

# 특 집

|| ACI 318 Code 주요 개정내용 분석 ||

## 철근 상세, 그리고 정착 및 이음 - Details, Development, and Splices of Reinforcement -



최석환\*  
Choi, Sokhwan

### 1. 서 론

ACI(American Concrete Institute)에서는 'Building Code Requirements for Structural Concrete'라는 설계기준을 매 3년마다 정기적으로 발간하고 있다. 본고는 1999년과 2002년에 발간된 ACI 318-99, ACI 318-02 중 철근 상세, 정착, 그리고 이음에 대한 내용 중 새로 개정된 내용을 ACI 318-95와 비교해서 소개하고, 현재 우리가 사용하고 있는 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'과도 비교한다. 현재 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'은 ACI 318-95의 내용을 근간으로 하고 있다.

주요 개정 내용을 살펴보면, ACI 318-99에서는 프리스트레싱 강연선과 강선의 최소 허용 간격을 최근의 연구결과를 바탕으로 약간 변경하였으며, 압축부재에서의 나선철근의 겹침이음 길이에 대한 규정도 조정하였다. ACI 318-02에서는 보의 불연속 단에서 철근을 구부리거나 철근이 끝나는 위치에 대한 허용오차를 다소 조정하였으며, 프리스트레스트 콘크리트의 피복두께에 관한 규정도 약간 수정하였다. 그리고 압축을 받는 부재에서 앵커 볼트를 사용하는 경우 횡철근에 대한 규정을 명시하였다. 또한 보에서 연속적인 일체성이 요구되는 부분에 기계이음과 용접이음을 허용하였으며, 테두리보에서 횡철근에 대한 배근상세도 보다 효율적으로 개선했다.

철근의 정착 및 이음에 해당되는 부분은 ACI 318-99에서는 개정 내용이 거의 없고, ACI 318-02에서도 기존의 내용에서 기호 및 식의 모양을 일부 변경하여 좀 더 명확한 설명이 되도록

개정하였다. 인장을 받는 이형철근 혹은 이형철선의 정착길이는 기호  $l_d$  로 표현하고, 이에 대한 식의 형태에서 공칭지름  $d_b$  를 식의 우측으로 이동하여 식의 형태를 일부 수정하였다. 그리고 기본정착길이의 개념 및 그 기호  $l_{db}$  를 삭제하고, 압축을 받는 이형철근 및 이형철선의 정착길이는  $l_{dc}$  로 표현하였다. 그리고 인장에서의 표준갈고리의 정착에 대한 설명을 추가하였다.

프리스트레싱 강연선(strands)의 정착에서는 정착길이보다 짧은 매입(embedment)이 허용되는 경우에 대한 설명을 추가하였다. 또한 최대 설계강도가 요구되는 단면만 검토하는 것이 안전하지 못하다는 것을 강조하는 내용이 추가되었으며, 강연선이 완전히 정착되지 않은 단면에서의 저항능력을 결정하는 방법을 안내하고 있다.

전반적으로 볼 때, 배근상세, 정착 및 이음에 해당하는 개정 내용은 많지 않으며, 용어 및 내용 설명을 명확히 만들고자 한 의도가 보인다. ACI 318에는 내진갈고리(seismic hooks) 규정이 있는데, 이는 강진지역의 설계에서 사용하는 것으로 '콘크리트구조설계기준(2003)'에는 해당 내용이 없다. ACI 318-99에서는 그러한 내진갈고리도 표준갈고리의 한 형태라는 사실을 명확히 했다. 또한 기계적 연결을 나타내는 용어로 사용하던 기계적 연결(mechanical connections, mechanical connectors)을 'mechanical splices'(기계이음)로 통일하였다. ACI 318-02에서는 프리스트레싱 긴장재(prestressing tendon) 대신에 프리스트레싱 강재(prestressing steel) 혹은 그냥 긴장재(tendon)를 사용하였고, 덕트(ducts)를 포스트텐서닝 덕트(post-tensioning ducts)로 용어를 보다 구체화하였다.

\* 정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 교수

## 2. 철근 상세

### 2.1 표준갈고리

ACI 318-95까지는 표준갈고리의 형태로 주인장 철근에 대한 갈고리 철근과 스테럽에 대한 갈고리 철근의 형태에 관해서 규정을 두고 있다. ACI 318에는 강진지역의 구조물 설계에서 사용하는 내진갈고리에 대한 규정을 두고 있다. ACI 318-99부터는 이러한 내진갈고리도 표준갈고리의 한 형태로 정의하였다. 내진 갈고리는 스테럽(stirrups), 폐합 띠철근(hoops), 보강띠철근(crossties) 등에 있는 갈고리를 말하는데, 90° 이상의 굽힘이 요구되는 원형 띠철근을 제외하고는 135° 이상 구부러져 있는 갈고리를 말한다. 갈고리는 구부린 끝에서  $6d_b$  이상(최소 3in. 이상) 더 연장되어야 하고, 종방향 철근을 감싸고 스테럽이나 띠철근 내부로 굽혀져 있어야 한다.

강진지역에서 요구되는 횡방향 지진력에 대한 저항능력이 요구되는 골조에서는 내진상세에 관한 설계기준에서 요구되는 대로 설계되어야 한다. 보나 기둥에서 횡철근에 대한 배근상세도 내진 설계기준을 따라야 한다. 자유단에서 90° 갈고리가 요구되는 원형 띠철근을 제외하고는 폐합 띠철근과 보강띠철근 단부는 135° 갈고리를 사용해야 한다. 이러한 갈고리 형태는 단부를 구속된 심부에 효과적으로 정착시켜서 비탄성 거동이 예상되는 부분에서 부재가 성능을 제대로 발휘할 수 있도록 한다. ACI 318-99에서는 내진갈고리의 정의에서 90° 갈고리를 가진 원형 띠철근도 포함하도록 개정되었다. 보다 상세한 내용은 본 특집기사의 '내진 상세' 편에서 확인할 수 있다.

### 2.2 철근을 구부리거나 끝나는 위치에 대한 허용오차

ACI 318-99까지는 철근을 구부리거나 끝나는 위치에 대한 종방향 위치에 대한 허용오차는  $\pm 5$  in.였고, 불연속 단부에서는 그 값이  $\pm 0.5$  in.였다. '콘크리트구조설계기준(2003)'에도 종방향으로 철근을 구부리거나 철근이 끝나는 단부의 허용오차는  $\pm 50$  mm이며, 다만 부재의 불연속단에서 철근 단부의 허용오차는  $\pm 13$  mm로 규정하고 있다. ACI 318-02부터는 브래킷(bracket)과 코벨(corbel)을 제외하고는 불연속 단부에서의 허용오차를  $\pm 25$  mm

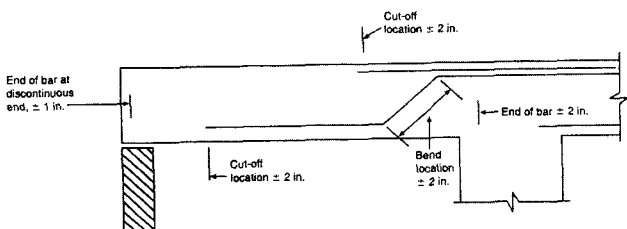


그림 1. 철근을 구부리거나 철근이 끝나는 위치에 대한 허용오차

로 증가시켰다. 브래킷과 코벨에서는 예전과 마찬가지로  $\pm 15$  mm이다. 그것뿐만 아니라 휨 부재에 적용되던 기존의 최소 피복두께에 대한 허용오차를 부재의 불연속 단부에도 그대로 적용한다는 규정이 명시되었다. 피복두께에 대한 허용오차는 유효깊이  $d$ 가 8 in. 이하일 때는  $-3/8$  in.이고, 8 in.보다 클 때는  $-1/2$  in.이다. '콘크리트구조설계기준(2003)'에는 유효깊이 200 mm를 기준으로 각각  $-10$  mm,  $-13$  mm로 명시하고 있다.

