

콘크리트 원주공시체에서 나선철근량과 중공크기에 관한 연구

Effect of spiral reinforcement ratio and center-hole size of cylinder of concrete

김민수* 김진근** 유영섭***
Kim, Min Su Kim, Jin Keun Ryoo, Young Sup

ABSTRACT

This paper presents experimental results for the confining characteristics of cylinder with center-hole and spiral reinforcements. The experiments have been conducted for the specimens with primary variables i. e., spiral reinforcement ratio and diameter of center-hole which affect the compressive strength and stress-strain relationship. Through this research, it was found that the compressive strength and ductility were increased with the ratio of spiral reinforcement because the lateral expansion of the concrete inside the spiral was restrained by the spiral, but dependent on the size of center-hole.

1. 서론

포스트텐서닝 콘크리트 부재에서는 프리스트레싱 힘이 상대적으로 작은 정착구를 통해 전달되기 때문에 정착부 주위에 국부적으로 큰 압축응력과 인장응력이 발생하게 된다. 따라서 나선철근이나 띠철근을 사용하여 보강을 하게 되는데 나선철근이 띠철근에 비해 보강효과가 훨씬 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 기존의 나선철근 보강부재의 연구는 기둥에 대하여 대부분 이루어져 왔다. 포스트텐서닝 정착부도 주로 압축력을 받는 일종의 기둥부재라고 할 수도 있겠지만 다음과 같은 차이점이 있다. 먼저 포스트텐서닝 부재에서는 긴장재가 통과하기 위한 중공(덕트관)이 내부에 존재하며, 일반적인 기둥 부재보다 훨씬 큰 나선철근비를 사용하고 단면 치수가 작은 차이점이 있다. 내부에 중공이 있기 때문에 나선철근의 횡보강 효과에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하나, 아직 연구가 미진하여 지금까지는 대부분 덕트의 영향을 크게 고려하지 않는 실정이다. 그리고 기존 연구결과는 대부분 나선철근비 2~3% 이하의 경우에 대한 것이지만 정착부에서는 대부분 그 이상의 나선철근비를 사용하므로 나선철근비가 큰 경우에 대한 연구도 필요하다. 본 연구에서는 콘크리트 원주공시체 중앙에 위치한 중공의 크기와 나선철근량이 횡보강 효과에 미치는 영향에 대해 알아보려고 한다.

* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과, 교수

*** 정회원, VSL KOREA 기술부, 이사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험체

표 1과 그림 1은 실험변수에 따른 실험체명 및 배근상세를 나타낸 것이다. 나선철근의 직경과 간격을 조절하여 나선철근량과 원주공시체 중앙에 위치한 중공의 크기를 변화시켜 실험을 수행하였다. 각각의 실험변수에 대하여 3개의 실험체를 제작하였으며, 콘크리트의 압축강도는 330~373 kgf/cm²로 하였다. 모든 실험체의 외경과 길이는 그림 1과 같이 15 cm와 300 cm이다. 나선철근으로는 D6, D8, D10 철근을 사용하였으며 인장시험결과는 표 2와 같다.

표 1 실험편의 크기, 배근상세 및 실험결과

시편번호	내경 (mm)	외경 (mm)	단면적 (cm ²)	나선철근	나선철근비 ρ_{sp} (%)	극한하중 (tonf)	압축강도 (kgf/cm ²)	극한하중/단면적 (kgf/cm ²)
P-0	-	150	176.6	-	-	63.4	359	359
P-2	20		173.5	-	-	61.8		356
P-5	50		157.0	-	-	58.4		372
P-8	80		126.4	-	-	47.7		377
S1-P	-		176.6	-	-	58.4	330	330
S1-0	-		176.6	D6@75	1.01	63.4		358
S1-2	20		173.5	D6@75	1.01	60.3		347
S1-5	50		157.0	D6@75	1.01	50.9		324
S1-8	80		126.4	D6@75	1.01	40.8		322
S2-P	-		176.6	-	-	66.0	373	373
S2-0	-		176.6	D8@60	2.24	86.6		491
S2-2	20		173.5	D8@60	2.24	83.0		478
S2-5	50		157.0	D8@60	2.24	70.7		450
S2-8	80		126.4	D8@60	2.24	49.4		391
S4-P	-		176.6	-	-	64.4	365	365
S4-0	-		176.6	D10@50	3.80	107.8		621
S4-2	20		173.6	D10@50	3.80	104.7		604
S4-5	50		157.0	D10@50	3.80	89.2		568
S4-8	80		126.4	D10@50	3.80	63.4		502
S6-P	-		176.6	-	-	62.4	353	353
S6-0	-		176.6	D10@30	6.34	154.0		871
S6-2	20		173.6	D10@30	6.34	145.2		836
S6-5	50		157.0	D10@30	6.34	114.5		729
S6-8	80		126.4	D10@30	6.34	74.0		586

2.2 실험방법

하중가력 방법은 250톤 용량의 만능재료시험기를 사용하여 변위제어법으로 실험을 수행하였다. 로드셀을 사용하여 축방향 하중을 측정하고 2개의 LVDT로 축방향 변위를 측정하여 평균하였다.

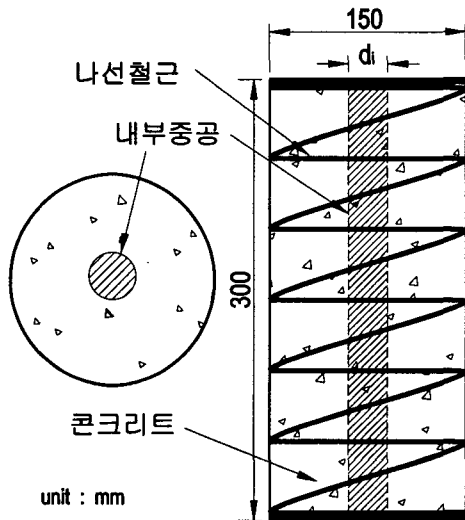


그림 1 실험체 형상

표 2 철근의 인장시험결과

	항복강도, f_y (kgf/cm ²)	인장강도, f_u (kgf/cm ²)	f_u/f_y	연신율 (%)
D6	497	611	1.23	18.2
D8	491	618	1.27	23.1
D10	487	643	1.32	23.5

3. 실험 결과

나선철근량과 내부중공의 직경을 변화시켰을 때 강도의 변화결과는 표 1에 나타나 있다. 그림 2는 나선철근량의 변화에 따른 강도변화를 나타낸 것으로서 나선철근량이 많아질수록 강도가 급격히 증가함을 알 수 있다. 그리고 중공의 직경이 2 cm인 경우에는 그 영향이 그렇게 크지 않지만 중공의 직경이 커질수록 강도의 증가량이 작아짐을 볼 수 있다. 그림 3은 중공의 직경에 따른 강도변화를 나타낸 것이다. 무근인 경우에는 중공의 크기가 강도에 미치는 영향이 거의 없으며 나선철근량이 큰 경우에는 중공의 직경이 커질수록 강도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 중공의 직경이 커질수록 강도가 감소하는 이유는 바깥쪽에서는 나선철근이 구속해주고 있지만 안쪽에서는 구속효과가 없으므로 시편 내부에서 파괴가 진행되기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 실제 실험시에도 나선철근량과 중공의 직경이 각각 4%, 5cm 이상이면 중공내부에서 파괴가 일어남을 관찰할 수 있었다.

나선철근량이 2.24% 이하에서는 일반적인 나선철근기둥보다 강도증가량이 훨씬 작음을 볼 수 있다. 이는 참고문헌 1에서 제시한 아래 식 (1)과 같이 나선철근에 의해 내부 콘크리트에 유발되는 횡구속응력이 동일한 나선철근비라도 나선철근의 간격이 넓을수록 급격히 감소하는데, 본 연구에 사용된 실험체의 외경에 비해 나선철근의 간격이 상대적으로 크기 때문이다.

$$f_{cl} = \frac{\rho_{sp} f_y}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{s_{sp}}{1.25 d_c}} \right) \quad (1)$$

