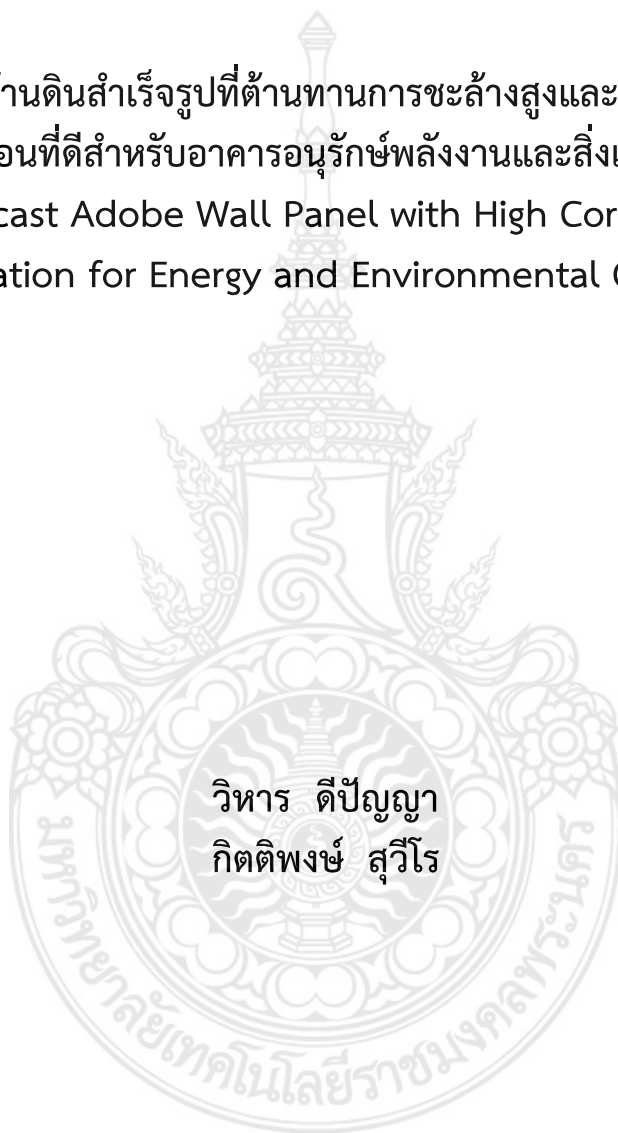




การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกัน  
ความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

Development of Precast Adobe Wall Panel with High Corrosion Resistance and  
Good Thermal Insulation for Energy and Environmental Conservation Building



วิหาร ติปัญญา  
กิตติพงษ์ สุวิโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ดินเหนียว เถ้าแกลบ ฟางข้าว แกลบสด น้ำยากันซึม และน้ำประปา มาผสมและหล่อขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต และเสริมไม้รวกเป็นวัสดุรับแรง ผลจากการทดสอบ ทำให้ได้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,797 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 16.70 ความต้านทานแรงดัด 2.61 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัด 21.40 เมกะพาสคัล สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.314 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน ทั้งนี้ ปริมาณฟางข้าวและแกลบสดจะมีผลต่อความหนาแน่น ความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ส่วนผลต่อความต้านทานแรงอัด และการดูดซึมน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ** ผนังบ้านดินสำเร็จรูป, ดินเหนียว, ปูนซีเมนต์, การชะล้าง, ฉนวนป้องกันความร้อน

## Abstract

The objective of this research is to develop the precast adobe wall panel with high corrosion resistance and good thermal insulation. The ratio of Portland cement type1, clay, rice husk ash, straw, rice husk, waterproofed liquid, and tap water was mixed and casted as same as the common concrete, and reinforced by bamboo. From the results, the proper prototype ratio of precast adobe wall panel was Portland cement type1: clay: rice husk ash: straw: rice husk: waterproofed liquid: tap water which equal to 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 by weight. The properties of the precast adobe wall panel prototype included density 1,797 kg/m<sup>3</sup>, water absorption 16.70%, bending strength 2.61 MPa, compressive strength 21.40 MPa, thermal conductivity coefficient 0.314 watt/m.Kelvin. Moreover, the precast adobe wall panel prototype also was verified by TIS.2226-2548 with properties of impact resistance, deflection, and hardness in medium duty (MD) level. These straw and rice husk effected the precast adobe wall panel to decrease the density, bending strength, thermal conductivity coefficient, and increase the compressive strength and water absorption.

**Keywords** Precast Concrete Wall Panel, Clay, Cement, Erosion, Thermal Insulation

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 กรอบแนวความคิด	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บ้านดิน	5
2.2 ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง	10
2.3 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป	11
2.4 ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า (Modular Coordination)	12
2.5 ตารางพิกัดมาตรฐาน	16
2.6 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร	17
2.7 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด	18
2.8 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง	18
2.9 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป	20
2.10 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร	21
2.11 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป	27
2.12 ดินเหนียว	28
2.13 ไม้ไผ่	31
2.14 การคัดเลือกไม้ไผ่เพื่อใช้ในการก่อสร้าง	33
2.15 การรักษาไม้ไผ่ให้มีอายุยืนนาน	33
2.16 ยางพารา	34
2.17 การปรับปรุงยางธรรมชาติ	35
2.18 การวัลคาไนซ์ยางพารา	36
2.19 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	39
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	39
3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม	45
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ	48
3.4 การทดสอบคุณสมบัติ	56
บทที่ 4 ผลการวิจัย	64
4.1 ความหนาแน่น	64
4.2 การดูดซึมน้ำ	64

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 การชะล้าง	65
4.4 ความต้านทานแรงอัด	66
4.5 ความต้านทานแรงดัด	67
4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	68
4.7 ลักษณะโดยทั่วไป	69
4.8 แรงกระแทก	70
4.9 ความตรง	71
4.10 ความแข็ง	72
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผล	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	76
ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537	
ข บทความสำหรับเผยแพร่	
ค หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์	
ประวัติย่อผู้วิจัย	



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	บ้านดิน	1
1.2	การทอ้งเกี่ยวเชิงอนุรักษ์	2
1.3	อิฐดินดิบ	2
1.4	กรอบแนวความคิดของผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อน	4
2.1	ลักษณะภายนอกของบ้านดิน	5
2.2	ลักษณะภายในของบ้านดิน	5
2.3	ลักษณะโดยทั่วไปของบ้านดิน	6
2.4	การย่ำดิน	8
2.5	การทำอิฐดินดิบ	8
2.6	การก่ออิฐดินดิบ	8
2.7	โครงไม้ไผ่และการนำฟางที่คลุกดินมาหุ้มโครงไม้ไผ่	9
2.8	โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป	11
2.9	รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง	13
2.10	มิตินาคัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ	13
2.11	การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชั้นส่วนอาคาร	15
2.12	ขนาดของการประสาน	15
2.13	ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง	17
2.14	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง	17
2.15	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1	18
2.16	การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection	19
2.17	ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	19
2.18	รูปแบบการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	20
2.19	รอยต่อของผนังกับผนัง	21
2.20	รอยต่อของผนังกับผนังและเสา	22
2.21	ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว	22
2.22	แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station	23
2.23	รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง	23
2.24	ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints	24
2.25	รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	24
2.26	ลักษณะรอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	25
2.27	รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป	25
2.28	ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)	26
2.29	ทางเลือกการเจาะประตู - หน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป	27
3.1	การนำดินเหนียวมายังสถานที่ขึ้นรูปโครงการแผ่นผนังดินสำเร็จรูป	39
3.2	ดินเหนียวแห้งสำหรับการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูป	39
3.3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

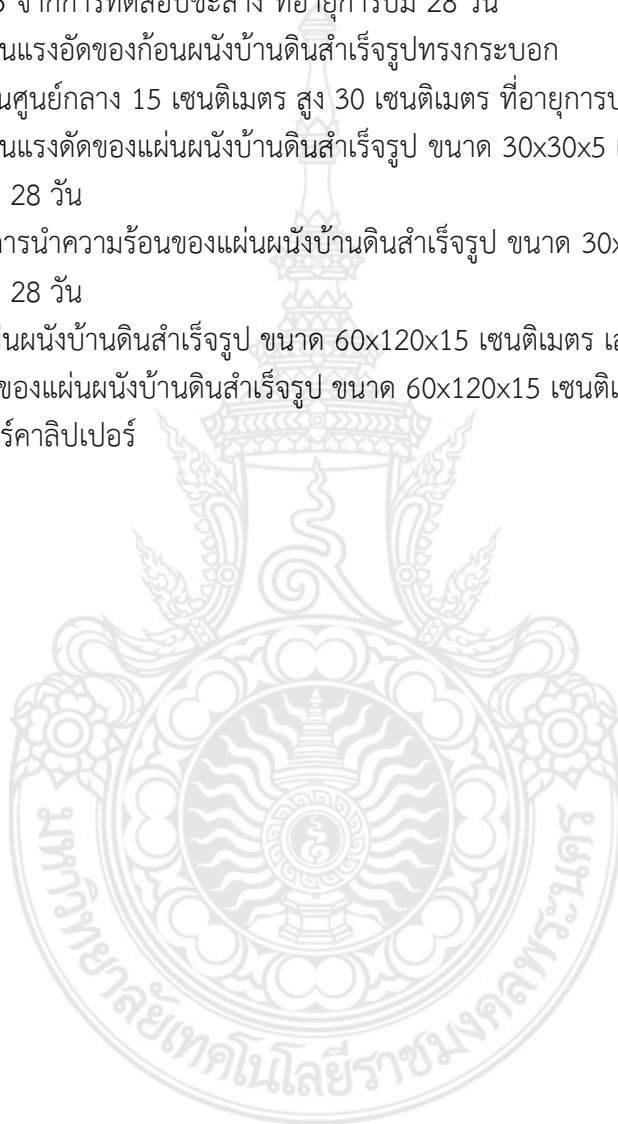
รูปที่		หน้า
3.4	เก้าแกลบ	40
3.5	แกลบ	41
3.6	ฟางข้าว	41
3.7	ไผ่รวก	42
3.8	ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก	42
3.9	ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่	42
3.10	แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร	43
3.11	แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร	43
3.12	แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร	44
3.13	แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร	44
3.14	แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร	45
3.15	เครื่องบดเส้นใย	45
3.16	การเทส่วนผสมดินซีเมนต์ลงในแบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร	46
3.17	การอัดส่วนผสมลงในแบบหล่อเพื่อขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์	46
3.18	ก้อนดินซีเมนต์ที่พร้อมนำไปป้อนและทำการทดสอบคุณสมบัติ	47
3.19	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม	47
3.20	ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	47
3.21	การชั่งน้ำหนักดินเหนียว	48
3.22	การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์	48
3.23	การชั่งน้ำหนักเก้าแกลบ	49
3.24	การชั่งน้ำหนักแกลบ	49
3.25	การชั่งน้ำหนักฟางที่ย่อยขนาดแล้ว	49
3.26	การชั่งน้ำหนักน้ำยากันซึม	50
3.27	การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม	50
3.28	การเทเก้าแกลบลงในเครื่องผสม	50
3.29	การเทแกลบลงในเครื่องผสม	51
3.30	การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม	51
3.31	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม	51
3.32	การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม	52
3.33	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา	52
3.34	การเทน้ำประปาลงในเครื่องผสม	52
3.35	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ	53
3.36	การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ	53
3.37	การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ	54
3.38	การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไผ่รวก	54
3.39	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร	54

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.40	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30 เซนติเมตร	55
3.41	การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	55
3.42	การเสริมไม้รวกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	55
3.43	การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รวก	56
3.44	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	56
3.45	การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น	57
3.46	การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ	57
3.47	การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบ สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ	57
3.48	การฉีดย้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง	58
3.49	ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความชะล้าง	59
3.50	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร	59
3.51	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	59
3.52	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร	60
3.53	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	60
3.54	การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความทนการกระแทก	61
3.55	อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก	61
3.56	การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทกผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	61
3.57	การวัดความสูงของวัสดุมุมขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกลงบนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	62
3.58	ผลการกระแทกของวัสดุมุมขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	62
3.59	ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง	62
3.60	การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง	63

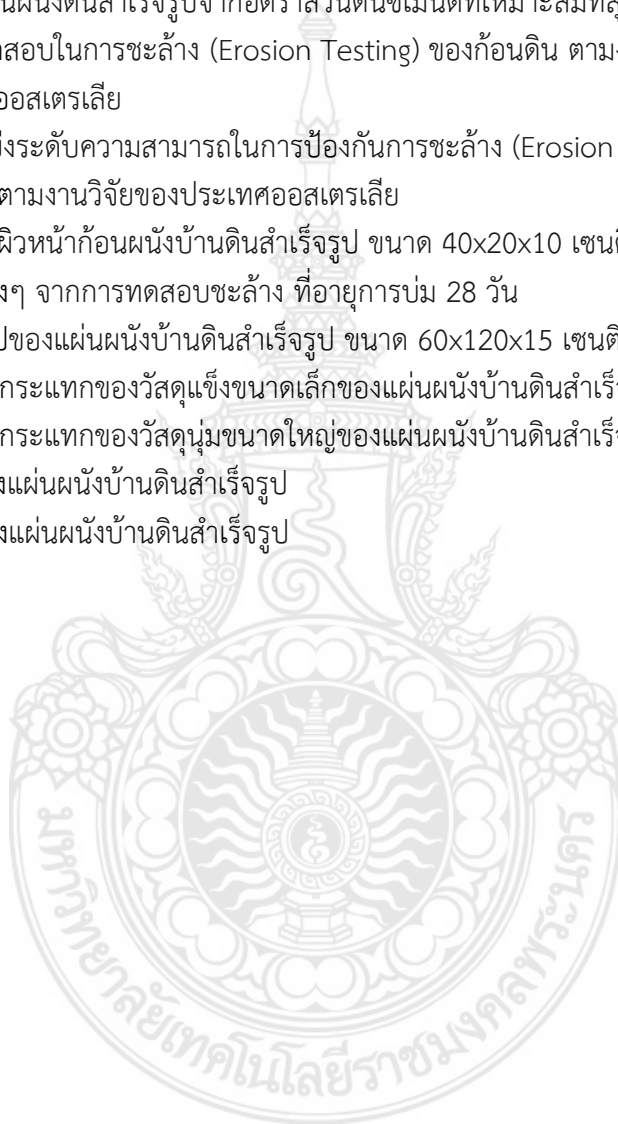
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	64
4.2	การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	65
4.3	ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วน F5 จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน	66
4.4	ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ	67
4.5	ความต้านทานแรงตัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	68
4.6	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	69
4.7	พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ	70
4.8	การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	70



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	18
2.2	27
2.3	27
2.4	35
3.1	46
3.2	48
3.3	58
3.4	58
4.1	65
4.2	69
4.3	71
4.4	71
4.5	71
4.6	72



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

บ้านดิน (Earth Building) เป็นเทคนิคการก่อสร้างอาคารที่พัฒนามาจากการก่อสร้างบ้านที่มีวัสดุส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว เป็นหนึ่งในอาคารประหยัดพลังงานที่สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดี (ประชุม, 2548) จากการนำวัสดุธรรมชาติมาก่อสร้าง จึงทำให้บ้านดินมีเอกลักษณ์ที่ความสวยงามกลมกลืนกับธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าบ้านประหยัดพลังงานที่ต้องติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่ม (รูปที่ 1.1) ปัจจุบันบ้านชนิดนี้กำลังเป็นที่นิยม ทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในธุรกิจการท่องเที่ยวที่สร้างรายได้เข้าประเทศปีละกว่า 7.72 แสนล้านบาท (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558) และมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งการท่องเที่ยวที่กำลังเกิดเป็นกระแสนิยมอย่างมาก คือ การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ซึ่งมีกิจกรรมต่างๆ ให้นักท่องเที่ยวได้สัมผัสมากมาย เช่น การส่งเสริมความรู้ทางการอนุรักษ์ธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม (ล่องเรือชมวิถีชีวิตริมน้ำ ล่องเรือชมธรรมชาติยามค่ำคืน ชมตลาดน้ำ และเลือกซื้อของฝากและสินค้าพื้นบ้าน) การศึกษาและเรียนรู้วิถีชีวิตชาวบ้าน (ตักบาตรพระทางเรือยามเช้า เรียนรู้ภูมิปัญญาชาวบ้าน และพายเรือพักผ่อนท่ามกลางธรรมชาติริมน้ำ) และการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น (รูปที่ 1.2) โดยบ้านดินก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะดึงดูดนักท่องเที่ยวได้ ซึ่งบ้านดังกล่าวจะต้องมีความเป็นธรรมชาติ แต่ยังคงรักษาความเป็นโฮมสเตย์แบบอนุรักษ์ (Eco-tourism) ไว้ กล่าวคือ เป็นบ้านที่มีความสะอาด แข็งแรงคงทน เป็นธรรมชาติ ราคาถูก ผลิตจากวัสดุที่มีคุณภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยสร้างบรรยากาศในการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ บ้านดิน ยังสามารถใช้เป็นบ้านพักอาศัยถาวรได้เช่นเดียวกับบ้านคอนกรีต บ้านไม้ และบ้านเหล็ก

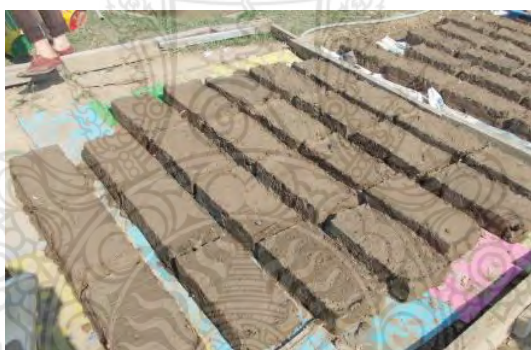


รูปที่ 1.1 บ้านดิน



รูปที่ 1.2 การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

วิธีการก่อสร้างบ้านดิน ส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบอิฐดินดิบ (Adobe Brick) ซึ่งเป็นการนำดินเหนียวมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น แกลบ และฟางข้าว เป็นต้น แล้วอัดเป็นก้อน (รูปที่ 1.3) จากนั้นจึงนำมาก่อผนังโดยใช้โคลนเป็นตัวประสาน (วิทยา, 2545) แต่การก่อสร้างบ้านดินก็ยังมีปัญหาอยู่หลายประการ เช่น รอยต่อของโครงสร้างที่เกิดการรั่วซึมได้ง่าย ระยะเวลาในการก่อสร้างที่ควบคุมได้ยาก ความไม่แข็งแรงของผนัง การพังทลายของโครงสร้างขณะดำเนินการก่อสร้าง การร่วงของเศษวัสดุภายในบ้าน ขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่เป็นมาตรฐาน และต้องใช้ช่างฝีมือโดยเฉพาะในการก่อสร้างและบำรุงรักษา เป็นต้น (ราชบัณฑิตยสถาน และคณะ, 2545)



รูปที่ 1.3 อิฐดินดิบ

ผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงเป็นนวัตกรรมแผ่นผนังสำเร็จจากดินที่มีความเป็นธรรมชาติ แตกต่างจากแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทั้งหมดมาจากธรรมชาติ ได้รับการพัฒนาสมบัติต่างๆ ให้สามารถต้านทานการชะล้างสูง และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี รวมทั้งออกแบบให้มีจุดยึดสำหรับติดตั้งแผ่นผนังได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดินให้หมดไป โครงการการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี แบ่งเป็นปีที่ 1 พัฒนารูปแบบและกรรมวิธีการผลิตแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป โดยใช้ปูนซีเมนต์ ไม้ไผ่ แกลบ ฟางข้าวเป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ทราย เถ้าแกลบเป็นวัสดุช่วยให้ขนาดคละดีขึ้น ส่วนปีที่ 2 เป็นการพัฒนาสมบัติการป้องกันการชะล้างของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปในปีที่ 1 โดยการใช้น้ำยารักษาเป็นสารผสมเพิ่ม โครงการการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการตามนโยบายของรัฐบาลทุกรัฐบาล ที่ให้ความสำคัญกับการท่องเที่ยว พลังงาน ราคายางพารา ข้าว และการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ ซึ่งแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปนี้ จะช่วยสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับชุมชน สร้างกระแสความนิยมอาคารจากวัสดุธรรมชาติที่ราคาถูกและใช้

งานได้จริง สร้างแรงดึงดูดนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทั่วโลกให้มาเที่ยวประเทศไทย และสร้างความมั่นคงและยั่งยืนให้กับประเทศชาติ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.2.2 เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดิน

1.2.3 เพื่อส่งเสริมให้มีการสร้างโฮมสเตย์แบบอนุรักษ์สำหรับดึงดูดนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

1.2.4 เพื่อเตรียมความพร้อมในการหาวัสดุทดแทนสำหรับการก่อสร้างอาคาร

1.2.5 เพื่อส่งเสริมให้มีการสร้างอาคารประหยัดพลังงานจากดินที่ไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ใช้ดินเหนียวในประเทศไทย เป็นวัสดุหลักสำหรับผนังบ้านดินสำเร็จรูป

1.3.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยผสมในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเหนียว ไม่เกิน 1: 10 ส่วนโดยน้ำหนัก เพื่อให้ผนังยังคงมีความเป็นดินเหนียวอยู่

1.3.3 ใช้ทรายหรือเถ้าแกลบ เป็นวัสดุปรับปรุงขนาดคละของส่วนผสมสำหรับผนังบ้านดินสำเร็จรูป

1.3.4 ใช้ไผ่รวก เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับผนังบ้านดินสำเร็จรูป

1.3.5 ใช้แกลบ และฟางข้าว เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับผนังบ้านดินสำเร็จรูป

1.3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสมสำหรับเป็นเนื้อผนังบ้านดินสำเร็จรูป ไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน

1.3.7 ทดสอบการชะล้างของผนังดิน ตามแนวทางการทดสอบของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004)

1.3.8 ใช้ระบบผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ในการออกแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูป

1.3.9 ทดสอบสมบัติกายภาพและทางกลของผนังบ้านดินสำเร็จรูป โดยอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (มอก. 2226-2548) (สมอ., 2548)

1.3.10 ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน ASTM C 177 (ASTM, 2013)

1.3.11 ปัจจัยที่ทำการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1) วัสดุและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผนังบ้านดินสำเร็จรูป

2) ขนาด ความยาว และตำแหน่งการเสริมไผ่รวกของผนังบ้านดินสำเร็จรูป

3) วิธีการผลิตแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

4) สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวก

## 1.4 กรอบแนวความคิด

จากทฤษฎีที่ผ่านมาเกี่ยวกับการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปเป็นกรอบแนวความคิดได้ ดังรูปที่ 1.4



**รูปที่ 1.4** กรอบแนวความคิดของผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูง และเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.5.2 ทราบแนวทางแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดิน

1.5.3 ทราบแนวทางส่งเสริมให้มีการสร้างโฮมสเตย์แบบอนุรักษ์สำหรับดึงดูดนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

1.5.4 ทราบแนวทางการเตรียมความพร้อมในการหาวัสดุทดแทนสำหรับการก่อสร้างอาคาร

1.5.5 ทราบแนวทางส่งเสริมให้มีการสร้างอาคารประหยัดพลังงานจากดินที่ไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

1.5.6 ได้คำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรืออนุสิทธิบัตร เกี่ยวกับผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.5.7 ผู้สนใจสามารถขอใช้เทคโนโลยีต้นแบบผลิตภัณฑ์ผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีไปพัฒนาและผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

1.5.8 ช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติภายในประเทศได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

1.5.9 ได้องค์ความรู้ด้านผลิตภัณฑ์ผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี สำหรับเขียนบทความเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ วารสารวิชาการ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.5.10 สามารถสร้างความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในการบูรณาการงานวิจัยร่วมกันตามยุทธศาสตร์ของประเทศ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

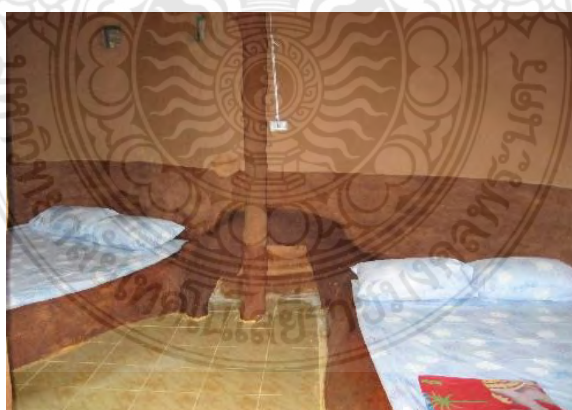
สำหรับทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด ของโครงการ การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ ดังนี้

#### 2.1 บ้านดิน

บ้านดิน (Earth Housing) ไม่ใช่ของใหม่ แต่หากเป็นสิ่งก่อสร้างที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งยังทิ้งร่องรอยให้เห็นจนทุกวันนี้ และบางแห่งก็ยังมีคนอยู่อาศัยติดต่อกันมาหลายชั่วอายุคน นับเวลาเกือบพันปี จนถึงปัจจุบัน (ณัฐนนท์ และคณะ, 2550)



รูปที่ 2.1 ลักษณะภายนอกของบ้านดิน



รูปที่ 2.2 ลักษณะภายในของบ้านดิน



รูปที่ 2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของบ้านดิน

บ้านดิน ไม่มีหลักฐานว่า เริ่มต้นมาจากชนกลุ่มใดไว้อย่างชัดเจนนัก แต่หลักฐานที่ชัดเจนที่สุด คือ ตัวสิ่งก่อสร้างที่ทำจากดิน ซึ่งคนสมัยก่อนสร้างไว้เป็นที่อยู่อาศัย หรือศาสนสถาน แต่เพราะความคงทนของมัน จึงยังเหลือร่องรอยและเศษซากให้เห็นจนถึงปัจจุบันอยู่มากมายทั่วโลก แต่จุดที่น่าจะเป็นต้นกำเนิดของบ้านดิน หรือแองก์วัฒนธรรมบ้านดินนั้น มีอยู่ 3 แองก์ใหญ่ๆ (โจน, 2546) คือ

1) แองก์ตะวันออกกลาง ซึ่งกินอาณาเขตที่กว้างขวางมาก ด้านตะวันออกจะรวมมาถึงอินเดีย บังกลาเทศ เนปาล และจีน ส่วนด้านตะวันตกกินเนื้อที่ไปถึงตุรกี และยุโรปอีกหลายประเทศ แองก์นี้เคยมีความเจริญรุ่งเรืองมายาวนานหลายพันปี จนบางแห่งรุ่งเรืองจนถึงขีดสุดแล้วก็ล่มสลายไปตามกฎเกณฑ์ธรรมชาติ เช่น อาณาจักรเมโสโปเตเมีย หรือที่เรียกกันว่าแหล่งวัฒนธรรมแถบลุ่มแม่น้ำไทกริส-ยูเฟติส ซึ่งปัจจุบันเหลือเศษซากทิ้งไว้ให้มนุษย์รุ่นหลังคาดคะเนกันเอาตามภูมิของแต่ละคน ทุกวันนี้หมู่บ้านต่าง ๆ ในเขตแองก์ตะวันออกกลางก็ยังคงเป็นบ้านดินทั้งหมด แม้แต่ในเมืองที่ถือว่าเจริญแล้วก็ยังมีคนสร้างบ้านด้วยดินอยู่อาศัยเหมือนเดิม อาจจะเป็นแหล่งที่คนอยู่ในบ้านดินมากที่สุดในโลกก็ได้

2) แองก์แอฟริกา ทวีปตั้งแต่อียิปต์ ไปจนถึงแอฟริกาใต้ เคยเป็นดินแดนที่ผู้คนใช้ดินสร้างเป็นที่อยู่อาศัยมายาวนานหลายพันปี จนกระทั่งทุกวันนี้ก็ยังไม่มียุคเปลี่ยนแปลงมากมายนัก เพราะเหตุที่แอฟริกาเป็นดินแดนที่ทุรกันดาร ไม่มีทรัพยากรมากมายเหมือนที่อื่น นักล่าอาณานิคมจึงไม่ค่อยสนใจนัก นักธุรกิจก็ไม่ค่อยอยากเข้ามาลงทุน เลยทำให้ทวีปนี้ยังคงวัฒนธรรมดั้งเดิมของตัวเองไว้ได้มากมาย ปัจจุบันหมู่บ้านส่วนมากก็ยังเป็นบ้านดินทั้งหมด หรือแม้แต่เมืองหลายเมืองก็ยังคงเป็นดินทั้งหมด แต่แอฟริกาไม่มีร่องรอยของสิ่งก่อสร้างที่เก่าแก่มากนัก อาจจะเป็นเพราะแอฟริกาไม่เคยเจริญรุ่งเรืองมากเหมือนที่อื่น ๆ ก็เลยไม่ค่อยสร้างถาวรวัตถุทิ้งไว้มากนัก จวบจนอิสลามถูกเผยแพร่เข้าไป จึงเริ่มมีการสร้างมัสยิดกันมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันนี้มีมัสยิดดินที่สวยงามมากมายในแอฟริกา ส่วนมากจะมีอายุระหว่าง 200 – 700 ปี โดยเฉพาะมัสยิด Djenne ที่ประเทศมาลี ซึ่งก่อสร้างในศตวรรษที่ 13 ถือว่าเป็นอนุสาวรีย์ดินที่ใหญ่ที่สุดในโลก

3) แองก์ทวีปอเมริกา เคยมีร่องรอยของวัฒนธรรมบ้านดินในทวีปอเมริกาเหนือ โดยเริ่มจากทิศใต้ฝั่งตะวันตกแถว ๆ นิวเม็กซิโก อริโซนา ลงไปจนถึงเม็กซิโก และทวีปอเมริกาใต้ หลักฐานที่มีชื่อเสียงที่สุดคือ ซากสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ของอินเดียนแดงเผ่าอนาซาซี ที่เรียกกันว่าตีวา ตีวาเป็นสิ่งก่อสร้างที่เป็นรูปทรงกลม สร้างโดยขุดลงไปใต้ดินลึกประมาณ 2 – 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 – 4 เมตร ใช้อิฐดินดิบก่อเป็นกำแพงกลมขึ้นมาตามผนังก่อ แล้วก่อเลยพื้นดินขึ้นไปอีกประมาณครึ่งเมตร จากนั้นก็ใช้ไม้เนื้อแข็งทั้งท่อนวางพาดเป็นหลังคาแล้วคลุมด้วยดินแต่เหลือช่องเล็ก ๆ ไว้เป็นทางขึ้นลง เขาใช้ตีวาเป็นที่ประชุมและประกอบพิธีกรรม ในอาณาจักรของอนาซาซี จะมีซากของตีวาปรากฏให้เห็นอยู่ทั่วไป ซากของชุมชนที่น่าสนใจอีกแห่งคือ เมสอาเวอร์ด ซึ่งเป็นชุมชนสมัยโบราณที่สร้างหมู่บ้านอยู่ใต้หน้าผาขนาดใหญ่ และทั้ง

หมู่บ้านสร้างด้วยอิฐดินดิบ ก่อเป็นห้องติด ๆ กันและซ้อนกันขึ้นไป 2 - 3 ชั้น เหมือนตึกแถว เพราะมีหน้าผาเป็นหลังคากันแดดและฝนได้เป็นอย่างดี ทำให้หมู่บ้านแห่งนี้มีอายุยาวนานมากกว่า 700 ปี และชนเผ่านี้ได้สูญหายไปทิ้งให้หมู่บ้านแห่งนี้ร้างต่อมาอีกหลายร้อยปี ปัจจุบันเจ้าหน้าที่ของรัฐได้ปฏิสังขรณ์สถานที่แห่งนี้ให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว และเป็นแหล่งที่มึนนักท่องเที่ยวไปเยี่ยมชมเยียนปีและหลายแสนคน