### 2.3 프리스트레싱 긴장재의 최소간격 규정

ACI 318-99부터는 프리텐셔닝 긴장재의 최소 순간격 규정을 긴장재의 최소 중심간 거리 규정으로 변경되었다. ACI 318-95까지 혹은 '콘크리트구조설계기준(2003)'까지는 최소 순간격이 강선의 경우는  $4d_b$ , 강연선의 경우는  $3d_b$ 로 규정하였으나, 이를 최소 중심간 거리를 기준으로 해서 강선의 경우는  $5d_b$ , 강연선의 경우는  $4d_b$ 로 변경하였다. 중심간 거리를 사용하도록 한 규정은 긴장재의 순간격 및 공칭치름을 이용해서 배근하는 불필요한 과정을 단순화 했다고 할 수 있다. 또한 ACI 318-99부터는 콘크리트의 압축강도가 27.6 MPa 이상인 경우에 대해선 프리스트레싱 긴장재의 최소 중심간 거리를 다소 줄일 수 있도록 했다. 이것은 콘크리트의 압축강도의 증가로 인해서 콘크리트의 인장강도 및 정착 능력이 증가하기 때문에 이를 고려한 것이다. 프리스트레싱력이 도입될 때의 콘크리트의 압축강도가 27.6 MPa 이상이면 최소 중심간 거리를 강연선의 공칭치름이 13 mm 이하인 경우는 45 mm, 그리고 공칭치름이 15 mm인 경우는 50 mm로 위의 규정보다 약간 더 줄일 수 있게 허용했다.

### 2.4 프리스트레스트 콘크리트에서의 최소 피복두께에 관한 규정

ACI 318-99까지 흙, 외기, 부식환경에 노출된 프리스트레스트 콘크리트 부재에서 콘크리트의 최소 피복두께에 관한 규정을 보면, 콘크리트 허용인장응력이 사용하중 상태를 기준으로  $6\sqrt{f'_c}$  (psi) 이상이면 규정된 최소 피복두께를 50% 증가시켜야 한다. '콘크리트구조설계기준(2003)'에도 같은 규정으로  $\sqrt{f_{ck}}$  (MPa) 이상이면 최소 피복두께를 50% 증가시켜야 한다. ACI 318-02에서는 사용성 설계와 연계해서 프리스트레스트 콘크리트 휨 부재를 세 등급으로 분류했다. 그 자세한 내용은 본 특집기사의 내용 중 '프리스트레스트 콘크리트' 편을 참고할 수 있는데, 간략하게 말하면 그 세 등급은 균열이 생기지 않는 U등급(Uncracked Class), 그리고 균열이 생기는 C등급(Cracked Class), 그리고 중간 단계인 T등급(Transition Class)이다. 이 세 등급의 구분은 사용하중 상태에서의 콘크리트 표면 최대 인장

응력이  $7.5\sqrt{f_c}$  (psi) 이하면 U등급이고,  $12\sqrt{f_c}$  보다 크면 C등급이며, 그 사이의 응력은 T등급에 해당한다. 부식환경이나 유사한 모진 환경 하에서 T등급 혹은 C등급에 해당하는 경우, 즉 사용하중 하에서 인장응력  $f_t$  가  $7.5\sqrt{f_c}$  보다 큰 경우는 최소 피복두께를 50% 증가시키는 것으로 내용에 약간의 변동이 있어 실제로는 기준이 다소 완화되었다고 할 수 있다.

### 2.5 압축부재의 횡철근

나선철근에서 이음이 사용될 수 있다는 기존의 규정을 ACI 318-99에서는 좀 더 세분화했다. 그 이전의 ACI 318 기준 혹은 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'은 철근이나 강선이 원형이든지 이형이든지 아니면 에폭시 코팅이 되었든지 안 되었든지 불문하고 철근 직경의 48배 이상을 겹침이음 혹은 용접이음 하도록 되어 있었다. ACI 318-99는 코팅이 안 된 원형철근이나 에폭시 코팅이 된 이형철근(혹은 강선)은 지름의 72배만큼 겹침이음하는 것을 기본으로 하고, 겹침이음한 철근의 끝 부분이 스티럽 및 띠철근의 표준갈고리 형태를 가지면서 심부방향으로 정착되었을 경우는 직경의 48배로 줄일 수 있게 하였다. 코팅되지 않은 이형철근(혹은 강선)에 대한 겹침이음 길이는 철근 직경의 48배로 이전과 같으며, 최소 겹침이음 길이도 300 mm 그대로 두었다. 또한 ACI 318-99부터는 기계이음도 허용하고 있다.

ACI 318-02에 와서는 앵커 볼트를 이용하는 경우에 대한 규정이 대폭 추가되었다. 이에 대한 자세한 내용은 본 특집기사의 '앵커 볼트 설계' 편을 참고할 수 있다. 앵커 볼트의 내용 중에 횡철근과 관련하여 새로 도입된 내용을 보면, 앵커 볼트가 기둥이나 주각(pedestal)의 상부면에 사용된 경우에는 최소한 4개의 축방향 철근이 필요하고, 동시에 횡철근에 의해서 둘러싸져야 한다는 것이다. 이 때 횡철근은 기둥의 윗부분에서 13 mm 이내에 배근되어 있어야 하는데, 최소한 2개의 D13 혹은 3개의 D10 철근이 사용되어야 한다. 온도의 영향, 구속 상태와의 수축 혹은 비축한 영향으로 인한 예기치 못한 응력에 의해서 앵커 볼트 근처에 균열이 생길 수 있다. 앵커 볼트 부분에 횡철근으로 보강하는 것은 앵커 볼트 근처의 콘크리트에 균열이 발생할 때 앵커 볼트로부터 기둥 혹은 교각에 연결되는 하중의 전달 능력을 향상시키고자 함이다.

### 2.6 구조 일체성을 확보하기 위한 요구조건

1989년 이후 ACI 기준 및 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'은 구조물의 테두리보의 경우 받침부에서 요구되는 부철근의 1/6 이상, 경간 중앙부에서 요구되는 정철근의 1/4 이상이 테두리보 전체 경간에 연속시킬 것을 요구하고 있다. ACI 318-02에서는 이와 같은 배근 최소량은 그대로 유지하되 철근이

최소한 2가닥 이상이어야 한다는 규정을 첨가했다. 또한 현장타설 장선구조에서도 하부철근의 이음에서 보에서와 마찬가지로 기계이음과 용접이음을 사용할 수 있다는 규정을 명시했다.

이상에서 설명한 철근은 페쇄스티럽 또는 적어도 135°의 구부림을 갖는 표준갈고리로 부철근 주위를 둘러싸서 정착된 스티럽으로 결속되어야 한다. ACI 318-02에서는 페쇄스티럽을 사용할 경우, 나누어지지 않은 일체형 페쇄스티럽을 사용하도록 새로이 규정하고 있는데, 이 경우도 135° 이상의 구부림을 갖는 표준갈고리로 상부철근 중 하나를 감싸야 한다. ACI 318-02에서 이렇게 내용이 변경된 것은 상부에 보강띠철근을 사용해서 페쇄스티럽을 구성할 경우 보의 상부 철근이 위로 터져 나오는 것을 저항하는데 그 스티럽이 별로 효과적이지 못하다는 최근의 연구 결과에 따른 것이다.

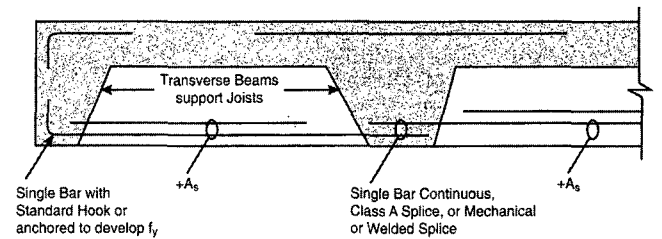


그림 2. 장선구조에서의 연속배근

(그림 3)은 테두리보의 연속 배근 방법을 보인 것인데, A라고 표시된 부분은  $-As1/6$ 과  $-As2/6$  중에서 큰 쪽을 이용해서 배근하고, B라고 표시된 부분은  $As3/4$  혹은  $-As4/4$  중에서 큰 쪽을 이용해서 배근하게 된다. ACI 318-02에서는 두 경우 모두 최소 2가닥 이상의 철근으로 배근하도록 요구하고 있는데, A급 인장 겹침이음, 기계이음, 혹은 용접이음을 사용할 수 있다.

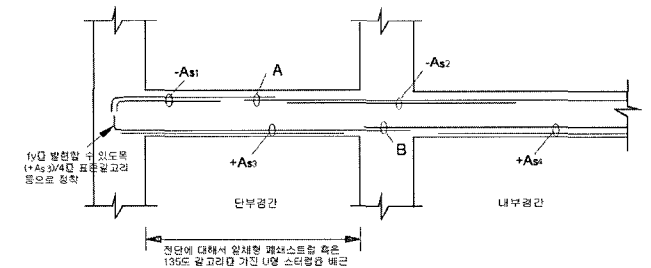


그림 3. 테두리보에 대한 연속 배근

## 3. 정착 및 이음

### 3.1 인장 혹은 압축 이형철근 및 이형철선의 정착

인장을 받는 이형철근 및 이형철선의 정착길이에 대해서 ACI 318-02에서는 이전과 약간 다른 형태로 식의 모양을 변경하였다. 정착길이 표현식에서 ' $l_d/d_b =$ '의 형태를 ' $l_d =$ '로 바꾸어서

철근의 공칭지름  $d_b$  를 식의 우측 항으로 이동시켰다. 또한 콘크리트구조설계기준(1999, 2003)은 인장 이형철근 및 이형철선의 정착에 관해서는 기본정착길이를 제시하고 철근의 지름, 철근의 순간격, 콘크리트의 피복두께 등에 따라서 보정계수를 곱해서 사용할 수 있도록 제시하고 있다. ACI 318-95/99/02에서는 인장 이형철근의 정착에서는 따로 기본정착길이라는 개념 없이 각 경우에 대해서 정착길이 식을 바로 제시한다는 것이 형태상의 차이일 뿐, 결과는 같다. 인장 이형철근의 정착길이 계산식은 다음과 같이 주어진다.

$$l_d = \left( \frac{3}{40} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \text{ (psi, in.)} \quad (1)$$

이 식에서 횡방향 철근지수  $c + K_{tr}/d_b$ 이 2.5보다 작은 경우는 쪼갬파괴가 일어난다. 그 값이 2.5보다 큰 경우엔 뽑힘파괴가 일어나는데, 이런 경우는 피복두께나 횡철근을 증가시켜도 정착능력이 향상되지 않으므로 이에 제한을 둔 것이다. 이 정착길이 계산식은 콘크리트구조설계기준(1999)에는 다음과 같이 표현되었었다.

$$l_d = \frac{0.285d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \text{ (kgf/cm}^2, \text{ cm)} \quad (2)$$

같은 식이 SI단위로 표시된 콘크리트구조설계기준(2003)에는 다음과 같이 표현되어 있다.

$$l_d = \frac{0.90d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \text{ (MPa, mm)} \quad (3)$$

인장 정착이나 이음길이 부분에 대해서 횡철근을 반드시 넣어야 한다는 필수 규정은 아직 없지만 최근의 연구에 따르면 초고강도 콘크리트에서는 횡철근이 불충분하면 취성적인 정착파괴가 일어난다<sup>1,2)</sup>. 이 연구에 의하면 D25와 D35 철근을 이용한 이음부 거동 실험에서 콘크리트의 강도가  $f'_c = 1.050 \text{ kgf/cm}^2$  인 경우 횡철근이 있는 경우엔 연성적인 거동 능력이 향상되었다. 초고강도 콘크리트를 사용할 경우 정착길이 산정에서 횡철근의 영향을 고려하는 개정이 차후에 이루어 질 수도 있음을 보여주고 있다.

압축에 대한 정착길이 계산의 개념은 바뀌지 않았으나, ACI 318-02에서는 압축에 대한 기본정착길이의 개념을 삭제하고, 그에 해당하는 기호  $l_{db}$  도 없었다. 그러나 압축철근에 대한 정착길이  $l_{dc}$  를 직접 계산한 후 보정계수를 곱해서 최종 정착길이를 산정하는 방식은 이전과 같다.  $l_{dc}$  는 다음 두 값 중에서 큰 쪽을 사용한다.

$$\left( \frac{0.02f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b \text{ 와 } (0.0003f_y)d_b \text{ (psi, in.)} \quad (4)$$

보정계수는 요구되는 철근량을 초과하여 배치한 경우와 요구조건을 만족하는 띠철근이 배근된 경우에 대해서 각각 이전과 마찬가지로 적용한다.

### 3.2 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착

ACI 318-99에서는 다음과 같은 인장 표준갈고리의 정착길이는 기본정착길이  $l_{db}$  에 6가지의 보정계수를 곱해서 결정하는 방식이었다.

$$l_{hb} = 1200d_b\sqrt{f'_c} \text{ (psi, in.)} \quad (5)$$

ACI 318-02에서는 기본정착길이의 개념을 삭제하고, 계산식에 철근의 항복강도, 경량골재 콘크리트, 그리고 에폭시 코팅 철근에 대한 보정계수 등 세 가지는 미리 식에 포함시켜서 다음과 같이 식의 형태를 변경했다.

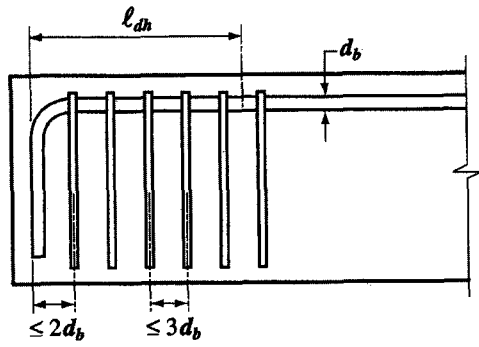
$$l_{db} = 0.02\beta\lambda \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \text{ (psi, in.)} \quad (6)$$

여기서 에폭시 코팅 철근은  $\beta = 1.2$ , 경량 골재 콘크리트에서는  $\lambda = 1.3$  을 사용한다. 이제 이 식에 다음과 같은 형태의 보정계수를 적용한다. a) 피복두께를 고려, b) 띠철근 혹은 스테럽이 둘러싸서 그 구속력이 쪼갬파괴에 저항하는 능력 고려, c) 해석에서 요구되는 양보다 더 많은 철근이 배근된 경우에 대한 고려 등이다.

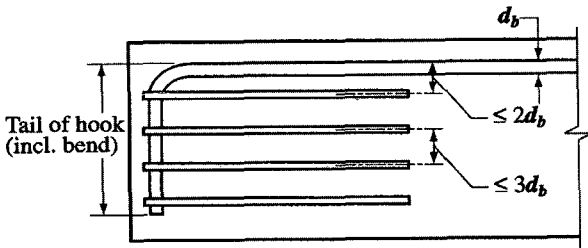
이 중에서 b), 즉 띠철근과 스테럽에 대한 보정계수에 대한 설명을 ACI 318-02에서는 보다 구체적으로 제시하고있다. ACI 318-99에서는 D35 이하의 정착철근에서 갈고리가 있고, 수평 혹은 수직 방향의 띠철근 혹은 스테럽이  $3d_b$  이하의 간격으로 감싸지는 경우에 0.8의 보정계수를 곱할 수 있다. ACI 318-02에서는 이 규정을 갈고리의 형태에 따라서 다음과 같이 나누었다.

① D35 이하의 철근에서 90° 갈고리를 사용하는 경우에 대해서, 정착되는 철근에 수직방향으로 띠철근이나 스테럽이  $3d_b$  이하의 간격으로 정착길이  $l_{db}$  에 걸쳐서 감싸고 있는 경우, 혹은 정착되는 철근에 평행한 방향으로 띠철근이나 스테럽이  $3d_b$  이하의 간격으로 갈고리의 끝부분(굽혀진 부분 포함)을 감싸고 있는 경우엔 0.8의 보정계수를 적용한다.

② D35 이하의 철근에서 180° 갈고리를 사용하는 경우에 대해서, 정착철근에 수직방향으로 띠철근 혹은 스테럽이  $3d_b$  이



(a) 수직방향으로 배근된 경우



(b) 수평방향으로 배근된 경우

그림 4. 띠철근이나 스테럽이 정착되는 철근에 수직, 수평으로 배근되는 경우(ACI 318-02)

하의 간격으로 정착길이  $l_{dh}$ 에 걸쳐서 감싸고 있는 경우에 0.8의 보정계수를 적용한다. 보정계수의 크기는 ACI 318-99와 마찬가지로 0.8을 적용하는데, 정착철근에 평행한 방향으로 배근된 띠철근 혹은 스테럽은 정착철근의 갈고리가  $90^\circ$ 인 경우에 대해서만 구속효과를 인정하고,  $180^\circ$  갈고리에 대해서는 인정하지 않는다는 사항을 구체적으로 명시하였다. 그리고 부재의 불연속단에서 표준갈고리를 사용하는 경우, 양 측면의 피복두께 및 상부(혹은 하부)의 피복두께가 2.5 in.보다 작은 경우엔 띠철근 혹은 스테럽으로 갈고리 철근을 감싸야 한다고 규정하고 있다. 이때 띠철근이나 스테럽의 간격이 정착길이  $l_{dh}$ 에 걸쳐서  $3d_b$  이하이어야 한다. ACI 318-02에서는 여기에다가 한 가지 규정을 더 붙였는데, 그것은 갈고리의 굽혀진 쪽에 있는 첫 번째 띠

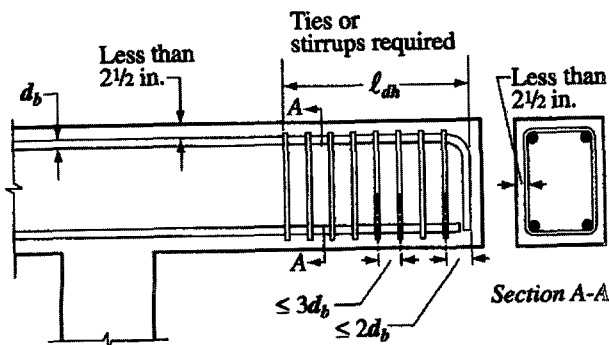


그림 5. 부재의 불연속단에서의 콘크리트 피복두께 규정 (ACI 318-02)

철근 혹은 스테럽이 갈고리 끝에서부터  $2d_b$  이내에 위치해야 한다는 규정이다. 이 조건을 포함하여 간격규정을 <그림 5>에서 확인할 수 있다.

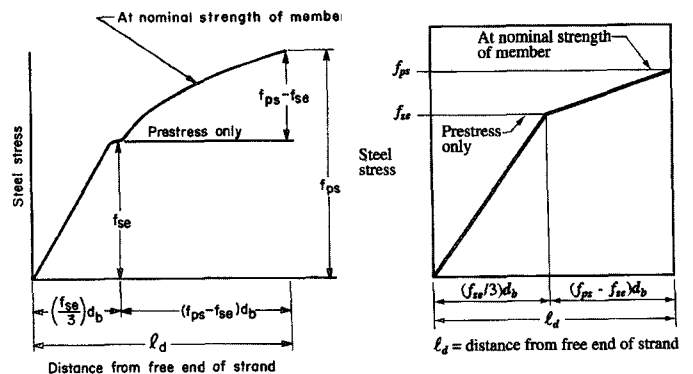
### 3.3 프리스트레싱 강연선의 정착

ACI 318-02 이전에는 프리스트레싱 강연선의 정착길이를  $(f_{ps} - 2f_{se}/3)d_b$ 로 표현하였다. ACI 318-02에서는 프리텐셔닝의 경우에 일반적으로 사용되는 7가닥의 강선에 대해서 정착길이를 다음 식(7)과 같이 제시하였다.

$$l_d = \left(\frac{f_{se}}{3}\right)d_b + (f_{ps} - f_{se})d_b \quad (3)$$

여기서  $l_d$ 의 단위는 in.이고,  $f_{ps}$  및  $f_{se}$ 는 ksi를 사용하지만, 괄호 안의 표현은 단위 없이 상수만 이용한다. 이 식은 이전의 식과 내용은 같지만 항을 분리한 것이다. 식의 첫 항은 강연선의 전달길이를 나타내는데, 손실 후 유효응력  $f_{se}$ 를 도입하기 위해서 필요한 전달길이  $l_t$ 를 나타낸다. 두 번째 항은 부재가 공칭 강도에 도달해서 응력  $f_{ps}$ 가 발휘되기 위해서 추가적으로 요구되는 길이, 즉 휨 정착길이를 말한다. 이러한 구분은 1/4, 3/8, 1/2 in. 지름의 강연선, 그리고 최대  $f_{ps}$ 가 275 ksi를 사용할 실험적 연구결과를 기초로 하고 있다<sup>3,4,5</sup>. <그림 6(b)>는 앞에서 주어진 정착길이 식을 그림으로 표현한 것이다. 즉, 강연선의 단부로부터 떨어진 거리와 그곳은 응력 사이의 관계이다. 이 이상화된 관계는 정착구간에서의 단면해석에 사용될 수 있다.

ACI 318-02에서는 부재의 임의의 단면에서의 강연선의 설계 응력이 위 식 혹은 그림 6(b)에서 보여진 선형적인 관계에서 얻어지는 응력보다 작을 경우에는 정착길이보다 작은 매입도 허용된다는 규정을 새로 첨가하였다. 이러한 규정을 용이하게 이용하기 위해서 식의 모양을 두 개의 항으로 나누고, 그림을 위에서 보인 것처럼 두 선형적인 구간을 이용해서 이상적인 형태로 표시



(a) ACI 318-95 및 -99

(b) ACI 318-02

그림 6. 강연선의 단부로부터의 거리와 강제 응력의 관계

한 것이다.

강연선이 부재의 단부까지 정착되지 않은 경우엔 설계강도가 요구되는 단면 이외의 곳이 위험단면이 될 수도 있다. 또한 큰 집중하중이 정착길이 영역에 작용하는 경우도 마찬가지로 설계강도가 요구되는 단면이외의 곳에서 위험단면이 생길 수 있다. 이런 경우엔 좀 더 상세한 해석이 필요하다는 내용을 구체적으로 삽입하였다. 그렇지 않으면 부재의 설계강도가 요구되는 부분 중 단부와 가장 가까운 곳에서만 검토하면 된다.

'콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'에도 명시되어 있는 내용인데, 프리스트레스된 인장구역(precompressed tensile zone)이 사용하중 작용 시 인장응력을 허용하도록 설계된 경우에는 강연선의 정착이 완전하지 못하게 되므로 정착길이를 2배 증가시켜야 한다. 매우 짧은 프리텐서닝 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 부재의 경우 전체길이가 정착길이의 2배가 안되는 경우가 있다. 이런 경우는 강연선에서 응력  $f_{ps}$  가 생길 수 없다. 이 경우 최대 사용 가능한 응력은 <그림 6(b)>를 이용해서 계산할 수 있다. <그림 7>을 이용해서 다시 설명하면, 거더 단부에서  $l_x$  떨어진 위치에서 강연선의 최대응력  $f_{max}$  는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} f_{max} &= f_{se} + \Delta f = f_{se} + \frac{(f_{ps} - f_{se})}{(f_{ps} - f_{se})d_b} \left( l_x - \frac{f_{se}}{3} d_b \right) \\ &= f_{se} + \frac{l_x}{d_b} - \frac{f_{se}}{3} \quad (8) \\ &= \frac{l_x}{d_b} + \frac{2}{3} f_{se} \end{aligned}$$

#### 4. 결 론

ACI 318 Building Code의 최근(1999, 2002) 개정 내용 중에서 "철근 상세, 정착 및 이음" 부분의 내용을 우리의 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'과 비교하여 차이가 있는 부분을 설명했다. 이 부분에서의 개정은 주로 기존의 개념을 좀 더 명확하게 만들기 위해서 용어 및 일부 계산식을 조정하고, 이에 따른 설명(commentary)을 보완하는 작업 위주로 이루어졌다. 현재 우리의 '콘크리트구조설계기준(1999, 2003)'이 ACI 318-95를 기본으로 하고 있기 때문에 앞으로의 개정 작업에서 본 기사의 내용이 참고가 될 수 있을 것이다. □

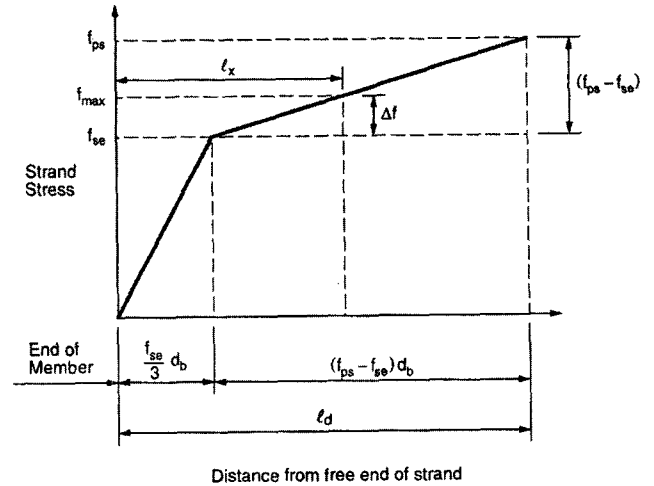


그림 7. 강연선에서 전달길이 및 정착길이

#### 참고문헌

1. Azizinamini, A.; Pavel, R.; Hatfield, E.; and Ghosh, S. K., "Behavior of Spliced Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol.96, No.5, Sept.-Oct. 1999, pp.826~835.
2. Azizinamini, A.; Darwin, D.; Eligehausen, R.; Pavel, R.; and Ghosh, S. K., "Proposed Modifications to ACI 318-95 Development and Splice Provisions for High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol.96, No.6, Nov.-Dec. 1999, pp.922~926.
3. Kaar, P., and Magura, D., "Effect of Strand Blanketing on Performance of Prestensioned Girders," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, Vol.10, No.6, Dec. 1965, pp.20~34.
4. Hanson, N. W., and Karr, P. H., "Flexural Bond Tests Pretensioned Beams," *ACI Journal*, Proceedings Vol.55, No.7, Jan. 1959, pp.783~802.
5. Kaar, P. H.; La Fraugh, R. W.; and Mass, M. A., "Influence of Concrete Strength on Strand Transfer Length," *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, Vol.8, No.5, Oct. 1963, pp.47~67.