

RC-S 복합보의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Mechanical Properties of Composite Beam Composed
End Reinforced Concrete and Center Steel

김 철 환¹⁾ · 채 원 탁²⁾

Kim, Cheol Hwan Chae, Won Tak

요약 : 본 연구에서는 단부 철근콘크리트구조와 중앙부 철골구조로 이루어진 복합구조 보를 대상으로 내력 및 강성, 변형능력을 평가하기 위해 반복재하 실험을 행하였다. 주된 실험변수는 철근콘크리트와 철골보의 이종구조 이음부부의 용력전달을 위해 철골보에 접합되는 철근의 개수와 단부 콘크리트를 구속하여 강성을 상승시킬 목적으로 설치되는 부착판의 설치유무이다. 실험결과 모든 실험체가 방추형의 이력 거동을 나타내며 안정된 거동을 하였으며, 내력에 있어서는 부착판 설치 실험체의 경우가 기본형 실험체 보다 높게 나타났다. 또한, 강성에 있어서도 단부에 부착판을 설치한 실험체가 설치하지 않은 실험체에 비하여 보다 높게 나타났으며, 모든 실험체가 최대 내력시의 부재각이 0.03rad. 이상의 변형능력을 나타내고 있다.

ABSTRACT : The beam of composite structure composed of the RC structure in the end part and steel structure in the central part were investigated during cyclic loading, in order to evaluate strength, stiffness, and deformational capacity. The parameters used in this study include the amount of reinforced steel bar between the steel beam and RC structure and the existence of the sticking plate. Test results showed that all specimens had stabilized hysteresis loops. Likewise, the specimens with sticking plate had higher load-carrying capacity compared with the one without it. In addition, the stiffness of the composite structure was higher than the steel structure. All specimens also showed good rotational capacity.

핵심용어 : 복합구조, 접합부, 부착판, 내력, 강성

KEYWORDS : Composite structure, Connection, Sticking plate, Strength, Stiffness.

1. 서 론

최근 건축물의 고층화와 고기능화에 효과적으로 대응하기 위해 합리적인 구조형식의 개발이 지속적으로 이루어져 왔으며, 인장측에 강재를 배치하고 압축측에 콘크리트를 배치한 합성구조형식이 많은 부분을 차지하고 있다. 합성구조 형식은 외력에 대해 단면이 일체화되어 저항하는 우수한 구조형식으로 최근에는 보다 경제적이고 합리적인 합성구조형식의 도입을 위한 연구⁽¹⁾가 진행되고 있다. 이러한 합성구조와는 달리 기둥에는 압축저항능력이 우수한 철근콘크리트를 배치하고, 보에는 휨저항능력이 우수하고 경량화가 가능한 철골보를 배치하는 혼합구조 형식⁽²⁾의 도입이 시도되고 있다. 철근콘크리

트기둥과 철골보로 이루어진 복합구조는 부재의 배치방법에 있어서는 합리적인 구조형식이라 판단되지만 기둥-보 접합부의 일체성 확보와 시공의 어려움이 남아있다.

한편 철근콘크리트기둥과 철골보로 이루어진 혼합구조형식 중에서 시공상의 간편함과 일체성 확보를 위해 철근콘크리트 기둥과 단부 철근콘크리트 중앙부 철골로 이루어진 복합구조 형식의 도입이 제안되어 연구^{(3), (4)}가 진행되어 왔다. 이러한 구조형식은 기둥-보 접합부인 패널존부의 일체성 확보 이외에도 보의 단부가 휨강성이 높은 철근콘크리트로 이루어짐으로 인해 구조체의 수평력에 대한 저항능력이 향상되는 장점도 가지고 있다.

본 연구에서는 단부 철근콘크리트 중앙부 철골로 이루어진

1) 정회원, 상주대학교 조교수, 공학박사

2) 정회원, 상주대학교 조교, 공학석사

본 논문에 대한 토의를 2003년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

복합보(이하, RC-S복합보라 칭함)를 대상으로 철근 콘크리트와 철골의 이음부의 철근 배치방법과 단부 콘크리트를 구속하기 위한 부착판 설치에 따른 휨저항능력 및 휨강성, 변형능력을 중심으로 실험을 통해 역학적 특성을 규명하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 실험계획

2.1 실험체

실험체 일람은 표 1에 나타낸다. 표 1에 나타낸 것과 같이 일반적인 형태의 기본형 실험체 3체와 부착판의 효과를 확인하기 위한 부착판 설치 실험체 2체를 준비하였다. 부재의 설계에 있어서는 특히, RC-S복합보에 있어서 H형 보와 철근 콘크리트 보와의 연결부위에는 그림 1에서와 같은 지랫대 효과⁽⁵⁾에 의한 전단력 rQ , sQ 가 발생하며 실험체 설계시 집중 전단보강근을 배근하여 발생하는 전단력에 충분히 저항할 수 있도록 설계하였으며, 휨모멘트에 대하여는 중앙부 철골보 부

표 1. 실험체 일람표

NO	실험체명	주근	플랜지 용접철근	부착판 정착철근	강재매입 길이	비고
1	M2N	6-D10	2-D10	-	337 (mm)	기본형 부착판 설치형
2	M3N		3-D10	-		
3	M4N		4-D10	-		
4	M2A4		2-D10	4-D10		
5	M3A3		3-D10	3-D10		