หมู่บ้านเต้าของเผ่า พูเอลโบล ก็เป็นหมู่บ้านดินอีกแห่งที่น่าสนใจ สร้างด้วยอิฐดินดิบทั้งหมู่บ้าน รูปทรงเหมือนกล่องสี่เหลี่ยม วางซ้อนกันขึ้นสูงถึง 4 ชั้น ที่สำคัญคือ หมู่บ้านนี้มีอายุเป็นพันปี และมีคนอยู่อาศัยเรื่อยมายาวนานจนถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าจะกันไว้เป็นแหล่งท่องเที่ยว แต่ก็ยังมีผู้คนอาศัยอยู่ ถือว่าเป็นบ้านดินที่เก่าแก่ที่สุดที่คนยังใช้อยู่อาศัยตลอดมา

พูเอลโบล คืออินเดียแดงเผ่าหนึ่งซึ่งเชื่อกันว่าสืบเชื้อสายมาจากเผ่า อานาซาซี ซึ่งเผ่านี้เคยครอบครองอาณาบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐ ในระหว่าง ค.ศ.1 - ค.ศ.1300 เขาเคยอยู่แถบนี้มาอย่างน้อย 2,000 ปี นั้นหมายความว่า วัฒนธรรมการใช้ดินทำเป็นที่อยู่อาศัยในทวีปอเมริกาเริ่มกันมาอย่างน้อย 2,000 ปีแล้ว เรื่อยลงไปทางอเมริกาใต้ก็ยังมีคนทำบ้านดินกระจายอยู่ทั่วไปทั้งในอดีตและปัจจุบัน เป็นที่น่าสังเกตว่าบ้านดินจะได้รับความนิยมแพร่หลายมาก โดยเฉพาะในเขตทะเลทราย ซึ่งมีแต่ความแห้งแล้งทุรกันดาร และอุณหภูมิก็เลวร้ายมาก คือร้อนจัดในเวลากลางวัน และหนาวจัดในเวลากลางคืน โดยเฉพาะฤดูหนาวจะหนาวจนมีหิมะลง ซึ่งสภาพเช่นนี้ถ้าไม่มีเครื่องปรับอากาศหรือเชื้อเพลิงเพียงพอ มนุษย์คงอยู่ไม่ได้ แต่บ้านดินช่วยแก้ปัญหานี้ได้ด้วยผนังที่หนาและตันของบ้านดิน ซึ่งจะช่วยดูดซับความร้อนจากแสงแดดในเวลากลางวัน ทำให้ห้องภายในเย็นสบายทั้งวัน เพราะผนังหนาทำให้ความร้อนผ่านผนังบ้านได้ช้า กว่าความร้อนจะทะลุเข้าไปในห้องได้ก็ตกเวลาเย็นแล้ว ซึ่งเป็นเวลาที่อากาศข้างนอกเริ่มเย็นลง จึงทำให้ห้องอบอุ่นสบาย อีกปัจจัยหนึ่งคือ ในเขตทะเลทรายหาวัสดุอื่นที่จะใช้ก่อสร้างได้ยากมาก ดังนั้นคนในทะเลทรายจึงต้องสร้างบ้านด้วยวัสดุที่พอจะหาได้ในท้องถิ่น ซึ่งนั่นก็คือดิน

ส่วนหลักฐานที่เกี่ยวกับบ้านดินที่เป็นลายลักษณ์อักษรที่เก่าแก่ที่สุด คือ พระไตรปิฎก ซึ่งพระพุทธเจ้าได้กล่าวไว้มากมายในพระวินัย ในหมวดของการสร้างเสนาสนะ เช่นพระองค์ทรงห้ามภิกษุสร้างกุฏิดินอยู่เอง หรือห้ามฉาบผนังด้วยดินเกิน 3 ครั้ง เป็นต้น ซึ่งเหตุผลของการห้ามเหล่านี้คงเป็นเพราะมีภิกษุบางรูปทำกุฏิดินอยู่เอง และตกแต่งให้สวยงามเกินไป หรือฉาบหลาย ๆ ครั้ง ก็เป็นการทำให้ละเอียดประณีต

เทคนิคการสร้างบ้านด้วยดินที่ทดลองทำในประเทศไทย อาทิเช่น การก่อด้วยอิฐดินดิบ (Adobe) เทคนิคดินปั้น (Cob) การใช้เศษไม้หรือหิน (Cordwood or Stone) เทคนิคดินอัด (Rammed Earth) ในการสร้างบ้านดินแต่ละหลังไม่จำเป็นต้องใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเท่านั้น การเลือกเทคนิควิธีที่จะใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป (โจน, 2546)

#### 1) การก่อด้วยอิฐดินดิบ (Adobe)

การก่อสร้างด้วยอิฐดินดิบเป็นโครงสร้างระบบผนังรับน้ำหนัก จึงไม่จำเป็นต้องมีเสา แต่การทำช่องเปิดที่มีขนาดกว้าง ๆ จำเป็นต้องใช้การก่ออิฐให้มีลักษณะเป็นโดมโค้ง หรือโดมยอดแหลมเพื่อรับน้ำหนัก หรือใช้ไม้ (ใช้ได้ทั้งไม้ท่อนและไม้แผ่น) ทำเป็นคานทับหลังเพื่อรับน้ำหนักอิฐที่อยู่ด้านบน บ้านดินส่วนใหญ่ที่ทำในประเทศไทยมักจะใช้วิธีนี้ในการก่อสร้าง

ข้อดีของการสร้างด้วยอิฐดินดิบคือ สามารถก่อง่าย ๆ ทอยทำอิฐเก็บรวบรวมไว้ได้ เมื่อถึงเวลาที่จะเริ่มสร้างหรือมีจำนวนอิฐดินดิบที่เพียงพอแล้วจะสร้างได้เร็ว ผนังแห้งเร็วเมื่อก่อเสร็จแล้วสามารถฉาบได้ทันที

ส่วนข้อเสียของการสร้างด้วยอิฐดินดิบ คือทำผนังที่มีความโค้งมาก ๆ ได้ยาก ในการทำอิฐจำเป็นต้องมีสถานที่ในการตากอิฐและเก็บอิฐพอสมควร



รูปที่ 2.4 การย่ำดิน



รูปที่ 2.5 การทำอิฐดินดิบ



รูปที่ 2.6 การก่ออิฐดินดิบ

## 2) การก่อสร้างด้วยเทคนิคดินปั้น (Cob)

เทคนิคดินปั้นเป็นวิธีที่นิยมกันมากในอเมริกา และแถบอังกฤษ เป็นลักษณะการใช้ดินเหนียวผสมทรายและฟางเส้นยาว ปั้นเป็นก้อนแบน ๆ แล้ววางขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยใช้นิ้วกดลงไปเพื่อให้ฟางในดินก่อนใหม่ลงไปสานกับฟางในดินก่อนเก่า ซึ่งผนังที่ได้จะเป็นผนังรับน้ำหนักเหมือนผนังที่ก่อด้วยอิฐดินดิบ ผนังจะเป็นเนื้อเดียวกันหมดทั้งหลัง ทำให้มีความแข็งแรงกว่าผนังแบบอิฐดินดิบ แต่ต้องทำผนังให้หนากว่าแบบอิฐดินดิบโดยให้ผนังมีส่วนฐานที่กว้างกว่าส่วนบน

ข้อดีของการก่อสร้างด้วยเทคนิคดินปั้นคือ มีความเป็นศิลปะสูงเหมือนเป็นประติมากรรมขนาดใหญ่ มีข้อจำกัดในการทำรูปร่างต่าง ๆ น้อย มีความแข็งแรงสูง ไม่ต้องทำอิฐ และสามารถทำผนังขึ้นไปเรื่อย ๆ ได้เลยโดยไม่ต้องมีโครงไม้

ข้อเสียคือ เป็นวิธีที่ใช้แรงงานและเวลาในการก่อสร้างมาก แห่งชำเนื่องจากผนังที่หนา (ต้องทิ้งไว้เป็นเดือน) ถ้าผสมทรายน้อยจะทำให้หดตัวมาก ไม่เหมาะที่จะทำอาคารขนาดใหญ่

ส่วนผสมของดินเหนียว ทรายและฟางนั้น ขึ้นอยู่กับดินในแต่ละท้องถิ่น แต่ควรให้ทรายมีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับดินเหนียว เพื่อให้ผนังหดตัวน้อย อาจทดลองผสมดินเหนียว ทราย และฟาง แล้วปั้นเป็นก้อน ขนาดประมาณรองเท้าแตะ ทิ้งไว้จนแห้งแล้วลองหักดูว่าแข็งหรือเปราะอย่างไร ถ้าก้อนดินนั้นเปราะแสดงว่าต้องเพิ่มดินเหนียว



รูปที่ 2.7 โครงไม้ไผ่และการนำฟางที่คลุกดินมาหุ้มโครงไม้ไผ่

### 3) การก่อสร้างด้วยการใช้เศษไม้หรือหิน (Cordwood or Stone)

เป็นการใช้วัสดุที่ทำได้ในท้องถิ่นหรือวัสดุที่เหลือใช้ร่วมกับดิน สามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ โดยการใช้หิน หรือเศษไม้ มาก่อนในลักษณะคล้ายกับการก่ออิฐ โดยใช้ดินเหนียวที่ผสมทรายและแกลบเป็นตัวเชื่อม ลักษณะของเศษไม้ที่ใช้คือ ไม้ที่มีลักษณะเป็นท่อน ขนาดยาวประมาณ 20–30 เซนติเมตร นำมาก่อโดยวางขวางกับแนวผนัง ให้นำหน้าตัดของไม้หันออกแล้วฉาบทับด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน หรือใช้ไม้ท่อนขนาดใหญ่วางตั้งเรียงต่อกัน เพื่อให้เป็นผนังรับน้ำหนัก แล้วใช้ดินหุ้มทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันปลวกและแมลงต่างๆ

ข้อดี คือ เป็นการใช้เศษวัสดุและวัสดุที่มีในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ช่วยประหยัดเวลาในการทำอิฐ การใช้หินในการก่อไม่จำเป็นต้องฉาบ สวยงามและดูเป็นธรรมชาติ (อาจจะฉาบเฉพาะด้านในเพื่อความสะอาดในการใช้พื้นที่)

ข้อเสีย คือ ถ้าเศษไม้ไม่มีดินหุ้มอาจจะทำให้ปลวกขึ้นและมีโอกาสผุได้ง่าย การใช้หินก่อแทนอิฐดินเป็นงานค่อนข้างหนัก ต้องใช้หินเป็นจำนวนมากในการทำผนัง และต้องอาศัยความประณีตในการเลือกหินแต่ละก้อนด้วย

### 4) การก่อสร้างด้วยเทคนิคดินอัด (Rammed Earth)

ลักษณะของผนังเป็นผนังรับน้ำหนัก โดยอาศัยการทำไม้แบบตามลักษณะของผนัง แล้วใช้ดินอัดลงไปให้แน่น เมื่อดินแห้งแล้วจึงถอดแบบออก ค่อย ๆ ทำสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ เหมือนการหล่อผนังคอนกรีต ผนังที่ทำการหนาตั้งแต่ 20 เซนติเมตรขึ้นไป

ข้อดีของผนังแบบนี้ คือ งานออกมาดูเรียบร้อย เหมาะสำหรับการทำบ้านที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม ถ้าทำบ้านแบบเดียวกันหลาย ๆ หลัง จะประหยัดเพราะใช้ไม้แบบเพียงชุดเดียว มีความมั่นคงแข็งแรง  
ข้อเสีย คือ เปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของไม้แบบ ใช้เวลามาก

5) การก่อสร้างด้วยวิธีอื่น ๆ

นอกเหนือจากวิธีต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีอีกหลายวิธีการที่มีการทดลองสร้างในต่างประเทศได้แก่

- การใช้กระสอบ (Earthen bag) เป็นการใส่ดินอะไรก็ได้ที่มีอยู่ในพื้นที่ นำมาใส่กระสอบแล้วก่อในลักษณะเดียวกับการทำเขื่อนเวลาน้ำท่วม โดยการนำดินเปียกอัดใส่ในกระสอบซึ่งวางไว้บนผนังในตำแหน่งที่ต้องการวาง หลังจากที่ได้ดินจนเต็มแล้วก็วางนอนลง แล้วใช้ไม้กระทุ้งให้แน่น ระหว่างกระสอบแต่ละชั้นจะมีลวดหนามวางโดยรอบ ทำหน้าที่เป็นดินก่อ เชื่อมกระสอบแต่ละชั้นให้ติดกัน ในต่างประเทศมีการใช้กระสอบดินนี้ทำเป็นฐานรากสำหรับบ้านดิน หรือรั้วบ้าน บ้านดินหลายหลังในเม็กซิโก ใช้กรวดใส่ในกระสอบเพื่อใช้เป็นฐานรากป้องกันความชื้นจากพื้นดิน

ข้อดี คือ สร้างได้เร็ว ไม่มีเทคนิคที่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์มาก สามารถสร้างในหน้าฝนหรือแม้แต่ในพื้นที่ ๆ มีน้ำท่วมก็ได้ มีราคาถูก เหมาะสำหรับการสร้างบ้านเพื่อบรรเทาสาธารณภัย เพราะสิ่งที่ต้องใช้มีเพียง กล้วย กระสอบ และลวดหนาม เท่านั้น

ข้อเสีย คือ ทำให้ผนังเรียบได้ยาก ฉาบยาก และสิ้นเปลืองดินฉาบ

- การใช้ฟางก่อฉาบด้วยดิน (Straw bale) เป็นการใส่ฟางที่อัดเป็นก้อนนำมาก่อในลักษณะเดียวกับการก่ออิฐ ฟางที่อัดเป็นก้อนทำให้ผนังมีความหนาแน่น ซึ่งทำให้ผนังที่สร้างด้วยฟางอัดเป็นฉนวนที่ดีมาก สามารถป้องกันได้ทั้งเสียงและความร้อน ผนังฟางอัดนี้สามารถสร้างได้ทั้งเป็นผนังรับน้ำหนัก ใช้ทำผนังในโครงสร้างระบบเสา คาน (ตัวผนังไม่ได้รับน้ำหนักโครงสร้างหลังคา) หรือนำมาก่อติดกับผนังบ้านที่มีอยู่เดิมเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนก็ได้ หลังจากที่ได้ก่อผนังก้อนฟางอัดเสร็จแล้วสามารถใช้ดินเหนียวผสมทรายและแกลบ (ในลักษณะเดียวกับดินฉาบ) ฉาบก้อนฟางอัดลงไปได้เลย ข้อเสียของบ้านแบบฟางอัดคือ ถ้าก่อไม่เรียบร้อย หรือทำบ้านที่มีส่วนโค้งมาก จะทำให้เปลืองดินฉาบ และถ้าความชื้นเข้าไปในฟาง จะทำให้โครงสร้างเสียหายได้มาก สำหรับในบางประเทศที่มีกฎหมายรองรับบ้านดินประเภทนี้ มันจะถูกกำหนดให้มีโครงสร้างระบบอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรง (ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ ๆ มีแผ่นดินไหว) จึงต้องอาศัยการจ้างช่างผู้ชำนาญ ทำให้บ้านมีราคาแพงกว่าบ้านปกติทั่วไป (โจน, 2546)

## 2.2 ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง

สำหรับรูปแบบของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปนั้น 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 เป็นลักษณะโครงสร้างที่รับน้ำหนักจากแผ่นพื้นส่งผ่านน้ำหนักไปยังแผ่นผนังและลงสู่ฐานรากตามลำดับ โนโครงสร้างระบบนี้จะเน้นที่โครงสร้างแผ่นพื้นและแผ่นผนังรับแรงเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นหลัก ขนาดของแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการขนส่งและการติดตั้ง โครงสร้างระบบนี้ขนาดและน้ำหนักของแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาในการผลิต การส่ง และการติดตั้ง

3) Modular System เป็นลักษณะโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่อง 3 มิติ ในแต่ละโมดูลาร์ถือเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรภาพในตัวเอง ของโมดูลาร์อาจจะมีการทำงานในส่วน

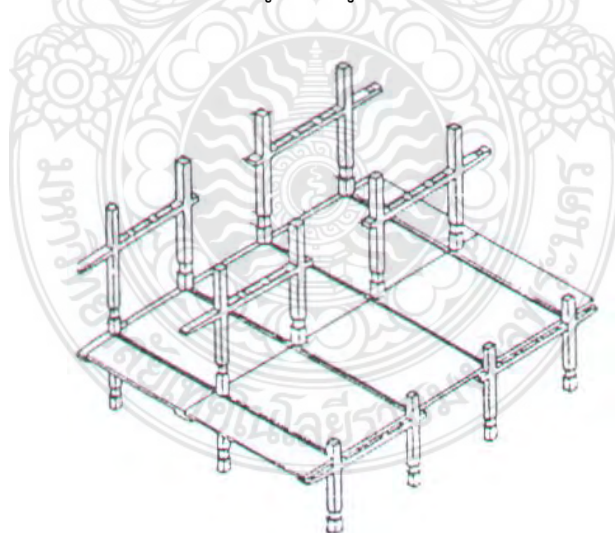
สถาปัตยกรรมและงานระบบมาเรียบร้อยแล้วจึงนำมาติดตั้งเป็นระบบโครงสร้างรวมของอาคาร แต่ละมอดูลาร์อาจจะมีลักษณะ เช่น รูปตัว U, รูปตัว C, รูปประฆัง, รูปกล่องสี่เหลี่ยม ข้อจำกัดของระบบนี้จะอยู่ที่การขนส่งและการติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถที่จะนำมาขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน และเครื่องจักรที่จะนำมาทำการยกติดตั้ง เนื่องจากชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ( मामी, 2541)

### 2.3 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การแบ่งประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูปของอาคารแบบอุตสาหกรรมนี้ สามารถแบ่งตามการแบ่งประเภทของระบบก่อสร้างอาคารแบบอุตสาหกรรมได้ เป็น 2 แบบ คือ ระบบเสาและคาน (Skeleton Construction) และระบบผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) โดยแต่ละแบบจะมีเนื้อหา เทคนิคและวิธีการติดตั้งที่แตกต่างกัน (ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521) ซึ่งสามารถจะแสดงรายละเอียดของการติดตั้งได้ดังต่อไปนี้

#### 1) ระบบเสาและคาน (Post and Beam, Frame)

โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปของเสาและคานกับผนัง ทั้งที่รับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนักชิ้นส่วนต้องเบาพอที่จะยกติดตั้งได้โดยง่ายจากแรงงานคน หรืออาจใช้เครื่องจักรช่วยในการประกอบติดตั้ง โดยหลักการของโครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูปก็คือ การรับน้ำหนักจากพื้น ที่ส่งไปสู่คานสำเร็จรูป และจากคานสำเร็จรูปส่งไปสู่เสาสำเร็จรูป โดยหลักการถ่ายน้ำหนักจะเหมือนกันแต่ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตในที่ กับโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูป คือ โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป มักจะมีแนวคานอยู่เพียงแนวเดียวเท่านั้น โดยจะไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้าน เหมือนกับระบบของโครงสร้างแบบหล่อในที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอย่างมาก ดังนั้นในระบบโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปจะมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวซึ่งไม่มีคานยึดอยู่นั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป

#### 2) ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System)

ระบบของผนังรับน้ำหนักคือการถ่ายแรงของโครงสร้างอาคารจากพื้นลงสู่ผนังและจากผนังลงสู่ผนังโดยตรง จะไม่ใช้คานและเป็นตัวรับแรง การติดตั้งระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) สามารถที่จะใช้การติดตั้งได้ทั้ง 2 ระบบคือการติดตั้งชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Joint) และการติดตั้งชิ้นส่วน

แบบเปียก (Wet Joint) ซึ่งการติดตั้งในทั้ง 2 แบบ สามารถใช้ได้ทั้งกับผนังรับน้ำหนักในระบบ Heave weight System และ Right weight System

## 2.4 ระบบประสานทางพิคัดหรือระบบโมดูล่า (Modular Coordination)

มิติ หรือ Dimension ในระบบประสานทางพิคัดในอาคาร ประกอบไปด้วย ข้อควรคำนึงต่างๆ มากมาย ได้แก่ มิติ, มิติอาศัยซึ่งกันและกัน, ความเบี่ยงเบน, ความคลาดเคลื่อน และมิติประสาน (ขวลิต, 2528) โดยในแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

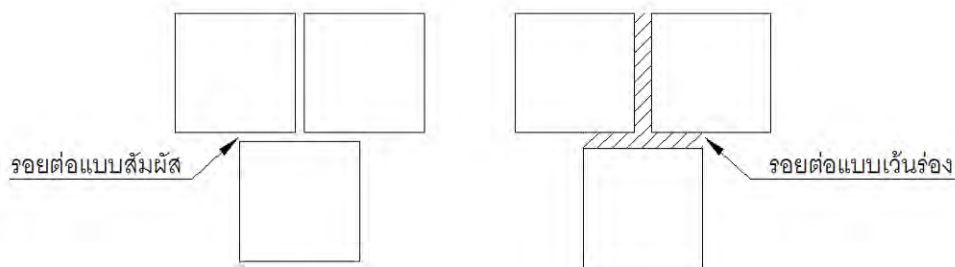
### 1) มิติ (Dimension)

มิติ คือ ระยะระหว่างจุด 2 จุด ในขั้นตอนการวางผัง และการออกแบบอาคาร มิติเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะถ้าหากเป็นการวางผังและการออกแบบอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแล้วมิติของส่วนประกอบสำเร็จรูปกับเนื้อที่ที่เตรียมไว้สำหรับติดตั้งส่วนประกอบนั้นควรกำหนดให้แน่ชัดและมีการประสานกันอย่างพอดี เรียกว่าเป็น มิติประสาน เพื่อแสดงถึงขนาดเนื้อที่ความต้องการของส่วนประกอบเมื่อรวมรอยต่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน มิติประสานนี้จะใช้ได้ผลดีเมื่องานชิ้นต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับมิติประสานนี้มีความถูกต้องแน่นอน (Accuracy) อย่างดี โดยเมื่อกำหนดระบบมิติประสานขึ้นมาแล้ว การนำไปใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของงานอาจนำไปใช้ได้ต่างสถานที่ต่างวาระหลายครั้ง หลายตอนได้ เช่น การออกแบบโดยสถาปนิก วิศวกร สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในขั้นตอนการผลิต ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือใช้ในขั้นการติดตั้งโดยคนงาน เป็นต้น การวัดหรือการใช้มิติในลักษณะที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดปัญหาในการวัดขึ้น ซึ่งสาเหตุอาจมาจากสาเหตุอื่นๆ จนทำให้ส่วนประกอบมีขนาดที่ผิดไปจากที่คำนวณไว้ ดังนั้นค่าความเบี่ยงเบน (Deviation) และความคลาดเคลื่อน (Tolerance) จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องกำหนดให้มีขึ้นให้แน่นอน ในเรื่องของมิติที่อาศัยซึ่งกันและกันโดยกำหนดว่าความเบี่ยงเบนควรที่จะมีค่าเท่าไรจึงจะเหมาะสม

### 2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension)

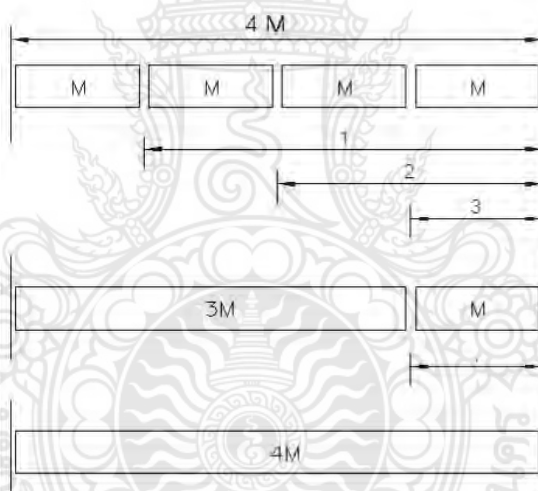
มิติอาศัยซึ่งกันและกัน คือ มิติที่ใช้ในการทำงานตามความสัมพันธ์โดยตรงกับมิติที่อยู่ก่อนในงานก่อสร้างอาคารย่อยประกอบด้วยงานหลายชนิดหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเสียในการก่อสร้างคือ การที่งานหนึ่งมีการรอกันโดยคนงานบางกลุ่มไม่สามารถที่จะทำงานต่อเนื่องได้ ต้องรอให้คนงานกลุ่มอื่นทำงานในส่วนนั้นๆ ให้เสร็จก่อน ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการที่งานส่วนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยมิติอาศัยซึ่งกันและกัน เช่น การสามารถติดตั้งหน้าต่างได้เนื่องจากพื้น ผนัง หรือเพดานยังติดตั้งไม่เสร็จ โดยงานออกแบบก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปพบว่า การจำกัดลำดับของงานที่เตรียมไว้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการรอกันออกไป แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องของความแม่นยำขึ้นมาแทน เนื่องจากการที่จะผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้มีขนาดที่แม่นยำจากความต้องการนั้นทำได้ยาก และทำให้ต้นทุนการผลิต รวมถึงค่าแรงสูงขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมากๆ ก็ยังไม่สามารถกำหนดขนาดให้มีความแม่นยำได้โดยทั่วทุกจุดในการออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้มิติอาศัยซึ่งกันและกันในส่วนที่ไม่มีความจำเป็น ซึ่งวิธีหลีกเลี่ยงมิติอาศัยซึ่งกันและกันที่ไม่จำเป็นในการก่อสร้างจำเป็นที่จะต้องมีความรีบง่ายและรวดเร็ว โดยมีหลักการในการหลีกเลี่ยงมิติอาศัยซึ่งกันและกันที่ไม่จำเป็น ดังต่อไปนี้

2.1) การใช้รอยต่อแบบสัมผัส หรือเว้นร่อง ควรใช้ให้น้อยแห่งที่สุด เพราะยังมีรอยต่อหลายแห่งก็จะยิ่งทำให้เกิดมิติอาศัยซึ่งกันและกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง

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



รูปที่ 2.10 มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ

2.2) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสเปลี่ยนมาเป็นการติดตั้งแบบขอบต่อขอบ หรือ ขอบต่อผิวแทน

2.3) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยึดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นยำในการผลิต

### 3) ความเบี่ยงเบน (Deviation)

ความเบี่ยงเบน คือ ความแตกต่างในการวัดระยะส่วนประกอบ กับขนาดทางพิภคของส่วนประกอบนั้นในการออกแบบ และก่อสร้าง โดยทั้งนี้จะทำงานด้วยขนาดที่กำหนดแน่นอน แต่การที่มีความแม่นยำในการปฏิบัติจึงต้องมีการคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนด้วยเสมอ ความเบี่ยงเบนนี้อาจเกิดขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งของการทำงานก็ได้ เช่น การควบคุมขนาดที่ไม่มีความระเอียด

เพียงพอ ในขั้นตอนการผลิต การยึดหดตัว หรือการสูญเสียรูปร่างเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการขนส่ง หรือการเก็บรักษาในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1) ความเปราะบางที่เกิดขึ้นในโรงงาน ในขั้นตอนของการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ความเปราะบางอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.1.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต

3.1.2) สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้

3.1.3) วิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ

3.2) ความเปราะบางที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง ในขั้นตอนของการติดตั้ง ความเปราะบางอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.2.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง

3.2.2) ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้

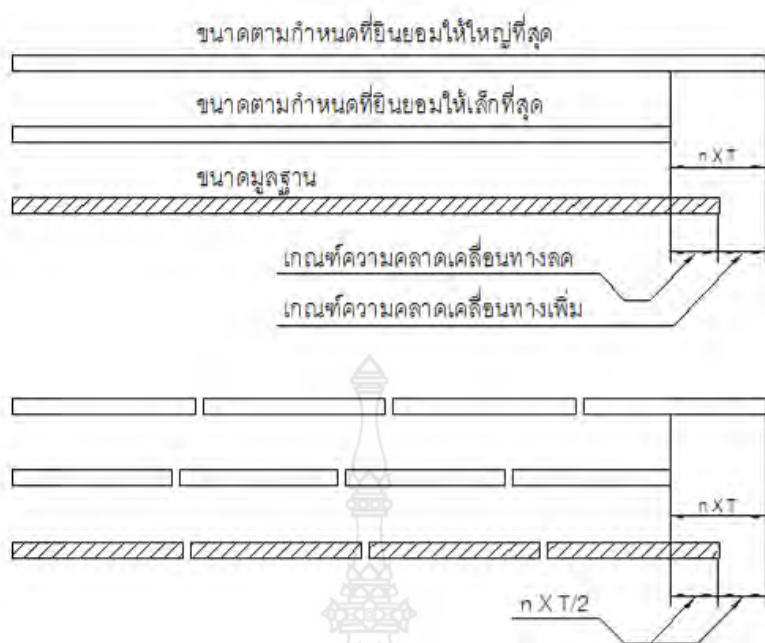
3.2.3) วิธีการในทำการงาน และการติดตั้ง

3.2.4) ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม

ซึ่งทั้งหมดนับเป็นปัญหาที่พบได้มากที่สุด เมื่อส่วนประกอบแต่ละชิ้นและการทำงานในแต่ละขั้นตอน ไม่มีความถูกต้องแม่นยำมากพอ จึงเกิดความเปราะบางขึ้นเป็นผลให้เกิดความยากลำบากในการผลิตติดตั้ง ส่วนประกอบในที่สุด การคิดตำแหน่งของส่วนประกอบ ควรที่จะคิดจากระยะที่เหลือหลังจากการติดตั้ง ส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว โดยควรพิจารณาแก้ไขในทุกๆ จุด ทุกๆ ปัญหาอย่างใกล้ชิด และยึดหลักความเปราะบางที่แท้จริงเป็นสำคัญ

#### 4) ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)

ความคลาดเคลื่อน คือ ค่าความแตกต่างของขนาดตามกำหนด ที่ยินยอมให้ขนาดใหญ่ที่สุด กับที่ยินยอมให้มีขนาดเล็กที่สุด โดยมีรูปแบบของความคลาดเคลื่อนอยู่ 2 ประเภท คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิต และความคลาดเคลื่อนที่เกิด ณ สถานที่ก่อสร้าง ในการก่อสร้างความเปราะบาง เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก การกำหนดความคลาดเคลื่อนจึงถือหลักที่ว่า จะยอมให้เกิดระยะเปราะบางได้มากที่สุดเท่าใดโดยการกำหนดความคลาดเคลื่อนให้ง่ายและมีความสะดวกมากที่สุด ควรจะกำหนดให้ ค่าความเปราะบางของขนาดมูลฐานในทางลด (Negative) มีค่าเท่ากับ ค่าความเปราะบางของขนาดมูลฐานในทางเพิ่ม (Positive) และถ้างานนั้นๆ มีความจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (เนื่องจากงานไม่มีความต้องการความแม่นยำ) ก็สามารถใช้ขนาดมูลฐานได้ โดยขนาดตามกำหนดในชั้นแบบร่าง เรียกว่า ขนาดมูลฐาน (Basic Size) และขนาดตามกำหนดในชั้นการผลิต เรียกว่า ขนาดใช้งาน (Work Size)



รูปที่ 2.11 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร

ในการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน ระยะเวลาที่วัดได้ (Actual Measurement) หลังการติดตั้งนั้นจะมีขนาดอยู่ในระหว่าง ผลรวมของขนาดเล็กที่สุดที่ยอมให้ กับขนาดใหญ่ที่สุดที่ยอมให้ และการวัดค่าความคลาดเคลื่อนรวม ให้ใช้การบวกความคลาดเคลื่อนของชิ้นส่วนที่ติดต่อกันเข้าด้วยกัน ซึ่งจะสามารถทราบความคลาดเคลื่อนรวมของชิ้นส่วนทั้งได้อย่างชัดเจนในทางปฏิบัติอาจมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นในทางลด หรือทางเพิ่ม หรืออาจเกิดขึ้นในด้านใดด้านหนึ่งทางเดียวก็ได้ แต่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดอาจจะมีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบแต่ละชิ้นรวมกัน

#### 5) มิติประสาน (Coordinating Dimension)

มิติประสาน คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบ หรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล Element

$$\text{ขนาดประสาน} = \text{ขนาดใช้งาน} + \text{เนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน} \quad (1)$$



รูปที่ 2.12 ขนาดของการประสาน

การเลือกมิติประสานสำหรับส่วนประกอบสำเร็จรูปจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรจะสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งจะมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มีค่านอนแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มีมิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆ ในปัญหาที่เกิดขึ้น

สำหรับผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกร มิติประสานมีความสำคัญมากในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะมีข้อยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามิตินั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่

#### 6) มิติประสานที่แน่นอน

มิติประสานที่แน่นอนคือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในการติดตั้งที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นต้องมีขนาดประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลีกย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถือมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง

ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มีรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดของเขตของเนื้อที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างไปภายในของเขตนั้นๆ เพื่อถือเป็นมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

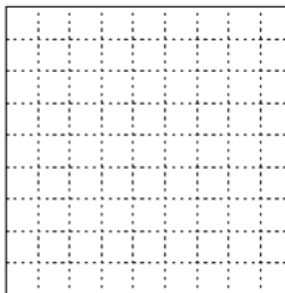
#### 7) มิติประสานที่ไม่แน่นอน

มิติประสานที่ไม่แน่นอนคือ ค่าความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึกโดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัส จำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเบี่ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบาภายในห้องควรอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่ม เพื่อให้สามารถตัดส่วนเกิดออกได้โดยง่าย

## 2.5 ตารางพิกัดมูลฐาน

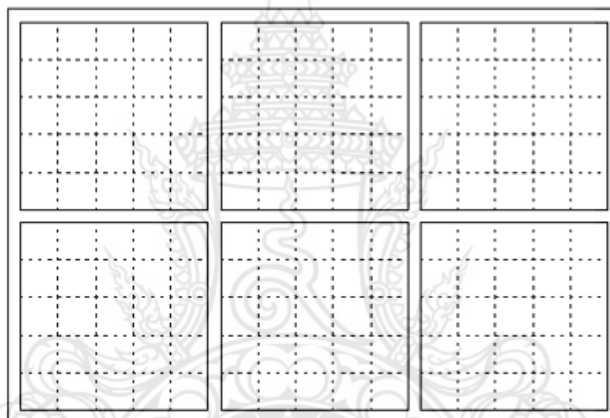
ตารางตามพิกัด หมายถึง การออกแบบอาคารจำเป็นต้องใช้ตารางตามพิกัดเป็นกรอบ โครงสร้างให้ส่วนประกอบอาคารต่าง ๆ ประสานกันได้ดีในเนื้อที่ ๆ กำหนด ตารางตามพิกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วิธี ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง และตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

#### 1) ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่ต่อเนื่องเป็นตารางเดียวตลอด



รูปที่ 2.13 ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง

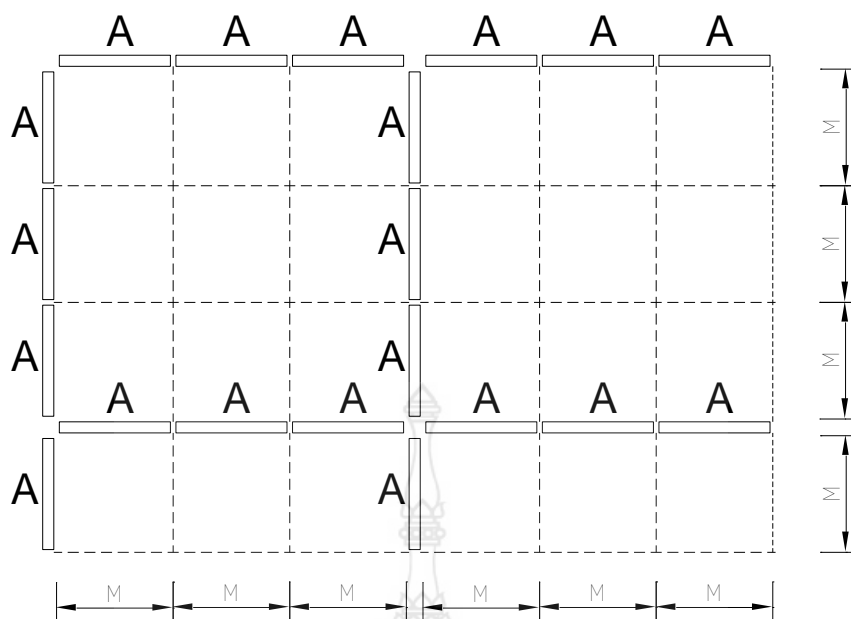
2) ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่แยกเป็นส่วน ๆ โดยมีเขตเป็นกลางของขนาดส่วนประกอบอาคารที่ไม่ลงพิกัดกันขวางอยู่เป็นระยะ ๆ หรือมีมิติของพิกัดที่แตกต่างกันมากขึ้นขวางแยกตารางแบบต่อเนื่องออกจากกัน



รูปที่ 2.14 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

## 2.6 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร

หลักการพิจารณาเลือกรูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปจะคำนึงถึงขนาดของพื้นที่ตำแหน่ง และระบบการเชื่อมผสานของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาตัดสินใจที่จะกำหนดขนาดของพิกัดมาตรฐานมาเป็นผู้ร่วมในการออกแบบในแนวตั้งอาคาร ลักษณะรูปแบบของตารางแผ่นผนังสามารถแบ่งได้ 31 รูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์ระบบประสานทางพิกัดตามแนวแกนตั้งของอาคาร จะใช้ตารางพิกัดแผ่นผนังอาคารแบบที่ 1 มาใช้ในการเสนอรูปแบบอาคารในระบบประสานพิกัดสำหรับอาคาร F6-33A และ F6-33B (วว., 2520)



รูปที่ 2.15 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบตารางระบบพิกัดแบบไม่ต่อเนื่องแบบที่ 1

ข้อดี	หมายเหตุ
ใช้รอยต่อได้ทั้งสองแบบ	คือ แบบ Wet Joint และ Dry joint
ขนาดพิกัดเป็นแบบระบบเปิด	$1 \text{ พ} = 0.60\text{ม.}$
มีจุดเชื่อมต่อน้อยจุด	ในกรณี 1 ชั้นงาน = $1 \text{ M}$ จะส่งผลให้มีต้ออาศัยซึ่งกันและกัน = 0 การออกแบบกำหนดให้ผนังภายในอยู่ในช่วงเส้นต่อของ ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง
ข้อด้อย	หมายเหตุ
มีมีต้ออาศัยซึ่งกันและกัน	ในกรณีที่ชั้นงาน 1 ชั้นไม่เท่า 1 ช่วงแบ่งของห้อง

## 2.7 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด

ตารางพิกัดอยู่ภายในกรอบของผนังรอบนอกและผนังกันภายในซึ่งแบ่งพื้นที่ใช้สอยเป็นตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถใช้กับระบบโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก หรือผนังสำเร็จรูปทั้งแบบระบบหนัก (Heavy weight System) และระบบเบา (Light weight System)

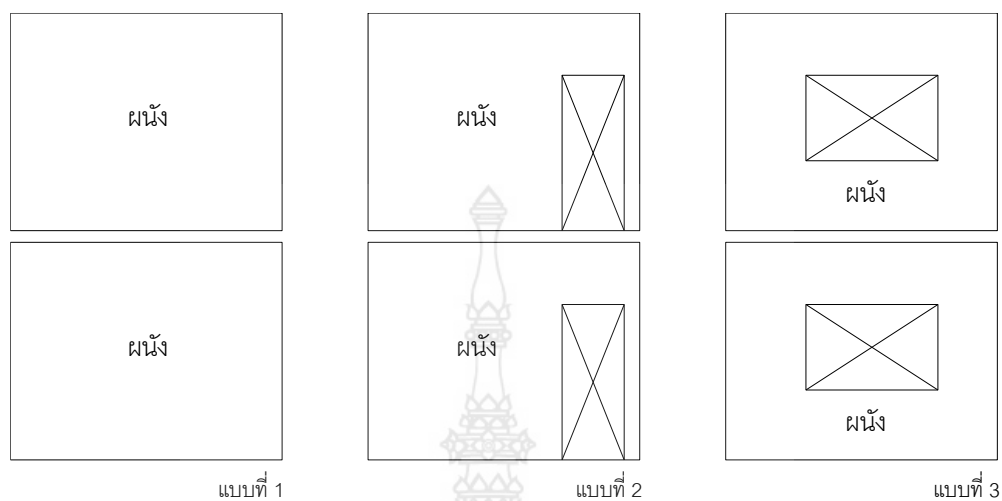
## 2.8 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง

โดยทฤษฎีแล้วสามารถจะแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 แบบ คือการติดตั้งผนังแบบ Horizontal Connection และการติดตั้งผนังแบบ Vertical Connection

### 1) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

การติดตั้งแบบแนวนอนของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งผนังโดยใช้ชั้นงานที่มีลักษณะแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบของโครงการที่มีอาคารแบบ Typical แปลน โดยจะแบ่งได้ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

- 1.1) การเชื่อมต่อของผนังทึบกับผนังทึบ
- 1.2) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของประตูกับผนังที่เป็นช่องเปิดของประตู
- 1.3) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่างกับผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่าง



รูปที่ 2.16 การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

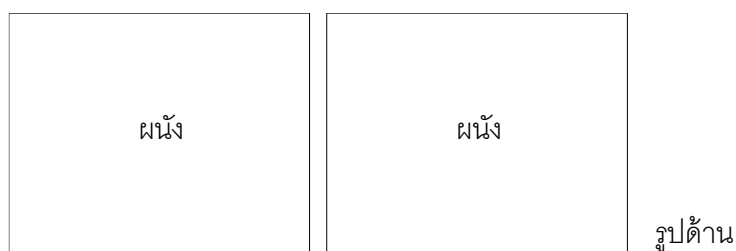
## 2) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

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 2.17 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection



รูปที่ 2.18 รูปแบบการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

## 2.9 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ตามพื้นฐานของการประกอบจตุรรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างอาคาร ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ต้องสามารถส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างได้ตามที่ออกแบบแรงดังกล่าว (มามี, 2541) ประกอบไปด้วย

1) แรงอัด (Compression) โดยการส่งผ่านแรงอัดระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1) การส่งผ่านแรงโดยตรง (Direct Contact) เป็นการถ่ายแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่สัมผัสกันโดยตรง จะไม่มีวัสดุใส่กันระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป เหมาะกับการใช้ที่มีแรงอัดหรือแรงกดไม่มากนัก

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

2) แรงดึง (Tensile Forces) การส่งผ่านแรงดึงระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถกระทำได้ดังนี้

2.1) การทาบเหล็ก (Lapping of Reinforcement Bars) เป็นลักษณะที่ใช้กันมาก เป็นการเว้นส่วนที่การทาบของเหล็กโครงสร้างที่รับแรงดึงและจะหล่อคอนกรีตในทีหลังจากติดตั้งเสร็จจำนวนและประมาณจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบ

2.2) การใช้โบลท์ สามารถใช้ส่งผ่านแรงทั้งแรงดึงหรือแรงเฉือน ลักษณะของโบลท์มีลักษณะเป็น แบบเกลียว แบบสมอ เป็นต้น

2.3) การเชื่อม ลักษณะเหมือนการทาบเหล็ก และใช้ระยะทาบน้อยลงโดยใช้รอยเชื่อมแทนการรับแรงดึงภายหลัง (Post-Tensioned) เป็นลักษณะจตุรรอยต่อที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแต่ละชั้นหรือระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะใช้เทนดอน Tendron เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายของเทนดอนไว้ที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดึงจะกระทำหลังจากหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแล้ว หรือหลังจากติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปแล้ว

3) แรงเฉือน (Shear Force) การส่งผ่านแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถส่งผ่านโดยวิธี ดังนี้

3.1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ (Friction Bond)

3.2) เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Shear Key)

3.3) การใช้โบลท์

3.4) การเชื่อม

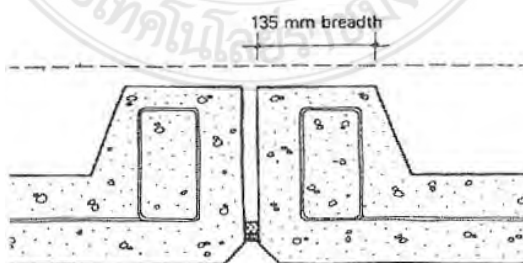
## 2.10 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร

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

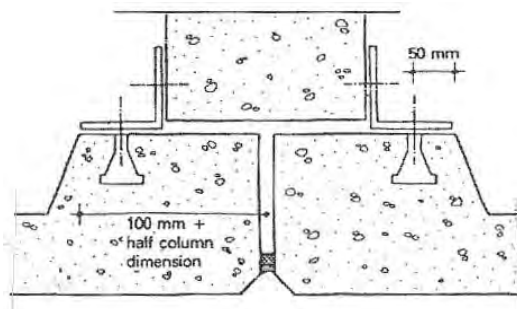
แต่เดิมที่เดียวในระยะต้นๆ ของการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูป ผู้ออกแบบมักจะพยายามเลียนแบบการก่อสร้างในระบบก่อสร้างในที่ โดยพยายามที่อุดรอยต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ให้แน่นหนา ดูกลมกลืนไปกับวัสดุก่อสร้างซึ่งเป็นที่มาของรอยต่อแบบปิด (Closed Joints) แต่จากประสบการณ์ของผู้ผลิตและผู้ออกแบบ ซึ่งพบว่ารอยต่อปิดนี้กันความชื้นจากข้างนอกได้ก็จริง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

### 1) รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

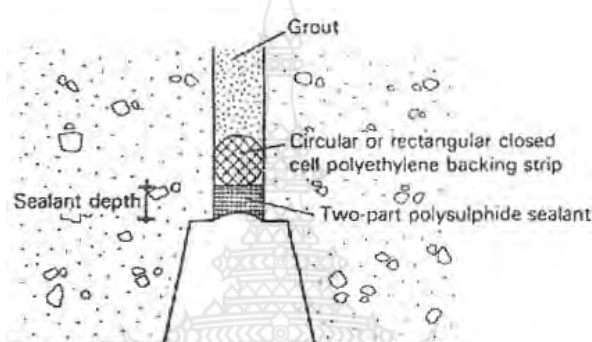
วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนพิคัด 2 ชิ้นส่วน ก็คือ การที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนี้ ได้แก่ การใช้รูปก่อ (Mortar) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของอิฐ อีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัด (Profile) ที่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้สนิท เช่น การเจาะร่องและการใส่พื้นไม้ อย่างไรก็ตามวิธีรอยต่อแบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะเป็นชิ้นที่ออกแบบมาพิเศษ มีลักษณะของตัวเองและต้องประกอบเข้ากับ “ส่วนรับ” ของอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ทำให้ขาดความคล่องตัวไม่สามารถใช้แทนชิ้นส่วนอื่นๆ ได้นอกจากนี้ เนื่องจากครึ่งหนึ่งของรอยต่อออกแบบมาเป็น “ตัวผู้” และอีกครึ่งหนึ่งออกแบบมาเป็น “ตัวเมีย” ทำให้การประกอบติดตั้งต้องเป็นไปตามลักษณะของรอยต่อ คือ เรียงไปตามขวามือโดยตลอดหรือซ้ายมือโดยตลอด เป็นต้น เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้จำนวนชิ้นส่วนต้องมีชนิดเพิ่มขึ้น เป็นภาระต่อหน่วยผลิตและหน่วยวางแผนก่อสร้าง



รูปที่ 2.19 รอยต่อของผนังกับผนัง



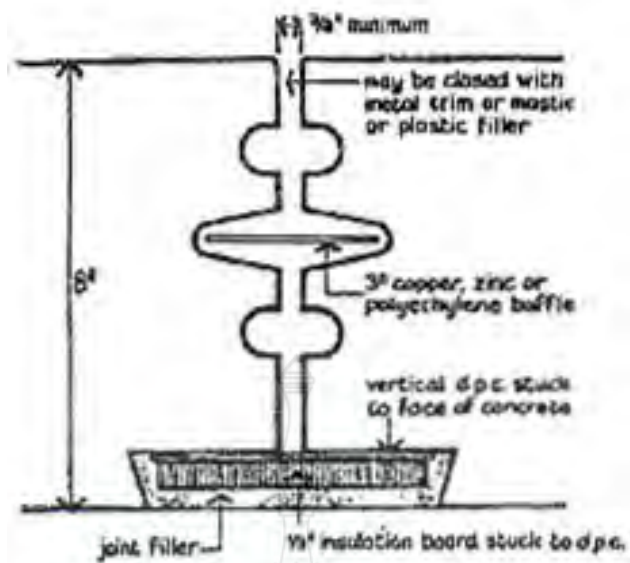
รูปที่ 2.20 รอยต่อของผนังกับผนังและเสา



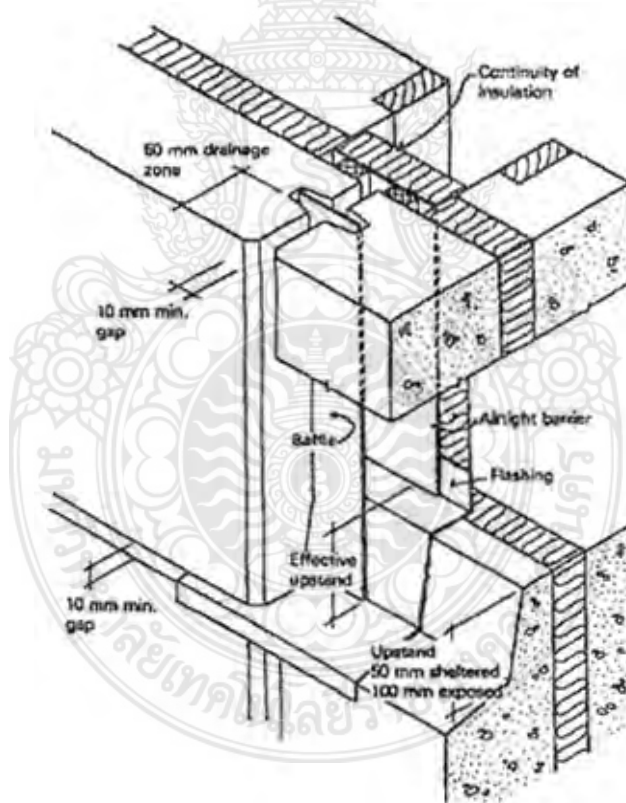
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว

## 2) รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints)

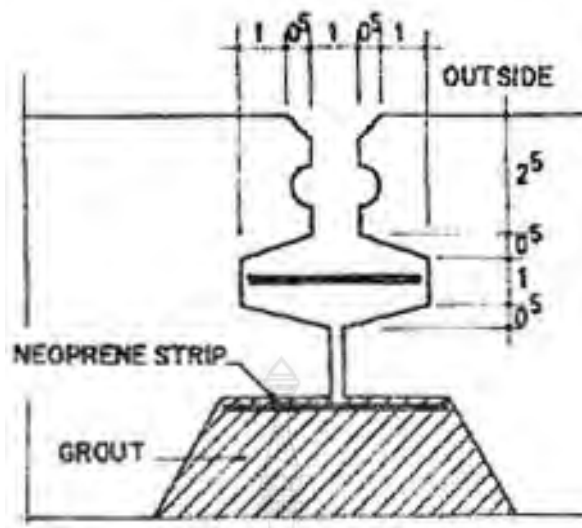
รอยต่อชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ (Large Precast Concrete Panels) แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน ซึ่งต่อไปเป็นตัวอย่างประกอบของรอยต่อของโครงสร้างชนิดต่างๆ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



รูปที่ 2.22 แบบทดลองในยุคนแรกของ Building Research Station



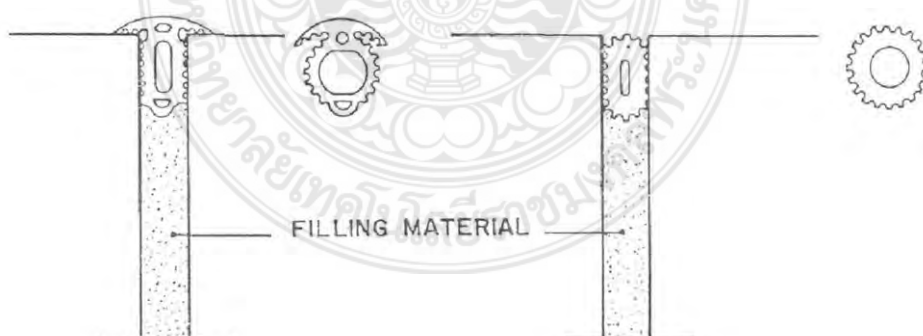
รูปที่ 2.23 รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคนแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง



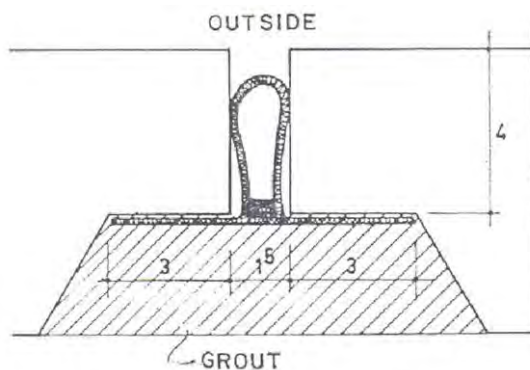
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints

### 3) รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)

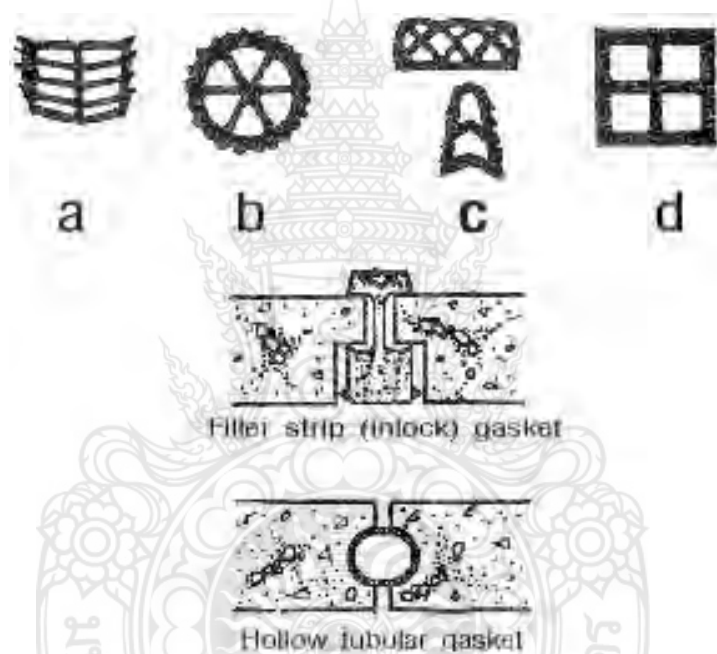
รอยต่อแบบนี้เกิดมาจากความก้าวหน้าทางวัสดุเคมีที่สามารถผลิตและพัฒนาสารประกอบประเภทยางสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างได้ผลดี โดยเฉพาะวัสดุที่เรียกว่า นีโอพรีน (Neoprene) สามารถนำมาเป็นประเก็น (Gasket) รูปร่างต่างๆ กัน ใช้งานทำรอยต่อได้ดี ประเก็นสามารถหล่อฝังในผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตที่เตรียมไว้ก่อน แล้วใช้แรงดันอัดให้ชิ้นส่วนผนังติดกับประเก็นแนบสนิท แล้วยึดผนังติดกับโครงสร้างให้แน่นต่อกันไปเรื่อยๆ ก็ได้ หรืออาจเว้นช่องว่างระหว่างผนังแล้วค่อยอัดประเก็นเข้าไปภายหลังจากที่ติดตั้งผนังเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ได้ ขนาดของรอยต่อวิธีการติดตั้งและคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆ มีความแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และบริษัทที่ผลิตจำหน่าย การใช้งานจึงต้องศึกษารายละเอียดและรับคำปรึกษาจากบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 2.25 รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)



รูปที่ 2.26 ลักษณะรอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)



รูปที่ 2.27 รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป

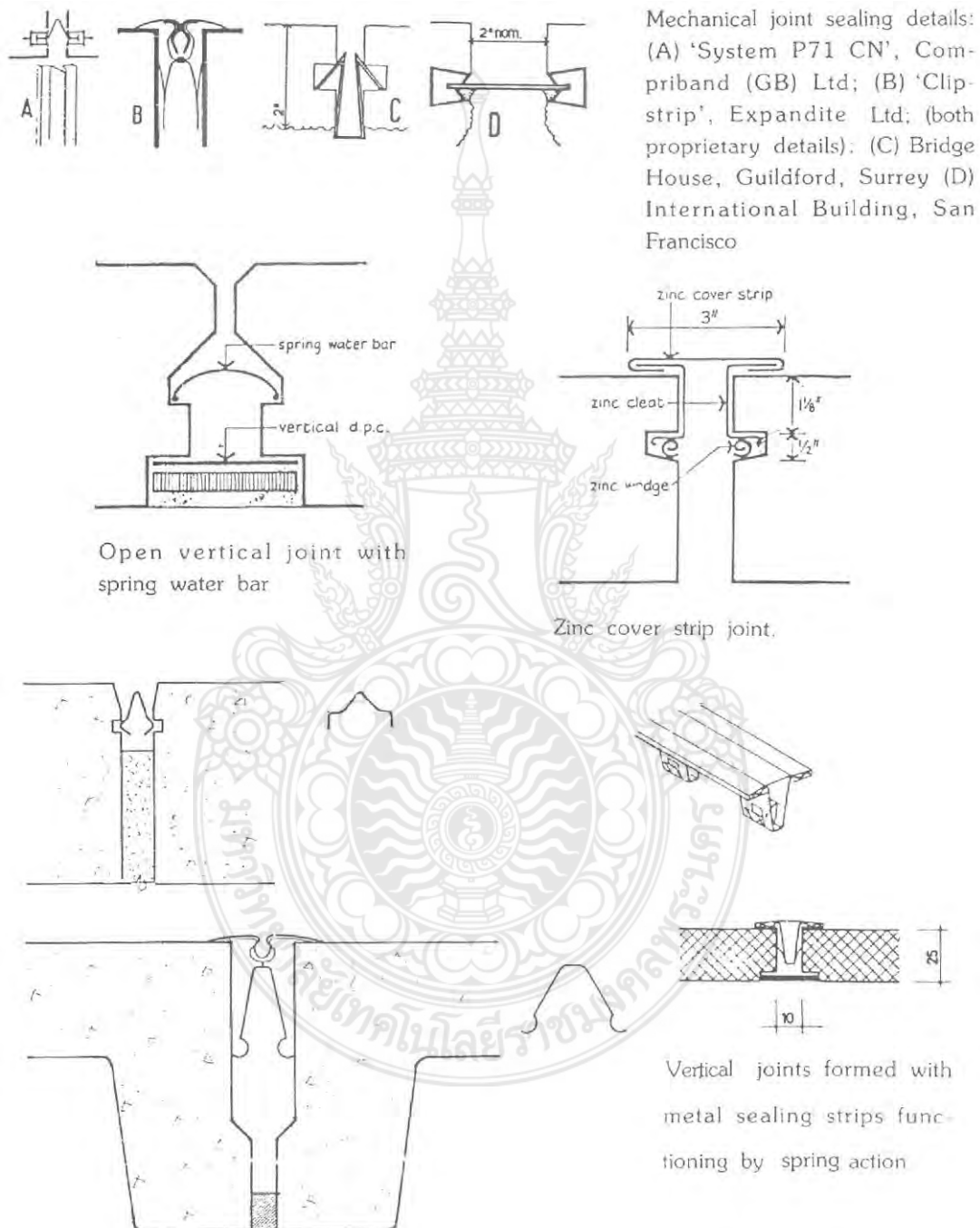
โดยรูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไปนั้น มาจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน  
ได้แก่

- (a) Neoferma' neoprene gasket by Colebrand Ltd. London;
- (b) Schlegel gasket, Schlegel (UK) Ltd;
- (c) two Bostik 'Profile Seals', Bostik Ltd;
- (d) 'Servicore' rectangular section, Service Division of W.R. Grace Ltd.