여기서, ρ_{sp} = 나선철근비
 f_y = 나선철근의 항복응력
 s_{sp} = 나선철근의 간격
 d_c = 나선철근 내부 콘크리트의 지름

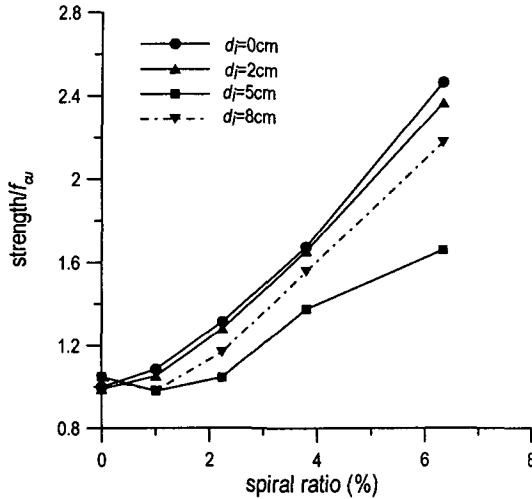


그림 2 나선철근비에 따른 강도 변화

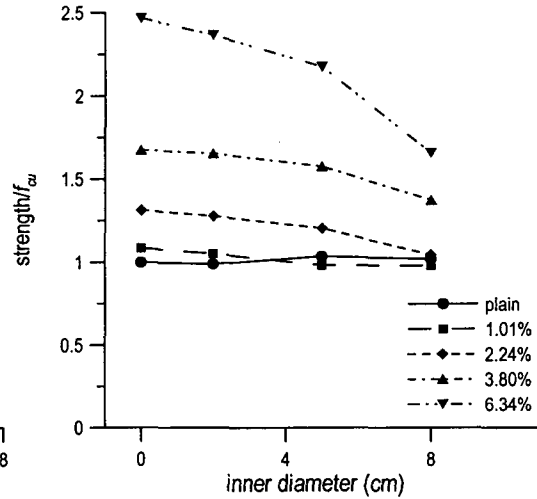


그림 3 중공의 직경에 따른 강도 변화

그림 4는 나선철근량과 중공의 직경에 따른 응력과 변형률의 관계를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 무근인 경우에는 내부에 중공이 존재하더라도 응력-변형률 관계에 영향을 미치지 않는다. 그러나 그림 4(b),(c)와 (d)에서 볼 수 있듯이 나선철근량이 증가함에 따라 강도 증가와 더불어 최대 응력에서의 변형률도 커져 훨씬 연성적인 거동을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 모든 철근비에서 내부 중공의 크기가 커짐에 따라서는 강도가 감소하고 그에 따라 최대 응력에서의 변형률도 감소하여 취성적인 거동을 나타내는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 원주공시체에서 나선철근량과 중앙의 중공의 크기를 변수로 한 실험을 통하여 횡보 강효과에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 이를 통하여 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 원주공시체에서 나선철근량과 내부 중공의 크기가 횡보강 효과에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 강도는 나선철근량이 커질수록 급격하게 커지고, 나선철근량이 작으면 내부 중공의 크기에 영향을 작게 받는 것으로 나타났다.
- (2) 바깥쪽에서는 나선철근이 구속해 주고 있지만 안쪽에서는 구속효과가 없으므로 시편 내부에서 파괴가 진행되기 때문에 내부 중공의 크기가 커질수록 강도가 감소하였다. 이다.
- (3) 무근 콘크리트에서는 강도나 응력-변형률 관계가 중공크기의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.
- (4) 나선철근량이 커질수록 연성적인 거동을 나타내고, 내부 중공의 크기가 커질수록 취성적인 거동

이 나타났다.

위와 같은 이유로 포스트텐션용 정착부 등의 나선철근 내에 중공이 존재하는 부재에서는 내부 중공의 영향을 고려해 주어야 할 것으로 판단되며, 이를 위해 중공 내부에 위치하는 정착구의 강성에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

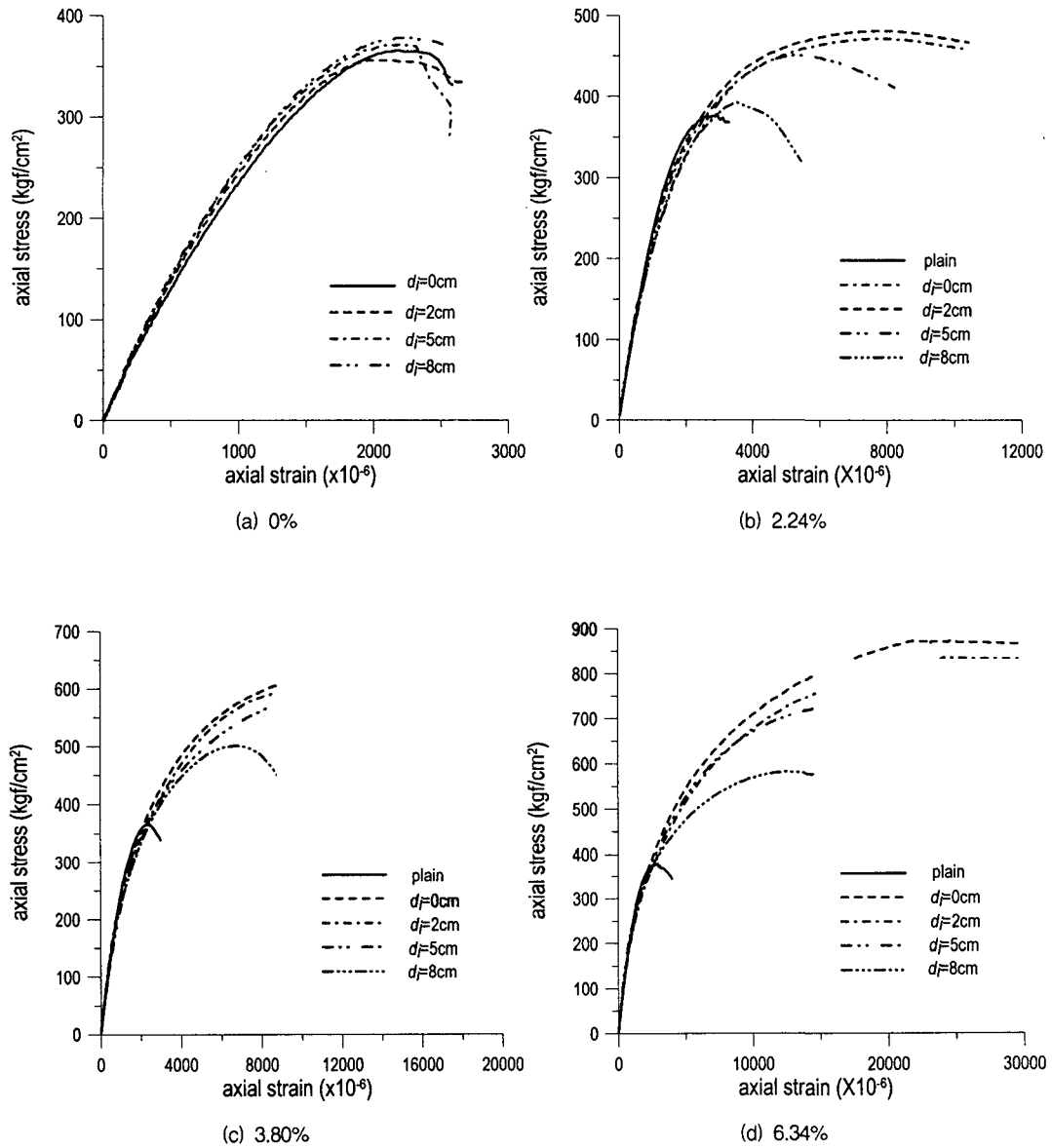


그림 4 나선철근량과 중공의 직경에 따른 응력-변형률 관계 곡선

감사의 글

본 연구는 건교부의 "콘크리트 교량용 한국형 프리스트레싱 공법 개발" 과제 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S. H. Ahmad, and S. P. Shah, "Stress-Strain Curves for Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Vol. 79, No. 6, 1982, pp. 484-490.
2. S. H. Ahmad, and P. Shah, "Complete Triaxial Stress-Strain Curves for Concrete," ASCE Structural Division, Vol. 109, No. 7, 1983, pp. 1695-1710.
3. Y. K. Yong, M. G. Nour, and E. G. Nawy, " Behavior of Laterally Confined High-Strength Concrete Under Axial loads," ASCE, Structural Division, Vol. 114, No. 2, 1988, pp. 332-351.