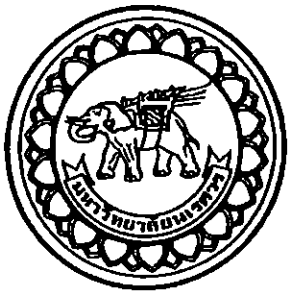


ศึกษาผลกระทบของอิฐก่อสร้างจากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

STUDY EFFECT OF WASTE SOIL FROM INDUSTRY ON BRICK

นายมานิตย์ พูลเขตการ รหัส 50362023
นายรุจิโรจน์ นาคบาตร รหัส 50365543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน เรส45537
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ม453 ค 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาผลกระทบของอิฐก่อสร้างจากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายมานิตย์	พูลเขตการ	รหัส	50362023
	นายรุจิโรจน์	นาคบาตร	รหัส	50365543
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ			
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ปีการศึกษา	2553			

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาผลกระทบของอิฐก่อสร้างจากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายมานิตย์ พูลเขตการ	**รหัส**	50362023
	นายรุจิโรจน์ นาคบาตร	**รหัส**	50365543
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2553		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนในการทำอิฐดินซีเมนต์จากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานในปริมาณน้ำร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยมีอัตราส่วนผสมของวัสดุผสมดินตะกอน : ทราย เท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20, 100 : 0 ทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน แล้วทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption), ค่าความหนาแน่น (Density) และค่ากำลังรับแรงอัด พบว่าเมื่อทำการแปรค่าปริมาณดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงาน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดลดลง และทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำโดยเพิ่มจากร้อยละ 22.5 ไปเป็น 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจากร้อยละ 22.5 ไปเป็น 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำ ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกผนังที่ไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. (58-2530) ทั้งหมด อัตราส่วนวัสดุผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำอิฐดินซีเมนต์จากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอยู่ที่ ดินตะกอนร้อยละ 20 ทรายร้อยละ 80 และน้ำร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดเท่ากับ 9.920 MPa

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ธณิกานต์ ธงชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานในการให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการปฏิบัติ การวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์มานะ วีรวิกรม ที่เสียสละเวลา ประสิทธิ์ประสาทวิชา และความรู้อันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเหล่าคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน เอื้อเฟื้อเครื่องมือ และสถานที่ทำโครงงาน

ขอขอบคุณบริษัท American Standard B&K (Thailand) Public Company Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์ดินตะกอนที่เหลือทิ้งจากโรงงาน ซึ่งทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายจนสามารถเรียน และทำโครงงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้จนลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงงาน
มานิตย์ พูลเขตการ
รุจิโรจน์ นาคบาตร

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 อิฐดินซีเมนต์.....4
2.2 ดิน.....7
2.3 ปูนซีเมนต์.....14
2.4 การทดสอบ.....23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....28

3.1 เตรียมวัตถุดิบ....29

3.2 ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน....30

3.3 การทดสอบชิ้นงาน....32

3.4 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม....34

บทที่ 4 ผลการทดลอง....35

4.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานกับทราย เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์....35

4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่ออิฐดินซีเมนต์....40

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ....46

5.1 สรุปผลการทดลอง....46

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา....46

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข....47

เอกสารอ้างอิง....48

ภาคผนวก ก....49

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....58

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....16

2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....17

2.3 สารประกอบ และสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 – 5....19

2.4 เวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักเกิดขึ้นร้อยละ 80....20

2.5 การเปรียบเทียบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ ทั้ง 5 ประเภท....22

2.6 ความต้านทานแรงอัด....25

3.1 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนัก จากส่วนผสมทั้งหมด....30

3.2 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด....31

4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....36

4.2 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....37

4.3 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....39

4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....41

4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....42

4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....44

ก.1 ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5....50

ก.2 ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25....52

ก.3 ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5....54

ก.4 ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25....56

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....28
3.2 การร่อนดินตะกอนผ่านตะแกรง 50 Mesh....29
3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1....29
3.4 การขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์....32
3.5 การทำการบ่มอิฐดินซีเมนต์ที่เวลา 14 วัน....32
3.6 เครื่องทดสอบหากำลังรับแรงอัด....33
3.7 การทดสอบกำลังการรับแรงอัด....33
4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....36
4.2 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....38
4.3 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด....39
4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....41
4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....43
4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตรา-ส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด....44

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

%	=	เปอร์เซ็นต์
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
atm	=	หน่วยความดันบรรยากาศ
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
g	=	กรัม
g/cm^3	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ksc	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
Mesh	=	เมช
MPa	=	Megapascal
W_d	=	น้ำหนักแห้ง
W_w	=	น้ำหนักเปียก
มอก.	=	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมทางด้านเซรามิก ได้ผลิตผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิกออกมาเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ทางด้านสุขภัณฑ์ เช่น โถส้วม อ่างล้างหน้า กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีดินตะกอนที่ตกหล่นในระหว่างกระบวนการ จึงต้องใช้น้ำประปาในการชะล้างดินเหล่านี้ ดังนั้นการที่เราสามารถนำดินตะกอนกลับมาใช้อีกครั้ง ถึงเป็นการใช้ประโยชน์จากดินเหลือใช้ที่ถูกทิ้งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากโดยปกติแล้วดินตะกอนเหล่านี้จะเป็นปัญหาของทางโรงงานที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินเหล่านี้ออกจากโรงงานโดยไม่เกิดประโยชน์ใดให้แก่ทางโรงงาน จึงได้มีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำดินตะกอนที่เหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่สามารถนำไปใช้งานได้ อีกทั้งช่วยลดปัญหาการกำจัดดินตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างมากพอสมควร และสามารถนำมาทำเป็นธุรกิจเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่คนในชุมชนนั้นๆได้ อิฐดินซีเมนต์นั้นโดยทั่วไปมีการนำมาใช้งานในด้านการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย โดยให้ความแข็งแรงในระดับหนึ่ง และเป็นการช่วยลดต้นทุนด้านค่าวัสดุ เพราะอิฐดินซีเมนต์มีต้นทุนในการผลิตค้อนข้างต่ำกว่าอิฐธรรมดาทั่วไป และข้อได้เปรียบในด้านการผลิตขึ้นรูปที่ง่าย และรวดเร็วซึ่งเหมาะในการนำไปทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม

จากเหตุผลข้างต้น จึงได้แนวทางในการนำดินตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นส่วนผสม ในการทำอิฐดินซีเมนต์ โดยนำมาใช้ผสมเพื่อหาคุณสมบัติที่ดีที่สุดของอิฐดินซีเมนต์ โดยพิจารณาส่วนผสมของดินตะกอนในอัตราส่วนที่ต่างกัน และทำให้ชิ้นงานมีขนาดเท่ากันทุกชิ้นงานเพื่อที่จะนำไปทดสอบการทนแรงอัด แรงเฉือน ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ ทดสอบความหนาแน่นของอิฐ เพื่อให้ตรงตามมาตรฐานการใช้งานอิฐก่อสร้าง

โดยจุดมุ่งหมายของการนำดินตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำเป็นอิฐดินซีเมนต์ เพื่อลดปัญหาของการกำจัดดินตะกอนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ของโรงงาน และลดต้นทุนการกำจัดดินตะกอนของทางโรงงาน เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ และถ้าพัฒนาต่อไปอาจจะนำไปทำเป็นธุรกิจภายในชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอน ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ และทางกลด้านการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ได้อิฐดินซีเมนต์ที่ใช้ดินตะกอนจากโรงงานที่ผสมดินตะกอน ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำในอัตราส่วนผสมที่กำหนด

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ผลกระทบจากอัตราส่วนผสมของดินตะกอนในอิฐดินซีเมนต์ที่มีต่อสมบัติกายภาพ และทางกล

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ดินตะกอนที่ใช้นำมาจาก บริษัท อเมริกันสแตนดาร์ด บี แอนด์ เค (ประเทศไทย) จำกัด

1.5.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง บ่มเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

1.5.3 กำหนดให้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผสม เท่ากับ 1 : 5 ส่วน ที่ให้ปริมาณวัสดุผสมทั้งหมดเป็นร้อยละ 100 ทำการใส่ดินตะกอนตั้งแต่ร้อยละ 0 - 100 โดยเพิ่มทีละร้อยละ 20 โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดสอบ โดยใช้น้ำร้อยละ 22.5 และร้อยละ 25 ของส่วนผสมทั้งหมด และทำการขึ้นรูปชิ้นงานขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือน เมษายน พ.ศ. 2554 เป็นเวลา 7 เดือน

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	2553			2554			
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ผสมอัตราส่วนดินตะกอน ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำตามที่กำหนดไว้	←	→					
2	นำไปขึ้นรูป		←	→				
3	ทดสอบความหนาแน่นของอิฐดิน-ซีเมนต์			←	→			
4	ทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์			←	→			
5	ทดสอบกำลังการรับแรงอัดของอิฐดิน-ซีเมนต์			←	→			
6	วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการดูดซึมน้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของการรับแรงอัด สรุปผลการทดสอบ					←	→	
7	รวบรวมผลการทดสอบ และข้อสรุปเพื่อจัดทำเป็นรูปเล่ม							← →

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 อิฐดินซีเมนต์

อิฐดินซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่ง ที่ได้จากการอัดส่วนผสมของดินมวลรวม ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมให้เป็นก้อนใช้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภท เช่น อาคารบ้าน ที่พักอาศัย รั้วกำแพง หรืออื่นๆ แต่ก็ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่จะทำให้อิฐดินซีเมนต์นั้นมีสมบัติที่ดี เนื่องจากอิฐดินซีเมนต์ประกอบไปด้วย ดิน ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ

ลักษณะของดิน

ดินที่นำมาทำอิฐแต่ละแหล่งนั้นมีลักษณะแตกต่างกัน สีสันของดินโดยธรรมชาติ ก็ยิ่งสร้างความประหลาดใจไม่น้อยสำหรับผู้ที่พบเห็นอย่างในกรณีชุมชนชนบทที่สร้างบ้านด้วยดิน เราจะเห็นบ้านดินสีแดงที่จังหวัดขอนแก่น บ้านดินสีน้ำตาลที่จังวัดอุบลราชธานี บ้านดินสีม่วงอ่อน สีชมพูอ่อน ที่จังหวัดชัยภูมิ บ้านดินแก่นขนุนที่จังวัดกระบี่ หรือแม้แต่บ้านดินสีเทาอมดำที่จังวัดสุรินทร์ และบุรีรัมย์ สมบัติของอิฐซีเมนต์ที่แตกต่างกันของดินแต่ละแหล่งจึงต้องมีการทดสอบสมบัติของดินที่จะนำมาทำอิฐดินซีเมนต์ ในกรณีที่ดินตัวอย่างมีดินเหนียวผสมอยู่มากก็จะทำให้เกิดการหดตัวอย่างรุนแรง ทำให้เกิดรอยร้าวที่ผิว ความเหนียวของดินยังมีอิทธิพลต่อการกดอัดให้แน่น และเมื่อเพิ่มความชื้นจะทำให้อิฐดินซีเมนต์เกิดการพองตัวในทางตรงกันข้าม ถ้ามีดินเหนียวปนอยู่น้อยการยึดเกาะตัวก็จะด้อยลง ขนาดของเม็ดดินมีขนาดคละกัน เพื่อให้เมื่อทำการบดอัดแล้วเม็ดดินที่มีขนาดเล็กจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีความหนาแน่นสูง และมีโพรงอากาศน้อย ดังนั้นดินที่เหมาะสมในการทำอิฐดินซีเมนต์ควรมีค่าขีดจำกัดเหลวไม่เกินร้อยละ 50 และพิกัดพลาสติกไม่เกินร้อยละ 18 (ชัชพันธ์, 2550)

2.1.1 กลศาสตร์ของอิฐดินซีเมนต์

การทำอิฐดินซีเมนต์ ทำได้โดยการเอาดินซึ่งทำอยู่ในรูปเป็นผง หรือดินไม่จับตัวกันเป็นก้อนผสมเข้ากับซีเมนต์ให้เข้ากันดี แล้วจึงผสมน้ำลงไปคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึงแล้วนำไปบดอัดและทำการบ่มในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เมื่อทำการบดอัดแล้วดินจะจับตัวกันเป็นรูปร่าง ตามรูปร่างที่ทำ และในขณะที่เราบ่มส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์นั้นเริ่มจับตัวกัน และทำให้แข็งตัวขึ้น และแข็งแรงขึ้นเรื่อยๆ โดยปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ เม็ดของซีเมนต์จะจับตัวกับเม็ดซีเมนต์ และเม็ดดินอื่นๆ ที่อยู่ติดกัน ทำให้จับตัวแน่นเป็นโครงร่างที่แข็งแรงโดยไม่มีเปลี่ยนรูปร่าง และเม็ดดินซีเมนต์จะไปอุดรูระหว่างเม็ดดินซึ่งจะช่วยให้น้ำซึมผ่านไปได้ยาก และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงร่างของอิฐดินซีเมนต์นั้นๆ

ความแข็งแรงของอิฐดินซีเมนต์นั้นเริ่มแรกจะเกิดเนื่องจากการจับตัวกันของเม็ดดิน และการไฮเดรตของเม็ดซีเมนต์ ต่อจากนั้นความแข็งแรงจะเกิดเนื่องจากในขณะที่กำลังเกิดไฮเดรตซีเมนต์จะจับตัวกับซิลิกา และอะลูมินาซึ่งมีผสมในดิน โดยในซีเมนต์ที่ไฮเดรตก็จะให้แคลเซียมไอออน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซิลิกา และอะลูมินา ในปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันระหว่างเม็ดดินกับเม็ดดิน และเม็ดดินกับเม็ดซีเมนต์ที่ไฮเดรตดียิ่งขึ้น ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีมากน้อยแค่ไหน ก็ต้องแล้วแต่แร่ธาตุที่มีอยู่ในเม็ดดินนั้นๆ

อิฐดินซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่ผลิตขึ้นจากการอัดขึ้นรูปส่วนผสมของดินมวลรวม ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมให้เป็นก้อน ใช้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภทเช่น อาคาร บ้านพักอาศัย รั้วกำแพง หรืออื่นๆ แต่ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่จะทำให้อิฐดินซีเมนต์มีสมบัติที่ดีเนื่องจากอิฐดินซีเมนต์ประกอบไปด้วยดิน ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ

2.1.2 กรรมวิธีในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนนัก โดยการนำส่วนผสมที่คัดเลือกนำมาอัดให้เป็นรูปร่าง และขนาดตามที่ต้องการ การอัดสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ การอัดด้วยมือ และการอัดด้วยเครื่อง

2.1.2.1 การอัดด้วยมือ โดยนำส่วนผสมดินผสมซีเมนต์ น้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำลงในแบบ ทำการอัดด้วยมือ หรือถ่ายเทน้ำหนัก เมื่อรูปร่างดันออกจากแบบ นำไปผึ่งจนแห้งโดยอากาศ ทำการบ่มอย่างน้อย 7 วัน ก็สามารถที่จะนำไปใช้งานก่อสร้างได้เลย เนื่องจากอิฐที่อัดด้วยมือจึงทำให้พื้นผิวดูไม่เรียบร้อย ขนาดที่ได้มักจะมีความแตกต่างกันออกไปตามขนาดของแบบ ตามความหนาแน่นของดินที่อัดเข้าแบบ การหดตัวของดินที่ใช้ ตลอดการนิยมของผู้ใช้ในท้องถิ่นต่างๆ อิฐประเภทนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรง ใช้ในการก่อกำแพงที่ต้องการโชว์ผิว งานกำแพงเปลือยที่ไม่ต้องตกแต่งฉาบปูนทับผิว โดยทั่วไปนิยมผลิตที่ขนาดประมาณ 15.0 ถึง 15.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 7 เซนติเมตร และหนาประมาณ 3.5 ถึง 4.0 เซนติเมตร ในส่วนของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบได้กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร

2.1.2.2 การอัดด้วยเครื่อง หมายถึงอิฐที่อัดด้วยเครื่องจักร โดยทำการบดอัดดินให้ละเอียด แล้วนำมาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด นำไปเข้าเครื่องนวด อัด รีด และขึ้นรูปตามแบบมาตรฐานที่กำหนดในกรณีที่ต้องประทับตราเครื่องหมายการค้า ก็จะนำไปผึ่งให้หมาดแล้วนำเข้าสู่เครื่องอัดอีกครั้งเพื่อประทับ ตราชื่อ และเครื่องหมายการค้า หรือประทับลวดลายที่ต้องการ ซึ่งการอัดครั้งหลังนี้จะสามารถทำให้อิฐมีความแน่นขึ้น หลังจากนั้นให้นำออกจากแบบ ทำการบ่มอากาศให้แห้งที่อายุอย่างน้อย 7 วัน หลังจากนั้นก็สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้เลย การอัดด้วยเครื่อง จะทำให้อิฐแต่ละก้อนมีเนื้อแน่นได้มาตรฐาน ผิวเรียบร้อย มีความสะอาดสวยงาม บางชนิดสามารถทำร่องสำหรับยึดปูนก่อ ทำให้ผนัง หรือกำแพงที่ก่อมีความแข็งแรงดีกว่าอิฐชนิดอื่น หรืออิฐที่อัดด้วยมือ

โดยทั่วไปอิฐก่อสร้างสามัญสามารถจำแนกได้เป็น 2 ขนาดได้แก่ อิฐขนาดเล็ก และอิฐขนาดใหญ่

ก. อิฐขนาดเล็ก นิยมเรียกว่าอิฐมอญ ตามมาตรฐานของ มอก. จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตัน ผิวเรียบ โดยทั่วไปที่ผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาดขณะนี้ จะเจาะรูไปตามความยาวของแผ่นอิฐ และมีร่องสำหรับยึดปูนก่อ อิฐชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ก่อผนัง และกำแพงที่ต้องการฉาบปูนทับผิวหน้าโดยทั่วไป

ข. อิฐขนาดใหญ่ จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตัน ขนาดโดยทั่วไปใหญ่กว่าอิฐมอญผิวหน้าจะเรียบ หรือมีร่องสำหรับยึดปูนก่อ อิฐชนิดนี้จะมีน้ำหนักมาก และแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้ดีใช้ในการก่อกำแพง หรือผนังที่ต้องการโชว์แนวที่ไม่ฉาบปูนทับ บางชนิดตรงกลางของแผ่นอิฐ จะมีอักษรย่อประทับอยู่ โดยทั่วไปขนาดที่ผลิตอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับความนิยมของท้องถิ่น ขนาดที่ผลิตจึงไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.

2.1.3 การบ่มอิฐดินซีเมนต์

เพื่อให้อิฐมีความแข็งแรงคงทนถาวร สามารถรับน้ำหนักได้ดีควรมีกรรมวิธีในการบ่มอิฐดินซีเมนต์ขึ้นอีกขั้นตอน โดยขั้นตอนการบ่มอิฐดินซีเมนต์ควรมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1.3.1 ทำการเคลื่อนย้ายอิฐที่อัดเสร็จเรียบร้อย โดยการยกอิฐที่อัดแล้วด้วยอุ้งมือทั้งสองข้างแล้วนำไปวางเรียงไว้ในโรงเรือน หรือบริเวณที่ร่ม

2.1.3.2 ทำการปิดผิวหน้าของอิฐดินซีเมนต์ด้วยฟางข้าว หรือกระสอบป่าน หรือวัสดุในท้องถิ่นที่มีอยู่ ในกรณีที่มีอากาศร้อนมากๆ

2.1.3.3 เมื่อเวลาผ่านไปอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ให้พรมน้ำจนทั่วทุกก้อน หรือใช้ฝักบัวรดน้ำจนเปียกวันละ 2-3 ครั้ง หรือใช้กระสอบป่านชุบน้ำจนเปียก คลุมไว้แล้วรดน้ำให้ชุ่มเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน

2.1.3.4 หลังจากนั้นนำอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการบ่มไปวางซ้อนเรียงกันเก็บไว้ในที่ร่ม วางทิ้งไว้ให้ครบอย่างน้อย 7 วัน (ตั้งแต่การอัดเป็นก้อน) ก็สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้

2.1.4 สิ่งที่มีผลต่อสมบัติของอิฐดินซีเมนต์

2.1.4.1 ลักษณะของดิน

ขนาดของเม็ดดิน และการกระจายตัวของเม็ดดินที่เหมาะสมสำหรับทำอิฐดินซีเมนต์ นั้นควรเป็นดินที่มีหลายขนาดปนกันอยู่เพื่อว่าเมื่อทำการบดอัดแล้วเม็ดดินขนาดเล็กๆจะไปแทรกตัวระหว่างเม็ดดินขนาดใหญ่ ทำให้มีความหนาแน่นสูง และมีโพรงอากาศน้อย ดังที่กล่าวว่า ดินที่เหมาะสมสำหรับทำอิฐดินซีเมนต์จะต้องไม่มีขนาดเดียว และจะต้องมีตั้งแต่ขนาดละเอียดจนถึงหยาบพอประมาณ นอกจากขนาดของเม็ดดินแล้วชนิดของดินก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของอิฐดินซีเมนต์ กล่าวคือดินที่มีดินเหนียวมากไม่เหมาะสำหรับทำอิฐดินซีเมนต์ เพราะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการ

ทำให้เม็ดดินแยกออกจากกันก่อนผสม และยากแก่การบดอัดให้แน่น และยังสามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ความคงทนลดลง

2.1.4.2 ปริมาณปูนซีเมนต์

การทำอิฐดินซีเมนต์หากใช้ปูนซีเมนต์มากจะช่วยให้มีความแข็งแรงมากขึ้น และช่วยลดการสึกกร่อนจากสภาวะแวดล้อมอื่นๆ แต่ถ้าหากใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้สมบัติของการเป็นฉนวนกันความร้อนดินลดลง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

2.1.4.3 ปริมาณทราย

ในกรณีที่สมบัติของดินที่นำมาทำอิฐดินซีเมนต์มีลักษณะเป็นดินเหนียวมาก ทรายจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวให้มีความเหมาะสมในการทำอิฐดินซีเมนต์ และทรายยังเป็นวัสดุที่ช่วยลดปริมาณของปูนซีเมนต์

2.1.4.4 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการทำอิฐอินซีเมนต์ หาได้จากการทดสอบความสามารถในการบดอัด ให้มีความหนาแน่นสูง หาได้จากการทดสอบแรงบดอัด (Compaction Test) ในห้องปฏิบัติการซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินแต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างกันไป ปริมาณน้ำควรมีการควบคุมความชื้นหลังจากทำการผสมเนื่องจากระเหยจากเวลาที่เปลี่ยนไป

2.1.4.5 การบดอัด

ความแข็งแรงของอิฐดินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับการบดอัดให้แน่น ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณส่วนผสมต่างๆ กำลังที่ใช้ในการอัด เครื่องมือ และอื่นๆ

2.1.4.5 การบ่ม

การบ่มเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ เมื่อทำการบ่มจนโครงสร้างของปูนทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุดของชิ้นงาน (ภาคภูมิ, 2551)

2.2 ดิน

ในการทำอิฐดินซีเมนต์สามารถใช้ดินในการผสมเข้าไปในอิฐได้หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งดินที่ใช้จะบ่งบอกถึงสมบัติของอิฐดินซีเมนต์ที่เราต้องการตามสมบัติของดินที่เราเลือกใช้ในการทำอิฐดินซีเมนต์ ดินที่ใช้ในการทำอิฐดินซีเมนต์โดยทั่วไปแล้วมักใช้ดิน เช่น ดินเหนียว ดินขาว ดินดำ ดินลูกรัง และดินตะกอน เป็นต้น

2.2.1 ดินขาว (Kaolin, China Clay)

ดินขาว หมายถึง ดินที่มีสีขาว หรือชีดจาง ทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผา และเผาแล้วดินขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินกลุ่ม เกาลินไนท์ (Kaolinitte) และมีความสัมพันธ์กับมัสโคไวท์ ไมกา อิลไลท์ คอซต์ และอาจมีมอนต์มอริลโลไนท์

ดินขาวมีอยู่หลายชนิดแตกต่างกันไป ตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ (Kaolinitte) มากกว่าดินชนิดอื่นแหล่งดินชนิดนี้มี 3 แบบ

2.2.1.1 แหล่งต้นกำเนิด (Residual Deposits) ดินขาวแหล่งนี้ มักพบในลักษณะเป็นภูเขา หรือที่ราบ ซึ่งเดิมทีเป็นแหล่งแร่หินฟันม้า เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (Weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (Kaolinization)

2.2.1.2 แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary Deposit) หมายถึง แหล่งดินขาว ที่เกิดจากดินขาว จากแหล่งแรก ถูกกระแสน้ำพัดพาไป และไปสะสมที่บริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศมีแหล่ง ดินขาวหลายจังหวัด มีจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นต้น

2.2.1.3 ดินขาวที่ขุดขึ้นมา ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ 3 ชนิด คือ

ก. ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์ และมีความทนไฟสูง สามารถที่จะนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

ข. ดินขาวอีกชนิดหนึ่ง เป็นเกรดของฟิลเลอร์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม กระดาษ ทำสี ยาง ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย และอื่นๆ โดยใช้ดินขาว ที่มีเนื้อสีขาวบริสุทธิ์ ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี แต่ไม่ได้นำไปเผาผ่านความร้อน ในกระบวนการผลิต

ค. ดินขาวที่เป็นดินสอพองซึ่งไม่ใช่ดินขาว แต่เป็นปูนขาวชอล์ก (Chalk) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกิดจากผลึกของหินปูน ตามธรรมชาติ ที่มีลักษณะเป็นผลึกละเอียดสีขาว บางครั้งเป็นสีอมชมพู และน้ำตาลอ่อน ซึ่งใช้เป็นเนื้อดินปั้นขึ้นรูปไม่ได้ ใช้ผสมทำปูนซีเมนต์

ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์สูง เผาแล้วได้สีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาทำ ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน โบนไชน่า และผลิตภัณฑ์เซรามิก ที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด ดังนั้น สีดินภายหลังการเผา เป็นสิ่งสำคัญมาก ขณะที่โรงงาน ผลิตกระเบื้องปูพื้น สนใจดิน ที่มีราคาถูกหดตัวน้อย และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ สามารถอัด เป็นแผ่นได้ง่ายโดยไม่บิ่น หรือแตกร้าว สีดินจะเป็นสีเหลืองนวล หรือออกแดงเล็กน้อย ไม่เป็นปัญหา ส่วนโรงงานสุขภัณฑ์ ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน จะเลือกใช้ดินคุณภาพดี เพื่อผสมน้ำดินหล่อ สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ๆ ให้ถอดพิมพ์ได้ง่าย มีออกไซด์ของเหล็ก และไทเทเนียมอยู่ในปริมาณน้อย

2.2.1.4 สมบัติทางกายภาพของดินขาว (Physical Properties of Kaolin)

การศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของดินขาว ทำให้เราสามารถนำดินขาว ไปใช้ประโยชน์ได้ สมบัติทางกายภาพของดินขาว ที่ควรศึกษาก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ในด้านต่างๆ มีดังนี้ คือ

ก. ขนาดของอนุภาค (Particle Size)

ขนาดของอนุภาคดินจะมีผลต่อความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวของเนื้อดินปั้น เมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียว และการหดตัวเมื่อแห้ง มากกว่าเม็ดหยาบ ดินที่มีเม็ดหยาบจะมีความเหนียวน้อย (Low Plasticity) ดินขาวมีเม็ดหยาบและความเหนียวน้อย

ข. รูปร่างของอนุภาค (Particle Shape)

รูปร่างของแร่เกาลินไนท์ทั่วไปจะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (Hexagonal Plates) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.05-10.0 ไมครอน

ค. สมบัติในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (Base Exchange Capacity)

ปกติดินขาวที่บริสุทธิ์ จะไม่มีการแลกเปลี่ยนอนุมูล หรือดูดซับอนุภาคและโมเลกุลอื่นๆ แต่ถ้าไม่บริสุทธิ์ จะเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูล หรือดูดซับเอาผลึก ของแร่ที่มีขนาดเล็กไว้ที่ผิวผลึก เกาลินไนท์ที่บริสุทธิ์ มีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง แร่ธาตุ และอินทรีย์สาร แทรกเข้าไปในโครงสร้างผลึกไม่ได้ จึงคงความบริสุทธิ์ได้ดี

ง. สมบัติเมื่อแห้ง (Drying Properties)

ดินขาวที่บริสุทธิ์ จะมีการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ไม่สูงมากนัก ดินขาวที่มีเม็ดละเอียด จะมีค่าการหดตัว มากกว่าดินเม็ดหยาบ

จ. ความแข็งแรงของเนื้อดินเมื่อแห้ง (Green Strength)

ดินขาวมีความแข็งแรงน้อย เปราะแตกได้ง่ายเมื่อแห้ง เพราะ มีความเหนียวน้อย

ฉ. สมบัติหลังจากการเผา (Firing Properties)

ดินขาวที่มีคุณภาพดีเผาแล้วควรจะได้สีขาว แต่ถ้าเป็นสีครีม หรือสีน้ำตาลอ่อน แสดงว่ามีแร่ธาตุเจือปนอยู่สูง ดินขาวที่มีการหดตัวเกินร้อยละ 20 หลังการเผา ไม่ควรใช้ดินขาวนั้นในเนื้อดินปั้นปริมาณมาก (พลยุทธ, 2539)

2.2.2 ดินเหนียว (Plastic Clay)

