บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในปัจจุบันระบบค้ำยันเข็มพืดเหล็กได้รับการพัฒนาทั้งในรูปแบบออกไปอย่างกว้างขว้าง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานซึ่งมีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงยังได้รับการผลักดันจากทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมประกอบกันไปด้วย

เนื่องจากการใช้งาน ระบบค้ำยันเข็มพืดเหล็กขยายตัวอย่างกว้างขวางทำให้ สามารถแบ่งชนิดของระบบค้ำยันเข็มพืดเหล็กที่มีอยู่ในปัจจุบันออกได้หลายๆแบบ ตัวอย่างเช่น

- <u>แบ่งตามวัสดุที่ใช้</u>
  - * Sheet Pile เหล็ก
  - * Sheet Pile คอนกรีต
  - * Sheet Pile ไม้
  - * Sheet Pile Slurry
  - * Sheet Pile แบบประสมประสาน

- <u>แบ่งตามวิธีการติดตั้ง</u>
  - * Sheet Pile แบบตอก
  - * Sheet Pile แบบหล่อกับที่
  - * Sheet Pile แบบขุดแล้วใส่ลงไป
  - * Sheet Pile แบบขุดแล้วค่อยๆจมลงไป

2.1 การออกแบบ Sheet Pile

การออกแบบ Sheet Pile สามารถแยกการวิเคราะห์เป็นสองส่วน คือ ความยาวของ Sheet Pile และขนาดของ Sheet Pile

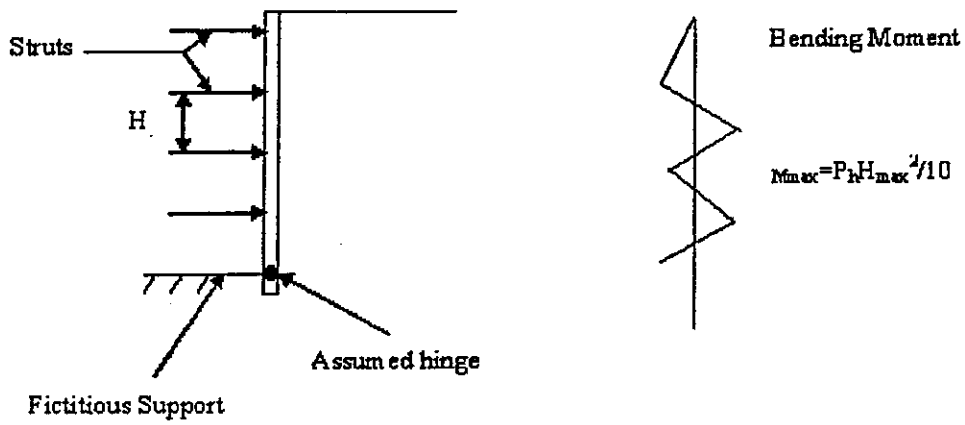
2.1.1 การออกแบบความยาว Sheet Pile

การออกแบบความยาว Sheet Pile ต้องทราบแรงดันที่กระทำด้านข้างของดินจากวิธีการใช้ Modify Rankine Active Earth Pressure สำหรับกรณีดินเหนียวอ่อน เช่น ดินเหนียวกรุงเทพ ในส่วนการออกแบบความยาว Sheet Pile สามารถคำนวณได้จากหลักการ 2 หลักการ

- วิเคราะห์การสมดุลของแรงทั้ง Active และPassive Earth Pressure โดยอาศัย Modify Rankine Active Earth Pressure และกำหนดระยะค้ำยัน(Strut Level) จากนั้นทำการวิเคราะห์สมการโดยอาศัยทฤษฎีแรงดันดินสมดุลด้านข้างและโมเมนต์สมดุลก็จะสามารถหาความยาว Sheet Pileที่เหมาะสมได้
- วิเคราะห์หาความยาวโดยตรวจสอบการเกิด Heave ไหลผ่านใต้ Sheet Pile (Heaving Effect)

