

# 온도에 따른 시멘트 페이스트의 레올로지 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Rheology Properties of Cement-Paste Due to Temperature

류희정\* 최영준\*\* 김재훈\*\*\* 강훈\*\*\*\* 김화중\*\*\*\*\*

Ryu,Hee-Jung Choi,Young-Jun Kim,Jae-Hun Kang,Hun Kim,Wha-Jung

### Abstract

This study is aimed for investigating the rheology property and fluidity of superplasticizer which is necessary using for high flowing concrete fluidity establishment. Therefore, this study is analysis the rheology property and fluidity by different according temperature and elapsed time.

From the results, the fluidity and rheology value were different according temperature. Over 20°C, the flow value of A, B, C, D, E type is increased, according as the increase of temperature, but the flow value of F type is decreased.

### 1. 서론

고유동 콘크리트는 일반적으로 재료분리저항성이 우수하고 진동다짐을 하지 않고 거푸집 각 부분까지 충전되는 고성능 콘크리트로서 종래의 콘크리트와는 다르게 굳지 않은 성상이 중요하다. 따라서, 고유동콘크리트의 성질을 규명하기 위해서는 종래의 슬럼프시험 등과 같은 정성적인 방법 이외에 콘크리트의 유동과 변형을 함께 취급할 수 있는 접근방법이 필요하다고 생각된다. 굳지 않은 콘크리트의 유동과 변형성을 다루기 위해서는 레올로지 정수를 이용한 해석을 많이 다루고 있다. 레올로지 해석에 있어서는 먼저, 콘크리트를 크게 골재와 페이스트로 구성된 물질이라고 가정하여 페이스트의 레올로지 특성을 파악하는 것이 필요하다. 이러한 페이스트의 레올로지 특성에 영향을 미치는 사용재료상의 인

\* 경북대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 경북대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 한양대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\*\* 고려산업개발 연구개발실 차장

\*\*\*\*\* 정희원, 경북대학교 교수, 공학박사

자로는 물결합재비, 혼화제 종류, 분체 종류 등을 들 수 있으며, 환경적인 요소로서 온도변화에 따라서 레올로지 특성이 변화된다고 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 온도변화에 따른 시멘트 페이스트의 유동성 및 레올로지 특성을 혼화제 종류별로 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.2.1 실험인자 및 수준

온도변화에 따른 시멘트 페이스트의 유동성 및 레올로지 특성을 파악하기 위하여 국내에 시판되고 있는 국산 및 외산 혼화제 6종류와 온도, 경과시간을 실험인자로 하여 유동성 및 레올로지 정수를 측정하였다 실험인자 및 수준은 <표-1>과 같다.

### 2.2.2 사용재료 및 혼합

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

### 2.2.3 측정항목 및 측정방법

시멘트페이스트의 레올로지는 회전점도계(내원통회전 점도형, BrookField HADV II+(Spindle SC4-27))를 이용하였다. 시료온도의 안정을 위하여 Temperature Bath를 사용하였고, 점도측정에 있어서는 회전속도를 0.5, 2.5, 10, 20, 50, 100rpm으로 상승시킬 때의 전단응력을 측정하여 소성점도와 항복값을 구하였다. 페이스트 플로우값은 KS L 5111에 규정되어 있는 모르타용 플로우 콘을 이용하여 낙하운동을 하지않고 콘을 들어올렸을 때 페이스트의 퍼진 길이를 가로·세로 2회 측정하였다. 경과 시간에 따른 페이스트 유동성 및 레올로지 측정은 30, 60, 90분이 경과할 때마다 고속으로 60초간 혼합한 후 측정하였다. 그리고, 실험온도는 항온항습실에서 항온항습기를 사용하여 10, 20, 30℃로 유지하였다.

표1. 실험인자 및 수준

실험인자	수준
물시멘트비	30%
혼화제종류	6종
혼화제 첨가량(C×%)	0.5~2.3
	경시변화실험: A-2.1,D-1.7, C,E,F-1.5
경과시간	0, 30, 60, 90분

표2. 사용재료

사용재료	비고
시멘트	S사 포틀랜드 시멘트 1종 비중 : 3.15 비표면적 : 3,190(cm <sup>2</sup> /g)
혼화제	A형 : H社, 나프탈렌계 B형 : K社, 나프탈렌계 C형 : I社, 나프탈렌계 D형 : F社, 나프탈렌계 E형 : J社, 나프탈렌계 F형 : M社, 폴리칼본산계

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 페이스트의 유동성

온도변화에 따른 페이스트의 플로우값의 변화를 그림 1에 나타낸다. 혼화제 0.9%에서는 혼화제 종류에 관계없이 플로우값이 감소하고 있다. 그러나, 혼화제 1.3, 1.7%에서 A, B, C, D형은 정도의 차이

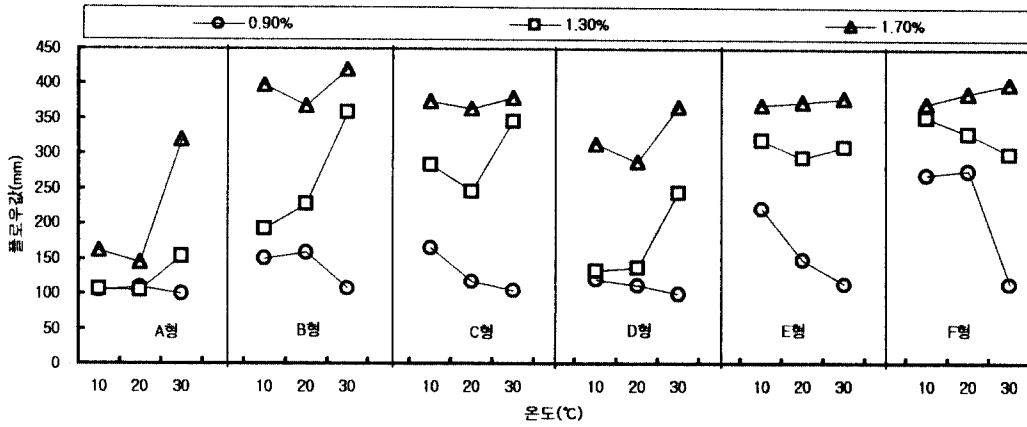


그림 1 온도변화에 따른 플로우값

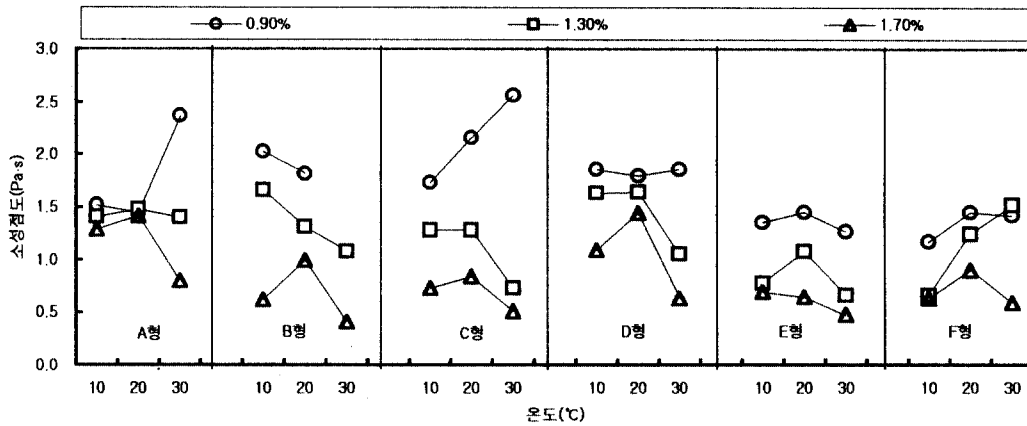


그림 3 온도변화에 따른 소성점도

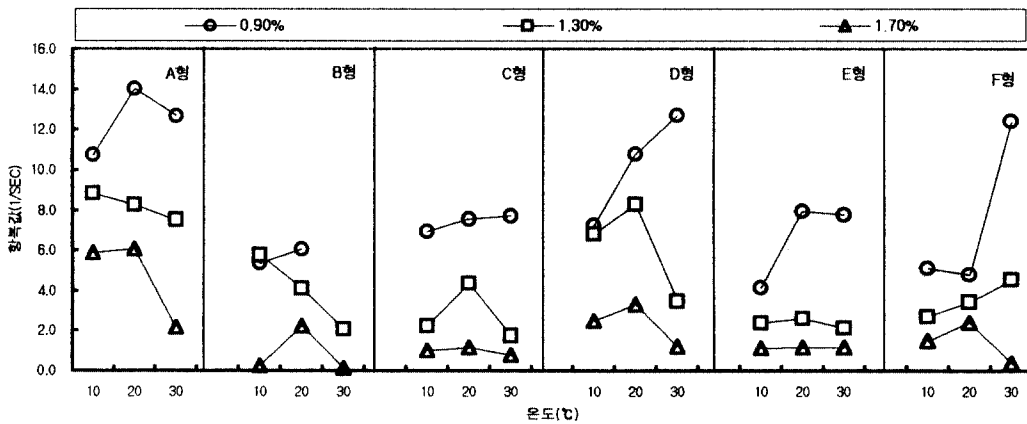


그림 4 온도변화에 따른 항복값

는 있지만, 20℃를 기점으로 해서 플로우값이 증가하고 있음을 알 수 있다. 반면에, F형은 온도가 증가함에 따라 플로우값이 계속 감소하고 있으며, 특히 첨가량 0.9%에서는 20℃기점으로 해서 150mm이상 플로우값이 감소하였다. 이는 기존의 연구<sup>5)</sup>에서 온도가 높아짐에 따라 폴리칼본산계 혼화제가 나프탈렌계보다 사용량이 증가한다는 결과와 동일하다. 따라서, 혼화제 종류에 따라서 그 사용량을 결정함에 있어 온도를 고려하는 것이 필요하다고 사료된다.

