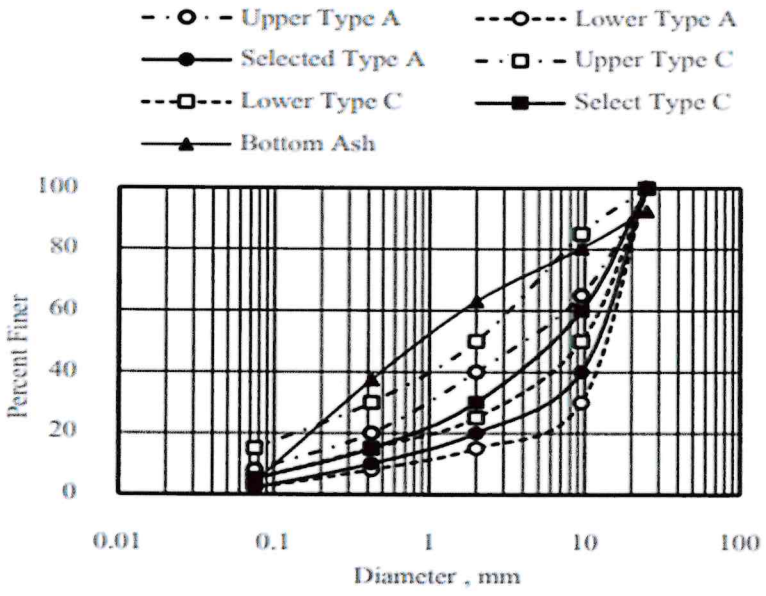
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

เป็นวัสดุผลพลอยได้จำนวนมากที่เหลือจาก กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน ส่วนใหญ่จะ ถูกนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายและไม่ได้ ใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากเถ้าก้นเตามีอนุภาคไม่เป็นรูปทรงกลม มีความพรุนสูง ค่อนข้างชื้นและทำปฏิกิริยาช้าเมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าลอย ที่ผ่านมาได้มี การศึกษาที่จะนำเถ้าก้นเตามาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีต แต่เนื่องจากเถ้าก้นเตามีเม็ดหยาบต้องมีการบดให้ ละเอียดมากพอจึงจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและต้องทำให้แห้งซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในการใช้เถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดใน คอนกรีตแต่ก็ยังใช้แทนที่ได้น้อย จึงทำให้ไม่มีการใช้อย่างแพร่หลายนัก เถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะไม่มีความเป็นพลาสติก เนื่องจากเถ้าก้นเตามีความพรุนสูงและไม่มีความเหนียว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.7 เมื่อนำไปทดสอบการกระจายของขนาดคละ พบว่าเถ้าก้นเตามีขนาดในช่วงที่ เป็นทรายเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 จึงเลือกใช้เถ้าก้นเตาที่ผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว เนื่องจากต้องการใช้เถ้า ก้นเตาในสภาพธรรมชาติเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมเถ้าก้นเตาหากมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง เมื่อจำแนกตามระบบ USCS พบว่าเถ้าก้นเตาเป็นประเภท SP (Poorly Graded Sand)

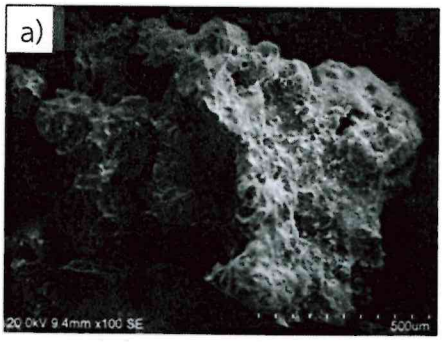


รูปที่ 2-1 การกระจายขนาดของเถ้าก้นเตา (Bottom ash)

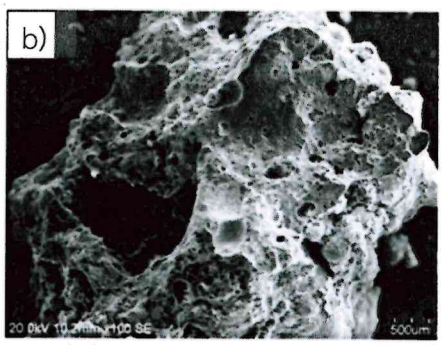
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตาโดยวิธี X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) แสดงในตารางที่ 2-1 พบว่าเถ้าก้นเตามีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2, CaO, Fe_2O_3 , Al_2O_3 และ ซึ่งใกล้เคียงกับเถ้าลอยของ โรงไฟฟ้าแม่เมาะแต่มีความไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า เนื่องจากเถ้าลอยมีขนาดใหญ่และมีความพรุนสูง

สารประกอบออกไซด์	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	เถ้าก้นเตา	ดินลูกรัง
SiO_2	59.50	79.00
CaO	2.92	0.39
Fe_2O_3	6.07	6.29
Al_2O_3	25.70	10.90
MgO	0.80	0.45
K_2O	1.56	1.41

ตารางที่ 2-1 พบว่าเถ้าก้นเตามีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2, CaO, Fe_2O_3 และ Al_2O_3



เถ้าก้นเตา BA กำลังขยาย 500μm



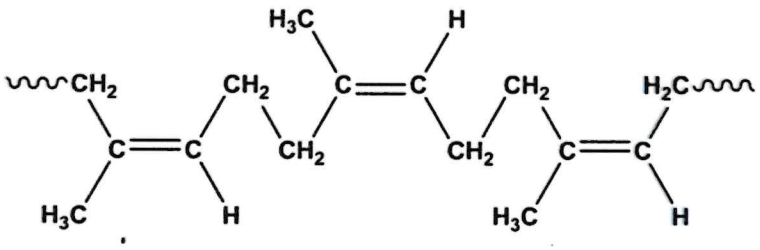
เถ้าก้นเตา BB กำลังขยาย 500μm

รูปที่ 2-2 a) เถ้าก้นเตา BA กำลังขยาย 500μm และ b) BB กำลังขยาย 500μm

2.2 น้ำยางพารา (Natural Rubber Latex)

ยางพาราหรือยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การส่งออกยางธรรมชาติส่วนมากอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป เช่น น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน หรือยางทั้ง โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำยางข้นรายใหญ่ของโลก ในปี พ.ศ.2558 น้ำยางข้นมีปริมาณการผลิต 964,403 ตัน และกว่าร้อยละ 85 ส่งออกยังต่างประเทศ มีมูลค่า 39,546 ล้านบาท น้ำยาง ข้นส่วนที่เหลือจากการส่งออกจะใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศ

เพื่อผลิตถุงมือยาง ยางฟองน้ำถุงยางอนามัย จุกนมยาง ยางยืด ลูกโป่ง และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ น้ำยางธรรมชาติจากต้นยางพาราเป็นของเหลวที่มีองค์ประกอบของแข็ง (Total Solid Content; TSC) ประมาณร้อยละ 36 และมีน้ าเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 60 โดยคิดเป็น น้ำหนักยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC) ร้อยละ 33 สารจำพวกโปรตีนร้อยละ 1-1.5 ขี้เถ้าไม่เกินร้อยละ 1 น้ำตาลร้อยละ 1 และมีสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโน ลิพิดฟอสโฟลิฟิด และ เกลือของกรดไขมัน อยู่ประมาณร้อยละ 0.5-1.60 ขนาดอนุภาคของยาง ธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.1-1.0 ไมครอน มีลักษณะค่อนข้างกลม โดยมีโปรตีนและแมมแบรนล้อมรอบอยู่ ที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาคยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ทางธรรมชาติที่ประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน มีโครงสร้างทางเคมีคือ ซิส-1, 4-พอลิไอโซพรีน (cis-1, 4- polyisoprene) ดัง**รูปที่ 2-3** ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวสูง โดยประกอบด้วยพันธะคู่ของคาร์บอน (C=C) เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ยางธรรมชาติเสื่อมสภาพได้โดยง่ายเมื่อถูกแสงแดดหรือหรือความร้อน โดยสังเกตได้จากยางจะแปรสภาพจากเดิมที่สามารถยืดหยุ่นได้ดีกลายเป็นแข็งเปราะและไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป



รูปที่ 2-3 ยางพารามีโครงสร้างทางเคมีแบบ ซิส-1, 4-พอลิไอโซพรีน

ยางละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน โดยทั่วไปยางธรรมชาติมี โครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยาง สามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ยางพารามีสมบัติที่โดดเด่นแตกต่างจากยางสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นผลมาจากโครงข่ายที่เกิดจากการเชื่อมโยงตามธรรมชาติของหมู่ฟังก์ชันที่ปลายสายโซ่โมเลกุล โดยสมบัติที่โดดเด่น เช่น สมบัติด้านความยืดหยุ่น (Elasticity) ความทนทานต่อการขัดสี การกระดอน ทนทานต่อการฉีกขาด การเหนียวติดกัน (Track) ดีเยี่ยม แต่ทั้งนี้ยางพาราก็มีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางสังเคราะห์เช่น การเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อถูกแสงแดดและความร้อน การบวมตัวเมื่อสัมผัสกับตัวทำลายอินทรีย์ นอกจากนี้ยางพารายังมีสมบัติไฮโดรฟิลิก (Hydrophobicity) ซึ่งทำให้โครงสร้างของยางธรรมชาติไม่สามารถแตกตัวให้ไอออน หรือเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่

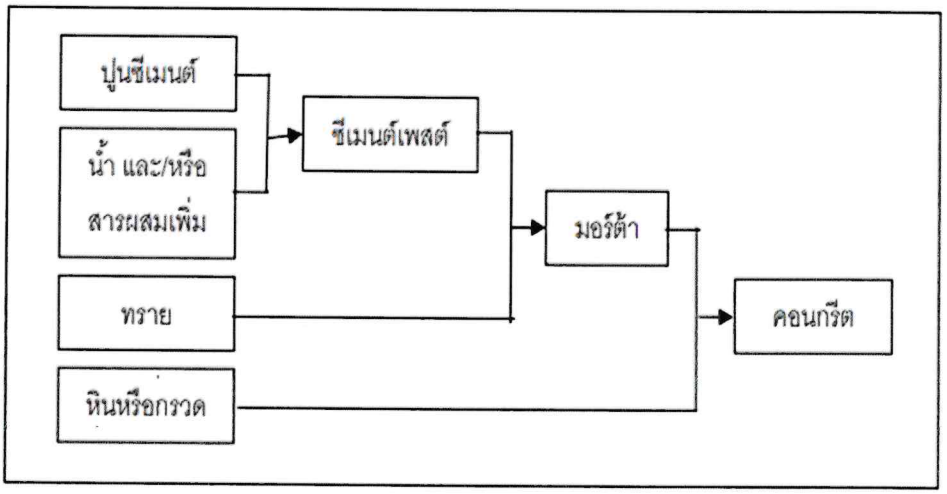
สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำหรือไม่เปียกน้ำและไม่สามารถขยายขนาดหรือบวมเมื่อสัมผัสน้ำจาก สมบัติดังกล่าวยางพาราจึงมี ความสามารถในการดูดน้ำได้น้อยมาก โดยทั่วไปน้ำยางสดที่ออกมาจากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางได้ไม่เกิน 3-6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางจะลงไปในน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ใน น้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่สิ่งที่เกิดขึ้นจากการ ย่อยของแบคทีเรียคือ ก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และกรดไขมันระเหยได้ (Volatile Fatty Acid) เมื่อปริมาณกรดที่ระเหยง่ายในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น น้ำยางจะเกิดการสูญเสีย สภาพ สังเกตได้จากการที่น้ำยางจะค่อยๆ มีความหนืดมากขึ้น เพราะอนุภาคยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก และค่อยขยายเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพ เกิดการบูดเน่าและมีกลิ่นเหม็น ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการทั้งหมดจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเรื่องอุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางสด จึงต้องเติมสารเคมีบางชนิดลงไปเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการเก็บ รักษาน้ำยาง เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) เช่น แอมโมเนีย (Ammonia) โซเดียม ซัลไฟด์ (Sodium sulfite) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นต้น น้ำยางข้นคือ น้ำยางสดที่ทำให้เข้มข้นโดยการหมุนเหวี่ยงหรือการแยกครีม เพื่อแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากเซรุ่ม และเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งจาก 30% เป็น 60% สำหรับวิธีการหมุน เหวี่ยง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย และเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้งจาก 30% เป็น 64% สำหรับวิธีการแยกครีม เนื่องจากน้ำยางสดมีปริมาณน้ำมากเกินไปไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็น ผลิตภัณฑ์ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง กระบวนการผลิตน้ำยางข้น เริ่มจากการรวบรวมน้ำยางสด จากพื้นที่เพาะปลูก และมีการตรวจสอบคุณภาพและผสมสารเคมี ก่อนที่จะนำเข้าเครื่องเหวี่ยง (Certrifuge) เพื่อทำเป็นน้ำยางข้นที่มีความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 30%-60% ในปัจจุบันการรักษาสภาพของน้ำยางข้นส่วนใหญ่ใช้สารแอมโมเนีย ซึ่งจำแนกกลุ่มของน้ำยางข้นออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพ คือ 1) น้ำยางข้นที่รักษาสภาพด้วยแอมโนเมียสูง (High Ammonia Latex; HA) คือ น้ำยางข้นที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียในปริมาณ 0.7% และ 2) น้ำยางข้นที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Latex; LA) เป็นน้ำยางข้นที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพปริมาณ 0.2 % ร่วมกับสารเคมีชนิดอื่น น้ำยางข้นที่ได้รับการผสมสารเคมีแล้วอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีบางประการทำให้น้ำยางมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปบ้างเล็กน้อย

2.3 คอนกรีต (concrete)

เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และน้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้า ๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่

เรียกว่าการไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่า คอนกรีตความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากที่ผสมและยังแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่คอนกรีตมีใช้กันในงานก่อสร้างหลายชนิด ซึ่งรวมถึง อาคาร ถนน เขื่อน สะพาน อนุสาวรีย์ และงานก่อสร้าง ต่างๆ ซึ่งมีเห็นได้ทั่วไปคุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัดสูง ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณ 10% ของแรงอัด) โดยเมื่อต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึง จะมีการเสริมวัสดุอื่นเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตโดยจะเรียกว่า คอนกรีตเสริมแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่เรียกกัน (โดยเสริมแรงด้วยเหล็ก) วัสดุเหล่านี้จะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต ซึ่งงานโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่นิยมใช้คอนกรีตเสริมแรงแทนที่คอนกรีตเปลือยนอกจากนี้ในงานก่อสร้างยังมีการใช้วิธีการที่เรียกว่า คอนกรีตอัดแรง โดยทำการใส่แรงเข้าไปในคอนกรีตหล่อสำเร็จที่หล่อมาจากโรงงาน โดยเมื่อนำไปใช้งานแรงที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตจะหักล้างกับน้ำหนักของตัวคอนกรีตเองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้คอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น โดยงานสะพานและทางยกระดับ นิยมใช้คอนกรีตอัดแรง คอนกรีตจะมีสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ต่อหิน ดังนี้ สัดส่วน 1 : 1.5 : 3 จะเป็นงานเสาและโครงสร้าง สัดส่วน 1 : 2 : 4 จะเป็นงานพื้น, คาน สัดส่วน 1 : 2.5 : 4 จะเป็นงานถนน ฐานราก

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้จากการผสม ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เข้าด้วยกัน ในขณะที่คอนกรีตยังเหลวอยู่ จะถูกเทลงในแบบหล่อเพื่อให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ เช่น เสา คาน พื้น ผนัง เป็นต้น เมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้คอนกรีตจะแข็งตัวขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับขั้นตอนการผสมคอนกรีต จะมีแสดงอยู่ใน**รูปที่ 2**-4



รูปที่ 2-4 การผสมส่วนผสมคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ จากหลักฐานยืนยันว่าปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่สมัยอียิปต์, กรีกและโรมัน คำว่า ซีเมนต์ มาจากภาษาลาติน มีความหมายทั่วๆ ไปคือ วัตถุที่แข็งเมื่อผสมกับน้ำ ซีเมนต์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในฐานะเป็นวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมี ก่อให้เกิดความสามารถยึดส่วนต่างๆ หรืออนุภาคที่เป็นของแข็งให้รวมตัวกัน

2.4 ปูนซีเมนต์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานโครงสร้าง ให้ใช้ปูนซีเมนต์ดังต่อไปนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งแบ่งเป็นประเภทต่างๆ 5 ประเภท

ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ

ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตปานกลางหรือเกิดความร้อน ปานกลางขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ

ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการค่าความต้านแรงอัดสูงได้เร็ว

ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความร้อนต่ำขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ

ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตสูง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.849 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างที่ สัมผัสหรือได้รับอิทธิพลจากดินเค็ม น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594 : ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดใช้งานทั่วไป สัญลักษณ์ GU

2.5 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate : ทราย)

2.5.1 ต้องเป็นทรายน้ำจืดหรือทรายบก มีเม็ดหยาบ คม แข็งแกร่ง สะอาดปราศจากวัสดุอื่น เช่น เปลือกหอย ดิน เถ้าถ่าน และสารอินทรีย์ต่างๆ เจือปน

2.5.2 ทรายที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ตั้งแต่ 2.3 ถึง 3.1

2.5.3 ทรายที่ใช้ในการก่อสร้างต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท โดยทดสอบตามมทช.(ท) 101 : มาตรฐานการทดสอบวัสดุมวลผสมคอนกรีต

2.6 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate : หินหรือกรวด)

2.6.1 มวลรวมหยาบที่ใช้ต้องแข็งแกร่ง เหนียว ไม่ผุและสะอาด ปราศจากวัสดุอื่นๆ

2.6.2 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ ต้องไม่ใหญ่กว่า 40 มิลลิเมตร และไม่ใหญ่กว่า 1/5 ของด้านในที่แคบที่สุดของแบบหล่อ และต้องไม่ใหญ่กว่า 3/4 ของระยะช่องว่าง (Clear Spacing) ระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด และขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบจะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ในตารางที่ 2-2

ชนิดของโครงสร้าง	ขนาดใหญ่สุดที่ยอมให้ (มิลลิเมตร)
ฐานราก เสา คาน	40
พื้นและครีบ	25
ผนังซึ่งมีความหนา ≥12.5 เซนติเมตร	40
ผนังซึ่งมีความหนา <12.5 เซนติเมตร	25

ตารางที่ 2-2 ขนาดใหญ่สุดที่ยอมให้ของมวลรวมหยาบสำหรับโครงสร้างแต่ละชนิดชนิดของโครงสร้าง ขนาดใหญ่สุดที่ยอมให้ (มิลลิเมตร)

มาตรฐานการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม (Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

การกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม (Particle Size Distribution) หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่างๆกัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละโดยมวลของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม

ขนาดระบุใหญ่สุด (Nominal Maximum Size) หมายถึงขนาดช่องผ่านของตะแกรงเล็กที่สุดที่มวลรวมสามารถผ่านได้หรือมีสัดส่วนการผ่านตะแกรงเป็นไปตามที่กำหนด

พิกัดความละเอียด (Fineness Modulus) หมายถึง ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของมวลรวม

มวลรวม (Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตรขึ้นไป

มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึงวัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรขึ้นไป

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน ร้อยละของวัสดุมวลที่ผ่านตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) 100 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) 95-100 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) 80-100 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) 50-85 0.60 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) 25-60 0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50) 5-30 0.15 มิลลิเมตร (เบอร์100) 0-10 มิลลิเมตร

การทดสอบความต้านทานกัดกร่อนการสึดกร่อนของหินโดยเครื่องทดสอบลอสแองเจลีส (Abrasion Test by Angeles Machine)

การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของหินโดยเครื่องทดสอบลอสแองเจลีสทำได้จากการวัดค่าความสึกกร่อนของมวลรวม จากการะแทกและการเสียดสีลูกเหล็กทรงกลม ซึ่งมีขนานตามที่กำหนดและมีจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างทดสอบในขณะที่ถังหมุนรอบตัวเองจะมีแผ่นเหล็กตั้งฉากกับผนังของถัง จะพาตัวทดสอบลูกเหล็กกลมขึ้นไปพร้อมกัน เมื่อตัวอย่างทดสอบกับลูกเหล็กกลมอยู่สูงขึ้นจะตกลงมากระแทกกับผนังตรงข้ามของถังเหล็ก กระบวนการนี้จะทำการซ้ำๆ ไปเรื่อย จนครบจำนวนรอบ จากนั้นตัวอย่างทดสอบออกจากถัง แล้วนำมาแยกด้วยตะแกรงเพื่อหาเปอร์เซ็นการศึกกร่อน จากมาตรฐาน ASTM C33 หินที่ใช้งานคอนกรีตต้องรับแรงเสียดทานมากเช่นงานถนน ซึ่งจะต้องมีการสึกกร่อนไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเดิมจึงเหมาะสมกับการนำมาผสมคอนกรีต

มาตรฐานการทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพันธ์และค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Standard Test Method for Relative Density and Absorption of Coarse Aggregates)

การดูดซึมน้ำ (Absorption) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ของมวลรวมแต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวนอกของมวลรวม

ขนาดระบุใหญ่สุด (Nominal Maximum Size) หมายถึง ขนาดช่องผ่านของตะแกรงเล็กที่สุดที่มวลรวมสามารถผ่านได้ทั้งหมดหรือมีสัดส่วนการผ่านตระแกรงเป็นไปตามไปตามที่กำหนด

ความหนาแน่น (Density) หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาณ

ความหนาแน่นสภาพอบแห้ง (Density Oven-Dry) หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมวลรวมในสภาพอบแห้งปริมาตรที่รวมช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้

ความหนาแน่นสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Density Saturated-Surface-Dry) หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมวลรวมในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งปริมาณที่รวมช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้

ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยของมวลรวมปริมาตรที่ไม่รวมช่องว่างน้ำซึมผ่านได้

2.7 น้ำ (Water)

2.7.1 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้ใช้น้ำประปา

2.7.2 ในกรณีที่หาน้ำประปาไม่ได้ต้องเป็นน้ำจืดปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม

2.8 สารผสมเพิ่ม (Admixtures)

2.8.1 สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.733 : สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต สามารถใช้สารเคมีผสมเพิ่มปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตได้เช่น ก. สารลดน้ำ (Water Reducers หรือ Plasticizers) เพื่อลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรของ คอนกรีตโดยที่ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิม หรือเพื่อเพิ่มความสามารถใน การเทได้ของคอนกรีตโดยคงปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตไว้ ข. สารเร่งการแข็งตัว (Accelerators) เพื่อลดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตให้สั้นลง ค. สารหน่วงการแข็งตัว (Retarders) เพื่อยืดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตให้ยาวนานขึ้น

2.8.2 การใช้สารเคมีผสมเพิ่มมากกว่า 1 ชนิดในส่วนผสมเดียวกันจะต้องคำนึงถึงผลที่มีต่อกันของสารเคมีผสมเพิ่มแต่ละชนิดด้วย

2.9 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Concrete Mix Design) ตามมาตรฐาน ACI

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)
2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate : ทราย)
3. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate : หินย่อย)
4. น้ำ (Water)

2.9.1 วิธีการออกแบบ มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต หลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นว่าเมื่อนำคอนกรีตไปใช้งานแล้วจะมีกำลังอัดไม่น้อยกว่ากำลัง อัดของที่งานกำหนด แม้ว่าส่วนผสมคอนกรีตจะมีความผิดเพี้ยนไปบ้างไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม ดังสมการที่ (2-1)

$$f_{cr} = f'_c + k\,s \qquad \textbf{(2-1)}$$

f_{cr} = กำลังอัดเป้าหมาย (Target Strength)
f'_c = กำลังอัดที่ต้องการ (Required Strength)
s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดสอบคอนกรีต
k = ค่าคงที่ ดังตารางที่ 2-3

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ตารางที่ 2-3 ค่าคงที่

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง จำนวนอย่างน้อย 30 ค่า จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้าการทดสอบน้อยกว่า 30 ค่า ค่าคงที่ k ในตารางที่ 2.7 อนุโลมให้ใช้ได้โดยใช้ตัวคูณ ดังตารางที่ 2-4

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 4
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

ตารางที่ 2-4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็น

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบแท่งตัวอย่าง หรือมีผลการทดสอบน้อยกว่า 15 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ 2-5

ค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210 – 350	85
350 หรือมากกว่า	100

ตารางที่ 2-5 ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดแท่งตัวอย่าง

การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกาในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ดังนี้

<u>ปูนซีเมนต์</u>

- ความถ่วงจำเพาะ (สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1)

<u>มวลรวม (มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ)</u>

- ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ
- ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ
- ความชื้นทั้งสภาพอิ่มตัวผิวหน้าแห้ง (ค่าการดูดซึม) และสภาพขณะใช้งานของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ
- พิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

<u>น้ำ</u>

- ความถ่วงจำเพาะ
- ความหนาแน่น

<u>สารเคมีผสมเพิ่ม</u>

- อัตราการใช้

โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

1. เลือกค่ายุบตัวที่เหมาะสม คำแนะนำตาม ตารางที่ 2-6
2. เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้องไม่เกินกว่า
   2.1 ขนาด 1/5ของส่วนที่แคบที่สุดของโครงสร้างที่ไม่เสริมเหล็ก
   2.2 ขนาด 3/4 ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ
   2.3 ขนาด 1/3 ของความหนาแผ่นพื้นที่วางอยู่บนดิน
3. ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีต (ปริมาตร 1 ลบ.ม.) คำแนะนำตามตารางที่ 2-7
4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์คำแนะนำตาม ตารางที่ 2-8
5. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ = ขั้นตอนที่ 3 ÷ ขั้นตอนที่ 4
6. คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ = ปริมาตรของมวลรวมหยาบ (ตารางที่ 2-9) x หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
7. คำนวณปริมาณของมวลรวมละเอียด มี 2 วิธี คือ
   7.1 วิธี Weight Method

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (ตารางที่ 2-10) – น้ำหนักของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

   7.2 วิธี Absolute Volume

ปริมาตรของมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต – ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของมวลรวมละเอียด x ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด x หน่วยน้ำหนักของน้ำ

8. ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ
9. ทำการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบดูความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต
10. หากเหมาะสมให้หยุดการทดลอง แต่ถ้าหากไม่เหมาะสมให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	7.5	2.5
พื้นถนน	8.0	3.0
โครงสร้างทั่วๆ ไป	10.0	5.0
เสาหรือผนังบาง	12.5	7.5
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	15.0	10.0

ตารางที่ 2-6 ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ เป็นกิโลกรัม ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	1 นิ้ว	$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	2 นิ้ว	3 นิ้ว	6 นิ้ว
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10	228	216	205	193	181	169	145	124
12.5 – 15.0	243	228	216	202	190	178	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10	202	193	184	175	165	157	133	119
12.5 – 15.0	216	205	197	184	174	166	154	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 2-7 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตที่ไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตที่กระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

ตารางที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือสัมผัสกับซัลเฟต
(1) โครงสร้างบางที่มีเหล็กหุ้มน้อยกว่า 3 ซม.	0.45	0.40
(2) โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	0.50	0.45

ตารางที่ 2-9 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต่างๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 (9.5)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 (19)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25)	0.71	0.69	0.67	0.65
1/2 (37.5)	0.76	0.74	0.72	0.70
2 (50)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (75)	0.81	0.79	0.77	0.75
6 (100)	0.87	0.85	0.83	0.81

ตารางที่ 2-10 ปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุด ของมวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
3/8 (10 มม.)	2,280	2,200
1/2 (12.5 มม.)	2,310	2,230
3/4 (20 มม.)	2,345	2,275
1 (25 มม.)	2,380	2,290
1 1/2 (40 มม.)	2,410	2,350
2 (50 มม.)	2,445	2,345
3 (75 มม.)	2,490	2,405
6 (150 มม.)	2,530	2,435

ตารางที่ 2-11 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

2.10 การบ่มคอนกรีต (Curing)

การบ่ม (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การทำให้คอนกรีตคงสภาพของปริมาณความชื้น และอุณหภูมิตลอดช่วงเวลาแรกเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ การบ่มจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตคอนกรีต กำลังและความทนทานของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อได้รับการบ่ม

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต มีด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. ปริมาณความชื้นที่เพียงพอ ปริมาณผสมคอนกรีตทั่วไปนั้นมีการสูญเสียน้ำจากการระเหยมากเกินไปทำให้ปริมาณน้ำลดลงอย่างมาก ทำให้คอนกรีตไม่ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ ผลกระทบนี้ควรได้รับการป้องกันโดยการเพิ่มน้ำหรือป้องกันการระเหย โดยผลกระทบของน้ำที่สูญเสียไปนั้นส่งผลให้คุณสมบัติของคอนกรีตลดลง และยังส่งผลให้เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวด้วยแบบพลาส

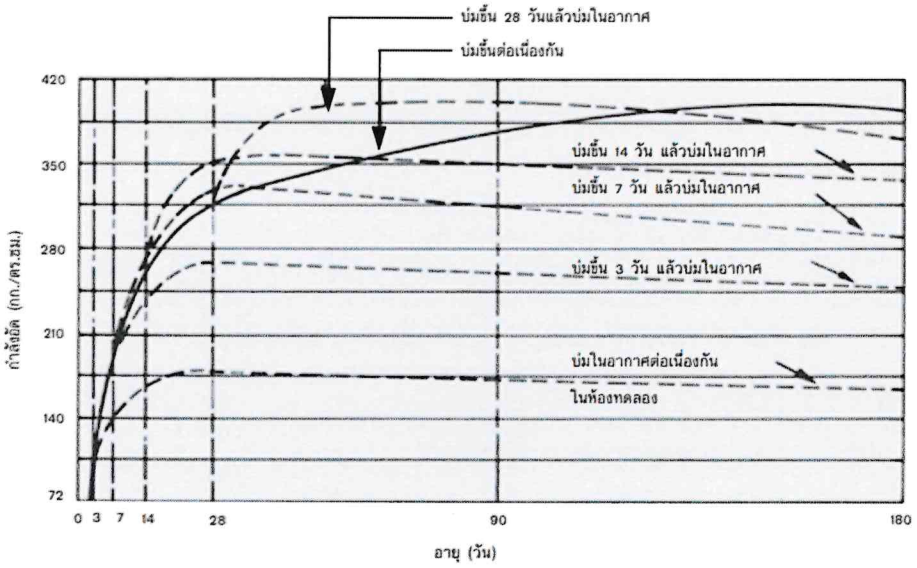
2. อุณหภูมิที่เหมาะสม การเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ โดยจะเกิดได้ช้าหากมีอุณภูมิที่ต่ำและเกิดได้อย่างรวบรวมเมื่ออุณภูมิสูงขึ้น โดยอุณภูมิของคอนกรีตในระยะแรกมีผลกระทบจากหลายสิ่งเช่น อุณภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิของวัสดุที่ใช้ การระเหยของน้ำระหว่างการผสมหรือน้ำที่ใช้บ่มคอนกรีตนั้นช่วยระบายความร้อน ซึ่งเป็นผลดีแต่การระเหยต้องไม่มากจนเกินไปจนทำให้กำลังอัดลดลง โดยสามารถรักษาความชื้นของคอนกรีตได้ เช่น การฉีดน้ำ พรมน้ำ หรือ การใช้วัสดุที่มีความชื้นคลุมบนผิวของคอนกรีต เป็นต้น

วัตุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน

2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก้ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว



รูปที่ 2-5 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.11 มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต (COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE)

<u>การทดสอบ</u>

1. การวางแท่งทดสอบบนเครื่องกดต้องเป็นไปตามนี้

- ผิวแผ่นเหล็กด้านสัมผัสกับแท่งทดสอบต้องสะอาดปราศจากน้ำมัน
- จัดแนวศูนย์กลางของแผ่นเหล็กตั้งตัวบนและตัวล่างให้อยู่ในแนวเดียวกัน
- การวางแท่งทดสอบต้องให้แนวแกนของแท่งทดสอบทับกับแนวศูนย์กลางของเครื่องกดทดสอบ
- ผิวแผ่นเหล็กต้องสัมผัสกับแท่งทดสอบแนบสนิท

2. เมื่อวางแท่งทดสอบบนเครื่องกดทดสอบ และจัดให้แผ่นเหล็กสัมผัสกับแท่งทดสอบแนบสนิทดีแล้ว จึงเริ่มให้น้ำหนักกดอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราคงที่อยู่ในช่วง 1.43 ถึง 3.47 กิโลกรัมต่อ

ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ในช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ และห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบในขณะที่แท่งทดสอบอยู่ในช่วงจุดคราก (YIELD POINT) และจุดวิบัติ (FAILURE)

3. ให้ทำการกดจนกระทั่ง แท่งทดสอบถึงจุดวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้

<u>การคำนวณ</u>

การคำนวณ ค่าความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบให้ละเอียด ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง ได้จากสูตร

$$\text{ความต้านทานอัดของแท่งทดสอบ (กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ(ตารางเซนติเมตร)}}$$

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบ ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง ได้จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นของแท่งทดสอบ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของแท่งทดสอบ (กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาตรของแท่งทดสอบ } \textit{(ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

ถ้าแท่งทดสอบที่ได้จากการเจาะมีส่วนสูงน้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางให้แก้ไขค่าความต้านแรงอัดตาม ตารางที่ 2-13

อัตราส่วนความสูง ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ	ตัวคูณสำหรับแก้ไขค่าความต้านทานแรงอัด
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

ตารางที่ 2-12 อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกับตัวคูณที่ใช้แก้ไขค่าความต้านแรงอัด

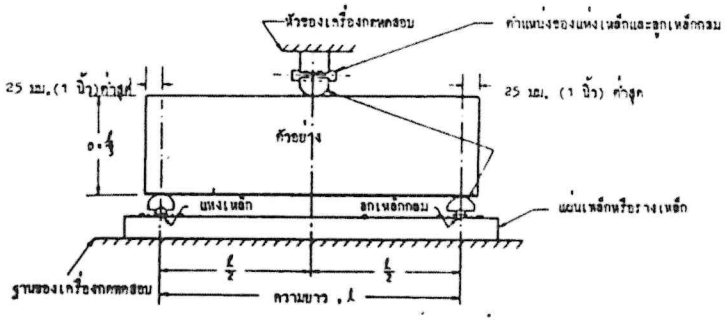
2.12 มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต (FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)

วิธีการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบหาการรับแรงดัดของคอนกรีต โดยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีใช้แรงกด หนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (CENTER-POINT LOADING) และวิธีใช้แรงกดคาน 2 จุด โดยให้ตำแหน่งของจุดทั้งสอง เป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน (THIRD-POINT LOADING)

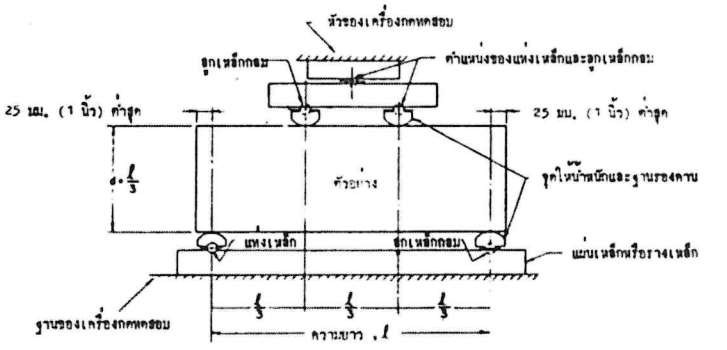
การทดสอบ

1. วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับคาน วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกด คานและฐานรองคานอยู่ตามกำหนด โดยวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน ให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดในรูปที่ 2-6 ส่วนการทดสอบวิธีใช้แรงกดคานสองจุดให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดใน **รูป 2-7**

2. ปรับอัตราการกดเครื่องทดสอบด้วยแรงประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (ULTIMATE LOAD) แล้วค่อยตรวจสอบผิวสัมผัสของตัวกดกับคาน และฐานรองคานกับคานดูว่ามีช่องขนาดกว้างกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตร หรือไม่ ถ้ามีให้แต่งคอนกรีตที่บริเวณช่วงนั้นๆด้วยการฝนให้เรียบ ช่องที่ขนาดกว้างน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตร อาจอุดได้โดยการวางแผ่นหนัง (LEATHER SHIM) ไว้ระหว่างผิวสัมผัส แผ่นหนังที่ใช้จะต้องมีขนาดเท่ากับ 6.4 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 2-6 วิธีใช้แรงกด หนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (CENTER-POINT LOADING)



รูปที่ 2-7 วิธีใช้แรงกดคาน 2 จุด โดยให้ตำแหน่งของจุดทั้งสอง เป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน (THIRD-POINT LOADING)

3. เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการกระตุกในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที ถึง 12 กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที (125 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที ถึง 175 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที)

4. วัดด้านกว้างและลึกของคานที่บริเวณที่มีรอยแตกด้านละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของหน้าตัดที่รอยแตก พร้อมทั้งสเกตลักษณะการแตกร้าวของคานตัวอย่าง

การคำนวณ

การคำนวณค่าการรับแรงดัดจะกำหนดให้ อยู่ในรูปของ โมดูลัสของการแตกหัก (MODULUS OF RUPTURE) ดังต่อไปนี้

1. สำหรับการกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (CENTER-POINT LOADING) สามารถหาค่าการรับแรงดัดได้จากสมการ (2-2)

$$R = 3\ Pl/2bd2 \qquad (2\text{-}2)$$

2. สำหรับการกดสองจุด โดยตำแหน่งที่จุดทั้งสองแบ่งคานออกเป็นสามส่วน (THIRD-POINT LOADING) สามารถหาค่าการรับแรงดัดได้จาก**สมการ (2-3)**

2.1 เมื่อรอยแตกอยู่ในช่วงกลางคาน

$$R = Pl/2bd2 \qquad (2\text{-}3)$$

2.2 เมื่อรอยแตกอยู่นอกช่วงกลางคาน และห่างจากช่วงกลาง ไม่เกินร้อยละ 5 ของช่วงคาน ให้ใช้**สมการ (2-4)**

$$R = 3\ Pl/2bd2 \qquad (2\text{-}4)$$

เมื่อ

R = ค่าการรับแรงดัด เป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P = แรงที่จุดวิบัติของคาน เป็น กิโลกรัม

l = ช่วงคาน เป็น เซนติเมตร

b = ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น เซนติเมตร

d = ความลึกเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น เซนติเมตร

a = ระยะเฉลี่ยของรอยแตกจากฐานรองคานด้านใกล้ที่สุดเป็นเซนติเมตร

เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

1. การพิจารณาค่าการรับแรงดัดของคอนกรีตต้องอยู่ในช่วง ร้อยละ 11 ถึงร้อยละ 23 ของความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมในครั้งเดียวกัน

2. ในกรณีของการทดสอบวิธีใช้แรงกดคานสองจุด ถ้ารอยแตกอยู่นอกช่วงกลางคานและห่างจากช่วงกลางคานเกินร้อยละ 5 ของช่วงคาน ให้ทำการทดสอบใหม่

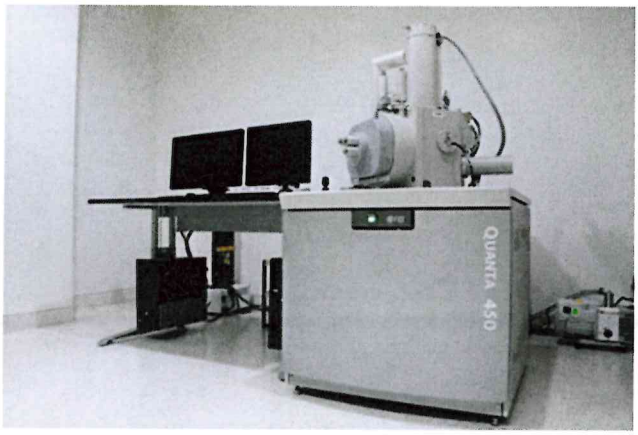
3. ค่าการรับแรงดัด ต้องคำนวณให้ละเอียด ถึง 0.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

2.13 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค (Chemical Composition & Microstructure Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition Analysis) สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบชั้นสูง และสามารถหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับว่าต้องวิเคราะห์วัสดุตัวอย่างประเภทใด หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในห้องแล็ปเพื่อโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เวลาในการทดสอบไม่มาก ค่อนข้างรวดเร็ว ก็คือ การตรวจสอบด้วยเครื่องมือ Spectrometer แบบต่างๆ ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น เทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรดด้วย FT-IR Spectroscopy (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) การวิเคราะห์และหาปริมาณธาตุของโลหะและอโลหะของแข็งด้วยเครื่องมือ Emission Spectroscopy นอกเหนือจากการใช้เครื่องมือเคมีวิเคราะห์ทางด้านสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy Instrumentation) ยังมีการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคแบบรูปแบบที่ใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) แบบต่างๆ โดยต่อไปนี้ เราจะกล่าวถึงการทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รวมถึงกล่าวถึงเทคนิคการใช้ X-rays Detector หรือ เทคนิค Energy Dispersive Spectroscopy (EDS, EDX)

2.13.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เรียกย่อว่า SEM (มาจาก Scanning Electron Microscope หรือสามารถเรียกว่า X-Ray Spectroscopy ก็ได้) คือเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า มีประสิทธิภาพมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาโดยมีกำลังขยายสูงถึง 200,000 เท่า ในการทำงานของเครื่องจะเป็นการใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องกราดไปบนพื้นผิวของตัวอย่าง (Surface) ผลลัพธ์ที่มองเห็นจะให้ภาพแบบ 3 มิติ สามารถรองการศึกษาสภาพพื้นผิวของตัวอย่างทั้งทางชีวภาพและกายภาพ Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy หรืออาจถูกเรียกอีกแบบว่า Energy Dispersive X-ray Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่อาศัยปฏิสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ไปใช้สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีหรือธาตุ ของตัวอย่าง (โลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์) ในส่วนของการประยุกต์ใช้งาน ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง SEM จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในด้านของวิทยาศาสตร์ชีวภาพวิทยาศาสตร์กายภาพ ธรณีวิทยา และงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2-8 ตัวอย่างเครื่องมือทดสอบ SEM

2.13.2 X-Ray Diffractometer (XRD) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็น การวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัว ของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของ รังสีเอกซ์ และความรู้เกี่ยวกับวิชาระบบโครงสร้างผลึก เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่าง ๆ ทฤษฎีพื้นฐานของ XRD อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิด การหักเหของรังสีที่สะท้อนทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของรังสีตกกระทบ ในปี ค.ศ. 1912 นาย **W.L.Bragg** ได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของแร่ต่าง ๆ ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้น เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรก โตมิเตอร์ขึ้นในปี 1948 และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุม การทำงาน และวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น XRD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในกลุ่มนักวัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ ผลการวิเคราะห์จาก XRD ทำให้สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของ วัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย โดยที่ขนาดและประจุของอะตอม ของสารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว เปรียบได้กับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พสิษฐ์ตันดุลยกุล และ วีรยา ฉิมอ้อย (2564) การใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ดินลูกรังประเภทกรวดสำหรับวัสดุ งานทาง งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาการนำเถ้าก้นเตาซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการแทนที่ดินลูกรังเพื่อ เป็นวัสดุทดแทนวัสดุธรรมชาติสำหรับใช้เป็นวัสดุงานทาง โดยใช้เถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ผ่านตะแกรง 1 นิ้ว โดย นำมาแทนที่ดินลูกรังที่มีการคัดขนาดตามมาตรฐานวัสดุชั้นรองพื้นทาง ทล.-ม. 205/2532 Type A และ Type C ของกรมทางหลวง อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 60 โดยมวลดินลูกรังแห้ง จากผลการศึกษาคุณสมบัติการบดอัดของดินลูกรังแทนที่ด้วยเถ้า ก้นเตาพบว่าเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าก้นเตาที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความชื้น เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับคุณสมบัติด้านกำลังรับน้ำหนัก พบว่าค่า CBR มีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนการ แทนที่เถ้าก้นเตาที่เพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 30 หลังจากนั้นค่า ซีบีอาร์ มีค่าสูงขึ้น หากเทียบกับมาตรฐานวัสดุมวลรวมชั้นรอง พื้นทาง พบว่าการบดอัดด้วยความชื้นเหมาะสมมีค่า CBR ผ่านมาตรฐาน และการบดอัดด้วยความชื้นเหมาะสม+2% มีค่า CBR ผ่านมาตรฐานเมื่อร้อยละการแทนที่เถ้าก้นเตาอยู่ในช่วง ร้อยละ 40 – 60แต่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรัง

ศิระ อาทมาท (2562) ผลกระทบของการใช้เถ้าก้นเตาแทนที่บางส่วนของทรายในคอนกรีตต่อความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และปริมาณคลอไรด์วิกฤตของคอนกรีต จากผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 10 มีความต้านทานคลอไรด์สูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่ไม่ผสมเถ้าก้นเตาและคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ30 คอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ10 ร่วมกับเถ้าลอยร้อยละ50 มีความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวและความต้านทานไฟฟ้าทั้งหมดของคอนกรีตมากที่สุด เมื่อควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่เท่ากัน พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ10 มีค่าปริมาณคลอไรด์วิกฤตสูงขึ้นและมีระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมนานขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศาสน์ สุขประเสริฐ (2559) การประยุกต์ใช้ยางพาราและดินซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางวิศวกรรมกรรมตามมาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ โดยมีกำลังรับแรงอัด เท่ากับ 19.58 กก./ตร.ซม. และโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 1,116.2 กก./ตร.ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัด เท่ากับ 16.78 กก./ตร.ซม. และโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 1,025.9 กก./ตร.ซม. พบว่าดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีกำลังอัดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 16.67 และโมดูลัสความยืดหยุ่น เพิ่มขึ้น ร้อยละ 8.80 ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลิเมอร์ ซึ่งมี กำลังรับแรงอัด เท่ากับ 21.25 กก./ตร.ซม. และโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 1,278.8 กก./ตร.ซม. พบว่า ดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีกำลังรับแรงอัดลดลง ร้อยละ 7.89 และโมดูลัส ความยืดหยุ่นลดลง ร้อยละ 12.44 อย่างไรก็ตาม ดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำ

ยางพารามีค่า กำลังรับแรงอัด มากกว่า 17.50 กก./ตร.ซม. ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ที่ ทล.-ม. 204/2533 ดังนั้น ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าสามารถประยุกต์ใช้น้ำยางพาราเป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซีเมนต์สำหรับเป็นวัสดุพื้นทางในโครงสร้างถนน แต่ก็ยังมีสมบัติที่ด้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ปรับปรุง

ศุภชัย ไทยพุ่ม ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์ (2562) การศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของเถ้าก้นเตาผสมปูนซีเมนต์และน้ำยาพาราเพื่อใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานทาง จากผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่าปริมาณยางพาราที่เหมาะสมที่สุด 2 อันดับแรกคือ ร้อยละ 6 และร้อยละ 8 สำหรับปริมาณปูนซีเมนส์ที่เหมาะสมซึ่งพิจารณาจากผลการทดสอนแรงอัดแกนเดียวคือ ร้อยละ 5 สำหรับงานถนนที่มีการจราจรปริมาณน้อยมาก ซึ่งสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมได้แก่ B95%C5%R6% และ B93%C7%R6% นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลของการแช่น้ำมีผลทำให้กำลังของเถ้าก้นเตาผสมปูนซีเมนส์และน้ำยาลดลงประมาณร้อยละ 5 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความต้านทานต่อการไถลในสภาพเปียกพบว่าอยู่เกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานถนนสารธรณะในทางตรงและมีความลาดชันน้อยได้

วุฒิกรณ์ โสพรรณรัตน (2563) การปรับปรุงคุณภาพดินทรายโดยใช้เถ้าก้นเตาและปูนซีเมนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุถมและวัสดุงานทาง การศึกษาประกอบไปด้วยการทดสอบกำลังรับแรงอัด แบบไม่ถูกจำกัด (UCS) การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) การทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว (Mr) และการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้คลื่น สั่นสะเทือน Free-Free Resonance (FRR) สามารถนำมาใช้ในการ ประเมินกำลังของดินทรายปรับปรุงคุณภาพได้และสามารถใช้ในการหา คุณสมบัติด้านโมดูลัสสั่นสะเทือนและอัตราส่วนปัวส์ซอง ผลการทดสอบ พบว่าความเร็วคลื่น P-wave และ S-wave รวมไปถึงค่าโมดูลัสสั่นสะเทือน มีความสอดคล้องกันกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าปริมาณการแทนที่ดินทรายด้วยเถ้าก้นเตาปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ทุกสัดส่วนซีเมนต์และระยะเวลาบ่มมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) ค่า California bearing ratio (CBR) และค่าโมดูลัสคืนตัว (Mr) มีค่าสูงสุดที่สัดส่วนนี้ ดินทรายปรับปรุง คุณภาพด้วยเถ้าก้นเตาและซีเมนต์สามารถจำแนกได้เป็นชั้นพื้นทางดิน ซีเมนต์ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ทล.-ม. 204/2556 กรมทางหลวง ประเทศไทย

เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2546) การใช้เถ้าก้นเตาบดละเอียดเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต จากการศึกษาพบว่าค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียดมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม ส่วนกำลังของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียดสามารถพัฒนากำลังอัดจนสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วันขึ้นไป และอายุ 90 วันมีกำลังอัดสูงสุดร้อยละ 113 ของคอนกรีตควบคุม สำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าก้นเตาความละเอียดและอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนส์

เท่ากันพบว่าคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัดสูงกว่า มีค่าร้อยละกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัดต่ำกว่า ผลจากกการทดลองสรุปว่าเถ้าก้นเตาบดละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในคอนกรีตได้อย่างดี

ทยุติ อิสริยฤทธานนท์ (2546) ได้ศึกษากำลังอัด ความต้านทานต่อการขัดสีและความต้านทานต่อคลอไรด์ ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่มวลรวมละเอียด พบว่าเถ้าก้นเตามีรูปร่างไม่แน่นอน พรุนมาก เปราะ ความชื้นสูง ดูดซึมมาก ละเอียดมากกว่าทราย เฉื่อยต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และทำให้คอนกรีตต้องใช้น้ำมากขึ้นเพื่อให้มีค่ายุบตัวเพียงพอความต้านทานการขัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 30-40 ของคอนกรีตควบคุม ความต้านทานต่อคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ทรายทุกส่วนผสมสูงกว่าคอนกรีตควบคุม และพบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าก้นเตาหยาบร้อยละ 10 ผสมสารลดน้ำมีการซึมผ่านของคลอไรด์ต่ำสุด