

형상과 표면처리에 따른 GFRP 바의 부착성능

Bond Test of GFRP Rebars with Shape and Surface Treatments

유 영 준* 박 지 선* 박 영 환** 유 영 찬** 김 금 환*** 김 형 열**

You, Young Jun Park, Ji Sun Park, Young Hwan You, Young Chan Kim, Keung Hwan Kim, Hyeong Yeol

ABSTRACT

R.C. bridges may require strengthening during the service life. The main cause of durability problem of R.C. bridges is the corrosion of reinforcing steel. For this reason, researches to solve the problem have been conducted but the achievements are just for improving, not the solution. Fiber Reinforced Polymers are recognized as the alternative materials for solving the problem due to the excellent corrosion-resistant property, light-weight and higher strength than steel. This paper presents experimental results and theoretical consideration of bond test for new type GFRP rebar

1. 서론

철근 콘크리트 교량은 공용시간이 증대될수록 점진적인 성능 및 내구성 저하가 발생하게 되어 매년 막대한 비용의 보수·보강 비용이 지출되고 있다.

철근 콘크리트 교량의 성능 저하 원인 중 주된 원인은 철근의 부식으로서 이를 해결하기 위해 많은 기술들이 개발되어 왔으나 이는 구조물의 시스템 문제라기보다는 사용재료의 특성에 따른 문제이므로 재료의 열화를 방지하지 못하는 한 근본적인 해결책이 될 수는 없다.

이에 철근의 재료 특성에 의한 부식문제가 발생하지 않는 다른 재료로의 대체 연구가 일본과 유럽을 중심으로 진행되었으며, 섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)가 주목받기 시작하여 현재 일본과 미국, 캐나다 등에서는 철근을 대체하기 위한 FRP 보강재 제품이 생산되어 판매되고 있다. 국내의 경우에는 보수·보강에 주로 사용되는 FRP 섬유쉬트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 철근 형태의 FRP 보강재 제품이 생산되고 있으나 현재까지는 구조물의 보강용으로 사용되고 있는 실정이며, 철근을 대체하기 위한 FRP 보강재에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 기존의 철근을 대체할 수 있는 보강근 제작을 위한 연구의 일환으로 다양한 형태를 가진 GFRP 리바의 부착성능을 실험하였고, 이에 대한 이론적인 고찰을 실시하였다.

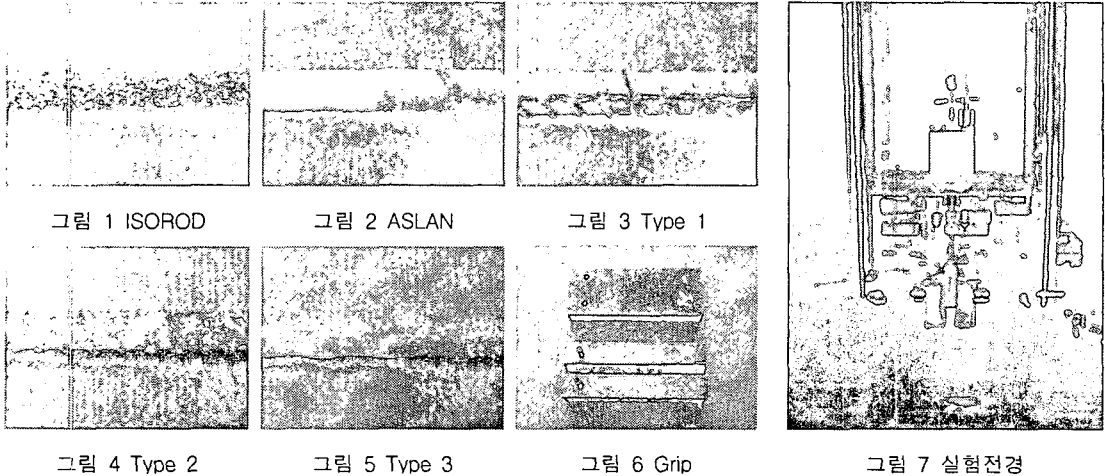
*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

2. 실험 계획

실험에 사용된 GFRP 리바는 총 5종으로서 기존 제품 2종(ISOROD, ASLAN)과 새로 제작된 3종에 대해 실험을 실시하였고(그림 1~5), 시편은 ASTM D3916-02에서 제시되어 있는 규격에 따라 그림 6과 같이 제작한 그립(grip)으로 리바의 한 쪽 끝을 잡고 만능시험기(UTM, 그림 7)로 실험하였다. 시편은 각각의 경우에 대해 2개씩 실시하였으며 콘크리트의 압축강도는 18MPa이었다.



3. 실험 결과

표 1과 같이 Type 3를 제외한 모든 제품이 높은 부착강도를 보여주었다. 파괴는 콘크리트와 맞물림을 일으키는 규사코팅 피막의 벗겨짐이나 수지로 구성된 돌기의 파괴에 의해 나타났으나, Type 3의 경우에는 다른 시편과 달리 콘크리트 블록이 쪼개지는 파괴를 일으켰다(그림 9~15).

표 1 실험결과

	평균 최대하중 (kN)	평균 부착강도 (MPa)
ISOROD	37.97	18.74
ASLAN	28.92	14.28
Type 1	34.82	17.19
Type 2	38.86	19.18
Type 3	12.66	6.25

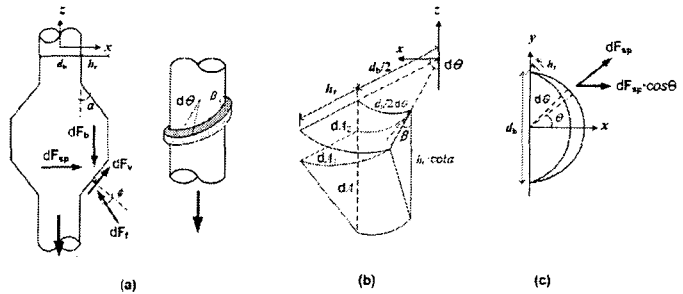


그림 8 Geometry of Rib (John Cairns, 1996)

4. 이론적 고찰

본 절에서는 상기 실험에서 쪼개짐 파괴를 일으킨 Type 3에 대한 이론적 고찰을 실시하였다.

바에 존재하는 하나의 돌기에 대해 쪼개짐 파괴를 고려할 경우, 돌기가 바의 축에 직각이고 돌기의 높이가 바의 직경에 비해 작다면 미소각 $d\theta$ 구간에 대해 하나의 돌기에 작용하는 힘을 고려할 때 돌기 면의 면적은 아래 식과 같이 구할 수 있고, 돌기에 작용하는 힘은 그림 8-(a)에서 돌기 면에 평행하게 작용하는 전단력 dF_v 와 돌기 면에 수직하게 작용하는 ϕ 의 각을 가진 힘 dF_r 으로 나눌 수 있다.

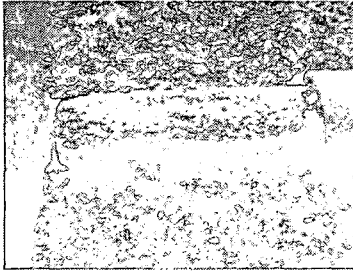


그림 9 파괴형상 (ISOROD)

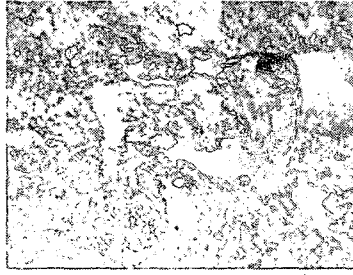


그림 10 파괴형상 (Type 1, 2)

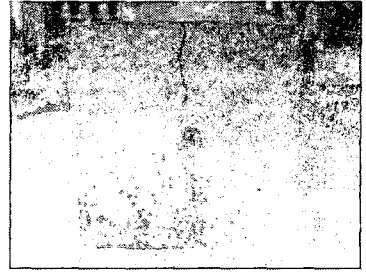


그림 11 파괴형상 (Type 3, #1)



그림 12 파괴형상 (Type 3, #2)

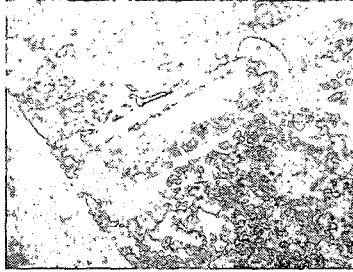


그림 13 파괴형상 (Type 3, #3)

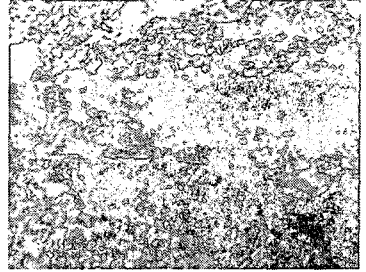


그림 14 파괴형상 (Type 3, #4)

$$dA = \left(\frac{d_b}{2} \cdot d\theta \right) \frac{h_r}{\sin\alpha \cdot \sin\beta}, \quad dF_v = f_{coh} \times dA, \quad dF_f \cdot \cos\phi = f_n \times dA \quad (1)$$

여기서, f_{coh} 은 바와 콘크리트 사이나 돌기의 지압면 아래의 콘크리트 단위 접착력, f_n 은 전단파괴면에 수직한 응력이다. 이러한 힘들은 바의 축과 평행한 성분 dF_v 와 방사 방향으로 퍼지는 힘 dF_{sp} 로 나눌 수 있고 바의 축과 돌기 면이 이루는 각을 α 라고 할 때 힘의 평형으로부터 다음과 같은 식을 구성할 수 있다.

$$-dF_b + dF_v \cdot \cos\alpha + dF_f \cdot \cos\left\{\frac{\pi}{2} - (\alpha + \phi)\right\} = 0, \quad dF_{sp} + dF_v \cdot \sin\alpha - dF_f \cdot \sin\left\{\frac{\pi}{2} - (\alpha + \phi)\right\} = 0 \quad (2)$$

돌기 사이 간격이 s_r 이고 부착 길이가 l_b 일 경우, 바의 둘레에 대해 적분하면 총 힘을 구할 수 있고, 이를 다시 f_n 에 대해 정리하면 쪼개짐력과 부착력 사이의 관계식 (5)를 얻을 수 있다.

$$F_{bond} = \frac{l_b}{s_r} \int_{-\pi}^{+\pi} dF_b, \quad F_{bond} = \frac{l_b}{s_r} \left\{ f_{coh} \cdot \cos\alpha + \frac{f_n}{\cos\phi} \sin(\alpha + \phi) \right\} \frac{\pi \cdot d_b \cdot h_r}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} \quad (3)$$

$$F_{burst} = \frac{l_b}{s_r} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} dF_{sp} \cdot \cos\theta, \quad F_{burst} = \frac{l_b}{s_r} \left\{ \frac{f_n}{\cos\phi} \cdot \cos(\alpha + \phi) - f_{coh} \cdot \sin\alpha \right\} \frac{d_b \cdot h_r}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} \quad (4)$$

$$F_{bond} = \pi \cdot \tan(\alpha + \phi) \cdot F_{burst} + \frac{l_b}{s_r} \frac{\pi \cdot d_b \cdot h_r}{\sin\beta} \cdot f_{coh} \{ \cot\alpha + \tan(\alpha + \phi) \} \quad (5)$$

식 (5)에서 점착력 항을 무시한다면 부착력과 쪼개짐력 사이의 관계는 그림 15와 같다.

그림 15에서 $(\alpha+\phi)$ 의 크기에 따라 F_{bond}/F_{burst} 의 값이 증가하는 것을 알 수 있고, 이 함수는 tangent 함수이기 때문에 $(\alpha+\phi)$ 의 크기가 커질수록 F_{bond}/F_{burst} 는 기하급수적으로 커진다. $(\alpha+\phi) < 17.2^\circ$ 일 때 $F_{bond}/F_{burst} < 1$ 이고, 이것은 부착에 저항하는 힘보다 쪼개짐력이 더 크다는 의미이므로 부착성능을 발휘하기 전에 쪼개짐 파괴가 발생하게 된다.

본 연구에서 사용된 리바의 $\alpha=2.5^\circ$, 점착력을 무시할 경우 마찰각 $\phi=15.236^\circ$ 을 식으로부터 얻을 수 있다. 식 (5)에서 F_{burst} 를 콘크리트 인장강도로 고려할 경우 부착력은 콘크리트 압축강도, 돌기의 면각(α)과 마찰각(ϕ)의 함수이다.

따라서 이러한 값들을 증가시킬 경우 기존 바의 부착강도보다 높은 값을 얻을 수 있다.

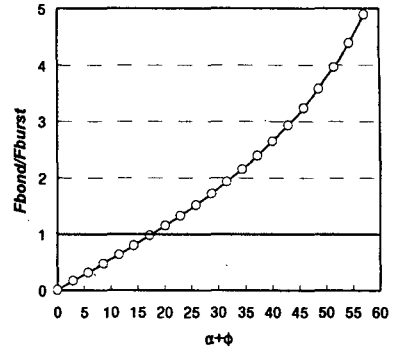


그림 15 부착력과 쪼개짐력 관계

5. 결론

본 연구에서는 철근 대체용 GFRP 리바를 개발하기 위하여 다양한 형상을 가진 GFRP 리바의 부착 실험 및 실험결과에 대한 이론적 고찰을 수행하였으며 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 새로운 형태로 제작된 리바용 GFRP 바의 부착성능은 기존 GFRP 리바의 부착성능에 비해 유사하거나 더 높은 값을 나타내었다.
- 2) 규사코팅이나 이형 철근 형태의 돌기를 가진 리바의 경우 파괴는 코팅의 벗겨짐이나 돌기가 파괴되는 형태가 관찰되었다.
- 3) 물결 형상의 돌기를 가진 GFRP 리바의 경우 돌기에는 손상이 없었고, 콘크리트 블록이 쪼개지는 쪼개짐 파괴가 관찰되었다.
- 4) 따라서, 물결 형상의 돌기를 가진 GFRP 리바의 경우에 충분한 콘크리트 강도와 마찰계수 등을 도입할 경우 장기 사용으로 인한 돌기의 내구성 저하 문제 등이 발생하지 않아 기존 리바보다 우수한 부착성능을 발휘할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회 2004년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발" 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) John Cairns and Ramli Bin Abdullah, "Bond Strength of Black and Epoxy-Coated Reinforcement-A Theoretical Approach", *ACI Materials Journal*, Title no.93-M41, 1996
- 2) ASTM D3916-02, "Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod"