

RC보에 대한 FRP-Aluminum 유공복합보의 보강성능에 관한 연구

Performance of RC Beams Strengthened with FRP-Aluminum Composite Hollow Beam Under the Fire

이 재 익^{1)*}

Lee, Jae Ik

최 열²⁾

Choi, Yeol

Abstract

The widespread deterioration of concrete structures has required the development of new and innovative materials and technologies for strengthening and repair. Recently Fiber reinforced polymer (FRP) composites have received widespread attention as materials for the strengthening and repair of the deteriorated concrete structures.

This paper presents the results of Fire-performance of RC beams strengthened with FRP-Aluminum composite hollow beams. Test results show that the higher-damaged FRP strengthened RC beams are more vulnerable to the fire and decrease the effect of FRP strengthening

Keywords : FRP-Aluminum composite hollow beam, Reinforcement performance, Damaged beam, Fire-load, Ductility

1. 서론

1.1 연구의 목적

철근콘크리트는 콘크리트와 철근의 상호보완에 따른 복합재료로서 특히 경제성, 시공성, 내구성, 조형성 등의 우수한 재료로 평가되어 지난 세기동안 국내외의 건축 및 토목구조물에 널리 이용되어 왔다. 하지만 철근콘크리트 구조물은 건설 후 각종 자연적 요인 및 인위적 요인의 영향을 받아 노후화 및 성능 저하가 발생되며, 이로 인해 반영구적으로 알려진 구조물의 수명을 다하지 못 하는 것으로 나타났다. 이러한 노후화 및 성능저하가 발생된 철근콘크리트 구조물의 안전성 확보 및 내용 년수를 늘리기 위한 수단으로 적절한 진단과 더불어 보수·보강의 필요성이 대두되어 왔으며, 최근 리모델링에 관한 관심이 높아지면서 여러 연구와 더불어 보수·보강 공법의 개발이 이루어지고 있다.

철근콘크리트 구조체의 보강을 위한 다양한 공법 중, 주로 적용되는 공법으로는 보강재 외부부착공법 및 콘크리트 단면증대 공법이 주로 사용되어 왔다. 외부부착공법의 주 보강재료는 강판(Steel plate), 탄소섬유(Carbon fiber), 유리섬유(Glass fiber), 아라미드 섬유(Aramid

fiber) 등이 이용되고 있으나, 강판 보강 공법의 경우 구조물 자중의 증대, 부식의 문제 및 시공성 등의 문제점으로 인해 최근에는 내식성, 비자성, 강재와 유사한 탄성계수, 경량성 및 우수한 시공성 등의 장점을 가진 섬유보강재료(Fiber Reinforced Polymer)를 이용한 보강 빈도가 크게 증가하는 추세이다. 기존의 FRP를 이용한 보강법은 구조물의 표면에 FRP sheet 혹은 FRP-steel plate를 접착제로 부착하여 보강을 실시하였으나, 이는 접착제의 긴 경화시간과, 콘크리트 표면과 FRP사이의 적절한 부착강도를 필요로 한다.

Alfarabi Sharif 등(1994)은 보강된 보의 경우 FRP의 취성적인 성격에도 불구하고, 휨성능과 충분한 연성을 확보하는 것으로 나타났으며, 보강판의 박리나 사인장균열을 방지하고 휨 거동을 확보하기 위하여 시험체의 밀면과 측면을 동시에 보강하는 것을 제안하였다.

Richard Barnes and James Fidell(2006)은 화재조건하에서 에폭시 수지 접합과 볼트접합 여부에 따른 접착 성능을 실험을 통해 규명하고, 내화공법이 필요하다는 것을 보여주었다.

신성우 등(1998)은 RC보를 대상으로 CFS의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨보강 효과에 미치는 영향을 파악하였다. CFS는 재하 초기부터 인장철근과 같이 RC보

1) 정회원, 경북대 대학원 석사과정

2) 정회원, 경북대학교 건축토목공학부 부교수, 공학박사

* Corresponding author : woqn33@knu.ac.kr 053-950-5592

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

의 인장응력을 부담하고, 그 보강량을 증가시키면 RC보의 최대 휨내력이 증가함을 보여 주었다. CFS의 정착 길이가 길어질수록 CFS의 부착과괴가 지연되기 때문에 RC보의 연성을 향상시키지만, 동일 정착 길이에서 보강량이 늘어나면 연성이 저하되어 정착 길이가 증가만으로 연성의 확보가 어렵다는 것을 보여주었다.

신창훈 외 1인(2000)은 대한건축학회논문집(제16권 2호)의 “구조적 손상을 받은 RC보의 휨 보강에 관한 내력평가”에서 탄소섬유시트와 격자탄소섬유판에 의해 보강된 시험체의 항복응력은 손상도가 클수록 탄성범위, 항복범위, 소성범위의 순으로 응력이 증가되었으며, 최대응력은 손상도가 작을수록 탄성범위, 항복 범위, 소성범위의 순으로 응력이 감소함을 알 수 있었다.

1.2 연구내용

현재 FRP 제품의 연구개발의 양적증가에 비해 FRP 보수·보강에 대한 설계개념의 미비 등 적절한 설계지침을 마련하지 못하고 있는 상황이다. 또한 구조부재의 대한 화재실험 및 FRP의 내부 보강에 대한 화재실험에 대한 자료는 있지만, 기초자료가 많이 부족한 실정이고, 외부 보강 후 화재실험에 대한 자료는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 N사에서 개발되어 현재 학교건물 등에 적용되고 있는 얇은 알루미늄 프레임(Aluminum frame)에 FRP를 함침 부착시켜 일체화한 FRP-알루미늄 유공 복합보(FRP-Aluminum Composite Hollow Beam)로 보강된 RC보의 화재조건에 노출된 후의 거동 실험을 통하여 보강성능을 고찰해보고자 한다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

비보강 실험체(Beam Control)의 형상 및 치수는 Fig. 1에 나타내었다, 실험체는 그림에서와 같이 300mm×400mm 단면의 보를 대상으로 하고 있으며, 단면의 형태는 철근 콘크리트보의 하부 인장철근이 항복할 때 까지 상부콘크리트의 압축파괴 및 전단파괴가 발생하지 않도록 하기 위해서 결정하였다. FRP-알루미늄 유공 복합보(FRP-Aluminum Composite Hollow Beam)로 보강한 시험체의 형상 및 치수, 보강길이는 Fig. 2에 나타내었다.

실험체에 대한 일람은 Table 1에 나타내고 있으며, 표 1에서와 같이 실험체는 10개를 준비 했으며, 보강전 구조체의 손상정도 및 화재하중을 가한 것과 가하지 않은 것으로 실험군을 나눌 수 있다. 손상율은 보강하지 않은 실험체의 최대하중을 실험을 통하여 구하고, 그 실험한 부재의 최대 하중의 0%, 25%, 50% 75%, 100%를 각각

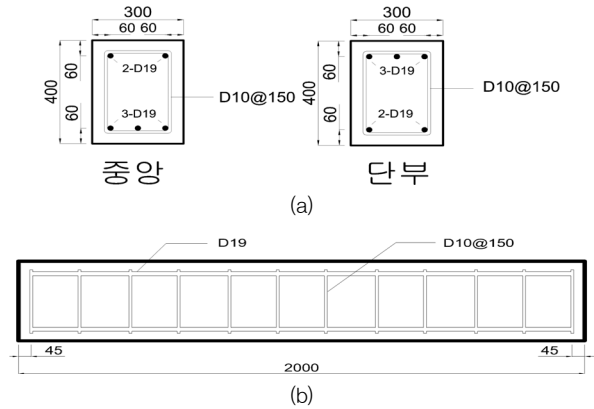


Fig. 1 (a) Section of Specimens (b) Details of Specimens

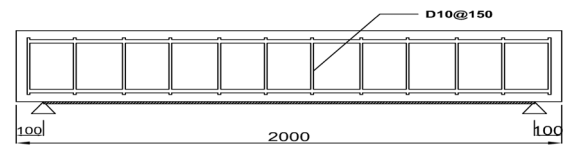


Fig. 2 Details of Strengthened Specimens

Table 1 List of Specimens

번호	실험체명	손상율(%)	보강여부	화재하중 여부
1	BC	-	-	-
2	BT-0	0	0	-
3	BT-25	25	0	-
4	BT-50	50	0	-
5	BT-75	75	0	-
6	BT-100	100	0	-
7	FBT-0	0	0	0
8	FBT-25	25	0	0
9	FBT-50	50	0	0
10	FBT-75	75	0	0
11	FBT-100	100	0	0

하한 실험체로 구분하고 있으며 부재 손상 후 특별한 보강이나 보수 작업없이 FRP-알루미늄 유공복합보를 부착하여 보강하였다.

2.2 재료

2.2.1 콘크리트

실험에 사용된 콘크리트는 설계강도가 30MPa인 고강도 콘크리트를 사용하였다. 이는 인장주근이 항복하기 이전에 콘크리트 압축파괴가 먼저 일어나지 않도록 하기 위해서 선정하였다(Table 2).

2.2.2 철근

실험에 사용된 철근은 SD40급의 이형철근으로 주근에는 D19를 사용하였고 전단보강용 스트립에는 D10을 사

Table 2 Strength Properties of Concretes

재령	설계강도 (N/mm ²)	압축강도 (N/mm ²)	탄성계수 (N/mm ²)
28	30.0	31.2	20,124.6

Table 3 Mechanical Properties of Reinforcements

등급	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율
SD40	400	451.969	15%

Table 4 Mechanical Properties of Epoxy-resin

배합비 (주제:경화제)	인장강도 (N/mm ²)	굽힘강도 (N/mm ²)	압축강도 (N/mm ²)
2 : 1	69.3	79.3	78.7

Table 5 Mechanical Properties of Aluminum

조질 (Temper)	인장강도 (N/mm ²)	내력 (N/mm ²)	신장(%)
T4	3.5	1.5-4.0	0.15이하

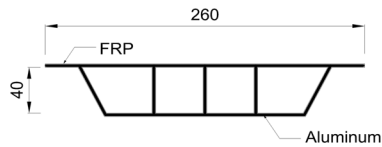


Fig. 3 Details of FRP-Aluminum composite hollow beam

용하였다. 철근의 기계적 성질은 Table 3과 같다.

2.2.3 에폭시 접착제

실험에 사용된 콘크리트와 FRP-알루미늄 유공 복합보 (FRPA)의 접착제로는 에폭시 수지를 사용하였으며, 사용된 에폭시 수지의 물성은 Table 4와 같다.

2.2.4 FRP-알루미늄 유공 복합보

시험체 보강에 사용된 FRP-알루미늄 유공 복합보(FRP-Aluminum Composite Hollow Beam)는 알루미늄 유공단면보에 유리섬유(glass fiber)가 접착된 것으로서 알루미늄의 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 5에 나타내었고, Fig. 3에 단면 형상 및 치수를 나타내었다.

FRP-알루미늄 유공 복합보의 보강은 에폭시(epoxy) 접착제를 이용하여 부재에 부착시킨 후 양쪽 끝단부터 20-25cm 간격으로 철강용 핀을 정착시켰다.

2.2.5 실험

2.2.5.1 화재하중

건축물의 화재에서 화재의 온도와 그 계속시간을 지배하는 최대의 요인은 그 건축물 내에 포함되는 가연물의 양과 개구부의 크기다. 가연물의 양을 화재실의 바닥면적으로 나눈 값을 화재하중이라고 한다. 건축물내의 가연물

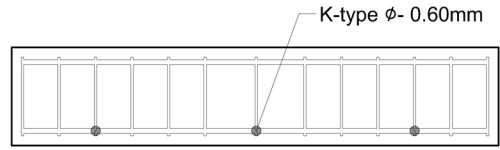


Fig. 4 Details of Thermocouple

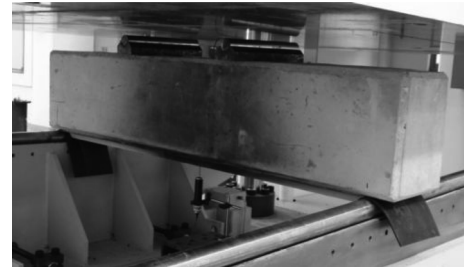


Photo 1 Set up for Test

은 크게 나누면 고정 가연물과 적재 가연물 두 가지로 나눌 수 있으며, 가연물의 발열량을 동발열량의 목재중량으로 환산한 값을 등가가연물이라 말한다. 다음 식에 나타낸 등가가연물량의 값을 화재하중이라 부르고, 화재성상을 논할 경우 기본적인 요소가 된다.

$$q = \frac{\sum G_i H_i}{H_0 A} = \frac{\sum Q_i}{H_0 A} \quad (1)$$

여기에서, q는 화재하중(kg/m²), H₀는 목재의 단위발열량(kJ/kg), A는 화재구획의 바닥면적(m²), G_i와 H_i는 가연물 중량(kg) 및 가연물 단위발열량(kJ/kg), 그리고 ∑Q_i는 화재구획 내의 가연물 총발열량(kJ)을 나타낸다. 본 실험에서는 이평강 등(2003)이 산정한 교육연구 및 복지시설의 화재하중 829(MJ/m²)를 적용하였다.

Fig. 4 온도측정은 K-type φ-0.60mm 열전대를 내·외부에 보 중앙부와 단부에 각각 부착하였으며, 데이터 저장은 ALMEMO 5590을 연결하여 측정하였다.

2.2.5.2 가력 및 측정방법

콘크리트 보의 역학적 특성을 측정하기 위해 실험체를 양단 핀지지 상태로 설치한 후 가력장치는 유압식 U.T.M (Universal Test Machine:500ton)를 사용하였고 실험체 중앙부에 설치된 변위제어 방식으로 3점 가력하였고, 변위측정을 위해서 중앙부 하단에 LVDT를 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 화재성상

화재하중 및 그에 따른 최고온도와 그 시간을 표 6에 나타내었고, Fig. 5는 시간에 따른 보 중앙 내·외부의 온도변화를 나타내었다. Table 6과 Fig. 5에서 알 수 있듯

Table 6 Maximum temperature and time

화재하중 (kg/m ²)	최고 온도(°C) 및 시간(sec)			
	중앙 외부	시간	중앙 내부	시간
44.0	525	116	58.6	3200

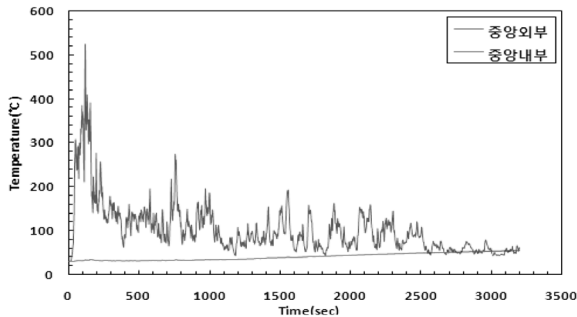


Fig. 5 Temperature of interior and exterior for specimens

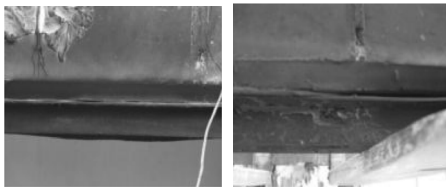


Photo 2 Damage of FRP-Aluminum composite hollow beam

이, 화재가 발생하면 초기에 급격한 열이 외부에 전달되고, RC보 내부는 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 RC보 외부의 열이 보강·시공된 FRP-알루미늄 유공복합보를 통해 내부로 전달됨으로써 인장철근은 상대적으로 열의 의한 피해는 줄어드는 것을 알 수 있다. Photo 2와 같이 부풀림 현상과 함께 에폭시 수지가 열에 의해 녹아 접착부위의 벌어짐이 발생한 것을 알 수 있다.

3.2 실험결과

실험결과 나타난 시험체 BC의 경우 초기균열은 102kN 2.2mm에서 발생하였다. FRP-알루미늄 유공복합보의 보강 시험체 BT군의 경우 손상율에 따른 초기균열하중은 82.6~126%의 증가율을 보였다. FRP 보강보에 화재하중을 가한 손상율에 따른 FBT군의 경우도 98.8~121.3% 정도의 증가율을 보였다. 초기균열시 처짐을 살펴보면, 보강한 BT군과 FBT군의 경우 기준시험체 BC와 비교하여 처짐의 발생은 약 1.5~2.5배 정도의 증가를 보였는데, 이는 FRP-유공복합보의 균열 억제성능의 효과로 볼 수 있겠다.

또한 시험체 BC의 경우 최대하중은 210kN, 12.14mm의 결과값을 나타냈다. 이와 비교하여, 손상율에 따른 BT군의 경우 295~421kN으로 표와 같이 최대하중은 손상율에 따라 일정하게 분포되지 않는 것을 볼 수 있고, 이는 에폭시 수지 및 파워핀의 시공상태 및 부착강도에 따라

Table 7 Summaries of Results for Test

시험군	균열하중		증가(%)	최대하중		증가(%)	비고
	하중(kN)	처짐(mm)		하중(kN)	처짐(mm)		
BC	102	2.2	-	221	12.1	-	
BT-0	186	3.4	82.6	344	6.0	63.7	
BT-25	193	3.2	89.5	341	6.1	62.3	
BT-50	231	3.7	-	295	6.3	40.1	
BT-75	222	4.3	-	335	6.6	59.3	
BT-100	-	-	-	421	10.4	99.5	
FBT-0	212	3.5	108.7	393	5.7	86.8	
FBT-25	202	3.8	98.8	337	7.7	60	
FBT-50	225	5.4	-	329	8.3	56.3	
FBT-75	211	4.3	-	254	6.9	20.6	
FBT-100	-	-	-	174	4.3	-	

보강성능이 달라지는 것으로 분석된다. 처짐의 경우 기준 시험체 BC와 비교하여 최대하중시 약 50%의 보강성능을 나타내었다. 여기서 특이할 사항은 손상율에 따른 BT군의 경우 극한하중을 가한 후 보강한 BT100 시험체의 처짐에 대한 보강효과는 미미한 것을 알 수 있다. 이는 에폭시 수지 및 파워핀의 시공상태 및 부착강도에 따라 보강성능이 달라지는 것을 알 수 있고, 화재하중을 가한 손상율에 따른 FBT군의 경우 174~393kN를 분포를 나타내었고, 처짐의 경우 5.76~8.32mm의 손상율에 따른 일정한 분포를 나타내지 않았다. 이것 또한 에폭시 수지 및 파워핀의 시공상태 및 부착강도에 따라 보강성능이 달라지는 것으로 분석된다. 화재하중을 가한 FBT군의 특이할 사항으로 최대하중이 손상율이 감소함에 따라 감소하였다.

이는 BT군에서는 볼 수 없었던 현상으로 손상율에 따른 FRP-알루미늄 유공복합보의 보강성능이 화재와 같은 고온에 노출시 손상율이 커짐에 따라 감소하는 것을 실험을 통해서 알 수 있었다.

3.3 하중-변위 관계

각각의 실험체에 대한 하중-변위 관계는 Figs. 6~13에 걸쳐 나타내었다. Fig. 6의 보강과 무보강 실험체의 비교시 보강시험체 BC는 연성적인 거동을 보이는 반면, BT-0의 경우 초기에 높은 강성을 보이거나, FRP-알루미늄 유공복합보의 피복 박리 현상과 함께 급격한 강도 저하 현상을 보인다. FRP-알루미늄 유공복합보의 보강으로 강성의 증가로 인해 하중은 약 80%, 처짐은 60% 정도 증가한 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 경우 보강 실험체의 손상율에 따른 하중-변위 곡선을 나타내었다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 손상율에 따른 하중-변위의 비례관계는 찾아 볼 수 없다. 이는 FRP-알루미늄 유공복합보의 접착, 파워핀의 탈락, 시공

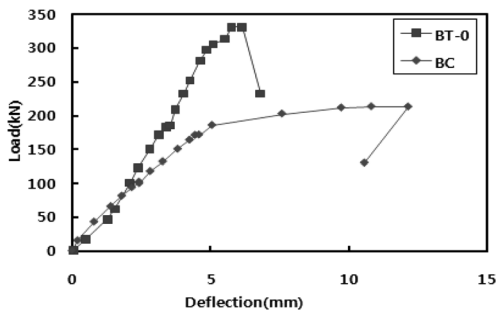


Fig. 6 Comparison Unstrengthened with Strengthened

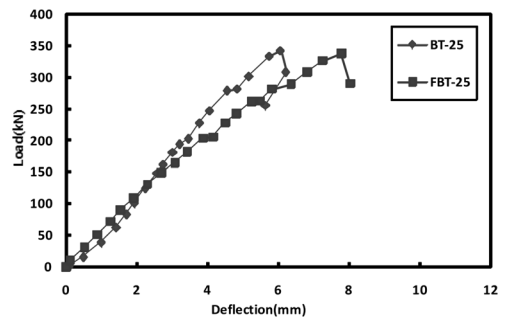


Fig. 10 Comparison Fire with unfired specimen(25% damage ratio)

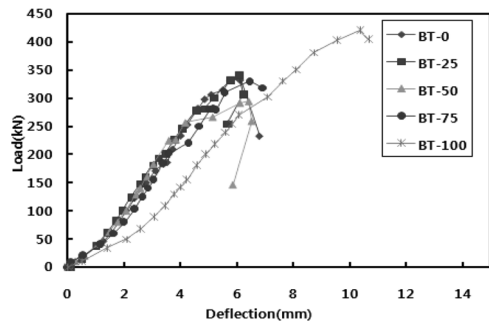


Fig. 7 Load-Deflection of Strengthened specimens

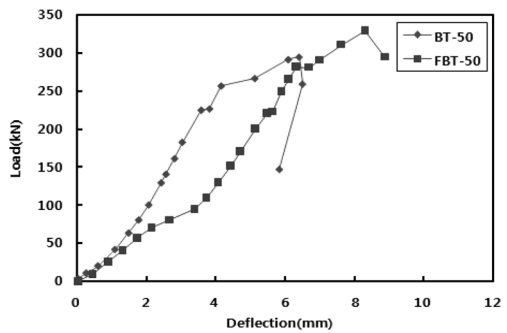


Fig. 11 Comparison Fire with unfired specimen(50% damage ratio)

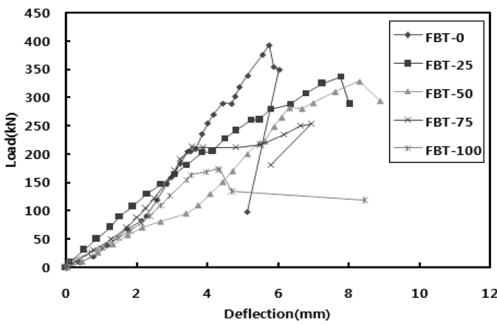


Fig. 8 Load-Deflection of Fired specimens

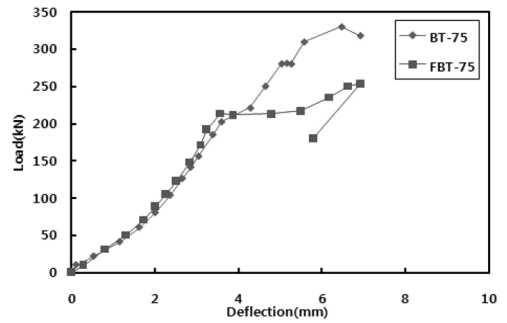


Fig. 12 Comparison Fire with unfired specimen(75% damage ratio)

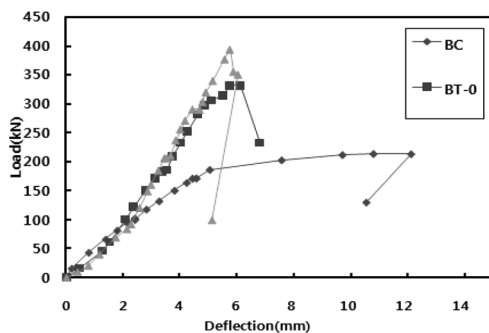


Fig. 9 Comparison Fire with unfired specimen

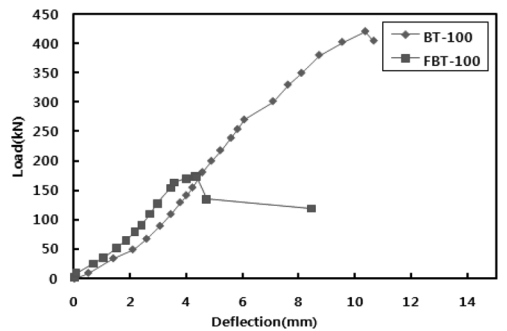


Fig. 13 Comparison Fire with unfired specimen(100% damage ratio)

상태 등에 의해 좌우된다는 것을 알 수 있다. 하지만, 손상율 100%의 경우 다른 실험체와 달리 강성이 많이 저하된 것을 볼 수 있는데, 이는 보의 처짐으로 인해 FRP-알루미늄 유공복합보의 정착이 완전히 이루어지지 않았다는 것을 알 수 있다.

화재 실험체의 손상율별 하중-변위곡선을 비교한 Fig. 8의 분석결과 손상율에 따른 강성의 변화는 보이지 않으나, 손상정도가 커질수록 최대하중이 감소하는 것을 알 수 있다. 손상정도가 커질수록 변위량 또한 증가하고, 75% 이상의 손상도에서는 급격한 강도 저하와 FRP-알루

미늄 유공복합보의 접착과피로 인해 보강성능이 발현되기 전에 박리현상과 더불어 취성적인 거동을 보이고 있다.

Fig. 9는 기준 실험체와 보강 실험체의 화재-비화재 실험체 간의 비교를 나타내었다. BC 보의 경우 보강 실험체와 달리 급격한 강도 저하없이 연성적인 거동을 보인다. BT-0와 FBT-0를 비교해 보면, FBT-0보다 BT-0의 경우 초기 강성은 좀 더 높게 나타나는데 이는 화재 하중으로 가한 열로 인해 에폭시 수지의 접착력이 저하되었고, 또한 FRP-알루미늄 유공복합보의 부풀림 현상과 뒤틀림 현상으로 파워핀의 탈락으로 인하여 강성이 저하되었으리라 사료된다.

Fig. 10~13은 각각의 손상율에 따른 화재 실험체와 비화재 실험체 간의 비교 그래프를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 비화재 실험체에 비해 화재 실험체의 경우 손상도가 커질수록 화재하중에 의해 FRP-알루미늄 유공복합보의 접착과피로와 더불어 보강성능의 저하, 급작스런 취성과파괴 등을 실험을 통해 알 수 있었다.

3.4 연성도 평가

구조부재의 변형능력이 크다는 것은 외력에 대한 에너지 흡수능력이 크다는 것을 의미한다. 부재의 변형능력은 하중-변위 곡선에서 변위변형능력과 면적변형능력으로 구분한다. 변위변형능력은 연성도로 간주할 수 있고, 면적변형능력은 에너지 흡수능력으로 간주할 수 있다.

연성도(μ)의 평가는 최대하중(P_{max})시의 최대처짐(δ_{max})을 보의 항복하중(P_y)시의 항복처짐(δ_y)으로 나누어 평가하였고, 이는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (2)$$

Table 8에서 알 수 있듯이, 기준실험체 BC의 경우 연성도(μ)가 2.45로 가장 높아 변형능력이 크게 나타났다. 선하중이 가해진 BT-25부터 BT-100까지의 연성도(μ) 경우, 1.67~1.74로 FRP-알루미늄 유공복합보의 보강 후 내력증가는 기대할 수 있으나 변형능력이 감소함을 알 수 있다. 또한 화재 실험체인 FBT의 경우 손상율이 증가할수록 박리과피로 인해 변형능력이 급격히 떨어짐을 보이고 있다. 이는 화재하중에 의한 고온에 노출됨으로써 FRP-알루미늄 유공복합보의 부풀림, 뒤틀림 현상과 에폭시 수지의 내열성 부족 등으로 보강성능이 떨어짐을 의미한다. Fig. 14는 보강재의 보강효과를 검토하기 위하여 내력비 P_{max}/P_{bcmax} (보강실험체 최대하중/기준실험체 최대 하중)와 연성비 μ/μ_{bc} (보강실험체 연성도/기준실험체 연성도)를 나타내었다.

FBT-100 실험체를 제외한 모든 보강실험체의 내력이 증가하였으나, Fig. 14에서와 같이 보강실험체 모두 휨압

Table 8 Ductility of Each specimen

실험체명	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	연성도 (μ)
BC	171	4.4	213	10.8	2.45
BT-0	182	3.12	331	6.12	1.96
BT-25	201	3.47	341	6.07	1.74
BT-50	226	3.83	294	6.42	1.67
BT-75	202	3.85	330	6.47	1.68
BT-100	270	6.06	420	10.36	1.70
FBT-0	205	3.46	393	5.76	1.66
FBT-25	242	4.82	337	7.78	1.61
FBT-50	202	5.14	329	8.31	1.61
FBT-75	211	4.8	254	6.93	1.44
FBT-100	128	2.96	174	4.32	1.45

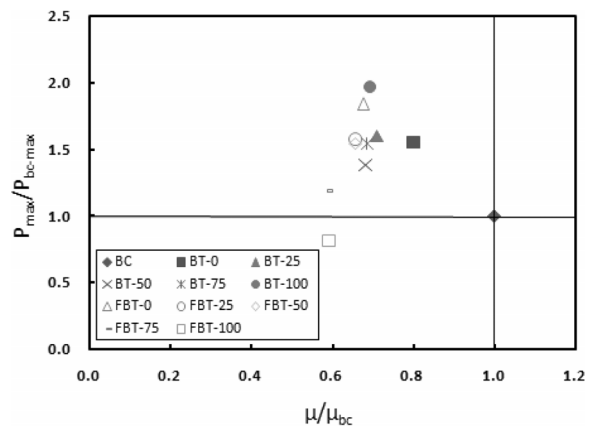


Fig. 14 Comparison Ductility ratio with strength ratio

축과피로에 의해 연성비는 기준실험체에 미치지 못함을 알 수 있다.

3.5 균열 및 파괴형상

3.5.1 균열

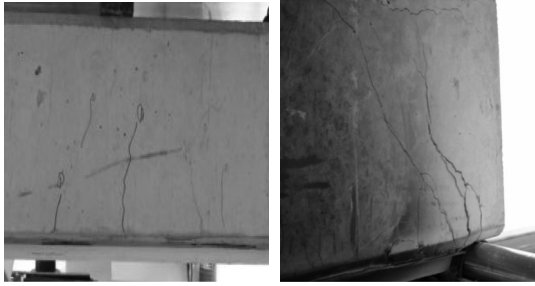
기준실험체 BC의 경우 전형적인 휨균열 양상을 나타내고 있다. 최초 균열은 하중 102kN, 처짐 2.2mm, 중앙부에서 발생하였으며, 점차적으로 보 단부로 진행되는 휨균열 양상을 나타내었다. 보강 실험체의 경우 Fig. 15와 같이 기준실험체 BC와 비교하여 중앙부의 균열이 현격히 줄어들음을 알 수 있다. 또한 FRP-알루미늄 유공복합보의 내력증가 영향으로 최초 균열시 하중 186kN, 처짐 3.3mm에서 발생하였다. 하지만 FRP-알루미늄 유공복합보의 처짐과 중앙부 균열에 효과적인 대신 단부로의 응력이 집중됨으로 인해 사인장 균열이 더욱 발생됨을 알 수 있었다.

3.5.2 파괴형상

보강실험체 모두 사인장 균열과 단부의 FRP-알루미늄 유공복합보 박리현상과 콘크리트 피복분리 현상이 함께

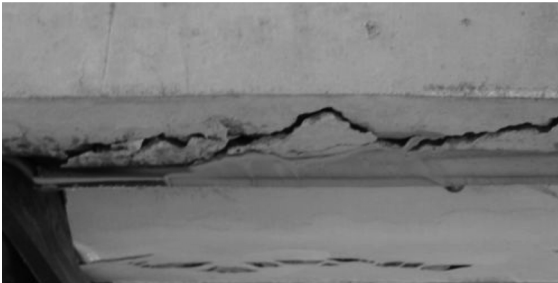
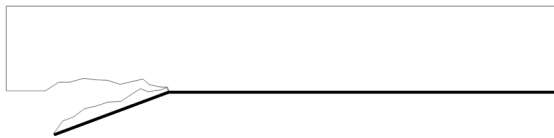


(a) Crack of Control specimen

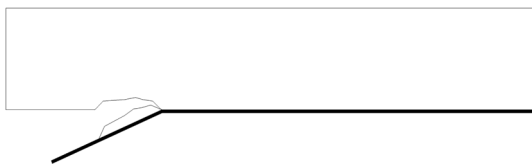


(b) Crack of Strengthened specimen

Photo 3 Comparison Control with Strengthened specimen for crack



(a) Aspect of Damage 1 – Concrete Separation



(b) Aspect of Damage 2 – Peeling failure and Concrete Separation

Fig. 15 Aspect of Damage for Strengthened specimen

나타났다. 화재하중이 없는 보강실험체의 경우 손상율에 관계없이 박리현상과 피복분리 현상이 나타났고, 화재하중을 받은 화재보강실험체의 경우 손상율이 높아짐에 따라 내력감소와 에폭시 수지의 내열성 부족으로 FRP-알루미늄 유공복합보의 박리현상과 피복분리 현상이 더욱 빨리 진행되었다.

4. 결론

본 연구에서는 구조적인 손상을 받은 철근콘크리트 보의 손상율을 각각 달리하여, 그에 따라 얇은 알루미늄 프레임(Aluminum frame)에 FRP를 함침 부착시켜 일체화한 FRP-알루미늄 유공 복합보(FRP-Aluminum Composite Hollow Beam)로 보강하여 손상율에 따른 FRP-알루미늄 유공 복합보(FRP-Aluminum Composite Hollow Beam)를 보강하였다. 안정성 및 사용성 확보를 위해 FRP-알루미늄 유공복합보를 부착한 철근콘크리트 보의 이력거동을 휨 실험을 통해 규명하고, 또한 보강재를 화재하중에 노출시킴으로써 실제로 FRP-알루미늄 유공복합보가 보강되었을 경우 화재하중에서의 보강성능 저하를 실험을 통해 규명하고자 실험을 행하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) FRP-알루미늄 유공복합보로 보강한 실험체의 경우 기준실험체 BC보다 최대하중은 최소 82.6%~최대 126.9%의 내력 증가를 보였으며, 철근콘크리트 보의 손상율에 관계없이 보강성능을 확보함을 실험을 통해 알 수 있었다.

2) 기준실험체 BC의 경우 연성도 2.45로 연성적인 거동을 보인 반면, 보강실험체 BT군의 경우 연성도 1.67~1.96으로 보강 후 내력은 증가하지만, 변형 능력이 저하됨을 알 수 있다.

3) 화재하중을 가한 보강실험체 FBT군의 경우 철근콘크리트 보의 손상율이 50%이상에서 증가함에 따라 내력 및 변형능력이 감소하였고, 이는 손상된 구조체의 손상율이 클수록 화재에 더 큰 영향을 받고, 또한 보강성능이 저하됨을 알 수 있다.

4) 화재하중으로 인해 FRP와 알루미늄 함침하여 일체화한 FRP-알루미늄 유공복합보가 부풀림, 벌어 짐 현상으로 자체 내력이 20%~50% 감소하였고, 또한 내열성이 약한 에폭시 수지의 접착력 약화로 보강성능이 현격히 떨어졌다.

5) 보강실험체의 최대하중은 단부의 박리현상 및 콘크리트 피복분리 현상에 의해 결정되며, 이는 단부의 접착방법의 개발에 따라 보강효과의 증진을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

6) 실험을 통해 보강실험체의 경우 손상율이 커질 수록 화재에 더욱 큰 영향을 받음을 알 수 있었고, 실제 구조

체에 FRP-알루미늄 유공복합보를 보강할 경우, 적절한 내화 공법이 수반되어야 할 것으로 사료 된다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 CTRM(고성능/다기능 콘크리트 핵심 및 활용기술)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 권영진 외 5명, “건축과 화재”, 동화기술, pp.285~288
2. 김철환, 함영덕, 김구진, “손상된 철근콘크리트 보에 있어서 탄소섬유판의 보강 성능에 관한 연구”, 한국셀·공간구조학회 논문집, 통권(17호), 2005 pp.107~113
3. 신성우, 반병렬, 안종문, 조인철, 김영수, 조삼재, “탄소섬유쉬트의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨거동에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp.579-584.
4. 신창훈, 김규석, “구조적 손상을 받은 RC보의 휨 보강에 관한 내력평가”, 대한건축학회논문집 구조계, 제16권 12호, 2000, pp.11-18.
5. 심종성, 김규선, 이석무, 김경민, “GFRP로 보강된 RC보의 휨 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp.559-565.
6. 이상현, 최열, 박춘옥, “FRP-알루미늄 유공 복합보로 보강된 철근콘크리트 부재의 성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회 대구경북지회 학술발표대회, 제10권 제1호, 2007, pp.179-182.
7. 이상현, “FRP-Aluminum Composite Hollow Beam의 보강 성능에 관한 실험적 연구”, 경북대학교 산업대학원, 석사학위 논문, 2008.
8. 이평강, 이용재, 최인창, 김희서, “화재하중밀도를 고려한 건축물의 내화설계법에 관한 연구”, 한국화재·소방학회, 제17권 제2호, 2003
9. Alfarabi Sharif 외 3인, “Strengthening of Initially Loaded RC Beams Using FRP Plastic”, ACI Structure Journal, Vol. 91, No. 2, 1994.
10. Richard Barnes, James Fidell, “Performance in Fire of Small-Scale CFRP Strengthened Concrete Beams”, Journal of composites for construction, November / December, 2006.

(접수일자 : 2009년 11월 17일)
(심사완료일자 : 2010년 1월 28일)

요 지

다양한 요인에 의해 성능이 저하된 철근콘크리트 구조물은 보수·보강 공법이 요구된다. 현재 다양한 공법과 신소재를 이용한 보강법의 개발이 진행 중에 있다. 최근에 섬유보강 복합체(FRP)를 이용한 보강공법이 주목받고 있으며, 많은 연구와 개발이 진행 중에 있다. 본 논문에서는 FRP-알루미늄 유공복합보로 보강된 RC보의 화재거동에 관한 실험결과를 제시하고자 한다. 사전가력으로 손상시킨 RC보에 FRP-알루미늄 유공복합보로 보강후 화재노출시킨 결과, 손상율이 높아질수록 화재노출에 더욱 많은 영향을 받았으며, 보강효과가 떨어짐을 실험결과 나타냈다.

핵심 용어 : FRP-알루미늄 유공복합보, 보강성능, 손상된 보, 사전가력, 화재하중, 연성
