

論文

炭素纖維 補強 시멘트 複合體(CFRC)의
乾燥收縮 및 凍結融解抵抗성에 關한 研究

朴承範* · 李輔成** · 尹義植***

An Experimental Study on the Drying-Shrinkage and Freeze
-Thaw Durability of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites

Seung-Bum Park* Bo-Sung Rhee** and Eui-Sik Yoon***

ABSTRACT

In order to discuss the properties of drying-shrinkage and freeze-thaw durability of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites(CFRC) with the short random carbon fibers, experimental studies of CFRC were carried out.

The types of fibers used which are in CFRC are pitch-based carbon fiber. To examine the effects of the lengths, contents of CF and matrices, the following two methods of CFRC, Air cured CFRC and Autoclaved CFRC were tested.

According to the test results, drying-shrinkage of Auto-claved CFRC was remarkably less than that of Air cured CFRC in 180 days. But, the indicates that the CFRC did not significantly affect the tendency of fiber length.

In case of freeze-thaw durability tests, the micro balloon used CFRC were remarkably drop in relative dynamic elasticity modulus and loss of mass comparing with silica powder used CFRC in 300 cycles. And in case of micro balloon used CFRC, freezing-thawing resistance of Air cured CFRC higher than that of Autoclaved CFRC, but there were no significant difference from contents of fiber volume.

초 록

저탄성의 Pitch 계 탄소섬유를 시멘트 복합체에 혼입한 CFRC의 양생조건별(기건양생 및 오토클레브 양생), 섬유의 길이별, 혼입량별 건조수축 및 동결융해 저항성에 관한 특성을 검토하였다.

시험 결과, Autoclave를 행한 CFRC의 건조수축은 재령 6개월에서 기건양생의 CFRC 공시체

* 정회원, 忠南大學校 工科大学 土木工學科

** 정회원, 忠南大學校 工科大学 化學工學科

*** 정회원, 忠南大學校 大學院 博士課程

에 비하여 현저히 감소하였고, 섬유 길이에 의해서는 전반적으로 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한, 동결융해 저항성 시험의 경우 micro balloon 을 사용한 CFRC 는 Silica powder 를 사용한 CFRC 공시체에 비하여 300 cycles 에서 상대 동탄성계수의 저하와 질량감소가 현저하였다. 그리고 열화현상이 크게 나타난 micro balloon 을 사용한 CFRC 의 경우 기건양생을 행한 CFRC 가 오토클래브 양생을 실시한 경우에 비하여 내동해성의 저하가 적게 나타났으며, 섬유의 혼입량에 따라서는 전반적으로 큰 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

1. 서 론

최근 독립기념관 개관 및 '88올림픽을 전후한 경기장, 돔, 스포츠 시설 및 대형빌딩, 대형플랜트 확충, 고속화 포장공사는 물론 활주로, 원자로 및 각종 사이로 건설과 일반 산업에의 각종 고강도·내화·경량복합재의 수요가 급신장하고 있는 추세이다. 특히 각종 구조물의 대형화 및 고층화에 따른 막대한 수입경량화용 소재와 절골재의 절감을 위한 경량고강도 섬유보강 시멘트복합체에 대한 연구가 발표되었는데, 유리섬유는 화학적으로 불안정하여 장기 재령의 강도감소가 필연적이고 고온양생에 취약하며, 석면섬유는 충격강도가 작고 공해가 심하며, 폴리프로필렌 섬유는 탄성율이 낮아 복합체의 강도증가에 문제가 있어 안정성과 신뢰성을 제고시킬 대체재료의 개발이 시급한 실정이다.

최근 미국, 일본 및 구라파 등 선진국에서 건설용 시멘트 복합재로써 그 물리적, 역학적 성능 및 내구성능이 우수한 경량·고강도의 탄소섬유 보강 시멘트 복합체(CFRC)의 개발·응용을 위한 연구보고[1-9]가 발표된 바 있고, 국내에서도 탄소섬유의 국내생산 및 공업화를 시점으로 경량·고강도 및 역학적 성능은 물론 내열, 내구성 및 안정성과 신뢰도가

높은 건설용 구조부재 및 일반 산업용재로서의 CFRC에 관한 제조 및 응용을 위한 연구가 보고된 바 있다[10-11].

