

## 불산 무수석고와 플라이 애쉬를 첨가한 시멘트 페이스트의 유동성 및 응결특성

노재성 · 김도수 · 홍성수\* · 임계규\* · 임현성\*\*

충남대학교 공과대학 정밀공업화학과

\*호서대학교 공과대학 재료화학공학과

\*\*한국화학연구소

(1997년 10월 20일 접수)

## Fluidity and Setting Properties of Cement Paste by Adding of Fluoro Anhydrite and Fly Ash

Jae-Seong Rho, Do-Su Kim, Seong-Su Hong, Gye-Gyu Lim and Heon-Sung Lim

Dept. of Fine Chemicals Eng. and Chemistry, College of Eng.,

Chungnam National Univ., Taejon 305-764, Korea

\*Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea

\*\*Korea Research Institute of Chemistry and Technology, Korea

(Received October 20, 1997)

### 요 약

불산부생 II형 무수석고, 플라이 애쉬, 반응성 실리카 등의 산업부산물을 일정한 비율로 혼합하여 4종류(A, B, C, D)의 무수석고계 혼합분말을 제조하였다. 이를 시멘트에 대하여 일정비율( $C \times 11\text{wt}\%$ )로 치환·첨가한 시멘트 페이스트의 초기 유동성(Mini-slump), 겔보기 점도(Apparent viscosity) 변화, 응결특성(Setting property) 등을 시판 고강도 분말혼화제를 치환·첨가한 경우와 비교하였다. 고유동화제 첨가시 무수석고계 혼합분말중 A, C가 치환·첨가된 시멘트 페이스트(PA, PC)의 유동성이 시판 분말혼화제가 치환·첨가된 시멘트 페이스트(SS)보다 우수하였으며 시간경과에 따른 유동성 유지를 위해서도 효과적이었다. 이는 시멘트 페이스트의 겔보기 점도결과에서도 확인할 수 있었다. 무수석고계 혼합분말이 치환·첨가된 시멘트 페이스트의 응결시간은 시판 분말혼화제의 경우보다 다소 지연되었다.

### ABSTRACT

Four kinds of powder admixtures(A, B, C, D) based on anhydrite were manufactured by mixing at a fixed rate of II-anhydrite, fly ash and active silica as an industrial by-product. Fluidity properties of cement paste such as mini-slump, apparent viscosity with elapsed time, as well as setting time of cement pastes of these admixtures substituted up to 11wt% of cement were compared to those of cement paste(SS) substituted by marketed high-strength powder admixture(S). Among these powder admixtures, the fluidity of cement pastes(PA, PC) substituted by A and C powder admixtures manufactured from II-anhydrite and fly ash had an excellent property than that of cement paste substituted by marketed powder admixture and also a good fluidity-retention effect with elapsed time by adding of superplasticizer. The setting time of cement paste substituted by powder admixtures based on anhydrite slightly retarded than that of cement paste substituted by marketed powder admixture.

**Key words :** II-anhydrite, Powder admixture, Mini-slump, Apparent viscosity, Fluidity-retention effect, Slump loss.

### 1. 서 론

시멘트·콘크리트의 강도증진을 위하여 플라이 애쉬, 실리카 흙 등의 포졸란 광물을 주재료로 한 혼화제는 국내의

경우 고기능성으로의 개발연구가 미진한 실정이며 품질도 안정하지 못하기 때문에 시공업체에서는 이들의 사용에 다소 어려움을 겪고 있다.<sup>1,2)</sup> 그러나 산업부산물로 발생되는 무수석고계 혼화제는 시멘트계에 있어서 특수용도로서

사용이 증가하고 있으며, 고강도 시멘트, 속경성 시멘트, 팽창 시멘트, 무수석재 등 그 이용 범위의 확대로 그 수치가 증대되고 있는 추세이다.<sup>30</sup> 그 중에서도 최근 건축물의 다양화와 콘크리트에 대한 다기능적 요구에 따라 가장 기본적인 고강도 콘크리트의 필요성이 크게 증대되고 있다.

특히, II형 무수석고는 시멘트중의 C<sub>3</sub>A(3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)와 C<sub>4</sub>AF(4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등과 반응하여 수화초기부터 침상형의 에트링자이트(Ettringite)를 생성하여 증기양생중에 그 반응이 완결되며, 또한 에트링자이트 생성시 시멘트의 주수경성 광물인 칼슘실리케이트의 수화를 촉진시켜 시멘트 수화물량을 증대시키게 된다. 그 결과 화학적 결합수가 증가하고 물량감소에 따른 공극감소에 의해 높은 압축강도와 휨강도 및 인장강도가 얻어질뿐 아니라 화학적 저항성과 동결융해에 대한 저항성을 향상시켜 강도 및 내구성 증진에 유효하며 더 나아가 고성능 콘크리트의 제조를 위한 필수적인 재료로 인식되고 있다.<sup>31</sup> 그러나 이러한 우수한 성능을 지닌 무수석고계 분말혼화재를 시멘트 · 콘크리트에 첨가시 고성능 콘크리트의 주요 특성중 하나인 고유동성 측면에서 현장시공시 작업성(혹은 유동성)에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 보고되지 않고 있다. 또한 무수석고계 분말혼화재의 첨가로 우수한 유동성 향상이 확인되면 시멘트 · 콘크리트의 고강도를 조기에 확보할 수 있다는 점에서 이에 대한 연구가 활발히 이루어져야만 한다.

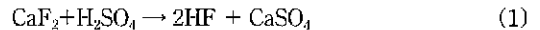
따라서 본 연구에서는 강도증진을 위한 무수석고계 혼합분말이 콘크리트 시공이전에 일차적으로 시멘트 페이스트의 유동성에 미치는 영향과 아울러 응결시간에 미치는 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 국내에서 산업부산물로 발생되는 불산제조시 부생되는 II형 무수석고(II-Anhydrite, 이하 II-A로 표기)를 주원료로 하고 화력발전소에서 발생되는 플라이 애쉬, 그리고 반응성 실리카 등을 일정한 비율로 혼합하여 무수석고계 혼합분말을 제조하였다. 그리고 이들 혼합분말로 시멘트의 일정부분을 치환 · 첨가한 시멘트 페이스트를 대상으로 동일조건에서 시판 고강도 분말혼화재를 치환 · 첨가한 경우와 물성을 비교하였다. 즉, 무수석고계 혼합분말의 치환 · 첨가가 시멘트 페이스트의 초기 유동성(Mini-slump), 경시변화(Shump loss) 특성, 걸보기 점도(Apparent viscosity) 등에 미치는 효과를 측정하였으

며 이를 시판 고강도 분말혼화재와 비교 · 고찰하였다. 이들을 최종적으로는 무수석고계 혼합분말을 콘크리트에 적용시 유동성, 응결특성등의 물성 평가를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 원료분말의 특성

시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 시판 고강도 분말혼화재(비중=2.86, 분말도=8255 cm<sup>3</sup>/g)는 국내 D사 제품을 이용하였다. 무수석고는 식(1)과 같이 불산의 제조공정에서 발생되는 II형 무수석고를 이용하였으며 Fig. 1의 XRD분석으로 이를 확인하였다. 또한 무수석고를 Jet Mill로 분쇄하여 평균입경 1.7 μm로 입도를 조정하였다. 플라이 애쉬(이하 FA로 표기)는 화력발전소에서 발생되는 석탄회를 국내 H사에서 정제한 것이며 이를 분쇄하여 평균입경 10.5 μm, 5.0 μm의 2종으로 구분하였다. 또한 반응성 실리카(Active silica, 이하 AS로 표기)는 평균입경 2.2 μm의 일산제품을 사용하였다. 각 원료분말의 화학조성 및 특성은 Table 1, 2와 같다.



2.2. 무수석고계 혼합분말의 제조

무수석고계 혼합분말은 II-A, FA, AS 등의 원료분말을 Table 3의 비율로 혼합하여 제조하였으며 혼합비율

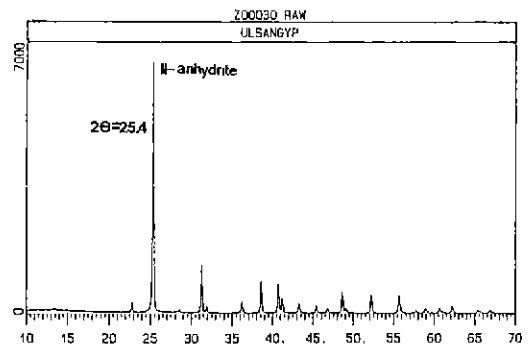


Fig. 1. XRD pattern of II-Anhydrite.

Table 1. Chemical Compositions of II-Anhydrite, Fly Ash, Active Silica and Marketed Admixture(S).

Chemical components	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig-loss	Total
II-anhydrite	0.26	0.08	0.10	41.78	0.67	56.35	-	-	0.24	99.48
Fly ash	63.50	25.52	2.73	1.51	0.20	0.19	0.15	0.85	-	94.65
Active silica	99.78	0.01	0.03	0.06	0.03	-	0.02	-	-	99.93
Marketed admixture(S)	10.96	6.08	0.66	34.21	-	44.50	0.20	-	1.39	98.00

**Table 2.** Sources and Physical Properties of Raw Powders.

Raw powders	Sources and physical properties	Particle sizes (μm)
II-anhydrite	By-product from manufacturing of HF	1.7
Fly ash	Spherical and hard powder from coal-fired power plant	10.5, 5.0
Active silica	Porous and amorphous silica powder with high chemical reactivity produced by chemical reaction	2.2

**Table 3.** Mixing Ratio of Raw Powders for the Preparation of Various Powder Admixtures.

Powder admixtures	Mixing ratios of raw powders (wt%)				
	II-anhydrite	Fly ash		Active silica	Marketed admixture
		10.5 μm	5.0 μm		
S	-	-	-	-	100
A	64	36	-	-	-
B	64	27	-	9	-
C	64	-	36	-	-
D	64	-	27	9	-

**Table 4.** Substitutional Ratios of Powder Admixtures and Dosage of Superplasticizer.

Specimens	Substitutional ratios of powder admixtures (wt%)						Dosage of superplasticizer (C×wt%)
	Cement	A	B	C	D	S	
*PA	89	11	-	-	-	-	1.5~3.0
*PB	89	-	11	-	-	-	
*PC	89	-	-	11	-	-	
*PD	89	-	-	-	11	-	
*SS	89	-	-	-	-	11	

\*PA, PB, PC and PD: Cement paste specimens substituted by power admixtures of A, B, C, and D respectively.  
 \*\*SS: Cement paste specimen substituted by power admixture of S

에 따라 A, B, C, D로 명명하였다. 시판 고강도 분말혼화제는 S로 표기하였다. 또한 각 혼합분말을 시멘트의 11 wt%씩 치환·첨가한 시멘트 페이스트 시편은 Table 4와 같이 PA~PD로 구분하였다. 이 때 혼합분말의 첨가로 인한 시멘트 페이스트의 유동성 손실을 감안하여 고유동화제의 첨가량을 1.5~3.0 wt%로 조정하여 첨가하였다. 고유동화제로는 나프탈렌계의 Mighty-150을 사용하였다.

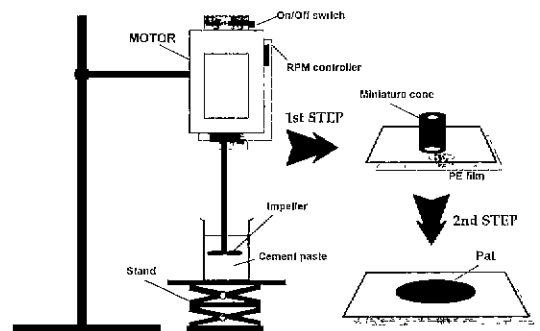
**2.3. 실험 항목**

**2.3.1. 초기 유동성(Mini-slump)**

무수석고계 혼합분말의 첨가가 시멘트 페이스트의 초기 유동성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Perenchio 등<sup>6)</sup>이 고안한 mini-slump법을 이용하였다. 즉, Table 4와 같이 배합한 시멘트 및 혼합분말을 고유동화제와 물의 혼합액에 투입한 후 교반기로 균일하게 혼합하여 물/고형분비(W/S)가 0.35인 시멘트 페이스트를 제조하였다.

교반이 끝난 시멘트 페이스트를 miniature cone에 채우

고 1분 후 cone을 조심스럽게 들어 올렸다. 시멘트 페이스트의 흐름이 정지하였을 때 pat의 직경을 각각 다른 지점에서 6회 측정하여 평균직경을 계산하였고, 평균직경으로부터 계산한 pat의 면적(cm<sup>2</sup>)을 mini-slump 값으로 하였다. 또한 분말의 혼합비 변화와 고유동화제의 첨가량을



**Fig. 2.** Schematic diagram of mini-slump experimental apparatus.

1.5, 2.0, 2.5, 3.0 wt%로 변화시켜 고유동화제의 첨가량 변화에 따른 영향을 살펴보았다. Fig. 2에 시멘트 페이스트의 초기 유동성 측정장치를 모식적으로 나타내었다.

2.3.2. 경시변화 특성

2.3.1과 동일한 조건에서 제조한 시멘트 페이스트의 유동성 변화를 30분 간격으로 120분까지 측정하였고 이때 고유동화제의 첨가량은 각각 1.5, 2.0wt%로 고정하여 첨가하였다. 본 실험을 통해 각 원료분말의 혼합비 변화가 시간경과에 따른 시멘트 페이스트의 유동성 변화에 미치는 영향을 관찰하였다.

