

纖維補強 콘크리트의 特性과 最近의 技術(其Ⅲ)

제Ⅲ장 유리섬유 보강 콘크리트(GRC, GFRC)

朴 承 範

〈忠南大學校 土木工學科 教授〉

GRC는 원래 석면시멘트의 석면분진이 발암물질로 판명되어 그 사용의 규제가 강화되면서 그 대체품으로 등장한 것으로써, GRC는 FRP의 약점인 가소성을 극복한 새로운 복합재료이다.

GRC는 1958년부터 중국등지에서 연구가 시작된 이래, 1963년에는 소련 키예프의 공장에서 지붕건설에 시도되었으나, 시멘트·콘크리트 보강으로서 GF단섬유를 시멘트 매트릭스에 혼입하여 최초로 발전시킨 것은 1964년 소련의 Biryukovich에 의해 유리섬유의 성질과 GRC의 기초적인 제조법에 관해 소개되면서부터이다. 그러나 Biryukovich의 연구는 주로 저알칼리 또는 고알루미나 시멘트매트릭스에 관한 것이었고, 1968년에 영국의 건축연구소(BRE, Building Research Establishment)의 Majumdar와 Nurse등에 의하여 통상 이용되는 보통포틀랜드 시멘트의 고알칼리에 저항하는 최초의 실용적인 내알칼리성 유리섬유가 발명된 이래, 1973년 BRE와 Pilkington Brothers Ltd.에 의해 지루코니아(ZrO_2) 17% 함유의 내알칼리성 유리섬유 Cem Fil을 개발하면서부터 상업생산이 시작되었으며, 현재는 미국, 일본 및 유럽등지에서도 이의 제조기술을 취득해 GRC 분야에서의 연구개발 및 용도전개가 활발히 진행되고 있다.

GRC는 보통콘크리트에 비해 휨강도, 인장강도 및 충격강도가 5~10배 우수한 성질을 가지고 있고, 박판경량으로 디자인의 자유도도 크기 때문에 건축물의 내·외장재, 영구형틀, 방음벽 및 각종 엑스테리아(Exterior) 제품 등 건축·토목분야에서 널리 이용되고 있으며, 또한 그동안 문제시되던 장기내구성과 치수안정성에 대해서도 최근 재료와 공법에서 획기적인 기술이 개발되어 각 방면에서의 용도전개가 적극적으로 이루어지고 있다.

따라서 본고에서는 내알칼리성 유리섬유의 특성, 제조법과 종류 그리고 이를 이용한 FRC의 역학적 특성, 제조법, 용도개발 및 전망 등에 대하여 소개한다.

1. 유리섬유(GF, Glass Fiber)

약 150년전 시멘트가 발명된 이래 철근과 함께 주요건설용 재료로써 이용되고 있는데, 이는 압축강도가 크고, 물과 쉽게 혼합하여 경화되며 가격이 저렴하기 때문에 널리 사용되어 왔다. 그러나 이처럼 우수한 특성을 가진 시멘트도 인장에 약하다는 결점을 지닌 취성재료로써, 이를 극복하기 위한 각종 방법이 시도되어 왔고, 그중의 하나로 시멘트를 유리섬유로 보강하는 것이

다.

그러나 시멘트는 강한 알칼리성을 갖기 때문에 통상의 유리섬유(FRP 용의 E-Glass Fiber)는 열화되므로, 1968년 영국 BRE의 Majumdar, Nurse 등은 소다유리에 ZrO_2 를 16% 함유한 시멘트보강용 내알칼리성 유리섬유의 개발에 성공하였고, Pilkington Brothers사와의 공동연구를 통하여 1973년에 내알칼리성 유리섬유 Cem-Fil의 생산·판매를 시작하였다.

그 이후 미국, 일본등지에서는 라이선스 공여를 통해 제조기술을 취득하여 다른 콘크리트보강용 섬유에 비하여 일찍 그 생산체제를 확립하였으며, 현재에는 내알칼리성 GF는 시멘트·콘크리트 이외에도 규산칼슘 재료 및 석고슬래그 건재 등 건축·토목분야에 널리 사용되고 있다.

1.1 유리섬유의 내알칼리성

(1) 유리조성과 내알칼리성

유리조성과 내알칼리성의 관계는 오래전부터 많은 사람들에 의하여 연구되어 왔으며, 1926년에 Turrer등과 1968년에 Boak 등은 ZrO_2 함유유리가 우수한 내알칼리성을 나타낸다고 보고하였다.

또한 Majumdar 등은 수종류의 유리를 섬유화하여 알칼리용액처리에 의한 인장강도의 저하율을 검토한 결과, $Na_2O - ZrO_2 - SiO_2$ 계의 G20이라는 유리섬유가 강도유지의 측면에서 최적인 것을 발견하였으나, G20은 연구용 유리조성으로 그 실용화에 있어서는 Pilkington사와의 공동연구를 통해 1973년 ZrO_2 17%함유의 내알칼리성 GF인 Cem-Fil을 실용화하였다.

日本 鍾紡의 木村은 ZrO_2 함유량이 다른 수종류의 유리를 직경 13μ 로 통일해 섬유화하고, 알칼리용액처리후의 중량감소율, 침식층두께를 측정 한 결과, ZrO_2 함유량의 증가와 함께 알칼리에 의한 섬유의 침식이

균열의 발생을 수반하는 불균일한 침식이고, ZrO_2 함유량이 많을수록 섬유표면에 균열이 발생하기 어렵게 된다는 사실을 밝혀내었다. (그림 1)

이와 같이 유리중의 ZrO_2 함유량이 많을수록 유리섬유의 내알칼리성이 증대된다는 사실은 널리 확인되어 왔으며, 유리중의 ZrO_2 함유량이 크게 됨에 따라 유리제조가 곤란해지므로 내알칼리성 GF의 실용화에 있어서는 ZrO_2 함유량은 통상 16~17%로 제한되어 왔다.

또한 日本 電氣硝子は 鍾紡과 공동으로 고지루코니아 GF를 안정적으로 생산할수 있는 조성을 연구한 결과, $LiO_2 - Na_2O - K_2O - SiO_2$ 계에 있어서 LiO_2 와 K_2O 의 특정중량비의 것에 대해 ZrO_2 를 고농도로 함유시켜 얻는 영역이 있다는 것을 발견(그림2)하고 1975년에 ZrO_2 20%함유의 내알칼리성 GF를 실용화하였으며, 1984년에는 日本 旭硝子도 ZrO_2 를 16%정도 함유한 ARFIBRE - SUPER를 개발하였다.

한편, 유리섬유의 내알칼리성이 주로 유리중의 ZrO_2 함유량에 의하여 결정되는 이유에 대해서, Majumdar 등은 ZrO_2 함유유리를 시멘트추출액에 침적하면 유리표면에 풍부한 ZrO_2 층이 형성되어, 이 층이 알칼리용액에 의해 유리의 침식을 억제한다고 추정하였으며, Paul은 ZrO_2 함유유리가 우수한 내알칼리성을 나타내는 것은 유리표면에 풍부한 ZrO_2 수화층이 형성되고, 이 수화층에 의해서 유리의 침식이 억제되기 때문이라고 생각하였다.

또한, 鷹木은 $Na_2O \cdot 13SiO_2$ 조성(mol비) 및 이 조성 mol 중 5mol을 MgO , TiO_2 또는 ZrO_2 로 치환시킨 유리의 표면에 PH 1.1~12.6의 수용액중에서 침식상황의 광학현미경 관찰 및 중간층, 즉 침식층 형성된 내부와 굴절율이 다른 표면층의 조성 및 강도를 측정한 결과, 침식은 용액의 PH에 의하지 않고, ZrO_2 함유유리의 침식속도

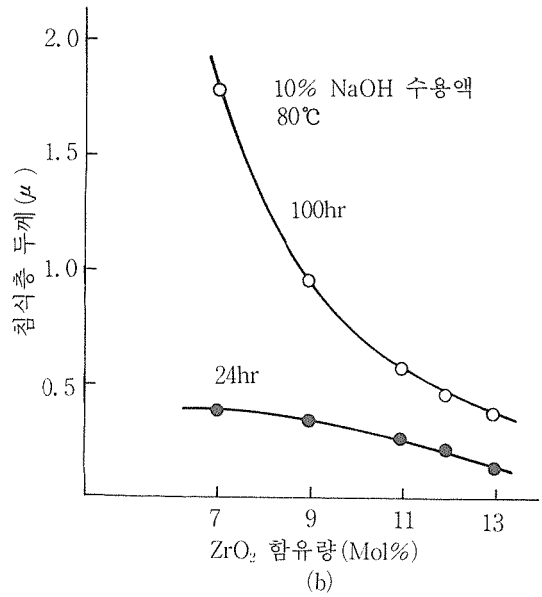
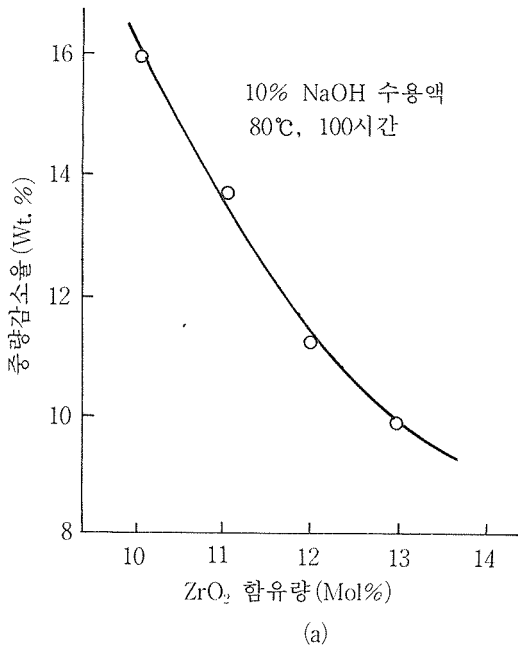


