

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการก่อสร้างส่วนใหญ่เน้นมักใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก ซึ่งส่วนประกอบของคอนกรีตมี 1. หิน 2. ทราย 3. ปูนซีเมนต์ และ 4. น้ำ โดยหน้าที่หลักของปูนซีเมนต์จะเป็นตัวช่วยยึดประสานมวลรวมให้จับตัวกันได้ดี ดังนั้นจึงถือว่าซีเมนต์เป็นวัสดุสำคัญที่ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้น แต่เชื่อว่าปูนซีเมนต์จะมีแต่ข้อดีเสมอไป ปัญหาของปูนซีเมนต์คือกรรมวิธีการผลิตจะมีการปล่อยของเสียออกมาในรูปแบบฝุ่นละออง เกิดผลกระทบต่อโดยตรงกับสิ่งแวดล้อมและบรรยากาศ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมจึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของหน้าดินขาวที่มีผลต่อบล็อกประสาน เพื่อนำเอาหน้าดินขาวไปแทนปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่ทำให้ยังรักษาคุณสมบัติทางด้านกำลังอัดและคุณสมบัติอื่น ๆ ได้

กากดินขาวเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตดินขาวเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมีปริมาณมาก และเป็นปัญหาในการกำจัดของเหมืองแร่ กระบวนการผลิตดินขาวมีกากดินขาวเป็นหน้าดินในเหมืองแร่ดินขาวซึ่งมีความลึกตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึกประมาณ 3 เมตร โดยในเหมืองแร่จะมีสายแร่ที่มีความกว้างประมาณ 1 กิโลเมตร ยาวประมาณ 10 กิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นเนื้อดินประมาณ 30 ล้านลูกบาศก์เมตร หน้าดินขาวเกิดจากการผุพังของหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีองค์ประกอบหลักคืออลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ที่เหลือเป็นแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ควอร์ต และเฟลสปาร์ [1] ดังนั้นจากองค์ประกอบที่มีอยู่จึงน่าจะมีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุดิบของบล็อกประสานได้

การวิจัยนี้ได้นำกากดินขาวจากจังหวัดระนอง มาเป็นวัสดุที่นำมาทดแทน ปูนซีเมนต์ ในการผลิตบล็อกประสาน โดยความลึกของชั้นหน้าดินขาวแต่ละแหล่งในประเทศไทยเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความหนาของชั้นหน้าดินขาวกับชั้นดินขาว

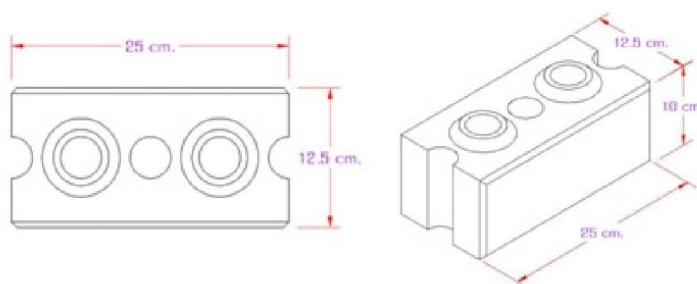
ภาค	แหล่งดินขาว	ความหนาชั้นหน้าดินขาว (เมตร)	ความหนาชั้นดินขาว (เมตร)
ภาคเหนือ [9]	<u>จังหวัดเชียงใหม่</u> แหล่งบ้านแม่หยวก อำเภอเมือง	0.5	มากกว่า 3.5
	<u>จังหวัดพะเยา</u> แหล่งบ้านต๋อมตง อำเภอเมือง	0.5	มากกว่า 0.5
	<u>จังหวัดลำปาง</u> แหล่งบ้านกล้วยหลวง อำเภอเมือง	0.5	6
	<u>จังหวัดอุตรดิตถ์</u> แหล่งบ้านวังยาง อำเภอเมือง	1	5
ภาคกลาง [10]	<u>จังหวัดนครนายก</u> แหล่งเขากระเหรี่ยง อำเภอเมือง	2	4
	<u>จังหวัดนครนายก</u> บ้านคลองเสือโตน อำเภอเมือง	1.25	4
ภาค ตะวันออก [11]	<u>จังหวัดปราจีนบุรี</u> แหล่งโคกไม้ลาย อำเภอเมือง	1	3
	<u>จังหวัดระยอง</u> แหล่งเขาทับกลาง อำเภอแกลง แหล่งบ้านข้ามะกอก อำเภอแกลง	3 0.5	ไม่ต่ำกว่า 2 3.5
	<u>จังหวัดจันทบุรี</u> แหล่งเขาตัน อำเภอท่าใหม่ แหล่งบ้านสามหนาด อำเภอท่าใหม่	0.5 1	0.5 1
	<u>จังหวัดตราด</u> แหล่งบ้านแหลมไทร อำเภอเมือง	0.3	ไม่ต่ำกว่า 0.5
	<u>จังหวัดระนอง</u> แหล่งบางรีน อำเภอเมือง	0.06	3-5
ภาคใต้ [12]	<u>จังหวัดสุราษฎร์ธานี</u> แหล่งห้วยใหญ่ อำเภอนาสาร	4	1-5

