

고강도 콘크리트 부재의 횡보강 효과에 관한 연구

THE LATERAL CONFINEMENT EFFECTS OF SPIRAL REINFORCEMENT OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS.

신 성우, 권 영호**, 이 광수**, 오 정근**
Shin S.W. Kwon Y.H. Lee K.S. Oh J.K.

ABSTRACT

Various studies have been done to investigate the effectiveness of lateral confinement of lower strength concrete (below 420kg/cm²). But little research announced its effectiveness for high strength concrete. A certain concern has been arisen that the beneficial effect of lateral confinement in high strength concrete may be different from that in lower strength. This study aimed to investigate that concern with different confinement spacing(D/2 : D/4).

The results show that beneficial effects of spiral confinement are more pronounced for lower strength concrete as compared to higher strength concrete.

1. 서 론

콘크리트의 사용 범위는 전기가 현대 사회에서 하는 역할을 이야기하는 바와 같으며 건설업에 관련된 단일 재료로서는 가장 중요한 재료이다. 이러한 콘크리트는 구조재료로서 기능발휘는 비교적 충실하나 그림 1에서 보는 바와 같이 다른 구조 재료인 강재등에 비하여 무게에 대한 낮은 강도(low strength to unit weight) 때문에 효율이 떨어지고 있으며, 낮은 연성(low ductility)과 그리고 높은 취성(high brittleness) 등 때문에 기본적인 구조재료로서 많은 문제점을 내포하고 있는 실정이다. 따라서 콘크리트 구조물의 자중감소, 구조 부재의 축소화 및 그의 역학적 취약점 보완은 근대 건축에 있어서 최대의 관심사이며 건축 재료 및 구조 분야의 과제이기도 하다.

이에 일부 선진 외국에서는 이 분야에 대한 집중적 연구를 통한 보다 나은 신재료로서의 콘크리트 개발에 열중하고 있으며 부분적으로 실용화단계에 있다(1). 이러한 고강도 콘크리트는 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 압축강도의 3배 이상이며 근래에는 미국 시애틀시에 Unoin Square 건물에는 1330kg/cm²를 사용한 실적이 있다.

이러한 고강도 콘크리트는 많은 이점에도 불구하고 Shin(2)의 연구결과와 같이 재료자체의 낮은 연성 능력 때문에 지진이나 바람과 같은 횡력이 고층 건축물에 작용할 때 안정상에 문제를 던져주고 있다.

보통강도의 콘크리트는 그림2(a)에 나타난 대로 그의 낮은 연성을 보완하기 위하여 구속근(confinement)을 사용하는데 그의 보강 방법이 녹근(stirrup)보다는 나선철근(spiral)이 그리고 간격이 좁을수록 효과적이라는 것은 널리 알려져 있다. 그러나 고강도 콘크리트에서는 그것의 보다 갑작스러운 골재를 관통하는 미세균열(microcracking)의 발생 때문에 구속근의 이점이 상향곡선에 덜 효과적일 수 있으며, 하향곡선에도 급작스러운 미세 균열이 그림2(b)와 같이 비탄성 거동에서 보다 영향이 크게 작용될 수 있기 때문에 구속근의 효과가 어느 정도 일련지는 아직 알려져 있지 않다.

이에 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 취약점인 낮은 연성능력을 보완하기 위하여 콘크리트 압축강도를 대상으로 나선 구속근(spiral confinement)의 간격을 d/2 와 d/4로 두어 실험한후 그에 대한 효과를 관찰한다.

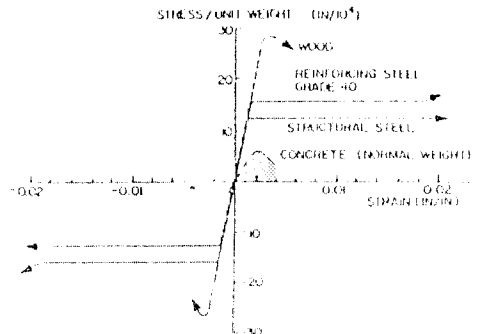


그림 1 단위 무게당 응력

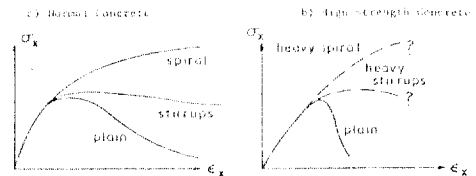


그림 2 구속근의 효과

2. 실험 계획

2.1 사용된 재료

a) 시멘트 : S사 제품의 2종 수출용 포틀랜드가 사용되었으며, 이들의 자세한 물리적 특성은 표1에 나타나 있다.

