บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ประสิทธิภาพและข้อจำกัดในการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก

จากผลการปรับปรุงฐานรากโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนักบริเวณโซนต่าง ๆ ของเขื่อนทับเสลา เห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอในการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน สามารถทำให้ชั้นทรายหลวมที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนการบดอัดระหว่าง 35%-60% ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52% ให้มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 75%-95% ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 85% ค่า SPT-N ที่ระดับต่าง ๆ เพิ่มขึ้นประมาณ 2-4 เท่า แต่มีข้อจำกัดคือไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในชั้นทรายที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เกินกว่า 75% จากการประมาณค่าความลึกอิทธิพลพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 11.00-12.30 เมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.73 เมตร ค่าสัมประสิทธิแก้ไขอยู่ระหว่าง 0.44-0.48 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.456 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิแก้ไขของมวลดินหยาบโดยทฤษฎีของ Gerald A. Leonard, William A. Cutter and Robert D. Holtz ที่นำมาใช้ในการสุ่มหาน้ำหนักลูกตุ้ม และระยะความสูงในการปล่อยลูกตุ้มที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ปรากฏว่าค่าทั้งสองใกล้เคียงกันมาก

5.1.2 การประมาณค่าพลังงานที่เหมาะสมที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่

จากการปรับปรุงฐานรากของเขื่อนทับเสลาเห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่บริเวณโซนต่าง ๆ ของเขื่อนทับเสลามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 150-500 ตัน ม./ม.^{2} จากการวิจัยพบว่า ค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า SPT-N ที่ระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด ซึ่งเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นสัมพัทธ์ ($\log E/A \propto \bar{N}$) จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตลอดพื้นที่ที่ทำการปรับปรุงของเขื่อนทับเสลา พบว่าในกรณีกำหนดความแน่นหลังการบดอัดในรูปของค่าความแน่นเฉลี่ยทุกระดับความลึกได้ค่าความสัมพันธ์เฉลี่ยดังสมการที่ 4.1 สำหรับในกรณีที่กำหนดความแน่นหลังการ

บดอัดในรูปของค่าความแน่นต่ำสุดทุกระดับ ความลึกได้ค่าความสัมพันธ์เฉลี่ยดังสมการที่ 4.2 ดังนั้นในการประมาณหาค่าพลังงานที่เหมาะสมที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่องค์ประกอบที่สำคัญที่เป็นตัวกำหนด ค่า คือ เกณฑ์ความแน่นที่ต้องการหลังการบดอัด และระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด โดยนำมาจัดให้อยู่ในรูปของค่า SPT-N ที่ระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์โดยสมการของ Fardis and Veneziano ก่อนนำไปแทนค่าในสมการที่ 4.1 หรือ 4.2

ผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาค พบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นทรายประมาณ 55%-80% มีเม็ดดินขนาดใหญ่พวกกรวดปนอยู่น้อยมากไม่เกิน 10% และมีเม็ดดินขนาดเล็กปนอยู่ 10%-45% จากผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดกับขนาดคละของอนุภาค เมื่อพลังงานในการทุบต่อพื้นที่ใกล้เคียงกัน พบว่า มวลดินหยาบสามารถทำการบดอัดได้ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงกว่ามวลดินละเอียด

จากผลการทดสอบขนาดคละและความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})_{mean}$ บริเวณโซนต่าง ๆ สามารถแก้ไขปรับค่าสมการที่ 4.1 โดยคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากขนาดคละของอนุภาคให้มีค่าความถูกต้องมากยิ่งขึ้นได้ ดังสมการที่ 4.9

5.1.3 การตรวจสอบความแน่นหลังการบดอัดจากอัตราส่วนของปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม

จากผลการประมาณค่าอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม พบว่าอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม ในชั้นทรายหลวม แน่นปานกลาง ($35\% < \bar{Dr} < 60\%$) ต้องใช้ปริมาตรทรายในการเติมกลบหลุมจำนวน 12%-18.5% ของปริมาตรทั้งหมด

จากผลการวัดระดับผิวดินก่อนและหลังการบดอัด พบว่า ในชั้นทรายหลวม-แน่นปานกลาง ระดับผิวดินเพิ่มขึ้น 1%-4% ในชั้นทรายแน่นปานกลาง-แน่น ระดับผิวดินเพิ่มขึ้น 6%-9% ในชั้นทรายแน่น-แน่นมาก ระดับผิวดินเพิ่มขึ้น 11%-12% และจากผลการประมาณอัตราการยุบตัวพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกโซน โดยอยู่ระหว่าง 12%-16%

จากผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมและอัตราการยุบตัวกับอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น พบว่า มีช่วงความสัมพันธ์ที่กว้างมาก โดยอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมมีค่าเป็น 2-3 เท่าของอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นในชั้นทรายหลวม-แน่นปานกลาง ($\overline{Dr}$ < 70%) และมีค่าเป็น 17-23 เท่าในชั้นทรายแน่น-แน่นมาก ($\overline{Dr}$>70%) และพบว่าอัตราการยุบตัวมีค่าเป็น 1.7-2.8 เท่าของอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นในชั้นทรายหลวม-แน่นปานกลางและมีค่า 5-12 เท่าในชั้นทรายแน่น-แน่นมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบความแน่นในภาคสนามเนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมาก

จากผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่กับค่าลอการิทึมของอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม ในพื้นที่วิเคราะห์ต่าง ๆ ที่มีความหนาของชั้นทรายและความแน่นก่อนบดอัดใกล้เคียงกันได้ดังสมการที่ 4.3 - 4.5 เมื่อนำไปแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่กับค่า $(\overline{N})_{mean}$ ก็จะทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นหลังการบดอัดกับอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนปริมาณ 5%-25% ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบหาความแน่นของดินหลังการบดอัดเบื้องต้นจากในสนาม ก่อนทำการตอกทดสอบได้จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องการตอกทดสอบบ่อยครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สำหรับการวิจัยในขั้นต่อไปควรจะทำการศึกษาถึงผลกระทบของแรงดันโพรงของน้ำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทุบที่มีต่อการบดอัด

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับค่าความลึกอิทธิพลและค่าสัมประสิทธิแก้ไขในชั้นทรายที่มีความหนาไม่จำกัด และในชั้นดินพวกเม็ดละเอียด

5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับรูปแบบการทุบและระยะระหว่างจุดทุบ โดยให้มีรูปแบบและระยะห่างแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น เพื่อจะได้ทราบถึงรูปแบบการทุบและระยะระหว่างจุดทุบที่เหมาะสมที่สุด

5.2.4 ควรมีการศึกษาการบดอัดโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนักในดินจำพวก ดินเหนียวและดินตะกอน