

GFRP 관로의 재료 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study of Material Characteristics for GFRP Pipes

한택희* / 김성남** / 강영종*** / 윤기용****

Han, Taekhee / Kim, Sung Nam / Kang, Young Jong / Yoon, Ki Yong

Abstract

Recently, the composite material becomes more popular and its usage is kept expanding from aerospace to civil structures such as bridge decks and irrigation and drainage pipes. The major cause for the popularity can be found in its high strength, light, and excellent anticorrosive properties. Nevertheless the methods to accurately predict and analyze its structural behavior are extremely limited. This has been the major reason circumventing more prevalent use of the composite materials in civil structures. This study is a pre-study to develop the analyzing models for accurate prediction of the composite material structures. Thus, various tests were performed for GFRP pipes to estimate material characteristics of GFRP in this study. And stress-strain relation of GFRP was suggested as a bilinear relation.

Key words : gfrp, composite material, pipe, material property

요 지

최근 항공기, 자동차 등에 사용되어왔던 복합재료가 그 사용 영역을 넓혀 교량 상판, 상하수도용 관로 등에 적용되고 있다. 이러한 복합재료의 주요 장점은 고강도, 경량성, 그리고 뛰어난 내부식성으로 기존의 재료에 비해 많은 장점을 갖고 있으나, 이러한 재료의 정확한 특성 파악 및 이를 사용한 구조물의 거동의 정확한 분석의 어려움으로 복합재료의 적용이 활발히 이루어지지 못하고 있는 실정이며, 이러한 요인이 복합재료를 토목구조물에 적용하는데 가장 큰 제한요소로 작용해 왔다. 본 연구에서는 복합재료 구조물의 해석을 위한 사전 연구로서, 현재 국내에서 사용되고 있는 GFRP 관로에 대한 재료특성 실험을 수행하여, 각각의 구성 적층재료별 재료 특성 및 전체 적층판에 대한 재료특성을 제공한다.

핵심용어 : 유리섬유복합재료, 복합재료, 재료특성, 관로

1. 서 론

구조물은 시대가 흐름에 따라 많은 변화를 거듭해 왔다. 고대에는 흙과 돌, 그리고 나무를 사용한 구조물이 오랜 기간동안 건설되어 사용되었고 근대와 현재에 이르러서는 콘크리트와 철이 구조물의 주요 소재로 사용되고 있다. 그리고 최근에는 항공기나 선박 등에 주로 사용되었던 복합소재를 이용한 구조물이 연구 개발되고 있고, 더 많은 건설소재들이 속속 개발되고 있으며, 새로 개발되는 소재들은 꾸준히 고강도화 되어왔

다. 이와 같이 개발된 고강도 신소재로 최근에는 플라스틱 재를 사용한 복합소재(FRP)가 주요한 건설 재료로 주목받고 있다. 플라스틱으로 보강된 신소재인 FRP(Fiber Reinforced Plastic)는 CFRP(Carbon), AFRP(Aramid), GFRP(Glass), 그리고 VFRP(Polyvinyl)로 분류되며, GFRP는 초기에는 특정한 분야에 쓰였으나, 현재에는 많은 공학 분야에 걸쳐 전반적으로 그 사용성이 확대되고 있는 추세이며, 현재 그 사용성이 대두되고 있는 GFRP를 이용한 관로는 여러 장점이 알려져 있으나, 그 거동 특성에 대한 연구는 아직 활발

* 정희원 · 고려대학교 토목환경공학과 박사과정 · 공학석사(taekie@korea.ac.kr)

** 정희원 · 고려대학교 토목환경공학과 박사과정 · 공학석사

*** 정희원 · 고려대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사

**** 정희원 · 선문대학교 토목공학과 교수 · 공학박사

히 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구는 이러한 추세에 맞추어, 신소재 GFRP를 사용한 지중 관로의 재료적 거동 특성을 실험에 의해 분석하여 물성치를 제시하고자 한다.

일반적으로, GFRP는 다양한 형태로 제작될 수 있으며, GFRP를 구성하는 재료는 일반적으로 유리섬유 30%, 모래 40%, 수지 30%로 구성되어있다. GFRP는 고강도 재료이면서 그 역학적인 특성을 매우 다양하게 제작할 수 있고, 시공성이 좋고 경제적이며 내식, 내마모성이 우수해 기존의 건설 재료들에 비해 많은 장점들을 가지고 있다. 일반 강관 및 주철관과 비교하여 유리섬유를 사용한 복합재료 관의 우수성은 다음과 같다.¹⁾

- ① 내부식성이 우수하여, 관의 수명이 길다.
- ② 내구성과 수밀성이 일반 강관보다 우수하다.
- ③ 모래의 다량 사용으로 가격경쟁력에서 우위를 유지할 수 있다.
- ④ 일정하고 매끄러운 외경으로 인해 원하는 부위에서 절단 후 연결이 가능하다.
- ⑤ 표준 파이프 부속품과의 호환이 가능하며, 보수·보강용으로도 사용 가능하다.
- ⑥ 고강도의 대구경 관을 사용할 수 있기 때문에 다양한 적용이 가능하다.
- ⑦ 대구경 관과 내부표면이 매끄러워(작은 조도계수) 최다 유량을 이송할 수 있다.

2. GFRP의 재료 특성

복합재료란 2가지 이상의 재료로 구성되어, 단일재료를 사용한 경우보다 더 뛰어난 역학적 및 화학적 성질(강도, 강성, 내식성, 피로 성능)을 갖도록 만들어진 재료로서, 현재 사용되고 있는 대부분의 FRP재료가 이에 해당되며, 철근콘크리트 또한 이에 해당된다고 할 수 있다. GFRP는 유리섬유(glass fiber)로 보강된 수지(resin) 층을 기본으로, 수지(resin)와 모래(mortar)를 혼합하여 구성된 층(resin-mortar 층)을 적층하여 구성된다.

