

บทที่ 2

สรุปทฤษฎีและสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิฐดินซีเมนต์

อิฐดินซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่งที่ได้จากการอัดส่วนผสมของดินมวลรวม (ถูกรัง) ปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่พอเหมาะให้เป็นก้อน ซึ่งจะมีความแข็งแรงสามารถใช้งานได้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภทเช่น อาคาร บ้านพักอาศัย พื้นปูถนน และอื่นๆ เนื่องจากอิฐดินซีเมนต์ประกอบด้วยดินมวลรวม ปูนซีเมนต์ และน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐดินซีเมนต์

- ลักษณะของดินมวลรวม

ดินมวลรวมที่นำมาทำอิฐดินซีเมนต์แต่ละแหล่งนั้นมีลักษณะแตกต่างกัน ทำให้อิฐดินซีเมนต์มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ขนาดของเม็ดดินและการกระจายขนาดของเม็ดดินที่เหมาะสมสำหรับอิฐดินซีเมนต์นั้นควรเป็นดินที่มีหลายขนาดปนกันอยู่ เพื่อให้เมื่อทำการบดอัดแล้วเม็ดดินขนาดเล็กจะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดดินขนาดใหญ่ ทำให้มีความหนาแน่นสูงและมีโพรงอากาศน้อย นอกจากขนาดของเม็ดดินแล้ว ความเหนียวของดินก็มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของอิฐดินซีเมนต์ กล่าวคือ ดินที่มีความเหนียวมากเกินไปจะไม่เหมาะสำหรับทำอิฐดินซีเมนต์ เนื่องจากทำให้การบดอัดให้แน่นทำได้ยาก และเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้อิฐดินซีเมนต์เกิดการพองตัว (Swell) ดังนั้นดินที่เหมาะสมควรมีขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่เกินร้อยละ 50 และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ไม่เกินร้อยละ 18 (O.G. Ingles and J.B. Metcalf, 1972)

- ปริมาณปูนซีเมนต์

การทำอิฐดินซีเมนต์หากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากจะช่วยให้ความแข็งแรงมาก และให้ความคงทนมากขึ้นด้วย

- ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในอิฐดินซีเมนต์นั้นควรเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถบดอัดให้มีความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบการบดอัด (Compaction Test) ของดินแต่ละชนิดในห้องปฏิบัติการ

- การบดอัด

ความแข็งแรงของอิฐดินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับ การบดอัดให้แน่น ซึ่งยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณปูนซีเมนต์ และอื่นๆ

- การบ่ม

การบ่มเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ เพราะช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นในอิฐดินซีเมนต์หายไป และยังทำให้การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยกำลังของอิฐดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามอายุของการบ่ม โดยปกติการบ่มควรใช้เวลา 7 วันเป็นอย่างน้อย (O.G. Ingles and J.B.Metcalf, 1972)

2.2 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (Fly Ash หรือ Pulverized fuel Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้า เถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับแล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล มีสีเทา เทาดำหรือน้ำตาล เถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) สังกะสีประเภทหนึ่ง มีส่วนประกอบหลักในรูปของซิลิกาและอะลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาและช่วงเวลาการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เผาถ่านหิน

การวิจัยในปัจจุบันจะศึกษาคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทบทั้งสิ้น เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีปริมาณสูงถึง 3,000,000 ตันต่อปี และในปีพ.ศ. 2540-2541 ได้มีการใช้เถ้าลอยลิกไนต์จากแม่เมาะมากที่สุดเป็นจำนวน 300,000 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 10 ของที่ผลิตได้ ปัจจุบันในประเทศไทยยังมีโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและมีศักยภาพของเถ้าลอยที่จะนำไปใช้ได้ เช่น โรงงานในนิคมอุตสาหกรรมแถบจังหวัดระยอง สมุทรสาครและกาญจนบุรี ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของเถ้าลอยจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการเลือกใช้เถ้าลอยจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542)

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618 (1995) ได้แก่ ชั้นคุณภาพ F และ ชั้นคุณภาพ C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดย

- เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์และอะลูมินาออกไซด์มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซต์และบิทูมินัส เนื่องจากเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F นี้มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นจะเรียกว่าเถ้าลอยที่มีแคลเซียมต่ำ (Low calcium fly ash หรือ Low lime fly ash) การที่เถ้าลอยมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ต่ำทำให้คุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อยหรือแทบจะไม่มี แต่อย่างไรก็ตามเถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้ยังมียุทธสมบัติของวัสดุป่อโซลัน

- เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์อยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก เถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้เกิดจากการเผาถ่านหินประเภท ลิกไนต์และซับบิทูมินัส เถ้าลอยชั้นคุณภาพนี้จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15-23 โดยน้ำหนัก และจะเรียกว่าเถ้าลอยที่มีแคลเซียมสูง (High calcium fly ash หรือ High lime fly ash) ซึ่งจะมีทั้งคุณสมบัติของซีเมนต์และป่อโซลันในตัวเอง (พิชัย นิมิตรยงสกุล และ สรรค์ สยามิกัด, 2542)

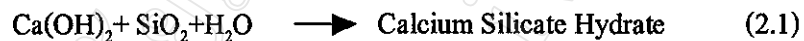
ตารางที่ 2.1 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C618-94a

ที่มา : ASTM C618-94a (1995)

คุณสมบัติ	ประเภทของเถ้าลอย	
	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (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

2.2.1 เถ้าลอยในฐานะสารเชื่อมประสาน

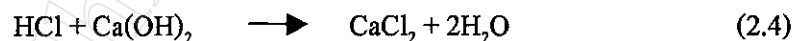
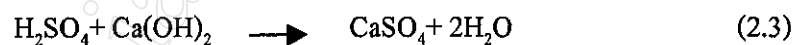
เมื่อผสมเถ้าลอยกับน้ำอย่างพอเหมาะแคลเซียมออกไซด์ CaO ที่มีอยู่ในเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกระหว่างกับซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ให้ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) และ แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Aluminate Hydrate) ดังสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2) แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรตนี้จะมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน ความแข็งแรงของสารเชื่อมประสานจะเพิ่มขึ้นตามอายุ นับตั้งแต่เริ่มปฏิกิริยาปอซโซลานิกไปนานนับปี (สมชัย กกกำแหง, 2539)



2.2.2 ประโยชน์ของเถ้าลอยเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแทนปูนซีเมนต์บางส่วน

ก. ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจากกรด

เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำจะทำให้เกิดสารเชื่อมประสานและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งหากคอนกรีตสัมผัสกับกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก จะทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซัลฟูริก ดังสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.4) (สมชัย กกกำแหง, 2539)



สารประกอบแคลเซียมซัลเฟต CaSO_4 นี้จะตกตะกอนกลายเป็นยิปซัมอยู่บนผิวคอนกรีตทำให้ถูกชะล้างได้ง่าย ส่วนสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2 จะกลายเป็นผลึกเกลือคลอไรด์สะสมอยู่ในโพรงของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำทำให้เกล็ดดังกล่าวเกิดการละลายได้แม้จะไม่มากเท่า ยิปซัม จากสาเหตุดังกล่าวเมื่อนำเถ้าลอยมาใช้ผสมในคอนกรีต ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีอยู่ลดน้อยลง จากปฏิกิริยาปอซโซลานิกทำให้เกิดยิปซัมและเกลือคลอไรด์ลดลงและมีผลให้การสึกกร่อนลดลงเมื่อคอนกรีตสัมผัสกับกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซัลฟูริก นอกจากนั้นการที่เถ้าลอยมีอนุภาคส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกลมมันจะช่วยให้เนื้อคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยนั้นแน่นขึ้น อันจะช่วยลดการกัดกร่อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ผสมเถ้าลอย

ข. ลดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยจากแม่เมาะจะทำให้ความร้อนเนื่องจากอัตรา การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะลดลงด้วยเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ ธรรมดา อีกทั้งอัตราการแผ่ความร้อนของเถ้าลอยแม่เมาะจะมีค่าต่ำกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทหนึ่งด้วย จึงเหมาะสมสำหรับในงานคอนกรีตหยาบ (บุรฉัตร นัฏวีระ และ พิชัย นิมิคยง สฤล, 2538)

ค. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงปลาย

ในคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยนั้น เถ้าลอยจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ดังสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2) นั่นคือการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่ให้การเชื่อมประสานนั้นจะเกิดหลังปฏิกิริยาไฮเดรชัน ดังนั้นกำลังอัดในช่วงปลายของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะเพิ่มขึ้น

ง. เพิ่มความสามารถในการเทได้

เนื่องจากเถ้าลอยแม่เมาะส่วนใหญ่มีรูปร่างทรงกลมขนาดระหว่าง 5-40 ไมครอน โดย ความละเอียดของเถ้าลอยจะขึ้นอยู่กับขนาดของหินที่จะนำไปเผาและชนิดของเครื่องบด (สมชัย กกกำแหง, 2539) ในขณะที่เม็ดปูนซีเมนต์บดเป็นรูปทรงที่มีเหลี่ยมคมและมีความละเอียด น้อยกว่า ดังนั้นเมื่อนำเถ้าลอยผสมคอนกรีตจะช่วยทำให้ซีเมนต์เพสต์สามารถไหลได้ง่ายขึ้น

2.2.3 เทคนิคการผสมเถ้าลอยในคอนกรีตมีดังนี้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัดและคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีตผสมเถ้า ลอยคือเทคนิคการผสมเถ้าลอยในคอนกรีต (Berry, E.E. and Malhotra, V.M., 1980) ซึ่งมีสามวิธี การดังนี้

ก. ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน การทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยนั้นมี ทั้งการทดแทนโดยน้ำหนักและทดแทนโดยปริมาตร จากการทดลองพบว่าการทดแทนปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วน 1:1 นั้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยในช่วงสามเดือนแรกต่ำกว่า คอนกรีตธรรมดา แต่กำลังอัดเมื่ออายุหนึ่งปีจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

ข. ใช้เป็นมวลรวมละเอียดเพิ่มในคอนกรีต การใช้เถ้าลอยเป็นมวลรวมละเอียดเพิ่ม ในคอนกรีตจะเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มสารเชื่อมประสานในคอนกรีตอันจะทำให้ค่ากำลังอัดตั้ง แต่อายุสามเดือนขึ้นไปมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ค. ใช้ทั้งทดแทนปูนซีเมนต์และใช้เป็นมวลรวมละเอียดด้วย การทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยและใช้เถ้าลอยเป็นมวลรวมละเอียดเพิ่มด้วยนี้ หากต้องการให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยมีกำลังอัดในช่วงแรกเท่ากับคอนกรีตธรรมดา ปริมาณของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ในคอนกรีตผสมเถ้าลอยรวมกันจะต้องมากกว่าปริมาณของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตธรรมดา

การวิจัยในครั้งนี้ได้นำเทคนิคการผสมเถ้าลอยในวิธีที่ 1 มาใช้เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการลดปริมาณปูนซีเมนต์สำหรับอิฐดินซีเมนต์ และศึกษาคุณสมบัติต่างๆของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่ได้จากการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย

2.3 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 อิฐดินซีเมนต์

เขาวลิต บางพระ ไทยา และคณะ (2526) ได้ทดลองกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และการดูดกลืนน้ำของอิฐดินซีเมนต์ ที่ทำจากดิน 2 ชนิดคือ ดินมวลรวม(ลูกรัง)และดินปนทราย ซึ่งปริมาณปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้ในส่วนผสมคือร้อยละ 5, 7 และ 9 โดยน้ำหนัก และทำการบดอัดใช้วิธีกระทุ้งด้วยมือและวิธี Static Compaction ซึ่งทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นพอเหมาะเท่ากับวิธีการทดลองโดยวิธี Standard Compaction ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ดินมวลรวม(ลูกรัง)จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากกว่าการใช้ดินปนทราย ค่าของกำลังของอิฐดินซีเมนต์จะสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น การบดอัดที่แน่นกว่าจะมีการดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ควรอยู่ในระหว่าง ร้อยละ 5-9

ธีระพันธุ์ ทองประวัติ และคณะ (2527) ได้ทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าลูกรังส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนสำคัญที่ควบคุมค่าแรงอัดประลัยและความคงทนของอิฐ ดังนั้นการทำอิฐดินซีเมนต์จึงควรมีลูกรังส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อยู่บ้าง ในส่วนของปริมาณปูนซีเมนต์นั้น ได้พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะช่วยเพิ่มค่าแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ และได้เสนอให้ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 6 โดยน้ำหนักในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ สำหรับปริมาณน้ำนั้นพบว่าควรใช้ปริมาณน้ำระหว่างร้อยละ 10 ถึง 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในการทดลองยังได้ศึกษาถึงขนาดคละของลูกรังและพบว่าขนาดคละที่ดีจะช่วยให้อิฐที่ผลิตได้มีความหนาแน่นสูง

หุตินทร เพ็ชรไชย และคณะ (2528) ได้ศึกษาการนำดินชุดแมร์มไปใช้ในการผลิตบล็อก สำหรับใช้เป็นวัสดุก่อ ซึ่งในการศึกษาได้นำเอาดินชุดแมร์มมาลองผสมกับสารเชื่อมประสานสอง ชนิดคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และการตรวจสอบองค์ประกอบ ต่างๆที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของส่วนผสม ปริมาณสารเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย) ปริมาณน้ำและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด วิธีการและระยะเวลาการบ่ม จากผลการศึกษาพบว่าตัว อย่างดินซึ่งใช้ในการทดสอบมีเม็ดดินตั้งแต่ขนาดกรวดไปจนถึงดินเหนียว ดังนั้นในการนำไปใช้ทำ บล็อกจำเป็นจะต้องคัดขนาดได้ออกโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด $3/4"$ ก่อนเพื่อให้ผิวของบล็อก ไม่ขรุขระมากเกินไป ค่าความชื้นเหนียวของดินนี้มีค่อนข้างต่ำสามารถผสมคลุกเคล้ากับสารเชื่อม ประสานได้ง่าย และหากผสมดินตัวอย่างนี้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7-10 หรือ เถ้าลอย ร้อยละ 15-25 อัดแน่นให้ได้ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 Standard Proctor Test จะให้ตัว อย่างที่มีกำลังอัด 15-35 กก./ตร.ซม. ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีพอในการนำไปใช้งาน

ธงชัย เพียรทอง และคณะ (2529) ได้ทำการศึกษารูปแบบของอิฐดินซีเมนต์ให้สามารถ รับน้ำหนักและรับแรงเฉือนได้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบของอิฐดินซีเมนต์ที่เสนอคือก้อนอิฐมีรูกลวงสอง รูเพื่อใช้ในการเสริมด้วยเหล็กและมอร์ต้าระหว่างการก่อสร้าง จากนั้นได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ ต่างๆของอิฐดินซีเมนต์แบบมีรูกลวงที่ออกแบบกับอิฐดินซีเมนต์แบบมีเดือย โดยการศึกษาใช้ปูน ซีเมนต์ตราเสือร้อยละ 13 โดยน้ำหนักในการผลิตอิฐทั้งสองแบบ จากการทดลองพบว่าอิฐดิน ซีเมนต์แบบมีรูกลวงมีค่ากำลังอัดในสภาวะแห้ง ร้อยละการดูดซึมน้ำ และดัชนีการสึกกร่อนที่สูง กว่าอิฐดินซีเมนต์แบบมีเดือยเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในด้านเวลาที่ผลิตแล้วพบว่า การผลิตอิฐที่มีรูกลวงนั้นใช้เวลามากกว่าการผลิตอิฐแบบมีเดือย ดังนั้นจึงเสนอให้มีการใช้อิฐรูป แบบดังกล่าวเฉพาะการทำเสาหัวมุมของอาคาร

สงวน วงษ์ขวลิทกุล (2538) ได้ทดลองทำอิฐถูกรังที่มีปูนซีเมนต์และทรายร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 8 เป็นส่วนผสม โดยได้กำหนดส่วนผสมของอิฐถูกรังไว้ 3 ชุดคือ อัตราส่วนถูกรังต่อทราย 50:50, 70:30 และ 30:70 ซึ่งในแต่ละชุดของตัวอย่างอิฐจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมร้อยละ 14.30, 16.67, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก อิฐตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะมีขนาด $7 \times 11 \times 22.5$ เซนติเมตร ทำการบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน และทดสอบในสภาพแห้ง (Unsoaked) และ สภาพชุ่ม น้ำ (Soaked) จากการทดลองพบว่า ร้อยละระหว่างถูกรังต่อทรายที่เหมาะสมคือ 50:50 ค่ากำลังรับ แรงอัดของอิฐที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยแล้วจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ในอิฐถูกรัง การเพิ่มอายุ การบ่มของอิฐถูกรังจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดและสภาพความคงทนของอิฐถูกรัง แต่ในขณะเดียว

กันร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐจะลดลง นอกจากนั้นยังได้ทำการเปรียบเทียบกับอิฐที่ผลิตโดยทั่วไป พบว่าอิฐที่เสนอมีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า มีการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า และมีความคงทนต่อการสึกกร่อนมากกว่าอิฐที่ผลิตโดยทั่วไป

Peter Walker (1997) ได้ศึกษาถึงผลกระทบคุณสมบัติของดินและปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของบล็อกดิน (earth block) และมอร์ตาร์ดิน (soil mortar) โดยในการวิจัยได้ใช้ตัวอย่างดินผสมกับปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก และอัดเป็นก้อนโดยใช้เครื่องอัดซินวาแรม โดยได้ศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆดังนี้คือ กำลังอัด การหดแห้ง ความคงทน และ การดูดซึมน้ำ จากการศึกษาพบว่าค่ากำลังอัด การหดแห้ง และความคงทนของบล็อกสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์และลดปริมาณดินเหนียว

2.3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอยแม่เมาะ

บรรณัตถ์ นัทรวิระ และ พิชัย นิमितยงสกุล (2538) ได้ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยแม่เมาะ และคุณสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่บดแล้ว ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยแม่เมาะจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C618 สำหรับคุณสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยนั้นจะใช้ตัวอย่างที่มีค่าความละเอียดของเถ้าลอยแม่เมาะต่างกัน โดยกำหนดสัดส่วนผสม เถ้าลอย : ปูน : ทราย เท่ากับ 0.5 : 0.5 : 2.75 ค่าการไหลร้อยละ 105 ถึง 115 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะพบว่าเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ต่ำ แต่ทว่ามีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงเมื่อเทียบกับเถ้าลอยจากต่างประเทศ สำหรับการทดสอบ มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุครบ 3 7 และ 28 วัน เถ้าลอยแม่เมาะที่บดแล้วมีค่าความละเอียดผ่านตะแกรง ASTM เบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 97 จะทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยดังกล่าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 34 ที่อายุ 28 วัน

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และคณะ (2540) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะและความเหมาะสมในการนำเถ้าลอยแม่เมาะไปใช้งานคอนกรีต โดยพิจารณาจากระยะเวลาการก่อตัวความสามารถในการไหลได้ และกำลังอัดของมอร์ตาร์ ซึ่งในการทดลองได้เปลี่ยนปริมาณเถ้าลอยที่มีความละเอียดต่างๆในปริมาณร้อยละ 0, 15, 25 และ 35 โดยน้ำหนักของวัสดุซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าเถ้าลอยแม่เมาะมีองค์ประกอบของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ F แต่มี SO_3 ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ นอกจากนั้นยังพบว่าเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณ CaO ก่อนข้างสูงและเมื่อทำการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว การไหลและการพัฒนากำลังอัดพบว่า เถ้าลอยแม่เมาะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในบางส่วนแต่การนำไปใช้ควรมีการคัดขนาดให้เล็กลง

2.3.3 คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ

ก. กำลังอัด

บุรฉัตร นัทรวิระ และ พิชัย นิมิตรยสกุล (2538) ได้นำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาทดสอบหาลำกำลังอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วันของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ โดยให้เถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 15, 25 และ 35 และใช้อัตราส่วนผสมวัสดุซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก การไหลของมอร์ตาร์กำหนดมีค่าร้อยละ 105 ถึง 115 จากการทดลองพบว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่อายุเริ่มแรกจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังต่ำกว่ามอร์ตาร์ธรรมดา ค่ากำลังอัดในช่วงยาวจะมากกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ธรรมดา

วิศว จักรไพศาล และ ชัยโรจน์ จักรไพศาล (2540) ได้ทำการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของเถ้าลอยแม่เมาะที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตสมรรถนะสูง (High Performance concrete : คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูง มีการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็ว สามารถใช้งานได้สะดวกและมีคุณภาพดีกว่าคอนกรีตธรรมดา) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยการวัดความร้อนภายใต้แรงดันยถ่วง (Thermogravimetry Analysis, TGA) ซึ่งเป็นการทดสอบทางเคมีเพื่อหาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ และหาปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีผลต่อกำลังอัด จากนั้นนำผลที่ได้มาเป็นแนวทางในการหาปริมาณของเถ้าลอยแม่เมาะที่เหมาะสมเมื่อนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีต โดยตัวอย่างทดสอบจะเป็นคอนกรีตสมรรถนะสูงที่ผสมด้วยเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปริมาณร้อยละ 0-35 โดยน้ำหนักของปริมาณปูนซีเมนต์ และใช้อัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียดเท่ากับ 0.26-0.32 หรืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ระหว่าง 0.30-0.50 ผลที่ได้จากการศึกษาและทดสอบพบว่า สาเหตุที่คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีกำลังอัดสูงขึ้น เนื่องจากเกิดสารประกอบที่เพิ่มแรงอัด (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต)

เพิ่มขึ้น โดยปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอย จะมีค่ามากกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮดรตที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ธรรมดาร้อยละ 5 ที่อายุ 28 วัน และร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน แสดงว่าปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดเพิ่มขึ้นตามเวลา นอกจากนั้นยังพบอีกว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะมีกำลังอัดดีขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอย โดยกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันโดยตรงกับปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก และจากผลของการศึกษาจะได้ว่าปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 15-25 ของปูนซีเมนต์

ข. ความละเอียด

สมิทร ส่งพิริยะกิจ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2538) ได้ศึกษาถึงผลของความละเอียดของเถ้าลอยแม่เมาะที่มีต่อคอนกรีตผสมเถ้าลอย โดยเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์จะมีขนาดละเอียดต่างกัน 3 ขนาด แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 15, 25 และ 35 ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และทำการทดสอบการก่อตัว การไหล และกำลังอัดที่ 1, 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน จากผลการทดลองพบว่าการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์มีผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น และค่าการไหลเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดมากขึ้นมีผลทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์พัฒนาได้เร็วขึ้น

ทิน เกตุรัตน์บวร และคณะ (2541) ได้นำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มาแยกด้วยเครื่อง Air Classifier และนำเถ้าลอยความละเอียดสูงซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.8 ไมครอน มาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 15, 25 และ 35 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เพื่อทำคอนกรีตกำลังสูงในการศึกษาจะใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อคงปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน ให้มีค่าเท่ากับ 0.26 และมีค่าการยุบตัวที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่ามากกว่า 5 ซม. ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ละเอียดมากๆ ในอัตราส่วนร้อยละ 15, 25 และ 35 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทำให้กำลังอัดโดยรวมดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอย โดยเริ่มให้กำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยตั้งแต่อายุ 17 วันขึ้นไป ซึ่งมีค่ากำลังอัดเทียบเป็นร้อยละ 113 ถึง 115 ของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยที่อายุ 365 วัน

ค. การต้านทานการกัดกร่อน

สมหมาย สว่างกิจ และคณะ (2535) ได้ทดลองนำถ้ำลอยจากประเทศสหรัฐอเมริกา และถ้ำลอยแม่เมาะมาผสมในปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และกำหนดให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อสารเชื่อมประสานมีค่า 0.50 ทำการหล่อเป็นก้อนทดสอบรูปลูกบาศก์ และนำมาแช่ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 100 มิลลิตรต่อลิตร วัดน้ำหนักที่หายไปในช่วงเวลา 7 และ 21 วัน ที่แช่ในกรด การทดลองพบว่าชนิดของถ้ำลอยไม่มีผลต่อการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตมากนัก และคอนกรีตที่มีถ้ำลอยผสมแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรดมากกว่าคอนกรีตธรรมดา

ทิน เกตุรัตน์บวร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2540) ได้นำถ้ำลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาแยกออกเป็น 4 ขนาดด้วยเครื่องแยกขนาด (Air Classifier) แล้วนำไปผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักในมอร์ตาร์ ควบคุมให้มีค่าการไหลแผ่อยู่ระหว่าง 105 ถึง 115 เพื่อทดสอบกำลังอัดและความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเป็นระยะเวลา 126 วัน ผลการทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนพบว่าตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผสมถ้ำลอยแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก สามารถต้านทานการกัดกร่อนจากกรดซัลฟูริกได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีถ้ำลอยผสมอยู่ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับถ้ำลอยในขนาดเดียวกัน นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ถ้ำลอยที่มีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) น้อยกว่าจะสามารถทนทานการกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริกได้ดีกว่าการใช้ถ้ำลอยที่มีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สูงกว่า