

1. ลักษณะของเสาเข็ม

ประเภทของเสาเข็มอาจแบ่งได้ตามลักษณะการรับกำลัง ตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม และตามรูปแบบการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาการต่อเสาเข็มและการจัดรูปแบบของเสาเข็มในการรองรับอาคารด้วย

1.1 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามลักษณะการรับกำลัง

- 1.1.1 เสาเข็มแรงต้านทานส่วนปลาย (End bearing pile) เป็นเสาเข็มที่ตอกลงถึงชั้นดินทรายหรือชั้นดินแข็ง เสาเข็มที่ลงถึงชั้นดินแข็งเพียงพอจะช่วยลดการทรุดตัว โดยเสาเข็มควรจมอยู่ในชั้นดินแข็ง 1-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสา เหมาะกับงานขนาดใหญ่ เสาเข็มชนิดนี้มีแรงฝืดช่วยรับแรงด้วยแต่เป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับแรงต้านที่ปลาย
- 1.1.2 เสาเข็มแรงฝืด (Friction pile) เป็นเสาเข็มที่ไม่มีชั้นดินแข็งรองรับส่วนปลายเสาเข็ม อาศัยการเกิดแรงฝืดระหว่างผิวของเสาเข็มกับดิน โดยรอบเสาเข็ม เสาเข็มที่ตอกผ่านชั้นดินที่มีความเชื่อมแน่น (ดินเหนียว) จะเกิดแรงฝืดได้ดีกว่าดินที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น (ดินทราย) เหมาะกับงานขนาดเล็ก เสาเข็มชนิดนี้มีแรงต้านที่ปลายช่วยรับแรงด้วยแต่เป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับแรงฝืด

1.2 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามชนิดของวัสดุ

- 1.2.1 เสาเข็มไม้ (Timber pile) เป็นเสาเข็มที่หาได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ราคาถูกขนส่งสะดวก มีความสามารถรับน้ำหนักค่อนข้างต่ำ จึงจำเป็นต้องตอกเป็นกลุ่ม ส่งผลให้มีฐานรากขนาดใหญ่ ควรตอกให้ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันการผุกร่อนจากปลวกและเห็ดรา ปัจจุบันนิยมใช้เสาเข็มไม้สนและยูคาลิปตัส ตามท้องตลาดระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นนิ้วและความยาวเป็นเมตร
- 1.2.2 เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforce concrete pile) โดยมากเป็นเสาเข็มที่หล่อในหน่วยงาน ต้องออกแบบเหล็กเสริมตามยาวให้เพียงพอรับโมเมนต์ดัด จากการเคลื่อนย้ายและการตอก ปัจจุบันไม่นิยมมากนักเนื่องจากไม่ประหยัด จึงใช้เข็มคอนกรีตอัดแรงแทน
- 1.2.3 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed concrete pile) เป็นเสาเข็มที่อาศัยเทคนิคการดึงลวดรับแรงดึงแล้วเทคอนกรีตลงในแบบ เมื่อคอนกรีตแข็งจนได้กำลังจึงทำการตัดลวดรับแรงดึง ทำให้เกิดแรงอัดในเสาเข็ม ช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของเสาเข็ม
เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรงหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเสาเข็มสปัน เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดพิเศษที่ผลิตที่ใช้กรรมวิธีการปั่นคอนกรีตในแบบหล่อซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้

เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตที่หล่อโดยวิธีธรรมดา จึงมีความแข็งแรงสูงรับน้ำหนักได้มาก เสาเข็มสปินมีลักษณะเป็นเสากลมตรงกลางกลวง มักใช้เป็นเสาเข็มเจาะเสียบ (Auger press pile)

- 1.2.4 เสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-place concrete pile) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเสาเข็มเจาะ เป็นเสาเข็มที่มุ่งเน้นให้เกิดผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงจากการสั่นสะเทือนน้อย สามารถทำ ความลึกได้มากกว่าเสาเข็มตอก และสามารถควบคุมตำแหน่งได้ดีกว่า แต่มีราคาสูงกว่าในกรณีรับน้ำหนักเท่ากัน
- 1.2.5 เสาเข็มเหล็ก (Steel pile) เป็นเสาเข็มที่ทำจากเหล็กทั้งท่อน ความสามารถรับน้ำหนักได้สูง กว่าเสาเข็มคอนกรีตและไม้ แต่มีราคาแพงและเกิดการผุกร่อนได้ง่ายจากสนิม นิยมใช้กับงาน โครงสร้างชั่วคราวที่ต้องรับน้ำหนักมาก แต่ต้องทำการรื้อถอนในภายหลัง
- 1.2.6 เสาเข็มประกอบ (Composite pile) เป็นเสาเข็มที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดในต้นเดียวกัน จุดสำคัญของเสาเข็มชนิดนี้คือรอยต่อต้องแข็งแรงและสามารถถ่ายน้ำหนักจากท่อนบนสู่ ท่อนล่างได้อย่างดี

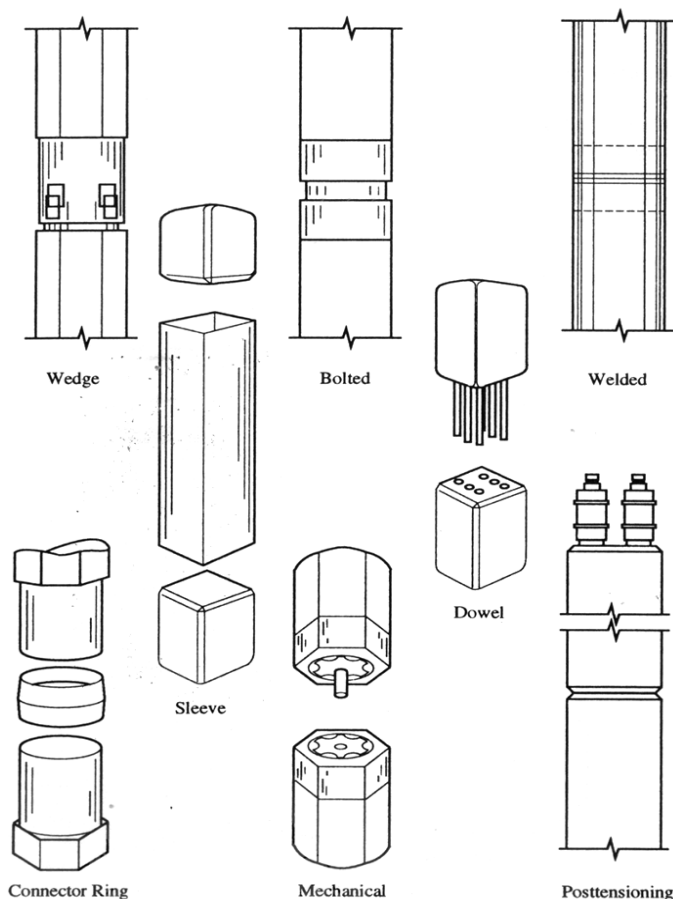
1.3 การแบ่งประเภทของเสาเข็มตามรูปแบบการก่อสร้าง

