วิศวกรรมสาร ม.ข. ปีที่ 21 ฉบับที่ 1-2 (1-20), 2537 KKU Engineering Journal Vol.21 No.1-2 (1-20), 1994

การประยุกต์ใช้ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ผสมในวัสดุซีเมนต์

บุรฉัตร ฉัตรวีระ
อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

พิชัย นิมิตยงสกุล
รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการค้นคว้าพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่สามารถนำมาผสมกับซีเมนต์ นอกเหนือจากขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าจากฟางข้าว การวิจัยจะมุ่งประเด็นไปยังขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของเพสต์และมอร์ต้าที่มีขี้เถ้าดังกล่าวผสมแบบแทนที่ซีเมนต์อยู่ คุณสมบัติของขี้เถ้าดังกล่าวที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าความละเอียด ส่วนประกอบทางเคมี และดัชนีกำลังเทียบกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ คุณสมบัติของเพสต์ที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง โดยขี้เถ้าดังกล่าวใช้ปริมาณ 30% แทนที่ซีเมนต์ นอกจากนี้ยังศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว โดยสัดส่วนขี้เถ้าแทนที่ซีเมนต์ใช้ 0, 35 และ 50% ในขณะที่มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ใช้สัดส่วนขี้เถ้าแทนที่ในซีเมนต์ คือ 0, 20, 30 และ 40% งานวิจัยนี้ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 และปริมาณน้ำควบคุมโดยวัดการไหลให้อยู่ในช่วงระหว่าง 105-115% งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุที่ผสมซีเมนต์ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละขี้เถ้า นอกจากนี้ยังมีการทดสอบมอร์ต้าผสมขี้เถ้าดังกล่าวสามารถทนต่อสภาพกรดซัลฟุริกและกรดไฮโดรคลอริก เปรียบเทียบกับมอร์ต้าธรรมดาและมอร์ต้าผสมขี้เถ้าแกลบ ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวัสดุซีเมนต์ได้ยกเว้นขี้เถ้าจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุผสมซีเมนต์ชนิด F และ N ตามลำดับ มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดจะให้กำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดา ในขณะที่มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าธรรมดา ในการทดสอบผลของกรดที่มีต่อมอรต้าบ่งชี้ว่า มอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถทนต่อสภาพกรดได้ดีกว่ามอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าแกลบ

Use of Coconut Husk Ash, Corn Cob Ash and Peanut Shell Ash as Pozzolana

B. Chatveera
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University

P. Nimityongskul
School of Civil Engineering
Asian Institute of Technology
Bangkok Thailand

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 hush 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 attach and RHA against acidic attack.

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

บทนำ

วัสดุก่อสร้างมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนางานโครงสร้างของประเทศ ถึงแม้ว่าจะมีวัสดุเหล็กและไม้ ยังมีซีเมนต์ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบัน เนื่องจากมีการขยายตัวในธุรกิจการก่อสร้าง และภาวะเงินเฟ้อ วัสดุก่อสร้างจึงมีราคาสูงขึ้น โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่มีความต้องการซีเมนต์ค่อนข้างสูง ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุให้นักวิจัยต้องพัฒนาค้นหาวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ โดยเฉพาะวัสดุผสมซีเมนต์ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ในประเทศ เพราะวัสดุดังกล่าวสามารถแทนที่ซีเมนต์ได้ และทำให้ราคาถูกลง ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง มาประยุกต์ใช้ผสมในวัสดุซีเมนต์ ซึ่งขี้เถ้าจากแหล่งดังกล่าวได้มาจากการเผาในเตาเผาที่ออกแบบไว้เป็นพิเศษ (We, 1981) เมื่อเผาแล้ว ขี้เถ้าดังกล่าวจะถูกบดในเครื่องบด (Islam, 1981) โดยกำหนดเวลาการบดเท่ากับ 1 ชั่วโมงตลอดการวิจัย การทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น

(ก) **คุณสมบัติจากขี้เถ้ากะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง** ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของขี้เถ้าดังกล่าว การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM

(ข) **คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ปกติกับซีเมนต์เพสต์ที่มีขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงผสม** เพื่อหาปริมาณน้ำที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีค่าการไหลตามมาตรฐาน เทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง โดยกำหนดซีเมนต์เพสต์ปกติเป็นตัวแปรหลัก จากการใช้ปริมาณน้ำดังกล่าว จะมีการทดสอบหาเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้าย ตามมาตรฐาน ASTM

(ค) **คุณสมบัติของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง**

- ศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง กำหนดการไหลเท่ากับ 105-115% และสัดส่วนขี้เถ้าดังกล่าวแทนที่ในซีเมนต์เท่ากับ 0%, 20%, 30% และ 40% ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 และการทดสอบกำลังอัดจะทดสอบเมื่อตัวอย่างมอร์ต้ามีอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

- ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัด โดยอัตราส่วนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 โดยมอร์ต้าผสมกับขี้เถ้าจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสงเท่านั้น และทดสอบหากำลังอัดเมื่อตัวอย่างมอร์ต้าอายุครบ 3, 7 และ 28 วัน
- การศึกษาความสามารถในการทนต่อสภาพกรด ตัวอย่างมอร์ต้าจะถูกแช่ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟุริก ที่มีค่าความเข้มข้น 10% เป็นระยะเวลา 30 วัน และจดบันทึกค่าการสูญเสียน้ำหนักในสภาพตัวอย่างมีความอิ่มตัวผิวแห้งและสภาพตัวอย่างที่แห้งแล้ว การศึกษาจะทำการวิจัยมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากแหล่งทั้งสาม และขี้เถ้าแกลบด้วย

การทดสอบ

วัสดุ

กะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง : กะลามะพร้าวได้จากจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสงได้มาจากจังหวัดสระบุรี

- ซีเมนต์ : ใช้ปอร์ตแลนซีเมนต์ประเภท 1 (ตราเพชร) ผลิตจาก บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด
- น้ำ : ใช้น้ำธรรมดาในห้องปฏิบัติการทดสอบ
- ทราย : ใช้ทรายแม่น้ำผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างตะแกรงเบอร์ 100 ตามมาตรฐาน ASTM C109-80

การเตรียมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ก. <u>การเผากะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง</u>

ใช้เตาเผาที่ออกแบบพิเศษ (We, 1981) หลังจากเผาเสร็จ ปล่อยให้เตาเผาเย็นตัวลงแล้ว จึงขนย้ายขี้เถ้าที่เผาแล้ว ไปเก็บในที่เก็บเพื่อรอขั้นตอนการบดต่อไป

ข. <u>การบด</u>

การบดกระทำในเครื่องบด (Islam, 1981) ระยะเวลาบดใช้ 1 ชั่วโมง ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบและใช้ตัวกลางบดหนัก 50 กิโลกรัม ปริมาณขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวใส่ในเครื่องบดประมาณ 5 กิโลกรัม ในขณะที่ปริมาณขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงและซังข้าวโพดใส่ในเครื่องบดประมาณ 4.5 และ 2 กิโลกรัม ตามลำดับ

