

## 콘크리트에 표면매입 보강된 탄소섬유 판의 온도에 따른 부착성능

### Bond Capacity of Near-Surface-Mounted CFRP Plate to Concrete Under Various Temperatures

서수연<sup>1)\*</sup>      김정훈<sup>2)</sup>  
Soo-Yeon Seo      Jeong-Hun Kim

#### Abstract

This paper presents a series of test result in order to study fire resistance capacity of the Near-Surface-Mounted (NSM) Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) plate, which are tensile test of CFRP under various temperature loading, temperature loading test of epoxy and bond test of NSM CFRP to concrete under various temperature loading.

From the tests, it was found that NSM retrofit method had high efficiency in strengthening concrete under ordinary temperature. However, the strength of the system was able to be drastically decreased even a little increase of surrounding temperature. Especially, bond capacity begins to disappear when the surrounding temperature approaches the glass transition temperature of epoxy. Therefore, it is necessary to improve the fire resistance capacity of both fiber reinforced polymer reinforcement and epoxy for bonding in order to develop safe fire resistance design of structure.

Keywords : Carbon fiber polymer plate, Near-surface-mounted retrofit, Fire resistance, Temperature variation, Tensile test, Bond test

#### 1. 서론

최근 건축물의 보강을 위해 널리 사용되는 보강 시스템은 강판 보강 시스템과 FRP (Fiber Reinforced Polymer) 보강 시스템으로 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 강판 보강은 부재의 자중증가와 재료취급의 어려움 등으로 인하여 재료의 취급도 용이하며 재료가 갖는 인장강도도 높은 FRP 보강법의 사용이 증가하고 있다. 이러한 이유로 인하여 국내외에서 FRP 보강 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 FRP를 이용한 보강과 관련하여 중요한 문제점은 낮은 내화성능이다. 우리나라의 재해 발생 중 화재 발생 추이가 해마다 증가되고 있으며, 그중 건축물이 차지하는 부분이 가장 높다. 화재발생에 따른 온도상승은 시간이 경과됨에 따라 급격해짐으로 인하여 부재재료의 임계온도에 도달할 경우 급격한 내력 저하로 연결되어 위험한 결과를 초래하게 된

다. 이에 따라 건물의 주요 구조부재는 일정 기준의 내화성능을 확보하여야 하며 FRP로 보강된 부재도 그 구조적인 기능을 발휘하기 위해서는 충분한 내화성능을 확보하여야 한다. 그러나 FRP 보강재와 접착재로 사용되는 에폭시는 열에 매우 취약하기 때문에 요구되는 내화성능을 확보하기 위해서는 특별한 내화보강처리가 필요하다. 최근까지 FRP로 보강된 구조부재의 내화성능에 문제점이 있음이 지적되고 있지만, 이를 개선하기 위한 방안에 대해서는 아직 그 연구가 충분하지 못하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 온도 변화에 따른 탄소섬유판의 인장성능 변화와 에폭시의 상태변화, 그리고 콘크리트에 보강된 탄소섬유판의 부착성능에 관한 실험적 연구를 통하여 FRP를 사용한 보강 시스템의 내화성능개선을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

1) 정회원, 한국교통대학교 건축공학과 교수, 교신저자  
2) 정회원, 한국건설공법(주) 사원

\* Corresponding author : syseo@ut.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 확회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 2. 기존연구

FRP를 사용한 보강시스템의 내화성능을 파악하기 위한 기존 연구로서, Blontrock et al. (1999)은 FRP로 감싼 RC부재에서 보통의 온도증가에도 심각한 강도와 강성 저하현상이 있음을 밝혔고, Katz and Berman (2000)은 유리전달온도 (Glass Transition Temperature; GTT)를 초과하는 온도에서 폴리머의 전단강도가 심각하게 저하되는 현상을 밝혔다. FRP의 유리전달온도는 통상 65°C에서 150°C사이이며 FRP와 콘크리트사이의 서로 다른 온도팽창은 온도응력을 발생시키고, FRP 콘크리트의 부착에 손상을 미치게 된다. Foster et al. (2008)은 FRP로 보강된 부재의 실험에서 400°C까지 온도에 노출에 따른 성능변화를 관찰하기 위하여 인장쿠펀시험, FRP-FRP 부착시험, FRP-콘크리트 부착시험, 직접인장 부착시험으로부터 FRP 시스템이 고온에 노출될 경우 레진 시스템의 특성에 의해 영향을 받고 섬유 형태는 영향을 미치지 않는 것으로 보고하고 추가연구의 필요성을 제시하였다. FRP의 부착손실과 관련하여 Blontrock et al. (2001)은 FRP시트로 보강된 RC슬래브에 내화플레이트를 부착한 후 화재시험을 실시하여, 가열시간 24~55분의 범위 (온도범위 47~69°C)에서 부착손실이 발생함을 밝혔다.

국내에서는 Chung and Park (1998)이 무기계 폴리머 복합재료로 접착된 탄소섬유를 고온 (약 800~1000°C, 1시간)으로 가열한 후 가열된 섬유판의 인장, 휨 전단내력을 검토하여 내열성능을 파악하고 이 섬유쉬트로 보강한 철근콘크리트 부재의 휨 성능을 실험적으로 연구하였다. 연구결과로서, 무기계 폴리머 복합체는 인장강도, 휨강도 및 접착강도가 유기계 접착제와 유사하게 나타났고 800~1000°C 정도로 1시간 가열한 이후에도 상온 시험체 휨내력과 전단내력의 63%, 33% 정도를 유지하는 것으로 보고하였다. 그러나 이 결과는 가열손상 후 다시 대기상태에서 건조시킨 후 실시한 실험에 근거하고 있기 때문에 실제 응력을 받고 있는 상태에 고온에 노출되는 실제상황과는 다르다. 최근에는 Moon (2013)이 노출시간과 노출온도를 변수로 GFRP와 CFRP 보강근의 단시간보 실험을 통해 계면전단강도변화를 측정할 결과, 임계온도는 270°C이며 섬유가 아닌 레진의 성능에 지배됨을 밝혔다.

이상으로부터, 국외에서는 FRP의 내화성능에 대한 다양한 연구가 수행되어오고 있으나, 국내의 연구는 매우 미진함을 알 수 있다. 현재 FRP를 이용한 구조물 보강법은 국내의 시설물 보강에 매우 다양하게 적용되고 있는 반면에 낮은 내화

성능을 파악하고 이를 개선하기 위한 연구는 매우 취약함을 알 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 일련의 실험을 통하여 FRP의 내화성능과 부착성능의 저하를 파악하고자 한다. 특히 Seo et al. (2011, 2012, 2013)에 의해 최근 널리 연구되고 있는 FRP 판을 콘크리트 표면에 매입하여 보강하는 공법을 대상으로 열에 따른 성능변화를 관찰하고자 한다.

## 3. 온도에 따른 탄소섬유판의 인장성능 시험

### 3.1 실험계획

탄소섬유판의 인장실험은 KS B 0802 금속편의 인장 실험 방법 (2008)에 따라 실험을 실시하였다. 인장 실험 시편은 ACI 440.3R (2011)에 제시된 FRP 보강재 중 판형태의 보강재 인장 실험 시편 제작 방법에 의하여 실험조건에 맞게 제작하였다. 실험의 변수는 ACI 440R (2011)에서 기술되어 있는 FRP 보강재의 성능변화 시점과 국내외 기존 연구자들의 연구결과를 근거로 탄소섬유판의 강도저감 온도의 임계점을 150°C로 예상하였으며, 해당온도를 기준으로 실험을 계획하였다.

### 3.2 실험방법

본 연구에서 사용된 탄소섬유판은 Sika사의 CarboDur S512/80 제품으로 두께 1.2mm, 폭 50mm의 크기이며 해당 실험에서는 차후 연구 계획 중인 표면 매입 공법으로 보강된 철근콘크리트 부재의 내화 성능 확보를 위한 실험에 관한 연구와 동일한 조건을 갖추기 위해 탄소섬유판을 폭 50mm판을 약 16mm로 3등분하고 인장실험을 위한 시편을 온도별 3개씩 제작하였다. Table 1은 Sika사에서 제공한 탄소섬유판의 재료물성을 나타낸다.

각 온도별 인장 실험 시편은 탄소섬유판을 폭 약 16mm, 두께 1.2mm, 길이 1500mm로 재단하였으며, 시편의 양단에는 인장 실험 시에 지그의 물림 부분에서 발생하는 슬립을 방지를 위하여 두께 2mm인 철판을 양 끝단의 지그 물림부분에 붙여 탄소섬유판의 두께를 증가시켰다. 또한 철판의 폭

Table 1 Material properties of the CFRP

Type	Elastic Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Critical Temperature (°C)
CarboDur S512/80	165,000	2,800	150

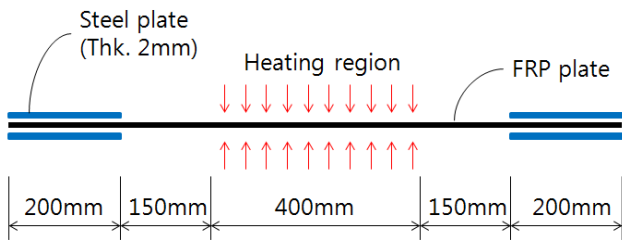


Fig. 1 Detail of test specimen for tensile strength

Table 2 Specimen list for tensile test of CFRP under temperature variation

Test Specimens Name	Temperature(°C)	No. of specimen
RTF	20	Three of each
100TF	100	
150TF	150	
200TF	200	

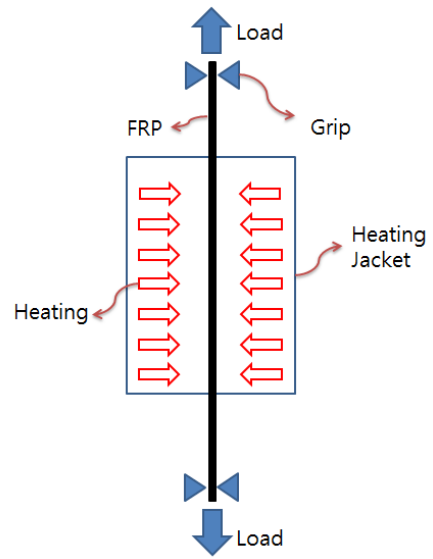
은 탄소섬유판의 폭과 같으며 철판의 길이는 인장실험에서 발생하는 탄소섬유판의 변위 측정을 위한 변위 측정 철판의 설치용이성과 슬립방지를 위한 지그의 물림길이를 고려하여 200mm로 하여 철판을 붙였다. 탄소섬유판의 재단 길이는 가열을 통한 열손상 구간과 철판붙임구간, 변위 측정 구간을 고려하여 1500mm로 하였으며, Fig. 1은 탄소섬유판의 인장 실험 시편의 형상을 나타내었다. Table 2는 온도 변화에 따른 인장성능 실험용 시편 일람을 나타낸다.

2000kN U.T.M. 실험 장비를 이용하여 인장가력을 하였으며, 300mm×300mm×400mm 크기의 히팅자켓을 시편의 중앙부 가열구간 (400mm)에 설치하여 탄소섬유판을 가열하였다. 시편의 양단에 자체 제작한 변위 측정 철판을 이용하여 시편의 상단과 하단에 변위계를 설치하여 열손상 후 인장가력 시 탄소섬유판의 변위를 측정하였으며, 시편의 가열 중앙부에는 열전대를 설치하여 탄소섬유판의 표면의 온도변화를 측정하였다.

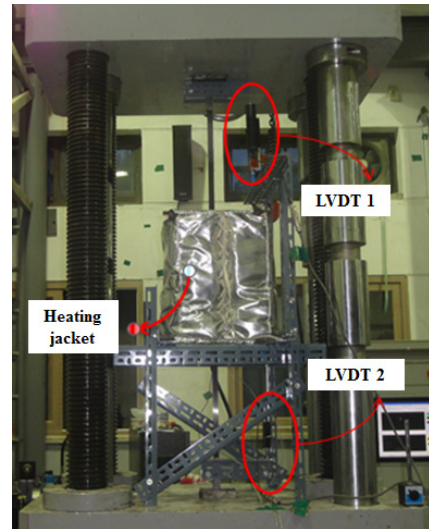
히팅자켓의 기기 특성상 기기안의 공기를 통하여 가열이 진행되기 때문에 최고 온도인 200°C의 도달시간과 탄소섬유판에 충분한 가열을 위해 가열시작 후 30분 후에 인장가력을 실시하였다. Fig. 2는 시편 설치상황 사진과 실험방법에 대한 모식도이다.

### 3.3 인장실험 결과 및 분석

실험결과 Fig. 3에 나타낸 바와 같이, 100°C 미만의 온도에서 시험된 RTF와 100TF시편은 일반적인 탄소섬유판의 취성적 파단양상을 보였으며, 150TF와 200TF는 탄소섬유판



(a) Tensile test concept



(b) Picture of tensile test

Fig. 2 Tensile test layout under temperature variation

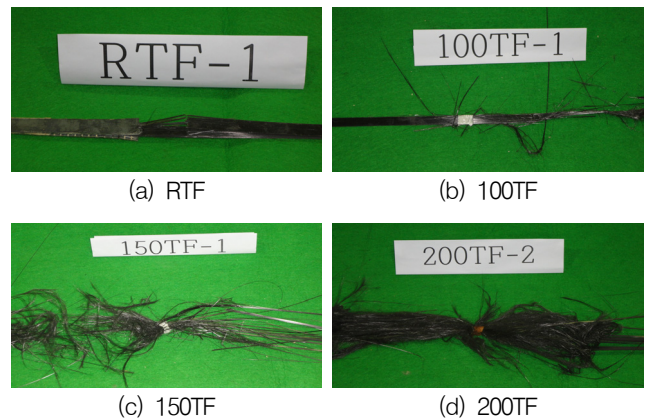


Fig. 3 Tensile failure shape of CFRP

을 이루는 섬유가 흩어지는 파단양상을 보였다. Table 3은 온도별 인장성능 시편의 하중과 변형률을 정리하여 나타낸다.

각 시편의 평균하중의 비교결과 탄소섬유판의 임계온도 150℃를 기준으로 강도가 현저하게 저하되었다. 이는 파단양상과 하중비교결과를 토대로 상온과 100℃까지는 탄소섬유가 흩어지지 않고 탄소섬유판의 일반적인 특성을 보여 하중 비교 시 비슷한 결과를 보인 것으로 판단되며, 탄소섬유판의 임계온도인 150℃ 이상의 온도에서는 탄소섬유판의 섬유 사이의 접착성능의 저하로 탄소섬유가 흩어지면서 섬유 각각이 끊어지는 파단양상에 의해 하중이 저하된 것으로 판단된다. Fig. 4는 온도별 인장성능 시편의 동일 하중에서의

변위값의 평균에 대한 하중-변위 곡선을 나타낸다.

#### 4. 온도에 따른 에폭시의 가열시험

##### 4.1 실험계획

탄소섬유판과 부재와의 접착재로 사용되는 에폭시를 정육면체형태의 몰드로 제작하고 전기가열로에서 가열하여 에폭시의 임계온도를 찾고 이때의 상태변화를 관찰하였다. 에폭시의 가열온도는 실험에 사용된 제품의 재료성질자료에 제시된 온도를 기준으로 실험을 계획하였다. Table 4와 5는 각각 에폭시의 열에 관한 재료성질과 역학적 성질을 나타낸다.

##### 4.2 실험방법

에폭시 몰드의 크기는 50mm×50mm×50mm인 정육면체이며, 총 8개를 제작하였으며, 3일 동안 대기에서 양생 시킨 후 실험을 진행하였다. 에폭시 몰드의 실험 변수는 해당 제품에서 제시한 유리 전이 온도점인 62℃에 근접한 50℃를 기준으로 하여 약 20℃씩 온도를 증가 시키면서 에폭시의 상태가 변화하는 시점까지 가열을 실시하였다.

전기 가열로를 이용하여 에폭시 몰드의 4면을 가열하고 목표 온도까지는 30분에 도달하며 목표 온도 도달 후 충분한 열 손상을 입히기 위하여 30분간 유지하여 가열하였다. 가열 시간 1시간이 지난 뒤에 에폭시 몰드의 상태변화를 크기의 변화와 표면 상태를 육안으로 관찰하였다. 에폭시 몰드의 상태변화 시 온도를 파악하기 위하여 표면에 열전대를 설치하였으며, 표면에 20mm 깊이의 구멍을 뚫어 구멍 안에 열전대

Table 3 Tensile test result

Specimen name	Heating temperature (°C)	Result		
		Ultimate		ΔL/L
		Load (kN)	Strength (N/mm <sup>2</sup> )	
RTF-1	20	43.96	2,290	0.017
RTF-2		35.46	1,847	0.023
RTF-3		45.38	2,364	0.015
Average		43.96	2,068	0.02
100TF-1	100	40.26	2,097	0.015
100TF-2		32.64	1,700	0.013
100TF-3		45.68	2,379	0.016
Average		43.20	1,955	0.02
150TF-1	150	29.88	1,556	0.015
150TF-2		35.66	1,857	0.013
150TF-3		31.54	1,643	0.015
Average		39.59	1,790	0.02
200TF-1	200	33.90	1,766	0.012
200TF-2		38.22	1,991	0.013
200TF-3		30.62	1,595	0.014
Average		35.01	1,848	0.02

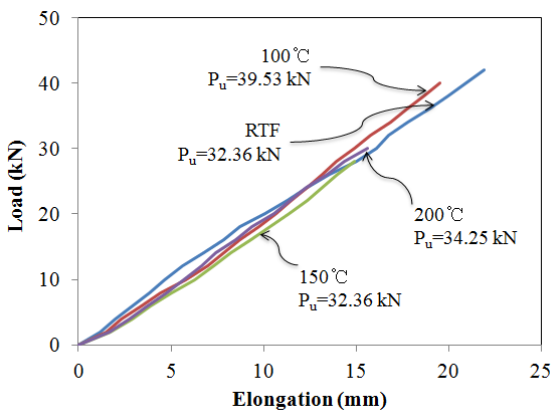


Fig. 4 Load-elongation curve from tensile test

Table 4 Thermal property of epoxy

	Curing duration (Day)	Temperature (°C)
Glass transition temperature	7	62
Heat deflection temperature		53

Table 5 Physical property of epoxy

Duration (Day)	Elastic module (N/mm <sup>2</sup> )	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Shear strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )
1	128,000	50-60	3-5	18-21
3		65-75	13-16	21-24
7		70-80	14-17	24-27
14		-	15-18	25-28

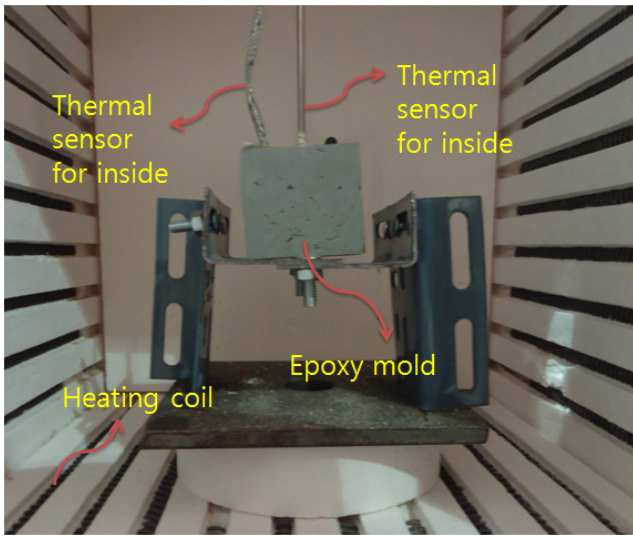


Fig. 5 Heating test of epoxy

를 설치하여 에폭시 몰드 내부의 온도를 측정하였다. 20mm 깊이에 열전대를 설치한 이유는 차후 연구진행 할 표면 매입 공법의 탄소섬유판의 설치 깊이와 동일하게 하기 위하여 20mm로 결정하였다. Fig. 5는 가열로 내부에 에폭시 몰드를 설치한 사진을 나타낸다.

### 4.3 실험결과 및 분석

에폭시 몰드에 대한 가열실험결과 160°C까지는 상태의 변화 없었지만 180°C에서 에폭시 몰드의 모서리의 끝 부분에서부터 점진적으로 황갈색으로 변하였다. 이는 열에 의한 손상으로 표면이 태워지기 시작한 것으로 판단되며 에폭시 연소시 발생하는 특유의 유독 가스 냄새도 확인되었다. 200°C에서는 육안으로 확연하게 구분될 정도도 표면이 회색에서 황갈색으로 변하였으며, 표면에 균열이 발생되었다. 균열의 발생원인은 내부에 존재했던 수분의 증발로 인한 공극의 팽창에 의해 발생된 것으로 판단된다. Fig. 6은 가열실험 단계에 따른 에폭시 몰드의 사진을 나타낸다. 육안 관찰에 의해서, 유리전이 온도점인 65°C에서는 특별한 변화를 관찰할 수 없었으며, 다만, 180°C에서부터, 표면에 그을림 현상이 발생하는 것으로 확인되었다. Fig. 7은 가열온도와 그에 따른 에폭시 내부 및 외부의 온도 분포를 나타낸다. 200°C가열시, 에폭시의 표면은 가열시간 30분만에 가열온도에 거의 근접하지만, 2cm내부에서는 약 50°C 낮은 온도를 보이고 있으며, 서서히 내부온도가 증가하여 1시간 뒤에는 약 180°C에 도달함을 알 수 있다.

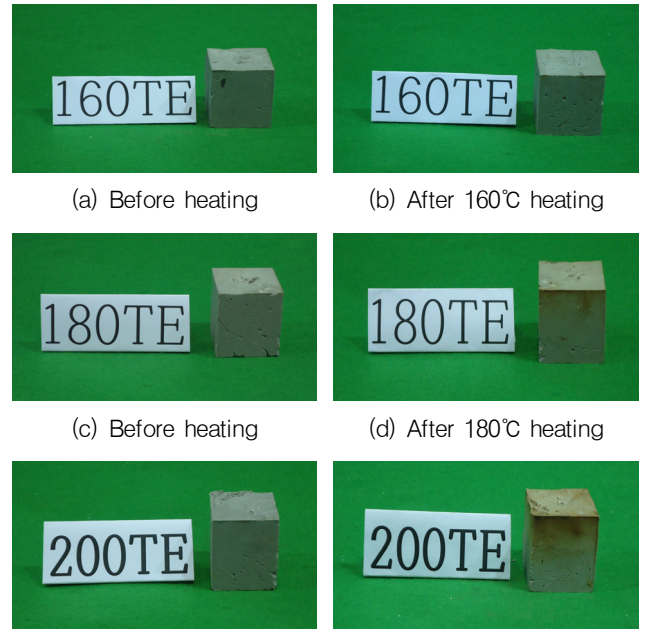


Fig. 6 Surface state of epoxy before/after heating

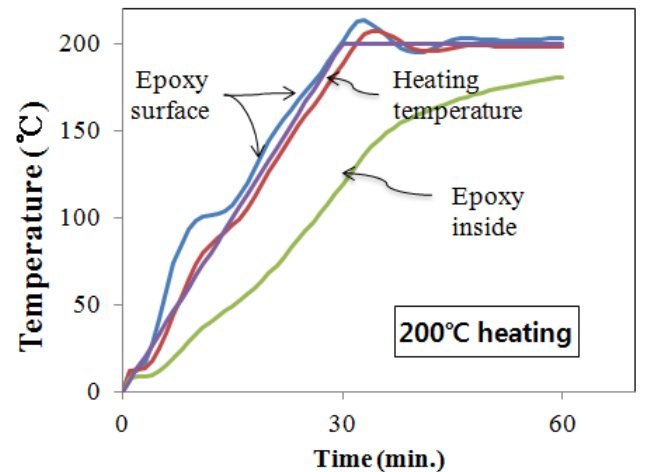


Fig. 7 Temperature transition to epoxy

## 5. 온도에 따른 탄소섬유판의 부착성능 실험

### 5.1 실험계획

콘크리트 블록에 탄소섬유판을 이용하여 표면매입 공법으로 일정구간 보강한 실험체를 제작한 뒤 가열온도 변화에 따른 부착성능 변화를 관찰하기 위한 실험을 실시하였다. 실험 변수는 선행 연구된 에폭시의 임계 온도점을 기준으로 실험 변수를 설정하였다. 에폭시 상태변화 실험과 동일하게 총 1시간의 가열시간 이후 탄소섬유판에 인장력을 가하여 부착

성능을 평가하였다.

콘크리트 블록은 가열로의 규격을 고려하여 100mm×100mm×200mm으로 제작하였으며 탄소섬유판 (폭 16mm, 두께 1.2mm)을 부착길이 100mm, 지그의 물림 길이와 변위계 설치를 고려하여 탄소섬유판의 길이는 500mm로 재단한 뒤 실험계획에 따라 표면매입으로 보강하였다. Table 6은 온도 변화에 따른 실험체 일람을 나타낸다. RTE 실험체는 비교를 위해, 표면부착으로 보강한 실험체이다. 콘크리트 설계 강도는 32MPa이며, 28일 양생 후 압축강도는 41.80MPa이다. 탄소섬유 및 에폭시의 재료 물성은 Table 1 및 5의 내용과 동일하다.

전기 가열로를 이용하여 실험체의 양옆과 하단의 가열코일로 4면을 가열하였으며, ACI 440R-07 (2011)에 기술되어 있는 실험 방법 중에서 Beam-end test method에 응용하여 실험환경 조건에 맞게 실험체를 설치 계획하였다. 이 방법을 활용하여 인장 가력 시 콘크리트 블록의 고정과 인장파괴, 편심을 방지하기 위해 철물로 상단과 하단을 고정하였으며, 탄소섬유판과 하단의 고정 축과 나란하게 설치하여 편심을 방지하였다. 탄소섬유판의 지그물림 및 변위계 설치방법은

Table 6 Specimen list for bond test under temperature variation

Specimen name	Heating temperature(°C)	Strengthening method*
RTN	20	NMSMR
RTE		EBR
N50	50	NMSMR
N65	65	NMSMR
N100	100	NMSMR
N200	200	NMSMR

\*NMSMR: Near-Surface-Mounted Retrofit  
EBR: Externally Bonded Retrofit

고온에 노출된 탄소섬유판의 인장거동 실험과 동일하게 하였으며, 변위계는 상단에만 설치하였다. 표면매입 실험체의 경우 매입시 탄소섬유판의 매입부 끝부분에 열전대를 설치하여 내부의 온도변화를 측정하였으며 매입된 탄소섬유판의 표면에도 열전대를 설치하여 콘크리트 블록의 표면 온도변화를 측정하였다. 또한 표면부착 보강된 RTE 실험체의 경우에는 탄소섬유판 표면에만 열전대를 설치하여 온도변화를 측정하였다. Fig. 8은 실험체 설치상황을 나타낸다.

## 5.2 실험결과 및 분석

Fig. 9에 각 실험체의 최종파괴양상을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 표면매입 보강된 RTN 실험체의 최대하중은 23.59kN (최대변위는 9.66mm)로서 최종 파괴는 콘크리트 할렬파괴 양상을 보였다. 표면부착 보강된 RTE 실험체의 최대하중은 표면매입 보강된 RTN 실험체에 비하여 현저히 낮은 5.38kN (최대변위 5.12mm)에서 파괴되었고 파괴양상은 FRP의 계면파괴 양상을 보였다. 즉 Fig. 10에 나타낸 바와 같이, 강성은 거의 유사하지만, 최대내력에서 표면부착 보강된 경우가 표면매입 보강된 실험체에 비하여 1/4 정도에 미치는 것으로 나타났다. 이로부터, 이전 실험연구결과에서 밝혀진 바와 같이, 표면부착 보강에 비하여 표면매입 보강이 보강효과가 훨씬 높음을 알 수 있다.

가열온도에 따른 표면매입 보강된 실험체의 파괴양상을 관찰해 보면, 상온인 20°C에서 하중이 가해진 RTN 실험체에서는 콘크리트의 파괴양상이 뚜렷이 나타났지만, 온도가 상승될수록 에폭시의 부착력상실에 의한 미끄러짐 파괴가 지배되는 것으로 나타났다. 이와 같은 양상은 가열온도가 65°C

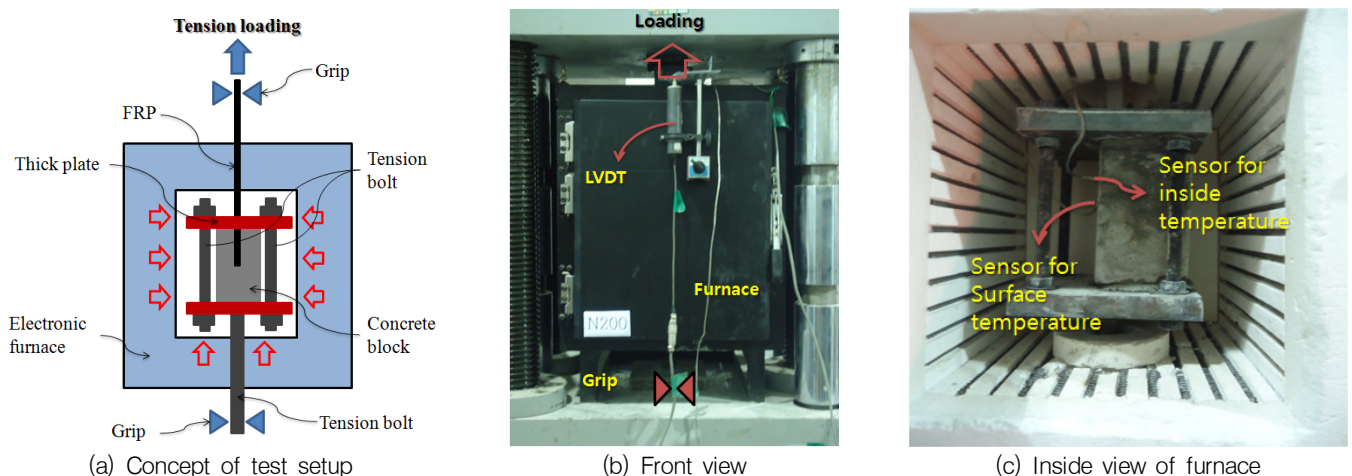


Fig. 8 Setup of bond test under variable temperature loading

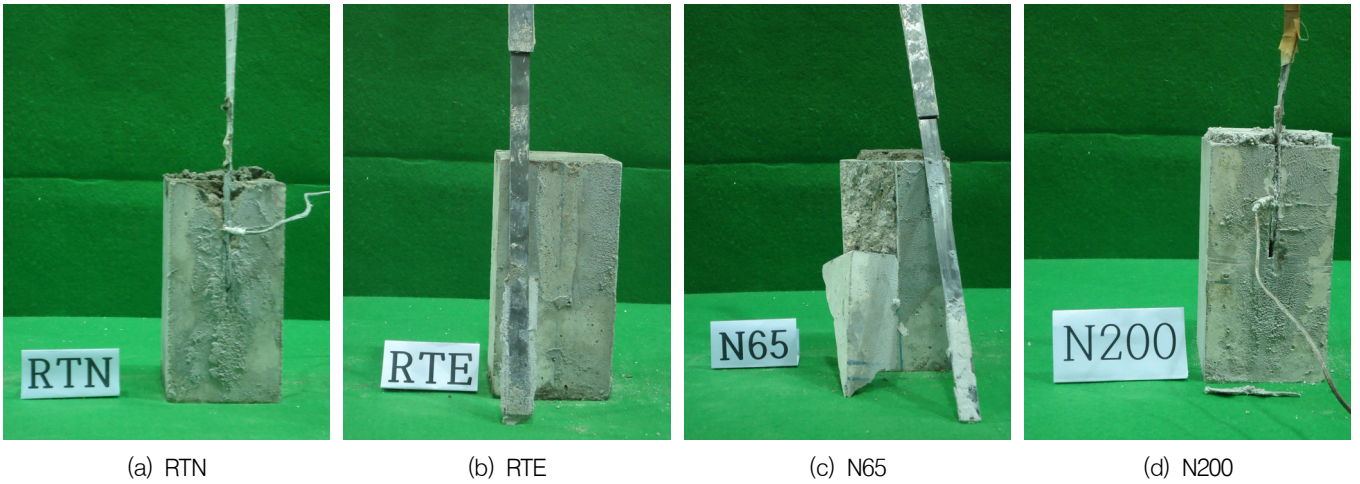


Fig. 9 Final failure shape of specimens

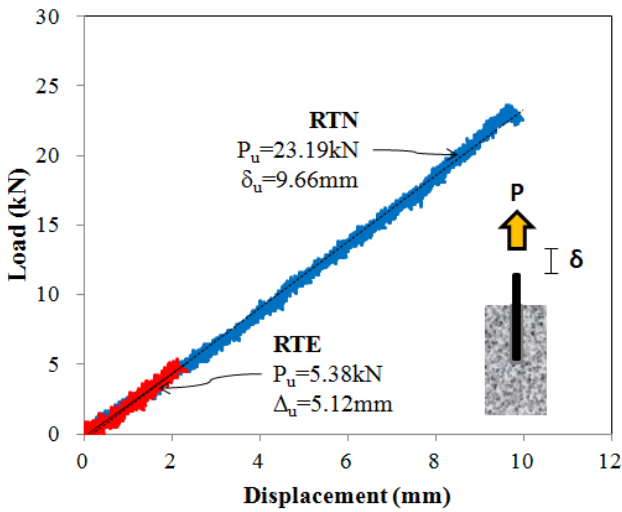


Fig. 10 Load-displacement curve of RTN and RTE

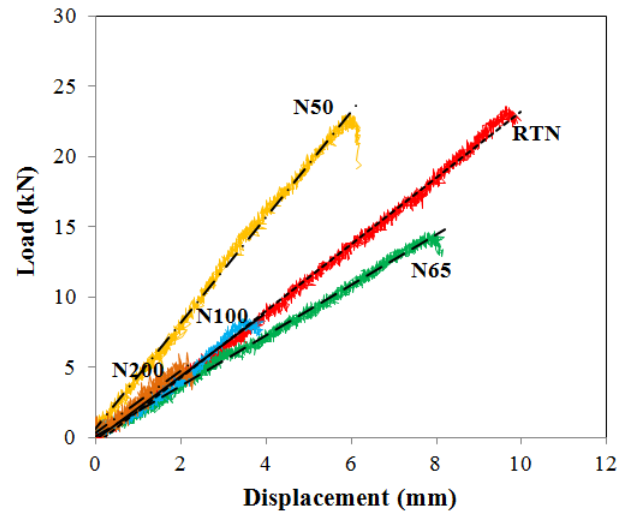


Fig. 11 Load-displacement curve of NSM specimens

일 때부터 나타났으며, 가열온도가 100°C 이상인 N100과 N200 실험체에서는 육안으로 콘크리트 파괴를 확인할 수 없고 FRP 판이 매입 홈에서 미끄러지면서 빠져나오는 변형만이 관찰되었다. 이에 따라 온도가 상승될수록 부착강도는 저하되었으며, 특히 가열온도가 에폭시의 유리전이 온도인 65°C 일 때부터, 현저하게 저감되는 양상을 보였다. 특히 에폭시에서 그늘음이 발생하기 시작하는 온도인 180°C, 그리고 FRP의 인장강도가 저하되는 시기인 150°C 부근이 될 경우, 에폭시의 부착기능이 먼저 상실되어 약 50%의 강도손실이 발생하는 것으로 나타났다. 전체 실험체의 최대내력시의 하중과 변위를 정리하면 Table 7과 같다.

이와 같은 결과로부터, 콘크리트를 보강하기 위한 효율적인 보강방법은 표면매입 보강이며, 이 보강법은 상온에서는

Table 7 Test result of bond test under temperate variation

Specimen name	Ultimate point			Failure shape
	Load (kN)	Displacement (mm)	Strength ratio	
RTN	23.59	9.66	1	Concrete failure
RTE	5.38	5.12	0.23	FRP Peel off
N50	23.07	6.01	0.98	Concrete failure
N65	14.71	7.95	0.62	Concrete failure + FRP bond slip
N100	8.49	4.01	0.36	FRP Bond slip
N200	6.02	2.37	0.26	FRP Bond slip

그 효과가 매우 높지만, 비록 낮은 온도일지라도 주변온도가 높아질 경우에는 보강효과가 현저히 저하될 수 있음을 확인하였다. 특히, 주변 온도가 에폭시의 화학적 성질이 변화하

기 시작하는 유리전이 온도에 근접할 경우, 부착기능이 상실되기 시작하므로 효과적인 내화설계를 위해서는 부착용으로 사용되는 에폭시의 성능을 개선시키고 또한 섬유보강재의 성능도 개선시켜야 함을 알 수 있다.

## 6. 결론

탄소섬유판을 이용하여 표면매입 보강된 철근콘크리트 부재의 내화성능 보강을 위한 연구로서 온도변화에 따른 탄소섬유 판의 인장시험, 에폭시의 상태변화 실험, 그리고 온도변화에 따른 부착성능에 관한 실험연구를 실시하여, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 온도에 따른 탄소섬유판의 인장시험 결과, 탄소섬유판의 임계온도는 150℃로 나타났으며, 온도에 따른 에폭시 본드의 상태변화 실험결과, 에폭시 본드에 그을음이 발생하는 임계온도는 180℃로 나타났다.
- (2) 부착강도의 측면에서 콘크리트를 보강하기 위한 효율적인 보강방법은 표면매입 보강으로서 상온에서는 그 효과가 매우 높지만, 비록 낮은 온도일지라도 주변온도가 높아질 경우에는 보강효과가 현저히 저하될 수 있음을 확인하였다. 특히, 주변 온도가 에폭시의 화학적 성질이 변화하기 시작하는 유리전이 온도에 근접할 경우, 부착기능이 상실되기 시작하므로 효과적인 내화설계를 위해서는 에폭시의 성능과 섬유보강재의 성능 개선을 포함한 내화보강 기술개발이 시급한 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 (과제번호 2010-0011350)의 지원을 받아 수행되었습니다.

### References

1. ACI's 2011 Manual of Concrete Practice, Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (ACI 440.3R), American Concrete Institute, Farnington Hills, Mich., 2011.

2. ACI's 2011 Manual of Concrete Practice, Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (ACI 440R-07), American Concrete Institute, Farnington Hills, Mich., 2011.
3. Blontrock, H., Taerwe, L., Vandeveldel, P., Fire Testing of Concrete Slabs Strengthened with Fibre Composite Laminates. In The Fifth Annual Symposium on Fibre-Reinforced-Plastic Reinforcement or Concrete Structures (FRPRCS-5), Edited by C. Burgoyne, Thomas Telford, London, 2001, pp.547-556.
4. 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 Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Baltimore, American Concrete Institute, 1999, pp.43-54.
5. Moon, Do-Young, "Critical Temperature for Inter-Laminar Shear Strength and Effect of Exposure Time of FRP Rebars", Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 25, No. 1, February, 2013, pp.45-51 (in Korean).
6. Katz, A. and Berman, N., "Modeling the Effect of High Temperature on the Bond of FRP Reinforcing bars to Concrete", Cem. Concr. Composites, Vol. 22, No. 6, 2000, pp.433-443.
7. Korea Technology Center, Method of Tensile Test for Metallic Materials, KS B 0802 : 2003, 2003.10.
8. Chung, Lan and Park, Hyun Soo, "Structural Performance and Fire Resistance Capacity of Inorganic Polymer Composites for Carbon Sheets Exposed to High Temperature", Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 10, No. 5, Oct., 1998, pp.45-51, pp.109-115.
9. Foster, S. K. and Bisby, L. A., "Fire Survivability of Externally Bonded FRP Strengthening Systems", Journal of Composites for Construction, Vol. 12, No. 5, October 1, 2008, pp.553-561.
10. Seo, Soo-Yeon, Oh, Jae-Gil and Choi, Ki-Bong, "Bond Capacity of Concrete Member Strengthened by Various Methods Using FRP Plate", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 8, 2011. 8, pp.55-63 (in Korean).
11. Seo, Soo-Yeon, "Bond Strength of Near-Surface-Mounted FRP Plate in RC Member", Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 24, No. 4, 2012. 8, pp.415-422 (in Korean).
12. Seo, Soo-Yeon, Feo, Luciano and Hui, David, "Bond Strength of Near-Surface-Mounted FRP Plate for Retrofit of Concrete Structures", Composite Structures, Vol. 95, Jan. 2013, pp.719-727.

Received : 03/06/2013  
 Revised : 05/01/2013  
 Accepted : 05/06/2013



---

## 요 지

본 연구에서는 탄소섬유판을 이용하여 표면매입 보강된 철근콘크리트 부재의 내화성능에 관한 연구로서 온도변화에 따른 탄소섬유 판의 인장시험, 에폭시의 상태변화 실험, 그리고 온도변화에 따른 부착성능에 관한 일련의 실험연구를 실시하였다.

실험연구로부터, 부착강도의 측면에서 콘크리트를 보강하기 위한 효율적인 보강방법은 표면매입 보강이며, 이 보강법은 상온에서는 그 효과가 매우 높지만, 비록 낮은 온도일지라도 주변온도가 높아질 경우에는 보강효과가 현저히 저하될 수 있음을 확인하였다. 특히, 주변 온도가 에폭시의 화학적 성질이 변화하기 시작하는 유리전이 온도에 근접할 경우, 부착기능이 상실되기 시작하므로 구조물의 안전한 내화설계를 위해서는 부착용으로 사용되는 에폭시의 성능을 개선시키고 또한 섬유보강재의 성능개선이 시급한 것으로 사료된다.

**핵심 용어** : 탄소섬유판, 표면매입 보강, 내화성능, 온도변화, 인장시험, 부착성능

---