

# 先配合方法에 의한 유리纖維補強시멘트의 強度特性에 關한 研究

A Study on the Strength Properties of Glass Fiber  
Reinforced Cement made by Premixing Method

김 용 부\*                          오 조 정 민\*\*  
kim, Yong Bu                      Cho, Jeong Min

## ABSTRACT

There are two main methods in reinforcing cements with glass fibers : spray-suction and premixing method. But GRC have been mostly studied by spray technique. In order to develop GRC made by premixing method, in this paper, the influence of glass fiber length, volume content and curing conditions upon the compressive, direct tensile and bending strengths of composites fabricated by a premixing method, were investigated.

According to the test results, although it was difficult to obtain perfectly uniform distribution of fibers in GRC Panel, it was found that tensile strength of cements with glass fiber was improved 2 ~ 5 times and flexural strength 4 times compared to conventional cement mortar upto fiber length 35 mm, volume content 4 % .

## 1. 序 論

纖維는 脆性材料의 성질을 補強하기 위해 수세기에 걸쳐 사용되어 왔으며 과거 벽돌을 보강하기 위해 벗짚을 이용한다거나, 석고에 말총을 보강하는 등 자연에서 쉽게 얻을수 있는 재료를 섬유 형태로 건축재료에 활용하여 왔다. 이후 점차 재료가 高機能化되어 감에 따라 보다 향상된 새로운 섬유가 開發되었으며 그중 1920 년대 부터 자연광물에서 채석되는 天然纖維인 石綿이 산업전반에 걸쳐 광범위하게 사용되어 왔으며, 건축재료측면에서도 시멘트를 석면으로 보강하여 석면시멘트, 슬레이트, 판넬등 여러형태로 널리 사용하여 왔다.

그러나, 1950년대 말부터 石綿의 人體에 미치는 有害性이 判明됨에 따라 先進外國에서는 사용이 규제되거나 이미 사용된 제품도 代替함으로 인해 대체纖維의 開發 必要性이 擡頭되기 시작하였다. 1960 년 초부터 강섬유, 유리섬유, 탄소섬유, 폴리프로필렌 섬유, 폴리에틸렌섬유등이 시멘트 및 콘크리트 보강재료 개발 연구되고 있다.

### 1.1 研究 動向

유리纖維補強시멘트 (GRC, Glass fiber Reinforced Cement) 는 유리섬유보강플라스틱 (GRP) 에서 結合材料를 耐火性이 보다 우수한 無機物로 代替, 應用한 재료로서 1941 년 소련에서 처음, 개발되기 시작했다. 1964년 소련의 Biryukobish가 10 여년의 연구결과를 발표했는데 이때의 모든 실험시 알루미늄시멘트를 사용했는데 이는 GRP를 위해 개발된 'E' 유리섬유가 보통포틀랜드시멘트와 사용시 시멘트 속에 있

는 Calcium Silicate 成分이 水和過程에서 높은 알칼리성으로 변화되어 'E' 유리섬유가 단기간에 劣化되어 버리기 때문이었다.

그러나, 영국이나 소련등지에서 생산되는 대부분의 시멘트가 포틀랜드시멘트이기 때문에 보통시멘트에 사용할 수 있는 耐알칼리 유리성분을 개발하기 위한 연구가 영국의 BRE (Building Research Establish)를 중심으로 진행되었다.

1967년 BRE의 A.J.Majumdar 는 몇가지 유리조성, 특히  $Na_2O-SiO_2-ZrO_2$  은 보통시멘트에 사용할 정도로 충분한 耐알칼리 성분을 지니고 있으며 섬유화도 가능하다는 것을 밝혔다. 이 연구를 기본으로 하여 Pilkington Brothers사는 국립연구개발국 (NRDC)과 BRE와 공동으로 시멘트와 사용가능한 유리섬유의 상품화를 위한 개발을 착수하였으며 그 결과 1972 년 第1 世代 유리섬유 제조방법에 대한 特許를 獲得하였으며 이를 계기로 GRC에 관한 연구가 가속화되기 시작하였다.

그러나 내알칼리 유리섬유는 비록 'E' 유리섬유보다 내알칼리성은 우수하나 시간이 지남에 따라 Calcium 成分이 필라멘트 사이를 침입하여 GRC의 강도를 저하시키기 때문에 실제 건축물에 사용시 장기 내구성에 문제가 대두되었으며 이를 위해 필라멘트에 무기질을 코팅시킨 제2 세대 유리섬유가 1979 년 개발되었다.

현재까지 GRC에 대한 연구분야는 주로 재료학적 측면, 즉 GRC의 장기 물성 및 보통시멘트의 저알칼리화를 위한 혼화제와 특수시멘트에 관한 것이었다.

### 1.2 研究 目的

현재까지 GRC에 관한 연구는 Ryder에 의해 개

\* 성균관대학교 건축공학과 교수

\*\* 쌍용양회 조사개발부 근무

발된, 纖維의 보강효과가 보다 우수한 2차원 섬유 배열을 가능하게 하는 스프레이-脫水製造方法에 의한 GRC의 物性에 관한 研究가 대부분이었다.

따라서 本論文에서는 先配合方法에 의해 제조된 GRC 판넬의 보강효과에 미치는 여러요인중 유리섬유의 길이를 12,25,35,50 mm에 대해 각각 체적혼입율을 0,2,4,6 %로 변화시켰을 때의 補強효과와 양생조건, 수중양생과 자연기후에서의 양생이 GRC에 미치는 영향을 직접인장강도를 중심으로 제반시험을 통해 최적조건을 제시하고자 한다.

## 2. 實驗

### 2.1 使用材料

#### (1) 유리纖維

일본 A社 제품인 耐알칼리 유리섬유를 사용했으며 30 Strand 로 구성되어 있는 Roving 를 12,25,35,50mm 로 절단, Chopped Strand 형태로 보강하였다. Table 1 은 본실험에서 사용한 유리섬유(Cem-FIL)의 물성표이다.

Table 1. Properties of Glass Fiber

		Cem-FIL	E-Glass
物性	Density	2.78	2.54
	Surface Area (Ca <sup>2</sup> /gr)	1,200	-
	TEX (gr/Ka)	2,400	-
	Tensile Strength (Kg/Ca <sup>2</sup> )	25,000	25,000
Elastic Modulus (Kg/Ca <sup>2</sup> )		7.5×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>8</sup>
알칼리 抵抗性	100 °C 알칼리용액에서의 적정 감소율	1 N-NaOH 1.5 hrs	59
		Ca(OH) <sub>2</sub> 4 hrs	9

Table 3. Compositons of Glass Fiber

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
Cem-FIL	60.9	0.27	4.8	0.1	14.3	2.7	-	10.2
E-Glass	54.3	15.2	17.3	4.7	0.6	8.0	-	-

#### (2) 시멘트 및 骨材

시멘트는 SS社 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 골재는 최대입경 0.5 mm 되는 細砂를 사용하였다.

#### (3) 혼화제

혼합물의 유동성을 좋게 하기위해 고유동화제를 시멘트 중량비로 0.2 ~ 1.2 % 까지 사용하였다.

### 2.2. 配合 및 實驗方法

#### (1) 配合

시멘트 매트릭스 배합은, S/C 는 0.4로 고정하고 섬유의 혼입율, 길이에 따라 W/C비, 고유동화제 첨가

량을 달리하여 유동성을 조절하였으며 섬유의 혼입율은 체적비를 기준, 이를 중량비로 환산하였다. 배합 계산시 合成物의 比重은 2.0, 모탈의 비중은 사전 예비실험 결과 2.17 로 하였고 각재료의 다짐 및 손실율은 20 % 로 하고 그배합 결과는 Table 2 와 같다.

Table 2. Mix Proportions of Cement Matrices

Fiber Length (mm)	Fiber Content		W/C	S/C	Unit Weight (Kg/m <sup>3</sup> )				
	V <sub>f</sub>	W <sub>f</sub>			Cement	Sand	Water	G/P	S-P
0	0	0	0.33	0.4	1,387	554	458	0	0
12	2	2.4	0.33	"	1,354	541	447	57.6	0
	4	4.8			1,321	528	436	115.2	0
	6	7.2			1,287	514	425	172.8	2.5
25	2	2.4	0.44	"	1,272	508	580	57.6	2.5
	4	4.8			1,240	496	546	115.2	3.7
	6	7.2			1,209	483	532	172.8	7.2
35	2	2.4	0.44	"	1,272	508	580	57.6	8.3
	4	4.8			1,240	496	546	115.2	8.7
	6	7.2			1,209	483	532	172.8	10.9
50	2	2.4	0.44	"	1,272	508	580	57.6	10.1
	4	4.8			1,240	496	546	115.2	12.4
	6	7.2			1,209	483	532	172.8	14.5

\* S-P : Superplasticizer

#### (2) 實驗方法

##### 가. 混 合

혼합은 보통콘크리트 믹서를 사용하였으며 혼합순서는 먼저 믹서에 시멘트, 세사를 넣고 乾비빔을 1차 실시한 후, 계량된 유리섬유를 혼합되고 있는 믹서 속에 잘 분산시켜 2차 건비빔을 하고 이때 미리 고유동화제가 첨가된 물을 넣어 혼합하였다. 다음 형틀에 타설한 후 중량 750 Kg 되는 콘크리트 Roller 로 50 회 다짐을 실시하였다.

##### 나. 양생 및 시편제작

500 × 500 × 15mm 되는 판넬을 2일 동안 실험실내 보관한 다음 탈형하여, 인장강도 시험을 위한 시편 30 × 150 × 15mm, 휨강도용 시편 50 × 150 × 15mm 크기로 각각 3개씩 판넬을 임의 부위에서 절단하였다. 이후 대기양생과 수중양생의 차이를 비교하기 위해 실외와 온도 25 ± 2 °C, R.H. 100% 되는 수조에 각각 분리하여 28 일 동안 양생하였다.

##### 다. 實 驗

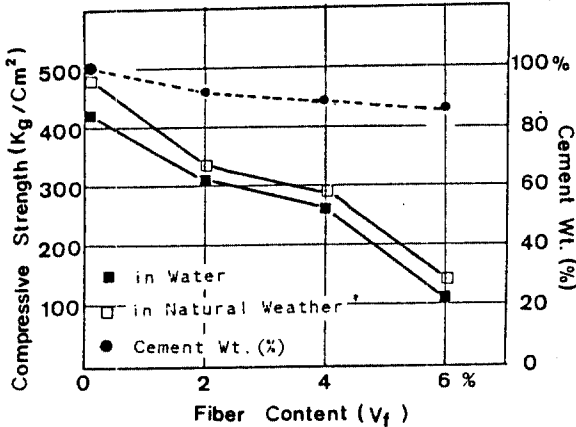
본실험에서 사용한 장치는 30 Ton 만능시험기로 하였으며 재하시 시험체의 변형특성을 측정하기 위해 시험체 중앙부위에 길이 67mm Strain Gage 를 부착시켰으며, 시험체의 應力度-變形度, 荷重-變形 특성을 관찰하기 위해 Testing M/C에서 직접 결과를 출력하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 纖維混入率 및 壓縮強度

압축강도는 자연스런 섬유 분산效果를 얻기 위해 테이블다짐으로  $\phi 100 \times h 200\text{mm}$  크기의 실린더를 제작 섬유 길이를 25mm 로 하고 섬유체적 혼입율을 2,4,6%로 증가시켰을 때의 결과를 유리섬유가 보강되지 않은 시멘트-폴타 실린더와 비교하였다.

Fig.1 Relationship Between Compressive Strength and Fiber volume Contents of GRC Composites



실험 결과, 섬유 혼입율과 압축강도와의 관계는 Fig.1 이며 섬유혼입율이 증가함에 따라 압축강도는 크게 低下되는데, 즉 纖維가 2,4,6% 增加함에 따라 압축강도는 시멘트-폴타강도에 비해 각각 25,37,71%가 떨어지는 결과를 얻었다.

이는 섬유의 혼입으로 인해 충전분량 및 실린더에 공기량 증가에 기인하여 密度가 낮아졌기 때문이며 또한 상대적으로 비중이 낮은 섬유의 혼입으로 인해 매트릭스의 압축강도를 발현시키는 시멘트의 혼입량이 각각 8.3, 10.6, 12.9%로 줄어들었기 때문이다.

또한 自然氣候에서의 養生한 실린더가 水中양생한 것보다 9% 정도 높은 강도를 나타냈는데 이는 최고온도가 30℃ 이상되며 상대습도도 높은 8월중에 양생이 되었기 때문으로 시멘트 수화반응이 수중양생보다 促進된데 기인한다.

#### 3.2 纖維混入率 및 直接引張強度

Fig.2~6 은 섬유혼입율 및 섬유길이에 따른 인장력을 받는 GRC의 비례한계(LOP)와 극한강도(UTS)에 관한 실험 결과이다.

실험 결과 섬유 혼입율이 증가함에 따라 모든 섬유길이에 대해 Density는 감소하는 경향을 나타냈으나 인장특성이 보다 우수한 유리섬유의 보강으로 인해 시멘트-폴타의 인장강도는 1.4 ~ 2.6배 정도

향상됨을 알수있었다.

자연기후에서 양생한 경우, 섬유길이 12, 25mm 에 대해서는 섬유의 혼입율이 증가함에 따라 인장강도는 거의 직선으로 증가하는 현상을 나타냈다. 그러나 길이가 35mm 인 경우에는 인장강도가 4%까지는 거의 직선으로 증가하나 4%를 넘게되면 강도가 오히려 떨어짐을 알수 있었다. 또한 50mm의 경우 2%를 변환점으로 하여 2% 이상에서는 강도의 저하가 있었다.

Fig.2 Relationship Between Direct Tensile Strength & Density and Fiber Volume Content of GRC, Fiber Length 12 mm, in Water, Natural Weather

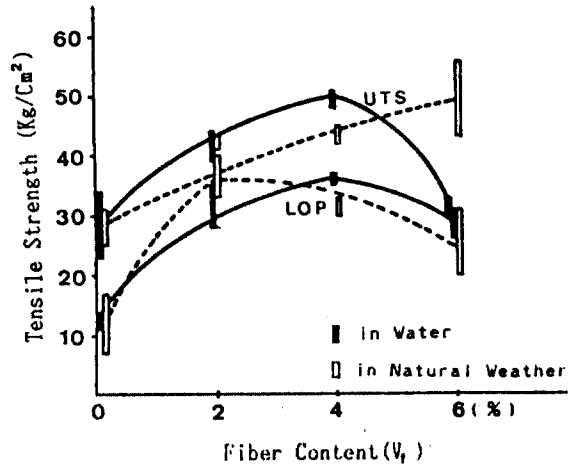


Fig.3 Relationship Between Direct Tensile Strength & Density and Fiber Volume Content of GRC, Fiber Length 25 mm, in Water, Natural Weather

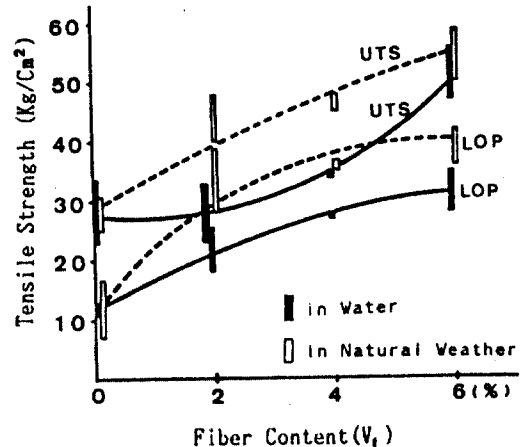


Fig.4 Relationship Between Direct Tensile Strength & Density and Fiber Volume Content of GRC, Fiber Length 35 mm, in Water, Natural Weather

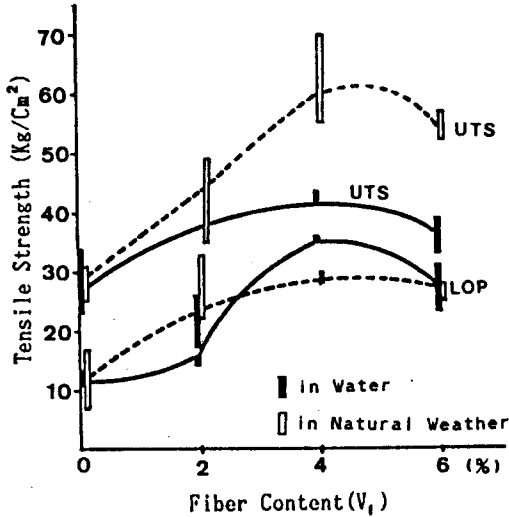


Fig.5 Relationship Between Direct Tensile Strength & Density and Fiber Volume Content of GRC, Fiber Length 50 mm, in Water, Natural Weather

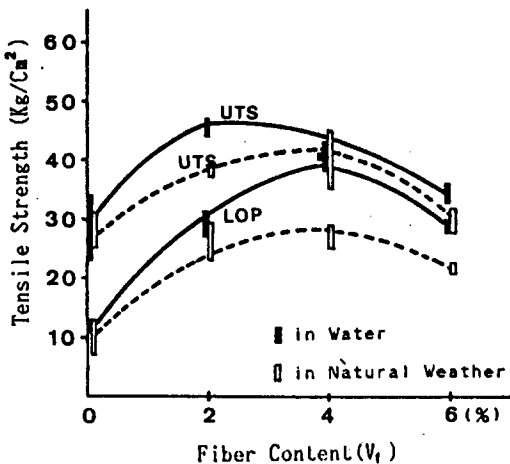
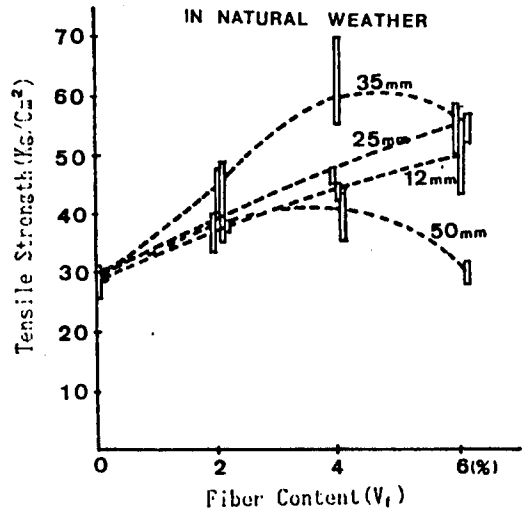
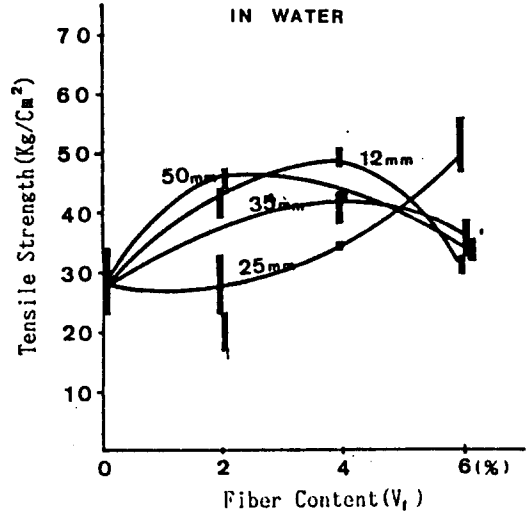


Fig.6 에서 보면 實驗된 모든 纖維길이, 혼입율에 대한 인장강도의 效果를 알수 있는데, 즉 수중양생의 경우 섬유길이 12 mm에서 혼입율이 4%인 경우에 最大引張強度를 表現하였으며 자연기후에서 양생된 경우 GRC 판넬은 섬유길이 35 mm, 4%의 혼입율에서 最高値를 나타냈다.

