

# 혼합재를 사용한 고강도 콘크리트의 제조와 물성에 관한 연구

## A Study on Production and Physical Properties of High-Strength Concrete with Blending Additives

○정 용<sup>1</sup>      심 용 수<sup>2</sup>      김 인 기<sup>3</sup>      정 재 동<sup>4</sup>  
Jeong, Yong      Shim, Yong Soo      Kim, Won Ki      Jaung, Jae Dong

### ABSTRACT

High-strength concrete were produced with super-plasticizer, silica fume, fly ash and blast furnace slag powder. Topics investigated include mix proportion, and effects of unit weight of binder, W/C ratio, additive type on the physical properties of high-strength concrete.

As the result, at 20% of silica fume, unit weight of binder 700kg/m<sup>3</sup> and W/C=0.24, 28days compressive strength of concrete was over 1,000kgf /cm<sup>2</sup>. And in cases of blending with silica fume 10 % and fly ash or slag 10%, it was able to produce economical high-strength concrete with 28 days strength similar to silica fume 20% only, and higher strength after 90 days.

### 1. 서 론

최근 건설분야의 제반 환경이 초고층화, 대형화, 고내구성화등으로 다양해짐에 따라 고기능성 콘크리트의 개발 필요성이 고조되고 있으며 그 중 고강도 콘크리트는 RC구조물의 제 이점이 새롭게 인식되고 시공, 공법상의 건설환경이 급변함에 따라 그 개발의 필요성이 절실해 지고 있다[1-3].

본 연구는 각종의 혼합재를 사용하여 고강도 콘크리트를 제조하고, 콘크리트의 배합조건, 혼합재, 고성능감수제의 첨가량, 종류와 양생 방법등에 따른 콘크리트 물성 변화를 파악하는 것을 목적으로 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2-1. 사용 재료

사용 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트로 그 화학적 성분과 물리적 성질을 표 1과 표 2에 나타냈다.

혼합재로는 플라이 애쉬, 슬랙 분말, 실리카퓌미 사용되었으며 표 3과 4에 화학적 성분, 비중 및 비표면적을 나타냈다.

조골재로는 최대 크기 19mm의 쇄석(석회

석, 비중 2.73, 흡수율 0.3%)과 세골재로 하천사(영주사, 비중 2.53, 흡수율 1.2%, FM 3.23)를 사용하였으며, 모든 골재는 점토분과 석분을 세척 제거하였고 체가름후 표준 상태로 사용하였다.

또한 혼화제로서 리그닌계 표준형 감수제와 나프탈렌설폰산포름알데히드계 고축합물을 주성분으로한 지연형 고성능감수제를 사용하였다.

#### 2-2 콘크리트의 배합 조건

콘크리트의 배합은 단위수량 181.5-150 kg/m<sup>3</sup>, 단위결합재량 500-750kg/m<sup>3</sup>, S/A=40-30%, 목표 슬럼프 10cm의 범위에서 설정하였다.

각 단위 결합재량에서 목표 슬럼프와 최적의 작업성을 갖는 콘크리트의 배합, 즉 단위 수량과 S/A, 고성능감수제의 첨가량 등은 시험 믹싱을 통하여 구하였다. 혼합재를 첨가하는 경우 효과와 경제성을 고려하여 시멘트 무게비로 20%를 치환하여 첨가하였다.

#### 2-3 공시체의 제작

##### 1) 콘크리트의 혼합

골재와 시멘트를 강제식 pan type 믹서에 투입하여 1분간 건배합한 후 혼합수의 4/5를 첨가하여 1분간 혼련한 후 남은 혼합수와 고성능감수제를 첨가하여 1분 30초간 혼

- |   |         |         |
|---|---------|---------|
| 1 | 동양중앙연구소 | 주임연구원   |
| 2 | 동       | 연구원     |
| 3 | 동       | 선임연구원   |
| 4 | 동       | 연구실장 공박 |

Table 1 Chemical compositions of Portland cement

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>	R <sub>2</sub> O	F.L	Ig. los
21.38	5.88	2.99	62.14	2.96	2.25	1.12	1.50	1.16

Table 2 Physical properties of Portland cement

S.G	specific surface area (Blaine app.) (cm <sup>2</sup> /g)	setting time (hr:min)	autoclave soundness (x)	compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
				3days	7days	28days
3.14	3,240	4:05 6:15	0.24	211	329	445

Table 3 Chemical compositions of additives(x)

add.	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>	R <sub>2</sub> O	Ig. los
SF	93.48	0.01	2.89	0.51	1.08	-	1.31	
FA	55.94	27.97	7.73	-	0.82	0.19	3.28	4.07
BF	34.54	13.74	0.41	43.04	6.75	-	0.15	0.68

Table 4 S.G. and surface area of additives

additive	silica fume	fly ash	slag
specific gravity	2.24	2.27	2.93
surface area(cm <sup>2</sup> /g)	180,200*	2206**	4922**

\* result of BET surface area analyzer.

\*\* results of Blaine air permeability apparatus.

련하여 믹서에서 배출, 슬럼프와 공기량을 측정하였다. 혼합재를 사용하는 경우 혼합재와 골재를 30초간 건배합한후 시멘트를 첨가 1분간 건배합하였다. 실리카폼과 같은 혼합재의 경우 높은 비표면적으로 인하여 콘크리트의 점도가 증가하므로 감수제 0.4%를 혼합수에 첨가하였다. 혼합시간은 시멘트만을 사용하는 경우 3분 30초, 실리카폼을 사용하는 경우 4분이었다.

## 2) 공시체의 제작

믹서 배출 즉시 콘크리트의 슬럼프를 측정하는 다음, 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체와, 5X5X5cm의 모르타 공시체를 제작하였다. 원주형 공시체는 2층, 각 25회씩의 손다짐과, 1분 30초 진동 테이블 다짐을 하여 제작하였다.

각 공시체는 온도 23도, 상대 습도 80%의 양생실에서 1일간 기중 양생후, 탈형하여 23도의 수조에서 실험 재령(7,28,90,180일)까지 양생하였다. 단, 폭로양생용 공시체는 탈형후 옥외에 노출시켜 보관하였다.

모르타 공시체는 콘크리트 공시체 제작후 남은 콘크리트를 No.4표준체로 습식 체가름

하여 몰드에 타설후 습기함에서 24시간 정지후 양생 수조에 보관하였다.

## 2-4 분석 및 측정 방법

본 연구에서는 압축강도, 정탄성계수 및 할렬인장강도 측정을 위하여 200ton 용량의 UTM을 사용하였으며 인장강도는 KS F 2423에 따라 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3-1 실리카폼 첨가 콘크리트

Table 5는 실리카폼을 첨가하지 않은 콘크리트와 실리카폼을 20% 첨가한 콘크리트 배합 결과이다.

#### 1) 압축강도

##### 가. 실리카폼 첨가 효과

Fig. 1은 각 재령에서 실리카 폼을 20% 첨가 콘크리트와 무첨가 콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 것이다.

실리카폼을 첨가하면 압축강도가 증가하는 경향을 보이며 폭로양생한 실리카폼 첨가 콘크리트도 수중양생한 실리카폼 무첨가 콘크리트보다 오히려 압축강도가 증가하는 경향을 보이며, 28일 압축강도는 실리카폼을 20% 첨가한 단위결합재량 700kg/m<sup>3</sup>에서 1047kgf/cm<sup>2</sup>으로 최고를 나타내고 있다. 그리고, 실리카폼 첨가시 표준 및 폭로양생의 강도 차이가 실리카폼을 첨가하지 않은 경우에 비해 전재령에서 큰 경향을 나타내고 있어 실리카폼을 첨가한 콘크리트가 양생조건에 더 민감함을 알 수 있다.

이러한 실리카폼 첨가에 따른 콘크리트강도 증진 효과는 미세 입자의 공극 충전효과와 포졸란반응에 의한 것으로 사료된다.

##### 나. 28일 강도와 W/C비의 관계

Fig. 2는 28일 압축강도와 W/C비 사이의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서의 식은 강도와 W/C비 사이의 추정식으로 식이 성립할 수 있는 유효 범위는 W/C=22-35% 사이이다. 상기 관계식으로 부터 실리카폼 첨가 콘크리트의 압축강도 증가는, 고성능 감수제의 첨가량이 상대적으로 많은 실리카폼 첨가 콘크리트 배합의 W/C비 감소에 의한 것이 아님을 볼 수 있었다. 오히려, 이것은 동일한 W/C비에서도 실리카폼 첨가 콘크리트의 강도가 우수하다는 사실을 의미하는 것으로 생각되었다[4,10].

Table 5 High strength concrete mix design and results of concrete mixing with or without silica fume 20 x

unit cement (kg/m <sup>3</sup> )	addi. (kg/m <sup>3</sup> )			W/C S/A		admixture(x)		slump (cm)
	SF	FA	BF	(x)	(x)	WR	SP	
500	-	-	-	35	39	-	0.9	7.0
500	-	-	-	35	39	-	1.1	8.5
500*	-	-	-	35	39	-	1.1	10.5
400	100	-	-	34	37	0.4	2.3	10.0
400*	100	-	-	34	37	0.4	2.3	10.0
400	100	-	-	34	37	0.4	2.3	10.5
550	-	-	-	33	37	-	0.95	7.5
550	-	-	-	33	37	-	1.2	13.0
550*	-	-	-	33	37	-	1.1	10.5
440*	110	-	-	32	35	0.4	2.3	10.5
440	110	-	-	32	35	0.4	2.3	10.0
440	110	-	-	32	35	0.4	2.3	10.0
600	-	-	-	29	35	-	1.3	8.0
600	-	-	-	29	35	-	1.3	7.5
600*	-	-	-	29	35	-	1.4	9.0
480*	120	-	-	28	33	0.4	2.4	10.0
480	120	-	-	28	33	0.4	2.4	10.0
480	120	-	-	28	33	0.4	2.4	10.0
650*	-	-	-	27	33	-	1.3	7.0
650	-	-	-	27	33	-	1.5	13.0
650	-	-	-	27	33	-	1.4	6.5
520	130	-	-	26	32	0.4	2.3	8.5
520	130	-	-	26	32	0.4	2.3	10.5
520*	130	-	-	26	32	0.4	2.3	9.5
700	-	-	-	25	30	-	1.8	12.5
700	-	-	-	25	30	-	1.8	10.0
700*	-	-	-	25	30	-	1.8	9.5
560*	140	-	-	24	30	0.4	2.4	6.5
560	140	-	-	24	30	0.4	2.43	10.5
560	140	-	-	24	30	0.4	2.43	11.0
750	-	-	-	23	30	-	2.4	20.0
750	-	-	-	23	30	-	2.25	8.0
750*	-	-	-	23	30	-	2.30	12.0
600*	150	-	-	22	30	0.4	3.0	12.0
600	150	-	-	22	30	0.4	3.0	12.0
600	150	-	-	22	30	0.4	3.0	12.5

\* out-door curing.

한편으로 보통시멘트만을 사용한 콘크리트에서 얻을 수 있는 고강도는 재령 28일에서 800kgf/cm<sup>2</sup> 부근이 한계로 나타났으며 그 이상의 강도를 얻기 위해서는 실리카폼이나 고강도 시멘트의 사용이 필수적이라고 생각된다.

## 2) 할렬인장강도

Fig. 3은 28일에서 측정된 할렬인장강도 값을 나타낸 것이다. 단위결합재량이 증가할수록 할렬인장강도가 증가하고 있으며, 실리카폼 첨가시기가 무첨가시보다 대체로 큰 값을 나타내고 있으나, 압축강도의 경우만

Table 6 High strength concrete mix design and results of concrete mixing with various additives

unit cement (kg/m <sup>3</sup> )	addi. (kg/m <sup>3</sup> )			W/C S/A		admixture(x)		slump (cm)
	SF	FA	BF	(x)	(x)	WR	SP	
440	55	55	-	28	35	0.4	1.9	9.5
440	55	55	-	28	37	0.4	2.0	17.0
520	65	65	-	24	33	0.4	1.9	12.0
520	65	65	-	24	33	0.4	1.9	15.0
600	75	75	-	20	30	0.4	2.6	13.0
600	75	75	-	20	30	0.4	2.6	16.5
440	55	-	55	28	37	0.4	2.0	15.0
520	65	-	65	24	33	0.4	1.9	10.0
600	75	-	75	20	30	0.4	2.6	9.0
440	-	110	-	32	35	0.4	1.15	16.0
520	-	130	-	26	32	0.4	1.45	17.0
600	-	150	-	22	30	0.4	2.20	12.0
600	-	-	150	22	30	0.4	2.60	12.0
440	-	-	110	32	35	0.4	1.20	15.5
520	-	-	130	26	32	0.4	1.5	8.0

큼 뚜렷하게 증가하는 경향은 나타나지 않고 있다.

## 3) 모르터의 압축 강도

Fig. 4는 콘크리트 배합시 5mm 체로 체가름하여 제조한 모르터의 28일 압축강도 측정 결과이다. 콘크리트에서와 유사한 경향을 나타내고 있으며 모체 콘크리트의 강도보다 높은 값을 보이고 있다.

