

횡철근비와 cross-tie가 다른 횡구속 사각단면 콘크리트의 응력-변형률 특성

Characteristics of stress-strain relations of confined rectangular sectional concrete elements with various lateral reinforcement ratios and cross-ties

정 혁 창^{*} 박 태 수^{**} 선 창 호^{***} 김 익 현^{****} 이 종 석^{*****}

Jeong, Hyeok Chang Park, Tae Soo Sun, Chang Ho Kim, Ick Hyun Lee, Jong Seok

ABSTRACT

In order to achieve target ductility the stress-strain relation of confined concrete is indispensable. In this study the specimens with different transverse reinforcement ratios were tested. The test results were compared with empirical equations and the characteristics of confinement effect were investigated.

1. 서론

현행 도로교 내진설계에서는 강도특성이 고려되지 않아서 소성설계를 하는 경우 동일한 횡철근비 규정으로 과도한 설계가 이루어지고 있다. 향후에 합리적인 내진설계를 위해서는 변위연성도에 의해 설계가 되어야 한다. 이러한 변위연성도에 의한 내진설계에서는 목표연성도를 확보하기 위해서 횡구속된 콘크리트의 응력-변형률(σ - ϵ)곡선이 제공되어야 한다. 이에 본 연구에서는 현행 도로교 설계기준의 횡철근비를 기준으로 띠철근과 cross-tie를 포함하는 특성을 가진 횡구속 콘크리트의 응력-변형률 특성을 실험을 통하여 분석하였다.

2. 재하실험

실험에서 단면의 형상은 정사각형과 직사각형 두 가지 다른 단면을 두었고, 횡철근비가 다른 시험체를 각각 2개씩 제작하였다. 횡철근비는 도로교 설계기준에서 제안하는 량을 100%의 기준으로 하여 50, 75, 100, 125%로 하였다. 동일한 횡철근비를 가지며 cross-tie 유무에 따른 두 종류의 시험체이다. 이 두 종류의 시험체 중 하나는 cross-tie를 없이 띠철근만 가지는 모델이며, 다른 하나는 cross-tie를 가지는 시험체이다. 시험체의 채원특성은 표 1과 같고, 철근배치 및 단면형상은 그림 1과 같다.

재하실험은 KS F 2405방법에 의거하여 2000kN용량의 만능재료시험기(U.T.M)를 사용하여 실시하였다. 시험체 단부에서의 국부파괴를 방지하고 복부파괴를 유도하기 위하여 양 끝단에서 100mm 위치까지 두께 10mm의 강재박스로 캡을 씌웠다. 축방향 변형률은 시험체 전후좌우의 네 곳에 LVDT를 설치하여 측정하였다(그림 2). 측정된 하중-변위 관계로부터 축방향 응력-변형률 관계를 도출하였으며, 재하 초기의 슬립량을 적절하게 보정을 하였다.

* 정희원, 울산대학교 건설환경공학부 박사수료

** 정희원, 울산대학교 건설환경공학부 석사과정

*** 정희원, 울산대학교 건설환경공학부 박사수료

**** 정희원, 울산대학교 건설환경공학부 부교수

***** 정희원, 울산대학교 건설환경공학부 교수

표 1 시험체 설계

모델명	ρ_{sh} [%]	Cross-tie 사용여부	간격 (mm)	단면 크기	모델명	ρ_{sh} [%]	Cross-tie 사용여부	간격 (mm)	단면 크기	
S15-1	0	×	0	150 mm × 150 mm	R15-1	0	×	0	150 mm × 200 mm	
S15-3	50	×	93		R15-3	50	×	79		
S15-5		○	140		R15-5		○	118		
S15-6	75	×	62		R15-6	75	×	52		
S15-8		○	93		R15-8		○	79		
S15-12	125	×	37		R15-9	100	×	39		
S15-14		○	56		R15-11		○	59		
							R15-12	×		31
							R15-14	○		47

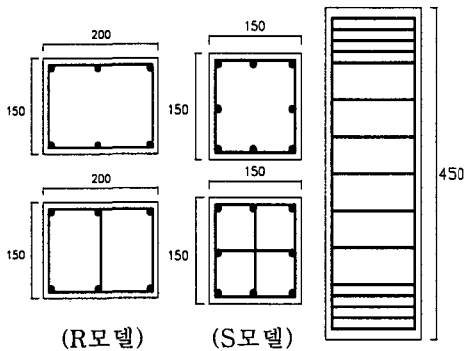


그림 1 철근 배치도(단위:mm)



그림 2. LVDT 및 시험체 설치 사진

3. 실험결과 및 분석

실험결과에서 각 시험체의 응력-변형률 관계를 그래프로 도출하고, 무구속 콘크리트의 최대응력과 그 때의 변형률에 대해 정규화하여 기존에 제안된 경험식과 비교하여 적합한 관계식을 제안하였다. 또한 정규화된 결과를 토대로 최대응력, 파괴시 변형률, 그리고 파괴시까지 시험체에 축적되는 변형에너지 밀도를 가지고 비교하여 황구속시 락철근과 cross-tie의 능력 차이를 나타내었다. 표2에 기존에 제안된 응력-변형률의 관계식을 나타내었다. 제안식에 입력되는 재료의 강도는 실험 전 콘크리트 압축 실험과 철근의 인장실험에 의한 결과값을 적용하였다.

3.1 정사각형 시험체

그림3와 그림4는 정사각단면의 실험결과와 제안식의 비교를 나타낸 것이다. 실험결과에서는 다른 제

표 2 구속된 콘크리트의 응력-변형률 제안식

모델	황구속된 콘크리트의 응력-변형률		적용단면
	상승 부분	하강 부분	
Modified Kent and Park(1982) ⁽¹⁾	$f_c = Kf'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{0.002} - \left(\frac{\epsilon_c}{0.002K} \right)^2 \right]$	$f_c = Kf'_c [1 - Z_m(\epsilon_c - 0.002K)]$	사각
Mander et al. (1988) ⁽²⁾	$f_c = \frac{f_{cc}xr}{r-1+x^r}$	$f_c = \frac{f_{cc}xr}{r-1+x^r}$	원형, 사각, 벽식
Saatcioglu and Razvi(1992) ⁽³⁾	$f_c = f_{cc} \left[2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{1/(1+2K)}$	$f_c = f_{cc} - \frac{0.15f_{cc}}{\epsilon_{85} - \epsilon_{cc}} (\epsilon - \epsilon_{cc})$	원형, 사각, 벽식
일본도로교설계기준 (1997) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	$f_c = E_c \epsilon \left[1 - \frac{1}{n} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \right)^{n-1} \right]$	$f_c = f_{cc} - E_{des} (\epsilon - \epsilon_{cc})$	사각, 원형

안식에서 나타나듯이 횡철근비가 증가할수록 구속효과는 큰 것으로 나타났다. 제안식과 비교하였을 때 최대구속응력 부분에서는 cross-tie가 없는 경우에는 Modified Kent and Park식과 일본도로교설계기준이, cross-tie가 있는 경우에는 Modified Kent and Park식이 유사한 것으로 나타났고, 하강부분(descending branch)에서는 cross-tie의 유무에 관계없이 일본도로교설계기준이 유사한 것으로 나타났다.

