การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

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

วิหาร ดีปัญญา

กิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำยางพารา: น้ำประปา จำนวน 6 อัตราส่วน เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.05: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.15: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.2: 0.4 และ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.25: 0.4 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต และเสริมไม้รวกเป็นวัสดุเสริมแรง จากผลการทดสอบ อัตราส่วนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 โดยมีค่าความหนาแน่น 1,810.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.16 ความต้านทานแรงอัด 15.13 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัด 3.01 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.2226-2548 นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) ทั้งนี้ ปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมจะสามารถพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้นได้ ได้แก่ เพิ่มความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัด ลดความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และการดูดซึมน้ำ

คำสำคัญ ผนังบ้านดินสำเร็จรูป, ดินเหนียว, ปูนซีเมนต์, น้ำยางพารา

Abstract

The objective of this research is to develop the high corrosion resistance and good thermal insulation precast adobe wall panels mixed with natural latex. The 6 ratios of Portland cement type1: clay: rice husk ash: straw: rice husk: waterproofed liquid: natural latex: tap water were designed including: 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.05: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.15: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.2: 0.4, and 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.25: 0.4 by weight. The precast adobe wall panels casted as same as the common concrete and reinforced by the bamboo. From the results, the proper ratio of precast adobe wall panel mixed with natural latex was 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 ratio. The properties of the proper precast adobe wall panel included density 1,810.83 kg/m^3, water absorption 17.16 %, compressive strength 15.13 MPa, bending strength 3.01 MPa, thermal conductivity coefficient 0.234 watt/m.Kelvin. Moreover, the proper precast adobe wall panel mixed with natural latex also was verified by TIS.2226-2548 with properties of impact resistance, deflection, and hardness in medium duty (MD) level. The proper amount of natural latex effected the precast adobe wall panels to improve the mechanical properties including: increase the compressive and tensile strength, decrease the density, thermal conductivity coefficient and water absorption.

Keywords Precast Concrete Wall Panel, Clay, Cement, Natural latex

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฌ
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	6
2.1 บ้านดิน	6
2.2 ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง	11
2.3 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป	12
2.4 ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า (Modular Coordination)	13
2.5 ตารางพิกัดมูลฐาน	17
2.6 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร	18
2.7 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด	19
2.8 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง	19
2.9 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป	21
2.10 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร	22
2.11 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป	28
2.12 ดินเหนียว	29
2.13 ไม้ไผ่	32
2.14 การคัดเลือกไม้ไผ่เพื่อใช้ในการก่อสร้าง	34
2.15 การรักษาไม้ไผ่ให้มีอายุยืนนาน	34
2.16 ยางพารา	35
2.17 การปรับปรุงยางธรรมชาติ	36
2.18 การวัลคาไนซ์ยางพารา	37
2.19 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	40
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	40
3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม	47
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ	50
3.4 การทดสอบคุณสมบัติ	59

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	68
4.1 ความหนาแน่น	68
4.2 การดูดซึมน้ำ	69
4.3 การชะล้าง	69
4.4 ความต้านทานแรงอัด	70
4.5 ความต้านทานแรงดัด	72
4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	73
4.7 ลักษณะโดยทั่วไป	73
4.8 แรงกระแทก	75
4.9 ความตรง	75
4.10 ความแข็ง	76
4.11 การใช้งานจริง	77
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผล	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	83
ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537	
ข บทความสำหรับเผยแพร่	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	บ้านดิน	1
1.2	การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์	2
1.3	อิฐดินดิบ	2
1.4	กรอบแนวความคิดของผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อน	4
2.1	ลักษณะภายนอกของบ้านดิน	6
2.2	ลักษณะภายในของบ้านดิน	6
2.3	ลักษณะโดยทั่วไปของบ้านดิน	7
2.4	การย่ำดิน	9
2.5	การทำอิฐดินดิบ	9
2.6	การก่ออิฐดินดิบ	9
2.7	โครงไม้ไผ่และการนำฟางที่คลุกดินมาหุ้มโครงไม้ไผ่	10
2.8	โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป	12
2.9	รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง	14
2.10	มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ	14
2.11	การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร	16
2.12	ขนาดของการประสาน	16
2.13	ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง	18
2.14	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง	18
2.15	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1	19
2.16	การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection	20
2.17	ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	20
2.18	รูปแบบการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	21
2.19	รอยต่อของผนังกับผนัง	22
2.20	รอยต่อของผนังกับผนังและเสา	23
2.21	ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว	23
2.22	แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station	24
2.23	รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง	24
2.24	ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints	25
2.25	รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	25
2.26	ลักษณะรอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	26
2.27	รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป	26
2.28	ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)	27
2.29	ทางเลือกการเจาะประตู – หน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	การนำดินเหนียวมายังสถานที่ขึ้นรูปโครงการแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	40
3.2	ดินเหนียวแห้งสำหรับใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	40
3.3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	41
3.4	เถ้าแกลบ	41
3.5	แกลบ	42
3.6	ฟางข้าว	42
3.7	น้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์	43
3.8	ไผ่รวก	43
3.9	ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก	44
3.10	ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่	44
3.11	แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร	44
3.12	แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร	45
3.13	แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร	45
3.14	แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร	46
3.15	แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร	46
3.16	เครื่องบดเส้นใย	46
3.17	การเทส่วนผสมดินซีเมนต์ลงในแบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร	47
3.18	การอัดส่วนผสมลงในแบบหล่อเพื่อขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์	48
3.19	ก้อนดินซีเมนต์ที่พร้อมนำไปบ่มและทำการทดสอบคุณสมบัติ	48
3.20	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม	48
3.21	ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	49
3.22	การชั่งน้ำหนักดินเหนียว	50
3.23	การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์	50
3.24	การชั่งน้ำหนักเถ้าแกลบ	51
3.25	การชั่งน้ำหนักแกลบ	51
3.26	การชั่งน้ำหนักฟางที่ย่อยขนาดแล้ว	51
3.27	การชั่งน้ำหนักน้ำยากันซึม	52
3.28	การชั่งน้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์	52
3.29	การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม	52
3.30	การเทเถ้าแกลบลงในเครื่องผสม	53
3.31	การเทแกลบลงในเครื่องผสม	53
3.32	การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม	53
3.33	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม	54
3.34	การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม	54
3.35	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา	54
3.36	การเทน้ำประปาผสมน้ำยากันซึม และน้ำยางพาราลงในเครื่องผสม	55
3.37	การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.38	การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ	56
3.39	การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ	56
3.40	การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไม้รวก	56
3.41	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร	57
3.42	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30เซนติเมตร	57
3.43	การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	57
3.44	การเสริมไม้รวกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	58
3.45	การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รวก	58
3.46	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	58
3.47	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทำการทดสอบ	59
3.48	ก้อนตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราขนาดต่างๆ สำหรับทำการทดสอบ	59
3.49	การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น	60
3.50	การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ	60
3.51	การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบสำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ	60
3.52	การฉีดน้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง	61
3.53	ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความชะล้าง	62
3.54	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร	62
3.55	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	63
3.56	ตัวอย่างลักษณะเนื้อผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	63
3.57	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร	64
3.58	ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	64
3.59	การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความทนการกระแทก	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.60	อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก	65
3.61	การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทกผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	65
3.62	การวัดความสูงของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกลงบนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	66
3.63	ผลการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	66
3.64	ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง	66
3.65	การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง	67
4.1	ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	68
4.2	การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	69
4.3	ความลึกจากการทดสอบชะล้างของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีการผสมน้ำยางพารา ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	70
4.4	ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ	71
4.5	ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	72
4.6	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน	73
4.7	พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ	74
4.8	การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	74
4.9	การนำแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา อัตราส่วน R0.1 มาเชื่อมกับโครงเหล็กและแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราต่อไป	77
4.10	การฉาบปิดร่องของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราให้เรียบ	77
4.11	ผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว	78
4.12	ด้านข้างของผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว	78

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบตารางระบบพิกัดแบบไม่ต่อเนื่องแบบที่ 1	19
2.2	ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ	28
2.3	ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ	28
2.4	สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ	36
3.1	อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราข้น ชนิดพรีวัลคาไนซ์	43
3.2	อัตราส่วนดินซีเมนต์โดยน้ำหนักสำหรับหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม	47
3.3	อัตราส่วนแผ่นผนังดินสำเร็จรูปจากอัตราส่วนดินซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด	49
3.4	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	50
3.5	เกณฑ์การทดสอบในการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย	61
3.6	เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการป้องกันการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย	61
4.1	ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน	70
4.2	ลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร	74
4.3	ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	75
4.4	ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	75
4.5	ความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	76
4.6	ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา	76

บทที่ 1
บทนำ

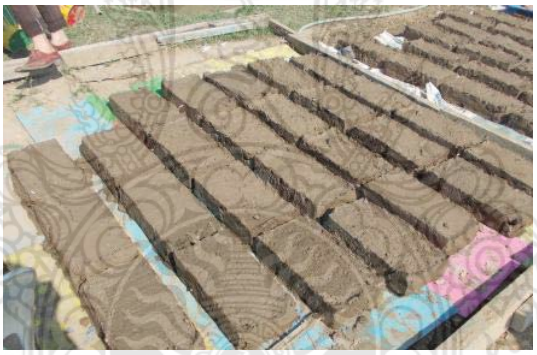
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

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 การส่งเสริมความรู้ทางด้านการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ล่องเรือชมวิถีชีวิตริมคลอง 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 ยังสามารถใช้เป็นบ้านพักอาศัยถาวรได้เช่นเดียวกันกับบ้านคอนกรีต 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 (ราชบดินทร์ และคณะ, 2545)



รูปที่ 1.3 อิฐดินดิบ

ผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงเป็นนวัตกรรมแผ่นผนังสำเร็จจากดินที่มีความเป็นธรรมชาติ แตกต่างจากแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทั้งหมดมาจากธรรมชาติ ได้รับการพัฒนาสมบัติต่างๆ ให้สามารถต้านทานการชะล้างสูง และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี รวมทั้งออกแบบให้มีจุดยึดสำหรับติดตั้งแผ่นผนังได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดินให้หมดไป โครงการการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี แบ่งเป็นปีที่ 1 (พ.ศ.2560) พัฒนารูปแบบและกรรมวิธีการผลิตแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูป โดยใช้ปูนซีเมนต์ ไม้ไผ่ แกลบ ฟางข้าวเป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ทราย เถ้าแกลบเป็นวัสดุช่วยให้ขนาดคละดีขึ้น ส่วนปีที่ 2 (พ.ศ.2561) เป็นการพัฒนาสมบัติการป้องกันการชะล้างของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปในปีที่ 1 โดยการใช้น้ำยางพาราเป็นสารผสมเพิ่ม โครงการการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นโครงการตามนโยบายของรัฐบาลทุกรัฐบาล ที่ให้ความสำคัญกับการท่องเที่ยว พลังงาน ราคายางพารา ข้าว และการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ ซึ่งแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปนี้ จะช่วยสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับชุมชน สร้างกระแสความนิยมอาคารจากวัสดุ

ธรรมชาติที่ราคาถูกและใช้งานได้จริง 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 ใช้น้ำยางพารา เป็นสารผสมเพิ่ม สำหรับพัฒนาสมบัติต้านทานการชะล้างและความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูป ไม่น้อยกว่า 3 อัตราส่วน

1.3.8 ทดสอบการชะล้างของผนังดิน ตามแนวทางการทดสอบของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004)

1.3.9 ใช้ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ในการออกแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูป

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

1.3.11 ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน ASTM C 177 (ASTM, 2013)

1.3.12 ปัจจัยที่ทำการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1) ชนิดของน้ำยางพาราที่เหมาะสำหรับผสมลงในผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวก (จากผลการวิจัยในปีที่ 1)

2) วิธีการผสมน้ำยางพาราลงในผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวก (จากผลการวิจัยในปีที่ 1) เพื่อพัฒนาสมบัติการต้านทานการชะล้างและความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

3) อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราที่เหมาะสำหรับผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวก (จากผลการวิจัยในปีที่ 1) เพื่อให้มีสมบัติต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี

4) ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวกผสมน้ำยางพารา

5) ทดสอบการใช้งานจริงของผนังบ้านดินสำเร็จรูปเสริมไผ่รวกผสมน้ำยางพารา

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 การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) สามารถสรุปได้ 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 หรือแอ่งวัฒนธรรมบ้านดินนั้น มีอยู่ 3 แอ่งใหญ่ๆ (โจน, 2546) คือ

1) แอ่งตะวันออกกลาง ซึ่งกินอาณาเขตที่กว้างขวางมาก ด้านตะวันออกจะรวมมาถึงอินเดีย บังกลาเทศ เนปาล และจีน ส่วนด้านตะวันตกกินเนื้อที่ไปถึงตุรกี และยุโรปอีกหลายประเทศ แอ่งนี้เคยมีความเจริญรุ่งเรืองมายาวนานหลายพันปี จนบางแห่งรุ่งเรืองจนถึงขีดสุดแล้วก็ล่มสลายไปตามกฎเกณฑ์ธรรมชาติ เช่น อาณาจักรเมโสโปเตเมีย หรือที่เรียกกันว่าแหล่งวัฒนธรรมแถบลุ่มแม่น้ำไทกริส-ยูเฟติส ซึ่งปัจจุบันเหลือเศษซากทิ้งไว้ให้มนุษย์รุ่นหลังคาดคะเนกันเอาตามภูมิของแต่ละคน ทุกวันนี้หมู่บ้านต่าง ๆ ในเขตแอ่งตะวันออกกลางก็ยังคงเป็นบ้านดินทั้งหมู่บ้าน แม้แต่ในเมืองที่ถือว่าเจริญแล้วก็ยังมีคนสร้างบ้านด้วยดินอยู่อาศัยเหมือนเดิม อาจจะเป็นแหล่งที่คนอยู่ในบ้านดินมากที่สุดในโลกก็ได้

2) แอ่งแอฟริกา ทั่วทั้งทวีปตั้งแต่อียิปต์ ไปจนถึงแอฟริกาใต้ เคยเป็นดินแดนที่ผู้คนใช้ดินสร้างเป็นที่อยู่อาศัยมายาวนานหลายพันปี จนกระทั่งทุกวันนี้ก็ยังไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลงมากมายนัก เพราะเหตุที่แอฟริกาเป็นดินแดนที่ทุรกันดาร ไม่มีทรัพยากรมากมายเหมือนที่อื่น นักล่าอาณานิคมจึงไม่ค่อยสนใจนัก นักธุรกิจก็ไม่อยากเข้ามาลงทุน เลยทำให้ทวีปนี้ยังคงวัฒนธรรมดั้งเดิมของตัวเองไว้ได้มากมาย ปัจจุบันหมู่บ้านส่วนมากก็ยังเป็นบ้านดินทั้งหมด หรือแม้แต่เมืองหลายเมืองก็ยังคงเป็นดินทั้งหมด แต่แอฟริกาไม่มีร่องรอยของสิ่งก่อสร้างที่เก่าแก่มากนัก อาจจะเป็นเพราะแอฟริกาไม่เคยเจริญรุ่งเรืองมากเหมือนที่อื่น ๆ ก็เลยไม่ค่อยสร้างถาวรวัตถุทิ้งไว้มากนัก จวบจนอิสลามถูกเผยแพร่เข้าไป จึงเริ่มมีการสร้างมัสยิดกันมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันนี้มีมัสยิดดินที่สวยงามมากมายในแอฟริกา ส่วนมากจะมีอายุระหว่าง 200 – 700 ปี โดยเฉพาะมัสยิด Djenne ที่ประเทศมาลี ซึ่งก่อสร้างในศตวรรษที่ 13 ถือว่าเป็นอนุสาวรีย์ดินที่ใหญ่ที่สุดในโลก

3) แอ่งทวีปอเมริกา เคยมีร่องรอยของวัฒนธรรมบ้านดินในทวีปอเมริกาเหนือ โดยเริ่มจากทิศใต้ฝั่งตะวันตกแถว ๆ นิวเมกซิโก อริโซน่า ลงไปจนถึงเมกซิโก และทวีปอเมริกาใต้ หลักฐานที่มีชื่อเสียงที่สุด คือ ซากสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ของอินเดียแดงเผ่าอนาซาซี่ ที่เรียกกันว่าดีวา ดีวาคือสิ่งก่อสร้างที่เป็นรูปทรงกลม สร้างโดยขุดลงไปในดินลึกประมาณ 2 – 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กาง 3 – 4 เมตร ใช้อิฐดินดิบก่อเป็นกำแพงกลมขึ้นมาตามผนังบ่อ แล้วก่อเลยพื้นดินขึ้นไปอีกประมาณครึ่งเมตร จากนั้นก็ใช้ไม้เนื้อแข็งทั้งท่อนวางพาดเป็นหลังคาแล้วคลุมด้วยดินแต่เหลือช่องเล็ก ๆ ไว้เป็นทางขึ้นลง เขาใช้ดีวาเป็นที่ประชุมและประกอบพิธีกรรม ในอาณาจักรของอนาซาซี่ จะมีซากของดีวาปรากฏให้เห็นอยู่ทั่วไป ซากของชุมชนที่น่าสนใจอีกแห่งคือ เมสาเวอร์เด ซึ่งเป็นชุมชนสมัยโบราณที่สร้างหมู่บ้านอยู่ใต้หน้าผาขนาดใหญ่ และทั้ง

หมู่บ้านสร้างด้วยอิฐดินดิบ ก่อเป็นห้องติด ๆ กันและซ้อนกันขึ้นไป 2 – 3 ชั้น เหมือนตึกแถว เพราะมีหน้าผาเป็นหลังคากันแดดและฝนได้เป็นอย่างดี ทำให้หมู่บ้านแห่งนี้มีอายุยาวนานมากกว่า 700 ปี และชนเผ่านี้ได้สูญหายไปทิ้งให้หมู่บ้านแห่งนี้ร้างต่อมาอีกหลายร้อยปี ปัจจุบันเจ้าหน้าที่ของรัฐได้ปฏิสังขรณ์สถานที่แห่งนี้ให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว และเป็นแหล่งที่มีนักท่องเที่ยวไปเยี่ยมเยียนปีและหลายแสนคน

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

พูเอลโปล คืออินเดียแดงเผ่าหนึ่งซึ่งเชื่อกันว่าสืบเชื้อสายมาจากเผ่า อานาซาซี่ ซึ่งเผ่านี้เคยครอบครองอาณาบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐ ในระหว่าง ค.ศ.1 – ค.ศ.1300 เขาเคยอยู่แถบนี้มาอย่างน้อย 2,000 ปี นั่นหมายความว่า วัฒนธรรมการใช้ดินทำเป็นที่อยู่อาศัยในทวีปอเมริกาเริ่มกันมากอย่างน้อย 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 สามารถค่อย ๆ ทยอยทำอิฐเก็บรวบรวมไว้ได้ 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 แล้ววางปั้นไปเรื่อย ๆ โดยใช้นิ้วกดลงไปเพื่อให้ฟางในดินก้อนใหม่ลงไปสานกับฟางในดินก่อนเก่า ซึ่งผนังที่ได้จะเป็นผนังรับน้ำหนักเหมือนผนังที่ก่อด้วยอิฐดินดิบ ผนังจะเป็นเนื้อเดียวกันหมดทั้งหลัง ทำให้มีความแข็งแรงกว่าผนังแบบอิฐดินดิบ แต่ต้องทำผนังให้หนากว่าแบบอิฐดินดิบโดยให้ผนังมีส่วนฐานที่กว้างกว่าส่วนบน

ข้อดีของการก่อสร้างด้วยเทคนิคดินปั้นคือ มีความเป็นศิลปะสูงเหมือนเป็นประติมากรรมขนาดใหญ่ มีข้อจำกัดในการทำรูปร่างต่าง ๆ น้อย มีความแข็งแรงสูง ไม่ต้องทำอิฐ และสามารถทำผนังขึ้นไปเรื่อย ๆ ได้เลยโดยไม่ต้องมีโครงไม้

ข้อเสียคือ เป็นวิธีที่ใช้แรงงานและเวลาในการก่อสร้างมาก แห้งช้าเนื่องจากผนังที่หนา (ต้องทิ้งไว้เป็นเดือน) ถ้าผสมทรายน้อยจะทำให้หดตัวมาก ไม่เหมาะที่จะทำอาคารขนาดใหญ่

ส่วนผสมของดินเหนียว ทรายและฟางนั้น ขึ้นอยู่กับดินในแต่ละท้องที่ แต่ควรให้ทรายมีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับดินเหนียว เพื่อทำให้ผนังหดตัวน้อย อาจทดลองผสมดินเหนียว ทราย และฟาง แล้วปั้นเป็นก้อน ขนาดประมาณรองเท้าแตะ ทิ้งไว้จนแห้งแล้วลองหักดูว่าแข็งหรือเปราะอย่างไร ถ้าก้อนดินนั้นเปราะแสดงว่าต้องเพิ่มดินเหนียว

รูปที่ 2.7 โครงไม้ไผ่และการนำฟางที่คลุกดินมาหุ้มโครงไม้ไผ่

3) การก่อสร้างด้วยการใช้เศษไม้หรือหิน (Cordwood or Stone)

เป็นการใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นหรือวัสดุที่เหลือใช้ร่วมกับดิน สามารถใช้เป็นผนังรับน้ำหนักได้ โดยการใช้หิน หรือเศษไม้ มาก่อในลักษณะคล้ายกับการก่ออิฐ โดยใช้ดินเหนียวที่ผสมทรายและแกลบเป็นตัวเชื่อม ลักษณะของเศษไม้ที่ใช้คือ ไม้ที่มีลักษณะเป็นท่อน ขนาดยาวประมาณ 20–30 เซนติเมตร นำมาก่อโดยวางขวางกับแนวผนัง ให้หน้าตัดของไม้หันออกแล้วฉาบทับด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน หรือใช้ไม้ท่อนขนาดใหญ่วางตั้งเรียงต่อกัน เพื่อให้เป็นผนังรับน้ำหนัก แล้วใช้ดินหุ้มทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันปลวกและแมลงต่างๆ

ข้อดี คือ เป็นการใช้เศษวัสดุและวัสดุที่มีในท้องที่ให้เกิดประโยชน์ช่วยประหยัดเวลาในการทำอิฐ การใช้หินในการก่อไม่จำเป็นต้องฉาบ สวยงามและดูเป็นธรรมชาติ (อาจจะฉาบเฉพาะด้านในเพื่อความสะดวกในการใช้พื้นที่)

