Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 35, No. 1: 77-84/ February, 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.1.0077

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Concrete Engineering **콘크리트공학**

고온과 고온노출 후 GFRP 보강근의 잔존인장성능 비교

김성도* · 문도영**
Kim, Seongdo*, Moon, Doyoung**

A Comparison of Residual Tensile Properties of GFRP Reinforcing Bar at High Temperature and after Exposure to High Temperature

ABSTRACT

Tensile tests were conducted on the GFRP reinforcement exposed to high temperature. The exposure condition for this study was below 200°C for about 3 minutes. This conditioning is minor compared with that presented in experimental program conducted by other researchers. The residual tensile strength and elastic modulus of GFRP reinforcing bars at high temperature and after exposure to high temperature were compared. In results, tensile properties were decreased at high temperatures, but those after exposure to high temperature were recovered to pre-heating level almost completely. These results could be valuable for evaluating GFRP reinforced structure damaged by fire accident.

Key words : GFRP reinforcing bar, High temperature, Tensile strength, Tensile elastic modulus

초 록

고온에 노출된 GFRP 보강근의 인장실험을 수행하였다. 본 실험을 위한 고온노출조건은 200°C 이하의 온도에 3분간 노출하는 것으로 하였다. 이러한 조건은 다른 연구자들의 시험에서 적용한 고온노출조건과 비교하여 경미한 고온노출조건이다. 고온에서와 고온노출 후 GFRP 보강근의 인장강도와 탄성계수를 비교하였다. 실험결과, 고온에서 GFRP 보강근의 인장성능이 감소하는 것으로 나타났으나, 고온노출 후 보강근의 인장성능은 거의 고온노출전의 수준으로 회복되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 화재로 손상 받은 GFRP 보강 콘크리트 구조물의 평가를 위하여 중요한 자료가 된다.

검색어 : GFRP 보강근, 고온, 인장강도, 인장탄성계수

1. 서 론

지난 십수년간 유리섬유복합체(GFRP) 보강근의 성능에 대한 수많은 연구가 수행되었다. GFRP 보강근의 경량 및 우수한 내부식성능은 강력한 장점 중의 하나로 검증되었으며, 북미와 유럽등지에서는 해안 구조물 등 특수한 환경조건과 사용조건의 구조물에 사용되고 있다.

GFRP가 보강된 콘크리트 구조물에 화재가 발생하였을 때, 화재중 구조물의 거동과 안전을 위해서는 고온상태에서 GFRP 보강근의 거동과 강도가 중요한 자료가 되는 반면, 화재 중에 붕괴나 심각한 영구변형이 발생하지 않고 손상만을 받은 구조물의 경우에는 보와 기둥과 같은 각 구조요소가 받은 손상을 평가하고 보수 및 보강 범위 등을 신속하게 결정하여야 한다. 이때에는 고온에서 보다는

* 정회원 · 경성대학교 토목공학과 (Kyungsung University · sdkim@ks.ac.kr)
** 정회원 · 교신저자 · 경성대학교 토목공학과 (**Corresponding Author** · Kyungsung University · dymoon@ks.ac.kr)

Received October 6, 2014/ **revised** November 6, 2014/ **accepted** December 14, 2014

Copyright ⓒ 2015 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

오히려 고온노출 된 이후의 GFRP 보강근의 거동과 강도에 대한 정보가 필요하다. 고온상태에서 GFRP 보강근의 잔존강도변화에 대한 연구는 다수 수행되었을 뿐 아니라(Kumahara et al., 1993; Weber, 2008; Wang and Kodur, 2005; Bosze et al., 2006; Abbasi and Hogg, 2005; Robert and Benmokrane, 2010; Bisby et al, 2005; Correia et al., 2013; Kashwani and Al-Tamimi, 2014) 고온상태에서 잔존강도를 예측할 수 있는 선형모델도 제시되었다(Saffi, 2002). 그러나, 고온에 노출된 이후 GFRP 보강근의 인장특성에 대한 정보와 연구는 매우 제한적이다. Alsayed et al. (2012), Al-Zaharani et al. (2007), Fu et al. (2011), Foster and Bisby (2005) 등이 고온노출 후 FRP 보강근의 잔존인장성능에 대한 실험적인 연구를 수행하였으나, 적용한 고온노출강도가 최고온도 100~400°C, 노출시간 0.5시간~3시간 범위로 상당히 심각한 고온손상에 국한되어 있다. Table 1은 고온과 고온노출 후의 GFRP 보강근의 인장성능을 연구한 대표적인 논문들을 제시하고 있으며, 각 연구에서 적용한 고온노출조건을 요약하고 있다. 또한 각 논문의 결과는 이후 본 논문의 고찰 그래프에 본 실험의 결과와 함께 제시하고 비교하였다.