M 2 A 4

A : 부착판 있음, N : 부착판 없음.
4 : 부착판 정착 주근 수
2 : 플랜지 용접 정착철근 수

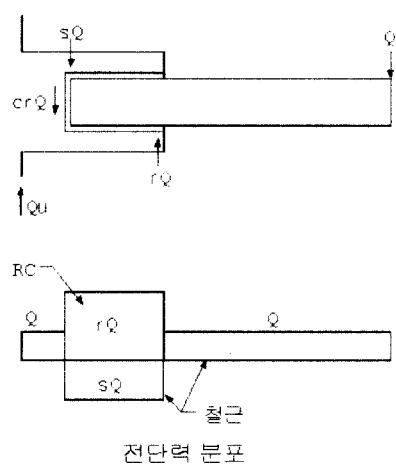


그림 1. 응력전달 모델

분보다 단부 철근콘크리트 부분에서 항복이 일어나도록 설계하였다.

실험체의 형상은 그림 2에 나타낸다. 기본형 실험체는 보에 발생하는 휨응력의 원활한 전달을 위하여 단부 철근콘크리트에 설치되는 인장주근을 철골보 플랜지에 용접하였으며, 용접한 인장주근의 갯수는 보의 종국 휨모멘트의 40%, 60%, 80%로 설정하였다. 또한 인장주근의 용접길이는 용접부의 전단강도가 인장주근보다 높은 강도를 가지도록 설정하였다. 부착판 설치형 실험체는 기본형 실험체와 동일하나, 그림 2에서와 같이 콘크리트 단부에 플랜지에 용접접합을 하지 않은 철판을 덧대어 플랜지에 용접되지 않은 인장주근을 용접 접합하여 콘크리트가 인장을 받을 경우 인장주근에 의해 부착판으로 콘크리트를 구속하도록 설치한 실험체이다.

실험체는 기둥에 한쪽에만 보가 설치된 T형 실험체로 계획하였으며, 크기는 수평하중이 작용할 경우 보에서 모멘트가 "0"이 되는 위치까지를 대상으로 실물의 1/2의 크기로 제작하였다. 또한 철근 콘크리트 보에 철골 보가 매입되는 매입간의 길이는 기존의 연구결과⁽⁵⁾에 따라 철골보 높이의 1.7배로 하였다.

2.2 실험방법

실험체의 설치상황은 그림 3에 나타낸다. 그림 3과 같이 기둥부분은 반력바닥에 고정하였으며, 보를 수직으로 설치하여 보의 단부에서 액튜에이터로 수평으로 반복가력을 행하였다. 실험체의 가력사이클은 그림 4에 나타낸다. 가력방법은 초기 사이클을 예상 항복변위의 1/2로 설정하여 2배씩 변위를 증가시키며 반복가력을 하였으며, 액튜에이터의 한계치에 도달할 때까지 실험을 행하였다.

그림 5는 실험체에 부착한 스트레인 케이지의 위치를 나타낸다. 그림 5에 나타내는 것과 같이 실험체에 부착된 스트레인 케이지를 통해 각 단계별 실험체의 변형도를 확인하였으며, 실험체의 전체적인 거동은 기둥 면과 하중 가력점에 설치한 LVDT를 통하여 변위를 추적하였다. 특히 기둥면에 설치한 LVDT는 가역시 실험체에 발생할 수 있는 미끄러짐을 확인하기 위하여 설치하였다.

2.3 사용 재료

본 실험에 사용된 콘크리트는 설계강도 210kgf/cm^2 인 일반 콘크리트를 대상으로 하고 있으며, 철근은 D10. 항복강도가 4000kgf/cm^2 인 철근을, 철골 보에는 H-198×99×4.5×7로서 SS400강재를 사용하였다. 재료시험은 콘크리트의 경우

