

# 팽창재 종류 및 치환율에 따른 시멘트 페이스트의 레올로지 특성

## A Study on Rheological Properties of Cement Paste using Expansive Additives by Kind & Replacement Ratio

박 춘 영\*                      강 병 희\*\*  
Park, Chun-Young              Kang, Byeung-Hee

### Abstract

To improve concrete tensile strength and bending strength, New plan that have more economical and simple manufacture process is groped. By an alternative plan, chemical pre-stressed concrete is presented. In this study, we analyzed the rheological properties of cement paste with the kind and replacement ratio of k-type CSA type expansive additives that is used mainly in domestic, and we suggested that the algorism of a mixing plan in the chemical pre-stressed concrete and from this, we presented the basic report for the right mixing plan.

From the results, Flow increased more or less according to use of expansive additives. This phenomenon was observed by increasing paste amount that shows as substitution for expansive additives that specific gravity is smaller than that of cement. As linear regression a result supposing paste that mix expansive additives by Bingham plastic fluid, The shear rate and shear stress expressed high interrelationship, therefore, flow analysis of quantitative was available. The plastic viscosity following to replacement ratio of expansive additives is no change almost, the yield value is decreased in proportion to the added amount of expansive additives.

Through this experiment, we could evaluate rheological properties of cement paste using the expansive additives. Hereafter by an additional experiment, we must confirm stability assessment of material separation by using the aggregate with the kind and replacement ratio of expansive additives.

키 워 드 : 팽창재, 페이스트, 레올로지, 점도계, 항복치, 소성점도  
Keywords : Expansive additives, Paste, Rheology, Viscometer, Yield value, Plastic viscosity

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

한국산업규격에 의하면 팽창재란 시멘트 및 물을 함께 혼합하였을 경우 수화반응에 의하여 에트링가이트 또는 수산화칼슘 등을 생성하고, 모르터 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료로 규정되어 있다. 이러한 팽창재는 모르터 또는 콘크리트의 수축 및 팽창거동을 인위적으로 조절하는 용도로서 이용하고 있으며 주로 수축거동에 따른 균열발생을 억제하기 위한 대안으로 적용하고 있다.

팽창재는 그 화학조성에 따라 CSA계 팽창재로서 K, S, M형과 석회계 팽창재로서 O형 팽창재로 분류된다. 이 중 K형 팽창재는 다른 종류의 팽창재에 비하여 성능의 안전성과 팽창능력이 뛰어나 우리나라에서 가장 보편적으로 활용되고 있다. 이와 같이 팽창재는 주로 수축균열을 방지하는 대책으로서 활

용되고 있으며, 그 사용량은 매우 적어 모르터 또는 콘크리트의 체적변화에 관여하는 외에 이의 유동특성 및 강도특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다. 그러나 근래 팽창 모르터 또는 콘크리트의 팽창력을 구속하여 내부에 자기응력을 유발하여 콘크리트의 인장강도 및 휨강도 성능을 개선하는 케미컬 프리스트레스 콘크리트의 도입이 제기되고 있다. 모르터 또는 콘크리트에 내재되는 자기응력은 팽창력이 높고 동시에 이의 구속응력이 클수록 향상됨으로, 이를 위해서는 다량의 팽창재의 사용이 필수적이다.

현재 국내에서 생산되어 이용되는 팽창재는 보통포틀랜드 시멘트에 비하여 비중이 낮아 팽창재 등의 혼화재가 일반적으로 중량치환방법에 의하여 사용됨을 감안한다면 팽창재의 치환율이 증가할수록 콘크리트 중의 시멘트 페이스트량은 비례적으로 증가하게 됨으로 다양한 특성이 발휘될 것으로 판단된다. 특히 시멘트 페이스트량의 변화는 콘크리트의 유동특성에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단되며 더욱이 우리나라에서는 다양한 제조사에서 여러 종류의 팽창재가 제조됨으로 이의 종류에 따른 물성의 변화 또한 클 것으로 예상된다.

\* 동아대학교 대학원 박사수료  
\*\* 동아대학교 건축학부 교수, 공학박사

따라서 케미컬 프리스트레스 콘크리트 등과 같은 팽창재 사용량이 매우 높은 콘크리트의 경우 유동특성의 검토가 선결되어야만 실용화 될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 기존의 컨시스턴시 시험인 플로우 시험만으로는 유동성을 평가하기 불충분하므로 레올로지(Rheology)를 이용한 이론적인 평가가 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 팽창재의 종류 및 치환율에 따른 페이스트의 유동특성을 규명하여, 팽창재를 다량 사용하는 케미컬 프리스트레스 콘크리트 등의 실용화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

페이스트와 모르타의 경우 측정의 용이성과 슬럼프 시험과의 유사성으로 인하여 컨시스턴시 시험인 플로우 시험을 가장 많이 사용하지만, 팽창재의 다량 사용에 의한 유동특성의 변화를 정량적으로 평가하기에는 불충분하다.

레올로지 이론에 준하여 굳지 않은 콘크리트를 빙함유체 모델로 가정하면 그 유동성은 레올로지 정수, 즉, 항복치(yield value)와 소성점도(plastic viscosity)를 이용한 정량적인 평가가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 상이한 물/분체비 조건에서의 팽창재의 치환율에 따른 시멘트 페이스트의 플로우 변화와 페이스트의 레올로지 특성에 관한 연구를 통하여 팽창재 종류 및 치환율의 변화에 따른 시멘트 페이스트의 유동특성을 제시하는 것까지를 본 연구의 범위로 하였다.

2. 실험

2.1 실험인자 및 수준

본 연구에서는 팽창재의 종류, 치환율 및 물/분체의 변화에 따른 시멘트 페이스트의 유동특성을 검토하기 위하여, 시멘트 페이스트의 물/분체비를 30~50%의 범위에서 10% 구간으로 변화하였으며, 팽창재는 시멘트 중량에 대하여 각각 0~30%의 범위에서 5%구간으로 변화하였다.

상기의 조건 중 물/분체비는 보통 강도 영역으로서 50%를 기준으로 하여, 본 연구의 궁극적 목적인 고성능 강관충전용 콘크리트로서 활용하기 위하여 고성능 콘크리트의 물/분체비 영역인 30%와 40%를 추가하여 설정하였다. 또한 현재 팽창재는 콘크리트의 수축보상용으로만 활용하고 있으나, 콘크리트가 팽창재에 의하여 케미컬 프리스트레스를 발휘하기 위해서는 일반적인 사용량인 5%(단위팽창재량 30kg/m³)을 초과하는 범위로 설정하였다.

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

인자		수준
팽창재	종류	A-K, B-K, C-K
	치환율(%)	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30
물/분체비(%)		30, 40, 50

2.2 사용재료 및 물성

본 연구에서 실험한 각 재료의 물리적 특성은 표 2, 3과 같다. 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트, 팽창재는 국내 C사의 K형 팽창재인 A-K, B-K, C-K를 사용하였다. 또한 고성능 감수제는 국내 H사의 폴리카르본산계 혼화제를 사용하였으며, 혼화제의 사용에 따른 공기량 변화를 배제하기 위하여 공기 연행효과를 발휘하지 않는 제품을 이용하였다. 배합수는 불순물을 혼입하지 않은 부산광역시 상수도물을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물성

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,200	0.02	220	400	20	30	38

표 3. 팽창재의 종류 및 물성

성질 종류	비중	함량(%)				
		SiO₂	AlO₃	Fe₂O₃	SO₃	CaO
A-K	2.93	1.5	16.1	0.5	27.5	52.8
B-K	3.12	1.0	7.2	0.8	18.5	70.6
C-K	2.97	2.0	13.5	0.7	25.0	57.8

표 4. 고성능 감수제의 물성

종류	밀도 (g/cm³)	성상	고형분 (%)	전체알칼리량 (kg/m³)
폴리카르본산계	1.07	연갈색 액체	20	0.03

2.3 기호설명

배합표에서 40은 물/분체비 40%를 나타내며 A-K, B-K, C-K는 본 실험에서 사용한 3종류의 팽창재를 말한다. 또한 10은 각각 5% 간격으로 치환한 팽창재의 치환율을 나타내며, 기호에 대한 설명은 다음 그림 1과 같다.



그림 1. 기호설명

2.4 시멘트 페이스트의 배합

내원통 회전형 점도계를 이용한 레올로지 분석법에 따른 팽창재를 사용한 시멘트 페이스트의 유동특성을 검토하기 위해

여, 본 연구에서는 각 배합의 플레인 페이스트의 목표 플로우를 250%로 고정하였다.

물/분체비는 30%, 40%, 50%로 변화하였으며, 목표 플로우를 만족하는 배합을 구성하기 위하여 물/분체비 30%와 40%에서는 실험에 의하여 각각 1.2%, 2.0%의 고성능 감수제를 이용하였다.

일반적으로 팽창재를 비롯한 콘크리트용 혼화제는 시멘트 중량에 대하여 치환하여 사용됨으로 본 연구에서도 동일한 방법으로 팽창재를 중량치환한 배합을 이용하였다. 이와 같은 배합을 실시할 경우 시멘트에 비하여 팽창재의 비중이 작으므로 결합재의 양이 증가하여 전체 배합량이 차이를 나타내나, 배합량의 증가는 최대 1.0% 정도로서 이는 콘크리트에 적용 시에도 발생되게 되는 것으로 팽창재를 사용한 콘크리트의 유동특성을 검토하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 감안하여 실험하였다.

물/분체비, 팽창재 종류 및 치환율을 변수로 한 시멘트 페이스트의 배합은 표 5와 같다.

표 5. 시멘트 페이스트의 배합

목표 Flow (%)	W/B (%)	팽창재 종류	치환율 (%)	단위질량(g/ℓ)		W
				B		
				C	E	
250	30	A-K B-K C-K	0	1620	-	486
			5	1539	81	
			10	1458	162	
			15	1377	243	
			20	1296	324	
			25	1215	405	
			30	1134	486	
	40		0	1394	-	557
			5	1324	70	
			10	1254	139	
			15	1185	209	
			20	1115	279	
			25	1045	348	
			30	976	418	
	50		0	1223	-	612
			5	1161	61	
			10	1101	122	
			15	1040	184	
			20	979	245	
			25	918	306	
			30	856	367	

※ W/B: 물/분체, B: 결합재, C: 시멘트, E: 팽창재, W: 배합수

## 2.5 실험방법 및 측정

### 2.5.1 페이스트의 비빔방법

페이스트의 비빔은 24.5℃, 습도 79%의 항온 항습실에서 균질하게 혼합된 분체와 물을 모르타 믹서에 순차 투입하여 건비빔 후 저속에서 60초간과 고속에서 90초간 비빔작업을 하였다.

### 2.5.2 플로우 시험

페이스트의 플로우 시험은, KS L 5111에 규정되어 있는 플로우 콘을 사용하여 페이스트를 채워 넣은 후 플로우 콘을 수직으로 들어 올려 진동을 부여하지 않는 상태에서 흐름이 정지된 시멘트 페이스트의 직경을 백분율로 나타내었다.

### 2.5.3 레올로지 시험

항복치와 소성점도는 콘크리트 슬럼프 시험에 의하여 정의 내릴 수 있다. 콘크리트의 워커빌리티를 평가하는데 가장 일반적으로 사용하는 시험은 슬럼프 시험으로서, 슬럼프치 측정을 위해 콘을 들어 올리게 되면 콘 속의 콘크리트는 자중에 의해 아래방향으로 변형하게 된다. 이 때 위에서 작용하는 힘이 그 자체의 저항력보다 작을 경우에는 변형이 일어나지 않고, 저항력보다 클 경우, 즉 시공연도가 좋은 콘크리트일 경우에는 그 점성에 맞는 연도로 변형을 하게 된다.

여기서 저항력, 즉 정지와 유동의 한계가 되는 힘을 유동학적 측면에서 항복치(Yield Point) 또는 항복응력(Yield Stress)이라 한다. 이때의 힘은 변형을 일으키려는 힘(콘크리트의 자중)에 대해서 저항하는 방향으로 작용하기 때문에 전단응력으로 나타나지며, 또한 이 힘은 Pa(파스칼=N/m<sup>2</sup>)라는 시간과는 관계없는 단순한 힘의 단위로 표현되며, 주로 정적평형상태에 있는 콘크리트의 연도를 나타내는 지표로서 사용되어, 슬럼프 시험은 유동학적으로 말하면 항복치를 측정하는 시험이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 시멘트 페이스트의 Flow 시험과 동시에 레올로지 시험을 행하여, 페이스트의 소성점도와 항복치를 구하였다.

