

플라이애쉬를 사용한 시멘트페이스트의 레올로지 특성에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on the Rheology Properties of Cement-Paste using Fly-ash

류희정* 최영준* 김재훈** 지남용*** 김화중****
Ryu,Hui-Jung Choi,Young-Jun Kim,Jae-Hun Ji, Nam-Yong Kim,Wha-Jung

Abstract

This paper tried to catch the fluidity and rheology nature of paste, using the W/P, fly-ash and additional amount of superplasticizing agent as experimental factor.

From result of experiment, as the amount of superplasticizing agent increased, fluidity increased and the rheology decreased. As the substitutional ratio increased fluidity decreased, the rheology tended to increase. additional amount of agent to gain high flowing range is different according to w/p, but this experiment shows about 0.5~1.0% in fly-ash 10~30% substitutional range, 1.0~1.5% in fly-ash 50%.

1. 서론

근래 프레쉬콘크리트의 시공성 및 콘크리트의 고품질화를 목적으로 고유동콘크리트에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 고유동콘크리트는 종래와 다른 프레쉬 성질로 인하여 슬럼프값만으로 콘크리트의 유동성상을 규명하기 어려운 실정이다. 따라서 콘크리트를 골재와 페이스트로 구성되는 2상재료로 생각할 경우 레올로지 특성에 기초한 프레쉬 콘크리트의 평가가 필요한 실정이다. 특히 페이스트의 유동성상은 프레쉬 콘크리트의 유동성에 큰 영향을 미치는 것으로 분체의 입도분포, 광물조성, 혼화제의 종류에 좌우되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 본 연구는 미립분으로 플라이 애쉬를 사용하여 페이스트의 유동성 및 레올로지 특성에 영향을 미치는 미립분과 혼화제의 효과를 검토하였다.

* 경북대 건축공학과 석사과정

*** 경민전문대 조교수 박사과정

**** 정회원, 한양대학교 교수, 공학박사

***** 정회원, 경북대학교 부교수, 공학박사

2. 실험개요

2.2.1 실험인자 및 수준

플라이 애쉬를 이용한 고유동페이스트의 유동성상을 파악하기 위하여 물결합재비와 혼화제 치환량 및 혼화제 첨가량을 실험인자로 하여 플로우값 및 레올로지 정수를 측정하였다. 또한 혼화제가 콘크리트의 응결현상에 미치는 영향을 조사하기 위하여 페이스트를 대상으로 응결시간을 측정하였다. 실험인자 및 수준은 <표-1>과 같다.

표1. 실험인자 및 수준		표2. 사용재료	
실험인자	수준	사용재료	비고
물결합재비	25, 30, 35%	시멘트	포틀랜드 시멘트 I종 비중 : 3.15 비표면적 : 3.190(cm ² /g)
플라이애쉬 중량치환율	10, 30, 50%	혼화제	플라이애쉬(보령산) 비중 : 2.3
고성능감수제 첨가량	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%	혼화제	고성능 감수제(폴리칼본산계) 비중 : 1.04~1.06

2.2.2 사용재료 및 혼합

실험에 사용된 재료는 <표-2>와 같으며 페이스트의 혼합은 시멘트와 플라이애쉬를 혼합용기에 넣고 30초간 건비빔한 후 혼합수를 투입하여 저속에서 30초간 혼합한후 정지시키고 다시 고속에서 180초간 혼합하였다.

2.2.3 측정항목 및 측정방법

시멘트페이스트의 레올로지는 [그림-1]에 나타난 회전점도계(내원통회전점도형, BrookField HADV II + (spindle SC4-27))를 이용하였다. 레올로지정수는 믹싱후 재료의 안정을 위하여 약 3분 경과후 점도계의 회전속도를 0.5, 2.5, 10, 20, 50, 100rpm으로 상승시킬 때의 전단응력을 측정하여 소성점도와 항복값을 구하였다. 페이스트 플로우값은 KS L5111에 규정되어 있는 플로우 콘을 이용하여 낙하운동을 하지않고 콘을 들어올려올 때 페이스트의 넓이를 가로·세로 2회 측정하여 평균값을 취하였으며 페이스트의 응결시험은 KS L 5108에 준하여 실시하였다.

