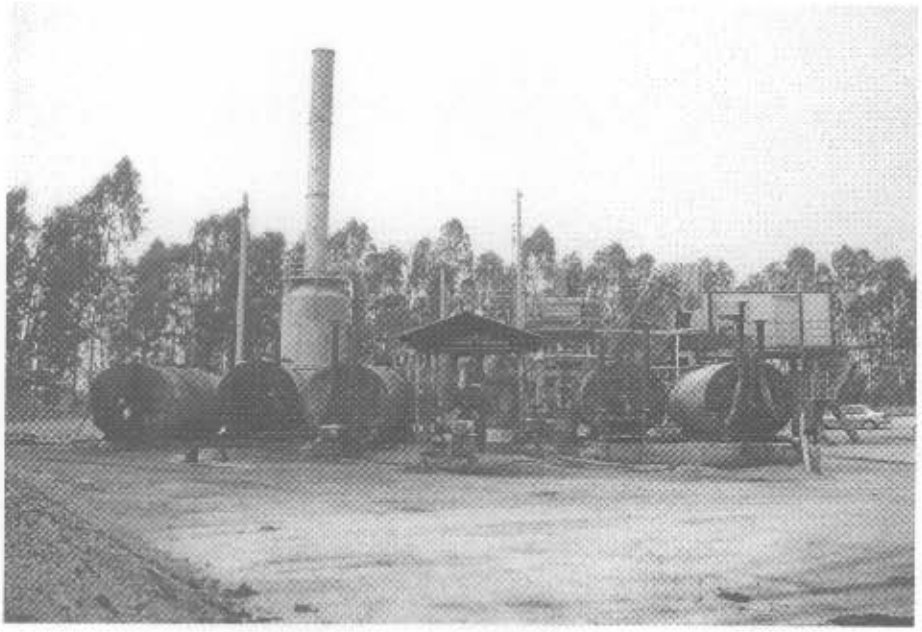
บทที่ 2
วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตแอสฟัลท์ คอนกรีต (Asphalt Concrete)

แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมเสร็จจากโรงงานดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งภายในโรงงานมีเครื่องให้ความร้อนหินและยางจนอุณหภูมิได้ที่แล้วจึงผสมกันในอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โรงงานผสมอาจจะเล็กหรือใหญ่แล้วแต่จำนวนแอสฟัลท์คอนกรีตที่ต้องการ ส่วนประกอบที่สำคัญของโรงงานผลิตมีดังนี้

1. ที่เก็บหินขณะยังไม่ให้ความร้อน
2. เครื่องให้ความร้อนหินและยาง
3. เครื่องร่อนหิน
4. ที่เก็บหินร้อน
5. เครื่องวัดและเครื่องผสม



ภาพที่ 2.1 โรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต

กรรมวิธีของการผลิตคือนำหินจากกองในปริมาณที่ต้องการไปเผาให้แห้ง แล้วผ่านตะแกรงร่อนเป็นขนาดเม็ดต่าง ๆ กับ แยกกันเก็บไว้ในถังเก็บ เมื่อต้องการผสมจึงนำออกมาตามจำนวนและขนาดเม็ดคละให้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วผสมกับยางร้อนในถังผสม คลุกเคล้าจนได้อุณหภูมิผสมตามต้องการแล้วจึงเทใส่รถบรรทุกนำไปยังสถานที่ก่อสร้างถนนต่อไปดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดย โรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอยู่ที่ (Stationary Plant)

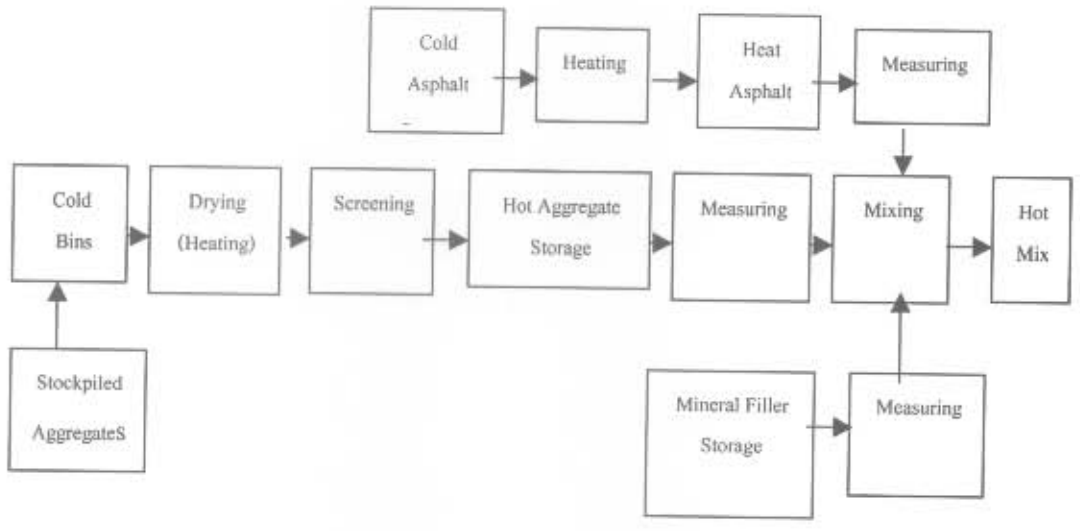
และ ชนิดเคลื่อนย้ายง่าย (Mobile Plant) แอสฟัลท์คอนกรีตที่ผลิตได้ทั้งชนิดที่ 1 และ 2 จะผลิตได้ทั้งแบบเป็นคราวหรือเป็นชุด (Batch-mix Type) หรือผลิตแบบต่อเนื่องกันไป (Continuous-mix type) ก็ได้

2.2 ขั้นตอนการทำหินให้แห้งและการให้ความร้อน

หินก่อนที่จะผสมกับยางจะต้องทำให้ร้อนก่อน ฉะนั้นเครื่องให้ความร้อนหินจึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโรงงานผลิตคอนกรีตแอสฟัลท์ เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยเตาเผาเป็นรูป ทรงกระบอก (Drum) วางเอียงพื้นราบ โดยมีที่พ่นน้ำมันหรือแกสอยู่ทางด้านล่าง หินเย็นจะถูกส่งเข้าทางด้านบนของเตาเผา และถูกบังคับให้เคลื่อนตัวลงสู่ด้านล่างโดยเครื่องภายในหินจะถูกเปลวไฟพ่นจนร้อนน้ำระเหยออกไปหมด หินที่แห้งแล้วจะถูกบังคับให้ออกทางด้านต่ำของเตาเผา แล้วเข้าสู่สายส่งขึ้นถังสูง เพื่อไปร่อนผ่านตะแกรงแล้วแยกเก็บไว้ตามขนาดต่าง ๆ กันในถังเก็บหินร้อน

เครื่องให้ความร้อนหินนี้ ถือเป็นส่วนที่สำคัญและมีราคาแพงที่สุดของโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต และมักเป็นส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาในการผลิตหากเกิดข้อขัดข้องหรือผลิตหินร้อนไม่ได้จังหวะกับผลผลิตที่ต้องการ เครื่องให้ความร้อนที่ดีจะต้องผลิตได้ตามปริมาณที่ต้องการ โดยลงทุนต่ำและค่าดำเนินการต่ำด้วย

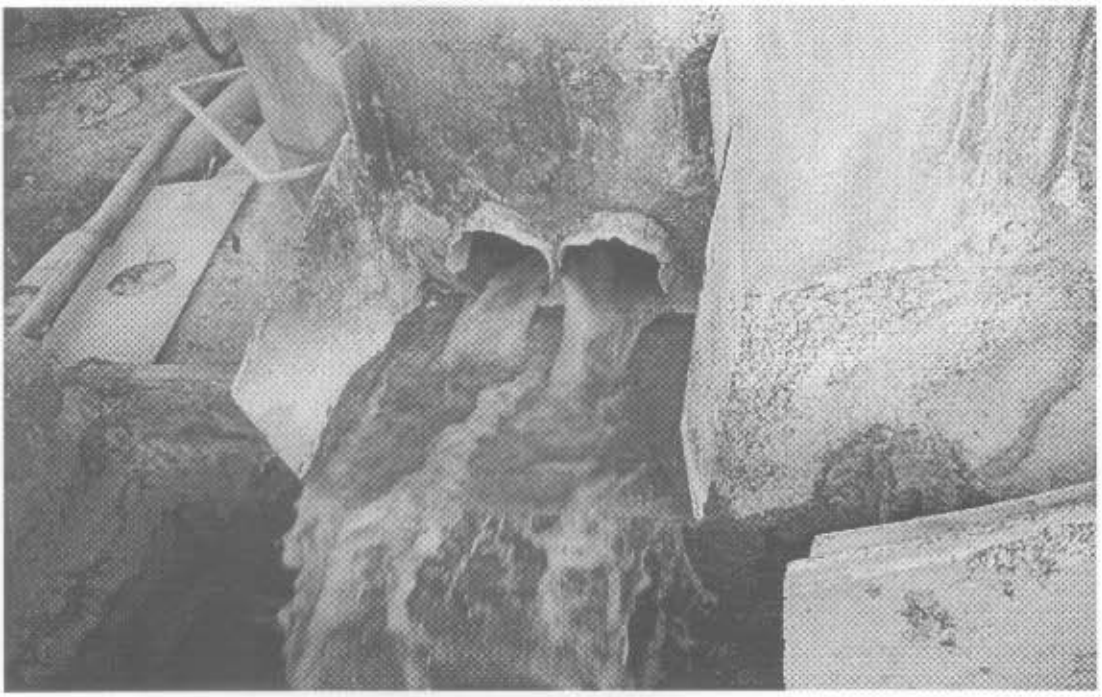
ส่วนการวัดอุณหภูมิของหินก่อนผสมจะต้องวัดให้ได้แน่นอนตามกำหนด การวัดอุณหภูมิวัดได้โดยใช้เทอร์โมคัพเพิ่ล (Thermocouple) ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตและส่วนประกอบที่สำคัญของโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต
(ฉรงค์ กุหลาบ, 2542)

2.3 การกำจัดฝุ่นเถ้าลอยที่เกิดขึ้น

ขณะให้ความร้อนหินจะเกิดฝุ่นซึ่งหากปล่อยออกไปภายนอก จะทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่บริเวณข้างเคียง ดังนั้นเครื่องดูดฝุ่นจึงติดตั้งไว้ทางด้านสูงของเตาสำหรับให้ความร้อนหิน ฝุ่นที่ลอยขึ้นจะถูกบังคับให้ผ่านท่อดังแสดงในภาพที่ 2.3 หลังจากนั้นก็จะไปรวมกับหินร้อนในถังเก็บหินร้อนเพื่อใช้ผสมกับยางต่อไป หากฝุ่นดังกล่าวมีมากหรือไม่เหมาะกับการผสมแอสฟัลท์คอนกรีตก็จะบังคับให้ออกจากระบบโดยวิธีที่ไม่เกิดความเดือดร้อนแก่โรงงานหรือบริเวณข้างเคียง



ภาพที่ 2.3 เถ้าลอยที่ถูกกำจัดจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต

2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Mindess and Young (1981) พบว่า เมื่อผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) การทำปฏิกิริยาจะได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, C-S-H) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, C-A-H) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, CH) ดังสมการ

$C_3S + H$ ----------> C-S-H + CH

หรือ $2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2$

$C_2S + H \dashrightarrow C\text{-}S\text{-}H + CH$

หรือ $2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2$

แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระนี้ สามารถทำปฏิกิริยากับ ซิลิกอนและอลูมินาออกไซด์ จากขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าลอยได้เป็น แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) ดังสมการ

$CH + S \dashrightarrow C\text{-}S\text{-}H$

หรือ $3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O$

$CH + A \dashrightarrow C\text{-}A\text{-}H$

หรือ $3Ca(OH)_2 + 2Al_2O_3 \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O$

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้แก่ ออกไซด์ของธาตุแคลเซียม (calcium) จำพวกหินปูน (limestone) และหินชอล์ก (chalk) และออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (silicon) และอลูมิเนียม (aluminium) จำพวกดินเหนียว หินเชล (shale) และหินชนวน (slate) ในบางครั้งดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียมและซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (marl) นอกจากนี้การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบอย่างอื่นได้แก่ออกไซด์ของเหล็ก (iron oxide) ซึ่งได้จากลูกรัง (laterite) ออกไซด์ของอลูมิเนียมและเหล็กช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดได้ง่ายขึ้นและยังต้องการยิปซัม (gypsum) เพื่อหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไป กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (wet process) และกระบวนการผลิตแห้ง (dry process) โดยขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบ การผลิตทำโดยการเผาวัตถุดิบที่ผ่านการบดละเอียดและผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 1,500-1,600 องศาเซลเซียสในเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น ได้สารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนตและเฟอร์ไรต์และเริ่มการทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด (clinkering) วัตถุดิบจะหลอมละลายและประมาณร้อยละ 20-30 กลายเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิ 1,400-1,600 องศาเซลเซียสส่วนผสมจะทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดก้อนกลมขนาด 3 ถึง 40 มิลลิเมตร ในส่วนท้ายสุดของเตาอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว และปูนเม็ดจะออกจากเตาเผาอัตราการลดลงของอุณหภูมิมีผลต่อความเป็นผลึก (crystal) ของปูนเม็ด ในขั้นตอนสุดท้ายจะบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมประมาณร้อยละ 2.5-3.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์เพื่อช่วยหน่วงการก่อตัว

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (major oxider) และออกไซด์รอง (minor oxider) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ออกไซด์หลักได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3), และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (minor oxide) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่แปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการเผาและการเย็นลงของปูนเม็ด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
CaO	60 - 67	64.4
SiO_2	17 - 25	20.0
Al_2O_3	3 - 8	5.8
Fe_2O3	0.5 - 6.0	3.2
MgO	0.1 - 4.0	0.5
Na_2O	0.1 - 1.3	0.5
K_2O	0.1 - 1.3	0.5
SO_3	0.5 - 3	2.6
สารประกอบอื่น	1 - 3	1.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	0.1 - 3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง	0.2 - 0.8	0.5

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) $3CaO.SiO_2$ (C_3S)
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate) $2CaO.SiO_2$ (C_2S)
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate) $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A)
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (tetracalcium aluminoferrite)$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$(C_4AF)

คุณสมบัติของสารประกอบหลัก C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF มีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ คุณสมบัติที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2 C_3S มีอยู่มากที่สุดประมาณร้อยละ 45-55 มีรูปร่างเหลี่ยมสีเทาแก่เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและเกิดความร้อนเรียกว่าความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (heat of hydration) และเกิดการก่อตัวและแข็งตัว C_3S ให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ปริมาณ,ร้อยละ	44 - 55	15 -35	7 -15	5 - 10
อัตราการทำปฏิกิริยา	เร็ว(ชม.)	ช้า(วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก(นาที)
การพัฒนากำลัง	เร็ว(วัน)	ช้า(สัปดาห์)	เร็วมาก(1วัน)	เร็วมาก(1วัน)
กำลังประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนจากปฏิกิริยา	สูง	ต่ำ	สูงมาก	ปานกลาง

C_2S มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 15-35 C_2S ที่บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบ C_2S เกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาเช่นกัน ความร้อนของปฏิกิริยาเช่นกัน ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะไม่สูง การพัฒนากำลังของ ช้ากว่า มาก คือเริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ C_3A มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7-15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วและทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมากการพัฒนากำลังของ จะเร็วมากคือสามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่อนข้างต่ำ มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 5-10 อยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง (solid solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาและทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลางโดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมากเช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าต่ำ

คุณสมบัติของสารประกอบรอง สารประกอบรองมีอยู่ในจำนวนน้อย แต่มีผลกระทบต่อซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่แข็งตัวและที่แข็งตัวแล้ว

1.ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ เมื่อมีอยู่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัวและแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับ C_3A เกิดเอททริงไกต์ (ettringite) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มาตรฐานกำหนดปริมาณ SO_3 ในปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 3.0

2. ปูนขาวอิสระ ปกติมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5-1.0 สามารถรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้า ๆ ทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาตรมากขึ้น ถ้าปูนขาวอิสระมีมากเกินจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้วขยายตัวและแตกร้าวได้ พฤติกรรมนี้เรียกว่า "ความไม่คงตัว"(unsoundness)

3. แมกนีเซียมออกไซด์ บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระและจะรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้ามากกินเวลานับปีทำให้เกิดความไม่คงตัวได้

4. ออกไซด์ของอัลคาไล มีอยู่ร้อยละ 0.5-1.3 มีบทบาทสำคัญในกรณีที่มวลรวมเป็นพวกซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลมวลรวม" (alkali-aggregate reaction) ได้อัลคาไลซิลิกาเจล (alkali-silica gel) และเกิดการขยายตัวทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

5. ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ มีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1-0.2 ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO นอกจากนี้ถ้ามี P_2O_5 มากพออาจทำให้เกิดความไม่คงตัวเพราะมีปูนขาวอิสระเกิดเพิ่มมากขึ้น

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ องค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถปรับให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ มาตรฐาน ASTM C150 แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ข้อกำหนดเกณฑ์คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐานทั้ง 5 ประเภทมีอยู่ในมาตรฐานมอก. 15 เล่ม 1 สารประกอบและคุณสมบัติบางประการได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.3

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary Portland cement) ใช้กันมากที่สุด สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังและเกิดความร้อนปานกลาง

2. ปูนซีเมนต์ประเภทสอง หรือปูนซีเมนต์ดัดแปลง (modified cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำกว่าและให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเหมาะสำหรับทำคอนกรีตที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (rapid hardening portland cement) ให้กำลังสูงในระยะแรกและให้ความร้อนจากปฏิกิริยาสูง โดยมีปริมาณ C_3S สูงและความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว หรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย การใส่เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนทำให้ปริมาณ C_3S, C_2S, C_3A และC_4AF ในคอนกรีตลดลง การทำปฏิกิริยาของสารซีเมนต์จะช้าลง การคายความร้อนจากปฏิกิริยาชะลอตัวออกไป ทั้งนี้เถ้าลอยเป็นอนุภาคเล็กและมีทรงกลมทำให้สามารถกระจายตัวได้ดีในเพสต์ อนุภาคที่เล็กสามารถเป็นตัวแทรก (filler) เข้าไปในช่องว่างทำให้เพสต์แน่นขึ้น และยังทำให้เกิดแหล่งสำหรับการตกผลึก (nucleation site) ของผลิตผลไฮเดรชันเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.3 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งถึงห้า

สารประกอบและคุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	30
C_2S	25	29	15	50	46
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด(เบลน,ตร.ซม/กรัม)	3000	3000	4500	3000	3000
กำลังอัด(3 วัน,กก/ตร.ซม)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา(28 วัน,จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

เถ้าลอยประกอบไปด้วย SiO_2 และ AI_2O_3 เป็นหลัก และถ้าเป็นเถ้าลอยชนิด C ก็จะมี CaO มากด้วย ปฏิกิริยาหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยและน้ำจึงเกิดระหว่าง SiO_2 และ AI_2O_3 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ

โพรงและโครงสร้างของโพรง ขนาดและโครงสร้างของโพรงมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โพรงของเพสต์มอร์ต้าร์และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีตสด

1. ปริมาณอากาศของมอร์ต้าร์ เพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย การเพิ่มเถ้าลอยเป็นการเพิ่มปริมาณของเพสต์ เนื่องจากเถ้าลอยมี ถ.พ. ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้

ปริมาณอากาศของมอร์ต้าสดเพิ่มขึ้น ปริมาณอากาศของคอนกรีตสดที่ W/B เท่ากันจะลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น การใส่เถ้าลอยโดยไม่ลดน้ำทำให้มีน้ำส่วนเกินซึ่งจะไปแทนที่โพรงอากาศ ทำให้ปริมาณอากาศที่วัดได้ลดลง

2. โพรงในเพสต์ที่แข็งตัวแล้ว โพรงในเพสต์แบ่งได้เป็นโพรงขนาดใหญ่ โพรงคาปิลารี (capillary pore) และโพรงขนาดจิ๋ว (micropore) หรือโพรงของเจล (gel pore) ปริมาตรโพรงในเพสต์ส่วนใหญ่มาจากโพรงคาปิลารี ขนาดของโพรงมีการแบ่งที่ไม่แน่นอน แต่ที่นิยมใช้กันคือโพรงส่วนใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตรเป็นโพรงขนาดใหญ่ โพรงขนาด 0.01-10 ไมโครเมตรเป็นโพรงคาปิลารี และขนาดเล็กว่า 0.01 ไมโครเมตรเป็นโพรงของเจล โพรงขนาดใหญ่ในคอนกรีตมีหลายประเภท ได้แก่ โพรงจากการอัดแน่น (compaction pore) โพรงจากสารกัดกกระจายฟองอากาศและโพรงจากน้ำส่วนเกิน

การใส่เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้ขนาดและโครงสร้างของโพรงเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงต้นขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลิตผลไฮเดรชันที่เกิดขึ้นเข้าไปแทรกในที่ว่างทำให้โพรงมีขนาดเล็กลง การใส่เถ้าลอยทำให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงต้นลดลง เป็นผลให้โพรงของเพสต์มีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่ทั้งนี้การกระจายตัวของโพรงจะดีขึ้น เถ้าลอยมีลักษณะเป็นอนุภาคกลมทำให้สามารถกระจายตัวได้ดีในซีเมนต์เพสต์ขนาดเฉลี่ยของโพรงเล็กลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอย

การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของเพสต์ยังคงมีต่อไป ผลิตผลไฮเดรชันเข้าไปแทรกในโพรงทำให้ปริมาตรโพรงลดลง ที่อายุมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอยเกิดมากขึ้น สำหรับส่วนผสมที่มีเถ้าลอยพอเหมาะประมาณร้อยละ 20 การลดลงของโพรงจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าส่วนผสมที่มีเถ้าลอยมาก การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์และปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอยทำให้ปริมาตรโพรงของเพสต์ผสมเถ้าลอยลดลงต่ำกว่าของเพสต์ธรรมดาได้ ช่วงเวลาที่ต้องการสำหรับการทำปฏิกิริยาและได้ผลิตผลไฮเดรชันเท่าเทียมกับเพสต์ธรรมดาประมาณ 1-6 เดือน ซึ่งตรงกับพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงกล่าวคือกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่อายุต้นจะต่ำแต่จะดีขึ้นหลังอายุ 1-6 เดือนและมีความทึบน้ำและความทนทานสูงขึ้นด้วย คอนกรีตผสมเถ้าลอยมีคุณสมบัติดีขึ้นที่อายุมากจึงเหมาะสำหรับโครงสร้างสมัยใหม่ที่ราคาแพงและต้องการอายุการใช้งานสูงนับร้อยปี นอกจากนี้ยังพบว่าเถ้าลอยขนาดเล็กมีความกลมกว่าและผิวเรียบกว่าสามารถลดขนาดเฉลี่ยและปริมาตรของโพรงได้ดีกว่าเถ้าลอยที่หยาบ

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Minick (1954) พบว่าปริมาณความละเอียดของขี้เถ้าลอยที่ผ่านแร่งเบอร์ 325 มีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาและคอนกรีต และความสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ มีผลต่อกำลังรับ

แรงอัดของมอร์ตาและคอนกรีต Watt และ Thorne (อ้างถึงใน Kokubu, 1968) ได้ทำการทดสอบ ขี้เถ้าลอย 10 ตัวอย่าง ที่มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกัน พบว่าดัชนีความเป็นปอซโซลานเพิ่มขึ้น เมื่อความละเอียดเพิ่มขึ้นและมีเพียงตัวเดียวที่แตกต่างจากกลุ่มใหญ่จากการศึกษาของ Ghosh (1967) และ Cook (1985) ได้กล่าวในทำนองเดียวกันว่า อัตราส่วนผสมที่ พอเหมาะสำหรับขี้เถ้าลอย Class F โดยทั่วไปจะใช้อัตราการแทนที่ 15-25% ซึ่งใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานและขี้เถ้าลอย Class C โดยทั่วไปจะใช้อยู่ในช่วง 15-35% และส่วนใหญ่ใช้ในงานคอนกรีตหลา(mass concrete) ซึ่งขี้เถ้าลอยจะช่วยลดปฏิกิริยาความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้าว

Timms และ Grieb (1956) ได้ศึกษาเถ้าถ่านหินที่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 0.2 0.6 5 และ 11.2 พบว่าที่อายุ 7 วัน คอนกรีตที่ผสมขี้เถ้าลอยจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสม ขี้เถ้าลอย แต่ภายหลังจากอายุ 28 วัน แล้วจะทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าใกล้เคียงกัน และที่เวลา 1 ปี จะมีกำลังรับแรงอัดมากว่าคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมขี้เถ้าลอย และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในขี้เถ้าลอยพบว่าขี้เถ้าลอยที่ปริมาณคาร์บอนต่ำ จะทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาและคอนกรีตสูงกว่าขี้เถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าในอัตราส่วนผสมเท่ากัน

ปริญญา และ อินทรชัย (2530) ทำการศึกษาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยลิกไนต์ โดยการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความละเอียด, ความถ่วงจำเพาะ, กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า, ความข้นเหลวปกติ, ระยะเวลาก่อตัว, การคายน้ำ, กำลังรับแรงดึง, การต้านทานสารเคมี, การขยายตัว และการหดตัว ได้ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดสูงสุด 480.9 กก./ตร.ซม. ที่ 28 วัน ซึ่งสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่ผสมเถ้าลอย ร้อยละ 23 ที่สัดส่วน เถ้าลอย : ซีเมนต์ 20 : 80

บัณฑิต (2535) ศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยลิกไนต์ และสารลดน้ำพิเศษ ได้ทำการศึกษา หาปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสม กำลังรับแรงอัด ความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาก่อตัว การคายน้ำ กำลังรับแรงดึง การต้านทานสารเคมี การ ขยายตัวและการหดตัวของส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอย และสารลดน้ำพิเศษในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า เถ้าแกลบ : ซีเมนต์ 20 : 80 ให้ผลกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดและดีกว่าผสมเถ้าลอยกับซีเมนต์ที่อัตราส่วนเท่ากัน

ชัย และ สมิตร (2538) พบว่าการใช้ขี้เถ้าลอยที่มีความละเอียดสูง แทนที่ปูนซีเมนต์จะทำให้กำลังอัดของมอร์ตาสูงขึ้นในช่วงอายุที่ทดสอบคือ 0-28 วัน ความละเอียดของขี้เถ้าลอยมีผลต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีต คือขี้เถ้าลอยที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจะทำให้การพัฒนากำลังในระยะเริ่มต้นได้ดีกว่า Mehta (1985)

ธีระพล (2540) ศึกษาคุณสมบัติของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ โดยศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัว ความข้นเหลวปกติ กำลังรับแรงอัด

การคายน้ำ การหดตัวเมื่อแห้ง และการต้านทานการกัดกร่อนต่อสารเคมี พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอย ที่ส่วนผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 ร้อยละ 40