

# 고강도철근(550MPa)의 원전구조물 적용을 위한 직선철근의 정착설계

## Development Length of High-Strength Straight 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) straight 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 straight bars with large-diameter(43 & 57mm), it is necessary to find the modified factor or 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, straight 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 규정을 개정하고 있다. 대구경의 고강도철근이 사용된 콘크리트 구조물은 철근의 응력집중 현상과 프라이징 거동(Flying Action) 등의 영향으로 정착설계의 안전 여유도가 감소하게 되어 이의 추가 검토가 필요하다. 고강도철근 사용에 따른 안전 여유도 감소분을 고려하여 직선철근의 정착길이 증가계수 1.2를 적용하도록 ACI 349<sup>1)</sup>는 규정하고 있으나, ASEM Sec. III. Div.2<sup>1)</sup>에는 고강도철근의 사용에 대한 명확한 규정이 없는 상태이다. 따라서 ACI 349에 규정된 고강도 직선철근의 정착길이 증가계수 1.2에 대한 타당성 추가 검토가 필요하다.

### 2. 현행 설계기준

원전 안전성관련 콘크리트 구조물에 적용되는 ACI 349 요건에 따르면 설계기준항복강도 60ksi를 초과하는 고강도철근을 사용할 경우에는 ACI 318-11의 인장직선철근의 정착길이 산정식[식(1)]에 1.2 증가계수를 적용하여 안전율을 향상시키거나 ACI 408R-03의 인장직선철근의 정착길이 산정식[식(2)]를 사용하도록 규정하고 있다.

$$ACI\ 349-13 : l_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b \text{ (인치)} \text{----- (1)}$$

$$ACI\ 408-03 : l_d = \left[ \frac{\left( \frac{f_y}{\sqrt[4]{f'_c}} - 1970\omega \right) \psi_t \psi_s}{62 \left( \frac{c\omega + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b \text{ (인치)} \text{----- (2)}$$

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

이때, 산정된 정착길이가 최소한  $16d_b$ 와 12인치 이상이 되도록 규정되어 있으며, 위의 식(1), (2)는 에폭시코팅 계수  $\psi_e$ 와 경량 콘크리트 계수  $\lambda$ 값을 1.0을 적용한 산정식이다.

여기서, 철근위치가 상부근인 경우  $\psi_t = 1.3$ 로 정착길이를 30% 증가시키고, 철근직경이 No.6이하로 소구경인 경우  $\psi_t = 0.8$ 로 정착길이를 20% 감소할 수 있으며, 횡구속 여부에 따라  $(c_b + K_{tr})/d_b$ 를 2.5이내까지 적용할 수 있어 정착길이를 최대60%[1-(1/2.5)]까지 감소할 수 있다.

### 3. 추가 연구

#### 3.1 황도규 연구

영남대학교 황도규 박사는 원전에 사용되고 있는 대구경(43, 57mm)철근과 향후 사용이 예상되는 고강도(550MPa) 철근의 겹침이음 정착성능평가 실험연구를 수행하여 직선인장철근에 대한 철근의 정착길이 산정식을 아래와 같이 제안하였다.<sup>3)</sup>

$$Hwang - 2016 : l_d = \left[ \frac{f_y^{2.5} \psi_t}{3042 f_c^{0.6} \left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)^{1.25}} \right] d_b \text{ (mm)} \text{----- (3)}$$

### 4. 정착설계

위에서 살펴본 ACI 408-03의 정착길이 산정식과 추가 연구의 정착길이 산정식은 복잡할 뿐만 아니라 현행 설계기준의 설계변수와 상이하여 실무에 적용하기 어려워 일단은 원전구조물에는 ACI 349-13에서 제안하고 있는 고강도철근 정착길이 증가계수 1.2를 적용하여 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

$$l_d = \alpha \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b \text{ (인치)} \text{----- (4)}$$

여기서,  $\alpha$ 는 고강도철근 계수로 항복강도 420MPa를 초과하는 고강도철근에 한해 1.2를 적용한다.

### 5. 결 론

현행 ACI 349 설계기준에는 인장 및 압축을 받는 고강도(550MPa) 철근의 사용이 가능하도록 규정이 개정되고 있으나 대구경-고강도 철근의 정착거동을 고려한 별도의 직선인장철근 정착길이 산정식을 규정하지 않은 채 기존 설계식에 고강도철근 계수 1.2를 적용하도록 하고 있다. 응력집중 현상과 프랑이 거동의 영향을 많이 받는 대구경-고강도 철근의 정착거동 특성을 고려한 별도의 정착길이 설계식이 필요하므로 향후 보다 많은 실험연구를 수행하여 보다 정확하고 다양한 변수들의 영향을 고려한 고강도 직선인장철근 정착길이 설계식에 대한 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. ASME Sec. III Div.2, Code for Concrete Containments, 2015
3. 황도규, 대구경 철근 및 고강도 철근의 정착 및 이음, 박사학위논문, 영남대학교, 2016