2.1.2 การออกแบบหาขนาดของ Sheet Pile

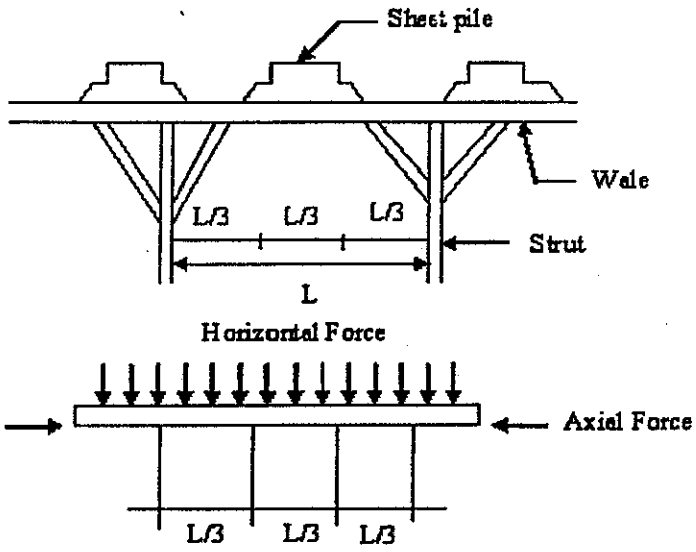
การออกแบบขนาดของ Sheet Pileกระทำโดยการหา Moment ที่เกิดขึ้นกับ Sheet Pile อันเนื่องจากแรงกระทำของดินโดยทฤษฎี Modify Apparent Earth Pressure หลักการในการออกแบบคือ ให้เข็มพืดเป็นคานอันหนึ่งที่รับแรงดันดินด้านข้าง โดยมีจุดรับแรงดันด้านข้าง คือ ค้ำยันหรือ Strut และมีดินรองรับในส่วนใต้ระดับขุดด้านล่างโดยสภาพที่ปลายเข็มพืดจะพิจารณาเป็น Fixed End ถ้าระบบเข็มพืดเป็นระบบ Fixed End และจะพบว่าจุดที่ความลึกสุดท้ายในการขุดนะมีสภาพเป็น Hinge แต่ทั้งนี้จะต้องเท Lean Concrete ป้องกันไว้ ถ้าเข็มพืดเป็นระบบ Free End หรือปลายเข็มพืดไม่ยึดลงในดินแข็งเช่นดินเหนียวกรุงเทพ (BKK Stiff Clay) การวิเคราะห์จะต้องทำการโดยวิเคราะห์โดยวิธี Analysis Indeterminate Structure เพื่อเรียกหาค่า Momentในแต่ละ Node และหาค่า Maximum Moment ต่อไป จากค่า Moment สูงสุดที่กระทำกับ Sheet Pile จะสามารถคำนวณหา Section Modulus ที่ต้องการได้ โดยสามารถประมาณค่า Moment ได้จากหลักการดังที่เสนออยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแนวของStrut และ Bending Moment

2.2 การออกแบบ Wale

Wale จะออกแบบเพื่อให้ต้านแรงดันด้านข้างจาก Sheet pile ซึ่งจะถ่ายแรงดันดินกระทำกับ Sheet pile ให้เป็น Uniform Horizontal Force เข้าสู่ Wale รูปร่างของ Wale ส่วนใหญ่จะเป็น H – Beam และยาวตลอดเพื่อให้การถ่ายแรงได้สมบูรณ์ โดยปกติแล้ว Waler จะปฏิบัติตัวเอง เช่น คานต่อเนื่องที่จะรับแรง Bending moment เท่านั้น เนื่องจากจะทำตัวเป็นโครงสร้างที่ถ่ายแรง Uniform load จากแรงดันดินให้ถ่ายไปสู่ค้ำยันหรือ Strut นอกจาก Moment จากแรงดันด้านข้างแล้วในกรณีงานขุดดินรูปร่างสี่เหลี่ยม จะยังมีแรง Axial Forceใน Wale เกิดขึ้นด้วยเนื่องจากมีแรงกระทำจากจุดตั้งฉากบริเวณจุดเปลี่ยนมุมและทำให้ Wale มีสภาพเป็น Combined Bending & Compression Member ดังนั้น การออกแบบเพื่อหาขนาด Wale จะคำนวณให้ Wale มีความยาวต่อเนื่อง (Continuous Beam) รับแรงทั้งในแนวราบ (Lateral Force) และในแนวแกน (Axial Force) ขนาดของ Wale จะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับระยะของค้ำยัน (Bracing) หรือระยะห่าง Strut โดยทั่วไปซึ่งแล้วการออกแบบค้ำยันหรือ Strut จะออกแบบเพื่อให้ระยะค้ำยันใน Wale สั้นลงโดยออกแบบให้ใช้ค้ำยันจาก Strut เป็นรูปตัว Y บริเวณที่จะค้ำกับ Wale ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การวิเคราะห์แรงกระทำที่เกิดขึ้นใน Wale

