

FRP보강 RC보의 조기파괴기준 I

Premature Failure Criteria of RC Beams Strengthened with FRP I

김 태 우*
Kim, Tae Woo

ABSTRACT

This paper focuses on the premature failure of RC beams bonded with FRP. A number of failure modes for RC beams bonded with FRP have been observed in numerous experimental studies during past decade. Particularly, Rip-off failure and Debonding failure were majority failure modes in RC beams bonded with FRP. Rip-off failure occurred at the plate end due to high interfacial shear and normal stresses however Debonding failure was caused by the yielding of reinforcing bar and the increasing of shear deformation in shear span. On the basis of premature failure mechanism in RC beams bonded with FRP, Basic strengthening length and Premature failure criteria were derived

1. 서론

FRP를 이용하여 RC보에 보강을 실시하면 FRP보강재가 조기파괴하는 현상이 발생하게 된다. 이러한 FRP보강 RC보에서의 조기파괴는 단부에서 발생하는 단부박리파괴와 하중재하부분에서 발생하는 부착파괴로 나눌 수 있다. 단부박리파괴는 FRP의 부착길이 부족으로 인한 단부의 응력집중이 파괴를 일으키는 주 원인이고 부착파괴의 경우는 하중재하부분과 전단구간의 인장철근항복 영역에서의 과도한 전단변형과 인장철근항복으로 인한 FRP의 인장력 증가가 주 원인이다. 그러나 현재까지 이들 두 형태의 파괴가 일어나는 정확한 메커니즘과 이론적인 기준은 정립이 되어 있지 못한 실정이다.

본 논문에서는 조기파괴 메커니즘을 토대로 FRP보강 RC보에서 단부박리파괴와 부착파괴로 파괴형태가 변화하게 되는 보강길이를 이론적으로 밝혀내고 조기파괴기준을 제시하였다.

2. 단부박리파괴와 부착파괴의 파괴원인

2.1 단부박리파괴

FRP로 보강된 보의 단부박리파괴는 FRP보강재의 부착길이가 유효부착길이보다 짧아 FRP의 인장력을 저항할 수 있는 부착면적의 부족으로 FRP 단부에서 응력집중이 생기게 되어 콘크리트 피복이 박

*정회원, 한국도로공사 고창-담양 건설사업소 품질관리담당

리파괴가 발생하게 되는 것이다. 그러므로 단부박리파괴는 주인장철근 층에서 콘크리트 피복이 박리되는 파괴로 FRP와 콘크리트 층에서는 파괴가 발생하지 않는다.

2.2 부착파괴

부착파괴는 단부박리파괴와는 달리 하중 재하점과 휨 전단구간의 인장철근 항복영역에서 발생하는 파괴이다. 파괴모습은 FRP와 콘크리트 사이에서 FRP가 분리되는 형태와 콘크리트 피복이 일부 떨어지는 형태가 있다. 이러한 부착파괴는 전단구간의 인장철근 항복으로 FRP의 인장력부담의 증가와 다우웰 작용의 약화로 인한 전단변형의 증가가 파괴의 원인이다. 다음의 그림1에 단부박리파괴와 부착파괴의 모습이 나와 있다.

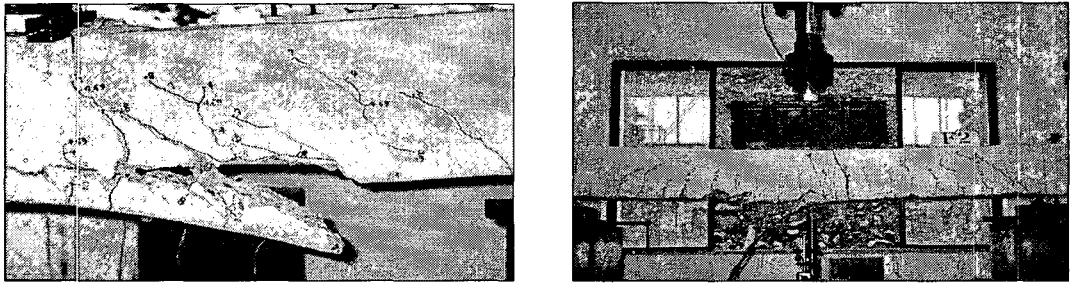


그림1. 단부박리파괴와 부착파괴

3. FRP보강 RC보의 조기파괴기준

3.1 조기파괴기준

전단파괴가 방지된 상태에서 FRP로 휨 보강된 RC보의 거동을 살펴보면 최초 하중이 가해지면 인장 측의 콘크리트, 철근, FRP 모두 하중에 저항하게 되고 하중이 증가하여 콘크리트의 휨 인장강도가 파괴강도를 넘어가면 인장면에 균열이 발생하게 된다. 이후 계속적으로 하중을 증가시키면 인장의 콘크리트는 더 이상 하중에 저항을 하지 못하고 인장력은 철근과 FRP가 담당하게 된다. 최대 모멘트 점의 인장철근이 항복되는 순간까지는 철근과 FRP가 동시에 인장력을 저항하다 철근항복하중 이후 단계에서는 철근의 항복으로 인한 인장력 감소분은 FRP가 부담하여 하중에 저항하게 된다. 여기서, FRP에 의해 하중이 증가함으로 휨 전단구간의 인장철근 역시 항복이 진행되고 이 항복은 하중증가에 비례하여 지점 쪽으로 계속 진행하게 된다. 이 과정의 FRP와 콘크리트 사이의 부착력을 살펴보면 초기 철근 항복 직전까지의 하중단계에서는 휨 전단구간에서의 부착길이 전체에 걸쳐 일정한 부착력으로 FRP의 인장력을 저항한다. 그러나 철근항복이후에는 하중이 증가함에 따라 철근항복 모멘트 값도 지점쪽으로 이동하게 되고 그 결과로 휨 전단구간에서 철근항복 시 FRP의 인장력을 저항해주는 부착길이가 점점 감소하게 되는 것이다. 그리고 휨 전단구간에서 철근이 항복된 곳은 FRP의 인장력이 급격한 증가가 이루어지게 되어 변형에너지 축적량이 급속도로 증가하게 된다. 이 과정에서 인장철근항복시 FRP의 인장력을 저항해주는 부착길이가 유효부착길이보다 적어지게 되면 단부에서 콘크리트가 박리 되어 단부의 콘크리트 박리파괴가 발생하게 된다. 부착파괴는 휨 전단구간에서 철근이 항복됨에 따라 이 구간의 변형에너지가 급격히 증가하고 FRP의 인장력을 저항하는 부착길이가 유효부착길이를 넘지 않을

경우 변형에너지 축적이 과도하게 되어 철근항복영역에서 FRP를 부착파괴 시키게 되는 것이다. 즉, 단부박리파괴와 부착파괴는 휨 전단구간에서 인장철근의 항복으로 철근항복시의 FRP인장력을 저항할 수 있는 유효부착길이 감소와 철근항복구간에서 FRP에 과도한 변형에너지 축적이 두 형태의 파괴를 유발시키는 것이다. 그러므로 두 가지의 파괴는 유효부착길이와 FRP의 변형에너지 축적량과 상관관계가 있는 것을 알 수 있다. 보강량을 일정하게 유지한 후 보강길이를 점차 증가시키면 파괴형태는 보강길이가 부족한 상태에서는 유효부착길이 부족으로 단부박리파괴가 발생하고 보강길이가 일정 정도로 증가된 상태에서는 FRP에 과도한 변형에너지 축적으로 부착파괴가 발생하게 된다. 그러면 일정한 보강량 상태에서 단부박리파괴에서 부착파괴로 변환되는 보강길이상의 파괴형태전환점이 존재하는 것을 알 수 있다. 즉 보강길이가 점차 증가하면서 파괴형태전환점을 지날 경우 파괴형태는 단부박리파괴에서 부착파괴로 전환되는 것이다. 이러한 사실을 기준으로 하여 단부박리파괴에서 부착파괴로 전환되는 점의 보강길이를 해당되는 보강량에 대한 기본보강길이라고 정의 할 수 있다. 이러한 기본보강 길이는 보강량과 연관관계가 있는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 보강량이 증가하면 FRP인장력이 증가하고 이를 저항해주는 유효부착길이도 증가하는 것이다. 그러므로 기본보강길이도 보강량의 증가에 따라 같이 증가가 이루어지는 것이다. 전술한 내용을 토대로 FRP보강 RC보의 조기파괴기준을 그림2와 같이 나타낼 수 있다.

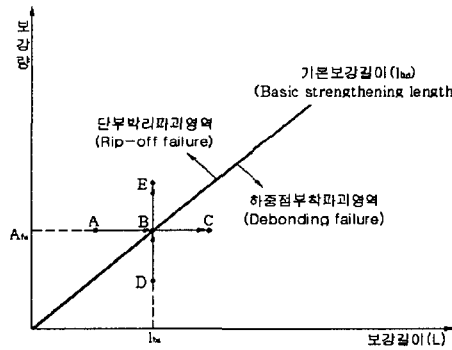


그림2. RP보강 RC보의 조기파괴기준

3.2 조기파괴기준에서 보강길이와 보강량에 따른 하중의 변화

그림3은 조기파괴기준(그림2)에서 보강길이와 보강량에 따른 하중의 변화를 보여주고 있다. 우선 그림3의(a)는 보강량이 일정한 상태에서 보강길이 변화에 따른 하중의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 처음에는 보강길이가 증가하면 하중도 비례하여 증가하게 된다. 보강길이가 기본보강길이인 B점에 이를 때까지는 하중과 보강길이는 비례관계로 증가하다 B점 이후에서는 보강길이가 증가해도 하중의 증가는 없게 된다. 이는 A점에서 B점까지의 파괴형태는 단부박리파괴이다. 이 단부박리파괴는 부착길이가 부족으로 인한 파괴이므로 파괴를 지배하는 인자가 부착길이이다. 부착길이가 증가하는 것은 그만큼 콘크리트의 부착면적이 증가되어 하중저항능력 또한 증가가 되는 것을 의미하는 것이다. 반면 B점 이후 C점의 경우는 파괴형태가 부착파괴이다. 이 파괴형태는 부착길이가 부족이 원인이 아니고 철근항복구간의 변형에너지 축적이 원인이므로 부착길이가 증가해도 파괴원인인 변형에너지 증가를 방지하는 데는 아무런 도움이 되지 않는 것이다. 그러한 이유로 B점 이후에서는 부착길이가 증가해도 하중증가는 없는 것이다. 그림3의(b)는 보강길이가 일정한 상태에서 보강량의 변화에 따른 하중의 상태이다. 우선 D점의 경우는 보강량에 해당되는 기본보강길이보다 더 길게 보강된 상태로 부착파괴

상태이다. 이 D점에서 보강량을 점차 증가할 경우 보강량의 증가에 따라 하중이 같이 증가하게 되고 기본보강길이 점인 B점까지 증가가 이루어지게 된다. B점 이후 계속적으로 보강량이 증가할 경우는 파괴형태가 부착파괴에서 단부박리파괴로 전환된 상태이므로 이곳에서는 보강량의 증가가 이루어져도 하중의 증가는 발생하지 않게 되는 것이다. 이는 D점에서 B점까지의 경우는 부착파괴 구간이고 보강 길이도 기본보강길이보다 긴 상태이므로 보강량이 증가하면 보강길이에 여유가 있으므로 그만큼 하중이 증가하게 된다. 이때는 파괴원인이 변형에너지의 증가이므로 보강량에 따라 하중이 증가하는 것이다. 즉 보강길이가 기본보강길이보다 긴 상태이므로 보강량 증가에 따른 변형에너지 증가분을 지탱할 수 있는 콘크리트의 부착력에 여유가 있는 것을 의미한다. 그러나 B점을 지나 E점 이후의 경우는 파괴형태가 단부박리파괴로 파괴원인이 부착길이 부족이 원인이므로 보강량이 증가해도 파괴를 지배하는 부착길이의 변화가 없는 상태이므로 하중은 증가하지 못하고 일정한 상태에서 파괴가 일어나는 것이다. 여기서, 단부박리파괴와 부착파괴를 결정하는 기본보강길이는 다음 식(1)로 나타낼 수 있다.

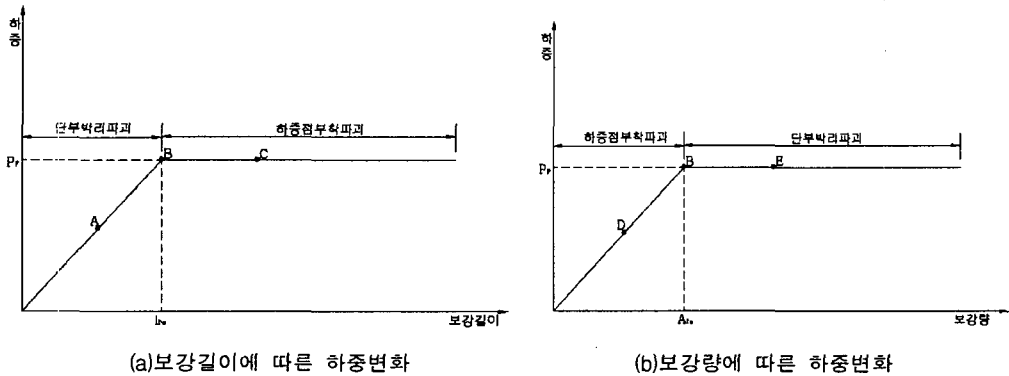


그림3. 보강량과 보강길이에 따른 파괴형태

$$l_{bn} = l_p + 2l_a \quad (1)$$

식(1)의 l_p 는 단순보에서 하중조건에 따른 철근의 항복길이이고 l_a 는 인장철근항복시의 FRP인장력을 저항해 주는 부착길이이다. 즉, 3점하중하에서 l_p 는 $2(l_n/2 - 2M_y/P_b)$ 이고 l_a 는 $l_e T_{FRP_y}/T_{Fu}$ 이다. 여기서, l_e 는 FRP의 유효부착길이, l_n 는 순지간, M_y 는 인장철근항복시의 모멘트, P_b 는 부착파괴 하중, T_{FRP_y} 는 인장철근항복시 FRP의 인장력, T_{Fu} 는 FRP의 극한부착력이다.

4. 결론

FRP보강 RC보에서 기본보강길이는 하중조건에 따른 인장철근 항복길이와 FRP인장력을 저항할 수 있는 부착길이를 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이 기본보강길이를 기준으로 기본보강길이보다 적은 보강길이면 보강된 경우는 단부박리파괴가 기본보강길이보다 길게 보강된 경우는 부착파괴가 발생하는 것이다. 즉, 기본보강길이를 기준으로 단부박리파괴 부착파괴로 나누어지는 것이다.

참고문헌

1. 김태우, "CFRP판 보강 RC보의 계면전단응력과 부착파괴" 대한토목학회 학술발표회논문집, 발표 예정