

การผลิตซีเมนต์แบบอัดแน่น ซีเมนต์ผสมดินแบบอัดแน่น

บรรณกร จักรวีระ*
พิชัย นิมิคยสกุล**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อหาตัวแปรที่จำเป็นสำหรับผลิตซีเมนต์แบบอัดแน่นที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา ซีเมนต์ต่าง ๆ ถูกเตรียมขึ้นมาจากการแปรค่าต่าง ๆ ของเวลาการเผา, อุณหภูมิการเผา, สภาพอากาศระหว่างการเผา, อัตราการปล่อยไอน้ำตัวลง และเวลาการบด ซีเมนต์ถูกผสมกับปูนขาว โดยสัดส่วนซีเมนต์ต่อปูนขาวมีค่าเท่ากับ 30% : 70% ผลของตัวแปรของซีเมนต์ถูกประเมินโดยพิจารณาความสามารถในการเพิ่มกำลังของมอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์ และปูนขาว จากการสังเกตซีเมนต์ดังกล่าว โดยใช้กล้องส่องขยาย จะสามารถหาวิธีการง่าย ๆ ในการบ่งบอกซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา วิธีการการผลิตซีเมนต์แบบอัดแน่นที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพ และการประยุกต์ใช้ซีเมนต์ดังกล่าวกับปูนขาวในบล็อกซีเมนต์ผสมดินแบบอัดแน่น ถูกค้นพบครั้งแรก และยังพบอีกว่า (1) ซีเมนต์จะมีความไวต่อการทำปฏิกิริยาไวมาก ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศระหว่างการเผา และอัตราการปล่อยไอน้ำตัวลง รวมทั้งอุณหภูมิการเผา เวลาการเผา และการบด (2) สภาพอนุภาคของซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยามีลักษณะเฉพาะเมื่อใช้กล้องส่องขยายส่องดู (3) ซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาสามารถนำมาใช้ผลิตบล็อกซีเมนต์และไม้กระดานซีเมนต์เมื่อใช้ร่วมกับปูนขาวในการแทนที่ในซีเมนต์ เพื่อผลิตบล็อกซีเมนต์ผสมดิน

1. บทนำ

ซีเมนต์สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ในคอนกรีตได้ ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับการใช้ซีเมนต์ทั้งในแง่พื้นฐาน และการประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติ เป็นที่น่าสนใจอย่างมาก สำหรับประเทศในเอเชีย ที่มีสถานะการขาดแคลนซีเมนต์เสมอ แต่ทว่ามีปริมาณแคลกจำนวนมาก และมีความต้องการวัสดุราคาถูก จากเหตุผลดังกล่าวได้มีความพยายามพัฒนาเทคโนโลยีที่จะนำซีเมนต์มาใช้เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีตที่สามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้

* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี 121210

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะแสดงให้เห็นชัดถึงตัวแปรที่จำเป็นสำหรับผลิตซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา ซีเมนต์ต่าง ๆ ถูกเตรียมขึ้นมาจากการแปรค่าต่าง ๆ ของเวลาการเผา, อุณหภูมิการเผา, สภาพอากาศระหว่างการเผา, อัตราการปล่อยไอน้ำตัวลง และเวลาการบด สัดส่วนซีเมนต์ต่อปูนขาวมีค่าเท่ากับ 30% : 70% ผลของตัวแปรของซีเมนต์ถูกประเมินโดยพิจารณาความสามารถในการเพิ่มกำลังของมอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์และปูนขาว นอกจากนั้น ยังใช้กล้องส่องขยายตรวจสอบลักษณะของอนุภาคซีเมนต์ดังกล่าวด้วย รวมไปถึงการศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพที่จะผลิตซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา ซึ่งสามารถใช้ได้ในทางปฏิบัติด้วย

2. วัสดุ

แกลบ : แกลบมาจากโรงสีข้าวที่อำเภอวังน้อย มีปริมาณความชื้นประมาณ 21% แกลบจะเผาในเตาเผาที่มีสภาพเปิด

ซีเมนต์ : ซีเมนต์ได้จากการเผาแกลบปกติ แต่เลือกเฉพาะที่มีสีดำ ซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 11%

ปูนขาว : ปูนขาวที่ใช้คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่บรรจุไว้ในขวดแก้วป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น

ซีเมนต์ : ใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ตามมาตรฐาน ASTM

ดิน : ดินได้มาจากการจุดพื้นดินใกล้ ๆ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หลังจากจุดดินดังกล่าวขึ้นมาแล้ว ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 10 เดือนในสภาพห้องปฏิบัติการดังกล่าว จากนั้นบดให้ละเอียดเพื่อผ่านตะแกรง ASTM เบอร์ 30 ก่อนที่จะเก็บไว้ในถุงพลาสติกปริมาณทรายในดินประมาณ 17% ความถ่วงจำเพาะ, ค่าขีดจำกัดความชื้น, ค่าขีดจำกัดพลาสติกและดัชนีความเป็นพลาสติก มีค่า 3.78 , 44% , 29% และ 15% ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM D2488-69 พบว่าดินดังกล่าวเป็นดินโคลนชนิด

ทราย : ใช้ทรายแม่น้ำตามธรรมชาติ มีความถ่วงจำเพาะ, ค่าโมดูลัสความละเอียด และค่าการดูดซึมน้ำ มีค่า 2.6, 1.75 และ 1.05% ตามลำดับ สภาพทรายจะใช้สภาพอัดตัวผิวแห้ง ดังนั้นทุกครั้งที่ใช้จะต้องหาปริมาณความชื้นเพื่อนำไปปรับสัดส่วนน้ำที่ต้องใช้ในการผสมมอร์ต้า

น้ำ : ใช้น้ำจากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา

3. โปรแกรมการทดสอบ

3.1 การเตรียมซีเมนต์

3.1.1 การเตรียมในห้องปฏิบัติการ

ใช้เตาเผาที่มีอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในแต่ละครั้งการเผา จะได้ซีเมนต์ประมาณ 100 กรัม อุณหภูมิในเตาเผาจะถูกควบคุมโดยระบบทรานฟอเมอร์ การควบคุมสภาพอากาศระหว่างการเผาแกลบจะมีช่องเปิดขนาด 1 นิ้วเปิดตลอด หลังจากการเผาแกลบสิ้นสุด ซีเมนต์จะทิ้งให้

เย็นตัวลงในสภาพอุณหภูมิปกติ โดยวิธีการ 3 แบบคือ วิธีที่หนึ่งจะทิ้งขี้เถ้าแกลบไว้ในเตาเผา และปิดเตาเผาไว้จนกระทั่งขี้เถ้าแกลบเย็นตัวลง วิธีที่สองคือ ทิ้งขี้เถ้าแกลบไว้ในสภาพเดียวกับวิธีการแรก แต่ทว่าเปิดเตาเผาไว้ หลังจากปิดสวิทช์แล้ว วิธีสุดท้ายจะปล่อยให้ขี้เถ้าแกลบเย็นตัวลง โดยเกลี่ยขี้เถ้าแกลบให้บาง ๆ เพื่อระบายความร้อน ในสภาพอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีแรก อัตราปล่อยให้เย็นตัวลงประมาณ 40 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง วิธีที่สองอัตราปล่อยให้เย็นตัวลงประมาณ 80 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง วิธีสุดท้ายเป็นการปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างฉับพลัน

3.1.2 การผลิตขี้เถ้าแกลบในทางปฏิบัติ

แกลบจะถูกเผาเป็นปริมาณมาก ๆ ในทางปฏิบัติภายใต้ขีดความสามารถการควบคุม ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ

(ก) การเผาแบบระบบเปิด

แกลบจะถูกกองไว้เป็นรูปกรวย และเผาคด้วยการจุดติดไฟโดยเริ่มจากผิวบนของแกลบ

(ข) การเผาภายในโดมเฟอโรซิเมนต์

โดมเฟอโรซิเมนต์ มีความสูง 5 ฟุต และเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ฟุต ใช้เผาแกลบ โดยมีช่องเปิดให้อากาศระบาย 5 ช่อง ขนาด 6×6 นิ้ว ตำแหน่งช่องเปิด 1 ช่อง อยู่ด้านบน ในขณะที่อีก 3 ช่องอยู่ตามด้านข้างของโดม ช่องเปิดสุดท้ายอยู่ด้านล่างของโดมเช่นกัน แต่มีขนาด 9×9 นิ้ว การใส่แกลบเผาจะใส่ช่องเปิดด้านบนรวมถึงการจุดติดไฟ ปริมาณแกลบที่ใส่จะกองสูง 12 ฟุต ในการเผาแต่ละครั้ง หลังจากเผาเสร็จจะยกโดมเฟอโรซิเมนต์ขึ้น แล้วเกลี่ยขี้เถ้าแกลบให้เย็นตัวลงทันที ในสภาพอากาศทั่วไป

