

스파이럴 철선으로 보강된 계단 꺾임부의 구조성능 평가

Structural Performance Evaluation of Stair Bend Reinforced with Spiral Wire

○이 선 호*
Lee, Sunho

김 경 범**
Kim, Kyung-Bum

이 정 윤***
Lee, Jung-Yoon

Abstract

Despite the importance of structural safety at stair bend, conventional construction standards have been difficult to apply on-site due to their complex rebar placement methods. This study addresses this issue by proposing a reinforcement solution with improved constructability and evaluating its performance through experimental verification. The test results confirmed that the proposed reinforcement exhibited load-displacement and strain behavior similar to the conventional strengthening method. It was also found to be effective in contributing to the stiffness and strength of the stair bend. This provides a practical solution that enhances on-site applicability while ensuring structural safety.

키워드 : 계단보강, 구조성능, 배근법, 철근콘크리트

Keywords : Stair reinforcement, Structural performance, Reinforcement method, Reinforced concrete

1. 서론

건설기술의 발달과 함께 고층 건축물의 수가 증가하고 있으며, 이에 따라 각 층을 연결하는 계단의 중요성 또한 커지고 있다. 계단은 상부 구조물의 하중을 지지하는 중요한 구조 부재임에도 불구하고, 경사부와 수평부(계단참)가 만나는 꺾임부에서는 복합적인 응력이 집중되어 구조적으로 취약하다는 특징을 지닌다. 특히 구부러진 철근의 복원력으로 인해 인장응력이 크게 발생하면서 작은 하중에도 쉽게 균열 및 파괴가 발생할 수 있다. 이러한 꺾임부의 구조적 안정성은 계단 구조물 전체의 안전과 직결된다.

이러한 문제에 대응하기 위하여 국내 건설기준¹⁾은 계단 꺾임부에 전후 폭 방향으로 추가적인 철근 보강을 명시하고 있다. 또한, 한국토지주택공사에서 제시한 철근 배근 가이드라인²⁾은 철근의 정착 및 휨 보강을 고려하여 그림 1과 같이 마름모 형태의 배근 상세를 제시하고 있으며, 이 방식은 현재 보편화된 보강방식으로 사용되고 있다. 이러한 표준 상세는 이론적으로 꺾임부의 구조적 성능을 향상시키지만, 모든 주철근의 정착 길이를 확보하기 위한 필요 철근량이 과도하게 증가하고 복잡한 배근 형태로 인해 현

장 시공 과정이 까다롭다는 문제가 있다.

그 결과, 실제 건설 현장에서는 시공 편의를 위하여 복잡한 표준 상세 대신 철근을 단순하게 배근하는 경우가 많다. 이는 꺾임부에 적절한 보강이 이루어지지 못하여 구조적 안전성 저하로 이어질 수 있는 심각한 문제이다.

따라서 본 연구는 기존 표준 상세의 장점인 구조적 성능을 유지하면서도 현장 시공의 복잡성을 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 계단 꺾임부 보강방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 개선된 보강 상세를 제안하고, 실험적 검증 등을 통해 기존의 표준 상세와 구조적 성능을 비교 및 분석하는 것을 목적으로 한다.

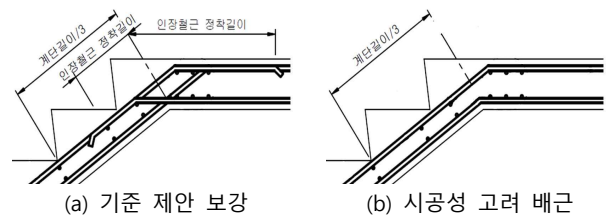


그림1. 계단 꺾임부 철근 배근방식²⁾

2. 계단 꺾임부의 휨 저항

계단 꺾임부에 사용된 구부러진 철근은 하중을 받을 때 직선으로 펴지려는 복원력이 발생한다. 이러한 복원력은 꺾임부에서 인장응력을 집중시키고, 이는 계단 전체 부재

* 성균관대 대학원 건설환경시스템공학과 박사과정

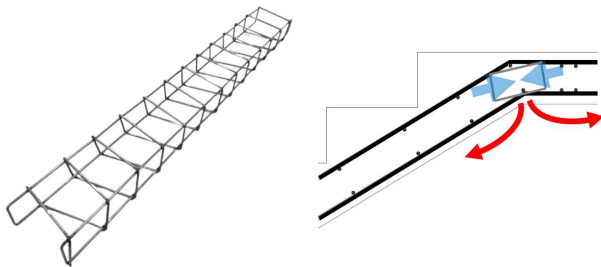
** (주)바로건설기술 프로, 공학석사

*** 성균관대 건축환경공학부 교수, 공학박사

(Corresponding author : School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, jungyoon@skku.edu)

의 내력 저하 및 균열을 유발하는 주요 원인이 된다. 따라서 꺾임부에 대한 적절한 보강은 부재의 구조적 안정성을 확보하는 데 필수적이다. 현재 건설기준 및 가이드라인에서 제시하는 방식은 꺾임부 내 직선 철근의 비율을 높이고 마름모 형태의 배근을 형성하여 부재의 직선화에 효과적으로 저항하도록 설계되었다. 그러나 이러한 방식은 복잡한 배근 방법 때문에 철근의 길이 및 꺾임 각도에 오차가 발생하기 쉽고, 이는 곧 현장 시공의 복잡성과 낮은 적용성으로 이어지는 한계를 지닌다.

본 연구에서는 기존 보강방식의 문제점을 해결하기 위해 시공 편의성을 최우선으로 고려한 개선된 상세를 제안하였다. 제안된 상세에서는 계단의 상부철근과 하부철근을 서로 평행하게 배치하여 배근 공정을 단순화했다. 또한, 꺾임부에는 휨 인장에 효과적으로 저항할 수 있도록 그림 2와 같이 직경 6mm의 보강철물을 스파이럴 형태로 추가 배치하였다. 이 보강철물은 별도의 복잡한 정착 과정 없이도 철선 고정만으로 쉽게 설치할 수 있다. 스파이럴 형태의 보강재는 꺾임부의 휨 응력(빨간 화살표)에 대해 저항하면서(파란 화살표) 주철근의 직선화를 억제하고, 부재의 휨 성능을 효과적으로 향상시키는 역할을 수행한다. 이처럼 제안된 방식은 시공의 편의성과 구조적 성능을 동시에 확보하는 데 중점을 두었다.



(a) 실제 형태 (b) 휨 인장 저항 거동

그림2. 보강철물

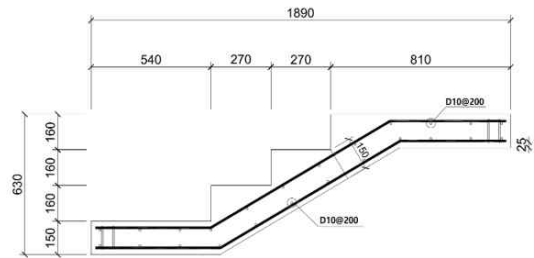
3. 가력 실험

꺾임부 보강철물의 효과를 검증하기 위하여 보강방식을 변수로 설정하여 총 5개의 계단 실험체를 제작하였다. 주철근 및 스티럽은 SD400 규격의 D10 철근을 사용하였다. 표준 상세를 만족하는 주철근의 이음 길이는 국내 콘크리트 구조기준을 따랐으며, 본 연구에서 제안한 보강철물은 스파이럴 형태로 100 mm의 간격을 갖도록 제작하여 설치하였다. 각 실험체의 상세는 그림 3에 나타내었다.

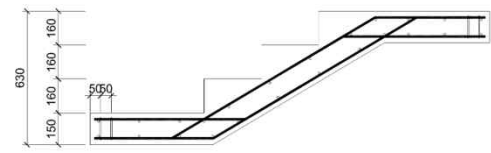
가력 실험은 그림 4와 같이 만능시험기(UTM)를 사용하여 계단 경사부 중앙에 집중하중을 가하는 3점 가력 방식과 휨 응력 분포를 경사부 전체에 줄 수 있는 4점 가력 방식으로 진행되었다. 실험체의 지점 조건은 각 계단참 단부로부터 200 mm 떨어진 지점에 설정하여 실제 구조물의 지지 조건을 모사하였다.

실험 중 변위 측정을 위해 실험체 경사부 하부 중앙에 변위 변환기(LVDT)를 설치하였다. 또한, 실험체의 꺾임부

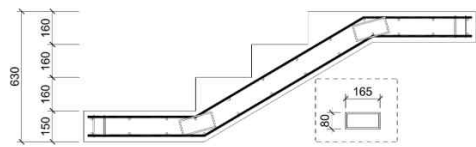
에서 발생하는 인장철근의 변형률 및 보강철물의 변형률을 정밀하게 측정하기 위하여 콘크리트 타설 전 해당 철근에 변형률 게이지를 부착하였다.



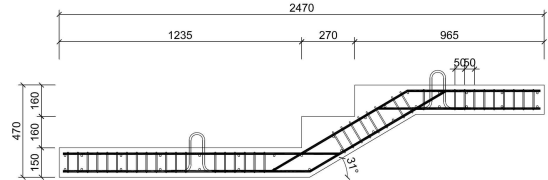
(a) 무보강 실험체, 3점 가력 (No. 1)



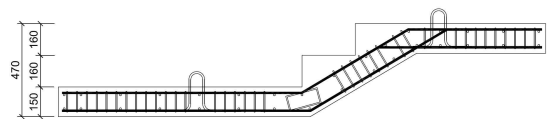
(b) 표준 상세 실험체, 3점 가력 (No. 2)



(c) 보강철물 실험체, 3점 가력 (No. 3)



(d) 표준 상세 실험체, 4점 가력 (No. 4)



(e) 보강철물 실험체, 4점 가력 (No. 5)

그림3. 실험체 형상 및 배근상세



(a) 3점 가력

(b) 4점 가력

그림4. 가력 직전 실험체

4. 실험 결과

4.1 3점 가력 실험

표 1은 3점 가력 실험 후 각 실험체의 균열 발생 시 하중(P_{cr})과 균열 발생 시 변위(Δ_{cr}), 최대하중(P_u)와 최대하중 도달 시 변위(Δ_u)를 나타내었으며 그림 5는 모든 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸다.

무보강 실험체는 61.8 kN의 최대하중을 기록하여 표준 상세 실험체의 최대하중인 74.6 kN에 비해 내력이 82.8%로 감소한 것으로 확인되었다. 또한, 변위 5 mm 이내의 사용 하중 구간에서 균열 발생 후 강성이 초기 강성에 비해 크게 감소하는 불안정한 거동을 보였다.

반면, 보강철물을 배근한 실험체는 71.4 kN의 최대하중을 기록하여 표준 상세 실험체와 유사한 내력을 나타냈다. 이는 보강철물이 꺾임부의 인장력에 효과적으로 저항하여 강도 증진에 기여하였음을 의미한다. 또한, 강성 역시 표준 상세 실험체와 유사하게 유지되어 안정적인 거동을 보였다.

그림 6은 꺾임부에서 측정된 인장철근의 하중-변형률 곡선을 나타낸다. 무보강 실험체의 인장철근 최대 변형률은 0.0026으로 항복이 충분히 진행된 반면, 표준 보강 실험체와 철물보강 실험체에선 0.0019와 0.0021로 이보다 낮게 나타났다. 이는 꺾임부 보강이 인장력을 분담하여 해당 위치의 인장철근의 부담을 줄였음을 의미한다.

그림 7는 보강철물의 하중-변형률 곡선을 나타낸다. 보강철물 하부의 최대변형률은 0.0008으로 측정되었다. 이는 보강철물이 꺾임부에서 인장력에 저항하여 강도 보강에 기여하고 있음을 명확하게 보여준다.

표1. 3점 가력 실험 결과

Specimens	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_u (kN)	Δ_u (mm)	$P_u/P_{u, No. 2}$
No. 1	16.8	0.7	61.8	21.7	0.83
No. 2	18.0	1.0	74.6	11.0	1.00
No. 3	17.1	0.7	71.4	23.9	0.96

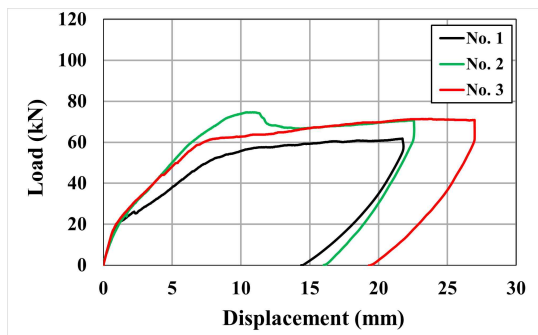


그림5. 3점 가력 실험체의 하중-변위 곡선

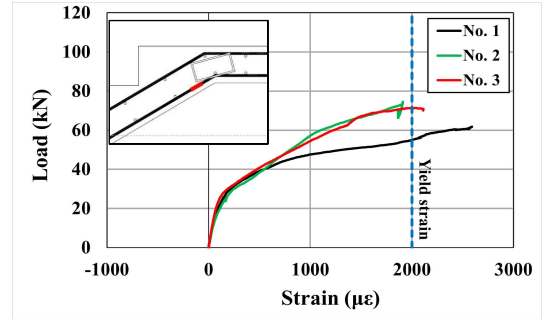


그림6. 3점 가력 실험체 꺾임부 인장철근 변형률 곡선

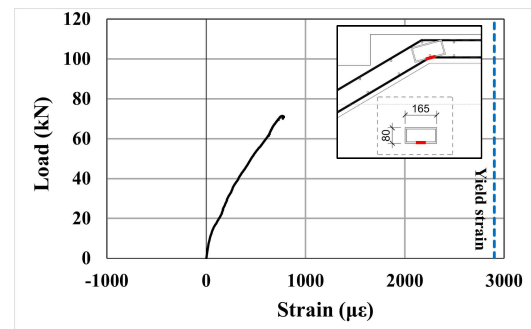


그림7. 3점 가력 실험체 보강철물 변형률 곡선

4.2 4점 가력 실험

표 2는 4점 가력 실험 후 각 실험체의 균열 발생 시 하중(P_{cr})과 균열 발생 시 변위(Δ_{cr}), 최대하중(P_u)와 최대하중 도달 시 변위(Δ_u)를 나타낸다. 그림 8은 두 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸다.

실험결과, 철물보강 실험체는 하중 11.7 kN에서 초기균열 발생 및 강성저하가 발생하였는데, 이는 표준 상세 실험체의 약 72.7%로 나타났다. 또한 최대하중은 62.8 kN으로 표준 상세 실험체에 비해 약 90.5%의 휨 내력을 보였으나, 최대 처짐은 25.8% 더 크게 나타나 연성거동에 더욱 유리함을 보여주었다.

그림 9는 꺾임부 두 지점에서 측정된 인장철근의 하중-변형률 곡선을 나타낸다. 표준 상세 실험체의 인장철근 최대 변형률은 모두 0.0027으로 항복변형률을 충분히 초과하였지만, 보강철물 실험체의 인장철근 최대 변형률은 각각 0.0023과 0.0020으로 이보다 낮게 나타났다. 이 또한 보강철물의 도입이 기존 표준 보강 상세보다 꺾임부의 휨 인장 저항에 더욱 유리함을 시사한다.

그림 10은 보강철물의 하중-변형률 곡선을 나타낸다. 보강철물 하부의 최대변형률은 0.0005으로 측정되었으며, 이는 3점 가력 실험과 동일하게 보강철물이 계단 꺾임부 강도 보강에 효과적으로 기여하고 있음을 보여준다.

표2. 4점 가력 실험 결과

Specimens	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_u (kN)	Δ_u (mm)
No. 4	16.1	1.6	69.4	26.4
No. 5	11.7	1.1	62.8	33.2

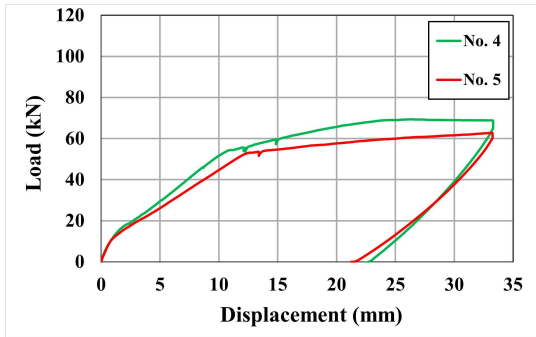
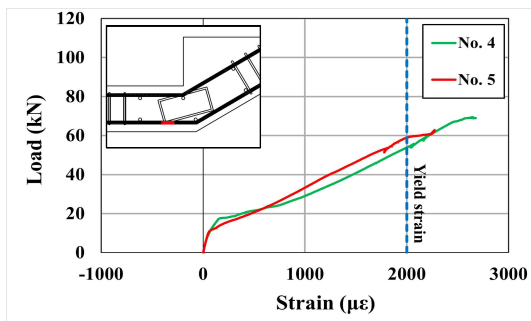
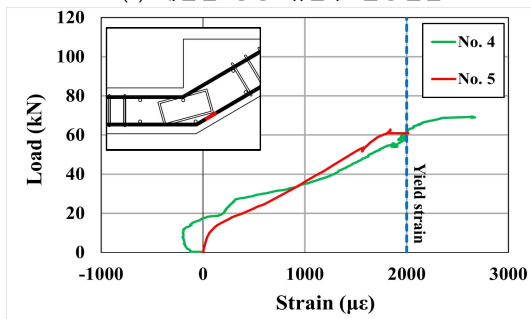


그림8. 4점 가력 실험체의 하중-변위 곡선



(a) 계단참 방향 꺾임부 인장철근



(b) 경사부 방향 꺾임부 인장철근

그림9. 4점 가력 실험체 변형률 곡선

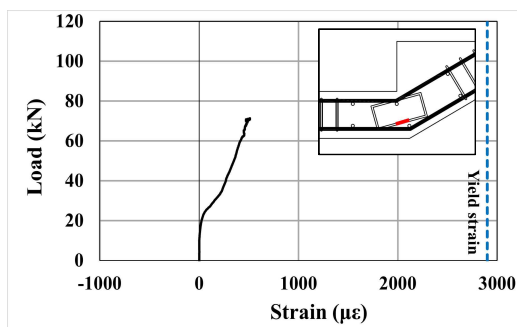


그림10. 4점 가력 실험체 보강철물 변형률 곡선

5. 결론

본 연구는 계단 꺾임부의 구조적 안전성 확보와 현장 시공 편의성 개선을 목표로, 기존 표준상세의 대안이 될 새로운 보강 방안을 제시하고 실험을 통해 그 성능을 검

증하였다. 기존의 복잡한 배근 방식이 현장 적용에 어려움을 초래하는 문제를 해결하기 위해 상부 및 하부 철근을 평행하게 배치하고 꺾임부에 보강철물을 추가하는 방식을 제안하였으며, 이에 대한 주요 연구 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 보강 철물을 적용하지 않고 상부와 하부 철근을 평행하게 배치한 무보강 실험체는 표준 상세 실험체 대비 82.8% 수준의 낮은 내력을 보였다. 또한 사용하중 범위 내에서도 초기 강성이 크게 감소하는 취약한 거동을 보여 계단 꺾임부에 대한 보강이 필수적임을 확인시켜 주었다.
- 2) 본 연구에서 제안한 보강철물을 배근한 실험체는 표준 상세 실험체의 90% 이상에 해당하는 최대 내력을 보이고, 최대 처짐 또한 증가하여 연성거동에 유리함을 보였다. 이는 제안된 보강방식이 꺾임부의 인장력에 효과적으로 저항하여 안정적인 구조성능을 확보하였음을 의미한다.
- 3) 인장철근의 변형률 분석 결과, 보강철물 실험체의 인장철근 변형률은 무보강 실험체와 표준 보강 실험체보다 낮게 나타났다. 또한, 최대하중에서의 보강 철물 변형률이 유의미하게 측정되었다. 이는 보강철물이 꺾임부에서 발생하는 인장력에 저항하여 주철근의 부담을 경감시키는 보강재로서의 역할을 충분히 수행하고 있음을 보여준다.

이상의 결과를 종합하면, 본 연구에서 제안된 보강방식은 기존 표준 상세의 문제점인 시공 편의성을 획기적으로 개선하면서도 동등한 수준의 구조적 안전성을 확보할 수 있는 실용적인 해결책이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토교통부, KDS 42 20 00 소규모건축 콘크리트구조, 2022
2. 한국토지주택공사 토지주택연구원, 철근 배근 가이드라인 작성을 통한 배근시공도 작성기준 연구, 2017