การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป

Utilization of Low Grade Kaolinite Waste from Rock Mining as Fine Aggregate for Construction Precast Energy Conservation Building

ผกามาศ ชูสิทธิ์

นิลมิต นิลาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย **การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป**

คณะวิจัย **นางสาวผกามาศ ชูสิทธิ์**
นายนิลมิต นิลาศ

พ.ศ. **2560**

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูล ของการนำกากดินขาวเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาแผ่นอัดซีเมนต์ ด้วยการนำกากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวจังหวัดระนอง มาพัฒนาคุณสมบัติเป็นมวลรวมละเอียดให้เหมาะกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อทำแผ่นซีเมนต์ในการก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป สัดส่วนผสมกากดินขาวที่ 10% 20% 30% 40% และผลที่ตัวอย่าง MK20% เป็นส่วนผสมระหว่างปูซีเมนต์ : ทราย กากดินขาวหินปูน สารลดน้ำพิเศษ และน้ำประปา 0.8:2.75:0.2:0.05:0.04:0.5 เทียบกับตัวอย่างควบคุม No MK ที่ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกันบนเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของแต่ละด้าน มีการรับแรงดัดมากกว่าหนึ่งร้อย ksc ค่ากำลังอัดของตัวอย่าง MK20% ที่ 28 วันผสมสารลดน้ำพิเศษได้ที่ 434 ksc คุณสมบัติการนำพาความร้อน ค่าดูดซึมน้ำมีการเปลี่ยนไม่เกินค่ามาตรฐาน

คำสำคัญ : กากดินขาว มอร์ต้าร์ วัสดุผนังที่เป็นมวลสาร

Abstract

The research aims to study and develop the Kaolinite mixed with cement powder for the mass wall. The Kaolinite development process to improve the characteristics. The Kaolinite mixed ratios are 10%, 20%, 30% and 40% and the result indicated that the experiment mortar-mix ratio at 0:8:2.75:0.2:0.05:0.04:0.5 of cement powder, sand, Kaolinite, limestone, superplasticised and clean water compared to No MK control sample covered ASTM standard in tensile strength more than 100 ksc, compressive strength of MK20% with superplasticised at 434 ksc. The water absorption values under the standard passed.

Keywords : Kaolinite, Mortar, Mass Wall

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญเรื่อง	ข
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ซ
กิตติกรรมประกาศ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ดินขาว	6
2.2 แหล่งกำเนิดดินขาว	6
2.3 ความบริสุทธิ์ของดินขาว	7
2.4 สมบัติทางเคมีของดินขาว	8
2.5 สมบัติทางกายภาพของดินขาว	9
2.6 แหบ่งดินขาวในประเทศไทย	9
2.7 การตรวจสอบคุณภาพดินขาวสำหรับอุตสาหกรรม	10
2.8 กากดินขาว	11
2.9 คอนกรีต	12
2.10 ส่วนผสมคอนกรีต	15

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

2.11 การผสม การลำเลียง การเท และการบ่มคอนกรีต 16

2.12 คุณสมบัติคอนกรีตสด 17

2.13 คุณสมบัติคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว 19

2.14 ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง 22

2.15 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป 22

2.16 ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า 23

2.17 ตารางพิกัดมูลฐาน 28

2.18 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร 28

2.19 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง 29

2.20 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป 31

2.21 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร 32

2.22 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป 38

2.23 กรอบแนวคิด 39

2.24 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ ที่เกี่ยวข้อง 39

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก 42

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย 42

3.3 การเตรียมวัสดุในการทำวิจัย 45

3.4 การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต 46

3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ 46

3.6 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียด 47

3.7 การทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีต 49

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

3.8 เขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ 49

บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว 50

4.2 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีต 53

4.3 คุณสมบัติคอนกรีตสด 54

4.4 คุณสมบัติคอนกรีตแข็งตัว 54

4.5 การสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง 59

4.6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ 59

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุป 60

5.2 ข้อเสนอแนะ 61

บรรณานุกรม 62

ภาคผนวก 64

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 เหมืองดินขาวที่มีการขุดในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง 1

รูปที่ 1.2 เครื่องโม่ดินขาวให้มีขนาดตามต้องการ 1

รูปที่ 1.3 เหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง 2

รูปที่ 1.4 การลักลอบดูดทรายในแม่น้ำ 2

รูปที่ 1.5 ตลิ่งพังทลายจากการดูดทรายในแม่น้ำ 3

รูปที่ 1.6 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง 3

รูปที่ 1.7 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง 4

รูปที่ 1.8 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง 4

รูปที่ 2.1 ชื่อเรียกองค์ประกอบของคอนกรีต 15

รูปที่ 2.2 การทดสอบความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตจากค่ายุบตัว 18

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยความเครียดของคอนกรีต 21

รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปเนื่องจากการคืบของคอนกรีต 22

รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป 23

รูปที่ 2.6 รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง 24

รูปที่ 2.7 มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่าง ๆ 25

รูปที่ 2.8 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนต่าง ๆ 26

รูปที่ 2.9 ขนาดของการประสาน 27

รูปที่ 2.10 ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง 28

รูปที่ 2.11 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง 28

รูปที่ 2.12 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1 29

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.13 การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection -30

รูปที่ 2.14 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection 30

รูปที่ 2.15 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection 31

รูปที่ 2.16 รอยต่อของผนังกับผนัง 32

รูปที่ 2.17 รอยต่อของผนังกับผนังและเสา 33

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหมายของวัสดุยาแนว 33

รูปที่ 2.19 แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station 34

รูปที่ 2.20 รายละเอียดและระยะต่าง ๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนามาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง 34

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints 35

รูปที่ 2.22 รอยต่อแบบใช้ประเก็น 35

รูปที่ 2.23 รอยต่อแบบใช้ประเก็น 36

รูปที่ 2.24 รูปแบบของประเก็นที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป 36

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก 37

รูปที่ 2.26 ทางเลือกการเจาะประตูหน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป 38

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 42

รูปที่ 3.2 กากดินขาวจากจังหวัดระนอง 43

รูปที่ 3.3 ทรายละเอียด 43

รูปที่ 3.4 เตาอบปรับอุณหภูมิ 44

รูปที่ 3.5 แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกและสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 44

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ 45

รูปที่ 3.7 ดินขาวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน 45

รูปที่ 3.8 อนุภาคดินขาวถ่ายขยายกำลังสูง 46

รูปที่ 3.9 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปคอนกรีตลงในอ่างผสม 46

รูปที่ 3.10 การผสมส่วนผสมคอนกรีต 47

รูปที่ 3.11 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วย
เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ 47

รูปที่ 3.12 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วยการแช่ลงน้ำ 48

รูปที่ 3.13 แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่ผ่านการแช่ในน้ำและนำขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบการดูดซึมน้ำ 48

รูปที่ 3.14 การชั่งน้ำหนักแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกเพื่อทำการทดลอบการดูดซึมน้ำ 48

รูปที่ 4.1 ขนาดคละของกากดินขาวจากจังหวัดระนอง 50

รูปที่ 4.2 ขนาดคละของเม็ดทรายจากจังหวัดสระบุรี 51

รูปที่ 4.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำของก้อนมอร์ตาร์ 53

รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว 55

รูปที่ 4.5 ผลค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว (MK20%) ที่ 28 56

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุทดสอบมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว 56

รูปที่ 4.7 ระยะเวลาของการบ่มและความทนแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว 57

รูปที่ 4.8 ผลการบ่มเพื่อทดสอบกับกำลังรับแรงดัด 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1.องค์ประกอบของดินขาวในแต่ละจังหวัดในประเทศไทย (ร้อยละ) 8

ตารางที่ 2.2 ความหมายของชิ้นหน้าดินขาว(กากดินขาว)และขั้นดินขาวจากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี 11

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีต 15

ตารางที่ 2.4 ปริมาณส่วนละเอียดในคอนกรีต 16

ตารางที่ 2.5 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานประเภทต่างๆ (มาตรฐาน ว.ส.ท.) 19

ตารางที่ 2.6 ข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบตารางระบบพิกัดแบบไม่ต่อเนื่องแบบที่ 1 29

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ 38

ตารางที่ 2.8 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ 38

ตารางที่ 3.1 ค่าความละเอียดของดินขาวผันแปรตามระยะเวลาการบดโดยวิธีพื้นที่ผิวจำเพาะ 42

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมมอร์ต้าร์โดยน้ำหนัก 46

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ 51

ตารางที่ 4.2 ความถ่วงจำเพาะของทรายแม่น้ำ 52

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของกากดินขาว 52

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว 53

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าร์ผสมดินขาวที่แปรผันระยะเวลาบด 54

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนจาก ว.ช. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สวพ. และเพื่อนร่วมงาน ณ ที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยและเงินทุนในการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ดินขาว (white clay or china clay) เป็นดินเหนียวชนิดหนึ่ง ประกอบด้วย แร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) ฮาลลอยไซต์ (halloysite) หรืออิลไลต์ (illite) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิค อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมการผลิตสี อุตสาหกรรมการเคลือบกระดาษ และอุตสาหกรรมยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น แหล่งผลิตดินขาวที่สำคัญในประเทศไทย มีอยู่หลายพื้นที่ เช่น จังหวัดลำปาง จังหวัดอุตรดิตถ์ และจังหวัดระนอง ปริมาณสำรอง 109.4 ล้านเมตริกตัน (ดนุพล , 2553) ทั้งนี้ ดินขาวที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว เป็นดินขาวที่มีคุณภาพสูง เนื้อละเอียด และราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นดินที่ผ่านกระบวนการล้างและคัดคุณภาพแล้ว ซึ่งคิดเป็นปริมาณดินเพียงร้อยละ 15 ของปริมาณดินขาวที่ขุดขึ้นมาทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 85 เป็นดินขาวคุณภาพต่ำ หรือกากดินขาวเหลือทิ้ง ซึ่งแทบไม่มีมูลค่า หากนำกากดินขาวนี้มาใช้งาน จะต้องผ่านกระบวนการคัดแยกที่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก

รูปที่ 1.1 เหมืองดินขาวที่มีการขุดในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

รูปที่ 1.2 เครื่องโม่ดินขาวให้มีขนาดตามต้องการ

รูปที่ 1.3 เหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

ปัจจุบันนี้ การก่อสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ นิยมใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก ทำให้ความต้องการใช้คอนกรีตมีแนวโน้มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีต ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวม (Aggregate) โดยมวลรวมที่ผสมในคอนกรีตมีปริมาตรมากถึงร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณคอนกรีตทั้งหมด ทั้งนี้ มวลรวมสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามขนาด คือ มวลรวมหยาบ ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 และมวลรวมละเอียด ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ทั้งนี้มวลรวมละเอียดที่ใช้ในงานคอนกรีตมากที่สุด คือ ทราย ทำให้มีปัญหาทรายขาดแคลน ทั้งทรายแม่น้ำและทรายบก ซึ่งทรายแม่น้ำเกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วค่อยๆ ตกตะกอนสะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียด จะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันบริเวณท้ายน้ำ การนำทรายขึ้นจากท้องน้ำ จะใช้เรือดูดดูดทรายขึ้นมาตามท่อ แล้วทิ้งทรายลงบนตะแกรง โดยตะแกรงจะทำหน้าที่ร่อนแยกกรวดที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนที่จะดูดทรายไปใช้งาน ส่วนทรายบกเป็นทรายที่เกิดจากการตกตะกอน ทับถมกันของลำน้ำเก่า ที่แปรสภาพเป็นพื้นดิน โดยมีซากพืช ซากสัตว์ทับถมกันที่ผิวหน้าซึ่งเราเรียกกันว่า หน้าดิน ที่มีความหนาประมาณ 2 – 10 เมตร การนำทรายมาใช้เริ่มจากการเปิดหน้าดินก่อนด้วยรถตักดิน จากนั้นจะขุดดินลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่ แล้วนำเรือดูดดูดทรายผ่านมาตามท่อ โดยปลายท่อจะมีตะแกรงแยกกรวดออก ขณะเดียวกันก็สามารถติดตั้งตะแกรงเพื่อแยกทรายหยาบและทรายละเอียดได้ก่อนนำไปใช้งานต่อไป (ชัชวาลย์, 2540)

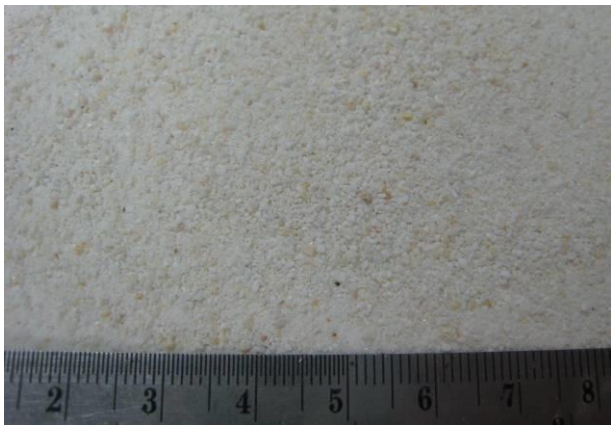
รูปที่ 1.4 การลักลอบดูดทรายในแม่น้ำ (ผู้จัดการออนไลน์, 2557)

รูปที่ 1.5 ตลิ่งพังทลายจากการดูดทรายในแม่น้ำ (ผู้จัดการออนไลน์, 2557)

จากปัญหาการพังทลายของตลิ่งจากการดูดทรายแม่น้ำ แนวโน้มการขาดแคลนทรายสำหรับการก่อสร้างและการขนส่งทรายที่สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก เป็นเหตุให้ต้องมีการหาวัสดุทดแทน ซึ่งกากดินขาวเหลือทิ้งเป็นวัสดุที่เหมาะจะใช้ทดแทนทรายได้ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่มีการทำเหมืองดินขาว เช่น จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง แพร่ ตาก สุโขทัย อุตรดิตถ์ ลพบุรี ปราจีนบุรี ระยอง ระนอง นครศรีธรรมราช และนราธิวาส เป็นต้น เนื่องจากมีขนาดความละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตคอนกรีต นอกจากนี้ ดินขาว ยังเกิดจากการผุพังของหินแกรนิต (granite) หินฟันม้า (feldspar) และหินควอทซ์ (quartz) ซึ่งมีซิลิก้า (SiO_2) เป็นองค์ประกอบคล้ายกับทราย (ดนุพล, 2553) ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นมวลรวมละเอียด สำหรับการใช้ประโยชน์จากกากดินขาวก่อนหน้านี้ นิยมนำมาใช้ในการถมถนนและที่ดินเป็นหลัก เพราะไม่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำกากดินดังกล่าวมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นเร่งด่วนในการศึกษาวิจัย ทั้งนี้ก็เพื่อหาวัสดุทดแทนทรายที่มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง การลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรธรรมชาติ และการสร้างงาน-สร้างรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น

รูปที่ 1.6 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

รูปที่ 1.7 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง



รูปที่ 1.8 กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองดินขาวในตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

ดังนั้น การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป จึงเป็นโครงการที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว พร้อมทั้งตอบสนองความต้องการอาคารประหยัดพลังงาน อาคารและผนังสำเร็จรูปในปัจจุบันที่มีมูลค่าสูงถึง 20,000 ล้านบาทต่อปี รวมทั้งมีแนวโน้มเติบโต ร้อยละ 5 – 10 ต่อปี (ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2557) ซึ่งลักษณะการดำเนินงานของโครงการนี้ เป็นโครงการที่มีระยะเวลาดำเนินการรวม 2 ปี โดยปีที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของกากดินขาวและทรายแม่น้ำ และพัฒนาเป็นคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเป็นส่วนประกอบ และปีที่ 2 เป็นการนำคอนกรีตมาพัฒนาเป็นผนังสำเร็จรูปสำหรับการก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงาน หากโครงการนี้ประสบความสำเร็จ จะสามารถช่วยลดปัญหาการพังทลายของตลิ่งจากการดูดทราย การขาดแคลนทรายก่อสร้าง และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป

1.3ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหิน ตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

1.3.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ล.1-2547 เรื่อง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ (สมอ., 2547)

1.3.3 ใช้ทราย จากทรายแม่น้ำ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับกากดินขาวเหลือทิ้ง

1.3.4 ใช้หินปูน จากจังหวัดสระบุรี เป็นมวลรวมหยาบ

1.3.5 ออกแบบอัตราส่วนในการพัฒนาคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียด จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน

1.3.6 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้ง ตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อุตสาหกรรม ด้านสังคมและชุมชน รวมถึงการเผยแพร่ในวารสาร และหน่วยงานที่นาผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.1 ได้ต้นแบบคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป

1.4.2 ได้ต้นแบบผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูปที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียด

1.4..3 ได้แนวทางส่งเสริมให้มีการนำกากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น ช่วยลดการขนส่งวัสดุจากพื้นที่อื่นๆ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรภายในท้องถิ่น

1.4.4 ผู้สนใจสามารถขอใช้เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูปในเชิงพาณิชย์ได้

1.4.5 ได้องค์ความรู้ด้านการใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป สำหรับเขียนบทความเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ วารสารวิชาการ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.4.6 สามารถสร้างความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในการบูรณาการงานวิจัยร่วมกันตามยุทธศาสตร์ของประเทศ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยการใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป สามารถใช้งานจริงในการผนังอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป โดยมีรายละเอียดทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน คุณสมบัติทางกายภายและเชิงกล ความแข็งแรง มาตรฐานของวัสดุและผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ดินขาว

ดินขาวหรือเคโอลิน (kaolin) คือดินที่มีสีขาวเป็นแร่ธรรมชาติที่เกิดจากการผุผังและสลายตัวทางเคมีของหินบางชนิด ประกอบด้วยแร่ดินในกลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite group) เป็นส่วนสำคัญเมื่อบริสุทธิ์ จะมีสีขาวแต่มีสีอื่นเมื่อมีมลทิน เช่น ถ้าเกิดปนกับเหล็กออกไซด์ตามขั้นตอนต่างๆของการออกซิเดชั่น(oxidation) เมื่อเผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์สีแดงเรียกดินเหล่านี้ว่า red burning clay หรือคาโอลินแดง(red kaolinitic clay) ถ้าเกิดปนกับสารอินทรีย์ (เหล็กออกไซด์ปน) และมักเกิดในแอ่งที่ลุ่มน้ำขังจะทำให้แร่ดินมีสีดำเรียกว่า บอลเคลย์ (ball clay) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่อื่นๆอีกเช่น ควอตซ์ (quartz) แคลไซต์(calacite)เฟลสปาร์ (feldspar) และพวกโลหะแอลคาไล (alkali metal) รวมทั้งมีสารประกอบพวกไทเทเนียม (titanium) ปนอยู่ด้วย (ดนุพล, 2553)

จากการสำรวจแหล่งดินขาวในประเทศไทย พบว่า มีแหล่งดินขาวอยู่ในพื้นที่หลายจังหวัด 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 จึงต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อดิน เพื่อจะได้ทราบว่าดินขาวเหล่านั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมใดบ้าง

ดินขาวถูกค้นพบครั้งแรกที่ประเทศจีน จึงถูกเรียกชื่อตามแหล่งที่พบครั้งแรก คือ kaoling หรือ kaolin การค้นพบดินขาวในจีนนำไปสู่การค้นหาดินขาวในยุโรป โดยชาวฝรั่งเศสในจีนนำดินขาวจากจีนไปเป็นตัวอย่าง ต่อมาจึงได้พบดินขาวในเยอรมัน ฝรั่งเศส และอังกฤษ ตามลำดับดินขาวในอังกฤษเป็นดินขาวแหล่งใหญ่และลึกที่สุดและมีคุณภาพที่สุด ซึ่งเป็นแหล่ง cornwall โดยเกิดในกรวยขนาดใหญ่ภายในหินแกรนิต และมีธาตุเหล็กน้อยเพราะไม่ได้เกิดจากการผุพังเป็นดินขาวร่วน มีสีขาวผ่องมีความเหนียวและมีเนื้อละเอียดมาก สำหรับประเทศไทยดินขาวหาดส้มแป้นจังหวัดระนองเป็นดินขาวเคโอลิน (kaolin) แห่งแรกที่ถูกค้นพบมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับดินขาวจากแหล่ง cornwall ของประเทศอังกฤษเป็นดินขาวที่เกิดจากการเปลี่ยนภาพของหินแกรนิตด้วยก๊าซต่างๆ (pneumatolytic process) โดยดินขาวที่ค้นพบนี้จะพบได้โดยทั่วไปตามเทือกเขาหินแกรนิตต่างๆ

2.2 แหล่งกำเนิดดินขาว

หินเป็นแหล่งกำเนิดของดินขาว เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซิลิเกต (complexaluminum silicate) ในระหว่างเกิดการผุผังหินพวกนี้จะถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) ธาตุพวก

alkali และalkali earth จะรวมตัวกันเป็นเกลือละลายน้ำได้ ส่วนสารที่เหลืออยู่จะประกอบไปเป็นสารเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีน้ำผลึก (hydrated aluminum silicate) ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างต่างๆกันหินที่เป็นแหล่งกำเนิดของดินขาวได้แก่ เฟลด์สปาร์ (feldspar) การกำเนิดดินขาวแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) แบบเกิดผุพังอยู่กับที่ (residual deposit) เกิดจากการผุพังหรือการแปรสภาพของแร่และหินมักพบในลักษณะเป็นภูเขา หรือที่ราบเป็นแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) เมื่อเกิดการผุพังตามธรรมชาติหรือแปรสภาพโดยน้ำฝน น้ำบาดาล หรือก๊าซภายในโลกผลสุดท้ายจะได้ดินขาวซึ่ง ดินขาวจากแหล่งนี้มักพบว่ามีซิลิกา เฟลด์สปาร์ และอื่นๆปนอยู่ด้วย แหล่งดินชนิดนี้พบในประเทศไทยหลายแห่ง เช่น อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง อำเภอบางละอุ่น หาดส้มแป้น จังหวัดระนอง โดยดินขาวแหล่งนี้ มักพบในเขตภูเขาหรือที่ราบซึ่งมีกระบวนการเกิดดินขาว ดังนี้

- ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (Hydrolysis)

$KAlSi_3O_8 + H_2O$ ----------> $HAlSi_3O_8 + KOH$ (1)

- ปฏิกิริยาการสลายตัวให้ซิลิกา (Desilication) (2)

$HAlSi_3O_8$ ----------> $HAlSiO_4 + 2SiO_2$

- ปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำ (Hydration)

$2HAlSiO_4 + H_2O$ ----------> $(OH)_4Al_2Si_2O_5$ (3)

เมื่อ

$KAlSi_3O_8$ = หินฟันม้าชนิดโปแตช (Potash Feldspar)

$(OH)_4Al_2Si_2O_5$ = ดินขาว (Kaolinite)

2) แบบพัดพาไปสะสมตัว (sedimentary deposit) เกิดจากอนุภาคของดินขาวจากแหล่งต้นกำเนิดถูกพัดพาออกไปจากแหล่งเดิมโดยกระแสน้ำ ธารน้ำแข็ง หรือลม แล้วไปสะสมในบริเวณที่ลุ่ม โดยตกตะกอนทับถมเป็นชั้นๆตามขนาดอนุภาคของดิน ดินขาวที่เกิดแบบนี้จึงมีความบริสุทธิ์กว่าดินขาวที่เกิดแบบผุพังอยู่กับที่ แหล่งดินชนิดนี้ในประเทศไทยพบที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช

3) แบบที่เกิดจากน้ำแร่เข้าไปแทนที่ในหิน (hydrothermal replacement) เกิดจากการที่หินอัคนีเย็นตัวน้ำแร่จะไหลซึมเข้าไปในรอยแตก หรือช่องว่างที่มีอยู่ในหินน้ำแร่จะละลายธาตุบางส่วนที่มีอยู่ในหินเดิมออกไป ธาตุและสารประกอบใหม่ที่อยู่ในน้ำแร่จะเกิดการตกผลึกเป็นแร่ชนิดใหม่ การกำเนิดแบบนี้จะขึ้นกับองค์ประกอบที่เหมาะสมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความดันและความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแร่

2.3 ความบริสุทธิ์ของดินขาว

ดินขาวที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งจะมีความบริสุทธิ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ความบริสุทธิ์ของหินต้นกำเนิดเดิม (parent rock)
- ความสมบูรณ์ของการผุสลายของหินที่เป็นขั้นตอนอย่างสมบูรณ์

- ปริมาณของมลทิน (impurity) ถ้าหากมลทินถูกละลายออกไปได้มาก ดินขาวที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง

- ปริมาณของมลทินจากบริเวณอื่น ที่ถูกพัดพามาสะสมหากมีมากก็ทำให้ดินขาวมีความบริสุทธิ์น้อยลง

2.4 สมบัติทางเคมีของดินขาว

ดินขาวเมื่อบริสุทธิ์จะมีสีขาวประกอบผลึกเล็กๆของแร่คาโอลิไนต์ (kaolinite) มีสูตรทางเคมี คือ $AL_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ โดยมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

ซิลิกา (SiO_2)	เท่ากับ	ร้อยละ 46
อะลูมินา (Al_2O_3)	เท่ากับ	ร้อยละ 40
น้ำ (H_2O)	เท่ากับ	ร้อยละ 14

ดินขาวมีโครงสร้างแบบ phyllsilicate คือ เป็นแผ่น ๆ ชนิด 1:1 แต่ละแผ่นวางตัวไม่สมมาตรกัน (unsymetry) โดยแผ่นซิลิกาเตตตระฮีดรัล (silica tetrahe) อีกด้านหนึ่ง เมื่อนำมาประกันเป็นแร่เคโอลิไนต์ จะมีรูปผลึกแบบ Triclinic ตรงกลางของแผ่นออกตะฮีดรัล จะมีอนุมวลบวก (cation) อยู่เช่น AL^{3+},Fe^{3+},Ca^{2+},Mg^{2+}

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของดินขาวในแต่ละจังหวัดในประเทศไทย (ร้อยละ)

องค์ประกอบเคมี	จังหวัดเชียงใหม่	จังหวัดอุตรดิตถ์	จังหวัดลำปาง	จังหวัดระนอง
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 2.1 ดินขาวจากต่างแหล่งมักมีส่วนประกอบต่างกันออกไป เนื่องจากโครงสร้าง ของดินขาวมีการแทนที่ของธาตุซึ่งเป็นอนุมูลบวกต่างกัน ดินขาวที่มีคุณภาพสูงจะพบแต่ Al^{3+} เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีสารประกอบของแร่อื่นๆ ปนอยู่ด้วย เช่น ควอตซ์ (quartz) เฟลด์สปาร์ (feldspar) ฮีมาไทดต์ (hematite) ฟลูออไรด์ (fluorite) แมกนีไทต์ (magnetite) ไพไรต์ (pyrite) รูไทล์ (rutile) เป็นต้น

2.5 สมบัติทางกายภาพของดินขาว

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) ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่0.05-10.0ไมครอน

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

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

5) คุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความแข็งของเนื้อดินเมื่อแห้งและหลังจากการเผาถ้ามีความแข็งแรงของเนื้อดินสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการแตกหักน้อยและแข็งแรงทนทาน

6) คุณสมบัติหลังการเผา (firing property) เมื่อเผาแล้วจะมีการหดตัวมากน้อยเพียงใด สีของเนื้อดินที่ได้หลังจากการเผาเป็นไปตามต้องการของตลาดหรือไม่ เช่น มีสีขาวเมื่อไปทำผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงกว่าสีครีมหรือสีน้ำตาล

2.6 แหล่งดินขาวในประเทศไทย

ดินขาวจะพบอยู่มากมายหลายแหล่ง แต่ละแห่งอาจมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป แหล่งดินขาวที่สำคัญในประเทศไทย มีดังนี้

1) แหล่งดินขาวจังหวัดระนอง เป็นแหล่งดินที่เกิดในลักษณะ residual deposit เกิดจากกระบวนการก๊าซร้อน(pneumatolytic process) เข้าไปเปลี่ยนสภาพหินเดิมโดยเฉพาะแร่เฟลสปาร์ได้ถูกก๊าซร้อนดังกล่าวซึ่งมีสภาพเป็นกรดดึงเอาธาตุ Na,K,Ca และซิลิกาออกจากแร่ทำให้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นคาโอลิไนต์ บริเวณที่พบแหล่งดินขาวเช่น ตำบลหาดส้มแป้น ตำบลบางริ้นอำเภอเมือง ตำบลบางพระ 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 บริเวณปากค่า ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่ม จากการทดสอบตัวอย่างหินจากจังหวัดลำปาง 35 ตัวอย่าง มีปริมาณ SiO_2 63.04-76.76%, Al_2O_3 13.10-23.92% ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

3) แหล่งดินขาว จังหวัดปราจีนบุรี ดินขาวแหล่งนี้เกิดแบบ residual deposit ประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์เป็นส่วนใหญ่ และมีควอตซ์ปนดินมีลักษณะขาวเหนียว สีไม่ขาวจัด พบที่บ้านโคกไม้ลาย และบ้านหนองใหญ่ อำเภอเมือง จากการทดสอบตัวอย่างหินจังหวัดปราจีนบุรี 10 ตัวอย่างมี

ปริมาณ SiO_2 45.54-53.99%, Al_2O_3 17.61%-39.01% ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ และนิยมใช้ทำฟิลเลอร์หรือสารเติมในอุตสาหกรรมปุ๋ยผสม

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

5) แหล่งดินขาว จังหวัดเชียงราย ดินขาวแหล่งนี้เกิดแบบ sedimentary deposit โดยกระแสน้ำชะดินออกจากหินแกรนิตผุแล้วพาไปตกทับถมในหนองน้ำโบราณ ดินแหล่งนี้หนาประมาณ 2.5 เมตร วางตัวอยู่บนชั้นกรวดทราย และวางตัวอยู่ในชั้นลูกรังและทราย ดินมีสีขาวเป็นส่วนใหญ่ มีสีน้ำตาลแดงหรือเหลืองสลับเป็นหย่อม ๆ พบที่บ้านโป่งเทวี อำเภอเวียงป่าเป้า

6) แหล่งดินขาว จังหวัดนราธิวาส ดินขาวแหล่งนี้มีการกำเนิด 2 แบบ ดังนี้

- แบบที่ 1 residual deposit เกิดจากการเปลี่ยนสภาพของหินแกรนิต โดยการกระทำของน้ำฝน น้ำบาดาลหรือก๊าซร้อนภายในโลก ดินขาวแหล่งนี้ประกอบด้วย เคโอลิไนต์ เป็นส่วนใหญ่ พบที่ตำบลโต๊ะเด็ง อำเภอสุไหงปาดี

-แบบที่2 sedimentary deposit เกิดจากการถูกพัดพามาสะสมตัวในที่ลุ่มหรือประกอบด้วยกลุ่มแร่ คาโอลิไนต์ ควอตซ์ อาจมีหรือไม่มีอิลไลต์ปะปน พบที่ตำบลจวบ อำเภอระแงะ

7) แหล่งดินขาว จังหวัดระยอง ดินขาวแหล่งนี้เกิดแบบ sedimentary deposit ดินแหล่งนี้หนาประมาณ 3 เมตร วางตัวอยู่ใต้ชั้นกรวดทรายแม่น้ำ ประกอบด้วย เคโอลิไนต์ และควอตซ์ ดินมีสีขาวแกมเขียวอ่อน สีเทาแกมเขียวอ่อน อาจมีสีเหลืองของเหล็กปะปนเป็นหย่อมๆ พบที่ตำบลเนินฆ้อ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง

8) แหล่งดินขาว จังหวัดกระบี่ ดินขาวแบบนี้เกิดการทับถมแบบ sedimentary deposit เนื้อดินเป็นสีขาวประกอบด้วยคาโอลิไนต์ และแร่ควอตซ์ พบที่บ้านทับเที่ยง ตำบลปลายพระยา อำเภอปลายประยา จังหวัดกระบี่

2.7 การตรวจสอบคุณภาพดินขาวสำหรับอุตสาหกรรม

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)

2.8 กากดินขาว

กากดินขาวเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตดินขาวเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมีปริมาณมากและเป็นปัญหาในการกำจัดของเหมืองแร่ กระบวนการผลิตดินขาวมีกากดินขาวเป็นหน้าดินในเหมืองแร่ดินขาวซึ่งมีความลึกตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึกประมาณ 3 เมตร โดยในเหมืองแร่จะมีสายแร่ที่มีความกว้างประมาณ 1 กิโลเมตร ยาวประมาณ 10 กิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นเนื้อดินประมาณ 30 ล้านลูกบาศก์เมตร หน้าดินขาวเกิดจากการผุพังของหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ อลูมีน่า (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ที่เหลือเป็นแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซี่ยม ควอร์ต และเฟลสปาร์ (ดนุพล, 2553) โดยความลึกของชั้นหน้าดินขาวแต่ละแหล่งในประเทศไทยเป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหนาของชั้นหน้าดินขาว (กากดินขาว) และชั้นดินขาวจากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี

ภาค	แหล่งดินขาว	ความหนาชั้นหน้าดินขาว (เมตร)	ความหนาชั้นดินขาว (เมตร)
ภาคเหนือ	จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งบ้านแม่หยวก อำเภอเมือง	0.5	มากกว่า 3.5
	จังหวัดพะเยา แหล่งบ้านต๋อมดง อำเภอเมือง	0.5	มากกว่า 0.5
	จังหวัดลำปาง แหล่งบ้านกล้วยหลวง อำเภอเมือง	0.5	6
	จังหวัดอุตรดิตถ์ แหล่งบ้านวังยาง อำเภอเมือง	1	5
ภาคกลาง	จังหวัดนครนายก แหล่งเขากระเหรี่ยง อำเภอเมือง	2	4
	จังหวัดนครนายก บ้านคลองเสือโตน อำเภอเมือง	1.25	4
ภาคตะวันออก	จังหวัดปราจีนบุรี แหล่งโคกไม้ลาย อำเภอเมือง	1	3
	จังหวัดระยอง แหล่งเขาทับกลาง อำเภอแกลง แหล่งบ้านชำมะกอก อำเภอแกลง	3 0.5	ไม่ต่ำกว่า 2 3.5
	จังหวัดจันทบุรี แหล่งเขาดัน อำเภอท่าใหม่ แหล่งบ้านสามหนาด อำเภอท่าใหม่	0.5 1	0.5 1
	จังหวัดตราด	0.3	ไม่ต่ำกว่า 0.5

	แหล่งบ้านแหลมไทร อำเภอเมือง		
ภาคใต้	<u>จังหวัดระนอง</u> แหล่งบางริ้น อำเภอเมือง	0.06	3-5
	<u>จังหวัดสุราษฎร์ธานี</u> แหล่งห้วยใหญ่ อำเภอนาสาร	4	1-5

2.9 คอนกรีต

คอนกรีต (Concrete) คือวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ รวมถึงวัสดุปอซโซลาน) มวลรวม (ทราย หิน หรือกรวด) น้ำ และสารเคมีผสมเพิ่ม ผสมกันด้วยสัดส่วนที่พอเหมาะกับลักษณะงานที่จะนำไปใช้ คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ควรมีความข้นเหลวพอที่จะนำไปเทให้ไหลลงในแบบหล่อได้ง่าย และเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีลักษณะทนทานคล้ายหิน สามารถรับแรงได้ตามต้องการ โดยวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต (ปริญญา และชัย, 2555) มีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ (Cement) นับได้ว่าเป็นวัสดุประสาน (Binder material) หลักที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีต แม้ว่าปัจจุบันนี้จะมีวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material) เช่น เถ้าลอยของถ่านหิน (Fly ash) ซิลิกาฟูม (Silica fume) ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Slag) หรือจำพวกขี้เถ้าแกลบ (Rice hush ash) มาเป็นวัสดุประสานแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ก็ตาม แต่วัสดุประสานหลักที่ใช้ผสมทำปูนซีเมนต์ก็ยังเป็นปูนซีเมนต์

สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการเผาส่วนผสมของออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอนและอลูมินา เป็นส่วนใหญ่ โดยใช้อุณหภูมิในการเผาสูงประมาณ 1500 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างต้องได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสมาคมคอนกรีตอเมริกา (ACI) ซึ่งได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามลักษณะใช้งานออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

(ก) ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland cement or Standard Portland cement) เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สะพาน ถนน และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่าง ๆ

(ข) ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เหมาะกับงานจำพวกงานก่อสร้างคลองส่งน้ำ งานคอนกรีตหลา (Mass concrete) เช่นงานฐานรากขนาดใหญ่ เป็นต้น

(ค) ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (Rapid hardening Portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete) เพราะต้องการใช้งานเร็วหรือถอดแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต เป็นต้น

(ง) ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low heat Portland cement) สำหรับใช้งานในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อนคอนกรีต เนื่องจากมีคุณสมบัติในการให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำ

(จ) ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulfate resistant Portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีการกระทำของเกลือซัลเฟต เช่น บริเวณน้ำ หรือดินที่มีสารซัลเฟต เป็นต้น

อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้แนะนำกรณีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางประเภท สามารถใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่นแทนได้ เช่น นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และใช้สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixture) เพื่อปรับปรุงให้กำลังอัดสูงเร็ว แทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 หรือใช้สารปอซโซลานผสมคอนกรีตทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 หรือผสมสารปอซโซลานในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อต้านทานซัลเฟต แต่ทั้งนี้ควรทำการทดลองคุณสมบัติส่วนผสมให้ได้ตามต้องการก่อนใช้งาน

นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์ประเภทอื่นที่ผลิตขึ้นเพื่อให้เหมาะกับงานอื่น ได้แก่

(ก) ปูนซีเมนต์ผสม ได้จากการบดปูนเม็ดกับวัสดุผสม ได้แก่ จำพวกทรายซึ่งประกอบด้วยซิลิกา หรือหินปูนที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา ปริมาณวัสดุผสมที่ใช้บดผสมประมาณ 20-30% โดยน้ำหนัก ทำให้ราคาถูกลง ระยะเวลาการก่อตัวช้าขึ้น และการหดตัวเมื่อแห้งน้อยลง แต่กำลังรับแรงอัดสูงสุดก็ลดลงด้วย ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เฉพาะในงานก่ออิฐ หรืองานฉาบเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้ผสมคอนกรีตสำหรับโครงสร้างหลัก เช่น เสา คาน ฐานราก และพื้น

(ข) ปูนซีเมนต์ขาว ใช้ผสมรวมกับแม่สีที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ เหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องการความสวยงามหรือทางด้านสถาปัตยกรรม เช่น ห้องน้ำ สระว่ายน้ำ หินขัด หินล้าง เป็นต้น กำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ชนิดนี้ที่ 28 วันต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่ราคาแพงกว่า จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ในการก่อสร้างของโครงสร้างหลักและงานคอนกรีตทั่วไป

(ค) ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน การใช้ปูนซีเมนต์ปอซโซลานในการผสมคอนกรีต ควรทำการทดสอบส่วนผสมและทดลองคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการก่อนใช้ในงานก่อสร้างจริง

นอกจากนี้ยังมีปูนทนไฟ ปูนยิบซัม ปูนไลม์ ปูนก่อ และปูนซีเมนต์อลูมินา เป็นต้น

2) ทราย

ทราย (Sand) เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่จัดไว้ในมวลรวมละเอียด (Fine aggregate) มีขนาด 1-3 มม. ซึ่งเป็นตัวแทรกในมวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) หากไม่มีทรายเป็นตัวแทรกในช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบ ก็จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตน้อยลง ซึ่งทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงที่ต่ำลง ทรายที่ใช้ทำคอนกรีตในลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่

- ทรายบก พบบนบกห่างจากทะเล จะไม่มีความเค็มติดอยู่
- ทรายแม่น้ำ พบตามลำห้วย ลำธาร และในแม่น้ำเก่าและใหม่
- ทรายทะเล พบตามชายทะเล หรือบนบกห่างจากทะเลแต่มีความเค็มติดอยู่
- ทรายที่ได้จากการโม่หินเป็นก้อนเล็กๆ หรือร่อนหิน

อย่างไรก็ตามคอนกรีตธรรมดาต้องการทรายที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมคม สะอาด ไม่มีกรด ด่างหรือเกลือเจือปน และมีขนาดคละที่เหมาะสม

3) หินหรือกรวด

หินหรือกรวด (Rock or gravel) จัดเป็นพวกมวลรวมหยาบที่ใช้ผสมทำคอนกรีต เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีความแข็งและทนทาน เหมาะสำหรับมาใช้ทำเป็นวัสดุผสมคอนกรีต ซึ่งควรมีลักษณะที่ มีความแข็งแกร่งดีพอ มีผิวขรุขระ หยาบและเหลี่ยม มีความสะอาดเพียงพอ และต้องมีขนาดคละที่ต่างๆ กัน เพื่อประสานกันได้ดีและมีช่องว่างน้อยที่สุด

ในประเทศไทยนิยมเรียกหินตามขนาดดังนี้ หินฝุ่นจะมีขนาดเล็กกว่า 1/2 นิ้ว หินหนึ่งมีขนาด 1/2 -1 นิ้ว หินสองขนาด 1-2 นิ้ว หินสามขนาด 3-4 นิ้ว หินสี่มีขนาด 6-8 นิ้ว และหินใหญ่ 8-16 นิ้ว (ไม่นำมาผสมคอนกรีต)

4) น้ำ

น้ำ (Water) เป็นสิ่งที่สำคัญในการใช้ผสมทำคอนกรีต ซึ่งบทบาทที่สำคัญต่องานคอนกรีต ได้แก่ การใช้น้ำทำหน้าที่เคลือบมวลรวมให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะได้เข้าเกาะโดยรอบและยึดติดกันได้ ทำหน้าที่หล่อลื่นให้ปูนซีเมนต์ ทรายและหินหรือกรวด มีความข้นเหลว และสามารถไหลเข้าแบบได้ และที่สำคัญน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดเป็นเพสต์ มีความร้อนเกิดขึ้น และเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะเหมือนหิน นอกจากนี้ยังใช้น้ำในการบ่มคอนกรีต ปัญหาเรื่องคุณภาพของน้ำมักจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากน้ำใช้ส่วนใหญ่มีคุณภาพอยู่ในขั้นดี เช่น น้ำประปา กฎทั่วไปสำหรับน้ำในงานคอนกรีต คือ น้ำที่ดื่มได้ก็สามารถนำมาใช้งานได้ จำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีต โดยมากกำหนดเป็นอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c ratio)

5) สารผสมเพิ่ม

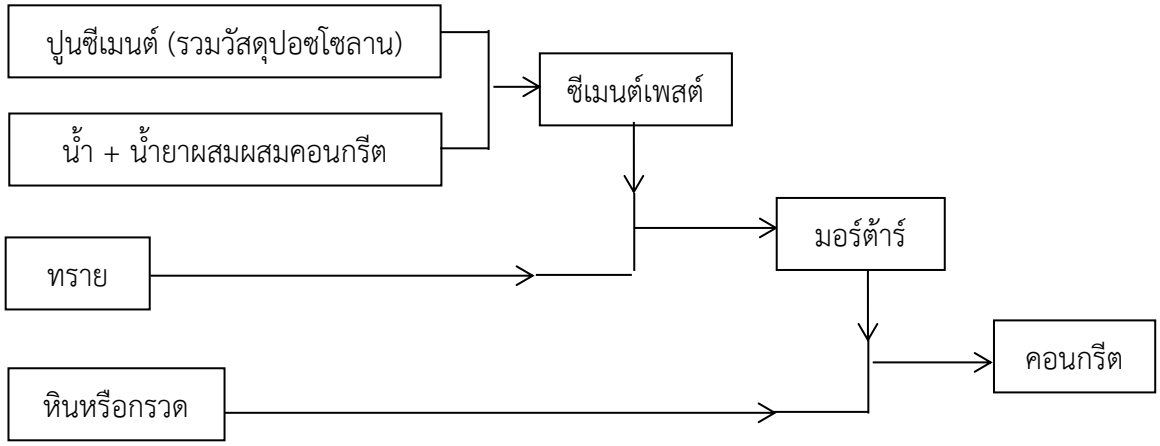
สารผสมเพิ่ม (Admixtures) คือวัสดุที่ไม่ใช่น้ำ ปูนซีเมนต์ และมวลรวม และใช้ผสมทำคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่าง สารผสมเพิ่มในคอนกรีตอาจแบ่งออกได้เป็น 3 พวก ได้แก่

(ก) แร่ผสมเพิ่ม (Mineral admixtures) หมายถึงสารซึ่งเมื่อผสมคอนกรีตแล้วสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ เช่น เถ้าลอย ผงซิลิกา เถ้าภูเขาไฟ หรือหมายถึงสารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเมื่อผสมน้ำ เช่น ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก หรือเถ้าลอยบางชนิด รวมถึงสารซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวในขบวนการแข็งตัว (เช่น Expansion admixture) สารซึ่งช่วยเปลี่ยนสีคอนกรีต สารซึ่งช่วยให้มีกำลังสูงเมื่อบ่มโดยเตาอบไอน้ำแรงดันสูง (เช่น ผงซิลิกา) และอื่นๆ เช่น โพลิเมอร์ และ Filter เป็นต้น

(ข) สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixtures) หมายถึงสารที่ใช้ผสมคอนกรีต ไม่ว่าจะผสมในน้ำผสมคอนกรีตก่อนการผสมคอนกรีต หรือผสมในขณะที่ผสมคอนกรีต หรือผสมก่อนการเทคอนกรีต เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น เพิ่มความสามารถในการทำงาน เพิ่มกำลัง ลดน้ำ เพิ่มความต้านทานต่างๆ หน่วงการแข็งตัว หรือเร่งการแข็งตัว เป็นต้น

(ค) สารผสมเพิ่มอื่นๆ ที่ใช้เพิ่มคุณภาพคอนกรีตมีอีกหลายประเภท เช่น สารผสมเพิ่มเพื่อช่วยในการปั๊มคอนกรีต สารผสมเพิ่มสำหรับลดการแยกตัวใต้น้ำ สารป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม สารกันซึมและสารกักกระจายฟองอากาศ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ ของคอนกรีตมาผสมกัน จะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งมีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น องค์ประกอบที่นำมาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะ (วินิต, 2527) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ชื่อเรียกองค์ประกอบของคอนกรีต

2.10 ส่วนผสมคอนกรีต

โดยทั่วไปส่วนผสมคอนกรีตที่ดีจะใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมให้น้อยที่สุด โดยมีความสามารถในการเทได้พอเพียงกับลักษณะการทำงาน หรือโครงสร้างต่าง ๆ รวมทั้งมีคุณสมบัติอื่นตามต้องการ เช่น การรับแรง ความทนทาน และความทึบน้ำ เป็นต้น

1) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

ในงานทั่วไปการเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to cement ratio, w/c) ขึ้นกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการ แต่ในกรณีที่คำนึงถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่จะมีผลต่อความทนทานของคอนกรีต เช่น คอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมซัลเฟต หรือคอนกรีตทึบน้ำ เป็นต้น ในลักษณะเช่นนี้ควรใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้ต่ำ แม้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จะสูงกว่าค่าที่ออกแบบไว้ก็ตาม

2) ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต

ปริมาณน้ำในคอนกรีตไม่ควรใช้มากเกินไป ควรมีปริมาณพอเพียงต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต เพื่อป้องกันการเยิ้มมากของคอนกรีต มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดปริมาณที่เหมาะสมที่ให้ค่ายุบตัวต่างๆ เมื่อใช้หินย่อยและทรายธรรมชาติในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัว (ซม.)	**ปริมาณน้ำต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร (ลิตร)**	
	หินขนาดใหญ่สุด 25 มม.	**หินขนาดใหญ่สุด 20 มม.**
7.5	170	180
10.0	180	190
12.5	190	200
15.0	200	210

3) ปริมาณปูนซีเมนต์

ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่กำหนดในส่วนผสม ทั้งนี้ควรหลีกเลี่ยงการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดความร้อนในคอนกรีตสูง และเกิดการหดตัวของคอนกรีตสูงด้วย

4) การเลือกใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดขนาดมวลรวมไว้ว่าขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบต้องไม่โตกว่า 1/5 ของด้านแคบที่สุดของแบบหล่อคอนกรีต หรือต้องไม่โตกว่า 2/3 ของระยะช่องว่างน้อยที่สุดระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด โดยให้ใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 20 หรือ 25 ม.ม. สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป และใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 40 ม.ม. สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนามาก หรือคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก

5) ปริมาณส่วนละเอียด

ปริมาณส่วนละเอียดในคอนกรีตหมายถึง ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทราย มีผลต่อความสามารถเทได้และการแยกตัวของคอนกรีต มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ให้ปริมาณส่วนละเอียดที่เหมาะสมเมื่อใช้หินย่อยและทรายธรรมชาติในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณส่วนละเอียดในคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ขนาดโตสุดของหิน (ม.ม.)	ปริมาณส่วนละเอียด
25	380 ลิตร หรือร้อยละ 38
30	400 ลิตร หรือร้อยละ 40

2.11 การผสม การลำเลียง การเท และการบ่มคอนกรีต

1) การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตให้มีคุณภาพดีและถูกหลักวิชามี 2 วิธี คือ

(ก) การผสมโดยปริมาตร เป็นการผสมคอนกรีตโดยการตวงส่วนผสมตามกำหนด จะได้สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอพอสมควร เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูงมาก การตวงส่วนผสมควรตวงส่วนผสมด้วยถังมาตรฐาน ถังมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปทำด้วยไม้มีขนาดพอดีกับปูนซีเมนต์ 1 ถุง (50 กก.)

(ข) การผสมโดยน้ำหนัก เป็นการผสมคอนกรีตโดยการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมตามกำหนด จะได้ส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอทุกครั้ง โดยเฉพาะงานก่อสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูง การวัดส่วนผสมของคอนกรีตโดยน้ำหนักนี้ ไม่ต้องกังวลกรณีของการพองตัวของทราย เพราะทรายที่ชั่งโดยน้ำหนักนั้นไม่ค่อยแปลงแปลงมากนัก

2) การลำเลียงคอนกรีต

ในการลำเลียงคอนกรีตที่ผสมแล้วต้องคำนึงถึงสภาพการลำเลียงคอนกรีตว่าต้องระวังให้เนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอ และไม่แยกตัวก่อนเทลงแบบ โดยป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อม และภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน และความชื้น เป็นต้น วิธีการการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสมขึ้นกับสถานที่ผสมคอนกรีตและบริเวณที่จะทำคอนกรีต โดยควรเลือกวิธีที่ไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้แนะนำวิธีการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสม ดังนี้

(ก) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีลำเลียงโดยคนงาน รถเข็น รถผสมคอนกรีต สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

(ข) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีลำเลียงโดยราง สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

(ค) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีลำเลียงโดยใช้รอก ใช้ลิฟท์ รถเครน สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น

(ง) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ต้องใช้วิธีลำเลียงโดยรถโม่ขนคอนกรีตมาส่งที่หน่วยงาน และลำเลียงต่อไปสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม

3) การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีต ควรมีการวางแผนเพื่อให้สามารถเทได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพที่สุด โดยไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคต่องานที่ไม่เกี่ยวข้อง การเทคอนกรีตที่ดี คือการเทเพื่อให้คอนกรีตที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอ ไม่มีการแยกตัว และไม่มีรูพรุน ในขณะที่กำลังเทคอนกรีตอยู่นั้นจำเป็นต้องทำคอนกรีตให้แน่นโดยทั่วถึง โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้มือ ใช้เครื่องเขย่า หรือจะใช้เครื่องตบแต่ง ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่น มีการยึดหน่วงกับเหล็กเสริมดี และได้ผิวเรียบ

4) การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเท และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนหลังจากเทคอนกรีตใหม่ๆ เป็นต้น วิธีการบ่มของคอนกรีตมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้เสนอวิธีการบ่มคอนกรีตไว้ดังนี้

(ก) การบ่มเปียก ในกรณีทั่วไปคอนกรีตต้องได้รับการป้องกันจากการสูญเสียความชื้นจากแสงแดดและลมหลังจากเสร็จสิ้นการเทจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแข็งตัว และหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว ผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศยังต้องคงความเปียกชื้นอยู่ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการปกคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ ผ้าเปียกน้ำ หรือฉีดน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ควรบ่มเปียกติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน ส่วนคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ควรบ่มอย่างน้อย 3 วัน ในกรณีของคอนกรีตที่มีวัสดุปอซโซลานผสม ควรบ่มมากกว่า 7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุปอซโซลานที่ใช้

(ข) การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิมีความจำเป็นต่องานบางประเภท โดยเฉพาะงานคอนกรีตหลา สำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีอุณหภูมิต่ำอาจจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตสด หรือต้องบ่มโดยการห่อหุ้มด้วยฉนวนความร้อน ส่วนงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีอุณหภูมิสูงมากหรืองานคอนกรีตหลา ซึ่งอาจเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในคอนกรีตกับสิ่งแวดล้อมภายนอก การลดอุณหภูมิเริ่มต้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น ลดอุณหภูมิของคอนกรีตเอง โดยใช้ทรายและหินที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือใช้น้ำเย็นในการผสม เป็นต้น

(ค) การบ่มแบบเร่งกำลัง ในงานบางประเภท เช่น การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อาจมีความจำเป็นต้องใช้การบ่มแบบเร่งกำลัง เช่น บ่มไอน้ำหรือบ่มไอน้ำความดันสูง เป็นต้น

(ง) สารเคมีสำหรับการบ่ม โดยปกติสำหรับการบ่มโดยใช้สารเคมี จะใช้ต่อเมื่อไม่สามารถบ่มคอนกรีตบ่มแบบเปียกได้ สารเคมีสำหรับบ่มนั้น จะใช้ฉีดพ่นลงบนผิวหน้าของคอนกรีตที่ต้องการบ่ม โดยควรฉีดพ่นซ้ำมากกว่า 1 เที่ยว เพื่อให้แผ่นฟิล์มเคลือบผิวหน้าคอนกรีตมีความหนาเพียงพอ

2.12 คุณสมบัติคอนกรีตสด

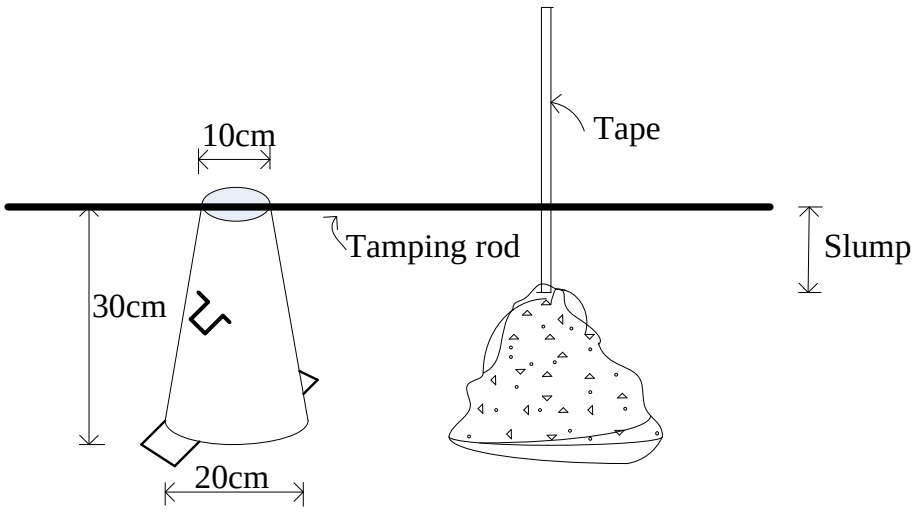
คุณสมบัติของคอนกรีตสด (Fresh concrete) จะมีผลโดยตรงกับคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ดังนั้นคุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ต้องการ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของส่วนผสม ความง่ายในการลำเลียงและขนส่ง การทำงานที่สะดวกโดยที่สามารถเทลงแบบและอัดแน่นได้ง่ายโดยไม่เกิดการแยกแยะ คุณสมบัติของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีต ได้แก่ ปริมาณน้ำ อัตราส่วนผสม

คุณสมบัติของมวลรวม ชนิดของปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม นอกจากนี้คุณสมบัติของคอนกรีตสดยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ ความชื้น และอุณหภูมิ เป็นต้น (ปริญญา และชัย, 2555)

1) ความสามารถทำงานได้

ความสามารถทำงานได้ (Workability) ของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตสด การวัดความสามารถทำงานได้ ทำให้รู้ถึงความเหมาะสมของคอนกรีตในการขนส่ง การเทเข้าแบบ และการอัดแน่น การวัดความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การทดสอบค่ายุบตัว (Slump test) การทดสอบการไหล (Flow test) การทดสอบการอัดแน่น (Compacting factor test) การทดสอบการจมของลูกบอลล์เคลลี (Kelly's Ball penetration test) การทดสอบรีโมลดิง (Remolding test) และการทดสอบวีบี (Vebe test) เป็นต้น

การทดสอบค่ายุบตัว: การทดสอบค่ายุบตัว (Slump) เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและเป็นที่นิยมมากที่สุด การทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบทำได้ง่ายเหมาะสำหรับการทดสอบในภาคสนาม เครื่องมือในการทดสอบประกอบด้วยกรวยตัด ดังรูปที่ 2.2 และเหล็กกระทุ้ง วิธีทดสอบทำโดยบรรจุคอนกรีตสดลงในแบบสามชั้น ๆ ละประมาณเท่ากันโดยปริมาตร แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง พยายามไม่ให้แบบเคลื่อนที่ได้ในขณะบรรจุคอนกรีต โดยใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบบนแผ่นเหล็กที่ยื่นออกมาจากกรวย ใช้เหล็กกระทุ้งปาดหน้าคอนกรีตให้ได้ระดับกับขอบกรวย ใช้มือกดที่หูจับทั้งสองข้างและเลื่อนเท้าออกจากแผ่นเหล็กแล้วค่อย ๆ ยกแบบขึ้นในแนวดิ่ง คอนกรีตภายใต้นำหนักของตัวเองจะยุบตัวลง (รายละเอียดวิธีการทดสอบมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C143) (ปริญญา และชัย, 2555)



รูปที่ 2.2 การทดสอบความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตจากค่ายุบตัว

ความข้นเหลวที่พอเหมาะโดยวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานประเภทต่าง ๆ ควรจะเป็นนั้น (มาตรฐาน ว.ส.ท.) (วินิต, 2527) แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานประเภทต่างๆ (มาตรฐาน ว.ส.ท.)

ประเภทของงาน	ค่าการยุบตัว (ซม.)
พื้นถนน	3.0-8.0
โครงสร้างทั่วไป	5.0-10.0
เสาหรือผนังบาง	7.5-12.5
โครงสร้างที่เหล็กเสริมแน่น	10.0-15.0

2) การแยกแยะ

การแยกแยะ (Segregate) ของส่วนประกอบของคอนกรีตอาจจะเกิดขึ้นได้จากการแยกตัวของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ หรือการแยกตัวของน้ำปูนจากส่วนผสม มวลรวมที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากกว่าส่วนอื่นของคอนกรีตและสามารถเคลื่อนที่หรือกระจายไปได้ไกลกว่าในการเทคอนกรีต นอกจากนี้ในการเขย่าคอนกรีตให้แน่น มวลรวมที่ขนาดใหญ่จะพยายามจมลงสู่ก้นของแบบและส่วนบนจะเป็นน้ำปูนและมวลรวมที่ขนาดเล็กกว่า หรือถ้าคอนกรีตเหลวมากน้ำปูนจะไหลจากกองคอนกรีตได้ง่าย

การลดการแยกแยะสามารถทำได้โดยเลือกขนาดคละของมวลรวมที่ดี ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีการเกาะตัวกันสูง และมีการควบคุมการขนส่ง เทเข้าแบบ และการอัดแน่น ไม่ควรให้เทคอนกรีตจากระดับที่สูง ถ้าจำเป็นควรมีท่อส่งไปยังแบบ

3) การเยิ้ม

การเยิ้ม (Bleeding) ของคอนกรีตจัดเป็นการแยกตัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นการแยกตัวของน้ำออกจากคอนกรีต น้ำเป็นส่วนผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด และบางส่วนจะลอยขึ้นสู่ผิวบนของคอนกรีตสืบเนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็งไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หมด การเยิ้มของคอนกรีตทำให้ส่วนบนของคอนกรีตมีกำลังรับแรงต่ำกว่าส่วนล่าง ปกติจะทิ้งให้น้ำที่คายออกมาให้ระเหยไปก่อนแล้วจึงทำการปาดหน้าตกแต่งผิวคอนกรีต แต่ถ้าการระเหยเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการคายน้ำ จะทำให้เกิดรอยแตกจากการหดตัว เมื่ออยู่ในสภาพพลาสติก (Plastic shrinkage crack) ในการเทคอนกรีตทับอีกชั้นหนึ่งน้ำที่ถูกคายออกมาอาจถูกขังอยู่ภายใต้คอนกรีตชั้นบนทำให้ส่วนบนของคอนกรีตชั้นล่างมีรูพรุน ไม่ทนทานและแข็งแรง

2.13 คุณสมบัติคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะทำให้คอนกรีตเริ่มก่อตัวและแข็งตัว มวลรวมและซีเมนต์เพสต์จะยึดเกาะกันแน่นขึ้น และคอนกรีตจะมีความสามารถในการรับแรงกระทำจากภายนอก กำลังรับแรงของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติของคอนกรีตที่วิศวกรให้ความสำคัญมากที่สุด ทั้งนี้เพราะการทดสอบกำลังรับแรงทำได้ง่าย และคุณสมบัติอื่นของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรง คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงดีจะมีคุณสมบัติทางด้านอื่นดีด้วย โดยทั่วไปจึงใช้กำลังรับแรงเป็นตัวชี้บ่งคุณสมบัติของคอนกรีต

1) กำลังอัดของคอนกรีต

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ก็คือคุณสมบัติในการต้านทานแรงอัด (Compressive strength)ได้สูง กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นกับส่วนผสมของวัสดุในคอนกรีต และวิธีทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอนกรีต ตลอดจนอายุของคอนกรีต กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') ถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน หลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ สำหรับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ให้กำลังสูงเร็ว จะทดสอบ f_c' ที่อายุ 3 วัน

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ทำได้โดยการกดแท่งทดสอบมาตรฐานด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก แท่งทดสอบมาตรฐานอาจเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. หรือเป็นรูปลูกบาศก์ 15x15x15 ซม. กำลังอัดประลัยของรูปลูกบาศก์จะสูงกว่าแท่งทรงกระบอกประมาณร้อยละ 20 หรือกล่าวได้ว่า กำลังอัดรูปลูกบาศก์ ≈ 1.20 กำลังอัดแท่งทรงกระบอก

2) กำลังดึงของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตในการต้านทานแรงดึง (Tension strength) นั้นต่ำมาก กำลังดึงของคอนกรีต มีค่าประมาณ 7-10 % ของ f_c' ด้วยเหตุนี้การออกแบบงานโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไปจึงไม่ได้นำเอาค่ากำลังดึงของคอนกรีตมาใช้ประโยชน์ แต่จะใช้เหล็กเสริมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อทำหน้าที่ในการต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้น กำลังดึงของคอนกรีตอาจหามาได้ 3 วิธี คือ

(ก) ทดสอบโดยการดึงโดยตรง (Direct tension test) ข้อเสียของวิธีนี้คือ การเยื้องศูนย์เพียงเล็กน้อย และการเกิดหน่วยแรงเฉพาะจุดของเครื่องมือ จะทำให้ผลของการทดสอบผิดพลาด

(ข) การทดสอบโดยการกดแท่งทรงกระบอกให้แยกผ่าซีก (Split cylinder test) เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดโดยการกดแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ให้แยกผ่าซีก

(ค) โมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture) ทดสอบโดยการกดให้คานคอนกรีตล้วนเกิดการแตกหัก เมื่อทราบค่าโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการแตกหักแล้ว สามารถคำนวณหาโมดูลัสของการแตกหักได้ จากทฤษฎีของกำลังวัสดุ $f_r = \dfrac{Mc}{I}$

3) โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

การหาค่าโมดูลัส (Modulus of elasticity) ของความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตซึ่งไม่เป็นเส้นตรง สามารถทำได้หลายวิธี จึงทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีหลายค่า ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีวัด ทั้งนี้วิธีหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต 3 วิธี คือ

(ก) โมดูลัสเส้นสัมผัสเริ่มต้น (Initial tangent modulus) พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัส ณ จุดเริ่มต้น

(ข) โมดูลัสเส้นสัมผัส (Tangent modulus) พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยความเครียด ปกติแล้วจะเลือกที่จุด 0.5 f_c'

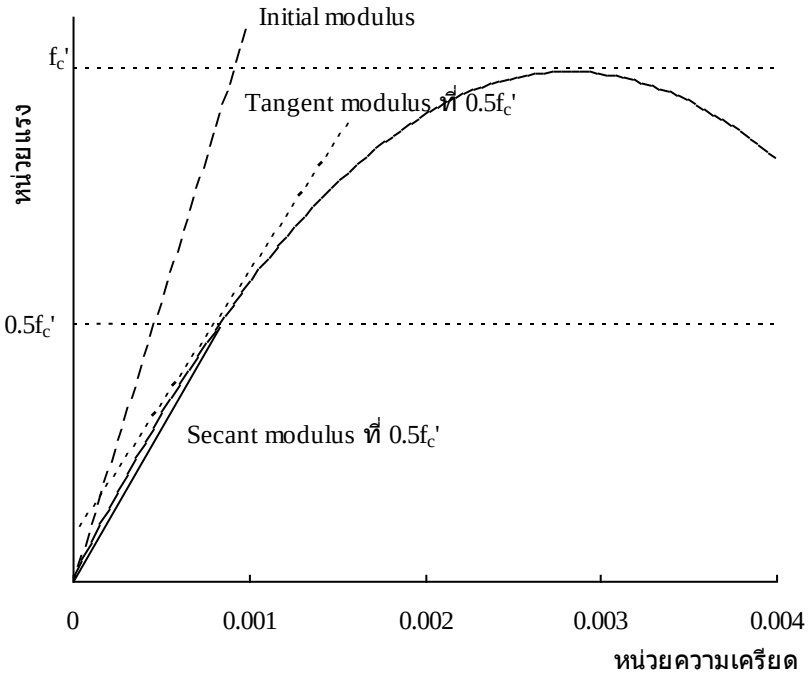
(ค) โมดูลัสเซคเคนท์ (Secant modulus) พิจารณาจากความลาดเอียงของเส้นเชื่อมจุดเริ่มต้นกับจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยความเครียด ปกติแล้วจะเลือกที่จุด 0.5 f_c' เช่นกัน

จากผลการทดสอบพบว่า โมดูลัสยืดหยุ่นที่ระดับหน่วยแรงใช้งาน คือที่ระดับหน่วยแรง 0.5 f_c' นั้น โมดูลัสยืดหยุ่นจะขึ้นกับน้ำหนักและกำลังอัดของคอนกรีต สูตรหาโมดูลัสยืดหยุ่น (Secant modulus) ของคอนกรีตเป็นดังนี้

$$E_c = 4,230 w^{1.5} \sqrt{f_c'} \quad (\text{กก/ซม}^2) \qquad (4)$$

สำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติ ซึ่งมีน้ำหนัก $w = 2.323$ ตัน/ม^3

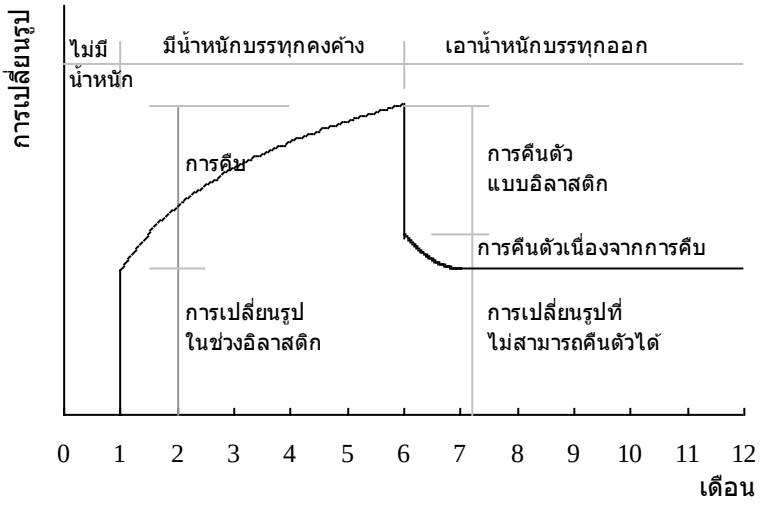
$$E_c = 15{,}100\sqrt{f_c'} \qquad \text{(กก/ซม}^2\text{)} \qquad (5)$$



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยความเครียดของคอนกรีต

4) การคืบและการหดตัว

(ก) การคืบ (Creep) เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตในลักษณะที่มีการเปลี่ยนรูปภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างที่คงที่เป็นเวลานานในช่วงอิลาสติก



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปเนื่องจากการคืบของคอนกรีต

ข) การหดตัว (Shrinkage) เป็นคุณสมบัติของตอนกรีตเมื่อมีการสูญเสียน้ำ การหดตัวจะขึ้นอยู่กับลักษณะการสัมผัสของคอนกรีต (สัมผัสกับลม อากาศแห้ง หรืออากาศชื้น) เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น และชนิดของวัสดุผสม เช่น อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ เมื่อมีการหดตัวไม่เท่ากันจะทำให้เกิดหน่วยแรงภายในคอนกรีต จึงจำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อต้านทานการหดตัวเป็นปริมาณอย่างน้อยที่สุดตามที่กำหนด (ปริญญา และชัย, 2555)

2.14 ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง

รูปแบบของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปนั้น สามารถจัดแบ่งตามลักษณะของโครงสร้าง และการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้เป็น 2 ประเภท คือ Frame Structure และ Panel Structure ส่วนเมื่อแบ่งรูปแบบตามลักษณะการใช้งาน และการก่อสร้าง จะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1) Frame Structure Systems เป็นลักษณะโครงสร้างที่รับน้ำหนักลงบนคานส่งผ่านน้ำหนักไปยังเสาและลงสู่ฐานรากตามลำดับ ในระบบเน้นโครงสร้างคานและเสาเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2) Panel Systems เป็นลักษณะโครงสร้างที่รับน้ำหนักจากแผ่นพื้นส่งผ่านน้ำหนักไปยังแผ่นผนัง และลงสู่ฐานรากตามลำดับ โนโครงสร้างระบบนี้จะเน้นที่โครงสร้างแผ่นพื้นและแผ่นผนังรับแรงเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นหลัก ขนาดของแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการขนส่งและการติดตั้ง โครงสร้างระบบนี้ขนาดและน้ำหนักของแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการผลิต การส่ง และการติดตั้ง

3) Modular System เป็นลักษณะโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่อง 3 มิติ ในแต่ละโมดูลาร์ถือเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรภาพในตัวเอง ของโมดูลาร์อาจจะมีการทำงานในส่วนสถาปัตยกรรมและงานระบบมาเรียบร้อยแล้วจึงนำมาติดตั้งเป็นระบบโครงสร้างรวมของอาคาร แต่ละโมดูลาร์อาจจะมีลักษณะ เช่น รูปตัว U, รูปตัว C, รูประฆัง,รูปกล่องสี่เหลี่ยม ข้อจำกัดของระบบนี้จะอยู่ที่การขนส่งและการติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถที่จะนำมาขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักขอถนนและเครื่องจักรที่จะนำมาทำการยกติดตั้ง เนื่องจากชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก (มามี, 2541)

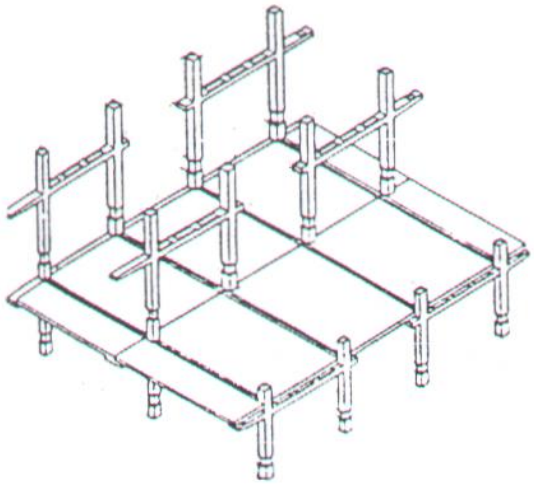
2.15 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การแบ่งประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูปของอาคารแบบอุตสาหกรรมนี้ สามารถแบ่งตามการแบ่งประเภทของระบบก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรมได้ เป็น 2 แบบ คือ ระบบเสาและคาน (Skeleton Construction) และระบบผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) โดยแต่ละแบบจะมีเนื้อหาเทคนิคและวิธีการติดตั้งที่แตกต่างกัน (ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521) ซึ่งสามารถจะแสดงรายละเอียดของการติดตั้งได้ ดังต่อไปนี้

1) ระบบเสาและคาน (Post and Beam, Frame)

โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปของเสาและคานกับผนัง ทั้งที่รับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนักชิ้นส่วนต้องเบาพอที่จะยกติดตั้งได้โดยง่ายจากแรงงานคน หรืออาจใช้เครื่องจักรช่วยในการประกอบติดตั้ง โดยหลักการของโครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูปก็คือ การับน้ำหนักจากพื้น ที่ส่งไปสู่คานสำเร็จรูป และจากคานสำเร็จรูปส่งไปสู่เสาสำเร็จรูป โดยหลักการถ่ายน้ำหนักจะเหมือนกันแต่ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตในที่ กับโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูป คือ โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป มักจะมีแนวคานอยู่เพียงแนวเดียวเท่านั้น โดยจะไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับระบบของโครงสร้างแบบหล่อในที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วน

สำเร็จรูปเป็นอย่างมาก ดังนั้นในระบบโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปจะมีคาเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวซึ่งไม่มีคานยึดอยู่นั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป

2) ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System)

ระบบของผนังรับน้ำหนักคือการถ่ายแรงของโครงสร้างอาคารจากพื้นลงสู่ผนังและจากผนังลงสู่ผนังโดยตรง จะไม่ใช้คานและเป็นตัวรับแรง การติดตั้งระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) สามารถที่จะใช้การติดตั้งได้ทั้ง 2 ระบบคือการติดตั้งชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Joint) และการติดตั้งชิ้นส่วนแบบเปียก (Wet Joint) ซึ่งการติดตั้งในทั้ง 2 แบบ สามารถใช้ได้ทั้งกับผนังรับน้ำหนักในระบบ Heave weight System และ Right weight System

2.16 ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า

ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า (Modular Coordination) ประกอบไปด้วย ข้อควรคำนึงต่างๆ มากมาย ได้แก่ มิติ, มิติอาศัยซึ่งกันและกัน, ความเบี่ยงเบน, ความคลาดเคลื่อน และมิติประสาน (ชวลิต, 2528) โดยในแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) มิติ (Dimension)

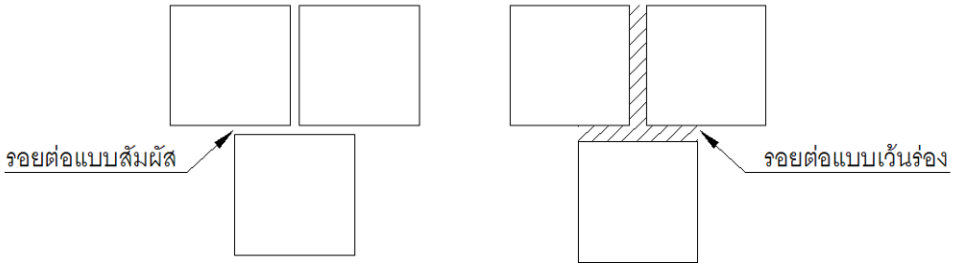
มิติ คือ ระยะระหว่างจุด 2 จุด ในขั้นตอนการวางผัง และการออกแบบอาคาร มิติเป็นเรื่องเกี่ยวข้องที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะถ้าหากเป็นการวางผังและการออกแบบอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแล้วมิติของส่วนประกอบสำเร็จรูปกับเนื้อที่ที่เตรียมไว้สำหรับติดตั้งส่วนประกอบนั้นควรกำหนดให้แน่ชัดและมีการประสานกันอย่างพอดี เรียกว่าเป็น มิติประสาน เพื่อแสดงถึงขนาดเนื้อที่ความต้องการของส่วนประกอบเมื่อรวมรอยต่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน มิติประสานนี้จะใช้ได้ผลดีเมื่องานขั้นต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับมิติประสานนี้มีความถูกต้องแน่นอน (Accuracy) อย่างดี โดยเมื่อกำหนดระบบมิติประสานขึ้นมาแล้ว การนำไปใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของงานอาจนำไปใช้ได้ในต่างสถานที่ต่างวาระหลายครั้ง หลายตอนได้ เช่น การออกแบบโดยสถาปนิก วิศวกร สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในขั้นตอนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม หรือใช้ในขั้นการติดตั้งโดยคนงาน เป็นต้น การวัดหรือการใช้มิติในลักษณะที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดปัญหาในการวัดขึ้น ซึ่งสาเหตุอาจมาจากสาเหตุอื่นๆ จนทำให้ส่วนประกอบมีขนาดที่ผิดไปจากที่คำนวณไว้ ดังนั้นค่าความเบี่ยงเบน (Deviation) และความคลาดเคลื่อน (Tolerance) จึงเป็น

สิ่งที่จำเป็นต้องกำหนดให้มีขึ้นให้แน่นอน ในเรื่องของมิติที่อาศัยซึ่งกันและกันโดยกำหนดว่าความเบี่ยงเบนควรที่จะมีค่าเท่าไหร่จึงจะเหมาะสม

2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension)

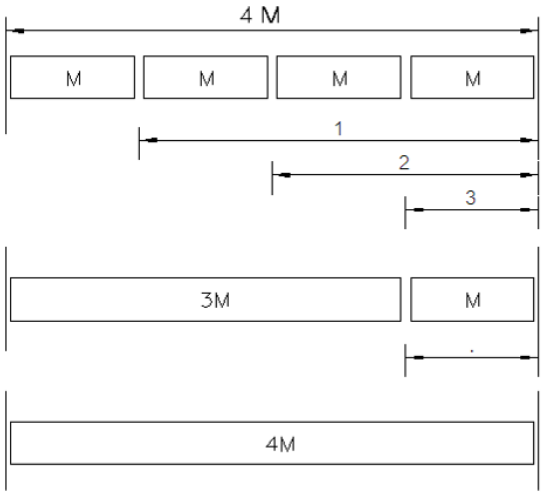
มิติอาศัยซึ่งกันและกัน คือ มิติที่ใช้ในการทำงานตามความสัมพันธ์โดยตรงกับมิติที่อยู่ก่อนในงานก่อสร้างอาคารย่อประกอบด้วยงานหลายชนิดหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเสียในการก่อสร้างคือ การที่งาน้องมีการรอกันโดยคนงานบางกลุ่มไม่สามารถที่จะทำงานต่อเนื่องได้ต้องรอให้คนงานกลุ่มอื่นทำงานในส่วนนั้นๆ ให้เสร็จก่อน ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการที่งานส่วนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยมิติอาศัยซึ่งกันละกัน เช่น การสามารถติดตั้งหน้าต่างได้เนื่องจากพื้น ผนัง หรือเพดานยังติดตั้งไม่เสร็จ โดยงานออกแบบก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปพบว่า การจำชัดลำดับของงานที่เตรียมไว้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการรอกันออกไป แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องของความแม่นยำขึ้นมาแทน เนื่องจากการที่จะผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้มีขนาดที่แม่นยำจามความต้องการนั้นทำได้ยาก และทำให้ต้นทุนการผลิต รวมถึงค่าแรงสูงขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมากๆ ก็ยิ่งไม่สามารถกำหนดขนาดให้มีความแม่นยำได้โดยทั่วทุกจุด ในการออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้มิติอาศัยซึ่งกันและกันในส่วนที่ไม่มีความจำเป็น ซึ่งวิธีหลีกเลี่ยงมิติอาศัยซึ่งกันและกันที่ไม่จำเป็นในการก่อสร้างจำเป็นที่จะต้องมีความเรียบง่ายและรวดเร็ว โดยมีหลักการในการหลีกเลี่ยงมิติอาศัยซึ่งกันและกันที่ไม่จำเป็น ดังต่อไปนี้

2.1) การใช้รอยต่อแบบสัมผัส หรือเว้นร่อง ควรใช้ให้น้อยแห่งที่สุด เพราะยิ่งมีรอยต่อหลายแห่งก็จะยิ่งทำให้เกิดมิติอาศัยซึ่งกันและกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.6 รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง

ในการติดตั้งชิ้นส่วนตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเข้าด้วยกัน จะนิยมเว้นเนื้อที่รอยต่อเอาไว้ด้วย และถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อแบบสัมผัส การทำงานอาจเกิดปัญหาเนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุได้ โดยเฉพาะถ้าขนาดชิ้นส่วนไม่มีความแม่นยำพอ รวมถึงถ้าหากการติดตั้งไม่มีความชำนาญก็จะทำให้การทำงานเป็นไปได้ยาก ในทางตรงกันข้ามถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อประเภทเว้นร่อง การทำงานก็จะสะดวกขึ้น สามารถที่จะเตรียมเนื้อที่ที่ต้องการได้ง่ายกว่า แต่เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะเห็นรอยต่อได้อย่างชัดเจน การใช้รอยต่อประเภทนี้จะใช้เฉพาะที่เป็นงานพิเศษ ซึ่งจะแสดงให้เห็นความชำนาญของช่างก่อสร้างออกมาได้



รูปที่ 2.7 มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ

2.2) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสเปลี่ยนมาใช้การติดตั้งแบบขอบต่อขอบ หรือขอบต่อผิวแทน

2.3) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นในการผลิต

3) ความเบี่ยงเบน (Deviation)

ความเบี่ยงเบน คือ ความแตกต่างในการวัดระยะส่วนประกอบ กับขนาดทางพิกัดของส่วนประกอบนั้นในการออกแบบ และก่อสร้าง โดยทั่งไปจะทำงานด้วยขนาดที่กำหนดแน่นอน แต่การที่มีความแม่นยำในการปฏิบัติจึงต้องมีการคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนด้วยเสมอ ความเบี่ยงเบนนี้อาจเกอดขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งของการทำงานก็ได้ เช่น การควบคุมขนาดที่ไม่มีความระเอียดเพียงพอ ในขั้นตอนการผลิต การยืดหดตัว หรือการสูญเยรูปร่างเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการขนส่ง หรือการเก็บรักษาในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในโรงงาน ในขั้นตอนของการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.1.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต

3.1.2) สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้

3.1.3) วิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ

3.2) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง ในขั้นตอนของการติดตั้ง ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.2.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง

3.2.2) ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้

3.2.3) วิธีการในทำการงาน และการติดตั้ง

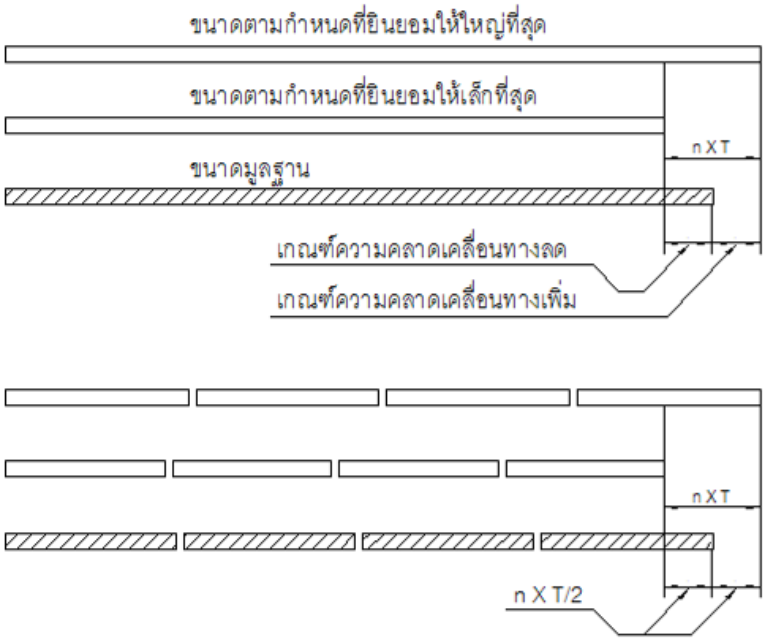
3.2.4) ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม

ซึ่งทั้งหมดนับเป็นปัญหาที่พบได้มากที่ เมื่อส่วนประกอบแต่ละชิ้นและการทำงานในแต่ละขั้นตอนไม่มีความถูกต้องแม่นยำมากพอ จึงเกิดความเบี่ยงเบนขึ้นเป็นผลให้เกิดความยากลำบากในการผลิตติดตั้งส่วนประกอบในที่สุด การคิดตำแหน่งของส่วนประกอบ ควรที่จะคิดจากระยะที่เหลือหลังจาก

การติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว โดยควรพิจารณาแก้ไขในทุกๆ จุด ทุกๆ ปัญหาอย่างใกล้ชิด และยึดหลักความเบี่ยงเบนที่แท้จริงเป็นสำคัญ

4) ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)

ความคลาดเคลื่อน คือ ค่าความแตกต่างของขนาดตามกำหนด ที่ยินยอมให้ขนาดใหญ่ที่สุด กับที่ยินยอมให้มีขนาดเล็กที่สุด โดยมีรูปแบบของความคลาดเคลื่อนอบยู่มร 2 ประการ คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิต และความคลาดเคลื่อนที่เกิด ณ สถานที่ก่อสร้าง ในการก่อสร้างความเบี่ยงเบนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก การกำหนดความคลาดเคลื่อนจึงถือหลักที่ว่า จะยอมให้เกิดระยะเบี่ยงเบนได้มากที่สุดเท่าใดโดยการกำหนดความคลาดเคลื่อนให้ง่ายและมีความสะดวกมากที่สุด ควรจะกำหนดให้ ค่าความเบี่ยงเบนของขนาดมูลฐานในทางลด (Negative) มีค่าเท่ากับ ค่าความเบี่ยงของขนาดมูลฐานในทางเพิ่ม (Positive) และถ้างานนั้นๆ มีความจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (เนื่องจากงานไม่มีความต้องการความในยำ) ก็สามารถใช้ขนาดมูลฐานได้ โดยขนาดตามกำหนดในชั้นแบบร่าง เรียกว่า ขนาดมูลฐาน (Basic Size) และขนาดตามกำหนดในชั้นการผลิต เรียกว่า ขนาดใช้งาน (Work Size)



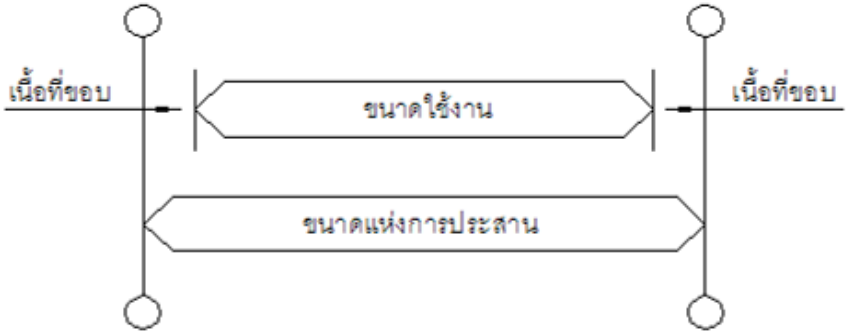
รูปที่ 2.8 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร

ในการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน ระยะที่วัดได้ (Actual Measurement) หลังการติดตั้งนั้นจะมีขนาดอยู่ในระหว่าง ผลรวมของขนาดเล็กที่สุดที่ยอมให้ กับขนาดใหญ่ที่สุดที่ยอมให้ และการวัดค่าความคลาดเคลื่อนรวม ให้ใช้การบวกความคลาดเคลื่อนของชิ้นส่วนที่ติดต่อกันเข้าด้วยกัน ซึ่งจะสามารถทราบความคลาดเคลื่อนรวมของชิ้นส่วนทั้งได้อย่างชัดเจนในทางปฏิบัติอาจมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นในทางลด หรือทางเพิ่ม หรืออาจเกอดขึ้นในด้านใดด้านหนึ่งทางเดียวก็ได้ แต่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดอาจจะมีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบแต่ละชิ้นรวมกัน

5) มิติประสาน (Coordinating Dimension)

มิติประสาน คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบ หรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล Element

ขนาดประสาน = ขนาดใช้งาน + เนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน (6)



รูปที่ 2.9 ขนาดของการประสาน

การเลือกมิติประสานสำหรบส่วนประกอบสำเร็จรูปจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรจะสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไหตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งจะมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มีความแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆ ในปัญหาที่เกิดขึ้น

สำหรับผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกร มิติประสานมีความสำคัญมากในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะไม่มีข้อยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาผู้ออกแบบจะต้องพิจาณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามิตินั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่

6) มิติประสานที่แน่นอน

มิติประสานที่แน่นอนคือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในรอยต่อที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นที่จะต้องมีขนาดประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลีกย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถือมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง

ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มีรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดของเขตของเนื้อที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างไปภายในของเขตนั้นๆ เพื่อถือเป็นมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

7) มิติประสานที่ไม่แน่นอน

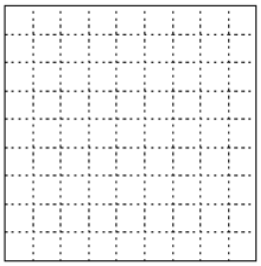
มิติประสานที่ไม่แน่นอนคือ ค่าความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึกโดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัส จำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเบี่ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบากั้นภายในห้องควรอย่างยิ่ง

ที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่ม เพื่อให้สามารถตัดส่วนเกิดออกได้โดยง่าย

2.17 ตารางพิกัดมูลฐาน

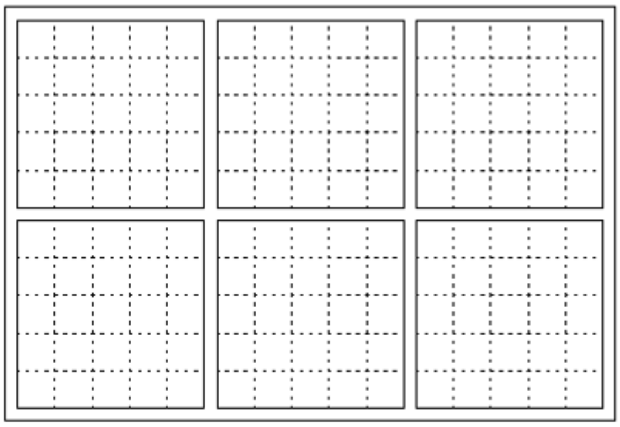
ตารางตามพิกัด หมายถึง การออกแบบอาคารจำเป็นต้องใช้ตารางตามพิกัดเป็นกรอบโครงให้ส่วนประกอบอาคารต่าง ๆ ประสานกันได้พอดีในเนื้อที่ ๆ กำหนด ตารางตามพิกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วิธี ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง และตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

1) ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่ต่อเนื่องเป็นตารางเดียวตลอด



รูปที่ 2.10 ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง

2) ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่แยกเป็นส่วน ๆ โดยมีเขตเป็นกลางของขนาดส่วนประกอบอาคารที่ไม่ลงพิกัดกั้นขวางอยู่เป็นระยะ ๆ หรือมีมิติของพิกัดที่แตกต่างกันมากั้นขวางแยกตารางแบบต่อเนื่องออกจากกัน

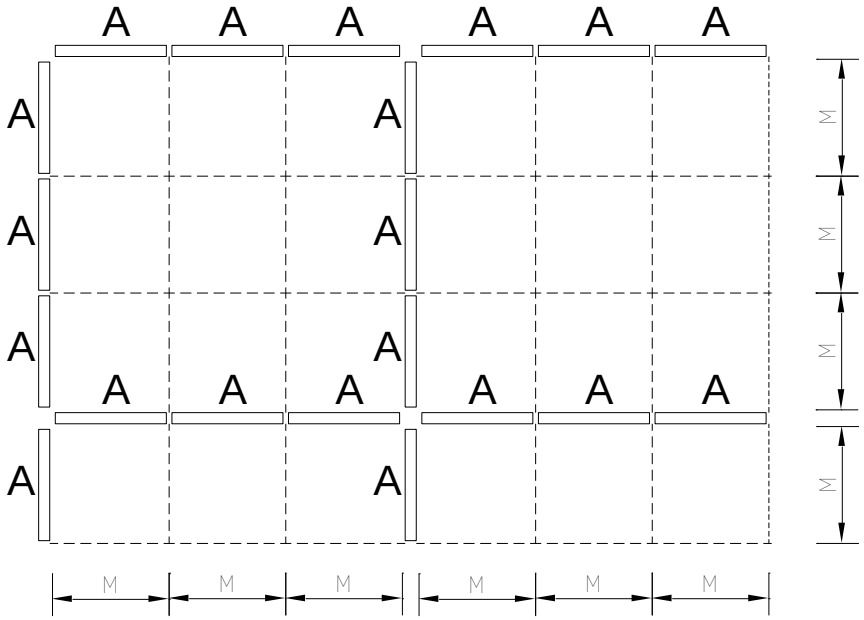


รูปที่ 2.11 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

2.18 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร

หลักการพิจารณาเลือกรูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปจะคำนึงถึงขนาดของพื้นที่ ตำแหน่ง และระบบการเชื่อมผสานของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจาณาตัดสินใจที่จะกำหนดขนาดของพิกัดมูลฐานมาเป็นใช้ร่วมในการออกแบบในแนวตั้งอาคาร ลักษณะรูปแบบของตารางแผนผังสามารถแบ่งได้ 31 รูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์ระบบประสานทางพิกัดตามแนวแกนตั้งของอาคาร

จะใช้ตารางพิกัดแผนผังอาคารแบบที่ 1 มาใช้ในการเสนอรูปแบบอาคารในระบบประสานพิกัดสำหรับอาคาร F6-33A และ F6-33B (วว., 2520)



รูปที่ 2.12 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1

ตารางที่ 2.6 ข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบตารางระบบพิกัดแบบไม่ต่อเนื่องแบบที่ 1

ข้อดี	**หมายเหตุ**
ใช้รอยต่อได้ทั้งสองแบบ	คือ แบบ Wet Joint และ Dry joint
ขนาดพิกัดเป็นแบบระบบเปิด	1 พ = 0.60ม.
มีจุดเชื่อมต่อน้อยจุด	ในกรณี 1 ชิ้นงาน = 1 M จะส่งผลให้มิติอาศัยซึ่งกันและกัน = 0 การออกแบบกำหนดให้ผนังภายในอยู่ในช่วงเส้นต่อของตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
มีมิติอาศัยซึ่งกันและกัน	ในกรณีที่ชิ้นงาน 1 ชิ้นไม่เท่า 1 ช่วงแบ่งของห้อง

2.19 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง

โดยทฤษฎีแล้วสามารถจะแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 แบบ คือการติดตั้งผนังแบบ Horizontal Connection และการติดตั้งผนังแบบ Vertical Connection

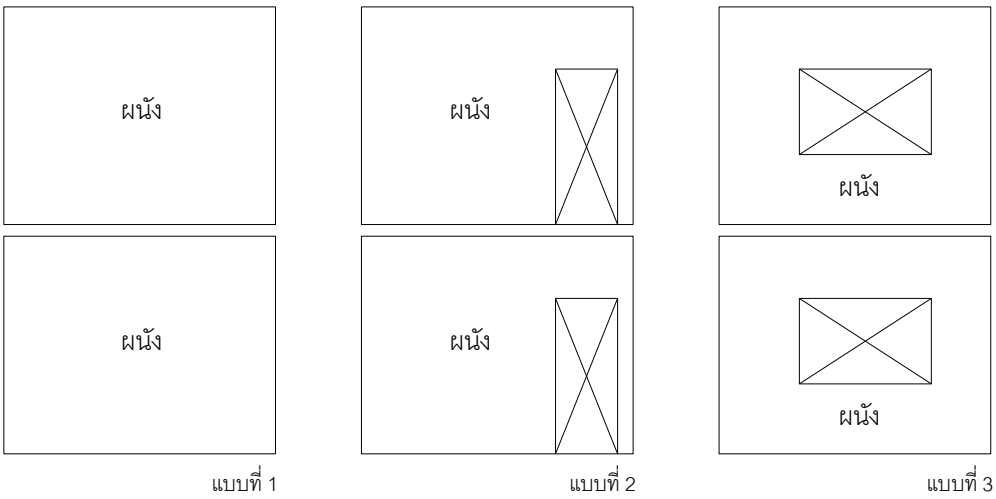
1) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

การติดตั้งแบบแนวนอนของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งผนังโดยใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบของโครงการที่มีอาคารแบบ Typical แปลน โดยจะแบ่งได้ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

1.1) การเชื่อต่อของผนังทึบกับผนังทึบ

1.2) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของประตูกับผนังที่เป็นช่องเปิดของประตู

1.3) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่างกับผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่าง



รูปที่ 2.13 การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

2) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

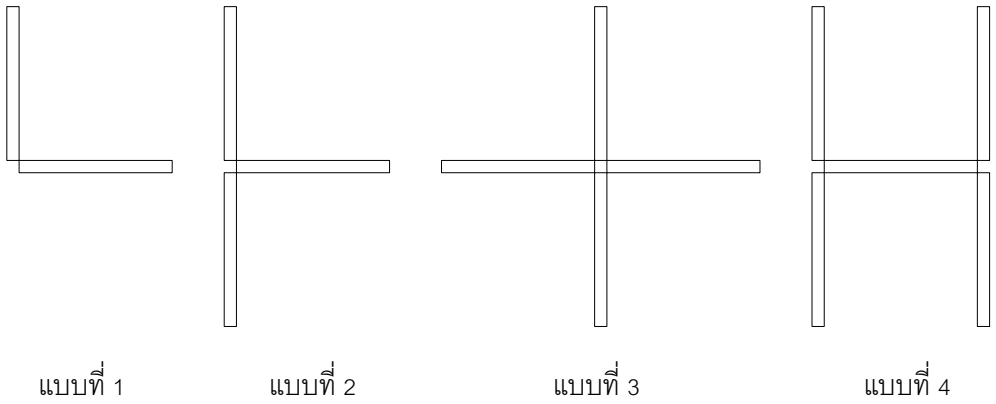
การติดตั้งผนังแบบแนวตั้งของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งที่ขอบของชิ้นงานทั้งสองชิ้น โดยจะไม่นิยมทำการติดตั้งที่กลางชิ้นงาน โดยจะแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

2.1) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว L

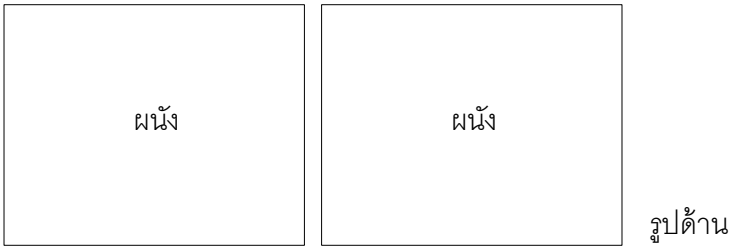
2.2) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว T

2.3) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว X

2.4) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว H



รูปที่ 2.14 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection



รูปที่ 2.15 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

2.20 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ตามพื้นฐานของการประกอบจุดรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างอาคาร ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ต้องสามารถส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างได้ตามที่ออกแบบแรงดังกล่าว (มามี, 2541) ประกอบไปด้วย

1) แรงอัด (Compression) โดยการส่งผ่านแรงอัดระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1) การส่งผ่านแรงโดยตรง (Direct Contact) เป็นการถ่ายแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่สัมผัสกันโดยตรง จะไม่มีวัสดุใส่กั้นระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป เหมาะกับการใช้ที่มีแรงอัดหรือแรงกดไม่มากนัก

1.2) การส่งผ่านแรงโดยผ่านวัสดุ (Transfer of Forces trough Joint Materials) เป็นการส่งผ่านแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีวัสดุมารองระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป และไม่ทำให้ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสียหาย

2) แรงดึง (Tensile Forces) การส่งผ่านแรงดึงระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถกระทำได้ดังนี้

2.1) การทาบเหล็ก (Lapping of Reinforcement Bars) เป็นลักษณะที่ใช้กันมาก เป็นการเว้นส่วนที่การทาบของเหล็กโครงสร้างที่ใช้รับแรงดึงและจะหล่อคอนกรีตในที่หลังจากติดตั้งเสร็จ จำนวนและประมาณจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ

. 2) การใช้โบลท์ สามารถใช้ส่งผ่านแรงทั้งแรงดึงหรือแรงเฉือน ลักษณะของโบลท์มีลักษณะเป็น แบบเกลียว แบบสมอ เป็นต้น

2.3) การเชื่อม ลักษณะเหมือนการทาบเหล็ก และใช้ระยะทาบน้อยลงโดยใช้รอยเชื่อมแทนการรับแรงดึงภายหลัง (Post-Tensioned) เป็นลักษณะจุดรอยต่อที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแต่ละชิ้นหรือระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะใช้เทนดอน Tendon เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายของเทนดอนไว้ที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดึงจะกระทำหลังจากหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแล้ว หรือหลังจากติดตั้งชิ่นส่วนสำเร็จรูปแล้ว

3) แรงเฉือน (Shear Force) การส่งผ่านแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถส่งผ่านโดยวิธี ดังนี้

3.1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ (Friction Bond)

3.2) เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Shear Key)

3.3) การใช้โบลท์

3.4) การเชื่อม

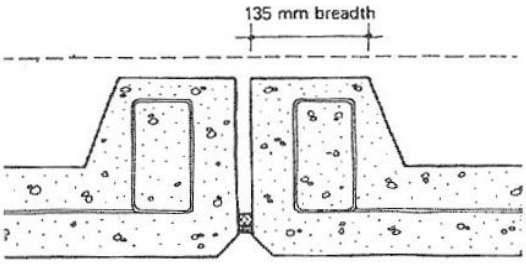
2.21 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร

ชนิดของรอยต่อเพื่อป้องกันสภาพดินฟ้าอากาศ โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งวิธีการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกอดจากสภาพดินฟ้าอากาศออกเป็น 4 แบบด้วยกัน คือ รอยต่อแบบยาแนวหรือรอยต่อแบบปิด (External – sealed joints), รอยต่อแบบเปิด (Open – drained joint), รอยต่อแบบประเก็น (Gasket – sealed joints), รอยต่อแบบกลไก (Mechanically – sealed joint) (Testa, 1959; ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521)

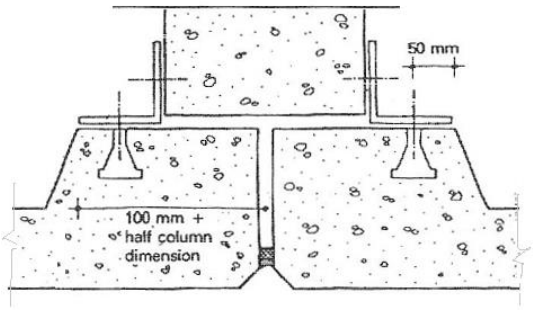
แต่เดิมทีเดียวในระยะต้นๆ ของการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูป ผู้ออกแบบมักจะพยายามเลียนแบบการก่อสร้างในระบบก่อสร้างในที่ โดยพยายามที่อุดรอยต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ให้แน่นหนา ดูกลมกลืนไปกับวัสดุก่อสร้างซึ่งเป็นที่มาของรอยต่อแบบปิด (Closed Joints) แต่จากประสบการณ์ของผู้ผลิตและผู้ออกแบบ ซึ่งพบว่ารอยต่อปิดนี้กันความชื้นจากข้างนอกได้ก็จริง แต่มักก็กันความชื้นภายในอาคารไม่ให้ออกไปด้วยเหมือนกัน โดยเฉพาะในประเทศที่อยู่ในเขตหนาว ในฤดูหนาวอาคารบ้านเรือนมักจะมีปัญหาของการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำ กลายเป็นละอองไอน้ำจับตัวอยู่ตามผนังอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างภายนอกและภายในอาคาร และความชื้นที่มีประจำในบ้านในระหว่างการเตรียมอาหาร อาบน้ำ (ซึ่งปัญหาความชื้นนี้ในบ้านเราก็เกิดขึ้นเหมือนกัน โดยเฉพาะในฤดูฝน) จึงมีการค้นคว้าออกแบบรอยต่อขึ้นในแนวใหม่ เรียกว่า รอยต่อแบบเปิด (Opened Joint) ซึ่งอนุญาตให้ความชื้นถ่ายเทออกจากภายในอาคารไปสู่ภายนอกได้ แต่ยังคงคุณสมบัติทางด้านอื่นๆ ของรอยต่อแบบปิดไว้เท่าที่จะทำได้

1) รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

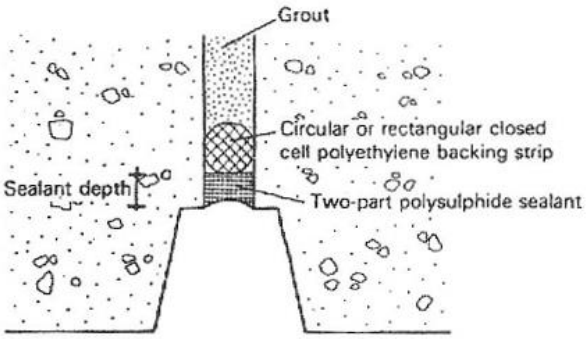
วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนพิกัด 2 ชิ้นส่วน ก็คือ การที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนี้ ได้แก่ การใช้รูปก่อ (Mortar) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของอิฐ อีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัด (Profile) ที่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้สนิท เช่น การเซาะร่องและการไสพื้นไม้ อย่างไรก็ดีรอยต่อแบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะเป็นชิ้นที่ออกแบบมาพิเศษ มีลักษณะของตัวเองและต้องประกอบเข้ากับ “ส่วนรับ” ของอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ทำให้ขาดความคล่องตัวไม่สามารถใช้แทนชิ้นส่วนอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ เนื่องจากครึ่งหนึ่งของรอยต่อออกแบบมาเป็น “ตัวผู้” และอีกครึ่งหนึ่งออกแบบมาเป็น ”ตัวเมีย” ทำให้การประกอบติดตั้งต้องเป็นไปตามลักษณะของรอยต่อ คือ เรียงไปตามขวามือโดยตลอดหรือซ้ายมือโดยตลอด เป็นต้น เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้จำนวนชิ้นส่วนต้องมีชนิดเพิ่มขึ้นเป็นภาระต่อหน่วยผลิตและหน่วยวางแผนก่อสร้าง



รูปที่ 2.16 รอยต่อของผนังกับผนัง



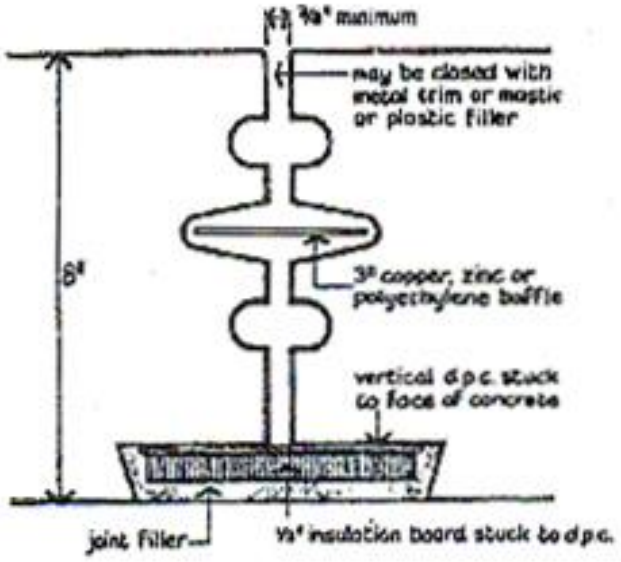
รูปที่ 2.17 รอยต่อของผนังกับผนังและเสา



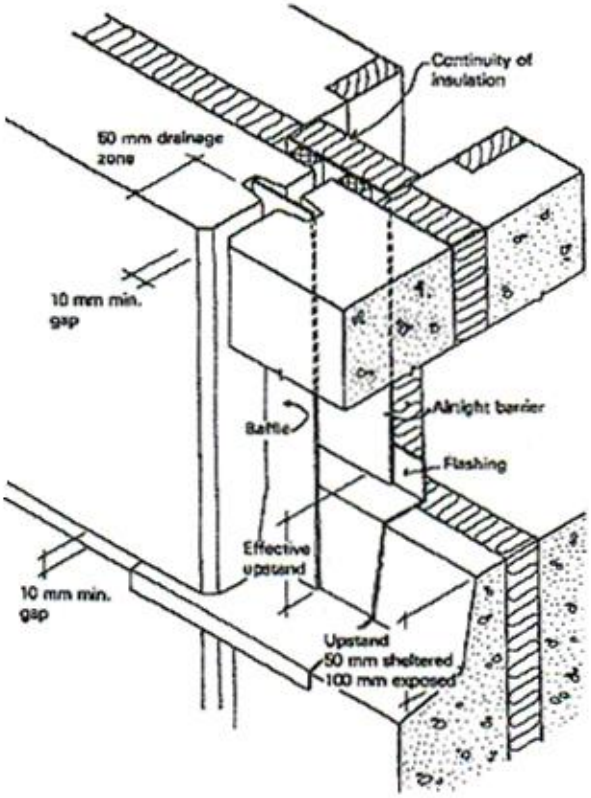
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว

2) รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints)

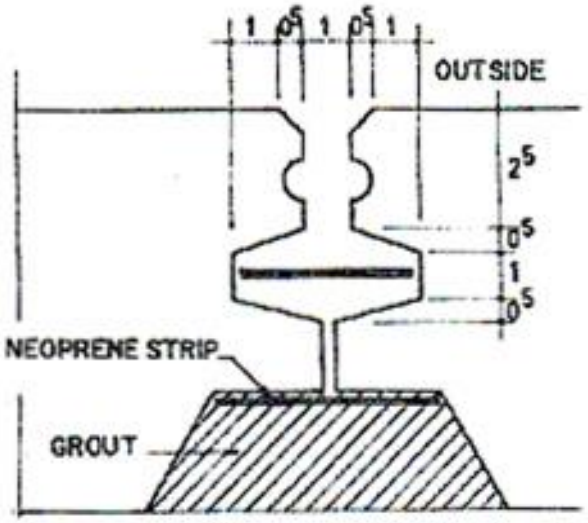
รอยต่อชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ (Large Precast Concrete Panels) แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน ซึ่งต่อไปเป็นตัวอย่างประกอบของรอยต่อของโครงสร้างชนิดต่างๆ ที่ใช้แพร่หลายในยุโรป โดยตัวอย่างเหล่านี้ ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้ใช้กับลักษณะภูมิประเทศของท้องถิ่นนั้นๆ กฎบัญญัติ Building Lode ที่บังคับ ดังนั้นการที่แสดงไว้ให้ดูในที่นี้ ก็เพื่อเป็นตัวอย่างช่วยประกอบการออกแบบรอยต่อภายในประเทศไทย ซึ่งต้องมีการดัดแปลงแก้ไขให้เข้ากับวัสดุ เทคนิคการก่อสร้าง อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนฝีมือของช่างก่อสร้างของบ้านเรา การยกตัวอย่างรอยต่อ จะยกโดยแบบประเภทของการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยต่อที่ใช้กับ Framed Structures เป็นพวกแรก กับรอยต่อที่ใช้กับ Panel Structures บางจำพวก เป็นประเภทถัดไป



รูปที่ 2.19 แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station



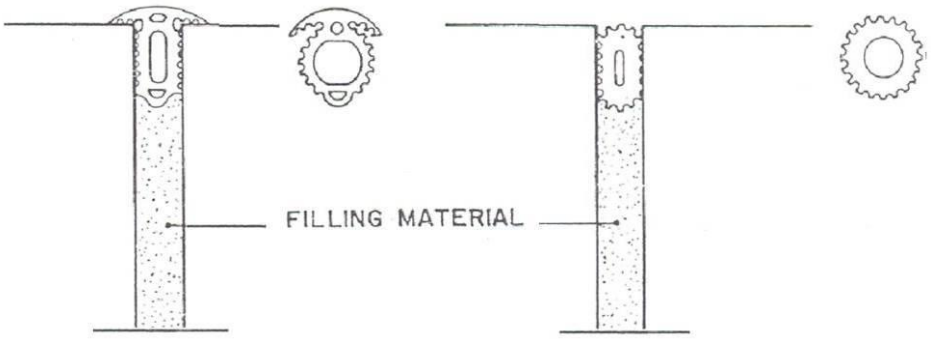
รูปที่ 2.20 รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง



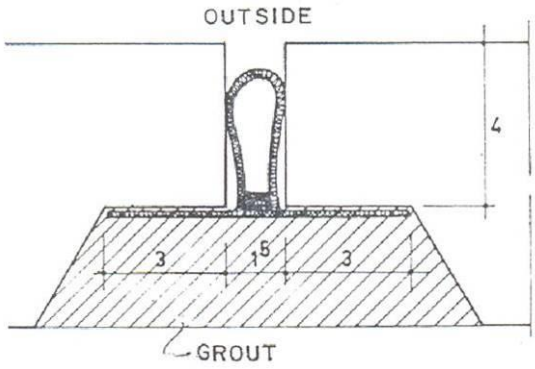
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints

3) รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)

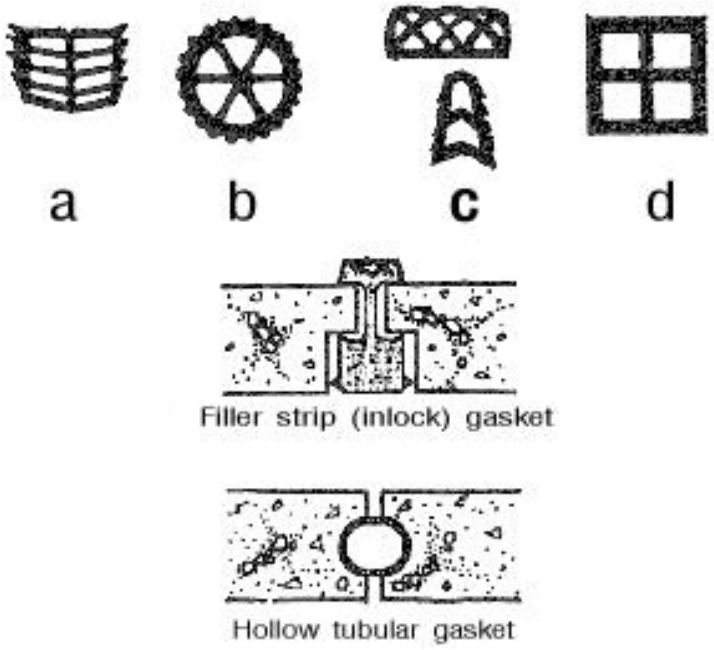
รอยต่อแบบนี้เกิดมาจากความก้าวหน้าทางวัสดุเคมีที่สามารถผลิตและพัฒนาสารประกอบประเภทยางสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างได้ผลดี โดยเฉพาะวัสดุที่เรียกว่า นีโอพรีน (Neoprene) สามารถนำเอามาเป็นประเก็น (Gasket) รูปร่างต่างๆ กัน ใช้ในงานทำรอยต่อได้ดี ประเก็นสามารถหล่อฝังในผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตที่เตรียมไว้ก่อน แล้วใช้แรงดันอัดให้ชิ้นส่วนผนังติดกับประเก็นแนบสนิท แล้วยึดผนังติดกับโครงสร้างให้แน่นต่อกันไปเรื่อยๆ ก็ได้ หรืออาจเว้นช่องว่างระหว่างผนังแล้วค่อยอัดประเก็นเข้าไปภายหลังจากที่ติดตั้งผนังเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ได้ ขนาดของรอยต่อ วิธีการติดตั้งและคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆ มีความแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และบริษัทที่ผลิตจำหน่าย การใช้งานจึงต้องศึกษารายละเอียดและรับคำปรึกษาจากบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 2.22 รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)



รูปที่ 2.23 รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)



รูปที่ 2.24 รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป

โดยรูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไปนั้น มาจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ได้แก่

(ก) Neoferma' neoprene gasket by Colebrand Ltd. London;

(ข) Schlegel gasket, Schlegel (UK) Ltd;

(ค) two Bostik 'Profile Seals', Bostik Ltd;

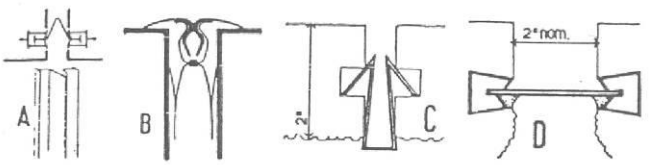
(ง) 'Servicore' rectangular section, Service Division of W.R. Grace Ltd.

4) รอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

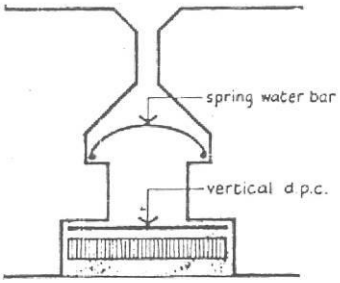
รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อพิเศษที่ออกแบบหรือผลิตขึ้นใช้กับอาคารเฉพาะกรณี สถาปนิกมักจะใช้เพื่อเน้นรอยต่อให้อาคารมีรูปด้านที่สวยงามหรือแปลกตาเป็นพิเศษ หรือใช้กับรอยต่อของผนังในเขตที่มีการทรุดตัวของอาคารหรือการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง รอยต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยม แพร่หลาย อาจ

เป็นเพราะราคาแพงหรืออาจเป็นเพราะรอยต่อจะเด่นแลเห็นชัดเจนมาก ยากในการควบคุมรูปด้านถ้าไม่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้าให้ดีพอ ทั่วๆ ไปมักใช้โลหะที่สามารถบีบให้หดตัวและขยายตัวได้เหมือนกับสปริง ใส่

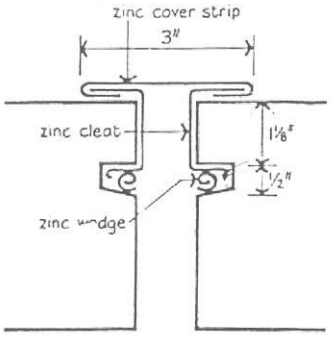
อยู่ในช่องรอยต่อ (Spring Water Bar) หรือเป็นครอบรอยต่อที่ยึดติดกับผิวหรือแกนที่สอดอยู่ในช่องรอยต่อ (Fixed Cover-Strip) คล้ายๆ กับงานปิดรอยต่อของวงกบหน้าต่างอลูมิเนียม การออกแบบทำได้หลายแบบ การติดตั้งก็คล้ายๆ กับรอยต่อประเภทใช้ประเก็น คือกดอัดเข้าไปในช่องรอยต่อเมื่อติดตั้งผนังเสร็จแล้วหรืออาจติดตั้งตามลำดับขั้นตอนไปพร้อมๆ กับการติดตั้งผนังก็ได้ (Herz, 1975)



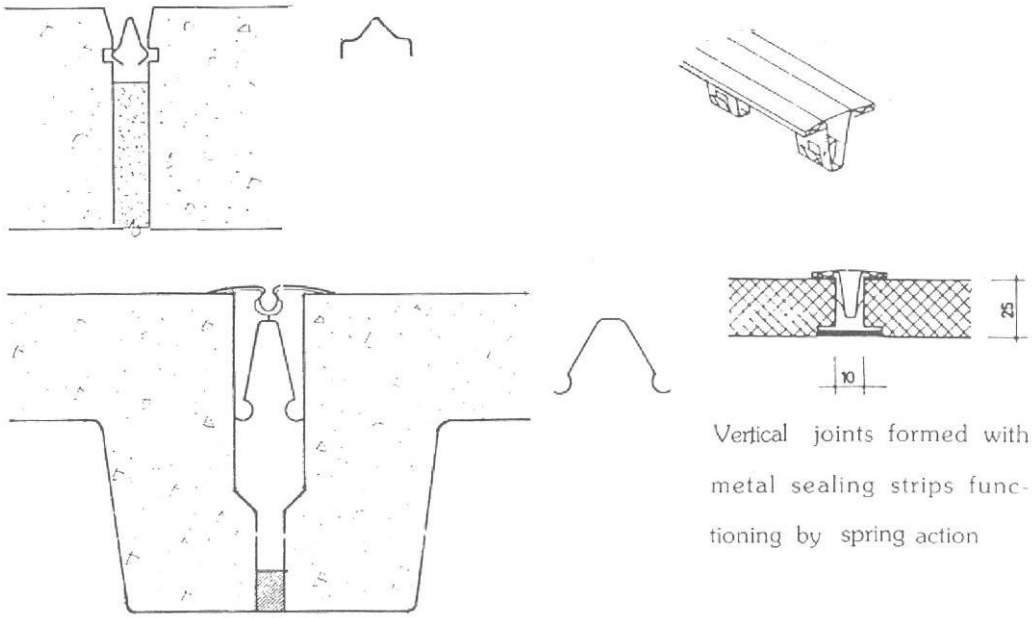
Mechanical joint sealing details: (A) 'System P71 CN', Compriband (GB) Ltd; (B) 'Clip-strip', Expandite Ltd; (both proprietary details): (C) Bridge House, Guildford, Surrey (D) International Building, San Francisco



Open vertical joint with spring water bar



Zinc cover strip joint.

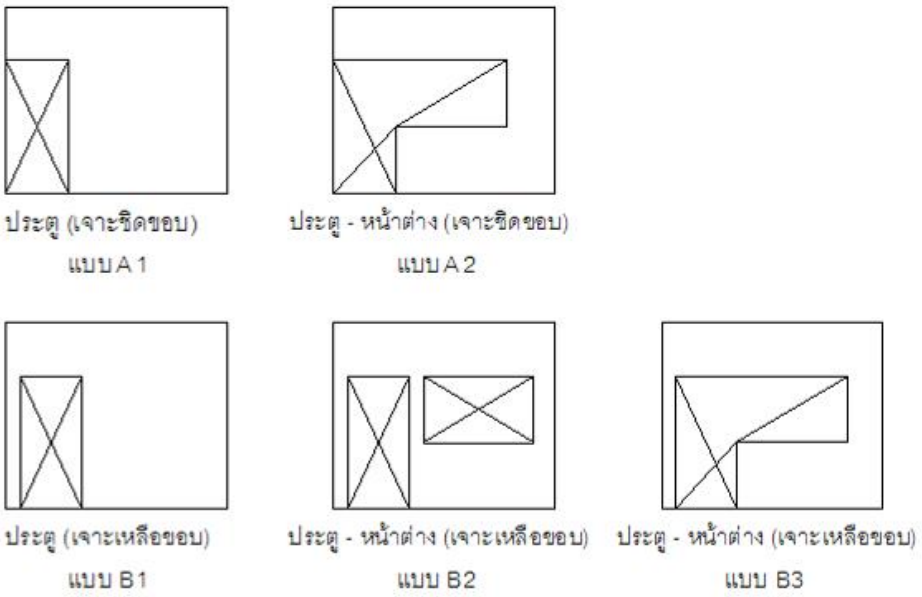


Vertical joints formed with metal sealing strips functioning by spring action

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

2.22 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป

จากการออกแบบตำแหน่งของช่องประตูและหน้าต่างสำหรับโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถสรุปเป็นแนวคิดได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.26 ทางเลือกการเจาะประตู – หน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ

ข้อดี	**หมายเหตุ**
ผลิตชิ้นงานได้ง่าย	-
สามารถขนส่งชิ้นงานได้ง่าย	-
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
วงกบประตูด้านชิดขอบต้องมาติดตั้งภายหลัง	ถ้าติดตั้งมาเลยอาจชำรุดเสียหาย
การถ่ายน้ำหนักของชิ้นงานไม่สมดุล	-
ทำการเชื่อมผสานระหว่างชิ้นงานได้ยาก	ระยะชนขอบของคอนกรีตมีน้อย

ตารางที่ 2.8 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ

ข้อดี	**หมายเหตุ**
การถ่ายน้ำหนักของชิ้นงานสมดุล	-
ทำการเชื่อมผสานชิ้นงานได้ง่าย	ระยะชนขอบของคอนกรีตมีมาก
วงกบประตู – หน้าต่างเสียหายยาก	อยู่ในกรอบของชิ้นงานที่ถูกเจาะ
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
ผลิตชิ้นงานยาก	เสริมเหล็กในส่วนขอบประตู - หน้าต่างยาก
ชิ้นงานมีความเปราะบาง อาจเสียหายจากการขนส่งหรือติดตั้ง	ขอบของชิ้นงานมีความเปราะบาง อาจต้องทำค้ำยันระหว่างขนส่งและติดตั้ง

2.23 กรอบแนวความคิด

จากทฤษฎีที่ผ่านมาเกี่ยวกับ การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป สามารถสรุปเป็นกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานได้ ดังรูปที่ 35

รูปที่ 2.27 กรอบแนวความคิดของคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียด

2.24 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูปพอสังเขป สามารถสรุปได้ ดังนี้

วิชัย สังวรปทานกุล และวชิรพล ฐิตะสัจจา (2549) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความคงทนของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชั่น โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารประกอบจำพวกแร่อลูมิโนซิลิเกตในดินขาวทำให้มีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงขึ้น งานวิจัยนี้ใช้ดินขาวทั้งหมด 5 แหล่ง ได้แก่สุราษฎร์ธานี ลำปาง ปราจีนบุรี อุตรดิตถ์ และระนอง นำมาผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยการอัดแบบสถิต (Static) เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัดของดินขาวที่อายุ 3 7 14 28 60 90 180 และ 270 วัน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในดินขาวทุกแหล่งพบว่าออกไซด์หลักประกอบด้วย ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินระนอง สุราษฎร์ธานี และอุตรดิตถ์ พบว่า กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนกำลังรับแรงอัดของดินปราจีนบุรี และลำปาง พบว่า

ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพบว่าเมื่ออายุของดินขาวนานขึ้นส่งผลให้การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มความดันยิ่งสูงขึ้นไปอีก เมื่อนำดินขาวไปขึ้นรูปตัวอย่างดินขาวทั้ง 5 แหล่งจะมีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาในด้านความคงทนจะพบว่าดินขาวจังหวัดอุตรดิตถ์ จะมีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ

ปริญญา จินดาประเสริฐ และเจริญชัย ฤทธิรุทธ (2550) ทำการศึกษาสารละลายที่แตกต่างในการผลิต จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์จากดินขาวเผา เป็นการศึกษาคุณสมบัติจีโอโพลิเมอร์จากดินขาวระนองเผา โดยทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 7 วัน จากการทดสอบพบว่าสารละลายโพเทสเซียมไฮดรอกไซค์ จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายโพเทสเซียมไฮดรอกไซด์ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งพบว่าวัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่เตรียมจากสารละลายโพเทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีพื้นผิวที่ละเอียดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

อนุชาติ ลื้อนันต์ศักดิศิริ และศุภสิทธิ์ คนใหม่ (2550) ทำการศึกษาจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยผสมดินขาว การศึกษาวิธีการผลิตจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยผสมดินขาวเผาพบว่า เมื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดจะอยู่ในช่วง 300-500 ksc. และการไหลของจีโอโพลิเมอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Na_2SiO_3/NaOH โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะแก่การบ่มในตู้บ่มคือ 75 องศาเซลเซียส

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, สมหมาย ผิวสะอาด และประชุม คำพุฒ (2551) ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาขนาด 12.5x20x60 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 อย่างไรก็ตามการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาขนาด12.5x20x60 cm^3 ก็ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการที่ด้อยลงเล็กน้อย ได้แก่ สมบัติด้านความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงความยาวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคของดินขาวที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของทรายละเอียด ซึ่งอนุภาคดังกล่าวจะสามารถแทรกตัวในระหว่างช่องว่างหรือฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของคอนกรีตมวลเบาขนาด 12.5x20x60 cm^3 ได้ง่าย เนื้อของคอนกรีตมวลเบาจึงหนาแน่นขึ้น อันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์, กิตติพงษ์ สุวีโร และประชุม คำพุฒ (2553) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำดินขาวจากจังหวัดระนอง ลำปาง และอุตรดิตถ์ มาใช้ในงานคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินขาว ทราย และหินฝุ่น โดยนำดินขาวมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสม ร้อยละ 0, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนัก เพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกดินขาวขนาด 7×19×39 ลบ.ซม. ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกดินขาวทุกอัตราส่วน ที่อายุ 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าที่มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) ซึ่งกำหนดให้ค่ากำลังอัดต่อก้อนต้องมากกว่า 2 เมกะพาสคัล (20.4 กก./ตร.ซม.) และกำลังอัดเฉลี่ย 5 ก้อนมากกว่า 2.5 เมกะพาสคัล (25.5 กก./ตร.ซม.) นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินขาวมากที่สุดร้อยละ 70 จะทำให้คอนกรีตบล็อกมีราคาต้นทุนถูกลงมาก เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ จะเห็นได้ว่า คอนกรีตบล็อกผสมดินขาวร้อยละ 70 เหมาะสมที่จะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกดินขาวต่อไป

ประชุม คำพุฒ, สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และกิตติพงษ์ สุวีโร (2554) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกดินขาวจากจังหวัดระนองผสมแกลบเผา โดยอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ดินขาว: น้ำ เท่ากับ 1: 10: 2.2 โดยน้ำหนัก และมีการแทนที่ดินขาวด้วยแกลบเผา ร้อยละ

0, 5, 10, 15, 20, และ 25 พบว่า ปริมาณแกลบเผาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่น, ความทึบน้ำ, และกำลังอัดที่ลดลง แต่ก็ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก. 58-2533 กำหนด นอกจากนี้คอนกรีตบล็อกดินขาวจากจังหวัดระนอง ที่ผสมแกลบเผาทุกอัตราส่วน จะมีหน่วยน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตบล็อกดินขาวปกติ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ส่วนใหญ่มีการนำดินขาวที่มีความละเอียดสูงมาผสมร่วมกับปูนซีเมนต์สำหรับใช้เป็นคอนกรีต โดยอาศัยปฏิกิริยาปอซโซลานหรือปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ เพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์หรือเพิ่มความแข็งแรง แต่สำหรับโครงการวิจัยนี้ เป็นการนำกากดินขาวเหลือทิ้ง ซึ่งมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับทรายมาใช้เป็นส่วนผสม และไม่สามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้มาใช้งาน แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานภาครัฐอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแท่ง มอร์ต้าร์ทรงกระบอก

จากระยะเวลาในการอบประมาณ 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 800 °C นำมาบดตามระยะเวลา 1, 1.5, 2, และ 2.5 ชั่วโมงเพื่อนำไปหาความละเอียดพื้นผิวจำเพาะได้ผลตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความละเอียดของกากดินขาวผันแปรตามระยะเวลาการบดโดยวิธีพื้นที่ผิวจำเพาะ

ระยะเวลาการบด (Hour)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (cm^2/g)	ค่าความละเอียดที่เพิ่มขึ้น(%)
1.0	8582	-
1.5	9804	14
2.0	10,712	9
2.5	11,469	7

3.1.1 กากดินขาวมีรูปร่างไม่แน่นอนพื้นผิวมากเมื่อเทียบกับอนุภาคของปูนซีเมนต์ จึงทำให้มีความต้องการน้ำสูงมากกว่าปกติ การทำงานของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก จึงมีความจำเป็นต้องใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อให้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง โดยมอร์ต้าร์นี้ใช้กากดินขาวมาแทนที่ซีเมนต์ กรณีที่ใช้กากดินขาวแทนที่ซีเมนต์และแปรผันตามสารลดน้ำตั้งแต่ 0, 0.03, 0.04, 0.05, และ 0.06 เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) น้ำประปา

3) กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองจังหวัดระนอง

รูปที่ 3.2 กากดินขาวจากจังหวัดระนอง

4) ทรายแม่น้ำ

รูปที่ 3.3 ทรายแม่น้ำ

6) เครื่องผสมคอนกรีต

7) เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

8) เตาอบแบบปรับอุณหภูมิได้ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เตาอบแบบปรับอุณหภูมิได้

9) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล

10) แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.5 และแบบหล่อทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยมขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.5 แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกและสีเหลี่ยมลูกบาศก์

11) ชุดทดสอบความแข็ง

12) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

13) ชุดทดสอบการแยกแยะคอนกรีตสด

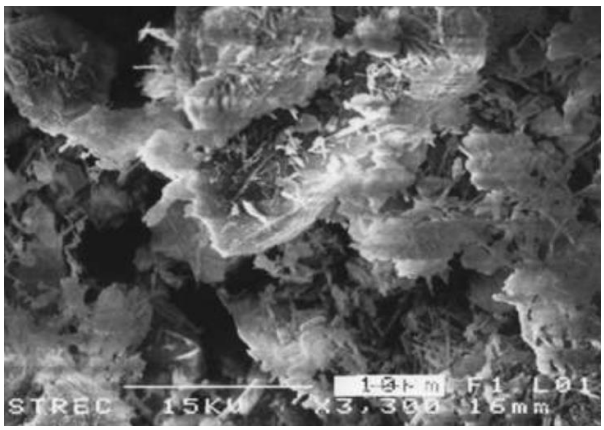
14) เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม ASTM C177 (ASTM, 2013)

15) สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) หรือ Modified Polyearboxylate

3.3 การเตรียมวัสดุในการทำวิจัย

กากดินขาวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนในรูปที่ 3.7 พบว่าลักษณะอนุภาคของกากดินขาวมีการจับตัวเป็นกลุ่ม ๆ รูปร่างไม่แน่นอน จากการวัดทดสอบหาความละเอียดพื้นที่ผิวจำเพาะ กากดินขาวจะมีความละเอียด 9,804 ตร.ซม./ กรัม ประมาณสามเท่าสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ประมาณ 3,190 ตร.ซม./กรัม และกากดินขาวมีความถ่วงจำเพาะ 2.42 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่เหล็กออกไซต์น้อยกว่าปูนซีเมนต์

รูปที่ 3.7 กากดินขาวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน



รูปที่ 3.8 อนุภาคกากดินขาวถ่ายขยายกำลังสูง (SEM)
ที่มา: ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545

3.4 การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ออกแบบอัตราส่วนการพัฒนาคอนกรีตที่มีส่วนผสมของกากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียด จำนวน 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมมอร์ต้าร์โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	กากดินขาว	หินปูน	สารลดน้ำพิเศษ	น้ำประปา
No MK	1	2.75	0	0.05	0	0.5
MK10	0.9	2.75	0.1	0.05	0.03	0.5
MK20	0.8	2.75	0.2	0.05	0.04	0.5
MK30	0.7	2.75	0.3	0.05	0.05	0.5
MK40	0.6	2.75	0.4	0.05	0.06	0.5

3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมวัสดุส่วนผสม ปูนซีเมนต์ กากดินขาว ไปชั่ง ตามปริมาณที่เป็นสัดส่วนตามตารางที่ 3.1 โดยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดตัวเลขหลังจุดทศนิยมสามหลักดังตัวอย่างในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปคอนกรีตลงในอ่างผสม

รูปที่ 3.10 การผสมส่วนผสมคอนกรีต

ก่อนการผสมต้องเตรียมแบบหล่อทรงกระบอกดังรูปที่ 3.5 ให้พร้อมใช้งาน จากนั้นนำส่วนผสมคลุกเคล้าให้ทั่วจากนั้นผสมด้วยน้ำประปาตามอัตราส่วนจากตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องผสม เมื่อเสร็จสิ้นการผสมก็เทปูนซีเมนต์ใส่แบบหล่อทรงกระบอกและปล่อยให้ปูนบ่มตัว

3.6 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียด

1) ทดสอบลักษณะทั่วไปของคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้กากดินขาวเหลือทิ้งเป็นมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2) ทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่ง มอร์ต้าร์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับใช้เป็นพื้นผิวผนังด้านนอกทั้งสองด้านตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12

รูปที่ 3.11 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก
ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

รูปที่ 3.12 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วยการแช่ลงในน้ำ

รูปที่ 3.13 แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่ผ่านการแช่ในน้ำและนำขึ้นมาเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.4 การชั่งน้ำหนักแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.7 การทดสอบการใช้งานจริงของคอนกรีต

ทำการทดสอบใช้งานของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกตามอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการก่อสร้าง พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูล และตรวจพินิจลักษณะในการพัฒนาไปเป็นผนังอาคารที่ก่อสร้างในระยะปีที่ 2 เพื่อพัฒนาไปสู่การก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงาน

3.8 การเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่

ทำการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ลงในการประชุมวิชาการหรือวารสาร ระดับชาติหรือนานาชาติ

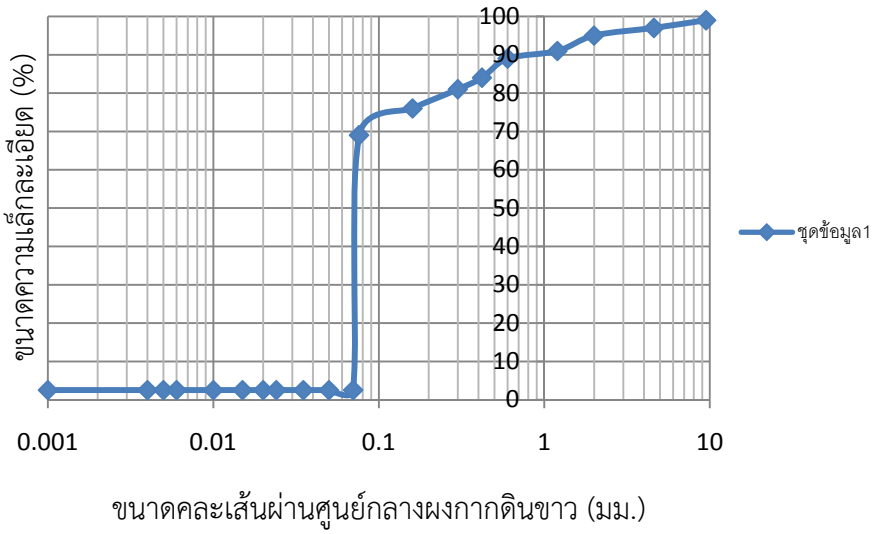
บทที่ 4
ผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยภายใต้โครงการ “การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป” สามารถสรุปการทดสอบสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ของก้อนปูนมอร์ต้าร์ที่มีอายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

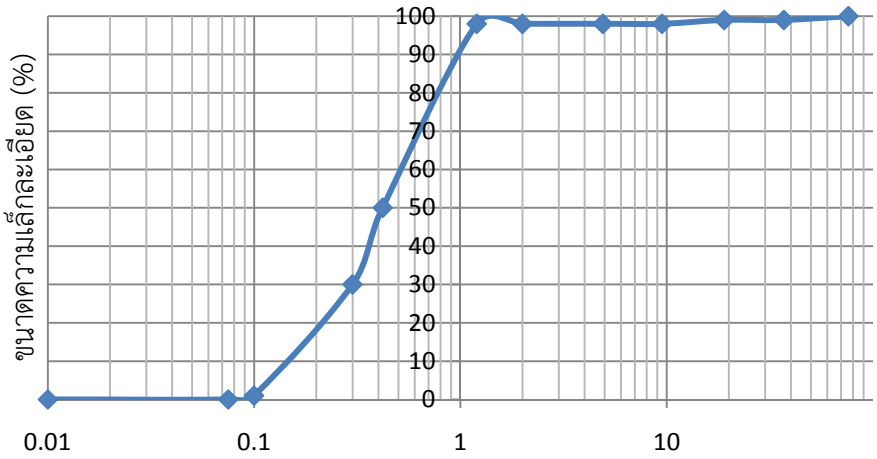
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว

4.1.1 ขนาดคละ

การกระจายองขนาดต่าง ๆ อนุภาคมวลรวมในคอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ซึ่งมีขนาดใหญ่เล็กคละกันไป คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ เทเข้าแบบได้ง่ายไม่ออกหินออกทราย ทำให้แน่นได้ง่าย การปากดแต่งผิวหน้า กำลังอัดและความทนทานยังเป็นไปตามข้อกำหนดมวลรวมที่ขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เรียกว่ามวลรวมหยาบ ได้แก่หินกรวด มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เรียกว่า มวลรวมละเอียด ได้แก่ ทราย หินบดละเอียด มวลรวมที่คละดีทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุด ส่งผลให้คอนกรีตมี Workability ดี Strength ดี ราคาต่ำด้วยมวลสารที่คละดี อัตราส่วนของทรายต่อมวลรวม (S/A) ในช่วง 0.40-0.50 โดยน้ำหนักหินที่ใช้ ส่วนขนาดคละของกากดินขาวแสดงในรูปที่ 4.1 ขนาดคละของทรายน้ำจากจังหวัดสระบุรีในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ขนาดคละของกากดินขาวจากระนอง



รูปที่ 4.2 ขนาดคละของทรายจากจังหวัดสระบุรี

4.1.2 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ หรือ ถ.พ. ของมวลรวม – น้ำหนักมวลรวม / น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ถ.พ.ของทราย = 2.65 หิน = 2.70 ถ.พ.ซีเมนต์ 3.15 ค่ ถ.พ.ที่ใช้เพื่อแปลงน้ำหนักของวัตถุนั้นให้เป็นปริมาตรเช่น ซีเมนต์หนัก 315 กก. ได้ = 315/3.15 = 100 ลิตร ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แสดงในตารางที่ 4.2 ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะของทรายแม่น้ำที่ได้มาจากค่าต่าง ๆ ที่วัดได้และนำมาคำนวณแสดงในตารางที่ 4.3 กากดินขาวที่ได้มาเพื่อใช้ในการผสมและทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.42 ซึ่งน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ในตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกากดินขาวจากจังหวัดระนอง

ตารางที่ 4.2 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์			
รายการทดสอบ	การทดสอบครั้งที่		
	1	2	3
อุณหภูมิน้ำมันก๊าดในอ่างครั้งแรก ° C	21.5	21	21
ขีดปริมาณน้ำมันก๊าดครั้งแรก(ml.)	0.9	0.5	1
น้ำหนักถาดและปูนซีเมนต์ครั้งแรก (g)	596.7	540.2	496.8
อุณหภูมิน้ำมันก๊าดในอ่างครั้งแรก ° C	21	21	21
ขีดปริมาณน้ำมันก๊าดครั้งหลัง(ml.)	19.1	19.6	19.4
น้ำหนักถาดและปูนซีเมนต์ครั้งหลัง (g)	540.2	480.4	439.2
น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ (g)	56.5	59.8	56.1
ปริมาตรน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่ (ml.)	18.2	19.2	18.4
ความถ่วงจำเพาะ	3.1	3.12	3.13
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	3.12		

อุณหภูมิ 21.5 °C **ความชื้นสัมพัทธ์** 53%

ตารางที่ 4.2 ความถ่วงจำเพาะของทรายแม่น้ำ

Flask No.	1	2	เฉลี่ย
ปริมาตรของ Flask	500	500	
น.น. Flask	164	165	
น.น. Flask + น.น. น้ำครึ่ง Flask	459.7	470	
น.น. Flask + น.น. น้ำครึ่ง Flask + น.น. วัสดุที่ S.S.D.	959.7	970	
น.น. วัสดุ S.S.D.	500	500	
น.น.Flask + น.น.วัสดุที่ S.S.D. + น.น.น้ำที่เติมทั้งหมด	972.4	973.2	
น้ำหนักน้ำที่เติมทั้งหมด	308.4	308.2	
น.น.วัสดุที่อบแห้ง	498.9	498.5	
ความถ่วงจำเพาะรวม (อิ่มตัวแต่ผิวแห้ง) D/(V-W)	2.61	2.61	2.61
%การดูดซึม (D-E)/E*100	0.22	0.28	0.25
ความถ่วงจำเพาะรวม (แห้ง) E/(V-W)	2.6	2.6	2.6
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ E/((V-W)-(D-E))	2.62	2.62	2.62

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของกากดินขาว

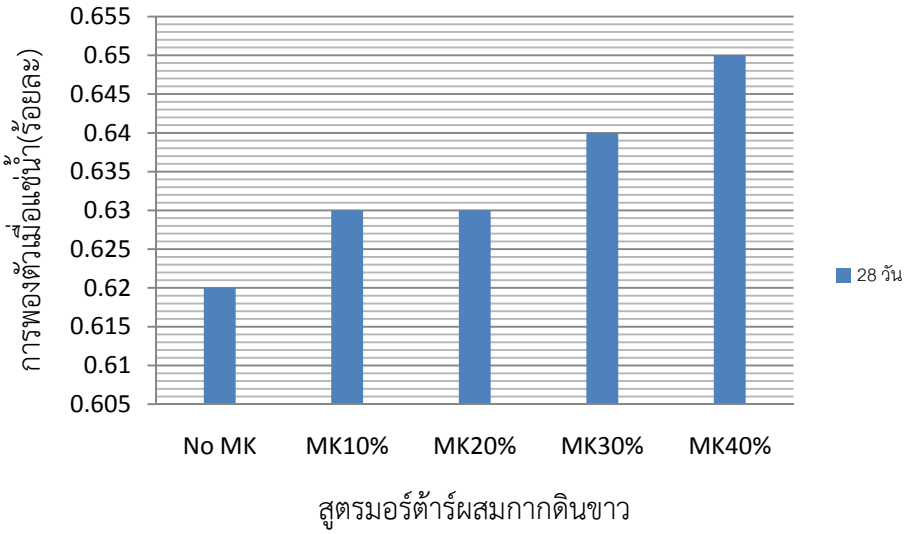
องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(%)	กากดินขาว (%)
SiO_2	21.16	54.44
Al_2O_3	5.09	42.87
Fe_2O_3	3.01	1.01
CaO	66.22	0.01
MgO	1.27	NA
K_2O	0.25	1.16
Na_2O	0.04	NA
SO_3	2.42	NA
LOI	0.98	1.1

4.1.3 การดูดซึมน้ำ

ปริมาณกากดินขาวมากจำต้องใช้ปริมาณน้ำในการผสมเพื่อขึ้นรูปสูงมากขึ้น ในการทดสอบเมื่อผสมกากดินขาวการเทไหลไม่เหมือนเดิมจำต้องใช้สารลดน้ำ เมื่อผสมซีเมนต์กับทราย หินปูนและกากดินขาวจึงจะเทได้ดี เมื่อมวลรวมของมอร์ต้าร์มีรูพรุนภายในบางส่วนที่ติดต่อเข้าไปถึงภายในทำให้สามารถดูดซึมน้ำหรือความชื้นและบางส่วนก็ถูกเก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่าง ๆ กันรวมถึงถ้ามวลรวมมีสภาพแห้งที่ดูดน้ำผสมเข้าไปจากภายนอกทำให้อัตราน้ำต่อมอร์ต้าร์ลดลง แต่ถ้ามวลรวมมีสภาพเปือกชื้นก็ทำให้มีน้ำสูงกว่าที่ควรจะเป็น สัดส่วนของก้อนมอร์ต้าร์มีสัดส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายเป็นอัตราส่วน 1:2.75 ซึ่งให้ค่าการดูดซึมน้ำประมาณที่ 12.16 ตามมาตรฐาน ASTM

4.1.4 การพองตัว

เมื่อนำมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำให้ทราบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวโดยสามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ดังรูที่ 4.3 ค่าของ MK10% มีการเปลี่ยนน้อยสุดซึ่งไม่เกินร้อยละ 2 ตามมาตรฐาน มอก.878-2537



รูปที่ 4.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำของก้อนมอร์ต้าร์

4.2 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีต

สำหรับลักษณะทั่วไปของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาวอัตราส่วนต่างๆ พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกสูตรโดยทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานจริงได้ ดังตารางที่ 4.4 โดยที่ No MK-MK40% เป็นตัวแทนของแต่ละสูตรที่ใช้เพื่อทดสอบในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว

สูตร	ลักษณะทั่วไป
(มอก. 878-2537)	การผสม ลำเลียง เท และบ่มคอนกรีต
No MK	ผ่าน
MK10%	ผ่าน
MK20%	ผ่าน
MK30%	ผ่าน
MK40%	ผ่าน

ผสมตารางที่ 4.4 พบว่าทุกสูตรของก้อนปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว ขนาดมีขนาดเล็กมีลักษณะอ่อนนิ่มจะประสานตัวกับวัสดุอื่นได้ดี โดยทุกสูตรผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 ทั้งนี้เป็นผลมาผสมปริมาณ ที่ผสมไม่มากจนเกินไป ทำให้ปูนซีเมนต์สามารถยึดเกาะและเชื่อมประสานกับเนื้อกากดินขาว หินปูน ได้ดี ส่วนสารลดน้ำที่นำมาใช้ มีผลโดยตรงต่อการแข็งตัวที่เร็วขึ้นของ ที่นำมาขึ้นรูป

อย่างไรก็ตามในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบและบ่มต่อจนได้อายุทดสอบ หลังผสมการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาวก็เป็นระยะเวลาที่เพียงพอต่อการแข็งตัวของชิ้นงาน แม้ว่ามีการผสมสารเคมีเร่งการก่อตัวหรือไม่ก็ตาม การผสมสารลดน้ำจึงมีผลต่อสมบัติทางกายภาพหรือทางกลมากกว่าระยะเวลาการแข็งตัว

4.3 คุณสมบัติคอนกรีตสด

คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตสดส่งผลต่อกำลังและความทนทานของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว คอนกรีตสดที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) ความสามารถทำงานได้ (Workability) ความสามารถในการที่จะเทคอนกรีตเข้าสู่แบบให้แน่นและไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม
2) การยึดเกาะ (Cohesion) การที่เนื้อคอนกรีตสามารถจับรวมตัวเป็นกลุ่มหรือแยกออกจากกันได้ยากบ่งชี้ถึงความสามารถในการยึดเกาะระหว่างมวลผสมในคอนกรีต
3) การแยกแยะ (Segregation) การแยกออกของส่วนประกอบต่าง ๆ ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ
4) การเยิ้ม (Bleeding) การแยกตัวชนิดหนึ่งเป็นการแยกตัวในแนวดิ่งโดยวัสดุผสมที่หนักจะจมลงด้านล่างและวัสดุผสมที่เบาจะลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนของคอนกรีต

4.4 คุณสมบัติคอนกรีตแข็งตัว

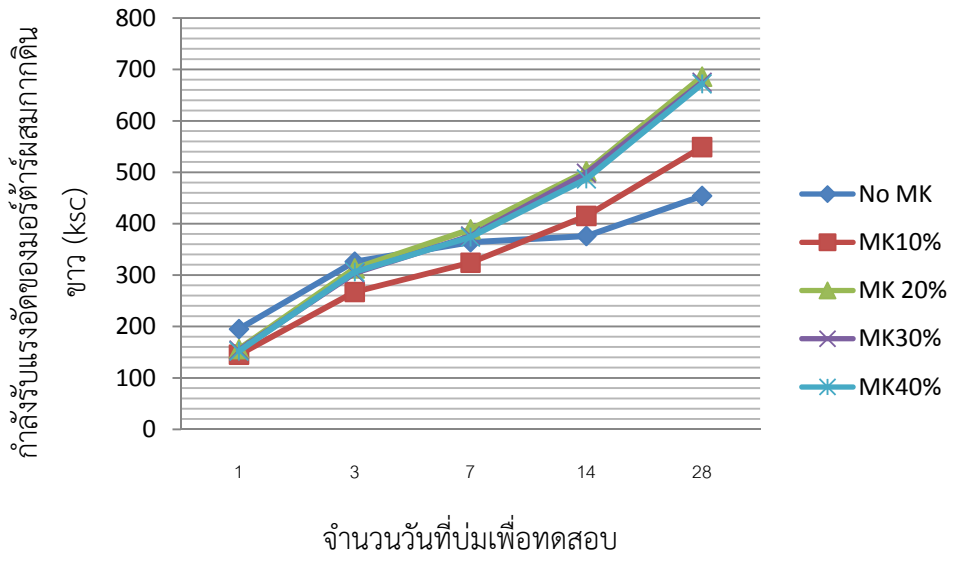
4.4.1 กำลังอัด (Strength) ขึ้นอยู่กับความแข็งแก่งของมอร์ต้าร์และมวลรวม ดังนั้นถ้ามวลรวมมีความแข็งแกร่งสูงก็ส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้นด้วย มวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่ต่ำกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต ความแข็งแรงของหินปูนมีค่าประมาณ 700-1,500 ก.ก./ตร.ซม.

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าร์ผสมดินขาวที่แปรผันระยะเวลาบด

ระยะเวลาการบด (Hour)	Compressive Strength (ksc)	
	7 วัน	28 วัน
ควบคุม	291	396
1.0	344	461
1.5	346	463
2.0	347	466
2.5	351	472

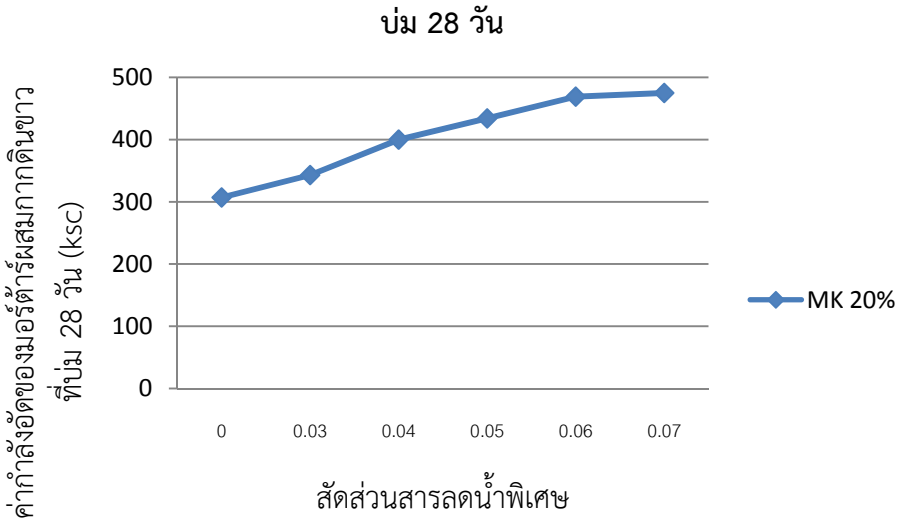
เนื่องจากมาตรฐาน ASTM C 204 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าประมาณ 3,190 ตร.ซม.ต่อกรัม แต่จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าค่า 9,805 ตร.ซม.ต่อกรัม สูงกว่าค่ามาตรฐานถึง 3 เท่า และที่ปูนซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 3.15 แต่กากดินขาวมีค่าความถ่วงจำเพาะเพียง 2.42

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาวซึ่งเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญในการแสดงถึงความสามารถในการรับแรงดัดขณะใช้งานโดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



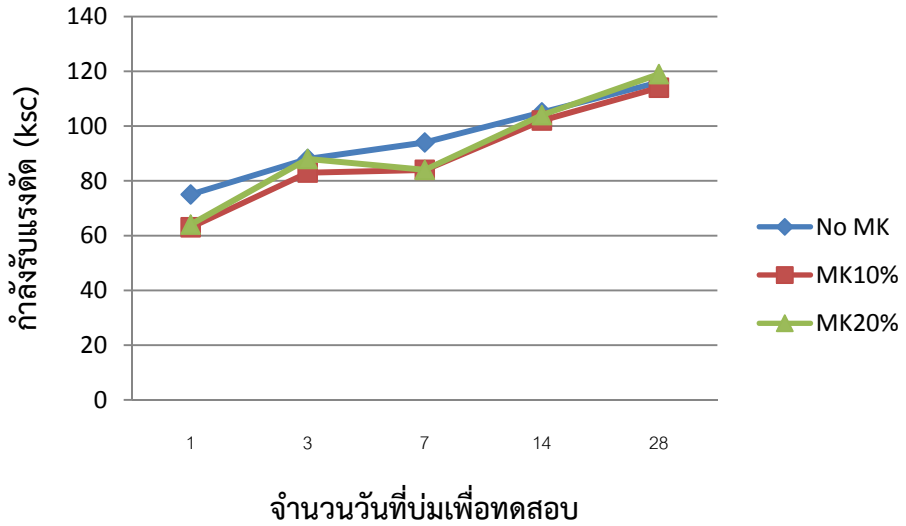
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว

ค่ากำลังรับแรงอัดองมอร์ต้าร์ใช้ก้อนตัวอย่างโดยใช้ระดับการแทนซีเมนต์ด้วยกากดินขาวในปริมาณ 10, 20, 30, 40% พบว่าการพัฒนาแรงอัดของมอร์ต้าร์ควบคุมที่ไม่ผสมกากดินขาวมีการพัฒนาแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมอร์ต้าร์ที่พัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุมที่ไม่ผสมกากดินขาว ที่วันบ่มวันที่ 7 ขนาดกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 389 ซึ่งมีค่ามากกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมที่ไม่ได้ผสมกากดินขาวและเมื่อเวลาผ่านไปที่ 14 วันและ 28 วันมีค่า 502 และ 686 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) ซึ่งมากกว่า ค่าของมอร์ต้าร์ควบคุมที่ไม่ได้ผสมกากดินขาวบ่มท่ 28 วันมีค่าเพียง 454 ksc ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการผสมกากดินขาวกับปูนมอร์ต้าร์ที่ 20% เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กของดินขาวมีผลในการอุดแทรกช่องว่าง ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มอร์ต้าร์ตามด้วยปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่าง 7 วันถึง 14 วัน (Wild et al., 1996)



รูปที่ 4.5 ผลค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว (MK20%) ที่ 28 วัน

เมื่อพิจารณาจากการบ่มที่ 28 วันแล้วนำมาทดสอบค่ากำลังอัดของปูนมอร์ต้าร์แสดงให้เห็นว่าปูนมอร์ต้าที่ผสมดินขาวที่ใช้สารลดน้ำพิเศษมีค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวควบคุมที่ไม่มีกากดินขาวได้ค่า 307 ksc และเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ส่วนมอร์ต้าร์ควบคุมโดยไม่มีกากดินขาวนั้นมีค่าต่ำกว่า จากปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมกากดินขาวและสารลดน้ำพิเศษที่ 28 วันของ MK20% มีค่าเพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ที่ 0.05 ส่วน ส่วนมีค่า 434 ksc สามารถสังเกตได้จากเส้นกราฟในรูปที่ 4.5



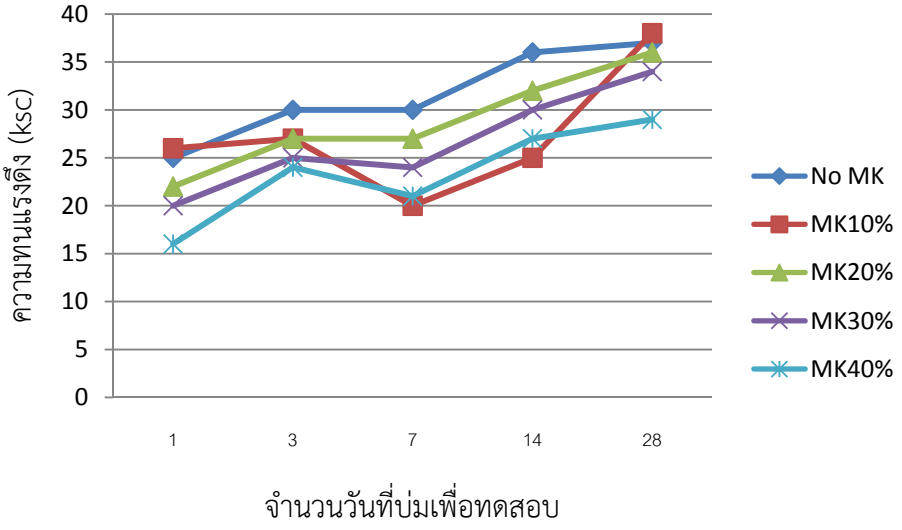
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุทดสอบมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว

เห็นได้ว่าค่าการทดสอบแรงดัดและอายุทดสอบของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวที่ได้ของ No MK ที่ควบคุมซึ่งไม่มีการผสมกากดินขาวที่ 7 วัน 14 วันและ ที่ 28 วัน เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมอร์ต้าร์ที่ผสมกากดินขาวของ MK10% MK20% MK30% และ MK40% ซึ่งทั้งสี่แบบมีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่ากำลัง

อัดของมอร์ต้าร์ควบคุม (No MK) ผ่านมาตรฐานของการรับกำลังอัด ซึ่งที่เวลา 7 วัน MK20% มีค่ากำลังอัดสูงกว่าสูตรทดสอบอื่น ๆ ซึ่งสามารถใช้แทนมอร์ต้าร์ควบคุมได้

4.4.2 กำลังดึง (Tesile Strength) ความต้านทานด้านการรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมากประมาณ 10% ของกำลังอัดประลัย ความต้านทานในการรับแรงดึงของคอนกรีตช่วยในการควบคุมการแตกร้าวและผลกระทบจากอุณหภูมิ การหดตัวของคอนกรีต

จากพฤติกรรมของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากผลการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่น Frias et al. (2000) ได้ศึกษาการเกิดความร้อนมอร์ต้าผสมดินขาวเกิดจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลาน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมดินขาวให้ความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ธรรมดาเนื่องจากความไวต่อปฏิกิริยาปอซโลลาน (High pozzolanic activity) ของดินขาว พฤติกรรมนี้คล้ายกับของซิลิกาฟูม โดยการเพิ่มความร้อนอาจส่งผลต่อสมรรถนหรือความทนทานของมอร์ต้าร์กับการเปลี่ยนแปลงความยาวและทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กขึ้นได้ จากผล



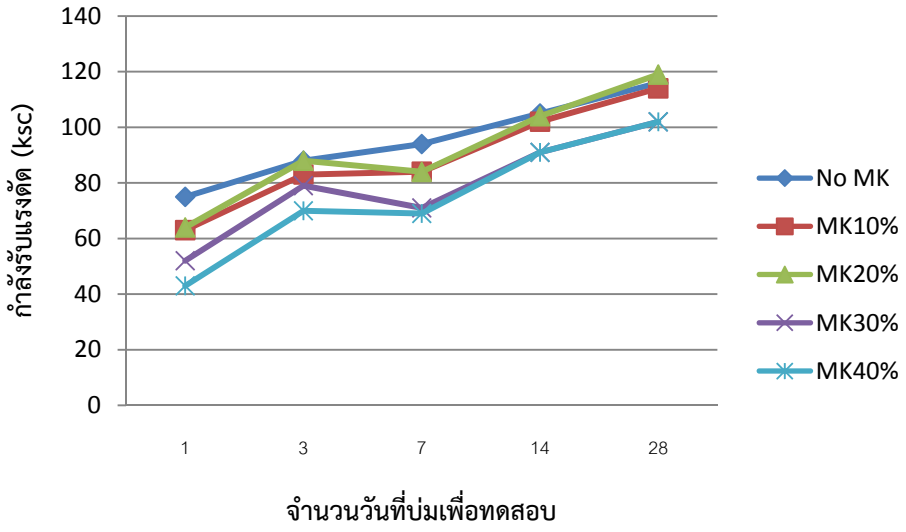
รูปที่ 4.7 ระยะเวลาของการบ่มและความทนแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว

การทดสอบการรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวในรูปที่ 4.7 พบว่ากากดินขาวส่งผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงดึงในเชิงบวกน้อยมาก คุณสมบัติการต้านทานแรงดึงทั้งคอนกรีตและมอร์ต้าร์ค่อนข้างต่ำซึ่งมักไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ จากผลการทดสอบความทนแรงดึงที่อายุบ่มทดสอบ 28 วัน มอร์ต้าร์ควบคุม (No MK) ที่ไม่มีการเติมกากดินขาวและมอร์ต้าร์ที่ผสมกากดินขาวแทนที่ซีเมนต์ที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 37, 38, 36, 34 และ 29 กก.ต่อ ตร.ซม. ตามลำดับที่ปริมาณกากดินขาวร้อยละ 10 (MK10%) ทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ควบคุมแต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากดินขาวเพิ่มขึ้นการรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ลดลง แต่ที่กากดินขาว 20% แทนที่ซีเมนต์โดยซีเมนต์มีปริมาณ 80% มีค่ารับแรงดึงที่ใกล้เคียงกับมอร์ต้าควบคุมซึ่งมีค่ารับแรงดึงต่ำกว่าเฉลี่ยเพียง 3 กก.ต่อ ตร.ซม. ส่วนการผสมกากดินขาวที่ 30%, 40% ค่าการรับแรงดึงต่ำกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมประมาณแตกต่างเฉลี่ยประมาณ 9 กก.ต่อ ตร.ซม. ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณซีเมนต์น้อยลงทกให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นน้อยลงตามด้วยการส่งผลต่อปฏิกิริยาปอซโซลานเป็นผลในคุณสมบัติเชื่อมประสานลดลง

4.4.3 โมดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบการรับแรงดัดของมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวพบว่าพัฒนากำลังในการรับแรงดัดเพิ่มตามอายุการบ่มตามรูปที่ 4.8 ที่การบ่ม 28 วันทั้ง No MK, MK10%, MK20%, MK30% และ MK40% มีผลกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นมากกว่าในช่วง 102-116 ksc มอร์ต้าร์ที่ผสมกากดินขาวเทียบกับมอร์ต้าร์ควบคุม (No MK) ที่การผสมกากดินขาวที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ที่จำนวนวันในการบ่มน้อยจะมีค่าที่แตกต่างค่อนข้างมากแต่ที่วันในการบ่มที่ 28 วันมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ควบคุมแตกต่างไม่มาก แต่ที่มอร์ต้าร์ผสมกากดินขาวที่ 10% มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ควบคุมมากที่สุด สาเหตุอาจเนื่องจากปริมาณปูนซิเมนต์ลดลงส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดน้อยลงและส่งผลต่อปฏิกิริยาปอซโซลานน้อยลง

ผลการรับแรงดัดแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการรับแรงดึงนั้นเกิดจากการแทรกช่องว่างของกากดินขาวไม่มีส่วนในการรับแรงดัดได้เพิ่มขึ้น ผลของดินขาวในการับแรงดัดนั้นได้มี Balaguru (2001) ได้ทดสอบเกี่ยวกับการับแรงของคอนกรีตผสมดินขาวพบว่าดินขาวมีผลการรับแรงดัดน้อยมาก



รูปที่ 4.8 ผลการบ่มเพื่อทดสอบกับกำลังรับแรงดัด

4.4.5 การนำความร้อน

การนำความร้อนเริ่มด้วยการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 40 ℃ ในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเมื่อได้รับความร้อนกระตุ้นในช่วง 12 นาทีแรกการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสัมผัสน้ำจะคายความร้อนออกมารูปแบบและปริมาณมีความใกล้เคียงกัน ในเวลา 24 ชั่วโมงแรกเมื่อกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ เฉลี่ยมากกว่า 300 kJ/kg-h

กรณีปริมาณความร้อนกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 60 ℃ มีรูปแบบใกล้เคียงกันแต่ปริมาณแตต่างกันเล็กน้อย แต่ส่งผลให้กับความร้อนรวมที่ 1 ชั่วโมงผ่านไปอุณหภูมิจะลดลงและคงที่ต่อเนื่องไป ใน 12 นาทีแรกอุณหภูมิเพิ่มขึ้นชัดเจน ส่วนของการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 80 ℃ นั้นรูปแบบใกล้เคียงกัน ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าหนึ่งพันกิโลจูลต่อกิโลกรัมชั่วโมง

โดยรวมการเกิดความร้อนกับเวลาที่เกิดปฏิกิริยาของกากดินขาวจากจังหวัดระนองที่อุณหภูมิกระตุ่นต่าง ๆ อุณหภูมิกระตุ่นเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่างและมีผลไปถึงอัตราการเกิดความร้อนรวมเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.9 การสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง

ปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาวสูตร MK20% เป็นสูตรที่ดีที่สุดในการนำมาใช้ก่อสร้างผนัง เนื่องผสมมีสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก.878-2537 (สมอ., 2537) เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณ กากดินขาว 20% ของปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก ทั้งหมดเพื่อนำไปสร้างแบบที่จะใช้ทดสอบกับผนังปูนในงานวิจัยในปีที่ 2 ต่อไป ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง พบว่า ปูนมอร์ต้าร์ที่ผสมทรายรวมกากดินขาว สามารถใช้งานรวมกันได้และสามารถประยุกต์ใช้ทั่วไป รวมถึงทำแผ่นผนัง

4.10 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์

ผลการผสมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้ผสมโครงการ “การใช้ประโยชน์ผสมในผลิตภัณฑ์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน” ให้แก่กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ หน่วยงานภาครัฐ หรือ หน่วยงานภาคเอกชน ชุมชน บริษัท ห้างร้านต่างๆ กลุ่มเป้าหมายในส่วนผู้ประกอบการที่สนใจรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และได้นำไปประยุกต์ใช้เบื้องต้นแล้ว จำนวน 1 ราย คือบริษัทยูนิต เซอร์วิส จำกัด

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการ “การใช้ประโยชน์กากดินขาวเหลือทิ้งจากเหมืองหินเป็นมวลรวมละเอียดสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานแบบสำเร็จรูป” ในปีที่ 1 เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของกากดินขาวเพื่อใช้ทดแทนซีเมนต์ในการทำปูนมอร์ต้าร์เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในแต่ละด้านตามมาตรฐาน ASTM และการสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ สามารถสรุปผลแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ ดังนี้

1) มอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว หินปูน และทรายที่ทำการวิจัยนี้ สามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุผนังที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดี ตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูงกำหนดไว้

2) ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของปูนมอร์ต้าร์พบว่า สูตรMK20% และ MK30%มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานแต่ MK20% เหมาะมากที่สุด โดยมีปริมาณของส่วนผสมของกากดินขาวร้อยละ0.20และ0.30 ตามลำดับ โดยมีปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ทราย น้ำประปา หินปูน ในอัตราส่วน 1:2.75:0.05:0.3 มีการใช้สารลดน้ำพิเศษ เพื่อช่วยให้กากดินขาวเข้าผสมกับเนื้อปูนซีเมนต์ได้และสามารถเทลงแบบได้ อัตราส่วนดังกล่าวมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุด และผ่านตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ที่สามารถนำไปใช้ในเรื่องแผ่นชิ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง กำหนดไว้ เพราะการวิจัยนี้นำไปสู่การพัฒนาแผ่นซีเมนต์ในปีที่ 2 ต่อไป

3) ปูนมอร์ต้าร์ผสมกากดินขาว ที่ผสมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อนำไปพัฒนาเป็นแผ่นใยอัดซีเมนต์ได้เพราะอยู่ในมาตรฐานASTM C 204 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้สารลดน้ำพิเศษมีแนวโน้มสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลดีทั้งนี้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง พบว่าชิ้นของมอร์ต้าร์ควบคุม No MK และ MK20%, MK30% ทั้งที่ใช้และไม่ใช้สารลดน้ำพิเศษ ที่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว

4) กากดินชาวจากจังหวัดระนองมีปริมาณมากและมีราคาถูก เนื่องจากผสมวัตถุดิบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการทำดินขาวในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ดินขาวที่มีปริมาณมาก จากเหมืองดินขาวที่จังหวัดระนอง อำเภอหาดส้มแป้น ที่มีกากดินขาวเหลือทิ้งจากระบบการชำระล้าง ที่สามารถนำมาปรับปรุงให้มีคุณภาพและใช้ร่วมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 ได้เป็นอย่างดีในการวิจัยนี้ ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นแผ่นซีเมนต์ได้ ทำให้ลดต้นทุนของซีเมนต์ลงจากเดิม รวมทั้งกระบวนการผลิตยังไม่แตกต่างกับการผสมในกระบวนการผลิตแผ่นชิ้นอัดซีเมนต์ทั่วไป

5) ผสมการทดลองใช้งานจริง พบว่า การนำส่วนผสมเส้นใยต้นผักตบชวามาทดแทนชิ้นวัสดุสำหรับขึ้นรูปเป็นแผ่นใยอัดซีเมนต์นั้น มีความเป็นไปได้สูงทั้งในด้านการใช้งานและการผลิตในเชิงพาณิชย์เนื่องจากส่วนผสมแผ่นใยอัดที่ได้มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง กำหนด

6) หากมีการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จะสามารถช่วยสร้างมูลค่าให้กับกากดินขาวเหลือทิ้งที่มีจำนวนมากในท้องถิ่นได้ดีเพราะสามารถนำไปทำผนังซีเมนต์เป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปัจจุบัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรนำไปพัฒนาเป็นแผ่นซีเมนต์ที่ใช้กากดินขาวเป็นส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนและใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งกากดินขาวให้เป็นประโยชน์สามารถรับแรงดัดได้สูงขึ้น โดยการเสริมเส้นใยหรือเส้นลวดที่มีความแข็งแรง เพื่อให้แผ่นใยอัดดังกล่าวสามารถใช้งานได้หลากหลาย และมีความทนทานสูง

บรรณานุกรม

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540. **คอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 5.

ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521. **เสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชวลิต นิตยะ, 2528. **เอกสารประกอบการสอนวิชา Industrialized building.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดนุพล ตันนโยภาส, 2552. **วิทยาแร่.** พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดนุพล ตันนโยภาส, 2553. **แร่และหิน.** พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประชุม คำพุฒ, สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2554. การใช้แกลบเผาสำหรับพัฒนาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเศษดินขาวจากจังหวัดระนอง. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16**. มหาวิทยาลัยมหิดล. 18 - 20 พฤษภาคม 2554.

ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2557. **ตลาดผนังสำเร็จรูป**. ฉบับประจำวันที่ 5 พฤศจิกายน 2557.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และเจริญชัย ฤทธิรุทธ, 2550. การศึกษาสารละลายที่แตกต่างในการผลิตจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าร์จากดินขาวเผา. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3**. โรงแรมลองบีช การ์เด้น โฮเตล แอนด์ สปา พัทยา ชลบุรี 24-26 ตุลาคม 2550.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.), หน้า 2.

ผู้จัดการออนไลน์ (ASTV), 2557. **พระ-ชาวบ้านในร้อยเอ็ดผวาตลิ่งน้ำชีเซาะพังต้องรื้อศาลาวัดทิ้ง สงสัยดูดทรายน้ำชีปมเหตุ.** ฉบับประจำวันที่ 12 กันยายน 2557.

มามี โตบารมีกุล, 2541. **การศึกษาระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย สังวรปทานกุล และ วชิรพล ฐิตะสัจจา, 2549. ความคงทนของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชั่น. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11**. โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท, จังหวัดภูเก็ต 2549.

วินิต ช่อวิเชียร, 2527. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2520. **การก่อสร้างอาคารระบบอุตสาหกรรม.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์, กิตติพงษ์ สุวีโร และประชุม คำพุฒ, 2553. การใช้หน้าดินขาวแทนที่ปูนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6.** มหาวิทยาลัยเทคโนโ,ยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 20 – 22 ตุลาคม 2553.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2547. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ล.1-2547 เรื่อง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2548. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อนุชาติ ลี้ออนันต์ศักดิ์ศิริ และ ศุภสิทธิ์ คนใหญ่, 2550. การศึกษาจีโอโพลีเมอร์จากเถ้าลอยผสมดินขาว, **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12**. โรงแรมมอมรินทร์ลากูล จังหวัดพิษณุโลก 2-4 พฤษภาคม 2550.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2013. **Annual Book of ASTM Standards**, Vol 04.02, Philadelphia.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2013. **Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM C177)**. Philadelphia.

Herz, Rudolph, 1975. **Architectures' data.** London: Crosby. Lockwood. Staples.

Testa Carlo, 1959. **The Industrialization of Building.** New York : Van Nostrand Reinhold.

ภาคผนวก

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1516 (พ.ศ. 2532)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878–2532 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2532

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่ใช้งานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบรูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ซึ่งต่อไปนี้มาตรฐานนี้จะเรียกว่า “แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากชิ้นไม้และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 ชิ้นไม้ หมายถึง ชิ้นหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ligno–cellulosic material) อื่น ๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ชิ้นไม้อาจมีลักษณะต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้

2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ชิ้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเสี้ยนไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเสี้ยนไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

2.2.3 แถบ (strand) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

2.2.4 ชี้กบ (planer shaving) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กมีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง มีลักษณะเป็นแฉกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)

2.2.5 แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเสี้ยนไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา

2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์

2.3 วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่าง ๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

3. แบบและสัญลักษณ์

3.1 แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะพื้นผิว คือ

3.1.1 แบบผิวขัดเรียบ มีสัญลักษณ์ SAN

3.1.2 แบบผิวไม่ขัด มีสัญลักษณ์ UNS

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้างและความยาว ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

หมายเหตุ *1. ความกว้างที่แนะนำ คือ 600 900 และ 1 200 มิลลิเมตร*

2. ความยาวที่แนะนำ คือ 1 200 1 800 และ 2 400 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.2 ความหนา ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากแต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นสั้น

การวัดให้ปกิบัติตามข้อ 9.2

4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 4.1และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน		
	ความกว้าง	ความหนา	
ระบุ	และความยาว	SAN	UNS
6 ถึง 12	± 5	± 0.3	± 1.0
เกิน 12 ถึง 20			± 1.5
เกิน 20			± 2.0

5. ส่วนประกอบและการทำ

5.1 ส่วนประกอบ

5.1.1 ชิ้นไม้

5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชิ้นไม้ แยกชิ้นไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความหนาแน่นความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

6.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874)

6.5 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

(ข้อ 6.5)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า		ข้อ 9.7

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำว่า “แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์”

(2) สัญลักษณ์ของแบบ

(3) ขนาด (กว้าง × ยาว × หนา) เป็นมิลลิเมตร

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีแบบและความหนาระบุเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และลักษณะทั่วไป

8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 3

8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 6.1 ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับ ที่กำหนดในตารางที่ 3 จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป

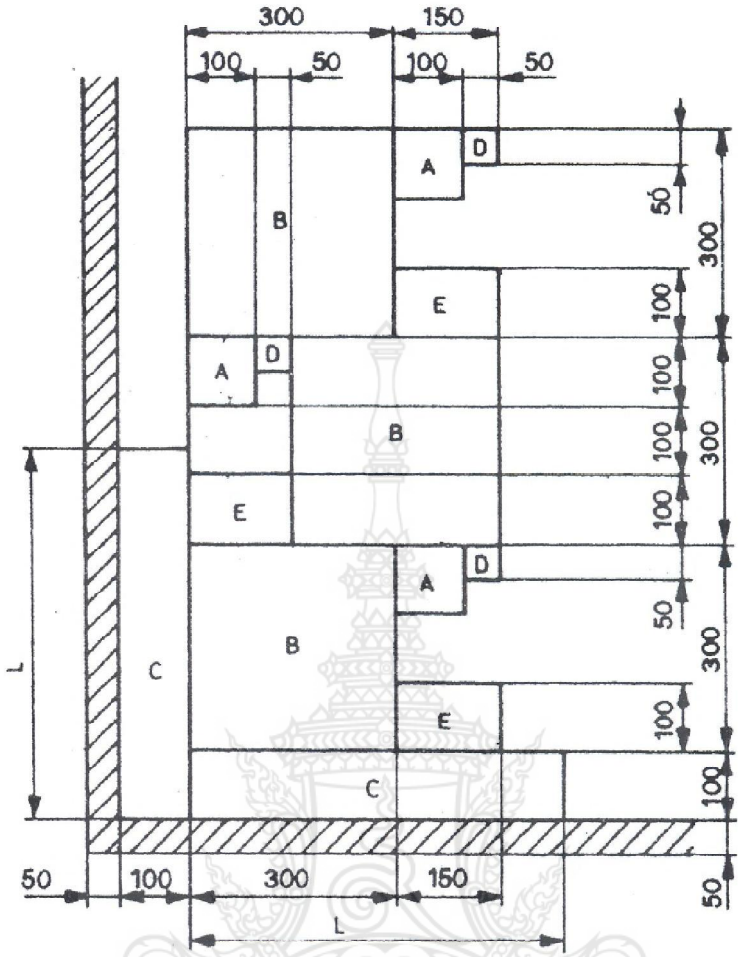
(ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 150	3	0
151 ถึง 500	13	1
501 ขึ้นไป	20	2

8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น สภาพนำความร้อน และคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

8.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่ม จากแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด และลักษณะทั่วไปแล้ว มาจำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นให้ตัดเป็นชิ้นทดสอบตามรูปที่ 1

- ชิ้นทดสอบ A สำหรับทดสอบความหนาแน่น และความชื้น จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นทดสอบ B สำหรับทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นทดสอบ C สำหรับทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จำนวน 2 ชิ้น
- ชิ้นทดสอบ D สำหรับทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นทดสอบ E สำหรับการทดสอบสภาพนำความร้อน จำนวน 3 ชิ้น



L = 16 เท่าของความหนาระบุ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็ม
ของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) บวกด้วย 25 มิลลิเมตร

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตำแหน่งและการตัดชิ้นทดสอบ

(ข้อ 8.2.2.1)

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 ข้อ 6.3 ข้อ 6.4 และข้อ 6.5 ทุกรายการ จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และ ข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. การทดสอบ

9.1 การปรับภาวะชิ้นทดสอบ

ให้นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และสภาพนำความร้อน ไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ 23 ± 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 10 จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.5 แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับภาวะ ส่วนชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นและความชื้นไม่ต้องปรับภาวะ

9.2 ขนาด

9.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ ประมาณ 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.2 ความหนา

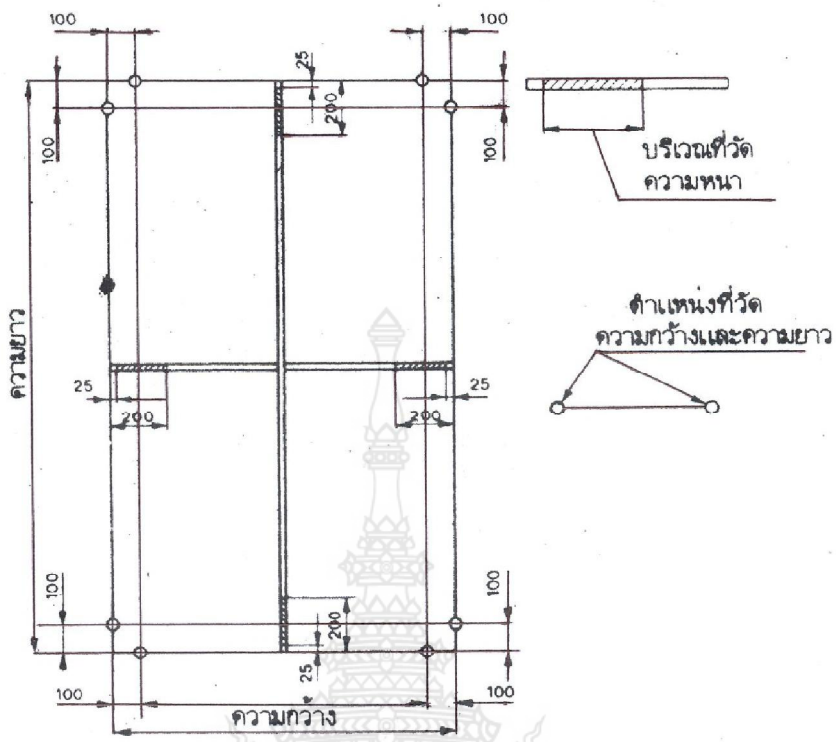
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

9.2.4 ความตรงของขอบ

ขึงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นชิ้นไม่อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์
(ข้อ 9.2.1 และข้อ 9.2.2)

9.3 ความหนาแน่น

9.3.1 เครื่องมือ

9.3.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

9.3.2 วิธีทดสอบ

9.3.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม

9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

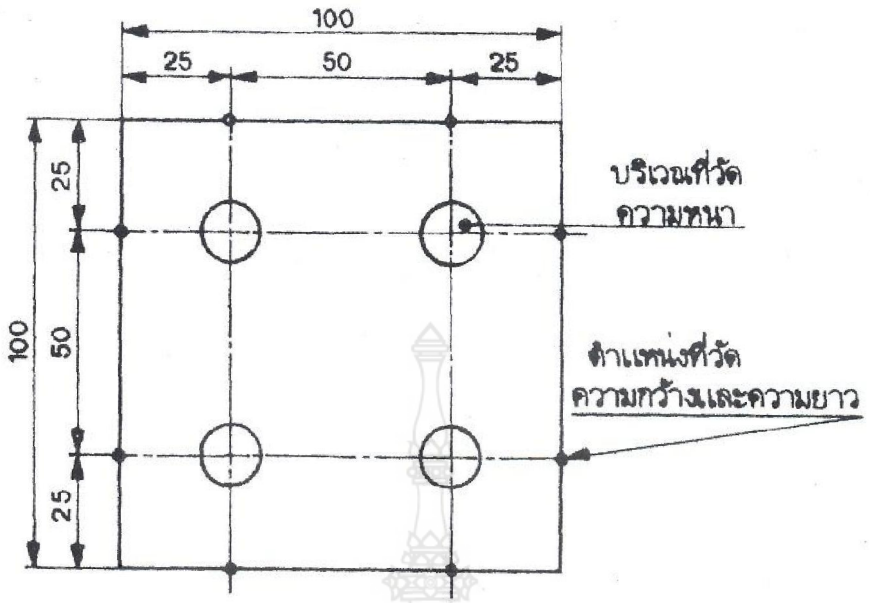
9.3.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)}} \times 10^6$$

9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ
(ข้อ 9.3.2.2 ข้อ 9.3.2.3 และข้อ 9.5.2.1)

9.4 ความชื้น

9.4.1 เครื่องมือ

9.4.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

9.4.1.2 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 130 ± 2 องศาเซลเซียส

9.4.1.3 เดซิกเคเตอร์

9.4.2 วิธีทดสอบ

9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ

9.4.2.2 อบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1

9.4.2.3 นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปล่อยไว้ให้เย็น

9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้นร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

9.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

9.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

9.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

9.5.2 วิธีทดสอบ

9.5.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามรูปที่ 3 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

9.5.2.2 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

9.5.2.3 เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ชอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก

9.5.2.4 เมื่อปล่อยชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

9.5.3 วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$\text{การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}} \times 100$$

9.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

9.6 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

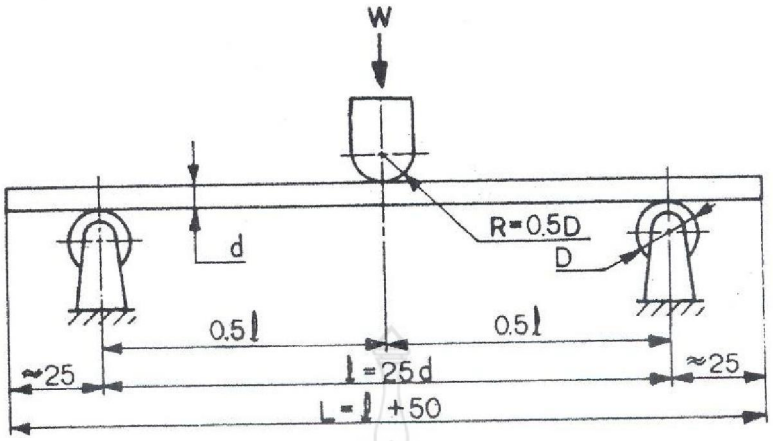
9.6.1.3 มาตรการแอ่นตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

9.6.2.1 วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามรูปที่ 4 ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่า ๆ กัน

9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอ่นตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น
(ข้อ 9.6.2.1)

9.6.3 วิธีคำนวณ

9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

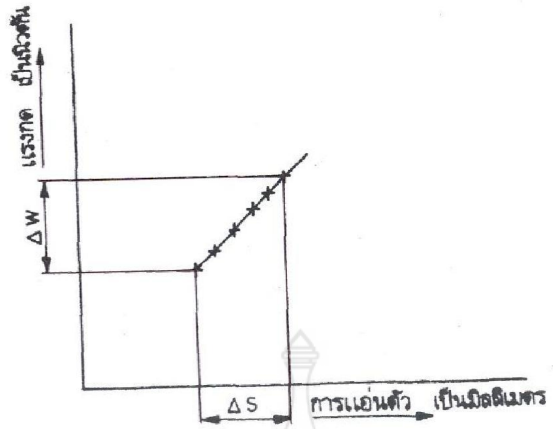
$$f = \frac{3\,W\ell}{2\,bf^2}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล
W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน
ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

9.6.3.2 หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{\ell^3\,\Delta W}{4\,bd^3\,\Delta S}$$

เมื่อ f คือ มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล
ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน
b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
ΔS คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว
(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

9.7.1 เครื่องมือ

9.7.1.1 เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที

9.7.1.2 แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

9.7.2 วิธีทดสอบ

9.7.2.1 ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ

9.7.2.2 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.7.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเมกะพาสคัล} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{ความกว้าง (มิลลิเมตร)} \times \text{ความยาว (มิลลิเมตร)}}$$

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า