. HB 모르타르에서도 분말도가 높은 GGBS의 치환이 효과적이며 적정 치환율은 30%이었다.

### 3.2.4 PSP 제

Fig. 12에는 PSP제와 상대강도의 관계를 나타내었다. PSP 제가 치환된 HB 모르타르의 압축강도는 치환율 20%까지는 평균 9% 증가하지만 치환율 30%에서는 급격히 감소하였다. PSP 제는 GGBS와 폴리카르보산계 감수제의 합성이므로 치환율 30%에서는 Fig. 8에 나타난 것과 같이 감수제의 영향으로 강도가 감소한다고 판단된다. HB 모르타르의 유동성과 압축강도 향상을 고려한 PSP 제의 적정 치환율은 20%이었다.

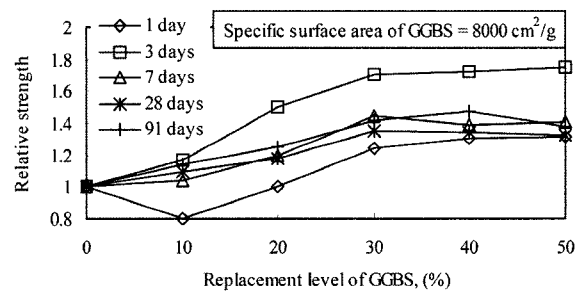


Fig. 11 Relative strength against replacement level of GGBS

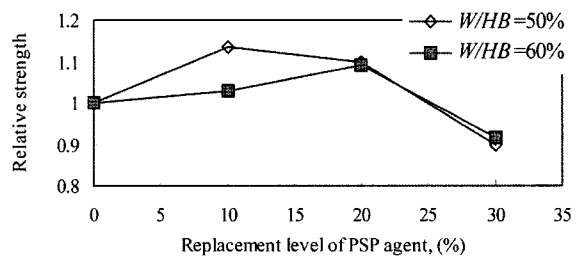


Fig. 12 Relative strength against replacement level of PSP agent

황토결합재를 이용한 무시멘트 모르타르(HB 모르타르)는 황토의 높은 흡수율과 포졸란반응 메커니즘으로 인해 플로우와 초기강도 발현이 보통포틀랜드시멘트 모르타르에 비해 매우 낮다. 본 연구에서는 HB 모르타르의 유동성과 압축강도 향상을 위해 각 혼화제·재의 종류 및 치환율에 따라 4그룹으로 분류하여 실험을 진행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폴리카르본산계와 리그닌계의 혼합인 고성능 감수제가 5%까지 첨가되어도 HB 모르타르의 플로우 증가는 20%로 매우 낮았으며 압축강도는 감수제 투입율의 증가와 함께 급격히 감소하였다.
- 2) 팽창 시멘트의 치환은 HB 모르타르의 유동성을 다소 감소시키지만 압축강도 상승에 가장 유리하였다. HB 모르타르의 압축강도 향상을 위한 팽창 시멘트의 적정 치환율은 20%이었다.
- 3) HB 모르타르의 플로우는 고로슬래그 치환율에 비례하여 증가하였으며 비표면적 4000 cm<sup>2</sup>/g 보다는 8,000 cm<sup>2</sup>/g의 고로슬래그가 플로우 향상에 유리하였다. 하지만 치환율 30% 이상에서 고로슬래그의 비표면적 변화에 따른 플로우의 차이는 매우 작았다.
- 4) 비표면적 4000 cm<sup>2</sup>/g의 고로슬래그 치환율이 증가할수록 HB 모르타르의 압축강도는 재령에 관계없이 다소 감소하였다. 반면 비표면적 8,000 cm<sup>2</sup>/g이 30% 치환된 HB 모르타르의 재령 7일, 28일 및 91일 압축강도는 평균 35% 증가하였다.
- 5) 콘크리트의 경시변화를 개선하기 위해 개발된 분말형 혼화제인 PSP 제는 HB 모르타르의 유동성 향상에 가장 우수하였으며, 대부분의 시험체에서 배합 30분 후에도 초기 플로우 값의 90% 이상을 유지하였다. HB 모르타르의 압축강도는 PSP 제 치환율 20%에서 평균 9% 향상되었지만 치환율 30%에서 급격히 감소하였다.

### 감사의 글

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

**요 약** 본 연구의 목적은 개발된 황토결합재를 이용한 무시멘트 모르타르의 유동성과 압축강도에 대한 혼화제·재의 영향을 평가하는 것이다. 실험은 혼화제·재의 종류와 치환율에 따라 4그룹으로 분류되어 진행되었다. 시리즈 I은 고성능 감수제의 치환율에 따라, 시리즈 II는 물/황토결합재 비 50%, 60% 및 70%에서 고로슬래그와 팽창시멘트 치환율에 따라, 시리즈 III은 고로슬래그 비표면적과 치환율에 따라, 그리고 시리즈 IV에서는 콘크리트의 경시변화를 위해 개발된 분말형 혼화제인 PSP제의 치환율을 변화시켰다. 실험 결과에 근거하여 무시멘트 황토모르타르의 플로우와 압축강도 향상을 위한 각 혼화제의 적정 치환율이 제시되었다.

**핵심용어** 무시멘트 모르타르, 황토 결합재, 혼화제, 혼화재, 플로우

1. Malhotra, V. M., "Introduction: Sustainable Development and Concrete Technology," *Concrete International*, Vol.24, No.7, July 2002, 22pp.
2. Yang, K. H., Hwang, H. Z., Kim, S. Y., and Song, J. K., *Development of a Cementless Mortar Using Hwangtoh Binder*, Building and Environment, Accepted, 2006.
3. Mehta, P. K., "Reducing the Environmental Impact of Concrete", *Concrete International*, Vol.23, No.10, Oct. 2001, pp.61~66.
4. Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., and Rangan, B. V., "On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", *ACI Materials Journal*, Vol.101, No.6, Nov.-Dec. 2004, pp.467~472.
5. Mehta, P. K., "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development", *Concrete International*, Vol.24, No.7, July 2002, pp.23~28.
6. 한국콘크리트학회, "콘크리트 혼화재료" 기문당, 1997, 256pp.
7. 한국콘크리트학회, 콘크리트의 재활용, 콘크리트 특집도서 시리즈, 2004, 232pp.
8. 정연백, 양근혁, 황혜주, 정현수, "황토와 고로슬래그미분말을 첨가한 콘크리트의 역학적 성능 평가", 대한건축학회 논문집, 22권 5호, 2006, pp.13~20.
9. 최희용, 김무한, 황혜주 외 2인, "혼화제 종류 및 활성황토 대체율별 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회논문집, 13권2호, 2001. 4, pp.123~129.
10. 최희용, 황혜주, 김무한 외 1인, "시멘트 모르타르의 적용을 위한 황토 혼화제 개발에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 16권6호, 2000. 6, pp.95~102.
11. 양근혁, 황혜주, 김선영, 송진규, "시멘트 무첨가 황토결합재를 사용한 모르타르의 배합특성에 따른 압축강도 및 건조수축 거동", 대한건축학회 논문집, 22권6호, 2006, pp.87~93.
12. 양근혁, 김선영, 송진규, "활성황토와 셀룰로오스 섬유가 혼입된 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회 논문집, 22권 1호, 2006. pp.111~118.
13. 양근혁, 심재일, 이재삼, 정현수, "재생골재 콘크리트의 슬럼프 손실 개선을 위한 분말형 혼화제의 개발", 콘크리트학회 논문집, 18권5호, 2006. 10, pp.649~656.
14. 한국공업표준협회, KS 규준안, 한국공업표준협회, 2006.
15. 이상수, 원철, 김동석, 박상준, "고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 12권 4호, 2000, pp.49~58.
16. 최재진, 최신유동화 콘크리트-유동화제의 종류 및 특성, 콘크리트 학회지, 13권3호, 2001, pp.32~36.
17. 윤재환 역, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1996, 401pp.
18. 이맹호, 한상호, 윤재환 외 2인, "분말도가 다른 고로슬래그 미분말을 이용한 시멘트 모르타르의 압축강도 발현에 관한 연구", 대한건축학회학술발표 논문집, 19권 2호, 1999, pp.548~553.