

PS강재의 단면적 감소에 따른 PSC보의 휨강도 평가

Flexural Strength Evaluation of PSC Beam with Loss of PS Tendon Area

박 순 형* 김 용 태** 윤 석 구*** 김 은 겸****
Park, Soon Hyung Kim, Yong Tae Youn, Seok Goo Kim, Eun Kyum

ABSTRACT

This paper describes ultimate load tests which were performed to show the effects of prestress loss and tendon corrosion on the flexural strength of post-tensioned concrete beams and the occurrence of wire fracture. Five test specimens were fabricated in laboratory with the variations of the prestress of tendons and the loss of tendon area. For two specimens, small area of tendon at the center of the beam was exposed by using diameter 25mm drill and the exposed tendon was corroded using accelerated corrosion equipment. During the tests, deflections, crack width, and strain changes were measured and acoustic events were monitored with two acoustic sensors.

Tests results show that the ultimate flexural strength of test specimens with corroded tendons is smaller than the predicted flexural strength which is calculated considering the loss of tendon area. It is considered that estimation of flexural strength of PSC beams with corroded tendons is very complicated just based on the loss of tendon area obtained by one-side visual inspection.

요 약

본 연구는 강선 부식이 PSC보 휨강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 실내실험을 수행하였다. 긴장력을 달리하여 길이 4m인 PSC보부재 5개를 제작하였으며, 그 중 2개의 부재는 덕트 내부에 있는 PS강재를 노출시킨 상태에서 부식촉진장치를 이용해 인위적으로 PS강재를 부식시켰다. 실험부재의 파괴 시까지 정적하중을 재하하면서 철근과 콘크리트의 변형률, 중앙부의 처짐량 변화를 측정하였으며 또한 음향센서를 콘크리트 표면에 부착하여 PS강선의 파단횟수 및 파단시기 등을 계측하였다. 실험 결과, PS강재가 부식된 부재는 PS강재의 단면 감소를 고려해 계산한 휨강도 이론값보다 작은 실험값이 나왔다. 또한 휨 파괴 이전에 PS강재가 조기에 파단되는 현상이 관찰되었으며, 결과적으로 휨강도가 급격히 감소됨을 확인할 수 있었다. 부식된 PS강재를 포함하고 있는 PSC보의 휨강도 평가시 일방향 육안관찰에 의한 PS강재의 단면적을 산정하는 것은 매우 어려운 일이며, 연성거동을 위한 유효 PS강재의 단면적을 판단하는 것은 매우 복잡한 일이라 판단된다.

*정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정

**정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정

***정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

****정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

국·내의 수많은 PSC 교량들은 PS강재를 콘크리트 내부에 도입시킨 구조물로 설계되어 있다. 이런 PSC 교량은 PS강재의 높은 응력으로 인한 응력부식 및 PS강재의 덕트 내부에 불충분한 그라우팅에 의한 공극이 존재하는 곳에 누수와 염소이온 침투 등에 의해 쉽게 부식되어 파단되는 현상을 보이고 있다. 현재 PS강재 부식에 대한 정보가 미비한 상태이며, 실제 휨강도 평가에 영향을 미치는 PS강재의 단면적 감소량을 판단하는 것은 매우 복잡한 일이다. 본 연구에서 PS강재가 부식되었을 때 PS강재의 조기 파단현상 및 휨강도의 감소를 평가하는 실내 실험을 수행하였다. 실험 결과를 토대로 향후 교량의 안전성 확보 및 PS강재가 부식된 PSC보의 휨거동을 평가하였다.

2. PSC보 실내 실험

2.1. 휨강도 평가

PS강재가 부식된 PSC교량의 휨강도 평가시 연성 거동을 한다면 휨강도 산정은 식 1에 따른다.

$$\begin{aligned} M_n &= (A_p - \Delta A_p) f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + (A_s - \Delta A_s) f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) \quad \text{식 1} \\ &= A_{RP} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_{RS} f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) \end{aligned}$$

여기서, ΔA_p : PS강재의 감소된 단면적 ΔA_s : 인장철근의 감소된 단면적
 A_{RP} : PS강재의 잔류 단면적 A_{RS} : 인장철근의 잔류 단면적

그러나 인장철근과는 달리 PS강재는 취성 거동을 하고 여러개의 PS강재가 부식된 경우 식 1을 항상 적용할 수 없다. 그래서 부식된 PS강재를 제외하고 유효 단면적을 이용한 식 2를 적용하여야 한다.

$$M_n = A_{EP} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_{RS} f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) \quad \text{식 2}$$

여기서, A_{EP} : PS강재의 유효단면적

현재 PS강재의 유효단면적(A_{EP}) 지침에 대한 정보가 아직 부족한 실정이지만, 부식된 PS강재를 제외시키고 휨강도를 평가하는 것이 안전측이라 판단한다.

2.2. 부재 제작 및 실험 방법

PS강재 부식이 PSC보 휨강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 길이 4m인 PSC보 5개를 제작하였다. 휨강도 저하 요인을 PS강재의 단면적 감소량 및 프리스트레스 감소량으로 가정하고 단면적 150mm × 300mm인 실험부재를 제작하였다. 부재 제작에 사용된 재료는 콘크리트 28일 압축강도 31MPa, 400MPa의 항복 강도를 가진 이형철근(D13) SD400을 사용 하였으며, PS강재는 SWPC 7B(7연선 12.7mm) 0.2% 영구 연신률에 대한 하중(항복하중) 156kN이상을 갖는 강재를 사용하였다.

실험부재 PC-1과 PC-4는 프리스트레스 감소가 휨강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 제작하였다. 초기 프리스트레스는 PC-1의 경우 PS강재의 인장강도 5%, PC-4의 경우 70%로 계획하였으나, 부재 길이가 4m로 매우 짧아 프리스트레스 도입시 정착손실이 예상되어 PS강재에 변형률게이지를 부착하였으며, 각 실험부재에 도입된 프리스트레스의 크기는 PS강재 변형률 변화량을 기준으로 삼았다. 이를 토대로 실험 부재에 도입된 최종 프리스트레스의 크기는 PC-1, PC-2, PC-3, PC-4 각각 인장강도의

5%, 60%, 76%, 78%로 측정되었다.

실험부재 C-1, PC-2, PC-3은 PS강선의 단면적 감소가 휨강도 감소에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험체이다. 실험체 C-1은 PS강재가 전부 부식되었다는 가정 하에 철근 콘크리트 부재로 설계하였으며, PC-2와 PC-3은 부식에 의한 PS강재 단면적 감소를 모사하기 위해 실험부재 중앙부를 지름 25mm 드릴링 한 후, 부식촉진 장치를 이용하여 인위적으로 각각 2주와 3주 부식시켰다. PC-2, PC-3의 PS강재 부식정도를 육안관찰 한 결과 PC-2의 경우 강선 파단이 되지 않아 약 10%정도 단면이 감소된 것으로 판단하였으며, PC-3의 경우에는 PS강선 2가닥이 파단 되어 약 30%정도의 단면적 감소가 발생되었다고 가정하였다.

실험 부재에 대한 하중 재하는 부재 지간 3m, 부재 중앙부 300mm 간격으로 정적하중을 처짐조절 방식으로 재하 하였다. 하중 재하는 균열하중과 게수설계활하중 및 예상파괴하중의 약 70% 정도에서 반복하중을 2회 재하 하였으며, 이후 파괴시까지 하중을 단조 증가시켰다. 그림 1은 4m PSC보부재의 하중재하방법을 나타내었다.

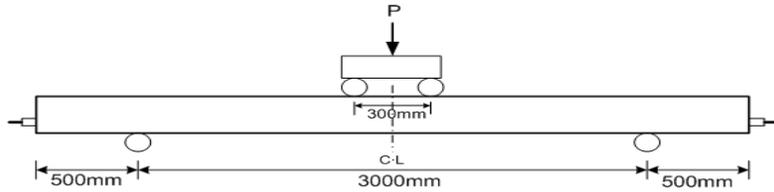


그림 1 4m PSC보부재의 하중재하방법

3. 결과 및 분석

3.1. 실험 결과 데이터

실험부재에 대한 파괴실험결과 모든 부재는 설계시 가정치인 콘크리트 압축 변형률 0.003을 초과한 후 압축파괴현상을 보이며 파괴되었다. 그림 2는 실험부재 C-1, PC-1, PC-2의 하중-처짐 곡선을 나타내고 있다. 실험부재 C-1, PC-1, PC-4의 경우 초기 선형적인 거동에서 재하하중이 증가되면서 서서히 비선형거동을 보이는 전형적인 연성거동을 보임을 알 수 있다. 그러나 그림 3에 나타난 PS강재가 부식된 PC-2, PC-3의 경우 PS강재의 조기 파단되는 현상이 발생하였으며, PS강재가 부식된 위치에서 PS강재 파단에 의해 강성 감소가 발생하고 그 위치에 균열이 집중되었음을 예상할 수 있다. PC-3의 경우 파괴 실험시 PS강재 파단이 4차례 발생하였으며, 이것을 음향센서 통해 음향을 감지할 수 있었고, PC-2와 PC-3은 휨 파괴 실험 후 PS강재 파단을 지름 25mm 드릴링 한 곳을 통해 육안관찰 할 수 있었다.

3.2. 부재별 극한 휨강도

각 실험 부재별 극한 휨강도를 비교하여 표 1, 그림 4에 정리하였다. 실험 결과 PS강재가 부식된 PC-2, PC-3은 식 2를 이용해 계산한 이론값보다 작은 휨강도가 나타났다. 이것은 PS강재 단면적이 감소된 휨강도 평가치 A_{RP} 로 계산하는 경우 안전하지 못하다는 것을 판단할 수 있으며, 유효 단면적 A_{EP} 를 사용하여야 안전성을 확보 할 수 있을 것이다. 또한 PC-2와 PC-3의 단면적 감소량을 각각 30%, 60%라고 판단하고 이것을 유효 단면적으로 가정해 계산하면 실험값과 거의 비슷한 휨강도가 나타남을 알 수 있다. 만약 부식된 PS강재의 단면적을 제외시킨다면 PC-2는 3가닥이 부식되었으므로 단면적 감소량은 42%, PC-3은 5가닥이 부식되었으므로 71%의 단면적 감소를 예상할 수 있고 이것을

유효 단면적으로 판단하여 식 3에 의해 계산하다면 휨강도 평가가 적절하다고 판단할 수 있다.

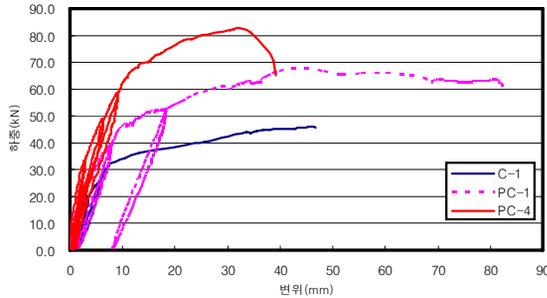


그림 2 C-1, PC-1, PC-4의 하중-처짐 곡선

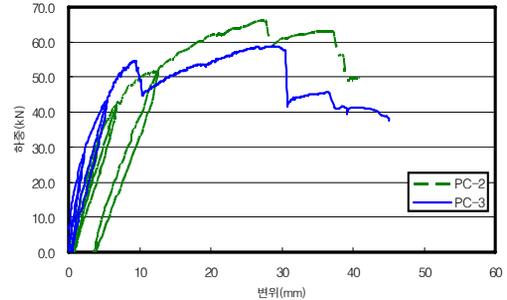


그림 3 PC-2, PC-3의 하중-처짐 곡선

표 1 실험 부재별 극한 휨강도 비교

부재명	휨강도(kN·m)		비 고
	실험값	이론값	
PC-1	45.56	44.63	-
PC-4	55.68	51.48	-
C-1	31.05	24.88	-
PC-2	44.55	48.36 (43.75*)	A_p 가 10% 감소 (A_p 가 30% 감소)
PC-3	39.76	46.30 (37.14**)	A_p 가 30% 감소 (A_p 가 60% 감소)

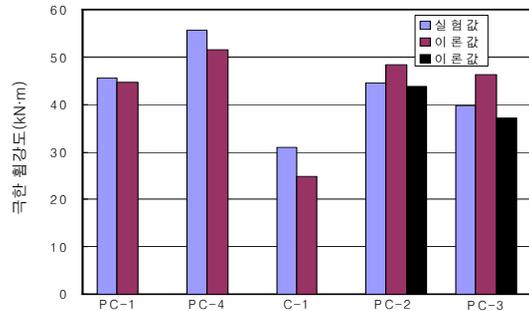


그림 4 실험 부재별 극한 휨강도 비교

4. 결론

이번 연구는 유효 프리스트레스와 PS강재의 부식이 PSC교량의 휨강도에 미치는 영향과 휨강도 평가를 위한 유효 단면적 산정방법을 제안하였다. 음향 센싱 등과 같은 비파괴검사를 이용하여 부식된 강재의 위치를 파악한 후 부식된 PS강재를 외부로 노출시켜 상세한 조사가 수행되어야 한다. 이러한 과정들은 매우 복잡한 일이지만 PS강재의 유효 단면적 산정 평가에는 매우 효과적인 방법이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 사회기반시설물 평가 중점연구단(ISARC)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 윤석구, 노현섭, 박순형, 김은겸, “PS강선이 부식된 PSC보의 휨강도 실험”, 한국콘크리트학회 2007년 봄 학술발표회 논문집 : Vol. 19 No. 1, 2007년도 5월, pp. 457~460
2. 박순형, 노현섭, 윤석구, 김은겸, “PS강재가 부식된 PSC보의 휨실험”, 한국콘크리트학회 2007년 가을 학술발표회 논문집 : Vol. 19 No. 2, 2007년도 11월, pp. 29~32