

보-슬래브 시스템 구조성능에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on Structural Performance of the Beam-Slab System

이 명 재¹⁾ · 김 철 환²⁾ · 이 승 준³⁾ · 김 원 기⁴⁾ · 김 희 동⁵⁾

Lee, Myung Jae Kim, Cheol Hwan Lee, Seung Joon Kim, Won Ki Kim, Hee Dong

요 약 : 본 연구는 철골조 초고층 아파트에 있어서 주거부분의 층고를 낮추기 위한 새로운 보-슬래브 구조시스템 개발을 위하여 제안되어진 합성보에 대해서 역학적 성능 및 구조적인 검토를 실험적으로 고찰하여 그 타당성을 확인하고 구조설계의 지침을 제시하고자 하는 것이다. 이상과 같은 연구목적을 달성하기 위해서 제안된 아파트의 기준층 구조평면에 근거하여 본 연구의 대상이 되는 9.8m 스패의 보를 대상으로 구조재료실험, 합성보의 균등 휨실험, 합성보의 중앙집중 재하실험, 휨·전단 가력실험, 그리고 전단 가력실험 등을 진행하였다. 실험결과로부터 상플랜지에 스티드 커넥터를 대한건축학회 강구조계산규준의 합성보 설계 규정에 따라 정상적으로 배치하고 슬래브의 상부 철근을 정상배근하면 충분한 구조적 성능을 발휘할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT : This study sought to suggest a structural design guide and to investigate the structural performances of the new beam-slab system in order to decrease the height of floors in high-rise steel structure apartments. Experiments were performed to assess the capacity of the new beam-slab system in a steel structure with 9.8-m span, particularly structural material test, pure bending test of composite beam, three-point bending test of composite beam, and bending and shearing tests. Results showed that the suggested composite beam had stable structural behavior when stud connectors were located in the upper flange, and upper bars were calculated normally according to the design of the slab.

핵심용어 : 합성보, 보-슬래브 시스템, 휨실험, 휨전단실험, 전단실험

KEYWORDS : Composite beam, Beam-slab system, Bending test, Bending and shearing test, Shearing test

1. 서론

1.1 연구 목적

철골조 건축물에 있어서 층고를 저감시키는 방법의 일환으로 유럽에서는 철골보 웹부분에 슬래브를 형성하는 슬립플로어 시스템이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 이러한 형식의 시스템은 철골보 춤에 해당하는 슬래브를 설치하거나 춤이 큰 데크플레이트를 설치하기도 하여 기존의 철골보에 비해 하중의 증가가 발생하기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위하

여 슬래브가 상플랜지내에 위치하는 반슬립형 플로어 형식이 개발되어 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 반슬립형 합성보의 보-슬래브 시스템에 대하여 역학적 성능 및 구조적인 특성을 실험적으로 규명하여 현장 적용의 타당성 확인과 구조설계의 지침작성을 위한 기초 자료를 제시하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

이상과 같은 연구 목적아래 다음사항을 실험적으로 조사하였다.

- (1) 보-슬래브의 합성효과 여부와 효과적인 방안
- (2) 보-슬래브의 콘크리트 슬래브의 전단 효과(punching

1) 정희원, 중앙대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel. 031-670-3345, Fax. 031-675-1776, E-mail : mjlee@cau.ac.kr)
2) 정희원, 상주대학교 건축공학과 교수, 공학박사(chkim@sangju.ac.kr)
3) 정희원, 아주대학교 건축공학과 교수, 공학박사(sjlee@madang.ajou.ac.kr)
4) 정희원, 호서대학교 건축공학과 교수, 공학박사(wonkikim@hoseo.ac.kr)
5) 정희원, 중앙대학교 건축공학과 강사, 공학박사(drkimhd@hanafos.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

shear)에 대한 검토

(3) 보-슬래브에서의 콘크리트 슬래브의 유효폭에 관한 검토

1.2 연구 내용

본 연구는 철골조 초고층 아파트용에 적용되는 합성보를 그 대상으로 하고, 그 단면 형태는 그림 1과 같다. 제안된 아파트의 기준층 구조평면은 그림 2와 같고 본 연구의 대상이 되는 보는 9.8 m의 스패를 가지고 있다. 실험의 효율적인 진행을 위하여 그림 1의 보-슬래브 단면과 그림 2에 나타난 9.8m의 스패를 실험실 여건에 맞추어서 약 60% 스케일 다운(scale down)하였다. 실험체 수는 전단(punching shear)효과와 휨·전단 효과를 검토하는 실험체 수를 포함하여 모두 11개이다.

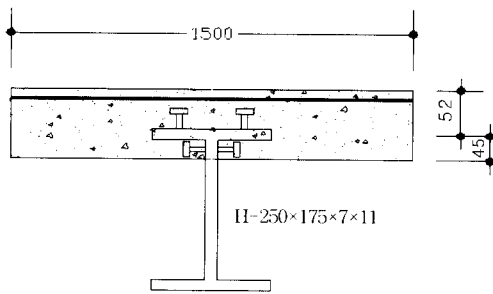


그림 1. 합성보의 단면

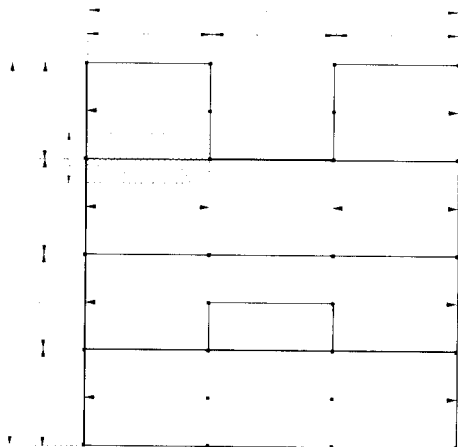
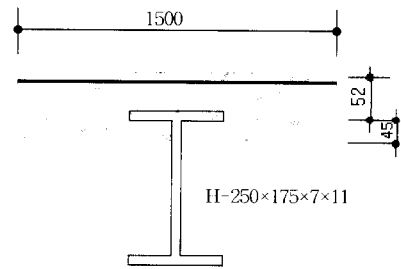


그림 2. 구조 평면도

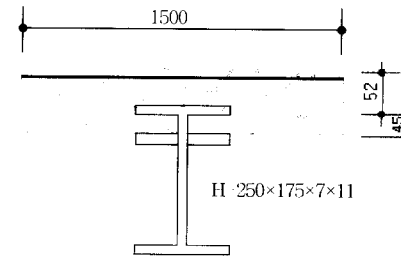
1.2.1 합성보의 균등휨실험

시험체 4개중 1개는 스테드 커넥터가 없는 시험체이고 나머지 3개는 스테드 커넥터의 부착위치를 달리한 것으로 스테드 커넥터의 유무와 부착위치에 따른 합성효과를 확인해 본다. 그 중 1개 시험체는 중간에 플랜지를 설치하여, 중간 플

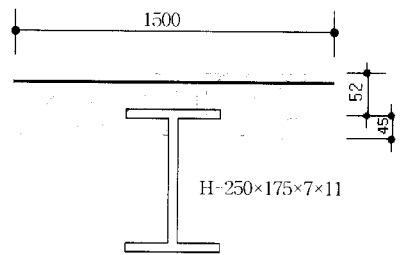
랜지의 효과를 확인해 본다. 시험체의 단면으로는 그림 3과 같이 4종류이다. 스테드 커넥터가 상플랜지에 있을 경우와 없을 경우, 스테드 커넥터가 웨브에 있을 경우와 없을 경우, 중간플랜지(flange)의 유무 등이 시험체의 변수로 되어 있다. 또한 슬래브 표면에 와이어 스트레인 게이지를 부착시켜서 슬래브의 합성유효폭도 확인한다. 그 결과 이론적 단면 성능을 검증할 수 있다.



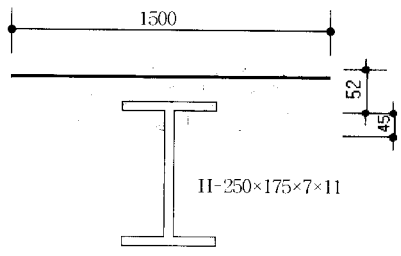
(a) BUN 실험체



(b) BUN-AF 실험체



(c) BUS-A 실험체



(d) BUS-B 실험체

그림 3. 실험체의 단면형상

1.2.2 합성보의 중앙집중재하 실험

2개의 실험체를 제작한다. 이 경우의 시험체도 균등휨을 받는 시험체와 동일하고 스테드 커넥터를 가지고 있다. 중앙 집중재하함으로써 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 경우의

역학적 거동을 확인할 수 있다. 가력방법은 균등휨 실험과 동일하나 가력지점이 스패 중앙 1점이라는 것이 다른 점이다. 시험체의 단면으로서는 그림 3의 (c)와 (d)를 선정한다.

1.2.3 휨·전단 및 전단가력실험

휨·전단효과를 검토하기 위하여 그림 4와 같이 2개의 실험체를 제작한다. 이 경우 실험체의 스티드 커넥터는 모두 플랜지 위에만 있으며, 실험변수로는 합성보 슬래브의 상부철근 배근을 정상배근한 경우와 과도배근한 경우이다.

그림 1과 같은 보-슬래브의 단면은 H형강과 콘크리트가 일체로 되었다고 하여도 전단력에 대한 저항의 검토가 필요하다. 전단력에 대해서는 그림 3의 (b)단면형태보다는 (c)단면 형태가 웨브의 스티드 커넥터의 역할로 더욱 안전성을 발휘할 수 있다고 판단된다. 이상의 검토를 위한 가력실험체로서는 그림 4와 같이 제작하여 가력하고, 실험변수로서는 상부철근을 정상배근한 경우와 과도배근한 경우, 그리고 웨브부분 스티드 커넥터의 유무로서 실험체 수는 모두 3개이다. 과도배근이란 정상배근시의 철근간격을 절반으로 한 경우를 말한다.

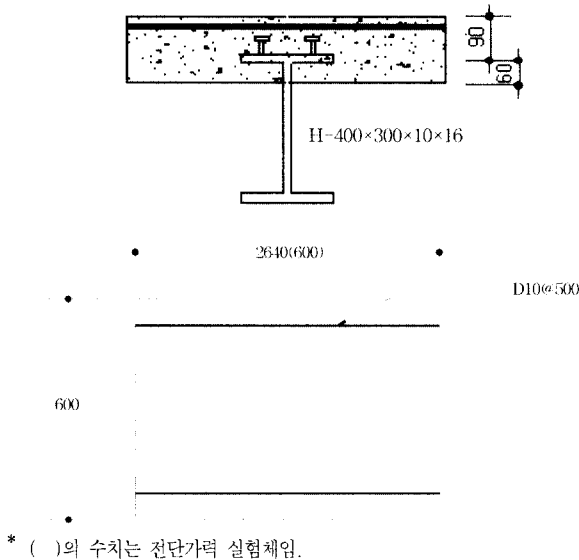


그림 4. 휨·전단 및 전단가력실험체

2. 구조재료 시험

2.1 강재의 인장강도 시험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801 금속재료 인장시험편(1호 B시험편) 규정에 준하여, H형강의 플랜지 및 웨브에 대해 각각 3개씩 인장시험편을 절취하여, 강재의 인장강도 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 재질은

SS400 이며,

인장시험편의 양측 중앙부에 와이어 스트레인 게이지(w.s.g)를 부착하여 변형도를 측정하였다. 강재의 인장강도 실험결과와 평균값은 표 1과 같다. 실험결과로부터 본 실험에 사용된 강재는 SS400의 규정을 만족시키고 있음을 확인하였다.

표 1. 강재의 인장시험 결과

구분	단면적 (cm ²)	σ_y (tf/cm ²)	σ_u (tf/cm ²)	σ_y/σ_u	Elo (%)	
A	플랜지	2.667	2.95	4.33	0.68	28.6
	웨브	1.707	3.26	4.52	0.72	26.7
B	플랜지	3.811	2.82	4.24	0.67	30.5
	웨브	2.579	3.19	4.33	0.74	28.0

A:H-250x175x7x11, B:H-400x300x10x16

(σ_y : 항복응력도, σ_u : 최대응력도, σ_y / σ_u : 항복비, Elo: 연신율)

2.2 철근의 인장강도시험

시험체에 사용된 철근은 지름 6mm와 10mm이며, 철근의 재질은 SD 40이고, 철근의 인장시험결과는 표 2와 같다. 철근의 단면적으로서는 공칭직경을 이용하여 산정하였다. D6의 경우 실험결과는 SD 40의 규정을 지키지 못하고 있는데 이것은 시험편 제작시의 용접부위가 미리 절단되어서 항복응력을 찾지 못하였다. D6의 철근은 통상적으로 사용이 잘되지 않는 것이나 실험체 스케일 다운 때문에 부득이 사용한 것으로 SD40의 규정을 만족하는 것으로 보고 실험을 진행하였다.

표 2. 철근의 인장강도시험 결과

철근	단면적 (cm ²)	항복응력도 (tf/cm ²)	최대응력도 (tf/cm ²)	비고
D 6	0.32	—	3.38	
D 10	0.71	5.30	5.52	

2.3 콘크리트의 압축강도 시험

슬래브에 타설하기 위한 콘크리트는 콘크리트의 설계배합강도 (Fc') 로서는 240kgf/cm², 슬럼프치 12cm를 목표로 하였다. 양생 28일 후에 압축강도시험을 실시하여 실험결과를 표 3에 나타내었다. 압축강도 시험결과 Fc'값은 240 kgf/cm²을 초과하고 있음을 알 수 있다.

표 3. 콘크리트 압축강도시험 결과

공시체	Pmax(tf)	A(cm ²)	Fc'(kgf/cm ²)	Fc' 평균값
C-1	20.90	78.54	266	280
C-2	23.37		297	
C-3	21.80		277	

(단위: mm)

두께	X1	X2	X3	X4	X5
150	D13@600	D13@600	D10+13@250	D10@400	
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
	D10@600	D10@600	D10@300	D10@500	

그림 5. 슬래브 배근도

3. 합성보의 균등휨 실험

3.1 실험체 종류

실험체 일람은 표 4와 같다. 그리고 실험체 단면은 그림 3과 같다. 시험체는 실험실 여건에 맞추어 약 60% 스케일 다운(scale down)하였으며, 그 대상은 강재의 단면, 스패ん 길이, 슬래브의 유효폭 및 슬래브 두께, 철근의 직경 및 배근간격, 스타드 커넥터(stud connector)의 직경 및 길이 등이다. 슬래브의 배근은 극한강도 설계법에 의한 구조계산규준 및 해설에 근거하였으며, 배근도는 그림 4와 같다.

스타드 커넥터 설계는 강구조 계산규준에 근거하여 완전한 합성보로 설계하여 2열 배치하였다.

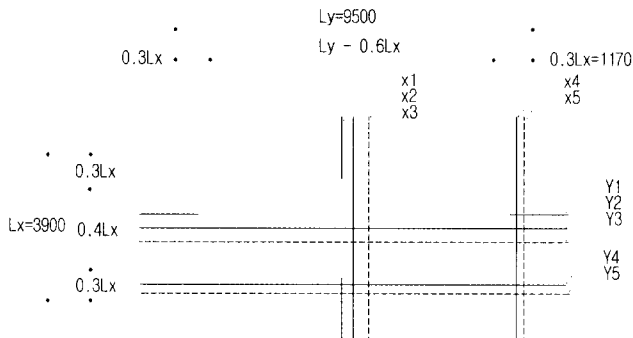
표 4. 균등휨 실험체 일람

실험체 명	가력 방법	실험 체 수	플랜지의 스타드 커넥터	웨브의 스타드 커넥터	전단 보강근 유무	보강근 과도배 근	비고
BUN	균등휨	1	무	무	유	—	60% scale down (스패ん 6m)
BUS-AF		1	유	무	유	중간 플랜지	
BUS-A		1	유	무	유	—	
BUS-B		1	유	유	유	—	

*H-250×175×7×11 사용

BUS-AF

- || | | F : 중간플랜지 유무 (F: 중간플랜지 있음)
- || | A : 스타드커넥터 타입 (A: 상플랜지 스타드, B: 상플랜지와 웨브 스타드)
- || S : 스타드커넥터의 유무 (S: 스타드 있음, N: 스타드 없음)
- U : 가력방법 (U: 균등휨 가력, C: 집중하중 가력)
- B : 합성보의 휨실험



3.2 실험 방법

60% 스케일 다운된 휨시험체에 대해 양단부를 단순지지 상태로 하고 가력점은 스패ん의 1/3 되는 지점에서 1/2씩의 동일하중이 전달되도록 가력보조 보(beam)를 사용하여 그림 6과 같이 가력하였다. 시험체의 중앙하부와 스패ん의 1/3되는 하중점에 LVDT를 설치하여 변위량을 측정하였다. 와이어 스트레인 게이지는 강재의 웨브 중간지점과 상·하 플랜지, 그리고 콘크리트 슬래브의 중앙 상·하부에 각각 설치하여 변형도를 측정하였다. 가력에는 50 tf 용량의 오일 잭(oil jack)을 사용하였다.

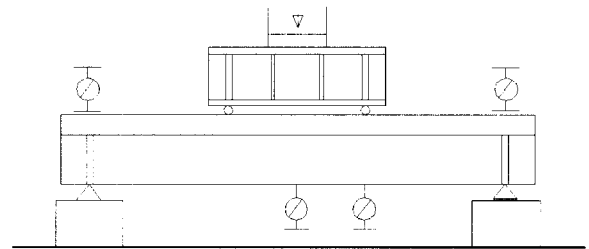


그림 6. 균등휨 시험체의 가력상황

3.3 균등휨 가력실험 결과 및 고찰

합성보의 균등휨 가력실험 결과는 표 5와 같다. 그리고 각 실험체의 하중-부재각 관계를 그림 7, 그림 8에 각각 나타낸다. 표 중에는 합성보 단면의 이론상의 항복모멘트(My), 전소성모멘트(Mp)가 표시되어 있고 실험치가 항복모멘트, 전소성모멘트로 각각 무차원화되어 있다. 그리고 그림 7, 그림 8에는 BUN 시험체(BUS-A, BUS-B 시험체도 동일함)의 항복모멘트, 전소성모멘트 및 단면의 허용휨모멘트(Mc)가 나타나있다.

표 5. 균등휨 가력실험 결과

시험체	Pmax (tf)	Mmax (tf · c)	초기 크랙발생 하중(tf)	단면의 항복 모멘트 (My, tf.cm)	단면의 전소성모멘트 (Mp, tf.cm)	$\frac{M_{max}}{M_y}$	$\frac{M_{max}}{M_p}$
BUN	22.20	22.20	20.8	1890	2547	1.17	0.87
BUS-AF	22.03	22.03	20.0	1928	2912	1.14	0.76
BUS-A	22.43	22.43	18.1	1890	2547	1.19	0.88
BUS-B	24.73	24.73	19.2	1890	2547	1.31	0.97

3.3.1 BUN 실험체

상플랜지와 웨브 모두에 스테드 커넥터가 없는 이 실험체는 11.6tf에서 최초로 쿵하는 소리가 발생하였다. 그리고 19.3tf에서 다시 같은 소리가 발생하였으며, 20.8tf에서 초기 크랙이 발견되었다. 이와 같이 다른 시험체와 비교하여 소리가 초기단계에서부터 많이 발생한 이유로는 스테드 커넥터가 없기 때문에 H형강의 상플랜지와 콘크리트와의 결합에서 일체성이 조기에 와해되는 조짐으로 볼 수 있다고 생각된다. 그리고 최대하중은 22.2tf이었고, 그 후에 얼마간 가력을 계속하였으나 하중저하와 함께 급격한 균열의 증가 때문에 시험체의 반출을 고려하여 21.0tf에서 가력을 중지하였다. 그림 7에서는 슬래브의 철근이 고려된 단면의 항복모멘트(M_y), 전소성모멘트(M_p)가 실험결과와 비교되고 있다. 실험체의 최대내력은 항복모멘트를 상회하고 있다. 그림에서 M_c 로 표시된 것은 허용응력도 설계법에 따른 단면의 허용휨모멘트를 나타내고 있다. 그림 9는 하중 단계별 중립축의 위치를 조사한 것이다. 중립축의 위치는 슬래브 면에 부착시킨 w.s.g와 H형강 하플랜지의 w.s.g의 것을 이용하여 구하였다. 초기강성이 유지될 때($P=5\text{tf}$)에는 콘크리트 전체 단면이 압축측에 있으나 하플랜지가 항복응력에 도달하거나, 최대하중시에는 콘크리트의 상당부분이 인장응력을 받는 결과가 되고 있다.

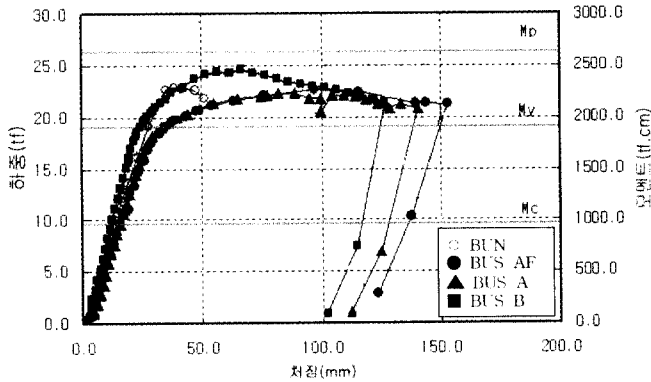


그림 7. 균등휨 실험체의 하중-처짐관계

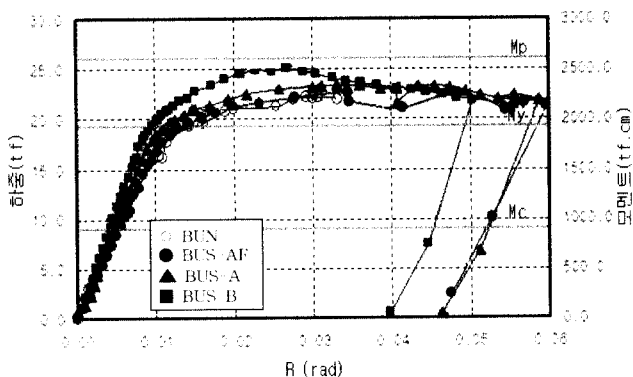


그림 8. 균등휨 실험체의 하중-부재각관계

이러한 결과는 w.s.g를 부착시킨 부분이 실제적인 최대 응력을 받고 있다는 보장이 없다는 점에 기인한다고 볼 수 있다. 그렇지만 그림 9의 (5)에서와 같이 이론상의 항복모멘트 값에 해당되는 하중 단계에서의 변형도분포 상황에서 중립축의 위치는 슬래브면에서부터 94.4mm를 나타내고 있고, 계산상으로는 80.3mm인 점을 고려하면 항복모멘트에 도달할 때까지는 콘크리트의 극히 일부분이 인장측에 들어가 있지만 실제 설계상 이용되는 본 합성보의 내력은 초기 강성에 의존하는 부분에 국한될 것임이 예상되므로 콘크리트의 인장변형에 의한 균열 염려는 고려하지 않아도 될 것으로 사료된다.

3.3.2 BUS-AF 실험체

상플랜지에만 스테드 커넥터가 있고, 웨브에 중간플랜지가 있는 이 실험체는 중간플랜지가 단면의 휨 성능에 기여하는 역할이 거의 미미하지만 향후 PC슬래브 사용 등을 염두에 둘 수 있는 형태이다. 실험에서는 10.0tf에서 처음으로 쿵하는 소리가 발생하였으며, 12.03tf과 14.67tf에서도 계속 같은 소리가 발생하였다.

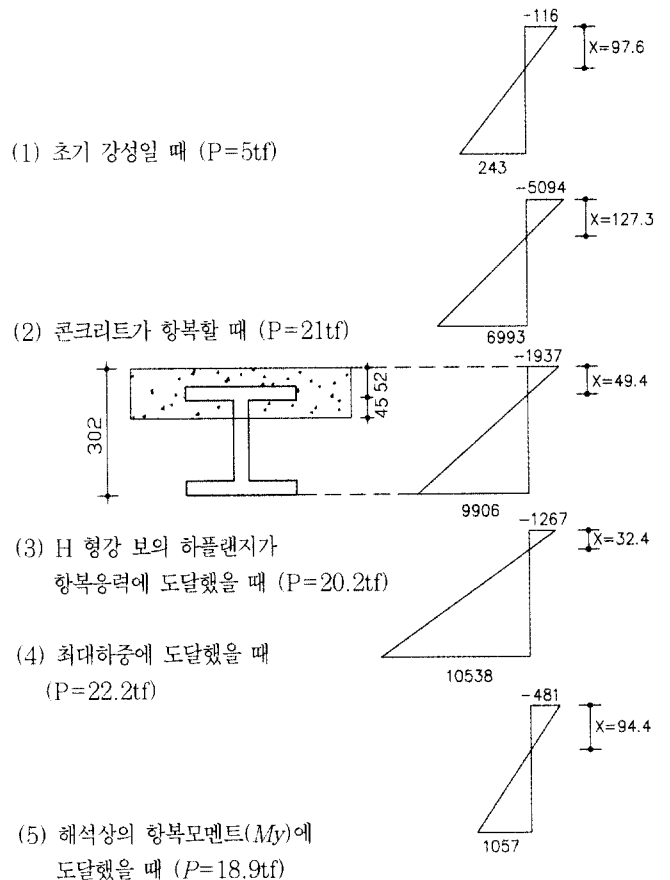


그림 9. BUN 실험체의 중립축의 변화

초기 크랙은 20.0tf에서 발견되었으며, 최대하중은 22.03 tf 이었다. 이 시험체에 있어서도 최대내력은 항복모멘트를 상회하고 있다. 또한 항복모멘트에 도달할 때까지도 거의 초기강성을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있다.

하중의 각 단계별 실험체의 중립축 위치는 BUN실험체와 마찬가지로 이론적인 중립축의 변화와는 다른 변화를 보이고 있음을 확인하였다.

3.3.3 BUS-A 실험체

BUS-A 실험체는 상플랜지에만 스테드 커넥터가 2열로 있는 합성보이다. 일반적인 합성보에서 스테드 커넥터가 2열로 배치되어 있는 점을 감안하면 이 실험체가 본 구조시스템에 가장 적절할 것으로 예상하고 있는 모델이다. 상플랜지에만 스테드 커넥터가 있는 이 실험체는 10.07tf에서 처음으로 쿵하는 소리가 발생하였고, 16.25tf에서 다시 같은 소리가 발생하였다. 그리고, 18.1tf에서 초기 크랙이 발견되었고, 22.43tf에서 최대 하중값을 나타내었다.

최대내력 이후에도 급격한 내력저하없이 안정된 하중-처짐 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 스패ن 중앙의 콘크리트 슬래브 윗면과 하플랜지에 부착한 와이어 스트레인 게이지로부터 측정되어진 변형도를 근거로 각 하중단계별 중립축의 위치 변화를 나타낸 것이다. 어느 경우이나 콘크리트 슬래브 아래면의 일부는 인장측에 있음을 알 수 있고, 또 슬래브 아래면에 부착된 와이어 스트레인 게이지로부터도 인장변형을 받고 있음이 확인되었다. 그러나 그 크기는 콘크리트의 예상 최대인장응력도로부터 환산된 인장변형도(2×10^{-4}) 이내임을 알 수 있고, 실제 설계시에 사용될 초기 탄성 부분에서 그 크기는 더욱 미약하므로 무시될 수 있을 것으로 사료된다.

다음으로 콘크리트 슬래브가 역학적으로 어느정도 압축에 기여하는지를 관찰하기 위하여 스패ن 중앙지점에 슬래브 폭 150cm 에 걸쳐서 좌우 연단에서 5cm 떨어진 점에서부터 10cm간격으로 모두 14개의 와이어 스트레인 게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다. 그 결과를 하중별로 나타낸 것이 그림 11이다. 하중 초기단계에서부터 콘크리트 슬래브 전체 폭에 걸쳐서 압축응력이 균등하게 전달되고 있음을 알 수 있다. 그리고 최대하중시에는 H형강의 상플랜지 부분쪽이 더 많은 응력을 받고 있는 것도 관찰되고 있다. 본 실험체의 콘크리트 슬래브 폭은 대한건축학회 강구조계산규준의 합성보의 설계에 관한 규정에 따라 정한 것이다.

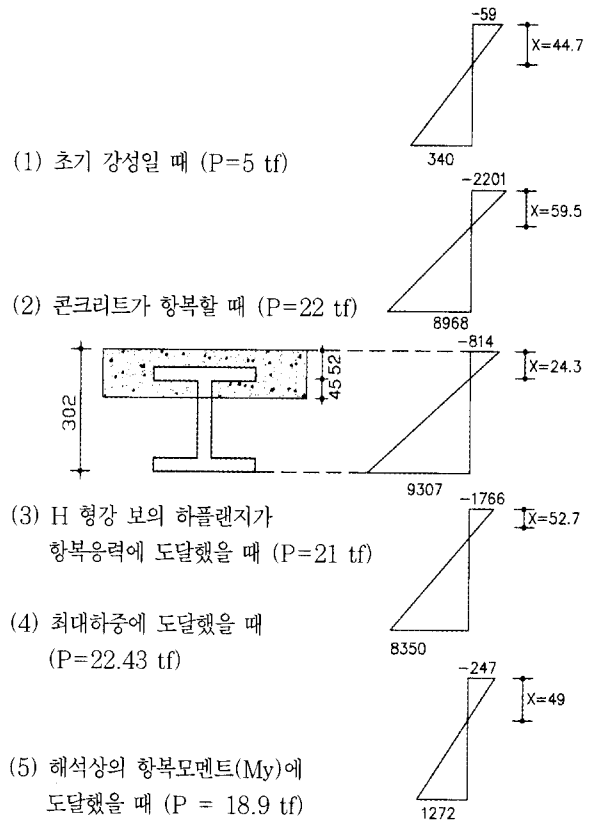


그림 10. BUS-A 실험체의 중립축의 변화

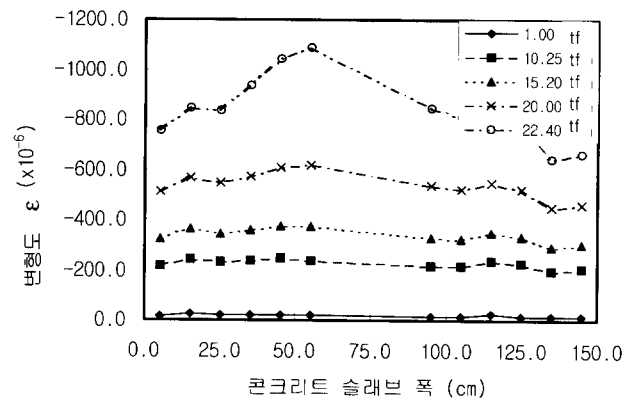


그림 11. BUS-A 실험체의 콘크리트 슬래브 유효폭

3.3.4 BUS-B 실험체

이 실험체는 상플랜지와 웹 모두에 스테드 커넥터가 있는 것이다. 이 실험체는 상플랜지에만 스테드 커넥터가 있는 경우, 콘크리트와의 일체성이 보장되지 못할 경우를 대비하고 또한 상플랜지에만 스테드 커넥터가 있는 경우인 BUS-A 실험체와 역학적 거동을 비교하기 위한 것이다. 이 실험체는 10.0tf과 12.0tf에서 쿵하는 소리가 발생하였으며, 초기 크랙은 19.2tf에서 발견되었다. 그리고 24.73tf에서 최대하중

값을 나타내었으며 0.25tf에서 가력을 종료하였다. 초기 강성 및 최대내력까지의 역학적 거동은 BUS-A 실험체와 유사하나 최대내력 후 내력저하가 약간 급하게 일어났다. 이것은 그림 7의 하중-처짐관계로부터 알 수 있다. 초기 강성을 가진 부분에서도 콘크리트의 극히 일부분이 인장 변형을 받고 있는 것으로 생각되지만 그 크기는 극히 미약한 것으로 무시될 수 있는 것이다. 최대내력은 BUS-A 실험체와 비교하면 조금 상승하였으나 이 결과만으로 웨브에 있는 스테드 커넥터의 역할을 명확하게 규명할 수는 없다고 하겠다.

4 합성보의 중앙집중재하실험

4.1 실험체 종류

중앙집중재하 실험체는 균등휨 실험체와 달리 합성보의 단면에 휨모멘트와 함께 전단력이 작용할 때의 합성보의 역학적 성능을 조사하고자 제작하였다. 제작된 2개의 시험체는 스케일 다운, 슬래브의 배근, 스테드 커넥터 배치 등은 균등휨 실험체와 동일하다. 따라서 BCS-A 실험체는 BUS-A 실험체와 BCS-B 실험체는 BUS-B 실험체와 각각 동일하고 단지 가력방법만이 다를 뿐이다. 표 6에 실험체 일람을 나타낸다.

표 6. 중앙집중재하 실험체 일람

실험체명	가력방법	실험체수	플랜지의 스테드 커넥터	웨브의 스테드 커넥터	전단 보강근 유무	보강근 과도 배근	비고
BCS-A	중앙집중	1	유	무	유	—	60% scale down (스팬 6m)
BCS-B	중앙집중	1	유	유	유	—	

*H-250×175×7×11 사용

BCS-AF

- F : 중간플랜지 유무 (F: 중간플랜지 있음)
- A : 스테드커넥터 타입 (A: 상플랜지 스테드, B: 상플랜지와 웨브 스테드)
- S : 스테드커넥터의 유무 (S: 스테드 있음, N: 스테드 없음)
- C : 가력방법 (U: 균등휨 가력, C: 집중하중 가력)
- B : 합성보의 휨실험

4.2 실험 방법

60% 스케일 다운된 휨실험체에 대해 그림 12와 같이 양단부를 단순지지 상태로 하고, 스패 중앙지점을 가력하였다. 그리고 다이얼 게이지를 실험체의 중앙 하부에 설치하여 변위량을 측정하였으며, 강재의 웨브 중간지점과 상·하 플랜지 그리고 콘크리트 슬래브의 중앙 상·하부에 와이어 스트레인 게이지(w.s.g)를 부착하여 변형도를 측정하였다. 가력에는

50tf 용량의 오일 잭(oil jack)을 사용하였다.