2.3.3. 겔보기 점도 변화

Table 4와 같이 배합한 물/고형분비(W/S)=0.35에서 시간경과에 따른 시멘트 페이스트의 겔보기 점도(Apparent viscosity,  $\eta$ )를 Brookfield사의 DV-II+ 회전형 점도계를 이용하여 20°C에서 측정하였다.

No of spindle=5, rotation speed of spindle=50 rpm의 조건에서 혼합분말로 치환된 시멘트 페이스트의 torque값 변화를 0~120분까지 2분간격으로 측정된 후 식 (2)을 이용하여 겔보기 점도로 환산하였다.

$$\eta = \tau / \gamma \tag{2}$$

$\tau$ : Torque value of cement paste detected

$\gamma$ : Rotation speed of spindle

$\eta$ : Apparent viscosity of cement paste (cp)

2.3.4. 응결 특성

KS L 5102의 Vicat침에 의한 시멘트의 표준준도 시험 방법에 의해 시멘트 페이스트의 물/고형분비를 0.25로 결정하고 각 혼합분말로 치환된 시멘트 페이스트의 초·종결시간을 KS L 5103의 Gillmore 침법을 이용하여 측정하였다. 이 때 고유동화제의 첨가량은 1.5, 2.0 wt%로 고정하였다. 이를 통해 미분말의 혼합비 변화가 시멘트 페이스트의 응결시간에 미치는 효과를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 무수석고계 혼합분말이 치환·첨가된 시멘트 페이스트의 초기 유동성

Fig. 3의 (a)는 고유동화제를 1.5 wt% 첨가하고 무수석고계 혼합분말인 A, B, C, D를 치환·첨가한 PA~PD와 시관 분말혼화제(S)를 치환·첨가한 SS의 초기 유동성을 비교한 것이다. 10.5  $\mu$ m와 5.0  $\mu$ m FA와 II-A의 혼합분말인 A, C을 치환·첨가한 PA, PC가 각각 110, 120 cm<sup>2</sup>로 115 cm<sup>2</sup>의 SS에 상응하는 높은 유동성 값을 보였으나 혼합분말중 9%의 반응성 실리카가 혼입

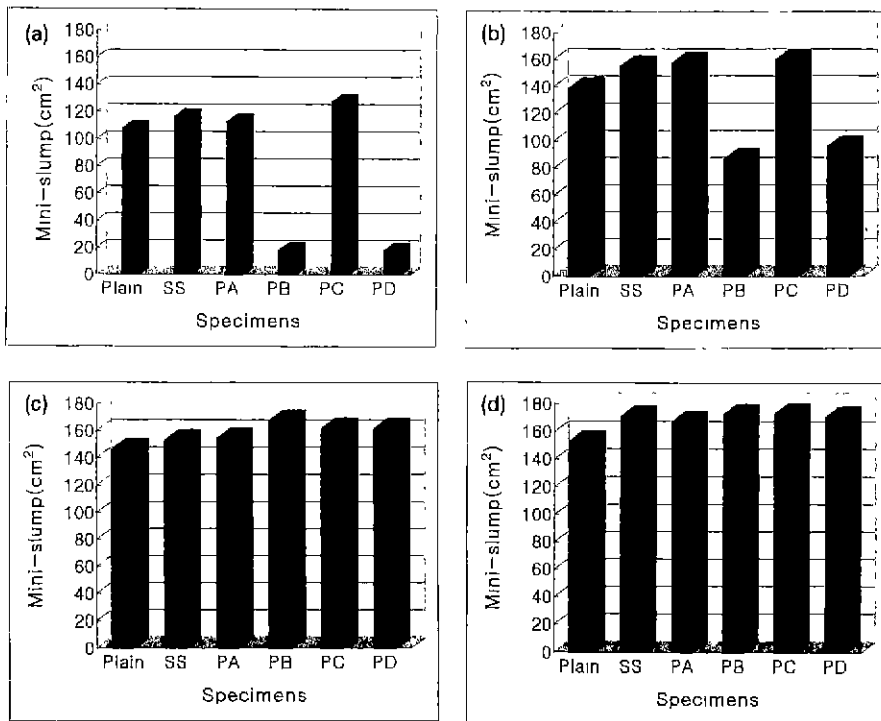
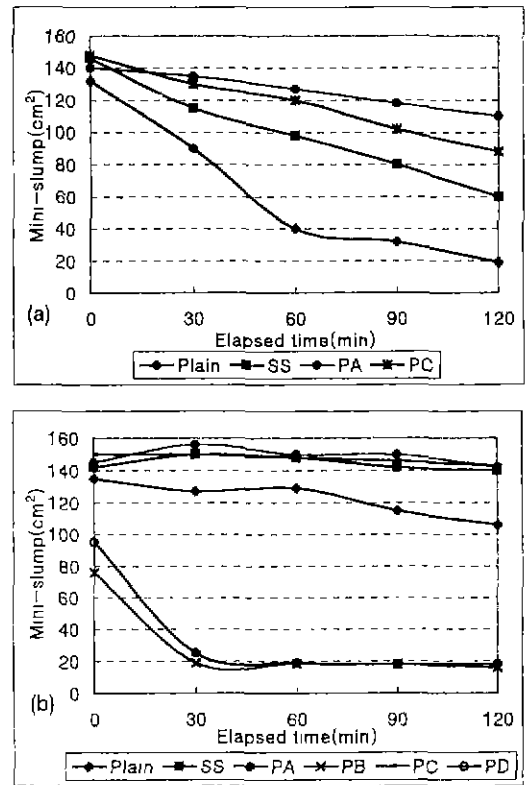


Fig. 3. Variations of initial fluidity of cement pastes substituted by powder admixtures. (Dosage of superplasticizer; (a) C×1.5wt%, (b) C×2.0wt%, (c) C×2.5wt% and (d) C×3.0wt%, substitutional ratio=C×11wt%, W/C=0.35)

된 PB, PD는 초기 유동성이 매우 낮게 나타났다. 이는 미세한 반응성 실리카의 비표면적( $30 \text{ m}^2/\text{g}$ )이 상대적으로 크며 또한 입자 표면에  $80\sim 210 \text{ \AA}$  정도의 미세기공이 많은 다공성으로 수분 및 고유동화제에 대한 흡착량의 증가에 기인하는 것으로 사료된다.<sup>23)</sup> 원료분말의 동일한 혼합비에서 플라이 애쉬의 입도가 미세할수록 페이스트의 유동성이 약간 상승되는 경향을 보였으며 이는 PA, PC의 mini-slump값으로 확인할 수 있었다. Fig. 3(b)와 같이 고유동화제의 첨가량을 2.0 wt%로 증가시키면 반응성 실리카가 혼입된 PB, PD의 유동성이 대폭 상승되었는데 이는 과잉첨가된 유동화제가 반응성 실리카에 포화흡착한 후 잉여 유동화제 성분이 시멘트 입자표면에 흡착하여 시멘트 페이스트의 유동성 향상에 기여하기 때문으로 판단된다.<sup>15)</sup> 그러나 Fig. 3(c), (d)와 같이 고유동화제의 첨가량을 2.5, 3.0 wt%로 증가시켜도 2.0 wt%에 비하여 페이스트의 현저한 유동성 증가는 확인되지 않았다. 따라서 고유동화제의 첨가량 2.0wt%로도 반응성 실리카의 혼입에 따른 유동성 손실을 충분히 보상해주리라 판단된다.<sup>7)</sup> 또한 2.0 wt% 이상의 첨가영역에서 PA, PB, PC와 PD 모두 시판 분말혼화제를 치환·첨가한 SS에 상응하는 높은 mini-slump값을 보였다. 이와 같이 동일한 고유동화제의 첨가량에서 무수석고계 혼합분말의 투입은 유동성 향상을 가져와 혼합수량의 감소효과에 따른 강도증진에도 기여할 것으로 사료된다. 그러나 FA의 입도를 구분하여 첨가한 PA, PC와 PB, PD간의 유동성은 고유동화제의 첨가량 1.5 wt%를 제외하고는 큰 차이가 없었다. 따라서 본 실험결과 FA를  $10.5\rightarrow 5.0 \mu\text{m}$ 로 미세화하여 첨가해도 시멘트 페이스트의 유동성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

**3.2. 경시변화 특성**

Fig. 4는 고유동화제를 (a) 1.5wt%, (b) 2.0wt%로 첨가시 S 및 A, B, C와 D를 치환·첨가한 시멘트 페이스트의 경과시간별 유동성을 120분까지 측정된 결과이다. (a)에서 B, D를 각각 치환·첨가한 PB, PD는 반응성 실리카의 혼입에 의해 시간경과에 따른 현저한 유동성의 저하로 비빔이 곤란하여 측정대상에서 제외하였다. SS 및 PA, PC의 경과시간별 유동성 손실율은 SS가 120분까지 약 47%인 반면 PA, PC는 각각 21%, 27%인 것으로 나타났다. 이러한 유동성 손실의 감소는 II-A의 표면이 기공이 없는 매끈한 강제로 수분에 대한 흡수력이 거의 없다는 점과 구상형 플라이 애쉬에 의한 윤회작용(Ball-bearing effect)이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.<sup>16)</sup> (b)와 같이 고유동화제의 첨가량을 2.0 wt%로 증가시키면 SS, PA와 PC의 경과시간별 유동성 손실율이 거의 유사한 것으로 나타났다.



**Fig. 4.** Variations of initial fluidity of cement pastes substituted by powder admixtures with elapsed time (Dosage of superplasticizer; (a) C×1.5wt% and (b) C×2.0wt%, substitutional ratio=C×11.0 wt%, elapsed time=0~120 min, W/C=0.35)

경시변화 실험결과 고유동화제 첨가시 시판 분말혼화제인 S보다 무수석고계 혼합분말의 투입으로 초기 유동성의 향상이외에 시간경과에 따른 유동성 손실율이 크게 감소하는 것으로 확인되었다.

**3.3. 겔보기 점도변화**

시멘트 페이스트는 초기에 유동성이 있는 상태에서 시간에 따른 수화응결로의 진행과 함께 페이스트의 항복점(Yield point)이 서서히 증대되어 일정시간 후 유동성이 저하하는 상태(Slump loss)로 된다. 따라서 시멘트 페이스트는 일반적으로 Bingham plastic 거동을 보이는 것으로 알려지고 있다.<sup>7)</sup> 이와 같이 시간경과에 따라 진전되는 시멘트 페이스트의 유동성 감소는 페이스트내 조직변화를 마찰저항으로 감지하고 이를 점도값으로 환산하는 것은 시멘트 페이스트의 경시변화특성을 파악하는 정밀한 방법이며 상호간에 매우 밀접한 관련성이 있다. 이를 통해 시멘트에 첨가된 여러 분말혼화제가 시멘트 페이스트의 유동성에 미치는 영향을 예측하는 것이 가능하다.

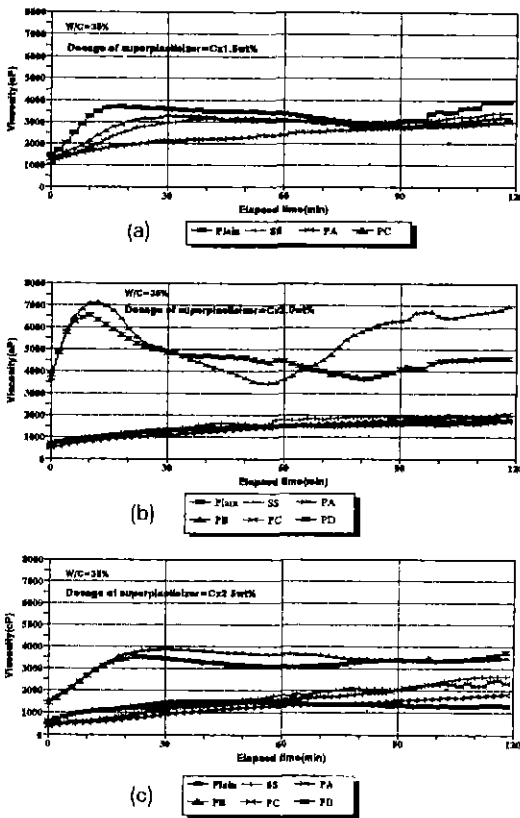


Fig. 5. Variations of apparent viscosity of cement pastes substituted by powder admixtures with elapsed time. (Dosage of superplasticizer; (a)  $C \times 1.5\text{wt}\%$ , (b)  $C \times 2.0\text{wt}\%$  and (c)  $C \times 2.5\text{wt}\%$  substitutional ratio= $C \times 11\text{wt}\%$ , elapsed time=0~120 min,  $W/C=0.35$ )

Fig. 5는 물/고형분비, 0.35에서 S 및 무수석고계 혼합 분말이 치환·첨가된 시멘트 페이스트의 겔보기 점도변화를 120분까지 2분간격으로 측정된 결과그래프이다. 이 때 고유동화제의 첨가량은 각각 (a) 1.5 wt%, (b) 2.0 wt%, (c) 2.5 wt%로 첨가하였다. (a)에서는 SS의 겔보기 점도가 A와 C를 각각 치환 첨가한 PA와 PC의 중간영역에서 30분까지 상승하였고 이후 안정한 거동을 보이다 90분 이후 점도가 재상승하였다. 특히, PA는 SS에 비해 매우 완만한 점도 상승을 보여 30분 이후에도 안정한 유동상태를 나타냈다. 한편 (b)에서는 PB, PD의 점도변화가 매우 불안정한 hysteresis한 경향을 보였는데 이는 고흥성의 반응성 실리카의 혼입으로 인한 수분 및 고유동화제의 흡착상태 변화 혹은 시멘트 수화조직의 변화때문인 것으로 판단된다.<sup>8,10)</sup> 반면 SS, PA와 PC는 시간경과에 따른 점도 상승율이 120분까지 20%미만으로 매우 완만한 안정한 유동상태로 존재하였