본 연구에서는 상대적으로 경미한 고온노출조건에 대하여 GFRP 보강근의 고온상태와 고온노출후의 인장성능을 비교 고찰하였다. 경미한 고온노출조건에 대한 연구는 보다 실질적인 차원에서 그 의미를 부여할 수 있다. 기존 연구자들이 실험에서 적용한 것과 같은 심각한 고온노출강도(최고온도 100~400°C, 노출시간 0.5시간~3시간)는 보강근의 전면교체에 해당하는 심각한 고온손상인 반면, GFRP 보강근이 경미한 고온에 노출되었을 경우가 오히려 구조물의 상태평가에 중요한 자료가 되기 때문이다. 더욱이, 현재 전 세계적으로 가장 참고가 많이 되고 있는 GFRP 보강 콘크리트구조설계 기준인 ACI 440.3R-04에서는 GFRP 보강근이 노출될 수 있는 온도의 상한치를 레진의 유리전이온도 이하로 규정하고 있다. 가장 널리 사용되고 있는 레진매트릭스인 에폭시와 비닐에스터의 유리전이온도는 80~120°C 범위이다. 따라서 본 연구에서 보강근 노출온도 120°C와 200°C는 유리전이온도와 이보다 80℃ 높은 수준에 불과하다. 이 기준은 설계기준이지만 화재 손상 받은 GFRP 보강 구조물의 성능평가를 위한 평가기준을 정하는 데에도 유효한 참고자료가 될 것이다. 그러므로 실질적인 차원에서 GFRP 보강근으로 보강된 구조물의 화재 후 손상평가에서 의미 있는 GFRP 보강근의 고온노출강도는 경미한 수준이 될 것이다. 또한 이정도의 온도에는 유리섬유 자체에는 전혀 고온에 의한 손상이 없다. 본 연구에서는 고온에서, 고온노출 후 GFRP 보강근의 인장실험을 수행하였다. 두 시험에서 고온노출강도조건은 경미한 수준으로 120°C, 200°C와 300°C의 온도에 3분간 노출하는 것으로 하였다. 실험결과는 잔존인장강도와 잔존탄성계수에 대하여 비교, 분석하였다.

2. 실험

2.1 GFRP 보강근 및 인장시험방법

본 연구에서 사용된 GFRP 보강근은 표면에 가넷이 붙어 있는 직경 9.5mm의 보강근이다. 국내에서 생산된 제품이며, 콘크리트 구조물의 보강공법에 사용되고 있다. 보강근은 E-glass와 Vinyl-ester로 구성되어 있으며, 섬유의 체적비는 70%이다.

인장시험을 위한 보강근의 단부 정착방법은 ASTM D 3916에서

Table 1. Literature Investigation Results

References		GFRP tested		High temperature exposure	
		Shape and dimension	Materials	Temp. (°C)	Exposure time (Min.)
After high-temperature	AL-ZAHRANI et al. (2007)	Bar (Φ:12.7mm)	E-glass, Vinyl-ester	201~458	20 ~ 85
	Fu et al. (2011)	Bar (Φ:10mm,12mm)	Alkali glass, Poly-ester	100~350 (at each 50°C increment)	30, 60, 90, 120
	Alsayed et al. (2012)	Bar (Φ:12mm)	E-glass, Vinyl-ester	100, 200, 300	60, 120, 180
	Foster and Bisby (2005)	Sheet (width: 25.4mm)	E-glass, Epoxy	100, 200, 300, 400	180
At high temperature	Wang and Kodur (2005)	Bar (Φ:9.5mm, 12.5mm)	-	100, 200, 250, 300, 400, 500	-
	Robert and Benmokrane (2010)	Bar (Φ:12.7mm)	E-glass, Vinyl-ester	50, 100, 150, 200, 250, 325	-
	Abbasi and Hogg (2005)	Bar (Φ:12.7mm)	E-glass, Poly-ester	80. 120	-
	Bisby et al. (2005)	Bar (Φ:12.7mm)	E-glass, Vinyl-ester	100, 200, 300	
	Correia et al. (2013)	Plate (50mm×10mm)	E-glass, Poly-ester	60, 90, 120, 150, 200, 220	-

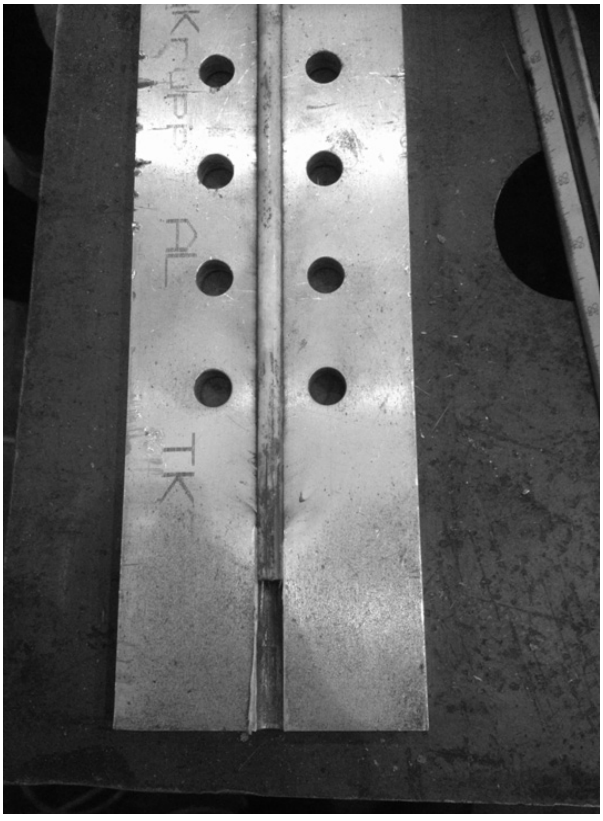


Fig. 1. Griping Fixture

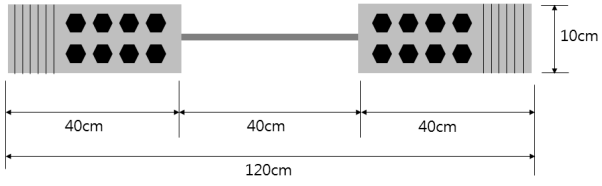


Fig. 2. Anchoring Detail for Tensile Test

정하고 있는 방법을 준용하였다. 보강근의 직경에 따라 특수하게 제작된 알루미늄판을 Fig. 1과 같이 제작하고, GFRP 보강근의 양단 표면에 붙어 있는 가벗을 완전히 제거한 상태에서 알루미늄판에 넣고 볼트를 체결하여 앵커부를 제작하였다. Fig. 2는 시험체를 나타내고 있다. 가력장비는 500kN 용량의 UTM 장비를 사용하였으며, 5mm/min로 변위제어 하였다. Fig. 3은 control 시험체(상온노출 시험체)의 시험전경을 나타내고 있으며, 그림과 같이 보강근에 LVDT를 부착하여 가력 중 GFRP 보강근의 변형률을 측정하였다.

GFRP 보강근의 인장시험은 2차에 걸쳐 수행하였다. 1차는 AT 시험이며, GFRP 보강근이 가열되고 설정된 고온노출강도에 도달하였을 때 인장실험을 수행한 것을 의미한다. AT 시험은 각 고온노출조건에 대하여 동일한 시험체 3개를 시험하고 평균하였다.

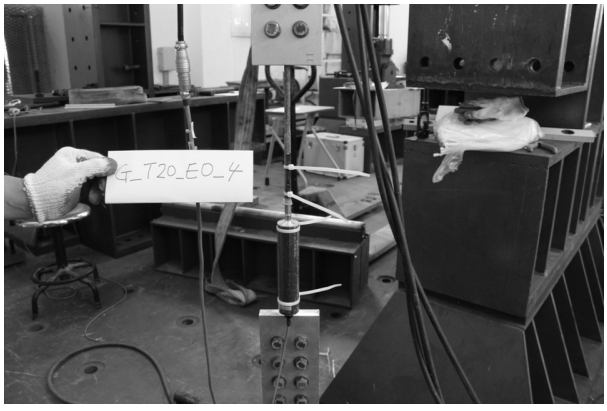


Fig. 3. Instrument for Measurement of Axial Displacement

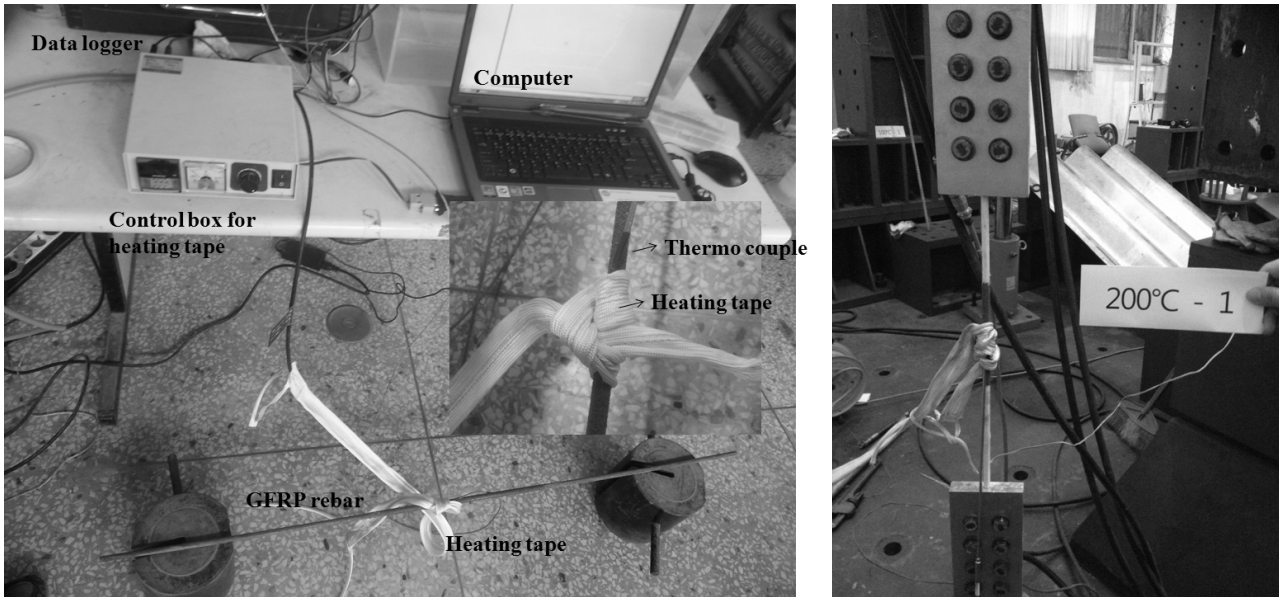
2차 시험은 AF 시험으로 GFRP 보강근을 AT 시험과 동일한 고온노출강도에 노출시킨 후 1일이 경과할 때까지 상온에서 방치한 후 인장실험을 수행한 것을 의미한다. 동일한 시험체 10개를 시험하고 평균하였다.

2.2 고온노출방법

고온노출은 250°C까지 가열이 가능한 가열테이프를 사용하였다. Fig. 4(a)는 AF 시험체의 고온노출전경을 나타내고 있다. 우선 보강근의 표면에 온도를 측정하기 위하여 보강근 표면에 열전대(Thermo couple)를 테이프를 이용하여 부착한 후 가열테이프(Heating tape)를 중앙부를 기준으로 양방향으로 5cm씩 총 10cm 길이에 감아준다. 이때 가열테이프는 온도조절을 위한 조절박스(Contorol box)에 연결하고, 열전대는 Data logger에 연결한다. 온도조절박스를 켜고 미리 설정한 온도에 맞추고 가열한다. 이때, Data logger에 연결된 컴퓨터를 통해 보강근의 표면에 온도를 실시간으로 모니터링하며, 미리 설정된 고온노출이력에 도달한 후 가열을 멈추고 가열테이프를 제거한 뒤 상온에서 1일간 방치하였다.

Fig. 4(b)는 AT 시험체의 고온노출전경을 나타내고 있다. 먼저 단부앵커작업이 완료된 GFRP 보강근을 시험기에 세팅한 후 가열하였다. 고온가열방법과 보강근 표면의 온도 모니터링 방법은 AF 시험과 동일하며, 미리 설정된 고온노출이력에 도달하면 안전장갑을 착용한 시험자가 가열테이프를 제거한 후 바로 인장실험을 실시하였다.

전술한 바와 같이 AT 시험과 AF 시험은 각각 수행되었다. 모든 시험에서 고온노출조건은 동일하게 하였으며, 고온노출온도는 상온, 120°C, 200°C와 노출시간은 2분 40초로 하였다. Fig. 5는 AT 및 AF 시험체의 표면에서 모니터링된 고온노출이력을 나타내고 있다.



(a) AF Test (b) AT Test

Fig. 4. Exposure to High Temperature

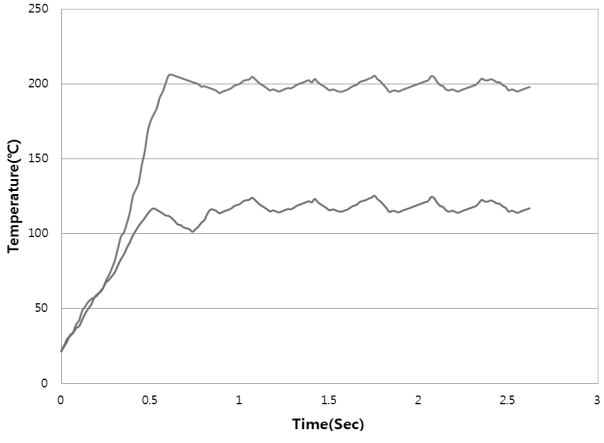
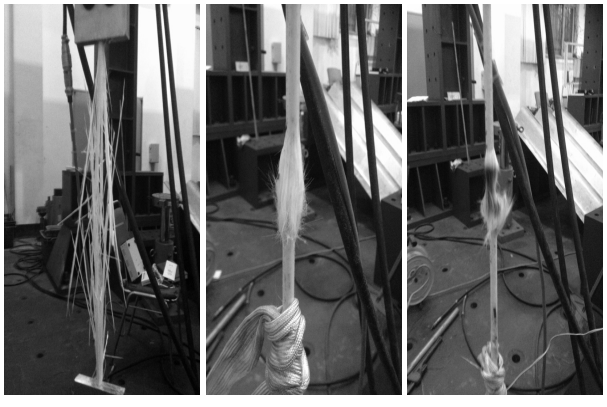


Fig. 5. Time-Temperature History for Tests



(a) Room Temp. (b) 120℃ (c) 200℃

Fig. 6. Failure Modes for AT Specimens

3. 실험결과 고찰

3.1 파괴형상

Fig. 6은 AT 시험체의 파괴모습을 나타내고 있다. 상온시험에서 보강근의 중앙부가 파단되며 전형적인 인장파괴의 모습을 확인할 수 있다. 또한, 고온에 노출된 시험체의 경우 파단부에 가열테이프를 감아서 고온에 노출시킨 부분과 일치하는 것을 확인할 수 있다. 특히 200℃ 노출 시험체의 경우 그림에서 확인할 수 있듯이 고온노출부의 보강근 표면이 검은색으로 변색된 것으로 확인할 수 있으며, 이 부분에서 보강근이 파단되었다. 반면, AF 시험체의 경우 대부분의 시험체의 파괴는 중앙부에서 발생하였다.

3.2 AT 실험결과

Fig. 7은 각 노출온도별 시험체의 평균 잔존인장강도와 잔존탄성계수를 나타내고 있다. 상온시험의 결과, 상온 시험체의 평균 인장강도와 인장탄성계수는 648MPa, 45GPa인 것으로 나타났다. 그러나 경미한 고온노출강도임에도 불구하고 노출온도가 증가할수록 상당한 인장강도의 감소가 확인되었다. 한편, 인장탄성계수의 경우 200℃노출과 300℃ 노출에도 불구하고 40GPa 이상으로 큰 감소는 발생하지 않았다. 인장강도의 표준편차는 최대 56MPa로 변동계

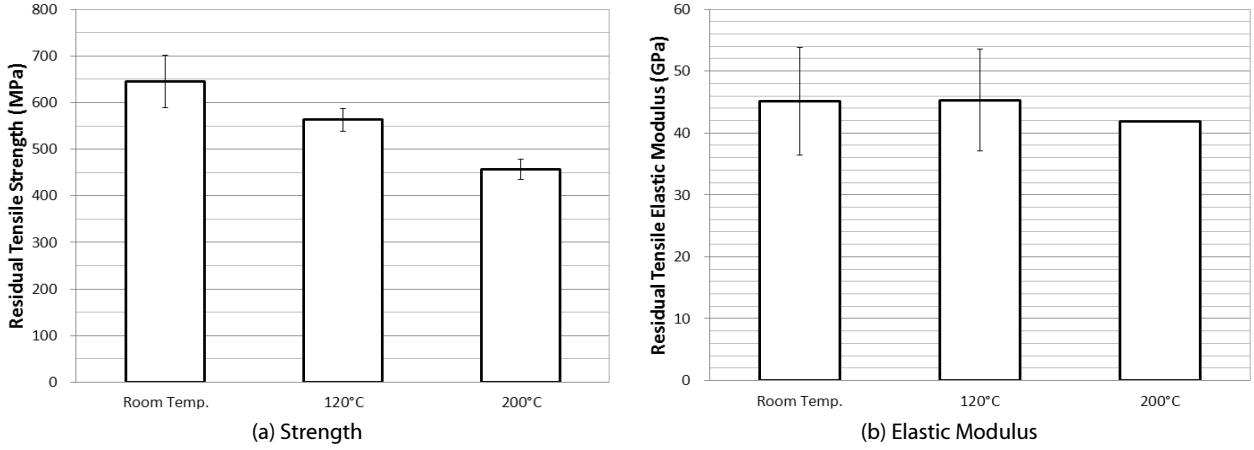


Fig. 7. Residual Tensile Properties Obtained from AT Test

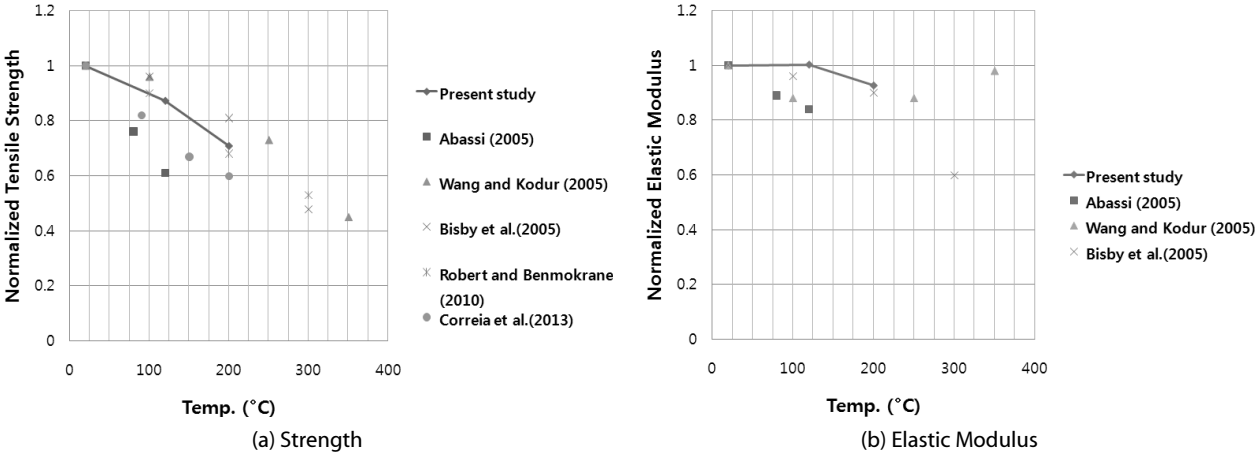


Fig. 8. Normalized Tensile Properties Obtained from AT Test

수가 10%를 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 탄성계수의 표준편차는 최대 약 9GPa로 변동계수가 약 20%에 달하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 AT 실험결과를 상온 시험체의 강도와 탄성계수로 나누어 바로 나타내었으며, Table 1에 제시된 타 연구자의 실험결과를 함께 나타내었다. 타 연구자의 실험결과와의 비교를 통해 본 실험의 적정성을 판단할 수 있다. 인장강도는 120°C에서 12%, 200°C와 300°C에서 약 27%의 감소가 발생하는 것으로 나타났다. 탄성계수의 경우, 120°C에서는 변화가 없으나, 200°C와 300°C에서 10% 이내의 감소가 확인되었다. Fig. 8(a)를 보면, 본 실험결과가 Robert and Benmokrane (2010)의 실험결과와 매우 유사한 강도저하 경향을 나타내고 있다. Bisby et al. (2005), Wang and Kodur (2005)의 연구결과와도 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 한편, Abbasi (2005)와 Correia et al. (2013)의 실험결과에서는 200°C 이내에서 매우 큰 강도저하를 나타내고 있다. Table 1에 제시된 보강근의 구성물질을 확인해 보면, Abbasi (2005)와 Correia et al. (2013)은 poly-ester가 레진으로 사용된 제품에 대한 실험을 수행하였으며, 그외 논문에서 시험한 보강근은 Vinyl-ester 레진으로 구성된 보강근임을 알 수 있다. 따라서 보강근에 사용된 레진의 종류에 따라 고온에서 강도감소 경향이 크게 달라지는 것을 확인할 수 있으며, poly-ester가 레진으로 사용된 경우 고온에서 강도의 저하가 큰 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8(b)는 탄성계수의 변화를 나타내고 있다. 탄성계수는 강도와 달리 120°C까지는 명확한 감소경향을 보이지는 않는다. 그러나 200°C와 300°C에서 약 10%의 감소가 나타났다. 타 연구자의 연구결과와 비교할 때, 탄성계수의 변화는 Bisby et al. (2005)의 실험결과와 유사한 것으로 나타났다. 강도와 마찬가지로 poly-ester가 사용되었을 때 탄성계수의 감소가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 종합할 때, 본 연구에서 고온상태의 실험결과는 적정하게 수행된 것으로 판단된다.

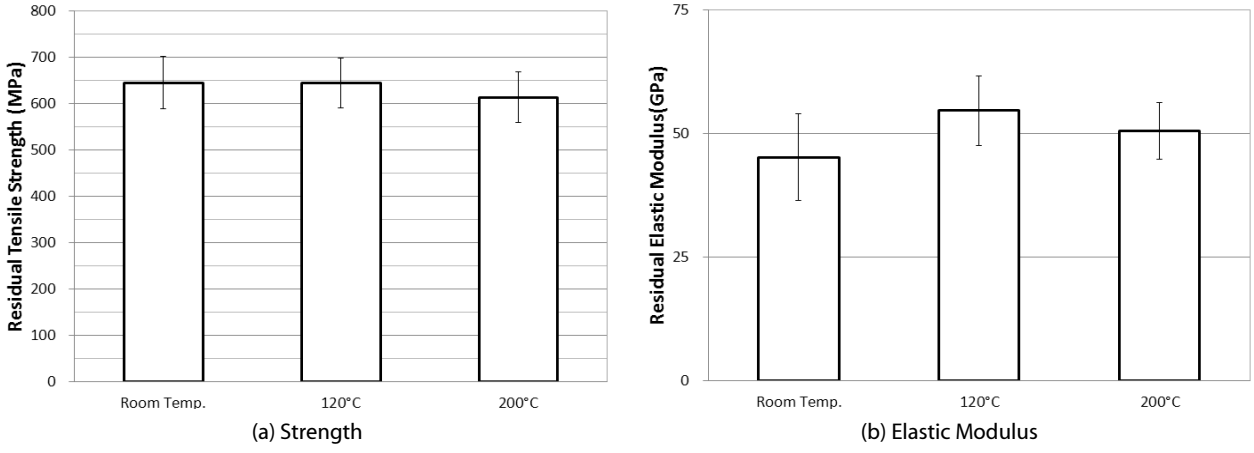


Fig. 9. Residual Tensile Properties Obtained from AF Test

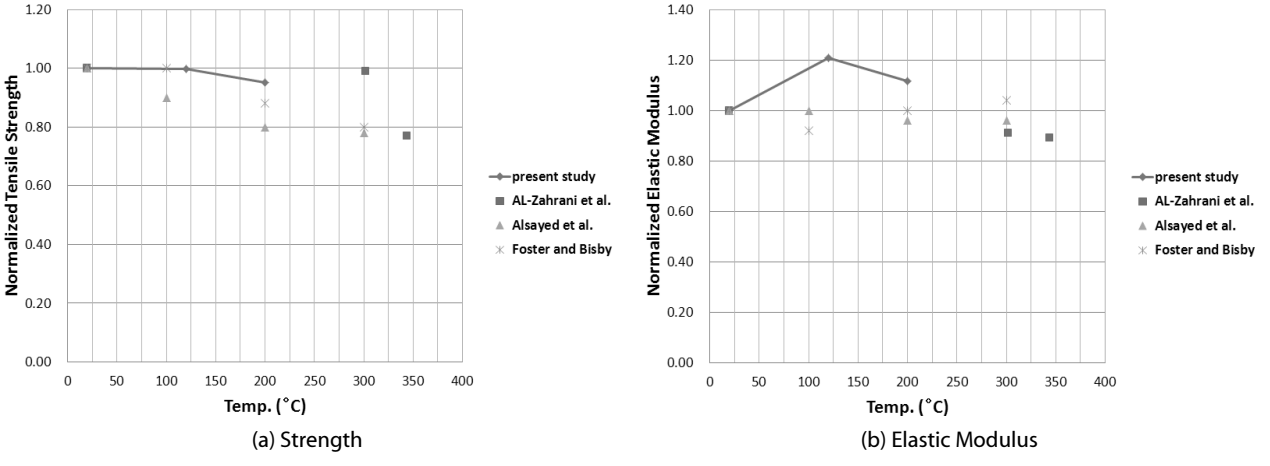


Fig. 10. Normalized Tensile Properties Obtained from AF Test

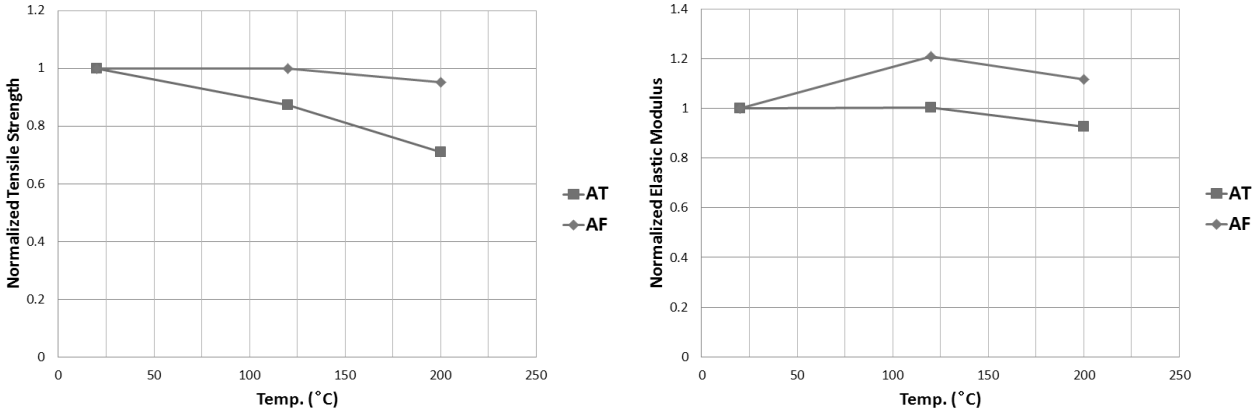
3.3 AF 실험결과

Fig. 9은 각 노출온도별 시험체의 평균 잔존인장강도와 잔존탄성계수를 나타내고 있다. 120°C 노출에서는 인장강도의 감소는 없으며, 탄성계수는 오히려 9GPa 증가하는 결과를 보였다. 200°C 노출에서도 인장강도의 감소는 약 30MPa로 매우 제한적으로 감소하였으며, 탄성계수는 여전히 상온에서의 탄성계수 보다 5GPa 큰 것으로 나타났다. AF 시험에서도 인장강도의 변동계수는 10%를 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 탄성계수의 변동계수는 약 20%로 나타났다.

Fig. 10은 실험결과를 상온시험체의 인장강도와 인장탄성계수로 나누어 비교하고 있으며, Table 1에 제시된 타 연구자의 실험결과도 함께 제시하고 있다. 인장강도는 120°C에서 0%, 200°C에서도 5% 미만의 감소가 발생하였다. 탄성계수의 경우, 120°C에서는 20%, 200°C에서 10% 증가하는 것으로 나타났다. 인장강도와 인장탄성계수 모두 타 연구자의 실험결과보다 고온노출에 의한 영향이 제한적으로 작용한 것으로 확인된다. 예를 들어 200°C에 노출된 보강근을 비교하면, Foster and Bisby (2005)의 실험에서는 약 10%, Alsayed et al. (2012)의 실험결과에서는 20% 감소가 발생하였다. Table 1의 고온노출조건에서도 확인할 수 있듯이 두 논문의 노출강도에는 큰 차이가 있다. 본 실험과 노출온도는 동일하지만 노출시간이 180분으로 60배 이상의 강도이다. 따라서, 이와 같은 차이는 본 연구에서 적용한 고온노출의 강도가 타 연구자의 고온노출조건에 비하여 상대적으로 경미하기 때문으로 해석될 수 있다. 본 실험의 결과를 통해 동일한 온도라 할지라도 GFRP 보강근이 받은 고온의 노출이력에 따라 고온노출 후 잔존강도 및 잔존탄성계수에는 큰 차이가 발생할 수 있다. 또한 노출강도가 본 실험과 같이 경미한 경우에는 강도와 탄성계수의 손실이 미미하다.

3.4 고온과 고온노출 후 성능저하 비교

Fig. 11은 AT실험과 AF실험을 비교하여 나타내고 있다. Fig.



(a) Strength (b) Elastic Modulus

Fig. 11. Comparisons of Residual Properties

11(a)의 강도결과를 살펴보면, 고온에서는 강도의 저하가 크게 나타나지만 이후 1일이 지난 후에는 강도가 회복되는 것을 확인할 수 있다. 120°C의 노출에서는 강도가 모두 회복되는 것으로 나타났으며, 200°C 노출에서는 25%의 강도회복이 발생하는 것으로 나타났다. 한편, Fig. 11(b)의 탄성계수의 경우에는 오히려 고온상태에서의 탄성계수 보다 고온노출 후의 탄성계수가 오히려 큰 것으로 나타났으나, 탄성계수 측정치의 변동계수가 다소 큰 것을 감안할 때, 이와 같은 결과는 고온노출 후에 탄성계수가 100% 회복되는 것으로 해석할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 고온상태에서와 고온노출후 GFRP 보강근의 인장성능을 비교하였다. 보강근의 고온노출 조건은 120°C, 200°C, 300°C에서 3분 이하로 타 연구자에 비하여 경미한 고온노출조건을 적용하여 실험하였다. 또한 각 실험의 결과는 타 연구자의 실험결과와 비교하여 실험의 적정성을 평가하였다. 실험결과 획득한 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 경미한 고온노출조건에도 불구하고 고온에서 GFRP 보강근의 인장성능은 명확한 감소를 나타내었다. 강도의 경우 120°C에서 12%, 200°C와 300°C에서 27% 감소하였으며, 탄성계수는 200°C와 300°C에서 약 10% 감소가 나타났다. 이와 같은 실험결과를 기존의 연구결과와 비교한 결과, Vinyl-ester를 사용한 GFRP 보강근의 고온에서의 강도변화와 거의 일치하는 것으로 확인하였다. 또한 이러한 분석을 근거로 본 실험의 적정성을 확인하였다.

(2) 동일한 고온노출조건에 노출된 후 1일이 경과한 시점에서 인장성능의 변화를 고찰한 결과, 잔존인장강도는 95% 이상이었으며, 잔존탄성계수도 100% 이상으로 확인되었다. 기존 연구자들의 실험결과와 비교하였을 때 그 영향이 미미한 것으로 확인되었다. 이와 같은 차이의 원인은 고온노출강도의 차이 때문으로 판단된다. 그러므로 본 실험과 같이 경미한 고온노출강도에 노출된 후 GFRP 보강근의 잔존 인장성능의 손실은 미미한 것으로 파악되었다.

(3) 고온과 고온노출 후 인장성능의 변화를 비교 분석한 결과, 200°C 이하의 온도에 3분 이하의 짧은 노출에도 고온에서 GFRP 보강근의 인장성능은 저하되지만 고온노출 후에는 시간경과에 따라 저하된 인장성능이 대부분 회복되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 화재로 손상 받은 GFRP 보강구조물의 상태평가에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2011-0014193).

References

Abbasi, A. and Hogg, P. J. (2005). “Temperature and environmental effects on glass fibre rebat : Modulus, Strength and Interfacial Bond Strength with Concrete.” *Compos : Part B*., Vol. 36, pp. 394-404.

Alsayed, S., Al-Salloum, Y., Almusallam, T., El-Gamal, S. and Aqel, M. (2012). “Performance of glass fiber reinforced polymer bars under elevated temperatures.” *Compos : Part B*., Vol. 43, pp. 2265-2271.

AL-ZAHRANI, M., AL-DULAIJAN, S. U., AL-IDI, S. H. and AL-METHEL, M. H. (2007). “High temperature effect on tensile strength of GFRP bars and flexural behavior of GFRP reinforced concrete beams.” FRPRCS-8, University of Patras. Patras. Greece.

Bisby, L. A., Green, M. F. and Kodur, V. K. R. (2005). “Response to fire of concrete structures that incorporate FRP.” *Prog. Struct. Engng Mater*., Vol. 7, pp. 136-149.

Bosze, E. J., Alawar, A., Bertschger, O., Tasai, Y. I. and Nutt, S. R. (2006). “High-temperature strength and storage modulus in uni-directional hybrid composites.” *Compos. Sci. Tech*., Vol. 66, pp. 1963-1969.

Correia, J. R., Gomes, M. M., Pires, J. M. and Branco, F. A. (2013). “Mechanical behaviour of pultruded glass fibre reinforced polymer composites at elevated temperature : Experiments and Model Assessment.” *Compos. Struct*., Vol. 98 pp. 303-313.

Foster, S. K. and Bisby, L. A. (2005). “High temperature residual properties of externally-bonded FRP systerms.” *Am. Concr. Inst*., Vol. ACI-SP230, No. 7, pp. 1235-1252.

Fu, Y. N., Zhao, J. and Li, Y. L. (2011). “Research on tensile mechanical properties of GFRP rebar after high temperature.” *Adv. Mater. Research*., Vol. 181-182, pp. 349-354.

Kashwani, G. A. and Al-Tamimi, A. K. (2014). “Evaluation of FRP bars performance under high temperature.” *Phys. Procedia*., Vol. 55, pp. 296-300.

Kumahara, S., Masuda, Y., Tanano, H. and Shimizu, A. (1993). “Tensile strength of continuous fiber bar under high temperature.” *Spec. Publ*., Vol. 138, pp. 731-742.

Robert, M. and Benmokrane, B. (2010). “Behavior of GFRP reinforcing bars subjected to extreme temperatures.” *J. Compos. Constr*., Asce., pp. 353-360.

Saafi, M. (2002). “Effect of fire on FRP reinforced concrete members.” *Compos. Struct*., Vol. 58, pp. 11-20.

Wang, Y. C. and Kodur, V. (2005). “Variation of strength and stiffness of fibre reinforced polymer reinforcing bars with temperature.” *Cem. Concr. Compos*., Vol. 27, pp. 864-874.

Weber, A. (2008). “Fire-resistance tests on composite rebars.” 4th Int. Conf. FRP Compos. Civ. Eng. (CICE 2008), Zurich, Switzerland.