

아라미드섬유쉬트로 휨 보강된 RC보의 부착파괴 방지 상세에 관한 실험적 연구

An Experimental Study to Prevent Debonding Failure of RC Beams Strengthened by Aramid Fiber Sheets

최기선^{*} 유영찬^{**} 김금환^{***}
Choi, Ki Sun You, Young Chan Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

Nominal flexural strength of RC members strengthened with FRP sheets is generally based on the tensile strength of composite materials obtained from coupon tests. This method is based on the assumption that bond failure does not occur until the FRP sheet reaches its rupture strength. According to the previous researches, however, bond failure often occurs before the FRP sheet reaches its rupture strength. Some attempts were made to control debonding failure by increasing the bonded length of sheet or wrapping the section around their side of the member(U-wrap). In this study, the flexural failure mechanism of RC beams strengthened with AFRP sheets with different bond lengths is investigated. Their strengthening details to prevent the premature debonding failure are also suggested and its effectiveness is verified.

1. 서 론

신소재 FRP의 구조용 보강재로서의 효용성이 확산되면서 건축·토목 등 건설전반에 걸쳐 사용비중이 급속히 증가하고 있는 추세이나, 적용현황에 비하여 설계기준이나, 보강공법의 특성에 대한 올바른 인식이 부족하여 많은 오류가 범해지고 있다. 특히, 기존 보강공법의 대다수를 차지하는 쉬트형 FRP의 보강설계에서는 FRP의 파단강도를 기준으로 설계기준인장강도를 산정하고 있음에도 불구하고, 부착파괴에 대한 고려는 거의 이루어지지 않고 있다. 즉, FRP의 사용에 있어서 요구되는 보강성능을 발휘하기 위해서는 충분한 부착성능의 확보가 전제되어야 하며, 부착메카니즘에 대한 정확한 이해를 바탕으로 합리적인 부착방지 시스템을 결정해야 한다. 따라서 본 연구에서는 아라미드섬유쉬트로 휨 보강된 RC부재를 대상으로 부착메카니즘을 분석하고 박리파괴 방지를 위한 효율적인 방지상세를 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

FRP의 부착성능은 1차적으로 콘크리트와 에폭시 수지의 부착강도에 의해서 결정되어지며, FRP의

* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구부장

보강길이를 확보함으로써 소정의 부착성능을 얻을 수 있다. 그러나, 에폭시 수지의 부착력만으로 FRP의 박리파괴 제어가 불가능할 때에는 추가적인 부착파괴 방지상세의 도입이 필요하며, 기존에는 기계적 정착장치를 단부에 설치하거나 동일한 FRP로 단부를 U형으로 감싸는 방법이 일반적으로 사용되었다. 이러한 단부 정착상세는 근본적으로 박리발생의 억제에는 효용성이 매우 낮기 때문에 본 연구진은 선행연구에서 중앙부 U 보강 및 에폭시 전단키 방식을 제안하였으며, 탄소섬유쉬트 및 유리섬유쉬트에 대하여 그 효용성을 입증하였다^{1),2)}. 따라서 본 연구에서는 아라미드섬유쉬트로 휨보강된 철근콘크리트 보에서 부착길이에 따른 박리파괴 메커니즘을 분석하고, 박리파괴를 방지하기 위하여 기존연구에서 제안되었던 단부 U형 Wrapping 보강상세와 선행연구에서 제시된 중앙부 U형 Wrapping 및 에폭시 전단키에 의한 박리파괴 방지상세의 유용성을 검토하였다.

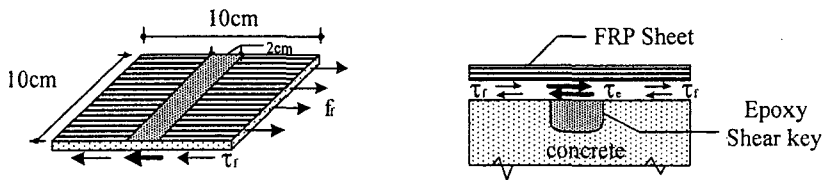


그림 1 에폭시 전단키 매입상세

3. 실험

아라미드섬유쉬트에 의한 RC 부재의 휨보강 성능 실험을 위하여 가력골조를 설치하고 25t 용량의 Actuator로 3점 가력하였다. 실험에 사용된 재료는 설계압축강도 240kgf/cm²의 콘크리트와 항복강도 4,000kgf/cm²의 철근 및 설계기준인장강도 21,000 kgf/cm²의 아라미드섬유쉬트를 사용하였다.

실험체는 총 6개로 기준실험체인 무보강 실험체와 아라미드섬유쉬트의 부착길이만을 변수로 하는 B1, B2 실험체, 단부와 중앙부에 폭 20cm의 아라미드섬유쉬트를 이용하여 U 보강한 UCB2, UEB2 실험체 및 그림 1과 같은 에폭시 전단키를 10cm 간격으로 보강면에 매입한 SB1 실험체로 구성되었다. 표 1에서 기준실험체인 EC 실험체는 무보강 실험체이며, EC를 제외한 실험체는 아라미드섬유쉬트 1매를 보강하고, 각 변수에 따른 정착상세를 적용하였다. 실험체의 단면치수는 폭 15cm 높이 25cm로, 인장측과 압축측 피복두께를 3cm로 하였으며, 지점길이 2.4m, 전체 실험체 길이 3.0m로 계획하였다. 각 실험체의 형상 및 치수는 그림 2와 같다.

