J Rec Const Resources 6(2)123-129(2018)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.2.123

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

시멘트 계열 재료의 점도 저하용 혼화재료로서 폐석회석 미분말의 사용 가능성 분석

Feasibility Analysis of Wasted Limestone Powder as a Viscosity Reducing Material for Cement Based Materials

이향선[1] · 전종운[1] · 손배근[1] · 한동엽[1*]
Hyang-Seon Lee[1] · Jong-Un Jeon[1] · Bae-Geun Son[1] · Dongyeop Han[1*]

(Received May 30, 2018 / Revised June 21, 2018 / Accepted June 22, 2018)

The aim of the research is providing a fundamental idea of reducing viscosity of cement based materials by replacing powder based material. With developing concrete technology, high performance concrete with high solid volume fraction has been used widely. Under the conditions of the high solid volume fraction due to the low w/c and replacement of SCMs, decreased fluidity is one of the critical problem, and thus plasticizer has been used to improve fluidity of the mixture. However, in rheological aspect, the fluidity of cement based materials can be defined with yield stress and viscosity, and using plasticizer only decreases yield stress without least controlling on viscosity. Therefore, based on the idea of Krieger-Dougherty model, a feasibility of wasted limestone powder from cement manufacturing process was used to decrease the viscosity of the mixture by replacing cement powder. According to a series of experiment, by replacing wasted limestone powder solely, there was a possibility of reducing viscosity was observed. Thus, in this research scope, it is considered to contribute on providing a fundamental idea of reducing viscosity with powder replacement and it is expected to contribute on further research using various conditions of replacing powders for reducing viscosity of cementitious materials.

키워드 : 소성점도, 산업부산물 분말, 저점도형 고성능 감수제, 고성능 감수제, 고성능 시멘트 페이스트

Keywords : Plastic viscosity, Byproduct powders, Low viscosity type water HRWR, High range water reducer, High performance cement paste

1. 서 론

굳지 않은 상태의 콘크리트는 물–결합재 비, 분체량, 혼화재료 및 비빔시간 등으로 인하여 다양한 유동특성을 가지게 된다(Han et al. 2005). 고성능 콘크리트의 경우 물–결합재 비가 낮고, 분체량이 높은 특징을 가지고 있고, 이러한 특성으로 인하여 유동성 저하는 피할 수 없다(Sidney et al. 2008a). 이러한 유동성 저하를 레올로지적으로 해석해 보았을 때, 높은 항복치 및 점성이 관찰된다. 이러한 유동성 저하를 보완하기 위한 방법으로 고성능 감수제가 활용되는데, 이는 Wallevik et al.(2011) 등의 보고에서 보는 바와 같이 항복응력의 저하에 효과가 있는 반면, 점성의 저감에는 효과를 보이지 못하는 것으로 알려져 있다. 즉, 높은 분체량을 갖는 재료의 경우 유체가 흐를 수 있는 공간을 입자들이 채움에 따라 점성이 증가하는데, 고성능 감수제의 분산작용은 입자 간 응집을 저해하기는 하지만 입자의 개수 자체를 줄이지는 못하기 때문이다. 결국, 분체량이 높은 고성능 시멘트 계열 재료에 대한 유동성 증진대책으로서의 고성능 감수제의 사용은 항복치 저감으로 인해 유동을 시작하기 위한 외력을 저감하여 잘 흐르게는 만들지만, 소성점도 저감효과가 적어 재료의 유동속도가 느려져 타설이나 펌핑에 있어서 문제의 우려가 있다. 이에 본 연구에서는 분체량이 높은 고성능 시멘트 계열 재료를 대상으로 시멘트 제조과정 중에 석회석 분쇄과정 이후 $CaCO_3$ 성분이 부족하여 발생하는 폐석회석을 치환하여 점도를 저감할 수 있는지에 대한 가능성을 확인하기 위한 연구를 수행하였다. 즉, 폐석회석의 치환 여부에 대하여 고성능

* Corresponding author E-mail: donald.dyhan@gnu.ac.kr

[1]경상대학교 건축도시토목공학부, 공학연구원 (Department of Architectural Engineering, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea)

Copyright ⓒ 2018 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

시멘트 계열 재료의 점도 저하 정도 및 유동성 증진 여부에 대하여 평가하여 폐석회석의 점도 저하용 치환재료로서의 가능성을 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 폐석회석 미분말을 치환에 따른 시멘트 페이스트의 점도 저하 가능성을 분석하기 위한 실험으로서 다음의 Table 1과 같은 실험계획을 준비하였다. 먼저, 시멘트 페이스트의 물-결합재 비는 일반강도 영역과 고강도 영역을 모두 확인하기 위하여 0.45, 0.4, 0.35 그리고 0.3 총 네 가지 물-결합재 비를 준비하였다. 시멘트 계열재료의 점성은 주로 물-결합재 비가 낮은 고성능 영역에서 높기 때문에 점도 저하는 고성능 영역에서 유효하지만, 본 연구에서는 폐석회석 미분말의 활용 가능성에 주안을 두고 다소 높은 수준의 물-결합재 비도 준비하였다. 시멘트 페이스트의 점도 저하를 위한 방안으로는 두 가지 실험을 준비하였는데, 첫 번째 실험은 고성능 감수제를 사용하지 않은 조건에서 폐석회석 미분말을 단독으로 사용하였을 경우의 점도 변화를 측정하는 것이고, 두 번째는 감수제와 동시에 사용한 경우의 점도 변화를 측정하고자 하였다. 이때 사용된 고성능 감수제는 시멘트 질량에 대해 1%를 고정으로 혼입하였다.

폐석회석 미분말 치환에 따른 시멘트 페이스트의 점도 저하와 동시에 유동성 변화양상을 파악하기 위해 미니슬럼프 플로우를 측정하였으며 레오미터를 활용하여 플로우 커브를 산출하고 이를 통해 항복응력과 소성점도를 계산하였다. 또한, 폐석회석 미분말 치환량에 따른 압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 선별된 배합에 한하여 압축강도를 3, 7, 28일에 측정하였다.

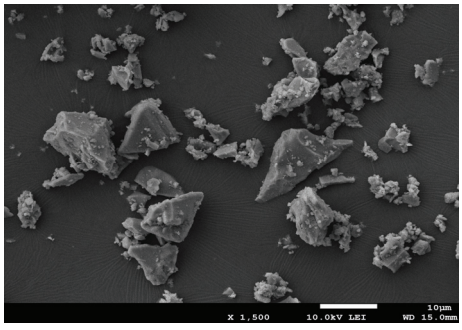
Table 1. Experimental plan

Mixture conditions			Test
W/B	0.3, 0.35, 0.4, 0.45,		• Modified-mini slump flow • Flow curve(yield stress, viscosity) • Compressive strength
Powder replacement	Type	Waste limestone	
	Content(%)	0.5, 1, 2, 5, 10	
Admixture addition	Type	Polycarboxylate-based SP	
	Dosage(%)	0, 1	

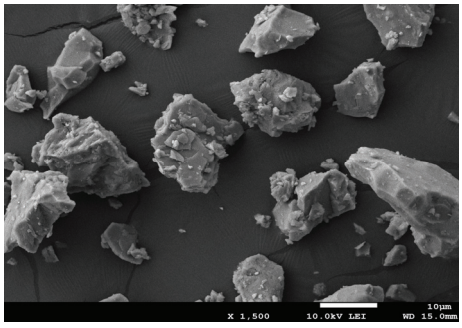
2.2 사용재료 및 시험 방법

본 연구에서는 시멘트 페이스트 상태에서 실험을 실시하였다. 시멘트는 일반적으로 사용되고 있는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 성질은 비중 3.15, 분말도 3,390cm^2/g이었다. 배합수는 수돗물을 사용하였다. 점도 저하를 위해 치환된 폐석회석은 시멘트공장에서 시멘트 제작과정에 발생하는 사용할 수 없는 폐석회석을 사용하였다. 그러므로 폐석회석 미분말의 입도는 Fig. 1과 같이 시멘트의 입형과 유사하며 입도 또한 Fig. 2와 같이 시멘트와 유사하다. 시멘트와 폐석회석 미분말의 분말특성을 Table 2에 나타내었다. 화학혼화제로 사용한 고성능 감수제는 폴리칼복실계이며 이는 흔히 사용되는 제품을 구매하여 사용하였다. 폴리칼복실계 고성능 감수제의 일반적인 성질을 Table 3에 나타내었다. 시험에 사용된 시멘트 페이스트는 실험계획에 제시된 물-결합재 비를 바탕으로 배합하였으며 배합방법은 5리터 믹서를 이용하여 KS L 5109의 조건에 맞춰 배합하였다. 모든 실험은 시멘트 페이스트 배합 직후에 진행하였으며 실험실 온도 및 습도는 20±2℃, 60±10%의 실내조건이었다.

시멘트 페이스트의 유동성 측정을 위해 미니 슬럼프 플로우 시험을 실시하였다. 본 연구에서 실시된 미니 슬럼프 플로우 시험은 KS L 5109의 테이블 플로우 시험에 사용되는 미니 슬럼프 콘을

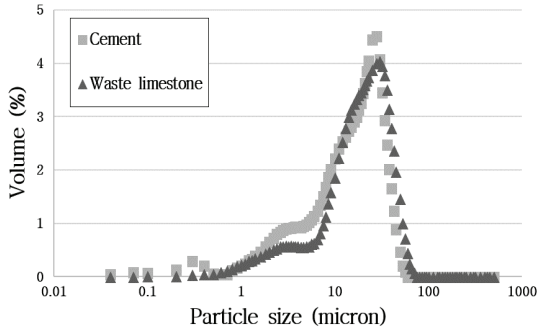


(a) Cement shape

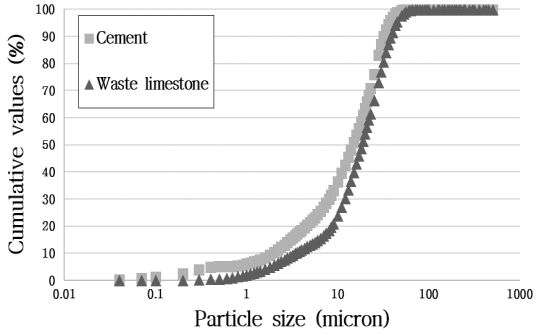


(b) Waste limestone shape

Fig. 1. Comparison of the grain shape of cement and waste limestone



(a) Particle size distributions



(b) Cumulative particle size

Fig. 2. Comparative showing of the particle conditions of both cement and wasted limestone powder

사용하여 드롭테이블을 사용하지 않고 단순히 슬럼프 콘을 들어 올린 후의 시멘트 페이스트가 퍼진 길이를 측정하였다. 시멘트페이스트의 항복응력 및 점도 저하 측정을 위해 레오미터를 사용하여 유동곡선(flow curve)을 도출하였으며 이를 통해 식 (1)의 빙험 모델에 기초하여 항복응력과 소성점도를 측정하였다. 유동곡선은 전단변형률(shear rate)을 $5s^{-1}$에서 $25s^{-1}$까지 계단형식으로 하였고 각 단계에서 15초 동안 유지하였으며 이러한 전단변형률 프로토콜을 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구는 시멘트 페이스트의 유동성

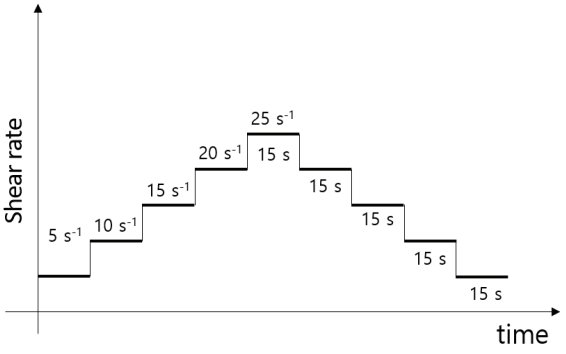


Fig 3. Protocol for shear strain and time settings

Table 2. Physical properties of byproducts to be replaced

Powder	Cement(reference)	Waste limestone
Packing density(%)	0.967	0.963
Particle mean size(mm)	0.001	0.001
Specific surface area(mm^2/kg)	0.0014	0.00567

Table 3. Physical properties of HRWR

Phase	Color	Main component	Specific gravity	Solid content(%)	pH
liquid	Brown	Polycarboxylate	1.048	20	5.4

과 관련하여 분석한 연구이므로 굳지 않은 상태에서 연구가 진행되었으나 폐석회석 미분말의 치환 수준에 따라 시멘트 계열 재료의 성능에 미치는 영향을 판단하기 위해 물-결합재 비 0.35, 0.45에 대해 압축강도를 측정하였다. 압축강도는 시멘트 페이스트에 대하여 KS L 5105에 의거하여 재령 3, 7, 28일에 측정하였다.

$$\tau = \tau_y + \eta\dot{\gamma} \quad (1)$$

여기서, τ는 전단응력, τ_y는 항복치, η는 소성점도, 그리고 $\dot{\gamma}$는 전단변형률을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미니 슬럼프 플로우 및 항복응력

(1) 폐석회석 단독치환

폐석회석을 단독 치환한 시멘트 페이스트의 유동성을 평가하기 위해 미니 슬럼프 플로우 측정한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 먼저, 물-결합재 비가 낮은 고강도 배합의 경우는 플로우의 변화가 폐석회석 미분말 치환율과 상관없이 일정하게 유지되었는데, 이를 통해, 폐석회석 미분말 치환이 10% 정도까지는 이미 분체량이 많은 배합에 영향을 주지 못하는 것으로 판단되었다. 다만, 일반강도 범위의 다소 높은 물-결합재 비 배합의 경우에 약간이지만 폐석회석 미분말의 치환에 의해 플로우가 증진되는 모습을 보였고, 물-결합재 비 0.40배합에 비해 0.45배합이 조금 더 플로우가 증진되는 모습을 보였다. 항복치 측정 결과는 일반적으로 슬럼프 및 슬럼프 플로우 결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 관점에서 폐석회석을 단독 치환한 배합의 항복치를 측정한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 항복치 결과는 플로우에서 보이는 결과에 비교하여 보다 상세한 경향을 보이고 있는데, 먼저, 물-결

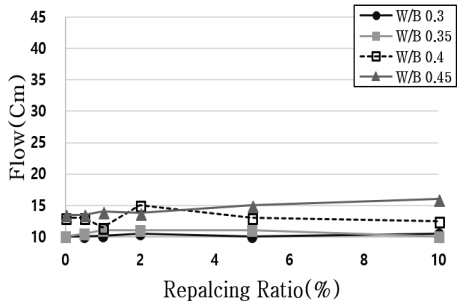


Fig. 4. Influence of replacing ratio on wasted limestone of the flow on cement paste depending on water binder ratio

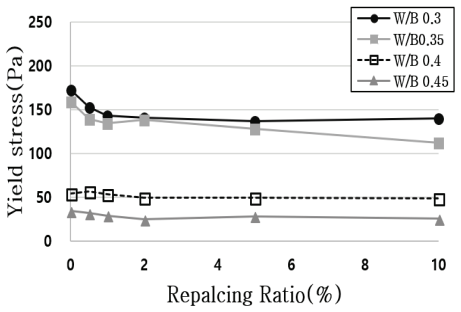


Fig. 5. Influence of replacing ratio on wasted limestone of the yield stress on cement paste depending on water binder ratio

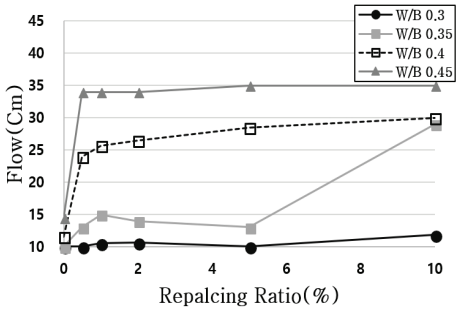


Fig. 6. Influence of replacing ratio on flow of superplasticizer cement paste depending on water binder ratio

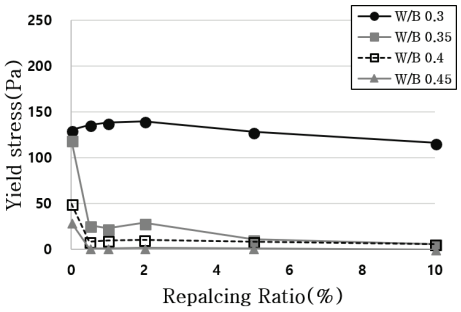


Fig. 7. Influence of replacing ratio on yield stress of superplasticizer cement paste depending on water binder ratio

합재 비 상대적으로 낮은 고성능 배합에서는 여전히 항복치 저감 정도가 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있었다. 특징적인 경향으로는 전반적으로 폐석회석 미분말이 2% 내의 소량 치환된 경우에 항복치 저감에 효과가 크고, 이후로 10%까지 치환되어도 크게 항복치 저감에 영향을 주지 못하는 경향을 나타내었다. 이는 석회석 미분말 치환에 따른 시멘트 페이스트의 항복치 저감효과가 본 연구의 조건하에서는 2%까지 치환하였을 때 영향을 주어 영향 정도가 수렴하는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 항복응력 저감에 대한 영향도는 크지 않은 것으로 판단할 수 있는데, 이는 치환된 폐석회석 미분말의 입형이나 입도가 기존의 시멘트 입자와 유사하여 본 연구의 조건인 10% 치환 조건 내에서는 시멘트 페이스트의 항복응력 변화에 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

(2) 고성능 감수제와 폐석회석 치환

위의 시험 결과에서 폐석회석 치환에 따른 플로우 및 항복응력 변화는 크게 변화하지 않았지만, 물–결합재 비가 상대적으로 높은 배합에서는 다소 항복응력 저감에 영향을 주었다.

이러한 결과를 바탕으로 고성능 감수제와 동시에 사용한 경우에 폐석회석 미분말의 플로우 및 항복응력에 미치는 영향을 판단하기 위해 시험을 실시하였으며 미니 슬럼프 플로우 결과를 Fig. 6에 항복응력 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

먼저, 플로우 결과는 폐석회석 치환에 따라 큰 폭으로 증가되는 경향을 확인할 수 있었다. 다만, 물–결합재 비가 낮은 0.30배합의 경우는 여전히 플로우 증진이 없었는데, 이는 고성능 감수제 1% 사용이 0.30배합에 충분하지 못한 결과로 판단된다. 물–결합재 비 0.35배합의 경우에는 폐석회석 미분말을 치환함에 따라 플로우가 증진되는 모습을 보이고 있으며 특히 5% 이상 치환할 경우 큰 폭으로 플로우가 증진되는 모습을 보였다. 물–결합재 비 0.40과 0.45배합의 경우는 폐석회석 미분말을 0.5% 치환한 경우에 가장 큰 폭으로 플로우 증진을 관찰할 수 있었는데, 이를 물–결합재 비 0.35배합과 비교하여 보았을 때, 폐석회석 미분말 치환에 따른 플로우 증진 정도가 수렴하였다고 판단된다.

다음으로 항복응력 감소 결과는 플로우 측정 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 즉, 고성능 감수제와 동시에 폐석회석 미분말을 사용한 경우에는 초기 0.5% 치환하였을 때 큰 폭으로 항복응력이 감소하는 경향을 나타내고 있으며 그 이후로 치환율이 증가하는 것과 상관없이 항복응력이 거의 수렴상태로 유지되는 것을 보이고 있다. 다만, 물–결합재 비가 0.30인 배합의 경우는 항복응력의 변화가 거

의 없다고 보이므로 플로우 시험 결과와 동일하게 고성능 감수제의 사용량이 배합의 분산성을 확보하기에 충분치 못하여 폐석회석 미분말을 동시에 사용하는 것이 영향을 주지 못한 것으로 판단된다.

결국, 미니 슬럼프 플로우 결과와 항복응력을 측정한 결과를 바탕으로 폐석회석 미분말의 유동성 증진 가능성에 대해 분석하면, 충분한 분산성이 확보된 상태에서 폐석회석 미분말이 항복응력 저감에 기여하는 것으로 생각된다. 즉, 분체 비율이 높은 고성능 콘크리트 배합에 있어서 폐석회석 미분말을 단독으로 사용하는 것은 항복응력 저감에 큰 영향을 주지 못하지만, 고성능 감수제와 동시에 사용할 경우에는 항복응력을 저감시킬 수 있고, 이러한 효과는 상대적으로 소량으로도 충분한 영향을 주는 것으로 판단되며 고성능 감수제를 다량 사용할 경우의 단점을 보완해 줄 것으로 판단된다.

3.2 소성점도

(1) 폐석회석 단독 치환

폐석회석 미분말의 시멘트 치환은 Krieger–Dougherty model에서 보이는 바와 같이 분체의 입도분포를 변형시킴으로써 혼탁액의 점성을 감소시키고자 하는 시도이다. 이에 시멘트 페이스트에 폐석회석을 치환하여 소성점도를 측정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 소성점도의 경우는 플로우나 항복응력과 다르게 폐석회석 미분말만을 사용한 경우에도 소성점도가 저감하는 결과를 보였다. 물–결합재 비가 상대적으로 낮은 배합에서 큰 폭으로 소성점도가 저감하였으며 물–결합재 비가 상대적으로 높은 배합도 소성점도의 저감은 관찰되었다. 모든 경우에서 폐석회석 미분말이 소량 치환되었을 때 큰 폭으로 소성점도 저감이 관찰되었고, 치환량 증가에 따라 소성점도가 다소 저감되는 경향이 있으나 대체적으로 수렴하는 양상을 보였다. 이러한 경향은 폐석회석 미분말 치환이 소성점도를 저감시키는 효과가 항복응력을 저감시키는 영향보다 크게 작용한다고 볼 수 있다.

(2) 고성능 감수제 및 폐석회석 미분말 치환

고성능 감수제와 폐석회석 미분말을 동시에 치환한 경우에 소성점도 저감 정도를 Fig. 9에 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 고성능 감수제와 동시에 사용된 폐석회석 미분말은 단독으로 사용된 경우와 마찬가지로 시멘트 페이스트의 소성점도를 저감시키는 데에 기여한 것으로 나타났다. 그러나, 소성점도 저감효과가 물–결합재 비 0.30배합에 대해서는 폐석회석을 단독으로 사용한 경우와 비교하여 크게 나은 수준의 점도 저감효과를 보이지는 않았다. 또한, 물–결합재 비 0.35배합에 대해서는 단독 사용보다 약간 소성점도 저감효과가 있는 것으로 보였지만, 그보다 큰 물–결합재 비의 배합들에서는 여전히 폐석회석 미분말을 단독으로 치환한 경우와 비교하여 크게 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과를 토대로 소성점도 저감에 있어서 폐석회석 미분말은 고성능 감수제의 분산효과와 관계없이 소성점도 저감에 기여하는 것으로 생각되었다.

결과적으로 폐석회석 미분말이 항복응력이나 소성점도에 미치는 영향에 대해서는 항복응력과 소성점도 모두를 저감시키는 데에 유효한 수준의 기여를 한다고 볼 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 항복응력 저감에서는 고성능 감수제와 동시에 사용하는 경우에 보다 효과가 양호하고, 소성점도 저감에 있어서는 고성능 감수제의 사용에 상관없이 소성점도 저감효과를 보여주고 있는 것으로 판단된다. 즉, 폐석회석 미분말의 사용은 항복응력의 저감보다는 소성점도 저감에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단되어 이후 연구에서 소성점도를 저하하기 위한 방법으로서 폐석회석의 활용에 대한 가능성을 생각해 볼 수 있다. 또한, 고성능 감수제와 동시에 사용하는 경우에는 항복응력을 낮출 수 있어, 고성능 감수제와 폐석회석 미분말을 동시에 사용하는 경우에는 고성능 감수제의 사용량을 저감함으로써 고성능 감수제 사용량 과다에 의해 발생할 수 있는 응결 지연, 콘크리트 생산비용 증가와 같은 문제에 대한 대안으로서의 가능성을 생각해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

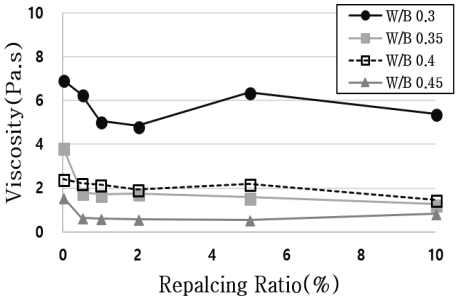


Fig. 8. Influence of replacing ratio on viscosity of superplasticizer cement paste depending on water binder ratio

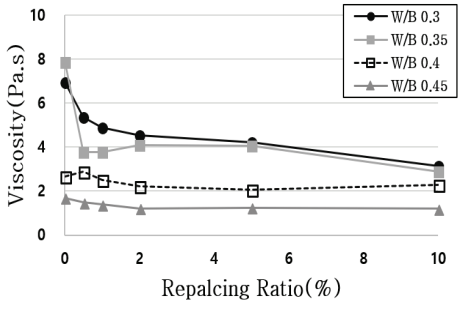


Fig. 9. Influence of replacing ratio on wasted limestone of the viscosity on cement paste depending on water binder ratio

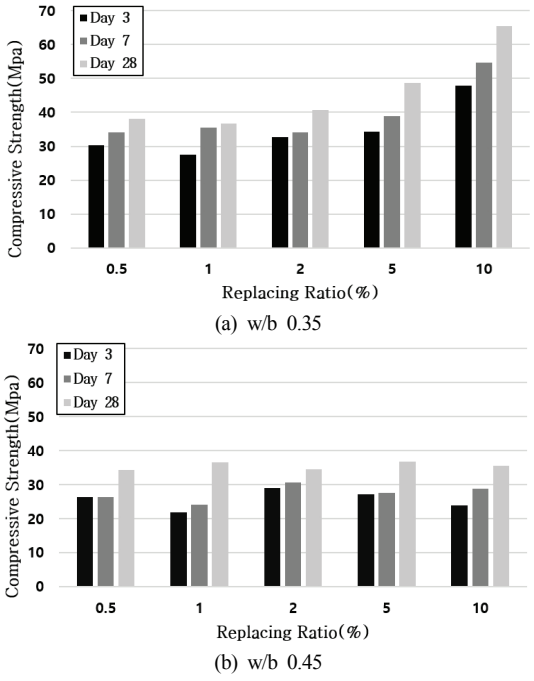


Fig. 10. Influence of replacing ratio on wasted limestone of the compressive strength of cement paste depending on water binder ratio

3.3 압축강도

혼화재료는 개선하고자 하는 성능 이외의 품질에 최대한 영향을 주지 않아야 한다. 폐석회석 미분말 치환에 따른 항복응력 및 소성점도 저감효과에 반해 시멘트에 대한 치환은 콘크리트의 수화 및 강도 발현에 영향을 줄 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 일반강도 영역에서 물-결합재 비 0.45, 고강도 영역에서 물-결합재 비 0.35배합에 대하여 폐석회석 미분말 치환율에 따른 압축강도를 측정하였다. 압축강도 측정 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 시험 결과에서 나타난 바와 같이 고강도 배합이나 일반강도 배합 모두 폐석회석 미분말이 10%까지 치환되는 조건에서는 특별히 강도가 저하하거나 강도 발현에 영향을 주는 요소는 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 분체량이 많은 고성능 콘크리트 배합의 높은 소성점도를 낮추기 위한 방안으로서 시멘트 제조과정에서 발생하는 폐석회석 미분말을 활용하여 시멘트에 치환함으로써 시멘트 페이스트의 소성점도에 미치는 영향에 대해 실험을 진행하였다. 본 연구는 폐석회석 미분말의 활용 가능성을 확인하고자 하는 기초적인 연구로서 시멘트 생산공정에서 발생하는 폐석회석 미분말에 대해 추가적인 가공 없이 치환하여 사용하여 큰 폭의 점도 저하 효과를 달성할 수는 없었지만, 의미 있는 결과를 얻은 것으로 평가하며 향후 폐석회석 미분말의 입도를 조정한다면 보다 나은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 폐석회석 미분말을 단독으로 치환한 경우에 플로우 값에는 크게 영향을 주지는 못하였다. 다만, 물-결합재 비가 상대적으로 크거나 고성능 감수제와 동시에 사용하였을 경우에는 폐석회석 미분말을 소량 치환한 단계에서 미니 슬럼프 플로우의 증진이 관찰되었다.
2. 폐석회석 미분말을 치환한 경우에는 항복응력이 저감하는 양상이 관찰되었다. 특히, 고성능 감수제와 동시에 사용하는 경우에는 항복응력의 감소폭이 증가하여 폐석회석 미분말의 항복응력에 대한 작용은 고성능 감수제와 동시에 사용할 때 효과적임을 알 수 있었다.
3. 폐석회석 미분말 치환은 소성점도 저감에 효과가 있었다. 특히, 항복응력의 경우와 다르게 고성능 감수제를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 있어서 동일한 수준의 소성점도 저하가 관찰되었다. 이를 통해 폐석회석 미분말의 치환은 소성점도를 저감시키는 요소로서 활용 가능성이 있음을 알 수 있었다.
4. 폐석회석 미분말 치환에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도는 본 연구의 치환율 범위인 10%까지는 큰 악영향을 주지 않는 것으로 관찰되었다.

감사의 글

이 연구는 2016년도 경상대학교 신임교원 연구기반조성 연구비에 의하여 수행되었음.

References

Han, C.G., Heo, Y.S. (2005). Mineral admixture factors affecting rheological properties of cement paste, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 5(2), 57-61 [in Korean].

Kim, W.J., Cho, C.G. (2008). "Experiment on rheological and flow characteristics of flowable concrete varying with SP and W/C ratio," Proceeding of Annual Conference of the Architectural institute of Korea, 571-574 [in Korean].

Krieger, I.M., Dougherty, T.J. (1959). A mechanism for non-

newtonian flow in suspensions of rigid spheres, Transactions of the Society of Rheology, **3(1)**, 137–52.

Lee, J.I., Lee, S.H. (2011). Rheological properties of limestone blended cement paste, Journal of the Korea Concrete Institute, **23(1)**, 481–482 [in Korean].

Sidney, M., Youg, J.F. (2008b). Concrete Second Edition: Fresh State Concrete, 214–234.

Sidney, M., Youg, J.F. (2008a). Concrete Second Edition: Fresh State Concrete, 566–583.

Wallevik, O.H., Jon, E.W. (2011). Rheology as a tool in concrete science: the use of rheographs and workability boxes, Cement and Concrete Research, **41(12)**, 1279–1288.

시멘트 계열 재료의 점도 저하용 혼화재료로서 폐석회석 미분말의 사용 가능성 분석

본 연구의 목적은 고강도 및 일반강도 영역의 물–결합재 비에 대해 시멘트계열 재료의 점도를 감소시키기는 것에 대한 정보를 제공하는 것이다. 시멘트 계열 재료의 유동성을 결정하는 것은 물–결합재 비 및 치환재료와 감수제가 있다. 이를 레올로지적으로 보았을 때 물–결합재 비가 낮은 경우 항복치와 점도를 낮추며 감수제의 경우 항복치 저감에 영향을 주지만 점도 저하에는 한계가 있다. 따라서 이 연구에서는 시멘트 계열 재료의 점도를 낮추기 위해 물–결합재 비에 따른 폐석회석 치환에 대한 점도 저하 가능성을 분석하였다. 실험 결과, 폐석회석을 치환하였을 경우 점도 저하의 효과가 있었으며 이는 시멘트 계열 재료의 점도 제어에 유의미한 결과를 주는 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구의 결과는 시멘트 계열 재료의 점도를 낮추는 방안으로써 분체 치환에 의한 방안의 기초적인 자료가 될 것으로 생각된다.