



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา”

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ

นายอดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พฤษภาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG5050022

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา”

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ

นายอดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอน และศึกษาแนวทางการนำดินตะกอนไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยการทำลือกประสานปูนพื้น เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมให้มีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านวิศวกรรม และการศึกษาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุนกำจัดดินตะกอนด้วยวิธีดังกล่าว และเพื่อเป็นการลดปัญหาการจัดการ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยมีเป้าหมายตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ตามพระราชดำริของ “พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช”

ทางคณะผู้วิจัย จึงร่วมมือกับ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการดำเนินงานวิจัยถึงความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์จากการผสมระหว่างตะกอนดินกับคอนกรีตนี้ และยังเป็นการส่งเสริมนโยบายการนำวัสดุที่ใช้แล้วมาหมุนเวียนใช้ใหม่ด้วย โดยมีเป้าหมายถึงการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากการผสมระหว่างตะกอนดินกับคอนกรีตนี้ และ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตะกอนดินและคอนกรีต รวมไปถึงวิธีการทดสอบสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ภายหลังการผลิตด้วยผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ลือกประสานปูนพื้น ที่แข็งแรง และราคาถูก และยังสามารถลดการกำจัดตะกอนดินให้กับ การประปานครหลวง (กปน.) เพราะสามารถใช้ตะกอนดินที่เป็นวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ สำหรับโครงการวิจัยนี้ งบประมาณในการศึกษารวมทั้งสิ้น 709,500 บาท โดยทางคณะวิจัย ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายในระยะเวลาดำเนินโครงการทั้งสิ้น 15 เดือน

ผลการดำเนินงานของคณะวิจัยในรอบ 15 เดือน ที่ผ่านมาสามารถทำการผลิตวัสดุ บล็อกประสานปูนพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา แบ่งสัดส่วนการผลิตเป็น 3 สูตร คือ

- สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูนพื้น) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 10
- สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูนพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 170 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 15
- สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูนพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 72 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 26

โดยสูตร 1 จะใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูนพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้ ส่วนสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูนพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไป จากผลวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำลือกประสานปูนพื้นได้

แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5)

สัญญาเลขที่ RDG5050022

ชื่อโครงการ “บล็อกระสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา”

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

โทรศัพท์ 0-2913-2500-24 ต่อ 6511

โทรสาร 0-2913-2500-24 ต่อ 6518

E-mail address apw_m@yahoo.com

ความสำคัญ / ความเป็นมา

การผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนจะมีตะกอนประปาค้างจากกระบวนการผลิตวันละประมาณ 300 ตันแห้งในฤดูแล้ง และ 700 ตันแห้งในฤดูฝน ซึ่งดินตะกอนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปา เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบกับสารเคมีที่เติมลงไปในการสร้างตะกอน เช่น สารส้ม ซึ่งระบายออกจากถังตะกอนเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการและการกำจัด ทั้งในด้านพื้นที่ที่ต้องใช้ในการกำจัด เช่น การใช้บ่อกักตะกอน (Sludge lagoon) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากสามารถนำดินตะกอนเหล่านี้กลับไปใช้ประโยชน์ได้ ย่อมเป็นการลดปัญหาของการจัดการตะกอน รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาได้อีกส่วนหนึ่ง

ในปัจจุบัน ได้มีแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาอยู่หลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการปลูกพืช การผลิตเครื่องปั้นดินเผา และอื่นๆ แต่ละแนวทางอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของดินตะกอนที่ไม่เหมาะสม เช่น มีการหดตัวสูงความเหนียวต่ำ กำลังการรับแรงเปลี่ยนแปลงตามความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า การนำดินตะกอนไปใช้ในการปลูกพืชโดยตรงมีปัญหาด้านปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการใช้งานต้องนำไปผสมกับปุ๋ยเพิ่ม ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ในรูปแบบนี้ไม่มีความเหมาะสมมากนัก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอน และศึกษาแนวทางการนำดินตะกอนไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยการทำบล็อกประสานปูพื้น เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมให้มีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านวิศวกรรม และการศึกษาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุนกำจัดดินตะกอนด้วยวิธีดังกล่าว และเพื่อเป็นการลดปัญหาการจัดการ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยมีเป้าหมายตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ตามพระราชดำริของ “พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช”

วัตถุประสงค์โครงการ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปามาเป็นวัสดุผสมในบล็อกประสานปูพื้น
2. เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ตาม มอก. 827-2531
3. เพื่อลดปัญหาการกำจัดตะกอนดินจากน้ำประปา โดยการนำตะกอนดินไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

ผลที่ได้รับ	บรรลุลักษณะประสงค์ข้อที่	โดยทำให้
1 ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ของบล็อกประสานปูพื้น	1.	ได้คุณสมบัติบล็อกประสานปูพื้นที่ดี สามารถใช้งานจริงได้
2. ได้บล็อกประสานปูพื้นที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ มอก. 827 – 2531	2.	ผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้
3. นำตะกอนดินจากน้ำประปาที่เหลือใช้มาเป็นอัตราส่วนของบล็อกประสานปูพื้น	3.	ได้ประโยชน์แก่การลดปัญหาการกำจัดตะกอนดินจากน้ำประปา และสร้างงานในส่วนของผู้ประกอบการก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้เป็นการคิดค้นวัสดุใหม่ในการก่อสร้าง คือ บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา ซึ่งพัฒนาจากวัสดุก่อสร้างชนิดเดิมคือบล็อกประสานปูพื้นทำด้วยคอนกรีต โดยบล็อกประสานปูพื้นที่ได้มีส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ ทราย หินเกล็ด และตะกอนดินจากน้ำประปา บล็อกที่ได้มีคุณสมบัติตาม มอก. 827 – 2531 และการใช้ตะกอนดินเป็นส่วนผสมของบล็อกประสานปูพื้นจะทำให้ลดปัญหาการจัดการและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน

การประชาสัมพันธ์

1. ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในงาน “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 1” ระหว่าง วันที่ 27-29 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัดตรัง
2. ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในงาน “มหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2552” ระหว่าง วันที่ 8 - 23 สิงหาคม 2552 ณ อิมแพค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร

แบบฟอร์มตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล	ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติวัสดุ วิธีการทดสอบ และมาตรฐานอ้างอิง	ได้ข้อมูลของวัสดุทดสอบ วิธีการ ต่างๆ และมาตรฐานที่ใช้ในการ อ้างอิง	-
ออกแบบส่วนผสมและหล่อตัวอย่าง ทดสอบในแบบ 50 x 50 x 50 mm (มอร์ตาร์)	ได้อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์	ใช้อัตราส่วนผสมที่ 1:3:0, 1:2.7:0.3 และ 1:2.4:0.6 โดย น้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1	-
สรุปค่าทดสอบและวิเคราะห์ผล (มอร์ตาร์)	ได้ข้อมูลในการทดสอบต่างๆของ มอร์ตาร์	ทราบข้อมูลของมอร์ตาร์เกี่ยวกับ หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ และ กำลังอัด	-
ทดสอบคุณสมบัติของเครื่องผลิต บล็อกประสานปูพื้น	ได้ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องผลิต บล็อกประสานปูพื้น	ทราบข้อมูลการขึ้นรูปโดยใช้ เครื่องผลิตบล็อกประสานปูพื้น	-
สรุปค่าทดสอบและวิเคราะห์ผล (บล็อกประสานปูพื้น)	ได้ข้อมูลในการทดสอบต่างๆของ บล็อกประสานปูพื้น	ทราบข้อมูลของบล็อกประสานปู พื้นเกี่ยวกับ หน่วยน้ำหนัก การ ดูดซึมน้ำ และกำลังอัด	-
การนำไปใช้งานจริง เผยแพร่ผลงาน และสรุปผลงานวิจัยทั้งหมด	ทดสอบใช้งานจริง เผยแพร่ผลงาน และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์	ใช้บล็อกปูพื้นในงานวิจัย ปูพื้น ทางเท้าด้านหน้า อาคารโยธา 42 ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ และมี การเผยแพร่ผลงานวิจัยในงาน “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม งคลวิชาการ ครั้งที่ 1” ระหว่าง วันที่ 27-29 สิงหาคม 2551 โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัด ตรัง และงาน “มหกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ 2552” ระหว่าง วันที่ 8 - 23 สิงหาคม 2552 ณ อิมแพค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจัดทำ รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์	-

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินมาเป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้น การหาค่ากำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้นที่มีตะกอนดินเป็นส่วนผสม ให้ใช้เกณฑ์กำลังอัดประลัยตาม มอก. 827-2531 [1] ซึ่งมีการทดสอบโดยการนำตะกอนดินมาใช้ผสมบล็อกประสานปูพื้นในปริมาณตะกอนประปา ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักเทียบกับทรายและหินเกร็ด บ่มที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด และค่าการดูดซึมน้ำ

ผลทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมอยู่ที่ ร้อยละ 10 ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวมีการแทนที่ของตะกอนดิน เพียงร้อยละ 10 ซึ่งยังมีค่าน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสัดส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้น แบ่งออกเป็น 3 สูตร คือ

- สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้น) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมอยู่ที่ ร้อยละ 10
- สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 170 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมอยู่ที่ ร้อยละ 15
- สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 72 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมอยู่ที่ ร้อยละ 26

โดยสูตร 1 จะใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้ ส่วนสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไป จากผลวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้

Abstract

Nowadays, there are too many sludges that remain after Water Treatment Plant. It will be better if sludges can be applied. So, there are two main objectives for this research. First, to study the possibility of making the paving blocks mixed with sludge. The another one is to study the compressive strength of the paving blocks mixed with sludge for comparing with Industrial Standard 827-2531 [1]. In this study, the paving blocks were mixed with sludge 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 percentage by weight instead of sand and fine stone. Then they were soaked with water 3, 7, 14 and 28 days. Afterwards, they were determined the compressive strength and water absorption value.

The results showed that the suitable ratio to make the paving blocks mixed with sludge is 10 percentage by weight, w/c (water cement ratio) of 0.6, compressive strength value is 352 kg/cm^2 and water absorption value is 10 percentage.

However, there are too small amounts of sludges that be used. There fore, these paving blocks were tested for benefits. They can be separated into there formulas

- Formula 1 (used for making the paving blocks mixed with sludge standardized by Industrial standard 827-2531) The paving blocks were mixed with 10 percentage of sludge, w/c of 0.6, compressive strength value is 352 kg/cm^2 and water absorption value is 10 percentage.

- Formula 2 (used for making the moderate strength paving blocks mixed with sludge) The paving blocks were mixed with 30 percentage of sludge, w/c of 0.8, compressive strength value is 170 kg/cm^2 and water absorption value is 15 percentage.

- Formula 3 (used for making the low strength paving blocks mixed with sludge) The paving blocks were mixed with 50 percentage of sludge, w/c of 1, compressive strength value is 72 kg/cm^2 and water absorption value is 26 percentage.

Formula 1 can be used for read surface and general footpath. Formula 2 is better than 3 while both of them can be used for the small bearing road surface and general footpath. It can be concluded that sludges can be used as mixtures in paving blocks. This benefit can increase the value of sludges but decrease the block price. Moreover, the sludges can be eradicated, while the blocks can be used in many beneficial works.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้รับความสนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ทดลองงานวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ และได้รับความร่วมมือในการประสานงานวิจัยจากบุคคลหลายท่าน จึงทำให้งานวิจัยนี้ ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนวิจัยในการดำเนินการ แก่ทางคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณวิชากร จามิกร ผู้ดูแลและประสานงานจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งช่วยประสานงานในด้านเนื้อหาของงานวิจัย ให้ถูกต้องตามกฎระเบียบการขอทุน แก่ทางคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณอัจฉรา กลิ่นสุคนธ์ ผู้ดูแลและประสานงานจากการประสานครหลวง (กปน.) ซึ่งช่วยประสานงานในด้านข้อมูลและวัสดุตะกอนดินจากน้ำประปา แก่ทางคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณอุตร หนูแก้ว ผู้ช่วยวิจัยและนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธาและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยทำการทดลองและรวบรวมเนื้อหางานวิจัย แก่ทางคณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้พวกเราได้มีความสำเร็จจนถึงทุกวันนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบุญ คงสมศักดิ์ศิริ

อดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ตะกอนดินจากประปา (Sludge)	3
2.2 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan)	9
2.3 ปูนซีเมนต์ (Cement)	10
2.4 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)	15
2.5 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction)	17
2.6 การผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ	
3.1 การเตรียมการทดลอง	27
3.2 ขั้นตอนการทำการทดสอบ	28
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ผลทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตะกอนดิน ทรายและหินเกล็ด	35
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	35
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ โดยใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา แทนที่ทราย ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	41
4.5 การทดลองใช้งานจริงของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	42
4.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	43
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมอร์ตาร์	47
5.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	47
5.3 ผลวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	48
5.4 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มอก. 827-2531	
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุในงานวิจัย	
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน	
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน	
ภาคผนวก จ ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาแทนที่ทราย ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60	
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้น	
ภาคผนวก ช บทความวิชาการ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ผลวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคตะกอนดินขนาดต่าง ๆ ของตะกอน จากโรงงานผลิตน้ำบางเขน	4
2-2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปา บางเขน	5
2-3 ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพ	7
2-4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดิน	8
2-5 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของตะกอนดิน	9
2-6 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำกับ วัสดุปอชโซลานตามมาตรฐาน ASTM	10
2-7 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำ กับปูนซีเมนต์	12
2-8 ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	12
2-9 ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
2-10 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบหลักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	14
2.11 กำลังการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง	19
2-12 ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปของอะตอม ที่ผสมอยู่ใน ตะกอนเหลว (คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)	21
2-13 แสดงปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542 – 2546	22
3-1 ระยะเวลาคลาดเคลื่อน	30
4-1 เปรียบเทียบราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปากับ บล็อกปูพื้นคอนกรีตทั่วไป (ที่ขนาดเท่ากัน)	46
5-1 เปรียบเทียบราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปากับ บล็อกปูพื้นคอนกรีตทั่วไป (ที่ขนาดเท่ากัน)	49

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3-1 ขั้นตอนงานวิจัย	26
3-2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	27
3-3 ทราาย	27
3-4 หิน	28
3-5 ตะกอนประปา	28
3-6 ตะแกรง	28
3-7 แท่นทดสอบการไหล	29
3-8 แบบหล่อมอร์ต้า	31
3-9 ก้อนมอร์ต้า	31
3-10 เครื่องชั่งละเอียด	31
3-11 ก้อนตัวอย่าง	32
3-15 เครื่องอัดบล็อกคอนกรีต	33
3-16 ทดสอบการกดตัวอย่าง	33
3-17 ตู้อบ	34
4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.4	36
4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.6	36
4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.8	37
4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 1.0	37
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์กับร้อยละการดูดซึมน้ำที่ระยะการบ่ม 28 วัน	38
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน	39
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ตะกอนดินกับกำลังอัดประลัย ที่อายุการบ่ม 28 วัน	41
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ตะกอนดินกับการดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน	41
4-10 การเตรียมพื้นที่ก่อนการปูพื้นด้วย บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	42
4-11 พื้นทางเท้าที่ปูด้วย บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนจะมีตะกอนประปาดกค้างจากกระบวนการผลิตวันละประมาณ 300 ตันแห้งในฤดูแล้ง และ 700 ตันแห้งในฤดูฝน ซึ่งดินตะกอนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปา เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบกับสารเคมีที่เติมลงไปในการสร้างตะกอน เช่น สารส้ม ซึ่งระบายออกจากถังตะกอนเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการจัดการและการกำจัด ทั้งในด้านพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการกำจัด เช่น การใช้บ่อกักตะกอน (Sludge lagoon) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากสามารถนำดินตะกอนเหล่านี้กลับไปใช้ประโยชน์ได้ ย่อมเป็นการลดปัญหาของการจัดการตะกอน รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาได้อีกส่วนหนึ่ง

ในปัจจุบัน ได้มีแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาอยู่หลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการปลูกพืช การผลิตเครื่องปั้นดินเผา และอื่นๆ แต่ละแนวทางอาจประสบปัญหากับคุณสมบัติเฉพาะของดินตะกอนที่ไม่เหมาะสม เช่น มีการหดตัวสูง ความเหนียวต่ำ กำลังการรับแรงเปลี่ยนแปลงตามความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า การนำดินตะกอนไปใช้ในการปลูกพืชโดยตรงมีปัญหาด้านปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการใช้งานต้องนำไปผสมกับปุ๋ยเพิ่ม ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ในรูปแบบนี้ไม่มีความเหมาะสมมากนัก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอน และศึกษาแนวทางการนำดินตะกอนไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยการทำบล็อกประสานปูพื้น เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมให้มีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านวิศวกรรม และการศึกษาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุนกำจัดดินตะกอนด้วยวิธีดังกล่าว และเพื่อเป็นการลดปัญหาการจัดการ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยมีเป้าหมายตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ตามพระราชดำริของ “พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช”

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปามาเป็นวัสดุผสมในบล็อกประสานปูพื้น

1.2.2 เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ตาม มอก. 827-2531 [1]

1.2.3 เพื่อลดปัญหาการกำจัดตะกอนดินจากน้ำประปา โดยการนำตะกอนดินไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทดสอบหาค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ตาม มอก. 827-2531 [1] และเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดไปทำบล็อกประสานปูพื้น

1.3.2 อัตราส่วนในการผลิตของบล็อกประสานปูพื้นโดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1:3 (ปูนซีเมนต์:ทรายและหินเกล็ด) งานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินจากน้ำประปามาแทนที่ทรายและหินเกล็ดโดยจะแทนที่ ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10, และ 20 ตามลำดับ

1.3.3 ในแต่ละอัตราส่วนของมอร์ตาร์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1

1.3.4 ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ใช้อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีตะกอนดินจากประปาผสมอยู่

1.4.2 ทราบถึงมาตรฐานและขั้นตอนในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

1.4.3 สามารถนำตะกอนดินจากน้ำประปาที่เหลือทิ้ง นำกลับมาใช้ใหม่

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 ตะกอนดินจากประปา (Sludge)

ตะกอนดินจากน้ำประปาเป็นตะกอนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปาซึ่งตะกอนดินในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน [2] ตะกอนดินจากน้ำประปาเกิดจากการตกตะกอนของน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสูบน้ำดิบขึ้นมาจากคลองประปาเพื่อเข้าไปสู่ระบบการเติมปูนขาวและคลอรีน จากนั้นน้ำจะไหลไปยังบ่อตกตะกอน โดยการเร่งสารตกตะกอนลงไปในบ่อตกตะกอน จากนั้นน้ำใสก็จะไหลไปยังบ่อเก็บน้ำใส ในขั้นตอนนี้ก็จะทำการเติมปูนขาวและคลอรีนลงไปในถังเก็บน้ำใส จากนั้นก็สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้ โดยน้ำจะถูกส่งไปที่โรงสูบน้ำเพื่อแจกจ่ายไปใช้ในการอุปโภคบริโภคต่อไป แต่สิ่งที่เหลือในการผลิตน้ำประปานี้ก็คือ ตะกอนดินจากน้ำประปา (Sludge) ซึ่งตะกอนดินจากน้ำประปานี้จะตกค้างอยู่ในระบบประมาณวันละ 300 ตันแห้งในฤดูแล้งและ 700 ตันแห้งในฤดูฝน ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก เพราะฉะนั้นทางโรงงานผลิตน้ำประปาจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัดตะกอนนี้ โดยผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของตะกอนดินของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน แสดงตามหัวข้อ 2.1.1 และ 2.1.2

2.1.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาค (Particle size distribution)

เป็นการวิเคราะห์หาการกระจายอนุภาคของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อตรวจสอบลักษณะของเนื้อตะกอนดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.1.2 ผลการวิเคราะห์แร่ส่วนประกอบ

แร่ที่มีองค์ประกอบหลักในตะกอนดินได้แก่

- Quarz
- Feldspar : Microcline
- Mica : Muscovite
- Clay : Kaolinite, Montmorillonite
- อื่นๆ : CaCO_3 , 2FeO , $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ตารางที่ 2-1 ผลวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคตะกอนดินขนาดต่าง ๆ ของตะกอนจาก
โรงงานผลิตน้ำบางเขน

ตัวอย่าง ตะกอน	การกระจายของอนุภาค(ก./กก.)			การกระจายของอนุภาค (ร้อยละ)		
	ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว
บ่อดัก A	31	620	349	3.1	62	34.9
บ่อดัก B	9	663	328	0.9	66.3	32.8
บ่อดัก C	8	681	311	0.8	68.1	31.1
บ่อดัก E	40	572	388	4	57.2	38.8
ลานตาก D	55	587	358	5	58.7	35.8
ลานตาก D	31	487	482	3.1	48.7	48.2
ลานตาก E	21	582	397	2.1	58.2	39.7
ลานตาก E	24	508	468	2.4	50.8	46.8
ตะกอนเหลว	34	745	221	3.4	74.5	22.1
เฉลี่ย	28.1	605	366.9	2.8	60.5	36.7

ผลวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคใช้ตามเกณฑ์กระทรวงเกษตรสหรัฐ (USDA)

ทราย (SAND) ขนาด > 0.05 มิลลิเมตร

ทรายแป้ง (SILT) ขนาด $0.05-0.002$ มิลลิเมตร

ดินเหนียว (CLAY) ขนาด < 0.002 มิลลิเมตร

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

2.1.3 คุณสมบัติของตะกอนดินจากน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน

เพิ่มพล [3] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตะกอนดินที่ได้จากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.3.1 คุณสมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์คุณสมบัติเคมีของตะกอนดินโดยใช้เครื่อง X – ray Diffraction (แสดงตามตารางที่ 2-2) พบว่า องค์ประกอบของธาตุหลักมี 8 ธาตุที่พบมากตามลำดับดังนี้ ซิลิคอน (Si), อะลูมิเนียม (Al), เหล็ก (Fe), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), โซเดียม (Na), ไททาเนียม (Ti) และแมงกานีส (Mn) นอกจากนี้การศึกษาถึงธาตุหลักที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ พบว่า ปริมาณของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) รวมกับ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่ง

เป็นสารที่จำเป็นสำหรับวัสดุปอซโซลาน มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 93.76 ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐาน ASTM C618 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{ร้อยละ } 70$) ส่วน โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) มีปริมาณ ร้อยละ 1 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ($\text{Na}_2\text{O} < \text{ร้อยละ } 1.5$) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาบางเขนมาพัฒนาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีตได้

ตารางที่ 2-2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน

ธาตุที่ตรวจพบ	ร้อยละของธาตุที่พบ โดยน้ำหนัก	สารประกอบ ออกซิเจนของธาตุ	ร้อยละของสารประกอบ ออกซิเจนโดยน้ำหนัก
Si	55.92	SiO_2	63.38
Al	20.02	Al_2O_3	23.66
Fe	12.77	Fe_2O_3	6.72
K	4.04	K_2O	2.35
Ca	3.25	CaO	1.88
Na	2.12	Na_2O	1.00
Ti	1.29	TiO_2	0.90
Mn	0.17	MnO_2	0.11

ที่มา : เพิ่มพล [3]

สำหรับการนำตะกอนดินไปใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาหรืองานเซรามิกนั้น ปริมาณไฮดรอกไซด์ที่มีค่าสูงร้อยละ 6.72 จึงทำให้ปรากฏสีแดงเข้มเมื่อผ่านการเผา จึงเหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นอิฐมอญ อิฐโปร่ง ท่อระบายน้ำ กระเบื้องมุงหลังคา หรืองานอิฐเทนแวร์ (Earthen ware) แต่ในทางตรงกันข้าม ปริมาณของเหล็ก แมงกานีส และไททาเนียมที่มีอยู่ในตะกอนดินทำให้ความบริสุทธิ์ของเนื้อดินลดลงและให้สีหลังเผาที่ไม่ดี จึงเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้ในงานประเภทสโตนแวร์ (Stone ware) หรือ ปอซเลน (Porcelain) อย่างไรก็ตามปริมาณซิลิกาและอะลูมินา ที่สูงกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ทำให้ดินมีความทนไฟ ในขณะที่เดียวกันปริมาณสารมลทิน (Impurities) ที่เจือปนในตะกอนดิน ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม มีปริมาณไม่สูงมากนัก ที่จะทำให้ความต้านทานแรงดึงและความทนไฟของดินลดน้อยลง โดยภาพรวมจึงสรุปได้ว่าตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีศักยภาพทางเคมีสูงต่อการนำมาผลิตเป็นอิฐเทนแวร์ (Earthen

ware) หรืออิฐทนไฟ โดยมีปริมาณสารที่จะทำให้ความต้านทานแรงดึงและความทนไฟลดลงในปริมาณที่ต่ำ

2.1.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลทดสอบทางกายภาพของตะกอนดินทั้ง 3 ตัวอย่าง จากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ในตารางที่ 2-3 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองจากทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.67 – 2.68 ซึ่งสามารถประเมินชนิดของดินโดยประมาณอย่างหยาบ ได้ว่าเป็นตะกอนดินทราย (Silty Sand) ที่มีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.67 – 2.70 นอกจากนั้นผลการทดลองในตารางที่ 2-3 สามารถสรุปได้ว่า

1. ตะกอนดินมีขนาดเม็ดละเอียดปริมาณสูงมาก โดยผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า ร้อยละ 90 พบอินทรีย์วัตถุเพียงเล็กน้อย และไม่มีการเน่าเปื่อยของอินทรีย์วัตถุ
2. ตะกอนดินมีค่าความเหนียวสูง จากค่า Liquid Limit ที่มากกว่า ร้อยละ 50 จึงน่าจะสมารถนำไปปั้นขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี
3. ปริมาณสารอินทรีย์ที่หาได้โดยการเผาด้วยถ้วยระเหยที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ของตะกอนดินทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 11.54 – 11.76 ซึ่งปริมาณดังกล่าวช่วยให้ดินมีความเหนียวเพียงพอที่จะปั้นขึ้นรูปได้
4. เมื่อจำแนกดินตามระบบ Unified โดยใช้ค่า Liquid Limit และค่า Plasticity Index สามารถระบุได้ว่าเป็นกลุ่มดิน MH คือ เป็นตะกอนทรายอนินทรีย์ ทรายละเอียด หรือตะกอนทรายปนไมก้า หรือดินเบา ตะกอนทรายที่ยืดหยุ่น
5. กลุ่มดิน MH ตามระบบ Unified สามารถเทียบกับกลุ่มดิน A-5 และ A-7-5 ของการจัดกลุ่มดินตามระบบ AASHTO ซึ่งเมื่อพิจารณาตะกอนดินมาใช้เป็นดินคันทาง พบว่าการนำมาใช้เป็นดินคันทางมีความเหมาะสมในระดับไม่ถึงถึงพอใช้

จากการวิเคราะห์ประเภทของดินตามระบบ Unified สามารถประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนทางวิศวกรรมปฐพี ได้ว่า ไม่มีความเหมาะสมทางวิศวกรรมปฐพี ขนาดใหญ่ ควรหลีกเลี่ยงการนำดินไปใช้ในงานคันทาง งานสนามบิน งานฐานราก หรืองานแถมเขื่อน อย่างไรก็ตามกลุ่มดินเหนียวปนทรายแบบนี้จะแข็งถึงแข็งมากเมื่อแห้ง และจะแน่นมากเมื่ออยู่ในสภาพชื้น จึงสามารถนำไปถมที่หรือปรับพื้นที่เพื่อรับน้ำหนักต่ำๆ ได้

เนื่องจากการนำตะกอนดินไปใช้งานทางวิศวกรรมปฐพีไม่มีความเหมาะสมมากนัก ดังนั้นการนำตะกอนดินไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงน่าจะเป็นอีกแนวทาง

หนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง เช่น การนำไปผลิตอิฐมอยู เนื่องจาก ดินดังกล่าวมีความเหนียวสูงจึงสามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี และง่ายต่อการเข้าแบบ ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญในการผลิตอิฐมอยู

ตารางที่ 2-3 ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพ

ชนิดของการทดสอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	7.06	7.04	7.11
ความถ่วงจำเพาะ	2.67	2.67	2.68
Sand (ร้อยละ)	ND	ND	42
Silt (ร้อยละ)	ND	ND	17
Clay (ร้อยละ)	ND	ND	41
Organic matter (ร้อยละ)	11.76	11.63	11.54
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก # 60	99.94	99.91	99.85
# 100	99.86	99.81	99.79
# 200	99.74	99.74	99.68
Liquid Limit (L.L.)	70.69	67.67	70.12
Plastic Limit (P.L.)	41.56	41.72	41.50
Plasticity Index (P.I.)	29.13	25.95	28.62
ประเภทดินตามระบบ Unified	MH	MH	MH
Maximum dry density (กรัม/ซม. ³)	1.32	1.31	1.31
Optimum water content (ร้อยละ)	28.67	29.50	27.50

หมายเหตุ : MH = ดินประเภทตะกอนทรายอนินทรีย์ ทรายละเอียด หรือตะกอนทรายปนไมก้า หรือดินเบา ตะกอนทรายที่ยึดหยุ่น

ND = Not Determined

ที่มา : เพิ่มพล [3]

2.1.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาชนบุรี โรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์และโรงผลิตน้ำประปาบางเขน

ดวงกมล [4] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตะกอนดินที่ได้จากโรงผลิตน้ำประปาชนบุรี โรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์และโรงผลิตน้ำประปาบางเขน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.4.1 คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตะกอนดินจากน้ำประปาจากแหล่งผลิตทั้ง 3 แห่ง แสดงตามตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดิน

ต.ย.	ผลการทดสอบ (ร้อยละ)									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
A 1	47.77	0.74	28.94	6.11	0.52	1.23	0.19	0.14	0.12	0.06
A 2	41.78	0.76	37.45	7.38	1.16	4.06	0.14	1.34	-	-
A 3	52.62	0.81	24.40	5.90	0.79	0.44	0.24	1.61	-	0.10

หมายเหตุ: A 1 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาธนบุรี (2/3/2545)

A 2 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ (14/11/2544)

A 3 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาบางเขน (4/11/2546)

ที่มา : ดวงกมล [4]

จากตารางที่ 2-4 พบว่าตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาในแต่ละแหล่งผลิตจะมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อยตามกระบวนการผลิตที่ต่างกัน โดยพบว่า SiO₂ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 40 – 50 , Fe₂O₃ ร้อยละ 5 – 7 เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินเหนียวที่สามารถนำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้

2.1.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของตะกอนดินจากน้ำประปาจากแหล่งผลิตทั้ง 3 แห่ง แสดงตามตารางที่ 2-5

จากตารางที่ 2-5 การศึกษาคุณสมบัติในด้านอื่นๆ เช่น ค่าดัชนีพลาสติก ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าขีดจำกัดการหดตัวของดิน พบว่าค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้กับงานอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ เช่น การนำไปถม หรือการนำไปผลิตอิฐมอดู

ตารางที่ 2-5 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของตะกอนดิน

รายงานผลการทดสอบ	ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity , Gs)	2.65
ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว (Liquid Limit , LL) (ร้อยละ)	77.96
ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit , PL) (ร้อยละ)	50.76
ค่าขีดจำกัดการหดตัวของดิน (Shrinkage Limit , SL) (ร้อยละ)	11.15
ค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index , PI) (ร้อยละ)	27.20
ประเภทของตะกอนดินตามวิธีของ AASHTO	A – 7 – 5 (20)
ประเภทของตะกอนดินตามวิธีของ USC	MH
การกระจายตัวของเม็ดดิน(ร้อยละ)	
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	100
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 10	99.06
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	97.08
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 100	92.13
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	88.26
ความชื้นที่เหมาะสมของตะกอนดิน (Optimum Moisture Content) (ร้อยละ)	28.5

ที่มา : ดวงกมล [4]

2.2 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan)

ในการผลิตปูนซีเมนต์ จำเป็นต้องใช้พลังงานในการเผาและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตลงบางส่วน และสามารถปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน วัสดุที่นำมาใช้แทนและปรับปรุงคุณภาพคอนกรีต เรียกว่า วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) [2]

วัสดุปอซโซลาน หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือมีทั้งซิลิกอนไดออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เมื่อแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งเป็นออกไซด์หลักในปูนซีเมนต์ ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่ง Ca(OH)_2 จะทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic reaction) กับ SiO_2 และ Al_2O_3 เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน แต่จะให้กำลังอัดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ คือวัสดุปอซโซลานจะให้กำลังเต็มที่ ๆ ระยะเวลาการ

บ่ม 3 เดือนซึ่งเมื่อเทียบกับซีเมนต์แล้วใช้เวลา 28 วัน และมีคุณสมบัติทางกายภาพคือมีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ซึ่งละเอียดเหมือนปูนซีเมนต์มาก

วัสดุปอซโซลานแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ เถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ash)
2. ชนิดดัดแปลง ซึ่งได้จากการเผาไหม้ถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา เถ้าจากเตาเผาขยะ เถ้าสัจจจากโรงบำบัดน้ำเสีย เถ้าแกลบ และเถ้าหินบดละเอียด

แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าตะกอนกับวัสดุปอซโซลานตามตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำกับวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (ร้อยละ)	ตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำ		ชนิดตาม ASTM C 618		
	บางเขน	มหาสวัสดิ์	N	F	C
ปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ น้อยที่สุด	90.36	86.61	70	70	50
SO_3 มากที่สุด	0.19	0.63	4	5	5
MgO มากที่สุด	1.27	1.16	5	5	5
Na_2O มากที่สุด	0.69	0.51	1.5	1.5	1.5
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มากที่สุด	3.04	6.32	10	12	6
ปริมาณความชื้นมากที่สุด	0.78	1.47	3	3	3

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

2.3 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ [5] ในที่นี้ หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Portland Cement) ปูนซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นเม็ดที่เกิดจากส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆในเตาเผาจนรวมตัวกันพอดี วัตถุดิบในการเผานี้ ได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และ เหล็ก (Fe_2O_3) ซึ่งวัตถุดิบที่ให้สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ได้แก่ หินปูน (Lime Stone) ดินสอพอง (Shalk) และปูนขาว (Marl) ส่วนวัตถุดิบที่ให้สารออกไซด์ของธาตุ ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ได้แก่ หินเชลหรือดินดาน (Shale) ดินดำหรือดินเหนียว (Clay) หินชนวน (Slate) และแร่เหล็ก (Iron Ore) ซึ่งสารทั้งหมดนี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกัน

เป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของเม็ดที่ละเอียดมาก ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเป็น 4 ขั้นตอนได้ดังนี้ คือ

1. น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกขับออกมาจากหินปูนและดินสอพอง เหลือไว้เพียงแคลเซียม
3. เกิดการหลอมตัวกันของออกไซด์ระหว่าง แคลเซียมจากหินปูน และ ดินสอพอง ซิลิกา อลูมินา จากดินคำหรือดินเหนียวและดินดาน และออกไซด์ของเหล็กต่างๆ และตามด้วย ขบวนการตกผลึก
4. เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่าง ๆ และตามด้วยขบวนการตกผลึกเมื่อ ทำให้เย็นตัวลง

โดยสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ ส่วนสารประกอบรอง ได้แก่ ยิปซัม (แคลเซียมซัลเฟต) แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และอัลคาไลต์ออกไซด์ ซึ่งเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถาตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำกับปูนซีเมนต์ ดังตารางที่ 2-7

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้ประกอบด้วยออกไซด์ 2 ประเภท คือออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , และ Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และ SO_3 ซึ่งปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงตามตารางที่ 2-8

ออกไซด์หลักจะรวมตัวกันในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 5 ชนิด แสดงตามตารางที่ 2-9

สามารถคำนวณหาร้อยละของสารประกอบหลักทั้ง 4 ในปูนซีเมนต์ได้โดยประมาณจากผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ชนิดต่าง ๆ และอัตราส่วนการรวมตัวทางเคมีของสารประกอบนั้น ๆ โดยการใช้สูตรการคำนวณของ Bogue ดังนี้

$$\text{C}_3\text{S} = 4.07(\text{CaO}) - 7.60(\text{SiO}_2) - 6.72(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.43(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2.85(\text{SO}_3) \quad (2.1)$$

$$\text{C}_2\text{S} = 2.87(\text{SiO}_2) - 0.754(\text{C}_3\text{S}) \quad (2.2)$$

$$\text{C}_2\text{A} = 2.65(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69(\text{Fe}_2\text{O}_3) \quad (2.3)$$

$$\text{C}_4\text{AF} = 3.04(\text{Fe}_2\text{O}_3) \quad (2.4)$$

ตัวเลขที่ต้องแทนค่าภายในวงเล็บคือร้อยละของออกไซด์ในเนื้อของซีเมนต์ทั้งหมดและปริมาณ CaO ในสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณต้องเป็น CaO ที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น

ตารางที่ 2-7 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำกับปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำ		ปูนซีเมนต์
	บางเขน	มหาสวัสดิ์	
ซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)	57	41.78	20.84
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	24.8	37.48	5.22
เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)	8.55	7.38	3.2
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	2.01	4.16	66.28
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.27	1.16	1.24
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1.94	1.34	0.22
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.07	0.14	0.1
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	0.19	0.63	2.41
ไททานเนียมออกไซด์ (TiO_2)	0.83	0.76	0.25

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

ตารางที่ 2-8 ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์หลัก	ร้อยละโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)	ออกไซด์รอง	ร้อยละโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)
CaO	60-67	MgO	0.1-5.5
SiO_2	17-25	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	0.5-1.3
Al_2O_3	3-8	TiO_2	0.1-0.4
Fe_2O_3	0.5-0.6	P_2O_3	0.1-0.2
		SO_3	1-3

ที่มา : ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร [5]

ตารางที่ 2-9 ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบทางเคมี	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ	น้ำหนัก (ร้อยละ)
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	3 CaO SiO_2	C_3S	35-55
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	2 CaO SiO_2	C_2S	15-35
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminat)	$3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7-15
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5-10

ที่มา : ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร [5]

2.3.1 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.3.1.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S จะถูกกระทบโดยปริมาณยิบซัม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีปริมาณร้อยละ 35-55

2.3.1.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม มีคุณสมบัติเกาะ เมื่อผสมน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวนานจะได้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีปริมาณร้อยละ 15.35

2.3.1.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมากประมาณ 800 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซัมลงระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดที่จะได้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมี C_3A ปริมาณร้อยละ 7-15

2.3.1.4 เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

C_4AF จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมาก และก่อตัวภายในเวลาไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิด 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF มีค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF ปริมาณร้อยละ 5-10

คุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด สรุปได้ตามตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบหลักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันที	เร็วมาก (นาที)
การพัฒนา กำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังอัดประลัย	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง (500 จูลต่อกรัม)	น้อย (250 จูลต่อกรัม)	สูงมาก (850 จูลต่อกรัม)	ปานกลาง (420 จูลต่อกรัม)
คุณสมบัติอื่นๆ	คุณสมบัติเหมือนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ที่มา : ชัชวาลย์ เสรฐบุญตร [5]

2.3.2 สารประกอบรองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.3.2.1 ยิบซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

ยิบซัมถูกใส่เข้าไประหว่างบดปูนเม็ดเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปริมาณยิบซัมที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เกิดกำลังอัดสูงสุดและเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิบซัมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

1. อัลคาไลน์ออกไซด์ อันได้แก่ Na_2O และ K_2O
2. ปริมาณ C_3A
3. ความละเอียดของปูนซีเมนต์

2.3.2.2 Free Lime (CaO)

Free Lime เกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไป ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้กับ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้หมด ปริมาณ Lime มีไม่มากแต่ทำปฏิกิริยากับ Oxide ต่าง ๆ ไม่สมบูรณ์ โดย Free Lime นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นซีเมนต์แข็งตัวลงซึ่งอาจก่อให้เกิดคอนกรีตการแตกร้าวได้ หรือที่เรียกว่าคอนกรีตไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime

2.3.2.3 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะมี MgCO_3 ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมปูนเม็ด ที่เหลือจะอยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่น จะเหมือนกับ CaO คือ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการไม่อยู่ตัว การขยายตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์
2. ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมาก ๆ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่นได้เร็ว โดยจะไม่เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

2.3.2.4 อัลคาไลน์ออกไซด์ ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)

อัลคาไลน์ออกไซด์ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสียในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำให้ปฏิกิริยาและอัลคาไลน์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันคอนกรีตให้แตกร้าวเสียหาย ขาดต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ ควรเลือกปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ

2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่น (Hydration)

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

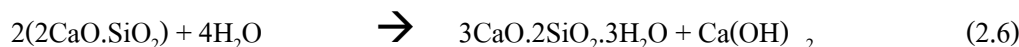
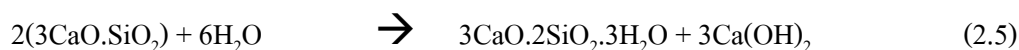
1. อาศัยสารละลาย ปูนซีเมนต์จะละลายกับน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า Solid State Reaction

ปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่นของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะโดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่นของสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท

2.4.1 ปฏิกิริยาไฮโดรเรชั่นของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S)

แคลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน มีสมการการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างมากคือมีค่า pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดี

2.4.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนียม (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ



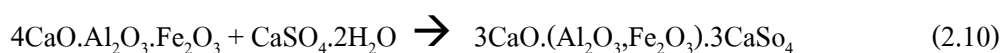
เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ



ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากการเพิ่มปริมาตรของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite และ Monosulphate

2.4.3 ปฏิกิริยาไฮดรชันของเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C₄AF)

ปฏิกิริยาไฮดรชัน C₄AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C₄AF จะทำปฏิกิริยากับฮิปซัมและ Ca(OH)₂ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนของแข็ง Sulphoaluminate และ Sulphoferric ดังสมการ

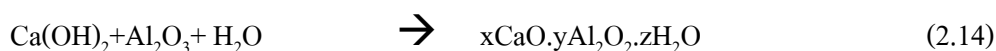


2.5 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

ในกระบวนการไฮดรชันของปูนซีเมนต์ เมื่อไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO.SiO₂) และไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO.SiO₂) รวมกับน้ำจะได้สารประกอบ 2 ชนิด คือ Calcium silicate Hydrate หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า CSH และ Free Limes หรือ Calcium Hydroxide, Ca(OH)₂ ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12



CSH ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกัน ส่วน Ca(OH)₂ ที่เกิดขึ้นก่อประโยชน์น้อยมาก (เนื่องจากมีค่าความเป็นด่างสูง ทำให้การกัดกร่อนของเหล็กในคอนกรีตช้าลง, ถ้าคอนกรีตมีค่าความเป็นด่างต่ำจะเกิดการกัดกร่อนในเหล็กเร็วขึ้น) ในบางครั้งยังก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตอีกด้วย เช่น ก่อให้เกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าคอนกรีต หรือเกิดเป็นฟิล์มบนผิวมวลรวมทำให้การจับยึดระหว่างมวลรวมและมอร์ตาร์ไม่ดีนัก แต่ถ้าใส่เถ้าถ่านหินซึ่งมีส่วนผสมของ SiO₂ จำนวนมาก SiO₂ ตะกอนดินจากน้ำประปาจะทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)₂ และก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และปฏิกิริยาระหว่าง Ca(OH)₂ กับ Al₂O₃ จะเกิดแคลเซียมอลูมินไฮเดรต ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14 ซึ่ง CSH ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านกำลังอัด ความทนทานและการต้านการซึมผ่านของน้ำ



โดยค่า e, f, h, x, y และ z เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซิลิเกต และแคลเซียมซิลิเกตอลูมินไฮเดรต ซึ่งสารประกอบทั้งสองมีคุณสมบัติในการยึดประสาน อันจะทำให้

ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการยึดประสานดีขึ้น และความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตจะดีขึ้นตาม โดยปกติแล้วปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และจะเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ เป็นเวลานาน

2.6 การผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง [2]

2.6.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป

2.6.1.1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

โดยขณะที่น้ำดิบจะสัมผัสกับอากาศ และแสงแดด จะก่อให้เกิดการตกตะกอนตามธรรมชาติ ได้มีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำเช่น เศษไม้ สาหร่ายหรือพืชน้ำ ถูพลาสติก โดยใช้ตระแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด

2.6.1.2 การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมี

โดยจะเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสมลงไปเพื่อลดกลิ่นน้ำดิบโดยอัตราส่วนการเติมสารเคมีจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล

2.6.1.3 การตกตะกอน

การตกตะกอน เมื่อน้ำดิบไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัส และทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำ แล้วจับเป็นก้อนเล็ก ๆ และค่อย ๆ มีขนาดโตขึ้นตะกอนหนักจะตกลงสู่พื้นล่างของถังเหลือแต่น้ำใสไปยังบ่อกรองน้ำ

2.6.1.4 การกรอง

น้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนแล้วไหลไปยังบ่อกรองน้ำซึ่งประกอบด้วย ผงถ่านแอนไซต์และทรายละเอียด ซึ่งเป็นการกรองเพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นน้ำจะถูกกรองอีกครั้งโดยหินหยาบ

2.6.1.5 การฆ่าเชื้อโรค

โดยการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด และจะทำลายสารอินทรีย์ กลิ่น สี และสารประกอบพวกเหล็กได้

2.6.1.6 การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

หลังจากฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาวลงไปอีกในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกลางเล็กน้อย

2.6.1.7 การสูบน้ำประปา

น้ำประปาที่ผลิตได้มาตรฐานแล้วจะถูกสูบน้ำเข้าเส้นประธานและเส้นท่อจ่ายน้ำเพื่อทำการจ่ายน้ำให้ประชาชนที่อยู่ตามชุมชนต่าง ๆ ต่อไป

2.6.2 กำลังการผลิตน้ำประปา

ในปัจจุบันการประปานครหลวงมีโรงผลิตน้ำประปาที่อยู่ในความรับผิดชอบอยู่ 4 แห่งคือ โรงผลิตน้ำประปาสามเสน โรงผลิตน้ำประปาบางเขน โรงผลิตน้ำประปาธนบุรี และโรงผลิตน้ำประปamahavithadi โดยในปัจจุบันการประปานครหลวงมีกำลังการผลิตน้ำประปาแสดงตามตารางที่ 2.11

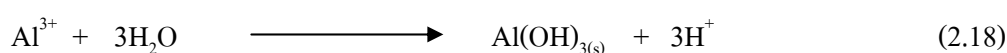
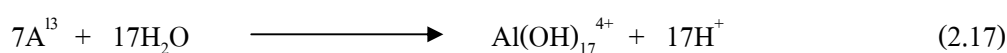
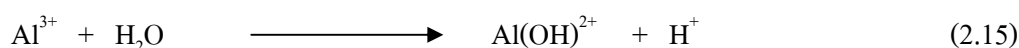
ตารางที่ 2.11 กำลังการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง

แหล่งผลิต	ปริมาณการผลิต (ลบ.ม. / วัน)
โรงผลิตน้ำประปาบางเขน	2,850,000
โรงผลิตน้ำประปาสามเสน	455,000
โรงผลิตน้ำประปาธนบุรี	140,000
โรงผลิตน้ำประปamahavithadi	450,000

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

ในการทำน้ำดิบให้กลายเป็นน้ำใสต้องมีการเติมสารที่ทำให้ตกตะกอน โดยสารที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสารส้มเนื่องจากมีประจุบวกมาก และมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่นโดยอาจใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) แทนสารส้มหรือเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) แทนสารส้มได้

เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ (Hydrolysis) โดยมีปฏิกิริยาทางเคมีดังสมการที่ 2.15 2.16 2.17 และ 2.18



2.6.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน

2.6.3.1 Raw Material

น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวงมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีปั้มน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ห่างจากโรงผลิตน้ำบางเขนประมาณ 18 กม. ไปทางทิศเหนือ ประกอบด้วยอาคารปั้มน้ำ 3 หลัง ในแต่ละหลังใช้พื้นที่ 22×16 ตร.ม. สูง 19 ม. กำลังสูบ 4.3 ล้าน

ลบ.ม.ต่อวันสู่คลองประปา น้ำดิบที่สูบจากคลองประปาจะถูกปั๊มโดยสถานีสูบน้ำบางเขนซึ่งใช้ปั๊มสูบแบบแนวตั้งกำลังสูบ 348 ลบ.ม.ต่อวินาที 6 เครื่อง และปั๊มสูบแบบแนวตั้ง กำลังสูบ 174 ลบ.ม.ต่อวินาที อีก 3 เครื่อง

2.6.3.2 Clarification

ขณะที่น้ำดิบถูกส่งผ่านคลองส่ง ส่วน Clarification จะมีการใส่ปูนขาวปริมาณระหว่าง 5 – 15 ppm. เพื่อช่วยในการตกตะกอน จากนั้นน้ำจะถูกปล่อยสู่ถังรูปกรวยแบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 58 ม. จำนวน 16 ถัง ซึ่งออกแบบมาเพื่อการตกตะกอนในอัตรา 70 มม.ต่อนาที และ 200,000 ลบ.ม.ต่อวัน ถังเหล่านี้จะแบ่งเป็น 2 เขต คือ เขตถังทำปฏิกิริยา กับถังตกตะกอน เขตถังทำปฏิกิริยาจะอยู่ตรงกลาง มีการเติมสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) และสารส้ม เขตที่เหลือเป็นถังตกตะกอน

2.6.3.3 Filtration

น้ำที่ได้จากกระบวนการ Clarification จะถูกนำมาผ่านเครื่องกรองแบบ Rapid Sand Anthracite จำนวน 44 บ่อ แต่ในทางปฏิบัติจริงใช้เพียง 30 – 32 บ่อเท่านั้น ในแต่ละบ่อกรองมีขนาด 9.4×27.4 ตร.ม. ซึ่งออกแบบสำหรับกรองน้ำเริ่มต้น 75,000 ลบ.ม.ต่อวันอย่างไรก็ตามสามารถที่จะกรองได้สูงถึง 120,000 ลบ.ม.ต่อวัน ผ่านชั้นถ่าน Anthracite หนา 80 ซม. และชั้นทรายคัดขนาด 40 ซม.

2.6.3.4 Water storage

น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังน้ำที่เรียกว่า Reservoir ปูนขาว และคลอรีนที่เหลืออยู่จะถูกควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง

2.6.3.5 Transmission and Distribution

โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนเป็นโรงผลิตน้ำและจ่ายน้ำหลักของการประปานครหลวง โดยการจ่ายน้ำ และการกระจายน้ำไปตามสถานีปั๊มน้ำต่างๆ ผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 – 3.4 ม. แต่ละสถานีจะมีอาคารปั๊มน้ำขนาด 13×69 ตร.ม. สูง 12 ม.ซึ่งเชื่อมต่อกับ Reservoir พื้นที่การใช้งานจะแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ชั้น Basement และชั้น Overground ชั้น Basement อยู่ลึกลงไปใต้ดิน 3 ม. ประกอบด้วยปั๊ม 5 ตัว ปั๊ม 1 ตัวมีอัตราการส่งน้ำ 153 ลบ.ม.ต่อนาที อีก 4 ตัว มีอัตราการส่งน้ำ 300 ลบ.ม.ต่อนาที ส่วนชั้น Overground อยู่สูงจากพื้น 9 ม. มีการติดตั้งส่วนควบคุมปั๊ม อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือปั๊ม

2.6.3.6 Sludge Lagoon

Sludge เป็นส่วนของน้ำตะกอนดินที่ตกตะกอนจากกระบวนการ Clarification และน้ำที่ใช้ล้าง Filter ซึ่งจะถูกปั๊มสู่ Sludge Lagoon จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตากตะกอน เพื่อให้ตะกอนแห้งพอที่จะขนย้ายต่อไป โดยมีปริมาณประมาณ 30,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะถูกนำไป Recycle

แสดงธาตุองค์ประกอบในรูปของอะตอมที่ผสมอยู่ในตะกอนเหลวตามตารางที่ 2-12 และแสดงปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542 – 2546 ตามตารางที่ 2-13

ตารางที่ 2-12 ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปของอะตอม ที่ผสมอยู่ในตะกอนเหลว (คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก)

ธาตุองค์ประกอบ	องค์ประกอบ (ร้อยละ)					
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Si	25.10	26.41	25.71	26.13	26.50	25.97
Al	15.30	14.55	14.82	14.92	15.03	14.92
Fe	5.67	5.67	5.6	5.68	5.53	5.63
K	2.57	1.58	1.99	1.66	1.58	1.88
Na	1.41	1.34	1.34	1.30	0.74	1.23
Mg	0.96	1.03	1.03	1.00	1.06	1.02
Ca	0.64	0.79	0.71	0.68	0.71	0.71
Ti	0.72	0.49	0.59	0.60	0.60	0.59
Zn	0.52	0.03	0.44	0.04	0.03	0.21
Mn	0.14	0.08	0.11	0.13	0.12	0.12
Cu	0.10	0.11	0.08	0.09	0.08	0.09
S	-	0.08	0.08	-	0.06	0.07

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

ตารางที่ 2-13 แสดงปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542 – 2546

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำประปา (ลบ.ม.)	ปริมาณตะกอนดิน (ตัน)	เฉลี่ย/วัน
2546 (ม.ค. – ต.ค.)	908,692,127	82,004	273
2545	1,088,751,325	95,824	263
2544	1,070,075,066	118,892	325
2543	1,055,192,193	110,968	304
2542	1,018,955,612	113,324	310

ที่มา : เอกสารวิชาการของการประปานครหลวง [2]

จะเห็นได้ว่าโรงผลิตน้ำประปาที่บางเขนซึ่งใช้พื้นที่ในการกำจัดตะกอนถึง 300 ไร่ จะมีตะกอนมากขึ้นทุกวัน โรงงานที่บางเขนสามารถผลิตน้ำได้เต็มที่ 3,200,000 ลบ.ม.ต่อวัน เฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 แสน ลบ.ม.จะมีตะกอนเท่ากับรถบรรทุกสิบล้อ 1 คัน หรือ 13 ตัน ปัจจุบันตะกอนส่วนใหญ่นำไปใช้ถมที่ และมีแนวโน้มที่จะผลิตน้ำประปามากขึ้น การใช้ Lagoon เพื่อตกตะกอนน้ำประปาในระบบการผลิตปัจจุบันเสียเวลาและพื้นที่เป็นข้อจำกัดในการผลิต เฉพาะโรงงานผลิตน้ำประปาธนบุรี มีเครื่องผลิตน้ำ Filter Press แถวเดียว ที่เก็บตะกอนออกจากน้ำประปา ส่วนโรงงานอื่นๆ ใช้ระบบตกตะกอนด้วย Lagoon ทั้งหมด

2.6.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

2.6.4.1 รับน้ำตะกอน ความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 3-10 น้ำหนัก/น้ำหนัก (W/W) จากถังตกตะกอนหมายเลข 1-16 เข้าสู่ท่อระบายตะกอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม.

2.6.4.2 น้ำตะกอนมีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 3-10(W/W) ส่งผ่านท่อระบายตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 มม.เข้าสู่บ่อกักตะกอนหมายเลข 1-4 ทาง Inlet valve

2.6.4.3 น้ำตะกอนในบ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ น้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50 NTU จะลอยตัวอยู่ชั้นบนไหลออกทาง Outlet valve ลงคลองระบายน้ำนำกลับ (Recycle) ส่วนตะกอนเหลวความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 10-15 (W/W) จะตกลงสู่ชั้นล่างสะสมจนถึงระดับเต็มบ่อความลึกประมาณ 3.5 เมตร ก็จะปิดบ่อเปลี่ยนไปใช้บ่ออื่น (บ่อเต็มใช้เวลา 1-2 เดือน)

2.6.4.4 ใช้เรือสูบน้ำตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 10-15 (W/W) ออกจากบ่อกักตะกอน 1-4 ไปยังบ่อดักตะกอน (Polder) A หรือ B โดยผ่านทางท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม.

2.6.4.5 รวบรวมตะกอนเหลวจากบ่อกักตะกอน 1-4 มารวมกันในบ่อดักตะกอน A หรือ B

2.6.4.6 แยกน้ำออกจากตะกอนเหลวในบ่อดักตะกอน A หรือ B โดยระบายน้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50 NTU ออกจากบ่อดักตะกอนและปล่อยให้ตะกอนตกตะกอนโดยธรรมชาติหรือใช้เครื่องจักรกลช่วยให้ตกตะกอนใช้เวลาประมาณ 1 ปี จะได้ตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 25-40 (W/W)

2.6.4.7 ขนย้ายตะกอนดินเหลวความเข้มข้น ร้อยละ 25-40 (W/W) จากบ่อดักตะกอน A หรือ B ไปยังลานตากตะกอน D หรือ E โดยใช้รถ Backhoe ตักใส่รถบรรทุกหรือใช้สกรูปีมสูบลiftผ่านท่อ

2.6.4.8 ตากและพลิกกลับตะกอนเหลวในลานตากตะกอน D หรือ E จนได้ความเข้มข้นตะกอนตั้งแต่ ร้อยละ 45 (W/W) ขึ้นไปโดยใช้ระยะเวลาในการตากประมาณ 1.5-2 เดือน (ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ)

2.6.4.9 ใช้รถ Backhoe ตักตะกอนดินความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 45 (W/W) ขึ้นไปใส่รถบรรทุกขนย้ายออกจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนต่อไป

2.6.4.10 รับน้ำตะกอนล้างบ่อกรองจากบ่อกรองน้ำ (Filter) 1-44 ซึ่งมีความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 (W/W) เข้าสู่ท่อระบายน้ำล้างบ่อกรอง (Filter Drain) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,500 มม.

2.6.4.11 ส่งน้ำตะกอนล้างบ่อกรอง ซึ่งมีความเข้มข้น ร้อยละ 0.1(W/W) ทางท่อระบายน้ำล้างบ่อกรอง (Filter Drain) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,500 มม. เข้าสู่บ่อกักตะกอน 1-4 ทาง Intel valve

2.6.4.12 น้ำตะกอนในบ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ น้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50 NTU จะลอยตัวอยู่ชั้นบนไหลออกจาก Outlet Valve ลงคลองระบายน้ำน้ำกลับ (Recycle) ส่วนตะกอนเหลวความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 10-15 (W/W) จะตกลงสู่ชั้นล่างสะสมจนถึงระดับเต็มบ่อความลึกประมาณ 3.5 เมตร ก็จะปิดบ่อเปลี่ยนไปใช้บ่ออื่น (บ่อเต็มใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน)

2.6.4.13 ใช้เรือสูบลiftตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 10-15(W/W) ออกจากบ่อกักตะกอนไปยังบ่อดักตะกอน (Polder) A หรือ B โดยผ่านทางท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม.

2.6.4.14 น้ำใสที่ไหลออกจาก Outlet Valve ของบ่อกักตะกอน 1-4 ควบคุมความขุ่นไม่เกิน 50 NTU จะไหลมารวมกันที่คลองระบายน้ำน้ำกลับ (Recycle)

2.6.4.15 น้ำใสจากคลองระบายน้ำนำกลับ(Recycle) จะไหลโดย Gravity Flow เข้าสู่คลองน้ำดิบเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำประปาต่อไปในช่วงนี้ก่อนที่จะเข้าสู่คลองน้ำดิบจะมีการตรวจวัดความขุ่นของน้ำโดยมีการกำหนดไว้ว่าจะต้องมีความขุ่นไม่เกิน 50 NTU

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตรกร วงศ์เชาวลิต [6] ได้ศึกษาการนำตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนและโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ มาใช้เป็นวัสดุพอลิโพรไพลีนในงานด้านคอนกรีตโดยทำการเผาตะกอนสลัดจ์ที่อุณหภูมิ 500 , 700 และ 900 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 15 , 30 และ 60 นาที แล้วทำการทดสอบค่าดัชนีการรับกำลังอัด จากผลการวิจัยพบว่าค่าดัชนีกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมตะกอนสลัดจ์ จากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ผ่านตามมาตรฐาน ASTM C618 ส่วนค่าดัชนีการรับกำลังของมอร์ต้าผสมเถ้าตะกอนสลัดจ์จากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 15 นาที โดยมีค่าดัชนีการรับกำลัง ร้อยละ 74

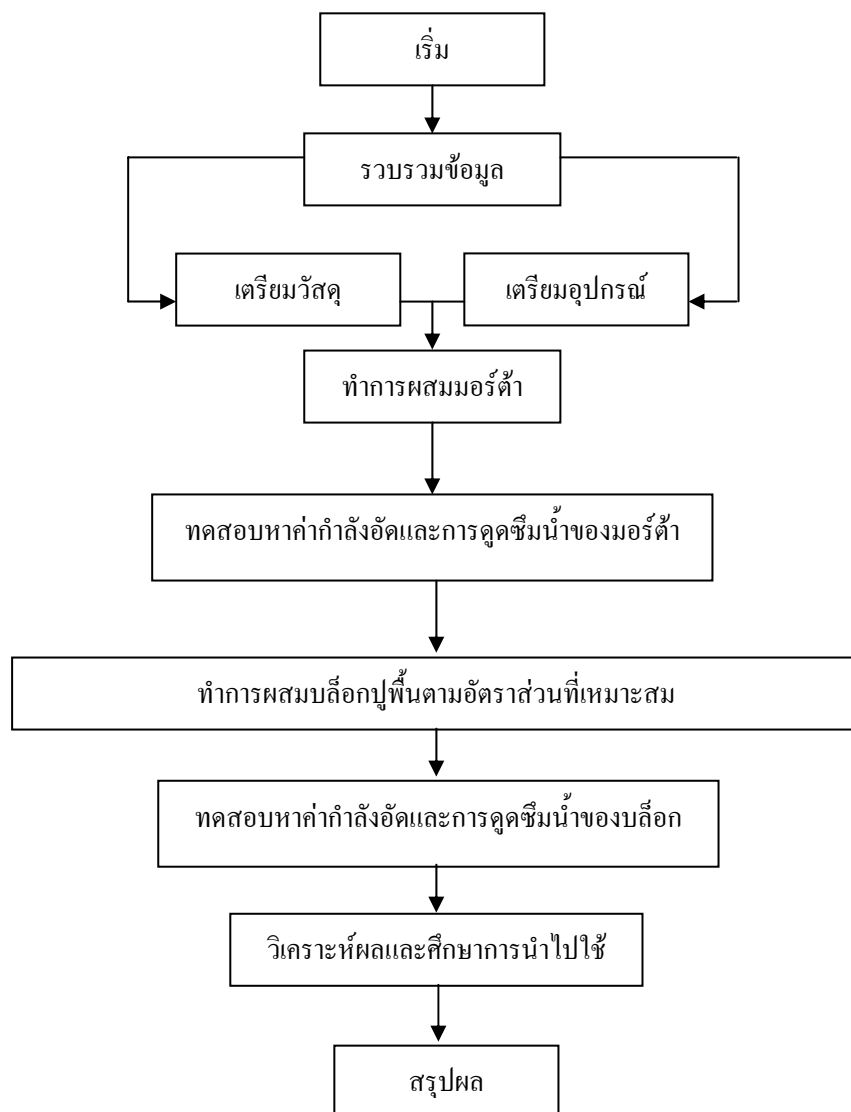
กฤษดา นุ่มนวล [7] ได้ศึกษาการนำตะกอนที่ได้จากระบบการผลิตน้ำประปามาใช้แทนดินเหนียว โดยการเผาอิฐมอญได้แบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 6 สูตร มีอัตราส่วนผสมของดินเหนียว : ตะกอน : ขี้เถ้าแกลบ : น้ำ โดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 10 : 0 : 3 : 1 สูตรที่ 2 8 : 2 : 3 : 1 สูตรที่ 3 6 : 4 : 3 : 1 สูตรที่ 4 4 : 6 : 3 : 1 สูตรที่ 5 2 : 8 : 3 : 1 สูตรที่ 6 0 : 10 : 3 : 1 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของตะกอนในสูตรที่ 1 ถึง 6 มีการเพิ่มปริมาณตะกอนตามลำดับดังนี้ คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 80 และ 100 ของน้ำหนักดิน จากการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ ในแต่ละสูตรโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77-2531 ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบดังนี้ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามยาว กว้าง และหนา พบว่าอิฐที่มีการผสมตะกอนไม่เกินร้อยละ 40 คือสูตรที่ 1 – 3 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทุกการทดสอบ แต่ในสูตรที่มีปริมาณตะกอนมากกว่าร้อยละ 40 สูตรที่ 4 – 6 นั้นไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามความยาว กว้าง และหนา ไม่ผ่านค่ามาตรฐานตามที่ มอก. 77 – 2531 กำหนดและเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐจากดินเหนียว จะมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 33 ของน้ำหนัก

สมเกียรติ รอดคดียิ่ง [8] ได้ศึกษาพบว่าการเพิ่มคุณภาพของอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปาโดยใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่สามารถทำให้ลูกดินรับกำลังอัดได้สูงที่สุดจึงพิจารณานำเถ้าลอยมาเป็นสารผสมเพิ่มในการผลิตอิฐมอญ โดยแบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 2 สูตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบเป็นดินเหนียว ตะกอน เถ้าลอย ใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1

(27.5 : 70 : 10) ผสมจี๊ดเกล้าบร่อยละ 10 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77 – 2531 ได้ผลดังนี้ ปริมาณเกล้าบร่อยละ 2.5 และร่อยละ 10 ทำให้อิฐสามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าที่ มอก. 77 – 2531 กำหนดไว้โดย อิฐที่ผลิตจากการผสมเกล้าบร่อยละ 2.5 และร่อยละ 10 มีน้ำหนักเบาากว่าอิฐที่ผลิตได้ทั่วไป ร่อยละ 16 – 20 และสามารถใส่ปริมาณตะกอนน้ำประปาได้สูงถึงร่อยละ 70 ทำให้อิฐสามารถผ่าน มอก. 77 – 2531 ซึ่งสามารถทำให้ปริมาณตะกอนที่มีอยู่มากให้มีปริมาณลดน้อยลงได้

บทที่ 3

วิธีการทดสอบ



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนงานวิจัย

3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 วัสดุที่ใช้

3.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ใช้การทดลอง ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2532 [9]

3.1.1.2 ทรายที่ใช้ในการทดลอง ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ตาม ASTM C 33-99 [10]

3.1.1.3 หินเกล็ดที่ใช้ในการทดลอง ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ตาม ASTM C 33-99 [10]

3.1.1.4 ตะกอนดินได้ตัวอย่างจากลานตากตะกอน C ของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ลักษณะจะเป็นก้อน ต้องนำมาทุบด้วยค้อนหรือนำไปใส่เครื่อง Los Angeles ให้ตะกอนดินมีขนาดเล็กลงแล้วจึงนำไป ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ตาม ASTM C 33-99 [10]



ภาพที่ 3-2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



ภาพที่ 3-3 ทราย



ภาพที่ 3-4 หินเกล็ด



ภาพที่ 3-5 ตะกอนดิน



ภาพที่ 3-6 ตะแกรง

3.2 ขั้นตอนการทำการทดสอบ

3.2.1 วิธีทำการทดสอบ Flow Table ตาม ASTM C 109/C 109M-99 [11]

3.2.1.1 ทำความสะอาด Flow Table และ Flow Mold ให้เรียบร้อย วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของ Flow Mold ทางด้านฐาน ให้ละเอียดถึง 0.01 มม. วาง Flow Mold ไว้ตรงกลางในวงกลมบนแผ่นของ Flow Table

3.2.1.2 ใส่ซีเมนต์มอร์ตาร์ลงใน Flow Mold เป็น 2 ชั้น ชั้นแรกสูงประมาณ 25 มม. แล้วกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง (Tamper) 20 ครั้ง ให้ซีเมนต์มอร์ตาร์แผ่เต็มแบบ แล้วใส่อีกชั้นหนึ่งจนล้น กระทุ้งอีก 20 ครั้ง แล้วปาดซีเมนต์มอร์ตาร์ให้เรียบเสมอบนของ Flow Mold ด้วยเกรียงเหล็ก และทำความสะอาดซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไหลออกมาให้หมด ยก Flow Mold ขึ้นตรง ๆ ซึ่งจะเหลือแต่กองซีเมนต์มอร์ตาร์อยู่บนแผ่น Flow Table กำหนดให้ใช้เวลาในข้อ (2) นี้ทั้งหมด 60 วินาที หลังการผสม

3.2.1.3 หมุนให้แท่นของ Flow Table สูง 1/2 นิ้ว (1.27 มม.) กระแทก 25 ครั้งใน 15 วินาที เสร็จแล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไหลแผ่อยู่บนแท่นจำนวน 4 ค่าตามแนวค่าเฉลี่ยออกมาเป็นค่าเดียว และนำไปคำนวณการไหลแผ่ (Percent Flow) ต่อไป



ภาพที่ 3-7 แท่นทดสอบการไหล

3.2.2 วิธีการทดสอบหาค่ากำลังอัดมอร์ตาร์ ASTM C 109/C 109M-99 [11]

3.2.2.1 หล่อซีเมนต์มอร์ตาร์ลงบนแบบหล่อก่อนทดสอบจะทำให้เสร็จใน 2 1/2 นาที หลังจากผสมซีเมนต์มอร์ตาร์เสร็จแล้ว ใส่ซีเมนต์ลงไปในแบบหล่อ เป็น 2 ชั้น ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. โดยใส่ลงในช่องหล่อก่อนทดสอบก่อน

3.2.2.2 กระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง (Tamper) 32 ครั้งใน 10 วินาที โดยให้กระทุ้งเป็น 4 รอบ โดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่นๆ น้ำหนักในการกระทุ้งให้แรงพอที่จะให้มอร์ตาร์แผ่ไปทั่วแบบหล่อเท่านั้น เมื่อกระทุ้งครบ 4 รอบแล้วจึงนำไปกระทุ้งช่องต่อไป

3.2.2.3 เมื่อกระทั่งครบทุกช่องแล้วให้ใส่ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่เหลือลงไปแบบหล่อแล้วกระทั่งเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยเมื่อกระทั่งเสร็จให้ซีเมนต์มอร์ตาร์สูงกว่าแบบหล่อเล็กน้อย

3.2.2.4 ใช้เกรียงปาดซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ล้นติดขอบแบบลงมาในแบบ แล้วปาดผิวให้เรียบร้อยโดยเพื่อเกรียงด้านนำเล็กน้อยไปทางขวาของขอบแบบหล่อแต่ละช่องเพียงครั้งเดียว

3.2.2.5 เพื่อให้ผิวหน้าแบบหล่อเรียบยิ่งขึ้น ให้ใช้เกรียงปาดเบาๆ อีกหนึ่งครั้งตลอดความยาวของแบบหล่อ โดยเหยียดด้านนำเล็กน้อย ตัดผิวหน้ามอร์ตาร์ให้เรียบเสมอบนของแบบหล่อโดยใช้ขอบด้านตรงของเกรียงวางเกือบทิ้งฉากกับแบบหล่อแล้วขยับเกรียงไปมาตลอดความยาวของแบบหล่อ

3.2.2.6 หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องบ่มชื้นโดยผิวหน้าให้สัมผัสกับความชื้น แต่ไม่ให้ถูกหยดน้ำเป็นเวลา 20-24 ชม. ถ้าต้องถอดแบบก่อน 24 ชม. ให้เก็บก้อนตัวอย่างในตู้ชื้นหรือห้องชื้นจนครบ 24 ชม. แล้วจึงแช่น้ำสะอาด (ยกเว้นก่อนทดสอบที่จะทดสอบเมื่อครบเกณฑ์อายุ 24 ชม.) โดยคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ให้สะอาดอยู่เสมอ เมื่อบ่มจนครบอายุตามต้องการแล้ว นำไปทดสอบกำลังอัดของก้อนทดสอบ โดยอายุที่กำหนดไว้ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ระยะเวลาความคลาดเคลื่อน

อายุทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
1	$\pm 1/2$ ชั่วโมง
3	± 1 ชั่วโมง
7	± 3 ชั่วโมง
28	± 12 ชั่วโมง

3.2.2.7 ให้ทดสอบกำลังอัดทันทีที่นำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ก่อนการทดสอบให้เช็ดตัวอย่างให้แห้ง ปิดเอาเม็ดทรายที่ผิวออกให้สะอาด

3.2.2.8 วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของแต่ละก้อนไว้ เวลานำก้อนตัวอย่างไปทดสอบ ห้ามใช้ด้านข้างที่ผิวเรียบทั้ง 2 ด้านรับแรงอัด ถ้าน้ำบน และล่างของก้อนตัวอย่างไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและได้ขนาดกัน

3.2.2.9 นำก้อนตัวอย่างมาทดสอบ ให้อยู่ในศูนย์กลางของเส้นทดสอบและก้อน
 ผิวตัวอย่างกับแป้นกด เดินเครื่องทดสอบในอัตราที่เหมาะสมสม่ำเสมอ จนกระทั่งก้อนทดสอบแตก
 โดยใช้เวลาทดสอบประมาณ 5-30 วินาที ต่อตัวอย่าง (ห้ามปรับกลไกควบคุมทดสอบ ในขณะที่
 ก้อนทดสอบตัวอย่างถูกกดอย่างรวดเร็วก่อนที่จะแตก



ภาพที่ 3-8 แบบหล่อมอร์ต้าร์



ภาพที่ 3-9 ก้อนมอร์ต้าร์



ภาพที่ 3-10 เครื่องชั่งละเอียด

3.2.3 วิธีผสมทำบล็อกปูพื้น

3.2.3.1 นำวัสดุที่เตรียมไว้คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายและหินเกล็ด ตามสัดส่วนจำนวนที่กำหนดไว้ในภาคผสมคอนกรีต

3.2.3.2 นำตะกอนดินที่เตรียมไว้ผสมใส่ลงในภาควัสดุผสมคอนกรีต โดยใช้ตะกอนดิน ไปตามเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการ คลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยยังไม่ใส่น้ำประมาณ 1-2 นาที หรือดูว่าวัสดุภายในภาควัสดุคลุกเคล้ากันดีจนเป็นสีปูนซีเมนต์

3.2.3.3 ใส่น้ำสะอาดตามอัตราส่วนที่กำหนดลงในภาควัสดุผสมคอนกรีต และทำการผสมลงไปประมาณ 1-2 นาที แล้วจึงนำเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้

3.2.3.4 นำแบบหล่อที่เตรียมไว้มาทำความสะอาดและทาน้ำมันบริเวณที่จะเทคอนกรีตให้ทั่ว เพื่อเวลาถอดแบบจะได้ถอดได้ง่าย

3.2.3.5 เทคอนกรีตที่อยู่ในภาควัสดุลงในกระบะผสม แล้วตักจากในกระบะลงในแบบที่เตรียมไว้ (คอนกรีตเมื่อผสมเสร็จต้องใช้ภายใน 30 นาที)

3.2.3.6 ทำการอัดคอนกรีตและกระทุ้งคอนกรีตจนเนื้อคอนกรีตแน่นสม่ำเสมอ แล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ

3.2.3.7 เมื่อหล่อคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบหล่อออก แล้วนำก้อนตัวอย่างที่ได้ทั้งหมด ไปบ่มในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด (โดยก้อนที่จะบ่มจะต้องเขียนหมายเลขระบุไว้ด้วย)

3.2.3.8 เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดในการบ่ม จึงนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าแห้งสะอาดเช็ดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาการดูดซึมของน้ำ

3.2.3.9 ทิ้งก้อนตัวอย่างไว้ประมาณ 3 วัน นำไปชั่งแล้วทดสอบ



ภาพที่ 3-11 ก้อนตัวอย่าง



ภาพที่ 3-12 เครื่องอัดบล็อกปูพื้น

3.2.4 วิธีการหาค่ากำลังอัดประลัย ตาม มอก. 827-2531 [1]

3.2.4.1 จัดแนวศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง (ในกรณีที่มีรูปทรงสมมาตรศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง คือ จตุรรมมวล) หัวกด แผ่นกดและวัสดุช่วยกด (ถ้ามี) ให้อยู่ในแนวเดียวกัน

3.2.4.2 กดบล็อกตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนได้แรงกดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกดที่สูงสุดที่คาดว่าบล็อกตัวอย่างจะรับได้ ภายในเวลา 1 ถึง 2 นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้



ภาพที่ 3-13 ทดสอบการกดตัวอย่าง

3.2.5 วิธีการหาการดูดซึม ตาม ASTM C 127-88 [12]

3.2.5.1 นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปล้างน้ำสะอาด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 -110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปลดทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ แล้วนำไปแช่น้ำประมาณ 30 นาที เมื่อถึงเวลาให้นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าแห้งสะอาดเช็ดให้แห้ง ควรระวังอย่าให้น้ำระเหยจากตัวอย่างทดสอบ นำก้อนตัวอย่างที่เช็ดเสร็จแล้วไปชั่ง ค่าที่ได้เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาพแห้ง (ค่าB) การชั่งทุกครั้งในการทดสอบนี้ควรให้ได้ละเอียดถึง 1.0 กรัม

3.2.5.2 นำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100 - 110 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ ปลดทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนัก (ค่า A)

$$\text{การดูดซึมน้ำ (Percent Absorption)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

A = น้ำหนักของตัวอย่างแห้งชั่งในอากาศ, กรัม

B = น้ำหนักของตัวอย่างที่จุ่มน้ำผิวหน้า ชั่งในอากาศ, กรัม



ภาพที่ 3-14 ตู้อบ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การทดสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัย ประกอบด้วย การหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสม การวิเคราะห์คุณสมบัติของมอร์ตาร์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตะกอนดิน ทรายและหินเกล็ด

ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตะกอนดินที่ใช้ในงานวิจัย มีค่าเท่ากับ 2.69 ค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เพิ่มพล [3] มีค่าเท่ากับ 2.67 – 2.68 และงานวิจัยของ ดวงกมล [4] มีค่าเท่ากับ 2.65 ส่วนผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทราย และหินเกล็ด มีค่าเท่ากับ 2.87 และ 2.71 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของวัสดุผสมคอนกรีตตาม วินิต [13] มีค่าเท่ากับ 2.4 – 2.9 ซึ่งผลการทดสอบของตะกอนดิน ทราย และหินเกล็ด พบว่า มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้

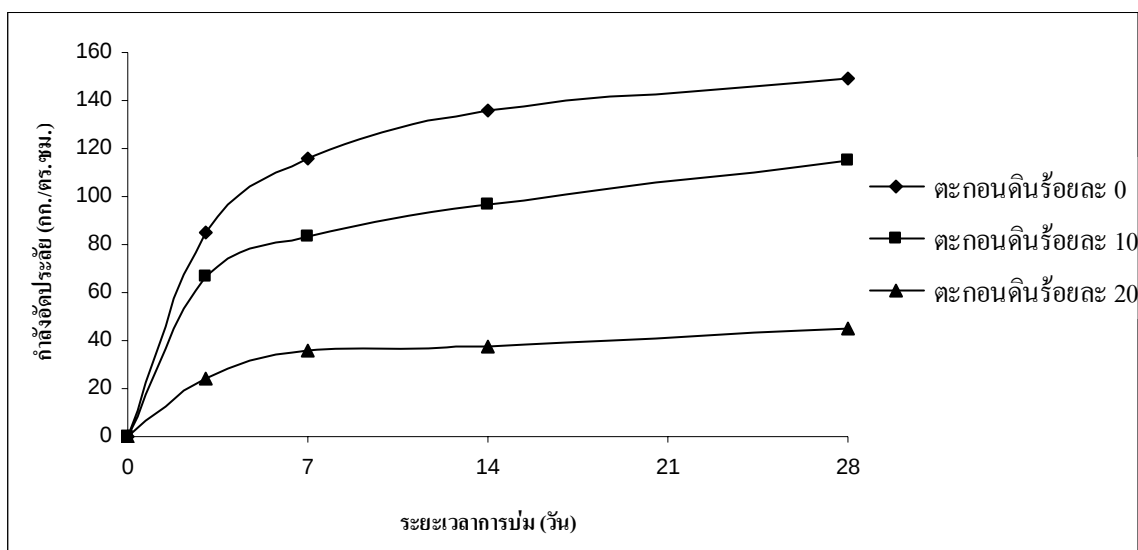
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ เป็นการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา โดยวิเคราะห์จากสัดส่วนเดิมคือ 1:3 (ปูนซีเมนต์ : ทรายและหินเกล็ด) ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินมาแทนที่ทราย และหินเกล็ด ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10 และ 20 ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 , 0.6 , 0.8 , และ 1 ในแต่ละอัตราส่วนตามลำดับ

โดยการทดลองมอร์ตาร์ จะใช้วัสดุเฉพาะปูนซีเมนต์กับทรายเท่านั้นโดยสัดส่วนจะอยู่ที่ 1: 3 (ปูนซีเมนต์ : ทราย) เนื่องจากวิธีการทดสอบมอร์ตาร์จะเป็นวิธีการหาค่ากำลังอัดที่เหมาะสม และการดูดซึมน้ำที่เหมาะสมโดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

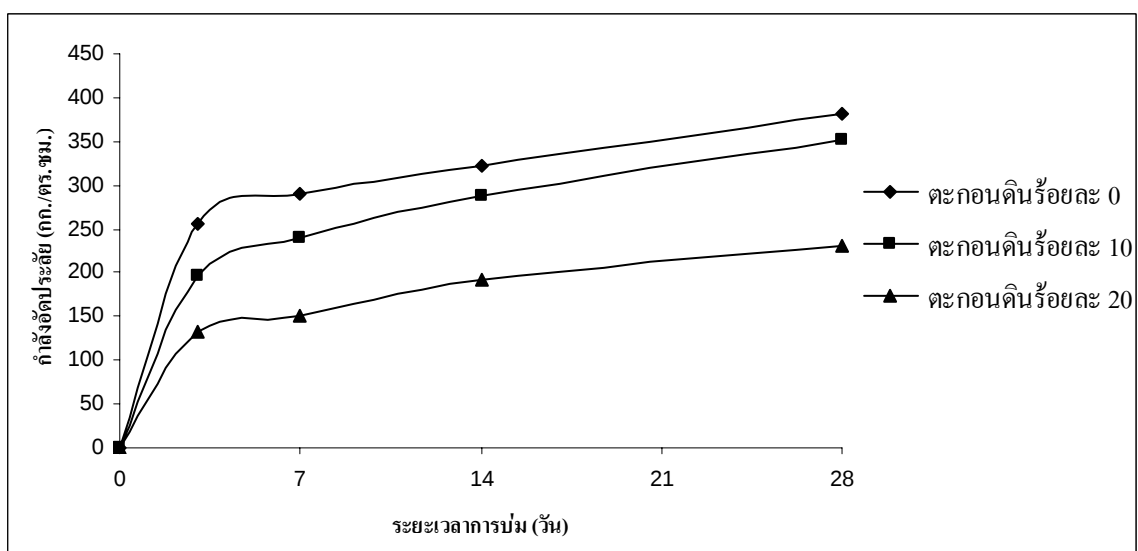
4.2.1 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยการนำตะกอนดินมาแทนที่ทราย ที่ร้อยละ 0 , 10 และ 20 ตามลำดับ โดยแบ่งตาม w/c เท่ากับ 0.4 , 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ แสดงตาม ภาพที่ 4-1, 4-2, 4-3 และ 4-4



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.4

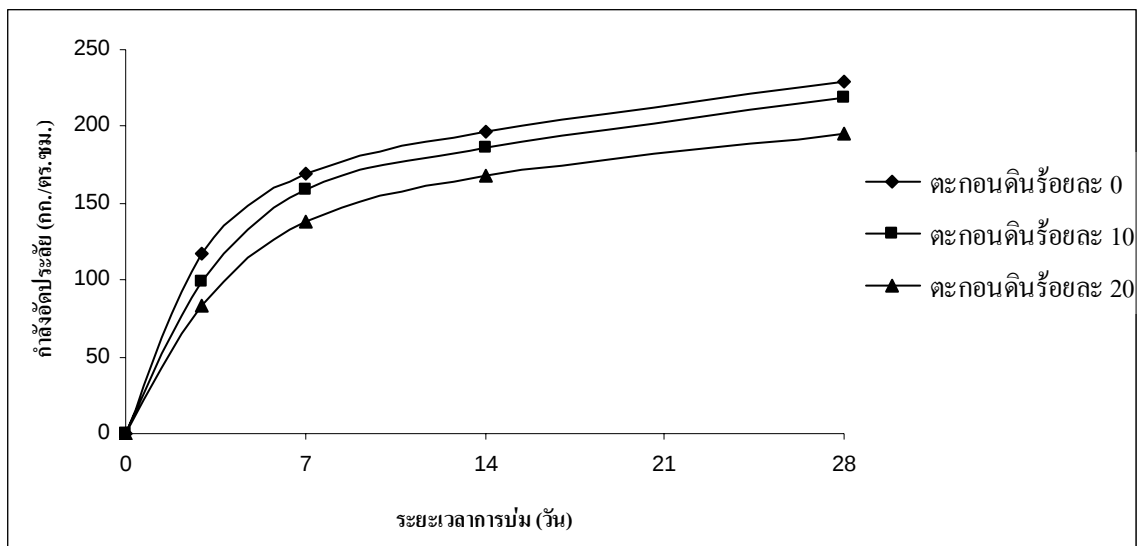
จากภาพที่ 4 – 1 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์คือ ถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 149 กก./ตร.ซม. และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 45 กก./ตร.ซม. ผลการทดลองกำลังอัดพบว่า กำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.6

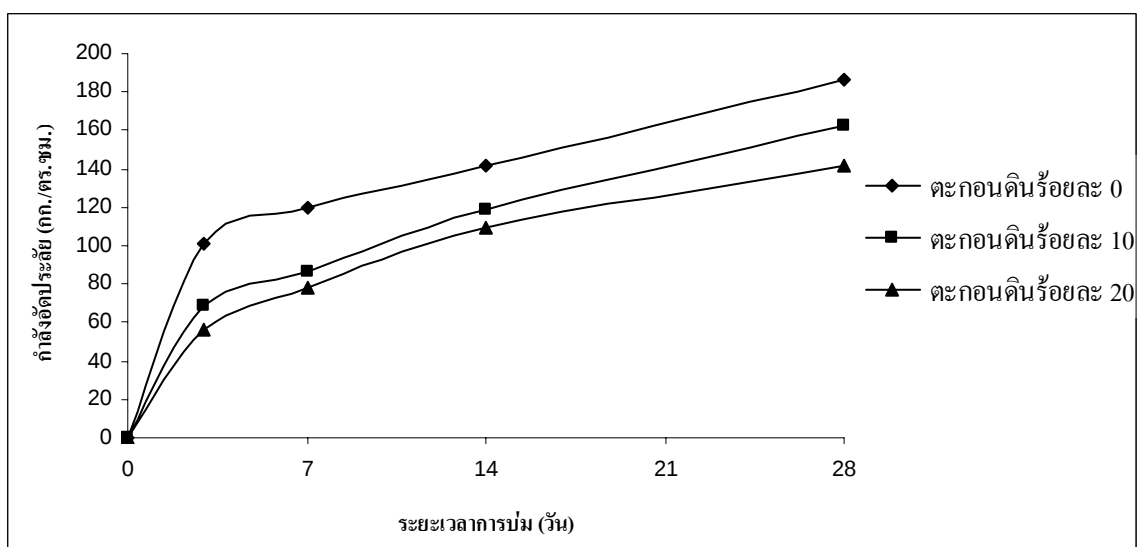
จากภาพที่ 4 – 2 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์คือถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 382

กก./ตร.ชม. และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่กับการเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 230 กก./ตร.ชม. ผลการทดลองกำลังอัดพบว่า กำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.8

จากภาพที่ 4 – 3 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์คือถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 229 กก./ตร.ชม. และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่กับการเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 196 กก./ตร.ชม. ผลการทดลองกำลังอัดพบว่า กำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



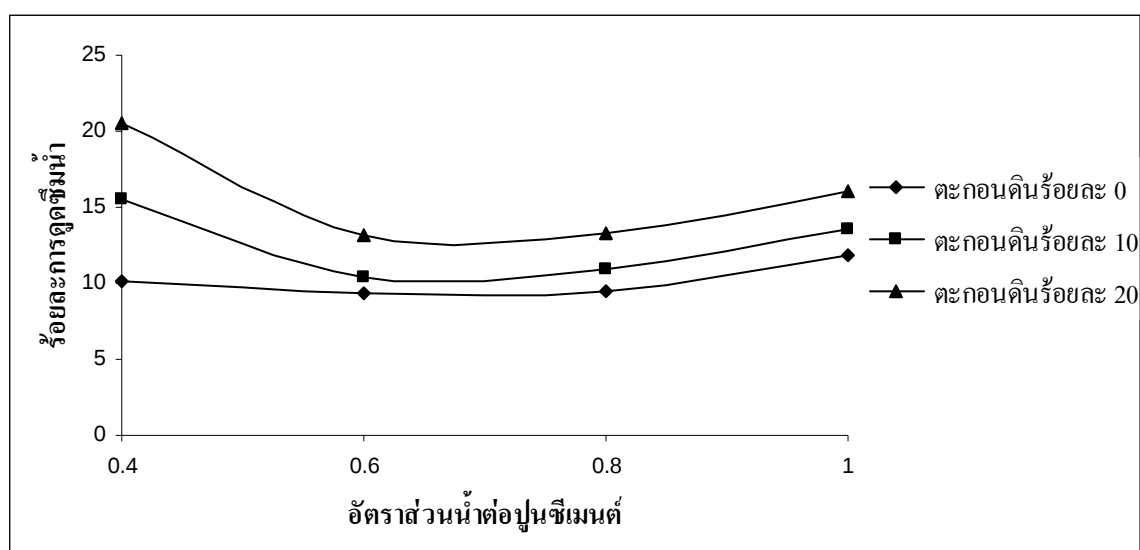
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 1.0

จากภาพที่ 4-4 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์คือถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 187 กก./ตร.ซม. และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 142 กก./ตร.ซม. ผลการทดลองกำลังอัดพบว่า กำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน

จากผลการทดสอบตามภาพที่ 4-1, 4-2, 4-3 และ 4-4 สามารถสรุปได้ว่า ค่าทดสอบกำลังอัดที่มากที่สุดอยู่ที่อายุการบ่ม 28 วัน และการเพิ่มตะกอนดิน ร้อยละ 0 แต่วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ การใช้ตะกอนดินผสมในบล็อกระสานปูพื้น เพื่อลดปริมาณทรายและหิน ดังนั้นการเลือกสัดส่วนผสมจะเลือกสัดส่วนผสมที่มีการเพิ่มของตะกอนดิน แทนที่ปริมาณทรายและหินเกล็ด และกำลังอัดตาม มาตรฐานของ มอก. 827 – 2531 [1] ที่กำหนดค่ากำลังอัดอยู่ที่ 350 กก./ตร.ซม. จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม.

4.2.2 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ตะกอนประปาในร้อยละต่าง ๆ แสดงตามภาพที่ 4-5



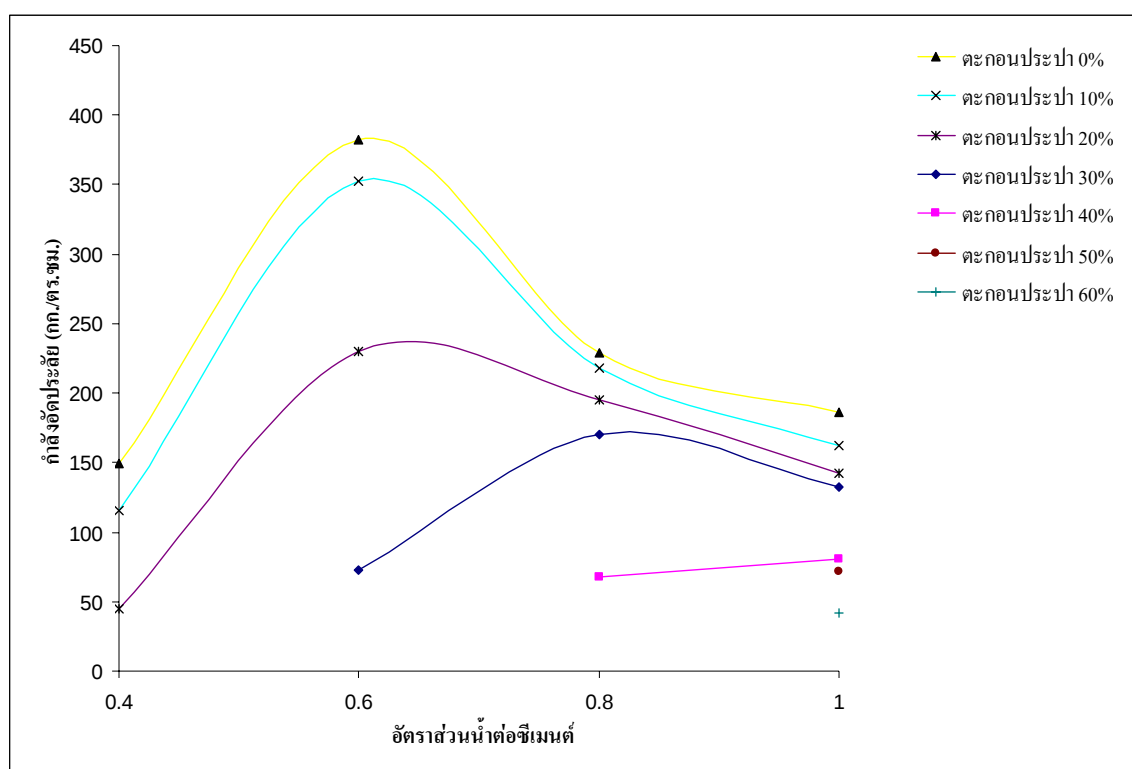
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 4-5 จะพบว่าการเพิ่มตะกอนดินมากขึ้นการดูดซึมของมอร์ต้าร์จะมีค่ามากขึ้นตาม และเมื่อ w/c ลดลงจะทำให้ค่าการดูดซึมของมอร์ต้าร์ลดลงตามไปด้วย แต่ถ้า w/c น้อยเกินไปก็จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น จากภาพที่ 4-5 อัตราส่วนตะกอนดินที่ ร้อยละ 20 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4 มีค่าการดูดซึมเท่ากับ ร้อยละ 20 ซึ่งมีค่ามากที่สุด และค่าการดูดซึมน้อยที่สุดคือ ตัวอย่าง

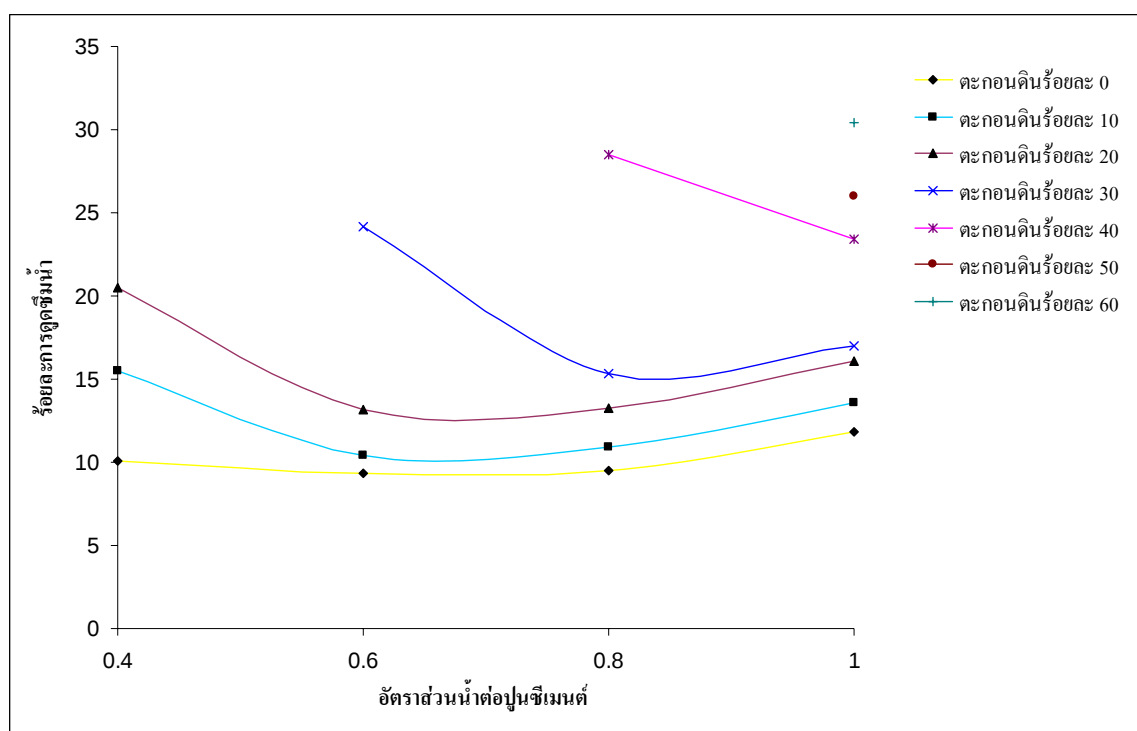
ทดสอบที่มีอัตราส่วนตะกอนดินที่ ร้อยละ 0 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 9 กรณีที่เพิ่มตะกอนประปาแล้วค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น เพราะว่า ตะกอนประปามีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมทำบล็อกประสานปูพื้น จึงส่งผลทำให้บล็อกนั้น มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำสูงตามไปด้วย ส่วนในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า w/c เท่ากับ 0.4 มีค่าการดูดซึมน้ำ มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า w/c เท่ากับ 0.6 เพราะว่าค่า w/c เท่ากับ 0.4 อาจมีปริมาณน้ำน้อยเกินไป ตะกอนประปา อาจดูดซึมน้ำไปมาก จึงทำให้กระบวนการผสมของวัสดุผสมไม่สมบูรณ์ มีลักษณะร่วน และทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจึงมากขึ้นตาม

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าร์ โดยใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาแทนที่ทราย ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60

การทดสอบกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ โดยการนำตะกอนดินมาแทนที่ทราย ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ แบ่งตาม w/c เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ ใช้ อายุการบ่มที่ 28 วัน แสดงตาม ภาพที่ 4-6 และ 4-7



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 4-6 และ 4-7 เป็นค่าของกำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำ ของการใช้ตะกอนดินมาแทนที่ทราย ที่ร้อยละ 0 , 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ แบ่งตาม w/c เท่ากับ 0.4 , 0.6, 0.8 และ 1 ผลทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 10 ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวมีการแทนที่ของตะกอนดิน เพียงร้อยละ 10 ซึ่งยังมีค่าน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสัดส่วนผสมในการผลิตบล็อกปูพื้น แบ่งออกเป็น 3 สูตร คือ

สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1]) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 10

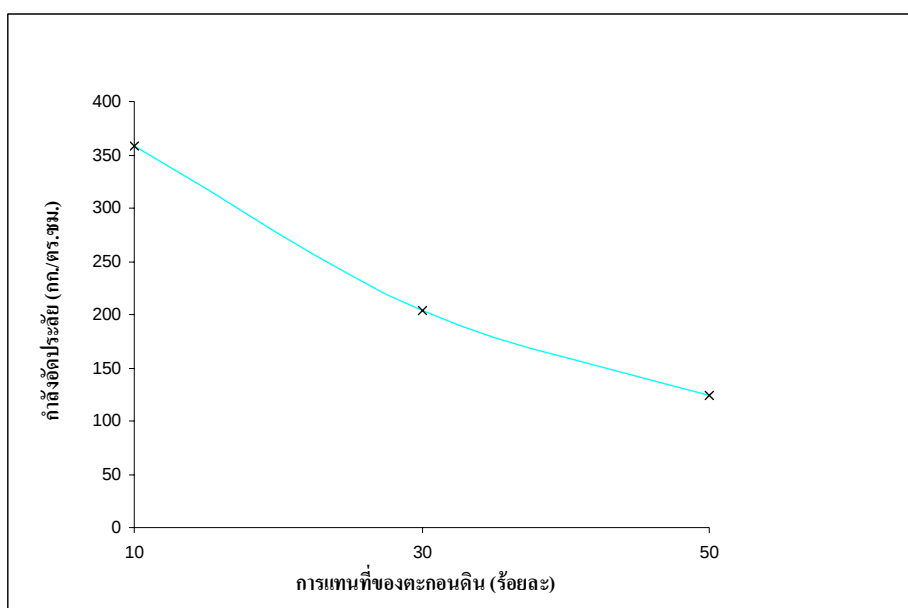
สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 170 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 15

สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกปูพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 72 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 26

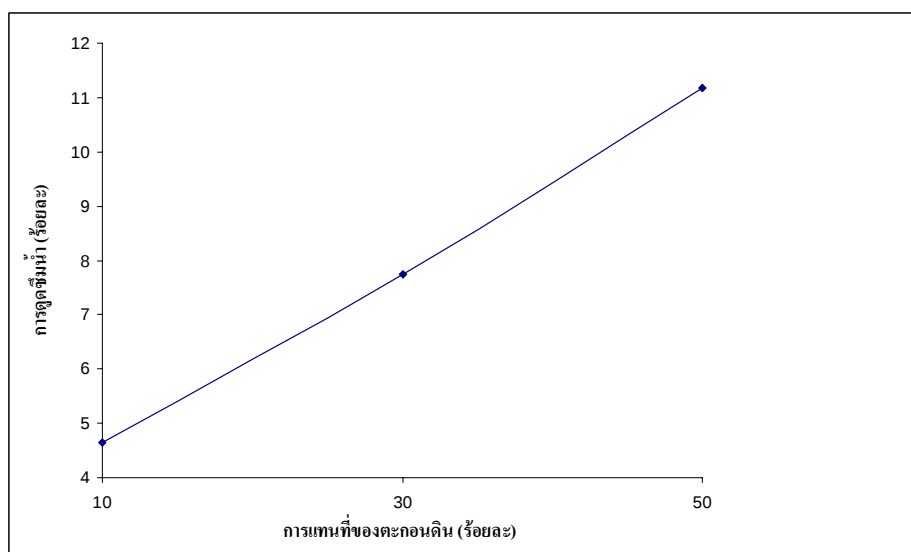
โดยสูตร 1 จะใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้ ส่วนสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไป

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

ในการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นจะใช้สัดส่วนการผสมทั้งหมด 3 สูตร ตามหัวข้อที่ 4.3 โดยทดสอบที่อายุ 28 วัน มีรายละเอียดการทดสอบ แสดงตามภาพที่ 4-8 และ 4-9



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ตะกอนดินกับกำลังอัดประลัย ที่อายุการบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ตะกอนดินกับการดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ผลทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นตาม ภาพที่ 4-8 และ 4-9 พบว่า

สูตร 1 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2312 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 358 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5

สูตร 2 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2133 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 204 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 8

สูตร 3 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2002 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 124 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 11

ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของมอร์ตาร์ตามหัวข้อที่ 4.3 และผลการทดสอบทั้งหมดโดยรวมมีค่าดีขึ้น เนื่องจากว่า การผลิตบล็อกประสานปูพื้นโดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร จะทำให้บล็อกคุณสมบัติที่แข็งแกร่งขึ้นในด้านกำลังอัด และจากการบดอัดโดยเครื่องจักรทำให้วัสดุผสมมีการอัดแน่นมากขึ้นจึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการผลิตบล็อกประสานปูพื้นตามสูตร 1 มีค่ากำลังอัดประลัยผ่านตามเกณฑ์ มอก. 827-2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้ และการผลิตบล็อกประสานปูพื้น ตามสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไปได้

ผลทดสอบในงานวิจัยนี้เห็นได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้

4.5 การทดลองใช้งานจริงของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา พบว่าบล็อกประสานปูพื้นที่ได้จากงานวิจัย มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ปูพื้นทางเท้าได้จริง จึงนำบล็อกที่ได้ไปปูทางเท้าทางด้านหน้า ดิโกโยธา 42 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามภาพที่ 4-10 และ 4-11 กำหนดระยะเวลาทั้งหมด 6 เดือน



ภาพที่ 4-10 การเตรียมพื้นที่ก่อนการปูพื้นด้วย บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา



ภาพที่ 4-11 พื้นทางเท้าที่ปูด้วย บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

ผลการทดสอบในเบื้องต้น พบว่าบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา สามารถใช้ในการปูพื้นทางเท้าได้ และหลังจากทำการทดสอบทั้งหมด 6 เดือน พบว่าบล็อกประสานปูพื้นไม่มีการแตกร้าวใดๆ

4.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้แบ่งการผลิตของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาเป็น 3 สูตร คือ

สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1]) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6

สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8

สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1

โดย ทั้ง 3 สูตร มีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ดังนี้

ราคาวัสดุ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	2,730 บาท	ต่อ 1,000 กก.*
- ทราย	367 บาท	ต่อ 2,870 กก.*
- หิน	482 บาท	ต่อ 2,710 กก.*
- ตะกอนดินจากน้ำประปา (ค่าขนส่ง)	0.1 บาท	ต่อ 1 กก.

* ราคายังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ข้อมูลจาก www.moc.go.th

อัตราส่วนผสมของบล็อกละปะสานปูพื้นโดยทั่วไปจะใช้อัตราส่วน ปูน : ทรายและหิน เท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินจากน้ำประปามาแทนที่ทรายและหิน โดยการศึกษาพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตบล็อกละปะสานปูพื้นมี 3 สูตร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สูตร 1 นำตะกอนดินจากน้ำประปาไปแทนที่ทรายและหิน ร้อยละ 10 โดยอัตราส่วนที่ได้คือ ปูน : ทราย : หิน : ตะกอนดินจากน้ำประปา เท่ากับ 1 : 1.35 : 1.35 : 0.3 โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะ โดยประมาณเท่ากับ 2.3 ดังนั้น ใน 1 ลบ.ม. จะมีน้ำหนัก เท่ากับ 2300 กก. แบ่งเป็นอัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือ

ปูนซีเมนต์	= 575	กก./ลบ.ม.
ทราย	= 776.25	กก./ลบ.ม.
หิน	= 776.25	กก./ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา	= 172.5	กก./ลบ.ม.

คิดราคาในการทำบล็อกละปะสานปูพื้นได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ราคา 2.730 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 1,569.75	บาท/ลบ.ม.
ทราย ราคา 0.128 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 99.36	บาท/ลบ.ม.
หิน ราคา 0.178 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 138.17	บาท/ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา ราคา 0.10 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 17.25	บาท/ลบ.ม.
รวม	=	1,825	บาท/ลบ.ม.
ค่าแรง กำไรและค่าดำเนินการ คิด 50% ของราคาวัสดุ	=	912.5	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง	=	164	บาท/ลบ.ม.
คิดเป็นต้นทุนบวกกำไร ไม่รวมภาษี	=	2,902	บาท/ลบ.ม.

บล็อกละปะสานปูพื้น 1 ก้อน ขนาด 9 x 19.5 x 10 ซม. มีปริมาตรเท่ากับ 0.002 ลบ.ม. ดังนั้น บล็อกละปะสานปูพื้น 1 ก้อน ราคา 5.8 บาท

- สูตร 2 นำตะกอนดินจากน้ำประปาไปแทนที่ทรายและหิน ร้อยละ 30 โดยอัตราส่วนที่ได้คือ ปูน : ทราย : หิน : ตะกอนดินจากน้ำประปา เท่ากับ 1 : 1.05 : 1.05 : 0.9 โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะ โดยประมาณเท่ากับ 2.1 ดังนั้น ใน 1 ลบ.ม. จะมีน้ำหนัก เท่ากับ 2100 กก. แบ่งเป็นอัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือ

ปูนซีเมนต์	= 525	กก./ลบ.ม.
ทราย	= 551.25	กก./ลบ.ม.
หิน	= 551.25	กก./ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา	= 472.5	กก./ลบ.ม.

คิดราคาในการทำบล็อกละปะสานปูพื้นได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ราคา 2.730 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 1,433.25	บาท/ลบ.ม.
ทราย ราคา 0.128 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 70.56	บาท/ลบ.ม.
หิน ราคา 0.178 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 98.12	บาท/ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา ราคา 0.10 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 47.25	บาท/ลบ.ม.
	รวม	= 1,650	บาท/ลบ.ม.
ค่าแรง กำไรและค่าดำเนินการ คิด 50% ของราคาวัสดุ		= 825	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง		= 150	บาท/ลบ.ม.
คิดเป็นต้นทุนบวกกำไร ไม่รวมภาษี		= 2,625	บาท/ลบ.ม.

บล็อกประสานปูพื้น 1 ก้อน ขนาด $9 \times 19.5 \times 10$ ซม. มีปริมาตรเท่ากับ 0.002 ลบ.ม. ดังนั้น
 บล็อกประสานปูพื้น 1 ก้อน ราคา 5.3 บาท

- สูตร 3 นำตะกอนดินจากน้ำประปาไปแทนที่ทรายและหิน ร้อยละ 50 โดยอัตราส่วนที่ได้คือ
 ปูน : ทราย : หิน : ตะกอนดินจากน้ำประปา เท่ากับ $1 : 0.75 : 0.75 : 1.5$ โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะ
 โดยประมาณเท่ากับ 2 ดังนั้น ใน 1 ลบ.ม. จะมีน้ำหนัก เท่ากับ 2000 กก. แบ่งเป็นอัตราส่วนผสมต่าง ๆ
 คือ

ปูนซีเมนต์	= 500	กก./ลบ.ม.
ทราย	= 375	กก./ลบ.ม.
หิน	= 375	กก./ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา	= 750	กก./ลบ.ม.

คิดราคาในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ราคา 2.730 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 1,365	บาท/ลบ.ม.
ทราย ราคา 0.128 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 48	บาท/ลบ.ม.
หิน ราคา 0.178 บาท/กก	คิดเป็นเงิน	= 66.75	บาท/ลบ.ม.
ตะกอนดินจากน้ำประปา ราคา 0.10 บาท/กก.	คิดเป็นเงิน	= 75	บาท/ลบ.ม.
	รวม	= 1,555	บาท/ลบ.ม.
ค่าแรง กำไรและค่าดำเนินการ คิด 50% ของราคาวัสดุ		= 777.5	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง		= 143	บาท/ลบ.ม.
คิดเป็นต้นทุนบวกกำไร ไม่รวมภาษี		= 2,476	บาท/ลบ.ม.

บล็อกประสานปูพื้น 1 ก้อน ขนาด $9 \times 19.5 \times 10$ ซม. มีปริมาตรเท่ากับ 0.002 ลบ.ม. ดังนั้น
 บล็อกประสานปูพื้น 1 ก้อน ราคา 5 บาท

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา กับ บล็อกปูพื้นคอนกรีตทั่วไป (ที่ขนาดเท่ากัน)

ชนิด	ราคา (บาท/ก้อน)
บล็อกประสานปูพื้นทั่วไป	8.5 *
บล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรง (สูตร 1)	5.8
บล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง (สูตร 2)	5.3
บล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน (สูตร 3)	5.0

* ราคายังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ข้อมูลจาก www.moc.go.th

จากตารางที่ 4-1 พบว่าราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาเมื่อเทียบกับบล็อกประสานปูพื้นทั่วไปจะมีราคาถูกกว่ามาก โดยในระยะยาวการนำตะกอนดินกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดได้ดี และยังได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ราคาถูกกว่าราคาทั่วไปตามท้องตลาด

หากพิจารณาในด้านปริมาณการใช้ตะกอนดินจากน้ำประปานั้น จะคิดจากบล็อกประสานปูพื้น (ที่ใช้ตะกอนดินแทนที่ ร้อยละ 50) ในปริมาตร 1 ลบ.ม. จะมีบล็อกประมาณ 500 ก้อน โดยจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาเท่ากับ 0.75 ตัน หากใน 1 วัน ผลิตได้วันละ 500 ก้อน ก็จะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาเท่ากับ 0.75 ตัน ต่อ 1 วัน แต่ในกรณีที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะมีกำลังผลิต ประมาณวันละ 10,000 ก้อน ต่อ 1 วัน

ดังนั้นหากจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาวันละประมาณ 300 ตันแห่งในฤดูแล้ง จะต้องผลิตจำนวนประมาณ 200,000 ก้อนต่อวัน และหากจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาวันละประมาณ 700 ตันแห่งในฤดูฝน จะต้องผลิตจำนวน ประมาณ 466,667 ก้อนต่อวัน จากเหตุผลดังกล่าวหากงานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ จะต้องมีการประชาสัมพันธ์ให้มีการผลิตในด้านอุตสาหกรรมโรงงานและอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อที่จะให้มีผู้ผลิตมากขึ้นก็จะสามารถกำจัดตะกอนดินจากน้ำประปาได้ทั้งหมด และจะทำให้เกิดประโยชน์ในการสร้างงานในอุตสาหกรรมและชุมชนได้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการวิเคราะห์จากการวิจัย ประกอบไปด้วย ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของมอร์ตาร์ คุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา และผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ โดยการนำตะกอนดินมาแทนที่ทราย ที่ร้อยละ 0 , 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ แบ่งตาม w/c เท่ากับ 0.4 , 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้จะเลือกสัดส่วนผสมที่มีกำลังอัดและการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์ตาม มอก. 827 – 2531 (คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น) [1]

ผลทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 10 ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวมีการแทนที่ของตะกอนดิน เพียงร้อยละ 10 ซึ่งยังมีค่าน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสัดส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้น แบ่งออกเป็น 3 สูตร คือ

สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1]) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 10

สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 170 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 15

สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 72 กก./ตร.ซม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ ร้อยละ 26

โดยสูตร 1 จะใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไป ส่วนสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไป

5.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

ผลทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นทั้ง 3 สูตร พบว่า

สูตร 1 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2312 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 358 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5

สูตร 2 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2133 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 204 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 8

สูตร 3 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2002 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 124 กก./ตร.ซม. และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 11

ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของมอร์ตาร์ ตามหัวข้อที่ 5.1 และผลการทดสอบทั้งหมดโดยรวมมีค่าดีขึ้น เนื่องจากว่า การผลิตบล็อกประสานปูพื้นโดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร จะทำให้บล็อกคุณสมบัติที่แข็งแกร่งขึ้นในด้านกำลังอัด และจากการบดอัดโดยเครื่องจักรทำให้วัสดุผสมมีการอัดแน่นมากขึ้นจึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการผลิตบล็อกประสานปูพื้นตามสูตร 1 มีค่ากำลังอัดประลัยผ่านตามเกณฑ์ มอก. 827-2531 [1] ซึ่งสามารถใช้กับงานปูพื้นผิวทางและทางเท้าทั่วไปได้ และการผลิตบล็อกประสานปูพื้น ตามสูตร 2 และ 3 ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน ใช้สำหรับงานปูพื้นผิวทางแบบอ่อนที่มีการรับน้ำหนักไม่มาก และทางเท้าทั่วไปได้

ผลทดสอบในงานวิจัยนี้เห็นได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้

5.3 ผลวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้แบ่งการผลิตของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาเป็น 3 สูตร คือ

สูตร 1 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นตาม มอก. 827 – 2531 [1]) โดยเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6

สูตร 2 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวแข็งแรงปานกลาง) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 30 และใช้ w/c เท่ากับ 0.8

สูตร 3 (ใช้สำหรับผลิตบล็อกประสานปูพื้นผิวอ่อน) โดยเพิ่ม ตะกอนดินที่ ร้อยละ 50 และใช้ w/c เท่ากับ 1

โดย ทั้ง 3 สูตร มีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา กับบล็อกปูพื้นคอนกรีตทั่วไป (ที่ขนาดเท่ากัน)

ชนิด	ราคา (บาท/ก้อน)
บล็อกประสานปูพื้น ทรายแฉะ	8.5 *
บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา (ใช้ตะกอนดินแทนที่ ร้อยละ 10)	5.8
บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา (ใช้ตะกอนดินแทนที่ ร้อยละ 30)	5.3
บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา (ใช้ตะกอนดินแทนที่ ร้อยละ 50)	5.0

* ราคายังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ข้อมูลจาก www.moc.go.th

จากตารางที่ 5-1 พบว่าราคาของบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปาเมื่อเทียบกับบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป จะมีราคาถูกกว่ามาก โดยในระยะยาวการนำตะกอนดินกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดได้ดี และยังได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ราคาถูกกว่าราคาทั่วไปตามท้องตลาด

หากพิจารณาในด้านปริมาณการใช้ตะกอนดินจากน้ำประปานั้น จะคิดจากบล็อกประสานปูพื้น(ที่ใช้ตะกอนดินแทนที่ ร้อยละ 50) ในปริมาตร 1 ลบ.ม. จะมีบล็อกประมาณ 500 ก้อน โดยจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาเท่ากับ 0.75 ตัน หากใน 1 วัน ผลิตได้วันละ 500 ก้อน ก็จะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาเท่ากับ 0.75 ตัน ต่อ 1 วัน แต่ในกรณีที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะมีกำลังผลิตประมาณวันละ 10,000 ก้อน ต่อ 1 วัน

ดังนั้นหากจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาวนละประมาณ 300 ตันแห่งในฤดูแล้ง จะต้องผลิตจำนวนประมาณ 200,000 ก้อนต่อวัน และหากจะใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาวนละประมาณ 700 ตันแห่งในฤดูฝน จะต้องผลิตจำนวน ประมาณ 466,667 ก้อนต่อวัน จากเหตุผลดังกล่าวหาก

งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ จะต้องมีการประชาสัมพันธ์ให้มีการผลิตในด้านอุตสาหกรรมโรงงาน และอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อที่จะให้มีผู้ผลิตมากขึ้นก็จะสามารถกำจัดตะกอนดินจากน้ำประปาได้ทั้งหมด และจะทำให้เกิดประโยชน์ในการสร้างงานในอุตสาหกรรมและชุมชนได้

5.4 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำตะกอนดินจากน้ำประปามาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งบล็อกที่ได้มีคุณสมบัติผ่าน ตามเกณฑ์ มอก. 827-2531 (คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น) [1] เห็นได้ว่างานวิจัยนี้มีประโยชน์ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปาที่เหลือใช้ มาผลิตเป็นบล็อกประสานปูพื้นที่สามารถผลิตใช้งานได้จริง และยังมีราคาถูกกว่าบล็อกปูพื้นทั่วไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยมีเป้าหมายตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ตามพระราชดำริของ “พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช”

อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นๆ ได้ เนื่องจากตะกอนดินจากน้ำประปา มีคุณสมบัติในการเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่เป็นคอนกรีตได้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มอก. 827-2531, 2531
2. ฝ่ายควบคุมการผลิตน้ำ การประสานครหลวง:สาขาบางเขน.เอกสารทางวิชาการ. พิมพ์ครั้งที่ 3, 2539
3. เพิ่มพล กาญจนามัย. การใช้ประโยชน์ตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546
4. ดวงกมล สุริยจักร, ภาสกร วิชิตอมรพันธ์, วรธนะ เรืองสำเร็จ. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547
5. ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง.กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 5, 2540
6. จิตรกร วงศ์เชาวลิต. คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543
7. กฤษดา นุ่มนวล. การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการเผาอิฐมอญ. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2540
8. สมเกียรติ รอดศิษฐ์. การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหานคร, 2541
9. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2532., 2532
10. American Society for Testing Materials. Standard Specification for Concrete Aggregates ASTM C 33-99. The United States of America, 1999
11. American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars ASTM C 109/C 109M-99. The United States of America, 1999
12. American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate ASTM C 127-88. The United States of America, 1999

- 13 วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 8, โรงพิมพ์ห้างฯ ป. สัมพันธ์พาณิชย์,
กรุงเทพมหานคร, พ.ศ. 2538

ภาคผนวก ก
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
มอก. 827-2531

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุในงานวิจัย

ตารางที่ ข – 1 ตารางการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนดิน

รายละเอียด	ดินตะกอน			
	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
1. Temperature , t (°C)	28	25.5	27.5	25.5
2. Weigh of Flask + Water + soil , W1 (g)	679.01	679.52	677.95	678.25
3. Weigh of Flask + Water , W2 (g)	650.15	650.60	650.25	650.60
4. Container No	p-1	→	p-2	→
5. Weigh of Dry Soil + Container (g)	321.79	→	329.54	→
6. Weigh of Container (g)	275.84	→	285.55	→
7. Weigh of Dry Soil ,Ws (g)	45.95	→	43.99	→
8. Specific Gravity of Water at t °C , Gt	0.996	0.997	0.997	0.997
9. Specific Gravity of Soil = (7x8)/(3+7-2)	2.679	2.690	2.691	2.684
ค่าเฉลี่ย Gs	2.68		2.69	

ตารางที่ ข – 2 ตารางการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

รายละเอียด	ทราย			
	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
1. Temperature , t (°C)	30.5	27	28.5	26
2. Weigh of Flask + Water + Sand , W1 (g)	683.24	683.68	683.56	684.25
3. Weigh of Flask + Water , W2 (g)	649.70	650.33	650.05	650.50
4. Container No	s-1	→	s-2	→
5. Weigh of Dry Sand + Container (g)	362.28	→	350.91	→
6. Weigh of Container (g)	311.08	→	299.39	→
7. Weigh of Dry Sand ,Ws (g)	51.2	→	51.52	→
8. Specific Gravity of Water at t °C , Gt	0.996	0.997	0.996	0.997
9. Specific Gravity of Sand = (7x8)/(3+7-2)	2.886	2.858	2.850	2.890
ค่าเฉลี่ย Gs	2.87		2.87	

ตารางที่ ข – 3 ตารางการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของหิน

รายละเอียด	หิน	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
Weight of SSD Sample (g)	1978.00	1963.00
Weight of Container in Water (g)	1645.00	1645.00
Weight of Container + Sample in Water (g)	2895.00	2882.00
Weight of Sample in Water (g)	1250.00	1237.00
Weight of Oven - Dry Sample in Air (g)	1970.00	1953.00
Bulk Specific Gravity (Oven - Dry)	2.71	2.69
Bulk Specific Gravity (SSD)	2.72	2.70
Apparent Specific Gravity	2.74	2.73
Absorption (%)	0.41	0.51
Average Bulk Specific Gravity (Oven - Dry)	2.70	
Average Bulk Specific Gravity (SSD)	2.71	
Average Apparent Specific Gravity	2.73	
Average Absorption (%)	0.46	

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางที่ ค – 1 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 100 : 0 (W/C = 0.4)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.43	129.68	0.240	1854	2445	96.16	84.59
	25.60	132.11	0.241	1823	2122	82.88	
	25.70	130.07	0.238	1832	1921	74.73	
7	25.67	129.66	0.225	1735	3119	121.51	115.75
	25.85	130.65	0.224	1715	3305	127.85	
	25.92	131.74	0.222	1681	2538	97.90	
14	26.27	135.40	0.227	1676	3729	141.97	135.63
	26.16	133.17	0.226	1699	3607	137.87	
	26.01	133.17	0.229	1723	3305	127.07	
28	26.21	133.68	0.227	1694	3779	144.17	149.27
	25.73	131.09	0.220	1681	3652	141.94	
	25.91	130.96	0.228	1742	4189	161.69	

ตารางที่ ค – 2 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 100 : 0 (W/C = 0.6)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.93	132.26	0.295	2233	6620	255.27	256.43
	26.01	131.61	0.293	2230	6785	260.87	
	26.01	131.61	0.275	2091	6584	253.14	
7	25.93	135.09	0.284	2104	7685	296.39	290.84
	25.94	131.38	0.287	2188	7458	287.52	
	26.15	132.57	0.274	2069	7548	288.61	
14	26.24	133.17	0.297	2231	8452	322.10	321.60
	25.98	131.87	0.297	2256	8215	316.15	
	25.76	130.58	0.293	2247	8410	326.53	
28	26.09	132.65	0.284	2138	9965	382.00	382.13
	25.93	132.26	0.287	2173	9964	384.22	
	26.16	132.38	0.291	2199	9946	380.16	

ตารางที่ ค – 3 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 100 : 0 (W/C = 0.8)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.22	128.52	0.268	2089	2959	117.31	116.63
	25.02	127.74	0.267	2094	3012	120.37	
	25.60	131.09	0.256	1955	2873	112.21	
7	25.70	130.32	0.256	1968	4254	165.49	168.81
	25.40	128.91	0.271	2106	4325	170.27	
	25.70	130.31	0.268	2053	4387	170.68	
14	24.94	125.96	0.255	2023	4845	194.24	196.28
	25.25	128.12	0.259	2020	5063	200.55	
	25.50	129.92	0.256	1974	4948	194.04	
28	25.35	128.89	0.259	2013	5086	200.65	228.94
	24.92	125.83	0.255	2029	6304	253.01	
	25.50	129.78	0.255	1964	5945	233.17	

ตารางที่ ค – 4 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 100 : 0 (W/C = 1.0)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	24.26	123.50	0.227	1836	2457	101.26	101.22
	25.45	129.16	0.232	1798	2547	100.08	
	24.86	127.42	0.229	1800	2544	102.32	
7	24.36	123.87	0.227	1830	2875	118.02	119.78
	24.46	122.80	0.228	1857	2945	120.39	
	24.84	125.69	0.229	1820	3004	120.93	
14	24.97	126.34	0.228	1805	3465	138.77	142.03
	24.84	126.70	0.231	1820	3522	141.77	
	23.96	121.95	0.222	1817	3487	145.54	
28	24.63	125.38	0.242	1930	4565	185.32	186.67
	24.81	129.28	0.252	1950	4458	179.66	
	23.85	121.17	0.239	1968	4652	195.03	

ตารางที่ ค – 5 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 90 : 10 (W/C = 0.4)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.92	132.05	0.219	1658	2062	79.54	66.44
	26.21	136.55	0.225	1647	1638	62.50	
	26.21	136.55	0.225	1647	1501	57.27	
7	25.86	131.74	0.227	1723	2549	98.58	82.99
	26.20	134.16	0.226	1687	2135	81.48	
	26.20	134.16	0.226	1687	1806	68.92	
14	25.86	131.64	0.219	1665	2590	100.15	96.57
	25.88	130.71	0.223	1708	2633	101.75	
	25.80	131.20	0.221	1682	2266	87.83	
28	26.27	133.69	0.219	1636	3380	128.69	115.16
	26.14	133.29	0.221	1660	2857	109.31	
	26.27	133.69	0.219	1636	2823	107.48	

ตารางที่ ค – 6 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 90 : 10 (W/C = 0.6)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	26.32	133.21	0.269	2021	3048	115.82	196.34
	26.52	134.81	0.270	2001	7128	268.82	
	25.96	132.02	0.251	1904	5305	204.36	
7	25.83	131.87	0.259	1965	5465	211.61	239.77
	26.02	132.60	0.269	2031	7307	280.77	
	25.92	132.60	0.269	2028	5883	226.94	
14	25.87	131.69	0.253	1920	6747	260.78	287.72
	25.79	130.99	0.256	1955	8359	324.17	
	25.91	131.98	0.246	1867	7209	278.20	
28	25.65	131.48	0.236	1793	9105	354.92	352.04
	26.32	133.69	0.252	1886	9285	352.83	
	26.36	134.19	0.255	1899	9184	348.37	

ตารางที่ ค – 7 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 90 : 10 (W/C = 0.8)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.86	132.39	0.238	1800	2726	105.43	98.68
	25.58	130.45	0.237	1815	2033	79.48	
	25.60	129.80	0.238	1830	2845	111.12	
7	25.98	132.26	0.239	1810	3708	142.70	159.14
	26.03	130.95	0.237	1812	4467	171.58	
	25.98	131.74	0.240	1822	4239	163.14	
14	26.24	133.68	0.233	1746	5239	199.68	186.36
	26.06	132.26	0.235	1778	4917	188.67	
	25.76	130.06	0.237	1826	4397	170.72	
28	25.88	130.71	0.258	1971	5321	205.58	218.23
	25.86	131.74	0.259	1962	6081	235.18	
	25.73	131.22	0.259	1972	5504	213.92	

ตารางที่ ค – 8 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 90 : 10 (W/C = 1.0)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.88	132.00	0.221	1675	1776	68.62	68.67
	25.60	129.43	0.224	1730	2133	83.31	
	25.00	127.49	0.221	1730	1352	54.09	
7	25.53	128.91	0.224	1741	2130	83.44	86.52
	25.45	128.77	0.225	1750	2426	95.33	
	25.70	130.45	0.230	1759	2077	80.80	
14	25.98	131.87	0.227	1724	3003	115.57	118.28
	25.53	129.55	0.223	1719	3280	128.49	
	25.68	130.45	0.224	1716	2845	110.79	
28	25.42	129.12	0.242	1873	3865	152.06	162.67
	24.75	125.58	0.242	1928	4257	172.03	
	25.10	126.99	0.248	1953	4114	163.93	

ตารางที่ ค – 9 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 80 : 20 (W/C = 0.4)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	26.10	131.81	0.205	1554	733	28.09	24.08
	26.43	135.45	0.219	1616	620	23.46	
	26.23	135.94	0.217	1600	543	20.70	
7	26.11	132.52	0.219	1650	919	35.19	35.61
	25.96	132.52	0.224	1687	952	36.67	
	26.11	132.90	0.210	1579	913	34.97	
14	26.20	133.64	0.207	1549	930	35.50	37.90
	26.39	135.28	0.212	1564	1090	41.31	
	26.16	133.09	0.203	1528	965	36.89	
28	25.76	132.13	0.206	1562	1118	43.41	45.23
	26.39	133.55	0.211	1583	1270	48.12	
	26.04	131.87	0.198	1498	1150	44.17	

ตารางที่ ค – 10 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 80 : 20 (W/C = 0.6)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	26.31	133.23	0.247	1850	3458	131.41	132.60
	26.01	132.33	0.250	1888	3505	134.74	
	26.55	134.32	0.245	1821	3495	131.66	
7	25.91	134.72	0.244	1814	3942	152.15	151.81
	25.96	132.39	0.243	1838	3895	150.04	
	25.85	130.76	0.226	1730	3961	153.22	
14	25.69	130.50	0.236	1812	4856	189.03	191.34
	25.83	133.01	0.246	1851	4963	192.17	
	25.85	130.76	0.246	1878	4985	192.83	
28	25.68	129.42	0.246	1898	5960	232.09	230.28
	26.01	132.00	0.241	1829	5973	229.64	
	26.14	135.91	0.255	1874	5988	229.10	

ตารางที่ ค – 11 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 80 : 20 (W/C = 0.8)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	26.11	132.39	0.236	1786	2122	81.27	82.77
	26.01	132.65	0.234	1762	2254	86.66	
	25.81	130.58	0.222	1697	2074	80.37	
7	26.01	132.52	0.224	1693	3701	142.29	137.50
	25.68	129.04	0.215	1663	3511	136.72	
	25.96	131.87	0.228	1726	3465	133.48	
14	26.14	132.65	0.217	1635	4562	174.54	168.51
	25.76	131.35	0.224	1703	4356	169.13	
	26.01	131.35	0.236	1800	4210	161.86	
28	25.88	130.97	0.235	1791	5084	196.43	195.50
	25.65	131.09	0.230	1751	4987	194.39	
	26.18	132.50	0.226	1709	5124	195.69	

ตารางที่ ค – 12 ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมตะกอนดิน 80 : 20 (W/C = 1.0)							
ระยะเวลา บ่ม (วัน)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลัง อัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
3	25.81	131.61	0.220	1672	1354	52.47	56.38
	26.16	132.38	0.217	1642	1478	56.49	
	25.70	130.07	0.219	1684	1547	60.18	
7	25.91	131.61	0.224	1700	1956	75.50	78.12
	25.40	127.64	0.222	1739	1986	78.19	
	25.83	131.48	0.228	1732	2084	80.68	
14	26.14	134.74	0.223	1655	3069	117.42	109.65
	26.11	133.82	0.222	1655	2759	105.66	
	26.01	132.65	0.220	1661	2754	105.88	
28	25.76	131.87	0.246	1862	3547	137.72	141.91
	26.09	132.13	0.246	1864	3875	148.54	
	26.09	133.56	0.247	1851	3638	139.47	

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน

ตารางที่ ง – 1 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน 100 : 0 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	1	240.02	262.45	0.093	9.35	10.10
	2	241.07	266.41	0.105	10.51	
	3	242.36	267.69	0.105	10.45	
0.6	1	221.48	242.19	0.094	9.35	9.36
	2	220.15	240.11	0.091	9.07	
	3	226.20	248.06	0.097	9.66	
0.8	1	245.62	269.57	0.098	9.75	9.50
	2	251.11	274.51	0.093	9.32	
	3	247.76	271.10	0.094	9.42	
1.0	1	229.24	255.73	0.116	11.56	11.79
	2	226.43	253.01	0.117	11.74	
	3	228.38	255.97	0.121	12.08	

ตารางที่ ง – 2 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน 90 : 10 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	1	215.90	248.97	0.153	15.32	15.51
	2	217.18	250.80	0.155	15.48	
	3	212.91	246.39	0.157	15.72	
0.6	1	241.90	268.01	0.108	10.79	10.39
	2	252.26	277.64	0.101	10.06	
	3	244.53	269.76	0.103	10.32	
0.8	1	241.80	271.50	0.123	12.28	10.92
	2	246.29	271.48	0.102	10.23	
	3	245.76	270.95	0.102	10.25	
1.0	1	224.22	255.26	0.138	13.84	13.58
	2	226.16	256.50	0.134	13.42	
	3	225.04	255.35	0.135	13.47	

ตารางที่ ง – 3 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน (ระยะการบ่ม 28 วัน)

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน 80 : 20 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	1	200.06	241.71	0.208	20.82	20.47
	2	208.32	250.63	0.203	20.31	
	3	191.78	230.67	0.203	20.28	
0.6	1	230.49	264.77	0.149	14.87	13.18
	2	231.02	259.48	0.123	12.32	
	3	230.96	259.46	0.123	12.34	
0.8	1	231.10	262.47	0.136	13.57	13.28
	2	232.71	263.08	0.131	13.05	
	3	232.63	263.40	0.132	13.23	
1.0	1	221.80	257.22	0.160	15.97	16.10
	2	221.70	257.23	0.160	16.03	
	3	220.82	256.81	0.163	16.30	

ตารางที่ ง – 4 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน (ระยะการบ่ม 28 วัน)

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา 70 : 30 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.6	1	199.80	249.29	0.248	24.77	24.13
	2	200.83	247.99	0.235	23.48	
	3	204.25	253.54	0.241	24.13	
0.8	1	238.67	273.99	0.148	14.80	15.34
	2	237.50	275.40	0.160	15.96	
	3	240.07	276.72	0.153	15.27	
1.0	1	231.03	272.42	0.179	17.92	16.96
	2	226.33	264.55	0.169	16.89	
	3	232.25	269.60	0.161	16.08	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ ๕ – 5 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน (ระยะการบ่ม 28 วัน)

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา 60 : 40 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักอิ่มน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.6	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.8	1	192.30	247.00	0.284	28.45	28.54
	2	194.70	249.80	0.283	28.30	
	3	195.60	252.05	0.289	28.86	
1.0	1	206.50	257.00	0.245	24.46	23.42
	2	203.10	250.50	0.233	23.34	
	3	208.70	255.60	0.225	22.47	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ ๖ – 6 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนดิน (ระยะการบ่ม 28 วัน)

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา 50 : 50 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักอิ่มน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.6	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.8	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
1.0	1	195.50	247.25	0.265	26.47	26.01
	2	196.90	246.50	0.252	25.19	
	3	197.50	249.60	0.264	26.38	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ ๗ – 7 ตารางทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้ารผสมตะกอนดิน (ระยะการบ่ม 28 วัน)

ตารางทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้ารผสมตะกอนประปา 40 : 60 (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักก่อนน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
0.4	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.6	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
0.8	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
1.0	1	183.30	239.80	0.308	30.82	30.44
	2	184.25	240.05	0.303	30.28	
	3	184.30	240.00	0.302	30.22	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ โดยใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาแทนที่ทราย ตั้งแต่ ร้อยละ

0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60

ตารางที่ จ-1 ตารางการทดสอบแรงอัดมอร์ต้าผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (W/C = 0.4)

ร้อยละของ ตะกอน ประปา	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	แรงอัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
0	26.21	133.68	0.227	1694	3779	144.17	149.27
	25.73	131.09	0.220	1681	3652	141.94	
	25.91	130.96	0.228	1742	4189	161.69	
10	26.27	133.69	0.219	1636	3380	128.69	115.16
	26.14	133.29	0.221	1660	2857	109.31	
	26.27	133.69	0.219	1636	2823	107.48	
20	25.76	132.13	0.206	1562	1118	43.41	45.23
	26.39	133.55	0.211	1583	1270	48.12	
	26.04	131.87	0.198	1498	1150	44.17	
30	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
60	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ จ-2 ตารางการทดสอบแรงอัดมอร์ต้าผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (W/C = 0.6)

ร้อยละของ ตะกอน ประปา	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	แรงอัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
0	26.09	132.65	0.284	2138	9965	382.00	382.13
	25.93	132.26	0.287	2173	9964	384.22	
	26.16	132.38	0.291	2199	9946	380.16	
10	25.65	131.48	0.236	1793	9105	354.92	352.04
	26.32	133.69	0.252	1886	9285	352.83	
	26.36	134.19	0.255	1899	9184	348.37	
20	25.68	129.42	0.246	1898	5960	232.09	230.28
	26.01	132.00	0.241	1829	5973	229.64	
	26.14	135.91	0.255	1874	5988	229.10	
30	26.19	132.52	0.217	1637	1907	72.82	72.57
	26.42	133.81	0.224	1673	1832	69.34	
	26.34	134.35	0.225	1676	1990	75.54	
40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
60	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ จ-3 ตารางการทดสอบแรงอัดมอร์ต้าผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (W/C = 0.8)

ร้อยละของ ตะกอน ประปา	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	แรงอัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
0	25.35	128.89	0.259	2013	5086	200.65	228.94
	24.92	125.83	0.255	2029	6304	253.01	
	25.50	129.78	0.255	1964	5945	233.17	
10	25.88	130.71	0.258	1971	5321	205.58	218.23
	25.86	131.74	0.259	1962	6081	235.18	
	25.73	131.22	0.259	1972	5504	213.92	
20	25.88	130.97	0.235	1791	5084	196.43	195.50
	25.65	131.09	0.230	1751	4987	194.39	
	26.18	132.50	0.226	1709	5124	195.69	
30	26.01	131.87	0.255	1933	4309	165.67	170.36
	25.93	130.18	0.254	1951	4509	173.87	
	26.11	132.65	0.259	1954	4479	171.53	
40	26.26	133.29	0.218	1633	1758	66.94	67.35
	26.06	132.37	0.224	1694	1939	74.41	
	26.01	133.30	0.225	1688	1579	60.71	
50	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
60	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ : - ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ จ-4 ตารางการทดสอบแรงอัดมอร์ต้าผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (W/C = 1.0)

ร้อยละของ ตะกอน ประปา	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	แรงอัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย
0	24.63	125.38	0.242	1930	4565	185.32	186.67
	24.81	129.28	0.252	1950	4458	179.66	
	23.85	121.17	0.239	1968	4652	195.03	
10	25.42	129.12	0.242	1873	3865	152.06	162.67
	24.75	125.58	0.242	1928	4257	172.03	
	25.10	126.99	0.248	1953	4114	163.93	
20	25.76	131.87	0.246	1862	3547	137.72	141.91
	26.09	132.13	0.246	1864	3875	148.54	
	26.09	133.56	0.247	1851	3638	139.47	
30	26.11	133.82	0.252	1884	3243	124.20	132.31
	25.63	130.71	0.249	1908	3581	139.73	
	26.21	133.04	0.251	1883	3487	133.02	
40	26.31	134.60	0.229	1704	2226	84.59	80.85
	26.65	134.32	0.228	1697	1985	74.48	
	25.91	134.07	0.230	1715	2163	83.49	
50	26.11	135.77	0.223	1642	1874	71.77	71.87
	26.65	135.90	0.225	1656	1894	71.08	
	26.52	135.25	0.226	1671	1930	72.78	
60	26.44	134.84	0.204	1511	1094	41.38	42.14
	26.31	133.68	0.207	1551	986	37.47	
	26.57	134.85	0.213	1580	1264	47.57	

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้น

ตารางที่ จ-1 ตารางการทดสอบแรงอัดมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ร้อยละของ ตะกอน ประปา	พื้นที่ (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความ หนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	แรงอัด (กก.)	กำลังอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
10 (w/c = 0.6)	155.800	1596.167	3.860	2418	56817	364.68	358.15
	156.277	1628.410	3.650	2241	55057	352.30	
	156.386	1624.845	3.700	2277	55903	357.47	
30 (w/c = 0.8)	156.139	1605.108	3.410	2124	31910	204.37	204.32
	154.864	1627.615	3.430	2107	30667	198.03	
	155.433	1619.615	3.510	2167	32731	210.58	
50 (w/c = 1)	155.122	1597.752	3.200	2003	18287	117.89	124.38
	154.741	1624.785	3.390	2086	19520	126.15	
	154.267	1612.088	3.090	1917	19916	129.10	

ตารางที่ จ-2 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นผสมตะกอนประปา (W/C = 0.6) (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
ร้อยละ ตะกอนประปา	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
10	1	3740.00	3825.00	0.023	2.27	4.65
	2	3710.00	3820.00	0.030	2.96	
	3	3720.00	3825.00	0.028	2.82	
	4	3800.00	3900.00	0.026	2.63	
	5	3700.00	3820.00	0.032	3.24	

ตารางที่ จ-3 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นผสมตะกอนประปา (W/C = 0.8) (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
ร้อยละ ตะกอนประปา	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
30	1	3430.00	3610.00	0.052	5.25	7.73
	2	3430.00	3580.00	0.044	4.37	
	3	3400.00	3585.00	0.054	5.44	
	4	3430.00	3585.00	0.045	4.52	
	5	3450.00	3575.00	0.036	3.62	

ตารางที่ จ-4 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมตะกอนประปา ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นผสมตะกอนประปา (W/C = 1.0) (ที่ระยะการบ่ม 28 วัน)						
ร้อยละ ตะกอนประปา	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกึ่งน้ำ (กรัม)	การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย
50	1	3380.00	3595.00	0.064	6.36	11.17
	2	3380.00	3575.00	0.058	5.77	
	3	3500.00	3730.00	0.066	6.57	
	4	3150.00	3415.00	0.084	8.41	
	5	3120.00	3320.00	0.064	6.41	

ภาคผนวก ข
บทความวิชาการ

บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา

Paving Blocks mixed with Sludge

สมบุญ คงสมศักดิ์ศิริ และ อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ

Somboon Kongsomsaksiri and Adisorn Pongsuwan

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินมาเป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้น การหาค่ากำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้นที่มีตะกอนดินเป็นส่วนผสม ให้ใช้เกณฑ์กำลังอัดประลัยตาม มอก. 827-2531 [1] ซึ่งมีการทดสอบโดยการนำตะกอนดินมาใช้ผสมบล็อกประสานปูพื้นในปริมาณตะกอนประปา ร้อยละ 0, 10 และ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับทรายและหินกรวด บ่มที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ค่าหน่วยน้ำหนัก และค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบพบว่าบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา ร้อยละ 10 ที่ค่าน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ ซึ่งผลทดสอบที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่าดังนี้คือ กำลังอัดประลัยมีค่า 358 กก./ซม² หน่วยน้ำหนักมีค่า 2312 กก./ม³ ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าร้อยละ 5 จากผลการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้

ABSTRACT

The objectives of this research are to study the possibility of using sludge as a mixing material in making paving block, to find the compressive strength of paving block with sludge, then compare its compressive strength with Industrial Standard 827-2531 [1]. For the test, the paving block was mixed with 0, 10 and 20 percentage of sludge, with the same weight as sand and fine stone. Then the block was cured for 3, 7, 14 and 28 days separately. After that, there were tests of compressive strength, density and water absorption value.

It was found that, the paving block mixed with 10 percentage sludge in 0.6 w/c is the most appropriate. Following is the result of the test of the paving block at 28 days of curing : compressive strength value is 358 kg/cm², density 2312 kg/m³, and the water absorption 5 percentage. It can be concluded that sludge can become mixture in a paving block.

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Department of Civil and Environmental Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

คำนำ

การผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนจะมีตะกอนดินจากน้ำประปาตกค้างจากกระบวนการผลิตวันละประมาณ 300 ตันแห้งในฤดูแล้ง และ 700 ตันแห้งในฤดูฝน ซึ่งตะกอนดินที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปา เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบกับสารเคมีที่เติมลงไปในการสร้างตะกอน เช่น สารส้ม ซึ่งระบายออกจากถังตะกอนเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดปัญหาในด้านการจัดการและการกำจัด ทั้งในด้านพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการกำจัด เช่น การใช้บ่อกักตะกอน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากสามารถนำดินตะกอนเหล่านี้กลับไปใช้ประโยชน์ได้ย่อมเป็นการลดปัญหาของการจัดการตะกอน รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาได้อีกส่วนหนึ่ง ในปัจจุบันได้มีแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินของระบบผลิตน้ำประปาอยู่หลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการปลูกพืช การผลิตเครื่องปั้นดินเผา และอื่นๆ แต่ละแนวทางอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของตะกอนดินที่ไม่เหมาะสม เช่น มีการหดตัวสูงความเหนียวต่ำ กำลังการรับแรงเปลี่ยนแปลงตามความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า การนำตะกอนดินไปใช้ในการปลูกพืชโดยตรงมีปัญหาด้านปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการใช้งานต้องนำไปผสมกับปุ๋ยเพิ่ม ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ในรูปแบบนี้ไม่มีความเหมาะสมมากนัก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการนำตะกอนดินไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยการทำบล็อกประสานปูพื้นและเพื่อเป็นการลดปัญหาการจัดการ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่น เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยมีเป้าหมายตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ตามพระราชดำริของ “พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช”

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ใช้การทดสอบ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2532 [2]

1.2 ทราชที่ใช้ในการทดสอบ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ตาม ASTM C 33-99 [3]

1.3 หินที่ใช้ในการทดสอบ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ตาม ASTM C 33-99 [3]

1.4 ตะกอนดินได้ตัวอย่างจากลานตากตะกอน C ของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ลักษณะจะเป็นก้อน ต้องนำมาทุบด้วยค้อนหรือนำไปใส่เครื่อง Los Angeles ให้ตะกอนดินมีขนาดเล็กลงแล้วจึงนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ตาม ASTM C 33-99 [3]

1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า

1.6 เครื่องผสมไฟฟ้า มีระดับความเร็ว 3 ระดับ ระดับความเร็วต่ำที่จะหมุนความเร็ว 140 รอบ/วินาที และระดับสูงสุดหมุนด้วยความเร็ว 285 รอบ/วินาที หม้อผสมเป็นโลหะที่ไม่เกิดสนิมมีความจุ 4.73 ลิตร

1.7 แบบหล่อทองเหลือง ขนาดมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4] ขนาด 50 x 50 x 50 มม. (ภาพที่ 1)

1.8 ตู้อบไฟฟ้า

1.9 เครื่องทดสอบกำลังอัดประลัย



ภาพที่ 1 แบบหล่อทองเหลือง ขนาดมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4]

2. อัตราส่วนผสม

2.1 อัตราส่วนในการผลิตของบล็อกละเอียดป่นโดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1:3 (ปูนซีเมนต์:ทรายและหินเกล็ด) งานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินจากน้ำประปามาแทนที่ทรายและหินเกล็ดโดยจะแทนที่ ตั้งแต่ร้อยละ 0,10 และ 20 ตามลำดับ

2.2 ในแต่ละอัตราส่วนของมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4,0.6,0.8 และ 1

2.3 ตัวอย่างทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ใช้อายุการบ่ม 3,7,14 และ 28 วัน

3. ขั้นตอนการทดสอบ

3.1 การทดสอบมอร์ตาร์

ทดสอบการรับกำลังอัดประลัยและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย ตะกอนดิน และน้ำ จะทดสอบที่อายุ 3,7,14 และ 28 วัน ของมอร์ตาร์ (ภาพที่ 2) โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

ก. การทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4] ทดสอบเพื่อหาลังอัดประลัยต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น กก/ซม²

ข. การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ เป็นไปตาม ASTM C 127-88 [5] ทดสอบเพื่อหาร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 2 ตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์

3.2 วิธีทำบล็อกประสานปูพื้น

ก. นำวัสดุที่เตรียมไว้คือ ปูนซีเมนต์ ทราย หิน ตะกอนดิน และน้ำ ตามสัดส่วนจำนวนที่กำหนดไว้ใส่ในถาดผสมคอนกรีต

ข. นำเครื่องอัดบล็อกประสานปูพื้น (ภาพที่ 3) ที่เตรียมไว้มาทำความสะอาดและทาน้ำมันบริเวณที่จะเทคอนกรีตให้ทั่วเพื่อเวลาถอดแบบจะได้ถอดได้ง่าย และทำการอัดคอนกรีตและกระทุ้งคอนกรีตจนเนื้อคอนกรีตแน่นสม่ำเสมอแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ

ค. เมื่อหล่อคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ดันบล็อกตัวอย่างออกจากแบบหล่อ (ภาพที่ 4) แล้วให้ทิ้งไว้ 24 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบที่ได้ทั้งหมดไปบ่มในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดในการบ่ม จึงนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำใช้ผ้าแห้งสะอาดเช็ดให้แห้งแล้ว ทิ้งตัวอย่างทดสอบไว้ประมาณ 3 วัน นำไปชั่งแล้วทำการทดสอบตามขั้นตอนต่างๆ



ภาพที่ 3 เครื่องอัดบล็อกประสานปูพื้น



ภาพที่ 4 ตัวอย่างทดสอบบล็อกประสานปูพื้น

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้น

ในการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นจะทดสอบที่อายุ 28 วัน โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

ก. การทดสอบกำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้น เกณฑ์พิจารณาเป็นไปตามมอก. 827-2531 [1] ทดสอบเพื่อกำหนดกำลังอัดประลัยต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น กก/ซม² (ภาพที่ 5)

ข. การทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้น เป็นไปตาม ASTM C 127-88 [5] ทดสอบเพื่อกำหนดการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 5 การทดสอบกำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้น

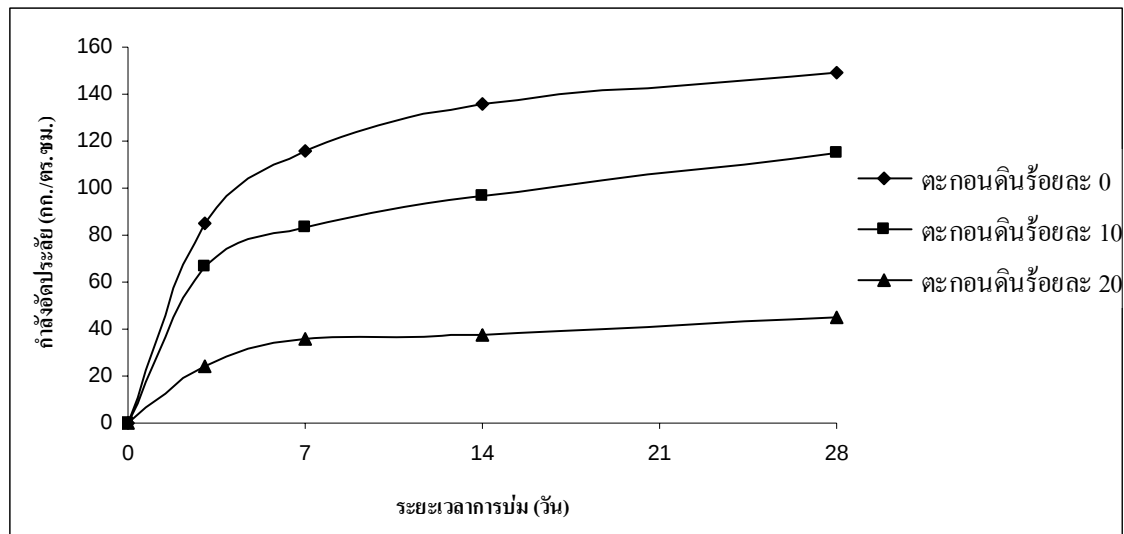
ผลและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์

1.1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

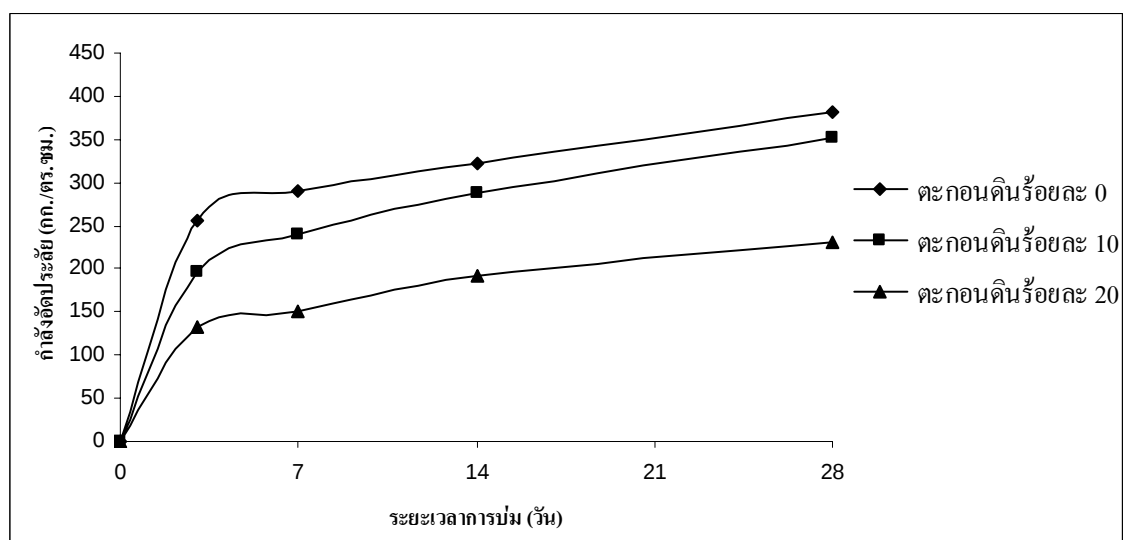
การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ เป็นการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นผสมตะกอนดินจากน้ำประปา โดยวิเคราะห์จากสัดส่วนเดิมคือ 1:3 (ปูนซีเมนต์ : ทรายและหินเกล็ด) ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินมาแทนที่ทรายและหินเกล็ด ตั้งแต่ ร้อยละ 0, 10 และ 20

ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ในแต่ละอัตราส่วนตามลำดับ โดยแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 6, 7, 8 และ 9



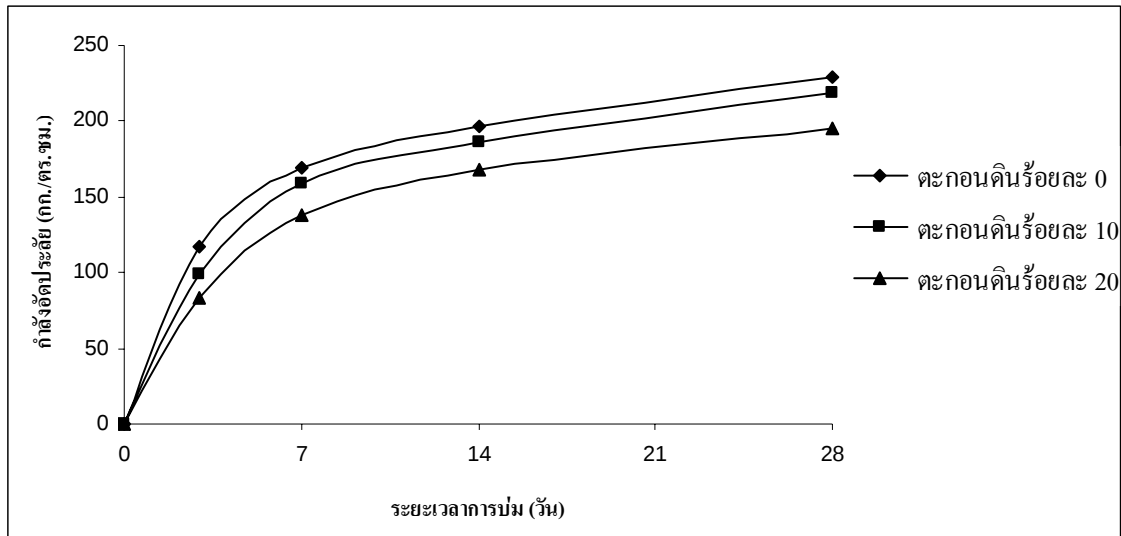
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.4

จากภาพที่ 6 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์คือ ถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 149 กก./ซม². และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินรื้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 45 กก./ซม². ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่ากำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



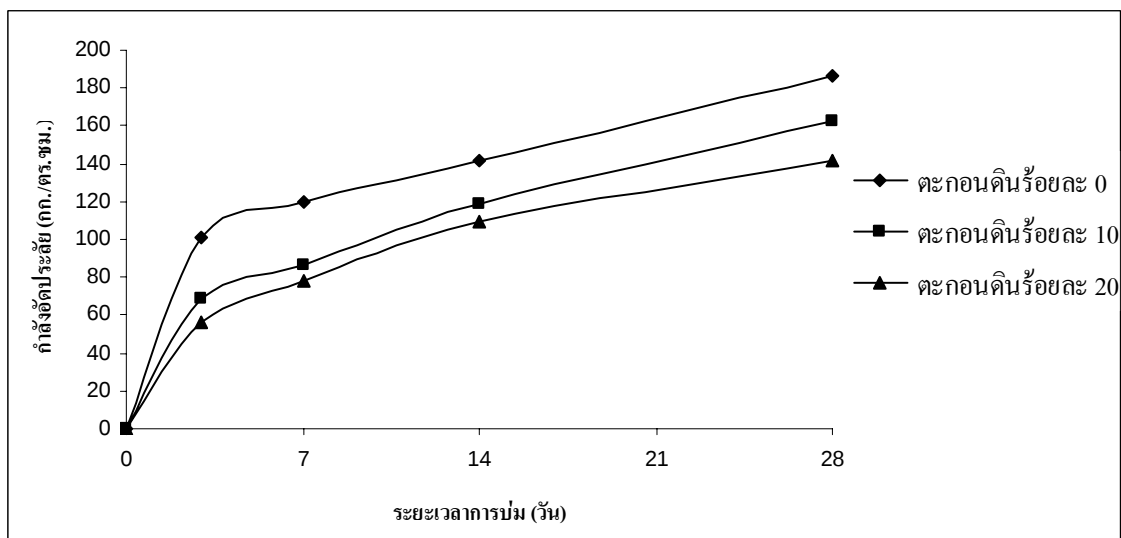
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.6

จากภาพที่ 7 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์คือถ้าระยะเวลาการบ่ม มากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 382 กก./ชม². และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 230 กก./ชม². ผลการทดสอบกำลังอัด พบว่ากำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 0.8

จากภาพที่ 8 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์คือถ้าระยะเวลาการบ่ม มากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 229 กก./ชม². และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 196 กก./ชม². ผลการทดสอบกำลังอัด พบว่ากำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน



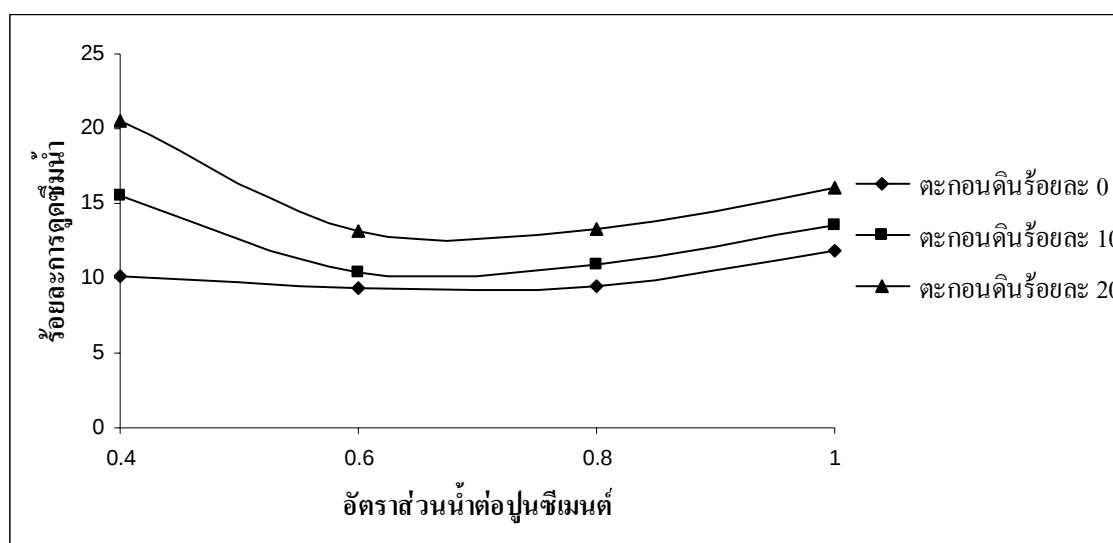
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยใช้ w/c เท่ากับ 1.0

จากภาพที่ 9 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์คือถ้าระยะเวลาการบ่ม มากขึ้นจะทำให้กำลังอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ที่ เท่ากับ 187 กก./ชม². และกำลังอัดน้อยที่สุดอยู่ที่การเพิ่มตะกอนดินร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 142 กก./ชม². ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่ากำลังอัดจะลดลงตามการเพิ่มตะกอนดิน

จากผลการทดสอบตามภาพที่ 6, 7, 8 และ 9 สามารถสรุปได้ว่า ค่าทดสอบกำลังอัดที่มากที่สุด อยู่ที่อายุการบ่ม 28 วัน และการเพิ่มตะกอนดิน ร้อยละ 0 แต่วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือการใช้ตะกอนดินผสมในบล็อกประสานปูพื้น เพื่อลดปริมาณทรายและหิน ดังนั้นการเลือกสัดส่วนผสมจะเลือกสัดส่วนผสมที่มีการเพิ่มของตะกอนดินแทนที่ปริมาณทรายและหินและกำลังอัดเป็นไปตาม มอก. 827 – 2531 [1] ที่กำหนดค่ากำลังอัดอยู่ที่ 350 กก./ชม². จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 352 กก./ชม².

1.2 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ตะกอนประปาในร้อยละต่าง ๆ แสดงตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับร้อยละการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 10 จะพบว่าการเพิ่มตะกอนดินมากขึ้นการดูดซึมของมอร์ต้าร์จะมีค่ามากขึ้นตาม และเมื่อ w/c ลดลงจะทำให้ค่าการดูดซึมของมอร์ต้าร์ลดลงตามไปด้วย แต่ถ้า w/c น้อยเกินไปก็จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น จากภาพที่ 4-5 อัตราส่วนตะกอนดินที่ ร้อยละ 20 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4 มีค่าการดูดซึมเท่ากับ ร้อยละ 20 ซึ่งมีค่ามากที่สุด และค่าการดูดซึมน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างทดสอบที่มีอัตราส่วนตะกอนดินที่ ร้อยละ 0 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 9 กรณีที่เพิ่มตะกอนประปาแล้วค่าการดูดซึมมากขึ้น เพราะว่า ตะกอนประปามีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมทำบล็อกประสานปูพื้น จึงส่งผลทำให้บล็อกนั้น มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำสูง

ตามไปด้วย ส่วนในกรณีของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า w/c เท่ากับ 0.4 มีค่าการดูดซึมน้ำ มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า w/c เท่ากับ 0.6 เพราะว่าค่า w/c เท่ากับ 0.4 อาจมีปริมาณน้ำน้อยเกินไป ตะกอนประปอาจดูดซึมน้ำไปมาก จึงทำให้กระบวนการผสมของวัสดุผสมไม่สมบูรณ์ มีลักษณะร่วน และทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจึงมากขึ้นตาม

2. การทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้น

ในการทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นจะทดสอบที่อายุ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นจากชั้นตอนของมอร์ตาร์ ใช้อัตราส่วนการเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6 โดยกำลังอัดประลัยของบล็อกประสานปูพื้นจะใช้เกณฑ์พิจารณาตาม มอก. 827-2531 [1] โดยกำหนดค่ากำลังอัดอยู่ที่ 350 กก./ cm^2 . ผลทดสอบคุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นพบว่า ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 2312 กก./ m^3 ค่ากำลังอัดประลัยมีค่าเท่ากับ 358 กก./ cm^2 . และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5

จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดประลัยที่ได้มีค่าผ่านตามเกณฑ์ มอก. 827-2531 [1] ดังนั้นสรุปได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการทำบล็อกประสานปูพื้นได้

สรุป

- อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นในงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มตะกอนดินที่ ร้อยละ 10 และใช้ w/c เท่ากับ 0.6
- คุณสมบัติของบล็อกประสานปูพื้นในงานวิจัยนี้ มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2312 กก./ m^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 358 กก./ cm^2 . และการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 5
- แต่ยังมีข้อเสีย เนื่องจากว่าบล็อกประสานปูพื้นในงานวิจัยนี้ มีการเพิ่มตะกอนดินเพียงร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าน้อยมาก เพราะว่าเกณฑ์พิจารณากำลังอัดประลัยตาม มอก. 827-2531 [1] กำหนดค่าอยู่ที่ 350 กก./ cm^2 . ซึ่งมีค่ามาก จึงทำให้การใช้ตะกอนดินแทนที่ทรายและหินเกล็ด แทนที่ได้้น้อย เพราะหากเพิ่มตะกอนดินมากไปจะทำให้ค่ากำลังอัดลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ การประปานครหลวง (กปน.) ที่ช่วยในเรื่องวัสดุงานวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่สนับสนุนด้านสถานที่วิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มอก. 827-2531, 2531

2. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2532., 2532
3. American Society for Testing Materials. Standard Specification for Concrete Aggregates ASTM C 33-99. The United States of America, 1999
- 4.. American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars ASTM C 109/C 109M-99. The United States of America, 1999
5. American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate ASTM C 127-88. The United States of America, 1999