บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีในปัจจุบันมีความเกี่ยวข้องกับการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงทั้งในรูปแบบของโครงสร้าง ชั้นดิน แรงภายนอกที่กระทำ แบบจำลองพฤติกรรมของดิน (soil model) และขอบเขตของปัญหา การวิเคราะห์ปัญหาโดยละเอียด เช่น วิธีเชิงวิเคราะห์ (analytical method) ซึ่งให้ผลคำตอบอย่างถูกต้องแม่นยำตามทฤษฎี จึงยุ่งยากเกินกว่าจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติ แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อความสะดวกจึงมักใช้วิธีการอย่างง่าย (simplified method) ต่างๆ เช่น วิธีเชิงตัวเลข (numerical method) และวิธีวิเคราะห์โดยใช้ผลการทดสอบ และประสพการณ์ (empirical method) เป็นต้น และเนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ส่งผลให้ วิธีเชิงตัวเลขเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นรูปแบบหนึ่งของการวิเคราะห์ปัญหาด้วย วิธีเชิงตัวเลขที่มีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

ในปัจจุบันระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเกือบทุกรูปแบบของปัญหาในทางวิศวกรรมปฐพี อย่างไรก็ดีเพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ปัญหาในทางปฏิบัติ จึงมีการตั้งสมมุติฐานที่เหมาะกับปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสมมติฐานหนึ่งที่มักใช้โดยทั่วไป คือการพยายามลดขนาดของปัญหาจากสภาพความเป็นจริงที่เป็นปัญหาใน 3 มิติ ให้เป็นปัญหาใน 2 มิติ ซึ่งจะลดความซับซ้อนของปัญหาลงได้มาก แต่ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ย่อมลดลง และรูปแบบของปัญหาที่วิเคราะห์ได้ย่อมมีข้อจำกัด

การวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม เป็นปัญหาหนึ่งซึ่งมีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะในกรณีเสาเข็มกลุ่ม เนื่องจากเป็นปัญหาใน 3 มิติ ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของพฤติกรรมระหว่างเสาเข็มแต่ละต้น และระหว่างกลุ่มเสาเข็มกับดิน ซึ่งยังไม่มีผลการศึกษาที่ชัดเจน ความยุ่งยากในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้มีการศึกษาทางด้านนี้อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มต้นเดียว และเสาเข็มกลุ่ม ทั้งในสภาวะใช้งาน (working state) และสภาวะสุดขีด (ultimate state) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ 3 มิติ

1.2 ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

Poulos และ Davis (1980) เสนอวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มด้วยใช้ทฤษฎีอีลาสติก(linear elastic theory) โดยการประยุกต์ใช้ผลเฉลยของ Midlin (1936) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์หาการเคลื่อนของดินเนื่องจากแรงกระทำภายในมวลดิน ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเสาเข็มเดี่ยว หาความสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็ม 2 ต้น และขยายผลการวิเคราะห์ในกรณีของเสาเข็มกลุ่มโดยวิธีซูเปอร์โพสิชัน (superposition)

O'Neill et al. (1977), Bogard and Matlock (1983) และ Brown et al. (1988) เสนอวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มด้วยวิธี 'subgrade reaction' ซึ่งพฤติกรรมของดิน และเสาเข็มจะกำหนดโดยชุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานของดินกับการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งต่างๆของเสาเข็ม ซึ่งได้จากผลการทดสอบต่าง ๆ ในสนาม ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนต์ (Finite Different Method) จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์กราฟเหล่านี้ โดยใช้หาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ผลโดยละเอียดด้วย 'transfer matrix approach' นำเสนอโดย Nogami and Paulson (1985)

Pressley และ Poulos (1986) เสนอวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้พื้นฐานของแบบจำลองการสมมาตรตามแกน (axisymmetric model)ของเสาเข็มเดี่ยว และกำหนดคุณสมบัติดินเป็นอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ (elastic-perfectly plastic) ในปีเดียวกัน Muqtadir และ Desai (1986) เสนอการวิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเสาเข็มเอียง (battered foundation) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใน 3 มิติ โดยวิเคราะห์ระนาบรอยต่อระหว่างเสาเข็มและดินด้วย 'Hyperbolic constitutive law'

Chancy P. และ Randolph M. F. (1993) เสนอการวิเคราะห์ฐานรากแบบ Pile Raft ซึ่งเป็นฐานรากแบบแผ่ซึ่งใช้เสาเข็มในการลดผลต่างของการทรุดตัว ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอเรียกว่า 'hybrid approach' ซึ่งใช้วิธี load transfer ในการวิเคราะห์เสาเข็มต้นเดียว และใช้ทฤษฎีอีลาสติกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างต้นของเสาเข็มกับฐานราก (raft) โดยใช้วิธีเชิงตัวเลขในการประมาณพฤติกรรมโดยรวมของฐานราก

Shen W. Y., Chow Y. K. และ Yong K. Y.(1997) เสนอการวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มด้วย 'variational approach' ซึ่งแบ่งการเคลื่อนตัวของเสาเข็มออกเป็นชุดๆ เพื่อการวิเคราะห์โดยใช้หลักการพลังงานศักย์ต่ำสุด (minimum potential energy) โดยพฤติกรรมของดินกำหนดโดย load-transfer curve ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีทางทฤษฎี (Analytical Method)

Xu K. J. และ Poulos H. G. (2000) เสนอการวิเคราะห์เสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่มรับแรงในแนวดิ่ง แนวราบ โมเมนต์ รวมถึงแรงจากการเคลื่อนตัวของดิน โดยการใช้วิธี Boundary Element Method (BEM) วิเคราะห์ใน 3 มิติ โดยเสาเข็มแต่ละต้นถูกแบ่งเป็นชุดของชิ้นส่วนรูปทรงกระบอก และแต่ละชิ้นส่วนจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆต่อไป ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าผลคำตอบจะมีความคลาดเคลื่อนมากในกรณีแรงตกนอกแกนของเสาเข็ม (off-line)

1.3 ความสำคัญของปัญหา

การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ปัญหาการทรุดตัวของเสาเข็มได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายประการ กล่าวคือการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติกเป็นวิธีที่ต้องอาศัยการคำนวณที่ซับซ้อน ทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้ในปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง จำเป็นต้องใช้สมมุติฐาน และการประมาณ ทำให้ผลที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง สำหรับการใช้ subgrade reaction ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการใช้งานแต่ต้องการข้อมูลการทดสอบในสนามสูง ซึ่งในปัจจุบันยังมีงานวิจัยด้านนี้ค่อนข้างน้อย ในขณะที่ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อน สามารถประยุกต์ได้กับทุกปัญหา ข้อมูลที่ได้มีปริมาณมาก และมีรายละเอียดมากกว่าวิธีอื่น ประกอบกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นพื้นฐานของงานวิจัยนี้

จากผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็มในปัจจุบัน มักอยู่บนพื้นฐานของการประมาณ (assumption) เช่น การวิเคราะห์เสาเข็มเดี่ยว โดยใช้คุณสมบัติการสมมาตรตามแกนของเสาเข็มในการวิเคราะห์เป็นปัญหาใน 2 มิติได้ สำหรับเสาเข็มกลุ่มมักใช้การประมาณจากผลที่ได้ในการวิเคราะห์เสาเข็มเดี่ยว เช่น การใช้วิธีซูเปอร์โพสิชัน (superposition) เป็นต้น ผลคำตอบที่ได้จึงมีโอกาสที่จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง และสามารถประยุกต์ใช้กับดินที่มีคุณสมบัติแบบยืดหยุ่น (elastic material) เท่านั้น การวิเคราะห์เสาเข็มกลุ่มโดยพิจารณาเป็นปัญหา 3 มิติโดยตรงจึงเป็นสิ่งจำเป็น แต่งานวิจัยที่ศึกษางานด้านนี้โดยตรง โดยเฉพาะในกรณีพฤติกรรมของดินแบบไม่เป็นแบบเชิงเส้น (nonlinear soil behavior) ยังมีค่อนข้างน้อย และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ที่มีอยู่ในท้องตลาดยังมีไม่มาก และมีราคาสูง

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบการวิเคราะห์เสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่ม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์เป็นปัญหาใน 3 มิติ โดยพัฒนา และปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการวิเคราะห์ และแสดงผลคำตอบของปัญหาดังกล่าว เพื่อใช้เป็น

เครื่องมือในการวิเคราะห์เสาเข็มกลุ่มในกรณีต่างๆ เช่น ชนิด ขนาด จำนวน และระยะห่างระหว่างเสาเข็ม(spacing) ในรูปแบบโครงสร้าง คุณสมบัติ และพฤติกรรมของดินต่างๆกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ปัญหาในกรณีศึกษาต่าง ๆ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับผลเฉลยทางทฤษฎีต่าง ๆ รวมถึงผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขอื่น ๆ และผลทดสอบในสนาม และสรุปผล

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาระบบการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่ม

2. ประยุกต์ใช้ระบบการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่ม ในตัวอย่างกรณีศึกษาต่าง ๆ

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มรับแรงในแนวดิ่ง (vertical loading) กระทำที่หัวเสาเข็ม

2. เสาเข็มเป็นเสาเข็มแนวดิ่ง (vertical pile) หน้าตัดกลม หรือสี่เหลี่ยม

3. เสาเข็มที่ศึกษาประกอบด้วย เสาเข็ม 1, 2, 4 และ 9 ต้น

4. แค็บหัวเสาเข็ม (pile cap) มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสมบูรณ์ (perfectly flexible) กระจายแรงกระทำต่อเสาเข็มในกลุ่มเท่ากันทุกต้น

5. ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็มกลุ่มในสภาวะใช้งาน และสภาวะสุดขีด เมื่อกำหนดคุณสมบัติของดินเป็นอิลาสติก (elastic) และอิลาสโตพลาสติก (elastoplastic) ตามลำดับ

6. ศึกษาพฤติกรมของโครงสร้างโดยใช้ ทฤษฎีการเคลื่อนตัวแบบความเครียดน้อย (small strain deformation theory)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถพัฒนาระบบการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่มใน 3 มิติ ซึ่งใช้งานได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และความถูกต้องแม่นยำเพียงพอ

2. มีความเข้าใจในพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่มภายใต้แรงกระทำในแนวดิ่งมากยิ่งขึ้น

3. สามารถนำระบบการวิเคราะห์ และผลการศึกษาของวิทยานิพนธ์ ใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษา และพัฒนาต่อไปในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย