

다중 낙하 분급기를 이용한 초미립자 시멘트의 제조 및 물리적 기초 특성 분석

Manufacturing and Basic Physical Properties of Ultra Fine Cement with a Multi Air-Classifier of The Dry-Type

박 원 춘** 문 경 주** 소승영*** 소 양 섭***
Park Won-Chun Mun Kyoung-Ju So Seung-Young Soh Yang-Seob

ABSTRACT

This study aims to manufacture ultra fine cement(UFC) with a multi air-classifier of the dry-type. The classifier employed and devised for materials refining was a cyclone type fitted with an air suction device. This study also investigates the basic physical properties and quality of UFC and evaluates its utilizable possibility as a construction material. The basic properties of the UFC containing granulated blast furnace slag were analyzed and examined through recovery ratio, particle size distribution, scanning electron microscopy and compressive strength. Results obtained from the analysis of ultra fine cement have shown that there are possibilities for manufacturing UFC, which could compensate the weak properties of ordinary Portland cement.

1. 서론

일반적인 1종 포틀랜드시멘트는 비표면적이 3,200cm²/g정도이며 평균 입경이 15~20 μ m 인데 비해 초미립자 복합시멘트는 비표면적이 약 8,000cm²/g 이상이며 평균입경이 5 μ m 정도로서 일반시멘트, 슬래그 미분말 등의 초미립자를 선별하여 최적의 배합으로 혼합 구성돼 있는 것을 말한다. 초미립자 시멘트는 일본, 미국, 독일 등의 선진국에서 1990년대 후반부터 생산하여 주로 토목공사의 지반주입(Grouting)용으로 사용되고 있는 실정이며, 우리나라에서도 마찬가지로 2000년대 초반부터 서울지하철 9호선 공사를 시작으로 고속철도 및 고속도로 등 대형 토목공사현장에서 미세입자로 인한 우수한 주입성능을 활용하여 지반 그라우팅용으로 사용되고 있으나, 아직 건축공사 및 콘크리트에 적용되고 있지 않다.

최근의 건축구조물은 초고층화 되어가고 있으며 우리나라에서도 많은 고층건물이 건설되고 있다. 얼마전 국내에서도 압축강도가 120MPa 이상이 되는 콘크리트가 시공된 사례가 있으며, 60~80MPa 강도를 가진 콘크리트의 사용 또한 증가하고 있는 추세이다. 초고강도 콘크리트에는 일반 시멘트 이외에 실리카폼 및 특수 화학혼화제 등이 사용되고 있는바, 특히 조기 고강도 및 장기 초고강도를 발현시키기 위해서는 이러한 고가의 특수 혼화제 및 혼화제의 사용이 필수적인 요건으로 생각되어 왔다. 한편, 시멘트나 슬래그 등 시멘트질 물질은 그 입자크기가 작을수록 초기 활성도가 높다고 알려져 있으며, 일반적으로 3 μ m이하의 입자 size를 갖는 시멘트는 초기강도 발현에 영향을 미치지나 높은 비표면적 증가로 인한 작업성의 저하를 가져오고 30 μ m이상의 입자 size를 갖는 시멘트는 28일까지의 강도발현에 거의 기여하지 못한다고 알려져 있다. Tsivilis 등¹⁾은 시멘트의 강도에 가장 중요한 영향을 미치는 변수가 입자크기 분포를 나타내는 기울기 n값과 3 μ m에서 32 μ m사이에 있는 입자의 양이라는 것을 주장하였고, Sumner 등²⁾에 따르면, 보통 포틀랜드 시멘트에서 전체 비표면적의 약 49%가 단지 전체 질량의 7~9%인 2 μ m이하의 입자범위에 의해 결정되고, 반면에 전체질량의 10~20%를 차지하는 45 μ m이상의 입자들은 전체 비표면적에서

* 정회원, 지오콘머테리얼(주) 상무이사

** 정회원, (주)한일 부설연구소 소장, 공학박사

*** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구원, 공학박사

차지하는 비율이 2%보다도 작다고 하였다. 이에 본 연구는 1종 포틀랜드 시멘트와 슬래그 미분말을 분급 및 이를 재분쇄/분급하여 초미립자화한 후 정분과 초정분의 수율 및 입자크기에 대한 분석을 실시하였으며, 초미립자화한 시멘트와 슬래그 미분말을 이용한 복합시멘트를 제조하여 초미립자 복합시멘트의 건축용 초고강도 콘크리트 재료로의 활용가능성을 평가하기 위하여 기본적인 물리적 특성을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료 및 제조과정

초미립자를 제조하기 위한 원재료 중 1종 시멘트는 국내 S사에서, 고로슬래그 미분말은 국내 K제철의 것을 사용하였다. Fig. 1은 다중낙하 분급기의 개요도를 나타낸 것이며, Fig. 2는 초미립자 시멘트의 전체 제조공정을 나타낸 것이다. 원재료는 다중자연낙하 공기흡입 형 분급기를 통해 분급되어 정분은 싸이클론에 의해 회수되고, 초정분은 집진기에 의해 회수되며, 회수되지 않은 조분은 입도를 증가시키기 위하여 고분말도 분쇄용 볼밀로 압송되어 진다. 볼밀에서 분쇄된 조분은 원료와 함께 다시 분급기로 공급되어 입도 분급되는 공정을 거친다. 분급된 원료는 입도별로 사일로에 저장된 후 제품배합에 의해 계량 및 혼합되고 포장된다.

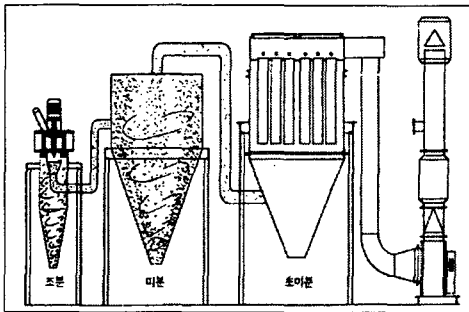


Fig. 1. Multi air-classifier used for refining of material

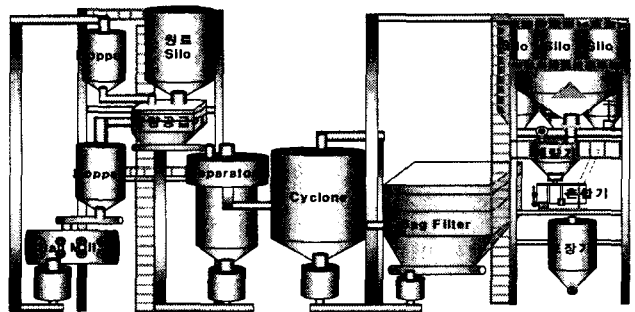


Fig. 2. Manufacturing system of ultra fine cement

2.2 실험방법

미립화에 따른 원료의 화학조성 변화를 알기위해 시멘트와 고로슬래그 미분말의 원시료, 1차 분급된 정분 및 초정분을 대상으로 XRF 분석을 실시하였으며, 초미립자 회수율 분석과 1종 시멘트 및 슬래그분말을 공정에 투입하여 정분과 초정분 그리고 미립화하지 않는 조분에 대한 비율분석을 실시하였다. 또한 분급된 재료를 입자크기에 따라 SEM 관찰 및 입도분석을 실시하였다. 초미립자 시멘트 제조는 1종시멘트, 슬래그 미분말의 정분, 초정분을 먼저 혼합 후 시멘트와 슬래그의 비율을 50:50으로 하였고 KS L 5201을 기본으로 하여 다양한 물리적 특성을 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미립화된 입자별 화학성분 조성

Table 1. Chemical composition of raw materials and ultra fine cements

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Ig.loss (%)	blaine (cm ² /g)
1종시멘트(원료)	24.47	7.04	2.08	50.82	2.49	1.33	0.08	0.29	0.09	0.18	2.13	1.31	3,420
시멘트(정분)	25.64	4.80	3.09	49.40	2.64	1.09	0.08	0.31	0.08	0.17	3.64	1.69	8,520
시멘트(초정분)	29.10	4.34	2.97	45.80	2.52	1.42	0.07	0.29	0.08	0.14	4.63	2.64	11,650
슬래그분말(원료)	33.54	14.13	0.36	44.22	3.82	0.41	0.33	0.51	0.18	0.03	1.86	0.96	4,650
슬래그(정분)	35.23	13.43	0.30	39.37	3.64	0.41	0.33	0.54	0.18	0.03	5.34	1.08	8,730
슬래그(초정분)	42.70	8.86	0.31	30.63	3.86	0.39	0.31	0.52	0.17	0.03	8.10	3.87	11,400

시멘트 및 슬래그 미분말의 경우 미립화 될수록 SiO₂, SO₃ 성분 및 강열감량이 증가하는 경향을 나타내었고 Al₂O₃, CaO의 양은 감소하는 경향을 나타내었으며, 나머지 화학성분은 큰 차이를 보이지는 않았다. 이는 동일하게 생산된 시멘트 및 슬래그 미분말이라도 입자별 입경에 따라 시멘트 화합물량 구성이 다르다는 것을 의미하며, 이에 따른 수화반응 생성물량도 다르게 나타나는 것으로 해석할 수 있다.

3.2. 초미립자 회수율 분석

Table 2. yield rate of materials

division	Fine Particle	Super Fine Particle	Reject Particle
cement	77%	20%	3%
slag	83%	13%	4%

1종 시멘트 및 슬래그 미분말을 공정에 투입하여 정분과 초정분 그리고 미립화하지 않는 조분에 대한 비율분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다. 시멘트의 경우 정분은 77%로 나타났고 초정분은 20%로 나타난 반면 슬래그 미분말은 정분 83%, 초정분 13%로 나타나 초정분의 회수율은 시멘트의 경우가 우수한 것으로 나타났다. 조분은 시멘트 및 슬래그 미분말 양쪽 큰 차이가 없었다.

3.3. 재료별 입자크기별 SEM 관찰 및 입도분석 결과

1종시멘트 및 슬래그 미분말의 원료, 정분 및 초정분에 대한 전자주사현미경 촬영을 실시한 결과는 Fig. 3과 같다. 시멘트 원료, 시멘트 정분을 1,500배율로, 시멘트 초정분을 2,000배율로 촬영하였으며 슬래그 미분말 원료, 정분 및 초정분을 1,000배율로 촬영하였다. Fig. 4는 입자별 입도분포 곡선을 나타낸 것이다. 분급 정도에 따라 입경크기가 차이가 나는것을 확연하게 알 수 있다. 시멘트 원분의 평균입경은 18.81 μ m, 정분과 초정분은 5.15 μ m 및 4.16 μ m로 나타났으며 슬래그 미분말은 원분 13.78 μ m, 정분과 초정분은 4.71 μ m 및 4.21 μ m로 각각 나타났다.

Table 3. Physical properties of ultra fine cement

시험항목	단위	KS 규격	1종 시멘트	UFC
분말도(비표면적)	cm ² /g	2,800이상	3,420	8,850
응결시간 (길모아)	초결	분	60이상	180
	종결	시간	10이하	6:50
압축강도	3일	N/mm ²	13이상	21.2
	7일	N/mm ²	20이상	29.3
	28일	N/mm ²	29이상	41.2
입도분포	평균입경	μ m	-	18.81
	최대입경	μ m	-	89.91
초기 점도	w/c 200%	cps	-	4.5
블리이딩	w/c 200%	%	-	3.5
화학성분	SO ₃	%	3.5이하	2.13
	강열감량	%	3.0이하	1.31

시멘트에 비하여 훨씬 높은 강도를 발현함을 통해 조기강도를 요하는 건축공사 등에 매우 적합하고 장기재령에서는 더욱 높은 강도를 발현할 수 있어 고내구성을 요하는 건축구조물 등에 활용이 기대된다.

4. 결론

- 동일하게 생산된 시멘트 및 슬래그 미분말이라도 초미립화됨에 따라 화조성이 다르게 나타났으며, 다중낙하 분급 및 재분쇄/분급에 따른 회수율은 95% 이상으로 높게 나타났다.
- 초미립자 시멘트는 양호한 응결특성을 보이며 압축강도에서 초미립자 시멘트가 전재령에 걸쳐 1종 시멘트에 비하여 고강도를 보임을 확인할 수 있고 더욱이 초미립자 시멘트의 경우 슬래그 미분말이 50%가 혼입되었음에도 불구하고 초기 재령에서 1종 시멘트에 비하여 훨씬 높은 강도를 발현함을 통해 조기강도를 요하는 건축공사 등에 매우 적합하고 장기재령에서는 더욱 높은 강도를 발현

할 수 있어 고내구성을 요하는 건축구조물 등에 활용이 기대된다.

현재 초미립자 시멘트를 이용한 초고강도 콘크리트의 성능을 평가중에 있으며, 이를 통해 향후 고가의 수입품인 실리카폼의 대체가 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Tsivilis, S., Tsimas, S., Benetatou, A., and Haniotakis, E., "Study on the contribution of the fineness on cement strength," Zement-Kalk-Gips, vol.43, no.1, January 1990, pp.26-29.
- 2) Sumner, M.S., Hephher, N.M., and Moir, G.K., "The Influence of a Narrow Cement Particle Size Distribution on Cement Paste and Concrete Water Demand", 8th International Congress on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, September 22-27, 1986, vol.II, pp.310-315.

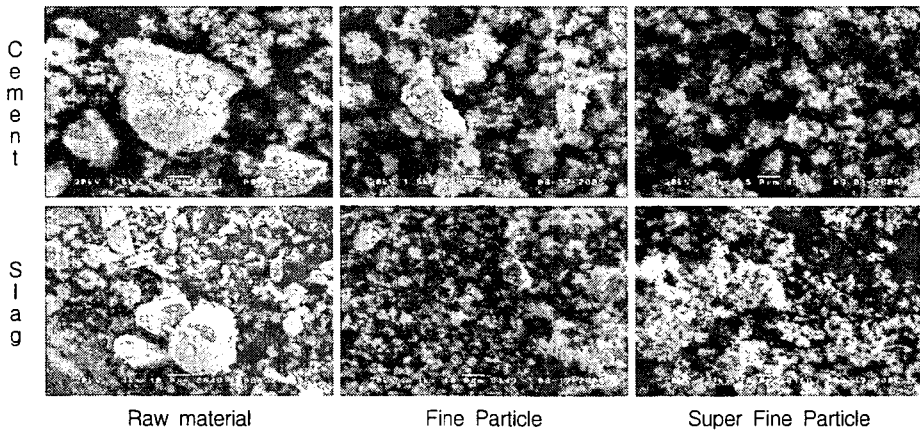


Fig. 3. SEM image with particle size

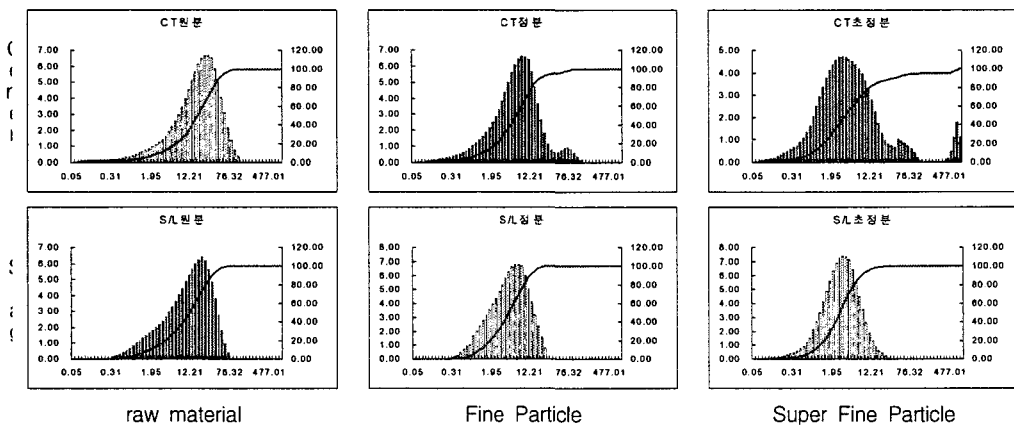


Fig. 4. Particle size distribution