

혼합재를 첨가한 시멘트의 레올로지 특성

Rheological Properties of Cement Using Admixtures

양승규^{*} 이웅종^{**} 김동석^{***} 정연식^{****} 유재상^{*****} 이종열^{*****}
Yang, Seung-Kyu Lee, Woong-Jong Kim, Dong-Seuk Chung, Youn-Sik Ryu, Jae-Sang Lee, Jong-Ryul

ABSTRACT

This study is about the rheological properties of cement slurry using admixtures. The variables are the type of cement(Type I, II, IV, V) and the substitution ratio of admixtures such as fly ash and slag.

As a result of measuring the fluidity of various types of cement slurry at the early stage, type 2, type 4 and type 5 showed the similar property. The fluidity of type 1 and ternary blended cement was low. it is thought that it is because of the high C₃A content. The cement slurries containing mineral admixtures were superior in the property of fluidity retention.

1. 서 론

혼화재료는 시멘트, 골재, 혼합수 이외의 재료로서 모르타르나 콘크리트의 혼합시 필요에 따라 한 성분으로 첨가된다. 특히, 혼화재는 물리, 화학 및 물리화학적 작용에 의해 굳지 않은 콘크리트 또는 경화된 콘크리트의 성능을 개선시키거나 경제성 및 에너지 절약 등의 목적으로 사용된다.

혼화재 사용은 산업 부산물의 유효 이용이라는 환경적인 측면과 전술한 통상의 콘크리트의 성능 보완이라는 두 가지 측면이 있다. 콘크리트가 해양환경과 같은 가혹한 환경에 노출되고 있는 상황이 늘어나면서 콘크리트의 설계시 콘크리트의 성능을 향상시킬 수 있는 혼합재의 장점을 콘크리트에 어떻게 적용할 것인가를 평가하는 것은 매우 중요한 부분이라고 생각된다. 용도, 용처에 따른 적정 혼합재의 선정, 적정 치환율의 결정 등은 기초적 지식을 얻은 후에 정하는 것이 이상적이지만, 현실적으로는 그렇지 못하고 장시간에 걸친 경험적인 기술 축적에 의해 행해지고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트와 혼합재의 기초적 특성을 파악하기 위하여 시멘트 종류, 혼합재 종류 그리고, 각 시멘트 대비 혼합재 치환율에 따른 유동특성을 비교·검토하였다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사
*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원
**** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사
***** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사
***** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC), 중용열 포틀랜드(이하 MHC), 저발열 포틀랜드시멘트(이하 LHC) 및 내황산염 포틀랜드시멘트(이하 SRC)를 사용하였으며, 혼화제로 플라이 애쉬(이하 FA) 및 고로 슬래그 미분말(이하 SG)을 사용하였다. 또한 추가적으로 OPC 및 FA, SG가 일정 비율로 혼합된 3성분계시멘트(이하 OSFC)에 대해서도 고려하였다. 본 연구에 사용된 각 재료의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다. 그리고, 슬러리 제조시 유동성 확보를 위하여 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였다.

표 1 사용재료의 화학성분 및 물리적 성질

항 목 결합재	화학성분(%)						물리적 성질	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	Specific gravity	Blaine(cm ² /g)
OPC	20.20	5.89	3.11	63.15	2.09	2.55	3.15	3,200
MHC	23.46	4.35	3.25	63.07	1.89	2.39	3.18	3,250
LHC	25.69	3.20	3.20	62.53	2.06	2.10	3.22	3,500
SRC	22.73	3.69	3.47	63.08	1.76	3.16	3.18	3,220
FA	51.67	27.86	1.33	5.66	0.80	1.02	2.45	4,780
SG	33.50	15.08	0.33	41.30	3.04	6.23	2.93	4,770
OSFC	30.21	13.29	3.92	44.53	2.31	3.17	2.85	3,980

2.2 실험변수

실험변수는 4종류의 시멘트에 FA와 SG를 치환하는 것으로 정하였으며, 시멘트 대비 혼합재 각각의 치환율은 FA를 10, 20%, SG를 40, 60%로 치환하여 슬러리의 레올로지 특성을 파악하였으며, 추가로 OPC와 SG, FA를 일정한 비율로 혼합한 OSFC도 고려하였다. 각 실험변수별 시편명은 다음과 같이 정하였다.

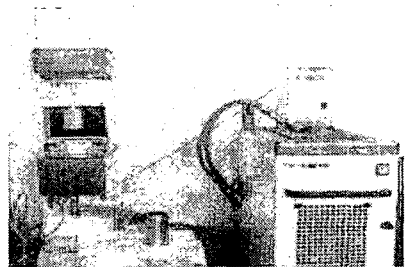
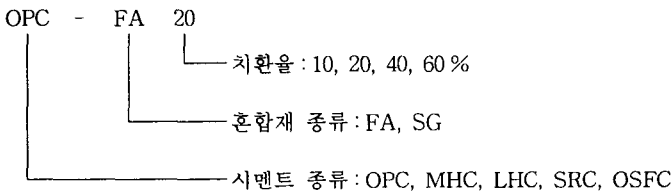


그림 1 실험에 사용된 레오메타

2.3 슬러리 제조 및 측정방법

슬러리는 소정의 분체 및 고성능감수제, 물을 넣고, 500 rpm의 속도로 2분간 혼합하여 제조하였으며, 이 슬러리를 일정 용기에 넣고 20±1℃의 온도에서 회전속도의 범위를 최소 0 rpm에서 최고 150 rpm까지로 하여 상승 및 하강시켜 유동곡선을 측정하였다.

이 때 상승 및 하강에 소요되는 시간은 60초로 하였으며, 30분간의 정치시간을 두어 유동성의 유지도 관찰하였다. 본 실험에 사용된 레오메타는 그림 1에 나타난 HAAKE사의 Rotovisco RT20(모델명)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시멘트 종류 및 혼합재별 유동특성

각각의 시멘트를 물(W/B=0.35)과 고성능감수제(C×1%)를 넣고 유동특성을 조사한 결과를 그림 2>에 나타내었다. 시멘트 종류에 따른 유동특성은 혼합 직후 SRC≒LHC≒MHC > OPC > OSFC 순으로 유동성이 감소함을 알 수 있었다. 포틀랜드계 시멘트의 경우 C₃A의 함량이 적은 쪽이 항복값 및 점성이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 초기 수화 활성화와 고성능감수제와의 상호 작용과 깊은 관계가 있는 것으로 판단된다. 시멘트별 유동성의 유지력은 2종, 5종, 3성분계 시멘트가 양호한 것으로 나타났으며, 30분 후 유동특성이 LHC의 경우가 큰 것으로 나타났는데, 폴리카르본산계의 혼화제를 사용한 경우(그림 2>(c) 참조) 이 폭은 상당히 줄어든다. 따라서 시멘트와 고성능감수제와의 상성 관계는 초기 유동성도 중요하지만, 30분후의 경시 변화에도 깊이 관계한다는 것을 알 수 있다.

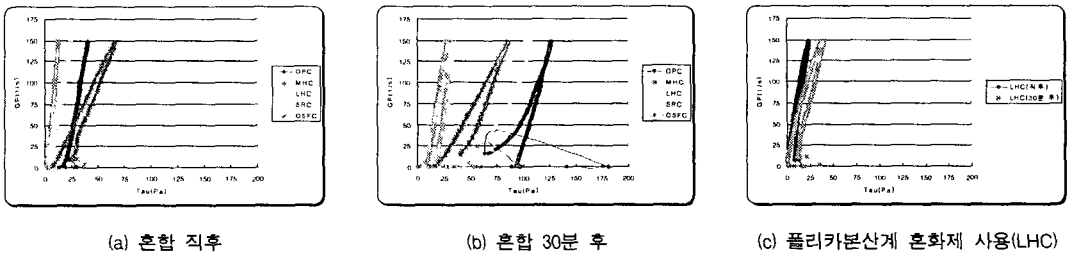


그림 2 시멘트 종류별 유동특성

3.2 플라이 애쉬(FA) 치환에 따른 영향

OPC에 FA를 치환한 경우, 치환율이 증가됨에 따라 혼합 직후에는 점도 및 항복값이 커지는 것을 알 수 있었으며, 혼합 30분 후에는 이와는 반대의 현상이 나타남을 알 수 있었다. FA가 OPC의 유동성 유지에 효과적임을 알 수 있었다(그림 3 참조).

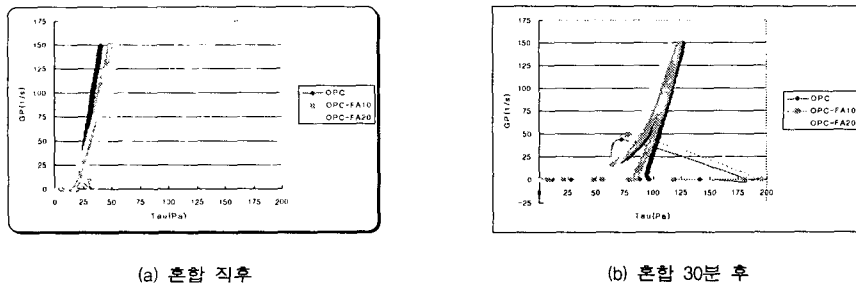
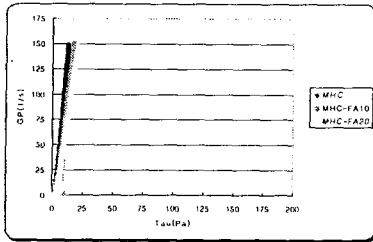
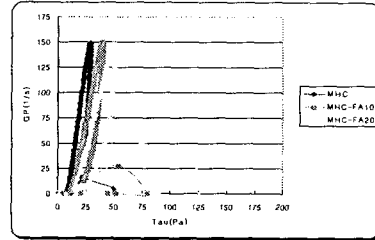