- 1.3.1 เสาเข็มตอก (Driven pile) คือการใช้ปั้นจั่นตอกเสาเข็มลงไปในดินจนได้ความลึกที่ต้องการ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากวิธีการก่อสร้างไม่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่ในปัจจุบันมีปัญหาในการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีอาคารรอบข้าง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนใน การตอกและการเคลื่อนตัวของดินที่ถูกแทนที่ด้วยเสาเข็ม เนื่องจากการตอกเสาเข็มมักกระทำ โดยผู้รับจ้างซึ่งไม่ใช่วิศวกร การควบคุมการตอกจึงกระทำโดยวิศวกรผู้รับผิดชอบโครงการ นั้นซึ่งมีประเด็นสำคัญที่ควรทราบหลายประการ จึงจะนำไปเสนอในหัวข้อที่ 4
- 1.3.2 เสาเข็มเจาะหล่อในที่ (Bored pile) คือเสาเข็มที่ก่อสร้างโดยหล่อคอนกรีตลงไปในดินที่ ถูกเจาะเป็นหลุมไว้ล่วงหน้าให้เต็ม เป็นวิธีก่อสร้างที่ช่วยแก้ปัญหาที่พบในการใช้เสาเข็มตอก ทั้งการขนย้ายเสาเข็มเข้าพื้นที่ก่อสร้าง การรบกวนอาคารรอบข้างเนื่องจากแรงสั่นสะเทือน จากการตอก รวมทั้งการควบคุมตำแหน่งและแนวของเสาเข็ม การเจาะอาจกระทำโดย กระบวนการแห้ง (Dry process) คือการเจาะโดยไม่ต้องใช้น้ำช่วยสำหรับกรณีที่ดินข้างหลุม เจาะมีเสถียรภาพ หากดินข้างหลุมเจาะพังทลาย ต้องใส่น้ำผสมสารเบนโทไนท์หรือ โพลี เมอร์ลงไปในหลุมเพื่อช่วยพยุงดินข้างหลุม เรียกว่ากระบวนการเปียก (Wet process) สำหรับการเจาะดินสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเจาะแบบหมุน (Rotary type) แบบ

ขุด (Excavation type) และการเจาะแบบทุ้งกระทบ (Percussion type) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการก่อสร้างขนาดเล็กในพื้นที่แคบ การควบคุมคุณภาพของการก่อสร้างมีส่วนที่สำคัญคือ การกำหนดตำแหน่งของเสาเข็ม การควบคุมแนวการเจาะให้ได้แนวดิ่ง ความสะอาดและเรียบร้อยของหลุมเจาะ การติดตั้งเหล็กเสริม และการเทคอนกรีต หากการก่อสร้างเสาเข็มเจาะกระทำโดยบริษัทที่ดีและมีประสบการณ์แล้ว วิศวกรของบริษัทจะเป็นผู้ควบคุมดูแลคุณภาพของเสาเข็มเจาะ

1.3.3 เสาเข็มเจาะเสียบ (Auger press pile) เป็นการใส่เสาเข็มสำเร็จรูป ติดตั้งโดยการเจาะดินให้เป็นรูขนาดเล็กกว่าขนาดเสาเข็มเล็กน้อยแล้วกดเสาเข็มลงไปในรู เป็นการแก้ปัญหาการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดิน วิธีนี้สามารถใช้การตอกแทนกดได้ซึ่งนอกจากลดปัญหาการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของดินแล้ว ยังช่วยในกรณีที่ต้องตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินที่แข็งแรงมาก นิยมใช้เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงซึ่งมีรูกลวงตรงกลาง โดยในระหว่างที่กดเสาเข็มลงไปนั้น ส่วนซึ่งใส่อยู่ในรูเสาเข็มก็จะหมุน เพื่อนำดินขึ้นมา เมื่อกดเสาเข็มพร้อมกับเจาะดินจนเสาเข็มจมลงไถ่ระดับที่ต้องการก็หยุดกด ดึงดอกสว่านออกแล้วตอกด้วยลูกตุ้มจนได้ระดับที่ต้องการ

1.4 การต่อเสาเข็ม

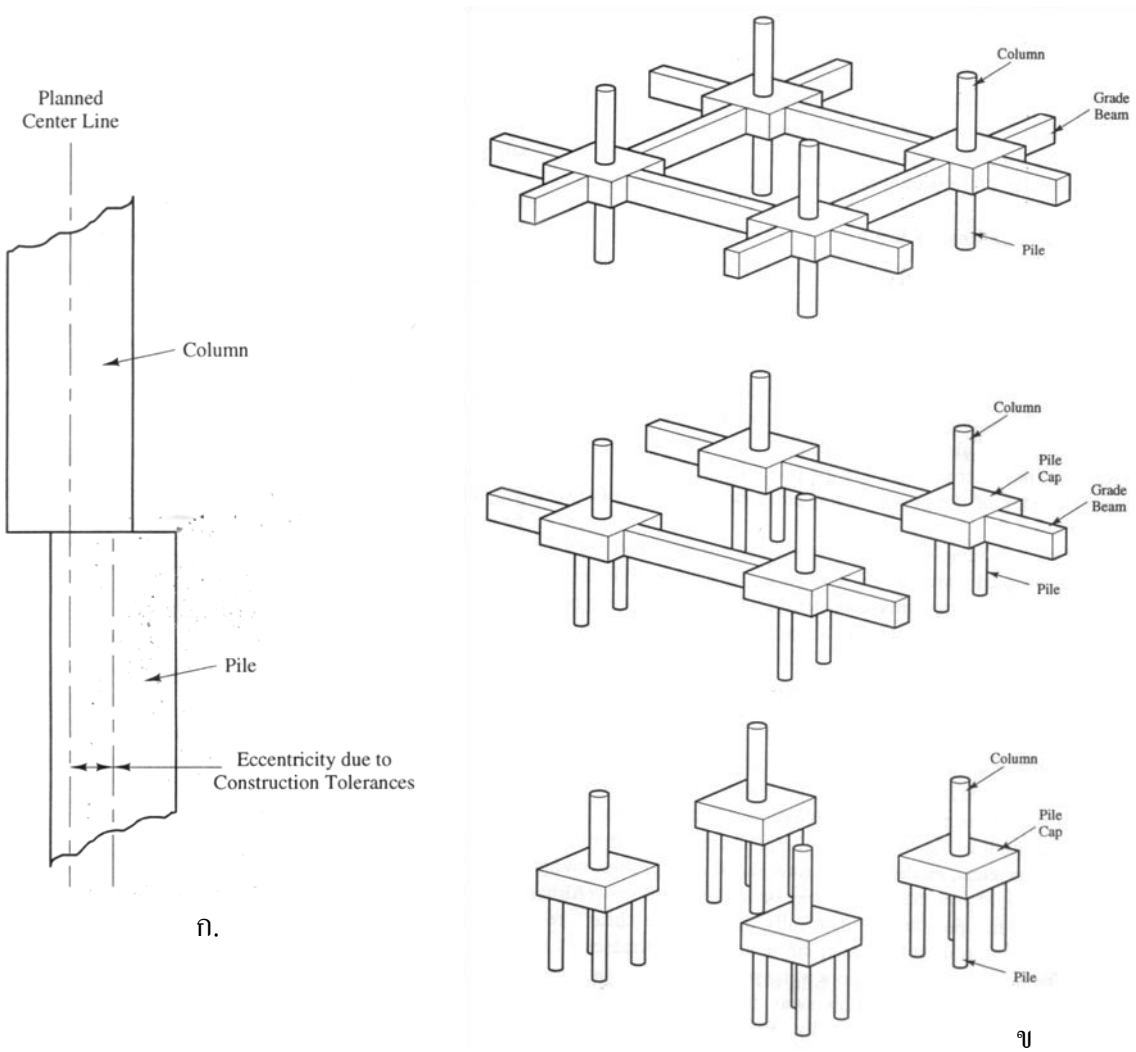


รูปที่ 1 รูปแบบการต่อเสาเข็ม
คอนกรีตอัดแรง

การใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ในบางกรณีจำเป็นต้องมีการต่อเสาเข็ม อาจเนื่องจากคาดคะเนความยาวของเสาเข็มน้อยไป หรือพื้นที่ก่อสร้างคับแคบไม่สามารถขนย้ายเสาเข็มยาวมาใช้งานได้ การต่อเสาเข็มจำเป็นต้องมีการออกแบบวิธีต่อไว้เพื่อให้เสาเข็มสามารถถ่ายแรงได้โดยสมบูรณ์ รูปที่ 1 เป็นรูปแบบการต่อเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงซึ่งแนะนำโดย Courtesy of Precast/Prestressed Concrete Institute

1.5 การจัดรูปแบบของเสาเข็ม

เนื่องจากในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นเสาเข็มตอก เป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำให้ศูนย์กลางของเสาเข็มอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง หากใช้เสาเข็มเดี่ยวเมื่อก่อสร้างต่อม่ออกจากเสาเข็มศูนย์กลางของต่อม่อจะไม่ตรงกับศูนย์กลางของเสาเข็มดังรูปที่ 2 ก. การเอียงศูนย์กลางจะทำให้เกิดโมเมนต์และอาจทำให้ต่อม่อหรือเสาเข็มวิบัติได้ หากต้องการใช้เสาเข็มเดี่ยวหรือเข็มคู่ต้องทำคานยึดที่หัวเสาเข็มดังรูปที่ 2 ข. หากเป็นฐานรากที่ใช้เสาเข็มมากกว่า 2 ต้นไม่จำเป็นต้องใช้คานยึด



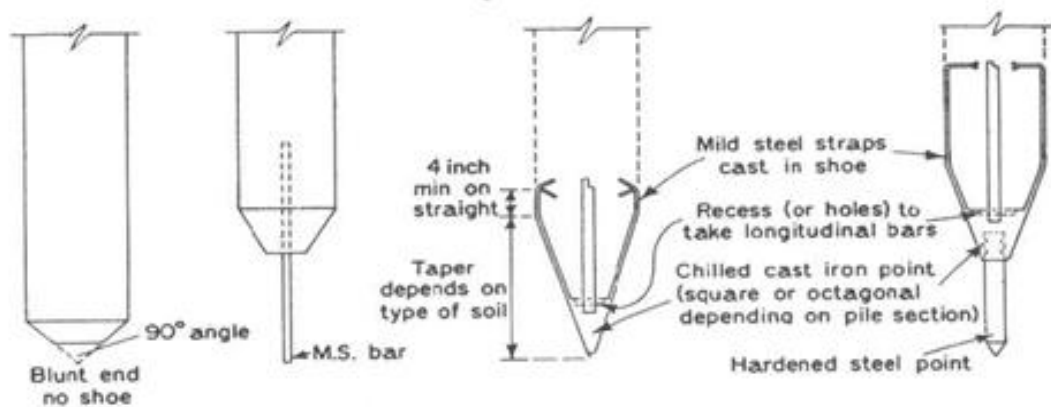
รูปที่ 2 การเอียงศูนย์กลางของเสาเข็มและการแก้ไข

2. เสาเข็มตอก

เสาเข็มตอกมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- 1) หัวเสาเข็ม (Head) คือส่วนบนสุดของเสาเข็มที่รองรับแรงกระแทกจากการตอกเสาเข็ม
- 2) ตัวเสาเข็ม (Foot) ส่วนลำตัวของเสาเข็ม มีพื้นที่ผิวมากกว่าส่วนอื่นๆ ทำหน้าที่รับแรงเสียดระหว่างเสาเข็มกับดิน
- 3) ปลายเสาเข็ม (Tip) คือส่วนล่างสุดของเสาเข็ม ทำหน้าที่เจาะทะลุชั้นดิน และรับแรงแบกทาน มีหลายรูปแบบแล้วแต่วัสดุของดินที่ตอกผ่าน ได้แก่
 - ปลายหัวป้าน เหมาะกับการตอกผ่านดินอ่อน ดังแสดงในรูป 3 ก.
 - ปลายหัวเข็ม เหมาะกับการตอกผ่านดินอ่อน โดยสวนปลายปักลงชั้นดินดานหรือ ทราย ดังแสดงในรูป 3 ข.
 - ปลายหัวดินสอ เหมาะกับการตอกผ่านดินเหนียว กรวด ทราย โดยปลายเป็นเหล็กหล่อดังแสดงในรูป 3 ค.
 - ปลายหัวปากกา เหมาะกับการตอกผ่านชั้นหิน ดังแสดงในรูป 3 ง.
- 4) แผ่นเหล็กหัวเสาเข็ม (Driving Head) คือแผ่นเหล็ก ที่ปิดทับบนหัวเสาเข็มถูกยึดด้วยเหล็กสมอเทฟิงเข้าเนื้อ คอนกรีต ทำหน้าที่เพื่อรองรับน้ำหนักการกระทบของ ตุ่มและใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างเข็มท่อนบน และล่าง

การก่อสร้างฐานรากชนิดเสาเข็มตอกสามารถสรุปขั้นตอนที่สำคัญได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 4



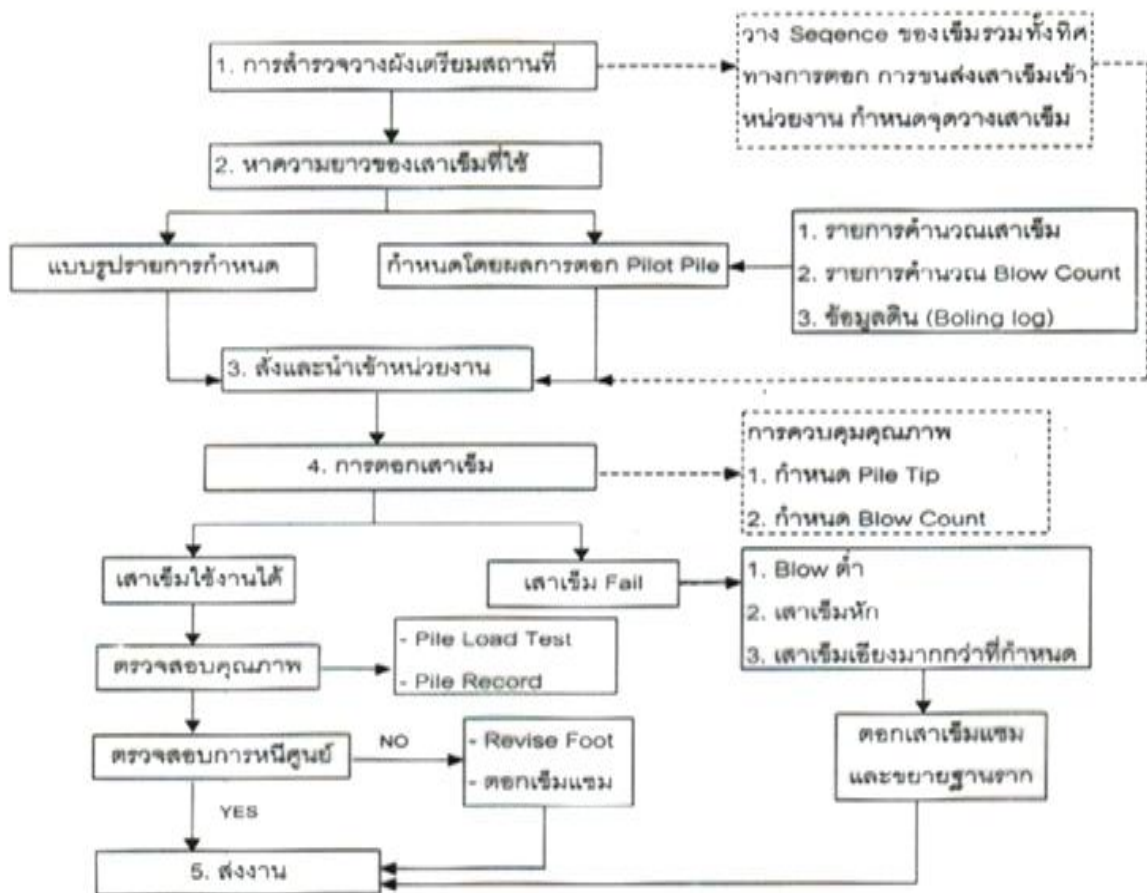
ก. ปลายหัวป้าน

ข. ปลายหัวเข็ม

ค. ปลายหัวดินสอ

ง. ปลายหัวปากกา

รูปที่ 3 รูปแบบปลายเสาเข็ม



รูปที่ 4 แผนภูมิการก่อสร้างเสาเข็มตอก

2.1 การตรวจรับและการกองเก็บเสาเข็ม

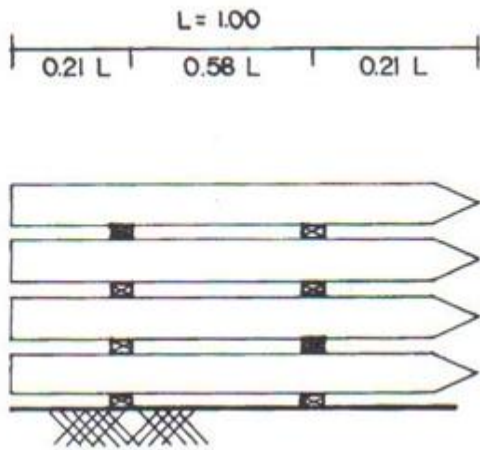
2.1.1 การตรวจรับเสาเข็มที่นำส่ง

- ตรวจสอบความยาว ขนาด Dowel และวันที่ผลิต
- การลงเสาเข็มควรใช้รถเครนเพื่อป้องกันเสาเข็มร้าวหรือหัก
- การลงโดยใช้แรงงานคนงัดลงควรจัดลงผ่านทางลาด และมียาง รถยนต์รองรับ
- ควรทำการตรวจรอยร้าวของเสาเข็ม โดยใช้น้ำราด บริเวณที่รอยร้าว น้ำจะซึมลงทำให้เห็นรอยร้าวเมื่อน้ำบริเวณอื่นแห้ง ถ้าพบรอยร้าวรอบเสาเข็มเกินกว่าที่ระบุในข้อกำหนด ประกอบแบบ หรือตามที่กำหนดใน มอก. ไม่ควร นำไปใช้งาน

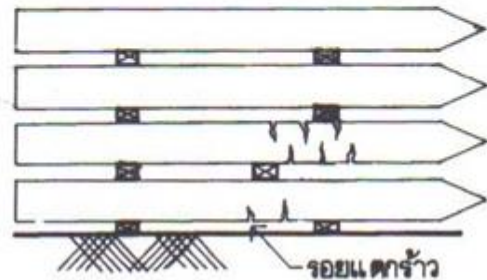
2.1.2 การกองเก็บเสาเข็ม

- ปรับพื้นที่กองเก็บให้เรียบ ได้ระดับ

- ใช้ไม้รองบริเวณที่ $0.21L$ ของเสาเข็มทั้งด้านหัวเสา และปลายเสาตามรูปที่ 5 ก. ทุกชั้นที่มีการวางซ้อนทับต้องรองไม้รองให้ตรงเป็นแนวดิ่ง มิฉะนั้นเสาเข็มจะบิดค้ำรูปที่ 5 ข. สามารถสังเกตจุดรองรับได้ว่าอยู่บริเวณเดียวกับจุดที่ยก



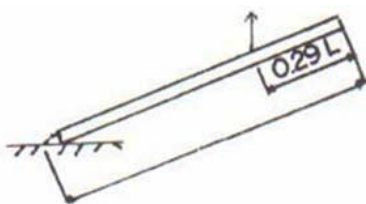
ก. การกองเก็บเสาเข็มที่ถูกต้อง



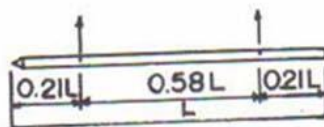
ข. การกองเก็บเสาเข็มที่ผิด

รูปที่ 5 การกองเก็บเสาเข็ม

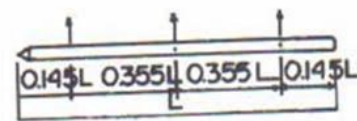
- 2.1.3 การโยกย้ายเสาเข็ม เนื่องจากเสาเข็มคอนกรีตมีความเปราะมีโอกาสชำรุดเสียหายในการเคลื่อนย้าย จึงควรรู้จักตำแหน่งในการยกเพื่อโยกย้ายที่ถูกต้อง โดยมี 3 ลักษณะคือ การยกจุดเดียว (Single Point Lifting) การยกสองจุด (Two Point Lifting) และการยกสามจุด (Three Point Lifting) ดังแสดงในรูปที่ 6



ก. ยกจุดเดียว



ข. ยกสองจุด

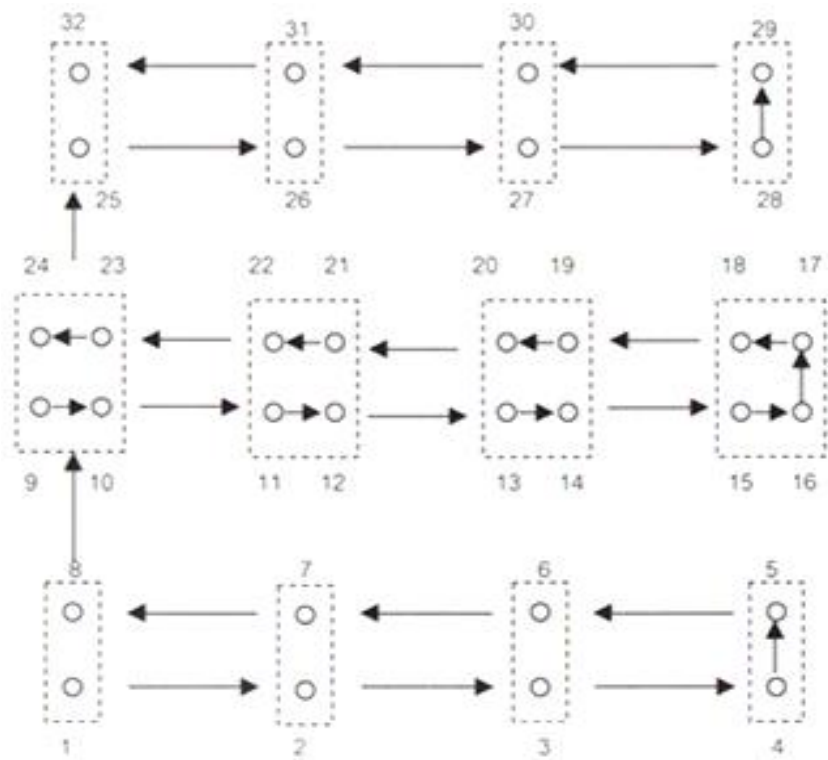


ค. ยกสามจุด

รูปที่ 6 การยกเสาเข็ม

2.2 การเตรียมการตอกเสาเข็ม

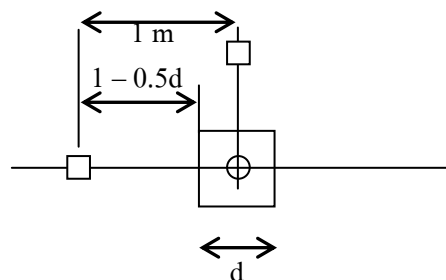
- 2.2.1 การวางแผนจัดลำดับการตอกเสาเข็มและเดินปั้นจั่น ก่อนการเริ่มงานทาง ผู้รับเหมาเสาเข็ม ควรจัดเตรียมแผนการเดินปั้นจั่น เพื่อจะได้รู้ว่าตอกจากไหนไปไหน และสามารถจัดการที่ลงเสาเข็มให้ใกล้ตำแหน่งที่สุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างการวางแผนจัดลำดับการตอกเสาเข็มและเดินป็นจัน

ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 7 เป็นการจัดลำดับเพื่อความสะดวกและประหยัดในการตอกเสาเข็ม แต่หากต้องการควบคุมการเคลื่อนตัวของดินให้ออกไปจากอาคารข้างเคียง ต้องจัดลำดับให้ตอกทีละแถวจากในไปนอกซึ่งขัดกับตัวอย่างที่แสดง

- 2.2.2 การวางหมุดเสาเข็มและตรวจสอบ เริ่มแรกให้ทำการลงศูนย์เสาอาคารแล้วทำการวางหมุด โดยทำการตอกหมุดทาสีให้ชัดเจน ก่อนทำการตอก เสาเข็มควรทำ Off Set ออกจากหมุดเสาเข็มเป็นระยะ 1 เมตร ทั้งสองแกน เนื่องจากเมื่อวางเสาเข็มเข้าตำแหน่งจะไม่เห็นว่าเสาเข็มเอียงศูนย์หรือไม่ จะสอบทานได้จาก Off Set ทั้งสองแกนโดยวัดระยะจากหมุด Off Set ถึงริม เสาเข็มต้องเหลือเท่ากับ $1 - 0.5d$ เมื่อ d คือ ขนาดของเสาเข็ม ดังรูปที่ 8



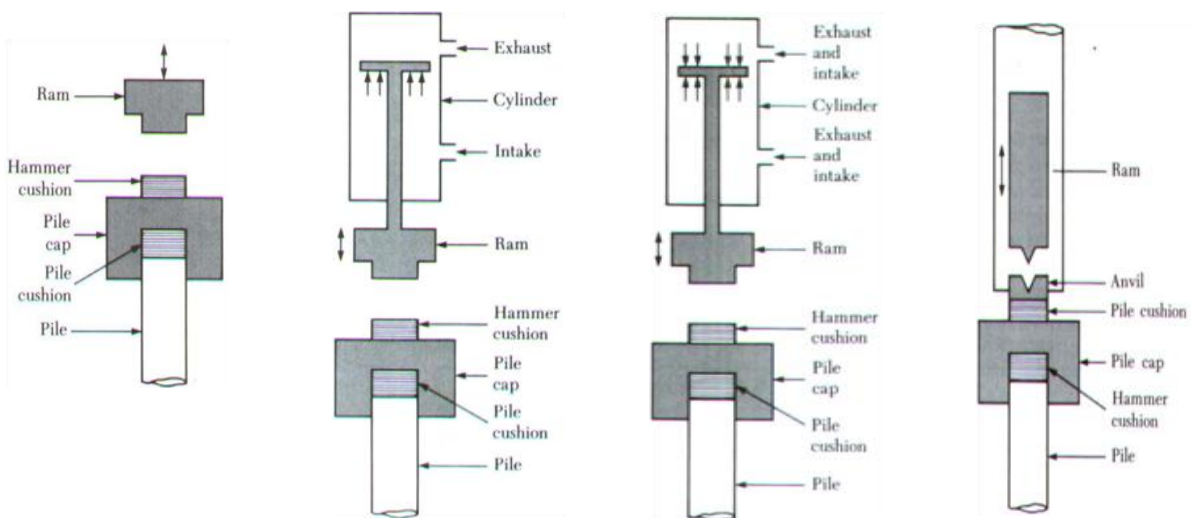
รูปที่ 8 การวางหมุด

2.2.3 การตรวจสอบคั้งเสาเข็ม เมื่อทำการยกเสาเข็มเข้าสู่ตำแหน่งตอก ต้องตรวจสอบคั้งเสาเข็ม โดยใช้กล้อง Theodolite หรือลูกคั้งติดสามขา ต้องตรวจสอบทั้ง 2 แขน เนื่องจากถ้าเสาเข็มไม่ได้คั้งจะทำให้เกิดแรงค้ำในเสาเข็ม อาจทำให้หักขณะตอก หรือถ้าไม่คั้ง กำลังในการรับน้ำหนักก็จะลดลง

2.3 การตอกเสาเข็ม

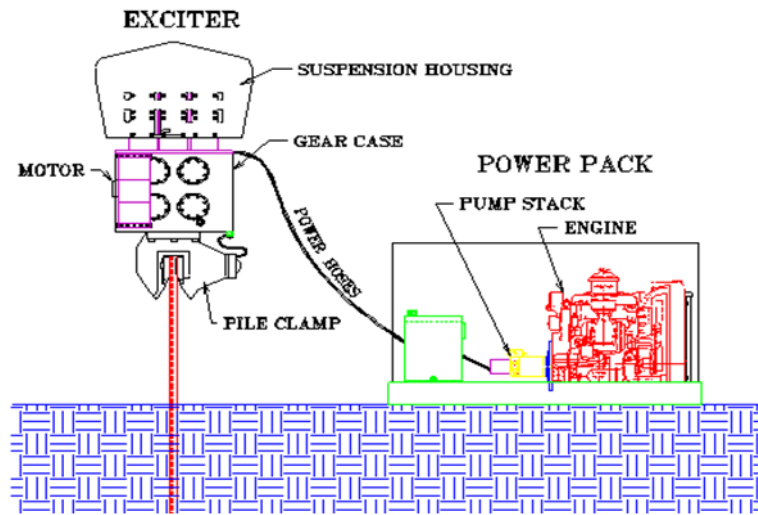
การตอกเสาเข็มสามารถใช้อุปกรณ์ได้หลายประเภท การยกค้ำตอกเสาเข็มสามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 9

- 1) Drop Hammer เป็นการตอกโดยใช้ปั้นจั่นยกลูกค้ำขึ้นสูงแล้วปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาเข็ม เป็นแบบคั้งเดิมที่ปัจจุบันยังใช้กันมากเนื่องจากใช้เครื่องจักรที่ราคาไม่สูง แต่ต้องระมัดระวังในการสร้างปัญหาต่อสิ่งก่อสร้างข้างเคียงเนื่องจากทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนมาก
- 2) Single-Acting Hammer เป็นการตอกโดยใช้แรงดันไอน้ำ (Steam Hammer) หรือแรงค้ำลม (Pneumatic Hammer) หรือแรงค้ำน้ำมัน (Hydraulic Hammer) ในการยกค้ำ โดยมิระยะในการยกไม่สูง จึงมีแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่า Drop Hammer
- 3) Double-Acting Hammer มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Single-Acting Hammer แต่ในช่วงที่ค้ำตกลงมายังหัวเสาเข็มจะมีการให้แรงค้ำช่วยเพิ่มพลังงานในการตอกด้วย
- 4) Diesel Hammer ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนค้ำในลักษณะของการขับเคลื่อนลูกสูบของรถยนต์ อาจมีปัญหาในการสร้างมลภาวะในอากาศหากเครื่องยนต์ที่ใช้ไม่ได้บำรุงรักษาดีพอ
- 5) Vibratory Hammer การทำงานแตกต่างจากค้ำชนิดอื่น ใช้แรงสั่นสะเทือนและน้ำหนักบรรทุกกดเสาเข็มลงไปในดินดังรูปที่ 10 ใช้ได้ดีในทราย



ก. Drop Hammer ข. Single-Acting Hammer ค. Double-Acting Hammer ง. Diesel Hammer

รูปที่ 9 ชนิดของค้ำตอกเสาเข็ม



รูปที่ 10 Vibratory Hammer

2.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในงานตอกเสาเข็ม

- 2.4.1 กรณีที่ไม่สามารถขนส่งเสาเข็มเข้าหน่วยงานได้เนื่องจากถนนแคบ อาจแก้ปัญหาโดยการใช่เสาเข็มหลายท่อน หรือเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะแทน หรือใช้เสาเข็มหล่อในที่
- 2.4.2 ระยะทางดึงและ/หรือทางราบไม่เพียงพอในการตอกเสาเข็ม อาจต้องหมุนปั้นจั่นเอาตุ้มเข้าหาสิ่งกีดขวาง หรือเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะแทน
- 2.4.3 ความสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม อาจแก้ปัญหาโดยใช้ปั้นจั่นระบบดีเซลหรือไอน้ำ (Diesel or Steam Hammer) แทน หรือขุดคูน้ำตามแนวที่จะป้องกันการสั่นสะเทือน หรือใช้เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยง (Spun Pile) หรือเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะ นอกจากนี้วิศวกรผู้ควบคุมงานต้องสังเกตสภาพอาคารข้างเคียงอย่างสม่ำเสมอ
- 2.4.4 ดินเคลื่อนตัวจากการตอกเสาเข็ม แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ
- ดินเคลื่อนตัวจากการตอกเสาเข็มดันหลังไปดันเสาเข็มที่ตอกก่อนจนเสียหาย อาจแก้ไขโดยวางแผนตอกเสาจากบริเวณดินแข็งไปหาดินอ่อน หรือเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะ
 - อาคารข้างเคียงเสียหายเนื่องจากดินเคลื่อนตัวจากการตอกเสาเข็ม อาจแก้ไขโดยการวางแผนการตอกเสาเข็มไล่จากด้านที่อยู่ใกล้อาคารข้างเคียงออกไป หรือเปลี่ยนเสาเข็มเป็นเสาเข็มที่แทนที่ดินน้อยกว่าเพื่อลดการแทนที่ของเสาเข็มในดิน หรือเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะ
- 2.4.5 เสาเข็มหนีศูนย์ ปัญหานี้สามารถป้องกันได้โดยเอาใจใส่ในขั้นตอนของการตรวจสอบแนวตั้งของเสาเข็มและปั้นจั่นก่อนตอก ในกรณีที่พบปัญหานี้หลังจากตอกแล้วอาจทดสอบ

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม หากเสาเข็มไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบ ต้องตอกเสาเข็มแซมและออกแบบครอบหัวเสาเข็ม (Pile Cap) ใหม่

2.4.6 เสาเข็มหัก ปัญหานี้สามารถป้องกันได้โดยเอาใจใส่ในขั้นตอนของการตรวจสอบแนวตั้งของเสาเข็มและป็นจั่นก่อนตอก เลือกปลายเสาเข็มให้เหมาะสมกับสภาพดิน ใช้ลูกค้อนที่ไม่ใหญ่เกิน และไม่ชนเสาเข็มระหว่างตอก หากพบว่าเสาเข็มหัก ต้องตอกเสาเข็มแซมและออกแบบครอบหัวเสาเข็ม (Pile Cap) ใหม่

2.4.7 ตอกเสาเข็มจนจมลงในดินจนหมดความยาวแล้วยังไม่ได้จำนวนนับ (Blow Count) ตามกำหนด ปัญหานี้ป้องกันได้หากมีการเจาะสำรวจชั้นดินที่มีคุณภาพ ในทางปฏิบัติ มักพยายามตอกต่อไปโดยใช้เหล็กส่งหัวเสาเข็มให้จมลงไปดินซึ่งบางครั้งก็ทำให้ได้จำนวนนับที่ต้องการ แต่ไม่ควรส่งลึกเกินไปเพราะจะมีปัญหาในการขุดดินลงไปทำครอบหัวเข็ม หากพบปัญหานี้ควรเจาะสำรวจชั้นดินใหม่เพื่อทราบว่าความยาวเสาเข็มที่แท้จริงเป็นเท่าไร

2.4.8 อุบัติเหตุในการทำงานป็นจั่น แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

- ป็นจั่นล้ม ปรับพื้นที่ให้เรียบ ยึบนพื้นที่ที่มั่นคงแข็งแรง รองไม้หมอนให้เพียงพอ และไม่หนุนไม้หมอนสูงหลายชั้น ควรหลีกเลี่ยงการลากเข็มจากด้านหลัง ตั้งป็นจั่นให้ไ้ตั้ง
- อุบัติเหตุทางร่างกาย มักเกิดจากความประมาทของผู้ควบคุมป็นจั่นและผู้ช่วย อาจเนื่องมาจากความคุ้นเคยกับการปฏิบัติงานจนไม่ระมัดระวังตัว ผู้ที่ทำหน้าที่ที่ป็นจั่นไม่ควรไปพลัด คั้น ดึงเสาเข็มขณะป็นจั่นทำงาน และไม่ควรไปยืนในแนวตั้งเสาเข็ม ทั้งนี้วิศวกรพึงทราบว่า ในปัจจุบันมีกฎกระทรวงออกมาบังคับให้ผู้ควบคุมป็นจั่นต้องผ่านการอบรมจากสถาบันที่น่าเชื่อถือก่อน

2.5 การตรวจสอบคุณภาพงานเสาเข็ม

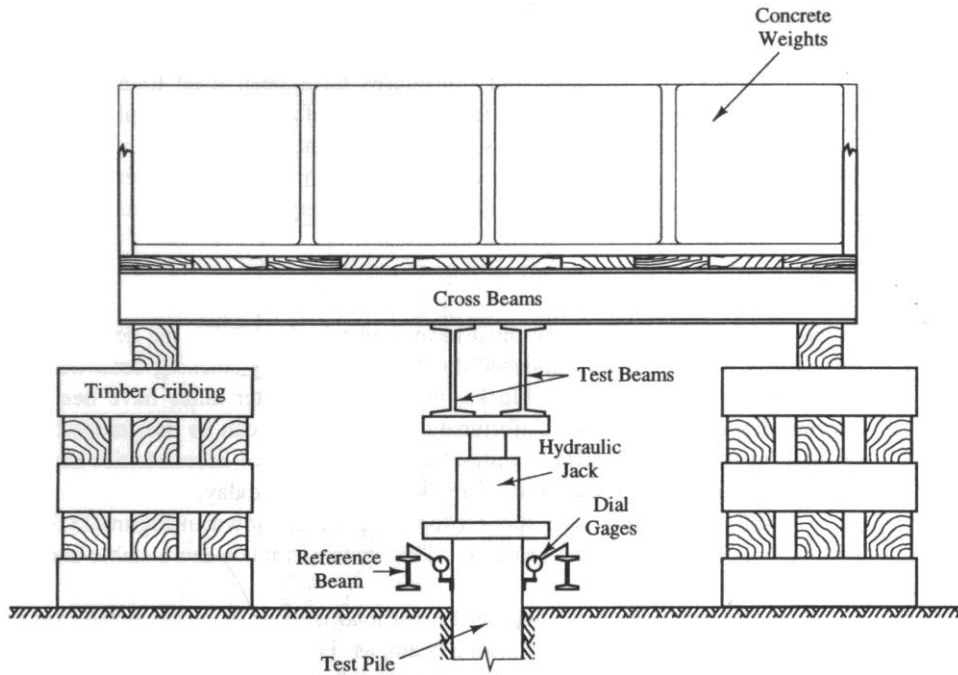
หลังจากการก่อสร้างเสาเข็ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเสาเข็มคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นเสาเข็มตอกหรือเจาะ อาจมีข้อสงสัยในความสมบูรณ์ (Integrity) ของเสาเข็ม ในปัจจุบันจะทำการทดสอบโดยใช้คลื่นเคาะที่หัวเสาเข็มแล้ววิเคราะห์คลื่นของความสั่นสะเทือน (Seismic Integrity Test)

3. กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

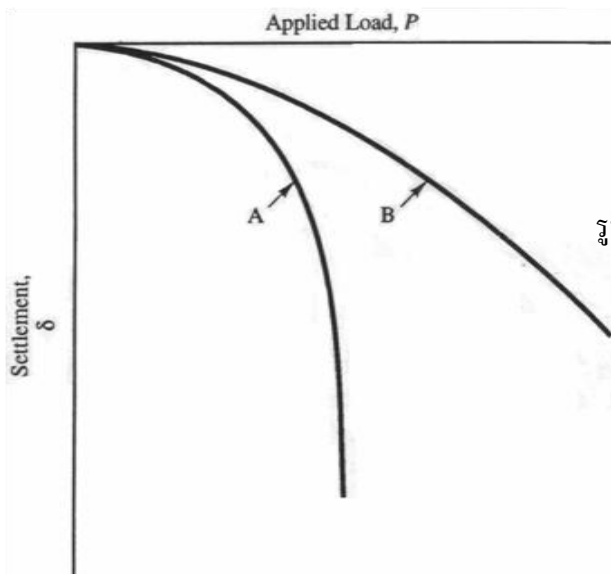
3.1 การทดสอบกำลังของเสาเข็ม (Pile Load Test)

3.1.1 Static Load Test เป็นการทดสอบที่ให้แรงกระทำที่หัวเสาเข็มโดยตรงโดยใช้น้ำหนักบรรทุกดั่งรูปที่ 11 หรือใช้เสาเข็มสมอ การทดสอบจะค่อยๆ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกแก่เสาเข็มครั้งละ

ร้อยละสิบของกำลังทดสอบสูงสุด แต่ครั้งที่เพิ่มน้ำหนักบรรทุกจะค้ำน้ำหนักนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง การทดสอบต้องใช้เวลาหลายวันผลการทดสอบจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มดังรูปที่ 12



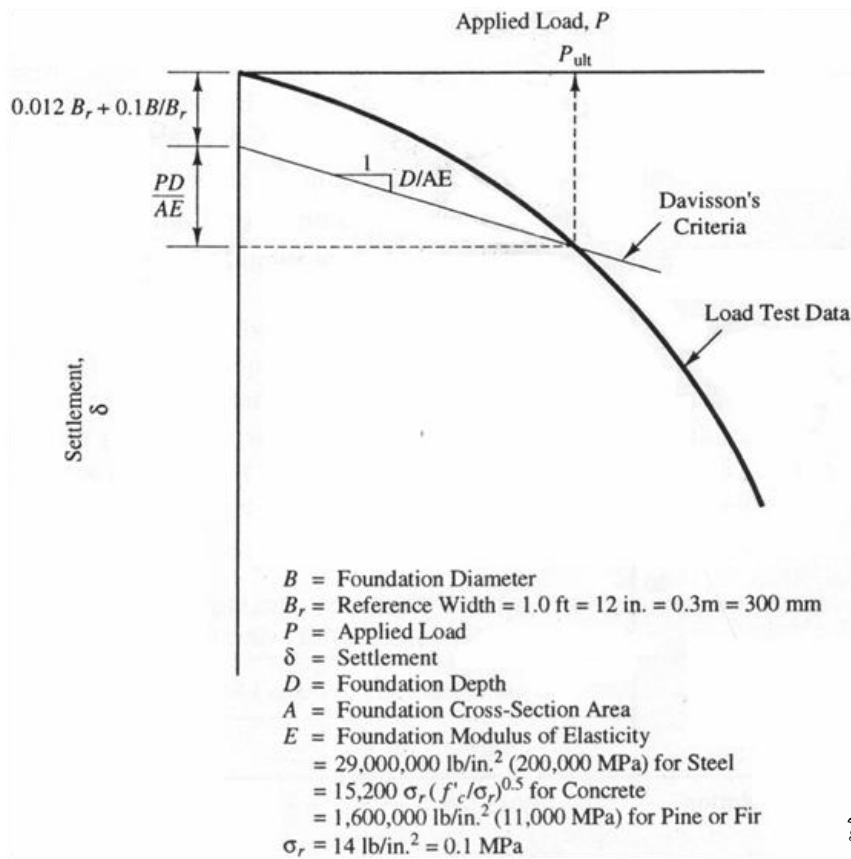
รูปที่ 11 Static Load Test โดยใช้น้ำหนักบรรทุก



รูปที่ 12 ผลของ Static Load Test

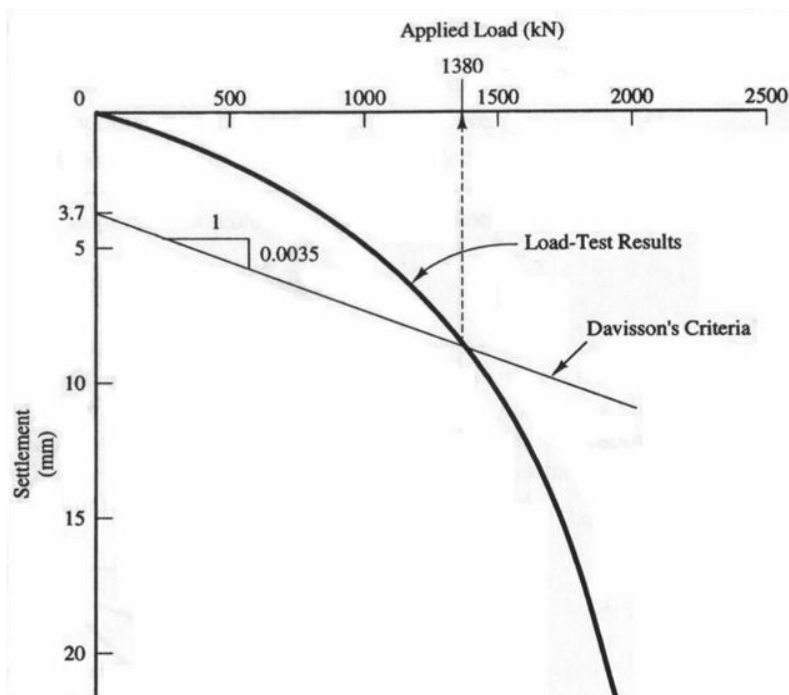
A เป็นผลการทดสอบเสาเข็มในดินอ่อนซึ่งพบจุดวิบัติอย่างชัดเจน
B เป็นผลการทดสอบเสาเข็มในดินที่แข็งแรง

เส้น A ในรูปที่ 12 มีลักษณะที่สามารถคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate Bearing Capacity) ของเสาเข็มได้ชัดเจน แต่ในกรณีของเส้น B นั้นไม่สามารถคาดคะเนได้ มีการเสนอวิธีประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยไว้หลายวิธี วิธีที่ได้รับความนิยมมากคือ Davisson's Method ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 Davisson's Method

ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มในรูปที่ 14 ได้จากการทดสอบเสาเข็มคอนกรีตสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 400 มม. ยาว 17 ม. ให้ประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกพหุประลัยโดย Davisson's Method กำหนดให้ค่ากำลังประลัยของคอนกรีต (f'_c) เป็น 40 MPa



รูปที่ 14 ผลการทดสอบเสาเข็ม
ของตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} W &= 3.5 \text{ ตัน} \\ h &= 60 \text{ ซม.} \\ Q_u &= 20 \text{ ตัน (Working load หรือ Allowable Bearing load)} \\ S &= ? \\ \text{F.S.} &= \text{แนะนำให้ใช้} = 4.0 \\ Q_u &= 20 \times 4.0 \\ &= 80 \\ \text{จากสูตร } Q_u &= \frac{Wh}{S + 2.54 C} \\ \text{แทนค่า } 80 &= \frac{3.5 \times 60}{S + 2.54(0.9)} \\ S &= 2.625 - 2.286 \\ &= 0.339 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 10 ครั้งสุดท้ายต้องได้ไม่มากกว่า 0.339 ซม. หรือค่าจากการทดสอบ 10 ครั้งสุดท้ายต้องไม่มากกว่า 3.4 ซม.

3.2.2 Hiley's Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_u = \frac{eWhz}{S + \frac{C}{2}}$$

$$Q_u = \text{Ultimate bearing capacity เป็นต้น}$$

$$e = \text{Efficiency factor} = \frac{W + Pr^2}{W + P}$$

$$W = \text{น้ำหนักของลูกตุ้ม เป็นต้น}$$

$$P = \text{น้ำหนักของเสาเข็ม เป็นต้น}$$

$$r = \text{Coefficient of restitution} = 0.25$$

ในกรณีที่เสาเข็มคอมกรีตถูกตอกด้วยลูกตุ้มปล่อยรองด้วยกระสอบ

$$h = \text{ระยะยกลูกตุ้มสูงจากหัวเสาเข็มเป็น ซม.}$$

$$z = \text{Equipment Loss Factor}$$

$$= 1 \text{ สำหรับ Falling hammer}$$

$$= 0.80 \text{ Drop hammer with Friction winch}$$

- S = ระยะที่เสาเข็มจมเป็นเซนติเมตร โดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย
- C = Temporary Compression = $C_1 + C_2 + C_3$
- C_1 = การยุบตัวของกระสอบรองหัวเสาเข็มหนา
- $$L_2 \text{ (ม.)} = \frac{1.8 Q_u L_2}{A} \text{ ซม.}$$
- C_2 = การยุบตัวของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กที่ยาว L (ม.) = $0.72 \frac{Q_u L}{A}$ ซม.
- C_3 = $3.6 \frac{Q_u}{A}$
- A = เนื้อที่หน้าตัดของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นตาราง ซม.

ตัวอย่างการคำนวณ

W = 3.5 ตัน, h = 60 ซม., $Q_u = 20$ ตัน(Working load), L = 21 ม.,
P = 2.0 ตัน, A = 650 ซม.²,
 $L_2 = 10$ ซม., S = ?
ถ้าใช้ส่วนปลอดภัย (F.S.) = 4
 $Q_u = 20.0 \times 4.0 = 80.0$ ตัน

จากสูตร $Q_u = \frac{eWhz}{S + \frac{C}{2}}$

$$e = \frac{W + Pr^2}{W + P} = \frac{3.5 + 2.0(0.25)^2}{3.5 + 2.0}$$

$$= 0.659$$

$$C_2 = \frac{0.72 \times 80 \times 21}{650} = 1.86 \text{ ซม.}$$

$$C_1 = \frac{1.8 \times 80 \times 0.10}{650} = 0.022 \text{ ซม.}$$

$$C_3 = \frac{3.60 \times 80}{650} = 0.443 \text{ ซม.}$$

แทนค่า 80 = $\frac{0.659(3.5)(60)(0.80)}{S + \frac{(1.86 + 0.022 + 0.443)}{2}}$

$$S = 1.3839 - 1.1625 = 0.2214 \text{ ซม.}$$

ค่าเฉลี่ยจาก 10 ครั้งสุดท้ายได้ไม่มากกว่า 0.2214 ซม. หรือการทรุด 10 ครั้งสุดท้ายได้ไม่มากกว่า 2.2 ซม.

3.2.3 Janbu's Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_u = \frac{Wh}{K_u S}$$

$$K_u = C_d \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right]$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 \frac{P}{W}$$

$$\lambda = \frac{WhL}{AES^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับตัวอย่างของ Hiley

$$\therefore C_d = 0.75 + 0.15 \times \frac{2.0}{3.5} = 0.84$$

$$\text{แทนค่า } 80 = \frac{3.5 \times 60}{0.84 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{3.5 \times 60 \times 2100}{650 \times 180 \times S^2 \times 0.84}} \right) S}$$

$$80 = \frac{210}{0.84 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4.487}{S^2}} \right) S}$$

$$S = 0.845$$

ค่าเฉลี่ยจาก 10 ครั้งสุดท้าย จะต้องทำให้เข็มทรุดลงไปไม่เกิน 0.845 ซม.

\therefore หรือการทรุด 10 ครั้งสุดท้าย ต้องน้อยกว่า 8.45 ซม.

3.2.4 Load Bearing Capacity (แนะนำให้ใช้ F.S. = 5)

$$Q_u = \frac{a}{S + \frac{1}{2} \sqrt{2ab}}$$

เมื่อ a = กำลังงานจากการตอกที่หัวเข็ม = ewh

e = 1 สำหรับ Falling hammer

0.8 สำหรับ drop hammer with friction winch

b = $\frac{L}{AE}$ = พลังงานที่สูญเสียไปในตัวเสาเข็ม

W = น้ำหนักของลูกตุ้ม เป็นต้น

P = น้ำหนักของเสาเข็ม เป็นต้น

L = ความยาวของเสาเข็มเป็น ซม.

A = เนื้อที่หน้าตัดของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น ตร.ซม.

- E = พิกัดยึดเป็น ตัน/ซม.²
h = ยกสูงจากเสาเข็มเป็น ซม.
Q_u = Ultimate bearing capacity เป็นตัน
S = ระยะที่เสาเข็มจมเป็น ซม. โดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย

ตัวอย่างการคำนวณ

- W = 3.5 ตัน, L = 21 เมตร
A = 650 ซม.², P = 2.0 ตัน
E = 2 x 10⁶ กก./ซม.² = 2 x 10³ ตัน / ซม.²
H = 50 ซม.
Q_a = Working Load = 20 ตัน
S = ?
Q_u = 20 x 5 = 100 ตัน

$$Q_u = \frac{a}{S + \frac{1}{2} \sqrt{2ab}}$$

$$S = \frac{a}{Q_u} - \frac{1}{2} \sqrt{2ab}$$

$$= \frac{ewh}{Q_u} - \frac{1}{2} \sqrt{2 \frac{ewh L}{AE}}$$

$$= \frac{0.8 \times 3.5 \times 50}{100} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \times 0.8 \times 3.5 \times 50 \times 21 \times 100}{650 \times 2 \times 10^3}}$$

$$= 1.064 \text{ ซม.}$$

ค่าเฉลี่ย 10 ครั้งสุดท้ายจะต้องทำให้เข็มทรุดลงไม่เกิน 1.064 ซม. หรือการทรุด 10 ครั้ง สุดท้ายต้องน้อยกว่า 10.64 ซม.