บทที่ 2

แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม

2.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มต้นเดียว

วิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม คือ การหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มโดยใช้การประมาณค่าการกระจายของหน่วยแรงตามแนวเสาเข็มและประยุกต์ใช้ทฤษฎี 1 มิติ (one-dimensional theory) เสนอโดย Terzaghi (1943) หรือใช้สมการความสัมพันธ์ได้จากกผลทดสอบและประสพการณ์ (empirical correlation) ซึ่งเสนอโดยนักวิชาการต่าง ๆ

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อนสูงขึ้นจึงได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อการคำนวณค่าการทรุดตัว และการกระจายของแรงภายในเสาเข็ม วิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถจำแนกอย่างกว้าง ๆ ได้ 3 วิธี ประกอบด้วย

2.1.1 วิธี "Load-transfer"

เสนอโดย Coyle และ Reese (1966) การวิเคราะห์อาศัยข้อมูลพฤติกรรมของดินจากผลทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในสนาม และ ผลทดสอบจากห้องปฏิบัติการ เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม และอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงเฉือนของเสาเข็มที่ถ่ายไปสู่ดิน (load transfer) กับกำลังรับแรงเฉือนของดิน (soil shear strength) การวิเคราะห์จะใช้ชุดของกราฟความสัมพันธ์นี้ที่ระดับต่าง ๆ ของเสาเข็มเพื่อการคำนวณการถ่ายแรงตลอดความยาวของเสาเข็ม

ข้อจำกัดของวิธีนี้เกิดจากสมมุติฐานที่ใช้ คือ การกำหนดให้การเคลื่อนตัวที่จุดใด ๆ ของเสาเข็ม สัมพันธ์กับหน่วยแรงเฉือนที่จุดนั้นเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงความต่อเนื่องของเนื้อดินตามธรรมชาติ ทำให้เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์เสาเข็มกลุ่ม นอกจากนี้การสร้างกราฟความสัมพันธ์ในพื้นที่ทำงานหนึ่ง ๆ นั้นต้องทำการทดสอบเสาเข็มในที่และติดตั้งเครื่องมือมากกว่าการทดสอบตามปกติ และ การนำผลการทดสอบจากพื้นที่อื่นมาใช้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนได้

2.1.2 การวิเคราะห์บนพื้นฐานของทฤษฎีอิลาสติก (Elastic Theory)

วิธีการวิเคราะห์ ทำโดยแบ่งเสาเข็มออกเป็นส่วนย่อย ที่รับแรงอย่างสม่ำเสมอในแต่ละชิ้น ส่วนผลเฉลยจะคำนวณโดย ใช้สมการความสอดคล้องของการเคลื่อนตัว (displacement compatibility) ระหว่างเสาเข็ม และดินในแต่ละชิ้นของเสาเข็ม โดยค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มหาได้จากค่าการอัดตัวของเสาเข็มภายใต้แรงกระทำในแนวแกน และการเคลื่อนตัวของดินคำนวณจากสมการของ Mindlin (1936) ซึ่งใช้ทฤษฎีอิลาสติกในการหาค่าการเคลื่อนตัวที่จุดใด ๆ ในมวลดินจากผลของแรงกระทำภายในมวลดิน ซึ่งมีโครงสร้างแบบเซมิอินฟินิต (semi-infinite mass)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ มีผู้เสนอผลงานวิจัยอย่างกว้างขวาง เช่น D'Appolonia และ Romualdi (1963), Poulos และ Davis (1968), Butterfield และ Banerjee (1971), Randolph และ Wroth (1978) เป็นต้น โดยความแตกต่างของแต่ละวิธีจะขึ้นกับสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายของหน่วยแรงเฉือนตามแนวเสาเข็ม นอกจากนี้ Poulos และ Davis (1980) ได้เสนอผลการศึกษาในปัจจัยด้านต่าง ๆ คือ พฤติกรรมพลาสติกของดิน ระดับลึกของฐานแข็ง (rigid base) ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดิน (Non-homogeneity) และการขยายขนาดปลายเสาเข็มไว้โดยประมาณ

2.1.3 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

การวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็มโดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) โดยมีผลการศึกษามากมายดังแสดงในหัวข้อ 2.3

2.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่ม

2.2.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีอย่างง่าย (Simplified Approach)

วิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่ม และยังคงใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การประมาณค่าทรุดตัวของเสาเข็มโดยใช้วิธีอย่างง่าย บนพื้นฐานของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำใน 1 มิติ (one-dimensional consolidation theory) โดยการแทนกลุ่มเสาเข็มด้วยฐานรากแผ่ชนิดอ่อนตัว (flexible footing) กระทำที่ระดับ 2 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้อมูลผลทดสอบใน

สนามในการทำนายการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม หรือสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อหาผลของกลุ่มเสาเข็มต่อการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นจากกรณีเสาเข็มต้นเดียว

2.2.2 การวิเคราะห์บนพื้นฐานของทฤษฎีอิลาสติก (Elastic Theory)

โดยใช้หลักการเดียวกันกับการวิเคราะห์เสาเข็มต้นเดียว และเนื่องจากสมมติฐาน คือ พฤติกรรมดินเป็นแบบอิลาสติกเชิงเส้น การขยายการวิเคราะห์สำหรับเสาเข็มกลุ่มจึงใช้พื้นฐานของหลักการซูเปอร์โพสิชัน (superposition) โดยใช้แฟกเตอร์อิทธิพล (Influence factor) แสดงผลของเสาเข็มต้มใด ๆ ในกลุ่มที่มีต่อเสาเข็มต้นที่พิจารณา Poulos และ Davis (1980) ได้สรุปกราฟของค่าพารามิเตอร์ ที่จำเป็นในการหาผลเฉลยของวิธีอิลาสติกในปัญหาเสาเข็มกลุ่มในกรณีต่าง ๆ ไว้โดยละเอียด

2.2.3 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

เช่นเดียวกับกรณีเสาเข็มต้นเดียว การวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็มโดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 2.3

2.3 การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีข้อได้เปรียบจากวิธีอื่น โดยสามารถวิเคราะห์ปัญหาเสาเข็มที่มีความซับซ้อนสูง ทั้งในรูปแบบของโครงสร้างเสาเข็ม โครงสร้างดิน พฤติกรรมของดินรูปแบบแรงกระทำภายนอก พฤติกรรมระหว่างเสาเข็มและดิน เป็นต้น จึงมีงานศึกษาวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัญหาฐานรากเสาเข็ม

Ellison et al. (1971) ศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด แบบมัลติลีเนียร์ (multilinear) และพัฒนาชิ้นส่วนพิเศษใช้ในจุดต่อระหว่างเสาเข็ม และ ดินเพื่อยอมให้เกิดการเลื่อนตัว (slippage) Desai (1974) ศึกษาพฤติกรรรมของความเค้น-ความเครียดแบบไฮเพอโบลิก (hyperbolic) ของเสาเข็มในทรายและใช้ชิ้นส่วนพิเศษบริเวณผิวเสาเข็มและดินเช่นเดียวกัน Esu และ Ottaviani (1975) ใช้ทฤษฎีพฤติกรรรมของความเค้น-ความเครียดแบบไฮเพอโบลิกในการวิเคราะห์เสาเข็มในดิน

กว่าครึ่งหนึ่งของแรงกระทำวิบัติ (failure load) แล้วก็ตาม ผลงานนี้เป็นการสนับสนุนความถูกต้องของการใช้ทฤษฎีอิลาสติก ในการวิเคราะห์พฤติรรมของเสาเข็ม โดยเฉพาะเมื่อเลือกใช้ค่าโมดูลัสของดินที่เหมาะสม

Lee (1973) และ Valliappan et al. (1974) ทำการศึกษาอิทธิพลของชั้นดิน (soil layer) ต่อการทรุดตัวของเสาเข็ม และ ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ชิ้นส่วนไอโซพาราเมตริกซ์ (isoparametrix element) ให้ผลคำตอบที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่าชิ้นส่วนแบบเดิม

Balaam et al. (1975,1976) ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์เสาเข็ม และดินโดยแยกจากกัน และรวมผลการวิเคราะห์โดยใช้เงื่อนไขความสอดคล้อง (compatibility) เพื่อวิเคราะห์ค่าแรงและการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติด โดยการเลื่อนตัวระหว่างผิวรอยต่อของเสาเข็มและดิน กำหนดโดยการจำกัดค่าแรงที่จุดต่อด้วยกำลังรับแรงเฉือนของผิวรอยต่อ และพฤติกรรมพลาสติกของดินภายในโครงสร้างกำหนดโดยพิจารณาดินเป็นวัสดุแบบไบลิเนียร์อิลาสติก (bilinear elastic) หรืออิลาสติก-พลาสติก ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีกว่าการใช้ชิ้นส่วนรอยต่อ (joint element) คือ การลู่เข้า (convergence) ของผลเฉลยจะเกิดขึ้นเร็วกว่า เมื่อเกิดการเลื่อนตัวระหว่างเสาเข็มกับดิน หรือการถึงจุดคลากของดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย