บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิผล ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาทฤษฎีและผลงานวิจัยที่ได้มีผู้เคยศึกษามาในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

1. เถ้าปาล์มน้ำมันและการนำมาใช้ในงานก่อสร้าง
2. การนำเถ้าลอย เถ้าก้นเตา และเถ้าชีวมวลอื่น ๆ มาใช้ในงานก่อสร้าง
3. อิฐคอนกรีตและคอนกรีตเบา

ซึ่งจากการศึกษาในเรื่องต่างๆข้างต้น จะช่วยในการพิจารณากำหนดแนวทางในการนำเถ้าปาล์มมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้าง วิธีการดำเนินการวิจัยและการกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

2.1 การศึกษาเอกสารเกี่ยวกับงานวิจัยเพื่อนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์

เนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันเริ่มมีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้น ในระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา จึงเริ่มมีผู้ศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาทดลองใช้ประโยชน์ด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งจากการสืบค้นผลงานจากเอกสารต่าง ๆ พบสาระที่สำคัญดังต่อไปนี้

<u>คุณสมบัติของเถ้าปาล์มน้ำมัน</u>

ในงานวิจัยของไตรเทพ แสนวงศ์ และคณะ (2544) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ตามมาตรฐาน ASTM C618 คือมีองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณความชื้น การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้และดัชนีกำลังตามตารางที่ 2.1

<u>ตาราง 2.1</u> คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน Class N ตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (ASTM C618-94a, 1995)

คุณสมบัติ	วัสดุปอซโซลาน ชั้นคุณภาพ N
SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 (น้อยที่สุดร้อยละ)	70.0
SO_3 (มากที่สุดร้อยละ)	4.0
ปริมาณความชื้น (มากที่สุดร้อยละ)	3.0
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ (มากที่สุดร้อยละ)	10.0
ดัชนีกำลัง (น้อยที่สุดร้อยละ)	75.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาปอซโซลานเมื่อผสมเถ้าปาล์มน้ำมันในคอนกรีต

โดยทั่วไปเมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3.3H_2O$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หลังจากนั้นเถ้าปาล์มซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีส่วนผสมของซิลิกาออกไซด์และอะลูมิน่าออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2$) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3$) ซึ่งเป็นผลิตผลเช่นเดียวกันกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่เกิดขึ้นต้องใช้เวลานานกว่าจะสมบูรณ์

ดังนั้นในช่วงแรกคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มจะรับกำลังอัดได้น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม แต่หลังจากอายุ 28 วัน คอนกรีตจะพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม วัสดุปอซโซลานยังช่วยลดการขยายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์และซิลิกาของคอนกรีตได้อีกด้วย การนำเถ้าปาล์มมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน ควรนำมาบดให้ละเอียดก่อนเพื่อลดระยะเวลาการก่อตัวและลดความต้องการน้ำของคอนกรีต (วีรชาติ ตั้งจิรภัทรและคณะ, 2546)

การทดลองใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมในคอนกรีต

ไตรเทพ แสนวงศ์ และคณะ (2544) ได้ทำการทดลองนำเถ้าปาล์มมาใช้โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าสามารถใช้เถ้าปาล์มเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 คอนกรีตที่ได้จะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตปกติร้อยละ 23.83 และมีระยะเวลาในการก่อตัวช้ากว่าปกติ 68 นาที ดังนั้นในช่วงแรกคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มจะรับกำลังอัดได้น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม แต่หลังจากอายุ 28 วัน คอนกรีตจะพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม นอกจากนั้นยังพบว่าเถ้าปาล์มซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานยังช่วยลดการขยายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์และซิลิกาของคอนกรีตได้อีกด้วย

วีรชาติ ตั้งจิรภัทรและคณะ (2546) ได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่มีการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าปาล์มด้วยการบดละเอียด พบว่าเถ้าปาล์มสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เถ้าปาล์มที่มีความละเอียดมากจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวและความต้องการน้ำของมอร์ต้าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการบดละเอียดได้

สำหรับในประเทศมาเลเซียก็มีการวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดจากการเผาทะลายปาล์มเปล่ามาใช้เพื่อทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตเช่นกัน พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดแทนซีเมนต์คือ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้า ความหนาแน่นของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับการบ่ม คอนกรีตผสมเถ้าปาล์มที่บ่มด้วยการแช่น้ำจะมีความหนาแน่นสูงสุด ปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับปริมาณเถ้าปาล์ม คือ เมื่อเถ้าปาล์มมากจะมีอัตราการดูดซึมน้ำมาก คอนกรีตที่ได้จะรับแรงอัดได้ 297.6 kg/cm^2 มีค่าความหนาแน่นประมาณ 2340 kg/m^3 และมีอัตราการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 6.7 (Joo-Hwa Tay and Kuan-Yeow Show, 1995) และเมื่อนำเถ้าปาล์มมาบดละเอียดจะสามารถใช้เพื่อทดแทนปริมาณซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน คอนกรีตผสมเถ้าปาล์มมีการพัฒนากำลังอัดได้อย่างต่อเนื่อง และเถ้าปาล์มน้ำมันยังช่วยลดการขยายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์และซิลิกาได้ (M.W. Hussin and A.S.M.A. Awal, 1996)

