

CFS 보강 R/C 보의 균열 및 탈착

Debonding and Crack of the R/C Beam Strengthened with CFS

김충호* 장희석** 박현영*** 고신웅****

Kim, Chung Ho Jang, Hee Suc Park, Hyun Young Ko, Sin Woong

ABSTRACT

This study look into the mechanisms of growth and magnification in the cracks and delamination on the beams repaired with CFS. The experimental parameters was a loading type, loading speed and pre-crack. In the experiments, it was confirmed that the failure of beams began with development and propagation of the delamination in the below the loading point due to magnification of cracks, but it was not concerned with loading type, loading speed and pre-cracks. Particularly, in the case of beams having the pre-cracks, growth of crack concentrated at the special crack below the loading point and led to failure of the beam by delamination due to magnification of crack.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

CFS 보강보는 CFS가 파단변형률에 도달하기 전에 박리 및 탈착에 의해 보강능력을 상실하여 파괴 되는 것은 널리 알려져 있다(1,2). 이러한 파괴 형태는 보강보의 계산된 공칭강도 보다 낮은 값에서 파괴됨을 의미하므로, 보강보의 실제적인 파괴강도를 계산하기 위해서는 CFS의 박리, 탈착시의 균열발생, 성장과 분포 기구 등을 파악하는 것이 필요하다. CFS의 박리 및 탈착에 관한 연구는 많지만, 기존의 연구는 접착재료, 단부 정착형식, 부착길이 등에 관한 것들이 주류를 이루고 있고(3,4,5), 보강보의 균열발생 및 성장에 의한 CFS의 박리 및 탈착에 의한 파단기구를 조사한 연구는 적다. 본 연구에서는 하중의 형식, 재하속도, 보강 전 균열 유무 등의 실험변수로서 CFS 박리의 발생, 전파 및 정착부 탈착 거동 등을 조사하고 균열발생 및 성장과 박리 및 탈착간의 주요 메커니즘을 규명한다.

2. 연구방법

2.1 실험체 재료 및 제작

실험체의 콘크리트는 압축강도 262 kgf/cm², 탄성계수 1.4×10⁵ kgf/cm² 이었다. 탄소섬유 시트는 인장강도 35500 kgf/cm², 탄성계수 2.35×10⁶ kgf/cm², 섬유중량 300 g/cm², 섬유두께 0.167mm, 파단 변형률 0.021 이었다. 반복하중 재하 실험체는 실제의 보를 모사하기 위하여, 항복변위의 75%에 해당하는 변위를

*정회원, 경성대학교 토목공학과 교수

**정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

***정회원, 부경대학교 건설공학부 대학원

****정회원, 경성대학교 토목공학과 대학원

가하여 사전균열을 발생시킨 후 2겹 보수하였다. 실험체의 치수와 보강형태 및 재하방법은 그림 1과 같다.

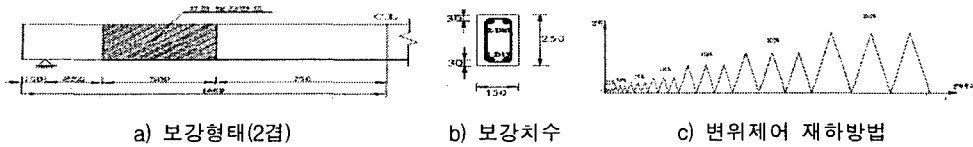


그림1. 보의 치수 및 보강형태, 재하방법

2.2 재하방법 및 변형률 측정

50 KN 용량의 MTS에 의한 4점 재하장치를 이용하였다. 반복하중 실험은 단조증가 재하 실험에서 얻은 항복변위의 25%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200% 의 변위를 각각 3회씩 재하하고, 200% 이후에는 20%씩 증가하여 섬유시트가 박리되어 탈착될 때까지 실험을 계속하였다. 변형률은 보의 중앙부 주철근, 상부 콘크리트 및 압축철근, 보의 중앙부 및 가력점 직하와 탈착이 시작되는 정착부의 U-Jacket의 보강부에서 측정하였다. 한편, 보의 중앙부 처짐은 LVDT를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험결과

표1 과 표2는 실험결과를 정리한 것이다. 시험체의 명칭은 사전 균열이 없는 반복하중 실험체는 RTS, 사전 균열이 있는 반복하중 실험체는 RTC, 사전균열이 없는 단조증가 재하 실험체는 SD라 하고 명칭 뒤의 숫자는 분당 재하속도를 mm로 표시한 것이다.

표 1 단조증가하중 재하실험

| 공시체명 | 균열확대 | | | 박리 | | |
|--------|---------|---------------|--------------------------|---------|---------------|--------------------------|
| | 하중 (KN) | δ (mm) | 변형률 ($\times 10^{-6}$) | 하중 (KN) | δ (mm) | 변형률 ($\times 10^{-6}$) |
| SD02-1 | 92.5 | 18.8 | 1414 | 92.5 | 18.8 | 1414 |
| SD02-2 | 77.6 | 11.2 | 4220 | 80.3 | 17.0 | 4512 |
| SD10-1 | 80.8 | 11.6 | 4680 | 89.6 | 15.8 | 5905 |
| SD10-2 | 75.6 | 11.8 | 2241 | 79.4 | 14.4 | 2392 |
| SD20-1 | 77.8 | 11.8 | 1622 | 80.7 | 14.6 | 1243 |
| RTS02 | 109.9 | 28 | 6526 | 109.6 | 29.3 | 6689 |

표 2 반복하중 재하실험

| 공시체명 | 균열확대 | | | 박리 | | |
|---------|---------|---------------|--------------------------|---------|---------------|--------------------------|
| | 하중 (KN) | δ (mm) | 변형률 ($\times 10^{-6}$) | 하중 (KN) | δ (mm) | 변형률 ($\times 10^{-6}$) |
| RTC02-1 | 111.2 | 25.0 | 6344 | 111.2 | 25.0 | 6344 |
| RTC02-2 | 104 | 20.6 | 9060 | 108 | 24.8 | 10180 |
| RTC10-2 | 75.6 | 11.1 | 2460 | 74.3 | 18.4 | 2308 |
| RTC10-3 | 98.3 | 21.1 | 4289 | 98.3 | 21.1 | 4289 |
| RTC20-1 | 107.3 | 23.4 | 5908 | 107.3 | 23.4 | 5908 |
| RTC20-2 | 105.9 | 21.5 | 6793 | 104.5 | 22.4 | 6659 |
| RTC20-3 | 106.7 | 21.1 | 5101 | 109.7 | 24.2 | 5330 |

3.2 하중-처짐 곡선

그림3.1은 단조증가 재하실험에 의한 하중-처짐 곡선을 도시한 것이다. 초기균열 발생과 균열확대에 의한 CFS의 박리하중은 재하속도가 빠를수록 작았지만 그 차이는 크지 않았다.

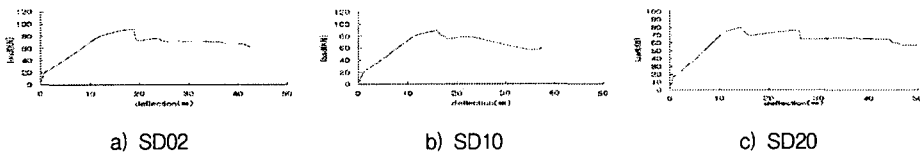


그림3.1 단조증가 재하실험의 하중-처짐곡선

그림3.2는 반복하중 재하실험의 하중-처짐 곡선이다. 사전균열을 발생시키지 않은 RTS02 보의 균열확대에 의한 박리는 최대하중에서 시작되는 반면에, 사전균열을 발생시킨 RTC02, RTC10, RTC20 등

의 보는 최대하중의 80%, 62.4%, 47.8%에서 균열이 확대되어 박리가 시작되었다. 재하속도가 클수록 박리의 시작이 빠름을 알 수 있다.

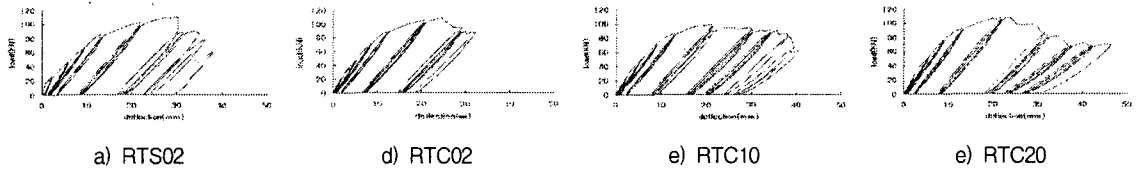
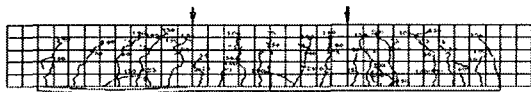


그림3.2 반복하중 재하실험의 하중-처짐곡선

3.3 균열 발생과 성장 및 박리전과 메카니즘

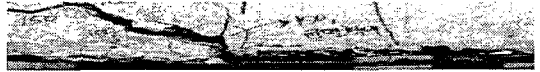
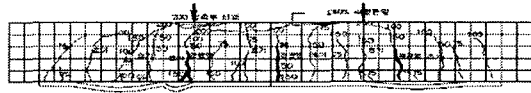
그림3.3은 균열의 발생과 성장 및 전파 형상을 그린 것이다. 그림 a) RTS02 보의 경우 균열의 발생이 최대하중에 이를 때 까지 균등하게 분포하고 성장하는 반면, 그림 b) RTC02 보의 경우 특정한 사전균열을 중심으로 균열이 집중되고, 낮은 하중에서 성장하고 확대되었다. 보의 파괴는 두 경우 모두 보의 전단력이 급변하는 재하점 직하의 균열확대에 의한 단차발생으로 수반되는 박리가 단부의 정착부로 전파되면서 일어났다. 파괴의 원인은 서로 같았지만 사전균열을 발생시킨 보의 경우 전체적인 균열의 수는 적었지만 응력 집중 현상 때문에 균열의 진행속도는 더 빨랐다. 반복하중 재하실험의 경우, 재하속도에 무관하게 모두 재하점 직하의 균열이 크게 성장하면서 박리가 시작되고, 이 박리가 정착부로 전파되어 U-Jacket을 탈착시켰다. 한편 재하속도가 빠를수록 특정한 균열로의 응력집중이 가속화되면서 파괴가 촉진되었다.



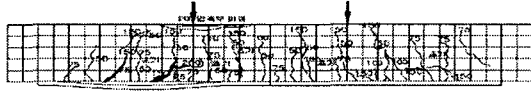
a)RTS02의 균열과 주요 박리형상



b)RTC02의 균열과 주요 박리형상



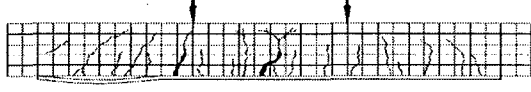
c)RTC10의 균열과 주요 박리형상



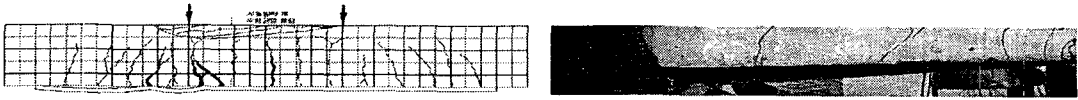
d)RTC20의 균열과 계면 박리 형상



e)SD02의 균열과 계면 박리 형상



f)SD10의 균열과 계면 박리 형상



g)SD20의 균열과 계면 박리 형상
그림 3.3 상황별 균열의 전개양상

4. 결론

재하형태, 재하속도(2mm/s., 10mm/s., 20mm/s.), 보강 전 균열유무 등의 실험변수를 갖는 CFS로 보강된 R/C 보의 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 재하형태, 사전균열의 유무, 재하속도 등의 실험변수에 무관하게 보의 파단의 시작은 전단력이 급변하는 재하점 직하의 단차균열에 의한 CFS의 박리에 있음을 알 수 있었다. 한편, 단차균열에 의한 박리하중과 박리가 전파되면서 정착부 U-Jacket를 탈착시키는 하중은 차이가 없었다.
- (2) 단조증가 재하 실험체의 균열확대 및 박리하중 값이 반복하중 재하 실험체보다 작았다. 이것은 낮은 하중에서부터 시작되는 반복하중에 의한 응력분산효과가 그 원인으로 판단된다.
- (3) 사전균열의 재개는 RTC02 보의 경우는 사전균열을 발생시킨 변위(항복변위의 75%)의 93%에서 시작되었고, RTC10 보는 55%, RTC20 보는 50%에서 발생하였다. 즉, 재하속도가 클수록 낮은 하중에서 균열의 열림이 시작되었다.
- (4) RTS02 보의 균열은 미세균열이 균등 분산되어 발생하는데 반해, RTC02, RTC10, RTC20 보의 경우는 사전균열을 중심으로 균열이 집중되어 빠르게 성장하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 보수되는 보의 파괴는 보수 전에 발생한 균열의 성장과 확대에 의한 CFS의 박리에 의해서 발생할 것으로 예측할 수 있다.
- (5) 보강에 의한 균열의 억제는 보가 파단 될 때까지는 인장 측 콘크리트의 인장저항능력을 어느 정도 유지시킬 수 있음을 추정할 수 있다.

참고문헌

1. 유영찬 외 4명, “탄소섬유시트와 콘크리트의 부착강도 실험연구”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 13, No.2, pp 168-174, 2001.
2. Chajes, M. J., Finch, W.W., Januszka, T.F., & Thomson, T. A., “Bond and Force Transfer of Composite Material Plates Bonded to concrete”, ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 2, pp.208~217, March~April, 1996.
3. 박칠림 외 3명, “탄소 섬유시트로 보강된 철근콘크리트보의 부착파괴거동에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회지 제9권 6호 pp157~164, 1997
4. 정진환 외 3명, “탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 공칭휨모멘트 실험적연구-1”, 대한토목학회 논문집, 23권, 5A호, pp. 921-929, 2003
5. 이우철, “탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 휨거동 특성에 관한 연구” 부산대학교 대학원 박사학위 논문, 2005