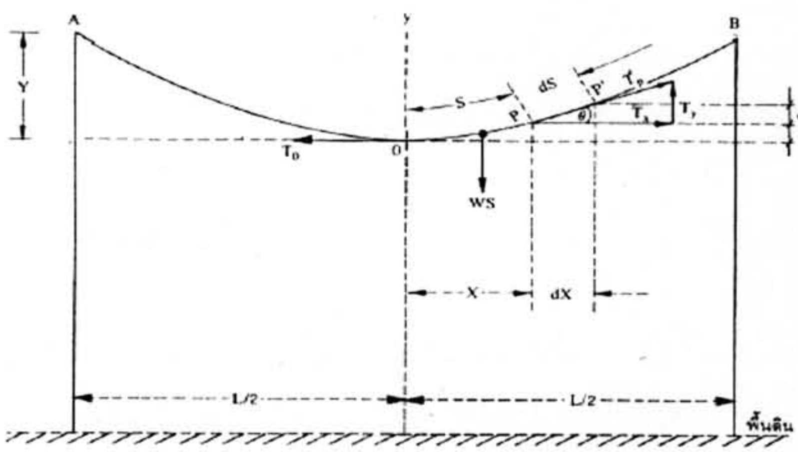
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหาระยะหย่อนและแรงดึงของสายไฟฟ้า

การขึงสายไฟฟ้าชนิดเหนือศีรษะในระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะต้องคำนึงถึงแรงดึง (tension) และระยะหย่อน (sag) ของสายว่าเหมาะสมกับขนาดของสายเพียงใด ในสภาวะปกติ แรงดึงและระยะหย่อนของสายมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักสายและระยะช่วงเสา (span) แต่ถ้าอุณหภูมิของสายเปลี่ยนแปลงหรือมีแรงอื่นกระทำบนสายไฟฟ้า เช่น น้ำฝน ลูกเห็บ หิมะ หรือลมพัด จะทำให้แรงดึงและระยะหย่อนของสายเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดสายไฟฟ้าจึงต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดังกล่าวได้



รูปที่ 2.1 แสดงระยะหย่อนและแรงดึงในสาย

2.1.1 **การหาระยะหย่อนและแรงดึงในสายเมื่อปักเสาไฟฟ้าระดับเดียวกัน** [4]

การพาดสายไฟฟ้าบนเสาที่มีความสูงระดับเดียวกัน จะทำให้แรงดึงของสายบนหัวเสาสมดุล และระยะหย่อนต่ำสุดของสายจะอยู่ตรงกึ่งกลางเสาพอดี รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าถ้าสายไฟฟ้าถูกยึดอยู่ที่จุด A และ B บนหัวเสาที่มีระยะช่วงเสาเท่ากับ L สายจะหย่อนเป็นรูปถ้วยหงาย (catenary) และมีจุดต่ำสุดอยู่ที่จุด O ถ้าตั้งแกน XY ขึ้นโดยให้ O เป็นจุดเริ่มต้น จะสามารถคำนวณหาแรงดึงของสายบนหัวเสา (T) ระยะหย่อนต่ำสุดของสาย (Y) และความยาวของสายตามแนวโค้ง ($2S$) ได้โดย

จากรูปที่ 2.1 กำหนดให้

T_0 = แรงดึงของสายในแนวระนาบที่จุด O (กิโลกรัม)

T = แรงดึงของสายบนหัวเสา (กิโลกรัม)

L = ระยะช่วงเสา (เมตร)

W = น้ำหนักสายต่อความยาว (กิโลกรัม/เมตร)

$2S$ = ความยาวของสายตามแนวโค้ง (เมตร)

θ = มุมระหว่างเส้นสัมผัสกับแนวระนาบ (เรเดียน)

σ = ความเค้นใช้งานของสาย (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของสาย (ตารางเซนติเมตร)

แรงดึงของสาย T ที่จุดใดๆจะหาได้จากความเค้นใช้งาน (working stress) ของสาย σ คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของสาย A

หรือ

$$T = \sigma A \tag{2.1}$$

ถ้าให้ T_P เป็นแรงดึงในสายที่จุด P และทำมุม θ กับแนวระนาบ อาจแตกแรงนี้ออกได้เป็น 2 แนว คือ แรงตามแนวแกน X และแรงตามแนวแกน Y ขนาดของแรงสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$T_X = T_P \cos\theta \tag{2.2}$$

$$T_Y = T_P \sin\theta \tag{2.3}$$

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าที่จุด O จะไม่มีแรงดึงในแนว Y แต่มีแรงดึงตามแนวแกน X เท่ากับ T_0 และที่ความยาวของสายตามแนวโค้ง OP จะมีน้ำหนักตกตามแนวแกน Y เท่ากับ WS ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแรงที่กระทำบนสาย OP ขณะอยู่ในสภาวะสมดุลจะมีค่าตามสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$T_X = T_0 \tag{2.4}$$

$$T_Y = WS \tag{2.5}$$

ความชัน (slope) ของแรง T_P จะหาได้จากการนำสมการที่ 2.5 หารด้วยสมการที่ 2.4

$$\left.\begin{aligned} tan\theta &= \frac{T_Y}{T_X} \\ tan\theta &= \frac{WS}{T_0} \end{aligned}\right\} \qquad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกันที่ความยาว *dS* ระหว่างจุด P และ P' ก็สามารถแตกแรงตามแนวแกน X และแกน Y ได้เป็น *dX* และ *dY* ตามลำดับ

$$tan\theta = \frac{dY}{dX}$$

$$= \frac{WS}{T_0} \qquad (2.7)$$

จากรูป
$$dS = \sqrt{(dX)^2 + (dY)^2}$$
$$= dX\sqrt{1 + (dY/dX)^2}$$
$$= dX\sqrt{1 + (WS/T_0)^2}$$

หรือ
$$dX = \frac{dS}{\sqrt{1 + (WS/T_0)^2}}$$

และ
$$X = \int \frac{dS}{\sqrt{1 + (WS/T_0)^2}}$$
$$= \frac{T_0}{W} sinh^{-1}(\frac{WS}{T_0}) + C_1 \qquad (2.8)$$

เมื่อ C_1 คือ ตัวคงที่ของการอินทิเกรต ถ้ารู้สภาวะเริ่มต้น (initial condition) ก็จะสามารถหาค่าดังกล่าวได้

จากสภาวะเริ่มต้น จะเห็นว่าที่ X = 0 ความยาว *S* จะมีค่าเท่ากับ 0 ด้วย เมื่อแทนค่านี้ลงในสมการที่ (2.8) จะได้ $C_1 = 0$ นั่นคือสมการที่แท้จริงของสมการที่ 2.8 คือ

$$X = \frac{T_0}{W} sinh^{-1}(\frac{WS}{T_0})$$

หรือ

$$\frac{WX}{T_0} = sinh^{-1}\left(\frac{WS}{T_0}\right)$$

และ

$$S = \frac{T_0}{W} sinh\left(\frac{WX}{T_0}\right) \qquad (2.9)$$

แทนค่าสมการที่ 2.9 ลงในสมการที่ 2.7 จะได้

$$\frac{dY}{dX} = sinh\left(\frac{WX}{T_0}\right)$$

หรือ

$$Y = \int sinh\left(\frac{WX}{T_0}\right) dX$$

$$= \frac{T_0}{W} cosh\left(\frac{WX}{T_0}\right) + C_2 \qquad (2.10)$$

จากรูปที่ 2.1 ที่สภาวะเริ่มต้นจะเห็นว่าที่ X = 0 และความสูง Y = 0 เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 2.10 จะได้ $C_2 = -T_0 / W$ นั่นคือสมการที่แท้จริงของสมการที่ 2.10 คือ

$$Y = \frac{T_0}{W}\left[cosh\left(\frac{WX}{T_0}\right) - 1\right] \qquad (2.11)$$

แต่แรงดึง

$$T_P = \sqrt{T_X^2 + T_Y^2}$$

$$= \sqrt{T_0^2 + (WS)^2} \qquad (2.12)$$

แทนค่าสมการที่ 2.9 ลงในสมการที่ 2.12 จะได้

$$T_P = \sqrt{T_0^2 + T_0^2 \sinh^2\left(\frac{WX}{T_0}\right)}$$

$$= \sqrt{T_0^2\left[1 + \sinh^2\left(\frac{WX}{T_0}\right)\right]}$$

$$= T_0 \cosh\left(\frac{WX}{T_0}\right) \qquad (2.13)$$

เนื่องจากค่า sinh X และ cosh X สามารถกระจายออกเป็นเลขอนุกรมได้ดังนี้ คือ

$$\sinh X = X + \frac{X^3}{3!} + \frac{X^5}{5!} + \frac{X^7}{7!} + ...$$

$$\cosh X = X + \frac{X^2}{2!} + \frac{X^4}{4!} + \frac{X^6}{6!} + ...$$

เมื่อ n! คือแฟกทอเรียลเอ็น (factorial n)

ซึ่ง n! มีค่า = n(n-1)(n-2)…x 3 x 2 x 1

ดังนั้น 3! = 3 x 2 x 1 = 6

2! = 2 x 1 = 1

1! = 1

0! = 1

จากเลขอนุกรมของไฮเพอร์โบลิกฟังก์ชัน จะเห็นได้ว่าเลขอนุกรมตำแหน่งหลัง ๆ มีค่าลดลง เนื่องจากแฟกทอเรียลมีค่าสูงขึ้นสำหรับในการหาค่าโดยประมาณ อาจใช้ตัวเลขอนุกรมเพียง 2 ตำแหน่งแรกไปคำนวณก็เพียงพอแล้ว

ค่าโดยประมาณของ $\sinh\left(\frac{WX}{T_0}\right)$ และ $\cosh\left(\frac{WX}{T_0}\right)$ มีค่าดังนี้คือ

$$\sinh\left(\frac{WX}{T_0}\right) = \frac{WX}{T_0} + \frac{1}{6}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^3 \qquad (2.14)$$

$$cosh\left(\frac{WX}{T_0}\right) = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^2 \tag{2.15}$$

แทนค่าสมการที่ 2.14 ลงในสมการที่ 2.9 จะได้

$$\begin{aligned} S &= X + \frac{W^2X^3}{6T_0^2} \\ &= X\left[1 + \frac{1}{6}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^2\right] \end{aligned} \tag{2.16}$$

ถ้าแทนค่าสมการที่ (2.15) ลงในสมการที่ (2.11) และ (2.13) จะได้

$$\begin{aligned} Y &= \frac{T_0}{W}\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^2 - 1\right] \\ &= \frac{WX^2}{2T_0} \end{aligned} \tag{2.17}$$

และ

$$T_P = T_0\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^2\right] \tag{2.18}$$

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าค่าของความยาวตามแนวเส้นโค้ง S ระยะหย่อน Y และแรงดึง T ที่ความยาวครึ่งช่วงเสา จะหาได้โดยแทนค่า X = L/2 ลงในสมการที่ 2.16, 2.17 และ 2.18 โดยที่สมการจะเป็น

$$S = \frac{L}{2}\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T_0}\right)^2\right]$$

แต่ความยาวตามแนวเส้นโค้งตลอดช่วงสาย = $2S$

ดังนั้น
$$2S = L\left[1+\frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T_0}\right)^2\right] \tag{2.19}$$

$$Y = \frac{WL^2}{8T_0} \tag{2.20}$$

$$T = T_0\left[1+\frac{1}{8}\left(\frac{WX}{T_0}\right)^2\right] \tag{2.21}$$

เมื่อแรงดึง T_P ขณะที่แทนค่า X = L/2 คือแรงดึงบนหัวเสา T นั่นเอง และในสภาพจริงแรงดึง T จะแตกต่างจากแรงดึง T_O เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งการคำนวณค่าโดยประมาณ อาจจะใช้ค่า $T = T_O$ ก็ได้

2.1.2 การหาระยะหย่อนและแรงดึงในสายเมื่อปักเสาไฟฟ้าต่างระดับ

การขึงสายระหว่างเสา A และเสา B ในบริเวณที่เป็นเนินชัน มีความสูงต่างระดับกันเท่ากับ h จุดหย่อนต่ำสุดจะคล้อยมาทางเสาต้นล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

สมมติให้ O เป็นจุดหย่อนต่ำสุดของสายห่างจากเสา A เป็นระยะทาง X_1 และห่างจากเสา B เป็นระยะทาง X_2

แต่
$$X_1 + X_2 = L \tag{2.25}$$

จากสมการที่ (2.17) ถ้าแทนค่า X ด้วย X_1 และ X_2 จะได้ระยะหย่อน Y_1 และ Y_2 ดังสมการที่ 2.26 และ 2.27

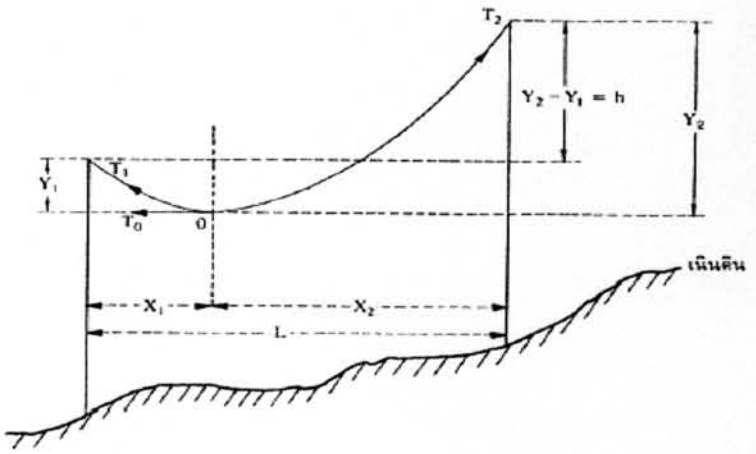
$$Y_1 = \frac{WX_1^2}{2T_0} \tag{2.26}$$

$$Y_2 = \frac{WX_2^2}{2T_0} \tag{2.27}$$

แต่
$$\begin{aligned} h &= Y_2 - Y_1 \\ &= \frac{W}{2T_0}\left(X_2^2 - X_1^2\right) \\ &= \frac{W}{2T_0}\left(X_2 + X_1\right)\left(X_2 - X_1\right) \end{aligned}$$

$$= \frac{WL}{2T_0}\left(X_2 - X_1\right) \tag{2.28}$$

หรือ
$$X_2 - X_1 = \frac{2T_0 h}{WL} \tag{2.29}$$



รูปที่ 2.2 แสดงระยะหย่อนและแรงดึงในสายต่างระดับ

จากสมการที่ 2.25 และ 2.29 จะหาค่า X_1 และ X_2 ได้ดังสมการที่ 2.30 และ 2.31

$$X_1 = \frac{L}{2} - \frac{T_0 h}{WL} \tag{2.30}$$

$$X_2 = \frac{L}{2} + \frac{T_0 h}{WL} \tag{2.31}$$

จากสมการที่ 2.30 และ 2.31 ถ้า h = 0 จะทำให้ $X_1 = X_2 = L/2$ ซึ่งหมายถึงการปักเสาในระดับเดียวกัน แต่ถ้า X_1 มีค่าติดลบ แสดงว่าขึงสายในที่ชันมาก ทำให้จุด 0 อยู่นอกช่วงเสา ซึ่งในกรณีนี้เสาต้นล่างจะไม่ได้รับแรงดึงและยังเป็นโหลดของเสาต้นบนอีกด้วย

แทนค่าสมการที่ 2.30 ลงในสมการที่ 2.26 และสมการที่ 2.31 ลงในสมการที่ 2.27 จะเป็นสมการที่ 2.32 และ 2.33

$$Y_1 = \frac{W}{2T_0}\left(\frac{L}{2} - \frac{T_0 h}{WL}\right)^2 \tag{2.32}$$

$$Y_2 = \frac{W}{2T_0}\left(\frac{L}{2} + \frac{T_0 h}{WL}\right)^2 \tag{2.33}$$

และจากสมการที่ 2.18 ถ้าแทนค่า X ด้วย X_1 และ X_2 ในสมการที่ 2.30 และ 2.31 จะได้แรงดึง T_1 และ T_2 ดังสมการที่ 2.34 และ 2.35

$$T_1 = T_0\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{W}{T_0}\right)^2\left(\frac{L}{2}-\frac{T_0 h}{WL}\right)^2\right] \tag{2.34}$$

$$T_2 = T_0\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{W}{T_0}\right)^2\left(\frac{L}{2}+\frac{T_0 h}{WL}\right)^2\right] \tag{2.35}$$

2.2 การหาระยะหย่อนและแรงดึงของสายขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิของสายเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระยะหย่อนยานและแรงเค้นของสายเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ขณะที่อากาศหนาวสายไฟฟ้าจะหดตัว ทำให้ระยะหย่อนยานของสายลดลงและแรงเค้นของสายเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอากาศร้อนสายไฟฟ้าจะยืดตัว ระยะหย่อนของสายจะมากขึ้นและแรงเค้นของสายจะลดลง การยืดหดของสายที่เกิดจากอุณหภูมิสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ แต่ในสภาพจริงการยืดตัวของสายไฟฟ้าเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ เกิดจากอุณหภูมิของสายเพิ่มขึ้น และเกิดจากแรงเค้นของสาย

กำหนดให้ E = มอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของสาย (กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร)

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้นของสายไฟฟ้าที่แปรตามอุณหภูมิ (ต่อองศาเซลเซียส)

t_1 = อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

t_2 = อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)

L_u = ความยาวสายไฟฟ้าตามแนวโค้งที่แท้จริง (เมตร) โดยไม่ยืดออกตามความเค้นของสาย (unstress length)

แต่ในสภาพจริงขณะที่ดึงสายไฟฟ้าด้วยแรง T จะทำให้สายยืดออก (stretch) เล็กน้อย

ถ้าให้ $\dfrac{LT}{AE}$ = ความยาวของสายไฟฟ้าส่วนที่ยืดออกเนื่องจากแรงดึง T

ดังนั้นความยาวสายไฟฟ้าตามแนวโค้งที่แท้จริงที่อุณหภูมิ t_1 จะมีค่าเท่ากับความยาวสายตามแนวโค้งที่คำนวณได้ตามสมการที่ 2.19 ลบด้วยส่วนที่ยืดออกเนื่องจากแรงดึง T

หรือ
$$L_{u1} = 2S - \frac{LT}{AE}$$

$$= L\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T_0}\right)^2\right] - \frac{LT}{AE}$$

$$= L\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T_0}\right)^2 - \frac{T}{AE}\right] \qquad (2.36)$$

ถ้าอุณหภูมิของสายสูงขึ้นจาก t_1 เป็น t_2 สายจะยาวขึ้นจาก L_{u1} เป็น L_{u2} โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.37

$$L_{u2} = L_{u1}\left[1 + \alpha\left(t_2 - t_1\right)\right] \qquad (2.37)$$

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะหย่อน Y และแรงดึง T จะเปลี่ยนไปเป็นค่าใหม่ ซึ่งอาจคำนวณหาค่าที่เปลี่ยนไปนี้ได้โดยใช้สมการที่ 2.36 มาคำนวณ แต่เปลี่ยนค่าจาก L_{u1} เป็น L_{u2} ทำให้สมการที่ 2.36 กลายเป็นสมการที่ 2.38

$$L_{u2} = L\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T_0}\right)^2 - \frac{T}{AE}\right] \qquad (2.38)$$

จากสมการที่ 2.38 ถ้าแทนค่า $T = T_0$ ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ ก็สามารถหาค่าอยู่ในเทอมของ Y ได้โดยใช้สมการที่ 2.20

$$L_{u2} = L\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{8Y}{L}\right)^2 - \left(\frac{WL^2}{8Y}\right)\frac{1}{AE}\right]$$

และเมื่อจัดรูปใหม่ให้อยู่ในเทอมของ Y จะได้ดังสมการที่ 2.39

$$Y^3 - \frac{3}{8}L\left(L_{u2} - L\right)Y - \frac{3}{64}\left(\frac{WL^4}{AE}\right) = 0 \tag{2.39}$$

และจากสมการที่ 2.38 ถ้าแทนค่า $T_0 = T$ ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ สมการจะกลายเป็น

$$L_{u2} = L\left[1 + \frac{1}{24}\left(\frac{WL}{T}\right)^2 - \frac{T}{AE}\right]$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าจัดสมการให้อยู่ในเทอมของ T จะได้ดังสมการที่ 2.40 คือ

$$T^3 + \frac{AE}{L}\left(L_{u2} - L\right)T^2 - \frac{AEW^2L^2}{24} = 0 \tag{2.40}$$

สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงเค้นและระยะหย่อนยานของสายขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง คือ

$$f_2^2\left[\left(f_2 - f_1\right) + \frac{W_t^2 l^2 E}{24 f_1^2 A^2} + \left(t_2 - t_1\right)\alpha E\right] = \frac{W_w^2 l^2 E}{24A^2} \tag{2.41}$$

$$d = \frac{W_w l^2}{8 f_2 A} \tag{2.42}$$

โดยที่

d = ระยะหย่อนยาน (เมตร)

l = ระยะช่วงเสา (เมตร)

T_2 = แรงดึงในสายที่อุณหภูมิ t_2 (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าของสาย (เซนติเมตร^2)

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามยาว เนื่องจากอุณหภูมิ (/ องศาเซลเซียส)

E = พิกัดยืดหยุ่น (กิโลกรัม/เซนติเมตร^2)

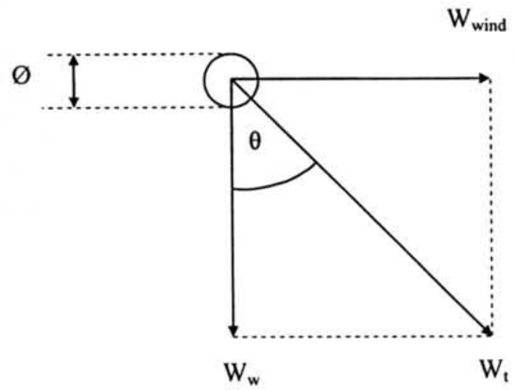
f_1, f_2 = แรงเครียดในสายที่อุณหภูมิ t_1, t_2 ตามลำดับ (กิโลกรัม/เซนติเมตร^2)

W_t, W_w = น้ำหนักสายเมื่อรวม Wind load ที่อุณหภูมิ t_1 และเมื่อไม่รวม Wind load ที่อุณหภูมิ t_2 ตามลำดับ (กิโลกรัม/มิลลิเมตร)

t_1, t_2 = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) , t_1 อุณหภูมิตั้งต้น

2.3 แรงเนื่องจากลมที่กระทำกับสายไฟฟ้า

ลมแรงที่ปะทะกับสายไฟฟ้าเป็นสาเหตุที่ทำให้สายไฟฟ้ามีการแกว่ง เนื่องจากสายหุ้มฉนวนจะมีพื้นที่ในการรับแรงลมที่มากกว่าสายไม่หุ้มฉนวนรวมทั้งน้ำหนักสายหุ้มฉนวนที่มากกว่าสายไม่หุ้มฉนวน อาจทำให้สายมีการยืดออก เนื่องจากคุณสมบัติของตัวนำอลูมิเนียมที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวและ พิกัดการยืดหยุ่นที่แตกต่างจากฉนวนกับเปลือก โดยปกติการคำนวณแรงลมและระยะช่วงห่างระหว่างเสาคำนวณได้จากน้ำหนักของสายและแรงลมปะทะสายในระยะช่วงเสาเป็นเวกเตอร์ดังรูปที่ 2.3 สำหรับบางประเทศที่มีหิมะตก จำเป็นจะต้องพิจารณาน้ำหนักหิมะที่จับบนสายเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.3 แสดงการรวมแรงกระทบสายทางเวกเตอร์

ถ้าให้ $\varnothing$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (เมตร)

W_{wind} = แรงลมปะทะสายต่อหน่วยความยาว (กิโลกรัม/เมตร)

W_t = ผลรวมของแรงบนสายต่อหน่วยความยาว (กิโลกรัม/เมตร)

θ = มุมที่แรงดึงของสายเบี่ยงเบนจากแนวดิ่ง

P = แรงดันของลม (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อมีแรงลมปะทะสาย ผลรวมของแรงบนสายจะถูกเปลี่ยนจากแนวเดิม W_w ไปเป็น W_t ดังนั้นการคำนวณหาค่าต่างๆ เมื่อคำนึงถึงแรงลมปะทะสายจึงต้องใช้ค่า W_t แทน W_w

นั่นคือ

$$W_w = W_t \cos\theta$$

$$W_{wind} = \phi \times P$$

$$W_t = \sqrt{W_w^{\,2} + (\phi \times P)^2}$$

2.4 แรงลมที่กระทำกับสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ

2.4.1 แรงดันลมสำหรับผิวทรงกระบอก (P)

ตามมาตรฐาน National Electrical Safety Code® สามารถคำนวณแรงดันลมที่กระทำกับผิวทรงกระบอก[5] จากสูตร

$$P = 0.0025V^2 \quad \text{ปอนด์/ฟุต}^2 \tag{2.43}$$

ซึ่ง

P = แรงดันลมที่กระทำกับผิวทรงกระบอก (ปอนด์/ฟุต^2)

V = ความเร็วลม (ไมล์ต่อชั่วโมง)

$$P = 0.00472 \times V^2 \quad \text{กิโลกรัม/เมตร}^2 \tag{2.44}$$

ซึ่ง

P = แรงดันลมที่กระทำกับผิวทรงกระบอก (กิโลกรัม/เมตร^2)

V = ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

2.4.2 แรงลมที่กระทำกับสายแนวแกนราบ (W_C)

แรงลมที่กระทำกับสายตามแนวระดับสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$W_C = P \times \varnothing \times l \quad \text{กิโลกรัม/เมตร}^2 \tag{2.45}$$

ซึ่ง

P = แรงดันลมที่กระทำกับผิวทรงกระบอก (กิโลกรัม/เมตร^2)

$\varnothing$ = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสายตัวนำ (เมตร)

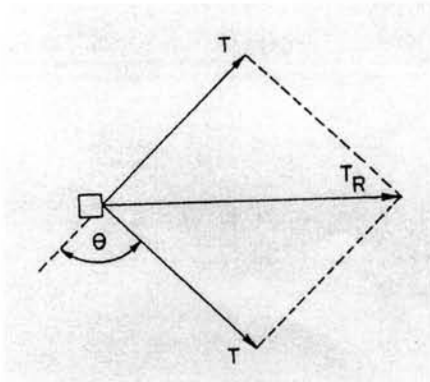
l = ความยาวของระยะช่วงเสา (เมตร)

2.4.3 กรณีทางโค้ง

ซึ่งต้องใช้มุมที่สายหักเหคำนวณแรงดึง

$$T_R = 2T\sin\frac{\theta}{2} \quad \text{ปอนด์หรือกิโลกรัม} \tag{2.46}$$

$$T = \frac{Wl^2}{8d} \quad \text{ปอนด์หรือกิโลกรัม} \tag{2.47}$$



รูปที่ 2.4 มุมหักเหของสาย

เมื่อ

T = แรงดึงของสาย (กิโลกรัม) ; S = ระยะหย่อนยาน (เมตร) ; θ = มุมหักเหของสาย (องศา)

W_t = น้ำหนักรวม (กิโลกรัม/เมตร) (Resultance Load) ; l = ระยะช่วงเสา (เมตร)

$$W_t = \sqrt{W_w^{\ 2} + \left(\frac{\varnothing \times P}{1000}\right)^2}$$

W_w = น้ำหนักสาย (กิโลกรัม/เมตร)

ซึ่ง $\varnothing$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (เมตร) ; P = แรงลมปะทะสาย (กิโลกรัม/เมตร^2)