표 1 물리적 특성

Finess : Blaine (cm ² /g)	3900
Initial Setting (Mins)	250
Final Setting (Hrs : Mins)	6 : 15
Compressive Strength (kg/cm ²)	
3 Day	250
7 Day	320
28 Day	430

* 정회원, 한양대학교, 공학박사.
** 한양대학교 건축공학과 대학원.

b) 골재 ; 세골재는 한강산 강모래를 사용하였으며 조골재는 중부 고속도로 현장에서 구입한 최대크기 13mm의 화강암 쇄석을 사용하였다. 그의 물리적 특성은 표 2에 나타나 있다.

표 2 골재의 물리적 특성

종류 특성	비 중	흡 수 율	F. M.
세 골 재	2.51	0.8 %	2.54
조 골 재	2.63	0.5 %	6.18

c) 혼화제 ; 소요의 유동성을 확보하기 위하여 super-20을 사용하였다.

d) 나선 철근 ; 사용한 나선 보강근을 1사 제품의 SBC40의 원형 철근이며 그의 응력-변형도 곡선은 그림 3에 나타나 있다. 사용된 보강근은 고강도인 판제로 항복-고원(yield-flat)지역을 보여주고 있지 않아 응력도의 0.2%에 상응하는 점을 항복점으로 가정하였다.

2.2 배합 설계

콘크리트 배합은 요구되는 강도와 시공성(유동성, 마감성, 펌프 작업성)을 고려하여 설계되었으며, 믹스는 회전 주축에 교반 날개가 3개 붙어 있으며 회전수가 70rpm 인 원통형 강제식 믹서를 사용하였다. 이 때 w/c는 0.3을 사용하였으며 고성능 감수제 사용량은 1%로 하였으며 이는 표 3에 자세히 나타나 있다.

표 3 콘크리트의 배합설계

재 료	단위 중량 (kg/cm ³)
시멘트(Type)	662.185
세 골재	565.325
조 골재	880.605
물	198.655
혼화제	1.0 %
물-시멘트 비	30 %
최대 골재 크기	13 mm
간 골재 율	30 %

타설과 동시에 KS F 2402에 따른 슬럼프 시험과 함께 공시체를 제작하였다. 시험체는 2 일간 30 °C 정도 되는 양생실에서 대기 양생한 후 물대에서 탈형한 후 온도가 25-30 °C 정도에서 시험실시 1일 전까지 수중양생을 하였다. 무근공시체의 실험결과는 표4에 나타나 있다.

표 4. 공시체의 압축강도 시험결과

구분 재령	1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	3 kg/cm ²	평 균 kg/cm ²	수정평균 kg/cm ²
3 일	-	-	-	-	-
7 일	634	694	761	696	654
28 일	807	846	906	853	800

2.3 시험체 제작

일방향 압축하에서 횡 나선 보강근(spiral confinement)의 효과를 알아보기 위하여 무근 콘크리트와 나선 보강된 콘크리트를 대상으로 표5에서 보는 바와 같이 두 그룹의 10x20cm의 실린더를 제작하였다.

ACI 318-83 규준은 나선보강된 압축부재에서의 나선근의 비율을 다음의 식(1)에서 주어지는 값보다 적지 않도록 규정하고 있다.

$$\rho_s > 0.45 (A_g / A_c - 1) f'_c / f_y \quad (1)$$

여기서 ρ_s = 중심핵 체적(나선 보강근의 내측에서 외측까지)에 대한 나선 보강근의 체적비, A_g = 전체 단면적, A_c = 나선보강근의 외측에서 측정된 압축부재의 중심핵의 면적, f_y = 나선 보강근의 표준강도 ≤ 420 kg/cm².

위의 식 (1)은 압축부재가 적절한 피복두께를 가질때 적용될수 있는데 이는 만일 피복두께가 없는 경우 (즉 $A_c = A_g$)에는 식 (1)은 $\rho_s=0$ 을 의미하기 때문이다, 이때 나선보강근 비는 다음과 같이 계산된다.

$$\rho_s = \frac{\text{나선 보강근의 체적}}{\text{보강된 콘크리트핵의 체적}} = \frac{A_{sp}(\pi d_{cc})}{S_{sp}(\pi d_{cc}^2/4) S_{sp}d_{cc}} = \frac{A_{sp}}{S_{sp}d_{cc}} \quad (2)$$

여기서 A_{sp} = 나선 보강근의 단면적
 S_{sp} = 나선 보강근의 간격
 d_{cc} = 구속된 부분의 콘크리트 직경(외부-외부)

나선 보강근의 간격 S_{sp} 는 참고문헌(4)에 의해 횡 보강근의 효과가 많이 나는 $D/2(=2.5)$ 와 $D/4(=5cm)$ 로 결정되었다. 나선보강근의 정착구(Anchorage)는 각 공시체의 단부에 1½ 만큼의 추가보강을 하여 단부에서의 파괴를 방지하도록 하였다. 전형적인 나선보강근의 견본이 그림4에 그려져 있다.

표 5. 원통형 공시체의 형상, 크기, 제작수

구분	공시체 크기	보강근 간격	f'c	등가 f'c	공시체 수	
					무근 콘크리트	보강근간격
시험체명	cm x cm	cm	kg/cm ²	kg/cm ²	5cm	2.5cm
LCO	-	-	851	800	6	-
LCW	-	5	851	800	-	6
LCN	10 x 20	2.5	851	800	-	6
HCO	-	-	851	800	3	-
HCW	-	5	851	800	-	3
HCN	-	2.5	851	800	-	3

f'c = 10X20cm 실린더.
 등가 f'c = 15x30cm 표준 실린더 (10x20cm의 94%)

모든 공시체는 온도 22 - 30 °C 에서 수중양생 되었으며 3, 7, 28일 강도 외에도 시험체가 실험되는 날에 표준 공시체 시험이 실시되었다. 공시체의 크기에 따른 압축 강도의 효과를 고려하여 보정계수로 0.94를 사용하여 10x20cm 공시체에 적용하였다.

각 공시체는 한 뿔에서 타설되었으며 이들 공시체는 다음과 같이 대별되며 상세는 앞의 표5에 주어졌다.

- 1) 콘크리트 강도(Lower Strength Concrete = 280kg/cm²
High Strength = 800kg/cm²)
- 2) 나선보강 정도(O.W.N. 여기서 O=무근, W=D/2 (2.5cm)
N=D/4(=2.5cm)).

예를들면 HCW는 다음과 같다.

- H : High Strength Concrete
- C : Column
- W : Wide Spacing of spiral Confinement

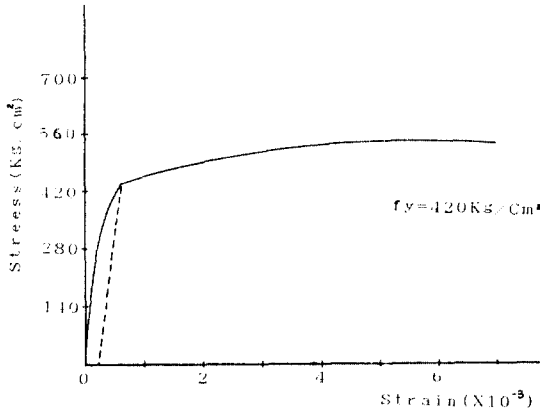


그림 3. 나선 보강근의 응력-변형도 곡선

3. 시험

3.1 시험체 설치

모든 공시체는 Universal Testing Machine으로 일방향 압축하에서 실시되었다. 각 시험체는 15x15x1cm의 철판을 Bed 위에 놓고 그 위에 시멘트, 석고를 1:1로 배합한 혼합물을 얇게 간 후 공시체를 올려 놓고서 수평이 되도록 전후좌우를 맞추었다. 공시체 윗면은 하중을 균등히 분포시키고 콘크리트의 국부적인 파괴가 일어나는 것을 방지하기 위하여 공시체 위에 시멘트-석고 혼합물을 깔고 같은 철판을 올려 놓은 후 U.T.M.으로 2-3t의 하중을 가하여 전체 가력시스템과 공시체가 평행하게 일치가 되도록 조정하였다. 각 공시체의 처짐과 변형량을 측정하기 위하여 2개의 선형 전기 계이지를 양쪽에서 측정한 후 그의 평균값을 사용하였다.

3.2 가력 방법

각 시험체는 예상 최대하중의 1/3 까지는 1t씩 일정한 하중증가로 가력하였으며 그 후에는 일정한 양의 처짐조절에 의한 변위 조절방식(Deflection Control)으로 가력하였다. 가력은 최대하중 이후 공시체가 파괴될 때 까지 계속되었다.

4. 실험결과 및 분석

고강도 콘크리트 공시체의 횡보강근의 효과를 알아보기 위하여 2종류의 콘크리트 강도와 2종류의 횡보강 정도를 변수로 두어 무근일 경우와 비교 분석하여 보았다. 일방향 압축하에서 완전한 응력-변형도 곡선은 280kg/cm² 경우에 무근이거나 횡보강 된 경우에 모두 그림5에서 보는 바와 같이 구할 수 있었으나, 800kg/cm²의 경우에는 넓게 횡 보강된 경우(D/4)에만 구할 수 있었다.

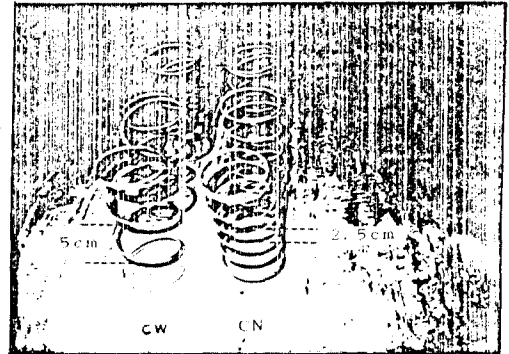


그림 4. 원통형 공시체의 나선 보강근

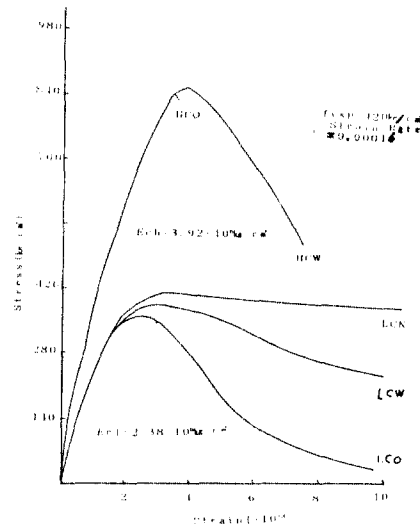


그림 5. 응력-변형도 곡선(일방향 압축)

4.1 균열 파괴 양상

복합재료에서 균열의 파괴양상은 여러종류의 요인 즉 외부 응력 상태, 재하속도와 재료의 결합특성 등에 의해 영향을 받는다. 콘크리트에서의 미세균열의 발생은 파괴의 시작을 의미하고 있다. 무근콘크리트의 경우 낮은 강도의 콘크리트에서는, 골재와 시멘트 화합물의 결합력은 골재의 그것보다 작기때문에 균열은 일반적으로 골재입자를 통과하지 않는다. 그러나 고강도 콘크리트는 그림6에서 보는바와 같이 화합물의 결합강도는 골재의 그것보다 작아지지 않아 (즉 $K_{ic} \approx K_{ic}^c$). 이때의 균열은 골재의 입자를 관통하고 있으며 공시체의 재축을 따라 거의 일직선으로 형성되어 그 표면도 매끄러움을 볼 수 있다.

초기균열은 낮은강도의 그것과 비교하여 고강도 콘크리트의 강한 결합력 때문에 늦게 발생하였으나 최종 파괴양상은 폭음과 함께 갑자기 파괴되어 급격한 취성 파괴(brittle failure)의 양상을 보여주고 있다.

4.2 응력-변형도

일방향 압축하의 완전한 응력-변형도 곡선이 그림5

에 그려져 있다. 2그룹의 곡선이 2종류의 콘크리트강도 ($f'c = 280, 800 \text{kg/cm}^2$)에 따라 조사되었다. 각 그룹은 무근 그리고 2종류의 나선보강 정도 ($Ssp=2.5, 5\text{cm}$)에 따라 구분되고 있다. 총 5개의 응력-변형도 곡선이 그려져 있는데 낮은 강도의 콘크리트에서는 나선보강근의 유,무에 관계없이 완전한 응력-변형도 곡선을 얻을 수 있었으나, 고강도 콘크리트의 경우에는 Ssp가 5cm인 경우에만 일부의 하향곡선을 얻을 수 있고 Ssp가 2.5cm인 경우와 무근인 경우에는 거의 하향곡선을 공시체의 극심한 취성현상으로 인하여 얻을 수 없어 횡나선 보강근의 연성에 관한 효과를 명확히 파악할 수 없었다.

낮은 강도의 콘크리트 경우, 무근 콘크리트에서는 횡보강에 관계없이 비슷한 응력에서 곡선이 굽어지기 시작하였다. 최대 하중에서의 변형도는 횡보강근의 간격이 좁을수록 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 하향곡선은 모두 큰 하중지탱능력의 손실없이 소성변형능력을 나타내고 있다. 그리고 횡보강 간격이 좁을수록 보다 수평에 가까운 변형현상을 보여주고 있다.

고강도 콘크리트의 경우는 상응곡선에 있어서 상응하는 저강도 콘크리트의 그것보다 매우 가파르며 선형적인 변화양상을 보여주고 있다. 이 경우에도 역시 최대 응력에서의 변형도는 저강도의 그것보다 증가하는 경향을 보여주고 있으나 정점 이후의 하향곡선은 매우 급하게 떨어지고 있다. 주어진 자료에서 파괴 변형도는 저강도의 그것과 비교하여 급격히 줄어들음을 알 수 있다.

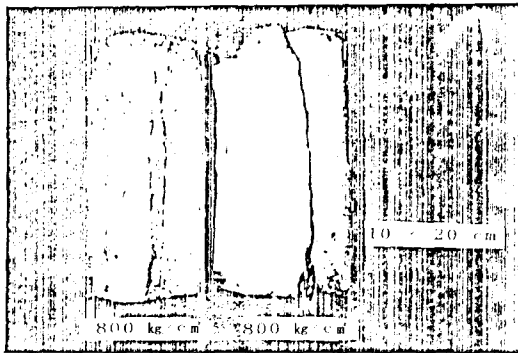


그림 6. 일방향 압축하에서의 고강도 콘크리트의 균열 양상.

4.3 정적 탄성계수

최대하중의 45% 지점을 기준으로 한 Secant Modulus of Elasticity (정적 탄성계수)가 그림5에 표시되어 있다. 앞에서 언급한 바와같이 상승곡선의 경우에는 횡보강의 정도에 관계없이 크게 E_c 의 값의 영향이 고강도나 저강도 콘크리트에 미치지 않음을 알 수 있다. 이는 횡보강근의 효과가 무근 콘크리트의 기준압축 강도를 초과한 후에 나타나기 때문으로 보여진다.

고강도 콘크리트의 정적탄성계수는 $E_{ch} = 3.92 \times 10^5$ (kg/cm^2)로서 저강도 콘크리트의 $E_{cl} = 2.39 \times 10^5$ 의 1.65 배가 되어 급격한 탄성계수 증가를 알 수 있다. 이에 압축강도의 증가에 대한 정적강도의 예측을 위하여 Nilson은 이러한 고강도의 정적탄성계수를 구하는 공식으로 다음을 제안하였다.

$$E_c = (40,000 \sqrt{f'c + 1,000,000}) (W_c/145)^{1/4} \text{ psi} \quad (3)$$

W_c = 기건상태 콘크리트의 28일에서의 단위 중량.
 $f'c$ = 무근일 경우의 기준 압축강도.

본 연구의 결과와 비교하여 볼때 본 실험에서 사용된 고강도 콘크리트인 경우 식(3)은 $E_c = 3.7 \times 10^5$ (kg/cm^2)을 나타내 6% 정도 적게 보여주나, 이때 본 실험에서 사용된 콘크리트의 단위중량이 146-153pcf 임을 고려하여 보면 식(3)은 무난히 콘크리트 압축강도 800 kg/cm^2 까지는 사용될 수 있음을 알 수 있다.

4.4 횡보강 나선철근 효과

콘크리트 강도와 변형 능력에 관한 횡보강근(Confinement)의 이점은 구조용 콘크리트의 초기역사에서부터 인식되어 왔다. 이에 많은 연구자가 강도의 측면이나 변형거동에 관한 연구를 하여 왔으나 아직 그에 대한 정보는 제한되어 있다.

콘크리트는 나선보강근(circular hoop)이나 사각형 띠근이나 늑근(rectangular tie or stirrup)의 형태로 횡보강되고 있다. 이때까지 연구의 많은 부분(4), (5), (6)이 사각형 횡보강근으로 구축된 콘크리트에 관하여 치중되어 왔으며, 나선보강된 콘크리트에 관한 연구(7) (8), (9)는 실제로 그렇게 많지 않은 실정이다. 더우기 이전의 연구는 콘크리트강도가 낮은 강도(420 kg/cm^2) 이하에 제한되어 왔으며 보통 항복강도의 나선보강근이 횡구속근으로 쓰여왔다. 이러한 점은 참고문헌(10)에 나타나 있지만 고강도 콘크리트에 관한 나선보강근에 관한 연구는 아직 없어 이에 관한 연구가 시급한 실정이다. 이에 본절에서는 고강도 콘크리트(800 kg/cm^2)에 비교적 고강도 항복강도(4200 kg/cm^2)를 사용한 나선철근의 횡보강효과에 관한 실험을 분석하였다.

낮은 강도의 콘크리트의 압축강도에 대한 횡보강효과에 관한 실험은 Richard(7), (8)가 시행하였는데 이들은 수압을 가하여 실시하였다. 이후 그는 횡수압이 작용하는 콘크리트 공시체의 강도와와의 관계를 다음과 같이 나타내었다.

$$f_l = f'c + k \cdot f_3 \quad (4)$$

- f_l = 횡보강된 콘크리트의 압축강도.
- $f'c$ = 무근콘크리트의 압축강도.
- f_3 = 횡보강근의 구속력.
- k = 횡보강근 상수, 보통 중량콘크리트는 0-7사이 에 있음

Richard의 실험에서는 k 값의 평균이 4.1이었다. 이후 수압이외에 3축시험등을 통하여 나선보강근이 유도된 횡압력이 적정을 가로질러 균등히 분포된 횡압력과 동등하다는 가정 아래 앞의 식(4)는 다음과 같이 제안 되었다.

$$f_l = f'c + 4.1 \cdot f_3 \quad (5)$$

현재의 ACI code(3)는 횡보강된 콘크리트의 강도와 변형능력에 횡보강근의 잇점을 반영하지 않고 있다. 그러나 기준(3)은 띠근(tie)이나 나선근(spiral)의 크기와 간격의 제한을 두고 있으며 (1)식과 같이 최소 부피 철근비(f_s)min 이상이 되도록 권하고 있다. 이때의 (f_s)min은 횡보강근에 의해 추가로 증가된 하중부담 능력때문에 발생하는 헬외부 부분의 상실에 의한 강도 손실을 보완하는데 근거를 두고 있다. 고강도 콘크리트

의 나선보강근의 횡압력(Lateral Pressure)을 계산하기 위하여 다음식이 제안되었다.

$$f_3 = \frac{2A_{sp} \cdot f_s}{d_{cc} S_{sp}} \quad (6)$$

이때 횡보강근이 횡보강원 콘크리트가 최대값에 이를때 항복한다고 가정하면 $f_s = f_y$ 가 된다.

$$f_3 = \frac{2 \cdot A_{sp} \cdot f_y}{d_{cc} \cdot S_{sp}} \quad (7)$$

그러면 나선보강때문에 증가하는 콘크리트강도는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta f = f_1 - f'c = k^* \cdot f$$

$$\text{또는 } \frac{f_1}{f'c} = 1 + \frac{k^* f}{f'c} = 1 + k^* \cdot (CI)^* \quad (9)$$

여기서 k^* = 횡구속근에 의한 효과계수 이며, 식(7)과 (9)에 의해 콘크리트강도에 따른 횡보강근의 압축강도에 관한 효과를 알 수 있으며 이는 표6에 나타나 있다. 낮은 강도콘크리트의 경우 횡보강근의 효과계수(k^*)는 3.33이나 고강도콘크리트는 같은 나선 보강근의 간격일 에도 불구하고 1.74여서 낮은 강도의 그것에 52%에 이르고 있어 고강도 콘크리트의 경우 나선보강근의 효과에 대한 보다 철저한 규명이 되어야 하며, 콘크리트 압축강도가 800kg/cm² 일 경우에는 다음과 같은 식을 제안한다.

$$f_1 = f'c + 1.74 f_3 \quad (10)$$

표 6. 횡보강 효과의 실험결과.

구분 공시체	동기 f'c kg/cm ²	f _y kg/cm ²	S _{sp} (cm)	d _{sp} (cm)	f _c kg/cm ²	f _s kg/cm ²	k*
LCW	330	4200	5	0.31	372	12.6	3.33
LCN	330	4200	2.5	0.31	400	25.2	2.78
HCW	800	4200	5	0.31	822	12.6	1.74
HCN	800	4200	2.5	0.31	-	25.2	-

5. 결론

고강도 콘크리트의 연성을 조사하기 위하여 고강도 공시체에 나선보강근 간격을 변수로 두어 그의 강도 및 파괴양상을 알아보았다. 본 연구에 의한 연구결과는 다음과 같다.

1) 무근 고강도 콘크리트의 경우 정점이후의 하향 곡선을 얻기가 매우 어려웠으며, 일부나마 횡보강근 나선 철근의 경우에 얻을 수 있었다.

2) ACI의 Secant Modulus of Elasticity는 탄성계수를 과대로 간주하고 있다. Nilson에 의해 제안된 식(3)은 콘크리트강도 800kg/cm² 까지 적절히 탄성계수를 나타내고 있다.

3) 횡방향 나선보강근은 무근콘크리트의 강도와 변형 능력(연성)증진이 낮은 콘크리트의 경우 효과적이며, 나선보강근 간격이 좁을수록 더욱 효과적이나, 고강도

콘크리트의 경우에는 일부 강도 증진에 도움은 되나 증진효과 및 연성능력 증진에는 크게 기대에 못 미치고 있다.

4) 고강도 콘크리트에 있어서 압축강도 800kg/cm²의 경우 횡보강 나선철근의 효과를 고려한 강도식은 다음과 같다.

$$f_1 = f'c + 1.74 \cdot f_3$$

5) 고강도 콘크리트의 일방향 압축 아래에서의 파괴 양상은 매우 급작스러우며, 골재를 파괴단면이 가로 지르고 있어 파괴단면도 비교적 매끄러웠다. 응력-변형도 곡선에서의 상승곡선은 낮은 강도콘크리트의 그것에 비해 매우 가파르며 선형현상을 보여주고 있다.

참고 문헌

1) ACI 363, "State of the Art Report on High Strength Concrete", Report No. ACI 363R-84, Jr. of ACI, July/Aug., 1984.

2) Shin, Sung-Woo ; Ghosh S.K. ; Moreno J., "Flexural Ductility of Ultra-High Strength Concrete Members", ACI Structural Jr., July/Aug. 1989.

3) ACI 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)", ACI, Detroit, 1989.

4) Vallenias, J., et al., "Concrete Confined by Rectangular Hoop subjected to Axial Loads." Report no. EERC 77-13, U. of California., Berkery, 1977.

5) kent, D.C., et al., "Flexural members with confined Concrete." Jr of structural Division., ASCE, Vol. 97, No. ST7, July 1971, PP 1969-1970.

6) Sargin, M., et al., "Effect of lateral reinforcement upon Strength and deformation properties of Concrete." Mag. of Concrete Research., Vol.23, No. 75-76, June-Sept., 1971, PP 99-110.

7) Richard, F.E. Brandtzaeg, A., and Brown, R.L., "A Study of the failure of concrete under Combined Compressive Stress." Univ. of Illinois Engineering Experiment Strain Bulletin No.185, Urbanay NoV.1928.

8) Richard, F.E., Brandtzaeg, A., and Brown, R.L., "The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compssion." Univ. of Illinois Engineering station, Bulletin No. 190, April 1929. 73PP

9) Bresler, B. and Bertero, V. V., "Influence of High Strain Rate and Cyclic Loadingt on Behavior of Unconfined and Confined Concrete in Compression, "Pro. of 2nd Canadian Conference on Earthquake Engineering, Hamilton, Ontario of Civil Engineering

10) Proceeding of "High Strength Concrete." workshop, Sponsored by NSF, U. of Illinois, Chicago, Dec. 2-4. 1979.