a) การกำหนดช่วงความยาวของ Wale

ช่วงความยาวของ Wale นั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างของ Strut เป็นหลักหรือค่า Horizontal Spacing ในสภาพการก่อสร้างจริงที่ปรากฏของ Strut โดยทั่วไปจะจัดเป็นรูป Y โดยแต่ละข้างทำมุมกางประมาณ 45 องศาเฉพาะช่วงคานสุดท้ายของค้ำยันเท่านั้นทั้งนี้เพื่อลดช่องความยาวคานคือ Span Length ของ Wale ให้ลดลง เพื่อความประหยัดโดยจะไม่ต้องใช้หน้าตัดขนาดใหญ่ขึ้นดังนั้นจะพบว่าความยาวของ Walcในการออกแบบโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ (Horizontal Spacing) ของค้ำยันและส่วนด้วย 3 คือค้ำยัน/3 นั้นเอง

b) ค่า Uniform Load จากแรงดันดิน

ค่า Uniform Load จากแรงดันดินที่กระทำต่อ Wale นั้นจะมีค่าเท่ากับ Load per Meter ของ Strut ในแต่ละ layer ที่คำนวณได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดค่า Maximum ใน Wale เท่ากับ

$$M_{max} = WL^2/10$$

เมื่อ W = Uniform Load on Wale (t/m)

L = Horizontal Spacing ของค้ำยัน/3 (m)

c) การเลือกขนาดของ Wale

การยอกแบบ Combined Bending & Compression Member ตามมาตรฐานกำหนดของ AISC ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับโครงสร้างส่วนที่รับแรงอัดและโมเมนต์ดัดไว้ดังนี้

ถ้า $f_a / F_a > 0.15$ แล้ว

$f_a / F_a - C_m f_b F_a (1-F_a/F_b) < 1.0$

$F_a / 0.6 F_a + f_b / F_b < 1.0$

แต่ถ้า $f_a / F_a < 0.15$ แล้ว

$f_a / F_a + f_a / F_b < 1.0$

เมื่อ F_a - หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง (โดยรวมหน่วยแรงอัดใน Wale กับหน่วยแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ)

F_b - หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริง

F_a - หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

$F_e = 12\P^2E / 23(KL / r)^2$

F_y = กำลังจุดครากของเหล็ก (Ksc.) สำหรับเหล็ก A36 : F_a = 2520 Ksc.

E -2.1X 10^6 Ksc.

K- ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผล

L- ความยาวอิสระ

r- รัศมีไจเรชั่นรอบแกนที่เกิดโมเมนต์ดัด

C_m- ค่าสัมประสิทธิ์ (Modification Factor) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ C_m = 1.0

ดังนั้นในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงแรงกระทำกับ Wale ทั้งหมด โดยในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องศึกษารูปร่างของการขัด Sheet Pile ว่ามีรูปร่างอย่างไร มีการถ่ายหน่วยแรงอัดเข้าในคานหรือไม่ และผลของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมากเพียงใดเช่น ในกรณีงานขุดร่องน้ำหรือวางท่อต่างๆ ผลกระทบจากหน่วยแรงอัดใน Wale และผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

d) การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัดใน Wale

เนื่องจาก Wale เป็นโครงสร้างเหล็กที่สามารถขยายตัวหรือหดตัวได้เมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงจึงมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาผลของอุณหภูมิ เนื่องจากงานก่อสร้างที่ประเทศไทยมีอากาศร้อนมากอยู่แล้ว ความสัมพันธ์ระหว่าง Stress ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถประมาณได้ ดังนี้

$$\Delta\sigma = 0.000011 \times Es \times \Delta t$$

เมื่อ Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในหน่วยองศา C มีค่าในการออกแบบทั่วไป = 5 องศา

Es = โมดูลัสของเหล็ก (Ksc.)

$\Delta \sigma = 0.000011 \times 2.1 \times 10^6 \times 5$

จะได้ = 116 Ksc.

e) การคิดกำลัง Over Stress ของโครงสร้างเหล็ก

เนื่องจากโครงสร้างเหล็กในระบบป้องกันดินนั้นเป็นระบบโครงสร้างชั่วคราว(Temporary Work) ดังนั้นในการออกแบบบางครั้งจึงยอมให้เกิดการ Over Stress ได้แต่ไม่ควรเกิน30% (Teng,1980) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในงานตัวเอง ดังนั้น ถ้าผู้ออกแบบยอมให้เกิดค่า Over Stress จะได้ค่า Acting Axial Stress จะลดลง ดังนี้

F = Force/1.3*Area

2.3 การออกแบบ Strut

ค้ำยันหรือ Strut จะรับแรงดันดินหรือกระทำผ่าน Sheet Pile และแปลงแรงกระทำกับUniform Load โดย Wale ให้เป็น Line load หรือ Point load เข้าสู่ค้ำยันหรือ Strut การออกแบบ Strut อาจจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ Strut ชั้นบนสุดและ Strut ระดับล่างๆโดย Strut ชั้นล่างๆนั้นจะเป็นระบบ Sliding โดยจะออกแบบให้รับแรงจากแรงดันดินที่ถ่ายมาจาก Wale และกระทำกับค้ำยันในแนว Axial Force เท่านั้นแต่ในส่วนของ Strut ระดับบนสุดหากเป็นในกรณีที่แยก Platform จาก Strut การออกแบบจะเหมือนกับ Strut ตัวอื่นๆแต่หาก Platform ออกแบบให้ใช้รวมกับ Strut ชั้นแรกการออกแบบ Strut ชั้นบนนี้ นอกจากจะออกแบบให้รับ Axial Force แล้ว ยังต้องออกแบบให้รับน้ำหนักจาก Platform ที่จัดทำขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรเข้ามาทำการขุดดิน และขนส่งดินออกนอกโครงการ การประมาณแรงกระทำใน Strut สามารถประมาณได้จาก Modify Apparent Pressure Diagram โดยแบ่งแรงดันดินออกเป็นช่วงๆ ตามตำแหน่งค้ำยันโดยแบ่งบริเวณ ณ จุดกึ่งกลางของระดับค้ำยันได้

Strut ต้องออกแบบให้มีจุดยึดเพื่อป้องกันการเกิดการโก่งของโครงสร้างซึ่งจุดที่จะยึดโครงสร้าง คือจุดที่ติดตั้ง King Post โดย King Post จะออกแบบให้เป็น Pin point โดยต้องไม่ทำการเชื่อมแบบยึดติด (Fixed Point) กับค้ำยันหรือ Strut แต่จะออกแบบให้เป็นระบบเลื่อน (Sliding Strut) โดย Strut จะวางอยู่บน King Post โดยกำหนดในรูปของ L/r (L= ระยะห่างระหว่าง King Post ในขณะที่ r = รัศมีไจเรชั่นหรือ radius of gyrations ของค้ำยัน) เพื่อหาตำแหน่งที่จะติดตั้ง King Post ทั้งในแนวตั้งฉากและในแนวเดียวกับแนวของ Strut ระยะห่างของ King Post หรือจุดยึดต้องห่างเพียงพอให้เครื่องจักรสามารถทำงานขุดได้ เช่นประมาณ 6 เมตร การออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

a) การเลือกขนาดหน้าตัด Strut

จะพิจารณาหาขนาดหน้าตัดเหล็กที่เล็กที่สุด ที่มีค่าหน่วยแรงที่ยอมให้มากกว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ตามมาตรฐาน AISC ที่กำหนดไว้ เหมือนเช่นในการออกแบบ Wale

b) การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น

เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ในเรื่องการออกแบบ Wale ค่า Axial Stress จะต้องเพิ่มไป เท่ากับ 116 Ksc. เนื่องจากผลการขยายตัวของเหล็กเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

c) การคิด Over Stress ใน Strut

ถ้ายอมให้ Over Stress 30% การคิด Over Stress ใน Strut นั้น หลักการและเหตุผลคิดเช่นเดียวกับกรณีใน Wale แต่เพื่อความปลอดภัยของโครงสร้างจึงจะกำหนดให้คิด Over Stress เฉพาะในแรงอัดเท่านั้น ไม่รวมถึง Bending Stress และพิจารณาเฉพาะในแกน Y เท่านั้น

2.4 การออกแบบ King Post

King Post คือ เสาที่ค้ำยันทั้งหมดดังที่ได้กล่าวในขณะเดียวกัน King Post จะเป็นเสาหลักที่รับน้ำหนักบรรทุกจาก Platform หรือ รถบรรทุก, รถตักดิน, ขนดิน หรือ แม้กระทั้งกองทราย กองเหล็ก ที่วางบน Platform และจะถ่ายลงสู่ดินข้างล่าง ในการก่อสร้าง King Post จะต้องทำการตอกลงดินเป็นลำดับแรกเพื่อทำการขนส่งและขุดดินการตอกเสา King Post จะทำการตอกโดยใช้เครื่องตอก Vibro Hammer จะไม่ใช้ปั่นจั่นตอกเสาเข็มเป็นอันขาด ดังนั้นความลึกในการตอกเสา Kingpost จึงจำกัดเนื่องจากกำลังของเครื่องมือ ซึ่งในชั้นดินกรุงเทพ เสา King Post จะต้องลึกประมาณ 18-20 ม. จากระดับผิวดิน

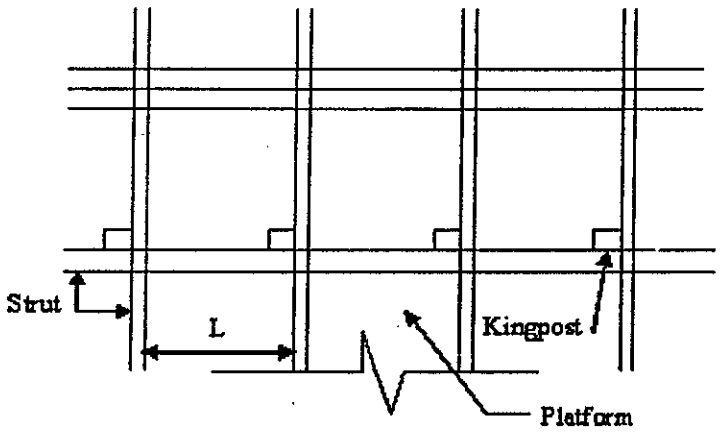
การออกแบบ King Post จะกำหนดระยะห่างจากการคำนวณแรงใน Strut ดังกล่าวแล้วการจัดวาง King Post อาจจะออกแบบให้รับแรงจาก2ระบบ คือ

- King Post สำหรับน้ำหนักบรรทุกจาก Platform (น้ำหนักรถต่างๆที่ทำงานในโครงการ)
- King Post สำหรับยึด Strut ให้เลื่อนไถลได้สะดวกและรับน้ำหนักเหล็กของโครงสร้าง

จุดสำคัญในการออกแบบ King Post คือ

- ขนาด Section ที่กำหนด ต้องสามารถรับแรงที่เกิดจาก Platform
- ที่ความลึกเท่าใด กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของ King Post ในส่วนจมใต้ดินขุดจึงจะรับน้ำหนักบรรทุกจาก Platform ได้ สำหรับน้ำหนักที่ถ่ายจาก Platform ลงสู่เสา King Post น้ำหนักบรรทุกบน Platform โดยส่วนใหญ่เกิดจากแรงกระทำของรถขนดินรถขุดดินเครื่องจักรอื่นๆ เช่น รถเครนยกวัสดุ และเสาเข็มที่ตัดแล้ว รวมทั้ง กองทราย กองเหล็ก ในทางปฏิบัติจากการศึกษาจากหนังสือหลายเล่มพบว่าน้ำหนักบรรทุกบน Platform (Surcharge = q) สำหรับงานขุดดินลึกในกรุงเทพด้วยระบบค้ำยัน Sheet Pile สามารถใช้เท่ากับ 2 ตัน/ ตร.ม. โดยหาพิจารณา

จากพื้นที่ของการจัด Platform ในรูปที่ 2.3 จะพบว่าน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายส่ง King Post 1 ต้น จะมีค่าเท่ากับ Q*L*L/2 หรือ 2*L*L/2 ตัน



รูปที่ 2.3 แสดงการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจาก Platform ลงสู่ King Post

การออกแบบ King Post จะออกแบบให้รับแรงเฉพาะในแนวแกนเท่านั้น (Axial Force) คือ น้ำหนักจาก Surcharge ของ Platform เท่านั้น ดังนั้นจะพบว่า King Post ก็คือเสาเข็มนั่นเองหลักการคำนวณใช้หลักการเช่นเดียวกับการออกแบบเสาเข็มโดยแยกออกเป็นแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (Skin Friction) และแรงด้านปลายเสาเข็ม (Bearing Capacity) ส่วนของแรงเสียดทานผิวของ King Post จะคำนึงเฉพาะในส่วนที่ลึกต่ำกว่าระดับขุดเท่านั้น การคำนวณสามารถคำนวณได้จาก

$Q_u = 9\ S_u A$ (กรณีปลาย King Post จมในชั้นดินเหนียว)

$Q_b = k_s \alpha v \tan\Theta$ (กรณีปลาย King Post จมในชั้นทราย)

$Q_a = Q_u / S.F.$

$Q_u = Q_f + Q_b$

Q_u = กำลังรับน้ำบรรทุกประลัย (Ultimate Pile Capacity) (ตัน)

Q_f = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสียดทานผิว (Ultimate Skin Friction) (ตัน)

Q_b = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลายเสาเข็ม (End Bearing Capacity) (ตัน)

P = เส้นรอบรูป (Perimeter of King Post)(ตร.ม.)

α = Adhesion Factor

S_u = กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength) (ตัน/ตร.ม.)

ΔL = ความยาวของ King Post ในแต่ละชั้นดิน (Length of Kingpost at Each Soil Layer) (ม.)

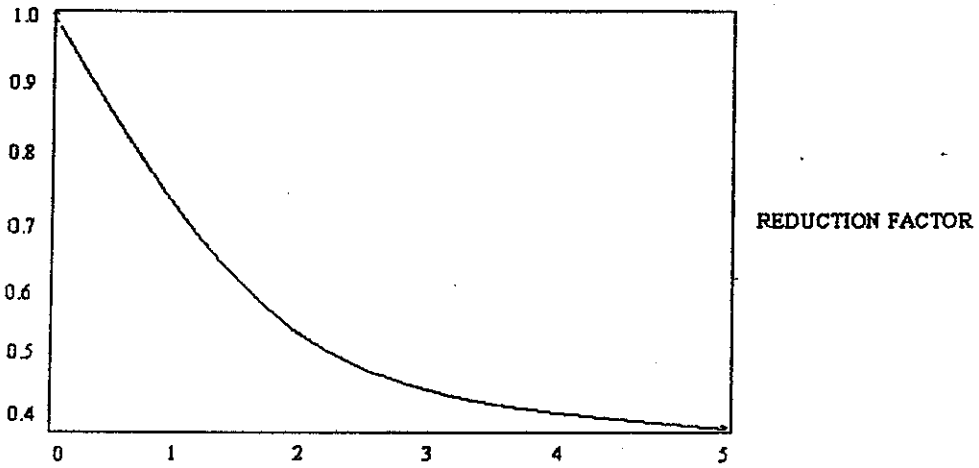
A = พื้นที่หน้าตัด (Cross Section Area)(ตร.ม.)

SF = สปส.ความปลอดภัย (Safety Factor)

Ks = สปส.แรงดันดินด้านข้างเสาเข็ม (Cofficient of lateral Earth Pressure = 0.7)

Δv = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งของดิน (Effective Vertical Earth Pressure) (ตัน/ตร.ม.)

$\alpha = 3\Theta/4$ โดย Θ = มุมเสียดทานภายในของทราย (Angle of internal friction) (Degree)



รูปที่ 2.4 ค่าสัมพันธ์ของ α และ Q_u

ค่า α หรือ Adhesion factor สำหรับงานออกแบบ King Post ในชั้นดินกรุงเทพความยาวของ King Post จะต้องคำนวณโดยต้องออกแบบให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Allowable Pile Capacity) ให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจาก Platform ได้โดยในกรณีงานขุดดินซึ่งเป็นงานชั่วคราว ใช้ค่า Safety Factor ประมาณ 1.25 จากค่า Ultimate Pile Capacity ที่คำนวณได้

ในทางปฏิบัติจริง การออกแบบระบบค้ำยัน ทั้ง Strut ,Wale และ King Post จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เพื่อให้สามารถทำการก่อสร้างได้ เช่น ต้องจัดวางตำแหน่ง Strut ให้หลบตำแหน่งเสาของโครงสร้าง ตำแหน่งของ King Post จะต้องออกแบบให้ไม่ตรงกับตำแหน่งของเสาเข็ม ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงใดๆย่อมขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ออกแบบเป็นสำคัญ

2.5 การออกแบบ Lean Concrete

Lean Concrete คือส่วนที่สำคัญมากที่สุดสำหรับงานขุด ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลดังที่เคยกล่าวว่าแรงดันดินในส่วนล่างสุดคือ ส่วนที่ความกว้างเท่ากับ $L_4 / 2$ จำเป็นที่จะต้องมีแรงมาต้านมารับไว้ ในความเข้าใจของวิศวกรทั่วไปเข้าใจว่าแรงดันดินส่วนนี้น่าจะรับโดยแรงต้านดินภาย (Passive Earth Pressure) โดยอนุญาตให้แรงดันดินด้านข้างส่วน $L_4 / 2$ นี้ถ่ายเข้ามาและแรงดันดินภายในด้านอยู่ซึ่งแสดงว่าเสาเข็มพืดหรือ Sheet Pile จะต้องขยับตัวออกทำให้จุดหมุนหรือจุด Fixed Point จะไม่อยู่ที่ระดับดินขุด แต่จะเลื่อนต่ำลงมาอันจะส่งผลให้เกิด Moment กระทำกับ Sheet Pile มากขึ้น และการเคลื่อนตัวของกำแพง Sheet Pile เกิดมากขึ้นด้วย

นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว การเท Lean Concrete ที่ระดับความลึกการขุดมากสุดนั้นจะช่วยทำให้เกิด Fixed Point หรือ จุดหมุนที่ระดับความลึกสุดท้ายของการขุด ซึ่งส่วนนี้สำคัญมาก เพราะ Lean Concrete จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับค้ำยันทั่วไป แต่เป็น Strut ที่บางและเทเป็นผืนๆ ซึ่งนอกจากจะมีประโยชน์ในประเด็นการรับแรงและการลดโมเมนต์ใน Sheet Pile แล้วทำในงานของโครงการสะอาดพื้นที่ก่อนจะวางเหล็กสะอาดและเทคอนกรีตฐานรากได้สะดวกและลดการทรุดตัวของฐานรากขณะเทคอนกรีต หากกำลังรับแรงต้านของดิน (Bearing Capacity of Soil) ไม่เพียงพอ

2.5.1 วิธีการออกแบบ Lean Concrete

$f_{c\ (Lean\ Concrete)} = 0.1\ f_c$

$f_{c\ (Lean\ Concrete)}$ = Allowable compressive strength of Lean Concrete (Ksc) หรือกำลังรับแรงอัดปลอดภัยของ Lean Concrete

f_c = Ultimate compressive strength of Lean Concrete (Ksc)หรือกำลังรับปลอดภัย

การใช้ค่าความปลอดภัยของการ Lean Concrete ดังแสดงในสมการข้างต้น เนื่องจาก Lean Concrete หนาเพียงประมาณ 0.10- 0.15 ม. ดังนั้นพฤติกรรมจะเป็นลักษณะของพื้นบาง (Thin plate) ความปลอดภัยในการออกแบบ ควรใช้กำลังของ Lean Concrete เพียง 10% ของกำลังสูงสุดเท่านั้น

2.6 พฤติกรรมของ Sheet Pile

คำว่าพฤติกรรมของ Sheet Pile อาจมีความหมายค่อนข้างกว้าง การที่จะกล่าวได้หมดนั้นจะต้องมีเวลาในการศึกษาเป็นเวลานานจึงจะแสดงในพฤติกรรมหลักที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

2.6.1 พฤติกรรมของตัว Sheet Pile โดยตรง

แรงที่กระทำหรือสิ่งที่มากระทำต่อSheet Pile แรงที่กระทำสำคัญนั้นมี 2ประเภทคือ แรงดันด้านข้าง และแรงกระทำตามแนวดิ่ง สำหรับที่มากระทำต่อ Sheet Pile นอกจากดินแล้วก็มีน้ำเป็นตัวสำคัญ นอกจากนี้ก็ยังมีน้ำหนักบรรทุกจากภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งกระทำที่ไม่ติดกับ Sheet Pile โดยตรงแต่สามารถส่งผลให้แก่ Sheet Pile ได้

เนื่องจาก Sheet Pile มีคุณสมบัติเป็นเอกลักษณ์ที่สำคัญประการหนึ่งคือมีความแบนมา เมื่อเทียบกับความกว้างและยาว ฉะนั้นพฤติกรรมของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงกระทำจะมีการอ่อนตัวสูงในแนวตั้งฉากกับระนาบแบน และสามารถโค้งงอได้ง่าย จากพฤติกรรมดังกล่าวจึงทำให้ Sheet Pile สามารถที่จะอ่อนตัวตามแรงกระทำได้ดี นั้นในการใช้งาน Sheet Pile สำหรับกำแพงกันดิน ความอ่อนของ Sheet Pile ทำให้เกิดการตอบสนองของแรงดันดินไม่มากเท่ากับกำแพงกันดินที่มีความแข็งตัวกว่า ช่วยลดขนาดของแรงดันลงได้เมื่อเทียบกับกำแพงกันดิน

2.6.2 พฤติกรรมของแรงดันจากดิน

เนื่องจาก Sheet Pile มีความอ่อนตัวค่อนข้างจะมาก แรงดันด้านข้างของดินกระทำบน Sheet Pile จึงสามารถปรับเปลี่ยนตามลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile ได้ง่าย ซึ่งพฤติกรรมของแรงดันดินบน Cantilever Sheet Pile ที่ปลายล่างฝังลึกลงไปมากกว่าปกติ จะเห็นได้ว่าแรงดันดินจะปรับเปลี่ยนตามสภาพการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ได้เป็นอย่างดี โดยมีแรงดันด้านที่ Sheet Pile หนีห่างออกจากดินก็จะเป็นแรงดันในสภาวะ Active และแรงแรงดันด้านที่ Sheet Pile เดินเข้าหาดินก็จะอยู่ในสภาวะ Passive และเมื่อหักลบแรงดันด้านข้างทั้งสองด้านของ Sheet Pile เข้าด้วยกันแล้วก็จะได้แรงดันรวมที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการเคลื่อนที่ตัวของดิน และ Sheet Pile

เนื่องจากพฤติกรรมของแรงดันมีความสัมพันธ์อย่างมากกับสภาพดินและเนื่องจากดินในธรรมชาติส่วนใหญ่มักจะไม่ Homogeneous พฤติกรรมของแรงดันดินก็จะแตกต่างการวิเคราะห์แรงดันดินในธรรมชาติที่มี ความแตกต่างกันมากในแต่ละชั้นดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดินอ่อน Bangkok Clay ซึ่งมีงานก่อสร้างอยู่เป็นจำนวนมาก

พฤติกรรมของแรงดันดินนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการจำกัดการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ตามรูปแบบของโครงสร้างที่ต่างกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเวลาหลังจาก

ติดตั้ง Sheet Pile อีกด้วย อีกด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นดินเหนียวที่แข็งทั้งนี้เพราะดินเหนียวมีอัตราการไหลตัวค่อนข้างจะช้ามาก ในช่วงระยะเวลาที่ติดตั้งเสร็จใหม่ๆ การเคลื่อนตัวของดินเหนียวยังมีไม่มาก แรงดันดินที่เกิดขึ้นก็ย่อมจะยังน้อยอยู่ ต่อเมื่อปล่อยทิ้งไว้นานขึ้นดินเหนียวจะไหลตัวมาดันกำแพงได้มากขึ้น ความดันก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆการเคลื่อนตัวของดินเหนียวตั้งแต่ต้นจนกระทั่งถึงสภาพที่มากที่สุดสามารถใช้เวลาเป็นเดือนฉะนั้นในงาน ก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราวในดินเหนียวที่มีเวลาการใช้โครงสร้างอยู่เพียงชั่วระยะเวลาอันสั้น ก็ อาจลดค่าแรงดันลงได้บ้างแต่ก็ต้องระมัดระวังสำหรับดินเหนียวอ่อนเช่น Bangkok Clayที่มีชั้นดินเลนปนอยู่ทำการไหลตัวรวดเร็วได้

2.6.3 การใช้ ไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินแบบผลัก

หน่วยแรงดันด้านข้างชนิดผลักของการก่อสร้างแบบ Brace Cut หรือ Multriple Anchorage เป็นค่าที่คาดคะเนได้อยากลำบาก การคาดคะเนหน่วยแรงผลัก จึงทำโดยวิธี Empirical โดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้ในสนามจากแรงใน Strut และจากการรวบรวมข้อมูลแรง Strut และเปลี่ยนมาเป็นแรงดันทำให้เขียนไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินครอบคลุมข้อมูลทั้งหมด เพื่อใช้ในการออกแบบ Brace Cut ได้ มีจุดประสงค์เพื่อคำนวณแรงใน Strut และ Sheet pile

ไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นของ Terzaghi ไดอะแกรมสำหรบดินเหนียวแข็งปานกลางและแข็งชนิดอัดแน่นเกินตัว ดินทราย และดินเหนียวอ่อน ไดอะแกรมดังกล่าวมีรากฐานจากการก่อสร้าง Brace Cut ที่มีสภาพดังนี้

* ใช้งานกับงานขุดที่ไม่ตื้นกว่า 6 เมตร
* ในทรายระดับน้ำบาดาลอยู่ใต้ระดับดินที่ขุด
* สภาพของหน่วยแรงควรใช้เพียงหาแรงใน Strut
* ในดินเหนียวค่า $N=\gamma_{T}D / C$ ควรน้อยกว่า 6 เพื่อให้เกิดการเคลื่อนตัวน้อย และควรใช้กับในกรณีที่ไม่เกิดปัญหาทางด้าน Up heave