2.1 บล็อกประสาน

บล็อกประสานคือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัสดุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป

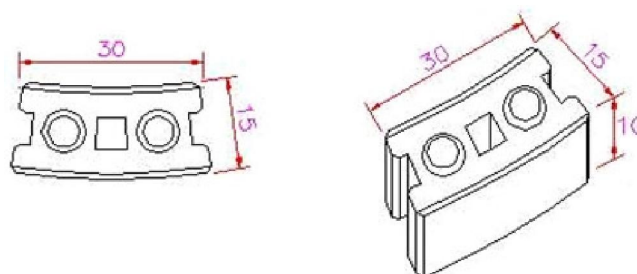
บล็อกประสานแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน

1. บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร



รูปที่ 2.1 บล็อกประสานแบบตรงขนาด 10x12.5x 25 ซม.³

2. บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ



รูปที่ 2.2 บล็อกประสานแบบโค้งขนาด 10x15x30 ซม.³

2.2 การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ

ความแข็งแรงของบล็อกประสานนั้น หลักการคล้ายๆกับการรับกำลังอัดของดินซีเมนต์ (SoilCement) โดยความสามารถในการรับกำลังอัดจะขึ้นอยู่กับ คุณภาพของมวลรวม ขนาดคละ และปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถึงแม้ว่าบล็อกประสานจะถูกอัดด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังสูง แต่ก็ยังมีช่องว่างระหว่างอนุภาคอยู่ และการเชื่อมประสานของปูนซีเมนต์ไม่ได้เติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลดิน เช่น คอนกรีต แต่จะเกิดการเชื่อมประสานที่จุดสัมผัส และจะส่งถ่ายกำลังไปสู่อนุภาคของมวลดิน ดังนั้นถ้าเรามีดินที่มีขนาดคละที่ดี และมีอนุภาคที่แข็งแรง รวมถึงการผสมปูนซีเมนต์ให้เข้ากันอย่างทั่วถึงในปริมาณที่พอดี ก็จะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดของบล็อกประสานสูงขึ้น

2.3 มาตรฐานการผลิตบล็อกประสาน

โดยมาตรฐานของบล็อกประสานยังไม่มีการจัดทำขึ้นแต่ในการผลิตจะอ้างอิงกับมาตรฐาน มอก.57-2533 คือ มาตรฐานอุตสาหกรรมของบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งมีการผลิตและการใช้งานใกล้เคียงกับบล็อกประสาน และมีเอกสารสำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) [14] เป็นแนวทางอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีต บล็อกรับน้ำหนักโดยนำมาประยุกต์กับการผลิตบล็อกประสานดังนี้

ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย ไม่มากกว่า 25 มิลลิเมตร ถ้าในการส่งครั้งหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นที่ยาวกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนมากกว่าร้อยละ 5 ถือว่าเป็นการไม่ยอมรับ และมิติต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตรในการวิจัยครั้งนี้ใช้บล็อกประสานขนาดเต็มก้อน $10 \times 10 \times 20$ ลบ.ซม. ส่วนความต้านแรงอัด ชนิดรับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล และชนิดไม่รับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล

2.4 ประวัติการค้นพบดินขาว [15-17]

ดินขาวหรือเคโอลิน (kaolin) คือดินที่มีสีขาวเป็นแร่ธรรมชาติที่เกิดจากการผุพังและสลายตัวทางเคมีของหินบางชนิด ประกอบด้วยแร่ดินในกลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite group) เป็นส่วนสำคัญเมื่อบริสุทธิ์ จะมีสีขาวแต่มีสีอื่นเมื่อมีมลทิน เช่น ถ้าเกิดปนกับเหล็กออกไซด์ตามขั้นตอนต่างๆของการออกซิเดชัน(oxidation) เมื่อเผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์สีแดงเรียกดินเหล่านี้ว่า red burning clay หรือ คาโอลินแดง(red kaolinitic clay) ถ้าเกิดปนกับสารอินทรีย์ (เหล็กออกไซด์ปน) และมักเกิดในแอ่งที่ลุ่มน้ำขังจะทำให้แร่ดินมีสีดำเรียกว่า บอลเคลย์ (ball clay) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่อื่นๆอีกเช่น ควอตซ์ (quartz) แคลไซต์ (calacite) เฟลสปาร์ (feldspar) และพวกโลหะแอลคาไล (alkali metal) รวมทั้งมีสารประกอบพวกไทเทเนียม(titanium) ปนอยู่ด้วย

จากการสำรวจแหล่งดินขาวในประเทศไทย พบว่ามีแหล่งดินขาวอยู่ในพื้นที่หลายจังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง แพร่ ตาก สุโขทัย อุตรดิตถ์ ลพบุรี ปราจีนบุรี ระยอง ระนอง นครศรีธรรมราช และนราธิวาส ปรากฏว่าดินขาวแต่ละแหล่ง มีคุณสมบัติที่ต่างกันจึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่ต่างกัน