요인확회지

다. 그러나 (c)와 같이 2.5 wt%로 고유동화제의 첨가량을 증가시키면 PB와 PD의 불안정한 유동상태가 크게 개선되어 약 20분까지 페이스트의 겔보기 점도가 증가하였으며 이후 페이스트의 유동상태가 안정화되는 것으로 확인되었다. 이는 전술한 고유동화제의 과잉첨가가 반응성 실리카의 혼입에 의한 시멘트 페이스트의 유동성 손실을 억제하여 유동성 향상에 기여하기 때문이다.

3.4. 응결 특성

시판 분말혼화제 및 무수석고계 혼합분말이 시멘트 페이스트의 응결시간에 미치는 영향을 파악하기 위하여 고유동화제의 첨가량 1.5 wt%, 물/고형분비 0.25에서 SS 및 PA, PC의 초·종결을 측정하였으며 이를 Fig. 6에 나타내었다.

PB, PD는 비말이 곤란하여 측정대상에서 제외하였다. 시판 고강도 분말혼화제인 S를 치환·첨가하여 제조한 SS에 비하여 PA, PC의 초결시간이 약간씩 지연되는데 이는 시멘트 수화초기에 II-A에 의해 에트링가이트의 생성이 촉진된 결과 시멘트 입자주위에 수화층을 형성하여 수화수의 침투를 일시적으로 저해하여 수화가 지연되었기 때문이다.<sup>11,12)</sup> Fig. 7에서 고유동화제의 첨가량 2.0 wt%에서는 PB, PD의 초, 종결시간이 각각 약 100분, 250분으로 PA, PC에 비하여 크게 단축되었으며 이는 정상적인 수화응결(초결, 120분이상)을 보인 plain에도 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 반응성 실리카가 수분을 강하게 흡수하는 동시에 고유동화제 내 유동성분을 흡착하여 시멘트 페이스트의 유동상태(Workability)를 감소시키므로써 응결→경화로의 진행시간을 단축시킨 결과로 판단된다.<sup>13)</sup> 한편 플라이 애쉬

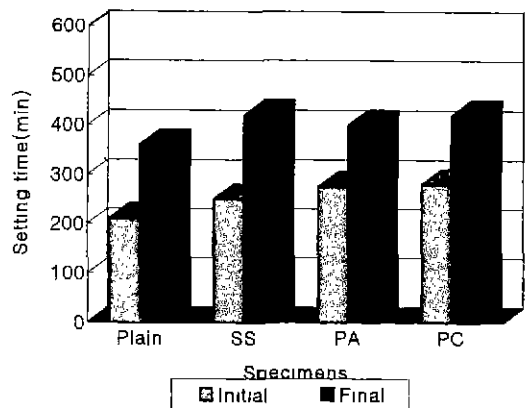


Fig. 6. Initial and final setting time of cement pastes substituted by powder admixtures.(Substitutional ratio= $C \times 11\text{wt}\%$ , dosage of superplasticizer= $C \times 1.5\text{wt}\%$ ,  $W/C=0.25$ )

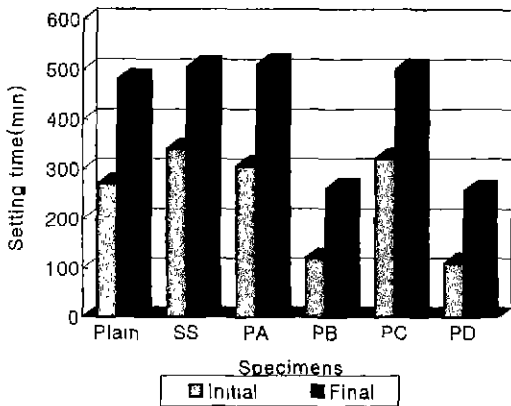


Fig. 7. Initial and final setting time of cement pastes substituted by powder admixtures. (Substitutional ratio =  $C \times 11wt\%$ , dosage of superplasticizer =  $C \times 2.0wt\%$ ,  $W/C = 0.25$ )

의 입경별로 구분 첨가한 PA와 PC의 초·종결시간에는 차이가 거의 없는 것으로 나타나 FA의 입경 차이가 시멘트 페이스트의 응결시간에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

산업부산물을 이용하여 무수석고계 혼합분말, A, B, C, D를 각각 제조하고 이를 시멘트에 치환·첨가한 시멘트 페이스트의 초기 유동성, 겔보기 점도변화, 응결시간 등의 물성을 시판 분말혼화제와 비교측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다..

1. 시멘트 페이스트의 초기 유동성에서 무수석고계 혼합분말인 A, C를 치환·첨가한 PA, PC가 각각 110, 120 cm<sup>2</sup>로 시판 혼화제인 치환·첨가한 SS의 115 cm<sup>2</sup>에 상응하는 높은 유동성 값을 보였다. 이러한 경향은 고유동화제의 첨가량 1.5~3.0 wt% 영역에서 모두 확인할 수 있었다.

2. 시멘트 페이스트의 경과시간별 유동성 손실율은 고유동화제의 첨가량 1.5 wt%에서 SS가 120분까지 약 47%인 반면 혼합분말에 혼합된 II형 무수석고의 표면특성에 따른 흡착상태 및 플라이 애쉬에 의한 윤활작용에 의한 상승효과로 PA, PC는 각각 21, 27%로 작게 나타났다.

3. 고유동화제를 1.5 wt% 첨가시 경과시간별 시멘트 페이스트의 겔보기 점도변화에서 시판 분말 혼화제인 S를 치환·첨가한 SS에 비하여 A, C를 치환 첨가한 PA, PC의 점도 상승율이 완만하였다. 즉, 무수석고계 혼합분말의 첨가로 시멘트 페이스트는 시간경과에 따라 유동성 손실이 적은 안정한 유동상태를 나타냈다.

4. 무수석고계 혼합분말로 A, C를 치환·첨가한 PA, PC의 응결시간이 PS에 비하여 약간씩 지연된 반면 B, D를 치환·첨가한 PB, PD의 응결시간은 반응성 실리카 혼입에 따른 영향으로 크게 촉진되었다.

본 연구에서 제조한 무수석고계 혼합분말은 시판 고강도 분말혼화제를 치환·첨가한 경우에 상응하는 우수한 초기 유동성 및 유동성 손실에 대한 억제성능을 보였다. 이러한 경향은 A, C 분말혼화제를 치환·첨가한 PA와 PC 시멘트 페이스트 시편이 가장 우수한 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 호서대학교 신탄소재료 연구소의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. L. M. Meyer and W. F. Perenchio, "Theory of Concrete Slump Loss as Related to the use of Chemical Admixtures," *Concrete International*, pp. 30-31, (1987).
2. 김형태, "실리카흙 및 실리카흙 콘크리트의 특성과 이용," *한국콘크리트 학회지*, 3(3), (1991).
3. E. Sakai, S. Hoshino and Y. Ishikawa, "The Fluidity of Cement Paste with Various Types of Inorganic Powders," *10Th, Gothenburg, Vol. 2, 2II-002*, (1997).
4. 이구중, 이경원, "석고의 이용기술 및 개발동향," *요업재료의 과학과 기술*, 9(5), (1995).
5. 杉本賢司, "セッコウ系複合建材の開発," *Gypsum & Lime*, No. 172, pp. 35-40, (1981).
6. 오병환, 정범석, "플라이 애쉬 및 플라이 애쉬 콘크리트의 체반 특성 및 이용," *한국콘크리트학회지*, 3(3), (1991).
7. V. S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook-Properties, Science and Technology,," 2nd Edition, p. 416
8. 노재성, "고성능 콘크리트 제조를 위한 국내의 혼화제 제조현황, 특성 및 반응기구," *KCI. International Workshop on the Production Property and Application of High Strength Concrete using Superplasticizer*, Oct (1993).
9. J. P. Skalny, "Materials Science of Concrete I," *The American Ceramic Society, Inc*, pp. 106-109.
10. H. Fujiwara, S. Magataki and A. Dozono, "Effect of Size Distribution of Powders on Yield Value and Viscosity of Mortar," *10TH. Gothenburg, Vol. 2, 2II-001*, (1997).
11. K. Nakagawa and K. Isozaki, "Hydration and Strength of Anhydrous Calcium Sulfate," *The 7Th ICCA, Paris, Vol. 2, II-192*, (1980).
12. Y. Arai, T. Yasue and Y. Kojima, *Gypsum & Lime*, 203(204), (1986).
13. Y. Chen and I. Oelder, "On The Origin of Portland Cement Setting," *Cement and Concrete Research*, Vol.