ข้อเสีย คือ ถ้าเศษไม้ไม่มีดินหุ้มอาจจะทำให้ปลวกขึ้นและมีโอกาสผุได้ง่าย การใช้หินก่อแทนอิฐดินเป็นงานค่อนข้างหนัก ต้องใช้หินเป็นจำนวนมากในการทำผนัง และต้องอาศัยความประณีตในการเลือกหินแต่ละก้อนด้วย

4) การก่อสร้างด้วยเทคนิคดินอัด (Rammed Earth)

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

ข้อดีของผนังแบบนี้ คือ งานออกมาดูเรียบร้อย เหมาะสำหรับการทำบ้านที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม ถ้าทำบ้านแบบเดียวกันหลาย ๆ หลัง จะประหยัดเพราะใช้ไม้แบบเพียงชุดเดียว มีความมั่นคงแข็งแรง

ข้อเสีย คือ เปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของไม้แบบ ใช้เวลามาก

5) การก่อสร้างด้วยวิธีอื่น ๆ

นอกเหนือจากวิธีต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีอีกหลายวิธีการที่มีการทดลองสร้างในต่างประเทศ ได้แก่

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

ข้อดี คือ สร้างได้เร็ว ไม่มีเทคนิคที่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์มาก สามารถสร้างในหน้าฝนหรือแม้แต่ในพื้นที่ ๆ มีน้ำท่วมก็ได้ มีราคาถูก เหมาะสำหรับการสร้างบ้านเพื่อบรรเทาสาธารณะภัย เพราะสิ่งที่ต้องใช้มีเพียง พลั่ว ถุงกระสอบ และลวดหนาม เท่านั้น

ข้อเสีย คือ ทำให้ผนังเรียบได้ยาก ฉาบยาก และสิ้นเปลืองดินฉาบ

- การใช้ฟางก่อฉาบด้วยดิน (Straw bale) เป็นการใช้ฟางที่อัดเป็นก้อนนำมาก่อในลักษณะเดียวกับการก่ออิฐ ฟางที่อัดเป็นก้อนทำให้ผนังมีความหนามาก ซึ่งทำให้ผนังที่สร้างด้วยฟางอัดเป็นฉนวนที่ดีมาก สามารถป้องกันได้ทั้งเสียงและความร้อน ผนังฟางอัดนี้สามารถสร้างได้ทั้งเป็นผนังรับน้ำหนัก ใช้ทำผนังในโครงสร้างระบบเสาคาน (ตัวผนังไม่ได้รับน้ำหนักโครงหลังคา) หรือนำมาก่อติดกับผนังบ้านที่มีอยู่เดิมเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนก็ได้ หลังจากที่ก่อผนังก้อนฟางอัดเสร็จแล้วสามารถใช้ดินเหนียวผสมทรายและแกลบ (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 โครงสร้างระบบนี้ขนาดและน้ำหนักของแผ่นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการผลิต การส่ง และการติดตั้ง

3) Modular System เป็นลักษณะโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่อง 3 มิติ ในแต่ละโมดูลาร์ถือเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรภาพในตัวเอง ของโมดูลาร์อาจจะมีการทำงานในส่วน

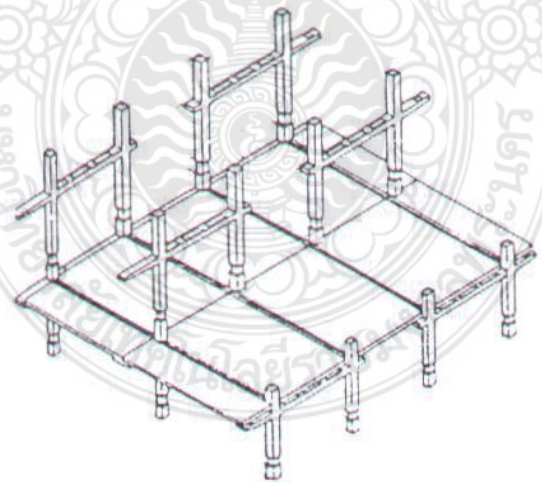
สถาปัตยกรรมและงานระบบมาเรียบร้อยแล้วจึงนำมาติดตั้งเป็นระบบโครงสร้างรวมของอาคาร แต่ละโมดูลาร์อาจจะมีลักษณะ เช่น รูปตัว U, รูปตัว C, รูประฆัง,รูปกล่องสี่เหลี่ยม ข้อจำกัดของระบบนี้จะอยู่ที่การขนส่งและการติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถที่จะนำมาขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน และเครื่องจักรที่จะนำมาทำการยกติดตั้ง เนื่องจากชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก (มามี, 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 โดยจะไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับระบบของโครงสร้างแบบหล่อในที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอย่างมาก ดังนั้นในระบบโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปจะมีคาเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น 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 ระบบประสานทางพิกัดหรือระบบโมดูล่า (Modular Coordination)

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

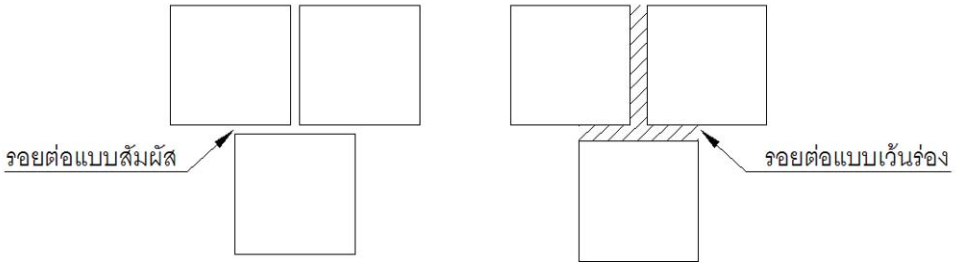
1) มิติ (Dimension)

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

2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension)

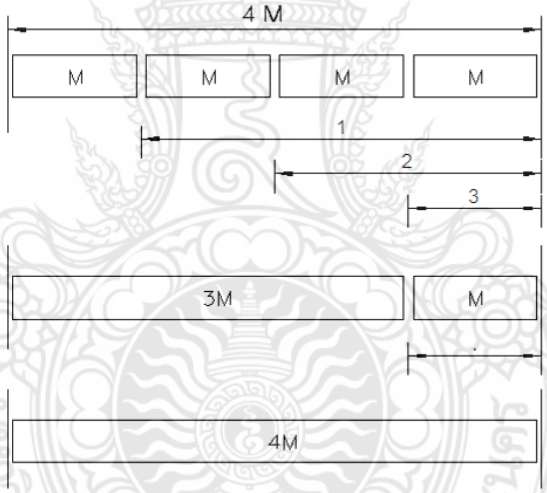
มิติอาศัยซึ่งกันและกัน คือ มิติที่ใช้ในการทำงานตามความสัมพันธ์โดยตรงกับมิติที่อยู่ก่อนในงานก่อสร้างอาคารย่อประกอบด้วยงานหลายชนิดหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเสียในการก่อสร้างคือ การที่งานองมีการรอกันโดยคนงานบางกลุ่มไม่สามารถที่จะทำงานต่อเนื่องได้ ต้องรอให้คนงานกลุ่มอื่นทำงานในส่วนนั้นๆ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

2.1) การใช้รอยต่อแบบสัมผัส หรือเว้นร่อง ควรใช้ให้น้อยแห่งที่สุด เพราะยิ่งมีรอยต่อหลายแห่งก็จะยิ่งทำให้เกิดมิติอาศัยซึ่งกันและกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง

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



รูปที่ 2.10 มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ

2.2) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสเปลี่ยนมาใช้การติดตั้งแบบขอบต่อขอบ หรือขอบต่อผิวแทน

2.3) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นในการผลิต

3) ความเบี่ยงเบน (Deviation)

ความเบี่ยงเบน คือ ความแตกต่างในการวัดระยะส่วนประกอบ กับขนาดทางพิกัดของส่วนประกอบนั้นในการออกแบบ และก่อสร้าง โดยทั่งไปจะทำงานด้วยขนาดที่กำหนดแน่นอน แต่การที่มีความแม่นยำในการปฏิบัติจึงต้องมีการคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนด้วยเสมอ ความเบี่ยงเบนนี้อาจเกอดขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งของการทำงานก็ได้ เช่น การควบคุมขนาดที่ไม่มีความระเอียด

เพียงพอ ในขั้นตอนการผลิต การยืดหดตัว หรือการสูญเยรูปร่างเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการขนส่ง หรือการเก็บรักษาในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในโรงงาน ในขั้นตอนของการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.1.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต

3.1.2) สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้

3.1.3) วิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ

3.2) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง ในขั้นตอนของการติดตั้ง ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.2.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง

3.2.2) ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้

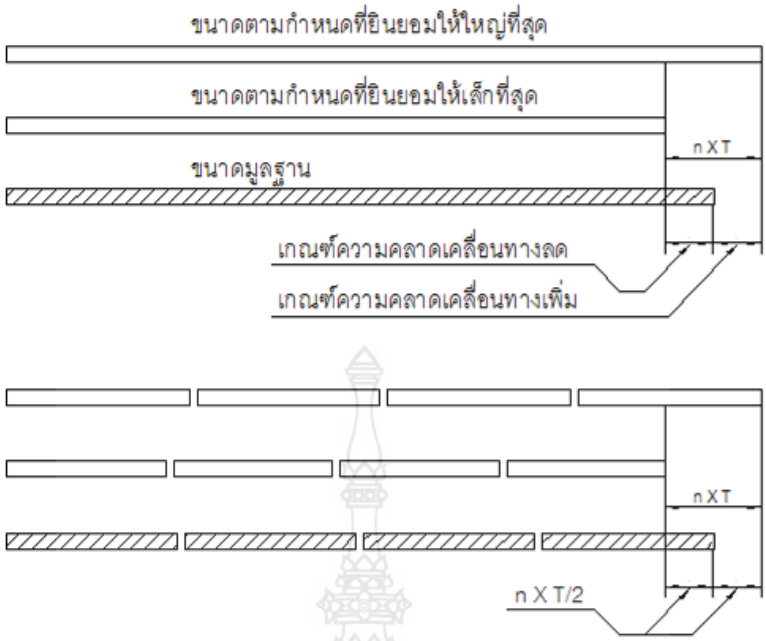
3.2.3) วิธีการในทำการงาน และการติดตั้ง

3.2.4) ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม

ซึ่งทั้งหมดนับเป็นปัญหาที่พบได้มากที่ เมื่อส่วนประกอบแต่ละชิ้นและการทำงานในแต่ละขั้นตอนไม่มีความถูกต้องแม่นยำมากพอ จึงเกิดความเบี่ยงเบนขึ้นเป็นผลให้เกิดความยากลำบากในการผลิตติดตั้งส่วนประกอบในที่สุด การคิดตำแหน่งของส่วนประกอบ ควรที่จะคิดจากระยะที่เหลือหลังจากการติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว โดยควรพิจารณาแก้ไขในทุกๆ จุด ทุกๆ ปัญหาอย่างใกล้ชิดและยึดหลักความเบี่ยงเบนที่แท้จริงเป็นสำคัญ

4) ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)

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



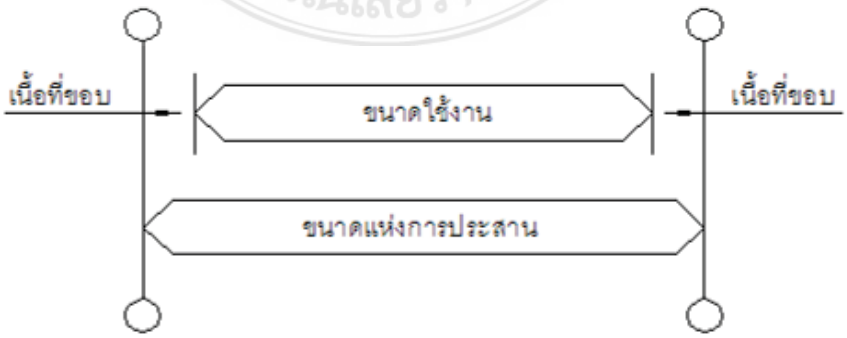
รูปที่ 2.11 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร

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

5) มิติประสาน (Coordinating Dimension)

มิติประสาน คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบ หรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล Element

ขนาดประสาน = ขนาดใช้งาน + เนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน (1)



รูปที่ 2.12 ขนาดของการประสาน

การเลือกมิติประสานสำหรบส่วนประกอบสำเร็จรูปจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรจะสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไหตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งจะมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มีความแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆ ในปัญหาที่เกิดขึ้น

สำหรับผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกร มิติประสานมีความสำคัญมากในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะไม่มีข้อยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาผู้ออกแบบจะต้องพิจาณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามิตินั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่

6) มิติประสานที่แน่นอน

มิติประสานที่แน่นอนคือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในรอยต่อที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นที่จะต้องมีขนาดประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลีกย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถือมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง

ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มีรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดของเขตของเนื้อที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างไปภายในของเขตนั้นๆ เพื่อถือเป็นมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

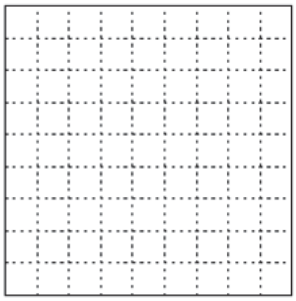
7) มิติประสานที่ไม่แน่นอน

มิติประสานที่ไม่แน่นอนคือ ค่าความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึกโดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัส จำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเบี่ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบากั้นภายในห้องควรอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่ม เพื่อให้สามารถตัดส่วนเกิดออกได้โดยง่าย

2.5 ตารางพิกัดมูลฐาน

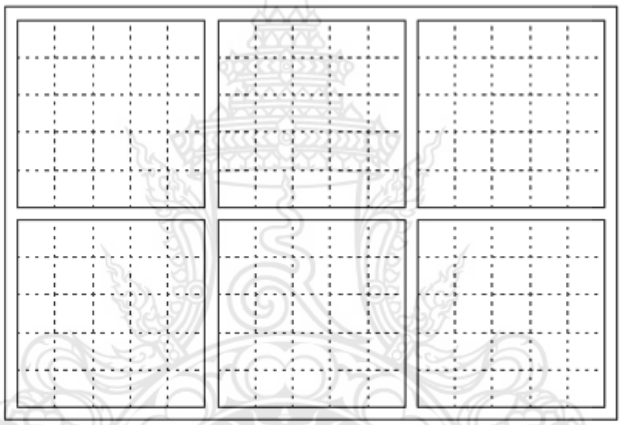
ตารางตามพิกัด หมายถึง การออกแบบอาคารจำเป็นต้องใช้ตารางตามพิกัดเป็นกรอบ โครงให้ส่วนประกอบอาคารต่าง ๆ ประสานกันได้พอดีในเนื้อที่ ๆ กำหนด ตารางตามพิกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วิธี ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง และตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

1) ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่ต่อเนื่องเป็นตารางเดียวตลอด



รูปที่ 2.13 ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง

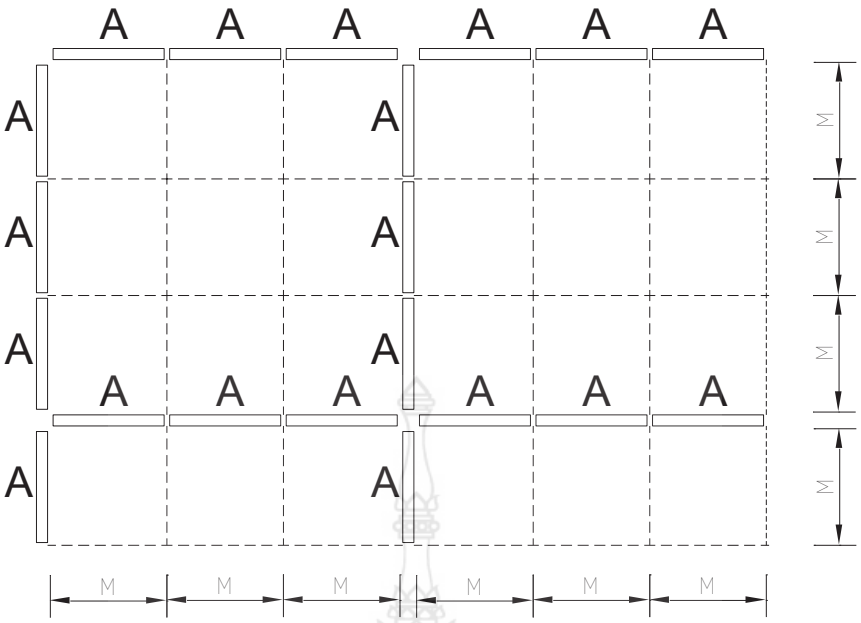
2) ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่แยกเป็นส่วน ๆ โดยมีเขตเป็นกลางของขนาดส่วนประกอบอาคารที่ไม่ลงพิกัดกั้นขวางอยู่เป็นระยะ ๆ หรือมีมิติของพิกัดที่แตกต่างกันมากั้นขวางแยกตารางแบบต่อเนื่องออกจากกัน



รูปที่ 2.14 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

2.6 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร

หลักการพิจารณาเลือกรูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปจะคำนึงถึงขนาดของพื้นที่ ตำแหน่ง และระบบการเชื่อมผสานของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจาณาตัดสินใจที่จะกำหนดขนาดของพิกัดมูลฐานมาเป็นใช้ร่วมในการออกแบบในแนวตั้งอาคาร ลักษณะรูปแบบของตารางแผนผังสามารถแบ่งได้ 31 รูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์ระบบประสานทางพิกัดตามแนวแกนตั้งของอาคารจะใช้ตารางพิกัดแผนผังอาคารแบบที่ 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 พ = 0.60ม.
มีจุดเชื่อมต่อน้อยจุด	ในกรณี 1 ชิ้นงาน = 1 M จะส่งผลให้มิติอาศัยซึ่งกันและกัน = 0 การออกแบบกำหนดให้ผนังภายในอยู่ในช่วงเส้นต่อของตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
มีมิติอาศัยซึ่งกันและกัน	ในกรณีที่ชิ้นงาน 1 ชิ้นไม่เท่า 1 ช่วงแบ่งของห้อง

2.7 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด

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

2.8 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง

โดยทฤษฎีแล้วสามารถจะแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 แบบ คือการติดตั้งผนังแบบ Horizontal Connection และการติดตั้งผนังแบบ Vertical Connection

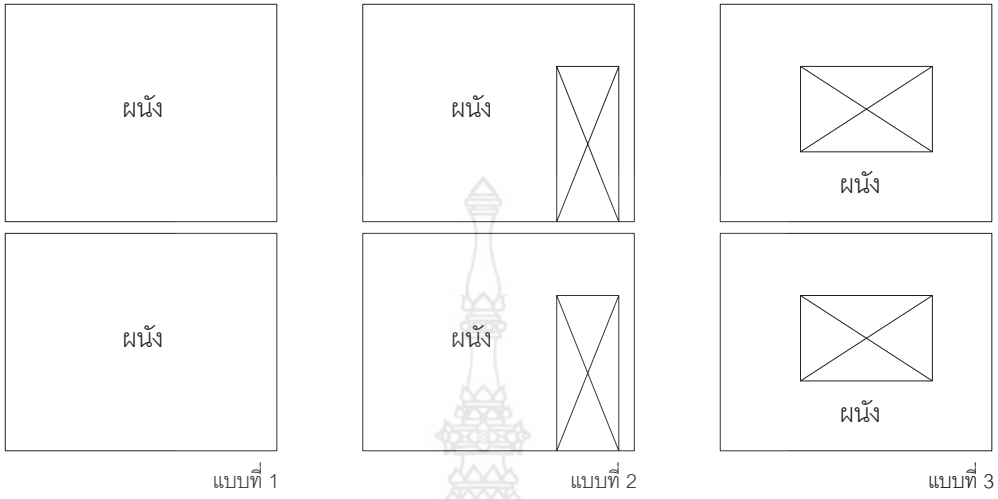
1) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

การติดตั้งแบบแนวนอนของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งผนังโดยใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบของโครงการที่มีอาคารแบบ Typical แปลน โดยจะแบ่งได้ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

1.1) การเชื่อต่อของผนังทึบกับผนังทึบ

1.2) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของประตูกับผนังที่เป็นช่องเปิดของประตู

1.3) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่างกับผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่าง



รูปที่ 2.16 การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

2) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

การติดตั้งผนังแบบแนวตั้งของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งที่ขอบชองชิ้นงานทั้งสองชิ้น โดยจะไม่นิยมทำการติดตั้งที่กลางชิ้นงาน โดยจะแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

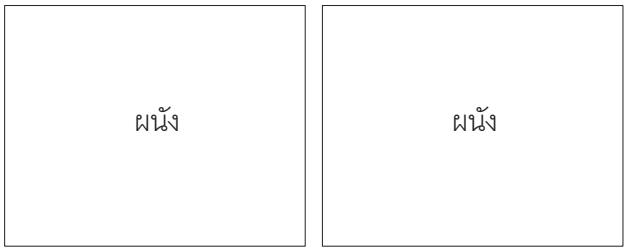
2.1) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว L

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

ตามพื้นฐานของการประกอบจุดรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างอาคาร ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ต้องสามารถส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโครงสร้างได้ตามที่ออกแบบแรงดังกล่าว (มามี, 2541) ประกอบไปด้วย

1) แรงอัด (Compression) โดยการส่งผ่านแรงอัดระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1) การส่งผ่านแรงโดยตรง (Direct Contact) เป็นการถ่ายแรงอัดของชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่สัมผัสกันโดยตรง จะไม่มีวัสดุใส่กั้นระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป เหมาะกับการใช้ที่มีแรงอัดหรือแรงกดไม่มากนัก

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

2) แรงดึง (Tensile Forces) การส่งผ่านแรงดึงระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถกระทำได้ดังนี้

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

2.2) การใช้โบลท์ สามารถใช้ส่งผ่านแรงทั้งแรงดึงหรือแรงเฉือน ลักษณะของโบลท์มีลักษณะเป็น แบบเกลียว แบบสมอ เป็นต้น

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

3) แรงเฉือน (Shear Force) การส่งผ่านแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถส่งผ่านโดยวิธี ดังนี้

3.1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ (Friction Bond)

3.2) เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Shear Key)

3.3) การใช้โบลท์

3.4) การเชื่อม

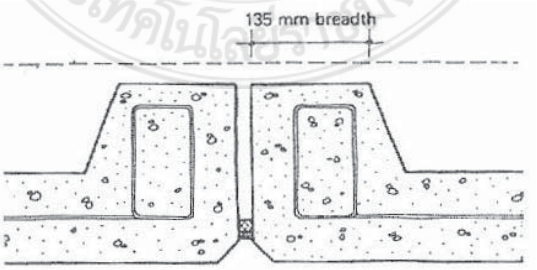
2.10 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร

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

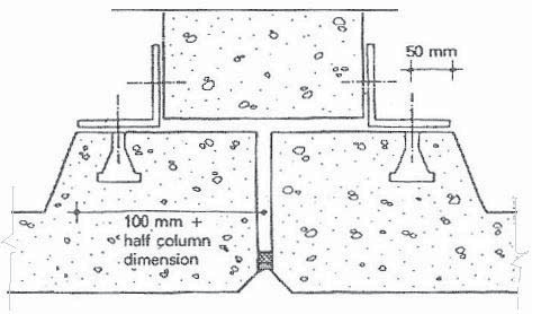
แต่เดิมทีเดียวในระยะต้นๆ ของการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูป ผู้ออกแบบมักจะพยายามเลียนแบบการก่อสร้างในระบบก่อสร้างในที่ โดยพยายามที่อุดรอยต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ให้แน่นหนา ดูกลมกลืนไปกับวัสดุก่อสร้างซึ่งเป็นที่มาของรอยต่อแบบปิด (Closed Joints) แต่จากประสบการณ์ของผู้ผลิตและผู้ออกแบบ ซึ่งพบว่ารอยต่อปิดนี้กันความชื้นจากข้างนอกได้ก็จริง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

1) รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

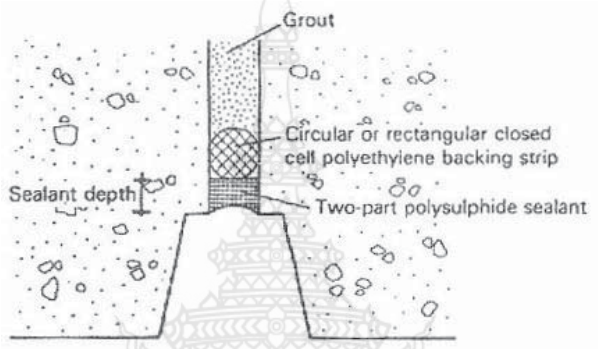
วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนพิกัด 2 ชิ้นส่วน ก็คือ การที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนี้ ได้แก่ การใช้รูปก่อ (Mortar) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของอิฐ อีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัด (Profile)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



รูปที่ 2.19 รอยต่อของผนังกับผนัง



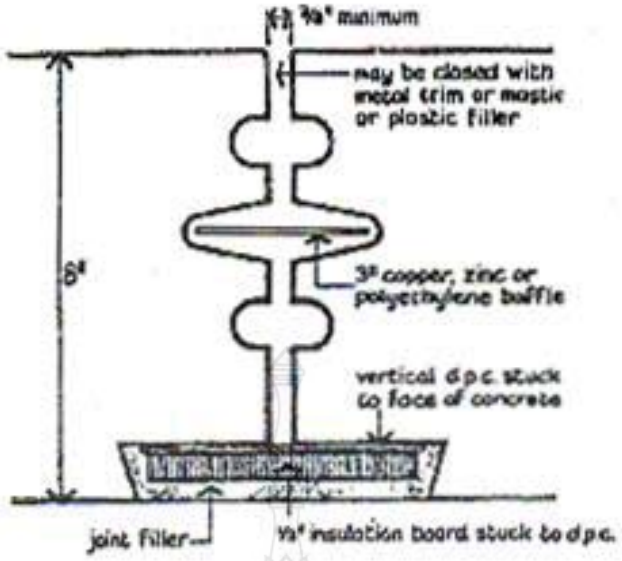
รูปที่ 2.20 รอยต่อของผนังกับผนังและเสา



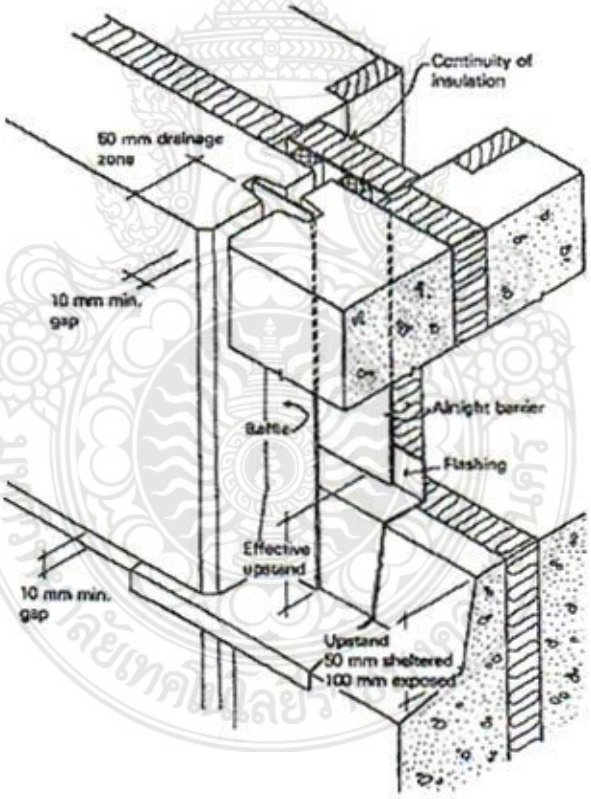
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว

2) รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints)

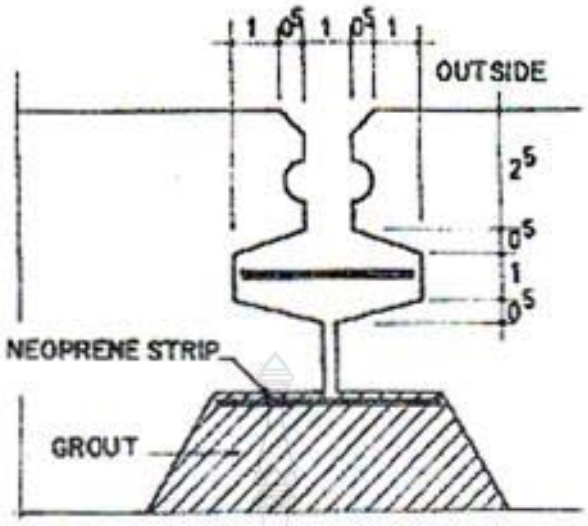
รอยต่อชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ (Large Precast Concrete Panels) แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน ซึ่งต่อไปเป็นตัวอย่างประกอบของรอยต่อของโครงสร้างชนิดต่างๆ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



รูปที่ 2.22 แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station



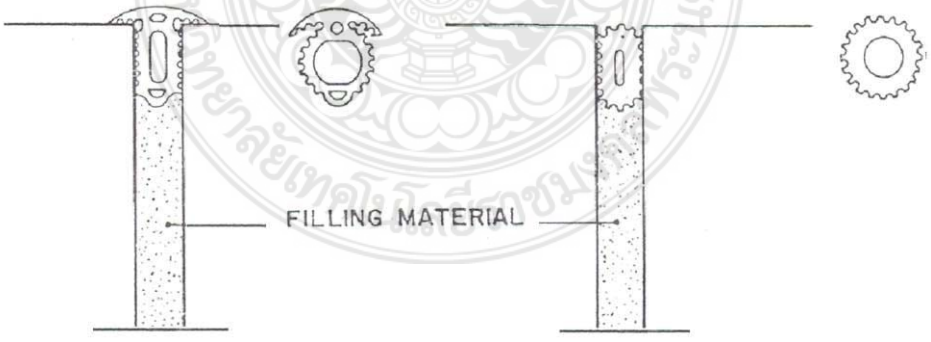
รูปที่ 2.23 รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง



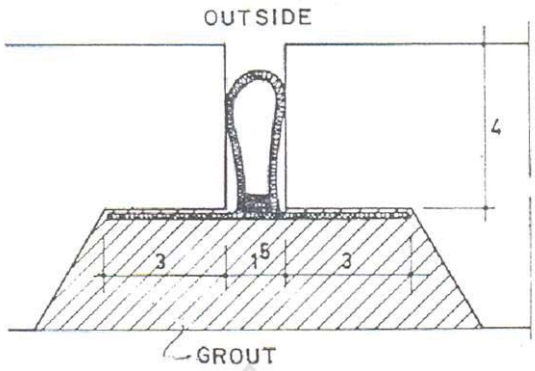
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints

3) รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)

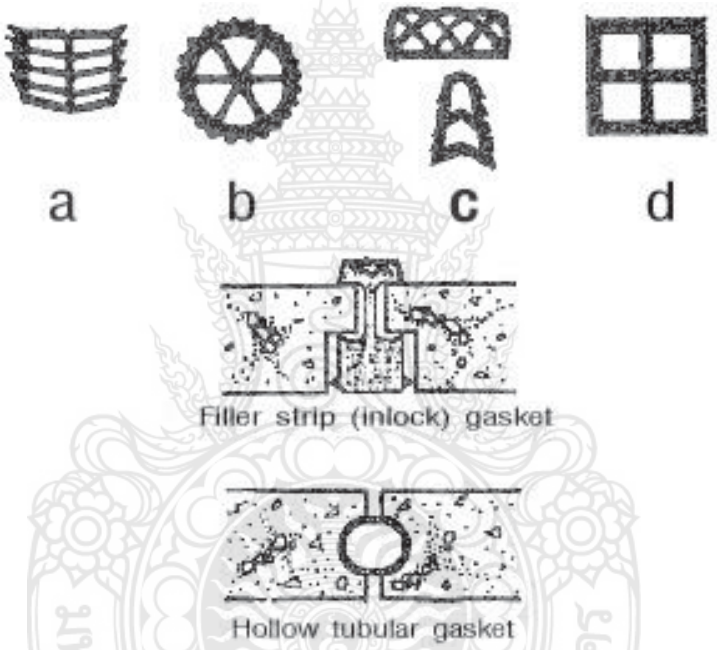
รอยต่อแบบนี้เกิดมาจากความก้าวหน้าทางวัสดุเคมีที่สามารถผลิตและพัฒนาสารประกอบประเภทยางสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างได้ผลดี โดยเฉพาะวัสดุที่เรียกว่า นีโอพรีน (Neoprene) สามารถนำเอามาเป็นประเก็น (Gasket) รูปร่างต่างๆ กัน ใช้ในงานทำรอยต่อได้ดี ประเก็นสามารถหล่อฝังในผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตที่เตรียมไว้ก่อน 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;

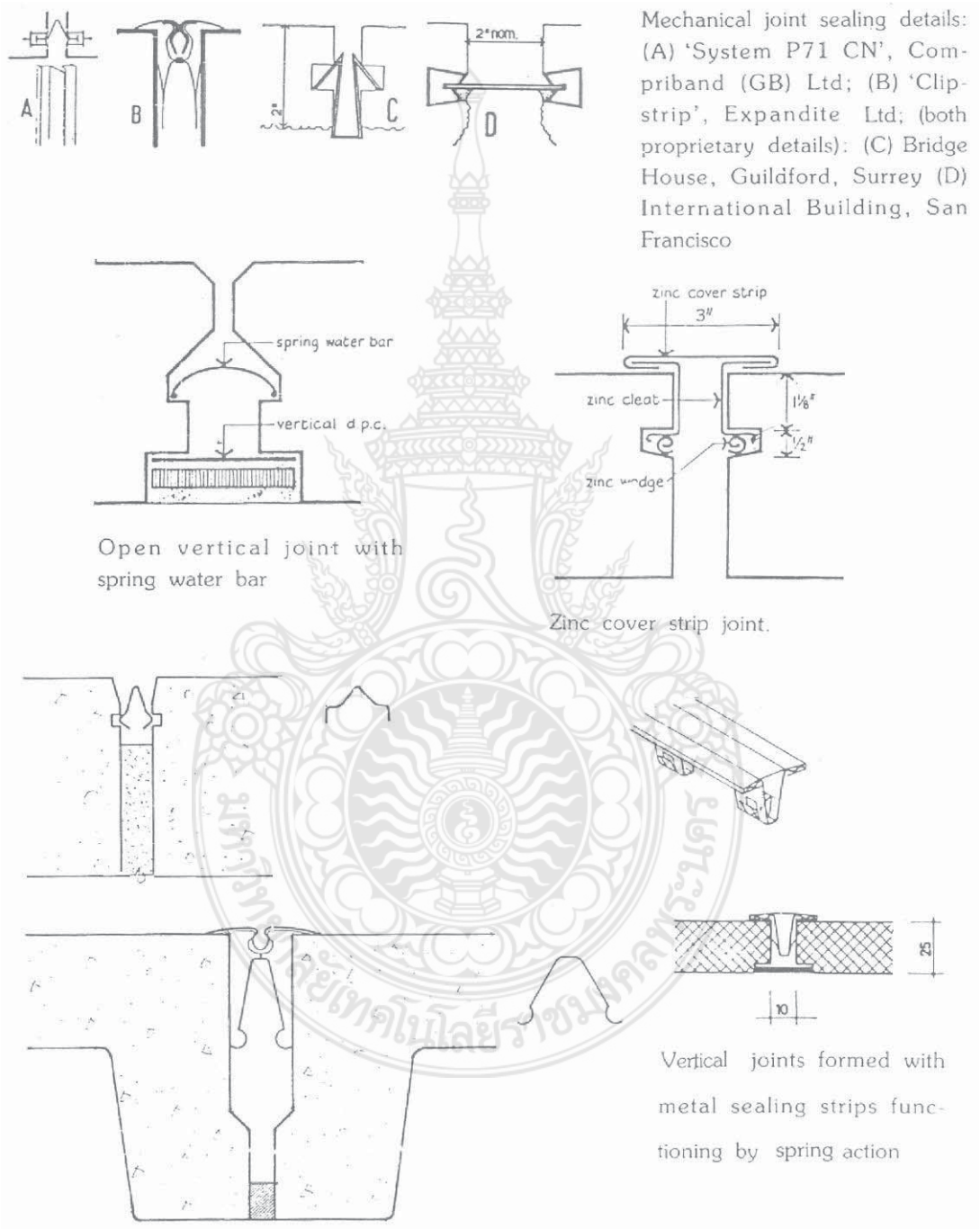
(c) two Bostik 'Profile Seals', Bostik Ltd;

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

4) รอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อพิเศษที่ออกแบบหรือผลิตขึ้นใช้กับอาคารเฉพาะกรณี สถาปนิกมักจะใช้เพื่อเน้นรอยต่อให้อาคารมีรูปด้านที่สวยงามหรือแปลกตาเป็นพิเศษ หรือใช้กับรอยต่อของผนังในเขตที่มีการทรุดตัวของอาคารหรือการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง รอยต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย อาจเป็นเพราะราคาแพงหรืออาจเป็นเพราะรอยต่อจะเด่นแลเห็นชัดเจนมาก ยากในการควบคุมรูปด้านถ้าไม่ได้

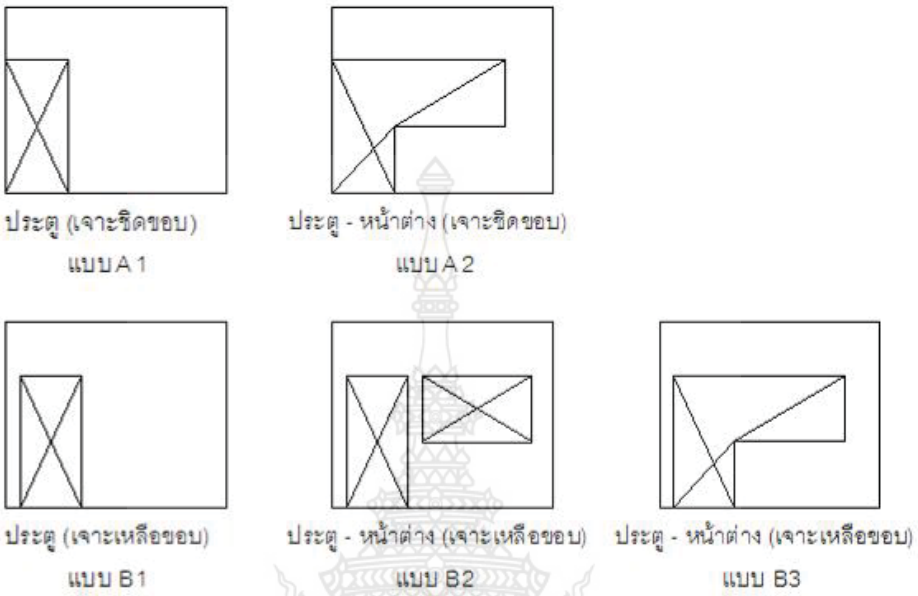
ออกแบบไว้ล่วงหน้าให้ดีพอ ทั่วๆ ไปมักใช้โลหะที่สามารถบีบให้หดตัวและขยายตัวได้เหมือนกับสปริง ใส่อยู่ในช่องรอยต่อ (Spring Water Bar) หรือเป็นครอบรอยต่อที่ยึดติดกับผิวหรือแกนที่สอดอยู่ในช่องรอยต่อ (Fixed Cover-Strip) คล้ายๆ กับงานปิดรอยต่อของวงกบหน้าต่างอลูมิเนียม การออกแบบทำได้หลายแบบ การติดตั้งก็คล้ายๆ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



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

2.11 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป

จากการออกแบบตำแหน่งของช่องประตูและหน้าต่างสำหรับโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถสรุปเป็นแนวคิดได้ ดังต่อไปนี้



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

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ

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

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ

ข้อดี	**หมายเหตุ**
การถ่ายน้ำหนักของชิ้นงานสมดุล	-
ทำการเชื่อมผสานชิ้นงานได้ง่าย	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 ดินเหนียวเป็นหินเม็ดเล็กมากเมื่อบดให้มีขนาดพอเหมาะจะมีความเหนียวเมื่อเปียก 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) ติตาเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide) และอื่นๆ และนอกจากนี้ดินยังหมายถึงหินดินดาน (shale) อีกด้วย (พลยุทธ, 2529)

1) ส่วนประกอบทางธรณีวิทยาของแร่ดินเหนียว

ส่วนประกอบทางธรณีวิทยาของแร่ดินเหนียวแบ่งออกเป็น 4 ประการ (ชาญ, 2528) ดังนี้

1.1) แร่ปฐมภูมิ (Primary Minerals) หมายถึงแร่ที่เกิดขึ้นครั้งแรกจากหินอัคนี (Ignous Rock) แร่ที่สำคัญคือ หินเขี้ยวหนุมาน หินฟันม้า และไมกา เป็นต้น

1.2) แร่ทุติยภูมิ (Secondary Minerals) ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (weak acid) หินฟันม้าจะเปลี่ยนไปเป็นแร่เกาลิน (Kaolinite) ไมกาจะเปลี่ยนไปเป็นแร่ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบดั้งเดิมเช่น มัสโคไวท์ ไมกาจะเปลี่ยนไปเป็นคลอไรท์หรือเวอร์มคูไลท์ และคาดว่าในที่สุดจะเปลี่ยนไปเป็นแร่เกาลินเช่นกันในสภาวะเป็นด่างจากสภาวะที่กล่าวมาให้เห็นว่าแร่ทุติยภูมิเป็นแร่ที่มีต้นกำเนิดมาจากแร่ปฐมภูมิ 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) น้ำรูปนี้สามารถขจัดออกไปได้ โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก และสารที่ได้หลังจากขับน้ำออกไปจะมี Atomic Configuration เหมือเดิม สามารถนำกลับสู่รูปเดิมได้โดยใส่น้ำเข้าไปเช่นกัน

(3) Broken – Bond Water น้ำในรูปนี้ถูกดูดซึมไว้ด้วยขอบผลึกที่ขวดประจุแรงที่ยึดน้ำในรูปนี้แข็งมาก การกำจัดน้ำในรูปนี้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก

(4) Colloidal Water คล้ายกับ Broken – Water แต่แรงยึดน้อย

(5) Absorbed Water เป็นน้ำที่อยู่ใน Crystal lattice ในส่วนที่สัมผัสกับอากาศชื้นต้องใช้อุณหภูมิในการขับน้ำออกไป

(6) Absorbed Water น้ำในรูปนี้จะอยู่เฉพาะผิวแร่เท่านั้นปริมาณของ 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 เอิธท์ (Fuller Earth)

(6) ดินเหนียวชนิดอื่นๆ รวมทั้งหินดินดาน (Shale)

การจำแนกตามลักษณะที่เกิด แบ่งเป็น 3 ลักษณะดังนี้

(1) แบบเกิดอยู่กับที่ (Residual Clay)

(2) แบบที่ถูกพัดพามาจากแหล่งกำเนิด (Transported Clay)

(3) แบบที่ได้จากการที่นำแร่ไปแทนที่ในหิน (Hydrothermal)

3) สถานการณ์แร่ดินเหนียว

ดินเหนียวหรือ (Ball clay) เป็นดินที่เกิดจากตะกอนทับถมของ แร่ดินขาว ประกอบด้วยแร่เกาลิน เป็นส่วนใหญ่ ต่างจากดินขาวคือมักมีอินทรียวัตถุเจือปน จากรายงานการสำรวจเรื่องดินและผลการทดสอบดินเหนียวพบว่าดินเหนียวเกิดทั่วทุกภาคของประเทศไทยแต่มีคุณสมบัติดี และมีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากจะมีในเฉพาะใน ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้โดยสถานการณ์ของแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเซรามิค (ชาญ, 2528) ในแต่ละภูมิภาคมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1) ดินเหนียวภาคเหนือ

ดินเหนียว จังหวัดเชียงใหม่ เป็นดินเหนียวที่นำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ ซีลาคอน เครื่องสังคโลก กระเบื้องประดับ และกระเบื้องมุงหลังคา แหล่งดินเหนียวได้มาจาก ตำบลแม่หยวก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นดินใต้ผิวนา และบริเวณใต้กองพักทหารสัตว์ต่าง อำเภอแม่ริมและที่ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ดินจากเชียงใหม่นี้มักจะมีทราย และไมกาปนพอสมควรและนิยมใช้กันเฉพาะภายในเขตจังหวัดเชียงใหม่เท่านั้น ส่วนที่ จังหวัดเชียงรายมีการพบดินเหนียวดำคุณภาพดีจากการทำเหมืองดีบุกในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า แต่ยังไม่มีการผลิตในเชิง อุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นที่กิ่ง อำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูดก็เคยพบดินเหนียวดำชนิดดีและเคยมีการผลิตจำหน่ายอยู่ระยะหนึ่งก่อนที่สายแร่บริเวณนั้นจะหมดไป

