

루프 이음 프리캐스트 바닥판의 휨실험

Bending Tests of Precast Deck with Loop Joints

류형근* 장승필** 김영진*** 주봉철****
Ryu, Hyung Keun Chang, Sung Pil Kim Young Jin Joo, Bong Chul

ABSTRACT

In domestic composite bridges, it has been reported that most failure is occurred in deck and the type of failure was mainly punching shear failure. Therefore to increase a life of bridges and reduce maintenance costs, an improvement of a durability of slabs is needed. In these respects, precast deck can be very useful. In a composite bridge with precast decks, it is required to notice behavior of transverse joints between decks. In this paper, bending tests of precast deck with loop joints were conducted. From the results, the validity of loop joints for continuity of deck was observed and especially an interval of loop joint, diameter of loop and reinforcement were checked.

1. 서론

콘크리트 바닥판과 강주형으로 이루어지는 강합성형 교량은 재료의 효율적인 이용이 이루어진 역학적으로 우수한 교량형식이다. 강합성형 교량은 국내의 중, 소경간 교량에서 플레이트 거더 교량이나 박스거더 교량으로 적용되고 있는데, 이들의 공용 중 파손은 주로 바닥판에서 발생하는 것으로 보고 되어 왔다. 이러한 사례로부터 교량의 수명을 증대시키고 유지관리 비용의 절감을 위해서는 바닥판의 수명을 증가시키는 것이 핵심 사항으로 판단된다. 특히 국내의 대다수 바닥판의 파손은 휨파괴가 아닌 편침전단파괴에 의하여 주로 발생한다는 사실이 널리 인정되고 있다. 이러한 교량의 바닥판 파손은 차량하중이나 건조수축에 의한 초기 횡방향 균열이 바닥판의 이방성을 강화시키면서 지속적인 차량하중에 의한 피로하중으로 인해 일어난다. 이와 같은 파손과정을 살펴볼 때 현장타설 교량 바닥판의 초기균열은 바닥판의 내구성에 커다란 영향을 줄 수 있으며, 결국 교량 바닥판의 수명에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 문제점에 대해 프리캐스트 바닥판은 좋은 해결책이 될 수 있을 것으로 생각된다. 미리 제작되어 건조수축이 거의 완료된 프리캐스트 바닥판을 사용할 경우 바닥판의 피로내구성은 상당히 개선될 수 있을 것으로 판단되며, 또한 프리캐스트 바닥판 강합성 교량의 경우, 바닥판은 미리 제작되고 현장에서 전단포켓을 이용한 합성이 이루어지기 때문에 구속잔류응력은 바닥판내의 철근에 의해서만 발생하고 따라서 현장타설 바닥판에 비해 구속잔류응력이 작게 발생

* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템 공학부 박사과정

** 정회원, 서울대학교 지구환경시스템 공학부 교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원

**** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

한다. 구속잔류응력은 바닥판에 인장응력을 내재시키고 구속잔류응력의 증가는 초기균열 발생 가능성을 크게 하기 때문에 바닥판의 구속잔류응력을 최대한 줄이는 것이 초기균열 발생가능성을 최소화할 수 있는 방안이 될 것이다. 이는 바닥판의 양생과정에서 수화열에 의한 온도응력과 외기온도와의 온도차에 의한 응력발생과도 연관되는데, 이러한 측면에서도 공장에서 제어된 환경에서 양생되는 프리캐스트 바닥판의 품질이 현장타설의 경우보다 우수한 것은 당연할 것이다. 이와 같이 프리캐스트 바닥판의 적용은 교량의 장수명화를 추구하고 생애주기비용측면에서 유지관리비용등을 절감할 수 있기 때문에 효율적인 것으로 판단된다. 프리캐스트 바닥판의 적용은 바닥판의 내구성 증대뿐만 아니라, 공기단축, 건설인력 절감 등의 장점이 있다.

이와 같은 이유로 국외에서는 이미 프리캐스트 바닥판을 적용한 교량이 공용 중에 있고 다양한 프리캐스트 바닥판의 적용 및 이에 대한 연구가 시도되어 왔다¹. 국내에서도 대우건설과 서울대학교에서 female-to-female 이음 형식의 프리캐스트 바닥판 합성형 교량에 대한 연구가 수행되었고 연속교에 적용 가능한 설계 개념이 정립될 정도로 상당부분 이루어졌다^{2,3}. 이 논문에서는 루프 이음부를 갖는 바닥판의 휨실험을 통해 루프 이음 간격, 루프 철근의 반경 그리고 루프 철근 직경등의 상세를 검토하고 바닥판간 일체성을 확인하였다.

2. 프리캐스트 바닥판의 바닥판간 이음부

이미 다수의 프리캐스트 바닥판 합성형 교량이 공용중에 있는 외국의 경우, 프리캐스트 바닥판을 갖는 교량의 공용중 유지관리의 주된 문제점은 균열, 누수 등의 이음부 사용성 문제인 것으로 보고되고 있다¹. 이음부 구조는 프리캐스트 바닥판의 특성상 피할 수 없는 부분인데 이러한 이유로 이음부 부분에서 구조적 문제를 최소화하기 위한 여러 가지 상세의 개발 및 적용이 있어왔다¹. Fig 1에서와 같이 다양한 프리캐스트 바닥판의 바닥판간 이음부중에서 대표적인 것으로 루프타입 이음부와 female-to-female 형식의 이음부를 꼽을 수 있는데, 전자는 주로 신설교량에 유리한 것으로 판단되며 후자의 경우는 신속시공이 가능하고 교체가 용이하여 주로 교체용에 유리한 것으로 생각되고 있다. 그림 1. (b)와 같은 이음부를 갖는 프리캐스트 바닥판 합성형 교량에서는 사용하중상태일 때, 바닥판간 이음부에 사하중 및 활하중에 의해 발생하는 인장응력을 교축방향 프리스트레스에 의해 제어하는 설계개념이 요구되는 것으로 판단된다³.

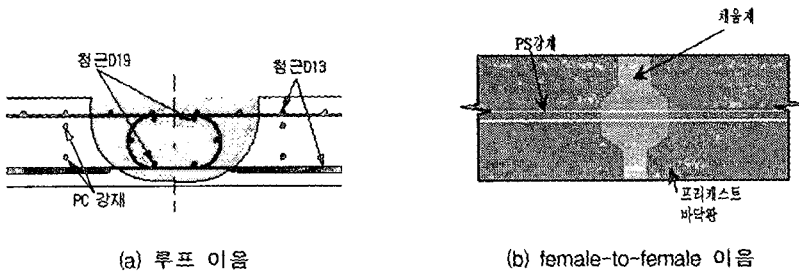


그림 1 프리캐스트 바닥판간 이음부의 종류

3. 바닥판 휨실험

3.1 사용재료

이 연구에 적용된 콘크리트는 설계강도 40MPa(400kg/cm²)의 레미콘(ready-mixed-concrete)을 사용하였으며, 사용된 철근은 KS D 3504 항복강도 400MPa의 이형철근을 사용하였다. 프리캐스트 연결부에 타설된 팽창콘크리트는 CSA계 팽창제를 첨가하여 사용하였으며, 시멘트 중량의 약10%정도 첨가하여 시공하였다. 재료의 물성치는 바닥판 및 이음부 타설에 적용된 콘크리트 공시체를 이용하여 7일 강도를 각각 3번씩 측정하였고 그 결과를 표 1에 정리하였다.

표 1 재료 강도 (units : kg/cm²)

	1	2	3	평균
바닥판	354	342	366	354
이음부	336	296	248	293

3.2 실험부재 및 변수

실험변수는 루프 철근의 직경(D13, D16, D19)과 루프이음부 간격(250, 300, 350mm)으로 하였으며 일반 RC보와 루프이음부를 갖는 프리캐스트 보의 실험체명과 실험체의 제원을 표 2에 정리하였다. 일반 RC보는 16mm 교축방향 철근과 19mm 횡방향 철근을 갖는 보에 대해 정적 재하 실험을 수행하였다.

표 2 실험체명 및 제원

루프배력 철근직경(mm)	루프이음부 구간 (mm)	공시체명
D16	-	BR-16
D13	250	BL-13-250
	300	BL-13-300
	350	BL-13-350
D16	250	BL-16-250
	300	BL-16-300
	350	BL-16-350
D19	250	BL-19-250
	300	BL-19-300
	350	BL-19-350

한편, 실험에 적용된 루프 이음부 상세도는 그림 2와 같으며 실험체의 설계는 국내 도로교 표준 시방서의 규준(2000)에 따라 실시하였다.

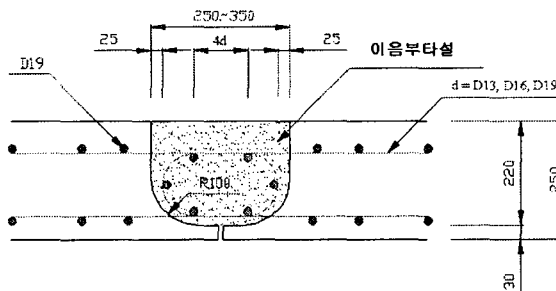


그림 2 루프 이음부 상세도

3.3 하중재하 및 측정위치

하중 재하 방법은 경간 사이를 3등분한 2개의 지점에 P/2의 하중을 490kN 가력용량의 actuator를 이용하여 재하하였다. 그리고 보의 중앙하부에 LVDT를 설치하여 중앙처짐을 측정하였고 초기균열이 발생한 이후 균열계이치를 이용하여 균열폭을 측정하였다. 한편, 중앙하부 인장철근에 철근변형률 계이치를 매립하여 철근의 항복 여부를 관측할 수 있었다.

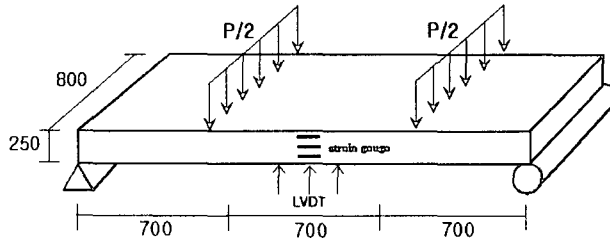


그림 3 휨실험체에 하중재하

4. 루프 이음에 대한 규정

현행 국내 도로교 설계기준 및 콘크리트 표준 시방서에는 루프 이음에 대한 설계규정이 존재하지 않는다. 다만, 180도 갈고리 정착에 대한 규정이 있는데, 그 내용은 180도 갈고리 내면 반경은 최소한 철근의 지름 3배 이상 이어야 하며, 구부린 반원 끝에서 최소한 철근 지름의 4배 이상 또는 6cm 더 연장해야 한다는 것이다. 이러한 규정에 의해 결정되는 최소한의 루프 이음 부분에 대한 상세를 정리하면 표 3과 같다. 실험체 상세의 경우, 루프 내면 반경은 모두 최소규정을 만족하도록 제작되었고 루프 이음부 구간(B)은 BL-19-250을 제외하고 모두 표 3의 최소규정을 만족하였다.

표 3 루프 이음 상세

철근	b (12db or 8db+60)	B (=b+50)	h (7db)	H (=h+100)
D10	140	190	70	170
D13	164	214	91	191
D16	192	242	112	212
D19	228	278	133	233
D22	264	314	154	254
D25	300	350	175	275

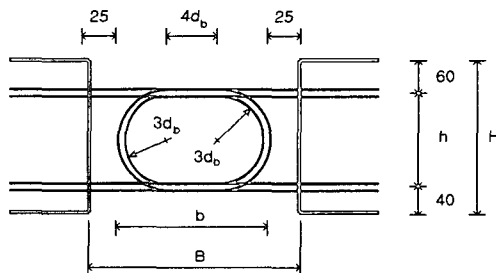


그림 4 루프 이음부 구간 및 반경

5. 실험 결과

RC구조에서 휨인장은 철근이 분담하기 때문에 철근이 항복 강도를 발휘할 때까지 충분한 정착이 이루어져야 한다. 휨실험을 통해 극한강도를 측정하였고 이를 일반 RC보의 극한하중 산정법에 의해 계산된 극한강도와 비교한 결과를 그림 5에 이음부 간격 및 철근 직경에 대해 도시하였다.

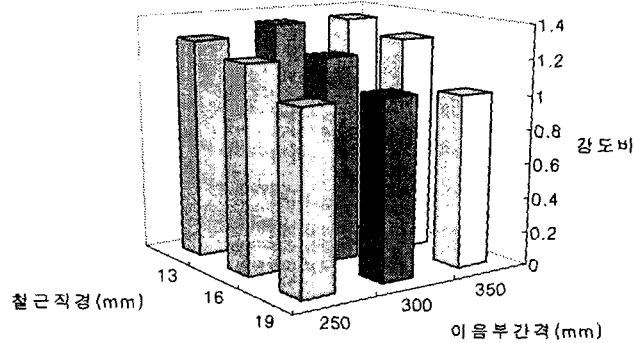


그림 5 루프 이음 바닥판의 극한강도비

이를 살펴보면 극한강도비가 전체적으로 1.0보다 큰 것을 확인할 수 있고 철근의 직경이 증가할수록 강도비가 증가하였지만 이음부 간격에 대해서는 뚜렷한 경향성을 확인하기 어려운 것을 알 수 있다. 이로부터 루프 이음을 위한 철근의 정착이 충분히 이루어졌다고 판단되는데 이것은 철근에 부착된 변형을 게이지로부터 측정된 파괴하중까지의 변형률로부터도 확인되었다(그림 6). 철근의 항복변형률은 약 $2000\mu m$ 이므로 항복이 일어난 뒤에 소성거동을 보이는 것을 그림 6으로부터 확인할 수 있다. 이로부터 이 연구에서 살펴본 이음부 구간 및 루프 이음 반경, 그리고 루프 이음의 겹침 거리의 적용은 루프 철근의 충분한 정착을 위해 타당한 것으로 사료된다.

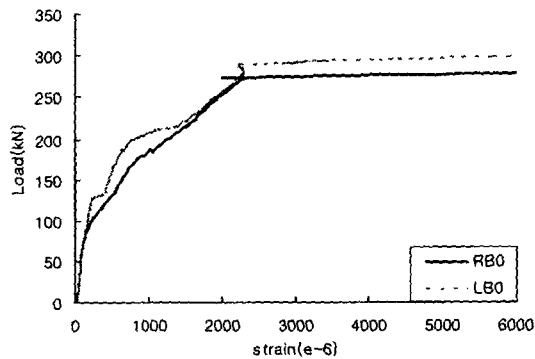


그림 6 루프 이음부 구간 루프 철근의 하중-변형률 곡선

6. 결론 및 추후연구

루프 이음 프리캐스트 바닥판의 휨실험을 수행하였다. 실험결과로부터 구한 극한강도는 일반 RC보의 극한강도 산정식에 의해 계산된 수치보다 큰 값을 보였으며 이로부터 루프 이음 프리캐스트 바닥판의 극한거동은 일반 RC바닥판의 거동과 유사하게 평가될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 현행 지방서의 180도 갈고리 규정을 만족한 루프 이음은 철근이 항복강도를 발휘하기까지 충분한 정착 및 이음을 수행한 것으로 판단된다. 한편, 사용하중 상태에서의 거동 평가가 매우 중요하므로 이에 대한 연구를 추후에 수행하고자 한다.

참고문헌

1. 대우건설(1996). “프리캐스트 상판 및 접합부의 거동에 관한 연구”, 최종보고서
2. 대우건설(1998). “프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화”, ‘96연구개발사업 제2차년도 연차보고서.
3. Chang, S.-P., Shim, C.-S., Ryu, H.-K. 2002. Application of Precast Decks to Continuous Composite Bridges, *6th International Conference on Short & Medium Bridges*, pp.457-464.