그림1. ZrO₂ 함유량과 내알칼리성의 관계

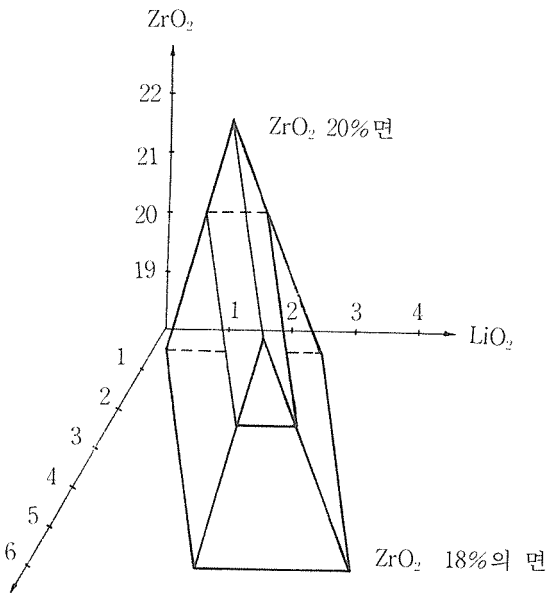
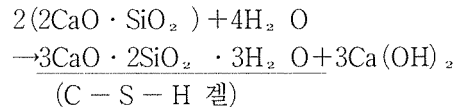
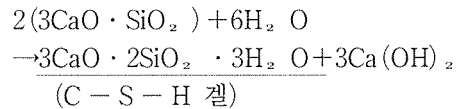


그림2. 고지루코니아 유리 안정영역의 입체모델

가 최소이며, 또 이 유리에서 생성되는 중간층은 모체유리에 비해 Na₂O 성분이 부족하고 ZrO₂ 성분이 풍부하여 고강도를 나타내며, 그 때문에 중간층에 균열이 발생하기 어렵다는 것을 발견하였다. (그림 3)

(2) 유리섬유의 내알칼리성에 미치는 표면처리의 효과

GRC의 매트릭스로서 이용되는 보통포틀랜드 시멘트는 주요화합물이 3CaO · SiO₂ 와 2CaO · SiO₂ 이고, 이들이 물과 반응하여 C-S-H 겔을 생성시켜 경화하며, 이 수화반응에 있어서 다량의 수산화칼슘을 생성한다.



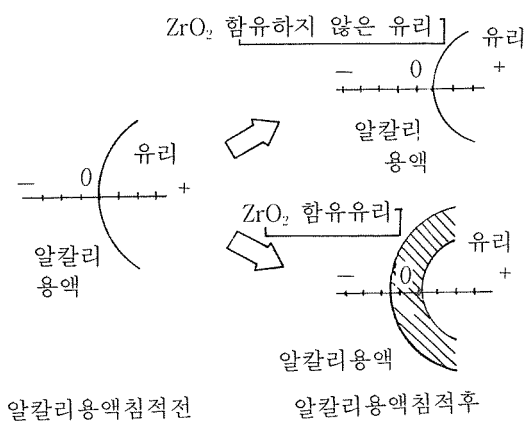


그림3. 알칼리용액중에서 유리표면의 변화

따라서 이것과 평형에 있는 수용액의 PH는 12.5~13.0이라는 높은 알칼리성을 나타낸다.

시멘트에 의한 GF의 열화기구에 관해서는 다음의 세가지 설이 있다.

① 시멘트의 알칼리성 성분에 의한 화학적 침식

② 생성되는 수산화칼슘의 재결정에 의한 물리적 손상

③ 시멘트수화물이 GF필라멘트 사이의 공극을 충전시켜 GF의 변형에 대한 자유도를 작게 함으로써 GRC의 파괴에너지 흡수능력을 저하시킨다.

GF의 내알칼리성을 증대시키기 위하여 GF표면에 시멘트의 알칼리성을 약화시키는 내알칼리성 물질 혹은 시멘트의 수화를 지연시키는 물질을 피복하는 것이 여러 연구자에 의해 시험되어 왔다. 무기물의 피복에 대해서는 GF를 산화염화지루코니움 등의 지루코니움화합물 용액에 침적시킨 후 열처리한 ZrO_2 미결정피막을 형성하는 방법, 유기티탄화합물의 기화물과 접촉시킨 후 차례로 수분함유기체와 접촉시켜서 TiO_2 피막을 형성하는 방법 등이 있으며, 유기물의 피복에

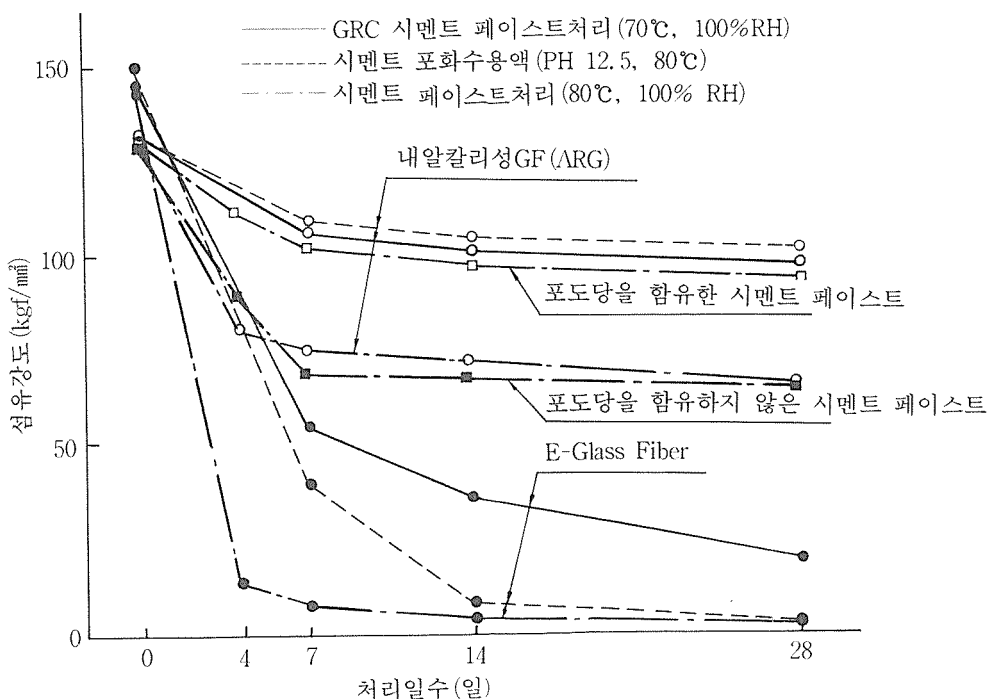


그림4. 섬유의 강도변화

로서는 프란시움(Fr) 수지를 피복하는 방법, 고무계 수지를 피복하는 방법, 왁스등의 알칼리 불투수합침체를 피복하는 방법, 폴리비닐알콜을 피복하는 방법등이 있다.

그림4는 가공 조건하에서의 섬유유 강도 변화를 나타낸 것이다.

이 그림으로부터 E-Glass Fiber는 시멘트의 알칼리성 성분에 의해 화학적으로 침식된 것에 비하여, 내알칼리성 GF는 화학적으로 거의 침식되지 않고 생성되는 수산화칼슘결정에 의해 물리적 손상을 받는 것이 관찰되며, GF集束劑 성분으로서 폴리옥시방향족 화합물, 당류, 지히드록시 안식향산 등의 지연제를 함유시킨 것이 이루어지고 있다.

이상과 같이 유리섬유의 내알칼리성을 증대시키기 위하여 많은 노력이 이루어지고 있음에도 불구하고 현재까지는 완전하게 내알칼리성(정확하게는 내시멘트성)을 유지하는 GF는 아직 출현하지 않았다. 따라서 생각되는 것이 매트릭스로서의 시멘트를 개질하는 것으로, 초기에는 시멘트에 비닐중합체, 칼슘설퍼알루미늄에트, 실리카흙 등의 혼화제를 첨가하는 시험이 행해졌으나, 최근 日本 秩父시멘트사는 현행의 내알칼리성 GF에 적합한 저알칼리성의 GRC시멘트를 개발하였다.

이 GRC시멘트를 사용한 경우 E-Glass Fiber에서는 강도열화가 나타나지만, 내알칼리성 GF의 강도는 거의 저하하지 않음이 밝혀졌으며, 이는 매트릭스의 OH⁻이온농도가 작기 때문에 섬유자신의 강도가 저하하지 않고 Ca(OH)₂가 생성되지 않으므로 필라멘트가 물리적으로 손상되지 않으며, 또한 필라멘트간에 공극이 잔존해 유리섬유 Strand의 인발등의 효과가 충분히 발휘되기 때문이라고 설명되고 있다.

1.2 내알칼리성 GF의 제조와 종류

(1) 내알칼리성 GF의 제조

150mm까지의 길이를 가진 유리綿은 용해유리가 흐르도록 압축공기 또는 증기를 불어넣어 만들지만, 그 이상의 장섬유는 용해유리를 원심분리기에 넣어 만들수 있다. 이들 섬유는 값이 싸지만 시멘트보강용으로는 부적합하므로 기계적으로 인발시킨 섬유가 이용된다.

日本電氣硝子は ZrO₂ 20%함유의 내알칼리성 유리섬유 ARG 섬유를 全電融DM法에 의해 양산하고 있다. 全電融DM법이란 것은 全전기용융로에서 주울열에 의해 용융한 유리를 직접 방사하는 방법으로, 종래 중유연소로에서 직경 20mm정도의 마블을 만든후 이를 재용융하여 방사하는 방법에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 유리화반응이 균일하게 진행된다.
- ② 에너지효율이 크다.
- ③ 유리의 휘발손실이 적다.

따라서 이 방법은 고품질의 GF를 비교적 저렴하게 생산할 수 있다. ARG섬유는 용해하기 어려운 ZrO₂ 성분을 20%함유하고 있기 때문에, 원료의 조합 및 용해시 세심한 배려가 필요하다.

연속섬유의 기계적 생산은 열을 받게 되는 백금제 가마저부 혹은 수백개의 노즐을 가진 탱크에서 필라멘트를 인발시켜 직경 약 13 μ 의 섬유를 성형하며, GF는 회전하는 드럼에 약 200본의 필라멘트표면에 용도에 부응하는 집속제를 코팅한 후, 그것들을 다발로 묶은 Strand로 하여 고속으로 회전하는 Winder에 감아두는데, 이들의 최종적인 직경은 드럼의 회전속도, 용해유리의 점성, 가마에 있는 노즐의 크기에 영향된다. 한편, 감아진 GF는 건조공정을 거쳐 Roving, Chopped Strand등으로 가공하기 위해 적당한 길이로 절단된다.

