

선시공 조립식 거푸집 공법을 이용한 계단 접합부의 접합방식에 따른 해석적 연구

An Analytical Study for the Stair Joints Constructed with Prefabricated Form System

이 은 진* 진 병 창** 장 극 관***
Lee, Eun Jin* Jin, Byung Chang** Chang, Kug Kwan***

ABSTRACT

The stair joints constructed with prefabricated system are general method doing structure design at hinge. If you regarded joints to come in contact with a flight of stairs and a slope of stairs as hinge, the moment performance of joints is not in the least moment, so as the bending moment of the stair case is increased, the reinforcement increase. Also the use is decreased because increasing the joint damage of the vibration & fatigue load. No less the reason constructed with pin the stair joints because the construction efficiency of field work is useable.

Recently, they are considering the construction efficiency, while the semi-rigid detail for bending performance of joints is proposed, but for now they don't reflect the detail. Therefore, we proposed that reflecting the method at design semi-rigid joints. We compared the moment performance with the stair joints designed at the rigid joints, semi-rigid joints and pin joints. The nonlinear behavior of staircase core statically indeterminate structure.

The result of research is that a bending stiffness modulus bring to reflect the semi-rigid performance, the performance of the semi-rigid joint is better than pin joints, and that is judged the system better seismic and vibration performance because have excellent ductility more than rigid joint.

요 약

선시공 조립식 거푸집 공법을 사용한 계단의 접합부는 힌지로 처리하여 구조설계를 하는 것이 일반적인 방법이다. 계단참과 경사계단이 만나는 접합부를 힌지로 간주하게 되면 접합부의 모멘트 성능이 전혀 없으므로 계단부분의 휨모멘트가 증가하게 되어 철근 배근량이 늘어난다. 또한 진동 및 피로하중에 의한 접합부 손실이 증가하여 사용성이 저하된다. 그럼에도 불구하고 계단 접합부를 핀접합하는 이유는 현장에서의 시공성이 용이하기 때문이다. 최근들어 시공성을 고려하면서 접합부의 휨성능을 향상시킬 수 있는 반강접에 대한 상세가 제시되고 있으나, 이러한 상세를 구조설계에 전혀 반영하지는 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 계단의 반강접 접합부를 설계에 반영할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다. 강접합, 반강접합, 핀접합으로 설계된 계단 접합부에 대해 모멘트 성능을 비교하고, 부정정 구조물인 계단 코아부분의 비선형 해석을 통해 항복 이후의 변화를 비교하였다. 연구결과 반강접합 성능을 반영하기 위한 휨강성계수를 도입하였고, 이를 적용한 비선형 해석결과 핀접합보다는 안정적인 결과를 보였고, 강접합에 비해 연성이 뛰어나 내진 및 진동에 대해 유리한 시스템으로 판단된다.

* 정회원, 서울산업대학교, 연구원

** 정회원, 서울산업대학교, 석사과정

*** 정회원, 서울산업대학교, 교수

1. 서론

본 연구는 그림 1과 같은 선시공 조립식 거푸집을 이용하여 벽체와 계단참을 동시타설하고, 경사 계단 부위는 분리 제작하여 접합하는 방법에 대한 연구이다. 분리 제작된 경사계단을 크레인으로 양중하여 기설치된 계단참과 연결한다.

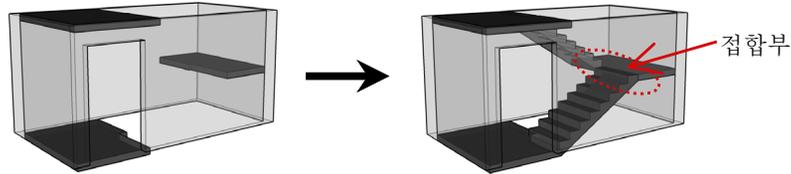


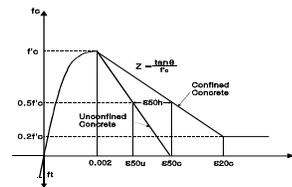
그림1 선시공 조립식 거푸집 계단공법

PC 부재나 본 연구에서처럼 분리 제작된 부재를 연결할 때 응력전달 요소의 유무에 따라 핀접합 또는 강접합으로 가정하여 설계가 이루어진다. 그러나 시공상 두 가지 접합방식 모두 어느 정도의 반강접 성능을 가지게 되며, 시공성, 경제성, 기술력 등 여러가지 조건을 조합하여 볼 때 핀접합과 강접합의 중간형태인 반강접합부에 대한 필요성은 점차 증가한다고 볼 수 있다. PC 접합부에서 모멘트 성능에 대한 반강접 연구는 선행연구^{1),2),3)}에서처럼 상세를 제안하는 정도의 초기단계에 머물고 있으며, 이를 구조설계에 반영하지 못하고 있는 실정이다. 접합부의 복잡한 거동을 반영할 수 있는 이론적 해석적 기반이 마련되지 못하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 계단 접합부의 반강접 성능을 구조설계에 반영하기 위한 연구의 일환으로 반강접 모멘트 성능을 가지는 접합부의 거동을 휨강성계수를 도입하여 표현할 수 있도록 하며, 특성상 부정정 구조물인 계단 코아 부분의 비선형 거동을 각 접합부 종류에 따라 비교하여 선시공 조립식 거푸집 공법을 이용한 계단 접합부의 접합방식에 따른 성능을 평가하고자 한다. 이를 통해 추후 PC 접합부의 반강접 성능을 설계식에 반영하여 부재의 사용량을 줄이고 경제성을 높이고자 한다.

2. 반강접 해석

2.1 해석모델의 특징

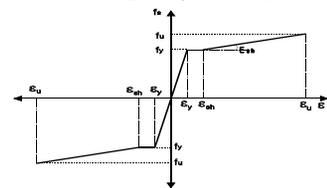
본 연구에서는 접합부 부재의 휨강성을 제어하여 전체 계단 구조 시스템의 휨성능을 평가하고자 하였다. 이를 실현하기 위해 접합부 부재에는 기존 연구⁴⁾에서 제안한 초기강성 감소 계수를 도입하여 휨강성 계수로 이용하고자 한다.



(a) 콘크리트 모델

2.2 재료 모형

본 연구의 비선형 해석시 적용되는 재료모델은 Kent와 Park에 의해 제안된 콘크리트 모델과 그림2 (b)에서 보는 철근모델을 사용한다.



(b) 철근 모델

그림 2 재료모형

2.3 이력거동 모델

비선형 해석시 이력거동 모델은 일반적인 철근콘크리트 구조물에 적용되는 모델을 적용하였다.

① 강성 저하 모델 ; 콘크리트의 재료 성질상 탄성범위를 벗어난 재료는 균열이나 소성변형 등으

로 급격히 강성이 감소되는 현상이 나타나게 되는데, 강성저하 모델은 모든 제하(unloading)강성이 αF_y 를 향하도록 하며, 이때의 강성 k^* 는 다음 식과 같다.

$$k^* = \frac{(M_{\max} - \alpha M_y)}{(\Phi_{\max} - \alpha M_y/k)}$$

여기서, M_{\max} : 제하사이클(unloading cycle) 시작점에서의 모멘트

Φ_{\max} : 제하사이클(unloading cycle) 시작점에서의 곡률

α : 강성저하계수, M_y : 항복모멘트, k : 단면의 초기강성

② 강도 저하 모델 ; 콘크리트는 극한강도에 도달한 이후, 또는 국부적인 부재 손상으로 인해 전체 부재의 강도가 저하 된다. 최대모멘트 이후의 재제하시 M_{new} 로 향하게 하여 강도저하를 표현한다.

$$\beta = \left(\frac{d\Phi_m}{\Phi_u} \right) \div \frac{dE}{\Phi_u M_y} = \frac{\Phi_m}{dE}$$

여기서, dE : 표준화된 증가 이력에너지, Φ_m : 최대 반응의 증가로 인해 발생하는 증가 손상

β : 강도 저하 계수

③ 펀칭 거동 모델 ; 콘크리트의 균열이 열리고 닫히는 현상 및 철근의 재결속 등으로 생기는 펀칭현상도 이력거동에서 나타나는 중요한 특징이다. 이러한 펀칭 거동은 제하 및 재제하시, 하중-변위 곡선이 slip축을 가로지를 때, 아래의 식에 따르는 새로운 목표점을 향하게 된다.

$$M^* = \gamma M_y$$

여기서, γ : 펀칭조절계수

3. 계단 접합부 해석 및 분석

3.1 현행 설계 방법

그림3과 그림 4는 현행 설계대로 강접합과 핀접합으로 해석을 실시한 결과이다. 강접합으로 설계할 경우 좌우변 고정단 부분의 최대 모멘트에 저항하도록 설계가 이루어진다. 반면 핀접합으로 설계할 경우 우변의 최대 모멘트에 저항하도록 설계한다. 등분포 하중 하에서 접합부 차이에 따른 설계 모멘트는 핀접합이 강접합보다 약 38% 높게 보고 있고, 최대모멘트 발생 위치는 부재의 길이 및 하중 조건에 따라 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 최대모멘트치를 기준으로 한다.



그림 3 강접합



그림 4 핀접합

3.2 반강접합 설계

그림 5는 접합부를 하나의 부재로 분리하여 휨강성을 낮추어 전체 부재의 최대 모멘트가 약 50%의 성능을 보유하도록 하였다. 그 결과, 접합부의 휨강성을 계단부재의 10%로 낮추어 이를 표현할 수 있었다. 그리고 그림 6은 기존의 해석 방식대로 계단참과 계단을 강접합으로 해석하고, 50% 반강접의 거동을 표현할 수 있도록 휨강성계수 0.3을 사용하였다.



그림 5 반강접합



그림 6 반강접 모델링

3.3 비선형 해석

앞에서 제시한 해석 기법에 따라 반강접 거동을 표현할 수 있는 모델을 이용하여 계단실의 비선형 해석을 실시하였다. 그림 7은 접합방식에 따른 단순가력을, 그림 8은 반복가력 결과인데 단순가력시 편접합은 3.57mm에서 고정단이 항복한 후 약 14~15mm에서 고정단의 파괴가 시작되는 반면, 강접합은 4.7mm에서 고정단이 항복한 후 12~14mm에 걸쳐 경사계단 중앙부의 항복이 일어나고, 약 18mm에서 고정단의 파괴가 시작되었다. 반강접합은 6.3mm에서 고정단이 항복한 후 16~18mm에서 경사계단 중앙부의 손상이 진행되고, 22mm에서 고정단의 파괴가 진행되기 시작하였다. 그림 8의 반복가력 결과에서도 반강접합이 전체 부재의 강도 및 에너지 소산능력이 우수함을 알 수 있다.

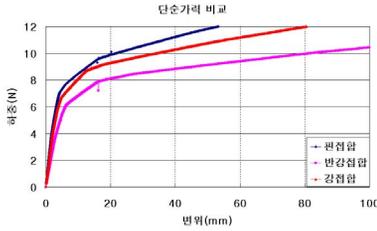


그림 7 접합부별 단순가력 비교

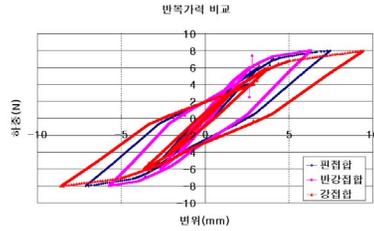


그림 8 접합부별 반복가력 비교

4. 결론

- ① 선시공 조립식 거푸집 공법을 이용한 계단 접합부는 접합방식에 따라 적절한 해석 모델을 사용하면 효율적인 설계를 할 수 있다.
- ② 반강접합에 대한 해석 모델 중 접합부 부재를 분리하여 사용하는 방식은 전체 시스템의 성능을 기준으로 할 때 접합부의 요소 특성을 결정해야 한다.
- ③ 기존의 강접합 해석방식을 이용할 경우 휨강성 계수를 도입하여 전체 시스템의 성능을 표현할 수 있는 계수를 산정하면 반강접합의 거동을 적절히 표현할 수 있다.
- ④ 계단접합 방식에 따른 계단 시스템의 비선형 해석결과 반강접 상세를 가지는 경우 강성, 강도 및 에너지 소산 능력이 우수하므로, 내진 및 진동에 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(과제번호 06건설핵심C03)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) (주)일호, (주)일호인터내셔널, 신운식, 장극관, 공장 제작된 철근트러스와 합판에 스택타이와 웨지 핀을 이용한 거푸집 공법(Hi-Form Deck 공법), 신기술 제493호 지정신청서, 319p. 2006.
- 2) 이은진, 오영훈, 장극관, 신운식, “선시공 조립식 계단 거푸집 시스템의 Mock-up 시공 및 성능계측 평가”, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 한국콘크리트학회, pp.981~984., 2007. 11.
- 3) 이은진, 오영훈, 장극관, 신운식, “선시공 조립식 Hi-Form 거푸집 공법을 적용한 계단 접합부의 전단 및 휨강도 평가”, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 한국콘크리트학회, pp. 85~88.
- 4) 이은진, 김옥중, 문정호, 이리형 “단부 철근콘크리트 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보의 비선형 이력거동”, 한국전산구조공학 논문집, 한국전산구조공학회, pp. 379~387, 2002. 6.