그림 3 OPC+FA 치환에 따른 유동특성

MHC, LHC, SRC 등의 유동특성에 미치는 플라이 애쉬의 영향은 치환율의 증가에 따라 혼합 직후 점도 및 항복값이 커지는 경향을 보였다. 또한 혼합 30분 후 유동성 유지력은 치환율의 증가에 따라 작아지는 것으로 나타났다(그림 4~6 참조).

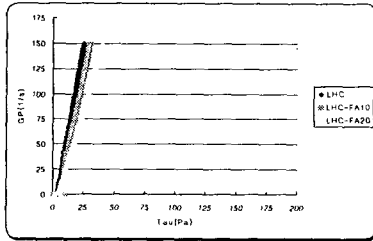


(a) 혼합 직후

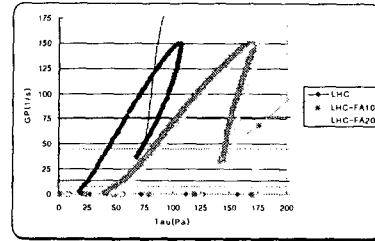


(b) 혼합 30분 후

그림 4 MHC+FA 치환에 따른 유동특성

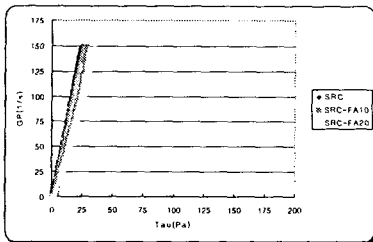


(a) 혼합 직후

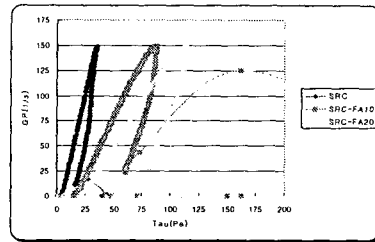


(b) 혼합 30분 후

그림 5 LHC+FA 치환에 따른 유동특성



(a) 혼합 직후



(b) 혼합 30분 후

그림 6 SRC+FA 치환에 따른 유동특성

3.3 고로 슬래그 미분말(SG) 치환에 따른 영향

그림 7~그림 10은 고로 슬래그 미분말의 치환에 따른 시멘트의 유동특성을 도표화한 것이다.

전체적으로 SG가 각 시멘트의 유동특성에 미치는 영향은 혼합 직후 치환율에 반비례, 혼합 30분 후에는 비례하여 향상되는 것으로 측정되었다.

SG가 OPC의 유동특성에 미치는 영향은 혼합 직후에는 치환율에 비례하여 점성이 커지는 것으로 나타났다으며, 혼합 30분 후 유동성의 유지력은 현저하게 향상되었다. 또한, SG의 치환율이 클수록 점성이 작아지는 것으로 나타났다(그림 7 참조).

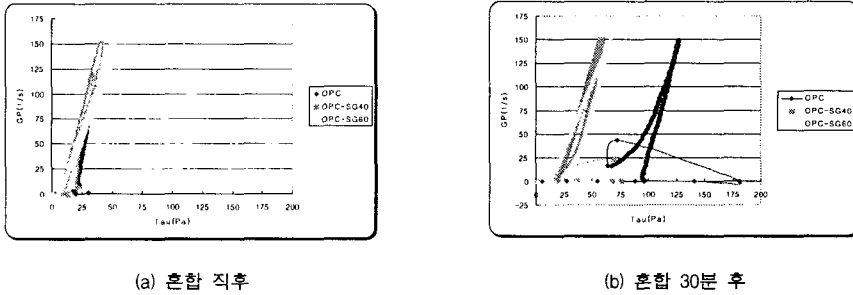


그림 7 OPC+SG 치환에 따른 유동특성

MHC 및 SRC에 SG를 치환한 경우, 혼합 30분 후 미치환 시멘트에 비하여 항복값은 커지지만, 점성이 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이로부터 SG의 사용은 유동성 유지에 유리하게 작용함을 알 수 있었다. LHC에 SG를 치환하면 FA를 치환했을 경우보다 유동특성이 향상되는 것으로 나타났다.

