# บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลดังต่อไปนี้ คือ

1. คุณสมบัติเริ่มแรกของตัวอย่างดิน แต่ละตัวอย่างการทดลอง มีค่าแตกต่างกันบ้าง ดังนั้นผลจากการทดสอบ unloading/reloading cycle จึงให้ผลของข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบในลักษณะที่สภาวะเหมือนกัน จึงได้ผลสรุปที่ดี

2. การทดสอบด้วยเครื่องมือการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Bishop ที่มีการวัดแรงดันน้ำในโพรง (pore water pressure, $\Delta u$) ทำให้รู้พฤติกรรมของดินในช่วงการอัดตัวคายน้ำได้ และเป็นการทดสอบที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในทางปฏิบัติได้ ในสภาพที่พฤติกรรมของน้ำหนักภายนอกเป็นแบบ flexible เช่น น้ำหนักจาก flexible pavement เนื่องจากเครื่องมือแบบ Bishop น้ำหนักที่กระทำผ่าน flexible membrane cap

3. การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มน้ำหนัก (load increment) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การเพิ่มขึ้นของ load increment เมื่อมีค่าสูงกว่าค่า preconsolidation pressure (Pc) จะให้ค่าการยุบตัวสูงมาก และกราฟของ load/compression ($\varepsilon v$- log $\bar{\sigma}_{vc}$) ในช่วงนี้เรียกว่า "virgin compression" ลักษณะของกราฟจะให้ผลเป็น "s-shape"

3.2 การเพิ่มขึ้นของ load increment เมื่อมีค่าใกล้เคียงกับค่า preconsolidation pressure (Pc) หรือ quasi-preconsolidation pressure ($\bar{\sigma}_{qp}$) หรือ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) จะให้ผลของกราฟ compression/log time เป็นแบบ TYPE II และ TYPE III

3.3 การเพิ่มขึ้นของ load increment ต่อกราฟการกระจายของแรงดันน้ำในโพรง ($1-\Delta u/\Delta \sigma v$) กับเวลา (elapsed time) พบว่า กราฟที่ได้จะแยกออกเป็นสองกลุ่มด้วยกัน กลุ่มแรกเมื่อ load increment อยู่ในช่วง OC และกลุ่มหลัง เมื่อ load

increment อยู่ในช่วง NC การกระจายของแรงดันน้ำในโพรงเมื่อ load increment อยู่ในช่วง OC (กลุ่มแรก) จะเร็วกว่า เมื่อ load increment อยู่ในช่วง NC (กลุ่มหลัง)

4. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio, LIR) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

4.1 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าของ Preconsolidation pressure (Pc) หรือ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) เพียงเล็กน้อย ที่ LID = 24 ชั่วโมง แต่มีผลให้ค่า Pc หรือ $\bar{\sigma}_{vm}$ ลดลงที่ LID = 2 ชั่วโมง

4.2 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ compression ratio (CR) และ recompression ratio (RR) แต่ไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

4.3 ค่าของ maximum pore pressure response ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) ที่ค่า OCR มีค่าสูง (OCR=2-4) ให้ค่าต่ำกว่าการคาดคะเนโดยสมมุติฐานของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของ TERZAGHI (1943) ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์

4.4 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า maximum pore pressure response ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) ที่ LID = 2 และ24 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

4.5 การกระจายของแรงดันน้ำในโพรง ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$) จะเป็นฟังก์ชั่นของ LIR ตามสมมุติฐานทฤษฎีของ DAVID & RAYMOND (1965) และเวลาการกระจายของแรงดันน้ำในโพรงจะช้าลง เมื่อค่า LIR มีค่าสูงขึ้น ที่ LIR = 2 การกระจายของแรงดันน้ำในโพรงจะใกล้เคียงกับการคาดคะเน โดยทฤษฎีของ TERZAGHI (1943)

4.6 ที่อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักมีค่าต่ำ ($LIR \leq 0.5$) จะให้กราฟความสัมพันธ์ของ compression/log time เป็น TYPE II ในช่วงของ over consolidated (OC) และให้ผลของกราฟเป็น TYPE I ในช่วง normally consolidated (NC) เมื่อค่าของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักมีค่าสูง ($LIR \geq 1$) กราฟความสัมพันธ์ของ compression/log time จะให้ผลเป็น TYPE I ทั้งในช่วง OC และ NC ยกเว้นเมื่อหน่วยแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับ preconsolidation pressure (Pc)

4.7 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) เป็นผลให้เวลาของการสิ้นสุด primary consolidation (Tp) มีค่าสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อเพิ่มจาก LIR = 1 เป็น LIR = 2 ให้ค่าของ Tp เพิ่มขึ้น 4-5 เท่า

4.8 เวลาของการสิ้นสุด primary consolidation (Tp) ที่ได้จากวิธีของ pore pressure ($\Delta u$) จะให้ค่าสูงสุด และจากวิธีของ Taylor ($\sqrt{t}$) ให้ค่าต่ำสุด และที่ LIR มีค่าต่ำ (LIR $\leq$ 0.5) ค่าของ Tp จากวิธีของ pore pressure ($\Delta u$), casagrande (log t) และ taylor ($\sqrt{t}$) จะให้ผลแตกต่างกันน้อยกว่าที่ LIR มีค่าสูง (LIR$\geq$1) กล่าวคือ ที่ LIR = 0.5 ค่าของ Tp จากวิธีของ $\Delta u$ ให้ค่าสูงกว่าของจากวิธีของ $\sqrt{t}$ 2-3 เท่าในช่วง NC แต่ที่ LIR = 2 ค่า Tp จากวิธีของ $\Delta u$ ให้ค่าสูงกว่าวิธีของ $\sqrt{t}$ 7-8 เท่าในช่วง NC

4.9 การลดลงของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) เป็นผลให้ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) เพิ่มขึ้น ในช่วงที่หน่วยแรงประสิทธิผลมีค่าต่ำ (ช่วง OC) และการเพิ่มขึ้นของค่า Cv ที่ LID มีค่าต่ำ (LID = 2 ชั่วโมง) จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่ LID มีค่าสูงขึ้น (LID = 24 ชั่วโมง) เมื่อค่าของ LIR ลดลง กล่าวคือ เมื่อ LIR ลดจาก LIR = 2 เป็น LIR = 1 ค่าของ Cv เพิ่มขึ้น 1.5 เท่าและเมื่อ LIR ลดจาก LIR = 1 เป็น LIR = 0.5 ค่าของ Cv เพิ่มขึ้น 2 เท่า ของการทดลองที่ LIR = 24 ชั่วโมง

4.10 ที่อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักต่ำ (LIR = 0.5) ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ $\Delta u$, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลแตกต่างกันค่อนข้างมาก แต่ที่อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักสูง (LIR = 2) ค่าของ Cv ที่ได้จากวิธีของ $\Delta u$, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลใกล้เคียงกัน

4.11 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) ที่เวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) เท่ากับ 24 ชั่วโมง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยต่อค่าของ coefficient of secondary compression ($C\alpha$)

5. การเปลี่ยนแปลงเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (load increment duration, LID) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

5.1 การเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) มีผลให้ค่าของ preconsolidation (Pc) หรือหน่วยแรงสูงสุดในอดีต ($\bar{\sigma}_{vm}$) จากวิธีของ casagrande ลดลง

5.2 การลดลงของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า recompression ratio (RR) แต่ค่าของ compression ratio (CR) จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงที่หน่วยแรงประสิทธิผลมีค่าต่ำ ($\bar{\sigma}_{vc}$<2 เท่าของ $\bar{\sigma}_{vm}$)

5.3 การเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) มีผลทำให้ค่า maximum pore pressure response ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) ลดลงเฉพาะในช่วง over consolidation ratio (OCR) มีค่าต่ำ และการเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายของแรงดันน้ำในโพรง (dissipate of pore pressure, $1-\Delta u/\Delta\sigma v$) เล็กน้อย

5.4 การเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) มีแนวโน้มให้ค่าของเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp) ลดลงในช่วง normally consolidated (NC)

5.5 ที่เวลาการเพิ่มน้ำหนักสิ้น (LID = 24 ชั่วโมง) ค่าของ coefficient of consolidation (Cv) ที่คำนวณจากวิธีของ $\Delta u$, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลแตกต่างกันมากในช่วง over consolidated (OC) แต่ที่เวลาการเพิ่มน้ำหนักนาน (LID = 48 ชั่วโมง) ค่าของ Cv ที่หาได้จากวิธีของ $\Delta u$, log t และ $\sqrt{t}$ ให้ผลใกล้เคียงกันมากในช่วงของ over consolidated (OC)

5.6 การเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ที่ LIR เท่ากับ 1 พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ coefficient of consolidation (Cv) แต่ไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

5.7 การเพิ่มขึ้นของเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID) ที่อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (LIR) มีค่าเท่ากับ 1 มีผลทำให้ค่าของ coefficient of secondary compression ($C\alpha$) ลดลง และลดลงมากในช่วง normally consolidated (NC)

6. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวทางด้าน Plasticity มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

6.1 การที่ค่า Plasticity ของดินสูงขึ้น มีผลให้ค่าของ compression ratio (CR) และ recompression ratio (RR) สูงขึ้น

6.2 เมื่อค่าของ Plasticity สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่า LIR ไม่พบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าของ maximum pore pressure response ($\Delta U_{max}/\Delta\sigma v$) และค่าของ pore pressure dissipation ($1-\Delta u/\Delta\sigma v$)

6.3 เมื่อค่าของ Plasticity สูงขึ้น จะลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า LIR ต่อค่าของเวลาสิ้นสุด primary consolidation (Tp) ในช่วง normally consolidated

6.4 การที่ค่าของ Plasticity ของดินสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าของ LIR ต่อค่าของ Cv ในช่วง over consolidated จะลดลง

7. การทดสอบ unloading/reloading cycle ที่หน่วยแรงประสิทธิผลอยู่ในช่วง normally consolidated ค่าของ Cv ก่อนการทดสอบ Unloading/reloading cycle ที่คำนวณได้จากวิธีของ $\sqrt{t}$ ให้ค่าสูงกว่าวิธีของ log t 2.0-2.5 เท่า แต่ค่าของ Cv หลังการทดสอบ unloading/reloading cycle จากวิธีของ $\sqrt{t}$ ให้ค่าสูงกว่าวิธี log t เล็กน้อย

5.2 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ควรตรวจสอบ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือ Bishop Consolidation Cell ในห้องทดลองว่าสอดคล้องกับของจริงในสนามมากน้อยเพียงใด ซึ่งใช้ในสภาพของเงื่อนไขเหมือนห้องทดลอง เพื่อจะได้พิจารณาว่าการทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้เครื่องมือแบบ Bishop ให้ผลเหมาะสมที่จะใช้การคาดคะเนการทรุดตัวของโครงสร้างเพียงใด

2. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าของ LIR เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 และ LID เท่ากับ 2, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่ายังไม่เพียงพอต่อการสรุปผลการเปลี่ยนแปลงค่าของ Cv และ Cα ของ Weathered Bangkok Clay ควรจะวิจัยเพิ่มที่ LIR น้อยกว่า 0.5 และ LID มากกว่า 48 ชั่วโมง

3. ควรจะมีการวิจัยเพิ่มกับตัวอย่างดินเหนียวที่มีค่า Plasticity หรือ Plastic Index (PI) ที่แตกต่างกันมากขึ้น จากหลาย ๆ แหล่ง เพื่อสรุปแนวโน้มที่แน่นอนต่อค่า Compressibility of Weathered Bangkok Clay