단나선근으로 횡보강된 콘크리트의 횡보강효과

An experimental Study on the Confinement Effect of Concrete specimens confined by Single Spirals

김 진 근*, 박 찬 규**
Kim, Jin-Keun, Park, Chan-Kyu

ABSTRACT

Experimental research was carried out to investigate the confinement effect of concrete specimens confined by single spirals subjected to the concentric axial compressive load. Main variables are the compressive strength of concrete, the spacing of the spiral reinforcement and the yield strength of the spiral reinforcement.

Axial stress-strain curves are reported.

1. 서론

최근에 고강도 콘크리트의 재료 및 구조역학적 특성에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔다. 고강도 콘크리트의 가장 일반적인 구조물에의 적용은 고층 구조물에서 큰 하중을 받는 기둥부분이다. 이러한 철근콘크리트 기둥의 설계에서 가장 중요한 것은 지진의 발생에 대한 건물의 안전성을 확보하는 것이다. 이를 위하여 기둥의 소성힌지 영역에서 연성과 강도의 충분한 확보와 정확한 예측이 필요하다. 연성과 강도의 확보를 위하여 기둥 설계시 횡보강근을 배근하는데, 다음과 같은 2가지 조건을 만족시켜야 한다. 첫번째, 횡보강은 기둥에서 콘크리트 피복의 파괴에 따른 강도의 감소를 상쇄시킬수 있도록 심부콘크리트의 압축강도를 증가시켜야 한다. 두번째, 횡보강은 심부콘크리트의 실질적인 강도의 감소없이 큰 변형을 지지할 수 있는 능력을 가져야 한다. 이를 위하여 ACI code[1]에서는 기둥의 설계시 최소 횡보강근량에 대하여 규정하고 있다. 그리고 횡보강을 하였을 경우 기둥의 전단파괴와 축방향 철근의 좌굴을 막는 부수적인 효과도 기대할 수 있다.

콘크리트의 횡보강 효과에 대한 실험은 일반적으로 두가지 방향으로 추진되어 왔다. 첫번째는 무근 콘크리트에 대한 삼축[2] 또는 이축 압축시험을 이용한 것이며, 두번째는 횡보강근을 사용하여 구조적인 관점에서 콘크리트의 거동을 추정하고자 하는 것이다. 후자의 경우 철근콘크리트 기둥의 횡보강 효과는 주로 콘크리트의 압축강도, 횡방향 철근비, 횡보강근의 항복강도 등에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 콘크리트의 압축강도, 나선근의 양, 나선근의 항복강도에 따른 콘크리트의 횡보강 효과에 대하여 실험적으로 규명하고자 한다. 또한 기존의 실험결과를 토대로 실험방법에 따른 횡보강 효과의 차이에 대하여 연구하였다.

* 한국과학기술원 토목공학과 교수
** 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

표 1 콘크리트의 배합표

mix no.	cement (kg/m^3)	water (kg/m^3)	sand (kg/m^3)	coarse aggregate (kg/m^3)	silica fume (kg/m^3)	superplasticizer (%)
NSC	320	230.4	752	919.3	-	-
HSC	495	165	613.3	1044.3	55	2

2. 실험

콘크리트 제조를 위하여 제1종 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대골재크기 10mm의 화강암 쇄석을 사용하였다. 고강도 콘크리트 배합(HSC)에서는 고성능 감수제와 실리카 흄을 사용하였다. 콘크리트의 배합비는 표 1에 나타낸 바와 같다.

본 연구의 모든 시험체는 100×400mm 원주형으로 제작되었다. 콘크리트의 강도는 보통강도(25MPa)와 고강도(78MPa)를 선택하였으며, 나선근의 종류는 2가지 형태를 사용하였는데 각각의 항복강도는 432, 1030MPa이다. 나선근의 항복강도는 영구연실율 0.2%에서 측정하였다. 철근의 항복강도가 432MPa인 나선근을 사용한 시험체의 경우, 보통강도 콘크리트 시험체에 있어서 나선근의 간격은 120, 60, 40, 30 및 20mm, 고강도 콘크리트 시험체에서는 60, 40, 20mm에 대해서 실험을 수행하였다. 철근의 항복강도가 1030MPa인 나선근을 사용한 경우에는 보통강도 시험체에서는 나선근 간격을 40mm, 고강도 콘크리트 시험체에는 50, 40 및 25mm에 대하여 실험을 수행하였다. 나선근은 바깥 지름이 100mm, 주어진 간격을 가지도록 제작하였으며, 콘크리트 타설직전 몰드안에 배치를 하였다. 모든 시험체에 대하여 진동기를 사용하여 다짐을 하였으며, 24시간만에 탈형하여 시험시까지 수중양생을 실시하였다. 시험에 사용된 기기는 250ton 용량의 INSTRON사의 Closed-loop Servo-hydraulic Dynamic Materials Testing System이다. 시험직전 시험체 윗면은 유황으로 캡핑하였다. 시험체에 콤프레소메타를 부착한 다음, 양면에 L. V. D. T.를 설치하여 축방향 변위를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

실험결과가 표 2에 나타나 있다. 각각의 시험체 응력-변형도 곡선에서 최대응력과 그점에서의 변형도가 표 2에 제시되어 있다. 표 2에서 NC와 HC는 각각 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트, 120, 60, 40 등은 각각 나선근의 간격, L과 H는 각각 항복강도가 432MPa, 1030MPa 인 나선근을 나타낸다.

3.2 축방향 응력-변형도 곡선

NC120-L인 시험체의 경우 강도와 최대응력에서의 변형도가 무근 공시체의 경우와 같은 것으로 나타났으나, 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 응력-변형도 곡선에서 하강부분의 기울기는 보다 완만한 것으로 나타났다. 이는 나선근의 간격이 어느 값 이상일 경우에 최대점에서의 횡보강 효과는 없지만, 응력-변형도 곡선의 하강부분에는 영향을 미치는 판단된다. Iyengar 등[3]은 횡보강 효과가 없은 나선근의 간격을 시험체의 단면 지름 만큼 이라고 제안하였으며, Ahmad 등[4]은 이 값을 시험체의 심부콘크리트 부분의 1.25배로 제안하였다.

표 2 실험결과

specimen	f_o(MPa)	εo	f_y(MPa)	S_{sp}(mm)	d_{sp}(mm)	f_{oc}(MPa)	ε_{oc}
NC120-L	25.02	0.001965	432	120	4.8	25.02	0.002081
NC60-L	25.02	0.001965	432	60	4.8	26.49	0.003136
NC40-L	25.02	0.001965	432	40	4.8	32.58	0.01015
NC30-L	25.02	0.001965	432	30	4.8	42.28	0.01534
NC20-L	25.02	0.001965	432	20	4.8	54.04	0.02455
NC40-H	25.02	0.001965	1030	40	5.0	37.19	0.01901
HC60-L	78.00	0.002588	432	60	4.8	78.56	0.002878
HC40-L	78.00	0.002588	432	40	4.8	83.40	0.003151
HC20-L	78.00	0.002588	432	30	4.8	103.40	0.005000
HC50-H	78.00	0.002588	1030	50	5.0	82.85	0.003091
HC40-H	78.00	0.002588	1030	40	5.0	88.70	0.003469
HC25-H	78.00	0.002588	1030	25	5.0	103.28	0.006676

그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 나선근량이 증가할수록 응력-변형도 곡선에서 하강부분의 기울기가 보다 완만해짐을 볼 수 있다. 고강도 콘크리트 시험체에서는 응력-변형도 곡선의 상승 부분에서 저강도 시험체보다 기울기가 크고 보다 직선적인 형태를 나타냈다. 또한 최대응력 이후 응력-변형도 곡선은 어떤 한 응력까지 갑작스런 하강을 나타냈는데 그 이후 다시 수평방향으로 곡선이 구부러지는 형태를 보이고 있다.

실험시 고강도 시험체에서는 나선근량에 관계없이 최대 응력이후 갑작스런 전단파괴면이 형성되었는데, 이러한 파괴면에서 발생하는 전단력에 나선근이 저항함으로서 하강부분의 곡선이 수평방향으로 구부러지는 형태를 나타내는 것으로 사료된다.

그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 고강도 콘크리트 시험체에서 고강도 나선근을 사용한 경우, 다른 고강도 콘크리트 시험체에 비하여 평평한 하강부분의 기울기를 가짐을 알 수 있다. 이러한 연성의 증가는 보통강도 나선근을 사용한 경우보다 전단파괴면의 발생을 억제하고, 전단파괴면이 발생하더라도 보다 효과적으로 전단력에 저항하기 때문인 것으로 판단된다.

보통강도 콘크리트 시험체에서 나선근 간격이 넓을수록 전단파괴형태가 많이 나타났으나, 고강도 콘크리트 시험체에서와 같은 급격한 응력의 감소는 나타나지 않았다. 나선근량이 증가할수록 콘크리트의 과도한 횡방향 변형에 의한 나선근의 끊어짐이 나타났다.

3.3 횡보강 응력의 계산

본 연구에서는 기존에 제안된 횡보강 응력 계산식을 사용하였으며[3], 계산식은 식 (1)과 같다.

$$f_{cl} = \frac{\rho_s f_y}{2}\left(1 - \frac{S_{sp}}{d_c}\right) \qquad (1)$$

여기서, ρ_s는 나선근의 체적비, f_y는 나선근의 항복강도, S_{sp}는 나선근의 간격, d_c는 시험체 단면의 지름이다. 식 (1)은 Iyengar 등이 제안한 식이며, 나선근의 간격이 심부콘크리트와 같으면 횡보강 효과가 없다.

3.4 강도의 증가

식(1)에서 계산한 횡보강 응력에 대한 강도의 증가가 그림 3에 나타나 있다. 본 연구의 실험결과와 Martinez 등[5], S. Setunge 등[2]의 실험결과와 동시에 비교하였다. 여기서 S. Setunge 등은 주어진 횡보강 응력을 가하는 방법으로 콘크리트의 횡보강 효과를 측정하였다.

그림 2와 그림 3에서 알수 있는 바와 같이 본 연구에서와 Martinez 등의 실험결과에서는 같은 항복강도의 나선근을 사용한 경우 콘크리트의 강도 수준에 관계없이 일정한 강도의 증가가 나타났다. 그러나 Ahmad 등의 실험에서는 고강도화가 될수록 강도의 증가가 크게 떨어지는 것으로 보고되고 있다.

고강도 나선근을 사용한 경우에도 콘크리트의 강도수준에 관계없이 일정한 강도의 증가가 본 실험결과에서 나타났다.

실험방법에 의한 차이가 그림 3에 나타나 있다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 횡보강된 콘크리트의 압축강도 증가는 실험방법에 관계없이 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.

3.5 최대응력에서의 변형도

식(1)에서 계산한 횡보강 응력에 대한 최대응력에서의 변형도가 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 최대응력에서의 변형도는 콘크리트의 강도수준에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이 값은 횡보강응력이 증가할수록 증가는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 증가율은 콘크리트의 강도가 증가할수록 크게 감소하는 것으로 나타났다.

실험방법에 따른 최대응력에서의 변형도는 그림 5에 나타난 바와 같이 어느 정도 영향을 받는 것으로 나타났다. 콘크리트의 압축강도가 58MPa인 시험체인 경우에 본 연구와 Martinez 등의 실험결과보다도 작은 값을 나타냄을 알 수 있다. 또한 같은 실험방법의 압축강도 99MPa인 시험체와도 큰 차이가 나타나지 않았다.

4. 결론

본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 동일한 항복강도의 나선근을 사용한 경우, 동일한 횡보강응력하에서 심부콘크리트의 압축강도 증가는 콘크리트의 강도수준에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
2) 동일한 항복강도의 나선근을 사용한 경우, 같은 항복강도에서 최대응력에서의 변형도는 콘크리트의 강도수준에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
3) 횡보강된 콘크리트의 강도 증가는 횡보강 압력의 형태(실험방법의 차이)에 영향을 받지 않으나, 최대응력에서의 변형도는 어느 정도 영향을 받음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단 목적기초 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-89)," American Concrete Institute, Detroit, 1989.
2. S. Setunge, M.M. Attard, P. LeP. Darvall, "Ultimate Strength Criterion for Very High Strength Concrete Subjcted to Triaxial Loadings," Research Report, Dept. of Civil Engineering Monash University, 1992, 89pp.

3. Iyengar, K.T. Sundara, Desayi, Parakash and Reddy, K. Nagi, "Stress-Strain Characteristics of Concrete Confined in Steel Binders," Magazine of Concrete Research, Vol. No. 72, 1970. pp. 173-184.
4. Ahmad, S.H., Shah, S.P., "Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Vol. 79, No.6, 1982, pp. 484-490.
5. Martinez, S., Nilson, A.H. and Slate, F.O., " Spirally Reinforced High-Strength Concrete Columns," ACI Journal, Vol. 81, No. 5, 1984, pp. 431-442.

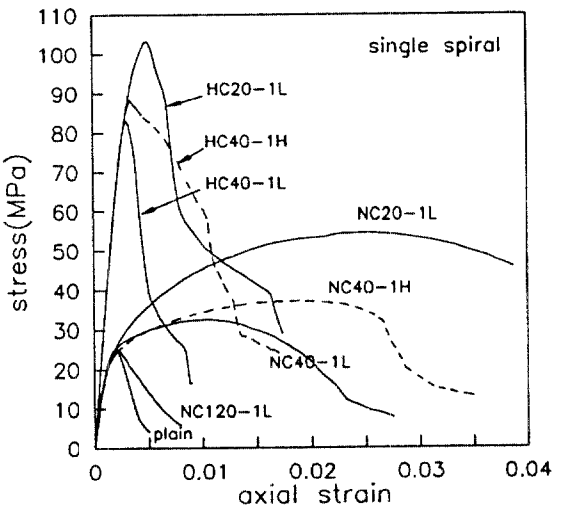

그림 1 축방향 응력-변형도 곡선

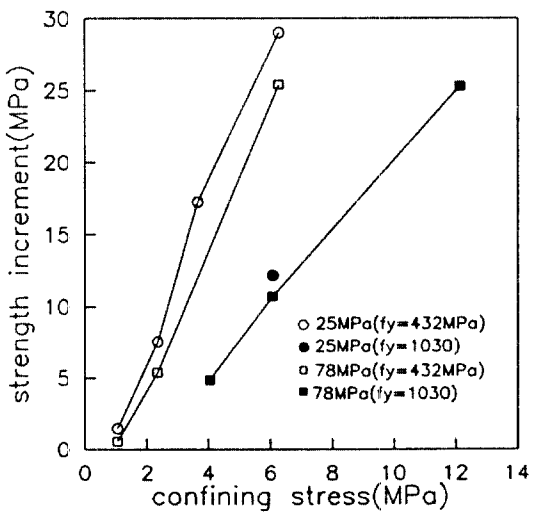

그림 2 강도의 증가

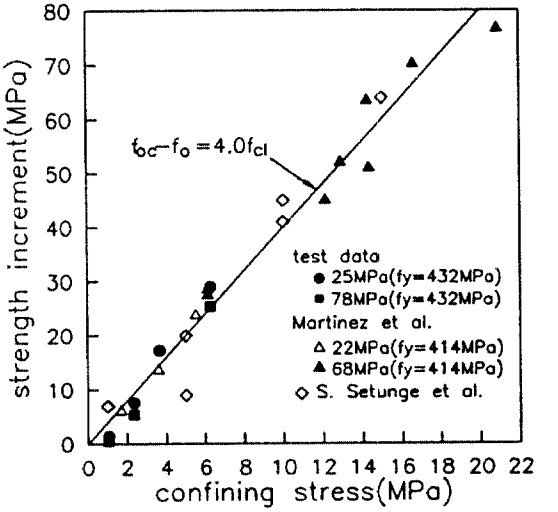

그림 3 강도 증가의 비교

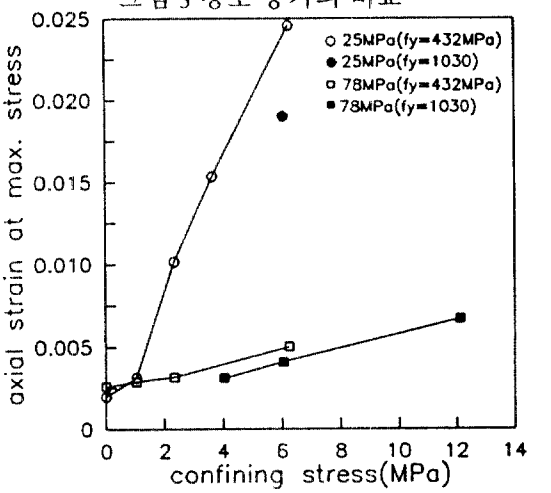

그림 4 최대응력에서의 축방향 변형도

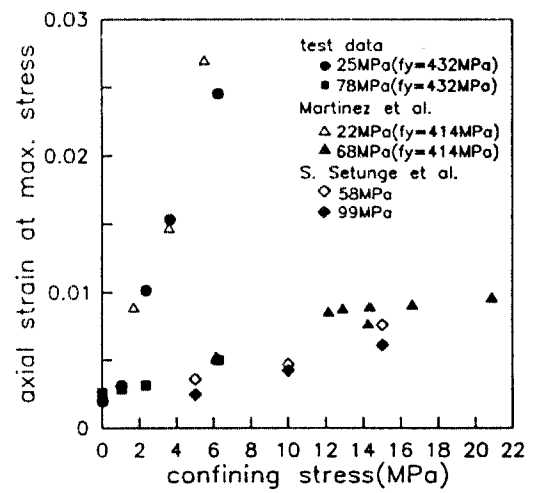

그림 5 최대응력에서의 축방향 변형도의 비교