

혼화재료로서 규조토 분말을 사용한 모르타르의 강도 특성

Strength Characteristics of Mortar with Diatomite Powder as an Admixture

Jaejin Choi^{a,1}, Hongtae Park^{b,*}, Jaewoo Kim^{c,2}

a Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam 331-717, Republic of Korea

b Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam 331-717, Republic of Korea

c Hanwha Engineering & Construction, 24 Yeoui-daero, Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-881, Republic of Korea

A B S T R A C T	KEYWORDS
<p>When diatomite powder was used as an admixture in mortar, its effects on the mortar strength was examined by experimental tests. For the tests, 4 kinds of commercially available diatomite powder were purchased ; one non-calcined product, one calcined product, and flux-calcined product two. The compressive and flexural strength of the mortar according to the increase of added amount of calcined diatomite powder increased at all test ages(7, 28, and 56 days). However, the use of non-calcined diatomite powder worsened the fluidity of mortar severely and that caused much more required water content. And flux-calcined product did not show useful effect on the mortar strength.</p>	<p>Admixture Diatomite powder Mortar Strength Pozzolan</p>
<p>혼화재료로 사용한 규조토 분말이 모르타르의 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 시판되고 있는 건조상태의 비소성제품과 소성제품 각 1종류 및 용제소성제품 2종류 등 모두 4종류의 규조토 분말을 사용한 모르타르의 물성실험을 실시하였다. 규조토 분말을 시멘트 질량으로 10% 범위 내에서 대체 사용하고 물-결합재비를 동일하게 한 모르타르 실험결과로서, 소성제품을 사용한 경우는 그 사용량의 증가에 따라 재령 7일, 28일 및 56일의 전체 시험재령에서 압축강도 및 휨강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 비소성제품은 모르타르의 유동성을 저하시켜 단위수량을 크게 증가시키는 문제점이 있었으며, 용제소성제품은 모르타르의 강도개선효과가 나타나지 않았다.</p>	<p>혼화재료 규조토 분말 모르타르 강도 포졸란</p>

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-41-521-9310 Fax. 82-041-568-0287

Email. htpak@kongju.ac.kr

1 Tel. 82-41-521-9301 Email. jjchoi@kongju.ac.kr

2 Tel. 82-10-2327-7565 Email. jwkim117@empas.com

ARTICLE HISTORY

Received Apr. 06, 2015

Revised Apr. 21, 2015

Accepted Jun. 30, 2015

1. 서론

최근 시멘트산업에서 연료의 연소에 의한 이산화탄소 배출량은 1990년도에 3,053천 탄소환산톤(ton of carbon equivalent: TC)이었으며, 2007년에는 온실가스 배출량이 5,270천 TC로 급증하였다. 또한 시멘트 1톤의 생산에는 약 1.15톤의 석회석을 소비하고, 0.8톤의 이산화탄소를 배출하는 하는 것으로 알려져 있다(Park & Kim, 2010). 이 때문에 시멘트의 혼합재로서 천연 광물이나 산업부산물의 사용에 의해 이산화탄소의 배출량을 줄이고자 노력하고 있으며 실제로 여러 종류의 광물질 미분말의 이용이 활발히 이루어져 왔다. 이러한 광물질 미분말 가운데 플라이 애쉬와 실리카 폼 등의 인공 포졸란 재료는 실리카질 또는 실리카와 알루미늄질 재료로서 그 자체는 거의 또는 전혀 시멘트로서의 가치가 없으나 곱게 분쇄된 형태와 수분이 존재할 때 수산화칼슘과 화학적으로 반응하여 시멘트와 같은 특성을 가지는 화합물을 형성하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2003).

자연에서도 포졸란 재료를 얻을 수 있는데 그 대표적인 것의 하나로서 규조토를 들 수 있다. 규조토는 수중 단세포 식물의 잔해가 바다 아래나 호수 바닥에 퇴적한 집합체로 규조류라 불리는 부유성 조류(algae) 껍데기로 이루어진다. 현재 규조토는 가공에 의해 여과재, 흡수재, 첨가재, 연마재, 단열재 등으로 여러 산업 분야에서 다양하게 활용되고 있으며, 콘크리트용 혼화재료로서의 이용가치도 높은 것으로 보고되고 있다(Janotka1 et al., 2014; Degimenci & Yilmaz, 2009). 이와 관련하여 규조토를 시멘트 질량의 10% 만큼 대체 사용하였을 때 콘크리트의 압축강도와 휨강도가 가장 우수하였다는 보고(Ergun, 2011)가 있으나, 규조토의 대체 사용량을 보다 크게 하는 경우 소요수량의 증가로 시멘트 경화체의 강도는 저하하게 된다고 한다(Yilmaz et al., 2011).

규조토 분말은 분쇄과정을 거치는 동안 온풍을 이용해 원석에 함유된 수분을 증발시켜 제조하는 건조제품, 1,000℃ 정도의 고온의 회전로를 이용한 소성 과정을 거치는 소성제품 및 소성 시에 용제로서 소다회(Na2CO3) 등의 나트륨화합물을 첨가하여 제조하는 용제 소성제품이 있다.(Ren et al., 2013).

본 연구에서는 시판되고 있는 세 가지 형태의 규조토 분말 즉, 자연 건조품, 소성(calcined)제품 및 용제소성(fluxed)제품으로 가공된 규조토 분말의 모르타르 또는 콘크리트 혼화재료로서의 특성을 검토하고자 한다. 이를 위해 건조상태의 비소성 제품과 소성 제품 각 1종류 및 용제소성 제품 2종류 등 모두 4종류의 규조토 분말을 준비한 후 이들의 입도분석, 열분석, XRD 분석 및 SEM 분석을 실시하였으며, 또한 규조토 분말의 대체 사용량을 시멘트 질량의 10%로 하였을 때 가장 우수한 강도시험 결과를 나타내었던 기존의 연구성과(Ergun, 2011)를 고려하여 본 실험에서는 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 범위 내에서 대체 사용하였을 때 모르타르의 유동특성, 압축강도 및 휨강도에 미치는 영향을 실험을 통해 검토하였다.

2. 실험계획

2.1 사용 재료

(1) 시멘트와 규조토 분말

시멘트는 밀도 3.15g/cm³, 비표면적 3,540cm²/g의 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였다.

규조토 분말은 국내에서 시판되고 있는 것으로 Table 1의 멕시코산 건조제품(DE1)과 미국산 소성제품(DE2)과 함께 중국산 용제소성제품(DE3) 및 미국산 용제소성제품(DE4) 등 모두 4종류를 사용하였으며, 그 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 1. Diatomite powder sample

Sample	Manufacturing method	Country	Density (g/cm ³)	Color
DE1	Dried	Mexico	2.18	Light gray
DE2	Calcined	U.S.A	2.12	Light pink
DE3	Flux-calcined	China	2.31	White
DE4	Flux-calcined	U.S.A	2.32	White

Table 2. Chemical composition of diatomite powder

Sample	Mass of oxides(%)					
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Others
DE1	2.25	87.57	4.15	0.77	2.60	2.65
DE2	1.52	86.12	5.14	0.87	3.55	2.80
DE3	1.04	85.48	4.24	0.52	4.74	3.98
DE4	1.05	89.00	4.09	0.66	2.04	3.16

(2) 잔골재

모르타르 실험에 사용된 잔골재는 ISO 679:2009(Cement-Test methods-Determination of strength)의 표준모래이다.

(3) 고성능 감수제

시멘트 페이스트 및 모르타르 실험에 사용된 화학혼화제는 밀도 1.06g/cm³의 폴리카르본산계 고성능 감수제(이하 HRWRA)이다.

2.2 규조토 분말의 분석 실험

규조토 분말에 대하여 입도분석, DT-TGA 분석, XRD 분석 및 SEM-EDS 분석 실험을 실시하였다.

2.3 시멘트 페이스트의 표준주도 실험

KS L 5102(수경성 시멘트의 표준주도 시험방법) 및 KS L 5109(수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법)에 의해 결합재로서 시멘트만을 사용한 경우와 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 만큼 대체 사용한 시멘트 페이스트의 표준주도 실험을 실시함으로써 규조토 분말의 사용에 따른 시멘트 페이스트의 소요수량을 비교하였다.

2.4 모르타르의 배합 및 실험

Table 3은 실험에 사용한 모르타르 배합을 나타낸 것으로 KS L ISO 679(시멘트의 강도시험방법)에 따라 물-결합재비 0.50, 결합재와 잔골재의 비 1:3의 비율로 정하였다.

Table 3. Mortar mix proportions

Mix ID	Mix proportions					
	W/B	Binder : S	C	S	DE	HRWRA (C+DE) × %
Plain			1	3	-	0.00
DE2-1			0.98	3	(DE2) 0.02	0.11
DE2-2			0.96	3	(DE2) 0.04	0.22
DE2-3			0.94	3	(DE2) 0.06	0.33
DE2-4			0.92	3	(DE2) 0.08	0.44
DE2-5			0.90	3	(DE2) 0.10	0.55
DE3-1			0.98	3	(DE3) 0.02	0.11
DE3-2			0.96	3	(DE3) 0.04	0.22
DE3-3	0.5	1:3	0.94	3	(DE3) 0.06	0.33
DE3-4			0.92	3	(DE3) 0.08	0.44
DE3-5			0.90	3	(DE3) 0.10	0.55
DE4-1			0.98	3	(DE4) 0.02	0.11
DE4-2			0.96	3	(DE4) 0.04	0.22
DE4-3			0.94	3	(DE4) 0.06	0.33
DE4-4			0.92	3	(DE4) 0.08	0.44
DE4-5			0.90	3	(DE4) 0.10	0.55

이때 규조토 분말의 양은 시멘트 질량의 0, 2, 4, 6, 8 및 10%로 하였으며, 고성능 감수제의 사용량은 모르타르의 플로값이 110±5의 범위에 들도록 실험에 의해 결정하였다. 또한 KS L 5111(시멘트 시험용 플로 테이블)의 방법으로 모르타르 플로 실험을 실시하였으며, KS L ISO 679의 방법에 의해 모르타르 공시체를 제작한 후 23±2℃의 수중에서 재령 7일, 28일 및 56일 동안 양생한 후 압축 및 휨강도 실험은 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 규조토 분말의 특성

(1) 입도분석

Fig. 1은 실험에 사용한 규조토 분말의 입도분포를 나타낸 것이다.

이 그림에서 규조토 분말 DE1, DE2, DE3 및 DE4의 90%의 누적입자량에 해당하는 입경은 각각 23μm, 58μm, 458μm 및 44μm이고, 50% 누적입자량에 해당하는 입경은 각각 13μm, 19μm, 63μm 및 17μm로서 규조토 분말의 입자크기는 DE3가 가장 크고 DE1이 가장 작은 것으로 나타났다.

(2) 열분석

Fig. 2는 규조토 분말의 TGA 분석 결과로서, 1000℃까지 온도를 높였을 때의 질량 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 소성과정을 거친 규조토 분말 DE2, DE3 및 DE4의 경우는 질량변화가 거의 나타나지 않았음을 알 수 있다. 그러나 소성과정을 거치지 않은 DE1은 초기 가열온도 200℃에서 약 7~8% 정도의 질량 감소가 있었으며, 최종 가열온도 1000℃에서는 10% 정도의 질량 감소가 나타났다. 자연 상태에서 건조시킨 규조토를 높은 온도로 가열하였을 때 초기에는 부착수분의 증발에 의해 질량감소가 일어난 것으로 생각되며, 고온에서의 질량감소는 규조토를 구성하는 비정질의 분해에 의한 것으로 추정된다(Yilmaz & Ediz, 2008).

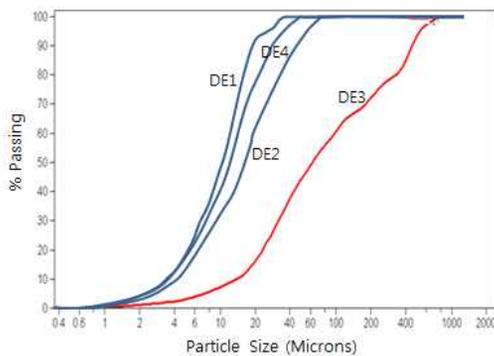


Fig. 1 Particle size distribution of diatomite powder

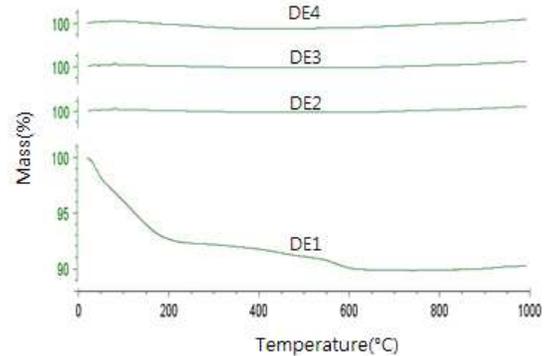


Fig. 2 TGA curves of diatomite powder

(3) XRD 분석

Fig. 3은 실험에 사용한 규조토 분말의 X선 회절 분석 결과이다.

자연 건조한 규조토 분말 DE1에서는 결정질의 피크가 보이지 않는 비정질 형태로 나타났다. 그러나 소성한 규조토 분말 DE2에서는 크리스토팔라이트(Cristobalite)와 석영(Quartz)의 피크가 나타났으며, 용제 소성한 규조토 분말 DE3 및 DE4에서는 크리스토팔라이트의 결정 피크가 보다 크게 나타났다. 따라서 규조토는 고온으로 가열할 때 결정화 물질이 생성되는 것으로 생각되며 이 같은 사실은 다른 연구자(Yilmaz & Ediz, 2008)에 의해서 확인된 바 있다.

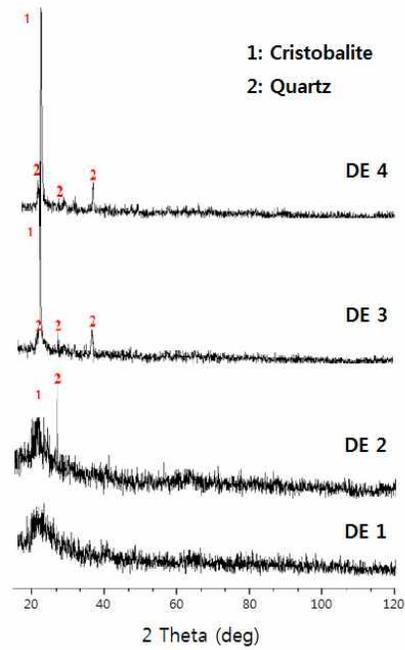


Fig. 3. XRD pattern of diatomite power

(4) SEM-EDS 분석

Fig. 4는 규조토 분말을 1000배의 배율로 촬영한 SEM 사진이다.

사진에서 규조토는 크기 50 μ m 정도 이하의 원형, 침상, 반원형 등 다양한 형상의 다공질 세포로 이루어진 것을 알 수 있다.

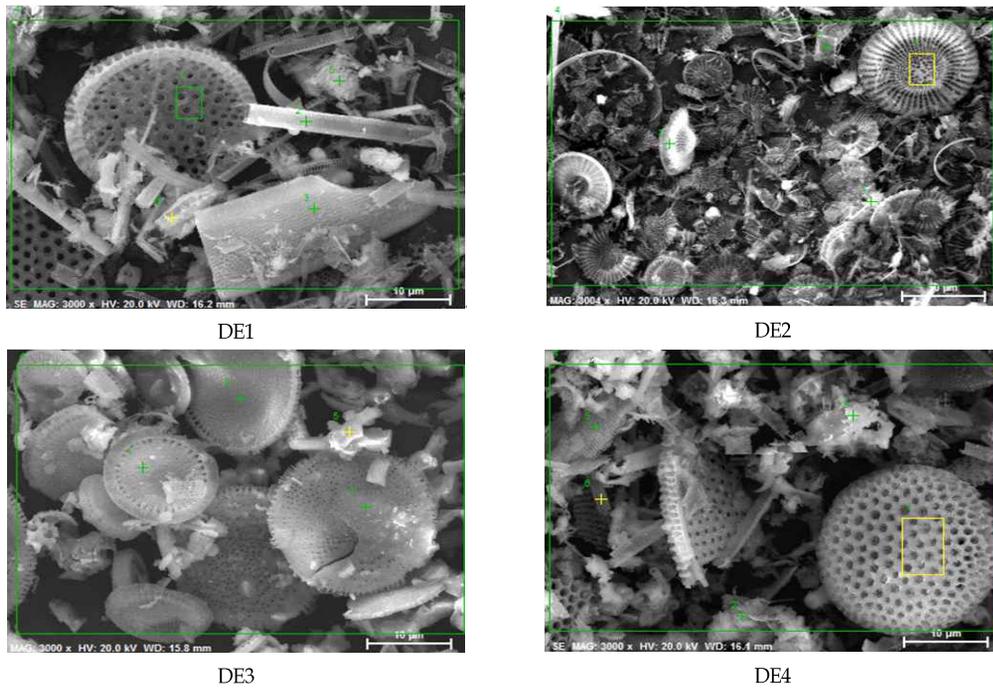


Fig. 4. SEM image of diatomite powder

또한 규조토는 식물성 플랑크톤에 속하는 규조류가 바다 속이나 호수 밑에 쌓여 만들어지는 퇴적암으로 플랑크톤에 의해 기공이 발생한 것으로 알려져 있으며, 이 때문에 Table 1에서 규조토 분말의 밀도가 2.12~2.32g/cm³의 범위로서 일반 점토와 비교하여 낮게 나타난 것으로 생각된다. SEM 사진에서 소성 및 용제 소성한 DE2, DE3 및 DE4와 자연 건조시킨 DE1은 유사한 모양을 보이고 있어서 소성과정에서 규조토 분말 미세구조의 변형은 거의 없었던 것으로 생각된다. Table 4의 SEM-EDS 분석결과에서는 탄소, 산소 및 규소가 주된 구성원자로서 나타났으며, 용제 소성한 규조토 분말에서는 용제로 사용된 나트륨 화합물을 확인할 수 있었다.

Table 4. SEM-EDS analysis

Sample	Normalized component atomic(wt. %)									
	Carbon	Oxygen	Aluminium	Silicon	Potassium	Iron	Magnesium	Sodium	Calcium	Total
DE1	27.33	48.84	1.01	21.86	0.29	0.51	0.15	-	-	100
DE2	36.34	49.50	0.33	13.59	-	-	-	-	-	100
DE3	19.20	47.91	1.20	29.18	0.21	0.57	-	1.74	-	100
DE4	6.99	52.12	1.49	35.69	0.32	0.53	0.41	2.30	0.16	100

(5) 표준주도를 얻기 위한 소요수량 측정

시멘트 응결실험에서는 동일한 반죽질기로 만들기 위하여 KS L 5102(수경성 시멘트의 표준주도 시험방법)에 따른 소요수량을 먼저 구한 다음 길보어 침이나 비жат 장치에 의해 실험을 한다. 여기서는 이 기준에 따른 규조토 분말 첨가전 후의 표준주도 실험을 실시함으로써 규조토 분말의 사용이 소요수량의 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 실험 결과, 결합제로서 시멘트만을 사용한 경우 표준주도를 얻는데 필요한 물-결합재비(W/B)는 26%로 측정되었으며, 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 만큼 대체 사용한 경우의 W/B는 규조토 분말의 종류에 따라 각각 DE1 43%, DE2 39%, DE3 37% 및 DE4 41%로 측정되었다. 이러한 결과로부터 규조토 분말을 사용한 경우는 동일한 반죽질기를 위해 요구되는 수량이 크게 증가하며, 특히 자연 상태에서 건조시킨 규조토 분말 DE1을 사용한 경우는 소성과정을 거친 규조토 분말에 비하여 소요수량이 보다 크게 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 규조토 분말을 사용한 모르타르의 유동특성

규조토 분말을 사용할 경우 모르타르의 반죽질기가 저하하며, 이 때문에 배합의 반죽질기를 개선시키기 위하여 단위수량을 높이거나 감수제 또는 고성능 감수제의 사용이 요구된다. 그러나 단위수량을 증가시키는 방법은 경화 후 모르타르의 강도저하가 우려되므로 감수제 또는 고성능 감수제의 사용이 바람직하다고 생각된다.

