

高流動패이스트의 流動特性에 미치는 멜라민계 고성능감수제의 영향

The Effect of Melamine Sulphonate High-Range Water Reducing Agent to the Fluidity of High-Flowability Paste

○남 지 현*

Nam, Ji-Hyun

조 은 영*

Cho, Eun-Young

오 상 균**

Oh, Sang-Gyun

김 정 길***

Kim, Jung-Kil

Abstract

The viscosity of high-flowability paste is very high compared to normal concrete for the low water-binder ratio(W/B). Therefore, high-flowability concrete is positively necessary to high-range water reducing agent. High-Flowability paste can make much higher fluidity with no occurrence of segregation, by its higher viscosity and lower yield value than normal concrete. The flowability of high-flowability paste must be evaluated not only by convention consistency test such as slump test but also by the base of the rheological properties of the fresh concrete.

The purpose of this study is to analyze the fluidity of high-flowability paste according to the addition ratio of the Melamine Sulphonate high-range water reducing agent.; high-flowability paste is considered as Bingham plastic fluid with the rheology parameters of the paste viscosity and yield value.

키 워 드 : 고유동 콘크리트, 멜라민계 고성능감수제, 레올로지, 경시변화

Keywords : High-Flowability Concrete, Melamine Sulphonate High-Range Water Reducing Agent, Rheology, Change of Elapsed Time

1. 서 론

최근 우리 사회는 산업구조가 고도화 됨에 따라 급속한 경제성장과 함께 생활 수준도 크게 향상되었으며, 건설분야에서도 급격한 변화가 일어나고 있다. 한편 건축생산현장에서는 굳지 않은 콘크리트의 시공성 개선과 콘크리트 구조물의 신뢰성 향상 및 건축현장의 합리화 등에 대처하기 위한 방안의 일환으로 콘크리트 강도 이외의 콘크리트의 성능개선을 통한 작업성을 향상시킨 콘크리트의 다양한 성능이 요구되고 있다.

특히, 건설시장의 개방에 따른 국내 건설분야의 경쟁력, 기술력 강화의 필요성, 건설현장에서의 인력부족, 현장문화의 변화 및 부실공사의 발생 등은 사회경제적으로도 많은 문제가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 시공성 향상 및 신뢰성 향상을 위한 고품질화 방법 중 현장의 여러 환경조건을 감안하여 볼 때 콘크리트의 고유동화가 가장 합리적인 방안으로 대두됨에 따라, 콘크리트가 개발되어 실용화 단계에 이르고 있다.

고유동 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 물분체비가 낮아 굳지 않은 상태에서의 점성이 매우 높고, 분체량이 많기 때문에 소요의 유동성을 가지기 위해 고성능 감수제의 사용이 불가피하다.

국내에서도 고유동 콘크리트의 유동성과 시공성, 사용재료에 대한 기초물성 및 역학적 특성에 대한 다양한 연구가 다수 수행되고 그 사용 가능성이 입증되고 있으나, 고유동콘크리트

에 사용되는 고성능감수제 중 멜라민계 혼화제에 대한 기초연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 멜라민계 고성능감수제의 첨가율에 따른 고유동콘크리트의 레올로지 시험 및 플로우 시험에 의한 물성변화를 실험적으로 고찰하고자 하며, 향후 고유동 콘크리트의 이론적인 배합설계 및 워커빌리티 예측에 활용하기 위한 기초적인 자료를 구축하는데 그 목적이 있다.

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 물성

본 연구에서 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 실험한 각 재료의 물리적 특성과 기호는 표 1과 같다.

표 1. 사용재료의 물성 및 기호

사용재료	물성	기호
보통포틀랜드 시멘트 [S사]	비중: 3.15 비표면적(blaine): 3,200(cm ² /g)	C
고로슬래그 미분말 [전남 광양산]	비중: 2.89 비표면적(blaine): 4,380(cm ² /g)	BS
플라이애쉬 [경남삼천포산]	비중: 2.32 비표면적(blaine): 3,873(cm ² /g)	FA
고성능감수제	멜라민계 비중: 1.128 pH: 9.972	M

* 정회원, 동의대학교 건축공학과 대학원, 석사과정

** 정회원, 동의대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

*** 정회원, 동의대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2.2 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 2와 같다.