또한 본실험에서와 같이 先配合方法으로 GRC판넬을 제작하는 경우 판넬 内部의 纖維分散은 섬유의 길이, 혼입율에 좌우되는 것이 판명되었으며 섬유가 3차원 배열을 하고 있기 때문에 섬유가

Fig.6 Relationship Between Direct Tensile Strength & Density and Fiber Volume Content of GRC



순수한 인장력만을 받게되는 힘의 방향과 平行한 섬유 배열을 豫見할 수 없기때문에 같은 판넬의 任意部位에서 절단한 3개의 시편사이에서 인장강도의 Range가 7~36 Kg/Cm 로 큰 폭을 나타내었다. 그Range 는 섬유의 혼입율이 4%인 경우에 대부분 가장 작은 값을 나타내어 이 혼입율에서 가장 좋은 섬유의 분산효과를 얻을수 있음이 판명되었다.

자연기후에서 양생한 시편이 수중양생한 것보다 10~53% 정도 인장강도가 增加하여 壓縮實驗에서와 같은 傾向을 보였다. 이는 스프레이-탈수방법

으로 제조된 GRC판넬을 수증양생하는 경우에는 시멘트의 水和反應이 가속화되어 이미 배열되어 있는 유리섬유들 사이를 水和되는 針狀構造의 시멘트 광물이 짧게 되므로 오히려 자연기후에서 양생한 것보다 인장강도에 나쁜 영향을 미쳐 강도가 보다 낮아지는 경향이 있으므로 본 실험에서는 섬유 분산상태가 스프레이-탈수방법의 2차원 배열에서 3차원 분산으로 되었을 때 양생조건 영향을 관찰하고자 하였으나 고온다습한 양생조건을 택하였기 때문에 섬유의 혼입과는 무관하게 모든 시편에서 대체적으로 자연양생된 시편이 보다 높은 강도를 나타냈기 때문에 수화반응이 보다 가속화되었을 때 GRC의 인장특성에 미치는 영향을 정확히 얻을수 없었다.

### 3.3 GRC의 引張應力 및 變形特性

Fig. 7,8 은 인장력을 받는 GRC의 응력도-변형도 특성을 나타낸 것이며 섬유가 보강되지 않은 시멘트 몰탈의 경우 0.4~0.5%의 매우 작은 변형율에서 취성파괴를 보이는 반면, 유리섬유가 보강됨에 의해 실험에서 사용한 모든 섬유의 길이에 대해 혼입율이 증가함에 따라 신장능력이 2~5 배 정도 현저히 증가함을 나타내었다. 즉, 매트릭스의 균열 발생 후 응력도-변형도 곡선에서 아래부분의 면적으로 표시되는 GRC의 연성특성이 혼입율의 증가에 수반하여 크게 향상됨을 알수 있다.

Table.3 Elongation at Break of GRC Tensile Specimens (Unit:mm)

	12 mm	25	35	50
0 %	0.59	0.59	0.59	0.59
2	1.59	1.38	1.68	1.48
4	1.69	1.87	1.68	1.57
6	1.80	1.96	2.43	2.72

### 3.4 靱強도와 變形特性

Fig. 9 는 섬유혼입율의 증가에 따른 靱강도 결과이다. 시멘트 몰탈에 유리섬유를 보강함으로써 최대 4배까지 靱강도가 향상됨이 입증되었으며, 섬유길이 변화에 따른 강도는 섬유길이 25mm 까지는 강도 증가가 계속되어지나 섬유길이 35 mm, 혼입율 4% 이상에서는 강도가 크게 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 섬유 혼입율 증가에 따른 밀도 저하 때문이며 실제 판넬 제작시 섬유길이 35 mm, 혼입율 4% 이상에서는 Roller의 다짐이 매우 어려운 상태를 보여주었다.

## 4. 結論

先配合方法에 의해 GRC 실린더 및 판넬을 제작,

Fig.7 Stress-Strain Curve of GRC Composites, Direct Tensile Test, Fiber Length 25 mm

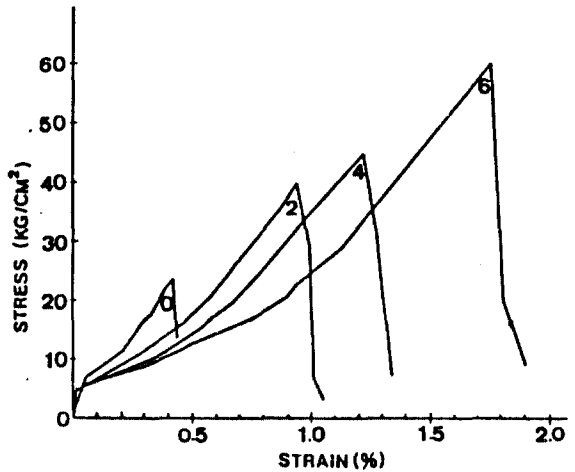
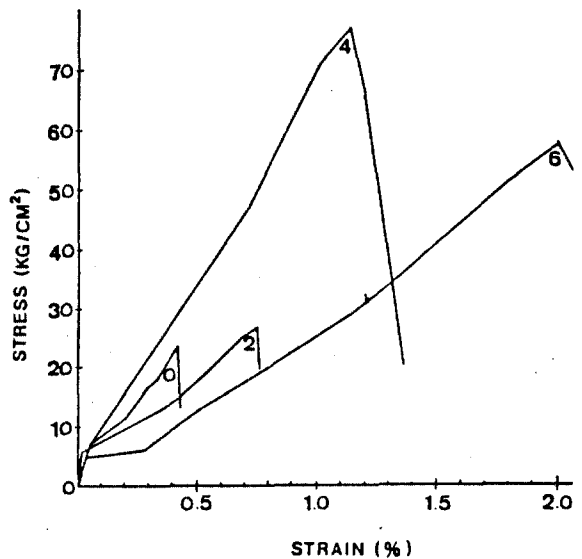


Fig.8 Stress-Strain Curve of GRC Composites, Direct Tensile Test, Fiber Length 35 mm



실험을 한 결과 GRC의 특성이 유리섬유의 길이 및 혼입율, 양생조건에 따라 좌우됨을 알았으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) GRC의 압축강도는 섬유혼입에 따라 시멘트 몰탈에 비해 감소하며 혼입율이 2, 4, 6%로 증가함에 따라 강도는 25~70% 저하되는 결과를 얻었다. 이는 섬유로 인한 複合材의 밀도 감소와 시멘트 혼입량이 8.3~12.9%로 감소되었기 때문으

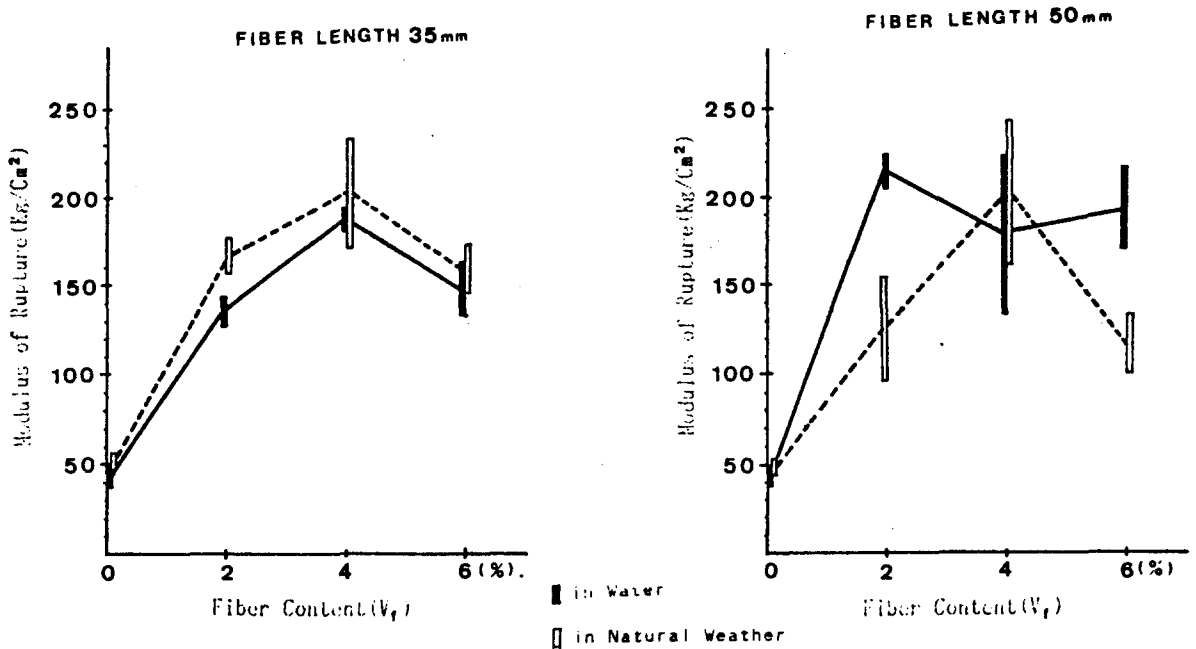


Fig.9 Relationship between modulus of rupture and fiber volume contents of GRC

로 判斷된다.

2) 인장강도는 纖維 혼입율 및 길이에 따라 1.4~2.6 배 정도 시멘트 몰탈 강도가 증가됨이 판명되었으며 섬유길이 12, 25 mm는 실험된 혼입율에 관계 없이 증가하는 반면 섬유길이 35 mm, 혼입율 4%와 섬유길이 50 mm인 경우 혼입율이 2%를 초과하는 경우 강도가 오히려 현격히 減少됨이 밝혀졌으며, 섬유의 分散狀態를 고려하여 볼때 35 mm의 섬유길이와 혼입율 4%에서 가장 우수하고 균일한 인장강도를 얻을수 있음이 밝혀졌다.

3) 섬유혼입율 및 길이의 증가에 따라 시멘트 몰탈에 비해 伸張能力이 2~5 배 정도 현격히 향상되었고 荷重-變形曲線에서 탄성범위까지는 섬유의 보강과는 무관하게 모든 시험체가 시멘트 매트릭스에 의해 크게 좌우되어 시멘트 매트릭스와 거의 비슷한 곡선을 나타냈고 복합재 내에서 매트릭스 균열 발생 이후 섬유 혼입에 따른 GRC의 연성 특성이 섬유길이, 혼입율 증가에 따라 크게 향상되었다.

4) GRC의 휨강도는 섬유보강에 따라 시멘트 몰탈에 비해 2~4 배 정도 증가되었으며 섬유길이 35mm, 혼입율 4%에서 가장 높은 강도를 발현하였다. 또한

破壞에너지가 섬유길이 및 혼입율 증가에 의해 2~7 배 까지 현격히 증가되는 것이 나타났으나 보다 균일한 품질 특성을 갖는 先配合方法에 의한 GRC 판넬을 제조하기 위해서는 균일한 섬유 분산을 위한 혼합과 타설에 따른 연구가 요구된다.

#### 5. 참고문헌

- 1) John Jones, T.P. Lutz, 'Glass Fiber Reinforced Concrete Pannels-Properties, and Application,' J of Prestressed Concrete Institute, V 22, N 3, 1977, pp80-103
- 2) A.J.Majumdar, V.Laws, 'Fiber Cement Composites Research at BRE, Composites, V 10, N 1, 1978, pp 17-27
- 3) D.J.Hannant, Fiber Cements and Fibre Concrete, John Wiley & Sons, New York, 1978
- 4) A.J.Majumdar, 'Glass Fibre Reinforced Cement, J of Materials Science and Engineering, 1974,
- 5) B.A.Proctor, 'Tensile Stress-Strain Behaviour of Glass Fibre Reinforced Cement Composites, RILEM Symp. 1975 Fibre Reinforced Cement and Concrete, The Construction Press, 1975, pp347-59
- 6) M.W.Fordyce, GRC and Buildings, Butterworths,