본 연구에서는 탄소섬유·시멘트 복합체(CFRC)의 개발 및 응용에 관한 연구[10]에 이어 CFRC의 실제 구조물에서의 응용을 위하여 여름철의 고온·저습 및 겨울철의 저온하에서의 기상조건에서 내구성능을 파악하기 위한 기초적 실험연구로 양생조건별 건조수축 시험과 동결융해 시험에 의하여 CFRC의 길이변화 및 내구성능을 검토하였다.

2. 실험 개요

2.1. 사용 재료

(1) 탄소 섬유

Kureha 제품의 Pitch계 단섬유(FL: 10mm, 20mm)를 사용하였으며, 그 물성은 Table 1과 같다.

(2) 시멘트 및 골재

시멘트는 S사 제품의 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 물성은 Table 2와 같다. 그리고 골재

Table 1. Properties of carbon fiber

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

는 S 광업 제품의 Silica Powder(입경 0~80 μ m) 및 Micro Balloon(입경 0~150 μ m)을 사용하였으며, 그 물성은 Table 3과 같다.

(3) 혼화제

고유동화제 NP-20 및 Methyle Cellulose(점도 4,000 cps, 용해성 ; 열수분산) 그리고 소포제 (Active Deformer : 30%, 비중 1.0)를 사용하였다.

2.2. 배합 및 시험방법

(1) 배합

시멘트 매트릭스의 배합은 Table 4와 같이 하였고, 믹싱은 용량 30l의 고성능 Omni-Mixer를 사용하여 시멘트 매트릭스내에서의 섬유 랜덤균 등

분산을 도모하였으며, 비빔시간은 (a) Dry blend (30초), (b) Primary blend(4.5분), (c) Secondary blend(5분)으로 평균 10분간으로 하였다.

(2) 공시체의 성형 및 시험방법

건조수축 시험은 4×4×16cm의 공시체를 제작하여 3가지 양생조건하에서 ASTM C 157 콤팩테터법에 준하여 측정하였고, 동결융해 저항성 시험은 ASTM C 666-2에 의한 수중 동결융해 시험방법으로 -18℃~+10℃에서 1일 6~8 Cycle의 시험을 300 Cycle까지 행하였으며, 측정은 공시체의 길량과 1차 공명주파수의 변화를 조사함과 아울러 표면상태의 고찰을 행하였다.

(3) 양생 방법

기건양생 (23±2℃, 55±1% RH) 및 오토클래브

Table 2. Properties of early strength cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Time of Setting		Compressive Strength (kg/cm ²)				
		Initial (hr. : min.)	Final (hr. : min.)	1 days	3 days	7 days	28 days	
3.15	4,500	3 : 20	5 : 20	197	338	373	448	
CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	lg. loss (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
61.7	19.2	5.9	4.2	3.6	2.8	1.37	1.08	0.15

Table 3. Properties of aggregates

Name of Aggregate	Chemical Components (%)			Physical Properties	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Specific gravity	Particle size
Silica Powder	95.1	2.15	2.75	2.70	0 - 80 μ m
Micro Balloon	67.5	14.10	18.5	1.00	0 - 150 μ m

Table 4. Mix proportion of cement matrices for CFRC

W/C (%)	S/C	Unit Weight (kg/cm ³)				
		Water	Cement	Silica Powder	S.P.* or Antifoam**	M.C.***
55	0.50	502	912	456	9.1*	4.6
110	0.70	653	594	416	5.9**	3.0

* Superplasticizer · ** Antifoam · *** Methyle Cellulose

양생(최고온도 $200 \pm 10^\circ\text{C}$, 11 ± 1 기압에서 5시간)을 행하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1. CFRC의 건조수축 시험 및 결과

CFRC에 의한 박판 프리캐스트 제품(타일 판넬 및 취부 판넬 등)을 제조함에 있어 만일 건조수축 변화가 크면 이들 제품의 제작 및 취부후에 판넬의 변형 비틀림 및 곡률변화 등으로 구조적·미관상 문제가 발생하게 되며, 이러한 관점에서 이들 복합재의 건조수축 변화를 최소화 할 양생방법의 적용이 중요하다.

이러한 관점에서 양생방법의 효과를 확인할 목적으로 본 시험이 수행되었다. 먼저, Pitch계 CF 단섬유 FL=10mm·20mm, $V_f=3.0\%$, w/c=110%, s/c=0.7, M.C.=시멘트 중량의 0.5%인 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 공시체를 제작하여 다음 3가지 양생조건하에서 ASTM C 157 콤파레터법에 준하여 재령

별로 길이 변화를 측정하였는데, 그 시험결과는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다.

양생조건은, 공시체는 재령 1일에 탈형하여,

(a) $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $55 \pm 15\%$ RH의 항온항습실 양생,

(b) 탈형 직후에 전술한 Autoclave 양생후 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $55 \pm 15\%$ RH의 항온항습실 양생,

(c) 탈형후 재령 7일까지 20°C 수중양생후 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $55 \pm 15\%$ RH의 항온항습실 양생

의 3가지 조건으로 하였다.

재령 6개월까지의 CFRC의 길이 변화를 Fig. 1로부터 고찰해 보면, Autoclave를 행한 CFRC 공시체는 탈형후 연속하여 항온항습실에서 양생한 공시체에 비하여 재령 6개월에서 길이 변화율이 약 1/4 정도로 작고, 수중 양생을 실시한 공시체에 비해서는 약 1/6 정도로 작았으며, 탈형후 2주로부터 재령 6개월까지의 길이 변화가 $\pm 3 \times 10^{-4}\text{mm}$ 정도로 다른 양생법에 비하여 대단히 안정됨이 확인되었다.

또한, CF의 길이에 의한 영향은 FL=20mm의 경우 FL=10mm의 경우에 비하여 재령 6개월에서 다소 길이 변화율이 저하하는 경향을 보였으나 전반

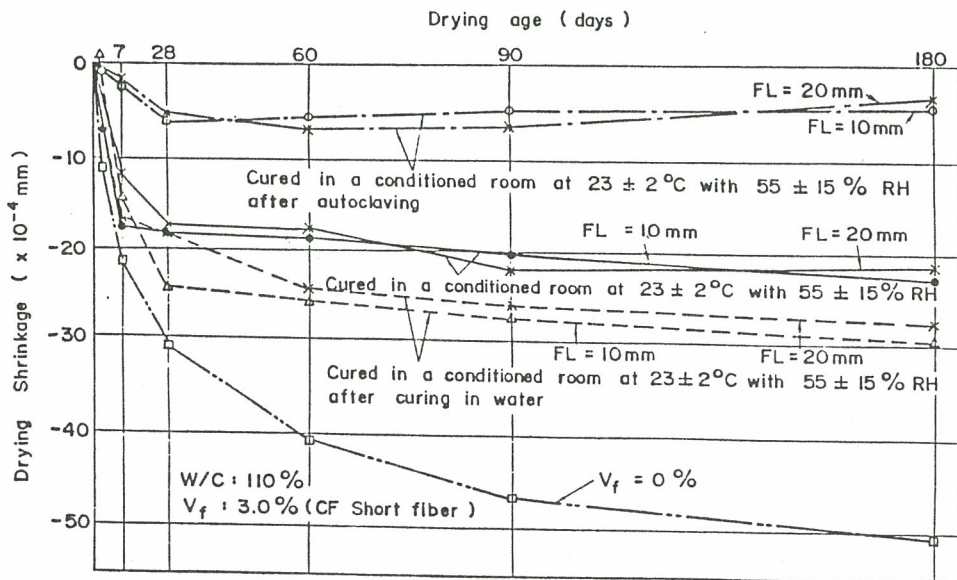


Fig. 1 Comparison of drying shrinkage of CFRC.

적으로 현저한 영향은 없는 것으로 나타났다.

이들로부터, CFRC의 제조는 시멘트 매트릭스의 건조수축의 약점을 보완하기 위해서는 Autoclave 양생이 매우 중요한 것으로 판단된다.

3.2. CFRC의 동결융해 저항성

한냉지에 있어 CFRC의 옥외 부재의 개발 응용을 위한 내동해성을 파악하기 위하여 골재의 종류 (Silica Powder 및 Micro Balloon), 탄소섬유 혼입율 (Pitch계 단섬유 $V_f=0\%, 2.0\%, 4.0\%$), 양생방법 (A/C, M/C)을 요인으로 ASTM C 666-2의 수중 동결융해 저항성 시험방법에 준하여 $76 \times 76 \times 406\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 1일 6~8 Cycle로 300 Cycle까지 시험을 행하였다.

측정은 공시체의 질량과 1차 공명주파수의 변화를 조사하고 표면상태를 고찰하였다.

또한 CFRC의 배합은 Silica Powder를 사용한 경우, $W/C=55\%$, $S/C=0.5$, $V_f=2.0\%, 4.0\%$, $Mc=0.5\%$ (*cwt), A. E. Agent 0.04% (Vinsol)로 하였고, Micro Balloon을 사용한 경우는

$W/C=110\%$, $S/C=0.7$, $Mc=0.52\%$, A. E. Agent 0.04%로 하였으며, 그 시험결과는 Fig. 2 및 3에 나타낸 바와 같다.

이들 실험결과로부터, 동결융해 시험시 Micro Balloon 골재를 사용한 경우에는 일반적으로 Scaling 현상이 많이 나타나 상대 동탄성계수의 저하가 현저하여 기건양생을 한 공시체의 경우 300 Cycle에서 약 27~30%의 상대 동탄성계수의 저하 및 25~32%의 질량감소가 있었으나, Silica Powder를 사용한 공시체의 질량감소는 5% 이하로 작고 상대 동탄성계수도 95% 이상의 양호한 결과를 나타내었다.

또한, 상대 동탄성계수의 저하가 큰 Micro Balloon을 골재로 사용한 경우, 동일 배합조건에서 Autoclave 양생에 의한 공시체가 기건양생을 한 공시체의 경우보다 이러한 현상은 더욱 현저하였으며, 전반적으로 내구성 지수는 80 이상으로 특히 Silica Powder를 사용한 경우는 질량감소 뿐만 아니라 상대 동탄성계수의 저하도 현저히 작고 양호한 편이었다.

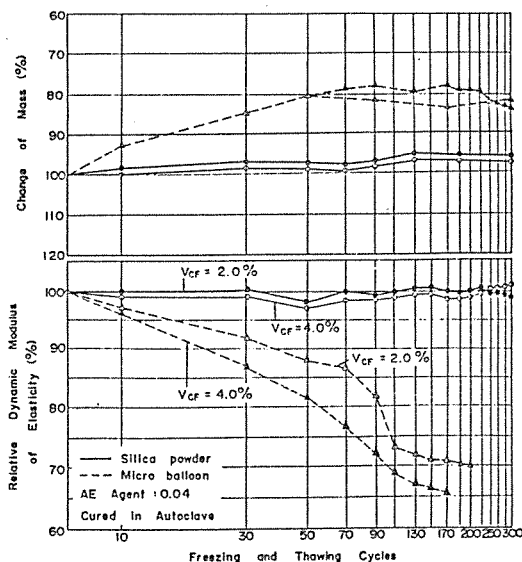


Fig. 2 Results of freezing-thawing test of CFRC.

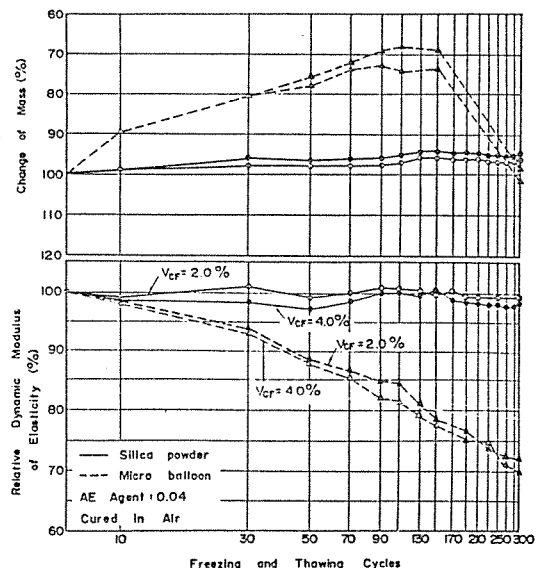


Fig. 3 Results of freezing-thawing test of CFRC.

한편, 시험요인에 의한 내동해성에 미치는 영향으로 CF 혼입에 따른 영향은 Plain Concrete의 경우에 비하여 동결융해 저항성이 크고, 혼입량 변화에 따른 열화현상의 차이도 크게 나타나지 않았으며 전반적으로 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

예를 종합해 보면, Micro Balloon과 Silica Powder를 사용한 공시체의 차이는 Micro Balloon을 사용한 경우 열화현상이 현저하였으며, 양생방법에 의한 차이는 Silica Powder를 사용한 경우에는 큰 영향을 미치지 않았으나, Micro Balloon 사용시 Autoclave 양생의 경우에 비하여 기건 양생의 경우가 내동해성의 저하가 작으므로 사용시의 습윤조건에 주의할 필요가 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

탄소섬유 보강 시멘트 복합체(CFRC)의 건조수축 및 동결융해 저항성은 양생조건, 믹싱 관계요인에 따라 큰 영향을 미치고 있음이 확인되었으며, 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Autoclave 양생의 경우 재령 6개월에서 길이 변화율이 기건양생을 한 공시체의 약 1/4, 수중양생을 행한 공시체의 약 1/6 정도로 현저히 작고 탈형 후 2주부터의 길이 변화가 다른 양생법의 경우에 비하여 대단히 안정적이었다. 또한, CF의 길이가 20mm의 경우 10mm인 공시체 보다 재령 6개월에서 길이 변화율이 다소 저하했으나 전반적으로 CF 길이에 의한 영향은 거의 없는 것으로 확인되어 건조수축의 약점 보완을 위해서는 Autoclave 양생이 매우 중요하다고 판단된다.

(2) 동결융해 시험시 Micro Balloon을 골재로 사용한 경우 열화현상이 현저하여 질량감소 및 상대동탄성계수의 저하가 크게 나타났으나, Silica Powder를 사용한 경우는 이런 현상이 현저히 작아 양호한 결과를 나타내었으며, CF 혼입에 의해서는 CFRC가 Plain Concrete의 경우에 비하여 동결융해 저항성이 크고 열화현상이 적게 일어났으나 전반적으로 큰 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

또한, 열화현상이 크게 발생한 Micro Balloon을 사용한 경우에는 기건양생을 한 공시체가 Auto-

clave 양생을 한 공시체의 경우에 비하여 오히려 내동해성의 저하가 작아 사용시 습윤조건에 주의할 필요가 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Sarker, S. and Bailey, M.A., "Structural Properties of Carbon Fiber Reinforced Cement", Fiber-Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, 1975, London, Vol. 1, pp.361~371.
2. Ali, M.A., Majumdar, A.J. and Rayment, D. L., "Carbon Fiber Reinforced Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 2, 1972, pp.201~212.
3. Akihama, S., Suenaga, T. and Banno, T., "Experimental Study on the Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites, J. of the JCI, Vol. 20, No. 8, 1982, pp.75~83.
4. Briggs, A., "Carbon Fiber-Reinforced Cement", J. of Materials Science, Vol. 12, No. 2, 1977, pp.384~404.
5. Gunasekaran, M., "Carbon Fiber Reinforced Polymer Concrete", Proc. of the 3rd International Congress on Polymers in Concrete, Vol. 1, College of Eng., Nihon University, Koriyama, Japan, 1982, pp.567~571.
6. Seki, S., Ueda, K. and Nuki, A., "On the Method of Manufacture of Cast-in-Place Polymer Impregnated Mortar and Carbon Fiber Reinforced Polymer Impregnated Mortar", Presented at the International Commission on Large Dams, Brazil, April 1982, p. 11.
7. Pal, S., Saha, S., "Stress Relaxation and Creep Behaviour of Normal and Carbon Fiber Reinforced Acrylic Bone Cement", Biomaterials, Vol. 3, No. 2, 1982, pp.93~96.
8. 大谷杉郎, 大谷朝男, "セメントとカーボンファイバー", カーボンファイバー 入門, オーム社, 東京, 1983, PP.147~148.
9. 大浜嘉彦, 天野幹夫, "炭素纖維補強 セメントモ

- ルタルの基礎性状”, 日本建築學會 東北支部 研究報告集, No. 4, 1982, pp.209~212.
10. Seung-Bum Park, Bo-Sung Rhee, “Experimental Study on the Development and Application of Carbon Fiber Reinforced Composites of High Strength”, J. of KSCM, Vol. 1, No. 1, 1988, pp.34~42.
11. Hae-Yong Kim, Bo-Sung Rhee, Seung-Bum Park, “Rheological Behaviour of Cement-Slurry Suspended with Short Carbon Fiber”, J. of KSCM, Vol. 1, No. 1, 1988, pp.61~66.
-