표 2. 실험인자 및 수준

인자		수준	수준수
W/B (%)		30, 40	2
혼화제 (C×%)	고로슬래그	20	2
	플라이애쉬		
고성능 감수제 첨가율 (B×%)	M	W/B=30% •BS: 4단계 •FA: 4단계	18
		W/B=40% •BS: 5단계 •FA: 5단계	
경과시간 (min)		0, 30, 60, 90, 120	5
목표플로우 (cm)		35±1	1

2.3 배합

본 실험에 있어서 멜라민계 고성능감수제의 치환율에 따른 고유동콘크리트의 제조를 위한 페이스트의 배합표로, 플로우 시험과 레올로지 시험을 위한 페이스트의 배합은 표 3과 같고 각 배합별 기호는 그림 1에서 나타내는 예와 같다. W/B가 30%, 40%의 경우 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 각각 20%씩 치환하였다. 또한 고성능감수제는 모르타르 플로우시험에서 목표플로우치를 만족시키는데 필요한 양과 재료분리가 일어나지 않는 범위 내에서 필요한 양을 시멘트페이스트에 첨가하였다.

표 3. 페이스트의 배합

Symbol	W/B (%)	W (g)	Unit Weight (g/l)			M (B×%)	
			C	BS	FA		
30BS20-M29	30	485.9	1295.6	323.9	-	2.9	
30BS20-M32						3.2	
30BS20-M38						3.8	
30BS20-M39						3.9	
30FA20-M32						323.9	3.2
30FA20-M35							3.5
30FA20-M37							3.7
30FA20-M38						3.8	
40BS20-M22	40	557.5	1115.0	278.8	-	2.2	
40BS20-M23						2.3	
40BS20-M245						2.45	
40BS20-M248						2.48	
40BS20-M25						2.5	
40FA20-M24						278.8	2.4
40FA20-M26							2.6
40FA20-M30							3.0
40FA20-M34							3.4
40FA20-M38							3.8

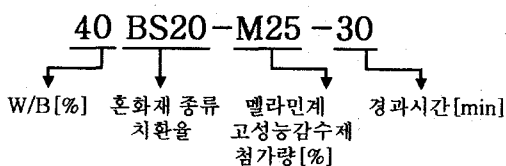


그림 1. 기호설명

2.4 실험 방법

본 연구에 있어 실험 방법은 그림 2와 같다. 시멘트 페이스트를 만들기 위해 앞서 먼저 일반적인 강도를 고려하여 물분체비를 결정하고, 혼화제를 20%씩 치환하기로 하였다. 그리고 혼화제는 멜라민계 고성능감수제를 사용하였고, 목표 플로우치가 얻어지도록 첨가량을 조절하였다.

측정 항목은 시멘트 페이스트의 플로우 시험 및 내원통형 회전점도계를 이용한 페이스트의 레올로지 시험이며 그 측정 방법은 아래와 같다.

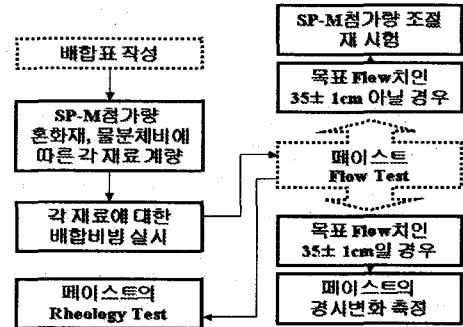


그림 2. 시멘트 페이스트의 제조 및 실험 플로우

1) 페이스트의 비빔방법

페이스트의 비빔은 22°C, 상대습도 60%의 항온항습실에서 표 3의 배합표에 따라 각 재료를 계량한 후, 계량된 시멘트와 혼화제 분체를 균질하게 혼합하였다. 혼합된 분체와 물을 모르타르 믹서(0.5 l)에 차례대로 투입하여 저속에서 100초, 고속에서 100초간 비빔작업을 실시하였으며, 목표 플로우치를 만족할 경우에는 용량을 1.0 l로 하여 상위와 동일한 방법으로 실험하였다.

2) 플로우 시험

페이스트의 플로우 시험은 KS L 5111에 규정되어 있는 플로우콘을 사용하여 페이스트를 채워 놓은 후 진동을 부여하지 않은 상태에서 플로우 콘을 수직으로 들어올려 흐름이 정지된 페이스트의 직경(플로우치)과 플로우가 25cm에 도달하는 시간(플로우 시간)을 측정하였다. 플로우 시험을 통해 얻어진 페이스트의 직경(플로우치)이 목표 플로우치인 35±1cm를 만족하는 경우에는 시멘트 페이스트를 비빔 시간을 기점으로 하여 30분 간격으로 경시변화를 측정하였고, 각 시간마다 고속 90초로 비빔을 한 뒤에 플로우 시험을 실시하였다.

