

การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง

Utilization of palm oil fuel ash and rice husk-bark ash in high strength concrete

วันชัย สะตะ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

โทร. 0-2470-9137 โทรสาร 0-2427-9063 E-mail : chai.jat@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นผลพลอยได้จาก โรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งมีปริมาณมากขึ้นทุกปีแต่มีการนำมาใช้ประโยชน์ น้อยมาก ดังนั้นปริมาณส่วนมากต้องนำไปกำจัดทิ้ง งานวิจัยนี้เป็น การศึกษาพัฒนาเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาใช้ทำ คอนกรีตกำลังสูง โดยการนำมาบดให้มีความละเอียดจนค้ำตะแกรง มาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 2 จากนั้นนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดย น้ำหนักของวัสดุประสาน และเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูม ควบแน่นที่แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน จากผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้า ปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในอัตราร้อยละ 10 ถึง 30 ให้กำลังอัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมคิดเป็นร้อยละ 100 ถึง 113 โดยการ แทนที่ร้อยละ 20 มีแนวโน้มให้กำลังอัดสูงสุด เมื่อคอนกรีตอายุ 90 วัน การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในอัตราร้อยละ 20 ให้กำลังอัดสูงถึง 959 กก/ซม² โดยคิดเป็นร้อยละ 110 ของคอนกรีตควบคุมหรือคิดเป็น ร้อยละ 98 ของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาฟูมควบแน่นร้อยละ 10 นอกจากนี้การพัฒนากำลังอัดมีแนวโน้มเทียบเท่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วย ซิลิกาฟูมควบแน่นร้อยละ 10 เมื่อคอนกรีตมีอายุมากกว่า 90 วัน

Abstract

Palm oil fuel ash and rice husk-bark ash are the by-products of biomass power plants. The amount of palm oil fuel ash and rice husk-bark ash are increased every year, but the utilization of them is very little. Therefore, most of them have to be disposed off. This paper presents the improvement of palm oil fuel ash and rice husk-bark ash as a pozzolanic material for making high strength concrete. The original palm oil fuel ash and original rice husk-bark ash were ground by ball mills until the remains on sieve No. 325 were less than 2%. They were used to replace Portland cement type I of 0, 10, 20, and 30% by weight of binder to make high strength concrete and compared with the concretes using condensed silica fume to replace Portland cement type I of 5, 10, and 15% by weight of binder. The results was found that concretes containing 10 to 30% replacement of palm oil fuel

ash and rice husk-bark ash gave the compressive strength in the order of 100 to 113% of control concrete, the rate of 20% replacement produced the highest compressive strength. At 90-day, the compressive strength of 20% rice husk-bark ash concrete was 959 ksc which was 110% of control concrete or 98% of 10% condensed silica fume concrete. In addition, after 90-day the concrete containing rice husk-bark ash of 20% as cement replacement exhibited equal compressive strength as those of concretes with 10% condensed silica fume.

1. บทนำ

เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash) คือผลพลอยได้จาก โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นเถ้าที่ได้จากการนำเศษกะลาและเส้นใย ผลปาล์มที่ใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำเพื่อผลิต กระแสไฟฟ้า ส่วนเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice Husk-Bark Ash) เป็นผลพลอยได้จากการใช้แกลบและเปลือกไม้ที่เผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมาก ดังนั้นปริมาณส่วนใหญ่ต้อง นำไปทิ้งและนับวันจะมีปริมาณมากขึ้นตามความต้องการพลังงานทดแทนที่ใช้เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศที่นับวันยังมีราคาสูงขึ้น ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเถ้าไปทิ้ง อีกทั้งยังก่อให้เกิด ปัญหาภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทิ้งอีกด้วย

คอนกรีตกำลังสูงตาม ACI 363 [1] คือคอนกรีตทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน มากกว่า 410 กก/ซม² ขึ้นไป คอนกรีตกำลังสูงมีความสำคัญในงานก่อสร้าง เนื่องจากสามารถลดขนาดและน้ำหนักของโครงสร้างได้โดยเฉพาะงาน อาคารสูงหรือคานที่มีความยาวมากๆ ทำให้ขนาดของเสาและฐานราก ลดลง โดยปกติการทำคอนกรีตกำลังสูงจะใส่สารเคมีผสมเพิ่มประเภท สารลดน้ำพิเศษเพื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้ต่ำลง และใส่สารผสมเพิ่มประเภทวัสดุปอซโซลานเพื่อเพิ่มกำลังอัดประลัยเมื่อคอนกรีต อายุมากขึ้น

วัสดุปอซโซลานที่นิยมและเป็นที่รู้จักในการใช้ในการทำ คอนกรีตกำลังสูง ได้แก่ ซิลิกาฟูมและเถ้าถ่านหิน ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก็เป็นวัสดุปอซโซลานอีกส่วนหนึ่งที่มี การศึกษาพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานคอนกรีต จากการศึกษารายงานของสุรพันธุ์

RECEIVED 10 MARCH, 2003

ACCEPTED 26 MAY, 2003

และคณะ [2] พบว่าการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันที่บดจนมีวัสดุข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 4.30 โดยน้ำหนัก สามารถให้ค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ด (Strength Activity Index) สูงกว่าร้อยละ 100 และค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ดมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการบ่ม ชัยและคณะ [3] ได้พัฒนาคุณภาพเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้ดีขึ้นโดยการนำมาบดละเอียดจนมีสัดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 3.29 โดยน้ำหนัก พบว่าให้ค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ดสูงถึงร้อยละ 98 ที่อายุ 7 วัน และมากกว่าร้อยละ 100 ที่มอร์ตาร์ดอายุ 14 วันขึ้นไป นอกจากนั้น Hussin และ Awal [4] พบว่าคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียดในอัตราร้อยละ 30 ให้กำลังอัดสูงสุดโดยที่คอนกรีตอายุ 28 วัน มีกำลังอัดเทียบเท่ากับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวและที่อายุ 90 วัน มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีแนวโน้มที่จะนำมาศึกษาพัฒนาเป็นวัสดุปอชโซลานที่ดีได้

อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมา [2, 3, 4] ยังศึกษาเฉพาะมอร์ตาร์ดและคอนกรีตปกติที่ก่อกำไม่สูงมากเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง ทั้งนี้เพื่อนำเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงและแก้ปัญหาในการกำจัดเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ไปพร้อมๆ กัน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง และเปรียบเทียบกำลังอัดกับคอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูมควบแน่นที่มีจำหน่ายในประเทศไทย โดยกำหนดคอนกรีตที่ใช้วัสดุปอชโซลานทั้ง 2 ชนิดมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 700 กก/ซม²

3. วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ปูนซีเมนต์	ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
ซิลิกาฟูม	ใช้ซิลิกาฟูมควบแน่น (SF) ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย
เถ้าปาล์มน้ำมัน	เป็นเถ้าปาล์มน้ำมัน (POFA) จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานน้ำมันปาล์มจากแหล่งทางภาคใต้
เถ้าแกลบ-เปลือกไม้	ใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (RHBA) ที่ได้จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานผลิตกระดาษทางภาคกลางของประเทศไทย
ทราย	ใช้ทรายน้ำจืดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ล้างน้ำจนสะอาด

หิน ใช้หินปูนย่อยขนาด 3/8 นิ้ว ที่ล้างน้ำจนสะอาด
น้ำ ใช้น้ำประปา
สารลดน้ำพิเศษ ใช้ประเภท F ชนิดเนฟทาไลน์

(Sulphonated Naphthalene Formaldehyde)

เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่นำมาจากโรงงานโดยตรงมีคุณสมบัติทางวัสดุปอชโซลานต่ำ [2, 3] ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการบดให้มีความละเอียดจนมีขนาดข้างบนมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 2 ซึ่งคล้ายงานวิจัยของ Haque และ Kayali [5] ที่ศึกษาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงโดยมีขนาดข้างบนมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 1

3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาวัสดุปอชโซลานในการทำคอนกรีตกำลังสูงที่ต้องการกำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงกว่า 700 กก/ซม² ดังนั้นจึงกำหนดทุกๆ ส่วนผสมของคอนกรีตให้มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 560 กก/ม³ อัตราส่วนทรายต่อหินเท่ากับ 45:55 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.28 ใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับค่าจุดตัวของคอนกรีตให้อยู่ระหว่าง 20 ± 2.5 ซม.

ส่วนผสมคอนกรีตแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นคอนกรีตควบคุม (Control) ที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่สองคือ SF05, SF10 และ SF15 เป็นคอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูมควบแน่น (SF) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ กลุ่มที่สามคือ POFA10, POFA20 และ POFA30 เป็นคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมัน (POFA) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ส่วนกลุ่มสุดท้ายเป็นคอนกรีตที่ใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (RHBA) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้สัญลักษณ์ RHBA10, RHBA20 และ RHBA30 ตามลำดับ ส่วนผสมของคอนกรีตทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ศึกษา

Mix No.	Symbol	Mix Proportion (kg/m ³)								Slump (mm)
		OPC	SF	POFA	RHBA	Sand	C-Agg	Water	Super P.	
1	Control	560	-	-	-	764	981	152.9	7.9	0.28
2	SF05	532	28	-	-	760	975	151.7	10.2	0.28
3	SF10	504	56	-	-	755	970	150.6	12.4	0.28
4	SF15	476	84	-	-	751	964	149.5	14.7	0.28
5	POFA10	504	-	56	-	757	971	152.6	8.5	0.28
6	POFA20	448	-	112	-	749	962	150.9	11.8	0.28
7	POFA30	392	-	168	-	742	952	148.3	16.9	0.28
8	RHBA10	504	-	-	56	754	968	152.9	7.9	0.28
9	RHBA20	448	-	-	112	745	956	152.3	9.0	0.28
10	RHBA30	392	-	-	168	735	943	150.0	13.5	0.28

หมายเหตุ ในสารลดน้ำพิเศษมีน้ำผสมอยู่ร้อยละ 50

3.3 การทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์, เถ้าปลาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี, ความละเอียดโดยการร่อนเป็ยกผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325, ความละเอียดโดยวิธีพื้นผิวจำเพาะของเบลน (Air Blaine Permeability), ภาพขยายกำลังสูง (Scanning Electro Microscopy), การกระจายขนาดของอนุภาคและความถ่วงจำเพาะ

ผสมคอนกรีตและเก็บตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. หลังจากหล่อคอนกรีต 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วบ่มในน้ำสะอาด ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7, 28, 60, และ 90 วัน โดยผลการทดสอบกำลังอัดแต่ละอายุได้จากค่าเฉลี่ย 3 ตัวอย่าง

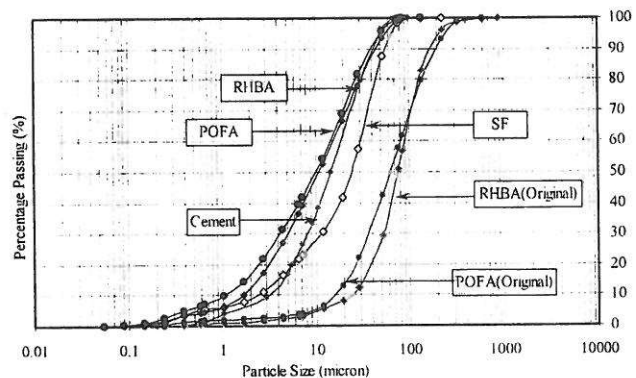
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติของวัสดุประสาน

รูปที่ 1 เป็นผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา ส่วนตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าปูนซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 14.65 ไมโครเมตร ส่วนซิลิกาฟูมควมแน่นมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.24 และเนื่องจากเป็นซิลิกาฟูมที่มีการควมแน่นจึงมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยค่อนข้างใหญ่เท่ากับ 24.39 ไมโครเมตร อนุภาคเถ้าปลาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนการบดมีขนาดใหญ่มาก หยาบ ผิวขรุขระ มีรูพรุนและโพรงอากาศอยู่มาก มีขนาดเฉลี่ย 62.52 และ 75.26 ไมโครเมตร ตามลำดับ หลังจากผ่านการบดละเอียดทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 10.18 และ 10.89 ไมโครเมตร ตามลำดับ และลักษณะรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม (แสดงดังรูปที่ 2) หลังการบดละเอียดเถ้าปลาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 2.03 เป็น 2.15 และจาก 1.97 เป็น 2.33 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการบดทำให้รูพรุนและโพรงอากาศบนอนุภาคของวัสดุลดลงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น ส่วนค่าความละเอียดโดยวิธีพื้นผิวจำเพาะของเบลนของเถ้าปลาล์มน้ำมันบดละเอียดมีค่าเป็น 12440 ซม²/ก และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดมีค่าเท่ากับ 11920 ซม²/ก ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ที่มีค่าเท่ากับ 3580 ซม²/ก

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา โดยปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็น CaO ซึ่งมีค่าสูงถึงร้อยละ 65.41 มีปริมาณ SO₃ ร้อยละ 2.71 ซิลิกาฟูมควมแน่นมีปริมาณ SiO₂ เท่ากับร้อยละ 93.80 และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) เท่ากับร้อยละ 4.89 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C 1240 ที่กำหนดให้ซิลิกาฟูมต้องมีปริมาณ SiO₂ มากกว่าร้อยละ 85 และมีค่า LOI น้อยกว่าร้อยละ 6 ส่วนเถ้าปลาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนการบดและหลังการบดมีคุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา

วัสดุปอชโซลานที่ผ่านการบดทั่วไป เช่น Kiattikomol และ คณะ [6] ที่ศึกษาถึงคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินจากหลายแหล่ง พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าถ่านหินก่อนการบดและหลังการบดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยหลังการบดเถ้าปลาล์มน้ำมันมีผลรวมองค์ประกอบทางเคมีของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 45.16 มีปริมาณ SO₃ ร้อยละ 0.71 และมีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 10.25 ส่วนเถ้าแกลบ-เปลือกไม้จัดอยู่ใน Class N ตามมาตรฐาน ASTM C 618 เนื่องจากมีผลรวมองค์ประกอบทางเคมีของ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 70.63 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 70 มีปริมาณ SO₃ ร้อยละ 0.47 และมีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 8.25 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 4 และร้อยละ 10 ตามลำดับ



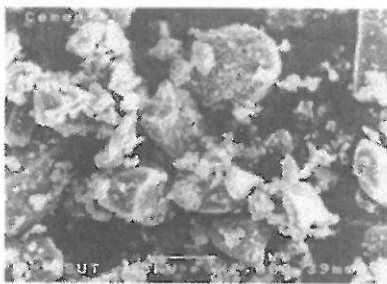
รูปที่ 1 การกระจายอนุภาคของวัสดุประสาน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

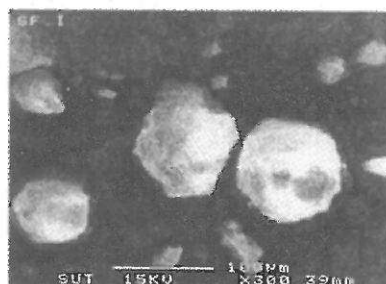
Sample	Specific Gravity	Retained on Sieve #325 (%)	Blaine Fineness (cm ² /g)	Median Particle Size (micron)
Cement	3.15	-	3580	14.65
SF	2.24	0.53	-	24.39
POFA	1.97	41.23	-	62.52
POFA (Original)	2.33	1.54	12440	10.18
RHBA	2.03	68.70	-	75.26
RHBA (Original)	2.15	1.92	11920	10.89

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

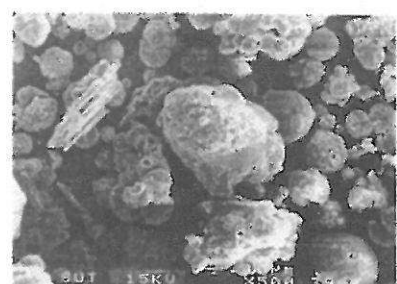
Chemical Composition (%)	Cement	SF	POFA (Original)	POFA (Original)	RHBA (Original)	RHBA
Silicon Dioxide (SiO ₂)	20.90	93.80	41.28	41.20	70.99	68.97
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	4.76	0.21	2.53	3.76	0.25	1.66
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.41	0.09	0.14	0.20	-	-
Calcium Oxide (CaO)	65.41	0.12	9.61	9.34	8.40	8.13
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2.71	-	0.41	0.71	0.47	0.47
Magnesium Oxide (MgO)	1.25	0.33	2.10	2.43	0.70	0.61
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.24	-	2.13	2.13	2.93	2.89
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.35	0.38	7.66	7.73	4.68	4.55
Phosphorus Oxide (P ₂ O ₅)	-	-	23.03	22.04	3.97	4.28
Loss on Ignition (LOI)	0.96	4.89	10.90	10.25	7.41	8.25



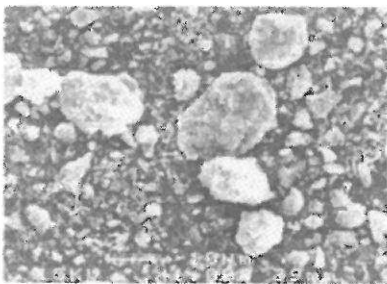
ก. ปูนซีเมนต์



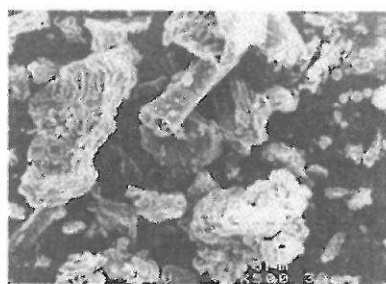
ข. ซิลิกาฟุ่มควมแน่น



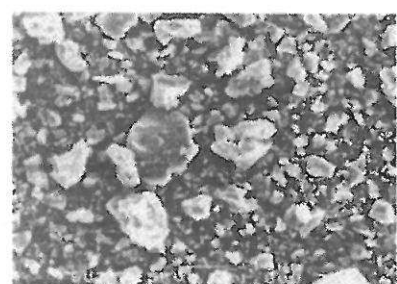
ค. เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด



ง. เถ้าปาล์มน้ำมันหลังการบดละเอียด



จ. เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนบด



ฉ. เถ้าแกลบ-เปลือกไม้หลังการบดละเอียด

รูปที่ 2 ภาพขยายกำลังสูงของวัสดุประสาน

4.2 คอนกรีตสด

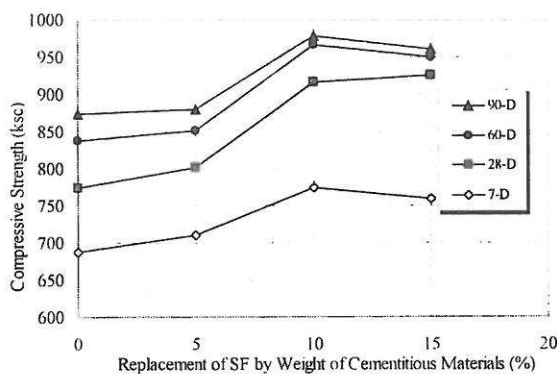
เพื่อให้คอนกรีตกำลังสูงที่ศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้กับงานทุกประเภทจึงกำหนดค่าของคอนกรีตอยู่ที่ 20 ± 2.5 ซม. โดยใช้สารลดน้ำพิเศษปรับค่าของคอนกรีตให้ได้ตามที่ต้องการ ผลในตารางที่ 1 พบว่าคอนกรีตที่มีวัสดุปอซโซลานเป็นส่วนผสมต้องใช้สารลดน้ำพิเศษมากกว่าคอนกรีตควบคุมและต้องใช้น้ำมากขึ้นตามปริมาณการแทนที่ด้วยวัสดุปอซโซลานที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวที่มากของวัสดุปอซโซลาน โดยเฉพาะเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีพื้นที่ผิวสูงถึง $12440 \text{ ซม}^2/\text{ก}$ จึงจำเป็นต้องใช้สารลดน้ำพิเศษเพิ่มขึ้น ส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ่มควมแน่น, เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในสัดส่วนร้อยละ 10 เท่ากัน พบว่าการแทนที่ด้วยซิลิกาฟุ่มควมแน่นต้องใช้สารลดน้ำสูงที่สุดถึง 12.41 กก/ม^3 สูงกว่าการแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ใช้เพียง 11.84 และ 9.02 กก/ม^3 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะซิลิกาฟุ่มควมแน่นแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสูงจึงต้องใช้สารลดน้ำพิเศษสูงกว่า นอกจากนั้นการแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันยังต้องใช้สารลดน้ำพิเศษสูงกว่าการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพราะพื้นที่ผิวของอนุภาคเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าสูงถึง $12440 \text{ ซม}^2/\text{ก}$ ซึ่งมากกว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่มีค่าเพียง $11920 \text{ ซม}^2/\text{ก}$

4.3 กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง

ผลการทดสอบกำลังอัดและเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าทุกส่วนผสมมีกำลังอัดที่อายุ 28 วันมากกว่า 700 กก/ซม^2 ตามที่ต้องการ โดยมีกำลังอัดที่อายุ 28 วันต่ำสุดคือคอนกรีตควบคุมมีค่าเท่ากับ 775 กก/ซม^2 ส่วนกำลังอัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 926 กก/ซม^2 ในคอนกรีต SF15

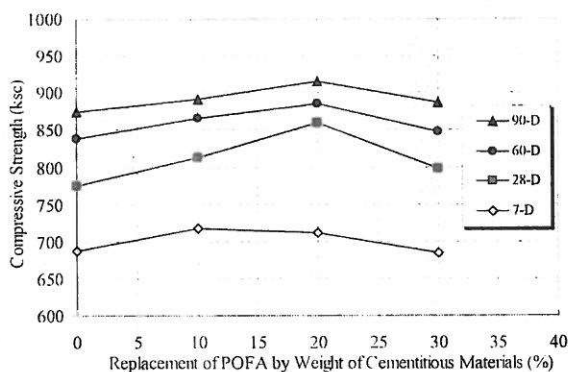
ตารางที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงในส่วนผสมต่าง ๆ

Mix No.	Symbol	Compressive Strength (ksc)				Normalized Comp. Str. (%)			
		7-d	28-d	60-d	90-d	7-d	28-d	60-d	90-d
1	Control	688	775	838	875	100	100	100	100
2	SF05	711	802	852	880	103	103	102	101
3	SF10	775	917	967	979	113	118	115	112
4	SF15	759	926	950	960	110	119	113	110
5	POFA10	717	813	865	891	104	105	103	102
6	POFA20	711	859	885	915	103	111	106	104
7	POFA30	685	798	847	887	100	103	101	101
8	RHBA10	734	863	919	933	107	111	110	107
9	RHBA20	716	875	932	959	104	113	111	110
10	RHBA30	689	847	883	897	100	109	105	103



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างกับ ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ่มควบแน่น

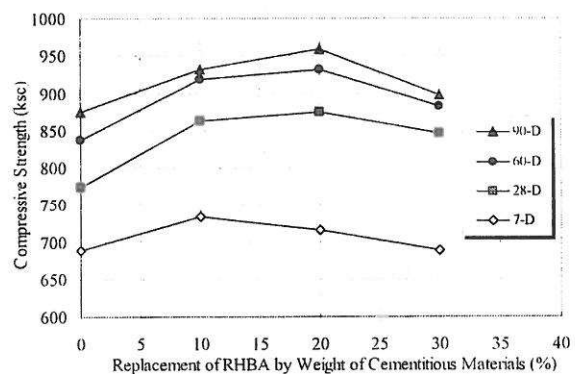
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ่มควบแน่น พบว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาฟุ่มควบแน่นด้วยปริมาณต่างๆ และทุกอายุการทดสอบมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม โดยที่อายุ 28 วันคอนกรีตมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 802 ถึง 926 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 103 ถึง 119 ของคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้เพราะซิลิกาฟุ่มควบแน่นซึ่งแตกตัวเป็นอนุภาคนาโนเล็กๆ ทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นขึ้นและช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวม [7] นอกจากนี้ปริมาณของ SiO₂ ที่มีมากถึงร้อยละ 93.80 ในซิลิกาฟุ่มควบแน่นสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับ Ca(OH)₂ ได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น จากรูปที่ 3 ยังพบว่าการแทนที่ด้วยซิลิกาฟุ่มควบแน่นร้อยละ 10 ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่าการแทนที่ร้อยละ 5 และ 15 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Savva [8] นอกจากนี้ ชีรราชและชัย [9] ที่ศึกษาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ซิลิกาฟุ่มจาก 2 แหล่งผลิต พบว่าการแทนที่ร้อยละ 10 ให้กำลังอัดสูงสุดเช่นกัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างกับ ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างกับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่าคอนกรีตที่อายุ 7 วัน เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 ให้กำลัง

สูงกว่าการแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 โดยมีค่าเท่ากับ 717 กก/ซม² หรือเท่ากับร้อยละ 104 ของคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมากกว่าการแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 ทำให้มีกำลังที่อายุต้นๆ สูงกว่า นอกจากนั้นอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของ ปูนซีเมนต์โดยมีขนาดเฉลี่ยเพียง 10.18 ไมโครเมตร สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างต่างๆ ในคอนกรีตทำให้คอนกรีตเกิดการอัดแน่น กำลังอัดจึงสูงกว่าคอนกรีตควบคุม เมื่อคอนกรีตมีอายุเพิ่มขึ้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กและปริมาณร้อยละ 41.20 ของ SiO₂ ในเถ้าปาล์มน้ำมันสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับ Ca(OH)₂ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้การแทนที่ร้อยละ 20 มีกำลังสูงสุดโดยที่อายุคอนกรีต 90 วันให้กำลังอัดสูงถึง 915 กก/ซม² ส่วนการแทนที่ร้อยละ 30 จะมีปริมาณ SiO₂ ในเถ้าปาล์มน้ำมันมากเกินไปที่จะทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)₂ จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้มีเถ้าปาล์มน้ำมันบางส่วนเหลือจากการทำปฏิกิริยากำลังอัดจึงต่ำกว่าการแทนที่ร้อยละ 20 แต่ก็ยังคงมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างกับ ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้

ผลของการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตกำลังสูงแสดงดังในรูปที่ 5 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการแทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน แต่จะให้กำลังอัดสูงกว่าเล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจากในเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีปริมาณ SiO₂ ถึงร้อยละ 68.97 ซึ่งมากกว่าในเถ้าปาล์มน้ำมัน จึงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีกว่า โดยที่อายุ 7 วันพบว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ร้อยละ 10 ให้กำลังสูงสุดเท่ากับ 734 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 107 ของคอนกรีตควบคุม เมื่ออายุเพิ่มขึ้นพบว่า การแทนที่ร้อยละ 20 ให้กำลังสูงสุด โดยที่อายุ 90 วัน การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้กำลังอัดถึง 959 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 110 ของคอนกรีตควบคุม ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Ismail และ Waliuddin [10] ที่ใช้เถ้าแกลบบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 10 ถึง 30 ในการทำคอนกรีตกำลังสูง พบว่าการแทนที่ด้วยอัตราร้อยละ 10-20 ให้กำลังอัดสูงสุด นอกจากนั้นการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ร้อยละ 30 ยังให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 103 ที่อายุ 90 วัน

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบคอนกรีตกำลังสูงทุก ส่วนผสมพบว่า คอนกรีตที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้ กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่ามีกำลัง อัดต่ำกว่าคอนกรีตที่มีซิลิกาฟุ่มควมแน่นร้อยละ 10 แต่การใช้เถ้าแกลบ- เปลือกไม้ในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัด เทียบเท่าการใช้ซิลิกาฟุ่มควมแน่นร้อยละ 10 เมื่อคอนกรีตอายุมากกว่า 90 วัน นอกจากนั้นการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ทำให้ ราคาคอนกรีตถูกกว่าการใช้ซิลิกาฟุ่มควมแน่นที่มีราคาแพงเพราะต้อง นำเข้าจากต่างประเทศ และการใช้การเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ- เปลือกไม้ยังช่วยลดการนำเถ้าเหล่านี้ไปทิ้งเป็นการลดปัญหามลภาวะต่อ สิ่งแวดล้อมไปในตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งทั้ง 2 ชนิด มี ศักยภาพสูงในการนำไปใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูงและงานคอนกรีต ทั่วไป

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง สรุปได้ดังนี้

1. เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่บดจนมีความ ละเอียดค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่นเกินร้อยละ 2 สามารถ นำมาใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตกำลังสูงได้ดี และ การแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10, 20 และ 30 ให้กำลังสูงกว่า คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว
2. คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดในอัตราร้อยละ 10 ถึง 30 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ระหว่าง 798 ถึง 859 กก/ซม² โดยการ แทนที่ด้วยร้อยละ 20 ให้กำลังสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 859 กก/ซม² หรือคิด เป็นร้อยละ 111 ของคอนกรีตควบคุม
3. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ผ่านการ บดจนมีความละเอียดในอัตราร้อยละ 20 ให้กำลังสูงสุด โดยที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 875 กก/ซม² หรือคิดเป็นร้อยละ 113 ของคอนกรีตควบคุม
4. คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันหรือ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในอัตราร้อยละ 20 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ แทนที่ด้วยซิลิกาฟุ่มควมแน่นร้อยละ 5 แต่ให้กำลังอัดต่ำกว่าการแทนที่ ด้วยซิลิกาฟุ่มควมแน่นร้อยละ 10 ที่ให้กำลังอัดสูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในอัตราร้อยละ 20 มีแนวโน้มของการพัฒนา กำลังอัดเทียบเท่าการใช้ซิลิกาฟุ่มควมแน่นร้อยละ 10 เมื่อคอนกรีตอายุ มากกว่า 90 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุน งานวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คป.ก.) และ ทุนองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนาประจำปี 2545 นอกจากนี้ ขอขอบคุณภาคีวิศวกรโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี ที่ให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์ เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

1. ACI Committee 363, 2000, "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete," ACI 363R-92, *ACI Manual of Concrete Practice Part I*, American Concrete Institute, Detroit, 55 pp.
2. สุรพันธ์ สุคันธปรีย์, ชรินทร์ นมรักษ์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2545, "การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าปาล์มน้ำมันในงาน คอนกรีต," *การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรมประจำปี 2545*, กรุงเทพฯ, หน้า 191-199.
3. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธ์ วงศ์พา และ สุรพันธ์ สุคันธปรีย์, 2545, "การพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต," *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8*, ขอนแก่น, หน้า MAT 163-172.
4. Hussin, M. W. and Awal, A. S. M. A., 1996, "Palm Oil Fuel Ash - A Potential Pozzolan Material in Concrete Construction," *Proceeding of the International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century*, Bangkok, Thailand, pp. D361-D366.
5. Haque, M. N. and Kayali, O., 1998, "Properties of High-Strength Concrete Using a Fine Fly Ash," *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 10, pp. 1445-1452.
6. Kiattikomol, K., Jaturapitakkul, C., Songpiriyakij, S. and Chutubtim, S., 2001, "A Study of Ground Coarse Fly Ashes with Difference Fineness from Various Sources as Pozzolan Materials," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 23, pp. 335-343.
7. ACI Committee 234, 2000, "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete," ACI 234R-96, *ACI Manual of Concrete Practice Part I*, American Concrete Institute, Detroit, 51 pp.
8. Savva, A. E., 2001, "High-strength Concrete: Mechanical and Elastic Properties of Fly Ash and Silica Fume Containing Mixtures," *Supplementary Paper of the Seventh CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*, Chennai (Mandras), India, pp. 125-139.
9. ชีรราช ลีศิริติกุล และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2543, "การใช้เถ้าถ่าน หินแกลบละเอียดทดแทนซิลิกาฟุ่มในการทำคอนกรีตกำลังสูง," *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 11 ฉบับที่ 4, หน้า 22-28
10. Ismail, M. S. and Waliuddin, A. M., 1996, "Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 7, pp. 367-372.