

7장 철근의 정착과 이음

7-1 개요

- # 철근콘크리트 부재: 철근과 콘크리트가 일체화되어 부재강도를 발휘
- # 철근과 콘크리트는 서로 다른 종류의 재료
: 일체화를 이루기 위해 완전한 부착이 필요
- # 부착작용의 역할
힘을 받는 철근콘크리트 보 : 압축응력 - 콘크리트가 저항
인장응력 - 인장철근이 저항
⇒ 인장응력을 철근에 전달하는 작용 - 부착력
- # 부착응력: 철근과 철근을 둘러싼 주위 콘크리트 사이의 전단응력
- # **고강도** 재료의 사용 : 부착 거동이 중요한 설계요소 중에 하나로 작용한다.

7-2 부착의 기본

7.2.1 휨에 의한 부착응력

(a) 평균부착응력

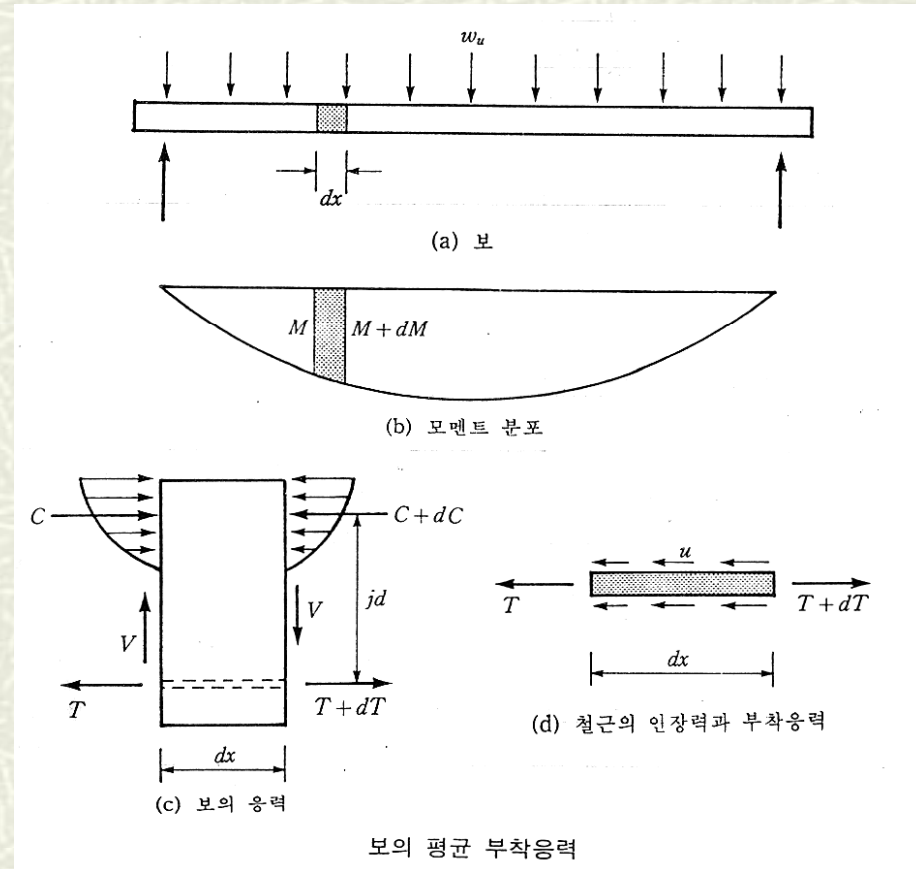
휨을 받는 보에서 미소 길이 dx 의 단면에 생기는 응력은 그림 7-1(c)와 같다.

휨 압축응력의 합력과 인장응력의 합력사이의 거리를 응력 중심거리 jd 로 표시하면, 철근에 생기는 인장력의 증분은

$$dT = dM / jd \quad (7-1)$$

그림 7-1(d)의 철근 요소의 자유물체도에서 힘의 평형조건은

$$dT = (\pi d_b) u dx$$



평균 부착응력도

■ 부착응력 :
$$u = \frac{dT}{(\pi d_b) \cdot d_x} \quad (7-2)$$

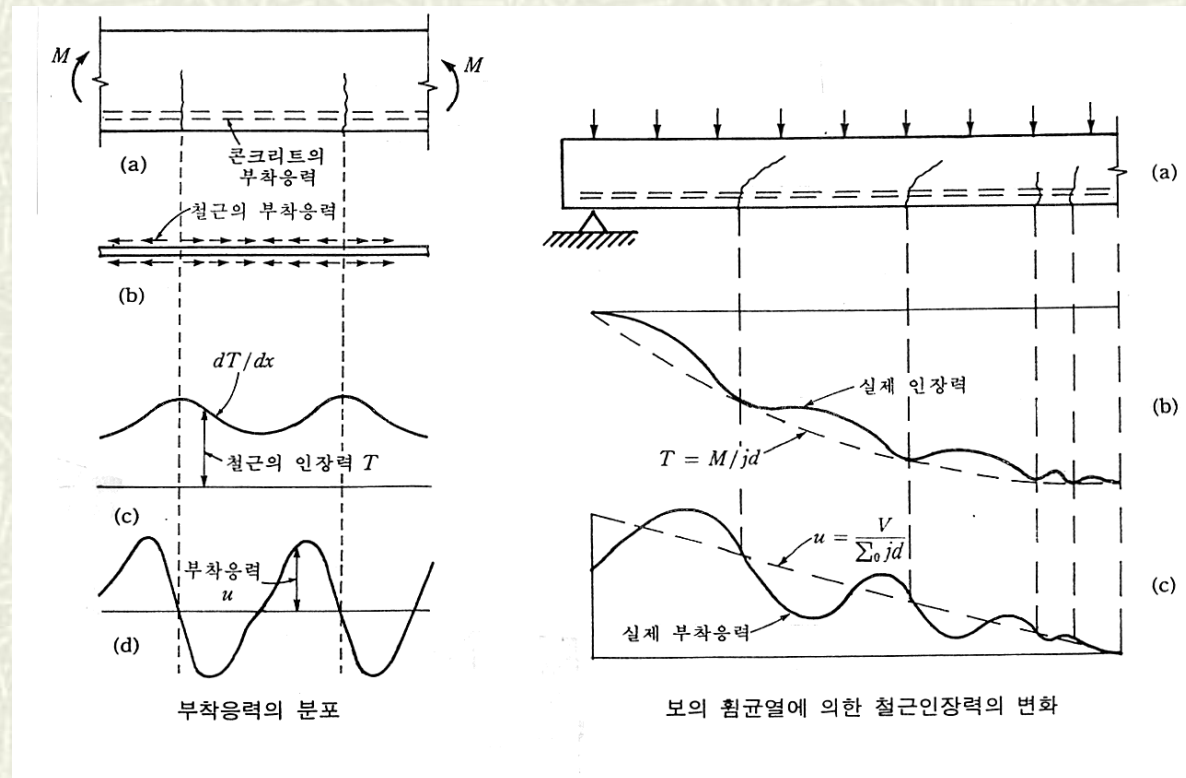
여기서, d_b : 철근의 직경,
 πd_b : 철근의 원주

보의 휨모멘트와 전단력의 관계에서
 $dM/dx = V$ 이므로

$$u = \frac{V}{(\pi d_b) j d} \quad (7-3)$$

(b) 휨 부착응력의 실제 분포

- 균열부분 : 철근이 전인장력을 부담 ➡ 부착응력=0
- 균열사이 : 철근과 콘크리트가 인장력 부담 ➡ 부착응력 ≠ 0
- 균열 근처에서 최대 부착응력, 균열사이 중간에서 최소 부착응력



7.2.2 부착에 의한 힘의 전달과 부착파괴

- 철근과 콘크리트의 미끄럼 저항
: 초기에는 화학적 접착력과 마찰에 의해 저항
- 인장력이 증가하면 철근 돌기와 콘크리트에 지압응력 발생
- 지압응력 - 경사방향으로 발생
 - ↳ 길이방향과 방사선 방향으로 분해가능
 - ↳ 쪼갬균열을 일으킴
- 쪼갬균열 : 철근과 콘크리트 표면 사이의 거리, 또는 철근과 철근 사이가 작을수록 쉽게 일어나고, 콘크리트 인장강도에 영향을 받는다.

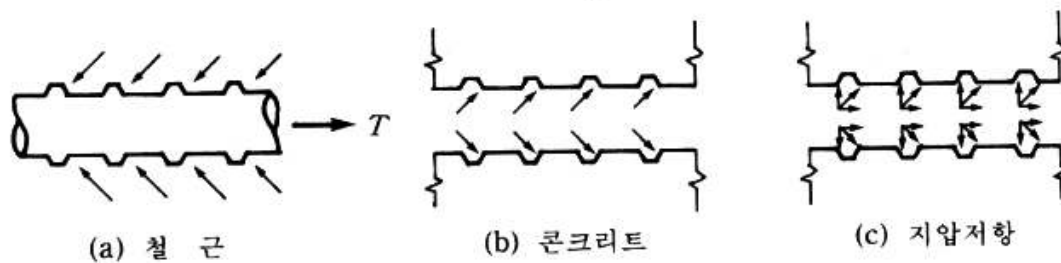


그림 7-4 이형철근에 생기는 지압저항

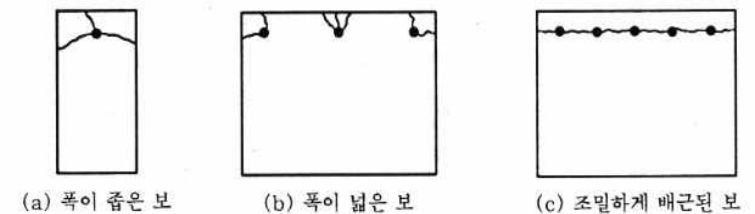


그림 7-5 쪼갬부착파괴의 유형

7-3 정착길이

7.3.1 부착강도와 정착길이

※ 정착길이(development length)

:콘크리트에 묻힌 철근이 뽑히거나 미끄러지지 않고 **철근의 인장 항복에 이르기까지의 최소 묻힘 깊이**

※ 콘크리트에 묻힌 철근의 인장강도 = $A_b f_y$

$$\pi d_b u_a l_d = (\pi d_b^2 / 4) f_y$$

$$l_d = d_b f_y / 4u_a \quad (7-4)$$

여기서, u_a : 보의 부착 파괴시 극한 부착응력의 평균값

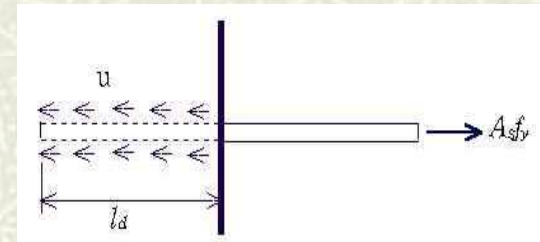


그림 7-6 철근의 정착

$$\text{따라서, } l_d = \mu d_b f_y / \sqrt{f_{ck}} \quad (7-5)$$

여기서 μ 는 부착실험으로부터 얻어지는 상수.

단, $\sqrt{f_{ck}}$ 는 8.37MPa 이하로 한다($f_{ck} \leq 70\text{MPa}$).

부착강도의 영향인자

- ▣ **철근의 피복두께**: 콘크리트 인장내력이 증가
→ 수직방향 쏘갸 저항력 증가
- ▣ **철근간격**: 철근 배근간격이 증가하면, 철근을 감싸는 콘크리트 단면적 증가 → 수평방향 쏘갸강도가 증가
- ▣ **횡방향 보강 철근**: stirrup과 같은 횡방향 구속 철근은 콘크리트 인장내력이 횡방향 구속 철근의 내력으로 증가함
- ▣ **철근의 위치**: 상단근, 하단근

7.3.2 인장을 받는 이형철근의 정착길이

(1) 기본 방정식

- 철근의 크기, 간격, 피복두께 및 위치, 횡방향 보강철근, 에폭시 도막 등에 의한 영향을 고려하여,

$$l_d = \frac{0.9d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\frac{c + K_{tr}}{d_b}} \quad (7.6)$$

여기서, c: 철근 간격 또는 피복두께에 관련된 계수로서

철근중심으로부터 콘크리트 표면까지의 거리 } 중
또는 정착되는 철근 중심간 거리의 $\frac{1}{2}$ } 작은 값

K_{tr} : 횡방향 철근지수 = $A_{tr} f_{yt} / (107s n)$

A_{tr} : 정착된 철근을 따라 찢개질 가능성이 있는 면을 가로질러
배근된 간격 s이내에 있는 횡방향 철근의 전체 단면적(mm²)

f_{yt} : 횡방향 철근의 항복강도(MPa)

s: 정착길이 l_d 구간내에 있는 횡방향 철근의 최대 중심간 간격

n: 찢개질 가능성이 있는 면을 따라 정착되거나 이어지는 철근의 수

(1) 기본 방정식

- 위의 식(7.6)에서
- $(c+K_{tr})/d_b$: 콘크리트 쏘갸 인장강도 이외에 쏘갸 부착파괴에 대한 부재의 저항성능을 나타내는 식
철근간격과 피복두께 및 횡방향 철근지수(K_{tr})가 크면 쏘갸저항 성능이 증가하나, 철근의 지름이 크면 저하하는 현상을 나타내고 있다.

$\therefore (c+K_{tr})/d_b \leq 2.5$ 로 제한 함

- c 와 K_{tr} 의 값이 커지거나 철근지름이 작은 경우
: 뽕힘 부착파괴 발생

(b) 보정계수

(i) 철근 위치 계수 α

- ① 정착길이나 이음부 아래 굳지 않은 콘크리트가 300mm 이상 타설되는 수평 배근된 **상부철근** : 1.3
- ② 기타 철근 : 1.0

(ii) 에폭시 도막 계수 β

- ① 에폭시 표면처리 철근으로 피복두께가 $3d_b$ 미만이거나 철근 순간격이 $6d_b$ 미만인 경우 : 1.5
- ② 기타 에폭시 도막 철근 또는 철선 : 1.2
- ③ 도막되지 않은 철근 : 1.0. 단, $\alpha \times \beta \leq 1.7$ 로 한다.

(iii) 철근의 크기 계수 γ

- ① D19 이하의 철근과 이형철선 : 0.8
- ② D22 이상의 철근 : 1.0

(iv) 경량 콘크리트 계수 λ

- ① f_{sp} 가 주어지지 않은 경량 콘크리트 : 1.3
- ② f_{sp} 가 주어진 경량 콘크리트 : $\sqrt{f_{ck}} / (1.76f_{sp}) \geq 1.0$

(2) 약산식

식(7.5)의 기본방정식에서

① 정착되거나 이어지는 철근의 순간격과 피복두께가 모두 d_b 이상이고, 정착길이 전구간에 걸쳐 설계기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스테럽 또는 띠철근이 배근된 경우

② 정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 $2d_b$ 이상이고, 피복두께가 d_b 이상인 경우

■ 위의 두 조건 중 하나라도 만족되는 경우 $(c+K_{tr})/d_b \geq 1.5$ 이므로 인장철근의 정착길이는

$$l_d = \frac{0.6d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \alpha \beta \gamma \lambda \geq 300mm \quad (7.8)$$

■ 위의 두 조건 중 하나도 만족되지 않는 경우 $(c+K_{tr})/d_b \geq 1.0$ 으로 하여

$$l_d = \frac{0.9d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \alpha \beta \gamma \lambda \geq 300mm \quad (7.9)$$

7.3.3 압축을 받는 이형철근의 정착길이

정착길이 $l_d = \text{보정계수} \times \text{기본 정착길이 } l_{db} \geq 200\text{mm}$

(a) 기본정착길이(표7-2 참조)

$$l_d = \frac{0.25d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \geq 0.04d_b f_y \quad (7-9)$$

(b) 보정계수

- ① 철근소요량 이상인 과다철근인 경우: 소요철근량/실제철근량
- ② 지름 6mm이상인 나선철근으로 100mm이하의 간격으로 둘러싸인 철근 : 0.75

(c) 구조제한

최소 정착길이 : 200mm이상

7.3.4 다발 철근의 정착길이

다발 철근 : 단일철근 보다 부착면적이 작다

다발 철근의 정착길이는 : 2개 다발 : 10% 증가시킴

3개 다발 : 20% 증가시킴

4개 다발 : 33% 증가시킴

7.4 갈고리에 의한 인장철근의 정착

7.4.1 표준 갈고리(hook)

