

# 윤하중 이동 효과를 고려한 장시간 PSC 바닥판의 피로 성능

## Fatigue Strength of PSC Deck Slabs under Moving Wheel Load

조창빈\*      윤혜진\*\*  
Joh, Changbin      Yoon, Hye Jin

---

### ABSTRACT

This paper reports fatigue test results of 1/3 scaled PSC slab models using moving wheel loading machine. The purpose of the test is to improve the fatigue formulas by comparing the existing formulas with the test results. Based on the result, improved fatigue formula is proposed for the PSC slab.

---

#### 1. 서론

이 논문에서는 강합성 2거더 교량의 합리적인 바닥판 형식이라 할 수 있는 교축직각방향으로 프리스트레싱을 도입한 장시간 PSC 바닥판에 대하여 1/3 축소 모형 실험체를 제작하여 윤하중 피로실험을 수행하고 결과를 분석하였다. 1/3 축소 모형 실험체는 기존의 연구 성과(황훈희 등, 2004)에서 제안된 최소 수준 두께의 횡방향 PSC 바닥판을 적용하였으며, 바닥판의 피로실험 방법은 실제 바닥판에서 나타나는 것과 같은 파괴모드를 구현하여 보다 정확한 바닥판의 피로강도를 평가할 수 있는 윤하중 피로실험 방법(김영진 등, 2003)을 사용하였다.

윤하중 피로실험 결과, 제안된 최소 수준의 두께를 갖는 장시간 PSC 바닥판은 최종적으로는 갑작스러운 하중에 의한 편칭파괴와 유사한 파괴모드를 보였으나, 도로교의 공용수명을 50년이라 가정할 때 충분한 피로강도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

#### 2. 바닥판 실험체의 설계 및 제작

장시간 PSC 바닥판 실험체는 실험장비와 공간 등을 고려하여 1/3 축소 모형 바닥판으로 제작하였다(한국건설기술연구원, 2005). 축소 모형 바닥판의 제원은 기존에 제안된 최소 수준의 두께를 갖는 거더 간 지간 8.1m의 실교량과의 상사성을 고려하여 결정하였다(그림 1, 표 1).

실험체는 긴장력의 크기에 따라 구분되는데, 콘크리트의 바닥판 하면에 인장응력이 생기지 않도록 설계한 바닥판(정적실험: FS, 피로실험: FF)과, 인장축의 균열을 허용하지만 균열의 폭이 허용균열폭보다 작도록 설계한 바닥판(피로실험: PF2)으로 구분된다.

---

\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

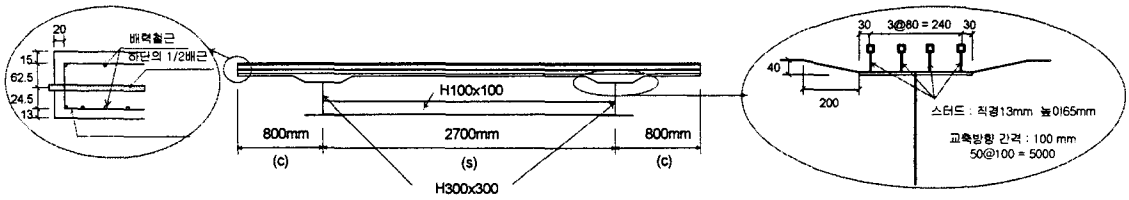


그림 1. PSC 바닥판 1/3 축소 모형 실험체

표 1. 실험체 상세

모델명	제원(mm),(원형교량)			콘크리트 설계기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	철타의 항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Jacking Stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	수량 (개)	비고
	지간	교축방향 길이	두께					
FF, FS	2700	5000	11.5	400	4000	14400	4	완전긴장설계
PF2	(8100)	(40000)	(345)			6700	1	균열허용

### 3. 운하중 피로실험 장치

철타를 이용한 운하중 재하모듈이 플라이휠의 회전으로 인하여 전후로 이동하면서 하중을 재하하는 방법으로 운하중 피로실험을 수행하였다(그림 2). 철타의 선하중을 DB-24 하중(건설교통부, 2005)의 1/3 축소비율에 따른 면하중으로 연속적으로 재하하기 위하여 그림 3과 같이 재하블럭, 덮개판, 연결대 및 재하판으로 구성된 운하중 재하트랙을 사용하였다. 이 실험에서는 실교량의 거더를 상사하지 않았으므로 바닥판의 거더를 처짐없이 완전고정하기 위해서 길이 약 1m의 강제 블록을 이용하여 4곳에서 볼트로 고정하였다.

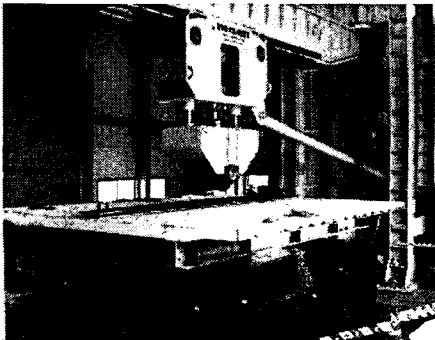


그림 2. 운하중 재하장치 및 실험셋업

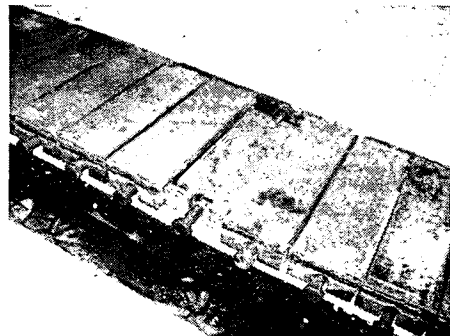


그림 3. 운하중 재하트랙

### 4. 운하중 피로실험

충격을 고려한 설계하중에 대하여 피로파괴 시까지 실험하기에는 계산 상 적어도 2년 이상이 소요되므로, 표 2와 같이 운하중의 크기를 변화시키면서 피로실험을 수행하고, 마이너법칙(Dowling, 1999)을 적용하여 피로강도를 추정하였다. 바닥판의 운하중 피로강도는 정적 편칭강도의 영향을 받는다. 따라서 운하중 피로실험에 앞서 수행된 2거더 장지간 바닥판의 정적 편칭실험 결과를 기초하여 정적 편칭강도를 추정하여 사용하였다(한국건설기술연구원, 2005).

표 2. 윤하중 피로실험 수행 계획 및 결과

모델명	시험체 압축강도 ( $kgf/cm^2$ )	추정 정적 편칭강도 ( $tonf$ )	윤하중과 반복재하횟수	피로실험 결과 반복횟수(윤하중)
FF-1	565.9	33.56	$0.5 \times$ (편칭강도) : 피로파괴까지	3500회(16.8tonf)
FF-2	533.4	32.58	$0.43 \times$ (편칭강도) : 피로파괴까지	31704회(14.1tonf)
FF-3	579.0	33.95	$0.084 \times$ (편칭강도):500000회 + $0.43 \times$ (편칭강도) : 피로파괴까지	500000회(2.86tonf)+ 22140회(14.1tonf)
PF2	536.1	32.49	$0.24 \times$ (편칭강도): 800000회 + $0.43 \times$ (편칭강도):피로파괴까지	800000회(7.8tonf)+ 1000회(14.1tonf)

5. 윤하중 피로실험 결과

윤하중 피로실험 결과는 표 2와 같다. FF-3 바닥판의 초기 재하하중인 2.86tonf은 30%의 충격을 고려한 설계하중과 등가의 휨모멘트를 유발시키는 하중의 크기이며, PF2 바닥판의 초기 재하하중인 7.8tonf은 등가의 처짐을 유발시키는 하중이다.

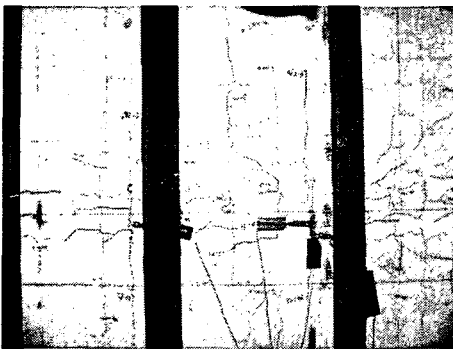


그림 4 바닥판의 하면균열(FF-3, 51만회후)

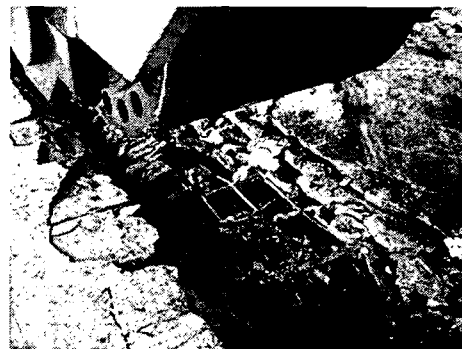


그림 5. 바닥판의 파괴 후 상부 모습(FF-1)

FF-3 바닥판에서는 500,000회 반복재하 시까지 중앙부 교축직각방향의 몇 개의 균열을 제외하고는 외관상의 손상도 발견되지 않았으며, 처짐 증가도 거의 없었다. 하지만 500,000회 후 하중을 증가시킨 뒤에는 교축방향과 교축직각방향의 균열(그림 4)이 급격히 발달하여 격자망을 형성하였으며, 처짐도 크게 증가하였다. PF2 바닥판의 경우 부분긴장구조로 설계되어 재하 초기에 교축직각방향 균열은 물론이고 교축방향의 균열도 발생하였다. 또한 이 균열들은 반복재하횟수가 증가함에 따라 격자형의 균열로 발달하였다. 재하 윤하중이 큰 FF-1, FF-2 바닥판은 초기부터 그림 4와 유사한 격자형태의 전형적인 바닥판의 피로균열 형상을 보였다.

그림 5와 6은 FF-1 바닥판의 파괴 후 상부와 하부의 모습이다. 바닥판은 파괴 직전까지 처짐의 증가가 거의 없다가 바닥판 중앙부의 갑작스러운 처짐 증가로 인하여 급작스러운 편칭 파괴를 보였다. 윤하중이 이동한 부분의 콘크리트만 파쇄되었고 그 외의 부분은 강성을 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 바닥판의 긴장재는 거의 손상을 입지 않는 것으로 나타났다. 바닥판 하부에서도 상부에서와 같이 윤하중의 이동 범위를 따라 파괴가 발생하였으며, 파괴된 면적은 정적 재하실험의 편칭파괴 시의 크기와 거의 비슷하였다(그림 6). FF-2, FF-3 및 PF2 바닥판 모두 파괴된 형태는 비슷하게 나타났다.



그림 6. 바닥판의 파괴 후 하면(FF-1)

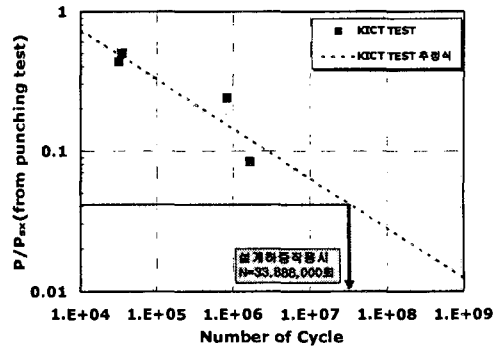


그림 7. PSC 바닥판의 피로강도

윤하중 피로실험 결과를 추정식과 함께 그림 7에 나타내었다. 여기서  $P_{sx}$ 는 표 2의 추정 정적 편칭 강도이고  $P$ 는 재하 윤하중을 나타낸다.

추정식을 이용한 결과 30%의 충격하중이 고려된 설계하중인 1.38tonf에 대한 피로강도는 33,888,000회로 나타났다. 윤석구(2004)의 연구결과에 의하면 교량의 공용수명이 50년이라고 할 때 필요한 피로강도가 2,000,000회이고, 설계 가능한 최소두께와 단면상세를 갖는 장지간 PSC 바닥판은 적어도 33,888,000회의 피로강도를 가지고 있으므로 장지간 PSC 바닥판은 교량의 공용수명내에 요구되는 충분한 피로강도를 가지고 있다고 판단된다.

## 6. 결론

이 논문에서는 기존 연구성과에서 제안된 최소수준 두께의 횡방향 PSC 바닥판을 적용한 2거더교 1/3 축소 바닥판에 대하여 윤하중 피로실험을 수행하여, 교량의 공용수명을 50년으로 할 때 요구되는 피로강도와 비교하여 충분한 피로강도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 김영진, 조창백, 김병석(2003) 윤하중 실험장치에 관한 연구, 대한토목학회 2003년도 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 529-534
2. 한국건설기술연구원(2005) 2주형 강교량 바닥판 설계기준 개선 및 지침 작성 연구, 대한토목학회.
3. 건설교통부(2005) 도로교 설계기준.
4. 윤석구(2004) 교량바닥판의 등가축중 반복횟수의 평가. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 24권, 제 2A호 pp. 311~319.
5. 황훈희, 조창빈, 이용우(2004) 강함성 2거더교 PSC 바닥판의 두께. 대한토목학회 2004년도 정기 학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 178-183.
6. Dowling, Norman E.(1999) *Mechanical Behavior fo Materials*. Prentice Hall.
7. Matsui(1997) 床版の技術開發 -耐久性の向上. 施工合理化. 橋梁と基礎, Vol.31, No.8, pp.84~94.