

양생조건에 따른 각종 섬유보강시멘트의 기계적 성질

정문영 · 송종택

단국대학교 재료공학과
(1998년 2월 25일 접수)

The Mechanical Properties of Several Fiber Reinforced Cement under Different Curing Condition

M. Y. Jeong and J. T. Song

Dept. of Mater. Sci. and Eng., Dankook Univ.

(Received February 25, 1998)

요 약

양생조건에 따른 각종 섬유보강시멘트의 기계적 성질을 조사하기 위하여, 내알칼리유리섬유(ARG), 폴리프로필렌(PP), 폴리비닐알코올(PVA)계 섬유를 2vol.%씩 혼합한 시편을 압출 성형해서 스팀양생 또는 오토클레이브양생을 한 후 휨강도와 탄성계수를 측정하였다. 그 결과 ARG섬유를 혼합한 시편은 양생조건에 관계없이 elastic-brittle curve의 특성을 보였다. PP와 PVA섬유의 경우, 스팀양생에서는 elastic-plastic 파괴 거동을 보였으나, 오토클레이브처리 후에는 elastic-brittle curve로 변화되어 나타났다. 이것은 이들 유기계섬유의 열적 안정성과 관계가 있는 것이 확인되었다.

ABSTRACT

In order to investigate the mechanical properties of several fibers for reinforced cement, these specimens with 2vol.% of ARG and organic fibers were formed by vacuum extrusion process. After steam curing and autoclaving, the flexural strength and the elastic modulus of FRC were measured. It was found that the ARG-FRC showed the elastic-brittle fracture behavior in both steam cured and autoclaved condition. And also the steam cured PP and PVA-FRC had elastic-plastic behavior, but their ductility were reduced and changed to the elastic-brittle after autoclaving. This change in mechanical behavior was found to be related to the thermal stability of these organic fibers.

Key words : FRC, Steam curing, Autoclave, Flexural strength, Elastic modulus

1. 서 론

시멘트 재료는 압축강도, 내구성, 강성 등이 우수하고 경제성을 가지고 있는 건축 재료로 가장 널리 사용되고 있으나 취성재료라는 결점 때문에 시멘트 제품은 압축강도에 비해 휨강도 및 인성은 매우 취약하다. 이런 시멘트 재료의 결점을 보완하기 위해 시멘트계 건축재료의 대부분은 보강섬유를 혼합하여 휨강도와 인성을 증가시킨 시멘트계 섬유보강 복합재료로 생산되고 있다.

현재까지 가장 많이 사용되고 있는 FRC(fiber reinforced cement)용 보강섬유는 석면으로서 인장강도, 내알칼리성, 내구성, 경제성 면에서 우수하다. 그러나 석면은 호흡기에 흡입될 경우 암을 유발할 수 있는 물질로

규정되어 그 사용량이 점차로 규제되고 있다. 반면에 이외에 보강섬유로 알려져 있는 것들은 무기계의 ARG(alkali resistance glass fiber), slag wool, rock wool 등이 있고 유기계로는 polypropylene(PP), polyethylene, polyacryl, polyvinyl alcohol(PVA), nylon, rayon 및 천연 유기 섬유로는 아마, 펄프등^{1,2)}이 있으며 이에 대한 상업적 적용이 부분적으로 시작되고 있다.

그러나 위에서 언급된 대체섬유들은 석면에 비해 가격, 최대 혼합 용적 비율, 제조공정등의 한계로 인하여 석면-시멘트계의 복합재료보다 강도, 치수안정성 등의 성능이 떨어지는 문제가 있다. 따라서 이를 해결하는 방법으로 매트릭스 부분의 강도를 더 향상시킴으로서 그 강도를 보완해 주기 위한 노력을 하고 있다. 이러한 방

법의 일환으로 강도증가를 기대할 수 있는 마이크로실리카와 같은 원료를 사용하는 배합적인 측면과 조기강도와 기타품질을 개선할 수 있는 오토클레이브 양생을 하는 공정적인 측면 등이 있다.

이중 공정적인 측면에서 볼 때 양생 방법에 따른 FRC의 생산 방법은 다시 크게 두 가지 방법으로 나누어 볼 수 있는데 유기계 섬유를 사용한 자연양생 및 저온스팀양생 방법에 의한 생산방식과 무기계섬유 및 비교적 열에 안정한 유기계 섬유인 펄프섬유를 이용한 오토클레이브 양생에 의한 생산방식으로 나누어 볼 수 있다.

토목공사나 건설현장과 달리 공장생산이 가능한 시멘트 건축자재의 생산이라는 측면에서 위의 생산방식을 비교해 볼 때, 양생 시간의 단축, 조기강도 발현, 고른 품질 유지, 제품의 치수 안정성, free CaO의 감소 등의 효과가 있는 오토클레이브 양생 방법을 이용하는 것이 유리하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 스팀양생과 오토클레이브 양생에 따른 FRC의 기계적 성질을 비교하기 위하여 ARG와 유기계섬유를 2 vol.%씩 혼합한 시편을 제작해서 휨강도, 탄성계수를 측정하여 어떠한 특성을 나타내는지 알아보고 섬유의 열화 상태를 SEM으로 관찰했다.

2. 실험방법

2.1. 사용원료

본 실험에 사용된 시멘트 및 규석분의 화학조성은 Table 1과 같으며, 가스제와 보강섬유의 물리적 특성을 Table 2 및 Table 3에 나타내었다.

규석분은 규암을 분쇄한 것으로 오토클레이브 양생에서 얻어지는 토버모라이트(*tobermorite*, $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$) 결정의 생성에 필요한 SiO_2 공급원료로 입도는 진공압출 시멘트 재료에 사용되는 일반적인 범위의 것을 사용했다.

2.2. 시편의 제조

본 실험은 3점 지지점에 의한 휨강도 시험을 수행하기 위하여 토출직경 100 mm의 진공 압출 성형기를 이용하여 크기가 $10 \times 80 \times 400 \text{ mm}^3$ 인 plate상의 시편을 제작하였으며 스팀양생과 오토클레이브 양생을 하였다.

그 순서와 조건을 Fig. 1에 나타냈다.

시편의 배합 설계에 있어 시멘트와 규석분의 비율은 토버모라이트의 이론 조성범위를 기준하여 CaO/SiO_2 mole ratio를 0.86으로 고정하였으며, 보강섬유인 ARG, PP 및 PVA계 섬유는 6 mm인 것으로 2 vol.%를 투입하여 제조하였다. 그리고 모든 배합에 있어 압출성형에 필요한 가스제로서 증점제인 HPMC는 0.75 wt.%로 고정시키고 배합수는 batch 중량 기준으로 21 wt.%로 일정하게 조정하여 시편을 제조하였다.

양생방법은 스팀양생의 경우 Fig. 1에 나타낸 소정의 조건을 유지한 다음 2일간 상온에서 aging을 한 후 건조를 시켰으며, 오토클레이브 양생의 경우에는 스팀양생을 실시한 후 바로 오토클레이브 양생을 실시했고 양생이 끝난 후에는 바로 시편을 건조시켰다. 스팀양생에 있

Table 2. Characteristic of Plasticizer(Hydroxy Propyl Methyl Cellulose)

Bulk density	Viscosity	Remarks
0.40	30,000 cps	Aqueous solution 2% 20°C RV type 20 rpm

Table 3. Physical Properties of Fibers

	ARG	E-glass	PP	PVA
Density (g/cm^3)	2.78	2.54	0.91	1.3
Diameter(μm)	14-16	16	15-17	15-18
Length(mm)	6, 12	6	6	6
Aspect ratio (L/D)	490, 860	460	355	375
Tensile strength (kgf/mm^2)	250	350	77.5	150
Elastic modulus (kgf/mm^2)	7200	7400	480	3770
Elongation at rupture(%)	3.6	4.8	26.1	7-11
Incombustibility	Melting	Melting	Decomposition (pyrolysis gas)	Decomposition (pyrolysis gas)

Table 1. Chemical Compositions of Starting Materials

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	Ig-loss	Blam-value(cm^2/g)
Cement	21.5	5.3	3.1	64.2	3.0	-	-	3,350
Silic powder	93.10	2.48	2.42	1.23	0.47	0.30	-	2,750

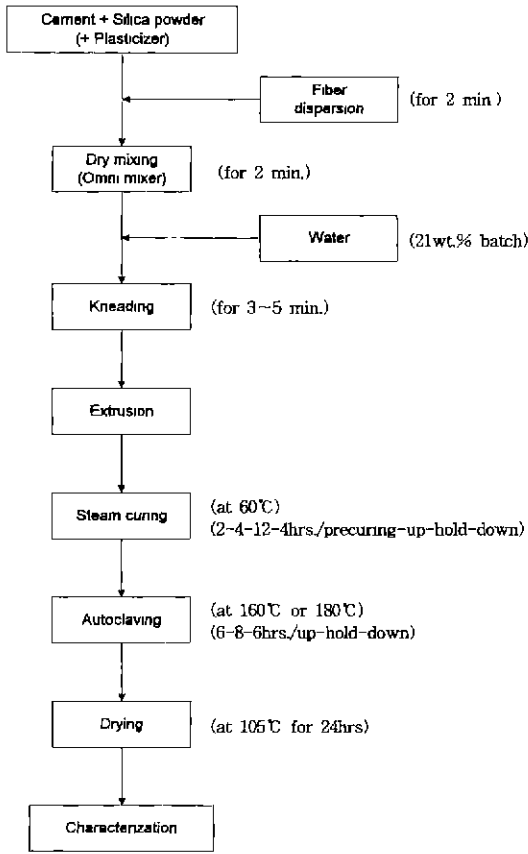


Fig. 1. Flow chart of the specimen preparation.

어 aging 기간을 짧게 한 이유는 일반적인 GFRC 제조 방법으로 매트릭스내의 알칼리에 영향을 받을 수 있는 기간을 적게 하여 비교하기 위한 것이다.

2.3. 휨강도와 탄성계수의 측정

휨강도(SIMADZU AUTOGRAPH AG-10TE)는 양생이 끝난 시편을 105°C에서 항량 건조시켜 3점 지지점으로 측정하였으며, 이때의 시험 조건은 span 300 mm, loading speed 5 mm/min.를 유지시켰다.

각 조건별로 시편 5개를 선택해서 다음 식에 의하여 측정값을 구하였다.

$$\sigma = \frac{3PL}{2BT^2}$$

σ=휨강도

P=파괴하중 B=시편의 폭

L=span의 길이 T=시편의 두께

탄성계수는 선형구간 내에서의 휨하중의 변화를 휨의 변형 길이로 나누어서 탄성영역의 기울기로부터 구했다.

3. 결과와 고찰

3.1. 휨강도 및 탄성계수

섬유 종류에 따른 휨강도 및 탄성계수에 대한 측정 결과를 Fig. 2와 3에 나타냈다. 휨강도에서 스팀양생의 경우에는 3종류의 시편 모두 큰 차이를 보이지 않았으나, 오토클레이브 처리 온도에 따라서 차이를 나타냈다. 즉 오토클레이브 처리 온도가 높아짐에 따라 ARG를 혼입한 시편의 경우는 매트릭스의 강도가 증가하는데 따라 계속 상승하나, 내열도가 약한 PVA 섬유를 혼입한 시편은 오토클레이브 처리 후 오히려 휨강도가 감소하는 경향을 보이고 있다. PP의 경우에서 160°C까지는 증가하

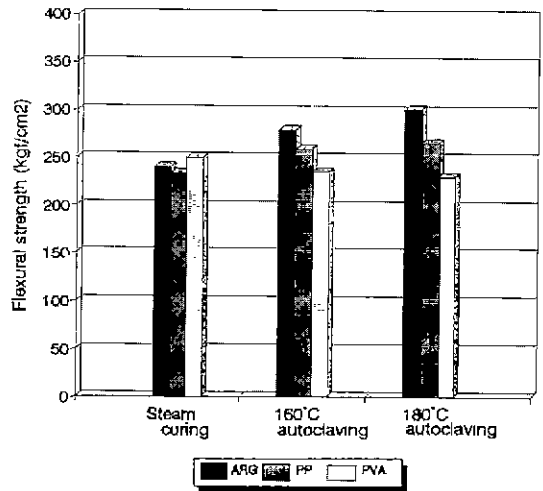


Fig. 2. Flexural strength of FRC with various reinforce fibers under different curing condition.

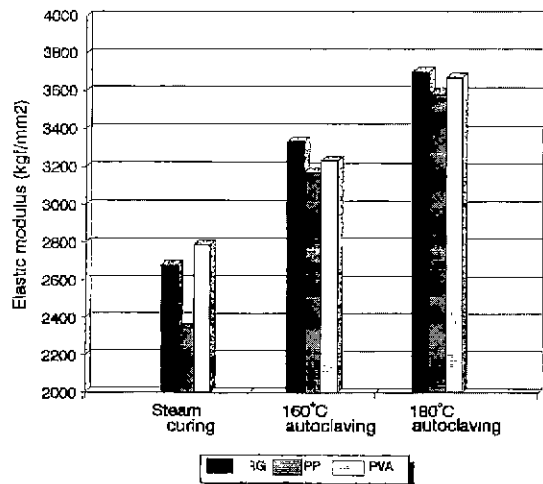


Fig. 3. Elastic modulus of FRC with various reinforce fibers under different curing condition.

다가 그 이후부터는 증가하지 않았다.

탄성계수는 3종류의 섬유 모두 양생온도가 증가함에 따라서 탄성계수가 증가하였는데 이는 오토클레이브 처리온도의 증가에 따라 매트릭스의 탄성계수³⁾가 증가하고 반대로 섬유의 보강 효과가 작아지는데 기인하는 것으로 생각된다.

3.2. Load-deflection curve

ARG와 PVA, PP계 섬유로 제조한 시편을 각각의 양생 조건별로 실시해서 측정한 load-deflection curve를 Fig. 4-6에 나타냈다. 시멘트 매트릭스는 탄성계수가 큰 취성

재료이고 상대적으로 PP, PVA계 섬유 자체의 탄성계수가 작으므로 초기균열까지의 하중 값은 매트릭스의 최대 하중에 주로 좌우되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

양생조건에 관계없이 ARG를 혼합한 시편은 elastic-brittle curve를 나타내고 있는데 그 이유는 ductile fiber인 유기계 섬유와 달리 ARG 섬유는 brittle fiber의 특성을 가지고 있으므로 이와 같은 파괴형태를 갖는 것으로 보여진다. 반면에 스팀양생에서 유기계 섬유인

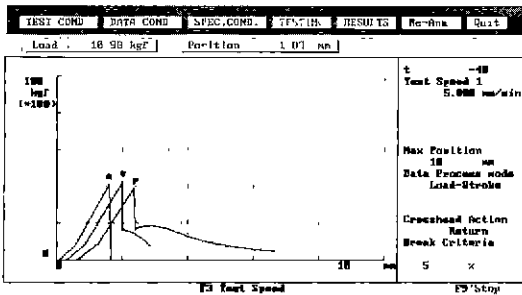


Fig. 4. Load-deflection curves of steam cured FRCs (60°C). (A: ARG, P: PP, V: PVA).

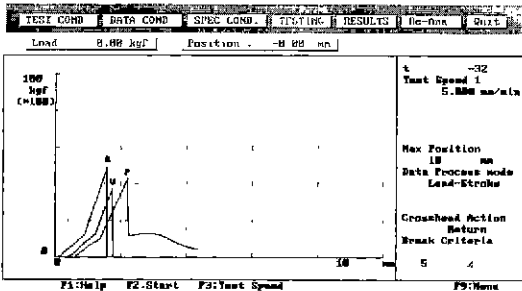


Fig. 5. Load-deflection curves of steam cured FRCs (160°C). (A: ARG, P: PP, V: PVA).

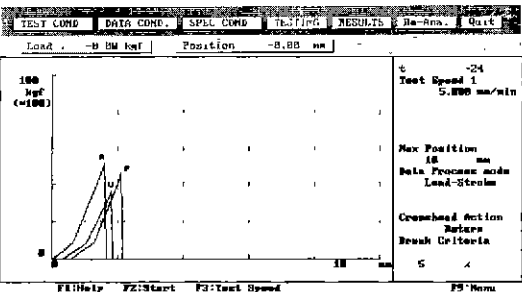


Fig. 6. Load-deflection curves of steam cured FRCs (180°C). (A: ARG, P: PP, V: PVA).

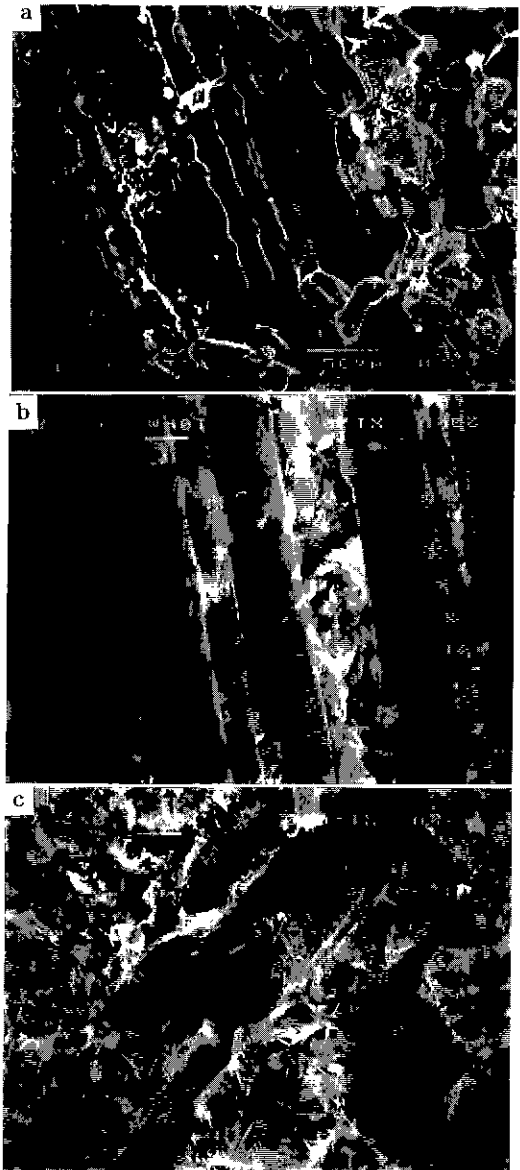


Fig. 7. Microstructures of organic fibers reinforced cements after autoclaving. (a) PVA(160°C-8 hrs) (b) PP(160°C-8 hrs) and (c) PP(180°C-8 hrs)

PVA, PP 섬유를 혼합한 시편은 최대 하중 이후에도 계속적으로 하중을 받는 elastic-plastic curve^{4,5)}를 보여준다. 이와 같이 유기계 섬유가 혼합된 시편이 파괴 후에도 일정한 힘을 지속적으로 받는 것은 섬유가 plastic deformation에 의해 끊어지는 연신율이 큰데 따른 necking과 섬유가 매트릭스에서 뽑히는 pull-out에 의한 것^{5,6)}으로 생각된다.

한편 양생온도가 높아짐에 따라 유기섬유를 혼합한

시편 모두 탄성계수가 증가하고 최대하중시 순간적인 파괴를 보여주는 elastic-brittle curve를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 오토클레이브 처리온도의 상승에 따라 매트릭스도 더욱 취성적으로 변하고, PP, PVA의 열화로 인해 bridging 현상이 없어진 것으로 생각된다.

Fig. 5와 같이 PP를 혼합한 시편의 경우는 PVA와 달리 오토클레이브 처리온도 160°C까지는 섬유의 용융이 일어나지 않음으로 elastic-plastic curve를 보여주고 있으나 PVA 섬유는 160°C에서부터 elastic-brittle curve를 나타내고 있다.

3.3. 섬유의 열적 안정성

섬유의 열적 안정성을 비교하기 위해 SEM으로 관찰한 섬유의 열화상태를 Fig. 7에 나타내었다. SEM 관찰에서 보듯이 160°C에서 PVA 섬유는 거의 섬유전체가 용착되어 보강효과를 가질 수 없는 것이 확인되었으며, PP 섬유는 섬유의 상태가 비교적 보존이 되어 열화가 조금밖에 되지 않은 것을 알 수 있다. 그러나, 180°C에서는 PP섬유까지도 상당 부분 열화가 일어나서 보강효과를 나타낼 수 없는 것으로 생각되며,⁷⁾ 이것은 탄성계수 측정 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

또한 오토클레이브 조건하에서 E-glass와 ARG의 내알칼리성을 비교하기 위해 180°C에서 처리한 시편의 SEM관찰 결과를 Fig. 8에 나타냈다. ARG의 표면은 비교적 반응성이 적어 표면의 침식이 약간 일어난 것으로 보여지나⁸⁾ E-glass는 섬유 자체가 알칼리에 거의 다 침식되고 수열반응이 진행됨에 따라 수화물이 생성되는데 필요한 SiO₂ 원으로서 소모된 것으로 보여진다.

4. 결 론

스팀양생과 오토클레이브 양생에 따른 FRC의 기계적 성질을 검토하기 위하여 ARG와 유기계 섬유를 2 vol.% 씩 혼합한 시편을 제작해서 휨강도 및 탄성계수를 측정하여 어떠한 특성을 나타내는지 조사했다. 그 결과, ARG섬유를 혼합한 시편은 양생조건에 관계없이 elastic-brittle curve의 특성을 보였다. PP, PVA섬유의 경우, 스팀양생에서는 elastic-plastic curve를 보였으나, 오토클레이브 처리온도에 있어서 PVA 섬유에서는 160°C에서, PP섬유의 경우 180°C에서 elastic-plastic curve가 elastic-brittle curve로 변화되어 나타났다. 이는 유기계 섬유의 열적안정성과 관계되는 것으로 상기 온도에서 섬유의 열화가 확인되었다.

REFERENCES

1. A. Bentur & S. Mindness, Fiber Reinforced Cement-

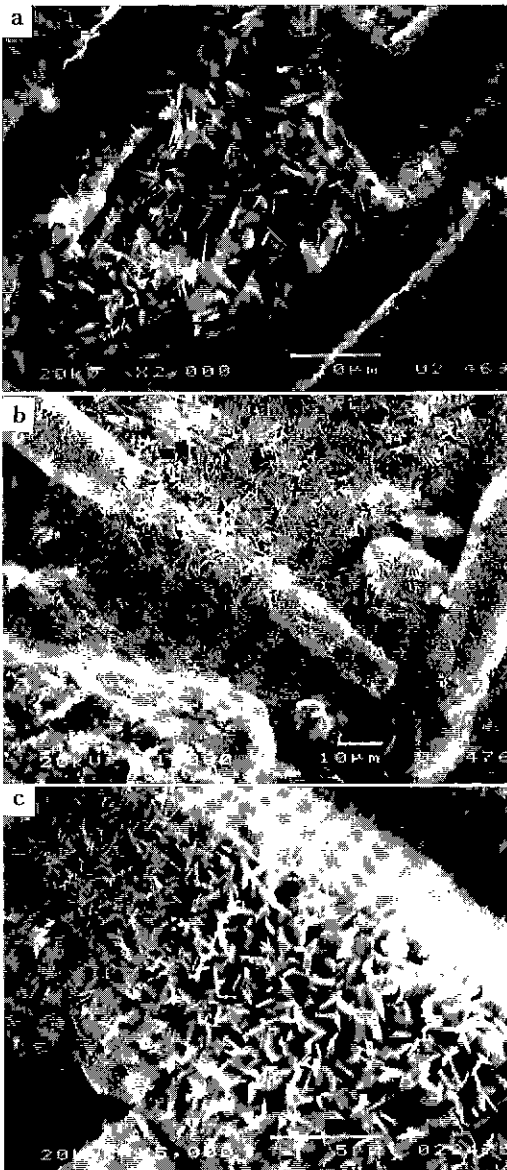


Fig. 8. Microstructures of glass fibers reinforced cements after autoclaving at 180°C. (a) ARG (b) E-glass($\times 1000$) and (c) E-glass($\times 5000$)

- ious Composite, Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 1990.
2. 신회덕, 문영호, 섬유강화 콘크리트의 기술현황과 전망, 산업연구원, 1988.
 3. N. Isu, T. Mitsuda and N. Nomura, "Influence of Autoclaving Process on the Fracture Behavior of ALC," *Jour. Ceram. Soc. of Japan*, **102**, 785 (1994).
 4. Z. Bayasi and J. Zeng "Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete," *ACI Mat. Jour.* **90**, 605 (1993).
 - 5 V.M. Malhotra and G.G. Carrette "Mechanical Properties and Durability of Polypropylene Fiber Reinforced High-volume Fly Ash Concrete for Shotcrete Applications," *ACI Mat. Jour.* **91**, 478 (1994).
 6. D. Agarwal and J. Broutman, Analysis and Performance of Fiber Composite, Wiley-Interscience Publication, 1990.
 7. 박승범 "산업부산물 및 규산칼슘계를 이용한 건재용 경량, 고강도 복합체 의 개발 평가에 관한 실험적 연구," 콘크리트학회지 **6**(4), 141-152 (1994).
 8. V. T. Yilmaz and F. P. Glasser, "Reaction of alkali-resistance Glass Fibers with Cement," *Glass Technology* **32**(4), 138-147 (1991).