

심부구속철근의 응력-변형률 거동 및 에너지 성능에 관한 실험적 연구

A Experimental Study for Stress-Strain Behavior and Energy Capacity of Confinement Steel

이재훈^{*} 고성현^{**} 황정길^{***} 손현아^{***}
Lee, Jae Hoon Ko, Seong Hyun Hwang, Jung Kil Son, Hyun A

ABSTRACT

Longitudinal reinforcements of the plastic hinge region were behaved tensile deformation and compressional deformation by direction of lateral loading. However Confinement steels were behaved only tensile deformation by lateral loading. Transverse steels were laid the state of tension in the lateral loading of time, and they were laid state that stress is zero when it was removed lateral load. Nine specimens were tested under cyclic stresses(tension and zero). The purpose of this research is to investigate the strain behavior and capacity of energy for confinement steel. The selected test variables are $L/d_b(L/d_b = 6)$, size of reinforcement and specified yielding strength(300, 400, 500 MPa).

1. 서론

철근콘크리트 교각에 횡방향 하중이 작용할 경우, 단면의 최외곽 축방향철근은 그림 1에서와 같이 하중의 방향에 따라 인장변형과 압축변형을 번갈아 반복하게 된다. 비선형해석을 수행한 결과, 단면의 최외곽에 위치한 축방향철근의 압축과 인장변형률의 비율은 평균 3 : 0으로 파악되었다. 이러한 변형률 비율을 적용하여 수행한 실험결과는 그림 2와 같다. 항복강도가 300MPa이고, 철근 공칭지름의 6배의 길이인 D16 철근에 대한 실험결과이다. 최초의 인장변형 상태에서는 항복상태를 지나서 소성상태를 보이다가 변형률 경화구간 등을 보이는데, 이는 단순인장 실험과 유사하다. 하중의 방향을 전환하면 바우싱어 효과로 인해 인장항복 응력보다 작은 응력에서 변형이 증가한다. 다시 하중의 방향을 전환하여 인장력이 작용되면 바우싱어 현상을 보인 후 거의 선형적으로 응력이 증가한다. 반복횟수가 증가할수록 최대응력 값은 점차 감소하는 현상을 보이고, 압축상태에서도 동일한 현상을 보인다. 이러한 축방향철근의 거동과는 달리, 소성힌지 구간에 위치한 심부구속철근의 경우에는 인장응력 상태와 응력이 영인 상태에만 놓여지게 된다.

* 정희원, 영남대학교 토목공학과 교수
** 정희원, 영남대학교 토목공학과 박사과정
*** 정희원, 영남대학교 토목공학과 석사과정

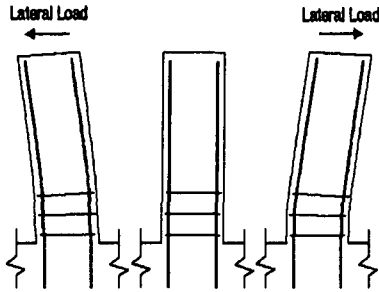


그림 1 하중방향에 따른 철근의 거동

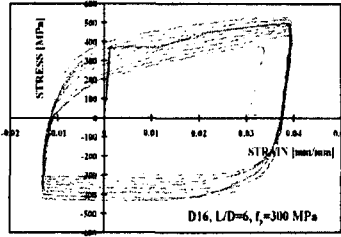


그림 2 추방향철근의 변형률 거동

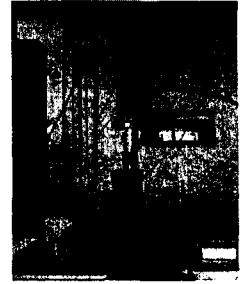
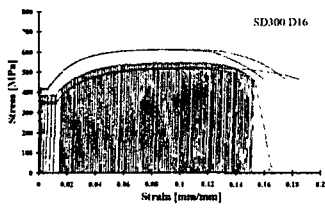
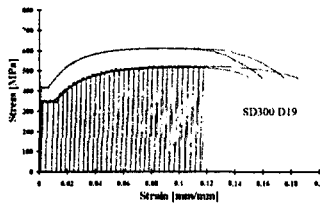


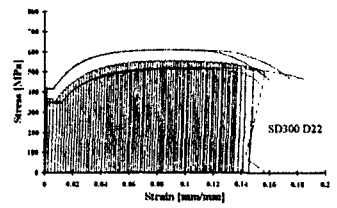
그림 2 실험 전경



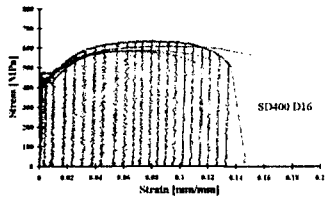
(a) D16, 300MPa



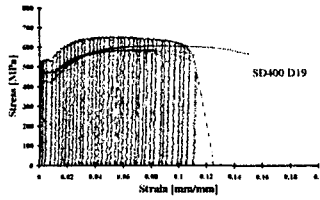
(b) D19, 300MPa



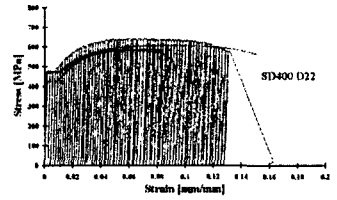
(c) D22, 300MPa



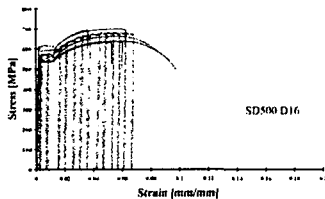
(d) D16, 400MPa



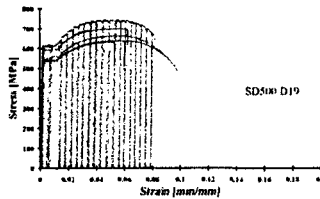
(e) D19, 400MPa



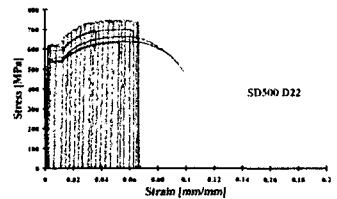
(f) D22, 400MPa



(g) D16, 500MPa



(h) D19, 500MPa



(i) D22, 500MPa

그림 4 횡방향철근에 대한 반복인장 실험결과

2. 심부구속철근의 변형률 거동

2.1 실험

본 연구를 위하여 그림 3과 같은 실험장치를 제작하였고 철근의 항복강도(300MPa, 400MPa, 500MPa)와 철근의 크기(D16, D19, D22)를 실험변수로 결정하여 반복실험을 수행하였다. 실험변수는 현재 실무에서 사용되는 횡방향철근의 크기와 실험실의 상황을 고려하여 결정하였다. 철근길이는 철근 공칭지름의 6배를 선택하여 인장과 하중 영의 상태를 반복하면서 철근이 파단될 때까지 실험을 수행하였다. 이는 축방향철근의 거동과는 달리, 소성한지 구간에 위치한 심부구속철근의 경우에는 축력과 횡방향하중이 작용된 상태에는 심부콘크리트의 팽창으로 인해 인장상태에 놓이게 되고, 횡방향하중이 제거되면 응력이 영인 상태로 되돌아가는 현상을 고려한 것이다.

2.2 실험결과

그림 4는 실험결과인 응력-변형률을 나타낸 것이다. 그림 4에서 굵은 선은 단순인장 실험의 결과이고, 가는 선은 반복실험의 응력-변형률을 나타낸다. 철근이 파단될 때까지 실험을 수행한 결과, 항복상태, 소성상태, 변형경화와 연화 등을 나타내어 대체로 단순인장 실험과 유사한 경향을 보였다. 철근의 변형률이 항복을 지나 소성상태로 진입한 후에는 하중을 제거한 후에도 잔류변형이 계속되었다. 또한 단순인장 실험에서 예측된 파단변형률과 비교하여 특별한 경향을 나타내지는 않았다. 다만, 항복강도 500MPa인 철근의 경우에 300MPa과 400MPa의 철근들에 비하여 단순인장 및 반복실험에서 파단 변형률이 매우 작게 예측되었다. 또한 단순인장 실험에서 500MPa인 철근들은 최대응력에 도달하기 전에 파단되는 경우가 있었고 이러한 철근의 품질에 대한 노력이 필요하다고 보인다. 일반적으로 교각의 축방향철근의 경우에는 저주파 피로(low cycle fatigue)에 의하여 파단되는 것으로 알려져 있으나, 심부구속철근의 경우에는 저주파 피로의 영향이 없는 것으로 보인다.

실험에서 예측된 심부구속철근의 에너지는 표 1에 나타내었다. 300MPa과 400MPa의 철근의 경우에 에너지의 평균은 약 74 MJ/m³로서 Mander 등이 제안했던 110 MJ/m³의 67%정도를 나타낸다.

표 1 파괴형태의 실험결과 및 각 모델에 의한 예측결과

구분	항복강도, MPa	철근호칭	에너지, MJ/m ³	
			계측값	평균
1	300	D16	78.3	74.1
2		D19	63.5	
3		D22	80.5	
4	400	D16	72.1	73.5
5		D19	69.6	
6		D22	78.9	
7	500	D16	43.4	48.8
8		D19	56.8	
9		D22	46.1	

3. 결론

철근의 항복강도와 철근의 크기를 변수로 국내에서 사용되는 심부구속철근에 대한 반복실험을 수행하여 본 실험적 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험적 연구에 의하면 심부구속철근에 대한 반복실험의 결과는 변형률 거동 및 에너지 성능의 측면에서 단순인장 실험의 결과와 유사하다. 응력-변형률의 형태도 탄성구간, 항복 및 소성구간, 변형경화 구간, 연화구간으로 나타나 단순인장의 형태와 유사하다. 항복변형률, 변형경화의 시작 변형률, 파단변형률 등도 단순인장의 경우와 유사하다.

2. 응력-변형률 곡선에 의한 에너지를 산정하였으며 300MPa과 400MPa의 철근의 경우에 에너지의 평균은 약 74 MJ/m^3 로서 Mander 등이 제안했던 110 MJ/m^3 의 67%정도를 나타낸다. 500MPa의 철근의 경우에 에너지의 평균은 약 49 MJ/m^3 로서 매우 작게 계측되었다. 한정된 실험체 개수에 대한 결과이기는 하지만 현재 국내에서 사용되는 철근에 대한 품질관리가 요구된다고 판단되며 현재 횡방향철근으로 사용되지는 않고 있으나 사용에 대한 의견이 제기되고 있는 500MPa의 철근에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 교량설계핵심기술연구단의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Mander, J. B., Priestley, M.J.N., and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, 1988, pp. 1804-1826.
2. Mander, J. B., Panthaki, F.D., and Kasalsanati, A., "Low Cycle Fatigue Behavior of Reinforcing Steel," ASCE, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 6, No. 4, 1994, pp. 453-468.
3. 고성현, 이재훈, "반복하중에 의한 축방향철근 및 횡방향철근의 변형률 거동에 대한 실험적 연구", 한국토목학회 정기 학술발표회논문집, 2006년 10월.