여기서, resin-mortar 층은 등방성 재료(isotropic material)로 해석되며, 섬유보강 수지 층은 보강된 섬유의 양에 따라 직교 이방성 재료(orthotropic)로 해석된다. 섬유 보강된 수지 층과 같이 두 가지 재료를 합성하여 구성된 재료에서, 역학적인 측면에서 주된 역할을 하는 재료를 섬유(fiber) 또는 주재료(base material)이라 부르며, 수지 층과 같이 주재료를 고정시켜주는 역할을 하는 재료를 기반재료(matrix material)이라 부른다. 섬유와 기반재료의 구성 및 조합에 따라서, 복합재료는 크게 다음의

세 가지 종류로 분류할 수 있으며, 본 과업의 연구 대상인 GFRP는 Fibrous Composite인 섬유보강 수지 층과 Particulate Composite인 Resin-Mortar층을 적층하여 만들어진 Laminated Composite으로 분류되며, 섬유보강은 양방향 보강(Bidirectional)된 구조에 대해 주 연구가 이루어 졌다.²⁾

- ① Fibrous Composites (섬유 복합재료) : 섬유와 성질이 다른 기반재료로 구성된 복합재료.
- ② Particulate Composites (미립 복합재료) : 미세한 입자와 성질이 다른 기반재료로 구성된 복합재료.
- ③ Laminated Composites (적층 복합재료) : 서로 다른 성질을 갖는 재료의 층을 적층하여 만든 복합재료로 ①과②를 포함.

또한, 섬유 보강된 층은 보강된 섬유의 배열에 따라서 다음의 4가지로 분류된다.

- ① 일방향 보강 (Unidirectional)
- ② 양방향 보강 (Bidirectional)
- ③ 불연속 섬유 보강 (Discontinuous Fiber)
- ④ 직조 보강 (Woven)

보강 섬유(fiber)와 기반재료(matrix material) 사이의 하중 전이 메커니즘(load transfer mechanism)은 기반재료 내부에 하나의 섬유 봉이 있다고 가정함으로써 설명될 수 있으며, 이러한 가정을 고려한다면 보강 섬유와 기반재료 사이에 하중 전이 시에는 전단응력이 발생한다. 그림 5(a)에서와 같이 인장력 P를 작용하였을 때, 보강섬유의 바깥 면에는 전단응력(τ)이 발생한다, 이 때 전단응력은 양단에서 가장 크게 발생하며, 어느 정도의 거리 이후부터는 전단응력의 값은 0이 되고, 인장응력(σ)의 값이 최대가 된다. 이렇게, 끝단에서부터 인장응력이 최대가 되고, 전단응력이 0이 되는 지점까지의 거리를 특성거리(characteristic distance)라 부르며, 특성거리 이후의 지점은 순수 인장상태에 놓이게 된다. 또한, 압축력이 작용하는 경우에는 특성길이는 부호만 바뀌게 된다. 이러한 압축상태에서는 보강섬유가 좌굴을 일으키게 되며, 기반재료가 이러한 좌굴을 방지하는 횡지지점(lateral support)의 역할을 하게 된다(그림 5(c)). 보강 섬유 중의 한 가닥이 파괴되는 경우에는 전단응력을 통하여 주변의 보강섬유로 응력을 전달한다.³⁾

일반적으로 일방향으로 섬유 보강된 복합재료의 관 구조만으로는 원하는 강성을 얻을 수 없기 때문에 서로 다른 방향으로 보강된관을 적층하여 사용한다. 이렇

게 보강된 판을 적층판(laminate)이라 부른다. 일방향으로 보강된 복합재료 판은 섬유 보강된 방향으로 매우 강하나 보강되지 않은 방향으로 매우 취약하기 때문이다. 각 층은 서로 다른 성질의 판으로 구성될 수 있으나, 일반적으로는 같은 성질의 복합 판을 사용한

다. 또한, 보강방향이 서로 직교하도록 배열하면 양방향으로 원하는 강성을 얻을 수 있으나, 이러한 경우 전단력에 대해 매우 취약하기 때문에 전단력에 저항할 수 있도록 30° 또는 45°로 보강된 판을 한 번 더 적층하게 된다. 그림 6은 일반적인 적층판의 구조이다.



그림 1. Resin-Mortar 층

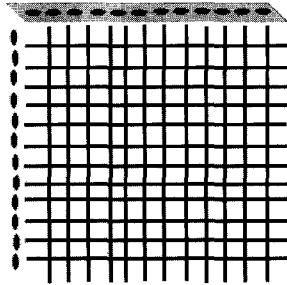


그림 2. 섬유보강 수지 층

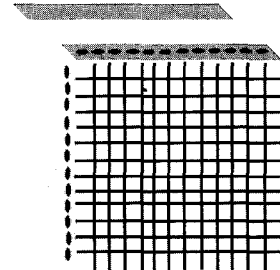
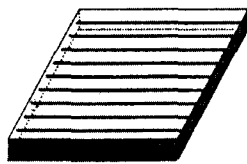
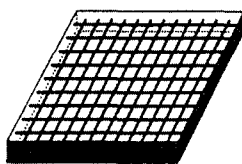


