การรับน้ำหนักของดินบริเวณที่ก่อสร้างอาคารกรมวิทยาศาสตร์

ขณะนี้ในบริเวณกรมวิทยาศาสตร์กำลังมีการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง ๖ ชั้น ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบได้คำนวณและกำหนดขนาดของเสาเข็มเพื่อรับฐานรากของอาคาร โดยใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงขนาดหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ๓๕×๓๕ เซนติเมตร ยาว ๒๒ เมตร กำหนดให้รับน้ำหนักต้นละ ๔๐ ตัน เป็นอย่างต่ำ จากการนำข้อมูลที่ได้ขณะตอกเสาเข็มดังกล่าว มาวิเคราะห์และคำนวณโดยใช้สูตรของ Engineering News Formula ทำให้ทราบผลได้อย่างคร่าว ๆ ว่า ดินบริเวณนั้นสามารถรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า ๑๑๐ ตัน ต่อเสาเข็ม ๑ ต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบเสาเข็มโดยวิธี Load test พบว่าเสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า ๑๒๐ ตัน

สภาพของดินบริเวณกรุงเทพ ฯ โดยทั่วไปปรากฏว่าจากชั้นบนสุดลึกลงไปจะเป็นชั้นดินอ่อน จนกระทั่งถึงความลึกประมาณ ๒๐ เมตร จึงจะถึงชั้นทรายแน่น ชั้นทรายนี้สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าดินในชั้นแรก และมีการทรุดตัวน้อยกว่ามาก ดังนั้น การออกแบบงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่สูงตั้งแต่ ๔ ชั้นขึ้นไปมักนิยมใช้เสาเข็มยาวไม่ต่ำกว่า ๒๑ เมตร เพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารที่มีน้ำหนักมากได้ เสาเข็มที่ตอกลงไปในดินแล้วนั้น เมื่อมีน้ำหนักกระทำที่ส่วนบนของปลายเสาเข็มเสาเข็มจะถ่ายน้ำหนักลงไปในดินทันที แรงที่รับน้ำหนักจากเสาเข็มที่ถ่ายลงไปในดินนั้น อาจแบ่งได้เป็น ๒ ชนิด คือ แรงที่รับน้ำหนักที่จุดปลายของเสาเข็ม ซึ่งเรียกว่า "bearing capacity at the point" หรือ "end bearing" และแรงที่รับน้ำหนักที่ผิวสัมผัสระหว่างเสาเข็มกับดิน ซึ่งเป็นความฝืด (skin friction) ขณะที่เสาเข็มจมลงไปในดินนั้น ดังนั้นเสาเข็มที่ตอกลงไปในดินแล้วสามารถจะถ่ายน้ำหนักลงไปในดินได้มากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับสภาพของดินบริเวณนั้น และผิวสัมผัสของเสาเข็มตลอดจนรูปร่าง ขนาดหน้าตัดของเสาเข็มด้วย

ได้มีผู้สำรวจและทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงฝืด (friction factor) และสัมประสิทธิ์แรงบรรทุก (bearing factor) ของดินบริเวณกรุงเทพ ฯ พบว่า ส่วนที่เป็นชั้นดินอ่อนหรือดินแข็งปานกลางจะมีสัมประสิทธิ์แรงฝืด ๑.๒ และสัมประสิทธิ์แรงบรรทุก ๐.๓๓ ชั้นดินแข็งและมีสัมประสิทธิ์แรงฝืด ๐.๗ และสัมประสิทธิ์แรงบรรทุก ๐.๓๓ และชั้นที่เป็นทรายจะมีสัมประสิทธิ์แรงฝืด ๐.๕ และสัมประสิทธิ์แรงบรรทุก ๐.๓๓ ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดของเสาเข็มที่ผิวสัมผัสของเสาเข็มแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะผิวของเสาเข็มดังนี้

วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม	* สัมประสิทธิ์ความฝืดของผิวสัมผัส
เสาเข็มไม้	๐.๔
เสาเข็มคอนกรีตที่มีผิวหยาบหรือเข็มเจาะ	๐.๘
เสาเข็มคอนกรีตที่มีผิวเรียบหรือหล่อด้วยไม้แบบ	๐.๓
เสาเข็มเหล็ก	๐.๒ – ๐.๔

นอกจากนี้ขนาดหน้าตัดและสัดส่วนของเสาเข็มก็มีความสำคัญต่อการถ่ายน้ำหนักลงไปยังดินด้วย เสาเข็มที่ประหยัดสามารถถ่ายน้ำหนักลงไปในดินได้ดีและรับน้ำหนักได้มากนั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

๑) เป็นเข็มรูปทรงเรขาคณิตง่าย ๆ เช่น รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปแปดเหลี่ยม หรือวงกลม เป็นต้น

๒) เสาเข็มควรจะมีค่าอัตราส่วนของเส้นรอบรูปประสิทธิผล (effective perimeter) ต่อหน่วยพื้นที่ของหน้าตัดเสาเข็มสูง และมีพื้นที่หน้าตัดต่ำ (สำหรับเสาเข็มตัน เข็มรูปสามเหลี่ยมดีที่สุด)

๓) เสาเข็มสั้นรับแรงฝืด ควรเป็นเสาเข็มกลวงเป็นต้น

จากการพิจารณาและสำรวจสภาพดินบริเวณที่ก่อสร้างอาคารกรมวิทยาศาสตร์ พบว่าสภาพดินทั่วไปจะเป็นดินเหนียว (clay) และเป็นดินที่มีความแข็งปานกลาง เสาเข็มที่วิศกรผู้ออกแบบกำหนดให้ใช้กับดินดังกล่าวเป็นเข็มคอนกรีตอัดแรง หล่อด้วยแบบหล่อเหล็กและมีผิวค่อนข้างเรียบ มีขนาดหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด ๓๕×๓๕ เซนติเมตร ยาวประมาณ ๒๒ เมตร มีน้ำหนักต้นละประมาณ ๕๐๕ ตัน และเนื่องจากอาคารกรมวิทยาศาสตร์เป็นอาคารขนาดใหญ่และยาวมาก ดังนั้นจำนวนเสาเข็มและฐานรากจึงมีมาก กล่าวคือใช้เสาเข็มรวมทั้งสิ้น ๔๘๔ ต้น และมีฐานรากทั้งหมดรวมกัน ๙๔ ฐานราก

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้บันทึกไว้ในขณะตอกเสาเข็ม คือ ขนาดและชนิดของเสาเข็ม ตุ้มน้ำหนัก ระยะยกของตุ้มน้ำหนัก และจำนวนครั้งของการตอกเมื่อเสาเข็มจมลงไปในดินระยะทาง ๑ ฟุต เมื่อนำมาวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน โดยอาศัยทฤษฎีและสูตรการคำนวณ ซึ่งมีด้วยกันหลายสูตร แต่ในที่นี้ได้ใช้สูตรของ Engineering News formula

$$* \quad R = \frac{WH}{S+I}$$

เมื่อ R = resistance of the pile to driving.....(tons)

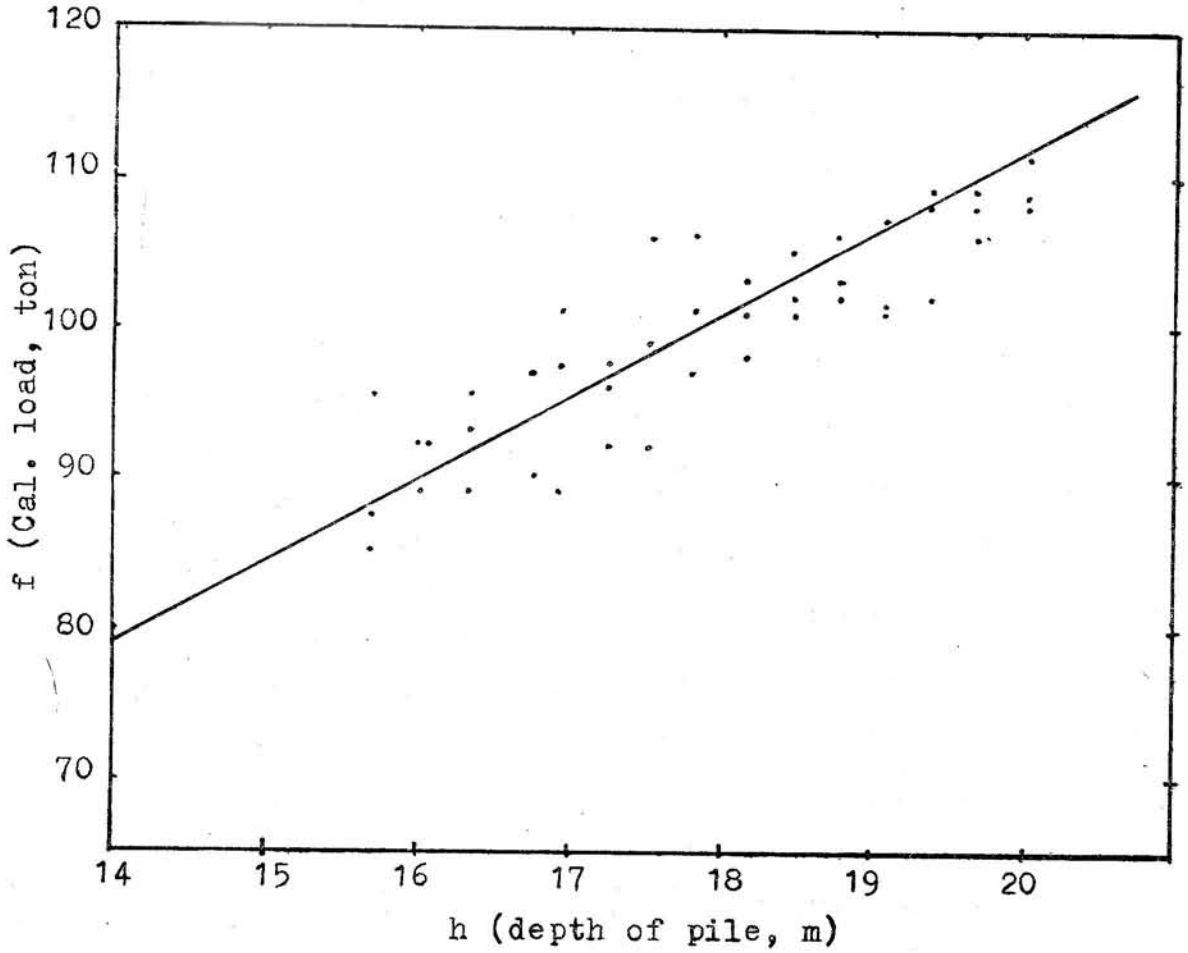
H = the height that the hammer drops.....(inches)