기계적으로 생산된 GF는 A-Glass, E-Glass 및 지루코니아 유리의 그룹으로 분류하며, 이들에 대한 대표적인 화학적 성분은

표1. 각종 유리의 화학적 성분

(중량비율 %)

성분	A-Glass	E-Glass	G20(지루코니아 유리)
SiO ₂	72.66	54.50	70.27
Fe ₂ O ₃	0.13	0.27	0.05
TiO ₂	0.05	0.51	0.07
Al ₂ O ₃	1.10	14.22	0.24
ZrO ₂	—	—	16.05
CaO	3.43	17.32	0.04
MgO	8.85	4.71	20.04
Mn ₂ O ₃	0.01	0.01	—
Na ₂ O	12.81	0.32	11.84
K ₂ O	0.57	0.16	0.04
Li ₂ O	—	—	1.04
SO ₃	0.23	—	20.02
B ₂ O ₃	—	7.94	—
As ₂ O ₃	—	—	0.04
PbO	—	—	0.03
합계	99.84	99.96	99.77

(주) Lerner, Speakman, and Majumdar, J. of Non-Crystalline Solids, 20 pp.43~74, 1976

표 2. 내알칼리성 GF (ARG Fiber)의 종류

종 류		제 품 예	
Roving	Hand Type	AR 2500H-200	
	Semi-hand Type	AR 2500H-103	
Chopped Strand	Hand Type	Ultra-hand Type	ACS 25H-530W
		Hand Type	ACS 25H-200
		Semi-hand Type	ACS 25H-103
	Soft Type	ACS 25S-400	
2차 제품	발(簾)	AWR 150H-200	
	Net	TD 5×5	
	Paper	AS-40	
	Crack-non		

표1과 같다.

(2) 내알칼리성 GF제품의 종류

표2는 내알칼리성 GF제품의 종류를 나타낸 것이다.

1) Roving

Roving은 150~200본의 필라멘트를 묶은 Strand로 하여 원통형으로 감은 것으로서 집속제의 종류에 따라 Hard type과 Semi-hard type이 있다. Roving은 Spray법 및 원심력 성형법에 사용하는 경우 原絲로 이용된다.

2) Chopped Strand

Chopped Strand는 50~80본의 필라멘트를

묶은 Strand로 하여 이것을 3~50mm의 길이로 절단한 것이다. 집속제의 종류에 따라 Hard type과 soft type이 있고, 다시 Hard type은 대단히 단단한 ultra-hard type, 비교적 연한 Semi-hard type, 그리고 그 중간의 경도를 가진 Hard type으로 분류된다. Hard type은 시멘트등의 슬러리중에서 Strand상태로 분산하여 Premix법, Press 성형법, 압출법등에 이용되고, Soft type은 시멘트등의 슬러리중에서 필라멘트로 실이 풀어진 상태로 분산하여, 석면대체로서 抄造法, press성형법등에 이용되고 있다.

3) 발(簾)

발은 횡방향으로 나열한 Strand를 가는 실로 세로로 연결하여 발의 형태로 편물한 것으로, 積層法에 의해 이용된다.

또 Spray법 및 Premix법으로 GRC를 성형할때 1축방향의 강도가 요구되는 경우에 사용되기도 한다.

4) Net

Net는 가로·세로로 나열한 strand를 수지로 접착하여 만든 유리섬유의 망이다.

strand의 분수와 간격에 따라 5종류로 분류하고, 발과 같이 적층법으로 사용하며 Spray법 및 Premix법으로 GRC를 성형할때는 풀림방이나 기계적강도가 요구되는 경우에 사용되기도 한다.

5) Paper

Paper는 내알칼리성 GF Chopped Strand의 Soft type을 수중에서 분산시켜 종이형태로 벗겨 수지로 경화시킨 것으로, 대단히 얇은 시멘트층을 보강하는 경우에 사용되고 있다.

6) Crack-non

Crack-non은 내알칼리 GF에 들어있는 모르타르의 균열방지제이다. Crack-non에는 Chopped strand와 특수혼화제가 적절한 배합율로 들어 있고, 시멘트 1포(40kg)에 대해 Crack-non 1포(2kg)을 혼합하면 건조수축에 의한 균열을 대폭 저감시킬 수 있다.

1.3 내알칼리성 GF의 특성

내알칼리성 GF의 비중, 단섬유 직경, 기계적 특성 및 내알칼리성을 표3에, 내열성을 그림5에 나타내었다.

표3. 내알칼리성 GF (ARG Fiber)의 특성

특 성		단 위	특성치	
비 중			2.7	
단 섬 유 직 경		μm	13.5	
인 장 강 도		kg/mm ²	130이상	
Young 계수		kg/mm ²	7500	
파괴시의 연신율		%	1.5이상	
내 알 칼 리 성	중 량 감소율	내알칼리GF	%	0.85
		E-GF	%	10.5
	인장강도 보지율	내알칼리GF	%	75
		E-GF	%	14

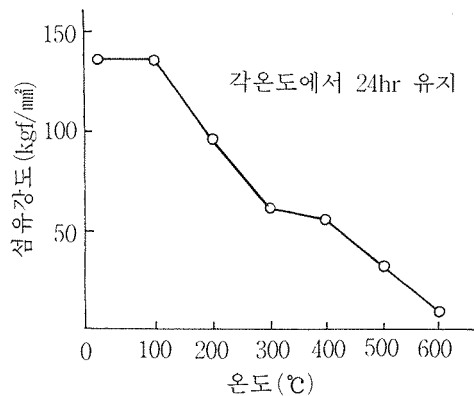


그림5. 내알칼리성 GF (ARG)의 내열성

이들은 내알칼리성 GF로서의 기본적인 특성이지만, 이들 이외에도 용도에 따라 요구되는 성질도 있다.

Premix법에서는 모르타르 혼합시에 유리섬유가 풀어지면(Mono filament 化) Fiberball이 생겨 균일혼합이 이루어지지 않고, 또 그것이 시멘트복합체중의 불량부위로 된

다. 이때문에 Premix용의 GF에서는 Strand의 결속성이 주요특성이라고 판단된다.

또한 유리섬유가 석면대체로서 抄造공정에 사용되는 경우에는 슬러리중에서 빠르게 Mono filament화 되어도 2차 응집되지 않는다는 특성(수중분산성)이 요구되는데, 이 수중분산성은 다량의 물로 소량의 시멘트와 GF를 첨가해 휘저어 섞은 후 가라앉는 값의 변화를 측정하여 구한다.

2. GRC의 성형방법

GRC의 성형법에는 표4와 같이 Spray법, Premix법, 積層法 및 원심력성형법등이 용도에 따라 사용이 나누어지고 있다.

박판에 대해서는 작용응력의 방향에 관련한 섬유 방향이 채용하는 방법에 지배되므로, 배합·구조·경화의 순서가 특히 중요하다. 따라서 사용하는 상태에서의 제품에 작용하는 응력에 관하여 잘 고려한 후에 제조법을 결정하는 것이 좋다.

2.1 Spray법

GRC의 성형법으로 일반적으로 채택되고

있는 방법이며, Hand Spray법, 자동 Spray법, Spray-Suction(탈수)법, Direct Spray법 등이 있다.

Spray법으로 GRC를 제작하는 경우 다음 사항에 유의할 필요가 있다.

① 모래/시멘트(S/C) 비가 1을 초과하면 유리섬유의 보강효과가 저하하고, 또 S/C비가 작을수록 건조수축이 증가되므로 S/C비는 통상 0.5~1의 범위내에서 배합해야 한다.

② 강도발현과 양호한 워커빌리티를 얻기 위해서 감수제를 사용하고, W/C비는 0.3~0.4의 범위에서 채용한다.

③ Spray-gun의 막힘방지를 위해 모래입도는 2mm이하의 것을 사용하고, 혼합한 모르타르를 모르타르펌프에 공급하기 전에 모르타르 덩어리가 들어가지 않도록 다시 체에서 거른다.

④ 유리섬유의 길이는 25~40mm, 유리섬유혼입량은 모르타르에 대해 5Wt. %정도가 되도록 세트한다.

⑤ 뿔칠작업에 있어서는 먼저 형틀면에 모르타르층을 뿔어붙이며, 이때 모르타르층은 아주 얇게 한다.

⑥ 형틀면에 뿔어붙여진 GF혼입 모르타

표4. GRC의 성형방법

성 형 방 법		사용하는 GF형태	적 용 예
Spray법	Hand Spray법	Roving	Automate제품
	자동 Spray법		복합판, 단열판넬
	Spray-Suction법		
Premix법	중력 Molding	Chopped Strand	Exterior제품, 장식품
	압 출 법		외벽의 구석재
	Press법		프리 액세스후로아
	Press 탈수법		
	抄造法		무석면보드
積 層 法		발(籬), Net	목재 대체품
원 심 력 성 형 법		Roving	GRC관

르는 상당량의 기포를 연행하므로 탈포로올러로 기포를 제거한다.

GRC의 제조기술에 대해서는 제작사자체의 know-how를 갖고 있으나, 대체로 이상과 같은 유의점으로 요약할 수 있다.

(1) Hand Spray법

Hand Spray법은 복잡한 형의 제품을 제작하는데 이용된다. 모르타르펌프로 압송된 모르타르와 Roving커터로 절단된 GF가 Spray-gun의 노즐을 통해 형틀면에 뿜어붙이며, 이때 모르타르와 GF가 서로 혼합되어 형틀면에 도달한다.

Spray-gun에는 同軸건과 二軸건의 두종류가 있다. 同軸건에서는 1본의 원통중심부로 GF가 토출되고, 그 주변부로부터 모르타르가 GF를 혼입하여 토출되는데 비하여, 二軸건은 모르타르와 GF가 별도로 2본의 원통으로부터 일정한 각도로 충돌하여 토출되는 구조로 되어 있다.

그림6은 Hand Spray장치의 한 예로써 NEG Hand Spray System(NHS 시스템)을 타나낸 것으로, 이 방법의 특징은 Roving커터가 전동모터에 의해 회전하므로 통상의 Air모터방법에 비하여 보다 안정적인 GF출토량을 얻을 수 있다는 것이다.

(2) 자동 Spray법

자동 Spray법은 벨트컨베이어 위를 이동하는 형틀에 좌우로 이동하는 Spray-gun으로 GF와 모르타르를 뿜어붙이는 방법으로, 이 방법은 복잡한 형상의 GRC 제품을 제작하는데 적합하지 않지만 평판상의 규격품을 제작하는 경우에 최적이며 GRC-木材시멘트복합판, GRC-폴리스틸렌형 복합판 등의 생산에 채용된다.

(3) Spray-suction(탈수)법

이 방법은 FRP산업으로부터 발전된 것으로, 압축공기 작동건까지 연속한 Roving을

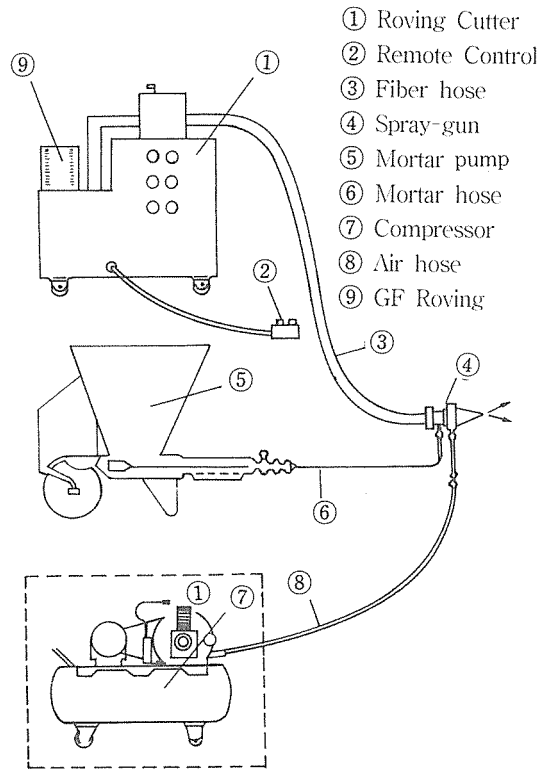
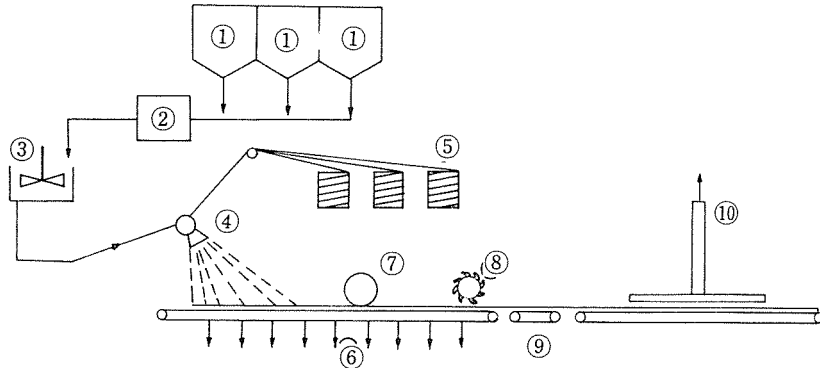


그림6. NEG Hand Spray System(NHS System)

이송하는 형식을 취하고 있다. 이것은 Roving을 10~15mm길이로 절단하거나, 또 Filter sheet를 포함한 구성면상에 시멘트페이스트를 뿜어붙이는 것과 동시에 일정길이로 절단한 섬유를 빠른 속도로 뿜어붙이며, 잉여의 물은 진공탈수시킨다.

GRC박판을 필요한 두께로 제작할수 있

고, 또 곧바로 탈수할수 있다는 잇점때문에 波形박판, 切薄板, 파이프, 닥트, 프리락세스후로아 및 일정직경을 가진 원통형 또는 굽은 형상의 제품등을 제작할수 있다. 또 장식용의 마감재를 만드는 경우에는 표면에 착색한 잔골재를 흡손으로 칠할수도 있다. 그림7과 같이 표준적인 박판을 만들기 위한 제조법도 쉽게 자동화할 수 있다.



- ① 사이로 ② 계량 Batch ③ 믹서 ④ GF와 시멘트 슬러리를
뿌어 붙이는 Traversing Head ⑤ GF Roving을 가진 Bobbin
- ⑥ 물을 빼내는 진공 ⑦ 로울러 ⑧ 톱 ⑨ 콘베어 ⑩ 진공 Lift

그림7. Spray-suction법을 이용한 GF보강 박판의 자동화 생산에서의 주요장치

(4) Direct Spray법

이 방법은 원리적으로 적당한 혼화제를 매트릭스에 첨가함으로써 뿌어붙이기를 쉽게 하기 위해 시멘트슬러리에 필요한 물을 감소시키고, 또 Filter sheet 및 흡인조작없이 깨끗해지는 것을 제외하면 Spray-탈수법과 같아진다. 형틀과의 밀착성을 확인하거나 들어간 공기를 탈포하기 위하여 로울러에 의한 다짐작업이 흔히 이용된다. 보통 포트랜드 시멘트에 대해 이 방법을 이용할 때는 W/C는 0.30~0.35의 범위에서 사용된다.

Direct spray법으로 얻어진 재료의 밀도는 Spray-탈수법으로 제조된 재료의 밀도 2,000~2,100 kg/cm³과 비교할때 1,750~2,000kg/m³으로 약간 작다.

Direct spray법은 거리가 영구형틀, 피복판넬과 같은 복잡한 형상의 2차부재의 생산에 이용되고 있다.

2.2 Premix 법

GRC가 영국에서 도입될 당시에는 Spray법으로 제조되었으나, 그 후 GRC의 용도가

광범위해지면서 Premix법으로도 제조할수 있게 되었다. Premix법은 모르타르와 GF단섬유를 믹서로 혼합한 후 소정의 형상으로 성형하는 방법이며, 이때 섬유의 배향은 믹서내에서 3차원랜덤성을 가지는 경향이 있으나 구조방법에 따라 어느정도는 변화한다. 이 방법에서는 혼합과정에 주의를 기울이지 않으면 GF는 Fiber-ball을 형성하기 쉬우므로 폴리에틸렌 산화물 또는 매칠셀루로즈와 같은 농후한 혼화제를 물에 섞어서 섬유를 분산시키는 것이 좋으며, 믹서로는 판믹서가 드럼믹서보다는 우수한 결과를 나타낸다.

일반적으로 약 25mm길이의 단섬유를 이용하는 경우 섬유혼입율은 2~5Wt.%가 적절하며, 섬유혼입율이 클수록 형틀에 진동다짐으로 밀실한 복합체를 제조할수 있다.

Premix한 재료로부터 GRC를 제작하는 방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 중력 Molding

성형과정은 통상의 프리캐스트 콘크리트의, 제조법과 같으며, Premix한 모르타르는

보통콘크리트에 비해 유동성이 거의없으므로 유동성을 주기 위하여 진동기를 사용해 형틀의부에 진동을 가하면서 타입하는 방법이다. 이 방법에 의한 용도로는 통상의 프리캐스트 콘크리트 및 베란다, 영구형틀, 특히 박판의 측면형틀을 제작할 때에 이용된다.

(2) Press성형법

Premix한 모르타르를 형틀에 유입해 가압하여 성형하는 방법으로, 두께 10~20mm의 박판제작시 1.53~102.0 kg/cm²의 압력이 소요되며, 프리악세스후로아, 깨끗한 표면상태를 가진 단순제품 및 형틀제작등에 이용된다.

(3) 압출성형

Premix한 모르타르를 압축기를 이용하여 성형하는 방법이다. 재료의 유출을 돕기 위해 진동을 주지만 제작되는 제품에 유익한 섬유배향을 주기 위해서 진동과 압출법도 응용할수 있고, 압축기가 폐쇄되지 않도록 주의할 필요가 있다.

이 방법은 석면시멘트제품에 널리 이용되고 있으며, GRC에서는 외벽의 구석재, 복잡한 형상의 압출단면등에 이용된다.

(4) Injection Molding

이 방법은 연속섬유매트를 형틀내에 세트한 후 Premix한 모르타르를 펌프로 형틀에 주입하는 방법으로, 섬유의 파손은 펌프로 압송하는 과정에서 증대하지만 창틀, 벽의 기둥, 양면이 매끄러운 GRC판을 제작할때 이용되고 있다.

(5) Press탈수법

오래전부터 석면규산칼슘제품 제작에 이용된 방법으로, Premix한 모르타르를 형틀에 유입하여 가압한 것으로부터 탈수하는 방법이다. 용도로는 프리악세스후로아 및

GF보강규산칼슘 제품이 있다.

(6) 抄造法

오래전부터 석면시멘트제품 및 석면규산칼슘제품에 대규모로 행해졌던 방법으로, 무석면보드 등 석면대체로서 이용되고 있다.

Premix법에서는 모르타르와 GF를 균일하게 혼합하는 기술 및 GF혼입모르타르의 거동을 제어하는 기술이 중요하나, 이들은 GF의 형태와 품질에 의해 크게 좌우된다고 판단되며, Premix법에 의한 GRC의 제조기술에 관해서는 여러 분야에 연구개발이 계속되고 있어 앞으로의 발전이 크게 기대된다.

2.3 積層法

Spray법이나 Premix법을 이용할때 사용하는 GF는 단섬유이고 보강효율은 최고 50%이다. 또 연속섬유를 이용해 콘크리트를 보강하는 시험이 진행되고 있다.

연속섬유를 이용한 적층법에서는 연속섬유의 두께, 방향에 따른 위치가 GRC의 휨강도에 큰 영향을 미치는 인자가 된다. 따라서 적층법으로 GRC를 제작하는 경우에는 연속섬유의 위치결정을 용이하게 하기 위하여 소량의 단섬유를 병용하기도 한다. 또 측구등의 휨부재의 경우에 인장축이 결정된 경우에는 인장축으로만 연속섬유를 배치하면 좋으나 그렇지 않은 경우에는 GRC판의 양면에 연속섬유를 배치할 필요가 있다.