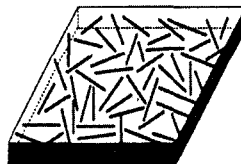
그림 3. 두 층의 적층



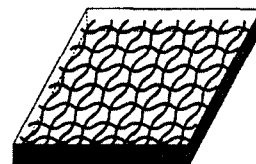
(a) Unidirectional



(b) Bidirectional



(c) Discontinuous Fiber



(d) Woven

그림 4. 섬유보강 방법에 따른 복합재료의 종류

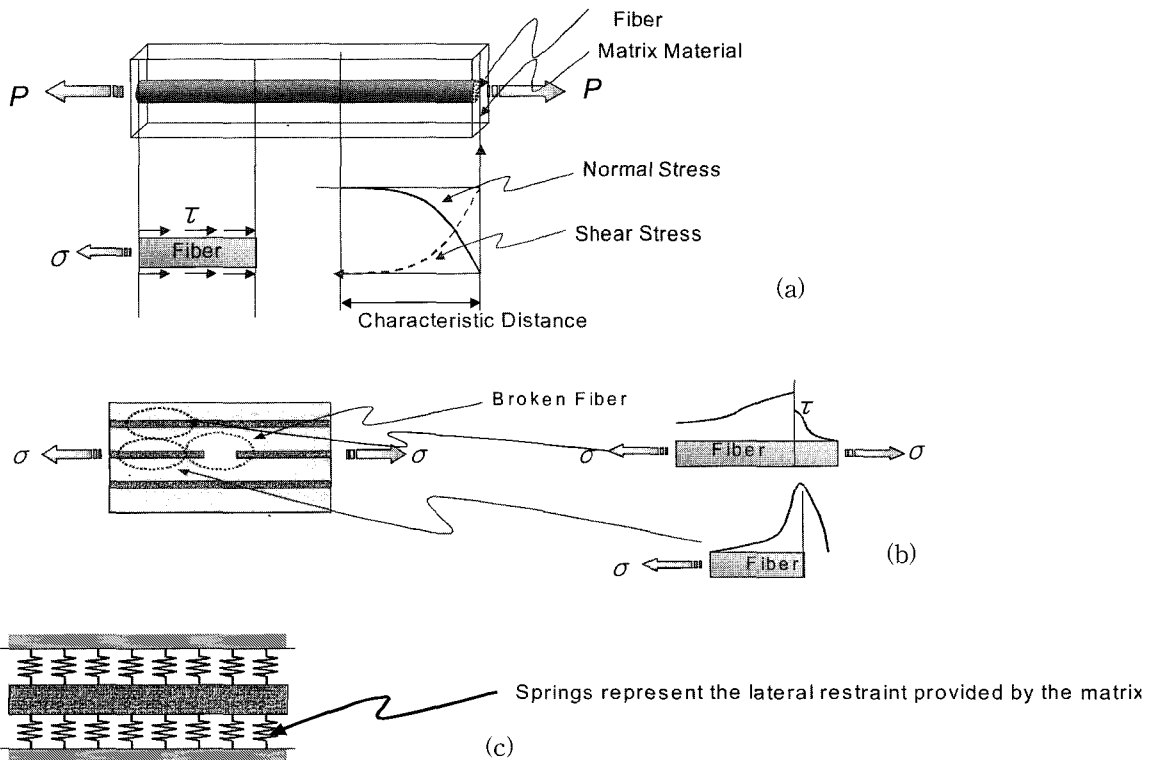


그림 5. 기판재료내의 축방향 하중을 받는 단일 보강섬유의 하중 전이 및 응력 분포

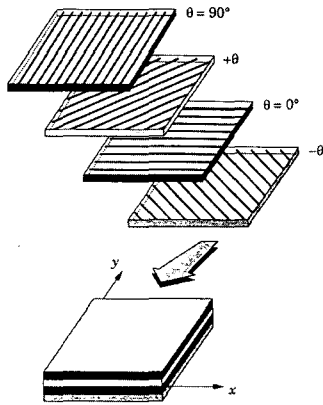


그림 6. 서로 다른 방향으로 보강된 판으로 이루어진 적층판

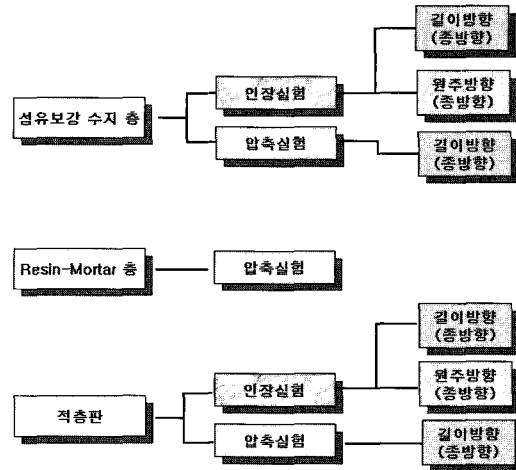


그림 7. 수행 실험 종류

3. 재료 물성 실험

복합재료인 GFRP의 재료특성을 파악하기 위하여 실험을 수행하였으며, 실험 종류는 그림 7과 같다. 본

연구에서는 각 적층 재료별 물성 실험을 수행한 후에, 적층되어 구성된 전체 재료에 대한 재료실험을 수행하였다. 기존의 연구에 따르면 전형적인 GFRP의 전체 물성치⁴⁾ 및 각 재료별 물성치⁵⁾는 표 1~표 3과 같다.

표 1. GFRP의 물리적 특성

Specific Weight (g/cm ³)	2.5
Tensile Strength (N/mm ²)	1800
Young's Modulus (N/mm ²)	7400
Thermal Coefficient of Expansion (m/mK)	5
Thermal Conductivity (°C)	0.8
Glass Fiber	E-Glass

표 2. 유리섬유의 기계적, 물리적 특성

항 목	E-Glass	S-Glass	C-Glass	AR-Glass
Tensile Strength (GPa)	3.45	4.3	3.03	2.5
Tensile Modulus (GPa)	72.4	86.9	69.0	70.0
Ultimate Strain (%)	4.8	5.0	438	3.6
Poisson's Ratio	0.2	0.22	-	-
Density (g/cm ³)	2.54	2.49	2.49	2.78
Diameter (μm)	10.0	10.0	4.5	-
Longitudinal CTE (10 ⁻⁶ /°C)	5.0	2.9	7.2	-
Dielectric Constant	6.3	5.1	-	-

표 3. 기반재료의 기계적, 물리적 특성

항 목	Polyester	Epoxy	Vinyl Ester
Tensile Strength (GPa)	20-100	55-130	70-80
Tensile Modulus (GPa)	2.1-4.1	2.5-4.1	3.0-3.5
Ultimate Strain (%)	1-6	1-9	3.5-5.5
Poisson's Ratio	-	0.2-0.33	-
Density (g/cm ³)	1.0-1.45	1.1-1.3	1.1-1.3
Tg (°C)	100-140	50-260	90-140
CTE (10 ⁻⁶ /°C)	55-100	45-90	21-73
Cure Shrinkage (%)	5-12	1-5	5.4-10.3

3.1 유리섬유의 인장 실험

섬유 한 가닥의 단면적 = 0.000004523cm^2 , 섬유 한 가닥의 최대 인장 강도 = 7078 kgf/cm^2 일 때의 시험 결과는 표 4와 같으며 이로부터 섬유의 인장강도를 구하였다.

3.2 섬유보강 수지 층의 인장실험

현재 생산되는 GFRP 관로의 섬유보강 수지 층에 대한 실험을 실시하였다. 이방성 재료이므로, 관로의 종방향과 원주방향에 따라 인장 실험을 실시하였으며, 종방향(longitudinal direction) 인장 실험 시에는 현재 사용되는 GFRP 관로와 같은 재료 구성으로 평판을

만들어 실험을 수행하였으며, 원주방향(transverse direction)의 인장 실험은 원형 판의 일부분을 절단하여 시편을 제작하였다.

3.2.1 원주방향 인장실험

유리섬유로 보강된 수지 층의 원주방향 인장시험을 수행하였으며, 이로부터 원주방향의 인장강도를 구하였다. 표 5는 각 시험체의 제원이며, 그림 9~12에서 실험 방법 및 해석 방법을 나타내었다. 실험 결과 그림 13~14와 같은 결과의 그래프를 얻을 수 있었으며, 이를 바탕으로 그림 15~16과 같은 응력-변형률 선도를 구하여 각 구간별 탄성계수를 정하였다.

표 4. 유리섬유의 인장시험 결과

시험항목	한 다발 당 섬유 수	섬유직경(μm)	극한강도(gf/tex)
시험체 1	2400	24	32.2
시험체 2	2350	24	32.3
시험체 3	2340	23	30.9
시험체 4	2311	25	24.2
시험체 5	2394	24	30.5
평균	2359.00	24.00	30.02

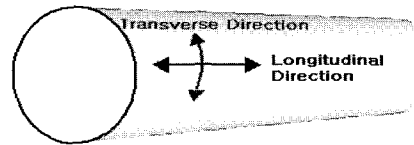


그림 8. 관로의 종방향(longitudinal direction) 및 원주방향(transverse direction)

표 5. 각 시험체의 제원

시험체 종류	직경 (cm)	두께 t (mm)	폭 b (mm)	단면적 (cm ²)
시험체 1 (TF-1)	30.925	4.153	19.687	0.8176
시험체 2 (TF-2)	30.940	4.140	19.623	0.8124
시험체 3 (TF-3)	30.942	4.383	19.647	0.8611
시험체 4 (TF-4)	30.962	4.157	19.733	0.8203

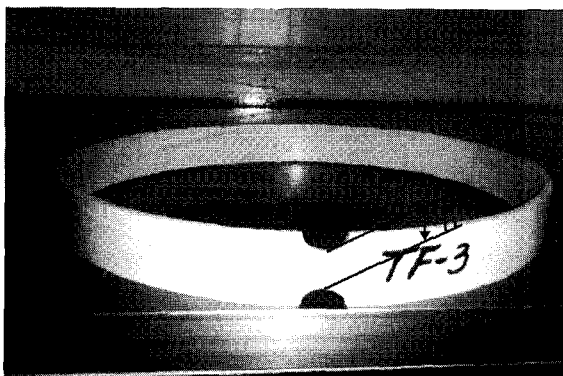


그림 9. 시험체



그림 10. 변형률 측정 위치

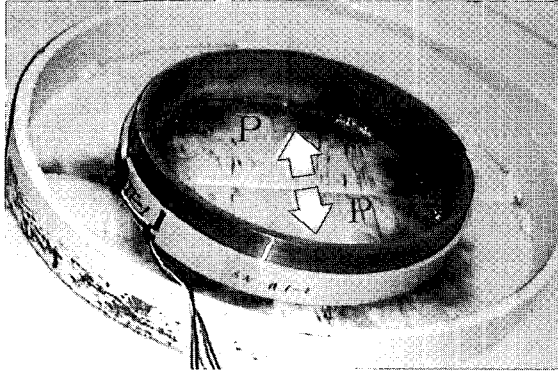


그림 11. 하중재하 장치 및 재하 방향

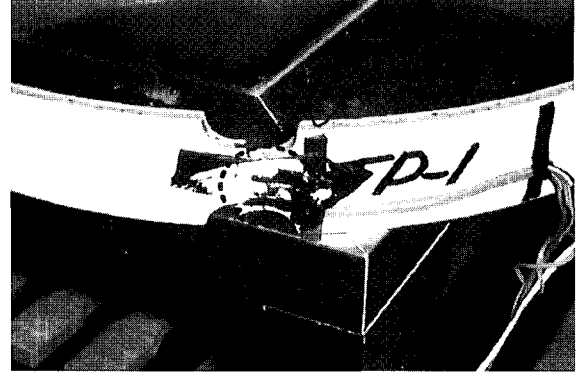


그림 12. 파단면 형상



그림 13. 하중-변위 관계 (TF-2)

