

철탑 콘크리트 기초강도 보강방안 분석

이경욱*, 박진태*, 김재준*, 황종선**
한국전력공사*, 전남도립대학**

Reinforcement Method of Tower Basement on Power Transmission Line

Kyoung-wook Lee*, Jin-tai Park*, Jae-Joon Kim*, Jong-sun Hwang**
Korea Electric Power Corporation*, Namdo Provincial College**

Abstract - 철탑기초의 콘크리트 압축강도가 Core시험결과 설계기준강도에 미달된 철탑기초에 대한 보강방안은 콘크리트의 강도가 부족함으로써 발생하는 콘크리트 기초 본체에 대한 문제로서 콘크리트의 허용편칭전단응력의 감소로 발생하는 기초 상판부의 두께 부족 문제와 앵카재의 소요길이 부족 등으로 압축시킬 수 있다. 이에 대한 대책으로써 편칭전단에 의한 기초 상판부 두께가 부족한 문제와 앵카재 길이 부족 문제에 대한 기초강도 보강방안을 분석하고자 한다.

1. 서 론

철탑기초의 콘크리트의 강도가 부족함으로써 발생하는 콘크리트 기초 본체에 대한 문제로서 콘크리트의 허용 편칭전단응력의 감소로 발생하는 기초 상판부의 두께 부족 문제와 앵카재의 소요길이 부족 등으로 압축시킬 수 있다. 이에 대한 대책으로써 1) 편칭전단에 의한 기초 상판부 두께가 부족한 문제로서 기초의 설계는 주체부에 전달된 압축력이 모두 주각재(Steel Angle)를 통하여 상판부의 중앙부에 매입된 앵카재에 직접 전달된다고 가정하여 편칭에 대한 저판의 두께를 산정하였다. 따라서 기 시공된 기초의 콘크리트 강도가 미달일 경우 기초를 해체 재시공하지 않고 편칭전단에 의한 상판부 두께 부족을 해소하기 위하여는 상부로부터 내려오는 하중의 일부를 분산하여 하중을 분담시켜야 한다. 따라서 기초 주체부 상단에 지압판(Bearing Plate)을 설치하여 상부에서 내려오는 하중의 일부(콘크리트의 지압응력으로 지지할 수 있을 정도)를 주체부의 콘크리트를 통하여 기초 저판에 직접 전달되도록 한다. 이 경우 편칭에 의한 저판의 두께 산정은 일반적인 확대기초의 검토 방법에 따라 산정한다. 2) 앵카재의 길이 부족 문제로서 앵카재의 길이는 콘크리트의 두께로 결정되는 길이와 앵카재의 부담하중으로 결정되는 길이 등 두 가지 경우로 검토되며, 그 중 앵카재의 부담하중으로 앵카재의 길이가 부족한 경우는 거의 없고, 인발력이나 압축력이 작용할 경우에 크게 지배를 받는다. 그러므로 압축시는 1)의 경우와 같이 주체부 상단에 지압판을 설치함으로써 앵카재에 전달되는 하중을 줄여서 보강하고, 인발력에 의하여 부족한 경우는 상판부 상단에 콘크리트를 추가 타설하여 콘크리트의 두께를 크게하여 보강하는데, 위의 방법을 이용할 경우 인발과 압축하중으로 요구되는 앵카재의 길이 조건을 대부분 만족시킬 수 있다.

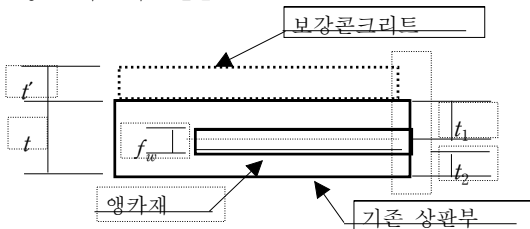
2. 본 론

2.1 앵카재 보강 검토

2.1.1 인발력에 의한 앵카재 길이 부족의 보강

콘크리트 압축강도 미달로 인한 앵카재 길이 부족의 보강은, 기 시공된 기초 상판부 상부에 보강콘크리트를 추가 타설하여 상판부 두께(t)를 증가시키는 방법으로 응력을 검토한다.

(1) 보강콘크리트 시공 단면



<그림 1> 시공 단면

(2) 보강두께의 결정 : t=20cm, L_{c1} = 165cm일 때 산출된 보강두께가

8.6cm이지만 철근배근시 최소 피복 두께를 확보하고 안전성을 고려하여 20cm의 두께로 보강콘크리트를 타설한다.

