

철근콘크리트 보의 스티럽응력

Stirrup Stress in Reinforced Concrete Beams

김 주 영*
Kim, Ju Young

박 경 호**
Park, Kyung Ho

ABSTRACT

There is still a lack of knowledge and modelling relating to shear behaviour in reinforced concrete beams. The reason is that shear loading leads to complicated physical mechanisms, such as interlock action, dowel action, etc. Therefore, It is difficult that we make the ideal model of shear behaviour, while Truss model theory has been made good use of shear design because of 'simplicity and reasonableness.

In this study, 6 T-type reinforced concrete beams were designed and made based on the two truss models, i.e, the plasticity truss model and the compatibility truss model, to observe shear strength of concrete and stress distribution of stirrups.

6 beams test pieces were tested with the following testing parameters.

1) specified concrete strength ; 270kg/cm², 400kg/cm² 2) with and without the steel fiber.

1. 서론

최근, 철근콘크리트 보의 전단거동은 많은 연구가 수행되었음에도 불구하고 재하시 전단거동에 영향을 미치는 변수들이 많고, 서로 다른 성질을 가진 콘크리트와 철근과의 상호작용이 매우 복잡하므로 철근콘크리트 보의 전단거동에 관해서 아직까지 명확하게 규명되지 않은 부분이 많다. 전단에 대한 트러스 이론은 1899년 Ritter가 트러스 모델을 사용하여 균열이 발생한 철근콘크리트 보에서 인장철근은 트러스의 하현재, 보의 휨압축 영역은 상현재로 작용하며, 전단보강근은 복부의 인장재, 균열사이의 콘크리트는 압축재로 작용하는 개념으로 출발하였으며, 그 이후에도 많은 이론들이 발전해왔다.

그럼에도 불구하고, 전단거동을 이론화하는 것은 여러 가지 기여요소와 전단-스팬비에 따라 그 거동이 다르기 때문에 합리적이고 이론적인 모델을 수립하는 데는 상당한 어려움이 산재해 있다. 따라서, 본 연구에서는 전단설계를 위해 트러스이론을 바탕으로, 소성트러스 모델(Plasticity Truss model)과 컴패티빌리티 트러스모델(Compatibility Truss model)의 두 가지 종류를 바탕으로 설계한 T형보의 콘크리트 전단강도와 스티럽응력분포의 특성에 대한 실험연구를 실시하여 기존의 이론과 상호 비교 검토함으로써 철근콘크리트보의 스티럽응력에 대한 특성을 규명하고자 한다.

* 정회원, 강원대학교 석사과정졸업

** 정회원, 강원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험

2.1 시험체계획

철근콘크리트 보의 스테이션용력을 연구하기 위하여, 시험체들은 다음의 주요 실험변수를 고려하였다.

① 콘크리트의 압축강도 : 270 kg/cm², 400 kg/m², ② 강섬유 보강(혼입률) : 1 %

시험체는 콘크리트의 압축강도에 따라 2개의 시리즈로, 그리고 강섬유를 1% 첨가한 시험체를 1개의 시리즈로 제작하여, 총 6개의 시험체를 제작하였다. 각 변수에 따른 T형보 각 시험체별 일람표 및 상세도는 다음과 같다.

표 1 각 시험체별 일람표

Test Beam	concrete grade (kg/cm ²)	T형보 단면			Steel Fiber
		폭(mm)	춤(mm)	플랜지(mm)	
PT-CB-270	270	200	600	600	無
CT-CB-270	270	200	600	600	無
PT-CB-400	400	200	600	600	無
CT-CB-400	400	200	600	600	無
PT-FB-400	400	200	600	600	有
CT-FB-400	400	200	600	600	有