레올로지 시험은 그림 2에 나타내는 내원통 회전형 회전점도계를 이용하여 Torque치가 20% ~ 80% 범위 내에 들어올 수 있도록 적당한 회전수를 설정해서 30초간 Torque를 측정하였다. 또, 측정된 Torque로부터 산출된 전단응력(shear stress)과 전단변형속도(shear rate)는 시멘트 페이스트를 빙함유체로 가정하여 직선회귀함으로써 레올로지 정수(소성점도, 항복치)를 산출하였다.

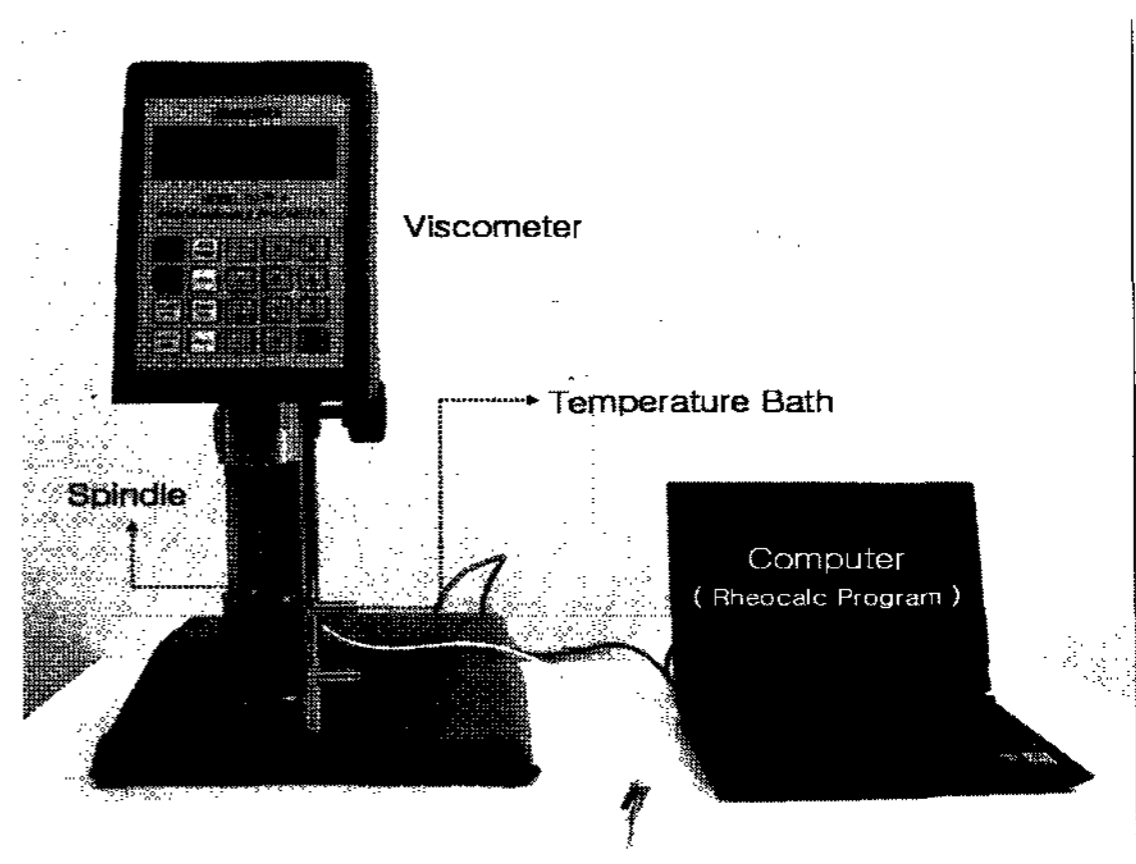
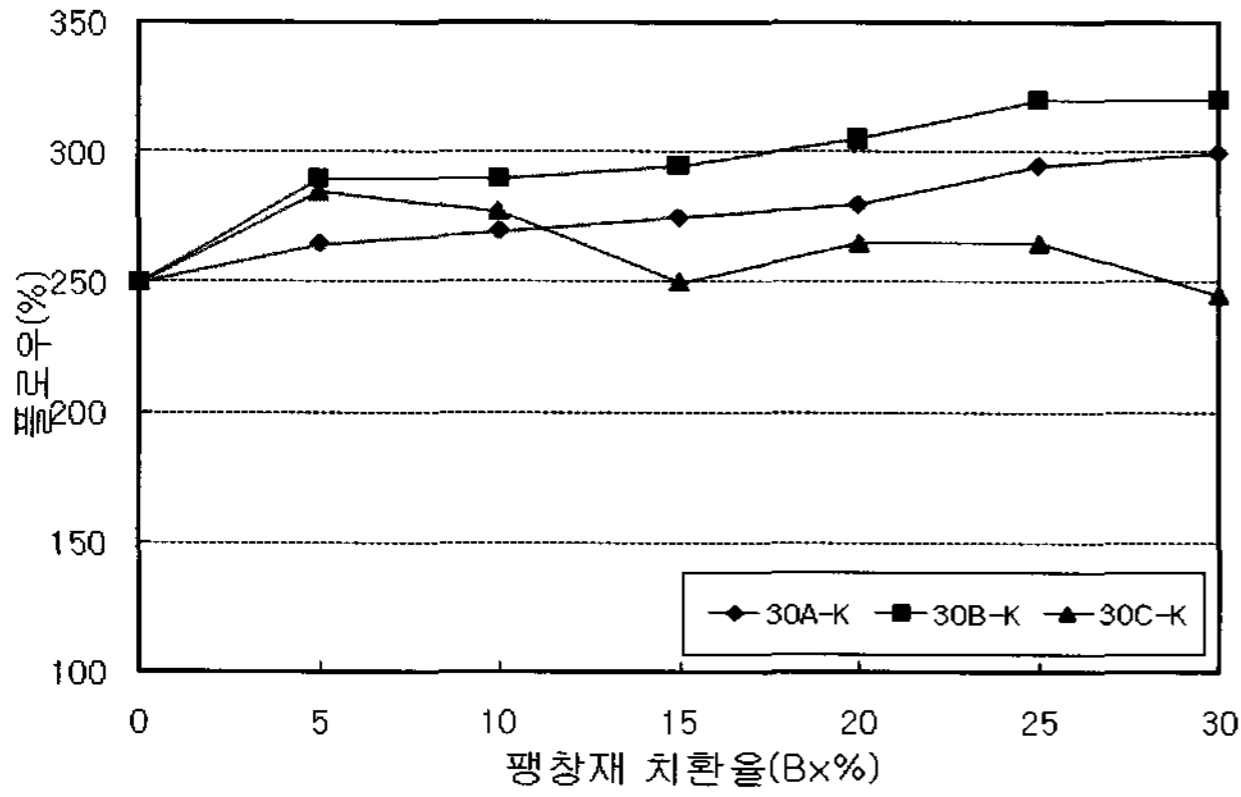


그림 2. 내원통 회전형 회전 점도계

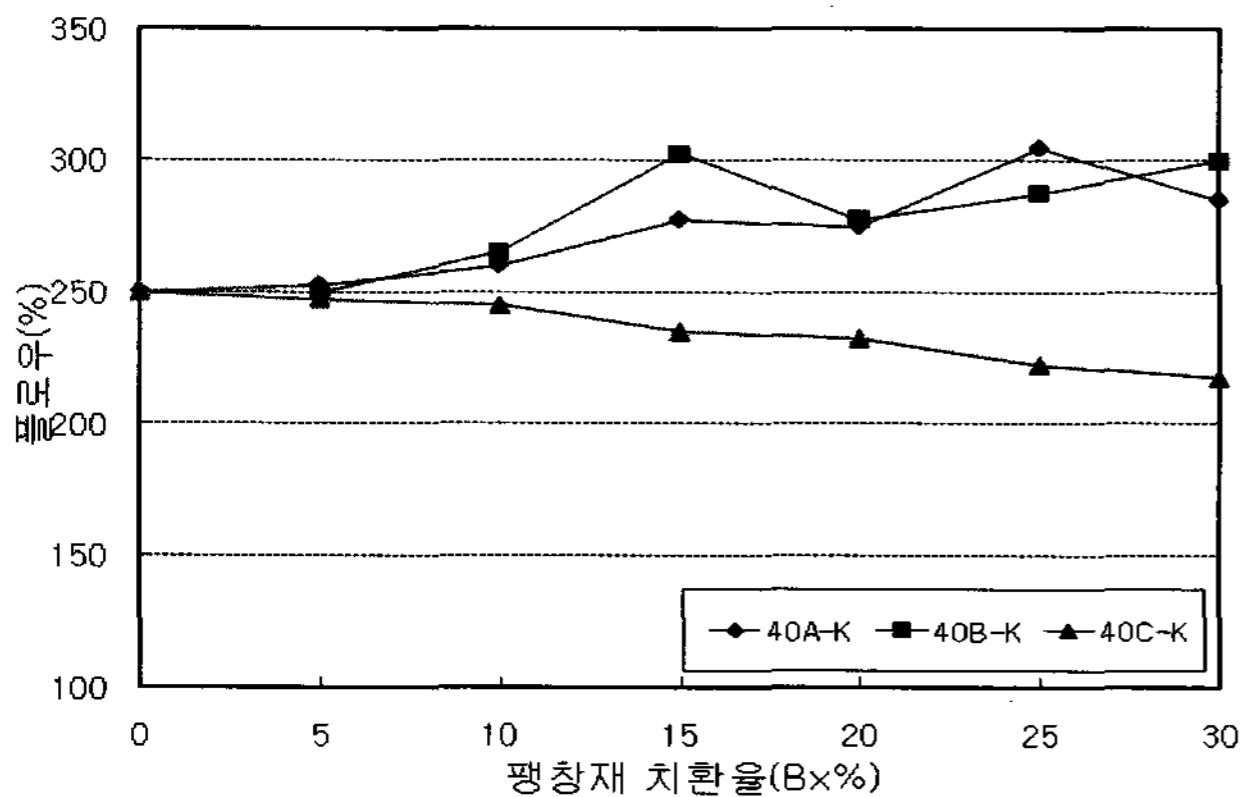
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 치환율에 따른 플로우

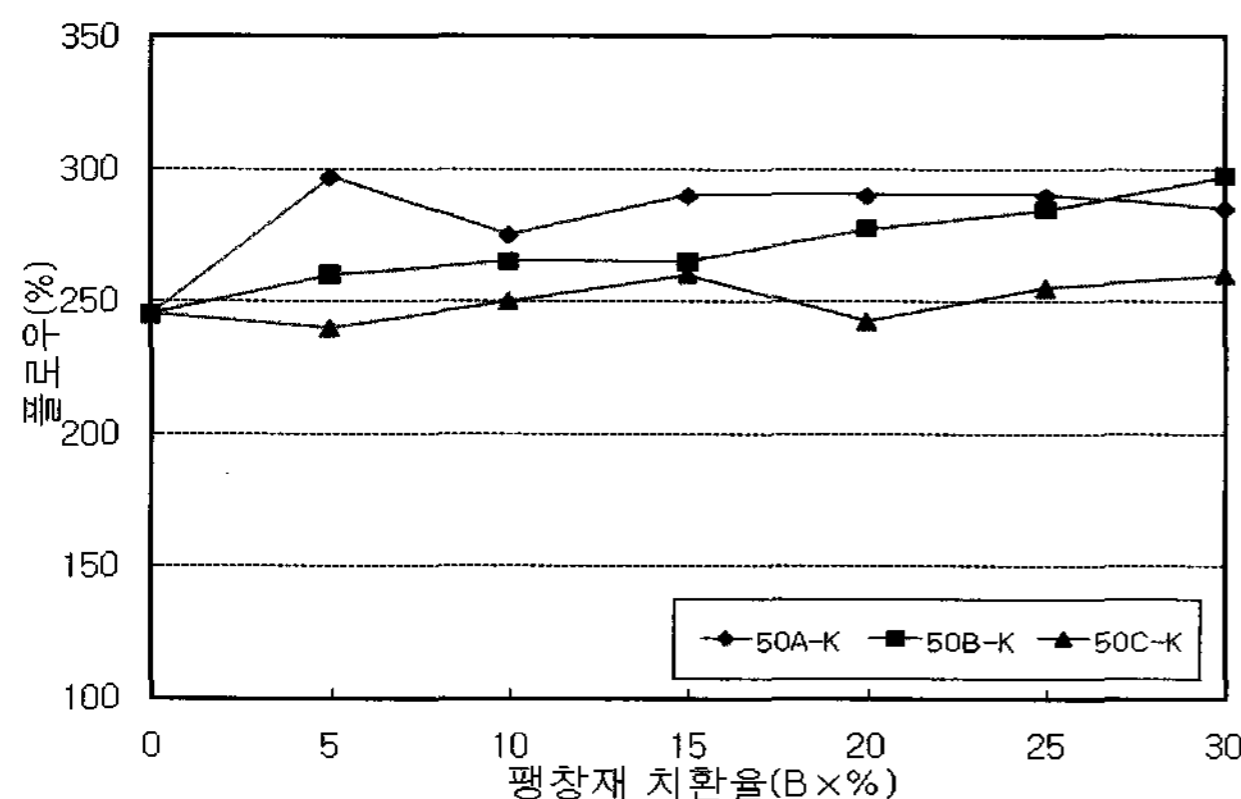
물/분체비, 팽창재의 종류 및 치환율의 변화에 따른 시멘트 페이스트의 플로우 시험결과는 그림 3과 같다.



(가) 물분체비 30%



(나) 물분체비 40%



(다) 물분체비 50%

그림 3. 팽창재 치환율에 따른 Flow

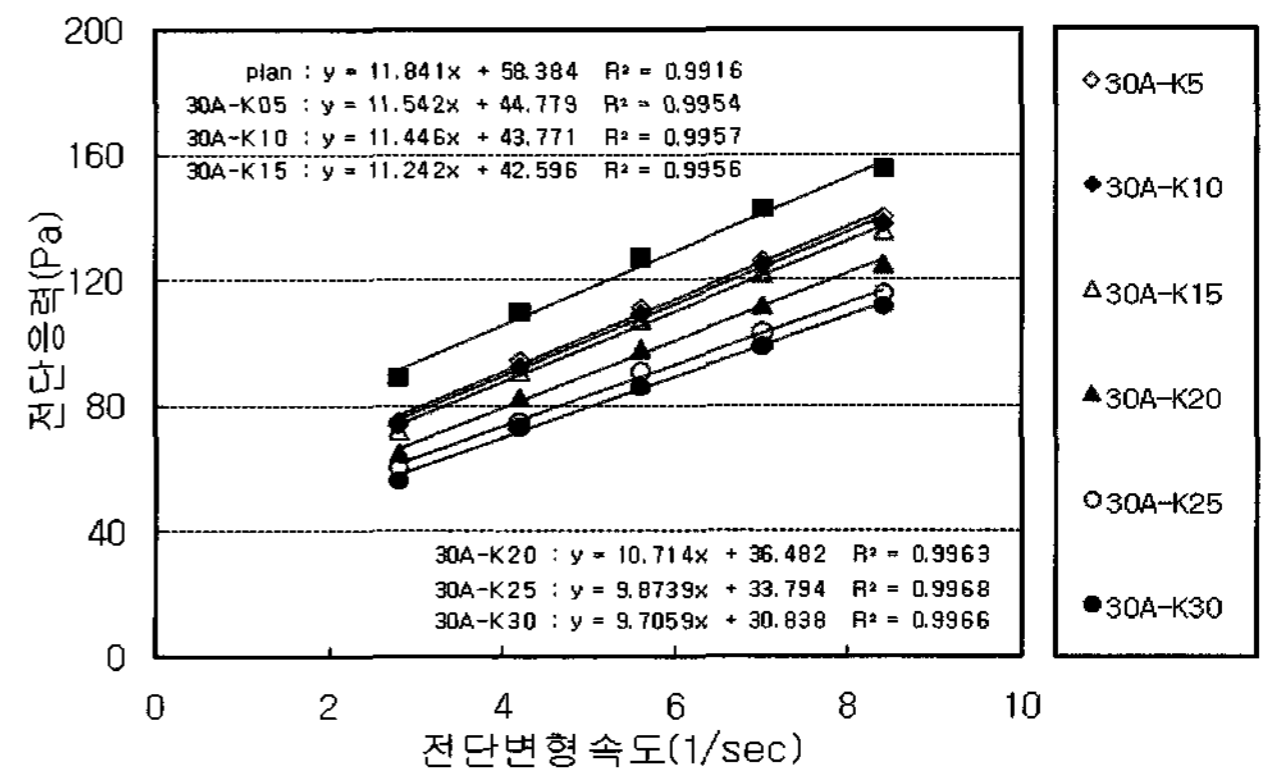
물/분체비 30%의 경우, 시멘트 페이스트의 플로우는 팽창재 치환율 5%에서는 모든 조건에서 Plain 에 비하여 증가하는 것으로 나타났으나, 10%이상의 범위에서는 A-K와 B-K는

플로우가 증가하는 반면 C-K는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 물/분체비 40%, 50%에서도 유사한 것으로 측정되었으나 변화폭은 크지 않았다.

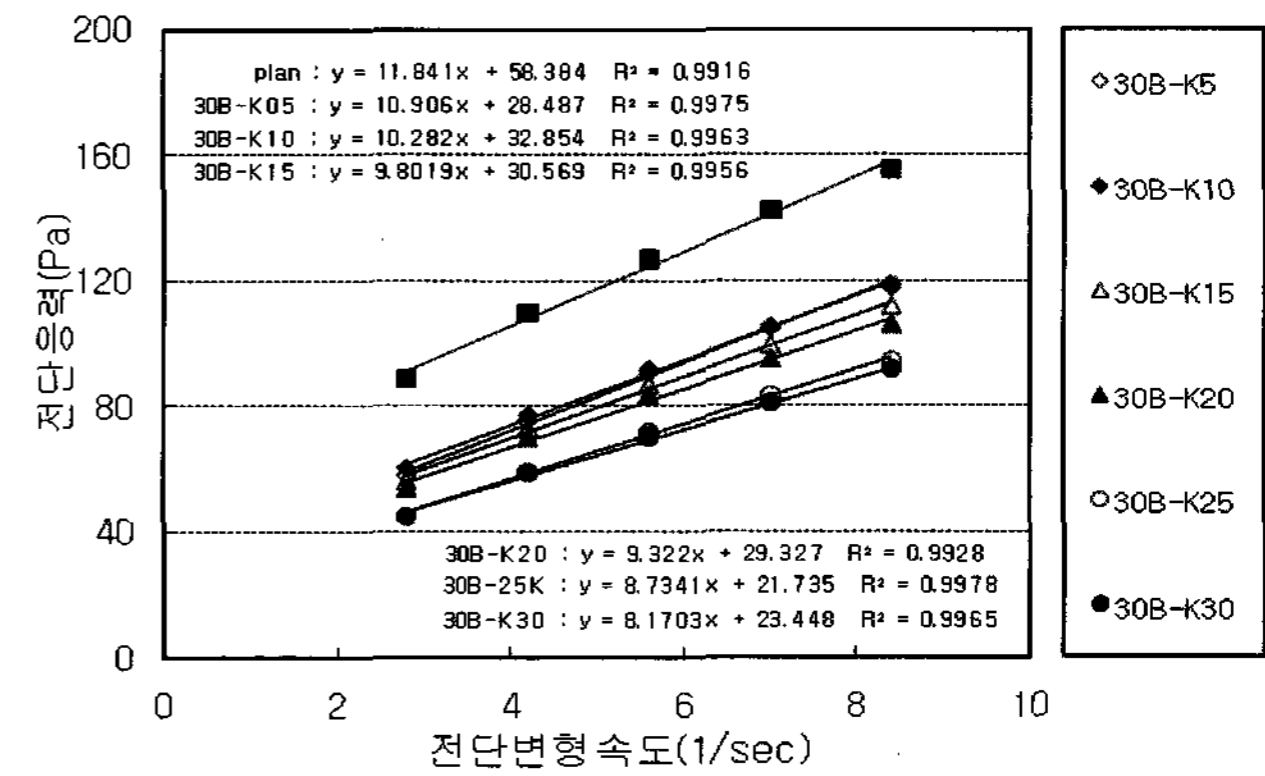
팽창재의 종류에 따른 시멘트 페이스트의 플로우는 동일한 팽창 메커니즘을 발휘하는 K형 팽창재를 사용하였으나, 제조사에 따라 다소의 차이가 있었다.

A-K, B-K의 경우는 모두 유동성 증진효과가 있었으며 B-K가 다소 우수한 것으로 나타났다. 그러나 C-K의 경우는 플레인 시멘트 페이스트와 유사한 플로우 값을 나타내는 것으로 나타났으나 다소의 오차를 나타내었다.

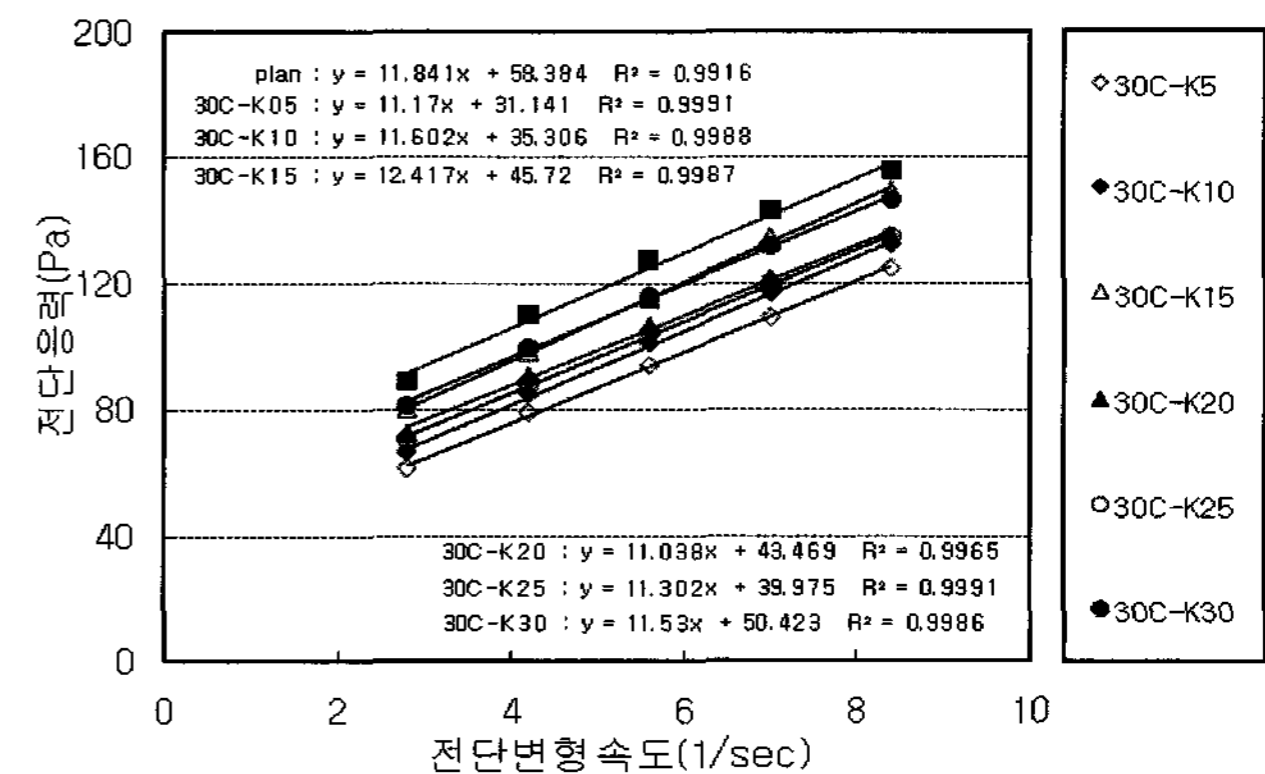
#### 3.2 팽창재 치환율에 따른 소성점도와 항복값



(가) A-K

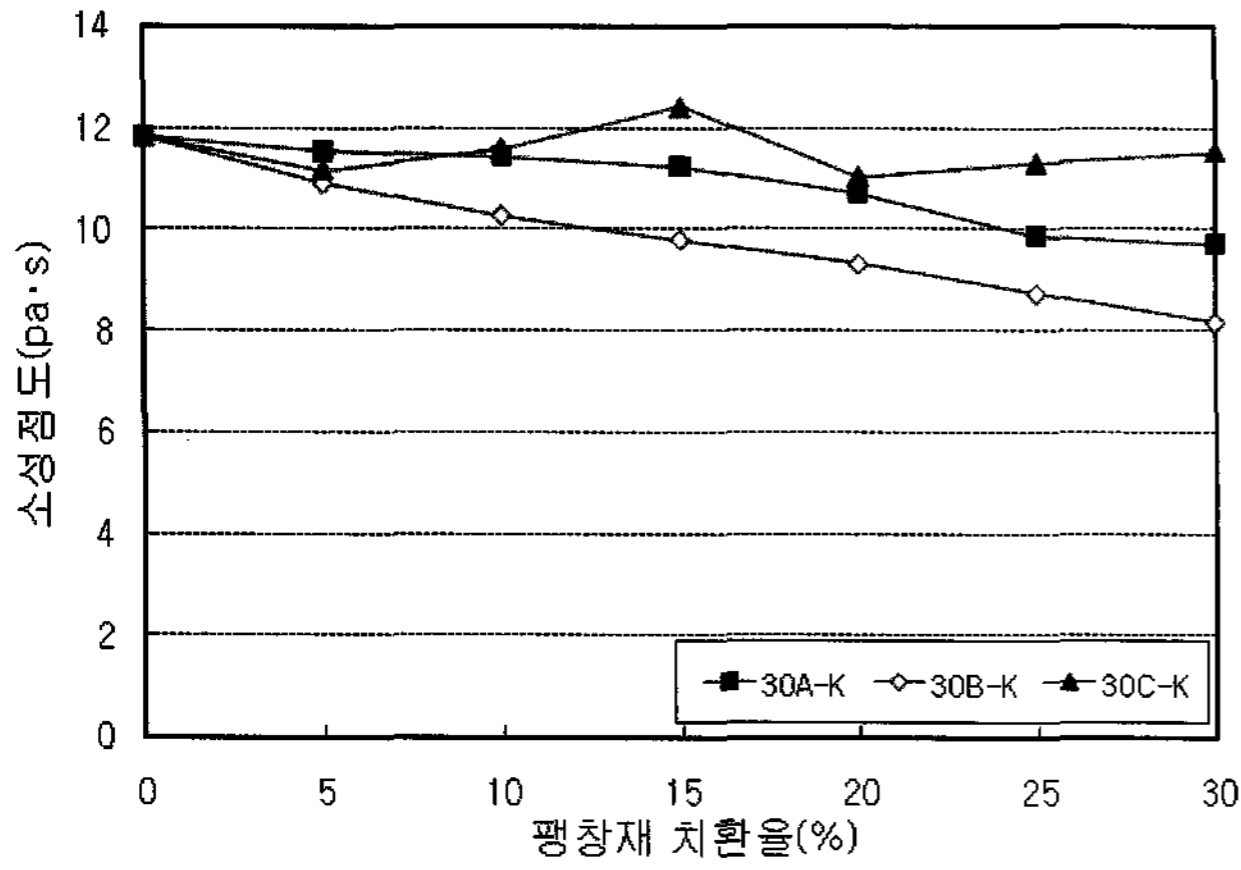


(나) B-K

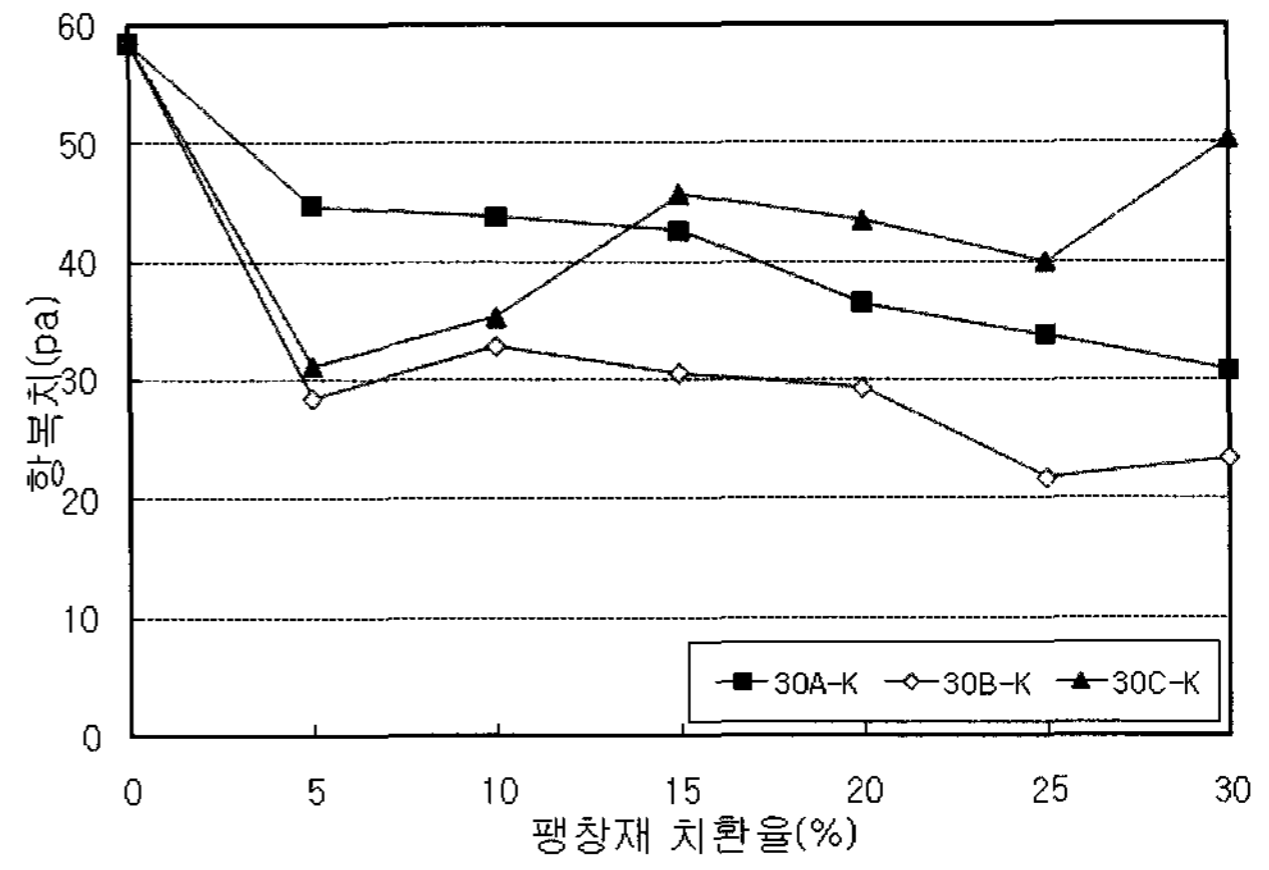


(다) C-K

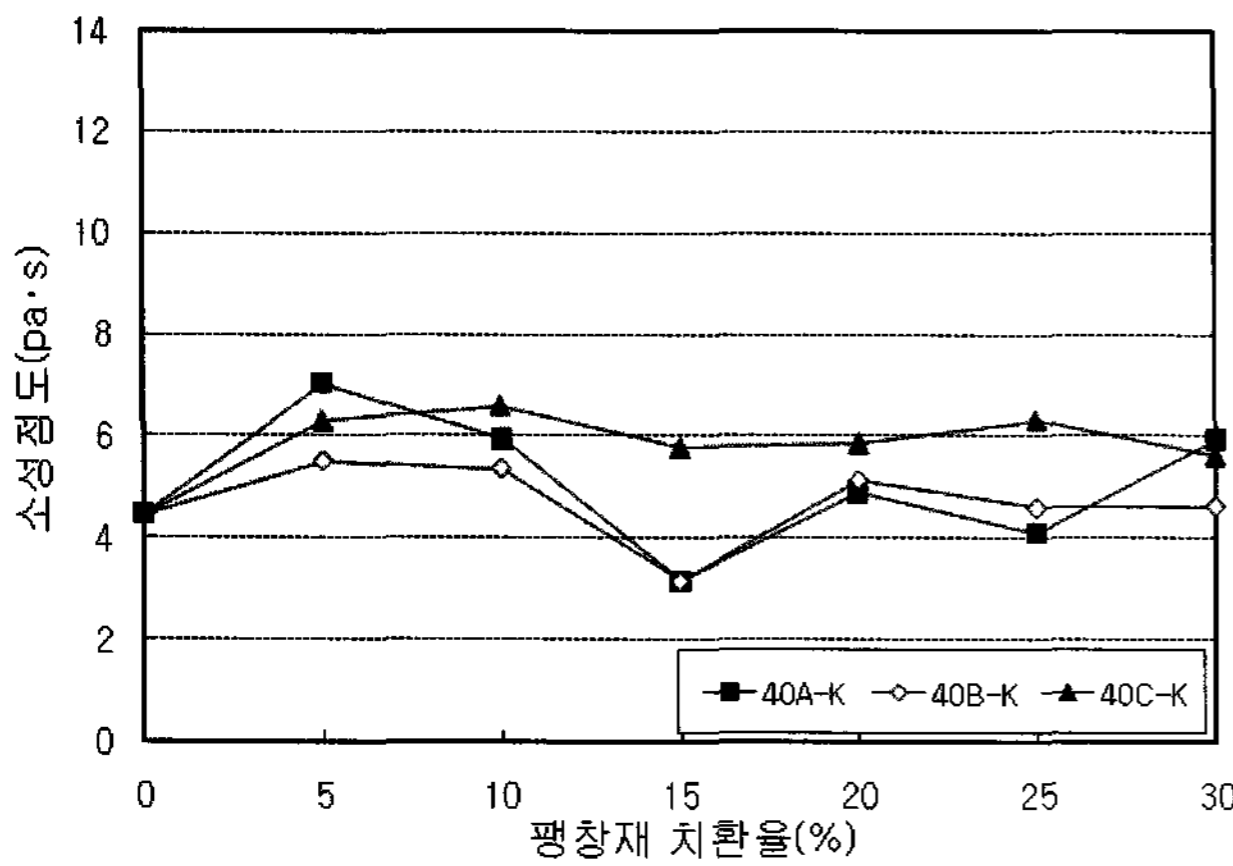
그림 4. 유동곡선(W/B=30%)



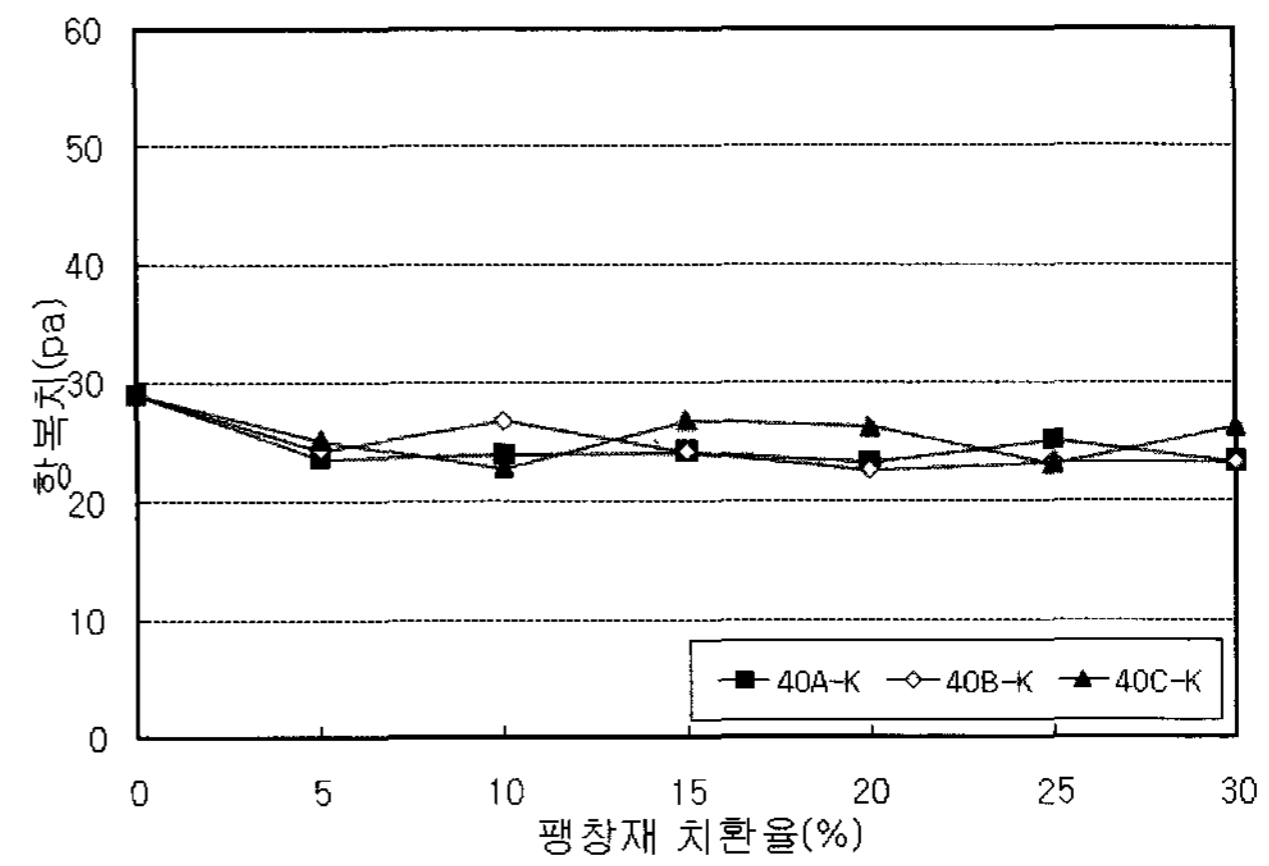
(가) 물분체비 30%



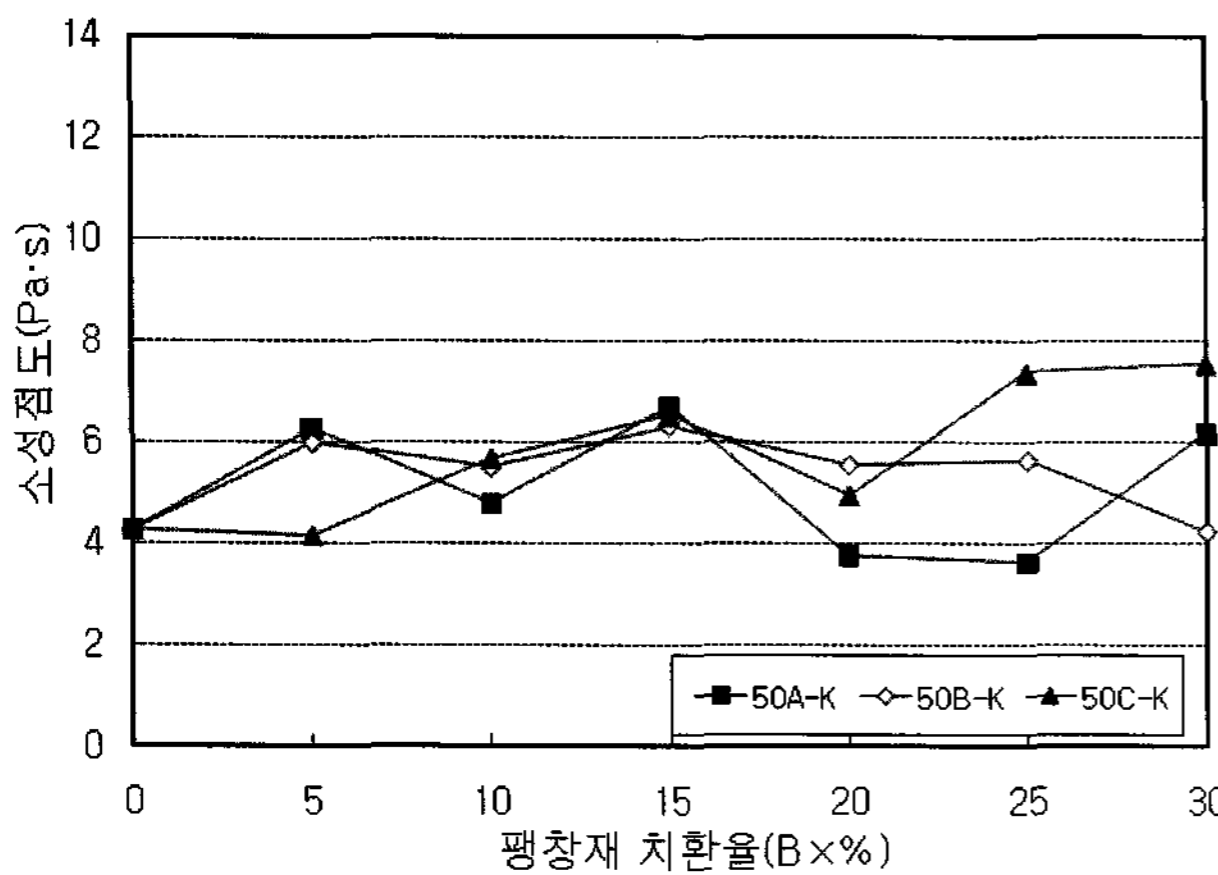
(가) 물분체비 30%



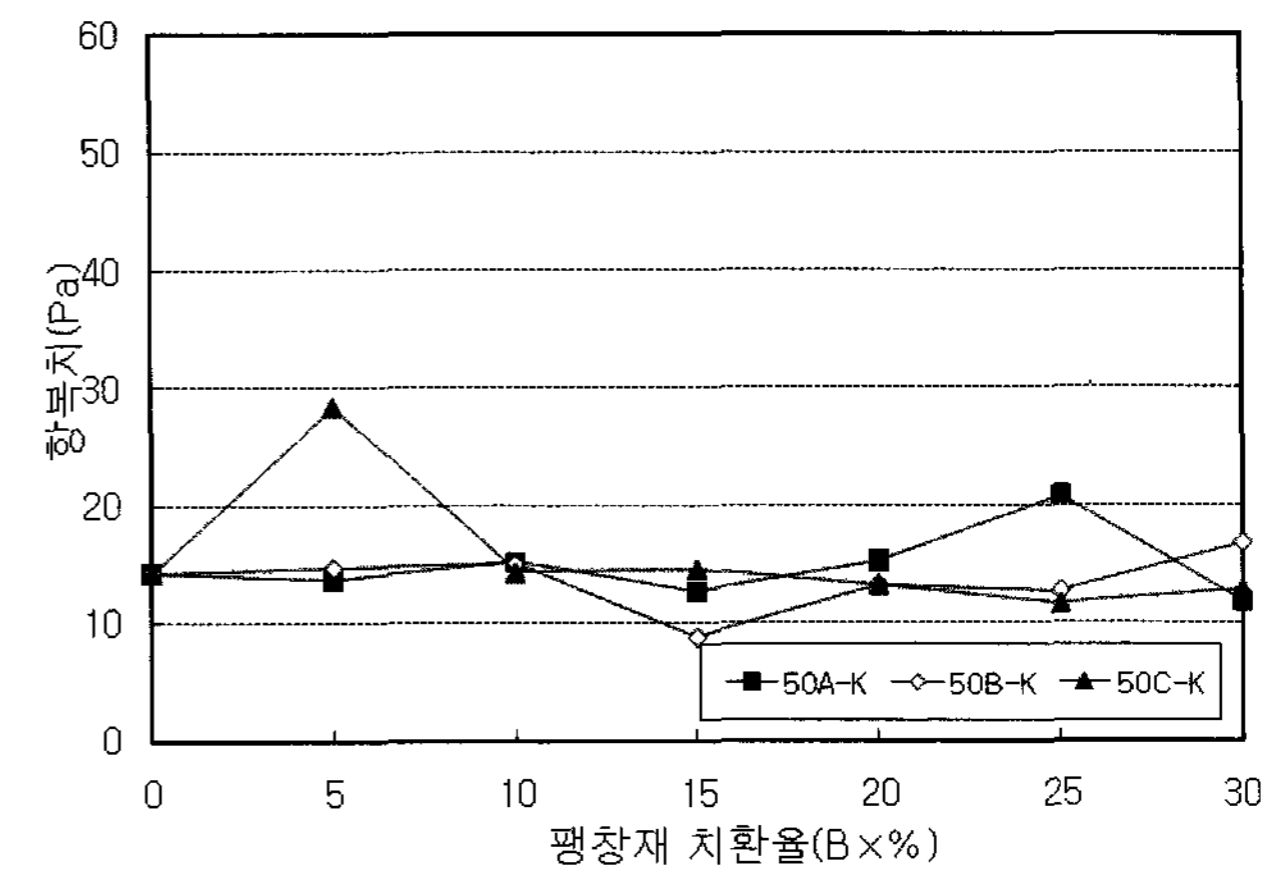
(나) 물분체비 40%



(나) 물분체비 40%



(다) 물분체비 50%



(다) 물분체비 50%

그림 5. 팽창재 치환율에 따른 소성점도

그림 6. 팽창재 치환율에 따른 항복치

본 연구에서는 시멘트 페이스트를 빙함유체로 가정하여 직선 회귀함으로써, 전단변형속도와 전단응력의 상관관계를 도출하였다. 그림 4는 물/분체비 30%에서의 유동곡선을 나타낸 것이다. A-K, B-K, C-K 팽창재를 치환함에 따라 y절편인 항복치가 감소하는 것을 알 수 있으며, 유동곡선의 기울기도 다소 변화하는 것으로 나타났다.

직선회귀한 수식의 결정계수  $R^2$ 을 통해 전단변형속도와 전

단응력의 관계를 빙함유체로 가정하는 것의 신뢰성이 높음을 알 수 있으며, 이때 산출된 레올로지 정수를 통하여 유동특성의 정량적 평가가 가능하였다. 단, 그래프를 통한 배합에 따른 소성점도와 항복치의 변화를 알기 어려운 측면이 있으므로 각 유동곡선의 기울기 및 y절편으로부터 레올로지 정수를 산출하여 그림 5, 6에 도시하였다.



3.2.1 팽창재 치환율에 따른 소성점도

그림 5는 팽창재 치환율에 따른 소성점도를 나타낸 것이다. 실험 결과 물/분체비 30%의 경우는 A-K와 B-K 모두 팽창재 치환율이 증가할수록 소성점도는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 물/분체비 40%의 경우는 소성점도의 큰 변화는 없었으며 C-K의 경우는 물/분체비에 관계없이 소성점도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

물/분체비에 따른 소성점도의 영향은, 물/분체비 30%에 비하여 40%로 증가함에 따라 평균 50% 정도 소성점도가 크게 감소하는 것으로 나타났으나, 물/분체비 40%와 50%의 차이는 크지 않았다. 그러나, 물/분체비 50%의 경우 팽창재 치환율에 따른 소성점도의 실험오차가 크게 나타났다.