(ค) การเผาภายในสภาพกรวยที่ฉาบด้วยดินโคลน

ลักษณะกรวยที่ฉาบขึ้นมามีความหนาประมาณ $1/2 - 1$ นิ้ว โดยใช้มอร์ต้าผสมโคลนช่องระบายอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางครึ่งนิ้ว ทำขึ้นที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางประมาณ 1 ฟุต ทั้งสองทิศทางบนผิวของกรวย มีช่องเปิดผิวบน 4 นิ้ว เพื่อการจุดติดไฟ หลังจากการเผาสิ้นสุดลง สภาพการฉาบด้วยดินโคลนก็รื้อทิ้งไป

3.1.3 การบดขี้เถ้าแกลบ

การบดใช้เครื่องบดลูกทรงกลมบด มีขนาดความจุ 0.3 ลูกบาศก์ฟุต ในแต่ละครั้ง ขี้เถ้าแกลบจะใส่ประมาณ 300 กรัม บดด้วยความเร็วปานกลาง

3.2 ส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ

3.2.1 ขี้เถ้าแกลบผสมปูนขาว และมอร์ต้าผสมขี้เถ้าแกลบ

ขี้เถ้าแกลบผสมปูนขาวหรือซิเมนต์ในถุงพลาสติกจนกระทั่งส่วนผสมดังกล่าวมีสีเดียวกัน อัตราส่วนทรายต่อซิเมนต์มีค่าเท่ากับ $2.75 : 1$ โดยน้ำหนัก ในการผสมวัสดุซิเมนต์ระหว่างปูนขาวกับขี้เถ้าแกลบ อัตราส่วนปูนขาวต่อขี้เถ้าแกลบคงที่คือ $2 : 1$ โดยน้ำหนัก จากการวิจัยของ Cady และ Gronney

แต่จะเปลี่ยนเป็นอัตราส่วน 1 : 2 หลังจากทดสอบหาค่าที่เหมาะสมได้ ดังรูปที่ 1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนขาวกับซีเมนต์กำหนดคงที่เท่ากับ 0.8 แต่ในการทดสอบหาผลของการบดที่มีต่อความไวต่อการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กลบ อัตราส่วนดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็น 0.65 และสำหรับการทดสอบมอร์ต้าที่ 28 วัน อัตราส่วนดังกล่าวนี้ จะเปลี่ยนไปเป็น 0.6 ตามลำดับ สำหรับซีเมนต์ผสมซีเมนต์กลบ สัดส่วนซีเมนต์กลบจะแปรค่าจาก 0% ถึง 70% โดยน้ำหนัก และควบคุมการไหลมีค่าเท่ากับ $150 \pm 5\%$

3.2.2 ส่วนผสมซีเมนต์กลบปูนขาวกับดิน และส่วนผสมซีเมนต์กับดิน

วัสดุซีเมนต์ระหว่างปูนขาวกับซีเมนต์กลบหรือซีเมนต์ผสมกับดินในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อผลิต บล็อกซีเมนต์ผสมดิน ปริมาณซีเมนต์ของส่วนผสมนี้ แปรค่าจาก 0% ถึง 40% โดยน้ำหนัก เพื่อหาผลของอัตราส่วนดังกล่าว ในแต่ละส่วนผสมจะถูกออกแบบที่ปริมาณน้ำสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ สำหรับผลิตส่วนผสมที่ให้ความหนาแน่นแบบแห้งมากที่สุด

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

3.3.1 ตัวอย่างมอร์ต้า

เริ่มต้นผสมซีเมนต์และน้ำในเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที ด้วยความเร็วต่ำ หลังจากนั้นเติมทรายอย่างช้า ๆ เป็นเวลา 30 วินาที การผสมจะดำเนินต่อไปด้วยความเร็วเดิมเป็นเวลา 2 ถึง 3 นาที จนกระทั่งได้เนื้อเดียวกัน ในกรณีที่ต้องทดสอบการไหลด้วย ตัวอย่างจะถูกเก็บมาผสมใหม่อีกครั้งเป็นเวลา 15 วินาที ด้วยความเร็วปานกลาง

3.3.2 ตัวอย่างซีเมนต์ผสมดิน

เริ่มต้นซีเมนต์ผสมแห้งด้วยเกรียงเหล็กกับดิน หลังจากนั้นเติมน้ำลงไป การผสมจะผสมด้วยเกรียงเหล็ก สักครู่ก่อนที่จะใช้เครื่องผสมด้วยความเร็วปานกลางจนกระทั่งได้เนื้อเดียวกัน เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ส่วนผสมดังกล่าวจะมีพลาสติกปกคลุมไว้จนกระทั่งถึงเวลาเทลงแบบ แบบบล็อกขนาด $3 \times 3 \times 3$ นิ้ว ถูกออกแบบไว้ประกอบด้วยลูกสูบ และแบบบล็อกกลาง ขนาด $3 \times 3 \times 7$ นิ้ว ลูกสูบถูกทำขึ้นพอดีกับบล็อกดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีบล็อกกลางขนาด $4 \times 4 \times 4$ นิ้ว เพื่อทำตัวอย่าง โดยมีความลึก 6 นิ้ว สำหรับส่วนผสมวัสดุซีเมนต์ระหว่างปูนขาวกับซีเมนต์กลบ และดิน ในขณะที่มีความลึก 5 นิ้ว สำหรับส่วนผสมซีเมนต์กับดิน ลูกสูบจะอัดกระแทกส่วนผสมโดยใช้เครื่องอัดแรงช่วย และมีตัวอ่านแรงอัดที่มีความสามารถขนาด 5 ตันติดตั้งไว้เชื่อมระหว่างเครื่องอัดแรงและลูกสูบ เพื่ออ่านค่าแรงที่กระทำบนลูกสูบ การถอดแบบตัวอย่างจะกระทำโดยเครื่องย้ายเพลตหลักที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $8 \frac{1}{2}$ นิ้วของแบบบล็อก และใช้แรงดันตัวอย่างผ่านเข้าสู่แบบรูปทรงลูกบาศก์ที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการโดยเครื่องอัดแรง

3.4 การบ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างจะถูกบ่มด้วยวิธีมาตรฐาน และวิธีเร่ง การบ่มด้วยวิธีมาตรฐาน ตัวอย่างมอร์ต้าจะบ่มในห้องที่พ่นไอน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกถอดแบบแล้วนำไปแช่ในน้ำผสมปูน

ขาว จนกระทั่งถึงเวลาทดสอบ ในขณะที่ตัวอย่างซีเมนต์ผสมดินจะถูกปล่อยทิ้งไว้ในห้องที่พ้นไอน้ำจนกระทั่งถึงเวลาทดสอบ โดยการทดสอบจะทดสอบหากล้างที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน การบ่มด้วยวิธีเร่ง โดยใช้อ่างโลหะที่ใส่น้ำเต็ม และห่อหุ้มอีกทีด้วยถุงพลาสติกใหญ่แล้วใส่ในเตาอบ ตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกบรรจุใส่ในถุงดังกล่าวแล้วปิดให้แน่น ตัวอย่างจะถูกอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ในกรณีตัวอย่างมอร์ต้าจะเอาออกจากเตาอบ เมื่อครบ 12 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงทันที จากนั้นนำกลับไปอบในเตาอบอีกครั้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง สำหรับบล็อกซีเมนต์ผสมดินจะบ่มในเตาอบที่อุณหภูมิถึง 70 ± 5 องศาเซลเซียส ในกรณีนี้ตัวอย่างจะถูกแยกเป็นถุงพลาสติกขนาดเล็ก ๆ ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกบ่มด้วยวิธีเร่ง และทดสอบหากล้างที่อายุ 1 วัน

3.5 การทดสอบตัวอย่าง

การทดสอบหากล้างอัดของตัวอย่างมอร์ต้าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C109 หากล้างอัดของบล็อกซีเมนต์ผสมดินจะทดสอบโดยการให้น้ำหนักในอัตรา 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อหน้าที่

ในการทดสอบหากล้างอัดแบบเปียกของบล็อก ตัวอย่างทดสอบจะแช่น้ำ 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกซีเมนต์ผสมดินจะทดสอบตามมาตรฐานอินเดีย 1725-1960 ในหัวข้อ 5.1

3.6 ภาพถ่ายขยาย

ภาพถ่ายขยายของอนุภาคซีเมนต์แกลบใช้กล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งบนกล้องส่องขยาย Olympus PM-6 การวัดความเข้มแสงจะใช้มิเตอร์วัดของ Olympus EMM-7 เพื่อช่วยในการปรับการรับภาพของกล้องถ่ายภาพ

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลทดสอบของซีเมนต์แกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา

ความไวในการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์แกลบประเมินจากขีดความสามารถในการเพิ่มกำลังของมอร์ต้าผสมซีเมนต์แกลบ และปูนขาว อัตราส่วนปูนขาวต่อซีเมนต์แกลบกำหนดมีค่าเท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนขาวและซีเมนต์แกลบมีค่าเท่ากับ 0.8 ตัวอย่างมอร์ต้าจะถูกบ่มภายใต้อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส และทดสอบหากล้างอัดเมื่อเวลาครบ 1 วัน ตัวแปรที่กำหนดเป็นค่าคงที่คือ อัตราการปล่อยไอน้ำตัวลงมีค่า 80 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง, สภาพการระบายอากาศถูกจำกัด และเวลาบดใช้ 30 นาที

4.1.1 ผลของอุณหภูมิการเผา และเวลาการเผา

รูปที่ 2 แสดงถึงผลของอุณหภูมิ และเวลาการเผาแกลบที่มีต่อหากล้างอัดของมอร์ต้า พบว่า จะมีอุณหภูมิที่พอเหมาะสำหรับเวลาการเผาแต่ละครั้ง และเมื่อการเผาใช้อุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดจะไม่มี

ประโยชน์ใด ๆ ในการผลิตซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 600 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาการเผา 2-3 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาการเผา 4 ชั่วโมง จากรูปที่ 2 เห็นว่า เมื่อเวลาการเผาเพิ่มขึ้นจาก 2-3 ชั่วโมง จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของซีเมนต์อย่างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้เวลาการเผา 4 ชั่วโมงยังคงให้ผลใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสม และเมื่อเผาเกินอุณหภูมินี้ไป คุณภาพของซีเมนต์จะลดลงจนเกินไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการเผาที่นานเกินไป จะไม่ประหยัด และไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

จากการสังเกตผลข้างต้น และที่ระยะเวลาการเผา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการเผา 400 องศาเซลเซียส ให้กำลังมอร์ต้าสูงสุด จึงจะนำกลับมาเผาในสภาพการเผาทั้งสองแบบข้างต้น

4.1.2 ผลของอัตราการปล่อยให้เย็นตัวลงหลังจากการเผา

รูปที่ 3 แสดงผลของอัตราการปล่อยให้เย็นตัวลงของซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และปูนขาว จากรูป พบว่าคุณภาพของซีเมนต์จะดีขึ้นเมื่ออัตราการปล่อยให้เย็นตัวสูงขึ้น มอร์ต้าที่ใช้ซีเมนต์ที่อัตราการปล่อยให้เย็นตัวลงจาก 400 องศาเซลเซียส มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าที่ใช้ซีเมนต์ที่อัตราการปล่อยให้เย็นตัวลง 80 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และ 40 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง เท่ากับ 16% และ 35% ตามลำดับ

นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อเผาถูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะให้กำลังอัดสูงทุก ๆ ค่าอัตราการปล่อยให้เย็นตัวลง เปรียบเทียบกับเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

4.1.3 ผลของสภาพอากาศระหว่างการเผา

รูปที่ 4 แสดงผลของสภาพอากาศระหว่างการเผาเผาซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และปูนขาว จะเห็นว่ามอร์ต้าที่ใช้ซีเมนต์จากสภาพการระบายอากาศแบบเปิด มีความแข็งแรงที่ซีเมนต์จากสภาพการระบายอากาศแบบจำกัด โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิการเผา สภาพการระบายอากาศแบบแรกจะมีลักษณะของซีเมนต์สีขาวขุ่นในส่วนล่างจะมีสีดำ ในขณะที่การเผาอีกแบบจะให้ลักษณะซีเมนต์สีขาวขุ่นในส่วนบนจะมีสีขาว ดังนั้น จะเห็นว่าส่วนซีเมนต์ที่มีสีขาวจะผลิตได้ภายใต้การระบายอากาศที่เพียงพอ อีกทั้งซีเมนต์ชนิดนี้จะพัฒนากำลังของมอร์ต้าสูงกว่าซีเมนต์สีขาว ซีเมนต์ทั้งสองชนิดที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะถูกทดสอบหาผลกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเห็นว่าสามารถยืนยันได้ว่า มอร์ต้าที่ใช้ซีเมนต์สีขาว สามารถพัฒนากำลังอัดได้ถึงสองเท่าเมื่อเทียบกับซีเมนต์สีขาว

นอกจากนี้พบว่า มอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาพการระบายอากาศแบบจำกัด จะพัฒนากำลังอัดสูงเพียง 8% เทียบกับมอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้สภาพการระบายอากาศเดียวกัน แต่ทว่า ผลการพัฒนากำลังอัดสูงถึง 24% เมื่อเปรียบเทียบมอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์ที่ผลิตภายใต้สภาพการระบายอากาศแบบเปิด ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าภายใต้สภาพการระบายอากาศแบบเปิดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะดีกว่าซีเมนต์ที่ผลิตที่

อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ทำให้งานวิจัยขั้นต่อไปต้องใช้ซีดีเถ้าเคลือบที่เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้สภาพการระบายอากาศแบบเปิด

4.1.4 ผลของความละเอียดซีดีเถ้าเคลือบ

ซีดีเถ้าเคลือบถูกบดเป็นระยะเวลา 30 และ 90 นาที ซีดีเถ้าเคลือบผสมกับซีเมนต์ในสัดส่วน 30 : 70 ใช้ผลิตมอร์ต้าผสมซีดีเถ้าเคลือบ ซึ่งจะต้องทดสอบหาค่ากำลังอัดเพื่อหาผลการบดที่มีต่อคุณภาพของซีดีเถ้าเคลือบ

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าที่บ่ม ภายใต้สภาพปกติเป็นเวลา 28 วัน พบว่า มอร์ต้าที่ใช้ซีดีเถ้าเคลือบบด 90 นาที จะให้การพัฒนากำลังสูงทุก ๆ อายุที่ทดสอบเปรียบเทียบกับมอร์ต้าที่ใช้ซีดีเถ้าเคลือบบด 30 นาที ที่อายุ 3 วันแรก เห็นว่ามอร์ต้าที่ใช้ซีดีเถ้าเคลือบชนิดแรกจะสามารถพัฒนากำลังสูงกว่าซีดีเถ้าเคลือบชนิดที่สองถึง 60% ในขณะที่ ที่อายุ 28 วัน ความแตกต่างมีค่าประมาณ 50% ผลของระยะเวลาการบดจะมีต่อความไวในการทำปฏิกิริยาของซีดีเถ้าเคลือบ จะศึกษาเพิ่มเติมทั้งในกรณีมอร์ต้าผสมซีดีเถ้าเคลือบ และมอร์ต้าผสมซีดีเถ้าเคลือบ และปูนขาว อัตราส่วนปูนขาวต่อซีดีเถ้าเคลือบ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนขาว และซีดีเถ้าเคลือบกำหนดค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.65 ตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการบดของซีดีเถ้าเคลือบ และกำลังอัดของมอร์ต้า พบว่าเมื่อเวลาการบดมีค่า 90 นาที กำลังของมอร์ต้าจะเพิ่มขึ้นสูงมากตามเวลาการบดที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบดังกล่าว งานวิจัยนี้จะทดสอบเพิ่มเติมถึงผลการบดซีดีเถ้าเคลือบโดยใช้ระยะเวลาการบดจาก 90 ถึง 120 นาที

4.2 ผลการทดสอบของความไวต่อการทำปฏิกิริยาของซีดีเถ้าเคลือบสีด้า

ซีดีเถ้าเคลือบสีด้า ถูกบดเป็นเวลา 1 1/2 - 2 ชั่วโมง ถูกผสมกับปูนขาวหรือซีเมนต์ในสัดส่วนผสมต่าง ๆ อัตราส่วนน้ำต่อปูนขาวกับซีดีเถ้าเคลือบสีด้า กำหนดค่าเท่ากับ 0.8 การไหลควบคุมไว้มีค่าเท่ากับ $150 \pm 5\%$

มอร์ต้าผสมปูนขาว และซีดีเถ้าเคลือบสีด้าถูกเตรียมขึ้นโดยใช้ซีดีเถ้าเคลือบสีด้าปรับปรุงใหม่ และซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ไม่ต้องปรับปรุง ซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ปรับปรุงโดยการเผาซีดีเถ้าเคลือบสีด้าอีกครั้ง ภายใต้สภาพการให้ก๊าซออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดประสิทธิภาพของการปรับปรุงเพื่อต้องการสังเกตผลของการเผาใหม่อีกครั้งที่มีต่อคุณภาพของซีดีเถ้าเคลือบมอร์ต้าผสมซีดีเถ้าเคลือบสีด้าถูกเตรียมโดยใช้ซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ไม่ต้องปรับปรุงเท่านั้น

รูปที่ 7 แสดงผลของซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ปรับปรุงใหม่และไม่ต้องปรับปรุงที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีดีเถ้าเคลือบ และปูนขาว พบว่า ถึงแม้มอร์ต้าที่ใช้ซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ปรับปรุงใหม่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าที่ใช้ซีดีเถ้าเคลือบสีด้าที่ไม่ต้องปรับปรุง แต่ทว่าไม่มีผลสำคัญมากนักเพราะซีดีเถ้าเคลือบสีด้าทั้งที่ปรับปรุงใหม่ และไม่ต้องปรับปรุงมีประโยชน์ในการผสมมอร์ต้าซีดีเถ้าเคลือบสี

คำ และปูนขาวน้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาซีเมนต์ได้แก่บดอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสทำให้คุณภาพของแกลบต่ำลง

รูปที่ 8 ยังแสดงถึงซีเมนต์ได้แก่บดที่ไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังมอร์ต้าผสมซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำ อย่างไรก็ตาม เมื่อซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำ ถูกบดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถพัฒนาคุณภาพของซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำมอร์ต้าที่ผสมซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำ และปูนขาว โดยใช้ซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำที่บดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถเพิ่มกำลังได้ถึง 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าที่ใช้ซีเมนต์ได้แก่บดสิ่คำที่บดเป็นเวลา 90 - 120 นาที

4.3 ผลการทดสอบบล็อกซิเมนต์ที่ผสมซีเมนต์ได้แก่บดกับปูนขาวและดิน

เพื่อหาสัดส่วนผสมของบล็อกซิเมนต์ดังกล่าว จึงต้องมีการทดสอบหาผลของปริมาณน้ำ, ความดันที่ใช้อัดและการบ่มที่มีต่อคุณภาพของบล็อก อัตราส่วนปูนขาวต่อซีเมนต์ได้แก่บดกำหนดมีค่าเท่ากับ 0.5

รูปที่ 9 และ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นสภาพแห้งของส่วนผสมต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D698- 78 พบว่าค่าปริมาณความชื้นจะให้ค่าความหนาแน่นแบบแห้งมากที่สุดในแต่ละส่วนผสม นอกจากนี้ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่นแบบแห้งมากที่สุด พอๆ กับการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ได้แก่บด และปูนขาวหรือซิเมนต์ในส่วนผสมบล็อกซิเมนต์ดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 11

สำหรับส่วนผสมที่ประกอบด้วยปูนขาว และซีเมนต์ได้แก่บด 10 % กับดิน 90 % ได้มีการทดสอบหาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและกำลังอัด ดังแสดงในรูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของกำลังและความหนาแน่นแบบแห้งที่มีต่อปริมาณความชื้นมีลักษณะเหมือนกัน ค่ากำลังอัดมีค่าสูงสุดเมื่อมีปริมาณความชื้นที่ทำให้ค่าความหนาแน่นแบบแห้งมีค่าสูงสุด

ผลของความดันที่อัดต่อกำลังอัดของดิน และบล็อกซิเมนต์ดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 13 พบว่าช่วงความดันที่อัดที่เลือกมาทดสอบสามารถให้ค่ากำลังมากที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณซิเมนต์ ช่วงของความดันที่เหมาะสมใช้ในการอัดจะกว้างมาก ดังเช่น เมื่อส่วนผสมมีปริมาณซิเมนต์ 10 % ช่วงความดันอัดมีค่าระหว่าง 350 ปอนด์ต่อตารางนิ้วถึง 550 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในขณะที่เมื่อส่วนผสมมีปริมาณซิเมนต์ 20 % ช่วงความดันอัดมีค่าระหว่าง 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถึง 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นจะเห็นว่า ความดันอัดที่ดีสุดประมาณ 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระหว่างที่ทดสอบกำลังอัด สังเกตได้ว่าตัวอย่างทดสอบ เมื่อถูกอัดด้วยความดันสูงกว่าค่าที่เหมาะสมจะเกิดการแตกร้าวในแนวเฉียงเนื่องจากแรงเฉือน

ผลของสภาพการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของบล็อกซิเมนต์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่าเมื่อบ่มแบบแรงที่อุณหภูมิ 45 - 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จะทำให้บล็อกซิเมนต์ดังกล่าวมีค่ากำลังอัดสูงกว่าเมื่อนำบล็อกซิเมนต์นี้ไปบ่มในห้องพ่นไอน้ำเป็นเวลา 28 วัน นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อบ่มแบบแรงที่อุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน จะทำให้บล็อกซิเมนต์มีค่ากำลังต่ำลง บล็อกซิเมนต์ที่ผสมซีเมนต์ได้แก่บดกับปูนขาวและดินจะให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าบล็อกซิเมนต์ผสมดินเล็กน้อย อย่างไรก็ตามความแตกต่างไม่มาก ยกเว้นในกรณีการบ่มแบบแรงที่อุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส ซึ่งค่ากำลังของบล็อกซิเมนต์ผสมซีเมนต์ได้แก่บดกับปูนขาว และดินต่ำมากเมื่อเทียบกับบล็อกซิเมนต์ผสมดิน

5. สรุป

1. ความไวในการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์แกลบขึ้นอยู่กับสภาพการระบายอากาศระหว่างการเผา และอัตราการปล่อยไอน้ำให้เย็นตัวลง รวมไปถึงอุณหภูมิการเผา, เวลาการเผา และการบด การระบายอากาศระหว่างที่เผาแกลบที่คืพอ และอัตราการปล่อยไอน้ำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วมากของซีเมนต์แกลบหลังการเผาจะทำให้ได้ซีเมนต์แกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา
2. ลักษณะอนุภาคของซีเมนต์แกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาจะเป็นผง
3. ในการผลิตซีเมนต์แกลบจำนวนมาก ในทางปฏิบัติ แกลบจะต้องเผาภายใต้สภาพที่ทำให้ความร้อนในการเผาที่เหมาะสม และคงที่ อีกทั้งมีการระบายอากาศที่เพียงพอระหว่างการเผา
4. ซีเมนต์แกลบไม่มีความไวในการทำปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นซีเมนต์แกลบที่ไวในการทำปฏิกิริยาได้โดยการเผาใหม่
5. ซีเมนต์แกลบสีด่างจะยากในการบดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์แกลบสีขาวภายใต้สภาพการผลิตเดียวกัน
6. ซีเมนต์แกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยามีประโยชน์ในการนำมาผสมกับปูนขาวเพื่อแทนที่ซีเมนต์ในบล็อกซีเมนต์ผสมดิน

Production of Reactive Rice Husk Ash and Its Application in Pressed Soil-Cement Block

B. Chatveera* P. Nimityongskul**

* Lecturer, Department of Civil Engineering, Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12121, Thailand

** Associate Professor, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, 12120, Thailand

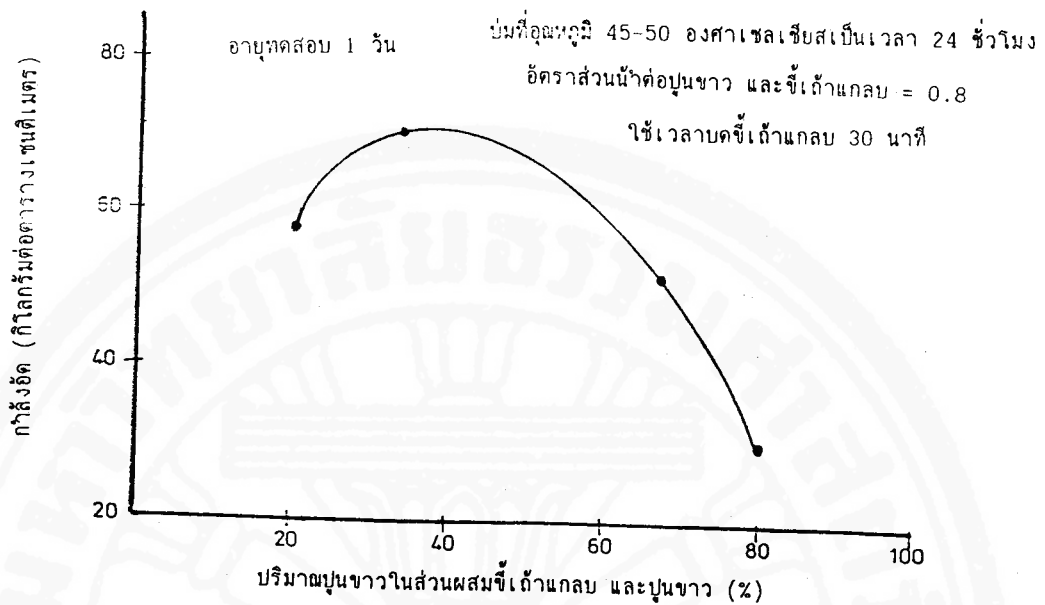
Abstract

The purpose of this work is to seek the parameters, essential for the production of reactive RHA. Various ashes were prepared, by changing, burning time, burning temperature, supply of air during burning, cooling rate and grinding time. The ashes were blended with lime, mostly in proportion of 30% RHA and 70% lime. Effect of the parameter on the reactivity of RHA was evaluated by the degree of its contribution in raising the strength of mortars made

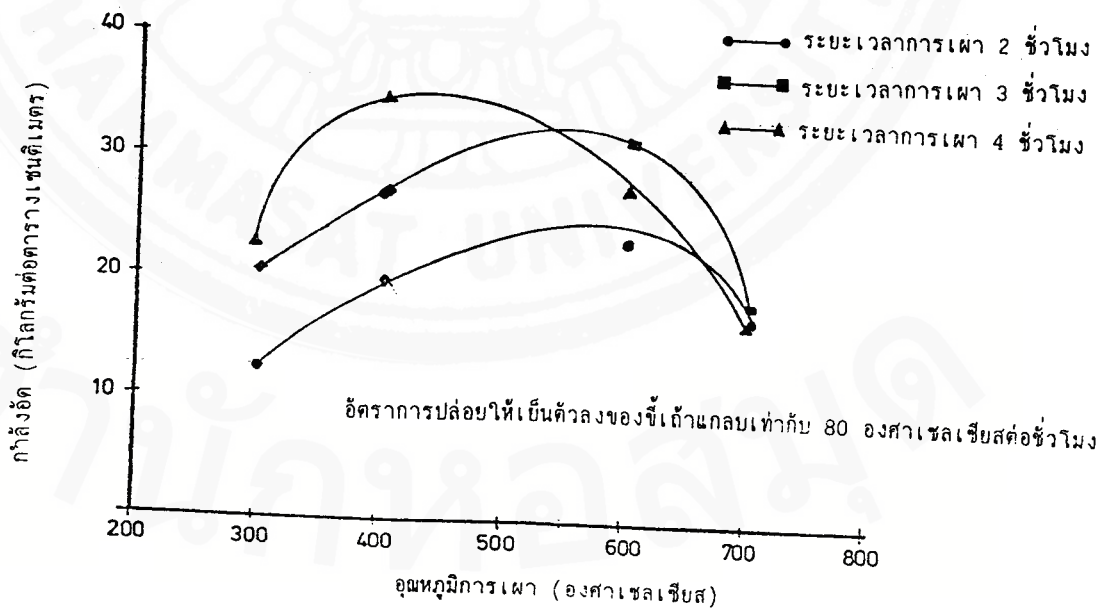
with lime RHA as cementing material. Based on the observations of these under a microscope, a simple method of identifying the reactive RHA was discussed. An effective way of mass producing the reactive RHA was examined and application of reactive RHA together with lime for making the pressed soil-cement blocks was sought for the first time. Following are the main findings: 1) Reactivity of RHA is also strongly dependent on the condition of supply of air during burning and cooling rate, in addition to burning temperature, burning time and grinding. 2) Grains of reactive RHA exhibit typical features when observed through microscope. 3) Reactive RHA can be mass produced very cheaply, and it can be advantageously used together with lime in place of Portland cement for making soil-cement blocks.

6. เอกสารอ้างอิง

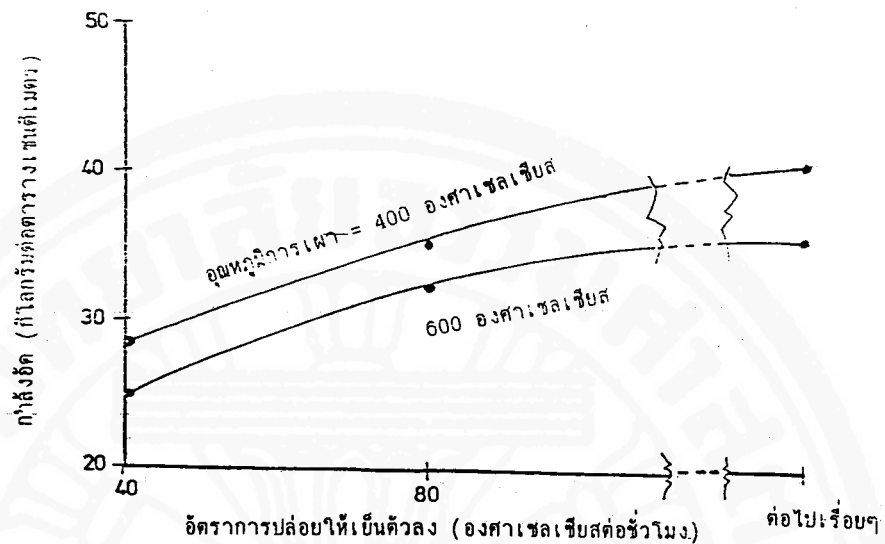
- Cady, P.D. and Groney, P.R. Hydraulic Cement from Rice Husks, Cement Technology, Vol. 7 , No. 6, pp. 215.
- Damer, S.A. Rice Hull Ash as a Pozzolanic Material, M. Eng Thesis No. 953, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Lakho, S.M. Production of Reactive Rice Husk Ash and Its Application in Pressed Soil-Cement Block, M.Eng Thesis No. ST-80-14, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Mall, A.P. A Study of Lime-Rice Hull Ash Mixture as a Partial Replacement of Portland Cement, M.Eng. Thesis No. ST-78-1, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Mehta, P.K. Rice Hull Ash Cement - High Quality Acid Resisting, ACI Journal , May 1975, pp. 235- 236.
- Paul , B .K. A Study of Lime-Rice Husk Ash Mixtures for Use as Building Materials, M.Eng. Thesis No. 1029 , Asian Institute of Technology , Thailand.



รูปที่ 1 : ผลของการแปรค่าอัตราส่วนปูนขาวต่อซีเมนต์และปูนขาวที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และปูนขาว

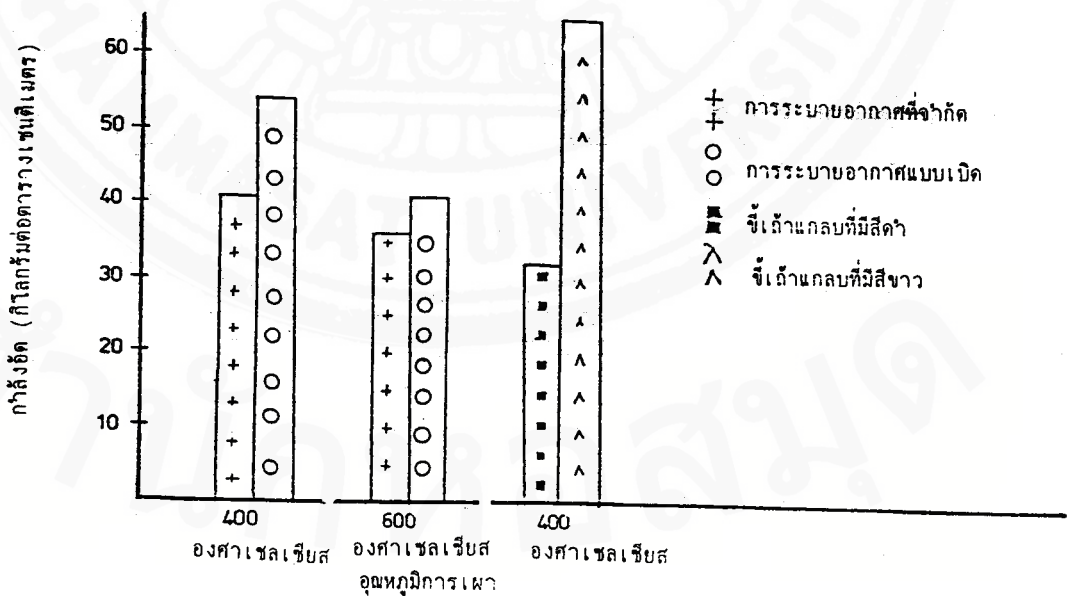


รูปที่ 2 : ผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเผาที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และปูนขาว

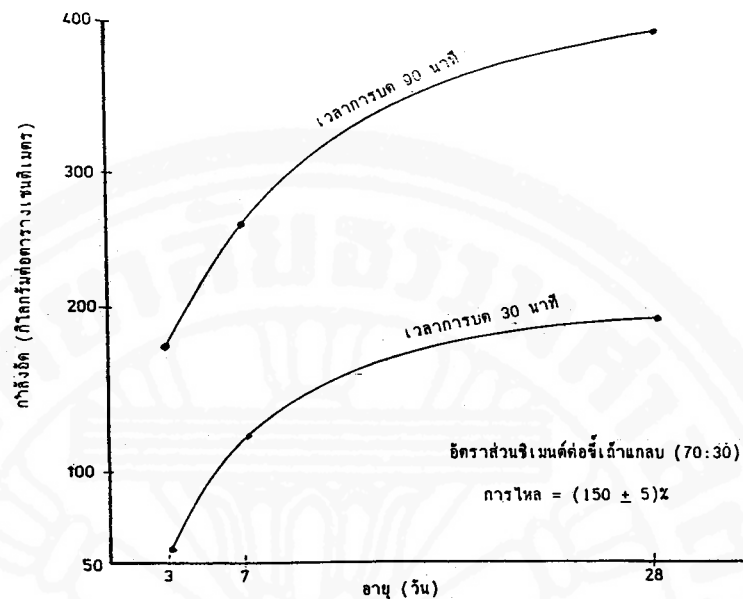


รูปที่ 3 : ผลของอัตราการผลิตให้เป็นตัวลงที่มีต่อกำลังอัดของมอเตอร์ตัวผสมซีเมนต์และปูนขาว

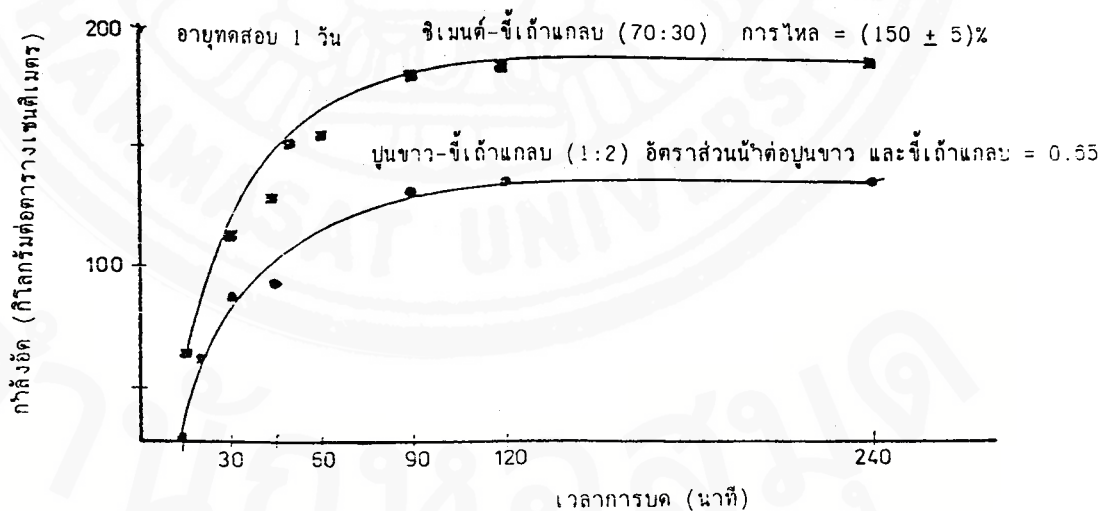
รูปที่ 3 : ผลของอัตราการผลิตให้เป็นตัวลงที่มีต่อกำลังอัดของมอเตอร์ตัวผสมซีเมนต์และปูนขาว



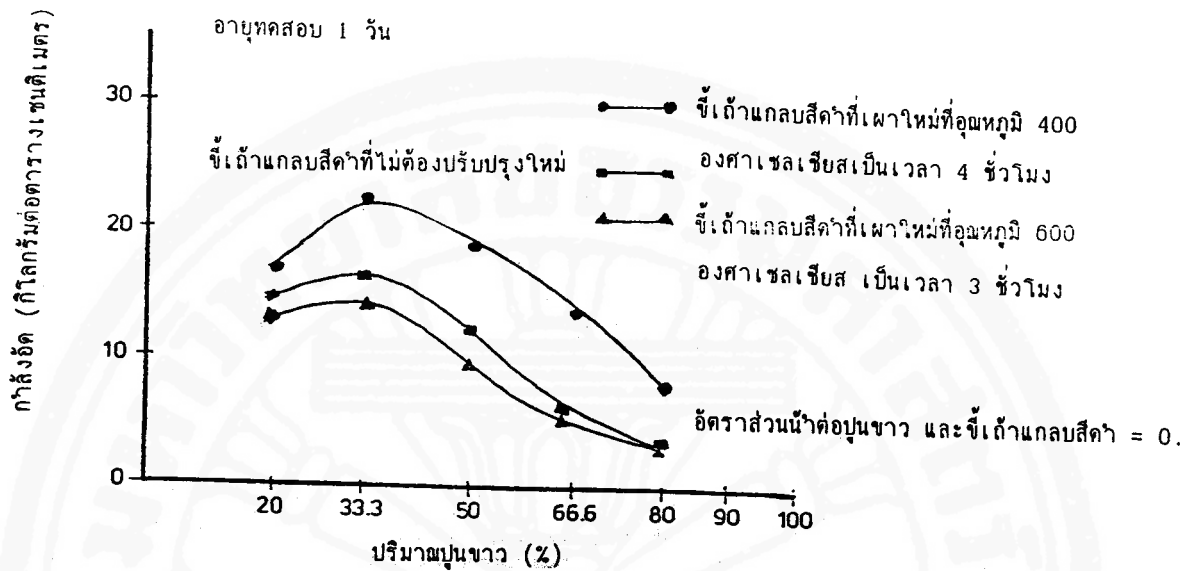
รูปที่ 4 : ผลของสภาพการระบายอากาศระหว่างการเผาผลาญที่มีต่อกำลังอัดของมอเตอร์ตัวผสมซีเมนต์และปูนขาว



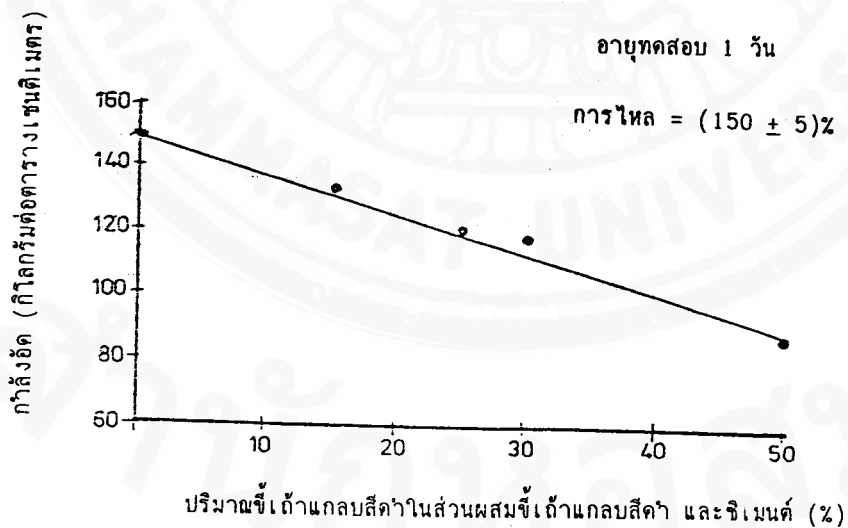
รูปที่ 5 : การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์-ซีเมนต์โดยที่ซีเมนต์ถูกบด
ในเวลาต่าง ๆ กัน



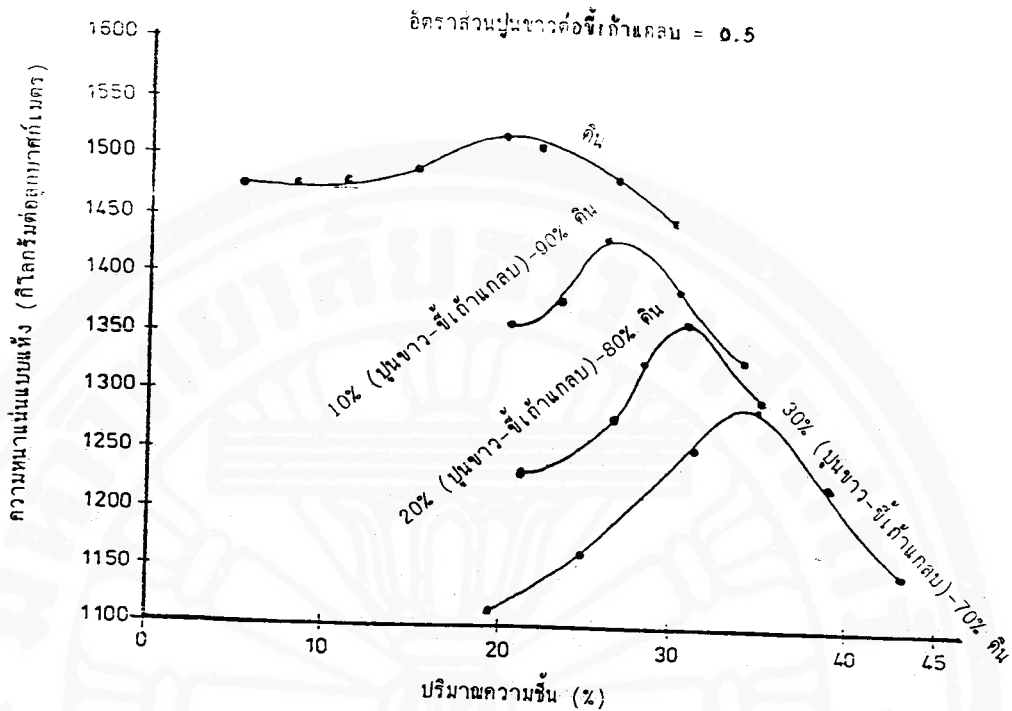
รูปที่ 6 : ผลของการบดซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดของปูนขาวผสมซีเมนต์-ซีเมนต์ และมอร์ต้า
ผสมซีเมนต์-ซีเมนต์



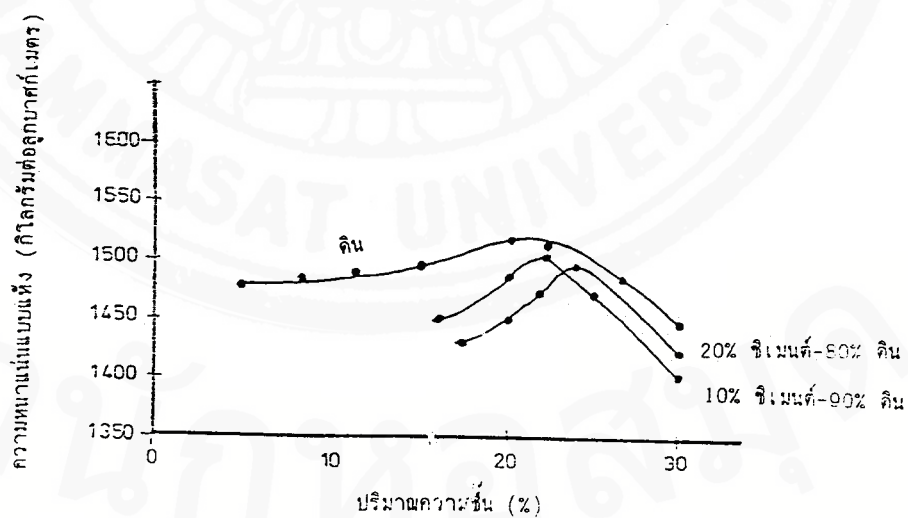
รูปที่ 7 : กำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และปูนขาว โดยใช้ซีเมนต์ที่ปรับปรุงใหม่และไม่ต้องปรับปรุงใหม่



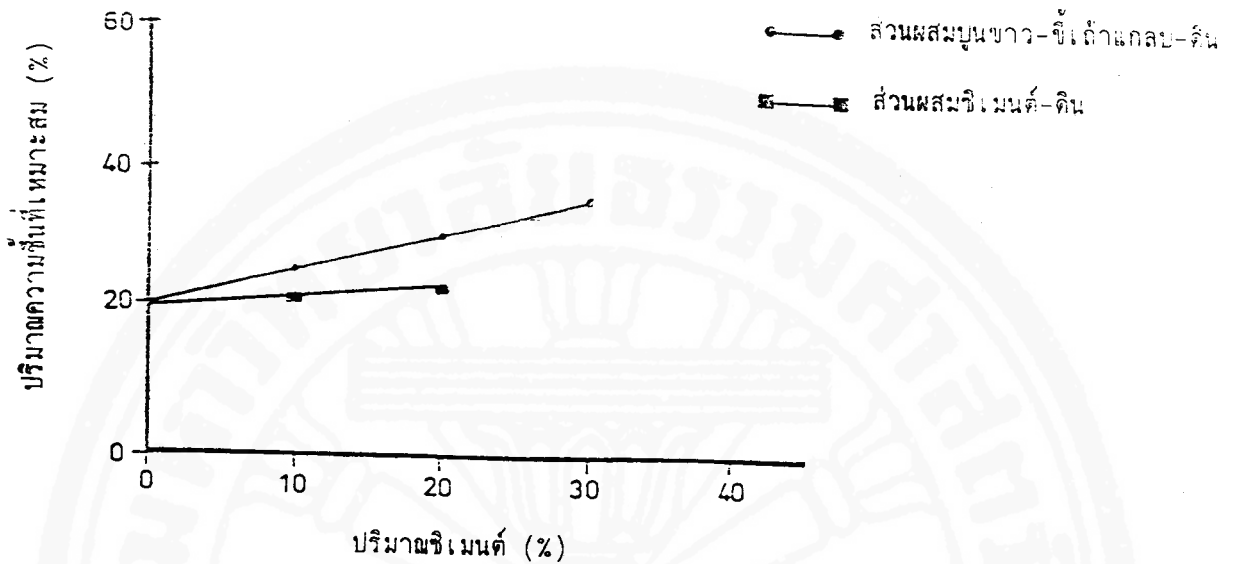
รูปที่ 8 : กำลังอัดของมอร์ต้าผสมซีเมนต์และซีเมนต์ โดยใช้ซีเมนต์ที่ไม่ต้องปรับปรุงใหม่



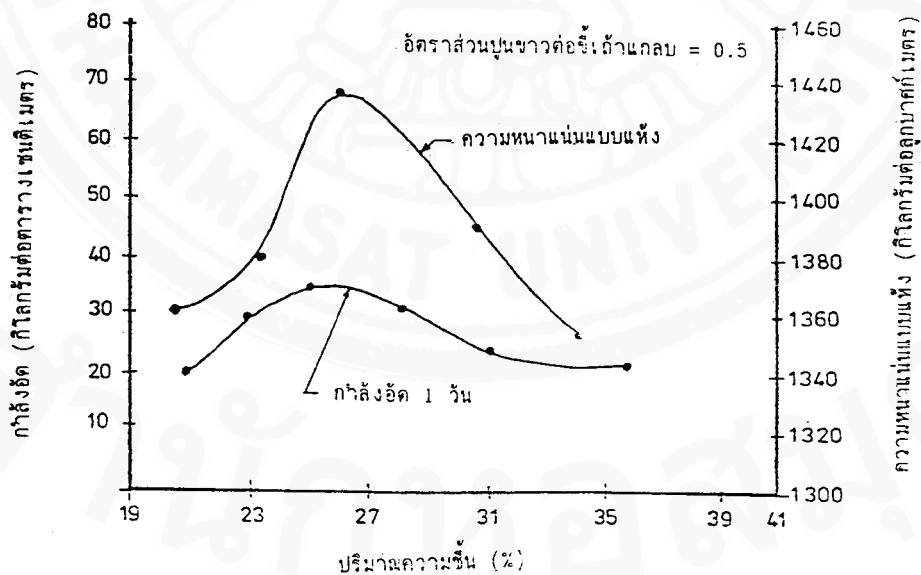
รูปที่ 9 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแบบแห้ง และปริมาณความชื้นของดิน และ ส่วนผสมปูนขาว และซีเมนต์กลบกับดิน



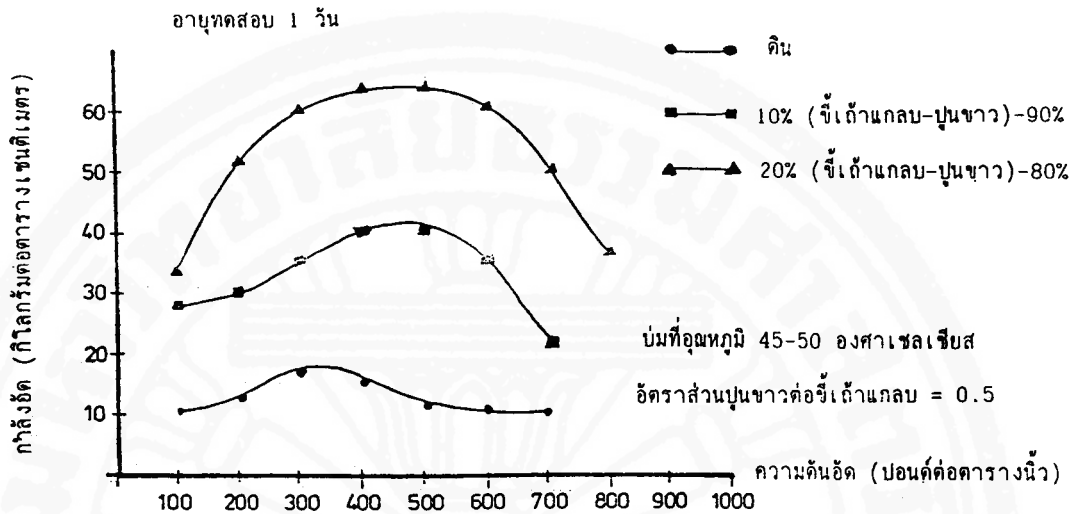
รูปที่ 10 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแบบแห้ง และปริมาณความชื้นของดิน และ ส่วนผสมซีเมนต์กับดิน



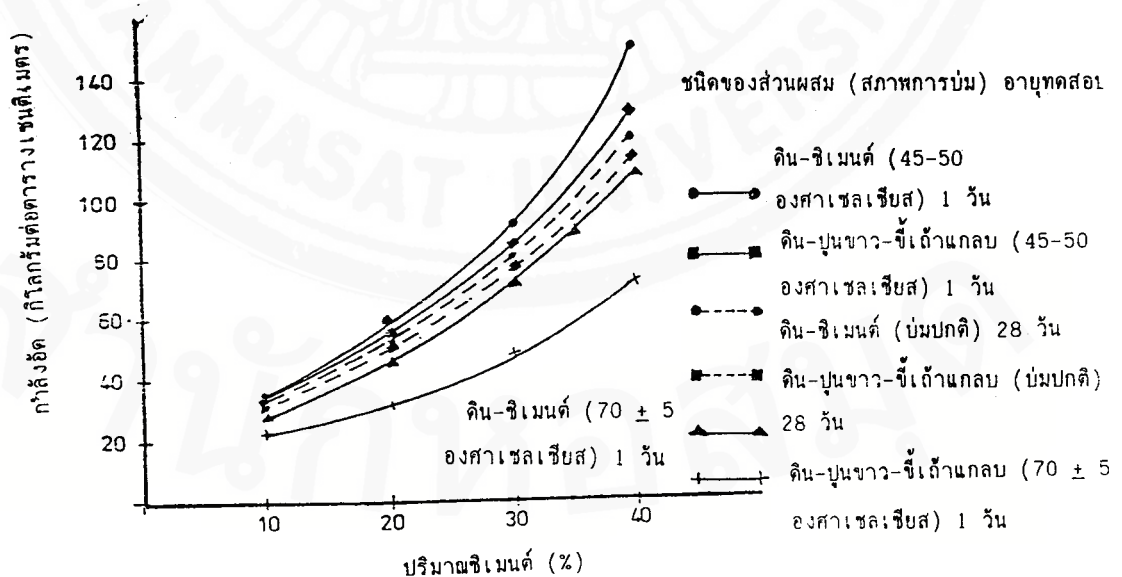
รูปที่ 11 : ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม
สำหรับความหนาแน่นแบบแห้งสูงสุดของส่วนผสมซีเมนต์ผสมซีเมนต์
แกลบ และปูนขาวกับดิน



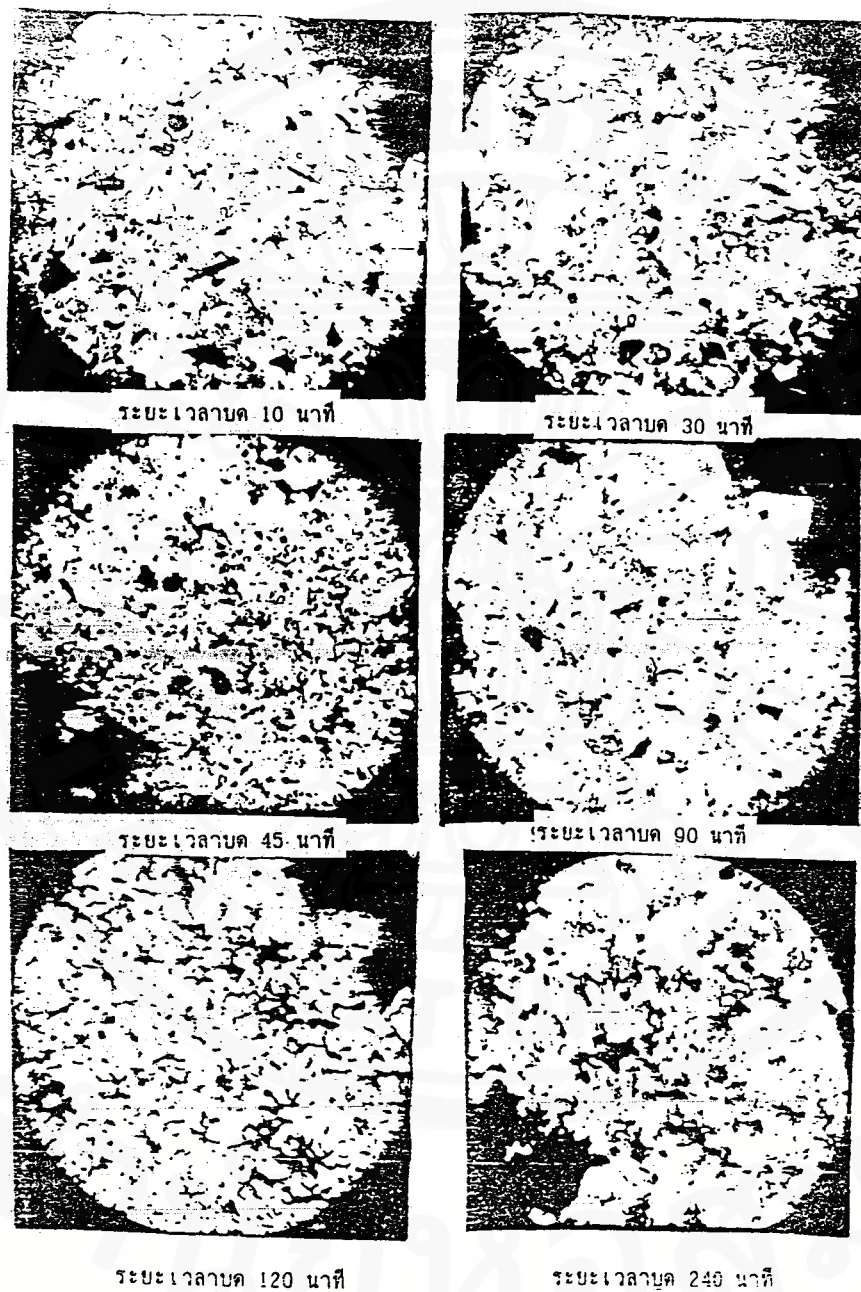
รูปที่ 12 : การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแบบแห้ง และปริมาณ
ความชื้น และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด และปริมาณความชื้นของส่วนผสม
10 % (ปูนขาว-ซีเมนต์-ดิน) และ 90 % ดิน



รูปที่ 13 : ผลของความดันที่มีต่อกำลังอัดของดิน และบล็อกซีเมนต์ผสมซีเมนต์กลบ และปูนขาวกับดิน



รูปที่ 14 : ผลของสภาพการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของบล็อกซีเมนต์ผสมดิน



รูปที่ 15 : ภาพถ่ายขยายขนาดอนุภาคของซีเมนต์เคลือบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเมื่ออบที่
ระยะเวลาต่าง ๆ กัน (ขยาย 400 เท่า)