รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย
Hemisphere Pre-Engineered Building with
Easy Assembly Steel Structure Type

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล
ว่าที่ร้อยเอก ดร.กิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2560
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้าง เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้าง เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อก่อสร้างต้นแบบอาคาร และเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย ออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) โดยคำนึงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง การเลือกใช้วัสดุ ขั้นตอนการติดตั้ง การรื้อถอน และงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้าง จากผลการออกแบบได้ต้นแบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม (เฉพาะส่วนโครงสร้าง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร สูง 3.5 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 19.635 ตารางเมตร มีราคาค่าวัสดุก่อสร้าง เท่ากับ 200,000 บาท ต่อ 1 หน่วย คิดเป็น 10,186 บาทต่อตารางเมตร (รวมโครงสร้างและเปลือกอาคาร) ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 27 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (ใช้แรงงาน 3 คน) จากการใช้ระบบการประสานทางพิกัด ทำให้สามารถติดตั้งและรื้อถอนได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อนำไปช่วยเหลือผู้ประสบภัย เมื่อนำโครงสร้างมาทดสอบ สามารถคำนวณตัวคูณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76 และเปลือกอาคารทั้งหมดใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายละเอียด: เส้นใยมะพร้าว: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 โดยน้ำหนัก และเสริมด้วยเหล็กเส้นกลมและเหล็กตะแกรง เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 ความต้านทานแรงอัด 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้ ผลงานที่ออกแบบสามารถยื่นขอจดแจ้งลิขสิทธิ์และเขียนเป็นบทความเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

คำสำคัญ: อาคารสำเร็จรูป, ครึ่งทรงกลม, โครงสร้างเหล็ก, เปลือกอาคาร, เส้นใยมะพร้าว

Abstract

The objectives of this research are to develop the structure, to create the knowledge of construction technology, to test the properties, to construction the prototype building, and to transfer the technology of hemisphere pre-engineered building with easy assembly steel structure type. The load and resistance factor design (LRFD) method was used to design the structure by regarding the strength, material type, construction and deconstruction step, and cost. From the design, the prototype of hemisphere pre-engineered building (only the frame structure) was construction with 5 meters of diameter, 3.5 meters of height, 19.635 square meters of useful space, 200,000 Baht of material cost (10,186 Baht per square meter for all materials), 27 hours or 3 days of construction period. According to the modular coordination system, this hemisphere pre-engineered building cans construction and deconstruction fast, especially when apply to help disaster victims. After tested the structure that the calculation value of safety factor (S.F.) is 1.76. The envelope of this building used the ratio of Portland cement type 1: fine sand: coconut fiber: waterproofed liquid: tap water which equal to 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 by weight and reinforced by round bar and wire mesh steel. According to the testing, the building-envelope properties are following: density 1,582 kg/m^3, thermal conductivity coefficient 0.371 watt/m.Kelvin, water absorption 17.31 %, compressive strength 118.47 ksc, and bending strength 28.88 ksc. Moreover, these results can register the copyright and draft the research paper to transfer the technology for target group.

Keywords: Pre-Engineered Building, Hemisphere, Steel Structure, Building- envelope, Coconut fiber

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 บ้านน็อกดาวน์	4
2.2 บ้านพักอาศัยชั่วคราวสำหรับกรณีฉุกเฉิน	4
2.3 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวของทางราชการ	4
2.4 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวของ วสท.	5
2.5 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศสหรัฐอเมริกา	6
2.6 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศญี่ปุ่น	7
2.7 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศเวียดนาม	8
2.8 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์สึนามิ)	9
2.9 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์โคลนถล่มที่ภาคเหนือ)	9
2.10 ความต้องการพื้นที่ใช้สอยของผู้อยู่อาศัย	10
2.11 ระบบประสานทางพิกัด	11
2.12 การออกแบบในระบบประสานทางพิกัด	11
2.13 การกำหนดมิติ	11
2.14 ความเบี่ยงเบน	12
2.15 ความคลาดเคลื่อน	13
2.16 มิติประสาน	13
2.17 หน่วยพิกัด	14
2.18 ตารางพิกัดมูลฐาน	16
2.19 การประสานทางพิกัด	17
2.20 การประมาณราคา	18
2.21 การออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธี LRFD	19
2.22 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดึง	20
2.23 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงอัด	23
2.24 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดัด	24
2.25 การโก่งขององค์อาคารเหล็ก	27
2.26 ความเป็นมาทางสถาปัตยกรรมโดม	28
2.27 คุณสมบัติที่ดีของโครงสร้างรูปทรงโดม	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.28 โครงสร้างเปลือกบาง	31
2.29 หลังคาโครงโค้ง	32
2.30 พฤติกรรมทางโครงสร้างเปลือกบางในโดมครึ่งวงกลม	32
2.31 ความเค้นในโครงเปลือกรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง	35
2.32 ความเค้นดัดในโดม	36
2.33 สมมติฐาน	37
2.34 กรอบแนวความคิด	37
2.35 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	41
3.2 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป	51
3.3 การออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป	51
3.4 การประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป	52
3.5 การขึ้นรูปต้นแบบอาคารสำเร็จรูป	52
3.6 การทดสอบอาคารสำเร็จรูป	56
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	62
4.1 ผลการออกแบบอาคารสำเร็จรูป	62
4.2 ผลการออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป	66
4.3 ผลการประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป	68
4.4 ผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	69
4.5 ผลการทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	81
4.6 ผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคาร	82
4.7 ผลการขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคารสำเร็จรูป	87
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผล	97
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	101
ก ร่างบทความสำหรับเผยแพร่	
ข หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการวางฐานรองรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobe ของสถาปนิก Nader Khalili	7
2.2	ลักษณะบ้านถุงทรายของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobe ของสถาปนิก Nader Khalili	7
2.3	อาคารบ้านพักอาศัยชั่วคราว เมืองโกเบ ที่ก่อสร้างด้วยท่อกระดาษ	8
2.4	สัดส่วนคนไทย	10
2.5	วิวัฒนาการของรูปทรงโดม	28
2.6	Pantheon ในกรุงโรม	29
2.7	สุเหร่าโซเฟีย (Sophiamosque)	29
2.8	โดมหัวหอม (Onion Dome)	30
2.9	บ้านรูปทรงโดม (Dome House)	30
2.10	สนามกีฬาซุปเปอร์โดม (Super Dome)	30
2.11	ลักษณะของหลังคาโครงโค้งเป็นรัศมี	32
2.12	ความเค้นในแนวเมอริเดียนในโดมเปลือกบางครึ่งวงกลม	33
2.13	การเปลี่ยนแปลงรูปของโดมที่โค้งน้อย	33
2.14	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโดมที่มีโค้งมากภายใต้น้ำหนักตายตัว	34
2.15	ลักษณะกลไกของการเฉือนในโดม	35
2.16	ลักษณะการเฉือนที่ขอบของโครงเปลือกบางรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง	35
2.17	การเสียรูปเนื่องจากการดัดที่บริเวณฐานที่เพิ่มความแข็งแรงโดยรอบ	36
2.18	กรอบแนวความคิดของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย	38
2.19	โครงสร้างโดมของ Buckminster Fuller	38
2.20	ลักษณะโครงสร้างโดมของ Albert A. Fink	39
2.21	ลักษณะรอยต่อที่ฐานโครงสร้าง	39
3.1	เหล็กรูปพรรณหน้าตัดกลม	41
3.2	เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	41
3.3	เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	42
3.4	หน้ากากกันแสง	42
3.5	ลวดเชื่อมไฟฟ้า	42
3.6	เครื่องตัดเหล็ก	43
3.7	เครื่องเจียรแบบมือถือ	43
3.8	สว่านไฟฟ้า	44
3.9	ประแจบล็อก	44
3.10	ประแจเลื่อน	44
3.11	ตลับเมตร	45
3.12	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	45
3.13	ไม้ฉาก	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.14	ลูกดิ่ง	46
3.15	ค้อน	46
3.16	สิ่ว	46
3.17	เกียงฉาบ	47
3.18	เครื่องทดสอบอเนกประสงค์	47
3.19	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	48
3.20	ทรายละเอียด	48
3.21	เส้นใยมะพร้าว	49
3.22	แบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร	49
3.23	แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร	50
3.24	เครื่องผสมปูน	50
3.25	ตะแกรงเหล็กสี่เหลี่ยม	51
3.26	การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่ออกแบบ	52
3.27	การชั่งน้ำหนักทรายละเอียดตามอัตราส่วนที่ออกแบบ	52
3.28	การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร	53
3.29	การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร	53
3.30	การติดตั้งแผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรง สำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร	54
3.31	ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้	54
3.32	เปลือกอาคารเบื้องต้นที่ผ่านการเทหล่อเรียบร้อยแล้ว	54
3.33	ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้	55
3.34	การฉาบเรียบเปลือกอาคารให้มีความสวยงามเรียบร้อย	55
3.35	เปลือกอาคารที่ผ่านการหล่อและฉาบเรียบแล้ว	55
3.36	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม	56
3.37	การวิบัติของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	56
3.38	เหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	57
3.39	การเชื่อมรอบเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมด้วยลวดเชื่อม	57
3.40	การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม	57
3.41	การชั่งน้ำหนักเพื่อทดสอบความหนาแน่น	58
3.42	การชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร	58
3.43	การอบก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	59
3.44	การแช่ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารลงในน้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	59
3.45	การเช็ดก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารให้แห้งเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	59
3.46	การชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	60
3.47	การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM	60
3.48	ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด	60
3.49	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM	61
3.50	แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แบบมิติและลักษณะภายนอกอาคารทรงครึ่งทรงกลม	62
4.2	แบบโครงสร้างผนังส่วนแนวตั้งและแนวนอนของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	64
4.3	แบบโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	65
4.4	แบบโครงสร้างฐานรากของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	66
4.5	แผนการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method)	68
4.6	การดัดโค้งของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมให้มีรัศมีต่างๆ ตามต้องการ	69
4.7	เหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม	69
4.8	การตกแต่งรอยตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ	70
4.9	การวางผังโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	70
4.10	การวางโครงสร้างแนวนอนและแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	70
4.11	โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	71
4.12	การเชื่อมอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า	71
4.13	การเชื่อมกันของโครงสร้างแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	71
4.14	การติดตั้งโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	72
4.15	ลักษณะโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	72
4.16	การเชื่อมพอกบริเวณรอยต่อของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	72
4.17	โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม ทั้ง 6 ส่วน	73
4.18	การตกแต่งรอยเชื่อมของโครงสร้างด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ	73
4.19	ชิ้นส่วนโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมแต่ละส่วน	73
4.20	การประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่างเพื่อรองรับโครงสร้างผนังส่วนบน	74
4.21	การเชื่อมโครงสร้างผนังส่วนล่าง	74
4.22	การวางรอยต่อส่วนล่างชั่วคราวของโครงสร้างผนัง	74
4.23	การนำโครงสร้างผนังส่วนบนขึ้นไปเพื่อประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่าง	75
4.24	การวัดขนาดของโครงสร้างผนังอาคารส่วนล่าง	75
4.25	การยกโครงสร้างผนังส่วนบนไปติดตั้งบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง	75
4.26	การนำโครงสร้างผนังส่วนบนวางบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง	76
4.27	การจัดโครงสร้างผนังส่วนบนให้เข้ารูป	76
4.28	การทำสลักชั่วคราวเพื่อช่วยให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้ง่าย	76
4.29	การเชื่อมโครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างให้ติดกันชั่วคราว	77
4.30	การขันชะเนาะเพื่อให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้อย่างสมบูรณ์	77
4.31	การขันชะเนาะโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน	77
4.32	การวางแนวดิ่งเพื่อให้โครงสร้างผนังมีความสมมาตร	78
4.33	การเชื่อมโครงสร้างผนังชั่วคราวเพื่อให้โครงสร้างเข้ารูปอย่างสมบูรณ์	78
4.34	โครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างที่เชื่อมติดกันแล้ว	78
4.35	โครงสร้างพื้นที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างผนังส่วนล่าง	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.36	โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมก่อนการเจาะรูเพื่อทำรอยต่อ	79
4.37	การเจาะรูโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว	80
4.38	รูเจาะของโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว	80
4.39	การประกอบโครงสร้างหลังคาโดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า	80
4.40	โครงสร้างหลังคาที่ยึดเข้ากับโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน	81
4.41	โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมที่มีความสมบูรณ์	81
4.42	ความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน	82
4.43	ภาพขยายเส้นใยมะพร้าวที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า	83
4.44	การดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน	83
4.45	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน	84
4.46	ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่มต่างๆ	85
4.47	ความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน	86
4.48	ลักษณะแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากทดสอบความต้านทานแรงดัด	86
4.49	การขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปโดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อ	87
4.50	การประกอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่แยกชิ้นส่วนมา	88
4.51	การประกอบฐานของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	88
4.52	ฐานของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	88
4.53	การติดตั้งตงของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	89
4.54	โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่พร้อมสำหรับการขึ้นรูปและติดตั้งเปลือกอาคาร	89
4.55	การติดตั้งเหล็กเส้นกลมสำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร	89
4.56	แผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรง สำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร	90
4.57	การฉาบเปลือกอาคารลงบนแผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรงที่เตรียมไว้	90
4.58	ภายในเปลือกอาคารที่มีการฉาบเบื้องต้นไว้แล้ว	90
4.59	อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมที่มีการฉาบเบื้องต้นแล้ว	91
4.60	การตัดแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์สำหรับใช้เป็นพื้นอาคาร	91
4.61	การติดตั้งชิ้นส่วนพื้นโดยใช้แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ลงบนตงของอาคาร	91
4.62	การใช้นั่งร้านช่วยในการก่อสร้าง	92
4.63	การทาสีผนังอาคารสำเร็จรูปทรงกลม	92
4.64	การติดตั้งม้านั่งภายในอาคารเพื่อใช้งาน	92
4.65	ด้านข้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี	93
4.66	ด้านหน้าอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี	93
4.67	ด้านหลังอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี	93
4.68	ด้านหน้าอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี	94
4.69	ด้านข้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี	94
4.70	ด้านหลังอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.71	ด้านบนของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี	95
4.72	ภายในของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี	95
4.73	การติดตั้งระบบแสงสว่างของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม	95
4.74	การติดตั้งระบบไฟฟ้าของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว	51
4.1	ขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลม	67
4.2	ราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม	72
4.3	การเปรียบเทียบผลการออกแบบและการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงที่สำคัญของโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในอาคารสำเร็จรูปทรงกลม	82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันภัยพิบัติทางธรรมชาติกำลังเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการเตรียมความพร้อมรับมือกับสิ่งที่จะเกิดขึ้น เช่น อุทกภัย วาตภัย แผ่นดินไหว และดินถล่ม เป็นต้น ซึ่งนับวันจะเกิดขึ้นบ่อยและทวีความรุนแรงมากขึ้น จากรายงานการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติทั่วโลก ปี 2553 พบว่า มีการเกิดภัยพิบัติขึ้น ณ ทวีปอเมริกา 362 ครั้ง ทวีปเอเชีย 310 ครั้ง ทวีปยุโรป 120 ครั้ง ทวีปแอฟริกา 90 ครั้ง และทวีปออสเตรเลีย 65 ครั้ง ซึ่งความรุนแรงของภัยธรรมชาติแต่ละครั้งมีความรุนแรงอย่างมาก เช่น วันที่ 12 มกราคม 2553 เกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศเฮติ ความรุนแรง 7.0 ริกเตอร์ มีผู้เสียชีวิตกว่า 222,570 ราย มูลค่าความเสียหายอยู่ที่ 8,000 ล้านเหรียญ และวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2553 เกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศชิลี ความรุนแรง 8.8 ริกเตอร์ มูลค่าความเสียหายกว่า 30 พันล้านเหรียญ หรือการเกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศจีนในวันที่ 13 เมษายน 2553 ความรุนแรง 6.9 ริกเตอร์ และการเกิดอุทกภัยที่ประเทศปากีสถานในวันที่ 29 กรกฎาคม 2553 จากสถิติในช่วง 30 ปี ที่ผ่านมา สามารถสรุปตัวเลขได้ว่า แต่ละปีจะมีผู้เสียชีวิตจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ เฉลี่ยปีละ 66,000 ราย และทรัพย์สินเสียหาย เฉลี่ยปีละ 95 พันล้านเหรียญ (Debby et al., 2011)

ปัญหาสำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง เมื่อเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ คือ การไร้ที่อยู่อาศัยของผู้ประสบภัย เนื่องจากที่อยู่อาศัยเป็นปัจจัยที่มนุษย์ขาดไม่ได้ อีกทั้งยังเป็นสถานที่พักกายพักใจ และป้องกันแดดฝนของผู้ประสบภัย ทำให้การพัฒนาที่อยู่อาศัยชั่วคราวที่สามารถติดตั้งและก่อสร้างได้รวดเร็ว จึงเป็นเรื่องจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องเตรียมการเพื่อลดความเดือดร้อนของผู้ประสบภัยด้านที่อยู่อาศัย (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2553)

อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย จึงถูกนำมาพัฒนาและออกแบบ เพื่อให้ได้ที่พักอาศัยกึ่งถาวร ซึ่งสามารถติดตั้งและถอดประกอบได้รวดเร็ว มีต้นทุนการผลิตต่ำ โดยใช้ระบบน็อกดาวน์ (Knock down system) (วว., 2520) มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัย รวมเป็นเวลา 2 ปี ปีที่ 1 (พ.ศ.2559) ดำเนินการพัฒนาและออกแบบโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม และปีที่ 2 (พ.ศ.2560) ดำเนินการพัฒนาเปลือกผนังอาคารที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ต้นทุนต่ำ และใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับใช้กับโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม

โครงการวิจัยนี้ เป็นการดำเนินโครงการวิจัยในปีที่ 2 ซึ่งจะได้อาคารสำเร็จรูปที่สามารถถอดประกอบได้ง่าย และมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของผู้ประสบภัยได้อย่างทันท่วงที สร้างความเชื่อมั่นให้กับประชาชน ทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง

1.2.2 เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.3 เพื่อทราบถึงทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.4 เพื่อทดสอบการก่อสร้างต้นแบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.5 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายให้กับผู้สนใจ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีพื้นที่ใช้สอย ไม่น้อยกว่า 16 ตารางเมตร

1.3.2 ออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD)

1.3.3 ออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐาน AISC/EIT และ AWS สำหรับรอยเชื่อม

1.3.4 ใช้แนวคิดระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างอาคาร

1.3.5 ออกแบบขั้นตอนการติดตั้งและรื้อถอนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.3.6 ประมาณราคาวัสดุในส่วนของราคาโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย โดยใช้ข้อกำหนดราคากลางของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์

1.3.7 ดำเนินงานพัฒนาเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย ได้แก่

1) มิติและรูปทรงของเปลือกอาคาร
2) ส่วนผสมและส่วนประกอบของเปลือกอาคาร
3) กระบวนการขึ้นรูปของเปลือกอาคาร
4) วิธีการถอดประกอบของเปลือกอาคาร
5) ต้นแบบและการติดตั้งใช้งานเปลือกอาคาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ด้านวิชาการ

1) ทราบกระบวนการพัฒนาระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง

2) ทราบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

3) ทราบผลการใช้งานจริงของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

4) สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในงานประชุมสัมมนาวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ หรือเผยแพร่บทความวิจัยในวารสารวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ

5) ยื่นคำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์

1.4.2 ด้านนโยบาย

1) ช่วยเป็นข้อมูลในการเสนอนโยบายการพัฒนาการเตรียมความพร้อมรับผลกระทบจากภัยพิบัติ

2) ส่งเสริมให้ชุมชนมีการเตรียมความพร้อมรับผลกระทบจากภัยพิบัติ

3) ผู้ประกอบการวัสดุก่อสร้างให้ความสำคัญกับการผลิตอาคารสำเร็จรูปเพื่อผู้ประสบภัยมากยิ่งขึ้น

1.4.3 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

1) ได้ต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์

2) เพิ่มรายได้ให้กับชุมชน ผู้ประกอบการ และผู้รับเหมาก่อสร้างที่ใช้ประโยชน์จากอาคารสำเร็จรูปจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

3) ช่วยลดความเดือดร้อนและความเสียหายของทรัพย์สินของผู้ประสบภัย

4) ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์อาคารสำเร็จรูปเพื่อผู้ประสบภัยขยายผลสู่เชิงพาณิชย์

1.4.4 ด้านสังคมและชุมชน

1) ชุมชนที่สนใจได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

2) สังคมมีการเตรียมความพร้อมเพื่อรับผลกระทบจากการเกิดภัยพิบัติ

3) ใช้เป็นแนวทางในการสร้างชุมชนที่เข้มแข็ง สามารถพึ่งพาตนเองเบื้องต้นเมื่อเกิดภัยพิบัติได้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

โครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” สามารถทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องได้ ดังนี้

2.1 บ้านน็อกดาวน์

บ้านน็อกดาวน์ คือ บ้านสำเร็จรูป (Finished Home) ซึ่งจะไม่มีเสาและคานแต่จะใช้ผนังเป็นตัวรับน้ำหนักแทน โดยยึดหลักของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing System) ทั้งนี้ผนังและส่วนประกอบต่างๆภายในบ้านจะถูกออกแบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แล้วนำชิ้นส่วนมาประกอบกัน โดยแต่ละชิ้นส่วนจะมีการประกอบที่หน้างานได้โดยสะดวกและมีความคลาดเคลื่อนน้อย เนื่องจากได้มีการออกแบบและผลิตแต่ละชิ้นส่วนจากโรงงาน บ้านน็อกดาวน์เป็นธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ที่ได้รับความนิยมมานานมากในต่างประเทศและกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆในประเทศไทย การสร้างบ้านน็อกดาวน์เป็นที่นิยมมากในประเทศที่มักประสบปัญหาภัยธรรมชาติบ่อยครั้ง เนื่องจากในการสร้างบ้านน็อกดาวน์นั้นทั้งรวดเร็ว สะดวก ราคาถูก และแข็งแรงทนทานอีกด้วย โดยข้อดีของบ้านน็อกดาวน์ ได้แก่ บ้านน็อกดาวน์มีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง จึงทำให้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้อีกกว่า 40% มีจำนวนแรงงานในการก่อสร้างที่น้อยลง และยังมีความมั่นคงแข็งแรง ให้ความสะอาดในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง รวมไปถึงไม่ทำลายสภาวะแวดล้อมทางเสียง ส่วนข้อจำกัดของบ้านน็อกดาวน์ ได้แก่ บ้านน็อกดาวน์จะมีโครงสร้างที่มีน้ำหนักมาก จึงจำเป็นต้องมีเสาเข็มที่ยาวกว่าบ้านในการก่อสร้างปรกติ และยังไม่เหมาะสมกับบ้านที่มีรายละเอียดซับซ้อนมาก รวมถึงไม่เหมาะสมกับการดัดแปลงโครงสร้างของตัวบ้าน หรือแม้กระทั่งปรับปรุงซ่อมแซมส่วนเล็กๆ น้อยๆ เช่น การตอกตะปู เป็นต้น (มามี, 2541)

2.2 บ้านพักอาศัยชั่วคราวสำหรับกรณีฉุกเฉิน

บ้านพักอาศัยชั่วคราว คือ อาคาร หรือ สิ่งปลูกสร้าง ที่สร้างขึ้นเพื่อการใช้สอยของผู้ยากไร้ ผู้ประสบภัยหรืออาคารชั่วคราวประเภทหนึ่ง ซึ่งตามกฎกระทรวง (พ.ศ. 2498) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2479 ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็น “สิ่งปลูกสร้างซึ่งทางผู้ว่าราชการจังหวัดพิจารณาเห็นว่า เพื่อใช้ประโยชน์เป็นการชั่วคราว และมีกำหนดที่จะรื้อถอน” ดังนั้น การออกแบบบ้านพักอาศัยชั่วคราว จึงต้องคำนึงถึงเรื่องระยะเวลาในการใช้สอยที่มีกำหนดระยะเวลา ทำให้รูปแบบของอาคารไม่ควรที่จะมีความถาวรมากจนเกินไป แต่ก็ต้องมีความสะดวกสบายต่อการดำรงชีวิต (สุธี, 2550)

2.3 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวของทางราชการ

กฎกระทรวงฉบับที่ 9 พ.ศ.2528 ข้อ 4 อาคารชั่วคราวเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอาคารถาวรซึ่งสูงไม่เกิน 2 ชั้น หรืออาจสูงจากระดับพื้นดินถึงหลังคาหรือส่วนของอาคารที่สูงที่สุดไม่เกิน 9 เมตร และมีกำหนดเวลารื้อถอนเมื่ออาคารแล้วเสร็จ ต้องขออนุญาตตามมาตรา 21 แต่การให้ได้รับการผ่อนผันไม่ต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวงมหาดไทย ซึ่งออกตามความในมาตรา 8 (1) (2) (3) (4) (6) (7) (8) และ (10) ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขออนุญาตรื้อถอนอาคารตามมาตรา 23 ซึ่งแต่เดิมนั้นก่อนจะมีประกาศกฎกระทรวงนี้ ได้มีระเบียบกรุงเทพมหานครว่าด้วยการสุขาภิบาล เกี่ยวกับการขออนุญาตและการควบคุมการก่อสร้างชั่วคราว พ.ศ. 2527 ได้กำหนดให้ต้องยื่นคำขออนุญาตปลูกสร้างอาคารชั่วคราวจากผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานคร และยังได้กำหนดให้มีส้วมที่ถูกลักษณะ สำหรับคนงานเข้าพักอาศัยในอัตราที่ 1

ต่อ 25 คน และได้กำหนดโทษสำหรับการปลูกสร้างอาคารชั่วคราวโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือปลูกสร้างผิดแบบที่ได้รับอนุญาต เช่นเดียวกับการขออนุญาตและการควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2525 อย่างไรก็ตาม การขออนุญาตปลูกสร้างอาคารชั่วคราวตามมาตรา 21 ในปัจจุบันยังได้รับการผ่อนผันในเรื่องต่างๆ ตามมาตรา 8 (ประสาน, 2539) ดังนี้

1) ลักษณะแบบ รูปทรง สัดส่วน เนื้อที่และที่ตั้งของอาคาร

2) การรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทน ตลอดจนลักษณะและสมบัติของวัสดุที่ใช้

3) การรับน้ำหนัก ความต้านทาน และความคงทนของอาคารหรือพื้นดินที่รองรับอาคาร

4) ระบบและวิธีเกี่ยวกับการติดตั้งระบบการประปา ไฟฟ้า ก๊าซ และการป้องกันอัคคีภัย

5) ระบบการจัดแสงสว่าง การระบายอากาศ การระบายน้ำ และการกำจัดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล

6) ลักษณะระดับ เนื้อที่ของที่ว่างภายนอกอาคาร หรือแนวอาคาร

7) ระยะหรือระดับระหว่างอาคารกับอาคาร หรือเขตที่ดินของผู้อื่น หรือระหว่างอาคารกับถนน ตรอก ซอย ทางเท้า หรือที่สาธารณะ

8) บริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน เคลื่อนย้าย และใช้หรือแลกเปลี่ยนการใช้อาคารชนิดใดหรือประเภทใด

ตัวอย่างข้อกำหนดทางราชการบางหน่วยงาน เรื่องการจัดการที่พักอาศัยสำหรับผู้ควบคุมงานที่ระบุไว้กับข้อกำหนดการก่อสร้าง โดยจะต้องมีห้องนอนที่มีขนาดเหมาะสม พร้อมทั้งอุปกรณ์เครื่องใช้ในการพักอาศัย การป้องกันความร้อน การระบายอากาศ ช่องแสงสว่าง และอื่นๆตามความจำเป็นเพื่อการอยู่อาศัยให้เพียงพอ ทั้งนี้ขนาดห้องนอนและห้องน้ำ - ส้วม ให้ปฏิบัติตามเกณฑ์ ดังนี้

1) ขนาดห้องนอนต่อ 1 ห้องนอน ต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เล็กกว่า 10 ตารางเมตร และด้านแคบที่สุดต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

2) ขนาดห้องน้ำ – ส้วม ต่อ 1 ห้อง ต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เล็กกว่า 3 ตารางเมตร และด้านแคบที่สุดต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร

3) จำนวนห้องน้ำ – ส้วม ต่อจำนวนผู้ควบคุมงานก่อสร้างปฏิบัติตามเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

- ห้องนอน 1 ห้อง และห้องน้ำ – ส้วม 1 ห้อง ต่อผู้ควบคุมงานก่อสร้าง 1 – 2 คน
- ห้องนอน 2 ห้อง และห้องน้ำ – ส้วม 1 ห้อง ต่อผู้ควบคุมงานก่อสร้าง 3 – 4 คน
- ห้องนอน 3 ห้อง และห้องน้ำ – ส้วม 2 ห้อง ต่อผู้ควบคุมงานก่อสร้าง 5 – 6 คน
- ห้องนอน 4 ห้อง และห้องน้ำ – ส้วม 2 ห้อง ต่อผู้ควบคุมงานก่อสร้าง 7 – 8 คน

2.4 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวของ วสท.

มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี พ.ศ. 2533 - พ.ศ. 2534 ของ ว.ส.ท. ได้เห็นถึงความสำคัญของอาคารที่พักอาศัยชั่วคราวของผู้ใช้แรงงานก่อสร้างที่ยังไม่ถูกสุขลักษณะไม่ได้มาตรฐาน จึงแต่งตั้งคณะอนุกรรมการประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิ จากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ช่วยกันจัดร่างมาตรฐานของอาคารชั่วคราวสำหรับผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง และสถานรับเลี้ยงเด็กที่เป็นบุตรหลานของผู้ใช้แรงงานก่อสร้างก่อนวัยเรียน ตลอดจนสภาพแวดล้อมในบริเวณที่พักอาศัย เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปปฏิบัติเป็นมาตรฐาน นำคุณภาพชีวิตที่ดีมาสู่แรงงานกลุ่มหนึ่งซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี และมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้าง (ประสาน, 2539) ผลสรุปจากคณะกรรมการชุดดังกล่าว ได้เห็นควรให้มีการกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของสวัสดิการขั้นพื้นฐานในเรื่องที่พักอาศัย ห้องน้ำ – ห้องส้วม และสถานรับเลี้ยงเด็กก่อนวัยเรียน โดยที่มาตรฐานเหล่านั้น ได้แก่ขนาดกว้าง ยาว สูง หน้าต่าง ช่องระบายอากาศ วัสดุ

ก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาคารดังกล่าวอาจถูกกำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง โดยเขียนรายการประกอบแบบไว้ เช่นเดียวกับการจัดสถานที่สำหรับวิศวกรบริหารโครงการ หรือผู้ควบคุมงานซึ่งผู้รับจ้างจะยึดถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาและรายการก่อสร้าง จะได้คิดราคารวมเสนอพร้อมกับประมูลโครงการด้วย (สุธี, 2550)

ข้อกำหนดอาคารชั่วคราวสำหรับผู้ใช้แรงงานก่อสร้างอาคารพักอาศัย

1) อาคารพักอาศัยคนงานก่อสร้าง ต้องยกพื้นชั้นล่างสูงจากระดับดินไม่เกิน 1 เมตร และไม่ปลูกสร้างบนที่ลุ่ม มีน้ำขัง หรือที่ดินที่ถมด้วยขยะมูลฝอย เว้นแต่จะมีดินถมทับหน้าหนา 30 เซนติเมตร อาคารพักอาศัยต้องมีความมั่นคงแข็งแรงถูกสุขลักษณะ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้พักอาศัย

2) ห้องที่ใช้พักอาศัยให้มีส่วนกว้างหรือยาวไม่ต่ำกว่า 2.40 เมตร พื้นที่ทั้งห้องไม่น้อยกว่า 9 ตารางเมตร สำหรับ 1 ครอบครัว และมีช่องระบายอากาศไม่น้อยกว่า ร้อยละ 10 ของพื้นที่ห้อง

- ให้มีประตูและหน้าต่างอย่างน้อยห้องละ 1 ชุด
- ช่องทางเดินภายในอาคารสำหรับพักอาศัยต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร และมีแสงสว่างเห็นได้ชัดเจน
- ระยะดิ่งระหว่างพื้นถึงยอดฝาหรือผนังของอาคารตอนต่ำสุด ต้องไม่ต่ำกว่า 3.00 เมตร
- ขนาดกว้างของบันไดต้องไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร ช่วงหนึ่งๆมีความสูงไม่เกิน 3 เมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร และลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 22 เซนติเมตร
- ฐานรากของอาคารต้องทำเป็นลักษณะถาวร และมีความมั่นคงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัย
- ต้องมีทางระบายน้ำฝนอย่างเพียงพอ และก่อนปล่อยสู่ทางระบายน้ำสาธารณะจะต้องมีตะแกรงดักขยะอยู่ในที่ที่ตรวจสอบได้
- ให้มีดวงโคมและปลั๊กอย่างละ 1 ชุด ในห้องพักคนงาน และระบบไฟฟ้าต้องเป็นแบบที่มีความปลอดภัยเพียงพอ
- ให้จัดเตรียมหัวดับเพลิงแบบแห้งมือถือ อย่างน้อย 1 ชุด ต่ออาคาร หรือติดตั้งไว้ในระยะทางไม่เกิน 45 เมตร
- รายการวัสดุก่อสร้าง อาจเปลี่ยนแปลงโดยใช้วัสดุเทียบเท่าอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเห็นชอบของสถาปนิกวิศวกร อาทิ เช่น ฝาผนัง ใช้กระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร หรือไม้อัดไผ่หนา 2 มิลลิเมตร หรือกระดาษอัดหรือไม้อัดแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร ไม้พื้นใช้ไม้กระดาน 1 × 8 นิ้ว หรือไม้อัดแผ่นเรียบ 12 มิลลิเมตร หลังคา ใช้หลังคาสังกะสีลอนคู่ หรือกระเบื้องลอนเล็ก เป็นต้น (สุธี, 2550)

2.5 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

Nader Khalili สถาปนิกลูกครึ่งอิหร่าน – อเมริกันวัย 64 ปี เกิดความรู้สึกว่า การที่จะอยู่อย่างเหมาะสมและกลมกลืนกับธรรมชาติ (Earth) ได้นั้น จะต้องอยู่ในตัวของธรรมชาติเอง และ เมื่อสามารถที่จะหลีกหนีการเกิดหายนะทางธรรมชาติได้ ทางเดียวที่จะป้องกันตัวได้ก็คือ การใช้ธรรมชาติมาเป็นตัวป้องกันธรรมชาติด้วยกัน เพราะธรรมชาติมีความสมดุลในตัวมันเอง Khalili ได้นำความคิดดังกล่าวมาพัฒนาระบบการก่อสร้างที่เรียกว่า “Super Adobe” ขึ้น เพื่อช่วยเหลือประชาชนที่ต้องประสบความเดือดร้อนจากภัยธรรมชาติ และภัยที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ โดยเฉพาะความขาดแคลนด้านที่อยู่อาศัยราคาถูกของผู้มีรายได้ต่ำที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศต่างๆทั่วโลก (สุธี, 2550) การก่อสร้างอาคารตัวอย่างเริ่มต้นขึ้นที่สถาบัน California institute of Art and Architecture (Cal-Eart) ในเมือง Hesperia ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยรูปแบบอาคารหลังแรกที่ Khalili สร้างขึ้น มีลักษณะเป็นอาคารรูปทรงโค้ง (Arch) สร้างขึ้นจากกระสอบทรายที่นำมาเรียงต่อกันเป็นทรงโค้ง โดยใช้ลวดหนามเป็นตัวยึดระหว่างถุง

ทราย ทำให้ถุงทรายสามารถที่จะกระจายน้ำหนักไปตามโค้งของหลังคาได้ความสำเร็จของ Khalili ในการก่อสร้างอาคารคือการใช้เทคนิคราคาถูกที่เขาเรียกว่า Super Adobe นี้ทำให้รัฐบาลของประเทศต่างๆ แสดงความสนใจที่จะนำมาใช้ในประเทศของตนเอง

รูปที่ 2.1 ลักษณะการวางฐานรองรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobeของสถาปนิก Nader Khalili (สุธี, 2550)

รูปที่ 2.2 ลักษณะบ้านถุงทรายของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobe ของสถาปนิก Nader Khalili (สุธี, 2550)

2.6 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศญี่ปุ่น

ในปี ค.ศ.1995 เกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่เมืองโกเบประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นการเกิดแผ่นดินไหวครั้งยิ่งใหญ่ที่สุดครั้งหนึ่งของโลก ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อทรัพย์สิน และชีวิตของประชาชนชาวญี่ปุ่นอย่างมาก ซึ่งหลังจากแผ่นดินไหวสงบลงเจ้าหน้าที่จากหน่วยงาน อาสาสมัครในการช่วยเหลือนั้นได้มีสถาปนิกอาสาที่เข้าไปให้ความช่วยเหลือในด้านที่อยู่อาศัยของผู้ประสบภัย บ้านพักอาศัยที่ทีมงานอาสาสมัครเข้าไปให้ความช่วยเหลือ เป็นบ้านพักอาศัยที่ทำมาจากท่ากระดาษ (Paper Pipe) โดยจัดสร้างในลักษณะบ้านพักท่อกระดาษ (Paper log House) เพื่อเป็นอาคารพักอาศัย ทดแทนการใช้เต็นท์พักอาศัยที่ติดตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับบ้านของผู้ประสบภัยที่เสียหายไป ที่กำลังทรุดโทรมลง แต่เนื่องจากบ้านพักอาศัยที่ทางราชการจัดหาให้นี้อยู่ห่างไกลพื้นที่เดิม จึงทำให้เกิดปัญหาไกลจากสถานที่ทำงาน และโรงเรียนของลูกหลาน ซึ่งเป็นปัญหาที่มักจะพบในพื้นที่ประสบภัยต่างๆ ในการออกแบบบ้าน

ท่อกระดาษ ได้มีการออกแบบ และทดลองก่อสร้างขึ้น โดยบ้านพักอาศัยชั่วคราวมีขนาดพื้นที่ 16.1ตารางเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใกล้เคียงกับมาตรฐานของบ้านผู้ลี้ภัยที่ออกแบบโดย UNCHR (United Nation Commission for Human) ส่วนฐานรากของบ้านทำมาจากลังเบียร์พลาสติก ภายในบรรจุด้วยทรายผนังประกอบขึ้นมาจากท่อกระดาษที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ยึดติดกันด้วย Bolt โดยมีการสอดแผ่นฟองน้ำกันน้ำไว้ระหว่างท่อแต่ละท่อด้วย ส่วนหลังคาของอาคาร ก็นำเต็นท์พลาสติกมาทำเป็นฝ้าเพดานและหลังคาทรงจั่ว เพื่อให้สามารถเปิดระบายอากาศได้ เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จนำไปใช้งาน ก็เป็นที่ยอมรับของประชาชนผู้ประสบภัยเป็นอย่างดี โดยทางทีมงานอาสาสมัครพบว่าบ้านท่อกระดาษมีข้อดีอยู่หลายอย่างที่เหมาะสำหรับการก่อสร้างเป็นอาคารสำหรับอยู่ชั่วคราวของผู้ประสบภัย เนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูก หาได้ง่ายในพื้นที่ ก่อสร้างและรื้อถอนได้ง่ายในระยะเวลาอันสั้น โดยบุคคลทั่วไปที่ไม่มีความรู้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการช่วยเหลือยังสามารถนำวัสดุที่เหลือใช้มาทำการรีไซเคิลได้ ซึ่งทำให้รัฐบาลไม่จำเป็นต้องเสียงบประมาณในการเก็บรักษา และดูแลซ่อมแซม นอกจากบ้านพักอาศัยแบบบ้านท่อกระดาษที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศญี่ปุ่นนั้น ยังได้มีการผลิต และก่อสร้างบ้านพักอาศัยชั่วคราวออกมาอีกหลายรูปแบบ เช่น แบบบ้านพักอาศัยสำเร็จรูปประกอบสำเร็จ หรือแบบตู้คอนเทนเนอร์ เป็นต้น

รูปที่ 2.3 อาคารบ้านพักอาศัยชั่วคราว เมืองโกเบ ที่ก่อสร้างด้วยท่อกระดาษ

2.7 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศเวียดนาม

ประเทศเวียดนาม เป็นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่อยู่ในอาณาบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทย ทำให้มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ใกล้เคียงกับประเทศไทยเป็นอย่างมาก ประเทศเวียดนามเป็นประเทศที่ประสบกับเหตุอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง ทำให้มีความต้องการบ้านฉุกเฉินในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ไทยได้รับทราบวิธีการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยของทางเวียดนามอยู่ตลอด จากการติดต่อประสานงานกันอยู่อย่างสม่ำเสมอระหว่างสภากาชาดเวียดนามกับสภากาชาดไทย โดยเฉพาะความต้องการทางด้านรูปแบบการอยู่อาศัยของผู้ประสบภัย ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน รูปแบบของบ้านฉุกเฉินที่ใช้ในในประเทศเวียดนามนั้น มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1) รูปแบบที่เป็นอาคารชั้นเดียว (ทั้งแบบติดพื้นดิน และยกพื้น) เป็นอาคารในรูปแบบทั่วๆไปที่สร้างด้วยระบบโครงสร้างเหล็ก ไม่มีผนัง ทำให้ประชาชนต้องมีการต่อเติมผนังขึ้นมาเองด้วยชิ้นส่วนและวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นตามแต่ความพอใจของตัว

2) รูปแบบที่มีลักษณะเป็นอาคารสูง 2 ชั้น โดยมีขนาดความสูงของชั้นล่างมากกว่าชั้นบน ใช้ในการเก็บของ และเป็นสถานที่นอนในเวลากลางคืน ส่วนเวลากลางวัน หรืออการอยู่อาศัย การดำรงชีวิต

ส่วนใหญ่จะใช้พื้นที่ด้านล่างเป็นพื้นที่ในการประกอบกิจกรรมต่างๆหรือถ้าหากประชาชนมีความต้องการที่จะอยู่อาศัยทั้งด้านบนและด้านล่าง ก็สามารถต่อเติมส่วนของผนังอาคารได้ด้วยตนเอง ด้วยวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นนั้นๆ แต่จะทำให้อาคารกลายเป็นอาคารถาวร ที่ไม่สามารถทำการถอดชิ้นส่วนเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่อื่นๆต่อไปได้ (สุธี, 2550)

2.8 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์สึนามิ)

สืบเนื่องมาจากการเกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ที่ ต.น้ำก้อ จ.เพชรบูรณ์ ทางสภากาชาดไทย โดยมูลนิธิเพื่อนพึ่ง(ภา)ยามยาก สำนักงานอาสากาชาด จึงได้มีความคิดในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราว เพื่อนำไปให้ความช่วยเหลือประชาชนตามรายละเอียดข้อมูลที่ได้กล่าวมาในหัวข้อข้างต้นทำให้มีการออกแบบปรับปรุงบ้านพักอาศัยฉุกเฉินขึ้นมาใหม่ โดยยึดแนวความคิดที่ พระเจ้าวรวงศ์เธอพระองค์เจ้าโสมสวลี พระวรราชาธินัดดามาตุ ทรงประทาน ในการนำรูปแบบบ้านพักฉุกเฉินของประเทศเวียดนามมาดำเนินการปรับปรุง และพัฒนาให้เป็นรูปแบบของประเทศไทย ทางทีมงานที่เป็นผู้ออกแบบ ปรับปรุงบ้านพักอาศัยแบบใหม่ที่ได้มีความเห็นร่วมกันว่าบ้านพักอาศัยที่จะปรับปรุงนั้น ควรจะมีรูปแบบที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานของคนไทย จึงนำลักษณะของเรือนไทยโบราณมาเป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุง ทำให้อาคารออกมามีลักษณะเป็นอาคาร 2 ชั้น โดยให้ชั้นล่างเป็นพื้นที่โล่งไม่มีผนัง พื้นเป็นคอนกรีต สำหรับไว้ใช้สอยอย่างอเนกประสงค์ มีบันไดพร้อมราวจับ สำหรับการเดินขึ้นไปสู่ชั้นสอง ที่มีลักษณะเป็นห้องมีผนังโดยรอบทั้ง 4 ด้าน มีหน้าต่าง 2 ชุด ประตู 1 ชุด พื้นที่ภายใน 3 x 4 เมตร วัสดุบุผนังเป็นแผ่นเหล็ก ซิงค์คาลุม (Zincalume) พื้นปูด้วยไม้อัดหนา 15 มิลลิเมตร เพื่อให้มีน้ำหนักเบา ระบบก่อสร้างอาคารใช้ระบบ Knock down เพื่อให้สามารถถอดออกเมื่อไม่มีความต้องการใช้งาน และสามารถนำไปก่อสร้างในพื้นที่อื่นต่อไปได้อย่างรวดเร็วความต้องการอาคารบ้านพักอาศัยชั่วคราวสำหรับผู้ประสบภัย ของทางสภากาชาดไทยมีจำนวนความต้องการถึง 173 ยูนิต ภายในระยะเวลา 1 เดือน ทางบริษัท BHP Steel Building Products (Thailand) Ltd. ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการ จึงได้ทำการอกแบบก่อสร้างโดยคำนึงถึงระบบการติดตั้งที่เป็นลักษณะ Step by Step คือต้องมีลำดับขั้นตอนอย่างชัดเจนเพื่อให้การยึดชิ้นส่วนต่างๆต้องใช้วัสดุประเภท น๊อต Bolt หมุดยิง หรือ ตะปูเกลียวทั้งหมด เพื่อให้สามารถถอดออกจากกันและนำมาประกอบใหม่ได้ตามความต้องการข้อจำกัดในการออกแบบ และดำเนินการก่อสร้างอาคาร คือต้องมีการออกแบบชิ้นส่วนแต่ละชั้นให้มีขนาดที่สามารถผลิตได้โดยเครื่องจักรที่มีอยู่ในโรงงาน เหมาะสมสำหรับการขนส่งและมีตำแหน่งของรูเจาะต่างๆที่เหมาะสม คือ เมื่อมีการหันซ้าย หรือ หันขวา ก็ยังสามารถที่จะติดตั้งได้ เนื่องจากผู้ที่ดำเนินการติดตั้งอาจไม่ใช่บุคคลซึ่งมีความรู้ทางการก่อสร้างเลย ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในการออกแบบ และต้องมีการตรวจสอบจากอาคารตัวอย่างที่ดำเนินการก่อสร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นส่วน (สุธี, 2550)

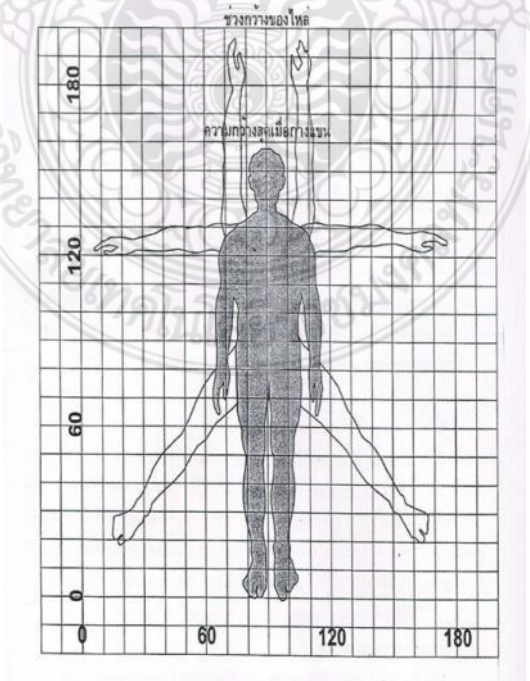
2.9 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์โคลนถล่มที่ภาคเหนือ)

หลังจากเหตุการณ์อุบัติภัยที่ จ.เพชรบูรณ์ เมื่อ เดือนสิงหาคม ปี 2544 แล้ว ประเทศไทยก็ยังประสบกับปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติเรื่อยมา และเหตุการณ์ครั้งสำคัญที่สร้างความเสียหายครั้งใหญ่ให้กับพี่น้องชาวไทยคือครั้งเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม นั้นได้เกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักเกิดน้ำท่วมฉับพลันส่งผลให้มีดินโคลนถล่มในพื้นที่ อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก คาดว่าอาจจะถึง 100 ราย กลายเป็นวิกฤตภัยร้ายแรงของประเทศอีกครั้งหนึ่งที่สร้างความเสียหายกับชีวิตและทรัพย์สินของชาวบ้านเป็นอย่างมาก คณะรัฐมนตรีได้พิจารณาอนุมัติการใช้จ่ายเงินในการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยอย่างเร่งด่วน โดยในส่วนของบ้านสำเร็จรูปนั้นนายกรัฐมนตรีกล่าวว่า ทางมูลนิธิไทยคมได้อาสาให้ความช่วยเหลือบ้านน๊อคดาวน์ จำนวน 400 หลัง ให้กับผู้ที่ประสบภัยที่บ้านเรือนเสียหายหลังจาก

เหตุการณ์น้ำท่วม รูปแบบที่จะนำไปมอบให้กับชาวบ้านในครั้งนี้ยังคงแนวคิดเดิมของบ้านฉุกเฉินชั่วคราว นั่นคือ ต้องเร่งก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว และราคาถูกแต่ที่แตกต่างไปจากรูปแบบบ้าเดิมๆที่เคยทำมาก็คือ แนวคิดในเรื่องของการอยู่อาศัยแบบชั่วคราวและต้องรื้อถอนนั้น ถูกกำหนดให้เป็นบ้านในลักษณะแบบถาวรที่ชาวบ้านได้รับบริจาค (ต้องผ่อนชำระค่าบ้านให้รัฐประมาณ 900 บาท ต่อเดือน) ดังนั้นรูปแบบบ้านของมูลนิธิจึงได้ถูกออกแบบขึ้นใหม่หมดและมีความแตกต่างจากบ้านฉุกเฉินที่เคยใช้กับเหตุการณ์ภัยพิบัติครั้งที่ผ่านๆมา แบบบ้านของมูลนิธิไทยคมที่ได้มอบให้กับชาวบ้านที่ประสบภัยตามนโยบายของรัฐบาลในครั้งนี้เป็นอาคารยกใต้ถุนสูงระบบ Knock down แบบ Skeleton โครงสร้างอาคาร หลังคาและบันไดเป็นเหล็ก ผนังวีว่าบอร์ด และพื้น Precast (ต่อมาได้พัฒนาเปลี่ยนมาใช้พื้น Post tension) หลังคากระเบื้องลอน พื้นที่ใช้สอยถูกแยกออกเป็นสัดส่วนอย่างชัดเจน มีห้องนอน 2 ห้องขนาด 3.60 × 2.40 เมตร ห้องครัว 3.60 × 2.40 เมตร ห้องน้ำ 1.20 × 2.40 เมตร ห้องรับแขก 3.60 × 2.40 เมตร และโถงหน้าบันได 1.00 × 1.20 เมตร พื้นที่ใช้สอยชั้นบนรวม 33.40 ตารางเมตร (สุธี, 2550)

2.10 ความต้องการพื้นที่ใช้สอยของผู้อยู่อาศัย

ผู้ใช้สอยอาคารมีความต้องการพื้นที่ใช้สอยประกอบกิจกรรมที่แตกต่างกันไปตามความเคยชิน ค่านิยม วิถีชีวิต ประเพณีและวัฒนธรรมการอยู่อาศัยของคนกลุ่มนั้นๆโดยสิ่งเหล่านี้จะถูกสะท้อนออกมาในเรื่องของขนาดพื้นที่ใช้สอย และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกสำหรับชีวิตประจำวัน ความต้องการทางด้านกายภาพ มนุษย์มีความต้องการพื้นที่ที่มีขนาด ระยะ ความกว้าง ยาว สูง ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมและวิถีชีวิตของตอนเอง ดังนั้นระยะต่างๆของพื้นที่ประโยชน์ใช้สอยจำเป็นต้องเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของผู้ใช้สอยอาคาร และมีพื้นที่เพียงพอที่จะสามารถประกอบกิจกรรมต่างๆที่หลากหลายได้อย่างเหมาะสม ในการพิจารณาสัดส่วนของผู้ใช้สอยอาคาร พบว่าคนไทยโดยเฉลี่ยช่วงอายุ 20 – 40 ปี มีความสูงโดยประมาณ 167 เซนติเมตร และมีระยะสัดส่วนของร่างกายคนไทย (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)



รูปที่ 2.4 สัดส่วนคนไทย (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.11 ระบบประสานทางพิกัด

ปัจจุบันการก่อสร้างระบบสำเร็จรูปได้พัฒนาและแก้ปัญหาได้ในหลายๆประเทศในภาคพื้นยุโรป และประเทศกำลังพัฒนาอย่างได้ผล ในสมัยก่อนการผลิตส่วนประกอบจากโรงงาน ได้เคยใช้มาบ้างแต่เป็นเพียงบางส่วนของอาคาร เช่นส่วนประกอบประตูหน้าต่าง แต่มีข้อบกพร่องมากไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เพราะส่วนประกอบเหล่านั้นไม่มีการกำหนดการประสานทางพิกัด ส่วนประกอบที่ผลิตขึ้นไม่พอดีกับวัสดุชิ้นอื่นที่ทำเตรียมไว้หรือแม้ส่วนประกอบชิ้นเดียวกันซึ่งผลิตจากโรงงานอื่นๆความยุ่งยากจึงเกิดขึ้นเสมอ ต่อมามีการพิจารณาระบบประสานทางพิกัดในอาคารขึ้นเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เคยมี ช่วยให้การก่อสร้างดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะก่อสร้างด้วยระบบเดิม หรือระบบสำเร็จรูป ในการจัดทำวัสดุก่อสร้าง ประมาณปี 1950 อาจมีวัสดุและวิธีการทำ Table Top เพียง 20 วิธี แต่ปัจจุบันมีไม่น้อยกว่า 100 วิธี การมีวัสดุที่มากขึ้น อาจไม่ช่วยแก้ปัญหามากนัก ถ้าวัสดุเหล่านั้นไม่มีระบบประสานทางพิกัด ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ใช้ระบบนี้กับวัสดุก่อสร้างด้วย นอกจากนั้นการออกแบบเพื่อการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูป ก็จำเป็นที่จะต้องใช้ระบบการประสานทางพิกัดด้วย จุดประสงค์สำคัญของระบบประสานทางพิกัดนั้นเพื่อช่วยกำหนดให้ส่วนประกอบในอาคารมีความสัมพันธ์กันในมิติ หรือขนาดจนสามารถช่วยในการก่อสร้าง การติดตั้ง ทำได้ง่าย รวดเร็วไม่ต้องตัดแต่ง โดยกำหนดหน่วยความยาวหลักขึ้นมาหน่วยหนึ่งเพื่อวางเป็นมาตรฐานในการประสานทางพิกัดเรียกว่าหน่วยพิกัดมูลฐาน ค่าของหน่วยที่จะมาเกี่ยวข้องกับการประสานทางพิกัดนี้จะต้องเป็นค่าที่เพิ่มหรือลดจากผลคูณของหน่วยพิกัดมูลฐาน ตัวอย่าง เช่นใช้ พ เป็นหน่วยพิกัดมูลฐานหน่วยคูณพิกัดมูลฐานอาจเป็น 3 พ. หรือ 6 พ. (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.12 การออกแบบในระบบประสานทางพิกัด

แนวคิดในการออกแบบอาคารในระบบประสานทางพิกัดถูกใช้มาตั้งแต่ในสมัยกรีกและโรมัน หน่วยพิกัด (Module) ถูกนำมาใช้เพื่อก่อให้เกิดความสัมพันธ์ทางด้านมิติ (Dimension) และสัดส่วน (Proportion) ที่สอดคล้องจนเกิดความงดงามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป แต่การออกแบบในระบบประสานทางพิกัดได้ถูกพัฒนาอย่างจริงจังในช่วงสมัยเริ่มต้นของสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่ออุตสาหกรรมการก่อสร้าง โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบประสานทางพิกัด คือการกำหนดให้ขนาด ระยะ และชิ้นส่วนต่างๆ ของอาคารมีการประสานสอด คล้องซึ่งกันและกัน เพื่อก่อให้เกิดการประกอบติดตั้ง การก่อสร้างที่มีความสะดวกรวดเร็ว และสวยงาม ในการออกแบบอาคารในระบบประสานทางพิกัด สิ่งที่มีความจำเป็นเบื้องต้น คือ การกำหนดมิติ (Dimension) และหน่วยพิกัด (Module) เนื่องจากทั้งสองสิ่งดังกล่าวเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดระบบการประสานทางพิกัด และช่วยกำหนดให้ขนาด ระยะ สัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของอาคารมีความสัมพันธ์ และสอดคล้องซึ่งกันและกัน (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.13 การกำหนดมิติ

การผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบอุตสาหกรรม การกำหนดมิติของพื้นผิวของวัตถุ และที่ว่างนั้นมีความสำคัญ มิติที่ใช้ต้องมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกับชิ้นส่วนอื่นๆ ที่จะประกอบเข้าด้วยกันในภายหลัง และต้องมีค่าความสัมพันธ์กับการใช้งานหรือส่วนอื่นๆ ที่ไม่ได้เป็นชิ้นส่วนของอาคารโดยตรง การกำหนดมิติในระบบประสานพิกัดในอาคาร (ชวลิต, 2528) ประกอบด้วย

1) มิติ (Dimension) หมายถึง ระยะระหว่างจุด 2 จุด มิติเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมากในขั้นตอนการวางผังและการออกแบบอาคารในระบบอุตสาหกรรมมิติของชิ้นส่วนสำเร็จรูปกับเนื้อที่ที่เตรียมไว้สำหรับติดตั้งส่วนประกอบจำเป็นจะต้องมีการประสานกันอย่างดี เรียกว่า มิติประสานซึ่งแสดงถึง ขนาด

เนื้อที่ความต้องการของส่วนประกอบเมื่อรวมรอยต่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าแล้ว มิติประสานนี้จะใช้ได้ผลดีเมื่องานขั้นต่างๆที่เกี่ยวเนื่องกับมิติประสานมีความถูกต้องแน่นอน เมื่อกำหนดระบบมิติประสานแล้วการนำไปใช้ในขั้นต่างๆของงานเอานำมาใช้ ได้ในหลายขั้นตอน เช่น ใช้ในการออกแบบโดยสถาปนิก วิศวกร ใช้ในการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในขั้นตอนการติดตั้งโดยคนงาน เป็นต้น การวัดหรือการใช้มิติในลักษณะที่แตกต่างกันทำให้เกิดปัญหาในการวัดขึ้นจนทำไห้ส่วนประกอบที่มีขนาดผิดไปจากที่คำนวณ ไว้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าความเบี่ยงเบนและความคลาดเคลื่อนที่แน่นอนในเรื่องของมิติที่อาศัยซึ่งกันและกันโดยกำหนดว่าความเบี่ยงเบนควรมีเท่าใดจึงจะมีความเหมาะสม

2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension) หมายถึง มิติที่ใช่ทำงานตามที่ความสัมพันธ์ โดยตรงกับมิติที่มิอยู่ก่อน สำหรับในงานก่อสร้างอาคารย่อมจะประกอบไปด้วยงานหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อการสร้าง คือ งานที่จะต้องรอกันคนงานบางกลุ่มไม่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ต้องรอให้คนงานอีกกลุ่มหนึ่งทำงานส่วนนั่นให้เสร็จก่อน ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเพราะงานส่วนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยมิติซึ่งกันและกันเช่น งานหน้าต่างจะไม่สามารถเริ่มติดตั้งได้ถ้าพื้น ผนัง หรือฝ้าเพดานติดตั้งยังไม่เสร็จ เป็นต้น (ชวลิต, 2528) งานออกแบบก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป พบว่า การจัดลำดับของงานที่เตรียมไว้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการรอกันออกไปได้ แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องของความแม่นยำขึ้นมาแทน เนื่องจากการที่ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้มีขนาดที่แม่นยำตามความต้องการนั้นทำให้ได้ยากและทำให้ต้นทุนการผลิต รวมถึงค่าแรงสูงขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมากๆยิ่งไม่สามารถกำหนดขนาดให้มีความแม่นยำได้โดยทั่วทุกจุด ในการออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้มิติอาศัยซึ่งกันและกันในส่วนที่ไม่มีความจำเป็น โดยมีหลักการ ดังนี้

- การใช้รอยต่อแบบสัมผัส หรือเว้นร่อง ควรใช้ให้น้อยแห่งที่สุด เพราะถ้ามีรอยต่อหลายแห่งก็จะทำให้เกิดมิติอาศัยซึ่งกันและกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นในการติดตั้งชิ้นส่วนตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเข้าด้วยกัน จะนิยมเว้นเนื้อที่รอยต่อเอาไว้ด้วย แล้วถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อแบบสัมผัส การทำงานอาจเกิดปัญหาเนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุได้โดยเฉพาะถ้าชิ้นส่วนมีความแม่นยำไม่เพียงพอ รวมถึงถ้าหากการติดตั้งไม่มีความชำนาญก็จะทำให้การทำงานเป็นไปได้ยาก ในทางตรงกันข้ามถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อประเภทเว้นร่อง การทำงานก็จะสะดวกขึ้นสามารถที่จะเตรียมเนื้อที่ที่ต้องการได้ง่ายกว่า แต่เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะเห็นรอยต่อได้อย่างชัดเจน การใช้รอยต่อประเภทนี้จะใช้เฉพาะที่เป็นงานพิเศษซึ่งจะแสดงให้เห็นชำนาญของช่างก่อสร้างออกมาได้

- ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสและเปลี่ยนมาใช้การติดตั้งแบบขอบต่อขอบหรือขอบต่อผิวแทน

- ควรหลีกเลียงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน จะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยืดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นยำในการผลิต (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.14 ความเบี่ยงเบน

ความเบี่ยงเบน (Deviation) คือ ความแตกต่างในการวัดระยะส่วนประกอบกับขนาดทางพิกัดของส่วนประกอบนั้นในการออกแบบและการก่อสร้าง โดยทั่วไปจะทำงานด้วยขนาดที่กำหนดแน่นอนแต่การที่มีความแม่นยำในการปฏิบัติจึงต้องมีการคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนด้วยเสมอ ความเบี่ยงเบนนี้อาจเกิดขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งของการทำงานก็ได้ เช่น การควบคุมขนาดที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอในขั้นตอนการผลิต การยืดหดตัว การสูญเสียรูปร่างเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการขนส่ง หรือการเก็บรักษาในพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของความเบี่ยงเบน ดังนี้

1) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีสาเหตุมาจาก

- ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต
- คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้และวิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ

2) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากติดตั้ง

- ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง
- ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้
- วิธีการในทำการงาน และการติดตั้ง
- ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้มากที่สุด

การคิดตำแหน่งของส่วนประกอบควรคิดจากระยะที่เหลือหลังจากการติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องเรียบร้อยแล้ว โดยพิจารณาแก้ไขในทุกๆจุด ทุกๆปัญหาอย่างใกล้ชิด แล้วยึดหลักความเบี่ยงเบนที่แท้จริงเป็นสำคัญ (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.15 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อน (Tolerance) คือ ค่าความแตกต่างของขนาดตามขนาดที่ยินยอมให้ใหญ่ที่สุดกับขนาดที่ยินยอมให้เล็กที่สุด ความคลาดเคลื่อนมี 2 รูปแบบ คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิต และ ความคลาดเคลื่อนที่เกิด ณ สถานที่ก่อสร้าง ในการก่อสร้างความเบี่ยงเบนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก การกำหนดความคลาดเคลื่อนจึงถือหลักที่ว่า จะยอมให้เกิดระยะเบี่ยงเบนได้มากสุดเท่าใด โดยการกำหนดความคลาดเคลื่อนให้ง่ายและมีความสะดวกมากที่สุด ควรจะกำหนดให้ ค่าความเบี่ยงเบนของขนาดมูลฐานในทางลด (Negative) มีค่าเท่ากับค่าความเบี่ยงเบนของขนาดมูลฐานในทางเพิ่ม (Positive) และถ้างานนั้นๆ มีความจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (เนื่องจากงานไม่มีความต้องการความแม่นยำ) ก็สามารถใช้ขนาดมูลฐานได้ ในการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน ระยะที่วัดได้ (Actual Measurement) หลังการติดตั้งนั้นจะมีขนาดอยู่ระหว่างผลรวมของขนาดเล็กที่สุดที่ยอมให้กับขนาดใหญ่ที่สุดที่ยอมให้และการวัดค่าความคลาดเคลื่อนรวมให้ใช้การบวกความคลาดเคลื่อนของชิ้นส่วนที่ติดต่อกันเข้าด้วยกันซึ่งจะสามารถทราบความคลาดเคลื่อนรวมของชิ้นส่วนได้อย่างชัดเจน ในทางปฏิบัติอาจมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นในทางลดหรือทางเพิ่ม หรืออาจเกิดขึ้นในด้านใดด้านหนึ่งทางเดียวก็ได้แต่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดอาจจะมีน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบแต่ละชิ้นรวมกัน (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.16 มิติประสาน

มิติประสาน (Coordinating Dimension) คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบ หรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล (Element) ขนาดประสานเท่ากับขนาดใช้งานรวมกับเนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน การเลือกมิติประสานสำหรับส่วนประกอบสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มีความแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆในปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการออกแบบมิติประสานมีความสำคัญมาก

ในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะไม่มีความยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิติมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามิตินั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่มิติประสาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (Testa, 1959) คือ

1) มิติประสานที่แน่นอน คือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในรอยต่อที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นที่จะต้องมีขนาดประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลีกย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถือมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มีรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดขอบเขตของเนื้องานที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างภายในขอบเขตนั้นๆเพื่อถือมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

2) มิติประสานที่ไม่แน่นอน คือ ค่าความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึก โดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัสจำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเบี่ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบากั้นภายในห้องก็ควรอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเบี่ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่มเพื่อให้สามารถตัดส่วนเกินออกได้โดยง่าย

2.17 หน่วยพิกัด

ในทางทฤษฎี “พื้นฐานพิกัดเป็นหน่วยของการวัด” ซึ่งจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจใน มิติต่างๆ ทั้ง 2 และ 3 มิติ และพิกัดมีความสัมพันธ์กันในสเกลหรือขนาดสัดส่วนเดียวกันยกตัวอย่างได้จากสถาปนิกและช่างก่อสร้างได้ใช้หลักการเป็นมูลฐาน ในการใช้การประสานทางพิกัด ของสัดส่วนอยู่แล้วมาตั้งแต่สมัยโบราณ จะเห็นว่ามีการกำหนดหรือระยะส่วนประกอบอาคารให้มีความสัมพันธ์กันทุกๆ ส่วนหรือมีความสัมพันธ์กันระหว่างส่วนย่อยกับส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจจะได้จากการสังเกตตามธรรมชาติ หรือรูปความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับทางเรขาคณิตรูปร่างต่างๆ แม้แต่สัดส่วนของมนุษย์เองก็ตาม ตามประมวลศัพท์ “หน่วยพิกัด” (Module) คือ หน่วยของขนาดซึ่งใช้เป็นตัวเพิ่มในการประสานทางมิติ หน่วยขนาดดังกล่าวอาจเป็นหน่วยที่ใช้วัดขนาดโดยการทวีคูณ โดยการลบออก หรือโดยการแบ่งออกก็ได้ ในการก่อสร้างได้มีการพิจารณาใช้หน่วยพิกัดประเภทต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น 12 ประเภท ดังนี้

1) หน่วยพิกัดวัสดุก่อสร้าง (Material Module) เป็นสิ่งที่ต้องการจากขนาดและปริมาณทางวัตถุดิบและความต้องการทางด้านตลาด วิศวกรรม เห็นตัวอย่างได้ชัดในกรณีไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการนำมาใช้ โดยมีขบวนการในรูปแบบของธรรมชาติมากที่สุด ขนาดของหน่วยพิกัดในข้อนี้จะขึ้นอยู่กับ

- ขนาดตามธรรมชาติของวัตถุดิบ
- ความจำเป็นทางด้านเทคโนโลยีในการผลิต
- คุณสมบัติได้จากด้านคุณภาพของวัตถุดิบ
- ความต้องการของตลาดและสภาวะการเศรษฐกิจของการผลิต

ในปัจจุบันของวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ใช้ได้กับเครื่องมือขนาดเล็กใช้ได้แรงงานคน โดยมีการช่วยเหลืออาศัยเครื่องมืออื่นช่วยน้อยในอนาคตแนวโน้มของหน่วยพิกัดวัสดุ

ก่อสร้างจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับเทคนิคการก่อสร้าง เทคนิคในการผลิตในระบบอุตสาหกรรม ทั้งจากโรงงานผลิตวัสดุและการประกอบเป็นตัวอาคารในสถานที่ก่อสร้าง

2) หน่วยพิกัดในการใช้งาน (Performance Module) ถูกกำหนดขึ้นมาเก็งประโยชน์มาก ข้อเสียน้อย เมื่อคำนึงการนำวัสดุไปใช้อย่างไร ในกรณีนี้ไม่เกี่ยวกับเรื่องทางกล ทางการป้องกันเสียงทางเคมี ทางไฟฟ้า หรือทางความร้อนเย็น แต่ไปเกี่ยวข้องกับด้านคุณสมบัติทางโครงสร้างและสภาวะทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า ตัวอย่างเช่น การใช้วัสดุอย่างหนึ่งมีความหนาอย่างหนึ่งกำลังอาจไม่พอ แต่ถ้าใช้ขนาดโตตามหน่วยพิกัดก็โตไป การนำมาใช้งานจำเป็นต้องเลือกขนาดที่โตซึ่งไม่ประหยัด หรือใช้ขนาดเล็กแต่ต้องมีการปรับปรุงให้กำลังมากขึ้นวิธีอื่น หรือถ้านำวัตถุมาใช้ก็เหมาะสมดีแล้ว แต่น้ำหนักตัววัสดุอาจมากเกินที่ยอมรับ เช่น ลักษณะของกำแพงก่ออิฐรับน้ำหนัก เมื่ออาคารมีความสูงขึ้นจำนวนก้อนอิฐที่รองรับก็ต้องเพิ่มขึ้น ความหนาเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะได้สามารถรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นของอาคารได้ เมื่อวัสดุก่อสร้างมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ไม้ พลาสติก โลหะ แร่ จะเห็นว่า หน่วยพิกัดการใช้งานจะเกิดขึ้นจากการรวมกันขึ้นจาก หน่วยพิกัดมูลฐาน เฉพาะวัสดุแต่ละชนิด

3) หน่วยพิกัดทางเรขาคณิต (Geometry Module) หมายถึง ระบบสัมพันธ์ของสัดส่วนของทั้งโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะแห่งและแผนผังทั่วไปดังนั้น จึงคลุมไปถึงระเบียบการพิกัดที่ถูกเลือกมาใช้เพื่อให้เกิดการปรับตัวภายใน และให้ทำได้หลายๆ วิธีด้วยกัน สามารถกระทำได้โดยเพิ่มส่วนหรือลดส่วนลงก็ได้ โดยใช้ชุดพิกัดตัวเลขได้หลายชุดด้วย วิธีใช้หน่วยพิกัดทางเรขาคณิตจะเกี่ยวโยงไปไม่เพียงแต่เรื่องส่วนย่อยที่ได้สัดส่วนของขนาด กว้าง ยาว ใช้เป็นส่วนมูลอาคาร การใช้ผังพิจารณาหน่วยพิกัดนี้ ต้องคำนึงถึงทั้งพิกัดระหว่างจุดกับจุด เส้นกับเส้น พื้นที่กับพื้นที่ และ ปริมาตรกับปริมาตร

4) หน่วยพิกัดปฏิบัติ การลำเลียง การขนส่ง (Handling Module) ถูกบังคับโดยธรรมชาติทางกายภาพของหน่วยพิกัดนั้น โดยคำนึงถึงการขนส่ง การเก็บ และการติดตั้ง การยกเคลื่อนย้ายด้วยเครื่องจักร และด้วยแรงงานธรรมดา การบรรจุเลื่อนย้ายด้วยพาหนะขนส่ง สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ข้อจำกัดของมิติ ความกว้างยาวขององค์ประกอบอาคารเพื่อความสะดวกในระหว่างการก่อสร้าง จึงต้องคำนึงถึง หน่วยพิกัดการปฏิบัติการวัสดุชิ้นเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยแรงงานมนุษย์ 1-2 คน แต่การเคลื่อนย้ายโดยมนุษย์นี้จะถูกจำกัดโดยช่วงกว้างของแขน และหากวัตถุที่มีชิ้นใหญ่ก็จะถูกเคลื่อนย้ายโดยเครื่องจักร การเคลื่อนย้ายต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ ระหว่างการก่อสร้างด้วยเช่น แรงลมระหว่างการนำวัสดุพิกัดไปทำการติดตั้งเป็นต้นตัวอย่างเช่น ของความยาวของพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง กำหนดตัวแปรของความยาวและขนาดของชิ้นงานที่ผลิต

5) หน่วยพิกัดทางโครงสร้าง (Structure Module) เกี่ยวข้องกับขนาดความโต และช่วงพาดขนาดตัววัสดุบรรจุระหว่างโครง หรือส่วนอื่นที่พาดอยู่ข้างบน ความลึก ความหนาของคาน หน่วยพิกัดโครงสร้างมีความสำคัญไปถึงการวางรอยต่อ การใช้โครงองค์อาคารอื่นๆ พาดอยู่อย่างไรบนโครงสร้างสำคัญตัวอย่างเช่น การใช้อาคารโครงสร้างเหล็กต้องคำนึงถึงพิกัดที่มีความสำพันธ์ของช่วงพาดระหว่างโครงสร้าง การออกแบบควรคำนึงถึงความยาวของเหล็กรูปพรรณซึ่งอยู่ที่ 6 เมตรเป็นต้น

6) หน่วยพิกัดส่วนมูล (Element Module) เป็นหน่วยพิกัดขนาดกว้างยาว ถูกกำหนดโดยรูปร่างลักษณะซึ่งอาจจำแนกย่อยลงเป็นชนิดทางพื้นผิวโปร่งแสง โปร่งใส เป็นโครงกรอบ และอาจจำแนกเป็นลักษณะทางรูปร่างเช่น เป็นรูปโค้ง รูปหักมุม รูปส่วนมูลรับน้ำหนัก รูปส่วนมูลไม่รับน้ำหนัก ส่วนมูลเลื่อนได้ ส่วนมูลติดตาย ส่วนมูลทางตั้ง ส่วนมูลทางนอน ทำให้สะดวกในการจัดหมวดหมู่และทำการเลือกใช้และยังสัมพันธ์กับวิธีการผลิตของโรงงาน และสร้างความเป็นสากลไม่ให้เกิดความแตกต่าง แบ่งแยกระหว่างรูปแบบองค์ประกอบแต่ละอันด้วย

7) หน่วยพิกัดรอยต่อ (Joint Module) จุดที่ต้องยึดแข็งแรง ต่างจากแนวชนที่ชิดกันเพื่อความเรียบร้อย หน่วยพิกัดรอยต่อจำกัดไว้ตรงตำแหน่งต่างๆ นอกเหนือไปจากแนวที่ชิดกันระหว่างแผ่นส่วนมูล

ฐานดังกล่าว รอยต่อที่กล่าวถึงนี้ต้องต่อด้วยวิธีกล ใช้ง่ายสะดวกต่อการประกอบ ให้ติดตั้งแผ่นมูลฐานไว้ได้ตามต้องการให้มีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ และอาจใช้อุปกรณ์ต่อ ยึดติดตรงตำแหน่งกำหนดไว้ วางเป็นจังหวะพิกัดได้ หน่วยพิกัดรอยต่อดังกล่าวนี้ซับซ้อน ยุ่งยาก และสัมพันธ์กันต้องพิจารณาทั้ง 3 มิติ

8) หน่วยพิกัดส่วนประกอบอาคาร (Component Module) หน่วยพิกัดหน่วยนี้อยู่นอกเหนือที่จะจัดเข้าไว้ใน Structure Module หรือ Element Module ได้ อาจจะถูกยึดอยู่กับตัวอาคาร หรือจัดให้อยู่ในส่วนเสริมหรือส่วนต่อเติมก็ได้ ตัวอย่างเช่น ตัวบันได ตัวลิฟต์ เป็นต้น

9) หน่วยพิกัดความคลาดเคลื่อน (Tolerance Module) ซึ่งระบุตำแหน่งเป็นระยะๆ ตามความจำเป็นและคอยตรวจสอบดู เมื่อผิดพลาดทีละเล็กทีละน้อยมากเข้าก็จัดตำแหน่งที่จะเป็นหน่วยพิกัดความคลาดเคลื่อนเสียก็จะลดความคลาดเคลื่อนลง

10) หน่วยพิกัดการติดตั้งอุปกรณ์ (Installation Module) คลอบคลุมไปถึงทั้งความสัมพันธ์ระหว่างกัน ทั้งตำแหน่งที่ตั้งด้วยของพวกอุปกรณ์ต่างๆ เช่นสายเคเบิ้ลช่องเดินท่อช่องออกท่อที่มีอยู่ในระบบการก่อสร้างทั้งสิ้น หมวดใหญ่ๆ ของอุปกรณ์จัดเป็น 4 หมวดใหญ่ๆดังกล่าว และมีหมวดย่อยๆอีก เช่น อุปกรณ์ไฟ แสงสว่างกำลัง การติดต่อคมนาคม การปรับอากาศ การระบายอากาศ น้ำร้อนน้ำเย็น น้ำใช้ ท่อระบายอากาศ ท่อแก๊ส การรวบรวมสิ่งต่างๆ ตามที่กล่าวมานี้เป็นหน้าที่สำคัญในการสร้างความเป็นระบบที่เป็นระเบียบให้เกิดกับการประสานทางพิกัดทั่วๆไปและจะสำเร็จได้จากการทำการติดตั้งตามจุดต่างๆ อย่างถูกต้องมั่นคงและต้องทำการวางแผนการติดตั้ง ตั้งแต่เริ่มแรกอย่างเป็นลำดับขั้นตอน

11) หน่วยพิกัดเครื่องใช้อาคาร (Fixture Module) หน่วยพิกัดขนาดอุปกรณ์เครื่องใช้ เครื่องเรือนติดกับที่ทั้งหลายเช่น ตู้ โต๊ะ อ่างล้างหน้า เครื่องแต่งตัว ผลิตภัณฑ์ได้จากตลาดทั่วไป หรือจากห้องทดลองและอุปกรณ์ต่างๆจะต้องมีความสัมพันธ์กับระบบอื่นๆ ตามที่กล่าวมาด้วย ในฐานะเป็นผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ในขนาดของสิ่งต่างๆ ซึ่งอยู่รอบตัวอย่างมากมาย เพื่อที่จะสามารถตัดสินใจใช้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับหน่วยพิกัดเครื่องใช้อาคาร

12) หน่วยพิกัดทางออกแบบ (Planning Module) เป็นผลรวมของหน่วยพิกัดทั้งหลายที่กล่าวแล้ว การปรับ การนำมาใช้ร่วมกันให้ได้ หน่วยพิกัดนี้จะควบคุมหัวข้อต่างๆ ของหน่วยพิกัดที่กล่าวถึงข้างต้นให้นำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตารางพิกัดแผนผัง ที่มีลักษณะการใช้วัสดุระบบโครงสร้าง และระบบการก่อสร้างที่ต่างกันย่อมหมายถึง ลักษณะทางสถาปัตยกรรมจะให้ผลที่แตกต่างกันไปด้วยพิกัดแผนผังที่ใช้งานได้ดีที่สุด จะต้องมีความสัมพันธ์กับพิกัดมูลฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้กับการผลิตวัสดุก่อสร้างตามมาตรฐานของการประสานทางพิกัดตารางพิกัดแผนผังในแบบจะให้ความสะดวกรวดเร็วในการให้มาตราส่วน การกำหนดจุด ตำแหน่งและระยะ และในการหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อมวล ที่ว่างต่อที่ว่างหรือระหว่างที่ว่างกับมวล ได้โดยง่ายและมีความหนาแน่นกว่าการทดลองบนกระดาษว่าง ซึ่งสัดส่วนความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ผลในลักษณะตัวเลขที่มองไม่เห็นชัดเจนและเข้าใจง่าย การหาพิกัดแผนผังได้มาจากการกำหนดขึ้นของผู้ออกแบบตามความเหมาะสม โดยพิจารณาจากหน่วยพิกัดมูลฐาน และขนาดมาตราของวัสดุผลิตทางอุตสาหกรรม พิกัดแผนผังที่มีค่าเป็นผลคูณของหน่วยพิกัดมูลฐาน ในลักษณะของหน่วยคูณพิกัด ตารางพิกัดแผนผังที่นิยมใช้กันมีลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square grid) (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.18 ตารางพิกัดมูลฐาน

ในการออกแบบระบบประสานทางพิกัด ซึ่งจะใช้ตารางที่มีขนาดผลคูณพิกัดเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบ โดยใช้อ้างอิงและกำหนดขนาดระยะและตำแหน่งของส่วนประกอบ ซึ่งเรียกว่า ตารางพิกัด (Module Gird) โดยกำหนดขนาดของตารางตามขนาดของหน่วยคูณพิกัดที่เลือกใช้สำหรับการออกแบบ ในกรณีที่เลือกใช้ขนาดตารางพิกัดเท่ากับหน่วยพิกัดมูลฐาน (100 มิลลิเมตร) จะเรียกตารางนี้ว่าตาราง

มาตรฐาน (Standard Grid) โดยตารางพิกัดที่เลือกใช้นั้น อาจเป็นตารางพิกัดที่อยู่ในแนวระนาบราบ เช่น ตารางพิกัดที่ใช้ในการออกแบบผังพื้น หรืออาจอยู่ในแนวระนาบดิ่ง เช่น ตารางพิกัดของรูปด้าน หรืออาจเลือกใช้ทั้งสองแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระนาบที่อ้างอิง ปกติตารางพิกัดจะมีการประสานหรือสัมพันธ์สอดคล้องกันในทุกระนาบในลักษณะของ 3 มิติ แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไปที่จะต้องมีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น การเลือกใช้ตารางพิกัดในแนวระนาบราบและในแนวระนาบดิ่งจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีขนาดเท่ากันตารางพิกัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้แก่

1) ตารางพิกัดแผนผัง (Planning Module Grid) เป็นตารางที่ใช้สำหรับการออกแบบทั่วๆไป เช่น ผังอาคารที่แสดงชิ้นส่วนผนังการกั้นห้อง การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ขนาดของพิกัดแผนผังได้มาจากการประสานหรือขนาดพิกัดอื่นๆ เช่น พิกัดโครงสร้าง พิกัดวัสดุความต้องการการใช้สอยเป็นต้น

2) ตารางพิกัดโครงสร้าง (Structure Grid) เป็นตารางพิกัดที่แสดงตำแหน่ง ระยะต่างๆของโครงสร้างอาคาร เช่น ตารางที่เกิดจากเส้นแสดงแนวเสา หรือเส้นแสดงแนวคาน

3) ตารางพิกัดอ้างอิง (Reference Grid) เป็นตารางที่ใช้แสดงขนาด ระยะ หรือตำแหน่งของเส้นสายต่างๆ ในแบบก่อสร้าง ใช้อ้างถึงเพื่อสื่อความหมายให้เข้าใจ (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.19 การประสานทางพิกัด

การประสานทางพิกัด (Module Coordination) คือ การประสานทางมิติที่ใช้ระบบมูลฐาน (Basic Module) หรือหน่วยคูณพิกัด (Multimodule) เหตุที่ต้องมีการใช้ระบบพิกัดในการก่อสร้าง เนื่องจากการก่อสร้างอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดหลายประเภทซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน การนำวัสดุต่างขนาดเข้ามาประกอบใช้ร่วมกันในอาคารเดียวกันนั้น โดยทั่วไปมักเกิดปัญหาว่าขนาดของวัสดุประสานกันไม่พอดี ต้องมีการตัดเพื่อปรับขนาดให้เหมาะสมแก่การติดตั้ง ซึ่งทำให้เสียทั้งวัสดุ แรงงาน และเวลาดังนั้น ระบบประสานพิกัดในงานก่อสร้างอาคารจึงช่วยให้วัสดุที่ต่างชนิด ต่างขนาดสามารถประกอบกัน และใช้ร่วมกันได้อย่างพอดี โดยไม่ต้องมีการตัดแต่ง ทำให้เกิดความรวดเร็ว และความประหยัดในการก่อสร้าง การประสานทางพิกัดในงานก่อสร้างอาคาร(Modular Coordination in Building) คือการนำระบบการประสานทางพิกัดมาใช้ในงานก่อสร้าง โดยใช้ในทุกขั้นตอนของการทำงานตั้งแต่การออกแบบ การผลิตวัสดุก่อสร้างหรือชิ้นส่วนอาคาร การใช้วัสดุก่อสร้าง ตลอดจนถึงการติดตั้ง ซึ่งช่วยให้งานก่อสร้างมีความสะดวกรวดเร็ว และประหยัด วัตถุประสงค์หลังของระบบการประสานทางพิกัดคือ ต้องการให้ขนาดของชิ้นส่วนของอาคารต่างๆที่ผลิตขึ้น มีการประสานสอดคล้องซึ่งกันและกันระหว่างแต่ละชิ้นส่วน และมีการประสานที่เหมาะสมกับขนาด หรือระยะต่างๆ ของตัวอาคารที่สร้างขึ้นในสถานที่ก่อสร้างด้วย ทำให้การประกอบติดตั้งชิ้นส่วนหรือการก่อสร้างสะดวก รวดเร็ว และสวยงาม โดยสามารถสรุปวัตถุประสงค์ของการประสานทางพิกัดได้ ดังนี้

1) อำนวยความสะดวกต่อการปฏิบัติงานร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบอาคาร ผู้ผลิตวัสดุก่อสร้าง ผู้ก่อสร้างอาคาร และผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

2) ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดมิติในขั้นตอนการออกแบบอาคารให้สามารถนำชิ้นส่วนประกอบอาคารที่เป็นมาตรฐานมาใช้กับส่วนต่างๆ ของอาคารได้อย่างอิสระ

3) จำกัดแบบของชิ้นส่วนประกอบที่เป็นมาตรฐาน ให้สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารได้หลายประเภท

4) ทำให้ขนาดมาตรฐานของชิ้นส่วนประกอบของอาคารมีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น

5) ส่งเสริมให้มีการใช้ชิ้นส่วนประกอบของอาคารที่สับเปลี่ยนใช้แทนกันได้ ไม่ว่าจะต่างกันด้านวัสดุ รูปร่างหรือ กรรมวิธีผลิต

6) ช่วยให้การปฏิบัติงานก่อสร้างอาคารที่จะประกอบชิ้นส่วนประกอบของอาคารในสถานที่ก่อสร้างทำได้ง่าย และสะดวกขึ้น

7) ทำให้เกิดการประสานกันในเรื่องขนาดของอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในอาคาร เช่น เครื่องเรือน กับขนาดส่วนต่างๆ ของอาคาร (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

ในการออกแบบ ก่อสร้างอาคารด้วยระบบประสานทางพิกัดนั้น มีหลักการขั้นพื้นฐานของการประสานทางพิกัด ดังนี้

1) การกำหนดขนาด หรือระยะของส่วนประกอบของอาคาร ต้องมีความสัมพันธ์กันทุกๆส่วน เช่น ขนาดส่วนประกอบของพื้นจะต้องสัมพันธ์กับส่วนประกอบของหลังคาของเพดานและของผนังเป็นต้น

2) ขนาดหรือระยะของส่วนประกอบ จะต้องเป็นขนาด หรือระยะที่เกิดจากผลคูณของหน่วยพิกัดมูลฐานเสมอ และขนาดพิกัดมูลฐานจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะให้เกิดการยืดหยุ่นในการออกแบบได้

3) ขนาดของตารางตามพิกัด (Modular Grid) ให้ถือหน่วยวัดขนาด 10 เซนติเมตร เป็นขนาดเล็กสุด

4) ขนาดของส่วนประกอบ (Component) ที่กำหนดไว้ตามตารางทางพิกัดจะต้องเผื่อระยะรอยต่อไว้แล้ว คือ ขนาดของส่วนประกอบที่ผลิตจากโรงงานโดยทั่วไป ย่อเล็กกว่าขนาดมิติตามพิกัด

5) ขนาดหรือระยะของส่วนประกอบในตารางตามพิกัดจะต้องเท่ากับขนาดหรือระยะของส่วนประกอบที่ผลิตจากโรงงาน รวมด้วยเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มี และรวมด้วยรอยต่อเชื่อมระหว่างก้อน

6) เนื่องมาจากการผลิตส่วนประกอบจากโรงงาน ไม่สามารถทำให้ตรงตามความเป็นจริงที่กำหนดได้เสมอไป จึงได้ตั้งเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไว้ว่าให้น้อยหรือมากได้เท่าใด

การออกแบบอาคาร โดยใช้ระบบประสานทางพิกัด ไม่ได้มีข้อบังคับตายตัว แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะอาคาร วัสดุก่อสร้าง ระบบโครงสร้าง ฯลฯ ทั้งนี้มีข้อควรพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ

1) เพื่อให้อาคารที่ออกแบบได้ขนาดพอดีกับส่วนประกอบอาคารที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐาน เช่น อิฐบล็อก ผนังสำเร็จรูป ฯลฯ การออกแบบจึงต้องใช้ตารางตามพิกัดเป็นหลัก การใช้ตารางตามพิกัดนี้อาจใช้ตลอดอาคาร เช่น ใช้ในการวางผัง กำหนดรูปด้าน หรืออาจใช้เฉพาะส่วนก็ได้ ขนาดของช่องตาราง ซึ่งเรียกว่า มิติพิกัด อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

2) มิติพิกัด หมายถึง เนื้อที่สำหรับประจุส่วนประกอบอาคาร หรือเมื่อทำการก่อสร้างจะบรรจุชิ้นส่วนสำเร็จรูปในเนื้อที่นั้น โดยทั่วไปขนาดที่แท้จริงของส่วนประกอบอาคาร หรือชิ้นวัสดุก่อสร้างจึงมักจะเล็กกว่ามิติพิกัดเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุ และรอยต่อที่ใช้ ซึ่งในการผลิต ผู้ผลิตจะต้องเผื่อระยะดังกล่าวไว้ด้วย (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.20 การประมาณราคา

การประมาณราคาก่อสร้าง (Quantity survey) หมายถึง การหาต้นทุนในการดำเนินงานธุรกิจก่อสร้างโดยถอดแบบลงใน Bill of Quantity (BOQ.) เพื่อหาค่าวัสดุค่าแรงงานค่าใช้จ่ายภาษีและกำไรว่าอยู่ในงบประมาณที่เจ้าของอาคารจะทำการก่อสร้างได้หรือไม่ (วิสูตร, 2551)

1) การประมาณราคางานสนาม (Site) เป็นงานที่ทำจริงผู้ประมาณการต้องมีความละเอียดสามารถแบ่งงวดงานและเงินได้อีกทั้งใช้ประมาณการจำนวนวัสดุเข้าลานสนามซึ่งต้องมีความละเอียดของที่ส่งต้องไม่ขาดและไม่เผื่อของเสียมากเกินไปเพราะของบางอย่างต้องสั่งครั้งเดียวกันเช่นกระเบื้องเพราะการเอามาแต่ละครั้งสีจะได้ไม่เหมือนกันการประมาณราคาชนิดนี้ผู้ประมาณการต้องมีประสบการณ์มีความละเอียดและรวดเร็ว

2) การประมาณราคางานประมูล (Bidding) เป็นการถอดแบบวัสดุอย่างคร่าวๆคิดเป็นหน่วย ทั้งหมดต้องการความรวดเร็วแม่นยำและถูกต้องเพื่อแข่งขันประมูลงานกับผู้อื่นเป็นการประมาณการว่าราคาที่ถอดแบบกับราคากลางมากหรือน้อยต่างกันอย่างไรสามารถลดให้ต่ำได้ตัวอย่างแบบฟอร์มมาตรฐานของใบสรุปปริมาณงาน Bill of Quantity (BOQ.) (วิสูตร, 2551)

2.21 การออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธี LRFD

วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD) เป็นวิธีการคำนวณออกแบบที่ใช้สภาวะจำกัด (limit state) เป็นเกณฑ์ กล่าวคือภายใต้น้ำหนักบรรทุกปรับค่า (น้ำหนักบรรทุกใช้งานคูณกับค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก) แรงต่างๆที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีอิลาสติก จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความต้านทานระบุขององค์อาคารคูณกับตัวคูณความต้านทาน (วสท., 2546; ทักษิณและอัครวัชร, 2553) สามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ (1)

$$Q_u = \sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \qquad (1)$$

โดยที่ Q_u = แรงต่าง ๆ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกปรับค่า เช่น โมเมนต์ แรงเฉือน
Q_i = แรงต่าง ๆ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
γ_i = ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor)
ϕ = ตัวคูณความต้านทาน (resistance factor)
R_n = ความต้านทานระบุ (nominal factor)

ค่าแรงต่าง (Q_u) วิเคราะห์หาได้จากทฤษฎีอิลาสติกและเป็นค่าที่นิยมใช้มากที่สุดที่พิจารณาจากการรวมน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.4D
1.2D + 1.6L + 0.5L_r
1.2D + 1.6 L_r + (0.5L_r หรือ 0.8W)
1.2D + 1.6W + 0.5L + 0.5L_r
1.2D ±1.0E + 0.5L
0.9D ±(1.3W หรือ 1.0E)

โดยที่ D = น้ำหนักบรรทุกคงที่,กิโลกรัม/ตารางเมตร
L = น้ำหนักบรรทุกจร, กิโลกรัม/ตารางเมตร
L_r = น้ำหนักบรรทุกจรหลังคา, กิโลกรัม/ตารางเมตร
W = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม, กิโลกรัม/ตารางเมตร
E = แรงเนื่องมาจากแผ่นดินไหว, กิโลกรัม/ตารางเมตร
R = น้ำหนักเนื่องจากน้ำฝน, กิโลกรัม/ตารางเมตร

ตัวคูณความต้านทาน (ϕ) มีค่าแปรเปลี่ยนตามประเภทขององค์อาคาร และลักษณะของสภาวะจำกัดที่กำลังพิจารณา AISC ได้กำหนดค่าϕ (วสท., 2546; ทักษิณและอัครวัชร, 2553) ดังต่อไปนี้

สำหรับองค์อาคารรับแรงดึง

ϕ_t = 0.90 ที่สภาวะขีดจำกัดในลักษณะการคราก (yielding)

ϕ_t = 0.75 ที่สภาวะขีดจำกัดในลักษณะการขาด (rupture)

สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

ϕ_c = 0.90

สำหรับองค์อาคารรับแรงดัด

ϕ_b = 0.90

สำหรับองค์อาคารรับแรงเฉือน (เฉพาะเอว)

ϕ_v = 0.90

สำหรับรอยเชื่อม

ϕ = 0.75 – 0.80

สำหรับสลักเกลียว

ϕ = 0.75 สำหรับแรงดึงและแรงเฉือน

2.22 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรงดึง (tension members) ได้แก่ องค์อาคารที่รับแรงดึงตามแกน มักจะพบในโครงสร้างเหล็กทั่วๆไป ตามปรกติจะทำหน้าที่เป็นองค์อาคารหลักในโครงสร้างจำพวกสะพาน หลังคา โครงข้อหมุน ตัวยึด (tie rods) และตัวยึดกันลม (wind bracings) ในโครงอาคารสูงหลายชั้น สำหรับโครงสร้างที่องค์อาคารรับแรงดึง ทำหน้าที่รอง ได้แก่ โครงสร้างระบบกำแพง หรือพื้นที่มีตัวยึดระหว่างกำแพงหรือพื้น เพื่อให้เกิดความแข็งแรง ไม่เกิดการไหวตัวได้ง่าย เป็นต้น แบบขององค์อาคารรับแรงดึงอาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยว ซึ่งได้แก่ ซึ่งได้แก่ เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายทั่วไป เช่น เหล็กกลม เหล็กแบน ลวดเหล็ก เคเบิล เหล็กรูปพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัวไอ เป็นต้น หรืออาจได้แก่ องค์อาคารประกอบ (built-up members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้นโดยทั่วไป การใช้องค์อาคารเดี่ยวจะประหยัดกว่าการใช้องค์อาคารประกอบ อย่างไรก็ตามองค์อาคารประกอบมีความจำเป็น ในกรณีที่องค์อาคารเดี่ยวมีขนาดเล็กและไม่สามารถรับแรงดึงได้พอ หรือในกรณีที่ต้องการลดค่าอัตราส่วนความชะลูด (slenderness ratio) ขององค์อาคารรับแรงดึง เป็นต้น

1) การวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tension Failure) การศึกษาพบว่า การวิบัติเนื่องจากแรงดึงในองค์อาคารรับแรงดึงอาจเกิดขึ้นได้จาก 2 กรณี ดังนี้