(3) 기초 상판부 보강콘크리트 두께의 산출

$$L_{c1} = \frac{2}{3} \times \frac{T_a}{1.61 \times t_1 \times \tau_{ca}} \text{의 식에서 } L_{c1} \geq L \text{의}$$

조건을 만족시키면 되므로 $L_{c1} = 165\text{cm}$ 일 때의

$$\text{두께를 산출 } L_{c1} = \frac{2}{3} \times \frac{T_a}{1.61 \times (t_1 + t) \times \tau_{ca}}$$

$$\therefore t = \frac{2}{3} \times \frac{T_a}{1.61 \times L_{c1} \times \tau_{ca}} - t_1$$

$$= \frac{2}{3} \times \frac{81.252}{1.61 \times 165 \times 5.29} - 30 \approx 8.6\text{cm}$$

(4) 보강콘크리트의 철근배근은 기존 상판부의 설계 응력과 동일한 단위 당 구조강도를 요하므로 철근의 배근은 기존 상판부와 같게 한다.

2.1.2 압축력에 의한 앵카재 길이 부족의 보강

앵카재 밑면의 콘크리트 두께를 증가시킬 수는 없어, 주체부 상단에 지압판을 설치 하므로써 상부에서 내려오는 하중이 주각재를 통하여 전부 앵카재로만 전달되지 않고 일부는 주체부의 콘크리트를 통하여 기초 저판에 전달되도록 하중을 분산한다.

(1) 기 시공된 앵카재가 부담하는 정착력 (C_a)

$$L_{c1} = \frac{2}{3} \times \frac{C_a}{1.61 \times t_2 \times \tau_{ca}} \text{의 식에서 앵카재의 길이}$$

L_{c1} 은 165cm로 시공되어져 있으므로

$$C_a = \frac{3}{2} \times 1.61 \times t_2 \times \tau_{ca} \times L_{c1}$$

$$= \frac{3}{2} \times 1.61 \times 40 \times 5.29 \times 165 \approx 84,317\text{kg}$$

(2) 지압판이 부담해야 하는 압축력 (C_a')

$$C_a' = C - R_a - C_a = 177,100 - 78,848 - 84,317 = 13,935\text{kg}$$

(3) 지압판의 필요면적 (A_b)

$$C_a' = \sigma_{ca} \times A_b \text{의 식에서 안전측으로 } SF = 2 \text{를 적용}$$

$$\sigma_{ca} = 0.25 \sigma_{ck} = 0.25 \times 111.9 = 27.98\text{kg/cm}^2$$

$$A_b = \frac{SF \cdot C_a'}{\sigma_{ca}} = \frac{2 \times 13,935}{27.98} = 996.07\text{cm}^2$$

2.2 상판부의 편칭 (Punching) 전단응력 부족에 대한 보강 검토

편칭전단응력에 대한 보강은 상판부의 유효두께 d_t 를 크게하면 보강이 되며, 이는 “인발력에 의한 앵카재 길이 부족의 보강”에서 상판부 위에 보강 콘크리트를 20cm 추가 타설하는 것을 바탕으로 검토한다.

(1) 상판부에 보강 콘크리트를 20cm 추가 타설하면 상판부 콘크리트의 허용편칭 전단응력 (τ_{pa})이 상부로 부터의 연직하중에 의하여 상판부에 작용하는 편칭전단응력 (τ_p)보다 크게되므로 보강방법으로 적합하다.

(2) 상판부 유효두께 (d_t)

$$d_t = (t + 20) - 2d_c = (80 + 20) - 2 \times 8 = 84\text{cm}$$

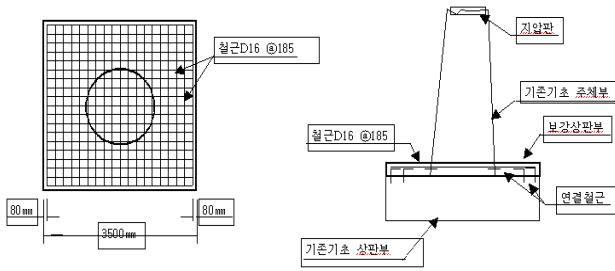
(3) 상판부에 작용하는 편칭전단응력 (τ_p)

$$\tau_p = \frac{P'}{(b_o + \pi \cdot d_t) d_t} = \frac{186.610}{(294.53 + \pi \times 84) \times 84} = 3.98\text{kg/cm}^2$$

$\therefore \tau_p = 3.98\text{kg/cm}^2 < \tau_{pa} = 5.29\text{kg/cm}^2$ 이므로 양호하다.

2.3 검토결과 보강규격

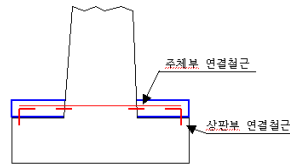
보강상판부의 두께 20cm, 보강부 철근배근 D16 철근을 185mm 간격의 격자형으로 배근, 철근의 피복두께 8cm, 신·구콘크리트의 접합은 연결 철근에 의한 접합, 주체부 상단에 지압판을 설치한다.



〈그림 2〉 보강부 철근 배근도

2.4 보강부 신규 콘크리트의 접합

기 시공되어 양생이 완료된 기초위에 새 콘크리트를 타설하면 구조적으로 일체가 되지 않는다. 그러므로 신·구 콘크리트의 구조적 일체화를 위하여 연결철근을 [그림3]과 같이 시공하도록 한다.



〈그림 3〉 보강부 접합

2.4.1 기존 주체부와 보강부콘크리트의 접합

(1) 전단면에 작용하는 설계연직하중 (P)은 압축하중과 인발하중 중 큰 쪽을 적용한다. $P = C + W_{c1} = 177100 + 9510 = 186,610\text{kg}$

$$P = T - W_{c1} = 160100 - 9510 = 150,590\text{kg}$$

(2) 보강부콘크리트가 부담하는 하중 (P')

$$P' = \frac{P}{t+t'} \times t' = \frac{186610}{80+20} \times 20 = 37,322\text{kg}$$

(3) 전단 연결철근량 산출

○ 전단면에 작용하는 최대전단강도 (S_n)

$$S_n = \text{하중계수} \times P' = 1.8 \times 37322 = 67,180\text{kg}$$

○ 전단면의 연결철근 단면적 (A_{vf})

전단마찰철근이 전단면에 수직할 경우 $S_n = A_{vf} \cdot \sigma_y \cdot \mu$ 이므로

$$A_{vf} = \frac{S_n}{\sigma_y \cdot \mu} = \frac{67180}{3000 \times 0.6} = 37.322\text{cm}^2$$

○ 연결철근량 (A_s)

$$A_s = \frac{A_{vf}}{1.986} = \frac{37.322}{1.986} = 18.79\text{개} \quad \therefore \text{연결철근은 20개}$$

(4) 연결철근의 보강부콘크리트내 정착길이 (l_d)

$$l_d = \frac{0.06 \cdot A_b \cdot \sigma_y}{\sqrt{\sigma_{ck}}} \geq 0.006 \cdot d_b \cdot \sigma_y$$

$$l_d = \frac{0.06 \cdot A_b \cdot \sigma_y}{\sqrt{\sigma_{ck}}} = \frac{0.06 \times 1.986 \times 3000}{\sqrt{180}} = 26.65\text{cm}$$

$$l_d = 0.006 \cdot d_b \cdot \sigma_y = 0.006 \times 1.6 \times 3000 = 28.8\text{cm} \quad \therefore \text{정착길이는 30cm}$$

(5) 연결철근의 주체부에 관입되는 깊이 (l_p)

○ 주체부에 $\Phi 3\text{cm}$ 의 구멍을 천공한 후 연결철근을 삽입하고 무수축물탈(Epoxy강도는 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상)을 충전한다.

○ 무수축물탈과 철근의 부착길이 (l_{p1})

$$\sigma_b = \frac{1}{15} \sigma_{ck}'' = \frac{1}{15} \times 400 = 26.67\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_p = \frac{S_n}{\text{연결철근}} = \frac{67180}{20} = 3,359\text{kg}/\text{본}$$

(연결철근이 20본이면 부착길이가 지나치게 길므로 재계산)

$$R_p = \frac{S_n}{\text{연결철근}} = \frac{67180}{45} = 1,493\text{kg}/\text{본}$$

$$l_{p1} = \frac{R_p}{\pi \cdot d_b \cdot \sigma_b} = \frac{1493}{\pi \times 1.6 \times 26.67} = 11.14\text{cm}$$

○ 콘크리트와 무수축물탈과의 부착길이 (l_{p2})

$$\tau_b = 0.8 \sqrt{\sigma_{ck}'} = 0.8 \times \sqrt{111.9} = 8.46\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$l_{p2} = \frac{R_p}{\pi \cdot d_b \cdot \tau_b} = \frac{1493}{\pi \times 3 \times 8.46} = 18.72\text{cm} \quad \therefore \text{관입깊이 } l_p = 20\text{cm}$$

(6) 연결철근의 시공방법 결정

연결철근수량 45본, 연결철근의 보강부내 정착길이 50cm(산출길이는 30cm이지만 보강부 주철근과의 결속을 쉽게 하기 위하여 50cm로 함), 연결철근의 주체부에 관입되는 깊이 20cm, 연결철근의 주체부 관입 구멍의 규격 $\Phi 3\text{cm}$, 연결철근의 규격 $D16$ 이다. 주체부에 천공한 구멍은 연결철근을 삽입후 무수축물탈을 충전하며, 구멍을 천공시 주체부 철근이 손상되지 않도록 유의하고, 천공구멍간 간격은 최소철근 간격(200mm)이상 유지하도록 한다

(7) 신·구콘크리트 접합부의 최대전단강도 검토

○ 콘크리트의 전단면적 (A_c)

$$A_c = \frac{h'}{2} (\pi b + \pi b_1) = \frac{20}{2} (\pi \times 148 + \pi \times 144) = 9,173.45\text{cm}^2$$

○ 전단면의 최대전단강도 (S_n')

$$\text{검토조건} : S_n' \geq S_n$$

$$S_n' = 0.2 \sigma_{ck}' A_c \text{ 또는 } 56A_c \text{ 중 작은 하중으로 검토}$$

$$S_n' = 0.2 \sigma_{ck}' A_c = 0.2 \times 111.9 \times 9173.45 = 205,302\text{kg}$$

$\therefore S_n' = 205,302\text{kg} > S_n = 67,180\text{kg}$ 이므로 양호하다.

2.4.2 기존 상판부와 보강부콘크리트의 접합

(1) 전단면에 작용하는 설계연직하중 $P = 186,610\text{kg}$,

보강부콘크리트가 부담하는 하중 $P' = 37,322\text{kg}$,

전단면에 작용하는 최대전단강도 $S_n = 67,180\text{kg}$

전단면의 연결철근 단면적 (A_{vf}) = $\frac{S_n}{\sigma_{sa}} = \frac{67180}{1500} = 44.79\text{cm}^2$

(2) 연결철근량 (A_s) = $\frac{A_{vf}}{1.986} = \frac{44.79}{1.986} = 22.55\text{개}$

\therefore 연결철근은 최소 철근간격을 고려 56개를 시공한다.

(3) 연결철근의 보강부콘크리트내 정착길이 (l_d)

$$l_d = \frac{0.06 \cdot A_b \cdot \sigma_y}{\sqrt{\sigma_{ck}}} \geq 0.006 \cdot d_b \cdot \sigma_y$$

$$l_d = \frac{0.06 \cdot A_b \cdot \sigma_y}{\sqrt{\sigma_{ck}}} = \frac{0.06 \times 1.986 \times 3000}{\sqrt{180}} = 26.65\text{cm}$$

$$l_d = 0.006 \cdot d_b \cdot \sigma_y = 0.006 \times 1.6 \times 3000 = 28.8\text{cm}$$

\therefore 정착길이는 30cm

(4) 연결철근이 기존 상판부에 관입되는 깊이 (l_p)

○ 주체부에 $\Phi 3\text{cm}$ 의 구멍을 천공한 후 연결철근을 삽입하고 무수축물탈(Epoxy강도는 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상)을 충전한다.

3. 결 론

이상과 같이 검토한 내용은 이미 건설되어 하자기간이 경과되었고 운전중인 송전선로의 철탑기초를 대상으로 하는 것으로서, 위와 같은 방법이 아니면 부실한 기초를 보강할 수 있는 방법이 없을 경우에 불가피하게 선택하는 시공방법이라 할 수 있다. 즉 앞으로 건설되는 송전선로의 철탑기초는 절대 콘크리트 압축강도가 설계기준강도 ($180\text{kg}/\text{cm}^2$)에 미달되지 시공되어서는 아니된다는 뜻으로서, 건설중 또는 하자기간이 경과되기 전에 콘크리트 압축강도가 부실하게 시공된 사실이 발견되었다면 특별한 사유가 없는 한 보강의 방법보다는 재시공의 방법을 선택하는 것이 현명하다 하겠다. 철탑기초 중 무근콘크리트 기초나 또는 철근콘크리트의 경우도 현재의 표준설계방식이 아니고 최소 철근량만으로 시공된 철탑기초에서 콘크리트 압축강도가 미달되고 있으면 위와 같은 보강의 방법보다는 기초 주체부는 해체, 상판부는 확대기초로 재시공하는 방법을 선택하여야 한다. 기존 송전선로 중 기초가 부실하게 시공된 철탑은 콘크리트 압축강도 미달뿐만 아니라 상판부 규격 미달이 상당부분 있으므로 이 경우는 기존 기초를 완전히 해체하고 재시공해야 한다. 특히 이러한 기초는 앵카재 하부의 콘크리트 두께가 크게 미달되어 있거나 또는 콘크리트없이 앵카재가 지면에 직접 접촉된 상태로 있는 경우가 많다. 이러한 경우는 기존 앵카재 하부에 콘크리트를 다시 타설할 수 없으므로 기존 앵카재 상부의 적정 위치에 보강앵카재를 추가 설치한 후 상판부를 재시공해야 한다. 지압판이 외부에 노출된 상태로 있으면 미관상 좋지 않으므로 시공후 무수축물탈의 경화가 완전히 완료되도록 충분한 기간이 경과되면 콘크리트를 적상하여 보이지 않도록 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "가공송전용 철탑기초 설계기준", 2007.
- [2] KOPEC, "철탑기초 보강공사 종합개시운영보고서", 2006.