

กำลังอัดประลัยของปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำ

The Ultimate Compression Strength of Cement Mortar Mixed with the Physic Nut Ashes

เทอดศักดิ์ สายสุทธิ¹

Terdsak Saisut¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ากากเมล็ดสนับดำและการหาค่ากำลังอัดประลัยของปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำ โดยใช้เถ้ากากเมล็ดสนับดำมาเป็นสารผสมเพิ่มเติมที่ปริมาณปูนซีเมนต์ของปูนก่อที่ผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดให้ วิธีการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ากากเมล็ดสนับดำ โดยใช้เครื่องมือ X-ray fluorescence spectrometer, Phillips PW-2404 และใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Semi-quantitative x-ray fluorescence spectrometer analysis จากการทดสอบพบว่า “เถ้ากากเมล็ดสนับดำมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ สารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P₂O₅) ไดโปตัสเซียมออกไซด์ (K₂O) ปริมาณร้อยละ 26.65, 23.85 และ 20.59 ตามลำดับและมีองค์ประกอบทางเคมีรองคือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) คลอรีน (Cl) ไดโซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ไดอลูมิเนียมไตรออกไซด์ (Al₂O₃) ไดเฟอริกไตรออกไซด์ (Fe₂O₃) โบรมีน (Br) เป็นต้น เถ้ากากเมล็ดสนับดำไม่จัดเป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากมีองค์ประกอบหลักทางเคมี (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 5.38 %) ไม่เข้าเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C618” สำหรับวิธีการทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัยของปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยการหล่อปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำตามอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20, 25, และ 30 ตามลำดับโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ลงไปในแบบลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร จำนวน 252 ก้อนและทำการบ่มตัวอย่างในน้ำที่อายุ 3, 7, 14, 21, 28, 56, และ 90 วันตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า “ปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำ จะมีค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยลดลงทุกอายุของการบ่มและทุกอัตราส่วนที่ทำการทดสอบ” โดยเฉพาะเมื่อนำเถ้ากากเมล็ดสนับดำมาเป็นสารผสมเพิ่มในปูนก่ออัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับปูนก่อมาตรฐาน โดยจะได้ “ค่ากำลังอัดประลัยที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 9.95, 15.03, 18.65, 30.53 และ 37.27 ตามลำดับ”

คำสำคัญ : PNAs เถ้ากากเมล็ดสนับดำ ปูนก่อ ปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสนับดำ กำลังอัดประลัย.

ABSTRACT

This research is to determine the chemical compositions and the ultimate compression strength of cement mortar mixed with Physic Nut Ashes (PNAs) as an admixture for cement content by varying the content ratios of PNAs to cement. The chemical analysis was determined using the X-ray

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University, Nongkhaem, Bangkok 10160

fluorescence spectrometer, Phillips PW-2404 and Semi-quantitative x-ray fluorescence spectrometer analysis. The results of the experiment calcium oxide (CaO), diphosphorus pentoxide (P_2O_5) and dipotassium oxide (K_2O) were found as the major analysis that had the content of 26.65, 23.85 and 20.59% respectively and the minor analysis for examples magnesium oxide (MgO), silicon dioxide (SiO_2), sulfur trioxide (SO_3), chlorine (Cl), disodium oxide (Na_2O), dialuminium trioxide (Al_2O_3), diferric trioxide (Fe_2O_3) and bromine (Br) ect. However, PNAs could not be classified as a pozzolanic materials because of the major chemical analysis ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 5.38\%$) was not according to ASTM C618 standard. The percentage ratios of PNAs to the weight of cement were set to 0, 10, 15, 20, 25 and 30 respectively. The experiment was conducted using 252 samples of cube $5 \times 5 \times 5$ centimeters. The measurement of ultimate compressive strength was followed the ASTM C109 standard. The ultimate compressive strengths of cement mortar mixed with PNAs was decreased every ratios. The samples were cured under water for 3, 7, 14, 21, 28, 56 and 90 days. The results of the experiment were compared to the standard cement mortars, revealed that cement mortar mixed with PNAs with curing period of 28 days at percentage ratios of 10, 15, 20, 25 and 30 % respectively; the ultimate compressive strengths were decreased by .95, 15.03, 18.65, 30.53 and 37.27 %

Keywords : PNAs, Physic Nut Ashes, Mortar, Cement Mortar Mixed with the Physic Nut Ashes, Ultimate Compression Strength.

E-mail : Terdsaka@hotmail.com, Terdsaka@gmail.com

คำนำ

สบู่ดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha Curcas* Linn. จัดอยู่ในตระกูล Euphorbiaceae เช่นเดียวกับ ยางพารา ละหุ่งและมันสำปะหลัง สบู่ดำเป็นพืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลและเป็นไม้พุ่มขนาดกลางมีความสูงประมาณ 2 – 7 เมตร มีอายุไม่น้อยกว่า 20 ปี มียางสีขาวไหลลื่นเป็นฟอง มีคุณสมบัติคล้ายกับสบู่ที่อยู่ในส่วนของลำต้นและใบ ในภาษาอังกฤษสบู่ดำถูกเรียกว่า Physic nut หรือ Purging nut (*Jatropha* spp.) จากการรายงานของ แอรรี่ โชว์ (Airy Show, 1978) พบว่าทั่วโลกมีสบู่ดำมากถึง 175 ชนิด แต่ในประเทศไทยค้นพบเพียง 5 ชนิดคือ สบู่ดำ (*J. Curcas*) สบู่แดง (*J. Gossypifolia*) บัตตาเวีย (*J. Integgerima*) มะละกอฝรั่งหรือฝิ่นต้น (*J. Multifida*) และหนุมานนั่งแท่น (*J. Podagrica*) ในต่างประเทศสบู่ดำมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป วิรันธร์ (2530) ได้กล่าวว่า ในประเทศพม่าเรียกต้นสบู่ดำว่า ต้นแจ็กชู ประเทศเขมรเรียกว่า ต้นทะวอง และประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า ต้นอาบุราคิรี เป็นต้น สบู่ดำในประเทศไทยก็มีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น ภาคเหนือเรียกว่า ต้นมะหุ้งั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า ต้นมะเยาหรือต้นสีหลอด ภาคใต้เรียกว่า ต้นหงส์เทศและภาคกลางเรียกว่า ต้นสบู่ดำ ระบุพันธุ์และคณะ (2525) กล่าวว่า ต้นสบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกากลาง ชาวโปรตุเกสเป็นผู้ที่นำเข้ามาในประเทศไทยมานานกว่า 200 ปี โดยในสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลายได้มีการรับซื้อเมล็ดสบู่ดำไปอัดบีบเอาน้ำมันมาทำสบู่เพื่อใช้ชำระล้างร่างกาย ซักล้างเสื้อผ้าและของใช้ต่างๆ เป็นต้น

สบู่ดำ มีผลเป็นช่อพวงและรูปร่างคล้ายกับรูปหกเหลี่ยม ขนาดของผลโตเกือบเท่าลูกปิงปองผิวเกลี้ยงเงา ผลดิบมีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลืองสดและผลแห้งมีสีน้ำตาลดำ (ดังแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2) ในหนึ่งผลมีสามพู

แต่ละพูจะมีเมล็ดสีดำกลมรีขนาดความยาว 17-19 มิลลิเมตร ความหนา 8-9 มิลลิเมตร มีน้ำหนักประมาณ 69.8 กรัมต่อ 100 เมล็ด เมื่อแกะเปลือกสีดำชั้นนอกออกจะพบเนื้อในสีขาว ซึ่งประกอบด้วยธาตุต่างๆ ประกอบด้วยธาตุต่างๆ เช่น ไนโตรเจนร้อยละ 4.44 ฟอสฟอรัสร้อยละ 2.09 โปรแตสเซียมร้อยละ 1.68 แคลเซียมร้อยละ 0.72 แมกนีเซียมร้อยละ 1.13 เหล็กร้อยละ 0.0176 แมงกานีส ร้อยละ 0.0064 ทองแดงร้อยละ 0.0023 กำมะถันร้อยละ 0.02 และอินทรีวัตถุร้อยละ 80 นอกจากนี้เนื้อในสีขาวยังมีสารพิษต่างๆ เช่น เคอร์ซีน (Curcin) หรือจาโทรฟิน (Jatrophin) ซึ่งเป็นโปรตีนพิษชนิดหนึ่งหากบริโภคเข้าไปแล้วมีผลทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียนและท้องเสียได้ นพพันธ์ (2548) สารพิษกลุ่ม phorbol esters มีพิษรุนแรงสามารถทำให้เมดเลือดแดงแตกออกง่ายและทำให้เกิดท้องเสียอย่างรุนแรง สารพิษนี้มีความเป็นพิษโดยตรงต่อกระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับและไต จุฑารัตน์และคณะ (2549) นอกจากนี้ยังมีกรดไซยาไนด์ซึ่งมีความเป็นพิษสูง แต่เมื่อถูกความร้อนกรดนี้จะสลายตัวไป ไพจิตรและคณะ (2525) กล่าวว่า เมื่อนำเมล็ดสับดูดำมาบดและสกัดออกมาจะได้น้ำมันสับดูดำที่มีคุณสมบัติเป็นของเหลวโดยมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว เช่น มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.91 มีค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 4.80 เป็นต้น กากเมล็ดสับดูดำมีธาตุหลักคือ N, P, K และมีธาตุรองคือ Fe, Ca, Mg, Mn, Cu, S โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ส่วนนักชีววิทยาจะนำไปสกัดเอาสารพิษออกด้วยจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ เช่น *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus oryzae* หมักที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 14 วัน ซึ่งสามารถลดปริมาณสารพิษ phorbol esters ได้ปริมาณร้อยละ 61 เท่ากัน เพื่อใช้ทำอาหารสัตว์ (ดังแสดงในภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 5) เนื่องจากยังไม่เคยมีผู้ศึกษาเรื่องนี้มาก่อนและพบว่ามีปริมาณมากขึ้นทุกๆ ปี นอกจากทำปุ๋ยและเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์แล้วยังทำอะไรได้อีก จึงทำให้เกิดแนวคิดในการหาค่ากำลังอัดประลัยของปูนก่อ (cement mortar) ที่ผสมด้วยเถ้ากากเมล็ดสับดูดำตามอัตราส่วนต่างๆ เช่น ร้อยละ 0, 10, 15, 20, 25, และ 30 ของน้ำหนักเถ้ากากเมล็ดสับดูดำต่อน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ ที่อายุการบ่มในน้ำ 3, 7, 14, 21, 28, 56, และ 90 วันตามลำดับ โดยมีขอบเขตของการวิจัยกล่าวคือ การหาค่ากำลังอัดประลัยของปูนก่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C109 และการหาปริมาณน้ำ ใช้การทดสอบการไหลแฉ่ตาม ASTM C124 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยก็คือ ทำให้ทราบค่ากำลังอัดประลัยของปูนก่อที่ผสมด้วยเถ้ากากเมล็ดสับดูดำโดยเปรียบเทียบกับปูนก่อมาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของปูนก่อกับระยะเวลาหรืออายุของการบ่มในอัตราส่วนผสมต่างๆ ด้วย



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นสับดูดำเป็นพุ่ม ดอกสีเหลืองอ่อนและผลดิบสีเขียว



ภาพที่ 2 ผลสุก ผลแห้งและเมล็ด



ภาพที่ 3 ผลแห้งของสนุดำ เครื่องร่อนเมล็ดสนุดำ เมล็ดสนุดำและเครื่องหีบหรือบีบอัดเมล็ดสนุดำ



ภาพที่ 4 น้ำมันสนุดำ กากเมล็ดสนุดำและเตาเผากากเมล็ดสนุดำ



ภาพที่ 5 ถังกากเมล็ดสนุดำ เครื่องร่อนและขนาดอนุภาคถังกากเมล็ดสนุดำ

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ (1) ชุดทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง (2) เตาเผากากเมล็ดสนุดำที่ทำขึ้นเอง เพื่อต้องการถ้ำกากเมล็ดสนุดำโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (3) เตาอบ (4) ชุดทดสอบการวิเคราะห์ขนาดมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรงเบอร์ต่างๆ เช่น 16, 30, 50, 100 และ 200 เพื่อวิเคราะห์ขนาดของเม็ดทราย (5) เครื่องชั่งน้ำหนัก (6) ถูมือ (7) นาฬิกาจับเวลา (8) เครื่องผสมปูนก่อหม้อผสม (Mixing Bowl) (9) กระบอกตวงน้ำ (10) ชุดทดสอบการไหลแผ่ (11) แบบหล่อมาตรฐานแบบลูกบาศก์

ของปูนก้อนขนาด 5x5x5 เซนติเมตรตามมาตรฐาน ASTM C109 (12) อ่างน้ำสำหรับบ่มปูนก่อ (13) เครื่องทดสอบ universal testing machine (14) เครื่องมือวัดขนาดละเอียด เช่น เวอร์เนียร์ เป็นต้น

วิธีการเผากากเมล็ดสับดูดำ โดยใช้เตาเผาที่ทำขึ้นเอง จากการเผากากเมล็ดสับดูดำพบว่า แก้วกากเมล็ดสับดูดำ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (loss on ignition; LOI) ร้อยละ 5.60 การเผาไหม้บางส่วนมีความเป็นไปได้ว่าไม่สมบูรณ์ทั้งหมด เนื่องจากใช้วิธีการเผาแบบธรรมดา อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมขณะทำการเผา หลายๆ ครั้งอาจจะไม่คงที่เหมือนกับการเผาเชิงอุตสาหกรรมของถ่านหินลิกไนต์หรือกะลาปาล์มน้ำมัน เป็นต้น (ใน ที่นี้ต้องการให้ได้แก้วกากเมล็ดสับดูดำ ที่เป็นผงละเอียดและเหลือจากการเผาไหม้ โดยมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเทา ขาว ซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากการนำเอากากเมล็ดสับดูดำที่ผ่านการหีบแล้วมาเผาเป็นเชื้อเพลิง)

วิธีการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของแก้วกากเมล็ดสับดูดำ โดยใช้เครื่องมือ X-ray fluorescence spectrometer, Phillips PW-2404 ในการวิเคราะห์และใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Semi-quantitative x-ray fluorescence spectrometer analysis ที่สภาวะอุณหภูมิ $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 10\%$ R.H. การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โดยการบดและอัดแก้วตัวอย่างให้เป็นเม็ดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตรแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือทดสอบทั่วไป) ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) โดยมีผลการทดสอบดังจะกล่าวต่อไป

วิธีการทดสอบวิเคราะห์ขนาดมวลรวมละเอียด (sieve analysis) ซึ่งจะได้การกระจายขนาดของแก้วกากเมล็ดสับดูดำโดยการผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ร้อยละ 99 ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ร้อยละ 95 แต่ไม่ได้ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 ส่วนวิธีการผสมปูนก่อนั้นมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้คือ (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่หนึ่ง โดยหาค่าความถ่วงจำเพาะได้ 3.15 (2) ททรายแม่น้ำ ที่นำมาจากจังหวัดราชบุรีโดยการร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 30 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 100 ซึ่งจะต้องนำมาหาคุณสมบัติก่อนทำการทดสอบ เช่น ค่าโมดูลัส ความละเอียดทราย 3.23 เป็นต้น (3) น้ำประปา และ (4) วัสดุผสมเพิ่มเป็นแก้วกากเมล็ดสับดูดำที่เตรียมไว้ จากนั้นจึง นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วน 0, 10, 15, 20, 25 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์และทำการบ่มปูนก่อผสม แก้วกากเมล็ดสับดูดำในน้ำที่อายุ 3, 7, 14, 21, 28, 56 และ 90 วันตามลำดับ



ภาพที่ 6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine กับตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตรก่อนและหลังทดสอบ

วิธีการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม โดยใช้การทดสอบการไหลผ่าน (flow table test) ตามมาตรฐาน ASTM C124 ซึ่งมีวิธีการพอสังเขปคือ ใส่ปูนก่อลงในแบบหล่อรูปกรวยตัดคว่ำคว่ำลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ด้านบน 171 มม. ด้านล่าง 254 มม. และความสูง 127 มม. แบบหล่อนี้จะวางอยู่ตรงกลางแท่นทดสอบการไหลผ่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 762 มม. จากนั้นยกแบบหล่อขึ้นและปล่อยให้แท่นตกกระทบจากระยะความสูง 12.7 มม.

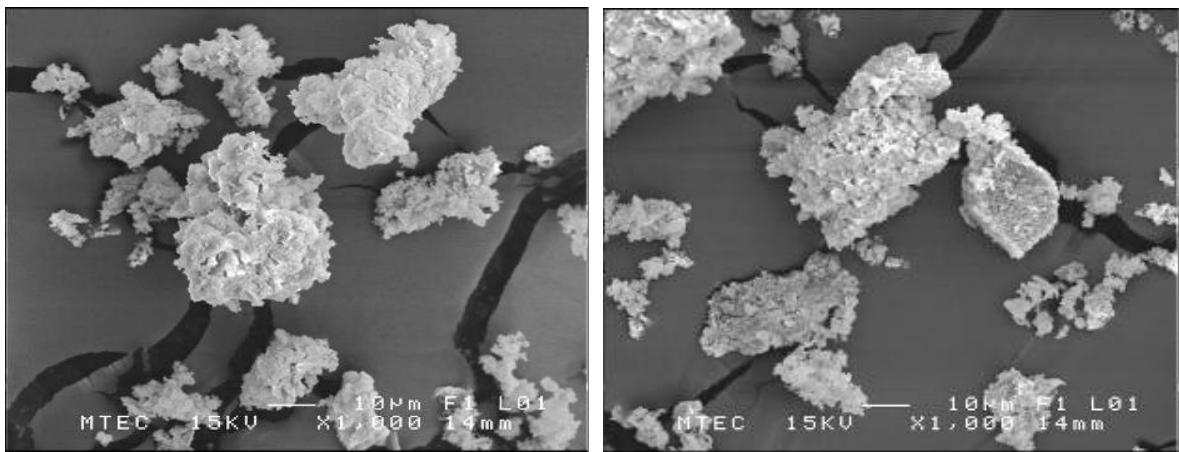
จำนวน 15 ครั้งภายในเวลา 15 วินาที ค่าการไหลแม่จะคิดเป็นร้อยละของการกระจายตัวของคอนกรีตที่แทนทดสอบการไหลแม่ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดความชื้นเหลวของปูนก่อ เนื่องจากเถ้ากากเมล็ดสับดูดำมีความต้องการปริมาณน้ำมากในตอนเริ่มแรกซึ่ง W/B มีอัตราส่วนค่อนข้างสูง เช่น 0.65 เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดประลัยของปูนก่อมาตรฐาน (อัตราส่วน 0 %) ในที่นี้ใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อทราย 1 : 2.75 ปริมาณซีเมนต์ 200 กรัม ปริมาณทราย 550 กรัมและปริมาณน้ำ 125 กรัมจะใช้ W/C = 0.625

วิธีการทดสอบกำลังอัดประลัยของปูนก่อผสมเถ้ากากเมล็ดสับดูดำ โดยใช้ก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C109 จำนวนตัวอย่างละ 6 ก้อนต่อหนึ่งอายุของการบ่ม 3, 7, 14, 21, 28, 56 และ 90 วัน ตามอัตราส่วนน้ำหนักเถ้ากากเมล็ดสับดูดำต่อน้ำหนักซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 15, 20, 25, และ 30 ตามลำดับ จำนวนทั้งหมด 252 ก้อน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

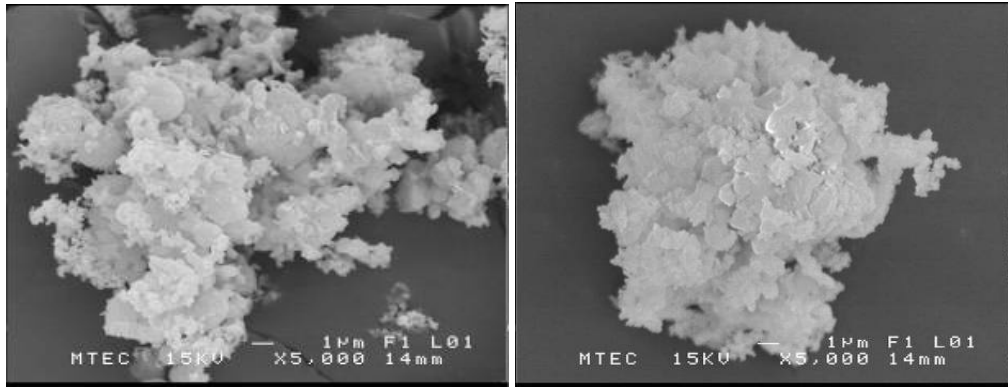
ผลการทดสอบและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ากากเมล็ดสับดูดำ มีดังต่อไปนี้คือ สารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 26.65 ไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P₂O₅) ร้อยละ 23.85 ไดโปตัสเซียมออกไซด์ (K₂O) ร้อยละ 20.59 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 15.26 ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ร้อยละ 3.60 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ร้อยละ 3.41 คลอรีน (Cl) ร้อยละ 2.03 ไดโซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ร้อยละ 1.77 ไดออกซิเดียมไทรออกไซด์ (Al₂O₃) ร้อยละ 1.20 ไดเฟอริกไทรออกไซด์ (Fe₂O₃) ร้อยละ 0.58 โบรมีน (Br) ร้อยละ 0.55 แมงกานีสออกไซด์ (MnO) ร้อยละ 0.32 สตรอนเซียมออกไซด์ (SrO) ร้อยละ 0.09 แบเรียมออกไซด์ (BaO) ร้อยละ 0.09 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ร้อยละ <0.01 นิกเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ <0.01 คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ร้อยละ <0.01 สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ร้อยละ <0.01 รวมปริมาณออกไซด์ทั้งหมดร้อยละ 100.00

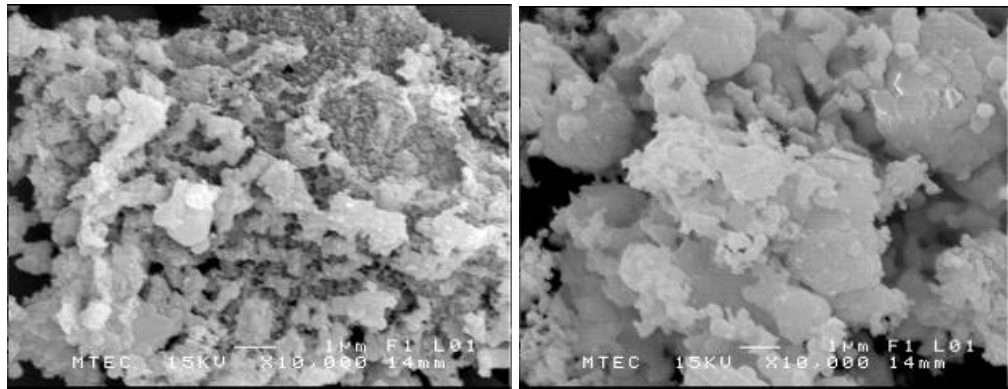
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้ากากเมล็ดสับดูดำพันธุ์ *Jatropha Curcas L.* ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 2.35 กล่าวคือ ก่อนทำการบดเถ้ากากเมล็ดสับดูดำพบว่า มีขนาดค่อนข้างใหญ่ไม่สม่ำเสมอ ผิวขรุขระ มีความพรุนสูง รูปร่างเป็นก้อนคล้ายกับเถ้ากะลาปาล์มน้ำมัน เมื่อทำการบดแล้วพบว่า ลักษณะอนุภาคเป็นก้อนแบนเหลี่ยม มีรูปร่างหลวมๆ มีความพรุนลดลง (ดังแสดงในภาพที่ 7 ถึงภาพที่ 9) ซึ่งแสดงภาพถ่ายขยายแบบ SEM โดยมีกำลังขยายที่ 1,000 5,000 และ 10,000 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายกำลังขยายแบบ SEM ขนาด 1,000 เท่าของเถ้ากากเมล็ดสับดูดำ (หลังการบด)



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายกำลังขยายแบบ SEM ขนาด 5,000 เท่าของถ้ำกากเมล็ดสับดำ (หลังการบด)



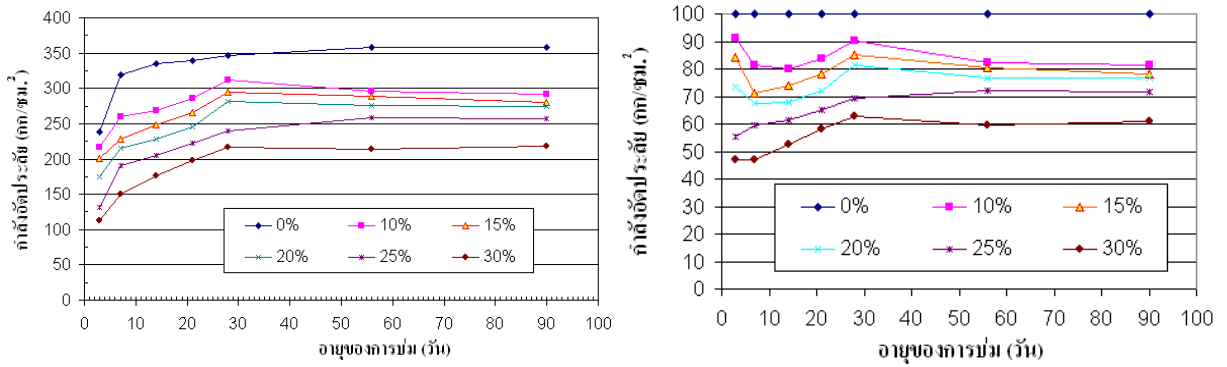
ภาพที่ 9 ภาพถ่ายกำลังขยายแบบ SEM ขนาด 10,000 เท่าของถ้ำกากเมล็ดสับดำ (หลังการบด)

ผลการทดสอบกำลังดูดประลัยของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำ ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักถ้ำกากเมล็ดสับดำต่อน้ำหนักซีเมนต์ร้อยละ 10, 15, 20, 25, และ 30 ตามลำดับ เมื่อการบ่มมีอายุ 3 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 9, 16, 27, 45 และ 53 ตามลำดับ การบ่มมีอายุ 7 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 19, 29, 33, 41 และ 53 ตามลำดับ การบ่มมีอายุ 14 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 20, 27, 33, 39 และ 48 ตามลำดับ การบ่มมีอายุ 21 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 16, 22, 28, 35 และ 42 ตามลำดับ การบ่มมีอายุ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 10, 15, 19, 31 และ 37 ตามลำดับ การบ่มมีอายุ 56 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 18, 20, 23, 28 และ 40 ตามลำดับ และการบ่มมีอายุ 90 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงร้อยละ 19, 22, 23, 29 และ 39 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำ (ตารางซ้ายมือ) ค่าร้อยละกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำเทียบกับปูนก่อนมาตรฐาน (ตารางขวามือ)

A/C* (%)	ค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำ (กก/ซม ²)							A/C* (%)	ค่าร้อยละของกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำ						
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	90 วัน		3 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	56 วัน	90 วัน
0%	237.94	319.43	335.67	340.01	345.88	358.62	358.79	0%	100	100	100	100	100	100	100
10%	217.22	260.17	269.11	285.45	311.45	295.48	291.54	10%	91.29	81.45	80.17	83.95	90.05	82.39	81.26
15%	200.58	227.72	247.94	265.56	293.89	288.43	280.75	15%	84.30	71.29	73.86	78.10	84.97	80.43	78.25
20%	174.99	214.89	227.47	245.73	281.39	275.91	274.94	20%	73.54	67.27	67.77	72.27	81.35	76.94	76.63
25%	131.68	190.04	205.39	221.92	240.29	258.92	256.65	25%	55.34	59.49	61.19	65.27	69.47	72.20	71.53
30%	111.93	149.88	175.88	197.97	216.97	213.99	218.39	30%	47.04	46.92	52.40	58.22	62.73	59.67	60.87

* คือ อัตราส่วนของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำต่อน้ำหนักซีเมนต์ โดยน้ำหนัก ปูนก่อนมาตรฐานหรือปูนก่อนธรรมดา A/C = 0 % หมายถึง ปูนก่อนที่ไม่มีถ้ำกากเมล็ดสับดำและถ้า A/C = 10 % หมายถึง อัตราส่วนของปูนก่อนผสมถ้ำกากเมล็ดสับดำร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์



ภาพที่ 10 ภาพซ้ายมือความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยเฉลี่ยกับอายุการบ่มของปูนก่อนผสมเถ้ากากเมล็ดสบูดำ ส่วนภาพขวามือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละกำลังอัดประลัยเฉลี่ยกับอายุการบ่มของปูนก่อนผสมเถ้ากากเมล็ดสบูดำเทียบกับปูนก่อนมาตรฐาน

สรุปผลและเสนอแนะ

สรุปผล จากการวิจัยพบว่า (1) องค์ประกอบหลักของเถ้ากากเมล็ดสบูดำคือ CaO , P_2O_5 และ K_2O มีค่าปริมาณร้อยละ 26.65, 23.85 และ 20.59 ตามลำดับ (2) เถ้ากากเมล็ดสบูดำไม่จัดเป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากมีองค์ประกอบหลักทางเคมีไม่เข้าเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C618 กล่าวคือ สารประกอบ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ รวมกันแล้วมีค่าเพียงร้อยละ 5.38 เท่านั้น (ไม่ถึงเกณฑ์ร้อยละ 50 ตาม ASTM C618) ถึงแม้ว่าค่า SO_3 จะมีปริมาณร้อยละ 3.41 ซึ่งไม่เกินร้อยละ 5 และ LOI มีค่าร้อยละ 5.60 ซึ่งไม่เกินร้อยละ 6 ตามมาตรฐาน ASTM C618 ก็ตาม (3) สำหรับปูนก่อนผสมเถ้ากากเมล็ดสบูดำตามอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ เมื่อการบ่มอายุ 28 วันจะมีค่ากำลังอัดประลัยลดลงร้อยละ 10, 15, 19, 31 และ 37 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปูนก่อนมาตรฐาน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับปูนก่อนเพื่อให้น้ำหนักมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ ถ้าหากมีการศึกษาต่อไปในอนาคตอาจจะทำการทดสอบกำลังอัดประลัยตามมาตรฐาน ASTM C348 ซึ่งใช้แท่งทดสอบคานที่ทำจากปูนก่อนขนาด $40 \times 40 \times 160$ มม. โดยมีแรงกระทำเป็นจุด ณ จุดกึ่งกลางของคาน สำหรับวิธีการเผาเถ้ากากเมล็ดสบูดำที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติเช่นเดียวกับการเผาถ่านหินลิกไนต์หรือกะลาปาล์มน้ำมัน จะต้องคำนึงถึงมาตรฐาน ASTM C618 ด้วย นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) ก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะอาจจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังอัดและความคงทนของปูนก่อนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ลัดดา จำกัด จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากเมล็ดสบูดำและขอขอบคุณนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามในที่นี้ที่ช่วยให้การวิจัยสำเร็จลงด้วยดี ท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกๆ ท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อบทความนี้ด้วยความจริงใจ

เอกสารอ้างอิง

จเร สดากร. 2527. สบูดำพิชศัภษาสูงเพื่อพลังงานทดแทนของประเทศไทย. วิชาการเกษตร 2 : 67-72.
 ปริญญา จินดาประเสริฐและชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2552. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตไทย, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร.

ระพีพันธุ์ ภาสบุตรและคณะ. 2525. **เดินเครื่องด้วยน้ำมัน "สบู่ดำ"**. 43 หน้า.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. **คอนกรีตเทคโนโลยี**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (MTEC). 2551. **ผลการวิเคราะห์และการทดสอบเก้าอี้กอกเมลิ็ดสบู่ดำ**.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อําเภอดงหลวง จังหวัดปทุมธานี.

Airy Show, H,K. 1973. **A Dictionary of the Flowering Plants and Ferns**. Cambridge University Press; 8th Edition; 1,294 p.

ASTM C 109/C 109M **Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars**.

Somayaji, Shan., 1995. **Civil Engineering Materials**. Prince-Hall Inc.

<http://aopdm04.doae.go.th>