論文

산업폐기물을 이용한 건재용 고성능 복합체의 개발 및 응용에 관한 실험적 연구

朴承範* · 李輔成** · 崔暢根***

Experimental Study on the Development and Application of High-Performance Composite Utilizing Industrial Waste Products for Construction Works(I)

Seung-Bum Park*, Bo-Sung Rhee** and Chang-Keun Choi***

ABSTRACT

Results of an experimental study on the manufacture and the mechanical properties of carbon fiber reinforced fly ash-cement composites are presented in this paper.

The carbon fiber reinforced fly ash-cement composites using silica powder and a small amout of Ethylene vinyl acetate emulsion are prepared with carbon fiber, foaming agents and curing conditions. As a result, the manufacturing process technology of carbon fiber reinforced fly ash-cement composites is developed. And the machanical properties such as compressive, tensile and flexural strengths and drying shrinkage of lightweight carbon fiber reinforced fly ash-cement composites are improved by using a small amount of Ethylene vinyle acetate emulsion. The development and applications of precast products and the design systems of lightweight carbon fiber reinforced cement composites are expected in the near future.

초 록

본 논문에서는 탄소섬유 보강 플라이애쉬 시멘트 복합체의 제조방법과 역학적 특성에 관한 실험적 연구결과를 다루었다. 탄소섬유 보강 플라이애쉬 · 시멘트 복합체는 시리카 분말, 에틸렌 비닐 아세테이트 에멀존, 기포제와 탄소섬유 및 플라이애쉬를 사용하고 양생조건별로 검토되었다. 본 연구결과 탄소섬유 보강 플라이애쉬 · 시멘트 복합체 제조방법이 개발되었고, 경량 탄소섬유 보강 플라

* 정회원, 忠南大學校 工科大學 土木工學科 敎授
** 정회원, 忠南大學校 工科大學 化學工學科 敎授
*** 정회원, KAIST 土木工學科 敎授

이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 건조수축과 같은 역학적 성질은 에틸렌 비닐 아세테이트 에멀죤을 사용함에 의하여 개선되었다. 가까운 장래에 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 프리캐스트 제품, 그리고 설계 시스템의 개발 및 응용이 기대된다.

1. 서 론

산업폐기물인 석탄회 및 플라이애쉬는 국내 화력발전소에서 연간 200만톤 및 150만톤 이상 대량으로 부산되어 이중 대부분은 막대한 경비를 들여 바다의 회사장에 폐기되고 있는 실정이며, 훼로실리콘 또는 금속규소의 제조시 부산되는 실리카흄도 대부분 폐기되고 있는 실정이다. 또한 '90년대 중반이면 국내의 전력수요 급증에 따른 화력발전소의 증설로 이들 부산물은 약 400만톤에 이를 것으로 예상되고 있어 부존자원이 없는 우리나라로서는 이들 산업폐기물의 선진국 수준으로의 유효이용 및 용도개발이 시급한 실정이다.

이미 미국, 일본, 영국 및 구라파 등에서는 이들 산업폐기물인 플라이애쉬 및 실리카흄을 시멘트·콘크리트에는 물론 산업용재로서의 응용 및 연구개발이 활발히 진행[1-16]되고 있으며, 우리나라에서도 이에 관한 응용연구가 박[17-8], 문[25], 천[26] 및 관련연구소[27-29] 등에서 수행된 바 있고, 산업용으로 일부 활용되고 있으나 선진국에 비하여 그 응용 및 활용연구가 미진한 실정이다.

이에 본 연구에서는 저탄성의 Pitch계 탄소섬유를 보강재로 사용하여 건재용 경량·고강도이면서 내화·내구성이 우수하고 안정성 및 신뢰성이 높은 선진국 수준의 플라이애쉬/실리카흄·시멘트 복합재를 개발 활용하기 위한 기초적 연구로 먼저 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합재의 최적 배합조건과 각 영향인자에 따른 복합재의 역학적 특성을 분석·고찰하였다.

2. 시험 개요

2-1. 사용 재료

(1) 시멘트 및 플라이애쉬 : 시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬

Table 1. Chemical Compositions and Physical Properties of Portland Cement

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity (20°C)	Blaine's Specific Surface Area (cm^2/g)
21.2	5.5	3.2	61.1	3.1	2.3	2.3	3.15	3,260

Table 2. Chemical Compositions and Physical Properties of Fly Ash

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity (20°C)	Blaine's Specific Surface Area (cm^2/g)
64.10	28.10	4.25	1.20	0.76	1.27	0.07	5.34	2.21	4,451

Table 3. Physical Properties of Carbon Fibers

Type of fiber	Fiber diameter (10^{-3} mm)	Specific gravity	Tensile strength (kgf/cm^2)	Modulus of elasticity (10^5 kgf/cm^2)	Elongation (%)
Pitch-based Carbon fiber	14.5	1.63	7,800	3.8	2.1

는 국내 유연탄 화력발전소인 B 발전소에서 발생된 것으로, 각각의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1 및 Table 2와 같다.

(2) 탄소섬유 : 탄소섬유는 Kureha(주) 제품의 저탄성 Pitch계 탄소 단섬유를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

(3) 골재 : 골재는 미소한 직경의 탄소 단섬유를 보강재로 사용하는 것을 고려하여 매트릭스의 섬유와의 접착이 양호하도록 S광업 제품의 평균 입경 7. 1μm의 규사분말을 사용하였으며, 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 4와 같다.

(4) 기포제 및 시멘트 혼화용 폴리머 분산제 : 기포제로는 국내 R사 제품의 고급 알콜 규산에스텔계 기포제(Higher Alchol-Sulfate type Foaming Agent)를 사용하였고, 폴리머 분산제는 일본 W사 제품의 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 에멀젼을 사용하였으며, 폴리머 분산제의 품질은 Table 5와 같다.

Table 4. Chemical Compositions and Physical Properties of Aggregates

Name of Aggregate	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	Specific Gravity (20°C)	Particle Size
Silica Powder	99.7	0.01	0.01	2.60	Less than 0.15mm (Average 7.1 μm)

Table 5. Properties of Polymer Dispersions

Type of Polymer Dispersion	Appearance	Specific Gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity mPa.s (20°C)	Total Solids (%)
EVA	Milky-White, Without Coarse Particles, Coagula and the Others	1.016	4.9	2,460	45.0

2-2. 배합 및 시험방법

(1) 배합 및 믹싱 : 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 제조를 위한 배합예는 Table 6과 같이 하였고, 폴리머 분산제 사용 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 배합은 Table 7과 같이 하였으며, Flow 값은 모두 160±5로 하였다.

믹싱은 섬유의 매트릭스내에서의 랜덤 균등 분산을 위하여 용량 10l의 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였으며, 믹싱 시간은 a) Dry blend : 2분(시멘트, 플라이애쉬 및 실리카파우더), b) Primary blend : 3분(물 및 혼화제 첨가), c) Secondary blend : 3~5분간 탄소섬유 투입후 2분간 믹싱후 마지막으로 기포제 첨가후 2분간 믹싱하였으며, 폴리머 분산제 사용의 경우 믹싱시간은 a) Dry blend : 2분(시멘트, 플라이애쉬 및 실리카파우더), b) Primary blend : 3분(폴리머, 혼화제 및 물 첨가), c) Secondary blend : 3~5분간 탄소섬유 투입후 2분간 혼합하였다.

(2) 공시체의 성형 및 시험방법

압축 및 인장강도 그리고 단위용적 중량시험은 KSL 5104, 5105 및 KSF 2409에 준하여 시험을 행하였고, 휨강도 시험은 JIS R 5201에 준하여 4×4×16cm의 공시체를 제조하여 10t Instron 만능시험기를 사용하여 크로스헤드 속도 5.5mm/min로 중앙집중 재하 방식으로 휨 시험을 행하고, 이때의 하중-처짐곡선을 레코더로 구하였다.

한편, 건조수축 시험은 오토클래브 양생후를 기준길이로 하여 KSF 2424의 콤퍼레터 방법에 준하여 재령 6개월까지의 건조수축을 측정하였으며, 그 경

Table 6. Mix Propertions of Lightweight Carbon Fiber Reinforced Fly Ash-Cement Composites

Fly Ash;Cement (by Wt.)	Silica Powder (Vol. % of Fly Ash+Cement)	Foaming Agent (Wt. % of Fly Ash+Cement)	CF (Vol. %)	Water/ (Fly Ash+Cement) (%)	Flow (175+5)
40:50	30	0	0	39.4	175
			0.5	41.5	
			1.0	46.5	
			1.5	51.0	
			2.0	57.5	
		0.1	0	40.5	174
			0.5	43.0	
			1.0	47.0	
			1.5	51.5	
			2.0	58.0	
		0.2	0	41.5	176
			0.5	43.5	
			1.0	48.0	
			1.5	52.0	
			2.0	59.5	
		0.3	0	42.8	174
			0.5	44.0	
			1.0	48.5	
			1.5	54.0	
			2.0	60.7	

Table 7. Mix Proportions of Polymer-Modified Lightweight Carbon Fiber Reinforced Fly Ash-Cement Composites

Type of Polymer	Fly Ash:Cement (by Wt.)	Silica Powder (Vol. % of Fly Ash+Cement)	Foaming Agent (Wt. % of Fly Ash+Cement)	CF (Vol. %)	Polymer/ (Fly Ash+ Cement) (%)	Water/ (Fly Ash+ Cement) (%)	Flow
EVA	40:50	30	0.1	2.0	0	58.0	170
					5.2	55.7	172
					10.1	54.8	175
					15.8	51.5	174
					24.5	46.8	174

우의 공시체의 중량변화율을 측정하였다.

(3) 양생방법

공시체 양생은 성형후 24시간에 탈형하여 1일 습윤양생(23±2℃, RH 80%)후 기건양생은 23±2℃, RH 60±5%의 조건에서, 그리고 오토글래브 양생은 최고온도 180℃, 10kg/cm²의 기압에서 4시간 동안 양생을 행하였으며, 재령 28일에서 제강도 측정을 행하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3-1. 굳지않은 탄소섬유 보강 플라이애쉬・시멘트 복합체의 성질

탄소섬유 보강 플라이애쉬・시멘트 복합체의 탄소섬유 혼입율 및 기포제 첨가율과 물-(플라이애

쉬+시멘트) 비의 관계는 Fig. 1 및 2에 나타낸 바와 같다.

탄소섬유 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가율의 증가에 수반하여 물-(플라이애쉬+시멘트) 비는 증가한다. 특히, 탄소섬유 혼입율의 물-(플라이애쉬+시멘트) 비에 미치는 영향은 크고 기포제 첨가율에도 불구하고 탄소섬유 혼입율 $V_{CF}=2.0\%$에서 (플라이애쉬+시멘트) 비는 $V_{CF}=0\%$인 경우에 비하여 약 1.6배에 달하였다.

또한, 탄소섬유 혼입율 및 기포제 첨가율과 기건비중의 관계는 Fig. 3에 나타낸 바와 같고, 탄소섬유 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 기건 비중은 저하한다.

특히, 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 기건 비중은 현저히 저하하는 양상을 보여 Ohama[13]의 보고와 유사한 경향을 나타내었고, 기포제를 0.1% 첨가한 경우 $V_{CF}=2.0\%$까지 사이에 탄소섬유 보강

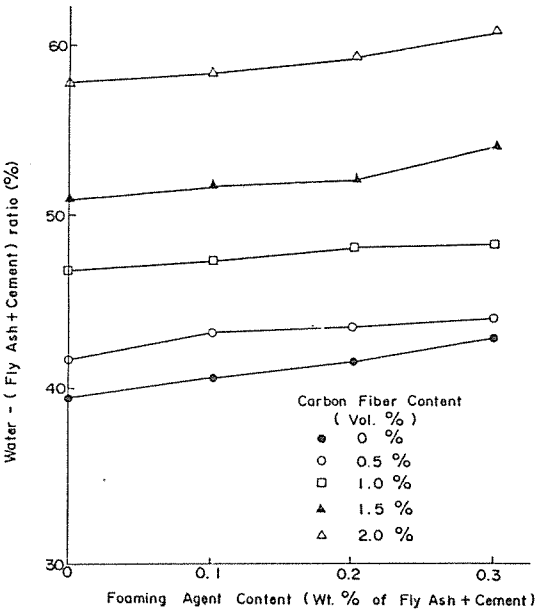

Fig. 2 Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Foaming Agent Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

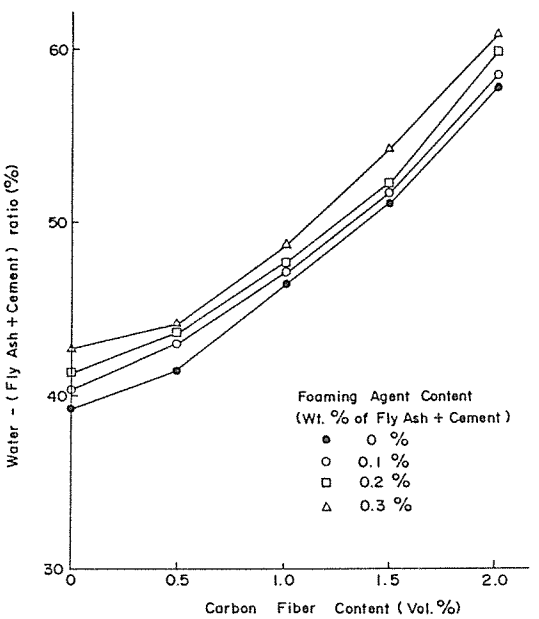

Fig. 1 Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites

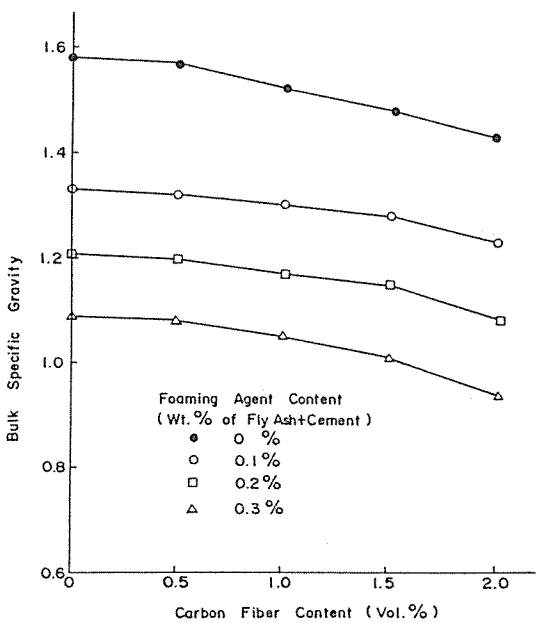

Fig. 3 Relationship between Bulk Specific Gravity and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

플라이애쉬·시멘트 복합체의 기건 비중은 1.15~1.21의 경량화 경향을 나타내었으며, 여기서 적정 기포제 첨가율은 약 0.1~0.2%, CF 혼입율은 1.5~2.0%가 적정량인 것으로 판단된다.

한편, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비와 물-(플라이애쉬+시멘트) 비 및 기건 비중의 관계는 Fig. 4 및 5와 같고, 일반적으로 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비의 증가에 수반하여 물-(플라이애쉬+시멘트) 비 및 기건 비중은 저하하였으며, 최적 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비는 약 5~6% 정도의 EVA 혼입이 요망되고, 이 경우 기포제를 사용하지 않음이 요망되는 것으로 판단된다.

Fig. 1은 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 탄소섬유 혼입율과 물-(플라이애쉬+시멘트) 비의 관계를 나타내고, 폴리머의 혼입 유무에도 불구하고 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 물-(플라이애쉬+시멘트) 비는 증대하며, 또한 폴리머 혼입의 유무에 관계없이 V_{CF}=1.0 및 1.5%까지 CF의 시멘트 매트릭스중에 균등 분산이 용이하였으며, 그 워커빌리티도 양호하였다.

3-2. 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도 및 폴리머 분산제 혼입의 영향

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 섬유 혼입율 및 기포제 첨가율과 압축강도와의 관계는 Fig. 6에 나타낸 바와 같고, 여기서 기포제 첨가율 및 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 압축강도는 저하하였고, 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 그 압축강도는 현저히 저하하는 경향을 나타내었다.

여기서 현재 사용되고 있는 구조용 기포 콘크리트의 압축강도는 50~200kg/cm²[24]임을 감안할 때, 본 연구결과의 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도는 55~171kg/cm²이므로, 이 값을 만족하며, 압축강도의 측면에서 기포제 첨가율은 0.1~0.2% 정도가 양호한 것으로 판단된다.

또한 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 폴리머 분산제(EVA)의 첨가효과는 Fig. 4 및 5에서 나타낸 바와 같고, 이는 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비를 변화시킨 폴리머 혼입 탄소섬유 보강

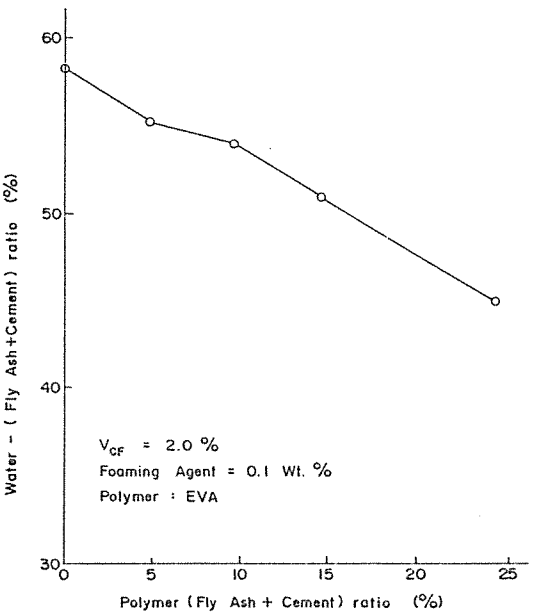

Fig. 4 Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Polymer-(Fly Ash+Cement) ratio of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

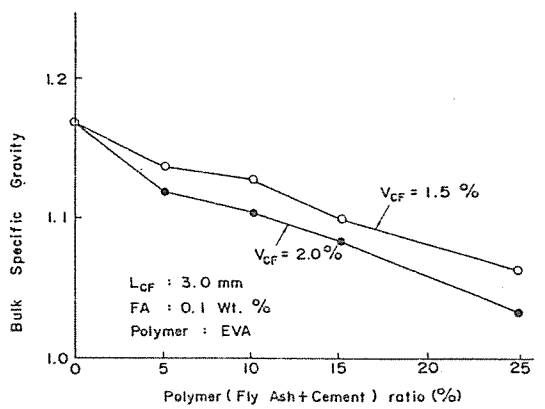

Fig. 5 Relationship between Bulk Specific Gravity and Polymer-(Fly Ash+Cement) ratio of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

플라이애쉬·시멘트 복합체의 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비와 물-(플라이애쉬+시멘트) 비 및 기건 비중이 관계를 나타낸 것으로, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비의 증가에 따라 물-(플라이애쉬+시

멘트) 비 및 기건 비중은 저하하는 경향을 나타내었다.

또한 기포제 혼입율이 0.1%인 경우, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비가 5.2%, 10.1%, 15.8%, 24.5% 일때, 압축강도는 각각 190kg/cm², 196kg/cm², 208kg/cm², 175kg/cm²를 나타내어 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비 5.2% 및 15.8%에서 높은 값을 나타내었고, Fig. 7에서 폴리머 분산제를 사용한 경우 사용하지 않은 경우에 비하여 전반적으로 압축강도는 현저히 증대하는 경향을 나타내었다.

3-3. 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 인장, 휨강도 및 처짐특성

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 탄소섬유 혼입율과 인장강도와의 관계는 Fig. 8에 나타낸 바와 같다. 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 인장강도는 증대하고, 탄소섬유 혼입율 1.5%에서 최대값을 나타내었으며, 탄소섬유 혼입율에도 불

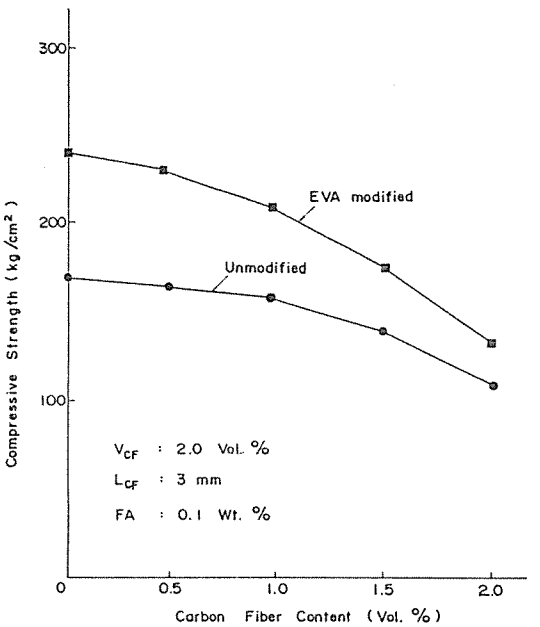

Fig. 7 Relationship between Compressive Strength and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

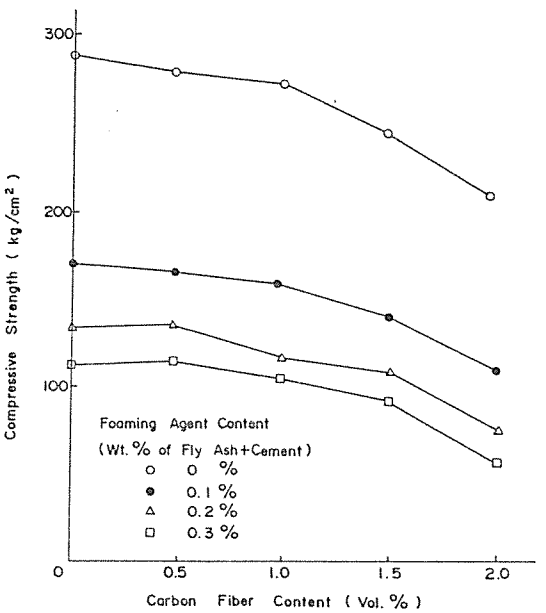

Fig. 6 Relationship between Compressive Strength and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

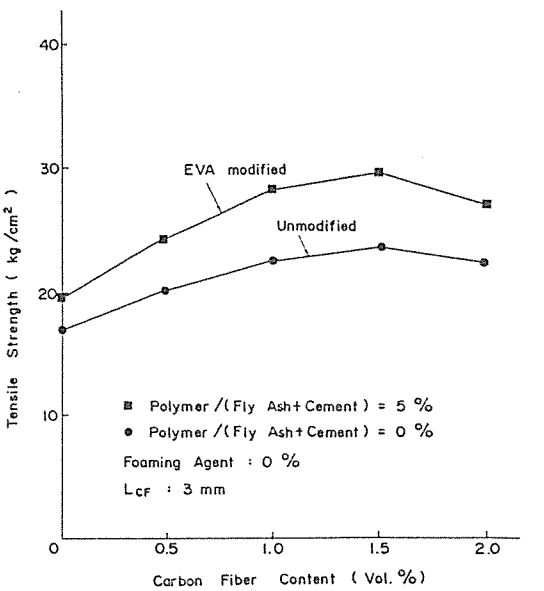

Fig. 8 Relationship between Tensile Strength and CF Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly-Cement Composites.

구하고 폴리머 혼입의 경우 인장강도는 폴리머를 혼입하지 않은 경우에 비하여 현저히 증대하고 평균 1.2~1.4배 증가하였고, 이는 폴리머 혼입에 의하여 매트릭스 자체의 강도 및 매트릭스와 섬유의 부착력의 향상에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 9는 탄소섬유 혼입율을 변화시킨 경우 탄소섬유 보강 플라이애쉬・시멘트 복합체의 인장응력-변형율 관계를 나타내고, 이를 고찰하여 보면, 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 탄소섬유 보강 플라이애쉬・시멘트 복합체의 신장능력은 현저히 개선되고 보강하지 않은 경우에 비하여 약 2.8배의 신장능력을 나타내었다.

또한, 탄소섬유 보강 플라이애쉬・시멘트 복합체의 탄소섬유 혼입율과 휨강도의 관계는 Fig. 10에 나타낸 바와 같다. V_{CF}=1.5%까지 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 휨강도는 증대하는 경향을 보였고, 그 이상의 경우는 다소 저하하는 경향을 나타내었는데 이는 믹싱중 화이버볼의 발생에 기인하는 것으로 판단되고, 폴리머 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 현저한 휨강도 증가경향을 나타내었

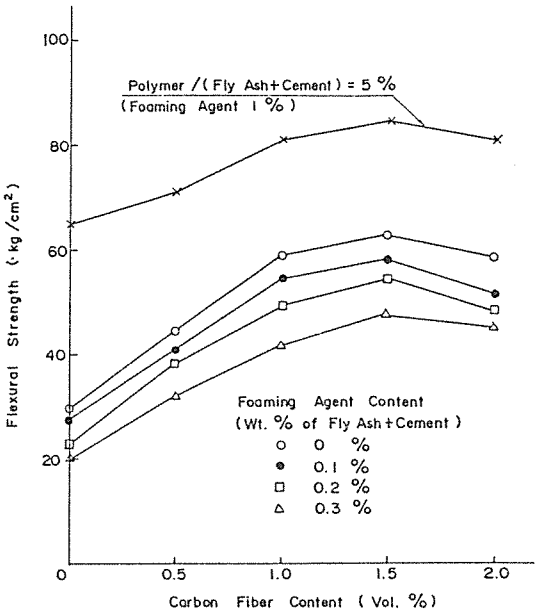

Fig. 10 Relationship between Flexural Strength and CF Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

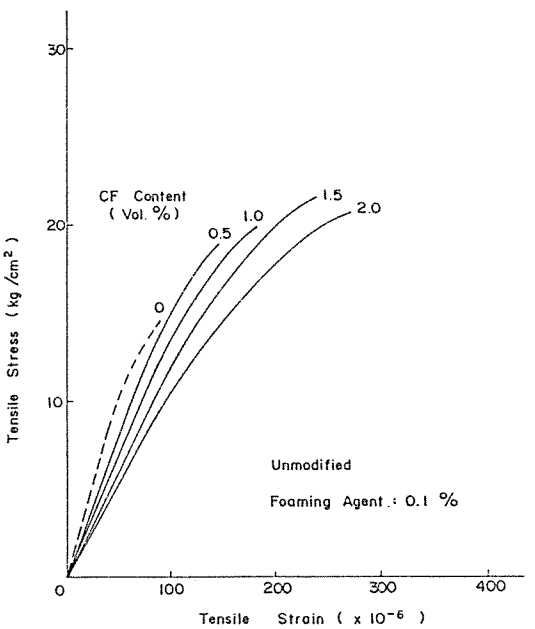

Fig. 9 Tensile Stress-Strain Curves for Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites without Polymer.

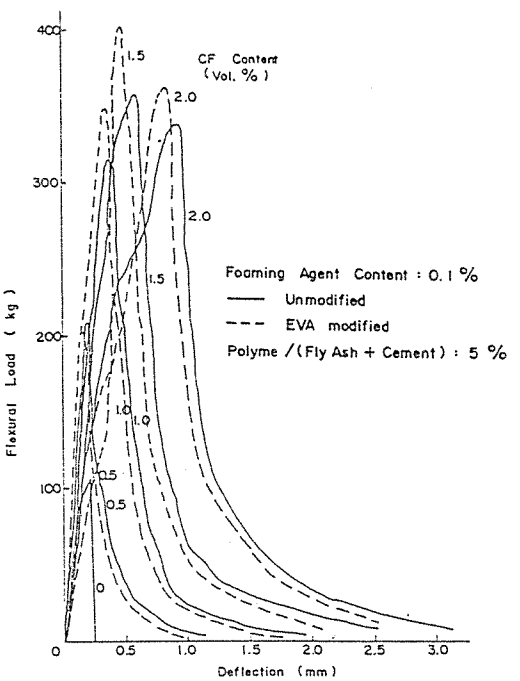

Fig. 11 Flexural Load-Deflection Curves for Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash-Cement Composites.

는데 약 1.4~2.1배에 달하였으며, 이는 인장강도의 경우와 같이 폴리머 혼입에 의하여 매트릭스 자체 및 매트릭스와 섬유와의 부착력 증대에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 탄소섬유 혼입율을 변화시킨 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 휨하중-처짐 곡선은 Fig. 11과 같고, 여기서 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 휨변형 특성은 크게 개선되고, 폴리머 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 휨하중-변형특성의 현저한 차이는 나타나지 않았다.

3-4. 건조수축

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 재령에 따른 건조수축 및 중량감소율의 관계는 Fig. 12 및 13에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, CF 혼입율에 불구하고 건조 재령의 경과에 따라 CF

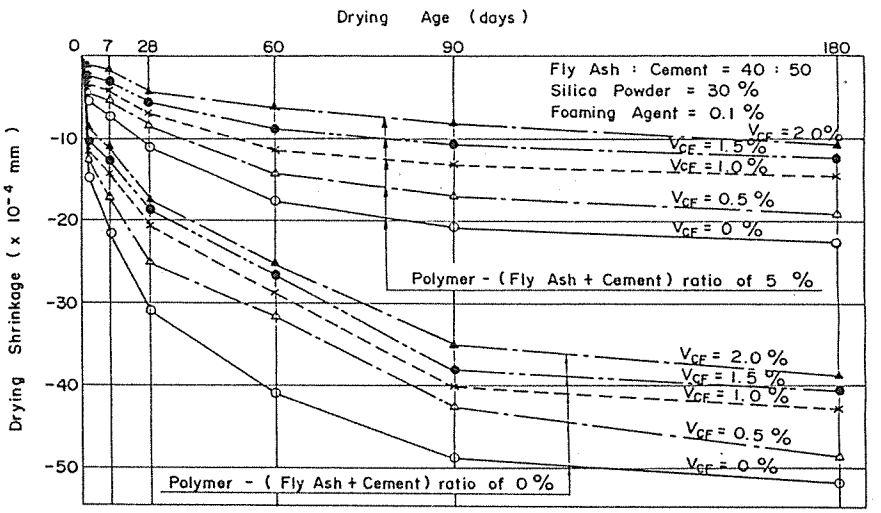

Fig. 12 Relationship between Drying Age and Drying Shrinkage of CF reinforced Fly Ash-Cement Composites without Polymer and with Polymer.

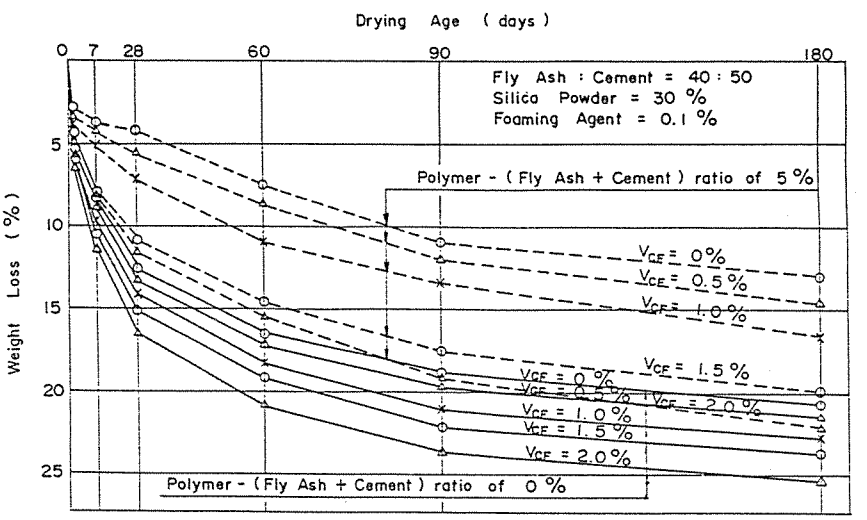

Fig. 13 Relationship between Weight Loss and Drying Age of CF reinforced Fly Ash-Cement Composites without Polymer and with Polymer.

보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 건조수축은 증대하고, 그 경향은 CF 혼입율의 증가에 수반하여 작아지는 경향을 나타내었으며, 오토클래브 양생의 경우 기건 양생의 경우에 비하여 재령 6개월에서 1.5~3.0배의 현저한 건조수축 저감효과를 나타내어, 2차제품 제작에 응용하는 경우 오토클래브 양생이 요망되는 것으로 판단된다.

또한, CF 혼입율에 불구하고 폴리머 혼입의 경우 건조수축은 폴리머를 사용하지 않은 경우에 비하여 작게 나타났으며, 이는 폴리머 혼입에 의한 보수성의 향상에 기인하는 것으로 판단된다. 한편, 재령의 증가에 수반하여 CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 중량감소율은 증대하고, 아울러 CF 혼입율의 증가에 수반하여 증가하는 경향을 나타내었다.

4. 결 론

(1) CF 보강플라이애쉬·시멘트복합체는 CF 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 물-(플라이애쉬+시멘트) 비는 현저히 증가하여 $V_{CF}=2.0\%$에서 $V_{CF}=0\%$인 경우에 비하여 약 1.6배에 달하였고, 또한 기건 비중은 CF 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 저하하였으며, 적정 기포제 첨가율은 0.1~0.2%, CF 혼입율은 1.5~2.0%인 것으로 판단된다.

또한 폴리머 분산제(EVA)의 첨가효과는 폴리머-(플라이애쉬+시멘트) 비의 증가에 따라 물-(플라이애쉬+시멘트) 비 및 기건 비중은 저하하는 경향을 나타내었다.

(2) CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도는 CF 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 현저히 저하하였고, 폴리머를 사용한 경우 사용하지 않은 경우에 비하여 압축강도는 현저히 증대하는 경향을 나타내었다.

(3) CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 인장강도는 $V_{CF}=1.5\%$까지 CF 혼입율의 증가에 수반하여 증대하였고 그 이상의 경우 다소 저하하였는데, 이는 믹싱중 화이버볼의 발생에 기인하는 것으로 판단되며, 폴리머를 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 1.2~1.4배의 인장강도 증가경향을 보였다.

또한 CF 혼입율 증가에 따라 신장능력은 현저히 개선되어 보강하지 않은 경우에 비하여 약 2.8배의 신장능력을 나타내었다.

(4) CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 휨강도는 $V_{CF}=1.5\%$까지 CF 혼입율의 증가에 수반하여 증가하는 경향을 보였고, 폴리머를 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 약 1.4~2.1배의 현저한 휨강도 증가경향을 보였는데, 이는 인장강도의 경우와 비슷한 양상을 나타내었다.

또한, CF 혼입율의 증가에 수반하여 휨 변형특성은 크게 개선되고, 폴리머를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다.

(5) CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 건조수축은 건조 재령의 경과에 따라 증대하고, CF 혼입율의 증가에 수반하여 작아지는 경향을 나타내었으며, 오토클래브 양생의 경우 기건 양생의 경우에 비하여 재령 6개월에서 1.5~3.0배의 건조수축 저감효과를 나타내었고, 폴리머 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 건조수축 감소현상을 나타내었다.

한편, 재령 및 CF 혼입율의 증가에 수반하여 CF 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 중량감소율은 증대하는 경향을 나타내었다.

후 기

본 논문은 1989년도 문교부 지원 한국 학술진흥재단의 자유공모 과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Berry, E.E. and Malhotra, V.M., "Fly Ash for Use in Concrete-A Critical Review," ACI J. Proc., Vol. 77, No. 8, Mar.-Apr., pp.59-73, 1980.

2. Davis, Raymond E., "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash," ACI J. Proc., Vol. 33, No. 5, May-June, pp.577-612, 1937.

3. Chitaranjan, N., "Compressed Lime-Fly Ash-Gypsum Blocks," Indian Concrete J., Vol. 57, No. 6, pp.153-156, 1983.

4. Bernhardt, C.J., "SiO_2-dist as Admixture to Cement," Betongen 1 dang, Apr., pp.29-53, 1952.

5. Diamond, Sidney, "The Utilization of Fly Ash," Cement and Concrete Research, Vol. 14, No. 4, pp.455-462, 1984.

6. Haque, M.N., Langän, B.W., "High Fly Ash Concrete," J. of ACI, Vol. 82, No. 1, pp.54 -60, 1984.

7. Idorn, G.M., Henriksen, K.R., "State of the Art for Fly Ash Uses in Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 14, No. 4, pp.463-470, 1984.

8. Kasci, Y., Matusui, I., "Autoclave Curing of Various Kinds of Fly Ash-Ordinary Portland Cement-Water Composition," Transaction of JCI, Vol. 7, pp.9, 1985.

9. Malhotra, V.M., Carrette, G.G., "Silica Fume-A Pozzolan of New Interest for Use in Some Concretes," Concrete Construction, Vol. 27, No. 5, pp.443-446, 1982.

10. Maslehuddin, M., Shamin, M., "Effects of Sand Replacement on the Early-Age Strength Gain and Long-Term Corrosion-Resisting Characteristics of Fly Ash Concrete," ACI Materials J., pp.58-62, Jan.-Feb., 1989.

11. Mehta, P.K., "Pozzolanic and Cementitious By-Products as Mineral Adimixtures for Concrete-A Critical Review," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By -Products in Concrete, SP-79, ACI, Detroit, pp. 1-46, 1983.

12. Maslehuddin, Mohammed, "Effect of Fly Ash Addition on the Corrosion Resisting Characteristics of Concrete," ACI J. Proc., Vol. 84, No. 1, pp.42-50, Jan.-Feb., 1987.

13. Ohama, Y., K. Demura, "Development of Lightweight CFR-ACC," Proc. of the International Symposium on FRC, Dec. 16-19, 1987, Madras, India

14. Samarin, A., Munn, R.L. and Ashby, J.B., "The Use of Fly Ash in Concrete-Australian Experience," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, SP-79, ACI, Detroit, pp.289-306, 1983.

15. Fedman, R.F. and Cheng-Yi, H., "Properties of Portland Cement-Silica Fume Pastes," Cement and Concrete Research, Vol. 15, pp.765 -774, 1985.

16. Jahren, P., "Use of Silica Fume in Concrete, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete," ACI, SP-79, pp.625-642, 1983.

17. Seung Bum Park, "Strengths and Durability of Cement Blended with Fly Ash," Report of KICT, CNU, Vol. 2, No. 1, pp.30-39, 1975.

18. Seung Bum Park, "Experimental Study on the Engineering Properties of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites," J. of KCI, Vol. 1, No. 1, pp.95-104, 1989.

19. 長滝重義ほか, "各種フライアッシュの品質とコンクリートの流動性," セメント・コンクリート, No. 472, 1986.

20. 山本忠, "フライアッシュを原料とした新しい骨材の開發, "セメント・コンクリートに関する最近の話題と問題點," 産業技術研究會, 東京, pp.8, 1986.

21. 長崎慶仲, 水野武司, "石炭灰の有效利用, ゴム充てん劑, プラスチック充てい劑, 比陸カれらの素地への利用," 工業材料, Vol. 32, No. 7, pp.101 -105, 1984.

22. 川村満紀, 竹本邦夫ほか, "シリカフュームのアルカリ・シリカ膨張に及ぼす影響," セメント・コンクリート, No. 469, pp.29-35, 1986.

23. セメント協會 海洋開發 專門委員會, "シリカフュームを用いたコンクリト," セメント・コンクリート, No. 480, pp.41-47, 1987.

24. 白山和久, "気泡コンクリート," コンクリート工學ハンドブック, 朝倉書店, 東京, pp.708-720, 1981.

25. 문한영, 서정우, "Fly Ash를 혼합한 굳지않은 콘크리트에 있어서 유기혼화제의 기능에 관한 연구," 대한토목학회지, Vol. 8, No. 2, pp.117-124, 1988.

26. 천병식, 조영구, "화력발전소에서 부산되는 석탄회의 공학적 특성," 대한토목학회지, Vol. 8, No. 2,

pp.59-66, 1988.

27. 산업기지 개발공사, "Fly Ash 콘크리트 연구 보고서 1 차," 1984. 12.

28. 산업기지 개발공사, "Fly Ash 콘크리트 연구 보고서 2 차," 1985. 12.

29. 한국전력공사 기술연구원, "콘크리트 혼화재로써의 석탄회 이용방안 연구," 1984. 4.