บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 สมบัติพื้นฐานของวัสดุ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของวัสดุ 2 ชนิด คือ เถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม โดยจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ หาส่วนประกอบทางเคมี และส่วนประกอบทางแร่ ซึ่งในการศึกษานี้จะนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมาเตรียมเพื่อทำการทดลองเพิ่มอีก 2 ประเภท คือ เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา โดยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ เนื่องจากการบดทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไปค่อนข้างน้อย (วีรชาติ, 2546) ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผานั้นได้เมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ แล้วได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพโดยทั่วๆ ไปของเถ้าลอยจะมีผลต่อพฤติกรรมของคอนกรีตเมื่อนำเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต แต่ทั้งนี้สมบัติของเถ้าลอยจะเปลี่ยนไปได้อาจเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเผาไหม้ เช่น มีการเผาน้ำมันเตาร่วมกับการเผาถ่านหิน มีการเติมวัสดุบางประเภทเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และลดการกัดกร่อน ฯลฯ

4.1.1.1 สี และลักษณะทั่วไป

เถ้าลอยลิกไนต์จะมีสีน้ำตาลค่อนข้างแดงคล้ายสีของดินลูกรังหรือสีแดงอิฐ ซึ่งมีลักษณะเป็นแร่ธาตุคล้ายดินมีความละเอียดมาก ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีสีเทา และสีดำปะปนไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่ส่วนใหญ่จะมีสีดำ ส่วนที่เป็นสีดำมีลักษณะคล้ายเศษผงถ่านหรือคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ขนาดมีความไม่สม่ำเสมอ บางส่วนมีความละเอียด บางส่วนจับตัวกันแน่น

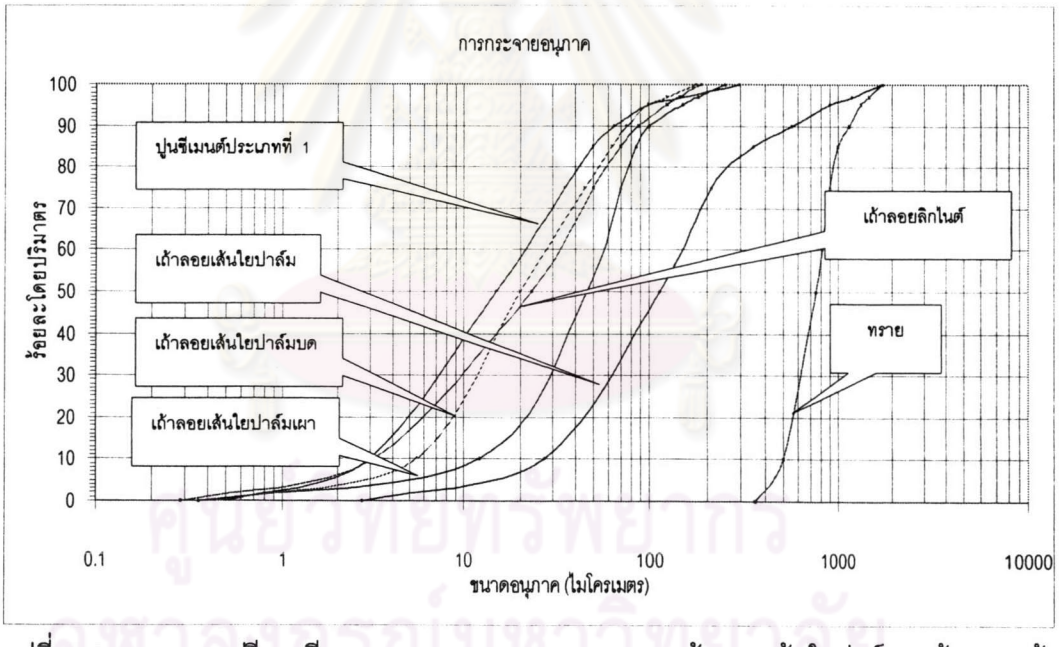
4.1.1.2 ความละเอียด

1. การกระจายขนาดอนุภาค

การกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทราย ซึ่งหาโดยใช้เครื่อง

วิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) รูปที่ 4.1 แสดงเส้นโค้งการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทราย ตามลำดับ จากรูปที่ 4.1 พบว่า เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีขนาดอนุภาคโตกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีการกระจายขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างกว้าง คือ มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5-76 ไมโครเมตร

สำหรับขนาดอนุภาคที่ร้อยละโดยปริมาตรสะสมเท่ากับ 10 50 และ 90 แสดงในตารางที่ 4.1 โดยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2.6-1,700 ไมโครเมตร เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.4 -180 ไมโครเมตร เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.5-150 ไมโครเมตร เถ้าลอยลิกไนต์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.3-170 ไมโครเมตร ปูนซีเมนต์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.3-200 ไมโครเมตร และทรายมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 250-1,700 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีขนาดอนุภาคค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับทราย การนำเถ้าลอยใยปาล์มไปทำการบดทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ขนาดยังคงโตเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ และเถ้าลอยลิกไนต์



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา เถ้าลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทราย

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชนิดตัวอย่าง	$d_{10\%}$ (ไมโครเมตร)	$d_{50\%}$ (ไมโครเมตร)	$d_{90\%}$ (ไมโครเมตร)
เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	27.18	114.25	556.96
เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด	5.510	27.84	76.10
เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา	12.23	46.22	105.29
เถ้าลอยลิกไนต์	3.17	23.18	88.26
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2.94	18.24	52.48
ทราย	507.20	784.12	1200.46

2. พื้นที่ผิวจำเพาะ

ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยจะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การทดสอบความละเอียดโดยการหาปริมาณของเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 ไมโครเมตร) โดยวิธีร่อนแบบเปียกตามมาตรฐาน ASTM C430 นอกจากนี้ยังสามารถบอกขนาดของอนุภาคจากการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีหาความซึมอากาศเบลน (Blaine Air Permeability) ตามมาตรฐาน ASTM C204-96 หรือวิธี Particle size analysis หรือวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม

จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 3,190 ตร.ซม.ต่อกรัม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 3,085 ตร.ซม.ต่อกรัม การที่ผลการวิเคราะห์ได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกันนั้น อาจทำให้เข้าใจได้ว่าเถ้าลอยทั้งสองชนิดมีความละเอียดใกล้เคียงกัน และความสามารถในการทำปฏิกิริยาใกล้เคียงกันด้วยที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากเถ้าลอยลิกไนต์มีขนาดอนุภาคเล็ก มีลักษณะกลมมน และเนื้อแน่น ทำให้มีช่องว่าง ให้อากาศไหลซึมผ่านไปได้น้อยอากาศไหลผ่านไปได้ช้าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่จึงสูง ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มอนุภาคจะมีขนาดโตกว่า และมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า มีน้ำหนักเบา เมื่อมีแรงกดจากอากาศที่ไหลผ่านขณะทำการวิเคราะห์ อนุภาคจึงเกิดการอัดตัวแน่นจนมีช่องว่างระหว่างอนุภาคเล็กลงทำให้อากาศไหลซึมผ่านได้ยากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่ได้จึงสูง และใกล้เคียงกับเถ้าลอยลิกไนต์ จึงควรใช้วิธีอื่นในการวิเคราะห์ความละเอียด และควรพิจารณาความละเอียดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นประกอบด้วยว่าสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่ในความเป็นจริงเมื่อพิจารณาดู

ขนาดอนุภาคแล้ว พบว่า อนุภาคเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีขนาดโตกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ ดังนั้นเถ้าลอยลิกไนต์จึงทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชนิดตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ซม.ต่อ กรัม)
เถ้าลอยลิกไนต์	3,190
เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	3,085
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	3,630

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นการศึกษาของธิรสิทธิ์, 2547

4.1.1.3 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยนั้น จะแสดงให้ทราบถึงส่วนประกอบของเนื้อเถ้าลอย และความละเอียดของเถ้าลอย เถ้าลอยที่มีความละเอียดมากจะมีความถ่วงจำเพาะค่อนข้างสูง ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยนี้ จะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณตลอดจนใช้ออกแบบหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต และหาพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งบอกถึงความละเอียดของปูนซีเมนต์

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย สามารถทำได้โดยบรรจุเถ้าลอยจำนวนหนึ่งซึ่งทราบน้ำหนักลงในขวดแล้วเลอร์ชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier) ซึ่งมีน้ำมันก๊าดบรรจุอยู่ในขวดแก้ว เพื่อวัดหาปริมาตรที่เถ้าลอยนั้นแทนที่ตามมาตรฐาน ASTM C188-96 ค่าความถ่วงจำเพาะของ เถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เถ้าลอยลิกไนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีส่วนประกอบทางเคมีที่มีความหนาแน่นสูงเป็นส่วนประกอบ เช่น ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) ออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) และออกไซด์ของแมกนีเซียม (MgO) รวมกันถึงร้อยละ 73.7 โดยน้ำหนัก ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีหลักๆ คือ ซิลิกา ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำถึงร้อยละ 52.8 โดยน้ำหนัก อีกทั้งเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีความพรุนสูง และมีเศษถ่านหรือคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำปนอยู่จำนวนมาก จึงเป็นผลทำให้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ

ตารางที่ 4.3 ความถ่วงจำเพาะของทราย เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชนิดตัวอย่าง	ความถ่วงจำเพาะ
เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	1.75
เถ้าลอยลิกไนต์	2.16
ทราย	2.58
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	3.12

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์ทรายเป็นการศึกษาของ ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์ (2536)

4.1.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมีเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มสามารถวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.4 โดยมีส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ได้นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาแสดงด้วยซึ่งจะรายงานผลในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการศึกษานี้กับรายงานการศึกษาของกฤษณ์ (2545) และสมนึก (2541) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เถ้าลอยเส้นใยปาล์มประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ ออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) ออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) มีค่าเท่ากับร้อยละ 52.8 1.23 1.53 และ11.80 ตามลำดับ โดยมีส่วนประกอบรอง ได้แก่ ออกไซด์ของโซเดียม (Na_2O) ออกไซด์ของโปตัสเซียม (K_2O) ออกไซด์ของแมกนีเซียม (MgO) และออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_3) เท่ากับ 0.19 6.20 6.71 0.57 ตามลำดับ โดยมีผลรวมออกไซด์ของซิลิกอน ออกไซด์ของอลูมิเนียม และออกไซด์ของเหล็ก (SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3) เท่ากับร้อยละ 67.34 โดยน้ำหนัก มากกว่ามาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในปูนซีเมนต์ ASTM C618-96 ชั้นคุณภาพ C ซึ่งกำหนดไว้อย่างน้อยร้อยละ 50 แต่น้อยกว่าชั้นคุณภาพ F และ N ซึ่งกำหนดไว้อย่างน้อยร้อยละ 70

เถ้าลอยลิกไนต์นั้น พบว่า ส่วนประกอบทางเคมีจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของถ่านหินที่นำมาเผา จากตารางที่ 4.4 พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์จากการศึกษานี้มีส่วนประกอบหลักๆ คือ ออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) และออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.08 17.26 14.24 18.09 ตามลำดับ และ

มีส่วนประกอบรอง ได้แก่ ออกไซด์ของโซเดียม (Na_2O) ออกไซด์ของโปตัสเซียม (K_2O) ออกไซด์ของแมกนีเซียม (MgO) และออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_3) โดยมีค่าเท่ากับ 2.39 3.04 3.30 5.03 ตามลำดับ โดยมีผลรวมของออกไซด์ของซิลิกอน ออกไซด์ของอลูมิเนียม และออกไซด์ของเหล็ก ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$) เท่ากับร้อยละ 66.58 โดยน้ำหนัก มากกว่ามาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ASTM C618-96 ชั้นคุณภาพ C ซึ่งกำหนดไว้ร้อยละ 50 แต่น้อยกว่าชั้นคุณภาพ F และ N ซึ่งกำหนดไว้อย่างน้อยร้อยละ 70

เนื่องจากออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) และออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วได้เป็นสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$) ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$) และเทตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) และเมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้วได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_23H_2O$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวเนื้อคอนกรีต เพิ่มกำลังของคอนกรีต ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเป็นสารที่เหลือจากปฏิกิริยาที่มีมีสภาพเป็นด่างแทรกอยู่ในช่องว่างของคอนกรีต แต่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) และออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเถ้าลอยลิกไนต์ และปูนซีเมนต์ ดังนั้นเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจึงทำให้ได้กำลังรับแรงอัดน้อยเมื่อนำไปผสมกับปูนซีเมนต์

ความชื้น และการสูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI)

ความชื้น และการสูญเสียเนื่องจากการเผาหากมีอยู่ในปริมาณที่สูงจะทำให้คุณภาพของเถ้าลอยด้อยลง ตามมาตรฐาน ASTM C311 กำหนดให้ทดสอบปริมาณความชื้น โดยการเผาจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส และทดสอบหา LOI ตามมาตรฐาน ASTM C114 โดยการเผาตัวอย่างเดิมที่ใช้ทดสอบปริมาณความชื้นที่ 750± 50 องศาเซลเซียสด้วยถ้วยกระเบื้องดินขาวเผา (porcelain) ตามมาตรฐาน ASTM C618 ระบุปริมาณความชื้นให้ได้ไม่เกินร้อยละ 3 โดย LOI ส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน (carbon) คาร์บอเนต (carbonate) และน้ำในโครงสร้าง (combined water) ของธาตุดินเหนียวที่หลงเหลืออยู่ มาตรฐาน ASTM C618 ระบุปริมาณ LOI ไว้ไม่เกินร้อยละ 6 เนื่องจากโดยทั่วไปเถ้าลอยแคลเซียมต่ำจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ1) และเถ้าลอยแคลเซียมสูงจะมีปริมาณคาร์บอนสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 10 ปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ เนื่องจากทำให้เถ้าลอยมีลักษณะเป็นรูพรุน (porous) พื้นที่ผิวสูงทำให้สามารถดูดน้ำได้มาก และทำให้ความต้องการน้ำของเถ้าลอยสูงขึ้น นอกจากนี้ยัง

สามารถดูดซับสารเคมีผสมเพิ่ม (chemical admixture) ได้มาก ทำให้ต้องใช้สารเคมีผสมเพิ่มมากขึ้น (ปริญญา, 2547)

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาในเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.40 11.6 และ1.03 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในปูนซีเมนต์ ASTM C618-96 เถ้าลอยลิกไนต์ผ่านมาตรฐานแต่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มไม่ผ่านมาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์มีออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) และออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) ในปริมาณมากพอสมควร สำหรับเถ้าลอยเส้นใยปาล์มการที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) และออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น อาจเป็นสาเหตุทำให้มีกำลังรับแรงอัดเมื่อนำไปผสมคอนกรีตต่ำ

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากการศึกษานี้กับผลการศึกษาของกฤษณ์ (2545) พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ของการศึกษานี้มีค่า Al_2O_3 ต่ำกว่าแต่มีค่า CaO และ SO_3 สูงกว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากการศึกษาของกฤษณ์ ร้อยละ 38.9 34.1 และ 53.3 ตามลำดับ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของถ่านหินที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเผาแตกต่างกัน หรือมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเผาไหม้ ส่วนสารประกอบอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากการศึกษานี้ พบว่า ค่าส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของกฤษณ์ยกเว้นค่า LOI ซึ่งการศึกษานี้ พบว่า มีค่าสูงกว่าร้อยละ 26.1 เนื่องจากอาจเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ตลอดจนอาจมีวัสดุชนิดอื่นปะปนไปในการเผาจึงทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่ม

จากตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มกับมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ พบว่า ตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ ASTM C618-96 เถ้าลอยลิกไนต์จัดอยู่ชั้นคุณภาพ C ได้ แต่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มไม่สามารถจัดอยู่ในชั้นคุณภาพใดๆ ได้ เนื่องจากมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาสูงเกินมาตรฐาน เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ และจำเป็นที่จะช่วยให้ความแข็งแรงแก่คอนกรีตน้อยกว่าเถ้าลอยลิกไนต์อาจเป็นสาเหตุทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำ เมื่อนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มไปผสมคอนกรีต เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกา (SiO_2) ซึ่งคล้ายกับทรายจึงคิดว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มน่าจะนำมาใช้แทนทรายได้

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	เถ้าลอยลิกไนต์ *	เถ้าลอยลิกไนต์	เถ้าลอยเส้นใยปาล์*	เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1**
SiO_2	35.43	35.08	59.16	52.78	41.45	21.14
Al_2O_3	28.27	17.26	1.90	1.23	-	5.52
CaO	11.92	18.09	8.00	11.80	35.84	65.93
Fe_2O_3	14.57	14.24	1.19	1.53	3.63	3.25
Na_2O	-	2.39	0.07	0.19	-	0.10
K_2O	2.48	3.04	7.64	6.20	10.47	0.37
SO_3	2.35	5.03	2.99	0.57	1.07	2.48
MgO	2.13	3.30	4.13	6.71	1.29	1.41
Cl	-	-	1.29	0.08	0.69	-
P_2O_5	-	0.23	4.74	6.80	4.74	-
TiO_2	0.38	0.49	0.08	0.11	-	-
MnO	0.11	0.13	0.13	0.20	0.32	-
CuO	0.05	-	0.05	0.05	0.13	-
SrO	0.09	0.10	0.09	0.04	0.19	-
ZrO_2	-	0.02	-	0.01	-	-
ZnO	0.01	0.02	0.01	0.03	0.11	-
Rb	-	-	0.02	0.02	0.07	-
BaO	-	0.17	-	-	-	-
PbO	0.04	-	0.04	-	-	-
LOI	-	0.40	8.57	11.6	-	1.03
รวม	100	100	100	100	100	100

ที่มา : * กฤษณ์, 2545

** สมนึก, 2541

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม กับมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ (ASTM C618-96)

สมบัติ	ชั้นคุณภาพ N	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C	เถ้าลอยลิกไนต์	เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ร้อยละ	70.0	70.00	50.00	66.58	67.34
SO_3 มากที่สุดร้อยละ	4.0	5.00	5.00	5.03	0.57
ปริมาณความชื้นมากที่สุด ร้อยละ	3.0	3.00	3.00	-	-
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ มากที่สุดร้อยละ	10.0	6.00	6.00	0.40	11.60

4.1.3 ส่วนประกอบทางแร่

ส่วนประกอบทางแร่ซึ่งแสดงในรูปผลึก (Crystalline phase) ของเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี X-ray Diffraction (XRD) แสดงในรูปที่ 4.2-4.4 ตามลำดับ

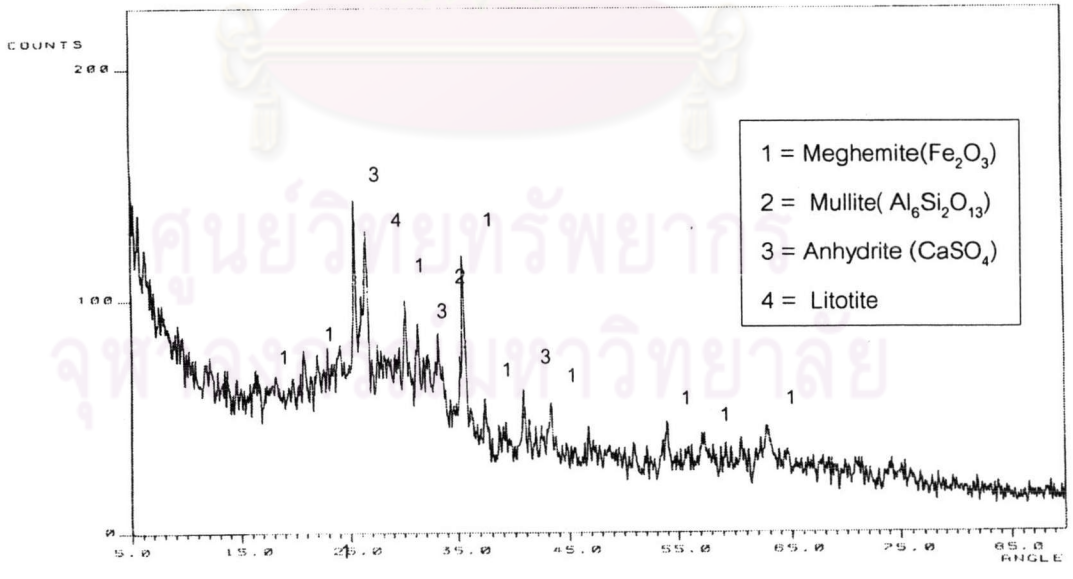
การวิเคราะห์รูปแบบของสารประกอบในเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม โดยใช้เครื่อง X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) เพื่อทำการศึกษาว่าเถ้าลอยทั้งสองชนิดมีรูปแบบของสารประกอบเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous Phase) หรือเป็นแบบควอทซ์ (Crystalline Phase) ถ้าวัสดุมีสารประกอบเป็นแบบอสัณฐานผลการวิเคราะห์โดย XRD จะมีลักษณะเป็นเนินไม่มีจุดสูงสุด (Peak) โดยปริมาณสารประกอบอสัณฐานในวัสดุสามารถทราบได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ส่วนสารประกอบแบบควอทซ์ผลการวิเคราะห์จะมีลักษณะแหลมสูงมีจุดสูงสุดอย่างเห็นได้ชัดเจน

รูปที่ 4.2 ผลจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าลอยลิกไนต์ โดยพบส่วนประกอบสำคัญ คือ Meghemite (Fe_2O_3) Mullite ($Al_6Si_2O_{13}$) Anhydrite ($CaSO_4$) และ Liotite สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ไม่เด่นชัดโดยมีบางส่วนอยู่ในรูปของสารอสัณฐาน ทั้งนี้สามารถสังเกตได้จากเส้นฐานของกราฟ (Baseline) ในช่วงระหว่างมุม 2θ เท่ากับ 15 องศาถึง 40 องศามีลักษณะเป็นเนินเขาซึ่งเป็นรูปของสารอสัณฐาน โดย Zhang และคณะ (1995) พบว่า วัสดุที่จะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้แทนที่หรือผสมเพิ่มในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น ควรมีสารประกอบจำพวกซิลิกา และอลูมินา และจะต้องอยู่ในรูปอสัณฐานซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในเวลาต่อมา

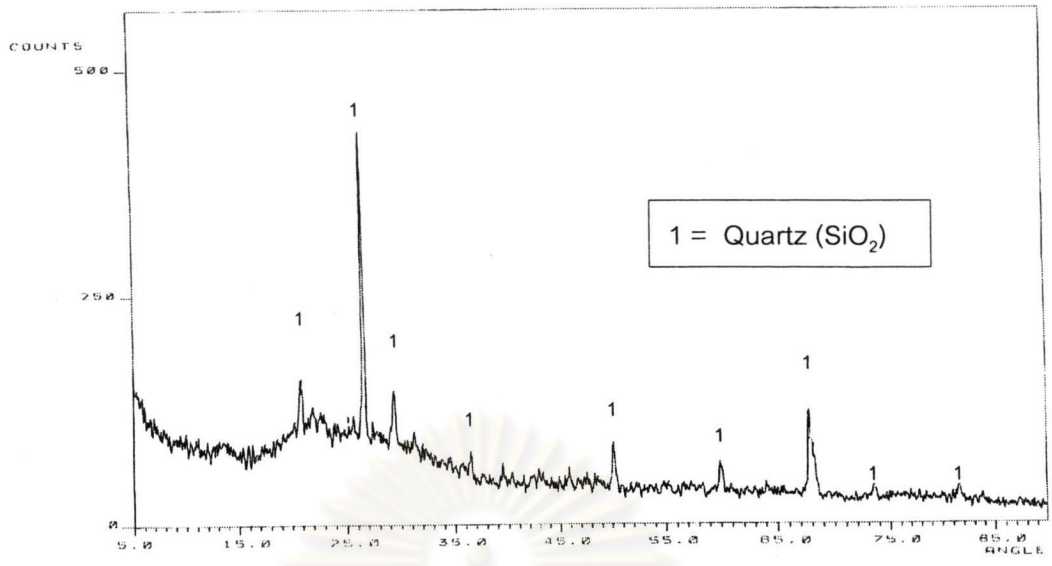
รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม พบว่าสารประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (SiO_2) ซึ่งอยู่ในรูปของ Quartz ทั้งนี้สังเกตได้จากส่วนที่เป็นยอดแหลม และมีส่วนประกอบบางส่วนอยู่ในรูปอสัณฐานทั้งนี้สามารถสังเกตได้จากเส้นฐานของกราฟ (Baseline) ที่อยู่ในช่วงมุมระหว่าง 2θ เท่ากับ 15 องศาถึง 37 องศา มีลักษณะเป็นเนิน เนื่องจากสารประกอบส่วนใหญ่เป็นควอทซ์ ดังนั้นเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจึงมีสารประกอบเช่นเดียวกับทรายจึงน่าจะมีสมบัติคล้ายทรายด้วย คือ เป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน

รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเมื่อผ่านการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าสารประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (SiO_2) ซึ่งอยู่ในรูปของ Quartz เช่นเดียวกับที่พบในเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ไม่เด่นชัด โดยมีบางส่วนอยู่ในรูปของสารอสัณฐาน โดยพบว่ามีลักษณะเป็นเนิน โดยปรากฏที่ตำแหน่งระหว่าง 2θ เท่ากับ 10 องศาถึง 14 องศา เนื่องจากสารประกอบส่วนใหญ่เป็นควอทซ์ ดังนั้นเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ผ่านการเผาจึงน่าจะเป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานด้วย

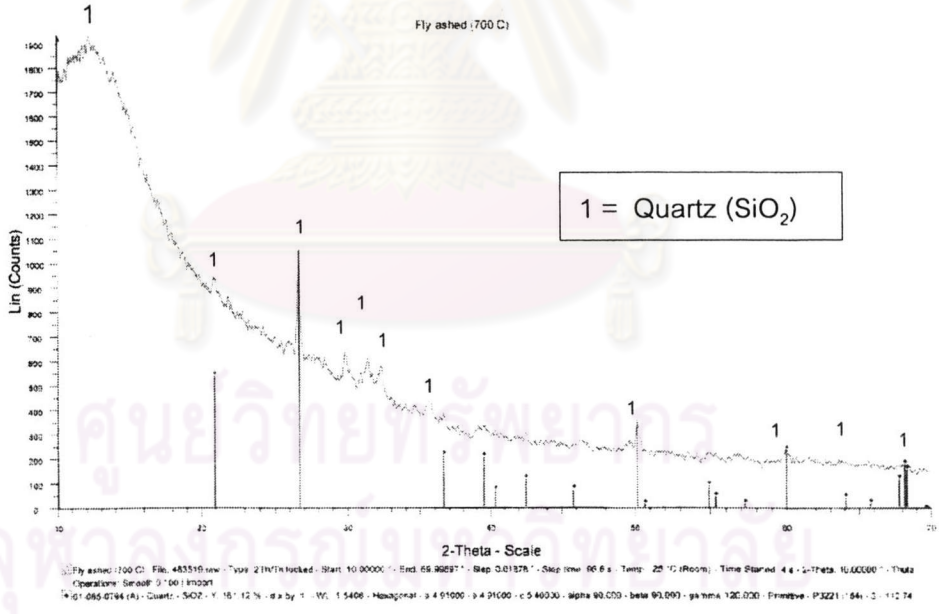
แม้ว่าพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ในเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะมีค่าต่างกัน แต่ก็พอที่จะประมาณได้ว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผานั้นมีส่วนประกอบที่อยู่ในรูปอสัณฐานมากกว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ดังนั้นจึงอาจเข้าใจได้ว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาน่าจะมีสมบัติทางแร่ที่ช่วยให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมมอร์ตา



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของเถ้าลอยลิกไนต์



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การศึกษาการแทนที่ทรายของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์ในมอร์ตา

4.2.1 สมบัติของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม

4.2.1.1 สมบัติของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม

1) ผลของปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มต่อกำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม พบว่า มอร์ตาธรรมดามีกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน เท่ากับ 165 206 259 และ 283 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนมอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามอร์ตาธรรมดาทุกอัตราการแทนที่ และทุกอายุการบ่ม โดยมอร์ตา OPA 5 OPA 10 OPA 15 และ OPA 20 มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 240 183 157 และ 151 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ แสดงว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่ออัตราการแทนที่มากขึ้น สาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาลดต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มนั้น เนื่องมาจากเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผา (LOI) สูง อนุภาคมีความพรุนสูง และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีส่วนประกอบทางเคมีที่ไม่เหมาะสมในการช่วยให้กำลังรับแรงอัดทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของอัลคาไลน์ได้แก่ ออกไซด์ของโปตัสเซียม (K_2O) และออกไซด์ของฟอสฟอรัส (P_2O_5) อยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงซึ่งออกไซด์ของสาร 2 ตัวนี้และออกไซด์ของโซเดียม (Na_2O) มักนิยมเรียกว่าอัลคาไลน์ซึ่งปกติจะไม่ต้องการให้มีในปริมาณมากสำหรับสารที่จะใช้เป็นสารผสมเพิ่มผสมกับปูนซีเมนต์ (Kumar,1993) อีกทั้งออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) ก็มีน้อยจึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดในระยะเริ่มต้นต่ำด้วย ออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในการให้กำลังรับแรงอัดก็มีปริมาณน้อย และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มก็ไม่จัดเป็นสารปอซโซลานตามข้อกำหนด ASTM C618 เมื่อนำไปผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อหล่อเป็นก้อนมอร์ตาจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

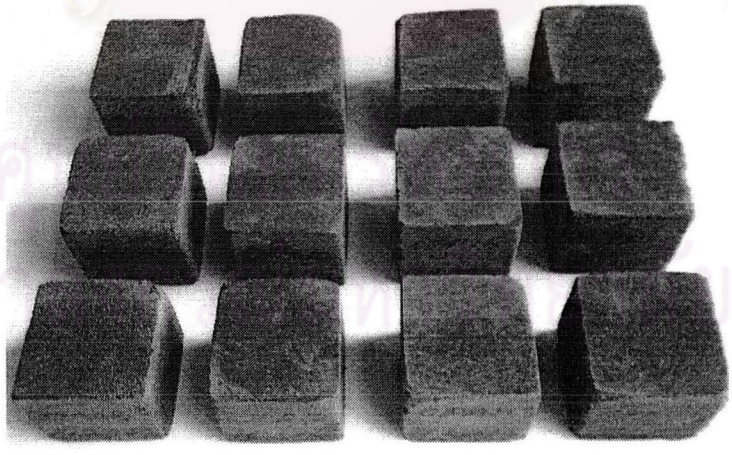
ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	165	206	259	283
OPA 5	138	185	218	240
OPA 10	114	153	169	183
OPA 15	95	129	149	157
OPA 20	77	111	134	151

หมายเหตุ : OPC คือ มอร์ตาธรรมดา

OPAX คือ มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ปริมาณร้อยละ X โดยน้ำหนัก

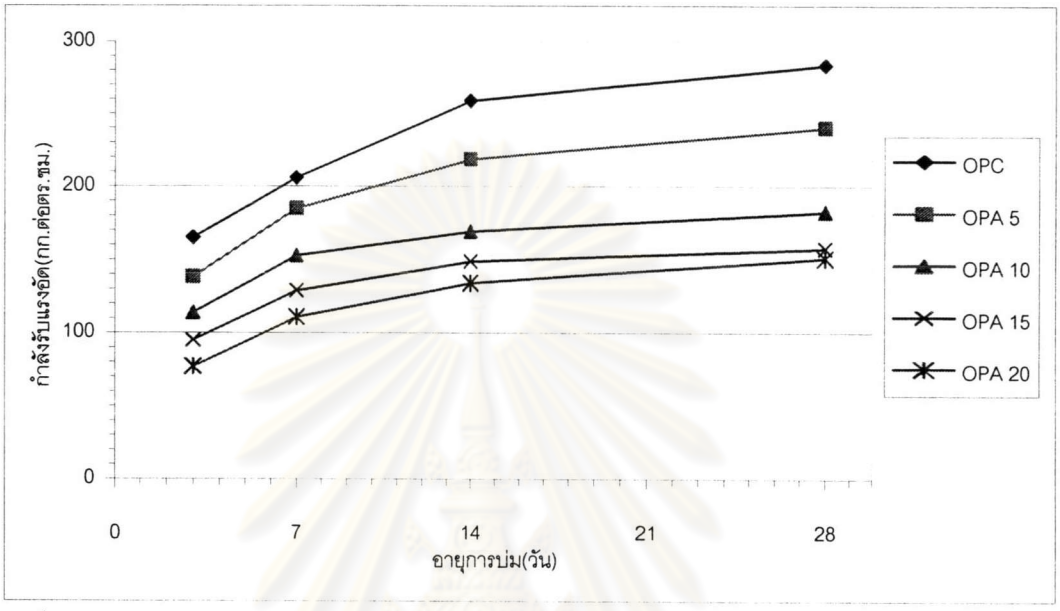
รูปที่ 4.5 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร เมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณที่ต่างกัน เมื่อสังเกตดูจะพบว่าลักษณะไม่แตกต่างจากมอร์ตาธรรมดา แต่จะมีความแตกต่างกัน คือ มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจะมีสีเทาเข้ม บางก้อนมีสีเทาดำ และผิวมีรูพรุนเล็กๆ กระจายอยู่ทั่ว



OPA 5 OPA 10 OPA 20 OPA20

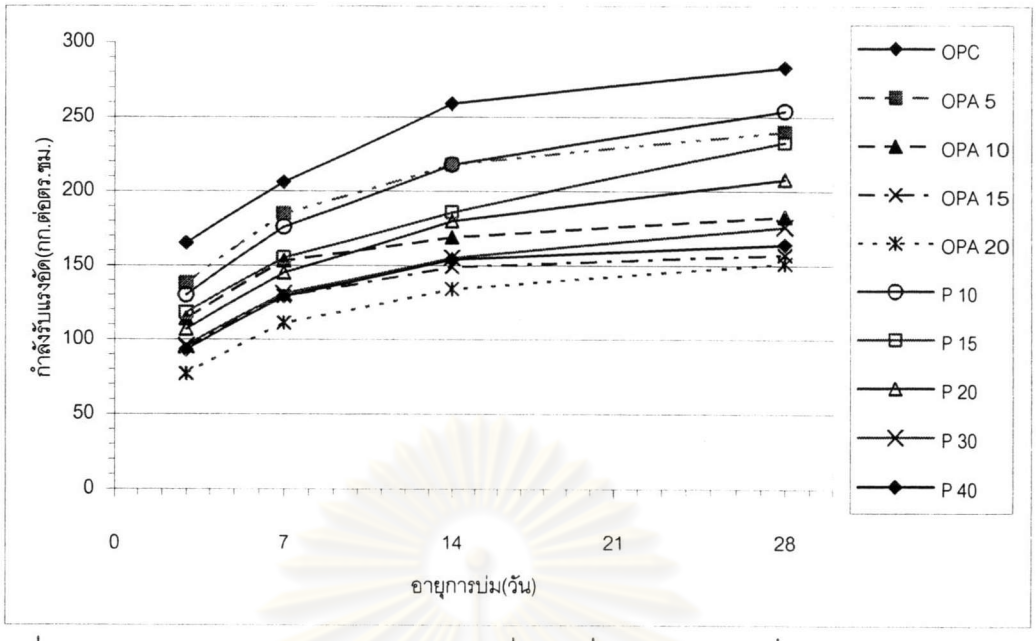
รูปที่ 4.5 มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.6 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ ซึ่งจะพบว่า มอร์ตาเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมากขึ้นกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาจะลดลงทุกปริมาณการแทนที่ และจะต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดาเสมอทุกอายุการบ่ม และกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.7 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อมีการแทนที่ทราย และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ โดยนำมาแสดงร่วมกับผลการศึกษาของกฤษณ์ จารุทะวัย (2545) ซึ่งการใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ10 15 20 30 และ40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า การใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์หรือแทนที่ทรายนั้น จะทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาลดลงเสมอ ยิ่งมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในส่วนผสมมากยิ่งทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำมาก



รูปที่ 4.7 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทราย และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ : OPAX คือ มอร์ตา โดยแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเท่ากับร้อยละ X โดยน้ำหนัก

PX คือ มอร์ตา โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเท่ากับร้อยละ X โดยน้ำหนักเป็นการศึกษาของกฤษณ์ จารุทะวัย (2545)

2) ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตา เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดากับปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มสามารถดูได้จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่าทุกอายุการบ่ม และทุกปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาธรรมดา

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของกำลังรับแรงอัด (%)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	100	100	100	100
OPA 5	83.6	89.8	84.2	84.8
OPA 10	69.1	74.3	65.2	64.7
OPA 15	57.6	62.6	57.5	55.5
OPA 20	46.7	53.9	51.7	53.4

3) ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม

ความหนาแน่นแห้งนั้นจะทำการทดลองตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 เรื่อง ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยจะนำมอร์ตาที่ทำการทดลองมาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปวัดขนาดหาปริมาตร ชั่งน้ำหนัก และคำนวณความหนาแน่นแห้ง จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มโดยการแทนที่ทรายนั้น เมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในส่วนผสมมากขึ้น จะทำให้มีความหนาแน่นแห้งลดลง มอร์ตามีความหนาแน่นแห้งอยู่ในช่วง 1.447-1.540 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่ปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะได้มอร์ตาที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำสุด คือ 1.447 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นแห้งต่ำอาจเนื่องมาจากเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีความถ่วงจำเพาะที่ต่ำอยู่แล้ว และเมื่อนำไปใช้แทนที่ทรายในหล่อมอร์ตา จึงทำให้ได้มอร์ตาที่มีความหนาแน่นต่ำไปด้วย

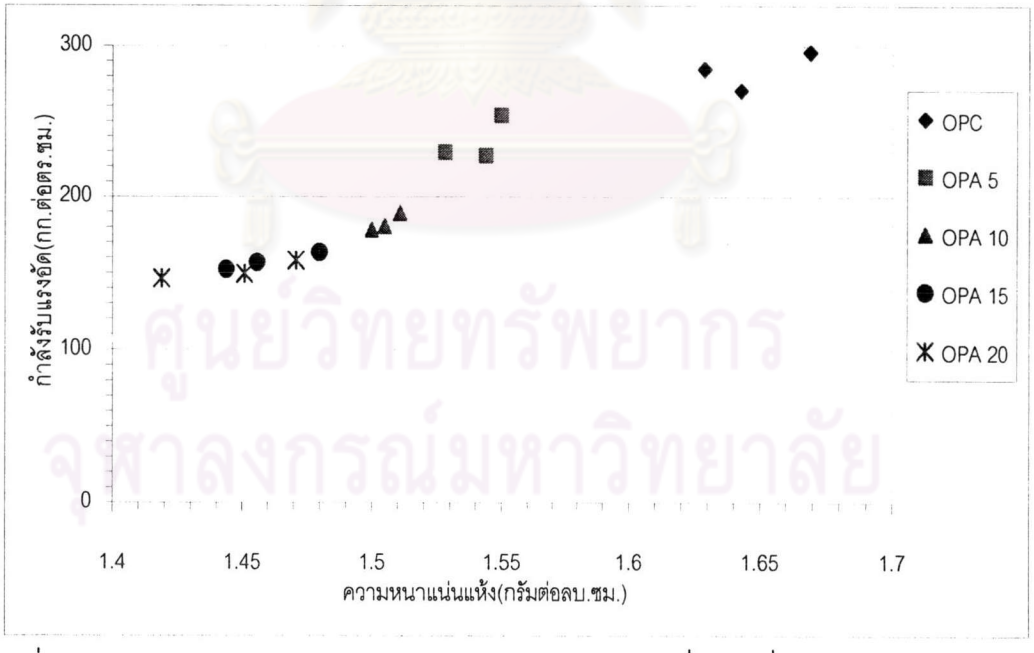
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
OPA 5	1.528	1.544	1.550	1.540
OPA 10	1.500	1.505	1.511	1.505
OPA 15	1.444	1.456	1.480	1.460
OPA 20	1.419	1.451	1.471	1.447

4) กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม

จากรูปที่ 4.8 พบว่า มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มทำให้ได้กำลังรับแรงลดลง และความหนาแน่นแห้งลดลงด้วย โดยการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ได้กำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ คือ มีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.8 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.2 สมบัติของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด

1) ผลของปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดต่อกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.9 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ผ่านการนำไปบด พบว่า เมื่อเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีความละเอียดมากขึ้น สามารถทำให้มอร์ตามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นโดยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตา OPM 5 OPM 10 OPM 15 และ OPM 20 มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 254 196 169 และ157 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของมอร์ตาเมื่อเทียบกับมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเกิดจากการที่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดมีขนาดอนุภาคเล็กลงมีความละเอียดมากขึ้น ทำให้สามารถแทรกอุดช่องว่างระหว่างซีเมนต์เพสต์ได้ดีขึ้นส่งผลให้มอร์ตามีเนื้อแน่น และอาจเกิดปฏิกิริยาดีขึ้นกำลังรับแรงอัดจึงสูงขึ้นด้วย

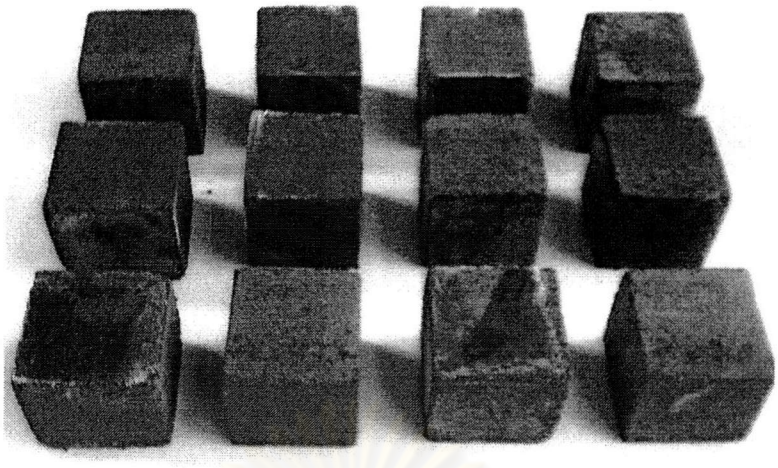
ตารางที่ 4.9 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	165	206	259	283
OPM 5	152	193	237	254
OPM 10	124	164	182	196
OPM 15	106	142	160	169
OPM 20	83	116	147	157

หมายเหตุ : OPC คือ มอร์ตาธรรมดา

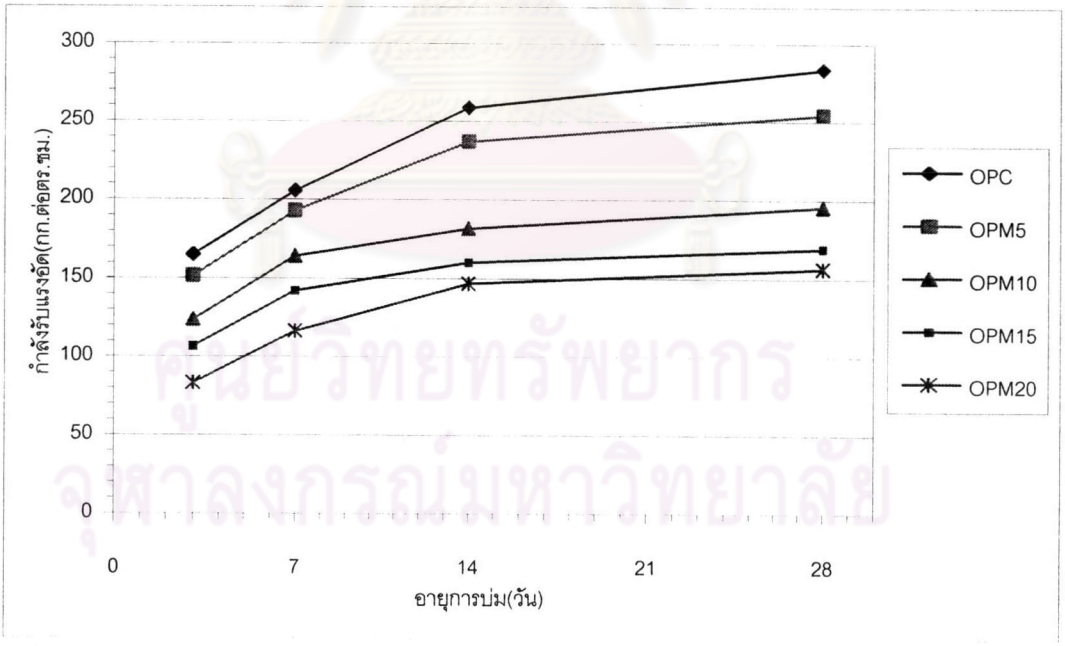
OPMX คือ มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดร้อยละ X โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.9 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร เมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆกัน เมื่อสังเกตดูจะพบว่าลักษณะไม่แตกต่างจากมอร์ตาธรรมดาจะมีความแตกต่างกัน คือ มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจะมีสีเทาดำจนถึงดำ



รูปที่ 4.9 มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.10 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ ซึ่งจะพบว่า มอร์ตาเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมากขึ้น กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาจะลดลงทุกปริมาณการแทนที่ และจะต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดาเสมอ ทุกอายุการบ่มและกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด ในปริมาณต่างๆ

2) ร้อยละของกำลังรับแรงอัดเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตากับปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มสามารถดูได้จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่าทุกอายุการบ่ม และทุกปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดา

ตารางที่ 4.10 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาธรรมดา

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของกำลังรับแรงอัด (%)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	100	100	100	100
OPM 5	92.1	93.7	91.5	89.8
OPM10	75.2	79.6	70.3	69.3
OPM15	64.2	68.9	61.8	59.7
OPM 20	50.3	56.3	56.8	55.5

3) ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด

ความหนาแน่นแห้งนั้นจะทำการทดลองตามมาตรฐานมอก. 1505-2541 จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดจะมีความหนาแน่นแห้งลดลง เมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในส่วนผสมมาก พบว่า มอร์ตามีความหนาแน่นแห้งอยู่ในช่วง 1.478 -1.614 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่ปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะได้มอร์ตาที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำสุด คือ 1.478 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

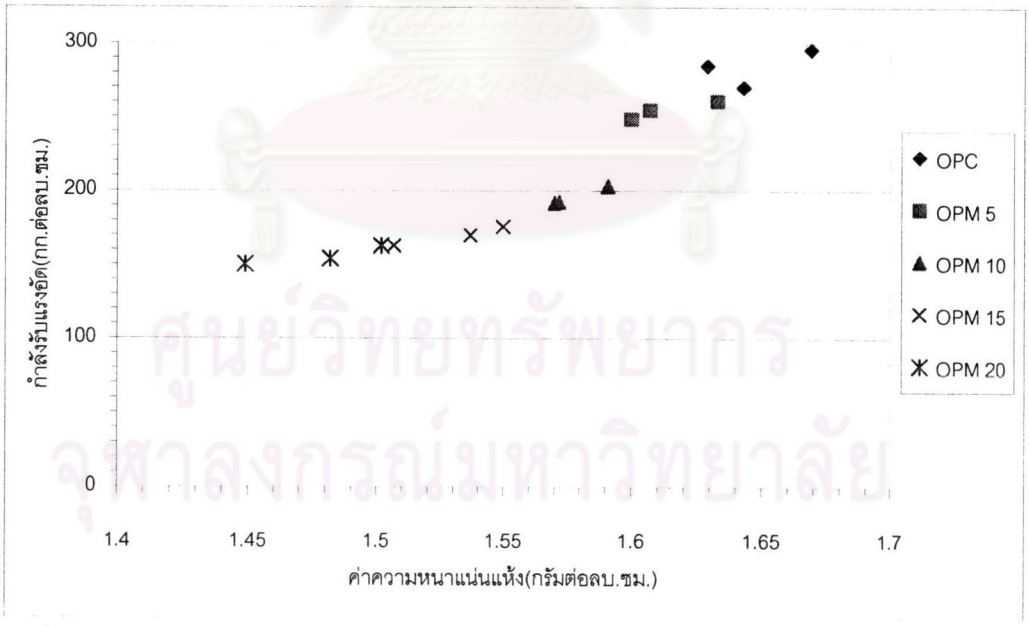
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
OPM 5	1.600	1.607	1.633	1.614
OPM 10	1.570	1.572	1.591	1.578
OPM 15	1.507	1.537	1.550	1.531
OPM 20	1.449	1.482	1.502	1.478

4) กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด

จากรูปที่ 4.11 พบว่า มอร์ตาเมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดจะทำให้ได้กำลังรับแรงอัดลดลง และความหนาแน่นแห้งลดลงด้วย โดยการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 10 โดยน้ำหนัก ได้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 4.11 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.3 สมบัติของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา

1) ผลของปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาต่อกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.12 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ผ่านการนำไปเผา พบว่า มอร์ตาจะมีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่ามอร์ตาธรรมดาทุกปริมาณการแทนที่และทุกอายุการบ่ม มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยมอร์ตา OPB 5 OPB 10 OPB 15 และOPB 20 ที่อายุ 28 วันมีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 279 210 180 และ 171 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ สาเหตุที่กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดนั้นเนื่องมาจากการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากเผาลดลง โดยคาร์บอนจะถูกเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นมีผลทำให้ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเป็นผลช่วยทำให้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น และกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น (Kumar,1993)

ตารางที่ 4.12 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

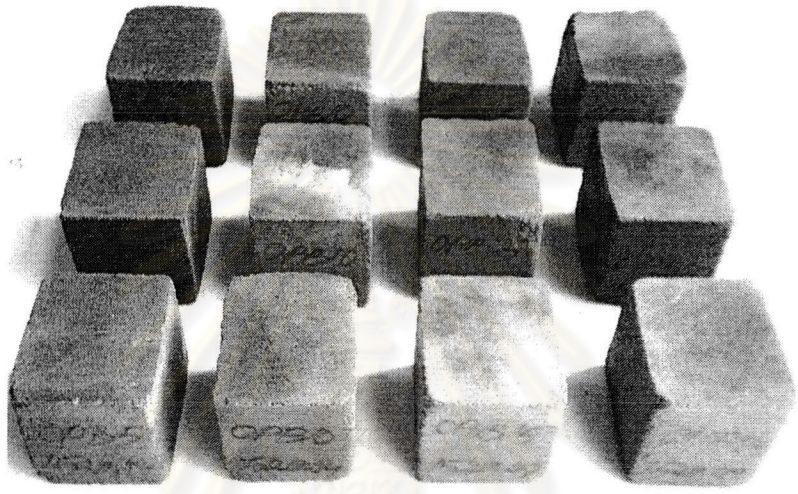
ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	165	206	259	283
OPB 5	156	196	260	279
OPB10	130	179	199	210
OPB15	107	146	164	180
OPB 20	86	125	153	171

หมายเหตุ : OPC คือ มอร์ตาธรรมดา

OPBX คือ มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาร้อยละ X โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.12 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร เมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ กัน เมื่อสังเกตดู จะพบว่าลักษณะของ

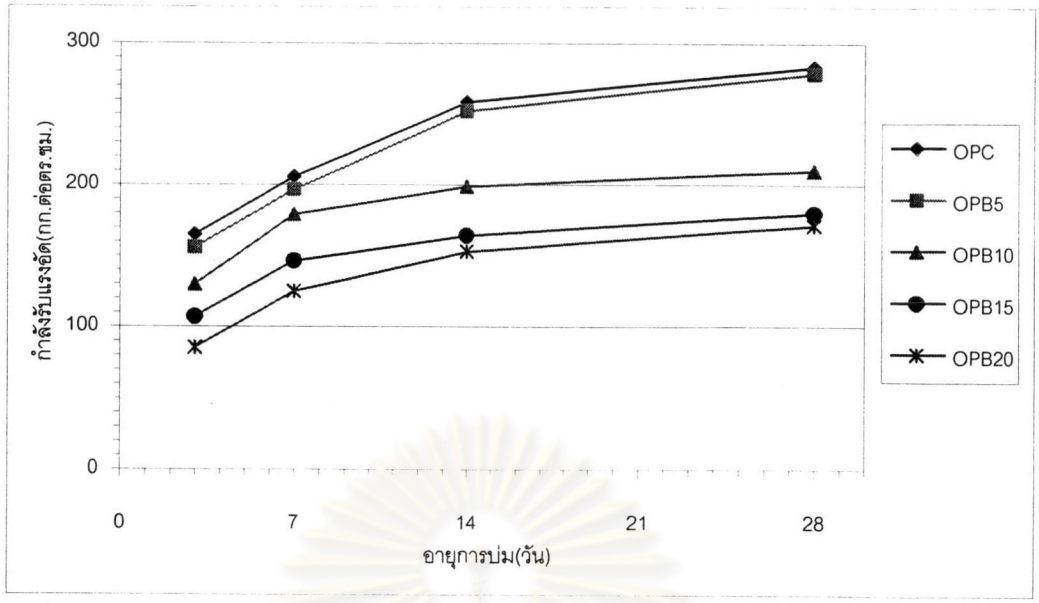
มอร์ตาที่เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะมีสีขาวเทา เนื้อมีความเรียบกว่ามอร์ตาแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มทั้ง 3 ประเภท เนื้อมีการยึดเกาะกันดีกว่ามอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด สีขาวเกิดจากสีของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มซึ่งผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง 700 องศาเซลเซียส ทำให้ได้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่มีสมบัติในการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ดีขึ้นกว่าเดิม คือ มีการจับตัวกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดีขึ้นกว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม



OPB 5 OPB 10 OPB 15 OPB 20

รูปที่ 4.12 มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.13 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งจะพบว่า มอร์ตาเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามากขึ้นกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาจะลดลงทุกปริมาณการแทนที่ และจะต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดาเสมอทุกปริมาณการแทนที่ และกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาอนุภาคมีขนาดเล็ก ส่วนประกอบทางเคมีก็เปลี่ยนไปจากเดิม และการสูญเสียเนื่องจากการเผา (LOI) ก็ลดลง ส่วนประกอบทางแร่ก็เปลี่ยนไปโดยพบว่า มีสารประกอบในรูปอสัณฐานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจากส่วนประกอบทางเคมีและส่วนประกอบทางแร่ที่เปลี่ยนไปนี้อาจมีส่วนที่ช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 4.13 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ

2) ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตา เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตากับปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา สามารถดูได้จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ซึ่งพบว่า ทุกอายุการบ่ม และทุกปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดา

ตารางที่ 4.13 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาธรรมดา

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของกำลังรับแรงอัด (%)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	100	100	100	100
OPB 5	94.5	95.1	97.5	98.6
OPB 10	78.8	86.9	76.8	74.2
OPB 15	64.8	70.9	63.3	63.6
OPB 20	52.1	60.7	59.1	60.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา

ความหนาแน่นแห้งนั้นจะทำการทดลองตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะมีความหนาแน่นแห้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ทรายที่ร้อยละ 5 ถึง 20 พบว่า มอร์ตามีความหนาแน่นแห้งอยู่ในช่วง 1.501-1.608 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่ปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะได้มอร์ตาที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำสุด คือ 1.501 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

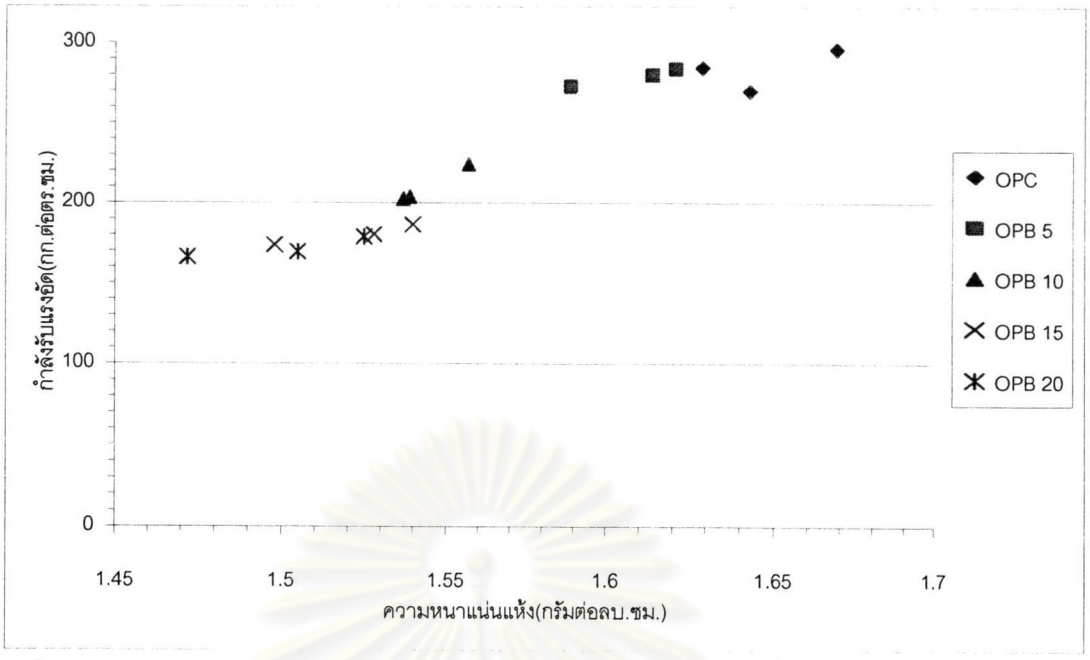
ตารางที่ 4.14 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
OPB 5	1.589	1.614	1.621	1.608
OPB 10	1.537	1.539	1.557	1.544
OPB 15	1.498	1.528	1.540	1.522
OPB 20	1.472	1.505	1.525	1.501

4) กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา

จากรูปที่ 4.14 พบว่า มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาทำให้ได้กำลังรับแรงลดลง และความหนาแน่นแห้งลดลงด้วย โดยการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 10 โดยน้ำหนัก ได้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ

4.2.2 สมบัติของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

4.2.2.1 ผลของปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ต่อกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดในการทดลองนี้ จะทำการทดลองโดยทำการหล่อก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 ทำการทดลองตามมาตรฐาน ASTM 109-96 โดยจะมีการเปลี่ยนปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมมอร์ตาโดยแทนที่ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เพื่อดูผลต่อกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น หลังจากนั้นนำก้อนมอร์ตาไปทำการบ่มด้วยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 3 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ และนำไปทดสอบหากำลังรับแรงอัด

จากผลการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า ที่อายุการบ่ม 3 วัน มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงแรก และมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดา เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาธรรมดาทุกปริมาณการแทนที่ และพบว่า ที่อายุการบ่ม 28 วัน มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้มอร์ตาที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 539 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากกำลังรับ

แรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยที่อายุการบ่มน้อยจะลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาในช่วงต้นเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่ออายุการบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานจึงจะเกิดมากขึ้น(ปริญญา,2547) และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะดีขึ้น เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย สำหรับส่วนผสมที่มีเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากเกินไป กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยสามารถพัฒนาได้ดีและสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ที่มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอย คือ อัตราส่วนออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ต่อออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) ในปูนซีเมนต์จะมีปริมาณออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) อยู่น้อยในขณะที่ในเถ้าลอยจะมีซิลิกามากกว่า ดังนั้นในส่วนผสมคอนกรีตถ้ามีอัตราส่วนออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ต่อออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) สูงมีค่ามากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้ $Ca(OH)_2$ ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) เป็นผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดต่ำลง และในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ต่อออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) น้อยเกินไป ปริมาณออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ก็จะไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาปอซโซลาน กำลังรับแรงอัดก็จะไม่พัฒนาในระยะยาว (สมนึก,2542) ปกติปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า โดยเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยาเพียงร้อยละ 3.5 7.0 และ15.5 ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 90 วัน ตามลำดับ (ปริญญา,2547)

จากการสังเกตในขณะทำการทดลองหล่อมอร์ตา เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีส่วนช่วยให้ส่วนผสมมีความเหนียวลื่นที่ดีมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นแต่มีบางส่วนผสมที่ทำให้มอร์ตามีการแตกร้าว และเนื้อของมอร์ตาเกิดแยกตัวเมื่อมีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมมากเกินไป

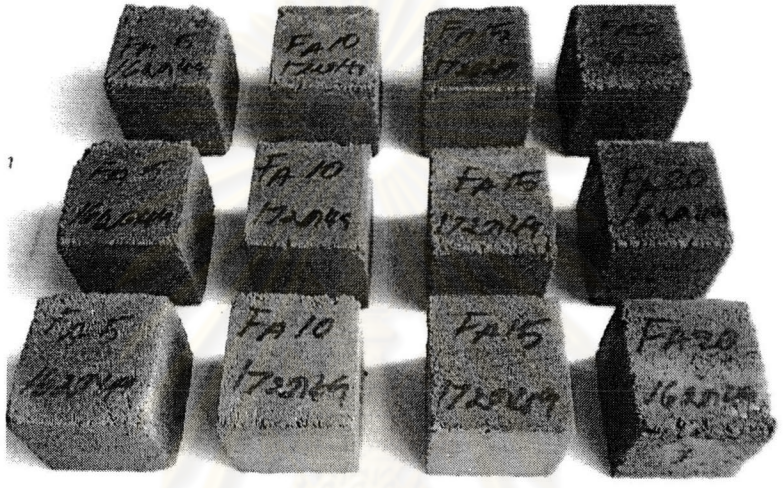
ตารางที่ 4.15 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	165	206	259	284
FA 5	142	218	283	330
FA 10	135	230	327	361
FA 15	130	320	421	539
FA 20	122	279	397	490

หมายเหตุ : OPC คือ มอร์ตาธรรมดา

FAX คือ มอร์ตาแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ X โดยน้ำหนัก

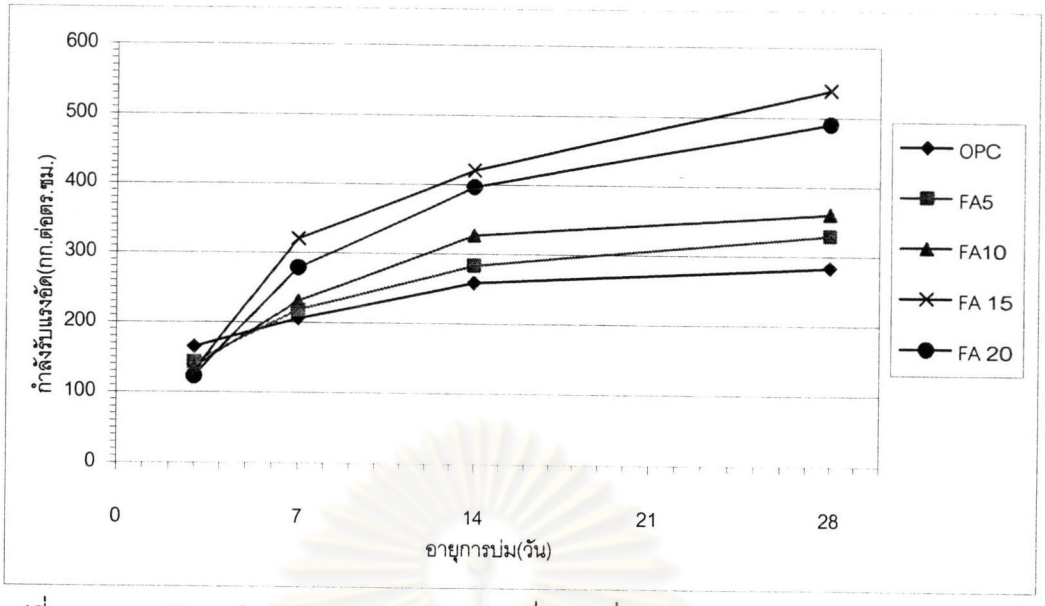
รูปที่ 4.15 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ กัน เมื่อสังเกตดูจะพบว่า มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์จะมีสีขาวเทาปนน้ำตาล และผิวมีรูพรุนเล็กๆ กระจายอยู่ทั่ว แต่เมื่อใช้มือสัมผัสดูจะรู้สึกว่าผิวเรียบ และเนื้อทึบแน่นกว่ามอร์ตาธรรมดา



รูปที่ 4.15 มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.16 แสดงกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ พบว่า มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ กัน ในช่วงแรกกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาจะต่ำกว่ามอร์ตาธรรมดา แต่กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ

4.2.2.2 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตากับปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์สามารถดูได้จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งพบว่า ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 116.2 109.4 135.7 และ 110.0 ของมอร์ตาธรรมดา ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 7 วัน เป็นต้นไป มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น และสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดาทุกปริมาณการแทนที่

ตารางที่ 4.16 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์เปรียบเทียบกับมอร์ตาธรรมดา

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของกำลังรับแรงอัด (%)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	100	100	100	100
FA 5	86.1	105.8	109.3	116.2
FA 10	95.1	105.5	115.5	109.4
FA 15	96.3	121.3	121.4	135.7
FA 20	93.8	114.7	106.0	110.0

4.2.2.3 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

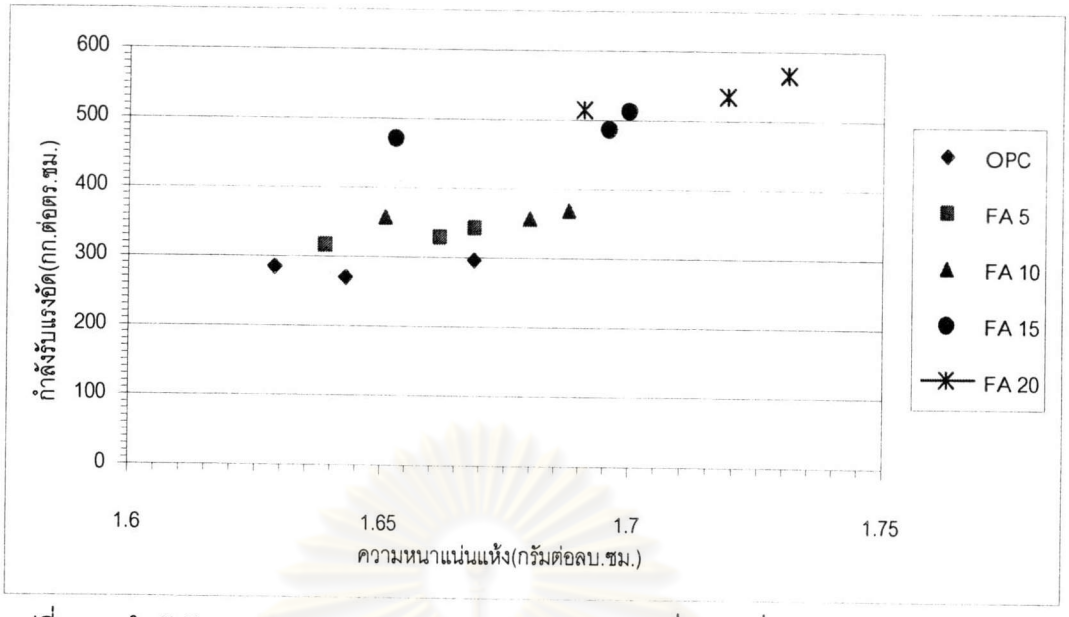
สำหรับความหนาแน่นแห้งจะทำการทดลองโดยใช้วิธีตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยจะนำมอร์ตาที่ทำการทดลองมาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปวัดขนาดหาปริมาตร ชั่งน้ำหนัก และคำนวณความหนาแน่นแห้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่า มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ได้ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.657-1.731 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงร้อยละ 5-20 ในส่วนผสมมีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ดังนั้น เมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้แทนที่ทรายอนุภาคจึงอัดตัวกันแน่นมาก ช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงมีขนาดเล็ก ความหนาแน่นจึงเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.17 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
FA 5	1.639	1.662	1.669	1.657
FA 10	1.680	1.651	1.688	1.673
FA 15	1.653	1.696	1.700	1.683
FA 20	1.691	1.719	1.731	1.713

4.2.2.4 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

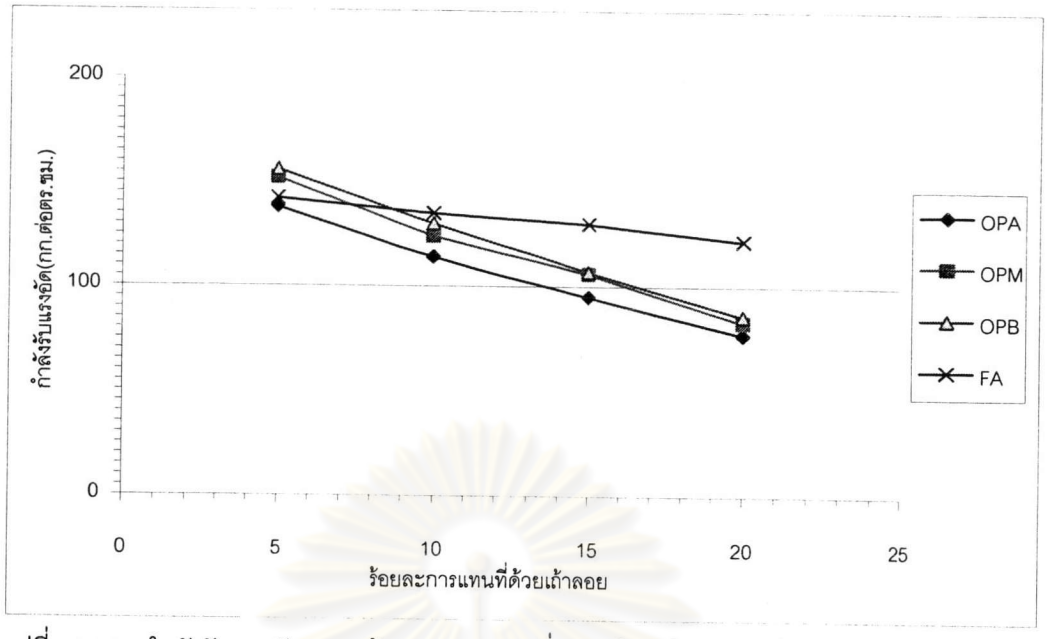
จากรูปที่ 4.17 พบว่า มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ได้มอร์ตาที่มีกำลังรับแรงอัดที่สูง และความหนาแน่นแห้งก็มากด้วย จะสังเกตเห็นว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์มีกำลังรับแรงอัดมากกว่ามาตรฐาน มอก.57 เรื่องคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก และมอก.58 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักกำหนดทุกปริมาณการแทนที่ ในขณะความหนาแน่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.657-1.713 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 4.17 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์

4.2.3 เปรียบเทียบสมบัติกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์

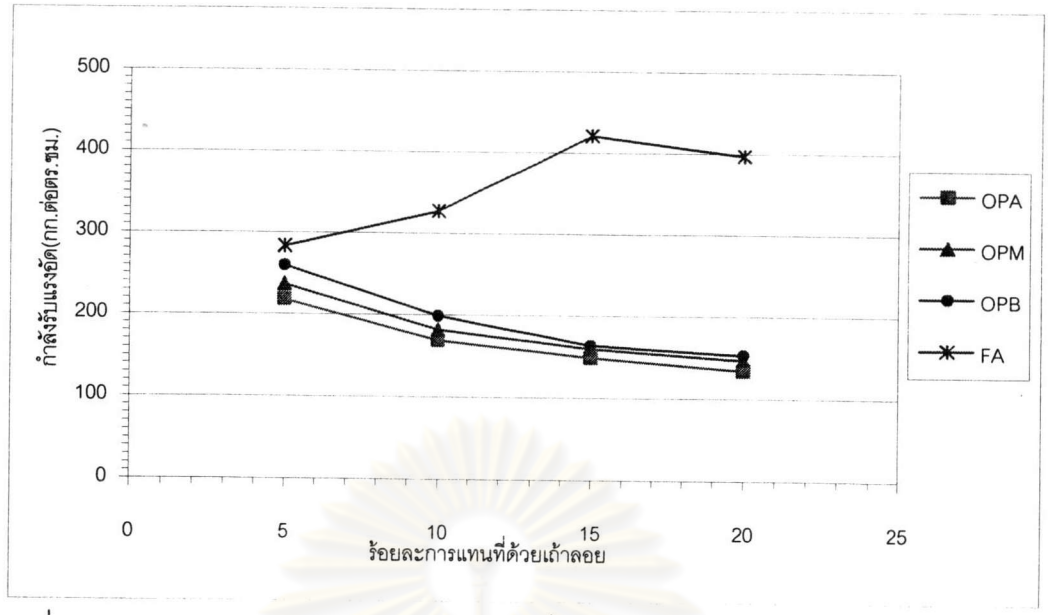
รูปที่ 4.18 แสดงกำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อายุการบ่ม 3 วัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามากขึ้นจะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงทุกปริมาณการแทนที่ สำหรับการเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงเช่นเดียวกันแต่ในอัตราที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารปอซโซลานปฏิกิริยาที่เกิดในช่วงแรกเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นส่วนใหญ่ ส่วนปฏิกิริยาปอซโซลานนั้นต้องใช้เวลานานจึงจะเกิด และเถ้าลอยลิกไนต์อาจดูดน้ำบางส่วนไปทำให้มีน้ำสำหรับทำปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงกำลังรับแรงอัดจึงลดลงในช่วงแรก ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มทั้ง 3 ประเภทนั้น เนื่องจากมีส่วนประกอบทางเคมีที่ไม่ช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัด ดังนั้นเมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณที่มากในส่วนผสมของมอร์ตาจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง



รูปที่ 4.18 กำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ที่อายุการบ่ม 3 วัน

รูปที่ 4.19 แสดงกำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามากขึ้น จะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดลดลงทุกปริมาณการแทนที่ แต่สำหรับการเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยลิกไนต์นั้น จะทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และพบว่า ที่ปริมาณการแทนที่ที่ร้อยละ 15 นั้นมอร์ตามีกำลังรับแรงอัดมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นแล้วจึงทำให้มอร์ตามีกำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 กำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 4.18 แสดงกำลังรับแรงอัด และร้อยละกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่ามอร์ตาธรรมดา OPC ที่อายุการบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 165 206 259 และ 283 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 5 มีกำลังรับแรงอัด 279 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 98.6 ของมอร์ตาธรรมดา ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุดในมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มทั้ง 3 ประเภท ส่วนมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม OPA 20 มีกำลังรับแรงอัด 151 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 53.4 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุด และมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ FA 15 มีกำลังรับแรงอัด 539 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 135.7 ของมอร์ตาธรรมดาซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดมากที่สุดในตัวอย่างมอร์ตาทั้งหมด อีกทั้งยังพบว่ามอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม OPM 5 และมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ FA 5 FA 10 FA 15 และ FA 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C109-95 ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไว้ที่ 245 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.18 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และร้อยละกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์

ชนิดของมอร์ตา	w/(c+flyash) หรือ w/c	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร - ร้อยละกำลังรับแรงอัด)			
		3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	0.485	165 - (100)	206 - (100)	259 – (100)	283 – (100)
OPA 5	0.485	138 – (83.6)	185 – (89.8)	218 – (84.2)	240 – (84.8)
OPA 10	0.485	114 – (69.1)	153 – (74.3)	169 – (65.2)	183 – (64.7)
OPA 15	0.485	95 – (57.6)	129 – (62.6)	149 – (57.5)	157 – (55.5)
OPA 20	0.485	77 – (46.7)	111 – (53.9)	134 - (51.7)	151 - (53.4)
OPM 5	0.485	152 –(92.1)	193 –(93.7)	237 – (91.5)	254 – (89.8)
OPM 10	0.485	124 – (75.2)	164 – (79.6)	182 – (70.3)	196 – (69.3)
OPM 15	0.485	106 –(64.2)	142 – (68.9)	160 – (61.8)	169 – (59.7)
OPM 20	0.485	83 – (50.3)	116 – (56.3)	147 – (56.8)	157 – (55.5)
OPB 5	0.485	156 – (94.5)	196 – (95.1)	260 – (97.5)	279 – (98.6)
OPB 10	0.485	130 – (78.8)	179 – (86.9)	199 – (76.8)	210 – (74.2)
OPB 15	0.485	107 – (64.8)	146 – (70.9)	164 – (63.3)	180 – (63.6)
OPB 20	0.485	86 – (52.1)	125 – (60.7)	153 – (59.1)	171 – (60.4)
FA 5	0.485	142 – (86.1)	218 – (105.8)	283 – (109.3)	330 – (116.2)
FA 10	0.485	135 – (95.1)	230 – (105.5)	327 – (115.5)	361 – (109.4)
FA 15	0.485	130 – (96.3)	320 – (121.3)	421 – (121.4)	539 – (135.7)
FA 20	0.485	122 – (93.8)	279 – (114.7)	397 – (106.0)	490 – (110.0)

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม OPA 20 มีความหนาแน่นแห้งน้อยที่สุด คือ 1.447 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรส่วนมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ FA 20 มีความหนาแน่นแห้งมากที่สุด คือ 1.713 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4.19 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง (กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
OPA 5	1.528	1.544	1.550	1.540
OPA 10	1.500	1.505	1.511	1.505
OPA 15	1.444	1.456	1.480	1.460
OPA 20	1.419	1.451	1.471	1.447
OPM 5	1.600	1.607	1.633	1.614
OPM 10	1.570	1.572	1.591	1.578
OPM 15	1.507	1.537	1.550	1.531
OPM 20	1.449	1.482	1.502	1.478
OPB 5	1.589	1.614	1.621	1.608
OPB 10	1.537	1.539	1.557	1.544
OPB 15	1.498	1.528	1.540	1.522
OPB 20	1.472	1.505	1.525	1.501
FA 5	1.639	1.662	1.669	1.657
FA 10	1.680	1.651	1.688	1.673
FA 15	1.653	1.696	1.700	1.683
FA 20	1.691	1.719	1.731	1.713

4.3 การศึกษามอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

4.3.1 สมบัติของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ

4.3.1.1 ผลของปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาต่อกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2 เนื่องจาก พบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาโดยการแทนที่ทราย เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มทั้ง 3 ประเภท และจากการทดลองทำ pretest พบว่า มอร์ตาที่

ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มนั้นจะช่วยทำให้มอร์ตามีความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยิ่งมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในส่วนผสมมาก ดังนั้นในขั้นตอน 4.3 นี้จึงมีความสนใจที่จะนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมาทำการทดลองหล่อมอร์ตาแบบมีฟองอากาศ โดยเลือกเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามาทำการทดลองหล่อมอร์ตาแบบมีฟองอากาศต่อไป

เนื่องจากเถ้าลอยเส้นใยปาล์มนั้นมีอนุภาคขนาดเล็ก มีความพรุนสูง มีการดูดซึมน้ำที่ดี ดังนั้นจึงต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมมอร์ตามากกว่าปกติ และมอร์ตาแบบมีฟองอากาศโดยการเติมผงอลูมิเนียมนั้นก็ต้องการส่วนผสมที่ค่อนข้างเหลวเพื่อให้ปฏิกิริยาการเกิดฟองอากาศเกิดสมบูรณ์ดีพอ ตามการศึกษาของปารเมศ ซึ่งใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นส่วนผสมสำหรับผลิตคอนกรีตน้ำหนักเบานั้นใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ w/c เท่ากับ 0.7 0.75 และ 0.8 ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ w/c เท่ากับ 0.8 ซึ่งคาดว่าเป็นปริมาณน้ำต่ำสุดที่น่าจะช่วยให้เกิดความข้นเหลวที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.20 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ผ่านการนำไปเผา พบว่า มอร์ตามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นโดยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตา OPB 5 OPB 10 OPB 15 และ OPB 20 มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 61 76 64 และ 71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำเมื่อเทียบกับมอร์ตาหรือคอนกรีตธรรมดาทั่วๆ ไป แต่มีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผานั้นมีขนาดอนุภาคเล็ก ตลอดจนมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาต่ำ ส่วนประกอบทางแร่ก็เปลี่ยนไปโดยมีส่วนประกอบในรูปอสัณฐานเพิ่มมากขึ้นซึ่งอาจช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีขึ้น แม้ว่าเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะมีสมบัติที่ดีขึ้น แต่เมื่อมีการเติมผงอลูมิเนียมลงไปในส่วน ผสมมอร์ตาก็จะทำให้เกิดฟองอากาศ ฟองอากาศจำนวนมากเหล่านี้ก็จะแทรกตัวในเนื้อมอร์ตา และเมื่อมอร์ตาแข็งตัวจะทำให้เกิดรูพรุนแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ตาจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

