

産業副産物을 活用한 纖維補強 시멘트 複合體의 力學的 特性에 關한 實驗的 研究(II)

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Cement Composites Utilizing by-Products (II)

박 승 범* 윤 의 식** 조 칭 휘***
Seung Bum, Park Eui Sik, Yoon Chung Hui, Jo

ABSTRACT

The results of an experimental study on the manufacture and the mechanical properties of carbon fiber reinforced silica fume·cement composites and light weight fly ash·cement composites are presented in this paper. The CF reinforced silica fume·cement composites using silica fume early strength cement were prepared with Pan-derived or Pitch-derived CF, and Lt. Wt. fly ash·cement composites using fly ash, early strength cement, perlite and a small amount of foaming agent.

As the test results show, the flexural strength, toughness and ductility of CF reinforced silica fume·cement composites were remarkably increased by fiber contents. Also, the manufacturing process technology of Lt. Wt. fly ash·cement composites was developed and its optimum mix proportions were proposed. And the compressive and flexural strength of the fly ash·cement composites by hot water cured were improved even more than by moist cured, but are decreased by increasing fly ash replaced ratio for cement.

1. 서 론

최근 계속되는 국내·외의 대규모 건설공사의 발주에 따른 구조물의 대형화 및 다양화와 함께 그 요구성능도 다양화·고도화되고 있고 선진국 수준의 경량·고강도의 고성능 건설재료 및 부재의 수요도 급신장하는 추세이며, 각종 구조물의 경량·고강도화 및 품질의 고도화에 수반하여 건재용 섬유보강 시멘트 복합체의 개발 및 실용화가 크게 주목되기 시작하고 있다. 특히 경제적·사회적으로 많은 문제를 야기하고 있는 석탄회 및 플라이애쉬와 같은 막대한 산업부산물물은 그 대부분이 많은 경비를 들여 폐기되고 있는 실정으로서, 이러한 산업부산물을 고성능·고품질의 건재제조에 다량 이용함은 국가 산업발전은 물론 에너지 절약에도 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 산업부산물인 플라이애쉬 및 실리카흄을 이용한

고성능·고품질의 건재의 제조 및 개발을 위하여 보강재로서 PAN계 및 Pitch계 탄소섬유를 사용하여 경량·고강도이고 내구성 및 안정성이 우수한 건재용 탄소섬유보강 실리카흄·시멘트 복합체 및 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 제조방법과 동복합체의 물리적·역학적 특성을 검토하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

국내 S사 제품의 조강포틀랜드시멘트를 사용하였고, 그 품질은 Table 1과 같다.

Table 1. Compositions and Physical Properties of Early Strength Portland Cement

Chemical Composites (%)							Specific	Blaine's Specific
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss	Gravity(20°C)	Surface Area(cm ² /g)
19.2	5.9	2.8	61.7	3.6	4.2	1.37	3.14	4.500

(2) 플라이애쉬(Fly Ash)

보령 화력발전소에서 부산된 플라이애쉬를 사용하였고, 그 화학성분 및 물리적성질은 Table

* 정희원 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원 충남대학교 대학원 박사과정

*** 정희원 충남대학교 대학원 석사과정

2와 같다.

Table 2. Chemical Composites and Physical Properties of Fly Ash

Chemical Compositions (%)								
Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Total
3.63	65.30	25.50	4.25	1.20	0.98	1.03	0.21	98.47
Size (mm)	Specific Gravity (20°C)	Blaine's Specific Surface Area (cm ² /g)	Water Content (%)	Organic Impurities				
< 4.2×10 ⁻²	2.14	3.124	< 0.1	None				

(3) 실리카흄(Silica Fume)

아프리카 Anglo Alpha사 제품의 초미분말의 실리카흄을 사용하였으며, 그 물성은 Table 3과 같다.

Table 3. Properties of Silica Fume

Name of Aggregate	Chemical Components(%)			Physical Properties	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Specific Gravity (20°C)	Particle Size
Silica Fume	89.0	1.81	2.45	2.21	Average 1.36μm

(4) 탄소섬유(Carbon Fiber, CF)

국내 KOSKA 제품의 PAN계 CF 및 일본 K사 제품의 Pitch계 CF 탄소섬유를 사용하였으며, 그 물성은 Table 4와 같다.

Table 4. Physical Properties of Carbon Fiber

Type of Fibers	Average Diameter(μm)	Average Length(mm)	Specific Gravity(20°C)	Young's Modulus (×10 ⁴ kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)
PAN-CF	6.8	10	1.78	23.0	35,000
Pitch-CF	14.5	10	1.63	3.8	7,800

(5) 기포제 및 펄라이트

경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 제조를 위하여 기포제는 일본 N사 제품의 고급 알콜규산에스테르계 기포제를 사용하였으며, 펄라이트는 국내 S사 제품의 비중 0.34 이하, 입경 1.2~5.0mm(평균입경 2.2mm)를 사용하였다.

2.2 배합 및 시험방법

(1) 배합 및 믹싱

배합은 복합체 제조시 재료가 분리하지 않고 적당한 워커빌리티를 확보하도록 시험배합을 통하여 믹싱방법과 배합조건을 선정하였고, 탄소섬유보강 실리카흄·시멘트 복합체의 배합을 Table 5와 같이 하였으며, 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 배합을 Table 6 및 Table 7과 같이 하였다.

한편, 믹싱은 용량 30l의 섬유분산용 고성능 Omni-Mixer를 사용하였고, CF보강 실리카흄·시멘트 복합체의 제조를 위한 경우 믹싱시간은 (a) Dry blend(Silica Fume, Cement): 2~3분, (b) Primary blend(Add Water): 3분, (c) Secondary blend(Add Fiber): 3~4분으로 하여 평균 10분간 혼합하였다. 또한 플라이애쉬·시멘트 복합체의 믹싱순서는 플라이애쉬 및 시멘

트를 Omni-Mixer에 넣고 2분간 혼합한 후 물을 넣고 3분간 믹싱을 행하였으며, 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 믹싱은, (a)Primary blend (Water, Foaming agent): 1분, (b)Secondary blend(Add Perlite): 2분, (c)Third blend(Add Fly Ash, Cement): 2~3분으로 하였다.

Table 5. Mix Proportion of CF Reinforced Silica Fume-Cement Composites.

SF/C (%)	W/C (%)	SP (wt.%)	CF (vol.%)	Mix Proportions (by wt.)					Remarks
				C	SF	W	SP	CF	
30	40	5	0	1170	351	468	58.5	—	—
				1158	347	463	57.9	16.3	Pitch
			1	1158	347	463	57.9	17.8	PAN
				1146	344	459	57.3	32.6	Pitch
			2	1146	344	459	57.3	35.6	PAN
				1135	340	454	56.7	48.9	Pitch
			3	1135	340	454	56.7	53.4	PAN
				1123	337	449	56.2	65.2	Pitch
			4	1123	337	449	56.2	71.2	PAN
				1111	333	445	55.6	81.5	Pitch
5	1111	333	445	55.6	89.0	PAN			

Table 6. Mix Proportions of Fly Ash-Cement Composites

Cement: FA (by wt.)	W/C+FA (%)	Mix Proportion (kg/m ³)			Flow No.
		Cement	Fly Ash	Water	
100 : 0	28.0	1671	0	468	176
90 : 10	28.4	1457	162	460	179
80 : 20	30.0	1233	306	462	180
70 : 30	30.8	1041	446	458	178
60 : 40	31.7	861	574	455	180
50 : 50	33.0	690	690	455	177
40 : 60	34.2	532	797	455	181
30 : 70	36.0	382	891	458	179

Table 7. Mix Proportions of Lt.Wt. Fly Ash-Cement Composites

Fly Ash : Cement (by wt.)	Perlite Content (vol. % of Fly Ash + Cement)	Foaming Agent (wt. % of Fly Ash + Cement)	W/(FA+C) (%)	Mix Proportion (kg / m ³)				Flow No.
				FA	C	Foaming Agent	Water	
40 : 60	50	0	32.0	571.6	857.4	—	457.3	176
		0.1	33.5	559.6	839.4	139.9	468.7	178
		0.3	34.4	552.7	829.0	414.5	475.3	182
		0.5	35.0	548.1	822.2	685.2	479.6	181

(2) 공시체의 제조 및 시험방법

CF보강 실리카흄·시멘트 복합체 및 플라이애쉬·시멘트 복합체의 Flow시험은 KS L 5105에 준하여 행하였고, 동복합체의 압축강도시험은 KS L 5105에 준하여 5.08×5.08×5.08cm의 입방 공시체를 제작하여 행하였다. 또한 CF보강 실리카흄·시멘트 복합체의 휨강도시험은 JIS R 5201에 준하여 4×4×16cm의 공시체를 제작하여 일본 S사 제품의 용량 25t의 Computer Controlled Universal Testing Machine을 사용해 크로스헤드속도 0.5mm/min의 변위제어방식으로 3점 휨시험방법에 의해 휨강도, 휨응력-변형 및 휨인성 특성을 조사하였다.

한편, 플라이애쉬·시멘트 복합체의 휨시험은 JIS R 5201에 준하여 4×4×16cm의 휨공시체를 제작·성형한 후 1일 습윤양생(20±3°C, 80% R.H.) 및 60°C의 온수에 의한 촉진양생을 행하여 공시체를 제조해 위의 방법으로 시험을 행하

있고, 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 경우는 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ 몰드로 성형하고 오토클레이브양생($180 \pm 10^\circ \text{C}$, $10 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 4시간유지) 및 온수양생($70 \pm 10^\circ \text{C}$)에 의한 콘크리트 촉진강도 시험방법에 준해 촉진시험을 행하여 공시체를 제작해 동일한 방법으로 휨강도 및 휨하중-처짐곡선을 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 역학적 특성

(1) CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨강도 및 변형특성

실리카흙·시멘트비 30%, 물·시멘트비 40%, SP 5%인 시멘트 페이스트의 경우 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨강도 시험결과와 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, CF 혼입율의 증가에 따라 CF 함량 1, 2, 3, 4, 5 vol.%의 어느 경우에도 PAN계 CF를 혼입한 실리카흙·시멘트 복합체의 휨강도는 Pitch계 CF를 사용한 동복합체의 휨강도보다 월등히 크게 나타났으며, 이러한 현상은 Table 4에서 보는 바와 같이 PAN계 CF의 물리적 성질이 Pitch계 CF보다 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

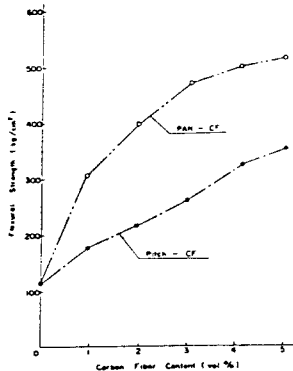


Fig. 1 Relationship between Flexural Strength and Carbon Fiber Content of Carbon Fiber Reinforced Silica Fume-Cement Composites

(2) CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨하중-처짐특성

CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨하중-처짐곡선을 구한 시험결과는 Fig. 2 및 3과 같다. 이들을 고찰하여 보면, PAN계 및 Pitch계 CF를 혼입한 경우 모두 CF 혼입율의 증가에 따라 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨변형 특성은 현저히 개선되었다. 이러한 현상은 실리카흙의 사용에 의하여 섬유 분산성이 개선됨과 아울러 실리카흙과 시멘트 수화물이 섬유주위에 치밀한 매트릭스를 형성하고 섬유와 시멘트 매트릭스의 부착력이 향상되기 때문인 것으로 생각

되며, 특히 Pitch계 CF를 혼입한 복합체의 휨하중은 최대값을 나타낸 후에도 급격히 저하하는 일이 없었으나, PAN계 CF를 혼입한 경우에는 휨하중은 최대값을 나타낸 후 거의 직선적으로 급격히 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨인성을 고찰하여 보면, PAN계 및 Pitch계 CF를 혼입한 경우 모두 CF 혼입율의 증가에 따라 복합체의 휨인성은 현저히 증대하고, CF 혼입율 1, 2, 3, 4, 5 vol.%의 어느 경우에도 PAN계 CF를 혼입한 복합체의 휨인성이 Pitch계 CF를 사용한 경우에 비하여 월등히 우수한 경향을 나타내었다.

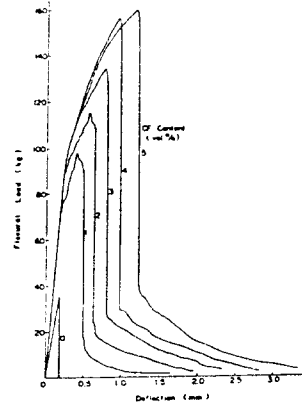


Fig. 2 Relationship between Flexural Load and Deflection of PAN-Based Carbon Fiber Reinforced Silica Fume-Cement Composites

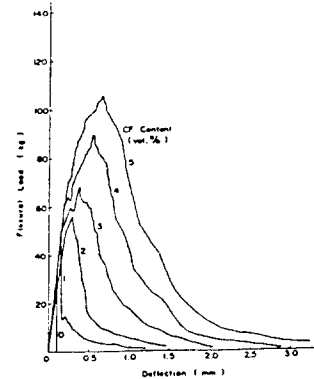


Fig. 3 Relationship between Flexural Load and Deflection of Pitch-Based Carbon Fiber Reinforced Silica Fume-Cement Composites

(3) CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨응력-인장변형을 관계

Fig. 4 및 5는 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨응력-인장변형을 곡선을 나타낸 것으로서, 이를 고찰하여 보면, PAN계 및 Pitch계 CF를 혼입한 경우 모두 섬유혼입율의 증가에 따라 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨응력 및 신장능력은 현저히 증대하는 경향을 나타내었다. 또한 섬유의 종류에 따라서는 PAN계 CF를

사용한 경우 Pitch계 CF를 사용한 경우에 비하여 현저히 높은 신장능력을 나타내었으며, 특히 CF 혼입율 3~5 vol.% 에서는 $5100\sim 5300 \times 10^{-6}$ 정도로 거의 비슷한 값을 나타내었다.

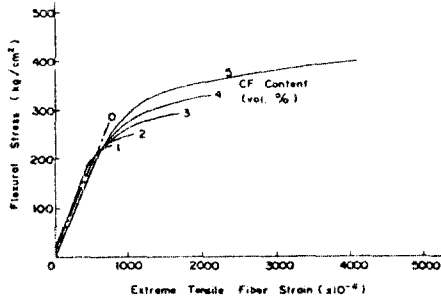


Fig. 4 Relationship between Flexural Stress and Extreme Tensile Strain of Pitch-Based Carbon Fiber Reinforced Silica Fume-Cement Composites

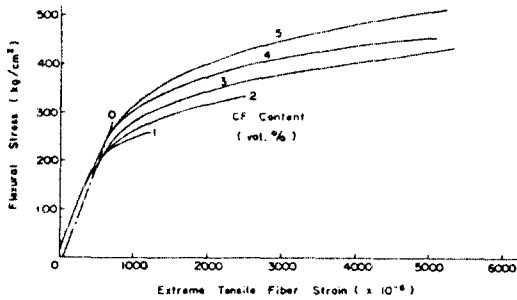


Fig. 5 Relationship between Flexural Stress and Extreme Tensile Strain of PAN-Based Carbon Fiber Reinforced Silica Fume-Cement Composites

3.2 플라이애쉬·시멘트 복합체의 물리적·역학적 특성

(1) 플라이애쉬·시멘트 복합체의 물-(플라이애쉬 + 시멘트)비

플라이애쉬·시멘트 복합체의 물-(플라이애쉬 + 시멘트)비에 미치는 시멘트에 대한 플라이애쉬 대체율의 영향은 Fig. 6에 나타난 바와 같고, 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬·시멘트 복합체의 Folw값을 180 ± 5 로 조정하는 경우 플라이애쉬 대체율의 증가에 따라 동복합체의 물-(플라이애쉬 + 시멘트)비는 증가하는 경향을 나타내었다.

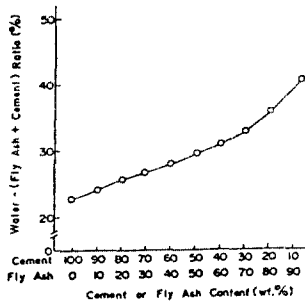


Fig. 6 Relationship between Water/(Fly Ash+Cement) Ratio and Cement (or Fly Ash) Content

(2) 압축강도 및 휨강도에 미치는 플라이애쉬 대체율의 영향

Fig. 7 및 8은 촉진양생 및 1일 습윤양생한 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도 및 휨강도에 미치는 플라이애쉬 대체율의 영향을 각각 나타낸 것이다. 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도 및 휨강도는 양생방법에 관계없이 플라이애쉬 대체율의 증가에 따라 저하하였고, 특히 플라이애쉬 대체율 40 wt.% 이상에서 현저히 저하하는 경향을 나타내었다. 따라서 플라이애쉬를 다량으로 사용하기 위한 최적의 플라이애쉬 대체율은 30~40 wt.% 정도로 판단된다. 또한 1일 습윤양생한 동복합체보다 촉진양생을 한 복합체의 경우가 우수한 강도를 나타내었는데, 압축강도는 촉진양생을 한 복합체의 경우가 습윤양생을 경우에 비하여 1.3~4.7배, 휨강도는 1.5~4배 정도를 나타내었다.

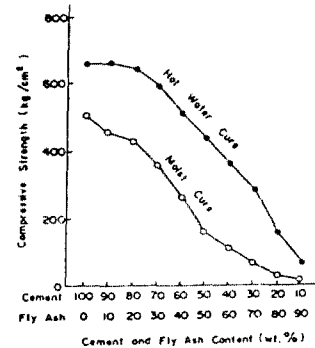


Fig. 7 Relationship between Compressive Strength and Cement (or Fly Ash) Content

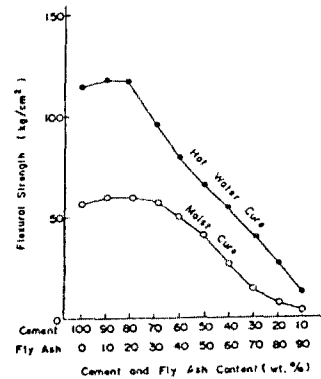


Fig. 8 Relationship between Flexural Strength and Cement (or Fly Ash) Content

(3) 플라이애쉬·시멘트 복합체의 겉보기 비중

Fig. 9는 플라이애쉬·시멘트 복합체의 촉진양생 후의 겉보기 비중에 미치는 시멘트에 대한 플라이애쉬 대체율의 영향을 나타낸 것으로서, 이를 고찰하여 보면, 동복합체의 겉보기 비중은 플라이애쉬 대체율의 증가에 따라 현저히 저하하여 경량화되는 경향을 나타내었다.

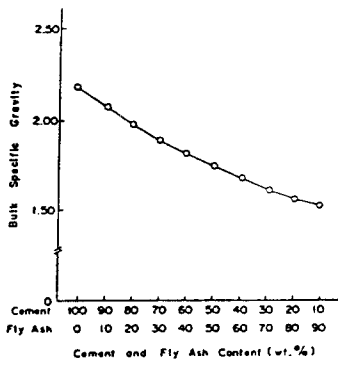


Fig. 9 Relationship between Bulk Specific Gravity and Cement (or Fly Ash) Content

3.3 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 물리적 · 역학적 특성

(1) 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 물-플라이애쉬 + 시멘트)비

동복합체의 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율과 물-플라이애쉬 + 시멘트)비의 관계는 Fig. 10 및 11에 나타난 바와 같이 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 물-플라이애쉬 + 시멘트)비는 증대하는 경향을 나타내었으며, 특히 펄라이트 혼입율의 증가에 따라 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 물-플라이애쉬 + 시멘트)비는 현저히 증대하였다.

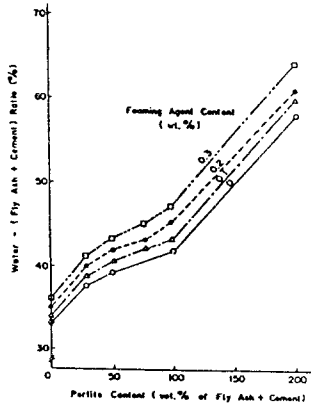


Fig. 10 Relationship between W/(FA+C) Ratio and Perlite Content

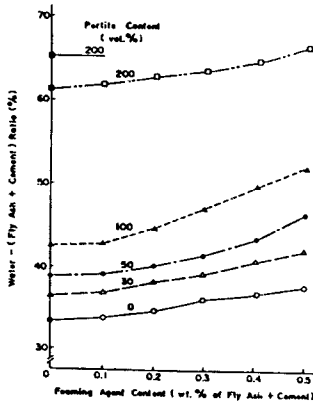


Fig. 11 Relationship between W/(FA+C) Ratio and Foaming Agent Content

(2) 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 겉보기 비중

동복합체의 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율과 겉보기 비중과의 관계는 Fig. 12에 나타난 바와 같이, 양생방법에 관계없이 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 크게 저하하였다. 또한 양생방법의 경우 오토클레이브양생을 실시한 복합체의 겉보기 비중이 온수양생을 한 복합체의 비중보다 다소 크게 나타났다.

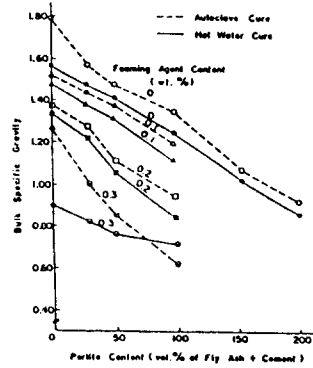


Fig. 12 Relationship between Bulk Specific Gravity and Perlite Content

(3) 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 휨강도 특성

Fig. 13은 동복합체의 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율과 휨강도와의 관계를 나타낸 것으로서, 이를 고찰하여 보면, 양생방법에 관계없이 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 휨강도는 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 양생방법에 따라서는 오토클레이브양생을 실시한 복합체의 휨강도가 온수양생을 한 경우에 비하여 다소 높은 휨강도를 발현하였다.

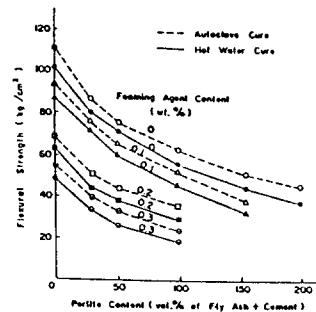


Fig. 13 Relationship between Flexural Strength and Perlite Content

(4) 경량 플라이애쉬 · 시멘트 복합체의 압축강도

동복합체의 펄라이트 혼입율 및 기포제 첨가율과 압축강도와의 관계는 Fig. 14에 나타난 바와 같이, 양생방법에 관계없이 펄라이트 혼입율

및 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 압축강도는 현저히 저하하였으며, 특히 기포제 혼입율 및 양생방법의 차이에 의한 영향보다는 펄라이트 혼입율의 증가에 따른 압축강도 저하경향이 더욱 현저하였다.

한편, 현재 사용되고 있는 ALC의 대체품으로서 본 연구의 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체를 이용하려면 비중 1.5, 압축강도 150 kg/cm² 정도가 필요하므로, 펄라이트 및 기포제의 최적 혼입율은, (플라이애쉬+시멘트 중량)에 대한 기포제 첨가율 0%인 경우 (플라이애쉬+시멘트 체적)에 대한 펄라이트 혼입율은 150~200% 정도, (플라이애쉬+시멘트 중량)에 대한 기포제 첨가율 0.1%인 경우 (플라이애쉬+시멘트 체적)에 대한 펄라이트 혼입율은 80~100% 정도, (플라이애쉬+시멘트 중량)에 대한 기포제 첨가율 0.2%인 경우 (플라이애쉬+시멘트 체적)에 대한 펄라이트 혼입율은 50% 정도이고, 기포제 첨가율 0.3%인 경우는 펄라이트 혼입율은 30% 정도인 것으로 판단된다.

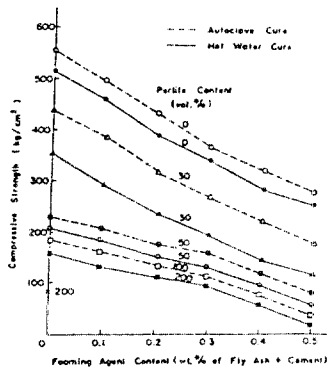


Fig. 14 Relationship between Compressive Strength and Foaming Agent Content

4. 결 론

산업부산물인 Silica Fume 및 Fly Ash와 보강 섬유인 PAN계 CF, Pitch계 CF를 보강재로 사용한 건재용 CF보강 실리카흙·시멘트 복합체와 플라이애쉬·시멘트 복합체 및 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체의 개발을 위한 실험연구의 중간결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

(1) CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨변형 특성은 CF 혼입율의 증가에 수반하여 현저히 개선되고, PAN계 CF를 혼입사용한 동복합체의 휨하중은 최대값을 나타낸 후 거의 직선적으로 급격히 저하하였으나, Pitch계 CF를 사용한 복합체의 휨하중은 최대값을 나타낸 후에도 급격히 저하하지 않는다.

(2) CF보강 실리카흙·시멘트 복합체의 휨강도 및 휨인성은 CF 혼입율의 증가에 수반하여 현저

히 증대하고 PAN계 CF를 사용한 동복합체의 휨강도 및 휨인성은 Pitch계 CF를 사용한 복합체의 경우보다 현저히 증대한다.

(3) 고성능 감수제 및 실리카흙을 사용함에 의해 PAN계 CF 및 Pitch계 CF 모두 용이하게 시멘트 매트릭스중에 분산이 가능하며, 따라서 실리카흙은 보강용 탄소섬유의 시멘트 매트릭스중에 분산재료의 활용이 가능하다고 판단된다.

(4) 플라이애쉬·시멘트 복합체의 제조시 플라이애쉬·시멘트 복합체의 플로우값을 180±5로 조정하는 경우 플라이애쉬 대체율의 증가에 수반하여 동복합체의 물-(플라이애쉬 + 시멘트)비는 현저히 증가하고, 동복합체의 비중은 플라이애쉬 대체율의 증가에 수반하여 저하하는 경향을 나타내었다.

(5) 플라이애쉬·시멘트 복합체의 플라이애쉬 대체율에 관계없이 축진양생을 행한 복합체의 압축강도 및 휨강도는 모두 1일 습윤양생한 복합체의 경우에 비하여 각각 1.3~4.7배 및 1.5~4배를 나타내었다.

(6) 플라이애쉬·시멘트 복합체의 플라이애쉬 대체율의 증가에 수반하여 압축강도 및 휨강도는 저하하고 이러한 경향은 플라이애쉬 대체율 40 wt.% 이상에서 현저하였으며, 따라서 최적 플라이애쉬 대체율은 다량의 플라이애쉬를 이용하는 관점에서 약 30~40 wt.% 정도인 것으로 판단된다.

(7) 경량 플라이애쉬·시멘트 복합체를 구조용 ALC 등의 대체품으로 고려하면 비중 1.0~1.5, 압축강도 150 kg/cm²를 목표로하는 경우 플라이애쉬를 사용하는 경우 기포제 첨가율을 (플라이애쉬 + 시멘트) 중량의 0, 0.1, 0.2, 0.3%로 하면, 각각의 기포제 첨가율에 대하여 펄라이트 혼입율은 시멘트 체적의 200, 100, 50, 30% 까지로 함이 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Seung Bum Park, "An Experimental Study on the Development and Application of High Strength Composites Utilizing Waste Products", J. of KSCM, Vol. 3, No. 1, '90
2. Seung Bum Park, "Engineering Properties of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites", International J., Cement and Concrete Research, Vol. 21, NO. 1, '91
3. ACI Committee 226, "Use of Fly Ash in Concrete", Committee Report, '85
4. G.M. Idorn, K.R. Henriksen, "State of the Art for Fly Ash Uses in Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 14, NO. 4, pp. 463~470, '84