### 3.2 페이스트의 전단속도와 전단응력

혼화제 첨가량 0.9%에서 F형의 온도변화에 따른 페이스트의 레올로지 곡선은 그림 2와 같다. 페이스트의 유동곡선은 기존의 연구와 같이 병합(Bingham)체의 거동<sup>3)</sup>을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 온도변화에 따라서 레올로지 곡선이 각기 다르게 위치하고 있다.

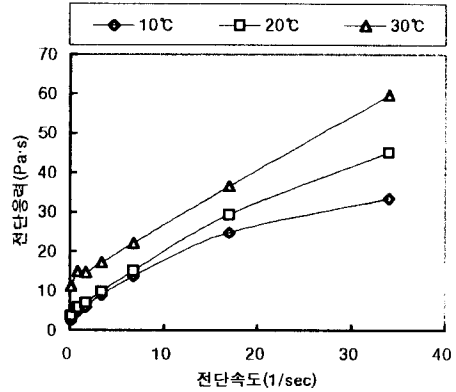


그림 2 온도변화에 따른 레올로지 곡선

### 3.3 페이스트의 소성점도와 항복값

혼화제를 첨가한 페이스트의 온도변화에 따른 소성점도 및 항복값의 변화를 나타낸 것이 그림 3, 4이다. C형의 경우, 첨가량 0.9%에서는 온도가 높아짐에 따라 소성점도 값이 0.4Pa·s 정도씩 지속적으로 증가하였으며, 1.3, 1.7%에서는 20℃를 기점으로 0.3~0.5Pa·s 정도의 폭으로 소성점도값이 감소하였다. 다른 나프탈렌계 혼화제도 이와 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나, 폴리칼본산계인 F형의 경우에는 첨가량 0.9, 1.3%에서 온도가 높아짐에 따라 0.2~0.5Pa·s 정도의 폭으로 소성점도값이 증가하였으나, 1.7%에서는 20℃까지 증가하다가 그 이후에서 0.3Pa·s 정도 소성점도 값이 감소하고 있다. 온도 20℃를 기점으로 플로우값이 큰 폭으로 변화한 구간인 나프탈렌계-1.3%, 폴리칼본산계-0.9%에서 항복값이 큰 폭으로 변화하고 있다. 따라서, 페이스트의 레올로지 특성은 유동성의 결과와 마찬가지로 온도에 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며, 혼화제의 종류에 따라서 경향이 다른 것으로 나타났다.

### 3.4 페이스트의 경시변화

온도에 따른 페이스트 유동성의 경시변화를 그림 5에 나타낸다. A, D형은 온도변화에 상관없이 30분 이후에서는 플로우값이 측정되지 않았으며, 나프탈렌계인 B, C, E형은 온도 10℃보다 30℃ 경우의 경시변화가 약간 큰 것으로 나타났다. 폴리칼본산계인 F형은 온도 30℃일 때 경과시간 30분에서 유동성이 크게 감소하였으며, 10, 20℃에서는 유동성의 경시변화가 크지 않았다.

온도에 따른 소성점도 및 항복값의 경시변화는 그림 6, 7에 나타낸다. 플로우가 측정되지 않은 범위에서도 시간의 변화에 따라 소성점도 및 항복값은 꾸준히 증가되었으며, 경과시간 90분에서 유동성의 경시변화가 컸었던 A, D형은 측정이 불가능할 정도로 경시변화가 많이 진행되어 있었다. 대체적으로 나프탈렌계는 시간이 경과할수록 소성점도 및 항복값이 상대적으로 크게 증가하였으며, 온도가 높을수록 증가폭은 컸다. 그러나, 폴리칼본산계인 F형은 경과시간 30분 이후에서 소성점도 및 항복값이 나프탈렌계에 비해 서서히 증가하였으며, 30℃에서는 낮은 온도에 비해 지속적으로 증가한 것으로 나타났다.