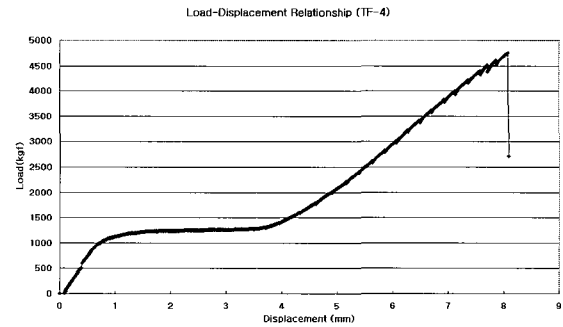


그림 14. 하중-변위 관계 (TF-4)

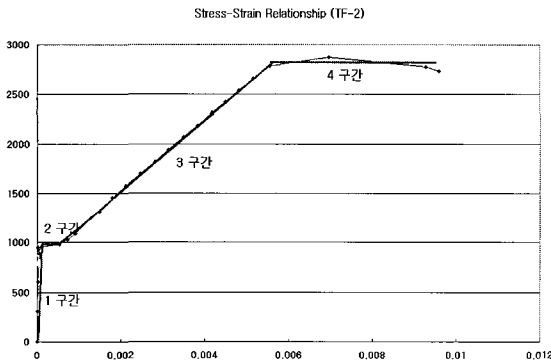


그림 15. 구간별 탄성계수 산정 (TF-2)

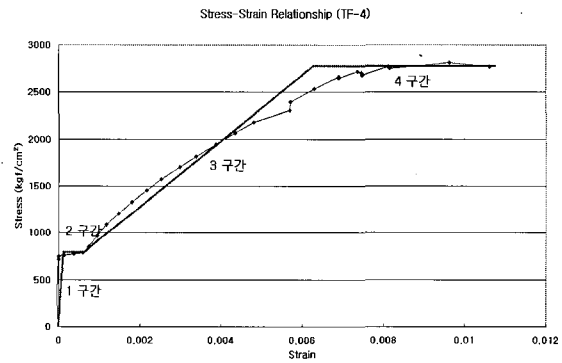


그림 16. 구간별 탄성계수 산정 (TF-4)

표 6. 탄성계수의 산정

구분		TF-2	TF-4	Average
1 구간	E1 (kgf/cm ²)	10096000	6199000	8147374
	적용범위	$0 \leq \epsilon < 0.000095$	$0 \leq \epsilon < 0.000124$	$0 \leq \epsilon < 0.0001095$
2 구간	E2 (kgf/cm ²)	0	0	0
	적용범위	$0.000095 \leq \epsilon < 0.0006$	$0.000124 \leq \epsilon < 0.0006$	$0.0001095 \leq \epsilon < 0.0006$
3 구간	E3 (kgf/cm ²)	360000	350000	355000
	적용범위	$0.0006 \leq \epsilon < 0.0056$	$0.0006 \leq \epsilon < 0.0062$	$0.0006 \leq \epsilon < 0.0059$
4 구간	E4 (kgf/cm ²)	0	0	0
	적용범위	$0.0056 \leq \epsilon$	$0.0062 \leq \epsilon$	$0.0059 \leq \epsilon$
항복강도 (kgf/cm ²)		2800	2760	2780
파괴점 변형률		0.0096	0.0106	0.0101

위와 같은 실험 결과로부터 표 6과 같이 각 구간별 탄성계수 값을 산출하였다. 복합재료의 특성상, 각 재료의 순차적인 파괴로 인해 구간별로 탄성계수의 값이 다르게 존재함을 알 수 있다.

3.2.2 종방향 인장실험

유리섬유보강 수지 층의 종방향 인장시험은 2개의 시험체에 대해 수행하였으며, 실험방법 및 결과는 그림 17 및 표 7과 같다.

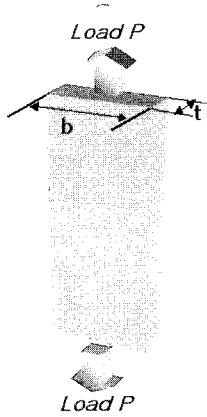


그림 17. 종방향 인장 시험

표 7 유리섬유보강 수지 층의 종방향 인장 시험 결과

	폭 (mm)	두께 (mm)	극한 하중 (kgf)	극한 강도 (kgf/cm ²)	E (kgf/cm ²)	Poisson's ratio(ν)	Failure strain %
Fiber-1	25.38	4.11	799.25	766	132259	0.151	1.923
Fiber-2	24.83	4.18	732.02	702	182243	0.208	1.808
Average				734	157251	0.1795	1.8655

표 8. 각 시험체의 제원

시험체 구분	외경 (mm)	높이 (mm)	두께 (mm)	단면적 (cm ²)
CF-1	309.250	50.154	4.898	46.828
CF-2	309.400	50.038	4.810	46.027

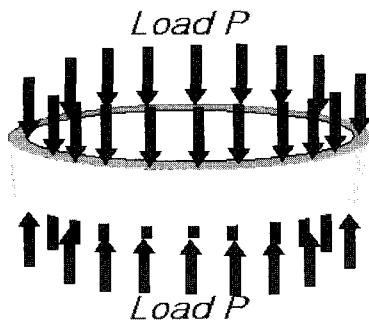


그림 18 시험체의 하중 조건

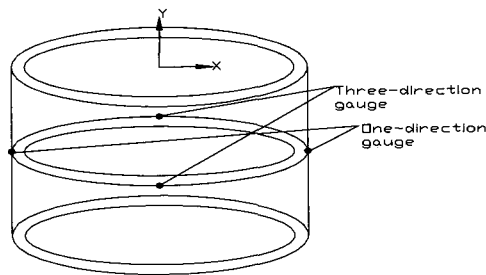


그림 19. 변위 측정 위치

3.3 섬유보강 수지 층의 압축실험

섬유보강 수지 층의 인장강도 실험 이후 압축강도 및 압축 시의 탄성계수를 구하기 위해 압축시험을 실시하였으며, 시험체 제원은 표 8과 같다.

하중조건 및 변위 측정위치는 그림 18 및 19와 같으며, 실험으로부터 그림 20~21과 같은 결과를 산출하였다. 본 시험에서도 각 재료별로 순차적이 파괴가 발생하기 때문에 그림 20과 그림 21에서 나타낸 바와 같이 이선형 거동을 함을 알 수 있다.

3.4 Resin-Mortar 층의 압축실험

유리섬유로 보강된 수지 층과 함께 적층되어 GFRP 층을 구성하는 Resin-Mortar층의 압축실험을 수행하였다. 이 층은 미립복합재료에 속하므로, 등방성으로 간주한다. 시험체의 제원은 그림 22 및 표 10과 같으며, 시험결과는 표 11 및 그림 24~25와 같다.

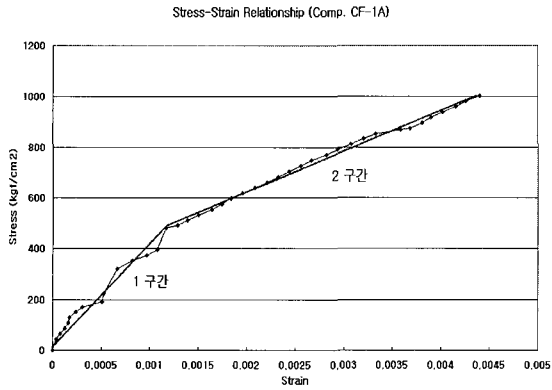


그림 20. 응력-변형률 관계 및 탄성계수 산정 (CF-1A)

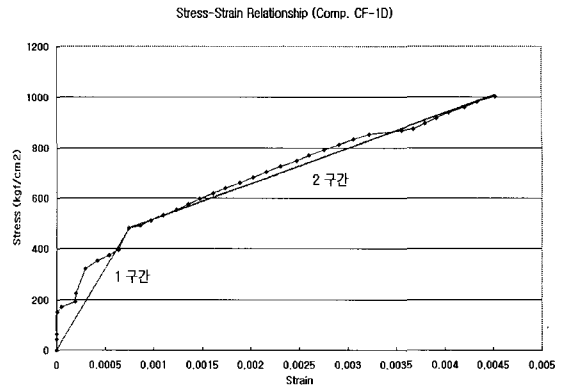


그림 21. 응력-변형률 관계 및 탄성계수 산정 (CF-1D)

표 9. 탄성계수의 산정

구분		CF-1A	CF-1D	CF-2A	Average
1 구간	E1 (kgf/cm ²)	411023.86	646684.79	294552.01	450753.55
	적용범위	$0 \leq \epsilon < 0.001169$	$0 \leq \epsilon < 0.000743$	$0 \leq \epsilon < 0.001667$	$0 \leq \epsilon < 0.001193$
2 구간	E2 (kgf/cm ²)	161903.30	138558.50	110280.90	136914.23
	적용범위	$0.001169 \leq \epsilon$	$0.000743 \leq \epsilon$	$0.001667 \leq \epsilon$	$0.001193 \leq \epsilon$
항복강도 (kgf/cm ²)		1003.683	1003.684	955.964	987.777

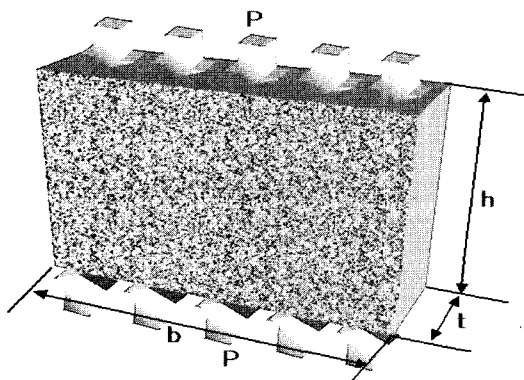


그림 22. 시험체 제원 및 하중 조건

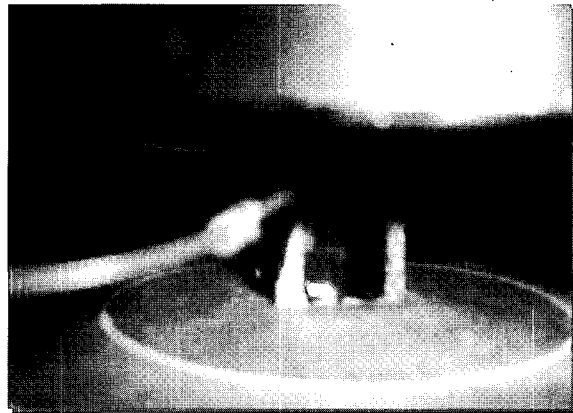


그림 23. 변위 측정 위치 및 실험방법

표 10. 시험체 제원

시험체	폭 b (mm)	두께 t (mm)	높이 h (mm)	단면적 (cm ²)
CR-1	29.40	8.98	39.92	2.64
CR-2	29.37	9.12	39.90	2.68
CR-3	29.25	9.05	39.86	2.65

표 11. 실험 결과 및 탄성계수 산정

시험체 구분	극한 강도 (kgf/cm ²)	Secant Modulus, EC(50%)(kgf/cm ²)	Tangent Modulus ET (kgf/cm ²)
CR-1A	1110	5.74E+05	2.16E+05
CR-1B	1106	2.43E+05	1.51E+05
CR-2A	1110	1.61E+05	1.10E+05
CR-2B	1106	8.26E+05	1.66E+05
CR-3A	1110	2.69E+05	1.55E+05
CR-3B	1106	3.75E+05	1.79E+05
Average	1108	4.08E+05	1.63E+05

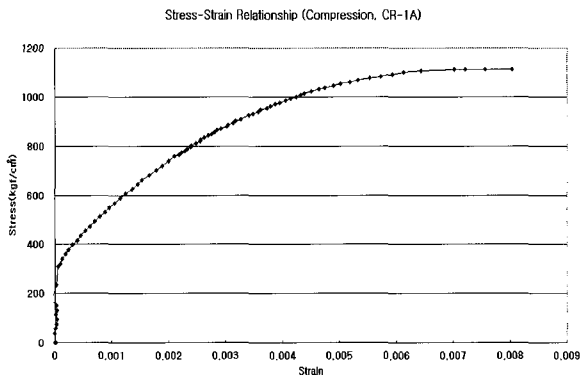


그림 24. 응력-변형률 관계 (CR-1A)

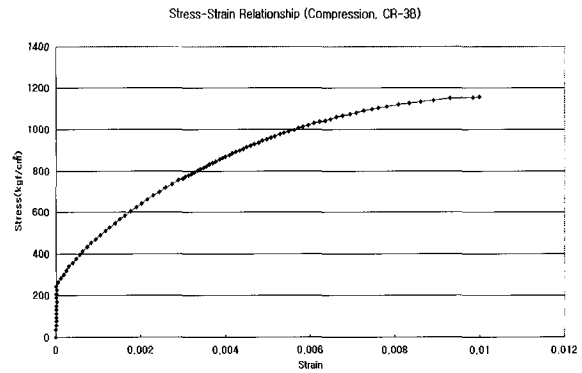


그림 25. 응력-변형률 관계 (CR-3B)

표 12. GFRP적층판의 원주방향 인장시험 결과

시험체	폭(mm)	두께(mm)	극한하중 (kgf)	극한강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 E (kgf/cm ²)	Poisson's Ratio	Failure strain(%)
TPL-1	25.17	8.40	556.49	264	136495	0.146	0.459
TPL-2	23.51	8.53	524.21	243	108884	0.087	0.636
TPL-3	25.35	8.42	792.17	371	106184	0.104	0.705
Average			624.29	292.67	117188	0.112	0.6

표 13. 종방향 인장시험 시험체 제원

시험체	직경(cm)	두께(mm)	폭(mm)	단면적(cm ²)
TP-1	31.68	7.853	19.637	1.5421
TP-2	31.724	7.783	19.687	1.5322
TP-3	31.71	7.557	19.590	1.4804

표 14. 종방향 인장시험 결과 및 탄성계수 산정

시험체	E2 (kgf/cm ²)	극한 강도 (kgf/cm ²)	Strain at Failure
TP-1	140751	1471.795	0.007349
TF-2	141345	1587.179	0.007527
Average	141048	1529.487	0.007438

3.5 GFRP 적층판의 인장실험

앞의 유리섬유보강 수지 층과 resin-mortar층의 각각의 물성치를 산정한 후 두 재료를 적층한 GFRP 적층판에 대한 재료시험을 수행하였다. 실험방법은 유리섬유보강 수지 층의 인장 및 압축실험과 같은 방법으

로 수행하였다. 표 12는 원주방향 인장실험 결과이며, 표 13과 표14는 종방향 인장시험에 사용된 시험체의 제원 및 시험 결과이다. 종방향 인장 시험 결과는 그림 26 및 그림 27과 같다.

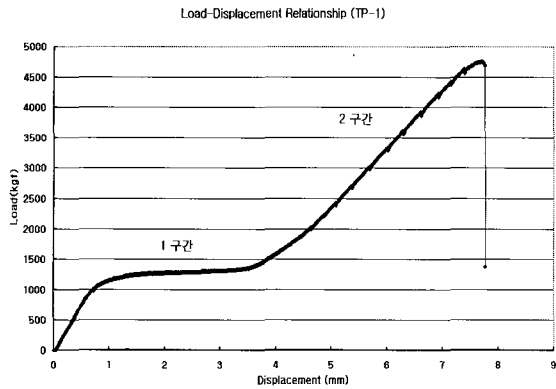


그림 26. 종방향 인장시험 하중-변위 관계 (TP-1)

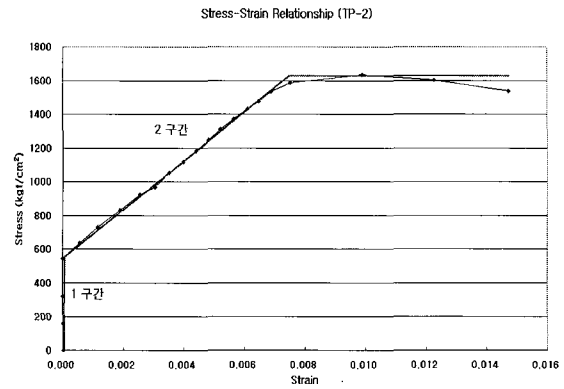


그림 27. 종방향 인장시험 응력-변형률 관계 및 구간별 탄성계수 산정 (TP-2)

표 15. 종방향 압축시험 결과 및 탄성계수 산정

구간 구분	탄성계수	CP-1B	CP-1D	CP-2B	CP-2D	Average
1 구간	E1 (kgf/cm ²)	398648	799143	259311	584980	510520
2 구간	E2 (kgf/cm ²)	161771	170157	126384	152196	152627
구간 경계점		0.000649	0.00037	0.001038	0.000485	0.0006355
극한 강도 (kgf/cm ²)		837.767	837.767	888.871	888.871	863.319

표 16. GFRP 적층판의 종방향 압축시험 시험체의 제원

시험체 구분	외경 (mm)	높이 (mm)	두께 (mm)	단면적 (cm ²)
CP-1	316.80	50.152	8.377	81.168
CP-2	317.24	50.097	8.228	79.877

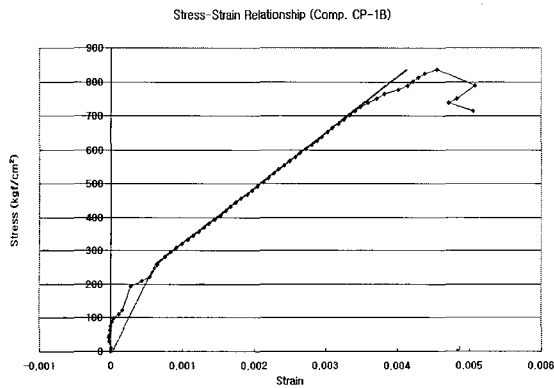


그림 28. 종방향 압축시험 응력-변형률 관계 (CP-1B)

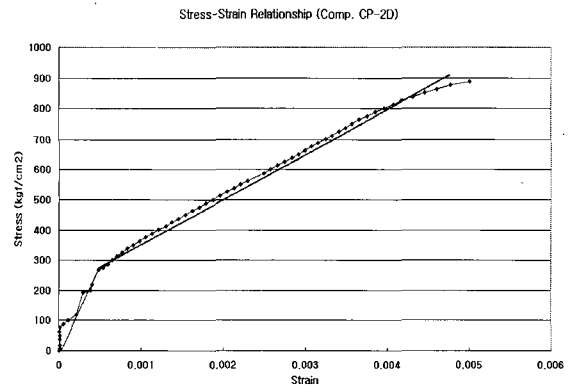


그림 29. 종방향 압축시험 응력-변형률 관계 (CP-2D)

표 20. 종방향 압축시험 결과 및 탄성계수 산정

구간 구분	탄성계수	CP-1B	CP-1D	CP-2B	CP-2D	Average
1 구간	E1 (kgf/cm ²)	398648	799143	259311	584980	510520
2 구간	E2 (kgf/cm ²)	161771	170157	126384	152196	152627
구간 경계점		0.000649	0.00037	0.001038	0.000485	0.0006355
극한 강도 (kgf/cm ²)		837.767	837.767	888.871	888.871	863.319

3.6 GFRP 적층판의 종방향 압축시험

전체 GFRP 적층판에 대해 압축시험을 수행하였다. 압축시험의 경우 Resin-Mortar 층과 섬유보강 수지 층이 동시에 하중에 대해 저항하다가, 재료의 순차적 파괴로 인하여 그림 28과 그림 29에 나타난 바와 같이 이선형 거동을 보임을 알 수 있었다.

4. 결 론

복합재료인 GFRP 적층판의 재료특성을 파악하기 위하여, 각 층을 이루는 재료에 따라 각각 인장 및 압축 실험을 수행하고, 각 재료를 적층한 GFRP 적층판에 대해서 동일한 실험을 수행하였다. 실험의 수행 결과, 유리섬유로 보강된 수지 층이나, GFRP 적층판의 경우 보강섬유 및 수지의 순차적인 파괴로 인하여 단일한 탄성계수 값이 존재하지 않고, 각 구간별로 탄성계수 값이 존재하여, 이선형 거동을 보임을 알 수 있었다. 또한, resin-mortar층의 경우에는 인장력에 대한 저항력이 미미하기 때문에 유리섬유보강 수지 층과 resin-mortar층을 적층한 GFRP 적층판의 경우 모두 인장에 대한 극한 하중은 거의 동일하였으며, 단지 면적의 증가만을 초래하여 응력의 개념인 극한 강도만을 저감하는 현상을 보였다. 또한 실험 대상의 복합재료는 일반적인 단일재료와 달리 극한 강도와 항복강도가 거의 일치함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 『삼성물산 건설부문』의 지원으로 이루어졌으며, 지원기관에 깊은 감사를 포함합니다.

참 고 문 헌

- 1) Isaac M. Daniel, Ori Ishai.(1994) "Engineering mechanics of composite materials", Oxford University Press.
- 2) D.H. Kim.(1995) "Composite Structures for Civil and Architectural Engineering", E & FN SPON.
- 3) J.N. Reddy.(1997) "Mechanics of Laminated Composite Plates", CRC Press.
- 4) Sang-Ook An, Eun-Sang Lee, and Sang-Lai Noh.(1997) "A Study on the Cutting Characteristics of Glass Fiber Reinforced Plastics with Respect to Tool Materials and Geometries", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 68, pp. 60~67.
- 5) B. Benmokrane, O. Chaallal and R. Masmoudi.(1995) "Glass Fiber Reinforcement Plastic Rebars for Concrete Structures", Construction and Building Materials, Vol. 9, No. 6, pp. 353-364.

◎ 논문접수일 : 2004년 5월 19일

◎ 심사의뢰일 : 2004년 5월 20일

◎ 심사완료일 : 2004년 6월 15일