혼화제가 시멘트 페이스트의 레오로지 성상에 미치는 영향

Influence of Various Chemical Admixtures on Rheological Properties of Cement Paste

허영선* 김종* 신재경* 윤섭* 이건철** 한천구***

Heo, Young Sun Kim, Jong Shin Jae Kyung Yoon, Seob Lee, Gun Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

Cement paste is originally the basic material and crucial factor consisting concrete. This study investigates the relationship between flow apparatuses, which are ring flow, flow cone and mini slump, in order to estimate the fluidity of cement paste. For quantitatively evaluating the measured data, this study also analyses the calibration of the rheology consistents of cement paste using viscometer. For this purpose, the present work discusses the influence of the differences of companies and ingredients, affecting the fluidity of cement paste

1. 서 론

시멘트 페이스트는 콘크리트 유동성을 지배하는 가장 핵심적인 재료로서 시멘트 페이스트의 레올로지 특성을 정밀하게 분석하는 것은 궁극적으로 굳지않은 콘크리트의 유동성을 정량화 할 수 있는 기초적 자료가 된다. 현재 다수의 국내 레미콘 회사에서는 굳지않은 시멘트 페이스트의 유동성을 평가하기 위한 방법으로 링플로우를 사용하고 있는데, 이는 우리나라 규정에 없는 실험방법으로써 이에 대한 보다 정량적인 근거자료가 요구 된다.

그러므로 본 연구에서는 굳지않은 시멘트 페이스트의 유동성을 평가하기 위한 방법으로 링플로우와 플로우콘 및 미니슬럼프 측정 장비를 비교하여 시험기 간의 상호관계에 대한 검토를 실시하고, 아울러 회전점도계를 이용하여 측정된 데이터에 대하여 정량적으로 검토하였는데, 본 고에서는 혼화제가 시멘트 페이스트의 레올로지 성상에 미치는 영향을 보고하는 것으로 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, W/C는 30% 1수준으로 하였고, 혼화제 회사 종류별로 4수준, 혼화제 성분별로 4수준 등 총 8수준으로 실험 계획하였으며, 목표 유동성은 플레인의 플로우콘을 기준으로 하여 고유동 시멘트 페이스트 범위인 300±20mm를 만족하도록 배합설계 하였다. 이때, 굳지않은 시멘트 페이스트의 실험사항은 표 1과 같다.

2.2. 사용재료

*정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

**정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사

***정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 고성능감수제는 폴리칼본산 성분의 국내산 A사, B사, C사, D사 제품을 각각 사용하였으며, 혼화제 성분별로는 A사의 폴리칼본산계, 멜라민계, 나프탈렌계, 리그닌계를 사용하였다.

표 1. 실험계획

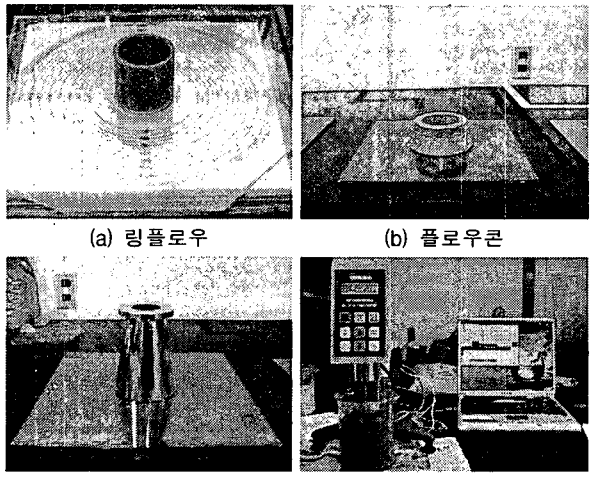
W/C (%)	실험요인			실험사항
30	혼화제 성분	회사	S/P (%)	· R-F · F-C · M-S · 회전 점도계 (레올로지 정수)
	Psp	A(플레인), B, C, D	0.85	
	Psp(플레인), Msp, Nsp, Lsp	A		

Psp : 폴리칼본산계, Msp : 멜라민계, Nsp : 나프탈렌계, Lsp : 리그닌계
R-F : 링플로우, F-C : 플로우콘, M-S : 미니슬럼프

2.3. 실험방법

실험방법으로 시멘트페이스트의 혼합은 모르타르 믹서를 이용하였고, 혼합방법은 잔골재의 혼합을 제외한 ASTM C305에 의거하여 모든 배합에 대하여 동일하게 실시하였다.

또한, 굳지않은 시멘트 페이스트의 슬럼프플로우 실험은 링플로우의 경우 JASS 15M-103, 미니플로우는 KS F 2474에 의거 실시하였고, 플로우테이블은 KS L 5111의 규준에 맞는 시험기를 이용하여 낙하를 가하지 않은 상태에서 측정하였으며, 회전 점도계(Brookfield DV-11)에 의한 레올로지 정수의 측정은 JIS K 6901 규정에 의거하여 실시하였는데, 각 플로우 및 회전점도계 측정 모습은 그림 1과 같고 플로우 측정기 치수는 그림 2와 같다.



(a) 링플로우 (b) 플로우콘

(c) 미니슬럼프 (d) 회전점도계

그림 1. 각종 플로우 및 점도 측정장비

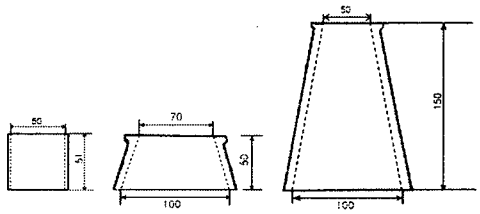


그림 2. 플로우 시험기 (단위:mm)

3. 실험결과 및 분석

3.1. 시멘트 페이스트의 유동 특성

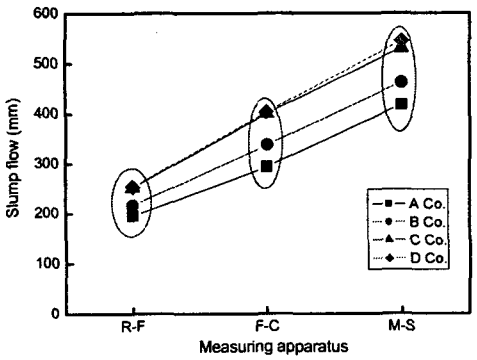
그림 3은 혼화제 회사별 측정장비에 따른 플로우 및 콘시스턴시 곡선을 나타낸 것이다.

먼저, 그림 3-(a)의 각종 실험기와 슬럼프플로우와의 관계는 링플로우를 이용하여 측정한 경우 플로우콘 및 미니슬럼프를 이용하여 측정한 것과 동일한 순으로 나타났는데, D사 제품의 폴리칼본산계 고성능감수제를 혼입한 시멘트 페이스트의 유동성이 큰 것으로 나타났고, 다음으로 C, B, A순으로 나타났다. 또한, 각 시험기별 유동특성은 M-S, R-F, F-C 순으로 각 혼화제 회사 차이가 커지는 것으로 나타났는데, 이는 시험기의 체적의 차이에 따른 변형량의 증가에 의한 것으로 사료된다.

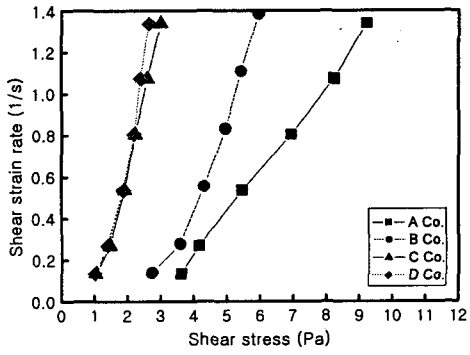
또한, 그림 3-(b)의 콘시스턴시 곡선은 그림 3-(a)의 결과와 동일한 경향을 나타내고 있는데, D사 혼화제를 혼입한 시멘트 페이스트의 경우 항복치가 가장 작게 나타났고, A사의 혼화제를 혼입한 페이스트의 항복치가 가장 큰 것으로 나타났다.

그림 4는 그림 3과 동일한 방법으로 혼화제 성분별 결과를 나타낸 것이다.

그림 4-(a)의 혼화제 성분별 시험기 종류의 따라 플로우의 관계에서는 각 시험기에서 모두 폴리칼

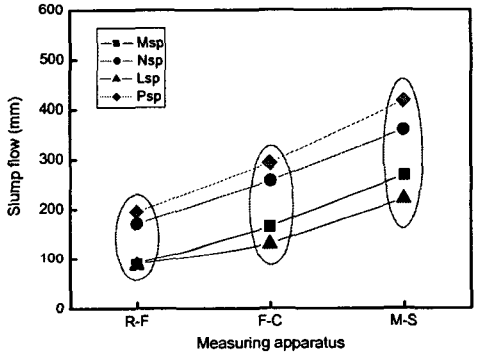


(a) 혼화제 회사별 측정장비에 따른 슬럼프플로우

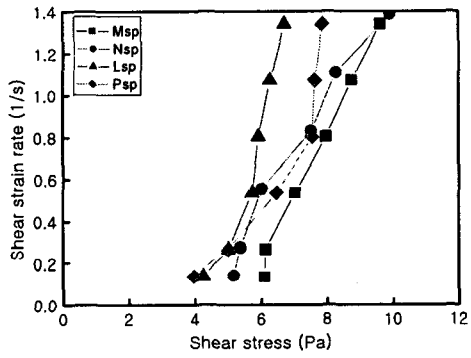


(b) 혼화제 회사별 콘시스턴시 곡선

그림 3. 혼화제 회사별 측정장비에 따른 유동성 평가 및 레오로지 특성 분석



(a) 혼화제 성분별 측정장비에 따른 슬럼프플로우



(b) 혼화제 성분별 콘시스턴시 곡선

그림 4. 혼화제 성분별 측정장비에 따른 유동성 평가 및 레오로지 특성 분석

본산계가 가장 높은 슬럼프플로우치를 나타내었고, 다음으로 나프탈렌계, 멜라민계, 리그닌계 순으로 나타났으며, 플로우 시험기의 체적이 증가할수록 각 성분별로 플로우 값의 증가폭은 약간씩 커지는 경향을 나타내었다. 또한 그림 4-(b)와 같이 리그닌계의 경우 슬럼프플로우치가 작음에도 불구하고 항복치가 본 연구의 범위내에서 가장 작은 것으로써 다소 상이한 결과를 나타냈는데, 이는 리그닌의 경우 비교적 슬럼프플로우가 작은 된비빔 시료로써 회전점도계의 측정시 회전 스팬들이 시료 안에서 미끄러지면서 비 항복영역이 발생했기 때문으로 사료된다.

3.2 플로우 시험과 레올로지 정수와의 관계

그림 5는 링플로우와 플로우콘 및 미니슬럼프의 상관관계를 나타낸 것이다

전반적으로, 플로우콘 및 미니슬럼프 모두 링플로우와는 직선적인 관계에 있는 것으로 나타났으며, 플로우콘의 경우 상관계수 R은 0.992, 미니슬럼프는 0.989로서 본 연구에서의 시험기 간의 비교에는 상호간에 매우 높은 상관이 있는 것으로 나타났다. 이처럼 장비간의 높은 상관관계는 각각의 시험기를 이용하여 시멘트 페이스트의 플로우를 측정함에 있어 각 실험 도구간의 높은 신뢰감을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

그림 6은 회전점도계에 의해 얻어진 데이터를 빙엄모델로 근사할 경우 얻어지는 레올로지 정수와 링플로우 시험결과의 관계를 나타낸 것이다.

그림 6-(a)를 보면 링플로우치와 항복치와의 관계는 음의 상관관계로서 슬럼프플로우값이 증가 할

수록 항복치는 반대로 작아지는 경향으로 나타났는데, 이 때, 상관계수 R은 -0.881로 비교적 높은 상관관계를 나타내었다. 반면, 그림 6-(b)에서와 같이 링플로우 치와 소성점도와의 상관관계는 -0.218로써 상당히 낮은 것으로 나타났는데, 링플로우치가 100mm이하의 비교적 유동성이 작은 시료의 경우 전술한 바와 같이 레올로지 정수 측정 시 시료의 계면과 스팬들 사이의 미끄러짐에 의한 오차일 확률이 커 이를 제외할 경우 상관계수가 상당히 증가하는 것을 알 수 있다.

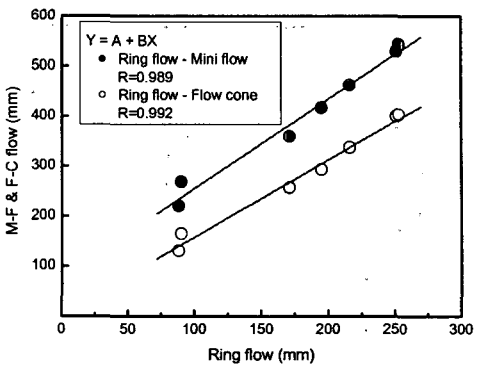
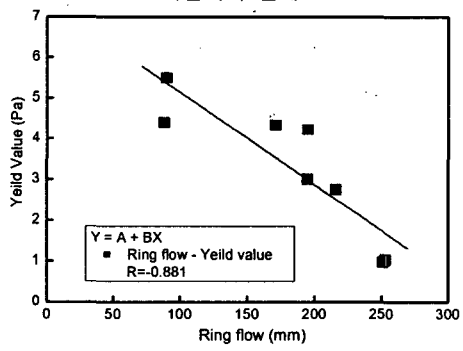


그림 5. 링플로우와 플로우콘 및 미니슬럼프 시험과의 관계

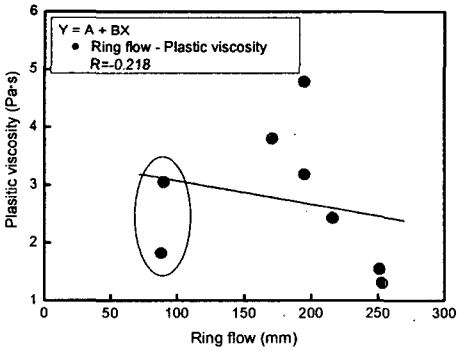
4. 결 론

본 연구는 각종 플로우 측정 장비 및 회전점도계를 이용한 시멘트 페이스트의 유동성 평가와 유동성 영향요인으로 혼화제를 회사별 및 성분별로 검토하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 혼화제 회사별로 유동 특성을 검토한 결과 모든 플로우 측정 장비에서 동일하게 D사제품이 가장 우수한 값이었고, 다음으로 C, B, A 순으로 나타났는데, 회사 간의 편차는 링플로우의 경우 ±58mm정도 크게 나타남을 알 수 있었다.
2) 혼화제 성분별로 유동 특성을 검토한 결과 역시 모든 측정 장비에서 동일한 결과 값을 나타내었는데, 폴리칼본산계가 가장 높은 값을 기록하였고 다음으로 나프탈렌, 멜라민, 리그닌계 순으로 나타났다.
3) 플로우시험기 간의 상관관계를 조사한 결과 모든 장비에서 0.9이상의 높은 상관관계를 기록하여 플로우 시험시 측정 장비간의 비교 사용이 가능할 것으로 분석된다.
4) 링플로우에 의한 플로우치와 레올로지 정수를 비교한 결과 특히, 항복치와 높은 상관관계를 나타냈다.



(a) 항복치



(b) 소성점도

그림 6. 링플로우 시험과 레올로지 정수와의 관계

-감사의 글-

본 실험에 많은 협조를 해주신 아세아시멘트 제천공장 권오봉 차장님과 차완호 과장님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1) Adrino Papo, Luciano Piani; "Effect of various superplasticizers on the rheological properties of Potland cement pastes", Cement and Concrete Research 34, 2004, pp.2097~2101
2) 李建哲; "せん斷ひずみ依存性を考慮したフレッシュコンクリートのレオロジー性質に關する硏究", 博士學位論文 名古屋大學,, 2005
3) 김무한 외 5명; "시멘트페이스트의 유동성상에 영향을 미치는 시멘트 및 고성능 AE감수제 효과에 관한 연구", 대한건축학회학술논문집, 제19권 제1호, 1999, pp.345~348