

프리믹스 시멘트의 물리적 특성에 미치는 결합재조합 및 실리카폼 종류의 영향

Effect of the Various Combinations of the Binders and the Silica Fume Types to the Physical Properties of the Pre-Mix Cement

金成日* 김기훈** 裴長春*** 이해일*** 김성수**** 한천구*****
 Jin, Cheng-Ri Kim, Ki-Hoon Pei, Chang-Chun Lee, Hai-Il Kim, Sung-Su Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates the effect of the pre-mix cement to the physical properties of the concrete according to the various combinations of the binders and the silica fume types. The results are summarized as following. For the properties of the fresh, the fluidity in the case that OPC+cilica fume+blast-furnace slag is appropriate compared to OPC+cilica fume+fly ash. Expecially, it is favorable when pre-mix is used. The fluidity time of the A, B depending on silica fume types is favorable, but it is decreased on C. The air content depending on silica fume types is low when the fly ash is used. Specially, the air content in the case that pre-mix is used is low caused by the dispersion of the silica fume. For the properties of the hardened concrete, the compressive and flexible strength when the blast-furnace slag is pre-mixed are high, and they exceed OPC. The strength depending on the silica fume types is high on B, and the strength of the others is similar.

키 워 드 : 초고층 건축물, 초고강도 콘크리트, 프리믹스, 실리카폼,
 Keyword : Super Tall Building, Ultra High Strength Concrete, Pre-Mix, Silica fume

1. 서 론

최근 우리나라에서는 건축구조물의 초고층화, 대형화에 따라 압축강도 80MPa 이상의 초고강도 콘크리트에 관한 연구가 점차 증가하는 추세에 있다.

콘크리트를 초고강도화 하는 방법으로는 양호한 골재를 선별하여 사용하거나 결합재의 강도를 증가시키는 것이 무엇보다 중요한데, 특히, 결합재의 강도를 증가시키는 방법에는 고성능감수제 등을 사용하여 W/B를 저감시키는 방법과 실리카폼 등 혼화재를 사용하여 수화물량을 증가시키는 방법등이 중요한 수단이 될수 있다.

그런데 이중 실리카폼이 사용하는 고강도 콘크리트에서는 낮은 W/B 조건일수록 실리카폼의 분산성 영향이 매우 중요하게 작용되지만 국내에서는 아직까지는 이에 대한 연구가 미비한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 프리믹스 시멘트의 영향을 파악할 목적으로, 분체조합변화 및 실리카폼 종류변화에 따른 콘크리트의 물리적 특성을 평가 하므로써, 고강도용 실리카폼의 최적품 선정 및 최적 분체조합결정에 기여하고자 한다.

* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원

** 아세아시멘트(주) 연구개발팀 연구원, 정회원

*** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

**** 아세아시멘트(주) 연구개발팀장, 정회원

***** 청주대 건축공학부 교수, 정회원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 실험요인으로 W/B 25% 1수준에 대해 결합재 조합으로는 100% 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 배합(이하 OPC), 보통 포틀랜드시멘트:플라이애시:실리카폼을 7:2:1로 각각 혼합한 배합(이하 OFS) 및 프리믹스한 배합(이하POFS), 보통 포틀랜드시멘트:고로슬래그 미분말:실리카폼을 7:2:1로 각각 혼합한 배합(이하 OBS) 및 프리믹스한 배합(이하POBS)의 5수준과 실리카폼 종류로는 국내 A, B, C사의 수입 실리카폼(이하 A, B, C) 3수준, 프리믹스시간은 180초 1수준으로 변화시켜 총 13배치를 실험계획 하였다. 이때, SP제량과 AE제량의 결정은 B사의 실리카폼을 사용한 OBS 제품에 대해 목표 슬럼프 플로우 600 ± 100 mm, 목표 공기량 3.0 ± 1.0 를 만족하도록 단위 시멘트량에 대한 중량비로 SP제 1.2%, AE제 0.01%를 배합설계한 후, 배합변수별 동일한 배합조건을 적용하였다. 실험사항은 표 1과 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트이고, 그 물리적 성질은 표 2와 같다. 혼화재로서 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카폼은 모두 국내에서 유통되는 것을 사

용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 표 3~5와 같다. 혼화제로써 고성능감수제, AE제는 국내산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 6~7과 같다. 골재는 국내산을 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
실험요인	W/B	1	25%
	목표 슬럼프 플로우(mm)	1	600±100
	목표 공기량 (%)	1	3.0±1.0
	결합재 조합	5	•OPC ¹⁾ •OFSx ²⁾ •OBSx ³⁾ •POFSx ⁴⁾ •POBSx ⁵⁾
	실리카폼 종류	3	•A •B •C
	믹싱 시간 (초)	1	•180
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	•유동화시간 •슬럼프 •슬럼프플로우 •공기량 •응결시간
	경화 콘크리트 특성	2	•압축강도 (1,3,7,28) •인장강도 (28)

- 1) OPC : 보통포틀랜드 시멘트 100% 사용
- 2) OFSx : OPC(70%), FA(20%), SF(10%)을 각각 혼합
- 3) OBSx : OPC(70%), BS(20%), SF(10%)을 각각 혼합
- 4) POFSx : OPC(70%), FA(20%), SF(10%)을 동시에 프리믹싱
- 5) POBSx : OPC(70%), BS(20%), SF(10%)을 동시에 프리믹싱
- 6) X : 아래첨자 X는 실리카폼 종류 A, B, C를 나타냄

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,144	0.18	230	375	20.9	28.4	38.9

표 3. 플라이 애시의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO ₂ (%)	압축강도 비(%)	단위수량비 (%)
2.21	3,520	3.7	0.1	46.8	93	99

표 4. 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	염기도	MgO (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)	강열감량 (%)
2.92	4,323	1.82	6.25	1.84	0.01	0.09

표 5. 실리카폼의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	화학적 성분(%)							
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
A	2.21	0.99	96.25	1.92	0	0	0	0.35	0.49
B	2.21	1.38	96.65	1.87	0.03	0	0.19	0.32	0.56
C	2.26	2.34	93.45	2.07	0.03	0	0.42	0.38	1.32

표 6. 고성능감수제의 물리적 성질

구분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)	주성분
고성능감수제	액상	미백색	1.04	폴리카본산계

표 7. AE 감수제의 물리적 성질

구분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)	주성분
AE 감수제	액상	미백색	1.040	음이은계

표 8. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.59	2.92	1.12	1694	1.15
굵은골재	2.70	6.93	1.20	1584	0.10

2.3 실험방법

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421 규정에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도 시험은 KS F 2405, 인장강도는 KS F 2565의 규정에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동화 시간

그림 1은 결합재조합변화, 프리믹스 여부 및 실리카폼 종류별에 따른 콘크리트의 유동화시간을 나타낸 것이다.

전반적으로, OPC만을 사용한 경우는 약 60초전후에 유동성이 개시되는 것으로 나타났다.

결합재조합요인으로, 결합재로서 플라이애시를 사용한 경우, 혼합방법별 유동화시간은 실리카폼 A와 C에서 개별혼합한 것이 프리믹스한 것보다 빠른 것으로 나타났고, 실리카폼 B에서는 프리믹스한 것이 개별혼합한 것보다 빠르게 나타났다. 실리카폼 종류에 따라서는 A가 가장 빠르게 나타났고, 그 다음으로 B, C의 순이었다.

또한, 결합재로서 고로슬래그를 사용한 경우, 혼합방법별 유동화시간은 실리카폼 종류변화에 따라서 프리믹스한 것이 개별혼합한 것보다 빠르게 나타났고, 실리카폼 종류변화에 따라서는 B가 가장 빠르고, A, C는 그 다음으로서 유사하게 나타났다.

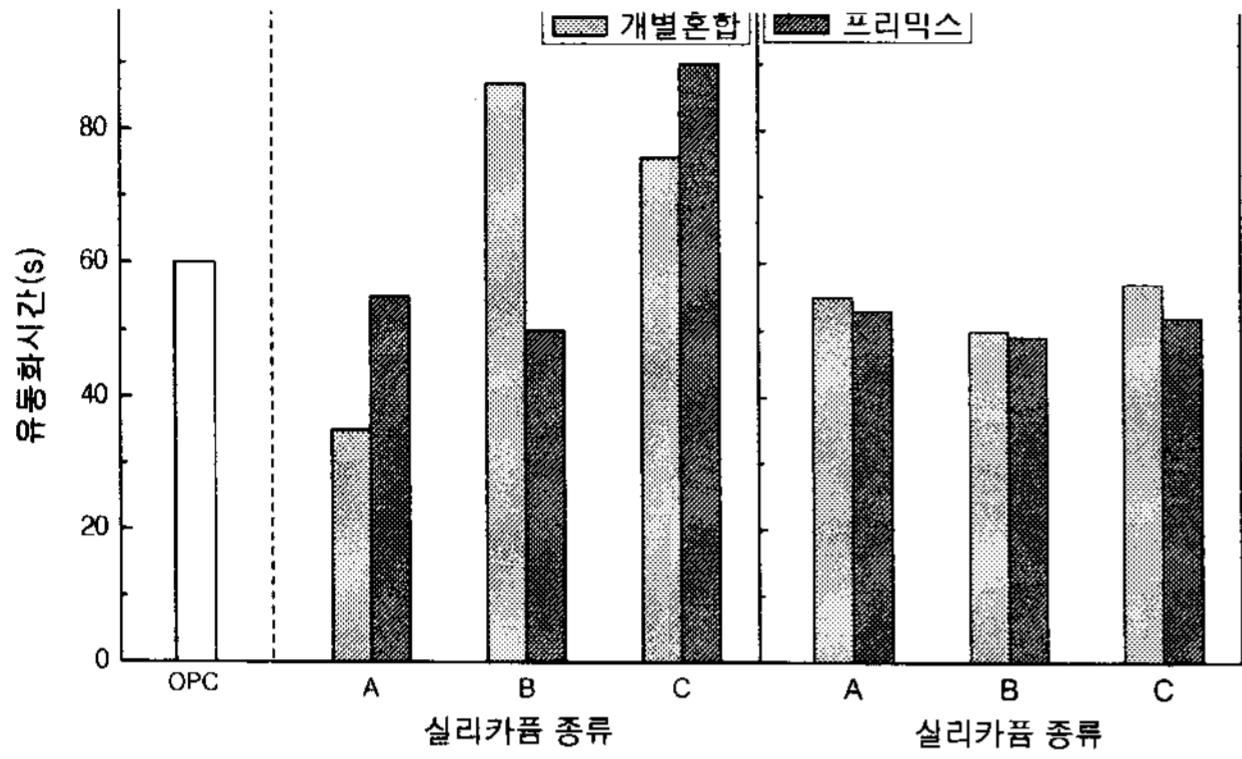
3.1.2 슬럼프 및 슬럼프 플로우

그림 2, 3은 결합재조합변화 및 실리카폼 종류변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 나타낸 것이다.

전반적으로 OPC의 경우 슬럼프가 270mm전후, 슬럼프 플로우가 800mm전후로 가장 양호하게 나타났다. 결합재조합요인으로 결합재로써 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 플라이애시를 사용한 경우보다 유동성이 큰 것으로 나타났는데, 이는 플라이애시에 의한 점성증가에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 혼합방법별에 따른 유동성은 프리믹스한 경우가 개별혼합한

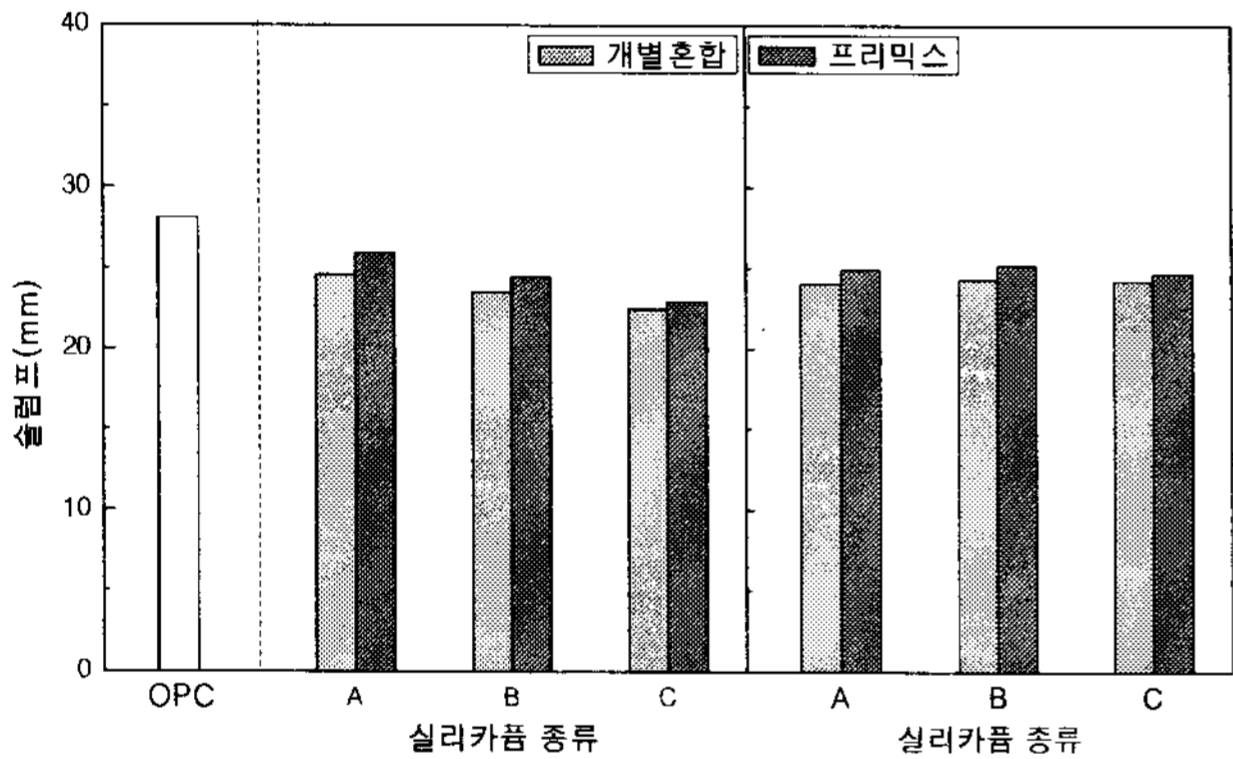
것보다 양호한 것으로 나타났는데, 이는 실리카폼의 가는 입자에 의해 시멘트 입자가 균질하게 코팅되어 불베어링 효과에 의해 유동성이 증가한 것으로 분석된다.

실리카폼 종류변화에 따른 유동성은 A의 경우 가장 양호하게 나타났고, 그 다음으로 B, C의 순이었다.



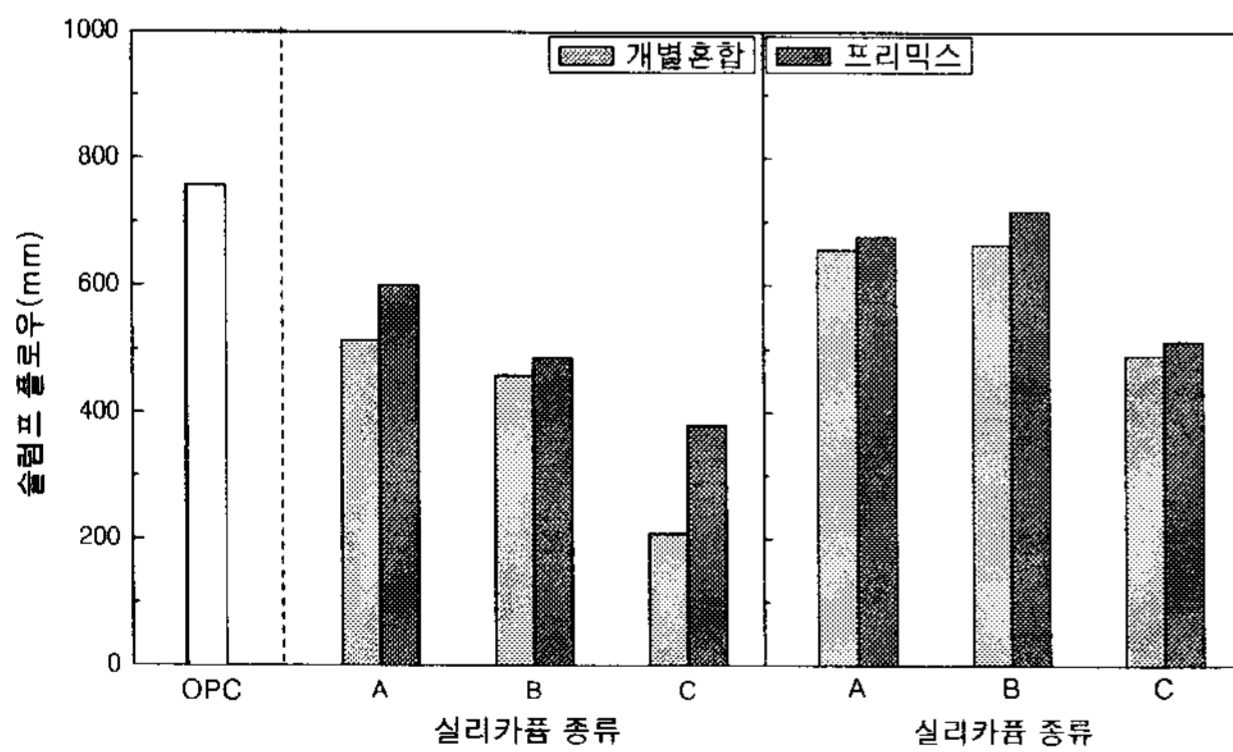
(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1

그림 1. 실리카폼 종류 변화에 따른 콘크리트의 유동화 시간



(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1

그림 2. 실리카폼 종류 변화에 따른 슬럼프



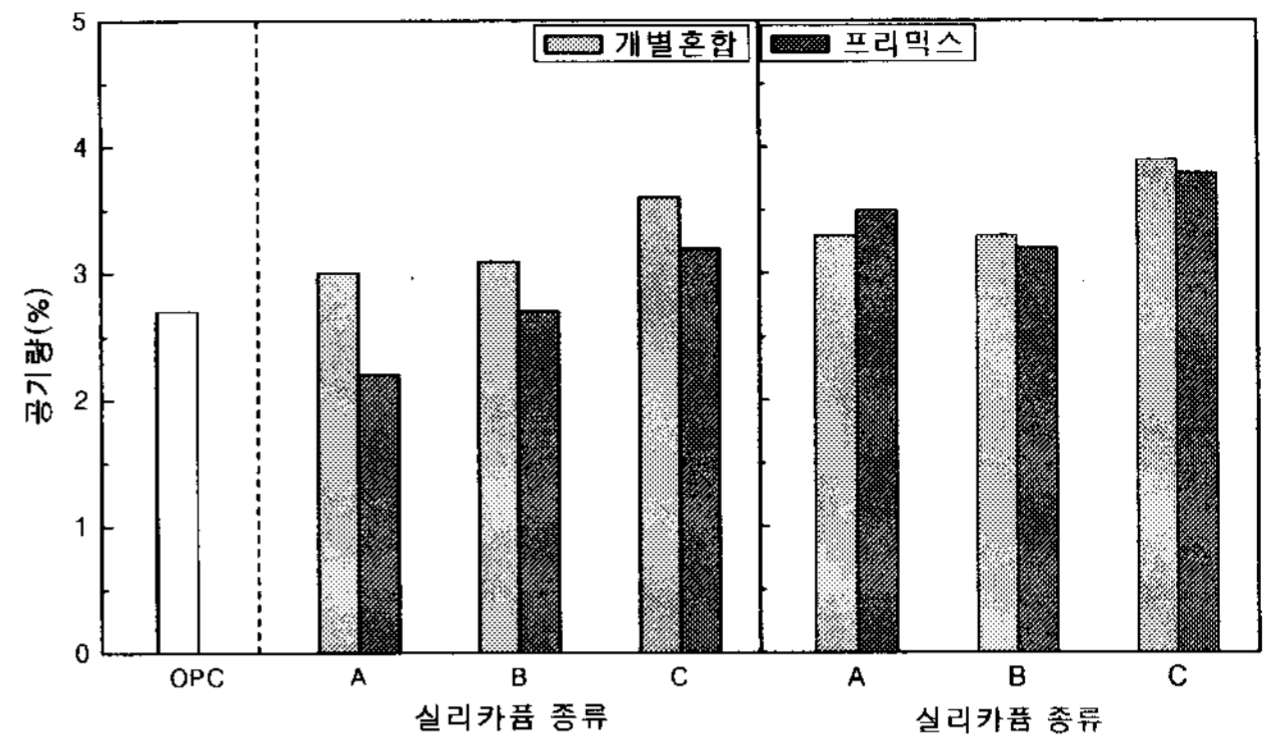
(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1

그림 3. 실리카폼 종류 변화에 따른 슬럼프 플로우

3.1.3 공기량

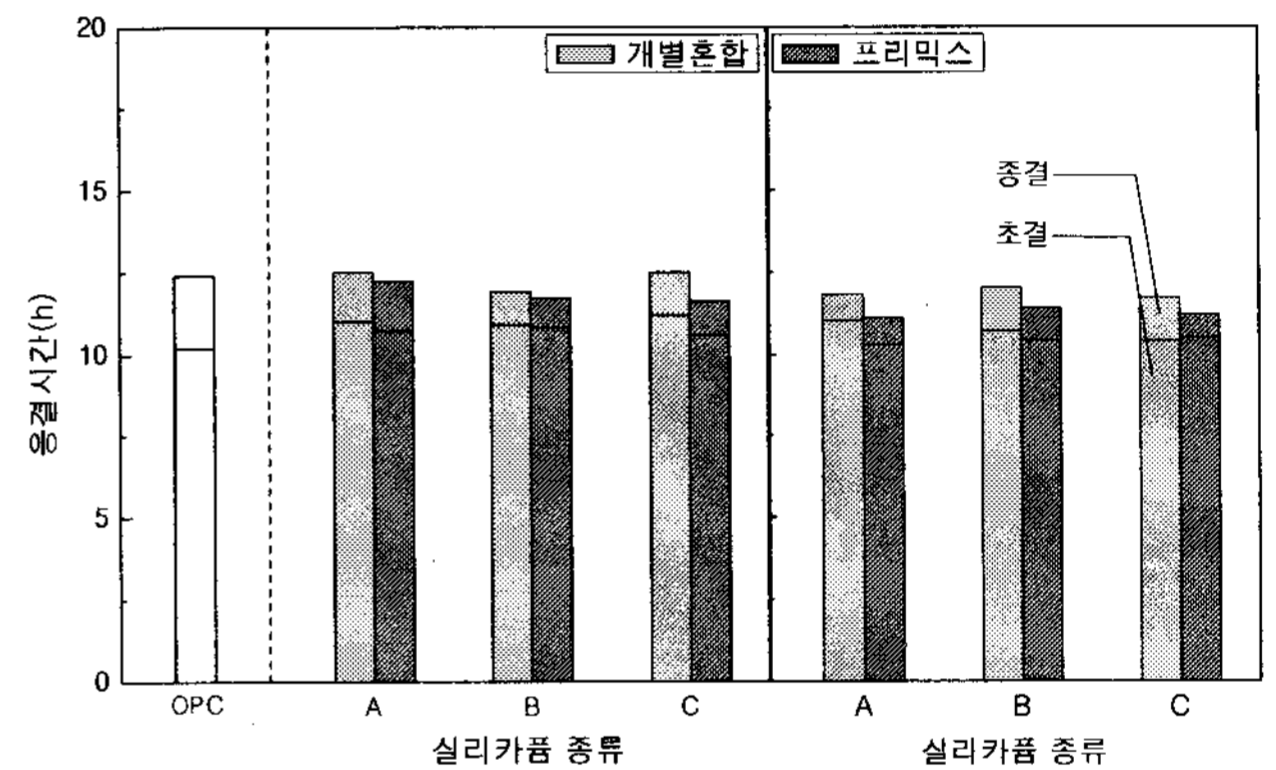
그림 4는 유동성과 동일한 요령으로 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로 OPC의 경우 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났고, 혼화재 종류변화에 따라서는 플라이애시를 사용한 경우 고로슬래그를 사용한 경우보다 적은 것으로 나타났는데, 이

는 플라이애시중 미연소 탄분에 의한 공기량 흡착작용에 기인한 것으로 분석된다.



(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1

그림 4. 실리카폼 종류 변화에 따른 공기량



(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1

그림 5. 실리카폼 종류 변화에 따른 응결시간

또한, 결합재로서 플라이애시를 사용한 경우, 혼합방법별에 따른 공기량은 개별혼합한 것이 프리믹스한 것보다 높게 나타났다. 실리카폼 종류변화에 따라서는 C가 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 B, A의 순이었다. 또한, 결합재로서 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 혼합방법별에 따른 공기량은 실리카폼 A에서는 프리믹스한 것이 개별혼합한 것에 비해 높게 나타났고, 실리카폼 B, C에서는 이와 반대의 경향을 나타내었다. 실리카폼 종류변화에 따른 공기량은 C가 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 A, B의 순이었다.

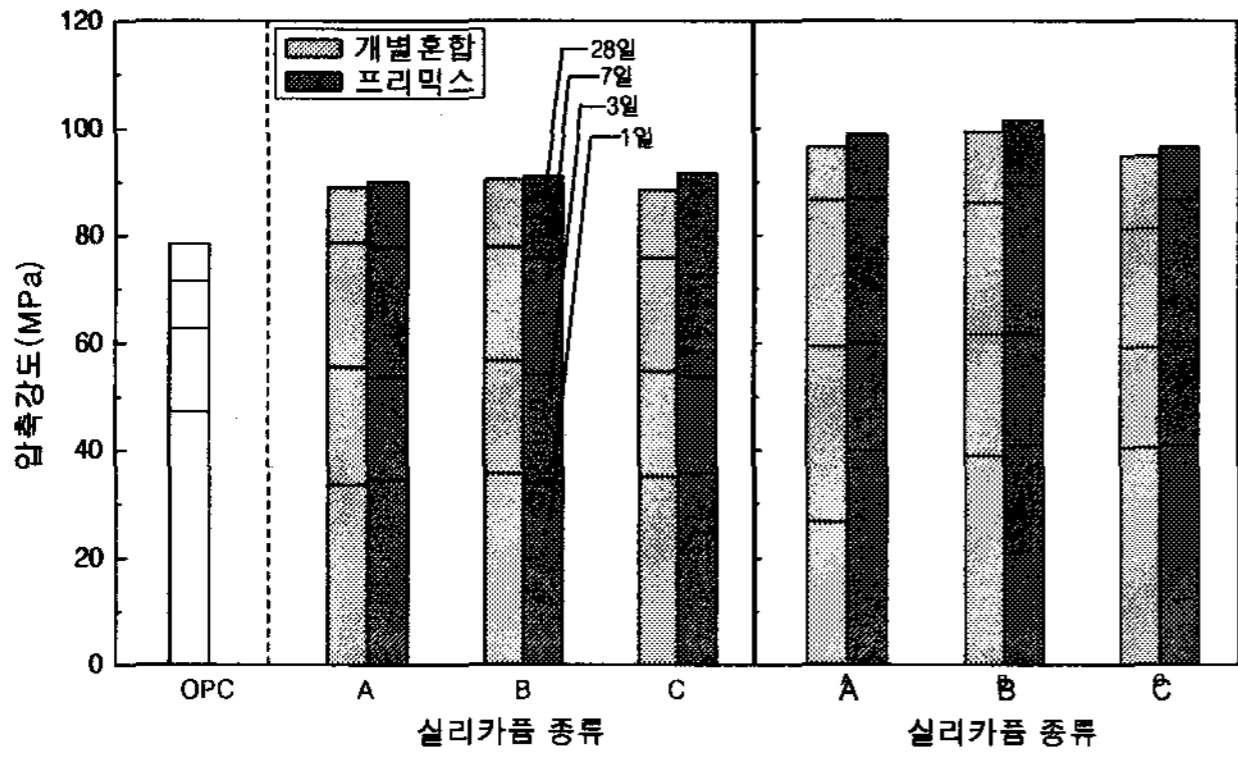
3.1.4 응결시간

그림 5는 전과 동일한 요령으로 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다.

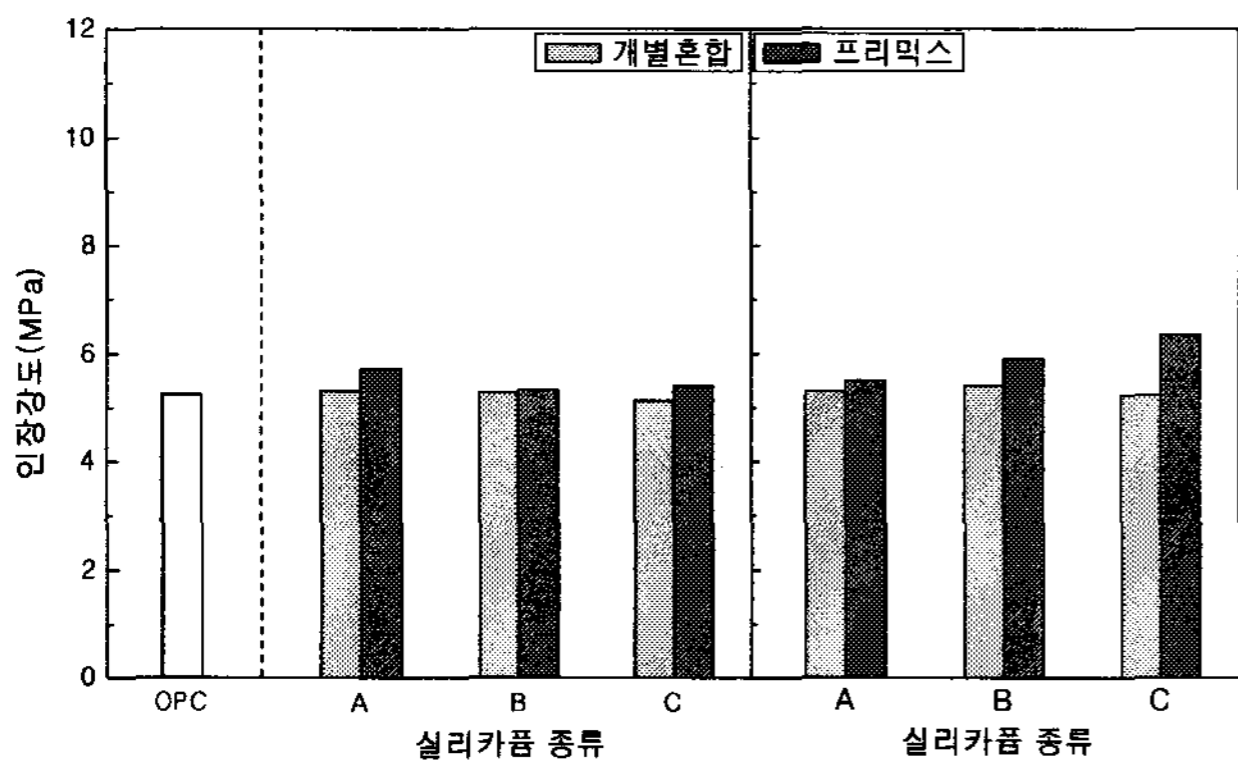
전반적으로 OPC의 경우 초결시간 10시간, 종결시간이 12.5시간전후로 비교적 빠르게 나타났고, 결합재 종류 요인으로써 고로슬래그 미분말을 사용한 경우가 미소하게나마 플라이애시를 사용한 경우보다 응결시간이 빠르게 나타났다. 또한, 혼합방법별에 따른 응결시간은 프리믹스한 경우가 개별 혼합한 것보다 빠르게 나타났는데, 이는 실리카폼의 가는 입자의 균질분산에 의한 수화발열속도의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

실리카폼 종류변화에 따라서는 큰 차이 없이 유사한 경향을

나타내었다.



(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1
그림 6. 실리카폼 종류별 재령경과에 따른 28일 압축강도



(a) OPC:FA:SF = 7:2:1 (b) OPC:BS:SF = 7:2:1
그림 7. 실리카폼 종류 변화에 따른 28일 인장강도

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도

그림 6은 재령별, 결합재 조합요인 및 실리카폼 종류변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로, OPC의 경우 재령 28일에서 80MPa전후로 고강도를 나타내었다. 결합재 조합요인 변화에 따라서는 재령 1일 및 3일 압축강도는 OPC보다 낮지만 7일 이후에는 OPC의 이상으로 강도발현되는 것으로 나타났다. 혼화재 종류별에 따른 28일 압축강도는 고로슬래그를 사용한 것이 플라이애시를 사용한 것보다 높게 나타났고, 혼합방법별에 따라서는 프리믹스한 것이 개별혼합 한 것보다 높은 것으로 나타났다.

또한, 결합재로서 플라이애시를 사용한 경우, 실리카폼 종류 변화에 따른 재령 28일 압축강도는 C가 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 B, A의 순으로 나타났다. 또한, 결합재로서 고로슬래그를 사용한 경우, 실리카폼 종류변화에 따른 재령 28일 압축강도는 B, A, C의 순이었다.

3.2.2 인장강도

그림 7은 결합재 조합요인 및 실리카폼 종류변화에 따른 28일 인장강도를 나타낸 것이다.

인장강도는 콘크리트의 압축강도 증가 또는 감소와 유사한 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 결합재 조합변화 및 실리카폼 종류변화에 따른 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 프리믹스 시멘트의 영향에 대해 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 유동특성으로, 결합재 조합은 OPC + 실리카폼에 플라이애시를 혼합하는것 보다 고로슬래그 미분말을 혼합하는 경우, 특히 프리믹스 할때 양호한 것으로 나타났고 실리카폼 종류에 따른 유동화시간은 A, B가 양호하고 C가 저하하는 순이었다.
- 2) 실리카폼 종류에 따른 공기량은 고로슬래그 미분말보다 플라이애시를 사용할 때 적고, 실리카폼은 강열감량이 적은 A에서 적으며, 특히 각 경우에는 프리믹스 할때 실리카폼의 분산에 의한 양호한 공극충전으로 적게 나타났다.
- 3) 경화 콘크리트의 특성으로 28일 압축강도 및 인장강도는 플라이애시보다 고로슬래그 미분말에서, 특히 프리믹스 할 때 크게 나타났는데, 모두 수준에서 OPC 동등이상의 강도를 발현하였으며, 실리카폼 종류변화에 따라서는 B가 크고, 기타는 유사한 경향을 나타내었다.

참고 문헌

1. 김기훈, 황인성, 김성수, 최성용, 한민철, 한천구 ; 초고강도용 시멘트 결합재의 물성에 미치는 실리카폼 종류의 영향, 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, Vol.7 No.1, 2007
2. 김성수, 차완호, 권오봉, 손유신, 이승훈 ; 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재의 개발, 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제18권 1호, 2006. 5, PP. 25~28
3. 변근주, 남진원 ; 실리카폼 콘크리트, 기문당, 2006.
4. 소병현, 이주나, 박창수; 제지 슬러지 애쉬 고로슬래그 미분말로 혼합치환한 시멘트가 모르타르에 미치는 영향, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, 2002. 10, PP. 3~9
5. 이창수, 설진성, 윤인석, 박종혁; 플라이 애시 고로슬래그 미분말의 복합사용한 콘크리트의 내구성능 향상효과, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, 2002. 10, PP. 23~26.
6. 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회, p.p. 159~233, 1997.
7. 한천구 ; 한천구의 콘크리트 실무가이드 100, (주)건설미디어, p.p. 29~38, 2006
8. ACI 234-R ; Guide for the Use of Silica Fume in Concrete, 2006.
9. Silica Fume Association ; Silica Fume User's Manual, 2005. 4
10. 今橋太 ; シリカフュームの分散性と超高強度コンクリートの流動性, 無機マテリアル, Vol. 5, 1998. 1, PP. 54~59