

시멘트 페이스트에서 유동성과 입도분포와의 관계

The Relationship between Rheology Properties and Particle size distribution in Cement paste

황해정* 이승헌** 이원준*** 김원기****
Hwang, Hae Jeong Lee, Seung Heun Lee, Won Jun Kim, Won Ki

ABSTRACT

In this study, particle size distribution of cement powder system were adjusted using the blast furnace slag powder, Blaine 2250cm²/g, and 8300cm²/g, which easy to adjust particle size distribution to examine how particle size distribution of the binder has an effect on rheological properties of the cement paste. In addition, the relationship between n-value of Rosin-Rammler function and plastic viscosity were discussed. All measured flow curves represented thixotropy behavior and the hysteresis area was smaller for the more added coarse particle. When the combination was based on a ratio of 20~25 vol% fine particles, 30~40 vol% OPC and 40~45 vol% coarse particles of the total volume, a high fluidity and low yield strength was achieved.

1. 서론

건축 산업은 대형화, 고층화 및 특수한 목적의 건축물 등 여러 분야에서 고성능 콘크리트의 수요가 증가되고 있는 실정이다. 시멘트의 유동성은 콘크리트의 성능 향상과 깊은 관련이 있고, 유동성은 고성능 콘크리트의 가장 중요한 변수 중 하나라고 생각된다. 최근에는 시멘트 페이스트의 항복값과 콘크리트의 슬럼프와 같은 경향을 보이며, 소성점도는 콘크리트의 안정성, 유동성, 재료분리 등과 밀접한 연관이 있다고 보고되었다.

따라서, 본 실험에서는 입도분포의 조정이 용이한 고로 수쇄 슬래그를 이용하여 유동성확보를 위한 최적의 입도분포를 얻기 위하여 배합 설계된 총 45개의 시료를 레이저 회절 확보를 위한 최적의 입도분포를 얻기 위하여 배합 설계된 총 45개의 시료를 레이저 회절 입도분석기를 사용하여 입도분포 형태를 측정하여, 4가지로 분류하고 대표적인 시료를 선택하여 입도분포의 형태에 따른 유동특성을 고찰하였다.

2. 실험

- * 정회원, 군산대학교 대학원
- ** 정회원, 군산대학교 신소재공학과 교수
- *** 정회원, 기초소재(주) 기술연구소
- **** 정회원, 기초소재(주) 기술연구소 연구소장

2.1. 원료

실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼합재로는 광양제철에서 제강과정에 산업부산물로 발생하는 고로 수쇄 슬래그를 불밀을 이용하여 Blaine 2250cm²/g, 8300cm²/g 으로 분쇄하여 분쇄된 고로 수쇄 슬래그를 혼합재로 사용하였으며, 각 원료의 밀도가 서로 다르기 때문에 부피비(vol%)로 배합하였으며, 보통 포틀랜드시멘트의 변화량을 30~70 vol%로 고정하고, 분말도 2250cm²/g, 8300cm²/g의 고로 수쇄 슬래그를 각각 5~65 vol% 치환 첨가하여 실험시료로 사용하였다. 시료에 함유되어 있는 수분을 제거하기 위하여 80℃의 drying oven에서 24시간 건조하였다. 보통 포틀랜드시멘트와 고로수쇄슬래그의 화학조성과 물리적 특성을 표 1, 2에 각각 나타내었다.

표 1 실험 원료의 화학분석 결과 (wt%)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig. loss
보통 포틀랜드시멘트	62.51	21.10	5.13	3.30	2.72	2.73	1.39
고로수쇄슬래그	44.3	33.3	13.3	0.3	5.8	0.2	0.6

표 2 실험 원료의 물리적 특성

	비중(g/cm ³)	분말도(cm ² /g)	평균 입자크기(μm)
보통 포틀랜드시멘트	3.15	3450	12.2
고로수쇄슬래그 (미분)	2.90	8300	26.0
고로수쇄슬래그 (조분)	2.89	2250	5.1

2.2. 유동성 측정

보통 포틀랜드시멘트와 분말도 2250cm²/g, 8300cm²/g인 고로 수쇄 슬래그를 배합비에 맞게 계량하여 혼합용기에 담고, 균일한 혼합을 위해 5분간 상온에서 혼합한다. 물/결합재의비를 1.4 vol%로 고정하고 5분간 교반한 후, 측정용기에 담는다. Concentric cylinder rheometer를 이용하여 CR(controlled rate)모드에서 각 샘플은 총 2단계로 shear rate를 적용하였으며, 시료의 안정화에 대한 영향에 대해 고찰하기 위하여 교반 후 0~10분간 안정화를 실시하고 측정하였다. 측정하는 동안 시료의 온도는 23℃로 자동 온도조절기에 의해 유지 하였다. 측정 제 1단계는 Shear rate를 0(1/s)에서 200(1/s)까지 150초 동안 일정한 속도로 올리면서 shear stress의 변화를 측정했으며, 제 2단계에서는 shear rate를 200(1/s)에서 0(1/s)으로 일정한 속도로 내리면서 shear stress의 변화를 150초 동안 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. 사용 시료

설계된 배합비에 의해 제작된 45개의 레이저 회절 입도분석기를 사용하여 입도 분포를 측정하여 4가지의 입도분포 형태로 분류하고 각 입도분포 형태를 갖는 시료 중 1개씩을 채택하여 본 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 시료의 배합비를 표 3에 나타내었다.

3.2. Thixotropy 거동

페이스트에 shear rate를 지속적으로 작용 시킬 경우 시간이 경과함에 따라 소성점도가 감소하게 되며, 반대로 shear rate를 제거할 경우 원래의 소성점도로 회복되지 못하여 hysteresis loop를 형성한다. 이러한 거동을 thixotropy라하며 hysteresis loop의 면적으로 페이스트의 분쇄된 구조의 양을 알 수 있

	보통 포틀랜드시멘트	고로 수쇄 슬래그(미분)	고로 수쇄 슬래그(조분)	입도분포 Type
OPC	100	-	-	Type 1
OBB-1	70	25	5	Type 2
OBB-2	40	20	40	Type 3
OBB-3	40	45	15	Type 4
OBB-4	30	25	45	Type 5

표 3 사용 시료의 배합비 (vol%)

다. 실험에 사용된 모든 시료들은 Thixotropy 거동을 나타내었다. 미분의 양이 20~25vol%이며, 조분의 양이 40~45vol%인 경우 hysteresis loop의 면적이 적었다. 즉, 페이스트 내에서 구조의 파괴가 적게 발생하였으며, 그 결과를 그림 1에 나타내었다.

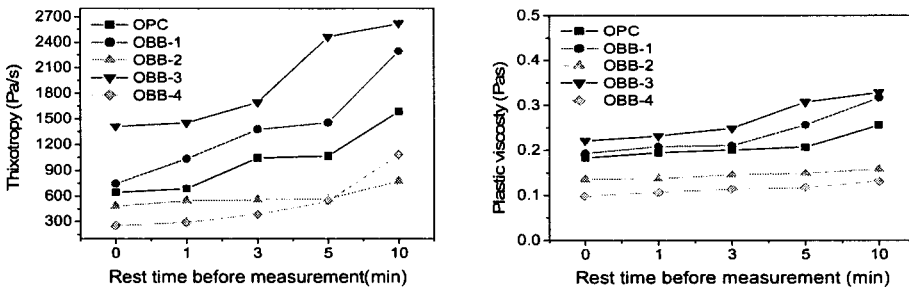


그림 1

입도분포에 따른 hysteresis loop 면적

그림 2 소성점도 측정결과

3.3. 소성점도와 항복강도

보통 포틀랜드시멘트를 포함한 시료의 소성점도와 항복강도를 비교한 결과를 그림 3과 4에 각각 나타내었다. 측정 초기의 안정화 시간이 증가함에 따라 소성점도와 항복강도 모두 증가하며, OBB-4의 경우 소성점도와 항복강도가 가장 낮게 측정되었고, 미분의 양이 증가함에 따라 항복강도와 소성점도 모두 증가하게 된다.

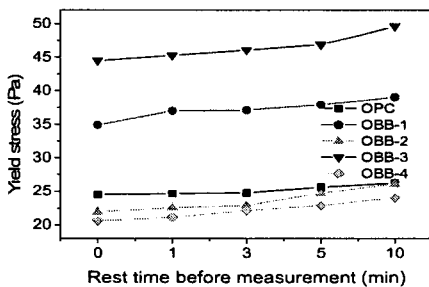


그림 3 항복강도 측정결과

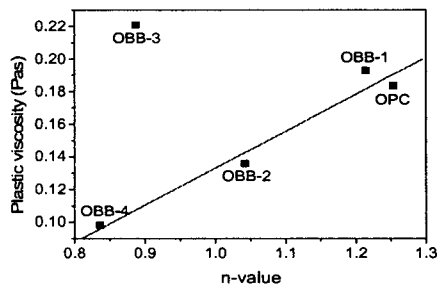


그림 4 입도분포와 유동성의 비교결과

3.4. 입도분포와 유동성과의 관계

Rosin-Rammler 분포함수의 입경지수 n 값과 유동성의 관계를 그림 6에 나타내었다. 입경지수 n 값이 감소함에 따라 소성점도 또한 감소되는 직선적인 연관성을 보인다. 그러나 미분의 양이 30 vol%를 초과할 시에는 입경지수 n 값이 감소됨에 따라 소성점도가 증가하는 결과를 보이며 직선적인 연관성에서 벗어나게 된다.

4. 결론

본 연구에서 분말도 $2250\text{cm}^2/\text{g}$, $8300\text{cm}^2/\text{g}$ 인 고로 수쇄 슬래그와 보통 포틀랜드시멘트의 혼합한 슬래그시멘트 페이스트에서 입도분포와 유동성과의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있었다.

- 시험에 사용된 모든 시료는 Thixotropy 거동을 보인다. 미분의 양이 20~25vol%이고 조분의 양이 40~45vol%인 경우 hysteresis loop의 면적이 가장 작았다. 즉, 분쇄된 구조의 양이 가장 적었다.
- 미분의 양이 20~25vol%, 보통 포틀랜드시멘트의 양이 30~40vol%, 조분의 양이 40~45vol%인 경우에 유동성이 가장 좋다.
- Rosin-Rammler 분포함수의 n 값과 소성점도는 직선적인 연관성이 있으나, 미분이 30vol% 이상인 경우에는 상호간에 연관성을 보이지 않는다.

참고문헌

1. V. Morin, F. Cohen Tenoudji, A. Feylessoufi and P. Richard, Superplasticizer effects on setting and structuration mechanisms of ultra high-performance concrete, *Cement and Concrete Research* 31(1), pp. 63~71, 2001
2. Adriano Papo and Luciano piani, "Effect of various superplasticizers on the rheological properties of portland cement pastes, *Cement and Concrete Research* 34(11), pp. 2097~2101, 2004
3. C.F. Ferraris, K.H. Obla, R. Hill, "The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete", *Cement and Concrete Research* 31(2), pp. 245~255, 2001