3.2) ดินเหนียว จังหวัดลำปาง

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

3.3) ดินเหนียว แจ้คอน

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

3.4) ดินเหนียวแม่ทาน

ดินจากแหล่งผลิตนี้มีหลายชนิด เช่นดินสีเหลือง และดินสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณสำรองทั้งหมดมีประมาณ 5 ล้านตัน ดินสีขาว และสีเหลือง ชนิดที่มีทรายปนน้อยเหมาะจะใช้ผสมทำกระเบื้องชนิดต่างๆ ดินสีน้ำตาลหรือสีดำมีความเหนียวดีกว่า เป็นที่นิยมใช้ผสมทำเครื่องสุขภัณฑ์และลูกถ้วยไฟฟ้า ปัจจุบันมีการเปิดดำเนินการในบริเวณใกล้เคียงกัน 3 เหมือง ผลการตรวจสอบดินแม่ทานสีน้ำตาลประกอบด้วย หินเขี้ยวหนุมาน ประมาณ 28% ส่วนใหญ่เป็นเกาลินที่ผิดรูปและมีไมกาที่ผิดรูป 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 และภาคตะวันออกดินดำใต้ท้องนาจากแหล่งผลิต ตำบลโคไม้ลาย อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี นับว่าสำคัญที่สุด ความต้องการเดือนละ 5,000 ตัน เป็นที่นิยมใช้ของกลุ่มโรงงานเซรามิคที่สระบุรีเพราะอยู่ใกล้ ราคาดินดำประจีนบุรีถึงกรุงเทพตันละ 250 บาท ราคาส่งแถบสระบุรีตันละ 200 บาท ผลการตรวจสอบดินดำปราจีนบุรี ประกอบด้วย หินเขี้ยวหนุมานประมาณ 18% ส่วนใหญ่เป็น montmorillonite มี chlorite ปนบ้าง มีไมกาที่ผิดรูป และเกาลินปนเล็กน้อยดินเหนียวดำ จังหวัดปราจีนบุรีนี้ เมื่อเผาแล้วมักออกสีเหลืองฟางถึง น้ำตาลอ่อน แต่มีความเหนียวดี ราคาถูก และผลิตง่าย ปัจจุบันมีผู้ผลิตรายใหญ่อยู่ 2 ราย

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

3.6) ดินเหนียวจากภาคใต้

ดินเหนียวจากภาคใต้เป็นที่รู้จักกันดีในวงการเซรามิคในนามของดินดำสุราษฎร์ซึ่งเป็นบริเวณกว้างขวางในเขต อำเภอบ้านนาสาร อำเภอเวียงสระ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นอกจากนั้นยังพบในบริเวณใกล้เคียงคือ อำเภอฉวาง อำเภอพิปูน อำเภอลานสะกา อำเภอร่อนพิบูลย์ และอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราชนอกจากนี้ ได้มีการพบดินขาวเหนียวคุณภาพดี ที่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราชอีกด้วย ส่วนในจังหวัดอื่นๆ มีการพบดินเหนียวคุณภาพดีแต่ยังมิได้มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เช่นที่ จังหวัดยะลาและจังหวัดภูเก็ต ความต้องการดินดำจากสุราษฎร์และนครศรีธรรมราชมีประเดือนละ 2,000 ตัน ราคาถึงกรุงเทพ ประมาณตันละ 750 บาทปริมาณแหล่งสำรองมีมากพอสมควรและคงเกิดการขาดแคลนในอนาคต

3.7) สรุปเรื่องดินเหนียวในภาคต่างๆ

ดินเหนียวในประเทศไทยเท่าที่พบและได้ทดสอบ มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก ดินที่เผาแล้วมีสีขาว และทนไฟสูง พบส่วนใหญ่ในภาคใต้ ดินเหนียวที่ทนไฟปานกลาง-ต่ำ พบกันมากในภาคเหนือโดยเฉพาะใน จังหวัดลำปาง แนวโน้มความต้องการใจอนาคต คือ ดินเหนียวที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ดินเหล่านี้จะได้จากการทำเหมืองที่ถูกวิธี และการผสมดินเพื่อให้ได้คุณภาพที่ต้องการ ดังนั้นดินเหนียวแหล่งที่มีความเหมาะสมในการทำบ้านดินนั้น มีหลายแหล่งด้วยกัน คือ ดินเหนียวจาก จังหวัดเชียงใหม่ ก็เกิดจากการทำนา (ลักษณะคล้ายดินเหนียวที่ทำการก่อสร้างบ้านดิน ณ อาศรมวงศ์สนิท คลอง 15 จังหวัดปทุมธานี) ดินเหนียวสีน้ำตาลจาก จังหวัดลำปาง ดินเหนียวแจ้ค้อน ที่มีความละเอียดของดินเหนียวสูง จะทำให้มีความแข็งแกร่งมากรวมถึงดินดำใต้ท้องนาของภาคกลาง ที่มีความเหมาะสมในการทำบ้านดิน

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

2.13 ไม้ไผ่

ไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นพืชที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในจังหวัดแถบพื้นที่ภาคกลาง และภาคตะวันตก ซึ่งปลูกได้ง่าย และโตไว ดังนั้นจึงเป็นแนวความคิดในการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพราะเมื่อตัดไม้ไผ่ไปทำเส้นใย ก็จะปลูกทดแทน ทำให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ให้ไม้ไผ่ใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ทั้งด้านเกษตรกรรม หัตถกรรม และอุตสาหกรรม สามารถส่งออกเส้นใยไม้ไผ่แข็งขันส่วนแบ่งทางการตลาดกับประเทศที่ผูกขาดการขายส่งเส้นใยไผ่ไม้ได้ อีกทั้งยังก่อใช้เกิดวัสดุแบบใหม่ เกิดนวัตกรรมใหม่ภายในประเทศ เพื่อส่งเสริมการปลูกพืชโตเร็ว สร้างรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกร ลดการใช้ทรัพยากรอื่นที่หายากใช้แล้วหมดไป และเพื่อการปรับเปลี่ยนอุตสาหกรรมแปรรูปแบบดั้งเดิมทางการเกษตรอุตสาหกรรมไปสู่อุตสาหกรรมฐานความรู้และมีการแปรรูปแบบสมัยใหม่มากขึ้น (วินัย, 2537)

1) คุณสมบัติของไม้ไผ่มีค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 500-800 กก./ม.^{3} ไม้ไผ่มีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดีมาก จากการศึกษาพบว่าไม้ไผ่มีความแข็งแรงเทียบเท่าไม้และพืชเส้นใยบางชนิด เช่น Shorea robusta และ Tectona grandis คุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่ที่ได้จากการทดลองในประเทศออสเตรเลีย มีดังนี้

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

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

- ไผ่ตง (Dendrocalamus asper)
- ไผ่รวก (Thyrsostachys siamensis)
- ไผ่รวกดำ (Thyrsostachys oliveri)
- ไผ่ป่า (Bambusa bambos ชื่อที่ใช้กันดั้งเดิม คือ B. arundinacea)
- ไผ่สีสุก (Bambusa blumeana)
- ไผ่เลี้ยง (Bambusa sp.)
- ไผ่ซาง (Dendrocalamus strictus)
- ไผ่ซางนวล (Dendrocalamus membranaceus)
- ไผ่ข้าวหลาม (Cephalostachyum pergracile)
- ไผ่ไร่ (Gigantochloa albociliata)
- ไผ่บงดำ (Bambusa tulda)
- ไผ่หวาน (Bambusa sp.)

นอกจากนี้ ยังมีไม้ไผ่ที่นิยมปลูกเป็นพืชประดับ ได้แก่ ไผ่ทอง (Schizostachyum brachycladum; ไม่ใช่ไม้ไผ่พื้นเมืองของประเทศไทย), ไผ่เหลือง (Bambusa vulgalis), และ ไผ่น้ำเต้า (B. vulgalis cv Wamin)

จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการนำไม้ไผ่มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของคนในทุก ๆ ด้าน ตั้งแต่ ที่อยู่อาศัย อาหาร เครื่องกีฬา เครื่องดนตรี เครื่องมือเกษตรกรรม ตลอดจนเป็นเครื่องศิลปกรรมของคนแต่ละชาติ และรวมถึงวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม และการสันทนาการหรือการใช้ประโยชน์ 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-แปซิฟิค และจากรายงานในปี 1985 ขององค์การ IDRC (Internation Development Research Centre) แห่งรัฐบาลคานาดา 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 ส่วนของไม้ไผ่ที่ให้ประโยชน์แก่มนุษย์อย่างมหาศาลคือหน่อและลำโดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวชนบทที่รู้จักนำเอาลำไม้ไผ่มาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย 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 ไม้ไผ่ชนิดเดียวกันขึ้นอยู่ในที่ที่มีสภาพทางภูมิศาสตร์ และปริมาณน้ำฝน แตกต่างกัน จะมีลักษณะแตกต่างกันไป (วินัย, 2537)

2.14 การคัดเลือกไม้ไผ่เพื่อใช้ในการก่อสร้าง

1) การเลือกลำไผ่

ลำไผ่ที่มีอายุเท่านั้นที่ควรตัด ส่วนลำไผ่ที่อายุยังน้อยไม่ควรที่จะตัด ประการหนึ่งที่จะต้องระวังคือไม่ควรจะตัดไผ่มากเกินไป เพราะจะทำให้ไผ่ที่เหลือไม่สามารถเกิดขึ้นมาทดแทนได้ทัน จนถึงสูญพันธุ์ก็เป็นได้ ในทางพฤกษาศาสตร์ 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 และลดความเสี่ยงต่อการเกิดราและผุพัง ดังนั้นในระหว่างฤดูฝนไม่ควรทำการตัดไผ่เป็นอันขาด ฉะนั้นช่วงที่เหมาะกับการตัดไผ่ 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

ก่อนนำมาสกัดน้ำมันควรตั้งพิงเอาส่วนโคนไว้ตอนบน การสกัดน้ำมันออกจากไม้ไผ่ทำได้โดยใช้ความร้อนด้วยไฟ หรือต้ม วิธีการสกัดน้ำมันด้วยไฟทำให้เนื้อไม้มีลักษณะแกร่ง ส่วนการสกัดน้ำมันด้วยวิธีต้มนั้นเนื้อไม้จะอ่อนนุ่ม

3) วิธีการใช้สารเคมี

เป็นวิธีที่จะได้ผลดีกว่าการปิ้งหรือต้ม ซึ่งอาจทำได้ทั้งวิธีการชุบหรือทาน้ำยาลงไปที่ไม้ไผ่ หรือโดยวิธีอัดสารเคมีเข้าไปในเนื้อไม้

4) การทำให้ไม้ไผ่แห้ง

เพื่อให้สามารถเก็บไม้ไผ่ให้มีคุณภาพเป็นเวลานาน การทำให้ไม้ไผ่แห้งมี 2 วิธี ดังนี้

4.1) การตากธรรมชาติ ให้เอาลำต้นทิ้งไว้ในที่ร่มอากาศปลอดโปร่งถ่ายเทได้ดี เอาโคนกลับขึ้นไว้ทางด้านบน ผึ่งไว้ประมาณ 3 – 4 เดือน สำหรับไผ่ซีกให้เอามาวางเรียงบนกระดานให้มีช่องว่างโปร่งและผึ่งไว้ประมาณ 10 – 20 วัน

4.2) การทำให้แห้งด้วยเครื่อง เป็นการทำงานได้ดีกว่าวิธีธรรมชาติ วิธีการทำให้แห้งนั้นอาจทำการอบไม้ไผ่ให้แห้งโดยนำเข้าห้องอบ ให้ความร้อนต่ออากาศด้วยสตรีมเครื่องไฟฟ้าจากเปลวไฟหรือด้วยการเป่าความร้อนเข้าไปในห้องอบ อีกวิธีหนึ่งคือทำให้แห้งด้วยเครื่องความร้อนสูงและทำให้มีความกดดันหรือทำให้แห้งด้วยวิธีสุญญากาศ

ข้อดีของโครงสร้างไม้ไผ่ คือ

- เป็นกรรมวิธีท้องถิ่นที่ชาวบ้านสามารถทำได้ด้วยตนเอง และใช้เครื่องมือที่หาง่ายทั่วไป
- สามารถใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่ได้อย่างเต็มที่ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายให้กับธรรมชาติเหมือนกับไม้เบญจพรรณ และสามารถปลูกทดแทนได้ ภายในระยะเวลา 4 – 5 ปี เท่านั้น
- ลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่ เป็นลักษณะของโครงสร้างในอุดมคติสำหรับใช้ในพื้นที่มีแผ่นดินไหว

เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นแล้ว ไม้ไผ่มีราคาถูกกว่าทั้งในขั้นตอนการก่อสร้างและบำรุงรักษา

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)” โดยที่การใช้น้ำยางข้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าการใช้น้ำยางสด 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) โดยขณะนี้ได้มีการซื้อน้ำยางชนิดนี้ตามความต้องการของคู่ค้า โดยข้อขีดจำกัดของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยาง

ข้น โดยมาตรฐาน ISO นั้น ได้กำหนดสมบัติที่สำคัญเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อออกส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางเป็นองค์ประกอบ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (total solids content; TSC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content; DRC) (วราภรณ์, 2523)

2.17 การปรับปรุงยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีข้อดีในด้านสมบัติเชิงกลและมีข้อบกพร่องที่สำคัญ 2 ประการ คือ การต้านทานต่อน้ำมัน และการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม (ออกซิเจน โอโซน ความร้อน และแสงอัลตราไวโอเลต) ต่ำ สมบัติเหล่านี้สามารถปรับปรุงได้เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ หรือยางที่มีสมบัติเด่นที่ต้องการ เช่น นำยางธรรมชาติผสมกับยางอะไครโลไนโตรบิวตะไดอีน จะช่วยเพื่อความต้านทานน้ำมัน และเมื่อนำยางธรรมชาติผสมกับยางเอทิลีนโพพิลีนบิวตะไดอีนเพื่อปรับปรุงการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถที่จะแก้ไขข้อบกพร่องของยางธรรมชาติได้ด้วยวิธีทางเคมี (เสาวรจน์, 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 และความแตกต่างด้านความมีขั้วของยางแต่ละชนิด

1.2) การใช้ยางผสม ยางที่นำมาผสมกันจะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ จะมียางชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในยางอีกชนิดหนึ่ง โดยแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่

ก) Continuous phase เป็นส่วนของยางที่เป็นพื้น matrix

ข) Disperse phase เป็นส่วนของยางที่เข้าไปกระจายในส่วนของ continuous phase เพื่อที่จะให้เกิดการกระจายตัวของยางเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ยางทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันควรจะมีความหนืดเท่าๆ กัน เหตุผลการตัดสินใจที่จะผสมยางเข้าด้วยกัน มีเหตุผลหลายประการ เช่น

- เพิ่มความสามารถในการแปรรูปของยางที่ใช้
- เพิ่มความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง
- ช่วยในการลดต้นทุน ด้วยการผสมยางที่มีราคาถูกกับยางที่มีราคาแพง

นอกจากนี้ สิ่งสำคัญอีกสิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการผสมยางเข้าด้วยกัน คือ ยางที่ผสมจะต้องมีการวัลคาไนซ์ไปพร้อมๆ กัน

1.3) การผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ตัวอย่างเช่น การใช้ยางธรรมชาติผสมยางไนไตรล์ ยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ 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 ไม่ว่าจะเป็นสายโซ่สั้นหรือสายโซ่ยาว

2.18 การวัลคาไนซ์ยางพารา

วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการการนำยางมาเติมกำมะถันแล้วให้ความร้อน โดยผลิตผลที่ได้มีความสามารถในการไหลลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เหตุผลที่

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

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

2) กระบวนการวัลคาไนเซชั่นโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ (vulcanization) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของผลผลิตยางให้ดีขึ้น ชนิดของสารเชื่อมโยงโมเลกุลยางนี้จะแตกต่างกันออกไปในการใช้กับยางแต่ละชนิด ในระหว่างการวัลคาไนซ์ยางนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ การที่สายโมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกัน 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 มาทำการผสมอิฐดินดิบและทำการทดสอบความสามารถในการป้องกันน้ำตามมาตรฐาน ของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) พบว่า อิฐดินดิบที่ผสมยางพาราสังเคราะห์ มีความสามารถป้องกันน้ำได้ดีกว่าอยู่ที่ ร้อยละ 23 โดยประมาณ และเมื่อเทียบค่าน้ำหนักที่สูญเสียไปกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน ร้อยละ 10 ปรากฏว่าอิฐดินดิบที่ผสมน้ำยางธรรมชาติสังเคราะห์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด เว้นเพียงแต่มาตรฐานของความลึกของผิวหน้าอิฐเท่านั้นที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์

ประชุม คำพุฒ (2550) ได้ศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ โดยใช้ปริมาณขี้เถ้าแกลบร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักของดิน อัตราส่วนฟางข้าว 1: 0.5 โดยปริมาตรของดิน และใช้น้ำอัตราส่วน 1: 1 โดยน้ำหนักของดิน นำดินไปอัดลงในแบบหล่อขนาด 10 × 15 × 30 ซม. ผึ่งให้แห้งด้วยอากาศ 48 ชม. และพลิกก้อนอิฐตั้งขึ้นให้ถูกแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 14 และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ พบว่าที่อายุ 28 วัน เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบผสมร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ได้ค่ากำลังอัดด้านขอบเท่ากับ 1.10, 1.15, 1.17, 1.34, 1.37 และ 1.44 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ค่ากำลังอัดด้านแบนเท่ากับ 0.96, 1.04, 1.02, 1.04, 1.09 และ 1.08 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 0.76, 0.80, 0.73, 0.81, 0.74 และ 0.85 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านแบนเท่ากับ 0.81, 0.85, 0.90, 0.85, 0.90 และ 0.89 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ แสดงว่า สามารถใช้ขี้เถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มการรับกำลังในอิฐดินดิบได้

ประชุม คำพุฒ (2550) การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ โดยใช้ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักของดิน อัตราส่วนฟางข้าว 1: 0.5 โดยปริมาตรของดิน และใช้น้ำอัตราส่วน 1: 1 โดยน้ำหนักของดิน นำดินไปอัดลงในแบบหล่อขนาด 10 × 15 × 30 ซม. ผึ่งให้แห้งด้วยอากาศ 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./ซม.^{2} ตามลำดับ ค่ากำลังอัดด้านแบนเท่ากับ 0.96, 0.95, 1.01, 1.08, 1.10 และ 1.05 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 0.76, 0.77, 0.76, 0.81, 0.78 และ 0.92 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านแบนเท่ากับ 0.81, 0.83, 0.86, 0.90, 0.92 และ 0.95 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ แสดงว่าสามารถใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มการรับกำลังในการผลิตอิฐดินดิบได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับปรุงสมบัติของดินสำหรับพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) เป็นโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ดินเหนียว ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

รูปที่ 3.1 การนำดินเหนียวมายังสถานที่ขึ้นรูปโครงการแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

รูปที่ 3.2 ดินเหนียวแห้งสำหรับใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

3.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.1.3 เถ้าแกลบ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เถ้าแกลบ

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 น้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์ ดังรูปที่ 3.7 และตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.7 น้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราข้น ชนิดพรีวัลคาไนซ์

สารประกอบ	น้ำหนัก (กรัม)
60% น้ำยางข้น (Latex)	167.0
10% โปแตสเซียมไฮดรอไซด์ (Potassium hydroxide)	2.0
10% เทอริค 16 เอ 16 (Teric 16 A 16)	0.2
50% กำมะถัน (Sulfur)	1.6
50% แซดดีอีซี (ZEDC)	0.8
50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	0.8
50% วิงสเตย์แอล (Wingstay L)	2.0
50% ทิทาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	2.0
น้ำ	170.5

3.1.7 น้ำประปา

3.1.8 ไผ่รวก ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.10

รูปที่ 3.8 ไผ่รวก

รูปที่ 3.9 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก

รูปที่ 3.10 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่

3.1.9 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร

3.1.10 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร

3.1.11 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

3.1.12 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

3.1.13 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

3.1.14 เครื่องบดเส้นใย ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 เครื่องบดเส้นใย

3.1.15 ชุดทดสอบลักษณะโดยทั่วไป ความหนาแน่น ความตรง และการดูดซึมน้ำ

3.1.16 เครื่องทดสอบความแข็งและการทนการกระแทก

3.1.17 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.1.18 เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม ASTM C177 (ASTM, 2013)

3.1.19 ชุดทดสอบการชะล้าง

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบตัวอย่างแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ดินเหนียวผสมกับปูนซีเมนต์ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.2 เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสม ผสมส่วนผสมขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.21

ตารางที่ 3.2 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 3.17 การเทส่วนผสมดินซีเมนต์ลงในแบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.18 การอัดส่วนผสมลงในแบบหล่อเพื่อขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์

รูปที่ 3.19 ก้อนดินซีเมนต์ที่พร้อมนำไปบ่มและทำการทดสอบคุณสมบัติ

รูปที่ 3.20 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

รูปที่ 3.21 ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.20 และ 3.21 พบว่า ก้อนดินซีเมนต์อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด ในปีที่ 1 (พ.ศ.2560) จึงนำอัตราส่วนดังกล่าวมาออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปเพิ่มเติม โดยใช้ส่วนผสมต่างๆ ประกอบด้วย ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ แกลบ ฟางข้าว น้ำประปา และไผ่รวก ดังตารางที่ 3.3 พร้อมทั้งคำนวณ ออกแบบตำแหน่งการติดตั้งไผ่รวก และพัฒนาวิธีการก่อสร้างบ้านดินจากแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination)

ตารางที่ 3.3 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

จากผลการทดสอบในปีที่ 1 (พ.ศ.2560) ทำให้ได้อัตราส่วน F2 หรืออัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีคุณสมบัติ ได้แก่ ความหนาแน่น 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 ทั้งนี้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่พัฒนา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) จากปัญหาของฟางข้าวและแกลบสดที่มีผลต่อความต้านทานแรงดัดที่ลดลง และการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นในปีที่ 1 (พ.ศ. 2561) จึงได้มีการเพิ่มน้ำยางพาราในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) เพื่อพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าว ตลอดจนคุณสมบัติ

ต้านทานการชะล้างและความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูป โดยใช้อัตราส่วนผสมในการศึกษา ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ปูน	ดิน	เถ้าแกลบ	ฟางข้าว	แกลบสด	น้ำยากันซึม	น้ำยางพารา	น้ำประปา
R0	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0	0.4
R0.05	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.05	0.4
R0.1	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.1	0.4
R0.15	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.15	0.4
R0.2	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.2	0.4
R0.25	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.25	0.4

3.3 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ

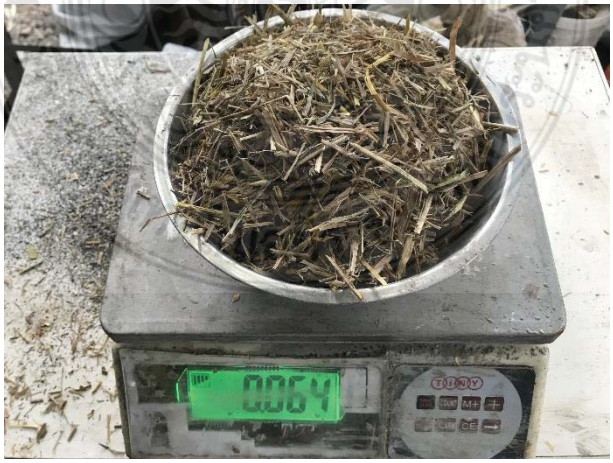
3.3.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามที่ออกแบบ ตามตารางที่ 3.2

รูปที่ 3.22 การชั่งน้ำหนักดินเหนียว

รูปที่ 3.23 การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์

รูปที่ 3.24 การชั่งน้ำหนักเถ้าแกลบ

รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักแกลบ



รูปที่ 3.26 การชั่งน้ำหนักฟางที่ย่อยขนาดแล้ว

รูปที่ 3.27 การชั่งน้ำหนักน้ำยากันซึม

รูปที่ 3.28 การชั่งน้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์

3.3.2 ผสมน้ำประปา น้ำยากันซึม และน้ำยางพาราข้น ให้เข้ากัน

3.3.3 ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน พร้อมทั้งเติมน้ำประปาที่ผสมน้ำยากันซึมและน้ำยางพาราแล้ว ดังรูปที่ 3.29 ถึง 3.37

รูปที่ 3.29 การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม

รูปที่ 3.30 การเทเถ้าแกลบลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3.31 การเทแกลบลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3.32 การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3.33 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม

รูปที่ 3.34 การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3.35 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา

รูปที่ 3.36 การเทน้ำประปาผสมน้ำยากันซึม และน้ำยางพาราลงในเครื่องผสม

รูปที่ 3.37 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ

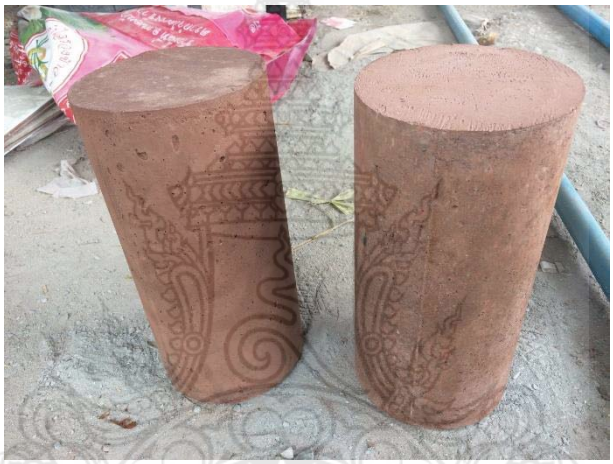
3.3.4 เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ จำนวน 3 ขนาด ได้แก่ แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ แบบหล่อขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการชะล้าง แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความต้านทานแรงอัด แบบหล่อขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก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

รูปที่ 3.38 การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ

รูปที่ 3.39 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ

รูปที่ 3.40 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไม้รวก

รูปที่ 3.41 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.42 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30เซนติเมตร

รูปที่ 3.43 การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 3.44 การเสริมไม้รวกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 3.45 การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รวก

รูปที่ 3.46 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 3.47 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทำการทดสอบ

รูปที่ 3.48 ก้อนตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราขนาดต่างๆ สำหรับทำการทดสอบ

3.4 การทดสอบคุณสมบัติ

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

3.4.1 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.49

รูปที่ 3.49 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น

2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.50 และ 3.51

รูปที่ 3.50 การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.51 การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบ สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.4.2 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) การชะล้าง ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังตารางที่ 3.5 ถึง 3.6 และรูปที่ 3.52 และ 3.53

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์การทดสอบในการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

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

ตารางที่ 3.6 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 3.52 การฉีดน้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง

รูปที่ 3.53 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 3.54 และ 3.55

รูปที่ 3.54 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

รูปที่ 3.55 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

รูปที่ 3.56 ตัวอย่างลักษณะเนื้อผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

3.4.4 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

1) ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.57 และ 3.58

รูปที่ 3.57 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.58 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 3.59 ถึง 3.63

รูปที่ 3.59 การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.60 อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.61 การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทกผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 3.62 การวัดความสูงของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกลงบนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 3.63 ผลการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

3) ความตรง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.64

รูปที่ 3.64 ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง

4) ความแข็ง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.65

รูปที่ 3.65 การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง

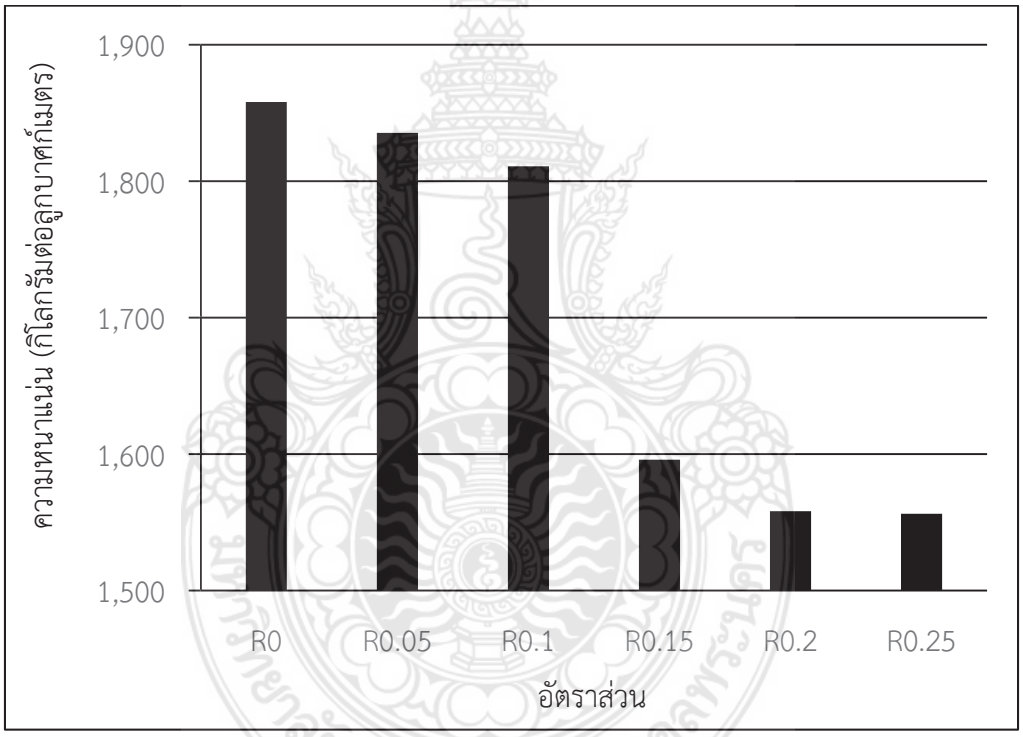
3.4.6 การใช้งานจริง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี สำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) โดยการผสมน้ำยางพาราลงในส่วนผสมของผนังบ้านดินสำเร็จรูป สามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1 ความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.1

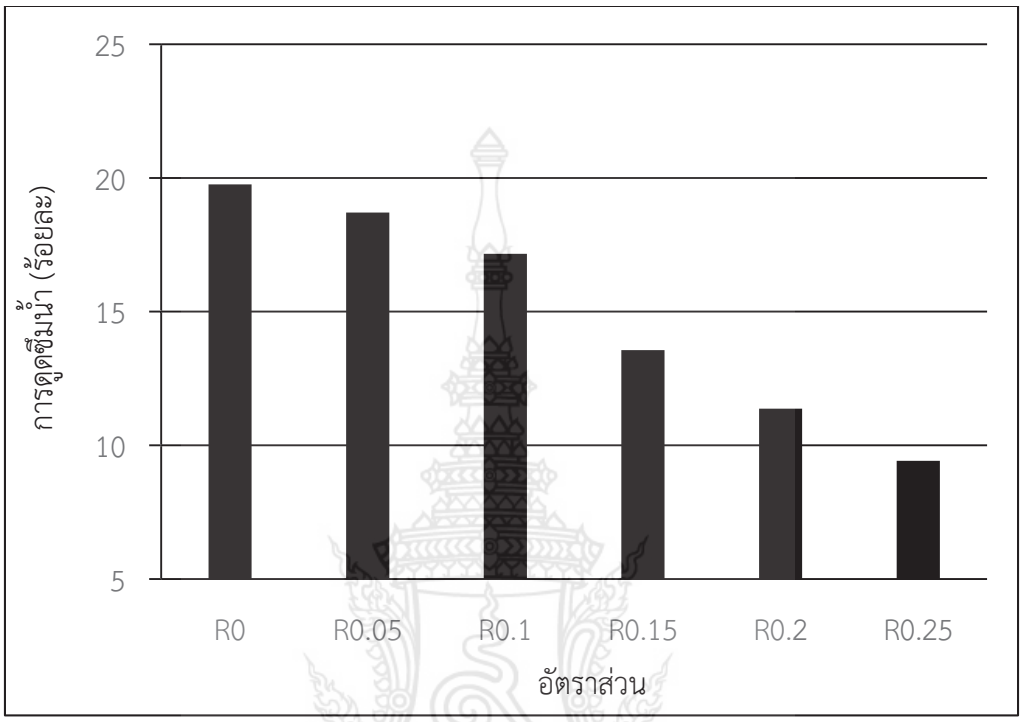


รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป มีผลทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารามากที่สุด หรืออัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R2, R0.15, R1, R0.05 และก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีน้ำยางพารา หรืออัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของยางพาราที่ต่ำเพียง 920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Barlow, 1993; Faherty et al., 1995) ทำให้เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปแล้ว จึงมีผลต่อความหนาแน่นที่ลดลง

4.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากคุณสมบัติด้านความทึบน้ำของยางพาราที่ผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.2 โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.2 R0.15 R0.1 R0.05 และก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีการผสมน้ำยางพารา หรืออัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของวัสดุก่อผนังทั่วไป เช่น คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกินร้อยละ 25 (สมอ., 2533) พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทุกอัตราส่วนสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่กำหนดให้ไม่เกิน ร้อยละ 14 (สมอ., 2548) พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา อัตราส่วน R0.15 R0.2 และ R0.25 เป็นอัตราส่วนที่ผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด

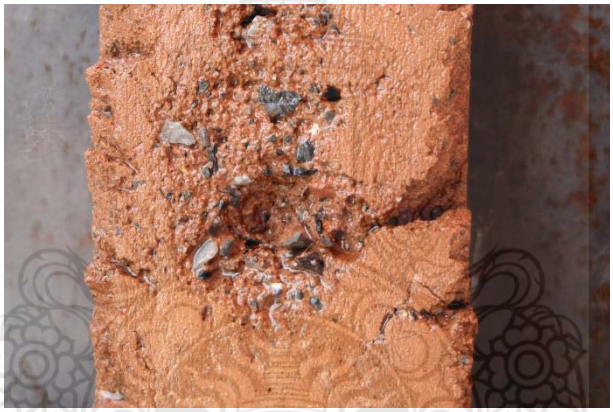
4.3 การชะล้าง

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

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

อัตราส่วน	ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังที่ถูกน้ำฉีดพ่น
R0	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.05	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.1	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.15	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.2	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.25	ดีมาก	0 มิลลิเมตร

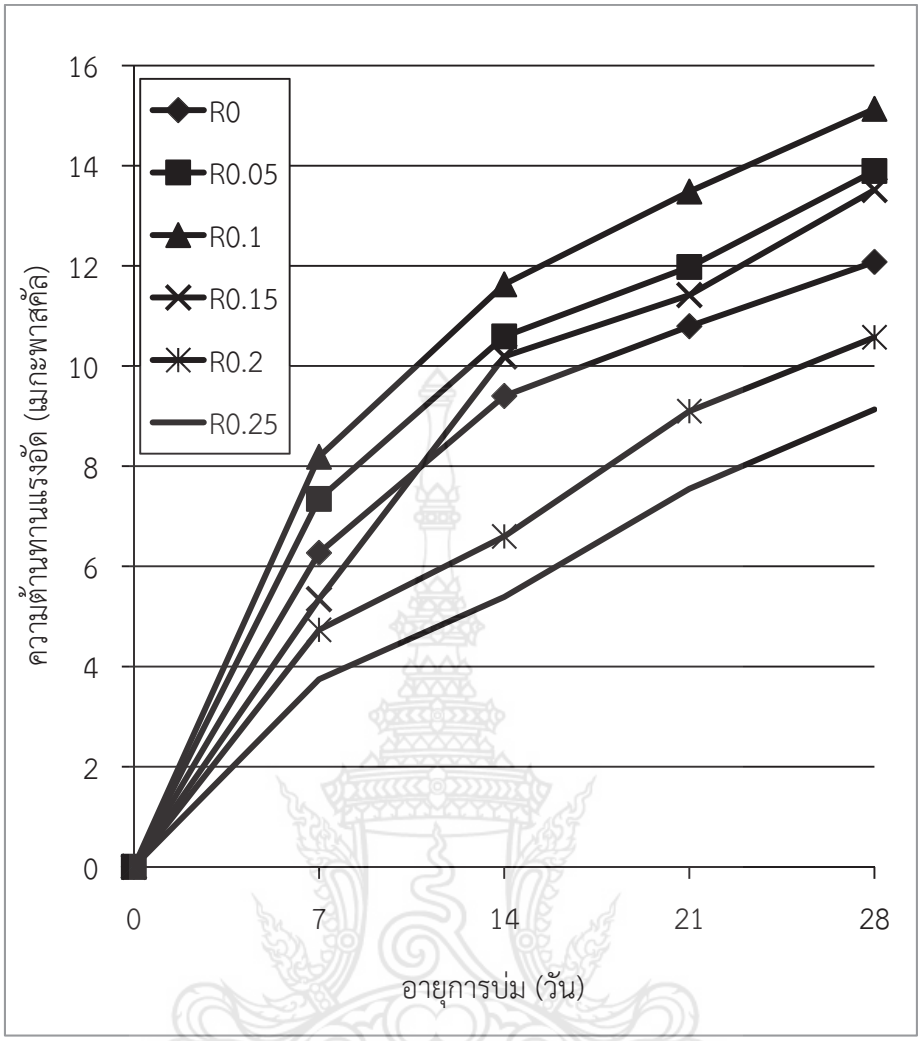
จากผลการทดสอบการชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในตารางที่ 4.1 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในส่วนผสมของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการทนต่อการชะล้างลดลง โดยทุกอัตราส่วนยังคงไม่มีการชะล้าง



รูปที่ 4.3 ความลึกจากการทดสอบชะล้างของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีการผสมน้ำยางพารา ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

4.4 ความต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.4

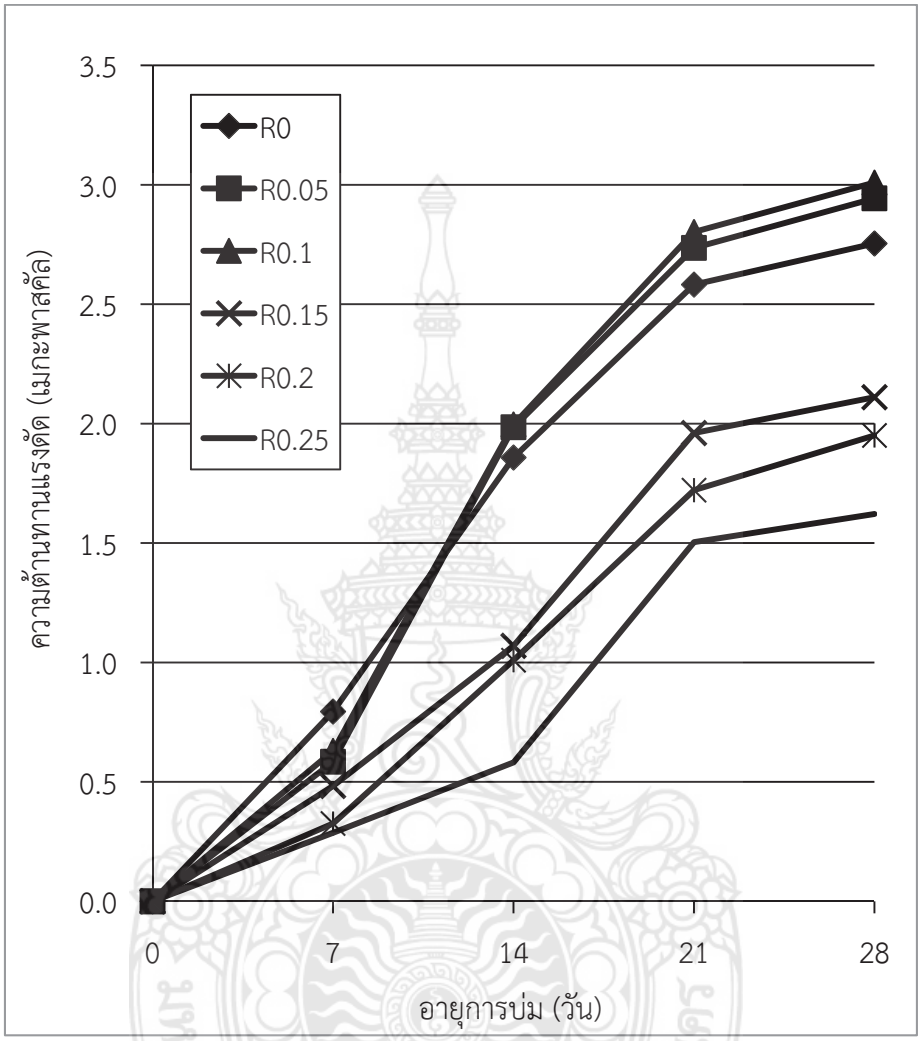


รูปที่ 4.4 ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถพัฒนาความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้ดีขึ้นได้ โดยอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.05 R0.15 R0 R0.2 และอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากขณะผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป น้ำยางพาราจะแทรกตัวไปตามช่องว่างของส่วนผสม และเมื่อแข็งตัวยางพาราจะช่วยยึดเหนี่ยวส่วนผสมให้ติดกันดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากเกินไป (เกินกว่าอัตราส่วน R0.15) จะทำให้ยางธรรมชาติต้องมีส่วนในการรับแรงอัดโดยตรง แต่ด้วยความยืดหยุ่นของยางธรรมชาติที่รับแรงอัดได้ไม่ดี ค่าความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ผสมน้ำยางพาราในปริมาณมากจึงลดลง (ปริญญา และชัย, 2551; Holfmann, 1989; Subramanium, 1980)

4.5 ความต้านทานแรงดัด

ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ทั้ง 6 อัตราส่วน ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.5

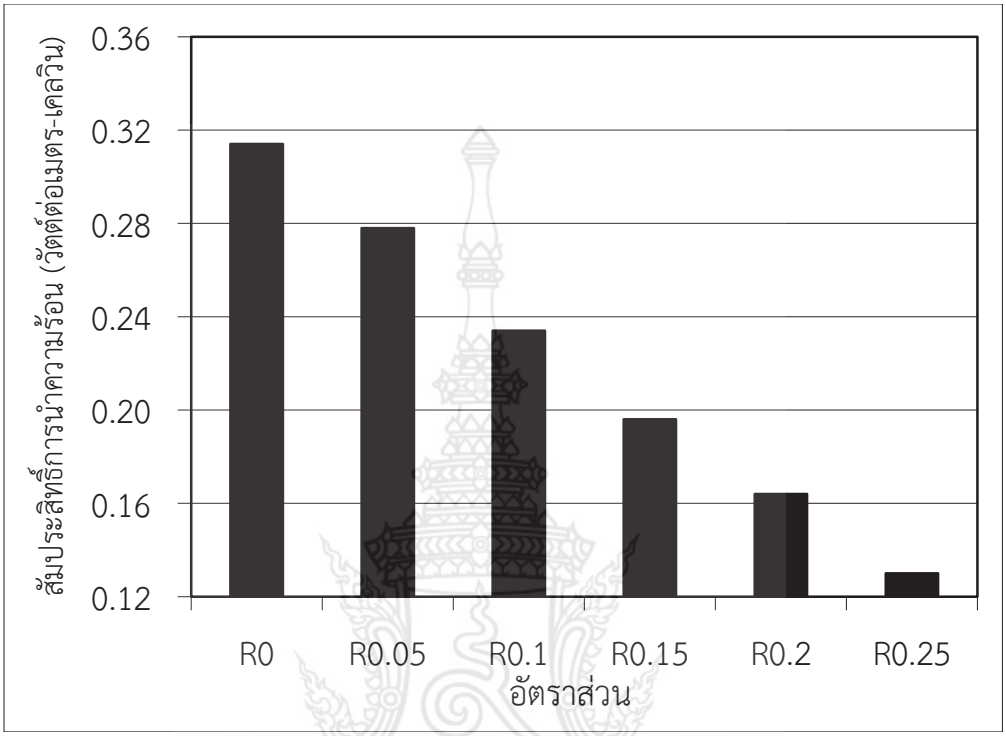


รูปที่ 4.5 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

นอกจากการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม หรือไม่เกินกว่าอัตราส่วน R0.15 จะสามารถช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นได้แล้วนั้น น้ำยางพาราในปริมาณดังกล่าวยังสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดัดให้สูงขึ้นได้เช่นกัน ดังเห็นได้จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในรูปที่ 4.5 ทั้งนี้ เป็นผลมาจากความสามารถในการรับแรงดึงของยางพาราที่แทรกอยู่อย่างเหมาะสมภายในเนื้อก้อนผนังบ้านดิน จะช่วยเพิ่มพื้นที่รับแรงดึงให้กับส่วนผสม (Holfmann, 1989; Subramanium, 1980) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงดัด (ปริญญา และชัย, 2551) โดยผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.05 R0 R0.15 R0.2 และอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือความสามารถในการนำความร้อนผ่านแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังนี้



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารามากที่สุด หรืออัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.2 R0.15 R0.1 R0.05 และอัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางธรรมขาติที่ต่ำเพียง 0.13 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทำให้ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง (Clemens, 2001)

4.7 ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

อัตราส่วน	**ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548**
R0	ผ่าน
R0.05	ผ่าน
R0.1	ผ่าน
R0.15	ผ่าน
R0.2	ผ่าน
R0.25	ผ่าน

รูปที่ 4.7 พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ

รูปที่ 4.8 การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

จากรูปที่ 4.7 ถึง 4.8 และตารางที่ 4.2 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ทั้ง 6 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกันตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) โดยผลจากการเพิ่มน้ำยางพาราลงในแผ่นผนังบ้านดิน

สำเร็จรูป จะมีผลทำให้การแต่งพื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้เรียบได้ยากขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ยังสามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดได้

4.8 แรงกระแทก

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

ตารางที่ 4.3 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
R0	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.05	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.1	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.15	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.25	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4.4 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
R0	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.05	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.15	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

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

4.9 ความตรง

ผลการทดสอบความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง โดยใช้ระยะจุดรองรับ 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนัง ทั้ง 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	การโก่งตัว (มิลลิเมตร)	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
R0	0	ผ่าน
R0.05	0	ผ่าน
R0.1	0	ผ่าน
R0.15	0	ผ่าน
R0.2	0	ผ่าน
R0.25	0	ผ่าน

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

4.10 ความแข็ง

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

ตารางที่ 4.6 ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
R0	ผ่าน
R0.05	ผ่าน
R0.1	ผ่าน
R0.15	ผ่าน
R0.2	ผ่าน
R0.25	ผ่าน

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

4.11 การใช้งานจริง

จากผลการทดสอบทำให้เลือกใช้แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร อัตราส่วน R0.1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด มาทดสอบการใช้งานจริง โดยการก่อเป็นผนังอาคาร ขนาด 3 x 3 เมตร สูง 2.4 เมตร ดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ 4.9 การนำแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา อัตราส่วน R0.1 มาเชื่อมกับโครงเหล็กและแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราต่อไป

รูปที่ 4.10 การฉาบปิดร่องของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราให้เรียบ

รูปที่ 4.11 ผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 4.12 ด้านข้างของผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

ผลจากการทดสอบการใช้งานจริงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา แสดงให้เห็นว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปดังกล่าว สามารถนำมาก่อสร้างเป็นผนังอาคารได้เช่นเดียวกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั่วไป และเมื่อมีการฉาบปิดร่องจะทำให้ผนังมาความเรียบและสวยงามดี

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม” ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) นี้ สามารถสรุปเป็นผลแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินงานวิจัยต่อไปได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

ผลการพัฒนาต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ว่า การผสมน้ำยางพาราสามารถช่วยลดค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปลงได้ และการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม หรือไม่เกินอัตราส่วน R0.15 จะสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด และการชะล้าง โดยคุณสมบัติด้านการใช้งาน ได้แก่ ลักษณะโดยทั่วไป การรับแรงกระแทก ความตรง และความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากผลการพัฒนาแสดงให้เห็นว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด เป็นอัตราส่วนที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำยางพารา: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,810.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.16 ความต้านทานแรงอัด 15.13 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัด 3.01 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.2226-2548 นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรทำการศึกษาถึงผลกระทบจากการใช้งานผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในระยะยาว เพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่า ผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา จะสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

บรรณานุกรม

จงรัก นุ่นชู และ ณัฐพงศ์ รังสิมันตุชาติ, 2547. **การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินดิบเพื่อการก่อสร้างบ้านดิน**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

โจน จันได, 2546. **ขั้นตอนการสร้างบ้านดิน.** เสถียรธรรมสถาน.

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

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

ชาญ จรรยาวณิชย์, 2528. **สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก.** การบรรยายวาระพิเศษ, กรมทรัพยากรธรณี.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธุดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4**.

ณัฐนนท์ รัตนไชย, ประชุม คำพุฒ, กาญจนา จักรแต๋, 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 คำพุฒ, 2548. การศึกษาเกี่ยวกับบ้านดิน (ตอนที่ 1). **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี**, ปีที่ 3. ฉบับที่ 6 : 29-50.

ประชุม คำพุฒ, 2550. การศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดัดของอิฐดินดิบผสมเถ้าแกลบ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**. ฉบับพิเศษ: 94-98.

ประชุม คำพุฒ, 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 ศุขสมิติ, 2529. **ดินขาวและดินเหนียวดำสำหรับงานอุตสาหกรรมภาคเหนือ.** กรมทรัพยากรธรณี.

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

ราชบดินทร์ บุญไชโย, ธนา อุทัยภัตรากูร และ ไพริน พงษ์สุระ, 2545. **บ้านดิน: แนะนำการสร้างบ้านดินเบื้องต้น**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

วิทยา วัชรไตรรงค์, 2545. **กระบวนการร่วมกันสร้างที่อยู่อาศัยด้วยตนเอง : กรณีศึกษาบ้านดิน บ้านเทพพนา อำเภอเทพสถิตย์ จังหวัดชัยภูมิ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเคหพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินัย วีระวัฒนานนท์. 2537. **คู่มือปฏิบัติการ เรื่องปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect).** กรุงเทพฯ : บริษัท ส่องศยาม จำกัด.

วรุณ เหล่าโกเมนย์, 2548. **การเพิ่มความสามารถในการป้องกันน้ำของการก่อสร้างบ้านดิน.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 122 หน้า.

วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 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) เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

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

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 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.

Clemens J. M. Lasance, 2001. **Design, Materials, Compounds, Adhesives, and Substrates** [Online]. Available on: https://www.electronics-cooling.com/2001/11/the-thermal-conductivity-of-rubbers-elastomers/#.

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.

Holfmann, W.B., 1989. **Rubber Technology Handbook**. Hanser Publishers. Munich.

Moor, G. and Heathcote, Kavan, 2004. **Earth Building in Australia-Durability Reserch.** University of Technology Sydney.

Subramanium, A, 1980. **Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber**, RRIM Technology Bulletin, p.6.

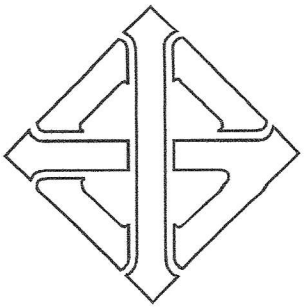
Testa Carlo, 1959. **The Industrialization of Building.** New York : Van Nostrand Reinhold.

ภาคผนวก

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

ข บทความสำหรับเผยแพร่

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



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2226 – 2548

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

PRECAST CONCRETE WALL PANELS

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.060.10

ISBN 974-9903-60-9

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 942
มาตรฐานแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใช้มวลผสมคละน้ำหนักเบา

ประธานกรรมการ

นายบุญตวง สารศักดิ์	กรุงเทพมหานคร

กรรมการ

นายวีระพันธ์ อุปถัมภากุล	กรมโยธาธิการและผังเมือง
นายวัฒนา บุญล้ำ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
รศ.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายศิริวุฒิ ศศิบุตร	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นายพิชิต เจนบรรจง	
นายสุรศักดิ์ กิตติวิบูลย์	การเคหะแห่งชาติ
นายสมชัย หอมสิทธิเดช	บริษัท ผลิตภัณฑ์คอนกรีตซีแพค จำกัด
นายวีระ อมรศิลปชัย	
นายวุฒิชัย ปริศวงศ์	บริษัท ทีจี. แอ็ดวานซ์ คอนกรีต จำกัด
นางสาวพรรณเพ็ญแข นกเพชร	

กรรมการและเลขานุการ

นางสาวรัตนา ตรีรัตนภรณ์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

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 ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2548

วัฒนา เมืองสุข

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทำจากมวลผสมและวัสดุประสาน ใช้เป็นผนังกั้นห้องภายในและภายนอกอาคาร

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

2.1 ร่อง หมายถึง ส่วนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้านข้างที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้างสำหรับให้ลิ้นของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงยื่นเข้ามาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ

2.2 ลิ้น หมายถึง ส่วนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้านข้างที่ยื่นเลยพื้นที่ผิวด้านข้าง สำหรับแทรกไปในร่องของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ

2.3 เปลือก (shell) หมายถึง ผนังนอกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบภาคตัดขวางกลวง

2.4 ผนังกั้นโพรง (web) หมายถึง ผนังภายในที่แบ่งโพรงในแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบบภาคตัดขวางกลวง

2.5 ความต้านแรงอัด หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกหรือรูปลูกบาศก์มาตรฐานสามารถรับได้ โดยปกติกำหนดให้ทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน

2.6 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หมายถึง พื้นที่หน้าตัดเฉพาะที่เป็นเนื้อคอนกรีตทั้งหมดของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในแนวตั้งฉากกับความยาว

3. แบบ

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบ่งตามลักษณะการขึ้นรูปเป็น 2 แบบ คือ

3.1 แบบภาคตัดขวางตัน (solid panel)

3.2 แบบภาคตัดขวางกลวง (hollow-core panel)

ตารางที่ 4 พลังงานกระแทก

(ข้อ 7.5.2)

หน่วยเป็นนิวตันเมตร

รายการที่	คุณลักษณะ	ประเภท			
		LD	MD	HD	SD
1	ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก				
	พลังงานกระแทกที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของผิวหน้า	3	3	6	10
	พลังงานกระแทกที่ไม่ก่อให้เกิดการกระเทาะของผิวหน้า	–	5	15	30
2	ความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่[1)]				
	พลังงานกระแทกที่ทำให้เกิดการโก่งตัวสูงสุด	20	20	40	100
	พลังงานกระแทกที่ทำให้เกิดการแตกหัก	60	60	120	120

หมายเหตุ [1)] *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

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.

มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก
(ข้อ 7.5.2)

ข.1 ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก

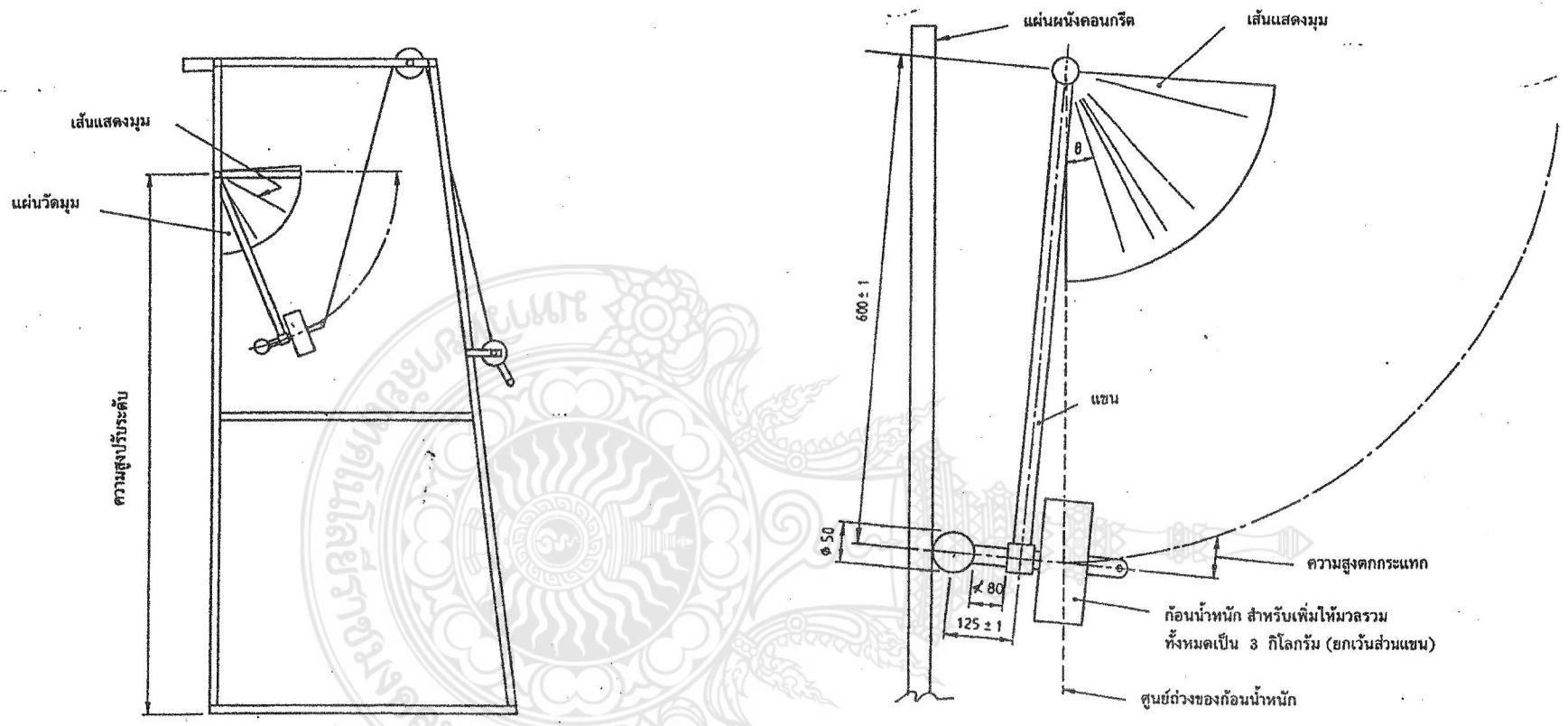
ตารางที่ ข.1 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก ตาม BS 5234 part 2 Annex B
(ข้อ 7.5.2.1(1))

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

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

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

หมายเหตุ หัวกระแทก และโครงยึดหัวกระแทก ดังรูป ข.1



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ ในขณะที่หยุดนิ่งแขนต้องทำมุมกับแนวดิ่งไม่มากกว่า 5 องศา

(1) โครงยึดหัวกระแทก (2) หัวกระแทก

รูปที่ ข.1 การทดสอบความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก

(ข้อ 7.5.2.1)

ข.2 ความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่

ตารางที่ ข.3 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก ตาม BS 5234 part 2 Annex C

(ข้อ 7.5.2.2(1))

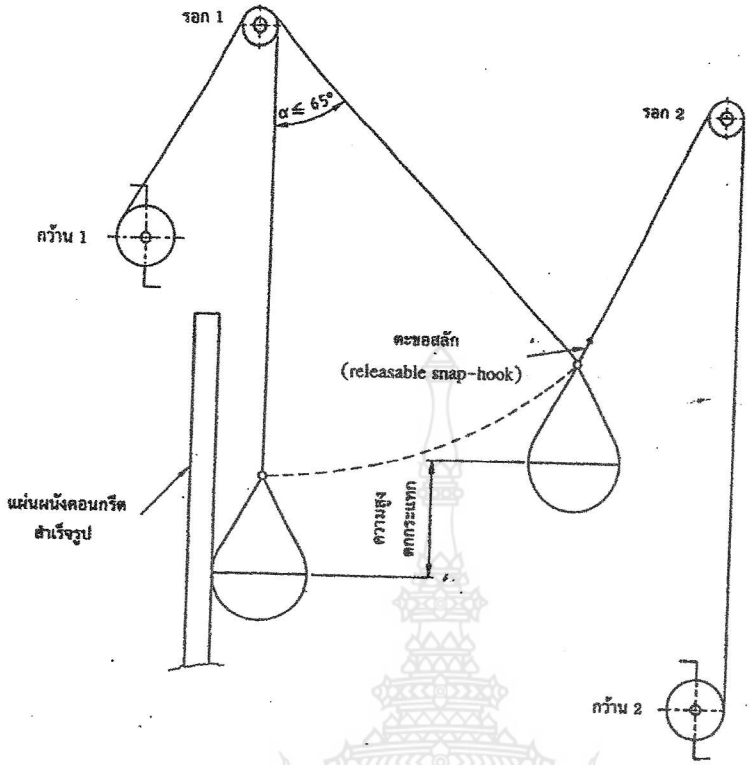
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
20	41	65
40	82	
100	204	

ตารางที่ ข.4 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก ตาม BS 5234 part 2 Annex E

(ข้อ 7.5.2.2(2))

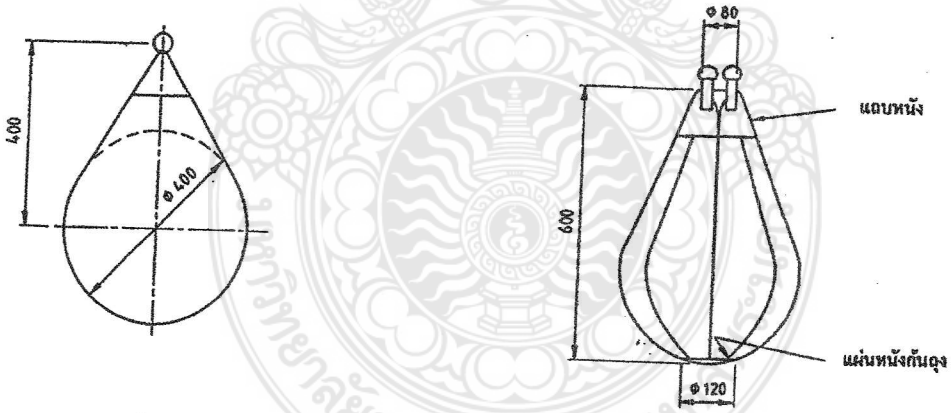
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
60	122	65
120	245	

หมายเหตุ *ตำแหน่งการทดสอบ และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ ดังรูปที่ ข.2*



หมายเหตุ *รอกต้องตั้งอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป*

(1) ตำแหน่งการทดสอบ



ขนาดมิติเมื่อบรรจุเต็ม

ภาคตัดเมื่อยังไม่บรรจุ

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

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก.878–2532

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : 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 นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นในแบบ โดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป”
3. ให้ยกเลิกความในข้อ 6.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

   “6.4 สภาพนำความร้อน

   ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

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

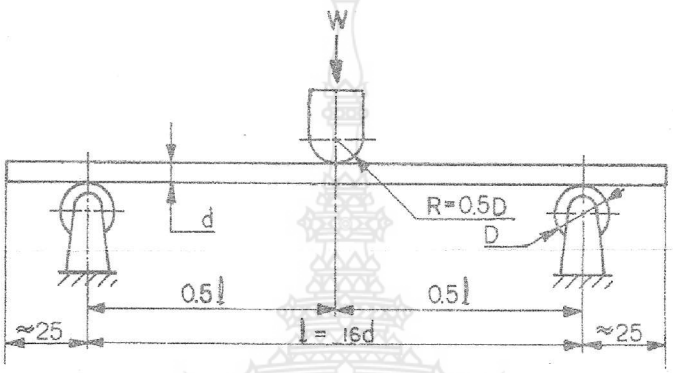
4. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.3.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร สำหรับวัดความหนา"

5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.3.1.3

"9.3.1.3 เวอร์เนียร์แคลลิเปอร์สที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวัดความกว้างและความยาว"

6. ให้ยกเลิกรูปที่ 4 และให้ใช้รูปต่อไปนี้แทน



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น
(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

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS : HIGH DENSITY

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 691.328.41:674.821

ISBN 974-8126-75-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : 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	ผู้แทนสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

กรรมการ

นายสุธี หาญสงคราม	ผู้แทนกรมป่าไม้
นายสมศักดิ์ พัฒนประภาพันธุ์	
นายยงยุทธ ศรีเมฆารัตน์	ผู้แทนกรมโยธาธิการ
นายสุทธิศักดิ์ สำเร็จประสงค์	ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นายอรุณ พุฒยางกูร	ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
นายผึ่งผาย สุนทราภัย	ผู้แทนวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
นายพลสินธุ อาชวาคม	ผู้แทนกรมการค้าต่างประเทศ
นายวิจิตร กฤษณบำรุง	ผู้แทนคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายอำนวย พานิชกุล	ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
นายอภัย รณะนันทน์	
-	ผู้แทนบริษัท ศรีมหาราชา จำกัด
ร.ต. อุทัย สินธุประมา	ผู้แทนบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด
นายวิชัย ภูษิตวิทย์	
นายชูชาติ บุญสิริ	ผู้แทนบริษัท ไทยชิปบอร์ด จำกัด
ร.ท. ฉลอง ขุนพรหม	ผู้แทนบริษัท สตรามิตบอร์ด จำกัด
นายก่อเกียรติ แย้มมีศรี	ผู้แทนบริษัท เซลโลกรีตไทย จำกัด
นายนิสสิต บุญ-หลง	ผู้แทนบริษัท ไทยทักษิณป่าไม้ จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายสมคิด แสงนิล	ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการทำแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้นได้เองภายในประเทศ โดยนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป และส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้และเพื่อประโยชน์แก่ผู้ใช้ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยอาศัยเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 8335 : 1987 Cement-bonded particleboards-Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1516 (พ.ศ. 2532)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

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

ประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2532

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

1. ขอบข่าย

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

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบรูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

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

2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ชิ้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเสี้ยนไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเสี้ยนไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

2.2.3 แถบ (strand) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

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

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

2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์

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

3. แบบและสัญลักษณ์

3.1 แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะพื้นผิว คือ

3.1.1 แบบผิวขัดเรียบ มีสัญลักษณ์ SAN

3.1.2 แบบผิวไม่ขัด มีสัญลักษณ์ UNS

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้างและความยาว ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

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

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

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.2 ความหนา ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากแต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นสั้น

การวัดให้ปกิบัติตามข้อ 9.2

4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 4.1และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

5. ส่วนประกอบและการทำ

5.1 ส่วนประกอบ

5.1.1 ชิ้นไม้

5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชิ้นไม้ แยกชิ้นไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความหนาแน่นความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

6.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874)

6.5 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

(ข้อ 6.5)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	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 แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีแบบและความหนาระบุเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และลักษณะทั่วไป

8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 3

8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 6.1 ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับ ที่กำหนดในตารางที่ 3 จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป

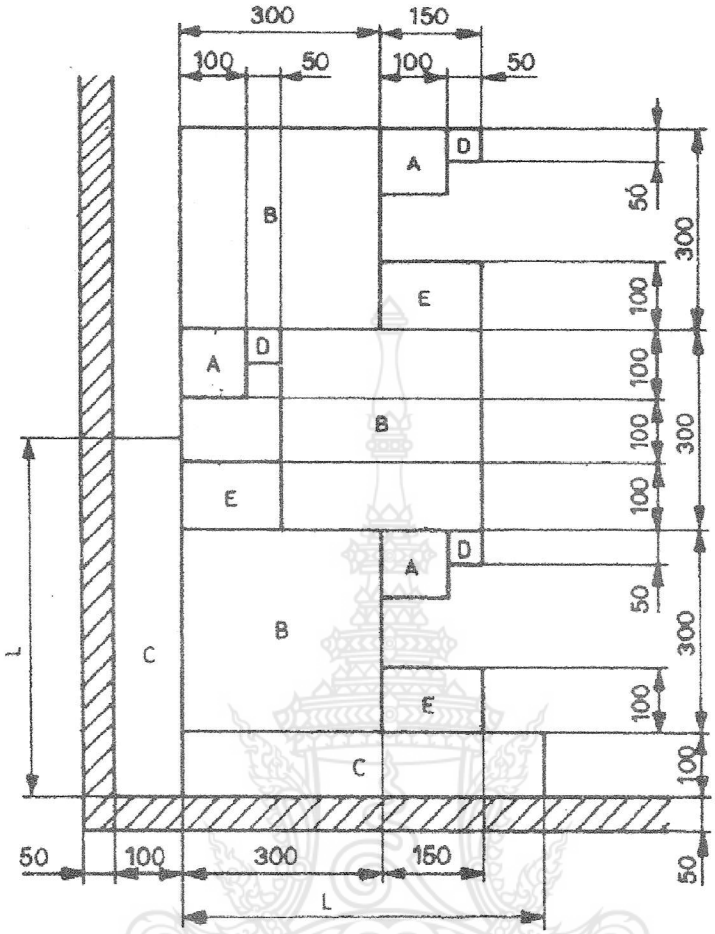
(ข้อ 8.2.1)

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

8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น สภาพนำความร้อน และคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

8.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่ม จากแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด และลักษณะทั่วไปแล้ว มาจำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นให้ตัดเป็นชิ้นทดสอบตามรูปที่ 1

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



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

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตำแหน่งและการตัดชิ้นทดสอบ

(ข้อ 8.2.2.1)

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 ข้อ 6.3 ข้อ 6.4 และข้อ 6.5 ทุกรายการ จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และ ข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. การทดสอบ

9.1 การปรับภาวะชิ้นทดสอบ

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

9.2 ขนาด

9.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ ประมาณ 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.2 ความหนา

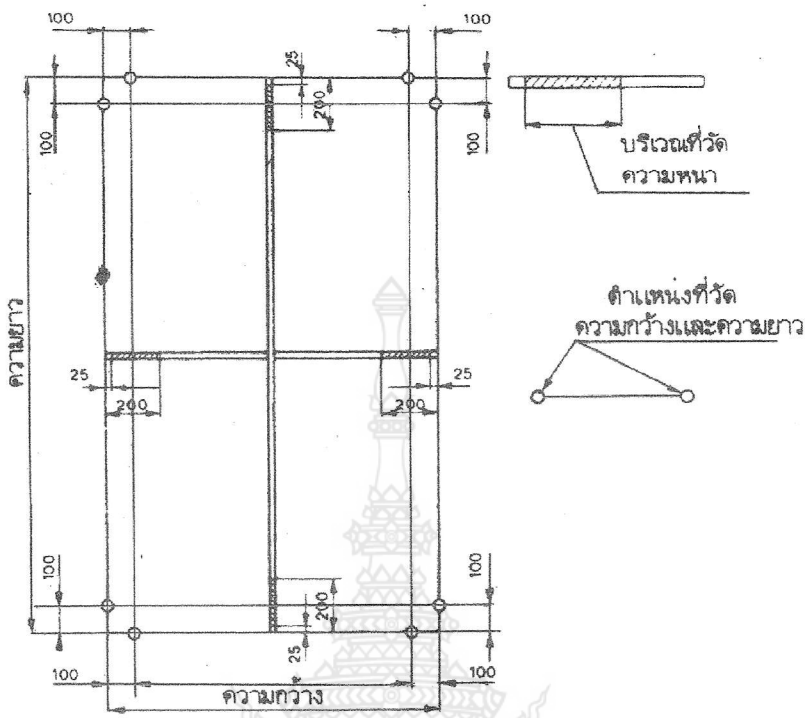
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

9.2.4 ความตรงของขอบ

ขึงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์

(ข้อ 9.2.1 และข้อ 9.2.2)

9.3 ความหนาแน่น

9.3.1 เครื่องมือ

9.3.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

9.3.2 วิธีทดสอบ

9.3.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม

9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

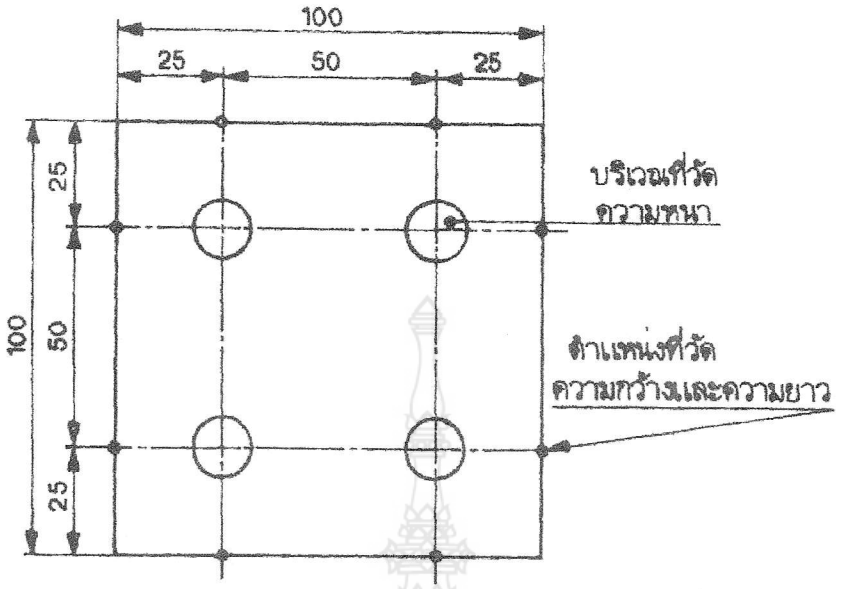
9.3.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

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

9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

9.4 ความชื้น

9.4.1 เครื่องมือ

9.4.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

9.4.1.2 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 130 ± 2 องศาเซลเซียส

9.4.1.3 เดซิกเคเตอร์

9.4.2 วิธีทดสอบ

9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ

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

9.4.2.3 นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปล่อยไว้ให้เย็น

9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

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

9.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

9.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

9.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

9.5.2 วิธีทดสอบ

9.5.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามรูปที่ 3 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

9.5.2.2 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

9.5.2.3 เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ชอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก

9.5.2.4 เมื่อปล่อยชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

9.5.3 วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

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

9.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

9.6 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

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

9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

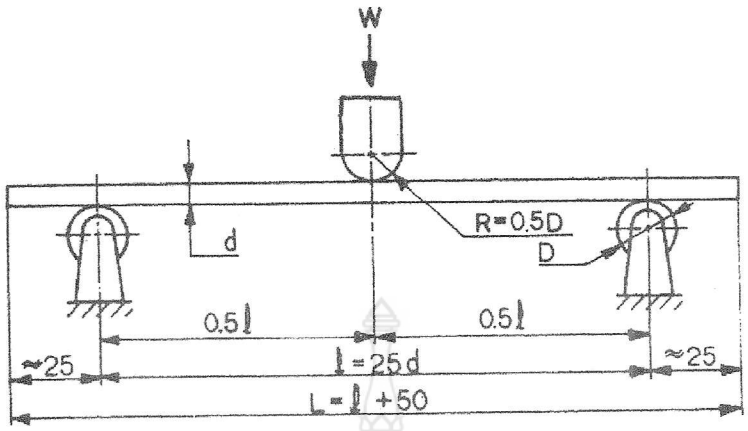
9.6.1.3 มาตรการแอ่นตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

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

9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอ่นตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

(ข้อ 9.6.2.1)

9.6.3 วิธีคำนวณ

9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

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

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล

W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

9.6.3.2 หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสูตร

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

เมื่อ f คือ มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

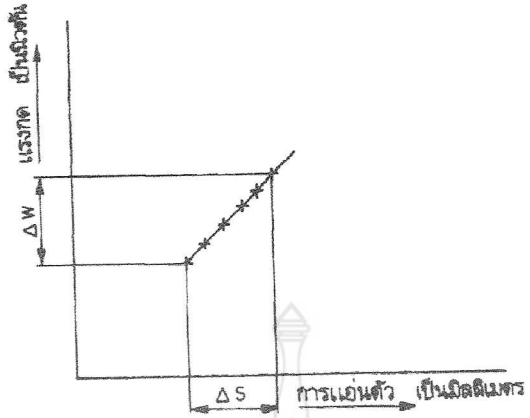
ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

ΔS คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว

(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

9.7.1 เครื่องมือ

9.7.1.1 เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที

9.7.1.2 แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

9.7.2 วิธีทดสอบ

9.7.2.1 ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ

9.7.2.2 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.7.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

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

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ข บทความสำหรับเผยแพร่

การพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

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

วิหาร ดีปัญญา [1*] และกิตติพงษ์ สุวีโร [2]

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[*] E-mail: wiharn.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำยางพารา: น้ำประปา จำนวน 6 อัตราส่วน เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.05: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.15: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.2: 0.4 และ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.25: 0.4 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปคล้ายกับการหล่อคอนกรีต และเสริมไม้รวกเป็นวัสดุเสริมแรง จากผลการทดสอบ อัตราส่วนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 โดยมีค่าความหนาแน่น 1,810.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.16 ความต้านทานแรงอัด 15.13 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัด 3.01 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.2226-2548 นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) ทั้งนี้ ปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมจะสามารถพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้นได้ ได้แก่ เพิ่มความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัด ลดความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และการดูดซึมน้ำ

คำสำคัญ ผนังบ้านดินสำเร็จรูป, ดินเหนียว, ปูนซีเมนต์, น้ำยางพารา

Abstract

The objective of this research is to develop the high corrosion resistance and good thermal insulation precast adobe wall panels mixed with natural latex. The 6 ratios of Portland cement type1: clay: rice husk ash: straw: rice husk: waterproofed liquid: natural latex: tap water were designed including: 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.05: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02:

0.1: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.15: 0.4, 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.2: 0.4, and 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.25: 0.4 by weight. The precast adobe wall panels casted as same as the common concrete and reinforced by the bamboo. From the results, the proper ratio of precast adobe wall panel mixed with natural latex was 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 ratio. The properties of the proper precast adobe wall panel included density 1,810.83 kg/m^3, water absorption 17.16 %, compressive strength 15.13 MPa, bending strength 3.01 MPa, thermal conductivity coefficient 0.234 watt/m.Kelvin. Moreover, the proper precast adobe wall panel mixed with natural latex also was verified by TIS.2226-2548 with properties of impact resistance, deflection, and hardness in medium duty (MD) level. The proper amount of natural latex effected the precast adobe wall panels to improve the mechanical properties including: increase the compressive and tensile strength, decrease the density, thermal conductivity coefficient and water absorption.

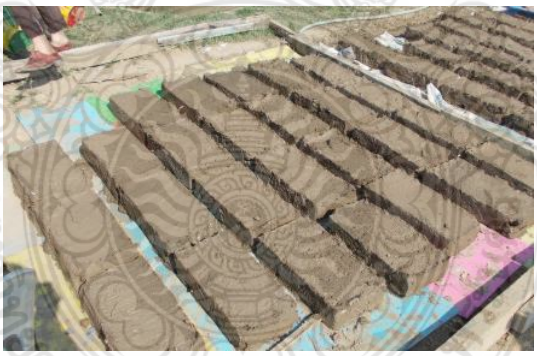
Keywords Precast Concrete Wall Panel, Clay, Cement, Natural latex

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 การส่งเสริมความรู้ทางด้านการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (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 ยังสามารถใช้เป็นบ้านพักอาศัยถาวรได้เช่นเดียวกันกับบ้านคอนกรีต 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 (ราชบดินทร์ และคณะ, 2545)



รูปที่ 2 อิฐดินดิบ

ผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงเป็นนวัตกรรมแผ่นผนังสำเร็จจากดินที่มีความเป็นธรรมชาติ แตกต่างจากแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทั้งหมดมาจากธรรมชาติ ได้รับการพัฒนาสมบัติต่างๆ ให้สามารถต้านทานการชะล้างสูง และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยใช้น้ำยางพาราเป็นสารผสมเพิ่ม รวมทั้งออกแบบให้มีจุดยึดสำหรับติดตั้งแผ่นผนังได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของบ้านดินให้หมดไป

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปนี้ จะช่วยสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับชุมชน สร้างกระแสความนิยมอาคารจากวัสดุธรรมชาติที่ราคาถูกและใช้งานได้จริง สร้างแรงดึงดูดนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทั่วโลกให้มาเที่ยวประเทศไทย และสร้างความมั่นคงและยั่งยืนให้กับประเทศชาติ

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 ดินเหนียว ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ดินเหนียวแห้งสำหรับใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังดินสำเร็จรูป

2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.1.3 เถ้าแกลบ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 เถ้าแกลบ

2.1.4 แกลบ ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แกลบ

2.1.5 ฟางข้าว บดย่อยให้มีความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ฟางข้าว

2.1.6 น้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์ ดังรูปที่ 6 และตารางที่ 1

รูปที่ 6 น้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราข้น ชนิดพรีวัลคาไนซ์

สารประกอบ	น้ำหนัก (กรัม)
60% น้ำยางข้น (Latex)	167.0
10% โปแตสเซียมไฮดรอไซด์ (Potassium hydroxide)	2.0
10% เทอริค 16 เอ 16 (Teric 16 A 16)	0.2
50% กำมะถัน (Sulfur)	1.6
50% แซดดีอีซี (ZEDC)	0.8
50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	0.8
50% วิงสเตย์แอล (Wingstay L)	2.0
50% ทิทาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	2.0
น้ำ	170.5

2.1.7 น้ำประปา

2.1.8 ไผ่รวก ดังรูปที่ 7 ถึง 9

รูปที่ 7 ไผ่รวก

รูปที่ 8 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดเล็ก

รูปที่ 9 ไผ่รวกสำหรับเสริมในตัวอย่างผนังขนาดใหญ่

2.1.9 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 15 เซนติเมตร

2.1.10 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 แบบหล่อขนาด 40 x 20 x 10 เซนติเมตร

2.1.11 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 แบบหล่อขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

2.1.12 แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 แบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

2.1.13 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร

2.1.14 เครื่องบดเส้นใย ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 เครื่องบดเส้นใย

2.1.15 ชุดทดสอบลักษณะโดยทั่วไป ความหนาแน่น ความตรง และการดูดซึมน้ำ

2.1.16 เครื่องทดสอบความแข็งและการทนการกระแทก

2.1.17 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

2.1.18 เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม ASTM C177 (ASTM, 2013)

2.1.19 ชุดทดสอบการชะล้าง

2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบตัวอย่างแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ดินเหนียวผสมกับปูนซีเมนต์ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 2 เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสม ผสมส่วนผสมขึ้นรูปก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 16 และ 17

ตารางที่ 2 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 16 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

รูปที่ 17 ก้อนดินซีเมนต์ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในตารางที่ 2 และรูปที่ 16 ถึง 17 พบว่า ก้อนดินซีเมนต์อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม และมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด เมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวมาออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปเพิ่มเติม โดยใช้ส่วนผสมต่างๆ ประกอบด้วย ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ แกลบ ฟางข้าว น้ำประปา และไผ่รวก ดังตารางที่ 3 พร้อมทั้งคำนวณ ออกแบบตำแหน่งการติดตั้งไผ่รวก และพัฒนาวิธีการก่อสร้างบ้านดินจากแผ่นผนังดินสำเร็จรูป โดยใช้ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) และระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ต่อไป

ตารางที่ 3 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

จากผลการทดสอบดังกล่าวในตารางที่ 3 ทำให้ได้อัตราส่วน F2 หรืออัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีคุณสมบัติ ได้แก่ ความหนาแน่น 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 ทั้งนี้ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่พัฒนา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) จากปัญหาของฟางข้าวและแกลบสดที่มีผลต่อความต้านทานแรงดัดที่ลดลง และการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการเพิ่มน้ำยางพารา เพื่อพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าว ตลอดจนคุณสมบัติต้านทานการชะล้างและความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของผนังบ้านดินสำเร็จรูป โดยใช้อัตราส่วนผสมในการศึกษา ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นผนังดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ปูน	ดิน	เถ้าแกลบ	ฟางข้าว	แกลบสด	น้ำยากันซึม	น้ำยางพารา	น้ำประปา
R0	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0	0.4
R0.05	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.05	0.4
R0.1	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.1	0.4
R0.15	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.15	0.4
R0.2	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.2	0.4
R0.25	1	3	0.3	0.02	0.02	0.02	0.25	0.4

2.3 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบ

2.3.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามที่ออกแบบ ตามตารางที่ 4

รูปที่ 18 การชั่งน้ำหนักดินเหนียว

รูปที่ 19 การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์

รูปที่ 20 การชั่งน้ำหนักเถ้าแกลบ

รูปที่ 21 การชั่งน้ำหนักแกลบ

รูปที่ 22 การชั่งน้ำหนักฟางที่ย่อยขนาดแล้ว

รูปที่ 23 การชั่งน้ำหนักน้ำยากันซึม

รูปที่ 24 การชั่งน้ำยางพาราข้นร้อยละ 60 ชนิดพรีวัลคาไนซ์

2.3.2 ผสมน้ำประปา น้ำยากันซึม และน้ำยางพาราข้น ให้เข้ากัน

2.3.3 ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน พร้อมทั้งเติมน้ำประปาที่ผสมน้ำยากันซึมและน้ำยางพาราแล้ว ดังรูปที่ 25 ถึง 33

รูปที่ 25 การผสมดินเหนียวด้วยเครื่องผสม

รูปที่ 26 การเทเถ้าแกลบลงในเครื่องผสม

รูปที่ 27 การเทแกลบลงในเครื่องผสม

รูปที่ 28 การเทฟางข้าวลงในเครื่องผสม

รูปที่ 29 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม

รูปที่ 30 การเทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสม

รูปที่ 31 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมก่อนเติมน้ำประปา

รูปที่ 32 การเทน้ำประปาผสมน้ำยากันซึม และน้ำยางพาราลงในเครื่องผสม

รูปที่ 33 การผสมส่วนผสมให้เข้ากันสำหรับนำไปเทลงในแบบหล่อ

2.3.4 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 สำหรับทนสอบแรงกระแทก ความแข็ง ความตรง และลักษณะทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ มอก.878-2532 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง

รูปที่ 34 การนำส่วนผสมออกจากเครื่องผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปในแบบหล่อ

รูปที่ 35 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ

รูปที่ 36 การนำส่วนผสมไปอัดขึ้นรูปในแบบหล่อ พร้อมทั้งเสริมไม้รวก

รูปที่ 37 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และขนาด 30x30x5 เซนติเมตร

รูปที่ 38 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30เซนติเมตร

รูปที่ 39 การขึ้นรูปตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 40 การเสริมไม้รวกลงในตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 41 การฉาบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จในแบบหล่อขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เพื่อหุ้มไม้รวก

รูปที่ 3.42 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 43 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทำการทดสอบ

รูปที่ 44 ก้อนตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราขนาดต่างๆ สำหรับทำการทดสอบ

2.4 การทดสอบคุณสมบัติ

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

2.4.1 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 45

รูปที่ 45 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่น

2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 46 และ 47

รูปที่ 46 การแช่น้ำของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 47 การอบตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ในตู้อบสำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.4.2 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ได้แก่

1) การชะล้าง ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังตารางที่ 5 และ 6 และรูปที่ 48 และ 49

ตารางที่ 5 เกณฑ์การทดสอบในการชะล้าง (Erosion Testing) ของก้อนดิน ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย

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

ตารางที่ 6 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 48 การฉีดน้ำแรงดันสูงใส่ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความชะล้าง

รูปที่ 49 ผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความชะล้าง

2.4.3 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ได้แก่

1) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังรูปที่ 50 และ 51

รูปที่ 50 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

รูปที่ 51 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

รูปที่ 52 ตัวอย่างลักษณะเนื้อผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

2.4.4 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

1) ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 53 และ 54

รูปที่ 53 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร

รูปที่ 54 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

2) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2.4.5 ตัวอย่างผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก

1) ลักษณะโดยทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2) แรงกระแทก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 55 ถึง 59

รูปที่ 55 การเตรียมผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 56 อุปกรณ์วัดมุมการตกกระแทกของแท่นทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 57 การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กตามมุมที่กำหนดก่อนการปล่อยให้กระแทกผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 58 การวัดความสูงของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ที่ใช้กระแทกลงบนของผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

รูปที่ 59 ผลการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่บนผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

3) ความตรง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 60

รูปที่ 60 ลักษณะการวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความตรง

4) ความแข็ง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 61

รูปที่ 61 การวางผนังบ้านดินสำเร็จรูปขนาด 60x120x15 เซนติเมตรเพื่อทดสอบความแข็ง

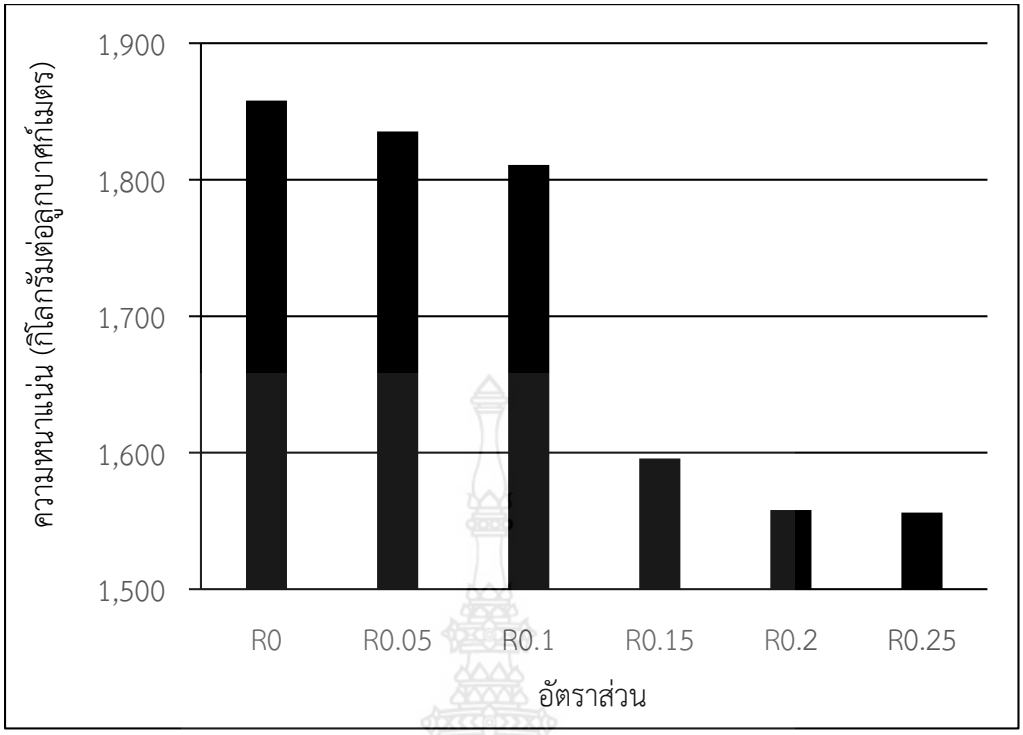
2.4.6 การใช้งานจริง

3. ผลการดำเนินงาน

ผลการพัฒนาผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี สำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (สมอ., 2548) ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) โดยการผสมน้ำยางพาราลงในส่วนผสมของผนังบ้านดินสำเร็จรูป สามารถสรุปได้ ดังนี้

3.1 ความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 62

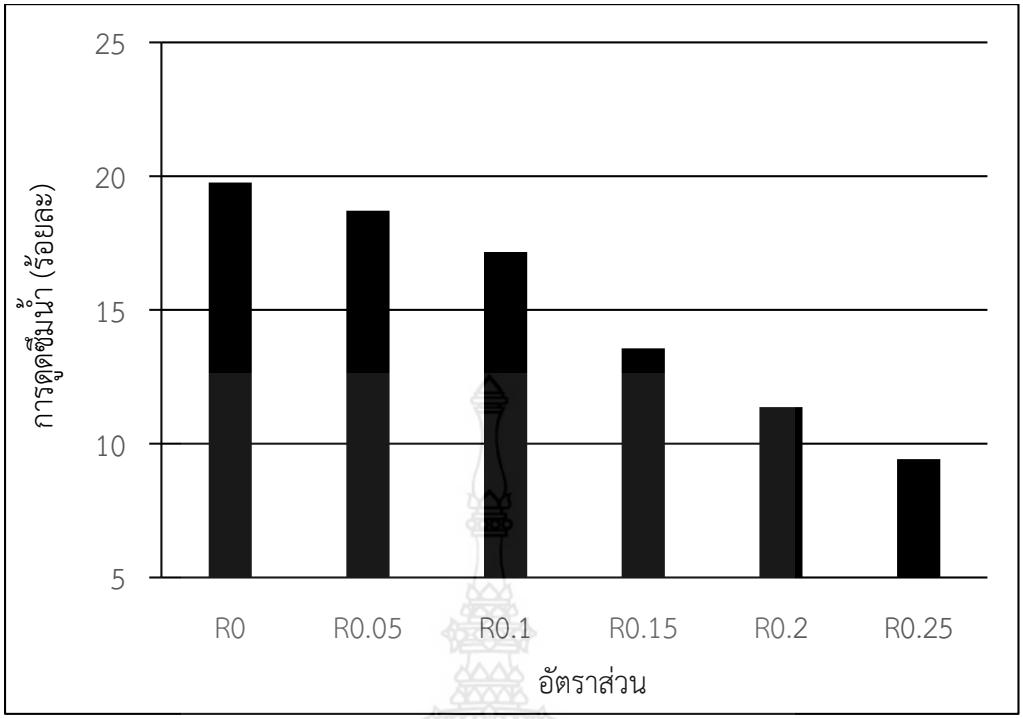


รูปที่ 62 ความหนาแน่นของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 62 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป มีผลทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารามากที่สุด หรืออัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R2, R0.15, R1, R0.05 และก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีน้ำยางพารา หรืออัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของยางพาราที่ต่ำเพียง 920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Barlow, 1993; Faherty et al., 1995) ทำให้เมื่อผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปแล้ว จึงมีผลต่อความหนาแน่นที่ลดลง

3.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 63



รูปที่ 63 การดูดซึมน้ำของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากคุณสมบัติด้านความทึบน้ำของยางพาราที่ผสมลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป จึงมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ดังรูปที่ 63 โดยก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.2 R0.15 R0.1 R0.05 และก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีการผสมน้ำยางพารา หรืออัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของวัสดุก่อผนังทั่วไป เช่น คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกินร้อยละ 25 (สมอ., 2533) พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทุกอัตราส่วนสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่กำหนดให้ไม่เกิน ร้อยละ 14 (สมอ., 2548) พบว่า ก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา อัตราส่วน R0.15 R0.2 และ R0.25 เป็นอัตราส่วนที่ผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด

3.3 การชะล้าง

การชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ทั้ง 5 อัตราส่วน ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ตามงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย (Moor and Heathcote, 2004) ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบชะล้าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน

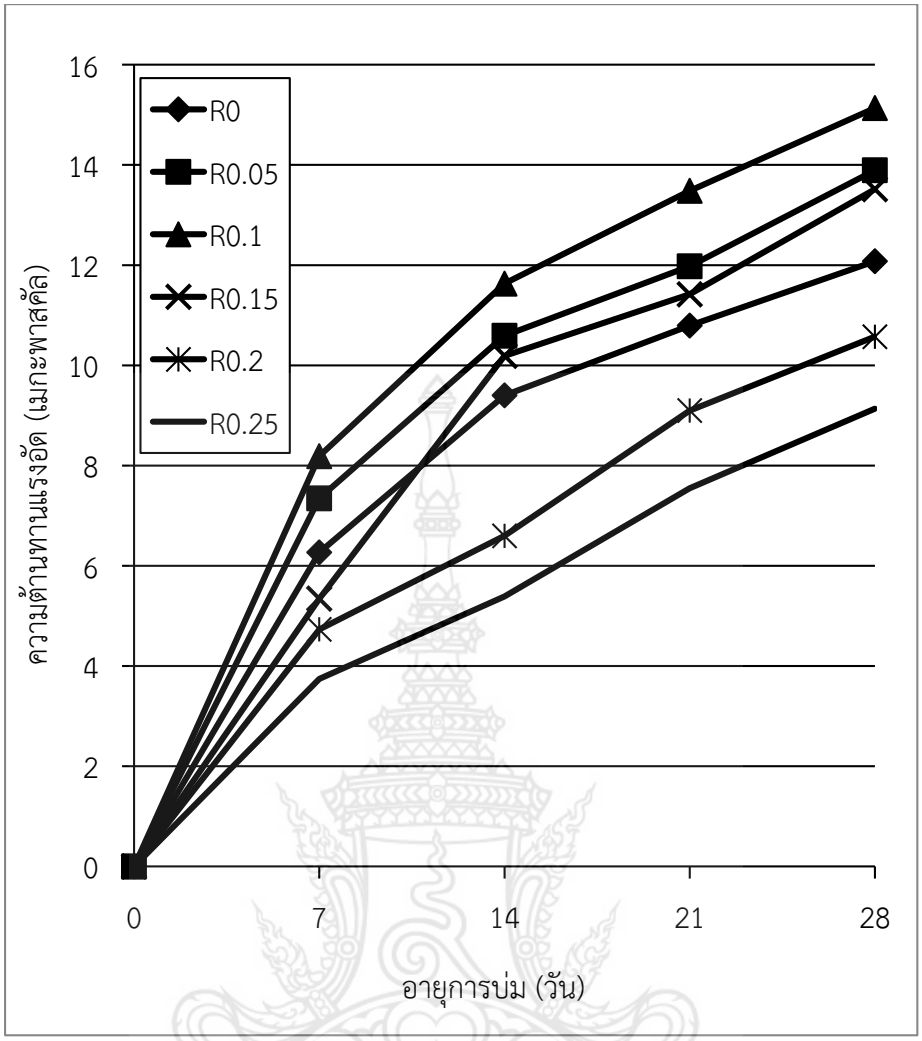
อัตราส่วน	ระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก้อนผนังที่ถูกน้ำฉีดพ่น
R0	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.05	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.1	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.15	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.2	ดีมาก	0 มิลลิเมตร
R0.25	ดีมาก	0 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบการชะล้างของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในตารางที่ 7 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในส่วนผสมของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการทนต่อการชะล้างลดลง โดยทุกอัตราส่วนยังคงไม่มีการชะล้าง

รูปที่ 64 ความลึกจากการทดสอบชะล้างของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ไม่มีการผสมน้ำยางพารา ขนาด 40x20x10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

3.4 ความต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของผิวหน้าก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 65

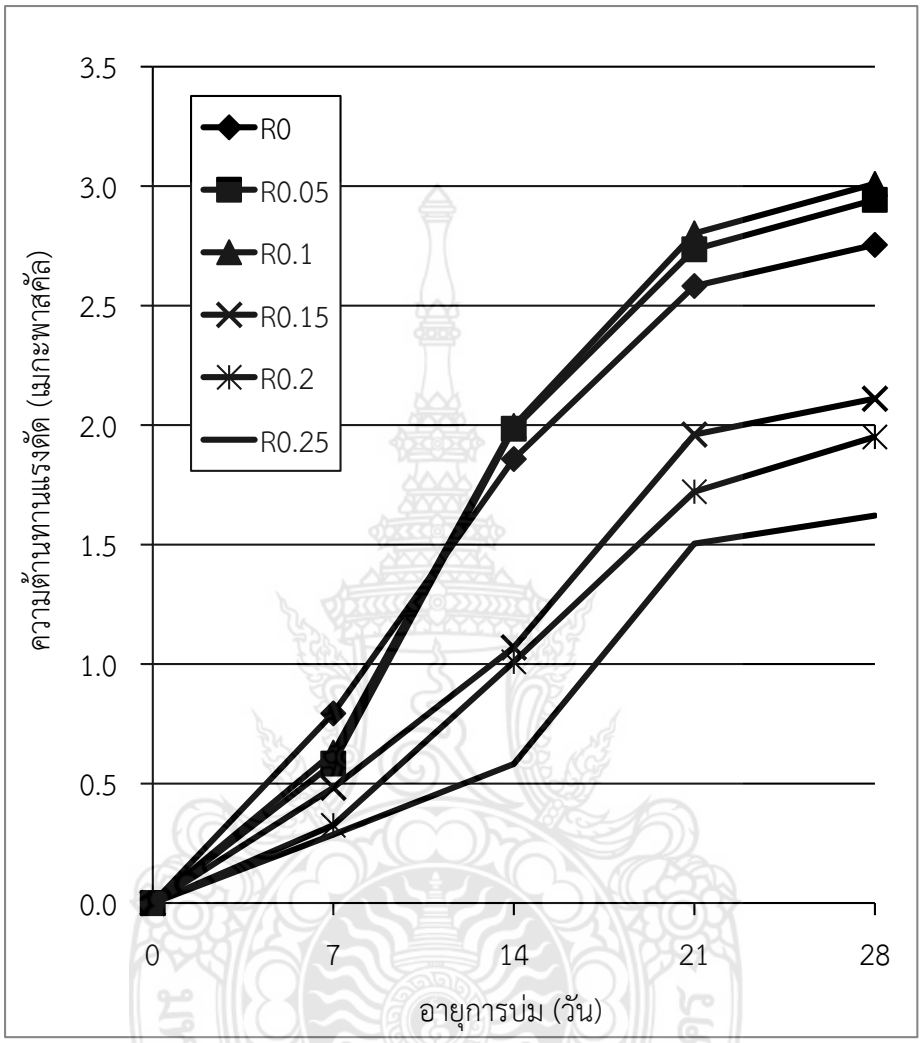


รูปที่ 65 ความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 65 พบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถพัฒนาความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้ดีขึ้นได้ โดยอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.05 R0.15 R0 R0.2 และอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากขณะผสมน้ำยางพาราลงในก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูป น้ำยางพาราจะแทรกตัวไปตามช่องว่างของส่วนผสม และเมื่อแข็งตัวยางพาราจะช่วยยึดเหนี่ยวส่วนผสมให้ติดกันดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากเกินไป (เกินกว่าอัตราส่วน R0.15) จะทำให้ยางธรรมชาติต้องมีส่วนในการรับแรงอัดโดยตรง แต่ด้วยความยืดหยุ่นของยางธรรมชาติที่รับแรงอัดได้ไม่ดี ค่าความต้านทานแรงอัดของก้อนผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่ผสมน้ำยางพาราในปริมาณมากจึงลดลง (ปริญญา และชัย, 2551; Holfmann, 1989; Subramanium, 1980)

3.5 ความต้านทานแรงดัด

ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ทั้ง 6 อัตราส่วน ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 66

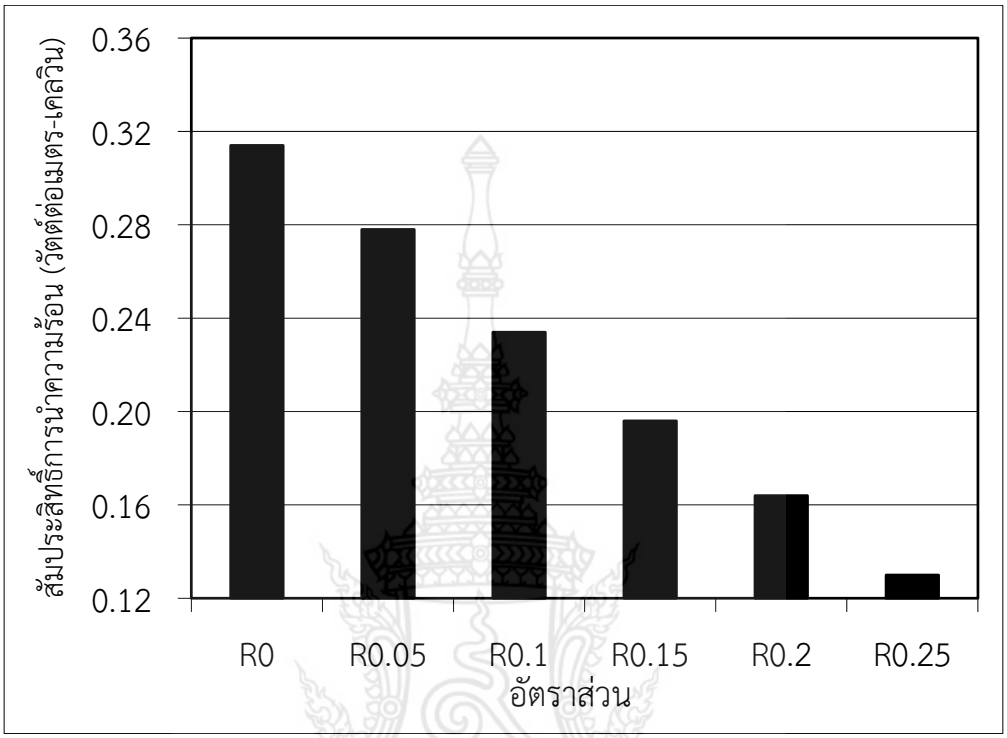


รูปที่ 66 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

นอกจากการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม หรือไม่เกินกว่าอัตราส่วน R0.15 จะสามารถช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นได้แล้วนั้น น้ำยางพาราในปริมาณดังกล่าวยังสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดัดให้สูงขึ้นได้เช่นกัน ดังเห็นได้จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในรูปที่ 66 ทั้งนี้ เป็นผลมาจากความสามารถในการรับแรงดึงของยางพาราที่แทรกอยู่อย่างเหมาะสมภายในเนื้อก้อนผนังบ้านดิน จะช่วยเพิ่มพื้นที่รับแรงดึงให้กับส่วนผสม (Holfmann, 1989; Subramanium, 1980) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงดัด (ปริญญา และชัย, 2551) โดยผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.05 R0 R0.15 R0.2 และอัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

3.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือความสามารถในการนำความร้อนผ่านแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังนี้



รูปที่ 67 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 67 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารามากที่สุด หรืออัตราส่วน R0.25 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R0.2 R0.15 R0.1 R0.05 และอัตราส่วน R0 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางธรรมชาติที่ต่ำเพียง 0.13 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทำให้ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง (Clemens, 2001)

3.7 ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 8 และรูปที่ 68 ถึง 69

ตารางที่ 8 ลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
R0	ผ่าน
R0.05	ผ่าน
R0.1	ผ่าน
R0.15	ผ่าน
R0.2	ผ่าน
R0.25	ผ่าน

รูปที่ 68 พื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกที่เรียบ

รูปที่ 69 การวัดขนาดของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวกด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

จากรูปที่ 68 ถึง 69 และตารางที่ 8 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร เสริมไม้รวก ทั้ง 6 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกันตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) โดยผลจากการเพิ่มน้ำยางพาราลงในแผ่นผนังบ้านดิน

สำเร็จรูป จะมีผลทำให้การแต่งพื้นผิวของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปให้เรียบได้ยากขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ยังสามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดได้

3.8 แรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทก เป็นการนำวัสดุแข็งขนาดเล็ก (ตุ้มน้ำหนัก) และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ (กระสอบทราย) มากระแทกแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร ด้วยมุมและความสูง ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
R0	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.05	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.1	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.15	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.25	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 10 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
R0	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.05	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.15	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
R0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 9 และ 10 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา สามารถทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) แต่สามารถทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ได้ถึงประเภทที่ 3 อาคารสาธารณะ (Heavy Duty, HD) ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548)

3.9 ความตรง

ผลการทดสอบความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง โดยใช้ระยะจุดรองรับ 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนัง ทั้ง 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความตรงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	การโก่งตัว (มิลลิเมตร)	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
R0	0	ผ่าน
R0.05	0	ผ่าน
R0.1	0	ผ่าน
R0.15	0	ผ่าน
R0.2	0	ผ่าน
R0.25	0	ผ่าน

จากตารางที่ 11 พบว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทั้งหมด ไม่มีการโก่งตัวภายหลังจากการวางผนังตามแนวการใช้งาน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่กำหนดให้ต้องมีค่าไม่เกินกำหนด L/480 หรือ 100 เซนติเมตร/480 หรือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

3.10 ความแข็ง

ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา เมื่อวัดค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้างของทุกอัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก.2226-2548
R0	ผ่าน
R0.05	ผ่าน
R0.1	ผ่าน
R0.15	ผ่าน
R0.2	ผ่าน
R0.25	ผ่าน

จากตารางที่ 12 พบว่า ความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราทุกอัตราส่วน สามารถผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 ประเภทที่ 1 ผนังสำเร็จรูปสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) กำหนด คือมีค่าการโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และการโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

3.11 การใช้งานจริง

จากผลการทดสอบทำให้เลือกใช้แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ขนาด 60x120x15 เซนติเมตร อัตราส่วน R0.1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด มาทดสอบการใช้งานจริง โดยการก่อเป็นผนังอาคาร ขนาด 3 x 3 เมตร สูง 2.4 เมตร ดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ 70 การนำแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา อัตราส่วน R0.1 มาเชื่อมกับโครงเหล็กและแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราต่อไป

รูปที่ 71 การฉาบปิดร่องของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราให้เรียบ

รูปที่ 72 ผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 73 ด้านข้างของผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

ผลจากการทดสอบการใช้งานจริงของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา แสดงให้เห็นว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปดังกล่าว สามารถนำมาก่อสร้างเป็นผนังอาคารได้เช่นเดียวกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั่วไป และเมื่อมีการฉาบปิดร่องจะทำให้ผนังมาความเรียบและสวยงามดี

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงาน สามารถสรุปเป็นผลแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินงานวิจัยต่อไปได้ ดังต่อไปนี้

4.1 สรุปผล

ผลการพัฒนาต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่ต้านทานการชะล้างสูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ว่า การผสมน้ำยางพาราสามารถช่วยลดค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปลงได้ และการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม หรือไม่เกินอัตราส่วน R0.15 จะสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด และการชะล้าง โดยคุณสมบัติด้านการใช้งาน ได้แก่ ลักษณะโดยทั่วไป การรับแรงกระแทก ความตรง

และความแข็งของแผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากผลการพัฒนาแสดงให้เห็นว่า แผ่นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราอัตราส่วน R0.1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราที่มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด เป็นอัตราส่วนที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์: ดินเหนียว: เถ้าแกลบ: ฟางข้าว: แกลบสด: น้ำยากันซึม: น้ำยางพารา: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.3: 0.02: 0.02: 0.02: 0.1: 0.4 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่น 1,810.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.16 ความต้านทานแรงอัด 15.13 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัด 3.01 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.234 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.2226-2548 นอกจากนี้ ต้นแบบผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา ยังมีความทนการกระแทก ความตรง และความแข็ง ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนดได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD)

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรทำการศึกษาถึงผลกระทบจากการใช้งานผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพาราในระยะยาว เพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่า ผนังบ้านดินสำเร็จรูปผสมน้ำยางพารา จะสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2561 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

จงรัก นุ่นชู และ ณัฐพงศ์ รังสิมันตุชาติ, 2547. **การศึกษาคุณสมบัติของอิฐดินดิบเพื่อการก่อสร้างบ้านดิน**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

โจน จันได, 2546. **ขั้นตอนการสร้างบ้านดิน.** เสถียรธรรมสถาน.

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

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

ชาญ จรรยาวณิชญ์, 2528. **สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก.** การบรรยายวาระพิเศษ, กรมทรัพยากรธรณี.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธุดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4**.

ณัฐนนท์ รัตนไชย, ประชุม คำพุฒ, กาญจนา จักรแต๋, และรัศมี ปิยะวัฒน์, 2550. การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ของรีสอร์ทไม้ไผ่และรีสอร์ทบ้านดินเพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์. **เอกสารประกอบโครงการอบรมสัมมนาเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้าง สิ่งแวดล้อม และการอนุรักษ์พลังงาน ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง ครั้งที่ 1**. 28-29 มิถุนายน 2550. ประจวบคีรีขันธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 214-224.

บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประชุม คำพุฒ, 2548. การศึกษาเกี่ยวกับบ้านดิน (ตอนที่ 1). **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี**, ปีที่ 3. ฉบับที่ 6 : 29-50.

ประชุม คำพุฒ, 2550. การศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดัดของอิฐดินดิบผสมเถ้าแกลบ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**. ฉบับพิเศษ: 94-98.

ประชุม คำพุฒ, 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 ศุขสมิติ, 2529. **ดินขาวและดินเหนียวดำสำหรับงานอุตสาหกรรมภาคเหนือ.** กรมทรัพยากรธรณี.

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

ราชบดินทร์ บุญไชโย, ธนา อุทัยภัตรากูร และ ไพริน พงษ์สุระ, 2545. **บ้านดิน: แนะนำการสร้างบ้านดินเบื้องต้น**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

วิทยา วัชรไตรรงค์, 2545. **กระบวนการร่วมกันสร้างที่อยู่อาศัยด้วยตนเอง : กรณีศึกษาบ้านดิน บ้านเทพพนา อำเภอเทพสถิตย์ จังหวัดชัยภูมิ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเคหพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินัย วีระวัฒนานนท์. 2537. **คู่มือปฏิบัติการ เรื่องปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect).** กรุงเทพฯ : บริษัท ส่องศยาม จำกัด.

วรุณ เหล่าโกเมนย์, 2548. **การเพิ่มความสามารถในการป้องกันน้ำของการก่อสร้างบ้านดิน.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 122 หน้า.

วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 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) เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

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

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 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.

Clemens J. M. Lasance, 2001. **Design, Materials, Compounds, Adhesives, and Substrates** [Online]. Available on: https://www.electronics-cooling.com/2001/11/the-thermal-conductivity-of-rubbers-elastomers/#.

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.

Holfmann, W.B., 1989. **Rubber Technology Handbook**. Hanser Publishers. Munich.

Moor, G. and Heathcote, Kavan, 2004. **Earth Building in Australia-Durability Reserch.** University of Technology Sydney.

Subramanium, A, 1980. **Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber**, RRIM Technology Bulletin, p.6.

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