

횡철근 상세에 따른 횡구속 콘크리트의 응력-변형률에 관한 연구

The Experimental Study on Stress-Strain Relation of Confined Concrete with Different Transverse Reinforcements

정 혁 창* 선 창 호** 김 익 현*** 이 중 석****
Jeong, Hyeok Chang 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 되고 있다. 향후 보다 합리적인 내진설계를 위해서는 구조물의 강도특성을 고려하여 목표연성도가 산정되어야 한다. 이러한 목표연성도를 확보하기 위해서는 횡구속된 콘크리트의 응력-변형률(σ - ϵ)곡선이 제공되어야 한다. 이에 본 연구에서는 횡철근비에 따른 횡구속 콘크리트의 응력-변형률 특성을 실험을 통하여 분석하였다.

2. 재하실험

횡철근비가 다른 사각형단면 시험체 및 원형단면 시험체를 각각 2기씩 제작하였다. 횡철근비는 도로교 설계기준의 0~125%로 하였다. 시험체의 제원특성은 표 1과 같고, 철근배치는 그림 1과 같다.

재하실험은 2000kN용량의 만능재료시험기(U.T.M)를 사용하여 KS F 2405방법에 의거 실시하였다. 시험체 단부에서의 국부파괴를 방지하기 위하여 양끝단에서 100mm 위치까지 두께 10mm의 강제박스로 캡을 씌웠으며, 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. 그림 3은 재하실험에 의한 시험체의 최종 파괴 모습이다.

*정회원, 울산대학교 건설환경공학부 박사과정

**정회원, 울산대학교 건설환경공학부 박사수료

***정회원, 울산대학교 건설환경공학부 부교수

****정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수

표 1 시험체 설계

모델명	설계기준비교 [%]	횡철근비 [체적비 %]	사각 단면	모델명	설계기준비교 [%]	횡철근비 [체적비 %]	원형 단면
S15-1	0	0	150mm × 150mm	C20-1	0	0	D200
S15-3	50	0.65		C20-3	50	0.76	
S15-6	75	0.97		C20-4	75	1.14	
S15-12	125	1.62		C20-5	100	1.52	
			150mm	C20-6	125	1.90	

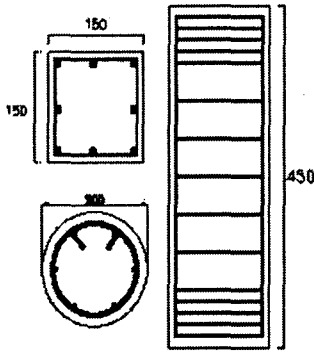


그림 1 철근 배치도

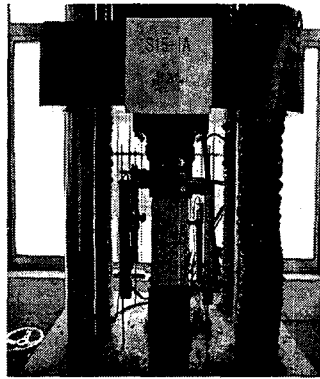


그림 2. LVDT 및 시험체 설치 사진



그림 3. 최종 파괴형상

3. 실험결과 및 분석

실험결과 응력-변형률 관계는 무구속 콘크리트의 최대응력과 그 때의 변형률에 대해 정규화하여 기존에 제안된 경험식과 비교하여 적합한 관계식을 제안하였다. 표2에 기존에 제안된 응력-변형률의 관계식을 나타내었다. 제안식에 입력되는 재료의 강도는 실험 전 콘크리트 압축실험과 철근의 인장실험에 의한 결과값을 적용하였다.

표 2 구속된 콘크리트의 응력-변형률 제안식

모델	횡구속된 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⁾	$f_c = \frac{f_{\alpha} x r}{r - 1 + x^r}$	$f_c = \frac{f_{\alpha} x r}{r - 1 + x^r}$	원형, 사각, 벽식
Saatcioglu and Razvi(1992) ⁽³⁾	$f_c = f_{\alpha} \left[2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\alpha}} \right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\alpha}} \right)^2 \right]^{1/(1+2K)}$	$f_c = f_{\alpha} - \frac{0.15f_{\alpha}}{\epsilon_{85} - \epsilon_{\alpha}} (\epsilon - \epsilon_{\alpha})$	원형, 사각, 벽식
일본도로교설계기준 (1997) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	$f_c = E_c \epsilon \left[1 - \frac{1}{n} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\alpha}} \right)^{n-1} \right]$	$f_c = f_{\alpha} - E_{des} (\epsilon - \epsilon_{\alpha})$	사각, 원형

3.1 사각단면 시험체

그림 4는 사각단면의 실험결과와 제안식의 비교를 나타낸 것이다. 실험결과에서는 다른 제안식에서 나타나듯이 횡철근비가 증가할수록 구속효과는 큰 것으로 나타났다. 제안식과 비교하였을 때 최대구속

응력 부분에서는 Modified Kent and Park식이 유사한 것으로 나타났고, 하강부분(descending branch)에서는 일본도로교설계기준이 유사한 것으로 나타났다.

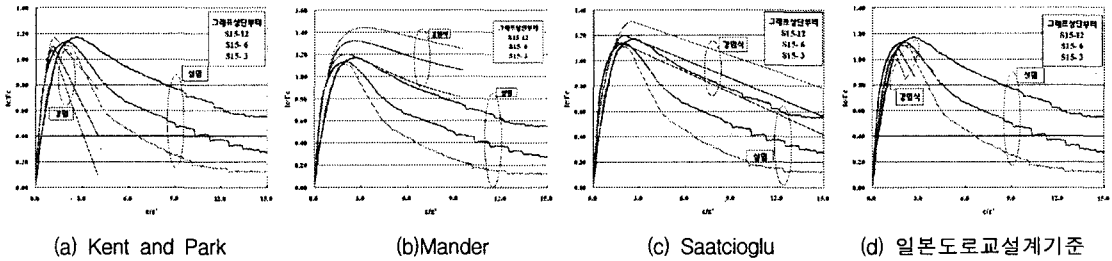


그림 4. 사각단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

3.2 원형단면 시험체

원형단면의 실험결과는 사각단면과 마찬가지로 횡철근비의 증가에 따른 구속효과가 큰 것으로 나타났다. 그림 5에서 나타났듯이 응력-변형률 곡선의 최대구속응력 부분에서는 Saatcioglu and Razvi식이 유사한 것으로 나타났고, 하강부분에서는 일본도로교설계기준이 유사한 것으로 나타났다.

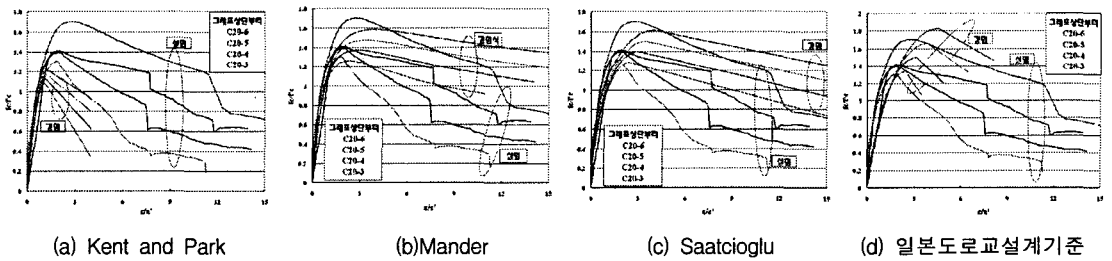
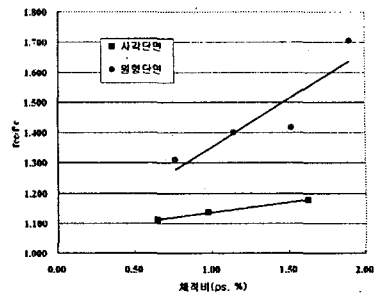
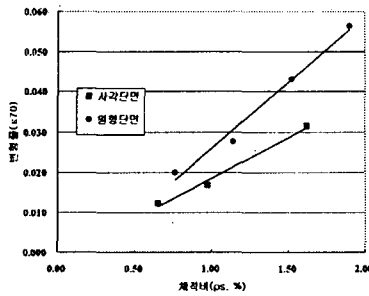
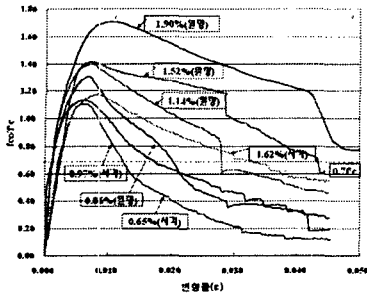


그림 5. 원형단면의 실험결과 및 제안식과의 비교

3.3 사각단면과 원형단면 모델의 비교·분석

우리나라 도로교설계기준에서 사각단면의 횡철근비는 면적비에 의해 결정이 되고, 원형단면은 체적비에 의해서 결정된다. 횡구속 효과는 사각단면이 원형단면에 비하여 떨어지지만 어느 정도 차이가 있는지에 대해서는 미지수이다. 이에 사각단면의 횡철근 면적비를 체적비로 환산하여 원형단면의 모델과 비교하였다. 도로교설계기준에서 제안하는 횡철근비를 토대로 사각단면과 원형단면의 응력-변형률 곡선을 그림 6-(a)에 나타내었다. 도로교 기준의 75%의 횡철근비를 갖는 원형단면의 구속효과가 125%의 횡철근비를 갖는 사각단면보다 구속효과가 큰 것으로 나타났다. 그림 6-(b)에 체적비의 증가에 따른 극한변형률의 크기를 비교하였다. 실험에서는 파괴에 의한 변형률의 크기를 정확히 산출하기가 어렵기 때문에 무구속 콘크리트의 최대응력의 70% 상태에서의 변형률을 파괴점으로 가정하여 비교하였다. 원형단면인 경우에는 횡철근비의 증가에 대해서 변형률의 크기가 사각단면에서 보다 크게 증가하는 것으로 나타났다. 그림 6-(c)는 횡철근비의 증가에 따른 최대구속응력의 크기를 나타낸 것이다. 변형률과 마찬가지로 체적비의 증가에 따른 최대구속응력의 증가는 원형단면이 사각단면보다 크게 나타났다.



(a) 체적비에 따른 응력-변형률 곡선

(b) 체적비에 따른 극한변형률 비교

(c) 체적비에 따른 최대응력 비교

그림 6. 사각단면과 원형단면 비교, 분석

4. 결론

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

- (1) 횡철근의 증가에 따라 최대응력이 증가하고 하강부분(descending branch)에서는 완만해져 파괴시 변형률이 증가하는 특성을 보였다.
- (2) 최대 구속응력의 경우 사각단면은 Modified Kent and Park식, 원형단면은 Saatcioglu and Razvi식이 적합한 것으로 나타났으며, 횡구속 능력을 나타내는 하강부분(descending branch)에서는 사각과 원형 모두 일본도로교설계기준의 식이 적합한 것으로 나타났다.
- (3) 횡철근비 증가에 따른 파괴시 변형률 및 최대구속응력의 크기를 비교하였을 때 사각단면보다 원형단면이 큰 증가량을 나타내어 원형 단면이 사각단면보다 횡구속 효과가 크다는 것을 알 수 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