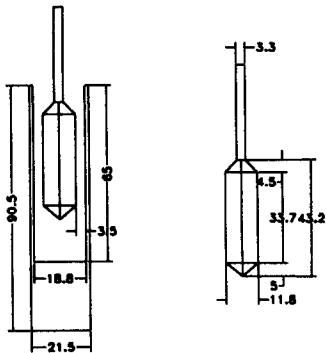


그림 1. 점도계 제원 및 Spindle치수

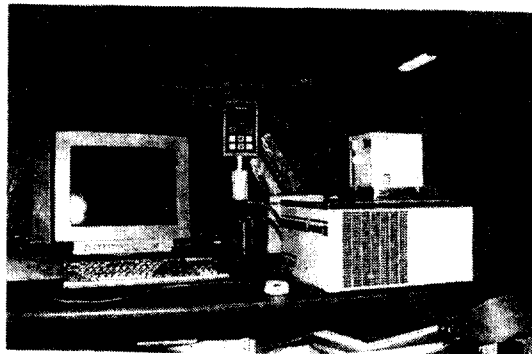


그림 2. 레올로지 측정장면

3. 실험결과 및 고찰

3.1 페이스트의 유동성

혼화제의 첨가량에 대한 플로우값의 관계를 물결합재비별로 나타낸 것이 그림 3이다. 페이스트의 플로우는 혼화제 치환량에 관계없이 혼화제 첨가량 및 물결합재비의 증가에 따라 커지는 경향이 보였다. 동일한 혼화제 첨가량에서 플라이애쉬 치환량 변화에 따른 플로우값은 혼화제 치환량 10~30%에서는 플라이애쉬가 많을수록 플로우값의 증가하였지만 플라이애쉬 50%첨가에서는 플로우값이 감소되는 것으로 나타났다. 또한 물결합재비 변화에 따른 플로우값은 물결합재비가 증가할수록 증가되는 경향을 보였지만 플로우값 400mm이상의 범위에서는 물결합재비에 따른 플로우의 증가는 보여지지 않았다. 이러한 현상은 플로우400mm이상에서는 재료분리가 발생되었기 때문으로 생각된다. 페이스트의 고유동 범위를 얻기 위한 혼화제 첨가량은 물결합재비에 따라 상이하지만, 본 실험에서는 플라이애쉬 10%~30%범위에서는 약 0.5~1.0% 정도, 플라이애쉬 50%에서는 1.0~1.5% 정도로 나타났다.

3.2 페이스트의 전단속도와 전단응력

플라이애쉬를 치환한 페이스트의 유동곡선은 그림 4와 같다. 시멘트 페이스트의 유동곡선은 기존의 연구와 같은 빙감체의 형태를 나타내고 있으며 물결합재가 동일한 경우 혼화제치환량이 증가할수록 높은 전단응력에서 유동을 시작하고 유동곡선의 기울기가 커지는 경향을 보였다. 그러나 혼화제의 영향은 반대 경향을 나타내었다.

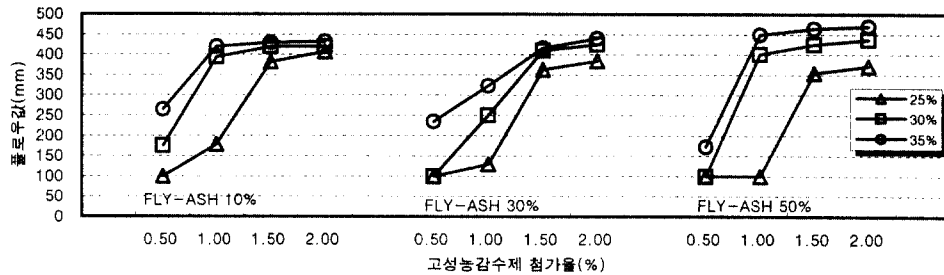


그림 3. 고성능감수제의 첨가량에 따른 플로우의 변화

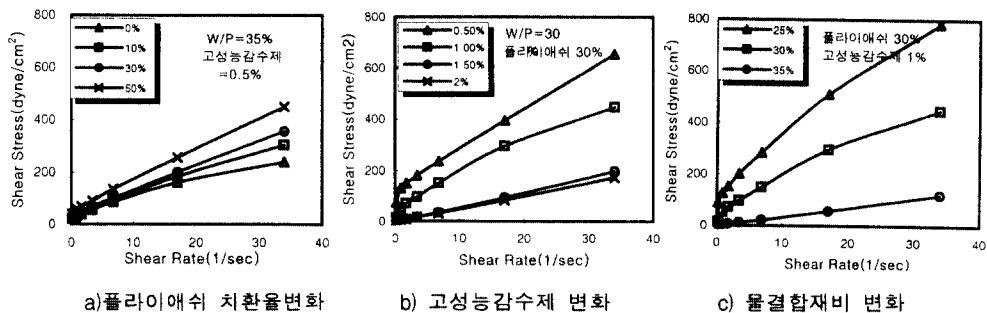


그림 4. 전단속도-전단응력곡선

3.3 페이스트의 소성점도와 항복값

그림 5는 혼화제 첨가량 및 플로우값에 따른 페이스트의 소성점도 및 항복값의 변화를 나타낸 것이다. 동일한 물결합재비에서 혼화제 첨가량이 증가함에 따라 소성점도와 항복값은 감소하는 경향을 나타내며, 물결합재비가 높을수록 소성점도 및 항복값은 낮은 범위에 있는 것으로 나타났다. 플로우값 400mm 이상의 범위에서는 혼화제 첨가량이나 혼화제량에 상관없이 매우 낮은 소성점도 및 항복값을 나타내고 있다. 이것은 플로우 400mm 이상에서는 발생하는 재료분리 현상으로 설명할 수 있다. (표 3~4)는 페이스트의 고유동범위로 생각되는 플로우320~370mm구간사이의 소성점도 및 항복값을 정리한 것으로 물결합재비 및 혼화제 치환량에 따라 차이는 있지만 소성점도 0.54~1.46Pa·s, 항복값 1.54~5.27 Pa사이 에 있는 것으로 나타났다. 이는 플로우 100mm에서의 소성점도에 비하여 약 1.7~1.9배, 항복값 3~14배 이상 작은 것으로 나타났다.

표 3. 페이스트의 소성점도
(flow 320~370mm) 단위:Pa·s

W/P	W/P (%)		
	25	30	35
Fly ash			
10%	1.28	1.09	0.54
30%	1.31	1.46	0.89
50%	1.46	1.33	0.84

표 4. 페이스트의 항복값
(flow 320~370mm) 단위:Pa

W/P	W/P (%)		
	25	30	35
Fly ash			
10%	1.7	2.89	1.53
30%	1.19	5.27	3.23
50%	1.7	3.4	2.04

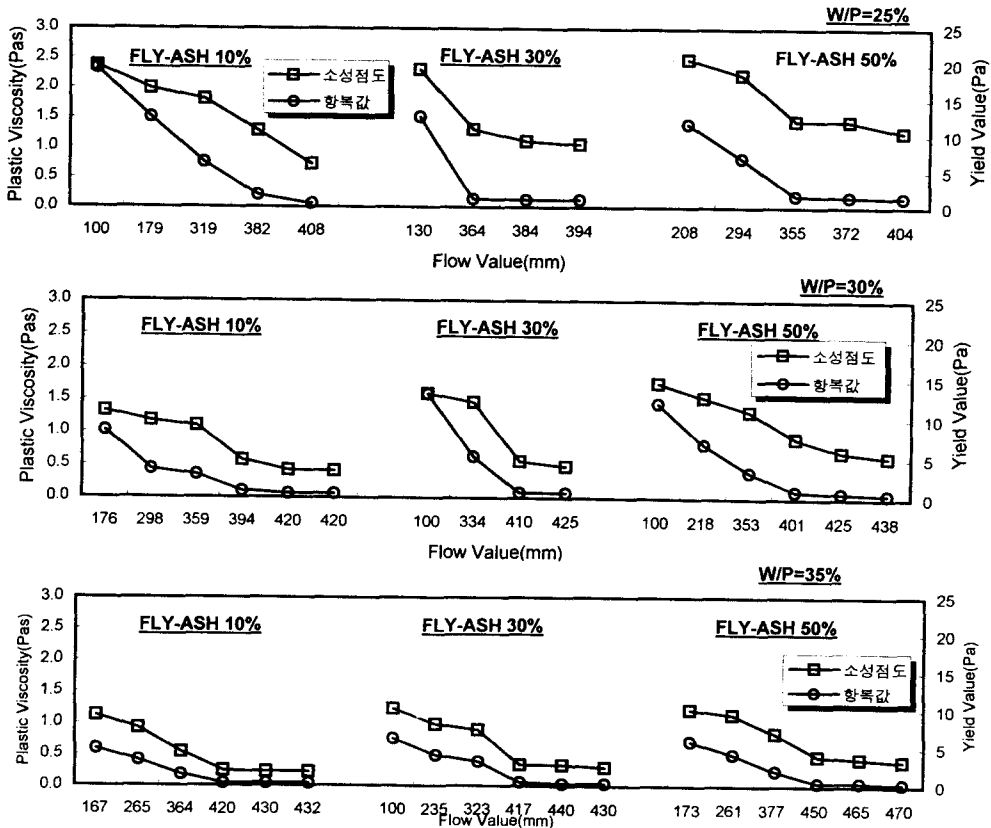


그림 5. 페이스트를 치환한 페이스트의 점도구간

3.4 페이스트의 응결특성

그림 6은 페이스트의 응결특성을 파악하기 위하여 플라이애쉬 30%를 치환한 페이스트에 대하여 고성능감수제를 증가시켜 실험한 결과이다. 시멘트 페이스트의 응결시간은 동일한 물결합재비에서는 혼화제첨가량이 증가할수록 지연되는 경향을 보였다. 혼화제 첨가에 의한 페이스트의 응결지연은 혼화제 첨가량 0%에서는 플라이애쉬를 첨가한 페이스트가 보통페이스트에 비하여 약 90분 정도의 응결이 지연되었다. 페이스트의 응결은 혼화제 0.5%첨가까지는 완만한 기울기로 지연되었으나 0.5% 이상에서 플라이애쉬를 첨가한 것이 급격한 응결지연 현상을 나타내었다. 그림 7은 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 응결특성을 나타낸 그래프이다. 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 15~30분 정도 응결이 지연되는 것으로 나타났다. 그림 8은 고성능감수제 종류에 따른 페이스트의 응결특성을 나타낸 그래프이다. 보통 시멘트페이스트의 경우에는 폴리칼본산계가 나프탈렌계보다 15~60분정도 더 응결을 지연하는 것으로 나타났고, 플라이애쉬 30%치환의 경우에는 나프탈렌계가 폴리칼본산계보다 30~90분정도 더 응결을 지연시키는 것으로 나타났다.

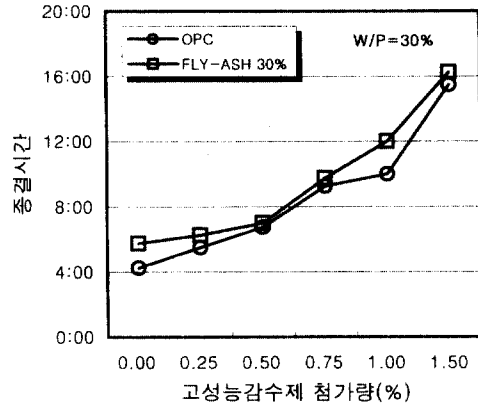


그림 6. 플라이애쉬 30% 페이스트의 응결시간

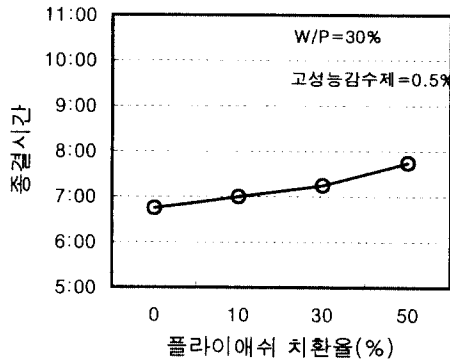


그림 7. 플라이애쉬 치환율에 따른 응결시간

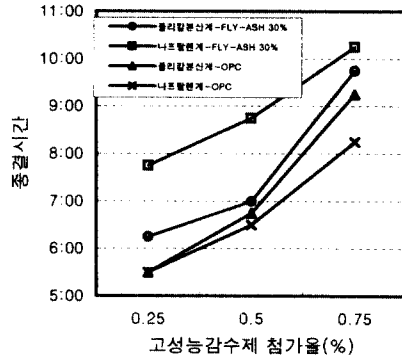


그림 8. 고성능감수제 종류에 따른 응결시간

4. 결론

고유동콘크리트의 기초성질 규명을 위하여 플라이애쉬 치환율 변화 및 물결합재비, 고성능감수제첨가량변화에 따른 시멘트페이스트의 유동성 및 레올로지 성상을 실험한 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 동일한 물결합재비에서 페이스트의 플로우는 혼화제 첨가량에 따라 증가되지만 플로우값 400mm 이상에서는 혼화제 첨가량 증가에 따른 플로우 증가는 나타나지 않았다.
- 2) 시멘트 페이스트의 유동곡선은 빙감형태를 나타내며 혼화제치환량이 증가할수록 높

은 전단응력에서 유동을 시작하고 유동곡선의 기울기가 커지는 경향을 보였다. 그러나 혼화제의 영향은 반대 경향을 나타내었다.

3) 플로우320~370mm구간사이의 레올로지정수는 물결합재비 및 혼화제 치환량에 따라 차이는 있지만 소성점도 0.54~1.46Pa·s, 항복값 1.54~5.27 Pa사이에 있는 것으로 나타났다.

4) 시멘트 페이스트의 응결시간은 동일한 물결합재비에서는 혼화제첨가량이 증가할수록 지연되는 경향을 보였고 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 지연되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터에서 지원된 연구비로 수행되었으며 연구를 위하여 협조하여 주신 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 菊川浩治 : モルタルおよびコンクリートの粘度式に関する研究, 日本土木學會論文集. No. 414, 1990, pp 109~118
- (2) 野口貴文, 李翰承 : ペーストのレオロジ-に扱ぼす高性能AE減水劑の影響, コンクリト工學年次報告集. Vol. 16, No.1, 1994 pp455~460
- (3) 泉 達男외 2인: 高流動コンクリトの 레オロジ-特性に関する研究, 콘크리트工學年次報告集. Vol. 16, No.1, 1994 pp177~182
- (4) 剛村甫, 小澤一雅 : 하이パフォーマンス콘크리트, 技報堂, 1993
- (5) 高流動콘크리트의材料·調合·製造·施工指針(案)·同解説, 日本建築學會, 1997.