

### 3. 일반 PHC 말뚝의 설계 강도 산정

#### 1. 설계기준

PHC말뚝은 콘크리트 기준에서 다음 두가지를 따른다.

- KDS 14 20 60 : 2016 프리스트레스 콘크리트구조설계기준
- KDS 14 20 64 : 2016 구조용무근콘크리트 설계기준

가. KDS 14 20 60 : 2016 프리스트레스 콘크리트구조설계기준

#### 3.1.2 설계 가정

(1) 휨모멘트와 축력을 받는 프리스트레스콘크리트 부재의 강도설계는 KDS 14 20 20(4.1.1)의 가정에 따라야 한다. 다만, KDS 14 20 20(4.1.1,(4))의 규정은 긴장되지 않은 보강철근에만 적용하여야 한다.

(2) 프리스트레스를 도입할 때, 사용하중이 작용할 때, 그리고 균열하중이 작용할 때의 응력계산은 다음과 같은 가정에 근거한 선형탄성이론에 따라야 한다.

① 변형률은 중립축에서 떨어진 거리에 비례한다.

② 균열단면에서 콘크리트는 인장력에 저항할 수 없다.

(3) 프리스트레스콘크리트 휨부재는 미리 압축을 가한 인장구역에서 사용하중에 의한 인장연단응력  $f_t$  에 따라 다음과 같이 비균열등급, 부분균열등급, 완전균열등급으로 구분된다.

① 비균열등급 :  $f_t \leq 0.63 \sqrt{f_{ck}}$

② 부분균열등급 :  $0.63 \sqrt{f_{ck}} < f_t \leq 1.0 \sqrt{f_{ck}}$

③ 완전균열등급 :  $f_t > 1.0 \sqrt{f_{ck}}$

그리고 2방향 프리스트레스콘크리트 슬래브는  $f_t \leq 0.5 \sqrt{f_{ck}}$  를 만족하는 비균열등급 부재로 설계되어야 한다.

(4) 비균열등급과 부분균열등급 휨부재의 사용하중에 의한 응력은 비균열단면을 사용하여 계산하여야 한다. 완전균열단면 휨부재의 사용하중에 의한 응력은 KDS 14 20 30(4.2.3(2))에 따라 균열 환산단면을 사용하여 계산하여야 한다.

(5) 프리스트레스콘크리트 휨부재의 처짐은 KDS 14 20 30(4.2.3)에 따라 계산하여야 한다.

나. KDS 14 20 64 : 2016 구조용무근콘크리트 설계기준

#### 3.2 강도

(1) 휨모멘트를 받는 단면의 설계는 식 (4.2-1)의 조건에 만족하도록 하여야 한다.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (4.2-1)$$

여기서, 인장이 지배적일 경우에  $M_n$ 은 식 (4.2-2)에 의하여 계산되며, 압축이 지배적일 경우에는 식 (4.2-3)에 의해 계산한다.

$$M_n = 0.42\lambda \sqrt{f_{ck}} S_m \quad (4.2-2)$$

$$M_n = 0.85 f_{ck} S_m \quad (4.2-3)$$

여기서,  $S_m$ 은 단면계수이다.

(2) 압축력을 받는 단면의 설계는 식 (4.2-4)의 조건에 만족하도록 하여야 한다.

$$\phi P_n \geq P_u \quad (4.2-4)$$

여기서,  $P_n$ 은 식 (4.2-5)에 의하여 계산되는 공칭축강도이다.

$$P_n = 0.60f_{ck} \left[ 1 - \left( \frac{l_c}{32h} \right)^2 \right] A_1 \quad (4.2-5)$$

여기서,  $A_1$ 은 재하면적이다.

(3) 휨모멘트와 축력을 동시에 받고 있는 부재는 압축면에서 식 (4.2-6)을 만족하도록 설계하여야 한다.

$$P_u/\phi P_n + M_u/\phi M_n \leq 1 \quad (4.2-6)$$

그리고 인장면에서 식 (4.2-7)을 만족하여야 한다.

$$M_u/S_m - P_u/A_g \leq 0.42\phi\lambda\sqrt{f_{ck}} \quad (4.2-7)$$

(4) 전단력에 대한 직사각형 단면의 설계는 식 (4.2-8)의 조건에 만족하도록 하여야 한다.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (4.2-8)$$

여기서,  $V_n$ 은 식 (4.2-9), 식 (4.2-10)에 따라 계산하여야 한다.

① 보작용에 대해서 :

$$V_n = 0.11\lambda\sqrt{f_{ck}}bh \quad (4.2-9)$$

② 2방향 작용에 대해서 :

$$V_n = 0.11 \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f_{ck}} b_0 h \leq 0.22\lambda\sqrt{f_{ck}} b_0 h \quad (4.2-10)$$

여기서,  $\beta_c$ 는 집중하중 또는 반력부의 단변 길이에 대한 장변 길이의 비이다.

(5) 압축력을 받는 지압부의 설계는 식 (4.2-11)의 조건에 만족하도록 하여야 한다.

$$\phi B_n \geq P_u \quad (4.2-11)$$

여기서,  $P_u$ 는 계수지압력이고,  $B_n$ 은 식 (4.2-12)에 따라 계산되는 재하면적  $A_1$ 의 공칭지압강도이다.

$$B_n = 0.85f_{ck}A_1 \quad (4.2-12)$$

모든 면에서 받침부의 면적이 재하면적보다 넓은 경우를 제외하고, 재하면적의 공칭지압강도  $B_n$ 에 2를 초과하지 않는 범위 내에서  $\sqrt{A_2/A_1}$ 를 곱하여 구할 수 있다.

(6) 이 기준에서 경량콘크리트에 대한 수정계수  $\lambda$ 는 특별히 언급되지 않는 한 KDS 14 20 10(4.4)에 따른다.

### 3.3 벽체

#### 3.3.1 설계 일반

(1) 구조용 무근콘크리트 벽체는 지반, 기초판, 기초벽, 지중보 또는 수직연속지지 부재로 거동할 수 있는 다른 구조 부재에 의해 연속으로 지지되어야 한다.

(2) 구조용 무근콘크리트 벽체는 벽체가 받고 있는 연직하중, 횡하중 그리고 다른 모든 하중을 고려하여 설계하여야 한다.

(3) 구조용 무근콘크리트 벽체는 축하중에 의해 발생하는 최대 계수휨모멘트에 대응하는 편심에 대하여 설계하여야 한다. 이때 편심은  $0.10h$  이상이다. 만약 모든 계수축력의 합력이 벽체 전체 두께의 중앙 1/3 이내에 위치하는 경우 4.2(2) 또는 4.3.2에 따라 설계할 수 있다. 그렇지 않은 경우 벽체의 설계는 4.2(3)에 따라야 한다.

(4) 전단에 대한 설계는 4.2(4)에 따라야 한다.

$A_g$  : 단면의 전체 면적, mm<sup>2</sup>

$A_1$  : 재하면적, mm<sup>2</sup>

$A_2$  : 윗면이 재하되고 측면 기울기가 수직 1에 대하여 수평 2인 지점 내부에 완전한 형태로 구성되는 피라미드, 원추 또는 쐐기의 가장 큰 절단체 밑면의 면적, mm<sup>2</sup>

