

# 나선근으로 횡보강된 콘크리트의 응력-변형도 관계

## Stress-Strain Relationships of Concrete Confined by Spiral Reinforcement

김진근\* 박찬규\*\*  
Kim, Jin-Keun, Park, Chan-Kyu

### ABSTRACT

Axial load-strain relationships of confined concrete with spiral reinforcement were investigated. The main variables were compressive strength of concrete, spacing of hoop reinforcement, and specimen height of plain concrete. The program included tests of eleven confined specimens, and twelve plain specimens, but for all specimens no longitudinal reinforcement was provided.

Load-strain curves of confined and plain concrete specimens are reported.

#### 1. 서론

철근콘크리트 기둥의 내진설계에서 가장 중요한 것은 지진의 발생에 대한 건물의 안전성을 확보하는 것이다. 이를 위하여 기둥의 소성힌지 영역에서 연성의 정확한 계산이 필요하다. 연성을 고려함에 있어서, 기둥의 전단파괴와 축방향 철근의 좌굴을 막으며 콘크리트의 압축강도 증진을 위하여 충분한 횡보강철근을 배근하는 것이 가장 중요하다.

콘크리트의 횡보강효과에 대한 실험은 일반적으로 두가지 방향으로 추진되고 있다. 첫 번째는 무근콘크리트에 대한 삼축 또는 이축 압축시험을 이용한 것이며<sup>(1)</sup>, 두 번째는 철근이나 기타 횡보강 재료를 사용하여 구조적인 관점에서 콘크리트의 거동을 추정하고자 하는 것이다. 철근콘크리트 부재로서 횡보강 효과에 대한 실험의 수행시 채택되는 대표적인 변수는 콘크리트의 압축강도, 횡방향 철근비, 횡방향 철근의 간격 및 항복응력, 단면의 형태, 피복, strain rate, 축방향 철근의 영향 등이다.

실제로 이와 같은 변수에 대하여 많은 연구자들이 실험을 수행하였으며<sup>(2)(3)(4)(5)</sup>, 콘크리트의 횡보강 효과에 대한 많은 모델식이 제안되었다<sup>(6)(7)(8)</sup>.

본 연구에서는 심부콘크리트의 응력-변형도 관계를 결정하는 중요한 변수중의 하나인 횡방향철근(나선근)의 간격이 콘크리트의 강도 수준에 따라 각각 미치는 영향을 조사하고, 횡보강된 콘크리트의 하중-변형도 관계를 규명하고자 한다.

#### 2. 실험

##### 2.1 실험계획

각 강도수준과 나선철근의 간격에 따른 횡보강된 콘크리트의 축하중-변형도 관계에 대한 연구를 위하여 표 1에 나타난 바와 같은 변수 및 그림 1에 나타난 시험체 형태에 대하여 실험을 수행하였다. 나선 철근의 횡보강 구간은 단면 지름의 3배인 300mm로 하였으며, 가압판과 공시체 사이에서 발생할 수 있는 국부적인 파괴를 방지하기 위하여 경계부근에서 나선근을 촘촘히 감았다.

\* 한국과학기술원 토목공학과 부교수

\*\* 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

표 1. 실험변수 및 시험체 형태

콘크리트 압축강도	나선철근 간격	시험체 형태
저강도(LS)	20mm, 40mm	원형단면 (지름 100mm)
중간강도(MS)		
고강도(HS)		

표 2. 콘크리트 배합표

공시체 기호	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능 감수제 (%)	슬럼프 (cm)
	시멘트	실리카흄	물	잔골재	굵은 골재		
저강도 (LS)	370	-	236.8	684.3	945	-	18.5
중간강도 (MS)	500	-	175.0	590.8	1097	2.0	24.5
고강도 (HS)	585	65	162.5	519.9	1053	3.0	23.0

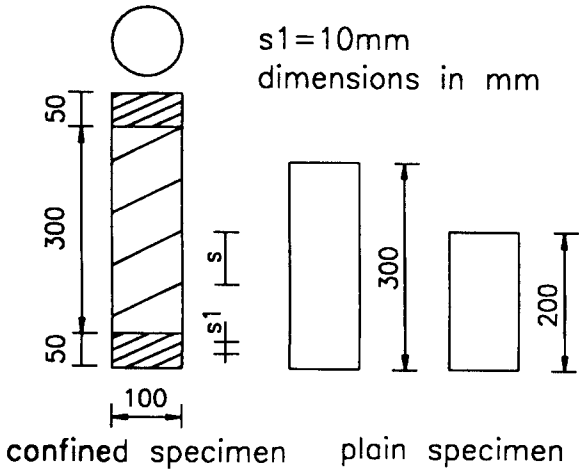


그림 1. 시험체 형태

### 2.2.1 철근

나선철근으로 사용된 철근의 성질은 표 3에 나타낸 바와 같다. 사용된 철근은 소성가공된 철근으로서 일반 철근과 같이 항복점 이후에 완전 소성 형태가 나타나지 않고 계속적인 변형경화현상을 나타낸다. 항복응력은 0.2% 영구 연신율에 대한 응력을 기준으로 하였다.

## 2.2 실험재료

### 2.2.1 콘크리트

본 연구에서 콘크리트를 제조하기 위하여 사용된 시멘트는 S사 제품의 제 1종 포틀랜드 시멘트이다. 잔골재는 금강에서 구입한 강모래이며 비중은 2.54, 흡수율은 1.87, 조립율은 2.89이다. 굵은 골재는 전라남도 곡성에서 구입한 최대골재크기 13mm 쇄석이며, 비중은 2.65, 흡수율은 1.97, 조립율은 6.08이다. 고강도 콘크리트에서는 작업성을 확보하기 위해서 naphthalene계 고성능 감수제인 super-20을 사용하였다. 실리카흄은 (주)S산업에서 구입한 Elkem Microsilica(분말제품)를 사용하였다.

콘크리트의 배합표는 표 2와 같다.

표 3. 철근의 성질

탄성계수 (MPa)	직경	항복응력 (MPa)	최대응력 (MPa)
173340.0	5mm	620.40	644.77

### 2.3 콘크리트 비빔방법

믹서는 공칭용량 80리터(liter)의 강제식 믹서를 사용하였으며, 비빔은 다음과 같은 순서와 방법에 따라 행하였다. 먼저 재료를 굵은 골재, 잔골재, (시멘트+실리카흄)의 순서로 투입하여 1분간 건비빔하여 시멘트와 골재를 잘 섞이게 한 다음 물과 고성능 감수제를 동시에 투입한 후 3분간 비벼 콘크리트 공시체를 제작하였다. 골재는 표면건조포화상태(SSD)의 것을 사용하였으며, 굵은 골재는 실험전에 물로 씻어 불순물을 제거하였다.

## 2.4 공시체 제작 및 실험방법

나선보강 시험체는 나선근을 우선 몰드에 위치시킨 후 콘크리트를 타설하였으며, 모든 시험체에 대하여 진동기를 사용하여 다짐을 하였다. 그림 1에 나타난 시험체에 대하여 실험변수별로 각각 2개씩 시험를 제작하였다. 시험체는 제작 후 즉시 비닐로 덮어 수분의 증발을 방지하였으며, 24시간만에 탈형하여 시험 시까지 수증양생을 실시하였다.

모든 실험은 재령 8일을 전후하여 수행하였으며, 이때 사용된 기기는 250톤 용량의 Instron사의 Closed-loop Servo-Hydraulic Dynamic Materials Testing System이다. 시험체면의 이물질에 의한 실험시의 오차를 방지하기 위하여 공시체 연마기를 사용하여 시험체면을 평활하게 연마한 후 실험을 수행하였다.

횡보강된 시험체에서는 변위제어 방법으로 하중-변위 곡선을 얻었으며, 콤프레소메타를 공시체면에 부착하고 clip gage를 세군데 부착하여 변위를 측정하였다. 무근콘크리트에 대해서는 COD gage를 사용하여 변형도를 제어하는 방법으로 실험을 수행하였으며 세군데서 변형도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 실험결과

각 강도수준에 대한 횡보강효과의 실험결과가 표 3에 수록이 되어 있으며, 나선철근의 간격과 무근 콘크리트의 공시체에 대한 하중-변형도 관계가 그림 2에서 그림 4에 나타나 있다.

### 3.2 강도수준에 따른 횡보강 효과

같은 횡보강에 있어서 저강도와 고강도에 비하여 중간강도의 콘크리트에 대한 하중중가가 큰 것으로 나타났다. 그러나 최대하중에 대한 상대적인 증가율은 강도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

무근콘크리트에 있어서 압축강도가 증가할수록 탄성계수와 최대응력에서의 변형도는 증가하는 경향을 보인다. 그리고 최대하중 이후의 연성은 그림 2-그림4에 나타난 바와 같이 강도수준이 증가할수록 떨어지는 것을 알 수 있다.

같은 나선근 간격에 있어서 강도수준이 증가할수록 최대하중에서의 변형도는 감소하는 것으로 나타났다.

표 3. 횡보강효과에 대한 실험 결과

공시체 번호 (시험체 갯수)		최대하중(kN) [응력(MPa)]	최대하중 증가량(kN)	최대하중에서의 변형도
저강도	100×200 (2)	116.42[14.82] (1.06)	-	0.00239 (1.00)
	100×300 (2)	110.10[14.02] (1.00)	0.00	0.00239 (1.00)
	s=40mm (2)	181.89 (1.65)	71.79	0.02090 (8.74)
	s=20mm (2)	274.86 (2.50)	164.76	0.03030 (12.68)
중간강도	100×200 (2)	290.85[37.03] (1.09)	-	0.00271 (1.10)
	100×300 (2)	267.60[34.07] (1.00)	0.00	0.00247 (1.00)
	s=40mm (2)	381.05 (1.42)	113.45	0.00811 (3.29)
	s=20mm (2)	600.84 (2.25)	333.24	0.01497 (6.09)
고강도	100×200 (2)	533.44[67.92] (1.02)	-	0.00325 (0.99)
	100×300 (2)	523.90[66.71] (1.00)	0.00	0.00328 (1.00)
	s=40mm (2)	575.21 (1.10)	51.31	0.00393 (1.20)
	s=20mm (1)	684.29 (1.31)	160.39	0.00820 (2.50)

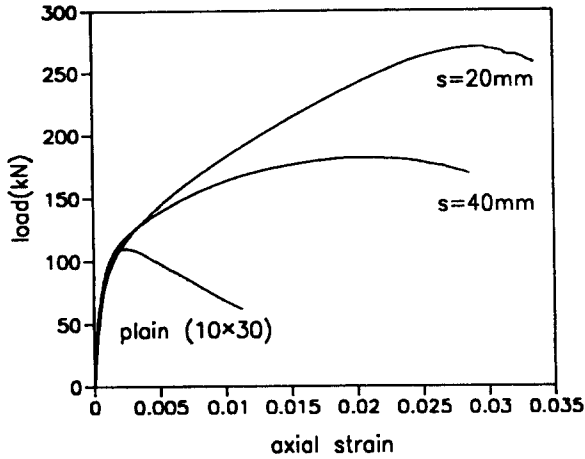


그림 2. 저강도 시험체의 하중-변형도 곡선

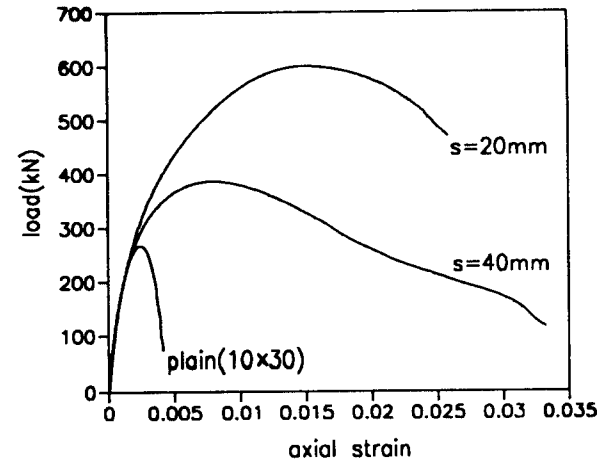


그림 3. 중간강도 시험체의 하중-변형도 곡선

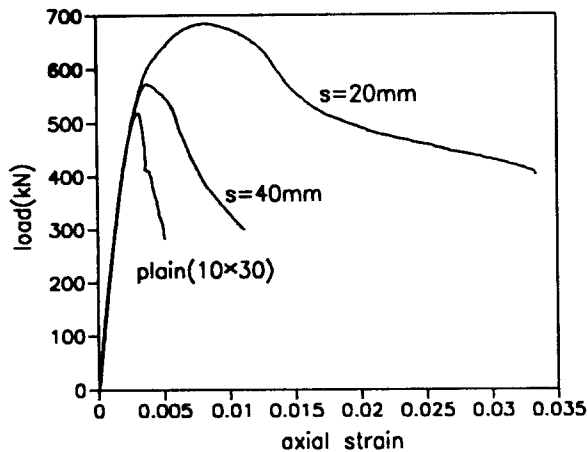


그림 4. 고강도 시험체의 하중-변형도 곡선

### 3.3 나선철근 간격에 따른 횡보강 효과

나선근 간격이 줄어들수록 강도와 연성이 증가하며 저강도에서는 매우 큰 연성의 증가를 가져왔다.

그림 2-그림 4에서 알수 있듯이 나선근 간격에 관계없이 무근콘크리트의 최대응력 이전에 같은 하중-변형도 관계를 가진다.

### 3.4 공시체의 shape effect

표 3에 나타난 바와 같이 100×300mm 공시체의 강도는 100×200mm 강도에 비하여 떨어지며, 최대 응력에서의 변형도는 비슷한 경향을 나타냈다.

### 3.5 횡보강된 시험체의 파괴 형태

일반적으로 관찰되는 횡보강시험체의 파괴형태는 세가지로 분류된다. 첫번째, 횡방향 철근에서 하나 이상의 환선이 끊어지면서 기둥이 터지는 형태이며, 두번째는 기둥측에서 약 30° 정도의 각으로 대각선 전단면이 형성되는 경우이고, 세번째로는 과도한 휨파괴가 나타나는 형태이다. 보통중량의 저강도 시험체에서는 첫번째, 중간강도 및 고강도 시험체에서는 두번째 파괴형태가 우세한 것으로 보고되고 있다.

본 실험에서는 강도 수준에 관계없이 두번째 파괴형태가 나타났으며, 전단파괴면에서 발생하는 전단력과 콘크리트 팽창에 의한 인장력의 동시 작용으로 나선근이 끊어지는 경우도 발생하였다.

### 4. 결론

본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 강도수준이 증가할수록 횡보강 효과에 의한 상대적인 하중증가율은 감소하지만 중간강도에서 하중증가의 절대값이 가장 큰 것으로 나타났다.
- 2) 같은 횡보강하에서 강도수준이 증가할수록 연성이 떨어지며 이는 콘크리트의 강

도가 증가할수록 보다 취성적인 성질을 가지기 때문인 것으로 판단된다.

- 3) 횡보강이 증가할수록 최대하중과 최대하중에서의 변형도는 증가하는 경향을 나타냈다.

#### 감사의 글

본 연구는 1993년도 과학기술처 첨단요소 과제 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. S. Setunge, M.M. Attard, and P. LeP. Darvall, "Ultimate Strength Criterion for Very High Strength Concrete Subjected to Triaxial Loadings," Research Report, Department of Civil Engineering Monash University, 1992, 89 pp.
2. Ahmad, S. H. and Shah, S. P., "Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Vol. 79, No. 6, 1982, pp. 484-490.
3. 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.
4. Yong, Y. K., Nour, M. G., and Nawy E., "Behaviour of Laterally Confined High Strength Concrete under Axial Loads," J. of Structural Division, ASCE, Vol. 114, No. 2, 1988, pp. 332-351.
5. 정일영, 권영웅, 이병호, "횡구속 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구," 대한건축학회논문집, 3권 2호, 통권 10호, 1987, pp. 87-93.
6. Richart, F. E., Brandtzaeg A. and Brown R. L., "The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression," Bulletin 190, University of Illinois, Engineering Experimental Station, Champaign, Illinois(1929).
7. Mander, J. M., Priestely, M. N. and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," J. of Structural Division, ASCE, Vol. 114, No. 8, 1988, pp. 1804-1826.
8. 김진근, 이태규, 서용표, "횡보강효과를 고려한 콘크리트의 응력-변형도 관계" 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol. 2, No. 1, 1990, pp. 116-121.