

고강도철근(550MPa)의 원전구조물 적용을 위한 표준갈고리 정착설계

Development Length of High-Strength Standard Hooked Bars (550MPa) in Nuclear Power Plant Structures

이 병 수*

Lee, Byung Soo

Abstract

Because of the congestion problems, the high-strength reinforcements are expected to be used in nuclear power plant structures in the near future. According to ACI 349-13, it is permitted to use the high-strength(550MPa) hooked bars in design of development length, but there is no special equation for high-strength bars. In order to reflect the anchorage capacity and behavior properties of high-strength bars with large-diameter(43 & 57mm), it is necessary to develop the new development length equation for large-size and high-strength bars.

키 워 드 : 대구경 철근, 고강도 철근, 표준갈고리철근, 정착길이

keywords : large-size reinforcement, high-strength reinforcement, standard hooked bar, development length

1. 서 론

원전구조물은 구조적 안전성을 확보하기 위하여 다량의 대구경(최대 직경 57mm) 철근이 사용되고 있으며, 이로 인한 철근의 과밀배근 문제가 대두되고 있다. 이를 해결하기 위한 방편으로 철근의 설계기준항복강도를 기존의 60,000psi (420MPa)에서 80,000psi(550MPa)로 상향하여 사용할 수 있도록 관련 규정이 완화되었다. 대구경의 고강도철근이 사용된 콘크리트 구조물은 철근의 응력집중 현상과 프라이딩 거동(Flying Action) 등의 영향으로 정착설계의 안전 여유도가 감소하게 되어 이의 추가 검토가 필요하다. 특히, 고강도철근 사용에 따른 안전 여유도 감소분을 고려하여 정착길이 증가계수 1.2를 적용하는 직선철근과 달리 기존식이 그대로 적용되는 표준갈고리 철근의 정착설계에 대한 추가 검토는 더욱 필요하다.

2. 현행 설계기준

원전 안전성관련 콘크리트 구조물에 적용되는 ACI 349¹⁾ 요건에 따르면 표준갈고리철근의 정착길이는 주어진 산정식 이상으로 설계하되 최소한 $8d_b$ 와 6인치 이상이 되도록 규정하고 있다. 예폭시코팅 철근과 경량 콘크리트가 사용되지 않으므로 ψ_e 와 λ 값을 1.0으로 적용할 경우 정착길이 산정식은 아래와 같다.

$$l_{dh} = 0.24 \left(\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b \text{ (mm)} \text{ ----- (1)}$$

여기서, 피복두께와 횡보강 조건을 만족할 경우에는 정착길이 감소계수 0.7~0.8을 적용한다.

3. 추가 연구

3.1 천성철 연구

인천대학교 천성철 교수는 원전에 사용되고 있는 대구경(43, 57mm) 철근과 향후 사용이 예상되는 고강도(550MPa) 철근으로 표준갈고리 정착된 외부 보-기둥 접합부 정착성능평가 실험연구를 수행하여 표준갈고리 철근의 정착길이 산정식을 아래와 같이 제안하였다.²⁾

$$l_{dh} = \left(0.109 \frac{f_y}{\psi \sqrt{f'_c}} - 3.21 \right) d_b \text{ (mm)} \text{ ----- (2)}$$

* 한국수력원자력(주), 중앙연구원 차장, 교신저자(lbs6985@hanmail.net)

여기서, ψ 는 횡보강 철근과 측면피복 두께에 의한 횡구속 영향을 나타내는 계수로서 $\psi = \left(0.24 \frac{c_{so}}{d_b} + 0.76\right) \left(1 + 0.1 \frac{K_{tr}}{d_b}\right)$ 로 계산된다. 이때 적용되는 (c_{so}/d_b) 는 1.0~3.3 범위이고, (K_{tr}/d_b) 는 2.2 이하이어야 한다.

3.2 Darwin 연구

미국의 Darwin 교수는 초고강도 철근(120ksi 이하)까지 적용할 수 있는 표준갈고리 철근 정착길이 산정식을 제안하였으며, 현행 설계식과 마찬가지로 최소 정착길이를 $8d_b$ 와 6인치 이상으로 제한하고 있다.³⁾ 원전구조물에는 에폭시코팅 철근과 경량 콘크리트의 사용이 허용되지 않으므로 ψ_e 와 λ 값을 1.0으로 적용한 표준갈고리철근 정착식은 아래와 같다.

$$l_{dh} = 0.003 \left(\frac{\psi_{cs} \psi_o f_y}{\sqrt[4]{f_c}} \right) d_b^{1.5} \text{ (inch)} \text{-----} \quad (3)$$

여기서, ψ_{cs} 는 횡구속과 정착철근 간격에 따른 계수로 0.5~1.0값을 적용하고, ψ_o 는 정착철근 위치계수로 표준갈고리 철근이 정착되는 위치에 따라 1.0~1.25값을 적용한다.

4. 정착설계

위에서 살펴본 추가 연구의 정착길이 산정식은 복잡할 뿐만 아니라 현행 설계기준의 설계변수와 상이하어 실무에 적용하기 어려워 ACI 349 설계기준의 참고자료인 Marques 표준갈고리철근 실험연구와 대구경(43, 57mm)-고강도(550MPa) 표준갈고리 철근 정착성능실험에 관한 천성철 교수의 연구 결과를 토대로 대구경-고강도 철근에 적용할 정착길이 설계식을 아래와 같이 도출하였다. 현행 ACI 349 설계기준은 대구경-고강도 표준갈고리 철근의 정착성능을 과대평가할 우려가 있으므로 설계기준항복강도가 43mm 이상의 고강도철근(550MPa)의 표준갈고리 정착길이를 설계할 경우에는 기존의 ACI 349 설계기준과는 별도로 아래의 산정식을 사용하여 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

$$l_{dh} \geq 0.28 \gamma \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} d_b \text{ (mm)} \text{-----} \quad (4)$$

여기서, γ 는 직선철근의 정착길이 산정식에 사용되는 횡구속조건 $[(c_b + K_{tr})/d_b]$ 의 영향을 반영한 정착길이 감소계수로서, $\gamma = 1.15 - 0.10(c_b + K_{tr})/d_b$ 로 계산된다. 이때 적용되는 $[(c_b + K_{tr})/d_b]$ 는 1.5~6.0 범위이어야 한다.

5. 결 론

현행 ACI 349 설계기준에는 인장 및 압축을 받는 고강도(550MPa) 철근의 사용이 가능하도록 규정이 개정되었으나 대구경-고강도 철근의 정착거동을 고려한 별도의 표준갈고리 정착길이 산정식을 규정하지 않은 채 기존의 설계식을 그대로 사용하고 있다. 응력집중 현상과 프랑이 거동의 영향을 많이 받는 대구경-고강도 표준갈고리 철근의 정착거동 특성을 고려한 별도의 정착길이 설계식을 도출하였다. 다만, 제한적인 실험 데이터를 기반으로 도출되었으므로 향후 보다 많은 실험연구를 수행하여 보다 정확하고 다양한 변수들의 영향을 고려한 정착길이 설계식 개발연구를 수행할 계획이다.

Acknowledgement

본 논문은 한국수력원자력(주)의 “고강도철근 기술기준 코드개정 및 설계지침서 작성 (과제번호: A16IP43)”의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ACI 349-13 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary, 2013
2. Chun, S. C., Choi, C. S., and Lee, B. S., Side-Face Blowout Strength of 43 and 57mm (No14 and No18) Hooked Bars in Beam-Column Joints, ACI Structural Journal, American Concrete Institute, Vol.114, No.5, pp.1~12, 2015
3. Ali, Ajaam, David Darwin, and Matthew O'reilly, Anchorage Strength of Reinforcing Bars with Standard Hooks, 2017