W = the weight of hammer.....(tons)

S = the distance of the pile moves into the ground from one hammer blow.....(inches)

---

* George B. Sowers and George F. Sowers, Introductory soil machines and foundations, 2nd ed., New york, Macmillan, 1961



กราฟแสดงน้ำหนักบรรทุกและความลึกของเสาเข็ม

ผลการคำนวณสามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ความลึกต่าง ๆ กัน ดังในกราฟ

จากการคำนวณพอสรุปได้ว่า การรับน้ำหนักของเสาแต่ละต้นที่ความลึกต่าง ๆ กัน เป็นดังนี้ ชั้นดินที่ความลึกประมาณ ๑๕ เมตร จะรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ ๘๕–๙๒ ตัน ความลึก ๑๘ เมตร จะรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ ๙๘–๑๐๓ ตัน และชั้นดินที่ความลึก ๒๐ เมตร จะรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า ๑๐๘ ตันขึ้นไป และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยวิธี Load test ปรากฏว่าเสาเข็มสามารถรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า ๑๒๐ ตัน ที่ความลึก ๒๑ เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับผลการคำนวณ อย่างไรก็ตามชั้นดินในระดับบนสุดลงไปถึง ๑๕ เมตรนั้น เนื่องจากไม่สามารถบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกได้ เพราะเมื่อยกเสาเข็มขึ้นปักลงไปในดินเสาจะจมลงไปในดินด้วยน้ำหนักของเสาเข็มเอง ดังนั้น จึงไม่อาจที่จะคำนวณกำลังน้ำหนักของดินตามสูตรได้ และจากกราฟระหว่างน้ำหนักที่เสาเข็มรับกับระยะความลึกของเสาเข็ม จะได้กราฟเป็นเส้นตรงมี slope ประมาณ ๕.๔๒ ตัน/เมตร และเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$f = ๓.๓๓+๕.๔๒\ h.$$

เมื่อ f เป็นน้ำหนัก (ตัน) ที่เสาเข็มรับ และ h เป็นความลึก (เมตร) ที่เสาเข็มจมลงไปในดิน ถ้าอนุโลมว่าการรับน้ำหนักทั้งหมด (รวมน้ำหนักของเสาเข็มด้วย) เป็นการรับน้ำหนักจาก end bearing และจาก friction ของดิน และอนุโลมว่าสมการเป็นเส้นตรงตลอดจากความลึก ๐ ถึง ๑๕ เมตร แล้วต่อกราฟออกไป ก็จะได้กราฟเป็นเส้นตรง เมื่อคำนวณ end bearing และ friction ของดินแล้วจะได้ค่าเป็น ๒๗.๒ ตันต่อตารางเมตร และ ๓.๙ ตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ

□