Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 18, No. 5, pp. 687~693, October, 2006

수열반응 조건에서 석분 슬러지를 사용한 경량 기포 콘크리트의 밀도와 강도 특성

김진만[1] · 정지용[2] · 최세진[3] · 김봉주[1]*

[1]공주대학교 건축공학과, [2]한국건설기술연구원, [3](주)삼표 기술연구소

The Density and Strength Properties of Lightweight Foamed Concrete Using Stone-Powder Sludge in Hydrothermal Reaction Condition

Jin-Man Kim[1], Ji-Yong Jeong[2], Se-Jin Choi[3], and Bong-Joo Kim[1]*

[1]Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea
[2]Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea
[3]SAMPYO Corporation R&D Center, Kwangju 464-080, Korea

ABSTRACT The Stone Powder Sludge (below SPS) is the by-product from the process that translates stone power of 8mm under as crushed fine aggregate. It is the sludge as like cake that has average particle size of 7 μm, absorbing water content of 20 to 60%, and SiO_2 content of 60% over. Because of high water content of SPS, it is not only difficult to handle, transport, and recycle, but also makes worse the economical efficiency due to high energy consuming to drying. This study is aim to recycle SPS as it is without drying. Target product is the lightweight foamed concrete that is made from the slurry mixed with pulverized mineral compounds and foams through hydro-thermal reaction of CaO and SiO_2. Although in the commercial lightweight foamed concrete CaO source is the cement and SiO_2 source is high purity silica powder with SiO_2 of 90%, we tried to use the SPS as SiO_2 source. From the experiments with factors such as foam addition rate and replacement proportion of SPS, we find that the lightweight foamed concrete with SPS shows the same trends as the density and strength of lightweight foamed concrete increases according to decrease of foam addition rate. But in the same condition, the lightweight foamed concrete with SPS is superior strength and density to that with high purity silica. This trends is distinguished according to increase of replacement proportion of SPS, also the analysis of XRF shows that the hydro thermal reaction translates SPS to tobermorite. Although SPS has low SiO_2 contents, the lightweight foamed concrete with SPS has superior strength and density, because it reacts well with CaO due to extremely fine particles. We conclude that it is possible to replace the high purity silica as SPS in the lightweight foamed concrete experimentally.

Keywords stone-powder sludge, lightweight foamed concrete, hydrothermal reaction, tobermorite

1. 서 론

경제성장에 따른 건설물량의 급증으로 국내의 골재 부존 자원이 급격히 감소되어 강자갈이나 강모래는 거의 고갈되어 있는 실정이다. 이를 부순자갈, 부순모래 및 바다모래 등으로 충당하고 있지만 해사 채취 제한으로 인해 부순자갈과 부순모래의 사용과 생산량이 증대되고 있다. 이러한 부순자갈과 부순모래의 생산량 증가는 생산과정에서 폐기물로 발생되는 석분의 발생량을 동시에 증가 시키고 있다. 그 결과, 석분의 처리 비용 및 방법에 대한 부담과 환경오염 문제가 가중되고 있다.

*Corresponding author E-mail : bingma@kongju.ac.kr
Received July 5, 2006, Accepted August 14, 2006
©2006 by Korea Concrete Institute

골재 생산 과정에서 폐기물로 발생되는 석분(stone-powder)은 업체별로 약간의 차이는 있으나 세골재 생산량의 약 20~30% 정도 발생하는 것으로 추정되며, 부순모래 생산과정 중 미립분 제거를 위한 세척과정에 의해 20~60%의 물을 함유한 슬러지 형태로 배출 된다[1]. 이렇게 배출된 석분 슬러지(stone-powder sludge)는 지정 폐기물로 분류되어 정해진 규정에 따라 일정 비율로 토사와 혼합하여 매립하거나 위탁처리하기 때문에 환경오염과 처리비용 문제가 야기되고 있다.

석분 슬러지의 활용에 관한 기존의 연구들을 살펴보면 진동 및 가압의 방법으로 제작되는 시멘트 모르타르 제품의 원료[2], 중금속 흡착제[3], 수열양생을 통해 제조되는 인조석판재의 원료[4], 등으로 사용하고자 하였다. 이들 연구들은 습윤 상태의 석분 슬러지를 건조 후 일정 입도

로 분쇄하여 사용하는 공통점을 갖고 있다. 석분 슬러지를 건조된 분말로 가공하는 과정은 높은 에너지 소비와 분쇄 비용 등으로 인한 경제성 저하로 재활용을 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있다.

석분 슬러지의 재활용을 위해서는 습윤 상태로 사용할 수 있는 경제적인 방법이 강구되어야 한다. 하지만, 부순 모래 제조공정에서 사용되는 응집제 및 응결제의 영향으로 점성이 높기 때문에, 이로 인해 발생 할 수 있는 문제를 최소화하기 위해서는 물/시멘트비가 높은 제품, 즉 경량 기포 콘크리트와 같은 제품에 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이는 경량 기포 콘크리트를 제조하는데 있어서 고유동 페이스트 상태에서 기포를 혼입 또는 발포하여 공극을 형성시키기 위해서는 약 50% 이상의 물/결합재비가 요구되기 때문이다[5-8]. 또한, 석분 슬러지는 SiO_2를 함유 하고 있기 때문에 규산염이온(silicate ion)과 칼슘이온(calcium ion)의 반응으로 결정성의 토버모라이트(tobermorite)를 생성시키기[9] 위해 수열반응(hydrothermal reaction)을 유도하기 위한 적절한 재료라고 판단된다.

따라서, 본 연구는 습윤 상태의 석분 슬러지를 기존 수열반응 조건에서 제조되는 경량 기포 콘크리트의 실리카원으로 사용되는 규사 대체재로 사용해 나타나는 특성을 검토하였다. 이는 재활용 공정에서 요구되는 경제성을 만족시키고, 폐기물이 아닌 유용한 자원으로 사용하는데 기초가 되는 자료를 제공하기 위한 것이다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

Table 1은 본 실험의 계획을 나타낸 것으로 밀도와 강도 특성의 검토를 위해 페이스트 용적에 대하여 기포 첨가율을 120, 140, 160% 3수준, 규사 용적에 대해 석분 슬러지 대체율 0, 25, 50, 75, 100% 5수준으로 실험을 실시하였으며 사용된 배합은 Table 2와 같다.

측정 항목으로 겉보기 밀도와 압축강도는 KS F 2701, 인장강도는 ASTM C 796-97, 휨강도는 KS F 2408에 준하여 측정하였고, 측정에 사용된 시험체는 70±5℃에서 건조한 후 실온으로 식혀서, 그 함수율이 10±2°C%가 되는 상태에서 측정하였다. 그리고 수열반응 조건에서 석분 슬러지의 SiO_2와 기타 재료들의 CaO가 반응하는지 확인하기 위해 XRD를 관찰하였다.

Table 1 Desing of experiment

Factors	Levels	Testing items
Foam addition percent (%)	120, 140, 160	· Density · Compressive strength · Tensile strength · Flexural strength · Tobermorite crystallization
Replacement percent of SPS (%)	0, 25, 50, 75, 100	

2.2 실험 방법

2.2.1 사용 재료

석분 슬러지는 SiO_2를 63.2%, Al_2O_3를 16.2%를 함유하여 토버모라이트 결정을 생성시키기 위한 실리카원(siliceous 재료)으로 사용하고, CaO를 61.4%를 함유하고 있는 보통 포틀랜드 시멘트를 석회원(calcareous 재료)으로 사용하였다. 석분 슬러지와 보통 포틀랜드 시멘트 및 사용 재료의 화학적 특징은 Table 3과 같고, 보통 포틀랜드와 알루미나 시멘트의 물리적 특성은 Table 4와 같다.

석분 슬러지의 입도는 습윤 상태에서 일정 비율의 물과 에탄올을 이용하여 분산시킨 후, laser diffraction particle size analyzer를 통해 측정하였다. Fig. 1은 측정

Table 3 Chemical composition of materials

Type	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	Ig.loss
SPS	63.2	16.2	3.5	2.9	1.64	2.11	5.23	-	5.38
OPC	21.4	6.3	2.9	61.4	2.7	0.13	0.9	2.2	1.7
AC	4.2	54.7	0.6	36.9	-	0.08	0.23	0.2	0.3
CH	-	-	-	68.3	-	-	-	-	26.7
AG	3.7	0.7	-	38.3	-	0.01	0.03	54.4	2.9
Q	90.1	5.7	1.0	-	0.1	0.14	1.72	-	1.2

Table 4 Physical properties of cements

Type	Density	Fineness (cm^3/g)	Compressive strength (MPa)	Time of set (minute)	
				Initial	Final
OPC	3.15	3,304	38.2	59	399
AC	2.95	5,210	49.4	20	310

Table 2 Design of mixing

W/B (%)	Foam addition percent (°/Vol)	Replacement percent of SPS (°/Vol)	Water content (kg/m^3)	Unit volume (l/m^3)						Unit weight (kg/m^3)					
				OPC[1]	AC[2]	CH[3]	AG[4]	Q[5]	SPS	OPC	AC	CH	AG	Q	SPS
50	120	0	576	157	17	13	24	213	0	494	49	17	29	560	0
	140	25						160	53					420	140
		50						106	106					280	280
	160	75						53	160					140	420
		100						0	213					0	560

[1]OPC: ordinary portland cement, [2]AC: alumina cement, [3]CH: slaked lime, [4]AG: anhydrous gypsum, [5]Q: quartz

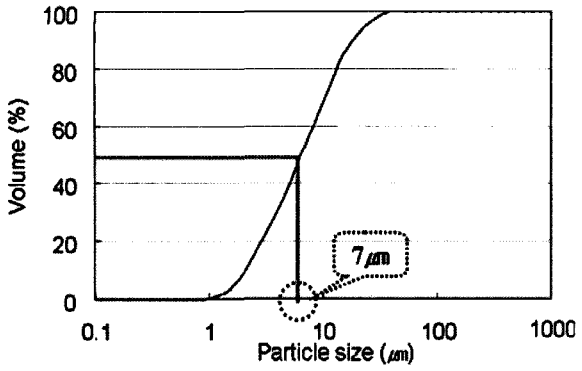

Fig. 1 Grading curme of SPS

된 석분 슬러지의 입도 분포를 나타낸 것으로 0.92 μm~46.08 μm의 범위로 분포하고 평균 입도는 약 7 μm로 나타나고 있다.

이와 같이 석분 슬러지는 작은 입도를 가지고 있어 반응을 활성화 하기 위하여 미분쇄하지 않고도 반응성 재료로 사용할 수 있는 큰 이점이 있다.

알루미나 시멘트는 굳지 않은 경량 기포 콘크리트에 공극 구조를 형성하고 있는 기포의 소포 현상을 방지하기 위해, 소석회는 calcium silicate 화합물의 수화 촉진을 위해, 무수석고는 에트린자이트(Ettringite)의 형성 촉진을 위해 첨가하였다. 사용된 기포제는 동물성 단백질계로 물리적 특성은 Table 5와 같다.

2.2.2 기포 제조 방법

기존의 일반적인 경량 기포 콘크리트의 공극 형성 방법은 분말형의 혼화제를 이용한 발포 방법, 페이스트에 혼화제를 첨가하는 방법, 기포를 직접 제조하여 페이스트에 혼합하는 방법으로 구성된다. 이들 방법들 중에서 공극의 균질성과 낮은 밀도의 경량 기포 콘크리트를 제조하기 위하여 기포를 제조하여 직접 혼합하는 방법을 적용하였다.

Fig. 2는 기포를 제조하는 방법을 도식화한 것이다. 기포 제조는 우선적으로 압축공기를 통해 기포제를 희석시킨 물을 유입시키고, 유입된 물을 비드로 채워진 관을 통과시켜 일정 크기의 기포를 형성시켜 배출시키는 방법을 사용 하였다.

기포제 희석비는 희석수 중량에 대하여 동물성 기포제를 5% 사용하여 제조하였다. 이는 기포의 손실을 최소화 할 수 있는 조건으로 예비 실험을 통해 얻은 결과이다.

Table 5 Physical properties of foaming agent

Active matter (%)	pH (neat, 25°C)	Density (20°C)
35.8	7.44	1.16

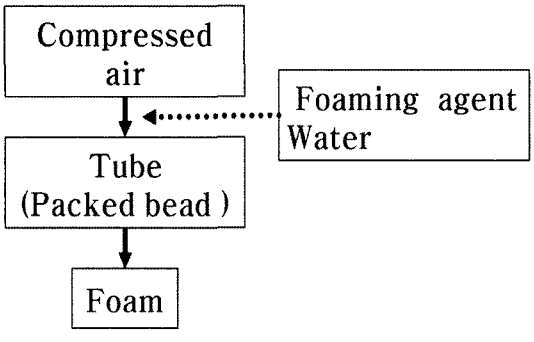

Fig. 2 Diagram of foam production method

2.2.3 혼합 방법

Fig. 3은 재료의 혼합 방법을 나타낸 것으로 점도가 높은 케익 상태의 석분 슬러지를 유동화 시키고, 재료와 기포를 첨가하여 제조하였다. 석분 슬러지의 유동화는 응결제 및 응집제에 의한 높은 점성이 페이스트의 유동성을 저해하고 재료들의 뭉침 현상을 발생시켜 이를 방지하기 위해 적용하였다.

석분 슬러지의 유동화 방법은 1차로 함수량을 구한 후 배합에서 요구되는 단위수량에서 공제하여 남는 배합수를 석분 슬러지와 혼합하여 점도가 낮은 슬러리 상태로 제조한다. 그 후는 보통 포틀랜드 시멘트 등의 재료 투입전에 고성능 감수제를 먼저 첨가하여 점도가 매우 낮은 액상으로 석분 슬러지를 제조한다. 마지막으로 기포 발생장치를 통해 배출된 기포를 첨가하여 경량 기포 콘크리트를 제조하였다.

2.2.4 양생 방법

Fig. 4는 양생방법을 나타낸 것으로 전치양생, 증기양생, 오토클래이브양생의 총 3단계로 이루어지고 있다. 우선 페이스트에 첨가된 기포의 손실을 최소화하기 위해서 전치양생을 20±2°C에서 3시간 동안 실시하였다. 2차 증기 양생은 몰드 탈형 후 오토클래이브양생을 위한 작업에서 요구되는 시험체의 강도를 발현시키기 위해 승온시간 2시간(30°C/hour) 후에, 80°C에서 3시간 동안 실시하

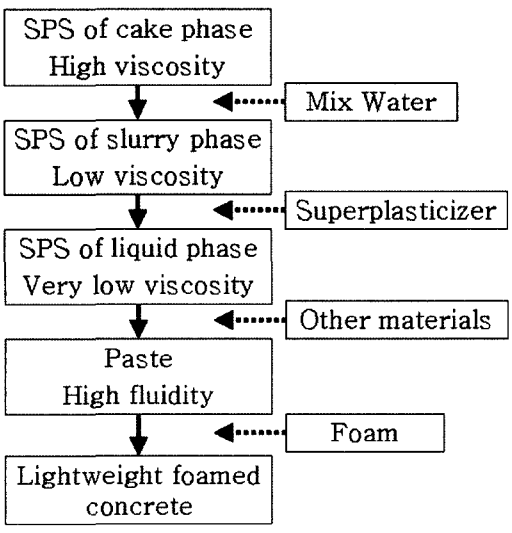

Fig. 3 Mixing method of materials

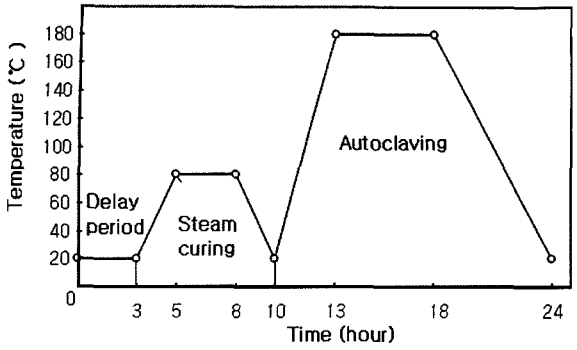

Fig. 4 Curing method

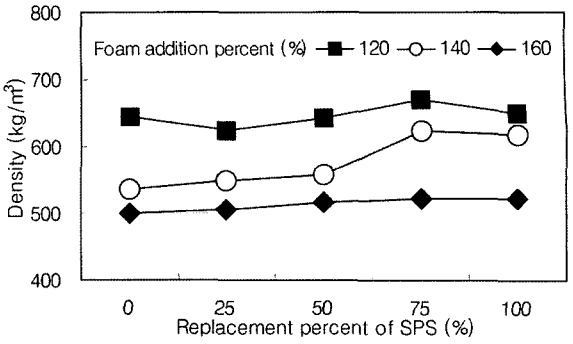

Fig. 5 Density according to replacement percent of SPS

였다.

마지막 3차 오토클래이브 양생은 최종 강도 발현과 석분 슬러지의 SiO_2와 재료들의 CaO를 반응시키기 위해 승온시간 3시간(53°C/hour), 180°C, 10atm(atmosphere) 조건에서 5시간 동안 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

석분 슬러지를 사용한 경량 기포 콘크리트의 밀도 및 강도 특성을 검토하기 위한 기포 첨가율과 석분 슬러지 대체율에 따른 실험 결과는 Table 6과 같다.

3.1 밀도

Fig. 5는 석분 슬러지 대체율에 따른 시험체의 밀도를 나타낸 것이다. 기포 첨가율에 따른 밀도는 동일 슬러지 용적에 기포량을 변화시켜 첨가율이 감소할수록 밀도가 증가되는 것으로 나타난다.

대체율에 따른 밀도는 기포 혼입률 120, 140%에서 각각 620~670, 540~620 kg/m^{3}의 값을 보이고, 석분 슬러지 대체율 75%까지 증가하지만 100%에서 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 혼입률 160%에서의 밀도는 500~520 kg/m^{3}의 범위이고 대체율이 증가할수록 증가하지만. 그 변화 폭이 매우 작게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 부순 잔골재 생산 업체에서 사용하는 응집제의 영향으로 페이스트의 점성이 증가되어 혼입된 기포가 소포되어 나타나 것으로 사료된다.

3.2 압축강도

Fig. 6은 석분 슬러지 대체율에 따른 압축강도를 기포 혼입률 별로 나타낸 것이다. 기포 혼입률에 따른 강도의 변화는 기포 첨가율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것으로 나타나며, 석분 슬러지 대체율에 따른 변화는 대체율 0%일 때와 유사하거나 높은 강도 값이 나타나고 대체율 75%일 때 가장 높게 나타난다.

각각의 경우를 살펴보면, 기포 혼입률 120%의 경우 대체율 0, 25, 50% 일 때 각각 3.2, 3.1, 3.6 MPa이고 압축강

Table 6 Results of experiment

Foam addition percent (%)	Replacement percent of SPS (°/Vol)	Density (kg/m^3)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
120	0	644	3.21	0.66	0.44
	25	624	3.09	0.74	0.51
	50	642	3.55	0.80	0.59
	75	670	4.52	0.93	0.61
	100	650	4.19	0.80	0.52
140	0	535	2.95	0.54	0.42
	25	549	2.99	0.56	0.36
	50	558	3.01	0.60	0.41
	75	624	3.27	0.70	0.46
	100	618	2.99	0.74	0.48
160	0	500	2.22	0.44	0.27
	25	506	2.35	0.46	0.32
	50	517	2.22	0.43	0.30
	75	522	2.80	0.47	0.35
	100	522	2.52	0.43	0.30

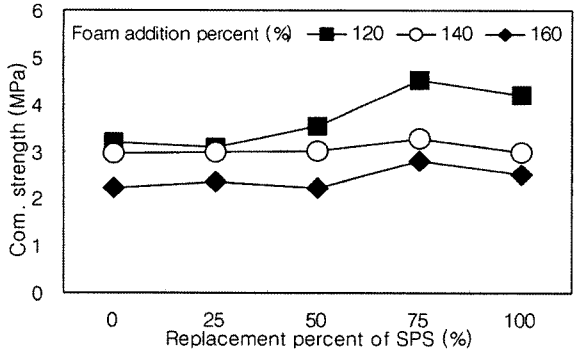

Fig. 6 Compressive strength according to replacement percent of SPS

도 증가 범위는 0.1~0.5 MPa로 나타난다. 대체율 75%에서는 4.5 MPa, 100%에서 4.2 MPa로 0%일 때보다 1 MPa 이상 높게 나타난다. 기포 혼입률 140%의 경우 석분 슬러지 대체율의 변화에 따른 영향이 없이 거의 3.0 MPa의 수준을 보이고 있으며, 대체율 75%일 때 3.3 MPa로 약간 높게 나타나고 있다. 기포 혼입률 160%의 경우는 석분 슬러지 대체율 별로 각각 2.2, 2.4, 2.2, 2.8, 2.5 MPa로 대체율 75%에서 가장 높게 나타나며, 압축강도 증가 범위는 0~0.6 MPa로 나타난다.

이와 같이 기포 혼입률과 석분 슬러지 대체율에 따른 압축강도의 변화는 경화체의 밀도 변화와 밀접한 관계를 갖기 때문에 나타나는 것으로 사료된다.

3.3 휨강도

Fig. 7은 석분 슬러지 대체율에 따른 휨강도를 기포 첨가율 별로 나타낸 것으로, 기포 첨가율 120, 140%는 석분 슬러지 대체율 0% 보다 모두 높게 나타나고, 기포 첨가율 120%는 대체율 75%, 첨가율 140%는 대체율 100%에서 가장 높게 나타난다. 기포 첨가율 160%는 석분 슬러지 대체율 0%와 유사하게 나타난다.

기포 혼입률 120%의 경우 석분 슬러지 대체율에 따른 휨강도는 75%까지 대체율 별로 각각 0.66, 0.74, 0.80, 0.93 MPa로 증가하고 100%에서는 0.80 MPa로 나타난다. 기포 혼입률 140%에서는 대체율에 따라 0.54, 0.56, 0.60, 0.70, 0.74 MPa로 증가되고 있다.

기포 혼입률 160%의 경우는 대체율 별로 0.44, 0.46, 0.43, 0.47, 0.43 MPa이고 강도 차이는 0.01~0.04 MPa로 석분 슬러지 대체로 인한 영향이 거의 나타나지 않고 있다.

3.4 인장강도

Fig. 8은 석분 슬러지 대체율에 따른 인장강도를 기포 첨가율 별로 나타낸 것으로 밀도, 압축강도, 휨강도와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

기포 첨가율 120%의 경우는 석분 슬러지 대체율 75%에서 가장 높게 나타나고 대체율 0%에 대하여 모두 높게 나타난다. 기포 첨가율 140%의 경우는 대체율 25, 50%는 대체율 0%보다 다소 낮게 나타나며 대체율 75, 100%는 높게 나타난다. 기포 첨가율 160%의 경우는 석분 슬러지 대체율에 따른 변화는 대체율 0%에 대하여 유사하게 나타난다.

기포 첨가율 120%의 경우 석분 슬러지 대체율 75%까지 각각 0.44, 0.51, 0.59, 0.61 MPa로 증가하고 대체율 100%에서 0.52 MPa로 일부 감소되었다. 기포 첨가율 140%의 경우는 대체율 25%에서 0.36 MPa로 대체율 0%의 0.42 MPa보다 다소 낮게 나타나고 대체율 50%부터 0.41, 0.46, 0.48 MPa로 증가되는 것으로 나타난다. 기포 혼입률 160%는 대체율 0%에서 0.27 MPa에 대하여 0.03~0.08 MPa의 차이로 각각 0.32, 0.30, 0.35, 0.30 MPa로 대체율 25%부터 100%까지 각각 나타나고 있다.

3.5 밀도와 압축강도

Fig. 9는 밀도와 압축강도의 상관관계를 나타낸 것이다. 밀도와 압축강도의 관계는 $y = 0.008x - 1.5314$로 나타나고 있는데 이는 밀도 500~550 kg/m^3, 압축강도는 약 2~3 MPa의 범위에 한정된 결과이다.

경화체의 강도 특성은 내부에 존재하는 공극에 의해 많은 영향을 받기 때문에 일정한 관계를 갖고 있다. 하지만 Fig. 9에서 나타나는 바와 같이 일정 밀도 범위 내에 밀집되는 경향을 보이고 있다.

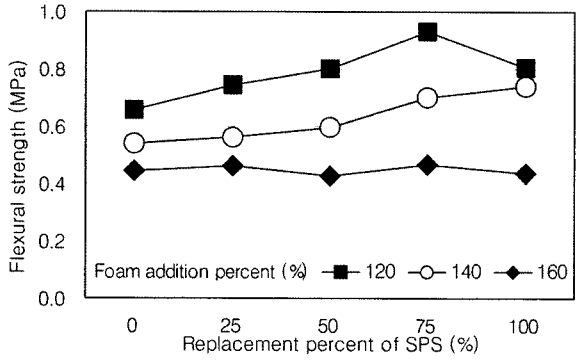

Fig. 7 Flexural strength according to replacement percent of SPS

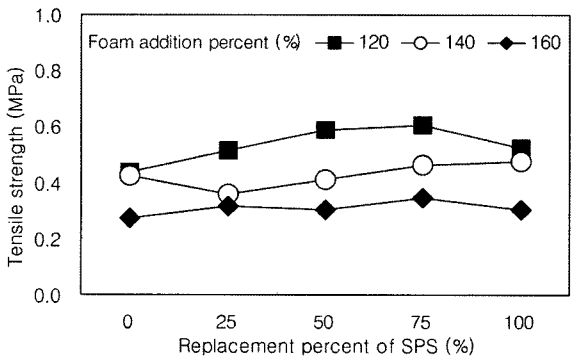

Fig. 8 Tensile strength according to replacement percent of SPS

3.6 석분 슬러지의 반응성

Fig. 10은 180°C, 10atm 조건에서 양생된 경화체의 XRD 분석 결과를 나타낸 것으로 수열반응 조건에서 석분 슬러지는 규사와 같이 calcium ions과 반응하여 각종 경화물을 형하고 있고, 그 형성 특성은 기포 혼입률과

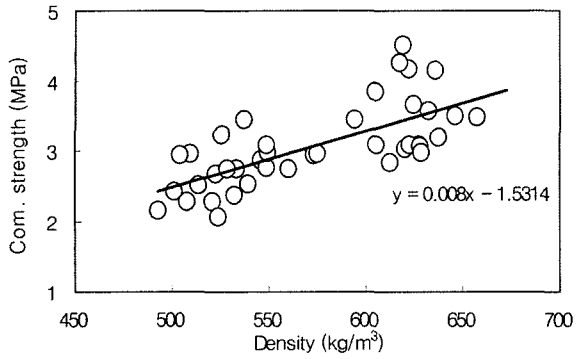

Fig. 9 Relation of between density and compressive strength

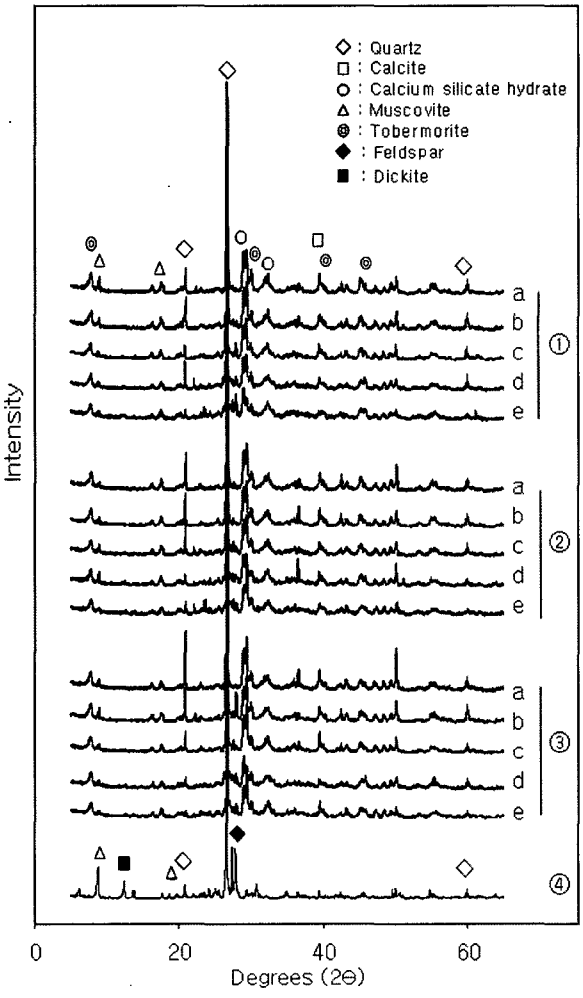

Fig. 10 X-ray diffraction pattern of autoclaved solids in conditions of 180°C, 10atm. ①,② and ③ : addition percent of foam 120, 140, 160%, respectively, ④ : SPS, and a, b, c, d and e : replacement percent of SPS 0, 25, 50, 75, 100%, respectively

석분 슬러지 대체율의 변화에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

반응전 석분 슬러지는 quartz(α-SiO_2), muscovite($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$), feldspar[Albite($NaAlSi_3O_8$), orthoclase ($KAlSi_3O_8$)], dickite($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)가 주성분이며, 오토클래이브 양생 이후에 경화체는 quartz, calcite($CaCO_3$), calcium silicate hydrate, muscovite, tobermorite($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$)를 형성하고 있다.

오토클래이브 양생 이후 경화체에 나타나는 quartz는 미반응 결정체를 의미하는 것이며, muscovite는 규사 또는 석분 슬러지에 일부 포함된 것으로 반응하지 않고 잔존하여 나타나고 있다. 반면 석분 슬러지에 함유되어 있는 feldspar와 dickite는 반응하여 소실되었고, calcite는 수열 반응 조건에서 형성되는 $Ca(OH)_2$가 대기 중의 CO_2와 반응하여 $CaCO_3$로 전이되어 나타나고 있다.

포틀랜드시멘트는 수화반응에 의해 C-S-H 겔, $Ca(OH)_2$를 형성하지만, 수열반응 조건에서는 calcium ions과 silicate ions의 반응에 의해 형성하는 tobermorite ($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$)[10] 결정이 주 반응물로 나타나게 되는데 본 연구에서도 동일한 결과를 확인함으로써 시멘트와 석분슬러지의 수열반응이 원활히 발생하였음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

습윤 상태의 석분 슬러지를 수열반응 조건에서 생산되는 경량 기포 콘크리트의 실리카원으로 사용하기 위해 기포 첨가율과 석분 슬러지 대체율에 따른 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 석분 슬러지 대체율이 증가 할수록 경화체의 밀도는 석분 슬러지 내에 함유되어 있는 응집제의 영향으로 혼입된 기포가 소실되어 모든 기포 첨가율 조건에서 동일하게 증가되는 것으로 나타났다.
2) 경화체의 압축강도는 석분 슬러지 대체율이 증가할수록 증가되어 기존 수열반응 재료로 사용되고 있는 규사보다도 우수한 것으로 나타났다.
3) 압축강도, 휨강도, 인장강도는 석분 슬러지 대체율이 75%일 때 가장 높게 나타나고 있어 석분 슬러지와 규사를 일부 혼합하여 사용하는 것이 강도 측면에서 유리한 것으로 나타났다.
4) 180°C, 10atm의 수열반응 조건에서 석분 슬러지와 다른 재료들과 반응하여 quartz, calcite, calcium silicate hydrate, muscovite, tobermorite 결정을 생성하였다. 이는 석분 슬러지의 silicate ion과 포틀랜드시멘트의 calcium ion이 반응을 통해 tobermorite 결정을 형성하는 것으로 석분 슬러지가 수열합성 원료로 사용이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 (주)SAMPYO가 연구비를 지원하고 공주대학교 자원재활용신소재 연구센터(RIC/NMR)와 공주대학교 건축공학부 BK 21 연구팀에 의해 수행한 연구 결과의 일부로 관계기관에 감사의 말씀드립니다.

참고문헌

1. 대한주택공사, "콘크리트용 부순모래의 실용화방안 연구", 대한주택공사, 1996. 12, pp.23~38.
2. 한천구, 신병철, 김기철, 이상태, "석산에서 발생하는 슬러지 미립분의 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수 특성", 콘크리트학회 논문집, 13권 6호, 2001. 12, pp.561~567.
3. 진호일, 민경원, "중금속 흡착제로서 석분슬러지의 활용 가능성", *Econ. Environ. Geol.*, 33권 6호, 2000, pp.519~524.
4. 김치권, 배광현, "수열양생법에 의한 석분 슬러지로부터 인조석판재의 제조", *Korean J. Crystallography*, 12권 4호, 2001, pp.216~221.
5. Jones, M. R. and McCarthy, A., *Utilising unprocessed low-lime coal fly ash in foamed concrete*, Furelxx, 2004, pp.1~12.
6. Tikalsky, P. J., Pospisil, J., MacKonald, W., "A method for assessment of the freeze-thaw resistance of preformed foam cellular concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.34, 2004, pp.889~893.
7. Kearsley, E. P. and Wainwright, P. J., "Porosity and permeability of foamed concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.31, 2001, pp.805~812.
8. 오세출, 서치호, 지석원, "플라이애쉬를 혼입한 기포콘크리트의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 19권 4호, 2003.4, pp.121~128.
9. Taylor, H. F. W., *The chemistry of cements, Department of chemistry*, University of Aberdeen, Scotland, 1964, pp.185~190.
10. Taylor, H. F. W., *The chemistry of cements, Department of chemistry*, University of Aberdeen, Scotland, 1964, pp.181~ 185.

요 약 8 mm 이하의 석분으로부터 잔골재를 생산하기 위한 공정에서 부산되는 공정부산물인 석분슬러지는 평균 입자 크기 7 μm, 함수율 20~60%, SiO_2 함량 60% 이상의 케익상 슬러지이다. 석분슬러지는 수분을 많이 함유하고 있어 취급, 운반을 어렵게 할 뿐만 아니라 건조공정에 투입해야 하는 높은 에너지 비용 때문에 재활용할 때의 경제성이 낮기 때문에 그동안 실용화되지 못하고 있는 산업부산물이다. 본 연구는 건조하지 않고 석분슬러지가 배출되는 상태 그대로 재활용하기 위한 것으로, 적용 대상은 기포 콘크리트이며, 무기 분말 및 기포를 혼합한 슬러리를 제조한 후 CaO와 SiO_2의 수열반응을 유도하여 토버모라이트(tobermorite) 수화물을 형성시켜 경화시키는 방법을 사용하였다. 일반적인 기포 콘크리트는 CaO원으로 시멘트, SiO_2원으로 실리카 함량 90%의 고순도 규사를 사용하고 있으나 본 연구에서는 고순도 규사의 대체재료로 석분슬러지를 사용하였다. 기포 첨가율과, 석분슬러지 대체율을 실험 요인으로 하여 제조한 기포 콘크리트의 밀도 및 강도 특성을 검토 한 결과 석분슬러지를 사용한 경우에도 기포첨가율의 감소에 따라 기포 콘크리트의 밀도 및 강도가 증대하는 일반적인 경향은 동일하게 나타났으나, 석분슬러지를 사용한 경우는 규사를 사용한 것에 비하여 동일한 조건에서 높은 강도 및 밀도를 발현하며, 그 경향은 석분슬러지의 대체율의 증가에 따라 뚜렷한 것으로 나타났다. 또한 XRD 분석결과 석분슬러지는 수열반응을 통하여 tobermorite를 아주 잘 형성하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 석분슬러지의 SiO_2 함량이 낮음에도 불구하고 이와 같은 현상을 보이는 것은 그 입도가 매우 작기 때문에 시멘트계 재료와의 수열반응이 좀 더 원활하게 이루어지기 때문에 나타난 것으로 사료되며, 본 연구 결과 실험 실적으로는 기포 콘크리트의 원료로 규사를 석분슬러지로 대체하여 사용하는 것이 가능할 것으로 나타났다.

핵심용어 석분 슬러지, 경량 기포 콘크리트, 수열반응, 토버모라이트