Soroka에 의하면[11], 콘크리트의 압축강도는 결합재인 페이스트의 강도, 페이스트와 골재 계면의 부착강도, 골재의 강도로 이루어져 있으며 이중 가장 낮은 것에 지배된다고 하며, 고강도로 갈수록 골재와 페이스트의 부착강도, 골재자체의 강도가 지배요인이 된다고 알려져 있다. 본 연구에서 사용한 석회석계 19mm 쇄석의 평균강도는 946kgf/cm<sup>2</sup>이었고, Aitcin등에 의하면[12], 초고강도의 콘크리트용 골재로는 석회석계가 우수하다고 하므로, 결국 본 연구에서 콘크리트의 압축강도 지배인자는 골재와 결합재 사이의 부착강도로 보여지나, 이 부분에 대해서는 보다 자세한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 3-2. 혼합재 첨가 콘크리트

### 1) 콘크리트의 배합결과

Table 6은 플라이 애쉬와 슬랙을 혼합재로 하여 20% 첨가한 경우와 실리카폼 10%와 플라이 애쉬, 슬랙을 각각 10%씩 혼합하여

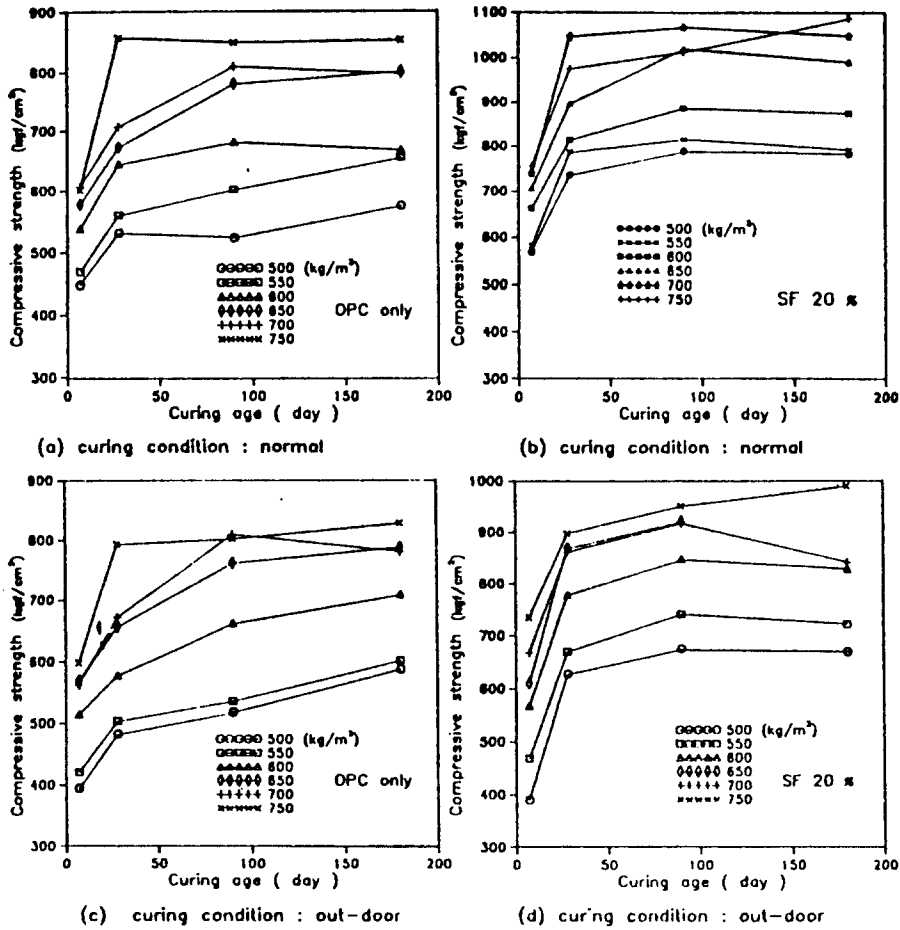


Fig. 1(a)-(d) Influences of curing ages and condition on compressive strength of concrete

콘크리트를 배합한 결과를 나타낸 것이다.

플라이 애쉬와 슬랙은 실리카폼에 비하여 비표면적이 매우 작으므로 실리카폼 첨가 콘크리트와 동일한 양의 고성능감수제를 사용하면 슬럼프가 증가하므로 단위수량의 감소가 가능하였다. 따라서 W/C비가 실리카폼 단독 첨가시보다 2% 정도 감소하였다. 또한 작업성은 무첨가 콘크리트와 실리카폼 콘크리트의 중간 정도를 나타내었다.

## 2) 압축강도

Fig.5(a)-(c)에 각 재령별 압축강도 측정 결과를 나타내었다.

플라이 애쉬나 슬랙만을 20% 첨가하는 경우, 초기 강도는 낮은 값을 나타내나, 재령 7일에서 90일까지 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

실리카폼과 각 10% 씩 혼합하여 사용하는 경우는 실리카폼 단독사용과 거의 동등한 강도 발현을 보여주고 있으므로 효과 대 비용면에서 혼합사용이 유리할 것으로 사료된다[13-15].

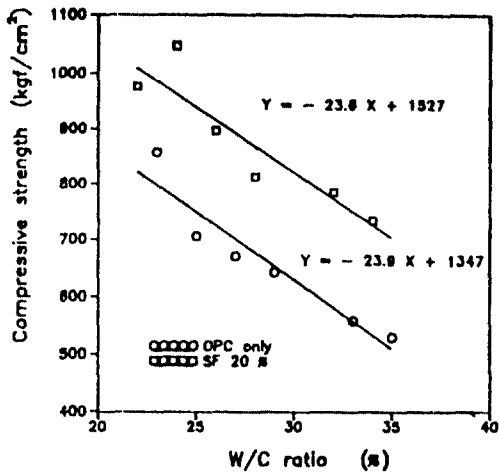


Fig. 2 Relations between W/C ratios and 28 days compressive strength of concrete in this study

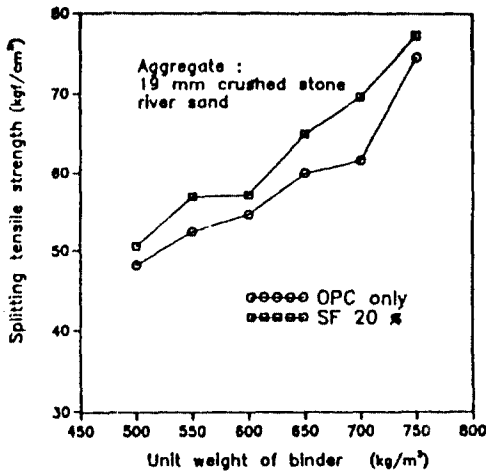


Fig. 3 Splitting tensile strength of concrete

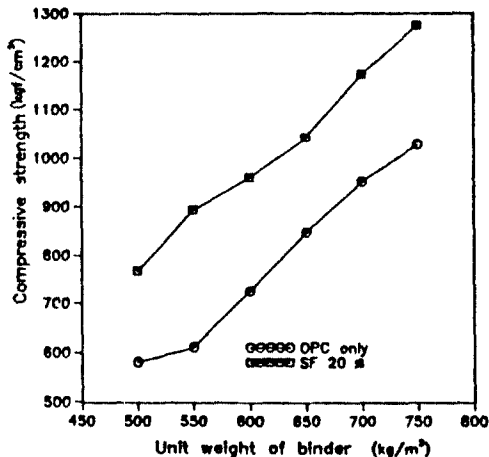
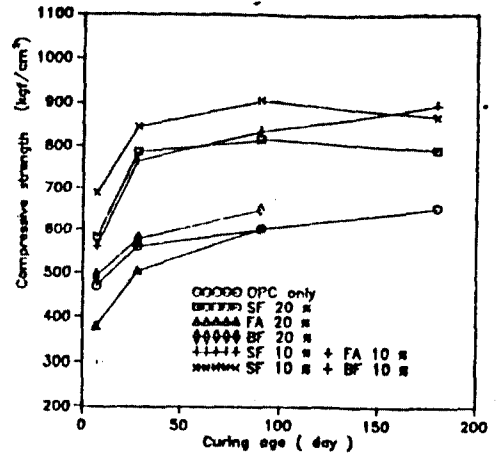
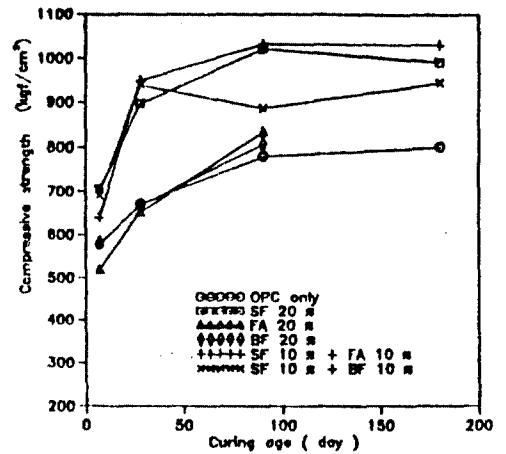


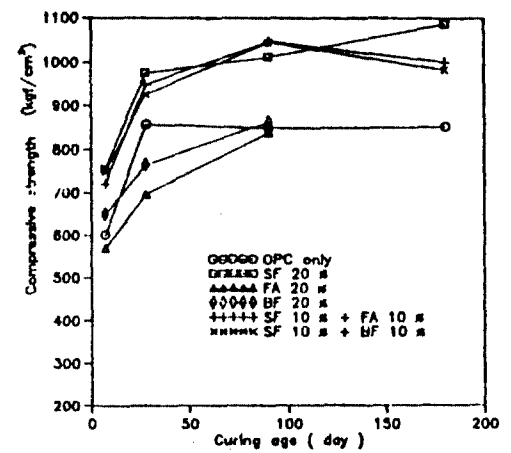
Fig. 4 28 days compressive strength of mortar wet-sieved from concrete



(a) Unit weight of binder : 550 kg/m<sup>3</sup>



(b) Unit weight of binder : 650 kg/m<sup>3</sup>



(c) Unit weight of binder : 750 kg/m<sup>3</sup>

Fig. 5(a)-(c) Influences of additive type and curing ages on compressive strength of concrete

#### 4. 결 론

실리카폼과 플라이 애쉬, 슬랙 분말을 혼합재로 사용하여 고강도 콘크리트를 제조하고 그 물성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고강도 콘크리트에서 압축강도는 단위 결합재량이 증가할수록 증가하고 실리카폼을 첨가하는 경우 무첨가보다 높은 강도를 나타내고 있다.
- 2) 플라이 애쉬나 슬랙을 실리카폼과 혼합하여 사용하는 경우 경제성이 우수한 고강도 콘크리트의 제조가 가능하였다.
- 3) 보통 포틀랜드 시멘트만으로 W/C비의 감소에 의한 고강도 콘크리트 제조의 한계는 800kgf/cm<sup>2</sup> 부근이었으며, 그 이상의 강도를 얻기 위해선 실리카폼 등의 혼합재나 고강도 시멘트의 사용이 필수적이다.
- 4) 혼합재의 강도 증진에 대한 기여는 실리카폼, 슬랙, 플라이 애쉬의 순으로 혼합재의 종류에 따라 포졸란 반응성의 차이가 나타났다.
- 5) 콘크리트의 양생방법이 실리카폼 등의 혼합재의 강도 발현에 큰영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

#### REFERENCES

1. ACI 363, "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete," ACI Report No.363 R-84, July/Aug. (1984)

2. 한국과학기술원 토목공학과, "고강도, 유동화 및 섬유 콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구(I)," 과학 기술처 특정과제 제 1차년도 보고서 (1988)
3. 한국콘크리트학회, "고강도 콘크리트," 콘크리트 학회지, 제 2권 1호, pp.18-23 (1990)
4. Seki et al., *セメント-コンクリト*, No.473, pp.50-57 (1986)
5. Tazawa, *ibid*, No.465, pp.20-26(1985)
6. Mehta et al., *Cem.Conc.Res.*, Vol.12, No.5, pp.587-595(1982)
7. Cohen, *the Indian Concrete J.*, Sept., pp.429-438 (1990)
8. Malhotra et al., *Conc.Intern.*, May, pp.40-46 (1983)
9. Larbi et al., *Cem.Concr.Res.*, Vol.12, No.5, pp.506-516(1982)
10. Feldman, *ibid.*, Vol.15, No.6, pp.943-952 (1985)
11. Soroka, *Portland Cement Paste and Concrete*, Macmillan Press Ltd., London, pp.199-201(1976)
12. Aitcin et al., *ACI Mtls. J.*, Vol.87, No.2, pp.103-107 (1990)
13. Gardner, *ACI Mtls. J.*, Vol.87, No.1, pp.68-78 (1989)
14. Hansen, *Cem.Conc.Res.*, Vol.20, No.2, pp.193-196 (1990)
15. Haque, *ibid*, Vol.20, No.1, pp.120-130 (1990)