

# 프리캐스트 합성 중공바닥판의 교축방향 이음부에 대한 실험

## Experiments on Longitudinal Joints of Precast Composite Hollow Slabs

심 창수\*          정 영수\*\*          김 대호\*\*\*          민 진\*\*\*          김 병석\*\*\*\*  
Shim, Chang Su    Chung, Young Soo    Kim, Dae Ho    Min Jin    Kim, Byung Suk

### ABSTRACT

A prefabricated composite hollow slab with perforated I-beams was suggested for the replacement of deteriorated concrete decks or the construction of new composite bridges with long-span slabs. Composite slabs with embedded I-beams have considerably higher stiffness and strength. For the application of prefabricated composite slabs to bridges, joints between slabs should satisfy the requirements of the ultimate limit state and the serviceability limit state. In this paper, three types of the detail for loop joints were selected and their structural performance in terms of strength and crack control was investigated through static tests on continuous composite slabs. A main parameter was the detail of the joint, such as an ordinary loop joint and loop joint with additional reinforcements. Even though there was no connection of the steel beams at the joints, the loop joints showed good performance in ultimate strength. In terms of crack control, the loop joint with additional reinforcements showed better performance. In ultimate limit state, the continuous composite slabs showed good moment redistribution and ductility.

### 1. 서론

교량의 바닥판은 차량 하중을 직접 받는 부재로 가장 내구수명이 낮은 구성요소 중의 하나이고 최근의 교량 설계의 경향인 상부 구조 단면의 단순화를 위해서는 장지간 바닥판이 요구된다. 이와 함께 건설여건의 변화로 인해서 현장 작업의 최소화가 요구되고 있는 상황이기 때문에 이에 대한 활발한 연구가 진행중이다. 이러한 두 가지 경향을 모두 만족시킬 수 있는 고내구성 및 장지간화, 그리고 조립식 상부구조 형태로 제안될 수 있는 것이 프리캐스트 합성바닥판이다. 합성바닥판은 바닥판 자체가 콘크리트와 강재의 합성작용을 통해 높은 강성과 강도를 확보하는 구조로 구조적 성능으로 인해 바닥판의 두께를 감소시켜서 교량의 자중을 감소시킬 수 있다. 특히, 바닥판의 지간이 긴 경우에는 효과적으로 적용될 수 있기 때문에 최근의 소수거더교 등에 적용될 수 있다. 교량의 바닥판은 주로 I형강 매입 합성바닥판이 적용되어 왔는데 합성바닥판은 구조적 장점을 갖는 반면에 설계의 복잡성이라는 단점을 가지고 있기 때문에 적절한 표준화와 함께 설계의 단순화가 필요하다.

\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정  
\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

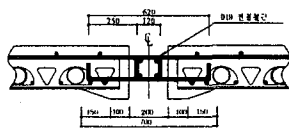
I형강 합성바닥판은 형강의 복잡한 형태로 인한 피로 문제와 더불어 설계의 어려움이 제기되어 왔다. 기존의 형강의 상세를 개선하고 이를 활용하기 위한 실험적 연구가 진행되었고 추가적인 사하중 경감을 도모하기 위해 교축방향으로 증공시킨 새로운 형태의 I형강 증공합성바닥판을 제안하였는데(정영수 등, 2001) 이를 검증하기 위한 실험 및 해석적 연구가 수행되었다(정영수 등, 2003, 심창수 등, 2003). 이를 토대로 이 논문에서는 프리캐스트화 할 경우에 적합한 교축방향 이음부 상세를 도출하고 설계 변수에 대한 정량적 평가를 위한 실험적 연구를 수행하고 그 결과를 제시하였다.

## 2. 프리캐스트 합성중공바닥판의 교축방향 이음부 상세

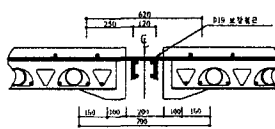
프리캐스트 바닥판의 설계에서 루프 이음을 채택하는 경우에는 상세 결정을 제외하고는 휨강도와 강성에 대해서는 일반 철근 콘크리트 바닥판이라고 가정하게 된다. 그러나, 형강을 매입한 합성바닥판에서는 형강의 크기가 용접 혹은 볼트 이음을 하기에는 작기 때문에 철근 이음을 사용하게 되는데 이때 휨강도와 강성의 측면에서 실험적인 검증을 위해서 세 가지 이음부 상세를 표 1과 그림 1과 같이 제안하였다. 바닥판 설계에서 부모멘트를 받는 구간에 이음부가 생기기 때문에 설계 상세 결정에서 단면의 휨강도가 정모멘트 구간의 휨강도와 비교값을 통해서 서로 다른 휨강도를 갖도록 하였고 매입형강의 위치로 인해 상부 바닥판 콘크리트 덮개가 크기 때문에 균열폭의 제어에 불리한 점이 있을 것으로 예상되어 추가적인 보강 철근과 스테인레스 와이어매쉬로 보강한 안을 각각 설정하였다.

표 1 실험 계획

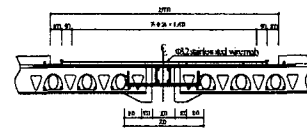
시험체	이음부	내 용	시험체명	이음부휨강도 (kN·m)
교축직각방향 (2@2.2=4.4 m) X 교축방향 (1.0 m) X 두께 (0.22 m)	제 1 안	루프이음	S2C11-A	10.4
			S2C11-B	
	제 2 안	루프이음 + 보강철근	S2C12-A	19.5
			S2C12-B	
	제 3 안	루프이음 + S.S.W.M	S2C13-A	14.2
			S2C13-B	



(a) 제 1 안



(b) 제 2 안의 보강철근



(c) 제 3 안

그림 1 이음부 상세안

## 3. 실험부재 및 실험방법

연속 바닥판 이음부 성능 평가를 위해서 그림 2에서 보인 바와 같은 단위폭을 가진 연속판을 제작하여 제시된 각 이음부 상세안별로 휨 거동을 평가하였다. 하중의 재하는 각 경간의 중앙에 하중이 재하되도록 분배보를 이용하였고 탄성 구간, 비탄성 구간, 항복 및 파괴 구간으로 구분하여 각각 6단계의 하중재하를 실시하였다. 주요 측정항목은 경간 중앙의 처짐, 경간중앙부 강형의 상하부 플랜지 및 콘크리트 상부 변형률, 이음부의 주철근 및 배력 철근, 균열 발생후의 균열폭 게이지이다.

## 4. 실험결과

연속 합성 바닥판의 이음부 성능은 두 가지 측면에서 평가하였다. 하나는 사용성 측면으로 연속부의 균열폭 제어 성능이고 다른 하나는 극한 휨모멘트의 크기이다.

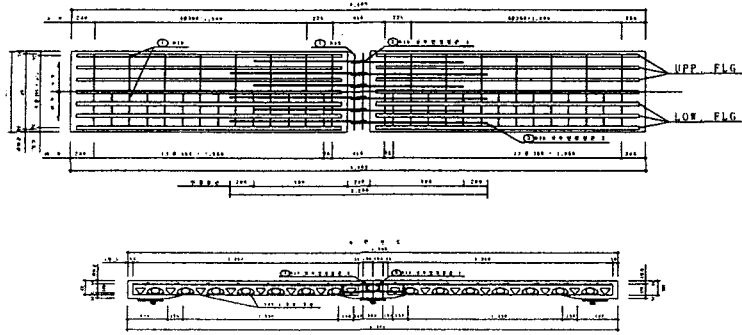


그림 2 실험부재 상세

새 개의 이음부 상세안을 가진 부재들이 유사하게 초기 균열과 안정화된 균열상태에서 모두 양호한 균열 분포를 보여주고 있다. 즉, 휨 균열의 양상을 정모멘트 바닥판 하부와 부모멘트 바닥판 상부에서 모두 보여주고 있고 파괴시점 이전까지는 잔균열의 분포 영역이 점차로 확대되어 이음부 영역을 넘어서 바닥판까지 나타나기 때문에 루프이음의 정착이 충분함을 보여주고 있다. 단지, 3안의 경우 이음면 타설 후에 추가로 스테인레스 망을 설치하고 타설한 영역까지 균열이 넓게 전파되어 나타나는 특징을 보여주고 있는데 추가 타설된 영역이 마지막에 박리되는 현상을 보여주었다. 육안으로 관찰된 균열하중과 측정된 하중-균열폭 곡선으로부터 0.2mm 균열폭에 해당하는 하중을 정모멘트 바닥판 하부와 부모멘트 바닥판 상부에 대해서 각각 정리하여 표 2에 나타내었다. 이음부의 사용성을 위해서는 이음부 상부 균열폭이 중요한데 0.2mm 균열폭 하중이 유사하게 나타났는데 이는 이음부의 표면 상태 등의 불확실성의 요인이 실험에서 부여한 철근비의 차이보다 크기 때문으로 판단된다. 평가된 균열하중을 기준으로 판단하면 설계시 허용 균열폭의 제한으로 인해 연속 합성바닥판의 항복하중의 30% 수준에서 설계하중이 결정되어야 한다.

표 2 균열하중 및 균열폭

구분		정모멘트(바닥판 하부) 균열하중(kN)		부모멘트(이음부) 균열하중(kN)	
		육안초기균열	0.2 mm 균열	육안초기균열	0.2 mm 균열
제 1 안	S2C11-A	186	446	254	207
	S2C11-B	264	413	345	464
제 2 안	S2C12-A	196	381	245	428
	S2C12-B	206	388	284	327
제 3 안	S2C13-A	147	382	196	342
	S2C13-B	186	412	255	487

연속 합성바닥판의 극한 거동은 정모멘트 단면과 부모멘트 단면에 대해서 모두 평가되어야 한다. 항복하중은 정모멘트에 대해서는 형강 하부 플랜지의 항복을 기준으로 평가하고 부모멘트 단면에 대해서는 이음부 주철근의 항복을 기준으로 평가하였다.

표 3 부모멘트 이음부 주철근 항복하중(단위 : kN)

시험체	제 1 안		제 2 안		제 3 안	
	S2C11-A	S2C11-B	S2C12-A	S2C12-B	S2C13-A	S2C13-B
주철근 이음부 항복하중	1,355	1,129	1,279	1,279	1,402	1,255

표 4 정모멘트 형강 하부플랜지 항복하중(단위 : kN)

구분	제 1 안		제 2 안		제 3 안	
	S2C11-A	S2C11-B	S2C12-A	S2C12-B	S2C13-A	S2C13-B
바닥판 하부플랜지 항복하중(kN)	1,421	1,132	1,310	1,239	1,464	1,18

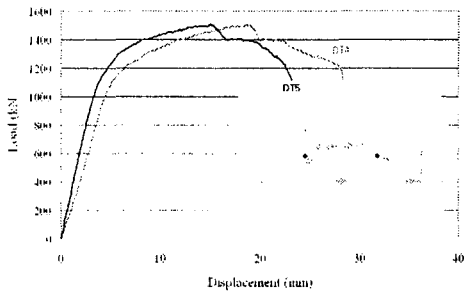


그림 3 최종단계 하중-변위 곡선(S2C11-A)

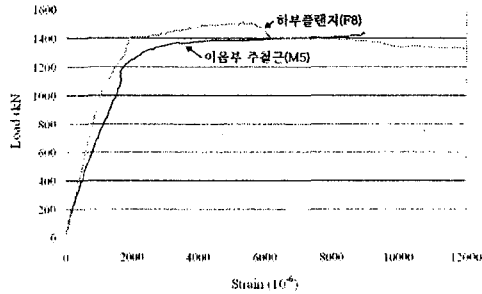


그림 4 하중-변형률 곡선(S2C11-A)

## 6. 결론

연속 프리캐스트 중공합성바닥판에 대한 정적 실험을 통해서 교축방향 이음부를 가진 연속판의 휨 설계를 위한 사용성과 극한 휨거동을 평가하였다. 프리캐스트로 제작된 I형강 합성중공바닥판의 연속 부재에 대해서 세 가지 이음부 상세안을 제안하고 이에 대한 성능 실험을 수행하였다.

루프이음으로 연결된 두 개의 합성바닥판 부재의 해석시 정모멘트 단면을 기준으로 동일 단면으로 보고 수행해도 설계에서 무방할 것으로 판단된다. 그리고, 각 상세안별로 강성의 차이는 무시할 만한 수준이기 때문에 이음부 상세 결정에는 영향을 미치지 않을 것으로 본다. 휨 강도의 측면에서 극한강도 설계시 연속판이기 때문에 소성힌지 개념을 도입해야 하는데 정모멘트 단면과 부모멘트 단면이 모두 충분한 소성 변형 능력을 보여주고 있고 양호한 하중 분배를 균열과 항복을 일으키면서 할 수 있기 때문에 완전소성해석이 가능할 것으로 판단된다. 부모멘트 이음부의 철근비 산정시 바닥판 지간을 고려하여 정모멘트 영역의 공칭 휨강도와 동일하거나 높은 수준을 유지하는 것이 바람직하다. 실험에서 수행한 경우는 지간이 짧은 바닥판에 대한 것이기 때문에 장지간 바닥판에 대해서는 모멘트 분포의 차이로 인해 하중 분배가 다르게 발생할 수 있다. 사용성 설계의 측면에서 이음부의 균열 거동은 매우 중요한데 균열의 발생하중과 0.2mm 균열하중을 살펴보면 초기 균열하중은 1안이 약간 높으나 0.2mm 균열 하중이 2안과 3안이 높게 나타났고 이는 이음부 철근 상세의 결정이 균열폭 제어에서 가장 중요한 요소임을 보여준다. 초기 균열하중은 이음부의 표면상태와 상당한 연관성이 있기 때문에 0.2mm 균열하중에 근거해서 판단하는 것이 바람직하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원(과제명: I형강 합성바닥판의 요소 기술 개발)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 정영수, 박창규, 김용근, 이원표, (2001) "I형강 합성바닥판의 정적성능 평가", 콘크리트학회논문집, Vol.13, No.5, pp.430~437.
2. 심창수, 정영수, 박창규, 김병석, "I 형강 합성 중공바닥판의 휨 설계", 대한토목학회 논문집, Vol. 23, No.6A, 2003, 11, pp.1095~1104.
3. 정영수, 심창수, 김대호, 김병석, "I 형강 합성중공바닥판의 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, Vol. 23, No.6A, 2003, 11, pp.1105~1112.