

프리스트레스를 도입한 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 연결부에 관한 피로실험

Fatigue Tests on Transverse Joints of Precast Prestressed Concrete Bridge Deck



정철현*

Chung, Chul Hun



김영진*

Kim, Young Jin



장성욱*

Jang, Sung Wook



김철영**

Kim, Chul Young



심창수***

Shim, Chang Su

ABSTRACT

The deterioration of R.C slabs due to heavy traffics in the highway bridges is, now, one of serious and important problems to maintain the bridge structures. New construction and replacement of bridge deck using full depth precast concrete deck is often the most practical solution. In this study, model tests of the part of precast deck for investigation the longitudinal prestress of transverse joint were performed. To estimate the stiffness of transverse joints between precast panels of precast deck and to investigate the fatigue behavior of the joints, and service load, overload fatigue tests of prestressed members connected with filling material were done. Fatigue behaviors such as the change of flexural stiffness and crack occurrence and failure loads are obtained. The effects of prestress on prestressed precast member subjected to fatigue load were estimated and adequate prestressing force to make sure the structural behavior of precast member superior to general reinforced concrete member was determined.

Keyword : precast deck, construction of deck, transverse joints, longitudinal prestress, stiffness of joint, fatigue behavior

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 연구원

** 명지대학교 토목환경공학과 교수

***서울대학교 토목공학과 박사수료

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 1999년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

최근 통행량 및 중차량의 증가로, 직접하중을 받는 교량바닥판의 손상은 심각한 문제에 이르고 있다⁽¹⁾. 이러한 손상에 대응하기 위하여 도로교 표준시방서의 바닥판 두께에 관한 최소규정이 1995년 18cm에서 1997년 22cm로 상향조정되기도 하였다^(2,3). 손상이 심각한 바닥판에 대한 대책으로는 보수·보강 등의 방법이 있으나, 그 정도가 심각한 경우에는 교체하는 것이 일반적인데, 현재 청계고가도로교의 단계적인 바닥판 교체 공사가 시행되고 있으며, 천호대교를 비롯한 한강상의 일부교량에 대해서도 성능개선공사가 계획되고 있다. 현재 바닥판 교체공법으로 주로 사용되고 있는 현장타설바닥판은 도심지 등에서는 교통체증에 따른 간접적인 손실이 건설비에 비하여 증가하는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 또한, 건설산업이 3D산업으로 인식되면서 숙련된 인력이 부족하고 고령화되어 산업생산성이 저하되고 있으며, 이로 인해 거푸집제작, 철근배근, 콘크리트타설 등에 많은 인력이 요구되는 현장타설 R.C바닥판은 공기지연이나 부설시공마저도 우려되는 실정이다. 따라서 교량바닥판을 프리캐스트화하여 급속시공과 고품질을 확보하는 방안이 효과적인 대안으로 고려될 수 있다^(4,5,6). 현재, 국외의 경우는 실용화 단계에 있으나^(5,7), 국내의 경우 프리캐스트 교량바닥판에 대한 연구실적이나 시공사례가 거의 전무한 상태로서 이를 국내에 적용하기 위해서는 설계 및 시공에 필요한 여러 가지 변수에 대한 연구가 선행되어야 한다. 특히, 프리캐스트 바닥판의 횡방향 연결부 및 전단 연결재를 통한 주형과 바닥판의 연결부의 정적 및 피로하중에 대한 사용성 및 안전성에 대한 검토가 중요하다. 프리캐스트 교량바닥판 시스템중 중요 요소인 바닥판과 바닥판 연결부의 접합성 및 사용성 확보를 위해 종방향 프리스트레싱력이 도입된 부재의 정적하중에 대한 사용성 및 안전성은 기 연구에서 확인되었으며⁽⁸⁾, 본 연구에서는 반복하중에 대한 피로실험을 수행하였으며, 실험결과를 통해 반복하중하에서의 접합부에 대한 사용성 및 안전성을 검토하였다.

2. 실험체 제작

프리스트레스를 도입한 프리캐스트 교량바닥판의 주된 연결구조는 Fig. 1과 같이 판과 판의 연결부와 판과 주형의 연결부 2가지가 존재한다.

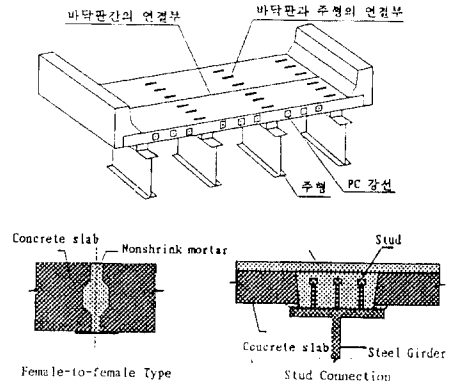


Fig. 1 Connection between precast decks

본 연구에서는 이 연결구조중 교축방향으로 프리스트레스가 도입된 판과 판의 연결부에 대한 피로실험이 수행되었다. Fig. 2와 같은 프리캐스트 바닥판중 연결부를 포함하는 일부분을 모델하여 Fig. 3과 같은 실험체를 제작하였다.

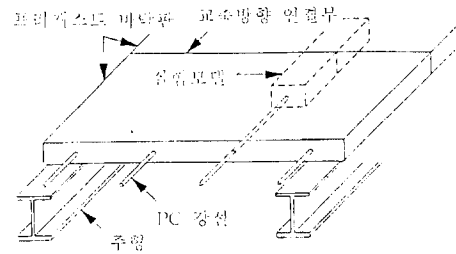


Fig. 2 Model of test specimen

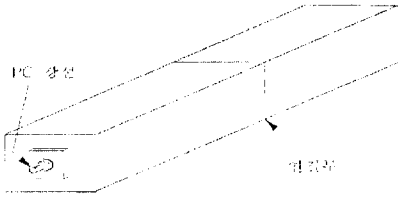


Fig. 3 Test specimen

현재 시공되고 있는 현장타설 바닥판에서는 주철근 방향의 직각으로 배력철근을 배치하여 하중의 분포가 잘 되도록 하고 있는데, 프리캐스트 바닥판과 같이 연결부가 존재하는 경우에도 연결부에서의 하중전달이 현장타설 바닥판과 동일한 수준이 되도록 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 연결부 부분의 하중전달능력을 규명하기 위해 프리캐스트 바닥판에서의 불연속부를 형성하는 연결부를 포함하는 부분모델에 대한 실험체를 제작하여 피로하중에 대한 성능을 확인하고자 하였다.

3. 프리캐스트 부재의 휨피로실험

정적하중에 대한 연구는 기 수행된 바 있으며⁽⁸⁾, 본 연구에서는 반복하중을 받는 피로실험을 수행하여 프리스트레스를 도입한 R.C 부재의 휨강성, 균열하중 및 파괴하중을 측정하였으며, 이를 통해 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 바닥판에 대한 사용성 평가를 수행하였다. 피로실험을 위해서 프리스트레스를 도입한 부재 6개와 R.C 부재 1개를 제작하였으며, 각부재의 단면 특성과 프리스트레스 도입으로 인한 압축응력의 크기는 Table 1에 수록하였다. Table 1에 수록된 모든 부재의 시간길이는 1.4m이며, 단면은 22cm x 22cm이다

Table 1 The Magnitude of prestressing force for fatigue test specimens

부재명	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	RC
프리스트레스 (kg/cm ²)	15	20	30	15	20	30	0
재하하중	설계하중 (1 ton)		초과하중 (2 ton)			설계하중 (1 ton)	

부재 제작에 사용된 콘크리트와 채움재료, 프리스트레싱 텐던의 재료성질은 Table 2와 같으며, Fig. 4에 재하하중의 위치를 나타내었다. 횡방향 연결부에 순수 휨모멘트만 작용하도록 연결부에서 양쪽으로 각 20cm 떨어진 두 위치에 하중을 재하하였으며, 부재의 양단은 단순지지되며 하중은 유압식 하중재하장치인 MTS을 이용하였다. 피로실험시 모든 부재의 측정위치는 기 수행된 정적실험 부재와⁽⁸⁾ 동일하며, 측정된 내용은 하중(1개소), 처짐(5개소) 및 변형도(6개소)로서, Fig. 5와 같다.

Table 2 Strength characteristics of material

재료	강도특성
콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 28일 강도(kg/cm²) 압축강도 : 366.0 휨인장강도 : 37.0
무수축 모르타	<ul style="list-style-type: none"> 텐던 긴장시 강도(kg/cm²) 압축강도 : 515.3 휨인장강도 : 93.1 28일 강도(kg/cm²) 압축강도 : 514.8
강연선(12.7 mm)	<ul style="list-style-type: none"> 인장하중 : 18700kg 이상 연신율 : 3.5% 이상 리락세이션 : 3.9% 이하 공칭단면적 : 74.19 mm² 단위무게 : 0.580 kg/m 탄성계수 : 2.0x10⁶ kg/cm²

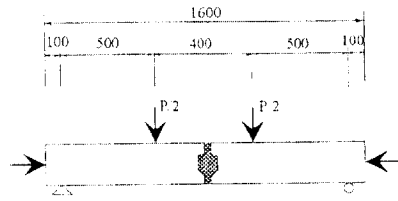


Fig. 4 Dimension of the specimen and loading point

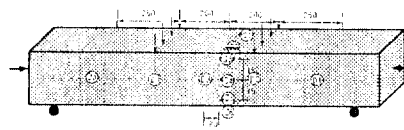
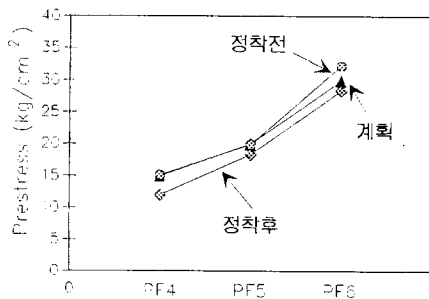


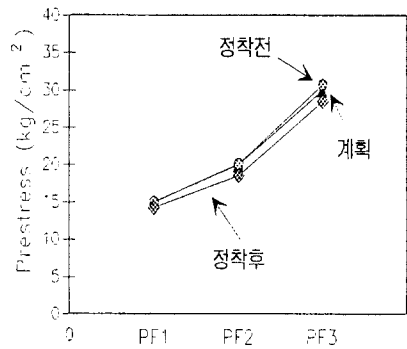
Fig. 5 Location of the gage

피로실험시 2단계의 하중상태에 대해 실험을 수행하였으며, 먼저 사용하중 상태에서의 거동을 평가하기 위해서 하중조절방식으로 균열하중의 약 70% 정도의 하중으로 100만번까지 반복재하한 후 변위조절방식으로 파괴시까지 하중을 증가시켰다. 두 번째로 파괴하중 재하시 거동을 평가하기 위해서 먼저 하중조절방식으로 균열하중의 약 70% 정도의 하중을 10만회 반복재하한 후 균열하중의 약 120% 정도의 크기로 다시 반복하중을 재하하였다. 이후에는 변위조절방식으로 파괴시까지 하중을 증가시켰다. 피로실험시 반복하중의 횟수가 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000, 500000, 1000000회 일 때 정적실험을 수행하여 반복횟수에 따른 부재의 거동 변화를 측정하였다. 프리스트레스는 포스트텐션 방식으로 프리스트레싱을 가한 후 그라우팅을 실시하였다. 유압잭을 이용한 긴장작업시 소요의 압축력 만큼 정확하게 프리스트레스를 도입하기 위해 변형게이지와 이음부를 중심으로 25cm 간격으로 설치한 Demec 게이지를 이용하여 프리스트레스의 크기를 관리하였으며, 텐던의 정착 전·후에 발생된 압축응력의 변화는 Fig. 6과 같다.



(a) Fatigue specimens (PF1-Pf3)

Fig. 6 Difference of the compressive force with prestressing



(b) Fatigue specimens (PF4-PF6)

Fig. 6 Difference of the compressive force with prestressing

4. 실험결과 및 분석

피로실험 수행결과 나타난 각 부재의 균열발생 시기와 파괴하중은 Table 3과 같으며, 각 부재의 균열양상은 Fig. 7과 같다. Fig. 8은 피로실험이 수행된 RC보와 프리스트레스를 도입한 보의 파괴장면이다.

Table 3 Crack and failure load for fatigue test specimens

부재명	P_i (kg/cm ²)	균열발생 하중	파괴 하중 (ton)
사용하중 (1 ton, 100만번)	RC	0 · 1만번 재하후	9.04
	PF1	14.23 · 100만번까지 균열없음 · 2.29 ton(100만번 재하후)	6.6
	PF2	18.53 · 100만번까지 균열없음 · 3.02 ton(100만번 재하후)	6.85
	PF3	28.46 · 100만번까지 균열없음 · 4.46 ton(100만번 재하후)	8.65
초과하중 (1 ton, 2ton 각각 10만번)	PF4	12.00 · 사용하중 10만회까지 균열없음 · 1.21 ton(초과하중 1회 재하시)	5.68
	PF5	18.37 · 초과하중 10만회까지 균열없음 · 2.2 ton(초과하중 1회 재 하시)	6.63
	PF6	28.44 · 초과하중 10만회까지 균열없음 · 2.68 ton(초과하중 10만 회 재하후)	7.87

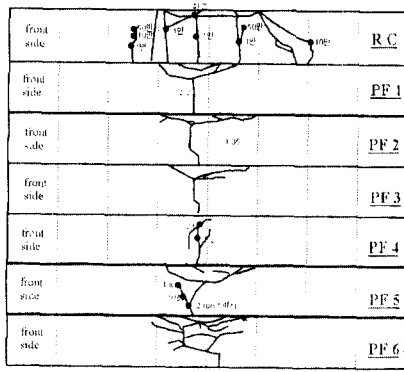
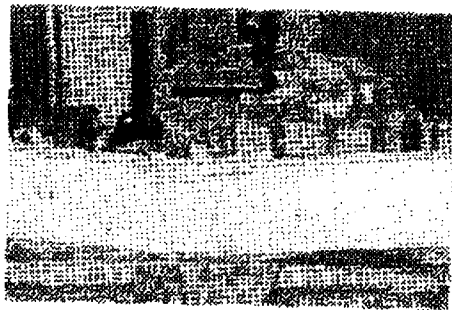
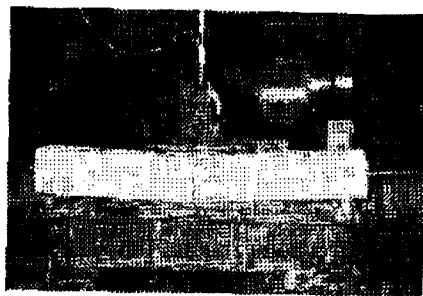


Fig. 7 Crack of the specimen for the fatigue test



(a) RC specimen



(b) Prestressed specimen

Fig. 8 Failure of the specimen for the fatigue test

사용하중하에서의 피로실험 결과 측정된 하중 반복횟수에 따른 하중-변위 관계는 Fig. 9 - Fig. 11과 같다.

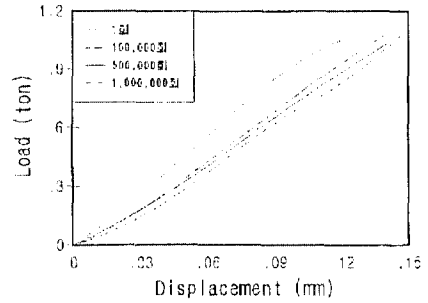


Fig. 9 Load-deflection curve at fatigue test (RC specimen)

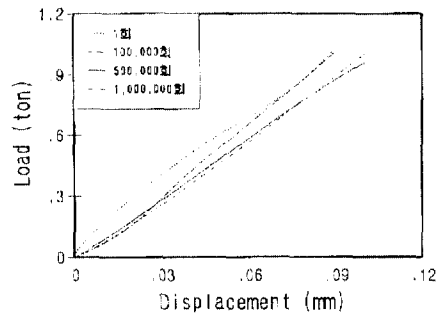


Fig. 10 Load-deflection curve at fatigue test (PF1 specimen)

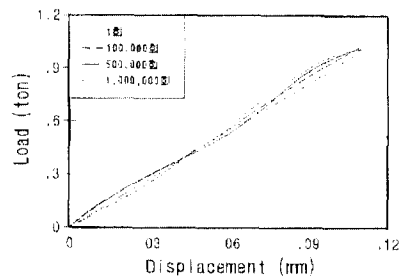


Fig. 11 Load-deflection curve at fatigue test (PF2 specimen)

Fig. 9의 연결부가 없는 RC 부재의 경우는 반복횟수 증가에 따라 휨 강성의 변화가 뚜렷하

나, 프리스트레스가 도입된 부재는 RC보에 비해서 휨 강성의 감소가 적은 것으로 나타났다(Fig. 10, Fig. 11 참조).

사용하중에 의한 10만번까지의 피로실험을 수행한 후, 사용하중의 2배에 해당하는 초과하중정적실험을 수행하여 균열발생 여부를 확인하였으며, 이후에는 초과하중으로 10만번의 피로하중을 재하한 후, 정적실험을 수행하였다. 이들 각 단계의 정적실험을 수행하여 측정된 하중-변위 곡선은 Fig. 12 - Fig. 14와 같다. Fig. 12는 프리스트레스 도입에 의한 압축응력이 12.0 kg/cm^2 인 경우로 사용하중하에서는 휨 강성의 감소가 적으나 초과하중하에서는 크게 감소함을 보여주고 있다. 그러나, 압축력을 증가시킨 PF5(18.37 kg/cm^2 , Fig. 13), PF6(28.44 kg/cm^2 , Fig. 14) 부재에서는 압축응력 증가에 따라 반복되는 초과하중하에서도 휨 강성의 감소가 아주 작은 것으로 나타났다.

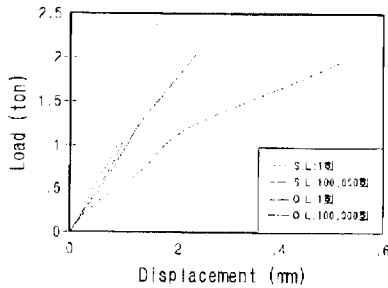


Fig. 12 Load-deflection curve at fatigue test (PF4 specimen)

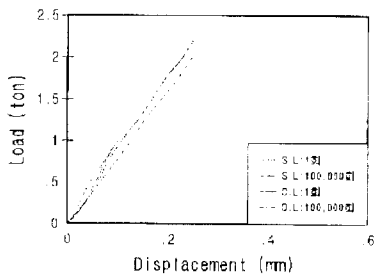


Fig. 13 Load-deflection curve at fatigue test (PF5 specimen)

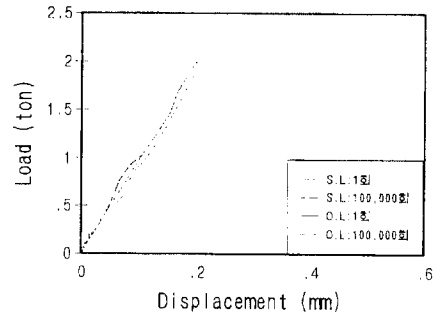


Fig. 14 Load-deflection curve at fatigue test (PF6 specimen)

이상의 실험결과에서 보면, 프리스트레스를 도입해 연결한 프리캐스트 부재의 초기 휨 강성은 연결부가 없는 RC 부재와 큰 차이가 없으며, 피로하중하에서도 RC 부재에 비해서 휨 강성의 감소가 적어 사용성이 향상되는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 프리캐스트 교량바닥판(조립식) 연결부의 사용성 및 안전성 확보를 위해 교축방향으로 도입되는 프리스트레스의 유효성을 검증하였으며, 일체구조로 거동을 하는데 필요한 프리스트레스의 적절한 크기를 산정하였다. 다음 단계로, 연결부의 구조거동 및 균열에 대한 저항능력을 평가하기 위해 일반 R.C 부재, 연결부가 있는 프리캐스트 부재에 대해 피로실험을 수행하여 비교 분석하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

1) 사용하중하에서의 피로실험 결과, 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 부재가 일반 RC 부재에 비해서 휨강성의 감소가 적었으며, 과적하중하에서의 피로실험 결과, 일반 RC 부재는 하중 반복횟수 증가에 따라 뚜렷한 휨강성의 감소를 보였으나 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 부재는 프리스트레스의 도입량에 따라 약간의 차이는 있지만 전반적으로 휨강성의 변화가 적어 사용성이 향상되는 것으로 나타났다.

2) 일반 RC 부재는 사용하중하에서도 약 1만 회 이상의 반복하중에서 휨균열이 발생한 반면 프리캐스트 부재는 100만회의 반복하중에서도 균열이 발생하지 않아 사용성이 월등히 향상되는

것으로 나타났다.

3) 프리캐스트 교량바닥판에 교축방향으로 프리스트레스를 도입하면 연결부는 무근상태임에도 불구하고 휨응력이 적절히 전달되었으며, 피로하중하에서도 일반 RC 부재에 비해서 휨응력 전달 성능을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 1996년도 건설교통기술 연구개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 실험체 제작에 협조해 준 토압산업에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김영진, 정철현, 김철영, "현장타설 철근콘크리트 바닥판의 손상과 대책," 콘크리트학회지, 제9권 4호, 1997.8, pp.57-65.
2. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1992, pp.253-254.
3. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996, pp.5-191~5-193.

4. 김영진, 정철현, 박철림, "급속시공을 위한 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 활용," 콘크리트학회지, 제9권 1호, 1997, pp.68-75.
5. Mrinmay, B., "Precast Bridge Deck Systems," PCI Journal, Vol.31, No.2, 1986, pp.40-47.
6. 정철현, 김영진, 정한중, "프리캐스트 바닥판을 이용한 합성형교량," 한국강구조학회지, 제9권 4호, 1997. 12., pp.19-28.
7. Mohsen, A. I., Alfred, A. Y., and Mahmoud, A. I., "Construction Procedures for Rapid Replacement of Bridge Decks," Concrete Internation, Vol. 17, No. 2, 1995, pp.40-52.
8. 정철현, 김영진, 김성운, 박철림, "프리스트레스를 도입한 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판 연결부에 관한 정적실험," 콘크리트학회지 제10권 2호, 1998. 4, pp.109~117.
9. NCB研究會, 新しい合成構造と橋, 山海堂, 1996, pp. 31-83.
10. 中井博, プレキャスト床版合成木行橋の設計・施工, 林北出版株式會社, 1988.
11. 김영진, 정철현, 심창수, "프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 이음부 채움재의 부착특성연구," 콘크리트학회지, 제10권 1호, 1998, pp.153-160.

요 약

중트럭 통행으로 인한 철근콘크리트 교량바닥판의 열화는 교량구조물을 유지보수하는데 있어서 심각한 문제 중 하나이며, 프리캐스트 바닥판을 이용한 교량바닥판의 시공 및 교체 방법이 실용적이며 효과적인 방법으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 횡방향 연결부에 종방향 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 바닥판의 모델을 제작하여 바닥판간 횡방향 연결부의 강성 평가 및 연결부의 피로거동을 파악하기 위해서 피로실험을 수행하여 피로하중하에서의 휨강성의 변화, 균열발생 및 파괴하중 등을 측정하였다. 실험결과를 통해서 피로하중하에서 프리스트레스 프리캐스트 부재의 프리스트레스 효과를 평가하였으며, 현장타설에 의해서 시공되는 일반 RC 부재에 비해서 우수한 구조적 거동을 보여주는 적정량의 종방향 프리스트레스 크기를 결정하였다.

(접수일자 1998. 5. 8)