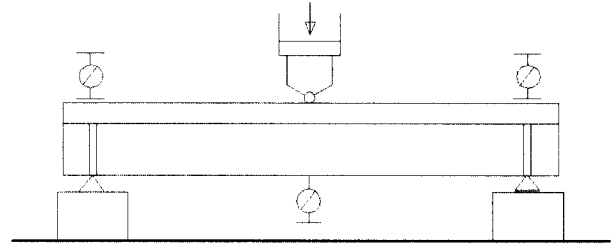


그림 12. 중앙집중재하 실험체의 가력상황

4.3 중앙집중재하 실험결과

합성보의 중앙집중재하 실험결과는 표 7과 같다. 표 중에는 이론상의 항복모멘트, 전소성모멘트를 산정하여 나타내고 실험체의 최대내력을 무차원화시켜서 표기하고 있다.

표 7. 중앙집중재하 실험 결과

실험체	Pmax (tf)	Mmax (tf·cm)	초기 크랙발생 하중(tf)	항복 모멘트 (My, tf·cm)	전소성 모멘트 (Mp, tf·cm)	$\frac{M_{max}}{M_y}$	$\frac{M_{max}}{M_p}$
BCS-A	16.90	2535	15.47	1890	2547	1.34	0.99
BCS-B	17.23	2584	15.00	1890	2547	1.37	1.01

상당한 전단력이 합성보에 작용하였음에도 불구하고 최대 내력은 전소성모멘트에 근접한 값을 나타내고 있다. 그리고 실험체의 하중-처짐관계와 하중-부재각 관계를 그림 13, 그림 14에 각각 나타낸다.

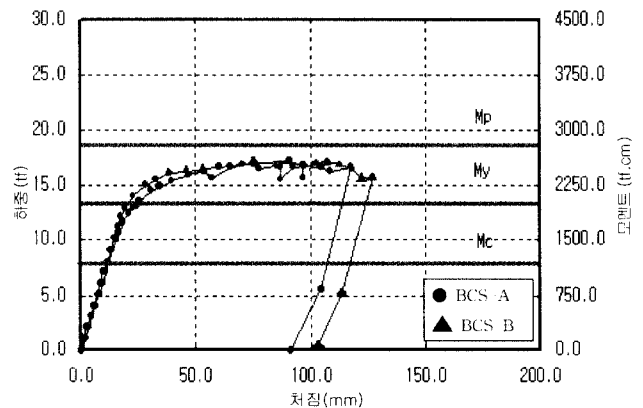


그림 13. 실험체의 하중-처짐관계

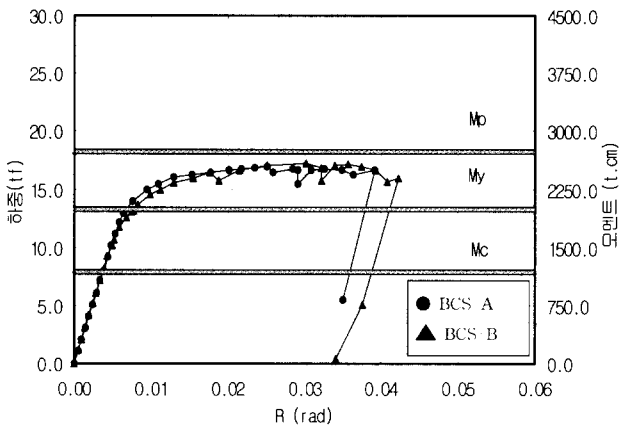


그림 14. 실험체의 하중-부재각 관계

4.3.1 BCS-A 실험체

상플랜지에만 스티드 커넥터가 있는 이 실험체는 15.47tf에서 초기 크랙이 발생하고, 16.0tf와 16.43tf에서 쿵하는 소리가 발생하였다. 그리고 16.9tf에서 최대하중값을 나타내었다. 그리고 각 하중단계별 합성보의 중립축 위치를 그림 15에 나타낸다. 중앙집중재하의 경우에도 콘크리트 슬래브 아랫면의 일부는 최대하중 때까지 인장응력을 받고있는 것을 알 수 있으나 균등 휨 실험체의 경우와 동일하게 인장변형량은 무시할 수 있다고 생각된다. 또한 상플랜지에만 스티드 커넥터가 있는 경우이지만 모멘트뿐만 아니라 전단력이 함께 작용하여도 H형강보와 콘크리트 슬래브는 미끄러짐 현상없이 일체로 거동하고 있음이 확인되어졌고, 또한 이것은 그림 13으로부터도 확인되고 있다.

4.3.2 BCS-B 실험체

이 실험체도 상플랜지와 웨브에 각각 스티드 커넥터가 있는 경우이다. 가력실험결과는 15.0tf에서 초기 크랙이 발생하였으며 17.23tf에서 최대하중값을 나타내었다. 그리고 최대하중값 이후 가력점 부근에서 콘크리트 박리현상이 두드러졌다.

이 경우에도 BCS-A 실험체와 같이 휨모멘트, 전단력을 동시에 받는 동일한 하중조건임에도 불구하고 최대내력이 전소성모멘트를 초과한 결과가 되었다. 즉 BCS-A 실험체의 거동과 비교하면 내력이 약간 증가되었다고 하여 웨브 스티드 커넥터가 중요한 역할을 한 것으로는 판단되지 않는다.

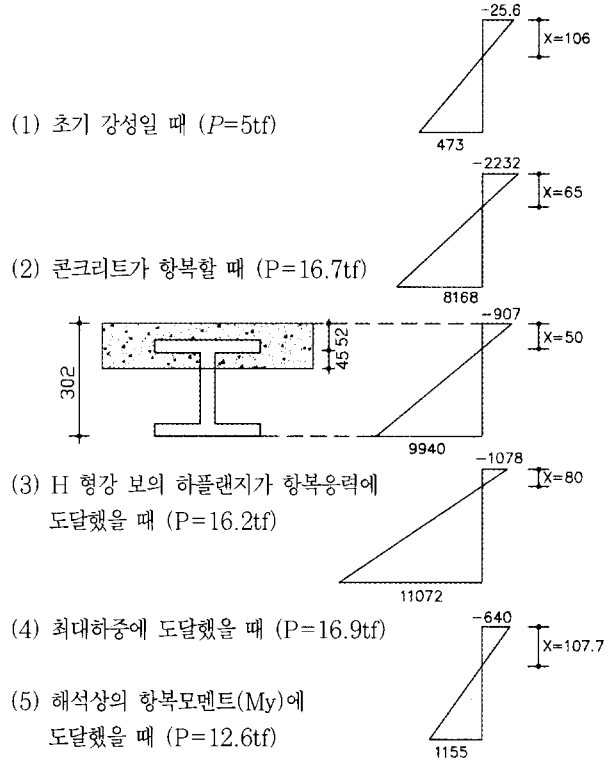


그림 15. BCS-A 실험체의 중립축의 변화

5. 휨·전단 및 전단가력실험

5.1 휨·전단 가력실험

5.1.1 실험체

휨과 전단력에 대한 저항을 검토하기 위해 그림 4와 같은 실험체를 제작하였다. 그리고 실험체의 슬래브 폭은 H형강 플랜지폭에 슬래브의 주열대폭을 고려한 2640mm로 하였다. 실험체 변수는 표 8과 같다. 슬래브 배근 및 스티드 커넥터 설계는 휨실험체와 동일하며 슬래브 내 전단보강근은 정상배근한 경우와 과도 배근한 경우의 2가지로 하였다. 그리고 플랜지 바로 아래 좌·우측 철근에 w.s.g를 부착하여 콘크리트를 타설하였다.

5.1.2 실험 방법

실대형 크기의 휨·전단 가력 실험체에 대해 가력의 편의상 그림 16과 같이 실험체를 뒤집어서 슬래브의 양끝을 단순 지지 상태로 하고, H형강보의 플랜지 부분을 가력하였다. 그리고 중앙 하부에 다이알 게이지를 설치하여 변위량을 측정하였다.

표 8. 휨·전단 가력 실험체

실험체명	가력방법	실험체 수	플랜지의 스테드 커넥터	웨브의 스테드 커넥터	전단보강근 유무	보강근
SBNR	휨 및	1	유	무	유	과도배근
SBNN	전단	1	유	무	유	정상배근

*H-400×300×10×16 사용

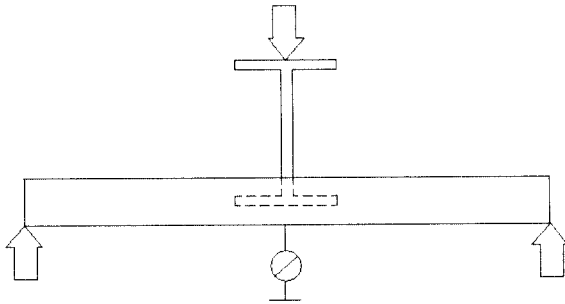


그림 16. 휨·전단 실험체의 가력 방법

5.1.3 실험결과

전단보강근을 과도배근한 SBNR 실험체는 1.64tf에서 초기 크랙이 발생하였으며, 3.48tf에서 최대하중값을 나타내었다. 전단보강근을 정상배근한 경우인 SBNN 실험체는 1.04 tf에서 초기내력이 저하하다가, 1.44 tf에서 슬래브 밑부분에 크랙이 처음 발생하였다. 최대하중값은 1.71tf 이었으며, 1.62tf에서 가력을 종료하였다.

표 9. 휨·전단 가력실험 결과

실험체	초기 크랙 발생 하중(tf)	P_{max} (tf)	M_{max} (tf·cm)	설계허용 하중 (tf)	설계 허용 모멘트(tf·cm)
SBNR	1.64	3.48	226.0	1.53	1.66
SBNN	1.44	1.71	111.0	1.53	1.66

휨·전단 가력실험 결과를 표 9에 나타내고, 표 중의 설계 허용하중 및 설계허용모멘트는 슬래브 배근 설계시에 사용된 것으로 단위 폭 길이당의 것을 본 실험체의 폭 60cm이므로 이 폭에 상응하게 환산시킨 크기이다. 설계하중보다 초기크랙 발생시의 하중이 약간 낮은 것이 나타났으나 시험체가 단 1개뿐이고 폭이 60cm인 점을 고려해야 한다고 생각된다. 그림 17에 실험체의 하중-처짐관계를 나타낸다. 이상의 결과로부터 휨·전단을 받는 합성보에서 전단보강을 과도배근하는 것이 바람직하지만 슬래브가 본 실험체와 달리 연속체로 이루어져 있으므로 정상배근을 하여도 무방하다고 사료된다.

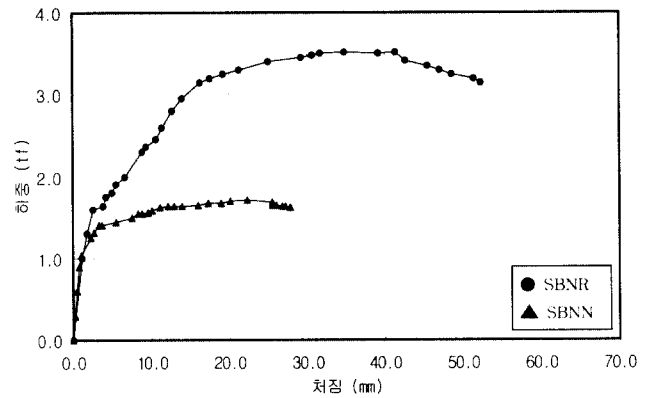


그림 17. 실험체의 하중-처짐 관계

5.2 전단가력 실험

5.2.1 실험체

전단력에 대한 저항을 검토하기 위해 SSNN, SSNR, SSSN의 명칭으로 된 3개의 전단 실험체를 제작하였다(그림 4). 실험체 일람은 표 10과 같다. 슬래브 배근 및 스테드 커넥터 배치는 휨 실험체와 동일하며, 슬래브 내 전단보강근은 정상배근 한 경우와 과도배근한 경우 2가지로 하였다. 표 10과 같이 SSNN 실험체는 상플랜지에만 스테드 코넥터가 있는 것이며, SSNR 실험체는 스테드 코넥터가 SSNN실험체와 같은 조건이나 전단보강근을 과도배근한 경우이다. 또한 SSSN실험체는 SSNN실험체와 비교할 때 웨브에도 스테드 코넥터가 더 있다는 점이다.

표 10. 전단가력 실험체

실험체명	가력방법	실험체 수	플랜지의 스테드 커넥터	웨브의 스테드 커넥터	전단보강근 유무	보강근
SSNN	중앙 집중	1	유	무	유	정상배근
SSNR		1	유	무	유	과도배근
SSSN		1	유	유	유	정상배근

*H-400×300×10×16 사용

5.2.2 실험 방법

실대형의 전단가력 실험체에 대해 그림 18과 같이 실험의 편의상 실험체를 뒤집어 설치하고, 휨모멘트의 영향을 배제하기 위하여 짧게 제작한 슬래브의 양끝을 단순지지 상태로 하고, H형강의 플랜지 위에서 가력하였다. 그리고 중앙하부에 다이알 게이지를 설치하여 변위량을 측정하였다. 가력에 100ton 용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하였다.

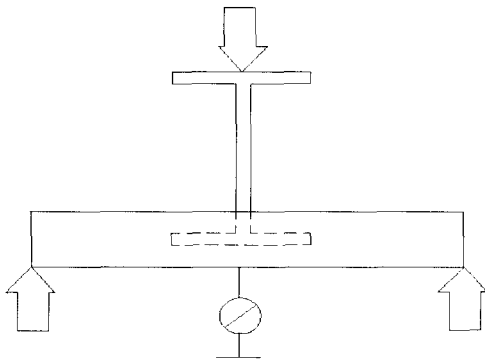


그림 18. 전단가력 실험체의 가력 방법

5.2.3 전단가력 실험 결과

3개의 실험체에 대한 전단가력 실험결과를 표 11에 나타낸다. 표 중에는 최대하중의 1/2을 취한 각 실험체의 전단내력 값과, 예상전단내력값, 그리고 슬래브 설계상에 산정된 허용설계전단력이 함께 나타나 있다. 예상전단내력은 상플랜지면과 콘크리트 슬래브면 사이의 콘크리트 부분만이 전단저항하는 것으로 본 것으로 다음과 같이 산정되어진다. 철근의 영향은 무시하였다. 각 실험체의 하중-처짐 관계를 그림 19에 나타낸다.

전단응력도 :

$$v_c = 0.53\sqrt{F_c'} = 0.53\sqrt{280} = 8.87 \text{ kgf/cm}^2$$

부담면적 : (콘크리트 부담두께 × 폭)

$$A = 9 \times 60 = 540 \text{ cm}^2$$

예상전단내력 : $v_c \times A = 4.79 \text{ tf}$

SSNN 실험체는 예상전단내력보다 낮은 결과가 나왔고 SSNR, SSSN 실험체의 경우는 예상전단내력과 비슷하지만 웨브의 스테드 코넥터의 효과가 약간 나타난 것으로 생각된다. 그렇지만 3개의 실험체 모두 허용설계전단력을 초과하고 있음을 알 수 있다.

SSNN 실험체는 상플랜지에는 스테드 커넥터가 있고, 전단보강근을 정상배근한 이 실험체는 8.97tf에서 중간부분의 파괴가 두드러지고, 전단균열이 생기면서 내력이 저하되었다.

SSNR 실험체는 상플랜지에만 스테드 커넥터가 있고, 전단보강근을 과도배근한 이 실험체는 12.1tf에서 전단파괴로 내력이 저하하기 시작하였으며, 8.6tf에서 가력을 종료하였다.

SSSN 실험체는 상플랜지와 웨브에 각각 스테드 커넥터가 있고, 전단보강근을 정상배근한 경우인 이 실험체는 9.15tf에서 웨브 바로 밑부분 콘크리트에 균열이 발생하여

10.07tf에서 전단파괴로 내력이 저하되었으며, 9tf에서 가력을 종료하였다.

표 11. 전단가력 실험 결과 (단위 : tf)

실험체	초기 크랙 발생하중	P_{max}	전단내력	예상전단내력	허용 설계 전단력
SSNN	8.97	8.97	4.49	4.79	1.61
SSNR	9.80	12.10	6.05	4.79	1.61
SSSN	9.15	10.07	5.04	4.79	1.61

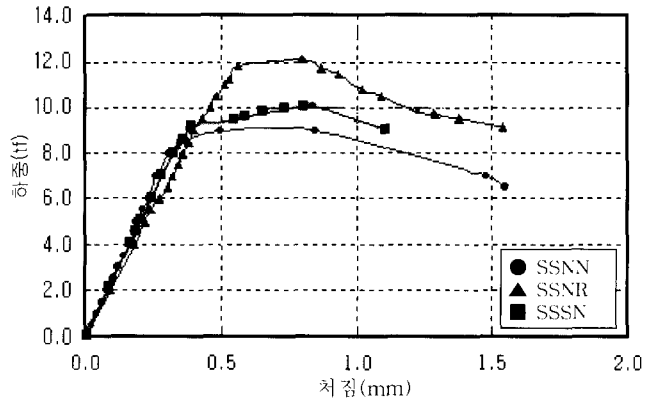


그림 19. 실험체의 하중-처짐 관계

4. 결 론

이상과 같은 실험연구 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 합성보의 균등 휨 실험결과 스테드 커넥터를 가진 실험체는 안정된 역학적 성능을 가지고 있음을 확인하였다. 스테드 커넥터가 없는 경우는 초기 강성 및 강도 면에서는 스테드 커넥터를 가진 경우와 차이가 없었으나 최대내력 이후 급격한 파괴가 나타났다.
- (2) 합성보의 중앙 집중재하 실험에서는 웨브의 스테드 커넥터 유무에 따른 차이가 거의 없다는 것을 확인하였다.
- (3) 휨·전단 가력실험에서는 상부 철근 배근을 과도하게 한 경우가 정상배근 때보다 성능이 우수한 것으로 나타났다으나 정상배근으로 실제 적용하여도 무리가 없다고 사료된다.
- (4) 전단 가력 실험결과에서는 보강근의 유무와 웨브의 스테드 커넥터의 유무가 전단내력에 영향을 미치고 있으며, 본 합성보에서는 전단저항에 문제가 없음을 확인하였다.

(5) 실험결과를 종합해보면 상플랜지에 스티드 커넥터를 대한건축학회 강구조계산규준의 합성보 설계규정에 따라 정상적으로 배치하고 슬래브의 상부 철근을 정상배근하면 충분한 구조적 성능을 발휘할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

안승현, 합성 슬림플로어-철골보의 구조 거동에 관한 연구, 아주대학교 석사학위 논문, 1999

대한주택공사, 철골조 초고층아파트 시스템 개발연구(1, 2, 3), 1995~1997

배규웅 외, 골형 합성 데크플레이트를 사용한 반슬림 합성보의 개발에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집 제13권 1호, pp.29-40, 2001. 2

대한건축학회, 강구조계산규준 및 해설, 아정문화사, 1983. 5

대한건축학회, 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규

준 및 해설, 대한건축학회, 1988

대한건축학회, 철근콘크리트 구조계산규준 및 해설, 아정문화사, 1982. 4

POSCO, 강구조 건축설계 GUIDE BOOK, 포항종합제철(주), 1995. 8

日本建築學會, 各種合成構造設計指針・同解説, 日本建築學會, 1985

The Steel Construction Institute, "Slim Floor Design and Construction", 1992.

The Steel Construction Institute, Slim Floor Construction Using Deep Decking, 1993. 5

Staalbouw Instituut Multi-Storey Buildings Design Guide for Slim Floor with Built-in Beams, 1995. 4.

(접수일자 : 2003. 9. 17 / 심사일 2003. 10. 19 / 심사완료일 2003. 11. 22)