

온도 및 매트릭스 특성 변화에 따른 섬유강화 복합재료의 역학적 특성 및 구조적 거동 변화

A Study on Mechanical Characteristics and Behaviors of FRP Composite with Three Different types of Matrices under High Temperature

정우영* · 장준호** · 백민호***

Jung, Woo-young · Jang, Jun-Ho · Back, Min-Ho

Abstract

Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites are used extensively in aerospace, marine, automotive, infrastructure, chemical processing and sporting good applications. A concern with using FRP composites in some engineering structures is their high flammability and poor fire resistance. In this research, material properties of FRP composites at increasingly high temperatures were measured and verified. The obtained mechanical properties of FRP composites were performed according to ASTM D3039/D3039M and tested to a wide range of heat conditions with temperatures from Room-temp. to 300 for times up to 30 min. It is found that the mechanical properties of FRP composites dropped with increasing heat or temperature. The reduction to the properties was due mainly to thermal degradation and combustion of the polymer matrix.

Key words : FRP(Fiber Reinforced Polymer), Material Tests, Fire, Stress-strain relation, Numerical Analysis

요 지

섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Polymers, FRP)는 우주, 항공, 국방 분야에서 주로 활용되어져왔고, 현재는 선박, 자동차, 화학공정, 건축자재, 스포츠 용품 등 다양한 분야의 산업 전반까지에 널리 활용되어지고 있다. 이들 복합재료를 기반시설물에 대한 구조적 재료로 사용함에 있어서 가장 유념해야 할 것은 복합재료의 높은 인화성과 낮은 열 저항성이다. 따라서 고온 환경 하에 복합재료의 재료적 성질변화에 대한 연구가 필요한데 본 연구에서는 주변온도와 수지(resin)재료 변화에 따른 복합재료 물성치 및 거동변화를 알아보기 위하여 약 30분 동안 상온부터 250까지의 온도조건에서 복합재료의 인장시험 규격인 ASTM D3039/D3039M의 절차에 따라 인장시험을 수행하였다. 본 연구결과 고온인장시험을 통하여 복합재료의 역학적 성질이 온도의 증가에 따라 점진적으로 감소하였는데 이는 주로 매트릭스의 열분해 및 연소과정으로 인한 분해과정에 기인한다. 또한 구조물의 거동변화에 있어서 수지(resin)에 따른 물성치 변화 특성은 구조물의 처짐 거동에 있어 상대적으로 큰 변화를 보여주었다.

핵심용어 : 섬유강화 복합재료, 재료시험, 화재, 응력-변형률, 내구성, 유한요소해석

1. 서 론

섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Polymer, FRP)라 함은 재료의 역학적 성질이 뛰어난 섬유(Fiber)와 섬유를 구속, 성형하고 응력을 전달하는 매트릭스(Matrix)의 복합체를 말한다. FRP는 최근 강재나 콘크리트를 대체할 수 있는 신소재 건설재료로 각광받으며, 건설 분야에서 이를 활용하고자 하는 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직까지 토목 및 건설 분야의 적용에 있어서 복합재료 전용 시방규정 및 지침의 부재, 재료의 성질에 관한 규격과 신뢰성

미비로 인하여 그 사용량은 기존의 건설재료와 비교하여 매우 적은 상태이다(한복규 등, 2006). 특히 대부분의 FRP 복합재료는 매우 뜨거운 화염과 고온, 열기 등에 노출될 때 쉽게 연소되는 것으로 알려져 있다(Mouritz, 2003).

따라서 본 연구의 목적은 고온에 손상을 받은 복합재료에 인장시험을 수행하여 적용한 온도에 따라 탄성계수와 인장강도의 변화를 측정하여 복합재료의 온도변화에 대한 특성을 알아보는 데 있다. 본 연구는 상온상태에서의 인장특성과 비교하여 그 감소율을 평가하였다. 이들 결과를 토대로 상용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 통해 실제 구조물에 적용,

*강릉대학교 토목공학과 교수 (E-mail: woojung@kangnung.ac.kr)

**계명대학교 토목공학과 교수

***정회원 · 강원대학교 소방방재학부 교수

구조적 거동변화를 검토하였다.

2. 실험적 연구

2.1 선행 연구

섬유강화 복합재료의 열적 특성에 관한 연구로는 A.P. Mouritz의 화재에 의해 손상된 FRP 복합재료의 역학적 성질을 계산하기 위한 Simple model이 있다. Simple model은 복합법칙(rule of mixtures)에 기본을 두었으며, 화재로 연소된 복합재료의 인장, 압축, 휨 성질을 계산하기 위해 소개되었다. 또한 이 Simple model의 정확 여부를 알기위하여 그림 1과 같이 콘 칼로리미터(Cone calorimeter)를 이용하여 다양한 복합재료에 직접적인 화재(25, 50, 75, 100 kWm⁻²)를 일으킨 후 실험에서 얻어진 역학적 성질과 비교하였으며, 비교한 결과는 그림 2와 같이 이론과 실험값의 오차는 10% 이내로

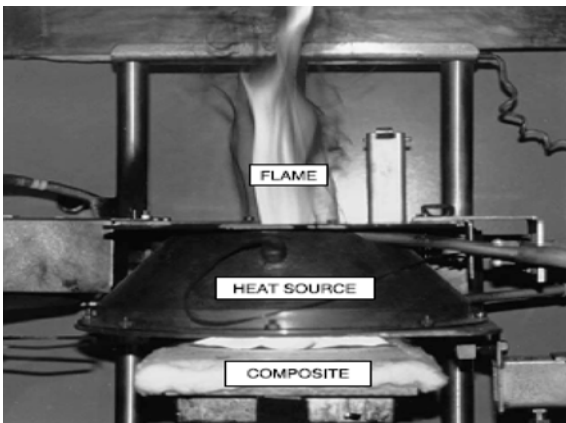


그림 1. 콘 칼로리미터를 이용한 복합재료의 화재시험

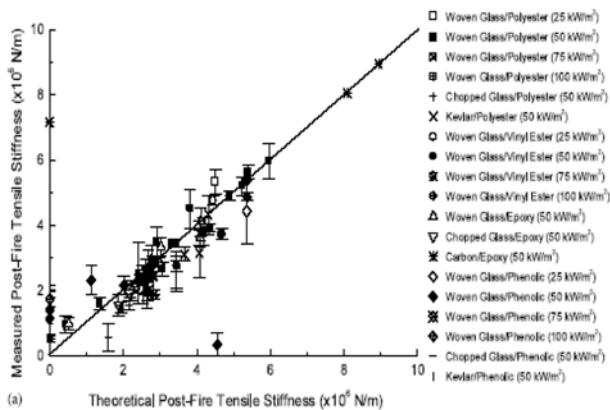


그림 2. 인장강성의 이론값과 실험값의 비교

계산할 수 있다고 설명하고 있다.

2.2 강화섬유

본 실험에 사용된 섬유는 유리섬유이다. 최근 복합재료의 가격대 성능비(Cost performance ratio)차원에서 건설 분야에서는 유리섬유를 많이 사용하고 있는데 본 실험에서는 유리 섬유 중 우븐 패브릭(Woven fabric) 형태로 구성된 E-glass(Electrical glass)가 사용되었다. 우븐 패브릭 형태는 수작업(Hand-lay-up) 공정에 가장 일반적으로 쓰이는 조직으로 경사와 위사가 1본씩 교차하여 직조된 방식이다. 본 연구에 사용된 유리섬유의 규격은 표 1과 같으며, 표 2는 E-glass의 물성을 보여주고 있다.

2.3 수지 매트릭스(Matrix)

본 실험에 사용된 매트릭스 수지는 FRP 적층 시 가장 일반적으로 활용되는 에폭시수지(Epoxy resin), 비닐에스테르수지(Vinylester resin), 불포화 폴리에스테르수지(Unsaturated polyester resin)가 사용되었다. 에폭시수지는 비스페놀A형이며, 이는 가장 일반적으로 널리 사용되는 에폭시 수지이다. 비닐에스테르수지는 불포화 폴리에스테르수지의 한 종류로서 본 실험에서는UP-CEE가 사용되었다. 불포화 폴리에스테르수지는 포화 2염기산, 불포화 2염기산 및 글리콜을 폴리 축합반응을 해서 얻은 불포화 폴리에스테르(불포화 알키드)를, 스티렌 등의 비닐모노머에 용해한 것이다. 아래 표 3은 본 연구에 사용된 열경화성 수지의 역학적 성질을 보여주고 있다.

2.4 시편제작

본 연구에 사용되는 복합재료는 수작업공정으로 매트릭스 수지 당 섬유함량을 약 50 wt%로 각각 5겹씩 적층하여 경화시킨 후, 100 cm × 50 cm 크기의 패널을 각각의 매트릭스 별로 제작하였다. 적층 각은 유리 섬유형태를 감안하여 0°C 일정하게 적층하였다.

시편형상은 ASTM D3039/D3039M(ASTM, 2000)규격에 맞게 제작하였으며 판상시편에 시험기의 지그 위치에는 탭을 부착하여 시편 중앙에서 파단이 일어나도록 유도하였다. 그림

표 1. 유리섬유(Woven fabric)규격

사양	규격
단면적무게(g/m ²)	570
위사수(개/25 mm)	7.0
경사수(개/25 mm)	6.4
직조폭(mm)	1000

표 2. E-glass의 물성표

Material	E ₁₁ GPa	G ₁₁ GPa	ν _{f12}	s _{f1} MPa	η _{f1} %	α _{f1} μm/m/°C	α _{t2}	ρ _f g/cm ³
E-glass	72	33	0.09	3103	4.3	5-5.4	-	2.6
E ₁₁	longitudinal Young's modulus				η _{f1}	maximum elongation		
G ₁₁	longitudinal shear modulus				α _{f1}	longitudinal thermal expansion coefficient		
ν _{f12}	longitudinal Poisson's ratio				α _{t2}	transverse thermal expansion coefficient		
s _{f1}	tensile strength				ρ _f	density		

표 3. 열경화성 수지의 물성표

Material	E_m GPa	G_m GPa	ν_m	s_m MPa	η_m %	ρ_m g/cm ³
Epoxy Der332	3.4	1.2	0.35	64	1.9	1.22
Vinylester 1222	3.2	-	-	79	2.5	1.3
Polyester 7241	3.3	-	-	79	2.4	1.38
E_m	Young's modulus			s_m	tensile strength	
G_m	shear modulus			η_m	maximum elongation	
ν_m	Poisson's ratio			ρ_m	density	

3은 제작 시편형상을 보여주고 있으며 시편은 물성 값의 기준이 될 상온시편, 그리고 100°C, 200°C, 250°C의 고온용 시편으로 두 종류를 제작하였으며 같은 제작 적층 판에서 시편을 추출하여 각각의 온도구간에 대해 3개의 시편을 제작하였다.

2.5 실험방법

온도변화에 따른 인장시험을 수행하기 위하여 고온로(Heat furnace, 최대온도 : 1450°C)가 부착된 MTS 재료시험기(100 KN)와 Test Stars가 사용되었다. 상온 및 고온시험 모두 ASTM D3039/D3039M 절차에 따라 수행되었으며 고온시험에 적용된 한계온도는 250°C로 하였고, 본 연구에서는 250°C까지 순간적인 고온을 시편에 가하지 않았으며 50°C씩 3분씩 점진적으로 증가시켜 250°C까지 온도를 가하였다. 각 온도별로 3개의 시편을 이용하여 실험적 오차를 줄였다. 시험방법은 그림 4와 같이 인장시편을 시험기의 그립(grip)에 장착하고, 인장시편 표면에 고온로를 이용하여 30분간 각각 적용온도로 열 손상을 가한다. 각 시편에 대해서는 250°C의

온도 상승 후 30분 후에 고온로를 제거하고 바로 상온용 변위계를 장착하여 상온 시편과 마찬가지로 2 mm/min의 변위 제어로 인장을 가하면서 시험기의 로드셀과 변위계에서 각각 적용하중과 변형을 값을 취득하였다.

본 실험에서 얻어진 데이터는 식 (1)과 식 (2)에 의해 인장강도와 인장탄성계수를 계산하였고, 탄성계수의 경우, 섬유 배열이 우븐 패브릭 특성에 따라 E_1 과 E_2 의 값이 같다고 보고 계산하였다.

$$F^{tu} = \frac{P^{max}}{A} \quad (1)$$

여기서,

F^{tu} = ultimate tensile strength,

P^{max} = maximum load prior to failure, N

A = average cross-sectional area,

$$E^{Chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (2)$$

여기서,

E^{Chord} = tensile chord modulus of elasticity,

$\Delta\sigma$ = difference applied tensile stress between the two strain points,

$\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points (0.001 and 0.003)

모든 매트릭스별 복합재료 시험시편은 실험적 오차를 줄이기 위해 후에 인장성질에 3개의 값을 평균하였다.

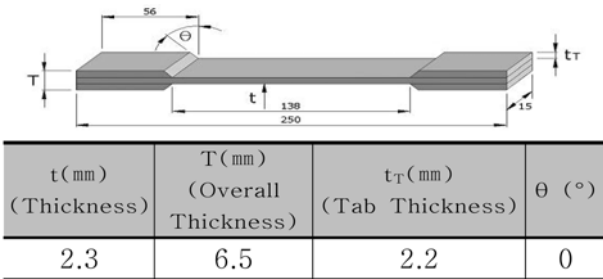


그림 3. 인장시험시편 사양

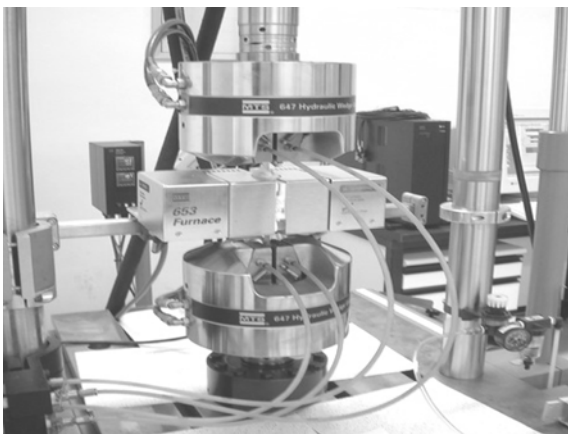


그림 4. 고온로를 이용한 인장시험 전경

2.6 실험결과

2.6.1 유리섬유/에폭시의 실험결과

각각의 매트릭스별 4개의 온도조건에서 총 48개의 시험시편이 본 연구에 수행되었다. 다음의 그림 5에서 그림 8은 에폭시 수지의 각 온도에 따른 응력-변형을 관계를 나타낸다.

유리섬유/에폭시의 고온시험에 대한 실험결과는 아래 표 4와 같다. 각각의 온도에 따라 시편 3개의 결과를 평균하였다. 표에서 보는 바와 같이 유리섬유/에폭시의 경우 탄성계수는 250°C상에서 약 28%의 감소를 보였으나, 인장강도의 경우 약 10%의 감소를 보였다.

2.6.2 유리섬유/폴리에스테르의 실험 결과

유리섬유/폴리에스테르시험시편 또한 각 온도조건에서 인장시험을 한 결과 그림 9에서 그림 12와 같다. 온도가 높을수

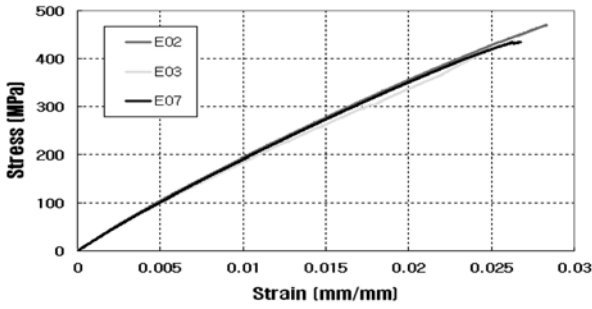


그림 5. 20°C 유리섬유/에폭시 응력-변형률 곡선

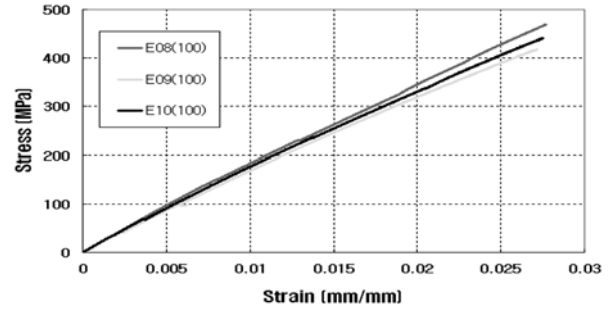


그림 6. 100°C 유리섬유/에폭시 응력-변형률 곡선

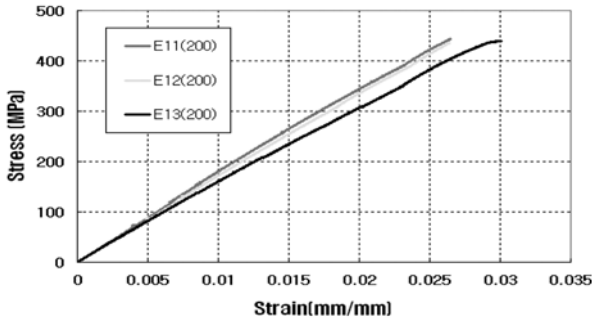


그림 7. 200°C 유리섬유/에폭시 응력-변형률 곡선

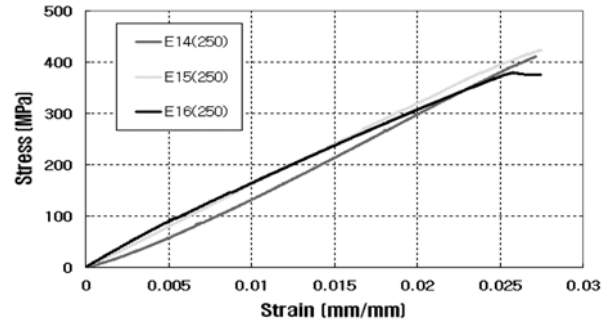


그림 8. 250°C 유리섬유/에폭시 응력-변형률 곡선

표 4. 유리섬유/에폭시의 실험결과

Specimen	Temperature (°C)	Heating Time (min)	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Ultimate strain
E02	20°C	-	21.20	469.75	0.02828
E03	20°C	-	20.23	437.34	0.02637
E07	20°C	-	20.88	434.28	0.02677
Average			20.77	447.12	0.02714
E08	100°C	30	19.78	469.08	0.02768
E09	100°C	30	16.60	417.87	0.02715
E10	100°C	30	18.56	441.44	0.02752
Average			18.31	442.80	0.02745
E11	200°C	30	17.65	443.78	0.02648
E12	200°C	30	16.60	435.57	0.02638
E13	200°C	30	16.44	438.84	0.03006
Average			16.90	439.40	0.02764
E14	250°C	30	11.31	410.76	0.02714
E15	250°C	30	15.70	423.21	0.02754
E16	250°C	30	18.26	375.17	0.02746
Average			15.09	403.05	0.02738

록 응력-변형률 곡선의 기울기는 점점 선형(linear)으로 변하고 있다. 이는 매트릭스가 고온에 연소됨에 따라 선형재료인 유리섬유가 모든 외력을 받아 전체 재료적 성질도 변화한 것으로 사료된다.

유리섬유/폴리에스테르의 고온시험에 대한 실험결과는 표 5와 같다. 각각의 온도에 따라 실험결과는 3개의 결과를 평균하였다. 실험결과 탄성계수는 250°C에서 약 35%의 감소를 보였으며, 인장강도의 경우 약 28%의 감소를 보였다.

2.6.3 유리섬유/비닐에스테르의 실험 결과

유리섬유/비닐에스테르실험에서도 각 온도조건에서 각각 3개의 시편을 인장 시험한 결과 다음 그림 13에서 그림 16과 같은 각 온도별 응력-변형률 곡선을 얻어냈다. 유리섬유/비닐에스테르는 온도가 증가할수록 곡선의 비선형성이 다른 재료에 비해 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

유리섬유/비닐에스테르의 고온시험에 대한 실험결과는 아래 표 6과 같다. 각각의 온도에 따라 3개의 시편이 앞서 선행되었던 실험과 동일하게 실험되었으며, 후에 실험결과는 3개의

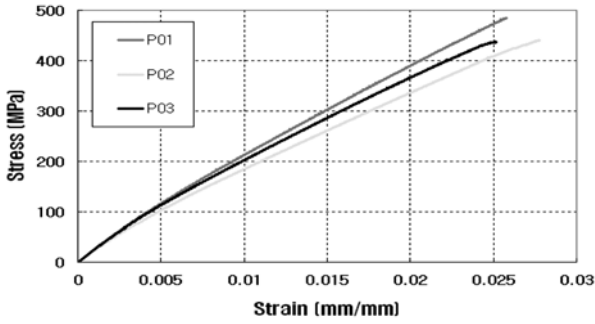


그림 9. 20°C 유리섬유/폴리에스테르 응력-변형률 곡선

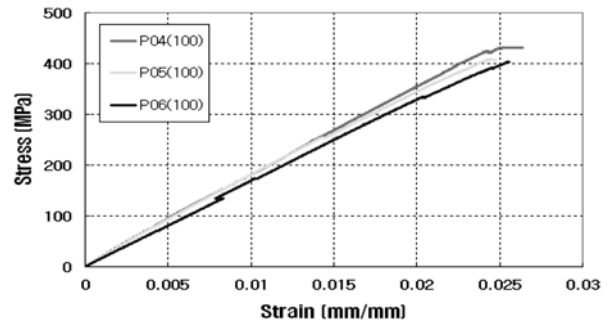


그림 10. 100°C 유리섬유/폴리에스테르 응력-변형률 곡선

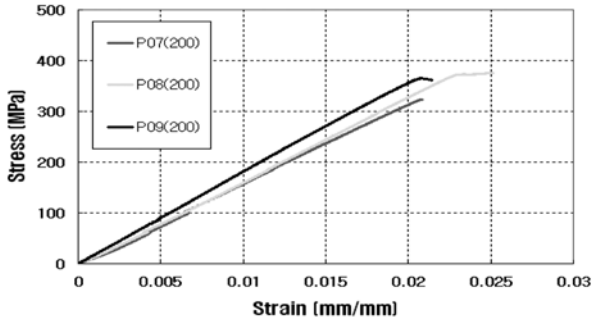


그림 11. 200°C 유리섬유/폴리에스테르 응력-변형률 곡선

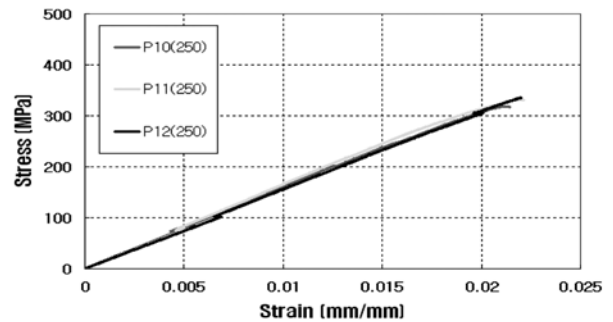


그림 12. 250°C 유리섬유/폴리에스테르 응력-변형률 곡선

표 5. 유리섬유/폴리에스테르의 실험결과

Specimen	Temperature (°C)	Heating Time (min)	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Ultimate Strain
P01	20°C	-	23.98	485.58	0.02580
P02	20°C	-	21.50	440.50	0.02774
P03	20°C	-	23.69	436.65	0.02516
Average			23.06	454.24	0.02623
P04	100°C	30	19.18	430.41	0.02640
P05	100°C	30	19.17	409.07	0.02448
P06	100°C	30	16.16	403.11	0.02556
Average			18.17	414.20	0.02548
P07	200°C	30	13.41	323.11	0.02076
P08	200°C	30	15.25	375.13	0.02497
P09	200°C	30	17.96	365.06	0.02078
Average			15.54	354.43	0.02217
P10	250°C	30	15.54	317.18	0.02144
P11	250°C	30	14.62	330.58	0.02215
P12	250°C	30	14.86	335.12	0.02195
Average			15.00	327.63	0.02185

결과를 평균하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 유리섬유/비닐 에스테르의 경우 탄성계수의 변화는 미미하였고, 인장강도인 경우, 250°C에서 약 18%의 감소를 보였다. 유리섬유/에폭시에 비해 인장강도의 감소율이 더 증가하지만, 탄성계수는 전반적으로 미미하게 감소함을 알 수 있다. 이렇듯 온도변화에 따른 각 매트릭스에 따른 성질의 변화는 탄성계수의 감소 및 인장강도의 감소와 함께 역학적 성질이 전반적으로 감소되었다. 다음의 그림 17과 그림 18은 각각의 매트릭스에 따른

탄성계수와 인장강도의 감소율을 나타내고 있으며 표 7은 온도변화에 따른 물성의 감소율을 나타내고 있다.

3. 해석적 연구

위 실험데이터를 바탕으로 해석적 연구를 수행하기 위하여 실제 미국 뉴욕 주에 설계, 시공되어진 Bentley Creek 교량 구조물을 대상으로 온도변화 아래에서의 복합재료 바닥판의

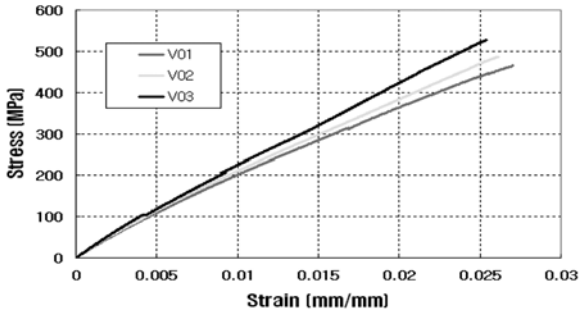


그림 13. 20°C 유리섬유/비닐에스테르 응력-변형률 곡선

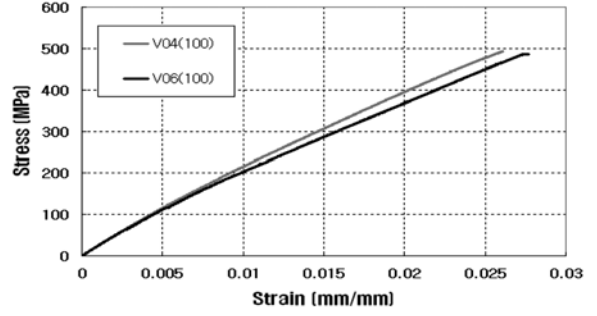


그림 14. 100°C 유리섬유/비닐에스테르 응력-변형률 곡선

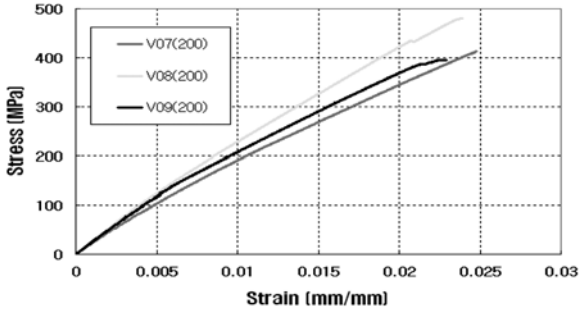


그림 15. 200°C 유리섬유/비닐에스테르 응력-변형률 곡선

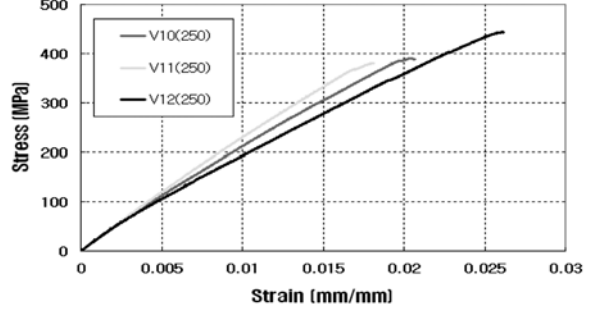


그림 16. 250°C 유리섬유/비닐에스테르 응력-변형률 곡선

표 6. 유리섬유/비닐에스테르의 실험결과

Specimen	Temperature (°C)	Heating Time (min)	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Ultimate Strain
V01	20°C	-	22.20	465.47	0.02703
V02	20°C	-	23.42	486.37	0.02609
V03	20°C	-	25.42	527.12	0.02537
Average			23.55	492.99	0.02616
V04	100°C	30	23.25	492.32	0.02604
V05	100°C	30	23.44	-	-
V06	100°C	30	21.91	486.63	0.02771
Average			22.87	489.48	0.02688
V07	200°C	30	21.27	412.06	0.02473
V08	200°C	30	25.48	480.06	0.02391
V09	200°C	30	23.53	395.26	0.02289
Average			23.43	429.13	0.02384
V10	250°C	30	22.73	388.64	0.02067
V11	250°C	30	24.55	380.21	0.01815
V12	250°C	30	21.65	443.41	0.02617
Average			22.98	404.09	0.02166

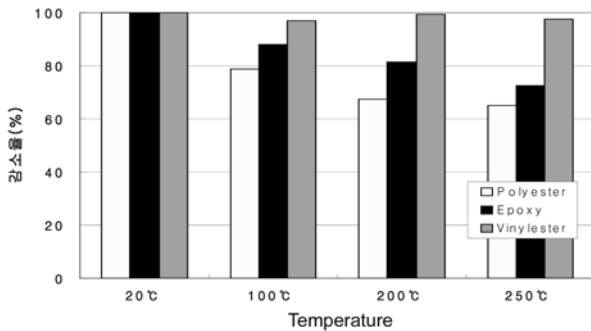


그림 17. 매트릭스별 탄성계수 감소율의 비교

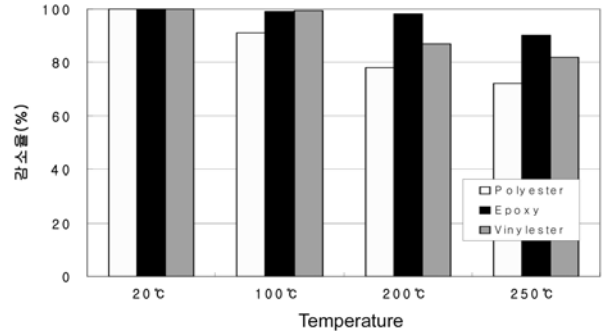


그림 18. 매트릭스별 인장강도 감소율의 비교

표 7. 매트릭스 별 온도변화에 대한 물성의 감소율

Composite	적용 온도. (°C)	인장탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)	최대 변형률
Woven fabric/ Epoxy	20	20.77	447.12	0.0271
	100	18.31	442.80	0.0278
	200	16.90	439.40	0.0296
	250	15.09	403.05	0.0274
Woven fabric/ Polyester	20	23.06	454.24	0.0262
	100	18.17	414.20	0.0255
	200	15.54	354.43	0.0222
	250	15.00	327.63	0.0219
Woven fabric/ Vinylester	20	23.55	492.99	0.0262
	100	22.87	489.48	0.0269
	200	23.43	429.13	0.0238
	250	22.98	404.09	0.0217

거동변화를 연구하였다.

본 해석연구의 대상구조물의 경우, 이미 선행연구를 통하여 유한요소해석 모델에 대한 검증은 하였으며 온도변화에 대한 재료 모델링의 경우, 본 연구에서 수행되어진 재료실험 결과들을 활용하였다.

3.1 유한요소 모델

해석적 연구에 사용된 그림 19와 같이 Bentley Creek 교량은 단순지지 된 하나의 스패를 가진 복합재료 상판-강재 트러스 교량 구조이다.

상용 유한요소해석 프로그램으로는 해석분야에서 널리 알려진 ABAQUS(H.K.S. Inc 2002)를 사용하였으며, 해석 시전·후처리 프로그램으로는 MSC. Patran(MSC Software Corp, 2003)을 사용하였다. 그림 19에서 보이듯이 총 44782 개의 요소와 46548개의 절점으로 복합재료 상판을 모델링 하였으며 횡축 보와 종축 보의 재료인 강재는 Grade 36으로 이선형(bi-linear)형태의 응력-변형률 관계를 적용하였다. 횡축 보와 종축 보의 재료인 강재는 그 관계도가 그림 20에 나타나 있다. 상판 플레이트의 제작 재료로 사용된 Q6408과 Q9100 유리섬유 재료들은 FRP 상판을 제작 하는데 사용되었으며 모든 물질의 물리적 특성은 표 8에 나와 있다.