3) 레올로지 시험

본 연구에서는 페이스트의 플로우 시험과 동시에 레올로지(Rheology) 시험을 행하여, 페이스트의 점도(粘度)와 항복치(降伏值)를 구하였다. 레올로지 시험은 내원통 회전점도계를 이용하여 회전 속도(Speed)를 10, 15, 20, 25 rpm 순으로 변화시켜 나가면서, 각각의 속도에서 30초간 토오크(Torque)를 측정하였다. 또 측정된 토오크와 회전속도로부터 산출된 전단변형속도(Shear Rate)와 전단응력(Shear Stress)은 시멘트 페이스트를 빙함유체(Bingham Plastic Fluid)로 가정하여 직선회귀함으로써, 레올로지 정수인 소성점도(Plastic Viscosity)와 항복치(Yield Value)를 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼화제 첨가량에 따른 페이스트의 물성변화

물분체비에 따라 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말의 치환율을 각각 20%로 일정하게 했을 경우 멜라민계 고성능감수제 첨가량에 따른 페이스트의 플로우 변화는 그림 3과 같다. 각 측정값들을 직선회귀하여 높은 신뢰도를 얻었으며, 혼화제의 첨가량이 증가될수록 플로우치가 점차 상승하였다. 물분체비 40%일 때가 30%일 때 보다 대체로 높은 플로우치가 나왔으며, 동일한 물분체비에 대해서도 플라이애쉬를 혼입한 페이스트보다 고로슬래그 미분말을 혼입한 것이 더 높은 플로우치를 나타냈다. 각각의 물분체비에 있어서 멜라민계 고성능감수제의 첨가량에 대한 플로우치의 증가율을 최소자승법에 의한 직선회귀 분석을 통하여 실험식 (1)~(4)를 얻을 수 있었다. 아래 식에 의하여 멜라민계 고성능감수제의 첨가량에 따른 플로우치 변화를 정량적으로 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

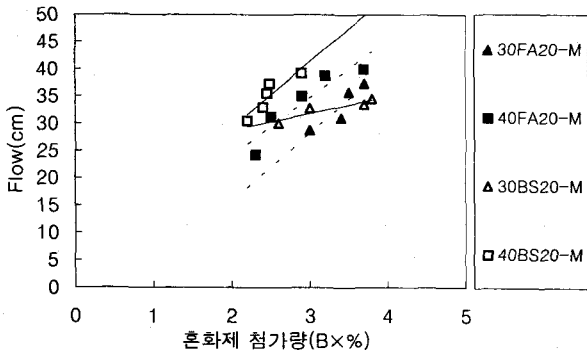


그림 3. 혼화제 첨가량에 따른 Flow치의 변화

$$30FA20-M : P_f = 2.2M + 5.8 \dots\dots\dots(1)$$

$$(R^2 = 0.92)$$

$$40FA20-M : P_f = 1.5M + 20.6 \dots\dots\dots(2)$$

$$(R^2 = 0.96)$$

$$30BS20-M : P_f = 0.5M + 26.3 \dots\dots\dots(3)$$

$$(R^2 = 0.86)$$

$$40BS20-M : P_f = 1.6M + 26.4 \dots\dots\dots(4)$$

$$(R^2 = 0.91)$$

여기서, P_f : 시멘트 페이스트의 플로우치(cm)

M : 멜라민계 고성능감수제 첨가량(Bx%)

그림 4와 그림 5는 페이스트의 소성점도(Plastic Viscosity) 및 항복치(Yield Value)를 멜라민계 고성능감수제의 치환율에 따라 나타낸 것이다. 페이스트의 소성점도 및 항복치는 멜라민계 고성능감수제 첨가량의 증가에 따라 대체적으로 급격하게 감소하는 반비례 관계를 보이고 있으며, 물분체비 40%일 때보다 30%일 때가 멜라민계 고성능감수제 첨가량이 증가할수록 소성점도와 항복치에 대한 기울기가 커졌다. 측정값에 대해 직선회귀를 한 결과 신뢰도가 대체로 낮게 나와 임의의 멜라민계

고성능감수제의 첨가량에 따른 소오의 소성점도 및 항복치를 추정하는데 쓰이는 기초적인 데이터로 사용하기에는 어려울 것으로 사료된다.