또한, 시멘트 종류별로 SG의 치환율에 따른 유동특성이 상이하게 나타났는데, 이로부터 유동성 측면에서 고로 슬래그 미분말의 적정 치환율은 시멘트 종류에 따라 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

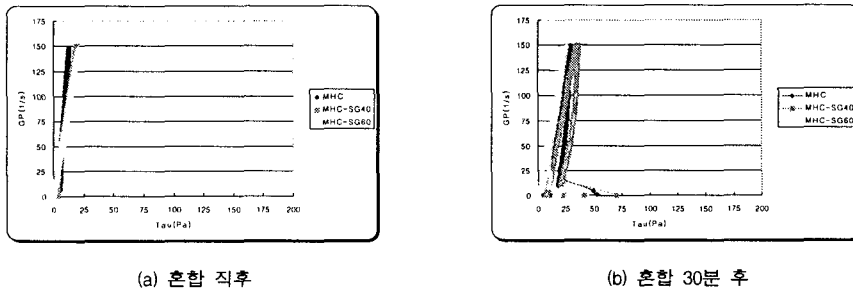


그림 8 MHC+SG 치환에 따른 유동특성

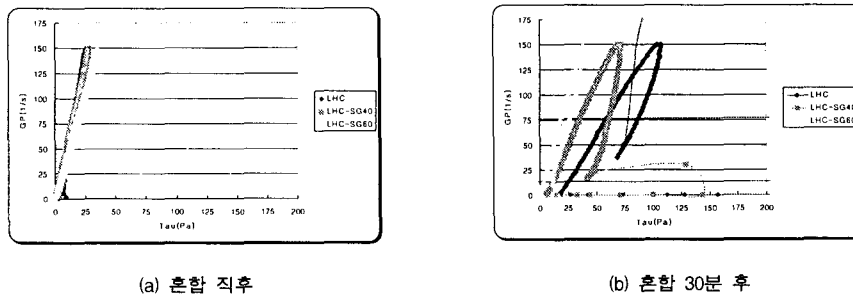
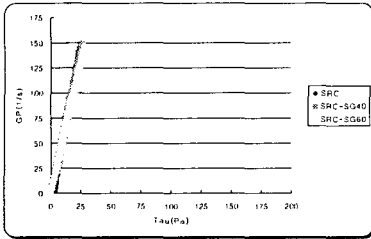
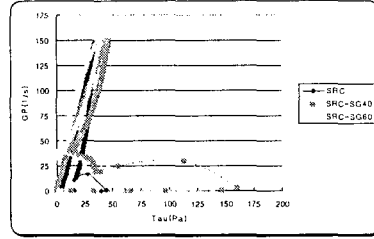


그림 9 LHC+SG 치환에 따른 유동특성



(a) 혼합 직후



(b) 혼합 30분 후

그림 10> SRC+SG 치환에 따른 유동특성

4. 결론

시멘트 종류, 혼합재 종류 그리고, 각 시멘트 대비 혼합재 치환율에 따른 슬러리의 유동특성을 파악하기 위하여 레오메타를 이용한 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기 유동특성은 2종, 4종, 5종 시멘트는 유사한 수준이었으며, 1종과 3성분계 시멘트는 유동성이 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 C_3A 함량에 기인한 것으로 판단된다.
- (2) 시멘트별 유동성의 유지력은 2종, 5종, 3성분계 시멘트가 1종, 4종 시멘트에 비하여 양호한 것으로 나타났다.
- (3) 플라이 애쉬 및 고로 슬래그 미분말의 치환이 각 시멘트 슬러리의 초기 유동특성에 미치는 영향은 치환율이 증가할수록 점성이 커지는 것으로 나타났다.
- (4) 혼합 30분 후 유동성의 유지력은 혼합재 치환 슬러리가 미치환 슬러리에 비하여 양호한 것으로 나타났다으며, 적정 혼합재 및 치환율은 시멘트 종류에 따라 충분한 검토가 선행되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 양승규, 이용종, 정연식, 이순기, 이종열, "혼화 재료가 첨가된 초미립자 시멘트의 레올로지 특성 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001, pp.301~306.
2. 정연식, "시멘트 콘크리트의 충전 특성과 Rheology", 콘크리트학회지, Vol 9, No 2, 1997, pp.55~61.
3. R. HOGG, "Flocculation phenomena in fine particle dispersions", Advance in Ceramics, Vol 21, 1987, pp.467~481.
4. 문한영, 서정우, 최재진, 김기형, "콘크리트 혼화재료", 한국콘크리트학회, 1997, pp.11~18.