3.2 해석수행 및 결과

본 연구에서는 이미 개발된 유한요소해석 모델에 본 연구에서 얻은 실험데이터를 적용하여 각 온도별 처짐 형상을 알아보았다. 본 실험에서 얻은 각 온도별 감소율을 적용하였으

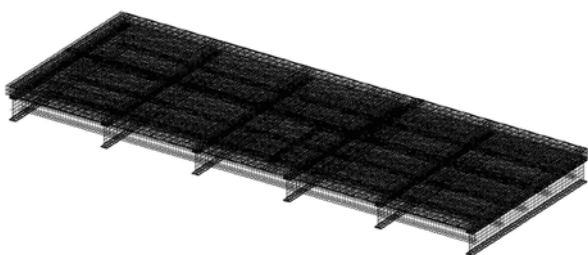


그림 19. FPR Deck의 유한요소모델

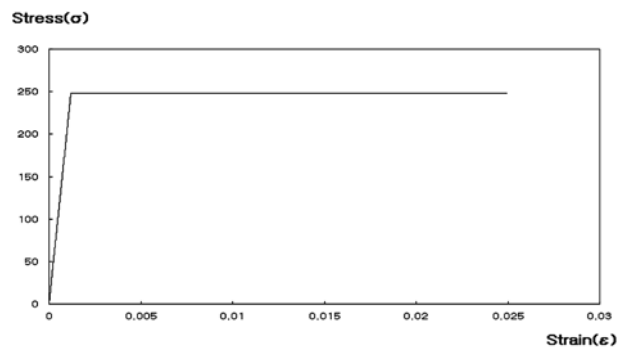


그림 20. 강재 거더의 응력-변형률 곡선

표 8. Mechanical & Thermal Properties of Materials

Name	Properties	Value
Steel	항복응력, f_y	248
	탄성계수, E_s	200
	열팽창 계수, α	$11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
	열전도율	66.9 W/m/K
QM6408	탄성계수, E_{11}	25,000 MPa
	탄성계수, E_{22}	19,500 MPa
	전단 탄성계수, G_{12}	7,500 MPa
	Poisson 비, ν_{12}	0.20
	극한 인장 응력, X_t	310 MPa
	극한 압축 응력, X_c	221 MPa
	극한 전단 응력, X_s	114 MPa
	열팽창 계수,	$14.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
열전도율	0.0335 W/m/K	
Q9100	탄성계수, E_{11}	31,500 MPa
	탄성계수, E_{22}	20,000 MPa
	전단 탄성계수,	7,000 MPa
	Poisson 비,	0.22
	극한 인장 응력, X_t	621 MPa
	극한 압축 응력, X_c	476 MPa
	극한 전단 응력, X_s	121 MPa
	열팽창 계수, α	$14.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
열전도율	0.0335 W/m/K	

며, 국내 표준트럭하중으로 재하하고 있는 상황에서 상판에 화재로 인한 급격한 온도경사가 발생할 경우의 처짐 분포를 알아보았다. 그림 21는 유리섬유/에폭시의 250°C의 실험결과를 트럭하중 재하 주변의 교량상판에 온도 감소율을 적용했을 때의 Z방향 처짐 분포도이다.

또한 그림 22과 그림 23는 각 매트릭스 별 온도에 의한 물성감소율을 적용한 유한요소모델의 상향(Z방향) 및 하향(-Z방향)의 최대 처짐을 비교한 것이다. 그림 22과 그림 23에서 알 수 있듯이 유리섬유/에폭시와, 유리섬유/폴리에스테르의 경우 상·하향 처짐 모두 비슷한 처짐 분포를 보이고 있고 유리섬유/비닐에스테르의 경우는 최대 4 mm로서 다른 두 재료보다 더 낮은 처짐 분포를 보이고 있다. 이는 실험결과에서 유리섬유/비닐에스테르의 탄성계수 감소율이 3% 미만의 감소율을 보임에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 실제 고온에서의 재료 물성치의 변화는 FRP재료를 활용한 전반적인 구조물 거동에 있어 약 100°C까지는 수지(resin)의 영향이

상대적으로 작았으나 100°C 이상의 고온으로 온도효과가 증가할수록 수지 변화에 따른 영향은 상대적으로 크게 나타나는 것을 본 연구결과를 통하여 알 수 있다.

4. 결 론

섬유강화 복합재료는 건설 분야에서 신소재 재료로 각광받고 있지만 열이나 화염에 노출될 경우 매트릭스가 가교결합 분자의 분해 및 화학반응에 의한 기화 확산과정을 거쳐 연소반응이 진행된다. 가장 많이 쓰이는 매트릭스 3종류를 사용하여 온도변화에 따른 복합재료 인장특성을 측정하고 실제 구조물의 거동변화를 알아보았다. 본 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에 사용된 3가지 복합재료는 온도의 상승에 따라 역학적 성질이 전반적으로 감소되는 것을 알 수 있었다.
- (2) 탄성계수의 경우 유리섬유/비닐에스테르가 가장 작은 감소율을 보였으며, 유리섬유/폴리에스테르는 세 가지 복합재료 중 가장 큰 감소율을 나타내었다.
- (3) 인장강도의 경우 유리섬유/에폭시가 가장 낮은 감소율을 보였으며, 유리섬유/폴리에스테르는 세 가지 복합재료 중 가장 큰 감소율을 보였다.
- (4) 유리섬유/폴리에스테르는 다른 두 재료보다 탄성계수, 인장강도에서 큰 감소율을 보여 가장 열 저항성이 떨어짐을 알 수 있다.
- (5) 상온(20°C)에서의 실험결과에서는 탄성계수, 인장강도 모두 비닐에스테르/폴리에스테르/에폭시 순으로 나타났다. 이는 표 9의 섬유체적비의 결과와 일치하므로, 복합재료의 역학적 성질이 섬유체적비에 의존된다는 사실을 확인 할 수 있다.
- (6) 실제 고온에서의 재료 물성치의 변화는 FRP재료를 활용한 전반적인 구조물 거동에 있어 약 100°C까지는 수지(resin)변화에 대한 영향이 상대적으로 작았으나 100°C 이상의 고온으로 온도효과가 증가할수록 수지변화에 따른 영향은 상대적으로 크게 나타나는 것을 해석적 연구를 통하여 알 수 있었다.

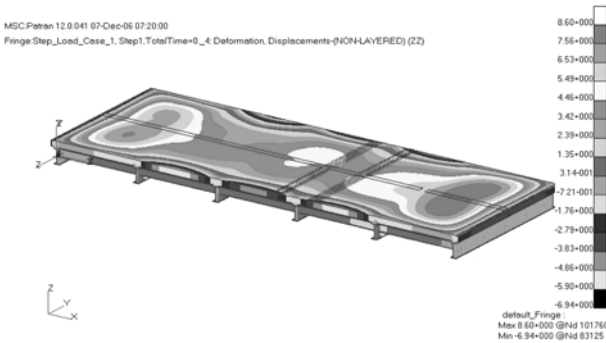


그림 21. 250°C에서의 교량 바닥판의 처짐 분포

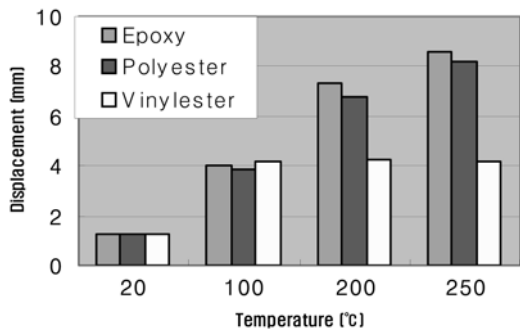


그림 22. 매트릭스별 상향 최대처짐 비교

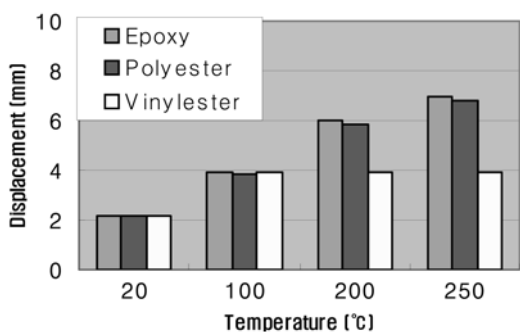


그림 23. 매트릭스별 하향 최대 처짐 비교

표 9. 매트릭스 별 섬유체적비

Composite	#	Weight of FRP composite (unit : g)	Weight of fiber (unit : g)	ω_f / ω	V_f / V	Average (%)
유리섬유/에폭시	E1	1.60	1.02	0.64	0.47	47
	E2	1.63	1.05	0.64	0.48	
	E3	1.71	1.11	0.65	0.48	
유리섬유/폴리에스테르	P1	1.99	1.32	0.66	0.52	49
	P2	2.02	1.32	0.65	0.51	
	P3	2.08	1.26	0.61	0.45	
유리섬유/비닐에스테르	V1	1.61	1.09	0.68	0.52	53
	V2	1.52	1.05	0.69	0.53	
	V3	1.47	1.02	0.69	0.54	

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지역 R&D 클러스터 구축 사업(No. RTI05-01-02)의 지원으로 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

한복규, 홍건호, 김기수 (2006) 건축토목용 복재 료의 국내, 외 설계기준 분석. **한국복합재료학회지(복합재료)**, 한국복합재료학회, 제19호, 제4호, pp. 39-43.

황태경, 박재범, 이상연, 김형근, 박병열, 도영대 (2005) 온도상승에 따른 탄소 복합재의 굽힘강도 저하평가. **한국복합재료학회지(복합재료)**, 한국복합재료학회, 제18권, 제2호, pp. 20-29.

Aref, A.J. and Chiewanichakorn, M. (2002) *The Analytical Study of Fiber Reinforced Polymer Deck on an Old Truss Bridge*. Report. Transportation Research and Development Bureau, and Transportation Infrastructure Research consortium, NewYork State Dept. of Transportation, Albany, N.Y.

ASTM. (2000) *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM D3039/D3039M, Annual Book of ASTM Standards Vol. 15.03, ASTM, West Conshohocken, P.A.

Browning, C.E., Husman, G.E., and Whitney, J. M. (1976) *Moisture Effects in Epoxy Matrix Composites, Composite Materials; Testing and Design*. ASTM STP 617, West Conshohocken, P.A.

Hibbitt, Karlsson and Sorensen (2002) *ABAQUS/Standard user's manual version 6.3*. Inc.,Pawtucket, R.I.

Mouritz, A.P. (2003) Simple models for determining the mechanical properties of burnt FRP composites. *Materials science and engineering*, Elsevier, Vol. A359, pp. 237-246.

MSC Software Corporation (MSC). (2003) *MSC/Patran user's guide version 9*. MSCSoftware Corporation, L.A.

◎ 논문접수일 : 2008년 02월 12일

◎ 심사의뢰일 : 2008년 02월 13일

◎ 심사완료일 : 2008년 03월 12일