

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาเก่าที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนและคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

2.1.1 ชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ ชีวมวลนับรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษไม้ ปลายไม้จากอุตสาหกรรมไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน (กระทรวงพลังงาน, 2545) ซึ่งสามารถระบุคุณสมบัติของชีวมวล และการนำมาใช้ประโยชน์ไว้ (กระทรวงพลังงาน, 2544) ดังนี้

1. แกลบ ใช้เป็นเชื้อเพลิงและใช้ในการปรับสภาพดินก่อนการเพาะปลูกและใช้ป้อนสัตว์ โรงเลี้ยงไก่ก่อนทำการเลี้ยง ซึ่งมีจุดเด่นตรงที่มีความชื้นต่ำ และมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทำเชื้อเพลิง นอกจากนี้ หากควบคุมคุณสมบัติของแกลบได้ตามที่ผู้ซื้อต้องการ จะสามารถจำหน่ายได้ในราคาดี อย่างไรก็ตาม ปัญหาของชีวมวลชนิดนี้อยู่ที่การมีน้ำหนักเบา จึงอาจเกิดการฟุ้งกระจายระหว่างการขนส่ง และในการเผาไหม้จะเกิดเขม่าร้อยละ 16-18 ซึ่งถ้ามีการจัดการไม่ดีพอ จะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

2. เศษไม้ สามารถนำเชื้อไปใช้เผาเพื่อทำรูป คุลมเผาถ่าน เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมบ่มยางพารา และใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งยังมีเศษไม้อีกมากที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ รากไม้ ปลายไม้และปึกไม้ อย่างไรก็ตาม จุดด้อยของเศษไม้คือ เศษไม้สดจะมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 50 จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อย เพื่อให้ลดความชื้นก่อนนำไปเผา

3. ชานอ้อย ใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ และแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fiber board: mdf board) ซึ่งเป็นแผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่นตั้งแต่ 500 – 800 kg/m³ จุดด้อยของชีวมวลชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา ความชื้นสูง

4. เหน้จ่มันสำปะหลัง ใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจุบันยังมีเหน้จ่มันสำปะหลังเหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำมาใช้งาน อย่างไรก็ตาม ชีวมวลชนิดนี้มีปัญหาเรื่องความชื้น รวมทั้งมีขนาดและรูปร่างที่ไม่แน่นอน ดังนั้น จึงต้องผ่านกระบวนการทำให้เล็กลงก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

5. กากปาล์ม นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งกะลาปาล์มให้ความร้อนสูงมากจึงเหมาะที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากทะลายปาล์มมีขนาดใหญ่ ดังนั้น ก่อนนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงจึงต้องผ่านกระบวนการย่อยก่อน นอกจากนี้ ยังมีสารประกอบคลอไรด์สูงจึงต้องมีการออกแบบหม้อต้ม (boiler) เป็นพิเศษ เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน

6. ซังข้าวโพด นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิงและเป็นวัตถุดิบในการทำอาหารสัตว์ ซังมวลชนิดนี้มีค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับซังมวลอื่น ๆ แต่การเก็บรวบรวมยังทำได้ลำบาก เพราะส่วนใหญ่ชาวไร่นิยมทำการฝังกลบมากกว่า

2.1.2 ขี้เถ้าลอย

มาตรฐาน ASTM C 618 - 80 ให้คำนิยามของเถ้าลอยว่า ขี้เถ้าลอย คือ วัสดุเม็ดละเอียดที่เหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหิน

ถ่านหินมีหลายชนิด เช่น บิทูมินัส (bituminous) ซับ-บิทูมินัส (sub-bituminous) แอนทราไซต์ (anthracite) ลิกไนต์ (lignite) และพีท (peat) โดยเมื่อเผาถ่านหินลิกไนต์จะเหลือเถ้าประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณถ่านหินที่เผา โดยแบ่งเถ้าถ่านหินลิกไนต์ได้ดังนี้

1. เถ้าลอย (fly ash, dry ash and pulverized fuel ash) เป็นเถ้าที่แยกจากลมร้อนที่พัดออกไปสู่ปล่องควัน และถูกดักจับไว้ที่เครื่องดักจับ (electrostatic precipitator) ซึ่งจะมีประมาณร้อยละ 82 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

2. เถ้าหนัก (wet ash and bottom ash) เป็นเถ้าที่เกิดจากการปะทะกันของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่สันดาป (combustion zone) โดยในบริเวณนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงพอที่จะหลอมเถ้าที่เป็นก้อนหรือเม็ดตกลงสู่กันเตา และมีประมาณร้อยละ 18 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

3. ขี้เถ้า (slag) เป็นเถ้าที่ปะทะกับผนังเตา และหลอมติดรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ โดยเมื่อรวมตัวกันจนมีน้ำหนักมากจะตกลงสู่กันเตา จะมีปริมาณน้อยมาก

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของขี้เถ้าลอย คือ ไออกไซด์ (Fe_2O_3) อลูมินา (Al_2O_3) แมกนีเซีย (MgO) ซิลิกา (SiO_2) ปูนขาว (CaO) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แมงกานีสออกไซด์ (Mn_3O_4) ซัลไฟท์ (SO_3) และคาร์บอน (C) โดยส่วนประกอบทางเคมีจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของขี้เถ้าลอย และประเภทของขี้เถ้าลอย

มาตรฐาน ASTM C 618 – 80 ได้แบ่งประเภทของซีเมนต์ตามปริมาณของ ไออกไซด์ (Fe₂O₃) อลูมินา (Al₂O₃) ซิลิกา (SiO₂) ดังนี้

1. ซีเมนต์ Class C จะมีส่วนประกอบของไออกไซด์ (Fe₂O₃) อลูมินา (Al₂O₃) และซิลิกา (SiO₂) รวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50

2. ซีเมนต์ Class F จะมีส่วนประกอบของไออกไซด์ (Fe₂O₃) อลูมินา (Al₂O₃) และซิลิกา (SiO₂) รวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70

2.1.3 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเคมีเบื้องต้นของเจ้าชิวมวล

เจ้าชิวมวลที่ใช้ในการวิจัยเกิดจากการนำเจ้าที่เหลือจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากเชื้อเพลิง 4 ชนิดผสมกัน ได้แก่ แกลบ ร้อยละ 32 เปลือกไม้ ร้อยละ 23 ชังข้าวโพด ร้อยละ 34 และเศษไม้สัก ร้อยละ 11 โดยมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเคมีเบื้องต้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปและมาตรฐานควบคุมการผลิตของปูนฉาบ

2.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของปูนฉาบ

การศึกษาคูณสมบัติทั่วไปของปูนฉาบ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544) สามารถแบ่งออกเป็น การศึกษาส่วนประกอบและนิยามศัพท์ทั่วไป การศึกษาคูณสมบัติและปฏิกิริยาของปูนฉาบ คูณสมบัติทางเคมี และคูณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ ดังนี้

1. ส่วนประกอบของปูนฉาบ และนิยามศัพท์ทั่วไป ดังนี้

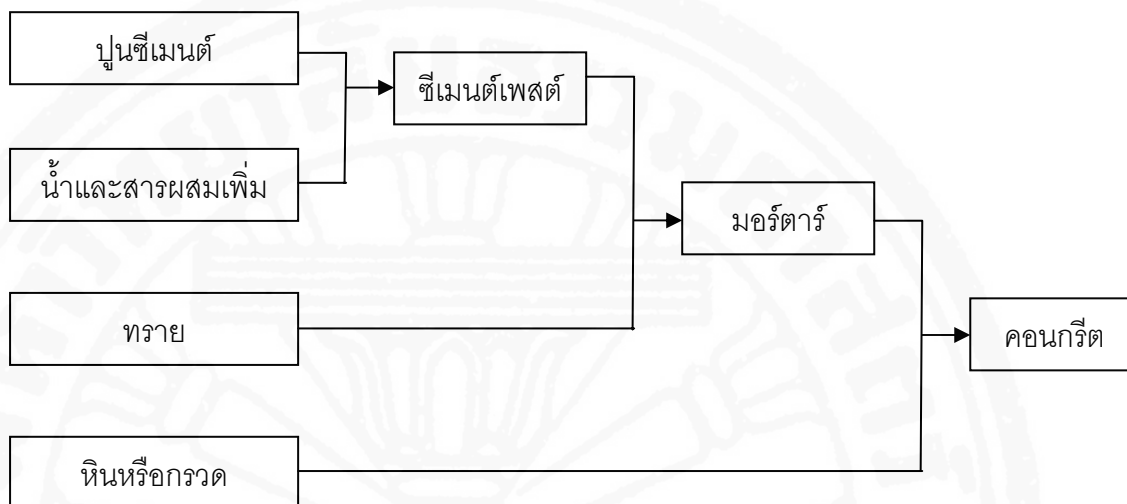
1) ปูนซีเมนต์ (cement) หมายถึง สารที่ประสานหรือยึดเกาะของแข็ง หรือมวลรวม เช่น หิน กรวด ทราย ให้แข็งติดกัน

2) ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) หมายถึง ส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับน้ำ หรืออาจมีสารผสมเพิ่ม

3) มอร์ตาร์ (mortar) หมายถึง ส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์กับทราย (ปูนฉาบ)

4) คอนกรีต (concrete) หมายถึง ส่วนผสมของมอร์ตาร์กับหินหรือกรวด หรืออาจมีสารผสมเพิ่ม

ภาพที่ 2.1
การเรียกชื่อองค์ประกอบของคอนกรีต



ที่มา: ชัชวาลย์ เศรษฐบุตตร, 2544.

5) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (hydraulic cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำโดยทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัว

6) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (portland cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากการบดปูนเม็ด (clinker) ที่มีไฮดรอลิกคัลเซียมซิลิเกต (hydraulic calcium silicate) กับสารหน่วงการก่อตัวเป็นองค์ประกอบทางเคมี

7) สารปอซโซลาน (pozzolan) หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบเป็นซิลิกา (silica) หรือมีทั้งซิลิกา และอลูมินา (alumina) เมื่อมีการบดเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) ที่อุณหภูมิปกติ พบมากในธรรมชาติในวัสดุพวกซีเมนต์เถ้าภูเขาไฟ เถ้าลอย (fly ash) ซึ่งสารปอซโซลานช่วยให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้น

2. ประเภทของปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

- 1) ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต
- 2) ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ และงานฉาบ
- 3) ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (portland cement) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.15 เล่ม 1) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1) ประเภทที่ 1 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary portland cement) สำหรับใช้ทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษกว่าธรรมดา

2) ประเภทที่ 2 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modified portland cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่เกิดความร้อนและสามารถทนซัลเฟตได้ปานกลาง

3) ประเภทที่ 3 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (rapid hardening portland cement) สำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานหรือถอดแบบเร็ว

4) ประเภทที่ 4 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (low heat portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำให้ความร้อนต่ำที่สุดกว่าปูนซีเมนต์ทุกประเภท

5) ประเภทที่ 5 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (sulfate resistant portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่สามารถต้านทานซัลเฟตได้สูง

4. มวลรวม (aggregate) หมายถึง วัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราวย กรวด ซึ่งเป็นส่วนผสมสำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรเป็นร้อยละ 70 - 80 ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ โดยประเภทของมวลรวม ดังนี้

1) แบ่งตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักสามารถ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

(1) มวลรวมเบา (lightweight aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300 – 1,100 kg/m³

(2) มวลรวมปกติ (normal weight aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 2,400 – 3,000 kg/m³

(3) มวลรวมหนัก (heavyweight aggregate) มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 kg/m³

2) แบ่งตามขนาดสามารถ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

(1) มวลรวมหยาบ (coarse aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป หรือค้ำอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

(2) มวลรวมละเอียด (fine aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร และสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

5. คุณสมบัติและปฏิกิริยาของปูนฉาบ

1) การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นผงละเอียด สามารถเกิดการก่อตัวและการแข็งตัวได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration reaction) ทำให้มีคุณสมบัติในการรับแรงได้ ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวและสามารถลื่นไหลได้ในเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า dormant period หลังจากนั้น ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มจับตัว (stiff) ถึงแม้ว่าจะยังไม่แข็ง แต่ก็จะไม่สามารถไหลตัวได้อีกแล้ว (unworkable) จุดนี้จะเป็นจุดที่เรียกกันว่า จุดแข็งตัวเริ่มต้น (initial set) และระยะเวลาตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดนี้ เรียกว่า เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (initial setting time) การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งคงสภาพ (rigid solid) ซึ่งจะเรียกว่า จุดแข็งตัวสุดท้าย (final set) และเวลาที่ใช้จนถึงจุดดังกล่าว เรียกว่า เวลาการก่อตัวสุดท้าย (final setting time) ซีเมนต์เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป จนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้ กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การก่อตัวและการแข็งตัว (setting and hardening)

2) ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก็จะส่งผลกระทบต่อปูนซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วด้วยเช่นกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่

(1) อายุของซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นช่วง dormant period อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากที่สุดในช่วงแรก และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง ปฏิกิริยาจะสิ้นสุดโดยสมบูรณ์

(2) องค์ประกอบของซีเมนต์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกเท่านั้นที่จะขึ้นอยู่กับสารประกอบหลักแต่ละสารโดยปูนซีเมนต์ที่มีไตรแคลเซียมซิลิเกต (Ca_3Si) และไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Ca_3Al) มากจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงปลายของแต่ละสารประกอบหลักจะไม่แตกต่างกันนัก

(3) ความละเอียดของปูนซีเมนต์ เมื่อความละเอียดของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความละเอียดจะไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงปลาย

(4) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ในช่วงต้นอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ในช่วงหลังถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง ส่งผลให้ทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยและดีกรีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงด้วย

(5) อุณหภูมิอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมินั้นต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของซีเมนต์เฟส

(6) สารผสมเพิ่ม มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น สารจำพวกน้ำตาล กรดและเกลือของ lignosulfonic และประเภทเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นต้น

6. คุณสมบัติทางเคมี

1) การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) เป็นการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาของปูนซีเมนต์โดยการนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่รู้น้ำหนักแน่นอนมาทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 – 1000 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่

2) กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue) คือ กากในปูนซีเมนต์ที่ไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและสารละลายด่าง เป็นการทดสอบว่าปูนซีเมนต์มีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายในกรดต่างมาน้อยเพียงใด

7. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์

1) ขนาดอนุภาคความละเอียด (particle size and fineness) ความละเอียดสูงกว่าหรือมีขนาดเล็กกว่าจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงกว่าและมีการพัฒนากำลังอัดที่สูงกว่า

2) ความอยู่ตัว (soundness) คือ ความสามารถของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วยังรักษาปริมาตรไว้ได้ ความไม่อยู่ตัวของตัวปูนซีเมนต์หรือการขยายตัว เกิดจากมีแมกนีเซียมออกไซด์ในรูปผลึก pariclast หรือแมกนีเซีย และ/หรือ free lime มากเกินไป ทำให้เกิดการขยายตัวจนแตกร้าวได้

3) ความข้นเหลว (consistency) แสดงถึงความสามารถในการเคลื่อนที่หรือการไหลของซีเมนต์เฟสหรือมอร์ตาร์ที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ โดยปกติแล้วถ้าซีเมนต์เฟสที่ทำการผสมมีความข้นเหลวปกติจะมีระยะจมของเครื่อง Vicat Plunger เท่ากับ 10 ± 1 มิลลิเมตร

4) ระยะเวลาการก่อตัว (setting time)

(1) เพื่อหาระยะเวลาก่อตัวตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งซีเมนต์เฟสที่ไม่มีคุณสมบัติไหลเข้าแบบหรือมีคุณสมบัติ plasticity ได้อีกต่อไป หรือเวลาก่อตัวเริ่มต้น ณ จุดแข็งตัวเริ่มต้น (initail set)

(2) เพื่อหาระยะเวลาดังแต่เริ่มผสมจนกระทั่งซีเมนต์เฟสต์เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง หรือเวลาก่อตัวสุดท้าย ณ จุดแข็งตัวสุดท้าย (final set)

5) การก่อตัวผิดปกติ (early stiffening or false set and flash set) มีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลระหว่างสารประกอบซัลเฟตและอลูมิเนียม อลูมิเนียม และความละเอียดของปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาไฮเดรชัน

(1) ลักษณะที่เกิดการสูญเสียความชื้นไหล (false set) หรือ plasticity หลังจากการผสมในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งการเกิด false set ของปูนซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อคอนกรีต ถ้าหากว่ามีการผสมเป็นเวลานานกว่าปกติ โดยปราศจากการเติมน้ำก่อนที่จะทำการเทลงแบบ false set เกิดขึ้นเมื่อยิปซัมที่ใส่ในระหว่างการบดปูนซีเมนต์สูญเสียน้ำ (dehydrate) ทำให้อยู่ในรูปพลาสเตอร์ (calcium sulphate hemihydrate)

(2) การสูญเสียความสามารถเทได้ (workability) อย่างทันทีทันใดของซีเมนต์เฟสต์ (cement paste) มอร์ตาร์ (mortar) หรือคอนกรีต (concrete) ทำให้ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบหรือไม่มีคุณสมบัติ plasticity ได้อีก ถึงแม้จะทำการผสมให้นานขึ้น โดยปราศจากการเติมน้ำก็ตามการเกิด flash set โดยปกติจะมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วของอลูมิเนียมในปูนซีเมนต์

6) กำลังอัด (compressive strength) การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ทำได้โดยการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 5.0 เซนติเมตร ตามมาตรฐานมอก.15 เล่ม 12 หรือ ASTM C 109

7) ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (heat of hydration) จะเกิดขึ้นเมื่อปูนซีเมนต์และน้ำทำปฏิกิริยากัน ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์หลักคือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) และไตรแคลเซียมอลูมิเนียม ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)

2.2.2 การศึกษามาตรฐานควบคุมและผลิตปูนฉาบ

มอร์ตาร์สำหรับฉาบ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอร์ตาร์สำหรับฉาบ มอก.1776-2542 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมนี้จะเรียกว่า ปูนฉาบ หมายถึง ของผสมที่ได้จากการผสมวัสดุประสานและมวลผสมละเอียดเข้าด้วยกัน และอาจมีสารผสมเพิ่มหรือสีด้วยก็ได้เมื่อจะใช้งานต้องนำไปผสมน้ำให้คันเหลวตามต้องการ ใช้สำหรับฉาบผนังก่อหรือผิวคอนกรีตด้วยการฉาบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ เพื่อให้

ได้ความหนาตามที่กำหนด ประเภทและชนิดของปูนฉาบแบ่งการใช้งานกับพื้นผิวที่จะฉาบ ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทฉาบผนังก่อ ที่ก่อด้วยอิฐก่อสร้างสามัญหรือคอนกรีตบล็อกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- 1) ชนิดทั่วไป (MA-I) ใช้สำหรับงานฉาบผนังก่อที่ให้ผิวงานหยาบ
- 2) ชนิดทั่วไป (MA-II) ใช้สำหรับงานฉาบผนังก่อที่ให้ผิวงานละเอียด

2. ประเภทฉาบผิวคอนกรีตคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ใช้สำหรับงานตกแต่งพื้นผิวคอนกรีต

คุณลักษณะของปูนฉาบที่ต้องการ มีดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป ปูนฉาบต้องเป็นผงและแห้ง ถ้าจับเป็นก้อนต้องสามารถใช้นิ้วมีดบี้ให้แตกได้ง่าย การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงอัดของก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างที่มีอายุ 28 วัน ขนาด 50 มิลลิเมตร 3 ก้อน เฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในตารางการทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.15 เล่ม 12 โดยผสมปูนฉาบให้มีค่าการไหลแผ่เบื้องต้น 110 ± 5

ตารางที่ 2.1

เกณฑ์ความต้านทานแรงอัดของปูนฉาบ

ประเภท	เกณฑ์ที่กำหนด (เมกะพาสคัล)
ฉาบผนังก่อ	2.5
ฉาบผิวคอนกรีต	5.0

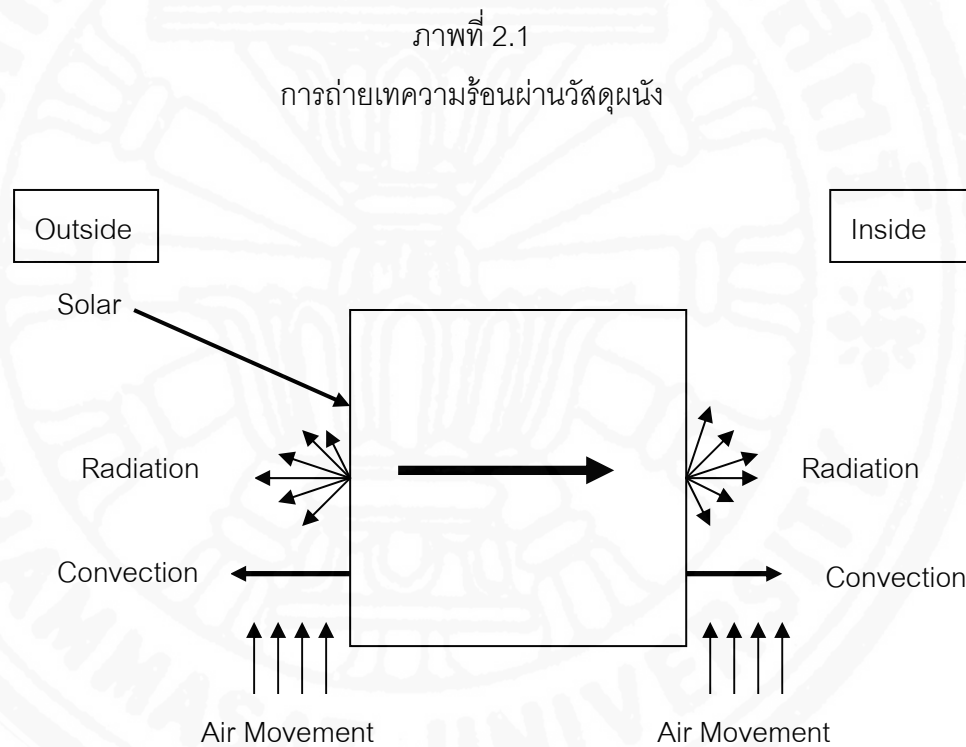
3. ความอุ้มน้ำ (water retention) ความอุ้มน้ำของปูนฉาบต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 โดยกำหนดให้มีการแผ่ไหลเบื้องต้น 110 ± 5 (ASTM C 91)

4. ระยะเวลาก่อตัว การทดสอบระยะต้นของปูนฉาบ ต้องไม่น้อยกว่า 60 นาที (ASTM C 807)

2.3 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่องความร้อน

2.3.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (The Role of Thermal Mass)

อิทธิพลภายนอกที่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน เช่น อุณหภูมิภายนอกอาคาร คุณสมบัติของตัววัสดุ โครงสร้าง เป็นต้น โดยสามารถแบ่งพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนได้เป็น 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน



ที่มา: Passive Cooling of Building, 1996 อ้างถึงใน อุทัย ศุภิสกุลวงศ์, 2543.

จากภาพที่ 2.1 แสดงถึง การส่งผ่านความร้อนผ่านวัสดุผนัง โดยในช่วงเช้าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกจะใกล้เคียงกัน ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอกจะสูงขึ้น และจะเกิดการนำความร้อนผ่านผิวเปลือกอาคารทำให้วัสดุเปลือกอาคารร้อนขึ้น โดยอุณหภูมิจะลดลงในช่วงบ่าย แต่บริเวณเปลือกอาคารจะมีอุณหภูมิสูงอยู่ ในเวลาเย็นจะมีการถ่ายเทความร้อนสู่อาคารเพราะมีอุณหภูมิต่ำกว่า

2.3.2 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Mechanism)

ช่วงเวลากลางวัน บริเวณเปลือกอาคารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการรับอิทธิพลของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิภายในผนังจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผนัง โดยในช่วงเวลากลางคืนจะมีการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกับในช่วงเวลากลางวัน เพราะสภาพอุณหภูมิภายนอกลดลง

2.3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลสารของวัสดุ (Parameters Influencing Thermal Mass Effectiveness)

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุอาคารจะขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลาย ๆ ด้าน โดยจากการศึกษาพบว่า การใช้มวลสารให้เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารสำนักงานจะช่วยลดภาระการทำความเย็นได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใช้ประโยชน์ของวัสดุมวลสารให้เหมาะสม คือ มีช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน ประมาณ 10 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามีช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืนไม่เกิน 2.5 องศาเซลเซียส จะไม่ค่อยมีผลกับการใช้วัสดุมวลสาร โดยวัสดุมวลสารของผนังแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อน (thermal storage) การถ่ายเทความร้อน ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ที่ต่างกัน (อุทัย ศุภิสสกุลวงศ์, 2543)

2.3.4 การถ่ายเทความร้อน

1. การส่งผ่านความร้อน (heat conduction) เกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกันโดยจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า หรือมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมากกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่าโดยจะมีการถ่ายเทความร้อนในทุกทิศทางและจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล โดยที่วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะมีการส่งผ่านความร้อนได้ดี

1) สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (heat conductivity: k) มีหน่วยเป็น $W/m \cdot ^\circ K$ หรือ $Btu.in/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$

(1) ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในช่วงเวลา ความหนา พื้นที่ และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

จะใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุความนำความร้อน (conductance: C) มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot ^\circ K$ หรือ $Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$

(2) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านสสารในความหนาที่กำหนดในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ดังนั้นค่าการนำความร้อนจึงมีลักษณะคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $C = k/\text{ความหนาวัสดุ}$ ความต้านทานความร้อน (resistance: R, R-value) มีหน่วยเป็น $m^2 \cdot ^\circ K/W$ หรือ $(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F) / Btu$ เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดค่าการเป็นฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความนำความร้อน โดยค่า R-value ยิ่งมาก แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดีมาก

$$R = 1/C$$

2. การแพร่กระจายความร้อน หรือการแผ่ความร้อน (thermal diffusivity) เป็นอัตราส่วนของการนำความร้อนกับความจุความร้อนเชิงปริมาตร (volumetric thermal diffusivity) และมีหน่วยเป็น mm^2/s ฉะนั้นส่วนกลับของสภาพการแพร่กระจายความร้อนจะมีหน่วยเป็น s/mm^2 ซึ่งทำให้สามารถคิดเป็นเวลาในการให้ หรือรับความร้อน (heating time) เป็นเวลาที่ต้องการในการให้ความร้อนกับวัสดุจนมีอุณหภูมิที่ต้องการค่าหนึ่ง ๆ เวลานี้จะเป็นสัดส่วนตรงกับกำลังสองของความหนาวัสดุ ฉะนั้นวัสดุที่มีค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อนสูงจะตอบสนองสภาวะการเปลี่ยนแปลงได้ไวมากกว่าวัสดุที่มีค่าสภาพการกระจายความร้อนต่ำ (ตระการ ก้าวสิกรวม, 2537)

3. ความจุความร้อน (heat capacity) เป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของวัตถุ 1 องศา ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุที่อธิบายความสามารถในการเก็บความร้อนของวัตถุนั้น ๆ ความจุความร้อนของวัตถุ 1 กิโลกรัม เรียกว่า ความร้อนจำเพาะ (specific heat)

4. ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) เป็นหน่วยวัดความสามารถของวัตถุในการดูดซับความร้อน ซึ่งเป็นปริมาณของพลังงาน (MJ) ที่ทำให้วัตถุปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร มีอุณหภูมิ 1 องศาเซลวิน หน่วยที่ใช้ คือ $MJ/m^3 K$

5. การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยโมเลกุลสสารจะเกิดการเคลื่อนไหวและจะคายพลังงานออกมาในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่า เมื่อสสารเกิดการเคลื่อนที่บริเวณพื้นผิวจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงเป็นคลื่นรังสีความร้อนจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุล

จะช้าลง ซึ่งการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านของแข็งอากาศไปกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้าน จะทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เพราะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมากขึ้น และจะมีการคายความร้อนออกมานอกจากนี้ยังสามารถสะท้อนความร้อนกลับไปได้ และจะมีบางส่วนที่ทะลุผ่านวัสดุไปได้

6. การพาความร้อน (heat convection) การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง เช่น น้ำและอากาศ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนจะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เร็วขึ้น และแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ทำให้เกิดการการขยายตัวของสสารนั้น ๆ ซึ่งของแข็งจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำและลอยสูงขึ้น

7. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าเท่ากับ $1/\sum R$ มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ โดยค่า $\sum R$ หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนัง มีหน่วยเป็น $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$

ดังนั้น ถ้าหากวัสดุผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก หมายถึง มีค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังน้อย ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนเข้ามาสู่ภายในตัวอาคารได้มากกว่าวัสดุผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากตัวอาคารเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายใน แบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1) กรณีที่ค่าความต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ภายนอกและภายในคงที่ (steady state) หรือมีอิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่รุนแรงมากนัก

2) ในการปฏิบัติจริง ความแตกต่างไม่เคยคงที่ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

8. การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Mean Radiant Temperature: MRT) อุณหภูมิพื้นผิวสิ่งแวดล้อมจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกาย โดยการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมจะเป็นปัจจัยในการนำไปสู่สภาวะนำสบายของมนุษย์

9. อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (sol-air temperature) อุณหภูมิสมมติของอากาศที่ติดกับผิวของวัสดุในขณะที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดด และการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบเท่ากับการแผ่รังสีจริงของดวงอาทิตย์จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า สิ่งแวดล้อมและการพาความร้อนของอากาศ

2.4 การศึกษางานวิจัยอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง

2.4.1 การพัฒนาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ทางกายภาพ

การหาสัดส่วนของส่วนผสมของมอร์ตาร์ในการวิจัยครั้งนี้ มีการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์โดยการแทนที่ของเถ้าชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ การศึกษาผลของเถ้าหนักจากถ่านหินลิกไนต์ที่มีต่อคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้แทนที่เถ้าหนักจากถ่านหินลิกไนต์ในปูนซีเมนต์ (ณรงค์ศักดิ์ มากุล, 2543) การศึกษาการลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีตโดยใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอย โดยการนำเถ้าแกลบและเถ้าลอยมาแทนที่ในปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 60 วัน เทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้แทนที่เถ้าแกลบและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ซึ่งมีค่ากำลังการรับแรงอัดโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 84 - 99 ของคอนกรีตที่ไม่ได้แทนที่เถ้าแกลบและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ (พลสันธิ์ พุกะทรัพย์ และ ธนัฐ วานิชชินชัย, 2536)

การศึกษาความทนทานของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบดำ จากการกระทำของโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต โดยการนำเถ้าแกลบดำแทนที่ในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักพบว่า ค่าการรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เถ้าแกลบดำในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนัก มีค่าการรับแรงอัดใกล้เคียงกับส่วนผสมที่ไม่มีการแทนที่เถ้าแกลบดำในปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และส่วนผสมที่มีการแทนที่เถ้าแกลบดำในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 - 50 โดยน้ำหนัก มีค่าการรับแรงอัดน้อยกว่าส่วนผสมที่ไม่มีการแทนที่เถ้าแกลบดำในปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (อนัญญ์ รอดอนันต์, 2547) การศึกษาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ โดยนำปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 0 - 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งค่าการรับแรงอัดในช่วงต้น มีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์ที่ไม่มีการแทนที่เถ้าลอยแม่เมาะ แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะมีค่าการรับแรงอัดมากขึ้น โดยเปรียบเทียบกับการเพิ่มของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร, 2528)

การศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยในปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตสมรรถนะสูง พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะมีการพัฒนาการรับแรงอัดในระยะยาวสูงขึ้น เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา เพราะในระยะแรกที่ระยะเวลาการบ่ม 1-14 วัน มีปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการลดปริมาณปูนซีเมนต์แล้วแทนที่ด้วยเถ้าลอย และทำให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกของคอนกรีตผสมเถ้าลอยยังเกิดขึ้นน้อย ทำให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยเกิดขึ้น

ซ้ำในช่วงแรก แต่จะเพิ่มมากขึ้นในระยะเวลาการบ่มที่มากขึ้น (วิศว จักรไพศาล, 2539) การศึกษาการใช้ซีเมนต์เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเติมในการผลิตซีเมนต์บล็อกละและกระเบื้องแผ่นยิปซัม พบว่าสูตรที่มีส่วนผสมของซีเมนต์เถ้าลอยจะมีความแข็งแรงต่ำในช่วงแรก ๆ แต่เมื่อระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จะให้ค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น โดยสูตรที่มีค่าการรับแรงอัดอยู่ในมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้อย่างต่ำ 35 MN/m^2 อยู่ในช่วงการใช้ซีเมนต์เถ้าลอยร้อยละ 20 - 30 (ทนง ศิริกาญจนโรจน์ และ สมเลิศ พิภพเนศ, 2529)

การศึกษาค่ากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าลอยและซีเมนต์เถ้าแกลบ พบว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ด้วยซีเมนต์เถ้าลอย หรือซีเมนต์เถ้าแกลบ ที่อายุการบ่ม 3 และ 7 วัน ในทุก ๆ ส่วนผสม มีค่าการรับแรงอัดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน เมื่อมีการแทนที่ซีเมนต์เถ้าลอย หรือซีเมนต์เถ้าแกลบในปริมาณมากขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มผ่านไปหลัง 28 วัน ค่าการรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ถูกแทนที่ซีเมนต์เถ้าลอยหรือซีเมนต์เถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสมจะมากขึ้น โดยอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 10 15 และ 20 โดยเกือบทั้งหมดจะมีค่าการรับแรงอัดสูงกว่าส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์เถ้าลอยหรือซีเมนต์เถ้าแกลบ (อุดม หงษ์ประธานพร, 2533) การใช้ซีเมนต์เถ้าลอยเหมาะสมในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด พบว่า ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมซีเมนต์เถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ซีเมนต์เถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้น และจะทำให้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น โดยค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย (กรกฎ วิจิตรพงศ์, 2531)

การศึกษาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ ซีเมนต์เถ้าลอย และสารลดน้ำพิเศษ พบว่า ค่าการรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนที่ซีเมนต์เถ้าแกลบ ร้อยละ 20 ที่อายุการบ่ม 3 และ 7 วัน จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าการรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์เถ้าแกลบ แต่เมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 28 และ 90 วัน ค่าการรับแรงอัดที่อายุการบ่มเดียวกัน จะมีค่าสูงกว่าปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์เถ้าลอย (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร อ้างถึงใน สำนักงานวิจัยและพัฒนาวิชาการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536, น. 5-4) การเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตบล็อกละ โดยการใช้ซีเมนต์เถ้าแกลบและซีเมนต์เถ้าลอยแทนซีเมนต์ พบว่า ปูนซีเมนต์แทนที่ซีเมนต์เถ้าไม่บดจะมีความต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น เพราะซีเมนต์เถ้ามีลักษณะความพรุนสูง จึงดูดน้ำมาก แต่ปูนซีเมนต์แทนที่ซีเมนต์เถ้าบดจะมีความต้องการน้ำในส่วนผสมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์แทนที่ซีเมนต์เถ้าไม่บด และค่าการรับแรงอัดของปูนซีเมนต์แทนที่ซีเมนต์เถ้าไม่บดทั้งเถ้าแกลบและเถ้าลอย จะทำให้ค่าลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ไม่ได้แทนที่ซีเมนต์เถ้า แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาการบ่มผ่านไป 14 วัน จะสามารถทำให้ค่าการรับแรงอัดสูงกว่า 20 kg/m^2 ส่วนปูนซีเมนต์

แทนที่ซีเฝ้าปิดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะมีค่าการรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์แทนที่ซีเฝ้าไม่ปิด และปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้แทนที่ซีเฝ้า (เซาวรินทร์ สุวานะวัฒนา, 2548)

2.4.2 การพัฒนาคุณสมบัติของฉนวนของวัสดุ

การศึกษาผลกระทบของสีผนังและมวลสารภายในต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร พบว่า ผนังที่มีมวลสารน้อยจะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าผนังที่มีมวลสารมากในเวลากลางวัน เพราะผนังที่มีมวลสารมากจะเก็บความร้อนและหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ที่ตัวผนังยาวนานกว่าผนังที่มีมวลสารน้อย ผลการทดลองภายในกล่องทดสอบ ทำให้ความร้อนภายในกล่องทดลองค่อย ๆ สูงขึ้น ดังนั้นผนังที่มีมวลสารน้อยจะคายความร้อนได้เร็วกว่าผนังที่มีมวลสารมากในเวลากลางคืน ทำให้ผนังที่มีมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าผนังที่มีมวลสารมาก เพราะฉะนั้นผนังที่มีมวลสารมาก เมื่อใช้ระบบปรับอากาศ จะทำให้เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ จะสิ้นเปลืองพลังงานมาก ในการรีดความร้อนออกจากผนัง เพราะผนังที่มีมวลสารมากจะสะสมความร้อน และความร้อนที่ตัวผนัง โดยผนังที่มีมวลสารน้อยจะใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ เพราะตัวผนังไม่สะสมความร้อนและความชื้น (พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา, 2540) การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังวัสดุก่อของอาคารพักอาศัยในเขตร้อนชื้น พบว่าอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ ควรใช้ผนังที่มีมวลสารมาก เพราะพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุของอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอกตลอดเวลา ดังนั้นการใช้ผนังที่มีมวลสารมาก จะช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิผิวภายในไม่สูงมาก แต่จะมีการคายความร้อนในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น ส่วนอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ ควรใช้ผนังที่มีมวลสารน้อย และด้านภายนอกของผนังควรมีฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิจากภายนอกไม่ให้ส่งผลกระทบต่อภายในห้อง เพราะเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ ผนังที่มีมวลสารมากจะสะสมความร้อนไว้ที่ผนังมาก ทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิของผนัง (อุทัย ศุภสิกุลวงศ์, 2543)

การศึกษากการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีต พบว่า อิทธิพลค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตโดยมีการพิจารณาการทดสอบซึ่งมีตัวแปรที่มีความแตกต่างกัน 7 แบบ คือ อายุของการบ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดของสารผสมเพิ่ม อัตราส่วนของวัสดุมวลรวม ลักษณะของมวลรวมละเอียด อุณหภูมิ และค่าความชื้น โดยผลการทดสอบผลกระทบของอายุการบ่มที่เพิ่มมากขึ้นจะมีค่าการส่งผ่านความร้อนที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีการทดสอบตัวอย่าง คือ คอนกรีต

มอร์ตาร์ ซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุมวลรวมหยาบ และซีเมนต์เพสต์ ที่อายุ 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ซึ่งคอนกรีตมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.98 2.02 2.00 และ 1.97 (kcal/m h°C) ตามลำดับ ผลการทดสอบผลกระทบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้น ที่อัตราส่วนร้อยละ 25 30 35 และ 40 ตามลำดับ โดยมีการเพิ่มปริมาณน้ำแต่ลดปริมาณปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าการส่งผ่านความร้อนของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลงโดยที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ในซีเมนต์เพสต์สภาวะแห้งมีค่าการส่งผ่านความร้อน 0.84 0.83 0.74 และ 0.66 (kcal/m h°C) ตามลำดับ และการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ในสภาวะซีเมนต์เพสต์แห้งมีค่าการส่งผ่านความร้อน 0.82 0.82 0.73 และ 0.65 (kcal/m h°C) ตามลำดับ ผลการทดสอบผลกระทบของอัตราส่วนของวัสดุมวลรวมโดยมีการลดปริมาณวัสดุมวลรวมแต่เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ โดยมีค่าอัตราส่วนของวัสดุมวลรวมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ คือ 0.70 0.63 0.56 0.49 0.35 0.21 และ 0 ตามลำดับ ทำให้ค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลงโดยที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ในซีเมนต์เพสต์สภาวะแห้งมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.69 1.67 1.52 1.32 1.10 0.86 และ 0.66 (kcal/m h°C) ตามลำดับ และการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ในสภาวะซีเมนต์เพสต์แห้งมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.67 1.62 1.45 1.27 1.09 0.83 และ 0.65 (kcal/m h°C) ตามลำดับ (Kim et al, K.-H., 2003) การศึกษาค่าส่งผ่านความร้อนคอนกรีตผสมแร่ธาตุ พบว่า การทดสอบสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน คือการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตผสมไมโครซิลิกา คอนกรีตผสมซีเมนต์ Class C ที่มี ไอออรันออกไซด์ (Fe_2O_3) อลูมินา (Al_2O_3) และ ซิลิกา (SiO_2) รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 และคอนกรีตผสมตะกรันเหล็ก (blast furnace slag) โดยคอนกรีตผสมไมโครซิลิกาในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 7.5 และ 15 จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม ซึ่งจะมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.167 1.057 และ 1.230 (W/mK) ตามลำดับ โดยคอนกรีตผสมซีเมนต์ Class C ในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 15 และ 30 จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม ซึ่งจะมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.083 0.9518 และ 1.230 (W/mK) ตามลำดับ โดยคอนกรีตผสมตะกรันเหล็กในปริมาณที่มากขึ้นที่ร้อยละ 15 และ 30 จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม ซึ่งจะมีค่าการส่งผ่านความร้อน 1.099 1.044 และ 1.230 (W/mK) ตามลำดับ (Demirboga, 2006)

การศึกษาล่าสุดที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตและการนำไปประยุกต์ใช้ พบว่า การทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนโดยจะมีการศึกษาเปรียบเทียบ 5 ตัวแปรที่แตกต่างกัน คือ มอร์ตาร์ คอนกรีตผสมหินภูเขาไฟ (basalt concrete) คอนกรีตผสม

หินปูน (limestone concrete) คอนกรีตผสมหินทรายแป้ง (siltstone concrete) และคอนกรีตผสมหินควอร์ตไซต์ (quartzite concrete) ซึ่งมีอัตราส่วน ซีเมนต์ ต่อวัสดุมวลรวมละเอียด ต่อวัสดุมวลรวมหยาบเป็น 1 : 2.33 : 4.66 โดยมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 และทรายที่ใช้ในการผสมจะแบ่งเป็น 2 ชนิด โดย ทรายชนิดที่ 1 คือ ทรายที่ได้จากเหมืองมีสีแดงและมีส่วนผสมของควอร์ต (reddish land quarried quartz sand) และทรายชนิดที่ 2 คือ ทรายที่ได้จากแม่น้ำมีสีเทา (greyish river sand) ซึ่ง มอร์ตาร์ คอนกรีตผสมหินภูเขาไฟ คอนกรีตผสมหินปูน คอนกรีตผสมหินทรายแป้ง และคอนกรีตผสมหินควอร์ตไซต์ ที่ผสมทรายชนิดที่ 1 จะมีค่าความพรุนร้อยละ 22.99 14.93 15.58 16.59 และ 16.50 ตามลำดับ และมอร์ตาร์ คอนกรีตผสมหินภูเขาไฟ คอนกรีตผสมหินปูน คอนกรีตผสมหินทรายแป้ง และคอนกรีตผสมหินควอร์ตไซต์ ที่ผสมทรายชนิดที่ 2 จะมีค่าความพรุนร้อยละ 24.10 16.63 17.01 19.27 และ 18.52 ตามลำดับ ดังนั้น ค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ คอนกรีตผสมหินภูเขาไฟ คอนกรีตผสมหินปูน คอนกรีตผสมหินทรายแป้ง และคอนกรีตผสมหินควอร์ตไซต์ ที่ผสมทรายชนิดที่ 1 จะมีค่า 1.90 2.26 2.03 2.21 และ 2.77 ตามลำดับ โดยจะมีค่าการส่งผ่านความร้อนสูงกว่าของมอร์ตาร์ คอนกรีตผสมหินภูเขาไฟ คอนกรีตผสมหินปูน คอนกรีตผสมหินทรายแป้ง และคอนกรีตผสมหินควอร์ตไซต์ ที่ผสมทรายชนิดที่ 2 จะมีค่า 1.37 1.97 1.60 1.91 และ 2.29 ตามลำดับ เนื่องจากค่าการส่งผ่านความร้อนของวัสดุมวลรวมที่ผสมซึ่งก็คือ ทรายชนิดที่ 1 จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนที่สูงกว่าทรายชนิดที่ 2 ทำให้มอร์ตาร์และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายชนิดที่ 1 จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนสูงกว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายชนิดที่ 2 เช่นเดียวกับกับค่าการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตที่ผสมวัสดุมวลรวมหยาบที่แตกต่างกันก็จะมีค่าการส่งผ่านความร้อนที่ไม่เท่ากัน ซึ่ง หินภูเขาไฟ หินปูน หินทรายแป้ง และหินควอร์ตไซต์ มีค่าการส่งผ่านความร้อน 4.03 3.15 3.52 และ 8.58 ตามลำดับ ทำให้คอนกรีตที่ผสมหินควอร์ตไซต์ มีค่าการส่งผ่านความร้อนสูงสุดและคอนกรีตที่ผสมหินปูน มีค่าการส่งผ่านความร้อนน้อยที่สุด (Khan, M.I., 2002)