적층법에 의한 GRC제품의 예로써는 파풍판, 방음벽, 케이블닥트 및 측구등이 있다.

2.4 그밖의 성형방법

하수관으로 널리 이용되고 있는 흡관은 원심력성형법에 의해 제작되고 있다.

통상 흡관에 이용되는 철근의 대체품으로

내알칼리성 GF 연속섬유를 이용한 성형기술이 영국 ARC콘크리트사에서 개발되어 현재 여러 흡판제작사에서 제작되고 있다. 이 하수관은 콘크리트관의 내표면과 외표면에 내알칼리성 GF Roving을 매설하였으며, 보통 RC흡판에 비해 충격강도가 크고 균열이 잘 발생하지 않으며 추진내압력이 크다는 장점이 있다.

이외에도 연속섬유를 시멘트매트릭스에 혼입시키는 방법으로 Lay-up방법, Winding법 등이 있다.

3. GRC의 특성

GRC는 종래의 시멘트·콘크리트 제품에 비해 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 높은 휨강도를 가지고 있다.
- ② 내충격성이 우수하다.
- ③ 인성이 풍부하고 균열저항성이 크다.
- ④ 박판성형이 가능하므로 경량화할수 있다.
- ⑤ 설계의 자유도가 크다.



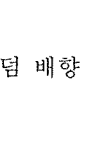

그림8은 GRC의 휨응력-처짐곡선을 모델적으로 나타낸 것이다. GRC는 비례한계점A(LOP)까지는 탄성체로서 거동하고, 이점을 초과하면 내부응력의 대부분을 유리섬유가 부담하기 시작하여 B점(MOR)에서 파괴한다. 이 A점으로부터 B점까지의 거동이 GRC의 특징으로 높은 휨강도와 충격강도의 근원이 되고 있다. 이에 비하여 Plain모르타르는 A점에 도달하기 전에 파괴된다.

3.1 섬유 배향과 보강효율

GRC의 강도는 GF의 배향에 따라서 크게 좌우된다. 표5는 GRC의 휨파괴 강도 및 섬유배향의 효과를 나타낸 것이다.

Premix법은 이 표의 3차원랜덤배향에 해당되며 보강효율은 낮다. Spray법은 2차원랜덤배향이고 보강효율은 Premix법보다도 높다. Net적층법은 2축배향이고, 발(簾)적층법은 1축배향으로 어느쪽이든지 보강효율은 높다. 이로부터 GRC의 강도를 높이기

표5. GRC에서의 섬유보강효율

섬유 배향		後藤의 Data		McCurich의 Data	
		섬유길이 (mm)	보강효율 (%)	섬유길이 (mm)	보강효율 (%)
1축배향		∞	100	∞	100
		38	88~91		
		25	83~84		
2축배향		∞	42	∞	40~50
2차원 랜덤 배향		50	42~47	∞	30~37
		38	38~42		
		25	36~37		
		13	26~27		
		9	22		
3차원 랜덤 배향				∞	0~20

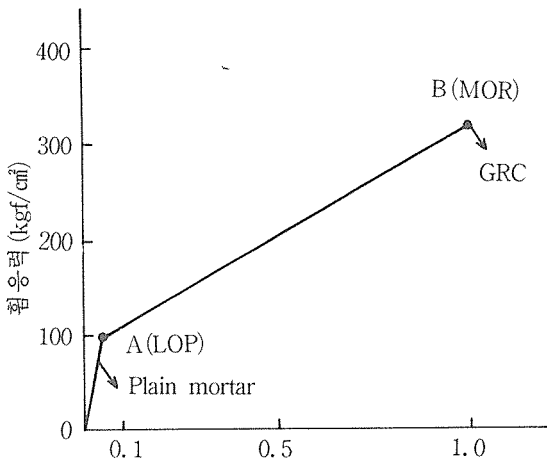


그림8. GRC의 휨응력 - 변형곡선

위하여 Spray법 및 Premix법에 Net등의 연속섬유를 병용하는 것도 좋다.

3.2 유리섬유 - 시멘트계면의 Micro구조

내알칼리 GF와 시멘트페이스트 사이의 계면에 관해서는 stucke와 Majumdar에 의해 상세하게 연구되었다.

복합재료의 성질을 지배하는 임계요소는 계면영역의 밀도라고 생각되며, 이 밀도는 시간과 양생상태에 영향된다. 90일간 기건양생 (40%RH) 한 공시체의 인장시험후 그 파단면을 SEM분석한 결과, 계면은 부분적으로 수화한 시멘트입자사이의 공극에 침투한 Mat를 형성하는 가는 수염상의 결정으로 되어 있다. 5년간 기건양생한 계면도 90일간 기건양생한 계면과 상당히 유사하다. 마찰전단강도가 감소되기도 하고, 또 섬유가 균열을 따라 휘어진 점에서 매트릭스가 상당한 유연성을 갖는 경우 섬유와 시멘트사이의 접촉면적은 상당히 작게 된다. 이와 같은 요인은 강한 섬유의 인발에 의한 고인성을 가진 복합재료에서 일어난다.

한편, 기건양생과는 대조로 5년간 수중양생한 재료의 섬유와 매트릭스사이의 계면은

공극도 거의 남아있지 않고 접촉면적이 크게 되어 마찰부착도 증가하고, 또 섬유가 균열을 따라 휘어진 점에서 강고한 재료로 되기 때문에 대단히 밀실하다. 이들의 조합 효과에 의해서 섬유의 인발에 의한 뽀침도 거의 없고 섬유파괴의 대부분이 매트릭스에서의 균열부근에서 일어나 결과적으로 재료의 인성 혹은 내충격성은 크게 감소한다.

한편, 5년간 자연폭로시킨 재료에서의 계면은 다공성으로부터 밀실성으로 변화하고, 결과적으로 복합재료는 습식과 건식의 양생상태의 특징을 어느 정도 겸한 성질을 나타낸다.

3.3 시멘트페이스트에 의한 내알칼리성

Cohen, Diamond 및 Majumdar는 보통포틀랜드 시멘트를 사용해 제작된 공시체에서 추출한 내알칼리 GF의 인장강도시험결과, Cohen과 Diamond는 22°C, 50%PH조건에서 기건양생한 판의 경우, 섬유의 강도는 혼합중 1일에서 저하하지만 500일의 폭로후에는 강도변화가 나타나지 않음을 발견하였고, Majumdar는 수중양생을 한 복합재료에서 추출한 섬유의 강도저하는 기건양생의 경우에 비해 상당히 크고, 시멘트추출용액을 이용한 경우의 강도는 재령5년까지는 102kg/cm²이하로 떨어지지 않음을 발견하였는데, Majumdar의 연구에서 관찰된 잔류강도는 Cohen과 Diamond에 의해 얻어진 값보다 약 30% 높았다.

3.4 GRC의 직접인장특성

Ali등에 의한 GF의 길이와 혼입량의 변화에 따른 인장강도시험 (Spray-suction법 사용)결과, 그림9에서와 같이 섬유혼입에 의해 인장강도는 Plain콘크리트에 비해 현저히 증대하며, 섬유길이가 길수록 인장강도는

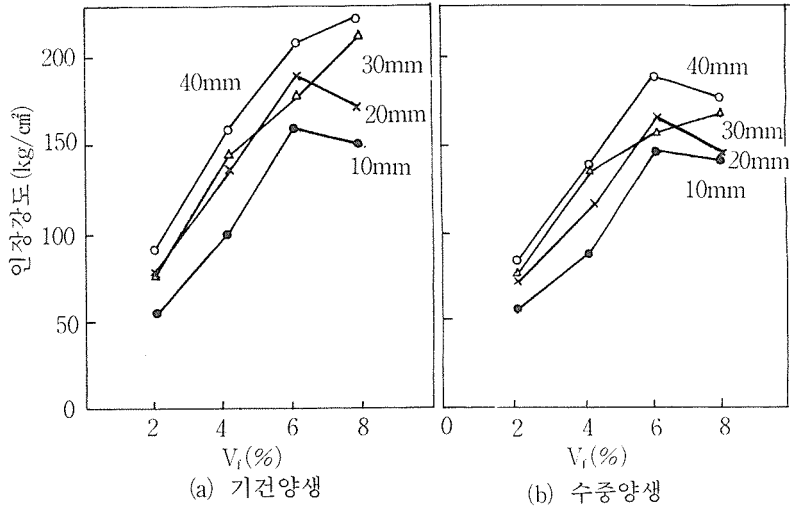


그림9. GRC의 인장강도와 섬유혼입율과의 관계

증가하고 섬유길이의 효과계수는 증대하지만 증가율은 둔화되며, 섬유혼입량에 따라서는 섬유혼입량증대에 수반하여 강도는 증가하지만 복합재료의 다공성이 증대하여 6%이상에서는 다소 저하하는 경향을 나타내므로 작업성과 경제성의 관점에서 Spray 법 사용시 섬유길이는 25~38mm, V_f =

5~6%가 적당하다.

또한 그림10은 GRC의 응력-변형곡선을 나타낸 것으로써, 섬유길이 및 혼입량 증가에 따라 최대인장강도와 변형성능은 현저히 개선되어 단기간에 얻을수 있으며, 양생상태에 의한 차이는 그다지 중요하지 않음을 알수 있다.

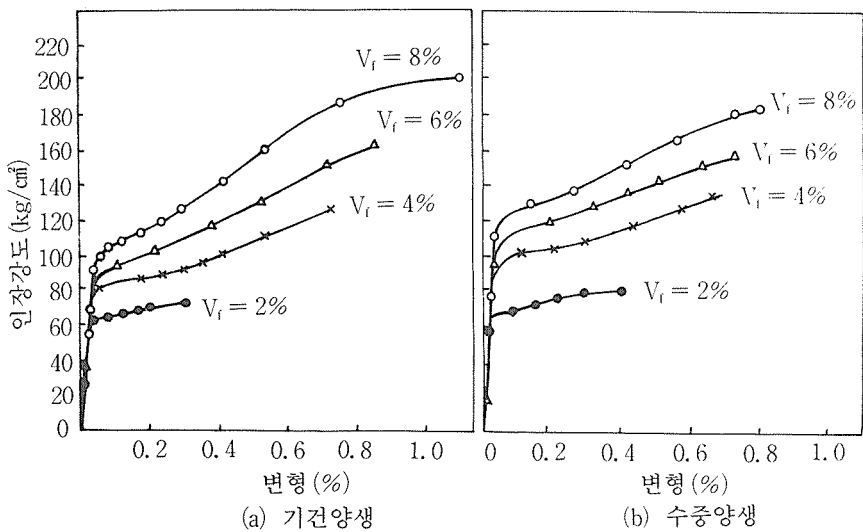


그림10. GRC의 인장응력 - 변형곡선

한편, 양생조건에 따른 재령5년까지의 연구결과에 의하면, 기건양생을 실시한 공시체의 인장강도는 거의 변화하지 않으나 수중양생을 실시한 경우 재령1년 사이에 강도는 현저히 저하하고 그후는 거의 완만히 저하하여 일정한 강도를 나타내었으며, 자연폭로상태의 경우 지속적으로 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 절대강도에 비해 더욱 중요한 파괴에 이를 때까지의 변형은 그림11과 같이 수중양생 및 자연폭로시킨 복합재료의 파괴변형은 5년이전에 도달하지

만, 기건양생의 경우 파괴에 도달하는 변형에는 거의 변화가 일어나지 않음을 알수 있다. 인성은 파괴변형과 밀접한 관계가 있으므로 수중양생 및 자연폭로시킨 GRC는 시간이 흐를수록 쉽게 파괴되고, 직접인장강도보다 오히려 충격과 휨강도가 큰 강도저하를 일으킨다고 판단된다.

3.5 GRC의 휨특성

그림12는 섬유길이 및 혼입량에 따른 휨강도를 나타낸 것으로써, 섬유혼입에 의해 휨강도에 미치는 영향은 인장강도에서와 마찬가지로, 섬유길이가 길수록, 그리고 섬유혼입율증가에 수반하여 휨강도는 증가하지만 일정혼입율이상에서는 섬유의 체적증가로 인한 다공성의 증대로 오히려 강도가 저하된다.

또한 섬유와 시멘트복합재료의 휨강도에 영향을 주는 임계요소는 보의 경우 압축변형과 인장변형의 상대값으로 정의되는 파괴시의 중립축의 위치이다. 중립축은 파괴까지 단면의 중앙점에 있다는 잘못된 가정으

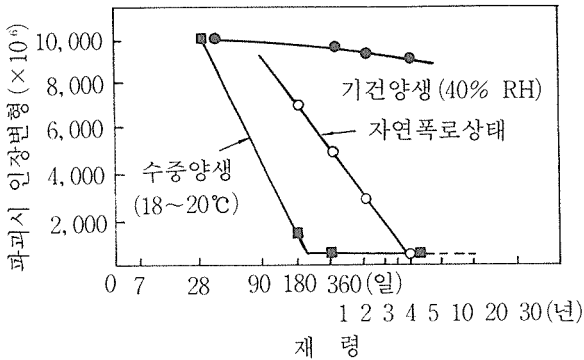


그림11. 양생조건에 따른 GRC의 인장파괴변형

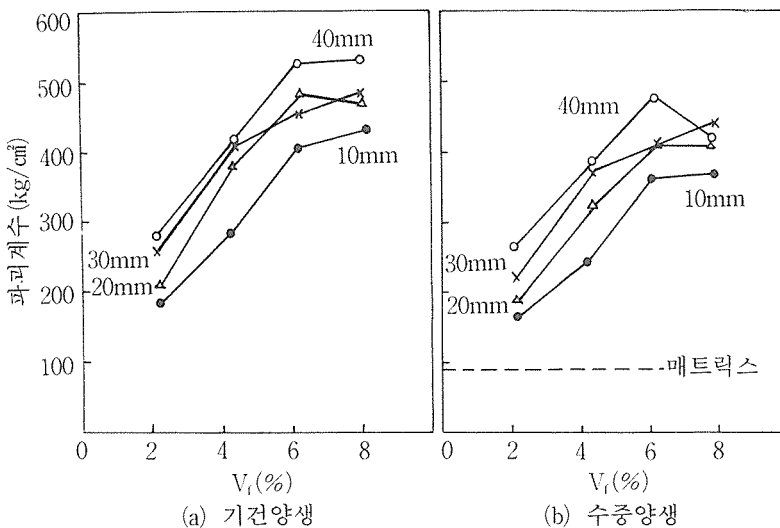
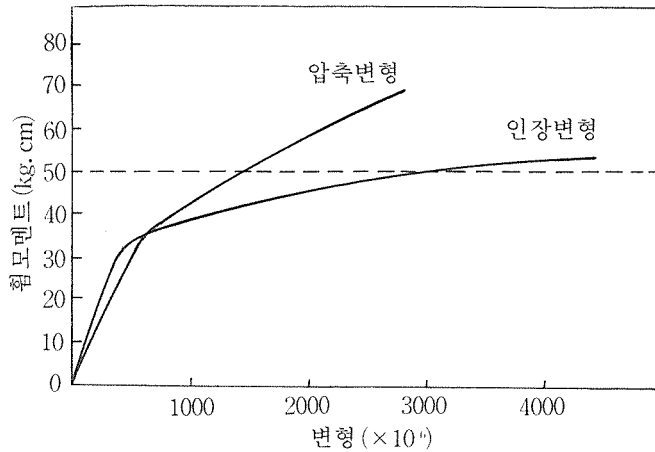


그림12. GRC의 파괴계수와 섬유혼입율과의 관계



(주) 50kg·cm에서 중립축은 인장사이에서 단면 깊이의 약 0.68이다.

그림13. GRC의 압축변형과 인장변형의 차이

로부터 휨강도와 파괴계수가 계산되므로 휨강도값은 가상적인 것이고, 공시체에 존재하는 응력 또는 재료의 인장강도를 나타내지 못한다. 그때에도 휨응력을 받는 동일한 두께의 부재의 강도를 계산할때 이용되고 있다.

그림13은 Allen이 Spray suction법으로 제작한 보의 면상에서 측정된 압축변형과 인장변형을 나타낸 것이다. 중립축은 단면의 중앙(0.5D)에 있다고 가정하고, 휨모멘트 37.5kg·cm의 경우 공칭휨강도는 204.1~285.7kg/cm²이지만, M = 51.0kg·cm의 경우 중립축은 0.68D의 위치에 있고 그후는 다시 압축면으로 이동한다.

또한, 양생상태에 따른 휨강도 및 휨인성은 인장특성에서와 같이 기건양생의 경우 재령이 경과해도 큰 저하현상을 나타내지 않으나, 수중양생 및 자연폭로시킨 GRC는 장기재령에서 현저히 저하하여 파괴변형에도달한다.

한편, GRC의 강도는 성형법에 따라 크게 다르다. 그림14는 GRC의 휨강도에 미치는 성형방법의 영향을 나타낸 것으로, 모르타

르의 배합은 S/C = 1.0, W/C = 0.4, L_f = 25mm이고, Net적층법의 경우 형틀에 소정의 Net을 깔고 그위에 모르타르를 유입해 10mm두께의 GRC판을 성형한 것이다. 이로부터 GRC의 휨강도는 Net적층법의 경우 가장 크고, 다음으로 Spray법, Premix법의 순으로 작아져 GF혼입량증가에 따른 강도증가분은 비교적 작은데, 이는 섬유 배향이 2차원랜덤보다 3차원랜덤보강이 유효하지 않기 때문이다.

또한 Spray법 및 Premix법에 Net등의 연속섬유를 병용하여 10mm두께의 GRC판을 성형하였을 때의 시험결과, 연속섬유를 병용함으로써 더욱 고강도의 GRC를 얻을수 있으며, 특히 Premix법과 병용하였을때 더욱 효과적이다.

3.6 압축강도

그림15는 GF 5Wt. %의 GRC의 面內·外 압축강도를 나타낸 것으로, GF혼입에 의한 GRC의 압축강도는 보통콘크리트에 비해 거의 개선되지 않지만, 그림에서 압축강도가

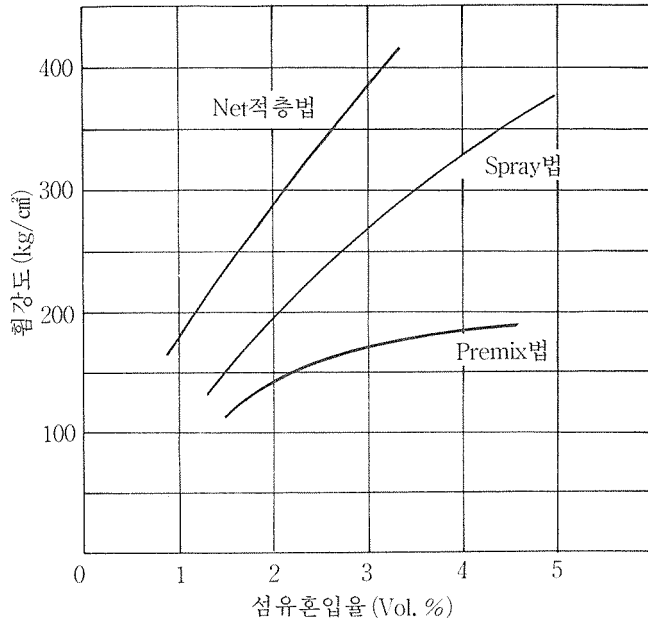


그림14. GRC의 휨강도에 미치는 성형방법의 영향

통상 알려진 값보다 큰 것은 공시체로 입방체를 이용하였기 때문으로 판단된다. 그러나 아직 GRC의 압축강도와 GF혼입량과의 관계는 분명하지 않으며, 이는 모르타르에 GF혼입으로 기포연행을 수반하고, 성형시의 탈포의 정도가 성형법 또는 GF혼입량에 따라 달라지기 때문으로 판단된다.

3.7 내충격성

충격에 대한 특성은 시험방법에 따라 크게 좌우된다. GRC의 충격강도에 대해서는 재령, 섬유혼입을 및 섬유길이에 의한 영향이 크다.

그림16은 Spray-suction법에 의해 제작한 GRC의 재령28일에서의 양생조건별 충격강도를 나타낸 것으로서, 섬유혼입량 및 길이 증가와 함께 충격강도는 증가하나 섬유길이에 의한 영향은 극히 작다. 또 양생조건에 따라서는 기건양생에 비해 수중양생의 경우 충격강도는 작고, 이 차이는 시간과 함께

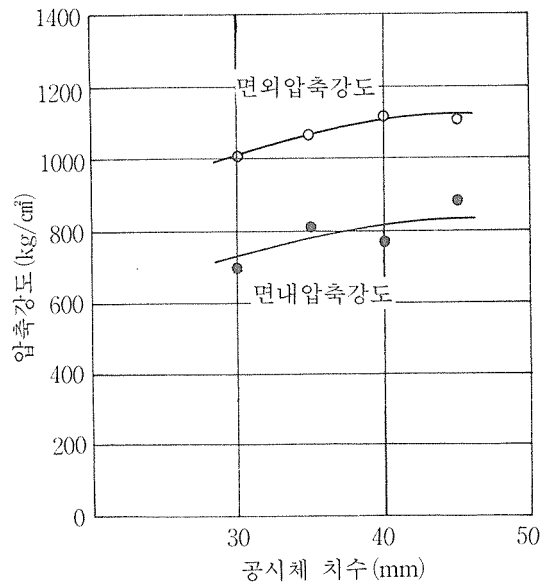


그림15. GRC의 압축강도

증가한다.

또한 장기재령에서는 기건양생의 경우 그 Toughness를 거의 유지하지만, 수중양생 및

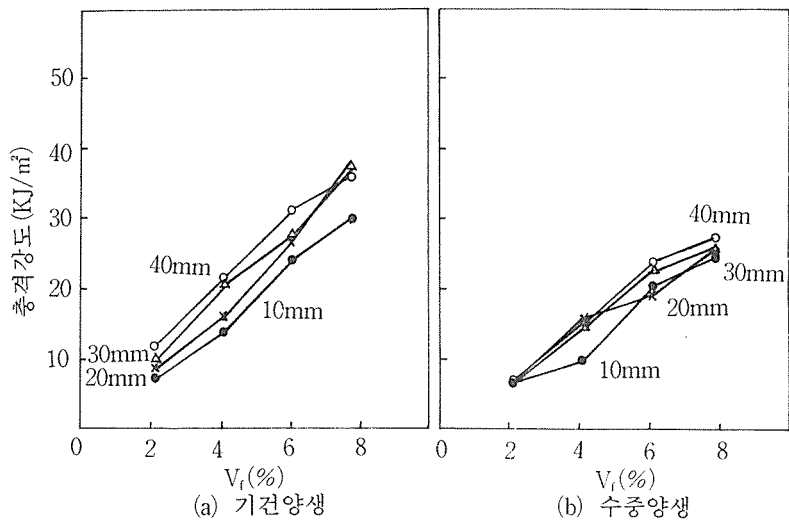


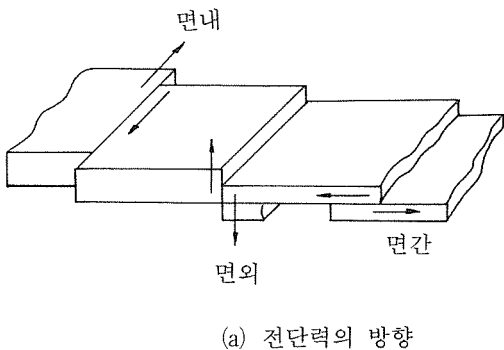
그림16. GRC의 충격아도와 섬유혼입율과의 관계

자연폭로상태의 경우 초기재령에서 약 2~5KJ/m²으로 매트릭스의 충격강도에 거의 도달한다. 그리고 매트릭스의 밀도는 시간과 함께 증가되므로 섬유의 파손이 증가하고 섬유의 인발에 의한 뽑힘이 감소하여 충격강도는 감소한다. 다행히 적용응력으로서 중요한 2개월까지의 초기재령에서는 충격강

도가 크다는 것이나, 준구조재로 응용시는 점성이 필요하므로 주의를 기울일 필요가 있다.

3.8 전단강도

GRC를 건물에 이용하는 경우 중요한 것



(a) 전단력의 방향

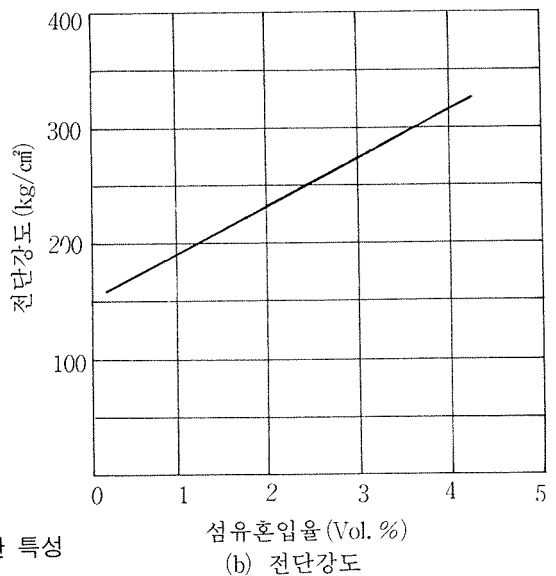
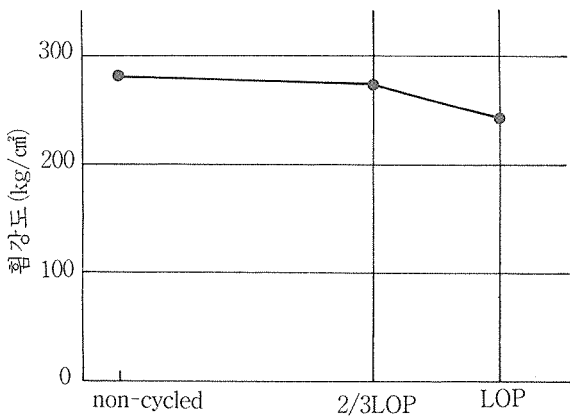


그림17. GRC의 전단 특성

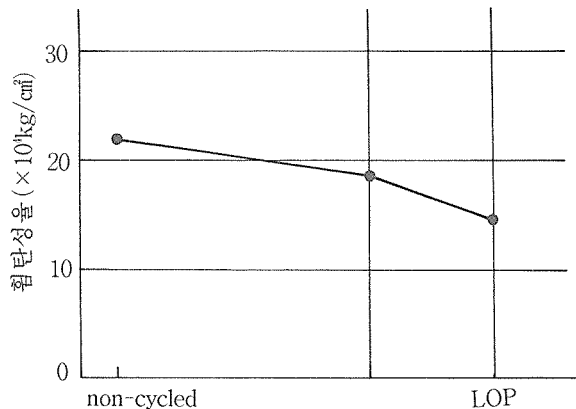
표6. GRC의 특성

(재령 28일, 표준배합)

		Spray법	Premix 법	Plain Mortar
유 리 섬 유 함 유 율 (%)		5	3	—
기 건 비 중		1.8~2.2	1.7~2.1	1.9~2.3
휨 강 도	파괴강도 (kg/cm ²)	250~350	100~200	50~80
	비례한계강도 (kg/cm ²)	70~130	70~130	50~80
	탄성율 (×10 ⁴ kg/cm ²)	1.5~2.5	1.4~2.4	1.5~21.5
인 장 강 도	파괴강도 (kg/cm ²)	100~150	60~110	30~50
	비례한계강도 (kg/cm ²)	50~70	50~70	30~50
압 축 강 도	면외방향 (kg/cm ²)	600~1000	400~800	400~600
	면내방향 (kg/cm ²)	400~800	400~800	400~600
전 단 강 도	면외전단강도 (kg/cm ²)	250~350	100~200	20~50
	면내전단강도 (kg/cm ²)	70~120	50~100	20~50
	층간전단강도 (kg/cm ²)	20~40	40~60	20~50
충 격 강 도 (kg · cm / cm ²)		15~25	10~20	1~2
포 아 슨 비		0.3	0.3	0.3
흡 수 율 (%)		10~15	10~15	9~14
건 조 수 축 율 (%)		0.1~0.2	0.1~0.2	0.05~0.2
열 전 도 율 (kcal / m . h . °C)		0.8~1.3	0.8~1.3	0.8~1.3
열 팽 창 계 수 (× 10 ⁻⁶ / °C)		7~12	7~12	7~12
투과손실 (GRC 15mm 두께)		500Hz : 35dB		



반복최대응력
(a) 200만회 반복후의 휨강도



반복최대응력
(b) 200만회 반복후의 휨탄성율

그림18. GRC의 휨피로특성

은 면외전단강도로써, 그림17에 각 전단력의 방향과 면외전단강도 - GF혼입량의 관계를 나타내었다. GRC의 면외전단강도는 GF혼입량 증대에 따라 증대하며, 섬유길이에 관해서는 13~50mm의 범위에서는 일정하다.

3.9 탄성율, 비례한계강도 및 포아슨비

GRC의 역학적 특성으로서 중요한 항목으로 파괴강도이외에 탄성율, 비례한계강도 및 포아슨비가 있다. D. J. Hannant에 의하면 FRC의 균열발생전의 성능은 섬유를 혼입해도 크게 개선되지 않는다고 한다. 실제로 GRC의 탄성율, 비례한계강도 및 포아슨비는 GF혼입량에 의해서보다는 오히려 매트릭스에 의해 결정된다.

표6은 이들의 특성치를 나타낸 것이다.

그림18은 GF 5Wt. %의 GRC에 상한응력 2/3 LOP 및 LOP(비례한계강도)에 상당하는 하중을 200만회 반복하여 가했을 때의 휨강도와 휨탄성율을 나타낸 것으로, 반복하중이 2/3 LOP이하에서는 거의 피로하지 않음을 알 수 있다.

4. 선진국에서의 GRC의 동향

4.1 미국에서의 스틸스터드 시스템

미국에서 GRC 기술의 최대 특징은 스틸스터드 시스템이라는 독특한 방식의 판넬제조법이다. 이 방식은 GRC판의 이면에 경량철골틀을 조립하고, GRC판과 스틸스터드 프레임은 L형봉강(Flexible Anchor Rod)에 의해 일정거리 간격으로 접속하고 있다. Flexible Anchor Rod는 40~60cm간격으로 배치하고 GRC판과는 GF혼입 모르타르에 의해, 또 스틸스터드 프레임과는 용접에 의해 접합한다. 이와 같이 하여 제작된 GRC 판넬은 스틸스터드 프레임상에 설치된

Fastener에 의해 구조프레임에 접속한다. 이 방법에 의한 GRC판넬은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

① GRC판이 철골틀로부터 Free floating상태에 있고, Fiexible Anchor가 GRC판의 치수변화를 흡수하도록 작동되므로 GRC에 과도의 응력이 발생하지 않는다.

② Rib가 불필요하므로 경량화효과가 크다.

③ 내풍압성능은 철골틀의 강성과 앵커의 간격에 의해 결정되므로 이것을 적절하게 설계함에 따라 초고층빌딩에의 적용이 가능하다.

④ 지진의 入力이 작고 또 변형추종성이 크기 때문에 우수한 내지진성능을 가진다.

스틸스터드 시스템의 채용으로 GRC의 신뢰성이 증가되고 구조 프레임 및 운송·공사비용의 절감 등 Total Cost가 절감되며 다른 재료와의 경쟁력도 증가되어, 오늘날 미국 건축업계에서 가장 혁신적인 재료로 각광받고 있다.

4.2 GRC판넬의 제조

미국에서도 GRC판넬은 Hand spray법에 의해 제조되고 있지만 Polymer의 일종인 알칼리수지계의 에멀션을 5vol. % 함유하는 모르타르를 이용하고 있는 점이 일본과 다르다. 이처럼 Polymer를 첨가하는 이유는 다음과 같이 판단된다.

① 양생시의 건조를 막고, 탈형강도를 높게 한다.

② 모르타르와 GF의 부착력 증대

③ 미세균열의 감소

④ 투수성의 저감

모르타르의 믹싱에는 High shear mixer를 사용하며, 먼저 Polymer, 물, 감수제를 혼합하고 나중에 모래, 시멘트를 혼합한다. GRC판의 뿔어붙이기 종료후 앵커로드에 GF혼입 모르타르를 성형하며, 표면마무리에 대해서는 깨끗이 닦거나 착색도 좋다.

4.3 일본에서의 新GRC

GRC는 강도가 크고 박판경량으로 제작할 수 있으며 설계의 자유도도 크다는 장점이 있어 건축·토목구조물에 널리 사용되고 있으나 장기내구성과 치수안정성이 약간 불안하다고 지적되고 있다. 앞에서 소개한 미국의 스틸스터드 시스템은 종래GRC 공법의 측면에서 연구함으로써 GRC의 신뢰성을 높인 예이다.

한편, 1985년 일본 秩父시멘트사가 개발한 저알칼리성의 GRC시멘트는 재료측면에서 접근한 획기적인 기술의 창출예이다. 이 시멘트는 주로 포틀랜드 시멘트의 조성화합물인 규산칼슘(C_3S , C_2S)을 사용하고, 다음에 이들의 수화에 의해 생성된 $Ca(OH)_2$ 를 완전히 소비할수 있으므로 C_4A_3S , 석고 및 고로슬래그를 혼합한 고알루미나·저석탄형의 시멘트로 $PH = 11 \sim 12$ 로 극히 낮은 것이 특징이다. 그러나 이 시멘트를 이용한 GRC 제품의 실용화에는 GRC의 제조, 물성, 설계 및 시공등에 있어 다소의 과제를 극복하지 않으면 안된다.

日本電氣硝子は 鹿島建設 및 秩父시멘트사와 공동으로 고지루코니아 내알칼리성 GF와 GRC시멘트를 이용한 新GRC는 개발을 연구한 결과, 新GRC는 종래 GRC의 약점으로 지적되던 내구성과 건조수축을 대폭 개선한 우수한 건축·토목용 소재인 것으로 밝혀졌다.

5. GRC의 용도개발

GRC는 경량고강도로 조형성이 좋다고 하는 장점을 가지고 있어 건설용재로 널리 이용되지만, 그 용도에 있어서는 다음과 같은 배려가 필요하다.

① 직접적으로 인명·재산에 영향되는 구조재(기둥, 보 등)에 사용하는 경우에는 철근배근등을 하여 GRC만의 사용을 피할 필요가 있다.

② 단기 또는 장기의 외력을 받는 2차부재(외벽, 칸막이벽 등 비내구벽)에 대해서는 대략 표7에 나타낸 허용응력을 이용한다.

③ 직접적으로 인명, 재산에 영향을 미치지 않는 비구조재(악세스후로아 등)의 경우에는 비례한계강도와 파괴강도사이에서 설계할수 있다.

이같은 배려를 기초로 적극적인 용도개발이 이루어진 결과 표8에 나타낸 것처럼, 오늘날 그 용도는 건축물의 내외벽, 천정재, 영구형틀, 방음벽, 엑스테리아 등 여러 분야에 이용되고 있다.

표7. 허용응력도 참고치

(kg/cm²)

	단기허용응력	장기허용응력
휨강도	75	50
인장강도	30	20

5.1 건축분야

GF는 SF에 비하여 가볍기 때문에 GRC제품의 대부분인 80%정도가 건축용도에 사용되고 있고, 그중에서도 특히 외장재에 널리 사용되고 있다. GRC는 SFRC와 같이 Plain 콘크리트에 비하여 파괴에너지가 크고 국부적인 균열이 발생하지 않으며 균열에 대한 응력집중의 완화, 내부응력의 분산등으로 넓은 연성영역을 형성시키는 특성을 가진다. GRC제품의 강도는 실내와 같은 기건양생하에서는 거의 저하하지 않는다고 인식된 이래 GRC는 내장재, 특히 천정재로서 사용되는 예가 증가하고 있다. 또한 GRC는 경량·고강도로 조형성이 좋기 때문에 배란다, 칸막이벽, 계단, Dust-shoot, 지붕재, 방음벽, 패널, 바닥판, 굴뚝, 블록포장 등에 사용되고 있으며, 프리악세스후로아, 무석면 Siding재 등은 기계성형에 의해 규격생산되고 있다.

또한, GRC와 단열재를 일체성형함에 따라 단열성, 내화성 등의 특성을 조합시킨

GRC재료도 출현하는 등 다른 재료와의 조합도 증가하고 있다.

표8. GRC 의 용도

분 야	용 도 예
건 축	내·외장재, 창틀 Unit, 천정재 기둥커버, 보커버, 차단벽판넬 복 합판, 방음벽, 베란다, 영구형틀, 프리악세스 후로아, 닥트, 커텐 월, 외벽판넬, Siding재, 무석면 보드 등
토 목	방음벽, 측구, 케이블닥트, 하수 관, 옹벽, 교량용 영구형틀 등.
엑스테리아	난간, 펜스, 포울, 전화박스, 주 택 및 상점의 비품 등
기타	선박내장재, 보온재, 내화피복재, 좌관용 균열방지재 등

5.2 토목분야

토목분야에 이용되는 GRC는 전체의 15% 정도로 건축분야에 비해 적지만, GRC의 장점을 이용한 용도개발이 증가하고 있다. GRC는 경량화 및 장시간화가 가능하므로 토목분야에서는 측구, 펜스, 케이블닥트, 옹벽 및 부잔교, 소형선박, 인공어초 등의 해양구조물, 터널라이닝 등에 이용되며, 또 기존 흙관의 철근대신 GF연속섬유를 이용한 GRC관이 있는데 이 GRC관은 흙관에 비해 충격강도가 크고 균열발생이 거의 없으며 추진내압력이 큰 장점을 가지고 있다.

5.3 新GRC의 용도

앞에서 소개한 新GRC는 우수한 내구성과 치수안정성 때문에 그 용도는 종래 GRC에서 불가능했던 분야까지 확대되고 있다. 그 대표적인 예가 고층빌딩의 커텐월, 대형외벽판넬 및 타일부착판넬 등이고, 또 여러 특성을 가진 다른 재료와의 조합에 의해 새로운 다기능성 재료의 출현이 가능해지고,

내구성, 치수안정성 등이 대폭 개선되어 상판등의 휨부재, 물탱크 등에도 이용되고 있다.

5.4 기타

GRC는 조형성이 좋다고 하는 장점때문에 전화박스, 포울, 경량하우스, 주택 및 상점의 비품 등 엑스테리아에도 이용되고 있으며, 그외 선박용내장재, 좌관용 균열방지재 등에도 이용된다.

6. GRC의 현황과 전망

GRC가 실용화되었을때 섬유콘크리트로는 GRC와 SFRC밖에 존재하지 않았지만, 그후 CFRC, AFRC, VFRC 등 새로운 섬유콘크리트가 등장하게 되어 당초 꿈의 건재라고 불리워지던 GRC의 지위는 상대적으로 저하되었다.

그러나 내알칼리성 유리섬유는 무공해이고, 양산체제가 확립되어 가격이 저렴하며, 내열성이 높고 불연성이 크며, 또한 사용이 쉽다는 것, 보강효과가 크다고 하는 등의 장점때문에 오늘날에는 건축·토목분야에 널리 사용되고 있다.

또 그동안 GRC의 약점으로 지적되던 내구성과 치수안정성을 대폭 개선시킨 스틸스터드 시스템 및 新GRC의 개발과 같은 획기적인 기술의 출현에 따라 지금까지 사용이 불가능했던 분야로까지 GRC의 용도가 확대됨에 따라 현재 GRC는 제2의 번성기를 맞이했다고 할수 있다.

그러나 GRC가 앞으로 더욱 크게 발전하기 위해서는 Cost를 대폭적으로 저하시킬 필요가 있다. 내알칼리성 유리섬유의 경우 선진국에서는 이미 양산체제가 확립되어 상당히 저가격으로 공급되고 있으며, 앞으로는 기계성형의 도입에 의해 성형 Cost를 더욱 저감시키는 것이 가장 중요한 과제가 되고 있다.