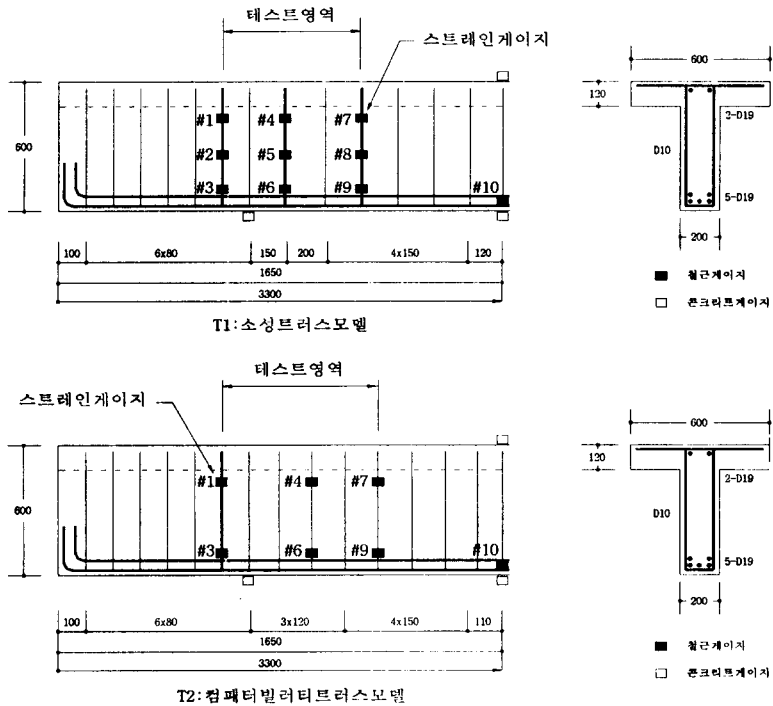


그림 1 시험체 상세도

2.2 시험체제작

시험체의 거푸집은 요구되는 치수로 일정하게 제작하였으며, 주근은 SD 40의 D19, 또 스티럽은 SD 40의 D10 이형철근을 사용하였다. 철근은 실험실에서 전기 절단기로 요구되는 치수에 따라 절단한 후 피복두께, 구부림 각 등의 제한에 맞추어 조립하였다.

2.3 시험체의 설치 및 측정방법

본 실험에서 철골조 가력 프레임에 200t 용량의 로드 셀을 통하여 2점가력 하였으며, 디지털 트랜듀서(Digital Transducer)는 가력점인 T형보의 중앙부분에 설치하여 보의 처짐을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균열 및 파괴형상분석

3.1.1 휨균열

모든 시험체에서 초기에 하중이 증가하면서 중앙부와 가력점 하부 사이에서 수직으로 균열이 발생하였다. 콘크리트 강도 270kg/cm² T형보는 휨균열이 극한하중의 평균 34.6%에서 나타났으며, 배근이 다른 두 시험체의 휨균열 형태는 유사하게 나타났다. 콘크리트 압축강도 400kg/cm² T형보는 휨균열이 극한하중의 평균 20.9%에서 나타났으며, 강섬유를 첨가한 콘크리트 압축강도 400kg/cm² T형보는 휨균열이 극한하중의 평균 19.05%에서 나타났다. 특히 강섬유를 첨가한 콘크리트의 강도가 400kg/cm²인 T형보에서는 사인장균열이 발생한 후 휨균열이 압축플랜지 부분에 나타나기 시작했다.

3.1.2 사인장균열 및 파괴형태

콘크리트 압축강도 270kg/cm² T형보는 극한하중의 평균 54.95%에서 시험체의 사인장균열이 발생하였으며, 콘크리트 압축강도 400kg/cm² T형보는 사인장균열이 극한하중의 평균 48.25%에서 발생하였으며, 강섬유를 첨가한 콘크리트 압축강도 400kg/cm² T형보는 극한하중의 55.95%에서 사인장균열이 발생하였다. 45° 균열을 유도하기 위한 배근을 한 소성트러스 모델은 거의 45° 에 가까운 사인장 균열 경사를 나타내었으나, 컴패터빌리티 트러스모델은 32° 의 균열보다는 35~38° 정도의 사인장균열 경사를 나타내었다. 특히 강섬유를 첨가한 콘크리트 압축강도가 400kg/cm² T형보에서는 사인장 균열이 나타나서부터 진행되는 속도가 다른 시험체에 비해 다소 늦어지는 양상을 보였다.

표 2 각 시험체별 초기 휨균열하중, 사균열하중 및 극한하중

Test Beam	P_{cb} (ton)	P_{cr} (ton)	P_u (ton)	P_{cb}/P_u (%)	P_{cr}/P_u (%)
PT-CB-270	19.4	36	60.9	31.8	59.1
CT-CB-270	22	30	59	37.3	50.8
PT-CB-400	18	36	76.7	23.5	46.9
CT-CB-400	14.5	39	78.6	18.4	49.6
PT-FB-400	16	49	83.9	19	58.4
CT-FB-400	16	45	84.1	19.2	53.5

3.2 하중-처짐관계

시험체에 나타난 처짐현상은 콘크리트의 강도가 증가하면서 처짐곡선의 기울기가 크게 나타났으며, 사균열이 발생하기까지는 거의 선형거동을 하다가 사균열 발생 후 부재의 처짐이 증가하기 시작하여 극한강도에 도달하였다. 강섬유를 첨가한 시험체를 제외하고, 콘크리트의 압축강도가 270kg/cm², 400kg/cm²인 시험체에서 급격한 하중저하와 함께 처짐이 증가하는 취성파괴를 보였다. 연성능력을 보강하기 위한 강섬유 시험체에서는 극한하중까지의 파괴시간이 지연되었을 뿐만 아니라, 처짐도 감소하였다. 콘크리트의 압축강도가 증가하면서, 처짐곡선의 기울기가 크게 나타났으며, 이는 콘크리트의 압축강도가 증가하면서 취성적인 특성을 나타낸 것이다. 또한 배근을 달리한 두 시험체를 비교해보면, PT 시험체가 CT 시험체보다 기울기가 크게 나타났다. 그림 2는 각 시험체별 하중-처짐관계이다.