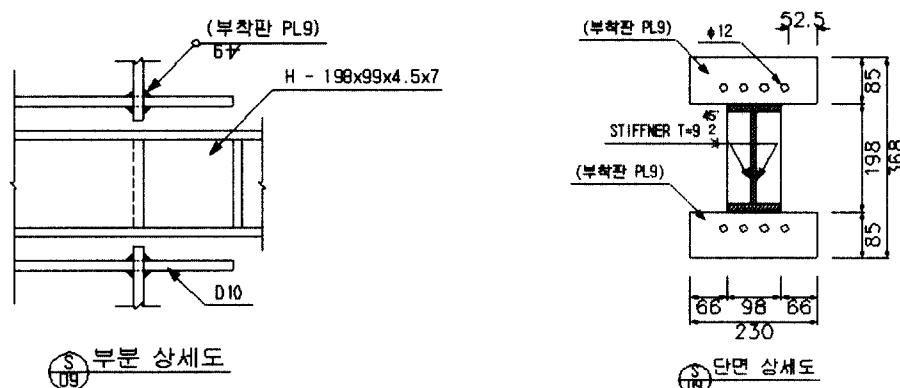
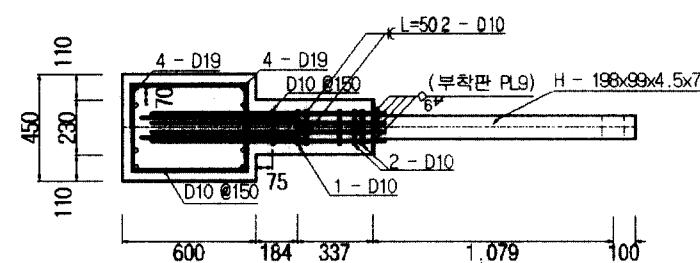
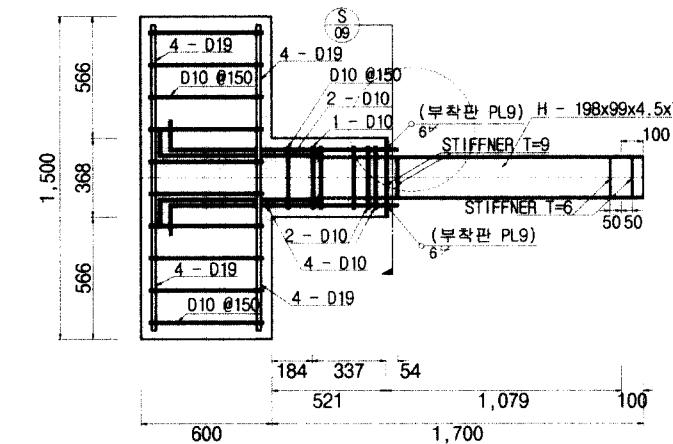


그림 2. 실험체 혈상(부착판 설치 실험체)

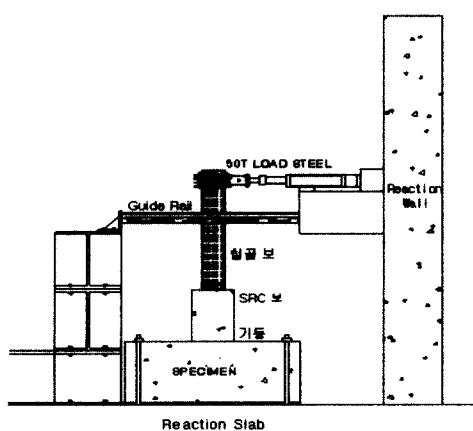


그림 3. 실험체 설치상황

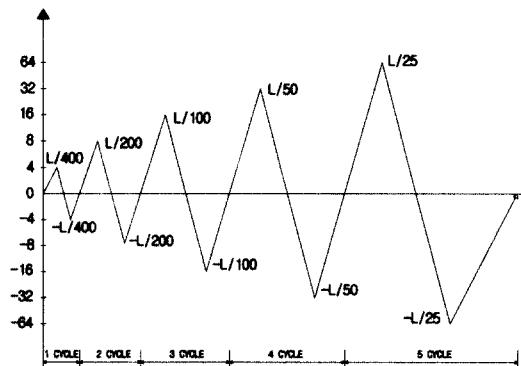


그림 4. 가력사이클

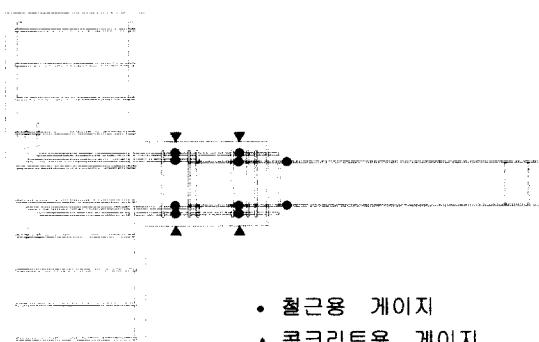


그림 5. 게이지 부착 위치도

표 2. 콘크리트의 재료시험결과

설계강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (tf/cm ²)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)
210	249	201	14	4.7

표 3. 철근 및 강재의 기계적 성질

구 분	치수	등급	σ_y (tf/cm ²)	σ_u (tf/cm ²)	Y_R	Elo (%)
철 근	D10	SD40	5.05	6.79	0.73	21.8
철 골 플랜지	25×7.4	SS400	3.36	4.78	0.71	32.2
철 골 웨브	25×5.4	SS400	3.63	5.01	0.72	34.0

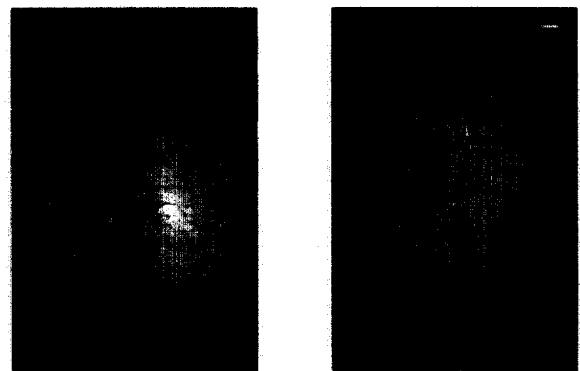
σ_u : 인장강도, σ_y : 항복강도, $Y_R = \frac{\sigma_y}{\sigma_u}$: 항복비, Elo : 연신율

$\phi 10 \times 20\text{cm}$ 인 공시체를 제작하여 28일 양생하여 부재 실험을 수행하기 직전에 압축시험을 하였으며, 철근 및 H형강은 KS B 0801에 의해 플랜지와 웨브 부분의 평탄부를 철취하여 인장시험을 실시하였다. 사용된 콘크리트의 재료시험결과는 표 2에 나타내며, 철근과 H형강의 재료시험결과는 표 3에 나타낸다.

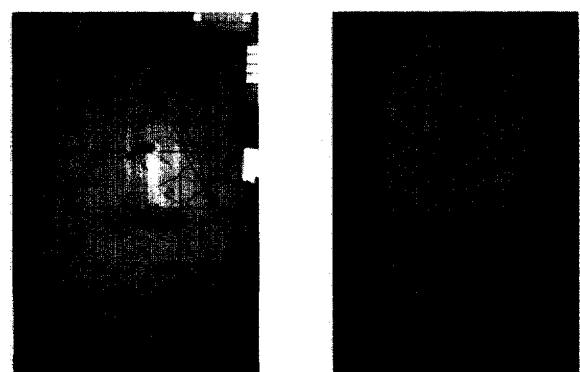
3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴형상

실험종료후의 실험체의 파괴형상은 그림 6, 7에 나타낸다. 기본형 실험체의 경우 하중 2tf를 전후하여 강재 매입구간의 철근 콘크리트 연단에서 휨에 의한 초기 균열이 발생하였으며, 하중이 증가됨에 따라 콘크리트 내부로 확산되었으며 부재각이 0.01rad.을 전후하여 부분적으로 전단 균열이 발생하



(a) M3N 실험체



(b) M2A4실험체

그림 6. 실험종료 시의 파괴형상

였으나, 종국적으로 기둥과 보의 접합부위에서 휨균열로 인하여 내력의 저하현상을 나타내었다.

부착판 설치형 실험체의 경우에는 하중 2.2tf를 전후하여 콘크리트 강재매입구간의 강재 연단부위에서 휨에 의한 초기 균열이 발생하였다. 이후 하중의 증가와 함께 콘크리트 내부로 균열이 진전되었으며, 부재각이 0.02rad.를 전후하여 전단균열이 발생되어 매입된 강재를 따라 균열이 진전되었다. 실험종료 시에는 기둥과 보의 접합부 부위에서 휨균열에 의해 파괴되었으며, 용접철근의 용접부의 파단은 발생하지 않았다.

3.2 하중-변위 관계

실험체의 하중-변위관계는 그림 8에 나타낸다. 그림중의 수평파선은 각 실험체의 단기허용내력을 나타내고 있으며, ▼는 실험체의 최대 강도를 나타내고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 기본형 실험체와 부착판 설치 실험체 모두 단기허용내력에 도달하기까지는 거의 선형으로 탄성거동을 하고 있으며, 또한, 대부분의 실험체가 실험종료 시까지 방추형 이력특성을 나타내며 안정적인 이력거동을 하고 있다.

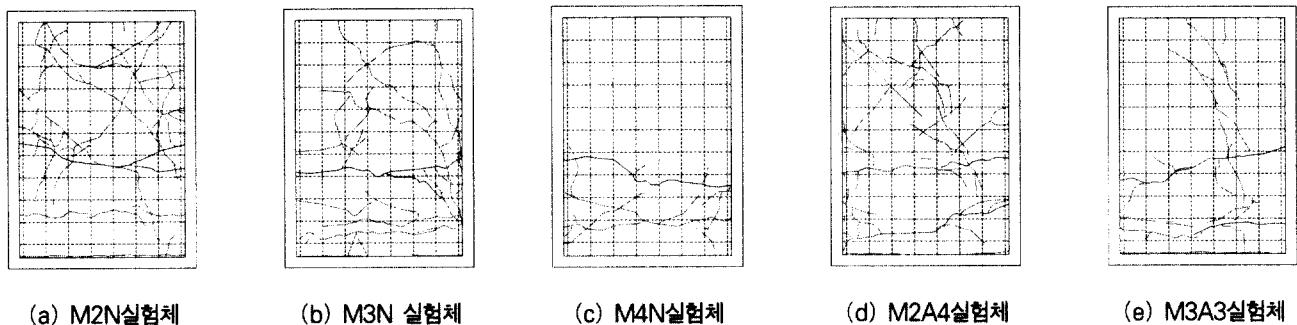


그림 7. 실험체 균열도

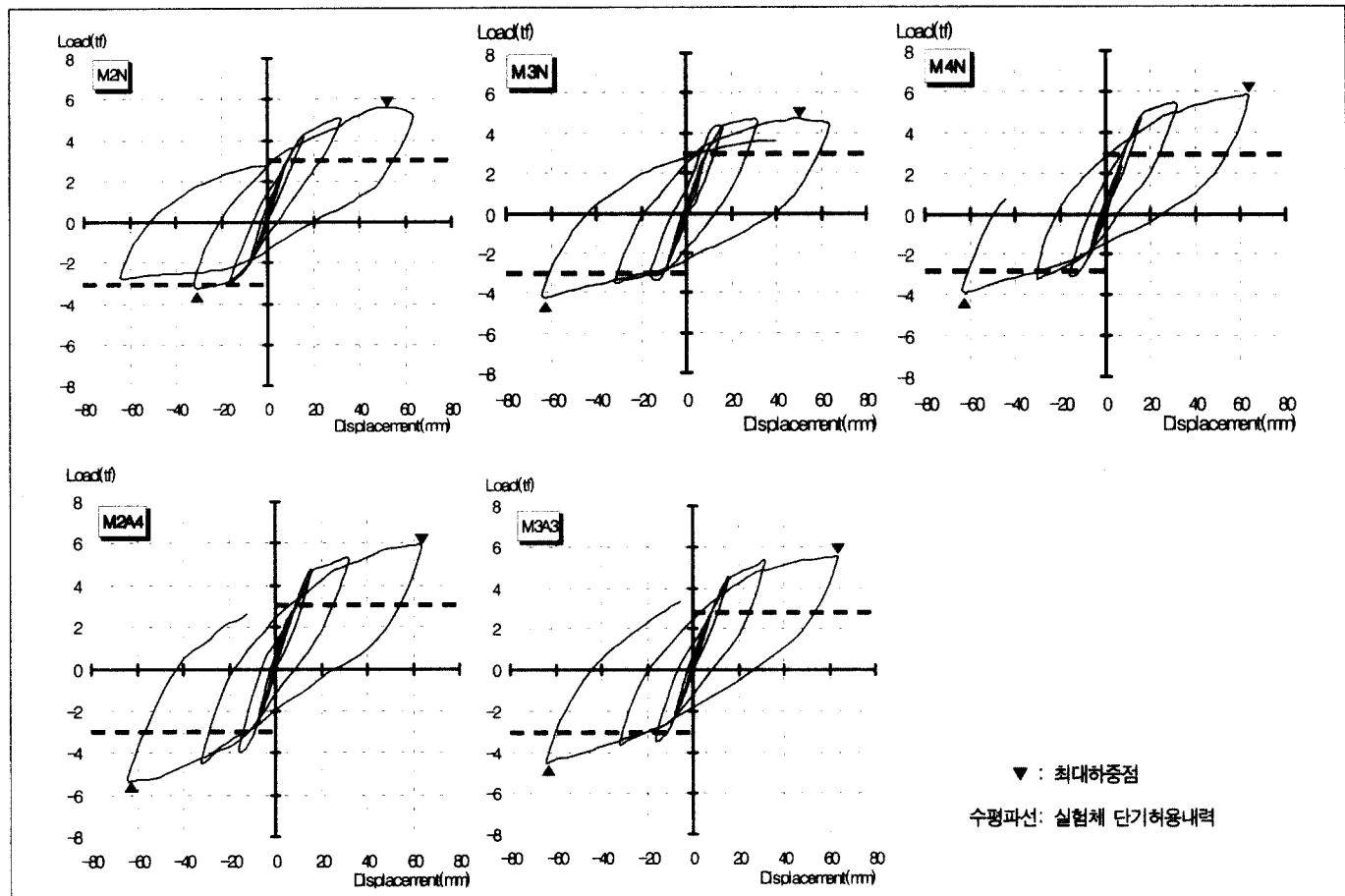


그림 8. 실험체의 하중-변위관계

기본형 실험체 중 인장주근을 플랜지에 2개를 용접 접합한 M2N실험체의 경우, 항복하중이후 급격한 강성의 저하 현상과 함께 조기에 최대내력에 도달하고 있으나, 기본형 실험체 중 인장주근 3개 및 4개를 플랜지에 용접접합한 M3N, M4N실험체인 경우에는 항복이후 최대내력점에 도달할때까지 내력의 급격한 열화없이 안정된 특성을 나타내고 있다.

한편, 부착판을 설치한 M2A4, M3A3실험체의 경우에는 인장주근의 플랜지 용접접합 개수에 상관없이 액튜에이터 스트록의 한계치에 도달하여 실험을 종료하기까지 내력의 열화없이 높은 변형능력을 나타내고 있다.

3.3 항복내력 및 최대내력

실험체의 항복내력은 표 4에, 최대내력은 표 5에 나타낸다. 표 4와 5에 있어서 실험체는 각실험체의 정(+)방향과 부(-)방향의 실험치를 각각 확인 기록하였으며, 실험체의 설치상황에 따라 정방향과 부방향의 실험치의 편차가 크게 발생하여 실험체별 평균치를 산정하여 계산치와 비교 검토하였다.

항복내력에 있어서 기본형 실험체인 경우에는 인장주근을 플랜지에 용접 접합한 철근의 갯수가 많을수록 내력이 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 부착판 설치 실험체의 경우에는

플랜지에 용접접합한 인장주근의 개수에 따른 내력의 증가는 거의 나타나지 않고 있지만, 동일한 배근형태의 기본형 실험체보다 항복내력에 있어서는 15%이상 높은 내력을 나타내고 있다. 또한, 모든 실험체가 단기 허용내력의 99%~117%정도로 단기허용내력과 대등하거나 상회하고 있다.

최대내력에 있어서 기본형 실험체인 경우에는 항복내력에서와 같이 인장주근의 플랜지 용접접합개수의 증가에 따라 내

표 4. 실험결과 (항복내력)

실험체명	실험치	계산치*	실험치 계산치
M2N	3.32, 2.40 (2.86)	2.90	0.99
M3N	3.21, 2.66 (2.94)		1.01
M4N	3.75, 2.62 (3.19)		1.10
M2A4	3.47, 3.21 (3.34)		1.15
M3A3	3.74, 3.03 (3.39)		1.17

()는 평균치, *는 실험체의 단기허용내력임

표 5. 실험결과 (최대내력)

실험체명	실험치(tf)	계산치(tf)	실험치 계산치
M2N	5.63, 3.11 (4.37)	3.86	1.13
M3N	4.72, 4.17 (4.44)		1.15
M4N	5.76, 3.85 (4.81)		1.25
M2A4	5.86, 5.29 (5.58)		1.45
M3A3	5.51, 4.49 (5.00)		1.29

()는 평균치를 나타낸다.

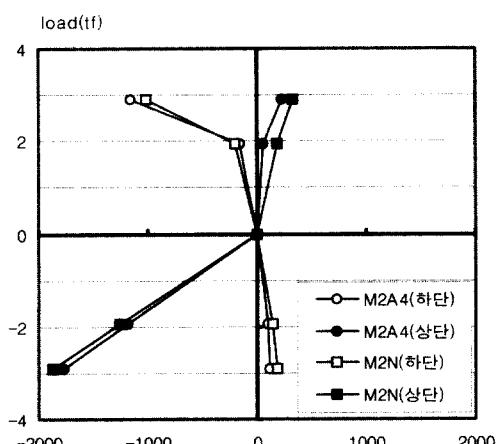


그림 9. 주근의 변형율

력이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 모든 기본형 실험체가 계산치의 13%~25%정도 상회하는 값을 나타내고 있다. 또한, 단부에 부착판을 설치한 실험체의 경우에는 인장주근을 플랜지에 2개 용접접합하고 인장주근 4개를 부착판에 접합한 M2A4실험체가 인장주근 3개를 플랜지에 3개를 부착판에 접합한 M3A3실험체보다 높은 내력을 나타나고 있으며, 모든 실험체가 계산치의 29%~45%전후로 높은 값을 나타내고 있다.

기본형 실험체와 부착판 설치 실험체가 장기 허용내력 (1.93tf) 및 단기 허용내력(2.9tf)에 도달하였을 때의 철근의 변형율은 그림 9에 나타낸다. 압축측은 콘크리트가 압축에 저항함으로 인해 철근의 변형율은 항복변형율의 20%수준에서 머물고 있으며, 인장측 철근에 있어서도 단기 허용용력도 레벨(내력 2.9tf)에 도달하여도 변형율은 1800×10^{-6} 전후에 머물고 있어 항복변형율 2400×10^{-6} 에 도달하지 않아 철근이 아직 항복하지 않고 탄성상태에 머물고 있다.

3.4 실험체의 강성

실험체의 초기 강성을 그림 10에 나타낸다. 그림 중의 실선은 순수 철골보인 경우의 강성을 계산치로 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 단부를 철근 콘크리트로 구성하고 중앙부를 철골로 이루어진 RC-S 복합보의 경우에는 모든 실험체가 순수 철골보에 비하여 1.2~1.8배 전후의 높은 강성을 나타내고 있다. 그러나 RC-S복합보의 기본형 실험체 및 부착판 설치 실험체에 있어서 인장주근의 플랜지 용접개수에 따른 강성의 차이는 크게 나타나지 않고 있다. 또한, 기본형 실험체와 부착판 설치 실험체의 초기 강성의 비교에 있어서는 부착판을 설치한 실험체가 기본형 실험체에 비하여 높은 강성을 나타내고 있다.

그림 11은 기본형 실험체와 부착판설치 실험체의 사이클별 원점강성을 비교하여 나타낸다. 부착판을 설치한 M2A4실험체가 기본형 실험체인 M2N실험체에 비해 원점강성은 15%정도 높게 나타나고 있다. 사이클의 진행과 더불어 강성의 감소비는 거의 동일한 수준을 나타내고 있으며, 1사이클과 2사이클에서는 20%내외의 감소를 나타내고 있고 실험종료시의 4,5사이클에 있어서는 40~60%전후의 감소를 나타내고 있어 사이클이 진행됨에 따라 강성의 감소가 급격함을 알 수 있다.

3.5 변형능력

각 실험체의 항복내력시의 부재각과 최대내력시의 부재각을 표 6에 나타낸다. 모든 실험체에 있어서 항복내력시의 부재각과 최대내력시의 부재각의 비를 연성율로 정의할 때, 모든 실험체의 연성율은 4~6전후의 높은 값을 나타내고 있어

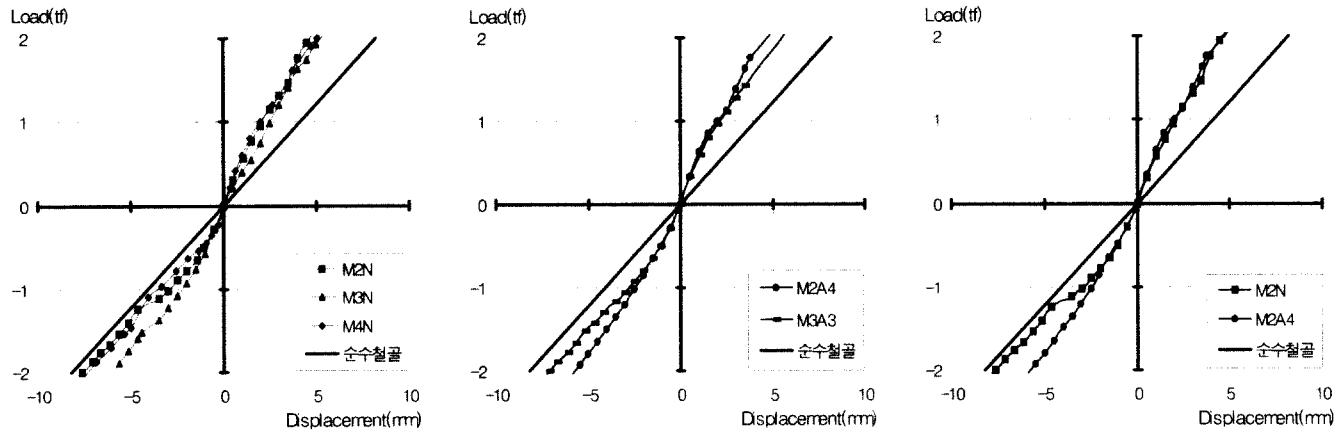


그림 10. 실험체의 강성

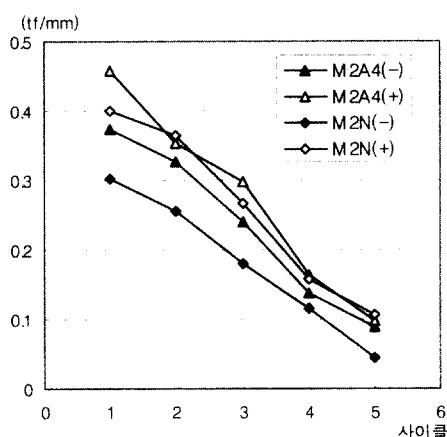


그림 11. 원점강성

항복이후에도 급격한 내력의 저하없이 높은 변형능력을 가지고 있음을 알 수 있다. 각 실험체에 대한 모멘트-부재각 관계는 그림 12에 나타낸다. 대부분의 실험체가 최대내력점에 있어서 부재각이 0.03rad. 이상의 변형능력을 보이고 있으나, 기본형 실험체중 인장주근을 플랜지에 2개만 용접접합한 M2N 실험체의 경우에는 종국내력의 40%의 인장철근을 철골보의 상플랜지에 용접접합한 실험체로서 응력의 전달에 문제점이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 부착판 설치 실험체인 M2A4, M3A3실험체의 경우에는 최대 내력점에 있어서 부재각은 0.04rad. 이상으로서 높은 변형능력을 나타내고 있으며, 이는 철골보에 용접 접합하지 않은 인장주근을 부착판에 정착함으로서 원활한 응력의 전달이 가능한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 RC-S복합보의 이음부에 있어서 철근콘크리

표 6. 실험체별 연성율

실험체명	R_y (rad.)	R_u (rad.)	$\frac{R_u}{R_y}$
M2N	0.0064, 0.0064 (0.0064)	0.032, 0.019 (0.026)	4.06
M3N	0.0067, 0.0053 (0.0060)	0.032, 0.040 (0.036)	6.00
M4N	0.0072, 0.0060 (0.0066)	0.040, 0.040 (0.040)	6.06
M2A4	0.0063, 0.0063 (0.0063)	0.038, 0.037 (0.037)	5.87
M3A3	0.0073, 0.0073 (0.0073)	0.040, 0.040 (0.040)	5.48

()는 평균값, R_y : 항복내력시의 부재각, R_u : 최대내력시의 부재각

트부의 인장주근을 철골보에 용접접합한 기본형과 콘크리트 단부에 콘크리트를 구속하는 부착판을 설치 실험체를 대상으로 부재의 거동에 관한 실험을 행하였으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) RC-S 복합보에 있어 인장주근의 철골플랜지 용접접합 개수 및 부착판 설치유무에 관계없이 방추형의 안정된 이력거동을 나타내고 있으며, 단기 허용내력시까지는 거의 선형으로 탄성거동을 하고 있다.
- (2) 모든 실험체의 항복내력이 부재의 단기허용내력과 대등하거나 상회하고 있어 부재의 허용응력도 설계시 항복내력으로 단기 허용내력을 평가할 수 있다.
- (3) 부착판 설치 실험체가 기본형 실험체에 비해 최대 내력 및 항복내력에서 15%전후의 높은 내력을 나타내고 있으며, 강성에 있어서는 RC-S복합보의 경우 순수 철골보에 비해 부재의 1.2~1.8배 전후의 높은 값을 나타내고 있다.
- (4) 모든 실험체에 있어서 연성율은 4이상으로 높은 값을

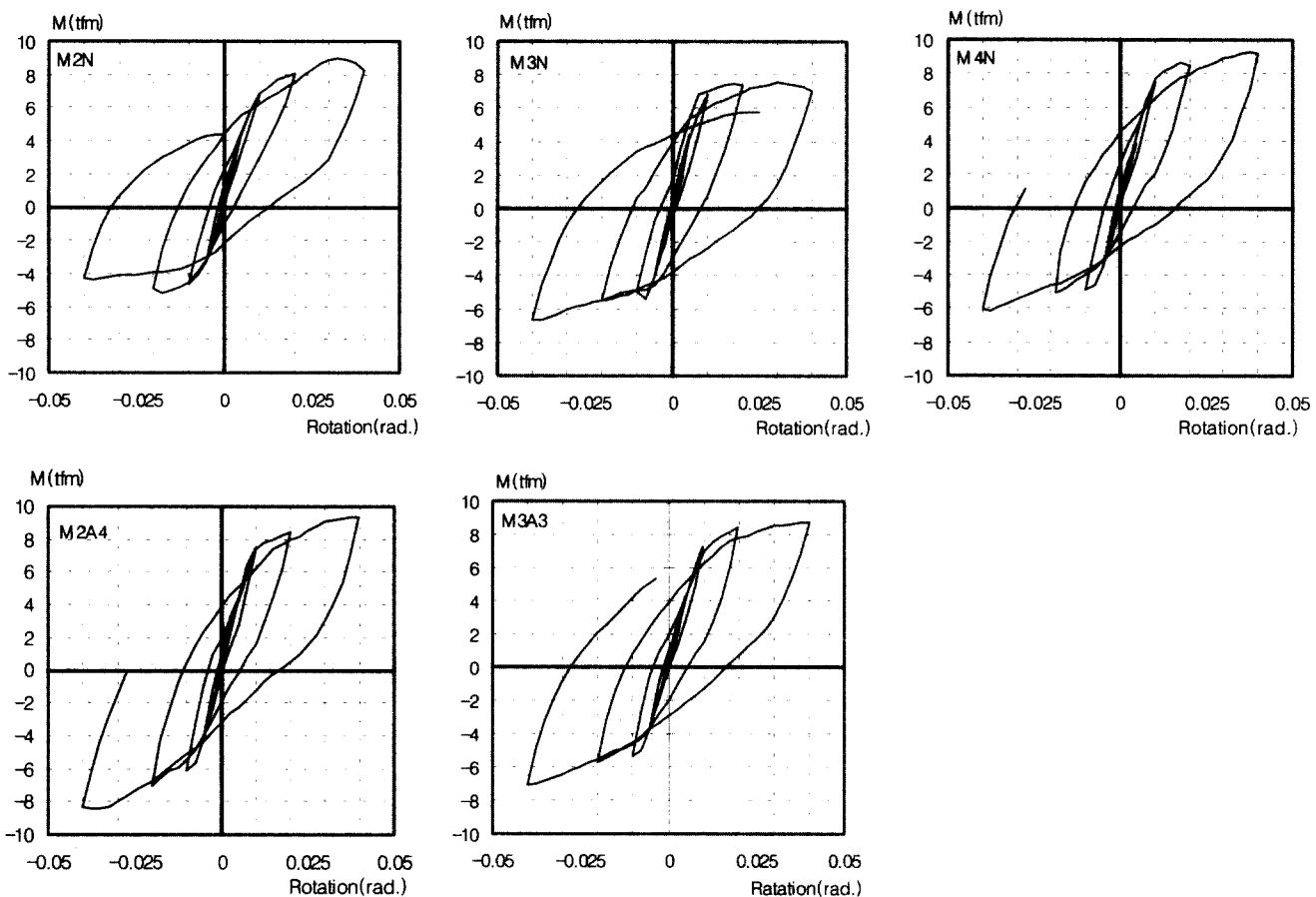


그림 12. 실험체의 모멘트-부재각 관계

나타내고 있으며, M2N실험체를 제외한 모든 실험체가 최대내력시의 부재각이 0.03rad. 이상의 변형능력을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어서 계명대학교 건축공학과 김성은 교수님 연구실의 도움을 받았습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 박기효 외 5인, 1999.10, TEC-BEAM의 휨거동에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp368~373.
- 최광호, 2002.8, 철골보-철근콘크리트 기둥 접합부의 휨 및 전단 저항성능에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집 제 12권 제4호, pp429~436.
- 김옥종 외4명, 2001.6, 단부 RC조와 중앙부 철골조로 이루어진 RS보의 전단집중보강근의 효과에 관한 연구, 대한건축학회논문집 17권 6호(통권 152호), pp.35~42.
- 강병수 외 2인, 2002.6, 단부 철근콘크리트-중앙부 철골로 구성된 복합보의 거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집 제14권제3호, pp413~423.
- 金田和浩, 吉崎征二, 宮崎直志, 川端一三, “RC積層構法による超高層骨組の構造実験(その8材端部RC中央部鐵骨で構成される複合構造梁の載荷試験)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1987. 10., pp.305~306.
- 川端一三 他, RC積層工法による超高層骨組の構造実験(その6 はりのせん断補強方法に関する実験), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1987. 10., pp. 301~302
- 淺山長生 他, 端部RC造中央部S造の複合構造梁の実験-その1 實験の概要-, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993.9., pp.1867~1868.
- 網干眞一 他, 端部RC造中央部S造の複合構造梁の実験-その2 應力傳達機構-, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993.9., pp.1869~1870.

(접수일자 : 2002년 7월 31일)