표 1 실험체 일람표

실험체명	τ_r^* (kgf/cm ²)	부착길이 (cm)	비고
EC	-	-	기준실험체
EA1-B1	4.4	190	부착길이
EA1-B2	6.0	140	부착길이
EA1-UCB2	6.0	140	중앙 U 보강
EA1-UEB2	6.0	140	단부 U 보강
EA1-SB1	4.4	190	에폭시 전단키

* τ_r : 콘크리트와 AFS와의 설계용 부착응력

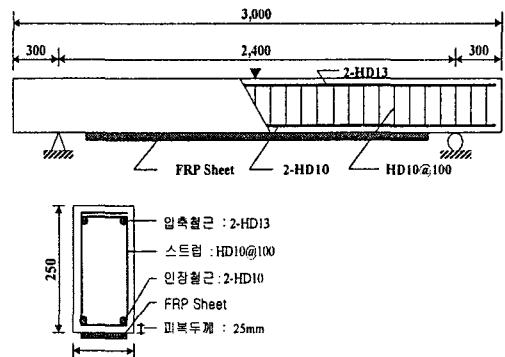


그림 2 실험체 상세

4. 실험 결과 분석

4.1 부착길이

부착길이를 변수로 한 실험체에서는 국내의 기준에서 제시하고 있는 FRP와 콘크리트의 설계용 부착응력을 대상으로 실험체를 제작하였다. 실험결과 $\tau_f = 4.4 \text{ kgf/cm}^2$ 로 부착길이를 산정한 실험체에서도 박리파괴가 발생함으로써 이보다 부착길이가 짧은 EA1-B2 실험체는 실험 결과에서 제외되었다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 충분한 보강성능을 발휘하고 파단된 EA1-SB1 실험체와 비교할 때 현행기준에서 제시하고 있는 최대한의 부착길이를 확보하여도 부착파괴를 방지할 수 없으며, 조기부착파괴로 인하여 최대하중이 감소하는 것을 알 수 있다.

또한, 실험에서 관찰된 아라미드섬유시트의 박리파괴 메커니즘이 중앙부 부분에서의 국부적인 박리에 의해 단부로 진행되는 것을 고려하면 최종적으로 부착길이의 확보만으로는 박리파괴를 방지하기 어려울 것으로 판단된다. 따라서, 아라미드섬유시트에 의해 힘 보강된 RC부재의 보강설계시에는 박리시의 변형률을 근간으로 하여 보강설계가 이루어져야 할 것으로 판단되나, 이러한 박리파괴 메커니즘에 의해 파괴모드가 지배되는 부재에서는 박리시의 변형률을 예측하기 매우 어려우므로, 아라미드섬유시트에 의해 보강된 구조부재의 품질성능을 확보하기 위해서는 별도의 박리파괴 방지를 위한 상세의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

4.2 부착파괴 방지상세

「단부 U보강」상세를 적용한 EA1-UEB2 실험체는 중앙부에서 시작된 박리가 단부로 진행됨에 따라 부분적인 하중의 증감이 반복되었으며, 중앙부에서 발생된 박리가 U보강 좌·우측의 경계면까지 박리가 진행되면서 하중-변위곡선의 강성이 급격히 저하되었다. 이후, 하중의 증가없이 변위만 증가되는 연성거동이 관측되었다. 따라서, 제한된 실험결과에 의하면 단부 U보강공법은 연성적인 거동을 보이지만, 섬유시트의 박리가 중앙부에서부터 단부까지 광범위하게 진행된 이후에 내력이 증가된 것이므로 구조물 안정성 측면에서는 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

이에 대하여, 선행연구에서 제시된 아라미드섬유시트로 중앙부를 U보강한 EA1-UCB2 실험체는 중앙부에서 초기박리가 발생하였으나, U보강에 의해 박리의 진행이 효과적으로 억제되었으며, 이에 따라 강성의 저하 없이 지속적으로 하중이 증가되어 최종적으로 섬유시트가 파단되었다. 즉, U 보강 경계면

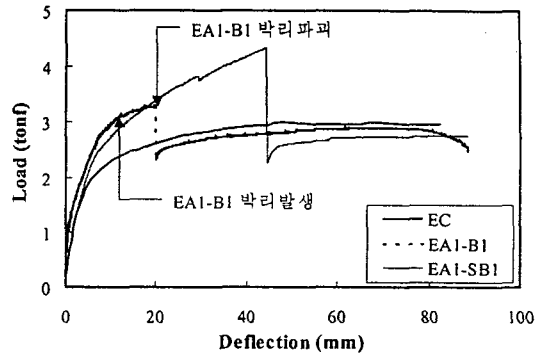


그림 3 부착길이 제어 실험체의 하중-변위곡선

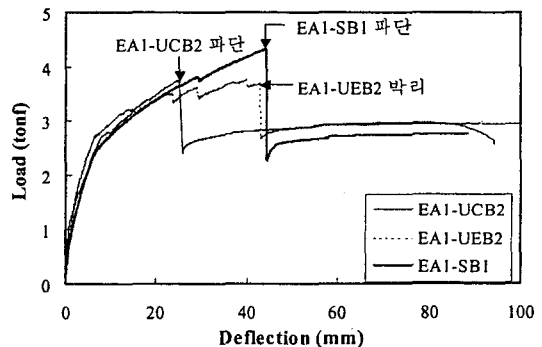


그림 4 부착파괴 방지상세에 따른 하중-변위곡선

에서의 응력집중으로 그림 4에서 나타난 것과 같이 섬유쉬트가 조기에 파단되었으나, U보강에 의한 초기 박리의 억제 및 이상적인 파괴양상을 나타냄으로써 그 효용성을 입증하였다.

본 연구에서 제시한 에폭시 전단키를 매입한 실험체는 하중 가력점 부위에서 초기 박리가 발생되었지만 전단키에 의하여 박리의 진행이 효과적으로 억제되었으며, 최대하중의 증가에 따라 확장된 보의 소성역 부분에서도 추가적인 박리의 확산이 이루어지지 않았다. 결국 아라미드섬유쉬트가 파단될 때까지 박리의 진행은 억제되었으며, 전단키의 파괴도 발생하지 않았다. 또한 그림 4에 나타난 것과 같이 섬유쉬트의 박리에 의한 하중의 감소나 휨강성의 변화가 거의 없이 최대하중까지 도달하였기 때문에 에폭시 전단키에 의한 보강상세는 박리파괴를 방지할 수 있는 매우 효율적인 방법으로 판단된다.

표 2 실험결과

실험체명	항복하중 (tonf)		박리발생시		최대하중 (tonf)					최종파괴시			파괴형상
	Cal _n	Exp	P _d	ε _f	Cal _n	Cal _u	Cal _e	Exp	ε _f	δ	ε _c	ε _f	
EC	1.90	2.15	-	-	2.04	2.50	-	2.94	-	-	-	-	휨파괴
EA1-B1	2.07	2.76	3.10	8,181	3.53	4.19	2.80	3.28	8,570	19.98	3,212	6,663	쉬트박리
EA1-UCB2	2.07	2.78	2.90	7,024	3.53	4.19	3.13	3.77	12,222	25.12	2,604	12,222	쉬트파단
EA1-UEB2	2.07	2.73	2.90	5,941	3.53	4.19	2.81	3.76	8,681	42.66	3,395	8,075	박리후파단
EA1-SB1	2.07	2.30	-	-	3.53	4.19	4.05	4.33	19,640	44.16	3,566	19,640	쉬트파단

5. 결론

- 1) 기존의 설계용 부착강도로 계산되어진 부착길이만으로는 아라미드섬유쉬트로 휨 보강된 실험체에서 충분한 보강성능을 발휘하기 위한 부착성능의 확보가 어려울 것으로 판단된다.
- 2) 박리파괴를 방지하기 위하여 기존에 제안되었던 '단부 U보강' 상세는 단부에서 최종박리 현상을 일부 지연시킬 수 있으나, 중앙부로부터 발생되어 단부로 진행되는 섬유쉬트의 박리현상을 근본적으로 억제할 수는 없는 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구진에 의해 제시된 중앙부 U보강 상세는 중앙부에서 발생하는 초기박리를 효과적으로 억제하였으며, 최종적으로 섬유쉬트의 파단을 유도할 수 있는 부착성능의 확보가 가능한 것으로 판단된다.
- 4) 에폭시 전단키에 의한 부착파괴 방지상세는 중앙부에서의 초기박리 및 박리의 확산을 지속적으로 억제하며, 최종적으로는 하중의 감소나 휨강성의 변화 없이 섬유쉬트의 파단강도까지 도달하기 때문에 아라미드섬유쉬트의 부착파괴 방지상세로서 매우 효율적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 최기선, 류화성, 최근도, 이한승, 유영찬, 김궁환, "실물모형 실험에 의한 탄소섬유쉬트 보강 RC 보의 휨 부착거동", 가톨릭학술발표회논문집, 한국콘크리트공학회, 제13권 2호, 2001, pp.1003~1008.
2. 최기선, 유영찬, 이진용, 김궁환, "유리섬유쉬트로 휨보강된 RC보의 부착파괴 방지상세에 관한 실험적 연구", 봄학술발표회 논문집, 한국콘크리트공학회, 제15권 1호, 2003, pp.531~536.
3. (주)한국화이버/한국카본, "탄소섬유시트 공법 기술자료(II)", 해림, 1998, pp.52.
4. 土木學會 콘크리트委員會, "콘크리트構造物의補強指針(案)", 土木學會, 1999, pp94.