- 부재의 위치에 따라 철근의 정착길이를 충분히 확보하기 곤란한 곳에서 90° , 180° 갈고리를 사용

(a) 주근 갈고리(그림 7-10(a))

구부림 각도 180° 에 자유단의 길이가 $4d_b$ 이상 또는 60mm이상

구부림 각도 90° 에 자유단의 길이가 $12d_b$ 이상

(b) stirrup 및 띠철근 갈고리

① D16이하의 철근으로 구부림 각도 90° 에 자유단 길이가 $6d_b$ 이상

② D19, D22, D25의 철근으로 구부림 각도 90° 에 자유단 길이가 $12d_b$ 이상

③ D25이하 철근으로 구부림 각도 135° 에 자유단 길이 $6d_b$ 이상

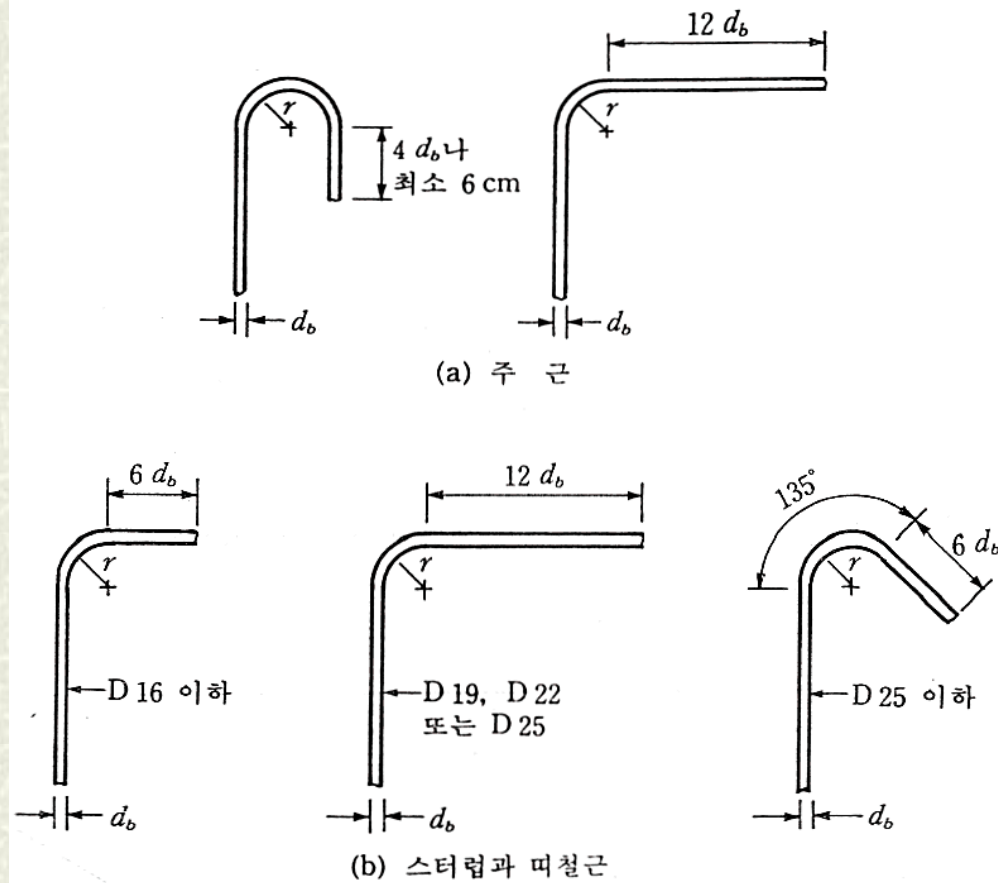
(c) 구부림 최소지름

- ① stirrup 및 띠철근 : D16이하 $-4d_b$
D16이상 - 표7-3
- ② 주근 : 표7-3

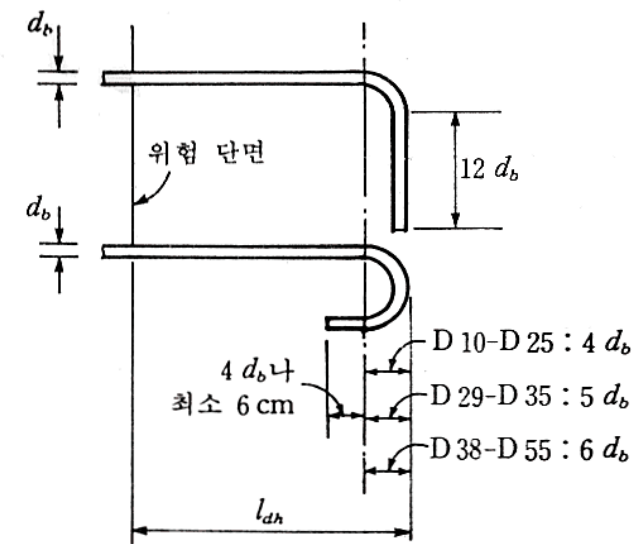
표 7.3 구부림 최소 지름

철근크기	구부림 최소지름
D10-D25	$6d_b$
D29-D35	$6d_b$
D38이상	$6d_b$

그림 7-11 표준 갈고리



표준 훅크



표준 훅크 철근의 상세

7.4.2 갈고리 철근의 정착길이(그림 7-11)

- 갈고리 철근의 파괴 원인 : 갈고리 면 안에 있는 콘크리트의 쏘갸
→ 철근의 지름 d_b 및 철근 구부림 지름에 의존
- 갈고리 철근의 정착길이 l_{dh} (mm) = 보정계수 $\times$ 기본정착길이(l_{hb})
단, 정착길이 l_{dh} 는 $8d_b$ 와 150mm중 큰 값보다 커야 한다.
- 압축력이 작용하는 경우에는 갈고리가 유효하지 못하므로 정착장치로서 사용불가

(a) 기본정착길이

철근의 항복강도 $f_y=400\text{MPa}$ 인 철근을 기준으로

$$l_{hb} = \frac{100d_b}{\sqrt{f_{ck}}}$$

(b) 보정계수

① 철근항복강도 $f_y \neq 400\text{MPa}$ 인 경우 : $f_y/400$

② 콘크리트 피복두께 : 0.7

90도 갈고리가 사용된 D35이하의 철근으로 갈고리 면에 수직인 피복두께가 70mm이상이고 갈고리에서 뺀 자유단 철근의 피복두께가 50mm이상인 경우

③ 띠철근, stirrup근이 배근된 경우 : 0.8

갈고리가 띠철근이나 스티럽으로 수직 또는 수평방향으로 갈고리 철근지름의 $3d_b$ 이하의 간격으로 둘러싸여 있는 D35이하의 철근

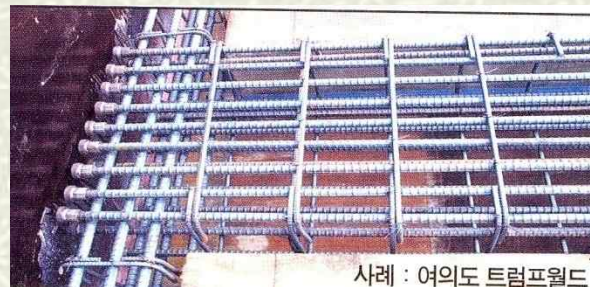
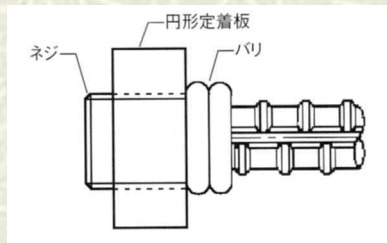
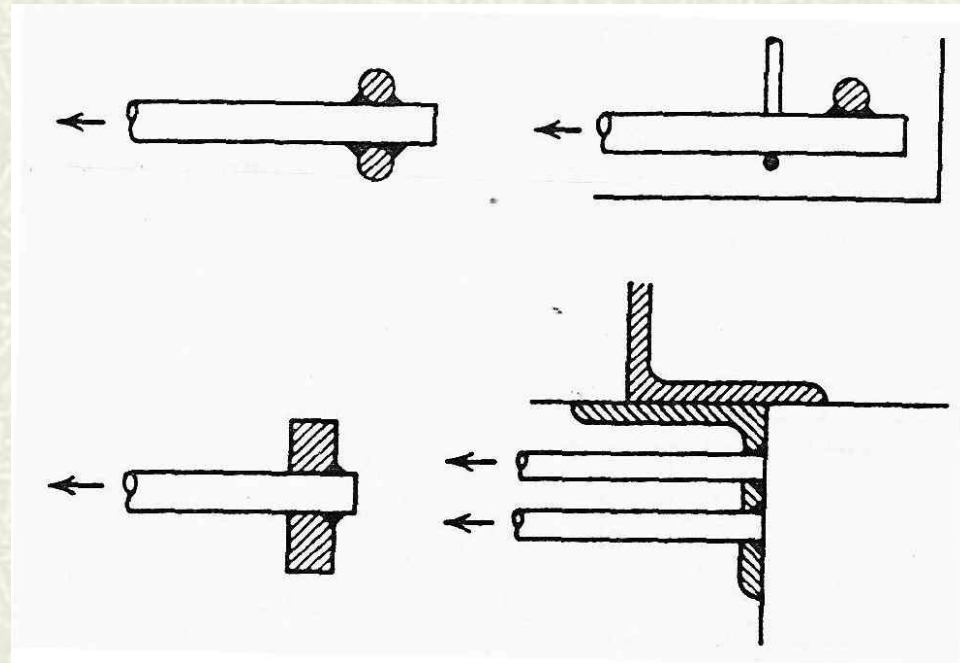
④ 과다철근 : 소요철근량/실제철근량

⑤ 경량골재 콘크리트 : 1.3

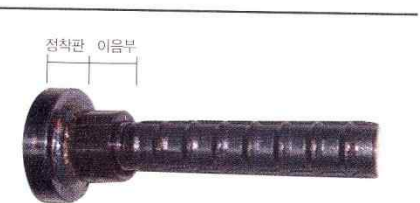
⑥ 에폭시 도막 철근 : 1.2

7.4.3 기계적 정착장치

- ▣ 부재의 형태 등으로 정착길이나 Hook에 의한 정착이 불가능할 경우 사용
- ▣ 철근 단부에 강판을 접착하여 사용
- ▣ 단부철근을 나사모양으로 하는 방법
- ▣ 적합성이 시험에 의하여 입증되어야 한다.



사례 : 여의도 트럼프월드



정착장치 형사

7.5 휨 철근과 복부철근의 정착

7.5.1 철근이 절단되는 부위의 정착길이

✚ 그림 7-13에서와 같이 보에서 모멘트의 크기에 따라 철근량이 감소되는 구간이 존재

→ 휨모멘트가 큰 부위에는 많은 철근이 배근되고, 작은 부위에서는 보강근을 줄임

✚ 이와 같이 철근을 절단하여 배근할 때 고려사항

- 전단력이 큰 구간에서 철근이 절단
- 응력 집중발생
- 여분의 철근이 필요

- 최대 휨모멘트 위치로부터 정착길이를 확보

✚ 따라서 철근의 실제 절단점은 이론적인 절단점에 전단, 정착 및 시공성을 고려하여 결정하여야 함

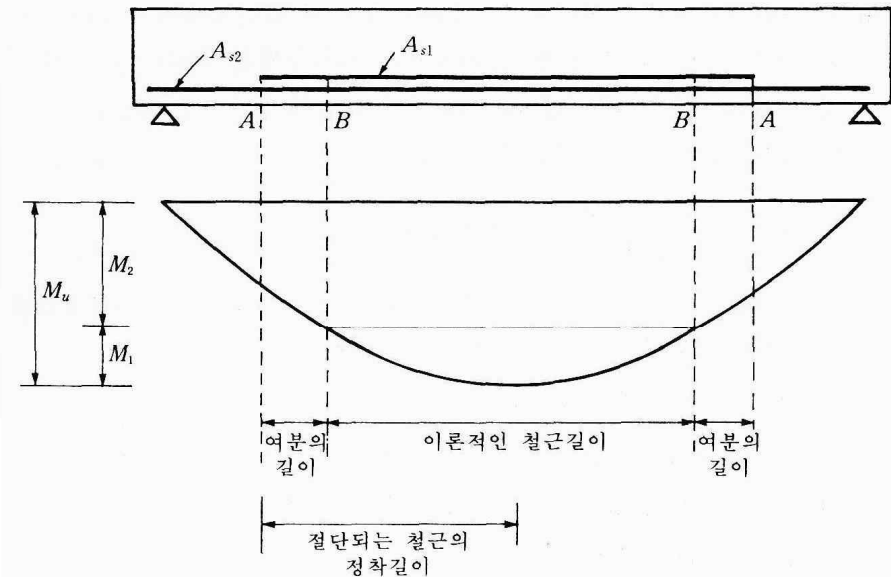


그림 7-13 철근의 절단

<설계기준의 정착> - 그림 7-14참조

정모멘트 철근

단순보 : 철근량의 1/3 이상을(보)부재
의 동일 면에 따라

연속보 : 철근량의 1/4 지지부재(기둥)
내에 150mm이상 연장배근

부모멘트 철근

철근량의 1/3 이상을

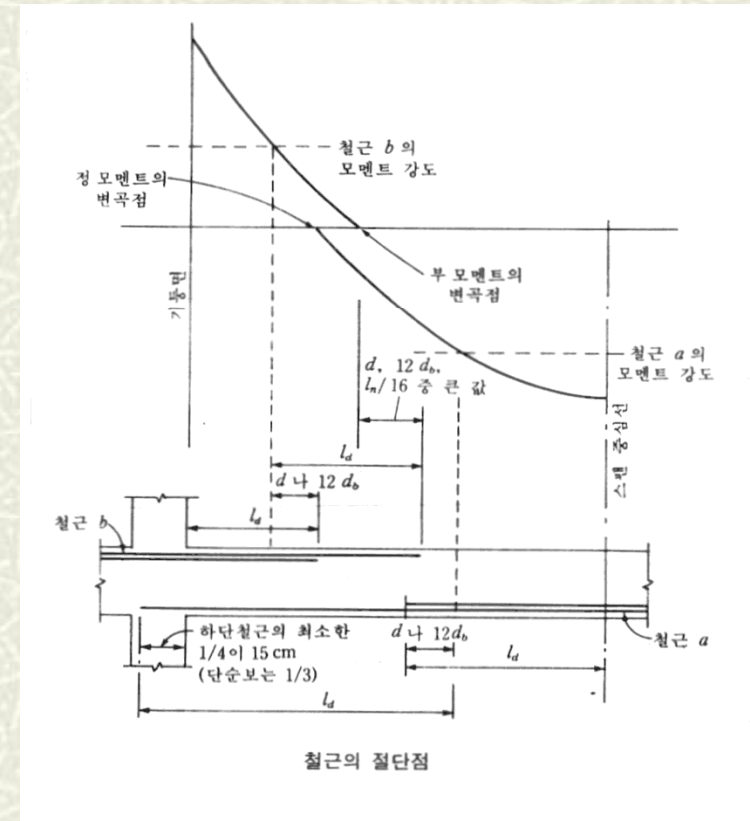
부재 유효깊이(d)이상

철근지름의 $12d_b$

순스팬의 $l/16$

중 큰 값 이상의 길이가 변곡점 넘어(중
앙부로)연장 배근

철근의 절단위치 : 이론적인 절단위치에
서 보의 유효깊이 d 또는 $12d_b$ 이상 연장
배근



7.5.2 단순 받침부와 변곡점에서 철근 정착

- ※ 실제 단순 받침부, 변곡점에서는 휨모멘트 ≈ 0
단, 전단력에 의해 부착응력 $\neq 0$
 $\Rightarrow$ 단순 받침부, 변곡점에도 정착 길이가 필요

- ※ <규준제한>

단순 받침부와 변곡점에서의 정모멘트 인장철근의 지름은 다음 식을 만족하도록 해야 한다. (그림 7-15 참조)

$$l_d = M_n / V_n + l_a$$

여기서 l_d : 철근의 항복강도를 사용하여 구한 정착길이

M_n : 단면의 모든 철근이 항복강도에 도달한다고 가정하여
구한 공칭 휨모멘트 강도

V_n : 단면의 계수 전단력

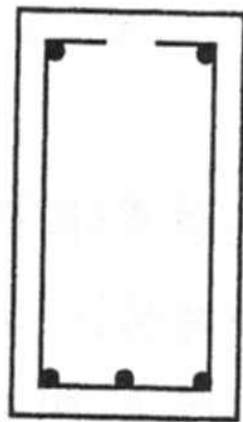
l_a : 단순 받침부인 경우 지점중심을 넘어 뒤편이
변곡점에서의 경우 (부재 유효깊이 d , $12d_b$)중 큰 값

7.5.3 복부(Web)철근의 정착

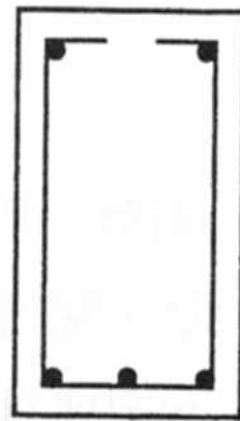
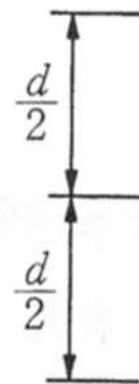
■ 문힘 길이가 확보되지 않는 경우 보, 기둥 단면의 증가가 불가피

- (1)복부철근은 피복두께 또는 철근 간격이 허용하는 한 인장면 및 압축면에 가까이 둔다 $\Rightarrow$ 사인장 균열을 억제하기 위함
- (2)U자형 stirrup은 하단 인장 철근을 감싸는 형태를 이루어야 하고, 이때 stirrup은 인장응력을 받으므로, 충분히 항복강도를 발휘하도록 정착길이가 확보되어야 한다.
- (3)규준의 stirrup 정착길이는 다음 중 한가지 방법을 사용(그림 7-18)
 - ①D16이하의 철근 또는 지름 16mm이하의 철선은 길이방향의 철근을 둘러싸는 표준 갈고리로 정착되어야 한다(그림 7-18(a))
 - ②D19, D22 및 D25 스테럽은 길이방향의 철근을 둘러싸는 표준 갈고리로 정착에 추가하여 보의 중간 깊이에서 갈고리 단부 바깥까지 $0.17d_b f_y / \sqrt{f_{ck}}$ 이상의 문힘 길이를 두어야 한다.

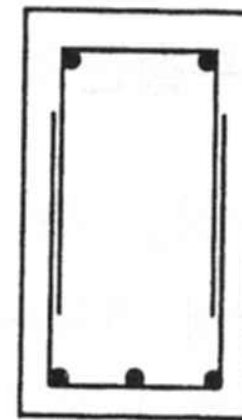
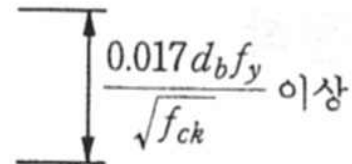
그림 7-18 U형 스테럽의 정착



(a) D16 이하



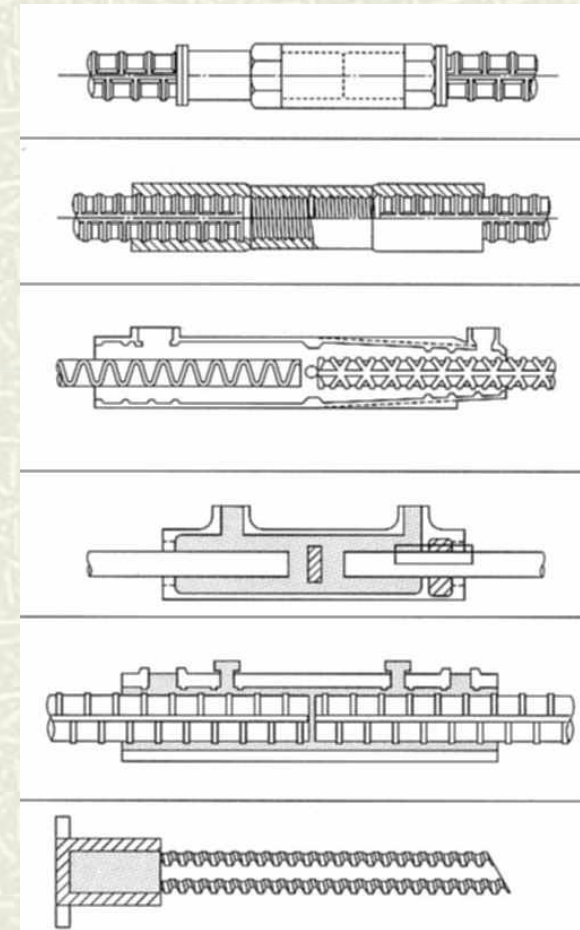
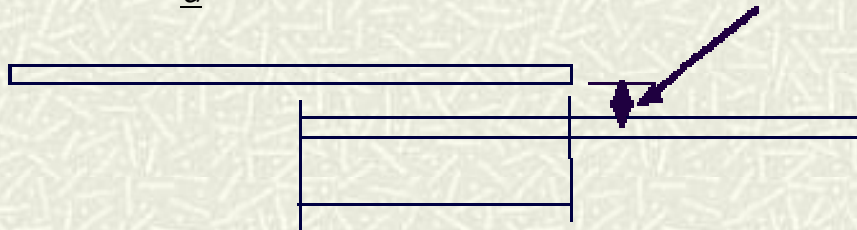
(b) D19, D22, D25



(c) 폐쇄 스테럽

7-6 철근의 이음

- 제작과 운반의 제한 → 이음이 필요
- 이음의 종류: 용접
 - 기계적 이음: Sleeve 등
 - 겹침이음
- 힘의 전달이 연속적이고 응력 집중이 일어나지 않도록 한다.
- 응력이 작은 곳에서 엇갈리게 이음을 둔다.
- 겹침 이음시 이음되는 부위의 두 철근의 간격: $\geq (\text{겹침이음길이})/5$ 또는 150mm이하



7.6.1 인장철근의 겹침이음

- # 겹침길이가 철근의 인장내력을 부착응력으로 지지할 수 있는 길이 확보
- # 소요 겹침길이 내에서 (이음철근/전체철근, 사용철근/소요철근량)에 영향을 받아 A, B등급으로 나눈다.
- # 겹침이음 최소길이는 다음 값 이상 또는 **300mm이상**
 - A급 : $1.0 l_d$
 - B급 : $1.3 l_d$
 - l_d : 정착길이
- # 겹침이음 위치를 철근의 응력도가 $f_y/2$ 이하 되는 곳에 두고 같은 위치에서 겹침이음이 집중되는 것을 방지

표 7-3 인장철근 겹침이음의 분류

사용 철근량 소요 철근량	겹침길이내에서 전체철근에 대한 이음 철근량 50% 이하
2이상	A
2미만	B

묶음 철근에 대한 겹침이
음길이 증가율

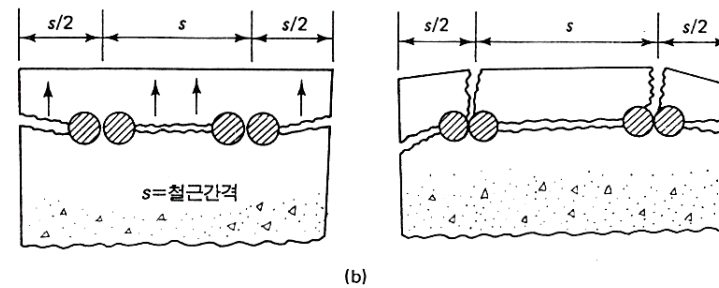
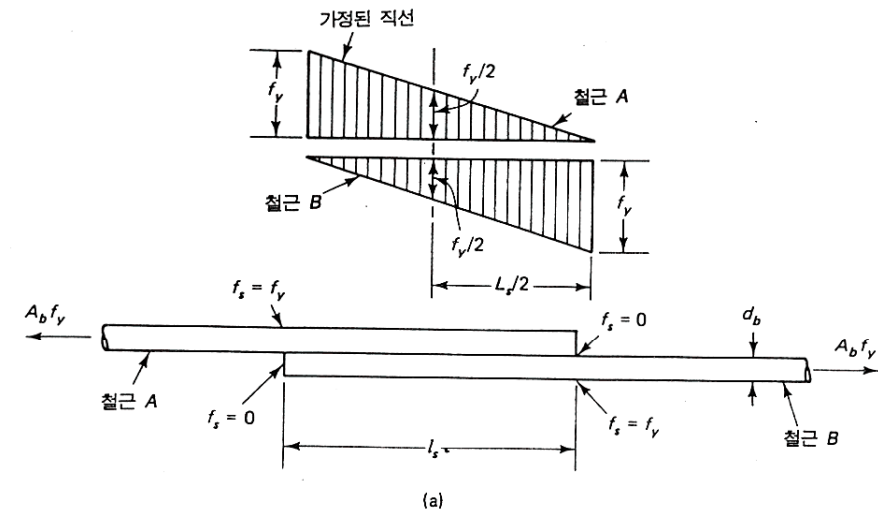
2개 묶음 : 10%

3개 묶음 : 20%

4개 묶음 : 33%

**D35이상 철근 : 겹침이음
을 하지 않는다.**

⇒ 용접 또는 기계적 이
음 사용



철근의 이음 : (a) 겹침이음의 이상화시킨 응력분포 ; (b) 이음의 찌개짐파괴

7.6.2 압축철근의 겹침이음

- 최소 겹침길이는 다음 값 이상으로 한다.
 - $f_y \leq 400\text{MPa}$ 일 때 $l_d = 0.72f_y d_b$ 또는 300mm이상
 - $f_y > 400\text{MPa}$ 일 때 $l_d = (0.13f_y - 24)d_b$ 또는 300mm이상
- 콘크리트 압축강도 $f_{ck} \leq 21\text{MPa}$ 일 때, 겹침길이 1/3증가
- 철근의 직경이 다른 철근끼리 이음시:이음길이 중 큰 것을 겹침이음길이.
- 단부 지압이음(두 철근을 맞대어 이음) 사용 조건
 - ① 폐쇄형 띠철근, stirrup, 나선철근을 갖는 부재
 - ② 철근 양끝은 철근 중심축의 직각면에서 오차 1.5° 이내로 가공하고 조립 후 접촉면의 오차 3° 이내

7.6.3 기둥철근의 겹침이음

■ 압축철근의 이음규칙에 따른다

■ 기둥철근의 이음 규정

- ① 하중조합에 의한 기둥철근의 응력 σ 가 $-f_y < \sigma < 0.5f_y$ 인 경우
이음 부위의 인장강도는 설계 인장강도보다 2배 이상 되도록 한다
- ② 기둥의 설계인장강도가 기둥철근의 인장응력 $0.5f_y$ 를 초과할 경우
인장응력 f_y 를 지지할 수 있는 겹침이음, 완전용접이음, 기계적 이음을 사용한다.

- ③ 이음 위치에서 최소 인장강도는 $0.25A_s(\text{철 근단면적}) \times f_y$ 와 같도록 한다.

■ ACI318-95규정

- 설계하중에 의한 철근의 응력이 전부 압축인 경우 : 압축철근의 겹침이음 규정에 따름
- 철근의 인장응력이 $0.5f_y$ 이하 일때 B급 이음: 겹침이음 철근량의 반 이상
A급 이음: 겹침이음 철근량의 반 이하
- 철근의 인장응력이 $0.5f_y$ 이상일 때 : B급 이음