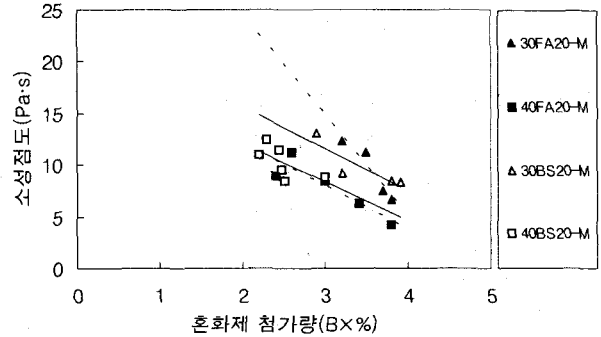


그림 4. 혼화제 첨가량에 따른 소성점도의 변화

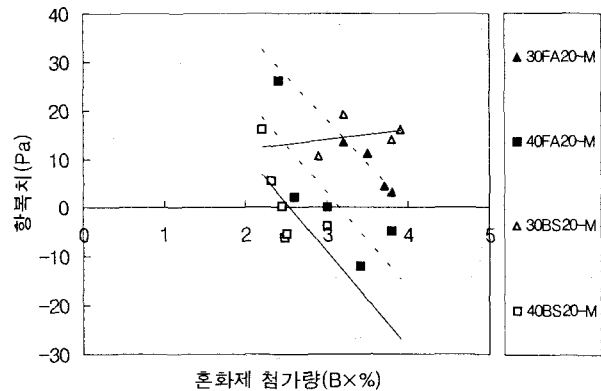


그림 5. 혼화제 첨가량에 따른 항복치의 변화

3.2 굳지 않은 페이스트의 레올로지 특성 분석

물분체비 30, 40%에서 목표 플로우치 35±1cm에 도달한 멜라민계 고성능 감수제를 치환한 페이스트에 대한 레올로지 곡선은 그림 6과 같다.

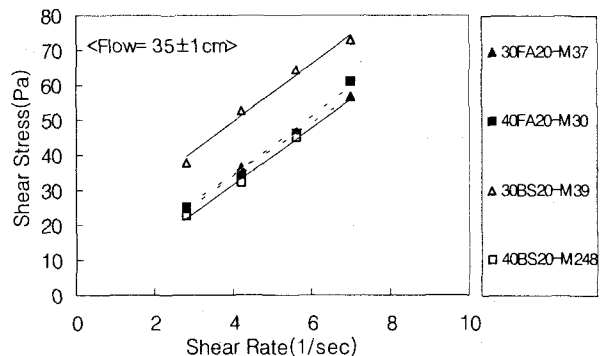


그림 6. 시멘트 페이스트의 유동곡선

이는 회전속도(Speed)와 토오크치(Torque)에 의해 얻어진 값으로 속도가 빠르고, 경과시간이 많을수록 전단응력이 더 많이 걸림을 알 수 있다. 시멘트 페이스트의 레올로지 곡선은 굳지 않은 상태의 페이스트를 빙함유체로 가정하는데 큰 무리가 없는 것으로 보이므로 시멘트 페이스트는 레올로지를 이용하

여 소성점도와 항복치를 이용해 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 레올로지 정수는 그림에서와 같이 고로슬래그 미분말을 치환한 30BS20-M39가 가장 점성이 높은 것으로 평가되며 나머지 3가지의 배합은 전단변형속도에 따른 전단응력의 변화가 비슷하게 나타났다.

3.3 목표 플로우 만족시 경시변화에 따른 유동특성

그림 7은 멜라민계 고성능감수제의 첨가량을 조절하여 목표 플로우치 35±1cm를 찾은 각 페이스트를 30분 간격으로 경과 시간에 따른 플로우치와의 변화를 나타낸 것이다. 시간이 경과될수록 점차 플로우치가 낮아졌으며, 30분 경과시 가장 큰 차이로 그 값이 저하되었다.

30FA20-M37과 30BS20-M39 같은 경우는 30분 경과 후부터 점성이 커져 플로우치가 현저하게 낮게 나타났으며, W/B=30%인 경우가 물분체비가 40%인 것보다 플로우치가 낮게 나타났다. 특히 물분체비가 30%일 때에는 비빔 30분 경과 후부터 플로우가 거의 일어나지 않았으며 따라서 유동성 유지가 요구되어지는 고유동콘크리트에서는 사용이 불가능할 것으로 판단된다.

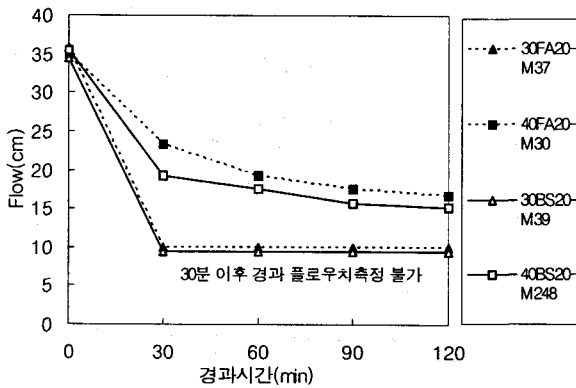


그림 7. 목표플로우 만족시 경시변화에 따른 Flow치 변화

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 페이스트의 레올로지 특성에 미치는 분체 및 멜라민계 혼화제의 영향에 관한 실험적 연구 결과, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 혼화제의 첨가량에 따른 페이스트의 물성에 있어 그 첨가량과 플로우치는 비례하여 높은 상관성을 가졌으며, 물분체비가 높을수록 더 높은 플로우치를 얻을 수 있었다. 한편, 혼화제 첨가량에 따른 플로우치와의 관계를 통해 다음과 같은 4가지의 직선회귀식을 얻을 수 있었다. 이 식에 의해 혼화제 첨가량에 따른 플로우치의 변화를 정량적으로 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

$$30FA20-M : P_f = 2.2M + 5.8 \quad (R^2 = 0.92)$$

$$40FA20-M : P_f = 1.5M + 20.6 \quad (R^2 = 0.96)$$

$$30BS20-M : P_f = 0.5M + 26.3 \quad (R^2 = 0.86)$$

$$40BS20-M : P_f = 1.6M + 26.4 \quad (R^2 = 0.91)$$

여기서, P_f : 시멘트 페이스트의 플로우치(cm)

M : 멜라민계 고성능감수제 첨가량(B×%)

- 2) 페이스트의 레올로지 시험에서 회전속도(Speed)가 빨라질수록 토오크치(Torque)와 전단응력(Shear Stress)이 비례적으로 상승하였다. 이는 속도가 빨라지면서 그 회전력에 의한 페이스트의 저항력이 커지기 때문으로 생각된다. 또한 목표 플로우치를 만족하는 각 배합의 소성점도와 항복치를 이용해 그 구간내의 소요의 소성점도와 항복치를 정량적으로 해석할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 경과시간에 따른 플로우치의 변화에서 초기에 플로우치 저하가 급격히 나타났다. 그 결과, 본 연구의 범위 내인 페이스트의 단계에서는 멜라민계 고성능감수제를 첨가한 페이스트의 초기 응결시간이 매우 빠르기 때문에, 멜라민계 고성능감수제를 치환한 페이스트는 고유동콘크리트에 요구되는 응결성상과 작업성에 대한 기대를 크게 만족시키지 못하는 것으로 보인다.

이상의 실험결과를 통하여 멜라민계 고성능감수제를 이용한 고유동 콘크리트를 만들기 위한 기초적 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 이를 콘크리트의 단계에서 적용하여 물분체비의 다양화, 결합재의 종류, 고성능감수제의 첨가율 등 여러 가지 조건들을 다양하게 변화시켜 보다 나은 고유동콘크리트를 만들기 위한 연구를 할 필요성이 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 김세훈 외 3명, 재생시멘트를 이용한 고유동 모르타의 물리적 특성에 관한 연구, 학술발표대회 논문집, 2004. 11.
2. 김우영 외 2명, 레올로지와 잉여페이스트 이론에 의한 高流動콘크리트의 流動性 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 6호, 1998. 6.
3. 김정길 외 1명, 高流動콘크리트용 페이스트의 레올로지, 대한건축학회 논문집 구조계, 16권 6호, 2000. 6.
4. 문한영 외 3명, 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회
5. 오상균 외 2명, 圓柱 로터형 레올미터에 의한 高流動콘크리트의 流動性 評價方法, 대한건축학회 논문집, 14권 6호, 1998. 6.
6. 정재동, 콘크리트재료공학, 보성각, 2003. 4.
7. 최영준 외 3명, 플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 시멘트페이스트의 레올로지 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 6호, 1998. 6.
8. 최일호, 고유동 콘크리트의 기술, 대림산업기술연구소, 2002.9. pp.48-59.
9. 콘크리트의 성능 향상 및 실용화 연구, 포스코개발 주식회사 기술연구소, 1996. 6.