

I형강 합성 중공바닥판의 극한거동

Ultimate Behavior of I-beam Composite Hollow Slabs

심 창 수^{*} 정 영 수^{*} 김 대 호^{**} 박 창 규^{***}
Shim, Chang-Su Chung, Young-Soo Kim, Dae-Ho Park, Chang-Gyu

ABSTRACT

I-beam composite hollow slabs were proposed for long-span slabs and long-span bridges due to their higher stiffness and strength. However, the behavior of the composite slab is quite complicate and allowable stress design method is used for the design of the slab. In this paper, static tests on the composite hollow slabs were performed and their inelastic behavior was investigated. Ultimate strength of the composite slabs were evaluated and the contribution of each I-beam to the flexural strength of the slab was also estimated using the measured strain distribution. From the results of these experiments, I-beam composite hollow slabs can be designed by strength design method.

1. 서론

교량 바닥판은 차량 하중을 일차적으로 받는 구조부재이기 때문에 잦은 유지관리의 대상이 되고 있다. 장대교량에서 사하중 경감을 목적으로 초기에 제안된 합성바닥판은 상대적으로 높은 강성과 강도로 인해서 동일 조건에서 설계된 철근 콘크리트 바닥판에 비해서 얇은 단면을 채용할 수 있었다. 몇 번의 적용이후에 이러한 장점들이 2주형교와 같은 바닥판 지간이 긴 경우에 적합한 형태로 인식되어 장지간 바닥판의 적용이 이루어졌다. I형강을 매입한 형태의 합성바닥판은 콘크리트와 강재의 합성작용으로 인해서 휨강성과 휨강도가 증가함에도 불구하고 허용응력설계법을 사용하여 단면의 효율성을 설계에서 제대로 반영하지 못하고 형강 복부의 복잡한 상세의 영향을 제대로 고려하지 못하기 때문에 이를 개선할 필요가 있다. 또한, 바닥판의 파괴형태가 일반적인 철근 콘크리트 바닥판에서 발생하는 편칭 피로파괴가 아닌 설계 개념과 일치하는 휨 파괴를 보이기 때문에 휨에 대한 강도 및 피로설계의 근거가 마련되면 강도설계법으로 전환하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 균열폭 제어와 휨 강성의 평가가 이루어져야 하고 형강 복부의 복잡한 상세에 대해 피로검토가 수행되어야 한다. 그리고, 여러 개의 형강이 주철근 대응으로 배치되기 때문에 이들의 극한강도에 대한 기여를 평가하고 각각의 합성단면의 극한강도를 실험과 비교하여 적정성과 안전율을 평가해야 한다.

이 논문에서는 합성 중공바닥판에 대한 정적 파괴실험을 통해서 합성 바닥판의 비선형 거동을 살펴보고 강도 설계법의 근거가 될 수 있는 극한강도의 평가와 더불어 각 형강의 극한거동에 기여하는 바를 측정결과로부터 평가하여 단순한 합성바닥판의 극한강도 평가방안을 제시하고자 하였다.

* 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

** 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정

*** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 박사과정

2. 실험개요

2.1. 실험부재의 설계 및 제작

제안된 합성 중공바닥판의 정적 휨 거동을 평가하기 위해서 세 개의 실험부재를 제작하여 정적실험을 수행하였다. 형강 복부의 상세가 서로 다른 두 개의 합성 중공바닥판은 punch hole의 상세가 삼각형을 선택한 부재(SIT)와 반원형과 삼각형을 조합한 부재(SIC)로 구분할 수 있다. 합성 중공바닥판 부재와의 비교 검토를 위해서 철근 콘크리트 바닥판 부재(RC)를 제작하였다. 합성 중공바닥판의 I형강과 철근 콘크리트 바닥판의 주철근의 제원은 표 1에 정리하였다.

그림 1(a)에서 합성바닥판의 설계시 매입되는 형강의 간격에 대한 규정이 필요한데 기본적으로 바퀴의 접지면적보다 좁은 150 mm 간격으로 배치하였다. 형강의 배치를 접지면적보다 좁게 할 경우 편칭전단에 대한 우려를 배제할 수 있을 것으로 예상되고 이는 실험을 통해서 검증하였다.

합성바닥판에 대한 별도의 국내 설계 규정이 없기 때문에 이 실험에서 제작된 부재는 허용응력설계법을 적용하였다. 철근 콘크리트 바닥판은 강도설계법으로 설계하였고, 설계된 콘크리트 단면에 대한 강재비는 0.013이고 합성바닥판의 강재비는 SIT부재는 0.029, SIC부재는 0.035로 철근 콘크리트 바닥판에 비해서 두 배 정도 높은 수준이다. 실험체를 위한 콘크리트는 23.5 MPa의 설계강도로 갖도록 하였고 $\Phi 10 \times 20$ cm 시편을 이용한 압축강도 실험결과는 SIC부재는 37.3 MPa, SIT와 RC부재는 32.3 MPa로 측정되었다.

표 1 철근과 I형강

구 분	RC 바닥판의 주철근	중공 합성바닥판의 I형강
강 종	SD 30	SWS 400
항 복 응 력	295 MPa	235 MPa
인 장 강 도	590 MPa	402~510 MPa

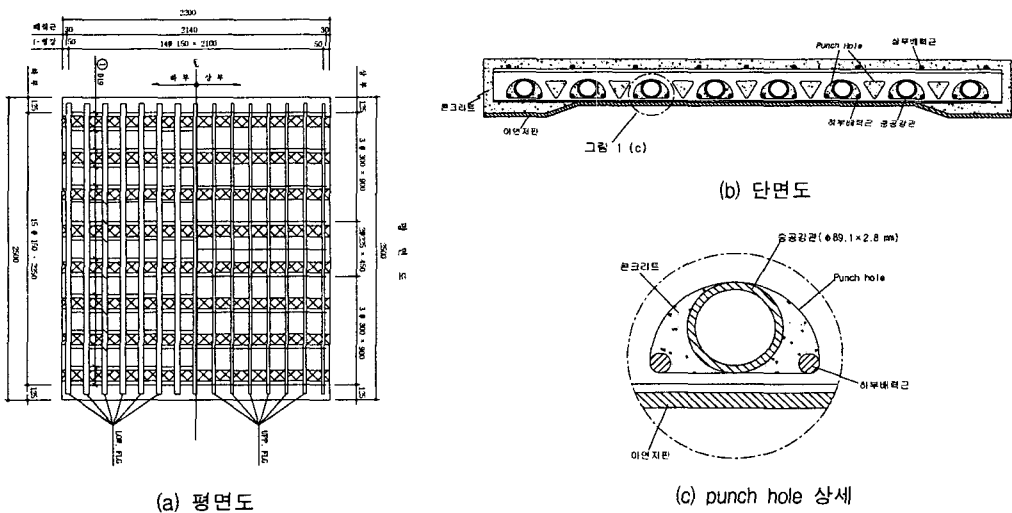


그림 1 실험 부재

2.2 실험방법 및 측정

정적 휨거동을 평가하기 위해서 수행한 실험에서 하중은 예상 균열하중을 기준으로 4단계로 나누어 하중재하의 크기를 결정하였다. 3430 kN 용량의 정적 액추에이터를 사용하여 그림 2와 같이 98 kN 및 196 kN 까지 하중제어로 재하한 후 하중을 제거하여 초기 휨 거동을 평가하였다. 392 kN 재하시에는 균열하중을 평가하고 균열 발생에 따른 휨강성의 변화를 평가하였다. 파괴실험은 0.02 mm/sec로 실험체가 더 이상 외력에 저항하지 못할 때까지 변위제어로 수행하였다. 합성 중공바닥판의 휨 설계를 위한 정적실험에서 균열 전후의 휨 강성을 평가하기 위하여 다수의 변위계(LVDT)를 설치하였다. 콘크리트, 형강, 배력근에 각각 변형률 게이지를 부착하여 전체 휨 거동에 미치는 국부거동의 영향을 평가하도록 하였다. 균열이 발생한 후에는 종방향 휨 균열 부위에 균열 게이지(Omega 게이지)를 부착하여 하중 증가에 따른 균열폭을 측정하였다. 실험에서 발생하는 데이터의 계측은 정적 데이터타거로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1. I 형강의 극한 거동

단위폭 개념의 휨 강도 설계를 수행하기 위해서는 극한하중하에서 각 형강의 거동을 평가해야 한다. 실험으로부터 구한 형강 하부플랜지의 변형률 곡선을 그림 2에 나타내었는데 항복에 도달하는 시기의 차이는 있지만 최외측 형강까지 모두 극한하중에 기여하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 단위폭내에 있는 형강은 휨 강도 산정시 모두 포함시켜서 계산하는 것이 정확한 값을 줄 수 있다.

형강 복부의 복잡한 상세로 인한 거동은 휨강도 산정시 별도로 고려하지 않아도 무방한 것으로 나타났다.

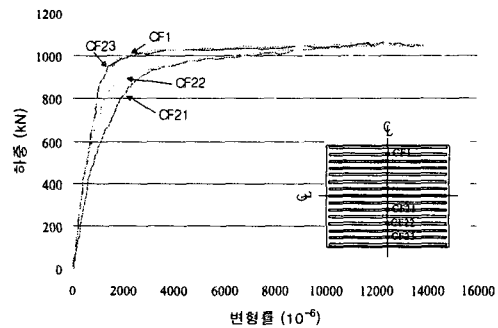


그림 2 하부플랜지의 하중-변형률 곡선(SIC)

3.2 합성바닥판의 극한거동

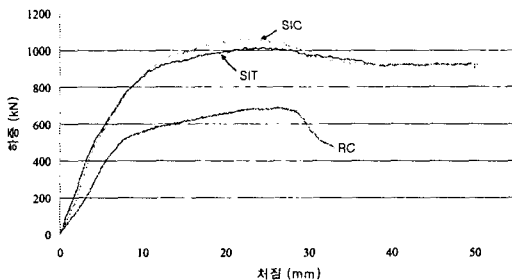


그림 3 하중-처짐곡선

그림 3의 하중-처짐곡선으로부터 판단할 때 철근 콘크리트 바닥판에 비해서 높은 내하력을 보임과 동시에 상당히 큰 연성을 보여주고 있다. 이는 I형강의 존재로 인해서 바닥판의 파괴모드가 휨파괴를 보이기 때문이다. 최대 내하력에 도달한 이후에도 합성 중공바닥판의 내력 감소가 상당히 완만하게 일어나고 강재의 소성 변형의 양상을 충분히 보여주고 있다. 이에 비해서 철근 콘크리트 바닥판은 휨-전단 파괴의 양상을 보임으로써 상대적으로 급격한 내력 저하를 보여주고 있다.

3.3. 합성바닥판의 극한강도 산정

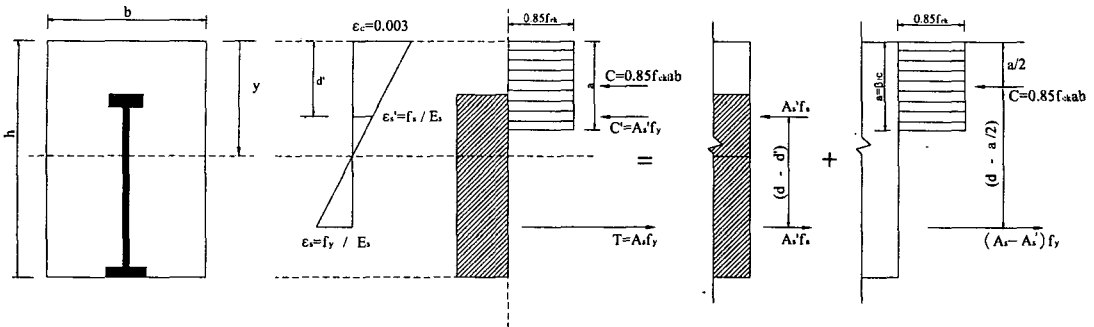


그림 4 합성 중공바닥판의 응력분포

극한강도 개념을 이용한 합성 중공바닥판의 응력분포는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. I 형강의 항복응력을 이용한 합성 중공바닥판의 항복하중은 727kN이며 이는 실험에서 얻은 그림 3에서의 합성 중공바닥판의 항복점에 유사함을 알 수 있다. 또한 인장강도를 이용한 극한하중은 1,237kN으로서 실험값보다 다소 크게 평가되었다. 따라서, 매입된 I형강을 포함한 합성단면을 기준으로 보의 극한모멘트를 산정하고 이를 단위폭내의 값을 더한 값으로 합성바닥판의 휨 강도를 산정하면 안전측으로 강도 설계를 수행할 수 있다.

4. 결론

실험적 연구를 통해 평가된 합성 중공바닥판의 극한거동에 관한 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 합성 중공바닥판의 모든 I 형강이 항복에 도달하는 모습을 보였기 때문에 단위폭내에 있는 형강은 휨 강도 산정시 모두 포함시켜서 계산하는 것이 정확한 값을 줄 수 있다.
- 2) 합성 중공바닥판의 극한 거동은 철근 콘크리트 바닥판에 비해서 높은 내하력을 보임과 동시에 상당히 큰 연성을 보여주고 있다. 최대 내하력에 도달한 이후에도 합성 중공바닥판의 내력 감소가 상당히 완만하게 일어나고 강재의 소성 변형의 양상을 충분히 보여주고 있다.
- 3) 매입된 I형강을 포함한 합성단면을 기준으로 보의 극한모멘트를 산정하고 이를 단위폭내의 값을 더한 값으로 합성바닥판의 휨 강도를 산정하면 안전측으로 강도 설계를 수행할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 "BRIDGE200" 과제 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 정영수, 심창수, 김대호, 김병석, (2003) I 형강 합성 중공바닥판의 실험적 연구. 대한토목학회 논문집.
2. 정영수, 심창수, 박창규, 김병석, (2003) I 형강 합성 중공바닥판의 휨 설계. 대한토목학회 논문집.
4. 정영수, 박창규, 김용근, 이원표, (2001) I형강 합성바닥판의 정적성능 평가. 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.13, No.5, pp.430-437.
5. Koji Ohta, Tadahiko Mori, (1994) *Recent Development of Concrete Filled I-Beam Grid Decks*. Proc. of Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering. pp.605-616.