รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การผลิตอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

โดย อ.ดร.นพิดา หิญชีระนันทน์ และคณะ

มีนาคม 2551

สัญญาเลขที่ RDG5050043

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การผลิตอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. อ.ดร.นพิดา หิญชีระนันทน์	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นายชินชนป พจนาวราพันธุ์	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. นางสาวชาลินี วรสมุทรปราการ	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การผลิตอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Production of soil brick composite from rice husk and natural rubber latex

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล อ.ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์

หน่วยงาน ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพ ฯ 10330

โทรศัพท์ 02-218-7523, 02-218-7677, 089-927-4242 **โทรสาร** 02-255-5831

E-mail address Napida.H@chula.ac.th, napida_h@yahoo.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นายชินชนป พจนาวราพันธุ์

นางสาวชาลินี วรสมุทรปราการ

ระยะเวลาดำเนินงาน 9 **เดือน ตั้งแต่วันที่** 1 กรกฎาคม 2550 **ถึงวันที่** 31 มีนาคม 2551

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

อิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้วอิฐมอญจะมีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดอัดได้ดี แต่มีข้อเสียคือโครงสร้างมีความยืดหยุ่นน้อย ทนต่อแรงดึงได้ต่ำ ทำให้โครงสร้างเปราะเกิดการแตกทรุดได้ง่าย และมีน้ำหนักมากทำให้เกิดอันตรายได้เมื่อโครงสร้างทรุดหรือพังทลาย นอกจากนี้การผลิตอิฐมอญยังต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูง ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และมีน้ำหนักเบาควบคู่ไปกับการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิต แกลบและน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตอิฐดินมวลเบา เนื่องจากเป็นน้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและมีสมบัติการยึดติดที่ดีโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุเปราะเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในโครงสร้างไปพร้อม ๆ กับการช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอิฐทำให้ลดปัญหาภาวะโลกร้อน และลดการใช้ทรัพยากรที่ต้องทำลายระบบนิเวศและทัศนียภาพเพื่อใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง เช่น การระเบิดภูเขาหินปูนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบอิฐดิน และอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ ดินเหนียว น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ทราย แกลบ โซเดียมไบคาร์บอเนต และตัวประสานคู่ควบ (Coupling agent)

ผลการดำเนินงาน

1. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1.1 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์สำหรับงานหล่อเบ้า

เตรียมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยกวนน้ำยางธรรมชาติร่วมกับสารที่ใช้ในการคงรูป (สูตรสำหรับยางหล่อเบ้า) 45 นาทีจากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 ชม. จึงสามารถนำไปใช้งานได้

1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของดินเหนียวและแกลบดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบของดินเหนียวตามมาตรฐานยูเอสบีอาร์ (United States Bureau of Reclamation, USBR) และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของแกลบด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนสเปคโตรมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

1.3 การทำอิฐดินเชิงประกอบ

นำดินเหนียวมาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105°ซ เป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นดินเหนียวและแกลบดิบไปบดเพื่อคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 600 ไมครอน ทำการขึ้นรูปอิฐดินโดยนำดินแห้ง แกลบ น้ำ และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มาผสมให้เข้ากันแล้วขึ้นรูปของผสมที่ได้ด้วยเครื่องอัดแรงมือโยก จากนั้นนำอิฐที่ได้ไปตากแดดเป็นเวลา 3 วัน และอบที่ 50 °ซ เป็นเวลา 3 วันจนน้ำหนักอิฐคงที่

1.4 การทดสอบอิฐดินเชิงประกอบ

ทดสอบสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบในด้านความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดัด ความต้านทานต่อแรงกดอัด และความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดิน แกลบ และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ในการขึ้นรูปอิฐดินเชิงประกอบแล้ว จึงหาผลของสารเคมีที่เกี่ยวข้องในการทำอิฐดินเชิงประกอบต่อสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของอิฐดิน โดยสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมซิเกต ไซเลน-69 และโซเดียมไบคาร์บอเนต

2. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

2.1 ผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเชิงประกอบ

ผลการทดสอบการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่ใส่น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ พบว่าอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักที่ 3:1 มีค่าความต้านทานต่อแรงดัดสูงกว่าอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2 เนื่องจากดินเหนียวกับแกลบไม่สามารถยึดติดกันได้ เมื่อเติมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ใช้ทำอิฐ พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดัดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 570 กก. และเมื่อใช้ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มากกว่าร้อยละ 20 ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีค่าความต้านทานต่อแรงดัดลดลง เนื่องจากเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อดินกับน้ำยางที่กลายเป็นแผ่นยางบนผิวหน้าของดิน ทำให้ไม่สามารถผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ให้เข้ากับเนื้อดินและแกลบได้

เมื่อเติมแกลบดิบในอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และ 2:2 ทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ มีความหนาแน่นต่ำกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมแกลบ เนื่องจากแกลบมีความหนาแน่นน้อยกว่าดิน และพบว่าความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ในการขึ้นรูปอิฐดินที่มีอัตราส่วนของดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 เพราะเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ไปแทนที่ส่วนที่เป็นเนื้อดินและแกลบ ส่งผลให้ใช้เนื้อดินและแกลบลดลงเมื่อปริมาตรอิฐคงที่ ทำให้ความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบที่ได้ลดลง

เมื่อนำอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และมีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20, 33 และ 43 โดยน้ำหนักของของเหลวรวมไปแช่น้ำ พบว่าอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางต่างกันจะมีความต้านทานในการดูดซึมน้ำเท่ากันในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงแรกของการแช่ อย่างไรก็ตามอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 เกิดการ

แตกร้าวเมื่อแช่น้ำนานขึ้น ขณะที่อิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติมากกว่ายังสามารถคงรูปอยู่ได้

2.2 ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน – 69 และโซเดียมไบคาบอร์เนตต่อสมบัติของอิฐดินเชิงประกอบ

เมื่อเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน–69 ลงไปในอิฐดินเชิงประกอบ (อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และมีน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20) ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 10 ของน้ำหนักแกลบ ทำให้อิฐดินมีความทนทานต่อแรงดัดโค้งเฉลี่ย 534 กก. และ 479 กก. ตามลำดับ การเติมโซเดียมซิลิเกตทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานต่อแรงดัดมากกว่าการเติมไซเลน–69 เพราะโซเดียมซิลิเกตหรือกาวแก้วมีสมบัติในการยึดติดวัสดุทำให้เนื้อดินสามารถยึดติดกันได้มากขึ้นจึงทำให้อิฐมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ไซเลน–69 มีสมบัติเป็นตัวประสานคู่ควบระหว่างซิลิกาที่อยู่ในแกลบและเนื้อยางในน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ส่งผลให้เนื้อยางที่ผสมในอิฐดินมีความแข็งมากกว่าความยืดหยุ่น ดังนั้นอิฐดินเชิงประกอบจึงมีความสามารถในการรับแรงดัดได้น้อยลง

อิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 พบว่าการเติมไซเลน–69 ทำให้อิฐดินมีความต้านทานต่อแรงกดอัดได้มากกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่ใส่โซเดียมซิลิเกตในปริมาณที่เท่ากัน เพราะไซเลน–69 ทำปฏิกิริยาเชื่อมประสานระหว่างโครงสร้างของเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับซิลิกาของแกลบในเนื้ออิฐดินเชิงประกอบ ทำให้มีการยึดเกาะกันแข็งแรงกว่าโซเดียมซิลิเกตที่ทำการยึดเพียงโครงสร้างภายนอกของเนื้ออิฐดินเชิงประกอบเท่านั้น นอกจากนี้พบว่าการเติมไซเลน–69 ลงไปในอิฐดินเชิงประกอบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแกลบ ช่วยให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำดีที่สุด และดีกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต เนื่องจากโซเดียมซิลิเกตสามารถละลายน้ำได้ง่าย และโซเดียมซิลิเกตช่วยเชื่อมประสานกันเฉพาะผิวอิฐด้านนอกเท่านั้น ทำให้มีการยึดเกาะกันของเนื้อดินน้อย ดังนั้นเมื่อนำอิฐไปแช่น้ำจึงทำให้มีการแยกออกของเนื้อดินจนเกิดรอยแตกกว้าง น้ำจึงสามารถซึมเข้าไปในเนื้อดินได้ง่าย ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น อิฐดินจึงมีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำลดลง สามารถสรุปได้ว่าการใช้ไซเลน-69 และโซเดียมซิลิเกตสามารถปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินเชิงประกอบในด้านความทนทานต่อแรงกดอัดและแรงดัดได้มากกว่าอิฐดินเปล่าตามลำดับ

ส่วนผลการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปในอิฐดินเชิงประกอบ (อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ) ปริมาณร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความทนทานต่อแรงดัดโค้งเฉลี่ยและความทนทานต่อแรงกดอัด 488 กก. และ 1,025 กก. ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแต่ไม่ได้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเมื่อสลายตัวภายใต้ความร้อนทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขณะที่ทำการอบดิน ทำให้อิฐมีความพรุนสูงมากเกินไป ดังนั้นอิฐดินเชิงประกอบจึงมีความต้านทานต่อแรงดัดและแรงกดอัดน้อยลง ด้านการทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต พบว่าในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงแรกอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ จะมีความต้านทานการดูดซึมน้ำเท่ากัน และมากกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ แต่เมื่อทำการแช่น้ำเป็นเวลานานมากขึ้นจะทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบ

คาร์บอเนตเกิดการแตกร้าว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีการระเหยน้ำได้ดีและเกิดปริมาณรูพรุนมากขึ้น ดังนั้นน้ำจากภายนอกจึงมีการเข้าไปแทนที่ภายในรูพรุนได้มากขึ้น ส่งผลให้อิฐดินมีร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และศึกษาอิทธิพลของสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน

1. น้ำยางธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างดินในการทำอิฐดินได้
2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำอิฐดินเชิงประกอบไปใช้ในการรับแรงกดอัด คือ อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และไซเลน – 69 ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ซึ่งสามารถรับแรงกดอัดได้ 1,350 กก. หรือประมาณ 1.4 เท่าของอิฐดินเปล่า
3. อัตราส่วนในการนำอิฐดินเชิงประกอบไปใช้ในการรับแรงดัด คือ อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ซึ่งสามารถรับแรงดัดได้ 575 กก. หรือประมาณ 7.2 เท่าของอิฐดินเปล่า
4. การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มีสมบัติเชิงกลลดลง
5. การเติมน้ำยางธรรมชาติลงไปในขั้นตอนการทำอิฐทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และพบว่าการใส่ตัวประสานคู่ควบไซเลน–69 ทำให้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำสูงสุด
6. ราคาของวัสดุในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ขนาด 11 x 23 x 9 ซม. มีราคา 17,307 บาท/ลบ.ม. (24.2 บาท / ก้อน)

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่การปฏิบัติการจริง

1. สำหรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ควรมีการพัฒนาเครื่องผสมสำหรับการผสมดินและน้ำยางให้มีประสิทธิภาพในการผลิตทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณการผลิต เนื่องจากการผสมน้ำยางให้เข้ากับดินต้องใช้พลังงานในการผสมมากเพราะยางธรรมชาติมีความเหนียวทำให้ยากในการผสม
2. เนื่องจากราคาน้ำยางธรรมชาติที่ขายอยู่ในปัจจุบันมีราคาสูงส่งผลให้ราคาอิฐดินเชิงประกอบที่ได้จากการทำการทดลองมีราคาสูงเช่นกัน เนื่องจากอิฐดินเชิงประกอบที่ใช้นั้นประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก คือ น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมราคาน้ำยางธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศไทยให้มีความเหมาะสมมากขึ้น เพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แทนการใช้และส่งออกในรูปของวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

การเผยแพร่ผลงานในลักษณะบทความวิจัยในวารสารเชิงวิชาการระดับชาติ

บทคัดย่อ

อิฐดินเผาเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในงานก่อสร้างซึ่งได้จากการผสมกันของดินเหนียว ทราย และแกลบ โดยอัดขึ้นรูปแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส นานประมาณ 40 - 150 ชั่วโมง สมบัติหลักของอิฐดินเผา คือ มีความสามารถรับแรงกดอัดได้ดี แต่โครงสร้างมีความยืดหยุ่นน้อยทำให้โครงสร้างเปราะเกิดการแตกทรุดได้ง่าย ซึ่งทำเกิดอันตรายได้เมื่อโครงสร้างทรุดหรือพังทลาย นอกจากนี้การผลิตอิฐดินเผาต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูง ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และมีน้ำหนักเบาควบคู่ไปกับการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิต แกลบและน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตอิฐความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากแกลบมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับดินและเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในขั้นตอนการทำอิฐดินใช้น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์สำหรับงานหล่อเข้าในการประสานดินและแกลบเข้าด้วยกัน จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของดินเหนียวต่อแกลบดิบที่เหมาะสมต่อการนำไปขึ้นรูปอิฐดินเชิงประกอบ คือ 3:1 และพบว่าปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวมทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนนี้มีค่าความต้านทานแรงดัดมากที่สุด คือ 570 กก. และมีค่าความต้านทานแรงอัดเป็น 955 กก. ค่าความต้านทานแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ การเพิ่มปริมาณแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ในอิฐดินเชิงประกอบส่งผลให้ความหนาแน่นของอิฐลดลงเมื่อเทียบกับอิฐดินเปล่า นอกจากนี้พบว่าการเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน-69 (Si-69) ทำให้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มีความต้านทานแรงอัดได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอิฐดินเปล่า ขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง การเติมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงไปอิฐดินเชิงประกอบทำให้อิฐมีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติสามารถนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่รองรับแรงดัดได้ เช่น กำแพงหรือผนังในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น นอกจากนี้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ยังสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงในการขึ้นรูปจึงเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งก่อสร้างเชิงอนุรักษ์ได้ เช่น บ้านดิน เป็นต้น

Abstract

Brick is one of common constructive materials obtained from the combination of clay, sand and rice husk. The brickmaking process requires the high temperature drying process in the kiln at ca. 1000^{o}C for 40 – 150 h. Although the important property of brick is high compressive strength, brick is easily broken due to its less flexibility. To improve the brick quality to have higher flexibility and light weight with lower energy consumption during brickmaking process, the concept of this research work was to utilize the rice husk and natural rubber latex to produce the low density composite soil brick because the rice husk, waste material from agriculture, had lower density than clay. The prevulcanized natural rubber latex for casting was used as an adhesive for combining the clay and rice husk during brick shaping step. The results indicated that the ratio of clay and rice husk at 3:1 with 20% wt prevulcanized natural rubber latex based on the total quantity of liquid for brickmaking was appropriate to give the highest flexural resistance and compressive strength at 570 kg and 955 kg, respectively. The flexural resistance of the composite soil brick tended to be lower with increasing the concentration of prevulcanized natural rubber latex. The increase in the amount of both rice husk and prevulcanized natural rubber latex reduced the density of the composite soil brick compared to the soil brick without the rice husk and prevulcanized natural rubber latex. It was also found that the addition of sodium silicate and silane-69 (Si-69) increased the compressive strength of the composite soil brick with lower flexural resistance. In addition, the use of prevulcanized natural rubber latex increased the water resistance of the composite soil brick. The experimental results implied that the composite soil brick could be applied for the conservative buildings such as Baan Din for saving the energy during brickmaking process.

สารบัญ

			หน้า
บทคัดย่อ			ก
Abstract			ข
สารบัญ			ค
สารบัญรูป			ง
สารบัญตาราง			จ
บทที่			
1.	บทนำ		1
	1.1	ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	1.2	วัตถุประสงค์	1
	1.3	ทฤษฎี	2
	1.4	แนวคิดและผลงานที่เกี่ยวข้อง	4
	1.5	ขอบเขตการศึกษาของโครงงานวิจัย	5
2.	วิธีการ		6
	2.1	วัสดุและสารเคมี	6
	2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	6
	2.3	วิธีการทดลอง	7
3.	ผลการทดลอง		10
	3.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบ	10
	3.2	ผลของแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อสมบัติกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบ	11
	3.3	ผลของโซเดียมซิลิเกต ไซเลน – 69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อสมบัติกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบ	11
	3.4	ความต้านทานการดูดซึมน้ำ	13
4.	วิจารณ์ผลการทดลอง		14
	4.1	สมบัติของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์	14
	4.2	อิทธิพลของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3), ไซเลน – 69 (Si – 69) และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์	15
	4.3	อิทธิพลของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3), ไซเลน – 69 (Si-69) และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์	21
	4.4	ลักษณะพื้นผิวของอิฐดินเชิงประกอบ	21

4.5 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและราคาของอิฐดินเชิงประกอบที่ได้กับอิฐมอญที่ใช้งานทั่วไป 22
5. สรุปผลการทดลอง 24
เอกสารอ้างอิง 25
ภาคผนวก คำตอบและเหตุผลของผู้ทำโครงการต่อสรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 26

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างของยางธรรมชาติ	3
2.1	ภาพรวมกระบวนการทดลองและทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ	7
2.2	เครื่องอัดแรงมือโยกขึ้นรูปบล็อกประสาน: (ก) ขนาดใหญ่ (11 x 23 x 9 ซม.) และ (ข) ขนาดเล็ก (5 x 5 x 5 ซม.)	8
2.3	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ: (ก) การรับแรงดัด และ (ข) การรับแรงกดอัด	9
4.1	ผลของการเติมแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความทนทานต่อการดัดโค้งของอิฐดินเชิงประกอบ	14
4.2	ผลของการเติมแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบ	15
4.3	ผลของการเติมปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1	16
4.4	ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน – 69 ต่อความต้านทานแรงดัดของอิฐดินเชิงประ กอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1	16
4.5	ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน – 69 ต่อความต้านทานแรงกดอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1	17
4.6	ผลของการเติมไซเลน – 69 ต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1	18
4.7	ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกต ต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1	18
4.8	ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 อัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ	19
4.9	ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานแรงกดอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 อัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ	20
4.10	ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 ปริมาณอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ	20

4.11 ลักษณะพื้นผิวของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และอัตราส่วนดินต่อแกลบต่างๆกัน : (ก) อิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1, (ข) อิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2, (ค) อิฐดินเชิงประกอบที่มีน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1 และ (ง) อิฐดินเชิงประกอบที่มีน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 43 และอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1 22

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เกณฑ์สำหรับจำแนกกลุ่มขนาดของดินผง	2
2.1	สูตรผสมยางและสารเคมีสำหรับงานหล่อเบ้า	7
3.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อดิน	10
3.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแกลบ	10
3.3	ความหนาแน่นและความต้านทานต่อแรงดัดของอิฐดินที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบต่าง ๆ กัน	11
3.4	ผลการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน – 69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม	11
3.5	ผลของการเติมไซเลน – 69 ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด	12
3.6	ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตที่มีต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด	12
3.7	ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ	12
3.8	ผลการทำอิฐดินเชิงประกอบต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำ	13
4.1	ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับการผลิตอิฐดินเชิงประกอบ 1 ก้อน (ขนาด 11 x 23 x 9 ซม.)	23
4.2	การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ราคา และพลังงานที่ใช้ในการผลิตระหว่างอิฐดินเชิงประกอบและอิฐมอญ	23

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในประเทศไทยกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และที่พักอาศัยที่มีการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในเป็นโครงสร้างและตกแต่ง เช่น บ้านดิน ก็เป็นที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้จะช่วยสร้างบรรยากาศให้มีความเป็นธรรมชาติมากขึ้น นอกจากนี้วัสดุธรรมชาติยังช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นการลดปัญหาสภาวะโลกร้อน และลดการใช้ทรัพยากรที่ต้องทำลายระบบนิเวศและทัศนียภาพ เช่น การระเบิดภูเขาหินปูนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบเพื่อนำไปประยุกต์ในการสร้างบ้านดิน และสามารถถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้เกิดการสร้างงานและรายได้เสริมให้กับประชาชนในอนาคต

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยได้มาจากการผสมกันของดินเหนียว ทราย และแกลบ จากนั้นอัดขึ้นรูปแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียสนานประมาณ 40 ถึง 150 ชั่วโมง จนกระทั่งเม็ดดินเหนียวเกิดการหลอมตัวและยึดติดกันอย่างแน่นหนา [1] โดยทั่วไปแล้วสมบัติหลักของอิฐดินเผา คือ มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดอัดได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ โครงสร้างมีความยืดหยุ่นน้อยทำให้โครงสร้างเปราะเกิดการแตกทรุดได้ง่าย และมีน้ำหนักมากทำเกิดอันตรายได้เมื่อโครงสร้างทรุดหรือพังทลาย นอกจากนี้การผลิตอิฐดินเผายังต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูง ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และมีน้ำหนักเบาควบคู่ไปกับการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิต แกลบและน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตอิฐดินมวลเบา การทำให้อิฐดินมีน้ำหนักน้อยลงนั้นสามารถทำได้โดยการแทนที่ปริมาณดินที่ใช้ในการทำอิฐดินด้วยแกลบซึ่งมีน้ำหนักเบาและเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การประสานดินและแกลบเข้าด้วยกันในขั้นตอนการทำอิฐดินจะใช้น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ซึ่งใช้ในงานสำหรับหล่อเบ้า และเนื่องจากน้ำยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง สามารถต้านทานต่อแรงดึง และแรงกระแทกได้ดี จึงน่าที่จะทำให้โครงสร้างของอิฐดินมวลเบาเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาตินี้มีความแข็งแรง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต ปริมาณโซเดียมซิลิเกต และตัวประสานคู่ควบ (Coupling agent)

1.3 ทฤษฎี

1.3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเนื้อดิน (Soil Texture) [2]

กลุ่มขนาด (Soil Separates)

ขนาดของอนุภาคดินแตกต่างกันมากตั้งแต่ขนาดเล็กมากจนถึงขนาดที่ใหญ่ที่เรียกว่าก้อนหินหรือกรวด ในทางวิชาการปฐพีวิทยาเรียกวัตถุที่เกิดจากหินและแร่ต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ซม. ว่าก้อนหิน ขนาด 2 มม. ถึง 2 ซม. ว่ากรวด และที่เล็กกว่า 2 มม. ว่าดินผง ดินผงนี้ถูกแบ่งย่อยต่อไปอีกเป็นกลุ่มขนาดต่างๆ อีกหลายกลุ่ม เกณฑ์สากลซึ่งรับรองโดยสมาคมปฐพีวิทยานานาชาติ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวที่มีผสมอยู่ในดินเนื้อต่างๆ เป็นตัวกำหนดความแข็งแกร่งของดินหรือก้อนดินเมื่อแห้ง ความเหนียว และความสามารถถูกปั้นให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้โดยไม่แตกหักเมื่อชื้น ดินที่มีกลุ่มอนุภาคดินเหนียวอยู่มากย่อมแข็งแกร่งมากเมื่อแห้ง และมีความเหนียวที่สามารถปั้นเป็นรูปร่างต่างๆได้ดีเมื่อชื้น

ประเภทของเนื้อดินและวิธีการประเมิน (Soil Textural Classes and Evaluation Methods)

ประเภทของเนื้อดินจำแนกออกได้ตามสัดส่วนของกลุ่มขนาดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินเนื้อนั้น ๆ เมื่อดินมีกลุ่มขนาดใดอยู่เป็นสัดส่วนมาก ดินก็แสดงลักษณะหรือสมบัติของกลุ่มนั้น ๆ ออกมาอย่างเด่นชัด และได้รับการกำหนดให้มีชื่อของเนื้อดินตามชื่อกลุ่มขนาดนั้น เช่น ดินที่มีกลุ่มขนาดดินเหนียวอยู่มากก็ย่อมแสดงลักษณะของกลุ่มขนาดดินเหนียวเด่นชัด มีชื่อประเภทเนื้อดินว่าดินเหนียว เป็นต้น การจำแนกเนื้อดินให้ความสำคัญกับอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ จะเห็นว่าดินต้องมีกลุ่มขนาดทรายแป้งมากกว่าร้อยละ 80 จึงจะเรียกว่าดินทรายแป้ง และต้องมีกลุ่มขนาดทรายมากกว่าร้อยละ 85 จึงจะเรียกว่าดินทราย ในขณะที่ดินเหนียวต้องมีกลุ่มขนาดดินเหนียวร้อยละ40 ขึ้นไป การประเมินเนื้อดินสามารถทำได้โดยทำลายการเกาะยึดตัวกันของอนุภาคดินโดยการใช้เครื่องมือปั่นตีสารแขวนลอยดินเพื่อให้เม็ดดินแตกเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ ในห้องปฏิบัติการ หรือนวดด้วยมือในสภาพดินชื้นกรณีในสนาม จากนั้นวัดปริมาณของกลุ่มขนาดต่าง ๆ และนำค่าตัวเลขที่ได้เป็นร้อยละของกลุ่มขนาดต่างๆ ไปหาประเภทเนื้อดิน ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวที่ผสมอยู่ในดินเนื้อต่างๆ เป็นตัวกำหนดความแข็งแกร่งของดินหรือก้อนดินเมื่อแห้ง ความเหนียวและความสามารถถูกปั้นให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้โดยไม่แตกหักเมื่อชื้น

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์สำหรับจำแนกกลุ่มขนาดของดินผง [2]

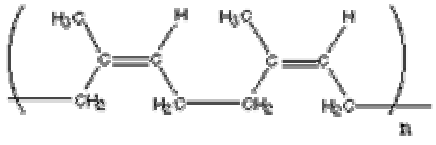
เกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา			เกณฑ์สากล			เกณฑ์ทั่วไป	
ชื่อกลุ่มขนาด	ขนาด, มม.		ชื่อกลุ่มขนาด	ขนาด, มม.		ชื่อกลุ่มขนาด	ขนาด, มม.
ทรายหยาบมาก (very coarse sand)	1.00-2.00						
ทรายหยาบ (coarse sand)	0.50-1.00		ทรายหยาบ	0.02-0.20			
ทรายปานกลาง (medium sand)	0.25-0.50					ทราย	0.05 - 2.00
ทรายละเอียด (fine sand)	0.10-0.25		ทรายละเอียด	0.02-0.20			
ทรายละเอียดมาก(very fine sand)	0.05-0.10						
ทรายแป้ง (silt)	0.002-0.05		ทรายแป้ง	0.002-0.02		ทรายแป้ง	0.002-0.05
ดินเหนียว (clay)	< 0.002		ดินเหนียว	< 0.002		ดินเหนียว	< 0.002

การผลิตอิฐมอญหรืออิฐดินเผา [1]

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนต่าง ๆตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ในอดีตใช้ดินจากแม่น้ำที่มีเนื้อละเอียดปนทรายมาทำอิฐมอญ เพราะความเหนียวของดินชนิดนี้ไม่มากเกินไป แต่ปัจจุบันดินแม่น้ำมีราคาสูงมาก จึงหันมาใช้ดินจากพื้นที่ลุ่มซึ่งมีสมบัติเหมือนดินแม่น้ำ คือ เป็นดินสองชั้น โดยชั้นบนเป็นดินเหนียวปนทรายมาก ส่วนชั้นล่างเป็นดินเหนียวล้วน เมื่อขุดมารวมกันจะได้ดินเหนียวปนทรายเนื้อดี นอกจากนี้อิฐยังประกอบด้วยแกลบซึ่งเป็นผลิตผลจากการสีข้าว และขี้เถ้า ในสัดส่วนดังนี้ คือ ดิน ¾ ของเนื้อที่บ่อ ขี้เถ้าประมาณ 10 ถัง และแกลบ 1 ถัง เติมน้ำให้ท่วมปากบ่อ บ่อผสมดินมีความกว้างประมาณ 2 เมตร ลึก ประมาณ 1 เมตร จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการทำอิฐได้มีเครื่องทุ่นแรงมาช่วยโดยใช้เครื่องผสม เมื่อส่วนผสมเข้ากันเป็นอย่างดีแล้ว นำของผสมที่ได้มาใส่พิมพ์ขนาดประมาณ 3 x 6.5 x 4 ซม. พื้นที่บริเวณที่จะใช้ในการวางพิมพ์ต้องมีพื้นเรียบ นำขี้เถ้ามาโรยให้ทั่วพื้นที่เพื่อวางดินที่ออกมาจากพิมพ์ ซึ่งจะป้องกันไม่ให้ก้อนดินที่ออกมาจากพิมพ์ติดกับพื้น หลังจากนำชิ้นงานออกจากพิมพ์ นำอิฐเหล่านั้นไปพึ่งแดดประมาณ 2 วัน และในช่วงนี้จะทำการตบแต่งรูปทรงของอิฐให้มีผิวเรียบขึ้นโดยนำอิฐที่แห้งดีแล้วไปใส่กับเครื่องไส เมื่อชิ้นงานแห้งสนิทแล้วจึงนำอิฐไปเผาในเตาเผา ครั้งละไม่ต่ำกว่า 100,000 ก้อน โดยต้องให้แกลบสูงท่วมกองอิฐให้พอดีกับการเผา โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเผาประมาณ 11 วัน เมื่อไฟดับแล้วจะได้อิฐสีส้มทั่วทั้งก้อน มีความแกร่งสูง อิฐที่มีคุณภาพดีต้องมีสีส้มสด ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อว่าอิฐมอญ หรืออิฐแดง

1.3.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) [3]

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน (Polyisoprene, $(C_5H_8)_n$) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง (Head to tail) ในลักษณะของซิส (cis-configuration) ดังรูปที่ 1.1 ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลสูง เนื่องจากเมื่อถูกยืดออกโมเลกุลจะเรียงตัวเป็นระเบียบทำให้เกิดความต้านทานต่อแรงดึงสูง มีสมบัติการคืนตัวและการกระดอน (Resilience) สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ การใช้สารเสริมแรง (Reinforcing filler) เช่น เขม่าดำ (Carbon black) และซิลิกา สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น ยางธรรมชาติมีจุดอ่อนตัว (Softening point) ประมาณ 120 องศาเซลเซียส มีความทนทานต่อน้ำ กรดเจือจาง ด่าง และเกลือได้ดี แต่ไม่สามารถทนต่อออกซิเจน โอโซน และแสงอัลตราไวโอเลต ทำให้ยางธรรมชาติเกิดรอยแตก หรือเกิดการแตกหักได้ ซึ่งปริมาณโอโซน 100 พีพีเอ็ม สามารถทำลายยางได้ภายใน 2 นาที และถ้าจุ่มยางธรรมชาติในกรด เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ยางธรรมชาติจะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ความทนทานการบวมตัวในน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมาก เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นยางที่ไม่มีขั้ว



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

1.4 แนวคิดและผลงานที่เกี่ยวข้อง

อิฐและคอนกรีตเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เพราะอิฐและคอนกรีตมีความคงทนสูง ทนต่อแรงกดอัดได้ดี และไม่ติดไฟ [4-5] อย่างไรก็ตามอิฐและคอนกรีตมีความยืดหยุ่นน้อย โครงสร้างมีความเปราะสูงจึงทำให้มีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากใช้ลาเท็กซ์ของพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้แก่ ลาเท็กของยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (Styrene-butadiene rubber latex, SBR latex) ในการลดการแตกร้าวและเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีต [6-8] แต่เมื่อเทียบสมบัติเชิงกลระหว่างยางสังเคราะห์กับยางธรรมชาติแล้ว พบว่ายางธรรมชาติมีสมบัติที่โดดเด่นในด้านการมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง และมีสมบัติในการเป็นตัวประสานที่ดี ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ใช้น้ำยางธรรมชาติมาเป็นตัวประสานสำหรับคอนกรีตและอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่ Nagaraj และคณะ [5] ทำการศึกษาผลของการเติมน้ำยางธรรมชาติและ Super-plasticizer ในการทำคอนกรีต พบว่าความยืดหยุ่นของคอนกรีตสูงขึ้นและมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น รัฐวุฒิและคณะ [9] พบว่าความสามารถในการรับแรงกดอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางรักษาสภาพแอมโมเนียสูง แต่น้ำยางคงรูปและกาวยางที่ปริมาณร้อยละ 20 และ 15 ของการแทนที่น้ำตามลำดับมีความสามารถในการรับแรงกดอัดได้ดีกว่า แต่ยังคงน้อยกว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ นอกจากนี้ความสามารถในการรับแรงดัดและความทนทานต่อแรงกระแทกของอิฐดินซีเมนต์ผสมน้ำยางธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการรับแรงทั้งสองได้สูงกว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมน้ำยางธรรมชาติ ต่อศักดิ์และคณะ [10] ศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมกับปูนทรายเพื่อใช้ในการฉาบกำแพง พบว่ากำแพงที่ฉาบด้วยปูนทรายที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติคงรูปสามารถรับแรงดัดได้มากกว่ากำแพงที่ฉาบด้วยปูนมาตรฐาน ไตรภพ [11] ศึกษากรรมวิธีผลิตวัสดุเชิงประกอบระหว่างกรวดและยางธรรมชาติโดยใช้ตัวประสานคู่ควบในการทำให้ยางธรรมชาติและกรวดยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น พบว่าสามารถขึ้นรูปอิฐหินได้โดยไม่ต้องใช้ส่วนผสมของซีเมนต์ ถึงแม้ผลงานวิจัยในอดีตจะชี้ให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติสามารถเพิ่มความต้านทานในการรับแรงกระแทกและแรงดัดของวัสดุที่ทำจากซีเมนต์ได้ดีขึ้น แต่เนื่องจากวัสดุที่ทำจากซีเมนต์มีน้ำหนักมาก หากเกิดการพังทลายของโครงสร้างจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอิฐมวลเบาที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถทนแรงกระแทกได้ดีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้อยู่อาศัยในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว หรืออุทกภัย

ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อิฐดินเผาหรืออิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มาจากการผสมกันของดินเหนียว ทราย และแกลบ จากนั้นอัดขึ้นรูปแล้วทำการเผาที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลานาน จนกระทั่งเม็ดดินเหนียวเกิดการหลอมตัวและยึดติดกันอย่างแน่นหนา โดยทั่วไปแล้วสมบัติหลักของอิฐดินเผา คือ มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดอัดได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ โครงสร้างมีความยืดหยุ่นน้อย ทนต่อแรงดึงได้ต่ำ ทำให้โครงสร้างเปราะเกิดการแตกหรุดได้ง่าย นอกจากนี้การผลิตอิฐดินเผายังต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูง ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และมีน้ำหนักเบาควบคู่ไปกับการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิต แกลบและน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาผลิตอิฐดินมวลเบา การทำให้อิฐดินมีน้ำหนักน้อยลงนั้นสามารถทำได้โดยการทดแทนปริมาณดินที่ใช้ในการทำอิฐดินด้วยแกลบซึ่งมีน้ำหนักเบาและเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การประสานดินและแกลบเข้าด้วยกันในขั้นตอนการทำอิฐดินจะใช้น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ซึ่งใช้สูตรเดียวกับยางที่ใช้ในการหล่อเบ้ามาเป็นตัวประสาน และเนื่องจากน้ำยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง สามารถต้านทานต่อแรงดึงและแรงกระแทกได้ดี จึงน่าที่จะทำให้

โครงสร้างของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาตินี้มีความแข็งแรง และมีความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ ได้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ตัวประสานคู่ควบไซเลนในการช่วยให้ยางสามารถยึดเกาะกับวัสดุที่ประกอบด้วยซิลิกา เช่น ทราย หรือแกลบ ได้ดียิ่งขึ้น และจะศึกษาผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปเพื่อช่วยให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กในเนื้อของอิฐดิน ทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาและทนแรงกระแทกได้สูงขึ้น

1.5 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานวิจัย

ขอบเขตของวิธีการทำงานโครงงานวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

1.5.1 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่เกี่ยวข้องในการทำอิฐดินเชิงประกอบ

1.5.2 เตรียมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่สำหรับงานหล่อเบ้า

1.5.3 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดิน: แกลบ: น้ำในการขึ้นรูปอิฐ

1.5.4 ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบดังนี้

- ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ :0, 20, 34 และ 43% ของน้ำหนักของของเหลวรวม
- ผลของการอัตราส่วนดินต่อแกลบ : 4:0, 3:1 และ 2:2
- ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกต : ร้อยละ 0, 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ
- ผลของการเติมตัวประสานคู่ควบไซเลน : ร้อยละ 0, 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ
- ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต : ร้อยละ 0, 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ

จากนั้นจะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบในด้าน

- ความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบ (Density)
- ความสามารถในการรับแรงกด (Compressive strength)
- ความสามารถในการรับแรงดัด (Flexural strength)
- ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (Water absorption resistance)

1.5.5 ทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและราคาของอิฐดินเชิงประกอบที่ได้กับอิฐมอญที่ใช้ในงานทั่วไป

1.5.6 วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการวิจัย

บทที่ 2
วิธีการ

2.1 วัสดุและสารเคมี

- น้ำยางข้น 60% DRC
- ดิสเพิสชั่นซิงออกไซด์ 50%
- ดิสเพิสชั่นซัลเฟอร์ 50%
- ดิสเพิสชั่น ZDEC 50%
- ดิสเพิสชั่น ZMBT 50%
- Tetric 16 A16 10%
- ดิสเพิสชั่นไทเทเนียมไดออกไซด์ 50%
- ดิสเพิสชั่นแคลเซียมคาร์บอเนต 50%

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- Wingstay L 50%
- ตัวประสานคู่ควบ (Coupling agent, Si – 69)

บริษัท JJ – Degussa (Thailand) Co,Ltd

- โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)
- โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)

บริษัทเอสอาร์แลบ จำกัด

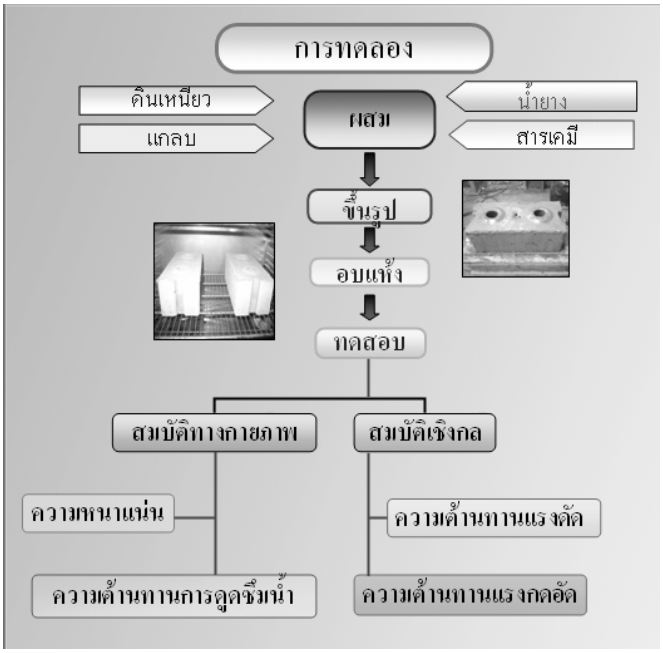
- น้ำประปา
- ดินเหนียวจากแหล่งตลิ่งชัน
- แกลบ

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ถังผสมขนาดเล็ก
- บีกเกอร์ขนาด 500 มล.
- เวอร์เนีย
- เครื่องกวน
- เตาอบ
- อุปกรณ์ขึ้นรูปขนาดใหญ่
- อุปกรณ์ขึ้นรูปขนาดเล็ก
- เครื่องบด
- ถังน้ำ
- ผ้าขนหนู
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดความต้านทานต่อแรงดัด(Flexural strength) ยี่ห้อ AMSLER UNIVERSAL TESTING 20 TONN
- เครื่องวัดความต้านทานต่อแรงกดอัด (Compressive strength) ยี่ห้อ AMSLER UNIVERSAL TESTING 40 TONN

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การขึ้นรูปอิฐ และการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพรวมกระบวนการทดลองและทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

2.3.1 การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่สำหรับงานหล่อเบ้า

เตรียมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ สำหรับงานหล่อเบ้าโดยใช้น้ำยางและสารเคมีดังตารางที่ 2 .1 กวนน้ำยางธรรมชาติและสารเคมีต่าง ๆ ให้เข้ากันเป็นเวลา 45 นาที จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 ชม. จึงสามารถนำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ไปใช้งานได้

ตารางที่ 2.1 สูตรผสมของยางและสารเคมีสำหรับงานหล่อเบ้า

ยางและสารเคมี	ปริมาณโดยน้ำหนัก (กรัม)
น้ำยางข้น (60% DRC)	167
ดิสเพิสชั่นซิงออกไซด์ 50%	3
ดิสเพิสชั่นซัลเฟอร์ 50%	5
ดิสเพิสชั่น ZDEC 50%	3
ดิสเพิสชั่น ZMBT 50%	2
Tetric 16 A16 10%	2
ดิสเพิสชั่นไทเทเนียมไดออกไซด์ 50%	5
ดิสเพิสชั่นแคลเซียมคาร์บอเนต 50%	20
Wingstat L 50%	2

2.3.2 การเตรียมดินและแกลบ

นำดินเหนียวจากแหล่งตลิ่งชัน นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°ซ เป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นนำดินเหนียวแห้งและแกลบดิบ (จ. พระนครศรีอยุธยา) ไปบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 600 ไมครอน

2.3.3 การวิเคราะห์ดินและแกลบ

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบของเนื้อดิน (Soil texture) ตามมาตรฐาน USBR (United States Bureau of Reclamation) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแกลบด้วยเครื่องเอ็กเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปคโตรมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

2.3.4 การเตรียมอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

นำดินแห้งที่เตรียมไว้ ใส่ถาดผสมดิน จากนั้นเทน้ำในปริมาณต่าง ๆ ลงผสมกับดินแล้วคลุกจนดินเป็นเนื้อเดียวกันในถาดผสม นำส่วนผสมที่ได้ไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแรงมือโยก (รูปที่ 2.2) แล้วนำอิฐที่ได้มาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำอิฐไปตากแดดเป็นเวลา 3 วัน แล้วอบที่อุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 3 วันจนน้ำหนักอิฐคงที่ จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินเหนียวและน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐดิน

จากนั้นเตรียมอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติโดยแทนที่ปริมาณดินด้วยแกลบในอัตราส่วนระหว่างดินต่อแกลบเท่ากับ 4:0 3:1 และ 2:2 เมื่อใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 ของของเหลวรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐดิน และศึกษาผลของการเติมปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ในอิฐดินเชิงร้อยละ 0 20 33 และ 43 ของของเหลวรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐดินเชิงประกอบในทุก ๆ อัตราส่วนระหว่างดินต่อแกลบ

2.3.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ

2.3.5.1 ความหนาแน่น (Density)

วัดขนาดด้านกว้าง ความยาว และความหนาของอิฐด้วยเวอร์เนีย คำนวณปริมาตรของก้อนอิฐและชั่งน้ำหนักของอิฐดินเพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณความหนาแน่นจากสูตร:

ความหนาแน่น = น้ำหนักของอิฐ / ปริมาตรของอิฐ

(ก)

(ข)

รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแรงมือโยกขึ้นรูปบล็อกประสาน: (ก) ขนาดใหญ่ (11 x 23 x 9 ซม.) และ (ข) ขนาดเล็ก (5 x 5 x 5 ซม.)

2.3.5.2 ความสามารถในการรับแรงดัด (Flexural strength)

ความสามารถในการรับแรงดัดของอิฐทดสอบด้วยเครื่อง AMSLER UNIVERSAL TESTING 20 TONN โดยวางชิ้นงาน (ขนาด 11 x 23 x 9 ซม.) ไว้ที่กึ่งกลางบนแท่นวางวัสดุทดสอบ (รูปที่ 2.3 ก) จากนั้นกดปุ่มพีค (peak) เพื่อให้เครื่องจดจำค่าแรงสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้ และบันทึกค่าความต้านทานในการรับแรงดัดที่อ่านได้

2.3.5.3 ความสามารถในการรับแรงกดอัด (Compressive strength)

ความสามารถในการรับแรงกดอัดของอิฐทดสอบด้วยเครื่อง AMSLER UNIVERSAL TESTING 40 TONN วางชิ้นงาน (ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.) บนแท่นวางโดยวัดตำแน่งชิ้นงานให้อยู่ตรงกลาง (รูปที่ 2.3ข) เปิดเครื่องทดสอบบันทึกค่าความหนาที่ลดลงเมื่อแรงกดอัดเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 กิโลกรัม จากนั้นบันทึกค่าความต้านทานแรงกดอัดที่ได้

2.3.5.4 ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (Water absorption resistance)

ชั่งน้ำหนักของอิฐดินทุกก้อน (ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.) ก่อนทำการทดลอง นำอิฐดินแช่ลงในบีกเกอร์ซึ่งมีน้ำประมาณ 1 ลิตรที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการเปลี่ยนแปลง และนำอิฐขึ้นมาชั่งน้ำหนักทุกๆ ชั่วโมง โดยใช้ผ้าซับน้ำรอบก้อนอิฐก่อนชั่งน้ำหนัก

(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ: (ก) การรับแรงดัด และ (ข) การรับแรงกดอัด

บทที่ 3
ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบ

3.1.1 ดินเหนียว

ดินเหนียวที่นำมาใช้ในการทดลองมาจากแหล่งตลิ่งชัน เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อดินตามมาตรฐาน USBR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าดินเหนียวที่นำมาใช้ในการทำอิฐดินเชิงประกอบมีปริมาณซัลเฟอร์ ซิลิกอน และคาร์บอนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 2.4 47.8 และ 49.8 โดยน้ำหนักตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าดินเหนียวที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นมีความเป็นดินเหนียวชนิดทรายปนแป้ง [2]

3.1.2 แกลบ

แกลบที่นำมาใช้ในการทำอิฐดินเชิงประกอบมาจากอยุธยา เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง XRF ได้ผลแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่า แกลบที่นำมาใช้ในการทำอิฐดินเชิงประกอบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 94.7 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อดิน

	ร้อยละโดยน้ำหนัก			ลักษณะดิน
	กำมะถัน	ซิลิกอน	คาร์บอน	
ดินจากแหล่งตลิ่งชัน จังหวัดกรุงเทพฯ	2.4	47.8	49.8	ดินเหนียวชนิดทรายปนแป้ง

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแกลบ

ธาตุ	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
Na	Na_2O	0.10
Mg	MgO	0.32
Al	Al_2O_3	0.65
Si	SiO_2	94.7
P	P_2O_5	0.55
S	SO_3	0.36
K	K_2O	2.27
Ca	CaO	0.63
Ti	TiO_2	0.03
Mn	MnO_2	0.11
Fe	Fe_2O_3	0.27
Zn	ZnO	0.01

3.2 ผลของแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อสมบัติกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบ

ตารางที่ 3.3 ความหนาแน่นและความต้านทานต่อแรงดัดของอิฐดินที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบต่าง ๆ กัน

ดิน : แกลบ	ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)			ความต้านทานต่อแรงดัด (ก.ก.)		
		ก้อนที่ 1	ก้อนที่2	เฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่2	เฉลี่ย
4 : 0	0	1.96	1.96	1.96 (0)*	40	120	80 (56.6)*
3 : 1	0	1.63	1.62	1.62 (0)	535	540	538 (3.5)
	20	1.57	1.57	1.57 (0)	580	560	570 (14.1)
	34	1.35	1.36	1.36 (0.01)	410	530	470 (84.9)
	44	1.19	1.21	1.20 (0.01)	580	420	500 (113)
	50	←		ไม่สามารถกดอัดขึ้นรูปได้			→
2 : 2	0	1.34	1.34	1.34 (0)	240	340	290 (70.7)
	20	1.33	1.32	1.32 (0.01)	440	510	475 (49.5)
	34	1.26	1.24	1.25 (0.02)	160	280	220 (84.9)
	44	←		ไม่สามารถกดอัดขึ้นรูปได้			→

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 ผลของโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อสมบัติกายภาพและเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบ

ตารางที่ 3.4 ผลการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม

สารเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับแกลบ)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)		
		ก้อนที่ 1	ก้อนที่2	เฉลี่ย
ไซเลน-69	3	1.56	1.55	1.56 (0.01)*
	5	1.55	1.57	1.56 (0.01)
	10	1.54	1.56	1.55 (0.02)
โซเดียมซิลิเกต	3	1.51	1.56	1.54 (0.03)
	5	1.50	1.49	1.50 (0.01)
	10	1.48	1.51	1.49 (0.02)
โซเดียมไบคาร์บอเนต/โซเดียมซิลิเกต	3	1.51	1.54	1.52 (0.02)
	5	1.52	1.52	1.52 (0)
	10	1.55	1.56	1.55 (0)

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3.5 ผลของการเติมไซเลน–69 ต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด

ปริมาณไซเลน-69 (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับแกลบ)	ความต้านทานแรงดัด (ก.ก.)			ความต้านทานแรงกดอัด (ก.ก.)		
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย
0 (อิฐดินเปล่า)	40	120	80 (56)*	740	830	785 (16)*
0	580	560	570 (14)	820	1,090	955 (190)
3	450	470	460 (14)	1,300	1,400	1,350 (71)
5	550	410	480 (99)	1,550	1,040	1,295 (360)
10	440	370	405 (49)	970	980	975 (7)

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3.6 ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด

ปริมาณโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับแกลบ)	ความต้านทานแรงดัด (ก.ก.)			ความต้านทานแรงกดอัด (ก.ก.)		
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย
0 (อิฐดินเปล่า)	40	120	80 (56)*	740	830	785 (16)*
0	580	560	570 (14)	820	1,090	955 (190)
3	550	600	575 (35)	1,100	1,130	1,115 (21)
5	470	510	490 (28)	1,330	1,050	1,190 (198)
10	520	480	500 (28)	910	950	930 (28)

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3.7 ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 น้ำยางธรรมชาติ พรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวทั้งหมด และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเทียบกับแกลบ

ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับแกลบ)	ความต้านทานแรงดัด (ก.ก.)			ความต้านทานแรงกดอัด (ก.ก.)		
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	เฉลี่ย
0	550	600	575 (35)*	1,100	1,130	1,115 (21)*
1	560	520	540 (28)	980	1,120	1,050 (99)
3	520	420	470 (71)	1,150	930	1,040 (155)
5	410	500	455 (64)	820	1,150	985 (233)

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4 ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 3.8 ผลของการทำอิฐดินเชิงประกอบต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ส่วนประกอบของอิฐ						ร้อยละการดูดซึมที่เวลาต่าง ๆ (ชม.)						
ดิน	แกลบ	น้ำยาง	โซเดียมซิลิเกต	ไซเลน - 69	โซเดียมไบคาร์บอเนต							
(ส่วน)	(ส่วน)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	0.5	1	2	3	4	22	24
4	-	-	-	-	-	←			เกิดการแตกร้าว			→
3	1	-	-	-	-	←			เกิดการแตกร้าว			→
2	2	-	-	-	-	←			เกิดการแตกร้าว			→
3	1	20	-	-	-	7.10	10.4	14.8	15.7	16.4	16.4	เกิดการแตกร้าว
3	1	33	-	-	-	6.40	9.80	12.3	14.3	15.0	21.8	23.5
3	1	43	-	-	-	6.20	9.30	12.0	14.4	14.8	23.5	24.5
3	1	20	3	-	-	6.90	8.30	9.10	11.3	13.2	←	เกิดการแตกร้าว →
3	1	20	5	-	-	7.50	8.60	10.0	12.3	14.3	←	เกิดการแตกร้าว →
3	1	20	10	-	-	9.90	11.0	12.8	15.5	18.2	←	เกิดการแตกร้าว →
3	1	20	-	3	-	5.40	6.00	7.60	9.60	11.3	19.8	เกิดการแตกร้าว
3	1	20	-	5	-	1.70	2.40	3.30	4.90	6.40	13.8	14.1
3	1	20	-	10	-	4.90	5.10	5.80	6.50	7.10	11.0	11.3
3	1	20	3	-	1	6.20	7.30	8.30	10.3	1.23	←	เกิดการแตกร้าว →
3	1	20	3	-	3	10.7	11.5	13.3	14.6	17.5	←	เกิดการแตกร้าว →
3	1	20	3	-	5	10.7	11.2	12.6	15.2	17.2	27.8	27.9
อิฐมอญ						6.90	11.9	12.0	12.2	12.3	12.5	12.9

บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการวิจัยทั้งหมดที่ได้รวบรวมและนำเสนอในบทที่ 3 นั้น ในบทนี้ได้นำผลดังกล่าวมาวิเคราะห์เปรียบเทียบในรูปแบบกราฟ เพื่อหาข้อสรุปของสมบัติอิฐดินเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของแกลบ น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และสารเคมีต่างๆ เปรียบเทียบกับอิฐมอญที่ใช้ทั่วไปในงานก่อสร้าง

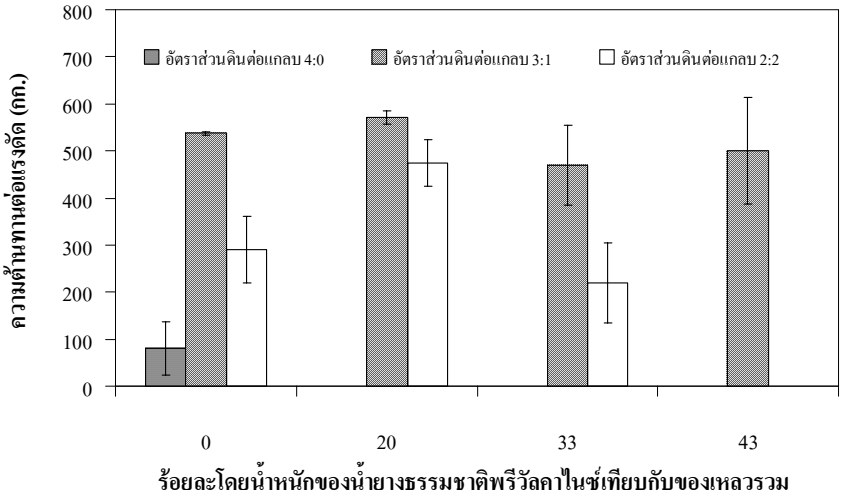
4.1 สมบัติของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์

4.1.1 ความต้านทานต่อแรงดัด

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่ใส่น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ดังรูปที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักที่ 3:1 มีค่าความต้านทานต่อแรงดัดสูงกว่าอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2 เนื่องจากอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2 จะมีความร่วนของเนื้อดินมากกว่า และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดัดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 570 กก. สำหรับปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ใช้ทำอิฐดินเชิงประกอบและที่ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มากกว่าร้อยละ 20 ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดัดมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อดินกับน้ำยางที่กลายเป็นแผ่นยางบนผิวหน้าของดินทำให้ไม่สามารถผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ให้เข้ากับเนื้อดินและแกลบได้ [7]

4.1.2 ความหนาแน่น

เมื่อเติมแกลบดิบในอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และ2:2 ทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ มีความหนาแน่นต่ำกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมแกลบ เนื่องจากแกลบมีความหนาแน่นต่ำกว่าดิน โดยที่ดินมีความหนาแน่นบัลค์ (Bulk Density) 1.09 กรัม/ลบ.ซม. และแกลบมีความ



รูปที่ 4.1 ผลของการเติมแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความทนทานการดัดโค้งของอิฐดินเชิงประกอบ

หนาแน่นบัลค์ 0.5 กรัม/ลบ.ซม. เมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 พบว่าความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ในการขึ้นรูปอิฐดิน เพราะเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่เติมลงไปจะไปแทนที่ส่วนที่เป็นเนื้อดินและแกลบ ส่งผลให้มีการใช้เนื้อดินและแกลบลดลงเมื่อปริมาตรอิฐคงที่ ทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่ได้มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นลดลงดังรูปที่ 4.2

4.1.3 ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

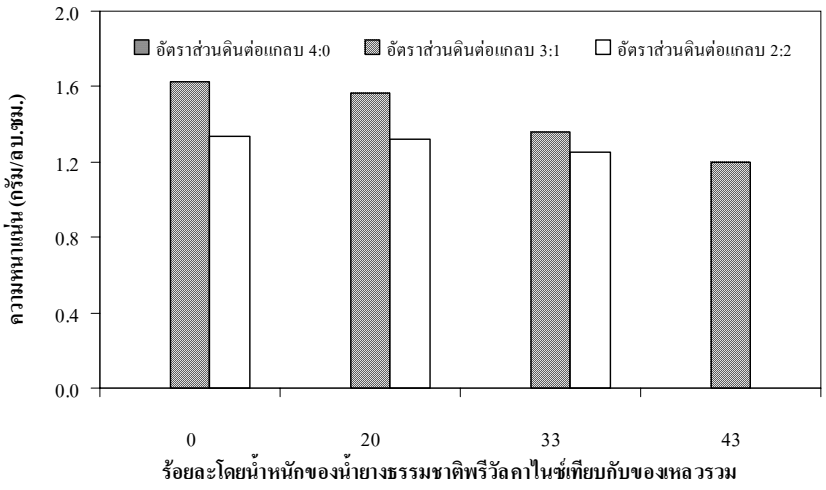
ผลของการเติมแกลบดิบที่มีผลต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำแสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อนำอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และปริมาณน้ำยางธรรมชาติ พรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20, 33 และ 43 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม พบว่าในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงแรกอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางต่างกันจะมีความต้านทานในการดูดซึมน้ำเท่ากัน แต่เมื่อทำการแช่น้ำเป็นเวลานานมากขึ้น จะทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 เกิดการแตกร้าว ขณะที่อิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติมากกว่ายังสามารถคงรูปอยู่ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า น้ำยางที่เติมลงไปนั้น มีส่วนเข้าไปแทนที่ปริมาณรูพรุนที่มีอยู่ ส่งผลให้ปริมาณรูพรุนในอิฐดินลดลง ดังนั้นเนื้อดินจึงมีการยึดเกาะติดกันได้แน่นขึ้นและยากต่อการหลุดออกของเนื้อดิน

4.2 อิทธิพลของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3), ไซเลน–69 (Si–69) และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์

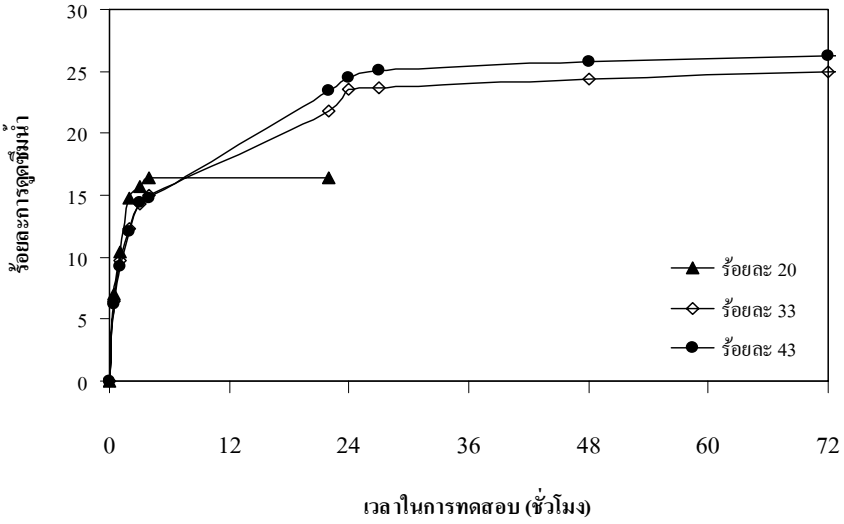
4.2.1 โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และไซเลน – 69 (Si – 69)

ก. ความต้านทานต่อแรงดัด

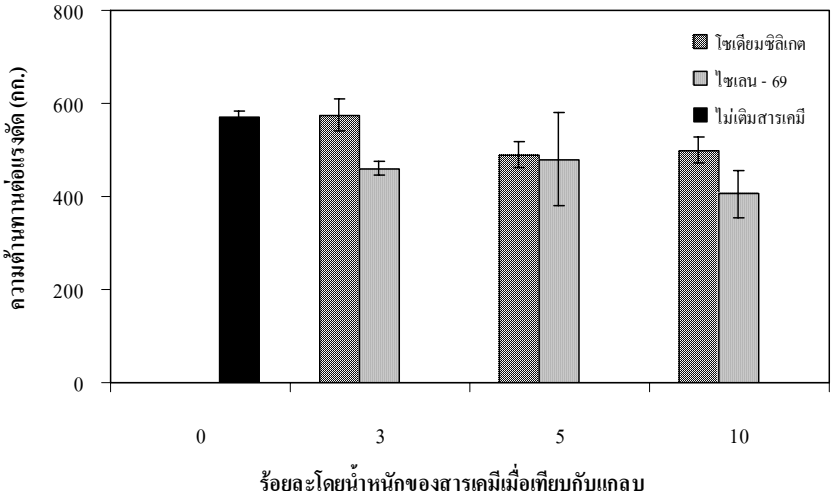
ผลการทดสอบความต้านทานในการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเติมปริมาณโซเดียมซิลิเกตและไซเลน–69 ลงไปในอิฐดินเชิงประกอบร้อยละ 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบทำ



รูปที่ 4.2 ผลของการเติมแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบ



รูปที่ 4.3 ผลของการเติมปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนของดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1



รูปที่ 4.4 ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน–69 ต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1

ให้อิฐดินมีความทนทานต่อแรงอัดโค้งเฉลี่ย 522 ก.ก.ในกรณีที่เติมโซเดียมซิลิเกต และ 448 ก.ก.ในกรณีที่เติมไซเลน–69 ซึ่งการเติมโซเดียมซิลิเกตทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานต่อแรงอัดมากกว่าการเติมไซเลน–69 อาจเป็นเพราะโซเดียมซิลิเกตที่เติมลงไปในอิฐดินทำให้มีการยึดติดกันของเนื้อดินได้มากขึ้นทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ไซเลน–69 ที่เติมลงไปในอิฐดินเชิงประกอบมีสมบัติเป็นตัวประสานคู่ควบ (Coupling Reagent) ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากับเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ทำให้มีการเชื่อมประสานกันระหว่างน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับซิลิกาที่มีอยู่มากภายในแกลบ [12] ทำให้เนื้อยางที่ผสมในอิฐดินมีความแข็งมากกว่าความยืดหยุ่น ดังนั้นอิฐดินเชิงประกอบจึงมีความสามารถในการรับแรงอัดได้น้อยลง

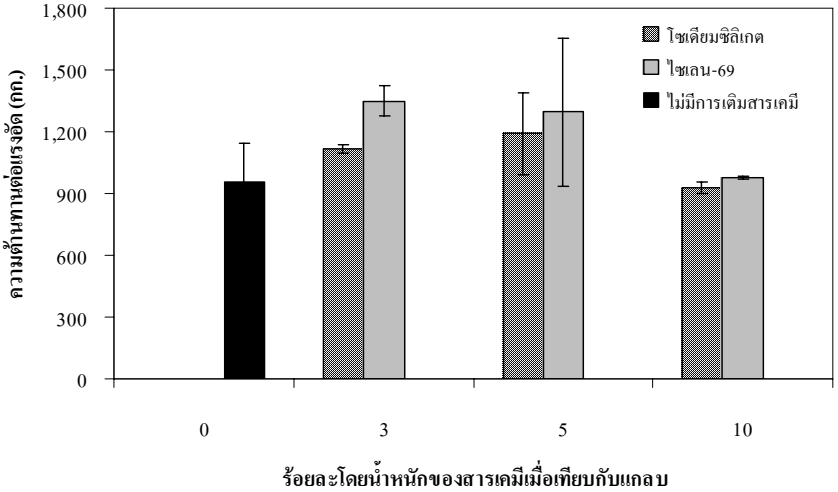
ข. ความต้านทานต่อแรงกดอัด

ผลการทดสอบค่าความต้านทานในการรับแรงกดอัดเมื่ออิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าการเติมปริมาณไซเลน–69 ทำให้อิฐดินมีความต้านทานในการรับแรงกดอัดได้มากกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่ใส่โซเดียมซิลิเกตในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไซเลน–69 อาจทำปฏิกิริยากับเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างโครงสร้างภายในของยางธรรมชาติกับซิลิกาของแกลบในเนื้ออิฐดินเชิงประกอบ [12] ทำให้มีการยึดเกาะกันแข็งแรงกว่าโซเดียมซิลิเกตที่ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างภายนอกของเนื้ออิฐดินเชิงประกอบเท่านั้น

ค. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ด้านการทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำ พบว่าปริมาณไซเลน–69 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ช่วยให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำดีที่สุดและคงสภาพได้ดีที่สุด โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าอิฐดินที่มีการเติมไซเลน–69 ร้อยละ 3 และ 5 ของน้ำหนักแกลบ ทั้งนี้เป็นเพราะไซเลน–69 อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับซิลิกาของแกลบในเนื้อดินอิฐดินเชิงประกอบ [12] ทำให้เกิดการเชื่อมประสานกันทางโครงสร้างภายใน เนื้อดินจึงมีการยึดเกาะติดกันดีขึ้น ดังนั้นจึงมีการหลุดออกของเนื้อดินน้อยลงหลังจากแช่อิฐดินเชิงประกอบลงในน้ำ อิฐดินเชิงประกอบจึงมีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6

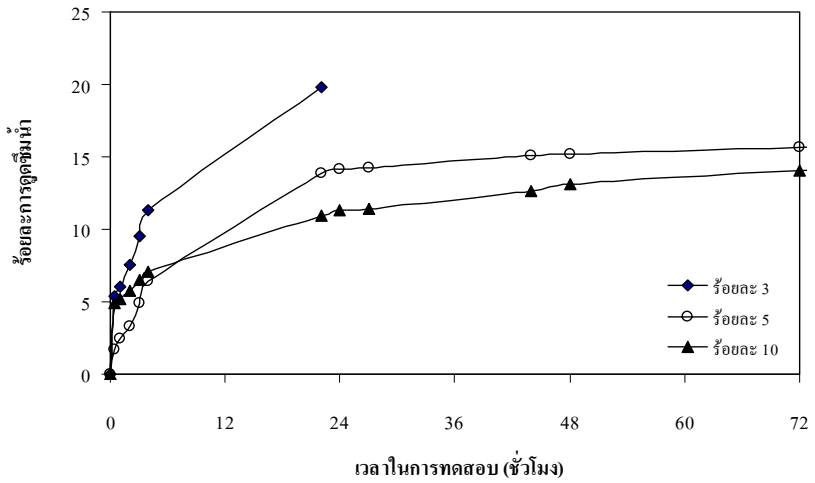
ส่วนการทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกตดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ช่วยให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำดีที่สุด โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าอิฐดินที่มีการเติมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ทำให้อิฐดินมีการเชื่อมประสานกันของผิวดินภายนอกได้ดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมซิลิเกตมากเป็นร้อยละ 5 และ 10 พบว่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเนื่องจากโซเดียมซิลิเกตที่เติมลงไปสามารถละลายน้ำได้ทำให้



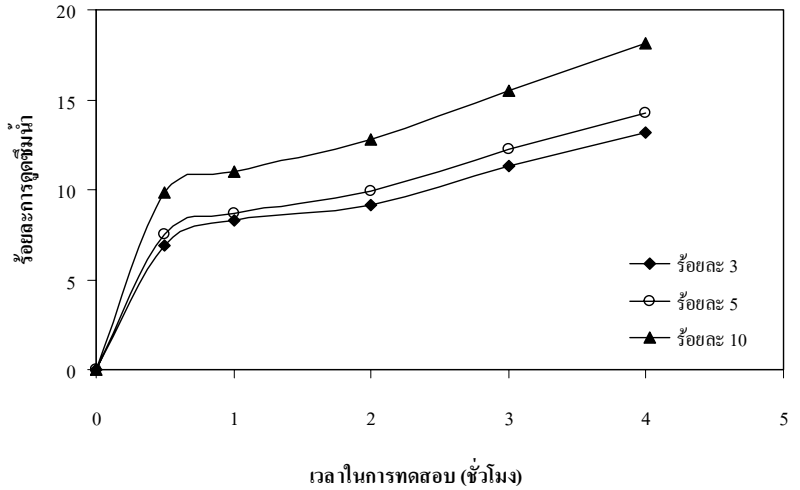
รูปที่ 4.5 ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตและไซเลน–69 ต่อความต้านทานแรงกดอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1

มีการยึดเกาะติดกันของเนื้อดินน้อยลง ดังนั้นจึงมีการแยกออกของเนื้อดินจนเกิดรอยแตกที่กว้างมากกว่าการใช้โซเดียมซิลิเกตที่ปริมาณร้อยละ 3 ดังนั้นน้ำภายนอกจึงสามารถซึมเข้าไปในเนื้อดินได้ง่าย ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น อิฐดินจึงมีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำลดลง

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้ไซเลน-69 สามารถปรับปรุงคุณภาพของอิฐดินเชิงประกอบในด้านความทนทานต่อแรงกดอัดมากกว่าการใช้โซเดียมซิลิเกต แต่การใช้โซเดียมซิลิเกตให้ผลเชิงบวกกับอิฐดินเชิงประกอบในด้านความทนทานต่อแรงดัดเมื่อเทียบกับการใช้ไซเลน-69



รูปที่ 4.6 ผลของการเติมไซเลน–69ต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1



รูปที่ 4.7 ผลของการเติมโซเดียมซิลิเกตต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1

4.2.2 โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

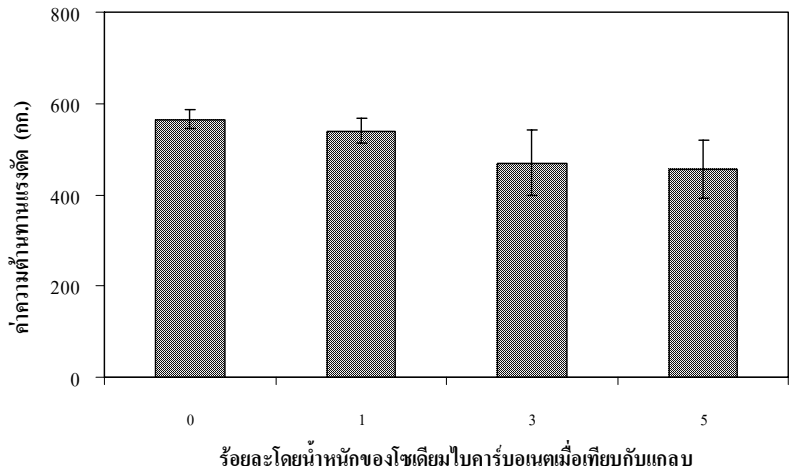
ก. ความทนทานต่อการดัด

ผลการทดสอบความต้านทานในการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปในอิฐดินร้อยละ 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานต่อแรงดัดเฉลี่ย 488 กก. ซึ่งน้อยกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบไม่ได้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นอาจเป็นเพราะการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป ทำให้อิฐดินสามารถระเหยน้ำได้ดีและเกิดรูพรุนขึ้น ดังนั้นอิฐดินเชิงประกอบจึงมีความต้านทานต่อแรงดัดน้อยลง

ข. ความทนทานต่อแรงกดอัด

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกดอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปในอิฐดินร้อยละ 1, 3 และ 5โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานต่อแรงกดอัดเฉลี่ย 1,025 กก. ซึ่งน้อยกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต

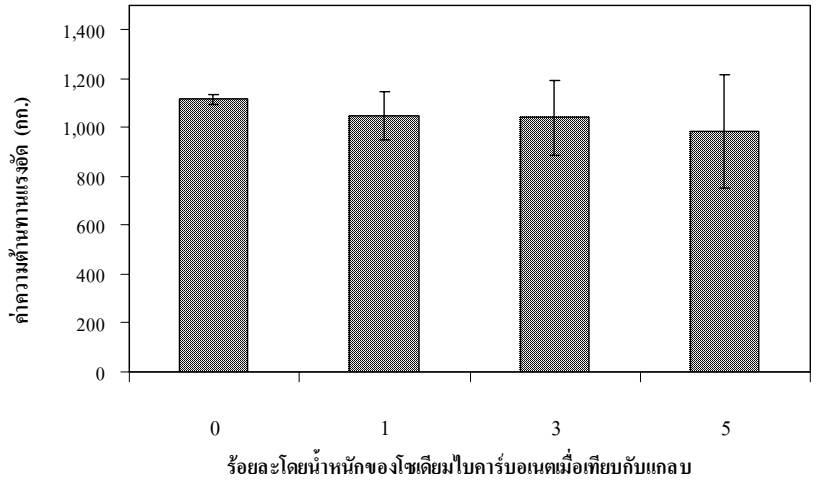
ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้สมบัติเชิงกลของอิฐดินเชิงประกอบมีค่าลดลง



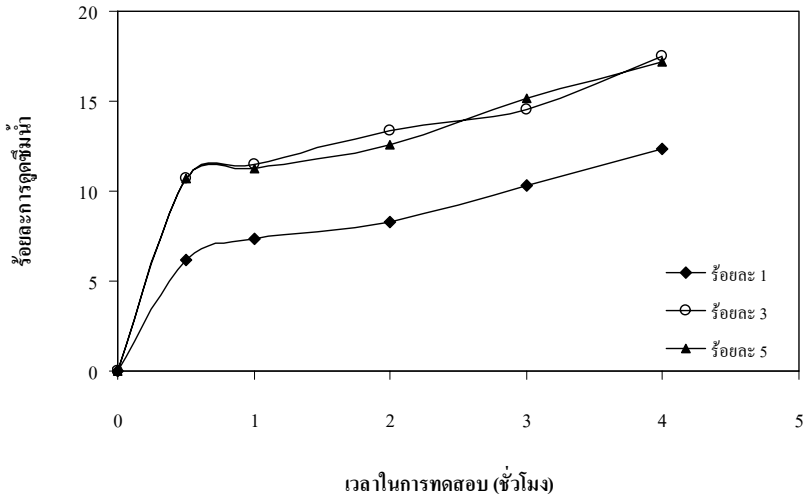
รูปที่ 4.8 ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 อัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ

ค. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ด้านการทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงแรกอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ จะมีความต้านทานการดูดซึมน้ำเท่ากัน และมากกว่าอิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ แต่เมื่อทำการแช่น้ำเป็นเวลานานมากขึ้น จะทำให้อิฐดินเชิงประกอบที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เกิดการแตกร้าว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีการระเหยน้ำได้ดีและเกิดปริมาณรูพรุนมากขึ้น ดังนั้นน้ำจากภายนอกจึงมีการเข้าไปแทนที่ภายในรูพรุนได้มากขึ้น ส่งผลให้อิฐดินมีร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น



รูปที่ 4.9 ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 อัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ



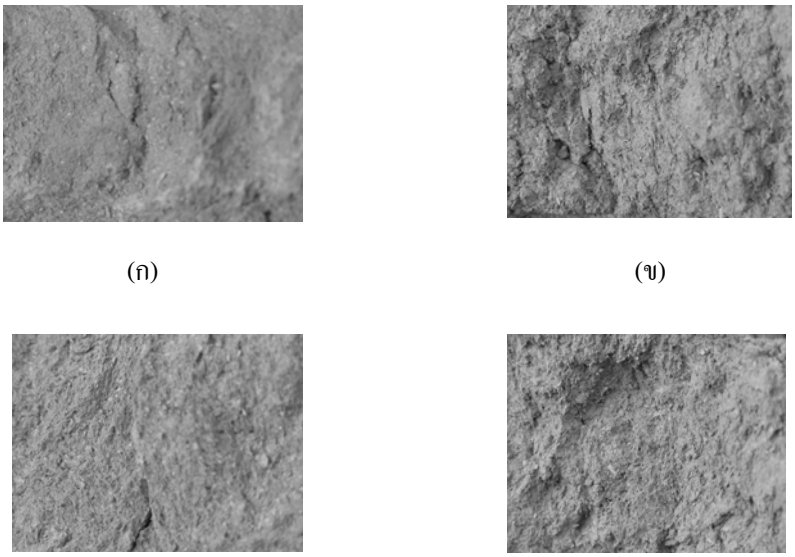
รูปที่ 4.10 ผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความต้านทานการดูดซึมน้ำของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 ปริมาณอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแกลบ

4.3 อิทธิพลของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3), ไซเลน – 69 (Si-69) และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์

ผลการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 จากผลการวัดค่าความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบ พบว่าการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของอิฐดินเชิงประกอบอยู่ที่ 1.55 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งใกล้เคียงกับอิฐดินเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนต ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมโซเดียมซิลิเกต ไซเลน–69 และโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบ

4.4 ลักษณะพื้นผิวของอิฐดินเชิงประกอบ

เมื่อพิจารณารอยแตกที่ได้ภายหลังจากการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบด้วยกล้องดิจิตอล พบว่าการเติมปริมาณแกลบมากขึ้นจากอัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 เป็น 2:2 ดังรูป 4.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับโดยไม่ใส่น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์จะทำให้อิฐดินมีความร่วนซุยของเนื้อดินมากขึ้นส่งผลให้อิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2 รับแรงดัดได้น้อยลงเนื่องจากมีความไม่เข้ากันของดินและแกลบเพิ่มขึ้น และแกลบอาจดูดความชื้นจากเนื้อดิน ทำให้ดินร่วนและยึดเกาะกันได้ไม่ดี เมื่อเติมน้ำยางธรรมชาติ พรีวัลคาไนซ์ลงไปในอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนระหว่างดินและแกลบที่ 3:1 พบว่าเมื่อเติมปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม ทำให้พื้นผิวรอยแตกที่ได้ภายหลังจากการรับแรงดัดของอิฐดินมีการยึดเกาะติดกันได้ดีขึ้น และเนื้อดินจะมีความเข้ากันได้ดีมากขึ้น จะเห็นได้จากรอยแตกที่พื้นผิวมีความสม่ำเสมอและเรียบมากขึ้นดังแสดงดังรูป 4.11 (ค) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติ พรีวัลคาไนซ์จากร้อยละ 20 เป็น 43 โดยน้ำหนักของของเหลวรวมภายใต้อัตราส่วนดินต่อแกลบเท่ากับ 3:1 ดังรูป 4.11 (ง) พบว่าพื้นผิวรอยแตกของอิฐดินเชิงประกอบมีการจับตัวของก้อนดินและมีรอยแตกลึกไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำยางมากเกินไปทำให้เกิดการแยกชั้นกันระหว่างชั้นของเนื้อดินและชั้นของแผ่นยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ [7] ดังนั้นเนื้อดินจึงมีความเข้ากันได้น้อยลง และสามารถรองรับแรงได้น้อยลงเมื่อมีการนำไปใช้ในการรองรับแรงดัด นอกจากนี้เนื้อดินยังจับกลุ่มกันเป็นก้อนส่งผลให้เนื้อดินไม่มีความสม่ำเสมอจึงทำให้อิฐดินเชิงประกอบรับแรงดัดได้น้อยลง



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของอิฐดินเชิงประกอบที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และอัตราส่วนดินต่อแกลบต่าง ๆกัน: (ก) อิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1, (ข) อิฐดินเชิงประกอบที่อัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 2:2, (ค) อิฐดินเชิงประกอบที่มีน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 และอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1 และ (ง) อิฐดินเชิงประกอบที่มีน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 43 และอัตราส่วนดินต่อแกลบที่ 3:1

4.5 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและราคาของอิฐดินเชิงประกอบที่ได้กับอิฐมอญที่ใช้งานทั่วไป

การวิเคราะห์ปริมาณและราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบ 1 ก้อน แสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและราคาระหว่างอิฐดินเชิงประกอบที่ได้กับอิฐมอญที่ใช้งานทั่วไป แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าอิฐดินเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ มีความหนาแน่นและความต้านทานต่อแรงกดอัดน้อยกว่าอิฐมอญ แสดงว่าอิฐดินเชิงประกอบไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงกด เช่น พื้น และเสา แต่เนื่องจากอิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานต่อแรงดัดและความต้านทานการดูดซึมน้ำมากกว่าอิฐมอญจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในโครงสร้างที่ต้องรับแรงกระแทก จากลมหรือน้ำ เช่น กำแพง เป็นต้น ส่วนราคาของอิฐดินเชิงประกอบต่อ 1 ลบ.ม. จะมีราคาสูงกว่าราคาของอิฐมอญมาก เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติมีราคาแพง ซึ่งราคาของยางธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 86 ของราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐ ดังนั้นราคาน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบจึงมีอิทธิพลต่อราคาของอิฐดินเชิงประกอบมาก และราคาของอิฐดินเชิงประกอบอาจสูงขึ้นต่อไปหากยังไม่มีการลดราคาลงของน้ำยางธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบราคาระหว่างอิฐมอญกับอิฐดินเชิงประกอบต้องคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องต้นทุนค่าใช้จ่ายและด้านเศรษฐศาสตร์อื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย

ตารางที่ 4.1 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับการผลิตอิฐดินเชิงประกอบ 1 ก้อน (ขนาด 11 x 23 x 9 ซม.)

ยางและสารเคมี	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กก.)	ปริมาณ (กรัม)	จำนวนเงิน (บาท)
1. น้ำยางข้นและสารเคมีคงรูป			
น้ำยางข้น (60% DRC)	75	201	15.1
ดิสเพิสชั่นซิงออกไซด์ 50%	135	4	0.5
ดิสเพิสชั่นซัลเฟอร์ 50%	114	6	0.7
ดิสเพิสชั่น ZDEC 50%	168	4	0.6
ดิสเพิสชั่น ZMBT 50%	243	2	0.6
Tetric 16 A16 10%	210	2	0.5
ดิสเพิสชั่นไทเทเนียมไดออกไซด์ 50%	150	6	0.9
ดิสเพิสชั่นแคลเซียมคาร์บอเนต 50%	45	24	1.1
Wingstaty L 50%	372	2	0.9
รวมค่าน้ำยางข้นและสารเคมีคงรูป		252	20.9
2. ดินเหนียว (บาท/กก.)	0.3	2222	0.7
3. แกลบ (บาท/กก.)	3.0	741	2.2
4. โซเดียมซิลิเกต (บาท/กก.)	16.9	22	0.4
รวมราคาวัตถุดิบ			24.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ราคา และพลังงานที่ใช้ในการผลิตระหว่างอิฐดินเชิงประกอบและอิฐมอญ

สมบัติ	อิฐมอญ*	อิฐดินเชิงประกอบ**
ความหนาแน่น (กรัม / ลบ.ซม.)	1.84	1.55
ความต้านทานต่อแรงดัด (กก.)	75	575
ความต้านทานต่อแรงกดอัด (กก.)	13,400	1,115
ร้อยละการดูดซึมน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมง	12	11
ราคา (บาท / ลบ.ม.)	8,547	17,307
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบอิฐ (^{o}ซ)	~ 1,000	50
ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ (วัน)	10 – 12	3

*ขนาดทดสอบเท่ากับ 6 x 13 x 3 ซม.

**ขนาดทดสอบเท่ากับ 11 x 23 x 9 ซม.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็การศึกษาผลของการประยุกต์ใช้น้ำยางธรรมชาติในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบที่มีแกลบเป็นส่วนผสม รวมถึงการใช้สารเคมีต่างๆ เพื่อเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างดิน แกลบ และน้ำยางธรรมชาติในการทำอิฐดินเชิงประกอบ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. น้ำยางธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างดินในการทำอิฐดินได้
2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำอิฐดินเชิงประกอบไปใช้ในการรับแรงกดอัด คือ อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และไซเลน – 69 ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ซึ่งสามารถรับแรงกดอัดได้ 1,350 กก. หรือประมาณ 1.7 เท่าของอิฐดินเปล่า ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การรับแรงดัด คือ อัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ ซึ่งสามารถรับแรงดัดได้ 575 กก. หรือประมาณ 7.2 เท่าของอิฐดินเปล่า
3. การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลลดลง
4. การเติมน้ำยางธรรมชาติลงไปในขั้นตอนการทำอิฐดินทำให้อิฐดินเชิงประกอบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และพบว่าการใส่ตัวประสานคู่ควบไซเลน – 69 ทำให้อิฐดินเชิงประกอบจากแกลบดิบและน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มีความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำสูงสุด
5. ราคาของอิฐดินเชิงประกอบที่ทำขึ้นจากอัตราส่วนดินต่อแกลบโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของของเหลวรวม และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 3 ของน้ำหนักแกลบ มีราคา 17,307 บาท/ลบ.ม. (24.2 บาท/ก้อน)

เอกสารอ้างอิง

[1] Metallurgy and Materials Science Research Institute [online]. Available from http://www.material.chula.ac.th/Radio48/March/radio3-2.htm [2 Mar 2007].

[2] Management of Soil Physical Properties [online]. Available from http://coursewares.mju.ac.th/section2/sf313/001lecture/html/chapter001.htm [1 Feb 2007].

[3] ลินดา อเนกรัชดาพร, "การใช้น้ำยางเป็นตัวประสานสำหรับการทำอิฐ", โครงงานวิจัยปริญญาตรี, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[4] บริษัท ปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน, 2548.

[5] T. S. Nagaraj, K. T. Sundara Raja Iyengar and B. K. Rao, "Super-plasticized natural rubber latex modified concretes", Cement and Concrete Research, 18 (1988) 138-144.

[6] G. Barluenga and F. Hernandez-Olivares, "SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour", Cement and Concrete Research, 34 (2004) 527-535.

[7] R. Wang, P. M. Wang and X. G. Li, "Physical and mechanical properties of styrene-butadiene latex emulsion modified cement mortars", Cement and Concrete Research, 35 (2005) 900-906.

[8] R. Wang, X. G. Li and P. M. Wang, "Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes", Cement and Concrete Research, 36 (2006) 1744-1751.

[9] รัฐวุฒิ รู้แทนคุณ, "การพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา", กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กการประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส. (1), สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2549.

[10] ต่อศักดิ์ เลิศศรีสกุลรัตน์, "คุณสมบัติของกำแพงอิฐมอญที่ก่อด้วยปูนทรายผสมน้ำยางพารา" , กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กการประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส.(1), สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2549.

[11] ไตรภพ ทรัพย์สถาผล, "กรรมวิธีผลิตวัสดุเชิงประกอบระหว่างกรวดและยางธรรมชาติ", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

[12] P. Sae-oui, C. Sirisinha, K. Hatthapanit, U. Thepsuwan, Comparision of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system, Polymer Testing. 24 (2005) 439-446.

ภาคผนวก

คำตอบและเหตุผลของผู้ทำโครงการต่อสรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ "การผลิตอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติ" RDG5050043

ข้อที่ 1 **ขนาดตัวอักษรเล็กไป**

คำตอบ ได้ทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้อที่ 2 **ควรแก้ abstract ในส่วนที่ใช้คำว่า adhesive เป็น binder แทน**

คำตอบ ได้ทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้อที่ 3 **หน้า 2 บรรทัดที่ 16 จากด้านล่าง "อ.จอมทอง จ.ลพบุรี" ไม่ถูกต้อง และบรรทัดที่ 4 จากด้านล่าง "polyisoprene, C_5H_8" ไม่ถูกต้อง**

คำตอบ หน้า 3 ตัดคำว่า "อ.จอมทอง จ.ลพบุรี" และแก้ไขคำว่า "polyisoprene, C_5H_8" เป็น "polyisoprene, $(C_5H_8)_n$)

ข้อที่ 4 **สูตรมีเขียนผิด Terric 16 A16 และ Wingstay L และTerric 16 A16 ไม่ได้อยู่ในรูป dispersion**

คำตอบ หน้า 6 ได้ทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้อที่ 5 **หน้า5 "ตารางที่ 2.1...." ควรไปอยู่หน้าที่ 6 เหนือตาราง**

คำตอบ หน้า 7 ได้ทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้อที่ 6 **หน้า 6 การทดสอบตามข้อ 2.3.5 ทุกเรื่องควรอ้างอิงมาตรฐาน และควรมีการทดสอบ Heat aging เพื่อดูความทนทานในการใช้งาน**

คำตอบ เนื่องจากมาตรฐานการผลิตอิฐมอญไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานของ ASTM แต่พบในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เลขที่ มผช.601/2547 ซึ่งระบุเพียงลักษณะที่ต้องการทั่วไป ได้แก่ ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกร้าว หรืออาจบิ่นได้เล็กน้อย มิติต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm$ 5 มม. ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคาล และมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 25 และเนื่องจากการขึ้นรูปอิฐที่ใช้ในโครงการนี้เป็นการขึ้นรูปแบบบล็อกประสานซึ่งจะมีมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) รองรับหากเป็นบล็อกประสานของคอนกรีตบล็อก ดังนั้นจึงทำให้การทดสอบอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาตินี้ไม่มีมาตรฐานรองรับ การทดสอบจึงอาศัยการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ กับอิฐที่ทำขึ้นก่อนเติมน้ำยางธรรมชาติด้วยกระบวนการแบบเดียวกัน และอิฐมอญที่ขายโดยทั่วไปเป็นหลัก

ส่วนในการทดสอบ Heat aging ไม่ได้ระบุไว้ในโครงร่างวิจัย แต่จากการทดลองพบว่าการผลิตอิฐดินเชิงประกอบนี้ไม่สามารถเติมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณมากได้ จึงทำให้เนื้ออิฐดินเชิง

ประกอบที่ผลิตขึ้นมีเนื้อยางธรรมชาติน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อดิน จึงคาดว่าการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติต่าง ๆ ของอิฐดินเชิงประกอบ

ข้อที่ 7 หน้า 9 ตารางที่ 3.3 ความต้านทานต่อแรงดัดของก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 (410 กับ 530 และ 580 กับ 420) มีความแตกต่างกันมาก ควรทำซ้ำ และค่า Standard deviation ของ n = 2 น้อยเกินไป ควรทดสอบอย่างน้อย 5 ก้อน (n = 5)

ข้อที่ 8 ผลการทดลองไม่ได้มีการพิจารณาความน่าเชื่อถือ ก่อนนำค่ามาวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น ตารางที่ 3.5 ความต้านทานแรงดัด ก้อนที่ 1 ได้ค่า 40 ก้อนที่ 2 ได้ค่า 120 นำมาหาค่าเฉลี่ยได้อย่างไร ผลคู่อื่นๆก็เช่นกัน รวมทั้งทุกตารางผลการทดลอง การให้สัญลักษณ์ก็ไม่ชัดเจน

<u>คำตอบ</u> (ตอบรวมข้อ 7 และ 8)

สาเหตุที่ค่าความต้านทานต่อแรงดัด และแรงกดอัดมีค่าต่างกันมาก เนื่องจากมีสาเหตุหลักมาจากการขาดความเหมาะสมของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเชิงประกอบมาตั้งแต่เริ่มต้น กล่าวคือ เนื่องจากการขึ้นรูปอิฐดินเชิงประกอบนี้ใช้แม่พิมพ์การผลิตบล็อกประสานที่มีขนาดใหญ่ (11 x 23 x 9 ซม.) ทำให้ต้องผสมดินเหนียวกับวัสดุอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก แต่เครื่องจักรที่ใช้ในการผสมต่าง ๆ ไม่สามารถผสมดินเหนียวให้เข้ากันกับเนื้อยางได้ อย่างไรก็ตามได้มีการพยายามลองใช้เครื่องมือหลายชนิดมาก่อนหน้านี้แล้ว แต่ไม่สามารถทำได้ จึงต้องใช้มือผสมแทน เช่น

การใช้เครื่องจักรผสมคอนกรีต : เมื่อทำการใส่ดินเหนียวลงไปผสมกับส่วนประกอบอื่น อาทิเช่น น้ำยางและน้ำ พบว่าเมื่อทำการผสมไปได้ไม่กี่นาที จะมีปัญหาเรื่องเนื้อดินไปติดอยู่ตามขอบด้านข้างของเครื่องผสม ทำให้น้ำยางและน้ำไปรวมกันอยู่ตรงกลางเครื่องจึงไม่สามารถผสมได้เข้าถึงเนื้อดินได้เลย นอกจากนั้นการใช้เนื้อดินในการผสมเป็นปริมาณมากๆ จะทำให้ใบพัดที่หมุนเกิดการติดอยู่กับที่ เนื่องจากเนื้อดินเหนียวมีความเหนียวมาก จึงไม่สามารถผสมเนื้อดินได้อีกเช่นกัน ดังนั้นทางผู้ทำโครงการจึงมีการตัดสินใจที่จะใช้มือในการนวดดินเหนียวและผสมกับน้ำยางและน้ำแทน เพื่อให้มีการผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเดิม

การใช้เครื่อง Extruder : พบว่าไม่สามารถใช้เครื่องนี้กับดินที่มีน้ำยางผสมเป็นจำนวนมากได้ เนื่องจากเมื่อใช้ดินเหนียวผสมกับน้ำยาง (ด้วยมือ)ลงไปในเครื่อง จะมีปัญหาเกี่ยวกับใบพัดที่อยู่ในเครื่อง คือ น้ำยางที่แข็งตัวแล้วจะไปพันกับใบพัดทำให้ใบพัดไม่สามารถตัดเนื้อดินออกมาเป็นก้อนได้ มอเตอร์ของเครื่องจึงมีการทำงานหนักจนไหม้และใบพัดหักในที่สุด นอกจากนั้นทุกครั้งที่มีการใช้เครื่อง จะมีปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียปริมาณเนื้อดินไปค่อนข้างมาก เนื่องจากจะมีปริมาณเนื้อดินค่อนข้างมาก ที่ติดค้างอยู่ในเครื่องและมีปริมาณไม่มากพอที่จะนำมาเข้าเครื่องใหม่ จึงทำให้เป็นการเสียเวลาค่อนข้างมากในการทำความสะอาดเครื่องแล้วทำการใส่ดินชุดใหม่เข้าไปในเครื่องเพื่อผสมใหม่อีกครั้ง

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด จึงทำให้ผู้ทำโครงการมีความจำเป็นที่จะต้องใช้มือในการผสมดินให้เข้ากับส่วนผสมทุกอย่างแทนที่จะมีการใช้เครื่อง โดยอาศัยการสัมผัสจากมือและการสังเกตดูเนื้อดินว่ามีการผสมกันดีหรือไม่ ดังนั้นเมื่อทำอิฐดินที่เสร็จเรียบร้อยจึงมีสมบัติต่าง ๆ ค่อนข้างแตกต่างกันมากทำให้มีค่า S.D. สูง แม้ว่าใช้ส่วนผสมเดียวกัน นอกจากนี้สาเหตุที่ทำจำนวนอิฐดินเป็นจำนวน 2 ก้อนเท่านั้น เนื่องจากทางผู้ทำโครงการมีเพียง 2 คนเท่านั้นที่จะใช้มือในการผสมเนื้อดิน

และเพื่อให้ทันกับเวลาในการทำงานที่ได้วางแผนเอาไว้ตั้งแต่เริ่มต้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการผลิตอิฐดินชุดละ 2 ก้อน ถ้าหากทำถึง 5 ก้อน อาจทำให้ไม่สามารถทำงานได้ทันเวลาได้ และไม่สามารถศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วนตามที่ระบุไว้ในข้อเสนอโครงร่างงานวิจัย

ข้อที่ 9 **ข้อ 2.3.5.3 compressive strength อ่านค่าอะไร เมื่อไหร่ ข้อ 2.3.5.4 ใน beaker มีน้ำเท่าไหร่**

คำตอบ compressive strength ได้ทำการระบุความหมายและวัตถุประสงค์รวมถึงวิธีในการทดสอบไว้อยู่แล้วในรายงานที่ส่งไป หน้า 8 ข้อ 2.3.5.3 ส่วนข้อ 2.3.5.4 ใน beaker มีน้ำประมาณ 1 ลิตร (หน้า 9)

ข้อที่ 10 **หน้า 18 ข้อ 4.4 และรูปที่ 4.11ไม่ได้แสดงว่าภาพถ่ายได้มาจากอะไร เช่นใช้ SEM ฯลฯ**

คำตอบ หน้า 21 ข้อ 4.4 ได้เพิ่มเติมเป็น “เมื่อพิจารณารอยแตกที่ได้ภายหลังจากการรับแรงดัดของอิฐดินเชิงประกอบด้วยกล้องดิจิตอล” เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดใหญ่ไม่สามารถวัดด้วยเทคนิค SEM ได้ และการใช้ Optical microscope จะทำให้เกิดเงาขึ้นในภาพเพราะรอยแตกที่เกิดขึ้นไม่เรียบ ทำให้ภาพออกมาไม่ชัดเจน

ข้อที่ 11 **ควรแสดงวิธีการคำนวณราคาให้ชัดเจน รวมทั้งการคิดค่าพลังงาน**

คำตอบ ได้ทำการระบุไว้แล้วในตารางที่ 4.1 หน้า 23 ในรูปแบบตาราง ส่วนการคิดค่าพลังงาน ได้ทำการนำเสนอในรูปของอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป เนื่องจากอิฐดินเชิงประกอบที่ทำขึ้นมีส่วนผสมของแกลบทำให้อิฐแห้งง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้อุณหภูมิต่ำในการทำให้อิฐแห้งในกระบวนการต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับอิฐมอญซึ่งต้องมีการใช้พลังงานสูงเพื่อเผาให้อิฐสุก ดังนั้นทางผู้ทำโครงการจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอให้เห็นถึงความชัดเจนของความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้แทน ดังตารางที่ 4.2 หน้า 23

ข้อที่ 12 **กราฟการทดลองไม่ควรอยู่ในบทวิจารณ์ และการวิจารณ์ผลยังมีข้อมูลวิชาการสนับสนุนไม่เพียงพอ**

คำตอบ สาเหตุที่นำกราฟการทดลองมาอยู่ในบทวิจารณ์ เนื่องจากผู้ทำโครงการได้ยึดรูปแบบการเขียนแบบวิทยานิพนธ์ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถอ่านเหตุผลและการนำเสนอของกราฟไปพร้อมๆ กันเพื่อให้เข้าใจได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องเสียเวลาพลิกบทอื่นเพื่อดูผลการทดลอง ส่วนข้อมูลวิชาการสนับสนุนถือว่าเพียงพอแล้วสำหรับการผลิตอิฐดิน เพราะเอกสารอ้างอิงส่วนใหญ่จะเน้นไปทางด้านวิธีการทดสอบโครงสร้างของคอนกรีตเป็นหลัก และยังไม่มีงานวิจัยโดยตรงที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการทดสอบอิฐดินที่ผลิตด้วยวิธีการนี้มาก่อน นอกจากนี้การวิจารณ์ผลการทดลองมีการอ้างอิงเอกสารต่าง ๆ ตามความเหมาะสมแล้ว

ข้อที่ 13 **นักวิจัยไม่ได้แสดงน้ำหนักให้เห็นว่าอิฐมอญที่ผลิตด้วยวิธีการนี้มีน้ำหนักเท่าไหร่ และเบากว่าอิฐมอญเท่าไหร่**

คำตอบ นิยามของคำว่าอิฐมอญ คือ อิฐดินที่ผ่านการเผาจนสุกแล้วซึ่งจะคนละความหมายกับการผลิตอิฐดินเชิงประกอบที่ต้องการความร้อนเพื่อการระเหยน้ำออกจากตัวอิฐเท่านั้น หากนำอิฐมอญมาผลิตด้วยวิธีการของอิฐดินเชิงประกอบจะไม่ถือว่าอิฐนั้นเป็นอิฐมอญ นอกจากนี้กระบวนการผลิตอิฐมอญต้องใช้

อุณหภูมิสูงมาก หากน้ำอิฐดินเชิงประกอบที่มียางธรรมชาติเป็นส่วนผสมไปผลิตในลักษณะเดียวกับอิฐมอญจะไม่สามารถทำได้เนื่องจากยางทนความร้อนสูงไม่ได้ นอกจากนี้ในรายงานยังแสดงความหนาแน่นของอิฐดินเชิงประกอบจากแกลบและน้ำยางธรรมชาติเทียบกับอิฐมอญไว้แล้วในตารางที่ 4.2 หน้า 26 อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ใช้อิฐมอญมาเป็นตัวเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นอิฐที่ทำขึ้นเองได้ภายในชุมชน และทำจากดินเช่นเดียวกัน หากแต่การทำอิฐดินเชิงประกอบด้วยแกลบและยางธรรมชาติใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่าอิฐมอญ แต่ความคงทนต่อแรงกดอัดยังไม่สามารถเทียบกับอิฐมอญได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้อิฐดินเชิงประกอบด้วยแกลบและน้ำยางธรรมชาติจึงเน้นไปในสิ่งก่อสร้างเชิงนิเวศน์หรือสิ่งก่อสร้างที่ต้องการได้บรรยากาศธรรมชาติที่ไม่ต้องการรับแรงมากนัก เช่น การก่อสร้างกำแพงสำหรับบ้านดินหรือสปา เป็นต้น