โปรแกรมการทดสอบ

ก. <u>คุณสมบัติของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสง</u>

คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง ทดสอบจาก บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

ข. <u>คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ปกติและซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง</u>

ปริมาณขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงใช้ปริมาณ 30% แทนที่ซีเมนต์ การทดสอบจะแปรค่าปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ระยะเข็มไวแคตจมในเนื้อเพสต์เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C187-86

ใช้ปริมาณน้ำที่ทำให้เข็มไวแคตจมตามมาตรฐานเป็นตัวแปรหลัก ในการหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย การจมของเข็มไวแคตจะถูกบันทึกในช่วงเวลาต่างๆ กัน ข้อมูลจะถูกพร็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมของเข็มไวแคตกับเวลา ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นจะเริ่มจากเวลาที่เพิ่มน้ำจนถึงเวลาที่เข็มไวแคตจม 25 มิลลิเมตร ในเนื้อเพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายจะเริ่มจากเวลาการเพิ่มน้ำจนถึงเวลาที่เข็มไวแคตหยุดจมลงในเนื้อเพสต์ วิธีดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C191-82

ค. <u>คุณสมบัติของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง</u>

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน โดยในสองส่วนแรกพิจารณาถึงกำลังอัดในขณะที่ส่วนที่เหลือทดสอบเกี่ยวกับความสามารถในการทนต่อสภาพกรด

<u>ในส่วนแรก</u> จะทดสอบมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากแหล่งดังกล่าว เพื่อหากำลังอัดตามสัดส่วนการแทนที่ขี้เถ้าค่าต่างๆ กัน สำหรับขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว อัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์ต่อทราย ใช้ 1:2, 1:2.75 และ 1:3.5 โดยน้ำหนักปริมาณขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวใช้แทนที่ซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 0, 35 และ 50% ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 การไหลควบคุมไว้ให้มีค่าเท่ากับ 105-115% ตามมาตรฐาน ASTM C109-80 ตัวอย่างมอร์ต้าจะบ่มน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากหล่อแล้วเสร็จตัวอย่างมอร์ต้า 12 ตัวอย่างเตรียมไว้ทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

<u>ในส่วนที่สอง</u> ใช้ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงและข้าวโพด โดยปริมาณขี้เถ้าดังกล่าวใช้แทนที่ซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 0 20 30 และ 40% อัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์ต่อทรายใช้ 1:2 โดยน้ำหนัก ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 การไหลควบคุมไว้ให้มีค่าเท่ากับ 105-115% ตามมาตรฐาน ASTM C109-80 การบ่มใช้วิธีเดียวกับในส่วนแรกสำหรับแต่ละขี้เถ้า ตัวอย่างมอร์ต้า 3 ตัวอย่าง ถูกเตรียมไว้ทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

<u>ในส่วนที่สาม</u> ศึกษาเกี่ยวกับผลของการแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ ในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์จะแปรค่าในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 อัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2 และปริมาณขี้เถ้าดังกล่าวจะใช้แทนที่ซีเมนต์เท่ากับ 30% ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ถูกใช้ตลอดงานวิจัยนี้ ตัวอย่างมอร์ต้าจะทดสอบกำลังอัดเมื่ออายุครบ 3, 7 และ 28 วัน

<u>ในส่วนที่สี่</u> จะทดสอบความสามารถในการทนทานต่อสภาพกรด ตัวอย่างมอร์ต้าทั้ง 4 ตัวอย่างถูกเตรียมไว้ทดสอบในขี้เถ้าแต่ละชนิด ประกอบด้วยมอร์ต้าธรรมดา และมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสงและแกลบ ปริมาณที่ใช้คือ 30% แทนที่ซีเมนต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์และอัตราส่วนวัสดุซีเมนต์ต่อทรายใช้เท่ากับ 0.56 และ 1:2 ตามลำดับ ตัวอย่างมอร์ต้าทั้งหมดจะเก็บไว้ในห้องบ่มที่มีไอน้ำพ่นตลอดเวลา เป็นเวลา 14 วัน หลังจากทำการหล่อแล้วเสร็จ ครึ่งหนึ่งของตัวอย่างถูกแช่ในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อีกครึ่งหนึ่งของตัวอย่างอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่ว

โมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักและเก็บไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟุริกที่มีค่าความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 30 วัน ต่อจากนั้น นำตัวอย่างที่เคยแช่ในน้ำครั้งแรกมาแช่ในน้ำอีกครั้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกัน ตัวอย่างที่เคยอบในเตาอบครั้งแรกก็นำมาอบในเตาอบที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงอีกครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาค่าการสูญเสียน้ำหนัก

ผลการทดสอบและการวิจารณ์

คุณสมบัติของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวในเตาเผาจะมีสีเทาดำ ขี้เถ้าสามารถผลิตได้ 2.8% โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวซึ่งหมายความว่า เมื่อใช้กะลามะพร้าวปริมาณ 25 กิโลกรัม สามารถผลิตขี้เถ้าเพียง 0.7 กิโลกรัม ภายใน 1 ชั่วโมงขี้เถ้าจากซังข้างโพดมีสีเทาดำและมีปริมาณ 1.43% ของซังข้างโพดที่ยังไม่ได้เผา การเผาซังข้าวโพดปริมาณ 75 กิโลกรัม ต้องใช้เวลาถึง 2 ชั่วโมง ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงเผาจากเตาเผามีลักษณะเป็นขี้เถ้าสีน้ำตาล มีปริมาณ 12% โดยน้ำหนักของเปลือกถั่วลิสงที่ยังไม่ได้เผา เปลือกถั่วลิสงจะเผาประมาณ 45 กิโลกรัม ภายใน 5 ชั่วโมง อุณหภูมิการเผาวัดภายในเตาเผามีค่า 750 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าผลผลิตขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีปริมาณมากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของขี้เถ้าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบกับขี้เถ้าแกลบ, ขี้เถ้าจากฟางข้าว และขี้เถ้าจากชานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงการแบ่งแยกชนิดของขี้เถ้าตามมาตรฐาน ASTM

การวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าดังกล่าวทดสอบที่ บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์เห็นว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ประกอบด้วยซิลิกา 25.68% แคลเซียมออกไซด์ 4.08% โปแตสเซียมออกไซด์ 31.23% แมกนีเซียมออกไซด์ 5.38% โซเดียมออกไซด์ 8.4% ค่าการสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้เท่ากับ 29.80% ค่าความละเอียดมีค่า 2,823 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.23

ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด มีซิลิกา 37.20% โปแตสเซียมออกไซด์ 37.09% แมกนีเซียมออกไซด์ 3.15% เฟอริกออกไซด์ 2.78% และแคลเซียมออกไซด์ 2.10% ค่าการสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้เท่ากับ 16.18% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ค่าความละเอียดมีค่า 1,036 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.21

ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีซิลิกามากประมาณ 44.57% อลูมิเนียมออกไซด์ 15% เฟอริกออกไซด์ 7.56% และแคลเซียมออกไซด์ 7.69% มีปริมาณโปแตสเซียมออกไซด์น้อยมาก ค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้เท่ากับ 9.75% ค่าความละเอียด และค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 5,292 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และ 2.56 ตามลำดับ

ตารางที่ 1

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี(%)	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				
- มีค่าความละเอียด ตารางเซ็นติเมตร/กรัม	2,823	1,036	5,292	3,028
- ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.23	2.21	2.56	3.13
- เปอร์เซ็นต์ผ่านตะเกรงเบอร์ 325 (%)	99.40	66.80	95.80	85.20

ตารางที่ 2

การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี(%)	ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว	ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด	ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง	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	2.65	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	0.04	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						
- มีค่าความละเอียด ซม.^{2}/กรัม	2,823	1,036	5,292	3.2	18-20	15
- ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.23	2.21	2.56	15,040	14,300	12,860
- เปอร์เซ็นต์ผ่านตะเกรงเบอร์ 325(%)	99.40	66.80	95.80	2.31	2.09	2.24

จากตารางที่ 1 เห็นว่า ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีปริมาณซิลิกา อลูมิเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ มากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและขี้เถ้าจากซังข้างโพด ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้ซีเมนต์เจลแข็งตัวมากกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด ซีเมนต์เจลแข็งตัวเป็นองค์ประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และเตตะแคลเซียมอลูมิโนเฟอไรต์ ในขี้เถ้าทั้งสามอย่าง ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะมีปริมาณสารอื่นๆ เล็กน้อย เช่น ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ โปแตสเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ และคลอไรด์ จากหลักทฤษฎี (Neville, 1986) มีองค์ประกอบหลัก 2 อย่างคือ ออกไซด์ของโซเดียม และโปแตสเซียม (หรืออัลคาไลน์) ซึ่งพบว่าสามารถทำปฏิกิริยากับมวลคละได้ ผลดังกล่าวทำให้คอนกรีตเกิดการสลายตัว โดยสังเกตจากผลกระทบที่มีต่ออัตราการพัฒนากำลัง ดังนั้น จึงมีอันตรายต่อซีเมนต์อย่างมาก จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่า ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีปริมาณอัลคาไลน์น้อยกว่าอีกสองแหล่ง การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังซีเมนต์ เมื่อมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มาก จะทำให้กำลังซีเมนต์ลดลง ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด เนื่องจากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีปริมาณมาก ทำให้มีความยึดเหนี่ยวและความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสูงกว่าอีกสองแหล่งข้างต้น ถ้าเปรียบเทียบผลของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงกับขี้เถ้าชนิดอื่นๆ เห็นว่าขี้เถ้านี้จะมีปริมาณซิลิกาน้อยกว่าขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าจากฟางข้าวและขี้เถ้าจากชานอ้อย แต่ทว่ามีปริมาณซิลิกามากกว่าขี้เถ้าลอย เมื่อสังเกต ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ จะเห็นว่าขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีปริมาณมากกว่า นอกจากนี้ยังมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูงกว่าแหล่งอื่น ยกเว้นขี้เถ้าจากฟางข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2

ดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

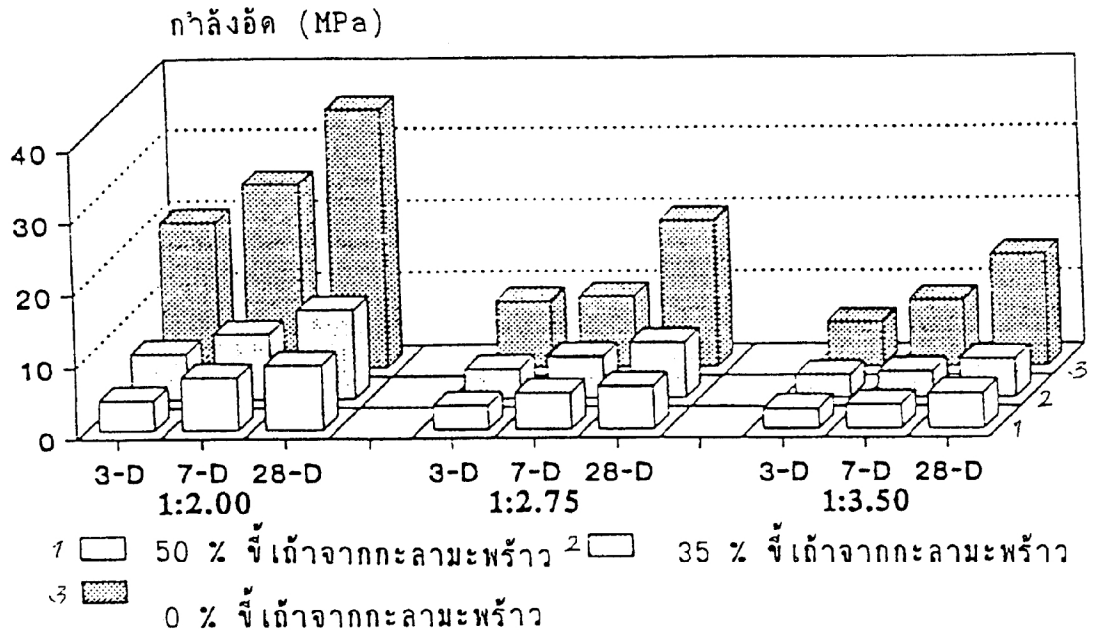
ผลทดสอบแสดงว่าดัชนีกำลังของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 95.02% และความต้องการน้ำเท่ากับ 99.6% สังเกตได้ว่าการใส่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงสามารถลดปริมาณน้ำได้ ดัชนีกำลังของขี้เถ้าดังกล่าวนี้ เมื่อทดสอบเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วัน ได้ค่าเท่ากับ 117.34% และ 106.40% ตามลำดับ ผลแสดงดังตารางที่ 4 ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะให้กำลังเริ่มต้นสูง เมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วัน แต่จะต่ำลงเมื่ออายุ 28 วัน สาเหตุที่กำลังเริ่มต้นสูง เพราะมีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์สูง ตามหลักทฤษฎี (Neville, 1986) ซึ่งเป็นธรรมดาของซีเมนต์ที่มีอลูมินาสูงจะมีอัตราการพัฒนากำลังสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมอลูมิเนต (CA) มีผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ CAH_{10} และ C_2AH_8 อีกทั้งอลูมินา เจล ($Al_2O_3.ag$) ค่าดัชนีกำลังของขี้เถ้าจากซังข้าวโพดที่ 28 วัน เมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับ 38.96% และความต้องการน้ำเท่ากับ 102.4% ดังแสดงในตารางที่ 4 การใส่ขี้เถ้าดังกล่าวในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะเพิ่มปริมาณความต้องการน้ำ ดัชนีกำลังของขี้เถ้าดังกล่าวนี้ เมื่อทดสอบเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 3 และ 7 วัน ได้ค่าเท่ากับ 39.69% และ 43.08% ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้กำลังอัดเมื่อใส่ขี้เถ้าจากซังข้าวโพดของมอร์ต้าต่ำลง เนื่องจากมีปริมาณอัลคาไลน์และค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง

เวลาการก่อตัว

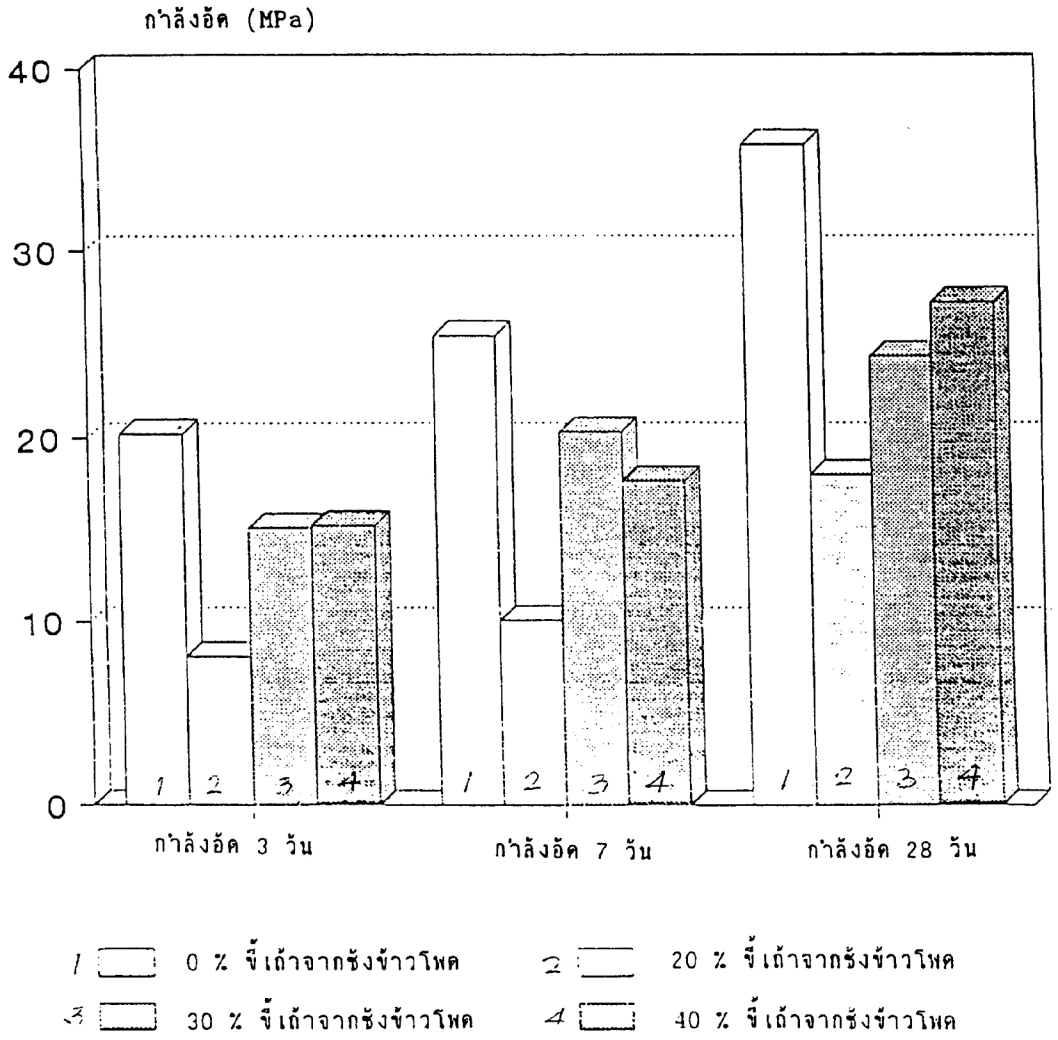
เวลาการก่อตัว เป็นการอธิบายถึงการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งอ้างอิงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพไหลเป็นสภาพแข็งตัว การทดสอบนี้ จะทดสอบซีเมนต์ธรรมดา และซีเมนต์ที่มีขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงผสมอยู่ 30% แต่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดจะไม่พิจารณา เนื่องจากให้ค่ากำลังอัดต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ปริมาณน้ำต้องการสำหรับความสามารถในการเทได้ของซีเมนต์เพสต์ธรรมดาในงานวิจัย คือ 32.6% ขณะที่ซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะมีค่าเท่ากับ 27.7% เวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของซีเมนต์ธรรมดาคือ 2 ชั่วโมง 31 นาที และ 5 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ ในกรณีของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีค่า 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ จะเห็นว่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้ายของซีเมนต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะต่ำกว่าซีเมนต์ธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

การแบ่งแยกชนิดวัสดุผสมซีเมนต์ของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

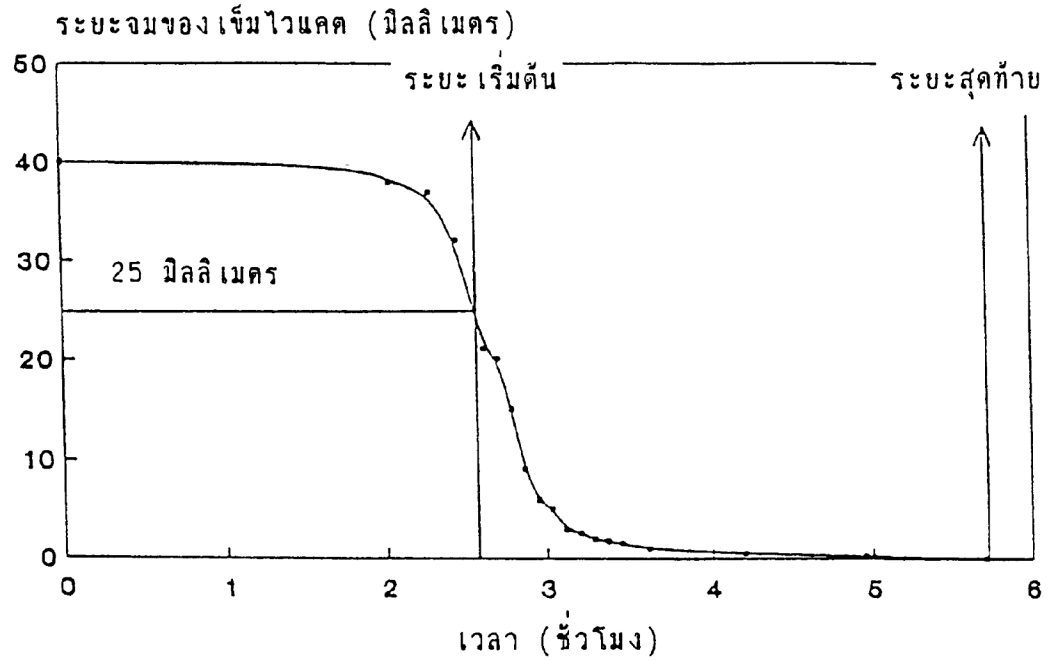
เนื่องจากค่ากำลังอัดต่ำ และค่าสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง ทำให้ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวไม่ต้องนำมาพิจารณา จากตารางที่ 3 ขี้เถ้าจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ และปริมาณซิลิกา อลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน จะพบว่า ขี้เถ้าจากซังข้าวโพดจะเป็นวัสดุผสมซีเมนต์ชนิด F ในขณะที่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะเป็นวัสดุผสมซีเมนต์ชนิด N