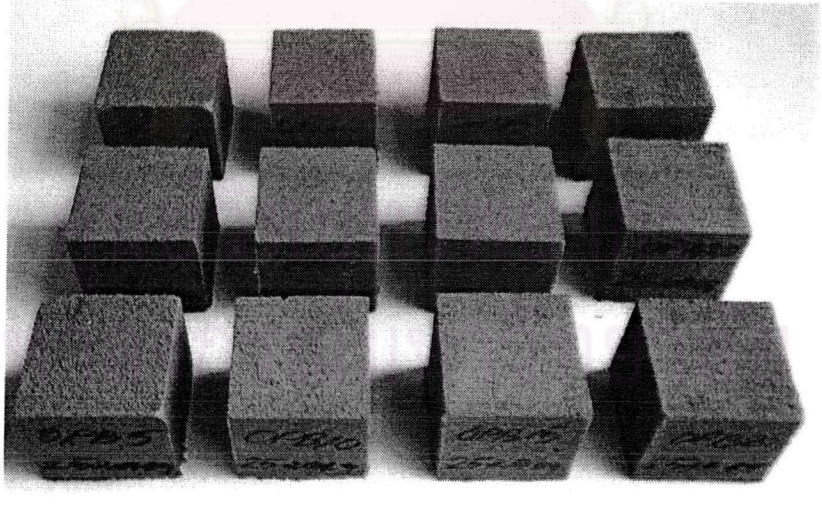
ตารางที่ 4.20 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	-	33	53	67
OPB 5	-	18	49	61
OPB 10	-	29	59	76
OPB 15	-	33	50	64
OPB 20	-	36	57	71

หมายเหตุ : OPC คือ มอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ

OPBX คือ มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณร้อยละ X โดยน้ำหนัก

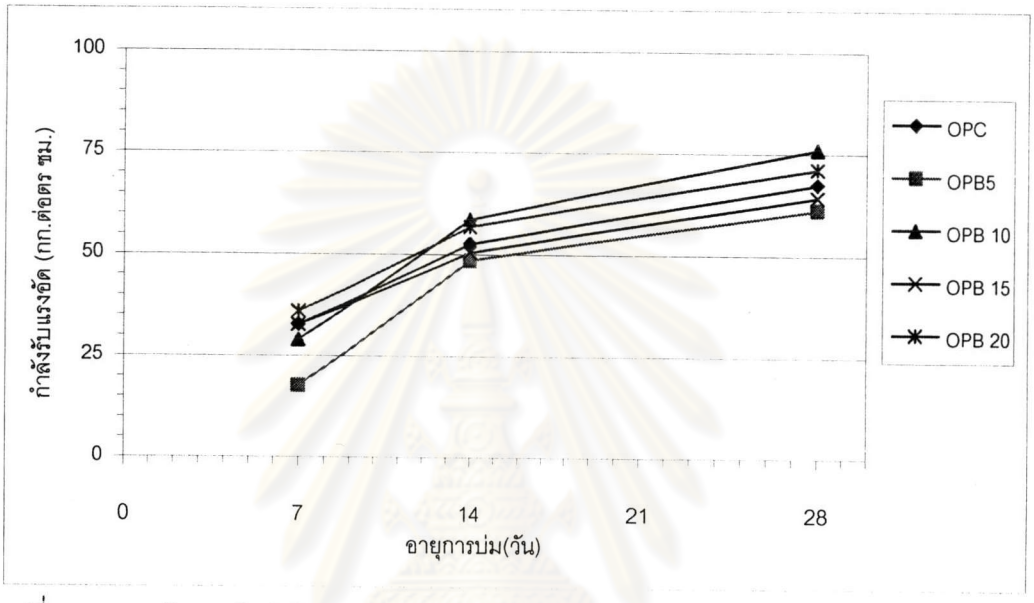
รูปที่ 4.20 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ กันแบบมีฟองอากาศ พบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาที่ปริมาณต่างๆ กันจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยจะมีสีเทาขาว และจะมีสีอ่อนขึ้นเมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาสูงขึ้น ผิวมีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไป มีน้ำหนักเบา เนื้อมีการยึดจับตัวกันดีกว่ามอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม



OPB 5 OPB 10 OPB 15 OPB 20

รูปที่ 4.20 มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ แบบมีฟองอากาศ

รูปที่ 4.21 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ กันแบบมีฟองอากาศ ซึ่งพบว่าในช่วงแรกที่อายุการบ่ม 3 วัน มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศจะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดค่อนข้างน้อยมาก จนไม่สามารถนำไปทดสอบหากำลังรับแรงอัดได้ แต่เมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 7 วันขึ้นไปกำลังรับแรงอัดก็จะเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า มอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่มีปริมาณการแทนที่ทรายที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.21 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ

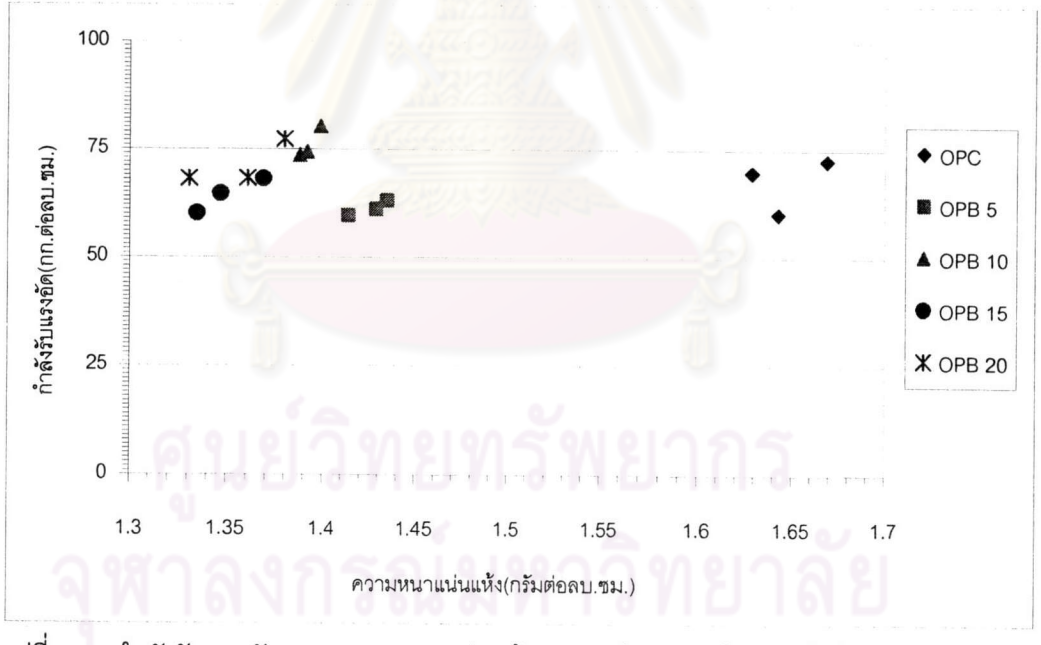
4.3.1.2 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ

ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศนั้น จะทำการทดลองตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.21 ซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาก็จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากเดิมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามีความหนาแน่นที่ต่ำอยู่แล้ว ดังนั้น เมื่อมีเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณที่มากก็จะทำให้มอร์ตามีความหนาแน่นต่ำด้วย และด่างในเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาก็อาจมีส่วนช่วยทำปฏิกิริยากับผงอลูมิเนียมทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ตา

ตารางที่ 4.21 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
OPB 5	1.414	1.429	1.435	1.426
OPB 10	1.388	1.392	1.399	1.393
OPB 15	1.335	1.347	1.369	1.350
OPB 20	1.331	1.361	1.380	1.357

รูปที่ 4.22 แสดงกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ พบว่า มอร์ตาที่มีการผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศทำให้ได้มอร์ตาที่มีกำลังรับแรงอัดลดใกล้เคียงกับมอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ ส่วนความหนาแน่นแห้งนั้นมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ



รูปที่ 4.22 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 สมบัติของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

4.3.2.1 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อกำลังรับแรงอัด

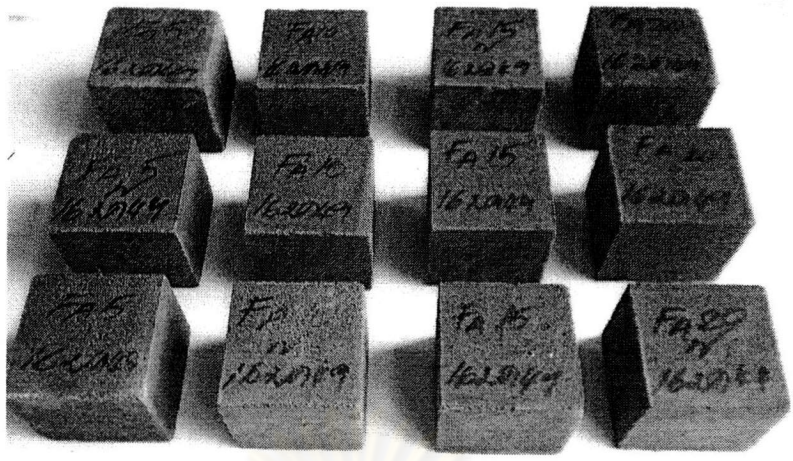
ผลจากตารางที่ 4.22 พบว่า มอร์ตาที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมมากขึ้น และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลิกไนต์แบบมีฟองอากาศก็เพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มด้วย

ตารางที่ 4.22 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศที่อายุการบ่มต่างๆ กัน

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด(กก.ต่อตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	0	33	53	67
FA 5	29	50	78	85
FA 10	37	70	98	107
FA 15	46	88	121	132
FA 20	64	109	140	159

หมายเหตุ : FAX คือ มอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราร้อยละ X โดยน้ำหนัก

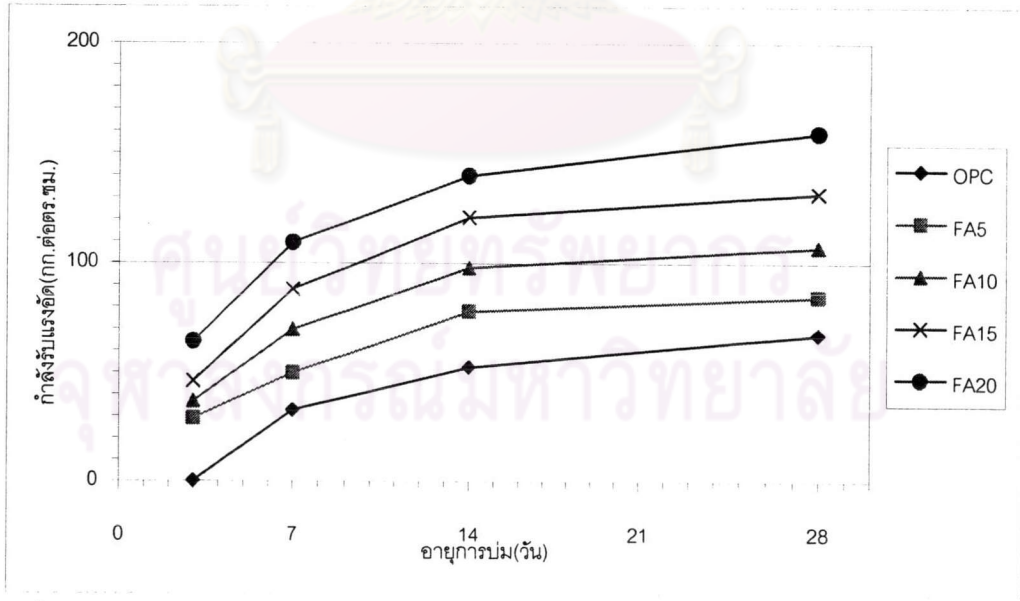
รูปที่ 4.23 แสดงรูปก้อนลูกบาศก์มอร์ตาขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ กัน และทำให้เกิดฟองอากาศด้วยการเติมผงอลูมิเนียม เมื่อสังเกตดูจะพบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์นี้จะมีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ มอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศจะมีสีน้ำตาลปนเทาอ่อนๆ เนื้อมีลักษณะพรุน และมีผิวหยาบมีน้ำหนักเบากว่ามอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเกิดจากสีของเถ้าลอยลิกไนต์ ส่วนลักษณะมีรูพรุน เกิดจากปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับด่างในปูนซีเมนต์ได้ฟองก๊าซไฮโดรเจนแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ตา



FA 5 FA 10 FA 15 FA20

รูปที่ 4.23 มอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ แบบมีฟองอากาศ

รูปที่ 4.24 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ โดยการแทนที่ทรายในปริมาณต่างๆ กัน แบบมีฟองอากาศ ซึ่งพบว่า ในช่วงแรกที่อายุการบ่ม 3-14 วัน มอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในแบบมีฟองอากาศ เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์สูงขึ้นกำลังรับแรงอัดก็จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเดิมมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์มีกำลังรับแรงอัดสูงมากอยู่แล้ว จากการที่เถ้าลอยลิกไนต์มีสมบัติเป็นสารปอซโซลานเกิดปฏิกิริยาช่วยให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น แม้จะเกิดรูพรุนในเนื้อมอร์ตาจากการเติมผงอลูมิเนียมแต่ก็ไม่ได้ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงต่ำมาก และแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัดก็ไม่เปลี่ยนไปจากเดิม



รูปที่ 4.24 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

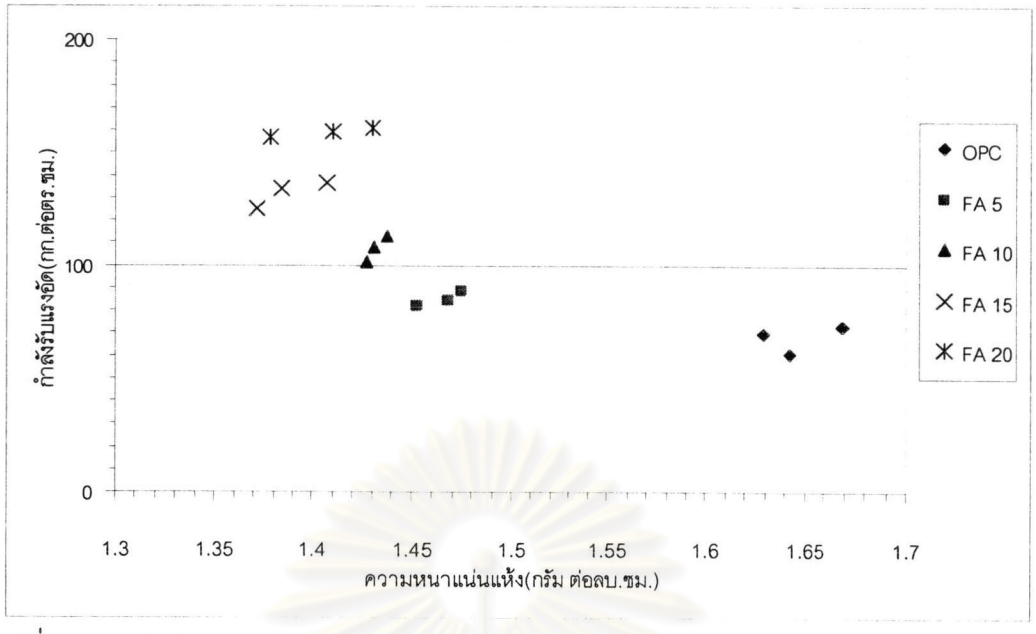
4.3.2.2 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศนั้น จะทำการทดลองตามมาตรฐานมอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำ โดยจะนำมอร์ตาที่ทำการทดลองมาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำไปวัดขนาดหาปริมาตร ชั่งน้ำหนัก และคำนวณความหนาแน่นแห้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.23 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้นความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศมีแนวโน้มที่จะลดลง

ตารางที่ 4.23 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

ชนิดตัวอย่าง	ความหนาแน่นแห้ง(กรัมต่อลบ.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
OPC	1.643	1.629	1.669	1.647
FA 5	1.453	1.468	1.475	1.465
FA 10	1.427	1.431	1.438	1.432
FA 15	1.372	1.384	1.407	1.388
FA 20	1.378	1.410	1.430	1.406

รูปที่ 4.25 แสดงกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศพบว่า มอร์ตาที่มีการผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศจะทำให้ได้มอร์ตาที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ สำหรับความหนาแน่นแห้งนั้นยิ่งมีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้น มอร์ตาก็จะยิ่งมีความหนาแน่นแห้งลดลง และมีความหนาแน่นแห้งน้อยกว่ามอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศนั้นในเนื้อมอร์ตามีฟองอากาศแทรกกระจายอยู่ทั่ว และมากกว่ามอร์ตาธรรมดาแบบมีฟองอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

4.3.3 เปรียบเทียบสมบัติของมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ

4.3.3.1 ผลของปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาแบบมีฟองอากาศ

จากตารางที่ 4.20 และ 4.22 จะพบว่า มอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศทำให้ได้มอร์ตาที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำลงเมื่อมีปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มสูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงทุกส่วนผสม และทุกอายุการบ่ม มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะให้กำลังรับแรงอัดมากสุด คือ 76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศจะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์สูงขึ้นที่อายุการบ่ม 28 วัน มอร์ตาที่แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักจะให้กำลังรับแรงอัดมากสุด คือ 159 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.3.3.2 ความหนาแน่นแห้งมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.21 และ4.23 พบว่า มอร์ตาที่ผสมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศนั้น หากมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์สูงขึ้นทำให้ความ

หนาแน่นแห้งลดลง ส่วนมอร์ตาที่ผสมด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มสูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.24 แสดงกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศพบว่า มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศจะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 61-76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศจะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 85-159 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.24 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ

ชนิดตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อตร.ซม.)			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
OPC	-	33	53	67
OPA 5	-	18	49	61
OPA 10	-	29	59	76
OPA 15	-	33	50	64
OPA 20	-	36	57	71
FA5	29	50	78	85
FA 10	37	70	98	107
FA 15	46	88	121	132
FA 20	64	109	140	159

4.4 การนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการทดลองพอสรุปได้ดังนี้ คือ มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ที่มีอายุการบ่ม 28 วัน เมื่อนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแต่ละประเภทไปแทนที่ทรายที่ร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก จะให้กำลังรับแรงอัดดังนี้ คือ มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 151-240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดจะให้กำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 157-254 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาจะให้กำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 171-279 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเฉพาะกำลังรับแรงอัด พบว่า เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา สามารถนำไปใช้แทนที่ทรายเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก.58-2530 ซึ่งกำหนดกำลังรับแรงอัดไว้ไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักธรรมดาตามมาตรฐาน มอก. 57-2530 ซึ่งกำหนดกำลังรับแรงอัดไว้ไม่น้อยกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรได้

เนื่องจากการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มไปแทนที่ทรายนั้น ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาลดลงอย่างเห็นได้ชัด และความหนาแน่นแห้งลดลงเช่นกัน สาเหตุที่มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 1505-2541 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำ ตามชั้นคุณภาพที่ 4 ซึ่งกำหนดกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไว้ไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความหนาแน่นแห้งอยู่ระหว่าง 0.51-0.80 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากในการทำการวิจัยนี้ไม่สามารถควบคุมให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นอันเกิดจากการเติมผงอลูมิเนียมให้กักกระจายอยู่ทั่วในเนื้อมอร์ตาอย่างสม่ำเสมอได้ อีกทั้งในการวิจัยนี้ไม่ได้ใช้การบ่มโดยวิธีอบไอน้ำซึ่งจำเป็นสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบาเพราะช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัด จึงไม่สามารถทำให้มอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาที่ได้ผ่านมาตรฐาน มอก. 1505-2541 ซึ่งกำหนดมาตรฐานทั้งกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งควบคู่กัน

ตารางที่ 4.25 แสดงกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมทราย และเถ้าลอยเมื่อบ่มด้วยน้ำ และบ่มด้วยวิธีอบไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงซึ่งเป็นการศึกษาของ (Narayanan,1999) แสดงให้เห็นว่าการบ่มโดยวิธีอบไอน้ำที่อุณหภูมิ และความดันสูงนั้นช่วยให้มอร์ตาแบบมีฟองอากาศมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่ดี และมีประสิทธิภาพมากกว่าการบ่มโดยการแช่ในน้ำ

ตารางที่ 4.25 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาผสมทรายและเถ้าลอย เมื่อบ่มด้วยน้ำ และบ่มด้วยวิธีอบไอน้ำอุณหภูมิ และความดันสูง (Narayanan, 1999)

ส่วนผสม	กำลังรับแรงอัด (เมกกะพาสคาล)				
	บ่มโดยแช่น้ำ			บ่มด้วยวิธีอบไอน้ำ ที่อุณหภูมิและความดันสูง	
	28 วัน	90 วัน	150 วัน	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
ปูนซีเมนต์-ทราย	7.4	7.8	7.9	12.1	14.5
ปูนซีเมนต์-เถ้าลอย	5.5	6.8	7.5	7.9	9.3

ตารางที่ 4.26 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาผสมเถ้าลอยลิกไนต์และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ

อัตราการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย (ร้อยละ)	เถ้าลอยลิกไนต์		เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	
	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัมต่อ ลบ.ซม.)	กำลังรับแรงอัด (กก.ต่อ ตร.ซม.)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัมต่อ ลบ.ซม.)
0	67	1.647	67	1.647
5	85	1.465	61	1.426
10	107	1.432	76	1.393
15	132	1.388	64	1.350
20	159	1.406	71	1.357

4.4.1 ค่าใช้จ่าย

จากผลการทดลองดังสรุปในตารางที่ 4.27 พิจารณาจากกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตา สามารถประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกส่วนผสมไปใช้ประโยชน์ มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เปรียบเทียบกันที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มโดยเฉพาะเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผามีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์นั้นเป็นสารปอซโซลานสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนได้ ส่วนเถ้าลอยเส้นใยปาล์มนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนที่ทรายในงานที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงอัดสูงมาก เช่น คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 57 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก กำหนดกำลังรับแรงอัดไว้อย่างน้อย 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคาดว่าสามารถใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มในส่วนผสมได้ปริมาณมาก

จากการพิจารณาเฉพาะกำลังรับแรงอัด และค่าความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นในการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์เท่านั้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผานั้นมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำ แต่จากการวิจัยนี้ พบว่า เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมีสมบัติที่ดี คือ ช่วยให้มอร์ตามีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมอร์ตาผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศนั้นเนื้อมอร์ตามีการจับตัวกันดี แม้กำลังรับแรงอัดจะไม่สูงนักแต่อาจมีสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนได้ ในส่วนนี้จะประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น (ไม่คิดค่าเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม) ที่ใช้ในการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นนี้จะใช้ข้อมูลจากการทดลอง

วัสดุที่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ในการผลิตคอกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ได้แก่

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง ทราย เถ้าลอยลิกไนต์ หรือเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
- น้ำจะใช้น้ำประปา ซึ่งคิดราคาตามการประปาภูมิภาคโดยประมาณ
- เถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเป็นของเสียจากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ
- เถ้าลอยเส้นใยปาล์มปัจจุบันเป็นวัสดุที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ โดยจะถูกกองทิ้งไว้จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ตารางที่ 4.27 และ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับทราย โดยมีการแทนทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ที่ร้อยละ 20 และแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อัตราร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก สำหรับส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.485 จากตารางที่ 4.27 พบว่าค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 6.42 บาท/ก้อน แต่เมื่อใช้ส่วนผสมที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 20 และแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 6.69 6.39 6.35 6.32 และ 6.28 บาท/ก้อน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.27) ในการประมาณราคาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นนี้ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าแรงงานในการผลิต ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการกำจัดหรือจัดการเถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยลิกไนต์

ตารางที่ 4.27 ค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

วัสดุที่ใช้				คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	
ส่วนประกอบ	ราคา (บาท/หน่วย)	น้ำหนัก/หน่วย (กก.)	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2,800 บาท/ตัน	50 กก.	2.8	2.02	5.67
ทราย	350 บาท/ลบ.ม.	2,650 กก.	0.13	5.57	0.74
น้ำ	15 บาท/หน่วย	1,000 กก.	0.02	0.98	0.01
เถ้าลอยลิกไนต์	370 บาท/ตัน	1,000 กก.	0.37	-	-
รวมค่าใช้จ่าย	-	-	-	-	6.42

จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้แทนที่ทรายในการวิจัยนี้ ช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้เพียงเล็กน้อย และยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายที่แสดงนี้เป็นเพียงค่าใช้จ่ายในระดับห้องทดลองเท่านั้น หากสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยเส้นใยปาล์มให้ถูกลงได้แล้วก็จะทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มไปใช้ประโยชน์ในปริมาณมากขึ้น

การคิดค่าใช้จ่ายของเครื่องมือในการเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา

ข้อมูลพื้นฐาน

- กำหนดค่าไฟฟ้าราคาเฉลี่ย 5.00 บาทต่อหน่วย โดยประมาณ
- กำลังไฟฟ้าของเตาเผา (carbonization) ที่ใช้ในห้องทดลองเท่ากับ 5 กิโลวัตต์

การคิดราคาค่าใช้จ่ายในการเตรียมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดต่อกิโลกรัม

- เครื่องบด (20 บาทต่อชั่วโมง) X (8 ชั่วโมง) X (1 ครั้งต่อ 4 กิโลกรัม)

เสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ = 40 บาทต่อกิโลกรัม

เนื่องจากในการทำการวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้เป็นภาชนะสำหรับบด (ทำการบดโดยเครื่องบดแบบ ball mill) คือ หม้อบดมีขนาดเล็ก มีความจุน้อย และมีจำนวนจำกัด ดังนั้นในการทำการบดแต่ละครั้งจึงบดได้เพียง 2-4 กิโลกรัม โดยได้ขอความอนุเคราะห์ไปทำการบดที่สถาบันวิจัยโลหะ และวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งคิดค่าใช้จ่ายในการบดชั่วโมงละ 20 บาท ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบดเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจึงสูง

การคิดราคาค่าใช้จ่ายในการเตรียมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาต่อกิโลกรัม

- เตาเผา (5 กิโลวัตต์) X (4 ชั่วโมง) X (5 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง) X (1ครั้งต่อ 4 กิโลกรัม)

เสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ = 25 บาทต่อกิโลกรัม

เนื่องจากในการทำการวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการเผา คือ เตาเผาและถ้วยกระเบื้องสำหรับใช้ใส่เถ้าลอยเส้นใยปาล์มในการเผามีขนาดเล็ก และมีจำนวนจำกัด ดังนั้น แต่ละครั้งจึงเผาได้เพียง 2-4 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายที่คิดออกมาจึงค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4.28 รายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อนเมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์แทนที่ทรายร้อยละ 20 และใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ทรายที่อัตราร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ส่วนประกอบ	คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ร้อยละ 20		คอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มร้อยละ 5		คอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มร้อยละ 10		คอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มร้อยละ 15		คอนกรีตบล็อกแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มร้อยละ 20	
	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2.03	5.67	2.03	5.67	2.03	5.67	2.03	5.67	2.03	5.67
ทราย	4.46	0.59	5.29	0.70	5.01	0.66	4.73	0.63	4.46	0.59
เถ้าลอยลิกไนต์	1.11	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม	0.00	0.00	0.28	0.00	0.56	0.00	0.84	0.00	1.11	0.00
น้ำ	0.98	0.01	1.12	0.02	1.25	0.02	1.39	0.02	1.52	0.02
รวม		6.69		6.39		6.35		6.32		6.28

หมายเหตุ

ค่าใช้จ่ายที่แสดงในตารางที่ 4.27 นี้ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายในการเตรียมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา