

나선근에 의한 콘크리트의 횡보강 효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Research on the Confinement Effect of Concrete Specimens with Spirals

김진근*

박찬규**

Kim, Jin Keun Park, Chan Kyu

요 약

이 연구에서는 중심 압축 하중을 받는 나선근으로 횡보강된 시험체에 대한 횡보강 효과를 실험적으로 규명하였다. 주요 변수는 콘크리트의 압축강도, 나선근의 간격과 나선근의 항복강도로서 콘크리트 압축강도는 27.2, 62.4, 81.2MPa, 나선근 간격은 120, 60, 40, 30, 25, 20mm, 나선근의 항복강도는 451, 1375MPa로 하였다. 실험 결과, 동일한 나선근 체적비 및 항복강도에서 횡보강된 콘크리트의 압축강도 증가는 콘크리트의 압축강도에 관계없이 일정하였지만, 최대 응력에서의 축방향 변형도는 압축강도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, an experimental research was carried out to investigate the confinement effect of spiral reinforcements in concrete column specimens subjected to the concentric axial compressive loads. Main variables were the compressive strengths of concrete of 27.2, 62.4 and 81.2 MPa, and the spacings of spirals of 120, 60, 40, 30, 25 and 20mm, and the yield strengths of spirals of 451 and 1375MPa, respectively. For the same volumetric ratio and yield strength of spirals, it was shown that the strength increment of confined concrete was almost same regardless of the strength of unconfined concrete, however, the axial strain at maximum stress was decreased with increasing of the compressive strength of unconfined concrete.

Keywords : confinement effect, concrete, spiral, strength increment, axial strain at maximum stress, confining stress

* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수
** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 6월 30일까지 학회로 보내
주시면 1995년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

1800년대 말부터 나선근이 압축하중을 받는 콘크리트의 성질을 개선할 수 있다는 사실이 알려졌다. 그 이후 Richart 등⁽¹⁾은 나선근에 의해 횡보강된 콘크리트의 압축강도를 횡보강 응력의 함수로 제안하였다. 이 때 나선근에 의한 횡보강 응력은 횡보강된 콘크리트의 표면에 균일하게 분포된다고 가정하였다. 그 후 Iyengar 등⁽²⁾은 나선근의 간격도 횡보강 응력에 영향을 미친다는 연구 결과를 제시하였으며, 나선근의 간격에 따른 횡보강 유효계수(confinement effectiveness coefficient)를 제안하였다. 이 경우에 나선근에 의한 횡보강 응력은 유효 횡보강 계수에 균일하게 분포된다고 가정된 응력을 곱해서 구해진다. Ahmad 등⁽³⁾, Martinez 등⁽⁴⁾, 김진근 등⁽⁵⁾이 이러한 접근법에 기초하여 나선근에 의한 횡보강 응력을 산정하였다. 이러한 방법으로 제안된 기존의 모델식을 보면, 횡보강 시험체 직경에 비해 나선근의 간격이 상대적으로 큰 경우에도 나선근의 항복강도를 직접 적용하여 횡보강 응력을 계산하도록 되어 있다. 그러나 이러한 방법은 경우에 따라 횡보강 응력을 과대 평가하기 때문에 이에 대한 정확한 규명이 필요하다. 또한 최근에 고강도 콘크리트의 사용이 증가되고 있는데, 고강도 콘크리트 기둥에서의 적절한 횡보강 방법의 제시가 필요한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 콘크리트의 압축강도, 나선근의 간격, 나선근의 종류에 따른 콘크리트의 횡보강 효과에 대하여 실험적으로 규명하고자 하였으며, 또한 기존 횡보강 응력 계산식의 타당성에 대하여 연구하였다.

2. 나선근에 의한 횡보강 응력 계산식에 대한 고찰

1929년 Richart 등은 Fig. 1(a) 및 (b)에 나타낸 바와 같은 부근 콘크리트의 3축 압축 실험(f_{oc})과 나선근에 의한 횡보강 효과 실험결과를 토대로 아래 식 (1)에서 k 가 4.1, n 이 1과 같은 횡보강된 콘크리트의 강도 예측식을 제안하였다.

$$\frac{f_{oc}}{f_1} = 1 + k \left(\frac{f_1}{f_0} \right)^n \quad (1)$$

여기서, f_{oc} 는 횡보강된 콘크리트 압축강도, f_1 은 횡보강 응력, f_0 는 횡보강 응력 f_1 이 없을 때의 부근 콘크리트 압축강도이다. 식 (1)에서 k 가 1일 경우에는 Coulomb의 이론에 기초를 두고 있다. 그러나 f_1/f_0 의 값이 큰 3축 압축 실험에서는 Coulomb의 이론에 따르지 않는다는 결과가 보고됨에 따라 새로운 강도 예측식이 제안되었으며, 대표적인 것들로는 Newman 등의 모델⁽⁶⁾과 Luigi 등의 모델⁽⁷⁾들이 있다. Newman 등은 식 (1)에서 k 는 3.7, n 은 0.86으로 제안하였으며, Luigi 등은 2개의 직선(bilinear) 형태로 제안하였다.

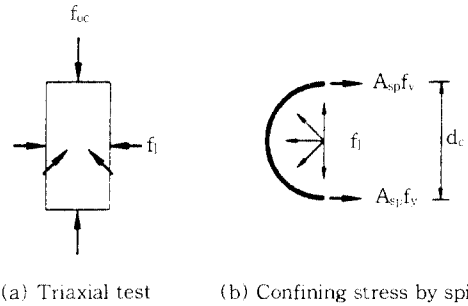


Fig. 1 Confinement of concrete

나선근으로 횡보강된 콘크리트도 3축 응력 상태에 놓이는데, 이 때 나선근에 의한 정확한 횡보강 응력을 산정하는 것이 중요하다. Richart 등은 나선근에 발생하는 인장응력이 콘크리트의 표면에 균일하게 분포된다고 가정하여 횡보강 응력을 계산하였으며, 식 (2)에 나타낸 바와 같다.

$$f_1 = \frac{2A_{sp}f_y}{d_c s} \quad (2)$$

여기서, A_{sp} 는 나선근의 단면적, f_y 는 나선근의 항복강도, d_c 는 나선근의 외경(시험체의 지름)이며, s 는 나선근의 간격이다.

나선근이 항복한다는 가정하에서 유도된 식 (2)가 나선근에 의한 횡보강 응력을 과대 평가하고 있다는 실험결과에 기초하여, Iyengar 등은 횡보

강 유효 계수(k_e)를 제안하여 이를 보정해 주었으며, 이 때의 횡보강 응력 계산은 아래 식 (3)에 나타난 바와 같다.

$$f_t = eq.(2) \times k_e \quad (3)$$

식 (3)에서 Iyengar 등은 $1-s/d_c$, Ahmad 등은 $1-\sqrt{s/1.25d_c}$, 김진근 등은 $1-\sqrt{s/d_c}$ 로 횡보강 유효 계수를 정의하였다. 나선근이 항복한다는 가정하에 도입된 횡보강 유효 계수는 나선근의 응력에 관계된 부분과 나선근의 간격에 관계된 부분으로 나눌 수 있다. 전자는 나선근이 항복하지 않았을 경우에 해당되는 것이고, 후자는 나선근이 항복한 이후에 해당되는 것이다. 이것을 식으로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$k_e = k_1 \cdot k_2 \quad (4)$$

여기서, k_1 은 나선근의 응력에 대한 것, k_2 는 나선근의 간격에 대한 것이다. 위에서 제시된 기존의 횡보강 유효 계수는 2가지 종류를 동시에 고려한 것으로 판단되나, 이 계수가 구체적으로 어떤 영향인자의 함수인지에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다. 그러므로 k_1 , k_2 에 대한 명확한 규명이 필요하다고 판단된다.

나선근으로 횡보강된 콘크리트의 압축강도 모델식은 각 연구자에 따라 매우 다양한 형태로 제시되었는데, 대체적으로 콘크리트의 압축강도와 나선근에 의한 횡보강 응력의 함수로 정의되어 있다. 또한 같은 형태의 모델식이라도 횡보강 응력의 계산 방법에 따라 각 모델식의 계수는 다르게 나타나므로 보다 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

3. 실험

3.1 실험계획

콘크리트의 압축강도, 나선근의 간격 및 나선근의 항복강도에 따른 콘크리트의 횡보강 효과를 규

명하기 위하여 다음과 같은 실험변수를 채택하였다. 콘크리트 강도는 보통강도, 중간강도 및 고강도의 3가지, 나선근의 간격은 120, 60, 40, 30, 25 및 20mm를 선택하였다. 나선근의 항복강도는 저강도 및 고강도 2가지 수준을 사용하였다.

3.2 사용재료

콘크리트 제조를 위하여 제 1종 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대 골재크기 10mm의 화강암 쇄석을 사용하였다. 그리고 고강도 콘크리트 배합에서는 실리카흄을 사용하였다. 콘크리트의 배합은 Table 1에 나타난 바와 같다.

나선근은 항복강도에 따라 두가지 종류를 선택하였는데 각각의 항복강도는 451MPa, 1375MPa이다. 항복강도가 451MPa인 나선근의 지름은 4.8mm이고, 탄성계수는 182955MPa, 1375MPa인 경우는 5.0mm, 탄성계수는 193754MPa이다. 나선근의 응력 변형도 곡선은 Fig. 2에 나타난 바와 같고, 항복강도는 영구 연신율 0.2%에서 결정하였다.

Table 1 Mixing proportions of concrete

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 (%)
NC	320	230.4	752	919.3	-	-
MC	480	163	682	1023.0	-	1
HC	495	165	613.3	1044.3	55	2

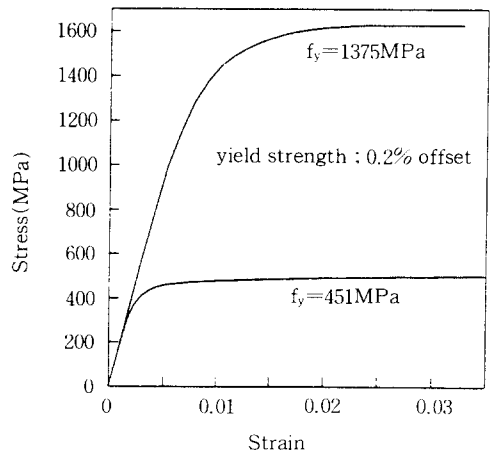


Fig. 2 Stress-strain curves of spiral steel

3.3 시험체 제작 및 실험 방법

모든 시험체는 $\phi 100 \times 400\text{mm}$ 의 원주형으로 각각의 변수에 대하여 2개씩 제작되었다. 나선근은 바깥지름이 100mm, 각각의 간격에 맞게 스프링 제조 회사에서 제작하였으며, 콘크리트 타설전 몰드안에 배치를 하였다. 모든 시험체에 대하여 진동기를 사용하여 다짐을 실시하였으며, 타설후 24시간만에 탈형하여 시험시까지 수중양생을 실시하였다. 실험직전 시험체의 윗면은 유황으로 카핑하였다. 나선근의 변형도는 시험체의 중앙부근에 스트레인 게이지를 양면에 부착하여 측정하였다. 시험체에 콤프레소메타를 부착한 다음, 양면에 LVDT를 설치하여 축방향 변위를 측정하였다. 시험에 사용된 기기는 250ton 용량의 INSTRON사의 Closed-loop Servo Hydraulic Dynamic Materials Testing System이다.

4. 실험결과 및 고찰

실험결과는 Table 2에 나타낸 바와 같으며, 각각의 시험체 응력-변형도 곡선에서 최대 응력(f_{oc})과 그 점에서의 축방향 변형도(ϵ_{ax}) 및 나선근의 응력(f_s)이 제시되어 있다. NC, MC 및 HC는 각각 보통강도, 중간강도 및 고강도 콘크리트를 의미하며, 120, 60, 40 등은 나선근의 간격, L과 H는 각각 항복강도가 432MPa, 1375MPa인 나선근을 나타낸다.

이 연구에서는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 실린더 공시체 대신 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 공시체를 사용하여 콘크리트의 압축강도를 측정하였다. Table 2에서 알 수 있듯이, 압축강도 수준에 관계없이 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 공시체의 압축강도(f_c')는 무관 시험체 즉 $\phi 100 \times 400\text{mm}$ 의 강도(f_0)보다 크게 나타났으며, 강도의 환산계수는 압축강도가 증가함에 따라 0.92에서 0.96으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이 결과에 의하면 횡보강 효과를 고려할 때에는 표준 공시체의 압축강도 f_c' 을 기준으로 할 것이 아니라 시험체 크기의 무관 공시체 결과를 기준으로 삼아야 하며, 만약 표준 공시체의 압축강도 f_c' 을 기준으로

Table 2 Test results

specimen	f_c, f_c', ϵ_c	f_c' (MPa)	s (mm)	f_{oc} (MPa)	$f_{oc}-f_c'$ (MPa)	ϵ_{oc}	t_c (MPa)
NC120-L	$f_c(\phi 100 \times 200\text{mm})$	451	120	25.02	0.00	0.002081	11.2
NC60-L	$=27.20\text{MPa}$	451	60	27.23	2.21	0.004090	128.1
NC40-L	$f_c(\phi 100 \times 400\text{mm})$	451	40	32.58	7.56	0.01015	365.1
NC30-L	$=25.02\text{MPa}$	451	30	42.28	17.26	0.01534	435.1
NC20-L	$\epsilon_c(\text{for } f_c)$	451	20	54.44	29.42	0.02455	456.5
NC16-H	$=0.001965$	1375	40	37.19	12.17	0.01901	322.5
MC60-L	$f_c(\phi 100 \times 200\text{mm})$	451	60	62.42	2.92	0.003012	162.8
MC40-L	$=62.40\text{MPa}$	451	40	68.03	8.53	0.003646	176.7
MC30-L	$f_c(\phi 100 \times 400\text{mm})$	451	30	76.37	16.87	0.005286	310.0
MC20-L	$=59.56\text{MPa}$	451	20	87.88	28.38	0.006491	392.7
MC80-H	$\epsilon_c(\text{for } f_c)$	1375	80	50.50	1.00	0.002353	85.1
MC40-H	$=0.002466$	1375	40	70.53	11.03	0.004341	261.2
HC60-L	$f_c(\phi 100 \times 200\text{mm})$	451	60	78.56	0.56	0.002878	98.6
HC40-L	$=81.20\text{MPa}$	451	40	83.40	5.40	0.003151	126.3
HC20-L	$f_c(\phi 100 \times 400\text{mm})$	451	20	103.40	25.40	0.005000	348.8
HC50-H	$=78.00\text{MPa}$	1375	50	82.85	1.56	0.003061	113.5
HC40-H	$\epsilon_c(\text{for } f_c)$	1375	40	88.62	10.62	0.003681	210.2
HC25-H	$=0.002588$	1375	25	103.28	25.28	0.006676	521.6

할 때에는 지름에 대한 높이 비에 따른 적절한 보정이 필요하다고 본다.

4.1 최대 응력에서의 나선근 변형도

Fig. 3은 나선근의 간격과 최대 응력에서 나선근의 변형도를 나타낸 것이다. 동일한 나선근 간격하에서 최대 응력에서 나선근의 변형도는 콘크리트의 압축강도에 따라 크게 영향을 받음을 알

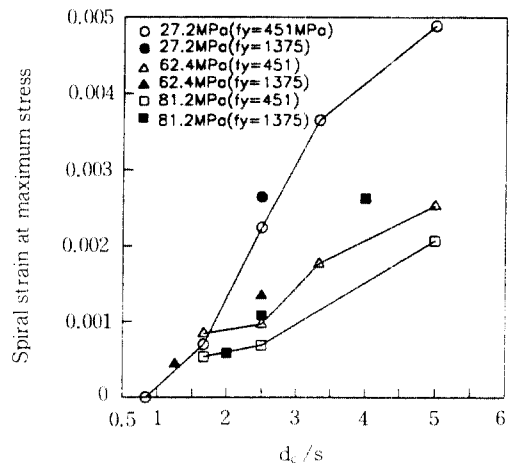


Fig. 3 Spiral strain at maximum stress

수 있는데 이것은 콘크리트의 부피 팽창(volume dilation)과 관계가 있기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 나선근의 간격이 작아질수록 이 값은 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 나선근의 간격이 커질수록 콘크리트의 압축강도와 나선근의 항복강도에 관계없이 최대 응력에서의 나선근의 변형도는 0으로 접근을 하며, 이 때의 나선근의 간격은 시험체의 직경보다 조금 큰 것을 알 수 있다.

이 연구에서와 같이 작은 시험체에서의 횡보강 연구 결과^(2,3)를 살펴보면, 나선근의 변형도를 측정하지 않고 나선근의 항복강도를 직접 대입한 식 (3)의 형태로 횡보강 응력을 계산하였다. 그 이유는 식 (2)로서 나선근의 횡보강 응력을 계산하는 경우, 나선근의 간격이 시험체의 직경과 같거나 조금 클 때에 횡보강된 콘크리트의 강도 증가량이나 최대 응력에서의 변형도는 증가되지 않는다는 기존의 실험결과^(2,3,8,9)를 보완하기 위해서이다. 그러나 Table 2 및 Fig. 3에서 알 수 있듯이 나선근의 간격이 커짐에 따라 최대 응력에서 나선근의 응력은 줄어들며, 나선근의 간격이 120mm(시험체 직경의 1.2배)인 NC120-L의 경우에 있어서는 매우 작은 값을 보이고 있어서 실제로 나선근에 의하여 횡보강이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 이러한 현상을 역으로 설명하면, 나선근에 의한 횡보강 응력 계산시 나선근의 항복강도를 사용하는 경우에는 횡보강 유효 계수의 도입이 반드시 필요함을 의미하며, 횡보강 유효 계수는 나선근의 실제 인장 응력과 밀접한 관계가 있으므로 나선근의 응력의 함수로 이 계수를 정의할 수 있을 것으로 판단된다. 이것은 나선근이 항복하지 않은 경우에는 식 (4)의 k_1 이 나선근의 응력의 함수임을 의미한다.

4.2 나선근에 의한 횡보강 응력의 계산

앞에서도 언급한 바와 같이 나선근의 간격이 시험체의 직경에 비하여 상대적으로 큰 경우 나선근은 항복하지 않는다. 또한 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 최대 응력에서의 나선근의 변형도는 콘크리트의 압축강도에 크게 영향을 받는 것으로 나

타났다. 그리고 나선근의 간격과 최대 응력에서의 나선근 변형도는 대체적으로 선형적인 관계로 모델링할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과에 기초하여 이 연구에서는 다음과 같은 방법으로 횡보강 응력을 계산하였다.

시험체의 직경이 d_c , 나선근의 지름이 d_{sp} , 나선근의 항복강도가 f_y 이며, 나선근의 탄성계수가 E_s 인 경우를 살펴 볼 때, 나선근에 의한 횡보강이 이루어지지 않는 나선근의 간격을 αd_c 라 하면, 기존의 실험결과에서 α 는 다음과 같은 값을 가지는 것으로 나타났다.^(2,3,8,9)

$$\alpha \cong 1.0 \sim 1.25 \quad (5)$$

Table 2에서 NC120-L은 나선근의 횡보강 효과가 거의 나타나지 않음을 알 수 있는데, 이것을 바탕으로 이 연구에서는 α 값을 1.2로 산정하였다. 그리고 주어진 횡보강되지 않은 콘크리트 압축강도 f_0 에 대하여 나선근의 간격을 s_1, s_2, s_3 및 $s_4(s_1 > s_2 > s_3 > s_4)$ 로 변화시키면, Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 나선근의 응력-변형도 관계를 선형 탄성-완전 소성의 형태로 가정할 경우에 나선근이 항복하는 s_3 가 존재한다. 그리고 압축강도를 f_{01}, f_{02} 및 $f_{03}(f_{01} < f_{02} < f_{03})$ 로 변화시키면, 각각의 압축강도에 대하여 나선근이 항복하는 간격이 s_{y1}, s_{y2} 및 $s_{y3}(s_{y1} > s_{y2} > s_{y3})$ 로 변화할 것이며, 이는 콘크리트의 부피팽창에 기인한다. 위에서 언급한 바와 같이 최대 응력에서의 나선근의 변형도와 간격의 관계를 선형적으로 가정하는 경우, 나선근의 간격과 항복강도와의 관계를 Fig. 4(b)와 같이 나타낼 수 있다.

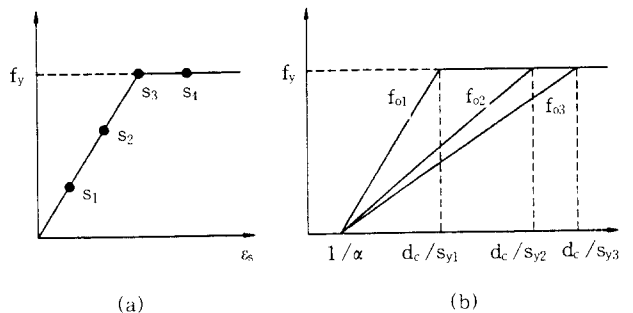


Fig. 4 Spiral stress with spacing

위의 이론은 나선근의 응력-변형도 곡선이 탄성-완전 소성인 경우에 성립되므로, 이 연구에서 사용된 나선근을 항복강도 f_y 와 탄성계수 E_s 를 갖는 탄성-완전 소성으로 모델링하였다. 그리고 항복강도 451MPa와 1375MPa인 나선근에 대하여 s_y 를 f_0 와 d_c 의 함수로서 나타내면 식 (6) 및 식 (7)과 같으며, 모델식과 실험결과와의 관계는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다.

$$f_y = 451\text{MPa에 대하여,}$$

$$s_y = \frac{d_c}{0.057f_0 + 1.36} \quad (6)$$

$$f_y = 1375\text{MPa에 대하여,}$$

$$s_y = \frac{d_c}{0.095f_0 + 3.16} \quad (7)$$

앞에서도 언급한 바와 같이 나선근 응력의 함수인 k_1 은 나선근이 항복하기 이전에 도입이 되는데, Fig. 4(b)에서 콘크리트의 압축강도 수준에 따른 직선의 초기 기울기이다. 이 때 나선근의 간격 효과가 동시에 고려되었으므로 k_2 는 1.0이다. 그리고 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 나선근이 항복할 때의 간격은 시험체의 직경에 비하여 상당히 작음을 알 수 있으며, 나선근이 항복한 이후 나선근의 간격이 횡보강 응력의 유효율에 미치는 영향은 매우 작으므로 k_2 는 1.0으로 보았다. 그러므로 최종적인 횡보강 응력은 아래 식 (8)로 계산할 수 있다.

$$f_1 = \frac{2A_{sp}f_y}{d_c s} \left(\frac{1.2s_y}{1.2d_c - s_y} \right) \left(\frac{d_c}{s} - \frac{1}{1.2} \right) \quad s \geq s_y$$

$$f_1 = \frac{2A_{sp}f_y}{d_c s} \quad s \leq s_y \quad (8)$$

여기서, s_y 는 임의의 압축강도 f_0 에 대하여 나선근이 항복할 때의 간격이며, 식 (6)과 식 (7)에 정의된 바와 같다.

4.3 횡보강된 콘크리트의 강도 증가량

Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 나선근의 항

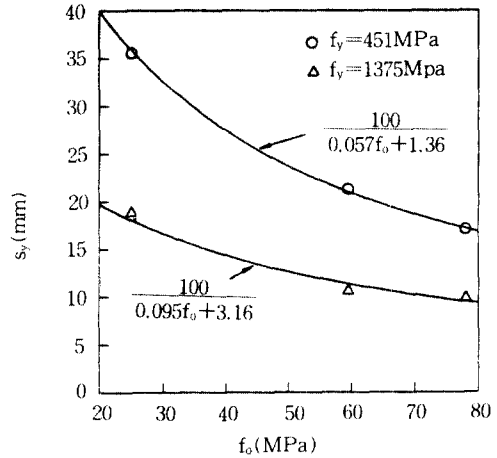


Fig. 5 Spiral spacing at yielding point with compressive strength of concrete

복강도와 간격이 동일한 경우 횡보강된 콘크리트의 강도 증가량은 콘크리트의 압축강도에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다. 이와 유사한 결과가 Martinez 등⁽⁴⁾의 실험결과에서 나타났으나, Ahmad 등⁽³⁾의 실험에서는 동일한 나선근 체적비에서 콘크리트의 강도 수준이 높아질수록 횡보강된 콘크리트의 강도 증가량은 크게 떨어지는 것으로 보고되었다.

Table 2의 실험치와 이 연구에서 사용한 시험체의 크기와 유사하고 나선근의 변형도가 보고된 Martinez 등⁽⁴⁾의 실험결과와 강관을 이용하여 콘크리트의 횡보강 효과에 대한 실험을 수행한 Xiao 등⁽¹⁰⁾의 실험치를 바탕으로 회귀분석을 하여 식 (9)에 나타낸 바와 같은 모델식을 유도하였다. 여기서 횡보강 응력(f_1)은 식 (8)로서 계산한 값이다.

$$f_{oc} = f_0 + 3.52f_1 \quad (9)$$

Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 Newman 등이 제안한 식은 이 연구에서와 같이 횡보강 응력이 콘크리트의 압축강도보다 매우 작을 경우에는 횡보강된 콘크리트의 압축강도를 과대 평가하는 것으로 나타났다. 또한 Richart 등이 제안한 식은 횡보강 응력이 작은 경우에는 잘 맞으나 횡보강 응력이 큰 경우에는 과대 평가함을 알 수 있다.

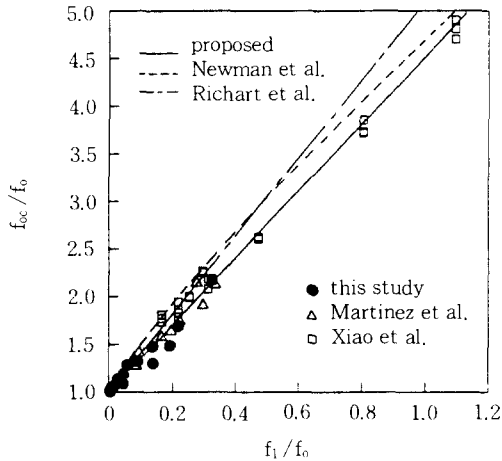


Fig. 6 Strength of confined concrete

4.4 횡보강된 콘크리트의 최대 응력에서 축방향 변형도

나선근의 체적비에 대한 최대응력에서의 축방향 변형도가 Fig. 7에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 응력에서의 변형도는 콘크리트의 강도 수준에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 고강도 콘크리트 기둥에서 저강도 콘크리트 기둥에서와 같은 연성 증가를 얻기 위해서는 상당한 양의 횡보강이 추가로 필요함을 의미한다.

콘크리트의 압축강도에 관계없이 동일한 나선근 체적비에서 나선근의 항복강도가 큰 경우에 이

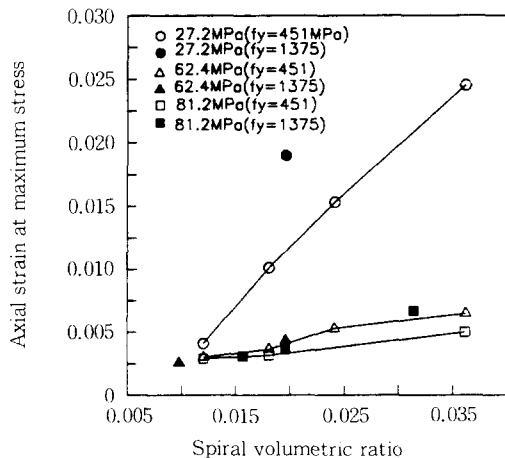


Fig. 7 Axial strain at maximum stress with volumetric spiral ratio

같은 증가함을 알 수 있다.

4.5 횡보강된 콘크리트의 축방향 응력-변형도 곡선

횡보강된 콘크리트의 축방향 응력-변형도 곡선은 Fig. 8(a), (b), (c)에 나타난 바와 같다. 무근 시험체의 경우 보통강도 콘크리트에서는 안정적인 하강 곡선을 얻었지만, 중간강도 및 고강도 시험체에서는 콘크리트의 폭발적인 파괴에 의하여 이 곡선을 얻을 수가 없었다. 이것은 콘크리트의 강도수준이 증가할수록 보다 취성적인 성질을 가지는 이유도 있지만, 시험 장치의 강성에도 크게 영향을 받기 때문이다.

NC120-L 시험체의 경우 강도와 최대 응력에서의 변형도는 무근 공시체의 경우와 같은 것으로 나타났으나, Fig. 8(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 응력-변형도 곡선에서 하강부분의 기울기는 무근 시험체보다 완만한 것으로 나타났다. 또한 콘크리트의 압축강도에 관계없이 나선근의 양이 증가할수록 하강부분의 기울기가 완만해짐을 알 수 있으며, 보통강도 콘크리트에서 더욱 두드러진 것으로 나타났다.

콘크리트의 강도수준이 증가할수록 응력-변형도 곡선의 상승 부분의 기울기는 커지고 보다 직선적인 형태를 갖는 것으로 나타났다. 또한 고강도 시험체에서는 나선근양에 관계없이 최대 응력 이후에 곡선이 갑작스럽게 떨어진 후 수평방향으로 구부러지는 형태를 보이고 있다. 시험시 고강도 시험체에서는 최대 응력 이후에 갑작스런 전단 파괴면이 형성되었는데, 이러한 파괴면에서 발생하는 전단력에 나선근이 저항함으로써 하강부분의 곡선이 수평방향으로 구부러지는 형태를 나타낸 것으로 판단된다. 그리고 고강도 나선근을 사용한 경우, 나선근의 체적비가 증가할수록 앞의 결과와는 다르게 점진적인 하강곡선을 나타냈는데, 고강도 나선근일수록 전단파괴면의 발생을 억제시키기 때문인 것으로 판단된다.

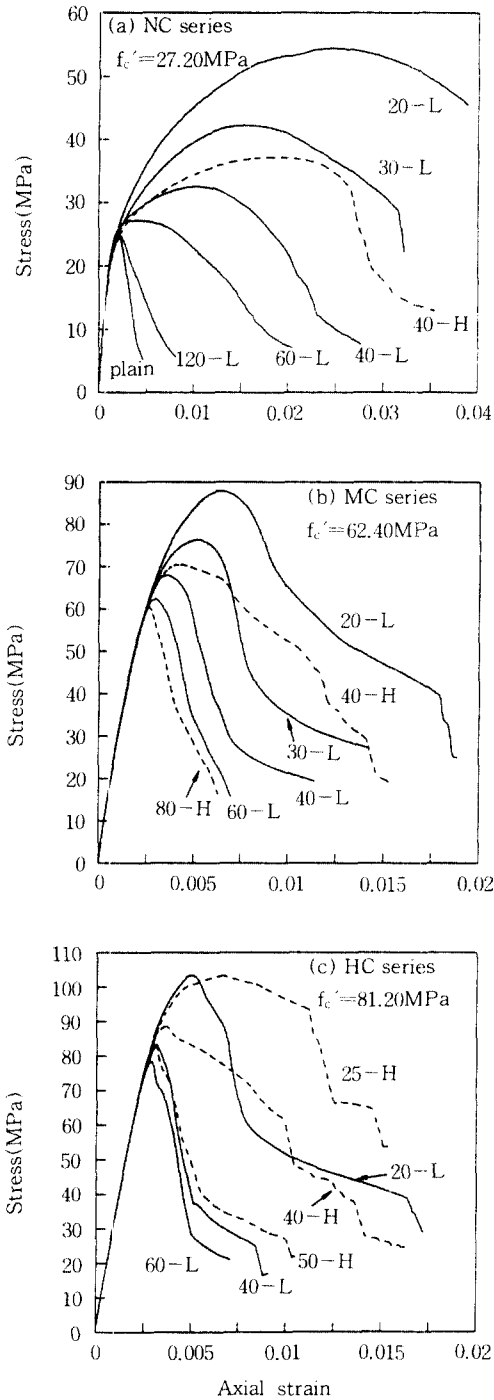


Fig. 8 Axial stress-strain curves

5. 결 론

이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 나선근의 실제 응력을 고려하여 횡보강 응력을 계산할 수 있는 모델식을 유도하였으며, 이 때 횡보강 응력은 나선근의 항복강도 및 간격, 콘크리트의 압축강도, 그리고 공사체의 직경에 의하여 계산될 수 있다.

2) 같은 종류의 나선근을 사용한 경우, 동일한 나선근 채적비에서 횡보강된 콘크리트의 강도 증가량은 콘크리트의 압축강도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

3) 같은 종류의 나선근을 사용한 경우, 동일한 나선근 채적비에서 횡보강된 콘크리트의 최대 응력에서의 변형도는 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

4) 고강도 콘크리트 시험체에서 고강도 나선근을 사용하여 횡보강할 경우 어느 정도 연성 능력을 개선시킬 수 있었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. Richart, F.E., Brantzaeg, A., and Brown, R. L., "The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression," Bulletin No. 190, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, Apr. 1929, 73 pp.
2. Iyengar, K.T.S.R., Desayi, P., and Reddy, N., "Stress-Strain Characteristics of Concrete Confined in Steel Binders," Magazine of Concrete Research, Vol. 22, No. 72, Sept. 1970, pp.173-184.
3. Ahmad, S.H., and Shah, S.P., "Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Vol. 79, No. 6, Nov.-Dec. 1982, pp.484-490.
4. Martinez, S., Nilson, A.H., and Slate, F.O.,

- "Spirally-reinforced High-strength Concrete Columns," Report No. 82-10, Dept. of Struct. Engrg., Cornell Univ., Ithaca, N.Y., 255 pp.
5. 김진근, 이태규, 서용표, 횡보강 효과를 고려한 콘크리트의 응력-변형도 관계, 한국콘크리트학회 분학술발표회 논문집, Vol. 2, No. 1, 1990년 5월, pp.116-121.
 6. Newman, K., and Newman, J.B., "Failure Theories and Design Criteria for Plain Concrete," Proc. Int. Conf. on Structure and Solid Mech., Southampton, 1969, Wiley Interscience, 1971, Part 2, pp.963-995.
 7. Luigi, C., Crutzen, Y.R.J., and Poli, S.D., "Triaxial Stress-Strain Relationship for Concrete," J. Engrg. Mech. Div., ASCE, Vol. 103, EM 3, 1977, pp.423-439.
 8. Desayi, P., Iyengar, K.T.S.R., and Reddy, S., "Equation for Stress-Strain Curve of Concrete Confined in Circular Steel Spiral," Materials and Structures, Research and Testing (RILEM, Paris), Vol. 11, No. 65, Sept.-Oct. 1978, pp.339-345.
 9. 권영웅, 골재요소와 횡구속의 영향을 고려한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교, 1988, 133 pp.
 10. Xiao, Y., Tommii, M., and Sakino, K., "Triaxial Compressive Behavior of Confined Concrete," Concrete Research and Technology, Japan Concrete Institute, Vol. 2, No. 1, 1991, pp.1-14.

(접수일자 : 1995. 2. 8)