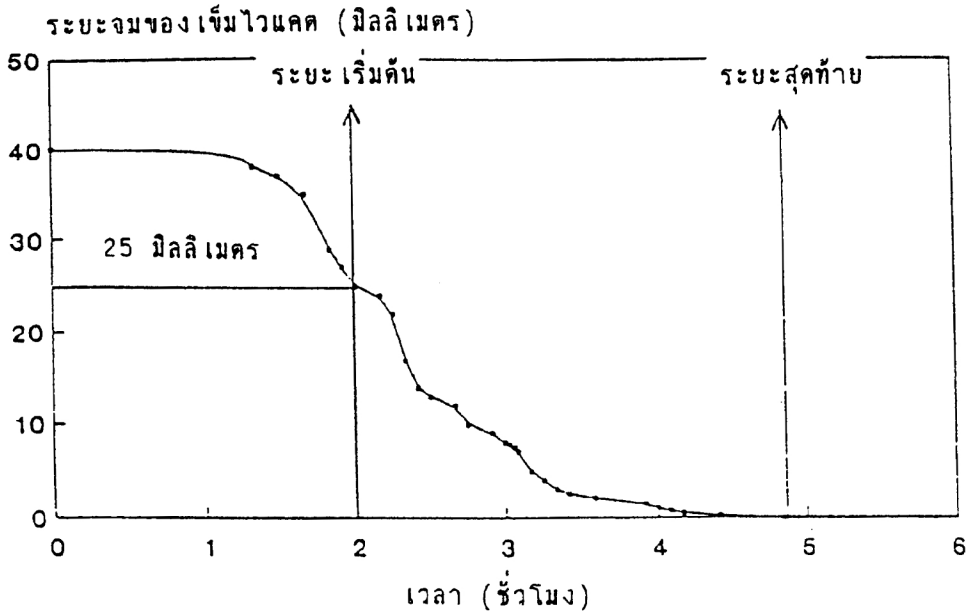
รูปที่ 1 การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว



รูปที่ 2 การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด



รูปที่ 3 สภาพการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ธรรมดา



รูปที่ 4 สภาพการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 30%

ตารางที่ 3

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง เทียบกับมาตรฐาน ASTM

คุณสมบัติทางเคมี	วัสดุผสมซีเมนต์ ประเภท			ขี้เถ้าจาก กะลา มะพร้าว	ขี้เถ้าจาก ซังข้าว โพด	ขี้เถ้าจา เปลือกถ ลิสง
	N	F	C			
- ปริมาณความชื้นมากที่สุด, %	3	3	3	-	-	-
- การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ มากที่สุด, %	10	12	6	29.80	16.18	9.75
- ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ กับ อลูมิเนียมออกไซด์ กับเฟอริกออกไซด์น้อยที่สุด, %	70	70	50	30.07	41.13	67.25
- ซัลเฟตมากที่สุด, %	4	5	5	0.71	0.75	1.10
- แมงกานีสออกไซด์มากที่สุด, %	5	5	5	5.38	3.15	1.65
- โซเดียมออกไซด์มากที่สุด, %	1.5	1.5	1.5	8.40	0.04	0.12
คุณสมบัติทางกายภาพ						
- ความละเอียด : ปริมาณที่ค้างตะแกรงเบอร์ 325 มากที่สุด, %	34	34	34	0.60	33.20	4.20
- ค่าดัชนีกำลังเทียบกับซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 28 วัน อย่างน้อยที่สุด, %	75	75	75	-	38.96	95.02
- ความต้องการน้ำมากที่สุด, %	115	105	105	-	102.5	99.6

ตารางที่ 4

ดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

อายุ	ชนิดของมอร์ต้า	กำลังอัด (MPa)	ดัชนีกำลัง (%)
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

คุณสมบัติของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อใส่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวในซีเมนต์มอร์ต้า จะมีผลกระทบอย่างมากต่อค่ากำลังอัดพิจารณาอายุ และอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์ต่อทราย พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าปริมาณ 35% หรือ 50% จะต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดา กำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของมอร์ต้าผสมขี้เถ้านี้ 35% และใช้อัตราส่วนวัสดุซีเมนต์ต่อทราย 1:2 จะต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดาที่ใช้วัสดุผสมซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:3.5 ที่อายุเดียวกัน จะเห็นว่าขี้เถ้าดังกล่าวนี้จะมีคุณภาพด้อยกว่าทราย และยังมีผลในแง่ลบต่อซีเมนต์มอร์ต้า อีกทั้งยังไม่สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากขี้เถ้านี้มีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้สูง ดังแสดงในตารางที่ 1 อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ มีปริมาณอัลคาไลน์สูงด้วย ดังนั้น ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าวจึงไม่เหมาะในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมซีเมนต์

กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด

ผลกำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดแสดงในรูปที่ 2 ที่อายุครบ 3 วัน มอร์ต้าผสมกับขี้เถ้าจากซังข้าวโพดปริมาณ 20% จะให้ค่ากำลังอัดต่ำสุด และมีค่าประมาณ 40% เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา มอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้านี้ปริมาณ 40% จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด แต่เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา จะมีค่าประมาณ 75% ที่อายุ 7 วัน มอร์ต้าผสมขี้เถ้านี้ 30% จะให้กำลังอัดสูงสุด เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดามีค่า

เพียง 80% มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดที่ 20% ยังคงให้กำลังอัดต่ำสุดเช่นเคย เมื่ออายุครบ 28 วัน กำลังอัดของมอร์ต้าที่มีขี้เถ้านี้ผสม 20% 30% และ 40% มีค่า 50 68 และ 76% เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้านี้แทนที่ในซีเมนต์ธรรมดาถึง 40% จะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงเห็นว่าขี้เถ้าจากซังข้าวโพดดีกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ทั้งนี้เพราะขี้เถ้านี้มีปริมาณซิลิกาสูง และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ต่ำกว่าขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว

กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง

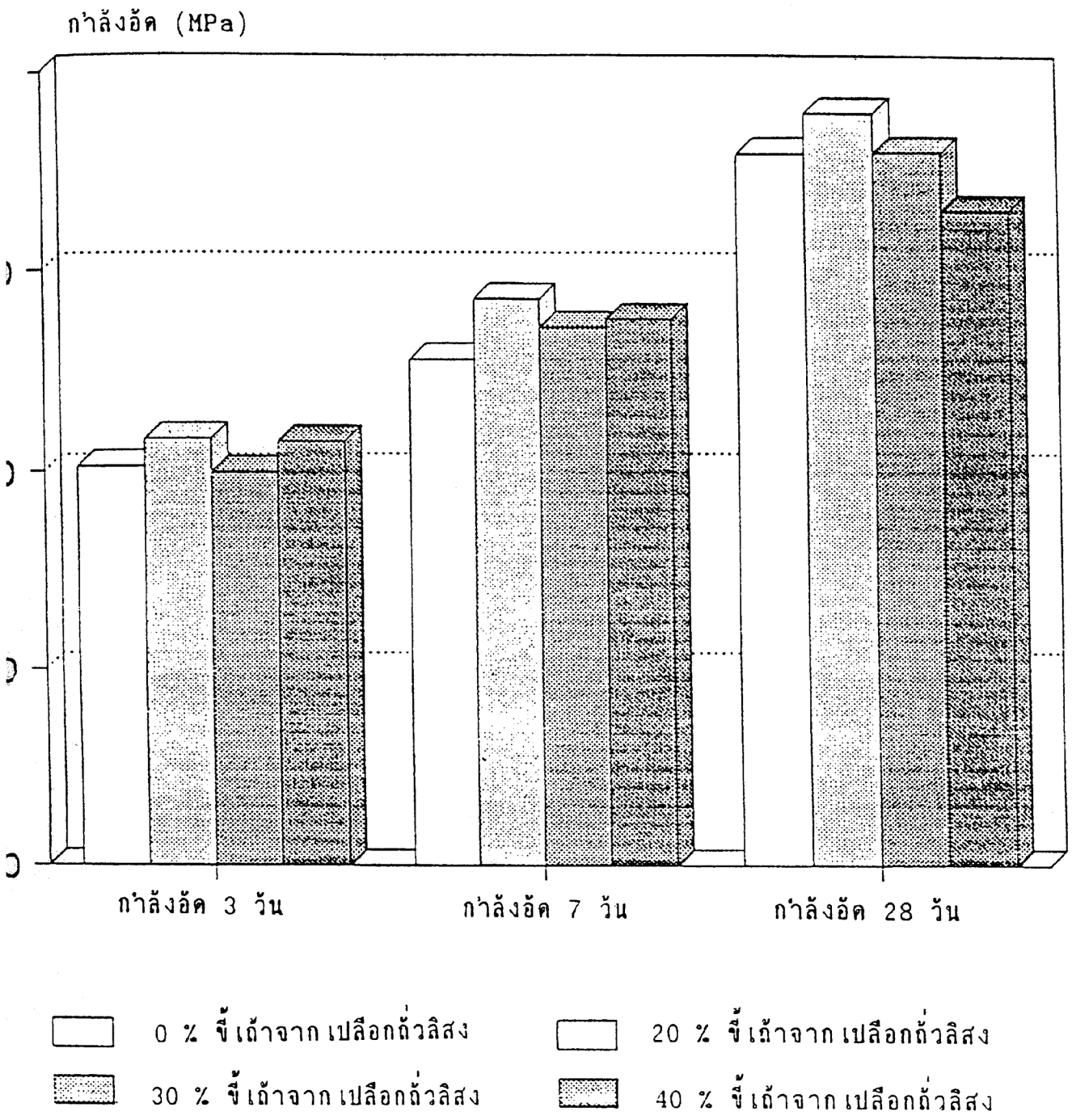
กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง แสดงในรูปที่ 5 พบว่า กำลังอัดของมอร์ต้าดังกล่าวมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าธรรมดาที่อายุ 3 วัน มอร์ต้าผสมขี้เถ้านี้ 20% และ 40% จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา มีเพียงมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 30% จะให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดาเล็กน้อย ที่อายุ 7 วัน มอร์ต้าที่มีขี้เถ้าชนิดนี้ผสม จะให้กำลังสูงกว่ามอร์ต้าธรรมดาทั้งหมด เมื่ออายุครบ 28 วัน กำลังของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าชนิดนี้จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของการแทนที่ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีเพียงมอร์ต้าผสมขี้เถ้าชนิดนี้ 40% มีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดา จากรูปที่ 5 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงในการแทนที่ซีเมนต์ที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าที่ 28 วันสูงสุดคือ 20%

เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากแหล่งทั้งสาม เทียบกับมอร์ต้าธรรมดาดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่ออายุครบ 28 วัน การแทนที่ที่เหมาะสมของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงประมาณ 20% จะทำให้ได้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นจากมอร์ต้าธรรมดาถึง 5.7% ในขณะที่มอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสม 40 % และทำให้ได้กำลังอัดมีค่าเพียง 76% ของมอร์ต้าธรรมดา

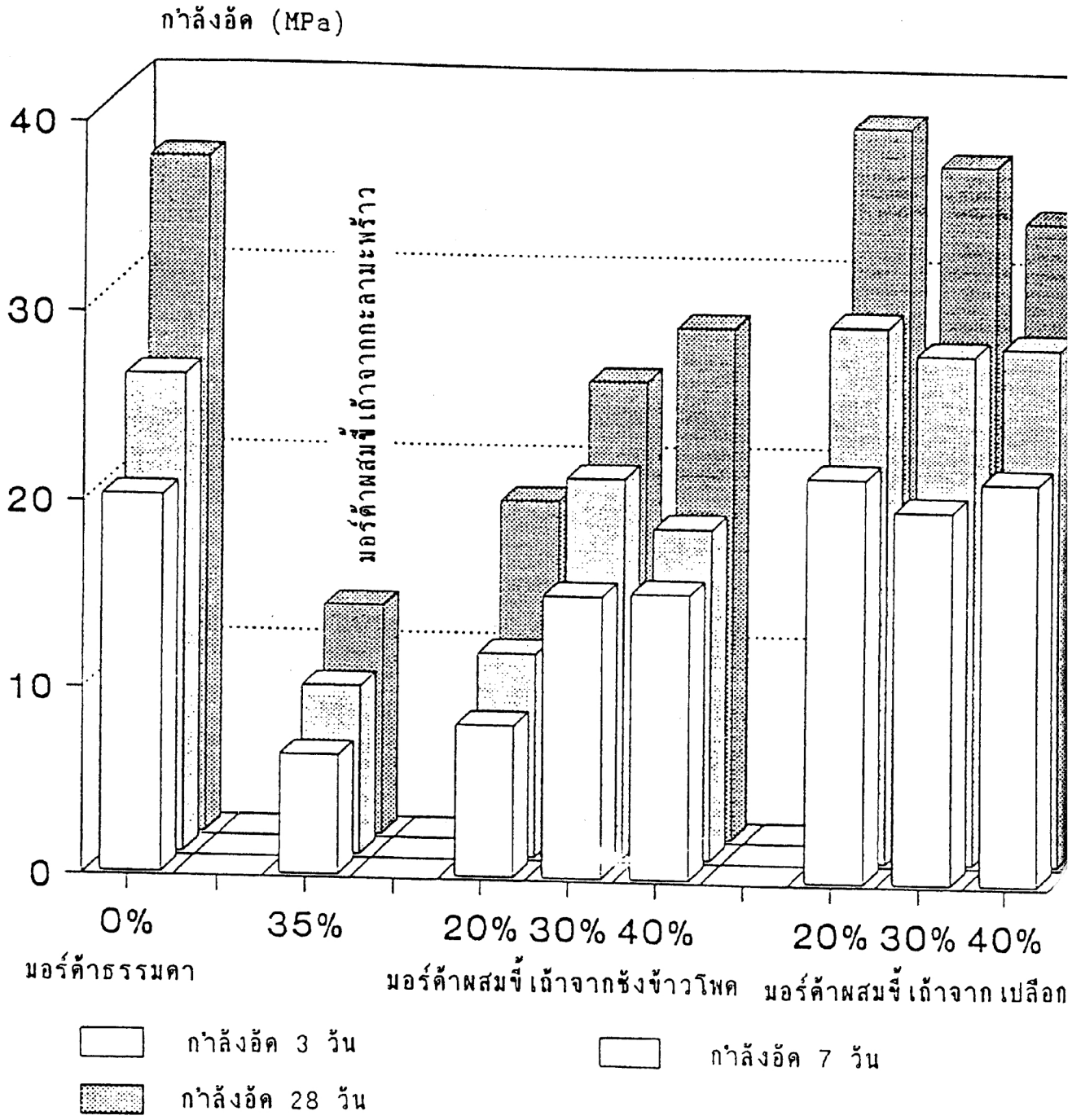
อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสง

รูปที่ 7 แสดงถึงการแปรค่ากำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด 30% และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 พบว่า ค่ากำลังอัดจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุซีเมนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่ากำลังอัดของมอร์ต้าที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ 0.44 จะมีการพัฒนาที่สูงกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุซีเมนต์ 0.56 ดังนั้น ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพดคือ 0.44

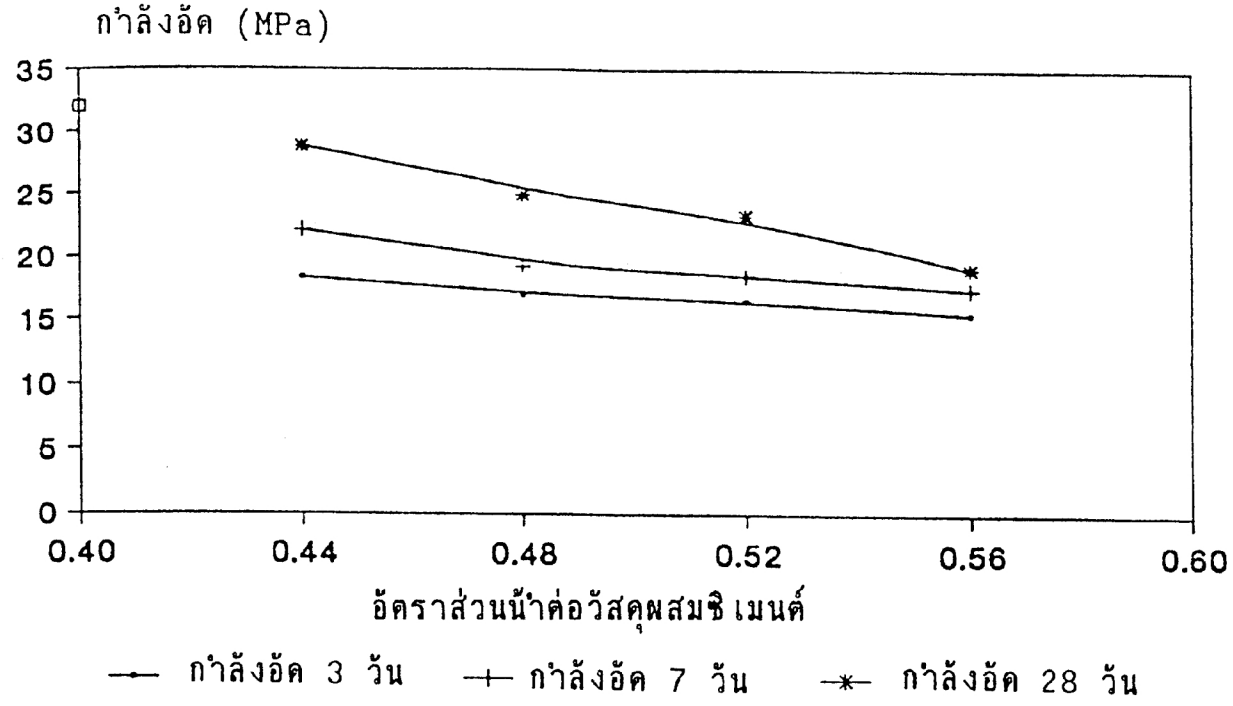
รูปที่ 8 แสดงถึงการแปรค่ากำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 30% และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ ในช่วงระหว่าง 0.44 ถึง 0.56 ในกรณีนี้พบว่ามอร์ต้าผสมขี้เถ้าดังกล่าวนี้ จะมีการพัฒนากำลังอัดตลอดเวลาในช่วงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุซีเมนต์ใดๆ และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงคือ 0.44