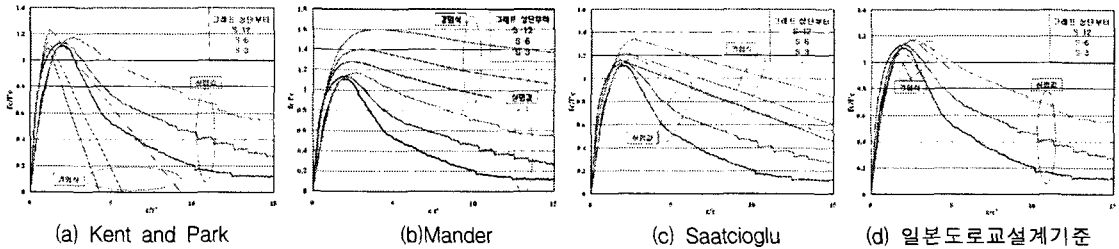


그림 3. Cross-tie가 없는 정사각형 단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

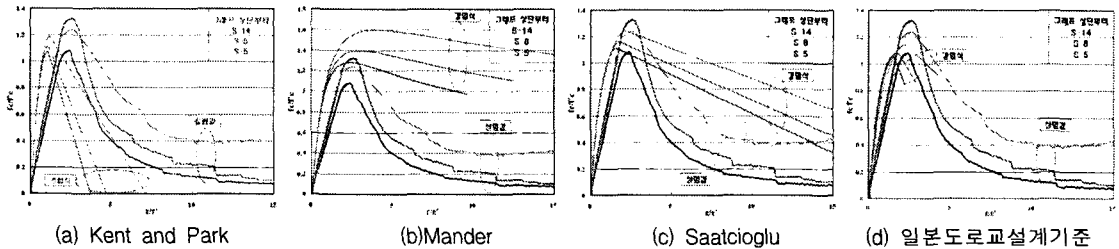


그림 4. Cross-tie가 있는 정사각형 단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

3.2 직사각형 시험체

직사각형의 실험결과와 정사각형과 마찬가지로 횡철근비의 증가에 따른 구속효과가 큰 것으로 나타났다. 그림5과 그림6에서 나타나듯이 cross-tie의 유무에 관계없이 응력-변형률 곡선의 최대구속응력 부분에서는 Modified Kent and Park식과 일본도로교설계기준이 유사한 것으로 나타났고, 하강부분에서는 일본도로교설계기준이 유사한 것으로 나타났다.

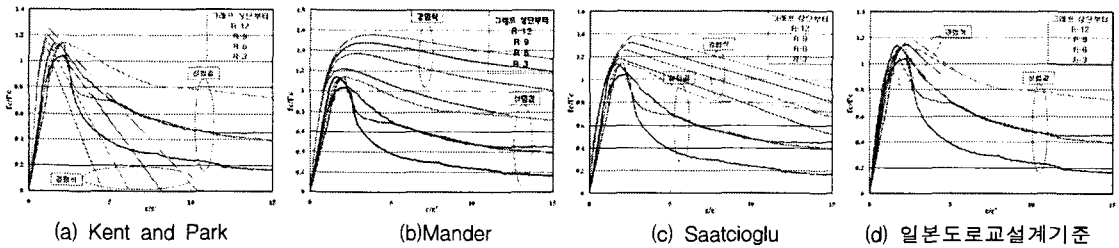


그림 5. Cross-tie가 없는 직사각단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

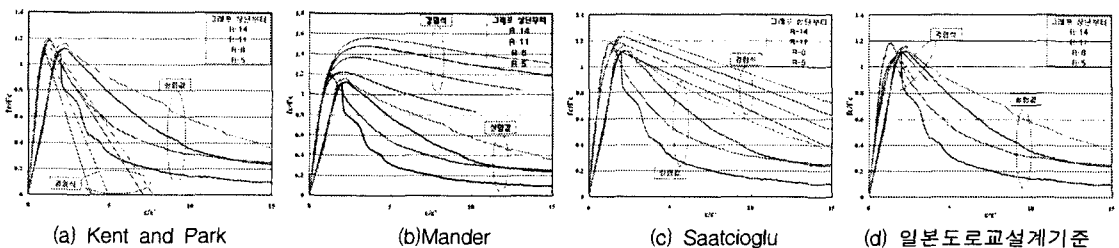
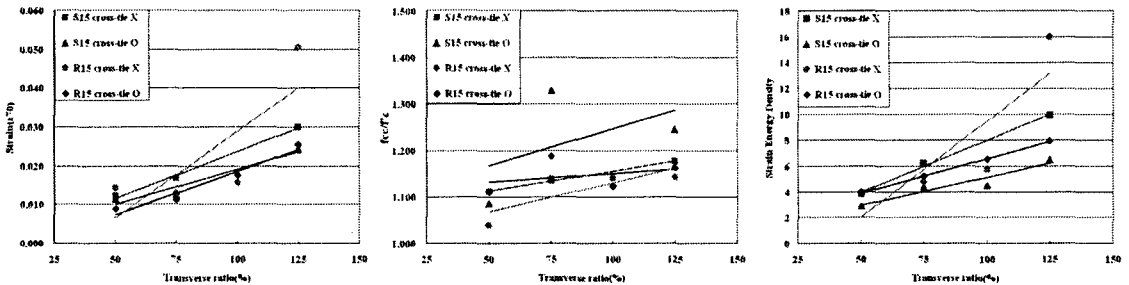


그림 6. Cross-tie가 있는 직사각단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

3.3 정사각형과 직사각형 모델의 비교·분석

우리나라 도로교설계기준에서 사각단면의 횡철근비는 면적비에 의해 결정된다. 횡구속 효과에서 cross-tie가 어느 정도 능력을 가지는지에 대해서는 미지수이다. 이에 사각단면의 횡철근 면적비를 띠 철근만 존재하는 모델과 cross-tie를 포함하는 모델을 비교하였다. 도로교설계기준에서 제안하는 횡철근비를 토대로 정사각형 단면과 직사각형 단면의 시험체를 가지고 응력-변형률 곡선을 나타내었다. 그림 7-(a)에 횡철근비의 증가에 따른 극한변형률의 크기를 비교하였다. 실험에서는 파괴에 의한 변형률의 크기를 정확히 산출하기가 어렵기 때문에 무구속 콘크리트의 최대응력의 70% 상태에서의 변형률을 파괴점으로 가정하여 비교하였다. 정사각형 및 직사각형 단면 모두 횡철근비의 증가에 대해서 변형률의 크기가 cross-tie가 존재하지 않는 경우에서 크게 나타났다. 그림 7-(b)는 횡철근비의 증가에 따른 최대구속응력의 크기를 나타낸 것이다. 최대 구속응력은 cross-tie의 유무와 상관없이 유사한 크기로 나타났다. 그림 7-(c)는 횡철근비의 증가에 따른 변형에너지밀도의 크기를 계산한 것이다. 변형에너지밀도는 응력-변형률 곡선에서 무구속 콘크리트의 최대응력의 70%에서의 변형률까지의 면적을 계산한 것이다. 두 모델 모두 cross-tie가 존재하지 않는 경우에서 크게 나타났다.



(a) 횡철근비에 따른 극한변형률 비교 (b) 횡철근비에 따른 최대응력 비교 (c) 철근비에 따른 변형에너지밀도

그림 7. 정사각형 단면과 직사각형 단면 비교, 분석

4. 결 론

실험을 통해 횡철근비에 따른 응력-변형률 관계를 얻고, 이를 기존 제안식과 비교하여 횡구속 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 제안하였다. 또한 cross-tie 유무에 따른 횡구속 능력의 차이를 분석하였다.

- (1) 횡철근의 증가에 따라 최대응력이 증가하고 하강부분(descending branch)에서는 완만해져 파괴시 변형률이 증가하는 특성을 보였다.
- (2) Cross-tie의 유무에 따른 특성의 비교를 살펴보면 최대구속응력의 경우는 Modified Kent and Park식과 일본도로교설계기준이 적합한 것으로 나타났고, 횡구속 능력을 나타내는 하강부분(descending branch)에서는 cross-tie의 유무에 관계없이 일본도로교설계기준의 식이 적합한 것으로 나타났다.
- (3) 횡철근비 증가에 따른 파괴시 변형률 및 변형에너지밀도의 크기를 비교하여 보면, 같은 횡철근비를 가지더라도 cross-tie가 있는 경우에는 수직간격의 증가로 인해서 횡구속 능력이 떨어지는 것을 알 수가 있다.

감사의 글

본 연구는 교량핵심기술연구단의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Mander, J.B, Priestley, M.J.N., and Park, R. (1988) "Theoretical stress-strain model for confined concrete", J. Struct. Div., ASCE, 114(8), pp.1804-1826.
2. Park, R., Priestley, M.J.N., and Gill, W.D. (1982), "Ductility of square-confined concrete columns", J. Struct. Div., ASCE, 108(4), pp.929-950.
3. Saatcioglu, M. and Razvi, S.R. (1992), "Strength and ductility of confined concrete", J. Struct. Div., ASCE, 118(6), pp.1590-1607.
4. Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K.W. (1997), "Stress-strain for reinforced concrete in bridge piers", J. Struct. Eng., ASCE, May, pp.624-633.
5. "도로교 시방서 내진설계편", (2002), 일본도로협회, 160-163