- $b$  : 부재폭, mm
- $b_0$  : 기초판에서 전단에 대한 위험단면의 둘레길이, mm
- $B_n$  : 재하면적  $A_1$ 의 공칭지압강도
- $f_{ck}$  : 콘크리트의 설계기준압축강도, MPa
- $h$  : 부재의 전체 두께, mm
- $l_c$  : 받침점 사이의 수직거리, mm
- $M_n$  : 단면의 공칭휨강도
- $M_u$  : 단면의 계수휨모멘트
- $P_n$  : 단면의 공칭축강도
- $P_{nw}$  : 4.3에 의해 설계된 벽체의 공칭축강도
- $P_u$  : 주어진 편심에 대한 계수축력
- $S_m$  : 단면계수, mm<sup>3</sup>
- $V_n$  : 단면의 공칭전단강도
- $V_u$  : 단면의 계수전단력
- $\beta_c$  : 집중 또는 반력의 작용면에서 짧은 변에 대한 긴 변의 비
- $\lambda$  : 경량콘크리트계수(KDS 14 20 10(4.4) 참조)

## 2. 일반 PHC 공칭강도 설계

일반 PHC말뚝은 구조용 무근 콘크리트로서 강도설계법을 따라 설계하여야 하며, 프리스트레스 하중은 공칭 하중으로 산정하여야 한다. 각 조건에서의 하중조합표에 따른다.

$$\phi P_n \geq P_u$$

위의 식에서 계수하중에 의한 축력을 다음의 하중조합표에서 사하중D의 계수 하중을 곱하여 추가한다.

$$P_u = P_u + (1.4 \text{ or } 1.2)T$$

### 1.5.1 강도설계법 또는 한계상태설계법의 하중조합

(1) 강도설계법 또는 한계상태설계법으로 구조물을 설계하는 경우에는 다음의 하중조합으로 소요강도를 구하여야 한다.

$$1.4(D+F) \tag{1.5-1}$$

$$1.2(D+F+T)+1.6L+0.5(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R) \tag{1.5-2}$$

$$1.2D+1.6(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R)+(1.0L \text{ 또는 } 0.65W) \tag{1.5-3}$$

$$1.2D+1.3W+1.0L+0.5(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R) \tag{1.5-4}$$

$$1.2D+1.0E+1.0L+0.2S \tag{1.5-5}$$

$$0.9D+1.3W \tag{1.5-6}$$

$$0.9D+1.0E \tag{1.5-7}$$

PHC말뚝의 공칭 강도는  $\phi P_n$ 은 무근콘크리트의 휨모멘트와 압축을 받는 구조로 감소계수 0.55를 적용하여 산정한다.

### 3.3 설계강도

- (1) 구조물의 부재, 부재 간의 연결부 및 각 부재 단면의 휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트에 대한 설계강도는 이 기준의 규정과 가정에 따라 정해지는 공칭강도에 다음 (2)의 강도감소계수  $\phi$ 를 곱한 값으로 하여야 한다.
- (2) 강도감소계수는 다음 규정에 따라야 한다.
- ① KDS 14 20 20(4.1.2(4))에 정의된 인장지배단면 0.85
  - ② KDS 14 20 20(4.1.2(3))에 정의된 압축지배단면
    - 가. 나선철근 규정에 따라 나선철근으로 보강된 철근콘크리트 부재 0.70
    - 나. 그 외의 철근콘크리트 부재 0.65
    - 다. 공칭강도에서 최외단 인장철근의 순인장변형률  $\varepsilon_t$ 가 압축지배와 인장지배단면 사이일 경우에는,  $\varepsilon_t$ 가 압축지배변형률 한계에서 인장지배변형률 한계로 증가함에 따라  $\phi$ 값을 압축지배 단면에 대한 값에서 0.85까지 증가시킨다.
  - ③ 전단력과 비틀림모멘트 0.75
  - ④ 콘크리트의 지압력(포스트텐션 정착부나 스트럿-타이 모델은 제외) 0.65
  - ⑤ 포스트텐션 정착구역 0.85
  - ⑥ 스트럿-타이 모델에서
    - 가. 스트럿, 절점부 및 지압부 0.75
    - 나. 타이 0.85
  - ⑦ 긴장재 물힘길이가 정착길이보다 작은 프리텐션 부재의 휨 단면
    - 가. 부재의 단부부터 전달길이 단부까지 0.75
    - 나. 전달길이 단부부터 정착길이 단부 사이의  $\phi$ 값은 0.75에서 0.85까지 선형적으로 증가시킨다. 다만, 긴장재가 부재 단부까지 부착되지 않은 경우에는 부착력 저하 길이의 끝부터 긴장재가 매입된다고 가정하여야 한다.
  - ⑧ 무근콘크리트의 휨모멘트, 압축력, 전단력, 지압력 0.55

공칭강도는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$P_n = 0.60f_{ck} \left[ 1 - \left( \frac{l_c}{32h} \right)^2 \right] A_1$$

$h$  : 부재의 전체 두께, mm

$l_c$  : 받침점 사이의 수직거리, mm

$A_1$  : 재하면적, mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  : 콘크리트의 설계기준압축강도, MPa

말뚝길이  $L=10\text{m}$ 인 경우 양단 고정으로 가장하면  $0.5L$ 로 산정한다.

$$l_e = 0.5L = 0.5 \times 10 \times 1000 = 5000\text{mm}$$

말뚝  $D=500\text{mm}$ ,  $t=80\text{mm}$ 인 경우 다음과 가탈.

$$A_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi(500^2 - 340^2)}{4} = 105404$$

$f_{ck} = 78.5\text{MPa}$

$$P_n = 0.60 \times 78.5 \left[ 1 - \left( \frac{5000}{32 \times 500} \right)^2 \right] \times 105404 = 4479711 \text{ N}$$

공칭강도는 다음과 같다.

$$\phi P_n = 0.55 P_n = 0.55 \times 4479711 = 2463841 N = 2463.4 kN$$

프리텐션에 대한 강도를 미리 고려한다면 다음과 같이 할 수 있다.

종류	T(Mpa)	A(mm <sup>2</sup> )	Pt(kN)	1.4Pt(kN)	공칭설계강도(kN)
TYPE-A	3.92	105600	413.952	579.532	1883.87
TYPE-B	7.85	105600	828.960	1160.544	1302.86
TYPE-C	9.81	105600	1035.936	1450.310	1013.09

외경 D(mm)	두께 t(mm)	종별	기준휨 모멘트 (N=0)		콘크리트 단면적 A <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> )	완산 단면적 A <sub>o</sub> (cm <sup>2</sup> )	완산단면 2차모멘트 I <sub>e</sub> (cm <sup>4</sup> )
			균열M <sub>cr</sub> kN·m (tf·m)	파괴M <sub>u</sub> kN·m (tf·m)			
400	65	A	54.0(5.5)	81.4(8.3)	684	704	102,433
		B	73.6(7.5)	132.4(13.5)		722	104,964
		C	88.3(9.0)	176.6(18.0)		735	106,546
450	70	A	73.6(7.5)	110.8(11.3)	836	861	160,675
		B	107.9(11.0)	194.2(19.8)		887	165,198
		C	122.6(12.5)	245.2(25.0)		899	167,328
500	80	A	103.0(10.5)	155.0(15.8)	1,056	1,084	247,794
		B	147.2(15.0)	264.9(27.0)		1,113	253,900
		C	166.8(17.0)	335.5(34.0)		1,137	259,060
600	90	A	166.8(17.0)	250.2(25.5)	1,442	1,480	495,913
		B	245.2(25.0)	441.4(45.0)		1,519	508,398
		C	284.5(29.0)	569.0(58.0)		1,550	518,542
700	100	A	264.9(27.0)	397.3(40.5)	1,885	1,936	896,396
		B	372.8(38.0)	671.0(68.4)		1,993	920,394
		C	441.4(45.0)	882.9(90.0)		2,029	936,594
800	110	A	392.4(40.0)	588.6(60.0)	2,384	2,448	1,496,598
		B	539.6(55.0)	971.2(99.0)		2,519	1,535,476
		C	637.6(65.0)	1275(130.0)		2,564	1,562,248

※ KS F 4306(2003) 프리텐션형식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝  
 ※ 상기 PHC PILE 성능값은 참고치이며, 변동될 수 있음.

압축력과 휨력이 동시에 받는 경우는 다음과 같이 산정된다.

말뚝은 대부분 압축이 지배적인 경우가 많다. 압축 지배인 경우는 다음과 같다.

$$P_u / \phi P_n + M_u / \phi M_n \leq 1$$

여기서 모멘트 강도는 압축지배인 경우 다음과 같이 산정한다.

$$M_n = 0.85 f_{ck} S_m$$

말뚝의 단면계수는 다음과 같이 산정한다.

$$S_m = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi(500^4 - 340^4)}{32 \times 500} = 9643065.6$$



일반 PHC공칭 모멘트 강도는 다음과 같다.

$$M_n = 0.85 f_{ck} S_m = 0.85 \times 78.5 \times 9643065.6 \times 10^{-6} = 643.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

공칭 모멘트 강도는 다음과 같이 산정한다.

$$\phi M_n = 0.55 \times 643.43 = 353.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

따라서 지진시 일반 PHC말뚝의 공칭 강도는 다음과 같다.

$$P_u / \phi P_n + M_u / \phi M_n \leq 1$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{P_u}{1883.87} + \frac{M_u}{353.89} \leq 1$$

따라서, 계수축력이  $P_u = 1200 \text{ kN}$ , 계수모멘트  $M_u = 120 \text{ kN-m}$ 인 경우 다음과 같다.

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{1200}{1883.87} + \frac{120}{353.89} = 0.976 \leq 1$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{1000}{1883.87} + \frac{100}{353.89} = 0.813 \leq 1$$

일반 PHC말뚝은 지진발생시 최대 설계 강도는 계수축력

$P_u = 1000 \text{ kN}$ , 계수모멘트  $M_u = 100 \text{ kN-m}$ 로 계획 하여야 한다.

#### 4. 말뚝 자체 안정성 검토 해석

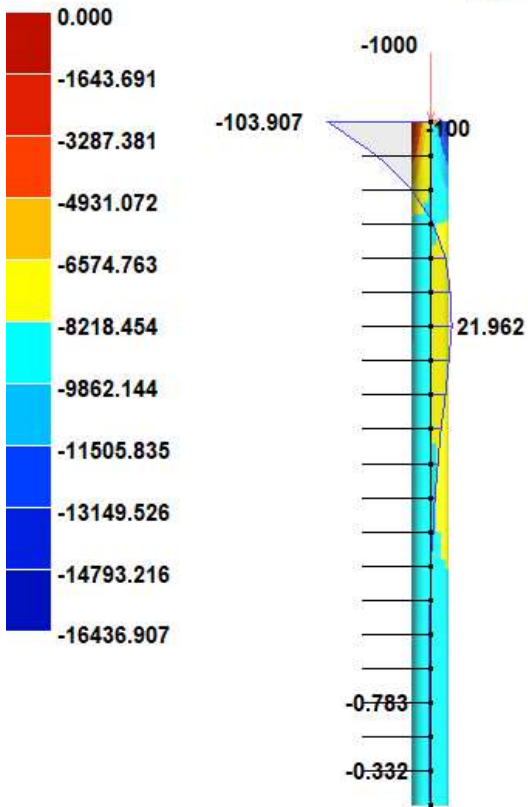
말뚝해석에서 수직력 1000kN과 수평력 100kN이 작용되는 경우 축력 1000kN과 모멘트 103.97 kN-m산정된다.



Contour: Combined Normal Stress

Max.=0  
Min.=-1.644e+004

Bending Moment Diagram  
Max. Value=21.962 (Element 14)  
Min. Value=-103.907 (Element 20)



일반 PHC말뚝은 지진 작용시 이 이상의 경우에는 NG로 파괴된다.