วารสาร สจธ. ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2537

การประยุกต์ใช้ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และ เปลือกถั่วลิสงเป็นวัสดุปอซโซลาน

บุรฉัตร ฉัตรวีระ[1] เทเลสโฟโล ยู ดาลาคาร์[2] และพิชัย นิมิตยงสกุล[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการค้นคว้าพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่สามารถนำมาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อเป็นสารปอซโซลาน นอกเหนือจากขี้เถ้าแกลบ และขี้เถ้าจากฟางข้าว การวิจัยจะมุ่งประเด็นไปยังขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของเพสต์และมอร์ต้าร์ที่มีขี้เถ้าดังกล่าวผสมแบบแทนที่ปูนซีเมนต์ คุณสมบัติของขี้เถ้าดังกล่าวที่ต้องการศึกษาได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ, ค่าความละเอียด, ส่วนประกอบทางเคมี และดัชนีกำลังเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คุณสมบัติของเพสต์ที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้ายของปูนต์ผสมกับขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงโดยขี้เถ้าดังกล่าวใช้ปริมาณร้อยละ 30 แทนที่ปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว โดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0, 35 และ 50 ในขณะที่มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ใช้สัดส่วนขี้เถ้าแทนที่ในปูนซีเมนต์ คือ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปริมาณน้ำควบคุมโดยวัดการไหลของมอร์ต้าร์ให้อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 105-115 งานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุที่ผสมปูนซีเมนต์ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละขี้เถ้า นอกจากนี้ ยังมีการทดสอบมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าดังกล่าวสามารถทนต่อสภาพกรดซัลฟุริกและกรดไฮโดรคลอริกเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา และมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าแกลบ ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพดไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวัสดุผสมปูนซีเมนต์ได้ ส่วนขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงนั้นใช้ได้โดยจัดว่าเป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ชนิด N มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดา ในการทดสอบผลของกรดที่มีผลต่อมอร์ต้าร์ บ่งชี้ว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถทนต่อสภาพกรดได้ดีกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าแกลบ

USE OF COCONUT HUSK ASH, CORN COB ASH AND PEANUT SHELL ASH AS POZZOLANA

B. Chatveera [1], T. U. Daladar [2] and P. Nimityongskul [3]

ABSTRACT

This research is conducted to develop new kinds of pozzolana from other agricultural wastes apart from rice husk and rice straw. The study investigated the use of coconut husk, corn cob and peanut shell ash as pozzolana. A series of experiments were conducted to determine the properties of coconut husk ash, corn cob ash and peanut shell ash which are referred here as CHA, CCA and PSA respectively, and the properties of paste and mortar having a certain percent replacement of cement by these ashes.

The properties of CHA, CCA and PSA namely specific gravity, fineness, chemical composition and the strength activity index with Portland cement were determined. For properties of paste, only ordinary Portland cement and 30% PSA were investigated for normal consistency and initial and final setting time. To determine the compressive strength, three mixes were cast for CHA having a percent replacement of 0, 35 and 50 percent and four mixes were cast for both CCA and PSA having a percent replacement of 0, 20, 30 and 40 percent. Ordinary Portland cement Type I was used and water content was controlled to have a flow of 105-115% for all mortars. To investigate the influence of water to cementitious material ratio, four mixes were made to determine the optimum water content. Four kinds of mortar namely ordinary Portland cement, rice husk ash, CCA and PSA were also tested for sulphate and acidic attacks.

Experimental results revealed that coconut husk ash cannot be utilized as pozzolana while CCA and PSA can be classified as F and N pozzolana respectively. CCA mortars have lower compressive strength than the controlled mortar (0% CCA) while PSA mortars showed higher compressive strength than the controlled mortar (0% PSA). Among the four mortars tested for chemical attack, PSA mortars showed higher resistance against sulphate attack while RHA showed better resistance against acidic attack.

Keywords : Compressive strength, Mortars, Pozzolana, Properties, Sulphate and acidic attacks.

---

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

2 Graduate Student, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Pathum Thani 12120, Thailand

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

1. บทนำ

วัสดุก่อสร้างมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนางานโครงสร้างของประเทศ ถึงแม้ว่าจะมีวัสดุเหล็ก และไม้ แต่ปูนซีเมนต์ยังคงเป็นวัสดุหลักในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ในปัจจุบัน เนื่องจากมีการขยายตัวในธุรกิจการก่อสร้างและภาวะเงินเฟ้อ วัสดุก่อสร้างจึงมีราคาสูงขึ้นโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่มีความต้องการปูนซีเมนต์ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้นักวิจัยต้องพัฒนาค้นหาวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวัสดุที่ได้มาจากวัสดุเหลือใช้ในประเทศ และวัสดุดังกล่าวสามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ และทำให้ราคาของปูนซีเมนต์ถูกลง

ในงานวิจัยนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสงมาประยุกต์ใช้ผสมในวัสดุจำพวกปูนซีเมนต์ ซึ่งขี้เถ้าจากแหล่งดังกล่าวได้มาจากการเผาในเตาเผาที่ออกแบบไว้เป็นพิเศษ (We, 1981) เมื่อเผาแล้ว ขี้เถ้าดังกล่าวจะถูกบดในเครื่องบด (Islam, 1981) โดยกำหนดเวลาการบดเท่ากับ 1 ชั่วโมงตลอดการวิจัย การทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น

(a) คุณสมบัติจากขี้เถ้ากะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของขี้เถ้าดังกล่าว การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618-91

(b) คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เพสต์ปกติกับปูนซีเมนต์เพสต์ที่มีขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงผสม

เพื่อหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เพสต์มีค่าการไหลตามมาตรฐานเทียบกับปูนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง โดยกำหนดปูนซีเมนต์เพสต์ปกติเป็นตัวแปรหลัก จากการใช้ปริมาณน้ำดังกล่าว จะมีการทดสอบหาเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย ตามมาตรฐาน ASTM C191-82

(c) คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ก. ศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง กำหนดการไหลเท่ากับร้อยละ 105-115 และสัดส่วนขี้เถ้าดังกล่าวแทนที่ในปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ขนาดของตัวอย่างมอร์ต้า 50x50x50 มิลลิเมตรและทดสอบกำลังอัดเมื่อตัวอย่างมอร์ต้าร์มีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

ข. ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัด โดยอัตราส่วนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 โดยมอร์ต้าร์ผสมกับขี้เถ้าจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสงเท่านั้น และทดสอบหากำลังอัดเมื่อตัวอย่างมอร์ต้าร์อายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

ค. การศึกษาความสามารถในการทนต่อสภาพกรด ตัวอย่างมอร์ต้าร์จะถูกแช่ในกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟุริก ที่มีค่าความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นระยะเวลา 30 วัน และจดบันทึกค่าการสูญเสียน้ำหนักในสภาพตัวอย่างมีความอิ่มตัวผิวแห้งและสภาพตัวอย่างที่แห้งแล้ว การศึกษาจะทำการวิจัยมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากแหล่งทั้งสาม และขี้เถ้าแกลบด้วย

2. การทดสอบ

2.1 วัสดุ

กะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง : กะลามะพร้าวได้จากจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสงได้มาจากจังหวัดสระบุรี

ปูนซีเมนต์ : ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ตราเพชร) ผลิตจาก บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

น้ำ : ใช้น้ำธรรมดาในห้องปฏิบัติการทดสอบ

ทราย : ใช้ทรายแม่น้ำผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างตะแกรงเบอร์ 100 ตามมาตรฐาน ASTM C109-80

2.2 การเตรียมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ก. การเผากะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ใช้เตาเผาที่ออกแบบพิเศษ (We, 1981) หลังจากเผาเสร็จ ปล่อยให้เตาเผาเย็นตัวลงแล้ว จึงขนย้ายขี้เถ้าที่เผาแล้ว ไปเก็บในที่เก็บเพื่อรอขั้นตอนการบดต่อไป

ข. การบด

การบดกระทำในเครื่องบด (Islam, 1981) ระยะเวลาบด 1 ชั่วโมง ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบ/นาที และใช้เหล็กเส้นกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10, 13 และ 16 มิลลิเมตรเป็นตัวกลางบด ซึ่งมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ปริมาณขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวใส่ในเครื่องบดประมาณ 5 กิโลกรัม ในขณะที่ปริมาณขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพดใส่ในเครื่องบดประมาณ 4.5 และ 2 กิโลกรัม ตามลำดับ

2.3 โปรแกรมการทดสอบ

ก. คุณสมบัติของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ทดสอบจาก บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

ข. คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เพสต์ปกติ และปูนซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง

ปริมาณขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงใช้ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ การทดสอบจะแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ระยะ Plunger ของเข็มไวแคตจมในเนื้อเพสต์เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C187-86

ใช้ปริมาณน้ำที่ทำให้ Plunger ของเข็มไวแคตจมตามมาตรฐานเป็นตัวแปรหลัก ในการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้าย การจมของเข็มไวแคตจะถูกบันทึกในช่วงเวลาต่างๆ กัน ข้อมูลจะถูกวาดเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมของเข็มไวแคตกับเวลา ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นจะเริ่มจากเวลาที่เพิ่มน้ำจนถึงเวลาที่เข็มไวแคตจม 25 มิลลิเมตรในเนื้อเพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายจะเริ่มจากเวลาการเพิ่มน้ำจนถึงเวลาที่เข็มไวแคตหยุดจมลงในเนื้อเพสต์ วิธีดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C191-82

ค. คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าร์แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน โดยในสองส่วนแรกพิจารณาถึงกำลังอัดในขณะที่ส่วนที่เหลือทดสอบเกี่ยวกับความสามารถในการทนต่อสภาพกรด

ส่วนแรกจะทดสอบมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากแหล่งดังกล่าว เพื่อหากำลังอัดตามสัดส่วนการแทนที่ขี้เถ้าที่ค่าต่าง ๆ กัน สำหรับขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวอัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายใช้ 1:2 , 1:2.75 และ 1:3.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวใช้แทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0, 35 และ 50 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ควบคุมการไหลให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 105-115 ตามมาตรฐาน ASTM C109-92 หลังจากหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ 24 ชั่วโมง จึงนำไปบ่มน้ำ ตัวอย่างมอร์ต้าร์ 12 ตัวอย่างเตรียมไว้ทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน โดยแต่ละอายุจะทดสอบตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง

ส่วนที่สอง ใช้ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และข้าวโพด โดยปริมาณขี้เถ้าดังกล่าวใช้แทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 อัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายใช้ 1:2 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ควบคุมการไหลให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 105-115 ตามมาตรฐาน ASTM C109-80 การบ่มใช้วิธีเดียวกับในส่วนแรก ตัวอย่างมอร์ต้าร์ 12 ตัวอย่างสำหรับแต่ละชนิดของขี้เถ้าจะเตรียมไว้ทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

ส่วนที่สาม ศึกษาเกี่ยวกับผลของการแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และชังข้าวโพด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์จะแปรค่าในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 อัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2 และปริมาณขี้เถ้าดังกล่าวจะใช้แทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตลอดงานวิจัยนี้ ตัวอย่างมอร์ต้าร์จะทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

ส่วนที่สี่ จะทดสอบความสามารถในการทนทานต่อสภาพกรด ตัวอย่างมอร์ต้าร์ทั้ง 4 ตัวอย่าง เตรียมไว้ทดสอบสำหรับขี้เถ้าแต่ละชนิด ประกอบด้วยมอร์ต้าร์ธรรมดาและมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากชังข้าวโพด, เปลือกถั่วลิสง และแกลบ ปริมาณที่ใช้คือร้อยละ 30 แทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายใช้เท่ากับ 0.56 และ 1:2 ตามลำดับ ตัวอย่างมอร์ต้าร์ทั้งหมดจะเก็บไว้ในห้องบ่มที่มีไอน้ำพ่นตลอดเวลาเป็นเวลา 14 วัน หลังจากทำการหล่อแล้วเสร็จ ครึ่งหนึ่งของตัวอย่างถูกแช่ในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อีกครึ่งหนึ่งของตัวอย่างอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำตัวอย่างทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักและเก็บไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟุริกที่มีค่าความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 30 วัน ต่อจากนั้นนำตัวอย่างที่เคยแช่ในน้ำครั้งแรกมาแช่ในน้ำอีกครั้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกัน ตัวอย่างที่เคยอบในเตาอบครั้งแรกก็นำมาอบในเตาอบที่มีอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงอีกครั้ง จากนั้น นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาค่าการสูญเสียน้ำหนัก

3. ผลการทดสอบ และการวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวมีสีเทาดำ ขี้เถ้าที่ผลิตได้มีค่าร้อยละ 2.8 โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าว ซึ่งหมายความว่า เมื่อใช้กะลามะพร้าวปริมาณ 25 กิโลกรัม สามารถผลิตขี้เถ้าเพียง 0.7 กิโลกรัมภายใน 1 ชั่วโมง ขี้เถ้าจากชังข้าวโพดมีสีเทาดำ และมีปริมาณร้อยละ 1.43 ของชังข้าวโพดที่ยังไม่ได้เผา การเผาชังข้าวโพดปริมาณ 75 กิโลกรัม ต้องใช้เวลาถึง 2 ชั่วโมง ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลมีปริมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนักของเปลือกถั่วลิสงที่ยังไม่ได้เผา เปลือกถั่วลิสงจะเผาประมาณ 45 กิโลกรัม ภายใน 5 ชั่วโมง อุณหภูมิการเผาวัดภายในเตาเผามีค่า 750 °C จะเห็นว่า ผลผลิตขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีปริมาณมากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และชังข้าวโพด คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของขี้เถ้าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบกับขี้เถ้าแกลบ, ขี้เถ้าจากฟางข้าว และขี้เถ้าจากชานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงการแบ่งแยกชนิดของขี้เถ้าตามมาตรฐาน ASTM

3.1.1) การวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าดังกล่าว ทดสอบที่ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์ เห็นว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ประกอบด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ร้อยละ 25.68 แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 4.08 โปแตสเซียมออกไซด์ร้อยละ 31.23 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 5.38 โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 8.4 ค่าการสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้เท่ากับร้อยละ 29.80 ค่าความละเอียดมีค่า 2823 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ทดสอบโดยวิธี Blaine และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.23

ขี้เถ้าจากชังข้าวโพด มีซิลิคอนไดออกไซด์ร้อยละ 37.20 โปแตสเซียมออกไซด์ร้อยละ 37.09 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.15 เฟอริกออกไซด์ร้อยละ 2.78 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.10 ค่าการสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้เท่ากับร้อยละ 16.18 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ค่าความละเอียดมีค่า 1036 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ทดสอบโดยวิธี Blaine และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.21

ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีซิลิคอนไดออกไซด์มากประมาณร้อยละ 44.57 อลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 15 เฟอริกออกไซด์ร้อยละ 7.56 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 7.69 มีปริมาณโปแตสเซียมออกไซด์น้อยมาก ค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้เท่ากับร้อยละ 9.75 ค่าความละเอียดทดสอบโดยวิธี Blaine และค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 5292 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และ 2.56 ตามลำดับ

จากตารางที่ 1 เห็นว่าขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ มากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและขี้เถ้าจากชังข้าวโพด ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้ปูนซีเมนต์เจลแข็งตัวมากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และชังข้าวโพด ซีเมนต์เจลเมื่อแข็งตัวเป็นองค์ประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต, ไดแคลเซียมซิลิเกต, ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และเตตะแคลเซียมอลูมิโนเฟอไรต์ ในขี้เถ้าทั้งสามอย่าง ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะมีปริมาณสารอื่นๆ เล็กน้อย เช่น ปริมาณ แมกนีเซียมออกไซด์, แมงกานีสออกไซด์, โปแตสเซียมออกไซด์, โซเดียมออกไซด์, ซัลเฟอร์ออกไซด์ และคลอไรด์ จากหลักทฤษฎี (Neville, 1986) มีองค์ประกอบหลัก 2 อย่าง คือ ออกไซด์ของโซเดียม และโปแตสเซียม (หรืออัลคาไลน์) ซึ่งพบว่า สามารถทำปฏิกิริยากับมวลคละได้ ผลดังกล่าวทำให้คอนกรีตเกิดการสลายตัว โดยสังเกตจากผลกระทบที่มีต่ออัตราการพัฒนากำลัง ดังนั้น จึงมีอันตรายต่อปูนซีเมนต์อย่างมาก จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่า ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีปริมาณอัลคาไลน์น้อยกว่าอีกสองแหล่ง การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังของปูนซีเมนต์เมื่อมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มาก จะทำให้กำลังปูนซีเมนต์ลดลง

ถ้าเปรียบเทียบผลของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงกับขี้เถ้าชนิดอื่นๆ เห็นว่าขี้เถ้านี้จะมีปริมาณซิลิกาน้อยกว่าขี้เถ้าแกลบ, ขี้เถ้าจากฟางข้าว และขี้เถ้าจากชานอ้อย เมื่อสังเกตปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์, เฟอริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ จะเห็นว่า ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีปริมาณมากกว่า นอกจากนี้ ยังมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูงกว่าแหล่งอื่น ยกเว้นขี้เถ้าจากฟางข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2

3.1.2) ดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ผลทดสอบแสดงว่า ดัชนีกำลังของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 95.02 และความต้องการน้ำเท่ากับร้อยละ 99.6 สังเกตได้ว่า การใส่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถลดปริมาณน้ำได้ ดัชนีกำลังของขี้เถ้าดังกล่าวนี้ เมื่อทดสอบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วันมีค่าเท่ากับร้อยละ 117.34 และ 106.40 ตามลำดับ ผลแสดงดังตารางที่ 4 ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะให้กำลังเริ่มต้นสูง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วันแต่จะต่ำลงเมื่ออายุ 28 วัน สาเหตุที่กำลังเริ่มต้นสูงเพราะ

มีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์สูงตามหลักทฤษฎี (Neville, 1986) ซึ่งเป็นธรรมดาของปูนซีเมนต์ที่มีอลูมินาสูงจะมีอัตราการพัฒนากำลังสูงมากทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) มีผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ CAH_{10} และ C_2AH_8 อีกทั้งอลูมินาเจล ($Al_2O_3.ag$) ค่าดัชนีกำลังของขี้เถ้าจากชังข้าวโพดที่ 28 วัน เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับร้อยละ 38.96 และความต้องการน้ำเท่ากับร้อยละ 102.5 ดังแสดงในตารางที่ 3 การใส่ขี้เถ้าดังกล่าวในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะเพิ่มปริมาณความต้องการน้ำ ดัชนีกำลังของขี้เถ้าดังกล่าวนี้ เมื่อทดสอบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วันได้ค่าเท่ากับร้อยละ 39.69 และร้อยละ 43.08 ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้กำลังอัดเมื่อใส่ขี้เถ้าจากชังข้าวโพดของมอร์ต้าร์ต่ำลงเนื่องจากมีปริมาณอัลคาไลน์ และค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง อีกทั้งปริมาณแคลเซียมออกไซด์มีน้อย จึงมีผลทำให้กำลังอัดเริ่มต้นต่ำด้วย

3.1.3) เวลาการก่อตัว

เวลาการก่อตัวเป็นการอธิบายถึงการแข็งตัวของปูนซีเมนต์เพสต์ ซึ่งอ้างอิงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพไหลเป็นสภาพแข็งตัว การทดสอบนี้ จะทดสอบปูนซีเมนต์ธรรมดา และปูนซีเมนต์ที่มีขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงผสมอยู่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก แต่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และชังข้าวโพดจะไม่พิจารณาเนื่องจากให้ค่ากำลังอัดต่ำ ค่ากำลังอัดสามารถแสดงในรูปที่ 1 และ 2

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์เพสต์ธรรมดาในงานวิจัยคือร้อยละ 32.6 ขณะที่ปูนซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 27.7 เวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของปูนซีเมนต์ธรรมดาคือ 2 ชั่วโมง 31 นาที และ 5 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ ในกรณีของปูนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีค่า 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ จะเห็นว่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของปูนซีเมนต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

3.1.4) การแบ่งแยกชนิดวัสดุผสมปูนซีเมนต์ของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

เนื่องจากค่ากำลังอัดต่ำ และค่าสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง ทำให้ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวไม่ต้องนำมาพิจารณา จากตารางที่ 3 ขี้เถ้าจากชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ และปริมาณซิลิกา อลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน จะพบว่า ขี้เถ้าจากชังข้าวโพดจะไม่ถือว่าเป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ในขณะที่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะเป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ชนิด N

3.2 คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

3.2.1) กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อใส่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวในปูนซีเมนต์มอร์ต้าร์ จะมีผลกระทบอย่างมากต่อค่ากำ

ล้งอัด พิจารณาอายุและอัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทราย พบว่า กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าปริมาณร้อยละ 35 หรือร้อยละ 50 จะต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดา กำลังอัดที่อายุ 28 วันของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าร้อยละ 35 และใช้อัตราส่วนวัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทราย 1:2 จะต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดาที่ใช้วัสดุผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:3.5 ที่อายุเดียวกัน จะเห็นว่า ขี้เถ้าดังกล่าวนี้จะมีคุณภาพด้อยกว่าทราย และยังมีผลในแง่ลบต่อปูนซีเมนต์มอร์ต้าร์ อีกทั้งยังไม่สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากขี้เถ้านี้มีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง ดังแสดงในตารางที่ 1 อีกสาเหตุหนึ่งก็คือมีปริมาณอัลคาไลน์สูงด้วย ดังนั้น ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวจึงไม่เหมาะในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์

3.2.2) กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด

ผลกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดแสดงในรูปที่ 2 ที่อายุครบ 3 วัน มอร์ต้าร์ผสมกับขี้เถ้าจากซังข้าวโพดปริมาณร้อยละ 20 จะให้ค่ากำลังอัดต่ำสุด และมีค่าประมาณร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา มอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้านี้ปริมาณร้อยละ 40 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด แต่เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา คือ มีค่าประมาณร้อยละ 75 ที่อายุ 7 วัน มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้านี้ร้อยละ 30 จะให้กำลังอัดสูงสุด เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดามีค่าเพียงร้อยละ 80 มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดที่ร้อยละ 20 ยังคงให้กำลังอัดต่ำสุดเช่นเคย เมื่ออายุครบ 28 วัน กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีขี้เถ้านี้ผสมร้อยละ 20, ร้อยละ 30 และร้อยละ 40 มีค่าร้อยละ 50, 68 และ 76 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้านี้แทนที่ในปูนซีเมนต์ธรรมดาถึงร้อยละ 40 จะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงเห็นว่าขี้เถ้าจากซังข้าวโพดดีกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ทั้งนี้เพราะขี้เถ้านี้มีปริมาณซิลิกาสูง และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ต่ำกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว

3.2.3) กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง

กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงแสดงในรูปที่ 5 พบว่า กำลังอัดของมอร์ต้าร์ดังกล่าวมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดาที่อายุ 3 วัน มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้านี้ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา มีเพียงมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงร้อยละ 30 จะให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดาเล็กน้อย ที่อายุ 7 วัน มอร์ต้าร์ที่มีขี้เถ้าชนิดนี้ผสม จะให้กำลังสูงกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดาทั้งหมด เมื่ออายุครบ 28 วัน กำลังของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าชนิดนี้จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของการแทนที่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีเพียงมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าชนิดนี้ร้อยละ 40 มีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดา จากรูปที่ 5 พบว่า เปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงในการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ 28 วันสูงสุด คือ ร้อยละ 20

เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากแหล่งทั้งสามเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดาดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่ออายุครบ 28 วันการแทนที่ที่เหมาะสมของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงประมาณร้อยละ 20 จะทำให้ได้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นจากมอร์ต้าร์ธรรมดาถึงร้อยละ 5.7ในขณะที่มอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดมีร้อยละที่เหมาะสม 40 และทำให้ได้กำลังอัดมีค่าเพียงร้อยละ 76 ของมอร์ต้าร์ธรรมดา

3.2.4) อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากชังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

รูปที่ 7 แสดงถึงการแปรค่ากำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วันของมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากชังข้าวโพดร้อยละ 30 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 พบว่า ค่ากำลังอัดจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ 0.44 จะมีการพัฒนาที่สูงกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ 0.56

รูปที่ 8 แสดงถึงการแปรค่ากำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงร้อยละ 30 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 ในกรณีนี้ พบว่า มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าดังกล่าวนี้ จะมีการพัฒนากำลังอัดตลอดเวลาในช่วงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมปูนซีเมนต์ใดๆ

3.3 ความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริก

จากตารางที่ 5 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ต่างๆ ที่แช่ในกรดซัลฟุริกเป็นเวลา 30 วันพบว่า ลำดับความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกของมอร์ต้าร์ต่างๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนี้ 1. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากชังข้าวโพด 2. มอร์ต้าร์ธรรมดา 3. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าแกลบ 4. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง แนวโน้มดังกล่าวข้างคงใช้ได้ในกรณีมอร์ต้าร์ที่อยู่ในสภาพอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ในสภาพอบแห้งมอร์ต้าร์จะมีความทนทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกมากกว่ามอร์ต้าร์ที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ทั้งนี้เพราะในสภาพอบแห้งเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาการรวมตัวของซิลิกา และแคลเซียมไดออกไซด์ ทำให้มีสภาพทนทานต่อกรดซัลฟุริกสูง

3.4 ความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริก

จากตารางที่ 5 พบว่า ลำดับความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกของมอร์ต้าร์ต่างๆ มีเพิ่มมากขึ้นจากน้อยไปมาก คือ 1. มอร์ต้าร์ของขี้เถ้าจากชังข้าวโพด 2. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 3. มอร์ต้าร์ธรรมดา 4. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าแกลบ จะเห็นได้ว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าแกลบจะมีคงทนต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก ขี้เถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกาสูง ซึ่งสามารถลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระในการเกิดปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ได้ นอกจากนี้ ยังพบว่า มอร์ต้าร์ธรรมดามีความคงทนต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกสูงกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง การเพิ่มความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกสามารถกระทำได้โดยการนำมอร์ต้าร์ไปอบในสภาพอบแห้ง ดังผลการทดสอบในตารางที่ 5

4. สรุป

จากผลการทดสอบจากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีสีน้ำตาล ในขณะที่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และชังข้าวโพดมีสีเทา โดยผลผลิตขี้เถ้าที่ได้จากการเผาของเปลือกถั่ว, กะลามะพร้าว และชังข้าวโพด คือ ร้อยละ 12, 2.8 และ 1.43 โดยน้ำหนักตามลำดับ

2. ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีปริมาณซิลิกามาก และค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ต่ำ และมีปริมาณอลูเมียมออกไซด์ร้อยละ 15.12 ตามมาตรฐาน ASTM ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถแยกชนิดได้เป็นวัสดุผสมปูนซีเมนชนิด N ในขณะที่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพดไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

3. ค่าดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีค่าร้อยละ 95.02 และมีค่าความต้องการน้ำร้อยละ 99.6 ในขณะที่ขี้เถ้าจากซังข้าวโพดมีค่าดัชนีกำลังเพียงร้อยละ 38.96 และค่าความต้องการน้ำร้อยละ 102.4

4. ปูนซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะให้เวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้ายต่ำกว่าปูนซีเมนต์เพสธรรมดา ทั้งนี้เพราะใช้ปริมาณน้ำน้อยเพียงร้อยละ 27.7

5. กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง ร้อยละ 20, 30 และ 40 มีค่าเป็นร้อยละ 105.7 100.2 และ 91.9 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา จะเห็นว่า ร้อยละของขี้เถ้าที่เหมาะสม คือ 20 ในกรของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดร้อยละ 20, 30 และ 40 มีค่า 50.3 68 และ 76.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดา พบว่า ร้อยละของขี้เถ้าที่เหมาะสม คือ 40

6. มอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกมากกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดา และมอต้าร์ที่ผสมขี้เถ้าแกลบ แต่ทว่าจะมีความต้านทานต่อกรดไฮโดรคลอริกต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดา และมอร์ต้าร์ที่ผสมขี้เถ้แกลบ

ดังนั้น ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถใช้เป็นวัสดุผสมปูนซีเมนต์ได้ ขบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้มีลักษณะเหมือนกับการผลิตขี้เถ้าแกลบ ซึ่งทำได้ง่าย และประหยัดราคาด้วย การนำไปประยุกต์ใช้จึงเหมาะกับสภาพชนบทที่ห่างไกลที่มีเปลือกถั่วลิสงอยู่มาก

5. เอกสารอ้างอิง

Daladar, T.U. 1993. Use of Coconut Husk Ash, Corn Cob Ash and Peanut Shell Ash as Pozzolana. M.Eng. Thesis No. ST-93-4, AIT., Bangkok.

Islam, S. 1981. Grinding Methods and Their Effects on Reactivity of RHA. M.Eng. Thesis No. ST-81-7, AIT., Bangkok.

Neville, A.M. 1986. Properties of Concrete. Pitman Publishing Ltd., Third Edition, London.

We, A.B. 1981. Production of RHA and Its Application in Mortar and Concrete. M.Eng. Thesis No. ST-81-20, AIT., Bangkok.

ตารางที่ 1 : ส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว	ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	ปูนตราเพชร
ซิลิคอนไดออกไซด์	25.68	37.26	44.57	21.30
อลูมิเนียมออกไซด์	1.74	1.09	15.12	4.96
เฟอริกออกไซด์	2.65	2.78	7.56	3.10
แคลเซียมออกไซด์	4.08	2.10	7.69	66.61
แมกนีเซียมออกไซด์	5.38	3.15	1.65	1.81
โซเดียมออกไซด์	8.40	0.04	0.12	0.21
โปแตสเซียมออกไซด์	31.23	37.09	6.06	0.50
ซัลเฟต	0.71	0.75	1.10	2.72
คลอไรด์	0.61	0.12	-	-
แมงกานีสออกไซด์	0.05	0.08	0.27	-
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้	29.80	16.18	9.75	0.74
คุณสมบัติทางกายภาพ				
- มีค่าความละเอียดตารางเซนติเมตร/กรัม	2,823	1,036	5,292	3,028
- ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.23	2.21	2.56	3.13
- เปอร์เซ็นต์ผ่านตะเกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ)	99.40	66.80	95.80	85.20

ตารางที่ 2 : การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว	ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	ขี้เถ้าจากถั่วลิสง	ขี้เถ้าจากชานอ้อย	ขี้เถ้าแกลบ	ขี้เถ้าจากฟางข้าว
ซิลิคอนไดออกไซด์	25.68	37.26	44.57	65.8	92.05	65.94
อลูมิเนียมออกไซด์	1.74	1.09	15.12	5.5	0.94	0.99
เฟอริกออกไซด์	2.64	2.78	7.56	3.3	0.81	0.65
แคลเซียมออกไซด์	4.08	2.10	7.69	4.2	0.27	4.27
แมกนีเซียมออกไซด์	5.38	3.15	1.65	1.7	0.27	1.97
โซเดียมออกไซด์	8.40	1.04	0.12	0.6	0.06	0.23
โปแตสเซียมออกไซด์	31.23	37.09	6.06	7.5	1.72	11.66
ซัลเฟต	0.71	0.75	1.10	2.0	0.13	0.45
คลอไรด์	0.61	0.12	-	-	-	-
แมงกานีสออกไซด์	0.05	0.08	0.27	-	-	-
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้	29.80	16.18	9.75	9.4	3.19	13.46
คุณสมบัติทางกายภาพ						
- เปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าหลังจากเผา	2.8	1.43	12	3.2	18-20	15
- ค่าความละเอียดตารางเซนติเมตร/กรัม	2,823	1,036	5,292	15,040	14,300	12,860
- ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.23	2.21	2.56	2.31	2.09	2.24

ตารางที่ 3 : การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง เทียบกับมาตรฐาน ASTM

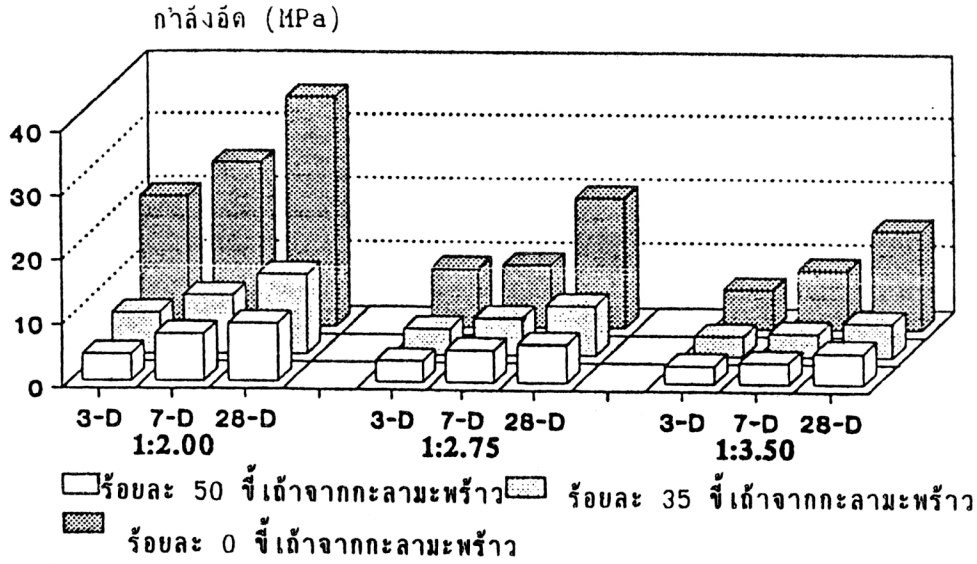
คุณสมบัติทางเคมี	วัสดุผสมซีเมนต์ประเภท			ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว	ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง
	N	F	C			
- ปริมาณความชื้นมากที่สุด, ร้อยละ	3	3	3	-	-	-
- การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มากที่สุด, ร้อยละ	10	12	6	29.80	16.18	9.75
- ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ กับอลูมิเนียมออกไซด์ กับเฟอริกออกไซด์น้อยที่สุด, ร้อยละ	70	70	50	30.07	41.13	67.25
- ซัลเฟตมากที่สุด, ร้อยละ	4	5	5	0.71	0.75	1.10
- แมงกานีสออกไซด์มากที่สุด, ร้อยละ	5	5	5	5.38	3.15	1.65
- โซเดียมออกไซด์มากที่สุด, ร้อยละ	1.5	1.5	1.5	8.40	0.04	0.12
คุณสมบัติทางกายภาพ						
- ความละเอียด : ปริมาณที่ค้างตะแกรงเบอร์ 325 มากที่สุด, ร้อยละ	34	34	34	0.60	33.20	4.20
- ค่าดัชนีกำลังเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 28 วัน อย่างน้อยที่สุด, ร้อยละ	75	75	75	-	38.96	95.02
- ความต้องการน้ำมากที่สุด, ร้อยละ	115	105	105	-	102.5	99.6

ตารางที่ 4 : ดัชนีกำลัง เมื่อ เทียบกับปูนซี เมนต์ปอร์ตแลนด์

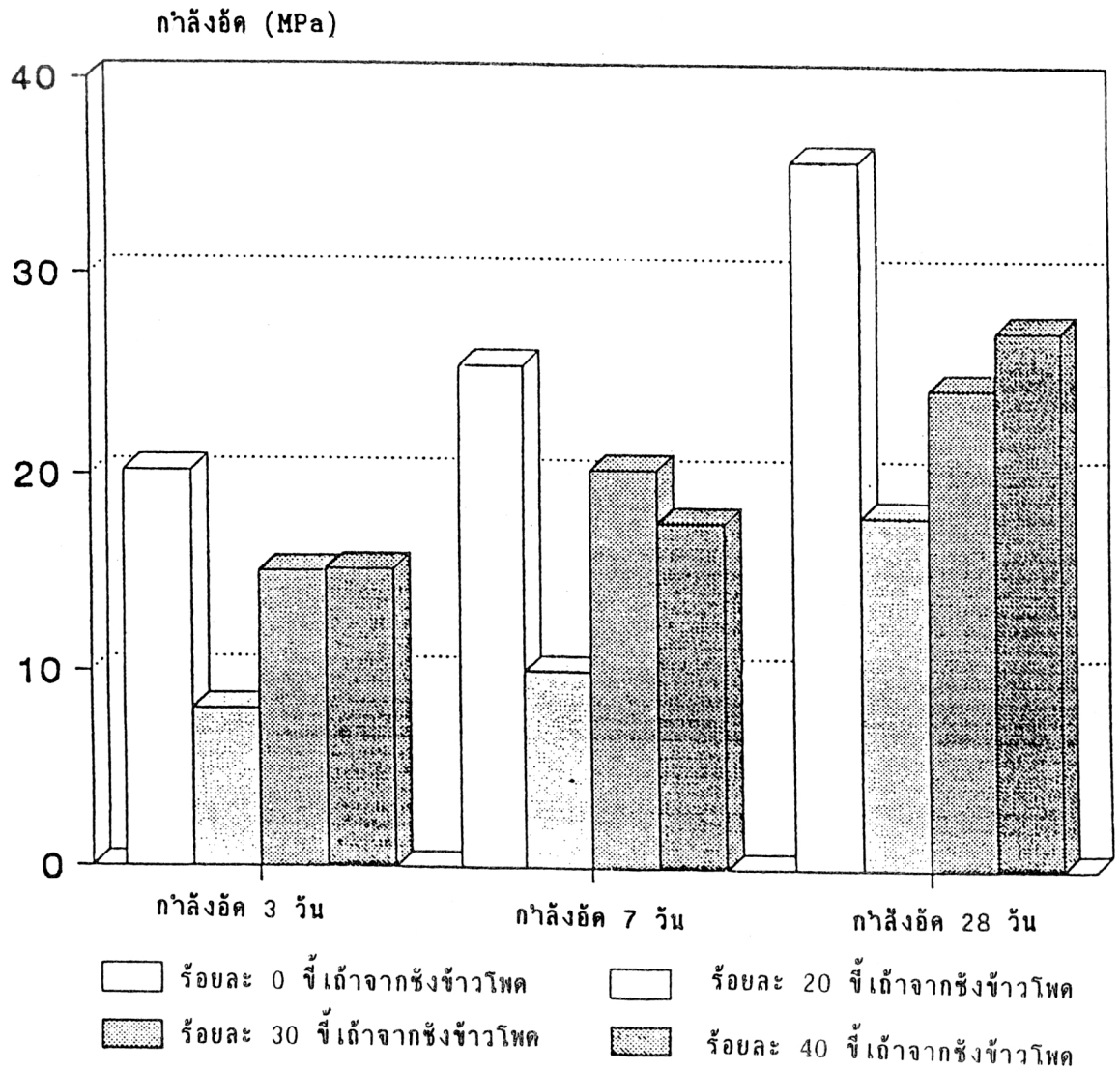
อายุ	ชนิดของมอร์ต้าร์	กำลังอัด (MPa)	ดัชนีกำลัง (ร้อยละ)
3 วัน	ธรรมดา	18.34	100
	ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	21.52	117.34
	ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	7.28	39.69
7 วัน	ธรรมดา	23.28	100
	ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	24.77	106.40
	ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	10.03	43.08
28 วัน	ธรรมดา	30.11	100
	ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	28.61	95.02
	ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	11.73	38.96

ตารางที่ 5 : การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าร์ชนิดต่างๆ เมื่อแช่ในกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟุริก

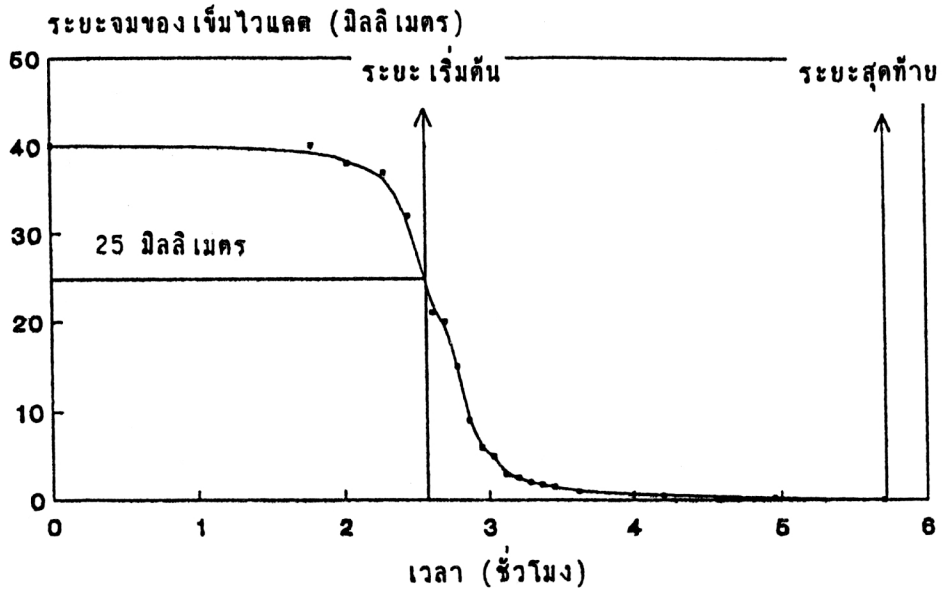
สถานภาพของตัวอย่างมอร์ต้าร์	ชนิดของมอร์ต้าร์	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ชนิดของกรดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10	
		ไฮโดรคลอริก	ซัลฟุริก
สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง	ธรรมดา	5.23	73.74
	ผสมขี้เถ้าแกลบ	4.26	48.59
	ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	8.94	46.26
	ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	15.04	75.46
สภาพอบแห้ง	ธรรมดา	2.07	52.75
	ผสมขี้เถ้าแกลบ	0.42	46.53
	ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	5.24	24.83
	ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	4.18	62.12



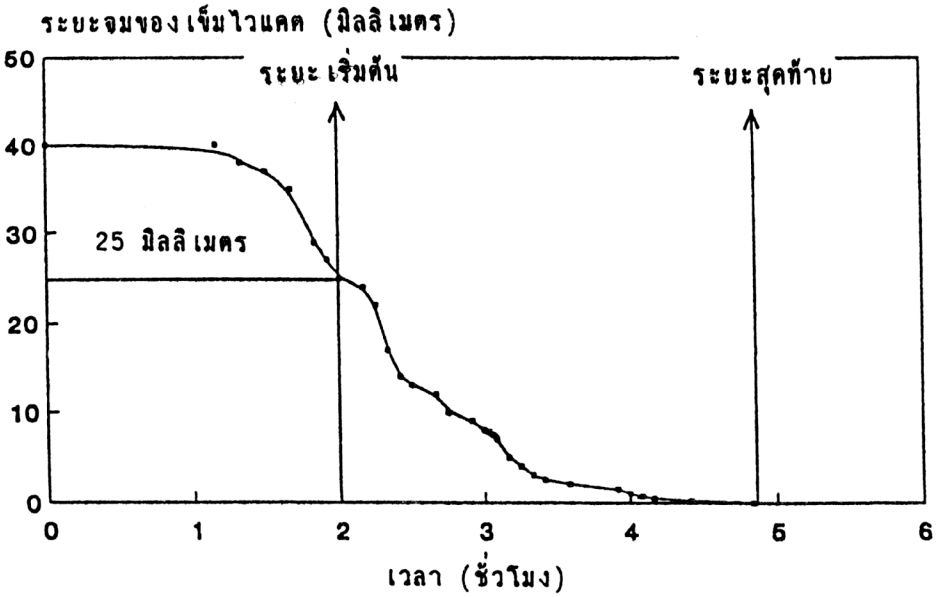
รูปที่ 1 : การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว



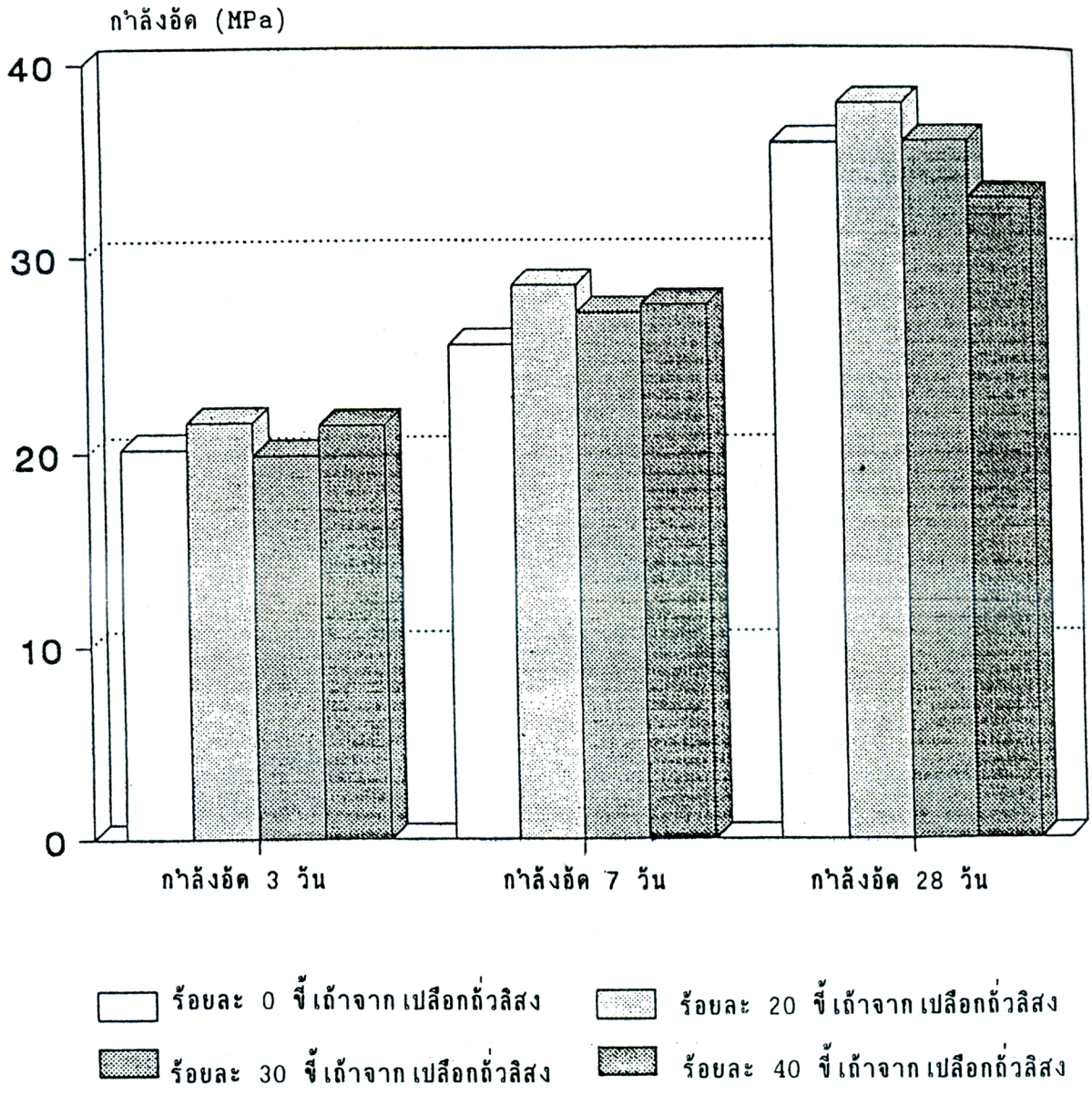
รูปที่ 2 : การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากชังข้าวโพด



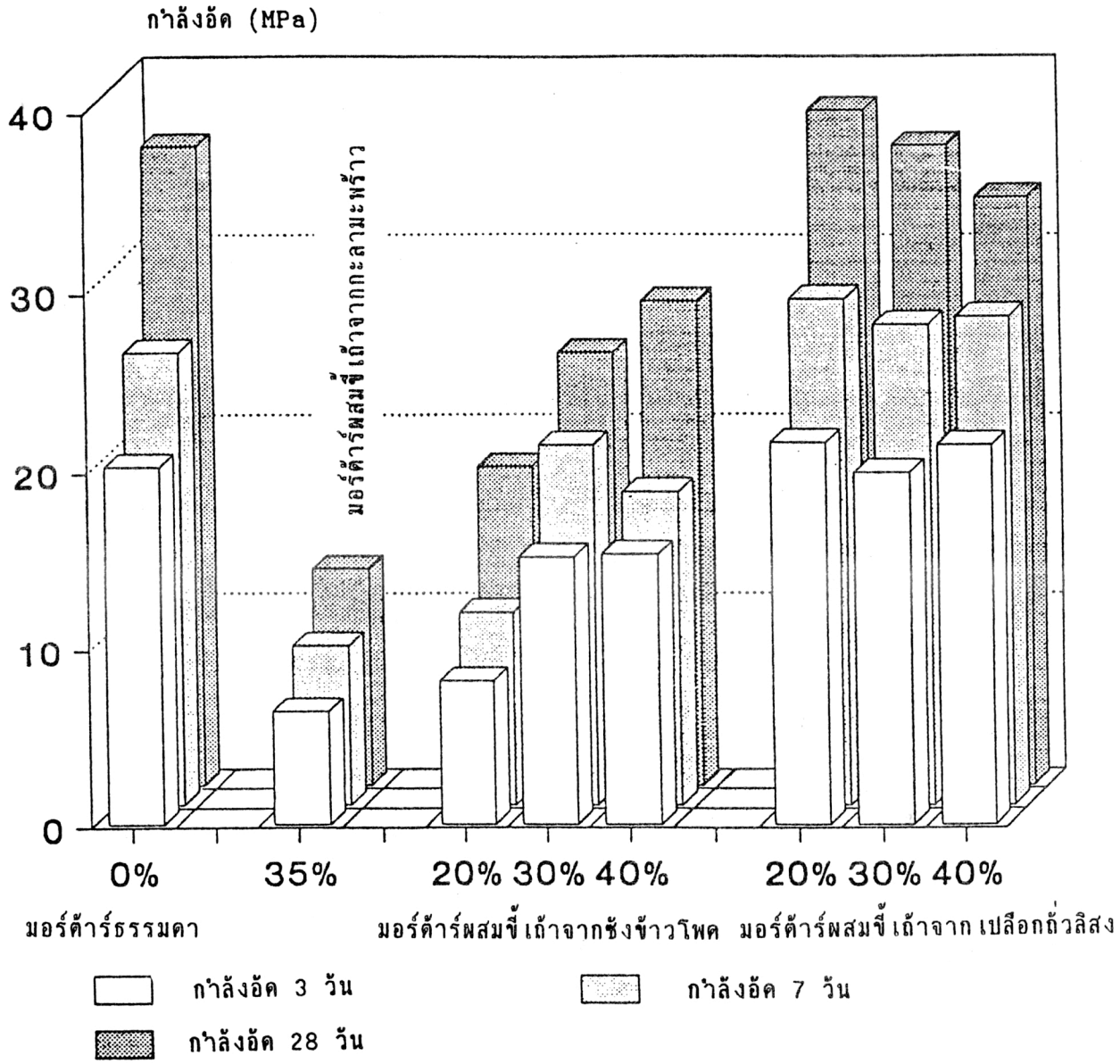
รูปที่ 3 : สภาพการแข็งตัวของปูนซีเมนต์เพสต์ธรรมดา



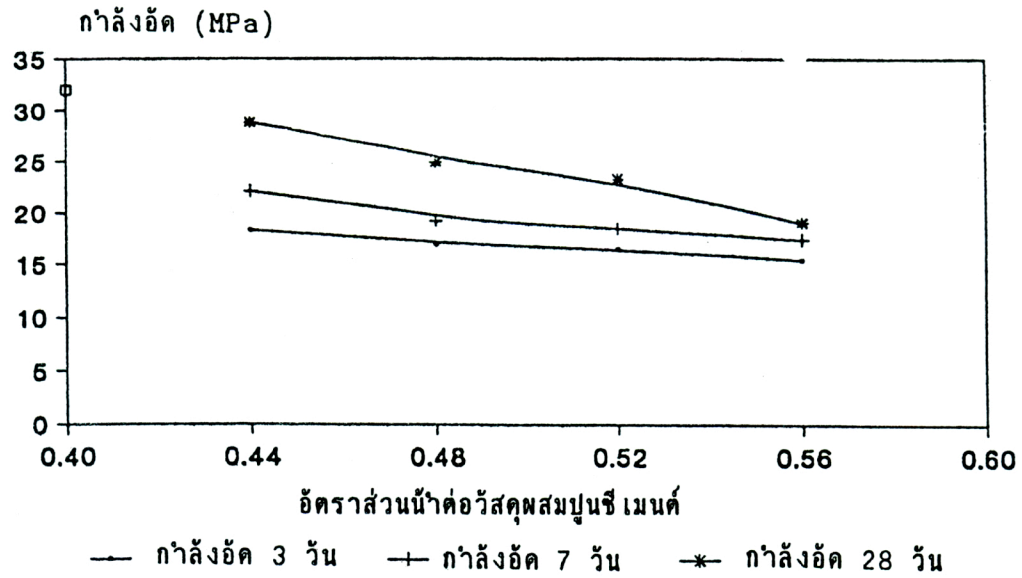
รูปที่ 4 : สภาพการแข็งตัวของปูนซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงร้อยละ 30



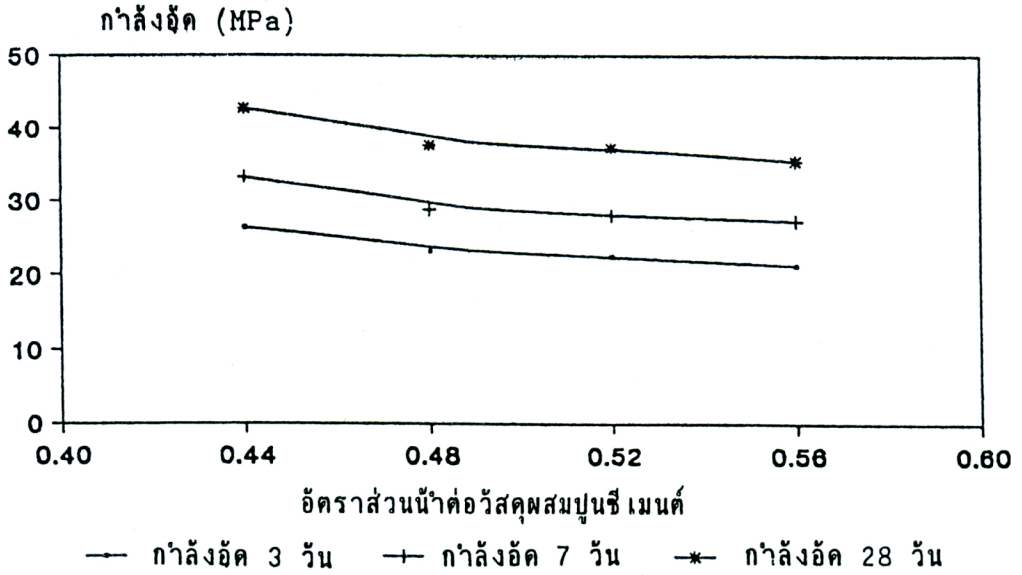
รูปที่ 5 : การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง



รูปที่ 6 : การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าต่างๆ



รูปที่ 7 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด



รูปที่ 8 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของมอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าจาก เปลือกถั่วลิสง