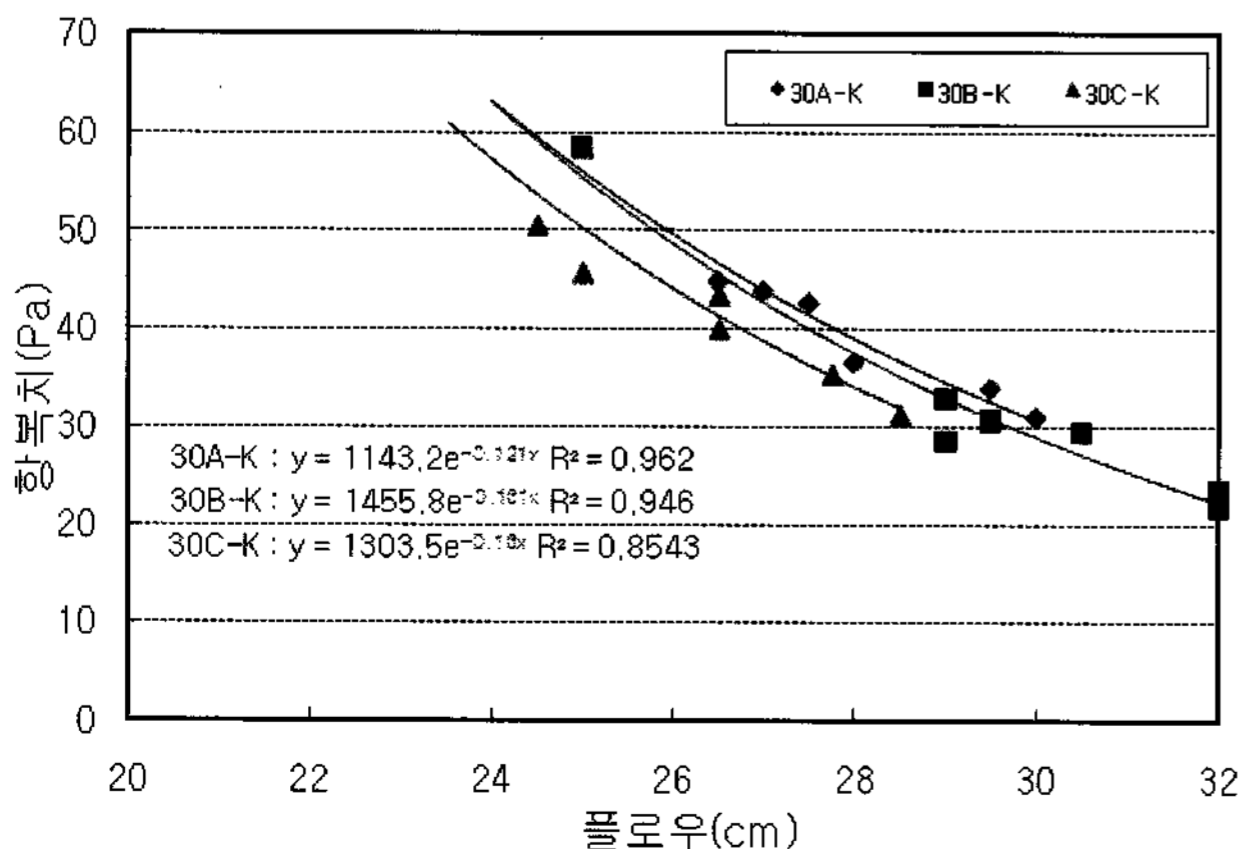
3.2.2 팽창재 치환율에 따른 항복치

그림 6은 팽창재 치환율에 따른 항복치를 나타낸 것이다. 팽창재를 치환하지 않은 경우, 물/분체비가 증가함에 따라 항복치가 크게 감소되어 유동성능이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 전술한 플로우의 실험결과와 동일하다. 또한, 항복치는 팽창재 치환율이 높아짐에 따라 물/분체비 30%에서는 A-K, B-K는 5%까지 급격히 감소하다가 점차 감소하는 경향을 나타내며, C-K는 5%까지 급격히 감소하다 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 물/분체비 40%, 50%의 경우는 다소 감소하는 경향을 나타내나 거의 변화가 없었으며, 소성점도의 경우와 마찬가지로 물/분체비 50%의 경우 팽창재 치환율에 따른 항복치의 실험오차가 크게 나타났다.

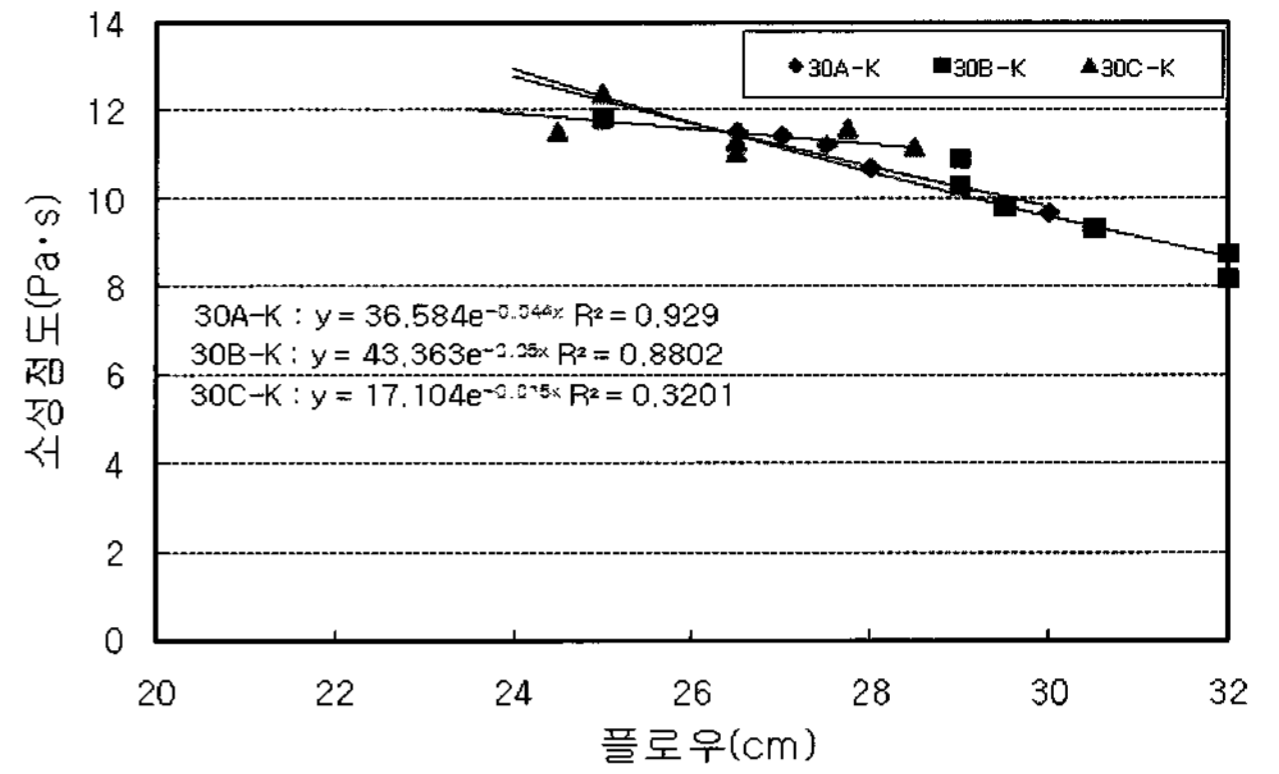
전반적으로 A-K와 B-K는 항복치의 감소현상 또는 높은 물/분체비에서의 영향도가 일정한 값을 나타내는데 비하여, C-K의 경우는 다소 오차가 큰 것으로 나타났다. 이는 항복치가 슬럼프에 미치는 영향을 고려할 때, 유동설계에 있어서 주의를 요한다.

3.3 페이스트의 플로우와 레올로지 정수의 상관관계

그림 7, 8, 9는 팽창재를 치환한 페이스트의 Flow와 소성점도, 항복값의 상관관계를 나타낸 것이다.

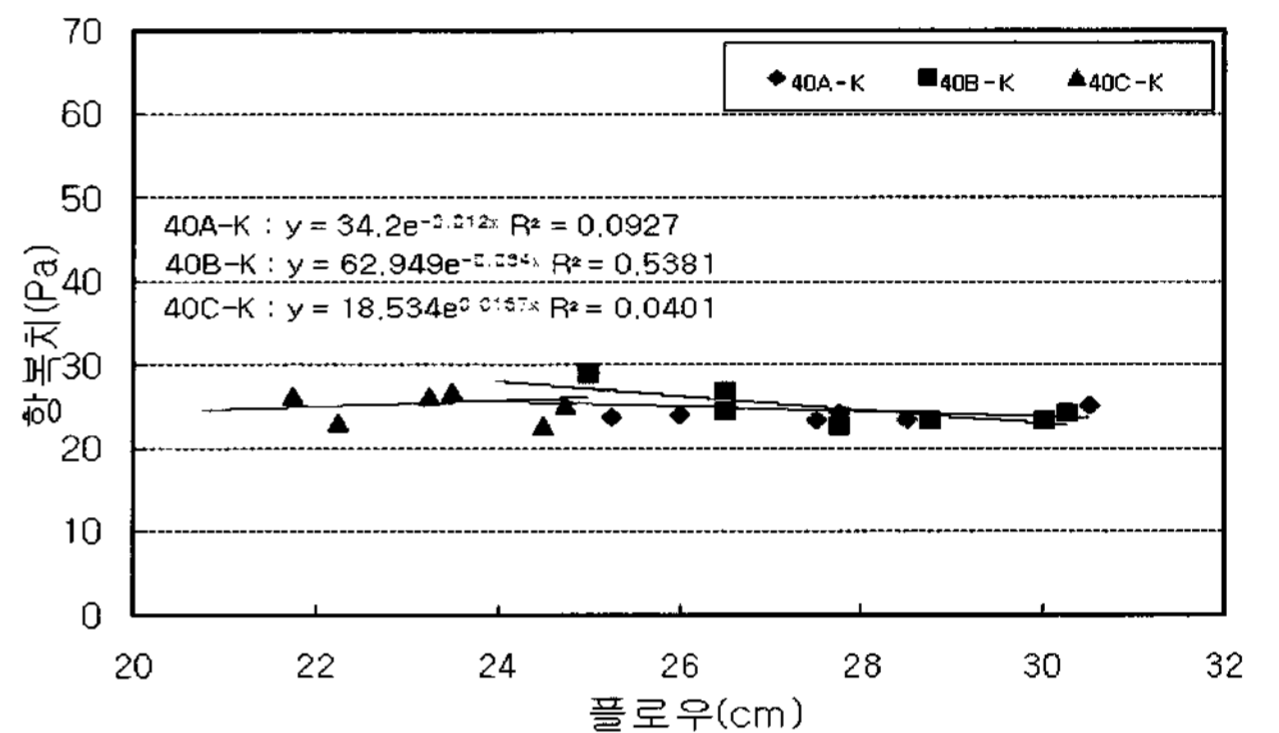


(가) 플로우-항복치

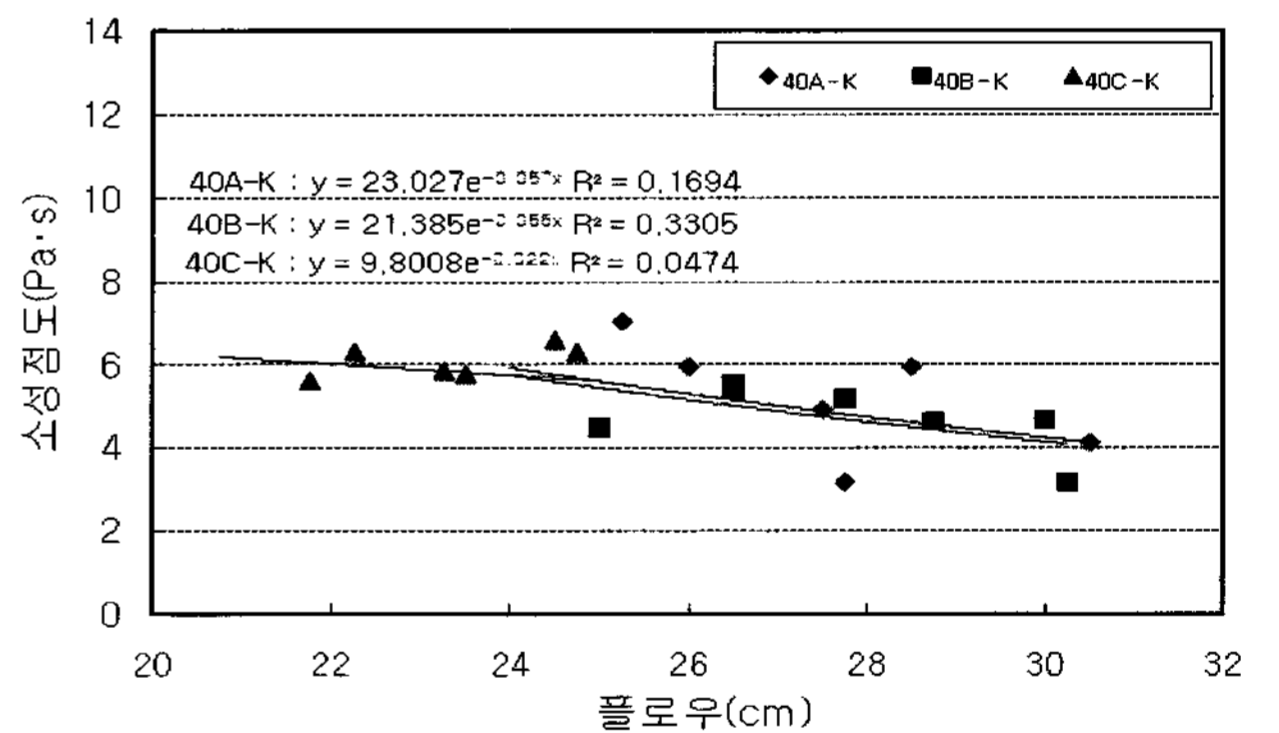


(나) 플로우-소성점도

그림 7. 플로우와 레올로지정수의 상관관계 (W/B 30%)

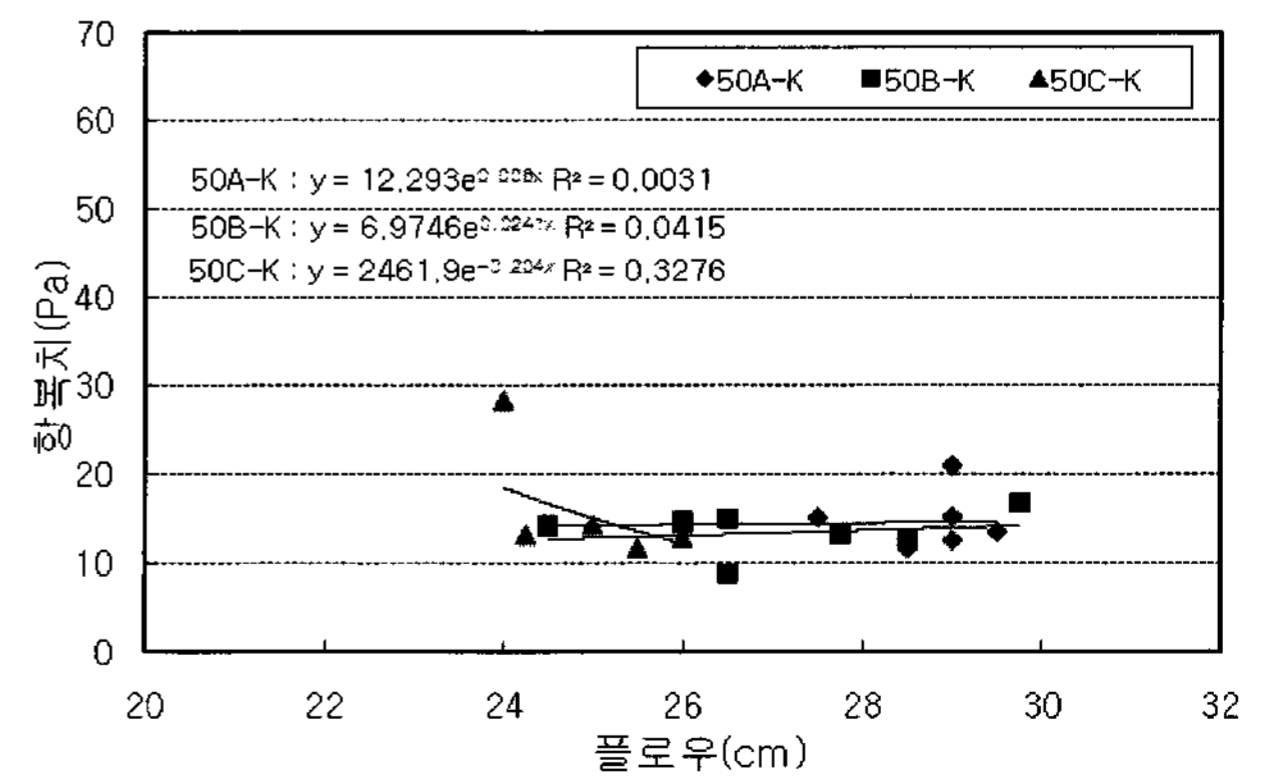


(가) 플로우-항복치

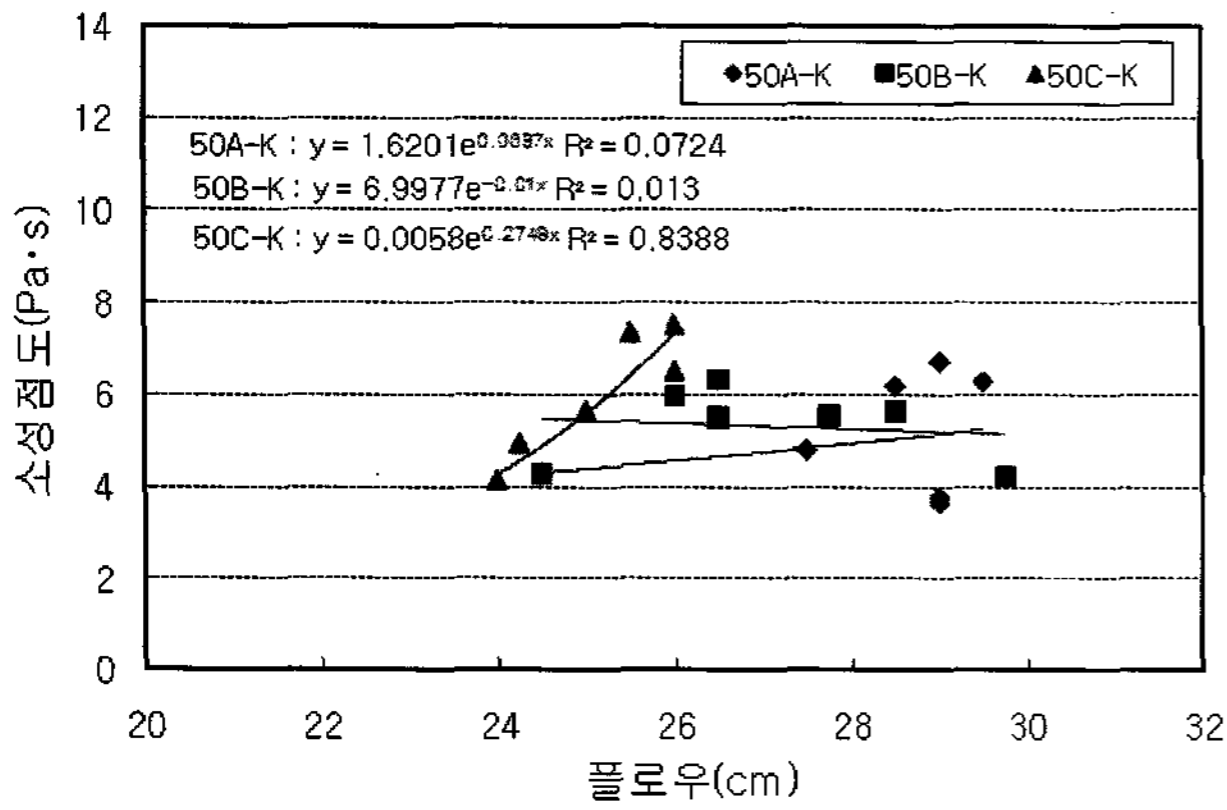


(나) 플로우-소성점도

그림 8. 플로우와 레올로지정수의 상관관계 (W/B 40%)



(가) 플로우-항복치



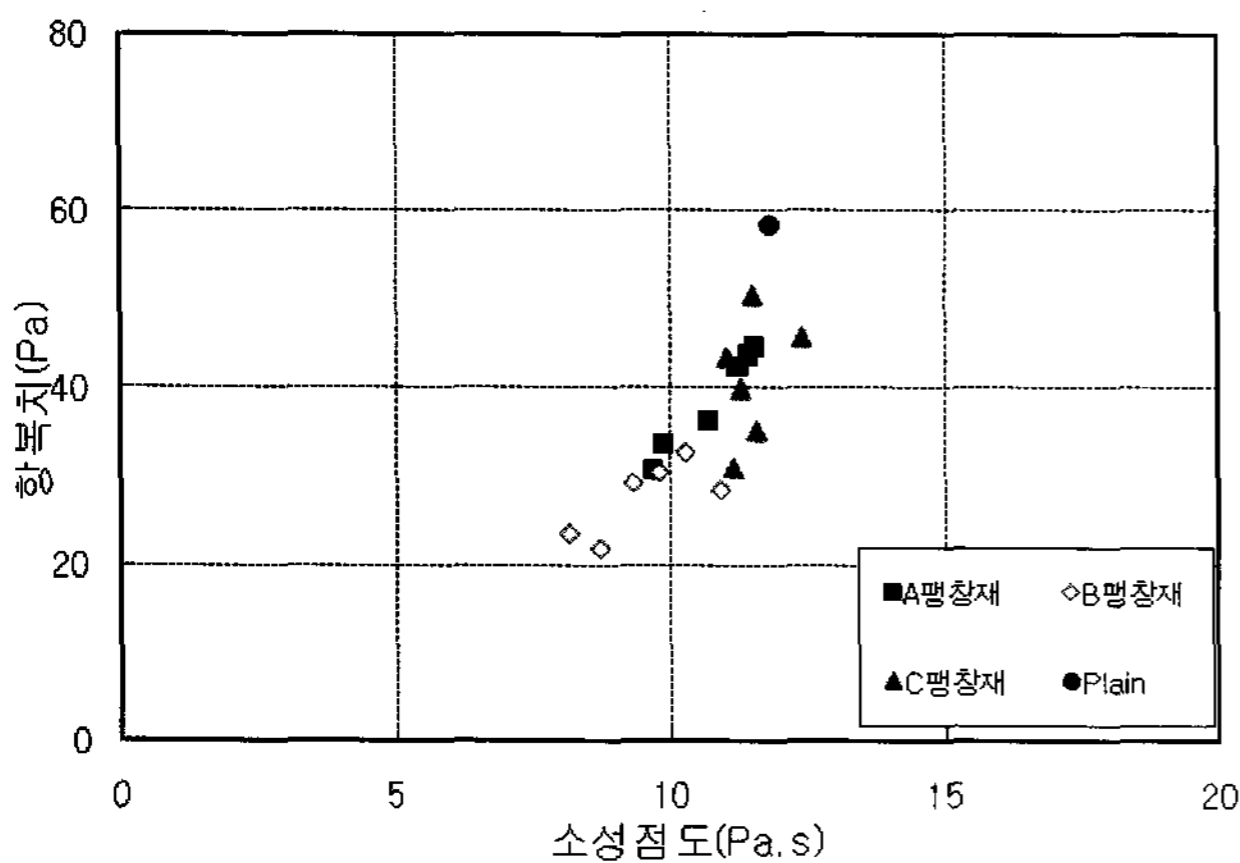
(나) 플로우-소성점도

그림 9. 플로우와 레올로지정수의 상관관계 (W/B 50%)

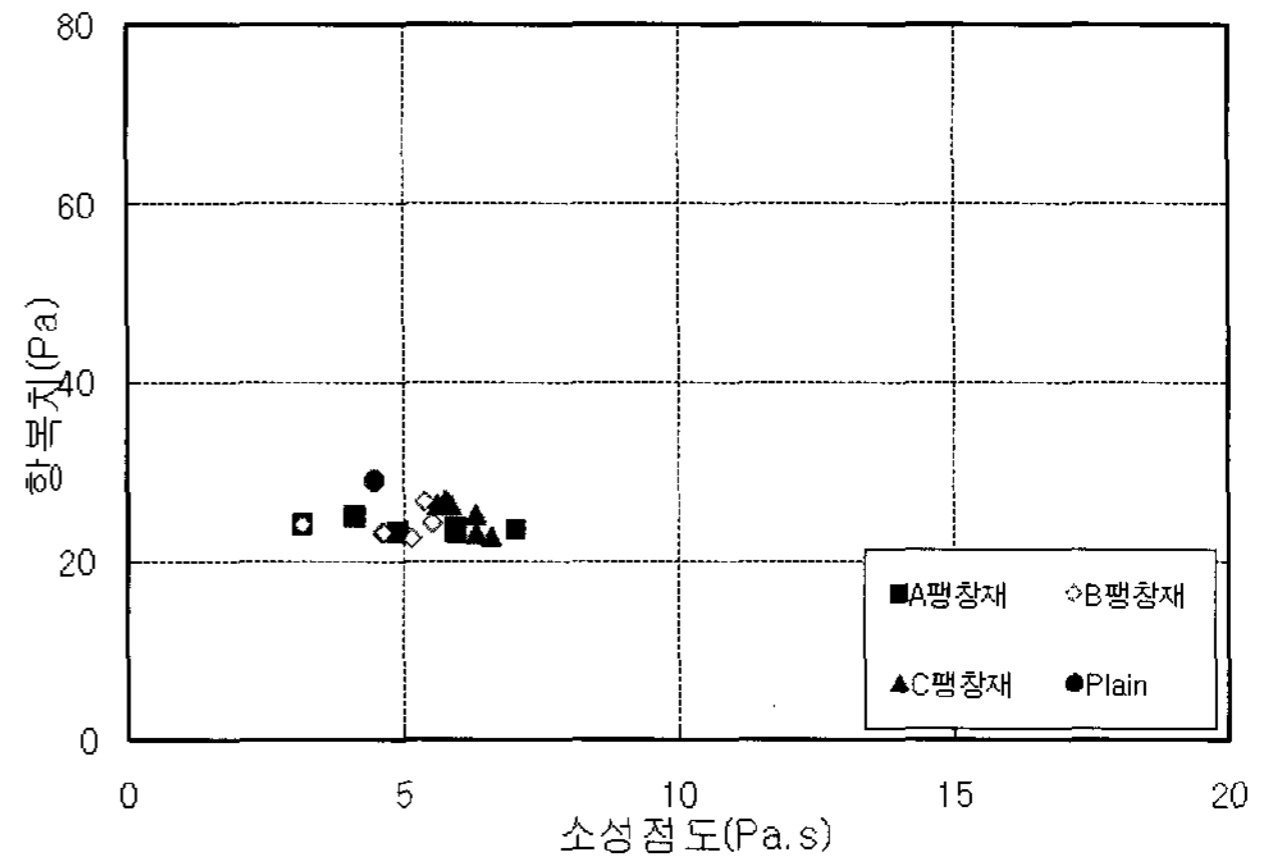
물/분체비 30%의 경우, 팽창재를 혼입한 페이스트의 플로우가 증가함에 따라 항복값과 소성점도 모두 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 회귀분석 결과 신뢰도도 높게 나타났다. 이는 슬럼프 시험과 마찬가지로 상부 자중에 의한 변형에 저항하는 전단응력이 항복값이며, 이에 따라 플로우 시험의 경우도 유동학적으로 항복값을 측정하는 실험에 가깝기 때문이다. 이에 비하여 물/분체비 40%의 경우는 치환율에 따른 플로우가 거의 일정한 결과에 따라 항복치도 거의 일정하게 나타났다. 반면에 소성점도는 플로우가 증가함에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 물/분체비 30%에 비하여 플로우와 레올로지 정수와의 상관성이 크게 나빠지는 것을 알 수 있다. 따라서 팽창재의 혼입에 따른 페이스트의 유동특성은 고강도 콘크리트 배합영역(물/분체비 30%)에서 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 물/분체비 50%의 경우는 전술한 바와 같이 오차가 크게 나타나 상관성을 도출하기 어려웠다.

### 3.4 항복치와 소성점도와의 관계

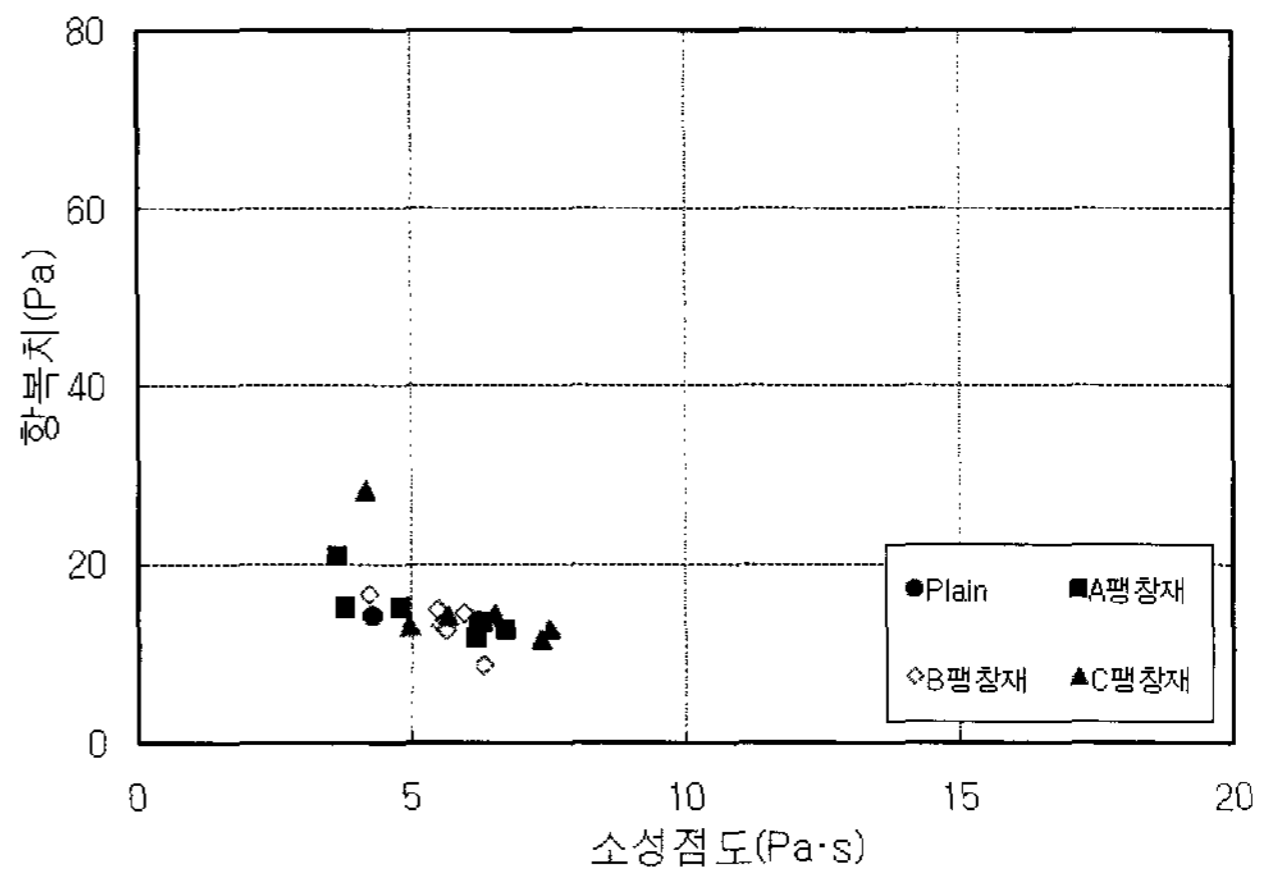
그림 10은 팽창재의 종류 및 치환율의 변화에 따른 소성점도와 항복치의 상관관계를 나타낸 것이다.



(가) 물.분체비 30%



(나) 물.분체비 40%



(다) 물.분체비 50%

그림 10. 항복치와 소성점도와의 관계

물/분체비가 30%일 경우는 소성점도가 8~13Pa·s, 항복치는 20~50Pa, 물/분체비 40%에서는 소성점도 3~7Pa·s, 항복치 20~30Pa의 범위를 나타내는 것으로 측정되었다. 그리고 물/분체비 50%에서는 소성점도 3~Pa·s, 항복치 10~20Pa의 범위를 나타내는 것으로 측정되었다.

물/분체비에 따른 항복치와 소성점도와의 변화는 물/분체비 30%에서 변화의 폭이 크게 나타났으며 물/분체비 40%, 50%에서는 영향이 작다. 또한, 팽창재 치환율에 따라서 소성점도의 변화보다는 항복치의 변화가 더 큰 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

팽창재 종류 및 치환율을 변화하여 제작한 시멘트 페이스트의 유동특성을 검토하기 위하여, 내원통 회전형 회전 점도계를 이용한 레올로지 분석방법을 이용하여 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 물/분체비 30%, 40%, 50%에서 시멘트 페이스트에

팽창재를 사용함에 따라 치환율이 증가할수록 플로우는 증가하는 경향을 나타내었으며, 고강도 영역인 30%에서의 유동성 증진효과가 컸다. 이는 상대적으로 비중이 낮은 팽창재를 중량치환 함으로써 결합재의 량이 증가하여 나타나는 현상으로 판단된다.

- (2) 팽창재를 혼입한 페이스트를 빙함유체로 가정하여 직선회귀한 결과, 전단변형속도와 전단응력과의 상관성이 높은 것으로 나타나 정량적인 유동해석이 가능하였다.
- (3) 팽창재의 치환율에 따른 소성점도는 거의 변화가 없으며 항복치는 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 소성점도보다는 항복치의 변화의 폭이 더 크게 나타내었기 때문이다. 특히, 물/분체비 30%의 경우는 팽창재 치환율에 따라 소성점도와 항복치 모두 크게 감소하였으며, 이에 따라 플로우는 증가현상이 명확히 나타났다.
- (4) 시멘트 페이스트의 플로우와 레올로지 정수의 상관관계는 물/분체비 30%의 경우에서만 높은 상관성을 나타내었다. 특히, 항복치의 변화와 플로우 값과의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.
- (5) 치환율에 따른 레올로지 특성은 물/분체비 30%가 40%, 50%에 비하여 큰 것으로 나타났으며, 이는 물/분체비 자체에 따른 영향이 팽창재 치환율의 영향보다 더 크기 때문에 치환율에는 거의 영향이 없다고 판단된다. 즉, 물/분체비 40%, 50%는 이미 유동성이 우수하기 때문에 팽창재로 인한 유동성 개선효과가 레올로지 측면에서는 크게 나타나지 않는다고 판단된다.

본 실험을 통하여 팽창재 사용에 따른 시멘트 페이스트의 레올로지 특성을 평가할 수 있었으며 향후의 과제로 본 연구의 결과를 발전시켜 고성능 콘크리트 배합설계(물/분체비 30%)를 통하여 팽창재 치환율에 따라서 골재를 첨가시킴으로서 재료분리의 안정성 평가를 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 김정길, 강병희, 고유동콘크리트용 페이스트의 레올로지, 대한건축학회논문집 제 16권 6호, 2000. 6
2. 박민수, 팽창모르타의 구속효과에 따른 강도특성, 케미컬 프리스트레스를 도입한 모르타의 강도발현 특성연구, 동아대학교 석사학위논문, 2007
3. 오상균 외 2인, 레올로지와 잉여페이스트 이론에 의한 고유동 콘크리트의 유동성 평가에 관한 실험적 연구 대한건축학회

추계학술발표대회 논문집, 2000. 10

4. 오상균, 고유동콘크리트의 배합설계를 위한 유동성 예측방법, 대한건축학회 논문집 제 17권 9호, 2001. 9
5. 오상균, 잉여페이스트 이론 해석에 의한 고유동콘크리트의 유동성 평가, 대한건축학회논문집, 16권 4호, 2000. 4
6. 정재동, 콘크리트재료공학, 보성각, 1998
7. 최영준, 김재훈, 지남용, 김화중, 플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 시멘트페이스트의 레올로지 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제 14권 6호, 1998. 6
8. 한천구 외 2인, 시멘트 페이스트의 유동 특성에 관한 평가방법 비교연구, 한국건축시공학회 논문집 2006. 9
9. 한천구 외 2인, 증점제 및 플라이애쉬를 이용한 고유동 콘크리트의 실용화에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 논문집, 1997. 12
10. 한천구 외 4인, 증점제를 이용한 고유동콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구, 1995. 10