

## 탄소섬유시트의 단부 고정방법

### End Fixing Method for Carbon Fiber Sheet using Steel Plate or Angle



정 광 량\*

#### 1. 서론

철근 콘크리트 부재의 보강방법으로 탄소섬유 보강법이 국내에 도입된지 6년 정도가 지나는 동안 여러 대학 및 기업 연구소에서 많은 실험이 시행되었고 건축 및 토목분야에서 실제적으로 적용되어 많은 시행착오를 걸쳐 왔지만, 아직도 탄소섬유를 이용한 보강법에 있어서 정확한 설계법 및 시공시의 주의점에 대한 지침서가 없는 실정이다. 아울러, 필자의 경우에도 구조설계 및 구조불 안전진단 업무를 수행하면서 많은 부분에서 탄소섬유를 이용한 보강설계를 적용하고 있으나, 통상적으로 일본의 CFS 생산업체(미쓰비시 화학, 토넨, 일본석유화학 등)와 기술 강습회 Text에서 제공하는 계산방법 및 보강상세에 따라 설계를 하고, 시공에 대한 일반적인 시방만 제시하고 있다.

이러한 상황에서 CFS의 보 보강 상세중에 특히 CFS의 단부고정에 대한 설계방법 및 효과에 대해 많은 의문점을 가지고 있었다. 기 시행된 실험에서도 밝혀진 바와 같이 CFS의 최초 파괴형태는 CFS 끝단에서 박리현상 (Peeling)이 발생되면서 급속도로 내력이 저하된다. 특히 보의 전단보강인 경우, 보 하단부는 전체적으로 감싸질 수 있지만 상단부는 일반적으로 슬래브에 의해 CFS가 단속되어지므로 CFS의 정착이 문제시 되어 별도의 정착 보강방법이 요구되고 있다. 이에 대한 최근에 미쓰비시 화학에서 제시하고 있는 탄소섬유시트의 단부고정 설계법에 대해 소개하고자 한다.

\* 정회원, (주)동양구조안전기술 대표이사, 건축구조기술사

## 2. 탄소섬유시트(CFS)의 단부 고정방법 비교

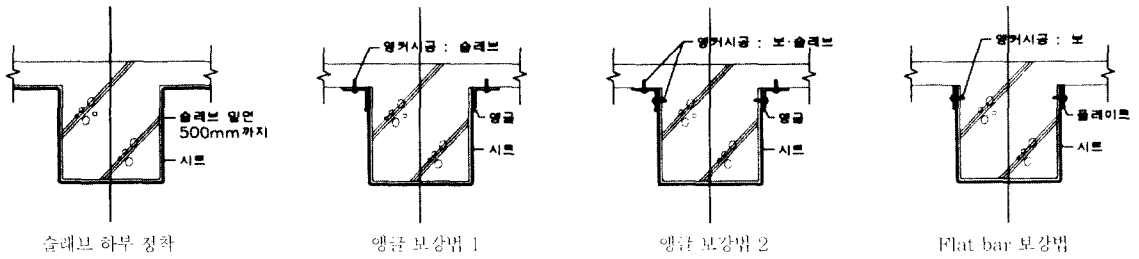


그림 1 보강 방법

표 1. 웨브부분 전단 보강용 철물의 비교 · 검토

시트 정착	· 철물(앵글)에 정착	· 철물(앵글)에 정착	· 콘크리트에 정착 · 철물(앵글)에도 정착 가능	· 철물(Flat bar)에 정착
특징	· 콘크리트의 반력에 의한 지렛대 작용으로 앵커의 반력이 증가된다. · 앵커의 설치는 1면만으로 가능하다. · 지렛대 작용을 감소시키기 위해 앵커를 시트측에 가깝게 설치할 필요가 있다. · 지렛대 작용에 의해 철물에 회전이 발생할 경우, 박리의 가능성이 있다.	· 2면에 설치된 앵커에 의해 철물의 회전은 구속할 수 있으나, 앵커의 개수는 증가된다. · 상부의 앵커에 전단력이 발생할 가능성이 있다.	· 2면에 설치된 앵커에 의해 철물의 회전은 구속할 수 있으나, 앵커의 개수는 증가된다. · 시트를 콘크리트에 정착시키기 위해서는 철물의 코너에 R=30 이상의 곡면이 필요하다. · 철물과 시트를 접촉시킨 경우, 콘크리트와 2개소에서 정착이 가능하다. 단, 콘크리트 정착깊이가 깊어야 한다.	· 마구리 부분과 같이 정착이 부족한 경우에 적합하다. · 다른 면에는 정착시킬 수 없다. · 단부에 균열 및 우용된 발생의 위험이 없는 부분에 적합하다. · 다른 방법보다 시공이 간편하다.
가 격	○	△	×	◎
안 전 성	△	○	◎	○
평 가	1면에만 앵커를 설치할 경우에 적합	○	◎	부분적인 사용