กล่าวได้ว่า การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N เพื่อทดแทนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีต จะช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องในส่วนผสมลง และควรนำมาบดให้ละเอียดก่อนจะทำให้สามารถใช้เถ้าปาล์มน้ำมันทดแทนซีเมนต์ได้มากขึ้น และในขณะเดียวกัน ก็จะช่วยลดระยะเวลาการก่อตัวและลดความต้องการน้ำของคอนกรีตอีกด้วย อย่างไรก็ตามเอกสารหรือบทความที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปาล์มน้ำมันในการก่อสร้างยังมีจำนวนไม่มากนัก จึงต้องศึกษาเอกสารและบทความที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเพื่อนำเถ้าชนิดอื่น ๆ มาใช้ในการก่อสร้างด้วย ทั้งนี้เพื่อจะได้เป็นแนวทางที่ชัดเจนยิ่งขึ้นว่า จะสามารถนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างได้อย่างไรต่อไป

2.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้เถ้าชนิดต่าง ๆ ในงานที่เกี่ยวกับการก่อสร้าง

การศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการนำเถ้าชนิดต่างๆมาใช้งาน จะช่วยในการกำหนดรูปแบบการนำไปใช้และอัตราส่วนผสมเบื้องต้น รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุเมื่อมีการผสมเถ้าปาล์มทั้งในการใช้เถ้าเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ การใช้เถ้าแทนที่มวลรวมและการใช้เถ้าเป็นวัสดุมวลรวม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 <u>เถ้าลอย</u> (Fly Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้า เถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับแล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล เถ้าลอยมีสีเทา เทาดำหรือน้ำตาล มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นอันยรูปของซิลิกาและอะลูมิน่า เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และ

เกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementious) ปฏิกิริยาปอซโซลานจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยเฉพาะในด้านความคงทน (Durability of Concrete)โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาและช่วงเวลาการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับแหล่งที่เผาถ่านหิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

การวิจัยที่ผ่านมาของเถ้าถ่านหินในประเทศไทยเป็นการศึกษาคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทบทั้งสิ้น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะใช้ถ่านหินลิกไนต์ประมาณวันละ 40,000 ตัน ซึ่งก่อให้เกิดขี้เถ้าปริมาณ 10,000 ตันต่อวัน โดยประกอบด้วยเถ้าหนัก (Bottom Ash) ร้อยละ 20 และเถ้าลอย (Fly Ash) ร้อยละ 80 ก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการฝังกลบ การนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์และการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเถ้าลอยเริ่มแพร่หลายในประเทศไทยอย่างเป็นระบบในปี พ.ศ. 2538 เมื่อการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ก่อสร้างเขื่อนปากมูล ซึ่งใช้คอนกรีตบดอัด (Roller-Compacted Concrete) โดยมีส่วนผสมของซีเมนต์ 58 กิโลกรัม และเถ้าลอย 134 กิโลกรัม ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร จากการศึกษาวิจัยพบว่า เถ้าลอยจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงในระยะยาวให้คอนกรีต เนื่องจากเถ้าลอยมีขนาดเล็กละเอียดและมีทรงกลม ช่วยลดช่องว่างที่เป็นโพรงอากาศในคอนกรีต เพิ่มความสามารถในการเท การเกิดปฏิกิริยากับน้ำไม่คายความร้อนรุนแรง ลดการแตกร้าวในคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่มีความหนามากกว่า 1 เมตร คอนกรีตผสมเถ้าลอยจะมีความทนทานต่อกรดและซัลเฟตเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เหมาะกับงานก่อสร้างบริเวณใกล้ทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

นอกจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแล้ว ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งผลิตเถ้าถ่านหินเพิ่มขึ้นอีกหลายแห่ง เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหินในโรงงานขนาดเล็กหรือในนิคมอุตสาหกรรมแถบจังหวัดระยอง สมุทรสาครและกาญจนบุรี เป็นต้น เถ้าถ่านหินจากแหล่งอื่นๆเหล่านี้เมื่อศึกษาคุณสมบัติโดยการใช้เถ้าถ่านหินจากแหล่งต่างๆแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักในการผสมคอนกรีต พบว่าเถ้าถ่านหินที่ดีควรมีรูปร่างเป็นทรงกลมตัน เพื่อให้ใช้น้ำเป็นส่วนผสมน้อยกว่าและเพิ่มความสามารถเทได้ให้แก่งานคอนกรีต องค์ประกอบทางเคมีมีผลต่อกำลังอัดน้อยกว่าความละเอียดของเถ้าถ่านหิน โดยเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากจะให้กำลังอัดสูงกว่าเถ้าถ่านหินที่หยาบ เถ้าถ่านหินจากทุกแหล่งผลิตสามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังอัดสูงมากนักได้ เนื่องจากดัชนีกำลังที่อายุ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของคอนกรีตมาตรฐาน (ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และคณะ, 2549)

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618 (1995) ได้แก่ ชั้นคุณภาพ F และชั้นคุณภาพ C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีเป็นตัวกำหนดดังตาราง 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (ASTM C618-94a, 1995)

คุณสมบัติ	ประเภทของเถ้าลอย	
	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C
SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 (น้อยที่สุดร้อยละ)	70.0	50.0
SO_3 (มากที่สุดร้อยละ)	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น (มากที่สุดร้อยละ)	3.0	3.0
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ (มากที่สุดร้อยละ)	6.0	6.0
ดัชนีกำลัง (น้อยที่สุดร้อยละ)	75.0	75.0

เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอริกออกไซด์และอะลูมิน่าออกไซด์มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซท์และบิทูมินัส เนื่องจากเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F นี้มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นจึงเรียกว่าเถ้าลอยที่มีแคลเซียมต่ำ (Low Lime Fly Ash) ทำให้มีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์น้อยหรือแทบไม่มี แต่เถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน

เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอริกออกไซด์และอะลูมิน่าออกไซด์ร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก เถ้าลอยชนิดนี้เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์และซับบิทูมินัส เถ้าลอยชนิดนี้จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 15-23 โดยน้ำหนัก เรียกว่า เถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (High Lime Fly Ash) ซึ่งจะมีทั้งคุณสมบัติของซีเมนต์และปอซโซลานในตัวเอง (สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย, 2542)

เถ้าลอยในฐานะสารเชื่อมประสาน

เมื่อผสมเถ้าลอยกับน้ำในปริมาณที่พอเหมาะ แคลเซียมออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับซิลิกอนออกไซด์และอะลูมิน่าออกไซด์ให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ดังสมการที่ (1) และ (2)

$Ca(OH)_2+SiO_2+H_2O \longrightarrow$ Calcium Silicate Hydrate (1)

$Ca(OH)_2+Al_2O_3+H_2O \longrightarrow$ Calcium Aluminate Hydrate (2)

แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรตมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน ซึ่งความแข็งแรงของสารเชื่อมประสานจะเพิ่มขึ้นตามอายุ ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจึงพัฒนาตามอายุเช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บทบาทของเถ้าลอยในงานคอนกรีต (E.E. Berry and V.M. Malhotra, 1980)

1) สามารถทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน มีทั้งการทดแทนโดยน้ำหนักและโดยปริมาตร จากการทดลองพบว่าการทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 1:1 นั้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยในช่วง 3 เดือนแรกต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่กำลังอัดเมื่ออายุหนึ่งปีจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

2) เป็นมวลรวมละเอียดเพิ่มในคอนกรีต เปรียบเสมือนการเพิ่มสารเชื่อมประสานในคอนกรีตจะทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีอายุ 3 เดือนขึ้นไปมีค่าเพิ่มขึ้น

3) ทดแทนปูนซีเมนต์และเป็นมวลรวมละเอียดด้วย โดยปริมาณเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ในคอนกรีตผสมเถ้าลอยรวมกันต้องมากกว่าปริมาณของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตธรรมดาจึงจะทำให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยมีกำลังอัดในช่วงแรกเท่ากับคอนกรีตธรรมดา

<u>งานวิจัยวัสดุก่อสร้างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย</u>

ในปัจจุบันได้มีการนำเถ้าลอยมาใช้เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในงานคอนกรีตมากขึ้น และมีการวิจัยเพื่อนำเถ้าลอยมาใช้ในการผลิตวัสดุก่อผนัง เช่น อิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอย ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด ความคงทนต่อการสึกกร่อน และความเหมาะสมด้านราคา พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 9 และปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก การพัฒนากำลังรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์ผสมเถ้าลอยในช่วงแรกจะช้าลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์และในส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอยจะทำให้อิฐดินซีเมนต์มีการสึกกร่อนมากขึ้น (ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ, 2546), อิฐคอนกรีตมวลเบาผสมสารกักกระจายฟองอากาศที่ใช้เถ้าถ่านหินลิกไนต์ทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 โดยใช้สารกักกระจายฟองอากาศ 1 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม อิฐคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าถ่านหินที่ได้จะค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,866.40 kg/m^3 กำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วันเท่ากับ 191.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยโมดูลัสแตกหักมีค่าประมาณร้อยละ 8-12 ของกำลังอัดประลัย อัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 7.56 หรือ 141.10 kg/m^3 โดยอิฐมวลเบาที่ได้จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ ข-1 และข-2 ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต ซึ่งใช้ได้ในงานทั่วไปเมื่อต้องการกำลังและความชื้นปานกลาง (ปกรณ์ แสนรวยเงิน และคณะ, 2544)

ในประเทศอินเดียที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหินจำนวนมาก ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเถ้าถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเช่นกัน โดยวัสดุที่ได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารจริง เช่น บล็อกคอนกรีตพรุนผสมเถ้าลอย (Cellular Lightweight Concrete Block) เป็นคอนกรีต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บล็อกที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอย และโฟม โดยผสมเถ้าลอยได้ตั้งแต่ร้อยละ 26-33 ปริมาณของเถ้าลอยจะส่งผลต่อความหนาแน่นของวัสดุ บล็อกคอนกรีตพรุนที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 400 - 1,800 kg/m^3 วัสดุที่ได้มีน้ำหนักเบากว่าผนังก่ออิฐ มากกว่าร้อยละ 50 (G.B. Singh, 2006), อิฐ Fal-G (Fly ash-lime-Phosphogypsum) ผลิตจากเถ้าลอยผสมกับปูนขาวและยิบซั่มโดยอัตราส่วนของเถ้าลอย ปูนขาวและยิบซั่ม ที่ทำให้อิฐรับแรงอัดได้สูงสุดคือ 40 : 20 : 20 ตามลำดับ โดยปริมาณของเถ้าลอยจะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของบล็อก เมื่อเถ้าลอยมากความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลง เมื่ออายุครบ 120 วัน อิฐ Fal-G จะรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานอินเดียสำหรับอิฐดินเผา คือ 3.5 MPa อัตราการดูดซึมน้ำจะมีค่าระหว่างร้อยละ 19.2-37.2 โดยน้ำหนัก และน้ำหนักของบล็อกจะลดลงประมาณร้อยละ 20-40 เมื่อเทียบกับอิฐดินเผากลวง เมื่อวัสดุมีอายุมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจะลดลงและสามารถรับแรงอัดได้ดีขึ้น (Sunil Kumar, 2003), บล็อกประสานผสมเถ้าลอย โดยใช้ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 35-60 ทรายหยาบร้อยละ 35-70 และวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนขาว ซีเมนต์หรือยิบซั่ม ร้อยละ 5-15 บล็อกที่ได้จะสามารถรับแรงอัดได้ 7-13 MPa โดยความสามารถในการรับแรงอัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์หรือวัสดุประสานที่เลือกใช้ ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 12 (Hydarform, 2006) Tarun R. Naik (2006) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาวัสดุก่อผนังสำหรับบ้านพักอาศัยราคาถูก พบว่าสามารถใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตอิฐก่อและอิฐบล็อก (Fly Ash Block) ในอัตราส่วนร้อยละ 30-50 พบว่าบล็อกผสมเถ้าลอยมีคุณสมบัติตามมาตรฐานวัสดุสำหรับบ้านพักราคาถูก และบล็อกจะสามารถรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวเมื่อครบ 2 ปี ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติปอซโซลานของเถ้าลอย

ในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลียได้มีผู้นำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐโดยผสมในอัตราส่วนร้อยละ20-50 และเผาที่อุณหภูมิ 1000^{o}C Obada Kayali (2004) ได้ศึกษาหาแนวทางในการนำเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการผลิตอิฐเถ้าลอยทั้งหมด โดยผสมเถ้าลอยกับสารผสมเพิ่มและเผาที่อุณหภูมิ 1000-1300^{o}C เรียกว่า Flash Bricks พบว่าอิฐที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ โดยมีค่าการรับแรงอัด 43 MPa ความหนาแน่น 1,450 kg/m^3 และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 10

ในประเทศตุรกีมีการศึกษาเพื่อนำเถ้าลอยมาใช้ในการผลิตอิฐโดยใช้เถ้าลอยร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 950^{o}C อิฐที่ได้จะรับแรงอัดได้ 70-100 kg/cm^2 ซึ่งรับแรงอัดได้น้อยกว่าอิฐที่ไม่ผสมเถ้าลอยประมาณ 4 เท่า และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 21 (Tütünlü Fatih and Atalay Ümit, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากงานวิจัยและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเถ้าลอย แสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยมีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10-30 ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุก่อผนัง และเถ้าลอยสามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมในอัตราส่วนร้อยละ 25-60 นอกจากนั้นเถ้าลอยยังใช้ในการผลิตอิฐที่มีอัตราส่วนเถ้าลอยร้อยละ 20-100 โดยวัสดุก่อผนังที่ผสมเถ้าลอยจะมีค่าความหนาแน่นลดลงตามปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น การรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุประสานและปริมาณเถ้าเมื่อปริมาณเถ้ามากความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลง ความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุจะเพิ่มขึ้นตามอายุ เมื่อปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย วัสดุที่ผสมเถ้าลอยจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง

2.2.2 เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินในขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับเถ้าลอย แต่เถ้าก้นเตาเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด เนื่องจากอุณหภูมิของการเผาถ่านหินสูงเกินจุดหลอมเหลวของเถ้าถ่านหิน ปริมาณของเถ้าก้นเตาจะอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 ของเถ้าถ่านหินทั้งหมด เถ้าก้นเตาจะมีอนุภาคขนาดใหญ่ คือมีอนุภาคเฉลี่ย 290 ไมโครเมตรหรือใหญ่กว่าเถ้าถ่านหิน 16 เท่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุปอซโซลาน แต่เมื่อบดให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6 ไมโครเมตร จะสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ดี (เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2543)

เถ้าก้นเตาสามารถใช้ทดแทนมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้ เมื่อใช้ปริมาณเถ้าก้นเตาทดแทนทรายเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลง (Patcharaporn Suwanvitaya and Prasert Suwanvitaya, 2006) เถ้าลอย เถ้าก้นเตาและไลแทก (Lytag) ซึ่งเป็นวัสดุมวลรวมที่เกิดจากการเผาเถ้าลอย ถูกใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายและมวลรวมหยาบตามลำดับ เพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตน้ำหนักเบา (Lightweight Concrete) โดยใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 ใช้เถ้าก้นเตาและไลแทกทดแทนทรายและมวลรวมหยาบทั้งหมด คอนกรีตที่ได้จะมีความหนาแน่น 1,560-1,960 kg/m^3 และความสามารถในการรับแรงอัดมีค่า 200-400 kg/cm^2 ที่อายุ 28 วัน เถ้าก้นเตาจะส่งผลให้คอนกรีตมีการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น (Yun Bai and others, 2006) เถ้าก้นเตาสามารถใช้เป็นมวลรวมในการผลิตอิฐคอนกรีต (Concrete Masonry Unit) โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเป็น 1: 6 โดยมวลรวมได้จากการนำเถ้าลอย Class C หรือ Class F ผสมกับเถ้าก้นเตาในอัตราส่วน 30: 70 พบว่าอิฐคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่ามาตรฐานคือสูงกว่า 82.55 kg/cm^2 ที่อายุ 3 วันและมีน้ำหนักน้อยกว่า 13.61 kg (Benjamin L. Phillips and others, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาข้างต้นพบว่าเถ้าก้นเตาสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้เมื่อทำการบดให้มีความละเอียดมากขึ้น นอกจากนั้นเถ้าก้นเตายังสามารถใช้เพื่อแทนที่ทรายหรือใช้เป็นมวลรวมละเอียดเพื่อใช้ผลิตคอนกรีตน้ำหนักเบาและอิฐคอนกรีตได้อีกด้วย วัสดุที่ผสมเถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมจะมีน้ำหนักเบา เมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลง และค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2.2.3 <u>เถ้าที่ได้จากวัสดุธรรมชาติอื่นๆ</u> ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรหลายชนิดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำหรือเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ทำให้เกิดเถ้าเป็นปริมาณสูงต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบและอาจก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเถ้าจากวัสดุธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทั้งการนำมาใช้เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนและใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุก่อสร้าง

เถ้าแกลบเป็นวัสดุที่เกิดจากการนำแกลบมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าวและโรงไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า เถ้าแกลบจะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618-94a โดยจัดอยู่ใน Class N สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ โดยสามารถใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 คอนกรีตที่ได้จะมีความสามารถในการรับแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ เมื่อนำเถ้าแกลบมาบดให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงจะสามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้มากขึ้น โดยซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ร้อยละ 20 และใช้อุณหภูมิในการบ่มเท่ากับ 25, 50 และ 75 องศาเซลเซียส จะพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ปกติ (บุรฉัตร ฉัตรวีระและณรงค์ศักดิ์ มากุล, 2547) นอกจากการนำเถ้าแกลบมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแล้ว ยังมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบดำไม่บดจากโรงสีข้าวมาเป็นวัสดุผสมทดแทนมวลรวม (หินฝุ่น) เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อก โดยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีคุณสมบัติตามมาตรฐานมอก. 58-2530 สำหรับคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยเมื่อใช้เถ้าแกลบแทนที่มวลรวมในอัตราส่วนร้อยละ 20 คอนกรีตบล็อกมีค่าของกำลังอัดเฉลี่ย 28 วัน เท่ากับ 30 kg/cm^2 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.16 และการหดตัวแบบแห้งเท่ากับร้อยละ 0.048 น้ำหนักของบล็อกจะลดลงประมาณร้อยละ 8-15 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน เมื่อร้อยละการแทนที่สูงขึ้น คอนกรีตบล็อกจะมีความต้องการน้ำ การดูดซึมน้ำและการหดตัวแบบแห้งสูงขึ้น ประเทศไนจีเรียได้มีการวิจัยเพื่อนำเถ้าแกลบมาใช้ในการผลิตแซนด์กรีตบล็อกแบบกลวง (Hollow Sandcrete Block) ซึ่งผลิตโดยใช้วัสดุประสานคือซีเมนต์ 1 ส่วน ผสมกับทราย 8 ส่วน ปริมาณเถ้าที่เหมาะสมในการใช้ทดแทนปูนซีเมนต์คือร้อยละ 20 บล็อกที่ได้จะมีความหนาแน่น 500-2100 kg/m^3 และสามารถรับแรงอัดได้ 36.5 kg/cm^2 ที่อายุ 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการรับแรงอัดจะพัฒนาตามอายุของการบ่ม ปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง ส่วนผสมจะต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น (E.B. Oyetola and M. Adullahi, 2006)

โรงไฟฟ้าบางแห่งในประเทศไทยจะใช้เชื้อเพลิงเป็นแกลบและเปลือกไม้ ซึ่งเถ้าดังกล่าวเมื่อนำมาบดเพื่อทำให้เป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี และนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 สามารถใช้ในการผลิตอิฐคอนกรีตเพื่อปูพื้นได้โดยสามารถรับแรงอัดได้มากกว่า 500กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เถ้าแกลบและเปลือกไม้ที่มีความละเอียดมากจะทำให้กำลังอัดของอิฐคอนกรีตสูงขึ้นตามไปด้วย และกำลังอัดของอิฐคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ของเถ้าอีกด้วย คือเมื่อใช้เถ้าแกลบและเปลือกไม้มาก กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง (สุรพันธ์ สุคันธปรีย์ และคณะ, 2546)

เถ้าขี้เลื่อย (Sawdust Ash) สามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อทดแทนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยส่วนผสมดังกล่าวจะสามารถรับแรงอัดได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไป และเถ้าขี้เลื่อยจะช่วยพัฒนากำลังอัดของวัสดุที่อายุมากขึ้นด้วย (A.U. Elinwa and Y.A. Mahmood, 2002)

เถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Rubber Sawdust Ash) สามารถนำมาใช้งาน โดยการใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในมอร์ต้าในอัตราส่วนร้อยละ 10 พบว่ามอร์ต้าที่ได้มีค่าความสามารถในการรับแรงอัด 245 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐาน เมื่อปริมาณเถ้าขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นจะทำให้เพสต์ของส่วนผสมต้องการน้ำมากขึ้น ค่าการรับแรงอัดและค่าการไหลของมอร์ต้าจะต่ำลง (จรูญ เจริญเนตรกุล, 2546)

เถ้ากะลามะพร้าว สามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก โดยใช้เถ้ากะลามะพร้าวแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 เมื่อปริมาณเถ้ากะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของบล็อกเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนผสมจะเกิดรูพรุน และส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลงลง (ชุติสรา ปะกิระตังและพุทธวรรณ แซ่แต้, 2546)

จากการศึกษาเอกสารดังกล่าวมาข้างต้น พบว่าแนวทางที่น่าจะเป็นไปได้ในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างคือการนำมาเป็นส่วนผสมสำหรับอิฐคอนกรีต โดยมีแนวทางในการนำไปใช้ใน 3 กรณี ได้แก่

1. การนำเถ้าปาล์มมาใช้เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์
2. การนำเถ้าปาล์มมาใช้แทนที่มวลรวมบางส่วน
3. การนำเถ้าปาล์มมาใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 อิฐคอนกรีต

อิฐคอนกรีตมีส่วนผสมหลักคือ ซีเมนต์ มวลรวม และน้ำ ในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 ได้กล่าวถึงหลักการทดแทนซีเมนต์ด้วยเถ้าไว้แล้ว ดังนั้นในส่วนนี้การศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมจึงเป็นส่วนสำคัญเพื่อหาแนวทางในการนำเถ้าปาล์มมาประยุกต์ใช้เพื่อทดแทนมวลรวม

มวลรวมและสารผสมเพิ่มในคอนกรีต

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย และกรวด ที่ผสมในคอนกรีตเพื่อช่วยรับน้ำหนักกดบนคอนกรีต ลดปริมาณปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตมีความคงทนและปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก มวลรวมสามารถแบ่งตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300-1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. มวลรวมปกติ (Normal Weight Aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 2,400-3,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. มวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate) มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อแบ่งมวลรวมตามขนาด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม.ขึ้นไป หรือค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

คุณสมบัติของมวลรวมที่ดี

1. ความแข็งแกร่ง (Strength) มวลรวมต้องมีความสามารถในการรับแรงกดไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ โดยทั่วไปมวลรวมจะสามารถรับแรงกดได้ 700-3,500 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่าคอนกรีต
2. ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี (Impact and Abrasion Resistance) มวลรวมควรมีความแข็งแรง เนื้อแน่น ปราศจากอนุภาคที่อ่อนนุ่ม เป็นรูพรุนหรือแตกหัก

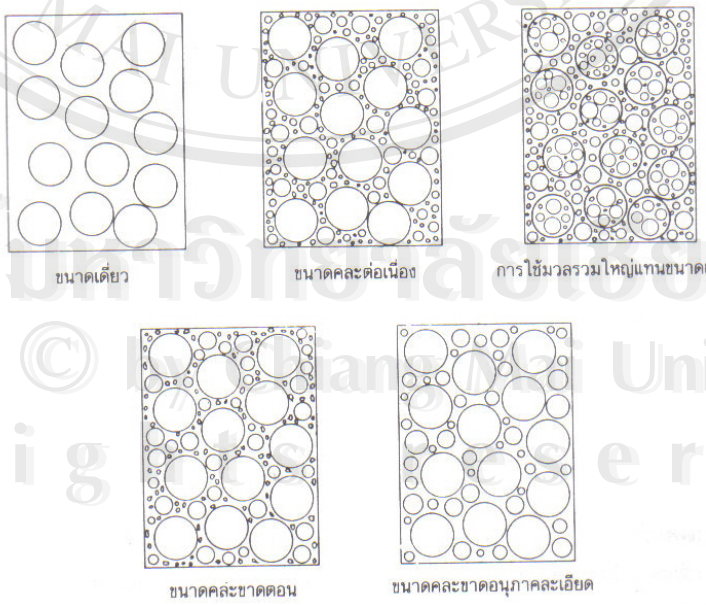
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ง่าย โดยเฉพาะเมื่อคอนกรีตต้องถูกกระทำจากการกระแทกหรือการขัดสี เช่น งานถนน พื้นโรงงาน เป็นต้น

3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์หรือสิ่งแวดล้อมภายนอก
4. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) มวลรวมที่มีผิวหยาบหรือมีรูปร่างแบนยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเทได้เดียวกัน ลักษณะผิวของมวลรวมจะมีผลโดยตรงกับแรงยึดเหนี่ยว เมื่อมีผิวหยาบหรือมีรูพรุนมากจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวดีแต่จะใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

ขนาดคละของมวลรวม (Gradation)

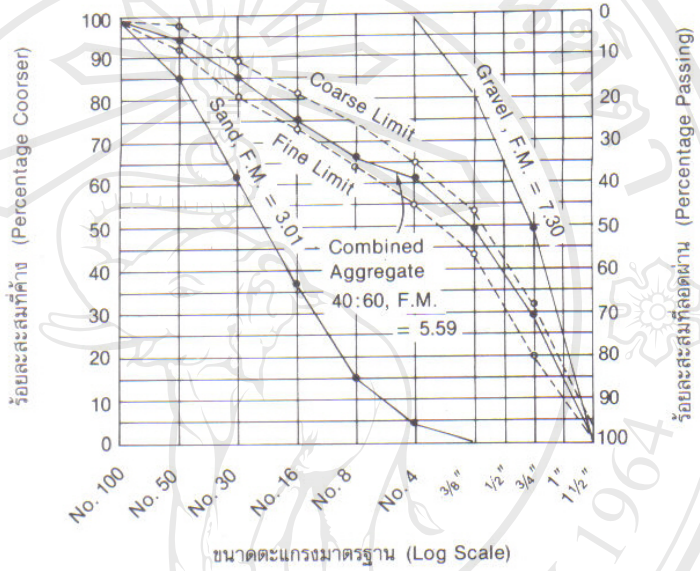
ขนาดคละของมวลรวม คือการกระจายของขนาดต่างๆของอนุภาค นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณของเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการสำหรับคอนกรีตสด คอนกรีตจะมีราคาประหยัดเมื่อใช้เนื้อซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุดในการผลิตคอนกรีต โดยที่คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความสามารถในการเทได้ การทำให้แน่น กำลังอัดและความทนทานยังเป็นไปตามกำหนด คอนกรีตที่ดีจะมีขนาดคละของมวลรวมเป็นขนาดคละแบบต่อเนื่อง คือมีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดกระจายทั่วกันในเนื้อคอนกรีตดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 การเรียงตัวของมวลรวมขนาดคละต่างๆกัน (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมจะทำได้โดยการใช้ตะแกรงร่อนที่มีขนาดช่องเปิดต่างกัน ปริมาณของวัสดุที่ผ่านตะแกรงร่อนจะนำมาวิเคราะห์และเขียนเป็นแผนภูมิคละ คือการแสดงผลการวิเคราะห์วัสดุผสมบนกราฟโดยให้แกนตั้งแสดงน้ำหนักร้อยละสะสมของวัสดุผสมที่ค้างหรือผ่านตะแกรงแต่ละขนาด แกนนอนแสดงขนาดช่องเปิดของตะแกรงดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 แผนภาพส่วนคละของมวลรวม (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2537)

โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) คือตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียดมากมวลรวมจะมีความหยาบมาก โดยที่

$$\text{โมดูลัสความละเอียด} = \frac{1}{100}(\text{ผลบวกของร้อยละสะสมของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน})$$

ทรายที่ใช้ในงานคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.3-3.2 ทรายที่มีค่าความละเอียดมากจะทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำมากขึ้นเพื่อให้ได้ความสามารถในการเทได้เท่าๆกัน มวลรวมที่ขาดอนุภาคขนาดกลางขนาดใดขนาดหนึ่งหรือหลายขนาดจะมีผลต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 คอนกรีตเบา

เนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันมีหน่วยน้ำหนักน้อยเมื่อเทียบกับมวลรวมโดยทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่คอนกรีตที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมจะเป็นคอนกรีตเบา ซึ่งหมายถึงคอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตเบาแสดงตามตาราง 2.3

ตาราง 2.3 คุณสมบัติของคอนกรีตเบาเปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไป

คุณสมบัติ	หน่วย	คอนกรีตเบา	คอนกรีตทั่วไป
ความหนาแน่น	กก/.ลบ.ม.	400-1,400	2,350
กำลังอัดที่ 28 วัน	กก/.ตร.ซม.	10-140	240
โมดูลัสความยืดหยุ่น	กก/.ตร.ซม.	$42x10^3$-$98x10^3$	$150x10^3$
สภาพนำความร้อน	Watt/mK	0.17-0.55	1.20-1.70
สภาพการดูดซึมน้ำ	%โดยปริมาตร	20-45	3-1
การหดตัว	%	0.15-0.50	0.035

ชนิดของคอนกรีตเบา

1. คอนกรีตมวลรวมเบา (Lightweight Aggregate Concrete) เป็นคอนกรีตที่ได้จากการผสมมวลรวมเบาที่มีความพรุน ทำให้ความถ่วงจำเพาะลดลง มวลรวมเบาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1.1 มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินพรุน และหินละลายชนิดเบาที่ได้จากเถ้าถ่านภูเขาไฟ เช่น หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นหินที่เกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนัก และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก คอนกรีตเบาที่ทำจากหินพรุนจะมีหน่วยน้ำหนัก 710-1420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดประมาณ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.2 มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมากที่สุด ได้แก่ Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศและนำไปเผาทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อหิน (Expanded Shale Aggregate) ได้จากการนำดินดานผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา วัตถุดิบจะหลอมรวมกันและมีฟองอากาศอยู่ภายใน และ Sintered Fly Ash ได้จากการนำเถ้าลอยมาทำให้เป็นเม็ดแล้วนำไปเผา

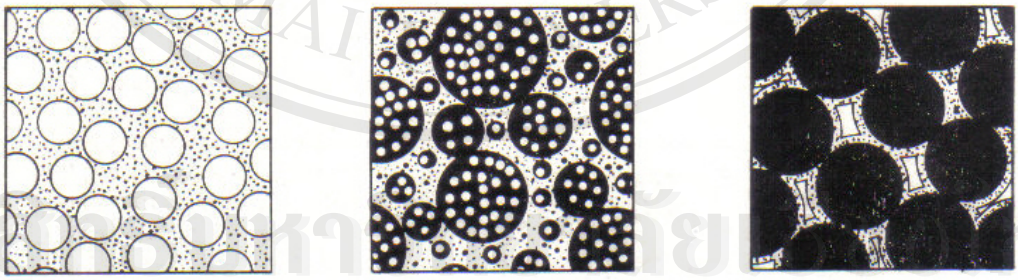
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่การใช้ไม้หรือพลาสติกใส่เข้าไปในคอนกรีต มวลรวมที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าก้นเตา (Furnace Bottom Ash) จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

2. คอนกรีตไร้มวลละเอียด (No Fines Aggregate Concrete) ประกอบด้วยซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ โดยไม่ใช้มวลรวมละเอียดซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมวลหยาบ วัสดุมวลหยาบที่นิยมใช้ได้แก่ กรวดโม่ ตะกรันเม็ดหยาบ ตะกรันจากเตาเผา อนุภาคของมวลหยาบจะยึดติดกันด้วยซีเมนต์เพสต์บางๆ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบ ไม่นิยมใช้ในการสร้างอาคารสูง เพราะคอนกรีตไร้มวลละเอียดจะแยกตัวได้ง่าย ขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 9.5 – 19 มิลลิเมตร คอนกรีตไร้มวลละเอียดจะมีความหนาแน่นประมาณ 1,600 – 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดประมาณ 60 – 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3. คอนกรีตพรุน (Cellular Concrete) เป็นคอนกรีตเบาชนิดหนึ่ง ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาด้วยการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำได้โดยการให้ฟองอากาศกระจายในส่วนผสมของมอร์ต้าที่ยังอยู่ในสภาพพลาสติก จากนั้นปล่อยให้แข็งตัว โดยที่คอนกรีตพรุนจะไม่ใช้มวลรวมหยาบในการผลิต แต่จะใช้ทรายละเอียดแทน ดังนั้นในอเมริกาและอังกฤษจึงเรียกว่า Aerated Mortar ตามลักษณะของเนื้อคอนกรีต ส่วนในยุโรปจะเรียกว่า Foam Concrete หรือ Gas Concrete

ลักษณะหน้าตัดของคอนกรีตพรุน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบาและคอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดแสดงตามภาพ 2.3



Aerated Concrete Lightweight Aggregate Concrete No-Fine Aggregate Concrete

ภาพ 2.3 ลักษณะของคอนกรีตเบา (Andrew Short and William Kinniburgh, 1963)

เถ้าปาล์มน้ำมันจัดเป็นมวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ประเภทหนึ่ง ดังนั้นจึงควรหาแนวทางในการนำมาผลิตเป็นคอนกรีตมวลรวมเบา (Lightweight Aggregate Concrete) ได้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

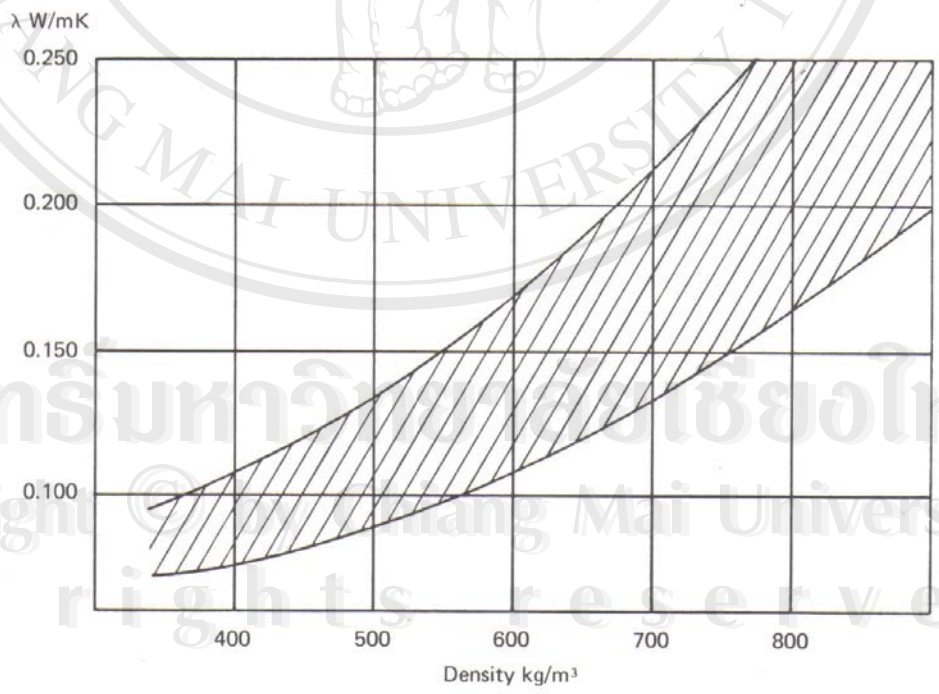
มาตรฐาน ASTM C331 ได้กำหนดเกณฑ์ขนาดคละของมวลรวมเบาที่ใช้สำหรับอิฐคอนกรีตไว้ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 เกณฑ์ขนาดคละของมวลรวมเบาที่ใช้สำหรับอิฐคอนกรีต (ASTM C331, 1999)

Size Designations		Percentage (By Mass) Passing Sieves							
		3/4”	1/2”	3/8”	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50	No. 100
Fine Aggregate	No. 4-0	---	---	100	85-100	---	40-80	10-35	5-25
Coarse Aggregate	1/2”-No.4	100	90-100	40-80	0-20	0-10	---	---	---
	3/8”-No.8	---	100	80-100	5-40	0-20	0-10	---	---
Combined Fine and Coarse Aggregate	1/2”-0	100	95-100	---	50-80	---	---	5-20	2-15
	3/8”-0	---	100	90-100	65-90	35-65	---	10-25	5-15

คุณสมบัติด้านการนำความร้อนของคอนกรีตเบา

ค่าการนำความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงตามภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา (Andrew Short and William Kinniburgh, 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพ 2.4 แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีช่วงของค่าการนำความร้อนแคบกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก ถ้าวัสดุมีค่าความหนาแน่นมากจะมีค่าการนำความร้อนสูง ดังนั้นในการวิจัยควรเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าความหนาแน่นต่ำ เพื่อให้วัสดุมีค่าการนำความร้อนต่ำด้วย

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาทั้งหมด พบว่ามีความเป็นไปได้เป็นอย่างยิ่งในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาเป็นส่วนผสมของอิฐคอนกรีต ซึ่งน่าจะได้อิฐคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบากว่าอิฐคอนกรีตทั่วไป สามารถรับแรงอัดได้ดีและมีค่าการนำความร้อนต่ำใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา ผู้วิจัยจึงเห็นควรทำการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมต่อไป โดยได้กำหนดคุณสมบัติพื้นฐานของอิฐคอนกรีตที่ต้องการดังนี้

1. ค่าความหนาแน่น ไม่เกิน 1,000 kg/m^3
2. ค่าความสามารถในการรับแรงอัด ไม่น้อยกว่า 75 kg/cm^2
3. ค่าการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 20
4. ค่าการนำความร้อน ไม่เกิน 0.3 W/mK
5. ราคาต่อตารางเมตร ไม่เกิน 300 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved