

탄소 및 유리섬유 풀트루전 스트립을 이용한 RC보의 휨보강 연구

Flexural Reinforcement of RC Beams with Pultruded Carbon and Glass Fiber Strip

정 원 용 * 이 성 우 **
Chung, Won Yong Lee, Sung Woo

ABSTRACT

In recent years, FRP plates have been studied for flexural reinforcement of RC structures due to easy installation and good quality control. This study presents experimental results for the effectiveness of flexural reinforcement of the RC beams using thin CFRP and GFRP strips made by the pultrusion process. For the selected FRP strips of various thicknesses and widths, it was demonstrated that both flexural strength and ductility were considerably increased with relatively easy installation when compared to the other methods used for the composite reinforcement.

1. 서론

지금까지 주로 항공분야를 비롯한 첨단과학분야에서 사용되었던 복합소재를 건설용 재료로 사용하기 위한 연구개발이 현재 활발히 진행되고 있다. 그 중 복합소재 섬유시트는 콘크리트 구조물의 휨강도 보강에 널리 이용되고 있다. 그러나 현재 사용중인 섬유시트 보강공법은 가볍고, 부식하지 않는 등 많은 장점을 지니고 있으나 시공 조건에 따라서 품질관리에 문제점이 발생할 수 있어 최근에는 FRP(Fiber Reinforced Plastics)판을 이용한 콘크리트 보의 보강공법에 대한 연구가 이루어지고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 연구에서는 품질관리가 일정하게 이루어질 수 있는 인발성형(Pultrusion)기법에 의해 탄소섬유(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic) 및 유리섬유(GFRP, Glass Fiber Reinforced Plastic) 스트립을 제작하고 콘크리트 보에 휨 보강 한후 실험적으로 보강효과를 분석하였다.

* 국민대학교 토목환경공학부 박사과정

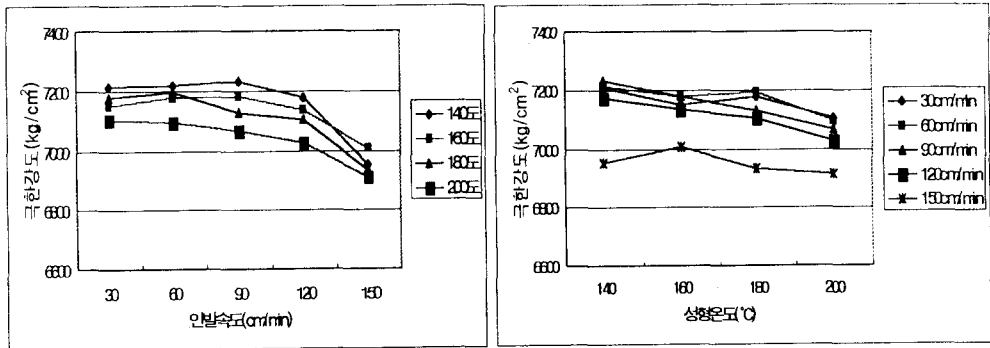
** 국민대학교 토목환경공학부 교수

2. CFRP 및 GFRP 스트립의 인발성형제작

인발성형 공정에서는 탄소 또는 유리섬유를 비닐에스터 수지에 함침시킨 후 가열판 내의 금형을 통과함으로써 균일한 FRP 스트립이 단시간내에 제작될 수 있다. 표 1 에는 FRP스트립 제작에 사용된 재료의 기계적 특성을 보여주고 있다. 인발성형으로 제작된 복합소재는 인발속도와 성형온도에 따라 그림 1 에서와 같이 그 물성치가 변화된다. 본 연구에 사용된 FRP스트립의 제작시에는 이러한 제작공정의 연구결과에 따라¹⁾ 인발속도는 90cm/min, 성형온도는 160° C로 제작하였다.

표 1 FRP스트립 제작에 사용된 재료의 기계적 특성

종 류	제조사	제품명	인장강도(kgf/cm ²)	탄성계수(kgf/cm ²)
탄소섬유	일본 Toray	T 700S	49,000	2.35×10 ⁹
유리섬유	오웬스 코닝	RS 1150-366	28,000	7.4×10 ⁹
비닐에스테르수지	고려화학	오레스터 R 3791N	423.5	37790



(a) 인발속도에 따른 변화

(b) 성형온도에 따른 변화

그림 1 인발속도 및 성형온도 변화에 따른 극한인장강도의 변화

3. 철근콘크리트 보의 휨 보강 시험

3.1 보강판 접착제의 선정

본 연구에서는 콘크리트 면에 CFRP 및 GFRP 스트립을 접착하기 위한 접착제를 선정할 목적으로 몇 개의 제품에 대한 접착강도 시험을 실시하였다. KS규정에 따른 시험결과 가장 성능이 우수한 Ciba-Geigy의 Araldite 제품을 본 연구에서 사용한 CFRP 및 GFRP 스트립의 접착제로 선정하였다.

3.2 시험체의 제작

FRP 스트립으로 보강한 콘크리트 보의 폭과 높이는 각각 15cm 및 25cm, 총길이는 240cm이고 시험을 위한 순지간은 200cm이다. 철근량은 파소철근보로 제작하였고 시험체의 휨 파괴를 유도하기위해 전단 보강용 스트립으로 D10 철근을 10cm 간격으로 설치하였다. 보에 사용된 콘크리트는 설계강도 240kgf/cm² 인 제품의 레미콘을 사용하였고, 철근은 SD40을 사용하였다. 단부정착용 앵커볼트의 직경은 16mm, 철판의 두께는 9mm를 사용하였다.

3.3 실험변수 및 하중 재하시험

실험 변수로는 탄소섬유와 유리섬유 스트립을 두께 0.6mm와 1.2mm 및 폭 5cm와 10cm로 제작하여 보강길이는 0.9L(180cm)로 동일한 조건하에서 정착을 하지 않은 경우와 철판 및 앵커볼트로 정착한 경우에 대하여 시험하였다. 하중 재하시험은 50tonf의 유압 Jack과 Load Cell을 이용하여 3점 재하를 실시하였다. 변위 측정을 위해 보 중앙부 하단에 LVDT를 설치하였고, 인장 주철근 및 FRP 스트립에 각각 2개씩의 Strain Gauge를 설치하여 변형율을 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

실험결과 보강 스트립이 단부에 정착되지않은 모든 시험체에서 박리파괴현상을 보였으며, 이러한 선 박리파괴 현상으로 인해 보강재의 내력이 발휘되지 못하였다. 특히 재질 및 두께보다는 접착면적에 따른 영향이 가장 크게 나타났다. 변형율의 경우 극한 하중시의 변형율은 철근에 비해 FRP 스트립의 변형율이 적게 측정되었다. 또한 보강효과가 커질수록 연성지수가 감소하여 취성파괴되는 경향을 나타내므로 보강재 설계시 이를 고려하여야하나, 단부 정착 시험체의 경우에는 보강효과 및 연성지수가 동시에 증가하였다.

표 2 에는 실험변수에 따른 실험결과를 보여주고있으며 시험체명의 G는 유리섬유, C는 탄소섬유, 05는 5cm폭, 10은 10cm폭, A는 철판 및 앵커볼트로 단부정착된 보를 말한다.

표 2 시험변수에 따른 실험결과

시험체명	항복처짐(mm)	극한처짐	연성지수	극한하중(tonf)	보강효과	파괴모드
무보강	7.36	35.82	4.87	6.01	1.0	휨파괴
G0506	7.99	26.88	3.36	6.7	1.11	계면박리파괴
C0506	8.21	20.72	2.52	6.82	1.13	계면박리파괴
G0512	7.31	19.91	2.72	7.02	1.17	계면박리파괴
C0512	8.11	16.39	2.02	7.58	1.26	계면박리파괴
G1012	8.5	18.4	2.16	7.68	1.27	rip-off파괴
C1012	8.72	15.45	1.77	8.59	1.43	rip-off파괴
GA0506	7.3	38.24	5.24	6.75	1.12	섬유판 파단
CA0506	7.18	43.27	6.03	8.66	1.44	섬유판 휨파괴
GA0512	6.51	35.69	5.48	7.55	1.26	섬유판 파단
CA0512	7.4	39.17	5.29	7.48	1.25	섬유판 파단

실험변수에 따른 영향은 보강 스트립이 단부에 정착되지 않은 보의 경우 처짐량을 분석한 결과 항복하중까지는 큰 차이가 없으나, 동일한 하중의 극한상태에서는 보강두께가 2배 증가시 약 1.8배, 보강폭이 2배 증가시 약 1.4배 및 보강재 재질이 GFRP에서 CFRP로 변화시 약 1.5배 정도의 감소효과를 나타내었다. 극한 내력에 대한 보강효과의 경우 CFRP가 GFRP에 비해 상대적으로 약 2배의 보강효과를 나타내고 있다. 보강폭에 따른 보강효과는 무 보강 보에 비해 5cm폭의 경우 11%-26%, 10cm폭의 경우 27%-43%의 보강효과가 있었다. 보강 스트립이 단부에 정착된 보의 경우 무 보강 보에 비해 항복시의 처짐량은 거의 동일하나 극한하중 작용시의 처짐량은 증가하여 연성지수가 증가되었다. 극한 내력에 대한 보강효과는 5cm폭의 경우 무 보강 보에 비해 12%-44%의 보강효과가 있었으며, 보강 스트립이 단부에 정착되지 않은 보에 비해 최대 1.3배가 증가 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 인발성형된 CFRP와 GFRP 스트립을 이용하여 철근 콘크리트 보를 휩 보강한 후 그 보강효과를 실험적으로 분석한 중간결과로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 스트립 보강재의 내력에 대한 보강효과는 스트립의 보강 폭과 단부 정착의 영향을 주로 받았으며, 처짐에 대한 보강효과는 스트립 두께의 영향을 주로 받았다.
- 2) 스트립 보강재를 단부에 정착하지 않은 RC보에서는 박리파괴 현상이 발생하여 보강재의 내력이 발휘되지 못하였으며, 보강효과가 커질수록 연성지수의 감소로 인한 취성파괴가 우려된다. 스트립 보강재를 단부에 정착한 RC보는 정착하지 않은 보에 비해 내력 보강효과 및 연성지수가 현저히 증가함을 알 수 있었다.
- 3) 스트립 보강재를 이용한 보강방법은 시공성 및 품질관리면에서 상대적으로 유리하나 박리파괴 방지 및 연성 증진을 위해 접착제 개발 및 정착방법 개선과 RC보의 상태에 따른 보강재의 재질, 두께, 폭의 선택에 대한 연구가 현재 진행 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 산학협력과제 98-2-13-0101-2 로 수행되었으며, 과학재단과 풍림 파이버랩 건설(주)의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) H. Saadatmanesh and A.M. Malek, "Design Guide Lines For Flexural Strengthening of RC Beams with FRP Plates," Journal of Composites For Construction, Nov., 1998
- 2) Marco Arduini et. al., "Brittle Failure in FRP Plate and Sheet Bonded Beams," ACI Structural Journal, July-August, 1997
- 3) 신경재, 인발성형된 GFRP스트립판의 구조적특성분석, 국민대학교 석사학위 논문, 1999