# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 คำนำ

ในการก่อสร้างท่าอากาศยานนานาชาติกรุงเทพฯแห่งที่สอง (สุวรรณภูมิ) ที่บริเวณหนองงูเห่า อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าพื้นที่บริเวณหนองงูเห่าเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (Very soft clay layer) และชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay layer) มีความหนาจากผิวดินประมาณ 20 เมตร ซึ่งถ้าทำการก่อสร้างทางวิ่ง (Runway) ทางขับ (Taxiway) ลานจอดเครื่องบิน (Apron) และสิ่งก่อสร้างต่างๆที่วางอยู่บนพื้นดินโดยตรงโดยไม่มีการปรับปรุงดินเดิมจะเกิดปัญหาการทรุดตัวหลังจากการก่อสร้าง (Post-construction settlement) ทำให้เกิดความเสียหาย เกิดการแตกร้าวและอาจเกิดการพังทลายในระหว่างการก่อสร้าง เนื่องจากชั้นดินดังกล่าวมีความสามารถในการยุบอัดตัว (Compressibility) สูง และมีกำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) ต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงชั้นดิน ให้มีคุณสมบัติที่พอเหมาะสำหรับการก่อสร้างเสียก่อน

โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน ในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่าง เช่น วิธีบรรทุกน้ำหนักก่อน (Preloading method) ซึ่งมีหลักการ คือใช้น้ำหนักดินถมทำให้เกิดการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ของชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ด้านล่าง หรือวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง (Vertical drain method) ซึ่งจะใช้ท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง (Vertical drain) ร่วมกับการใช้น้ำหนักบรรทุก เพื่อเร่งให้น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินไหลออกมาตามแนวราบสู่ท่อระบายน้ำในแนวดิ่งและไหลตามแนวดิ่งผ่านตามท่อระบายน้ำในแนวดิ่งขึ้นมา ทำให้สามารถเร่งอัตราการทรุดตัว (Rate of consolidation) ของชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ด้านล่างได้เร็วขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนวณว่า ขนาดและอัตราการทรุดตัวของดินเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำที่เกิดขึ้นนั้นมีมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้ทราบเวลาที่จะเอาน้ำหนักบรรทุกออก โดยการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวด้วยทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ ทำให้ทราบว่าดินมีกำลังรับแรงเฉือนพอที่จะรับหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างได้หรือยัง และเมื่อก่อสร้างแล้วการทรุดตัวยังจะมีอีกเท่าใด ซึ่งนอกจากการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนที่มีความจำเป็นในการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวแล้วยังมีกรณีอื่นๆที่มีความจำเป็นเช่นกันอันได้แก่

1) ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการทราบอัตราการทรุดตัว เพื่อออกแบบสิ่งก่อสร้างให้สามารถทนต่อผลของอัตราการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นหลังจากการก่อสร้างซึ่งอาจเกิดขึ้นไม่เท่ากัน

2) ในกรณีที่อายุของสิ่งก่อสร้างน้อยกว่าเวลาสิ้นสุดขบวนการอัดตัวคายน้ำ การคาดคะเนอัตราทรุดตัวทำให้ทราบค่าการทรุดตัวในช่วงที่สิ่งก่อสร้างถูกใช้งาน ซึ่งจะน้อยกว่าการทรุดตัวทั้งหมด

โดยทฤษฎีที่ใช้คาดคะเนพฤติกรรมทางด้านขบวนการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว ในการทำงานออกแบบในปัจจุบันใช้ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของ Terzaghi (1925) ซึ่งมีสมมุติฐานสำคัญสำหรับพฤติกรรมของดินเหนียวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ จะต้องมีค่าคงที่ระหว่างการอัดตัวคายน้ำ ซึ่งในความเป็นจริงเป็นที่ทราบอยู่แล้วว่า ระหว่างการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำนั้น น้ำจะไหลออกจากช่องว่างของมวลดินเหนียวเนื่องจากการเกิดความดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore water pressure) ซึ่งทำให้ศักย์ (Head) ของน้ำที่จุดต่างๆในมวลดินแตกต่างกัน น้ำจะไหลจากจุดที่มีศักย์สูงกว่าไปยังจุดที่มีศักย์ต่ำกว่า เมื่อน้ำไหลออกจากมวลดินได้การทรุดตัวของดินจะเกิดขึ้นเพราะอัตราส่วนช่องว่างหรือปริมาตรช่องว่างในดินจะลดลง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Coefficient of permeability) มีแนวโน้มจะลดลงตามเวลาระหว่างการอัดตัวคายน้ำด้วย โดย สาธิต (2528) กล่าวว่า ขณะเกิดขบวนการอัดตัวคายน้ำอาจลดความสามารถซึมได้ (Permeability) ในภาคสนามลงประมาณ หนึ่งในสี่ ถึง หนึ่งในสิบ ของค่าเริ่มต้น นอกจากนี้ถ้าปัญหาที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะเป็นในลักษณะ 2 หรือ 3 มิติ การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวโดยใช้ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 2 หรือ 3 มิติ ก็จะมีความคลาดเคลื่อนเช่นกัน เนื่องจากทฤษฎีดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของหน่วยแรงในทิศทางอื่นๆซึ่งอาจจะทำให้การจัดเรียงตัวของเม็ดดินในมวลดินเหนียวเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้จำนวนกับขนาดของช่องการไหล (Flow channels) และเส้นทางการไหลซึมผ่านของน้ำ (Flow path) ในมวลดินเหนียวเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดิน หรือในทางกลับกันอาจกล่าวได้ว่า ผลดังกล่าวจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในระหว่างการอัดตัวคายน้ำนั้นมีค่าไม่คงที่ ซึ่งขัดกับสมมุติฐานของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 2 หรือ 3 มิติ

นอกจากนี้การที่ดินส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่เท่ากันในแต่ละทิศทาง (Anisotropic material) ซึ่งมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการจัดเรียงตัวของเม็ดดินนั้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงของความเครียดเชิงปริมาตร (Volumetric strain) หรือการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างในมวล

ดินเหนียวไม่ได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ย (Mean effective stress, p') เพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator stress, q) ด้วย ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในปัญหา 2 หรือ 3 มิติจึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับทั้งหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยและหน่วยแรงเบี่ยงเบนด้วย

ตามสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนามสามารถสรุปได้ว่า ในระหว่างการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of consolidation) มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เป็นผลทำให้ค่าอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนามจะไม่ตรงกับค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ดังนั้นการทำงานออกแบบโดยใช้ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำจะทำให้ได้ค่าอัตราการทรุดตัวที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยระยะเวลาที่ทำให้เกิดการทรุดตัวตามพิกัดที่ต้องการซึ่งได้จากการคำนวณตามทฤษฎีนั้น มีแนวโน้มที่จะเร็วกว่าสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เนื่องจากผู้ออกแบบมักใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้เริ่มต้น ซึ่งมีค่ามาก ส่งผลต่อการวางแผนงานก่อสร้างในปัจจุบันซึ่งต้องการทราบระยะเวลาในการก่อสร้างที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อกำหนดแผนการก่อสร้างที่เกิดประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ

1) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินเหนียวอ่อน ในระหว่างการอัดตัวคายน้ำ เนื่องจาก
   1.1) การเปลี่ยนแปลงของ หน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ย (p')
   1.2) การเปลี่ยนแปลงของ หน่วยแรงเบี่ยงเบน (q)

2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินเหนียวอ่อน ในระหว่างการอัดตัวคายน้ำ เนื่องจาก
   2.1) การเปลี่ยนแปลงของ ความเครียดเชิงปริมาตร ($\varepsilon_v$)
   2.2) การเปลี่ยนแปลงของ ความเครียดเฉือน ($\varepsilon_q$)

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok clay) บริเวณถนนบางนา-ตราด กม. ที่ 29+800 อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) ขนาด 3 นิ้ว ด้วยวิธี Fix piston sampling

จากนั้นนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial cell) เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ โดยภายหลังจากการอัดตัวอย่างดินภายใต้หน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติจนสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว ทำการอัดตัวอย่างดินโดยการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งและแนวราบอีกทั้งสิ้น 4 ระดับ ซึ่งการทดสอบทั้งหมดจะอยู่ในช่วงที่ดินเหนียวอยู่ในสภาวะอัดแน่นปกติ (Normally consolidated clay, NC clay) โดยเมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำในแต่ละระดับจะทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ทุกครั้ง (รวมทั้งสิ้น 5 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง) ด้วยวิธีการทดสอบศักย์คงที่ (Constant head test) โดยการทำให้เกิดความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ระหว่างด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน รอจนกระทั่งการไหลของน้ำในตัวอย่างดินอยู่ในสภาพการไหลคงตัว (Steady state flow) จึงทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ สำหรับข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่จำเป็นสำหรับการทดสอบจะนำมาจากผลงานวิจัยอื่นที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว (ยุทธนา, 2545; วรการ, 2545)

## 1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

ประโยชน์ของงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1) สามารถนำความสัมพันธ์ที่ได้ กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้กับการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงหรือความเครียด มาปรับปรุงสมการของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำต่างๆ ทำให้สมการที่ได้สามารถใช้แทนพฤติกรรมทางด้านการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวได้ใกล้เคียงในธรรมชาติยิ่งขึ้น และสามารถใช้คาดคะเนอัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

2) สามารถนำความสัมพันธ์ที่ได้ กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้กับการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงหรือความเครียด มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Numerical modeling) ในการออกแบบและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเสียรูปของมวลดินเหนียวระหว่างการอัดตัวคายน้ำเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนัก โดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ (Coupled analysis of Soils-Water by FEM)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย