บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะของการวิจัย

จากการศึกษาและการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสม และคุณสมบัติในการรับกำลังต่างๆของอิฐดินดิบ จากแหล่งเรียนรู้ทั้ง 3 แหล่ง ในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสม

วัสดุผสมของอิฐดินดิบจากแหล่งข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง จะมีส่วนผสมแตกต่างกันดังนี้

- บ้านสิกขาไท ดิน-ทราย-แกลบ
- บ้านสายรุ้ง ดิน-แกลบ
- บ้านเทพพนา ดิน-แกลบ

ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุผสม มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงของอิฐดินดิบ ดังสรุปได้ต่อไปนี้

1) ชนิดของดินที่ใช้ทำอิฐดินดิบ

จากผลการทดสอบพบว่า ดินตัวอย่างทั้ง 3 แหล่ง จัดอยู่ในกลุ่มของดินเม็ดหยาบและเป็นทราย ขนาดคละกันไม่ดี โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอของเส้นกราฟ (Coefficient of Uniformity ,C_U) และสัมประสิทธิ์ความโค้งงอของเส้นกราฟ (Coefficient of Concavity , C_C) และค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดิน(Plasticity Index,PI) ดังนี้

- บ้านสิกขาไท $C_u = 2.852$, $C_c = 0.772$ และ PI = 2.32 %
- บ้านสายรุ้ง $C_u = 6.621$, $C_c = 0.641$ และ PI = 6.02 %
- บ้านเทพพนา $C_u = 3.333$, $C_c = 1.071$ และ PI = 2.88%

เมื่อพิจารณาแล้ว จัดอยู่ในกลุ่มดินทราย ที่มีขนาดคละไม่ดี(Sand-Poorly Graded,SP)

2) ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแกลบ และค่ากำลังอัดแนวนอน ได้สมการดังนี้

$$\text{กำลังรับแรงดัดแนวนอน} = 41.457 \times e^{-0.101 \times \text{สัดส่วนแกลบ}} \quad ...(5.1)$$

หมายความว่า ถ้าอิฐดินดิบมีสัดส่วนแกลบลดลง จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ R^2=0. 9997 แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าถ้าหากใส่แกลบน้อย จะทำให้อิฐดินดิบมีการหดตัวสูง จึงต้องมีปริมาณแกลบที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่ากำลังที่ดี และการหดตัวต่ำ ซึ่งตัวอย่างจากบ้านสิกขาไท มีปริมาณแกลบ 6.346% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 21.76 กก./ตร.ซม. บ้านสายรุ้ง มีปริมาณแกลบ 9.595% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 15.76 กก./ตร.ซม. และบ้านเทพพนา มีปริมาณแกลบ 11.053% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 13.48 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

3) ความสัมพันธ์ของสัดส่วนทราย และค่ากำลังอัดแนวนอน ได้สมการดังนี้

$$\text{กำลังรับแรงดัดแนวนอน} = 9.4194 \times e^{0.0128 \times \text{สัดส่วนทราย}} \quad ...(5.2)$$

หมายความว่า ถ้าอิฐดินดิบมีสัดส่วนทรายเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ R^2 =0.7035 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทรายและกำลังรับแรงอัดแนวนอน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งตัวอย่างจากบ้านสิกขาไท มีปริมาณทราย 56.09% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 21.76 กก./ตร.ซม. บ้านสายรุ้ง มีปริมาณทราย 51.44% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 15.76 กก./ตร.ซม. และบ้านเทพพนา มีปริมาณทราย 26.30% มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงสุด 13.48 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทรายและกำลังรับแรงอัดแนวนอน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ของ ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และจตุพร ตั้งศิริสกุล(2550) พบว่าผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินเหนียว ปริมาณทรายมากกว่าซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าและการหดตัวต่ำกว่า แต่ในขณะเดียวกัน ควรพิจารณาค่าอื่นๆประกอบด้วย

4) การทดสอบขีดจำกัดของอัตเตอร์เบิร์ก(Atterberg's Limits)

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดิน (Plasticity Index,PI) กับกำลังรับแรงอัด เมื่อนำตัวอย่างของอิฐดิบดิบ มาทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด สรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

กำลังรับแรงดัดแนวนอน = $0.477 \times PI^2 - 3.5216X + 19.657$ ...(4.3)

หมายความว่า ถ้าดินมีค่า PI ที่สูงขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 1$

กำลังรับแรงดัดแนวตั้ง = $0.3369 \times PI^2 - 3.3265X + 11.057$ ...(4.4)

หมายความว่า ถ้าดินมีค่า PI ที่สูงขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 1$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง กับ ค่า PI ให้ผลที่สอดคล้องกันคือ ดิน+ทราย ของบ้านสิกขาไท ที่มีค่า PI = 7.93% สูงกว่า จะให้กำลังมากกว่า ดินของบ้านสายรุ้ง ที่มีค่า PI = 6.02% และบ้านเทพพนา ที่มีค่า PI = 2.88% ในลำดับถัดมา แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังนั้นขึ้นอยู่กับค่า PI อีกด้วย

จากงานวิจัยของ วันชัย พรพรหมโชติ และ พิสิทธิ์ ขันติวัฒนะกุล(2551) ได้ศึกษาผลของชนิดดินเหนียวต่อกำลังของอิฐดินดิบและการทดสอบกำลังอย่างง่าย จากผลการศึกษาพบว่าการที่นำทรายมาผสมกับดินเหนียว 3 ชนิด คือ Kaolin Clay , Bangkok Clay และ Bentonite Clay จะทำให้ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก(Plastic Index ; PI) ของส่วนผสมลดลงตามปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้น และสำหรับดินชนิดแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI กับค่ากำลังในสภาพแห้งที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างกันของแต่ละชนิดของดินเหนียว ทำให้ถึงแม้ว่าจะนำดินต่างชนิดกันมาผสมทรายจนได้ค่า PI ใกล้เคียงกัน แต่กำลังที่ได้มีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าชนิดของดินเหนียวมีผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของอิฐดินดิบ

5.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐดินดิบ

1) การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงกับค่ามาตรฐานตามตาราง 21-1-B ของ UBC Standard 21-1 จากผลการเปรียบเทียบ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนของอิฐดินดิบจากบ้านสิกขาไทมีค่าดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน คิดเป็น 123.65% ของค่ามาตรฐาน ,บ้านสายรุ้ง 89.57% ของค่ามาตรฐาน และบ้านเทพพนา 76.57% ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแนวนอนเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพลาสติก(Plasticity Index ,PI)

ค่ากำลังรับแรงดัดตามแนวนอน มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 แหล่ง คือ บ้านปั้นดิน 300.81% ,บ้านสายรุ้ง 173.58% และ บ้านเทพพนา 136.47% ซึ่งอิฐ ดินดิบมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดัดได้น้อย เพราะการทดสอบแรงดัดจะทำให้เกิดการดึงที่ด้านล่าง

ของคาน หรือก้อนอิฐ ซึ่งคุณสมบัติของดินที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพนั้นไม่สามารถรับแรงดึงได้มาก จึงทำให้รับแรงดัดได้ต่ำ

ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ พิสิทธิ์ ขันติวัฒนะกุล(2552) ว่า มาตรฐานการทดสอบอิฐดินดิบนั้น จะมีการทดสอบทั้งแรงอัดและแรงดัด ซึ่งแรงอัดและแรงดัดจะมีความสัมพันธ์กันคือ ถ้าแรงดัดสูงแรงอัดก็จะสูง ถ้าแรงอัดต่ำแรงดัดก็จะต่ำ ในทางปฏิบัติถ้าทดสอบเพียงแรงใดแรงหนึ่งหนึ่งได้

2) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด จากกราฟสรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

กำลังรับแรงอัดแนวนอน =(0.0284 x ความหนาแน่น^2)–(25.474xความหนาแน่น)+ 1146.5 ...(5.5)

หมายความว่า ถ้าความหนาแน่นสูงขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงแนวนอนสูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 1$

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ สามารถสรุปได้ว่า อิฐดินดิบที่มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอนสูงนั้น ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของอิฐดินดิบ ซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนคละของดินและความหนาแน่นของดิน ปริมาณแกลบที่ใส่ ปริมาณทรายที่ใส่ การย่ำดินให้เข้ากัน รวมถึงกระบวนการในการขึ้นรูปก้อนอิฐอีกด้วย

การทดสอบค่าความหนาแน่นเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด ให้ผลการทดสอบที่มีแนวโน้มในทางเดียวกัน คือ อิฐดินดิบจากบ้านสิกขาไท มีความหนาแน่นสูงที่สุด 1,714.31 กก./ลบ.ม. บ้านสายรุ้ง 1,555.13 กก./ลบ.ม. และบ้านเทพพนา 1,494.95 กก./ลบ.ม.

3) ผลการ เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอน กับทดสอบกำลังรับแรงแบบ PRISM ให้ผลการทดสอบที่มีแนวโน้มในทางเดียวกัน คือ อิฐดินดิบจากบ้านสิกขาไท มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวนอน สูงที่สุด และให้กำลังรับแรงแบบ PRISMได้มากที่สุด 9.44 กก./ตร.ซม.บ้านเทพพนา 6.39 กก./ตร.ซม. และบ้านสายรุ้ง 3.63 กก./ตร.ซม. ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5.5

กำลังรับแรงแบบPRISM = (0.1964 xกำลังอัดแนวนอน^2) – (1.1419 x กำลังอัดแนวนอน) + 15.037 ...(5.5)

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ ถ้ากำลังอัดแนวนอนสูงขึ้น จะทำให้ค่ากำลังรับแรงแบบPRISM สูงขึ้นดังแสดงในสมการ แต่เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีเพียง 3 กลุ่ม ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 1$

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมด เป็นไปในทิศทางเดียวกัน สามารถสรุปได้ว่า ค่ากำลังรับแรงแบบPRISM ของกำแพงอิฐดินดิบนั้น ขึ้นอยู่กับ กำลังรับแรงอัดแนวนอนของอิฐดินดิบ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของแกลบที่ไม่มากเกินไป ที่จะทำให้อิฐดินดิบไม่หดตัวมากเกินไป ปริมาณทรายที่เพียงพอ ที่จะทำให้อิฐรับกำลังได้ดี และดินผสมที่มีค่า PI สูงพอหรือมีความเหนียวเพียงพอนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐดินดิบที่ใช้ในการสร้างบ้านดินนั้น เนื่องจากเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง ซึ่งต้องเดินทางไกลและมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งก้อนอิฐ ทำให้จำนวนตัวอย่างอาจจะน้อยเกินไปสำหรับการทดสอบ เมื่อมีความคลาดเคลื่อนทำให้ไม่มีตัวอย่างมาชดเชย หากเป็นไปได้ ควรเสนองบประมาณสำหรับการทำวิจัยที่เพียงพอต่อการขนย้ายตัวอย่างและการสำรวจเบื้องต้นเพื่อหาแหล่งข้อมูล ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทต้นๆแล้วว่า การทำบ้านดินมีการย้ายฐานศูนย์อบรม และเปลี่ยนวิธีการในการสร้าง อีกทั้งยังไม่สามารถติดต่อผู้รับผิดชอบได้ เมื่อผู้วิจัยและคณะเดินทางไปถึงแหล่งข้อมูลบางที่ พบว่าไม่มีการผลิตอิฐดินดิบแล้ว ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางไป

5.2.2 ในการวิจัยนี้เป็นการเก็บตัวอย่างเพียง 3 แหล่ง หากเป็นไปได้ ควรเก็บข้อมูลในแหล่งอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายตามสภาพของแหล่งวัตถุดิบ เพื่อที่จะได้รู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างดินที่ใช้ในการทำก้อนอิฐ กับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหลายๆแหล่ง และเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่จะนำข้อมูลไปใช้

5.2.3 การวิจัยครั้งต่อไป ควรทดสอบในเรื่องของคุณสมัติของดินเพิ่มเติม เช่น การทดสอบความแข็งแรงของตัวอย่างดิน ที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ(California Bearing Ratio,CBR) การทดสอบหาค่าแรงอัดแกนเดียว(Unconfined Compressive Stress) และคุณสมบัติอื่นๆ เนื่องจากดินเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงของอิฐดินดิบ และผนังอิฐดินดิบสูงขึ้นได้ดังผลการวิจัย