

T형 모듈단면 합성 프로파일보의 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Behavior of T-type Modular Composite profiled Beams

안형준¹⁾ · 이성원²⁾ · 류수현³⁾
Ahn, Hyung Joon · Lee, Seong Won · Ryu, Soo Hyun

요약: 본 연구는 기존에 발표된 T형 모듈단면 프로파일보의 적용가능성을 확인하기 위해 실험체를 제작하고 전단보강 유무에 따른 휨 및 전단거동을 측정하여 그 결과를 소성이론식과 비교 분석하였다. 모듈단면 프로파일보는 프로파일이 거푸집기능에 추가하여 휨 및 전단저항성능에 기여하고 모듈개념을 통해 성형성능을 향상시킨다. 실험결과 전단보강을 실시한 TS계열 실험체가 전단보강이 없는 T계열 실험체에 비해 우수한 휨저항 능력을 나타내 사용된 전단보강재는 적절하게 전단력을 분담하고 있는 것으로 파악되었으나 T1-1실험체를 제외한 모든 실험체에서 볼트의 전단파괴에 의한 모듈간 슬립현상이 발생되어 휨저항 성능이 충분히 발휘되지 못한 것으로 판단된다. 추후 전단연결재를 변수로 한 T형 모듈단면 프로파일보에 관한 연구를 통해 적절한 모듈간 접합방법이 연구 되어져야 할 것으로 판단된다.

ABSTRACT: This study aims to determine the applicability of the previously published T-type modular profile beam in the manner of producing specimens designed specially for the said purpose, determining their bending and shear behaviors depending on the presence of shear reinforcement, and analyzing the results in comparison with the theoretical equation of plastic deformation. The modular profile beam contributes to bending and shear resistance with the addition of the profile to the form function, and enhances the molding performance through the modular concept. The experimental results showed that the TS series specimens with shear reinforcement have bending behaviors superior to those of the T series specimens without shear reinforcement, which suggests that the used shear reinforcement appropriately bears the shear force. However, it was considered that all the specimens except for the T1-1 specimen failed to have adequate bending performance because of the intermodular slipping caused by the shear failure of the bolts. It is expected that further studies on the T-type modular profile beam, in which shear connectors will be considered as a variable, be performed to develop optimal intermodular connection methods.

핵심용어: T형, 모듈, 프로파일보, 합성, 전단보강

KEYWORDS: T-type, Modular, profile beams, composite, shear reinforcement

1. 서론

모듈단면 합성 프로파일보(이하 MPB)가 국내의 기존 연구들(김상섭 등, 2004)과 차별되는 개념은 첫째, 기존 목재거푸집을 대체할 박판강재거푸집 개념을 도입하여 거푸집 기능 이외에 휨 및 전단 성능 향상에 기여할 수 있게 하였고 둘째, 모듈단면의 개념을 도입하여 단순화된 모듈을 조립하면 원하는 크기의 부재를 자유롭게 성형할 수 있게 하였으며 셋째, 필요한 부위에 필요한 양만큼 보강을 실시하여 휨내력을 확보하는 개념을 도입하였다. 본 연구자는 이러한 MPB보의 성능을 파악하기 위한 일련의 연구(류수현 등, 2005, 2006)

를 수행하였으며 이전의 연구에서는 모듈간 두께가 다른 T형 MPB(이하 TMPB)의 휨 거동에 대하여 합성보의 소성거동을 가정한 이론식을 제안하였고 또한 실험체를 제작 실험을 진행하여 적용가능성을 확인하였다.(안형준 등, 2008) 그러나 보의 특성상 휨과 전단력이 동시에 작용하며 전단스팬비 또는 하중의 크기에 따라 전단력이 보에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 휨과 더불어 전단거동에 대한 이해도 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구는 TMPB에 보의 일반적인 전단보강 형태인 스티럽의 사용 유무에 따른 휨 및 전단거동 특성을 파악하기 위하여 실험을 실시하고 결과를 이론값과 비교분석하였

1) 정회원, 건국대학교 건축공학부 교수, 공학박사(ahnhyung@konkuk.ac.kr)
2) 정회원, 건국대학교 대학원 박사수료(l650301@hanmail.net)
3) 교신저자, 정회원, 삼육대학교 건축학과 교수, 공학박사
(Tel. 02-3399-1850, Fax. 02-3399-1857, Email : ryu129@hanmail.net)

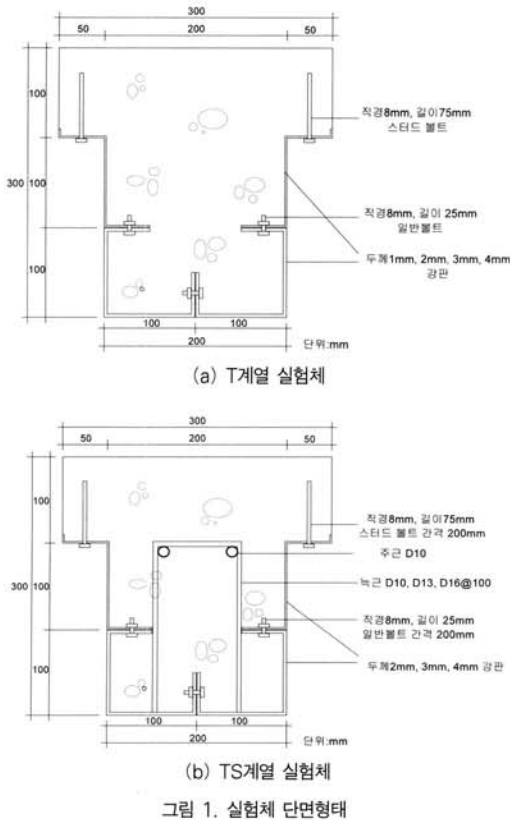
본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회담을 게재하겠습니다.

으며 이를 통해 TMPB의 적용가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 실험체

TMPB의 거동을 조사하기 위하여 본 연구에서 제안된 실험체의 자세한 단면형상은 그림 1과 같다.