Fig. 5는 물-결합재비 0.50, 결합제와 잔골재의 비 1:3의 모르타르 배합으로 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 이내의 범위에서 대체 사용하였을 때, 모르타르의 플로값을 110±5의 범위로 동일하게 만들기 위해 소요되는 고성능 감수제의 양을 실험에 의해 구한 결과를 나타낸 것이다.

이 그림에서 규조토 미분말의 사용비율이 증가하는데 따라 고성능 감수제의 소요량은 직선적으로 증가하며, 또한 비소성 규조토 분말은 소성과정을 거친 규조토 미분말에 비하여 고성능 감수제의 소용량이 2배 정도로 크게 증가하였다. 즉, 모르타르 플로값 110±5를 유지하기 위한 고성능 감수제의 소요량은 규조토 미분말의 대체 사용비율을 2% 증가시키는데 따라 규조토 분말 DE2 및 용제 소성한 규조토 분말 DE3와 DE4를 사용한 경우는 결합제 질량의 1.1% 정도로 나타났으며, 건조시킨 규조토 분말 DE1을 사용한 경우는 결합제 질량의 2.2% 정도로 나타났다.

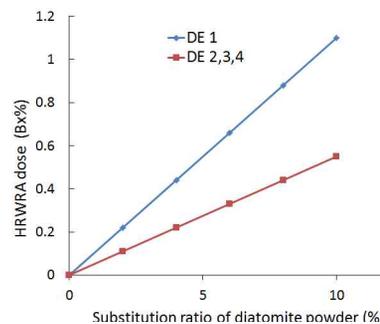


Fig. 5 SP dose vs. substitution ratio of diatomite powder

이와 같이 자연 건조한 규조토 분말 DE1은 소성 또는 용제 소성한 규조토 분말 DE2, DE3 및 DE4에 비하여 고성능 감수제의 사용량이 2배 정도로 크게 증가하기 때문에 비소성 규조토 분말을 모르타르 또는 콘크리트의 혼화재료로서 활용하는 것은 경제성 측면에서 적합하지 않다고 생각된다.

3.3 규조토 분말을 사용한 모르타르의 강도 특성

소성과정을 거치지 않은 규조토 분말 DE1은 모르타르의 유동성을 크게 저하시키는 것을 확인하였기 때문에 이를 제외하고, 소성과정을 거친 규조토 분말 DE2, DE3 및 DE4를 사용한 모르타르의 강도실험을 실시하였다.

Fig. 6은 물-결합재비 0.50, 결합재/ISO 표준사 비 : 1/3의 배합비로 하고, 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 범위 내에서 대체 사용한 모르타르의 재령 7일, 28일 및 56일의 압축강도실험결과를 나타낸 것이다.

토 분말 DE2를 사용한 경우는 10%의 범위 내에서 그 사용량을 증가시켰을 때 재령 7일, 28일 및 56일의 모든 재령에서 압축강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 즉, 재령 7일의 강도는 규조토 분말을 사용하지 않았을 때 27MPa, DE2를 10% 사용했을 때는 38MPa이었으며, 재령 28일의 강도는 규조토 분말을 사용하지 않았을 때 27MPa, DE2의 사용량 10%일 때는 44MPa를 나타냈다. 또한 재령 56일의 강도는 규조토 분말을 사용하지 않았을 때 43MPa, DE2의 사용량 10%일 때는 56MPa를 나타냈다

규조토 분말 DE3와 DE4를 사용한 모르타르는 규조토 분말을 사용하지 않은 모르타르와 비교할 때 7일, 28일 및 56일의 시험재령에서 모두 그 압축강도가 같은 정도이거나 다소 낮게 되는 경향을 나타냈다.

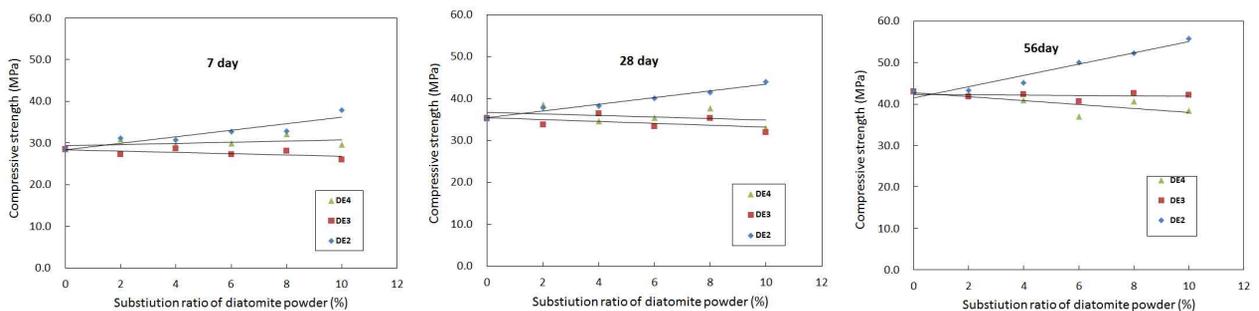


Fig. 6 Compressive strength development of mortar containing diatomite powder

Fig. 7은 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 범위 내에서 대체 사용한 모르타르의 재령 7일, 28일 및 56일의 휨강도 실험결과를 나타낸 것이다.

규조토 분말 DE2를 대체 사용한 모르타르는 규조토 분말을 사용하지 않은 것과 비교할 때 재령 7일에서 휨강도는 6MPa 정도로 같았으나 재령 28일과 재령 56일에는 규조토 미분말의 사용량을 증가시키에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 재령 28일의 휨강도는 규조토 분말을 사용하지 않았을 때 7.4MPa, DE2의 사용량 10%일 때는 9.3MPa이었으며 재령 56일의 휨강도는 규조토 분말을 사용하지 않았을 때 8.1MPa, DE2의 사용량 10%일 때는 10.3MPa를 나타냈다.

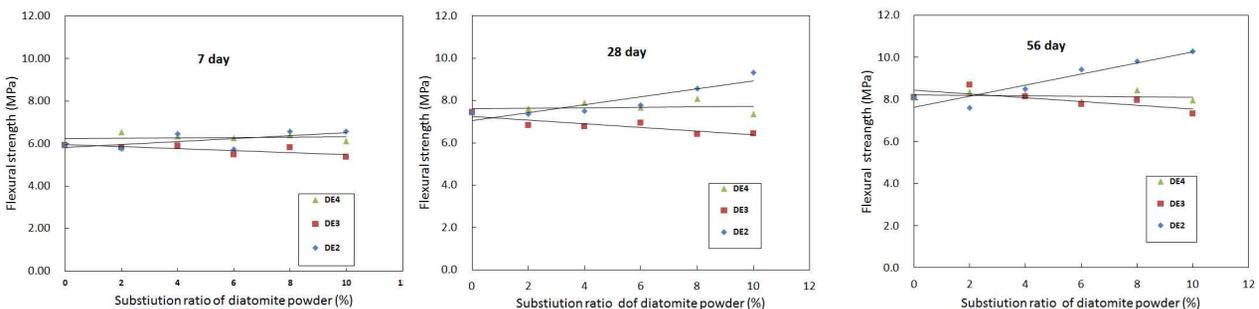


Fig. 7 Flexural strength development of mortar containing diatomite powder

한편 규조토 미분말 DE3와 DE4를 사용한 경우는 규조토 분말을 사용하지 않은 것에 비하여 전 재령에서 다소 낮은 휨강도를 나타냈다.

결과적으로 규조토 분말을 모르타르의 혼화재료로서 사용한 효과는 소성한 규조토 분말 DE2가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 용제 소성한 규조토 분말 DE3와 DE4의 경우는 모르타르의 강도 개선효과가 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

시판되고 있는 4종류의 규조토 분말의 분석 및 이를 사용한 모르타르 실험에서 얻은 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) XRD 분석결과, 자연 건조한 규조토 분말 DE1은 비정질 형태로 나타났으며, 소성 또는 용제 소성한 규조토 분말 DE2, DE3 및 DE4는 고온 가열에 의해 생성된 것으로 추정되는 크리스토팔라이트(Cristobalite)와 석영(Quartz)의 결정 피크가 나타났다.

(2) KS L 5102에 제시된 표준주도를 얻는데 필요한 물-결합재비(W/B)는 결합재로서 시멘트만을 사용한 경우 26%로 측정되었으며, 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 만큼 대체 사용하였을 때는 규조토 분말의 종류에 따라 각각 DE1 43%, DE2 39%, DE3 37% 및 DE4 41%로 측정됨으로써 규조토 분말의 사용에 의해 소요수량이 크게 증가하고, 특히 자연 상태에서 건조시킨 규조토 분말 DE1의 경우 소요수량이 매우 크게 되는 것으로 나타났다.

(3) 물-결합재비 0.50, 결합재와 잔골재의 비 1:3의 모르타르 배합에서 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 이내의 범위에서 대체 사용하였을 때, 모르타르의 플로값을 110 ± 5 의 범위로 같게 하는데 소요되는 고성능 감수제의 양은 규조토 미분말의 사용량의 증가에 따라 직선적으로 증가하였으며, 또한 비소성 규조토 분말을 사용한 경우는 소성과정을 거친 규조토 미분말을 사용한 경우에 비하여 고성능 감수제의 소용량이 2배 정도로 크게 증가하였다.

(4) 규조토 분말을 시멘트 질량의 10% 범위 내에서 대체 사용하고 물-결합재비를 동일하게 한 모르타르 실험결과, 소성한 규조토 DE2를 사용한 경우는 그 사용량의 증가에 따라 재령 7일, 28일 및 56일의 전체 시험재령에서 압축강도 및 휨강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 규조토 분말 DE3와 DE4를 사용한 모르타르에서는 다소 강도가 저하하는 경향을 보여 줌으로써 용제소성한 규조토의 강도개선의 효과는 없는 것으로 나타났다.

References

- Degimenci, N. and Yilmaz, A. (2009). "Use of Diatomite as Partial Replacement for Portland Cement in Cement Mortars", Construction and Building Materials, Vol.23, pp.284-288
- Ergun, A. (2011). "Effects of the Usage of Diatomite and Water Marble Powder as Partial Replacement of Cement on the Mechanical Properties of Concrete", Construction and Building Materials, Vol.25, pp.806-812
- Janotka, I., Krajčí, Ľ., Uhlík, P. and Bačuvčík, M. (2014). "Natural and Calcined Clayey Diatomite as Cement Replacement Materials: Microstructure and Pore Structure Study", International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol.3, pp.20~26
- Lee, S. H. (2003). "About Pozzolanic Reaction", Cement, Korea Cement Association, pp.40~44
- Park, Y. G. and Kim, J. I. (2010). "A Study on the Reduction of CO2 Emission by the Application of Clean Technology in the Cement Industry," Clean Technology, Vol.16, No.3, pp.182~190
- Ren, Z. J., Gao, H. M, Guan, J. F. and Liu, X. (2013). "Preparation Processes of Filter Aids Using Diatomite Concentrate", Applied Mechanics and Materials, Vol.312, pp.323-327
- Yilmaz, B. and Ediz, N. (2008). "The Use of Raw and Calcined Diatomite in Cement Production", Cement and Concrete Composites, Vol.30, pp.202-211
- Yilmaz, B. and Hocaoglu, E. (2011). "Fly Ash and Limestone in Diatomite-Blended Portland Cement", Advances in Cement Research, Vol.23, pp.151-159