ดินเหนียว คือดินเนื้อละเอียด ที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง ไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาว เมื่อขุดพบมีสีต่างๆ สีเหลือง สีเทา สีดำ หรือสีส้มแดง หลังการเผาดินก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลืองอมเทา ดังนั้นดินเหนียวก็คือดินที่มีความเหนียวเนื้อละเอียดที่เป็นสีต่างๆ ภายหลังการเผา ดินดำ (Ball Clay) จัดว่าเป็นดินเหนียวประเภทหนึ่งด้วย แต่

ดินดำแตกต่างจากดินเหนียวคือ ดินดำมีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำ ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่มีอินทรีย์สารเจือปนอยู่สูง ดินดำบางชนิดมีความเหนียวน้อย บางชนิดเหนียวมาก

ในปัจจุบันนิยมใช้ดินเหนียว และดินดำประกอบกันในเนื้อดินปั้น ที่ไม่ต้องการ ความขาวมาก เช่น ผลิตภัณฑ์กระเบื้อง หรือเครื่องสุขภัณฑ์ เพื่อช่วยในการขึ้นรูปได้ดี และเพื่อใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ให้ความเหนียว โดยมีแหล่งสำรองเพิ่มเติม จากดินดำซึ่งมีราคาแพงกว่าดินเหนียว

ดินเหนียว เป็น ดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) ประเภทของดินที่มีการนำมาใช้งานในการผลิตผลิตภัณฑ์ White Ware นั้นครอบคลุมไปถึงดินเหนียว (Ball Clays) ต่าง ๆ และกลุ่มของดินทนไฟ (Fireclays) ด้วยดินเหนียว (Ball Clays) มีที่มาจากคำว่า 'Cubes' หรือ 'Balls' ซึ่งมาจากลักษณะของดินที่ถูกตัดออกมาจากเหมือง ซึ่งในประเทศอังกฤษนี้จะพบที่เมือง Devon และเมือง Dorset โดยดินเหนียว หรือดิน Ball Clay จะมีสิ่งเจือปนรวมอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ถึงแม้ว่าแร่ดินที่พบจะเป็นแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แต่องค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญก็จะคล้ายๆ กับที่พบในดินขาว (China Clays) นั่นคือ ผลึกดินจะมีความละเอียดมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อดินมีความเหนียว และความแข็งแรงก่อนเผาที่ค่อนข้างสูง และนี่ถือเป็นสมบัติที่ดีของดินเหนียว หรือ Ball Clays นั่นเอง เช่นเดียวกันกับดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) อื่นๆ ดินเหนียวจะมีสิ่งเจือปนต่างๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง และมีขนาดที่ละเอียดมากๆ ดังนั้นจึงทำให้การกำจัดออกไปในขั้นตอนสุดท้ายทำได้ยาก โดยทั่วไปดินที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกันอาจจะนำมาผสมเข้าด้วยกันเพื่อทำให้ได้สมบัติตามที่ผู้ผลิตเนื้อดินประเภทต่างๆ ต้องการ ซึ่งปกติแล้วจะนิยมใช้ดิน 2 หรือ 3 ชนิดผสมเข้าด้วยกันเพื่อลดผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน การเปลี่ยนแปลงในสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะเห็นในดินเหนียวได้อย่างชัดเจนมากกว่าดินขาว (China Clays) ดินเหนียว (Ball Clays) มักจะถูกอธิบายลักษณะด้วยสีของดินที่ยังไม่ผ่านการเผา ดังนั้นในบางครั้งจึงอาจจะมีการเรียกชื่อเป็น "ดินดำ" หรือ "ดินสีน้ำเงิน" หรือ "ดินสีงาช้าง" เป็นต้น ซึ่งสีเหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการบ่งชี้สีที่ได้สุดท้ายหลังการเผาของดินได้ เนื่องจากดินที่มีสีเข้ม หรือสีดำนั้นเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในดินซึ่งจะถูกเผาออกไปเกือบหมดในกระบวนการเผา เหลือไว้เพียงเนื้อดินที่มีสีขาวนวลตามที่กล่าวไปแล้วว่าดินเหนียว (Ball Clays) จะมีสิ่งแปลกปลอมหลากหลายชนิดเจือปนอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ดิน "Siliceous Clay" จะมี Free Silica ปนอยู่ในปริมาณมากซึ่งทำให้ปริมาณของ Silica โดยรวมที่เป็นองค์ประกอบของดินทั้งหมดมีมากกว่าร้อยละ 60 (บางครั้งอาจสูงถึงร้อยละ 80) จะเห็นได้ชัดว่าดินที่มีปริมาณของแร่ดินต่ำกว่าจะให้ความเหนียว ค่า-ความแข็งแรงก่อนเผา และค่าการหดตัวจากการอบแห้งที่น้อยกว่าดินซึ่งมีปริมาณของแร่ดินที่สูงกว่า สำหรับดินเหนียวที่มีสารประกอบอินทรีย์เจือปนอยู่มาก (การวิเคราะห์ทางเคมี จะให้ค่า Loss-on-Ignition ที่สูง) โดยทั่วไปจะมีความเหนียว ความแข็งแรงก่อนเผา และการหดตัวจากการอบแห้งที่สูง นอกจากนี้สภาพของการกระจายตัว (Deflocculation) ก็จะแตกต่างจากดินที่ไม่มีสารประกอบอินทรีย์เจือปนอยู่ กล่าวคือในสภาวะความเป็นด่าง (Alkaline Condition) ดินชนิดนี้จะรวมตัวกับอนุภาคลบของสารประกอบอินทรีย์ ช่วยให้ดินมีสภาวะการกระจายตัวที่ดีขึ้น ดินเหนียว (Ball clays)

โดยส่วนใหญ่มักจะได้มาจากกระบวนการทำเหมืองแบบเปิดแต่บางครั้งก็พบว่าได้มาจากการทำเหมืองใต้ดิน ซึ่งแบบในกรณีแรกนั้นวัสดุที่ทับถมอยู่บนดินจะถูกกำจัดออกไปก่อนหลังจากนั้นจึงค่อยทำการขุดลอกชั้นดินปัญหาหนึ่งที่ผู้ผลิตมักจะพบจากการนำดินเหนียว (Ball Clays) มาใช้งานก็คือ การที่อนุภาคของดินโดยธรรมชาติจะมีความละเอียดค่อนข้างมาก จึงทำให้ยากต่อการนำดินมาตีให้แตกโดยใช้น้ำ กล่าวคือน้ำจะไม่สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไประหว่างอนุภาคของดินที่จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ได้ในทันที ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตจะต้องใช้เวลาในการตีดินให้แตกค่อนข้างนาน เพื่อให้แน่ใจว่าดินเหนียว (Ball Clay) มีการแตกตัวที่ดีพอก่อนที่จะนำไปผสมกับวัตถุดิบตัวอื่นๆ ต่อไปในปัจจุบันดินเหนียวที่ผ่านการย่อยให้เป็นก้อนขนาดเล็กมาแล้ว สามารถหาซื้อได้จากผู้ขายหลายราย โดยดินที่มีขนาดใหญ่จะถูกนำมาย่อยโดยใช้เครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหลือเพียง 0.5-2 นิ้ว ซึ่งไม่เพียงจะช่วยให้การตีดินโดยใช้น้ำทำได้เร็วขึ้นเท่านั้นแต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบดผสมของดินเหนียวรวมกับวัตถุดิบอื่นๆ ให้ดีขึ้นอีกด้วย

แหล่งดินเหนียว ที่สำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา มีอยู่หลายแหล่งที่ จ.ลำปาง และเชียงราย เช่น ดินเหนียววังเหนือ ดินเหนียวแม่ทาน ดินเหนียวแจ้คอน และดินเหนียว อ.พาน เป็นต้น (ปรีดา, 2532)

2.2.3 ดินลูกรัง

เป็นดินที่มีปัญหาชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรม เป็นดินตื้น มีกรวด เศษหินปะปนในระดับความลึกของบริเวณการเจริญเติบโตของรากพืชทั่วไป นอกจากนั้นยังมีผลทำให้การขะล้างผิวดินเกิดขึ้นได้ง่าย เพราะชั้นกรวดที่รวมตัวกันแน่น ทำให้เกิดความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และการแทรกซึมน้ำลดลง (Vijarnnson, 1984) โดยเฉพาะในชั้นดินล่างตอนบน ในประเทศไทยมีดินลูกรังเป็นพื้นที่ประมาณ 68,765 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 13.4 ของพื้นที่ทั้งประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่ของดินนี้อยู่ทางตอนเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของภาคเหนือ และภาคตะวันออก พบเล็กน้อยในภาคกลาง และภาคใต้โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นมีพื้นที่ถึงร้อยละ 42 ของพื้นที่ดินลูกรังทั้งประเทศ

2.2.3.1 ลักษณะของดินลูกรัง

ความหมายของดินลูกรัง หรือดินปนกรวด (Skeletal Soils) ตามระบบอนุกรมวิธานดินกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา หมายถึงดินที่มีชิ้นส่วนหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร และมีอนุภาคดินพอที่จะแทรกอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในชั้นควบคุมวงศ์ดิน จากคำนิยามของกองสำรวจดินกรมพัฒนาที่ดิน หมายถึงเศษส่วนหิน และก้อนกรวด

ลักษณะของดินลูกรัง จัดอยู่ในประเภท Skeletal Soils ได้แก่ดินที่มีเศษหิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าอยู่ใต้ดินเป็นปริมาณร้อยละ 35 หรือมากกว่าโดย ปริมาตรที่ความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นได้ทั้งดินทราย (Sand-Skeletal) ดินร่วน (Loamy-Skeletal) และดินเหนียว (Clay-Skeletal) เกิดได้ทุกสภาพพื้นที่ (Landform)

ดินลูกรัง (Late Soil) จัดอยู่ในกลุ่ม Skeletal Soil หรือดินตื้นเป็นดินที่มีชั้น ศิลาแลง (Lateritic) เกิดขึ้นในหน้าตัดดินที่แสดงให้เห็นว่าขบวนการสลายตัวผุพังต่างๆเกือบสิ้นสุด แล้ว ธาตุอาหารพืชในวัตถุต้นกำเนิดเดิมถูกชะล้างออกไป หรืออยู่ในรูปพืชไม่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยทั่วไปดินลูกรังแยกออกเป็น 2 ประเภทที่แยกออกได้ชัดเจนคือ ประเภทดินลูกรังร่วน และ ประเภทเป็นก้อนเกาะเป็นแผ่นทึบ ลูกรังร่วนโดยปกติแล้วจะมีขนาดแตกต่างกันมากตั้งแต่ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 4 – 5 เซนติเมตร รายละเอียดของทั้ง 2 แบบ สามารถแยกได้ดังนี้คือ แบบ-แรก เมื่อใช้มือบิออกจะเห็นลักษณะ Concentric Lamination Characteristic แต่แบบที่ 2 จะไม่ เห็นโดยทางปฏิบัติแบบแรกเรียกว่า True Lateritic หรือ Ground Water Lateritic ส่วนแบบหลัง เรียกว่า Pseudo Lateritic โดยทั่วไปจะพบ Lateritic ทั้ง 2 แบบปะปนอยู่ในชั้นดินเสมอ แต่จะมี ชนิดหนึ่งชนิดใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะ และบริเวณที่อยู่ในดิน เช่น Pseudo มักจะพบที่ส่วน บนสุดของที่ลาดเอียง มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอปกติแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร แบบ-ที่สองของหินลูกรังเป็นแผ่นแน่นทึบ แต่ก็สามารถแยกย่อยได้ชัดว่ามี 3 ชนิดคือ แบบ Honey Comb ซึ่งเป็นแบบที่ลูกรังร่วนเกาะกันแน่น หรือหินก้อนกรวดมายึดกันมากกว่าจะเป็น Lateritic การเกิดของหินเหล่านี้แต่ละรูปแบบยังไม่แน่นอนมักเชื่อว่า Honey Comb เกิดขึ้นจากแร่ธาตุที่มี เหล็กผสมอยู่มาก หรือ Plinthite ถูกยกขึ้นบนผิวดิน และนักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า Plinthie สามารถที่จะแข็งตัวได้หากเกิดสภาพแห้ง และเปียกสลับกันในช่วงเวลาพอสมควรทั้งที่ไม่ ต้องถูกอากาศ ส่วนอีก 2 ชนิดที่เหลือเกิดจากการเชื่อมติดกันของลูกรัง และกรวดหินมากกว่าการ เชื่อมของหินลูกรังโดยธาตุเหล็ก

โดยทั่วไปมักจะพบชนิดของหินลูกรังที่ระดับความลึกที่แน่นอน บางสภาพภูมิ-ประเทศที่ซึ่งชั้นหินหลวมเกิดโดยตรงจากชั้นหินดินดานล่างซึ่งเป็นวัตถุตามธรรมชาติ บางแห่งวัตถุต้น-กำเนิดดินลูกรังจะพบในชั้นของหินลูกรัง ลักษณะของชั้นดินจะผันแปรไปตามลักษณะของภูมิประเทศ ชั้นของหินลูกรังที่พบในดินประกอบด้วย ดินชั้นบน และชั้นของหินลูกรัง และ Mottle Pallid Zone ชั้นของการสลายตัวของหินชั้นล่าง และของหินที่รองรับตามลำดับ ความหนาของชั้นหินเปลี่ยนแปลง ไปตามส่วนของสัณฐานธรณี (ภาคภูมิ, 2551)

2.2.4 ดินตะกอน

ตะกอนหมายถึงส่วนวัสดุที่เคลื่อนตัวไป หรือแขวนลอยไป หรือตกตะกอนโดยน้ำเป็นตัวการ ตะกอนหมายถึงส่วนของวัสดุ ของแข็ง สารอินทรีย์ที่รวมตัวกัน ฯลฯ ที่ถูกพัดพาให้เคลื่อนตัว แขวนลอย หรือตกตะกอนโดยมีน้ำเป็นตัวการ

ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นระบบบำบัดน้ำเสียการเกิดตะกอนแปรผันตามช่วงเวลา หรือฤดูกาล มีปริมาณน้ำเป็นปัจจัยในการเป็นตัวทำให้เกิดการกัดกร่อน การชะล้าง และพัดพาไปตามลำน้ำสามารถสรุปที่มาของตะกอนได้ดังนี้

- กระบวนการทางอุทกวิทยา โดยธรรมชาติกระบวนการทางอุทกวิทยาต่างๆ เช่น การไหลของน้ำ แรงจากเม็ดฝน ทำให้เกิดการกัดเซาะของดิน วัตถุ และสารต่างๆชะล้าง และพัดพาตามแรงกระทำของน้ำ และนำไปตกตะกอนตามลำน้ำต่างๆ เมื่อกระแสน้ำไหลช้าลงโดยสารวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนก่อน และสารวัตถุที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปไกลกว่า และตกตะกอนภายหลัง

- กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรม และการทำถนน

- กิจกรรมของจุลินทรีย์น้ำเสียโดยปกติแล้ว ในแหล่งน้ำต่างๆ มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณมาก มักมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี จุลินทรีย์เหล่านี้เมื่อมีการเจริญมากจะเกิดตายทับถมกลายเป็นซากอินทรีย์ตะกอนบริเวณท้องลำน้ำ เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย หนองน้ำ เป็นต้น

โดยขนาดของตะกอนจากต้นน้ำเหล่านี้จะค่อยๆเล็กลงไปทางท้ายน้ำ สาเหตุที่เล็กลงก็เพราะตะกอนเกิดการขัดสีจากการกลิ้ง กระโดด กระแทก ในขณะที่เคลื่อนที่ไป การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้เกิดการกัดกร่อน รวมไปถึงตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะตกตะกอนเร็วกว่าตะกอนขนาดเล็ก ดังนั้นตะก่อนขนาดเล็กจึงถูกพัดพาไปไกลกว่าตะกอนขนาดใหญ่

ตะกอนที่เกิดการสะสมในแหล่งน้ำจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแก่แหล่งน้ำนั้นๆได้หลายประการ ดังนี้ เกิดการอุดตันของท่อระบายน้ำ ตะกอนที่ตกค้างในท่อ เมื่อเกิดย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางเคมี จะเกิดก๊าซ และการกัดกร่อน ทำให้สิ่งก่อสร้างเสียหาย กรณีที่ฝนตกหนัก ตะกอนที่ตกในท่อระบายน้ำ หรือแหล่งน้ำต่างๆจะขัดขวางการไหลของน้ำ หากน้ำไม่สามารถระบายได้ทันจะเกิดน้ำท่วม ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ประสิทธิภาพการใช้งานของแหล่งน้ำลดลง เช่น อ่างเก็บน้ำต่างๆเมื่อมีตะกอนเกิดขึ้น การเก็บกักน้ำลดลงส่งผลกระทบต่อการจ่ายน้ำแก่ประชาชนส่วนต่างๆได้ไม่ทั่วถึง ทำให้อายุการใช้งานสั้นลงในกรณีระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนที่เกิดขึ้นจะลดความสามารถกักเก็บ และบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดได้ (W. Ryan and C. Radford, 2547)

ในงานวิจัยนี้ดินตะกอนที่ใช้นำมาจากดินตะกอนที่ตกหล่นระหว่างกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์ โดยผ่านการชะล้าง บดคละขนาด จากบริษัท อเมริกันสแตนดาร์ด บี แอนด์ เค (ประเทศไทย) จำกัด

2.3 ปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

- กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียก และเติมน้ำเพิ่มลงในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 30 – 40 มีลักษณะเหลว และไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีแบบเปียกจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้น Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

- กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน (Shale), ดินลูกรัง (Laterite) และทราย (Sand) มาบดผสมในสภาพที่แห้ง และในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผาช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเรียกว่า "วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)" หลักจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียกถือว่าเป็นวิธีที่ล้าสมัย เพราะต้องใช้พลังงานความร้อนสูงจึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอย่างมาก ในปัจจุบันโรงงานปูนซีเมนต์ไทยทุกโรงงานจึงใช้กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ทันสมัยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ใช้ความร้อนต่ำกว่า จึงช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้ยังมีระบบการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อความมั่นใจว่าจะสามารถผลิตปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และได้มาตรฐาน

2.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.3.1.1 วัตถุดิบ และกรรมวิธีในการผลิต

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้แก่ ออกไซด์ของธาตุแคลเซียม จำพวกหินปูน (Limestone) และหินชอล์ก (Chalk) และออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (Silicon) และอลูมิเนียมจำพวกดินเหนียว หินเชล (Shale) และหินชนวน (Slate) ในบางครั้งดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียม และซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (Marl) นอกจากนี้การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบอย่างอื่นได้แก่ ออกไซด์ของเหล็กซึ่งได้จากลูกรัง (Laterite) ออกไซด์ของอลูมิเนียม และเหล็กช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดขึ้นได้ง่าย และยังต้องการยิปซัม (Gypsum) เพื่อหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไป กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ

กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และ กระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) โดยขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบ การผลิตทำโดยการเผาวัตถุดิบที่ผ่านการบดละเอียด และผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 1500 - 1600 องศาเซลเซียสในเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น ได้สารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนต และเฟอร์ไรต์ (Calcium-Aluminate and Ferrite) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 1350 องศาเซลเซียส เกิดการหลอมละลายของแคลเซียมอลูมิเนต และเฟอร์ไรต์ (Calcium-Aluminate and Ferrite) และเริ่มทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด (Clinkering) วัตถุดิบจะหลอมละลายและประมาณร้อยละ 20-30 กลายเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิ 1400 - 1600 องศาเซลเซียสส่วนผสมจะทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดก้อนกลมขนาด 3 - 40 มิลลิเมตร ในส่วนท้ายสุดของเตาอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว และปูนเม็ดจะออกจากเตาเผา อัตราการลดลงของอุณหภูมิมีผลต่อความเป็นผลึกของปูนเม็ด ในขั้นตอนสุดท้ายจะบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมประมาณร้อยละ 2.5 - 3.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์เพื่อช่วยหน่วงการก่อตัว

2.3.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major oxides) และออกไซด์รอง (Minor oxides) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ออกไซด์หลักได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O), ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และยังมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอม และส่วนประกอบอื่นซึ่งจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา และกากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง (Insoluble Residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากัน และรวมตัวกันอยู่ในรูปสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ การเผา และการเย็นลงของปูนเม็ด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	
	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
CaO	60 - 67	64.4
SiO_2	17 - 25	20.0
Al_2O_3	3 - 8	5.8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0	3.2
MgO	0.1 - 4.0	0.5
Na_2O	0.1 - 1.3	0.5
K_2O	0.1 - 1.3	0.5
SO_3	0.5 - 3	2.6
สารประกอบอื่น	1 – 3	1.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	0.1 – 3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง	0.2 – 0.8	0.5

ที่มา : เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.3.1.3 สมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่

ก. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) $3CaO.SiO_2$ (C_3S)

ข. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) $2CaO.SiO_2$ (C_2S)

ค. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A)

ง. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (C_4AF)

C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF มีปริมาณมากกว่าถึงร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดสมบัติของปูนซีเมนต์ สมบัติที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2 C_3S มีอยู่มากที่สุดประมาณร้อยละ 45 – 55 มีรูปร่างเหลี่ยมสีเทาแก่ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเกิดความร้อนเรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration) และเกิดการก่อตัว และแข็งตัว C_3S ให้กำลังคอนกรีตดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก

C_2S มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 – 35 C_2S ที่บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบคือ αC_2S เกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงจะแปลงสภาพเป็น $\alpha'C_2S$ ซึ่ง

เปลี่ยนเป็น βC_2S ที่อุณหภูมิต่ำลง และเป็น C_2S ที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจาก C_2S ในปูนซีเมนต์-ปอร์ตแลนด์ไม่บริสุทธิ์มีสารแปลกปลอมอื่นผสมทำให้การแปลงสภาพจาก βC_2S เป็น C_2S ไม่เกิดขึ้น ดังนั้น βC_2S จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลม เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาเช่นกัน ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะไม่สูง การพัฒนากำลังของ C_2S ช้ากว่า C_3S มาก คือเริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์

C_3A มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7 – 15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็ว และทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมาก การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมาก คือ สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ

C_4AF มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณร้อยละ 5 – 10 อยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง (Solid solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยา และทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลาง โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมากเช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าต่ำ

ตารางที่ 2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ปริมาณ, ร้อยละ	45 - 55	15 - 35	7 - 15	5 – 10
อัตราการทำปฏิกิริยา	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังอัดสูงสุด	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนจากปฏิกิริยา	สูง	ต่ำ	สูงมาก	ปานกลาง

ที่มา : เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.3.1.4 สมบัติของสารประกอบรอง

สารประกอบรองมีอยู่ในจำนวนน้อย แต่มีผลกระทบต่อซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่แข็งตัว และที่แข็งตัวแล้ว

ก. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ เมื่อมีอยู่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัว และแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับ C_3A เกิดเอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มาตรฐานกำหนดปริมาณ SO_3 ในปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 3.0

ข. ปูนขาวอิสระ ที่ปกติมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 – 1.0 จะสามารถรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆ ทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาตรมาก ถ้าปูนขาวอิสระมีมากเกินจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้วขยายตัว และแตกร้าวได้ พฤติกรรมนี้เรียกว่า "ความไม่คงตัว" (Unsoundness)

ค. แมกนีเซียมออกไซด์โดยที่บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระ และจะรวมตัวกับน้ำได้ช้ามากกินเวลานับปีทำให้เกิดความไม่คงตัวได้ การทดสอบโดยใช้วิธีออโตเครฟ (Autoclave-Test) ซึ่งวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิดจาก MgO และ CaO

ง. ออกไซด์ของอัลคาไล ที่มีอยู่ร้อยละ 0.5 – 1.3 ที่มีบทบาทสำคัญในกรณีที่มวลรวมเป็นซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลมวลรวม" (Alkali-Aggregate Reaction) ได้อัลคาไลซิลิกาเจล และเกิดการขยายตัวทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

จ. ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ ที่มีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 – 0.2 โดยจะที่ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO นอกจากนี้ถ้ามี P_2O_5 มากพออาจทำให้เกิดความไม่คงตัวเพราะมีปูนขาวอิสระเกิดเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถปรับให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ มาตรฐาน ASTM C150 แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทมีอยู่ในมาตฐาน มอก. 15 เล่ม 1 สารประกอบ และสมบัติบางประการแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

2.3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Odinary Portland Cement) โดยนิยมใช้กันมากที่สุด สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ปูนชนิดนี้ให้กำลังและเกิดความร้อนปานกลาง

2.3.2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 หรือเรียกว่าซีเมนต์ดัดแปลง (Modified-Cement) โดยจะเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำกว่า และจะให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาก จะเหมาะสำหรับทำคอนกรีตที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง

2.3.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 หรือเรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Portland Cement) โดยจะให้กำลังสูงในระยะแรก และให้ความร้อนจากปฏิกิริยาสูง โดยจะมีปริมาณ C_3S สูง และความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว หรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

2.3.2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) โดยจะให้ความร้อนจากปฏิกิริยาต่ำมากเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำ ร้อยละ 25 – 30 แต่มี C_2S สูงถึงร้อยละ 50 – 60 เหมาะสำหรับใช้งานคอนกรีตหลา

2.3.2.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จะทนซัลเฟต (Sulfate Resisting Portland Cement) โดยจะให้ความต้านทานซัลเฟตได้สูงมีปริมาณของ C_3A ต่ำมาก ไม่เกินร้อยละ 5 เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีเกลือ หรือสารละลายซัลเฟต เช่น โครงสร้างในทะเล

ตารางที่ 2.3 สารประกอบ และสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 – 5

สารประกอบ และสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	30
C_2S	25	29	15	50	46
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด(ซม^2/กรัม)	3000	3000	4500	3000	3000
กำลังอัด(3วัน,กก./ซม^2)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา(28วัน, จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

หมายเหตุ: กำลังอัดวัดจากลูกบาศก์มอร์ต้าร์ขนาด 50 มม.

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.3.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมซิลิเกต(C_3S, C_2S)

น้ำจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมซิลิเกตที่อยู่ในปูนซีเมนต์ จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะได้สารประกอบใหม่ขึ้นมาคือ $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) จากนั้นซีเมนต์เพสต์จะมีสมบัติเป็นด่าง (pH ประมาณ 12.5) เนื่องจากสาร $Ca(OH)_2$ และ Gel ที่เกิดขึ้นเมื่อแข็งตัวจะทำให้โครงสร้างไม่สม่ำเสมอ และมีรูพรุน อายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของ CSH ทั้งสิ้น

สมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

$$2(3CaO.SiO_2)+(6H_2O) \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.H_2O+3Ca(OH)_2$$

หรือ

$$2C_3S+6H_2O \longrightarrow C_3S_3H_3+3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO.SiO_2)+(4H_2O) \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+Ca(OH)_2$$

หรือ

$$2C_2S+4H_2O \longrightarrow C_3S_3H_{32}+Ca(OH)_2$$

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

การก่อตัวของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A ทำให้ซีเมนต์เพสต์สามารถแข็งตัวได้โดยอย่างรวดเร็วเนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ดังนั้นในการผลิตปูนซีเมนต์จึงเติมยิปซั่มเข้าไปเพื่อเป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาดังกล่าว ดังนั้นในปูนซีซีเมนต์จึงมียิปซั่ม และจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ได้ชั้นของ Ettringite เกิดขึ้นที่ผิวของ C_3A เมื่อชั้น Ettringite เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A จึงไม่เกิดขึ้น เพราะว่าชั้นของ Ettringite หุ้มผิวของอนุภาค C_3A อยู่น้ำจึงเข้าทำปฏิกิริยากับ C_3A ไม่ได้แต่ชั้นของ Ettringite นี้ไม่เกิดขึ้นอย่างถาวร เพราะเกิดขึ้นอย่างถาวร เพราะเมื่อเกิดชั้นของ Ettringite จะทำให้ปริมาตรของของแข็งมากขึ้น เกิดการอัดตัวกันทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก แต่ละชั้นของ Ettringite ก็จะเกิดขึ้นใหม่เข้าไปแทนที่ชั้นที่แตกออก การเกิดขึ้นใหม่ของชั้น Ettringite นี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่แทนได้เมื่อปริมาณ Sullphate Lons มีปริมาณน้อยลง ดังนั้นจังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A โดยที่ Ettringite จะเปลี่ยนไปเป็น Momosulphate

กลไกการเกิดปฏิกิริยา มีดังนี้

$$3CaO.Al_2O_3+6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

หรือ $C_3A+6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$

$$C_3A+CaSO_4.2H_3O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.3H_2O$$

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำสารประกอบหลัก C_4AF เข้าทำปฏิกิริยากับยิปซั่ม และ $Ca(OH)_2$ จากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดสารประกอบที่มีอนุภาคลักษณะคล้ายเข็มของ Sulpoalminate และ Sulphoferrite ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3+CaSO_4.2H_2O+Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3Fe_2O_3).3CaSO_4$$

ตารางที่ 2.4 เวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักเกิดขึ้นร้อยละ 80

สารประกอบหลัก	เวลา(วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	6
C_4AF	50

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

สมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จะมีสมบัติดีหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นดังนั้นหากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบ และเหมาะสม ก็จะทำให้สมบัติของซีเมนต์เพสต์ดีไปด้วยปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมมีดังนี้

อายุของเพสต์: ในช่วงแรกๆนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและจะลดลงตามเวลา

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์: สารประกอบหลักที่เป็นองค์ประกอบในปูนซีเมนต์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นแตกต่างกัน

ความละเอียดของปูนซีเมนต์: ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดของเม็ดปูนซีเมนต์สูง(เม็ดเล็ก) จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเม็ดปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มผิวสัมผัสให้กับน้ำมากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้อย่างรวดเร็ว

อัตราส่วนน้ำกับปูนซีเมนต์: ซึ่งจะส่งผลในช่วงหลังของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ในช่วงหลังมีค่าลดลง จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นช้า

อุณหภูมิ: อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ถ้าอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อุณหภูมิก็ไม่ควรสูงเกินไปเพราะจะทำให้ซีเมนต์แตก

สารหน่วง หรือสารเร่ง: จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นช้า หรือเร็วตามต้องการ

ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของ อเมริกา (ASTM-C.150) และของอังกฤษ (British Standard; B.S.) ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภท 1 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal Portland Cement) เหมาะกับการก่อสร้างคอนกรีตทั่วๆไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คาน เสา พื้น และถนน เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟต ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราช้างเพชร(เม็ดเขียว) พญานาคเขียว TPI(แดง) ภูเขา และดาวเทียม

ประเภท 2 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงเพื่อให้สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ปานกลาง (Modified Portland Cement) และจะเกิดความร้อนปานกลางในช่วงหล่อ เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อ สะพาน ท่าเทียบเรือ และเขื่อนเป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยมีจำหน่ายได้แก่ ตราพญานาคเจ็ดเศียร (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

ประเภท 3 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่สามารถให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น (High-Early Strength Portland Cement) หลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3-7 วัน เหมาะกับงานที่เร่งด่วน เช่น คอนกรีตอัดแรง เสาเข็ม พื้นถนนที่จราจรคับคั่ง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีจำหน่ายได้แก่ ตราเอราวัณ และพญานาคแดง

ประเภท 4 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำ (Low-Heat-Portland Cement) กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลดีทำให้การขยายตัวน้อยช่วยลดการแตกร้าว เหมาะกับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตจำหน่าย

ประเภท 5 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ทนต่อเกลือซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant-Portland Cement) เหมาะกับงานก่อสร้างบริเวณดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราปลาฉลาม และตราช้างฟ้า (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

นอกจากปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทแล้วยังมีปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมาโดยดัดแปลงเพื่อให้เหมาะกับงาน และราคาถูกลงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปได้แก่

- ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) เป็นการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับทราย หรือหินบดละเอียด ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ลดการแตกร้าว เหมาะกับงานก่ออิฐ ฉาบปูน ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราเสือคู่เห่า นกอินทรี และTPI (เขียว)

- ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูน และวัตถุดิบอื่นๆที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่าร้อยละ 1 ลักษณะของผงสีปูนที่ได้จะเป็นสีขาว สามารถผสมกับสีฝุ่นเพื่อทำให้เป็นปูนซีเมนต์สีต่างๆตามต้องการ จึงนิยมใช้ในงานตกแต่งต่างๆ เพื่อความสวยงาม ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตในประเทศไทยได้แก่ ตราช้างเผือก และตรามังกร

จากการทดสอบเปรียบเทียบหากำลังอัดของปูนซีเมนต์ ทั้ง 5 ประเภท ในสภาพปัจจัยเดียวกัน ที่อายุคอนกรีต 1, 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ โดยกำหนดให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์-ประเภท 1 เป็นตัวเปรียบเทียบที่ร้อยละ 100 ผลที่ได้ดังตารางที่ 2.5 (วินิต, 2539)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ ทั้ง 5 ประเภท

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	กำลังอัดเป็นเปอร์เซนต์เมื่อเทียบกับประเภท 1 (%)			
	1 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
ประเภท 1	100	100	100	100
ประเภท 2	75	85	90	100
ประเภท 3	190	120	110	100
ประเภท 4	55	55	75	100
ประเภท 5	65	75	85	100

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.4 การทดสอบ

2.4.1 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

จากสูตร

$$\%\text{Absorption} = \left[\frac{W_W - W_d}{W_d}\right] \times 100 \qquad (2.1)$$

เมื่อ % Absorption = ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ, เปอร์เซ็นต์

W_W = น้ำหนักอิฐเปียก, กรัม (g)

W_d = น้ำหนักอิฐแห้ง, กรัม (g)

2.4.2 การทดสอบความหนาแน่น

จากสูตร

$$\rho = \frac{W}{V} \qquad (2.2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

W = น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์, กรัม (g)

V = ปริมาตรของอิฐดินซีเมนต์, ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

2.4.3 การทดสอบกำลังการรับแรงอัดของอิฐ

จากสูตร

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \qquad (2.3)$$

โดยที่ σ_c = ความต้านทานความเค้นอัด, (MPa : N/mm^2)

P = แรงประลัย, นิวตัน (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของอิฐที่รับแรงอัด, ตารางมิลลิเมตร (mm^2)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัชพันธ์ ชาดี (2550) ได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะพัฒนาอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินตะกอนน้ำประปาจังหวัดหนองคายเป็นส่วนผสม ในการพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ครั้งนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

และทางกลของอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือปริมาณซีเมนต์ ปริมาณทราย และปริมาณน้ำที่ร้อยละ 17.5 20 และ 25 และทำการบ่มที่ 7 และ 14 วัน ผลการศึกษาพบว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นจากดินตะกอนประปาหนองคายมีค่าความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 1.41 - 1.72 กรัม/ลบ.ซม. และสมบัติการดูดซึมน้ำในสภาพชื้นของดินตะกอนประปาหนองคาย มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.84 - 23.12 และสมบัติการรับกำลังอัดของดินตะกอนประปาหนองคายในตัวอย่างที่มีการใช้ทรายคงที่เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ และลดปริมาณดินตะกอนพบว่า มีค่าความสามารถในการรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 22.74 - 103.10 ksc ส่วนตัวอย่างที่มีการใช้ปูนซีเมนต์คงที่เพิ่มปริมาณทราย และลดปริมาณดินตะกอนพบว่ามีค่าความสามารถในการรับกำลังแรงอัดอยู่ระหว่าง 30.72 - 80.10 ksc และยังพบว่าการเพิ่มปริมาณของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยทำการลดปริมาณของดินตะกอนลงตามอัตราส่วนจะส่งผลให้อิฐดินตะกอนน้ำประปาผสมซีเมนต์ มีความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น

ชุตินทร เพ็ชรไชย และคณะ (2528) ได้ศึกษาการนำดินชุดแม่ริมไปในการผลิตอิฐบล็อกสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อนสร้าง ซึ่งในการศึกษาได้นำเอาดินชุดแม่ริมมาทดลองผสมกับสารเชื่อมประสานสองชนิด ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเถ้าลอยจากโรงงานแม่เมาะ และการตรวจสอบองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของสวนผสม ปริมาณสารเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์ และเถ้าลอย) ปริมาณน้ำ และพลังงานที่ใช้ในการบดอัด วิธีการ และระยะเวลาการบ่ม จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างดินซึ่งใช้ในการทดสอบมีเม็ดดิน ตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็ก ดังนั้น ในการนำไปใช้ทำบล็อกจำเป็นต้องคัดขนาดโตออกโดยการร่อนผ่านตะแกรง เพื่อให้ผิวของบล็อกไม่ขรุขระมากเกินไป ค่าความข้นเหนียวของดินนี้มีค่อนข้างต่ำ สามารถผสมคลุกเคล้ากับสารเชื่อมประสานได้ง่าย และหากผสมดินตัวอย่างนี้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7-10 หรือเถ้าลอยร้อยละ 15-25 อัดแน่นให้ได้ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 Standard Test จะทำให้ตัวอย่างที่มีกำลังอัด 15-35 กก/ตร.ซม ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีพอในการนำไปใช้งาน

เชาวลิต บางพระไทยา และคณะ (2526) ได้ทดสอบกำลังรับแรงอัดกำลังรับแรงดัด และการดูดกลืนน้ำของการปูนซีเมนต์ที่ทำมาจากดิน 2 ชนิดคือ ดินมวลรวม (ลูกรัง) และดินปนทราย ซึ่งปริมาณปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้ส่วนผสมคือ ร้อยละ 5, 7 และ 9 โดยน้ำหนัก และทำการบดอัดใช้วิธีกระทุ้งด้วยมือ และวิธี Static Compaction ซึ่งทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นพอเหมาะเท่ากับวิธีการทดลองโดยวิธี (ลุกรั้ง) จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากกว่าการใช้ดินปนทรายค่าของกำลังของอิฐดินซีเมนต์จะสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น การบดอัดที่แน่นกว่าจะมีการดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ควรอยู่ในระหว่างร้อยละ 5-9

ธงชัย เพียรทอง และคณะ (2529) ได้ทำการศึกษาหารูปแบบของอิฐดินซีเมนต์ให้สามารถรับน้ำหนัก และรับแรงเฉือนได้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบของอิฐดินมีรูกลวงสองรูเพื่อใช้ในการเสริมด้วยเหล็กและมอร์ต้าระหว่างการก่อสร้าง จากนั้นได้ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของอิฐดินซีเมนต์แบบมีรูกลวงที่ออกแบบกับอิฐดินซีเมนต์แบบมีเดือย โดยการศึกษาใช้ปูนซีเมนต์แบบมีรูกลวงมีค่ากำลังอัดใน

สภาวะแห้ง ร้อยละการดูดซึมน้ำ และดัชนีการสึกกร่อนที่สูงกว่าอิฐดินซีเมนต์แบบมีเดือยเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในด้านเวลาที่ผลิตแล้วพบว่าการผลิตอิฐที่มีรูกลวงนั้นใช้เวลามากกว่าการผลิตอิฐแบบมีเดือย ดังนั้นจึงเสนอให้มีการใช้อิฐแบบดังกล่าวเฉพาะการทำเสาหัวมุมของอาคาร

ธีระพันธุ์ ทองประวัติ และคณะ (2527) ได้ทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ซึ่งจากการทดลองพบว่าลูกรังส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนสำคัญที่ควบคุมค่าแรงอัดประลัย และความคงทนของอิฐ ดังนั้นการทำอิฐดินซีเมนต์จังควรมีลูกรังส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อยู่บ้างในส่วนของประมาณปูนซีเมนต์ปริมาณนั้นได้พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะช่วยเพิ่มค่าแรงอัดของดินซีเมนต์ และได้เสนอให้ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 6 โดยน้ำหนักในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ สำหรับปริมาณน้ำนั้นพบว่าควรใช้ปริมาณน้ำระหว่างร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในการทดลองยังได้ศึกษาถึงขนาดคละของลูกรัง และพบว่าขนาดคละที่ดีจะช่วยให้อิฐที่ผลิตได้มีความหนาแน่นสูง

ภาคภูมิ กลั่นไพรี (2551) ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของอิฐดินซีเมนต์ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ อัตราส่วนวัสดุมวลรวม และการเพิ่มปริมาณทราย ขนาดของอิฐตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ 10.5 x 22.5 x 07.0 ลบ.ซม. ผลการศึกษาพบว่า ดินตะกอนประปามีขีดจำกัดความข้นเหลวเท่ากับ 35.20 ขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 31.01 และค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับ 4.19 จัดอยู่ในประเภท Silt การทดสอบกำลังอัดหลังจากทดแทนดินตะกอนประปาด้วยดินลูกรังตามสัดส่วนมีค่าอยู่ระหว่าง 36.55 – 191.71 กก./ตร.ซม. การทดสอบความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 1.786 – 1.895 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนด้านการดูดซึมน้ำมีค่าประมาณร้อยละ 8.17 – 22.5 สรุปได้ว่าดินลูกรังสามารถปรับปรุงคุณภาพอิฐดินซีเมนต์ที่มีดินตะกอนประปา พบว่าในอัตราส่วนการผสมทดแทนของดินลูกรังร้อยละ 70 ขึ้นไปได้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นรวมทั้งการผสมทรายร้อยละ 10 ทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น และทุกส่วนผสมมีร้อยละการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 15 ตามที่มาตรฐานกำหนด

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58-2530 ความต้านแรงอัดคอนกรีตที่ไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่าเฉลี่ย และค่าแต่ละก้อน ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความต้านทานแรงอัด

ความต้านทานแรงอัดต่ำสุด MPa (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58-2530

15945537
วร.
ม 453ก
2553

วิพล ชัยชนะ (2543) ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์คือ 1:5 ส่วน และ 1:7 ส่วน พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:5 ส่วน ให้กำลังเฉลี่ยเท่ากับ 69.63 กก/ตร.ซม และอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดิน 1:7 ส่วน ให้กำลังเฉลี่ยเท่ากับ 60.73 กก/ตร.ซม เห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:5

สงวน วงษ์ชวลิตกุล (2538) ได้ทดลองทำอิฐลูกรังที่มีปูนซีเมนต์ และทรายร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เป็นส่วนผสม โดยได้กำหนดส่วนผสมของอิฐลูกรังไว้ 3 ชุดคือ อัตราส่วนลูกรังต่อทราย 50 : 50 70 : 30 และ 30 : 70 ซึ่งในแต่ละชุดของตัวอย่างอิฐจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมร้อยละ 14.30 16.67 67.20 และ 25 โดยน้ำหนัก อิฐตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะมีขนาด 7 x 11 x 22.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการบ่มที่อายุ 7,14 และ 28 วัน และทดสอบในสภาพแห้ง และสภาพชุ่มน้ำ จากการทดสอบพบว่าร้อยละระหว่างลูกรังต่อทรายที่เหมาะสมคือ 50 : 50 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยแล้วจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ในอิฐในอิฐลูกรังการเพิ่มอายุการบ่มของอิฐลูกรังจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัด และสภาวะความคงทนของอิฐลูกรัง แต่ในขณะเดียวกันร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐจะลดลง นอกจากนั้นยังได้ทำการเปรียบเทียบกับอิฐลูกรังที่ผลิตโดยทั่วไป พบว่าอิฐลูกรังที่เสนอมีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า มีการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า และมีความคงทนต่อการสึกกร่อนมากกว่าอิฐลูกรังที่ผลิตโดยทั่วไป

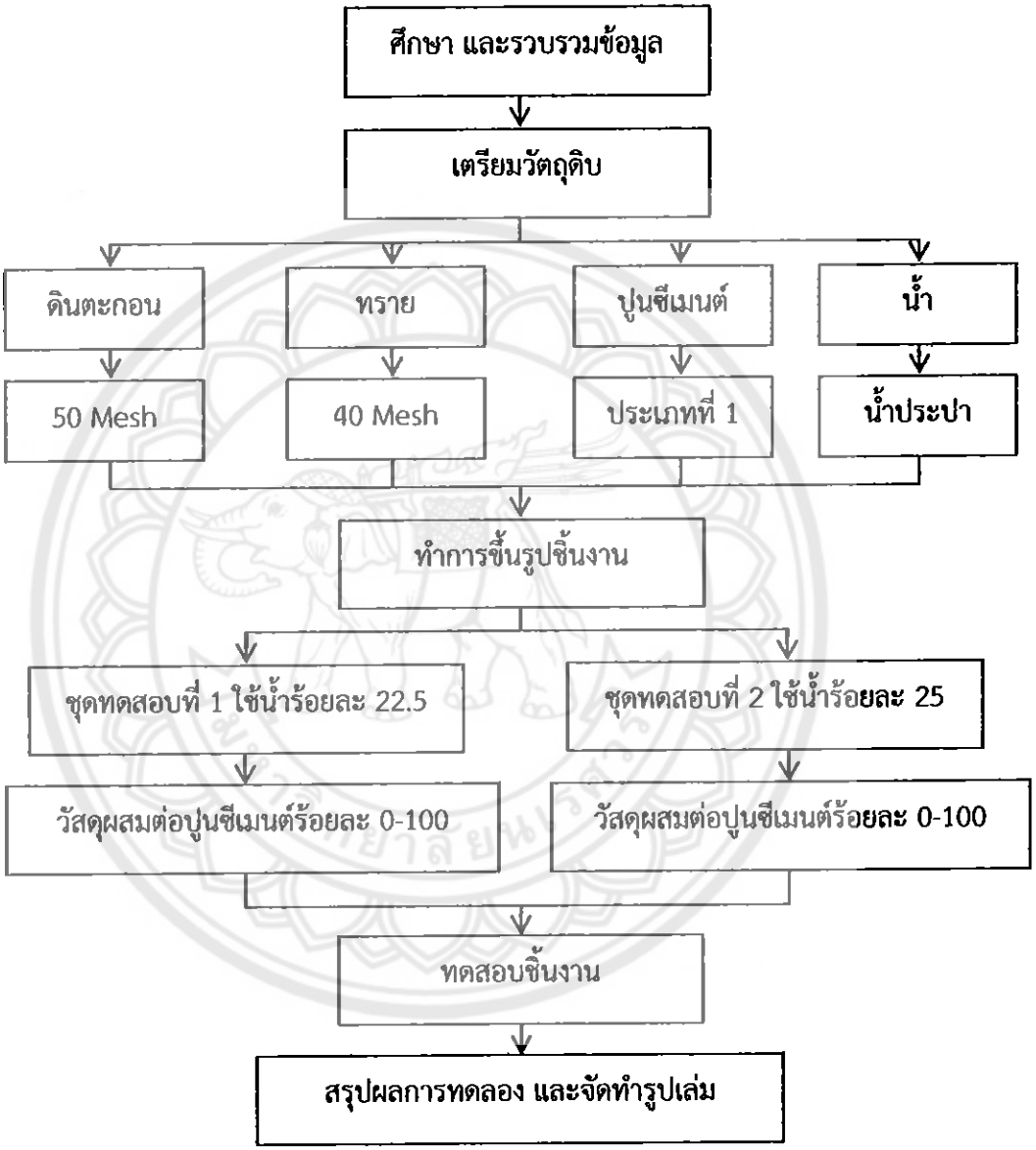
สิงทอง สว่างแสง (2551) ได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะพัฒนาอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินตะกอนน้ำประปาจังหวัดขอนแก่นเป็นส่วนผสม ในการพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ครั้งนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือปริมาณซีเมนต์ ปริมาณทราย และปริมาณน้ำที่ร้อยละ 17.5 20 และ 25 และทำการบ่มที่ 7 และ 14 วัน ผลการศึกษาพบว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นจากดินตะกอนประปาขอนแก่นมีค่าความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 1.38 - 1.75 กรัม/ลบ.ซม. และสมบัติการดูดซึมน้ำในสภาพชื้นของดินตะกอนประปาขอนแก่น มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 10.24 - 21.30 และสมบัติการรับกำลังอัดของดินตะกอนประปาขอนแก่นในตัวอย่างที่มีการใช้ทรายคงที่เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ และลดปริมาณดินตะกอนพบว่า มีค่าความสามารถในการรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 23.16 - 108.06 ksc ส่วนตัวอย่างที่มีการใช้ปูนซีเมนต์คงที่เพิ่มปริมาณทราย และลดปริมาณดินตะกอนพบว่ามีค่าความสามารถในการรับกำลังแรงอัดอยู่ระหว่าง 34.43- 82.99 ksc และยังพบว่าการเพิ่มปริมาณของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยทำการลดปริมาณของดินตะกอนลงตามอัตราส่วนจะส่งผลให้อิฐดินตะกอนน้ำประปาผสมซีเมนต์ มีความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น

อิทธิพงศ์ พันธ์นิกุล (2549) ได้ศึกษาสมบัติ กระบวนการผลิต และการทดสอบอิฐ (ดินซีเมนต์) บล็อกประสานโดยใช้ดินตัวอย่าง 2 แหล่ง ในจังหวัดอุบลราชธานี กำหนดคุณภาพการผลิตตาม มอก. 58-2533 (คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก) แบ่งส่วนดิน ต่อ ทราย ออกเป็น 3 ค่า คือ ร้อยละ5, ร้อยละ 7.5 และร้อยละ10 ส่วนน้ำใส่เป็นร้อยละ 6.5 ของค่ารวมมวลของดิน, ทราย และปูนซีเมนต์แล้ว ซึ่งจะทำให้มีสัดส่วนในการผลิตอิฐบล็อกประสานเป็น 9 สัดส่วน หลังจากการทดสอบได้สัดส่วนผสมร้อย

ละต่อน้ำหนักที่รับแรงอัดสูงสุดของดิน : ทราย : ปูนซีเมนต์ ดังนี้ อิฐที่ทำจากดินชนิดที่ 1 ได้สัดส่วนเท่ากับ 54.54 : 36.36 : 9.10 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 6.67 เมกะพาสคัล เมื่อพิจารณาสมบัติดินทั้ง 2 ชนิด พบว่า ดินชนิดที่ 1 มีค่าความหนาแน่นมากกว่าดินชนิดที่ 2 สุดท้ายเมื่อนำความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดกับสัดส่วนผสมที่กำหนดทดลองมาคาดคะเน หาสัดส่วนผสมที่ประหยัดที่สุด และผ่าน มอก. 57-2533 (คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก) ปรากฏว่า อิฐบล็อกประสารที่ทำจากดินชนิดที่ 1 และดินชนิดที่ 2 ได้อัตราส่วนผสมร้อยละต่อน้ำหนักของดิน : ทราย : ปูนซีเมนต์ คือ 54 : 36 : 10 และ 43.5 : 43.5 : 13 ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

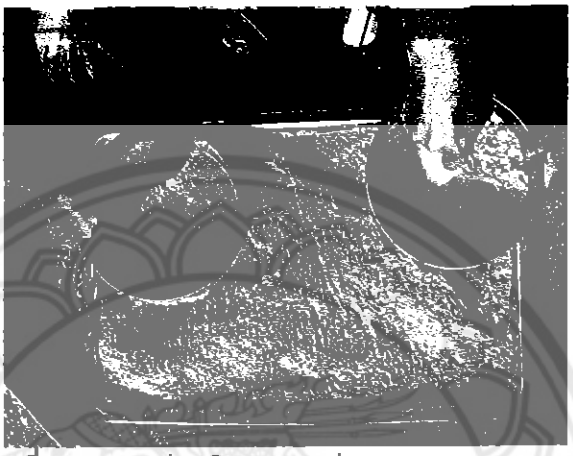


รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 เตรียมวัตถุดิบ

3.1.1 ดินตะกอน

ดินที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นเป็นตะกอนน้ำประปาซึ่งมีความชื้นสูง ในขั้นตอนแรกจึงจำเป็นจะต้องนำดินที่ได้จากโรงงานไปผึ่งแดดให้แห้งสนิทเสียก่อน เมื่อดินตะกอนแห้งดีแล้วจึงนำเอาดินที่ได้มาบดย่อย แล้วร่อนผ่านตะแกรง 50 Mesh



รูปที่ 3.2 การร่อนดินตะกอนผ่านตะแกรง 50 Mesh

3.1.2 ทราย

นำทรายมากำจัดความชื้นก่อนโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาร่อนผ่านตะแกรง 40 Mesh

3.1.3 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1

ที่มา: Crystal Design Center (2547)

3.1.4 น้ำ

เป็นน้ำประปา

3.2 ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน

แบ่งชุดทดสอบเป็น 2 ชุด โดยจะแตกต่างที่ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังนี้

3.2.1 ชุดทดสอบที่ใช้น้ำ 22.5 %ของส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 0 กับทรายร้อยละ 100 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 20 กับทรายร้อยละ 80 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 40 กับทรายร้อยละ 60 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 60 กับทรายร้อยละ 40 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 80 กับทรายร้อยละ 20 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 100 กับทรายร้อยละ 0 และใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

โดยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผสมเท่ากับ 1 : 5

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ใช้น้ำผสมร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ร้อยละน้ำ ของส่วนผสมทั้งหมด
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
1 : 5	0	100	22.5
1 : 5	20	80	22.5
1 : 5	40	60	22.5
1 : 5	60	40	22.5
1 : 5	80	20	22.5
1 : 5	100	0	22.5

หมายเหตุ: เวลาในการบ่มที่ 14 วัน ในอุณหภูมิห้อง

3.2.2 ชุดทดสอบที่ใช้น้ำร้อยละ 25 ของส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 0 กับทรายร้อยละ 100 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 20 กับทรายร้อยละ 80 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 40 กับทรายร้อยละ 60 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 60 กับทรายร้อยละ 40 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 80 กับทรายร้อยละ 20 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง ดินตะกอนร้อยละ 100 กับทรายร้อยละ 0 และใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

โดยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผสมเท่ากับ 1 : 5

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ใช้น้ำผสมร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจากส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ร้อยละน้ำ ของส่วนผสมทั้งหมด
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
1 : 5	0	100	25
1 : 5	20	80	25
1 : 5	40	60	25
1 : 5	60	40	25
1 : 5	80	20	25
1 : 5	100	0	25

หมายเหตุ: เวลาในการบ่มที่ 14 วัน ในอุณหภูมิห้อง

รูปที่ 3.4 การขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์

รูปที่ 3.5 การทำการบ่มอิฐดินซีเมนต์ที่เวลา 14 วัน

3.3 การทดสอบชิ้นงาน

3.3.1 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

อบตัวอย่างให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียสการอบต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นก็นำมาแยกชั่งทีละก้อน การชั่งให้อ่านละเอียดถึงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักของชิ้นทดสอบ น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักที่อิฐที่แห้ง (W_d)

วิธีการทดสอบให้นำดินซีเมนต์อิฐที่แห้ง แช่ลงน้ำกลั่นจนท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยกอิฐออก ใช้ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวทีละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักอิฐที่ดูดซึมน้ำให้คำนวณค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของอิฐที่แห้ง และน้ำหนักของอิฐที่ดูดซึมน้ำเป็นหน่วยกรัม จากสมการที่ 2.1

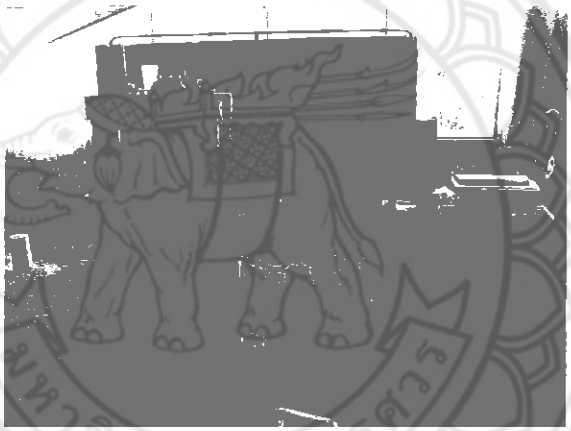
3.3.2 การทดสอบความหนาแน่น

ทำการทดสอบความหนาแน่นโดยการนำตัวอย่างที่บ่มไว้ นำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้หน่วยวัดเป็นกรัม ทำการวัดขนาดตัวอย่าง กว้าง X ยาว X หนา นำค่าที่ได้ไปแทนที่ในสมการเพื่อหาความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ จากสมการที่ 2.2

3.3.3 การทดสอบกำลังการรับแรงอัดของอิฐ

การตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐ เป็นการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของอิฐประการหนึ่งซึ่งวิธีการในการทดสอบสมบัติกำลังรับแรงอัดของอิฐนั้นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2530

หลังจากการเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จแล้ว ปล่อยชิ้นทดสอบให้อยู่ตัวโดยใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบหากำลังรับแรงอัด จากสมการที่ 2.3



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบหากำลังรับแรงอัด

รูปที่ 3.7 การทำทดสอบกำลังการรับแรงอัด

3.4 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม

3.4.1 นำค่าการทดสอบที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ

3.4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์

3.4.3 รวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำรูปเล่ม

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานกับทรายเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

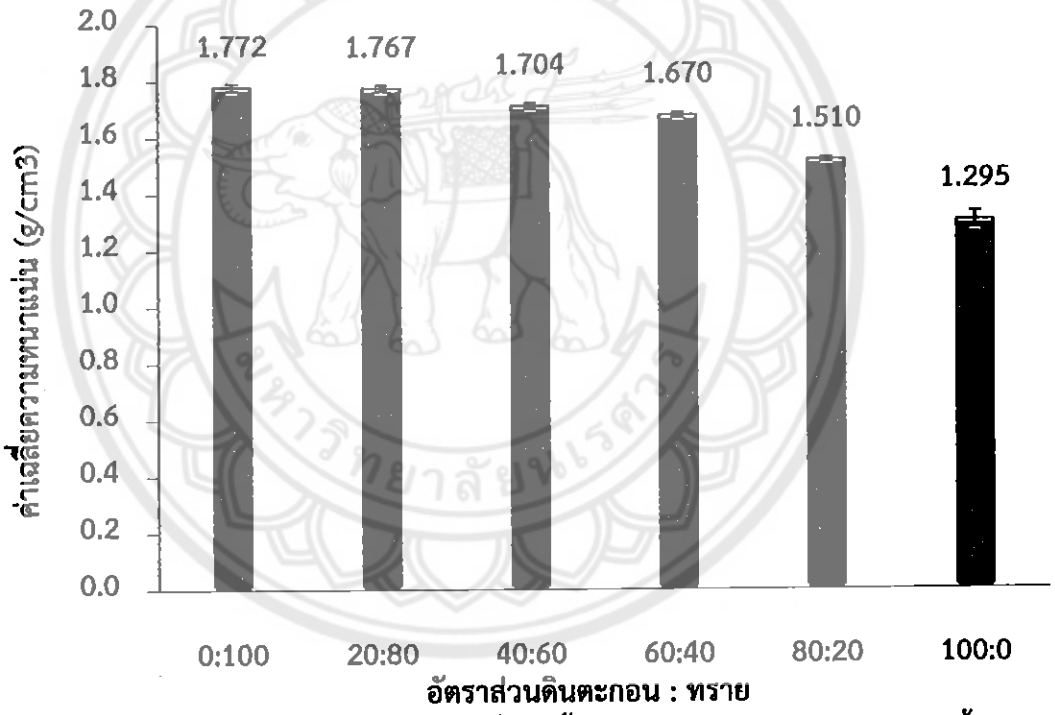
เป็นการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานกับทราย แล้วทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมโดยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผสมเท่ากับ 1 : 5 โดยน้ำหนัก กำหนดให้อัตราส่วนของน้ำคงที่ไว้ที่ร้อยละ 22.5 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นจึงนำมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่น (Density) ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่ากำลังรับแรงอัด โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อก ผนังที่ไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. (58-2530) ได้ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.1.1 การศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายซึ่งมีผลต่อค่าความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น (Density) ของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของน้ำคงที่ไว้ที่ร้อยละ 22.5 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
1 : 5	0	100	1.772
1 : 5	20	80	1.767
1 : 5	40	60	1.704
1 : 5	60	40	1.670
1 : 5	80	20	1.510
1 : 5	100	0	1.295



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.1 เมื่อทำการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสม ซึ่งได้แก่ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณดินตะกอนส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าลดลง เนื่องจากทรายมีความหนาแน่นมากกว่าดินตะกอน ทำให้เมื่อลดปริมาณทรายลงแล้วเพิ่มปริมาณดินตะกอนความหนาแน่นรวมของอิฐดินซีเมนต์ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิงทอง (2551) และชัชพันธ์ (2540) ที่ได้ทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐ

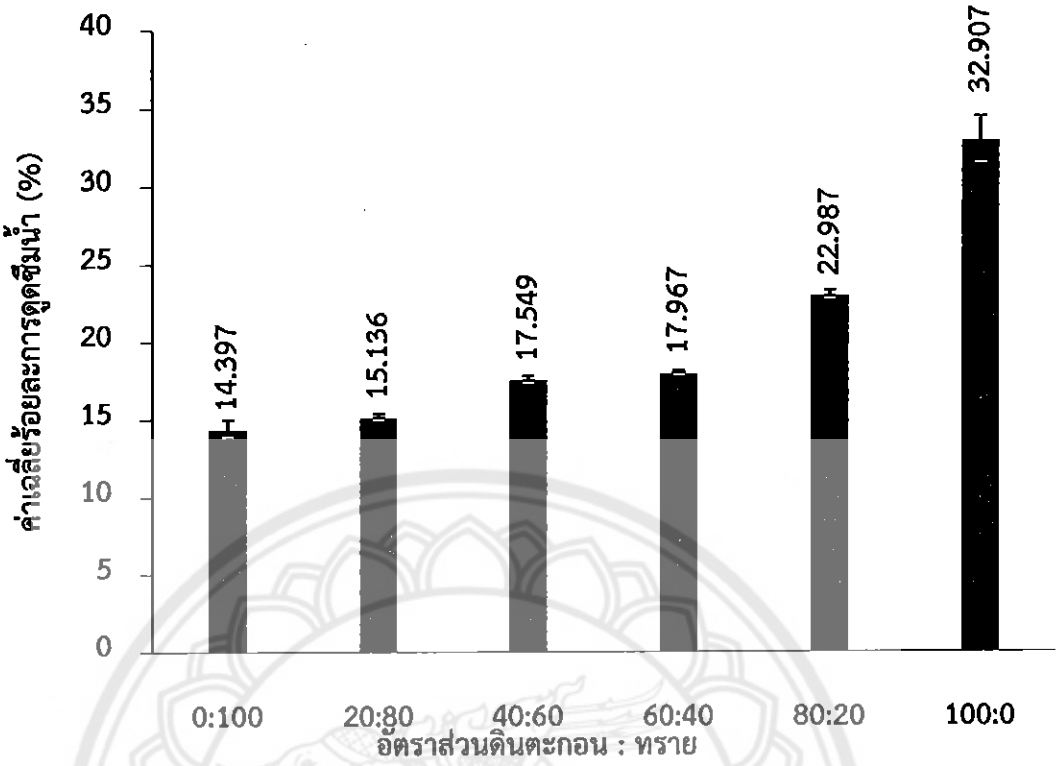
ดินซีเมนต์ที่ทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณดินตะกอนจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง

4.1.2 การศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายซึ่งมีผลต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของน้ำคงที่ไว้ที่ร้อยละ 22.5 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
1 : 5	0	100	14.397
1 : 5	20	80	15.136
1 : 5	40	60	17.549
1 : 5	60	40	17.967
1 : 5	80	20	22.987
1 : 5	100	0	32.907



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.2 เมื่อทำการศึกษาค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสม ซึ่งได้แก่ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณดินตะกอนส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากทรายมีความหนาแน่นสูงจึงทำให้มีการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าดินตะกอน เมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิงทอง (2551) และชัชพันธ์ (2540) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณดินตะกอนในอิฐดินซีเมนต์ที่บ่มไว้เป็นเวลา 14 วัน จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในหัวข้อที่ 4.1.1 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณดินตะกอนส่งผลให้อิฐดินซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ดังนั้นในทางกลับกันการเพิ่มปริมาณดินตะกอนในอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน มีผลให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

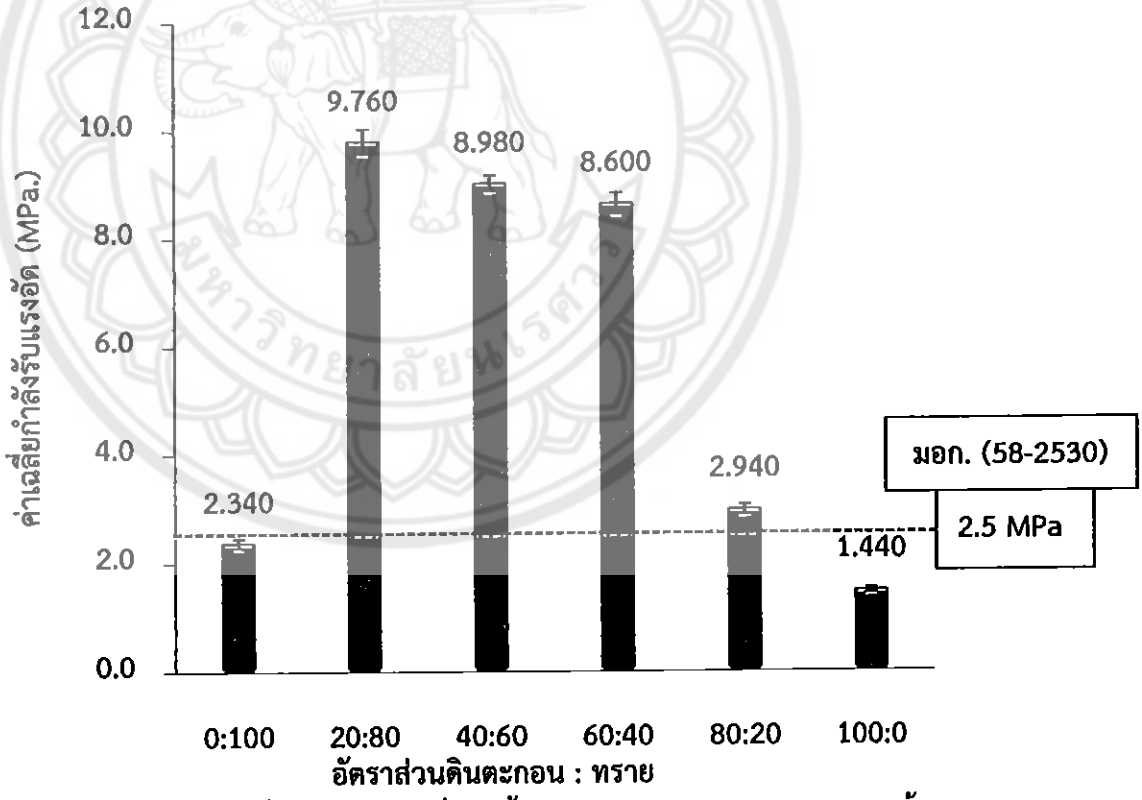
4.1.3 การศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายซึ่งมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60,

60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของน้ำคงที่ไว้ที่ร้อยละ 22.5 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
1 : 5	0	100	2.340
1 : 5	20	80	9.760
1 : 5	40	60	8.980
1 : 5	60	40	8.600
1 : 5	80	20	2.940
1 : 5	100	0	1.440



รูปที่ 4.3 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอิฐดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 ของส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการศึกษาค่าเฉลี่ยกำลังการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสม ซึ่งได้แก่ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 ตามลำดับ พบว่าเมื่อ

เพิ่มปริมาณดินตะกอนส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง เนื่องจากทรายมีความหนาแน่นที่สูงกว่าดินตะกอน ทรายจึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของอิฐดินซีเมนต์ เมื่อลดปริมาณทรายส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง

4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่ออิฐดินซีเมนต์

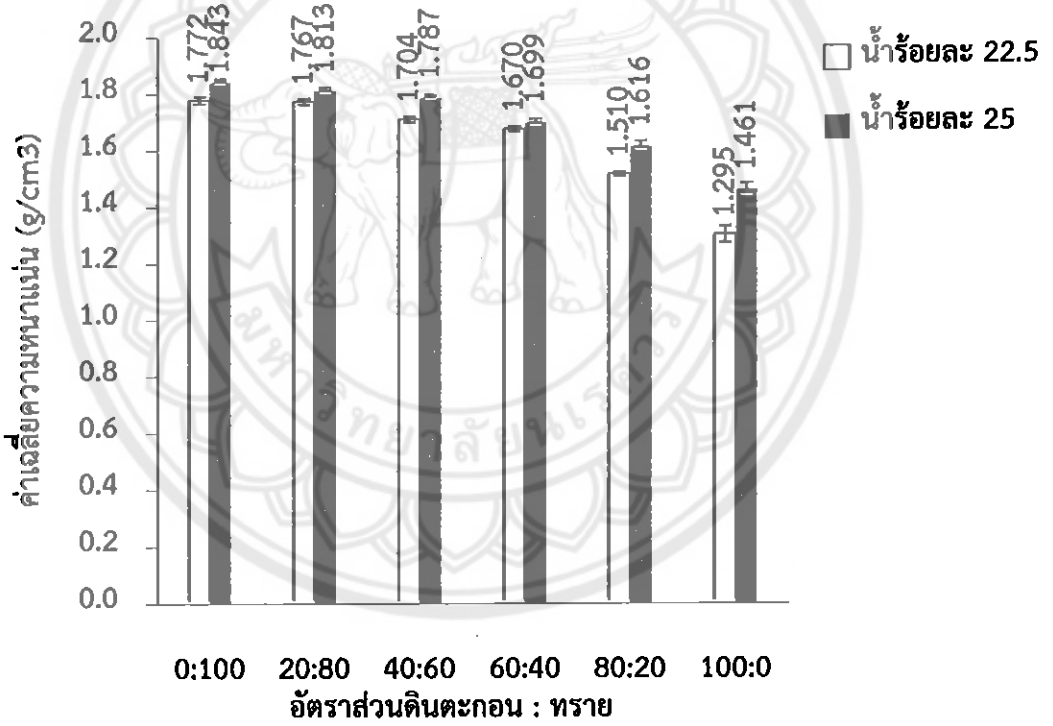
ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผสมเท่ากับ 1 : 5 โดยน้ำหนัก แล้วทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด กำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นจึงนำมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่น (Density) ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่ากำลังรับแรงอัด โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อก ผนังที่ไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. (58-2530) ได้ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.2.1 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น (Density) ระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น (Density) ของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำร้อยละ 22.5 (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำร้อยละ 25 (g/cm^3)
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย		
1 : 5	0	100	1.772	1.843
1 : 5	20	80	1.767	1.813
1 : 5	40	60	1.704	1.787
1 : 5	60	40	1.670	1.699
1 : 5	80	20	1.510	1.616
1 : 5	100	0	1.295	1.461



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 :

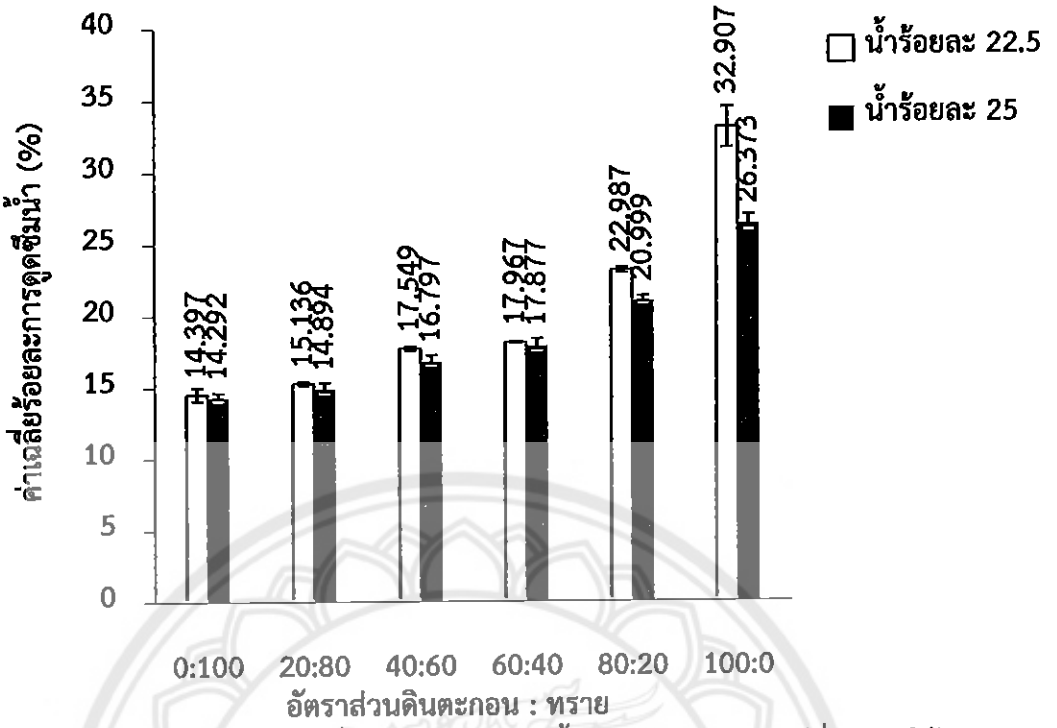
0 ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณของน้ำจากร้อยละ 22.5 ไปเป็นร้อยละ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมดจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ไวขึ้น และเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์กว่า ได้โครงสร้างแบบรูปเข็มสานตัวกันได้หนาแน่นขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิงทอง (2551) และชัชพันธ์ (2540) ที่ได้ทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐดินซีเมนต์ ที่ทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน พบว่าการเพิ่มของปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4.2.2 การเปรียบเทียบร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำ ร้อยละ 22.5	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำ ร้อยละ 25
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย		
1 : 5	0	100	14.397	14.292
1 : 5	20	80	15.136	14.894
1 : 5	40	60	17.549	16.797
1 : 5	60	40	17.967	17.877
1 : 5	80	20	22.987	20.999
1 : 5	100	0	32.907	26.373



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.5 ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณของน้ำจากร้อยละ 22.5 ไปเป็นร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ไวขึ้น และเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์กว่า ได้โครงสร้างแบบรูปเข็มสานตัวกันหนาแน่นขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในหัวข้อที่ 4.2.1 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้อิฐดินซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในทางกลับกันการเพิ่มปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 25 จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำลดลง

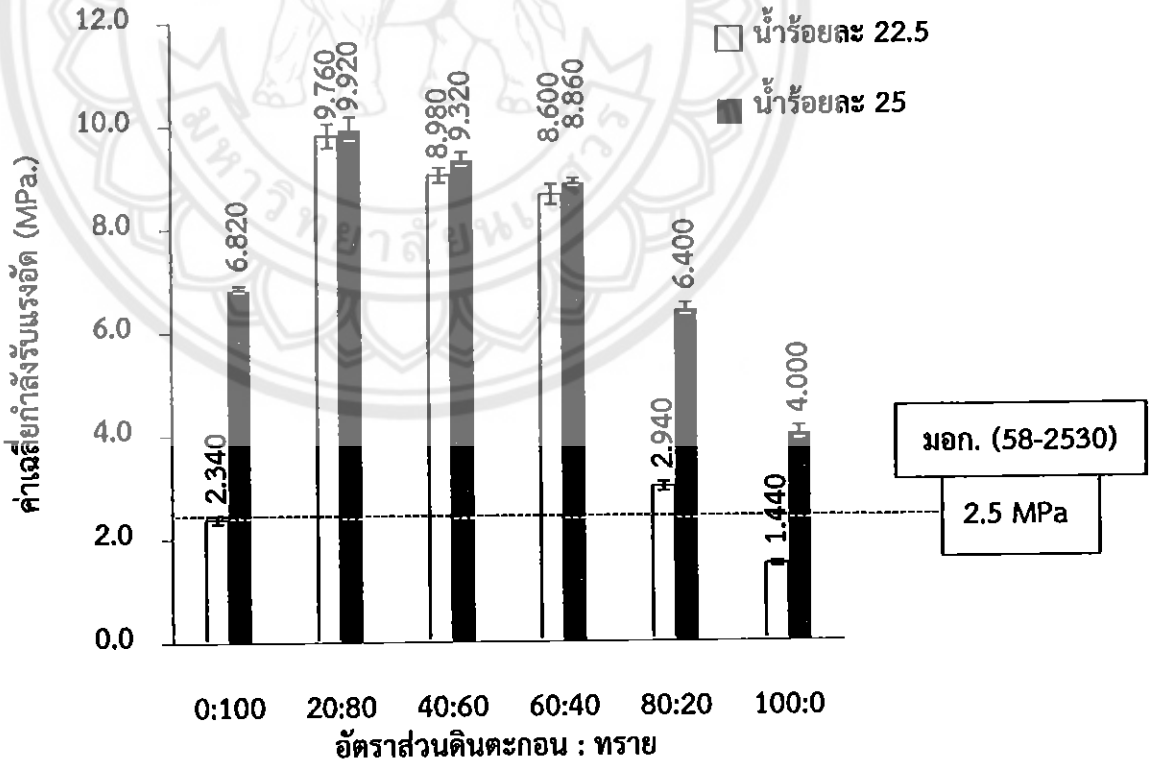
4.2.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังการรับแรงอัดระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ศึกษาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่มีผลต่อค่ากำลังการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์โดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้

ปริมาณอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายที่ในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ แล้วทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

ปูนซีเมนต์ : วัสดุผสม	อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของน้ำร้อยละ 22.5 (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของน้ำร้อยละ 25 (MPa)
	ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย		
1 : 5	0	100	2.340	6.820
1 : 5	20	80	9.760	9.920
1 : 5	40	60	8.980	9.320
1 : 5	60	40	8.600	8.860
1 : 5	80	20	2.940	6.400
1 : 5	100	0	1.440	4.000



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดระหว่างอิฐดินซีเมนต์ที่กำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำเท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.6 เมื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ทำการแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 22.5 และ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราส่วนวัสดุผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทรายในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 20 : 80 และ 100 : 0 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำจากร้อยละ 22.5 ไปเป็นร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ในส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ใช้น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ผ่าน มอก. (58-2530) ทั้งหมด ในขณะที่อิฐดินซีเมนต์ที่ทำการผสมด้วยน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 22.5 โดยน้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด มีเพียงอิฐดินซีเมนต์ที่ใช้ดินตะกอนกับทรายเพื่อเป็นวัสดุในการผสมในอัตราส่วน 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40 และ 80 : 20 เท่านั้นที่ผ่าน มอก. (58-2530) ดังนั้น น้ำจึงมีผลในการช่วยเพิ่มค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ไวขึ้น เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์กว่า และได้โครงสร้างแบบรูปเข็มสานตัวกันหนาแน่นขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างของอิฐดินซีเมนต์สามารถรับกำลังแรงอัดได้มากขึ้น

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับทราย เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยการทำในอัตราส่วนผสม 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด, ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ

5.1.1 ค่าความหนาแน่น

5.1.1.1 เมื่อทำการศึกษาค่าความหนาแน่นโดยทำการแปรค่าปริมาณดินตะกอน พบว่าเมื่อปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าลดลง

5.1.1.2 เมื่อทำการศึกษาค่าความหนาแน่นโดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำร้อยละ 22.5 และ 25 พบว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

5.1.2 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

5.1.2.1 เมื่อทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำโดยทำการแปรค่าปริมาณดินตะกอน พบว่าเมื่อปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.2.2 เมื่อทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำโดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำร้อยละ 22.5 และ 25 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง

5.1.3 ค่ากำลังรับแรงอัด

5.1.3.1 เมื่อทำการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดโดยทำการแปรค่าปริมาณดินตะกอน พบว่าเมื่อปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง

5.1.3.2 เมื่อทำการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดโดยทำการแปรค่าปริมาณน้ำร้อยละ 22.5 และ 25 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 ถ้ามีเครื่องอัดไฮโดรลิกจะช่วยให้ทำการอัดได้รวดเร็วขึ้น

5.2.2 อุปกรณ์ในการทำการวิจัยมีน้อยเกินไป

5.2.3 ควรทำการบ่มที่อายุ 28 วัน จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดคงที่

5.2.4 ที่อัตราส่วนผสมของดินตะกอนต่อทรายเท่ากับ 0 : 100 เกิดผลกระทบจากการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดจึงมีค่าเปลี่ยนไปจากความเป็นจริง

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข

5.3.1 การใช้แบบหล่ออิฐดินซีเมนต์จะเกิดปัญหาการติดแบบไม่สามารถถอดออกจากแบบหล่อได้ ดังนั้น จึงใช้น้ำมันหล่อลื่นทาที่แบบหล่อก่อนนำไปทำการขึ้นรูปชิ้นงาน

5.3.2 การร่อนดินตะก่อนผ่านตะแกรงร่อนจะเกิดการฟุ้งกระจายของดินตะกอน เมื่อหายใจจะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นควรสวมผ้าปิดจมูก และระวังไม่ให้ฝุ่นเข้าตา

เอกสารอ้างอิง

ชัชพันธ์ ชาดี. (2550). วิทยานิพนธ์ปริญญา คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2532). เซรามิก. สำนักพิมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลยุทธ ศุขสมิติ. (2539). ดินขาวและดินเหนียวดำ, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 เชียงใหม่

ภาคภูมิ กลั่นไพรี. (2551). ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา). วิทยานิพนธ์ปริญญา คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วินิต ช่อวิเชียร. (2539). คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิพล ชัยชนะ. (2543). คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏมหาสารคาม

สิงทอง สว่างแสง. (2551). วิทยานิพนธ์ปริญญา คุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2530). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58-2530 ความต้านแรงอัดคอนกรีตที่ไม่รับน้ำหนัก

อิทธิพงศ์ พันธ์นิกุล. (2549). ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาลัยอุบลราชธานี.

Crystal Design Center. ปูนซีเมนต์. (2547). สืบค้นเมื่อ 17 ตุลาคม 2553, จาก http://www.novabizz.com/CDC/materials/101-Cement.htm.

W. Ryan and C. Radford. (2547). Whitewares: Production, Testing and Quality Control, P.1-9 สืบค้นเมื่อ 17 ตุลาคม 2553 จาก http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u21-2.htm.

ภาคผนวก ก

ศึกษาผลกระทบของอิฐก่อสร้างจากดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

สมบัติทางกายภาพ และทางกลของอิฐดินซีเมนต์

ตารางที่ ก.1 ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5

อัตราส่วนวัสดุผสม		W_w (g)	W_d (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย				
0	100	249	217	14.747	1.742
0	100	247	218.5	13.043	1.763
0	100	248.5	215	15.581	1.789
0	100	247.5	218	13.532	1.812
0	100	248	215.5	15.081	1.752
ค่าเฉลี่ย		248	216.8	14.397	1.772
20	80	260.5	226.5	15.011	1.790
20	80	260.5	226.5	15.011	1.751
20	80	258	224	15.179	1.748
20	80	259.5	224.5	15.590	1.749
20	80	258.5	225	14.889	1.795
ค่าเฉลี่ย		259.4	225.3	15.136	1.767
40	60	259.5	221	17.421	1.725
40	60	257.5	220	17.045	1.721
40	60	256.5	218	17.661	1.696
40	60	258.5	219.5	17.768	1.671
40	60	257.5	218.5	17.849	1.705
ค่าเฉลี่ย		257.9	219.4	17.549	1.704
60	40	257	218	17.890	1.690
60	40	253.5	214.5	18.182	1.666
60	40	251	213	17.840	1.677
60	40	255.5	216.5	18.041	1.636
60	40	253.5	215	17.907	1.679
ค่าเฉลี่ย		254.1	215.4	17.967	1.670

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5

อัตราส่วนวัสดุผสม		W_w (g)	W_d (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย				
80	20	236	191.5	23.238	1.505
80	20	237	193.5	22.481	1.527
80	20	236	191	23.560	1.505
80	20	236.5	192.5	22.857	1.489
80	20	237	193	22.798	1.525
ค่าเฉลี่ย		236.5	192.3	22.987	1.510
100	0	212.5	158.5	34.069	1.394
100	0	229.5	179	28.212	1.236
100	0	213.5	160	33.438	1.255
100	0	217.5	159	36.792	1.258
100	0	218.5	165.5	32.024	1.334
ค่าเฉลี่ย		218.3	164.4	32.907	1.295

ตารางที่ ก.2 ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25

อัตราส่วนวัสดุผสม		W_w (g)	W_d (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย				
0	100	258	227	13.656	1.394
0	100	258.5	226.5	14.128	1.236
0	100	260.5	227.5	14.505	1.255
0	100	259.5	226	14.823	1.258
0	100	259	226.5	14.349	1.334
ค่าเฉลี่ย		259.1	226.7	14.292	1.295
20	80	260.5	225.5	15.521	1.852
20	80	260	227	14.537	1.843
20	80	259.5	227.5	14.066	1.839
20	80	259.5	226	14.823	1.854
20	80	260.5	225.5	15.521	1.826
ค่าเฉลี่ย		260	226.3	14.894	1.843
40	60	258	221	16.742	1.796
40	60	256.5	219.5	16.856	1.807
40	60	258	219.5	17.540	1.816
40	60	257.5	220	17.045	1.823
40	60	256.5	221.5	15.801	1.824
ค่าเฉลี่ย		257.3	220.3	16.797	1.813
60	40	264.5	226	17.035	1.795
60	40	259.5	219.5	18.223	1.777
60	40	262.5	224	17.188	1.790
60	40	263.5	221.5	18.962	1.791
60	40	262.5	222.5	17.978	1.784
ค่าเฉลี่ย		262.5	222.7	17.877	1.787

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25

อัตราส่วนวัสดุผสม		W_w (g)	W_d (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย				
80	20	245.5	203.5	20.639	1.580
80	20	250.5	207	21.014	1.622
80	20	251.5	208	20.913	1.639
80	20	249.5	205	21.707	1.606
80	20	250.5	207.5	20.723	1.634
ค่าเฉลี่ย		249.5	206.2	20.999	1.616
100	0	230.5	180	28.056	1.417
100	0	238.5	190	25.526	1.497
100	0	234	185	2.486	1.478
100	0	236.5	187.5	26.133	1.489
100	0	237.5	189	25.661	1.423
ค่าเฉลี่ย		235.4	186.3	26.373	1.461

ตารางที่ ก.3 ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5

อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่ากำลังรับแรงอัด (MPa)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
0	100	2.3
0	100	2.6
0	100	2.1
0	100	2.3
0	100	2.4
ค่าเฉลี่ย		2.340
20	80	9.9
20	80	10.3
20	80	9
20	80	10.1
20	80	9.5
ค่าเฉลี่ย		9.760
40	60	8.5
40	60	9
40	60	8.4
40	60	9.1
40	60	8.9
ค่าเฉลี่ย		8.980
60	40	8.2
60	40	8.3
60	40	9.3
60	40	8.5
60	40	8.7
ค่าเฉลี่ย		8.600

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 22.5

อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่ากำลังรับแรงอัด (MPa)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
80	20	2.7
80	20	3.2
80	20	2.9
80	20	3.1
80	20	2.8
ค่าเฉลี่ย		2.940
100	0	1.5
100	0	1.4
100	0	1.3
100	0	1.4
100	0	1.6
ค่าเฉลี่ย		1.440

ตารางที่ ก.4 ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25

อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่ากำลังรับแรงอัด (MPa)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
0	100	6.9
0	100	6.8
0	100	6.8
0	100	6.7
0	100	6.9
ค่าเฉลี่ย		6.820
20	80	10.7
20	80	9.9
20	80	9.8
20	80	9.7
20	80	9.5
ค่าเฉลี่ย		9.920
40	60	9.5
40	60	9.6
40	60	9
40	60	9.2
40	60	9.3
ค่าเฉลี่ย		9.320
60	40	8.9
60	40	8.7
60	40	8.8
60	40	8.9
60	40	9
ค่าเฉลี่ย		8.860

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้ำเท่ากับร้อยละ 25

อัตราส่วนวัสดุผสม		ค่ากำลังรับแรงอัด (MPa)
ร้อยละดินตะกอน	ร้อยละทราย	
80	20	6.6
80	20	6.6
80	20	6.2
80	20	6.4
80	20	6.2
ค่าเฉลี่ย		6.400
100	0	3.7
100	0	4
100	0	4.3
100	0	4.1
100	0	3.9
ค่าเฉลี่ย		4.000

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายมานิตย์ พูลเขตการ

ภูมิลำเนา 119/10 ถนนศรีน้ำชีม ตำบลอุทัยใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี 61000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพระสุธรรมยานเถรวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: peter-bomber_mniko@hotmail.com

ชื่อ นายรุจิโรจน์ นาคบาตร

ภูมิลำเนา 8/14 หมู่ 1 ตำบลหนองปลิง อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศมัชฌิม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: rujirot@hotmail.com