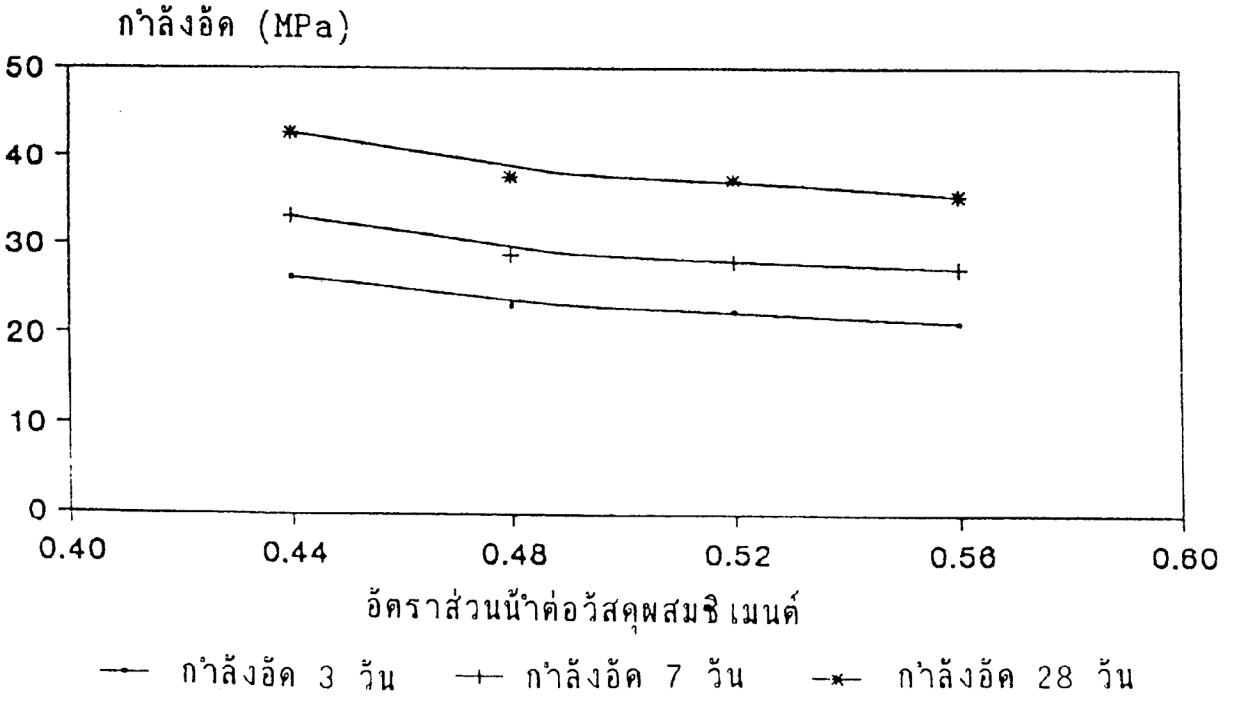
รูปที่ 5 การแปรค่ากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าต่างๆ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง

ความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริก

จากตารางที่ 5 ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าต่างๆ ถูกบันทึกไว้หลังจากแช่ในกรดซัลฟุริกเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ลำดับความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกของมอร์ต้าต่างๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนี้ 1. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด 2. มอร์ต้าธรรมดา 3. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าแกลบ 4. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง แนวโน้มดังกล่าวยังคงใช้ได้ในกรณีมอร์ต้าที่อยู่ในสภาพอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ในสภาพอบแห้งมอร์ต้าจะมีความทนทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกมากกว่ามอร์ต้าที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ทั้งนี้เพราะในสภาพอบแห้งเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และปฏิกิริยาการรวมตัวของซิลิกา และแคลเซียมไดออกไซด์ ทำให้มีสภาพทนทานต่อกรดซัลฟุริกสูง

ตารางที่ 5

การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ต้าชนิดต่างๆเมื่อแช่ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟุริก

สถานภาพของตัวอย่างมอร์ต้า	ชนิดของมอร์ต้า	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	
		ชนิดของกรดที่มีความเข้มข้น 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

ความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริก

จากตารางที่ 5 พบว่า ลำดับความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกของมอร์ต้าต่างๆ มีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ 1. มอร์ต้าของขี้เถ้าจากซังข้าวโพด 2. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 3. มอร์ต้าธรรมดา 4. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าแกลบ จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าแกลบจะมีคงทนต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก ขี้เถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกาสูง ซึ่งสามารถลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระในการ

เกิดปฏิกิริยาของซีเมนต์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามอร์ต้าธรรมดามีความคงทนต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกสูงกว่ามอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง การเพิ่มความต้านทานต่อสภาพกรดไฮโดรคลอริกสามารถกระทำได้โดยการนำมอร์ต้าไปอบในสภาพอบแห้ง ดังผลการทดสอบในตารางที่ 5

สรุป

จากผลการทดสอบจากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีสีน้ำตาล ในขณะที่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพดมีสีเทา โดยผลผลิตขี้เถ้าที่ได้จากการเผาของเปลือกถั่ว, กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด คือ 12, 2.8 และ 1.43% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ
2. ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะมีปริมาณซิลิกามาก และค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ต่ำ และมีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ 15.12% ตามมาตรฐาน ASTM ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพดสามารถแยกชนิดได้เป็นวัสดุซีเมนต์ชนิด N และ F ตามลำดับ ในขณะที่ขี้เถ้าจากกะลามะพร้าว ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
3. ค่าดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง มีค่า 95.02% และมีค่าความต้องการน้ำ 99.6% ในขณะที่ขี้เถ้าจากซังข้าวโพดมีค่าดัชนีกำลังเพียง 38.96% และค่าความต้องการน้ำ 102.4%
4. ซีเมนต์เพสต์ผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง จะให้เวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้ายต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ธรรมดา ทั้งนี้เพราะใช้ปริมาณน้ำน้อยเพียง 27.7%
5. กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง 20, 30 และ 40 % มีค่า 105.7, 100.2 และ 91.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าที่เหมาะสมคือ 20% ในกรณีของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด กำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด 20 30 และ 40% มีค่า 50.3, 68 และ 76.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา พบว่าเปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าที่เหมาะสมคือ 40%
6. อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซีเมนต์ที่เหมาะสมของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพด คือ 0.44
7. มอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีความต้านทานต่อสภาพกรดซัลฟุริกมากกว่ามอร์ต้าธรรมดาและมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าแกลบแต่ทว่าจะมีความต้านทานต่อกรดไฮโดรคลอริกต่ำกว่ามอร์ต้าธรรมดาและมอร์ต้าที่ผสมขี้เถ้าแกลบ

ดังนั้น ขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงและซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ได้ ถึงแม้ว่าค่ากำลังอัดของมอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงจะสูงกว่ามอร์ต้าผสมขี้เถ้าจากซังข้าวโพด ขบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้มีลักษณะเหมือนกับการผลิตขี้เถ้าแกลบ ซึ่งทำได้ง่ายและประหยัดราคาด้วย การนำไปประยุกต์ใช้จึงเหมาะกับสภาพชนบทที่ห่างไกลที่มีเปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพดอยู่มาก

เอกสารอ้างอิง

1. 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.
2. Islam, S. 1981. ***Grinding Methods and Their Effects on Reactivity of RHA.*** M.Eng. Thesis No. ST-81-7, AIT., Bangkok.
3. Neville, A.M. 1986. ***Properties of Concrete***. Pitman Publishing Ltd., Third Edition, London.
4. We, A.B. 1981. ***Production of RHA and Its Application in Mortar and Concrete***. M. Eng. Thesis No. ST-81-20, AIT., Bangkok.