강관의 두께는 1mm, 2mm, 3mm, 4mm의 네 종류로 제작하였고 보의 폭과 높이 및 길이는 모두 일정하게 하였으며 그림 1에 나타나 있다. 모듈간 결합은 직경 8mm 길이 25mm의 일반볼트를 200mm간격으로 배치하였으며 플랜지 콘크리트와 상부모듈의 전단연결재로 직경 8mm 길이 75mm의 일반볼트를 200mm 간격으로 배치하였다. 전단보강철근은 TS-2,3,4 실험체에 각각 D10, D13, D16의 철근을 사용하여 200mm 간격으로 고르게 배근하였다. 표 1에는 각 실험변수에 따른 실험체별 상세를 나타냈다. 그림 2에는

실험체 제작 사진을 나타냈다.

표 1. 실험체 계획 및 변수

실험체명	강관두께 (mm)	전단보강근	스터드/볼트간격	주근
T1-1	1	-	200	-
T2-2	2	-	200	-
T3-3	3	-	200	-
T4-4	4	-	200	-
TS2-2	2	D10@100	200	2-D10
TS3-3	3	D13@100	200	2-D10
TS4-4	4	D16@100	200	2-D10

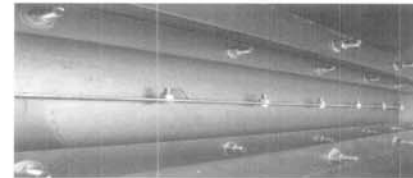
TS1-1
 └─ 하부 모듈 두께
 └─ 상부 모듈 두께
 └─ 늑근 전단보강 유무
 T: 무보강 TS: 보강



(a) 거푸집 제작



(b) 전단보강



(c) 모듈접합부

그림 2. 실험체 제작 사진

2.2 가력 및 측정 방법

실험체의 지지점은 단순보 상태를 유지하기 위하여 한쪽은 회전지점, 다른 한쪽은 이동지점으로 만들었으며, 유압잭의 두부에 하중계(Load Cell)를 부착하여 자동변형도 측정기(TDS-601A)로 측정값을 기록하였다. 실험체의 가력은 그림

3과 같이 490kN 시험기를 사용하여 2점가력 하였으며 변위를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 중앙하부 좌우에 각각1개의 변위계(LVDT 1, 2)을 설치하였다. 스트레인게이지(Strain Gauge)는 상부모듈과 하부모듈 측면에 각각 상, 중, 하 6개소와 플랜지 밑면 및 하부모듈 밑면에 부착하였다. 실험체의 전단거동을 파악하기 위하여 지점으로부터 300mm 안쪽 상부모듈 중앙에 로제트게이지를 부착하여 전단변형도를 측정하였다. 또한 보 중앙 상부와 측면 상, 중, 하 3개에 콘크리트 게이지를 부착하여 압축측 콘크리트의 거동을 파악하였다.

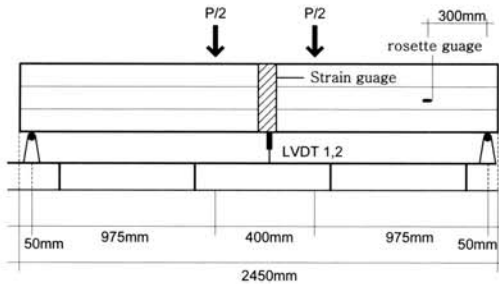


그림 3. 측정 위치 및 스트레인 게이지 부착위치

2.3 소재 실험

2.3.1 콘크리트 압축강도 실험

본 실험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도가 21MPa이며 현장타설 후 양생하였다. KS F 2403에 따라 제작한 공시체는 실험과 동일한 조건에서 양생하였으며, 콘크리트 압축강도 시험결과는 평균 21.73MPa를 얻었다. 표 2에 콘크리트 배합비를 나타내었다.

표 2. 콘크리트의 배합비

설계 강도 (MPa)	W/C (%)	슬럼프 (mm)	단위 골재량 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
21	52	150	144	337	931	879

W : 물 C : 시멘트 S : 잔골재량 G : 굵은골재량

2.3.2 강재의 인장강도 실험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801 규정에 따라 시험편을 만들어 KS B 0802의 금속재료 인장시험방법에 따라 980KN 용량의 시험기를 사용하여 인장강도시험을 실시하였다. 본 실험에 사용된 시험편은 KS D 3503의 압연강판과 철근으로 두께에 따라 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm와

4.0mm으로 직경에 따라 D10, D13, D16으로 나뉘며 각각 2개씩 실험체에서 절취하여 시험편을 제작하였고, 변형도는 정밀도 향상을 위해 각 시험편에 상, 중, 하 각각 3개소에 스트레인 게이지를 부착하여 최대값을 측정하였다. 표 3에 강재의 인장강도 시험결과를 나타냈다.

표 3. 강재의 인장강도 시험결과

시험편	F_y	F_u	E	ϵ_y	$\frac{F_y}{F_u}$	연신율 (%)
1mm	312.0	388.6	185678	1937	0.80	36.4
2mm	361.7	393.1	191094	1895	0.89	34.4
3mm	355.1	393.2	189218	1963	0.90	35.2
4mm	345.1	448.5	196248	2398	0.77	31.4
D10	552.6	677.4	200382	3435	0.82	20.6
D13	528.8	623.5	210315	3491	0.85	21.3
D16	552.6	691.8	201644	3247	0.82	21.4

F_y :항복강도(MPa), F_u :인장강도(MPa), ϵ_y :항복변형도($\times 10^{-6}$), E:탄성계수(MPa), F_y/F_u :항복비

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴 성상

T계열 실험체는 그림 4 a), b)에 나타난 바와 같이 최대하중 이후 보의 처짐이 증가하면서 상부 좌측 또는 우측 하중점 부위에서 하부 지점 부위를 향해 사인장 균열이 발생하였고 이 균열이 점차 증가하여 파괴에 도달하는 현상이 나타났다. 사인장 균열이 심화되면서 모듈간 분리현상이 나타났으며 측면강재의 국부적인 좌굴현상도 발생하였다. 이는 모두 처짐이 진행된 최대하중 이후에 발생하였으며 하중의 감소에 원인이 됨으로 연성이 극대화 되는 소성고원현상을 감소시켰다. 전단 보강을 한 TS계열 실험체는 그림 4 c), d)에 나타난 바와 같이 모든 실험체가 T계열과 다르게 보 중앙 상부 콘크리트에 압축파괴 현상이 발생하여 실험체가 파괴되었으며 이는 전단 보강에 의한 효과로 판단된다. 사인장균열이 발생하지 않았으며 모듈간의 분리현상이 발생 하였으나 T계열과 비교하여 측면판이 큰 변형도 분포를 나타내 연성적으로 T계열에 비해 TS계열이 우수한 성능을 나타냈다.

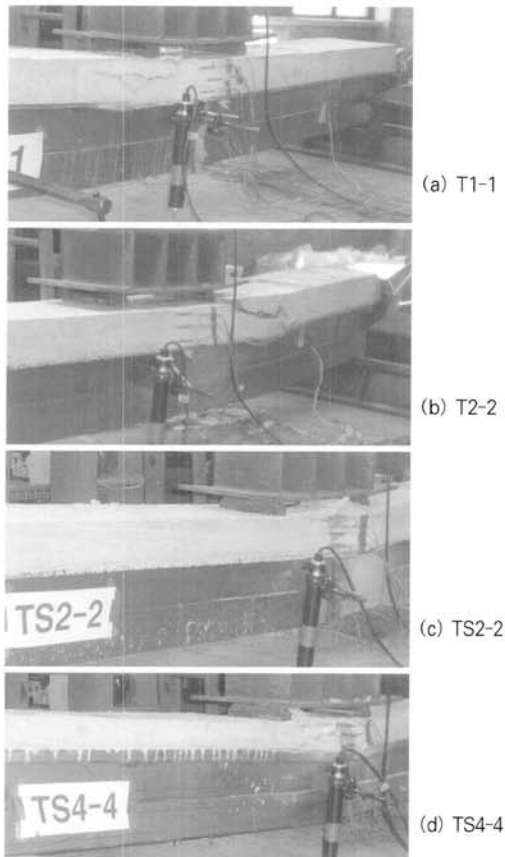


그림 4. 실험체별 파괴성상

3.2 하중-변위 및 하중-변형도 곡선

3.2.1 하중-중양부 변위

그림 5는 각각 T계열과 TS계열의 하중-변위 곡선을 나타낸다. T1-1은 초기강성을 유지하다 이후 강성 저하와 함께 지속적으로 변위가 증가하여 최대하중에 도달하는 전형적인 소성 거동 양상을 나타냈으며 최대하중 이후 모듈간 슬립에 의한 하중저하 현상이 발생하였다. 이러한 연성거동은 실험체의 스케일에 따른 적절한 두께의 프로파일 사용은 전단 보강에 효과적인 것으로 판단된다. T2-2 실험체는 뚜렷한 강성저하 현상 없이 최대하중이후 급격한 내력감소를 나타냈으며 T3-3, T4-4 실험체는 초기강성을 유지하다 최대하중의 80% 전후에 급격한 강성의 저하를 보이며 최대하중에 도달하였다. 이후 소성고원 현상없이 급격한 하중저하 현상이 나타났다. TS계열은 모든 실험체가 T계열에 비해 최대하중까지 급격한 강성저하 현상을 보이지 않으며 최대하중 이후 소성고원현상을

나타내지 않고 변형이 증가하며 완만한 하중저하현상이 나타났다.

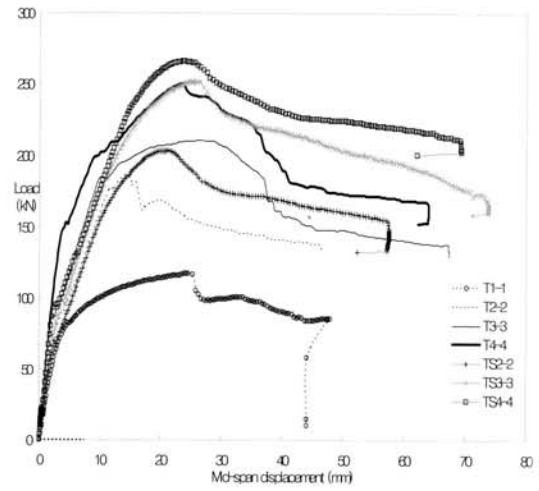


그림 5. 하중-중양부 변위

3.2.2 콘크리트 상부 하중-변형도

그림 6는 콘크리트 상부 중앙의 하중-변형도 곡선이다. T1-1과 TS계열은 하중증가에 따라 압축 변형도가 3000×10^{-6} 을 상회하였으며 T3-3, 4-4는 변형도 3000×10^{-6} 을 초과하지 못했다. 특히 T2-2는 변형도가 2000×10^{-6} 을 초과하지 못했다.

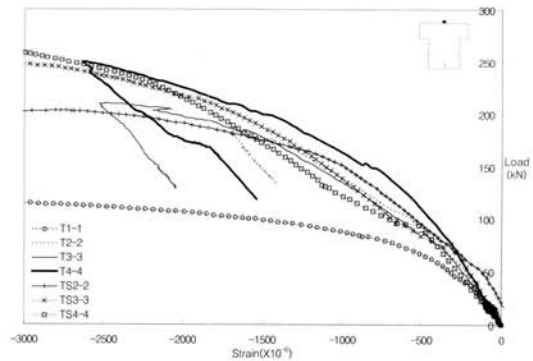


그림 6. 콘크리트 상부 하중-변형도

3.2.3 콘크리트 측면 상부 하중-변형도

그림 7은 콘크리트 측면 상부의 하중-변형도 곡선이다. T1-1은 상부에 비해 변형도가 매우 작으며 이는 중립축이 콘크리트에 있기 때문이다. T4-4는 상부에 비해 최대 하중시

변형도가 500×10^{-6} 정도 감소하였으며 기타 실험체는 상부와 유사하게 변형도 3000×10^{-6} 을 상회하는 양상을 나타냈다.

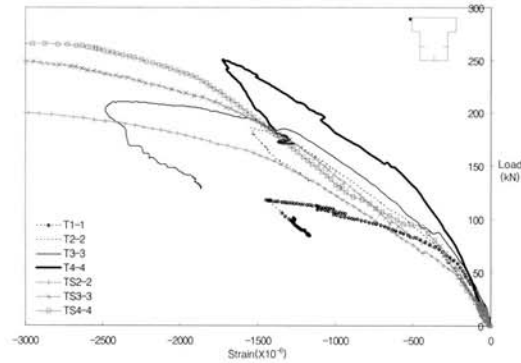


그림 7. 콘크리트 측면 상부 하중-변형도

3.2.4 콘크리트 측면 중앙 하중-변형도

그림 8은 콘크리트 측면 중앙의 하중-변형도 곡선이다. T1-1은 탄성거동 후 소성화 하면서 중립축이 상부로 이동하며 따라서 측면 중앙부는 압축거동 후 변곡하여 인장거동한다. 기타 T계열은 압축변형도 1500×10^{-6} 내외를 나타내 내력 증가에 충분히 기여하지 않음을 알 수 있다. T계열에 대응되는 TS계열은 변형도 2500×10^{-6} 이상을 나타냈다.

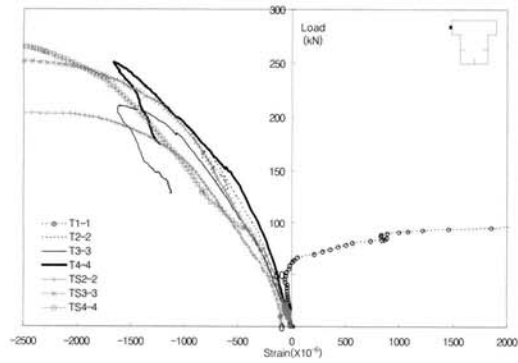


그림 8. 콘크리트 측면 중앙 하중-변형도

3.2.5 콘크리트 측면 하부 하중-변형도

그림 9는 콘크리트 측면 하부의 하중-변형도 곡선이다. T1-1은 중앙부 게이지와 유사하게 초기에 압축거동 후 변곡하여 인장거동을 하였다. T2-2, 3-3은 압축변형도 1000×10^{-6} 내외를 나타내 파괴변형도에 도달하지 못하였으며 내력 증가에 충분히 기여하지 않음을 알 수 있다. TS계열은 T계

열보다 크게 나타나 변형도 2000×10^{-6} 내외를 나타내 압축측 콘크리트가 내력증가에 기여하고 있음을 알 수 있다.

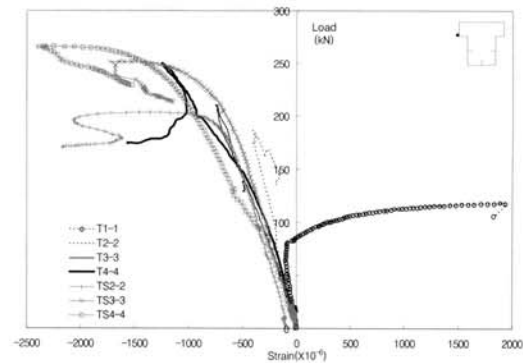


그림 9. 콘크리트 측면 하부 하중-변형도

3.2.6 플랜지 밑면 하중-변형도

그림 10은 플랜지 밑면 강재의 하중-변형도 곡선이다. T1-1 실험체는 중립축 하부 인장역으로 인장 변형도를 나타내며 최대하중시 항복변형도에 도달하지 못하고 변형도 1000×10^{-6} 정도를 나타냈다. 기타 실험체는 압축영역에 속하며 하중-중앙 변위 곡선과 유사한 양상을 나타내며 최대하중에 도달할 때는 항복하지 않았다.

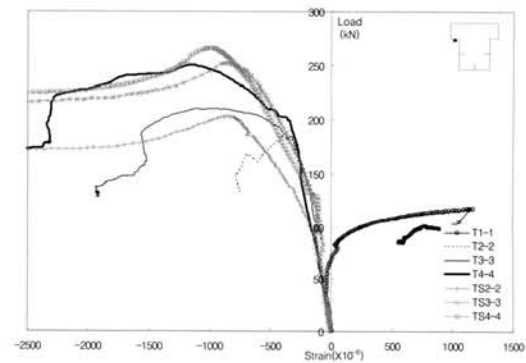
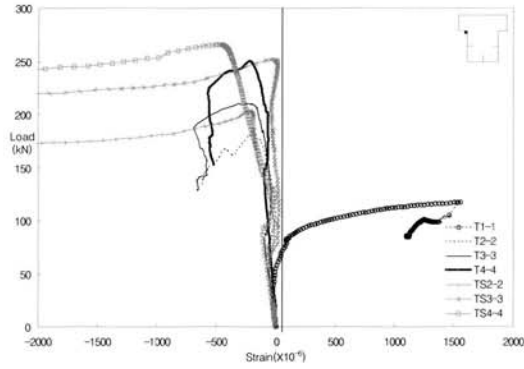


그림 10. 플랜지 밑면 강재 하중-변형도

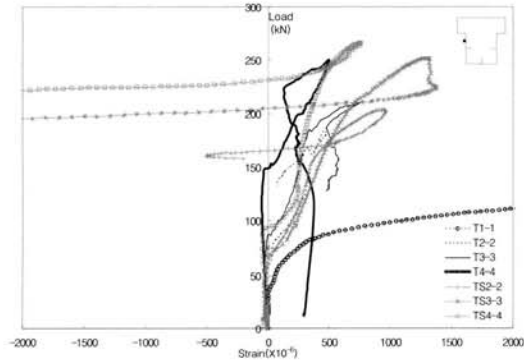
3.2.7 측면 상부 모듈 하중-변형도

그림 11은 측면 상부모듈의 하중-변형도가 나타나 있다. T1-1을 제외하고 TS계열이 대응되는 T계열보다 큰 변형도 분포를 나타내고 있다. 전단보강근의 전단력 부담에 의해 모듈의 휨저항능력이 향상됨을 알 수 있다. 상부모듈 상부에서 T1-1은 중립축 하부에 위치하므로 인장거동하며 T계열은 변

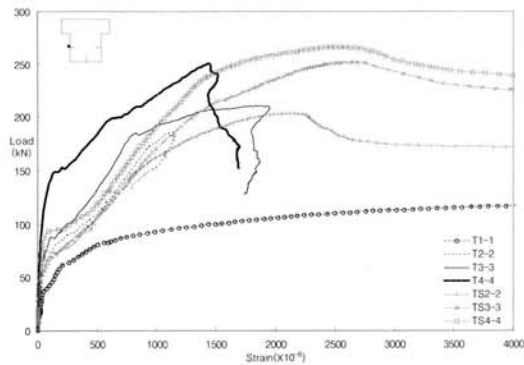
형도 1000×10^{-6} 이하로 거동하나 TS계열은 항복변형도 이상으로 거동하였다. 상부모듈 중앙은 TS계열의 모듈간 분리현상에 의해 인장에서 압축으로 변곡하여 거동함을 확인 할 수 있다. 상부모듈 하부 또한 TS계열이 T계열에 비해 지속적인 인장 거동을 하여 휨 내력에 기여하고 있음을 확인 할 수 있다.



(a) 상부모듈 상단



(b) 상부모듈 중앙

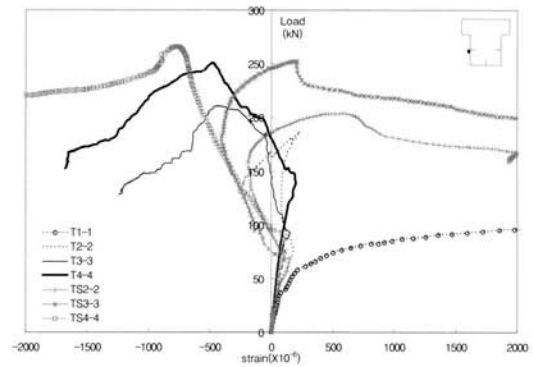


(c) 상부모듈 하단

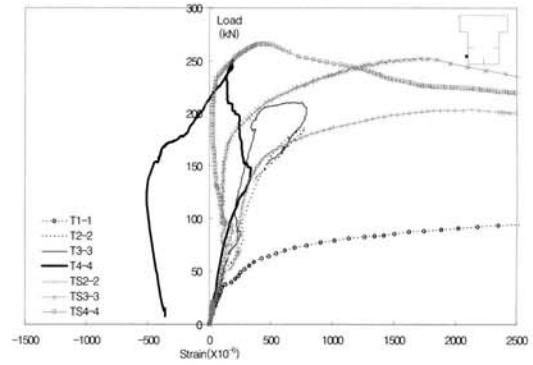
그림 11. 상부모듈 하중-변형도

3.2.8 측면 하부 모듈 하중-변형도

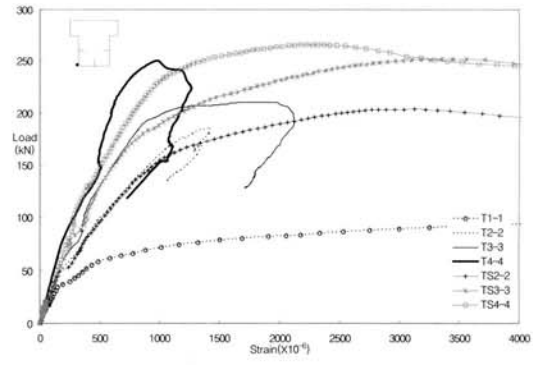
그림 12에 측면 하부 모듈의 하중-변형도가 나타나 있다.



(a) 하부모듈 상단



(b) 하부모듈 중앙



(c) 하부모듈 하단

그림 12. 하부모듈 하중-변형도

상부모듈과 같이 T1-1을 제외하고 TS계열이 대응되는 T계열보다 큰 변형도 분포를 나타내고 있으며 전단보강근의 전단

력 부담에 의해 모듈의 휨저항능력이 향상됨을 알 수 있다. 상부는 T1-1이 지속적으로 인장거동을 하고 있으며 나머지 T계열은 초기 인장거동 후 변곡하여 압축거동을 나타내고 있으며 이는 모듈간 분리현상에 의한 것으로 판단된다. TS계열 TS2-2, 3-3 실험체는 초기 인장거동 후 변곡하여 압축거동을 하고 다시 최대하중 부근에서 변곡하여 인장거동 하는 복잡한 양상을 나타내고 있으며 이는 초기 슬립이 발생하여 압축이 진행되다가 콘크리트와 볼트의 기계적 부착으로 인해 슬립이 감소되어 다시 인장 거동한 것으로 판단된다. 그러나 TS4-4 실험체는 인장거동 후 변곡하여 압축거동을 지속하며 슬립이 계속진행된 것으로 나타났다. 이러한 현상은 결합체의 결합력에 좌우됨을 알 수 있다. 중앙부는 T1-1은 지속적 인장거동을 하며, T2-2, 3-3은 변형도 1000×10^{-6} 이하로 거동하며 T4-4는 인장거동 후 하중 180kN에서 변곡하여 최대하중 후 압축거동 하였다. TS계열은 초기에는 낮은 변형도를 보이다 급격히 인장 거동 하였다. 하부는 T1-1 및 TS계열은 지속적 인장거동을 하며 다른 T계열은 인장변형도 2000×10^{-6} 이하로 거동하였다.

3.2.9 전단보강근 하중-변형도

그림 13은 측면 플랜지 밑면 강재의 하중-변형도가 나타나 있다. TS2-2 실험체의 전단보강근은 변형도 800×10^{-6} 이상의 변형을 나타내며 기타 실험체도 200×10^{-6} 이하의 변형도를 나타냈다. 실험체의 스펠이 동일하므로 강재의 두께가 적을 때 상대적으로 전단에 대한 부담이 더 크다는 것을 알 수 있다.

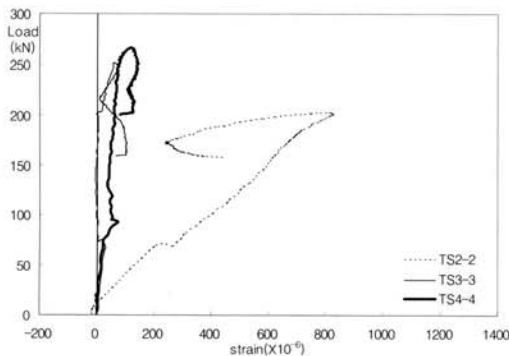


그림 13. 전단보강근 하중-변형도

3.3 분석 및 고찰

3.3.1 이론값과 실험값의 비교

표 4에는 이론과 실험의 최대하중이 비교되어 있다. 이론 최대 하중은 모듈간 상호 완전 결합되어 모듈간 슬립되지 않

고 완전 소성 거동한다는 가정하에 기 발표(안형준 등, 2008)된 이론식으로 산정한 것이다. 기 발표 논문에서는 모듈간에 완전 전단연결이 되어 소성거동할 때 중립축이 슬래브, 상부 플랜지, 웨브에 있을 경우 3가지 식을 제안하였으며 부분전단연결일 때 모듈간 완전 분리되어 각각 소성거동 하는 경우와 모듈간 불완전 분리되어 탄소성거동 하는 경우 2가지 식을 제안하였다. 실험체의 실제거동은 그림 16을 통해 확인할 수 있으며 해당되는 변형도 양상을 적용시키면 대응되는 이론값을 확인할 수 있다.

T1-1 실험체는 실험값과 이론값의 비가 0.98로 모듈간 슬립이 발생하지만 소성거동 하는 것을 확인할 수 있었으며 접합 방법의 개선을 통해 슬립을 최소화 시키면 완전 소성거동이 가능할 것으로 판단된다. 최대내력의 실험값/이론값 내력비가 전단보강된 TS2-2, 3-3, 4-4 실험체가 각각 0.90, 0.84, 0.76으로 보강되지 않은 T2-2, 3-3, 4-4 실험체의 0.81, 0.70, 0.72보다 높게 나타나 전단보강 결과 전단력 부담이 줄어든 측면강재의 휨 저항능력이 향상되어 휨내력이 증가가 확인되었으며 두께가 두꺼울수록 그 차이가 줄어드는 것으로 나타났다.

표 4. 실험결과 및 이론 해석결과 비교분석

실험체명	이론(kN) P_{mt}	실험(kN) P_{me}	$\frac{P_{mt}}{P_{me}}$
T1-1	119.30	117.50	0.98
T2-2	229.64	186.49	0.81
T3-3	299.93	210.41	0.70
T4-4	348.14	250.39	0.72
TS2-2	229.64	206.35	0.90
TS3-3	299.93	251.66	0.84
TS4-4	348.14	265.87	0.76

3.3.2 초기강성 및 내력비와 연성 비교

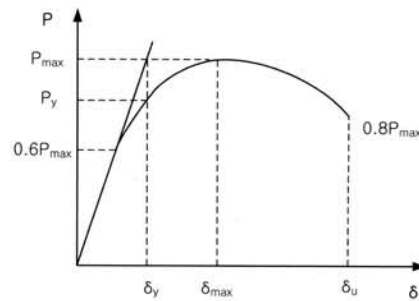


그림 14. 항복내력 산정방법

실험과 해석을 통해서 얻어진 값들을 비교 분석하기 위한 항복내력의 산정방법은 참고문헌(김상모 등, 2003) (이용택

표 5. 실험체 초기강성 및 연성분석

실험체	항복하중			최대하중		내력비 $\frac{P_u}{P_y}$	δ_{max}	변위연성비 $\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	파괴형태
	P_y (kN)	δ_y (mm)	초기강성 $\frac{P_y}{\delta_y}$	P_u (kN)	δ_u (mm)				
T1-1	85.06	5.56	15.30	117.50	24.51	1.38	39.97	7.19	콘크리트 압괴 후 사인장 균열
T2-2	167.48	10.57	15.84	186.49	14.12	1.11	29.65	2.81	콘크리트 사인장 균열 및 모듈분리
T3-3	174.44	9.00	19.38	210.41	28.67	1.21	37.98	4.22	콘크리트 사인장 균열 및 모듈분리
T4-4	195.90	8.59	22.81	250.39	23.35	1.28	37.90	4.41	콘크리트 사인장 균열 및 모듈분리
TS2-2	172.74	12.25	14.10	203.35	21.14	1.18	46.92	3.83	콘크리트 압괴 및 모듈분리
TS3-3	208.25	13.74	15.16	251.66	25.83	1.21	51.69	3.76	콘크리트 압괴 및 모듈분리
TS4-4	228.34	14.30	15.97	265.87	23.82	1.16	67.16	4.69	콘크리트 압괴 및 모듈분리

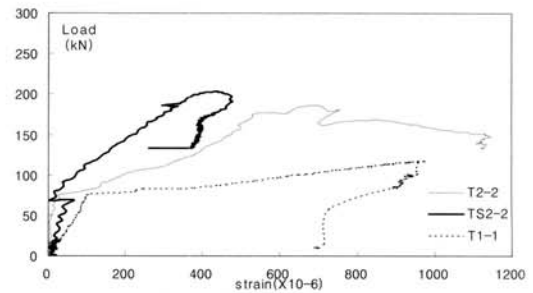
(모듈분리는 볼트의 전단파괴에 의한 것임)

등, 2002)에서 제안한 방법을 사용하였다. 항복변위는 최대 내력과 최대내력의 60%인 강성을 연결하여 만나는 점을 항복 변위로 산정하였고, 이때의 내력을 항복내력으로 정의하였다. 또한 실험체는 더 이상의 가력이 불가능할 때 까지 가력하거나 최대하중의 80% 이하로 저하시 까지 가력하는 것을 원칙으로 하였다.

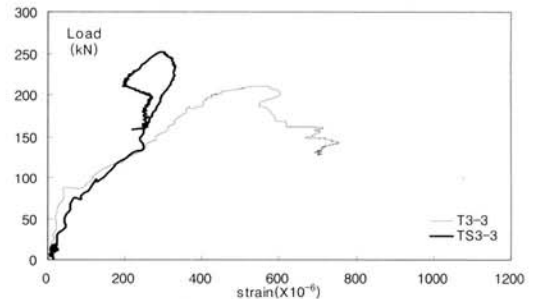
표 5에 각 실험체별 항복하중, 초기강성, 내력비 및 변위 연성비를 산정하여 나타냈다. 초기강성은 항복하중(P_y)에 대한 항복변위(δ_y)의 비로 정의 하였으며 내력비는 최대하중(P_u)과 항복하중(P_y)의 비로 정의하였다. 변위 연성비는 항복변위(δ_y)와 최대내력의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위(δ_u)의 비로 정의되며 연성능력을 나타낸다. T3-3, 4-4를 제외한 실험체가 15내외의 초기강성을 나타냈으며 강재의 두께에 따라 약간씩의 강성증가를 나타내었으나 그 차이가 크지 않았다. 특히 T3-3의 항복변위와 TS3-3의 동일한 변위의 하중값이 비슷해 강성의 큰 차이가 없었다. 실험결과 내력비는 T1-1 실험체는 1.38 기타 실험체는 1.2 내외로 내력비차가 확연히 구분되는 것으로 나타났으며 이는 기타 실험체가 모듈간 슬립 현상 등에 따라 완전소성거동을 하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 변위 연성비는 완전소성 거동하는 T1-1 실험체가 기타 실험체에 비해 우수하게 나타났으며 T2-2 실험체는 강성의 저하없이 급격한 파괴현상이 나타나므로 저조한 변위 연성비를 나타냈다.

3.3.3 측면강재의 최대 전단변형도 분석

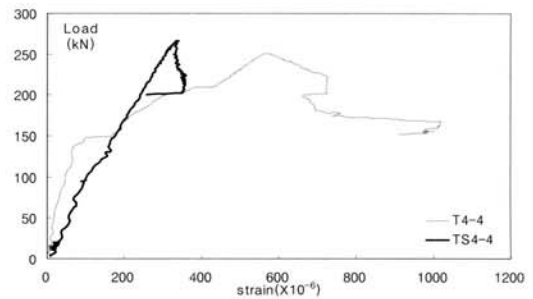
실험체 단부 300mm 내부의 상부모듈 중앙에 로켓게이지(3축게이지)를 설치하여 3방향의 변형도를 측정 최대 전단변형도를 계산하였다. 그림 15에 각 실험체별 최대 전단변형율이 나타나 있다.



(a) T1-1 및 T2-2과 TS2-2



(b) T3-3과 TS3-3



(c) T4-4과 TS4-4

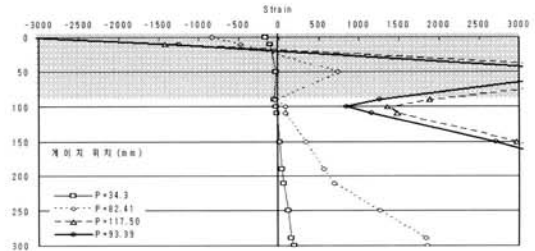
그림 15. 실험체별 측면 모듈 최대 전단변형도

전단보강근이 있는 TS 계열 실험체는 최대하중에서 400×10^{-6} 내외의 전단변형도를 나타내지만 보강근이 없는 T계열은 최대하중에서 600×10^{-6} 이상의 최대 전단변형도가 나타나 최대하중에서 T계열이 TS계열 보다 50%이상 큰 전단변형도를 나타냈으며 TS계열은 최대하중 이후 지속적으로 전단변형도가 증가하여 보의 처짐과 전단변형도가 비례관계를 나타냈다. 따라서 전단 보강 유무에 따라 측면강재의 휨 저항능력에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

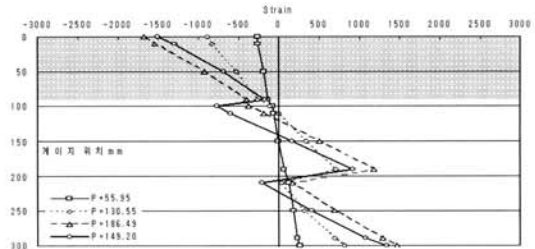
3.3.4 실험체별 스트레인 게이지 위치에 따른 변형도 (Strain) 분석

그림 16에는 콘크리트와 측면모듈의 하중 변형도 분포를 나타내고 있다. 세로축으로 음영 표시된 부분은 상부 표면 콘크리트와 측면 콘크리트의 상, 중, 하부 스트레인 게이지 위치이며 중앙과 하부는 각각 상부모듈과 하부모듈의 상, 중, 하부 게이지 위치이고 가로축은 변형도를 나타낸다. 각각의 선들은 최대하중의 30%, 70%, 최대하중, 최대하중 이후 80%일 경우 각 위치에서의 변형도를 나타낸 것이다. T1-1 실험체에서 상하부 모듈간 분리현상은 최대하중까지 뚜렷하게 발생하지 않았으며 최대하중 이후 나타났으나 다른 실험체에 비해 양호했다. T2-2 실험체는 모듈간 분리현상이 발생하였으나 최대하중 이전까지는 하부에서 압축영역이 발생하지 않았고 최대하중 이후 분리현상이 심화되어 하부모듈 상부에서 압축영역이 발생하였다. T3-3, 4-4 실험체는 최대하중 이전에 모듈간 분리현상 심화되어 하부 모듈 상부에 압축영역이 나타났다. T4-4제외한 T계열 실험체는 콘크리트의 변형도가 선형을 나타냈다. 전단 보강된 TS계열에서 T계열보다 큰 변형도를 나타내 전단 보강에 의한 전단응력도 분담으로 휨내력이 상승함을 확인 하였다. TS2-2, 3-3 실험체의 상부콘크리트는 최대하중시에 압괴되어 이후 내력을 상실한 것으로 나타났으며 최대하중의 70%이전에 이미 상, 하부 모듈이 분리되어 하부모듈 상부에 압축이 발생하였으나 최대하중시에는 다시 인장이 발생하였다. 이후 모듈간 슬립에 의한 분리현상의 진전과 함께 인장변형도의 증가가 동시에 진행되었으며 분리현상에도 불구하고 인장변형도가 증가한 것은 연결볼트에 의한 콘크리트와의 기계적 부착에 의한 것으로 판단된다. T1-1를 제외한 모든 실험체에서 모듈간 분리현상이 나타나고 있으며 이는 볼트의 전단파괴 현상으로 판단된다. 모듈간 힘의 전달은 볼트에 의한 전단력과 볼트와 콘크리트의 기계적 부착 콘크리트와 강재간의 화학적 접촉 및 마찰 등에 의해 이루어지며 기 발표된 논문(류수현 등 2006)에 따르면 전단연결 볼트를 사용하지 않아도 볼트가 있는 실험체의 75% 정도의 휨 내력을 나타내는 것을 확인 하였으나 강재의 두께를 증가시킬 경우 충분한 전단연결재의 사용이

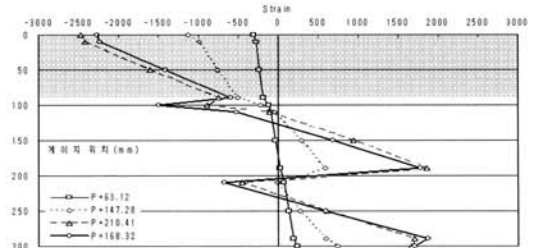
필요한 것을 확인 할 수 있었다.



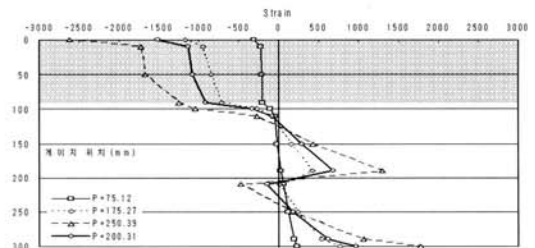
(a) T1-1



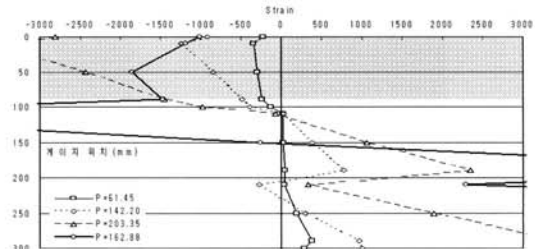
(b) T2-2



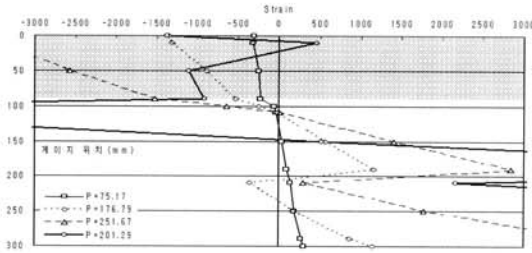
(c) T3-3



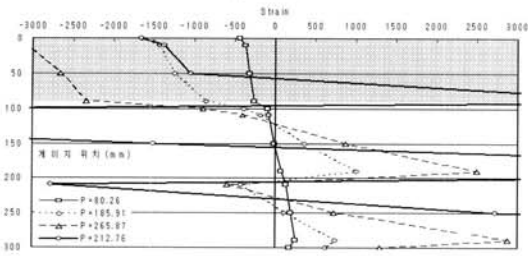
(d) T4-4



(e) TS2-2



(f) TS3-3



(g) TS4-4

그림 16. 각 실험체별 측면모듈의 변형도 분포

따라서 강재의 두께가 증가되면 모듈간의 전단연결을 위해 볼트의 두께 또는 간격이 변화 되어야 하며 추후 전단연결재를 변수로 한 실험을 통해 TMPB의 거동을 규명해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문의 교신저자는 2008년도 삼육대학교 학술연구비 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

4. 결 론

T형 모듈단면 합성 프로파일 보의 거동에 관한 실험 및 이론해석 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) T1-1 실험체는 전단보강을 하지 않아도 소성 거동 및 우수한 연성거동 능력을 나타내 실험체의 스케일에 따른 적절한 두께의 프로파일 사용은 전단 보강에 효과적인 것으로 판단된다.

- (2) 최대내력의 실험값/이론값 내력비가 전단보강된 TS2-2, 3-3, 4-4실험체가 각각 0.90, 0.84, 0.76으로 보강되지 않은 T2-2, 3-3, 4-4 실험체의 0.81, 0.70, 0.72 보다 높게 나타나 전단보강 결과 측면강재의 휨 저항능력이 향상되어 휨내력이 증가한 것으로 판단된다.
- (3) 측면 강재의 최대 전단변형도 분석결과 최대하중에서 T계열이 TS계열 보다 50%이상 큰 전단변형도를 나타냈으며 지속적인 전단변형도의 증가를 나타내 전단보강 유무에 따라 측면강재의 휨저항능력에 영향이 있음을 알 수 있다.
- (4) 측면 강재의 변형도 분석 결과 전단 보강된 TS계열에서 T계열 보다 큰 변형도를 나타내 전단 보강에 의한 전단응력도 분담으로 휨내력이 상승함을 확인 하였다.
- (5) T1-1을 제외한 모든 실험체에서 모듈간 분리현상이 나타났다으며 이는 볼트의 전단파괴 현상으로 판단되며 추후 전단연결재를 변수로 한 실험을 통해 TMPB의 거동을 규명해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

김상모, 김규석(2003) T형 합성보의 내력 평가에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제4호, pp.467-474.

김상섭, 김상모, 김성배, 서동기, 김규석(2004) 단순지지 T형 합성보의 휨거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제2호, pp.225-233.

류수현, 안형준(2005) 장방향 SC보의 휨 내력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 대한건축학회, 제21권, 제9호, pp.55-61.

류수현, 정의관, 안형준(2006) C-Type 모듈단면 SC보의 휨내력에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 대한건축학회, 제22권, 제3호, pp.37-44.

안형준, 류수현(2008) T형 모듈 단면 프로파일보의 휨내력에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계 대한건축학회, 제24권, 제1호, pp.45-54.

이용택, 나정민, 김승호, 이리형(2002) 탄소섬유시트로 전단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동, 대한건축학회 논문집 구조계, 대한건축학회, 제18권, 제4호, pp.19-26.

(접수일자 : 2008. 2. 14 / 심사일 2008. 3. 10 / 게재확정일 2008. 8. 10)