



## FRP 보강근의 계면전단강도에 대한 임계온도와 노출시간의 영향

문도영 <sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>경성대학교 토목공학과

### Critical Temperature for Inter-Laminar Shear Strength and Effect of Exposure Time of FRP Rebars

Do-Young Moon <sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Kyungsung University, Busan 608-736, Korea

**ABSTRACT** Short beam tests of GFRP and CFRP specimens exposed to high temperature were conducted to measure the inter-laminar shear strength. For the phase I test, the exposure time and temperature were varied to measure reduction in the strength due to the applied conditions. As a results, the critical temperature was found to 270 °C for the both FRP reinforcements. The high temperature, which causes 50% loss of inter-laminar shear strength, is defined as the critical temperature in this study. It should be noted that the critical temperature for the inter-laminar shear strength is mainly dependent on resin properties not on fiber type. In the phase II test, the effect of exposure time was investigated at intervals of 0.25hour for the critical temperature. All test results demonstrate that the exposure time effect is not significant compared to the maximum exposure temperature, but it is not negligible and, moreover, is significant at the critical temperature.

**Keywords** : critical temperature, exposure time, inter-laminar shear strength, GFRP, CFRP

#### 1. 서 론

섬유복합체 보강근(이하 FRP 보강근)의 인장성능은 보강근을 구성하는 섬유의 인장특성에 좌우된다. 이는 보강근을 구성하는 섬유의 우수한 인장성능 때문이며, GFRP와 CFRP 보강근의 인장강도는 SD400 철근 항복강도의 2배에서 5배에 달한다. 그러나 섬유복합체 보강근을 구성하는 또 다른 재료인 레진 매트릭스가 섬유를 보호하고 섬유간의 하중전달을 담당하므로 설계인장성능을 발휘하기 위해서는 섬유와 레진매트릭스간의 계면부착성능이 매우 중요하다. 더욱이 FRP 보강근은 콘크리트의 강알칼리로 인한 FRP 섬유복합체 구성성분의 용해와 수분 침투로 인한 부풀림(swelling) 등에 의하여 섬유와 레진간의 부착성능의 약화(weakening), 계면박리(delamination)등이 발생할 수 있으며, 이는 보강근의 인장성능 뿐 아니라 휨 및 전단성능에 종합적으로 영향을 미친다. FRP 보강근의 인장강도뿐 아니라 계면전단강도에 대한 연구가 활발히 진행되는 것도 이것 때문이다.

고온 노출된 FRP 보강근의 인장성능저하는 이미 수많은 실험적 연구를 통해 보고되었으며, 강도저하의 원인은 레진매트릭스의 낮은 유리전이온도 때문인 것으로 알려져 있다.<sup>1-8)</sup> Robert and Benmokrane<sup>9)</sup>은 -100°C ~ 320°C 범위에서 GFRP 보강근의 휨, 전단 및 인장성능의 변화를 고찰하였다. 유리전이 온도 이상의 온도에서 모든 강도(휨, 전단 및 인장강도)의 저하가 나타났으며, 온도증가에 따라 선형적인 감소의 경향을 나타내었다. 인장강도는 약 320°C에서 상온(25°C) 강도의 50%가 손실되는 것으로 나타났다. 전단강도는 200°C ~ 250°C 범위에서, 휨강도는 100°C ~ 150°C 범위에서 상온강도의 50%에 도달하는 것으로 나타났다. 그러나 계면전단강도에 대한 연구는 수행되지 않았다. 전술한 바와 같이 콘크리트 환경에서 약화된 계면전단강도가 고온 노출로 인해 심화될 수 있기 때문에 고온으로 인한 계면전단강도의 변화에 대한 관찰과 이해가 필요하다.

한편, 구조재료가 화재 등으로 고온에 노출되었을 때, 손상의 평가를 위해서는 노출온도의 수준도 중요하지만, 노출시간도 매우 중요하다. 낮은 온도라 할지라도 오랫동안 지속될 경우 예기치 않은 큰 변형과 손상을 유발시킬 수 있기 때문이다. FRP 보강근과 같이 고온에 취약한 재료인 경우에는 더욱 그러하다.<sup>9)</sup>

\*Corresponding author E-mail : dymoon@ks.ac.kr  
 Received August 4, 2012, Revised October 5, 2012,  
 Accepted October 25, 2012  
 ©2013 by Korea Concrete Institute

이 연구에서는 고온에 노출된 탄소섬유(이하 CFRP)보강근과 유리섬유(이하 GFRP)보강근의 계면전단강도의 저하를 노출온도의 수준과 노출시간에 대하여 평가하고자 하였으며, 각 보강근 상온강도의 50%의 강도저하를 발생시키는 노출온도 및 노출시간을 임계온도로 정의하고 이를 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 개요

이 연구에서는 노출온도와 노출시간의 영향을 고찰하기 위하여 계면전단강도 실험을 2차에 걸쳐 수행하였다. 1차 실험으로서, 노출온도 수준에 따른 계면전단강도의 변화를 고찰한 후, 상온에서 계면전단강도의 50%의 손실을 발생시키는 임계온도를 도출하였다. 2차 실험으로서 임계온도에서 노출시간을 달리하여 추가적인 시험을 수행하였으며 그 결과를 통해 노출시간에 대한 영향을 집중적으로 관찰하였다. 1차 및 2차 실험의 고온노출조건은 Table 1과 같다. 각 시편은 고온전기로서 지정된 온도와 시간동안 고온에 노출되었다. 고온전기로서는 100℃ ~ 1000℃ 범위의 실험이 가능한 전기로서이다.

일반적인 철근콘크리트 부재의 내화설계에서는 보강근의 인장강도가 상온강도의 50%에 도달하는 온도를 임계온도로 설정하고 피복두께를 조절하여 화재시 보강근의 온도를 임계온도 이하로 제한하는 개념을 사용하고 있다. Wang and Kodur<sup>1)</sup>은 이와 같은 내화설계 개념을 FRP 보강근에 확장하여 적용하였다. FRP 보강근의 온도 수준에 따른 인장강도 실험에서 상온강도의 50%의 강도저하를 발생시키는 온도를 임계온도로 정의하였으며, CFRP는 250℃, GFRP는 325℃가 임계온도라고 제시하였다. 이

Table 1 Details of test parameters

|         | Exposure temp. (°C)        | Exposed time (hr)  |
|---------|----------------------------|--|
| Control | 15                         | -  |
| Test 1  | 100, 150, 200, 250, 300    | 0.5, 1, 2, 4   |
| Test 2  | Critical temp. from test 1 | 0.75, 1.25, 1.5, 1.75, 2.25, 2.5, 2.75, 3, 3.25, 3.5, 3.75 |



Fig. 1 Test for verification of electric chamber

연구에서도 계면전단강도에 대한 임계온도로서 동일한 정의를 사용하였다. 계면전단강도는 레진성능에 지배되는 만큼 동일한 정의를 사용하였을 때, 임계온도의 수준에 따라 계면전단강도의 임계온도가 더 큰 의미를 지닐 수도 있다. 동일한 조건에 대하여 5개의 시편을 실험하였으며, 모든 결과는 평균 결과이다.

### 2.2 고온 노출

고온 노출 온도수준과 시간에 대한 면밀한 분석을 위하여 고온 전기로서 검증 실험을 수행하였다. 전기로서 용량과 성능에 따라 사용자가 설정한 온도에 이르는 시간이 다르며, 설정한 온도의 안전정인 유지 여부가 보강근의 강도에 큰 영향을 미칠 수도 있기 때문이다. 더욱이, 전기로서 외부 디지털 인디케이터에 표시되는 온도는 보강근이 놓이는 위치의 실제 노출온도와 차이가 있을 수 있다. 이와 같은 전기로서 표시온도와 실제 노출온도 차이는 실험 결과의 해석에 큰 오류를 발생시킬 수 있기 때문에 보강근이 놓이는 위치의 온도를 열전대를 사용하여

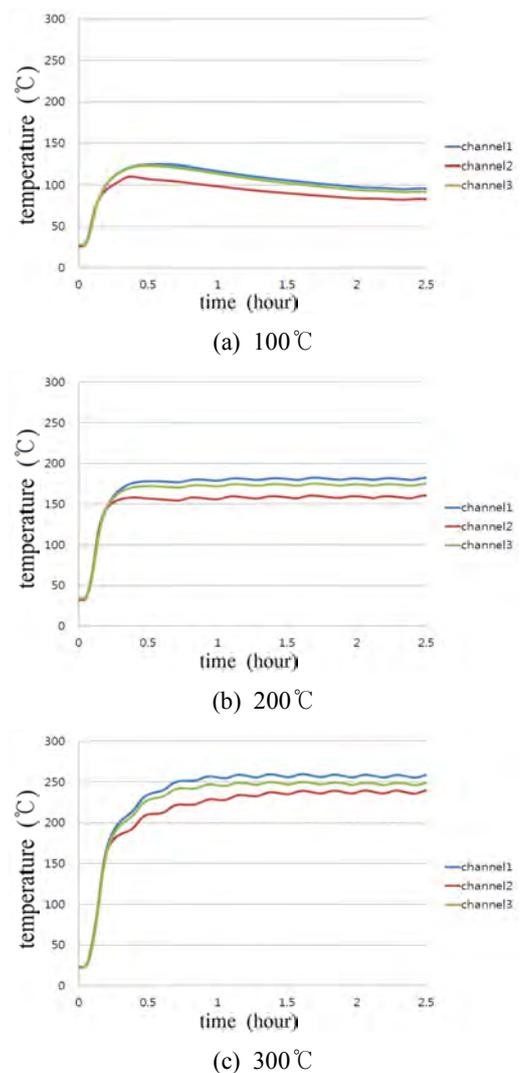


Fig. 2 Temperature history at the location where the FRP specimens shall be placed

시간에 따라 계측하였다. Fig. 1은 전기로 검증 실험 장면을 나타내고 있으며, Fig. 2는 전기로 설정온도 100℃, 200℃, 300℃일 때, 보강근 노출 위치의 온도변화를 나타내고 있다.

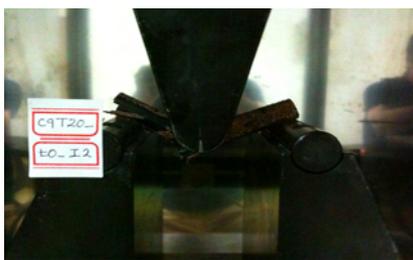
Fig. 2의 Channel 1은 챔버 바닥면의 왼편, Channel 2와 Channel 3은 중앙과 오른편을 나타낸다. 그림과 같이 위치에 따라 온도차이가 있음을 확인할 수 있으며, 특히, 중앙부의 온도는 설정온도와 큰 차이를 나타내고 있다. 설정온도에 도달하기 위한 온도 상승시간은 설정온도에 따라 차이가 있지만 약 1시간 이상이 소요되는 것을 알 수 있으며, 보강근이 놓이는 바닥 중앙부의 온도는 설정온도와 약 20℃~60℃의 차이를 나타내고 있다. 따라서, 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 노출온도 100℃, 150℃, 200℃, 250℃ 및 300℃에 해당하는 전기로의 실제 설정온도는 120℃, 170℃, 230℃, 280℃ 및 340℃로 하였으며, 보강근을 챔버에 넣기 전에 각 설정온도에서 1시간 이상 예열 상태를 유지한 후 보강근을 넣고 실험을 시작하였다. Fig. 3은 보강근의 전기로 노출실험 장면을 나타내고 있다.

### 2.3 계면전단강도 실험 방법

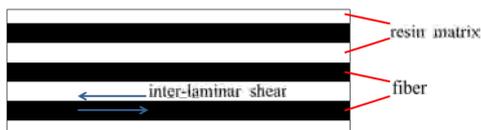
계면전단강도 실험은 ASTM D4475-02R08의 기준에



Fig. 3 High temperature exposure in chamber



(a) Short beam test



(b) Inter-laminar shear stress



(c) The failed specimen by inter-laminar shear

Fig. 4 Test method for Inter-laminar shear strength

의하여 Fig. 4(a)와 같이 수행되었다. Fig. 4(b)에는 실험 과정에서 FRP 보강근의 내부 응력상태를 모식화하여 나타내고 있다. 섬유와 레진의 계면에는 하중에 의한 계면 전단강도가 작용하게 되며, 이와 같은 작용에 의하여 Fig. 4(c)와 같은 계면전단에 의한 파괴가 발생한다. 이 실험 방법은 섬유복합체의 섬유와 레진간의 부착강도를 실험적으로 규명하는 실험 방법으로 널리 사용되고 있다. 각 시편은 직경의 8배(=76 mm)로 절단된 상태에서 전기로에서 고온에 노출된 후 0.5시간 이내에 가력되었다. 하중가력시 시편의 순경간은 기준에 따라 직경의 5(=47.5 mm) 배로 하였다. 계면전단강도는 식 (1)에 의하여 계산되었다.<sup>10)</sup>

$$f_s = 0.849 \frac{P_s}{d_n^2} \quad (1)$$

여기서,  $f_s$ 는 계면전단강도(MPa),  $P_s$ 는 시험최대하중(N)과  $d_n$ 은 시험편의 공칭직경을 의미한다.

### 2.4 FRP 보강근

이 실험에서 사용된 FRP 보강근은 Fig. 5와 같이 거친 표면을 갖는 유리섬유와 탄소섬유 보강근이다. 직경은 표면재료를 포함한 외경과 코어부의 내경을 측정한 후 평균하였으며, 9.5 mm로 나타났다. 콘크리트 구조물의 성능보장을 위해 주로 사용되며, 사용된 레진매트릭스는 비닐에스터이다. GFRP 및 CFRP를 구성하고 있는 레진의 유리전이 온도를 고찰하기 위하여 시차주사열량을 측정하였으며, Fig. 6과 같은 결과를 획득하였다. 제시된 자료와 같이 유리전이 온도는 약 120℃인 것으로 나타났다.

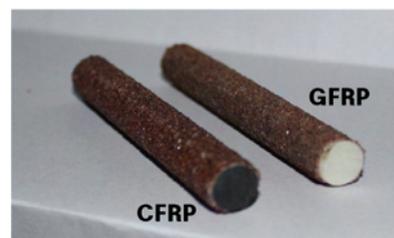


Fig. 5 The used FRP reinforcements

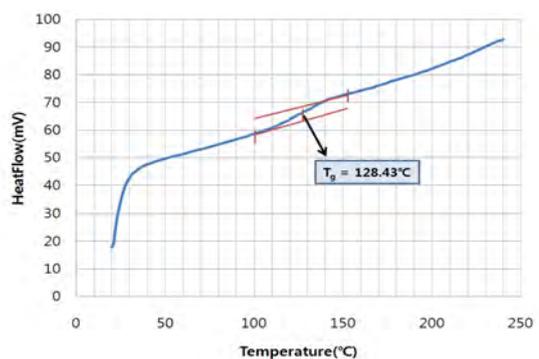


Fig. 6 DSC result for resin matrix

### 3. 실험 결과 및 고찰

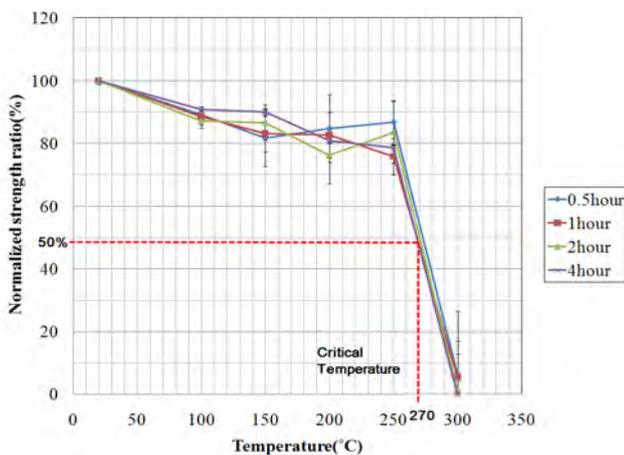
#### 3.1 GFRP 보강근

##### 3.1.1 노출온도의 영향 및 임계온도

GFRP 보강근의 1차 실험 결과는 Table 2와 같다. 상온인 20°C에서 GFRP 보강근의 계면전단강도는 평균 65.15 MPa인 것으로 나타났으며, 표준편차와 변동계수는 0.5 MPa과 1%로 나타났다. 노출온도의 증가에 따라 계면전단강도의 감소가 나타났다. 상대적 비교를 위하여 그래프에는 강도비를 나타내었다. 강도비는 고온에 노출된 시편의 평균계면전단강도를 상온에서의 계면전단강도로 나누어 계산하였다. Fig. 7은 노출온도 수준에 따른 강도비를 노출시간별로 나타내고 있다. 노출온도가 100°C에서 250°C까지는 점진적인 강도의 감소가 나타났다. 250°C

**Table 2** Summary of Test 1 results for GFRP

| Temp. | 0.5hr      |            |      | 1hr        |            |      |
|-------|------------|------------|------|------------|------------|------|
|       | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. |
| 100°C | 58.10      | 0.73       | 0.01 | 57.71      | 1.54       | 0.03 |
| 150°C | 53.20      | 4.82       | 0.09 | 54.12      | 3.07       | 0.06 |
| 200°C | 55.27      | 5.97       | 0.11 | 53.82      | 3.98       | 0.07 |
| 250°C | 56.56      | 3.97       | 0.07 | 49.39      | 2.90       | 0.06 |
| 300°C | 4.20       | 0.28       | 0.07 | 3.52       | 0.41       | 0.12 |
| Temp. | 2hr        |            |      | 4hr        |            |      |
|       | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. |
| 100°C | 56.81      | 1.35       | 0.02 | 59.15      | 1.74       | 0.03 |
| 150°C | 56.47      | 3.22       | 0.06 | 58.70      | 3.98       | 0.07 |
| 200°C | 49.62      | 4.36       | 0.09 | 52.74      | 7.17       | 0.14 |
| 250°C | 54.45      | 5.37       | 0.10 | 51.23      | 4.16       | 0.08 |
| 300°C | 0.76       | 0.19       | 0.25 | 0.00       | 0.00       | 0.00 |

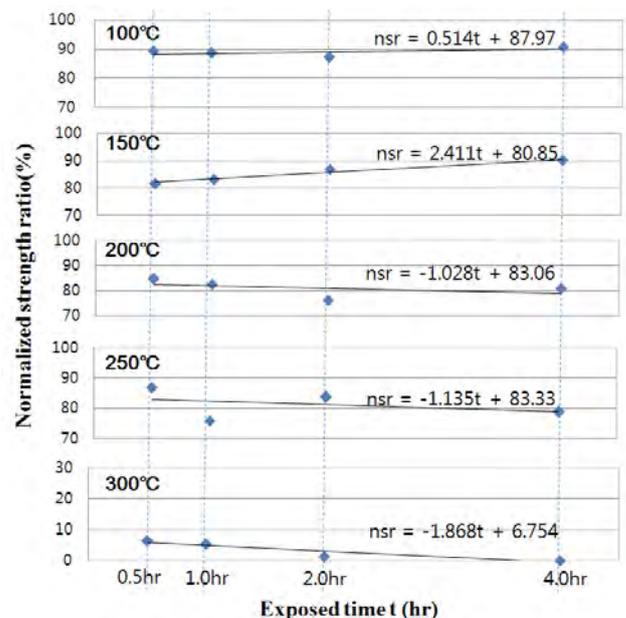


**Fig. 7** The effect of exposure temperature and critical temperature for GFRP

에서 노출시간에 따라 약간의 차이가 있으나, 최대 24%의 강도저하가 발생하는 것을 알 수 있다. 노출온도가 300°C의 경우에는 90% 이상의 강도저하가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 250°C~300°C 범위에서 급격한 강도의 저하를 나타내며, 상온 강도에 대하여 50%의 강도저하를 발생시키는 임계온도는 약 270°C인 것으로 평가할 수 있다.

##### 3.1.2 노출시간의 영향

노출시간의 영향은 Fig. 8에 나타내었다. 각 노출온도에 대하여 노출시간에 따른 강도의 변화를 나타내고 선형회귀선 추세를 추가하였다. 노출온도 100°C와 150°C의 경우에는 시간의 증가에 따라 오히려 강도가 증가하는 양상을 나타낸다. 이는 post curing 효과에 의한 것으로 설명될 수 있다. 폴리머간의 크로스링크(cross link)가 임계온도 이하의 노출로 인하여 증가하면서 오히려 강도가 증가하는 현상을 의미하며 Robert and Benmokrane<sup>9)</sup>의 실험 결과에서도 확인할 수 있다. 강도 감소는 그 이상의 온도에서 나타나며, 노출온도가 증가할수록 추세선의 경사가 커지는 것을 확인할 수 있다. 추세선에 표시된 1차식의 기울기로부터 명확한 감소의 양상을 확인할 수 있다. 그러나 임계온도를 초과하는 300°C에서는 시간의 영향에 대한 고찰이 무의미한 것으로 판단된다. 왜냐하면 0.5시간의 노출에도 약 90%의 강도손실이 발생하기 때문이다. 이는 임계온도를 초과하는 온도에 의해서 매우 짧은 노출에도 불구하고 레진의 연약화가 급격하게 발생되어 매트릭스로서의 성능을 심대하게 상실했기 때문이다. 200°C의 경우에는 노출시간 증가로 최대 8.7%, 250°C의 경우 최대 11%의 강도감소가 발생한다. 전장에서 고찰한



**Fig. 8** The effect of exposure time for GFRP obtained from Test 1

바와 같이 노출온도의 영향으로 최대 24%의 강도감소가 있었음을 감안할 때, 노출온도 증가로 인한 8.7%~11%의 강도감소는 온도의 영향 보다 지배적이진 않지만 무시할 수준은 아니다.

다만, Table 2에 제시된 바와 같이 계면전단강도 측정치 변동계수가 10%를 상회하고 있음을 감안할 때, 노출시간에 대한 영향을 더욱 명확하게 분석하기 위해서는 노출시간 범위를 좀 더 세분화하는 것과 더 많은 수의 시편을 통한 실험적 연구가 필요하다고 판단된다. 따라서 이 연구에서는 임계온도에서 노출시간에 대한 영향을 명확하게 고찰하기 위한 2차 실험을 추가적으로 수행하였다.

### 3.1.3 임계온도에서 노출시간에 따른 영향

Fig. 9는 2차 실험의 결과, 즉, 임계온도(=270℃)에 다양한 노출시간 동안 노출된 CFRP 보강근의 계면전단강도비의 변화를 나타내고 있다. 실험 결과에 따르면, 임계온도 270℃에서 0.5 hr 동안 노출되었을 때, 40%~50%의 강도저하가 나타나지만, 동일한 온도에서 4hr 노출되면 약 30% 정도의 추가적인 강도 저하가 나타났다. 따라서 동일한 온도라도 노출시간에 따라서 약 30%의 강도차이가 발생할 수 있다는 결과이다. 3.1.2장과 3.1.3장의 결과를 종합해보면, 노출시간의 영향은 임계온도를 초과하는 경우에는 강도의 저하가 너무 심각하여 큰 의미가 없다. 200℃~250℃ 온도범위에서는 4시간의 노출시간 증가로 인하여 약 8%에서 11%의 추가적인 강도저하가 발생하는 것을 알 수 있다. 주목할 것은 노출시간의 영향은 임계온도하에서 심화되는 것을 알 수 있으며 그 영향은 35%에 달하는 것을 확인하였다.

## 3.2 CFRP 보강근

### 3.2.1 노출온도의 영향 및 임계온도

CFRP 보강근의 1차 실험 결과는 Table 3과 같다. 상온인 20℃에서 CFRP 보강근의 계면전단강도는 평균 57.98 MPa

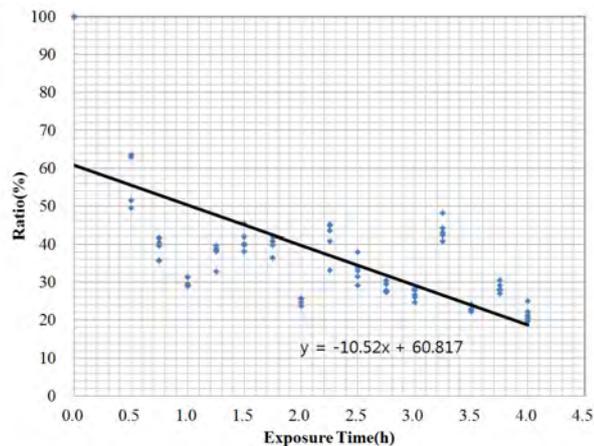


Fig. 9 The effect of exposure time for GFRP obtained from Test 2

인 것으로 나타났으며, 표준편차와 변동계수는 4.83 MPa 과 8%로 나타났다. 실험 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 고온노출에 의한 강도저하의 양상은 GFRP의 경우와 유사하다. 다만, 300℃에서의 측정치 변동계수가 모든 노출시간에 대하여 17%~25% 이상으로 매우 크게 나타났다. CFRP의 결과에서도 300℃에서의 변동계수가 가장 크게 나타났다. 큰 변동계수의 원인은 고온노출이 완료된 후 전단강도 시험 전까지의 외적조건이 실험 결과에 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다. 외적조건이라함은 고온 노출후 계면전단강도 실험전까지의 방치시간, 대기 온도 및 습도 등을 의미한다. 중요한 것은 이와 같은 외적요인이 300℃ 이하에서는 영향이 제한적이었지만, 300℃의 경우에는 급격한 성능저하로 인하여 그 영향을 무시할 수 없는 것으로 판단된다.

CFRP 보강근의 임계온도는 270℃로 GFRP와 동일한

Table 3 Summary of Test 1 results for CFRP

| Temp. | 0.5hr      |            |      | 1hr        |            |      |
|-------|------------|------------|------|------------|------------|------|
|       | Mean (MPa) | Std (MPa)  | Cov. | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. |
| 100℃  | 55.32      | 2.62       | 0.05 | 52.93      | 3.91       | 0.07 |
| 150℃  | 54.03      | 3.33       | 0.06 | 54.81      | 3.33       | 0.06 |
| 200℃  | 49.80      | 4.32       | 0.09 | 51.37      | 4.75       | 0.09 |
| 250℃  | 56.32      | 2.58       | 0.05 | 49.74      | 4.14       | 0.08 |
| 300℃  | 5.33       | 1.19       | 0.22 | 0.60       | 0.15       | 0.25 |
| Temp. | 2hr        |            |      | 4hr        |            |      |
|       | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. | Mean (MPa) | Std. (MPa) | Cov. |
| 100℃  | 56.93      | 2.95       | 0.05 | 57.50      | 3.96       | 0.07 |
| 150℃  | 55.66      | 3.26       | 0.06 | 56.67      | 2.07       | 0.04 |
| 200℃  | 48.22      | 6.93       | 0.14 | 46.54      | 4.66       | 0.10 |
| 250℃  | 48.22      | 4.38       | 0.09 | 46.55      | 2.36       | 0.05 |
| 300℃  | 0.60       | 0.12       | 0.21 | 1.22       | 0.21       | 0.17 |

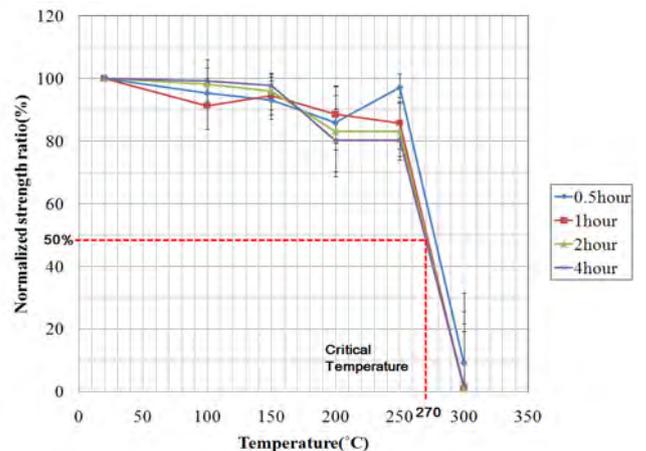


Fig. 10 The effect of exposure temperature and critical temperature for CFRP

온도에서 전단강도의 50%가 손실되는 것으로 나타났다. 이는 실험 결과가 섬유 종류와는 무관하다는 것을 나타내고 있다. 한편, 전술한 바와 같이 인장성능에 관한 임계온도는 섬유 종류에 따라 CFRP는 250°C, GFRP는 325°C로 다르게 제시하고 있다. 따라서, 이와 같은 실험 결과로부터 계면전단강도는 섬유의 종류 보다는 보강근에 사용된 레진성능이 계면전단강도를 지배한다고 판단된다.

### 3.2.2 노출시간의 영향

노출시간의 영향을 Fig. 11에 나타내었다. GFRP 보강근과 거의 유사한 경향을 나타내었다. 150°C까지는 노출시간의 증가로 인한 강도저하는 발생하지 않았고, 보다 높은 온도에서 강도저하를 나타내는 것으로 나타났다. 추세선으로부터 추정하면, 동일한 200°C, 250°C, 300°C의 노출에서 노출시간이 0.5 hr에서 4 hr로 증가하면, 7%, 13%, 4%의 추가적인 강도의 손실이 각각 발생한다. 임계온도에 근사한 250°C의 온도에서 노출시간의 영향이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

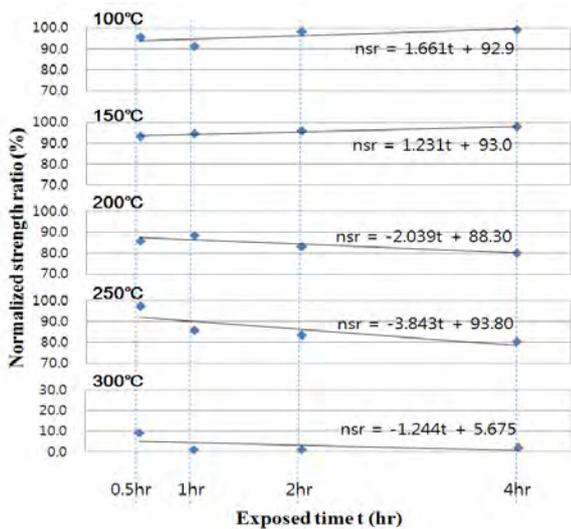


Fig. 11 The effect of exposure time for CFRP obtained from Test 1

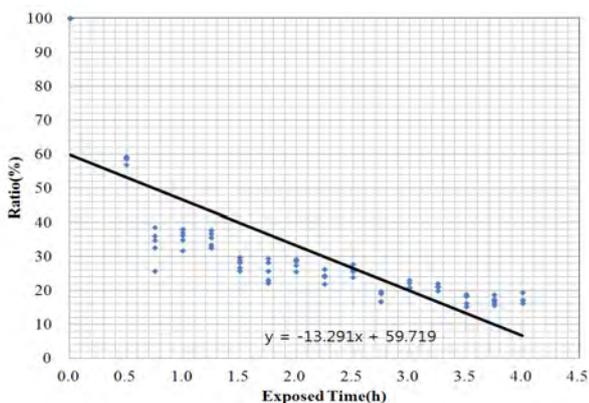


Fig. 12 The effect of exposure time for CFRP obtained from Test 2

### 3.2.3 임계온도에서 노출시간에 따른 영향

Fig. 12는 임계온도하에서 노출시간의 영향을 나타내고 있다. 임계온도에서 약 1 hr 노출시 강도의 50%의 손실이 나타남을 알 수 있다. 동일한 온도라 할지라도 노출시간의 증가에 따라 약 35% 이상의 급격한 강도저하가 나타남을 확인할 수 있다. 전반적인 경향은 GFRP 보강근의 결과와 크게 다르지 않다. 따라서, 임계온도에 근접한 온도 조건하에서는 노출시간의 영향도 무시할 수 없음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 고온에 노출된 GFRP 보강근과 CFRP 보강근의 계면전단강도의 변화를 고찰하였다. 다른 실험적 연구와 구분되는 것은 계면전단강도의 50% 손실이 발생하는 임계온도를 고찰하였다는 것과 노출시간에 대한 영향을 고찰하였다는 것이다. 특히, 임계온도하에서 노출시간에 대한 영향을 0.25 hr 간격으로 면밀하게 고찰하였다. 이 실험적 연구를 통해 획득한 결론은 다음과 같다.

- 1) 이 연구에서 사용된 거친 표면을 갖는 GFRP와 CFRP 보강근의 계면전단강도에 대한 임계온도는 270°C로 동일하게 확인되었다. 인장강도에 대한 임계온도가 섬유 종류에 따라 달리 나타나는 반면 계면전단강도는 섬유 종류에 무관한 결과를 나타내었다. 따라서, FRP 보강근의 계면전단강도는 섬유의 종류 보다는 레진의 성능에 의하여 지배됨을 알 수 있다.
- 2) 300°C 이상의 노출온도에서 단 0.5 hr의 노출에도 강도저하가 90% 이상 발생하기 때문에 임계온도를 초과하는 온도하에서 노출시간의 영향은 그 의미가 크지 않다. 150°C 이하의 온도에서도 노출시간의 영향은 나타나지 않았다. 200°C와 250°C의 온도하에서 노출시간만의 영향으로 약 10%의 추가적인 강도손실이 나타났으며, 온도의 영향으로 약 20%의 강도손실이 발생함을 감안할 때, 무시할 수는 없는 수준이라고 판단된다.
- 3) 임계온도하에서는 0.5 hr~4 hr의 범위내에서 노출시간의 영향이 상당히 증대해지는 것을 확인하였다. 즉, 동일한 임계온도에 노출되었다 하더라도 0.5 hr에서 4 hr으로 노출시간이 증가할 때, 약 35%의 추가적인 강도저하가 발생할 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

이 논문은 2010학년도 경성대학교 신임교수정착연구비에 의하여 연구되었다.

## 참고문헌

1. Wang, Y. C. and Kodur, V. K. R., "Variation of Strength and Stiffness of Fibre Reinforced Polymer Reinforcing Bars with Temperature," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, Issues 9-10, 2005, pp. 864-874. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.03.012>)
2. Blontrock, H., Taerwe, L., and Matthys, S., "Properties of Fiber Reinforced Plastics at Elevated Temperatures with Regards to Fire Resistance of Reinforced Concrete Members," *In: Fourth International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Baltimore, American Concrete Institute, 1999, pp. 43-54.
3. Saafi, M., "Effect of Fire on FRP Reinforced Concrete Members," *Composite Structures*, Vol. 58, Issue 1, 2002, pp. 11-20. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00045-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00045-4))
4. Bisby, L. A. and Kodur, V. K. R., "Evaluating The Fire Endurance of Concrete Slabs Reinforced with FRP Bar: Considerations for a Holistic Approach," *Composites: Part B*, Vol. 38, No. 5-6, 2007, pp. 547-558. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.07.013>)
5. Robert, M. and Benmokrane, B., "Behavior of GFRP Reinforcing Bars Subjected to Extreme Temperature," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 14, No. 4, 2010, pp. 353-360. (doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000092](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000092))
6. Moon, D. Y. and Oh, H. S., "The Combined Effect of Concrete Environment and High Temperature on Interlaminar Shear Strength of FRP Reinforcement," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 6, 2011, pp. 749-756.
7. Oh, H. S. and Moon, D. Y., "A Degradation Characteristic of FRP Rebars Attacked by Combined Environmental Factors," *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, Vol. 16, No. 3, pp. 1-10.
8. Ai-Zaherani, M. M., Al-Dulaijan, S. U., Al-Idi, S. H., and Ai-Mehthel, M. H., "High Temperature Effect on Tensile Strength of GFRP Bars and Flexural Behavior of GFRP Reinforced Concrete Beams," *FRPRCS-8*, Patras, Greece, 2007.
9. Moon, D. Y., "Simplified Evaluation Method for Residual Bond Strength of Reinforced Concrete Using Standard Fire Curve," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 5, 2010, pp. 41-47.
10. ASTM D 4475-2, *Standard Test Method for Apparent Horizontal Shear Strength of Pultruded Reinforced Plastic Rods by the Short-Beam Method*, ASTM International, PA, 2008, pp. 1-4.

**요 약** 고온에 노출된 GFRP와 CFRP 보강근의 단시간보 실험을 통해 계면전단강도를 측정하였다. 1차 실험으로서, 노출시간과 온도를 변수로 하였으며, 적용된 고온 조건하에서 강도의 변화를 고찰하였다. 1차 실험의 결과로부터 두가지 보강근에 대하여 임계온도가 270℃로 동일한 것을 확인하였다. 이 연구에서 임계온도는 상온에서의 계면전단강도의 50%의 손실을 발생시키는 온도로 정의하였다. 계면전단강도에 대한 임계온도는 섬유 종류가 아닌 레진이 성능에 지배된다는 것이다. 2차 실험에서는 임계온도하에서 0.25시간의 간격으로 노출시간에 대한 영향을 고찰하였다. 모든 실험 결과로부터, 노출시간의 영향은 노출온도에 비하여 그 영향이 크진 않지만 무시할 정도는 아닌 것으로 나타났다. 더욱이, 그 영향은 임계온도하에서 매우 중대함을 확인하였다.

**핵심용어** : 임계온도, 노출시간, 계면전단강도, GFRP, CFRP