## 3. 탄소섬유시트(CFS)의 단부 고정방법 설계예

### 3.1 앵글방법 1

#### 3.1.1 설계제원

##### 1) 탄소섬유시트

- CFS 20 type×2겹
- CFS 설계용 인장강도  $\sigma_{cf} = 23000 \text{kgf/cm}^2$
- CFS 설계용 부착강도 (콘크리트에 대한)

$$\tau a = 4.5 \text{kgf/cm}^2$$

- CFS 설계용 인장전단강도 (강판에 대한)

$$\tau s = 40 \text{kgf/cm}^2$$

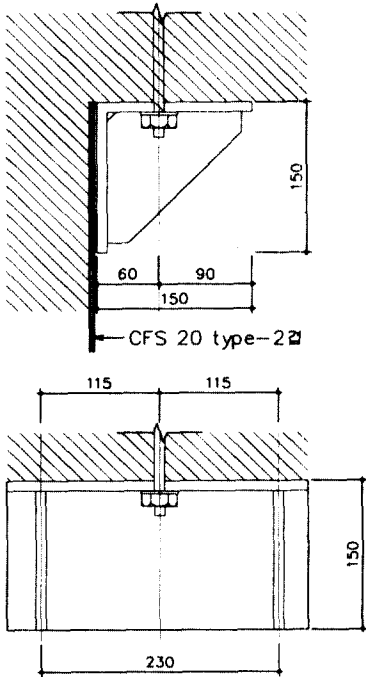
##### 2) 콘크리트

- 설계용 압축강도  $f'c = 210 \text{kgf/cm}^2$

##### 3) 강재

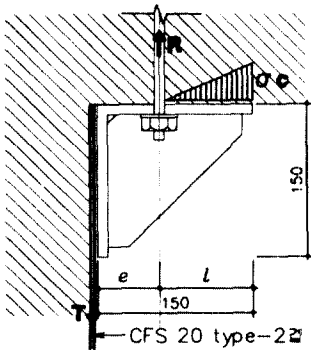
- 강판 (SS400)  $F_y = 2400 \text{kgf/cm}^2$
- 앵커  $F_y = 3000 \text{kgf/cm}^2$

### 3.1.2 형상



### 3.1.3 각부의 설계

#### 1) 힘의 평형방정식



연직방향의 힘의 평형방정식에 의해

$$T + (\sigma_c / 2) \times \ell \times W = R \quad (3.1)$$

모멘트의 평형방정식에 의해

$$T \cdot e = \{ (\sigma_c / 2) \times \ell \times W \} \cdot (2\ell / 3) \quad (3.2)$$

식 (3.1), (3.2)로부터 식 (3.3), (3.4)를 얻을 수 있다.

$$R = (3Te / 2\ell) + T \quad (3.3)$$

$$\sigma_c = 2(R - T) / (\ell \cdot W) \quad (3.4)$$

인장력 T (CFS 20 type×2겹)의 산출

$$\begin{aligned} T' &= \sigma_{cf} \times A_{cf} \\ &= 23000 \text{kgf/cm}^2 \times 0.0111 \text{cm}^2 / \text{cm} \times 2 \text{겹} \\ &= 510.6 \text{kgf/cm폭} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= T' \times W = 510.6 \text{kgf/cm} \times 23 \text{cm} \\ &= 11743.8 \text{kgf} \end{aligned}$$

식 (3.3)에 의한 앵커볼트 반력 R의 산출

$$\begin{aligned} R &= (3Te / 2\ell) + T \\ &= \{ 3 \times 11743.8 \text{kgf} \times 6 \text{cm} / (2 \times 9 \text{cm}) \} \\ &\quad + 11743.8 \text{kgf} \\ &= 11743.8 \text{kgf} + 11743.8 \text{kgf} \\ &= 23487.6 \text{kgf} \end{aligned}$$

2) 지압에 의한 콘크리트 응력도 검토

식 (3.4)에 의한 앵글 선단의 콘크리트에 대한 지압응력도

$$\begin{aligned} \sigma_c &= 2(R - T) / (\ell \cdot W) \\ &= 2 \times (23487.6 \text{kgf} - 11743.8 \text{kgf}) \\ &\quad / (9 \text{cm} \times 23 \text{cm}) \\ &= 113.46 \text{kgf/cm}^2 \quad \langle 210 \text{kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

3) CFS와 앵글의 정착 검토

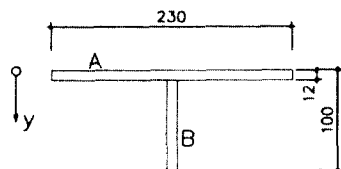
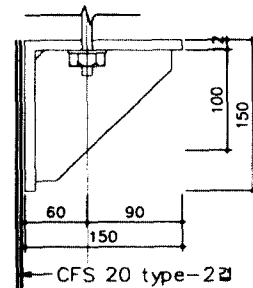
앵글 15cm폭에서 정착할 경우의 인장전단응력도

$$\begin{aligned} \tau &= T' / A = (510.6 \text{kgf/cm폭}) / (1 \text{cm} \times 15 \text{cm}) \\ &= 34.04 \text{kgf/cm}^2 \quad \langle 40 \text{kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

4) 앵글의 인장응력도 검토

$$\begin{aligned} \sigma_t &= T' / A = (510.6 \text{kgf/cm폭}) / (1 \text{cm} \times 1.2 \text{cm}) \\ &= 425.5 \text{kgf/cm}^2 \quad \langle 2400 \text{kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

5) 리브 보강후의 앵글의 휨, 전단 검토



단면제원의 산출

	치수	면적	y	면적×y
A	23×1.2	27.6	0.6	16.56
B	0.9×8.8	7.92	5.6	44.35

$$\Sigma A = 35.52 \quad \Sigma Ay = 60.91$$

$$y_o = \Sigma Ay / \Sigma A = 60.91 / 35.52$$

$$= 1.71 \text{cm}$$

단면 2차모멘트

$$I_x = 23 \times 1.2^3 / 12 + 0.9 \times 8.8^3 / 12$$

$$+ 27.6 \times (1.71 - 0.6)^2 + 7.92 \times (5.6 - 1.71)^2$$

$$= 3.31 + 51.11 + 34.01 + 119.85$$

$$= 208.28 \text{cm}^4$$

단면성능

$$Z_x = I_x / y_o = 208.28 / 1.71$$

$$= 121.80 \text{cm}^3$$

휨응력도

$$\sigma_b = M / Z_x = T \cdot e / Z_x$$

$$= 11743.8 \text{kgf} \times 6 \text{cm} / 121.80 \text{cm}^3$$

$$= 578.51 \text{kgf/cm}^2 < 2400 \text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK}$$

리브의 전단응력도

$$\tau = T / B \text{면적} = 11743.8 \text{kgf} / 7.92 \text{cm}^2$$

$$= 1482.80 \text{kgf/cm}^2 > (2400 / \sqrt{3}) \text{kgf/cm}^2 \dots \text{NG}$$

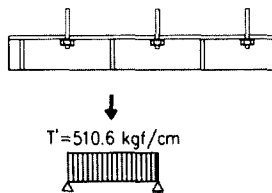
따라서, PL-12mm로 변경

$$\tau = T / B \text{면적} = 11743.8 \text{kgf} / (8.8 \times 1.2) \text{cm}^2$$

$$= 1112.10 \text{kgf/cm}^2 < (2400 / \sqrt{3}) \text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK}$$

6) 재축방향에 대한 앵글의 휨 검토

단순보로써 산출·검토



모멘트

$$M = \omega l^2 / 8 = 510.6 \times 23^2 / 8$$

$$= 33763.43 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

단면성능

$$Z = 68.2 \text{cm}^3$$

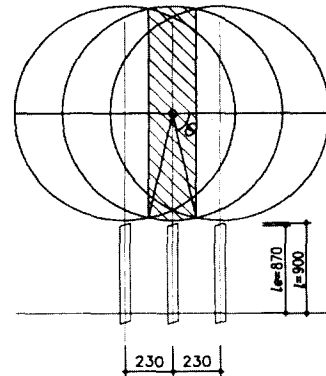
휨응력도

$$\sigma_b = M / Z = 33763.43 \text{kgf} \cdot \text{cm} / 68.2 \text{cm}^3$$

$$= 495.06 \text{kgf/cm}^2 < 2400 \text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK}$$

7) 앵커볼트의 설계

각 제원은 다음 그림과 같다.



$$\theta = \cos^{-1}(11.5 / 87) = 82.40^\circ$$

$$l_c = 87 \times \sin 82.40 = 86.24$$

$$A_c = 86.24 \times 11.5 \times (1/2) \times 4$$

$$+ \pi \times 87 \times 87 \times (90 - 82.40) \times 4 / 360$$

$$= 1983.52 + 2007.98$$

$$= 3991.5$$

Cone 파괴인장강도

$$Pa1 = \phi \times 10 \times \sqrt{f'_c / 210} \times A_c$$

$$= 0.6 \times 10 \times \sqrt{(210 / 210)} \times 3991.5$$

$$= 23949.0 \text{kgf} > R = 23487.6 \text{kgf} \dots \text{OK}$$

앵커의 인장강도 ( $\phi 32 : A = 7.94 \text{cm}^2$ )

$$Pa2 = \phi \times 2 \times F_y \times A = 1.0 \times 3000 \times 7.94$$

$$= 23820.0 \text{kgf} > R = 23487.6 \text{kgf} \dots \text{OK}$$

앵커의 정착

$$Pa3 = \phi \times 3 \times \tau_a \times \pi \times D \times l_e$$

$$= 0.6 \times 100 \times \sqrt{f'_c / 210} \times \pi \times D \times l_e$$

$$= 0.6 \times 100 \times \sqrt{(210 / 210)} \times \pi \times 3.2 \times 87$$

$$= 52450.56 \text{kgf} > R = 23487.6 \text{kgf} \dots \text{OK}$$

## 3.2 앵글방법 2

3.2.1 설계제원

1) 탄소섬유시트

· CFS 20 type×2겹

· CFS 설계용 인장강도  $\sigma_{cf} = 23000 \text{kgf/cm}^2$

· CFS 설계용 부착강도 (콘크리트에 대한)

$$\tau_a = 4.5 \text{kgf/cm}^2$$

· CFS 설계용 인장전단강도 (강판에 대한)

$$\tau_s = 40 \text{kgf/cm}^2$$

2) 콘크리트

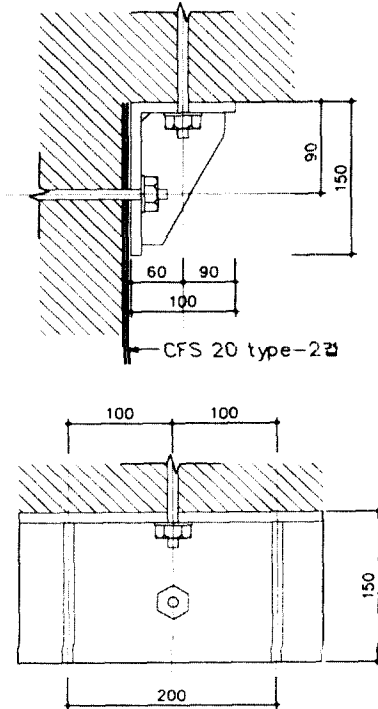
· 설계용 압축강도  $f'c=210\text{kgf/cm}^2$

3) 강재

· 강관 (SS400)  $F_y=2400\text{kgf/cm}^2$

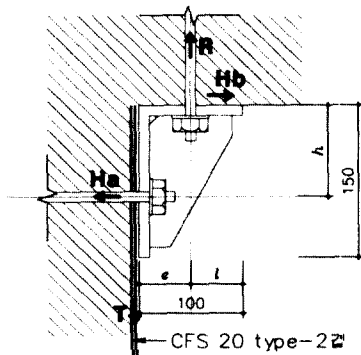
· 앵커  $F_y=3000\text{kgf/cm}^2$

3.2.2 형상



3.2.3 각부의 설계

1) 힘의 평형방정식



연직방향의 힘의 평형방정식에 의해

$$T=R \quad (3.5)$$

모멘트의 평형방정식에 의해

$$T \cdot e = H_a \cdot h \quad (3.6)$$

식 (3.5), (3.6)으로부터 식 (3.7)을 얻을 수 있다.

$$H_a = (e/h)T \quad (3.7)$$

인장력 T (CFS 20 type×2겹)의 산출

$$\begin{aligned} T' &= \sigma_{cf} \times A_{cf} \\ &= 23000\text{kgf/cm}^2 \times 0.0111\text{cm}^2/\text{cm} \times 2\text{겹} \\ &= 510.6\text{kgf/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= T' \times W = 510.6\text{kgf/cm} \times 20\text{cm} \\ &= 10212\text{kgf} \end{aligned}$$

식 (3.7)에 의한 앵커볼트 반력 R의 산출

$$R=T=10212\text{kgf}$$

2) CFS와 앵글의 정착 검토

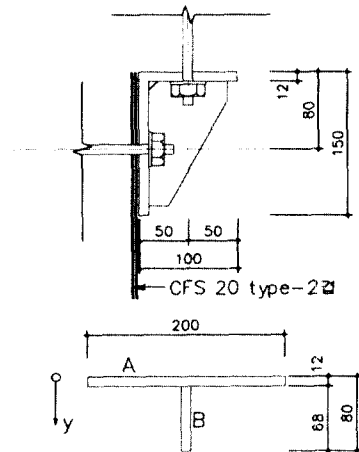
앵글 15cm폭에서 정착할 경우의 인장전단응력도

$$\begin{aligned} \tau &= T'/A = (510.6\text{kgf/cm} \text{폭}) / (1\text{cm} \text{폭} \times 15\text{cm}) \\ &= 34.04\text{kgf/cm}^2 < 40\text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

3) 앵글의 인장응력도 검토

$$\begin{aligned} \sigma_t &= T'/A = (510.6\text{kgf/cm} \text{폭}) / (1\text{cm} \times 1.0\text{cm}) \\ &= 510.6\text{kgf/cm}^2 < 2400\text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

4) 리브 보강후의 앵글의 휨, 전단 검토



단면제원의 산출

	치수	면적	y	면적×y
A	20×1.2	24.0	0.6	14.40
B	1.2×6.8	8.16	4.6	37.54
	$\Sigma A$	32.16	$\Sigma Ay$	51.94
	$y_o = \Sigma Ay / \Sigma A$			1.62cm

단면 2차모멘트

$$\begin{aligned}
 I_x &= 20 \times 1.0^3 / 12 + 1.2 \times 6.8^3 / 12 \\
 &+ 14.40 \times (1.62 - 0.6)^2 + 37.54 \times (4.6 - 1.62)^2 \\
 &= 1.67 + 31.44 + 14.98 + 333.37 \\
 &= 381.44 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

단면 성능

$$\begin{aligned}
 Z_x &= I_x / y_o = 381.44 / 1.62 \\
 &= 235.46 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

휨응력도

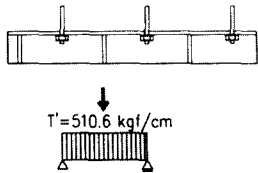
$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= M / Z_x = T \cdot e / Z_x \\
 &= 10212 \text{ kgf} \times 5 \text{ cm} / 235.46 \text{ cm}^3 \\
 &= 216.86 \text{ kgf/cm}^2 < (2400 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK})
 \end{aligned}$$

리브의 전단응력도

$$\begin{aligned}
 \tau &= T / B \text{면적} = 10212 \text{ kgf} / (8.0 \times 1.2) \text{ cm}^2 \\
 &= 1063.75 \text{ kgf/cm}^2 < (2400 / \sqrt{3}) \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

5) 재축방향에 대한 앵글의 휨 검토

단순보로써 산출 · 검토



모멘트

$$\begin{aligned}
 M &= \omega l^2 / 8 = 510.6 \times 20^2 / 8 \\
 &= 25530 \text{ kgf} \cdot \text{cm}
 \end{aligned}$$

단면성능

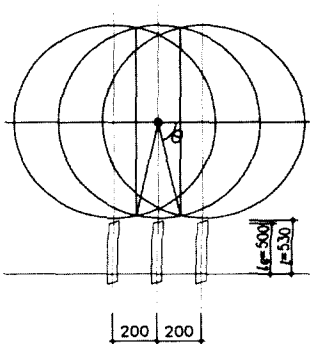
$$Z = 63.4 \text{ cm}^3$$

휨응력도

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= M / Z = 25530 \text{ kgf} \cdot \text{cm} / 63.4 \text{ cm}^3 \\
 &= 402.68 \text{ kgf/cm}^2 < (2400 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK})
 \end{aligned}$$

6) 앵커볼트의 설계 (연직 · 수평방향)

각 제원은 다음 그림과 같다.



$$\theta = \cos^{-1}(10/50) = 78.46^\circ$$

$$l_c = 50 \times \sin 78.46 = 48.99$$

$$\begin{aligned}
 A_c &= 48.99 \times 10 \times (1/2) \times 4 \\
 &+ \pi \times 50 \times 50 \times (90 - 78.46) \times 4 / 360 \\
 &= 979.8 + 1007.05 \\
 &= 1986.85
 \end{aligned}$$

Cone 파괴인장강도

$$\begin{aligned}
 Pa_1 &= \phi_1 \times 10 \times \sqrt{f'_c / 210} \times A_c \\
 &= 0.6 \times 10 \times \sqrt{(210/210)} \times 1986.85 \\
 &= 11921.12 \text{ kgf} > R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

앵커의 인장강도 ( $\phi 25 : A = 5.07 \text{ cm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 Pa_2 &= \phi_2 \times F_y \times A \\
 &= 1.0 \times 3000 \times 5.07 \\
 &= 15210 \text{ kgf} > R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

앵커의 정착

$$\begin{aligned}
 Pa_3 &= \phi_3 \times \tau_a \times \pi \times D \times l_e \\
 &= 0.6 \times 100 \times \sqrt{f'_c / 210} \times \pi \times D \times l_e \\
 &= 0.6 \times 100 \times \sqrt{(210/210)} \times \pi \times 2.5 \times 50 \\
 &= 23561.94 \text{ kgf} > R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

앵커의 반력 Hb에 의한 전단

$$\begin{aligned}
 H_b &= H_a = (e/h)T = (5/9) \times 10212 \text{ kgf} \\
 &= 5673.3 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

$$\tau = H_b / A = 5673.3 / 5.07$$

$$= 1118.99 \text{ kgf/cm}^2$$

$$< (1732 \times (3000 / \sqrt{3})) \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK}$$

앵커의 인장과 전단의 합성응력

$$\begin{aligned}
 (R/Pa_2)^2 + (H_b / (1732 \times 5.07))^2 \\
 = (10212 / 15210)^2 + (5673.3 / (1732 \times 5.07))^2 \\
 = 0.45 + 0.42 = 0.87 < 1.0 \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

7) CFS의 단면결손 대책

① 앵커에 의한 단면결손을 보완하기 위해, Flat bar의 선단에서 20cm부분까지 CFS를 1겹 추가 하여, 3겹으로 한다.

② 2겹인 경우의 ( $40\phi$  결손의 유효단면/CFS 2겹 전단면)비율 =  $0.3552 / 0.444 = 0.8$

③ 1겹 추가 보강후의 (유효단면/CFS 2겹 전단면)비율 =  $0.5328 / 0.444 = 1.21$

### 3.3 앵글방법 3

#### 3.3.1 설계제원

1) 탄소섬유시트

- CFS 20 type×2겹
- CFS 설계용 인장강도  $\sigma_{cf}=23000\text{kgf/cm}^2$
- CFS 설계용 부착강도 (콘크리트에 대한)  
 $\tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$
- CFS 설계용 인장전단강도 (강관에 대한)  
 $\tau_s=40\text{kgf/cm}^2$

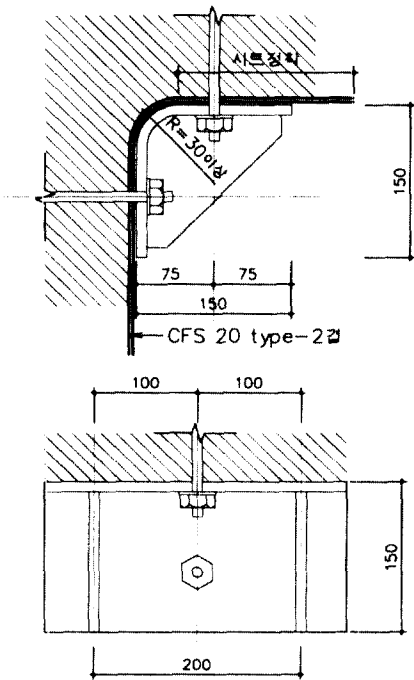
2) 콘크리트

- 설계용 압축강도  $f'_c=210\text{kgf/cm}^2$

3) 강재

- 강관 (SS400)  $F_y=2400\text{kgf/cm}^2$
- 앵커  $F_y=3000\text{kgf/cm}^2$

3.3.2 형상



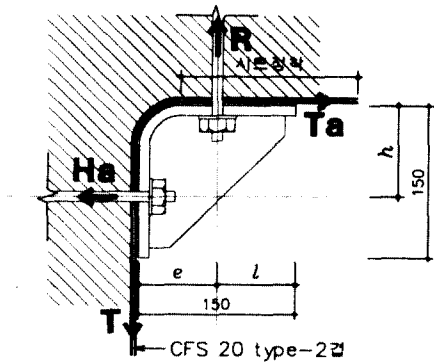
인장력을  $R=30$  이상의 철물에 전달시키고, 시트를 직각면에 정착시킨다. 그 때 발생하는 반력은 앵커가 부담한다.

3.3.3 각부의 설계

1) 힘의 평형방정식

연직방향의 힘의 평형방정식에 의해

$$T=R \tag{3.8}$$



모멘트의 평형방정식에 의해

$$T \cdot e = H_a \cdot h \tag{3.9}$$

식 (3.8), (3.9)로부터 식 (3.10)을 얻을 수 있다.

$$H_a = T(e/h) \tag{3.10}$$

인장력 T (CFS 20 type×2겹)의 산출

$$\begin{aligned} T' &= \sigma_{cf} \times A_{cf} \\ &= 23000\text{kgf/cm}^2 \times 0.0111\text{cm}^2/\text{cm} \times 2\text{겹} \\ &= 510.6\text{kgf/cm폭} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= T' \times W = 510.6\text{kgf/cm} \times 20\text{cm} \\ &= 10212\text{kgf} \end{aligned}$$

식 (3.10)에 의한 앵커볼트의 반력 R의 산출

$$R = T = 10212\text{kgf}$$

2) CFS와 콘크리트의 정착 검토

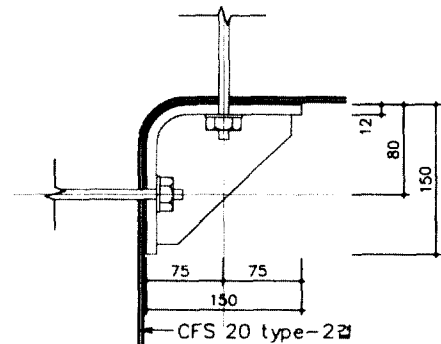
앵글의 코너에서 정착한다고 가정

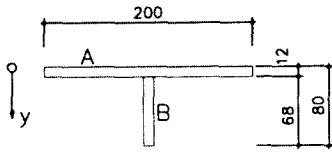
$$\begin{aligned} l_f &= T' / \tau_a = (510.6\text{kgf/cm폭}) / (4.5\text{kgf/cm}^2) \\ &= 113.5\text{cm} \end{aligned}$$

3) 앵글의 인장응력도 검토

$$\begin{aligned} \sigma_t &= T' / A = (510.6\text{kgf/cm폭}) / (1\text{cm} \times 1.2\text{cm}) \\ &= 425.5\text{kgf/cm}^2 \quad \langle 2400\text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

4) 리브 보강후의 앵글의 휨, 전단 검토





단면제원의 산출

	치수	면적	y	면적×y
A	20×1.2	24.0	0.6	14.40
B	1.2×6.8	8.16	4.6	37.54

$$\Sigma A = 32.16 \quad \Sigma Ay = 51.94$$

$$y_0 = \Sigma Ay / \Sigma A = 51.94 / 32.16 = 1.62 \text{ cm}$$

단면 2차모멘트

$$\begin{aligned} I_x &= 20 \times 1.0^3 / 12 + 1.2 \times 6.8^3 / 12 \\ &\quad + 14.40 \times (1.62 - 0.6)^2 \\ &\quad + 37.54 \times (4.6 - 1.62)^2 \\ &= 1.67 + 31.44 + 14.98 + 333.37 \\ &= 381.44 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

단면성능

$$\begin{aligned} Z_x &= I_x / y_0 = 381.44 / 1.62 \\ &= 235.46 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

휨응력도

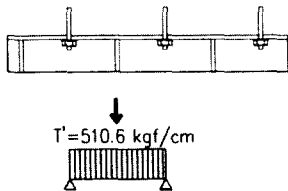
$$\begin{aligned} \sigma_b &= M / Z_x = T \cdot e / Z_x \\ &= 10212 \text{ kgf} \times 7.5 \text{ cm} / 235.46 \text{ cm}^3 \\ &= 325.28 \text{ kgf/cm}^2 < 2400 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

리브의 전단응력도

$$\begin{aligned} \tau &= T / B \text{면적} = 10212 \text{ kgf} / (8.0 \times 1.2) \text{ cm}^2 \\ &= 1063.75 \text{ kgf/cm}^2 < (2400 / \sqrt{3}) \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

5) 채축방향에 대한 앵글의 휨 검토

단순보로써 산출·검토



모멘트

$$\begin{aligned} M &= \omega \ell^2 / 8 = 510.6 \times 23^2 / 8 \\ &= 33763.43 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

단면성능

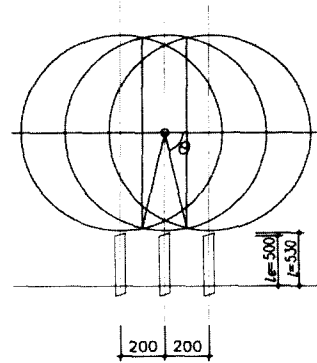
$$Z = 68.2 \text{ cm}^3$$

휨응력도

$$\begin{aligned} \sigma_b &= M / Z = 33763.43 \text{ kgf} \cdot \text{cm} / 68.2 \text{ cm}^3 \\ &= 495.06 \text{ kgf/cm}^2 < 2400 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

6) 앵커볼트의 설계

각 제원은 다음 그림과 같다.



$$\theta = \cos^{-1}(10/50) = 78.46^\circ$$

$$\ell_c = 50 \times \sin 78.46 = 48.99$$

$$A_c = 48.99 \times 10 \times (1/2) \times 4$$

$$+ \pi \times 50 \times 50 \times (90 - 78.46) \times 4 / 360$$

$$= 979.8 + 1007.05$$

$$= 1986.85$$

Cone 파괴인장강도

$$Pa1 = \phi 1 \times 10 \times \sqrt{f'c / 210} \times A_c$$

$$= 0.6 \times 10 \times \sqrt{(210/210)} \times 1986.85$$

$$= 11921.12 \text{ kgf} \quad \rangle R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}$$

앵커의 인장강도 ( $\phi 22 : A = 3.87 \text{ cm}^2$ )

$$Pa2 = \phi 2 \times F_y \times A$$

$$= 1.0 \times 3000 \times 3.87$$

$$= 11610 \text{ kgf} \quad \rangle R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}$$

앵커의 정착

$$Pa3 = \phi 3 \times \tau_a \times \pi \times D \times \ell_e$$

$$= 0.6 \times 100 \times \sqrt{f'c / 210} \times \pi \times D \times \ell_e$$

$$= 0.6 \times 100 \times \sqrt{(210/210)} \times \pi \times 2.2 \times 50$$

$$= 20734.5 \text{ kgf} \quad \rangle R = 10212 \text{ kgf} \cdots \text{OK}$$

7) CFS의 단면결손 대책

① 앵커에 의한 단면결손을 보완하기 위해, Flat bar의 선단에서 20cm 부분까지 CFS를 1겹 추가 하여, 3겹으로 한다.

② 2겹인 경우의  $(40\phi$  결손의 유효단면 / CFS 2겹 전단면) 비율 =  $0.3552 / 0.444 = 0.8$



③1접 추가 보강후의 (유효단면/CFS 2접 전단면)비율=0.5328/0.444=1.21

### 3.4 Flat bar 방법

#### 3.4.1 설계제원

##### 1) 탄소섬유시트

- CFS 20 type×2접
- CFS 설계용 인장강도  $\sigma_{cf}=23000\text{kgf/cm}^2$
- CFS 설계용 부착강도 (콘크리트에 대한)
 
$$\tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$$
- CFS 설계용 인장전단강도 (강판에 대한)
 
$$\tau_s=40\text{kgf/cm}^2$$

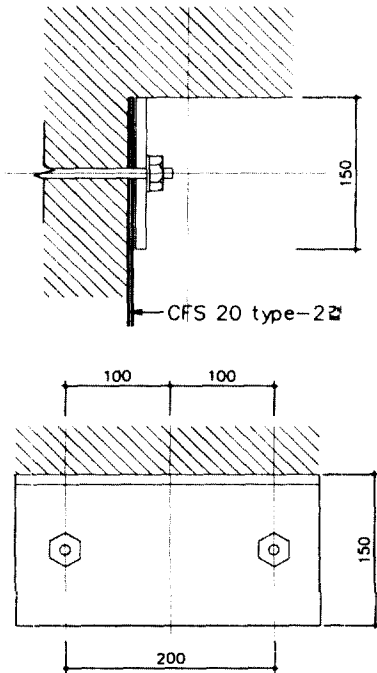
##### 2) 콘크리트

- 설계용 압축강도  $f'_c=210\text{kgf/cm}^2$

##### 3) 강재

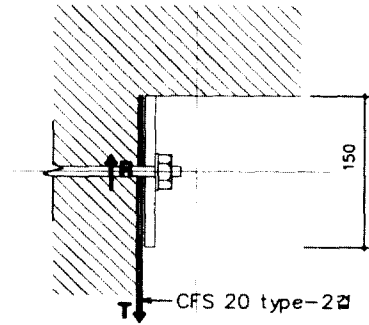
- 강판 (SS400)  $F_y=2400\text{kgf/cm}^2$
- 앵커  $F_y=3000\text{kgf/cm}^2$

#### 3.4.2 형상



#### 3.4.3 각부의 설계

##### 1) 힘의 평형방정식



연직 방향의 힘의 평형방정식에 의해

$$T=R \quad (3.11)$$

인장력 T (CFS 20 type×2접)의 산출

$$\begin{aligned} T' &= \sigma_{cf} \times A_{cf} \\ &= 23000\text{kgf/cm}^2 \times 0.0111\text{cm}^2/\text{cm} \times 2\text{접} \\ &= 510.6\text{kgf/cm}\text{폭} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= T' \times W = 510.6\text{kgf/cm} \times 20\text{cm} \\ &= 10212\text{kgf} \end{aligned}$$

식 (3.11)에 의한 앵커볼트 반력 R의 산출

$$R=10212\text{kgf}$$

##### 2) CFS와 Flat bar의 정착 검토

Flat bar 15cm폭에서 정착할 경우의 인장전단응력도

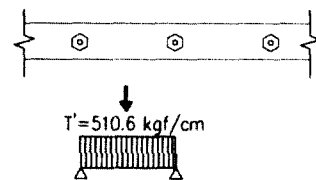
$$\begin{aligned} \tau &= T' / A = (510.6\text{kgf/cm}\text{폭}) / (1\text{cm}\text{폭} \times 15\text{cm}) \\ &= 34.04\text{kgf/cm}^2 \quad \langle 40\text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

##### 3) Flat bar의 인장응력도 검토

$$\begin{aligned} \sigma_t &= T' / A = (510.6\text{kgf/cm}\text{폭}) / (1\text{cm} \times 1.0\text{cm}) \\ &= 510.6\text{kgf/cm}^2 \quad \langle 2400\text{kgf/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

##### 4) Flat bar의 휨, 전단 검토

단순보로써 산출 · 검토



단면 2차모멘트

$$\begin{aligned} I_x &= 1.0 \times 15^3 / 12 \\ &= 281.25\text{cm}^4 \end{aligned}$$

단면성능

$$\begin{aligned} Z_x &= I_x / y_o = 281.25 / 7.5 \\ &= 37.5\text{cm}^3 \end{aligned}$$

모멘트

$$M = \omega \ell^2 / 8 = 510.6 \times 20^2 / 8$$

$$= 25530 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

휨응력도

$$\sigma_b = M / Z = 25530 \text{kgf} \cdot \text{cm} / 37.5 \text{cm}^3$$

$$= 680.8 \text{kgf} / \text{cm}^2 < 2400 \text{kgf} / \text{cm}^2 \dots \text{OK}$$

인장과 휨의 합성응력

$$\sigma_t + \sigma_b = 510.6 \text{kgf} / \text{cm}^2 + 680.8 \text{kgf} / \text{cm}^2$$

$$= 1191.40 \text{kgf} / \text{cm}^2 < 2400 \text{kgf} / \text{cm}^2 \dots \text{OK}$$

5) 앵커볼트의 설계

앵커볼트의 전단강도 ( $\phi 32 : A = 7.94 \text{cm}^2$ ) @200

$$P_s = 7.94 \text{cm}^2 \times (3000 \text{kgf} / \text{cm}^2) / \sqrt{3}$$

$$= 13752.48 \quad > R = 10212 \text{kgf} \dots \text{OK}$$

6) CFS의 단면결손 대책

① 앵커에 의한 단면결손을 보완하기 위해, Flat bar의 선단에서 20cm부분까지 CFS를 1겹 추가 하여, 3겹으로 한다.

② 2겹인 경우의 (40 $\phi$  결손의 유효단면/CFS 2겹 전단면)비율 =  $0.3552 / 0.444 = 0.8$

#### 4. 맺음말

탄소섬유시트의 단부고정 설계법이 4종류가 소개되고 있으나, 현실적으로 국내 현장에서는 Flat bar 보강법이 코스트 및 공사상의 편이성 때문에 계산상의 검증없이 주로 사용되어 왔다. 설계예제에서 보는 바와 같이 전단보강으로 CFS 20 type 2겹만 사용하여도 Flat bar 정착용 앵커볼트의 치수 및 간격이  $\phi 32 @ 200$ 이 필요하게 되므로 상당히 큰 치수의 앵커볼트의 사용이 요구되는 것으로 설계상 나타내고 있으므로 국내의 시공현실과 많은 괴리(乖離)를 느낀다. 또한, 단부균열과 주응력 발생 부위에 적용할 경우의 내력 저감 정도등의 현실적용에 문제점이 많음에 따라 본 설계예제는 실험을 통해 검증되어 사용되어야 할 필요성을 느끼며 글을 맺기로 한다.



③ 1겹 추가 보강후의 (유효단면/CFS 2겹 전단면)비율 =  $0.5328 / 0.444 = 1.21$