

## 콘크리트 횡구속용 GFRP 보강재의 온도변화에 따른 인장 재료특성 및 구속성능 평가

정우영<sup>1\*</sup>, 김진섭<sup>2</sup>, 권민호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강릉원주대학교 토목공학과, <sup>2</sup>경상대학교 토목공학과 공학연구원

### Evaluation of Tensile Material Properties and Confined Performance of GFRP Composite Due to Temperature Elevation

Woo-Young Jung<sup>1\*</sup>, Jin-Sup Kim<sup>2</sup> and Min-Ho Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dep. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University

<sup>2</sup>Dep. of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

**요 약** 콘크리트 구조물은 외부환경에 의하여 시간이 지남에 따라 그 성능이 지속적으로 감소되며 이를 보강하기 위하여 새로운 재료의 개발 및 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. FRP복합재료의 경우, 높은 강도-중량비, 우수한 내식성과 시공성을 갖추고 있어 노후된 구조물의 보수 및 보강재료로 많은 관심을 받고 있으나 현장적용 시 FRP 복합재료의 외부환경에 대한 신뢰성 및 설계기준 부족으로 재료의 장점에도 불구하고 그 활용도는 그리 증가하지 못하였다. 본 연구에서는 콘크리트 압축부재의 횡 구속용으로 적용 가능한 GFRP 보강재에 대하여 고온으로의 온도변화에 따른 재료적 특성과 구속효과에 대한 구조적 거동을 조사하였다. 이를 위하여 GFRP 보강재의 온도에 따른 인장 물성치와 콘크리트 부재의 구속 압축효과를 실험변수로 각각 선정하였으며 GFRP로 횡 구속된 콘크리트 시편을 설정온도별로 각각 3개씩 제작하여 실험연구를 수행하였다. 실험 시 온도변화의 경우 고온로를 사용하여 일정 시간동안 실험온도에 노출되도록 시편을 거치하였으며 압축성능평가의 경우 만능재료시험기(UTM)를 통하여 섬유외의 횡 구속에 따른 보강효과 변화를 파악하였다. 최종적으로 온도변화에 따른 GFRP재료의 인장특성은 점진적으로 감소하는 것을 정량적으로 알 수 있었으며, 콘크리트 횡 구속 시 GFRP 보강재에 의한 구속능력은 150℃까지 온도가 상승함에 따라 감소하는 것을 본 연구를 통하여 관찰하였다.

**Abstract** The performance of concrete structure decreases with change in time and the external environment. In order to reinforce the structure, the research about new material development and application of newly developed materials are widely conducted. In the case of composite FRP, it received good attention in the academia due to its high intensity-weight ratio, excellent corrosion resistency as well as good workability. When applying at the construction field, however, the utilization of FRP did not increase as much due to lack of reliability and design standard. Current study investigated the material characteristics during the temperature change at high temperature and the structural behavior from restraint effect for GFRP reinforcing materials. Two experimental variables were set in this study: GFRP reinforcements due to tensile properties of temperature and restraint compression effects. Three concrete specimen were selected for each set temperatures. For this reason, as a variable to experiment with the effects confined compression concrete members value and tensile properties with temperature reinforcement GFRP, experiment produced three pieces each for each set temperature, the concrete specimen, which is confined in the GFRP was selected each I did. For the temperature change during the experiment, the concrete specimen were mounted in order to expose to experimental high temperature for certain period of time. For compression performance evaluation, reinforcement effect from horizontal constraint of the fiber were measured using an Universal Material Testing Machine (UTM). Finally, this study revealed that the binding characteristics of GFRP materials from temperature change decreased. Also, this study showed that the maximum compression intensity decreased as the temperature increased up to 150℃ in the constraints ability of the GFRP reinforcements during the horizontal constraint of concrete.

**Key Words** : Confinement, Compressive strength, FRP, Glass fiber, Temperature

본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2012-0008762).

\*Corresponding Author : Woo-Young Jung(Gangneung-Wonju Univ.)