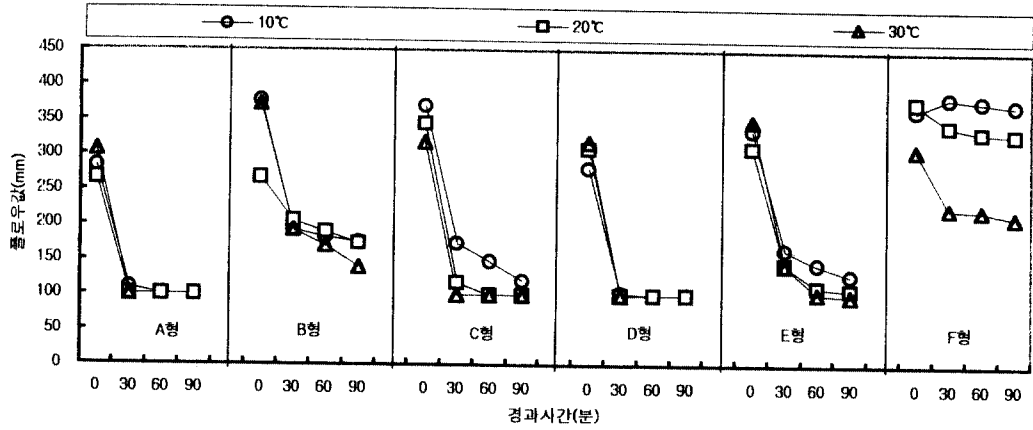


그림 5 온도에 따른 유동성의 경시변화

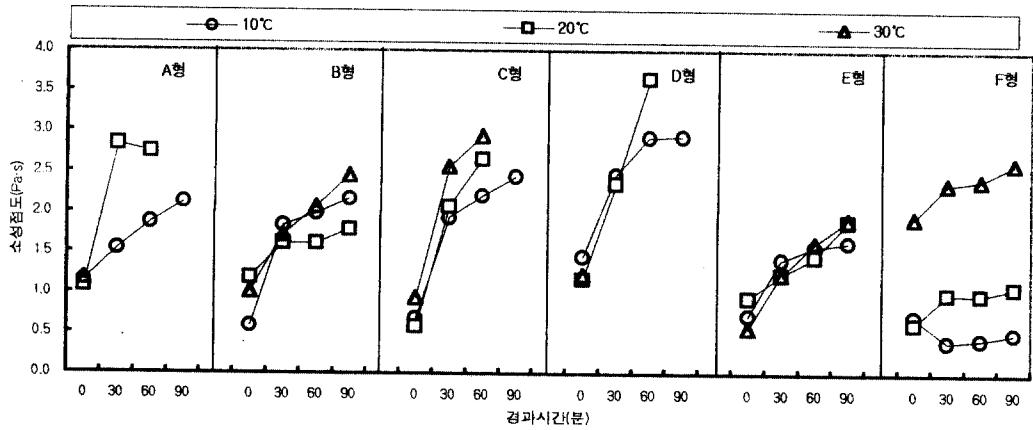


그림 6 온도에 따른 소성점도값의 경시변화

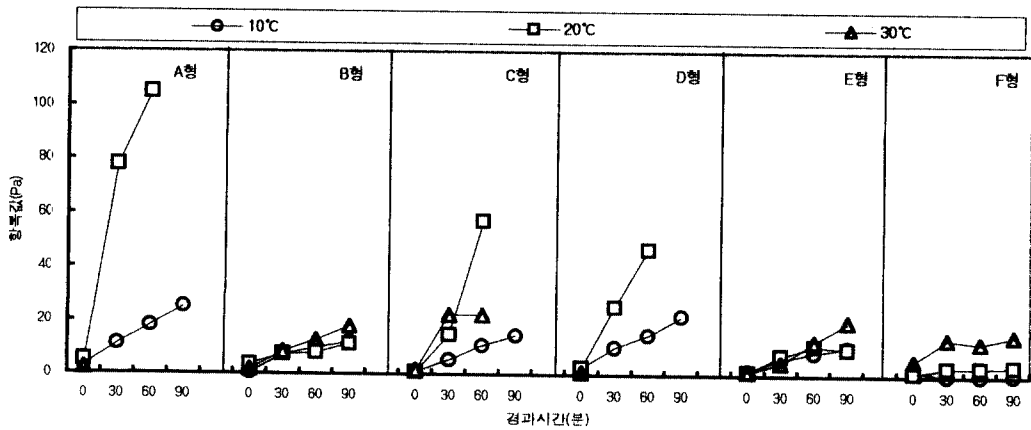


그림 7 온도에 따른 항복값의 경시변화

#### 4. 결론

온도변화에 따른 시멘트 페이스트의 유동성 및 레올로지 특성을 혼화제 종류별로 실험한 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) 온도가 상승함에 따라서 나프탈렌계인 A, B, C, D형은 20℃기점으로 플로우값이 증가하였으나, 폴리칼본산계인 F형은 온도가 상승함에 따라서 플로우값이 감소하였다. 이는 혼화제 성분계의 차이로 인하여 상반되는 결과가 얻어졌다고 보여지며, 혼화제의 사용에 있어 온도를 고려해야 할 것으로 사료된다.

2) 소성점도 및 항복값에서는 온도 20℃이상에서 나프탈렌계를 1.3, 1.7% 사용한 경우에 감소하는 경향을 나타내었고, 폴리칼본산계인 F는 첨가량 0.9, 1.3%에서 증가하는 경향을 보였다.

3) 온도에 따른 유동성의 경시변화에서 나프탈렌계인 B, C, E형은 온도 10℃보다 30℃ 경우의 경시변화가 약간 큰 것으로 나타났다. 폴리칼본산계인 F형은 온도에 따라서 나프탈렌계에 비해 큰 경시변화가 없었으나, 높은 온도인 30℃에서 약간 컸다.

4) 온도에 따른 소성점도 및 항복값의 경시변화에서 나프탈렌계는 온도가 높아짐에 따라 상승하였으며, 폴리칼본산계인 F형은 나프탈렌계에 비해 상대적으로 큰 변화가 없었다.

#### 감사의 글

본 연구는 상공부가 주관한 「'97 산·학·연 공동기술개발 지역컨소시엄」에 따라 (주)수성레미콘과 공동연구로 수행되었으며 연구를 위하여 협조하여 주신 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 최영준, 김재훈, 지남용, 김화중; “플라이애쉬를사용한 시멘트페이스트의 레올로지특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제 9권 2호, 통권 제 15집 1997. 10, pp241~246.
- (2) 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
- (3) 野口貴文, 李翰承 : ペーストのレオロジーに扱ぼす高性能AE減水劑の影響, コンクリート工學年次報告集. Vol. 16, No.1, 1994 pp455~460
- (4) 4. 村田二郎, “まだ固まらないコンクリートのレオロジーの影響”, 콘크리트ジャーナル, Vol. 10, No12, Dec. 1992, pp1~10
- (5) 高性能AE減水劑コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 1992.
- (6) 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 1997.