

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 성능 분석 연구

Load carrying capacity of Structural Composite Hybrid System (Green Frame)

홍 원 기*
Hong, Won-Kee

김 선 국**
Kim, Sun-Kuk

김 승 일***
Kim, Seung-II

Abstract

An experimental investigation of composite beams composed of wide flange steel and precast concrete is presented. The bottom flange of the steel section is encased in precast concrete. The composite beams tested in this study were designed to reduce the depth of the slab and beam. The slabs are constructed on top of the edges of the Structural Composite Hybrid System, instead of on top of the steel flange, decreasing the depth of the beams. When concrete is cast on the metal deck plate located on the edges of the precast concrete, the weight of the concrete slabs and other construction loads must be supported by the contacts between the steel and the precast concrete. This interface must not exhibit bearing failures, shear failures, and failures caused by torque due to the loading of the precast concrete. When the contact area between the concrete and the bottom flange of the steel beam is small, these failures of the concrete are likely and must be prevented. The premature failure of precast concrete must not also be present when the weight of the concrete slabs and other construction loads is loaded.

This paper presents a load carrying capacity of Structural Composite Hybrid System in order to observe the failure mode. The symmetrically distributed loading that caused the failure of the composite beam was found. The paper also provides design recommendations of such type of composite structure

키워드: 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보, 등분포 하중, 대칭가력, 파괴양상, 시공하중

Keywords : Structural Composite Hybrid System, Symmetrical loading, Failure shape, Construction load

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 수도권을 비롯한 도심지의 경우 인구 과밀화 현상에 따른 토지 이용의 효율성 제고를 목적으로 건물의 고층화가 이루어지고 있다. 기존에 널리 적용되고 있는 철근콘크리트 구조의 경우 건물의 높이가 증가 할수록 주요 부재의 물량이 크게 증가하는 단점이 있으며, 열에 취약한 철골 구조의 경우 내화피복이 필수적일 뿐 아니라 좌굴에 대한 적절한 보강이 요구된다. 이에 단일부재가 아닌 각 재료의 구조적 장점을 활용한 다양한 합성부재의 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다.

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보는 철근 콘크리트와 철골의 구조적 장점을 결합하여 효율성을 극대화 시킨 신개념 합성보이다. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보는 2개의 부분으로 구성된다. 첫째, 공장에서 철골과 콘크리트가 일체화로 제작되는 프리캐스트 부분이며, 둘째, 현장에서 슬래브와 일체 타설되는 현장 타설 부분이다. 철

골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 경우, 시공 시 공장에서 제작된 프리캐스트 부분을 기둥에 설치하고 설치된 보의 측면 콘크리트 상부에 데크 플레이트를 설치한다. 이로 인해 현장 타설 콘크리트에 의한 슬래브 자체 중량 및 시공 시 발생하는 적재하중, 활하중은 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 측면인 프리캐스트 콘크리트 부분에 집중된다.

따라서 본 연구의 목적은 공장에서 제작된 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 프리캐스트 콘크리트가 지지 할 수 있는 최대하중을 파악하고 시공 하중에 대한 안전성을 검토 하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보를 대상으로 실시하였으며, 시공하중에 대한 안전성 확인을 위하여 실제 시공 시와 동일한 하중조건으로 실험을 계획하였다. 주요 검토 사항으로는 등분포 하중 가력에 의한 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 스티립 인장변형 발생 여부, 철골 하부 플랜지와 콘크리트 접합면의 파괴양상 및 스티드 볼트의 변형 발생 여부, 타설되는 콘크리트 자체 중량 및 적재하중, 활하중에 대한 콘크리트의 탈락여부를

* 경희대학교 건축공학과 부교수, 공학박사 (hongwk@khu.ac.kr)

** 경희대학교 건축공학과 정교수 (kimsuk@khu.ac.kr)

*** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 석사과정 (seungilkim@khu.ac.kr)

확인하는데 목적이 있다.

2. 실험 개요

2.1 슬래브 두께에 따른 시공하중 계산

슬래브의 시공하중은 시공 시의 자체중량, 고정하중 및 적재하중을 포함하여 산정한다. 그림 1.은 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 측면 테크 플레이트 설치 평면도를 나타낸 것이다. 테크 슬래브에 발생하는 시공하중에 대하여 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 부담 길이는 1.6m, 테크 플레이트의 부담 폭은 2.5m로 설정하였다.

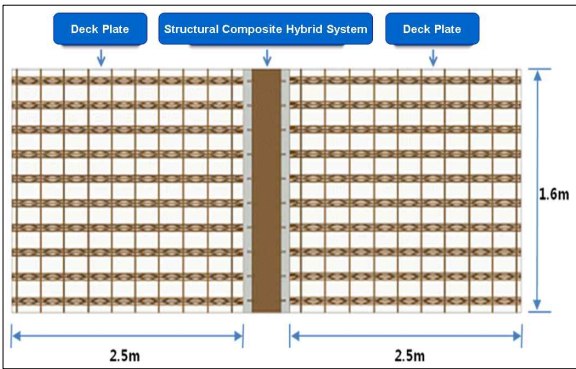


그림 1. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 측면 테크 플레이트 설치 평면도

표 1.은 1층 지하주차장의 슬래브 두께가 150mm, 180mm, 200mm, 220mm, 그리고 250mm일 때의 시공하중을 계산한 결과이다. 또한 콘크리트 측면에 설치되는 테크 플레이트 시공 시 보 자중을 제외한 값을 제시하였다.

표 1. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 슬래브 두께에 따른 시공하중

Slab depth	슬래브 시공하중 (보 자중 포함)	슬래브 시공하중 (보 자중 제외)
150 mm	46.9 kN	40.8 kN
180 mm	52.5 kN	46.4 kN
200 mm	56.5 kN	50.4 kN
220 mm	60.5 kN	54.4 kN
250 mm	66.1 kN	60.0 kN

2.2 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 실험 계획

그림 2.는 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체의 기본 단면도를 나타낸 그림이다. 그림 2(a).는 철골 하부 플랜지에 스티드 볼트가 부착되지 않은 시험체이며, 그림 2(b).는 스티드 볼트가 부착된 시험체이다. 그림 2(c).는 그림 2(a).의 시험체에 상부 플랜지와 스티드 볼트를 보강철물로 용접을 한 시험체이다. 모든 시험체는 콘크리트 압축강도 24Mpa, 스티드 HD10@400, 상하부 철근의 경우 2-HD25, 철골은 H-350×175×7×11을 사용하였으며, 스티드 볼트는 2-M13@200로 철골 하부 플랜지에 부착하였다. 표 2.는 시험체의 매개변수를 나타내는 일람표이다.

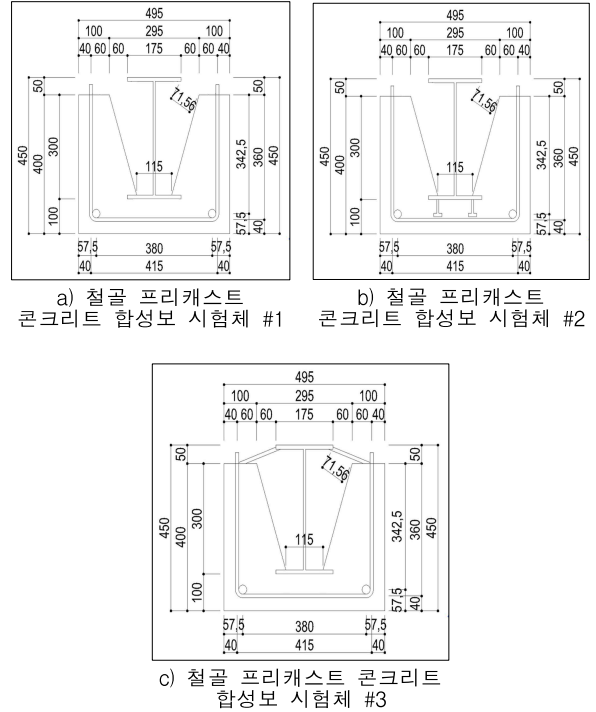


그림 2. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 단면

표 2. 시험체 매개 변수

분류	제작 형태	가력 하중	가력방법	스티드	용접
합성보 #1	U형	등분포	대칭 가력	×	×
합성보 #2				○	×
합성보 #3				×	○

본 실험에서는 공장에서 제작된 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보를 대상으로 1000kN의 가력기 (static actuator)를 사용하여 실험을 수행하였으며, 콘크리트 측면을 등분포 형식으로 대칭 가력을 하였다. 이를 위해 시험체 상부면에 등분포 가력을 위한 철물을 제작하여 가력하중이 시험체에 일정하게 전달되도록 하였다. 실험에 사용되는 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 프리캐스트 부분에서 철골 하부 플랜지가 콘크리트와 연결되는 순수 길이는 1.6m이며, 지점 간 길이가 2.0m인 단순보 형태로 실험을 실시하였다. 그림 3.은 대칭 등분포가력에 의한 시험체의 도시도이며, 그림 4.는 실험에 적용된 시험체의 가력부분과 등분포 가력을 위한 지그를 나타낸다.

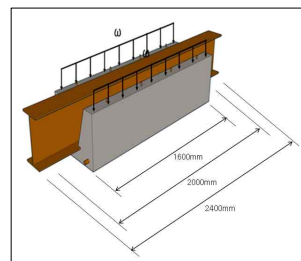


그림 3. 대칭 등분포가력 시험체 도시도

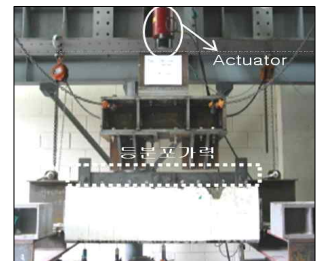


그림 4. 가력부 및 지그 포함 시험체 정면도

그림 5는 LVDT 부착 상세도를 나타낸 것으로 보 중앙부, 1/4 지점 및 단부에 1개소씩 총 3개의 LVDT를 설치하여 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보에서 발생하는 변위를 측정하였다. 그림 6, 7은 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보에 설치된 Strain Gauge 부착 상세도를 나타낸 것이다. Strain Gauge는 플랜지 상·하부 4개, 웨브 3개, 스테리럽 10개, 하부 콘크리트에 3개를 설치하여 측정하였다.

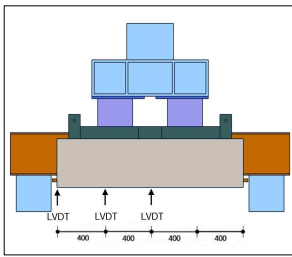


그림 5. LVDT 부착 상세도

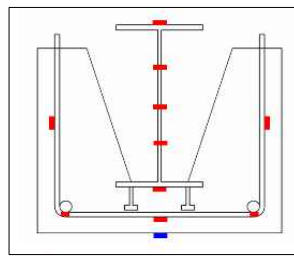


그림 6. Strain Gauge 부착 상세도 (단면)

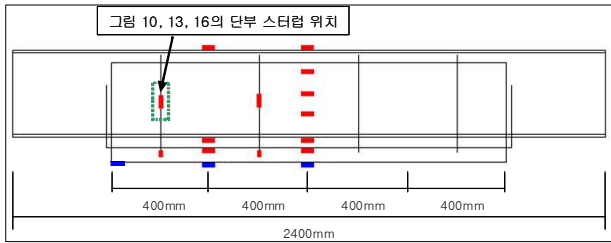


그림 7. Strain Gauge 부착 상세도 (정면)

는 2.4mm로 측정되었다. 시공 시 시공하중에 대한 측면 콘크리트의 안정성을 검토한 결과, 슬래브 150mm에서 250mm 시공 시 시공하중에 대하여 안전성이 확인되었다.

슬래브 150mm 시공 시 시공하중인 40.8kN에 대하여 4.6배의 안전성이 확인되었으며, 슬래브 250mm 시공 시의 시공하중인 60.0kN에 대하여 3.1배의 안전성이 확인되었다.

그림 9는 하부철근의 하중-변형률 그래프를 나타낸 것으로 최대 변형률은 약 0.00049로 나타났다. 최대 변형률은 철근의 항복 변형률 0.002에 도달하지 못하였다. 따라서 시험체 #1의 파괴는 하부 철근의 항복 전에 발생한 콘크리트 압괴(bearing failure)가 파괴에 주된 영향임을 확인하였다.

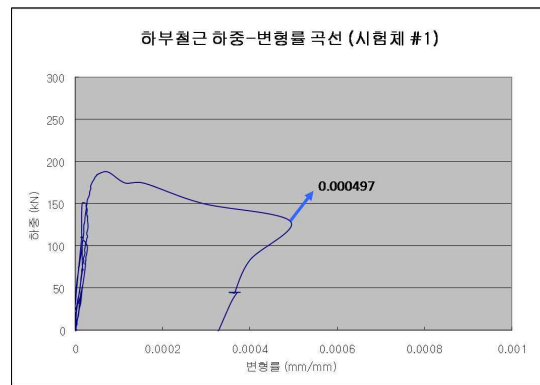


그림 9. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1의 하부철근 하중-변형률 곡선

3. 실험 결과

3.1 시험체 성능

3.1.1 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1은 등분포 하중을 프리캐스트 콘크리트 측면에 대칭가력으로 실험을 수행하였으며, 스테르드가 부착되지 않은 시험체이다.

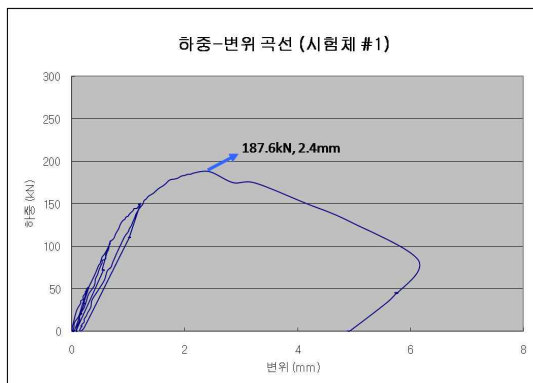


그림 8. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1의 하중-변위 곡선

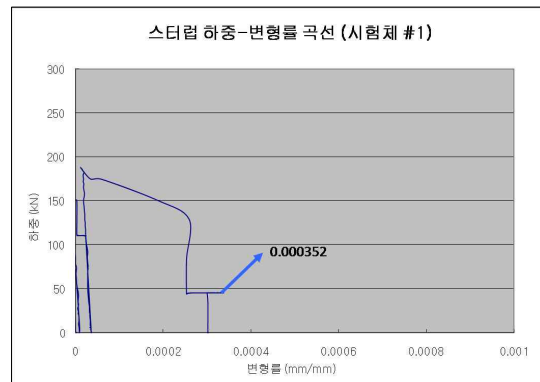


그림 10. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1의 스테리럽 하중-변형률 곡선

그림 8은 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 #1의 하중-변위 그래프를 나타낸 것으로 최대하중은 187.6kN, 변위

3.1.2 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2는 등분포 하중으로 대칭가력을 수행하였으며, 철골과 하부 PC와의 일체화로 충분한 내력을 산출하고자 하부 철골에 스티드 볼트를 설치하였다. 그림 11.은 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 #2의 하중-변위 그래프를 나타낸 것으로 최대 하중은 200.0kN, 변위는 1.5mm로 측정되었다. 슬래브 시공 시 시공하중에 대한 측면 콘크리트의 안전성을 검토한 결과 슬래브 150mm에서 250mm 시공 시 모든 조건에 대하여 안전함이 확인되었다. 슬래브 150mm 시공 시 시공하중인 40.8kN에 대하여 4.9배의 안전성이 확인되었으며, 슬래브 250mm 시공 시의 시공하중인 60.0kN에 대하여 3.3배의 안전성이 확인되었다.

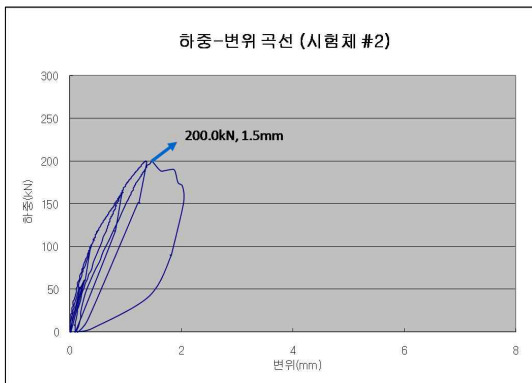


그림 11. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2의 하중-변위 곡선

그림 12.는 하부철근의 하중-변형률 그래프를 나타낸 것이다. 하부 철근의 최대 변형률은 약 0.000220으로 항복 변형률 0.002에 도달하지 못한 것으로 측정되었다. 따라서 시험체 #2의 경우 시험체 #1과 동일하게 콘크리트 압괴(bearing failure)가 시험체 파괴에 주도적인 역할을 하였음을 확인하였다.

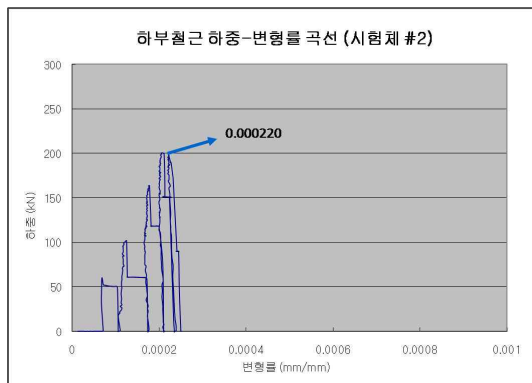


그림 12. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2의 하부철근 하중-변형률 곡선

그림 13.은 시험체 #2의 단부 스티럽 하중-변형률 그래프를 나타낸 것이다. 단부 스티럽의 변형률은 시험체 중앙부에서 600mm 떨어진 곳에서 측정되었으며, 그림 7에

표시 하였다. 측정 대상인 단부 스티럽의 변형률은 항복 변형률에 도달하지 못한 것으로 파악되었다. 따라서 시공 시 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보에 데크 플레이트를 설치할 경우, 전단에 의한 영향은 미미할 것으로 분석된다.

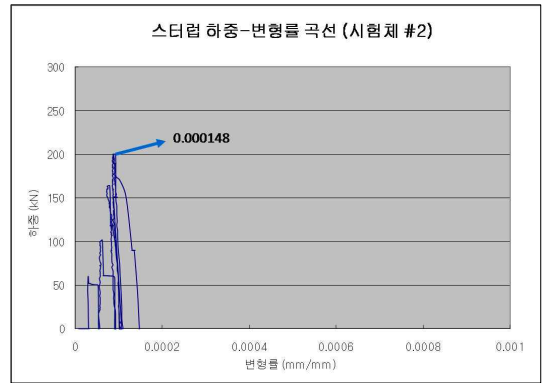


그림 13. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2의 스티럽 하중-변형률 곡선

3.1.3 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3은 콘크리트 측면에 등분포 대칭가력으로 실험을 수행 하였으며, 스티럽과 철골 상부 플랜지에 보강 철물을 추가 용접 하였다. 그림 14.는 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 #3의 하중-변위 그래프를 나타낸 것으로 최대하중은 260.6kN이며, 변위는 3.2mm로 측정되었다. 시험체 #3의 경우 시험체 #1과 비교하여 내력이 80.0kN 증가하였다. 슬래브 시공 시 시공하중에 따른 측면 콘크리트의 안전성을 검토한 결과, 슬래브 150mm에서 250mm 시공 시 시공하중에 대하여 안전함이 확인되었다. 슬래브 150mm 시공 시 시공하중인 40.8kN에 대하여 6.4배의 안전성이 확인되었으며, 슬래브 200mm 시공 시 시공하중인 60.1kN에 대하여 약 4.3배의 안전성을 보유한 것으로 분석되었다.

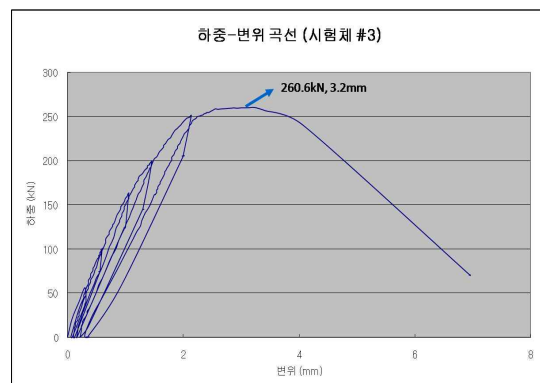


그림 14. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3의 하중-변위 곡선

그림 15.는 하부철근의 하중-변형률 그래프를 나타낸 것이다. 하부 철근의 최대 변형률은 약 0.000863으로 시험체 #1과 비교 시 약 1.74배 증가되었으나 여전히 철근

의 항복 변형률 0.002에 도달하지 못한 것으로 측정되었다.

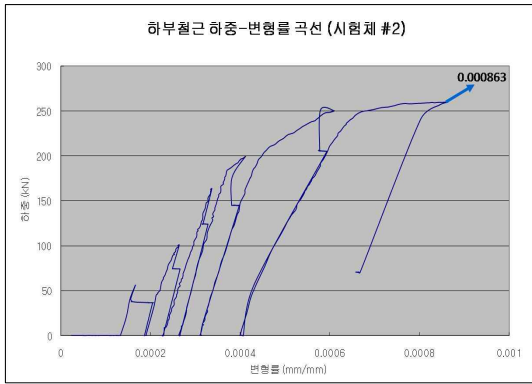


그림 15. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3의 하부철근 하중-변형률 곡선

그림 16은 시험체 #3 단부 스테럽의 하중-변형률 그래프를 나타낸 것으로 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체의 단부 스테럽의 변형률은 항복 변형률에 도달하지 못한 것으로 측정되었다. 따라서 철골 프리캐스트 시험체 #1, #2와 동일하게 전단에 의한 파괴는 미미한 것으로 분석된다.

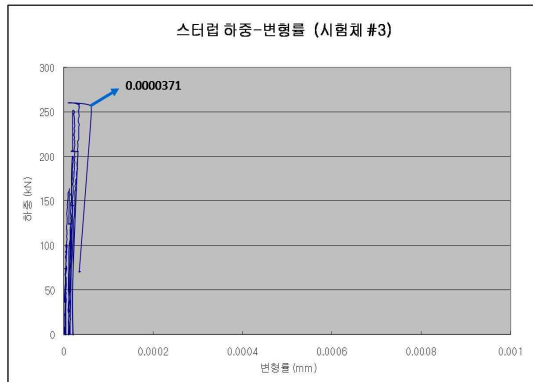


그림 16. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3의 스테럽 하중-변형률 곡선

3.2 시험체 파괴양상

3.2.1 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1

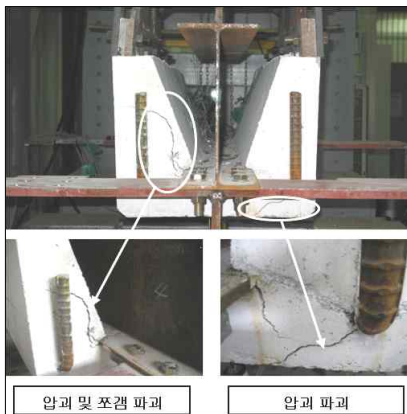


그림 17. 시험체 #1 파괴양상

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #1은 100kN 가력시 크랙이 발생하지 않았으며, 처짐은 0.7mm로 측정되었다. 170kN 가력 시 초기 크랙이 발생되었으며, 187.6kN에서 최대 가력하중이 측정되었다. 이때 처짐은 2.4mm로 측정되었다.

그림 17은 시험체 #1에 대한 파괴양상을 나타낸 것이다. 주요 파괴양상으로 철골 하부 플랜지와 이와 연결된 상부 콘크리트에서 쪼개짐(splitting failure) 및 압괴(bearing failure)가 발생하였다.

3.2.2 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #2는 100kN 초기 가력시 크랙이 발생되지 않았으며, 처짐은 0.4mm 확인되었다. 163kN 가력시 처짐은 1mm로 측정되었으며, 철골 하부 플랜지에 부착된 콘크리트에서 두께 0.1mm 이하의 미세한 크랙이 나타났다. 최대 가력하중은 199.6kN이며, 처짐은 1.5mm로 측정되었다.

그림 18의 시험체 #2에 대한 파괴양상으로 시험체 단부에서 길이방향으로 측면 콘크리트가 본체에서 탈락되었다. 이로 인해, U형 콘크리트의 벌어짐이 가중되어 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 하부에 콘크리트 길이방향을 따라 압괴(bearing failure)가 발생하였다. 그림 19는 회전에 의한 하부 압괴 파괴(bearing failure)를 도시화 한 것이다.



그림 18. 시험체 #2 파괴양상

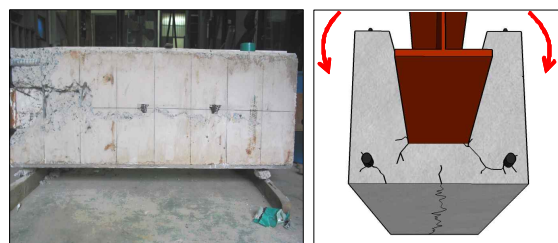


그림 19. 회전에 의한 하부 압괴 파괴

표 3. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 실험결과

구분	가력방식	Stud	철근용접	최대하중	처짐	주요파괴양상
#1	대칭, 등분포	×	×	187.6kN (-)	2.4mm (-)	- 하부플랜지 상부 콘크리트 압괴 파괴 - 측면 콘크리트 전단파괴
#2	대칭, 등분포	○	×	199.6kN (+6.3%)	1.5mm (-37.5%)	- 하부플랜지 상부 콘크리트 압괴 파괴 - 양측면 콘크리트 회전에 의한 콘크리트 하부 압축파괴
#3	대칭, 등분포	×	○	260.6kN (+38.9%)	3.2mm (+33.3%)	- 용접부 인장파괴 - 하부플랜지 상부 콘크리트 압괴 파괴 - 측면 콘크리트 전단파괴

3.2.3 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시험체 #3은 100kN 가력시 크랙은 측정되지 않았으며, 처짐은 0.6mm로 확인되었다. 163kN 가력시 철골 하부 플랜지에 부착된 상부 콘크리트에서 균열이 발생되었으며, 이때 처짐은 1.1mm로 측정되었다. 200kN의 가력 시 중앙부 처짐은 1.5mm 발생되었으며, 철골 하부 플랜지와 부착된 측면 콘크리트에 두께 0.1mm 이하의 미세한 크랙이 발견되었다. 최대 가력하중은 260.6kN으로 중앙부 처짐은 3.2mm로 측정되었다. 또한 최대 가력하중 시 철골 상부 플랜지와 스티럽에 용접된 보강철물의 파괴와 동시에 균열 폭이 대폭 상승하였다.

그림 20.은 시험체 #3의 파괴양상을 나타낸 것으로 양쪽 측면 콘크리트는 단부에서 시험체 길이방향으로 균열이 발생됨이 확인되었으며, 모든 단부에서 콘크리트 압괴(bearing failure) 및 전단 파괴 형태의 균열이 발생되었다. 또한 스티럽과 철골 상부 플랜지의 보강 철물 용접부분이 파괴되었다.



그림 20. 시험체 #3 파괴양상

표 3.은 시험체의 실험결과를 비교 정리한 것이다. 시험체 #1과 #2를 통해 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보는

철골 하부 플랜지에 스티드를 설치함으로 인하여 약 6.0%의 내력증가와 37.5%의 처짐이 감소됨을 측정하였다. 또한 시험체 #1과 #3을 분석해 본 결과 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 철골 상부 플랜지와 스티럽에 연결된 보강 철물로 인해 약 38.9%의 내력이 증가하였다.

4. 결론

본 논문에서는 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 시공하중에 대한 측면 콘크리트 성능 실험을 통하여 프리캐스트 콘크리트 부분이 철골 구조체에 효과적으로 부착되어 합성효과를 발휘 할 수 있음을 입증하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

스티드 유무에 따른 합성보의 내력 차이는 약 6.3%로 내력에 큰 영향을 미치지 못하지만 철골과 하부 콘크리트의 일체화 거동을 통해 최대 처짐 발생량이 크게 감소하였다. 또한 보강 철물을 스티럽과 철골 상부 플랜지에 용접할 경우 합성보의 내력에 큰 영향을 주었으며, 기존 시험체 대비 약 38.9%의 증가하였다. 그러므로 시공현장에서 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 적용 시 시공하중 증가로 인하여 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 측면 콘크리트가 시공하중에 대한 저항 능력이 충분히 확보되지 못할 경우, 보강철물을 용접하는 방법으로 충분한 내력확보가 가능할 것으로 판단된다. 또한 모든 시험체는 슬래브 150mm부터 250mm까지의 시공하중에 대하여 시공 시 안전성이 확보됨을 확인하였으며, 시험체의 내력이 시공하중의 최소 3배 이상 상회하는 것으로 확인되었다. 따라서 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 시공 시 시공하중에 대한 측면 콘크리트의 성능은 충분한 안전성을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0063383).

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0090554).

참고문헌

1. 건축구조설계기준[Korean Buildings Code-Structural], 대한 건축학회, 2005
2. 허병욱, 배규웅, 문태섭, 매입형 합성보의 휨성능 평가, 한국 강구조학회논문집, 16권 5호, pp587-598, 2004
3. 홍원기, 김진민, 이경훈, 박선치, 김점한, 내화피복이 생략된 합성보의 구조설계지침 제정을 위한 고찰, 한국생태환경건축 학회, 8권 1호, pp93-98, 2008
4. 홍원기, 김진민, 김선국, 김형근, 윤기준, 공동주택 장수명화를 위해 MHS 공법이 적용된 골조공법 개선방안, 한국건축 시공학회논문집, 8권 6호, pp107-116, 2008
5. 홍원기, 박선치, 이경훈, 김점한, 이호찬, 황윤하, 친환경 층고 절감형 합성보의 시공 Process 및 시공사례, 한국생태환경건축 학회 논문집, 7권 6호, pp107-112, 2007. 12
6. V.A. Oven, I.W. Burgess, R.J. Plank, and A.A. Abdul Wali, "An analytical model for the analysis of composite beams with partial interaction", Computers and Structures, Vol.62, No.8, pp493-504, 1997.
7. C.C. Weng, S.I. Yen, and M.H. Jiang, "Experimental study on shear splitting failure of full-scale composite concrete encased steel beams", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.128, No.9, pp1186 - 1194, 2002.
8. W.K. Hong, S.C. Park, J.M. Kim, S.G. Lee, S.I. Kim, K.J. Yoon and H.C. Lee, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part I: Experimental Investigation", Structural Design of Tall and Special Buildings, In Press, Published Online, DOI:10.1002/ tal.485
9. W.K. Hong, J.M. Kim, S.C. Park, S.I. Kim, S.G. Lee, H.C. Lee and K.J. Yoon, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part II: Analytical Investigation", Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.18, No.8, pp891-905, 2009.12
10. W.K. Hong, S.C. Park, H.C. Lee, J.M. Kim, S.I. Kim, S.G. Lee, H.S. Kim and K.J. Yoon, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part III: Application for a 19 story Building", Structural Design of Tall and Special Buildings, In Press, Published Online, DOI:10.1002/ tal.507
11. W.K. Hong, S.I. Kim, S.C. Park, J.M. Kim, S.G. Lee, K.J. Yoon and S.K. Kim, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part IV: Application for Multi-Residential Housing", Structural Design of Tall and Special Buildings, In Press, Published Online, DOI:10.1002/ tal.506
12. W.K. Hong, J.M. Kim, S.C. Park, S.G. Lee, S.I. Kim, K.J. Yoon, H.C. Kim, and J.T. Kim, "A new apartment construction technology with effective CO2 emission reduction capabilities", Energy - The International Journal, In Press, Published Online, DOI:10.1016/ j.energy.2009.05. 036

투고(접수)일자: 2009년 12월 14일

심사일자: 2009년 12월 16일

게재확정일자: 2010년 2월 19일