#### 4) รอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อพิเศษที่ออกแบบหรือผลิตขึ้นใช้กับอาคารเฉพาะกรณี สถาปนิกมักจะใช้เพื่อเน้นรอยต่อให้อาคารมีรูปด้านที่สวยงามหรือแปลกตาเป็นพิเศษ หรือใช้กับรอยต่อของผนังในเขตที่มีการทรุดตัวของอาคารหรือการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง รอยต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย อาจเป็นเพราะราคาแพงหรืออาจเป็นเพราะรอยต่อจะเด่นแลเห็นชัดเจนมาก ยากในการควบคุมรูปด้านถ้าไม่ได้

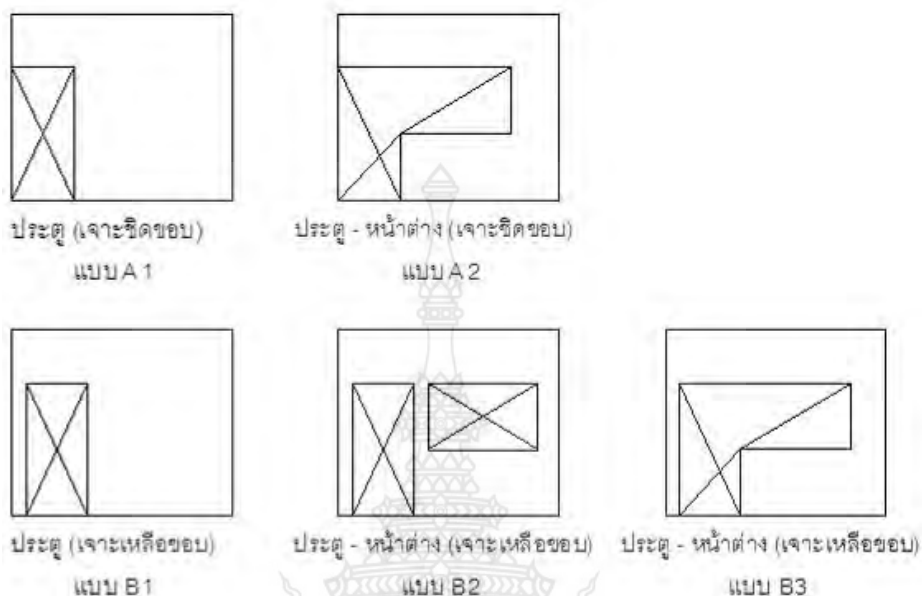
ออกแบบไว้ล่วงหน้าให้ดีพอ ท้ายๆ ไปมักใช้โลหะที่สามารถบีบให้หดตัวและขยายตัวได้เหมือนกับสปริง ใส อยู่ในช่องรอยต่อ (Spring Water Bar) หรือเป็นครอบรอยต่อที่ยึดติดกับผิวหรือแกนที่สอดอยู่ในช่อง รอยต่อ (Fixed Cover-Strip) คล้ายๆ กับงานปิดรอยต่อของวงกบหน้าต่างอลูมิเนียม การออกแบบทำได้ หลายแบบ การติดตั้งก็คล้ายๆ กับรอยต่อประเภทที่ใช้ประเก็น คือกดอัดเข้าไปในช่องรอยต่อเมื่อติดตั้งผนัง เสร็จแล้วหรืออาจติดตั้งตามลำดับขั้นตอนไปพร้อมๆ กับการติดตั้งผนังก็ได้ (Herz, 1975)



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

## 2.11 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป

จากการออกแบบตำแหน่งของช่องประตูและหน้าต่างสำหรับโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นสามารถสรุปเป็นแนวคิดได้ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.29 ทางเลือกการเจาะประตู - หน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป

### ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ

ข้อดี	หมายเหตุ
ผลิตชิ้นงานได้ง่าย	-
สามารถขนส่งชิ้นงานได้ง่าย	-
ข้อด้อย	หมายเหตุ
วงกบประตูด้านชิดขอบต้องมาติดตั้งภายหลัง	ถ้าติดตั้งมาเลยอาจชำรุดเสียหาย
การถ่ายน้ำหนักของชิ้นงานไม่สมดุล	-
ทำการเชื่อมประสานระหว่างชิ้นงานได้ยาก	ระยะชนขอบของคอนกรีตมีน้อย

### ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ

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

## 2.12 ดินเหนียว

ดินเหนียว ตามพจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์อังกฤษ-ไทย (พลยุทธ, 2529) หมายถึง วัตถุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีลักษณะเนื้อเดิม ซึ่งมีเนื้อละเอียด ปกติจะมีความเหนียวเมื่อเปียกน้ำ และจะแข็งแกร่งเมื่อแห้ง

American Ceramic Society ได้ให้ความหมายไว้ว่า ดินเหนียวเป็นหินเม็ดเล็กมากเมื่ออบทำให้มีขนาดพอเหมาะจะมีความเหนียวเมื่อเปียก และจะแข็งเมื่อแห้งเมื่อผ่านการเผาจะมีเนื้อคล้ายหินอย่างถาวร

โดยทั่วไปดินเหนียว จะประกอบด้วย แร่ดิน (Clay Minerals) ที่มีขนาดเม็ดแร่ละเอียดปนกับสารอินทรีย์ และแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งมีขนาดเล็กละเอียด เช่นเดียวกัน แต่มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2.0 ไมโครเมตร) แร่อื่นๆ ที่มีอยู่ในดินเหนียวที่ไม่ใช่แร่ดิน ได้แก่ ควอร์ต (Quartz) เฟลสปาร์ (Feldspar) โดโลไมต์ (Dolomite) แคลไซต์ (Calcite) ซีโอไลต์ (Zeolite) เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) แมงกานีสออกไซด์ (Manganese Oxide) ทิตาเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide) และอื่นๆ และนอกจากนี้ดินยังหมายถึงหินดินดาน (shale) อีกด้วย (พลยุทธ, 2529)

### 1) ส่วนประกอบทางธรณีวิทยาของแร่ดินเหนียว

ส่วนประกอบทางธรณีวิทยาของแร่ดินเหนียวแบ่งออกเป็น 4 ประการ (ชาญ, 2528) ดังนี้

1.1) แร่ปฐมภูมิ (Primary Minerals) หมายถึงแร่ที่เกิดขึ้นครั้งแรกจากหินอัคนี (Igneous Rock) แร่ที่สำคัญคือ หินเขียวหนุมาน หินฟันม้า และไมกา เป็นต้น

1.2) แร่ทุติยภูมิ (Secondary Minerals) ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (weak acid) หินฟันม้าจะเปลี่ยนไปเป็นแร่กาลิน (Kaolinite) ไมกาจะเปลี่ยนไปเป็นแร่ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบดั้งเดิมเช่น มัสโคไวท์ ไมกาจะเปลี่ยนไปเป็นคลอไรท์หรือเวอร์มคูไลท์ และคาดว่าในที่สุดจะเปลี่ยนไปเป็นแร่กาลินเช่นกันในสภาวะเป็นด่างจากสภาวะที่กล่าวมาให้เห็นว่าแร่ทุติยภูมิเป็นแร่ที่มีต้นกำเนิดมาจากแร่ปฐมภูมิ โดยเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงจะให้ผลที่ได้รับต่างกัน

1.3) สารอินทรีย์ (Organic Matter) สารอินทรีย์หรือสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ ประกอบอยู่มีผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญต่อดินเหนียว

### 1.4) น้ำที่มีอยู่ในดินเหนียว มีรูปแบบต่างๆ 7 รูปแบบ (ชาญ, 2528) ดังนี้

(1) Combinate Water มีในดินเหนียวในรูปของ Hydroxy Group บางครั้งอาจเรียกว่า water of constitution น้ำในรูปนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งของ Crystal lattice และจะหลุดออกมาต่อเมื่อแร่เกิดการสลายตัวขณะที่ได้รับอุณหภูมิสูง

(2) น้ำผลึก (Water of Crystallization หรือ Hydrate Water) น้ำในรูปนี้สามารถขจัดออกไปได้ โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก และสารที่ได้หลังจากขับน้ำออกไปจะมี Atomic Configuration เหมือนเดิม สามารถนำกลับสู่รูปเดิมได้โดยใส่น้ำเข้าไปเช่นกัน

(3) Broken – Bond Water น้ำในรูปนี้ถูกดูดซึมไว้ด้วยขอบผลึกที่ขูดประจุแรงที่ยึดน้ำในรูปนี้แข็งแรงมาก การกำจัดน้ำในรูปนี้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก

(4) Colloidal Water คล้ายกับ Broken – Water แต่แรงยึดน้อย

(5) Absorbed Water เป็นน้ำที่อยู่ใน Crystal lattice ในส่วนที่สัมผัสกับอากาศซึ่งต้องใช้อุณหภูมิในการขับน้ำออกไป

(6) Absorbed Water น้ำในรูปนี้จะอยู่เฉพาะผิวแร่เท่านั้น ปริมาณของ Absorbed Water จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นผิวแร่

(7) Free Water น้ำในรูปนี้ไม่มีการรวมตัวกับของแข็งใดๆ เลยแต่อยู่อย่างโดดๆ ในช่องว่างของแร่ เมื่อมีมากจะมีผลทำให้เนื้อดินมีความเหนียวกว่าปกติ

2) ประเภทของดินเหนียวจำแนกได้ตามคุณลักษณะ

การจำแนกตามชนิดของแร่ดินเหนียวสามารถแยกเป็นชนิดได้ (ชาญ, 2528) ดังนี้

- (1) ดินขาว (Kaolin)
- (2) ดินเหนียวดำ (Ball Clay)
- (3) ดินทนไฟ (Fire Clay)
- (4) เบนโทไนท์ (Bentonite)
- (5) ฟูลเลอร์ เอิร์ท (Fuller Earth)
- (6) ดินเหนียวชนิดอื่นๆ รวมทั้งหินดินดาน (Shale)

การจำแนกตามลักษณะที่เกิด แบ่งเป็น 3 ลักษณะดังนี้

- (1) แบบเกิดอยู่กับที่ (Residual Clay)
- (2) แบบที่ถูกพัดพามาจากแหล่งกำเนิด (Transported Clay)
- (3) แบบที่ได้จากการที่น้ำแร่ไปแทนที่ในหิน (Hydrothermal)

3) สถานการณ์แร่ดินเหนียว

ดินเหนียวหรือ (Ball clay) เป็นดินที่เกิดจากตะกอนทับถมของ แร่ดินขาว ประกอบด้วยแร่กาโอลิน เป็นส่วนใหญ่ ต่างจากดินขาวคือมักมีอินทรีย์วัตถุเจือปน จากรายงานการสำรวจเรื่องดินและผลการทดสอบดินเหนียวพบว่าดินเหนียวเกิดทั่วทุกภาคของประเทศไทยแต่มีคุณสมบัติดี และมีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากจะมีในเฉพาะใน ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้โดยสถานการณ์ของแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเซรามิก (ชาญ, 2528) ในแต่ละภูมิภาคมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1) ดินเหนียวภาคเหนือ

ดินเหนียว จังหวัดเชียงใหม่ เป็นดินเหนียวที่นำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ ซีลาคอน เครื่องสังคโลก กระเบื้องประดับ และกระเบื้องมุงหลังคา แหล่งดินเหนียวได้มาจาก ตำบลแม่หยวก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นดินใต้ผิวน้ำ และบริเวณใต้กองพักทหารสัตว์ต่าง อำเภอแม่ริมและที่ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ดินจากเชียงใหม่นี้มักจะมีทราย และไมกาปนพอสมควรและนิยมใช้กันเฉพาะภายในเขตจังหวัดเชียงใหม่เท่านั้น ส่วนที่ จังหวัดเชียงรายมีการพบดินเหนียวดำคุณภาพดีจากการทำเหมืองดิบบุกในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า แต่ยังไม่มีการผลิตในเชิง อุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นที่กิ่ง อำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูนก็เคยพบดินเหนียวดำชนิดดีและเคยมีการผลิตจำหน่ายอยู่ระยะหนึ่งก่อนที่สายแร่บริเวณนั้นจะหมดไป

3.2) ดินเหนียว จังหวัดลำปาง

ดินเหนียวใน จังหวัดลำปางมีมากมายหลายชนิด เหมาะกับงานเซรามิกประเภทต่างและพบกันหลายอำเภอ เช่น อำเภอวังเหนือ อำเภอแม่เมาะ อำเภอเมือง อำเภอห้างฉัตร อำเภอแจ้ห่ม และอำเภอแม่ทะ ดินที่น่าสนใจยิ่งคือเป็นดินที่มีคุณภาพดีเหมาะแก่การนำมาผลิตสินค้าในเชิงอุตสาหกรรมและมีการผลิตจำหน่ายในขณะนี้คือ ดินขาวเหนียวจากบ้านแจ้คอน ตำบลทุ่งผึ้ง อำเภอแจ้ห่ม และดินเหนียวสีน้ำตาลจากบ้านแม่ทาน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

3.3) ดินเหนียว แจ้คอน

ดินเหนียว แจ้คอน เป็นดินเหนียวที่มีความละเอียดมาก ก้อนดินลื่น ให้ความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นของชั้นดินที่เผาแล้วสีขาว มีประมาณ 50-60 ซม. ต้องเปิดหน้าดิน 4-5 เมตร เหมาะที่จะใช้กับการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน นอกจากนั้นเพราะคุณสมบัติอันพิเศษ นิยมนำมาบดเป็นผงละเอียดเพื่อใช้เพิ่มความเหนียวในการทำแบบของโรงหล่อโลหะกรรม และสามารถนำมาใช้ผสมทำซอล์คุณภาพดีสำหรับช่างตัดเสื้ออีกด้วย ราคาดินเหนียวแจ้คอนถึงกรุงเทพฯ ราคาประมาณตันละ 1,000 บาท

### 3.4) ดินเหนียวแม่ทาน

ดินจากแหล่งผลิตนี้มีหลายชนิด เช่นดินสีเหลือง และดินสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณสำรองทั้งหมดมีประมาณ 5 ล้านตัน ดินสีขาว และสีเหลือง ชนิดที่มีทรายปนน้อยเหมาะจะใช้ผสมทำกระเบื้องชนิดต่างๆ ดินสีน้ำตาลหรือสีดามีความเหนียวดีกว่า เป็นที่นิยมใช้ผสมทำเครื่องสุขภัณฑ์และลูกถ้วยไฟฟ้า ปัจจุบันมีการเปิดดำเนินการในบริเวณใกล้เคียงกัน 3 เข้มือง ผลการตรวจสอบดินแม่ทานสีน้ำตาลประกอบด้วย หินเขียวหนุมาน ประมาณ 28% ส่วนใหญ่เป็นเกาลินที่ผิดปกติและมีไมกาที่ผิดปกติ ปนเล็กน้อย ความต้องการดินเหนียวดำของโรงงานใน จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำปาง และดินเหนียวจากลำปางที่ส่งไปยังที่ต่างๆ ประมาณว่ามีเดือนละ 2,000 ตัน ราคาดินแหล่งแม่ทานจากจังหวัดลำปาง ถึงกรุงเทพฯ ชนิดเกรด A ตันละ 850 บาท เกรด B ตันละประมาณ 650 บาท

### 3.5) ดินเหนียวภาคกลาง

ในภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือดินดำใต้ท้องนาจากแหล่งผลิต ตำบลโคไม้ลาย อำเภอมือง จังหวัดปราจีนบุรี นับว่าสำคัญที่สุด ความต้องการเดือนละ 5,000 ตัน เป็นที่นิยมใช้ของกลุ่มโรงงานเซรามิกที่สระบุรีเพราะอยู่ใกล้ ราคาดินดำปราจีนบุรีถึงกรุงเทพตันละ 250 บาท ราคาส่งแถบสระบุรีตันละ 200 บาท ผลการตรวจสอบดินดำปราจีนบุรี ประกอบด้วย หินเขียวหนุมานประมาณ 18% ส่วนใหญ่เป็น montmorillonite มี chlorite ปนบ้าง มีไมกาที่ผิดปกติ และเกาลินปนเล็กน้อยดินเหนียวดำ จังหวัดปราจีนบุรีนี้ เมื่อเผาแล้วมักออกสีเหลืองฟางถึง น้ำตาลอ่อน แต่มีความเหนียวดี ราคาถูก และผลิตง่าย ปัจจุบันมีผู้ผลิตรายใหญ่อยู่ 2 ราย

ดินเหนียวจากอำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี เป็นดินที่มีคุณสมบัติดีมากอีกแหล่งหนึ่ง เพราะเผาแล้วสีขาว แต่เนื่องจากชั้นดินบางประมาณ 50-80 ซม. และหน้าดินหนาประมาณ 4-5 เมตร เนื่องจากเป็นแหล่งเล็ก ไม่ค่อยคุ้มต้นทุนการผลิตขณะนี้จึงหยุดการผลิตตรวจสอบพบว่า ประกอบด้วย หินเขียวหนุมานประมาณ 8% ส่วนใหญ่เป็นเกาลินที่ผิดปกติมี Microcline ปนเล็กน้อย และมีไมกา chlorite และแร่เหล็ก ปนอยู่ด้วยแต่น้อยมาก

### 3.6) ดินเหนียวจากภาคใต้

ดินเหนียวจากภาคใต้เป็นที่รู้จักกันดีในวงการเซรามิกในนามของดินดำสุราษฎร์ซึ่งเป็นบริเวณกว้างขวางในเขต อำเภอบ้านนาสาร อำเภอยะรัง อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นอกจากนั้นยังพบในบริเวณใกล้เคียงคือ อำเภอฉวาง อำเภอพิปูน อำเภอลานสกา อำเภอร่อนพิบูลย์ และอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราชนอกจากนี้ ได้มีการพบดินขาวเหนียวคุณภาพดี ที่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราชอีกด้วย ส่วนในจังหวัดอื่นๆ มีการพบดินเหนียวคุณภาพดีแต่ยังมิได้มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เช่นที่ จังหวัดยะลาและจังหวัดภูเก็ต ความต้องการดินดำจากสุราษฎร์และนครศรีธรรมราชมีเดือนละ 2,000 ตัน ราคาถึงกรุงเทพ ประมาณตันละ 750 บาทปริมาณแหล่งสำรองมีมากพอสมควรและคงเกิดการขาดแคลนในอนาคต

### 3.7) สรุปเรื่องดินเหนียวในภาคต่างๆ

ดินเหนียวในประเทศไทยเท่าที่พบและได้ทดสอบ มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก ดินที่เผาแล้วมีสีขาว และทนไฟสูง พบส่วนใหญ่ในภาคใต้ ดินเหนียวที่ทนไฟปานกลาง-ต่ำ พบกันมากในภาคเหนือ โดยเฉพาะใน จังหวัดลำปาง แนวโน้มความต้องการในอนาคต คือ ดินเหนียวที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ดินเหล่านี้จะได้จากการทำเหมืองที่ถูกต้อง และการผสมดินเพื่อให้ได้คุณภาพที่ต้องการ ดังนั้นดินเหนียวแหล่งที่มีความเหมาะสมในการทำบ้านดินนั้น มีหลายแหล่งด้วยกัน คือ ดินเหนียวจาก จังหวัดเชียงใหม่ ก็เกิดจากการทำนา (ลักษณะคล้ายดินเหนียวที่ทำกรก่อสร้างบ้านดิน ณ อาศรมวงศ์สนิท คลอง 15 จังหวัดปทุมธานี) ดินเหนียวสีน้ำตาลจาก จังหวัดลำปาง ดินเหนียวแจ้ซ้อน ที่มีความละเอียดของดินเหนียวสูง จะทำให้มีความแข็งแรงมากรวมถึงดินดำใต้ท้องนาของภาคกลาง ที่มีความเหมาะสมในการทำบ้านดิน

เช่นกัน จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นได้ว่า หากมีการทำก่อสร้างบ้านดินขึ้นนั้น จะสามารถก่อสร้างได้หลายภาคของประเทศไทย ซึ่งนับเป็นผลดีต่อการจัดหาแหล่งวัตถุดิบ เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย (วินัย, 2537; จงรัก, 2547)

### 2.13 ไม้ไผ่

ไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นพืชที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในจังหวัดแถบพื้นที่ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปลูกได้ง่าย และโตไว ดังนั้นจึงเป็นแนวความคิดในการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพราะเมื่อตัดไม้ไผ่ไปทำเส้นใย ก็จะไม่ปลูกทดแทน ทำให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ให้ไม้ไผ่ใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ทั้งด้านเกษตรกรรม หัตถกรรม และอุตสาหกรรม สามารถส่งออกเส้นใยไม้ไผ่แข็งชั้นส่วนแบ่งทางการตลาดกับประเทศที่ผูกขาดการขายส่งเส้นใยไม้ไผ่ได้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดวัสดุแบบใหม่ เกิดนวัตกรรมใหม่ภายในประเทศ เพื่อส่งเสริมการปลูกพืชโตเร็ว สร้างรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกร ลดการใช้ทรัพยากรอื่นที่หายากใช้แล้วหมดไป และเพื่อการปรับเปลี่ยนอุตสาหกรรมแปรรูปแบบดั้งเดิมทางการเกษตรอุตสาหกรรมไปสู่อุตสาหกรรมฐานความรู้และมีการแปรรูปแบบสมัยใหม่มากขึ้น (วินัย, 2537)

#### 1) คุณสมบัติของไม้ไผ่มีค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 500-800 กก./ม.<sup>3</sup> ไม้ไผ่มีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดีมาก จากการศึกษาพบว่าไม้ไผ่มีความแข็งแรงเทียบเท่าไม้และพืชเส้นใยบางชนิด เช่น *Shorea robusta* และ *Tectona grandis* คุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่ที่ได้จากการทดลองในประเทศออสเตรเลีย มีดังนี้

- กำลังรับแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 1,000 – 4,000 กก./ซม.<sup>2</sup>
- กำลังรับแรงอัด (Compression strength) เท่ากับ 250 – 1,000 กก./ซม.<sup>2</sup>
- กำลังรับแรงดัด (Bending strength) เท่ากับ 700 – 3,000 กก./ซม.<sup>2</sup>
- โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เท่ากับ 100,000 – 300,000 กก./ซม.<sup>2</sup>

ไม้ไผ่มีถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติอย่างกว้างขวางเกือบทุกส่วนของโลก ทั้งในเขตกึ่งหนาว เขตอบอุ่น และเขตร้อน ยกเว้นในทวีปยุโรป โดยมีการกระจายพันธุ์มากที่สุด ในแถบร้อนทางตอนใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย กล่าวคือ มีการกระจายพันธุ์ถึง 45 สกุล (genera) 750 ชนิด (species) ในขณะที่ไม้ไผ่ทั่วโลกมีประมาณ 75 สกุล 1,250 ชนิด ส่วนที่พบในประเทศไทยมีประมาณ 13 สกุล 60 ชนิด อย่างไรก็ตาม ไม้ไผ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง มีประมาณ 12 ชนิด ดังนี้

- ไม้ตง (*Dendrocalamus asper*)
- ไม้รวก (*Thyrsostachys siamensis*)
- ไม้รวกดำ (*Thyrsostachys oliveri*)
- ไม้ป่า (*Bambusa bambos* ชื่อที่ใช้กันดั้งเดิม คือ *B. arundinacea*)
- ไม้สีสุก (*Bambusa blumeana*)
- ไม้เลี้ยง (*Bambusa sp.*)
- ไม้ซาง (*Dendrocalamus strictus*)
- ไม้ซางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*)
- ไม้ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*)
- ไม้ไร่ (*Gigantochloa albociliata*)
- ไม้บงดำ (*Bambusa tulda*)
- ไม้หวาน (*Bambusa sp.*)

นอกจากนี้ ยังมีไม้ไผ่ที่นิยมปลูกเป็นพืชประดับ ได้แก่ ไม้ทอง (Schizostachyum brachycladum; ไม้ไผ่พื้นเมืองของประเทศไทย), ไม้เหลือง (Bambusa vulgaris), และ ไม้หน้าเต้า (B. vulgaris cv Wamin)

จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการนำไม้ไผ่มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของคนในทุก ๆ ด้าน ตั้งแต่ ที่อยู่อาศัย อาหาร เครื่องกีฬา เครื่องดนตรี เครื่องมือเกษตรกรรม ตลอดจนเป็นเครื่องศิลปกรรมของคนแต่ละชาติ และรวมถึงวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม และการสันถนาการหรือการใช้ประโยชน์ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ การนำไม้ไผ่มาเป็นวัสดุในการก่อสร้างบ้านหรือส่วนต่างๆของโครงสร้าง ทำให้ราคาค่าก่อสร้างถูกลง การก่อสร้างสามารถกระทำได้ง่าย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับวัสดุก่อสร้างอื่นที่ไม่ได้นำมาจากธรรมชาติมีน้อยกว่า ในประเทศจีนโบราณ มีการศึกษาและบันทึกลักษณะของไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ มานานกว่า 1,000 ปี (317-420 ค.ศ.) แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ที่ค้นพบใหม่ได้ถึง 266 สายพันธุ์ (1985) อย่างจริงจังในปี ค.ศ.1970 และสามารถจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ในประเทศจีนนั้นเพิ่งจะเริ่มต้น

ในปีคริสต์ศักราช 1978 (พุทธศักราช 2521) องค์การอาหารและเกษตรแห่ง สหประชาชาติ (FAO) ได้รายงานไว้ว่า มีการค้นพบชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ในโลกจำนวน 1,250 ชนิด (Species) ซึ่งส่วนมากกระจายพันธุ์โดยทั่วไปอยู่ในเขตเอเชีย-แปซิฟิก และจากรายงานในปี 1985 ขององค์การ IDRC (Internation Development Research Centre) แห่งรัฐบาลแคนาดา สามารถจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ไผ่ในประเทศต่าง ๆ พอสรุปชนิดของ ไม้ไผ่ (Species) ได้ (วินัย, 2537) ดังนี้

- ประเทศจีน มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 300 ชนิด
- ประเทศอินเดีย มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 130 ชนิด
- ประเทศไทย มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 50 ชนิด
- ประเทศบังคลาเทศ มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 32 ชนิด
- ประเทศฟิลิปปินส์ มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 55 ชนิด
- ประเทศอินโดนีเซีย มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 31 ชนิด
- ประเทศมาเลเซีย มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 12 ชนิด
- ประเทศปาปัวนิวกินี มีชนิดไม้ไผ่จำนวน 26 ชนิด

### 2) ชนิดและการกระจายพันธุ์ของไม้ไผ่ในประเทศไทย

ในประเทศไทยพบว่ามีไม้ไผ่ตามธรรมชาติอยู่ประมาณ 13 สกุล (Genus) 50 ชนิด (Species) แต่อาจจะมีมากกว่าจำนวนที่กล่าวนี้ เนื่องจากนักพฤกษศาสตร์ที่ศึกษาวิจัยจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ไผ่มีอยู่จำนวนจำกัด ซึ่งก็มีบ่อยครั้งที่ค้นพบชนิดไม้ไผ่เพิ่มเติมแต่ไม่สามารถจำแนกชนิดพันธุ์ได้อย่างถูกต้อง

### 3) ความสำคัญและลักษณะเด่น

ไม้ไผ่ จัดว่าเป็นพืชอเนกประสงค์ชนิดหนึ่ง ที่มีความสัมพันธ์กับชีวิตและความเป็นอยู่ของคนไทยมาแต่โบราณ ส่วนของไม้ไผ่ที่ให้ประโยชน์แก่มนุษย์อย่างมหาศาลคือหน่อและลำโดยเฉพะอย่างยิ่งชาวชนบทที่รู้จักนำเอาลำไม้ไผ่มาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย หรือใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับ อุตสาหกรรมในครัวเรือน ตลอดจนรู้จักการนำหน่อมาบริโภคในรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ไม้ไผ่ยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ ไม้ไผ่เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างอัศจรรย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่อไผ่ บางชนิดมีการพุ่งตัวได้สูงถึง 90 - 120 ซม. ภายในเวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนั้นไม้ไผ่ยังเป็นพืชที่ค่อนข้างจะลึกลับ กล่าวคือไม่มีใครสามารถคาดคะเนอายุหรือเวลาในการออกดอกของไม้ไผ่ในป่าธรรมชาติได้อย่างถูกต้อง มนุษย์รู้จักไม้ไผ่และการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่เป็นอย่างดี ในขณะที่ยังขาดมาตรการในการอนุรักษ์ อีกทั้งการศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับ

ธรรมชาติของไม้ไผ่ และการจัดการทรัพยากร ไม้ไผ่ยังเป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องกระทำต่อไปในอนาคต เพื่อตอบสนองความต้องการทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างต่อเนื่องและถาวรสืบไป

#### 4) ลักษณะทั่วไป

ไม้ไผ่ เป็นพืชยืนต้น มีลำต้นกลมและกลวงตรงกลาง มีข้อกระจายอยู่ทั่วไปเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ลำต้น เส้นใยของลำไม้ไผ่จะประสานกันแน่น มีความเหนียว และมีแรงหยุ่นตัว ทำให้สามารถโค้งงอหรือดัดได้ตามต้องการ เปลือกหรือผิวของลำไม้ไผ่จะแข็งและเรียบเป็นมัน โดยปราศจากการตกแต่ง ไม้ไผ่แต่ละชนิดมีลักษณะภายนอกแตกต่างกันไป บางชนิดมีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากชนิดอื่นอย่างชัดเจน แต่บางชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ทำให้เกิดอุปสรรค ในการจำแนกพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้ไผ่เป็นพืชที่สามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม และผันแปรพันธุ์ได้ง่าย ไม้ไผ่ชนิดเดียวกันขึ้นอยู่กับที่มีสภาพทางภูมิศาสตร์ และปริมาณน้ำฝน แตกต่างกัน จะมีลักษณะแตกต่างกันไป (วินัย, 2537)

### 2.14 การคัดเลือกไม้ไผ่เพื่อใช้ในการก่อสร้าง

#### 1) การเลือกลำไผ่

ลำไผ่ที่มีอายุเท่านั้นที่ควรตัด ส่วนลำไผ่ที่อายุน้อยไม่ควรที่จะตัด ประการหนึ่งที่จะต้องระวังคือไม่ควรจะตัดไผ่มากเกินไป เพราะจะทำให้ไผ่ที่เหลือไม่สามารถเกิดขึ้นมาทดแทนได้ทัน จนถึงสูญพันธุ์ก็เป็นได้ ในทางพฤกษศาสตร์ และสภาพภูมิอากาศ ไม้ไผ่ที่พร้อมที่จะนำไปใช้งานเมื่อมีอายุประมาณ 3 – 5 ปี อายุของไผ่สามารถดูได้จากสีของลำไผ่ แต่วิธีการนี้ก็ไม่เป็นที่แน่นอนนัก วิธีการที่เชื่อถือได้มากวิธีหนึ่งในการหาอายุของไม้ไผ่คือ การทำเครื่องหมายไว้ทุกลำต้นของไม้ไผ่ในทุก ๆ ปี ในตำแหน่งเดียวกัน ถ้าจะเลือกใช้ไม้ไผ่ที่มีอายุ 4 ปี ดังนั้นลำไผ่ที่จะทำการตัดก็ต้องมีเครื่องหมายที่ทำตำหนิไว้ 4 อัน ไผ่ที่ตายหรือเสียหาย ก่อนที่จะได้ตามที่ต้องการ สามารถที่จะตัดหรือย้ายออกไปได้ทุกเวลา

#### 2) ช่วงเวลาในการตัด

การตัดไม้ไผ่นั้นควรที่จะทำในฤดูที่แห้ง เพราะว่าช่วงนั้นไม้ไผ่จะมีความชื้นน้อย การทำการขนส่งได้ง่ายกว่า และลดความเสี่ยงต่อการเกิดราและมดกัด ดังนั้นในระหว่างฤดูฝนไม่ควรทำการตัดไผ่เป็นอันขาด ฉะนั้นช่วงที่เหมาะสมกับการตัดไผ่ คือ ช่วงหลังจากฤดูที่แห้ง จะดีที่สุด

#### 3) วิธีการตัด

ระบบตัดหมด (Clear Cutting System) ระบบนี้เป็นระบบไม้ไผ่ที่ทำการตัดไผ่ทุกลำ ตลอดทั้งพื้นที่ การขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อใหม่ขึ้นมาทดแทนจากเหง้าเดิมที่อยู่ในดิน ซึ่งลำไผ่จะไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ภายในการเจริญเติบโตประมาณ 6 เดือน ดังนั้นระยะการตัดที่เหมาะสม คือควรตัดให้เสร็จสิ้นก่อนฤดูฝน ทั้งนี้เพื่อให้หน่อใหม่มีระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ และเป็นการหลีกเลี่ยงอันตรายในการตัดไม้ออกด้วย

### 2.15 การรักษาไม้ไผ่ให้มีอายุยืนนาน

#### 1) วิธีแช่น้ำ

การแช่น้ำเพื่อทำลายสารต่าง ๆ ในเนื้อไม้ที่มีอาหารของแมลงต่าง ๆ เช่น พวกน้ำตาล และแป้งหมดไป การแช่ต้องแช่ให้มิดลำไผ่ ถ้าเป็นน้ำที่ไหลจะมีระยะเวลาแช่น้ำสำหรับไม้สด ประมาณ 3 วัน ถึง 3 เดือน แต่ถ้าเป็นไม้ไผ่แห้งต้องเพิ่มเวลาอีกประมาณ 15 วัน

#### 2) วิธีใช้ความร้อน หรือการสกัดน้ำมันจากไม้ไผ่

ก่อนนำมาสกัดน้ำมันควรตั้งฟิงเอาส่วนโคนไว้ตอนบน การสกัดน้ำมันออกจากไม้ไผ่ทำได้โดยใช้ความร้อนด้วยไฟ หรือต้ม วิธีการสกัดน้ำมันด้วยไฟทำให้เนื้อไม้มีลักษณะแกร่ง ส่วนการสกัดน้ำมันด้วยวิธีต้มนั้นเนื้อไม้จะอ่อนนุ่ม

### 3) วิธีการใช้สารเคมี

เป็นวิธีที่จะได้ผลดีกว่าการปิ้งหรือต้ม ซึ่งอาจทำได้ทั้งวิธีการชุบหรือทาน้ำยาลงไปที่ไม่ใช่ หรือโดยวิธีอัดสารเคมีเข้าไปในเนื้อไม้

### 4) การทำให้ไม้แห้ง

เพื่อให้สามารถเก็บไม้ที่ไม่มีความชื้นเป็นเวลานาน การทำให้ไม้แห้งมี 2 วิธี ดังนี้

4.1) การตากธรรมชาติ ให้เอาลำต้นที่ขังไว้ในที่ร่มอากาศปลอดโปร่งถ่ายเทได้ดี เอาโคนกลับขึ้นไว้ทางด้านบน ผึ่งไว้ประมาณ 3 – 4 เดือน สำหรับไม้ซีกให้เอามาวางเรียงบนกระดานให้มีช่องว่างโปร่งและผึ่งไว้ประมาณ 10 – 20 วัน

4.2) การทำให้แห้งด้วยเครื่อง เป็นการงานได้ดีกว่าวิธีธรรมชาติ วิธีการทำให้แห้งนั้นอาจทำการอบไม้ให้แห้งโดยนำเข้าห้องอบ ให้ความร้อนต่ออากาศด้วยสตรึมเครื่องไฟฟ้าจากเปลวไฟหรือด้วยการเป่าความร้อนเข้าไปในห้องอบ อีกวิธีหนึ่งคือทำให้แห้งด้วยเครื่องความร้อนสูงและทำให้มีความกดดันหรือทำให้แห้งด้วยวิธีสุญญากาศ

ข้อดีของโครงสร้างไม้แห้ง คือ

- เป็นกรรมวิธีที่ถนอมที่ชาวบ้านสามารถทำได้ด้วยตนเอง และใช้เครื่องมือที่หาง่ายทั่วไป
- สามารถใช้ประโยชน์จากไม้ได้เต็มที่ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายให้กับธรรมชาติ เหมือนกับไม้เบญจพรรณ และสามารถปลูกทดแทนได้ ภายในระยะเวลา 4 – 5 ปี เท่านั้น
- ลักษณะทางกายภาพของไม้แห้ง เป็นลักษณะของโครงสร้างในอุดมคติสำหรับใช้ในพื้นที่มีแผ่นดินไหว

เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นแล้ว ไม้แห้งมีราคาถูกกว่าทั้งในขั้นตอนการก่อสร้างและบำรุงรักษา

## 2.16 ยางพารา

ยางพาราหรือยางธรรมชาติ (Para Rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่นสูง ทั่วไปจึงเรียกรวม ๆ ว่า “elastomer” อย่างไรก็ตาม ตำราบางเล่ม ให้ความหมายคำว่า “elastomer” หมายถึง vulcanised product (Barlow, 1993) น้ำยางสดจากต้นยางโดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป และอาจถึงร้อยละ 45 (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณร้อยละ 5 นอกนั้นเป็นน้ำส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ จึงควรทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น เพื่อความประหยัดการขนส่ง ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือ ร้อยละ 60 เนื้อยางแห้งโดยทั่วไปเรียกว่า “น้ำยางข้น (concentrated latex)” โดยที่การใช้ น้ำยางข้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าการใช้ยางสด ทั้งนี้เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่เนื้อยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากน้ำยางขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้น มี 4 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) และวิธีการปั่น (centrifuging) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุดประมาณร้อยละ 90 ของการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด โดยที่คุณภาพน้ำยางสดเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำยางข้นที่จะผลิต ดังนั้นสมบัติบางประการของน้ำยางสดจึงต้องตรวจสอบและควบคุม การผลิตน้ำยางข้นในประเทศส่วนใหญ่รักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก (HA) จะมีเพียงส่วนน้อยที่รักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด มักเป็นระบบ LA-TZ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการรักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยระบบที่อยู่ระหว่าง HA กับ LA ซึ่งเรียกกันว่าน้ำยางชนิด MA (medium ammonia) โดยขณะนี้ได้มีการชื้อน้ำยางชนิดนี้ตามความต้องการของลูกค้า โดยข้อขัดจำกัดของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยาง

ชั้น โดยมาตรฐาน ISO นั้น ได้กำหนดสมบัติที่สำคัญเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อออกส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นองค์ประกอบ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (total solids content; TSC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content; DRC) (วรารกรณ์, 2523)

## 2.17 การปรับปรุงยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีข้อดีในด้านสมบัติเชิงกลและมีข้อบกพร่องที่สำคัญ 2 ประการ คือ การต้านทานต่อน้ำมัน และการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม (ออกซิเจน โอโซน ความร้อน และแสงอัลตราไวโอเล็ต) ต่ำ สมบัติเหล่านี้สามารถปรับปรุงได้เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ หรือยางที่มีสมบัติเด่นที่ต้องการ เช่น นำยางธรรมชาติผสมกับยางอะครีโลไนไตรบิวตะไดอิน จะช่วยเพื่อความต้านทานน้ำมัน และเมื่อนำยางธรรมชาติผสมกับยางเอทิลีนโพรพิลีนบิวตะไดอินเพื่อปรับปรุงการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถที่จะแก้ไขข้อบกพร่องของยางธรรมชาติได้ด้วยวิธีทางเคมี (เสาวรจน, 2537) โดยสรุปได้ ดังนี้

### 1) การผสมยางกับยาง (Rubber-Rubber Blend)

ยางชนิดต่างๆ จะมีสมบัติที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสมบัติที่ต้องการไม่ครบถ้วน ยางแต่ละชนิดอาจจะขาดสมบัติบางอย่างที่ผลิตภัณฑ์นั้นต้องการ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ด้วยการผสมกันของยางที่ต่างชนิดกันตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่า เพื่อให้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการได้อย่างครบถ้วน การผสมกันของยางนี้อาจจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ การผสมยางสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การผสมในสถานะของยาง
- การผสมในสถานะของสารละลายยาง
- การผสมในสถานะน้ำยางร่วมกับสารละลายยาง
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกล (mechanical)
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกลร่วมกับสารเคมี (mechanochemical)
- การผสมในสถานะของยางผง (powder or particulate form)

เทคนิคที่สะดวกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมยาง คือ ใช้เทคนิคผสมโดยเครื่องมือกล ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ได้แก่ เครื่องบดผสมแบบระบบเปิด (Open mill or Two roll mill) หรือเครื่องบดผสมแบบระบบปิด (Internal mixers) โดยการผสมยางนี้อาจใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์หรือใช้ยางสังเคราะห์ผสมกับยางสังเคราะห์

## ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ

สมบัติ	NR	SBR	BR	IIR	CR	NBR
Resilience	H	M	VH	L	M	FL
Tensile strength	VH	H	M	M	H	H
Tear strength	VH	M	M	M	H	M/L
Abrasion resistance	H	H	VH	M/H	H	M
Wet Skid resistance	L	H	VL	VH	-	-
Oxidation resistance	M	M	M	H	M	M
Permeability	H	M	VH	L	FL	L

หมายเหตุ

VH = สูงมาก,

H = สูง,

M = ปานกลาง

VL = ต่ำมาก,

L = ต่ำ,

FL = ค่อนข้างต่ำ

สำหรับการผสมยางกับยางไม่ว่าจะเป็นการผสมยางสังเคราะห์กับยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์นั้น ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

#### 1.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการผสมยาง

- Polymer ratio
- Phase morphology
- Interfacial adhesion and crosslink
- การกระจายตัวของสารตัวเติม (filler) ภายในยาง
- การกระจายตัวของสารเติมแต่ง (Plasticizer) ภายในยาง
- การกระจายตัวของการเชื่อมต่อกันภายในยาง
- ปัจจัยอื่นที่มีผล ได้แก่ ความหนืด และความแตกต่างด้านความมีขี้ของยางแต่ละชนิด

1.2) การใช้ยางผสม ยางที่นำมาผสมกันจะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ จะมียางชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในยางอีกชนิดหนึ่ง โดยแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่

ก) Continuous phase เป็นส่วนของยางที่เป็นพื้น matrix

ข) Disperse phase เป็นส่วนของยางที่เข้าไปกระจายในส่วนของ continuous phase

เพื่อที่จะให้เกิดการกระจายตัวของยางเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ยางทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันควรจะมี ความหนืดเท่าๆ กัน เหตุผลการตัดสินใจที่จะผสมยางเข้าด้วยกัน มีเหตุผลหลายประการ เช่น

- เพิ่มความสามารถในการแปรรูปของยางที่ใช้
- เพิ่มความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง
- ช่วยในการลดต้นทุน ด้วยการผสมยางที่มีราคาถูกกับยางที่มีราคาแพง

นอกจากนี้ สิ่งสำคัญอีกสิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการผสมยางเข้าด้วยกัน คือ ยางที่ผสมจะต้องมีการวัลคาไนซ์ไปพร้อมๆ กัน

1.3) การผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ตัวอย่างเช่น การใช้ยางธรรมชาติผสมยางไนไตรล์ ยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ และยางบิวทาไดอีนผสมยางธรรมชาติ เป็นต้น (บุญธรรม, 2530)

#### 2) การแก้ไขทางเคมี (Chemical Modification)

การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวแก้ไขโครงสร้างโมเลกุล โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติและเมื่อมีการปรับสภาพโครงสร้างของยางธรรมชาติแล้ว อาจทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงไป และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเปลี่ยนสภาพจากยางไปเป็นพลาสติก หรือเรซิน การแก้ไขยางธรรมชาติทางเคมีสามารถที่จะทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

2.1) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือ geometry ของโมเลกุลยางธรรมชาติไปเป็นวัสดุชนิดใหม่

2.2) การรวมโมเลกุลของยางธรรมชาติกับกลุ่มสารเคมีที่มีลักษณะเฉพาะหรือปฏิกิริยาทางเคมี

2.3) การนำพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกันมาต่อเข้ากับสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ไม่ว่าจะ เป็นสายโซ่สั้นหรือสายโซ่ยาว

### 2.18 การวัลคาไนซ์ยางพารา

วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการการนำยางมาเติมกำมะถันแล้วให้ความร้อน โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการไหลลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เหตุผลที่

ความสามารถในการไหลของยางลดลง แต่ในขณะเดียวกันมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเพราะได้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinked) ขึ้นระหว่างโมเลกุลของยาง ในปัจจุบันคำว่า วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการใดก็ได้ที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นกระบวนการจึงไม่จำกัดเฉพาะการใช้กำมะถันเท่านั้น แต่อาจใช้สารเคมีอื่นก็ได้ หรือไม่มีการเติมสารเคมีเลยก็ได้ เช่น ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว หรือใช้แสงเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการนี้ก็ไม่จำกัดแต่เฉพาะยางธรรมชาติเท่านั้น แต่จะเป็นวัสดุพอลิเมอร์ใดๆ ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันวิธีวัลคาไนเซชันยางที่นิยมใช้กันมากที่สุดยังคงเป็นวิธีดั้งเดิม คือ การใช้ผงกำมะถันและมีการเติมตัวเร่งด้วย (accelerator) อีกวิธีหนึ่งก็นิยมใช้กันเช่นกันคือการใช้สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (พรพรรณ, 2528; วราภรณ์, 2523)

1) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้กำมะถัน (sulfur vulcanization) ปฏิกริยาระหว่างยางธรรมชาติและผงกำมะถัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดค่อนข้างช้าภายใต้อุณหภูมิปกติสำหรับกระบวนการ คือ ประมาณ 150°C ยิ่งไปกว่านั้น กระบวนการนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่ละจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางใช้กำมะถันมากถึง 40-55 อะตอม และมีเพียง 6-10 อะตอม ของกำมะถันเท่านั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงอย่างแท้จริง กำมะถันที่เหลือกระจายไปทั่วโซ่หลักของยางในรูปของหน่วยซัลไฟด์วงแหวน การมีซัลไฟด์ปะปนในยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ในลักษณะเช่นนี้ ทำให้สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติด้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อให้เกิดการตกผลึกออกมาและทำให้สมบัติการกลับเข้าสู่รูปเดิม (resilience) ลดต่ำลงด้วยอัตราการวัลคาไนเซชันอาจทำให้เร็วขึ้นได้โดยการเติมตัวเร่ง (accelerator) หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัว นอกจากการเติมตัวเร่งแล้ว ยังนิยมเติมตัวกระตุ้น (activator) ด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่ง

2) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ (vulcanization) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของผลผลิตยางให้ดีขึ้น ชนิดของสารเชื่อมโยงโมเลกุลยางนี้จะแตกต่างกันออกไปในการใช้กับยางแต่ละชนิด ในระหว่างการวัลคาไนเซชันยางนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ การที่สายโมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยกัน โดยเกิดปฏิกิริยากับสาร vulcanizing form โครงสร้างแบบสามมิติ จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ยางเปลี่ยนจากการมีลักษณะอ่อนแบบพลาสติกเป็นลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ แต่ยางจะสูญเสียคุณสมบัติความเหนียวติดกันเองและจะมีความต้านทานต่อการละลายในตัวทำละลาย ตลอดจนความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากความร้อน แสง และขบวนการทำให้ยางเสื่อมสภาพแบบอื่นๆ

## 2.19 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยหรืองานที่เกี่ยวข้องกับบ้านดิน ผนังสำเร็จรูป และการพัฒนาสมบัติต่างๆ พบว่า ยังมีอยู่น้อย และส่วนใหญ่จะเป็นงานที่รวบรวมจากประสบการณ์ของผู้ก่อสร้างเอง ซึ่งได้มีการรวมกลุ่มกันจัดทำเป็นเว็บไซต์และรับจ้างก่อสร้างกัน ทั้งนี้ งานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่พอรวบรวมมาได้ ดังนี้

วรุณ เหล่าโกเมนย์ (2548) ได้ศึกษางานที่ใกล้เคียงกับโครงการวิจัยนี้คือ การนำยางธรรมชาติสังเคราะห์ มาทำการผสมอิฐดินดิบและทำการทดสอบความสามารถในการป้องกันน้ำตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) พบว่า อิฐดินดิบที่ผสมยางพาราสังเคราะห์ มีความสามารถป้องกันน้ำได้ดีกว่าอยู่ที่ ร้อยละ 23 โดยประมาณ และเมื่อเทียบค่าน้ำหนักที่สูญเสียไปกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน ร้อยละ 10 ปรากฏว่าอิฐดินดิบที่ผสมน้ำยางธรรมชาติสังเคราะห์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด เว้นเพียงแต่มาตรฐานของมวลลิกของผิวหน้าอิฐเท่านั้นที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์

ประชุม คำพุด (2550) ได้ศึกษาการใช้ซีซีเถ้าแกลบเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ โดยใช้ปริมาณซีซีเถ้าแกลบร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักของดิน อัตราส่วนฟางข้าว 1: 0.5 โดยปริมาตรของดิน และใช้น้ำอัตราส่วน 1: 1 โดยน้ำหนักของดิน นำดินไปอัดลงในแบบหล่อขนาด  $10 \times 15 \times 30$  ซม. ฝั่งให้แห้งด้วยอากาศ 48 ชม. และพลิกก้อนอิฐตั้งขึ้นให้ถูกแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 14 และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ พบว่าที่อายุ 28 วัน เมื่อใช้ซีซีเถ้าแกลบผสมร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ได้ค่ากำลังอัดด้านขอบเท่ากับ 1.10, 1.15, 1.17, 1.34, 1.37 และ 1.44 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ค่ากำลังอัดด้านแบนเท่ากับ 0.96, 1.04, 1.02, 1.04, 1.09 และ 1.08 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 0.76, 0.80, 0.73, 0.81, 0.74 และ 0.85 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านแบนเท่ากับ 0.81, 0.85, 0.90, 0.85, 0.90 และ 0.89 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ แสดงว่า สามารถใช้ซีซีเถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มการรับกำลังในอิฐดินดิบได้

ประชุม คำพุด (2550) การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ โดยใช้ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักของดิน อัตราส่วนฟางข้าว 1: 0.5 โดยปริมาตรของดิน และใช้น้ำอัตราส่วน 1: 1 โดยน้ำหนักของดิน นำดินไปอัดลงในแบบหล่อขนาด  $10 \times 15 \times 30$  ซม. ฝั่งให้แห้งด้วยอากาศ 48 ชั่วโมง และพลิกก้อนอิฐตั้งขึ้นให้ถูกแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 14 และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ พบว่าที่อายุ 28 วัน เมื่อใช้เถ้าลอยผสมร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ได้ค่ากำลังอัดด้านขอบเท่ากับ 1.10, 1.13, 1.19, 1.24, 1.37 และ 1.44 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ค่ากำลังอัดด้านแบนเท่ากับ 0.96, 0.95, 1.01, 1.08, 1.10 และ 1.05 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 0.76, 0.77, 0.76, 0.81, 0.78 และ 0.92 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านแบนเท่ากับ 0.81, 0.83, 0.86, 0.90, 0.92 และ 0.95 กก./ชม.<sup>2</sup> ตามลำดับ แสดงว่าสามารถใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มการรับกำลังในการผลิตอิฐดินดิบได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับปรุงสมบัติของดินสำหรับพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม



## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานภาครัฐอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังนี้

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 ดินเหนียว ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 การนำดินเหนียวมายังสถานที่ขึ้นรูปโครงการแผ่นผนังดินสำเร็จรูป



รูปที่ 3.2 ดินเหนียวแห่งสำหรับการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูป

### 3.1.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

### 3.1.3 ใ้แก่ลบ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ใ้แก่ลบ

3.1.4 แกลบ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แกลบ

3.1.5 ฟางข้าว บดย่อยให้มีความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ฟางข้าว

3.1.6 น้ำประปา

3.1.7 ใ้รวก ดังรูปที่ 3.7 ถึง 3.9



รูปที่ 3.7 ไผ่รวก



รูปที่ 3.8 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก



รูปที่ 3.9 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่

3.1.8 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร

3.1.9 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร

3.1.10 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

3.1.11 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

### 3.1.12 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

### 3.1.13 เครื่องบดเส้นใย ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องบดเส้นใย

3.1.14 ชุดทดสอบลักษณะโดยทั่วไป ความหนาแน่น ความตรง และการดูดซึมน้ำ

3.1.15 เครื่องทดสอบความแข็งแรงและการทนการกระแทก

3.1.16 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.1.17 เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม ASTM C177 (ASTM, 2013)

3.1.18 ชุดทดสอบการชะล้าง

## 3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบตัวอย่างแผ่นผนังสำเร็จรูป โดยใช้ดินเหนียวผสมกับปูนซีเมนต์ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1 เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสม ผสมส่วนผสม ขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.16 ถึง 3.20

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนดินซีเมนต์โดยน้ำหนักสำหรับหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ดินเหนียว	น้ำประปา	ความต้านทานแรงอัด (กก./ลบ.ซม.)
1:3	1	3	0.5	242
1:4	1	4	0.5	229
1:5	1	5	0.5	207
1:6	1	6	0.5	194
1:7	1	7	0.5	178



รูปที่ 3.16 การเทส่วนผสมดินซีเมนต์ลงในแบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.17 การอัดส่วนผสมลงในแบบหล่อเพื่อขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์



รูปที่ 3.18 ก้อนดินซีเมนต์ที่พร้อมนำไปบ่มและทำการทดสอบคุณสมบัติ



รูปที่ 3.19 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 3.20 ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.19 และ 3.20 พบว่า ก้อนดินซีเมนต์อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

และมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด เมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวมาออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปเพิ่มเติม โดยใช้ส่วนผสมต่างๆ ประกอบด้วย ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ ใ้ถ้ากลบ แกลบ ฟางข้าว น้ำประปา และไผ่รวก ดังตารางที่ 3.2 พร้อมทั้งคำนวณ ออกแบบตำแหน่งการติดตั้งไผ่รวก และพัฒนาวิธีการก่อสร้างบ้านดินจากแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ต่อไป

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนแผ่นผนังดินสำเร็จรูปจากอัตราส่วนดินซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ดินเหนียว	ใ้ถ้ากลบ	ฟางข้าว	แกลบสด	น้ำยากันซึม	น้ำ
F1	1	3	0.3	0.01	0.01	0.02	0.4
F2	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.4
F3	1	3	0.3	0.03	0.03	0.02	0.4
F4	1	3	0.3	0.04	0.04	0.02	0.4
F5	1	3	0.3	0.05	0.05	0.02	0.4

### 3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ

#### 3.3.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามทีออกแบบ ตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.21 การชั่งน้ำหนักดินเหนียว



รูปที่ 3.22 การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.23 การชั่งน้ำหนักถั่วแกลบ



รูปที่ 3.24 การชั่งน้ำหนักแกลบ



รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักฟางที่ย่อยขนาดแล้ว



รูปที่ 3.26 การชั่งน้ำหนักน้ำยากันซึม

3.3.2 ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ดังรูปที่ 3.27 ถึง 3.35



รูปที่ 3.27 การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม



รูปที่ 3.28 การเทเถ้าแกลบลงในเครื่องผสม



รูปที่ 3.29 การเทแกลบลงในเครื่องผสม



รูปที่ 3.30 การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม



รูปที่ 3.31 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม



รูปที่ 3.32 การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม



รูปที่ 3.33 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา



รูปที่ 3.34 การเติมน้ำประปาลงในเครื่องผสม



รูปที่ 3.35 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ

3.3.3 เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ จำนวน 3 ขนาด ได้แก่ แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ แบบหล่อขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการชะล้าง แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความต้านทานแรงอัด แบบหล่อขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก สำหรับทดสอบแรงกระแทก ความแข็ง ความตรง และลักษณะทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ มอก.878-2532 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง



รูปที่ 3.36 การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ



รูปที่ 3.37 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ



รูปที่ 3.38 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไม้รวก



รูปที่ 3.39 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.40 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.41 การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.42 การเสริมไม้รอกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.43 การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รวก



รูปที่ 3.44 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

### 3.4 การทดสอบคุณสมบัติ

ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) และ มอก.878-2532 เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2532) แบ่งตามขนาดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ดังนี้

3.4.1 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น

2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.46 และ 3.47



รูปที่ 3.46 การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.47 การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบ สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.4.2 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) การชะล้าง ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังตารางที่ 3.3 ถึง 3.4 และรูปที่ 3.48 ถึง 3.49

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การทดสอบในการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

ระยะหัวฉีดกับวัตถุทดสอบ (มิลลิเมตร)	ความดันของน้ำ (กิโลปาสกาล)	ชนิดหัวฉีดน้ำ	ระยะเวลาการทดสอบ (นาที)
470 (แนวระดับ)	50	สเปรย์ (Spray)	30

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการป้องกันการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก้อนอิฐที่ถูกน้ำฉีดพ่น (มิลลิเมตร)
ดีมาก	น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
ดี	10 - 20 มิลลิเมตร
ปานกลาง	20 - 30 มิลลิเมตร
ควรปรับปรุง	มากกว่า 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.48 การฉีดน้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง



รูปที่ 3.49 ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความชะล้าง

3.4.3 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ได้แก่

- 1) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังรูปที่ 3.50 และ 3.51



รูปที่ 3.50 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.51 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

### 3.4.4 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

- 1) ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.52 และ 3.53



รูปที่ 3.52 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป  
ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.53 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 30x30x10 เซนติเมตร  
ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

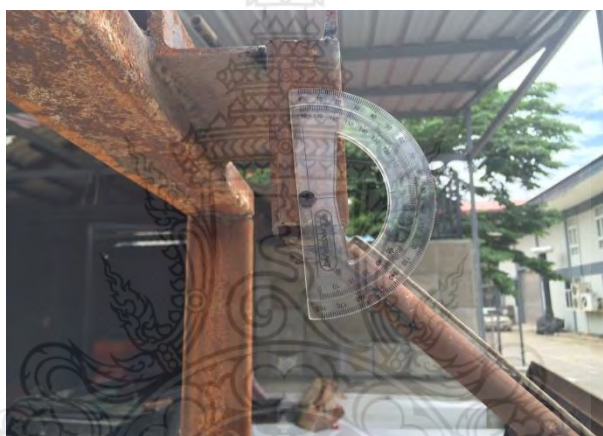
- 2) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

### 3.4.5 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

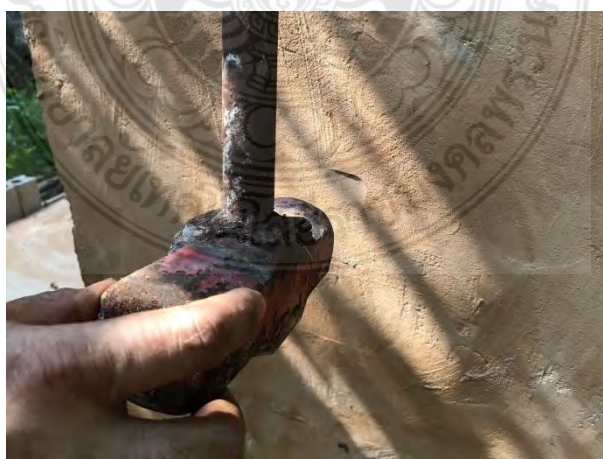
- 1) ลักษณะโดยทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 2) แรงกระแทก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.54 ถึง 3.58



รูปที่ 3.54 การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร  
สำหรับทดสอบความทนการกระแทก



รูปที่ 3.55 อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก



รูปที่ 3.56 การยัดวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทก  
ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.57 การวัดความสูงของวัสดุขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกลงบนของ  
ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.58 ผลการกระแทกของวัสดุขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

3) ความตรง ที่อายุการป่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.59 ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง

4) ความแข็ง ที่อายุการป่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง



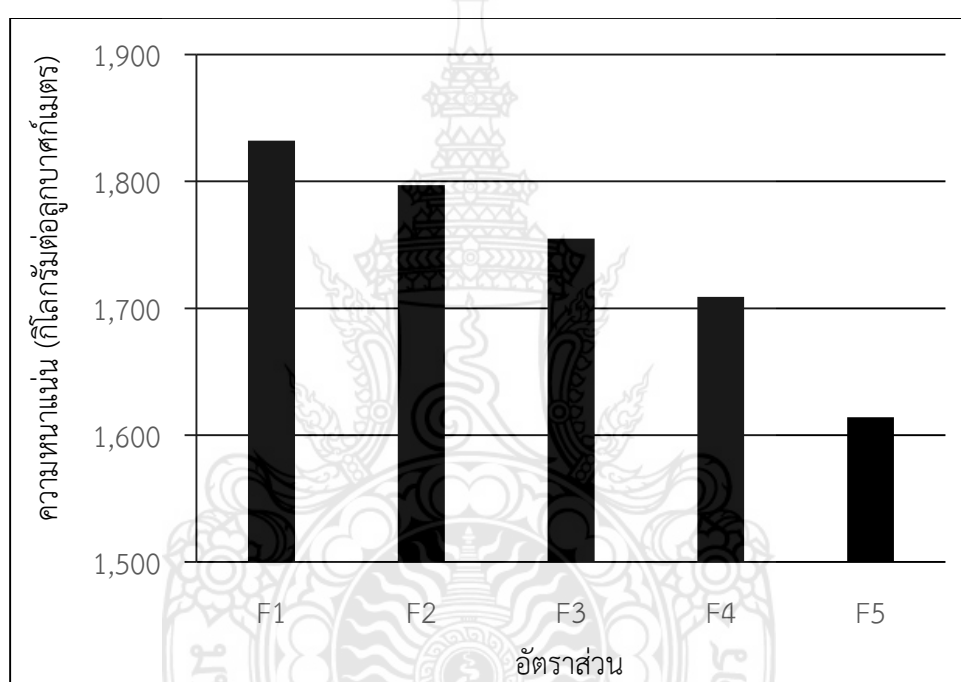
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) สามารถสรุปได้ ดังนี้

#### 4.1 ความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.1

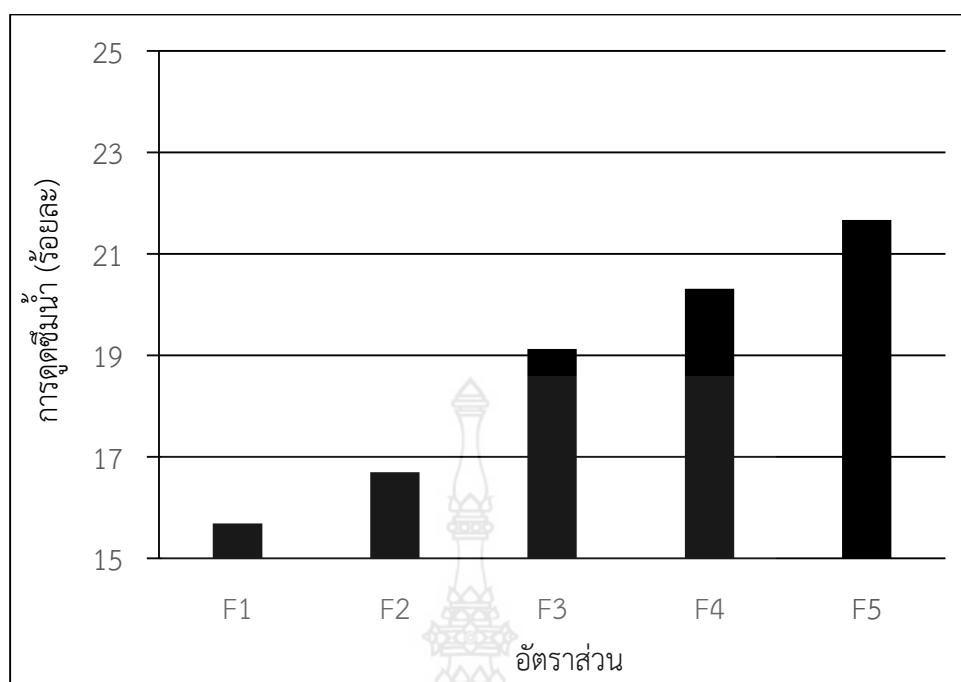


รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดมีผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีค่าลดลง โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของฟางข้าวและแกลบสดเป็นวัสดุจำพวกเซลลูโลสที่มีค่าเพียง 0.6 (Faherty et al., 1995) ทำให้เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ความหนาแน่นจึงลดลงดังกล่าว

#### 4.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ผลจากลักษณะของฟางข้าวและแกลบสดที่มีช่องว่างในเนื้อค่อนข้างมาก เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.2 โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป อัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ยังคงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุก่อผนังทั่วไป เช่น คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก. 58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน ร้อยละ 25 (สมอ., 2533) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดซึมน้ำเกินกว่ามาตรฐานกำหนด คือ เกินกว่า ร้อยละ 14 (สมอ., 2548)

#### 4.3 การชะล้าง

การชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ทั้ง 5 อัตราส่วน ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วน	ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังที่ถูกน้ำฉีดพ่น (มิลลิเมตร)
F1	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F2	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F3	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F4	ดีมาก	2 มิลลิเมตร

F5	ดีมาก	4 มิลลิเมตร
----	-------	-------------

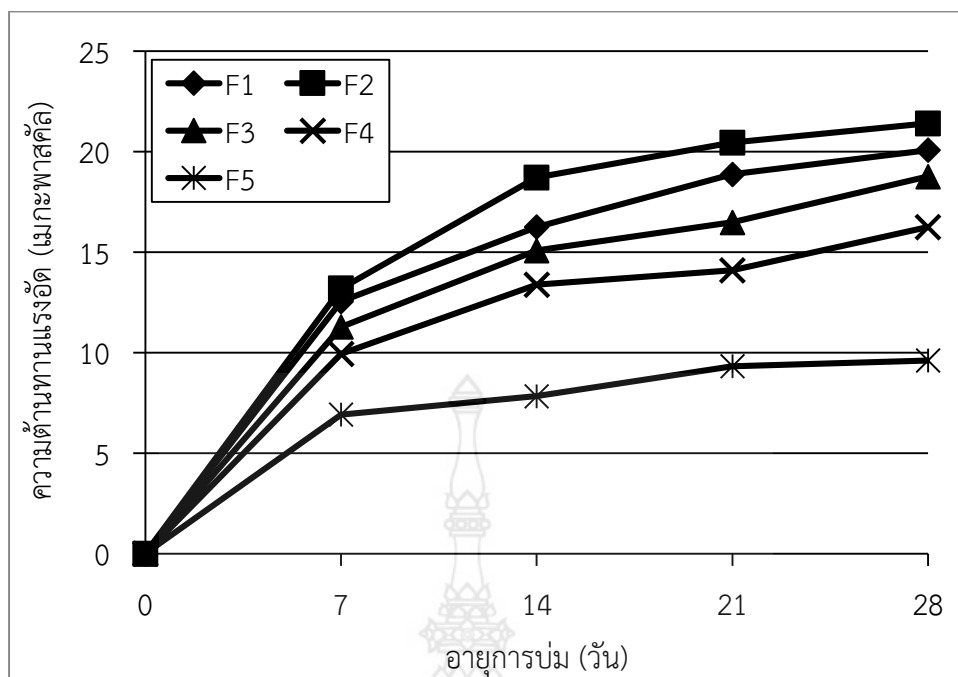


**รูปที่ 4.3** ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วน F5 จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบการชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 พบว่าการผสมฟางข้าวและแกลบสดในปริมาณมากขึ้นลงในส่วนผสมของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร มีผลทำให้ความสามารถในการทนต่อการชะล้างที่ลดต่ำลง โดยอัตราส่วน F1 ถึง F3 เป็นอัตราส่วนที่ไม่มีการชะล้าง และอัตราส่วน F4 และ F5 เป็นอัตราส่วนที่มีการชะล้างต่ำ หรือระดับความสามารถในการป้องกันน้ำดีมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณฟางข้าวและแกลบสดทำให้สารเชื่อมประสาน เช่น ดินเหนียว และปูนซีเมนต์ มีสัดส่วนที่น้อยลงและเกิดช่องว่างภายในเนื้อมากขึ้น (ปริญญา และชัย, 2551) ทำให้เนื้อของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปเกิดการชะล้างได้ง่ายขึ้น

#### 4.4 ความต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ทั้ง 5 อัตราส่วนสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.4

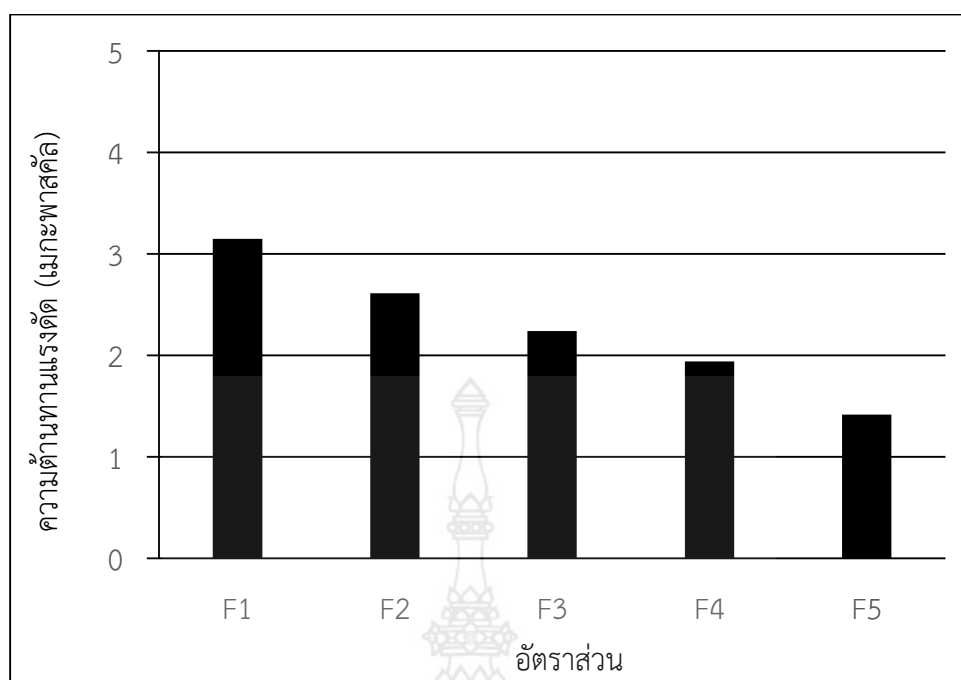


รูปที่ 4.4 ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถพัฒนาความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้ดีขึ้นได้ โดยอัตราส่วน F2 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงสุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F1, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากฟางข้าวและแกลบสดเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถรับแรงดึงได้ดี รวมทั้ง มีขนาดที่แตกต่างจากส่วนผสมอื่นๆ ของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ทำให้การผสมฟางข้าวและแกลบสดจะทำให้ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีขนาดคละที่มากขึ้นได้เมื่อผสมวัสดุดังกล่าวในปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้ ฟางข้าวและแกลบสดยังช่วยยึดเหนี่ยวให้เนื้อของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปดีขึ้นเมื่อต้องรับแรงกระทำต่างๆ (ปริญญา และชัย, 2551) ได้

#### 4.5 ความต้านทานแรงดัด

ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ทั้ง 5 อัตราส่วน ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.5

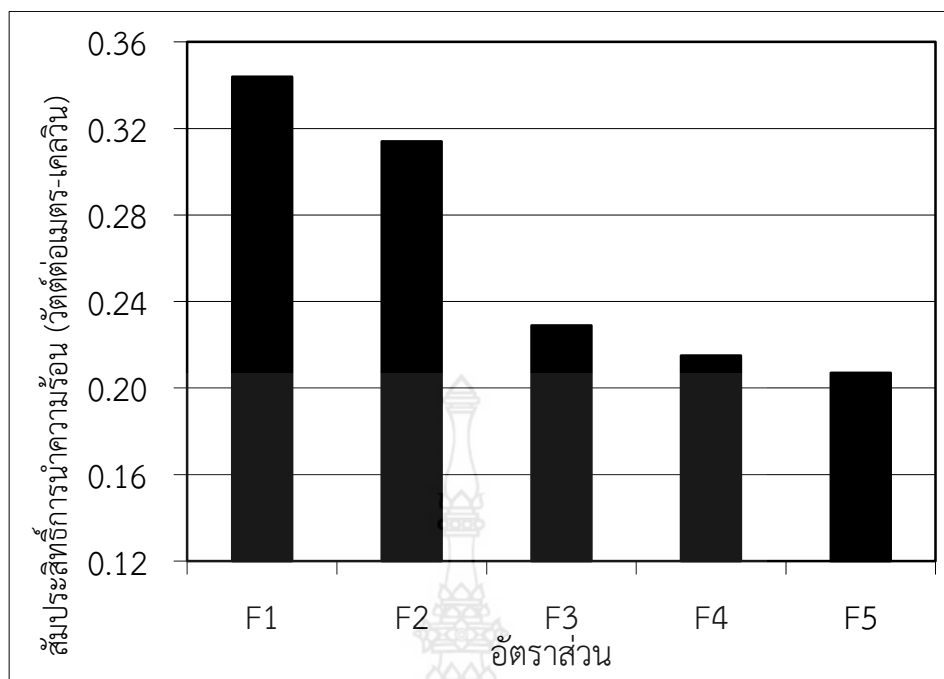


**รูปที่ 4.5** ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

แม้ว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ความต้านทานแรงอัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การที่ฟางข้าวและแกลบสดมีขนาดเส้นใยที่สั้น จะทำให้ไม่สามารถช่วยในการรับแรงดึงได้มากเท่าที่ควร (ปริญญา และชัย, 2551) ดังนั้น ค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในรูปที่ 4.5 จึงมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้ อัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

#### 4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือความสามารถในการนำความร้อนผ่านแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้



**รูปที่ 4.6** สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการป่ม 28 วัน

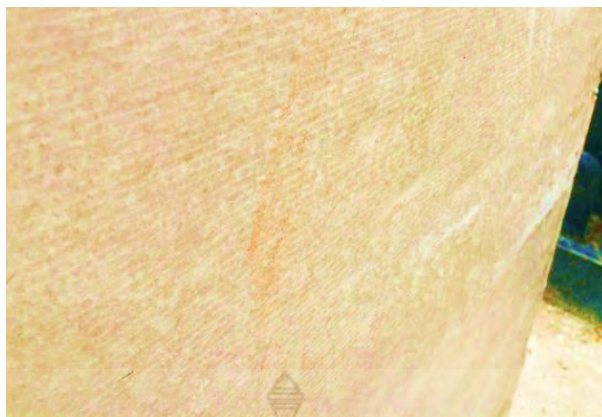
จากรูปที่ 4.6 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F4, F3, F2 และอัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะของฟางข้าวและแกลบสดที่มีช่องว่างมาก จะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง (ธนัญชัย และคณะ, 2549) ดังกล่าว

#### 4.7 ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ที่อายุการป่ม 28 วัน ทั้ง 5 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 ถึง 4.8

**ตารางที่ 4.2** ลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	ผ่าน
F2	ผ่าน
F3	ผ่าน
F4	ผ่าน
F5	ไม่ผ่าน



รูปที่ 4.7 พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ



รูปที่ 4.8 การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

จากรูปที่ 4.7 ถึง 4.8 และตารางที่ 4.2 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) โดยผลจากการเพิ่มฟางข้าวและแกลบสดลงในแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป จะมีผลทำให้แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปเกิดการแตกร้าวได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม รอยแตกร้าวดังกล่าวก็ยังมีขนาดค่อนข้างเล็กมาก และยังสามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดได้

#### 4.8 แรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทก เป็นการนำวัสดุแข็งขนาดเล็ก (ตุ้มน้ำหนัก) และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ (กระสอบทราย) มากระแทกแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร ด้วยมุมและความสูง ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
F1	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F3	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F4	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4.4 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
F1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F5	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของฟางข้าวและแกลบสด สามารถทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) แต่สามารถทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ได้ถึงประเภทที่ 3 อาคารสาธารณะ (Heavy Duty, HD) ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548)

#### 4.9 ความตรง

ผลการทดสอบความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง โดยใช้ระยะจตุรรองรับ 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนัง ทั้ง 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	การโก่งตัว (มิลลิเมตร)	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	0	ผ่าน
F2	0	ผ่าน
F3	0	ผ่าน
F4	0	ผ่าน
F5	0	ผ่าน

จากตารางที่ 4.5 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปทั้งหมด ไม่มีการโก่งตัวภายหลังจากการวางผนังตามแนวการใช้งาน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่กำหนดให้ต้องมีค่าไม่เกินกำหนด L/480 หรือ 100 เซนติเมตร/480 หรือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

#### 4.10 ความแข็ง

ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป เมื่อวัดค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้างของทุกอัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	ผ่าน
F2	ผ่าน
F3	ผ่าน
F4	ผ่าน
F5	ผ่าน

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปทุกอัตราส่วน สามารถผ่านตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ประเภทที่ 1 ผนังสำเร็จรูปสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) กำหนด คือมีค่าการโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และการโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม” สามารถสรุปเป็นผลแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินงานวิจัยต่อไปได้ ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผล

ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมที่พัฒนาในปีที่ 1 เป็นการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดินเหนียว เถ้าแกลบ ฟางข้าว แกลบสด น้ำยากันซึม และน้ำประปา มาผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีต และนำส่วนผสมที่ได้ไปหล่อขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต โดยเสริมไม้รอกเป็นวัสดุรับแรง ผลจากการทดสอบทำให้ได้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา (อัตราส่วน F2) เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,797 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 16.70 (เกินกว่าที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด) ความต้านทานแรงดัด 2.61 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัด 21.40 เมกะพาสคัล (ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.314 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) ทั้งนี้ ปริมาณฟางข้าวและแกลบสดจะมีผลต่อความหนาแน่น ความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ส่วนผลต่อความต้านทานแรงอัดและการดูดซึมน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น


#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้สามารถต้านทานการชะล้างได้สูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น รวมทั้งมีค่าการดูดซึมน้ำที่ลดต่ำลง โดยการผสมส่วนผสมหรือสารอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น น้ำยางธรรมชาติ เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- จรงค์ นุ่นชู และ ณัฐพงศ์ รังสิมันตุชาติ, 2547. การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินดิบเพื่อการก่อสร้างบ้านดิน. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- โจน จันได, 2546. **ขั้นตอนการสร้างบ้านดิน**. เสถียรธรรมสถาน.
- ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521. **เสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวลิต นิตยะ, 2528. เอกสารประกอบการสอนวิชา Industrialized building. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชาญ จรรยาวิชัย, 2528. **สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก**. การบรรยายวาระพิเศษ, กรมทรัพยากรธรณี.
- ธัญชัย ปกรณ์วรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4**.
- ณัฐนนท์ รัตนไชย, ประชุม คำพุทธ, กาญจนา จักรแต่, และรัศมี ปิยะวัฒน์, 2550. การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ของรีสอร์ทไม้ไผ่และรีสอร์ทบ้านดินเพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์. **เอกสารประกอบโครงการอบรมสัมมนาเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างสิ่งแวดล้อม และการอนุรักษ์พลังงาน ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง ครั้งที่ 1**. 28-29 มิถุนายน 2550. ประจวบคีรีขันธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 214-224.
- บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประชุม คำพุทธ, 2548. การศึกษาเกี่ยวกับบ้านดิน (ตอนที่ 1). **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี**, ปีที่ 3. ฉบับที่ 6 : 29-50.
- ประชุม คำพุทธ, 2550. การศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดัดของอิฐดินดิบผสมเถ้าแกลบ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**. ฉบับพิเศษ: 94-98.
- ประชุม คำพุทธ, 2550. การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพฯ.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.).
- พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- พลยุทธ สุขสมิติ, 2529. **ดินขาวและดินเหนียวดำสำหรับงานอุตสาหกรรมภาคเหนื่อ**. กรมทรัพยากรธรณี.
- มามี โตบารมีกุล, 2541. การศึกษาระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ราชบัณฑิต บุญไชโย, ธนา อุทัยภัตรากรู และ ไพริน พงษ์สุระ, 2545. **บ้านดิน: แนะนำการสร้างบ้านดินเบื้องต้น**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

- วิทยา วีชรไตรรงค์, 2545. **กระบวนการร่วมกันสร้างที่อยู่อาศัยด้วยตนเอง : กรณีศึกษาบ้านดิน บ้านเทพนา อำเภอเทพสถิตย์ จังหวัดชัยภูมิ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอกพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินัย วีระวัฒนานนท์. 2537. **คู่มือปฏิบัติการ เรื่องปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)**. กรุงเทพฯ : บริษัท ส่องสยาม จำกัด.
- วรุณ เหล่าโกเมนย์, 2548. **การเพิ่มความสามารถในการป้องกันน้ำของการก่อสร้างบ้านดิน**. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 122 หน้า.
- วารากรณ์ ขจรไชยกูล, 2523. **วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง**. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง หาดใหญ่.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558. **ตลาดไทยเที่ยวไทยปี' 58: คาดจะสร้างเม็ดเงินสะพัดประมาณ 7.72 แสนล้านบาท. กระแสทรรศน์**. ฉบับที่ 2591.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2520. **การก่อสร้างอาคารระบบอุตสาหกรรม**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2532) เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2548. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2226-2548) เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2537. **เทคโนโลยียาง, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.
- 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.
- Barlow, Fred W., 1993. **Rubber Compounding : Principles, Materials, and Techniques**. 2nd Edition.
- Faherty, Keith F. and Williamson, Thomas G., 1995. **Wood Engineering and Construction Handbook**. Second Edition. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Herz, Rudolph, 1975. **Architectures' data**. London: Crosby. Lockwood. Staples.
- Moor, G. and Heathcote, Kavan, 2004. **Earth Building in Australia-Durability Reserch**. University of Technology Sydney.
- Testa Carlo, 1959. **The Industrialization of Building**, New York : Van Nostrand Reinhold.



ภาคผนวก

ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537

ข บทความสำหรับเผยแพร่

ค หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์

ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537





มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2226 – 2548

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

PRECAST CONCRETE WALL PANELS



สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.060.10

ISBN 974-9903-60-9

# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

มอก. 2226 – 2548

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400  
โทรศัพท์ 0 2202 3330

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 122 ตอนที่ 98 ง  
วันที่ 10 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2548

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 942  
มาตรฐานแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใช้มวลผสมคละน้ำหนักเบา

ประธานกรรมการ

นายบุญดวง สารศักดิ์

กรุงเทพมหานคร

กรรมการ

นายวีระพันธ์ อุปถัมภ์กุล

กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายวัฒนา บุญล้ำ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

รศ.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายศิริวุฒิ ศติบุตร

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายพิชิต เจนบรรจง

การเคหะแห่งชาติ

นายสุรศักดิ์ กิตติวิบูลย์

บริษัท ผลิตภัณฑ์คอนกรีตซีแพค จำกัด

นายสมชัย หอมสิทธิเดช

นายวีระ อมรศิลป์ชัย

นายวุฒิชัย ปรีศวงศ์

บริษัท ทีจี. แอ็ดวานซ์ คอนกรีต จำกัด

นางสาวพรรณเพ็ญแข นกเพชร

กรรมการและเลขานุการ

นางสาวรัตนา ตรีรัตนภรณ์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม



ปัจจุบันมีการทำและใช้แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในงานก่อสร้างอาคารกันมากขึ้น หากผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและเป็นแนวทางในการทำจึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากผู้ทำภายในประเทศและเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

American Concrete Institute	Guide for Precast Concrete Wall Panels
(ACI) 533R-93	
BS 5234 : Part 2 :1992	Partitions (including matching linings) Part 2. Specification for performance requirements for strength and robustness including method of test
DIN 1045-1988	Structural use of concrete – Design and construction
มอก.15	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
เล่ม 1-2547	ข้อกำหนดคุณภาพ
มอก.80-2517	ปูนซีเมนต์ผสม
มอก.409-2525	วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
มอก.566-2528	มวลผสมคอนกรีต
มอก.733-2530	สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต
มอก.1736	การทดสอบคอนกรีต-ชั้นทดสอบ
เล่ม 1-2542	การชักตัวอย่างคอนกรีตสด
เล่ม 2-2542	การหล่อและการบ่มชั้นทดสอบ
มอก.1840-2542	การทดสอบคอนกรีต-มิติ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นทดสอบ และ ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน
มอก.2135-2545	เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3380 (พ.ศ. 2548)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มาตรฐานเลขที่ มอก. 2226-2548 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2548

วัฒนา เมืองสุข

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

## 1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทำจากมวลผสมและวัสดุประสาน ใช้เป็นผนังกันห้องภายในและภายนอกอาคาร

## 2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

- 2.1 ร่อง หมายถึง ส่วนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้านข้างที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้างสำหรับให้ลื่นของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงยื่นเข้ามาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ
- 2.2 ลื่น หมายถึง ส่วนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้านข้างที่ยื่นเลยพื้นที่ผิวด้านข้าง สำหรับแทรกไปในร่องของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ
- 2.3 เปลือก (shell) หมายถึง ผนังนอกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบภาคตัดขวางกลวง
- 2.4 ผนังกันโพรง (web) หมายถึง ผนังภายในที่แบ่งโพรงในแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบภาคตัดขวางกลวง
- 2.5 ความต้านแรงอัด หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกหรือรูปลูกบาศก์มาตรฐานสามารถรับได้ โดยปกติกำหนดให้ทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน
- 2.6 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หมายถึง พื้นที่หน้าตัดเฉพาะที่เป็นเนื้อคอนกรีตทั้งหมดของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในแนวตั้งจากกับความยาว

## 3. แบบ

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบ่งตามลักษณะการขึ้นรูปเป็น 2 แบบ คือ

- 3.1 แบบภาคตัดขวางตัน (solid panel)
- 3.2 แบบภาคตัดขวางกลวง (hollow-core panel)

#### 4. ประเภท

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 4 ประเภท คือ

- 4.1 ประเภท 1 ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (light duty) สัญลักษณ์ LD
- 4.2 ประเภท 2 ใช้สำหรับอาคารสำนักงาน (medium duty) สัญลักษณ์ MD
- 4.3 ประเภท 3 ใช้สำหรับอาคารสาธารณะและอาคารอุตสาหกรรม (heavy duty) สัญลักษณ์ HD
- 4.4 ประเภท 4 ใช้สำหรับอาคารอุตสาหกรรมหนัก (severe duty) สัญลักษณ์ SD

#### 5. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

##### 5.1 มิติ

##### 5.1.1 ความกว้างและความยาว

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ (drawing) เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 1 การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.1

##### 5.1.2 ความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 1 การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.2

##### 5.1.3 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ โดยพื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนดไว้ในแบบ การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.3

##### 5.1.4 เปลือกและผนังกันโพรง

ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของระยะช่องว่างระหว่างผนังกันโพรงที่มีค่ามากที่สุด และต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.4

##### ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 5.1.1 และ ข้อ 5.1.2)

มิติ	หน่วยเป็นมิลลิเมตร	
	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	
ความหนา	± 6	
ความกว้าง	± 6	
ความยาว	± 12	

## 6. วัสดุ

### 6.1 วัสดุประสาน

6.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นไปตาม มอก.15 เล่ม 1 หรือ

6.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ให้เป็นไปตาม มอก.80

6.2 มวลผสม ให้เป็นไปตาม มอก.566

6.3 etailลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต (ถ้ามี) ให้เป็นไปตาม มอก.2135

6.4 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (ถ้ามี) ให้เป็นไปตาม มอก.733

6.5 น้ำ ต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน กรด ต่าง และสารอื่น ๆ ที่อาจทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง

6.6 วัสดุผสมเพิ่มที่ใช้เพื่อให้ได้คุณลักษณะเฉพาะที่ต้องการ

## 7. คุณลักษณะที่ต้องการ

### 7.1 ลักษณะทั่วไป

7.1.1 ต้องไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว

7.1.2 ต้องไม่มีตำหนิ หรือรอยร้าว ที่มีผลเสียต่อการใช้งาน

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

7.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีต

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความต้านแรงอัด

( ข้อ 7.2 )

หน่วยเป็นเมกะพาสคัล

แท่งคอนกรีต	ความต้านแรงอัด	
	แต่ละก้อน ไม่น้อยกว่า	เฉลี่ย ไม่น้อยกว่า
รูปลูกบาศก์	16	21
รูปทรงกระบอก	12	16

การทดสอบให้เป็นไปตาม มอก.409 โดยการชักตัวอย่างให้เป็นไปตาม มอก.1736 เล่ม 1 การหล่อและการบ่มให้เป็นไปตาม มอก.1736 เล่ม 2 หรือตามกรรมวิธีการผลิตของผู้ทำ มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของแท่งคอนกรีตให้เป็นไปตาม มอก.1840

### 7.3 ความตรง

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง ต้องตรง ถ้าโค้งจะผิดไปจากแนวตรงด้านข้างได้ไม่เกิน L/480 แต่ต้องไม่เกิน 19 มิลลิเมตร

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.2

7.4 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.3

7.5 ความแข็งแรงและความทนทาน

7.5.1 ความแข็ง

เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex A แล้วค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการโก่งตัว  
( ข้อ 7.5.1 )

รายการ	ประเภท			
	LD	MD	HD	SD
การโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน	25	20	15	10
การโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน	5	3	2	1

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7.5.2 ความทนการกระแทก

7.5.2.1 ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก

- (1) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex B โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วต้องไม่เกิดรอยร้าวที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทก ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.1 ตารางที่ ข.1
- (2) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex D โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วต้องไม่เกิดการกระเทาะที่ผิวหน้าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทก ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.1 ตารางที่ ข.2

7.5.2.2 ความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่

- (1) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex C โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วค่าการโก่งตัวสูงสุดต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทก ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.2 ตารางที่ ข.3
- (2) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex E โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องไม่แตกหัก หรือมีการแยกตัวของระบบผนัง มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทก ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.2 ตารางที่ ข.4

ตารางที่ 4 พลังงานกระแทก  
( ข้อ 7.5.2 )

รายการ ที่	คุณลักษณะ	หน่วยเป็นนิวตันเมตร			
		ประเภท			
		LD	MD	HD	SD
1	ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก				
	พลังงานกระแทกที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของผิวหน้า	3	3	6	10
	พลังงานกระแทกที่ไม่ก่อให้เกิดการกระแทงของผิวหน้า	-	5	15	30
2	ความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ <sup>1)</sup>				
	พลังงานกระแทกที่ทำให้เกิดการโก่งตัวสูงสุด	20	20	40	100
	พลังงานกระแทกที่ทำให้เกิดการแตกหัก	60	60	120	120

หมายเหตุ <sup>1)</sup> อาจใช้ทรายบรรจุในถุงกรวยก้นกลมได้

### 8. การบรรจุ

- 8.1 ให้เรียงแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปบนที่รองรับ และมัดเข้าด้วยกันทั้งชุดอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายที่จะเป็นผลเสียต่อการใช้งาน การเก็บรักษา และการขนส่ง

### 9. เครื่องหมายและฉลาก

- 9.1 ที่แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทุกมัดต้องมีป้ายที่ไม่ฉีกขาดและไม่หลุดง่ายผูกติดอยู่ และที่ป้ายนั้นอย่างน้อยต้องแจ้งรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) คำว่า “แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป”
- (2) สัญลักษณ์แสดงประเภท
- (3) ความสูง ความกว้าง ความหนา เป็น มิลลิเมตร
- (4) เดือน ปี ที่ทำ
- (5) จำนวนที่บรรจุ
- (6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

## 10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

10.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

## 11. การทดสอบ

### 11.1 มิติ

#### 11.1.1 ความกว้างและความยาว

##### 11.1.1.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

##### 11.1.1.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง ดังนี้

##### (1) ความกว้าง

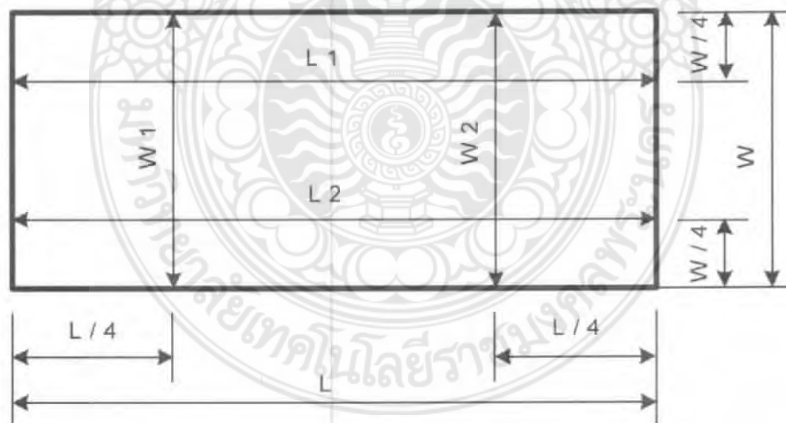
ให้วัดความกว้าง ( $W$ ) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว ดังรูปที่ 1

##### (2) ความยาว

ให้วัดความยาว ( $L$ ) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความกว้าง ดังรูปที่ 1

##### 11.1.1.3 การรายงานผล

ให้รายงานผลทุกค่าที่วัดได้เป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 1 ตำแหน่งวัดความกว้างและความยาว  
(ข้อ 11.1.1.2)

## 11.1.2 ความหนา

## 11.1.2.1 เครื่องมือ

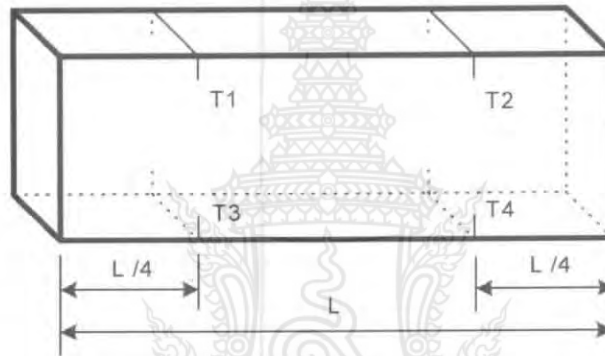
เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

## 11.1.2.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องวัดความหนา (T) ของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นทดสอบที่ระยะหนึ่งในสี่ของความยาว (L) โดยสอดเครื่องวัดเข้าจนสุด ดังรูปที่ 2

## 11.1.2.3 การรายงานผล

ให้รายงานผลทุกค่าที่วัดได้เป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร และให้รายงานค่าน้อยที่สุดของความหนาเป็นความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดความหนา  
(ข้อ 11.1.2.2)

## 11.1.3 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

## 11.1.3.1 เครื่องมือ

- (1) เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร
- (2) เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

## 11.1.3.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.3.1(1) วัดขนาดมิติหน้าตัดภายนอกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.3.1(2) วัดขนาดของโพรงโดยวัดทุกค่า

## 11.1.3.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นร้อยละ โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ร้อยละ} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดภายนอก} - \text{พื้นที่โพรงทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปตามแบบ}} \times 100$$

11.1.4 เปลือกและผนังกันโพรง

11.1.4.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.1.4.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.4.1 วัดมิติเปลือก ผนังกันโพรงทั้งสองด้าน โดยวัดทุกค่า

11.1.4.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่ามิติของเปลือกและผนังกันโพรงที่มีค่าน้อยที่สุด ทั้งสองด้านเป็นจำนวนเต็ม เป็น มิลลิเมตร

11.2 ความตรง

11.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

วางตัวอย่างบนแท่นธารโดยให้ด้านกว้างของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพาดบนแท่นธารไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3

11.2.2 เครื่องมือ

11.2.2.1 เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.2.2.2 สายเอ็นที่ยาวไม่น้อยกว่าความยาวของตัวอย่าง และไม่มีรอยต่อ

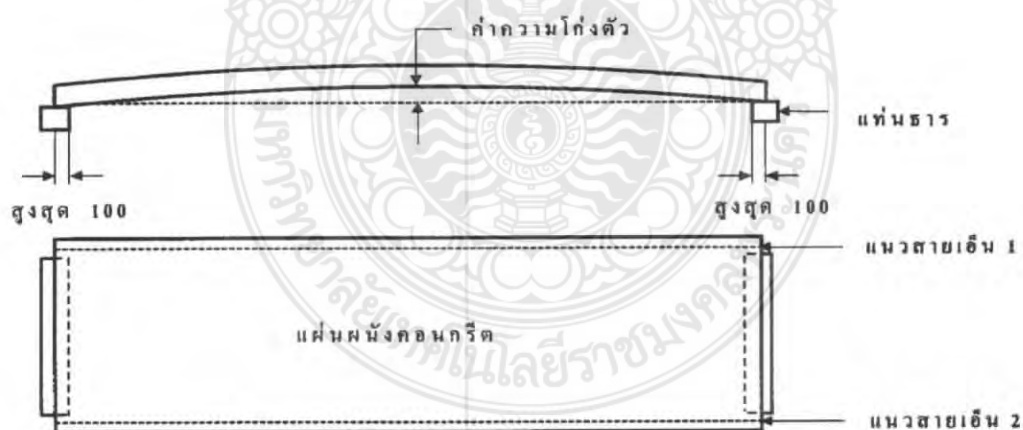
11.2.3 วิธีทดสอบ

11.2.3.1 ชึงสายเอ็นระหว่างปลายแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปทั้งสองด้านให้ตึง ดังรูปที่ 3

11.2.3.2 วัดระยะห่างสูงสุดระหว่างผิวตัวอย่างกับสายเอ็นเป็นค่าความโก่งตัว

11.2.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความโก่งตัวสูงสุดเป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 การทดสอบความตรง  
(ข้อ 11.2.1 และข้อ 11.2.3.1)

## 11.3 การดูดซึมน้ำ

## 11.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างแห้งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร หรือตัวอย่างแห้งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร ที่ใช้ในการทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 28 วัน โดยเตรียมตัวอย่างตามกรรมวิธีการผลิตของผู้ทำ มิตติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของแห้งคอนกรีตให้เป็นไปตาม มอก.1840

## 11.3.2 เครื่องมือ

11.3.2.1 เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.3.2.2 เครื่องชั่งที่ละเอียดถึง 0.1 กรัม

11.3.2.3 ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $(110 \pm 5)$  องศาเซลเซียส

## 11.3.3 วิธีทดสอบ

11.3.3.1 อบแห้งคอนกรีตให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ  $(110 \pm 5)$  องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักที่สูญหายภายใน 24 ชั่วโมง น้อยกว่าร้อยละ 0.1 ปลดปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง

11.3.3.2 นำแห้งคอนกรีตจากข้อ 11.3.3.1 จุ่มในน้ำให้ระดับน้ำสูงเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงแห้งคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแห้งคอนกรีตจุ่มในน้ำให้ท่วมแห้งคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ยกแห้งคอนกรีตขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าชื้น แล้วชั่ง

## 11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง แต่ละค่าเป็นร้อยละ จากสูตร

$$\frac{\text{การดูดซึมน้ำ}}{\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก}} = \frac{\text{มวลแห้งคอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ} - \text{มวลแห้งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}}{\text{มวลแห้งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}} \times 100$$

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 10.1)

- ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึงแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประเภทเดียวกัน ที่มีรูปร่างและภาคตัดขวางเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- ก.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการ
- ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบมิติ ลักษณะทั่วไป และความตรง
- ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 แผ่น
- ก.2.1.2 ตัวอย่างทั้ง 3 แผ่น ต้องเป็นไปตาม ข้อ 5.1 ข้อ 7.1 และข้อ 7.3 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด และการดูดซึมน้ำ
- ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทำแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกัน ทำแท่งทดสอบความต้านแรงอัด จำนวน 3 แท่ง และทำแท่งทดสอบการดูดซึมน้ำ จำนวน 3 แท่ง
- ก.2.2.2 ตัวอย่างทุกแท่งต้องเป็นไปตาม ข้อ 7.2 และ ข้อ 7.4 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับความแข็งแรงและความทนทาน
- ก.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกันให้เพียงพอในการประกอบผนัง
- ก.2.3.2 ตัวอย่างตาม ข้อ ก.2.3.1 ต้องเป็นไปตามข้อ 7.5 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.4 เกณฑ์ตัดสิน
- ตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

## ภาคผนวก ข.

มุมเหวี่ยงและความสูงตกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก  
(ข้อ 7.5.2)

## ข.1 ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก

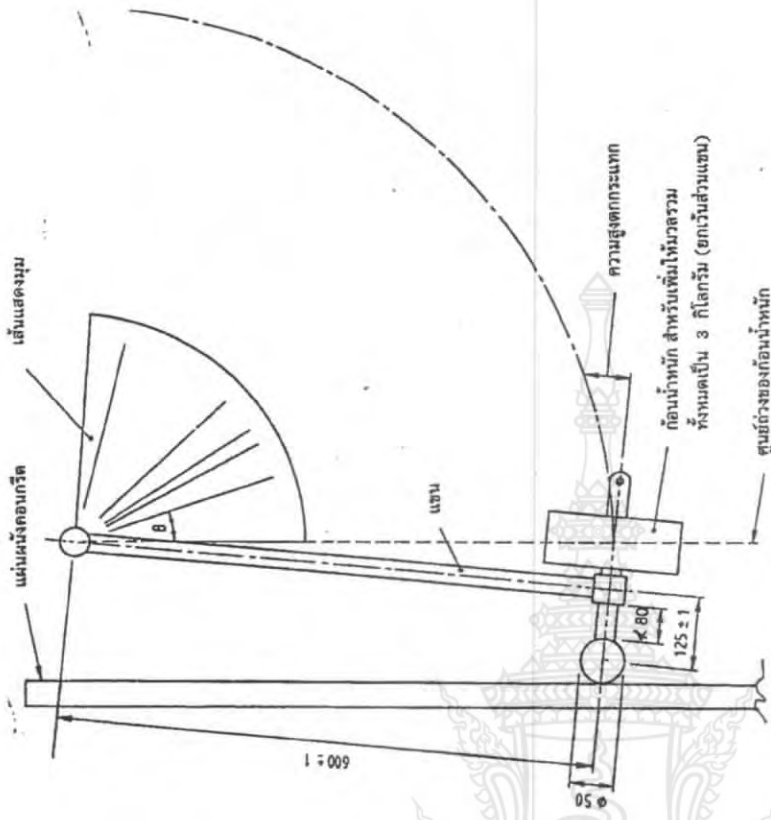
ตารางที่ ข.1 มุมเหวี่ยงและความสูงตกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก  
ตาม BS 5234 part 2 Annex B  
(ข้อ 7.5.2.1(1))

พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง องศา
3	100	33.6
6	200	48.2
10	330	63.6

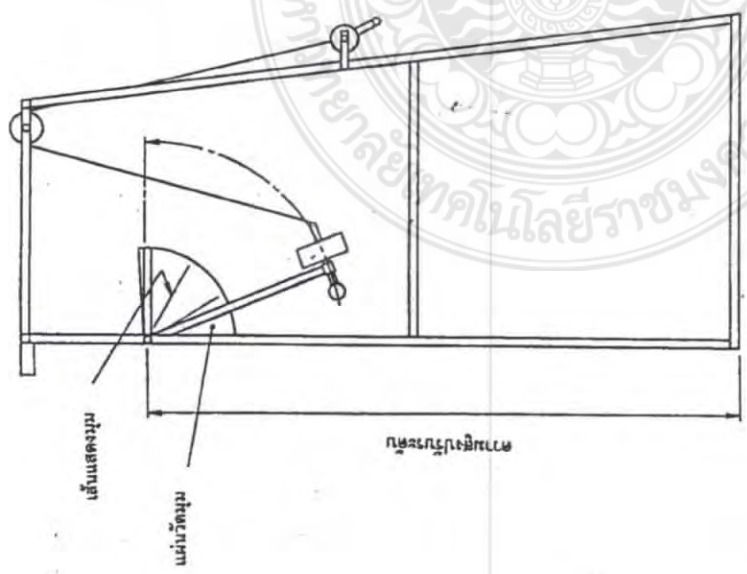
ตารางที่ ข.2 มุมเหวี่ยงและความสูงตกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก  
ตาม BS 5234 part 2 Annex D  
(ข้อ 7.5.2.1(2))

พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง องศา
5	170	43.8
15	500	80.4
30	1 000	131.8

หมายเหตุ หัวกระแทก และโครงยึดหัวกระแทก ดังรูป ข.1



หน่วยเป็นมิลลิเมตร  
หมายเหตุ ในขณะที่หยดน้ำแข็งต้องทำมุมกับแนวตั้งไม่มากกว่า 5 องศา



(2) หัวกระแทก

(1) โครงยึดหัวกระแทก

รูปที่ ข.1 การทดสอบความทนทานการกระแทกของกาวติดเชิงขนาดเล็ก  
( ข้อ 7.5.2.1 )

ข.2 ความทนการกระแทกจากวัสดุุ่มขนาดใหญ่

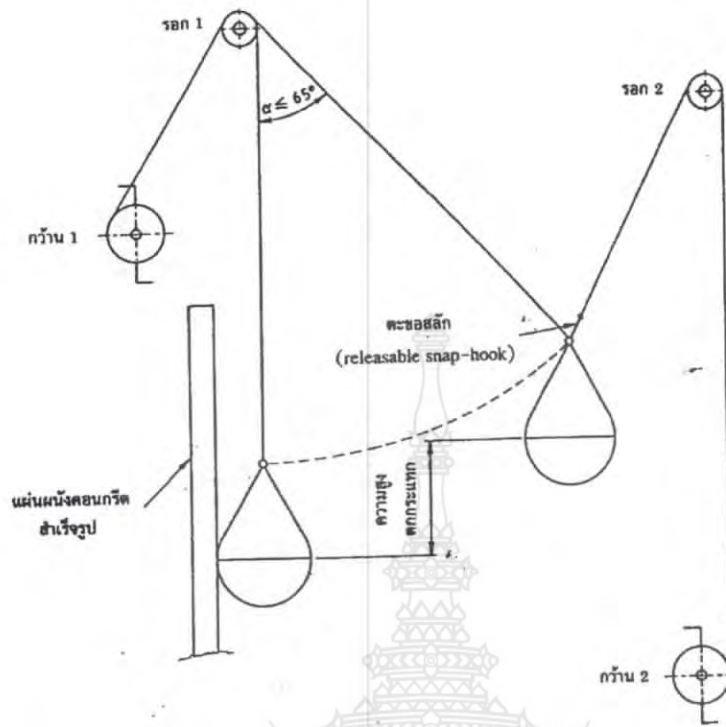
ตารางที่ ข.3 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก  
ตาม BS 5234 part 2 Annex C  
( ข้อ 7.5.2.2(1))

พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
20	41	65
40	82	
100	204	

ตารางที่ ข.4 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก  
ตาม BS 5234 part 2 Annex E  
( ข้อ 7.5.2.2(2))

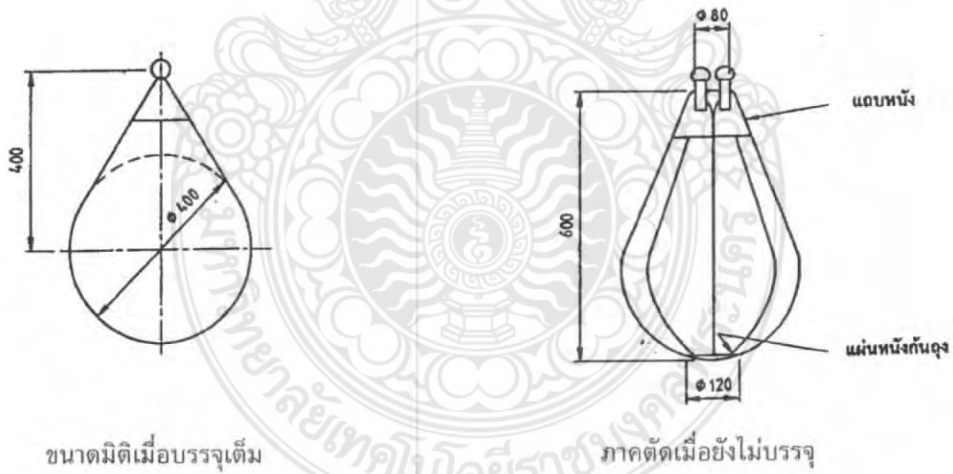
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
60	122	65
120	245	

หมายเหตุ ตำแหน่งการทดสอบ และวัสดุุ่มขนาดใหญ่ ดังรูปที่ ข.2



หมายเหตุ รอกต้องตั้งอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(1) ตำแหน่งการทดสอบ



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

(2) วัสดุนุ่มขนาด 50 กิโลกรัม

รูปที่ ข.2 การทดสอบความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่

( ข้อ 7.5.2.2 )



## ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1999 ( พ.ศ. 2537 )

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก.878-2532

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1516 (พ.ศ.2532) ลงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2532 ดังต่อไปนี้

1. ให้แก้หมายเลขมาตรฐานเลขที่ “มอก. 878-2532” เป็น “มอก. 878-2537”

2. ให้ยกเลิกความในข้อ 5.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชิ้นไม้แยกชิ้นไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นในแบบ โดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์เสียไป”

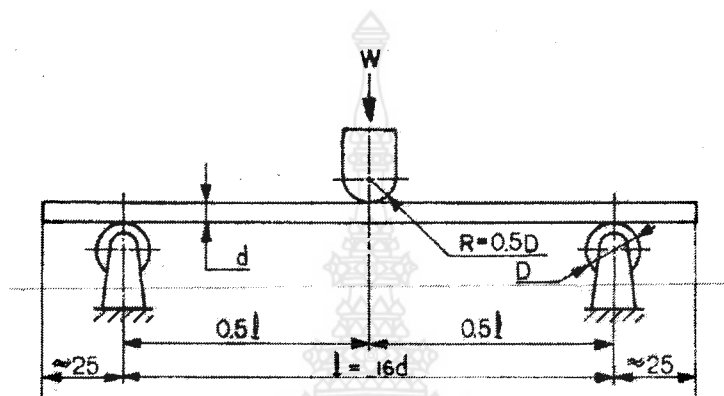
3. ให้ยกเลิกความในข้อ 6.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874 Part 2 หรือ ASTM C 177)”

4. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.3.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน  
“9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร สำหรับวัดความหนา”
5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.3.1.3  
“9.3.1.3 เวอร์เนียร์แคลิเปอร์สที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวัดความกว้างและความยาว”
6. ให้ยกเลิกรูปที่ 4 และให้ใช้รูปต่อไปนี้แทน



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงคดและมอดูลัสยืดหยุ่น  
(ข้อ 9.6.1.2)

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

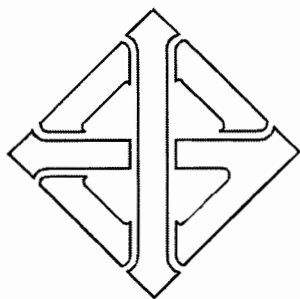
ประกาศ ณ วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2537

พลตรี สนั่น ขจรประศาสน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนที่ 87 ง

วันที่ 1 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2537



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 878 – 2532

แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS : HIGH DENSITY



สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 691.328.41:674.821

ISBN 974-8126-75-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

มอก. 878 – 2532

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400  
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่ม 106 ตอนที่ 137  
วันที่ 24 สิงหาคม พุทธศักราช 2532

**คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 120**  
**มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นอัดสำหรับการก่อสร้าง**

**ประธานกรรมการ**

นายวรรณะ มณี

ผู้แทนสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์

**กรรมการ**

นายสุธี หาญสงคราม

ผู้แทนกรมป่าไม้

นายสมศักดิ์ พัฒนประภาพันธุ์

ผู้แทนกรมโยธาธิการ

นายยุกุทธ ศรีเมฆารัตน์

ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายสุทธิศักดิ์ สำเร็จประสงค์

ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

นายอรุณ พุฒยางกูร

ผู้แทนวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา

นายฝั่งผาย สุนทรภักย์

วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

นายพลสินธุ์ อาชวาคม

ผู้แทนกรมการค้าต่างประเทศ

นายวิจิตร กฤษณบารุง

ผู้แทนคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นายอำนาจ พาณิชกุล

ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

นายอภัย รัตนันท์

-

ผู้แทนบริษัท ศรีมหาราชา จำกัด

ร.ต. อุทัย สินธุประมา

ผู้แทนบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด

นายวิชัย ภูษิตวิทย์

นายชูชาติ บุญศิริ

ผู้แทนบริษัท ไทยชิปบอร์ด จำกัด

ร.ท. ฉลอง ชุนพรหม

ผู้แทนบริษัท สตรามิตบอร์ด จำกัด

นายก่อเกียรติ แยมมีศรี

ผู้แทนบริษัท เซลโลกรีดไทย จำกัด

นายนิสสิต บุญ-หลง

ผู้แทนบริษัท ไทยทิกซิดป่าไม้ จำกัด

**กรรมการและเลขานุการ**

นายสมคิด แสงนิล

ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการทำแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้นได้เองภายในประเทศ โดยนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป และส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้และเพื่อประโยชน์แก่ผู้ใช้ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 8335 : 1987

Cement-bonded particleboards-Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles



คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม**

**ฉบับที่ 1516 (พ.ศ. 2532)**

**ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

**พ.ศ. 2511**

**เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

**แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง**

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2532

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

## แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

### 1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบ และการทำ คุณสมบัติที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่ใช้งานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบ รูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

### 2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ซึ่งต่อไปนี้มาตรฐานนี้จะเรียกว่า “แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากชั้นไม้และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2.2 ชั้นไม้ หมายถึง ชั้นหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ligno-cellulosic material) อื่น ๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ชั้นไม้อาจมีลักษณะต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้
  - 2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ชั้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเส้นไม้นานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเส้นไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย
  - 2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า
  - 2.2.3 แถบ (strand) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ
  - 2.2.4 ชี้กบ (planer shaving) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กมีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง มีลักษณะเป็นแจกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)
  - 2.2.5 แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้นไม้น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา
  - 2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ชั้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน
  - 2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์
- 2.3 วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่าง ๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

### 3. แบบและสัญลักษณ์

- 3.1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ 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
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2
- 4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน  
(ข้อ 4.1และข้อ 4.2)

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

## 5. ส่วนประกอบและการทำ

### 5.1 ส่วนประกอบ

#### 5.1.1 ชันไม้

#### 5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

### 5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชันไม้ แยกชันไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรย และอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรง หรือความคงทนของแผ่นชันไม้อัดซีเมนต์เสียไป

## 6. คุณลักษณะที่ต้องการ

### 6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชันไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น 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)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบ ตาม
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	ความต้านแรงดึงตึงฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	0.5	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

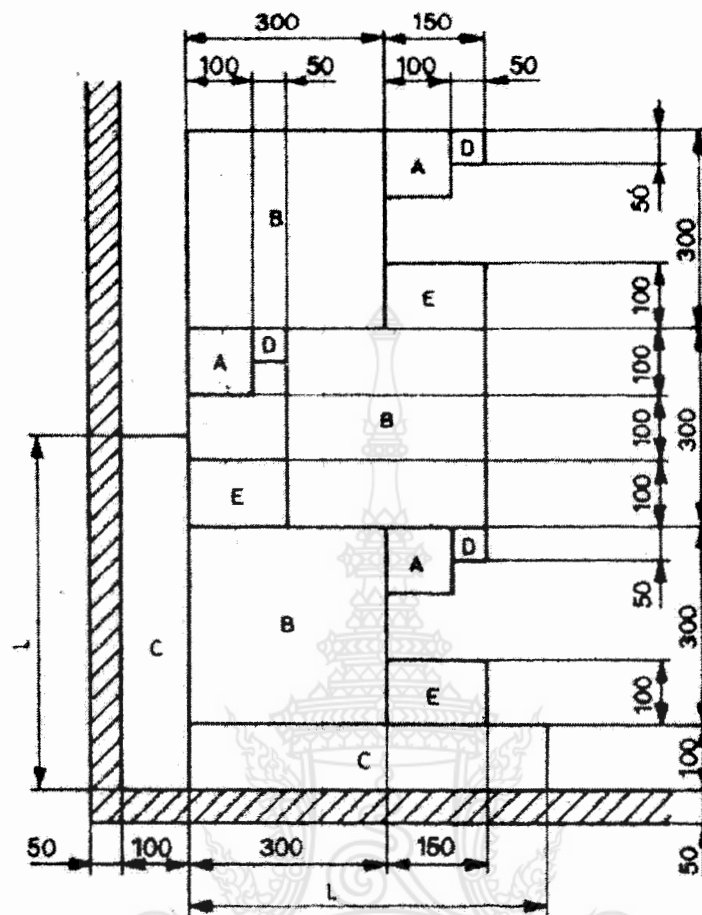
## 8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีแบบและความหนาระบุเดียวกัน 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 จึงจะถือว่าแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

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 จากแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด 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 สำหรับทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า จำนวน 3 ชิ้น
  - ชิ้นทดสอบ E สำหรับการทดสอบสภาพนำความร้อน จำนวน 3 ชิ้น



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

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตำแหน่งและการตัดขึ้นทดสอบ  
(ข้อ 8.2.2.1)

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 ข้อ 6.3 ข้อ 6.4 และข้อ 6.5 ทุกรายการ จึงจะถือว่า  
แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รูนนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

### 8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และ ข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัด  
ซีเมนต์รูนนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

## 9. การทดสอบ

### 9.1 การปรับภาวะขึ้นทดสอบ

ให้นำขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึง ตั้งฉากกับผิวหน้า และสภาพนำความร้อน ไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ  $23 \pm 5$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $60 \pm 10$  จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกิน ร้อยละ 0.5 แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับภาวะ ส่วนขึ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นและความชื้นไม่ต้องปรับภาวะ

### 9.2 ขนาด

#### 9.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ประมาณ 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

#### 9.2.2 ความหนา

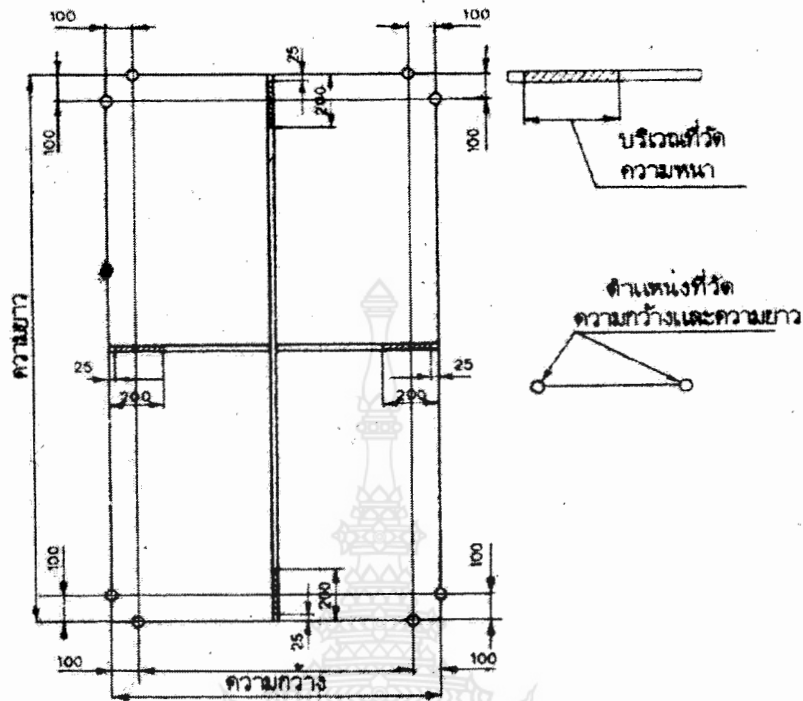
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

#### 9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

#### 9.2.4 ความตรงของขอบ

ซึ่งเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์  
(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 ชั่งชั้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม

9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชั้นทดสอบขนาดกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 9.3.3 วิธีคำนวณ

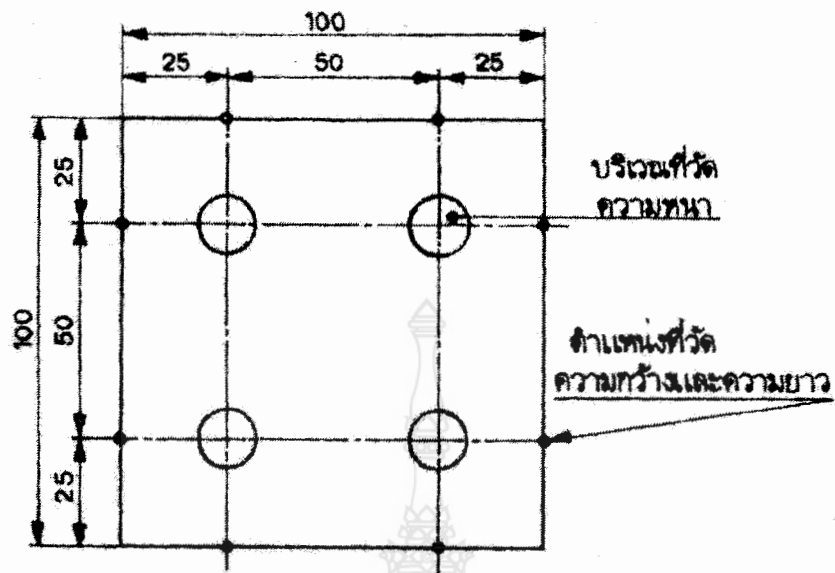
หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

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

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### 9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบแต่ละชั้นและค่าเฉลี่ย



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 ที่ซึ่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- 9.4.1.2 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $130 \pm 2$  องศาเซลเซียส
- 9.4.1.3 เดซิเคเตอร์

##### 9.4.2 วิธีทดสอบ

- 9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- 9.4.2.2 อบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 9.4.2.3 นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปลอ่ยไว้ให้เย็น
- 9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

##### 9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

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

ร้อยละ

##### 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 วัดความหนาของชั้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
- 9.5.2.2 แช่ชั้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชั้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ที่ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชั้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
- 9.5.2.3 เมื่อแช่ชั้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชั้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้ผิวที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ
- 9.5.2.4 เมื่อปล่อยให้ชั้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชั้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม 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

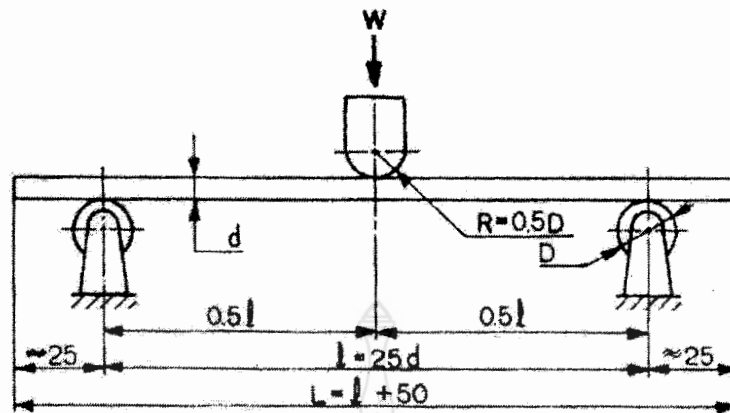
9.6 ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

- 9.6.1.1 เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชั้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ชิดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชั้นทดสอบ
- 9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชั้นทดสอบ
- 9.6.1.3 มาตรการแอนตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

- 9.6.2.1 วางชั้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาของชั้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามรูปที่ 4 ให้ปลายชั้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่า ๆ กัน
- 9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชั้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที
- 9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอนตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงค้ดและมอดูลัสยืดหยุ่น  
(ข้อ 9.6.2.1)

### 9.6.3 วิธีคำนวณ

#### 9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงค้ดจากสูตร

$$f = \frac{3 W l}{2 b d^2}$$

เมื่อ  $f$  คือ ความต้านแรงค้ด เป็นเมกะพาสคัล

$W$  คือ แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

$l$  คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

$b$  คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$d$  คือ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

#### 9.6.3.2 หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{l^3 \Delta W}{4 b d^3 \Delta S}$$

เมื่อ  $f$  คือ มอดูลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

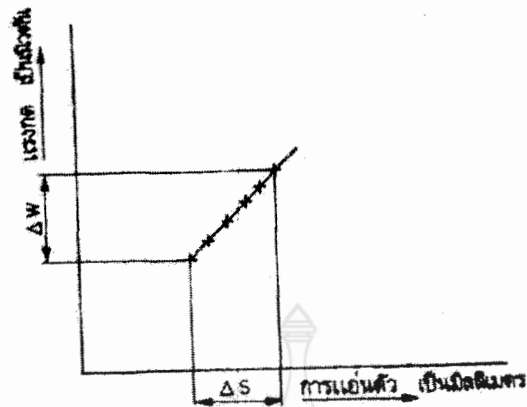
$l$  คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

$\Delta W$  คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน

$b$  คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$d$  คือ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$\Delta S$  คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแฉกตัว  
(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

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

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{เมกะพาสคัล} \quad \text{ความกว้าง (มิลลิเมตร)} \times \text{ความยาว (มิลลิเมตร)}}$$

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



ข บทความสำหรับเผยแพร่

การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกัน  
ความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม  
Development of Precast Adobe Wall Panel with High Corrosion Resistance  
and Good Thermal Insulation for Energy and  
Environmental Conservation Building

วิหาร ดิปัญญา<sup>1\*</sup> และกิตติพงษ์ สุวิโร<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup> อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

\* E-mail: wiharn.d@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ดินเหนียว เถ้าแกลบ ฟางข้าว แกลบสด น้ำยากันซึม และน้ำประปา มาผสมและหล่อขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต และเสริมไม้รวกเป็นวัสดุรับแรง ผลจากการทดสอบ ทำให้ได้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,797 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 16.70 ความต้านทานแรงดัด 2.61 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัด 21.40 เมกะพาสคัลสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.314 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปยังมี ความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน ทั้งนี้ ปริมาณฟางข้าวและแกลบสดจะมีผลต่อความหนาแน่น ความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ส่วนผลต่อความต้านทานแรงอัด และการดูดซึมน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ** ผนังบ้านดินสำเร็จรูป, ดินเหนียว, ปูนซีเมนต์, การชะล้าง, ฉนวนป้องกันความร้อน

### Abstract

The objective of this research is to develop the precast adobe wall panel with high corrosion resistance and good thermal insulation. The ratio of Portland cement type1, clay, rice husk ash, straw, rice husk, waterproofed liquid, and tap water was mixed and casted as same as the common concrete, and reinforced by bamboo. From the results, the proper prototype ratio of precast adobe wall panel was Portland cement type1: clay: rice husk ash: straw: rice husk: waterproofed liquid: tap water which equal to 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 by weight. The properties of the precast adobe wall panel prototype included density 1,797 kg/m<sup>3</sup>, water

absorption 16.70%, bending strength 2.61 MPa, compressive strength 21.40 MPa, thermal conductivity coefficient 0.314 watt/m.Kelvin. Moreover, the precast adobe wall panel prototype also was verified by TIS.2226-2548 with properties of impact resistance, deflection, and hardness in medium duty (MD) level. These straw and rice husk effected the precast adobe wall panel to decrease the density, bending strength, thermal conductivity coefficient, and increase the compressive strength and water absorption.

**Keywords** Precast Concrete Wall Panel, Clay, Cement, Erosion, Thermal Insulation

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

บ้านดิน (Earth Building) เป็นเทคนิคการก่อสร้างอาคารที่พัฒนามาจากการก่อสร้างบ้านที่มีวัสดุส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว เป็นหนึ่งในอาคารประหยัดพลังงานที่สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดี (ประชุม, 2548) จากการนำวัสดุธรรมชาติมาก่อสร้าง จึงทำให้บ้านดินมีเอกลักษณ์ที่ความสวยงามกลมกลืนกับธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าบ้านประหยัดพลังงานที่ต้องติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่ม (รูปที่ 1) ปัจจุบันบ้านชนิดนี้กำลังเป็นที่นิยม ทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในธุรกิจการท่องเที่ยวที่สร้างรายได้เข้าประเทศปีละกว่า 7.72 แสนล้านบาท (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558) และมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งการท่องเที่ยวที่กำลังเกิดเป็นกระแสนิยมอย่างมาก คือ การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ซึ่งมีกิจกรรมต่างๆ ให้นักท่องเที่ยวได้สัมผัสมากมาย เช่น การส่งเสริมความรู้ทางการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ล่องเรือชมวิถีชีวิตริมคลอง ล่องเรือชมธรรมชาติยามค่ำคืน ชมตลาดน้ำ และเลือกซื้อของฝากและสินค้าพื้นบ้าน) การศึกษาและเรียนรู้วิถีชีวิตชาวบ้าน (ตักบาตรพระทางเรือยามเช้า เรียนรู้ภูมิปัญญาชาวบ้าน และพายเรือพักผ่อนท่ามกลางธรรมชาติริมน้ำ) และการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น โดยบ้านดินก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะดึงดูดนักท่องเที่ยวได้ ซึ่งบ้านดังกล่าวจะต้องมีความเป็นธรรมชาติ แต่ยังคงรักษาความเป็นโฮมสเตย์แบบอนุรักษ์ (Eco-tourism) ไว้ กล่าวคือ เป็นบ้านที่มีความสะอาด แข็งแรงคงทน เป็นธรรมชาติ ราคาถูก ผลิตจากวัสดุที่มีคุณภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยสร้างบรรยากาศในการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ บ้านดิน ยังสามารถใช้เป็นบ้านพักอาศัยถาวรได้เช่นเดียวกับบ้านคอนกรีต บ้านไม้ และบ้านเหล็ก



รูปที่ 1 บ้านดิน

วิธีการก่อสร้างบ้านดิน ส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบอิฐดินดิบ (Adobe Brick) ซึ่งเป็นการนำดินเหนียวมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น แกลบ และฟางข้าว เป็นต้น แล้วอัดเป็นก้อน (รูปที่ 2) จากนั้นจึงนำมาก่อผนังโดยใช้โคลนเป็นตัวประสาน (วิทยา, 2545) แต่การก่อสร้างบ้านดินก็ยังมีปัญหาอยู่หลายประการ เช่น รอยต่อของโครงสร้างที่เกิดการรั่วซึมได้ง่าย ระยะเวลาในการก่อสร้างที่ควบคุมได้ยาก ความไม่แข็งแรงของผนัง การพังทลายของโครงสร้างขณะดำเนินการก่อสร้าง การร่วงของเศษวัสดุภายในบ้าน ขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่เป็นมาตรฐาน และต้องใช้ช่างฝีมือโดยเฉพาะในการก่อสร้างและบำรุงรักษา เป็นต้น (ราชบัณฑิตยสถาน และคณะ, 2545)



รูปที่ 2 อิฐดินดิบ

ผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงเป็นนวัตกรรมแผ่นผนังสำเร็จจากดินที่มีความเป็นธรรมชาติ แตกต่างจากแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทั้งหมดมาจากธรรมชาติ ได้รับการพัฒนาสมบัติต่างๆ ให้สามารถต้านทานการชะล้างสูง และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี รวมทั้งออกแบบให้มีจุดยึดสำหรับติดตั้งแผ่นผนังได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดินให้หมดไป

โครงการการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการวิจัยที่ใช้ปูนซีเมนต์ ไม้ไผ่ แกลบ ฟางข้าว เป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ทรายหรือเถ้าแกลบเป็นวัสดุช่วยให้ขนาดคละติขึ้น ซึ่งแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปนี้จะช่วยสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับชุมชน สร้างกระแสความนิยมอาคารจากวัสดุธรรมชาติที่ราคาถูกและใช้งานได้จริง สร้างแรงดึงดูดนักท่องเที่ยวอนุรักษ์ทั่วโลกให้มาเที่ยวประเทศไทย และสร้างความมั่นคงและยั่งยืนให้กับประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

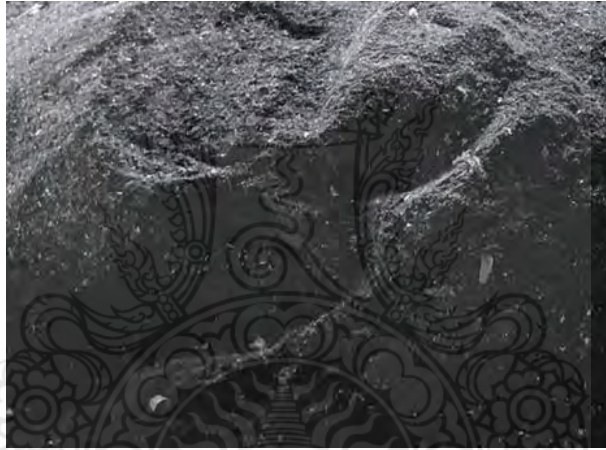
## 2. วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ดินเหนียว ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ดินเหนียวแห้งสำหรับการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูป

- 2) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3) เถ้าแกลบ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เถ้าแกลบ

- 4) แกลบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แกลบ

5) ฟางข้าว บดย่อยให้มีความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ฟางข้าว

6) น้ำประปา

7) ไม้รวก ดังรูปที่ 6 ถึง 8



รูปที่ 6 ไม้รวก



รูปที่ 7 ไม้รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก



รูปที่ 8 ไม้รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่

8) แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร

9) แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร

10) แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

11) แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

12) แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

13) เครื่องบดเส้นใย ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เครื่องบดเส้นใย

- 14) ชุดทดสอบลักษณะโดยทั่วไป ความหนาแน่น ความตรง และการดูดซึมน้ำ
- 15) เครื่องทดสอบความแข็งแรงและการทนการกระแทก
- 16) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)
- 17) เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม ASTM C177 (ASTM, 2013)
- 18) ชุดทดสอบการชะล้าง

### 3. การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบตัวอย่างแผ่นผนังสำเร็จรูป โดยใช้ดินเหนียวผสมกับปูนซีเมนต์ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1 เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสม ผสมส่วนผสม ขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 15 และ 16

ตารางที่ 1 อัตราส่วนดินซีเมนต์โดยน้ำหนักสำหรับหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ดินเหนียว	น้ำประปา	ความต้านทานแรงอัด (กก./ลบ.ซม.)
1:3	1	3	0.5	242
1:4	1	4	0.5	229
1:5	1	5	0.5	207
1:6	1	6	0.5	194
1:7	1	7	0.5	178



รูปที่ 15 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 16 ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในตารางที่ 1 และรูปที่ 15 ถึง 16 พบว่า ก้อนดินซีเมนต์อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม และมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด เมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวมาออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปเพิ่มเติม โดยใช้ส่วนผสมต่างๆ ประกอบด้วย ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ แกลบ ฟางข้าว น้ำประปา และไผ่รวก ดังตารางที่ 2 พร้อมทั้งคำนวณ ออกแบบตำแหน่งการติดตั้งไผ่รวก และพัฒนาวิธีการก่อสร้างบ้านดินจากแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ระบบผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ต่อไป

ตารางที่ 2 อัตราส่วนแผ่นผนังดินสำเร็จรูปจากอัตราส่วนดินซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ดินเหนียว	เถ้าแกลบ	ฟางข้าว	แกลบสด	น้ำยากันซึม	น้ำ
F1	1	3	0.3	0.01	0.01	0.02	0.4
F2	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.4
F3	1	3	0.3	0.03	0.03	0.02	0.4
F4	1	3	0.3	0.04	0.04	0.02	0.4
F5	1	3	0.3	0.05	0.05	0.02	0.4

#### 4. การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ

- 1) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามที่ออกแบบ ตามตารางที่ 2
- 2) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ดังรูปที่ 17 ถึง 25



รูปที่ 17 การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม



รูปที่ 18 การเทเถ้าแกลบลงในเครื่องผสม



รูปที่ 19 การเทแกลบลงในเครื่องผสม



รูปที่ 20 การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม



รูปที่ 21 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม



รูปที่ 22 การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม



รูปที่ 23 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา



รูปที่ 24 การเทน้ำประปาลงในเครื่องผสม



รูปที่ 25 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ

3) เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ จำนวน 3 ขนาด ได้แก่ แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ แบบหล่อขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการชะล้าง แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับ

ทดสอบความต้านทานแรงอัด แบบหล่อขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก สำหรับทดสอบแรงกระแทก ความแข็ง ความตรง และลักษณะทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ มอก.878-2532 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง



รูปที่ 26 การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ



รูปที่ 27 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ



รูปที่ 28 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไม้รวก



รูปที่ 29 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร



รูปที่ 30 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30เซนติเมตร



รูปที่ 31 การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 32 การเสริมไม้รอกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 33 การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รอก



รูปที่ 34 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

## 5. การทดสอบคุณสมบัติ

ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) และ มอก.878-2532 เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2532) แบ่งตามขนาดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ดังนี้

1) ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ได้แก่

1.1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น

1.2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 36 และ 37



รูปที่ 36 การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ



**รูปที่ 37** การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบ สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

2) ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ได้แก่

2.1) การชะล้าง ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังตารางที่ 3 ถึง 4 และรูปที่ 38 ถึง 39

**ตารางที่ 3** เกณฑ์การทดสอบในการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

ระยะหัวฉีดกับวัตถุทดสอบ (มิลลิเมตร)	ความดันของน้ำ (กิโลปาสคาล)	ชนิดหัวฉีดน้ำ	ระยะเวลาการทดสอบ (นาที)
470 (แนวระดับ)	50	สเปรย์ (Spray)	30

**ตารางที่ 4** เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการป้องกันการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก้อนอิฐที่ถูกน้ำฉีดพ่น (มิลลิเมตร)
ดีมาก	น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
ดี	10 - 20 มิลลิเมตร
ปานกลาง	20 - 30 มิลลิเมตร
ควรปรับปรุง	มากกว่า 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 38 การฉีดน้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง



รูปที่ 39 ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความชะล้าง

3) ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ได้แก่

3.1) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังรูปที่ 40 และ 41



รูปที่ 40 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 41 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

4) ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

4.1) ความต้านทานแรงตัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 42 และ 43



รูปที่ 42 การทดสอบความต้านทานแรงตัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร



รูปที่ 43 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงตัด

- 4.2) สัมผัสวิธีการนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 5) ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก
- 5.1) ลักษณะโดยทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 5.2) แรงกระแทก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 44 ถึง 48



รูปที่ 44 การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความทนการกระแทก



รูปที่ 45 อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก



รูปที่ 46 การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทก ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 47 การวัดความสูงของวัสดุถมขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกกลบนของ  
ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร



รูปที่ 48 ผลการกระแทกของวัสดุถมขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

5.3) ความตรง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 49



รูปที่ 49 ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง

#### 5.4) ความแข็ง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 50



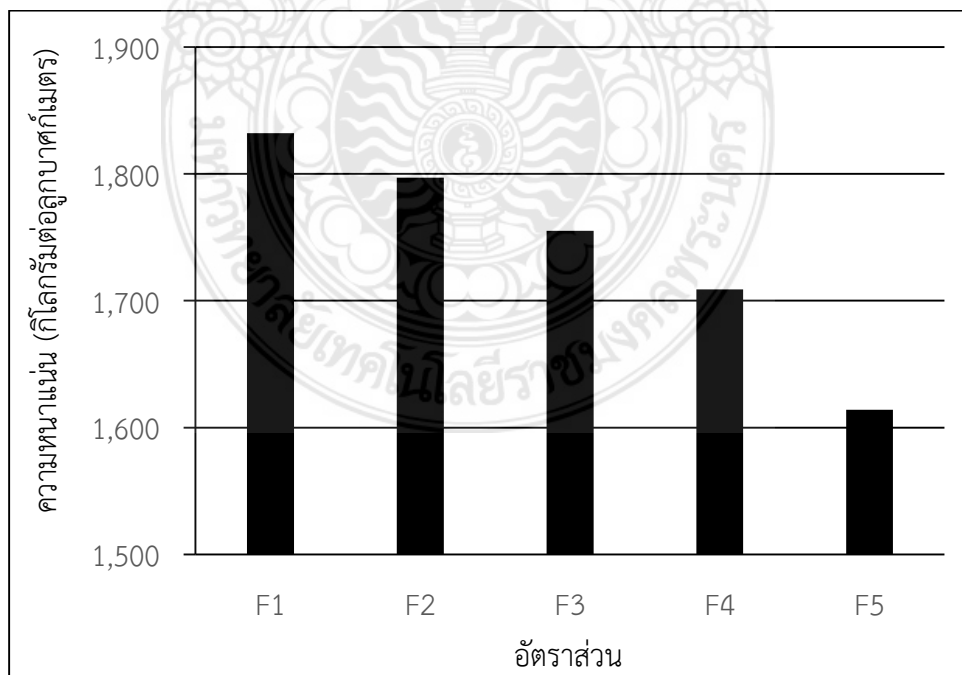
รูปที่ 50 การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง

### 6. ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) สามารถสรุปได้ ดังนี้

#### 1) ความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 51

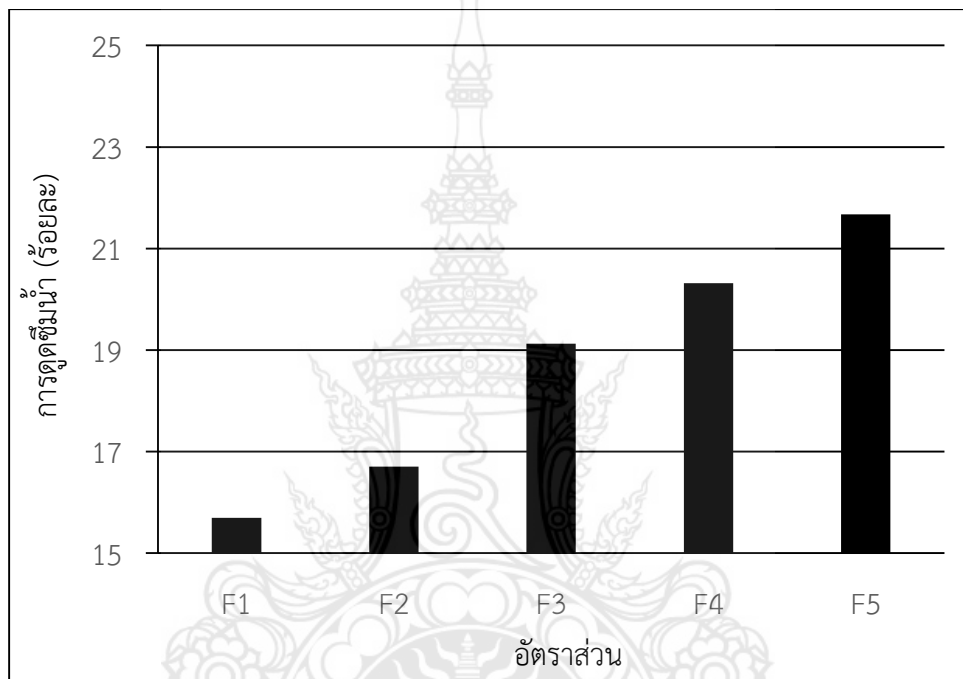


รูปที่ 51 ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 51 พบว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดมีผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีค่าลดลง โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของฟางข้าวและแกลบสดเป็นวัสดุจำพวกเซลลูโลสที่มีค่าเพียง 0.6 (Faherty et al., 1995) ทำให้เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ความหนาแน่นจึงลดลงดังกล่าว

### 2) การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 52



รูปที่ 52 การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ผลจากลักษณะของฟางข้าวและแกลบสดที่มีช่องว่างในเนื้อค่อนข้างมาก เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 52 โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ยังคงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุก่อผนังทั่วไป เช่น คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก. 58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน ร้อยละ 25 (สมอ., 2533) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดซึมน้ำเกินกว่ามาตรฐานกำหนด คือ เกินกว่า ร้อยละ 14 (สมอ., 2548)

### 3) การชะล้าง

การชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ทั้ง 5 อัตราส่วน ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 5 และรูปที่ 53

ตารางที่ 5 ความลึกของผิวหน้าก่อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วน	ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก่อนผนังที่ถูกล้างน้ำจืดพ่น (มิลลิเมตร)
F1	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F2	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F3	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
F4	ดีมาก	2 มิลลิเมตร
F5	ดีมาก	4 มิลลิเมตร

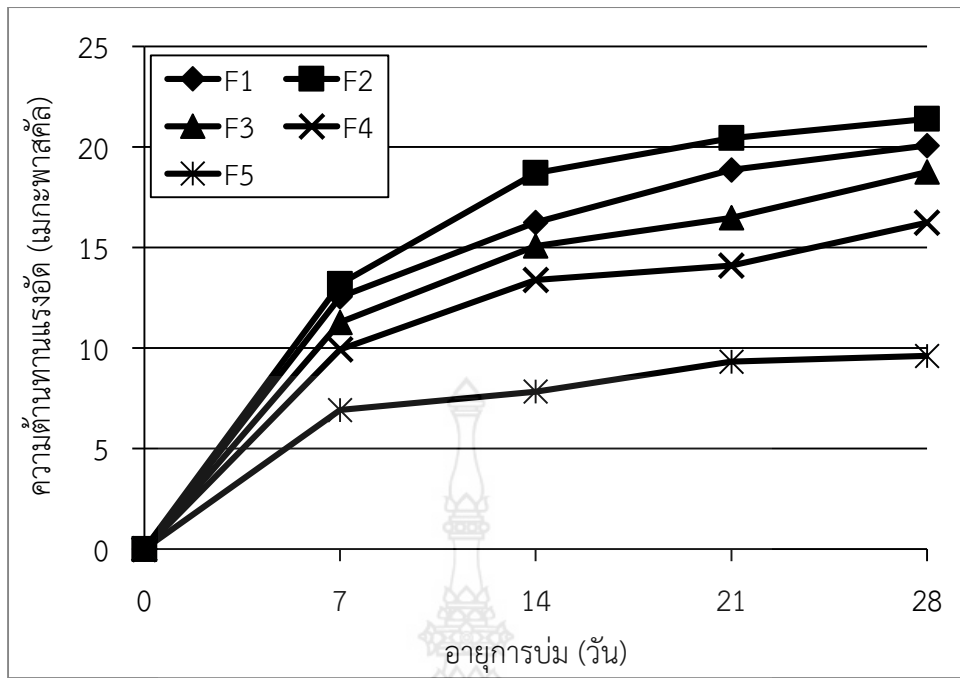


รูปที่ 53 ความลึกของผิวหน้าก่อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วน F5 จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบการชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ในตารางที่ 5 และรูปที่ 53 พบว่าการผสมฟางข้าวและแกลบสดในปริมาณมากขึ้นลงในส่วนผสมของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร มีผลทำให้ความสามารถในการทนต่อการชะล้างที่ลดต่ำลง โดยอัตราส่วน F1 ถึง F3 เป็นอัตราส่วนที่ไม่มีการชะล้าง และอัตราส่วน F4 และ F5 เป็นอัตราส่วนที่มีการชะล้างต่ำ หรือระดับความสามารถในการป้องกันน้ำดีมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณฟางข้าวและแกลบสดทำให้สารเชื่อมประสาน เช่น ดินเหนียว และปูนซีเมนต์ มีสัดส่วนที่น้อยลงและเกิดช่องว่างภายในเนื้อมากขึ้น (ปริญา และชัย, 2551) ทำให้เนื้อของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปเกิดการชะล้างได้ง่ายขึ้น

#### 4) ความต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของผิวหน้าก่อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ทั้ง 5 อัตราส่วนสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 54

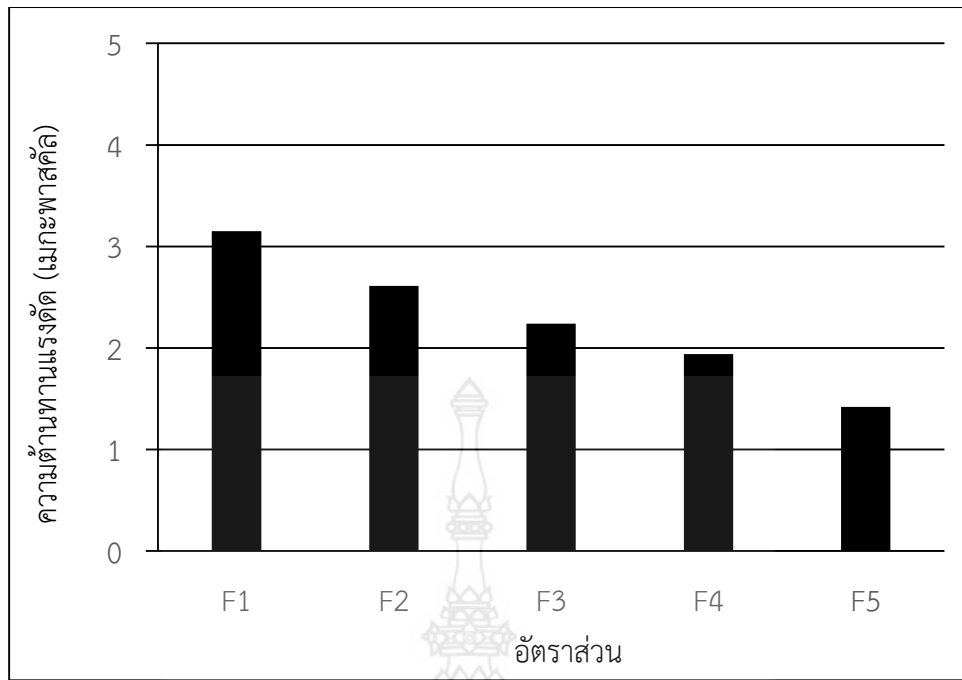


รูปที่ 54 ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 54 พบว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถพัฒนาความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้ดีขึ้นได้ โดยอัตราส่วน F2 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F1, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากฟางข้าวและแกลบสดเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถรับแรงดึงได้ดี รวมทั้ง มีขนาดที่แตกต่างจากส่วนผสมอื่นๆ ของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ทำให้การผสมฟางข้าวและแกลบสดจะทำให้ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีขนาดคละที่ดีขึ้นได้เมื่อผสมวัสดุดังกล่าวในปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้ ฟางข้าวและแกลบสดยังช่วยยึดเหนี่ยวให้เนื้อของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปดีขึ้นเมื่อต้องรับแรงกระทำต่างๆ (ปริญา และชัย, 2551) ได้

#### 5) ความต้านทานแรงดัด

ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ทั้ง 5 อัตราส่วนที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 55

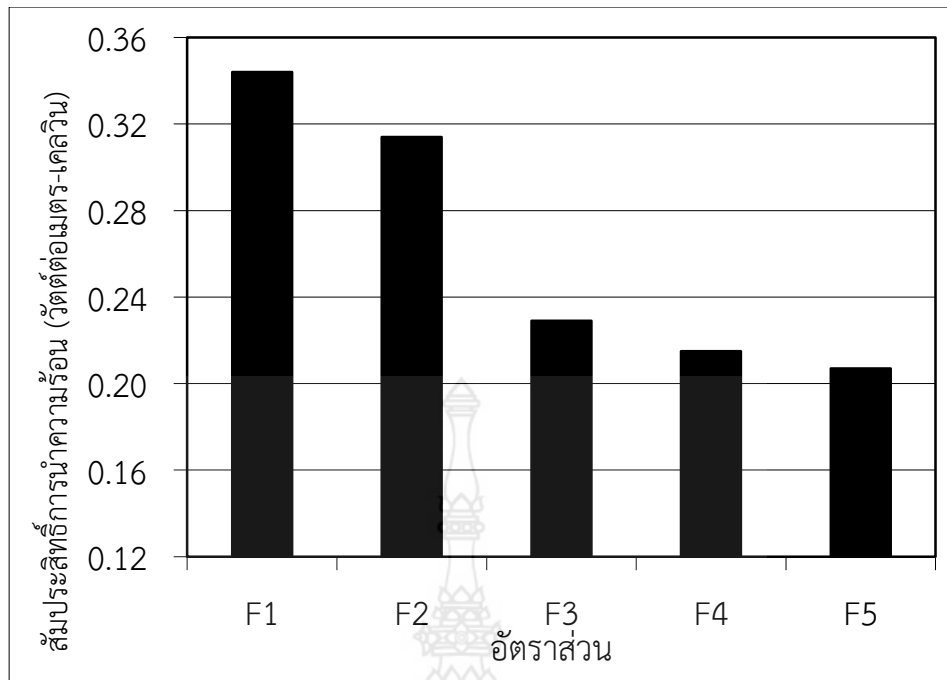


รูปที่ 55 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

แม้ว่า การผสมฟางข้าวและแกลบสดปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ความต้านทานแรงอัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การที่ฟางข้าวและแกลบสดมีขนาดเส้นใยที่สั้น จะทำให้ไม่สามารถช่วยในการรับแรงดึงได้มากเท่าที่ควร (ปริญญา และชัย, 2551) ดังนั้น ค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในรูปที่ 55 จึงมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้ อัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F2, F3, F4 และอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

#### 6) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือความสามารถในการนำความร้อนผ่านแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้



รูปที่ 56 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

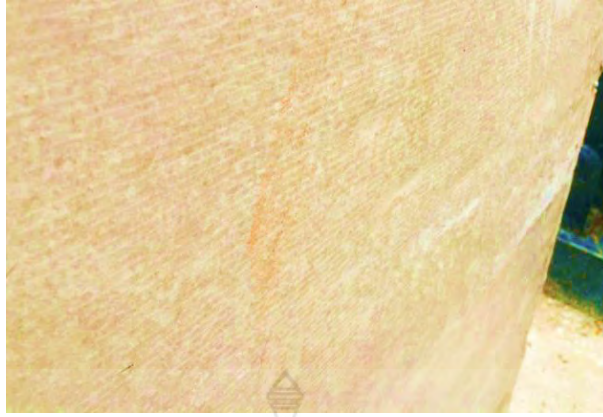
จากรูปที่ 56 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน F5 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน F4, F3, F2 และอัตราส่วน F1 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะของฟางข้าวและแกลบสดที่มีช่องว่างมาก จะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง (ธัญชัย และคณะ, 2549) ดังกล่าว

7) ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้ง 5 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 57 ถึง 58

ตารางที่ 6 ลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	ผ่าน
F2	ผ่าน
F3	ผ่าน
F4	ผ่าน
F5	ไม่ผ่าน



รูปที่ 57 พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ



รูปที่ 58 การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

จากรูปที่ 57 ถึง 58 และตารางที่ 6 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) โดยผลจากการเพิ่มฟางข้าวและแกลบสดลงในแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป จะมีผลทำให้แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปเกิดการแตกร้าวได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม รอยแตกร้าวดังกล่าวก็ยังมีขนาดค่อนข้างเล็กมาก และยังสามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดได้

#### 8) แรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทก เป็นการนำวัสดุแข็งขนาดเล็ก (ตุ้มน้ำหนัก) และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ (กระสอบทราย) มากระแทกแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร ด้วยมุมและความสูง ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
F1	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F3	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F4	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
F5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 8 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
F1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
F5	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 7 และ 8 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของฟางข้าวและเกลบสดสามารถทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) แต่สามารถทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ได้ถึงประเภทที่ 3 อาคารสาธารณะ (Heavy Duty, HD) ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548)

9) ความตรง

ผลการทดสอบความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง โดยใช้ระยะจูดรองรับ 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนัง ทั้ง 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	การโก่งตัว (มิลลิเมตร)	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	0	ผ่าน
F2	0	ผ่าน
F3	0	ผ่าน
F4	0	ผ่าน
F5	0	ผ่าน

จากตารางที่ 9 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปทั้งหมด ไม่มีการโก่งตัวภายหลังจากการวางผนังตามแนวการใช้งาน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่กำหนดให้ต้องมีค่าไม่เกินกำหนด L/480 หรือ 100 เซนติเมตร/480 หรือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

#### 10) ความแข็ง

ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป เมื่อวัดค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้างของทุกอัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
F1	ผ่าน
F2	ผ่าน
F3	ผ่าน
F4	ผ่าน
F5	ผ่าน

จากตารางที่ 10 พบว่า ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปทุกอัตราส่วน สามารถผ่านตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ประเภทที่ 1 ผนังสำเร็จรูปสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) กำหนด คือมีค่าการโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และการโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

#### 7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ดำเนินการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมที่พัฒนาในปีที่ 1 เป็นการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ดินเหนียว เถ้าแกลบ ฟางข้าว แกลบสด น้ำยากันซึม และน้ำประปา มาผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีต และนำส่วนผสมที่ได้ไปหล่อขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต โดยเสริมไม้รอกเป็นวัสดุรับแรง ผลจากการทดสอบ ทำให้ได้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา (อัตราส่วน F2) เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,797 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 16.70 (เกินกว่าที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด) ความต้านทานแรงดัด 2.61 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัด 21.40 เมกะพาสคัล (ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.314 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปยังมี ความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) ทั้งนี้ ปริมาณฟางข้าวและแกลบสดจะมีผลต่อความหนาแน่น ความต้านทานแรงดัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง ส่วนผลต่อความต้านทานแรงอัดและการดูดซึมน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้สามารถต้านทานการชะล้างได้สูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น รวมทั้งมีค่าการดูดซึมน้ำที่ลดต่ำลง โดยการผสมส่วนผสมหรือสารอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น น้ำยางธรรมชาติ เป็นต้น

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2560 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## 9. บรรณานุกรม

- ธนัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4.**
- ประชุม คำพุดม, 2548. การศึกษาเกี่ยวกับบ้านดิน (ตอนที่ 1). **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 3. ฉบับที่ 6 : 29-50.**
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.).
- ราชบัณฑิต บุญไชโย, ธนา อุทัยภัตรากูร และ ไพริน พงษ์สุระ, 2545. **บ้านดิน: แนะนำการสร้างบ้านดินเบื้องต้น,** พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
- วิทยา วัชรไตรรงค์, 2545. **กระบวนการร่วมกันสร้างที่อยู่อาศัยด้วยตนเอง : กรณีศึกษาบ้านดิน บ้านเทพพนา อำเภอเทพสถิตย์ จังหวัดชัยภูมิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเคหพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558. **ตลาดไทยเที่ยวไทยปี' 58: คาดจะสร้างเม็ดเงินสะพัดประมาณ 7.72 แสนล้านบาท. กระแสทรรศน์.** ฉบับที่ 2591.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2532) เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2548. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2226-2548) เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป.** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- Faherty, Keith F. and Williamson, Thomas G., 1995. **Wood Engineering and Construction Handbook.** Second Edition. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Moor, G. and Heathcote, Kavan, 2004. **Earth Building in Australia-Durability Reserch.** University of Technology Sydney.

ค หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์





## บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด

ARIYASUTTHI INTERTRADE CO.,LTD.

261/255 หมู่ที่ 4 ถนน รังสิต - นครนายก ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0 2159 0667

วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2560

เรื่อง ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญา งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็น  
ฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม  
เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตามที่ บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด ได้นำเอาผลงานวิจัย ของ ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญา งานวิจัยเรื่อง การ  
พัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและ  
สิ่งแวดล้อม ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาผนังอาคารบ้านดินให้มีความแข็งแรงคงทนต่อสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น และเป็นแนวทางการ  
พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นผลให้บริษัท สามารถลดค่าใช้จ่ายและมีรายได้เพิ่มขึ้น

ในการนี้ ทางบริษัทจึงขอขอบคุณมายัง ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญาในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่  
ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม และขอขอบคุณ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือ มา ณ ที่นี้

ขอแสดงความนับถือ

นายรัชชัย อริยะสุทธิ  
ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

ประวัติย่อผู้วิจัย



## ประวัติย่อผู้วิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assistant Professor Dr. Wiharn Deepanya
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กระทรวงศึกษาธิการ  
เลขที่ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ  
กรุงเทพมหานคร 10800
4. E-mail wiharn.d@rmutp.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันฯ	ประเทศ
2528	ตรี	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	วิศวกรรมอุตสาหการ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา	ไทย
2542	โท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต	บริหารและเทคนิคศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไทย
2549	เอก	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต	บริหารและเทคนิคศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไทย



