

정모멘트 철근의 정착

(ACI318-95 식 (12-2)에 대한 재분석과 새로운 설계식의 제안)

Development of Positive Moment Reinforcement

홍 성길*

ABSTRACT

Current code provisions for the development of positive moment reinforcement is reviewed and criticized in this paper. Both the flexural bond and development length concepts are necessary to consider anchorage requirement of reinforcement at beam ends. The current design codes show unconservatism for the detailing of reinforcement at the beam ends. This study proposes a new design formula for the development of positive moment reinforcement.

Key words: Bar development; Positive moment; Flexural bond; Development length; Beam ends.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물의 강도설계법에 대한 개념적인 이해의 중요한 절차는 해당 부재 및 시스템의 파괴모드의 가능한 명확한 구분에서 시작된다. 예를 들어 보 부재에 작용하는 휨 모멘트에 대한 연성 및 취성 파괴의 구분은 평형철근비를 기준으로 하여 철근비 과다에 따라 달라지며 또한 강도 및 강도저감계수를 산정하여 설계에 적용하고 있다. 한편 기둥의 경우 평형파괴, 압축파괴, 그리고 인장파괴로 분류하여 적절한 설계방향을 마련한다. 철근 콘크리트 구조물의 이상적인 거동을 위해 두 개의 서로 다른 구성요소의 철근과 콘크리트 간의 효율적인 부착과 정착이 필수적이며 이에 대한 강도설계법에 대한 중요한 개념은 소위 정착길이를 중심으로 철근의 부착파괴와 인장항복 파괴의 구분에서 시작한다고 볼 수 있다.

부착파괴는 철근 주변에 어느 정도크기의 구속응력으로 연성파괴로 발전할 수 있거나 구속응력이 미미하여 쪼개짐 파괴로 발전하는 취성적인 파괴양상으로 분류할 수 있다. 구속응력 및 횡철근의 효과는 부착강도 크기를 결정한다. 철근의 인장항복파괴는 철근의 길이 방향에 대한 문제로 철근의 물침길이를 주어진 철근 단면적의 인장강도와 단위길이당 부착강도의 비로 나타낼 수 있는 정착길이보다 클 경우 발달한다고 본다. 앞서 언급한 바와 같이 철근에 대한 주변 응력의 구속효과에 따라 부착강도가 다르며 결과적으로 정착길이도 달라진다. 결과적으로 부착파괴는 구속효과의 대소에 따른 연성 및 취

* 정회원, 서울대학교 건축학과 전임강사

성의 부착파괴와 철근 묻힘길이가 정착길이에 비해 길고 짧음에 따라 인장항복과 부착파괴로 분류할 수 있다. 그러나 ACI 현행기준은 정착길이의 개념이 경우에 따라 불명확하여 부착강도 자체에 대한 의미 및 개념이 부정확하게 전달되어 기술자를 혼동시키는 경우가 있다.

본 논문은 철근 부착파괴에 대한 근본적인 이해를 토대로 하여 현행 정모멘트가 작용하는 철근 콘크리트 보의 철근의 정착에 대한 규정(ACI318-95의 식(12-2))을 분석하여 새로운 설계식을 제안하고자 한다.

2. 정 모멘트가 작용하는 보 단부의 정착길이에 대한 현행식에 대한 해석

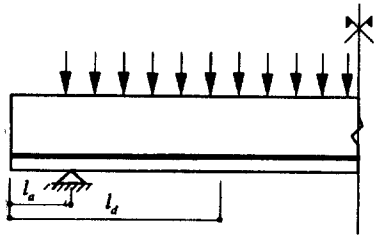


Figure 1. Simply supported beam

철근의 정착길이에 대한 현행설계기준은 철근의 단면적에 따라 소위 기본정착길이가 주어지며 철근표면적 상태, 주변 콘크리트의 압축강도, 그리고 철근 주변의 응력환경에 따라 기본정착길이에 보정계수를 곱하여 그 효과를 감안하고 있다. 정착길이의 개념은 철근에 따라 발생한 부착응력의 적분 값인 철근의 길이 방향의 인장응력에 초점이 맞추어져 있으며 임의 위치의 철근에 작용하는 부착응력의 크

기 즉 인장력의 변화율에 대한 무시 및 오해를 일으킬 소지가 있다.

ACI 318-71기준에서 정착길이 개념의 도입으로 ACI-318-63기준 12장 전단응력 편 식(12-1)의 휨-부착(flexural bond)에 대한 개념을 퇴장시켰다. 이러한 이유는 휨-부착의 개념은 보의 철근에 따라 발생하는 최대 이론적인 부착응력도를 의미하므로 실제적인 설계에 실제적인 중요도가 떨어지며 대신 부착응력도의 평균적인 값이 더욱 더 의미가 있다고 판단하여 정착길이의 개념을 도입하였다. 그러나 이와 같은 사고방식은 일관성이 없어보이며 작은 정모멘트와 상대적으로 큰 전단력이 작용하는 Fig. 1에서 보 단부에서 부착파괴를 방지하기 위해 휨-부착의 개념을 적용하여 철근지름 크기의 제한을 두고자 하였다. 여기에서 철근의 부착강도의 크기가 모멘트의 변화율보다 커야한다는 개념에서 유도되었다. 즉 현행식은 다음과 같은 개념에서 설명할 수 있다.

외력인 전단력에 의해 발생할 수 있는 휨-부착응력은 다음과 같다.

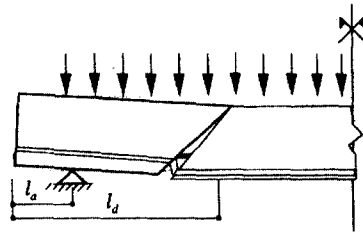
$$U = \frac{dT}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{M_u}{jd} = \frac{V_u}{jd} \quad (1)$$

여기서 jd는 보단면에 작용하는 압축축 합력과 인장력의 대력적인 팔의 길이이다.

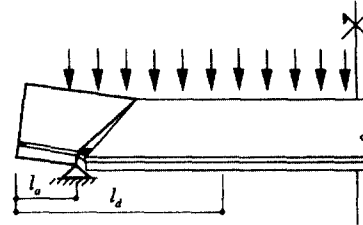
현행설계기준에 의한 정착길이의 개념에서 철근이 발휘할 수 있는 평균 부착강도는 다음식으로 주어진다.

$$U_y = \frac{T_y}{l_d} \quad (2)$$

Fig. 3에서 굵은 실선에서 보여 주는 바와 같이 철근의 부착에 의한 인장력의 발달이 철근의 시작점에서부터 발생되지 않고 보의 단순 지지점 이후부터 발생된다고 가정하면 지지점에서 (2)식은 다음과 같이 수정된다.



(1) Bond failure within Span



(2) Bond failure at Beam end

Figure 2. Simply supported beam and Bond failure modes at Beam Ends

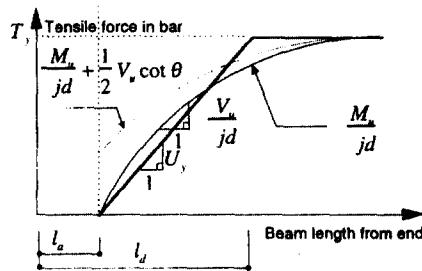
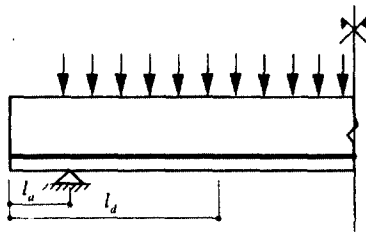


Figure 3. Tensile force distribution and Shift Effect due to Shear

$$U_y = \alpha \frac{A_s f_y}{l_d - l_a} \quad (3)$$

여기서 α 는 지지점의 수직반력에 의해 반력에 의한 쪼개짐 파괴정도를 저감시켜 주어 부착강도의 증가되는 것을 고려한 계수로 기준에서 1.3를 사용한다.

보의 단부근처에서 발생된 부착응력은 부착강도보다 작아야 하므로 (1)식과 (3)식을 이용하면 다음과 같다.

$$\frac{V_u}{jd} < \alpha \frac{A_s f_y}{l_d - l_a} \quad (4)$$

여기서 $M_n = A_s f_y j d$ 이므로 (4)식을 정리하면 다음과 같이 현행 식이 유도된다. Fig. 3에서 굵은 실선에 의한 기울기가 등분포 하중에 의한 철근의 인장력 분포곡선의 기울기 보다 작아서는 안된다.

$$l_d \leq \alpha \frac{M_n}{V_u} + l_a \quad (5)$$

정 모멘트가 작용하는 단순지지 보 단부의 정착문제에 대한 현행 설계기준의 개념은 단순히 보 길이에 따라 발생된 인장력의 기울기 즉 단위 길이당 부착응력과 지지점에서부터 인장력이 발생되어 현행 정착길이 개념에서 유도한 단위 길이당 부착강도의 비교로 이해할 수 있다.

3. 부착강도와 단부에서의 인장강도의 관점에서 본 새로운 공식제시

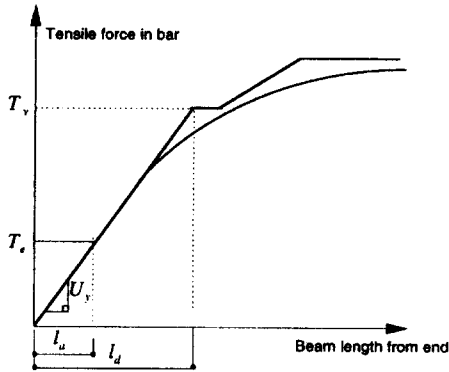


Figure 4. Tensile force distribution for Bond failure within Span

현행설계기준의 설계공식의 개념은 지지점에서부터 Fig. 2-(1)에서 발생된 부착파괴로 해석할 수 있다. 그러나 이와 같이 철근의 단부를 제외한 중간부터 발생하는 부착파괴는 기하학적인 파괴 메커니즘의 관점에서 불가능하다. 즉 보 단부에서 가능한 부착 파괴는 Fig. 2에서 볼 수 있는 2개의 부착파괴 메커니즘을 고려할 수 있다. 즉 철근의 단부에서 부착강도에 도달하여 철근의 중간까지 발달하여야 한다.

1번째 파괴 메커니즘은 지지점에서 안쪽으로 떨어진 지지점까지 철근의 부착응력이 부착강도크기 까지 발달하여 부착파괴가 일어나는 경우이다. 2번째 파괴 메커니즘은 1 번의 메커니즘의 특별한 경우로 단지 지지점 이전에 부착파괴가 일어난 경우이다.

만약에 지지점 이후 여분의 길이인 l_a 가 충분히 큰 경우에는 제 3의 파괴 메커니즘으로 철근의 항복과 함께 압축대의 Sliding 파괴를 예상할 수 있다. 즉 지지점 이후 보의 안쪽방향으로 부착응력의 발달은 무의미하며 아치작용으로 인한 압축대와 인장재의 항복의 문제로 귀착된다.

1번 메커니즘이 일어나지 않기 위해서는 전단력에 의해 발생한 부착응력이 주어진 부착강도보다 작아야 한다. (4)식은 지지점부터 부착강도가 발달한다고 보고 있으나 Fig. 4에서 보이는 바 부착 파괴 메커니즘의 관점에서 철근의 단부에서부터 발달되어야 하므로 다음과 같이 수정되어야 한다.

$$\frac{V_u}{jd} < \alpha \frac{A_s f_y}{l_d} \quad (6)$$

이를 다시 쓰면 다음식과 같다.

$$l_d \leq \alpha \frac{M_n}{V_u} \quad (7)$$

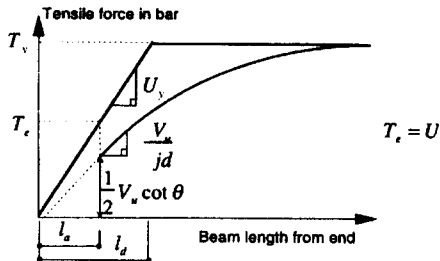


Figure 5. Tensile force distribution for Flexural Failure at midspan

(6)식은 단순한 철근 인장능력에 대한 기울기의 문제가므로 지지점 이후의 여분의 철근길이인 l_a 에 대한 제한규정은 다음과 같은 설명으로 가능하다.

지지점에서는 트러스 모델에 의하면 전단력의 대각선 방향의 전단력의 효과인 전단력의 shift rule에 의해 0 대신 다음 크기의 인장력이 발생할 수 있다 (Fig. 5).

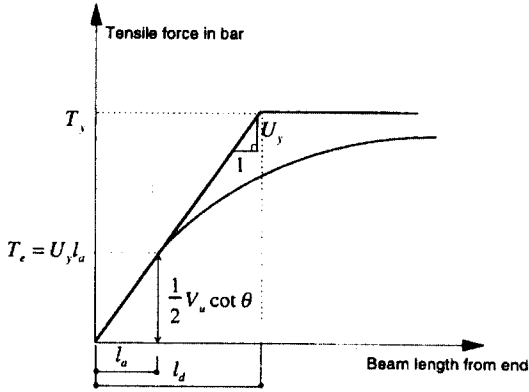


Figure 6. Tensile force distribution for Bond failure at Beam end

같이 표현된다. 수평축은 지지점 이후의 철근길이를 수직축은 정착길이를 나타낸다. 이를 철근의 부착강도와 지지점이후의 철근길이를 표현하면 Fig. 8로 나타난다.

$l_a = \frac{1}{2} j d \cot \theta$ 이상인 경우 철근의 부착강도의 증가 및 정착길이의 증가는 도움이 되지 않는다. 이론적으로 지지점 이후의 철근이 없는 경우 무한대 크기의 정착강도가 필요하다.

4. 현행기준의 문제점 및 결론

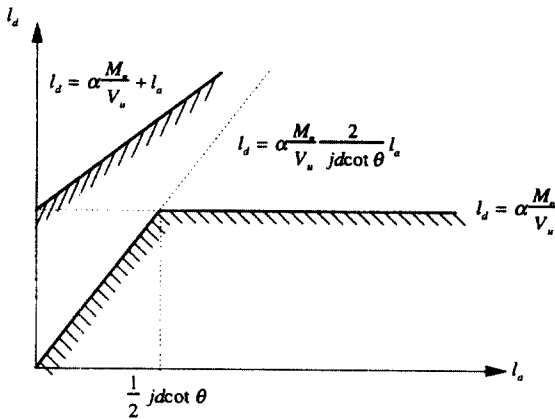


Figure 7. Relationship between development length and additional length beyond support

과 같은 결론에 도달할 수 있다.

$$T_u = \frac{1}{2} V_u \cot \theta \quad (8)$$

지지점에서 발휘할 수 있는 인장력은 T_e 는 부착강도 U_y 로 다음과 같이 표현된다.

$$T_e = \alpha U_y l_a \quad (9)$$

지지점에서 부착과파괴가 일어나지 않기 위해서는 (8)식과 (9)식을 비교하여 다음과 같이 표현할 수 있다(Fig. 6).

$$\frac{1}{2} V_u \cot \theta < \alpha U_y l_a \quad (10)$$

위와 같은 방식으로 정착길이의 정의를 적용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$l_d < \alpha \frac{M_n}{V_u} \frac{2 l_a}{j d \cot \theta} \quad (11)$$

(7)식과 (11)식을 도표로 표현하면 Fig. 7과

같이 표현된다. 수평축은 지지점 이후의 철근길이를 수직축은 정착길이를 나타낸다. 이를 철근의 부착강도와 지지점이후의 철근길이를 표현하면 Fig. 8로 나타난다. $l_a = \frac{1}{2} j d \cot \theta$ 이상인 경우 철근의 부착강도의 증가 및 정착길이의 증가는 도움이 되지 않는다. 이론적으로 지지점 이후의 철근이 없는 경우 무한대 크기의 정착강도가 필요하다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 현행기준에 의한 정착길이가 본연구에서 제시하는 기준보다 큰 값으로 나타난다. 여기에서 정착길이가 길다는 의미는 같은 단면적의 철근에 대해 작은 단면의 철근을 많이 배근하는 대신에 단면크기가 큰 철근의 적은 수를 허용할 수 있다는 의미이다. 같은 크기의 인장용력도 (T_y)를 발휘하기 위해 정착길이 (l_d)와 부착강도 ($U_y = u_y \pi d_b$)는 반비례관계이며 다시 말하면 정착길이가 길어지면 부착강도가 저감되는 것을 의미한다. Fig.8에 의하면 본연구에서 제시하는 필요한 부착강도에 도달하는 것이 불가능하다. 이상의 연구를 정리하면 다음

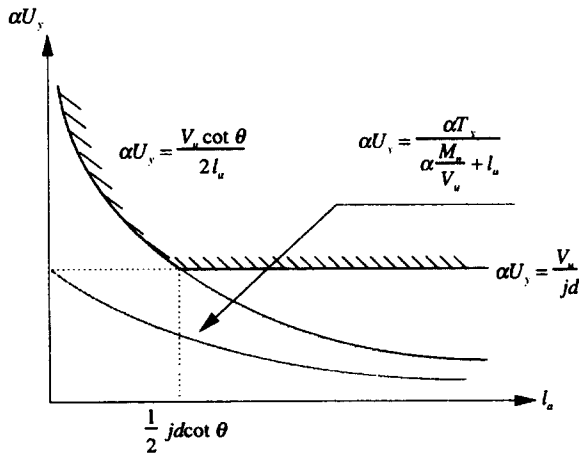


Figure 8. Relationship between Bond Strength and additional length beyond support

(1) 정모멘트 정착에 관한 현행 기준은 전단력에 의한 단순 지지점에서 철근의 인장력 발생 및 정착길이의 개념에서 볼 때 보 단부의 부착 파괴에 대해 안전한 설계를 기대할 수 없다.

(2) 정모멘트 정착에 대한 현행기준이 재검토 및 개정이 필요하다.

(3) 철근 인장력의 기울기 및 조개짐 파괴모드 등 연관된 휨-부착의 개념을 재도입하여 현행 정착길이의 개념과 같이 철근의 부착 및 정착 설계에 적용하여야 한다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Structural Concrete(ACI318-95) and Commentary(318R-95)," American Concrete Institute, Farmington, MI, 1995
2. PCA, "Notes on ACI318-71 Building Code Requirement with Design Applications," Portland Cement Association, Skokie, IL, 1972
3. ACI Committee 318, "ACI Standard Building Code Requirement for Reinforced Concrete" American Concrete Institute, Detroit, MI, 1963
4. MacGregor, J. G., " Reinforced Concrete: Mechanics and Design," 3rd ed. Prentice Hall, NJ, 1997
5. Hong, S.-G., "Truss Model for Tension Bars in Reinforced Concrete Beams: Tension-Tension-Compression Regions," ACI Structural Journal, V. 93, No. 6, Nov-Dec., 1996