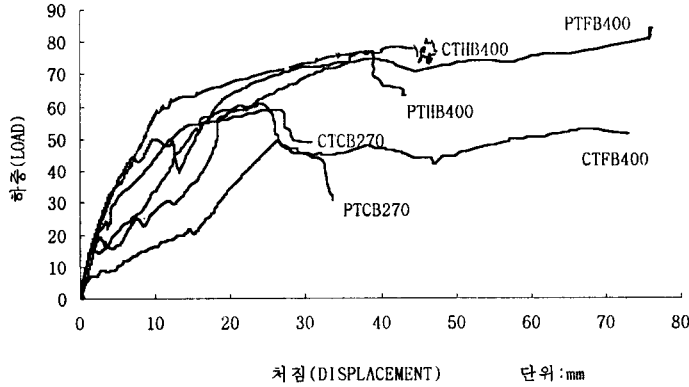


그림 2 각 시험체별 하중-처짐관계

3.3 전단강도

각 시험체별 사균열 전단강도와 극한 전단강도는 표 3과 같다. 실험결과 PT 시험체가 CT 시험체보다 사균열전단강도는 높은 것으로 나타났다. 하지만 극한전단강도에서는 차이가 없었다.

표 3 각 시험체별 사균열 전단강도와 극한 전단강도 P_{cr}

Test Beam	P_{cr} (ton)	P_u (ton)	v_{cr} (kg/cm ²)	v_u (kg/cm ²)
PT-CB-270	36	60.9	35.64	60.29
CT-CB-270	30	59	29.70	58.41
PT-CB-400	38	76.7	37.62	75.94
CT-CB-400	39	78.6	38.61	77.82
PT-FB-400	49	83.9	48.52	83.07
CT-FB-400	45	84.1	44.55	83.27

3.4 스테럽의 변형분포

낮은 하중에서는, 컴패터빌리티 트러스모델과 유사한 32°의 사선균열을 가지며, 스테럽응력은 압축측에서 인장측으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 전단균열을 유도하기 위한 과다인장철

근의 배근으로 그 차이가 현저히 드러나지는 않았고, 또한 콘크리트의 압축대의 경사균열도 두 모델을 비교했을 때 많은 차이를 나타내진 않았다.

콘크리트의 압축강도 변화에 따른 스테럽변형 역시 현저한 차이를 보이진 않았다. 따라서 콘크리트 강도 차이가 270~400kg/cm²일때는 스테럽변형에 미치는 영향이 그다지 크지 않다는 사실을 알게 되었다. 강섬유를 첨가한 시험체에서는 연성증가로 인한 균열이 지연되었지만, 스테럽의 변형에 미치는 영향은 콘크리트의 강도가 동일한 시험체일 경우, 비슷한 양상을 보였다. 따라서 강섬유는 콘크리트의 압축강도가 동일할 경우, 균열을 다소 억제하지만 스테럽의 변형에 미치는 영향은 크지 않았다.

3.5 기존 이론과의 비교분석

다음은 기존 이론과의 비교분석을 표로 나타낸 것이다.

표 4 기존이론과의 비교분석

실험체명	ACI	Zsutty		실험값		실험치/계산치		
	v_{ca}	v_{cz}	v_{uz}	v_{cr}	v_u	v_{cr} / v_{ca}	v_{cr} / v_{cz}	v_u / v_{uz}
PT-CB-270	37.44	11.86	12.50	35.64	60.29	0.95	3.00	4.82
CT-CB-270	37.44	11.86	12.50	29.70	58.41	0.79	2.50	4.67
PT-HB-400	44.23	13.53	14.25	37.62	75.94	0.85	2.78	5.32
CT-HB-400	44.23	13.53	14.25	38.61	77.82	0.87	2.85	5.46
PT-FB-400	44.23	13.53	14.25	48.52	83.07	1.09	3.58	5.82
CT-FB-400	44.23	13.53	14.25	44.55	83.27	1.00	3.29	5.84

v_{ca} : ACI 규준식에 의한 사균열 전단강도
 v_{cz} : Zsutty의 제안식에 의한 사균열 전단강도
 위에서 v_{uz} : Zsutty의 제안식에 의한 극한 전단강도
 v_{cr} : 실험에 의한 사균열 전단강도
 v_u : 실험에 의한 극한 전단강도

3.5.1 사균열전단강도

콘크리트의 압축강도가 270kg/cm² 시리즈를 제외하고는, 비슷한 사균열전단강도를 나타내었다. 콘크리트의 압축강도가 400kg/cm² 시리즈는, 강섬유를 보강하지 않은 시험체나 보강한 시험체 모두 비슷한 전단강도를 나타내었다. 이는 강섬유로 인한 연성증가는 있었지만, 전단강도에는 영향이 없다는 사실을 확인할 수 있다. 특히, 실험에 의한 전단강도는 콘크리트의 압축강도가 270kg/cm² 시리즈인 시험체에 비하여, 콘크리트 압축강도가 400kg/cm² 시리즈는 사균열전단강도가 16.7%~42.4% 증가하였다.

3.5.2 극한전단강도

ACI 규준식에는 극한전단강도식이 없기 때문에, Zsutty식만을 비교하였고, 실험에 의한 전단강도는 콘크리트의 압축강도가 270kg/cm² 시리즈에 비하여, 콘크리트의 압축강도가 400kg/cm² 시리즈는 극한전단강도가 29.53%~40.1% 증가한 것으로 나타났다. 또한, 콘크리트의 압축강도가 400kg/cm² 시리즈는, 강섬유로 보강하지 않은 시험체나 보강한 시험체 모두 비슷한 전단강도를 나타내었다. 그림 3과 그림 4는 사균열전단강도와 극한전단강도를 시험체별로 비교해 놓은 것이다.

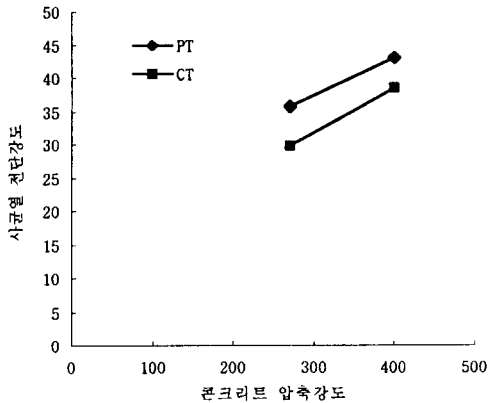


그림 3 콘크리트 압축강도에 따른 사균열전단강도

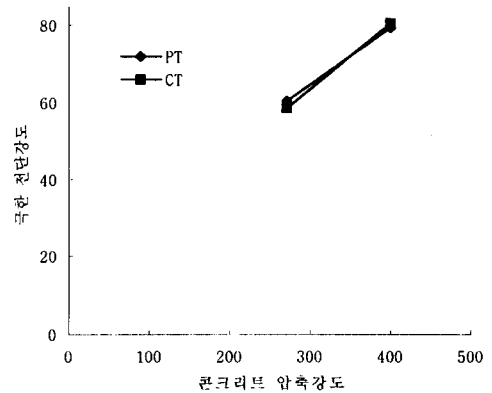


그림 4 콘크리트 압축강도에 따른 극한전단강도

4. 결론

본 연구에서 철근콘크리트 T형보를 대상으로 콘크리트의 압축강도 270kg/cm², 400kg/cm², 그리고 취성적인 전단파괴를 방지하기 위해 연성증대를 목적으로 한 강섬유를 첨가한 T형보의 전단강도와 스테리움력을 실험을 통하여 분석·고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트의 압축강도가 270kg/cm²에서 400kg/cm²으로 증가하면서 콘크리트의 극한전단강도는 29.5%~40.1% 증가했다.
- 2) 강섬유는 콘크리트 전단강도에는 영향을 미치지 않았으나, 사인장 균열이 발생하면서, 장부작용과 골재의 맞물림작용과 함께 균열을 지연시키는 효과를 보였다.
- 3) 균열의 경사각은 소성트러스모델에서와 같이 45° 각도보다는 오히려 35°~40° 각도를 가지는 균열양상을 보였다. 따라서 트러스 이론에서 컴패터빌리티 트러스모델과 유사한 경사각을 보임으로서, 실제 균열에서는 소성트러스보다는 컴패터빌리티 트러스이론에 가깝게 나타났다.
- 4) 스테리움력은 일반적으로 스테리움 길이방향에서 압축철근보다는 인장철근에 가까운 부분이 응력이 더 클 것으로 예상했으나, 아주 작은 차이로 인해서 거의 유사하게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 조수제, "철근콘크리트 보의 전단거동에 대한 실험적 연구", 부산대학교, 대한건축학회 춘추학술발표대회논문집, 1997. 4. 17(1), 33, pp.547-552
2. 이광희, "고강도 콘크리트 보의 전단성능에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘추학술발표대회논문집, 1996. 10. 16(2), 32, pp.575-580
3. 염동우, "전단보강이 없는 고강도 철근콘크리트 짧은 보의 전단강도에 대한 크기효과", 강원대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문, 1996. 2.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95)," American Concrete Institute, Detroit, 1995, 111 pp.