

플레이트로 보강된 철근콘크리트 연속보에 대한 실험적 연구

Plated Continuous RC-Beams

박 성 무* 이 형 석** 김 정 숙***

Park, Sung-Moo Lee, Hyung-Seok Kim, Jeoung Sook

Abstract

It is now common practice to strengthen reinforced concrete beams by steel plates to their tension surfaces. Such plated beams are designed for flexure using conventional prediction equation and assumption that full bond will be developed between the concrete and the plates. Very advanced design rules have already been developed at the University of Adelaide for adhesive bonding steel plates to reinforced concrete beams in order to prevent premature debonding. This work on plated continuous reinforced concrete beams is to determine experimentally whether these design rules, that were developed for steel plated simply supported beams, could be applied to steel and FRP plated continuous beams. This paper also suggests how to increase the ductility of plated beams.

1. 서 론

Steel 플레이트를 철근콘크리트 휨 부재 인장면에 접착함으로써 기존 부재들의 강도 및 강성을 증가시키는 방법은 현재 폭 넓게 사용되어지고 있다. 이 방법은 경제적이고, 적용성이 쉽고, 층고에 실질적인 영향이 없는 점등 많은 장점을 보이는 반면, 플레이트가 콘크리트 표면에 접착되어 있는 상태이기 때문에 보강된 부재가 소요 한계상태에 도달하기 전에 플레이트 끝단에서 전단 박리(shear peeling) 또는 휨 박리(flexural peeling)등으로 인해 기존 콘크리트 부재로부터 플레이트가 탈락하려는 경향이 있다. Steel 플레이트로 보강된 단순보에 있어서 이러한 조기탈락(premature debonding)을 방지하기 위한 설계방법

*정회원, 영남대학교 건축공학과 교수

**정회원, 영남대학교 건축공학과 박사과정

***정회원, 영남대학교 건축공학과 석사과정

이 호주의 아델레이드 대학의 D.J. Oehlers 등에 의해 개발되었다. 본 논문에서는 위에서 언급된 설계 규칙을 Steel 플레이트로 보강된 철근콘크리트 연속보에 적용 가능한지 아울러 최근의 Steel Plate가 FRP Plate로 대체되는 경향을 감안하여 FRP 플레이트 보강 연속보에 대한 적용성 여부 또한 실험적으로 고찰하고 나아가 보의 연성을 증가시키기 위한 보강방법을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

플레이트로 접착 휨 보강된 철근 콘크리트 보에 있어서 플레이트 단부의 박리 여부는 플레이트 접착 이후의 플레이트 단부에 작용하는 모멘트 (M_{end})와 플레이트 단부 전단력 (V_{end})의 조합에 의해 결정되어질 수 있다¹⁾. 이와 관련된 수학적 모델링 식^{1), 5)} 과 그래프¹⁾는 표1과 그림1과 같다.

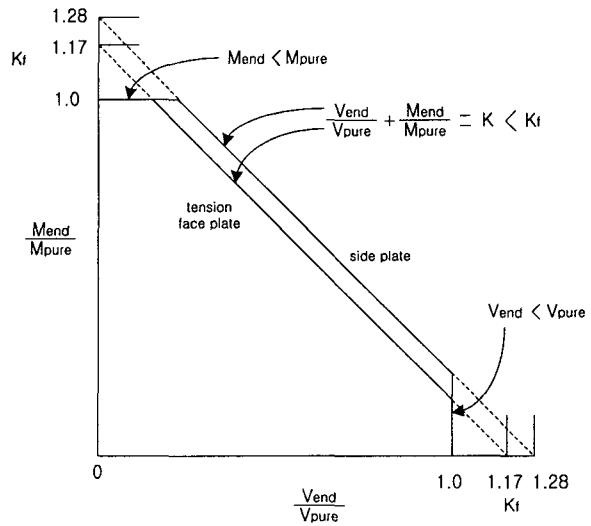


그림 1 모멘트와 전단력의 Interaction Curve

표 1 수학적 모델링 식

$\frac{M_{end}}{M_{pure}} + \frac{V_{end}}{V_{pure}} = K \leq K_f, M_{end} \leq M_{pure}; V_{end} \leq V_{pure}$ (1)	
인장축 보강 $K_f = 1.17$	측면 보강 $K_f = 1.28$
$M_{pure} = \frac{(EI)_{cp} f_b}{0.901 E_p t_p}$ (2)	$M_{pure} = \frac{0.805 f_b (EI)_{cp}}{E_p (0.0185 h_p + 0.185 t_p)}$ (4)
$V_{pure} = V_{uc}$ (3)	$V_{pure} = V_{uc}$ (5)

M_{pure} : 순수 휨 영역에서의 보의 휨박리 강도, V_{pure} : 영 또는 낮은 모멘트 영역에서의 보의 전단강도

V_{uc} : 전단보강되지 않은 철근콘크리트 보의 전단강도, f_b : 콘크리트의 brazilian 인장강도,

$(EI)_{cp}$: 플레이트 보강된 휨 균열 단면의 휨 강성, h_p : 플레이트 보강된 보의 중립축과 플레이트 중립축간 거리

E_p : 플레이트의 Young 계수, t_p : 플레이트의 두께, f_b : 콘크리트의 brazilian 인장강도

3. 실험

3.1 실험체 계획 및 형상

실험체의 형상은 철근 콘크리트 단면 200mm(폭)×240 mm(높이)로 하고, 철근은 하부에 2-D16, 상부

에 2-D16을, 스티럽은 D10철근을 80mm 간격으로 배근하였으며 보강 플레이트는 각기 다른 재료, 치수의 것을 사용해 모두 6개의 실험체를 제작했다. 보강된 실험체는 철근콘크리트가 가질 수 있는 하중저항 능력의 충분히 저항할 수 있게 보강, 소요강도와 연성에 도달하기 전에는 탈락하지 않도록 설계하고 철근 콘크리트보다 약 1.6배의 강도 발현을 하도록 단면 설계 되어 졌다. 시험체의 일람표는 표 2와 같다.

표 2. 시험체 일람표

실험체명	부착재료	플레이트 치수 t×b×l(mm)	부착방법	부착위치
CB1	-	-	-	-
PBS1	Steel	1-3×100×1700	Gluing	인장측
PBS2	Steel	2-3×80×1700	Gluing	측면
PBF1	FRP	1-1.2×50×1700	Gluing	인장측
PBF2	FRP	2-1.2×80×1700	Gluing	측면
PBS3	Steel	1-3×112×1700	Gluing & Bolting	인장측

3.2 실험방법

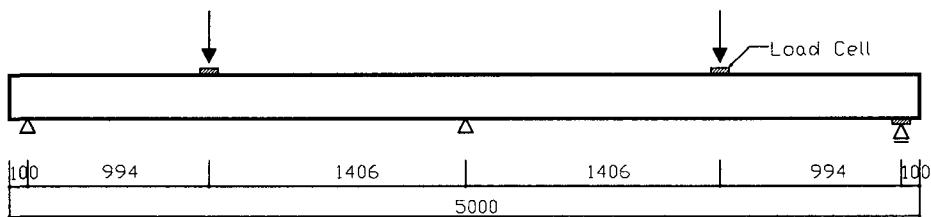


그림 2 시험체 형상 및 재하형태

실험은 그림 2과 같이 2스팬 연속보에 2점 가력에 의해 수행되었으며, 재하점은 연속보가 선형 탄성구간내에서의 같은 최대 모멘트가 중앙지점, 동쪽, 서쪽이 동시에 나타날 수 있게 정하였다. 3개의 Load Cell을 사용하였으며, 정정 구조물을 만들기 위해 양쪽의 재하점과 한쪽 지지점에 사용하였다. 하중은 초기는 0.5 ton씩, 콘크리트와 플레이트 표면에서 박리가 시작 된 후에는 0.3 ton씩 증가시켰으며 각 단계별로 균열을 표시하고, 사진으로 기록하였다. 철근과 부착판에 일어나는 미세 변형률은 스트레인 게이지를 이용하여 측정하고 양쪽 재하점에서의 보의 처짐은 변위 측정기로 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 파괴상황

최대강도의 실험결과를 표 3에 비교하여 나타내었고 그림 3~8은각 시험체별 K값 측정 위치, 단부에서의 실험치 K값과 이론치 K_p 값의 비교 그래프와 모멘트-처짐 곡선을 보여준다.

표 3. 실험결과

단위: 모멘트(KNm), 전단력(KN)

시험체명	M_{end}	M_{pure}	V_{end}	V_{pure}	실험치(K)	이론치(k_i)	K / K_i	M_{max}
CB1	-	-	-	-	-	-	-	36.977
PBS1	①	7.12	19.227	29.329	41.84	1.071293	1.17	57.553
	②	14.2	19.227	43.238	41.84	1.771958	1.17	
	③	5.97	19.227	43.238	41.84	1.343914	1.17	
PBS2	①	7.03	14.918	33.343	41.84	1.26816	1.28	56.857
	②	9.14	14.918	49.156	41.84	1.787539	1.28	
	③	12.99	14.918	49.156	41.84	2.045617	1.28	
PBF1	①	5.89	36.206	26.594	41.84	0.798292	1.17	47.613
	②	9.84	36.206	39.209	41.84	1.208896	1.17	
	③	7.76	36.206	39.209	41.84	1.151447	1.17	
PBF2	①	6.96	13.949	32.495	41.84	1.27561	1.28	56260
	②	9.3	13.949	47.905	41.84	1.811671	1.28	
	③	12.54	13.949	47.905	41.84	2.043946	1.28	
PBS3	①	8.1	19.227	37.55	41.84	1.318749	1.17	65.505
	②	10.19	19.227	55.35	41.84	1.852881	1.17	
	③	15.35	19.227	55.35	41.84	2.121253	1.17	

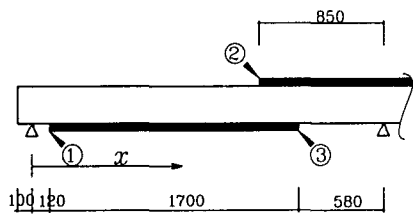


그림 3 k값 측정위치

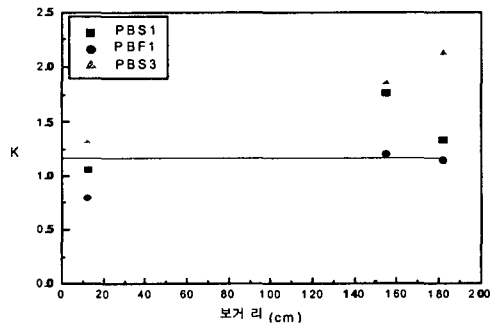


그림 4 인장측 보강된 시험체의 K 값

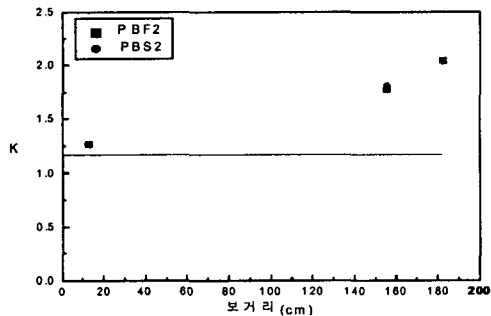


그림 5 측면 보강된 값의 K값

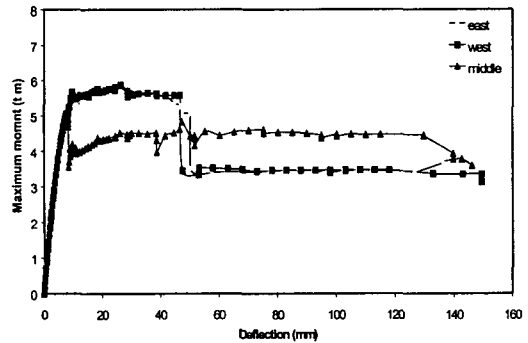


그림 6. PBS1 모멘트-처짐 곡선

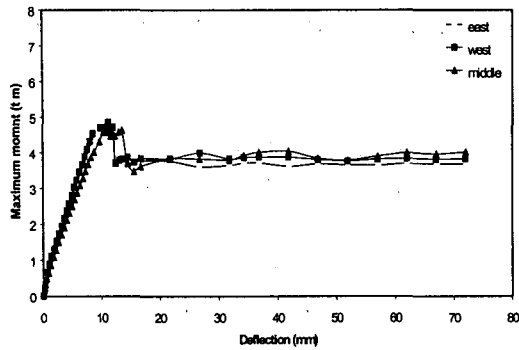


그림 7. PBF1 모멘트-처짐 곡선

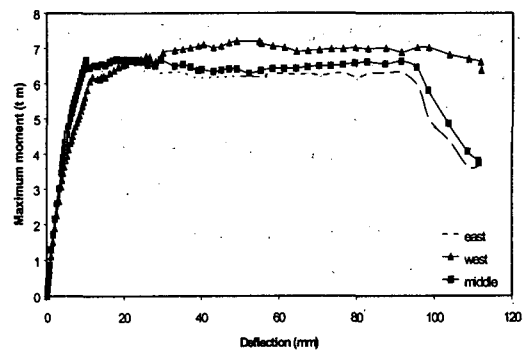


그림 8. PBS3 모멘트-처짐 곡선

4.2 실험 결과 분석

휨 파괴로 최종파괴된 CB1 시험체를 제외하고 나머지 다섯 개의 시험체들은 콘크리트 피복부 박리로 파괴되었고 보강된 시험체들은 1.2~1.6배의 휨내력 증강이 있었다. 전 시험체에서 양단 지지점 부근의 두개의 플레이트 단부를 제외한 나머지 단부에서의 K 값들이 이론치값(인장 보강시: $K_f = 1.17$, 측면 보강시: $K_f = 1.28$)을 상회함으로써 플레이트 조기박리 방지에 대한 제안식 (1)의 유효성이 어느정도 입증되었다.

4.2.1 보강 재료에 따른 특성(steel플레이트, FRP 플레이트)

보강재료에 따른 거동의 차이는 인장측 보강된 시험체에서는 뚜렷하고 측면 보강된 시험체에서는 미미하게 나타났다. 표3, 그림6, 그림7의 결과로부터 PBS1 시험체가 PBF1시험체 보다 강도측면에서 우위를 나타내고, 연성적인 경향을 가지고 있으며 K값 또한 더 높은 수치를 보인다. 그러나 측면 보강의 경우는 강도, K 값등이 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히 PBF1 시험체는 여섯 군데의 단부 중 네군데가 이론치 K값보다 낮은 값을 보임으로써 위의 제안식(1)에서 이론치 K_f 값의 하향치 조종의 여지를 남기고 있다.

4.2.2 보강 위치에 따른 특성(인장측 보강, 측면 보강)

Steel Plate와 FRP Plate를 보강한 시험체 모두 인장측 보다 측면에 보강한 것이 강도와 K값이 높게 나타났다. 이것은 단부 박리의 주된 원인중의 하나인 사균열에 대한 대책에 있어서 인장측보다 측면에 보강한 것이 철근콘크리트보의 전단내력 증진에 효과적이었던 것으로부터 기인하는 것으로 판단된다.

4.2.3 최종적으로 인장과 볼트 동시 보강한 시험체 PBS3는 시험체들 중 가장 우수한 휨내력 증진(1.6 배)과 연성을 나타내었고 K값 또한 가장 높았다.

5. 결론

이상과 같이 Steel과 FRP Plate 철근 콘크리트 연속 보에 보강에 있어서 보강방법 및 위치를

Oehlers등에 의해 제안된 보강재의 조기박리(premature debonding)에 관한 제안식에 의거한 실험으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 보강된 시험체들은 조기탈락(premature debonding)전 소요강도까지 도달하는 강도와 강성의 증가를 가져왔고 Steel Plate로 보강된 시험체가 FRP Plate로 보강된 시험체보다 더 연성적 경향이 있다는 것을 알 수 있으며 보강 방법면에 있어서도 측면보강이 강도, 강성 증진과 연성거동에 있어서 인장축 보강보다 더 효과적임을 알수있다.

2. 시험체 대부분의 단부에서 이론치 K_{ρ} 보다 높은 K_{ρ} 를 나타냄으로써 Oehlers등에 의해 제안된 제안식 (1)이 플레이트 보강된 부재의 단부 조기탈락(premature debonding)에 대한 설계식으로써의 유효성이 어느정도 입증되었다. 특히 볼트와 접착 동시 보강시는 시험체 PBS3는 이론치 K_{ρ} 보다 단부 위치에 따라 12%~80%정도 증가된 K_{ρ} 를 보임으로써 제안식(1)의 사용에 타당성을 부여한다. 그러나 시험체 PBF1에서 보듯이 FRP 플레이트를 인장축 보강시는 좀더 안전측으로 이론치 K_{ρ} 의 하향 조정이 요구되는 것으로 실험 결과로부터 나타났고 여기에 대한 구체적인 정량값의 결정에 대해서는 좀더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

3. 최종적으로 강도증진, 연성거동, K_{ρ} 값등을 검토 결과 접착제와 볼트 접합을 함께 사용한 시험체가 가장우수한 결과 즉 극한상태에서 연성 파괴상태를 유지하면서 사용성에 있어 최대의 강성을 허용하고 Oehlers등에 의해 제안된 보강재의 조기박리(premature debonding)에 관한 제안식 (1)의 적용에 있어서도 가장 안전하게 이루어짐이 드러났다.

6. 감사의 글

본 논문은 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의해 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Oehlers, D. J.(1992) "Reinforced concrete beams with plates glude to their soffits."J. Struct., ASCE, 118(8), 2033-2038
- 2) Y.N.Ziraba, M. H. Baluch, I. A. Basunbul, "Guideline toward the design of reinforced concrete beams with external plates" ACI structural journal, Nov-Oct 1994.
- 3)Ahmed, M. " Strengthening of reinforced concrete beams by bolting steel plates to their sides". Meng Sc thesis, Univ. of Adelaide, 1996.
- 4) Jones R. Swamy R.N. And Charif A."Plate seperation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates".The structural engineer,66(5). P85-94
- 5) Oehlers, D.J. , Mark. Brardford " Retrofitting by adhesive bonding steel plates to the side of R.C." The structure engineering and mechanics Oct.1998