รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น
เพื่อเป็นฉนวนความร้อน

Development of Light-weight Precast Concrete Wall Panel Product with Adding High Density Foam Sheet for Thermal Insulation

คณะผู้วิจัย

ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล
กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล
ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2559
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต หาอัตราส่วนที่เหมาะสม ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน การแนะแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถผลิตได้โดยการติดตั้งเหล็กเสริมรอบแผ่นโฟม และเทมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 (เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด) หุ้มแผ่นโฟมโดยรอบ และบ่มผนังคอนกรีตมวลเบา จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537 พบว่า ลักษณะทั่วไปไม่บิดเบี้ยวไม่มีรอยร้าว ความต้านทานแรงอัด 17.81 เมกะพาสคัล ไม่มีการโก่งตัวเมื่อวางผนังตามลักษณะการใช้งานจริง การดูดซึมน้ำร้อยละ 11.38 ความแข็งผ่านมาตรฐานประเภทที่ 1 ความทนการกระแทกผ่านมาตรฐานประเภทที่ 1 ความหนาแน่น 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความต้านทานแรงดัด 9.18 เมกะพาสคัล และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเพียง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบานี้ สามารถนำไปใช้เป็นผนังอาคารที่ต้องการความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน นอกจากนี้ ผลจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สามารถยื่นขอรับอนุสิทธิบัตรได้

คำสำคัญ ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป, ปูนซีเมนต์, แผ่นโฟม, ฉนวนความร้อน, น้ำหนักเบา

Abstract

The objectives of this research are to study the production, to find the proper ratio, to test the physical, mechanical properties, and thermal conductivity, to suggest the implementation, and to transfer the technology of light-weight precast concrete wall panel product with adding high density foam sheet. The light-weight precast concrete wall panel product was produced by covering the foam sheet with steel, pouring the mortar (M3 ratio which was proper ratio), and curing the light-weight precast concrete wall panel product. From the testing results followed the TIS.2226-2548 and TIS.878-2537, the general characteristic of light-weight precast concrete wall panel product was perfect. The properties of light-weight precast concrete wall panel product include 17.81 MPa of compressive strength, no bending when installed in common behavior, 11.38% of water absorption, passed in type1 of hardness and impact test, 956.03 kg/m3 of density, 9.18 MPa of bending strength, and 0.170 watt/m.K of thermal insulation. This light-weight precast concrete wall panel product can use as the thermal insulation wall in building. Moreover, the developing product can apply to register the petty patent.

Keywords Precast Concrete Wall Panel, Cement, Foam Sheet, Thermal Insulation, Light-weight

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ก
สารบัญ	ข
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การผลิตของชิ้นส่วนสำเร็จรูป	5
2.2 รูปแบบของชิ้นส่วนที่ใช้ในงานก่อสร้าง	5
2.3 ประเภทของการติดตั้งของชิ้นส่วนสำเร็จรูป	5
2.4 มิติในระบบประสานทางพิกัดในอาคาร	8
2.5 การใช้ระบบประสานทางพิกัด	12
2.6 ตารางพิกัดมูลฐาน	12
2.7 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร	13
2.8 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด	14
2.9 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง	14
2.10 การส่งผ่านแรงที่กระทำระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป	16
2.11 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร	17
2.12 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป	22
2.13 การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน	24
2.14 ระบบรอยต่อของชิ้นส่วน	24
2.15 ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป	26
2.16 เทคนิคการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนของอาคาร	27
2.17 พอลิเมอร์	34
2.18 ชนิดของพอลิเมอร์	34
2.19 พอลิเมอไรเซชัน	35
2.20 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์	35
2.21 พลาสติก	37
2.22 ประเภทของพลาสติก	37
2.23 คุณสมบัติของพลาสติก	37
2.24 ผลิตภัณฑ์พลาสติก	38
2.25 พอลิสไตรีน	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.26 ข้อควรระวังของพอลิสไตรีน	40
2.27 แผ่นโฟม	40
2.28 สมมติฐาน	41
2.29 กรอบแนวความคิด	41
2.30 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	43
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	43
3.2 การเตรียมวัสดุในการทำวิจัย	49
3.3 การออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	50
3.4 การขึ้นรูปผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	52
3.5 การทดสอบสมบัติของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	58
3.6 การทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	65
3.7 การยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา	65
3.8 การเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่	65
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	66
4.1 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป	66
4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด	67
4.3 ผลการทดสอบความตรง	68
4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ	70
4.5 ผลการทดสอบความแข็งแรง	70
4.6 ผลการทดสอบความทนการกระแทก	71
4.7 ผลการทดสอบความหนาแน่น	72
4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด	74
4.9 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน	75
4.10 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	76
4.11 ผลการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา	83
4.12 ผลการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่	83
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุป	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก	87
ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	
ข มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง	
ค ร่างคำขอรับอนุสิทธิบัตร	
ง ร่างบทความสำหรับเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	เม็ดโฟม	1
1.2	แผ่นโฟม	2
1.3	การก่อสร้างโดยการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	2
2.1	โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป	6
2.2	ระบบเสา Built-up Steel Frame	7
2.3	รอยต่อของเหล็กรูปพรรณ	7
2.4	รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง	9
2.5	มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ	9
2.6	การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร	11
2.7	ขนาดของการประสาน	11
2.8	ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง	13
2.9	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง	13
2.10	ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่ 1	14
2.11	การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection	15
2.12	ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	15
2.13	ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection	16
2.14	รอยต่อของผนังกับผนัง	17
2.15	รอยต่อของผนังกับผนังและเสา	18
2.16	ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว	18
2.17	แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station	19
2.18	รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง	19
2.19	ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints	20
2.20	รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	20
2.21	รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)	21
2.22	รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป	21
2.23	ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)	22
2.24	ทางเลือกการเจาะประตู – หน้าต่างในแผ่นผนัง ค.ส.ล. สำเร็จรูป	23
2.25	การผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จแบบเปียกของโครงการเอื้ออาทรติวานนท์	25
2.26	การเชื่อมต่อผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักแบบ Dry Join	26
2.27	การเชื่อมต่อผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักแบบ Dry Joint	26
2.28	ลักษณะการฝังเหล็กเพลตไว้ที่คานซอยสำหรับเชื่อมต่อกับคานหลัก	29
2.29	ลักษณะการเชื่อมต่อของคานหลักกับคานซอย	29
2.30	แนวทางการเชื่อมต่อโครงสร้างอาคารระหว่างเสาสำเร็จรูปกับคานสำเร็จรูป	30
2.31	แนวทางการเชื่อมต่อโครงสร้างอาคารระหว่างคานหลักสำเร็จรูปกับคานซอยสำเร็จรูป	30
2.32	แปลนรอยต่อของอาคารบริเวณเสามุมอาคาร	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.33	รอยต่อผนังกับคานริมนอกอาคาร (ผนังอยู่ริมและกลางคาน)	31
2.34	แปลนรอยต่อผนังกับผนังริมนอกของอาคาร	32
2.35	รอยต่อของผนังห้องน้ำ	32
2.36	รอยต่อของผนังกั้นห้องภายในอาคาร	33
2.37	ฝาครอบรอยต่อของผนังสำเร็จรูปที่ใช้เพลตเหล็กแบบต่างๆ	33
2.38	โครงสร้างพอลิเมอร์แบบสายยาวหรือสายโซ่	36
2.39	โครงสร้างพอลิเมอร์แบบสาขาหรือแขนง	36
2.40	โครงสร้างพอลิเมอร์แบบร่างแห	36
2.41	กระบวนการผลิตพลาสติกพอลิสไตรีน	39
2.42	กระบวนการผลิตพลาสติกพอลิสไตรีน	40
2.43	กรอบแนวความคิดของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	41
3.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	43
3.2	แผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง ชนิดป้องกันการลามไฟ	43
3.3	การตัดเหล็กเส้นกลม เกรด SR24 ให้มีความยาวตามต้องการ	44
3.4	เหล็กตะแกรง ขนาด # 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.81 มิลลิเมตร	44
3.5	การตัดเหล็กฉาก ขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ให้มีความยาวตามต้องการ	45
3.6	เตาอบปรับอุณหภูมิได้	45
3.7	แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก	46
3.8	การเตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	46
3.9	แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	46
3.10	การถอด-ประกอบแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	47
3.11	แท่นทดสอบความทนการกระแทก	47
3.12	อุปกรณ์วัดมุมของแท่นทดสอบความทนการกระแทก	47
3.13	ตุ้มน้ำหนักสำหรับแท่นทดสอบความทนการกระแทก	48
3.14	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์สำหรับวัดขนาด	48
3.15	เครื่องทดสอบอเนกประสงค์	49
3.16	การชั่งน้ำหนักโฟมแผ่นเพื่อหาความหนาแน่น	49
3.17	แผ่นโฟม EPS ชนิดความหนาแน่นสูงที่ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 100 เท่า	50
3.18	ส่วนประกอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	51
3.19	การเชื่อมเหล็กฉากและเหล็กแผ่นเข้ากับเหล็กเส้นด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า	52
3.20	การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านตั้ง	52
3.21	การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านนอน	52
3.22	การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านข้าง	53
3.23	แนวเหล็กส่วนกลางของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.24	การเตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	53
3.25	การเทมอร์ต้าร์เพื่อติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่น	54
3.26	การวางแผ่นโฟมอัดแน่นลงบนมอร์ต้าร์สำหรับขึ้นรูปผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	54
3.27	การกดแผ่นโฟมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาให้ได้ระดับ	54
3.28	ระดับของแผ่นโฟมอัดแน่นตามแนวของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	55
3.29	การเริ่มเทมอร์ต้าร์ลงในขอบของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	55
3.30	การเทมอร์ต้าร์ลงในมุมของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	55
3.31	การเกลี่ยมอร์ต้าร์ให้ลงในขอบของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	56
3.32	การเทมอร์ต้าร์ลงบนแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	56
3.33	การหุ้มมอร์ต้าร์ให้ทั่วแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	56
3.34	การฉาบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเบื้องต้น	57
3.35	การฉาบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เรียบ	57
3.36	การรอผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เซ็ตตัว	57
3.37	การกองรวมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อบ่มในอากาศ	58
3.38	กองผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับนำไปทดสอบ	58
3.39	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์	59
3.40	แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	59
3.41	การทดสอบความตรงของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	59
3.42	การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วยการแช่ลงในน้ำ	60
3.43	แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่แช่ลงในน้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	60
3.44	การชั่งน้ำหนักแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	60
3.45	การทดสอบความแข็งแรงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	61
3.46	การวางแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นลงบนแท่นทดสอบความทนการกระแทก	61
3.47	การวางตำแหน่งของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนการกระแทก	62
3.48	การวัดมุมการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	62
3.49	การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กเพื่อปล่อยกระแทกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นในการทดสอบความทนต่อการกระแทก	62
3.50	การปล่อยวัสดุแข็งขนาดเล็กให้กระแทกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทก	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.51	การใช้วัสดุนุ่มขนาดใหญ่สำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	63
3.52	การใช้วัสดุนุ่มขนาดใหญ่กระแทกลงบนแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทก	63
3.53	ลักษณะแผ่นมอร์ต้าร์สำหรับทำการทดสอบความต้านทานแรงดัด	64
3.54	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์	64
3.55	การวิบัติของแผ่นมอร์ต้าร์จากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	64
3.56	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเสริมแผ่นโฟมขนาดเล็กสำหรับทดสอบสภาพการนำความร้อน	65
4.1	ขอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่บางแผ่นอาจมีน้ำปูนแข็งตัวซึ่งก็สามารถกะเทาะออกไปได้	66
4.2	การวัดขนาดของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยตลับเมตร	66
4.3	การวัดขนาดของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	67
4.4	แรงอัดประลัยของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่มต่างๆ	67
4.5	ความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่มต่างๆ	68
4.6	การขึงเส้นเอ็นในการวัดค่าการโก่งตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	69
4.7	การวัดค่าการโก่งตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากระดับอ้างอิง	69
4.8	การดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่ม 28 วัน	70
4.9	ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุแข็งขนาดเล็กกระแทกจนเกิดรอยยุบ	72
4.10	ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุนุ่มขนาดใหญ่กระแทกจนเกิดรอยร้าว	72
4.11	น้ำหนักต่อแผ่นเฉลี่ย 5 แผ่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่อายุการบ่ม 28 วัน	73
4.12	ความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่อายุการบ่ม 28 วัน	73
4.13	แรงดัดประลัยของแผ่นมอร์ต้าร์ที่อายุการบ่มต่างๆ	74
4.14	ความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์ที่อายุการบ่มต่างๆ	75
4.15	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่อายุการบ่ม 28 วัน	76
4.16	การตั้งเสาเหล็กเพื่อติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	77
4.17	การเรียงผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเข้ากับเสาเหล็ก	77
4.18	การจัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้ได้ระดับ	77
4.19	การจัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เข้ามุม	78
4.20	การตรวจสอบแนวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยระดับน้ำ	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.21	การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นชั่วคราว	78
4.22	การตัดแต่งผิวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	79
4.23	การติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นแผ่นต่อไป	79
4.24	การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทั้งสองแผ่นให้ยึดติดกัน	79
4.25	การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เข้ากันสนิท	80
4.26	การยกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมาติดตั้งต่อไป	80
4.27	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกเชื่อมติดกัน	80
4.28	การวางแนวการตัดแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เล็กลง	81
4.29	การตัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเครื่องตัดคอนกรีตแบบมือถือ	81
4.30	ลักษณะการตัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้มีขนาดเล็ก	81
4.31	ผนังจำลองที่ก่อสร้างด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	82
4.32	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นก่อนการฉาบร่อง	82
4.33	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นภายหลังจากการฉาบร่อง	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อด้อยของรูปแบบตารางระบบพิกัดแบบไม่ต่อเนื่องแบบที่ 1	14
2.2	ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบชิดขอบ	23
2.3	ข้อดีและข้อด้อยการเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบ	23
2.4	ข้อดีและข้อด้อยของการผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักระบบ Wet joint	25
2.5	ข้อดีและข้อด้อยของการผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักระบบ Dry joint	26
2.6	การเปรียบเทียบชนิดของพอลิเมอร์และโมโนเมอร์	34
2.7	ผลของการเติมแต่งสารที่มีต่อพลาสติก	39
3.1	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นมอร์ต้าร์สำหรับหุ้มโฟม EPS	50
4.1	ความตรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	69
4.2	ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วน	71
4.3	ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	71
4.4	ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น	71

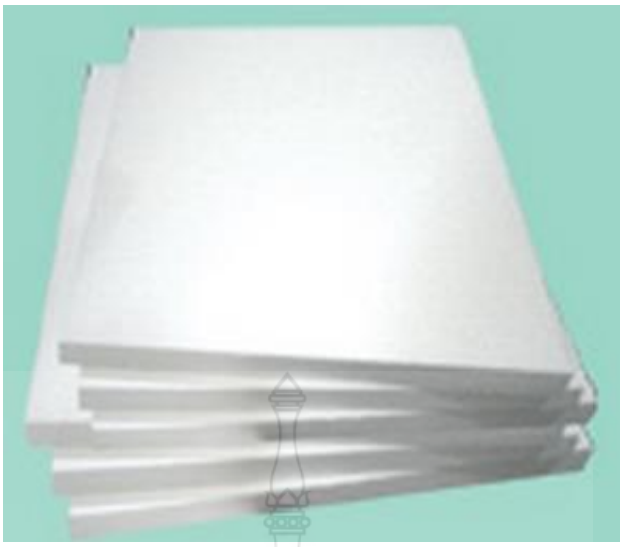
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

แผ่นโฟม เป็นรูปแบบของพอลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์จากปิโตรเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ เกิดจากการอัดเม็ดโฟมรวมกัน มีหลายชนิดตามวัสดุที่นำมาผลิตและสมบัติของแผ่นโฟม ทั้งนี้ ประเภทแผ่นโฟมแบ่งตามชนิดของพอลีเมอร์ เช่น โพลียูรีเทน (PU) โพลีเอทธิลีน (PE) และโพลีสไตรลีน (PS) เป็นต้น ส่วนประเภทของแผ่นโฟมแบ่งตามสมบัติ เช่น ความหนาแน่น และการลามไฟ เป็นต้น ด้วยน้ำหนักที่เบา การป้องกันการกระแทก ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี และสามารถตัดแต่งขนาดได้ตามต้องการ จึงนิยมนำมาใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนงานก่อสร้างที่ต้องการสมบัติพิเศษบางประเภท (สมเกียรติ, 2556; สรินทร, 2548)

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) เป็นวัสดุและวิธีการก่อสร้างที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถผลิตและควบคุมคุณภาพได้ง่าย (ชวลิต, 2528) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาจากการดำเนินงานก่อสร้างได้ เช่น เวลาที่ใช้ในการทำงานของคานคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 27.03 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 53.20 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 197.21 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 478.13 ส่วนราคาในการก่อสร้างของคานคอนกรีตสำเร็จรูปถูกกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 8.24 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 8.51 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 38.05 ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กถูกกว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 94.61 จะเห็นได้ว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการก่อสร้างลงไปได้ค่อนข้างมาก (ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521; Herz, 1975; Testa, 1959)

รูปที่ 1.1 เม็ดโฟม



รูปที่ 1.2 แผ่นโฟม

รูปที่ 1.3 การก่อสร้างโดยการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการก่อสร้างอย่างมาก โดยเฉพาะบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายใหญ่ เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้มากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับการก่อผนังทั่วไป แต่สำหรับบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายย่อย ยังไม่นิยมมากนัก เนื่องจากน้ำหนักของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มากถึงประมาณแผ่นละ 1 ตัน (ขนาด 4 ตารางเมตร) ทำให้การก่อสร้างต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถยกแผ่นผนังขึ้นติดตั้งหน้างานก่อสร้างได้ (มามี, 2541; วว., 2520; ประสาน, 2539)

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน มีจุดมุ่งหมายหลักในการนำแผ่นโฟม ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้งานและมีโรงงานผลิตมากมายหลายแห่งในประเทศ มาพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบา แตกต่างจากผนังแผ่นโฟมทั่วไป คือ สามารถผลิตได้จากโรงงานขนาดเล็ก มีขนาดและวิธีการติดตั้งที่สามารถยกได้สะดวกด้วยแรงงานคน ต้นทุนต่ำ ลักษณะและรูปแบบถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้งาน และมีสมบัติต่างๆ ตามที่อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทย**ในปัจจุบัน**ต้องการ เหล่านี้ เป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทยให้เป็นที่ยอมรับและทันต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

1.2.2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

1.2.3 เพื่อทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

1.2.4 เพื่อแนะนำแนวทางการใช้งานผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

1.2.5 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้งานผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้กับผู้สนใจ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 วิจัยผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น จำนวน 2 ขนาด ประกอบด้วย ขนาด 0.60 x 1.20 ตารางเมตร และ ขนาด 0.30 x 0.30 ตารางเมตร โดยใช้ความหนา 11.4 เซนติเมตร ประกอบด้วย แผ่นโฟมหนา 6.4 เซนติเมตร หรือ 2 ½ นิ้ว และแผ่นมอร์ต้าร์หุ้มแผ่นโฟมหนาด้านละ 2.5 เซนติเมตร รวม 2 ด้าน

1.3.2 ใช้แผ่นโฟม EPS (Expanable Polystyrene) ความหนาแน่นสูง ชนิดกันการลามไฟ ที่มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต หรือ 20.023 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับทำเป็นแกนกลางผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบา

1.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (มอก. 2226-2548) ร่วมกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ (มอก. 878-2532)

1.3.4 ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน ASTM C 177

1.3.5 ผลิตและทดสอบตัวอย่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร หน่วยงานภาครัฐอื่นที่เกี่ยวข้อง ชุมชนท้องถิ่น และบริษัทที่ให้การสนับสนุน

1.3.6 ทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร หน่วยงานภาครัฐอื่นที่เกี่ยวข้อง ชุมชนท้องถิ่น และบริษัทที่ให้การสนับสนุน

1.3.7 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นนั้น ไม่รวมถึงสาระสำคัญที่อยู่ในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ด้านวิชาการ

1) ทราบกระบวนการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

2) ทราบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

3) ทราบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

4) ทราบผลการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

5) สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในงานประชุมสัมมนาวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เรื่อง

6) สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในวารสารวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 บทความ

7) เข้าร่วมจัดนิทรรศการในงานที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

8) ยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เรื่อง

1.4.2 ด้านนโยบาย

1) ช่วยเป็นข้อมูลในการเสนอนโยบายการพัฒนาชุมชนขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นที่ต้องการปรับปรุงและก่อสร้างอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานได้

2) ส่งเสริมให้ชุมชนมีการประหยัดพลังงานภายในอาคารโดยใช้วัสดุก่อสร้างที่มี ต้นทุนต่ำ

3) ผู้ประกอบการวัสดุก่อสร้างให้ความสำคัญกับการผลิตวัสดุประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น

1.4.3 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

1) ได้ต้นแบบผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์

2) เพิ่มรายได้ให้กับชุมชน ผู้ประกอบการ และผู้รับเหมาก่อสร้างที่ต้องการวัสดุ ก่อสร้างประหยัดพลังงานและก่อสร้างได้รวดเร็ว

3) ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มเติมให้กับอาคารประหยัดพลังงาน

4) ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงานขยายผลสู่เชิงพาณิชย์

1.4.4 ด้านสังคมและชุมชน

1) ชุมชนที่สนใจได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

2) สังคมสามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารและลดการทำลายสิ่งแวดล้อม

3) ใช้เป็นแนวทางในการสร้างชุมชนให้ประหยัดพลังงาน

1.4.5 หน่วยงานภาครัฐที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.6 หน่วยงานภาคเอกชนที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยภายใต้โครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน”สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

2.1 การผลิตของชิ้นส่วนสำเร็จรูป

กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปทั่วๆ ไปนั้น สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบแห้ง และกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบแห้ง (มามี, 2541)

1) กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Process) หมายถึง การได้มาซึ่งชิ้นงานสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นโดยไม่อาศัยน้ำ หรือซีเมนต์เข้ามามีส่วนในกระบวนการของการผลิต ชิ้นงานในแบบแห้ง (Dry Process) มักจะเป็นชิ้นงานแบบมีโครงเคร่าและประกบด้วย Cladding ต่างๆ ตามต้องการ การผลิตชิ้นงานด้วยระบบนี้สามารถผลิตชิ้นงานได้ทั้งแบบ Heavyweight system และ Lightweight System

2) กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) หมายถึง การได้มาซึ่งชิ้นงานสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นโดยอาศัยน้ำ หรือซีเมนต์เข้ามามีส่วนในกระบวนการของการผลิต ชิ้นงานแบบเปียก (Wet Process) สามารถเป็นได้ทั้งแบบ Heavyweight system และ Lightweight System แต่โดยทั่วไปจะเป็นการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบผนังรับน้ำหนักที่พบเห็นทั่วไปในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทย

2.2 รูปแบบของชิ้นส่วนที่ใช้ในงานก่อสร้าง

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

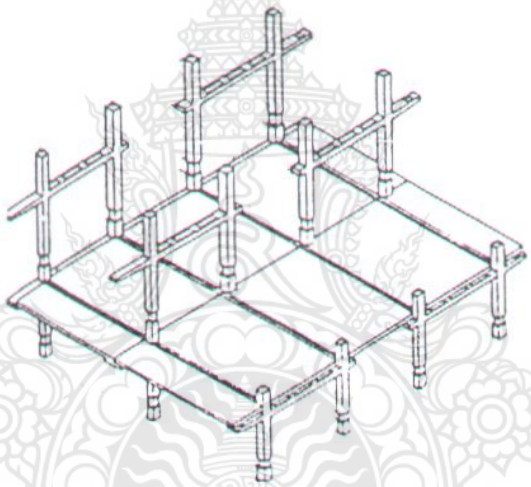
3) Modular System เป็นลักษณะโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่อง 3 มิติ ในแต่ละโมดูลาร์ถือเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรภาพในตัวเอง ของโมดูลาร์อาจจะมีการทำงานในส่วนสถาปัตยกรรมและงานระบบมาเรียบร้อยแล้วจึงนำมาติดตั้งเป็นระบบโครงสร้างรวมของอาคาร แต่ละโมดูลาร์อาจจะมีลักษณะ เช่น รูปตัว U, รูปตัว C, รูประฆัง,รูปกล่องสี่เหลี่ยม ข้อจำกัดของระบบนี้จะอยู่ที่การขนส่งและการติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถที่จะนำมาขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักขอถนน 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 การับน้ำหนักจากพื้น ที่ส่งไปสู่คานสำเร็จรูป และจากคานสำเร็จรูปส่งไปสู่เสาสำเร็จรูป โดยหลักการถ่ายน้ำหนักจะเหมือนกันแต่ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตในที่ กับโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปคือ โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูปมักจะมีแนวคานอยู่เพียงแนวเดียวเท่านั้น โดยจะไม่มีคานวิ่งเข้ามาหาเสาทั้งสี่ด้านเหมือนกับระบบของโครงสร้างแบบหล่อในที่ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นอย่างมาก ดังนั้นในระบบโครงสร้างเสาและคานสำเร็จรูปจะมีคาเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในอีกแนวซึ่งไม่มีคานยึดอยู่นั้นจะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง



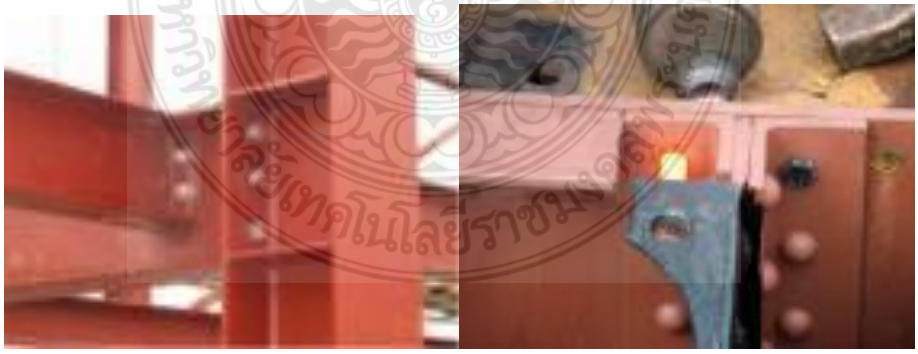
รูปที่ 2.1 โครงสร้างแบบเสาและคานสำเร็จรูป

ระบบเสาและคานสามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท ตามชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ คือ คอนกรีตเสริมเหล็ก และเหล็กรูปพรรณ

1.1) โครงสร้างเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป ในประเทศไทยมีทั้งระบบเปิดและระบบปิด โดยตัวอย่างที่นำมาแสดงเป็นการผลิตและติดตั้งของบริษัท SECON โดยจะมีการผลิตเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก สำเร็จรูปในระบบเปิด ความยาวมาตรา ฐานของคานสูงสุดอยู่ที่ 6.00 เมตร และขนาดที่ผลิตจะลดลงไปทุกๆ 50 เซนติเมตร โดยเมื่อผลิตชิ้นงานจะทำการนำไปประกอบติดตั้งยัง Site งาน โดยการเชื่อม เมื่อทำการเชื่อมเสร็จจะทำการเทปูน เก็บชิ้นงาน

รูปที่ 2.2 ระบบเสา Built-up Steel Frame

1.2) โครงสร้างเสาและคานเหล็กรูปพรรณ ประกอบด้วย เสาเหล็ก และคานเหล็ก ซึ่งสามารถนำเอาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณชนิดต่างๆ มาใช้ได้ตามความเหมาะสม โดยเหล็กรูปพรรณที่นิยมใช้ทำเสา คือเหล็กรูปปีกกว้าง คานรูปตัวไอ เหล็กรูปตัดกลวง และเสาประกอบ เสาโดยทั่วไปมักมีรูปตัดใกล้เคียงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสมมาตรทั้งสองแกน ส่วนเหล็กรูปพรรณที่นิยมใช้ทำคานคือ เหล็กรูปปีกกว้าง คานรูปตัวไอ เหล็กรูปรางน้ำ ท่อเหล็กกลวงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คานประกอบ และโครงถัก คานโดยทั่วไปมักมีรูปตัดใกล้เคียงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสมมาตรทั้งสองแกน ช่วงพาดที่ประหยัดของโครงสร้างระบบนี้คือ 6.00 – 9.60 เมตร ส่วนวิธีการต่อยึดโครงสร้างเหล็กรูปพรรณต่าง ๆเข้าด้วยกันนั้น มีอยู่ 3 วิธีหลักๆ คือ การใช้หมุดย้ำ (Riveting), การเชื่อม (Welding) และการใช้สลักเกลียว (Bolting) ซึ่งการใช้หมุดย้ำ มักใช้กับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง ซึ่งการทำรอยต่อแบบหมุดย้ำ และแบบที่ใช้สลักเกลียว จะให้ความรู้สึกที่คล้ายๆกัน คือ แสดงออกถึงความแข็งแรง บึกบึน ซึ่งต่างกับวิธีการเชื่อมที่ให้ความรู้สึกประณีตกว่า



รูปที่ 2.3 รอยต่อของเหล็กรูปพรรณ

2) ระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) คือ การถ่ายแรงของโครงสร้างอาคารจากพื้นลงสู่ผนังและจากผนังลงสู่ผนังโดยตรง จะไม่ใช้คานและเป็นตัวรับแรง การติดตั้งระบบผนังผนังรับน้ำหนัก (Bearing wall System) สามารถที่จะใช้การติดตั้งได้ ทั้ง 2 ระบบ คือ การติดตั้งชิ้นส่วนแบบแห้ง

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

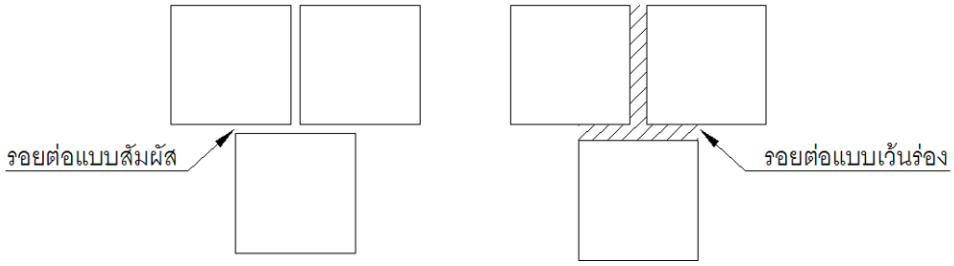
2.4 มิติในระบบประสานทางพิกัดในอาคาร

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

1) มิติ (Dimension) 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

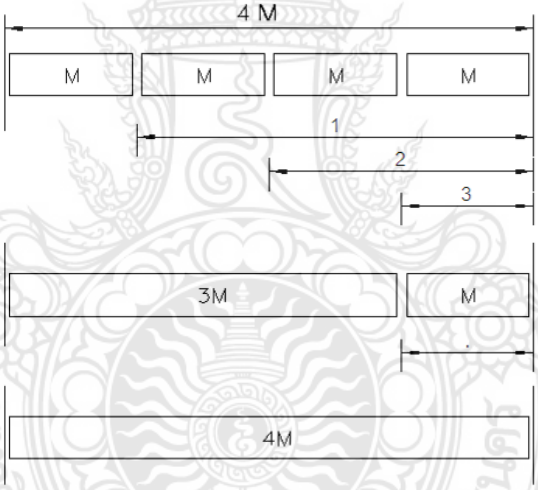
2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension) คือ มิติที่ใช้ในการทำงานตามความสัมพันธ์โดยตรงกับมิติที่อยู่ก่อนในงานก่อสร้างอาคารย่อประกอบด้วยงานหลายชนิดหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเสียในการก่อสร้างคือ การที่งาน้องมีการรอกันโดยคนงานบางกลุ่มไม่สามารถที่จะทำงานต่อเนื่องได้ 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 2.4 รอยต่อแบบสัมผัสและแบบเว้นร่อง

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



รูปที่ 2.5 มิติอาศัยซึ่งกันและกันแบบต่างๆ

2.2) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสเปลี่ยนมาใช้การติดตั้งแบบขอบต่อขอบ หรือขอบต่อผิวแทน

2.3) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นในการผลิต

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

3.1) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในโรงงาน ในขั้นตอนของการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.1.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต

3.1.2) สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้

3.1.3) วิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ

3.2) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง ในขั้นตอนของการติดตั้ง ความเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

3.2.1) ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง

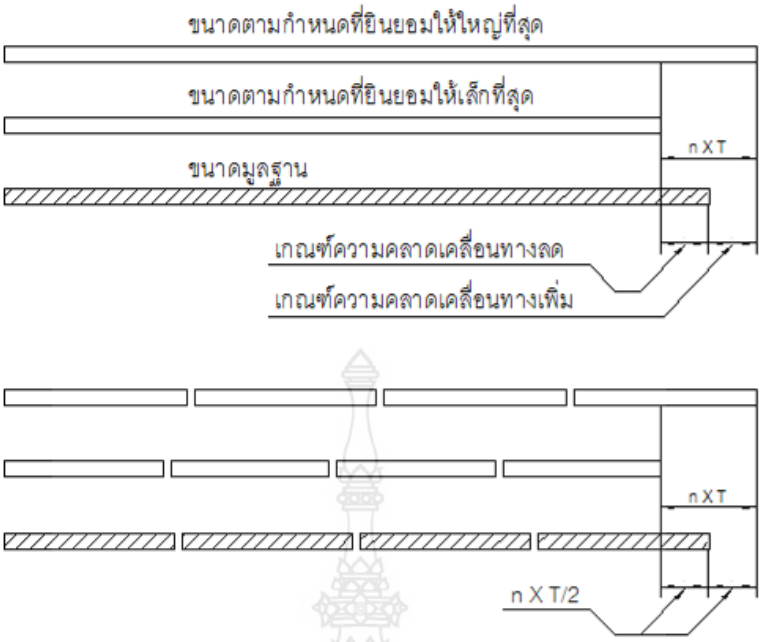
3.2.2) ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้

3.2.3) วิธีการในทำการงาน และการติดตั้ง

3.2.4) ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม

ซึ่งทั้งหมดนับเป็นปัญหาที่พบได้มากที่ เมื่อส่วนประกอบแต่ละชิ้นและการทำงานในแต่ละขั้นตอนไม่มีความถูกต้องแม่นยำมากพอ จึงเกิดความเบี่ยงเบนขึ้นเป็นผลให้เกิดความยากลำบากในการผลิตติดตั้งส่วนประกอบในที่สุด การคิดตำแหน่งของส่วนประกอบ ควรที่จะคิดจากระยะที่เหลือหลังจากการติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว โดยควรพิจารณาแก้ไขในทุกๆ จุด ทุกๆ ปัญหาอย่างใกล้ชิดและยึดหลักความเบี่ยงเบนที่แท้จริงเป็นสำคัญ

4) ความคลาดเคลื่อน (Tolerance) 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)

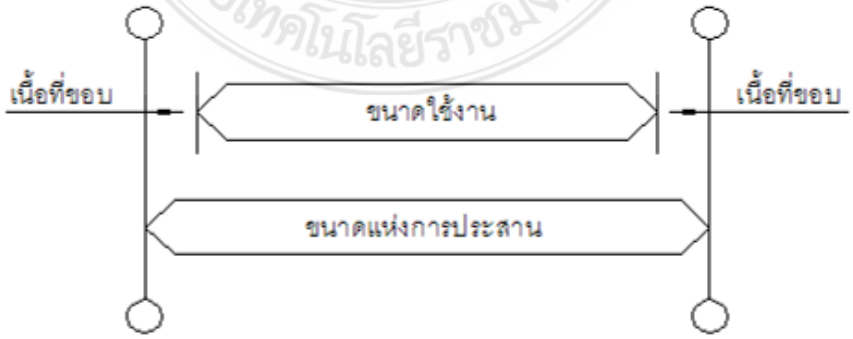


รูปที่ 2.6 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในชิ้นส่วนอาคาร

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

5) มิติประสาน (Coordinating Dimension) คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบหรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล Element

ขนาดประสาน = ขนาดใช้งาน + เนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน (1)



รูปที่ 2.7 ขนาดของการประสาน

การเลือกมิติประสานสำหรบส่วนประกอบสำเร็จรูปจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรจะสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไหตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งจะมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มีความแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆ ในปัญหาที่เกิดขึ้น สำหรับผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกร มิติประสานมีความสำคัญมากในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะไม่มีข้อยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิตินั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาผู้ออกแบบจะต้องพิจาณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามิตินั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่

6) มิติประสานที่แน่นอน คือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในรอยต่อที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นที่จะต้องมีขนาดประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลีกย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถือมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มีรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดของเขตของเนื้อที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างไปภายในของเขตนั้นๆ เพื่อถือเป็นมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

7) มิติประสานที่ไม่แน่นอน คือ ค่าความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึกโดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัส จำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเบี่ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบากั้นภายในห้องควรอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่ม เพื่อให้สามารถตัดส่วนเกิดออกได้โดยง่าย

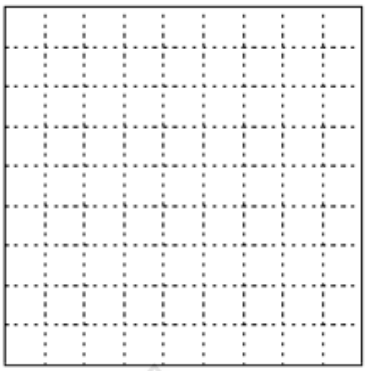
2.5 การใช้ระบบประสานทางพิกัด

การใช้ระบบประสานทางพิกัด คือ การใช้ ตารางพิกัดแผนผังที่มีลักษณะการใช้วัสดุระบบโครงสร้าง และระบบการก่อสร้างต่างกันย่อมหมายถึง ลักษณะทางสถาปัตยกรรมจะให้ผลที่แตกต่างกันไปด้วย พิกัดแผนผังที่ใช้งานได้ดีที่สุดจะต้องมีความสัมพันธ์กับพิกัดมูลฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้กับการผลิตวัสดุก่อสร้างตามมาตรฐานของการประสามนทางพิกัด

2.6 ตารางพิกัดมูลฐาน

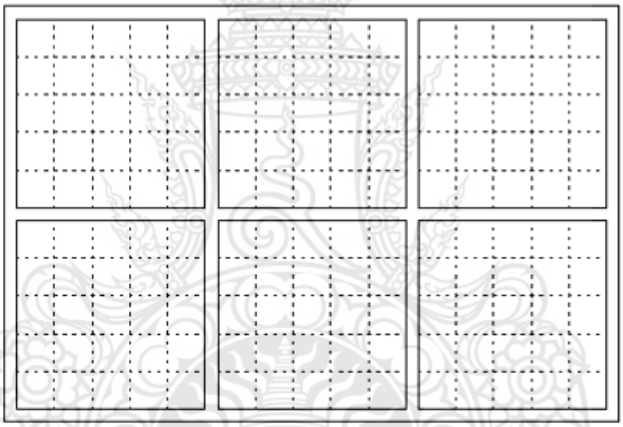
ตารางตามพิกัด หมายถึง การออกแบบอาคารจำเป็นต้องใช้ตารางตามพิกัดเป็นกรอบ โครงให้ส่วนประกอบอาคารต่าง ๆ ประสานกันได้พอดีในเนื้อที่ ๆ กำหนด ตารางตามพิกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วิธี ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง และตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

1) ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่ต่อเนื่องเป็นตารางเดียวตลอด



รูปที่ 2.8 ตารางพิกัดแบบต่อเนื่อง

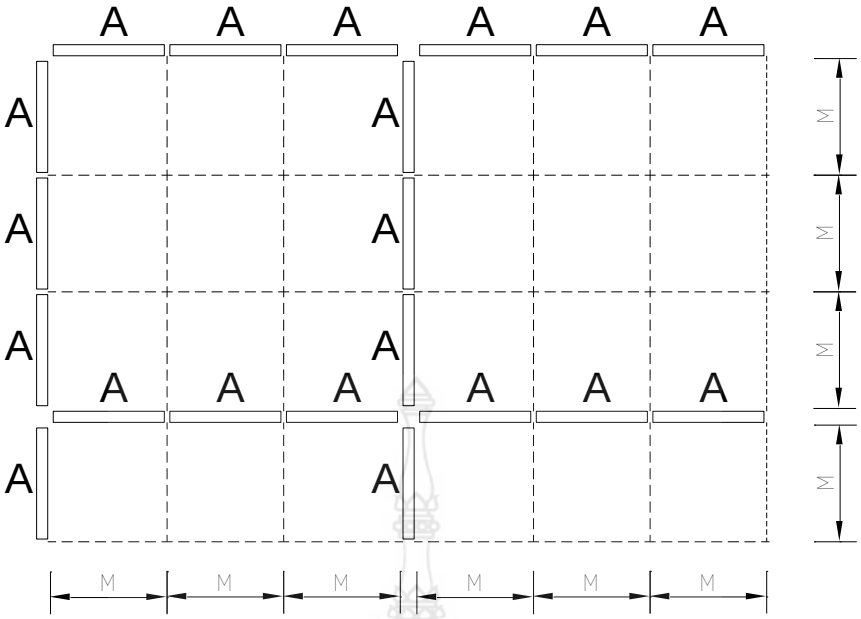
2) ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง หมายถึง ตารางที่แยกเป็นส่วน ๆ โดยมีเขตเป็นกลางของขนาดส่วนประกอบอาคารที่ไม่ลงพิกัดกั้นขวางอยู่เป็นระยะ ๆ หรือมีมิติของพิกัดที่แตกต่างกันมากั้นขวางแยกตารางแบบต่อเนื่องออกจากกัน



รูปที่ 2.9 ตารางพิกัดแบบไม่ต่อเนื่อง

2.7 หลักการพิจารณาออกแบบระบบ Modular ในแนวแกนตั้งของอาคาร

หลักการพิจารณาเลือกรูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปจะคำนึงถึงขนาดของพื้นที่ตำแหน่ง และระบบการเชื่อมผสานของชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจาณาตัดสินใจที่จะกำหนดขนาดของพิกัดมูลฐานมาเป็นใช้ร่วมในการออกแบบในแนวตั้งอาคาร ลักษณะรูปแบบของตารางแผนผังสามารถแบ่งได้ 31 รูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์ระบบประสานทางพิกัดตามแนวแกนตั้งของอาคารจะใช้ตารางพิกัดแผนผังอาคารแบบที่ 1 มาใช้ในการเสนอรูปแบบอาคารในระบบประสานพิกัดสำหรับอาคาร F6-33A และ F6-33B (วว., 2520)



รูปที่ 2.10 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

2.8 วิเคราะห์รูปแบบตารางพิกัด

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

2.9 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนัง

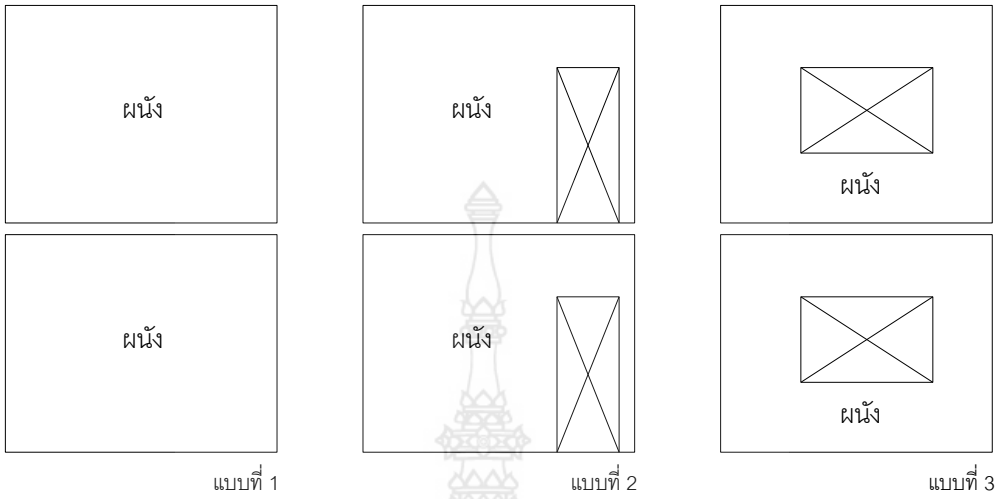
โดยทฤษฎีแล้วสามารถจะแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 แบบ คือการติดตั้งผนังแบบ Horizontal Connection และการติดตั้งผนังแบบ Vertical Connection

1) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection การติดตั้งแบบแนวนอนของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งผนังโดยใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบของโครงการที่มีอาคารแบบ Typical แปลน โดยจะแบ่งได้ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

1.1) การเชื่อต่อของผนังทึบกับผนังทึบ

1.2) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของประตูกับผนังที่เป็นช่องเปิดของประตู

1.3) การเชื่อมต่อของผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่างกับผนังที่เป็นช่องเปิดของหน้าต่าง



รูปที่ 2.11 การติดตั้งผนังกับผนังแบบ Horizontal Connection

2) ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection การติดตั้งผนังแบบแนวตั้งของผนังกับผนังจะเป็นการติดตั้งที่ขอบชองชิ้นงานทั้งสองชิ้น โดยจะไม่นิยมทำการติดตั้งที่กลางชิ้นงาน โดยจะแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

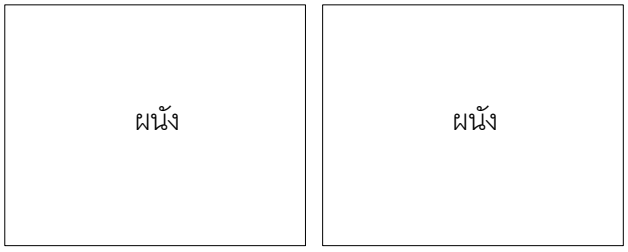
2.1) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว L

2.2) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว T

2.3) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว X

2.4) การเชื่อมต่อผนังกับผนังในรูป ตัว H

รูปที่ 2.12 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection



รูปที่ 2.13 ลักษณะการติดตั้งผนังกับผนังแบบ Vertical Connection

2.10 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)

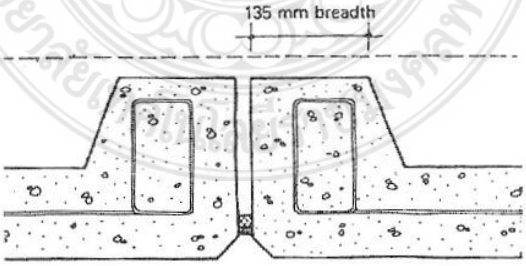
3.3) การใช้โบลท์

3.4) การเชื่อม

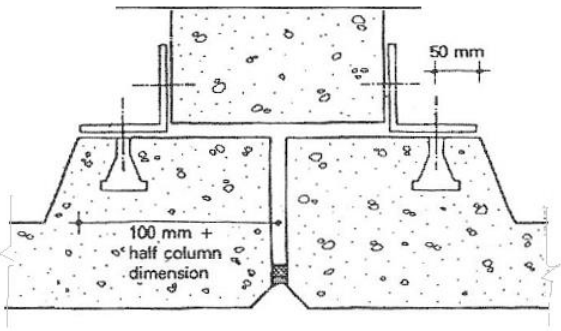
2.11 ประเภทของรอยต่อผนังอาคาร

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) ของไอน้ำกลายเป็นละอองไอน้ำจับตัวอยู่ตามผนังอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างภายนอกและภายในอาคาร และความชื้นที่มีประจำในบ้านในระหว่างการเตรียมอาหาร อาบน้ำ (ซึ่งปัญหาความชื้นนี้ในบ้านเราก็เกิดขึ้นเหมือนกัน โดยเฉพาะในฤดูฝน) จึงมีการค้นคว้าออกแบบรอยต่อขึ้นในแนวใหม่ เรียกว่า รอยต่อแบบเปิด (Opened Joint) ซึ่งอนุญาตให้ความชื้นถ่ายเทออกจากภายในอาคารไปสู่ภายนอกได้ แต่ยังคงคุณสมบัติทางด้านอื่นๆ ของรอยต่อแบบปิดไว้เท่าที่จะทำได้

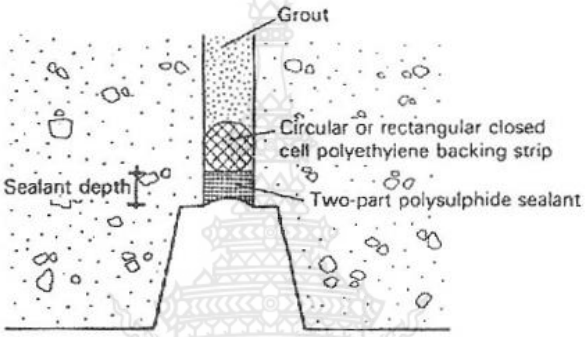
1) รอยต่อแบบปิด (Closed Joints) วิธีที่สะดวกที่สุดในการทำรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนพิกัด 2 ชิ้นส่วน ก็คือ การที่เราใส่ตัวประสานหรือตัวอุดช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในกรณีนี้ได้แก่ การใช้รูปก่อ (Mortar) อุดช่องว่างระหว่างรอยต่อของอิฐ อีกวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบให้ผิวของชิ้นส่วนที่จะต่อเข้าด้วยกันให้มีหน้าตัด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



รูปที่ 2.14 รอยต่อของผนังกับผนัง

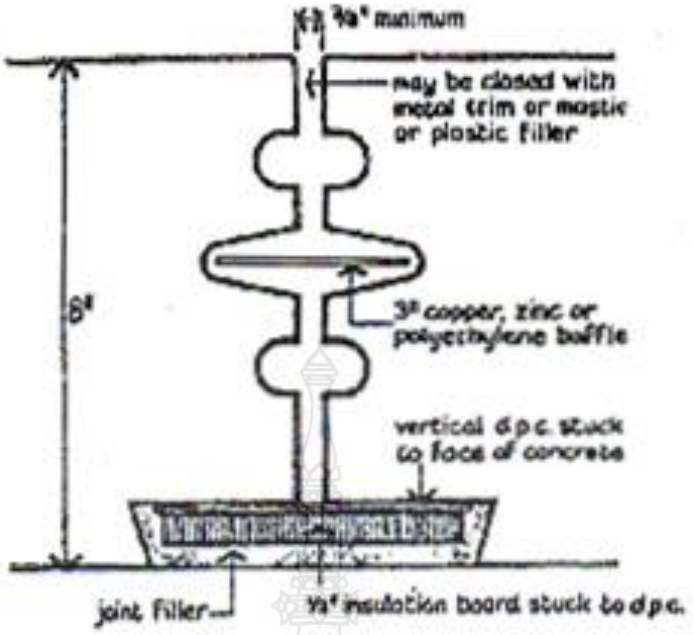


รูปที่ 2.15 รอยต่อของผนังกับผนังและเสา

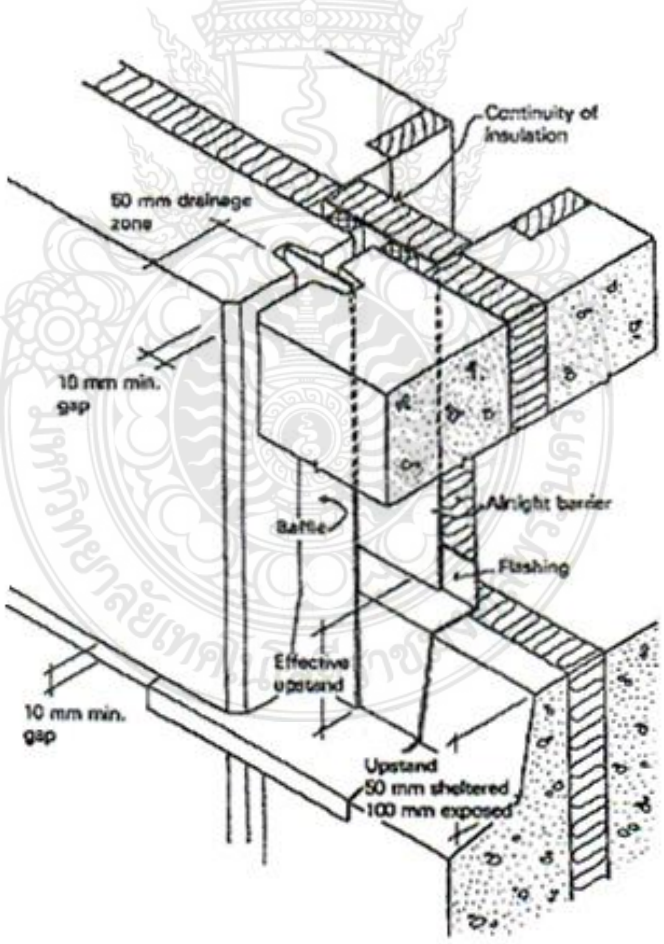


รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการใช้ Polyethylene กำหนดความหนาของวัสดุยาแนว

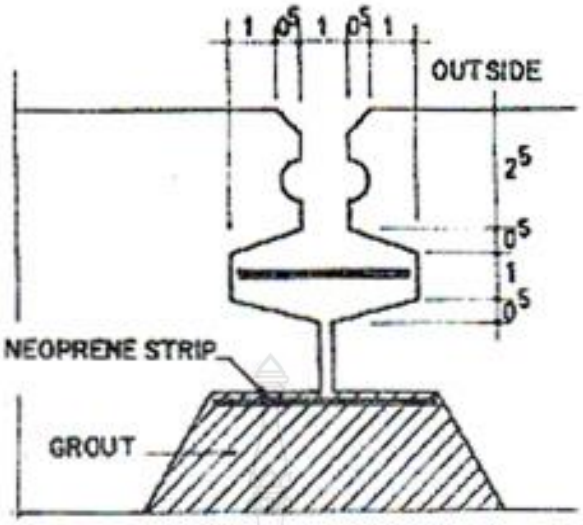
2) รอยต่อแบบเปิด (Opened Joints) รอยต่อชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แบบชิ้นส่วนรับน้ำหนักขนาดใหญ่ (Large Precast Concrete Panels) แต่ไม่มีเหตุผลขัดแย้งประการใดที่จะนำรอยต่อชนิดนี้มาใช้กับชิ้นส่วนที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะ หรือรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างชนิดกัน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



รูปที่ 2.17 แบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station



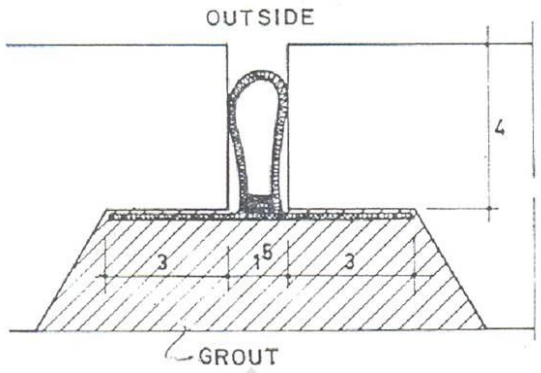
รูปที่ 2.18 รายละเอียดและระยะต่างๆ ของ Open-drained Joints ที่พัฒนาจากแบบทดลองในยุคแรกของ Building Research Station และนิยมใช้กันในตอนหลัง



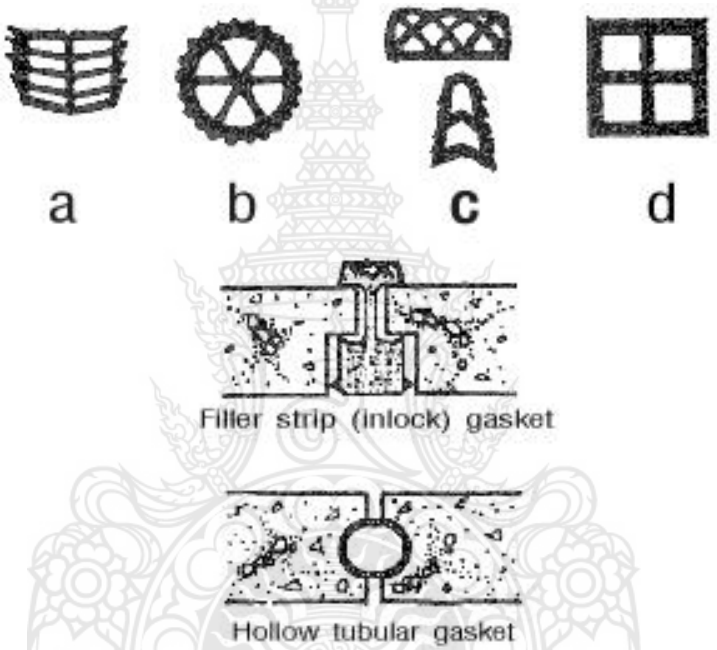
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างอีกแบบหนึ่งของ Open-drained Joints

3) รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints) รอยต่อแบบนี้เกิดมาจากความก้าวหน้าทางวัสดุเคมีที่สามารถผลิตและพัฒนาสารประกอบประเภทยางสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างได้ผลดี โดยเฉพาะวัสดุที่เรียกว่า นีโอพรีน (Neoprene) สามารถนำเอามาเป็นประเก็น (Gasket) รูปร่างต่างๆ กัน ใช้ในงานทำรอยต่อได้ดี ประเก็นสามารถหล่อฝังในผนังหรือโครงสร้างคอนกรีตที่เตรียมไว้ก่อน แล้วใช้แรงดันอัดให้ชิ้นส่วนผนังติดกับประเก็นแนบสนิท แล้วยึดผนังติดกับโครงสร้างให้แน่นต่อกันไปเรื่อยๆ ก็ได้ หรืออาจเว้นช่องว่างระหว่างผนังแล้วค่อยอัดประเก็นเข้าไปภายหลังจากที่ติดตั้งผนังเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ได้ ขนาดของรอยต่อวิธีการติดตั้งและคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆ มีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และบริษัทที่ผลิตจำหน่าย การใช้งานจึงต้องศึกษารายละเอียดและรับคำปรึกษาจากบริษัทผู้ผลิต

รูปที่ 2.20 รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)



รูปที่ 2.21 รอยต่อแบบใช้ประเก็น (Gasket-Sealed Joints)

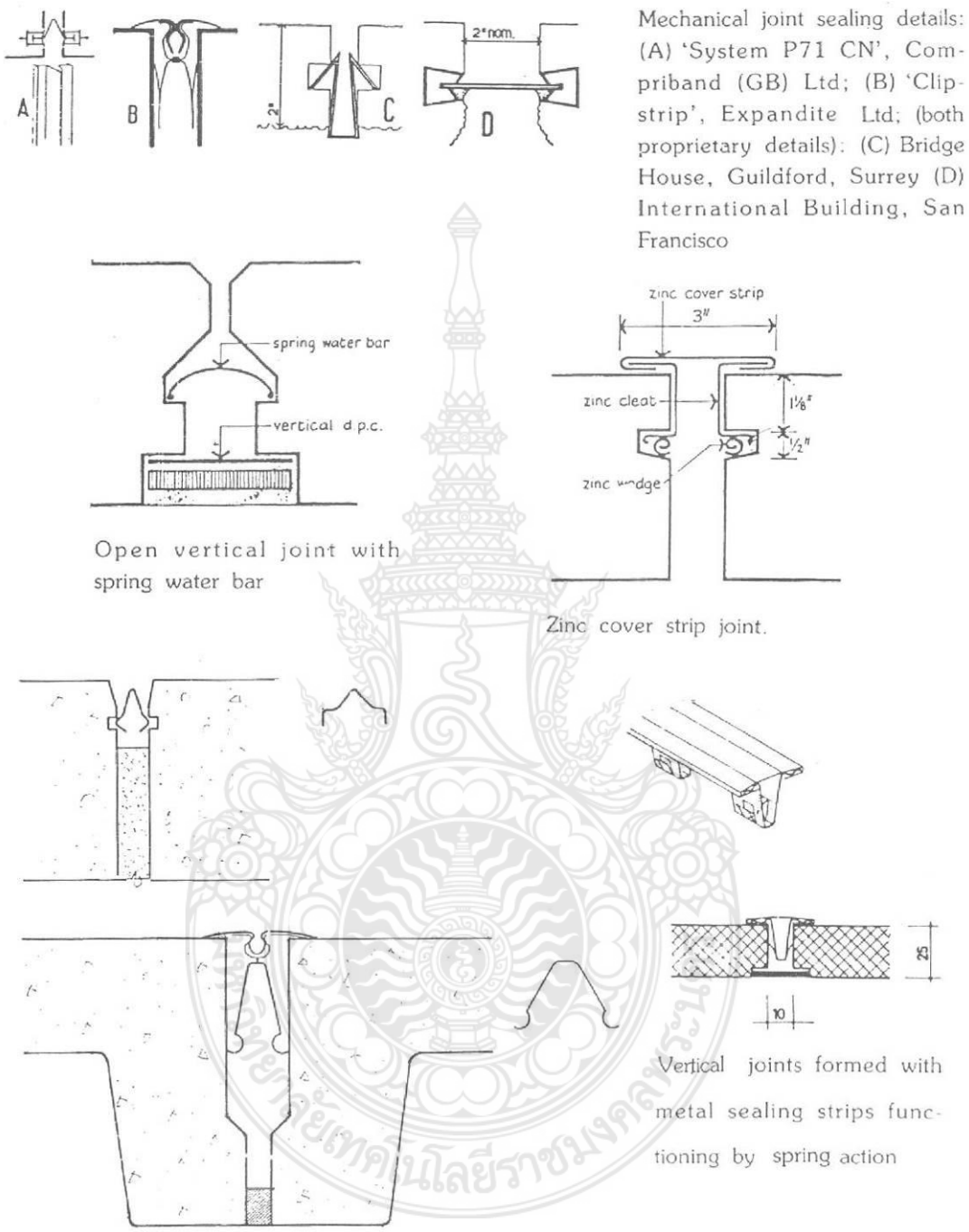


รูปที่ 2.22 รูปแบบของประเก็น (Gasket) ที่ใช้ในการทำรอยต่อทั่วไป

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

4) รอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints) รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อพิเศษที่ออกแบบหรือผลิตขึ้นใช้กับอาคารเฉพาะกรณี สถาปนิกมักจะใช้เพื่อเน้นรอยต่อให้อาคารมีรูปด้านที่สวยงามหรือแปลกตาเป็นพิเศษ หรือใช้กับรอยต่อของผนังในเขตที่มีการทรุดตัวของอาคารหรือการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง รอยต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย อาจเป็นเพราะราคาแพงหรืออาจเป็นเพราะรอยต่อจะเด่นแลเห็นชัดเจนมาก ยากในการควบคุมรูปด้านถ้าไม่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้าให้ดีพอทั่วๆ ไปมักใช้โลหะที่สามารถบีบให้หดตัวและขยายตัวได้เหมือนกับสปริง ใส่อยู่ในช่องรอยต่อ (Spring Water Bar) หรือเป็นครอบรอยต่อที่ยึดติดกับผิวหรือแกนที่สอดอยู่ในช่องรอยต่อ (Fixed Cover-Strip) คล้ายๆ กับงานปิดรอยต่อของวงกบหน้าต่างอลูมิเนียม การออกแบบทำได้หลายแบบ การติดตั้งก็คล้ายๆ

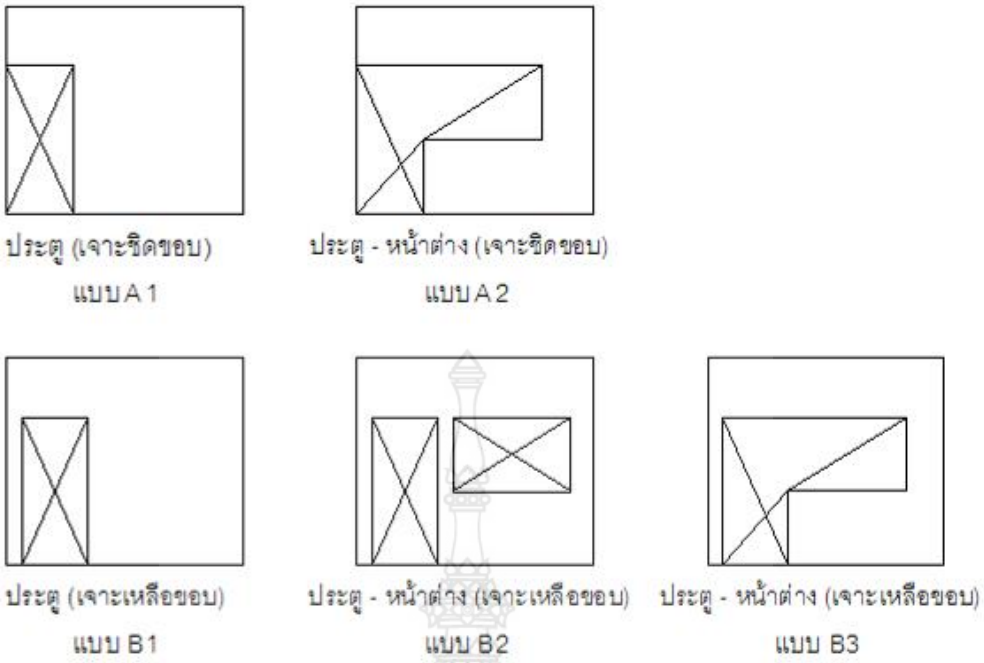
กับรอยต่อประเภทใช้ประเก็น คือกดอัดเข้าไปในช่องรอยต่อเมื่อติดตั้งผนังเสร็จแล้วหรืออาจติดตั้งตามลำดับขั้นตอนไปพร้อมๆ กับการติดตั้งผนังก็ได้ (Herz, 1975)



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างรอยต่อแบบกลไก (Mechanically- Sealed Joints)

2.12 แนวทางการออกแบบช่องประตูและหน้าต่างในผนังสำเร็จรูป

จากการออกแบบตำแหน่งของช่องประตูและหน้าต่างสำหรับโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้น สามารถสรุปเป็นแนวคิดได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 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

สรุปการตัดสินใจ เลือกใช้ชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปแบบเจาะช่องเปิดแบบเหลือขอบแบบ B1 และ B2 เพราะมีความเหมาะสมมากกว่าแบบชิดขอบ

2.13 การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน

การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริง เป็นการสมมุติหรือคาดเดาระยะที่จะผิดจากระยะที่แบบกำหนดที่จะเกิดขึ้น การปฏิบัติงานจริงค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้ มีดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Manufacturing Tolerances) ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติแบบหล่อ เช่น แบบหล่อบวมหรือยุบ (Swelling and Drying of Framework) อาจเกิดจากการประกอบแบบหล่อคลาดเคลื่อนหรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น Shrinkage Creep และอุณหภูมิ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ หรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน PCI

เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดระยะระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Setting-out Tolerance) อาจจะเป็นค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้หรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน PCI

เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Erection Tolerance) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่ควรเกินค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดหรือตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน PCI

2.14 ระบบรอยต่อของชิ้นส่วน

โดยทั่วไปประเภทของรอยต่อที่พบในระบบการก่อสร้างของบ้านเราจะพบว่ามักนิยมใช้การเชื่อมต่อแบบ “รอยต่อแบบปิด (Closed Joints) “เสียมาก อาจเป็นเพราะความคุยเคยของช่าง และประกอบกับค่าแรงงานที่มีราไม่สูงนัก โดยรอยการเชื่อมต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบรอยต่อแบบปิด (Closed Joints) ของบ้านเรานั้นก็พอจะแยกย่อยออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การเชื่อต่อแบบ เปียก (Wet joint) และการเชื่อมต่อแบบ แห้ง (Dry joint) (ชวลิต, 2528)

1) การผสานชิ้นส่วนแบบเปียก (Wet Joint) หมายถึง การนำชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นด้วยระบบกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Process) หรือกรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) มาต่อเชื่อมผสานกัน ชิ้นงานที่จะนำมาทำการต่อเชื่อมส่วนมากจะเป็นชิ้นงานในรูปแบบ Heavyweight System นำมาทำการต่อเชื่อมกันโดยอาศัยน้ำและซีเมนต์เข้ามามีส่วนในกระบวนการของการติดตั้งชิ้นงาน วัสดุที่ใช้ในการติดตั้งชิ้นส่วนผนังรับน้ำหนักในระบบเปียกส่วนมากจะเป็นมอร์ต้าร์ ถึงแม้จะมีการเชื่อมด้วยก๊าซ หรือไฟฟ้าและจึงทำการเกร้าด้วยมอร์ต้าร์ทับรอยต่อเชื่อมนั้น หรือทำการผสานด้วยมอร์ต้าร์เลยโดยไม่อาศัยการเชื่อมก็ถือเป็นการเชื่อต่อแบบเปียก ในตำแหน่งของรอยต่อเชื่อมถ้ามีการเหล็กเสริมก็จะช่วยในการรับแรงเฉือนของรอยต่อระหว่างชิ้นงานด้วย การเชื่อมแบบเปียกนั้นจะยังไม่สามารถรับแรงได้ทันที จะต้องอาศัยเวลาในเซ็ตตัวของมอร์ต้าร์ในตำแหน่งของรอยต่อก่อนจึงจะสามารถรับแรงได้เต็มที่ส่วน ข้อดีของการผสานชิ้นส่วนแบบเปียก คือ รอยต่อของชิ้นงานรองรับความคลาดเคลื่อนในการผลิตชิ้นงาน อีกทั้งระบบนี้ยังสามารถป้องกันการซึมของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารได้

2) การผสานชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Joint) หมายถึง การนำชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นด้วยระบบกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบแห้ง (Dry Process) หรือกรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) มาต่อเชื่อมผสานกัน ชิ้นงานที่จะนำมาทำการต่อเชื่อมกันเป็นได้ทั้งชิ้นงานในรูปแบบ Heavyweight system และ Lightweight System มาทำการต่อเชื่อมกันโดยไม่อาศัยน้ำ หรือซีเมนต์เข้ามามีส่วนในกระบวนการของการติดตั้งชิ้นงาน รอยต่อเชื่อมแบบแห้งสามารถรับแรงได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการเซ็ตตัวของรอยต่อเชื่อม การต่อเชื่อแบบแห้งอาจทำได้โดยอาศัยการเชื่อมด้วยก๊าซ หรือไฟฟ้า, การยึดด้วยสกูล (Bolt), การเข้าเดือย ฯลฯ ซึ่งการต่อเชื่อมชิ้นงานแบบแห้ง (Dry Joint) จะใช้ระยะเวลาน้อยทำได้รวดเร็ว มีการใช้ระบบนี้มากในแถบยุโรปและอเมริกา แต่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทยและไม่นิยมนำมาใช้กับการก่อสร้างอาคารประเภทบ้านพักอาศัยเพราะจะต้องมีระบบในรายละเอียดของรอยเชื่อมต่อที่ต้องป้องกันการซึมเข้า

ของน้ำผ่านรอยเชื่อมต่อของชิ้นงาน แต่จะใช้กับชิ้นส่วนภายนอกอาคารที่ไม่ต้องป้องกันการซึมเข้าของน้ำ เช่น กำแพงกั้นขอบทางด่วนเป็นต้น วัสดุและวิธีการที่ใช้ในการติดตั้งชิ้นส่วนผนังรับน้ำหนักในระบบแห้ง เช่น การใช้ Plat เหล็ก, การยึดด้วยโบ้วล์ (Bolt)} หรือการเชื่อ เป็นต้น ข้อดีของระบบนี้คือติดตั้งได้ง่าย สะดวก รวดเร็วรอยต่อของชิ้นส่วนสมารถรับแรงได้ทันนที แต่จะต้องมีกระบวนการผลิตที่ดีที่สามารถควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่ดี ไม่เช่นนั้นจะทำให้การติดตั้งในระบบนี้ทำได้ยาก และจะมีรอยต่อที่ไม่สวยงาม โดยทั่วไปการผลิตชิ้นส่วนเพื่อนำมาเชื่อต่อแบบแห้งมักจะทำการผลิตด้วยเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อด้อยของการผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักระบบ Wet joint

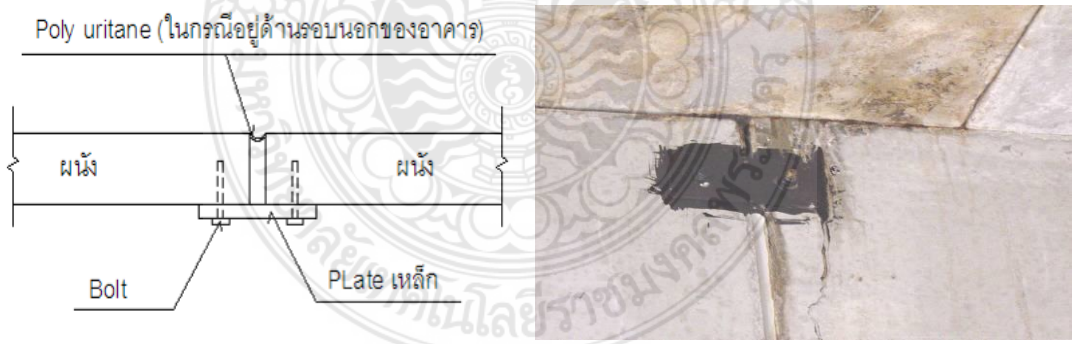
ข้อดี	**หมายเหตุ**
ป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี	เหมาะกับชิ้นงานที่อยู่รอบนอกอาคารและชิ้นงานที่เป็นผนังห้องน้ำ
รอยเชื่อมต่อมีความยืดหยุ่นสูง	-
รองรับชิ้นงานที่มีค่าเออเรอร์ในการผลิตได้สูง	-
ใช้แรงงานระดับมาตรฐาน	ระบบไม่ซับซ้อนยุ่งยาก
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
เสียเวลาในการติดตั้งค่อนข้างมาก	-
ไม่สามารถใช้งานได้ทันที	ต้องรอการเซ็ตตัวของมอร์ต้าร์
ค่าใช้จ่ายต่อจุดสูง	-

รูปที่ 2.25 การผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จแบบเปียกของโครงการเอื้ออาทรติวานนท์

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อด้อยของการผสานชิ้นส่วนผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักระบบ Dry joint

ข้อดี	หมายเหตุ
สามารถใช้งานได้ทันที	-
ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว	-
ค่าใช้จ่ายต่อจุดไม่สูง	-
ใช้แรงงานระดับมาตรฐาน	ระบบไม่ซับซ้อนยุ่งยาก
ข้อด้อย	**หมายเหตุ**
ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมาต้องมีค่าเออเรอร์ที่น้อย	ควรควบคุมการผลิตชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้ค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิตสูง
มักประสบปัญหาการรั่วซึมของน้ำ	ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่อยู่รอบนอกอาคารและชิ้นงานที่เป็นผนังห้องน้ำ

รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักแบบ Dry Join



รูปที่ 2.27 การเชื่อมต่อผนังสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักแบบ Dry Joint

2.15 ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปไม่ว่าจะผลิตมาจากโรงงาน หรือทำการหล่อที่หน้างานนั้น มักจะมีปัญหาที่ควรคำนึง ดังต่อไปนี้

1) โครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตชิ้นส่วนจากโรงงาน

1.1) เกิดการไหลซึมบริเวณตำแหน่งรอยต่อระหว่างแผ่น ณ ตำแหน่งพื้นห้องอเนกประสงค์กับพื้นห้องน้ำ

1.2) เกิดเสียงก้องภายในอาคาร

2) โครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตชิ้นส่วนที่หน่วยงานก่อสร้าง

2.1) บัวระหว่างผนังกับพื้นหลุด

2.2) งานธรณีประตูห้องน้ำหลุดร่อน

2.3) งานปูกระเบื้องไม่ได้คุณภาพ

2.4) งานผิวพื้นส่วนกลางทางเดินร่วม และบันไดอาคารไม่ได้คุณภาพ (เนื่องจากการผลิต)

2.5) งานผิวผนังอาคารเป็นคลื่นมากโดยเฉพาะตำแหน่งรอยต่อ และอาคารที่ 13 ยังไม่ได้ตัดเหล็กเส้นที่ยื่นออกมานอกตัวอาคารออก (เก็บงานไม่เรียบร้อย)

2.6) หลังคารั่ว

2.7) ประตูห้องตก

2.8) เมื่อฝนตกจะมีน้ำไหลมารวมกันที่ตำแหน่งกลางอาคารทางเดินร่วม และเกิดการไหลซึมผ่านตำแหน่งรอยต่อลงไปชั้นล่างๆ

2.9) เกิดการไหลซึมบริเวณตำแหน่งรอยต่อระหว่างแผ่น ณ ตำแหน่งพื้นห้องอเนกประสงค์กับพื้นห้องน้ำ

2.10) เกิดเสียงก้องภายในอาคาร

3) โครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตชิ้นส่วนจากโรงงานและที่หน่วยงานก่อสร้าง

3.1) หน้าต่างบานเกร็ดแบบปรับมุมได้จะชำรุดเสียหายและไม่สามรถใช้งานได้

3.2) ผู้อยู่อาศัยจะมีความกังวลเรื่องความปลอดภัยของทรัพย์สิน จึงนิยมติดเหล็กดัดกันขโมยเพื่อความปลอดภัย

3.3) ผู้อยู่อาศัยจะประสบปัญหาเรื่องยุงและแมลงจึงนิยมติดมุ้งลวดป้องกันที่บริเวณช่องเปิดของอาคาร

3.4) บริเวณชานพักบันไดหนีไฟและบันไดหลักจะมีผู้อยู่อาศัยบางครัวเรือนเอาผ้ามาตาก

3.5) บริเวณใต้บันไดหลักชั้นล่างจะมีผู้อยู่อาศัยบางครัวเรือนเอาของมากองเก็บ

3.6) เมื่อฝนตกน้ำฝนจะสาดเข้ามาจากทางช่องเปิดริมทางเดินภายในอาคารเข้ามาสู่พื้นทางเดินและทำให้เกิดน้ำท่วขังเพราะไม่มีที่ระบายน้ำ

3.7) ผู้อยู่อาศัยส่วนมากจะมีเครื่องใช้และของอยู่ภายในห้องพักเป็นจำนวนมากและวางซ้อนกันในแนวตั้งอย่างไม่เป็นระเบียบ

2.16 เทคนิคการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนของอาคาร

สำหรับเทคนิคการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนของอาคารนั้น เป็นส่วนสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก (มามี, 2541) โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ ดังนี้

1) เกณฑ์การตัดแบ่งชิ้นส่วนขององค์อาคาร

1.1) ขนาดของชิ้นส่วนมี ถ้าความหลากหลายชนิดทำให้ต้องใช้ Mould เป็นจำนวนมากซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

1.2) ขนาดของชิ้นส่วนจะพิจารณาจากน้ำหนักของชิ้นส่วน ซึ่งในขณะติดตั้งเครนสามารถยกและยื่นแขนไปติดตั้งซึ่งกำหนดไว้ที่ประมาณ 4-6 ตัน/ชิ้น (เพราะถ้าชิ้นเล็นเกินไปจะทำให้การติดตั้งมีราคาสูง)

1.3) ขนาดของชิ้นส่วน ให้เกิดรอยต่อซึ่งสามารถซ่อนไว้ในจุดที่มองเห็น และไม่มีความเสี่ยงต่อการรั่วซึมของน้ำ

1.4) ขนาดของชิ้นส่วนควรคำนึงถึงการวางแผนการผลิต และระบบการขนส่ง

2) เกณฑ์กำหนดระบบการต่อชิ้นส่วนขององค์อาคาร

2.1) การต่อ Joint Bar โดยวิธีการ Overlap ทำให้เกิดงานที่ต้องมา Grout ปิดมาก แต่ราคาค่าก่อสร้างจะถูก

2.2) การ Joint Bar โดยวิธีการเชื่อม ราคาค่าก่อสร้างแพงขึ้น แต่งาน Grout ปิดจะน้อยลงสามารถติดตั้งได้เสร็จเร็ว

2.3) การต่อ Joint Bar โดยวิธีการ Bolt & Nut ต้องการความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ทำให้ติดตั้งได้ยาก

2.4) การต่อโดยวิธี Grout Splice Sleeves ซึ่งเป็นการต่อที่ยังไม่เคยใช้ในประเทศไทย มีการต่อประเภทนี้ที่ญี่ปุ่น สิงค์โปร์ และจีน ซึ่งสามารถควบคุมคุณภาพได้ และมีอายุการใช้งานเหมือนการหล่อ ในที่แต่มีราคาแพง

2.5) รอยต่อที่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ใช้วัสดุ Poly Urethane ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาวกว่าวัสดุอื่นๆ (ประมาณ 3 – 10 ปี)

การเลือกรอยต่อจะต้องคำนึงถึงจุดที่รับแรง (ควรจะไปต่อจุดที่รับแรงไม่มาก)

2.6) รอยต่อจะต้องพิจารณาถึง Progressive Collapse ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งใน British Standard กำหนดไว้ว่าอาคารที่สูงมากกว่า 2 ชั้น ไม่ควรใช้วิธีการต่อ Vertical Tied Bar ของผนังรับน้ำหนักด้วยวิธี Overlap

2.7) ในข้อกำหนด PCI เกี่ยวกับ Progressive Collapse นี้ รอยต่อของผนังรับน้ำหนักจะต้องมีความแข็งแรงพอ เมื่อผนังรับน้ำหนักชำรุดไป 1 ชิ้น รอยต่อของผนังจะต้องแข็งแรงพอเมื่อจะนำผนังที่ชำรุดไปเปลี่ยนใหม่

3) งานเชื่อมรอยต่อ โดยปกติแล้วรอยต่อของงานคอนกรีตสำเร็จรูปแบบกึ่งเปียก จะอาศัยการเชื่อมเป็นหลักเพื่อให้ตัวโครงสร้างหลักของอาคารสามารถรับน้ำหนักของตัวมันเองได้ จากนั้นจึงจะอาศัยมอร์ต้าทำการผสานรอยจุดต่อนั้นอีกทีเพื่อให้รอยเชื่อมต่อสามารถรับแรงได้โดยสมบูรณ์ ฉะนั้น การหาช่างเชื่อมที่มีคุณภาพทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงมั่นคง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1) ผู้เชื่อมต้องเชื่อมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงดึง

3.2) ผู้เชื่อมต้องจำลักษณะรอยเชื่อมแต่ละชิ้นได้

3.3) ต้องทำความสะอาด Copper Mould ทุกๆ การใช้ 20 ครั้ง

3.4) หลังเชื่อมเสร็จต้องปล่อยให้เหล็กเย็นตัวลงอย่างช้าๆ ห้ามใช้น้ำลาดเพื่อลดอุณหภูมิ

4) งานระบบกันซึม เป็นงานที่ความสำคัญมากในระบบแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป โดยเฉพาะผนังภายนอกอาคาร และบริเวณห้องน้ำ ระเบียง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

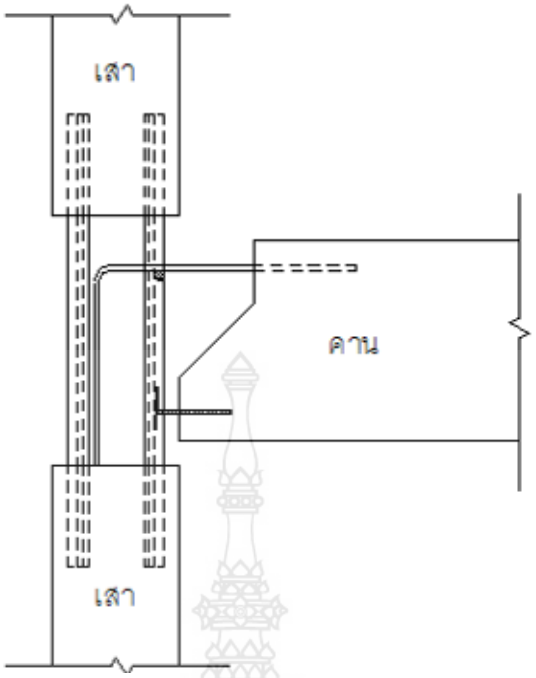
4.1) ใช้ Backing Foam ยึดในช่องระหว่างผนัง

4.2) ใช้น้ำยาประสานระหว่างโฟม คอนกรีต และ Waterproof จำเพาะทาบริเวณ

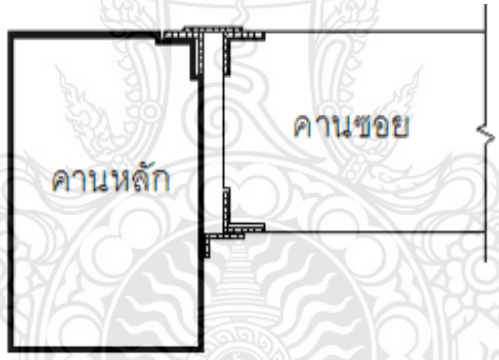
5) รอยเชื่อมต่อโครงสร้างอาคาร คานสำเร็จของโครงการจะวิ่งรัดในทุกจุดของเสาโครงสร้างของอาคารโดยจุดเชื่อมต่อระหว่าง เสา และ คาน จะใช้การเชื่อมต่อด้วยการเชื่อมจากนั้นจากนั้นจึงจะทำการปิดรอยเชื่อมต่อด้วยมอร์ตาร์ ส่วนกรณีของคานซอยบริเวณตำแหน่งห้องน้ำและส่วนอื่นๆ ในจุดที่คานซอยไปชนกับกับคานหลัก ทำการฝังเพลตเหล็กไว้ที่ช่วงบนของคานทั้งสองตัวและใช้การเชื่อมเป็นตัวยึดระหว่างคานทั้งสองชิ้น

รูปที่ 2.28 ลักษณะการฝังเหล็กเพลตไว้ที่คานซอยสำหรับเชื่อมต่อกับคานหลัก

รูปที่ 2.29 ลักษณะการเชื่อมต่อของคานหลักกับคานซอย

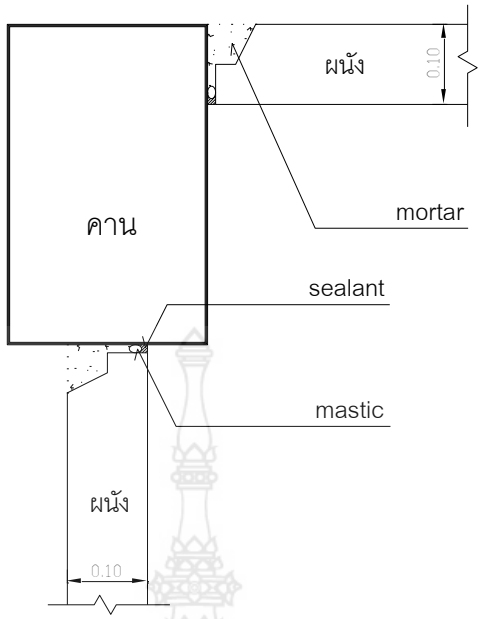


รูปที่ 2.30 แนวทางการเชื่อมต่อโครงสร้างอาคารระหว่างเสาสำเร็จรูปกับคานสำเร็จรูป

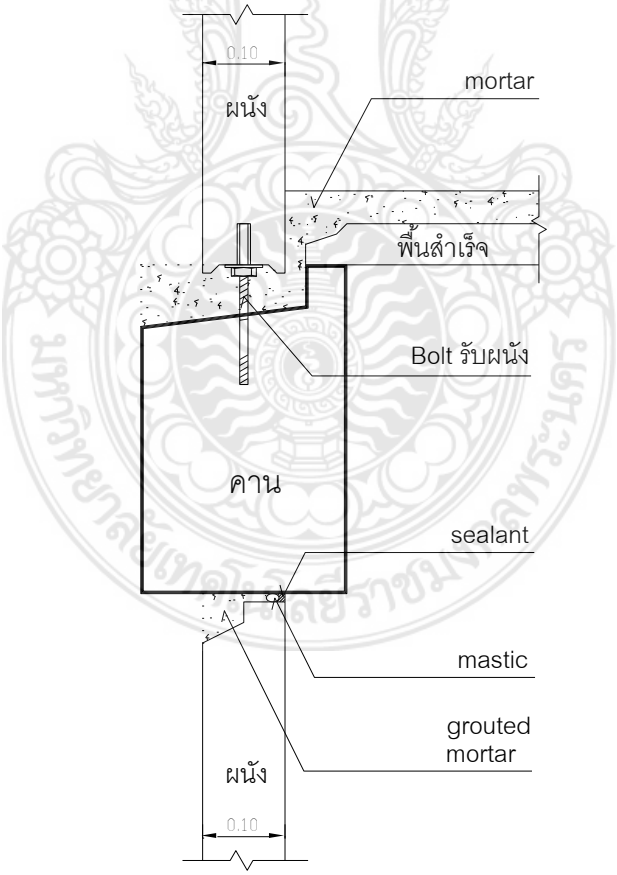


รูปที่ 2.31 แนวทางการเชื่อมต่อโครงสร้างอาคารระหว่างคานหลักสำเร็จรูปกับคานซอยสำเร็จรูป

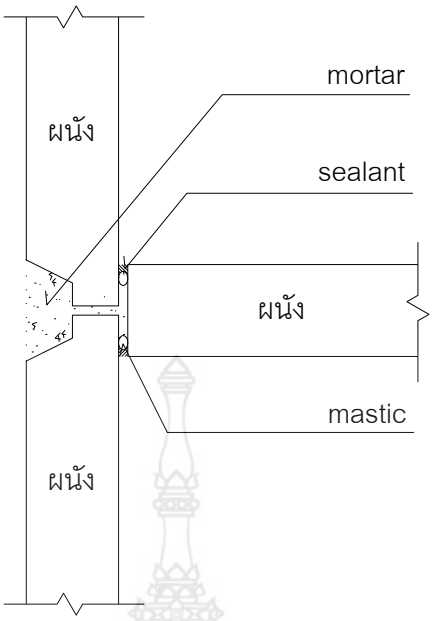
6) ตัวอย่างรอยเชื่อมต่อมาตรฐานบริเวณที่สำคัญของอาคาร จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือรอยเชื่อมต่อแบบป้องกันการรั่วซึมของน้ำซึ่งจะใช้กับชิ้นส่วนสำเร็จรูปภายนอกรอบนอกของอาคาร ส่วนห้องน้ำและระเบียงอาคาร รอยต่ออีกประเภทคือ รอยต่อแบบไม่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งจะใช้กับรอยต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูปภายในอาคารและรอยต่อของผนังกั้นห้องโดยทั่วไป



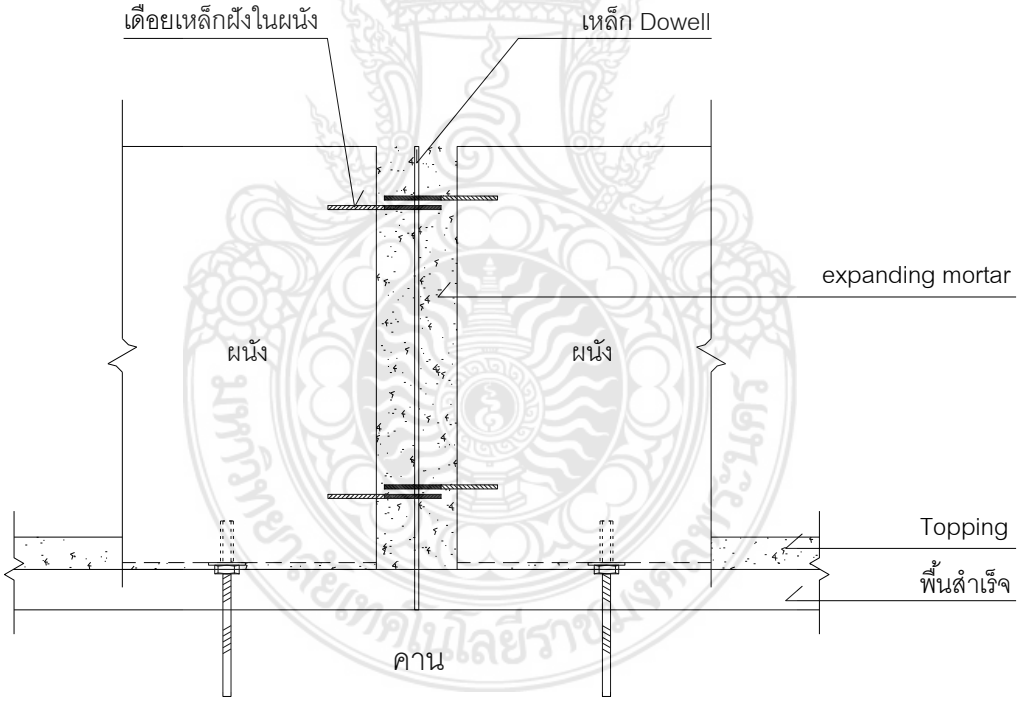
รูปที่ 2.32 แปลนรอยต่อของอาคารบริเวณเสามุมอาคาร



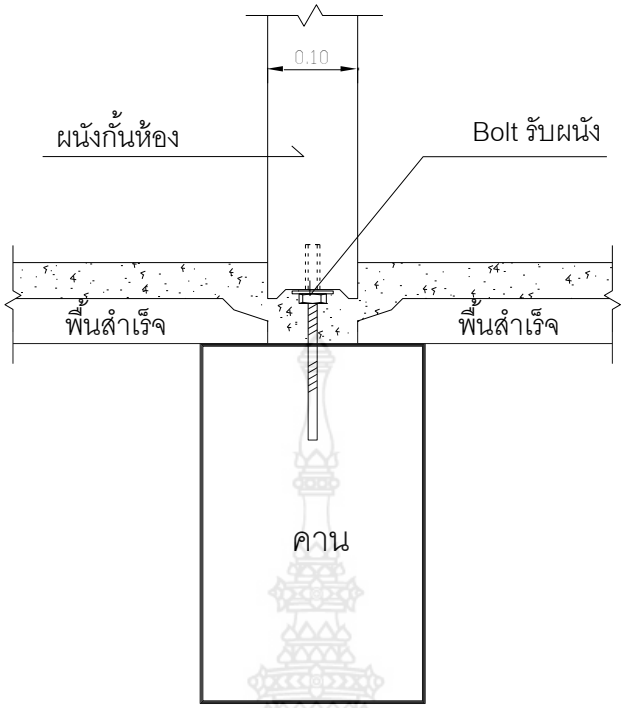
รูปที่ 2.33 รอยต่อผนังกับคานริมนอกอาคาร (ผนังอยู่ริมและกลางคาน)



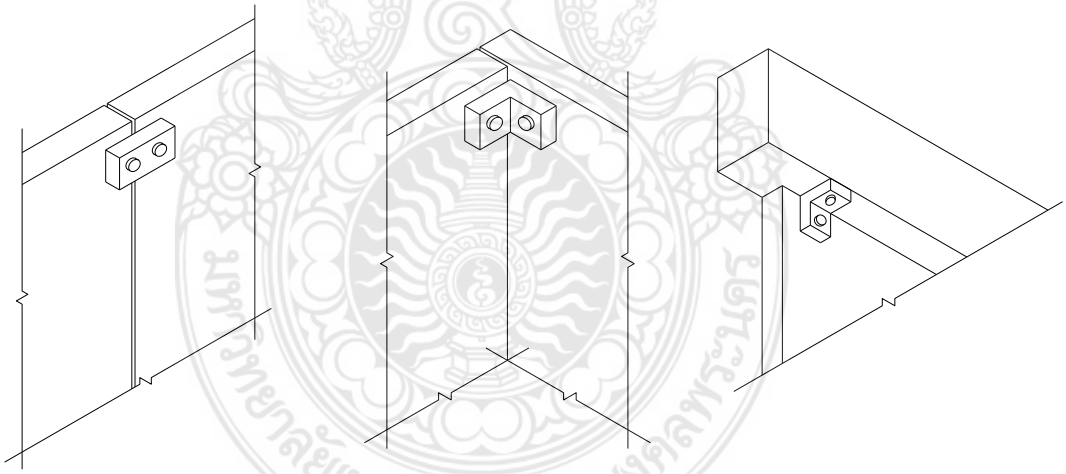
รูปที่ 2.34 แปลนรอยต่อผนังกับผนังริมนอกของอาคาร



รูปที่ 2.35 รอยต่อของผนังห้องน้ำ



รูปที่ 2.36 รอยต่อของผนังกั้นห้องภายในอาคาร



(1) รอยต่อผนังกับผนังแบบต่อเนื่อง (2) รอยต่อผนังกับผนังแบบตั้งฉาก (3) รอยต่อผนังยึดกับคาน

รูปที่ 2.37 ฝาครอบรอยต่อของผนังสำเร็จรูปที่ใช้เพลตเหล็กแบบต่างๆ

2.17 พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) หมายถึง สารสังเคราะห์ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือมนุษย์เป็นผู้สังเคราะห์ขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่จะนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ได้ มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดจากการรวมหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า โมโนเมอร์ เข้าด้วยกัน (สมเกียรติ, 2556) คำว่า พอลิเมอร์ อาจใช้คำว่า มาโครโมเลกุล (Macromolecule) แทนก็ได้ ผู้เสนอ คำศัพท์นี้ คือ Staudinger นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันผู้ได้รับรางวัลโนเบล จากการที่เขาสามารถอธิบายโครงสร้างโมเลกุลของพอลิสไตริน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ได้สำเร็จใน ค.ศ. 1953 พอลิเมอร์มีอยู่ทั้งในธรรมชาติและโดยการสังเคราะห์ของมนุษย์ กระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบต่างๆ ทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบชนิดของพอลิเมอร์และโมโนเมอร์

พอลิเมอร์	โมโนเมอร์
1. แป้ง	กลูโคส
2. ไกลโคเจน	กลูโคส
3. เซลลูโลส	กลูโคส
4. โปรตีน	กรดอะมิโน
5. ยางพารา (โพลีไอโซพรีน)	ไอโซพรีน
6. พอลิเอทิลีน	เอทิลีน
7. พอลิสไตรีน	สไตรีน
8. พอลิโพรพิลีน	โพรพิลีน
9. พอลิเอไมด์ (ไนลอน)	ไนลอนโมโนเมอร์
10. พอลิไวนิลครอไรด์ (PVC)	ไวนิลครอไรด์
11. พอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์
12. เบเคไลต์	ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์
13. ฟอร์ไมกา (พอลิเมอร์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์)	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์
14. ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber)	สไตรีน และบิวตาไดอีน
15. ยางเอบีเอส (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	อะคริโลไนตริล และบิวตาไอดีน และสไตรีน
16. พอลิไวนิลครอไรด์อะซิเตต	ไวนิลคลอไรด์ และไวนิลอะซิเตต

จากตัวอย่างพอลิเมอร์ดังที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า โมเลกุลของสารสังเคราะห์ที่จัดเป็นพอลิเมอร์นั้น จะต้องประกอบด้วยหน่วยย่อยที่ซ้ำๆ กัน หรือที่เรียกว่า โมโนเมอร์ หนึ่งหรือสองชนิดหรือมากกว่าก็ได้มาต่อกันเป็นแถวยาว (จะเรียงแถวแบบใดก็ได้) ดังนั้น สารสังเคราะห์ที่มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลไม่ได้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันดังกล่าวจะไม่จัดเป็นสารพอลิเมอร์ เช่น สารพวกน้ำมันหรือไขมัน ปุ๋ยเคมี มอร์ฟีน นิโคติน เฮโรอีน สบู่ และผงซักฟอก เป็นต้น

2.18 ชนิดของพอลิเมอร์

ชนิดของพอลิเมอร์ สามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ 2 ชนิด

1) พอลิเมอร์จากธรรมชาติ พอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สำคัญ เช่น เซลลูโลส ฝ้าย ขนสัตว์ และยางธรรมชาติ เป็นต้น คุณภาพของพอลิเมอร์จำพวกนี้จะอยู่กับชนิดและพันธุ์

2) พอลิเมอร์สังเคราะห์ พอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นวัสดุที่สำคัญมากต่อชีวิตประจำวันเพราะเราสามารถควบคุมของวัสดุให้มีคุณสมบัติตามต้องการได้ และมีมากชนิดกว่า พอลิเมอร์จากธรรมชาติ ทำให้เราสามารถกำหนดใช้งานทดแทนวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่เดิม ไม่ว่าจะเป็น ไม้ แก้ว โลหะ หรือ เซรามิกส์ พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น เส้นใยสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ วัสดุเคลือบผิว เรซิน พลาสติก กาว และโฟม เป็นต้น (สมเกียรติ, 2556)

2.19 พอลิเมอไรเซชัน

พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) หรือกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ หรือปฏิกิริยาต่ออณู คือ ปฏิกิริยาการรวมตัวทางเคมีของสารโมเลกุลเล็กๆ จำนวนมากมาย ที่เรียกว่า โมโนเมอร์ แล้วเกิดสารใหม่ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่เรียกว่า พอลิเมอร์ พอลิเมอไรเซชันมี 2 แบบ (Donald, 1990) คือ

1) แบบควบแน่น (Condensation Polymerization) คือ ปฏิกิริยาการรวมตัวทางเคมีของสารโมเลกุลเล็ก หรือโมโนเมอร์ ได้สารโมเลกุลใหญ่หรือพอลิเมอร์ และได้สารโมเลกุลเล็กๆ เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ แอมโมเนีย หรือไฮโดรเจน เป็นผลพลอยได้ พอลิเมอร์ที่เกิดจากแบบควบแน่นนี้จะมีความแข็งแรงทนทาน โค้งงอได้น้อย มีแรงยึดเหนี่ยวในโมเลกุลสูง ตัวอย่าง พอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น เช่น

กลูโคส + กลูโคส + ... ⟶ แป้ง + น้ำ
กรดอะมิโน + กรดอะมิโน + ... ⟶ โปรตีน + น้ำ
ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ + ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ + ... ⟶ พอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ + น้ำ

2) แบบต่อเติม (Addition Polymerization) คือปฏิกิริยาการรวมตัวทางเคมีของสารโมเลกุลเล็กหรือโมโนเมอร์ แล้วได้สารโมเลกุลใหญ่ หรือพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียว (ไม่มีผลพลอยได้) พอลิเมอร์ที่เกิดจากแบบต่อเติมนี้ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคอลไรด์ เป็นต้น ตัวอย่าง พอลิเมอไรเซชันแบบต่อเติม เช่น

เอทิลีน + เอทิลีน + ... ⟶ (พอลิเมอไรเซชั่น) พอลิเอทิลีน

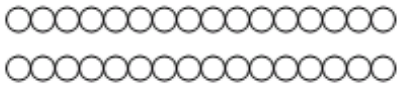
ไวนิลครอไรด์ + ไวนิลครอไรด์ + ... ⟶ (พอลิเมอไรเซชั่น) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

ไวนิลครอไรด์ + ไวนิลอะซิเตต + ... ⟶ (พอลิเมอไรเซชั่น) พอลิไวนิลคลอไรด์อะซิเตต

2.20 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์

โครงสร้างของพอลิเมอร์มีความสำคัญต่อสมบัติของพอลิเมอร์ เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง ความเหนียว การยืดตัว การโค้งงอ ความแข็ง การคงรูป เป็นต้น โดยทั่วไปพอลิเมอร์มีโครงสร้าง 3 แบบ (Jesse, 1992) ดังนี้

1) โครงสร้างแบบสายยาวหรือสายโซ่ (Straight Chain Structure) พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เกิดจากโมโนเมอร์มาเรียงต่อกันโดยปฏิกิริยาเคมี เป็นเส้นตรงคล้ายเส้นด้าย เช่น พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และเซลลูโลส เกิดจากโมโนเมอร์ชนิดที่มีตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีเพียง 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.38 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบสายยาวหรือสายโซ่

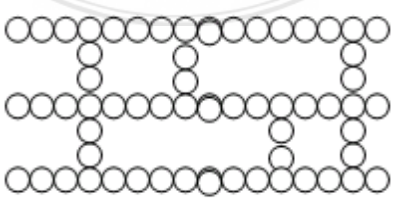
สารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบสายยาวจะมีสมบัติเหนียวแข็งแรง ยืดตัวได้ดี โค้งงอได้มาก อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน แข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง และเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น เทอร์โมพลาสติก เป็นต้น

2) โครงสร้างแบบสาขาหรือแขนง (Branched Chain Structure) พอลิเมอร์ชนิดนี้มี สาขาโซ่แตกออกไปจากโซ่หลัก เกิดจากโมโนเมอร์ชนิดที่มีตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี 2 และ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง เช่น เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ ไกลโคเจน และพอลิเอทิลีนแบบสาขา เป็นต้น

รูปที่ 2.39 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบสาขาหรือแขนง

สารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบสาขาจะมีสมบัติคล้ายกับแบบสายยาวแต่โครงสร้างแบบสาขาจะมีความหนาแน่นน้อยและโค้งงอได้ดีกว่าแบบสายยาว เนื่องจากโมเลกุลของสายพอลิเมอร์จะไม่แนบชิดอัดกันแน่น เพราะมีสาขาของสายขวางกั้นอยู่ แต่แบบสายยาวจะยืดตัวได้ดีกว่าแบบสาขา เพราะโมเลกุลเรียงตัวในแนวเส้นตรง

3) โครงสร้างแบบตาข่ายหรือร่างแห (Cross-linked Structure) พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างโครงสร้างแบบสายยาวและแบบสาขามาเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหมีกิ่งสาขาเชื่อมโยงภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลอื่น เช่น โมเลกุลของแป้ง และเบเคไลต์ (ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์) เป็นต้น



รูปที่ 2.40 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบร่างแห

สารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหจะมีสมบัติแข็งแรงทนทาน โค้งงอได้น้อย เนื่องจากโมเลกุลยึดกันแน่นใน 3 ทิศทาง คงรูปร่าง ไม่ยืดหยุ่น ถ้าเป็นพลาสติกจะแข็งแรงมาก ทนความร้อนได้ดีโดยปกติ

จะไม่หลอมตัว และยากที่จะละลายในตัวทำละลายใดๆ ในอุตสาหกรรมการสังเคราะห์พอลิเมอร์จะพบว่าพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหมักเกิดจากพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น ยกเว้นไนลอนจะมีโครงสร้างแบบสายยาวเกิดจากพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น พอลีเมอร์ จะมีโครงสร้างแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับ ความดัน อุณหภูมิ ชนิดและปริมาณของโมโนเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา

2.21 พลาสติก

พลาสติก (Plastics) ถูกพัฒนาขึ้นใน ปี ค.ศ. 1839 โดยชาร์ล กู๊ดเยียร์ ได้ค้นพบ วิธีการทำยางธรรมชาติ ซึ่งมีความอ่อนให้กลายเป็นยางแข็ง หลังจากนั้นประมาณ 30 ปี จอห์น เวสเลย์ ไฮแอท ชาวอเมริกันค้นพบพลาสติกที่เรียกว่าเซลลูลอยด์ (Celluloid) ซึ่งนับเป็นพลาสติกชนิดแรก พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทสำคัญมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นในชีวิตประจำวันหรือในงานอุตสาหกรรมและงานวิศวกรรมต่างๆ จะเห็นได้จากการนำพลาสติกมาทำเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องจักร เครื่องใช้ไฟฟ้าฯลฯ โดยพลาสติกได้เข้ามาแทนที่วัสดุอื่นๆ เช่น เหล็ก โลหะต่างๆ และไม้ เป็นต้น พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยมาโครโมเลกุลที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (เช่น ยางธรรมชาติ เซลลูโลส และโปรตีน เป็นต้น) หรือได้จากการสังเคราะห์สารประกอบโมเลกุลต่ำ (เช่น Ethylene และ Benzyl Formaldehyde เป็นต้น) เนื่องจากพลาสติกเป็นสารประเภทพอลิเมอร์ การสังเคราะห์พลาสติกจึงต้องนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการทางเคมี ให้ได้โมเลกุลของโมโนเมอร์ก่อน แล้วจึงนำโมโนเมอร์มารวมกันโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีวิธีการต่างๆ กัน (สมเกียรติ, 2556)

2.22 ประเภทของพลาสติก

การจัดประเภทพลาสติกโดยใช้ลักษณะของพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนเป็นเกณฑ์นั้น สามารถจำแนกประเภทพลาสติกได้เป็น 2 ประเภท (ปุญญานิช, 2551) คือ

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic ย่อว่า TP) เป็นพลาสติกที่ถูกความร้อนแล้วอ่อนตัวหรือหลอมเหลวที่ให้รูปร่างเปลี่ยนไปแล้ว สามารถเอากลับไปหลอมใหม่เป็นรูปเดิมหรือรูปอื่นได้ โดยที่สมบัติยังคงเหมือนเดิม และสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ตลอด จึงกล่าวได้ว่าเป็น Plastics with a memory หรือ พลาสติกคืนรูป มีโครงสร้างเป็นแบบสายยาว ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิล คลอไรด์ (พีวีซี) พอลิเอไมด์ (Polyamide หรือไนลอน) พอลิโพรพิลีน อะคริลิก เป็นต้น

2) เทอร์โมเซต (Thermoses ย่อว่า TS) เป็นพลาสติกที่ถูกความร้อนแล้วไม่อ่อนตัว แต่ถ้าร้อนมากจะไหม้เป็นถ่าน เราเรียกพลาสติกประเภทนี้ว่า พลาสติกคงรูป เนื่องจากในกระบวนการผลิตได้เกิดความแข็งแรงมาก สลายตัวได้ยาก ตัวอย่างเช่น พอลิเอสเทอร์ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เลามีน ฟอร์มัลดีไฮด์ (หรือ melmac) เบเคไลต์ พอลิยูรีเทน และอีพอกซี เป็นต้น

การแบ่งประเภทของพลาสติกนอกจากสมบัติของพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนแล้วยังมีการแบ่งประเภทของพลาสติกโดยใช้สมบัติอื่นๆ อีก เช่น ความหนาแน่น ลักษณะการติดไฟ การละลายในตัวทำละลาย เป็นต้น (วิสุทธิ์, 2551)

2.23 คุณสมบัติของพลาสติก

คุณสมบัติของพลาสติกเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้พลาสติกให้เหมาะสมกับลักษณะของงานชนิดต่างๆ ได้แก่

1) ความต้านทานไฟฟ้า พลาสติกเกือบทุกชนิดมีความต้านทานไฟฟ้าสูง จึงถูกนำมาทำเป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้า

2) การนำความร้อน พลาสติกมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำมาก จึงถูกนำมาใช้ทำฉนวนกับความร้อน

3) ความหนาแน่น พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ ความหนาแน่นของพลาสติกมีค่าระหว่าง 0.30 ถึง 0.75 ปอนด์ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 1 ใน 6 ของความหนาแน่นของเหล็กกล้า ดังนั้น จึงถูกนำไปใช้กับงานที่ต้องการให้มีน้ำหนักเบา

4) ความต้านทานต่อการเกิดกร่อน พลาสติกโดยทั่วไปมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดี สารละลายของเหลวในครัวเรือนส่วนมากไม่สามารถทำละลายต่อพลาสติกได้ แต่อย่างไรก็ตามสารละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น อัลคลอไรด์ หรือแก๊สโซลีน สามารถทำละลายต่อพลาสติกบางชนิดได้

5) สมบัติทางแสง ได้แก่ความโปร่งแสง ความโปร่งใส และทึบแสง เช่น ใช้พลาสติกทำเป็นเลนส์แว่นตา

2.24 ผลิตภัณฑ์พลาสติก

พลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เรียกว่า วัตถุดิบพลาสติก มีรูปแบบ 3 ชนิด คือ เป็นผง เป็นเม็ด และเป็นของเหลวข้นคล้ายยาง ที่เรียกว่า เรซิน (Rasin) เรซินเป็นสารอินทรีย์พื้นฐานที่ทำให้เกิดพลาสติก ซึ่งมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีสมบัติและคุณภาพต่างกัน เมื่อจะนำมาใช้ต้องเลือกให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตออกมา วัตถุดิบพลาสติกเหล่านี้จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ จะมีรูปร่างแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน กรรมวิธีการผลิตในอุตสาหกรรมพลาสติกนั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น การหล่อแบบ การอัดแบบ และการฉีดเข้าแบบ เป็นต้น

การนำพอลิเมอร์มาทำผลิตภัณฑ์ นอกจากจะมีการเติมตัวเร่งและสารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาดังการทดลองนี้แล้ว ยังมีสารอื่นๆ ที่อาจเติมลงไปเพื่อทำให้พลาสติกมีสมบัติตามต้องการเหมาะสมในการใช้งานและทำให้พลาสติกคงรูปร่างตามต้องการได้ สารเหล่านี้ ได้แก่

1) พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) คือการที่ผสมลงไปแล้วทำให้พอลิเมอร์หลอมตัวได้ง่าย ลดความเปราะให้น้อยลง มีความยืดหยุ่นดี โค้งงอได้ง่าย ทนต่อแรงอัดและแรงดึงได้ดี พลาสติไซเซอร์จะต้องละลายรวมกับพอลิเมอร์ได้ดี ตัวอย่างของพลาสติไซเซอร์ เช่น ไดบิวทิลพธาเลตผสมในเมทิลเมตาดริเลต (เพลกซิกลาส) จะทำให้ได้พลาสติกที่โค้งงอได้ดี การบูรและน้ำมันละหุ่งเติมลงในไนโตรเซลลูโลส เพื่อลดความเปราะ และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เป็นต้น

2) ฟิลเลอร์ (Filler) คือสารที่เป็นของแข็งไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี ส่วนมากมีลักษณะเป็นผงบางชนิดเป็นเส้นใยเล็กๆ ใช้ผสมลงในเรซินหรือพอลิเมอร์ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เพราะ ฟิลเลอร์มีราคาถูก และทำใสมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันไปตามชนิดของฟิลเลอร์ที่ผสมลงไป เช่น ผสมใยหิน (แร่แอสเบสตอส) ลงไปจะทำให้พอลิเมอร์ทนความร้อนสูง ขยายตัวน้อย ผสมคาร์บอนลงไปจะทำให้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าได้ดี ผสมกราไฟต์ลงไปจะทำให้พอลิเมอร์ทนการเสียดสีได้ดี

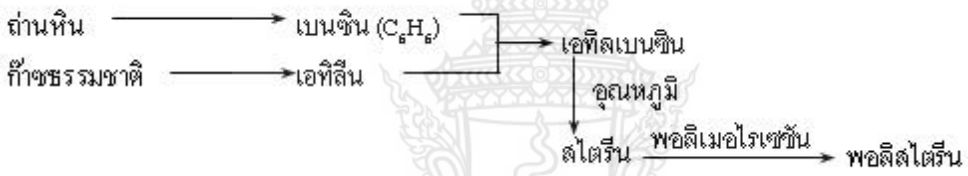
ปัจจุบันในการผลิตเครื่องใช้พลาสติก มักมีการใส่สารเติมแต่งลงไปในเนื้อพลาสติกด้วย เพื่อให้มีสมบัติต่างๆ ตามต้องการ ดังตาราง แสดงสารเติมแต่งและผลที่มีต่อพลาสติก

ตารางที่ 2.7 ผลของการเติมแต่งสารที่มีต่อพลาสติก

สารเติมแต่ง	ผลที่มีต่อพลาสติก
สี	เพื่อให้สวยงาม น่าใช้ และบอกถึงสมบัติบางประการของพลาสติก
ฝุ่นแป้งแคลเซียมคาร์บอเนต	เพื่อลดปริมาณเนื้อพลาสติก ทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีราคาถูกลง
ยางบิวทิล	ทำให้เนื้อพลาสติกเหนียว ไม่เปราะ ไม่แตกหักง่าย
ผงถ่านคาร์บอน	ช่วยกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้พลาสติกทนแดด ไม่กรอบหักง่าย
สารต้านทานออกซิเจน	ช่วยให้พลาสติกมีสีคงทน ไม่ซีดง่าย

2.25 พอลิสไตรีน

พอลิสไตรีน หรือโพลีสไตรีน (Polystyrene ย่อว่า PS) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสไตรีนโมโนเมอร์ ดังแผนภาพ ถูกผลิตออกขายครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ.1930 - 1939 โพลีสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในสถานะของแข็ง แต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง โพลีสไตรีนแข็งที่บริสุทธิ์ จะไม่มีสี แต่สามารถทำเป็นสีต่าง ๆได้ และยืดหยุ่นได้จำกัด



รูปที่ 2.41 กระบวนการผลิตพลาสติกพอลิสไตรีน

โพลีสไตรีนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Expanded Polystyrene (EPS) เป็นชนิดที่ได้จากการผสมโพลีสไตรีน ร้อยละ 90-95 กับสารทำให้ขยายตัว (ที่ใช้กันมาก คือ เพนเทนหรือคาร์บอนไดออกไซด์) ร้อยละ 5-10 พลาสติกที่เป็นของแข็งถูกทำให้เป็นโฟมโดยการใช้ความร้อน (มักเป็นไอน้ำ) โพลีสไตรีนอีกชนิดหนึ่งคือ Extruded polystyrene (XPS) มีชื่อทางการค้าที่แพร่หลาย คือ Styrofoam เป็นชนิดที่มีการเติมอากาศไว้ในช่องว่างตามเนื้อโฟมทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้ในงานก่อสร้าง และใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร ชิ้นส่วนประกอบภายในรถยนต์ ผนังประตูด้านในของตู้เย็นและยังมีชนิดที่เป็นแผ่นเรียกว่า Polystyrene Paper Foam (PSP) ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่องหรือถาดใส่อาหาร แก้วโฟมใช้แล้วทิ้ง บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่นบรรจุภัณฑ์กันกระแทกสำหรับใส่ขวดไวน์ ผลไม้ และคอมพิวเตอร์ วัสดุช่วยพยุงให้ลอยน้ำ ตัวอย่างอื่นๆ เช่น ไม้บรรทัด ตลับเทป ม้วนวีดีโอ และไม้แขวนเสื้อ เป็นต้น (สรินทร, 2548)

รูปที่ 2.42 กระบวนการผลิตพลาสติกพอลิสไตรีน

พอลิสไตลีน เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติคงขนาดรูปร่างได้ดี มีการหดตัวภายในแม่พิมพ์ต่ำ เป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้าที่ดี แต่อย่างไรก็ตามพลาสติกชนิดนี้ไม่คงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และไม่สามารถทนต่อปฏิกิริยาเคมีจากสารละลายอินทรีย์และน้ำมัน

2.26 ข้อควรระวังของพอลิสไตรีน

ข้อควรระวังของพอลิสไตรีน ประกอบด้วย

1) การใช้ภาชนะโฟมพลาสติก EPS ใส่อาหารที่ร้อน เช่นกาแฟร้อน การค้นกาแฟร้อนๆ ด้วยแท่งคนที่ทำจากพลาสติก EPS หรือการที่โฟมสัมผัสกับกรดเช่นน้ำมะนาว หรืออาหารที่มีวิตามินเอแล้วนำไปเข้าไมโครเวฟ ก็สามารถทำให้สไตรีนโมโนเมอร์ในโฟมพลาสติกละลายออกมาผสมในอาหารได้

2) การเผาโฟมพลาสติกโพลีสไตรีนทำให้เกิดก๊าซพิษสไตรีนออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของของมะเร็ง

3) การรีไซเคิลโฟมโพลีสไตรีนมีปัญหาในเรื่องไม่คุ้มทุนเป็นสำคัญ เนื่องจากคุณภาพของพลาสติกที่รีไซเคิลได้จะต่ำลงกว่าก่อนผ่านการรีไซเคิล ดังนั้นพลาสติกที่รีไซเคิลได้จึงไม่สามารถนำกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เดิมได้ ต้องทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ด้อยคุณภาพลงไป เช่นโฟมบรรจุอาหารไม่สามารถรีไซเคิลกลับมาใส่อาหารได้อีก ต้องนำไปทำเป็นโฟมกันกระแทก ฉนวนฝาผนังถาดในโรงอาหาร เป็นต้น ซึ่งการทำเช่นนี้ต้องใช้เพิ่มวัตถุดิบหรือต้นทุนด้านต่าง ๆ เข้าไปอีก (สรินทร, 2548)

2.27 แผ่นโฟม

โฟมจัดเป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา ส่วนมากอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นได้ดีภายในเนื้อมีรูฟองอากาศเต็มไปหมด ลักษณะทั่วไปคล้ายฟองน้ำธรรมชาติ พลาสติกที่นิยมนำมาทำโฟมมีทั้งประเภทเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิสไตรีน และพอลิเอทิลีน ประเภทเทอร์โมเซต ได้แก่ พอลิยูรีเทน ส่วนพลาสติกอื่นๆ ก็มีใช้อยู่บ้างแต่ไม่นิยม การผลิตพลาสติกให้เป็นโฟมแบ่งเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ

1) วิธีทางกายภาพ โดยการอัดอากาศเข้าไปในเนื้อพลาสติกโดยตรงในขณะผลิต เมื่อพลาสติกได้รับความร้อน อากาศจะขยายตัวดันเนื้อพลาสติกให้ฟูขึ้น และมีฟองอากาศเล็กๆ เต็มไปหมด เช่น การผลิตพอลิสไตรีนโฟม เป็นต้น

2) วิธีทางเคมี โดยการเติมสารบางชนิดที่สามารถสลายตัวให้ก๊าซบางอย่างได้เมื่อร้อน ทำนองเดียวกับการเติมผงฟูลงในเนื้อขนมปัง หรือโดยการเติมสารเคมีบางชนิด ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเนื้อพลาสติกแล้งเกิดก๊าซขึ้น วิธีนี้จะทำให้พลาสติกเกิดรูพรุนหรือฟองอากาศขนาดใหญ่ เช่น การผลิตพอลิยูรีเทนโฟม เป็นต้น (Donald, 1990; สรินทร, 2548)

2.28 สมมติฐาน

2.28.1 แผ่นโฟมอัดแน่น สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป แล้วทำให้น้ำหนักลดลงได้

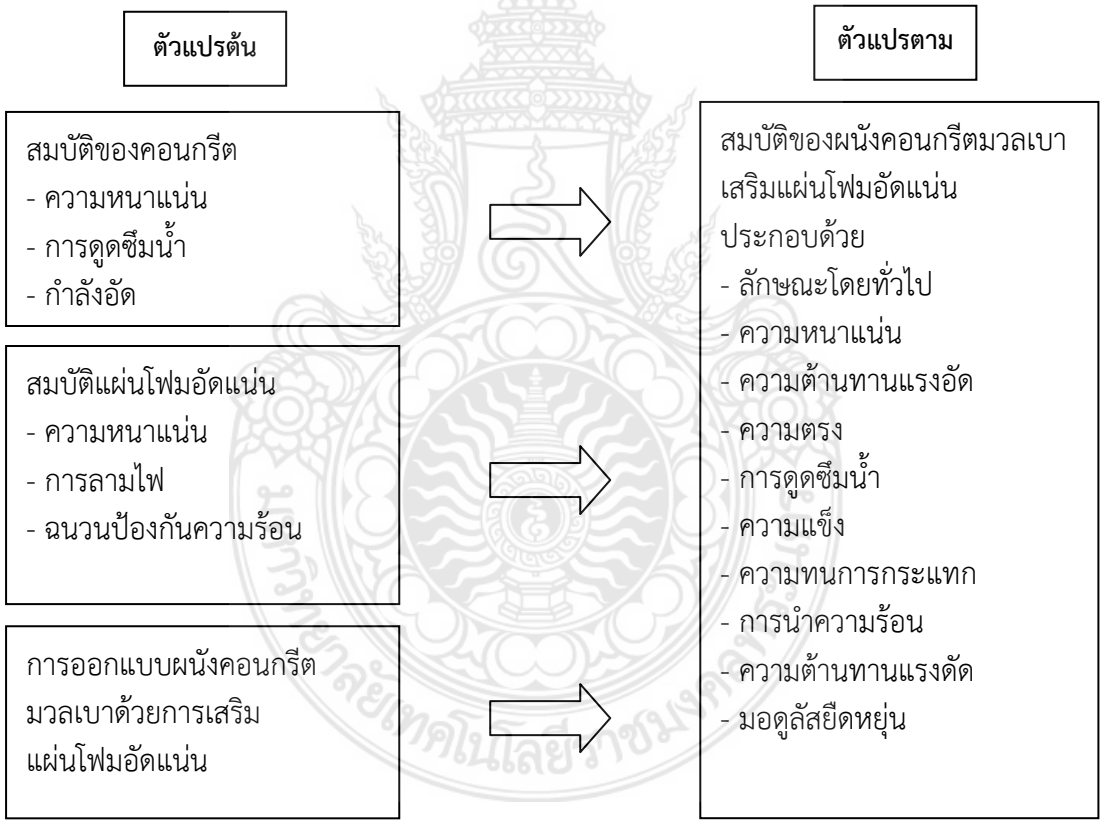
2.28.2 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีแผ่นโฟมอัดแน่น มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (มอก. 2226-2548) ร่วมกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ (มอก. 878-2532) ได้

2.28.3 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีแผ่นโฟมอัดแน่น มีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีกว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทั่วไป

2.28.4 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีแผ่นโฟมอัดแน่น เป็นที่สนใจของหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และประชาชนทั่วไป

2.29 กรอบแนวความคิด

กรอบแนวความคิดของโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน สามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ ดังนี้



รูปที่ 2.43 กรอบแนวความคิดของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

2.30 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ ดังนี้

จรัญพัฒน์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาและออกแบบผนังโฟมสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัว หรือ ICF (Insulating concrete forms) และประยุกต์ระบบการก่อสร้างขึ้นใช้สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ในการศึกษาได้ออกแบบผนัง ICF และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของผนัง

ศึกษาสูตรและคุณสมบัติของโฟม PVC (Poly vinyl chloride) ที่อาจใช้แทนโฟม EPS (Expanded poly styrene) เพื่อการผลิตผนัง ICF ออกแบบบ้านต้นแบบขึ้น 2 หลัง โดยใช้ชิ้นส่วนผนังและระบบการก่อสร้างที่ออกแบบขึ้น คำนวณโครงสร้างอาคาร และประมาณราคาค่าก่อสร้างบ้าน แล้วจึงวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของบ้านทั้ง 2 หลังเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus ผนัง ICF ที่ออกแบบขึ้นใช้เป็นแบบหล่อสำเร็จรูป (Panel system) มีขนาดแผ่นมาตรฐาน 1.20 X 1.20 X 0.18 เมตร (ความกว้าง x ความสูง x ความหนา) และมีช่องกลวงอยู่ภายในสำหรับใช้เทคอนกรีต (โครงสร้าง) ผลิตขึ้นจากโฟม EPS และใช้กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบบุเป็นวัสดุผิวสำเร็จทั้งสองด้าน ผลการทดลองสูตรโฟม PVC พบว่า สามารถต้านทานแรงอัดได้ดี แต่ยังมีค่าความหนาแน่นสูง และการใช้หัวขึ้นรูปแบบปลายเปิดที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถขึ้นรูปหรือจัดรูปของชิ้นงานโฟมให้มีรูปร่างที่แน่นอนได้ ส่วนผลการประมาณราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยของบ้าน ICF ชั้นเดียว และบ้าน ICF สองชั้นที่ออกแบบขึ้น พบว่ามีราคาสูงกว่าของบ้านทั่วไป 1.9% และ 7.6% ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์พลังงาน พบว่าในกรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงกลางคืนเป็นส่วนใหญ่ บ้าน ICF ชั้นเดียวและบ้าน ICF สองชั้น จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้ 7.4% และ 5.9% ตามลำดับ

กมล และคณะ (2545) ได้ทดลองนำโฟมชนิดโพลีสไตรีน ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน มีน้ำหนักเบาและราคาถูก มาใช้ร่วมกับผนังยิปซัมบอร์ดเพื่อลดการรบกวนของเสียง การทดลองสร้างเป็นกล่องเก็บเสียงจำนวน 2 กล่อง ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงในกล่องเก็บเสียงกล่องที่ 1 และติดตั้งไมโครโฟนมาตรฐานซึ่งมีความไวในการรับค่าคลื่นเสียงในกล่องเก็บเสียงกล่องที่ 2 ส่วนผนังยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. ขนาด 0.60 ม. x 0.60 ม. พร้อมโครงคร่าวเหล็กอาบสังกะสีขนาด 3 นิ้ว อยู่ตรงกลางระหว่างกล่องเก็บเสียงที่ 1 และ 2 ทำการส่งคลื่นเสียงแบบ pink noise จากแหล่งกำเนิดเสียง ให้ผ่านผนังยิบซั่มบอร์ดเข้าสู่เครื่องรับซึ่งเป็นไมค์มาตรฐานที่อยู่ในกล่องเก็บเสียง กล่องที่ 2 รับค่าคลื่นเสียงที่ได้ และตัวแปรที่นำมาใช้ทดลองประกอบไปด้วย โฟมที่ความหนา 1 นิ้ว 2 นิ้ว 3 นิ้ว โฟมเม็ด และ ฉนวนใยแก้ว ผลปรากฏว่า โฟมที่ความหนา 1 นิ้วจะสามารถป้องกันเสียงได้ดีกว่าโฟมที่ความหนา 2 นิ้ว 3 นิ้ว โฟมเม็ดและฉนวนใยแก้ว และสัดส่วนของโฟมกับปริมาณอากาศในโครงคร่าวผนังจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันเสียง โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ โฟม 1 ส่วน ต่อ อากาศ 2 ส่วน

สกนธ์ (2545) ได้พัฒนาระบบผนังโฟมที่มีคุณสมบัติในการลดความร้อนได้ดี โดยใช้ผนังโฟมที่ใส่ฉนวนหนา 2 นิ้ว ไว้นอกช่องคร่าว และอยู่ด้านนอกอาคาร โดยทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการลดความร้อนของผนังโฟม ได้แก่ ตำแหน่งการใส่ฉนวนโฟมที่โครงสร้างผนัง ขนาดพื้นที่ของช่องระบายอากาศที่ผนังชั้นนอก และความหนาของฉนวนโฟม พบว่า ผนังที่ใส่โฟมนอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคารจะลดความร้อนได้ดีที่สุด การเจาะช่องระบายอากาศไม่สามารถช่วยลดความร้อนได้อย่างชัดเจน แต่การเพิ่มพื้นที่เจาะช่องอากาศเป็น 100% มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงต่ำกว่าผนังแบบปิด และการเพิ่มความหนาของโฟมจาก 2 นิ้ว เป็น 4 นิ้ว สามารถลดอุณหภูมิได้มากยิ่งขึ้น

รังสี และคณะ (2553) ได้นำโฟมซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยมีส่วนผสม คือ หินฝุ่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 และน้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นนำโฟม 3 ขนาด คือ 1 – 2 มิลลิเมตร, 2 – 4 มิลลิเมตร, และ 4 – 6 มิลลิเมตร มาเป็นส่วนผสมใน 3 อัตราส่วน ของแต่ละขนาด คือ โฟม: หินฝุ่น: ปูนซีเมนต์ เป็น 0.5: 5.5: 1.5, 1.0: 5.0: 1.5 และ 1.5: 4.5: 1.5 ตามลำดับ เมื่อผลิตคอนกรีตบล็อกออกมาแล้วนั้น มีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก. 58-2533 และเมื่อนำมาทดสอบค่าการนำความร้อน พบว่า เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ โฟม: หินฝุ่น: ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5: 5.5: 1.5 โดยใช้ขนาดของเม็ดโฟม คือ 4 – 6 มิลลิเมตร

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานภาครัฐอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) ทรายละเอียด

3) น้ำประปา

4) แผ่นโฟม EPS (Expanable Polystyrene) ความหนาแน่นสูง ชนิดป้องกันการลามไฟ ที่มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต หรือ 20.023 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาด 1.20 x 0.60 เมตร หนา 2.5 นิ้ว หรือ 6.4 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง ชนิดป้องกันการลามไฟ

5) เหล็กเส้นกลม เกรด SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 การตัดเหล็กเส้นกลม เกรด SR24 ให้มีความยาวตามต้องการ

6) เหล็กตะแกรง ขนาด # 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.81 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เหล็กตะแกรง ขนาด # 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.81 มิลลิเมตร

7) เหล็กฉาก ขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การตัดเหล็กฉาก ขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ให้มีความยาวตามต้องการ

8) เครื่องผสมคอนกรีต

9) เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

10) เตาอบปรับอุณหภูมิได้ ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เตาอบปรับอุณหภูมิได้

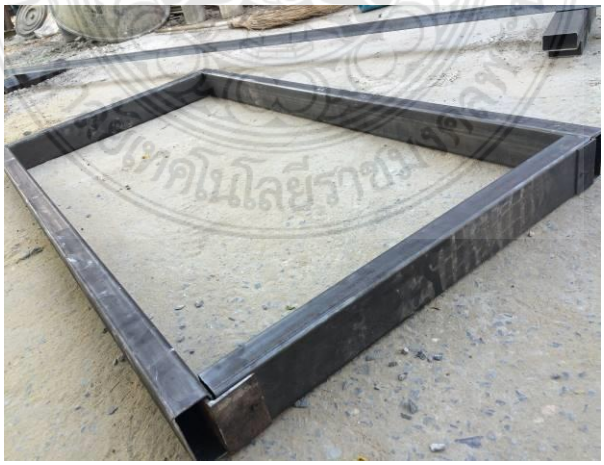
11) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล

12) แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก

13) แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 120 x 60 x 11.4 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.10

รูปที่ 3.8 การเตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 3.9 แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

รูปที่ 3.10 การถอด-ประกอบแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

14) แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 30 x 30 x 11.4 เซนติเมตร
15) แท่นทดสอบความทนการกระแทก ดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.14

รูปที่ 3.11 แท่นทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.12 อุปกรณ์วัดมุมของแท่นทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.13 ตุ้มน้ำหนักสำหรับแท่นทดสอบความทนการกระแทก

16) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และตลับเมตรสำหรับวัดขนาด ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์สำหรับวัดขนาด

17) แท่นทดสอบความแข็ง

18) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

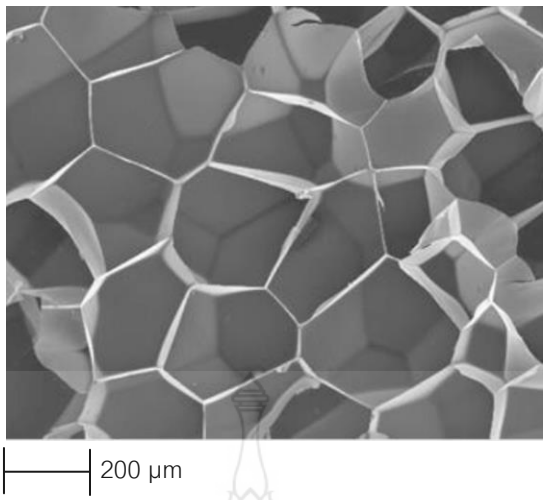
19) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.2 การเตรียมวัสดุในการทำวิจัย

1) ทำการตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของแผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง โดยพบว่า ความหนาแน่นของแผ่นโฟม มีค่าเท่ากับ 1.25 ปอนด์ต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต หรือ 20.023 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 การชั่งน้ำหนักโฟมแผ่นเพื่อหาความหนาแน่น

2) นำแผ่นโฟม EPS ชนิดความหนาแน่นสูงไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อตรวจดูอสัณฐาน ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผ่นโฟม EPS ชนิดความหนาแน่นสูงที่ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

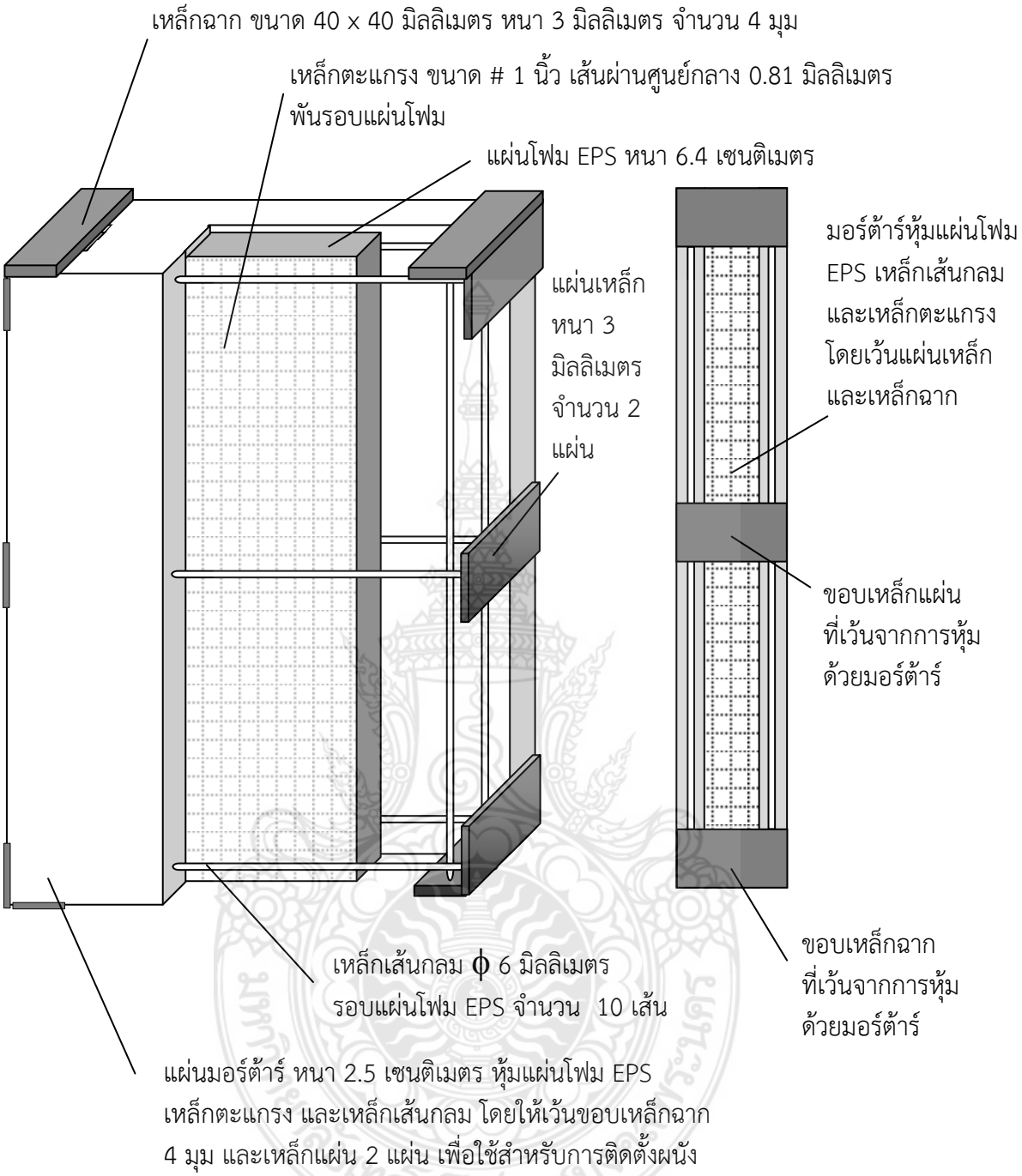
3.3 การออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการรับแรงอัด และหุ้มแผ่นโฟม EPS ไว้ จำนวน 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นมอร์ต้าร์สำหรับหุ้มโฟม EPS

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	ทรายละเอียด	น้ำประปา
M2	1	2	0.5
M2.5	1	2.5	0.5
M3	1	3	0.5
M3.5	1	3.5	0.5
M5	1	4	0.5

2) ทำการออกแบบตำแหน่งของแผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง พื้นผิวผนังสำเร็จรูปด้านนอก และตำแหน่งการเสริมเหล็กเพื่อให้ผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมีความแข็งแรง ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

3.4 การขึ้นรูปผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทำการพันแผ่นโฟม EPS ตามขนาดที่กำหนด ด้วยเหล็กตะแกรงจนรอบแผ่นโฟม

2) เชื่อมเหล็กเส้น เหล็กแผ่น และเหล็กฉาก ตามที่ออกแบบตามรูปที่ 3.18 โดยเว้นให้มีช่องว่างสำหรับใส่แผ่นโฟม EPS ก่อนทำการเชื่อมเหล็กครอบแผ่นโฟม EPS ที่พันด้วยเหล็กตะแกรงแล้วทุกด้าน ดังรูปที่ 3.19 ถึง 3.22

รูปที่ 3.19 การเชื่อมเหล็กฉากและเหล็กแผ่นเข้ากับเหล็กเส้นด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 3.20 การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านตั้ง

รูปที่ 3.21 การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านนอน

รูปที่ 3.22 การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านข้าง

รูปที่ 3.23 แนวเหล็กส่วนกลางของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

3) เตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีต และเทมอร์ต้าร์เพื่อรองแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้แล้ว ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25

รูปที่ 3.24 การเตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.25 การเทมอร์ต้าร์เพื่อติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่น

4) กดแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้แล้วให้ได้ระดับ ดังรูปที่ 3.26 ถึง 3.28

รูปที่ 3.26 การวางแผ่นโฟมอัดแน่นลงบนมอร์ต้าร์สำหรับขึ้นรูปผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

รูปที่ 3.27 การกดแผ่นโฟมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาให้ได้ระดับ

รูปที่ 3.28 ระดับของแผ่นโฟมอัดแน่นตามแนวของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

5) ทยอยเทมอร์ต้าร์เพื่อหุ้มแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้ โดยเริ่มจากบริเวณขอบ แล้วจึงเทต่อไปจนมอร์ต้าร์หุ้มทั่วแผ่น และทำการฉาบผนังให้เรียบ ดังรูปที่ 3.29 ถึง 3.36

รูปที่ 3.29 การเริ่มเทมอร์ต้าร์ลงในขอบของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.30 การเทมอร์ต้าร์ลงในมุมของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.31 การเกลี่ยมอร์ต้าร์ให้ลงในขอบของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.32 การเทมอร์ต้าร์ลงบนแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.33 การหุ้มมอร์ต้าร์ให้ทั่วแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.34 การฉาบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเบื้องต้น

รูปที่ 3.35 การฉาบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เรียบ

6) รอคอนกรีตเซ็ตตัวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำแผ่นผนังคอนกรีตที่เซ็ตตัวแล้วมาวางซ้อนกัน เพื่อรอการทดสอบหรือนำไปใช้งานต่อไป ดังรูปที่ 3.36 ถึง 3.38

รูปที่ 3.36 การรอผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เซ็ตตัว

รูปที่ 3.37 การกองรวมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อบ่มในอากาศ

รูปที่ 3.38 กองผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับนำไปทดสอบ

3.5 การทดสอบสมบัติของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2) ทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับใช้เป็นพื้นผิวผนังด้านนอกทั้งสองด้าน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน ดังรูปที่ 3.39 และ 3.40

รูปที่ 3.39 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก
ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

รูปที่ 3.40 แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

3) ทดสอบความตรงของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.41

รูปที่ 3.41 การทดสอบความตรงของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

4) ทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.42 ถึง 3.44

รูปที่ 3.42 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกด้วยการแช่ลงในน้ำ

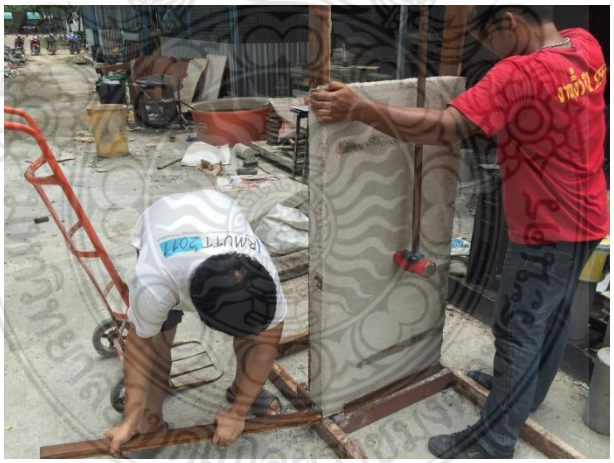
รูปที่ 3.43 แท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่แช่ลงในน้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.44 การชั่งน้ำหนักแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

5) ทดสอบความแข็งแรง (Partition Stiffness) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.45

รูปที่ 3.45 การทดสอบความแข็งแรงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

6) ทดสอบความทนการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้วัสดุแข็งขนาดเล็ก (ตุ้มน้ำหนัก) และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ (กระสอบทราย) เป็นวัสดุในการกระแทกได้ ดังรูปที่ 3.46 ถึง 3.52



รูปที่ 3.46 การวางแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ลงบนแท่นทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.47 การวางตำแหน่งของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สำหรับทดสอบความทนการกระแทก

รูปที่ 3.48 การวัดมุมการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.49 การยกวัสดุแข็งขนาดเล็กเพื่อปล่อยกระแทกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นในการทดสอบความทนต่อการกระแทก

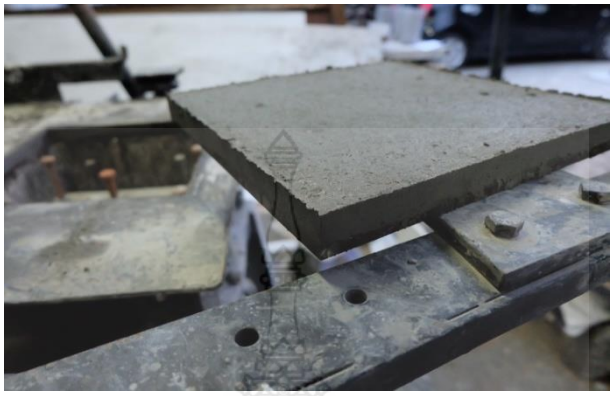
รูปที่ 3.50 การปล่อยวัสดุแข็งขนาดเล็กให้กระแทกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทก

รูปที่ 3.51 การใช้วัสดุนุ่มขนาดใหญ่สำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 3.52 การใช้วัสดุนุ่มขนาดใหญ่กระแทกลงบนแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทก

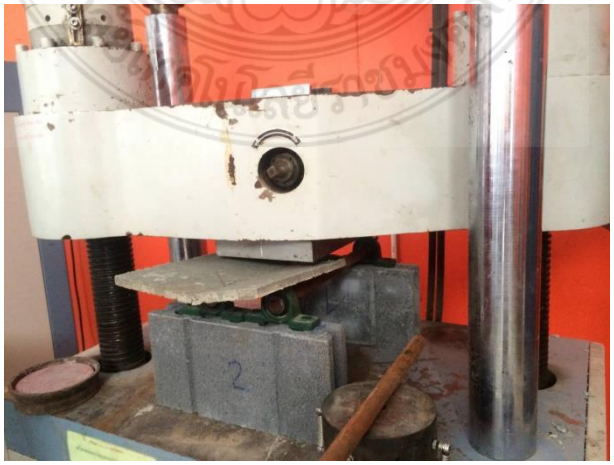
7) ทดสอบความหนาแน่นของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

8) ทดสอบความต้านทานแรงดัดแผ่นมอร์ต้าร์ ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน ดังรูปที่ 3.53 ถึง 3.55



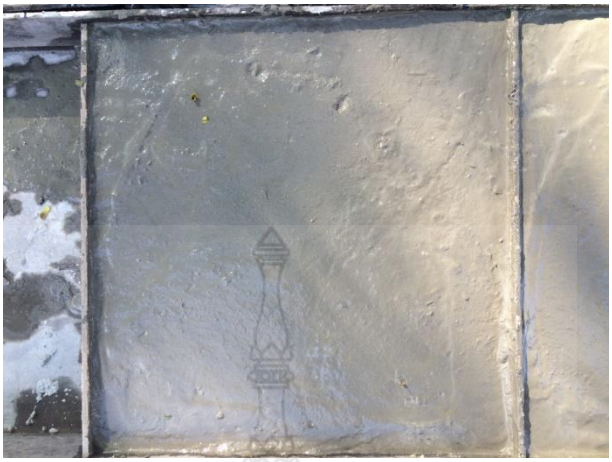
รูปที่ 3.53 ลักษณะแผ่นมอร์ต้าร์สำหรับทำการทดสอบความต้านทานแรงดัด

รูปที่ 3.54 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์



รูปที่ 3.55 การวิบัติของแผ่นมอร์ต้าร์จากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

10) ทดสอบสภาพการนำความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเสริมแผ่นโฟม ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 11.4 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 177-10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเสริมแผ่นโฟมขนาดเล็กสำหรับทดสอบสภาพการนำความร้อน

3.6 การทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ทำการทดสอบใช้งานของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการก่อสร้างผนังจำลอง โดยทำการเรียงและเชื่อมเป็นผนัง ขนาด 3 x 2.4 เมตร พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูล และตรวจพินิจลักษณะผนังที่ก่อสร้าง

3.7 การยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

ทำการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา ประเภทอนุสิทธิบัตร ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.8 การเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่

ทำการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ลงในการประชุมวิชาการหรือวารสาร ระดับชาติหรือนานาชาติ

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

สำหรับผลการดำเนินการวิจัยภายใต้โครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน” สามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยทำการตรวจพินิจความสมบูรณ์ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในด้านไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว และไม่มีตำหนิที่มีผลเสียต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3

รูปที่ 4.1 ขอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่บางแผ่นอาจมีน้ำปูนแข็งตัวซึ่งก็สามารถกะเทาะออกไปได้

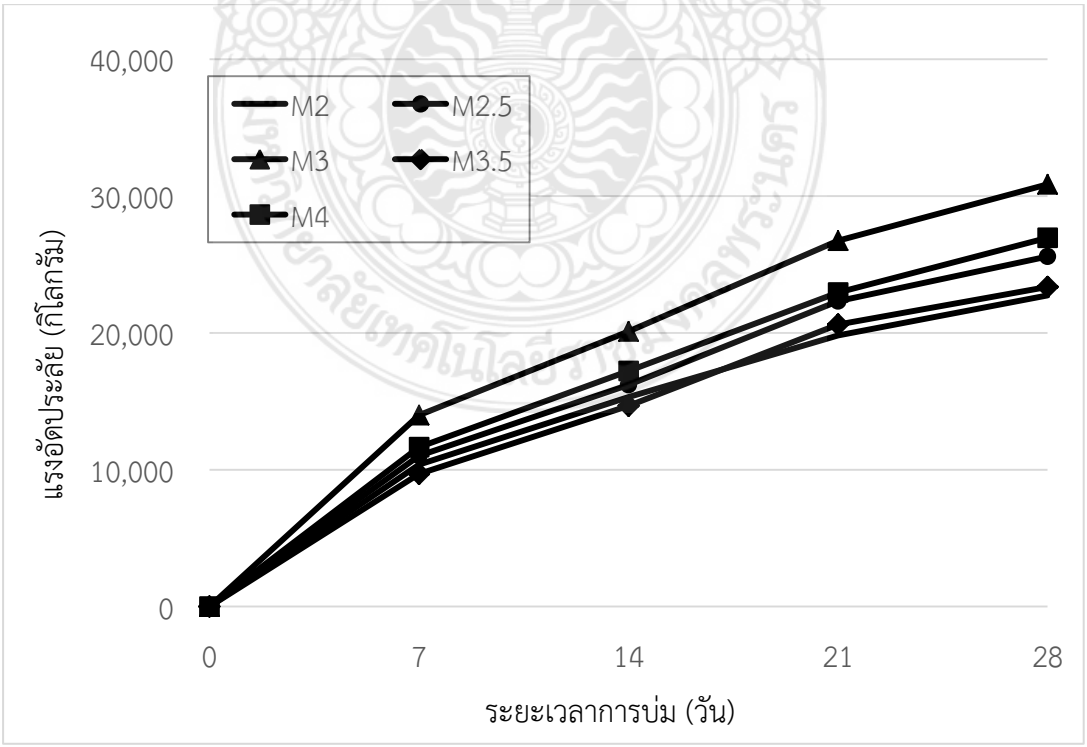
รูปที่ 4.2 การวัดขนาดของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยตลับเมตร

รูปที่ 4.3 การวัดขนาดของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

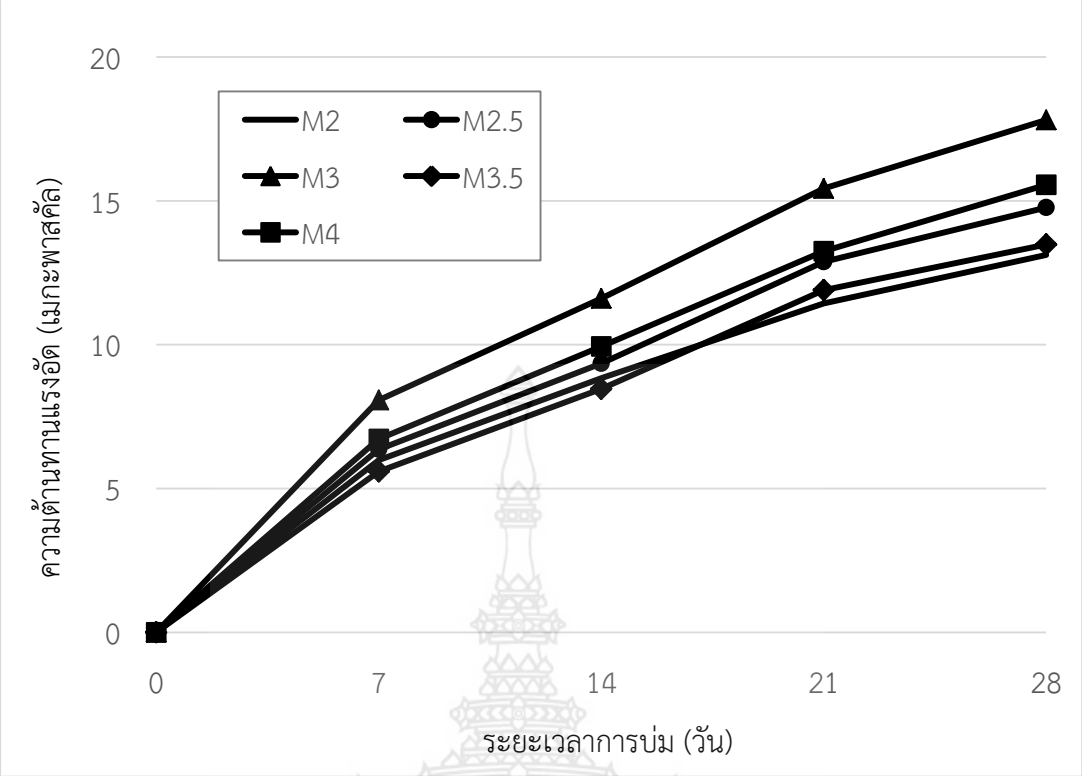
จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 พบว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ใช้อัตราส่วนของแผ่นมอร์ต้าร์ ทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว ไม่มีการบิดเบี้ยว และไม่มีตำหนิ ในทุกๆ อัตราส่วน

4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาประกอบการเลือกอัตราส่วนของมอร์ต้าร์ที่นำมาใช้เป็นพื้นผิวหุ้มแผ่นโฟมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป จำนวน 5 อัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แรงอัดประลัยของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่มต่างๆ



รูปที่ 4.5 ความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า อัตราส่วน M3 เป็นแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่มีค่าแรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน M4, M2.5, M3.5 และอัตราส่วน M2 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดคละและปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ปริญญา และชัย, 2551) ทำให้แท่งมอร์ต้าร์มีค่าความต้านทานแรงอัดแตกต่างกัน ทั้งนี้ เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) พบว่า มอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด กล่าวคือ มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 16 เมกะพาสคัล และมอร์ต้าร์อัตราส่วน M4 มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน

4.3 ผลการทดสอบความตรง

ทดสอบความตรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยการสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนังที่วางตาม ลักษณะการใช้งานจริง ซึ่งใช้ระยะจุดรองรับ 100 เซนติเมตร และการโก่งไปจากแนวตรงด้านข้างต้องมีค่าไม่เกินกำหนด L/480 หรือ 100 เซนติเมตร/480 หรือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.7 และตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.6 การขึงเส้นเอ็นในการวัดค่าการโก่งตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

รูปที่ 4.7 การวัดค่าการโก่งตัวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากระดับอ้างอิง

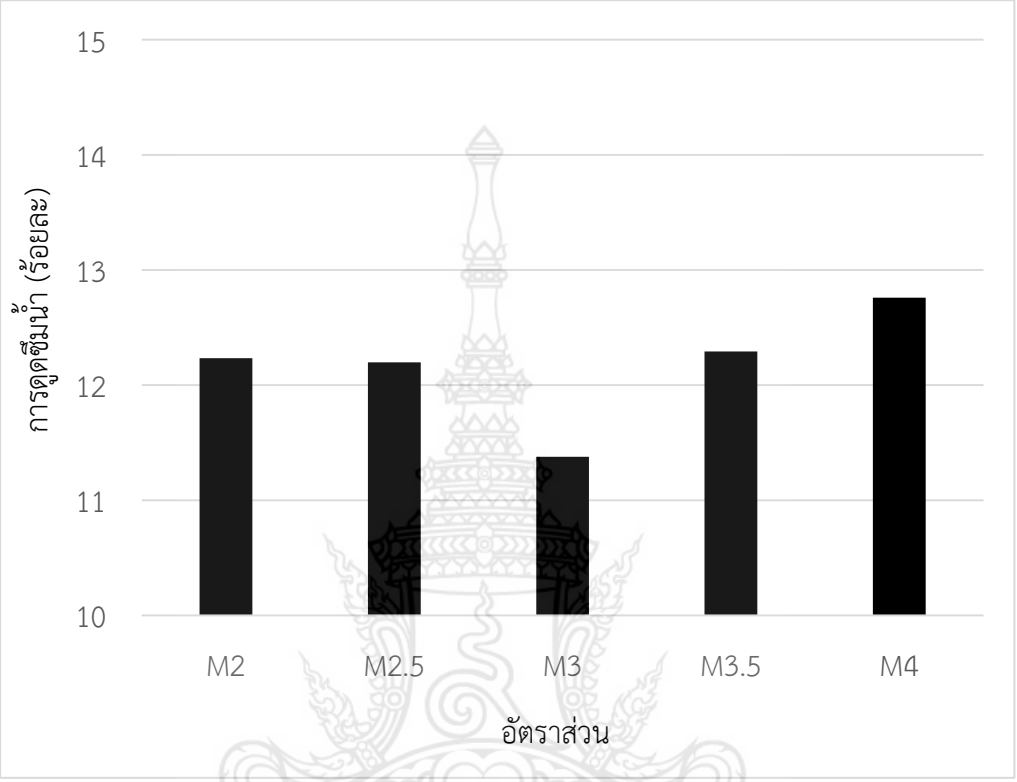
ตารางที่ 4.1 ความตรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

อัตราส่วน	การโก่งตัว (มิลลิเมตร)	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน
M2	0	ผ่าน
M2.5	0	ผ่าน
M3	0	ผ่าน
M3.5	0	ผ่าน
M4	0	ผ่าน

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วนไม่มีการโก่งตัวภายหลังจากการวางผนังตามแนวการใช้งาน ซึ่งแสดงว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีคุณสมบัติด้านความตรงผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด คือผนังทั้งหมดมีการโก่งตัวต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากค่าการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกในรูปที่ 4.8 พบว่า แท่งมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นมอร์ต้าร์ที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน M2.5, M2, M3.5 และ M4 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) แสดงว่าแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานดังกล่าวกำหนด

4.5 ผลการทดสอบความแข็งแรง

ผลการทดสอบความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นจากการวัดค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้างทุกอัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วน

อัตราส่วน	ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน
M2	ผ่าน
M2.5	ผ่าน
M3	ผ่าน
M3.5	ผ่าน
M4	ผ่าน

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วน สามารถผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 ประเภทที่ 1 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) ซึ่งต้องการให้มีค่าการโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และการโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

4.6 ผลการทดสอบความทนการกระแทก

ผลการทดสอบความทนการกระแทกของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้งความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
M2	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M2.5	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3.5	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4.4 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
M2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M2.5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3.5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กได้เพียงประเภทที่ 1 อาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) แต่สามารถทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD)

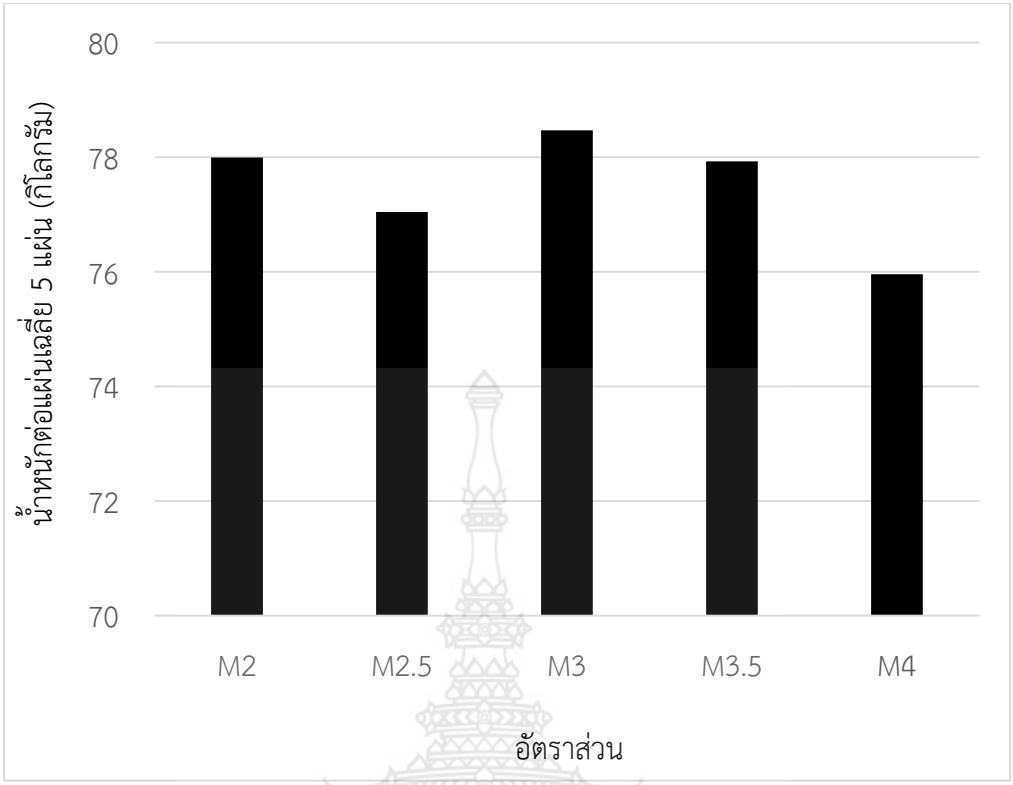
ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ซึ่งตัวอย่างของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่เกิดความเสียหายจากการกระแทกมีดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

รูปที่ 4.9 ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุแข็งขนาดเล็กกระแทกจนเกิดรอยยุบ

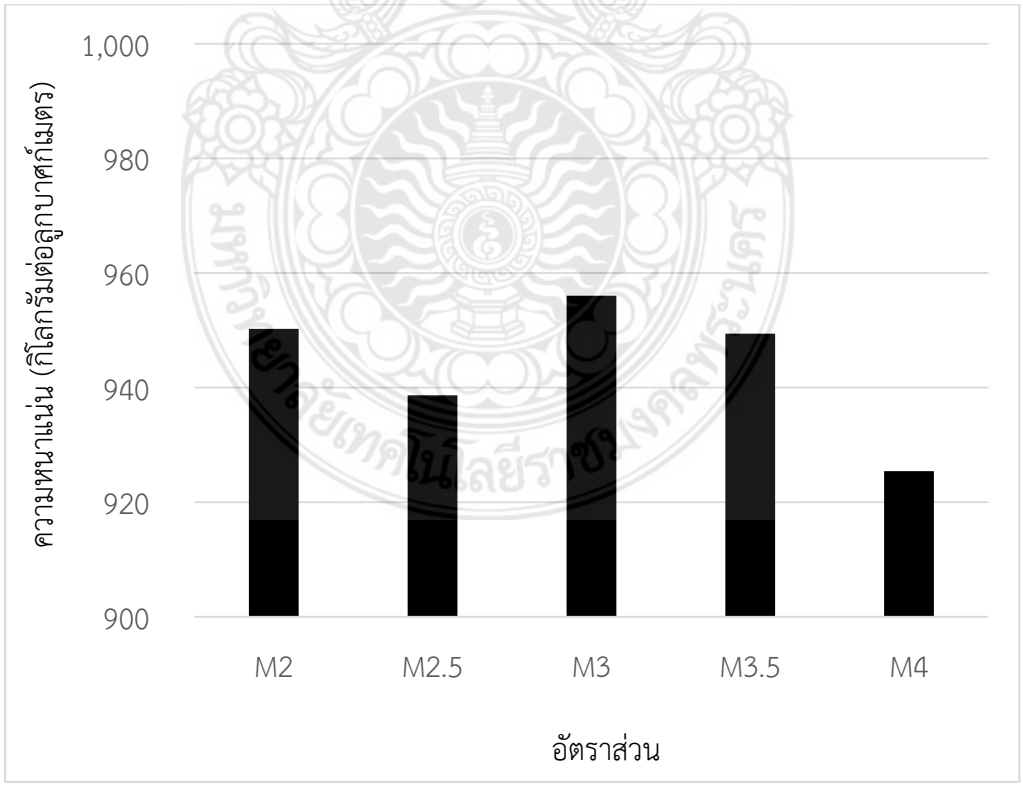
รูปที่ 4.10 ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุนุ่มขนาดใหญ่กระแทกจนเกิดรอยร้าว

4.7 ผลการทดสอบความหนาแน่น

จากการชั่งน้ำหนักและหาค่าความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 น้ำหนักต่อแผ่นเฉลี่ย 5 แผ่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

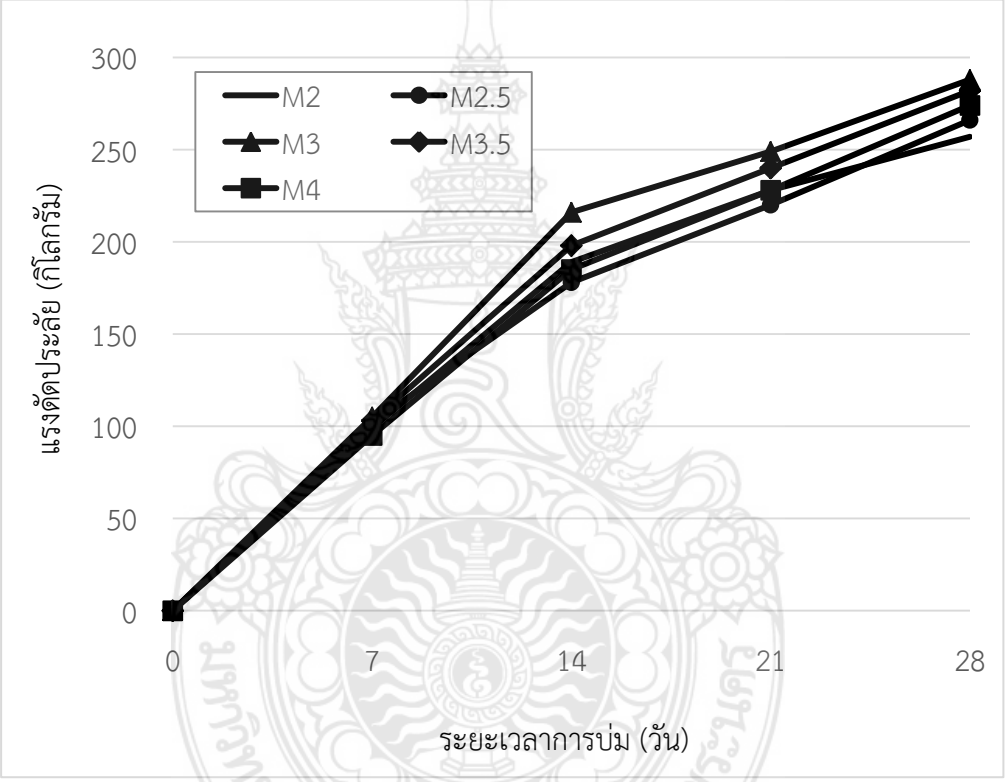


รูปที่ 4.12 ความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

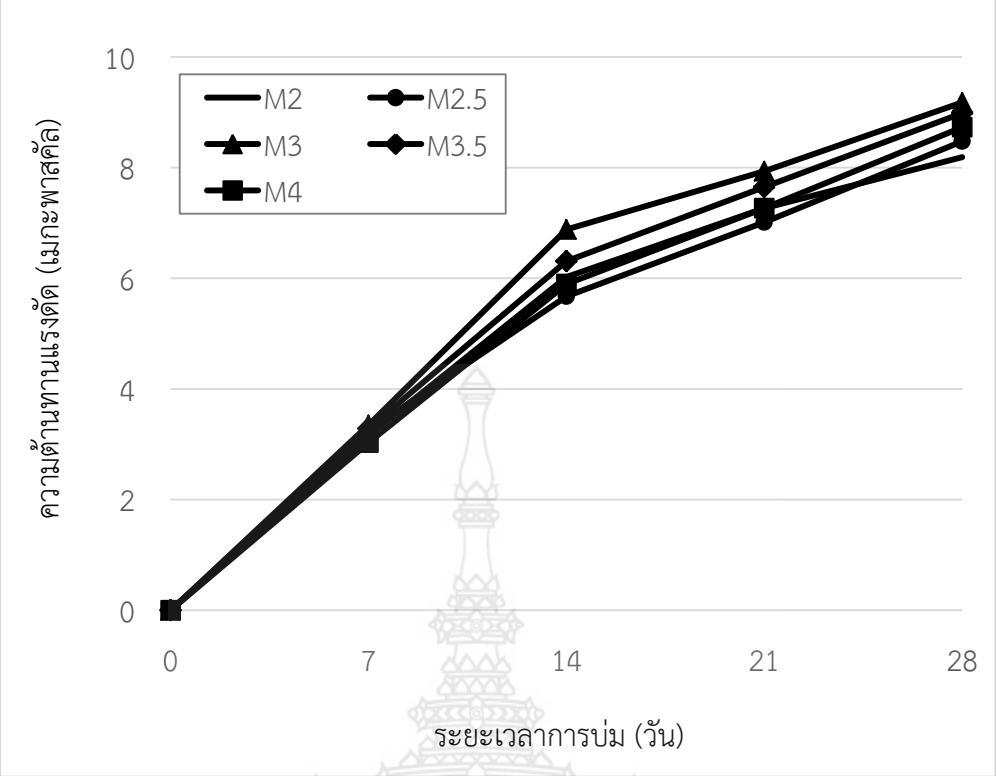
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่า น้ำหนักต่อแผ่นและความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วนมีน้ำหนักและความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยมีน้ำหนักต่อแผ่นประมาณ 75.96 – 78.47 กิโลกรัมต่อแผ่น หรือความหนาแน่น เท่ากับ 925.42 ถึง 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเบากว่าผนังคอนกรีตทั่วไปที่มีความหนาแน่น 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ปริญญาและชัย, 2551)

4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด

สำหรับผลจากการนำแผ่นมอร์ต้าร์ ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ไปทดสอบความต้านทานแรงดัดหรือโมดูลัสการแตกหัก ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 (สมอ., 2537) โดยสามารถสรุปเป็นค่าแรงดัดประลัย และความต้านทานแรงดัดได้ ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 แรงดัดประลัยของแผ่นมอร์ต้าร์ที่อายุการบ่มต่างๆ

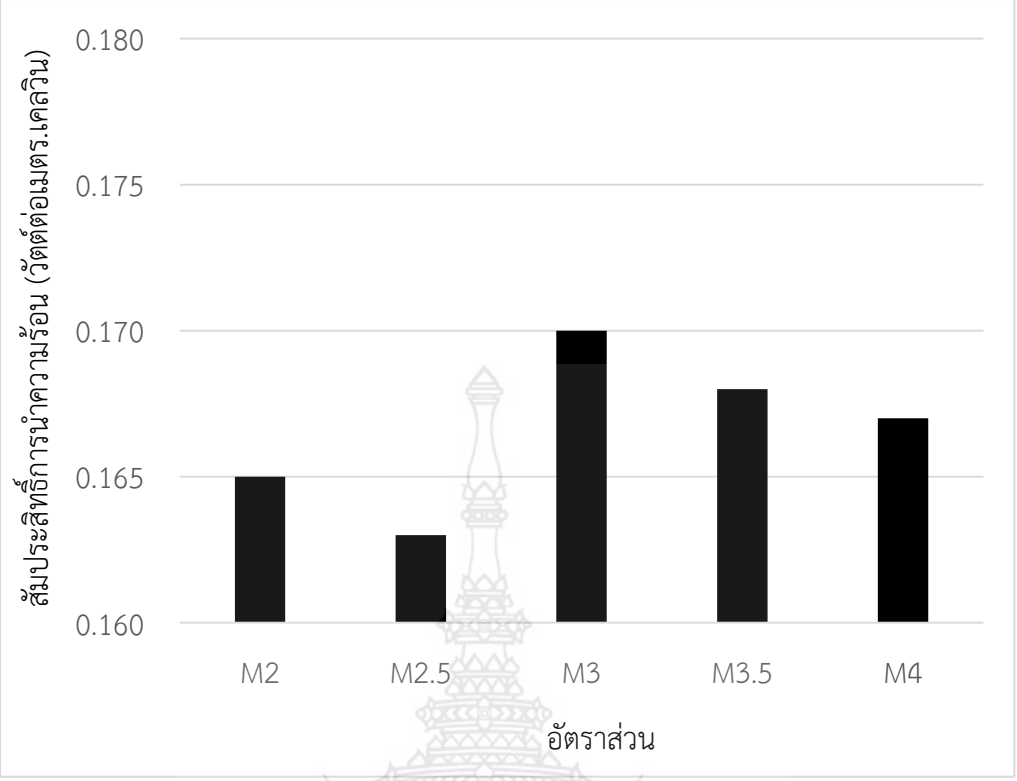


รูปที่ 4.14 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงค่าแรงดัดประลัย และความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์ พบว่า แผ่นมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงดัดประลัยและความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน M4, M2.5, M3.5 และอัตราส่วน M2 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงดัดประลัยและความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 (สมอ., 2537) พบว่า แผ่นมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 และ M3.5 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่า 9 เมกะพาสคัล

4.9 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน

สภาพการนำความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 7.81 เซนติเมตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.15 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ทั้ง 5 อัตราส่วน มีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.163 ถึง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ซึ่งต่ำกว่าผนังทั่วๆ ไป ได้แก่ ผนังอิฐมอญแบบก่อครึ่งแผ่นมีค่า**ค่า**สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.473 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน อิฐมอญเต็ม เท่ากับ 0.473 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 0.519 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 เห็นได้ว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีสภาพการนำความร้อนเป็นไปตามมาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (สมอ., 2537) ซึ่งเป็นผลมาจากโฟมเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี (ธนัญชัย และคณะ , 2549; Engineering Toolbox, 2016)

4.10 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 ถูกนำมาใช้ทดลองก่อสร้างเป็นผนังอาคาร ขนาด 3 x 2.4 เมตร ดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.33

รูปที่ 4.16 การตั้งเสาเหล็กเพื่อติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 4.17 การเรียงผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเข้ากับเสาเหล็ก

รูปที่ 4.18 การจัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้ได้ระดับ

รูปที่ 4.19 การจัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เข้ามุม

รูปที่ 4.20 การตรวจสอบแนวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยระดับน้ำ

รูปที่ 4.21 การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นชั่วคราว

รูปที่ 4.22 การตัดแต่งผิวของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 4.23 การติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นแผ่นต่อไป

รูปที่ 4.24 การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทั้งสองแผ่นให้ยึดติดกัน

รูปที่ 4.25 การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เข้ากันสนิท

รูปที่ 4.26 การยกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมาติดตั้งต่อไป

รูปที่ 4.27 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกเชื่อมติดกัน

รูปที่ 4.28 การวางแนวการตัดแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เล็กลง

รูปที่ 4.29 การตัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเครื่องตัดคอนกรีตแบบมือถือ

รูปที่ 4.30 ลักษณะการตัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้มีขนาดเล็ก

รูปที่ 4.31 ผนังจำลองที่ก่อสร้างด้วยผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 4.32 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นก่อนการฉาบร่อง

รูปที่ 4.33 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นภายหลังจากการฉาบร่อง

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.16 ถึง 4.33 พบว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 สามารถก่อสร้างเป็นผนังขนาด 3 x 2.4 เมตร ได้ โดยใช้วิธีเชื่อมขอบของผนังแต่ละ

แผ่นด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า และใช้ปูนฉาบปิดร่องรอยเชื่อมของผนังให้มีความเรียบและสมบูรณ์ได้โดยไม่การแตกร้าว

4.11 ผลการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

ทำการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา ประเภทอนุสิทธิบัตร ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เรื่อง กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

4.12 ผลการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่

ทำการเขียนบทความวิจัย เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน สำหรับเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ หรือการประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ

บทที่ 5
สรุป และข้อเสนอแนะ

ผลการดำเนินโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน” สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุป

สำหรับผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ สามารถสรุปแบ่งเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

5.1.1 กระบวนการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถทำได้โดยการพันเหล็กตะแกรงรอบแผ่น การติดตั้งเหล็กแผ่นและเหล็กเส้นครอบแผ่นโฟม และการเทมอร์ต้าร์หุ้มแผ่นโฟม ได้ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับนำไปใช้งานต่อไป

5.1.2 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่เหมาะสมที่สุด คือ ผนังคอนกรีตอัตราส่วน M3 ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ทรายละเอียด: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ประเภทที่ 1 อาคารที่อยู่อาศัย กำหนด

5.1.3 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 มีคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ได้แก่ ลักษณะทั่วไปไม่บิดเบี้ยวไม่มีรอยร้าว ความต้านทานแรงอัด 17.81 เมกะพาสคัล การวางผนังตามลักษณะการใช้งานจริงไม่ทำให้เกิดการโก่งตัว การดูดซึมน้ำร้อยละ 11.38 ความแข็งและความทนการกระแทกผ่านมาตรฐานผนังอาคารประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยทั่วไป มีความหนาแน่น 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความต้านทานแรงดัด 9.18 เมกะพาสคัล และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเพียง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน

5.1.4 การใช้งานผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถยกโดยแรงงานคนเพียง 1 – 2 คน และติดตั้งได้โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าในบริเวณระหว่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละแผ่น แล้วจึงฉาบปิดรอยเชื่อมด้วยปูนฉาบทั่วไป ได้ผนังที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ก่อสร้างเร็ว และมั่นคงแข็งแรง

5.1.5 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้กับผู้สนใจสามารถทำได้โดยการขอรับอนุสิทธิบัตรเรื่อง กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น และเขียนบทความวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ หรือการประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ในครั้งต่อๆ ไป ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของความหนาแน่นของโฟม และความหนาที่เหมาะสมของแผ่นโฟม เพื่อให้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กมล กาญจนรุจี, โสภาพรรณ แสงศัพท์, และสิงห์ อินทรชูโต, 2545. การใช้โฟมร่วมกับผนังยิปซัมบอร์ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเสียง, บทความวิจัยของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, ปรีชญา มหัทธนทวี, จันทร์ฉาย ทองปิ่น, ดรุณี มงคลสวัสดิ์, ขวัญชัย โรจนกนันท์, และองอาจ หุดากร, 2554. การศึกษาและออกแบบผนังโฟมสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัวเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม, วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับภาษาไทย, ปีที่ 31 ฉบับที่ 1.

ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521. เสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ พันธุดา พุฒิไพโรจน์ วรธรรม อุ่นจิตติชัย และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 3(4): 119 - 126.

ปุญญานิช อินทรพัฒน์, 2551. เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาคริโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนตเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2551. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 5, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐาน, กรุงเทพฯ. 369 หน้า.

ประสาน ศรีศุภชัยยา, 2539. สภาพปัจจุบันและความคาดหวังเกี่ยวกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวและถาวรของผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

รังสี มหาลา, วรเชษฐ์ ยอดศิลารักษ์, และวัชชิระ อัตธิปา, 2553. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงาน, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิสุทธิ์ แก้วสกุล, 2551. เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท.วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์, 2545. การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

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

สมเกียรติ ฐิติภูมิเดชา, 2556. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาวัสดุวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สรินทร ลิ่มปนาท, 2548. มารู้จักกับโฟมพอลิสสไตรีนกันดีกว่า, แหล่งที่มา http//www.material.chula.ac.th/radio45/November/radio11-1.htm 20 พฤษภาคม 2549.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2537. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2537) เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

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

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.

Donald V.Rosato, 1990. Plastic processing data handbook.

Engineering Toolbox, 2016. Thermal Conductivity of some common Materials and Gases. [Online] Available on: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (25 September 2016).

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

Jesse Edenbaum, 1992. Plastics additives and modifiers handbook, New York: Van Nostrand Reinhold, p.95–101.

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

ภาคผนวก

ก มาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป
ข มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง
ค ร่างคำขอรับอนุสิทธิบัตร
ง ร่างบทความสำหรับเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2226 – 2548

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

PRECAST CONCRETE WALL PANELS

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.060.10

ISBN 974-9903-60-9

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

มอก. 2226 – 2548

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3330

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

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

ปัจจุบันมีการทำและใช้แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในงานก่อสร้างอาคารกันมากขึ้น หากผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและเป็นแนวทางในการทำจึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากผู้ทำภายในประเทศและเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

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

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3380 (พ.ศ. 2548)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

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

ประกาศ ณ วันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2548

วัฒนา เมืองสุข

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

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)

4. ประเภท

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 4 ประเภท คือ

4.1 ประเภท 1 ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (light duty) สัญลักษณ์ LD

4.2 ประเภท 2 ใช้สำหรับอาคารสำนักงาน (medium duty) สัญลักษณ์ MD

4.3 ประเภท 3 ใช้สำหรับอาคารสาธารณะและอาคารอุตสาหกรรม (heavy duty) สัญลักษณ์ HD

4.4 ประเภท 4 ใช้สำหรับอาคารอุตสาหกรรมหนัก (severe duty) สัญลักษณ์ SD

5. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

5.1 มิติ

5.1.1 ความกว้างและความยาว

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ (drawing) เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 1

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.1

5.1.2 ความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 1

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.2

5.1.3 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนดไว้ในแบบ โดยพื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนดไว้ในแบบ

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.3

5.1.4 เปลือกและผนังกั้นโพรง

ความหนาของเปลือกและผนังกั้นโพรงต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของระยะช่องว่างระหว่างผนังกั้นโพรงที่มีค่ามากที่สุด และต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.1.4

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 5.1.1 และ ข้อ 5.1.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความหนา	± 6
ความกว้าง	± 6
ความยาว	± 12

6. วัสดุ

6.1 วัสดุประสาน

6.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นไปตาม มอก.15 เล่ม 1 หรือ

6.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ให้เป็นไปตาม มอก.80

6.2 มวลผสม ให้เป็นไปตาม มอก.566

6.3 เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต (ถ้ามี) ให้เป็นไปตาม มอก.2135

6.4 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (ถ้ามี) ให้เป็นไปตาม มอก.733

6.5 น้ำ ต้องสะอาด ปราศจากน้ำมัน กรด ด่าง และสารอื่น ๆ ที่อาจทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง

6.6 วัสดุผสมเพิ่มที่ใช้เพื่อให้ได้คุณลักษณะเฉพาะที่ต้องการ

7. คุณลักษณะที่ต้องการ

7.1 ลักษณะทั่วไป

7.1.1 ต้องไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว

7.1.2 ต้องไม่มีตำหนิ หรือรอยร้าว ที่มีผลเสียต่อการใช้งาน

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

7.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีต

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความต้านแรงอัด

(ข้อ 7.2)

หน่วยเป็นเมกะพาสคัล

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

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

7.3 ความตรง

แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเมื่อวางตามลักษณะการใช้งานจริง ต้องตรง ถ้าโก่งจะผิดไปจากแนวตรงด้านข้างได้ไม่เกิน L/480 แต่ต้องไม่เกิน 19 มิลลิเมตร

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.2

7.4 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 11.3

7.5 ความแข็งแรงและความทนทาน

7.5.1 ความแข็ง

เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex A แล้วค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการโก่งตัว

(ข้อ 7.5.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

7.5.2 ความทนการกระแทก

7.5.2.1 ความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก

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

(2) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex D โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วต้องไม่เกิดการกระเทาะที่ผิวหน้าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.1 ตารางที่ ข.2

7.5.2.2 ความทนการกระแทกจากวัสดุนุ่มขนาดใหญ่

(1) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex C โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วค่าการโก่งตัวสูงสุดต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.2 ตารางที่ ข.3

(2) เมื่อทดสอบตาม BS 5234 : part 2 Annex E โดยใช้พลังงานกระแทกตามที่กำหนดในตารางที่ 4 แล้วแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องไม่แตกหัก หรือมีการแยกตัวของระบบผนัง มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทก ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.2 ตารางที่ ข.4

ตารางที่ 4 พลังงานกระแทก

(ข้อ 7.5.2)

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

10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

10.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

11. การทดสอบ

11.1 มิติ

11.1.1 ความกว้างและความยาว

11.1.1.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.1.1.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง ดังนี้

(1) ความกว้าง

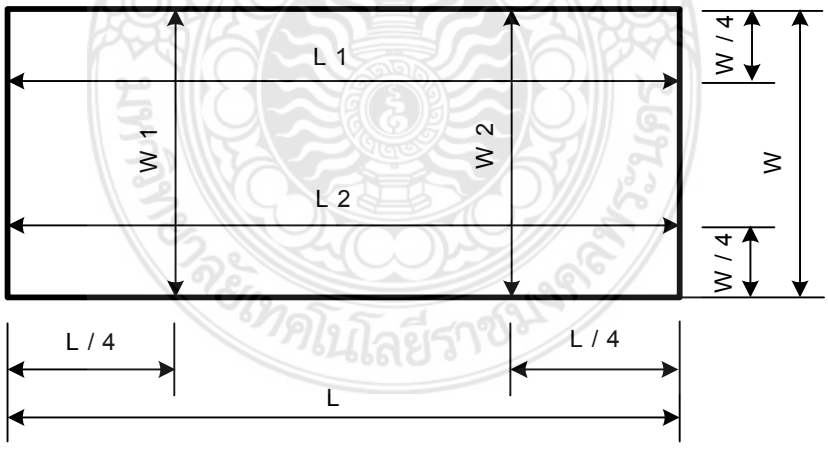
ให้วัดความกว้าง (W) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว ดังรูปที่ 1

(2) ความยาว

ให้วัดความยาว (L) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความกว้าง ดังรูปที่ 1

11.1.1.3 การรายงานผล

ให้รายงานผลทุกค่าที่วัดได้เป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 1 ตำแหน่งวัดความกว้างและความยาว

(ข้อ 11.1.1.2)

11.1.2 ความหนา

11.1.2.1 เครื่องมือ

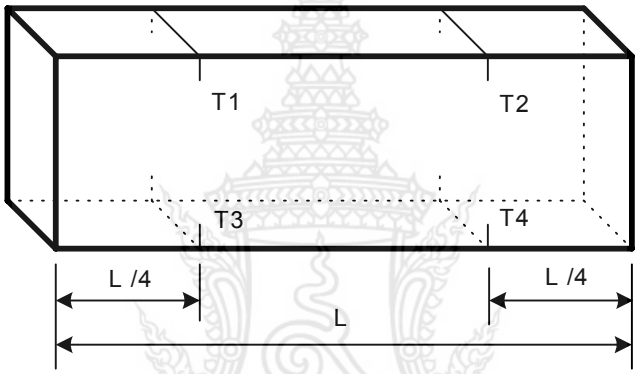
เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.1.2.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องวัดความหนา (T) ของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นทดสอบที่ระยะหนึ่งในสี่ของความยาว (L) โดยสอดเครื่องวัดเข้าจนสุด ดังรูปที่ 2

11.1.2.3 การรายงานผล

ให้รายงานผลทุกค่าที่วัดได้เป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร และให้รายงานค่าน้อยที่สุดของความหนาเป็นความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดความหนา

(ข้อ 11.1.2.2)

11.1.3 พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

11.1.3.1 เครื่องมือ

(1) เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

(2) เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.1.3.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.3.1(1) วัดขนาดมิติหน้าตัดภายนอกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.3.1(2) วัดขนาดของโพรงโดยวัดทุกค่า

11.1.3.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นร้อยละ โดยคำนวณจากสูตร

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

11.1.4 เปลือกและผนังกั้นโพรง

11.1.4.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.1.4.2 วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องมือตามข้อ 11.1.4.1 วัดมิติเปลือก ผนังกั้นโพรงทั้งสองด้าน โดยวัดทุกค่า

11.1.4.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่ามิติของเปลือกและผนังกั้นโพรงที่มีค่าน้อยที่สุด ทั้งสองด้านเป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร

11.2 ความตรง

11.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

วางตัวอย่างบนแท่นธารโดยให้ด้านกว้างของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพาดบนแท่นธารไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3

11.2.2 เครื่องมือ

11.2.2.1 เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.2.2.2 สายเอ็นที่ยาวไม่น้อยกว่าความยาวของตัวอย่าง และไม่มีรอยต่อ

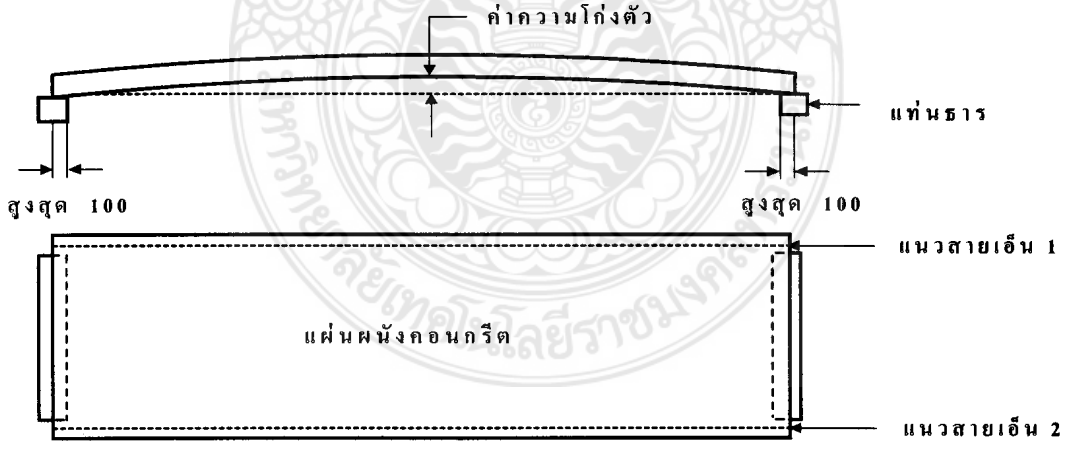
11.2.3 วิธีทดสอบ

11.2.3.1 ขึงสายเอ็นระหว่างปลายแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปทั้งสองด้านให้ตึง ดังรูปที่ 3

11.2.3.2 วัดระยะห่างสูงสุดระหว่างผิวตัวอย่างกับสายเอ็นเป็นค่าความโก่งตัว

11.2.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความโก่งตัวสูงสุดเป็นจำนวนเต็ม เป็นมิลลิเมตร



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 การทดสอบความตรง

(ข้อ 11.2.1 และข้อ 11.2.3.1)

11.3 การดูดซึมน้ำ

11.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร หรือตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร ที่ใช้ในการทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 28 วัน โดยเตรียมตัวอย่างตามกรรมวิธีการผลิตของผู้ทำ มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของแท่งคอนกรีตให้เป็นไปตาม มอก.1840

11.3.2 เครื่องมือ

11.3.2.1 เครื่องวัดที่ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

11.3.2.2 เครื่องชั่งที่ละเอียดถึง 0.1 กรัม

11.3.2.3 ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ (110 ± 5) องศาเซลเซียส

11.3.3 วิธีทดสอบ

11.3.3.1 อบแท่งคอนกรีตให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ (110 ± 5) องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักที่สูญหายภายใน 24 ชั่วโมง น้อยกว่าร้อยละ 0.1 ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง

11.3.3.2 นำแท่งคอนกรีตจากข้อ 11.3.3.1 จุ่มในน้ำให้ระดับน้ำสูงเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงแท่งคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแท่งคอนกรีตจุ่มในน้ำให้ท่วมแท่งคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ยกแท่งคอนกรีตขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าชื้น แล้วชั่ง

11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง แต่ละค่าเป็นร้อยละ จากสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{มวลแท่งคอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ} - \text{มวลแท่งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}}{\text{มวลแท่งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}} \times 100$$

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 10.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึงแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประเภทเดียวกัน ที่มีรูปร่างและภาคตัดขวางเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการ

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบมิติ ลักษณะทั่วไป และความตรง

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 แผ่น

ก.2.1.2 ตัวอย่างทั้ง 3 แผ่น ต้องเป็นไปตาม ข้อ 5.1 ข้อ 7.1 และข้อ 7.3 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด และการดูดซึมน้ำ

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทำแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกัน ทำแท่งทดสอบความต้านแรงอัด จำนวน 3 แท่ง และทำแท่งทดสอบการดูดซึมน้ำ จำนวน 3 แท่ง

ก.2.2.2 ตัวอย่างทุกแท่งต้องเป็นไปตาม ข้อ 7.2 และ ข้อ 7.4 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับความแข็งแรงและความทนทาน

ก.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากรุ่นเดียวกันให้เพียงพอในการประกอบผนัง

ก.2.3.2 ตัวอย่างตาม ข้อ ก.2.3.1 ต้องเป็นไปตามข้อ 7.5 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.2.4 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 จึงจะถือว่าแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข.

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))

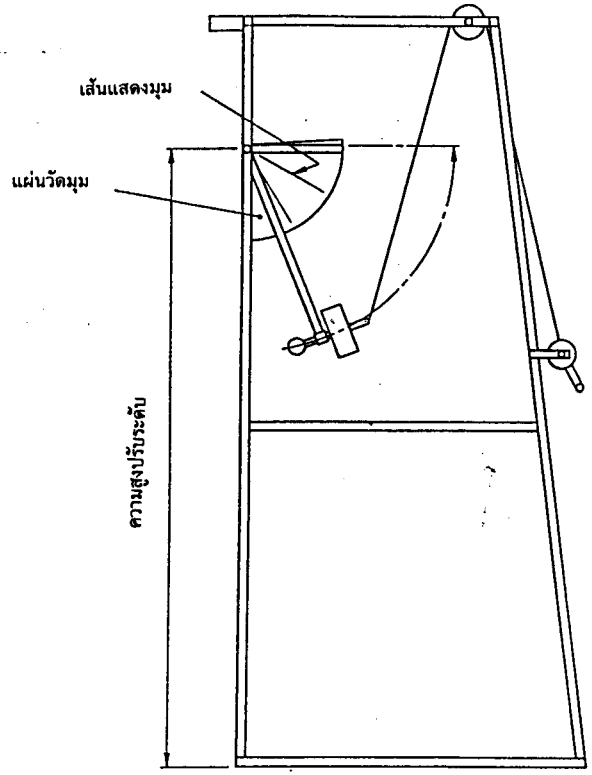
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง องศา
3	100	33.6
6	200	48.2
10	330	63.6

ตารางที่ ข.2 มุมเหวี่ยงและความสูงตกกระแทกสำหรับการทดสอบความทนการกระแทก ตาม BS 5234 part 2 Annex D

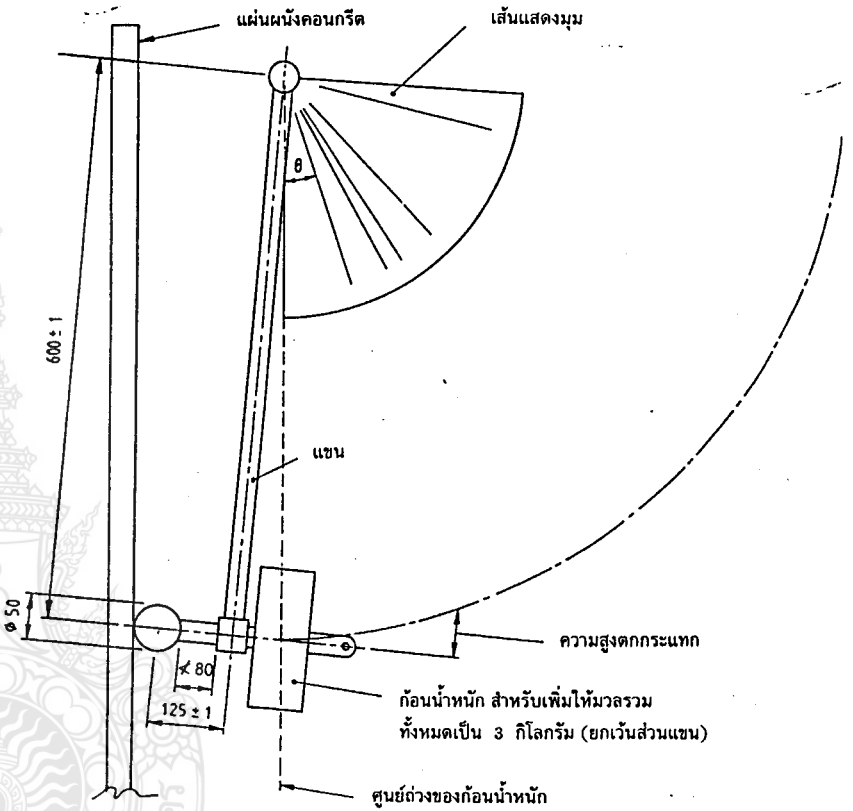
(ข้อ 7.5.2.1(2))

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*



(1) โครงยึดหัวกระแทก



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ *ในขณะที่หยุดนิ่งแขนต้องทำมุมกับแนวดิ่งไม่มากกว่า 5 องศา*

(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))

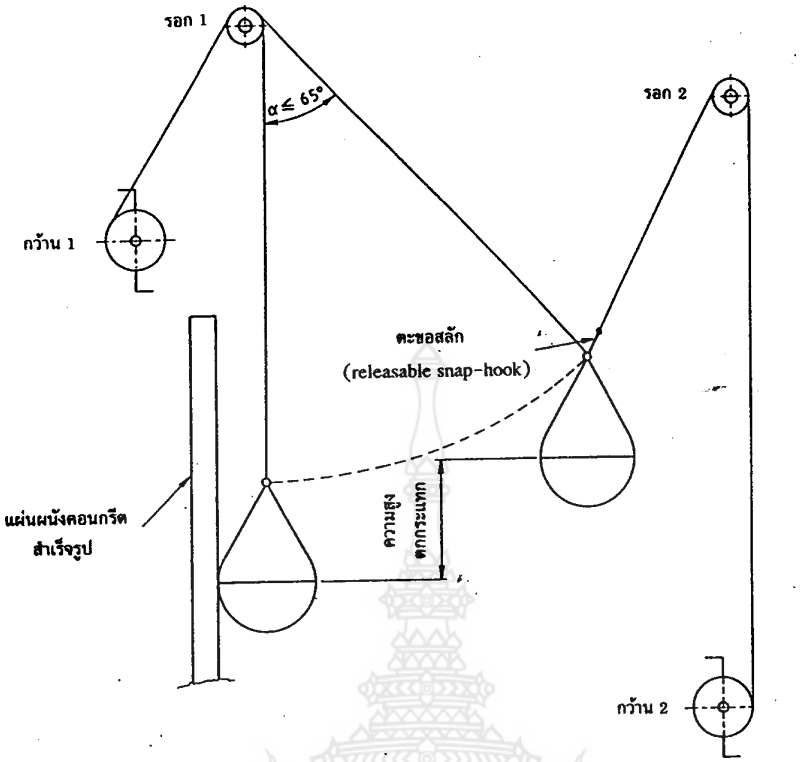
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
20	41	65
40	82	
100	204	

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

(ข้อ 7.5.2.2(2))

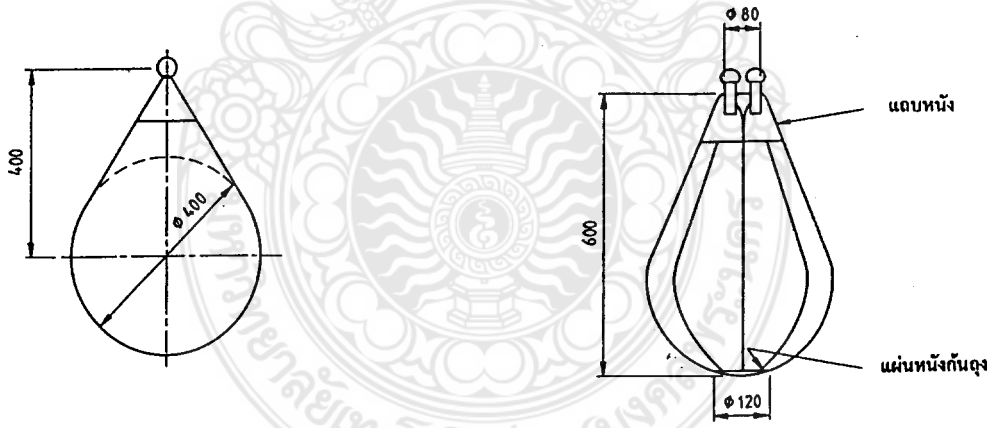
พลังงานกระแทก นิวตัน เมตร	ความสูงตกกระแทก มิลลิเมตร	มุมเหวี่ยง ไม่เกิน องศา
60	122	65
120	245	

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)”

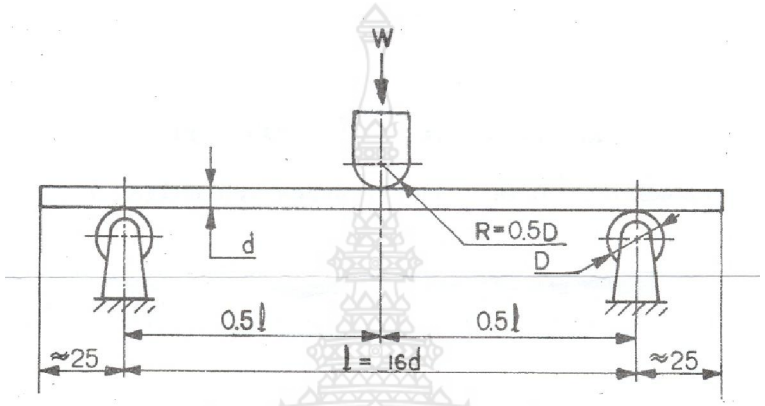
4. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.3.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร สำหรับวัดความหนา"

5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.3.1.3

"9.3.1.3 เวอร์เนียร์แคลลิเปอร์ส ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวัดความกว้างและความยาว"

6. ให้ยกเลิกรูปที่ 4 และให้ใช้รูปต่อไปนี้แทน



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

(ข้อ 9.6.1.2)

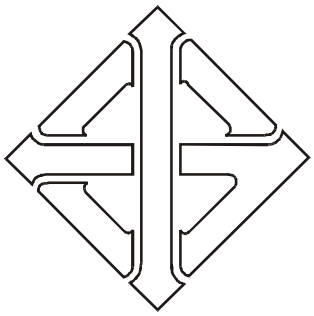
ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

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

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 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 เชลโลกรีตไทย 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

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

1. ขอบข่าย

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

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบรูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

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

2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ชิ้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเสี้ยนไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเสี้ยนไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

2.2.3 แถบ (strand) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

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

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

2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์

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

3. แบบและสัญลักษณ์

3.1 แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะพื้นผิว คือ

3.1.1 แบบผิวขัดเรียบ มีสัญลักษณ์ SAN

3.1.2 แบบผิวไม่ขัด มีสัญลักษณ์ UNS

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้างและความยาว ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

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

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

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.2 ความหนา ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากแต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

4.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นสั้น

การวัดให้ปกิบัติตามข้อ 9.2

4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร

การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 4.1และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

5. ส่วนประกอบและการทำ

5.1 ส่วนประกอบ

5.1.1 ชิ้นไม้

5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชิ้นไม้ แยกชิ้นไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความหนาแน่นความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

6.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874)

6.5 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

(ข้อ 6.5)

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

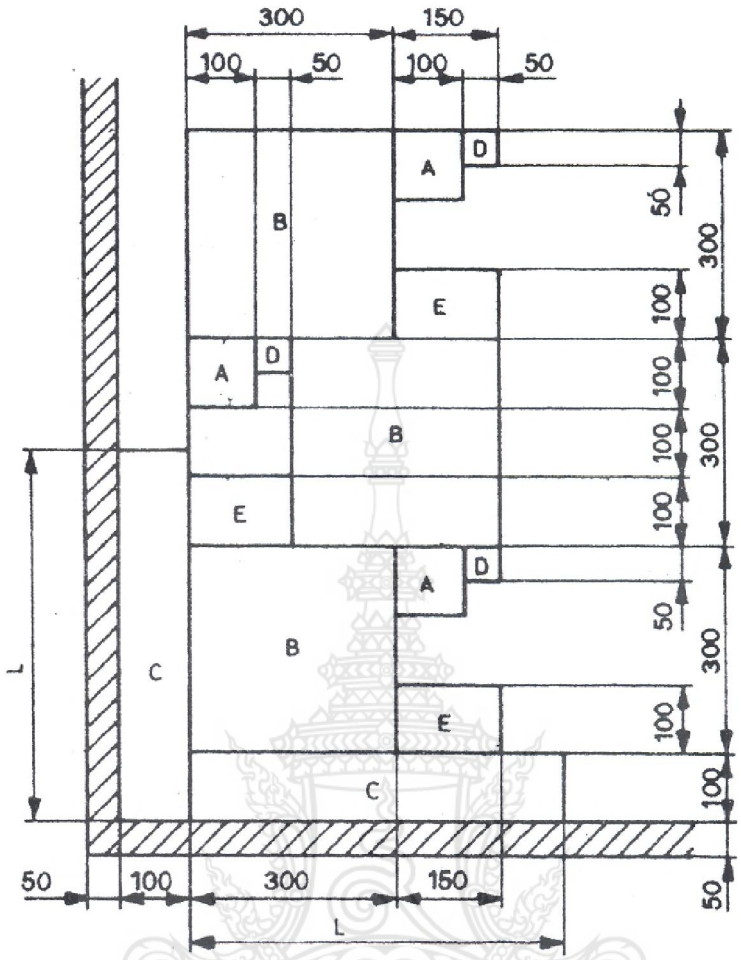
(ข้อ 8.2.1)

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

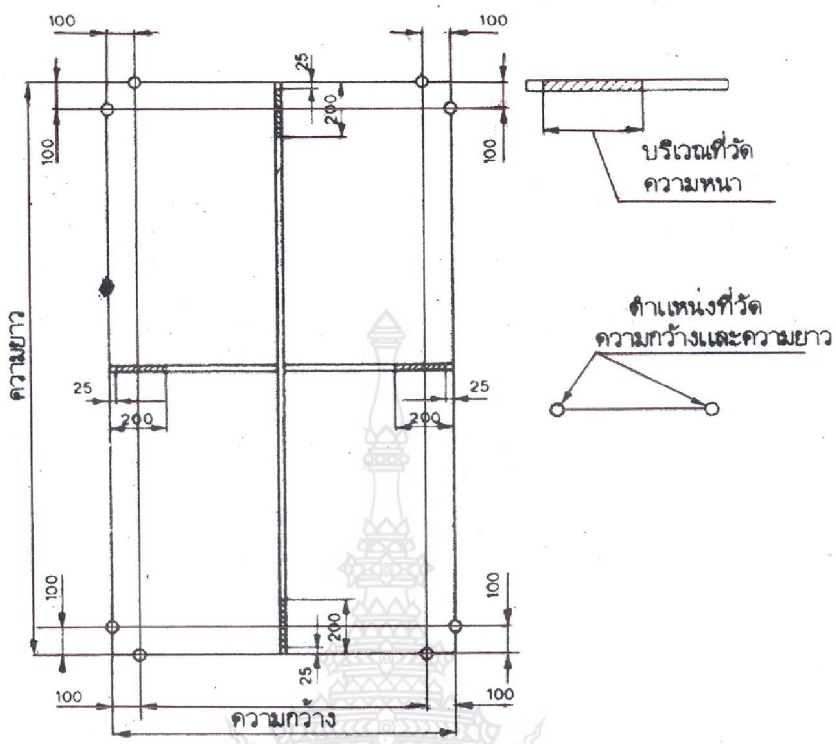
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

9.2.4 ความตรงของขอบ

ขึงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นชิ้นไม่อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์
(ข้อ 9.2.1 และข้อ 9.2.2)

9.3 ความหนาแน่น

9.3.1 เครื่องมือ

9.3.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

9.3.2 วิธีทดสอบ

9.3.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม

9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

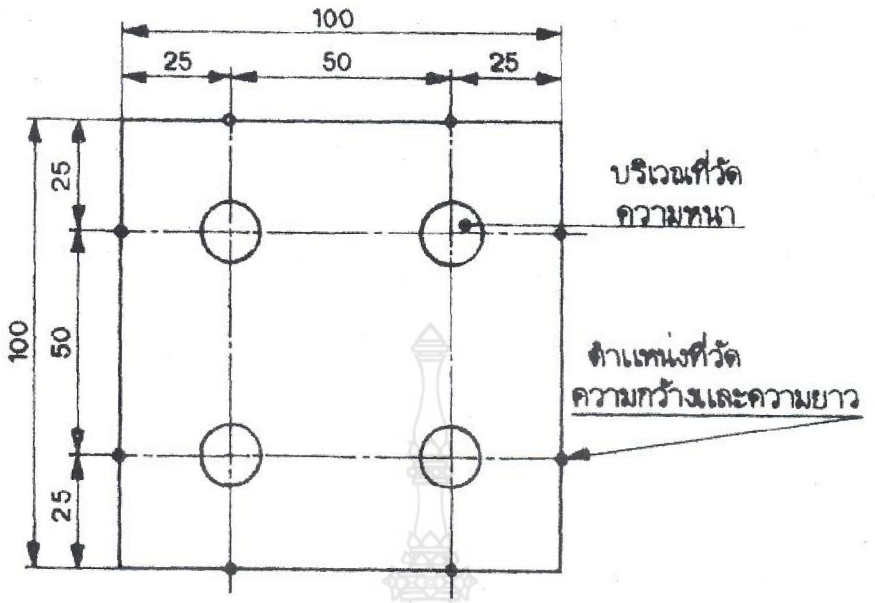
9.3.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

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

9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ

(ข้อ 9.3.2.2 ข้อ 9.3.2.3 และข้อ 9.5.2.1)

9.4 ความชื้น

9.4.1 เครื่องมือ

9.4.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

9.4.1.2 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 130 ± 2 องศาเซลเซียส

9.4.1.3 เดซิกเคเตอร์

9.4.2 วิธีทดสอบ

9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ

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

9.4.2.3 นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปล่อยไว้ให้เย็น

9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

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

9.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

9.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

9.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

9.5.2 วิธีทดสอบ

9.5.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามรูปที่ 3 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

9.5.2.2 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

9.5.2.3 เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ชอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก

9.5.2.4 เมื่อปล่อยชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

9.5.3 วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

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

9.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

9.6 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

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

9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

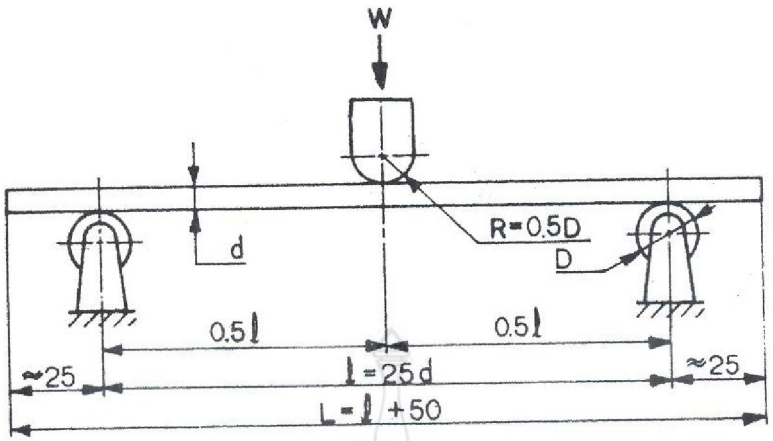
9.6.1.3 มาตรการแอ่นตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

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

9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอ่นตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

(ข้อ 9.6.2.1)

9.6.3 วิธีคำนวณ

9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

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

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล

W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

9.6.3.2 หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสูตร

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

เมื่อ f คือ มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

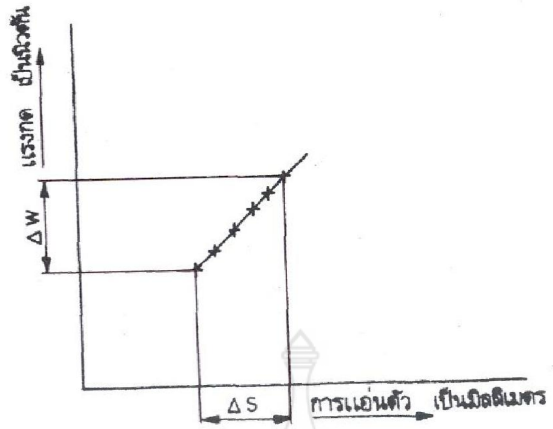
ℓ คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

ΔS คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว
(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

9.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

9.7.1 เครื่องมือ

9.7.1.1 เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที

9.7.1.2 แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

9.7.2 วิธีทดสอบ

9.7.2.1 ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ

9.7.2.2 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.7.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

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

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ การประดิษฐ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์
☑ อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ 2535 และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่

วันรับคำขอ	เลขที่คำขอ
วันยื่นคำขอ	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1.ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

2.คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3.ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)		
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย	3.1 สัญชาติ	ไทย
	3.2 โทรศัพท์	0 2282 9009, 08 8274 0869
	3.3 โทรสาร	0 2282 9009
	3.4 อีเมล์	pakamas.c@rmutp.ac.th

4.สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5.ตัวแทน(ถ้ามี)/ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์)		
ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร ที่อยู่ เลขที่ 8/3 หมู่ที่8 ถนนพุทธรักษา ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10280 ประเทศไทย	5.1 ตัวแทนเลขที่	2262
	5.2 โทรศัพท์	08 1199 4705
	5.3 โทรสาร	0 2577 5652
	5.4 อีเมล์	siam_macho@hotmail.com

6.ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล และนายกิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย และ
ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก คลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศไทย

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร
เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

8.การยื่นคำขอนอกราชอาณาจักร

วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				

8.4 ☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย

☐ ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ ☐ ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้

9.การแสดงการประดิษฐ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด

วันแสดง วันเปิดงานแสดง ผู้จัด

10.การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ

10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ

11.ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา

☐ อังกฤษ ☐ ฝรั่งเศส ☐ เยอรมัน ☐ ญี่ปุ่น ☐ อื่นๆ

12.ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้หลังจากวันที่ เดือน พ.ศ

☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข ในการประกาศโฆษณา

13.คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย

ก. แบบพิมพ์คำขอ	2	หน้า
ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์	3	หน้า
ค. ข้อถือสิทธิ	1	หน้า
ง. รูปเขียน 2 รูป	2	หน้า
จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์		
☐ รูปเขียน รูป		หน้า
☐ ภาพถ่าย รูป		หน้า
ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์	1	หน้า

14.เอกสารประกอบคำขอ

- ☑ เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
- ☐ หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
- ☑ หนังสือมอบอำนาจ
- ☐ เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ
- ☐ เอกสารการขอนับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย
- ☐ เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ
- ☐ เอกสารอื่น ๆ

15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า

☑ การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/ อนุสิทธิบัตรมาก่อน

☐ การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก.....

16.ลายมือชื่อ (☑ ผู้ขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร; ☐ ตัวแทน)

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

สาขาวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

แผ่นโฟม เป็นรูปแบบของพอลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์จากปิโตรเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ เกิดจากการอัดเม็ดโฟมรวมกัน มีหลายชนิดตามวัสดุที่นำมาผลิตและสมบัติของแผ่นโฟม ทั้งนี้ ประเภทแผ่นโฟมแบ่งตามชนิดของพอลีเมอร์ เช่น โพลียูรีเทน (PU) โพลีเอทธิลีน (PE) และโพลีสไตรลีน (PS) เป็นต้น ส่วนประเภทของแผ่นโฟมแบ่งตามสมบัติ เช่น ความหนาแน่น และการลามไฟ เป็นต้น ด้วยน้ำหนักที่เบา การป้องกันการกระแทก ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี และสามารถตัดแต่งขนาดได้ตามต้องการ จึงนิยมนำมาใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนงานก่อสร้างที่ต้องการสมบัติพิเศษบางประเภท

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) เป็นวัสดุและวิธีการก่อสร้างที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถผลิตและควบคุมคุณภาพได้ง่าย (ชวลิต, 2528) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาจากการดำเนินงานก่อสร้างได้ เช่น เวลาที่ใช้ในการทำงานของคานคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 27.03 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 53.20 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 197.21 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 478.13 ส่วนราคาในการก่อสร้างของคานคอนกรีตสำเร็จรูปถูกกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 8.24 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 8.51 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 38.05 ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กถูกกว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 94.61 จะเห็นได้ว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการก่อสร้างลงไปได้ค่อนข้างมาก

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการก่อสร้างอย่างมาก โดยเฉพาะบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายใหญ่ เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้มากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับการก่อผนังทั่วไป แต่สำหรับบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายย่อย ยังไม่นิยมมากนัก เนื่องจากน้ำหนักของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มากถึงประมาณแผ่นละ 1 ตัน (ขนาด 4 ตารางเมตร) ทำให้การก่อสร้างต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถยกแผ่นผนังขึ้นติดตั้งหน้างานก่อสร้างได้

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน มีจุดมุ่งหมายหลักในการนำแผ่นโฟม ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้งานและมีโรงงานผลิตมากมายหลายแห่งในประเทศ มาพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบา แตกต่างจากผนังแผ่นโฟมทั่วไป คือ สามารถผลิตได้จากโรงงานขนาดเล็ก มีขนาดและวิธีการติดตั้งที่สามารถยกได้สะดวกด้วยแรงงานคน ต้นทุนต่ำ ลักษณะและรูปแบบถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้งาน และมีสมบัติต่างๆ ตามที่อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยในปัจจุบันต้องการ เหล่านี้ เป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทยให้เป็นที่ยอมรับและทันต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ลักษณะของกรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ประกอบด้วยการพันแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเหล็กตะแกรง การเชื่อมเหล็กเส้น เหล็กแผ่น และเหล็กฉากครอบแผ่นโฟมอัดแน่น การติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่นที่ครอบแล้วลงในแบบ การเทมอร์ต้าร์ และการรอให้มอร์ต้าร์แข็งตัว

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ เพื่อนำผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ได้ไปใช้ก่อสร้างอาคารที่ต้องการความรวดเร็วในการก่อสร้าง ใช้แรงงานคนน้อย และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบด้านหน้าของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบด้านข้างของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

จากรูปที่ 1 และ 2 แสดงส่วนประกอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิต ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ก. พันแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ด้วยเหล็กตะแกรง (2) ให้รอบทุกด้าน โดยให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นโฟมอัดแน่น (1) และเหล็กตะแกรง (2) ขนาด 5 - 20 มิลลิเมตร

ข. เชื่อมเหล็กเส้น (3) จำนวนหนึ่ง เหล็กแผ่น (4) จำนวนหนึ่ง และเหล็กฉาก (5) จำนวน 4 ฉาก ให้ได้เป็นกรอบที่มีรูปร่างแบบเดียวกับแผ่นโฟมอัดแน่น (1) โดยให้เหล็กฉาก (5) ติดตั้งบริเวณมุมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ทั้ง 4 มุม ส่วนเหล็กแผ่น (4) เป็นแผ่นที่ทำให้เหล็กเส้น (3) มีระยะห่างพอที่จะใส่แผ่นโฟมอัดแน่น (1) ตามข้อ ก. ได้ โดยเหล็กเส้น (3) มีการติดตั้งรอบแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง พร้อมทั้งเว้นให้มีช่องว่างสำหรับใส่แผ่นโฟมอัดแน่น (1) ที่พันด้วยเหล็กตะแกรงแล้วทุกด้าน ก่อนทำการเชื่อมเหล็กครอบจนไม่สามารถนำแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ดังกล่าวออกมาได้

ค. เตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีต ขนาดที่สามารถเทมอร์ต้าร์ (6) หุ้มรอบแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ที่ครอบด้วยเหล็กต่างๆ ในข้อ ข. โดยรอบหนา 10 – 35 มิลลิเมตร

ง. ผสมมอร์ต้าร์ (6) จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ต่อทรายละเอียด ต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2.8 – 3.8 ต่อ 0.38 – 0.58 โดยน้ำหนัก ให้เข้ากัน และเทมอร์ต้าร์ (6) นี้ลงในแบบหล่อให้มีความหนาเท่ากับที่ต้องการให้มอร์ต้าร์ (6) หุ้มแผ่นโฟมในข้อ ข.

จ. ติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่นในข้อ ข. ลงในแบบหล่อ และเทมอร์ต้าร์ (6) หุ้มโดยรอบจนได้ความหนาการหุ้มของมอร์ต้าร์ (6) ที่ต้องการ โดยเริ่มจากบริเวณขอบ แล้วจึงเทต่อไปจนมอร์ต้าร์ (6) หุ้มโดยทั่ว และทำการฉาบผนังให้เรียบ

ฉ. รอมอร์ต้าร์ (6) แข็งตัวเป็นเวลา 36 – 48 ชั่วโมง จึงนำผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นออกจากแบบหล่อ

<u>วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด</u>

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

ข้อถือสิทธิ

1. กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น มีขั้นตอนดังนี้

ก. พันแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ด้วยเหล็กตะแกรง (2) ให้รอบทุกด้าน โดยให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นโฟมอัดแน่น (1) และเหล็กตะแกรง (2) ขนาด 5 - 20 มิลลิเมตร

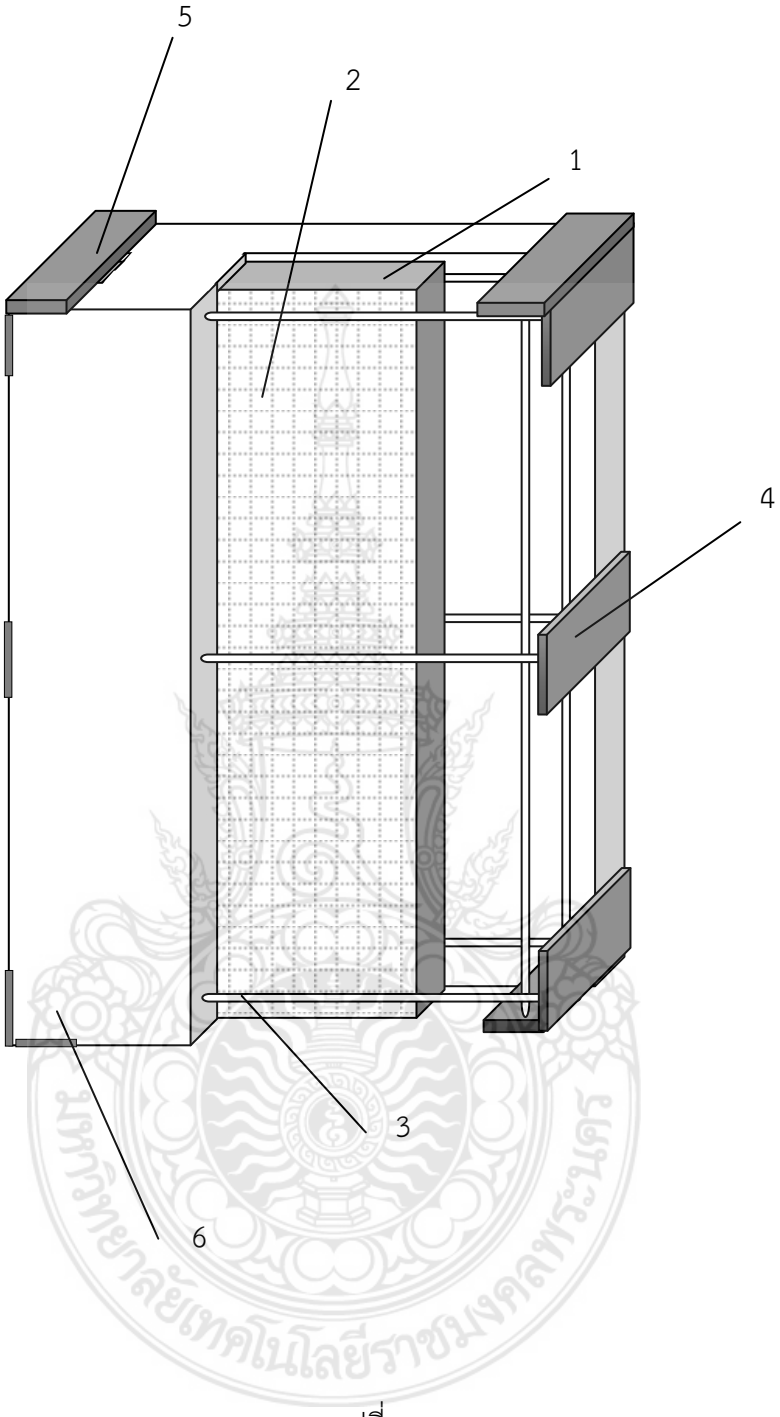
ข. เชื่อมเหล็กเส้น (3) จำนวนหนึ่ง เหล็กแผ่น (4) จำนวนหนึ่ง และเหล็กฉาก (5) จำนวน 4 ฉาก ให้ได้เป็นกรอบที่มีรูปร่างแบบเดียวกับแผ่นโฟมอัดแน่น (1) โดยให้เหล็กฉาก (5) ติดตั้งบริเวณมุมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ทั้ง 4 มุม ส่วนเหล็กแผ่น (4) เป็นแผ่นที่ทำให้เหล็กเส้น (3) มีระยะห่างพอที่จะใส่แผ่นโฟมอัดแน่น (1) ตามข้อ ก. ได้ โดยเหล็กเส้น (3) มีการติดตั้งรอบแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง พร้อมทั้งเว้นให้มีช่องว่างสำหรับใส่แผ่นโฟมอัดแน่น (1) ที่พันด้วยเหล็กตะแกรงแล้วทุกด้าน ก่อนทำการเชื่อมเหล็กครอบจนไม่สามารถนำแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ดังกล่าวออกมาได้

ค. เตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีต ขนาดที่สามารถเทมอร์ต้าร์ (6) หุ้มรอบแผ่นโฟมอัดแน่น (1) ที่ครอบด้วยเหล็กต่างๆ ในข้อ ข. โดยรอบหนา 10 – 35 มิลลิเมตร

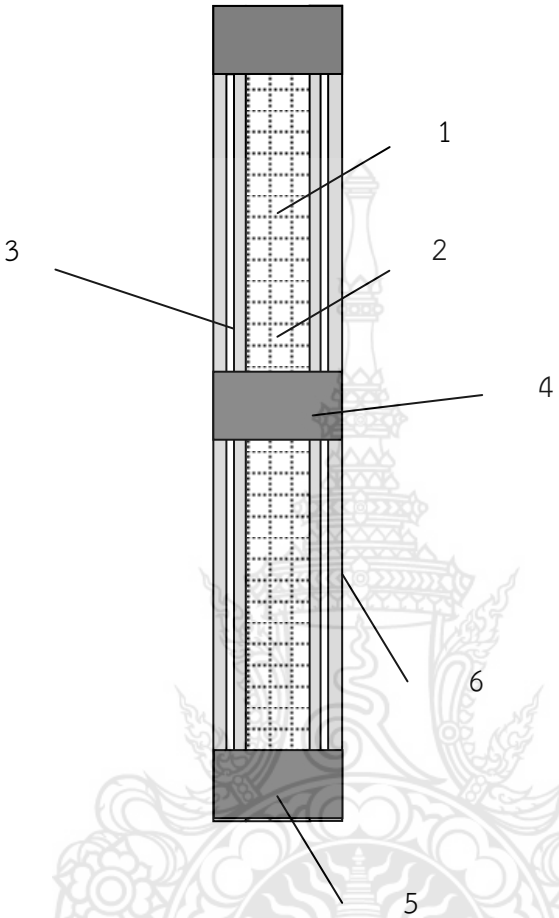
ง. ผสมมอร์ต้าร์ (6) จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ต่อทรายละเอียด ต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2.8 – 3.8 ต่อ 0.38 – 0.58 โดยน้ำหนัก ให้เข้ากัน และเทมอร์ต้าร์ (6) นี้ลงในแบบหล่อให้มีความหนาเท่ากับที่ต้องการให้มอร์ต้าร์ (6) หุ้มแผ่นโฟมในข้อ ข.

จ. ติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่นในข้อ ข. ลงในแบบหล่อ และเทมอร์ต้าร์ (6) หุ้มโดยรอบจนได้ความหนาการหุ้มของมอร์ต้าร์ (6) ที่ต้องการ โดยเริ่มจากบริเวณขอบ แล้วจึงเทต่อไปจนมอร์ต้าร์ (6) หุ้มโดยทั่ว และทำการฉาบผนังให้เรียบ

ฉ. รอมอร์ต้าร์ (6) แข็งตัวเป็นเวลา 36 – 48 ชั่วโมง จึงนำผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 1



รูปที่ 2

บทสรุปการประดิษฐ์

กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ประกอบด้วย การพันแผ่นโฟมอัดแน่นด้วยเหล็กตะแกรง การเชื่อมเหล็กเส้น เหล็กแผ่น และเหล็กฉากครอบแผ่นโฟมอัดแน่น การติดตั้งแผ่นโฟมอัดแน่นที่ครอบแล้วลงในแบบ การเทมอร์ต้าร์ และการรอให้มอร์ต้าร์แข็งตัว เพื่อให้ได้ผนังสำหรับนำไปใช้ก่อสร้างอาคารที่ต้องการความรวดเร็วในการก่อสร้าง ใช้แรงงานคนน้อย และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี

หนังสือสัญญาโอนสิทธิขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

เขียนที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล
เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

วันที่ 11 กันยายน 2559

สัญญาระหว่างผู้โอน คือ **ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์**, **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล และนายกิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล** ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย และ **ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร** ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศไทย โดยมีผู้รับโอน คือ **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร** โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์ ตำแหน่ง อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย

โดยสัญญานี้ ผู้โอนซึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์ **กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น** ขอโอนสิทธิในการประดิษฐ์ดังกล่าว ซึ่งรวมถึงสิทธิขอรับอนุสิทธิบัตรและสิทธิอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้แก่ผู้รับโอน โดยผู้รับโอนได้จ่ายค่าตอบแทนที่เหมาะสมให้แก่ผู้โอน

เพื่อเป็นพยานหลักฐานแห่งการนี้ ผู้โอนและผู้รับโอนได้ลงลายมือชื่อไว้ข้างล่างนี้

(ลงชื่อ) ผู้โอน (ลงชื่อ) ผู้โอน
(ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล)

(ลงชื่อ) ผู้โอน (ลงชื่อ) ผู้โอน
(นายกิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล) (ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร)

(ลงชื่อ) ผู้รับโอน
(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

(ลงชื่อ) พยาน (ลงชื่อ) พยาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา) (จ่าอากาศเอกหญิงเดือนเต็ม ทิมายงค์)

หนังสือมอบอำนาจ

ข้าพเจ้า **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร** โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์ ตำแหน่ง อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย ขอมอบหมายและแต่งตั้งให้ **ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร** (ตัวแทนสิทธิบัตรเลขที่ 2262) ที่อยู่ เลขที่ 8/3 หมู่ที่ 8 ถนนพุทธรักษา ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10280 ประเทศไทย เป็นตัวแทนและผู้รับมอบอำนาจของข้าพเจ้าอันแท้จริง และชอบด้วยกฎหมายเพื่อข้าพเจ้าและในนามข้าพเจ้าให้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรและให้ได้มาซึ่งสิทธิบัตรภายใต้ชื่อ **"กรรมวิธีการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น"** ให้รับโอนการประดิษฐ์การออกแบบผลิตภัณฑ์สิทธิบัตรและคำขอรับสิทธิบัตรต่างๆ และเพื่อความประสงค์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในนามของข้าพเจ้า ให้ลงนามและยื่นบรรดาหนังสือและเอกสารทั้งมวลซึ่งตัวแทนผู้รับมอบอำนาจในฐานะดังที่ได้กล่าวมาแล้วอาจคิดเห็นว่าเป็นการจำเป็นหรือพึงต้องการ ให้เปลี่ยนแปลงแก้ไขและเพิกถอนคำขอรับสิทธิบัตรและเอกสารต่างๆ เช่นว่ามานั้น ให้ไปปฏิบัติการ ณ สถานที่ราชการหรือ ณ ที่อื่นใด ให้ต่อสู้หรือป้องกันคำขอและสิทธิบัตรให้พ้นจากการปฏิเสธการคัดค้านหรือการขัดขวางใดๆ ให้ยื่นคำร้องคัดค้านและคำอุทธรณ์ ให้ชำระค่าธรรมเนียมทั้งหลายทั้งปวง และให้แต่งตั้งตัวแทนช่วงภายใต้อำนาจของตัวแทนผู้รับมอบอำนาจเพื่อกระทำกิจการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือกระทำการทั้งมวลดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น และให้มีอำนาจยกเลิกการแต่งตั้งตัวแทนช่วงได้ตามอำเภอใจเช่นเดียวกัน และโดยหนังสือนี้ข้าพเจ้าขอยืนยันและให้สัตยาบันรับรองทุกสิ่งทุกอย่างที่ตัวแทนของข้าพเจ้าหรือตัวแทนช่วงอาจได้กระทำไปโดยชอบด้วยกฎหมายอาศัยอำนาจแห่งหนังสือนี้

ลงวันที่ ณ วันที่ 11 กันยายน 2559

(ลงชื่อ) ผู้มอบอำนาจ

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

(ลงชื่อ) ผู้รับมอบอำนาจ

(ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร)

(ลงชื่อ) พยาน

(ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์)

(ลงชื่อ) พยาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น เพื่อเป็นฉนวนความร้อน

Development of Light-weight Precast Concrete Wall Panel Product with Adding High Density Foam Sheet for Thermal Insulation

ผกามาศ ชูสิทธิ์ [1], ปราโมทย์ วีรานุกูล [1], กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล [1], กิตติพงษ์ สุวีโร [2]

[1] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] หน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต หาอัตราส่วนที่เหมาะสม ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน การแนะแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถผลิตได้โดยการติดตั้งเหล็กเสริมรอบแผ่นโฟมและเทมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 (เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด) หุ้มแผ่นโฟมโดยรอบ และบ่มผนังคอนกรีตมวลเบา จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 และ มอก.878-2537 พบว่า ลักษณะทั่วไปไม่บิดเบี้ยวไม่มีรอยร้าว ความต้านทานแรงอัด 17.81 เมกะพาสคัล ไม่มีการโก่งตัวเมื่อวางผนังตามลักษณะการใช้งานจริง การดูดซึมน้ำร้อยละ 11.38 ความแข็งผ่านมาตรฐานประเภทที่ 1 ความทนการกระแทกผ่านมาตรฐานประเภทที่ 1 ความหนาแน่น 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความต้านทานแรงดัด 9.18 เมกะพาสคัล และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเพียง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบานี้ สามารถนำไปใช้เป็นผนังอาคารที่ต้องการความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน นอกจากนี้ผลจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สามารถยื่นขอรับอนุสิทธิบัตรได้

คำสำคัญ: ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป, ปูนซีเมนต์, แผ่นโฟม, ฉนวนความร้อน, น้ำหนักเบา

Abstract

The objectives of this research are to study the production, to find the proper ratio, to test the physical, mechanical properties, and thermal conductivity, to suggest the implementation, and to transfer the technology of light-weight precast concrete wall panel product with adding high density foam sheet. The light-weight precast concrete wall panel product was produced by covering the foam sheet with steel, pouring the mortar (M3 ratio which was proper ratio), and curing the light-weight precast concrete wall panel product. From the testing results followed the TIS.2226-2548 and TIS.878-2537, the general characteristic of light-weight precast concrete wall panel product was perfect. The properties of light-weight precast concrete wall panel product include 17.81 MPa of compressive strength, no bending when installed in common behavior, 11.38% of water absorption, passed in type1 of hardness and impact test, 956.03 kg/m3 of density,

9.18 MPa of bending strength, and 0.170 watt/m.K of thermal insulation. This light-weight precast concrete wall panel product can use as the thermal insulation wall in building. Moreover, the developing product can apply to register the petty patent.

Keywords: Precast Concrete Wall Panel, Cement, Foam Sheet, Thermal Insulation, Light-weight

1. บทนำ

แผ่นโฟม เป็นรูปแบบของพอลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์จากปิโตรเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ เกิดจากการอัดเม็ดโฟมรวมกัน มีหลายชนิดตามวัสดุที่นำมาผลิตและสมบัติของแผ่นโฟม ทั้งนี้ ประเภทแผ่นโฟมแบ่งตามชนิดของพอลีเมอร์ เช่น โพลียูรีเทน (PU) โพลีเอทธิลีน (PE) และโพลีสไตรลีน (PS) เป็นต้น ส่วนประเภทของแผ่นโฟมแบ่งตามสมบัติ เช่น ความหนาแน่น และการลามไฟ เป็นต้น ด้วยน้ำหนักที่เบา การป้องกันการกระแทก ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี และสามารถตัดแต่งขนาดได้ตามต้องการ จึงนิยมนำมาใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนงานก่อสร้างที่ต้องการสมบัติพิเศษบางประเภท (สมเกียรติ, 2556; สรินทร, 2548)

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) เป็นวัสดุและวิธีการก่อสร้างที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถผลิตและควบคุมคุณภาพได้ง่าย (ชวลิต, 2528) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาจากการดำเนินงานก่อสร้างได้ เช่น เวลาที่ใช้ในการทำงานของคานคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 27.03 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 53.20 พื้นคอนกรีตอัดแรงเร็วกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 197.21 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเร็วกว่าผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 478.13 ส่วนราคาในการก่อสร้างของคานคอนกรีตสำเร็จรูปถูกกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 8.24 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 8.51 พื้นคอนกรีตอัดแรงถูกกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เท่ากับ ร้อยละ 38.05 ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กถูกกว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ ร้อยละ 94.61 จะเห็นได้ว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการก่อสร้างลงไปได้ค่อนข้างมาก (ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521; Herz, 1975; Testa, 1959)

รูปที่ 1 การก่อสร้างโดยการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการก่อสร้างอย่างมาก โดยเฉพาะบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายใหญ่ เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้

มากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับการก่อผนังทั่วไป แต่สำหรับบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายย่อย ยังไม่นิยมมากนัก เนื่องจากน้ำหนักของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มากถึงประมาณแผ่นละ 1 ตัน (ขนาด 4 ตารางเมตร) ทำให้การก่อสร้างต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถยกแผ่นผนังขึ้นติดตั้งหน้างานก่อสร้างได้ (มามี, 2541; วว., 2520; ประสาน, 2539)

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน มีจุดมุ่งหมายหลักในการนำแผ่นโฟม ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้งานและมีโรงงานผลิตมากมายหลายแห่งในประเทศ มาพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบา แตกต่างจากผนังแผ่นโฟมทั่วไป คือ สามารถผลิตได้จากโรงงานขนาดเล็ก มีขนาดและวิธีการติดตั้งที่สามารถยกได้สะดวกด้วยแรงงานคน ต้นทุนต่ำ ลักษณะและรูปแบบถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้งาน และมีสมบัติต่างๆ ตามที่อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยในปัจจุบันต้องการ เหล่านี้ เป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทยให้เป็นที่ยอมรับและทันต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และเพื่อแนะนำแนวทางการใช้งานผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) ทรายละเอียด

3) น้ำประปา

4) แผ่นโฟม EPS (Expanable Polystyrene) ความหนาแน่นสูง ชนิดป้องกันการลามไฟ ที่มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต หรือ 20.023 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาด 1.20 x 0.60 เมตร หนา 2.5 นิ้ว หรือ 6.4 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 แผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง ชนิดป้องกันการลามไฟ

5) เหล็กเส้นกลม เกรด SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

6) เหล็กตะแกรง ขนาด # 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.81 มิลลิเมตร

7) เหล็กฉาก ขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร

8) เครื่องผสมคอนกรีต

9) เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

10) เตาอบปรับอุณหภูมิได้

11) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล

12) แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

13) แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 120 x 60 x 11.4 เซนติเมตร

14) แบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด 30 x 30 x 11.4 เซนติเมตร

15) แท่นทดสอบความทนการกระแทก

16) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และตลับเมตรสำหรับวัดขนาด

17) แท่นทดสอบความแข็ง

18) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

19) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.2 การออกแบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการรับแรงอัด และหุ้มแผ่นโฟม EPS ไว้ จำนวน 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นมอร์ต้าร์สำหรับหุ้มโฟม EPS

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	ทรายละเอียด	น้ำประปา
M2	1	2	0.5
M2.5	1	2.5	0.5
M3	1	3	0.5
M3.5	1	3.5	0.5
M5	1	4	0.5

2) ทำการออกแบบตำแหน่งของแผ่นโฟม EPS ความหนาแน่นสูง พื้นผิวผนังสำเร็จรูปด้านนอก และตำแหน่งการเสริมเหล็กเพื่อให้ผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมีความแข็งแรง ดังรูปที่ 3

2.3 การขึ้นรูปผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทำการพันแผ่นโฟม EPS ตามขนาดที่กำหนด ด้วยเหล็กตะแกรงจนรอบแผ่นโฟม

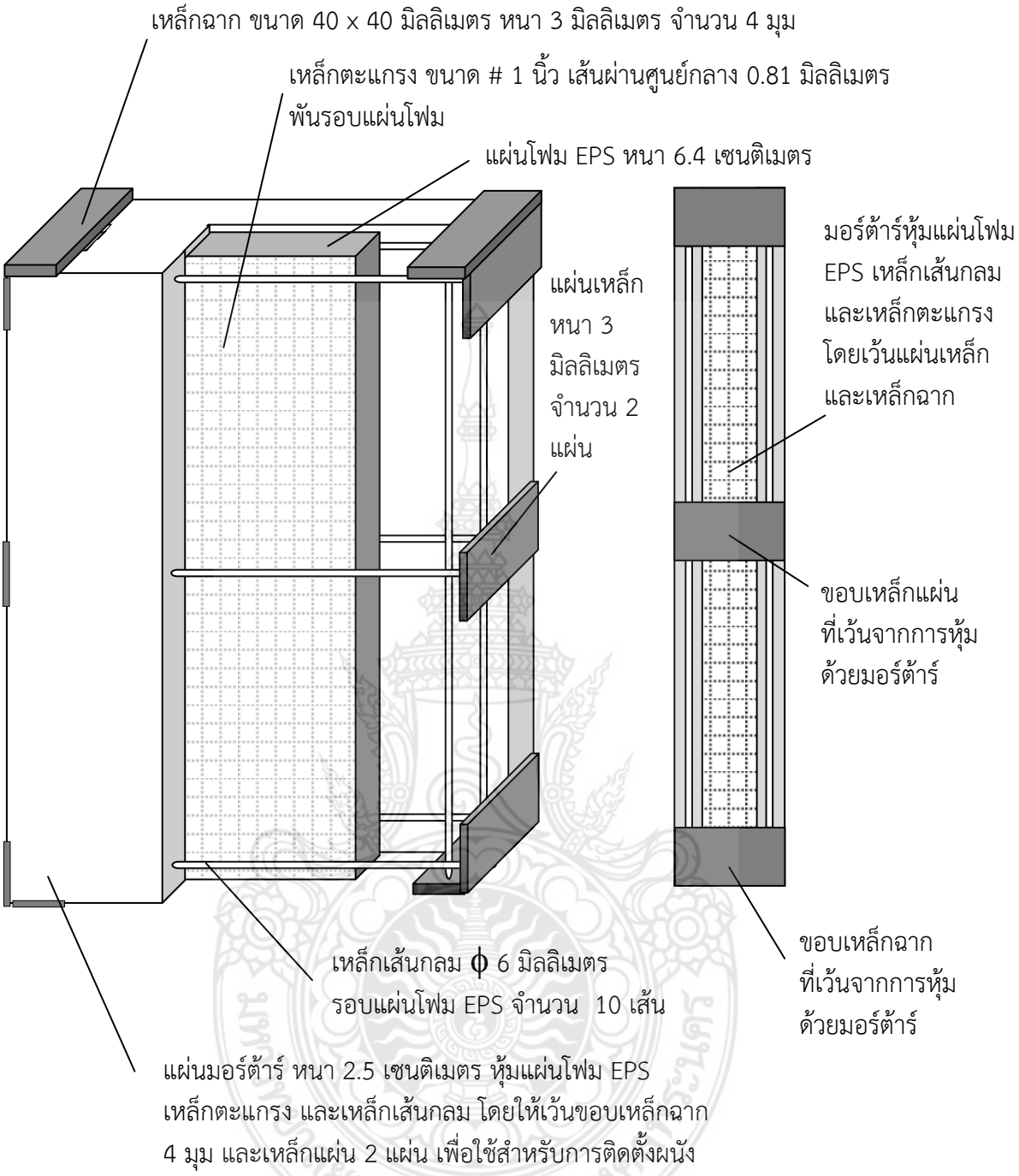
2) เชื่อมเหล็กเส้น เหล็กแผ่น และเหล็กฉาก ตามที่ออกแบบ โดยเว้นให้มีช่องว่างสำหรับใส่แผ่นโฟม EPS ก่อนทำการเชื่อมเหล็กครอบแผ่นโฟม EPS ที่พันด้วยเหล็กตะแกรงแล้วทุกด้าน ดังรูปที่ 4

3) เตรียมแบบหล่อผนังคอนกรีต และเทมอร์ต้าร์เพื่อรองแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้แล้ว

4) กดแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้แล้วให้ได้ระดับ

5) ทยอยเทมอร์ต้าร์เพื่อหุ้มแผ่นโฟมที่มีการติดตั้งเหล็กต่างๆ ไว้ โดยเริ่มจากบริเวณขอบ แล้วจึงเทต่อไปจนมอร์ต้าร์หุ้มทั่วแผ่น และทำการฉาบผนังให้เรียบ ดังรูปที่ 5

6) รอคอนกรีตเซ็ตตัวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำแผ่นผนังคอนกรีตที่เซ็ตตัวแล้วมาวางซ้อนกัน เพื่อรอการทดสอบหรือนำไปใช้งานต่อไป ดังรูปที่ 6



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 4 การวางแนวเหล็กของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นด้านข้าง

รูปที่ 5 การเกลี่ยมอร์ต้าร์ให้ลงในขอบของแบบหล่อผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

รูปที่ 6 การกองรวมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อบ่มในอากาศ

2.4 การทดสอบสมบัติของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

1) ทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2) ทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับใช้เป็นพื้นผิวผนังด้านนอกทั้งสองด้าน ตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน

3) ทดสอบความตรงของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

4) ทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5) ทดสอบความแข็งแรง (Partition Stiffness) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

6) ทดสอบความทนการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้วัสดุแข็งขนาดเล็ก (ตุ้มน้ำหนัก) และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ (กระสอบทราย) เป็นวัสดุในการกระแทกได้ ดังรูปที่ 7 ถึง 8

รูปที่ 7 การปล่อยวัสดุแข็งขนาดเล็กให้กระแทกแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทก

รูปที่ 8 การใช้วัสดุนุ่มขนาดใหญ่สำหรับทดสอบความทนต่อการกระแทกของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

7) ทดสอบความหนาแน่นของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

8) ทดสอบความต้านทานแรงดัดแผ่นมอร์ต้าร์ ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน

10) ทดสอบสภาพการนำความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเสริมแผ่นโฟม ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 11.4 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 และ ASTM C 177-10 (ASTM, 2010) ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2.5 การทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ทดสอบใช้งานของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการก่อสร้างผนังจำลอง โดยทำการเรียงและเชื่อมเป็นผนัง ขนาด 3 x 2.4 เมตร พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูล และตรวจพินิจลักษณะผนังที่ก่อสร้าง

3. ผลการดำเนินการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป

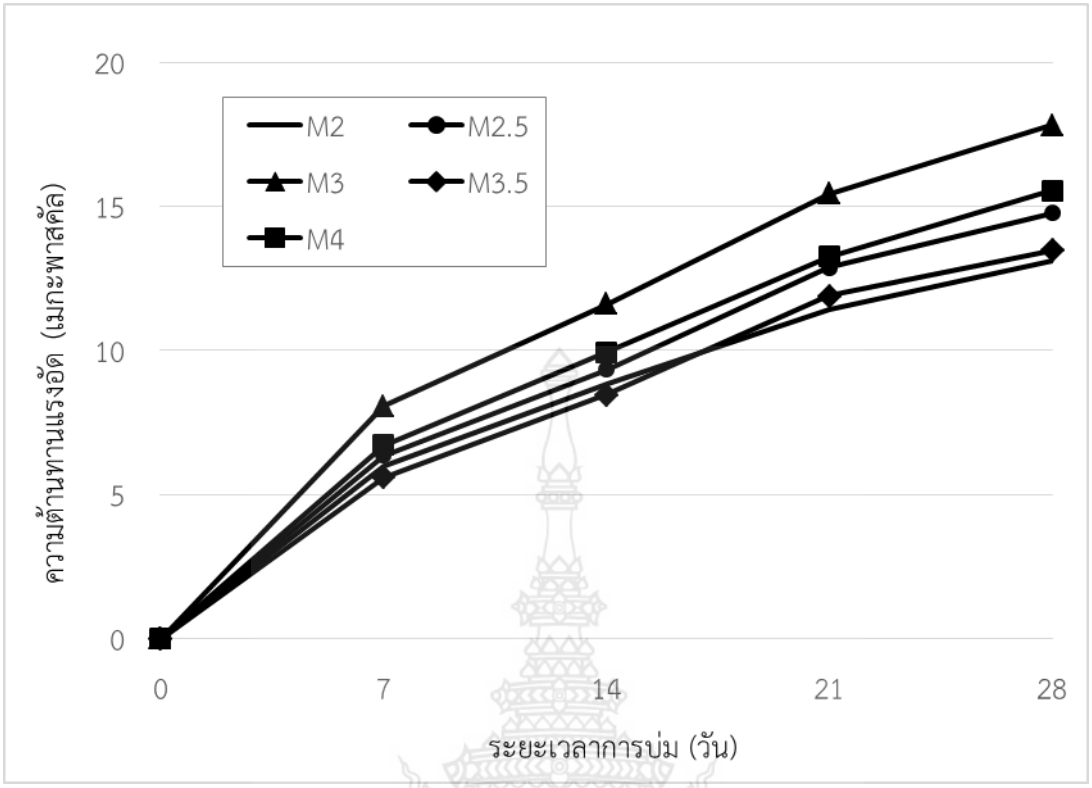
ลักษณะทั่วไปของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยทำการตรวจพินิจความสมบูรณ์ของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในด้านไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว และไม่มีตำหนิที่มีผลเสียต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 ขอบของผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่บางแผ่น
อาจมีน้ำปูนแข็งตัวซึ่งก็สามารถกะเทาะออกไปได้

จากรูปที่ 9 พบว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ใช้อัตราส่วนของแผ่นมอร์ต้าร์ ทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะทั่วไปของแผ่นผนังที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว ไม่มีการบิดเบี้ยว และไม่มีตำหนิ ในทุกๆ อัตราส่วน

3.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาประกอบการเลือกอัตราส่วนของมอร์ต้าร์ที่นำมาใช้เป็นพื้นผิวหุ้มแผ่นโฟมของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป จำนวน 5 อัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21, และ 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความต้านทานแรงอัดของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่มต่างๆ

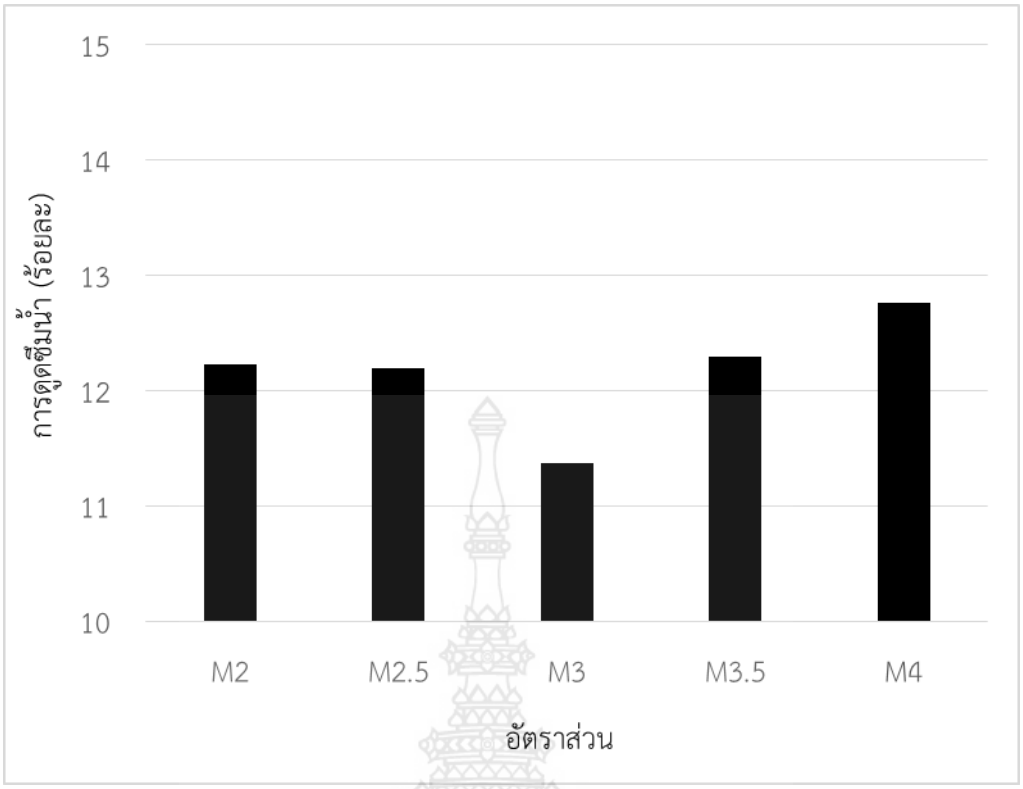
จากรูปที่ 10 พบว่า อัตราส่วน M3 เป็นแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่มีค่าแรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน M4, M2.5, M3.5 และอัตราส่วน M2 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงอัดประลัยและความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดคละ และปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ ทำให้แท่งมอร์ต้าร์มีค่าความต้านทานแรงอัดแตกต่างกัน (ปริญญา และชัย, 2551) ทั้งนี้ เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) พบว่า มอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด กล่าวคือ มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 16 เมกะพาสคัล และมอร์ต้าร์อัตราส่วน M4 มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน

3.3 ผลการทดสอบความตรง

ทดสอบความตรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก. 2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยการสังเกตและการวัดระยะการโก่งตัวของแผ่นผนังที่วางตามลักษณะการใช้งานจริง ซึ่งใช้ระยะจุดรองรับ 100 เซนติเมตร และการโก่งไปจากแนวตรงด้านข้าง ต้องมีค่าไม่เกินกำหนด L/480 หรือ 100 เซนติเมตร/480 หรือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วนไม่มีการโก่งตัวภายหลังจากการวางผนังตามแนวการใช้งาน ซึ่งแสดงว่าผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีคุณสมบัติด้านความตรงผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 กำหนด คือผนังทั้งหมดมีการโก่งตัวต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากค่าการดูดซึมน้ำของแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกในรูปที่ 11 พบว่า แท่งมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นมอร์ต้าร์ที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน M2.5, M2, M3.5 และ M4 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.2226-2548 แสดงว่าแท่งมอร์ต้าร์ทรงกระบอกทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานดังกล่าวกำหนด (สมอ., 2548)

3.5 ผลการทดสอบความแข็งแรง

ผลการทดสอบความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นจากการวัดค่าการโก่งตัวสูงสุดและการโก่งตัวคงค้างทุกอัตราส่วน ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วน สามารถผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 ประเภทที่ 1 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) ซึ่งต้องการให้มีค่าการโก่งตัวสูงสุด ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และการโก่งตัวคงค้าง ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (สมอ., 2548)

3.6 ผลการทดสอบความทนการกระแทก

ผลการทดสอบความทนการกระแทกของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทั้งความทนการกระแทกจากวัสดุแข็งขนาดเล็ก และวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ความทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
M2	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M2.5	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3.5	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
M4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 3 ความทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น

อัตราส่วน	ประเภท LD	ประเภท MD	ประเภท HD	ประเภท SD
M2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M2.5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M3.5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
M4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

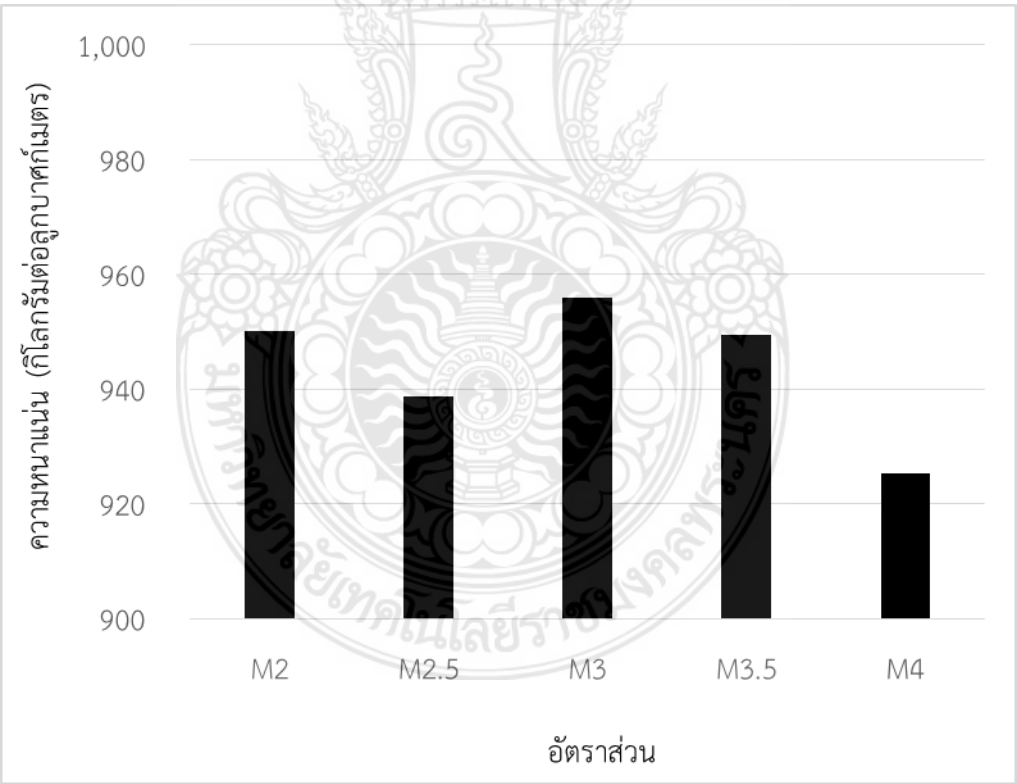
จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถทนการกระแทกของวัสดุแข็งขนาดเล็กได้เพียงประเภทที่ 1 อาคารที่อยู่อาศัย (Light Duty, LD) แต่สามารถทนการกระแทกของวัสดุนุ่มขนาดใหญ่ได้ถึงประเภทที่ 2 อาคารสำนักงาน (Medium Duty, MD) ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 (สมอ., 2548) ซึ่งตัวอย่างของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่เกิดความเสียหายจากการกระแทกมีดังรูปที่ 12 และ 13

รูปที่ 12 ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุแข็งขนาดเล็กกระแทกจนเกิดรอยยุบ

รูปที่ 13 ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่ถูกวัสดุนุ่มขนาดใหญ่กระแทกจนเกิดรอยร้าว

3.7 ผลการทดสอบความหนาแน่น

จากการชั่งน้ำหนักและหาค่าความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 14



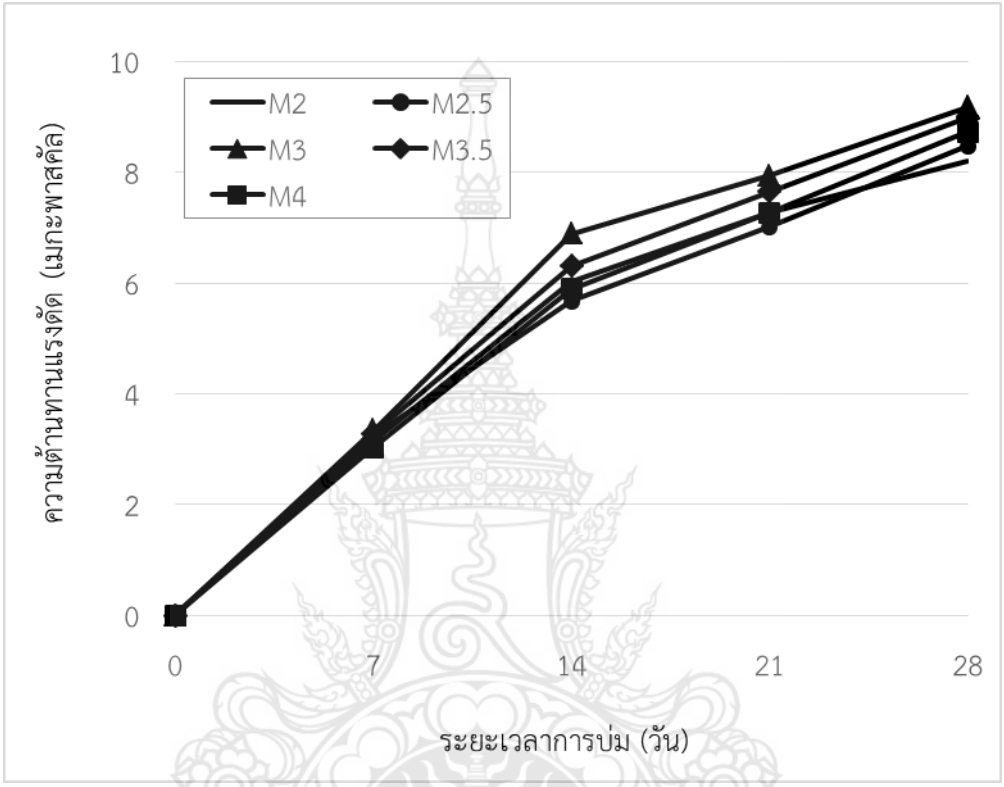
รูปที่ 14 ความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 14 พบว่า น้ำหนักต่อแผ่นและความหนาแน่นของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทุกอัตราส่วนมีน้ำหนักและความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยมีน้ำหนักต่อแผ่นประมาณ 75.96 – 78.47 กิโลกรัมต่อแผ่น หรือความหนาแน่น เท่ากับ 925.42 ถึง 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์

เมตร ซึ่งเบากว่าผนังคอนกรีตทั่วไปที่มีความหนาแน่น 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ปริญญา และชัย, 2551)

3.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด

สำหรับผลจากการนำแผ่นมอร์ต้าร์ ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ไปทดสอบความต้านทานแรงดัดหรือโมดูลัสการแตกหัก ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 โดยสามารถสรุปเป็นค่าแรงดัดประลัยและความต้านทานแรงดัดได้ ดังรูปที่ 15

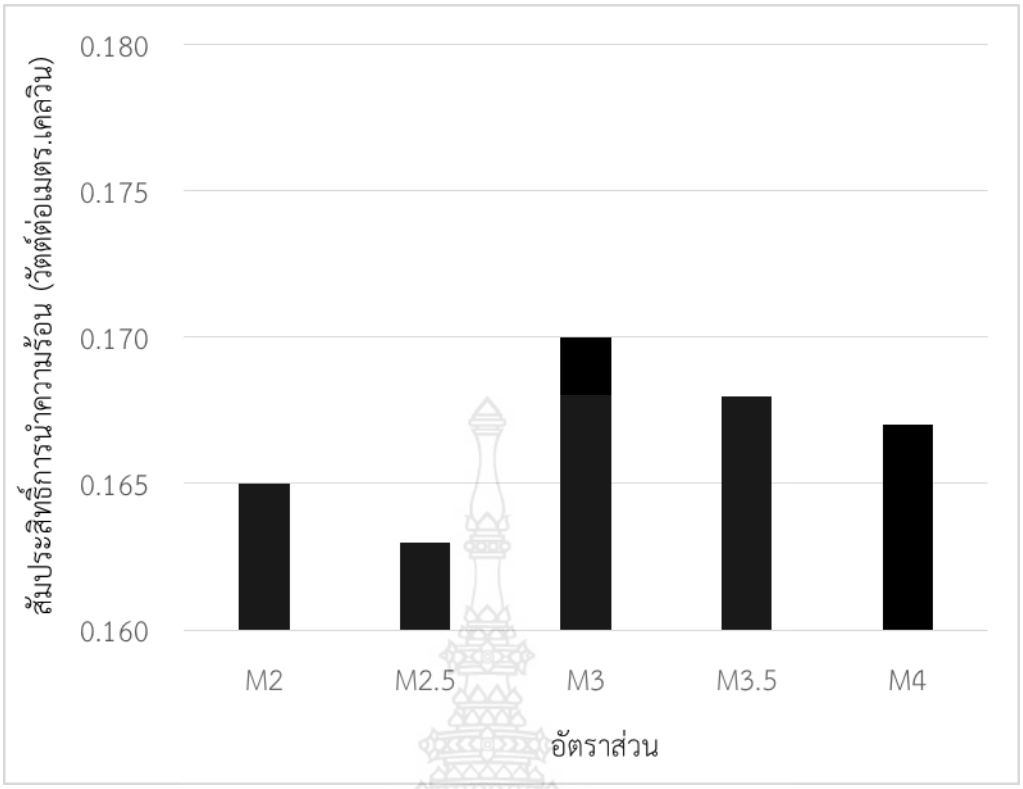


รูปที่ 15 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากรูปที่ 15 แสดงค่าแรงดัดประลัย และความต้านทานแรงดัดของแผ่นมอร์ต้าร์ พบว่า แผ่นมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงดัดประลัยและความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วน M4, M2.5, M3.5 และอัตราส่วน M2 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าแรงดัดประลัยและความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 (สมอ., 2537) พบว่า แผ่นมอร์ต้าร์อัตราส่วน M3 และ M3.5 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่า 9 เมกะพาสคัล

3.9 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน

สภาพการนำความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 7.81 เซนติเมตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 16 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ทั้ง 5 อัตราส่วน มีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.163 ถึง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ซึ่งต่ำกว่าผนังทั่วๆ ไป ได้แก่ ผนังอิฐมอญแบบก่อครึ่งแผ่นมีค่า**ค่า**สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.473 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน อิฐมอญเต็ม เท่ากับ 0.473 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 0.519 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 เห็นได้ว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทุกอัตราส่วนมีสภาพการนำความร้อนเป็นไปตามมาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (สมอ., 2537) ซึ่งเป็นผลมาจากโฟมเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี (ธนัญชัย และคณะ , 2549; Engineering Toolbox, 2016)

3.10 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 ถูกนำมาใช้ทดลองก่อสร้างเป็นผนังอาคาร ขนาด 3 x 2.4 เมตร ดังรูปที่ 17 ถึง 20

รูปที่ 17 การจัดผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นให้เข้ามุม

รูปที่ 18 การเชื่อมผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นทั้งสองแผ่นให้ยึดติดกัน

รูปที่ 19 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นก่อนการฉาบร่อง

รูปที่ 20 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นภายหลังจากการฉาบร่อง

จากผลการทดสอบในรูปที่ 17 ถึง 20 พบว่า ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 สามารถก่อสร้างเป็นผนังขนาด 3 x 2.4 เมตร ได้ โดยใช้วิธีเชื่อมขอบของผนังแต่ละแผ่นด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า และใช้ปูนฉาบปิดร่องรอยเชื่อมของผนังให้มีความเรียบและสมบูรณ์ได้โดยไม่การแตกร้าว

4. สรุป และข้อเสนอแนะ

สำหรับผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ สามารถสรุปแบ่งเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1) กระบวนการผลิตผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถทำได้โดยการพันเหล็กตะแกรงรอบแผ่น การติดตั้งเหล็กแผ่นและเหล็กเส้นครอบแผ่นโฟม และการเทมอร์ต้าร์หุ้มแผ่นโฟม ได้ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นสำหรับนำไปใช้งานต่อไป

2) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นที่เหมาะสมที่สุด คือ ผนังคอนกรีตอัตราส่วน M3 ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1: ทรายละเอียด: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.2226-2548 เรื่องแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ประเภทที่ 1 อาคารที่อยู่อาศัย กำหนด

3) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นอัตราส่วน M3 มีคุณสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก.2226-2548 ได้แก่ ลักษณะทั่วไปไม่บิดเบี้ยวไม่มีรอยร้าว ความต้านทานแรงอัด 17.81 เมกะพาสคัล การวางผนังตามลักษณะการใช้งานจริงไม่ทำให้เกิดการโก่งตัว การดูดซึมน้ำร้อยละ 11.38 ความแข็งและความทนการกระแทกผ่านมาตรฐานผนังอาคารประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยทั่วไป มีความหนาแน่น 956.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความต้านทานแรงดัด 9.18 เมกะพาสคัล และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเพียง 0.170 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน

4) การใช้งานผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น สามารถยกโดยแรงงานคนเพียง 1 – 2 คน และติดตั้งได้โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าในบริเวณระหว่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละแผ่น แล้วจึงฉาบปิดรอยเชื่อมด้วยปูนฉาบทั่วไป ได้ผนังที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ก่อสร้างเร็วและมั่นคงแข็งแรง

ในส่วนข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่น ในครั้งต่อๆ ไป ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของความหนาแน่นของโฟม และความหนาที่เหมาะสมของแผ่นโฟม เพื่อให้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

กมล กาญจนรุจี, โสภาพรรณ แสงศัพท์, และสิงห์ อินทรชูโต, 2545. การใช้โฟมร่วมกับผนังยิปซัมบอร์ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเสียง, บทความวิจัยของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, ปรีชญา มหัทธนทวี, จันทร์ฉาย ทองปิ่น, ดรุณี มงคลสวัสดิ์, ขวัญชัย โรจนกนันท์, และองอาจ หุดากร, 2554. การศึกษาและออกแบบผนังโฟมสำเร็จรูปที่ใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีตได้ในตัวเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานและเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรม, วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับภาษาไทย, ปีที่ 31 ฉบับที่ 1.

ชมรมวิศวกรรมโยธา, 2521. เสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ พันธุดา พุฒิไพโรจน์ วรธรรม อุ่นจิตติชัย และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 3(4): 119 - 126.

ปุญญานิช อินทรพัฒน์, 2551. เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาคริโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนตเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2551. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 5, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐาน, กรุงเทพฯ. 369 หน้า.

ประสาน ศรีศุภชัยยา, 2539. สภาพปัจจุบันและความคาดหวังเกี่ยวกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวและถาวรของผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

รังสี มหาลา, วรเชษฐ์ ยอดศิลารักษ์, และวัชชิระ อัตธิปา, 2553. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงาน, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิสุทธิ์ แก้วสกุล, 2551. เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท.วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สกนธ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์, 2545. การพัฒนาระบบผนังโฟมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

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

สมเกียรติ ฐิติภูมิเดชา, 2556. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาวัสดุวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สรินทร ลิ่มปนาท, 2548. มารู้จักกับโฟมพอลิสสไตรีนกันดีกว่า, แหล่งที่มา http//www.material.chula.ac.th/radio45/November/radio11-1.htm 20 พฤษภาคม 2549.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2537. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2537) เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

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

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.

Donald V.Rosato, 1990. Plastic processing data handbook.

Engineering Toolbox, 2016. Thermal Conductivity of some common Materials and Gases. [Online] Available on: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (25 September 2016).

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

Jesse Edenbaum, 1992. Plastics additives and modifiers handbook, New York: Van Nostrand Reinhold, p.95–101.

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