

철근콘크리트 코오벨 부재의 구조성능 평가 및 내력 추정

조승호 · 박태원[†] · 우성식 · 정 란 · 박현수* · 김동백**

단국대학교 건축공학과 · *신흥대학 건축설계과 · **한경대학교 토목공학과

(2008. 3. 28. 접수 / 2008. 6. 20. 채택)

Evaluation of Structural Performance on Corbel in the Reinforced Concrete

Seongho Cho · Taewon Park[†] · Sungsik Woo · Lan Chung · Hyunsoo Park* · Dongbaek Kim**

Department of Architectural Engineering, Dankook University

*Department of Architectural & Design Engineering, Shinhung Collage

**Department of Civil & Environmental Engineering, Hankyung University

(Received March 28, 2008 / Accepted June 20, 2008)

Abstract : In order to identify the exact behavior of corbel section, the horizontal force acting on corbel section should be considered as well as the vertical force. In this study, a new corbel section, which is economical and easy to construct, is developed by evaluating the exact strength of the section. Experiments were performed to verify the strengths of the proposed sections comparing with those of the currently used section. The summary of the experiment results are as follows:

- 1) In order to minimize the horizontal force effect, it was found that the use of pre-stressing was most effective, and that TB type corbel section is a most efficient section in terms of economy and workability.
- 2) The experimentally obtained strength of corbel section matched well with that estimated using shear friction theory. Therefore, it is concluded that shear friction theory would be very useful if a precise crack angle in the corbel section, which is pre-stressed by PS strings and threaded bolts, is available.

Key Words : corbel, horizontal force, shear friction

1. 서론

생활패턴의 변화로 건축구조물에도 대형 쇼핑 몰이나 공동주택의 지하주차장 등의 장경간, 고하중의 구조설계 사례가 증가하고 있으며, 최근 스트럿타이모델 해석¹⁾이 가능해지면서 코오벨을 가진 기둥에 모델이 설계에 많이 적용되고 있다. 이 시스템의 구조위험 요인을 관찰하여 보면 보의 하중에 의한 수직적 하중뿐만 아니라, 보의 건조수축이나 크리프에 영향을 받는 수평 외력 등이 주된 요인으로, 이로 인한 파괴는 취성적 파괴²⁾로 이를 적절히 제어할 수 있는 코오벨 단면을 도입하여야 할 필요성이 제기되었다. 이에 대한 시공방법이나 접합부 상세는 새로운 코오벨 단면설계가 미국콘크리트 학회³⁾ 또는 프리스트레스 콘크리트 협회⁴⁾ 등에서 제시되고 있으나 건조수축이나 크리프의 영향

이 전혀 다른 우리나라에 그대로 적용하는 것은 다중이용시설에 사용되는 현실을 감안하여 볼 때, 그 적용에 있어 구조 안전에 치명적인 문제가 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 코오벨과 수평하중을 고려한 새로운 형태의 코오벨의 구조성능을 비교·평가하여 그 내력을 추정함으로써 경제적이고 시공성이 고려된 단면을 개발하는데 기초적인 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험체 계획 및 제작

실험은 일반적으로 시공되어 사용되고 있는 내민 받침을 프로토타입으로 정하여 PCI Design Handbook의 설계 기준으로 설계하였으며, 새로운 코오벨의 적용성을 검토하기 위하여 후크첨가형(RCH 계열), 프리스트레형(PS), 볼트형(TB) 코오벨을 제안하여 실험을 수행하였다. 실험체는 330×330mm 기둥에 코오벨 길이 150mm, 폭 330mm, 깊이 200

[†] To whom correspondence should be addressed.
tw001@dankook.ac.kr

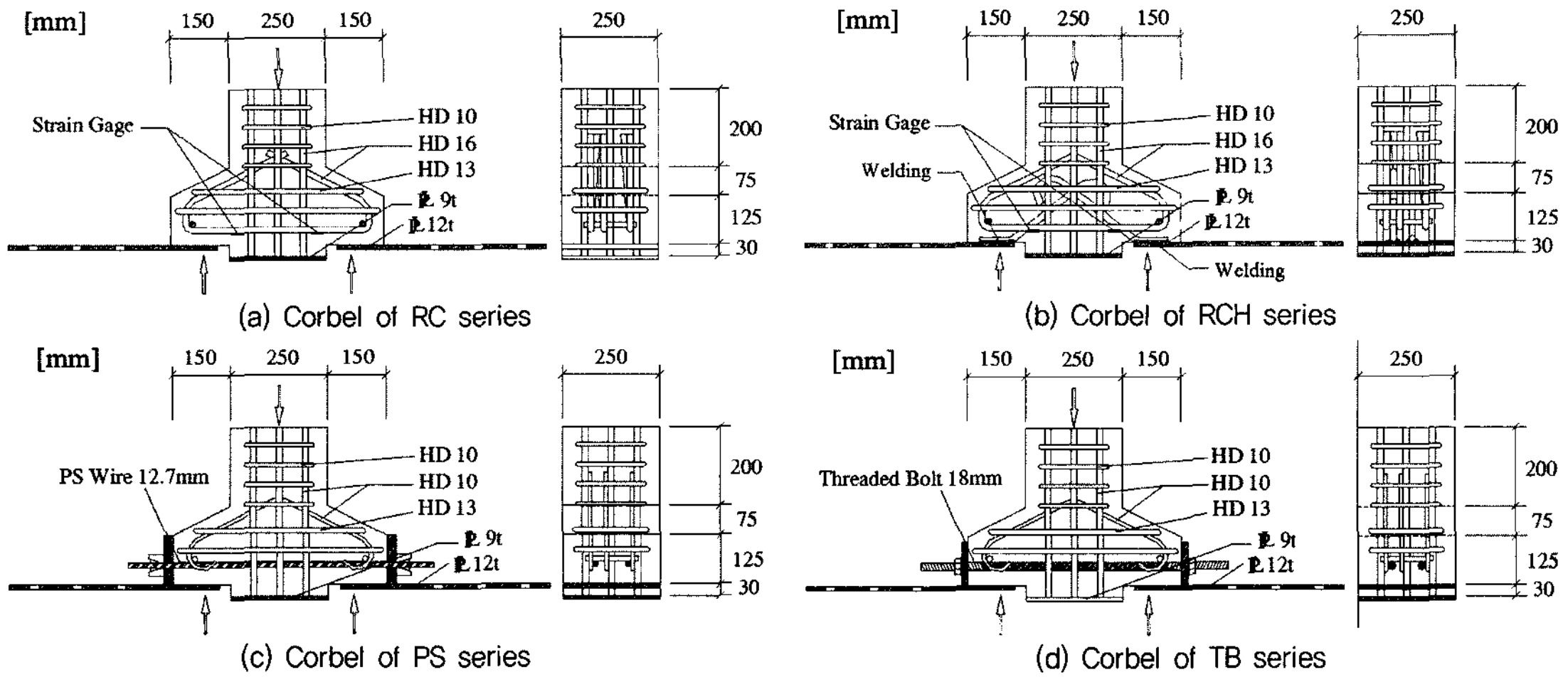


Fig. 1. Details of specimens.

Table 1. Plan of experimental test

Name	f_{ck} (MPa)	f_y (MPa)	Horizontal load ($P=$ Vertical load)	PS force ($F=29tf$)	Main bar
RC-I-1	43	430	0.2P	0.0F	HD16
RC-II-1			0.3P		
RC-III-1			0.5P		
RCH-I-1	43	430	0.2P	0.0F	HD16
RCH-II-1			0.3P		
RCH-III-1			0.5P		
PS-V-1	43	1,353	0.0P	0.2F	PS wire ϕ 12.7
PS-I-1			0.2P		
PS-II-1			0.3P		
TB-V-1	43	430	0.0P	0.2F	Threaded Bolt ϕ 18
TB-I-1			0.2P		
TB-II-1			0.3P		
TB-III-1			0.5P		

PS-II-1

- └─ Number of specimens
- └─ Step of horizontal load
- V - 0.0P II - 0.3P
- I - 0.2P III - 0.5P
- RC - Reinforced concrete series
- RCH - Addition hook on RC series
- PS - Post-tension series
- TB - Threaded bolt series

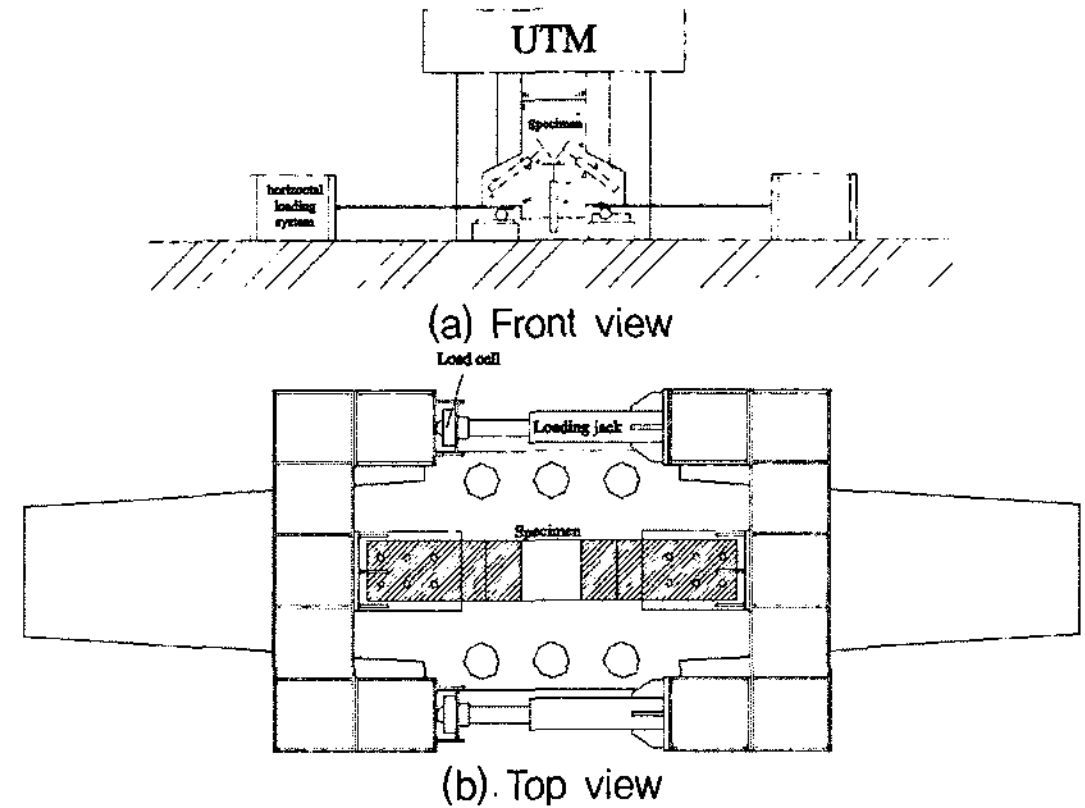


Fig. 2. Test set-up.

설 하였으며, 28일 동안 노천 양생 후 수행하였다. 수직하중은 최대 용량 200tf의 UTM을 사용하였고, 수평하중은 가력 프레임을 제작하여, 수직하중에 대해 각각 0.2P, 0.3P, 0.5P에 해당하는 하중을 Fig. 2와 같이 가력하였다. 처짐은 기둥 하부 중앙부위에 LVDT를 설치하였고, 철근의 변형율은 주근의 기둥과 내민 받침이 만나는 내부면에서 기둥쪽으로 1cm 위치에 변형율 측정기를 설치하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 하중-변위 곡선

Fig. 3에서 보는 바와 같이 RC, RCH계열 실험체는 수평하중이 0.2P와 0.3P로 가해졌을 경우 비슷한 내력을 보이나 PS 및 TB계열 실험체는 수평하중이 증가함에 따라 수직하중의 내력이 감소하였다. 또한 수평하중이 0.5P로 가해지면 모든 내력이 50%

mm로 설계하였다. 콘크리트의 강도는 43MPa, 철근의 인장강도는 430MPa, PS 강연선은 12.7mm, 나사볼트는 18mm의 제품을 사용하였으며 Fig. 1 및 Table 1에 각각의 상세를 나타내었다.

2.2. 실험방법

실험체는 강제로 제작된 거푸집을 사용하여 타

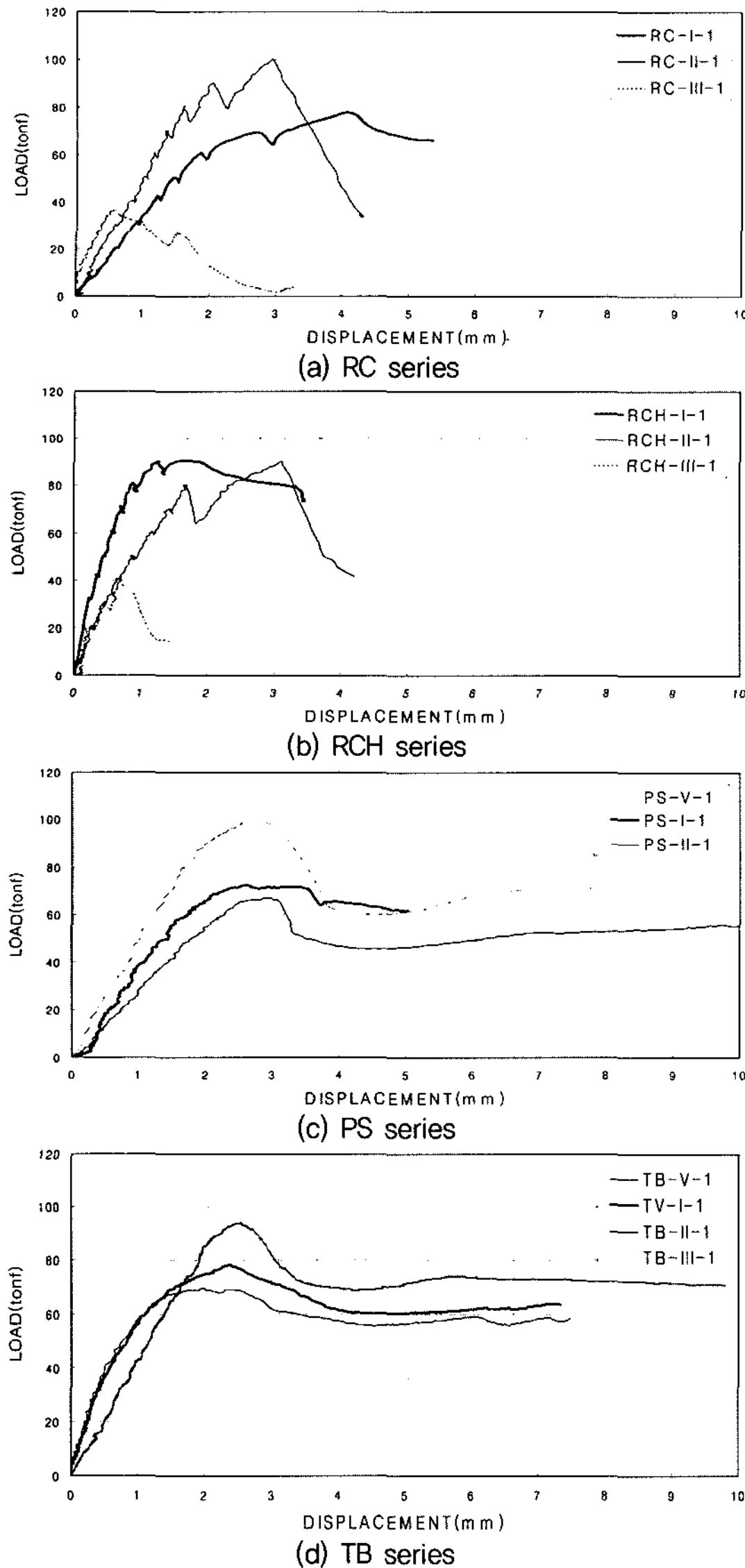


Fig. 3. Load-displacement curve.

이상 감소하였다. 또한 PS계열과 TB계열 실험체에서는 RC계열과 RCH계열과는 달리 최대하중 이후 상당히 큰 연성구간을 보여주고 있다.

3.2. 파괴 거동

RC 계열 실험체의 파괴 양상은 날개부 지점에서부터 시작하여 기둥부 중앙을 향하는 콘크리트의 압축단에서 파괴가 일어나는 양상을 보이고 있으며, 균열의 진행도 이 압축단 안에서 시작되었다. 최종적으로는 압축판의 파괴와 날개부의 피복이 탈락되어 파괴되는 형상으로 파괴가 일어났다. RC-II-1 실

험체는 파괴 양상이 RC-I-1 실험체와 동일하지만 인장 철판의 부착력 때문에 인장 철판이 콘크리트를 물고 탈락되었다.

RCH 계열 실험체의 균열 형태는 콘크리트의 압축단에서 균열이 발생하는 형태를 가지며, 초기 균열의 시작도 지점에서부터 시작하였다. 콘크리트와 인장 철판과의 탈락은 일어나지 않았고, 접합면을 따라 0.2mm에서 0.5mm 정도의 균열이 일어났다. RCH-I-1 실험체에서는 인장 철판에 용접된 후크근의 파괴는 일어나지 않았고, 다른 두 실험체는 후크근의 전단파괴가 일어났다.

PS 계열 실험체는 다른 실험체들과 유사한 콘크리트의 압축대가 파괴되면서 항복을 하였다. 균열도 압축대 안에서만이 발생하였다. 내민 받침의 파괴 형태는 콘크리트 압축대가 전단파괴되었다.

TB 계열 실험체의 초기균열 시작은 다른 실험체와 마찬가지로 지점에서부터 발생하였고, 기둥부 중앙으로 향해 진전되었으며, 콘크리트 압축단 내에서 진전되다가 압축단이 파괴되는 형식의 파괴흐름을 보였다. 또한 콘크리트 압축단 영역의 피복이 박락되는 형태를 보였다. 파괴 시 내민 받침의 피복이 탈락되었으며, 수평하중으로 인하여 지점부 외각으로 경사진 균열이 발생하여 수평 쪼개짐 현상도 보였다. 조립된 볼트가 파괴되지 않고 수직하중으로 인해 약간 휘어졌다. 수평하중을 위해 설치된 인장 철판은 탈락되었다. TB 계열의 실험체는 다른 계열의 실험체들과는 달리 지점에서 내민 받침 외부로 진전되는 균열의 형태가 현저하게 나타났다. 이것은 수평하중의 영향으로 인하여 콘크리트의 피복이 수평으로 쪼개지는 형태를 보인 것으로 판단된다. 또한 다른 실험체와 유사한 콘크리트의 압축단이 파괴되는 형태를 보였다.

또한 수평력이 0.5P만큼 가해진 III계열 실험체(RC-III-1, RCH-III-1, TB-III-1)는 기타 실험체에 비하여 항복하중 및 최대내력의 저하가 현저하게 나타났다.

3.3. 단면 응력에 따른 비교

코오벨을 국내의 제반조건에 맞게 활용하기 위한 적용성을 검토한 결과, 외국의 설계기준 지침인 ACI나 PCI 설계기준을 국내에서 활용하는 데는 무리가 없는 것으로 판단이 되나, 코오벨에 구조적인 문제를 야기시키는 수평하중에 대한 부담이 있어 이를 감소시키기 위해 프리스트레스를 이용하는 방법⁶⁾ 중에서 나사볼트와 PS 강선을 이용하는 방법 두

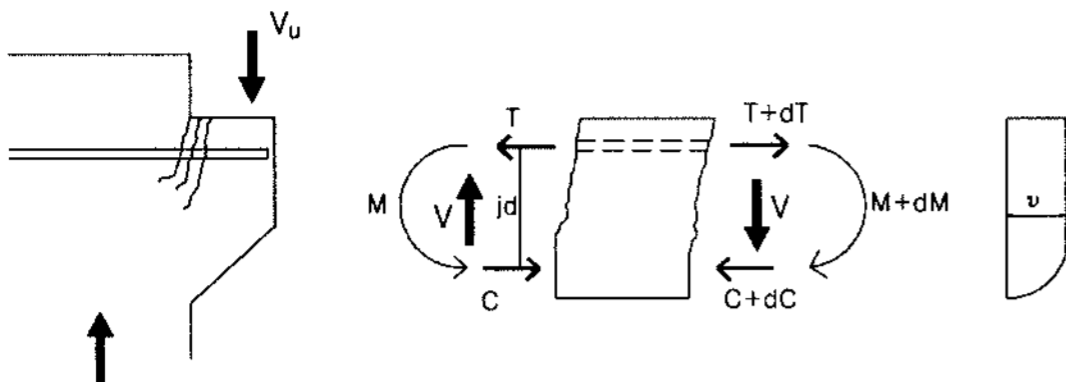


Fig. 4. Average shear stress.

가지를 선택하여 실험을 수행하였다. 또한 이 두 가지의 방법이 적용된 코오벨과 RC 계열 코오벨과의 구조성능을 비교·평가하고 프리스트레스를 이용하여 코오벨에 작용하는 휨모멘트와 전단내력을 보강함으로써 부가되는 이득으로 코오벨의 단면 감소 효과를 보기 위하여 RC 계열과 TB 계열, PS 계열의 단면을 각각 다르게 설계하여 실험하였다. 따라서 이들의 구조 성능을 평가하기 위해서는 각각의 단면에 작용하는 응력을 계산해야 한다.

코오벨의 초기 균열은 휨인장에 의해서 수직방향으로 발생하나 하중이 증가함에 따라 Fig. 4와 같이 경사방향으로 발전해간다. 근접한 두 균열 사이의 휨모멘트의 평행조건은 jd 가 일정한 경우 평균 전단응력은 다음과 같다.

$$v = \frac{V}{b_w d} \quad (1)$$

또한, 코오벨에 작용하는 수직력과 수평력 그리고 프리스트레스력에 의한 모멘트와 코오벨의 모멘트가 같다는 정역학적 평형조건에 의하여 단면의 응력을 구하면 Fig. 5에 의해 다음과 같다.

$$\sigma_x = \frac{Pe_1}{Z} + \frac{hPe_2}{Z} + \frac{hP}{A} - \frac{H_s e_3}{Z} - \frac{H_s}{A} \quad (2)$$

- 여기서, P : 수직하중
- h : 수직하중에 대한 수평하중 비
- e_1 : 기둥 외면으로부터 수직하중이 작용하는 거리
- e_2 : 수평하중에서 주 철근까지의 거리

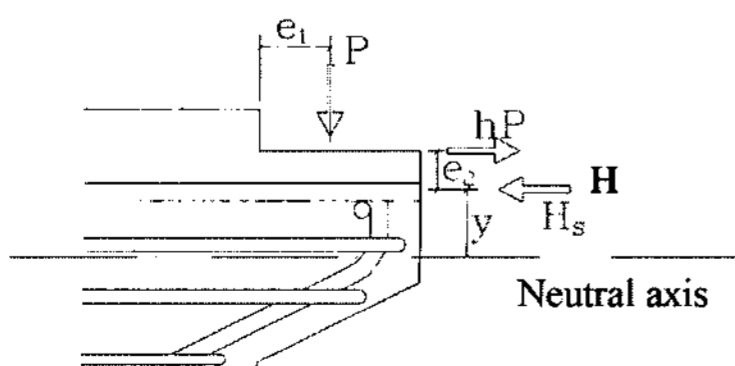


Fig. 5. External load on the corbel.

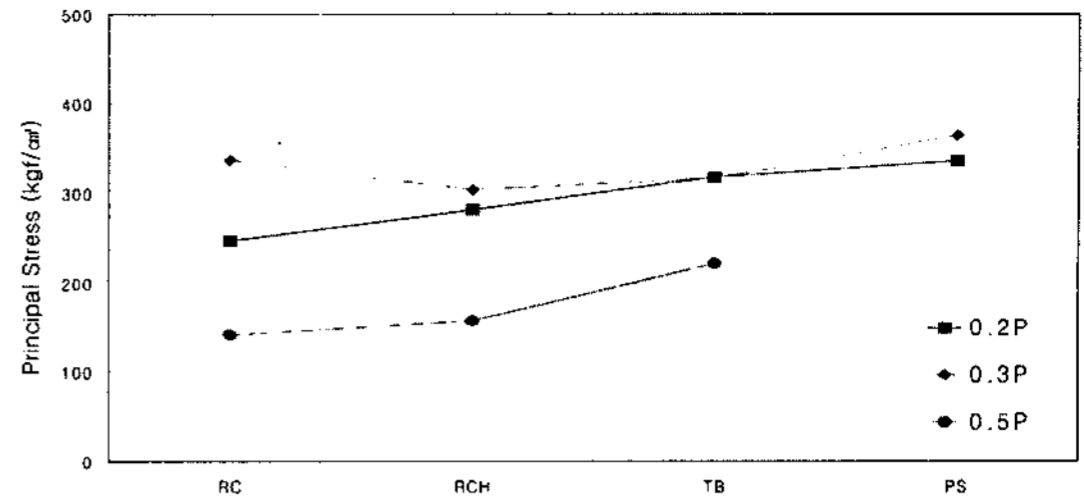


Fig. 6. Comparison for main stress at the corbel.

- e_3 : 프리스트레스력의 작용점에서 주근까지의 거리
- Z : 단면계수
- A : 기둥과 코오벨이 접합된 단면적

따라서, 식 (3)에서는 주응력을 구하는 식에 식 (1)에서 구한 전단응력 v 와 식 (2)에서 구한 수직응력 σ_x 를 대입하여 주응력을 계산하면

$$\sigma_1 = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + v^2} \quad (3)$$

위의 식 (3)에 의해 구해진 각각의 형태별 코오벨 주응력은 Fig. 7과 같다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 일반적인 철근콘크리트 코오벨 보다는 TB 계열과 PS 계열 코오벨 주응력이 높게 나타났다. 0.2P의 수평하중이 가해졌을 때 PS 계열 코오벨이 가장 높은 값을 보였고, 그 다음이 TB 계열, RCH 계열, RC 계열의 순서로 낮은 값을 보였다. 0.2P 계열과 0.3P 계열의 코오벨은 거의 유사한 값을 보였으나, 0.5P 계열은 현저하게 낮은 값을 보였다. 따라서 코오벨에 작용하는 수평하중과 동일한 프리스트레스력을 볼트나 PS 강연선을 이용하여 코오벨에 적용시키면 작용하는 수평하중의 영향을 줄이는데 효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 프리스트레스를 도입하지 않은 RC 계열 실험체는 최소 전단 단면적의 규정이 적용되어 최소한의 요구 단면적이 필요하지만 프리스트레스를 도입하였을 경우 이에 대한 규정치 보다 작은 단면적을 적용하여 실험한 결과 RC 계열 실험체보다 TB 계열과 PS 계열 실험체가 높은 응력을 보였기 때문에 실제로 현장에 적용할 경우 단면 감소 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

3.4. 전단마찰 이론식에 의한 분석

전단 마찰 이론식에 의한 접근방법⁷⁾은 코오벨에

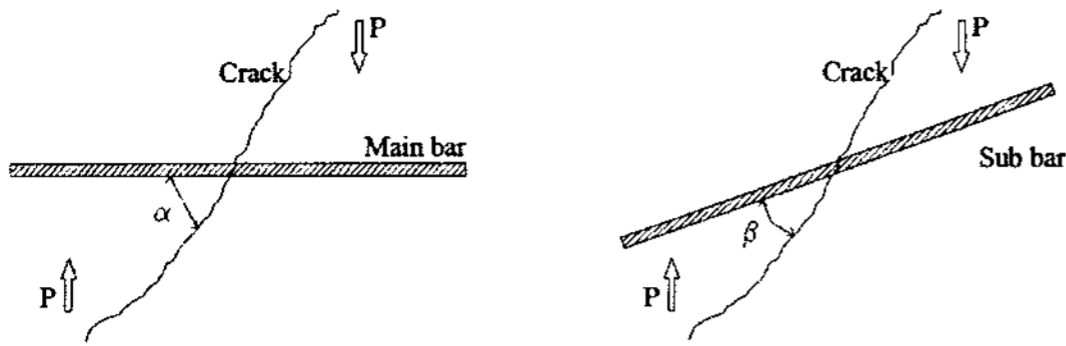


Fig. 7. Define of crack angle.

작용하는 하중이 극한 한계상태에 도달하여 이미 균열이 간 평면을 따라 미끄러진다고 가정한다. 따라서 이에 따른 마찰계수와 공칭 수직전단 저항력을 정할 필요가 있다.

공칭 수직전단 저항력 V_n 은 다음과 같다.

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (4)$$

철근이 균열 면에 α 의 각도로 배근 되었을 경우에는 다음과 같다.

$$V_n = A_s f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \quad (5)$$

균열각에 따라 다음과 같은 식이 성립된다.

$$P = \frac{A_{s1} f_{s1} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) + A_{s2} f_{s2} (\mu \sin \beta + \cos \beta)}{(\sin \alpha + \mu \cos \alpha + \mu h \sin \alpha - h \cos \alpha)} \quad (6)$$

- 여기서, $A_{s2} f_{s2}$: 조립철근의 인장력
- $A_{s1} f_{s1}$: 주근의 인장력
- h : 수평하중을
- α : 균열각도
- β : 조립철근과 균열면과의 각도

Table 2. Comparison for test results and calculation values

Name	Horizon force (P=29tf)	PS force (tf)	$A_{s1} f_{s1}$ (tf)	$A_{s2} f_{s2}$ (tf)	Angle of crack		μ ($\lambda=1$)	V_{cal} (tf) ①	V_{exp} (tf) ②	①/② (tf)
					α	β				
RC-I-1	0.2P	0	53.0	25.7	60	30	1.4 λ	76.7	78.8	1.03
RC-II-1	0.3P	0	53.0	25.7	115	85	1.4 λ	100	100	1.00
RC-III-1*	0.5P	0	53.0	25.7	-	-	1.4 λ	-	36.5	-
RCH-I-1	0.2P	0	53.0	34.2	70	20	1.4 λ	84.5	90.6	1.07
RCH-II-1	0.3P	0	53.0	34.2	90	60	1.4 λ	93.5	90.7	0.97
RCH-III-1*	0.5P	0	53.0	34.2	-	-	1.4 λ	-	40.7	-
PS-I-1	0.2P	6	55.6	25.7	50	40	1.4 λ	78.9	72.6	0.92
PS-II-1	0.3P	6	55.6	25.7	60	30	1.4 λ	76.1	75.5	0.99
TB-I-1	0.2P	6	44.1	25.7	60	30	1.4 λ	67.8	78.5	1.16
TB-II-1	0.3P	6	44.1	25.7	90	60	1.4 λ	74.5	71.1	0.95
TB-III-1*	0.5P	6	44.1	25.7	-	-	1.4 λ	-	43.0	-

*Failure of horizontal tension

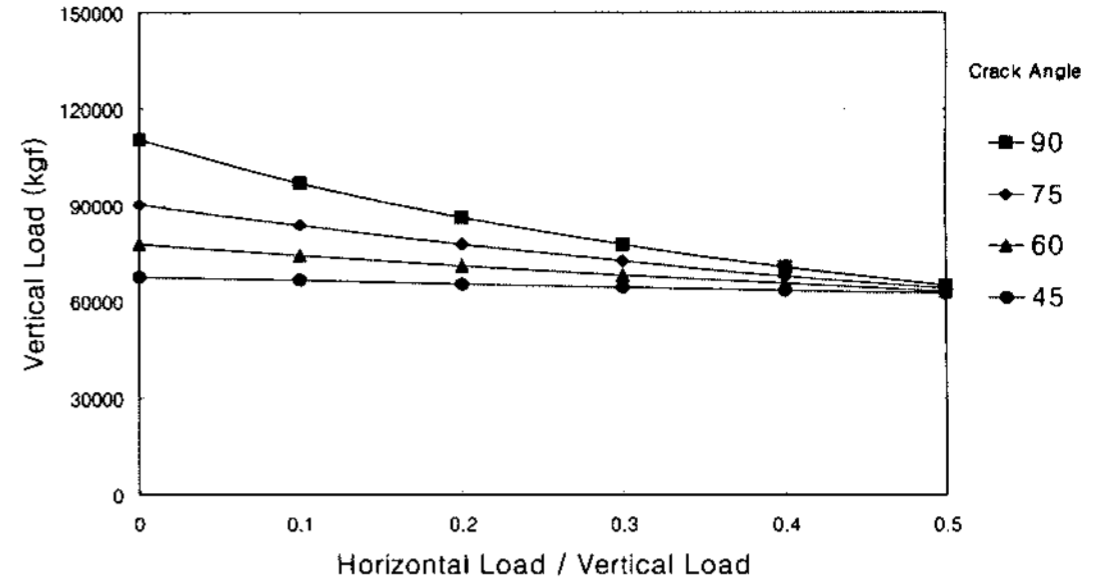


Fig. 8. Relaxation of horizontal and vertical loading on RC.

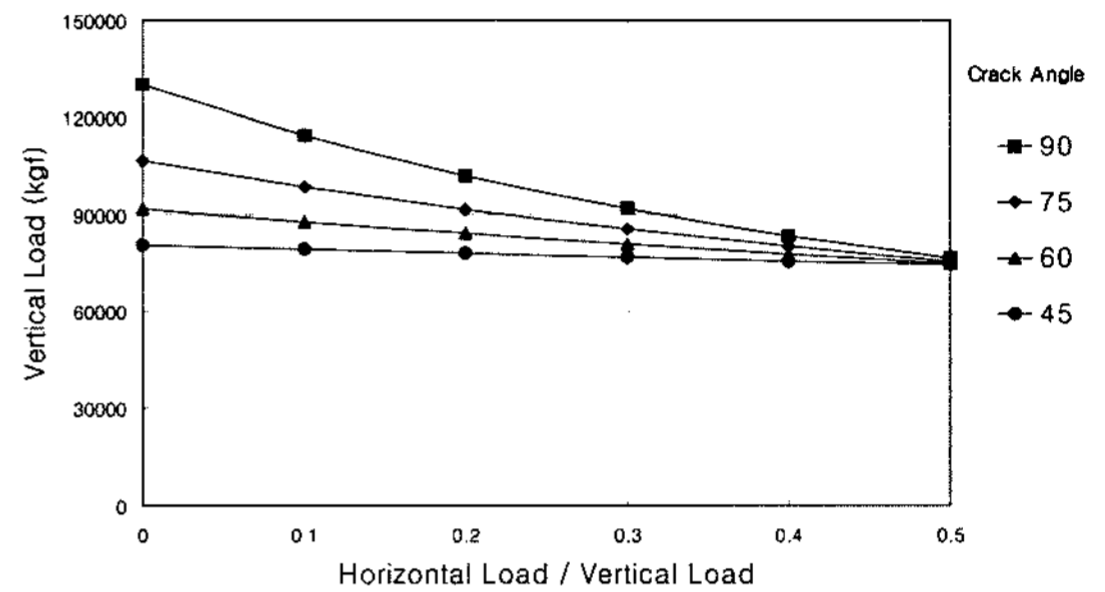


Fig. 9. Relaxation of horizontal and vertical loading on PS.

위의 식 (6)에 의하면 균열각 α 가 작아짐에 따라 수직내력 V_n 도 작아짐을 알 수 있다. 또한 수직 하중에 대한 수평하중의 비가 커짐에 따라서도 수직내력이 작아지는 것을 볼 수 있다.

Table 2는 식 (6)에 의해 이론적⁸⁾으로 계산된 코오벨의 전단강도 값과 실험에서 얻어진 값을 비교하여 보여주고 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 전단마찰이론에 의해서 계산된 값들이 실험치와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 각각의 균열각에서 수평하중이 증가하는데 따른 수직하중의 감소 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 8~9와 같다.

3.5. 균열각의 추정

Fig. 10에서와 같이 코오벨에 발생하는 균열의 각도는 스트럿-타이 모델 이론에 의해 계산되어질 수 있다. 코오벨에 수직력과 수평력이 동시에 작용

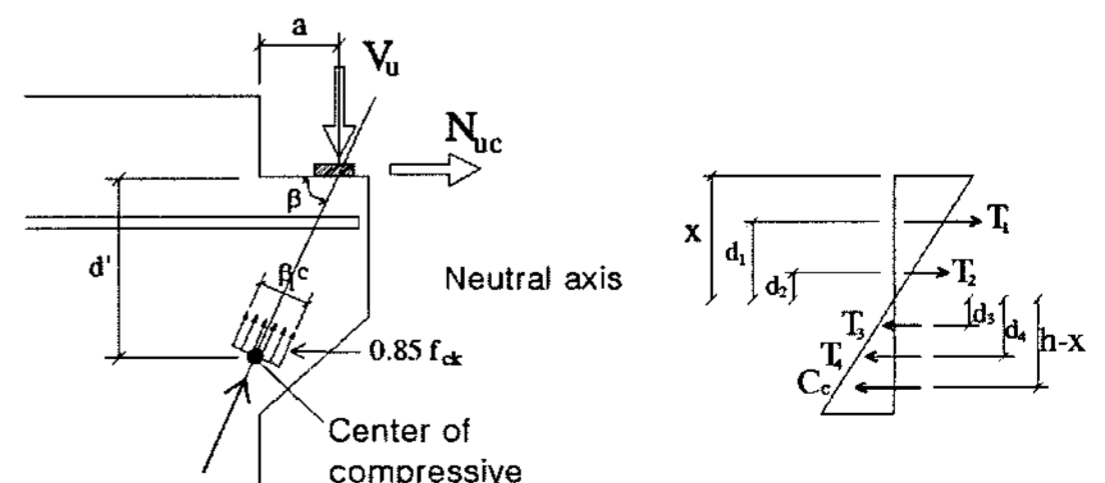


Fig. 10. Tension and compressive end at corbel.

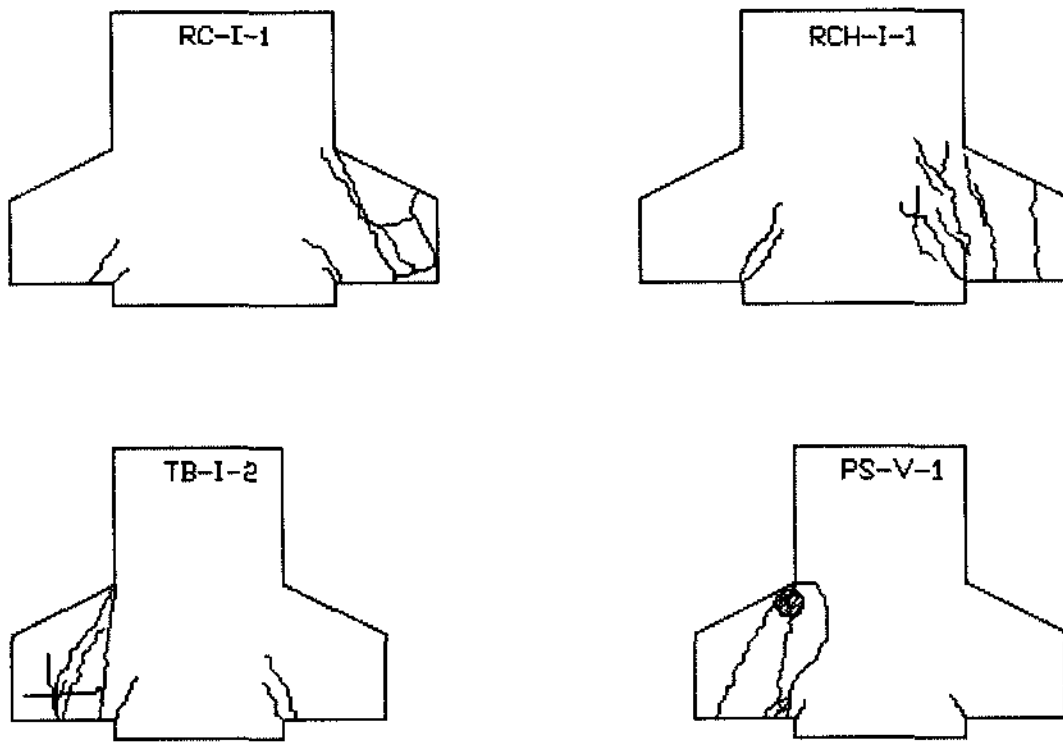


Fig. 11. Crack style.

할 경우 수평인장력은 인장철근이 부담하고 수직력은 코오벨에 형성되는 콘크리트의 압축대에 의해 지지가 되는데 내민 코오벨의 주된 파괴는 모든 실험체들이 동일하게 콘크리트의 압축대가 파괴됨으로 일어났다. 이 압축대의 각도는 콘크리트의 압축중심 위치를 구함⁹⁾으로 얻어질 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{d'}{a}\right) \quad (7)$$

중립축의 위치 x 는 다음 식 (9)에 의해서 구한다.

$$M_T = M_C \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & T_1(x - d_1) + T_2(x - d_1) \\ & = T_3(x + d_1) + T_4(x + d_1) + C_c(h - x) \times \frac{2}{3} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 중립축의 위치 x 를 구하면 콘크리트의 압축중심의 위치는 다음과 같다.

$$d' = [(h - x) \times \frac{2}{3} + x] \quad (10)$$

식 (10)과 (7)에 의해서 구해진 균열의 각도 α 는 Fig. 11에서 나타난 것과 같이 실험 결과와 거의 유사하게 약 70° 에서 55° 사이에서 정해진다는 것을 알 수 있다. 또한 위의 식들에 의해 계산된 균열각 α 를 식 (6)에 적용하면 예상 파괴하중을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글 : 이 연구는 2005년도 첨단도시개발사업(과제번호: 05-건설핵심-D06)의 연구비 지원과 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화재보

존기술연구개발(R&D)사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

4. 결론

코오벨의 수직 및 수평외력에 대한 실험을 통하여 외력을 적절하게 제어할 수 있는 코오벨의 단면을 제시하고자 수행한 연구결과를 요약하여 다음과 같다.

- 1) 수직하중에 대한 수평하중의 비율이 0.2P, 0.3P, 0.5P로 증가함에 따라 이에 대한 코오벨의 내력이 종류별로 각각 다른 비율로 감소하는 것을 알 수 있는데, PS 계열 실험체와 TB 계열 실험체는 비교적 선형적인 내력 감소율을 보이고 있다.
- 2) 수평하중에 대한 영향을 최소로 줄이기 위해 가장 효과적인 것은 프리스트레스를 이용하는 방법으로 나타났다.
- 3) 실험에 의해 나타난 코오벨의 내력과 전단마찰이론에 의해 계산되어진 내력들이 매우 유사한 것으로 나타났으며, PS 강연선과 나사볼트를 이용해 프리스트레싱한 코오벨들의 초기 균열각을 정확히 추정한다면 전단마찰이론 식들은 매우 유용한 것으로 판단된다.
- 4) 수직하중의 20%가 수평하중으로 작용한다고 가정하여 설계하였을 경우 수평하중이 수직하중의 30%를 기준으로 이를 초과하여 작용하였을 경우에는 코오벨의 내력이 급격하게 감소한다는 것을 실험에 의해 판명되었다. 따라서 수평하중이 수직하중의 30%를 초과하여 작용하면 코오벨은 구조적으로 매우 위험할 것이라 판단된다.

참고문헌

- 1) Y. M. Yun, "Nonlinear strut-tie model approach for structural concrete", ACI Structural journal Vol. 97, pp. 581 ~ 590, 2000.
- 2) Y. M. Yun, B. H. Kim, W. S. Lee, H. J. Shin, "Ultimate strength analysis of reinforced concrete corbels using grid softened strut-tie model", Proceedings of research conference at the 2004 KCI, pp. 544 ~ 547, Pyungchang, Korea, 2004.
- 3) ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- 4) PCI Committee on Tolerances, "Design and Typical

- Details of Connections for Precast Prestressed Concrete”, MNL-123-88, Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1988.
- 5) Survey of Precast Prestressed Concrete Parking Structures, Research Project No. 7, Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1986.
 - 6) Krystyna Nagrodzka-Godycka, “Behavior of Corbels with External Prestressing Bars- Experimental Study”, ACI Structural Journal, Vol. 96, Nov-Dec 1999.
 - 7) S. J. Hwang, Wen-Yao Lu and Hung-Jen Lee, “Shear Strength Prediction for Reinforced Concrete Corbels”, ACI Structural Journal, Vol. 97, Jul-Aug 2000.
 - 8) ACI Committee 340, “ACI Design Handbook”, SP-17, Oct 1997.
 - 9) Pinaki R. Chakrabarti, Davood J. Farahi and Shihadeh I. Kashou, “Reinforced and Precompress -ed Concrete Corbels-An Experimental Study”, ACI Structural Journal, Vol. 86, Jul-Aug 1989.