

외부 프리스트레스트 콘크리트 2경간 연속보의 휨 실험

An Experiment of the Externally Prestressed 2-span Concrete Beam

오 승 현* 이 상 우** 강 원 호***
Oh, Seung Hyun Lee, Sang Woo Kang, Won Ho

ABSTRACT

Externally prestressed structures have many advantages such as easy prestressing control and visible maintenance. Flexural strength of externally prestressed concrete members can be calculated by analysis of internal indeterminacy, which is different from internally prestressed concrete members. However, it needs nonlinear analysis considering member stiffness at strength limit state. Thus most of design codes proposed approximate methods which are empirical, based on test results. To reduce difference between accurate analysis and approximate design methods, many experiments and studies are continued. Since most of the experiments are single span beams. In order to adapt of continuous beam it needs further investigation for the continuous beam. In this study, we carried out externally prestressed 2-span concrete beam test to find out the flexural behavior and strength of externally prestressed concrete members.

1. 서론

외부 프리스트레스트를 도입하는 콘크리트 구조물은 내부 프리스트레스트 콘크리트 구조물보다 강선의 선형이 단순하고 긴장시 마찰손실이 없어서 긴장 관리가 쉽고, 쉬스관과 그라우팅이 필요가 없으므로 시공이 쉽고, 복부치수 등 단면제원을 줄일 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 사용 중에 강선 상태를 상세 조사할 수 있고 재 긴장이 가능하여 유지관리에도 유리한 점이 있다. 이에 따라 외부강선은 구조물에서 주재료로 사용될 뿐만 아니라 구조물의 기능을 강화시킬 수 있는 보강재로도 그 사용이 증가하고 있다.

외부 프리스트레스트를 도입하는 콘크리트 구조물의 해석은 강선이 단면 내에서 일체 거동하는 내부 프리스트레스트를 도입하는 콘크리트 구조물의 해석과 다르다. 내부 프리스트레스트 콘크리트 구조물에서 강선이 부착된 경우에는 두 재료가 일체로 거동하는 것으로 가정하여 평형방정식과 변형 적합방정식을 적용하여 그 거동을 파악할 수 있다. 그러나, 외부 프리스트레스트 콘크리트 부재는 부재의 양단부와 방향 전환부를 제외하고는 강선이 콘크리트와는 독립적으로 거동하게 된다. 외부 강선의 응력은 단

* 정회원, 동아대학교 대학원

** 정회원, 동아대학교 대학원

*** 정회원, 동아대학교 토목공학과 교수

부 정착부 사이의 강선이 늘어난 길이에 의해 결정된다. 따라서 외부프리스트레스를 도입하는 강선의 응력은 부재의 단면 해석이 아니라 부재 전체의 변형에 대한 해석에 의해서 결정되어야 한다. 이러한 어려움 때문에 현재의 설계에서는 실험을 통하여 구한 강선의 항복강도를 이용하여 근사적으로 구하고 있다.

정밀한 해석과 근사적 설계방법의 차이를 줄이기 위하여 많은 실험과 연구가 계속되었으나, 대부분의 실험이 단순보에 대한 것이므로 설계를 위한 근사식들이 연속보에 대해서도 적용이 가능한지 검토를 할 필요가 있다. 본 연구에서는 외부 프리스트레스 콘크리트 부재의 휨 거동과 강도를 규명하기 위하여 내부 프리스트레스 콘크리트 2경간 부재와 외부 프리스트레스 콘크리트 2경간 부재의 실험을 수행하였다.

2. 실험

2.1 실험부재

실험부재는 공칭모멘트가 비슷하도록 설계하였고, 2경간 연속보로 각각의 지간이 4m이고 부재폭은 250mm, 부재높이는 550mm로 하였으며, 설계에서 프리스트레스 콘크리트보의 압축강도는 $f_{ck} = 40\text{MPa}$ 로 하였고, 프리스트레스 콘크리트 부재의 내부강선과 외부강선은 SWPC 7BN의 7연선 $\phi 12.7\text{mm}$ 를 사용하였다. 그리고 조립철근 및 전단철근은 D10으로 항복강도는 $f_y = 400\text{MPa}$ 를 사용하였다. 실험부재의 모델은 그림 1과 같고, 제원은 표 1과 같다.

표 1 부재의 제원

	INPC-2SP	EXPC-2SP
총 길이	8.4 m	8.4 m
지간 길이	4 m	4 m
단면	250×550 (mm)	250×550 (mm)
유효높이	460 mm	500 mm
전단철근	D10@200mm	D10@200mm
PS강재비(ρ_p)	0.0017	0.0016
유효인장응력(f_{pe})	1064 MPa	1210 MPa
유효율(R)	0.851	0.945
f_{pe} (설계기준 값)	1757 MPa	1533 MPa
강재의 편심(e_p)	183.4 mm	222.8 mm
공칭모멘트(M_n)	152.51 kN · m	145.94 kN · m
공칭하중(P_n)	203 kN	195 kN

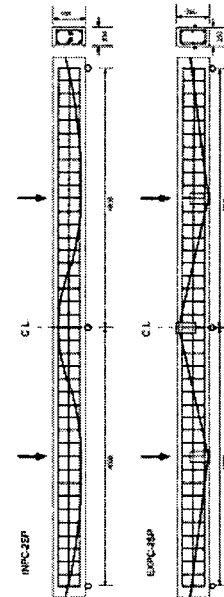


그림 1 실험부재도

2.2 실험 방법 및 측정

실험 부재는 그림 2와 같이 각 지간의 중심에 집중하중을 재하하였다. 공칭하중의 80%까지 양 지간의 하중이 같게 재하하였고, 이 후는 변위재하를 하였다. 실험 부재의 거동을 측정하기 위하여 부재 내부 철근에 접착형 스트레인 게이지를 매설하였다. 즉 중간 지점 및 지간 중앙지점의 상·하부의 조립용 철근과 전단철근의 철근 변형을 측정하였다. 그리고, 지간 중앙 및 1/4지점과 3/4지점의 처짐을

LVDT로 측정하였으며, 부재의 측면에 오메가형 게이지를 부착하여 단면의 평균변형을 측정하였다.

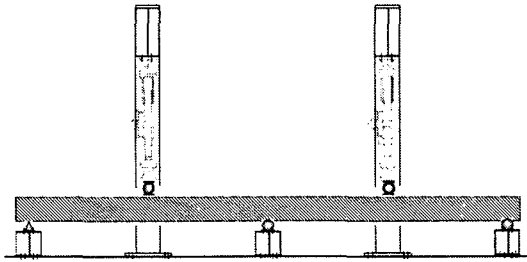


그림 2 하중 재하도



그림 3 부재와 시험장치

3. 실험결과

3.1 파괴양상과 파괴하중

INPC-2SP의 경우 최초 균열 발생이후 순수 휨 구간에 균열이 고른 분포를 보이며 발달하다가 계속되는 하중의 증가에 큰 휨을 받는 구간의 균열폭이 상당히 크게 나타나며 큰 변형의 증가를 보이다 보조철근들이 끊어지고, 강선이 정착구에서 미끄러지며 파괴되었다. EXPC-2SP의 경우는 INPC-2SP 보다는 균열의 개수가 작게 나타났고, 파괴시의 하중은 훨씬 큰 하중에서 강선이 파단하면서 파괴가 되었다.

각 부재의 파괴 휨강도와 설계시 계산 휨강도를 비교하였다.(표 2)

비교한 값을 보면 EXPC-2SP가 INPC-2SP보다 계산 휨강도와 큰 차이가 남을 알 수 있다. 이는 의 부강선의 f_{ps} 값이 설계 기준에서 너무 과소평가가 되고 있기 때문인 것으로 생각된다.

표 2 실험부재의 파괴하중과 공칭 휨 강도

부재명	실험 최대하중 (kN)	실험 최대 휨강도 (kN · m)	계산공칭 휨강도 (kN · m)	최대휨강도/계산공칭 휨강도
INPC-2SP	247.5	185.6	152.5	1.22
EXPC-2SP	384.7	288.5	145.9	1.98

3.2 하중 변위 관계

각 부재의 하중-변위 관계를 그림 5에 보였다. INPC-2SP의 경우 전형적인 연성보의 파괴양상을 보이며, 가장 큰 변형에서 파괴가 되었고, EXPC-2SP의 경우는 균열이 발생한 후에 강선의 긴장력이 선형적인 증가를 보이며, INPC-2SP보다 1.5배정도 큰 하중에서 최대하중에 도달한 후 어느 정도 연성을 보이다 강선이 파단하면서 하중이 급격하게 떨어지는 양상을 보인다.

그리고, INPC-2SP와 EXPC-2SP는 균열 발생점까지는 비슷한 경향을 보이다 균열발생 이후 INPC-2SP가 EXPC-2SP보다는 기울기가 더 완만해짐을 볼 수 있다.

3.3 설계기준식 및 제안식과의 비교

2경간 외부 프리스트레스트 콘크리트 실험부재(EXPC-2SP)의 휨강도를 우리나라 설계기준식 및 Haraji의 제안식, Chakrabarti의 제안식, 그리고 Naaman의 제안식과 비교를 하였다. 그림 5에서 보인 비교결과 Naaman의 제안식 값이 실험값에 가장 근접하고, 우리설계기준의 값이 가장 차이가 크게 나타났다. 우리설계기준의 경우는 거의 2배에 가까운 차이를 보이고, Naaman의 제안식 값은 26%정도의

차이를 보인다. 기존에 연구된 단경간 외부 프리스트레스트 콘크리트 부재의 실험값을 우리나라의 설계기준과 위의 제안식들로 비교를 하였다. 그 결과 2경간 부재와 달리 모든 제안식이 20%정도의 차이를 보인다.

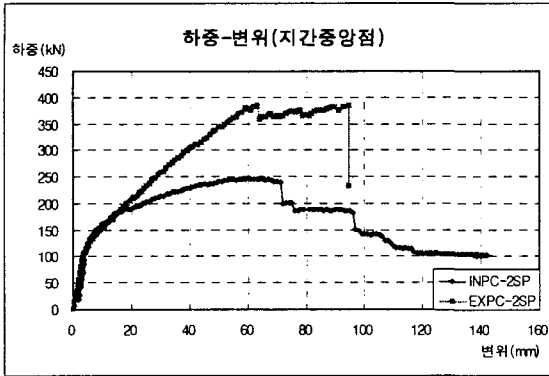


그림 4 하중-변위관계 그래프

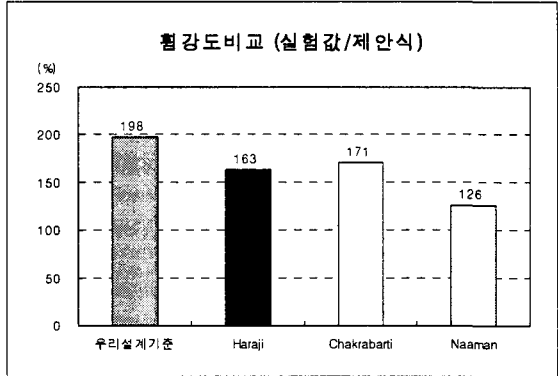


그림 5 2경간 부재의 휨강도 비교

4. 결론

외부 프리스트레스트 단경간보에서는 모든 제안식들이 실험값과 근사한 값을 보이지만 연속보인 경우에는 많은 차이를 보인다. 연속보에서는 여러 근사식 중 Naaman의 제안식이 가장 근사한 값을 보이며 다른 제안식과 우리 설계기준은 큰 차이를 보인다. 따라서 외부 프리스트레스트 콘크리트 부재의 휨강도계산을 위한 새로운 설계기준이 필요하다.

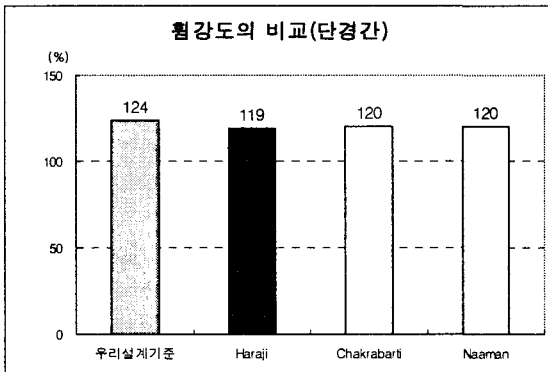


그림 6 단경간 부재의 휨강도 비교

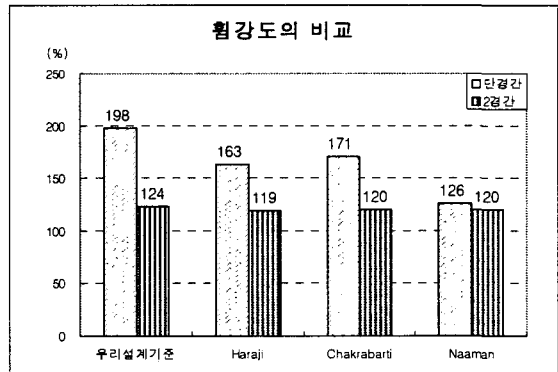


그림 8 단경간과 2경간의 휨강도 비교

참고문헌

1. Harajli. M. H, Kanj. M. Y, "Ultimate flexural strength of concrete members prestressed with unbonded tendon", ACI Journal, Nov-Dec. 1991, pp 663-673
2. Naaman. A. E, Alkhairi. F. M, "Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons, Part I: Evaluation of the State-of-the-Art", ACI Journal, Sep-Oct. 1991, pp 641-651
3. Naaman. A. E, Alkhairi. F. M, "Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons, Part II: Proposed Methodology", ACI Journal, Nov-Dec. 1991, pp 683-692
4. Chakrabarti. P. R, "Ultimate stress for unbonded post-tensioning tendons in partially prestressed beams", ACI Journal, Nov-Dec. 1995, pp 689-697