Tel: +82-33-640-2421 email: woojung@gwnu.ac.kr

Received April 5, 2013

Revised (1st May 7, 2013, 2nd July 1, 2013)

Accepted July 11, 2013

### 1. 서론

콘크리트는 경제성과 내구성이 우수하며, 내화성이 좋고 구조물의 형상과 크기에 제약을 받지 않아 현재까지 가장 많이 사용되어지는 재료이다. 하지만 콘크리트 구조물은 사용시간이 경과함에 외부환경에 따른 노후화 현상이 발생하는데 특히 온도, 습도 등에 의해 손상된 콘크리트의 경우 그 성능변화에 대한 평가는 매우 중요하다. 우리나라에서는 노후화된 구조물에 대하여 강판외부 부착공법, 단면증설공법, 외부 프리스트레싱 보강공법 등이 사용되어 왔다[1]. 강판 접착 공법은 시공이 어렵고, 취급의 용이성 및 부식 또는 내화성 등의 환경적 요소에 대한 저항성이 적으며 강도 감소가 우려되고 철근 콘크리트를 이용한 단면 증설 공법의 경우 부재의 단면 및 자중이 증가하여 기초부의 하중 부담이 증가하는 단점 외에 시공시 많은 시간과 노력이 소요되며 효율성이 떨어지는 문제점도 발견되고 있다[2]. 이에 비하여 강화 플라스틱 보강방법의 경우, 주 보강재료인 섬유는 가볍고, 인장강도가 크고, 내부식성 및 내화특성이 우수한 성질을 가진 재료로서 외부 환경에 대한 저항성과 구조물 내 적용 시 하중 부담이 적고 비교적 간단한 시공에 비하여 보강 효과가 우수한 장점이 있다. 이에 1990년대 이후 탄소섬유시트, 탄소섬유판, 유리섬유시트 등 다양한 종류의 FRP(Fiber Reinforced Polymer)를 사용한 새로운 보강공법 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3]. 특히 최근 개발된 FRP 보강공법들은 FRP재료의 고강도, 경량성, 부식 저항성 및 시공성 이외에도 신소재를 건설재료로 응용한다는 하이테크적 이미지 등으로 인하여 건설산업 전반에서 많은 관심을 받고 있으나 실제 현장적용을 통한 상용화의 경우 보다 세부적인 설계기준 및 온도, 습도 등에 의한 예측거동에 대한 가이드라인 부족으로 인하여 활발한 시장적용이 이루어지지 않고 있다. 이는 FRP를 활용한 노후화 또는 손상구조물 보강연구에 있어 지금까지 수행된 대부분의 연구들이 강도증진효과에 치우쳐 있고[4], 다양한 환경인자 및 장기거동특성 등에 대한 부가적 연구가 충분히 진행되지 않고 있기 때문이다. 미국 일본 등 선진국에서는 재료적 측면에서 이미 복합재료의 외부환경(고온노출)과 이와 관련된 파괴역학 메커니즘에 대한 많은 관심을 가지고 정확한 재료적 특성파악을 위한 실험적 연구를 수행하였다[5]. 국내의 경우 FRP 보수·보강이 증가하고 있고, FRP로 구속한 콘크리트 기둥의 압축실험과 해석에 관한 연구는 주도적으로 수행되었지만[1,6~10], 아직까지 온도변화에 의한 FRP의 구속효과 및 거동변화에 대한 연구는 충분히 이뤄지지 않고 있다.

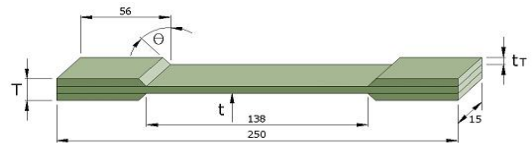
본 연구에서는 GFRP 복합재료로 횡 구속된 콘크리트

압축부재에 대하여 온도변화에 따른 함침수지의 특성변화로 인한 GFRP 횡구속 콘크리트 압축부재의 구속효과에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 GFRP 보강재 자체의 온도변화에 따른 인장특성을 우선적으로 조사하였으며 최종적으로 GFRP로 보강된 구조물의 거동을 조사하기 위하여 GFRP 횡구속 콘크리트 시편을 제작, 온도상승에 따른 성능을 평가하였다. 각 실험 시 온도변화의 경우 인장시험에서는 시험기 내 고온가열장치를 이용, 가온하였으며 횡구속 성능평가에서는 준비된 고온로를 이용, 일정 시간동안 시편을 실험온도에 노출되도록 정치하였다.

### 2. 온도변화에 따른 GFRP 재료특성

#### 2.1 실험체 제작 및 실험방법

실험체 제작에 앞서 주요 보강재료인 GFRP의 온도 상승에 따른 재료 물성치 변화를 평가하였다. 본 실험에서 제작된 인장시편의 경우 단방향 유리섬유를 사용하여 폴리에스테르 수지에 함침, 제작하였다. 유리섬유는 최대강도 1,213MPa, 최대 변형율 0.026525이고 탄성계수는 47,400MPa인 재료를 사용하였고, 수지는 상온에서 인장강도 63.8MPa이고, 탄성계수 3,000MPa인 재료를 사용하였다.



t(mm) (Thickness)	T(mm) (Overall Thickness)	tT(mm) (Tab Thickness)	$\theta$ (°)
2.3	6.5	2.2	0

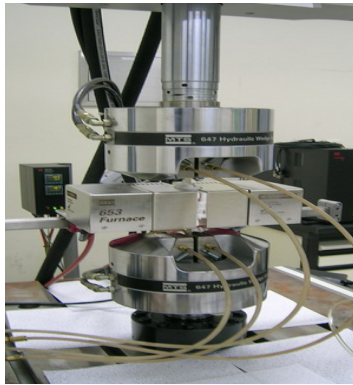
[Fig. 1] Configuration of Tension test coupon (ASTM)

FRP 제작 시 활용되는 수지의 경우 일반적으로 폴리에스테르와 에폭시 수지를 대표적으로 활용하는데 본 연구에서는 hand layup 제작을 통한 시험시편을 제작하였으므로 폴리에스테르 수지를 사용하였다. 온도변화에 대한 재료성능을 확인하기 위하여 GFRP시험 시편은 각각 20℃, 100℃, 200℃, 250℃의 열로 가온시킨 후, 온도를 유지한 상태로 만능재료시험기를 통하여 인장시험을 수행하였다. 시편은 Fig. 1과 같이 인장 시험 시편규격인 ASTM D3039/D3039M의 규정에 따라 판형으로 제작되었다. 시편의 종류는 Table 1과 같다.

[Table 1] Tension test coupon

Specimen	Temperature (°C)	Resin	Fiber
P-01,02,03	20	Polyester	Glass
P-04,05,06	100		
P-07,08,09	200		
P-10,11,12	250		

온도변화에 따른 인장 실험을 위하여 100kN 용량의 재료시험기와 데이터 측정기가 사용되었다. 시편에 대한 온도변화는 MTS 재료시험기에 부착된 고온챔버(최대 온도 : 1450°C)를 사용하였다. 실험 시, 변형률(Strain) 측정은 신장률계(Extensometer: Gage length : 20 mm)를 사용하였으며 고온시험에 사용될 고온챔버가 부착된 재료시험기는 Fig. 2와 같다.



[Fig. 2] Material test machine

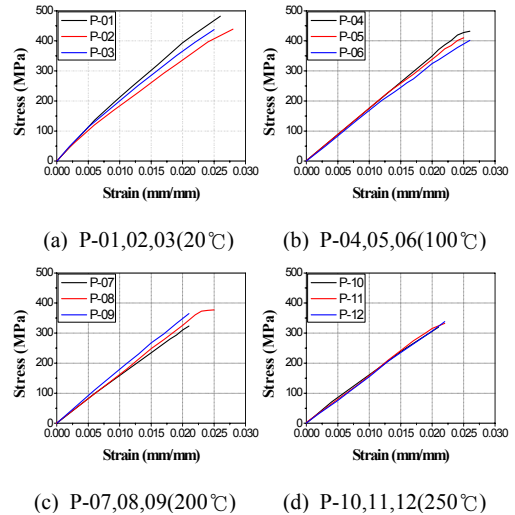
### 2.2 적정온도 및 적정 노출시간

온도별 재료시험에 적용된 온도는 폴리에스테르 수지가 일반적으로 220 ~ 260°C에서 용점이 결정되는 것을 고려, 각각 20°C, 100°C, 200°C, 300°C로 계획하였다. 하지만 예비시험에서 250°C이상 온도를 증가하자 시편에서 연기가 분출되고 바로 연소될 위험이 발견되었다. 이는 온도챔버에서 가해지는 온도의 영향이 너무 시편에 직접적으로 작용되기 때문으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 온도에 따른 인장시험의 한계온도를 250°C로 설정, 실험을 수행하였다. 가온시간의 경우, 일반적으로 시간이 길수록 수지의 역학적 성질이 더욱 감소하고 열에 의해 손상되는 범위도 달라짐으로 온도에 따른 적정 가열시간을 결정하기 위하여 예비 시험을 수행하였다. 예비시험에서는 설정온도 중 최고온도의 가열시간이 30분을 경과하면서 시편의 급격한 손상변화가 관찰되었다. 따라서 본 연구에서는 재료시험 시 적정 가온시간을 30분으로 설정

하고 각 온도별 3개씩 시편을 실험하였다.

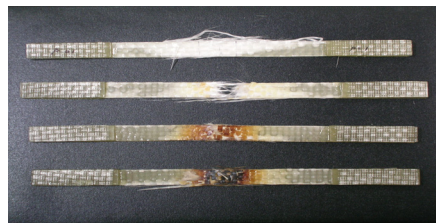
### 2.3 온도변화에 따른 재료 물성치 변화

20°C, 100°C, 200°C, 250°C의 각 온도에서 각각 3개의 시편에 대한 인장시험을 한 결과, 각 온도별 응력-변형률 관계는 Fig. 3과 같다.



[Fig. 3] Stress-strain curve at each temperature

본 실험결과, 온도가 높을수록 응력-변형률 관계는 점성 선형(linear)으로 변하고 있는데 이는 복합재료 내 수지가 고온에 약해짐에 따라 선형재료인 유리섬유의 역할이 상대적으로 뚜렷해지기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 3에 대하여 계산된 각각의 온도 하에서의 탄성계수, 최대강도와 최대 변형률은 Table 2와 같다. 본 실험에서 나타난 일반적인 패턴은 온도증가에 따른 시험시편들의 최종 변형률이 대체적으로 감소하는 경향으로 나타났으며 특히 200°C에서 250°C로 증가한 경우 최대 변형률의 변화는 없었으며 최대강도는 온도증가에 따라 지속적으로 감소하는 경향이 나타났다. Fig. 4는 각 온도별 인장시험의 파단 형상을 보여주고 있다.



[Fig. 4] Failure of tension test coupon (20°C, 100°C, 200°C, 250°C from top)

[Table 2] Tension test results of temperature

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

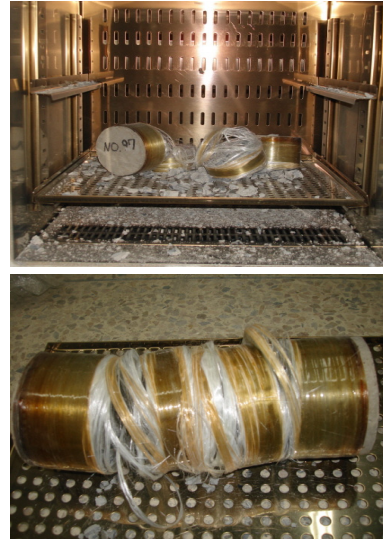
### 3. GFRP의 횡구속 성능 평가

압축을 받는 콘크리트의 경우 축방향 압축력 작용 시 콘크리트 내 횡적 팽창력이 발생한다[6]. 이들 횡적 팽창력을 다양한 재료에 의하여 구속, 압축함으로써 콘크리트의 압축성능을 개선할 수 있으며 이에 대한 연구들도 지금까지 활발히 진행되었다[7-10]. GFRP재로는 저중량 고강도의 장점을 가지는 보강재로써 외부보강 시 부식에 대한 저항성은 강하나 자외선 및 온도에 대한 저항성은 상대적으로 약하다. 따라서 GFRP에 의해서 횡구속을 받는 콘크리트 압축부재의 거동은 주변에서 발생하는 온도 변화에 따라 그 성능이 저하될 것으로 예측되는데 이를 확인하기 위하여 온도변화에 노출된 GFRP로 횡구속 콘크리트 압축부재의 성능을 평가하였다. 본 연구에서 제시하는 연구내용은 실제 횡구속된 콘크리트 압축부재에서 발생 가능한 상황은 아니나 외부온도 변화에 따른 복합현상 발생 시 요구되는 복합소재의 신뢰성 확보측면에서 매우 중요하다고 판단된다.

#### 3.1 온도 설정

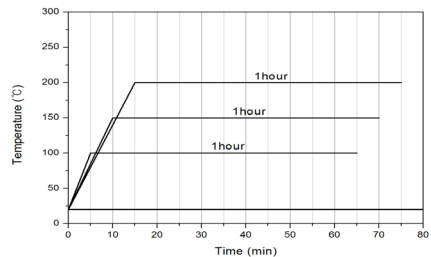
최대 온도와 노출시간을 결정하기 위하여 별도의 예비 실험을 수행하였다. 예비실험은 고온로의 온도를 300°C로 설정하고 실험체를 고온로에 설치 후 온도에 노출시켰다. 실험결과 200°C까지는 1시간 이상 노출 시 별 문제가 발생하지 않았으나 250°C 이상의 고온에서는 약 40분이 지나자 횡 구속된 콘크리트 내부에서 폭발현상이

발생하여 GFRP 실험체가 파괴되었다. Fig. 5는 고온에 노출된 구속시험체의 콘크리트의 폭렬에 의한 파괴 사진이다.

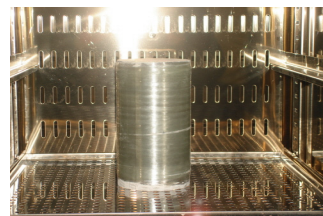


[Fig. 5] Failure mode by concrete spalling

이를 토대로 본 연구에서는 각 설정온도별 시험체 노출시간을 1시간으로 결정하였으며 시험 시 안전을 고려하여 노출 가능 최대온도를 200°C로 선정하였다.



(a) Time-temperature



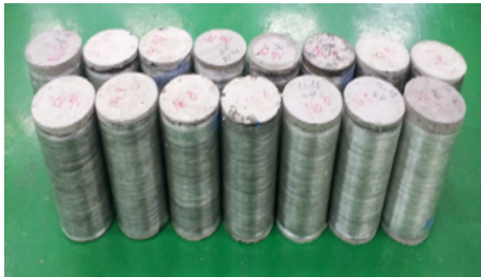
(b) Chamber

[Fig. 6] Time-temperature relation and Temperature chamber

최종적으로 본 실험에서는 온도변수를 20℃, 100℃, 150℃, 200℃로 설정하고 각각의 시험체를 목표온도 도달 후 1시간동안 고온로 내에서 노출시켰으며 고온로는 항상 일정한 온도로 노출되도록 충분한 사전 예열시간을 가지도록 설정하였다. Fig. 6 (a)는 20℃부터 최대 350℃까지 온도를 가열할 수 있는 가열로에서 사용한 고온로의 온도별 예열시간과 노출온도 계획 그래프이고, Fig. 6 (b)는 최대 350℃까지 가열 가능한 고온로이다.

### 3.2 실험체

GFRP로 황구속된 실험체를 제작하기 위하여  $\phi 100 \times 200$ mm 원형 콘크리트 표준 공시체 15개를 제작하였다. 그 중 GFRP로 보강된 실험체는 12개이며 무보강 실험체는 3개이다. 유리섬유와 에폭시 구속 긴장력의 경우 동일한 구속력을 가할 수 있는 와인딩 장비를 사용하여 모든 공시체에 일정한 긴장력으로 제작하였다. 제작된 실험체는 아래의 Fig. 7과 같으며 실험체 제원과 측정된 GFRP의 두께를 Table 3에 정리하였다.



[Fig. 7] Picture of test specimen

### 3.3 실험 방법

온도변화에 따른 압축실험을 수행하기 위하여 만능재료시험기(UTM, Capacity : 1000kN)와 변형률 측정기를 사용하여 온도 변수에 따라 고온에 노출 후 압축 시험을 수행하였다. 하중 재하는 콘크리트 압축강도 시험방법 KS F 2405에 따라 공시체에 충격을 주지 않도록 똑같은 속도로 하중을 재하 하였으며 가력속도는 매초  $0.6 \pm 0.4$  MPa로 하였다. 축방향 변형률은 Fig. 8과 같은 변형률 측정장치(LVDT)를 사용하여 시편에 고정시킨 뒤 축방향 변형률을 계측하였다.

[Table 3] Test specimen

No.	Specimen	Fiber type	Resin type	Thick of GFRP(mm)
1	N21-1			
2	N21-2			
3	N21-3			
4	G21E_20-1	Glass	Epoxy	1.36
5	G21E_20-2			1.33
6	G21E_20-3			1.37
7	G21E_100-1			1.39
8	G21E_100-2			1.24
9	G21E_100-3			1.32
10	G21E_150-1			1.41
11	G21E_150-2			1.39
12	G21E_150-3			1.31
13	G21E_200-1			1.31
14	G21E_200-2			1.36
15	G21E_200-3			1.34



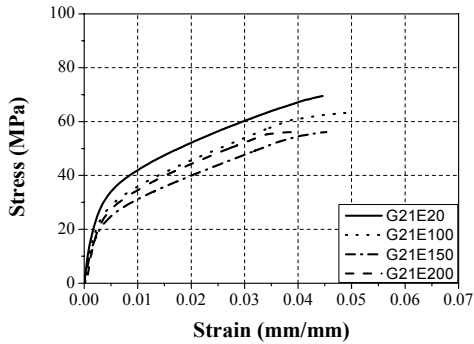
[Fig. 8] Test Setup

## 4. 실험 결과

온도변화에 따른 GFRP로 황구속된 콘크리트 공시체의 압축강도를 평가하였다. 제작된 콘크리트 공시체에 대하여 GFRP보강재를 황구속한 후 압축강도 테스트를 수행하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 각각의 실험체에 대한 압축강도 측정 결과, GFRP로 황구속된 실험체의 압축응력은 구속하지 않은 실험체(Normal)와 비교하여 평균 약 3.15배 응력이 증가하였다. 또한, 가온에 따른 노출 온도의 상승에 따라 GFRP에 의한 콘크리트의 구속 효과는 점진적으로 감소하는 경향이 나타났다. 노출온도가 150℃에서 200℃사이의 온도범위에서는 GFRP의 의한 구속 효과가 온도영향에 의하여 거의 유사한 것으로 나타났다.

[Table 4] Compressive test results of specimens

Specimen	Normal	Confinement and Temperature (°C)				
		20°C	100°C	150°C	200°C	
21MPa	1	22.41	67.78	60.00	54.62	57.76
	2	21.39	68.09	66.38	51.72	57.53
	3	21.90	70.77	68.60	59.63	52.66
Average	21.90	68.88	64.99	55.32	55.98	
Ratio	1	3.15	2.97	2.53	2.56	



[Fig. 9] Compressive behavior of specimens

Fig. 9는 고온 노출에 따른 GFRP로 횡구속된 압축시편의 거동을 응력-변형률 관계로 정리한 그래프이다. 본 결과는 각각의 3개의 시험체에서 보여준 실험결과를 변형률을 기준으로 각 응력별 평균 데이터를 사용하였다. 본 실험결과에서 보이듯 구속 콘크리트 실험체의 초기강도는 콘크리트 설계강도에 따라서 발생하는 항복응력은 다르나 온도변화에 따른 패턴은 유사한 것으로 나타났다. 일반적으로 기존 선행연구에서는 GFRP 구속 콘크리트 실험체의 주요 압축거동은 콘크리트 공시체에서 지배하는 것으로 설명하고 있다[1],[6]. 그러나 온도상승 시 구속효과와 저감은 구속된 GFRP 보강재의 형상 및 재질이 동일한 점을 고려할 때 콘크리트 설계강도 이외에 구속 GFRP보강재의 재료변화에 의해서도 기여하는 구속효과와 차이는 다르게 나타날 것으로 예상된다. 본 실험은 콘크리트의 압축응력을 구속하는 GFRP보강재가 파단이 발생할 시점까지 실험체의 압축응력은 지속적으로 증가하였으며 이때 응력-변형률 상의 거동은 초기거동에 비하여 다소 완만한 기울기를 보여주었다. 이는 GFRP 구속 보강재의 경우 여러 lamina로 적층된 상태에서 전체적인 파괴보다는 지속적인 하중 증가에 의하여 각 layer별로 부분적인 파괴가 연속되어 진행되기 때문인 것으로 사료된다. 최종적으로 본 시험체 파괴는 GFRP 파단과 동시에

콘크리트 압축파괴가 발생하였다.

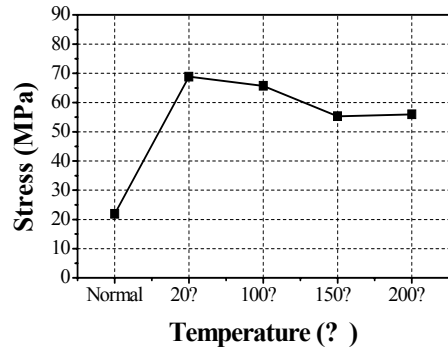
GFRP 구속 콘크리트의 파괴형태는 시험체의 최대 압축응력의 약 70% 도달 후 실험체 표면부의 GFRP 박리현상과 섬유 파단이 발생하였고, 콘크리트의 팽창에 의한 취성거동에 의하여 최종파괴 되었다. 이는 구속 실험체 내부의 콘크리트가 항복응력 이후에 균열 등이 발생된 후 GFRP에 의해 팽창력이 구속되고 전체 부재의 연성거동을 보이다 GFRP보강재 파단 이후 구속 실험체의 취성적 파괴가 발생한 것이다. Fig. 10은 실험체의 대표적 최종파괴형상을 나타낸다.



[Fig. 10] Failure mode of specimen

## 5. 결과 분석 및 고찰

온도변화 및 상승에 따른 GFRP로 구속된 콘크리트의 압축강도에 대한 실험결과는 Fig. 11과 같다.



[Fig. 11] Compare of test results

온도증가에 따른 비구속 압축시편과 구속 콘크리트 압축시편을 비교한 결과 노출온도에 따라 다소 성능발현에 차이가 있음을 알 수 있었다. 20°C상온의 경우 일반적인 콘크리트 압축설계강도에 비례하여 GFRP보강재 구속에 따른 압축강도 증가가 동일한 패턴으로 나타났으나 설정

[Table 5] Analytical study of test results

Normal Stress [①]	Maximum stress (°C)				Increased maximum stress (for Normal Stress)				Distribution of confined strength		
	20(°C) [②]	100(°C) [③]	150(°C) [④]	200(°C) [⑤]	②-① [⑥]	③-①	④-①	⑤-①	③-② [⑦]	④-② [⑧]	⑤-② [⑨]
									⑦/⑥	⑧/⑥	⑨/⑥
21.90	68.88	64.99	55.32	55.98	46.98	43.82	33.42	34.08	-3.89	-13.56	-12.90
									-0.08	-0.29	-0.27

온도 100℃ 이상의 온도에서는 고온으로의 온도변화에 의한 구속 콘크리트의 압축강도 변화가 점진적으로 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 특히 온도별 구속효과 저감이 완만한 구속저감 효과를 보여주는 것으로 나타났는데 이에 대한 연구결과는 향후, 다양한 콘크리트 설계압축강도와 FRP재료를 변수로 하여 다양한 온도분포에서의 실험을 수행하고, 그 결과분석을 바탕으로 제시할 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 경우, 각 case별로 3개의 시편을 제작, 실험을 수행하였는데 이들 실험에서도 출된 같은 시험변수별 최대 강도의 차이는, 실험체의 제작과 콘크리트 품질상이에 의하여 발생한 것으로 생각된다.

Table 5에서, GFRP로 구속된 실험체에서 온도 노출에 따른 최대압축응력의 감소량을 계산하였다. 비구속 실험체와 20℃ 실험체의 결과를 바탕으로 기준 구속량을 결정하였다(⑥). 노출온도별 구속력(⑦,⑧,⑨)을 각각 계산하여, 온도 노출에 따른 감소된 압축강도를 계산하였다. 감소된 압축응력을 비교하여 GFRP의 횡구속 효과의 감소를 비율적으로 검토하였다. 계산결과 100℃에서는 약 3.89MPa, 150℃에서는 약 13.56MPa, 200℃에서는 약 12.90MPa이 감소하였다. 이러한 감소량을 기준 구속량(⑥)과 비교하면, 100℃일 경우 약 8%, 150℃일 경우 약 29%, 200℃일 경우 약 27% 감소율을 나타내었다.

장강도와 탄성계수 및 파단변형률이 감소하며, 외부의 노출온도가 증가할수록 그 감소량은 커지는 것으로 조사되었다. 다만 200℃에서 측정된 구속효과 경우 다소 그 값이 증가하였는데 이는 온도노출실험 시 발생된 콘크리트 폭열현상을 고려할 때 실제 횡 구속된 콘크리트 내부에서 발생한 열팽창에 의하여 시험체 내 구속력의 증가가 발생한 것으로 판단된다.

- 2) 상온에서 GFRP로 횡구속된 콘크리트 압축시편의 경우, GFRP 구속에 따른 압축강도 개선효과가 정량적인 패턴으로 그 효과가 나타났다. 실험결과, 상온(20℃)에서의 횡구속 콘크리트 압축시편인 경우, 평균 약 3.15배 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 고온으로 온도상승에 따른 GFRP 횡구속 콘크리트 압축시편의 경우, 상온에서의 성능효과와 비교할 때 100℃일 경우 약 8%정도 구속효과가 감소하는 것으로 나타났으며 150℃일 경우 약 29%, 200℃일 경우 약 27% 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 상온실험체와 비교할 때, 온도증가에 따른 함침수지의 경화가 저하됨에 따라 함침수지-FRP 경계면의 결합력 저하에 의한 원인으로 복합재료 내 섬유 성능이 충분히 발휘 되지 못한 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 고온으로의 온도변화에 노출된 GFRP 보강재에 의하여 횡구속된 콘크리트 압축시편에 대한 강도실험을 수행하고, 그 결과를 제시하였다. 온도에 따른 복합재료 변형능력의 효과를 조사하기 위하여 가온온도별 시험체를 각각 제작하여 실험을 수행하였으며 본 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) GFRP는 상온에서 고온으로의 온도상승 시 최대 인

## References

- [1] D. H. Lee, Y. S. Kim, and Y. S. Chung, "Stress-Strain Behavior Characteristics of Concrete Cylinders Confined with FRP Wrap", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 19, No. 2, pp. 135~144, April, 2007  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2007.19.2.135>
- [2] Teng, J. G., Chen, J. F., Smith, S. T., and Lam, L., "FRP Strengthened RC Structures", John Wiley & Sons Ltd., New York, 2002.
- [3] Y. C. You, K. S. Choi, I. S. Kang, K. H. Kim,

- “Appraisal Study on Tensile Test Method of Mechanical Properties of FRP Composite Used in Strengthening RC Members” Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 12, No.1, pp.73~80, 2008
- [4] Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M., Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc, 1996, pp.585~653.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470172858>
- [5] Yousef A. Al-Salloum , Hussein M. Elsanadedy, Aref A. Abadel,"Behavior of FRP-confined concrete after high temperature exposure",Construction and Building Materials 25 ,pp 838~850, 2011  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.103>
- [6] S. H. Cho, “Strength and Deformation Capacities of Short Concrete Columns with Circular Section Confined by GFRP”,Journal of the Korea Concrete Institute Vol.19, No. 1,pp121~130, February,2007  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2007.19.1.121>
- [7] S. C. Chun, J. Y. Kim, H. C. Park. C. L. Park, “A Study on the Stress-Strain Model of Concrete Confined by Carbon Fiber Sheets”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No.1, pp.27~36, 1997
- [8] J. S. Hwang, “A Study on the Axial Behavior of the Concrete Cylinders Confined by Carbon Fiber Sheets”, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 4, No.4, pp.141~148, 2000
- [9] J. S. Hwang, “Stress-Strain Characteristics of the Concrete Cylinders Confined by Carbon Fiber Sheets”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 17, No.9, pp.57~63, 2001
- [10] J. Y. Lee, H. S. Jeong, “Prediction of the Maximum Strain of Circular Concrete Columns Confined with Fiber Composites”, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 15, No.5, pp.726~736, 2003  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2003.15.5.726>
- [11] D. K. Kim, S.B. Lee, “Research Papers : Properties and Thermal Characteristics of Phenol Foam for Heat Insulating Materials”, J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 17, No. 4, August 2006, 357-360

**정 우 영(Woo-Young Jung)**

[정회원]



- 2003년 8월 : the State Univ. of New York at Buffalo, (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 토목공학과 교수
- 2011년 7월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 부설 방재연구소 소장

<관심분야>

내진공학, 건설 복합재료공학, 전산구조해석

**김 진 섭(Jin-Sup Kim)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 경상대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

철근콘크리트 구조해석, 전산구조, 내진평가

**권 민 호(Min-Ho Kwon)**

[정회원]



- 2000년 8월 : Univ.of Colorado, Boulder (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

철근콘크리트 구조해석, 전산구조, 내진평가