ประโยชน์ในการใช้งานจึงแตกต่างกันไปตามคุณภาพของดินแหล่งนั้นๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเซรามิกซ์ เครื่องสุขภัณฑ์ อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมยาง กระดาษ สี และปุ๋ย เป็นต้น เนื่องจากประโยชน์ของดินขาวในอุตสาหกรรมต่างๆมีมาก และมีปริมาณความต้องการวัตถุดิบดินขาวจึงเพิ่มมากขึ้นด้วยจึงจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมมาในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ก่อนการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท จึงต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อดินเพื่อจะได้ทราบว่าดินขาวเหล่านั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมใดบ้าง

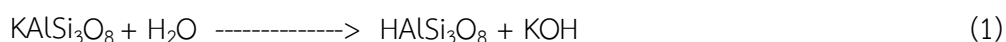
ดินขาวถูกค้นพบครั้งแรกที่ประเทศจีน จึงถูกเรียกชื่อตามแหล่งที่พบครั้งแรก คือ kaoling หรือ kaolin การค้นพบดินขาวในจีนนำไปสู่การค้นหาดินขาวในยุโรป โดยชาวฝรั่งเศสในจีนำดินขาวจากจีนไปเป็นตัวอย่าง ต่อมาจึงได้พบดินขาวในเยอรมัน ฝรั่งเศส และอังกฤษ ตามลำดับดินขาวในอังกฤษเป็นดินขาวแหล่งใหญ่และลึกที่สุดและมีคุณภาพที่สุด ซึ่งเป็นแหล่ง cornwall โดยเกิดในกรวยขนาดใหญ่ภายในหินแกรนิต และมีธาตุเหล็กน้อยเพราะไม่ได้เกิดจากการผุพังเป็นดินขาวร่วน มีสีขาวยิ่งมีความเหนียว และมีเนื้อละเอียดมาก สำหรับประเทศไทยดินขาวหาดส้มแป้นจังหวัดระนองเป็นดินขาวเคโอลิน (kaolin) แห่งแรกที่ถูกค้นพบมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับดินขาวจากแหล่ง cornwall ของประเทศอังกฤษเป็นดินขาวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหินแกรนิตด้วยก๊าซต่างๆ (pneumatolytic process) โดยดินขาวที่ค้นพบนี้จะพบได้โดยทั่วไปตามเทือกเขาหินแกรนิตต่างๆ

2.4.1 แหล่งกำเนิดดินขาว

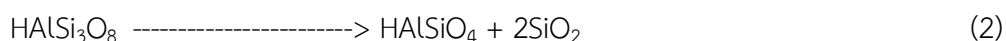
หินเป็นแหล่งกำเนิดของดินขาว เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซิลิเกต (complexaluminum silicate) ในระหว่างเกิดการผุพังหินพวกนี้จะถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyze) ธาตุพวกalkali และalkali earth จะรวมตัวกันเป็นเกลือละลายน้ำได้ ส่วนสารที่เหลืออยู่จะประกอบไปเป็นสารเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีน้ำผลึก (hydrated aluminum silicate) ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างต่าง ๆ กันหินที่เป็นแหล่งกำเนิดของดินขาวได้แก่ เฟลด์สปาร์ (feldspar) การกำเนิดดินขาวแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

- แบบเกิดผุพังอยู่กับที่ (residual deposit) เกิดจากการผุพังหรือการแปรสภาพของแร่และหินมักพบในลักษณะเป็นภูเขา หรือที่ราบเป็นแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) เมื่อเกิดการผุพังตามธรรมชาติหรือแปรสภาพโดยน้ำฝน น้ำบาดาล หรือก๊าซภายในโลกผลสุดท้ายจะได้ดินขาวซึ่ง ดินขาวจากแหล่งนี้มักพบว่ามีซิลิกา เฟลด์สปาร์ และอื่นๆปนอยู่ด้วย แหล่งดินชนิดนี้พบในประเทศไทยหลายแห่ง เช่น อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง อำเภอบางละมูน หาดส้มแป้น จังหวัดระนอง โดยดินขาวแหล่งนี้ มักพบในเขตภูเขาหรือที่ราบซึ่งมีกระบวนการเกิดดินขาวดังนี้

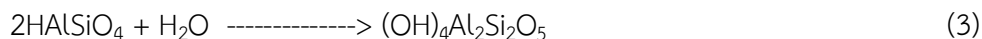
- ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)



- ปฏิกิริยาการสลายตัวให้ซิลิกา (Desilication)



- ปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำ (Hydration)



KAlSi_3O_8 = หินฟันม้าชนิดโปแตช (Potash Feldspar)

$(\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ = ดินขาว (Kaolinite)

- แบบพัดพาไปสะสมตัว (sedimentary deposit) เกิดจากอนุภาคของดินขาวจากแหล่งต้นกำเนิดถูกพัดพาออกไปจากแหล่งเดิมโดยกระแสน้ำ ธารน้ำแข็ง หรือลม แล้วไปสะสมในบริเวณที่ลุ่ม โดยตกตะกอนทับถมเป็นชั้นๆตามขนาดอนุภาคของดิน ดินขาวที่เกิดแบบนี้จึงมีความบริสุทธิ์กว่าดินขาวที่เกิดแบบฝังอยู่กับที่ แหล่งดินชนิดนี้ในประเทศไทยพบที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช

- แบบที่เกิดจากน้ำแร่เข้าไปแทนที่ในหิน (hydrothermal replacement) เกิดจากการที่หินอัคนีเย็นตัวน้ำแร่จะไหลซึมเข้าไปในรอยแตก หรือช่องว่างที่มีอยู่ในหิน น้ำแร่จะละลายธาตุบางส่วนที่มีอยู่ในหินเดิมออกไป ธาตุและสารประกอบใหม่ที่อยู่ในน้ำแร่จะเกิดการตกผลึกเป็นแร่ชนิดใหม่ การกำเนิดแบบนี้จะขึ้นกับองค์ประกอบที่เหมาะสมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความดันและความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแร่

ดินขาวที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งจะมีความบริสุทธิ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ความบริสุทธิ์ของหินต้นกำเนิดเดิม (parent rock)
- ความสมบูรณ์ของการละลายของหินที่เป็นขั้นตอนอย่างสมบูรณ์
- ปริมาณของมลทิน (impurity) ถ้าหากมลทินถูกละลายออกไปได้มาก ดินขาวที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง
- ปริมาณของมลทินจากบริเวณอื่น ที่ถูกพัดพามาสะสมหากมีมากก็ทำให้ดินขาวมีความบริสุทธิ์น้อยลง

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมี

ดินขาวเมื่อบริสุทธิ์จะมีสีขาวประกอบผลึกเล็กๆของแร่คาโอลิไนต์ (kaolinite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ โดยมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

ซิลิกา(SiO_2)	46%
อะลูมินา(Al_2O_3)	40%
น้ำ(H_2O)	14%

ดินขาวมีโครงสร้างแบบ phyllosilicate คือ เป็นแผ่น ๆ ชนิด 1:1 แต่ละแผ่นวางตัวไม่สมมาตรกัน (unsymetry) โดยแผ่นซิลิกาเตตระฮีดรอล (silica tetrahe) อีกด้านหนึ่ง เมื่อนำมาประกกันเป็นแร่คาโอลิไนต์ จะมีรูปผลึกแบบ Triclinic ตรงกลางของแผ่นออกเตฮีดรอลจะมีอนุมูลบวก (cation) อยู่เช่น $\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของดินขาวในแต่ละจังหวัดในประเทศไทย [18] (ร้อยละ)

องค์ประกอบเคมี	จังหวัด เชียงใหม่	จังหวัด อุดรดิตถ์	จังหวัดลำปาง	จังหวัด ระนอง
ซิลิกา	44.5	65	61.7	48.6
อะลูมินา	38.2	17	25.8	36.4
เฟอร์ริกออกไซด์	0.8	1.6	1.5	0.94
ไทเทเนียมไดออกไซด์	0.2	0.1	-	0.02
แคลเซียมไดออกไซด์	0.1	0.07	0.73	0.08
โพแทสเซียมไดออกไซด์	0.8	4.2	4.38	2
โซเดียมออกไซด์	-	-	0.83	0.19
แมกนีเซียมไดออกไซด์	-	1.66	0.64	-
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	14.2	ไม่ระบุ	4.31	11.73

จากตารางที่ 2.2 ดินขาวจากต่างแหล่งมักมีส่วนประกอบต่างกันออกไป เนื่องจากโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่ของธาตุซึ่งเป็นอนุมูลบวกต่างกัน ดินขาวที่มีคุณภาพสูงจะพบแต่ Al^{3+} เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีสารประกอบของแร่อื่น ๆ ปนอยู่ด้วย เช่น ควอตซ์ (quartz) เฟลด์สปาร์ (feldspar) ฮีมาไทต์ (hematite) ฟลูออไรต์ (fluorite) แมกนีไทต์ (magnetite) ไพไรต์ (pyrite) รูไทล์ (rutile) เป็นต้น

2.4.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

ดินขาวมีจุดหลอมเหลวประมาณ 1785 องศาเซลเซียส มีความแข็ง 2.0-2.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.6 ความเหนียวน้อยเมื่อผสมน้ำมีความเหนียว (plasticity) ประมาณ 25-40% นอกจากนี้คุณสมบัติของดินขาวที่ควรศึกษาก่อนนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆมีดังนี้ คือ

1) ขนาดของอนุภาค (particle size) ขนาดของอนุภาคดินจะมีผลต่อความเหนียวและการหดตัวของดินเมื่อแห้ง (drying shrinkage) ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียว และการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบดินเม็ดหยาบจะมีความเหนียวน้อย

2) รูปร่างของอนุภาค (particle shape) รูปร่างของแร่คาโอลิไนต์ โดยทั่วไปจะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (hexagonal plates) ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.05-10.0 ไมครอน

3) คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (base exchange capacity) ปกติดินขาวที่บริสุทธิ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอนุมูล หรือการดูดซับอนุภาคและโมเลกุลอื่นๆ แต่ถ้าไม่บริสุทธิ์จะเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูล หรือดูดซับเอาผลึกแร่ที่มีขนาดเล็กไว้ที่ผิว

4) คุณสมบัติเมื่อแห้ง (drying property) ดินขาวที่บริสุทธิ์จะมีการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) ไม่สูงนัก ดินขาวที่มีเม็ดละเอียดจะมีค่าการหดตัวมากกว่าเม็ดหยาบ

5) คุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความแข็งแรงของเนื้อดินเมื่อแห้งและหลังจากการเผาถ้ามีความแข็งแรงของเนื้อดินสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการแตกหักน้อยและแข็งแรงทนทาน

6) คุณสมบัติหลังการเผา (firing property) เมื่อเผาแล้วจะมีการหดตัวมายน้อยเพียงใด สีของเนื้อดินที่ได้หลังจากการเผาเป็นไปตามต้องการของตลาดหรือไม่ เช่น มีสีขาวเมื่อไปทำผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงกว่าสีครีมหรือสีน้ำตาล

2.4.4 แหล่งดินขาวในประเทศไทย

ดินขาวจะพบอยู่มากมายหลายแหล่ง แต่ละแห่งอาจมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป แหล่งดินขาวที่สำคัญในประเทศไทย มีดังนี้

1) แหล่งดินขาวจังหวัดระนอง เป็นแหล่งดินที่เกิดในลักษณะ residual deposit เกิดจากกระบวนการก๊าซร้อน (pneumatolytic process) เข้าไปเปลี่ยนสภาพหินเดิมโดยเฉพาะแร่เฟลสปาร์ ได้ถูกก๊าซร้อนดังกล่าวซึ่งมีสภาพเป็นกรดตั้งเอาธาตุ Na,K,Ca และซิลิกาออกจากแร่ทำให้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นคาโอลิไนต์ บริเวณที่พบแหล่งดินขาวเช่น ตำบลหาดส้มแป้น ตำบลบางรีนอำเภอมือ อำเภอบางพระ กิ่งอำเภอละอุ่น ดินขาวจากแหล่งต่างๆใน 3 ตำบลนี้มีคุณภาพใกล้เคียงกันคือ ดินมีสีขาว เนื้อดินร่วนซุย เวลาล้างจมตัวเร็ว เนื่องจากเนื้อดินหยาบ ในการทดสอบดินขาวที่จังหวัดระนองจำนวน 15 ตัวอย่างมีปริมาณ SiO_2 44.85-48.61% , Al_2O_3 34.13-39.30% , ปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 ค่อนข้างต่ำจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาชนิดสีขาว

2) ดินขาวจังหวัดลำปาง ดินขาวแบบนี้เกิดแบบ residual deposit เนื่องจากการสลายของแร่เฟลด์สปาร์ที่อยู่ในหินไรโอไลต์ ลักษณะเนื้อดินแน่น แตกต่างไปจากดินขาวจังหวัดระนอง และจังหวัดนราธิวาส ดินขาวที่เกิดแบบนี้มักจะมีเม็ดควอตซ์ปนอยู่มากบริเวณที่พบคือ บริเวณปากคำ ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่ม จากการทดสอบตัวอย่างหินจากจังหวัดลำปาง 35 ตัวอย่าง มีปริมาณ SiO_2 63.04-76.76% , Al_2O_3 13.10-23.92% ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

3) แหล่งดินขาว จังหวัดปราจีนบุรี ดินขาวแบบนี้เกิดแบบ residual deposit ประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์เป็นส่วนใหญ่ และมีควอตซ์ปนดินมีลักษณะขาวเหนียว สีไม่ขาวจัด พบที่บ้านโคกไม้ลาย และบ้านหนองใหญ่ อำเภอมือ จากการทดสอบตัวอย่างหินจังหวัดปราจีนบุรี 10 ตัวอย่างมีปริมาณ SiO_2 45.54-53.99% , Al_2O_3 17.61%-39.01% ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ และนิยมใช้ทำฟิลเลอร์หรือสารเติมในอุตสาหกรรมปุ๋ยผสม

4) แหล่งดินขาวจังหวัด อุดรดิตถ์ ดินขาวแบบนี้เกิดแบบ residual deposit ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ rhyolitic tarff ประกอบด้วย คาโอลิไนต์ ควอตซ์ และอีไลต์ ดินมีสีขาวมาก มีสิ่งเจือปนคือหินและทราย พบที่ตำบลวังยาง อำเภอ เมืองจากการทดสอบตัวอย่างจากจังหวัดอุดรดิตถ์ จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มีปริมาณ SiO_2 63.75-77.56% , Al_2O_3 12.26-19.87% ใช้ในอุตสาหกรรมสี ยาฆ่าแมลง และปุ๋ย

5) แหล่งดินขาว จังหวัดเชียงราย ดินขาวแบบนี้เกิดแบบ sedimentary deposit โดยกระแสน้ำชะดินออกจากหินแกรนิตแล้วพาไปตกทับถมในหนองน้ำโบราณ ดินแห่งนี้หนาประมาณ 2.5 เมตร วางตัวอยู่บนชั้นกรวดทราย และวางตัวอยู่ในชั้นลูกรังและทราย ดินมีสีขาวเป็นส่วนใหญ่ มีสีน้ำตาลแดงหรือเหลืองสลับเป็นหย่อม ๆ พบที่บ้านโป่งเทวี อำเภอเวียงป่าเป้า

6) แหล่งดินขาว จังหวัดนราธิวาส ดินขาวแห่งนี้มีการกำเนิด 2 แบบ ดังนี้

- แบบที่ 1 residual deposit เกิดจากการเปลี่ยนสภาพของหินแกรนิต โดยการกระทำของ น้ำฝน น้ำบาดาลหรือก๊าซร้อนภายในโลก ดินขาวแหล่งนี้ประกอบด้วย เคโอลิไนต์ เป็นส่วนใหญ่ พบที่ ตำบลโตะเต็ง อำเภอสุโขทัย

- แบบที่ 2 sedimentary deposit เกิดจากการถูกพัดพามาสะสมตัวในที่ลุ่มหรือ ประกอบด้วยกลุ่มแร่ คาโอลิไนต์ ควอตซ์ อาจมีหรือไม่มีโอลิไต์ปะปน พบที่ตำบลจวบ อำเภอร่องเงาะ

7) แหล่งดินขาว จังหวัดระยอง ดินขาวแหล่งนี้เกิดแบบ sedimentary deposit ดินแหล่งนี้ หนาประมาณ 3 เมตร วางตัวอยู่ใต้ชั้นกรวดทรายแม่น้ำ ประกอบด้วย เคโอลิไนต์ และควอตซ์ ดินมีสี ขาวแกมเขียวอ่อน สีเทาแกมเขียวอ่อน อาจมีสีเหลืองของเหล็กปะปนเป็นหย่อมๆ พบที่ตำบลเนินขี้ อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง

8) แหล่งดินขาว จังหวัดกระบี่ ดินขาวแบบนี้เกิดการทับถมแบบ sedimentary deposit เนื้อ ดินเป็นสีขาวประกอบด้วยคาโอลิไนต์ และแร่ควอตซ์ พบที่บ้านทับเที่ยง ตำบลปลายพระยา อำเภอ ปลายพระยา จังหวัดกระบี่

2.4.5 ประโยชน์ของดินขาว

ดินขาวมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆดังนี้

- 1) อุตสาหกรรมเซรามิก เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องคุณภาพสูง
- 2) อุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น อิฐก่อสร้าง กระเบื้องมุงหลังคา
- 3) อุตสาหกรรมกระดาษ ดินขาวจะช่วยให้กระดาษมีผิวหน้าเรียบ ช่วยให้กระดาษมีคุณสมบัติ ดูดซับหมึก ช่วยฟอกสีกระดาษให้ขาวขึ้น เพิ่มน้ำหนักของกระดาษ และทำให้กระดาษทึบแสง
- 4) อุตสาหกรรมยาง โดยเติมลงไปนิยาง ให้มีความแข็งแรง คงทน
- 5) อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และปุ๋ย
- 6) อุตสาหกรรมพรมน้ำมัน ทอผ้า และพลาสติก
- 7) อุตสาหกรรมยารักษาโรค เครื่องสำอาง และทำฟันปลอม
- 8) อุตสาหกรรมสี โดยใช้ผลิตสีขาว
- 9) อุตสาหกรรมไฟฟ้า ใช้ในการทำฉนวนไฟฟ้าที่ทนแรงดันได้สูง
- 10) ใช้เป็นตัวฟอกสี และเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม
- 11) ใช้ผสมลงไปในหลุมเจาะที่ใช้งานเจาะสำรวจน้ำมันปิโตรเลียม
- 12) ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอไฟ เช่น อิฐทนไฟเผาดินสำหรับหลอมโลหะ
- 13) ใช้ในการทำปูนซีเมนต์
- 14) ใช้ทำเครื่องกรองน้ำ (water filter)
- 15) ใช้ทำเบ้าในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและหล่อเหล็ก

2.4.6 การตรวจสอบดินขาว

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินขาวเพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อบอกชนิดแร่ดินของดินขาวโดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

- X-ray Diffract meter (XRD)
- Diffract meter Thermal Analysis (DTA)
- กล้อง Electron Microscope (EM)

2) เพื่อนำไปใช้ด้านเซรามิก ที่นิยมทดสอบมีดังต่อไปนี้

- การทดสอบของเนื้อดินขาว หลังจากการเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส
- ความทนไฟของเนื้อดินขาว
- การหดตัวของเนื้อดินหลังการเผา (Dry shrinkage test)
- ความเหนียวของดิน (plasticity)
- การดูดกลืนน้ำ (water absorption)
- การทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงดัด อยู่ในรูปของโมดูลัสการแตกร้าว (modulus of rupture)

3) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ มีการทดสอบที่สำคัญดังนี้

- การหาขนาดของเม็ดดิน (particle size distribution)
- การหาความขาวสว่าง (brightness)
- การหาความคมของเม็ดดิน (abrasiveness)

2.5 รายการคำนวณ

2.5.1 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก [5]

$$\text{กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)} = \frac{\text{แรงอัด (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรวม (ตร.ซม.)}} \quad (4)$$

2.5.2 ผลการทดสอบกำลังดัดของบล็อกประสาน [5]

การทดสอบกำลังการรับแรงดัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 [5] โดยวางก้อนตัวอย่างบนที่รองรับ 2 จุด ซึ่งห่างกันเท่ากับ L และใช้น้ำหนักกระทำแบบจุดกระทำที่จุดกึ่งกลางระหว่างที่รองรับทั้งสอง ในการคำนวณกำลังรับแรงดัด จะคิดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากบล็อกประสานทั้งก้อนโดยไม่หักช่องว่าง

$$M = \frac{PL}{4} \quad (5)$$

$$\text{กำลังรับแรงดัด} = \frac{MC}{I} \quad (6)$$

เมื่อ	M	คือ โมเมนต์ดัด (กิโลกรัม-เซ็นติเมตร)
	C	คือ ระยะแกนสะเทินถึงผิวนอกสุดของบล็อกประสานมีค่าเท่ากับ 5 ซม.
	I	คือ โมเมนต์ความเฉื่อย มีค่าเท่ากับ 1,666.67 ซม. ³
	P	คือ แรงที่กระทำต่อบล็อกประสาน (กิโลกรัม)
	L	คือ ระยะระหว่างที่รองรับ มีค่าเท่ากับ 6.67 ซม.

2.5.3 การหัดัวแห่งทางยาวของคอนกรีตบล็อก [6]

$$\Delta L = L'_1 - L'_3 \quad (7)$$

$$L_{23} = L_x - (T_x - 23.0) \times G\Phi \quad (8)$$

$$s = \frac{\Delta L}{G} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ	S	คือ การหัดัวแห่งทางยาว	(ร้อยละ)
ΔL		คือ การเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของตัวอย่างเนื่องจากการทำให้แห้งจากสภาพอื้นน้ำจนถึงสภาพสมดุล	(ชม.)
G		คือ ความยาวมาตรฐานก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบขนาด 20 ซม.	
L_1		คือ ความยาวก้อนตัวอย่างในลักษณะอื้นตัวผิวแห้ง	(ชม.)
L_2		คือ ความยาวก้อนตัวอย่างเมื่อเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50 °C 3 วัน	(ชม.)
L_3		คือ ความยาวก้อนตัวอย่างครั้งสุดท้ายเมื่อเข้าเตาอบครบ 5 วัน	(ชม.)
	Φ	คือ $12 \times 10^{-6} \text{ at } 20^\circ \text{C}$	
เมื่อ	L_{23}	คือ ความยาวก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 23 °C	(ชม.)
	L_x	คือ ความยาวก้อนตัวอย่าง ณ อุณหภูมิ T_x	(ชม.)
	T_x	คือ อุณหภูมิขณะทดสอบ	(°C)
	L'_1, L'_2, L'_3	คือ ค่าความยาวหลังการปรับแก้อุณหภูมิ ตามสมการ (8)	

รูปที่ 2.3 ความยาว L_x

2.5.4 การดูดกลืนน้ำ และปริมาณความชื้น [4]

$$\text{การดูดกลืนน้ำ} = \frac{A - B}{A - C} \times 100 \quad (10)$$

$$\frac{D - B}{B} \times 100 \leq 0.2\% \quad (11)$$

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{W - B}{A - B} \times 100 \quad (12)$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียก	(กก.)
	B	คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่ออบแห้ง 24 ชั่วโมง	(กก.)
	C	คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแขวนจมน้ำ	(กก.)
	W	คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างปกติก่อนการทดสอบ	(กก.)
	D	คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อใช้เวลาอบแห้งมากกว่ากรณี B 2 ชั่วโมง	(กก.)

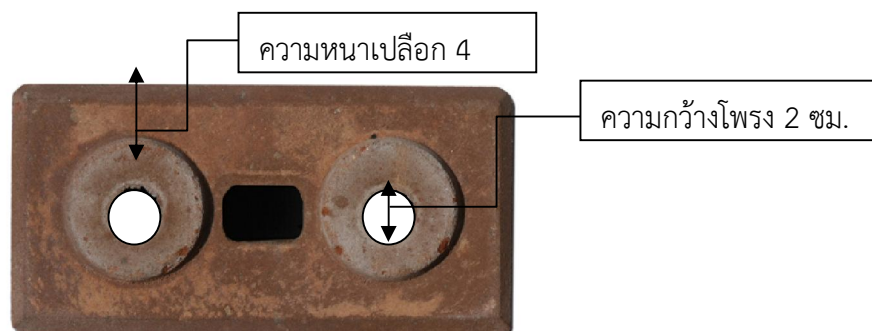
2.5.5 การต้านทานความร้อน [7]

ค่าการต้านทานความร้อน (R)

$$R = \frac{x}{k} \quad (13)$$

เมื่อ	R	คือ ค่าการต้านทานความร้อน	(ตารางเมตร.เคลวิน/วัตต์)
	x	คือ ความหนาของวัสดุ	(เมตร)
	k	คือ ค่าการนำความร้อน	(วัตต์/เมตร.เคลวิน)
	$k_{\text{อากาศ}} = 0.026$		(วัตต์/เมตร.เคลวิน)

ค่าการต้านทานความร้อนรวม ($R_{\text{รวม}}$)



รูปที่ 2.4 ความกว้างของโพรง และความหนาของเปลือกของบล็อกประสาน

$$R_{\text{รวม}} = R_a + \frac{x_1}{k_1} \quad (14)$$

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานความร้อนของโพรงอากาศ (ตารางเมตร.เคลวิน/วัตต์)

x_1 คือ ความหนาของเปลือกคอนกรีตบล็อก (เมตร)

k_1 คือ ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก (วัตต์/เมตร.เคลวิน)

โดย ความหนาของบล็อกประสาน แต่ละด้านหนาเท่ากับ 4.0 ซม.

ความกว้างของโพรงอากาศหรือเดือยของบล็อกประสานหนาเท่ากับ 2.0 ซม.

2.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2549 รศ.วิชัย สวรรูปทานกุล และ วชิรพล จิตะสัจจา [19] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความคงทนของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารประกอบจำพวกแร่ลูมิโนซิลิเกตในดินขาวทำให้มีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงขึ้น งานวิจัยนี้ใช้ดินขาวทั้งหมด 5 แหล่ง ได้แก่ สุราษฎร์ธานี ลำปาง ปราจีนบุรี อุตรดิตถ์ และระนอง นำมาผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยการอัดแบบสถิต (Static) เพื่อทดสอบหากล้างรับแรงอัดของดินขาวที่อายุ 3 7 14 28 60 90 180 และ 270 วัน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในดินขาวทุกแหล่งพบว่าออกไซด์หลักประกอบด้วย ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ จากการทดสอบหากล้างรับแรงอัดของดินระนอง สุราษฎร์ธานี และอุตรดิตถ์ พบว่า กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนกำลังรับแรงอัดของดินปราจีนบุรี และลำปาง พบว่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพบว่าเมื่ออายุของดินขาวนานขึ้นส่งผลให้การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มความดันยิ่งสูงขึ้นไปอีก เมื่อนำดินขาวไปขึ้นรูปตัวอย่างดินขาวทั้ง 5 แหล่งจะมีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาในด้านความคงทนจะพบว่าดินขาวจังหวัดอุตรดิตถ์ จะมีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ

ในปี พ.ศ.2550 ปริญญญา จินดาประเสริฐ และ เจริญชัย ฤทธิรุทธ [20] ทำการศึกษาสารละลายที่แตกต่างในการผลิต จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวเผา เป็นการศึกษาคุณสมบัติจีโอโพลิเมอร์จากดินขาวระนองเผา โดยทำการทดสอบหากล้างรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7 วัน จากการทดสอบพบว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งพบว่าวัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่เตรียมจากสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีพื้นผิวที่ละเอียดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในปี พ.ศ. 2550 อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ และ ศุภสิทธิ์ คนใหม่ [21] ทำการศึกษาจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยผสมดินขาว การศึกษาวิธีการผลิตจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยผสมดินขาวเผาพบว่าเมื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดจะอยู่ในช่วง 300-500 ksc. และการไหลของจีโอโพลิเมอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การบ่มในตู้บ่มคือ 75 องศาเซลเซียส

ในปี พ.ศ. 2551 เผ่าพงศ์ นิจันทรพันธ์ศรี, สมหมาย ผิวสะอาด และ ประชุม คำพุฒ [22] ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาขนาด $12.5 \times 20 \times 60 \text{ cm}^3$ ที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อดินขาว เท่ากับ 1:1:0 1:0.8:0.2 1:0.6:0.4 1:0.4:0.6 1:0.2:0.8 และ 1:0:1 ในด้านของการพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกล สามารถสรุปได้ว่า การผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบา สามารถพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ สมบัติด้านการดูดซึมน้ำ กำลังอัด และกำลังดัด อย่างไรก็ตามการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาขนาด $12.5 \times 20 \times 60 \text{ cm}^3$ ก็ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการที่ด้อยลงเล็กน้อย ได้แก่ สมบัติด้านความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงความยาวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคของดินขาวที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของทรายละเอียด ซึ่งอนุภาคนี้นี้จะสามารถแทรกตัวในระหว่างช่องว่างหรือฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของคอนกรีตมวลเบาขนาด $12.5 \times 20 \times 60 \text{ cm}^3$ ได้ง่าย เนื้อของคอนกรีตมวลเบาจึงหนาแน่นขึ้น อันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป