

산업폐기물을 이용한 건재용 고성능복합체의 개발 및 응용에 관한 실험적 연구

— 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체 —

Experimental Study on the Development and Application of High-Performance
Composite Utilizing Industrial Waste Products for Construction Works
— Carbon Fiber Reinforced Fly Ash·Cement Composites —

朴 承 範* 李 輔 成** 尹 羲 植***
Park, Seung Bum Rhee, Bo Sung Yoon, Eui Sik

요 약

이 연구는 피치계 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 여러가지 특성을 실험적으로 구명하고, 그 제조방법을 제시한 것이다. 복합체는 조강시멘트, 시리카 분말, 스티렌 부타디엔 러버 라텍스, 기포제와 탄소섬유 및 플라이애쉬를 사용하여 제조하였고, 배합조건별로 그 특성을 검토하였다. 연구결과, 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 압축강도, 인장강도, 휨강도, 흡수성 및 투수성 그리고 건조수축과 같은 물리적·역학적 성질은 스티렌 부타디엔 러버 라텍스를 첨가함으로써 현저히 개선되었으며, 아울러 복합체를 제조하는데는 기건양생보다 오토클라브 양생이 유리한 것으로 나타났다. 이 결과 앞으로 경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체를 이용한 프리캐스트 제품의 개발에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

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

The carbon fiber reinforced fly ash·cement composites using early strength cement, silica powder and a small amount of styrene butadiene rubber latex are prepared with carbon fiber, foaming agents and mixing conditions. As a result, the mechanical and physical properties such as compressive, tensile and flexural strengths, watertightness and drying shrinkage of lightweight carbon fiber reinforced fly ash cement composites are improved by using a small amount of styrene butadiene rubber latex. Also, the manufacturing process technology of carbon fiber reinforced fly ash·cement composites is developed. The development and applications of precast products of lightweight carbon fiber reinforced cement composites are expected in the near future.

* 정회원, 忠南大學校 工科大学 土木工學科教授

** 忠南大學校 工科大学 化學工學科教授

*** 정회원, 忠南大學校 大學院 博士課程

I. 서론

산업폐기물인 석탄회 및 플라이애쉬는 국내 화력발전소에서 연간 각각 200만톤 및 150만톤이상 대량으로 발생되어 이중 대부분은 막대한 경비를 들여 바다의 회사장에 폐기되고 있는 실정이며, '90년대 중반이면 국내의 전력수요 급증에 따른 화력발전소의 설비증가로 이들 부산물은 모두 400만톤에 이를 것으로 예상되고 있어, 부존자원이 없는 우리나라에서도 선진국과 같이 이들 산업폐기물의 유효한 이용 및 용도개발이 시급한 실정이다.

이미 미국, 일본, 영국 및 유럽 등지에서는 이들 산업부산물인 플라이애쉬를 콘크리트에는 물론 산업용재료로서의 연구개발 및 응용이 활발히 진행¹⁻¹⁹⁾되고 있으며, 또한 우리나라에서도 이에 관한 연구가 박^{20, 21)}, 문²²⁻²⁵⁾, 천²⁶⁾ 및 관련연구소²⁷⁻³⁰⁾ 등에서 수행된 바 있고 산업용으로 일부 활용되고 있으나, 선진국에 비하여 활용에 대한 연구가 미진한 실정이다.

이에 본 연구에서는 저탄성의 피치계 탄소섬유를 보강

재로 사용하여 경량·고강도이고 내화·내구성이 우수하며, 안정성이 높은 건재용 플라이애쉬·시멘트 복합체를 개발·활용하기 위한 기초적 연구로서 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 최적 배합조건과 각 영향인자에 따른 복합체의 역학적 특성과 수밀성을 구명코자 한다.

II. 실험 개요

1. 사용 재료

(1) 시멘트 및 플라이애쉬

시멘트는 S사 제품의 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬는 국내 유연탄 화력발전소인 B발전소에서 발생된 것을 사용하였으며, 각각의 화학조성 및 물리적 성질은 Table 1 및 2와 같다.

(2) 탄소섬유

탄소섬유는 Kureha(주) 제품의 피치계 CF 단섬유를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

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

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity(20℃)	Blaine's Specific Surface Area(cm ² /g)
19.2	5.9	2.8	61.7	3.6	4.2	1.37	3.14	4,500

Table 2. Chemical Compositions and Physical Properties of Fly Ash

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity(20℃)	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 ³ kgf/cm)	Elongation (%)
Pitch-based Carbon fiber	14.5	1.63	7,800	3.8	2.1

Table 4. Chemical Compositions and Physical Properties of Aggregates

Name of Aggregate	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Specific Gravity (20℃)	Particle Size
Silica Powder	99.6	0.01	0.01	2.60	Less than 0.15mm (Average 7.0μm)

Table 5. Properties of Polymer Dispersions

Type of Polymer Dispersion	Appearance	Specific Gravity (20℃)	pH (20℃)	Viscosity mPa·s (20℃)	Total Solids (%)
SBR	Milky-White, Without Coarse Particles, Coagula and the others	1.020	7.82	147	44.6

(3) 골재

골재는 미소한 직경의 CF 단섬유를 보강재로 사용하는 것을 고려하여, 매트릭스와 섬유와의 접착이 양호하도록 C광업 제품의 평균입경 $7.0\mu\text{m}$ 의 규사분말을 사용하였으며, 화학적 조성 성분 및 물리적 성질은 Table 4와 같다.

(4) 기포제 및 시멘트 혼화용 폴리머 분산제

기포제로는 국내 R사 제품의 고급 알콜 규산 에스텔계 기포제(Higher Alcohol-Sulfate type Foaming Agent)를 사용하였고, 폴리머 분산제는 일본 H사 제품의 SBR(Styrene-Butadiene Rubber Latex) 에멀존을 사용하였으며, 폴리머 분산제의 품질은 Table 5와 같다.

2. 배합 및 실험방법

(1) 배합 및 믹싱

경량 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 제조를 위한 배합에는 Table 6과 같이 하였고, 폴리머 분산제를 사용한 경우 복합체의 배합은 Table 7과 같이 하였으며, Flow 값은 모두 175 ± 5 로 하였다.

믹싱은 섬유를 매트릭스내에서의 랜덤 균등분산시키기 위하여 용량 10 l의 섬유분산용 Ommi-Mixer를 사용하였으며, 믹싱시간은 Dry blend로 2분(시멘트, 플라이애쉬 및 규사분말), Primary blend로 3분(물 및 혼화제 첨가), Secondary blend로 3~5분간 탄소섬유 투입하고 2분간 믹싱한 다음, 기포제를 첨가하여 2분간 믹싱하였다.

Table 6. Mix Proportions 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	38.5	173
			0.5	40.4	
			1.0	45.6	
			1.5	49.6	
			2.0	56.0	
		0.1	0	39.6	175
			0.5	42.1	
			1.0	46.0	
			1.5	50.5	
		0.2	0	40.6	176
			0.5	42.5	
			1.0	47.0	
1.5	51.0				
2.0	58.1				
0.3	0	41.5	178		
	0.5	43.0			
	1.0	47.1			
	1.5	53.0			
			2.0	59.1	

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
SBR	40 : 50	30	0.1	1.5	0	58.6	172
					5.0	54.5	174
					10.0	53.2	176
					15.0	49.8	175
					20.0	45.0	176
					25.0	42.0	177

폴리머 분산제 사용의 경우 믹싱시간은, Dry blend로 2분(시멘트, 플라이애쉬 및 규사분말), Primary blend로 3분(폴리머, 혼화제 및 물 첨가), Secondary blend로 3~5분간 탄소섬유 투입후 2분간 혼합하였다.

(2) 공시체의 성형 및 시험방법

압축 및 인장강도, 그리고 단위용적중량 시험은 각각 KSL 5104, 5105 및 KSF 2409에 준하여 시험을 행하였고, 압축변형의 측정은 공시체 측면에 길이 30mm의 와이어 스트레인 게이지를 부착하여 종변형 및 횡변형을 측정하였다. 또한 휨강도 시험은 JIS R 5201에 준하여 4×4×16cm의 공시체를 제조하여 10t Instron 반능시험기를 사용하여 크로스베드 속도 5.5mm/min로 중앙집중재하 방식으로 휨시험을 행하고, 이때의 하중-처짐곡선을 레코더로 구하였다.

그리고 흡수율은 4×4×16cm의 공시체를 제조하여 오토클래브 양생후 7일 건조(20±1℃, 50% RH) 양생한 기건 상태의 공시체에 대하여 다음 식으로 구하였다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

여기서, W_0 : 수중침적전 공시체 중량(g)

W_1 : 수중침적후 공시체 중량(g)

또한 투수시험은 일본 M사 제품의 투수시험기를 사용하여 직경 15cm, 길이 30cm, 중심공 2.0cm의 중공원통형 공시체를 제조하여 아웃트·푸트 방법으로서 24시간후의 투수량을 구하였다.

한편, 건조수축 시험은 기건양생 및 오토클래브 양생후를 기준값으로 하여 KSF 2424의 콤팩터타 방법에 따라 재령 6개월까지의 건조수축을 측정하였으며, 이때 공시체의 중량변화율도 측정하였다.

(3) 양생방법

공시체의 양생은 성형후 24시간에 탈형하여 1일 습윤양생(23±2℃, 80%RH)후, 기건양생(23±2℃, 60±5%RH)과 오토클래브 양생(최고온도 180℃, 10kg/cm²의 기압에서 4시간동안 양생)을 실시하였으며, 재령 7일에서 각종 강도를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 워커빌리티 및 기건비중

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 Flow

값을 175±5로 유지함에 있어서 탄소섬유 혼입을 및 기포제 첨가율과 물-(플라이애쉬+시멘트)비의 관계는 Fig. 1 및 2에 나타낸 바와 같다.

탄소섬유 혼입을 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 물-(플라이애쉬+시멘트)비는 현저히 증가하는 경향을 보여 워커빌리티는 불량해지는 것으로 나타났다.

특히, 탄소섬유 혼입율이 물-(플라이애쉬+시멘트)비에 미치는 영향은 크고, 기포제의 첨가율에도 불구하고 탄소섬유 혼입을 $V_{CF}=2.0\%$ 에서 (플라이애쉬+시멘트)비는 $V_{CF}=0\%$ 인 경우에 비하여 약 2.8배에 달하였다.

또한, 탄소섬유 혼입을 및 기포제 첨가율과 기건비중의 관계는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 탄소섬유 혼입을 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 기건비중은 전반적으로 저하하였고, 특히 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 기건비중은 현저히 저하하는 양상을 보여 Ohama¹²⁾의 보고와 유사한 경향을 나타내었다. 기포제를 0.1% 첨가한 경우 $V_{CF}=2.0\%$ 까지 사이에 기건비중은 1.20~1.31 정도의 경향화 경향을 나타내었다. 여기서 $V_{CF}=1.5\%$ 까지는 시멘트 매트릭스 중에서 Fiber-ball이 생기지 않고 균등분산이 가능하여 워커빌리티는 양호하였다.

한편, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비와 물-(플라이애쉬+시멘트)비 및 기건비중의 관계는 Fig. 4 및 5와 같고, 일반적으로 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비의 증가에 수반하여 물-(플라이애쉬+시멘트)비 및 기건비중은 저하하는 경향을 나타내었다. 폴리머 분산제의 사용에 의하여 시멘트 매트릭스의 유동성이 현저히 증가하는 경향을 보였으며, 이 경우 기포제를 사용하지 않아도 될 것으로 판단된다. 또한, 폴리머 혼입여부에 관계없이 $V_{CF}=1.0\%$ 및 1.5% 까지 CF의 시멘트 매트릭스중에 균등분산이 용이하였고, 그 이상은 Fiber-ball이 현저히 발생한 것으로 보아 탄소섬유의 혼입율은 1.5%정도가 적정량인 것으로 판단된다.

2. 압축강도

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 섬유혼입을 및 기포제 첨가율과 압축강도와와의 관계는 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 여기서 기포제 첨가율 및 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 압축강도는 저하하였고, 기포제 첨가율의 증가에 수반하여 그 압축강도는 현저하게 저하하였다. 또한 기포제 첨가율 0.1%이고 폴리머 분산제를 사용하지 않았을 때의 압축강도는 CF 혼입율 0.

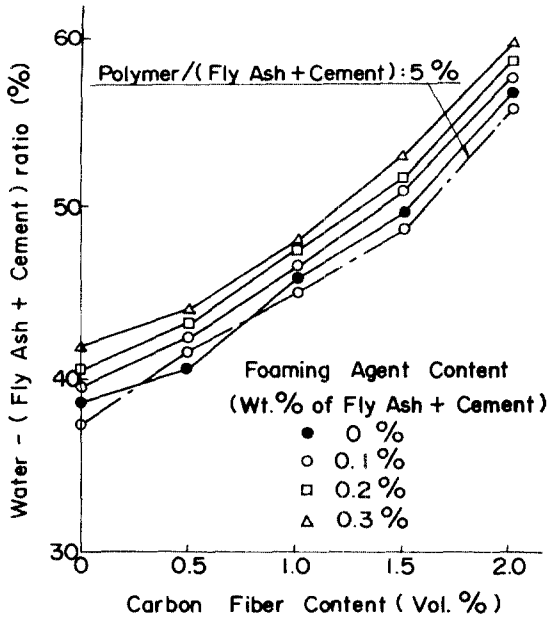


Fig. 1. Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

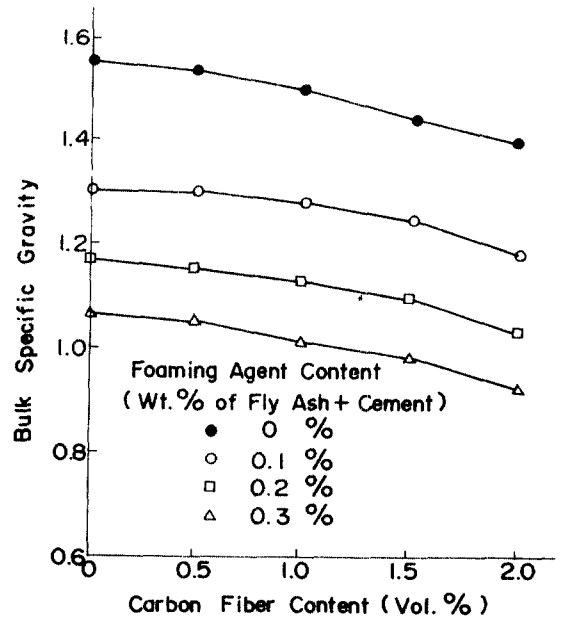


Fig. 3. Relationship between Bulk Specific Gravity and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

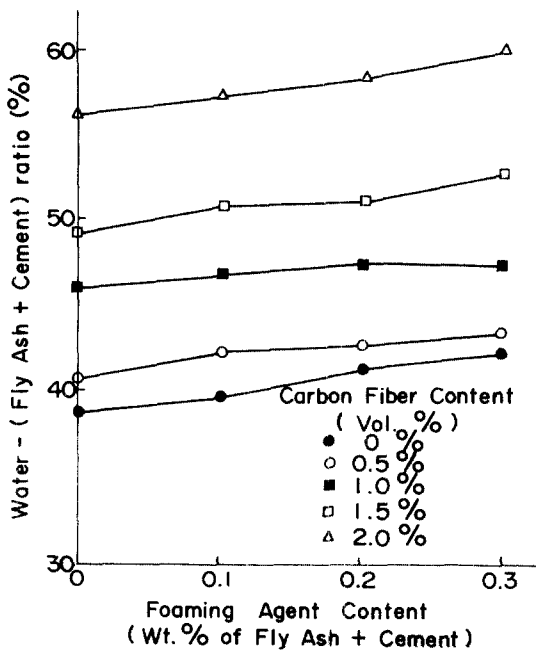


Fig. 2. Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Foaming Agent Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

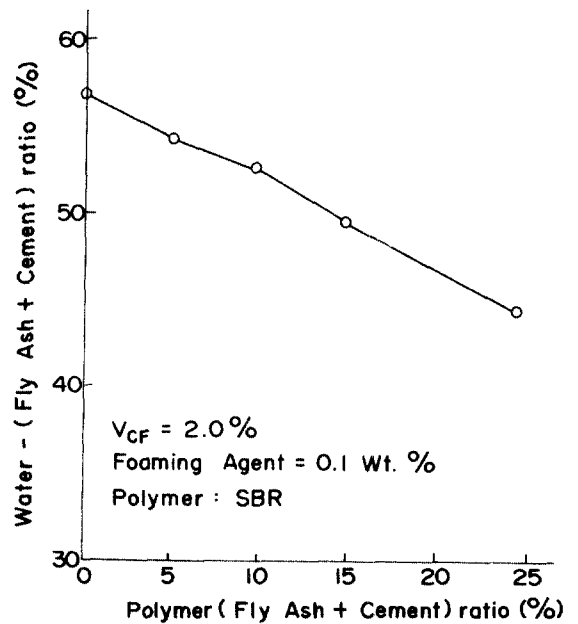


Fig. 4. Relationship between Water-(Fly Ash+Cement) ratio and Polymer-(Fly Ash+Cement) ratio of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

0.5, 1.0, 1.5, 2.0%일때 각각 182, 178, 170, 152, 143kg/cm²이고, 압축탄성계수는 각각 0.81, 0.60, 0.57, 0.53,

0.50($\times 10^5$ kg/cm²), 포아슨비는 각각 0.28, 0.20, 0.18, 0.17, 0.15이었다. 그 결과, 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반

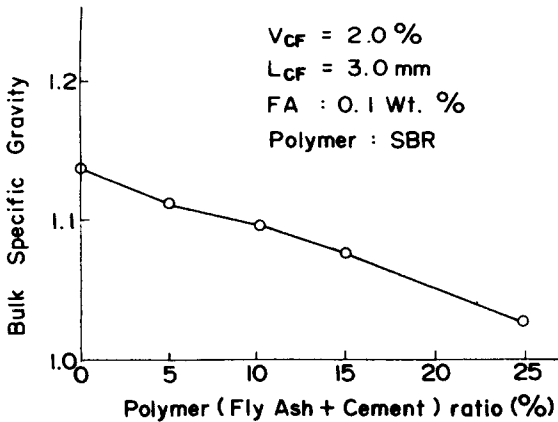


Fig. 5. Relationship between Bulk Specific Gravity and Polymer - (Fly Ash + Cement) ratio of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

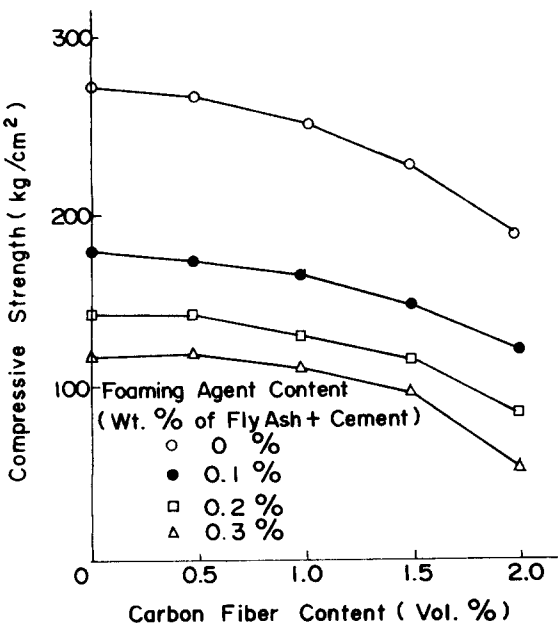


Fig. 6. Relationship between Compressive Strength and Carbon Fiber Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

하여 압축탄성계수 및 포아슨비도 저하하는 경향을 나타내었다.

현재 사용되고 있는 구조용 기포 콘크리트의 압축강도가 50~200kg/cm²임을 감안할 때, 본 연구결과에서 나타난 압축강도는 51~180kg/cm²로서 이 값을 만족하며, 압축강도의 측면에서 볼 때 기포제 첨가율은 플라이애쉬와 시멘트 중량의 0.1~0.2% 정도가 적당한 것으로 판단된

다.

또한 폴리머 분산제(SBR)의 첨가효과는 Fig. 4 및 5에서 나타낸 바와 같다. 이는 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비를 변화시킨 경우의 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비와 물-(플라이애쉬+시멘트)비 및 기건비중의 관계를 나타낸 것으로, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비의 증가에 따라 물-(플라이애쉬+시멘트)비 및 기건비중은 저하하는 경향을 보였다.

한편, Fig. 9에서 V_{CF}=1.5%, 기포제 첨가율 0.1%인 경우, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비가 0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0%일때, 압축강도는 각각 182, 192, 190, 175, 166, 146kg/cm²를 나타내어 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비 5.0% 및 10.0%에서 폴리머 분산제를 사용한 경우가 사용하지 않은 경우에 비하여 증가경향을 나타내었으나, 과도한 폴리머 분산제의 사용은 오히려 압축강도 저하현상을 나타내므로 SBR 폴리머 분산제의 적정사용량은 5.0~10.0%인 것으로 판단된다.

3. 인장, 휨강도 및 처짐특성

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 탄소섬유 혼입율과 인장강도와와의 관계는 Fig. 7 및 9에 나타낸 바와 같다. V_{CF}=1.5%까지 탄소섬유 혼입율이 증가함에 따라 인장강도가 증가하나, V_{CF}=2.0%에서는 다소 저하하는 경향을 나타내었다. 이는 섬유 혼입율 2.0%에서 현저한 Fiber-ball의 발생에 따른 섬유의 균등분산이 불량한데 기인하는 것으로 판단된다.

폴리머 혼입의 경우 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비 5.0~10.0%에서 인장 및 휨강도는 폴리머를 혼입하지 않은 경우에 비하여 현저히 증대하는 경향을 나타내었다. 이는 폴리머 혼입에 의하여 매트릭스 자체의 강도 및 매트릭스와 섬유의 부착력 향상에 기인한 것으로 생각된다.

또한, 탄소섬유 혼입율과 휨강도의 관계는 Fig. 8 및 9에 나타낸 바와 같이, V_{CF}=1.5%까지 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 휨강도는 증대하는 경향을 보였고, 그 이상의 경우는 다소 저하하는 경향을 나타내었으며, 이는 믹싱중 Fiber-ball의 발생에 기인하는 것으로 판단된다. 폴리머 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 현저한 휨강도 증가경향을 나타내어 약 1.2~1.6배에 달하였다. 이는 인장강도의 경우와 같이, 폴리머 혼입에 의하여 매트릭스 자체 및 매트릭스와 섬유와의 부착력 증대에 기인한

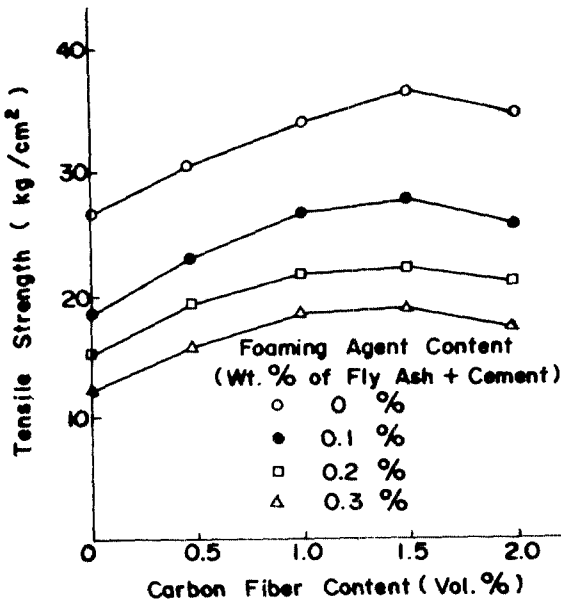


Fig. 7. Relationship between Tensile Strength and CF Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

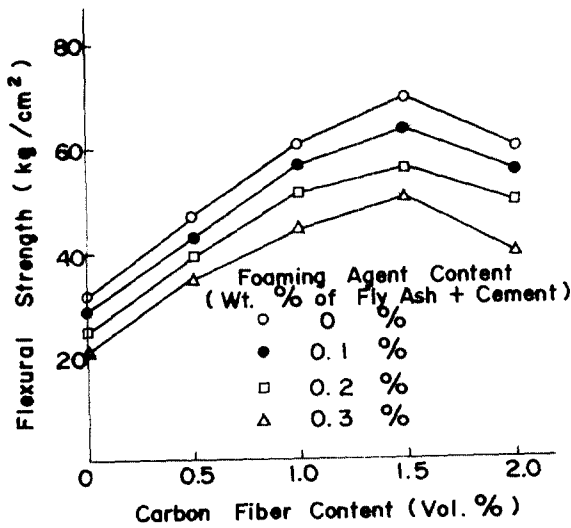


Fig. 8. Relationship between Flexural Strength and CF Content of Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

것으로 판단된다.

한편, 탄소섬유 혼입율을 변화시킨 경우의 휨하중-처짐 곡선은 Fig. 10과 같다. 이를 고찰하여 보면, 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 휨변형 특성은 크게 개선되었으나, 폴리머 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 휨하중-변형특성의 현저한 차이는 나타나지 않았다.

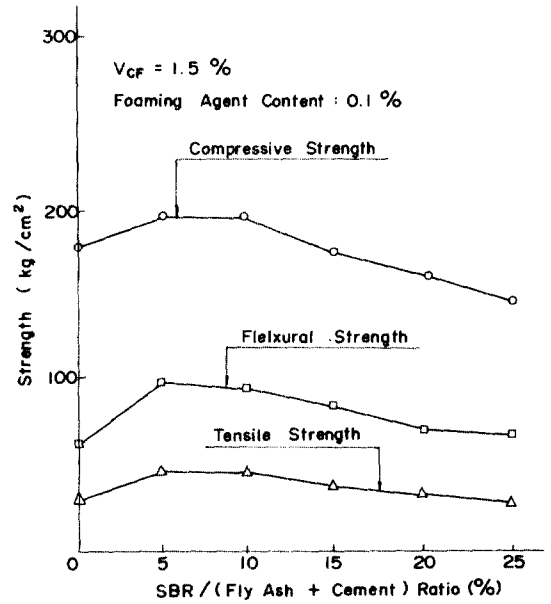


Fig. 9. Relationship between Strengths and Polymer/(Fly Ash + Cement) Ratio

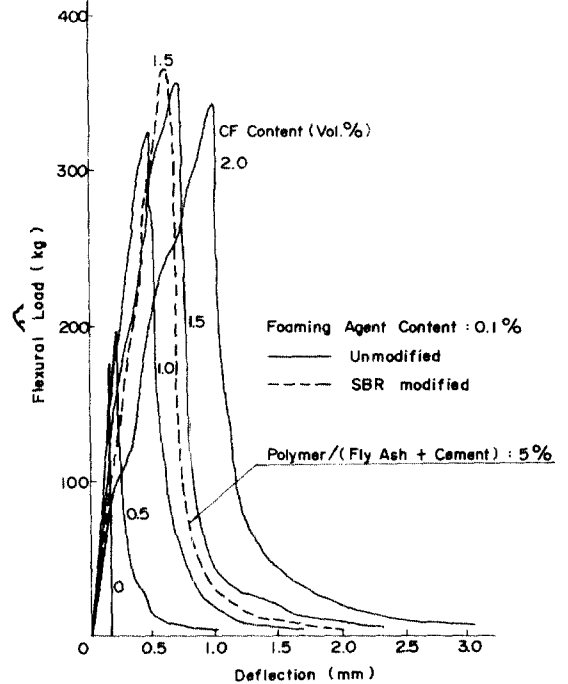


Fig. 10. Flexural Load-Deflection Curves for Lt. Wt. CF reinforced Fly Ash - Cement Composites

4. 흡수성 및 투수성

기전상태에서의 탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트

복합체의 수중침적 시간과 흡수율과의 관계는 Fig. 11에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 침적시간의 증가에 수반하여 흡수율도 현저히 증대하는 경향을 나타내었다. 즉, 침적시간 24시간에서 $V_{CF}=2.0\%$ 의 경우 $V_{CF}=1.0\%$ 에 비하여 약 3.0배에 달하였고, 폴리머 분산제 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 흡수율은 현저히 저하하는 경향을 보였으며, 이는 폴리머 혼입에 의해 시멘트 매트릭스내에 폴리머 필름이 형성되어 방수성이 개선되기 때문으로 생각된다.

한편, Fig. 12는 기건상태에서의 탄소섬유 혼입율과

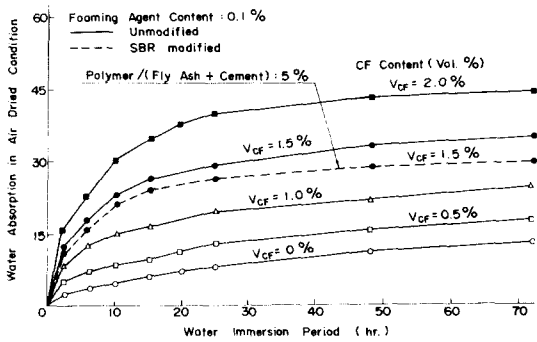


Fig. 11. Relationship between Water Absorption and Water Immersion Time

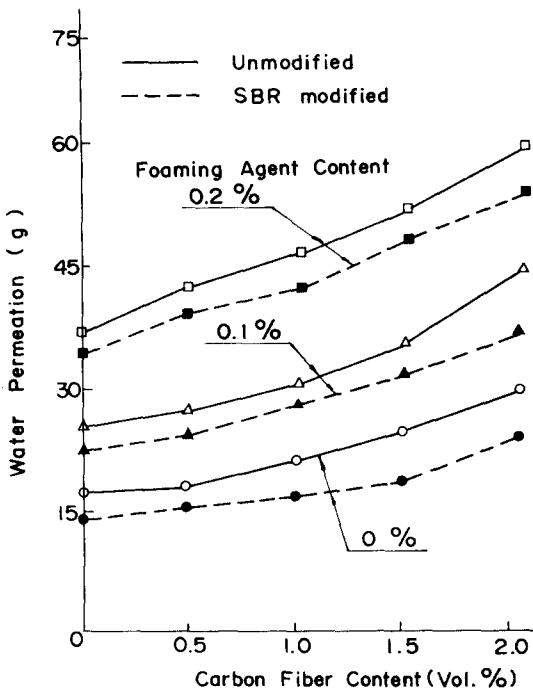


Fig. 12. Relationship between Water Permeation and Carbon Fiber Content

투수량의 관계를 나타낸 것으로 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 그 투수량은 현저히 증가하였다. 또한, 폴리머 분산제 혼입의 경우는 혼입하지 않은 경우에 비하여 투수량은 현저히 작았다.

이러한 현상은 흡수율의 경우와 같이 폴리머 혼입에 의해 시멘트 매트릭스내에 폴리머 필름이 형성되어 방수성이 증대되기 때문인 것으로 판단된다.

5. 건조수축

탄소섬유 보강 플라이애쉬·시멘트 복합체의 건조양생 재령에 따른 건조수축과 증량감소율의 관계는 Fig. 13 및 Fig. 14에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 탄소섬유의 혼입율에 관계없이 건조재령의 경과와 함께 건조수축은 전반적으로 증가하고, 이러한 경향은 CF 혼입율의 증가에 따라 작아지는 경향을 나타내었다. 오토

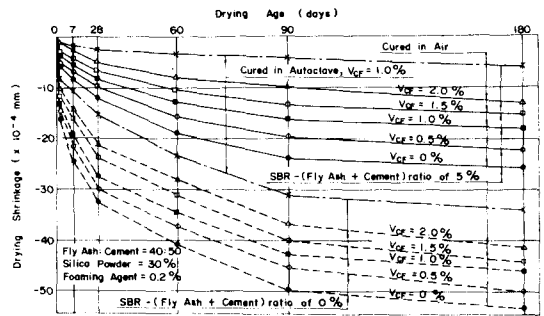


Fig. 13. Relationship between Drying Age and Drying Shrinkage of CF reinforced Fly Ash·Cement Composites without Polymer and with Polymer

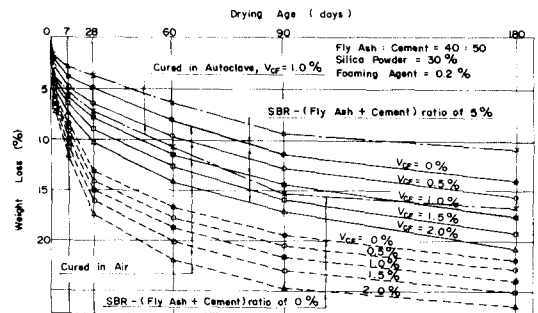


Fig. 14. Relationship between Weight Loss and Drying Age of CF reinforced Fly Ash·Cement Composites without Polymer and with Polymer

클래브 양생의 경우 기건양생의 경우에 비하여 재령 6개월에서 $V_{CF}=1.0\%$ 일때 약 1.6배 감소하였고, 폴리머/(플라이애쉬+시멘트)비 5%를 혼입한 경우 $V_{CF}=1.0\%$ 일때 약 3.3배의 현저한 감소경향을 나타내어 건재용 2차제품에 응용하는 경우 오토클래브 양생이 바람직할 것으로 판단된다.

또한, 탄소섬유 혼입율에 불구하고 폴리머 분산제 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 건조수축은 평균 2.4배정도 현저히 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 폴리머 혼입에 의한 보수성의 향상에 기인하는 것으로 판단된다.

한편, 재령의 경과와 함께 중량감소율은 커지며, 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 현저히 커지는 경향을 나타내었다.

IV. 결론

(1) Flow값을 일정하게 유지함에 있어서 물-(플라이애쉬+시멘트)비는 섬유 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 현저히 증가하여 $V_{CF}=1.5\%$ 인 경우 $V_{CF}=0\%$ 인 경우에 비하여 약 2배에 달하여 워커빌리티가 불량해졌고, 기건비중은 전반적으로 저하하여 $V_{CF}=1.5\%$, 기포제 첨가율 0.3%인 경우, $V_{CF}=0\%$, 기포제 첨가율 0%인 경우에 비하여 약 2.1배 저하하였다. 또한 $V_{CF}=2.0\%$, 기포제 첨가율 0.1%인 경우에 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비가 0%에서 25%로 증가시키면 물-(플라이애쉬+시멘트)비는 57%에서 44%로 저하하고, 기건비중은 1.13에서 1.03으로 현저히 저하하는 경향을 나타내었다.

(2) 압축강도는 섬유 혼입율 및 기포제 첨가율의 증가에 따라 저하하였다. 또한, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비 5~10%의 경우 압축강도는 현저히 개선되는 경향을 나타내었으나, 15%에서 25%까지 증가함에 따라 오히려 압축강도는 10%인 경우에 비하여 8~23%정도 저하하는 경향을 나타내었다. 따라서, 본 연구결과로부터 적정 섬유사용량은 $V_{CF}=1.0\sim 1.5\%$, 기포제 첨가율은 0.1~0.2%, 폴리머 분산제는 5.0~10.0%정도를 사용함이 적당한 것으로 판단된다.

(3) 인장 및 휨강도는 탄소섬유 혼입율 1.5%까지 섬유 혼입율의 증가에 수반하여 증대되었으나, 그 이상의 경우는 저하하는 경향을 나타내었으며, 이는 섬유의 과다 혼입으로 인한 Fiber-ball의 발생과 섬유의 균등분산이

이루어지지 못함에 기인한 것으로 판단된다. 또한 폴리머 분산제의 혼입에 의하여 혼입하지 않은 경우에 비해 인장 및 휨강도는 전반적으로 현저한 증가경향을 나타내었다. 그리고 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 휨변형 특성은 크게 개선되었다.

(4) 탄소섬유 및 기포제 혼입율의 증가에 수반하여 흡수율 및 투수량은 현저히 증대되고, 폴리머 분산제 혼입의 경우 혼입하지 않은 경우에, 비하여 흡수율 및 투수량은 현저히 저하하는 경향을 나타내었다. 이는 폴리머 혼입에 의한 시멘트 매트릭스내에 폴리머 필름이 형성되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 2차제품등에 응용 시 방수성 증대를 위하여 적정량의 폴리머 분산제의 사용이 요망된다.

(5) 재령에 따른 건조수축은 전반적으로 증대하나 이러한 경향은 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 감소하는 경향을 나타내었다. 오토클래브 양생의 경우 기건양생에 비해 재령 6개월에서 $V_{CF}=1.0\%$ 일때 약 1.6배 감소하였고, 폴리머-(플라이애쉬+시멘트)비 5%를 혼입한 경우 $V_{CF}=1.0\%$ 에서 약 3.3배의 현저한 건조수축의 개선효과를 나타내었다. 따라서 건재용 제품에 응용할때는 오토클래브 양생이 유리하다. 또한, 재령의 경과 및 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 중량 감소율이 현저히 커지는 경향을 나타내었다.

감사의 말

본 논문은 1989년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음을 밝히며, 동재단에 대하여 심심한 사의를 드리는 바입니다.

참 고 문 헌

1. Diamond, Sidney, "The Utilization of Fly Ash", Cement Concrete Research, Vol.14, pp.455-462, 1984.
2. Berry, E.E. and Malhotra, V.M., "Fly Ash for Use in Concrete-A Critical Review", ACI J. Proc., Vol. 77, No.8, pp.59-73. Mar.-Apr., 1980.
3. Davis, Raymond E., "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash", ACI J. Proc., Vol. 33, No.5, pp.577-612, May-June, 1937.

4. Chitaranjan, N., "Compressed Lime-Fly Ash-Gypsum Blocks", Indian Concrete J., Vol.57, No.6, pp.153-156, 1983.
5. Bernhardt, C.J., "SiO₂-dist as Admixture to Cement", Betongen 1 dang, pp.29-53, Apr., 1952.
6. Haque, M.N., Langan, 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 Compositon", Transaction of JCI, Vol.7, pp.9, 1985.
9. Maslehuddin 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.
10. Mehta, P.K., "Pozzolanic and Cementitious By-Products as Mineral Admixtures 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.
11. 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.
12. Ohama, Y., K. Demura, "Development of Lightweight CFR-ACC", Proc. of the International Symposium on FRC, Madras, India, Dec. pp.16-19, 1987.
13. 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.
14. 長瀧重義ほか, "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.
15. 山本忠, "フライアッシュを原料とした新しい骨材の開発, セメント・コンクリートに関する最近の話題と問題点", 産業技術研究会, 東京, pp.8, 1986.
16. 長崎慶伸, 水野武司, "石炭灰の有効利用, ゴム充てん剤, プラスチック充しい剤, 比陸力への素地への利用", 工業材料, Vol.32, No.7, pp.101-105, 1984.
17. 川村満紀, 竹本邦夫ほか, "シリカフェュームのアルカリ・シリカ膨脹に及ぼす影響", セメント・コンクリート, No.469, pp.29-35, 1986.
18. セメント協会海洋開発専門委員会, "シリカフェュームを用いたコンクリート", セメント・コンクリート, No.480, pp.41-47, 1987.
19. 白山和久, "氣泡コンクリート", コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, 東京, pp.708-720, 1981.
20. Seung Bum Park, "Strengths and Durability of Cement Blended with Fly Ash", Report of KICT, CNU, Vol.2, No.1, pp.30-39, 1975.
21. 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.
22. 문한영, 서정우, "콘크리트용 혼화제로서 국산 플라이애쉬의 품질에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, 제7권, 제3호, 1987. 9.
23. 문한영, 서정우, 손형호, "플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 내약품성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제8권, 제1호, 1988. 3.
24. 문한영, 서정우, "플라이애쉬를 혼합한 굳지 않은 콘크리트에 있어서 유기혼화제의 기능에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제8권, 제2호, 1988. 6.
25. 문한영, 서정우, 손형호, "플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 배합 및 강도특성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제8권, 제3호, 1988. 9.
26. 천병식, 조영구, "화력발전소에서 부산되는 석탄회 of 공학적 특성", 대한토목학회지, Vol.8, No.2, pp.59-66, 1988.
27. 산업기지 개발공사, "Fly Ash 콘크리트 연구보고서 1차", 1984. 12.
28. 산업기지 개발공사, "Fly Ash 콘크리트 연구보고서 2차", 1985. 12.
29. 한국전력공사 기술연구원, "콘크리트 혼화제로서의 석탄회 이용방안 연구", 1984. 4.
30. 과학기술처, "고강도, 유동화, 섬유콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구", 과학기술처 연구보고서, 1988. 3.

(접수일자 : 1991. 6. 4)