1.1) การคราก (yielding) บนพื้นที่หน้าตัดรวม ณ บริเวณหน้าตัดที่ห่างจากจุดต่อ

1.2) การขาด (rupture) บนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล ณ หน้าตัดที่เป็นจุดต่อ

ในกรณีการวิบัติแบบการเกิดการครากบนพื้นที่หน้าตัดรวม กำลังรับแรงดึงของหน้าตัดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2)

$$T_n = F_y A_g \qquad (2)$$

โดยที่ T_n = กำลังแรงดึงระบุ ,กิโลกรัม

F_y = หน่วยแรงดึงคราก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม, ตารางเซนติเมตร

สำหรับการวิบัติแบบเกิดการขาดบนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล กำลังแรงดึงของหน้าตัดสามารถเขียนเป็นสมการ (วสท., 2546; ทักษิณและอัครวัชร, 2553) ได้ดังสมการที่ (3)

$$T_n = F_u A_e \qquad (3)$$

โดยที่ T_n = กำลังแรงดึงระบุ, กิโลกรัม

A_e = พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล, ตารางเซนติเมตร

2) ข้อกำหนดขององค์อาคารรับแรงดึง

2.2.1) พื้นที่หน้าตัดรวม (Gross Area) A_gขององค์อาคารที่ตำแหน่งใดๆ ได้แก่ ผลรวมของผลคูณของความหนา และความกว้างของแต่ละส่วนของหน้าตัดวัดตั้งฉากกับแนวแกนขององค์อาคาร สำหรับความกว้างรวมของเหล็กฉาก ได้แก่ ผลรวมของความกว้างของขาทั้งสองลบด้วยความหนา

2.2.2) พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area) A_nขององค์อาคาร ได้แก่ ผลรวมของผลคูณของความหนาและความกว้างสุทธิ ของแต่ละส่วนของหน้าตัด ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

ในการคำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิสำหรับแรงดึงและแรงเฉือน ความกว้างของรูเจาะสำหรับสลักเกลียวใช้เท่ากับขนาดระบุของสลักเกลียวบวก 2 มิลลิเมตร

สำหรับรูเจาะที่เรียงกันเป็นแนวทแยงหรือเฉียงไปมา ควากว้างสุทธิของส่วนดังกล่าวคำนวณจากความกว้างรวม ลบด้วยผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนว แล้วบวกด้วยค่า $\frac{S^2}{4g}$ ของช่วงเฉียงทั้งหมดทุกช่วง

โดยที่ S = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกันในทิศทางตามแนวแกน ขององค์อาคาร, มิลลิเมตร

G = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกันในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนขององค์อาคาร, มิลลิเมตร

ระยะตามแนวขวางของศูนย์กลางของรูเจาะที่อยู่ติดกันในขาตรงข้ามกันของเหล็กฉากจะเท่ากับผลรวมของระยะตามแนวขวางจากสันด้านนอกของเหล็กฉากถึงรูเจาะลบด้วยความหนา และในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิผ่านรอยเชื่อมแบบอุดร่องหรืออุดรู จะไม่คิดรวมพื้นที่ของวัสดุเชื่อม

2.2.3) พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล (Effective Net Area) สำหรับองค์อาคารรับแรงดึงสามารถหาได้ ดังนี้

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดหรือรอยเชื่อมลงโดยตรงกับหน้าตัดขวางของแต่ละชิ้นส่วน พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_eมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ A_n

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดหรือรอยเชื่อม ผ่านเพียงบางส่วนของชิ้นส่วนของหน้าตัดขวางขององค์อาคาร พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_eคำนวณได้จาก

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดเพียงอย่างเดียวดังสมการที่ (4)

$$A_e = A_n U \qquad (4)$$

โดยที่ U = สัมประสิทธิ์ตัวคูณลดค่า $= 1 - \left(\frac{\bar{X}}{l}\right) \leq 0.9$

$\bar{X}$ = ระยะเยื้องศูนย์ของรอยต่อ,มิลลิเมตร

l = ความยาวของรอยต่อในทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ, มิลลิเมตร

เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยรอยเชื่อมตามยาวไปยังองค์อาคารอื่นๆที่ไม่ใช่แผ่นเหล็ก หรือโดยการเชื่อมตามยาวร่วมกับเชื่อมตามขวางดังสมการที่ (5)

$$A_e = A_g U \qquad (5)$$

โดยที่ U = สัมประสิทธิ์ตัวคูณลดค่า $= 1 - \left(\frac{\bar{X}}{l}\right) \leq 0.9$

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม,ตารางมิลลิเมตร

เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยการเชื่อมเพียงอย่างเดียวดังสมการที่ (6)

$$A_e = AU \qquad (6)$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต่อโดยตรง,ตารางมิลลิเมตร

U = 1.0

เมื่อแรงดึงส่งถ่ายสู่แผ่นเหล็ก โดยการเชื่อมตามแนวยาวของขอบทั้งสองขอบ ถึงปลายของแผ่นเหล็ก (วสท., 2546; ทักษิณและอัครวัชร, 2553) ดังสมการที่ (7)

$$A_e = A_g U \qquad (7)$$

โดยที่ สำหรับ $l \geq 2w$ U = 1.00
สำหรับ $2w \geq l \geq 1.5w$ U = 0.87
สำหรับ $1.5w \geq l \geq w$ U = 0.75

โดยที่ l = พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต่อโดยตรง, ตารางมิลลิเมตร
w = 1.0

2.23 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงอัด

องค์อาคารรับแรงอัด ได้แก่ องค์อาคารที่รับแรงกดหรือแรงอัดตามแนวแกน เช่น เสา และจันทันโครงหลังคา เป็นต้น องค์อาคารดังกล่าวจะมีมิติของความยาวมากกว่ามิติของหน้าตัดมาก เสาที่จัดเป็นเสาสมบูรณ์ (perfect column) ได้แก่ เสาที่

1) ประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกัน (homogeneous materials)
2) ปราศจากหน่วยแรงคงค้าง (residual stresses)
3) ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง (perfectly straight)
4) น้ำหนักกระทำตามแนวแกนผ่านจุดศูนย์ถ่วง (axially loaded)

ในโครงอาคารทั่วๆ ไป เสาดังกล่าวยากนักที่จะพบเห็น เนื่องจากจะมีการดัด (bending) แฝงปนอยู่ไม่มากก็น้อย ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพฤติกรรมของเสาที่มีน้ำหนักกระทำในแนวแกนแต่เพียงอย่างเดียว ส่วนพฤติกรรมของเสาที่มีโมเมนต์กระทำร่วมแรงอัดตามแกน

แบบขององค์อาคารรับแรงอัด อาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยว ซึ่งได้แก่ เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายอยู่ทั่วไป เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัวไอ เหล็กท่อกลม ฯลฯ หรืออาจได้แก่ องค์อาคารประกอบ (built-up members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น

ในการออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดโดยใช้วิธี LRFD สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ (8)

$$P_u \leq \phi_c P_n \qquad (8)$$

โดยที่ P_u = กำลังแรงอัดตามแนวแกนปรับค่าที่ต้องการ,กิโลกรัม
P_n = กำลังแรงอัดตามแนวแกนระบุ $=F_{cr}A_g$,กิโลกรัม
F_{cr} = หน่วยแรงอัดวิกฤต,กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม,ตารางเซนติเมตร
ϕ_c = ตัวคูณความต้านทาน = 0.90

การโก่งเดาะในช่วงอิลาสติก (ไม่รวมกรณีที่หน้าตัดมีชิ้นส่วนชะลูด) ดังสมการที่ (9) เมื่อ $KL/r > 4.71\sqrt{E/F_y}$ หรือ $F_y/F_e > 2.25$

$$F_{cr} = 0.877F_g \leq F_y \qquad (9)$$

การโก่งเดาะในช่วงอินอิลาสติก(ไม่รวมกรณีที่หน้าตัดมีชิ้นส่วนชะลูด)ดังสมการที่ (2.10) เมื่อ $KL/r > 4.71\sqrt{E/F_y}$ หรือ $F_y/F_e > 2.25$

$$F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e}F_y \quad (10)$$

โดยที่ F_y = หน่วยแรงคราก,กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

F_e = หน่วยแรงอัดอิลาสติก,กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2.24 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดัด

องค์อาคารรับแรงดัดหรือคาน ได้แก่ องค์อาคารที่รับน้ำหนักบรรทุกซึ่งมีทิศทางขวางกับทิศทางตามยาวขององค์อาคารนั้นๆ ทั้งนี้ รวมถึงโมเมนต์ที่กระทำที่ปลายด้วย ดังนั้น ตรงที่กระทำต่อคานจึงมีทั้งแรงดัดและแรงเฉือน ตัวอย่างขององค์อาคารในโครงสร้างที่จัดอยู่ในจำพวกคาน ได้แก่ ตง จันทัน แปอกไก่ เป็นต้น คานภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวดิ่ง หากปราศจากการยึดด้านข้างที่เพียงพออาจเกิดการโก่งเดาะด้านข้างจากการบิด (Lateral Torsional Buckling หรือ LTB) อันมีผลทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกลดลง พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของคานชนิดมีตัวยึด และปราศจากการยึดด้านข้าง รวมทั้งหลักเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบคานกำหนดโดยมาตรฐาน AISCสามารถเขียนเป็นสมการได้ (วสท., 2546; ทักษิณและอัครวัชร, 2553) ดังสมการที่ (11)

$$Z_x = \frac{M_p}{F_y} \quad (11)$$

โดยที่ Z_x = โมดูลัสพลาสติก,เซนติเมตร^3

M_p = โมเมนต์พลาสติก, กิโลกรัม-เมตร

F_y = หน่วยแรงคราก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

คานหน้าตัดอัดแน่น ได้แก่ คานซึ่งมีชิ้นส่วนของปีกและเอวมีค่า $\lambda \leq \lambda_p$กำลังโมเมนต์ระบุของคานหน้าตัดอัดแน่น คำนวณหาได้ ดังนี้

เมื่อ $M_n = M_p$และเกิดการหมุนได้มาก

ในกรณีนี้สามารถออกแบบคานด้วยวิธีพลาสติกได้ตามมาตรฐาน AISC/LRFD กำหนดให้ความยาวไร้การยึดด้านข้าง $L_b \leq L_{pd}$ ดังนี้

สำหรับหน้าตัด I ที่มีเนื้อที่หน้าตัดของปีกรับแรงอัดมากกว่าปีกรับแรงดึง และน้ำหนักบรรทุกกระทำของเอว ดังสมการที่ (12)

$$L_{pd}=[0.12+0.067(M_1/M_2)](E/F_y)r_y \quad (12)$$

สำหรับหน้าตัดกล่องที่สมมาตรและหน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน ดังสมการที่ (13)

$$L_{pd}=[0.17+0.010(M_1/M_2)](E/F_y)r_y \geq 0.10(E/F_y)r_y \quad (13)$$

โดยที่ L_{pd} = ความยาวไร้ซึ่งการยึดด้านข้างสูงสุดสำหรับการออกแบบคาน ด้วยวิธีพลาสติก, เซนติเมตร

$M_n = M_p$ แต่มีความสามารถในการหมุนได้น้อย

ในกรณีนี้ถึงแม้ว่า $M_n = M_p$ แต่ต้องทำการวิเคราะห์คานด้วยวิธีอิลาสติกAISC/LRFD กำหนดให้ความยาวไร้การยึดด้านข้าง $L_b \leq L_{pd}$ ดังนี้

สำหรับหน้าตัด I และ C ดังสมการที่ (14)

$$L_{pd} = 1.76 r_y \sqrt{(E/F_y)} \qquad (14)$$

สำหรับหน้าตัดเหล็กกล่อง และหน้าตัดสี่เหลี่ยมตันดังสมการที่ (2.15)

$$L_{pd} = 0.13 r_y E \sqrt{JA/M_p} \qquad (15)$$

โดยที่ L_p = ความยาวไร้ซึ่งการยึดด้านข้างสูงสุดสำหรับ $M_n = M_p$ (เมื่อ $C_b = 1.0$), เซนติเมตร

F_{yf} = หน่วยแรงครากในปีกคาน, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

M_p = โมเมนต์พลาสติก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

เมื่อ $M_r \leq M_n < M_p$

ในกรณีนี้คานจะมีการยึดด้านข้างไม่เพียงพอ เมื่อ $L_p \leq L_b \leq L_r$ คานจะเกิดการโก่งเดาะด้านข้างเนื่องจากการบิดในช่วงอินอิลาสติก AISC/LRFDกำหนดให้กำลังของคานในช่วงนี้แปรเปลี่ยนแบบเส้นตรงจาก M_rถึงM_p ดังสมการที่ (16)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \qquad (16)$$

โดยที่ C_b = สัมประสิทธิ์สำหรับกรณีที่โมเมนต์ภายในมีค่าไม่สม่ำเสมอ

L_r = ความยาวไร้ซึ่งการยึดด้านข้างสูงสุดซึ่งคานยังคงมีพฤติกรรมการโก่งเดาะด้านข้างเนื่องจากการบิดในช่วงอินอิลาสติก, เซนติเมตร

AISC/LRFD ได้กำหนดค่า L_rและ M_r ไว้ดังนี้

สำหรับหน้าตัด I ที่มีความสมมาตรทั้ง 2 แกน และหน้าตัด C ดังสมการที่ (17) (18) (19) และ (20)

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} \qquad (17)$$

$$M_r = F_L S_x \qquad (18)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (19)$$

$$X_2 = \frac{4C_w}{I_y}\left(\frac{S_x}{GJ}\right)^2 \quad (20)$$

โดยที่ M_r = กำลังโมเมนต์ระบุสูงสุดในช่วงอิลาสติก, กิโลกรัม-เซนติเมตร

F_L = ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง (F_{yf}-F_r) กับF_{yw}, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

F_{yf} = หน่วยแรงครากของปีก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

F_{yw} = หน่วยแรงครากของเอว, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

F_r = หน่วยแรงคงค้างในปีก,กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

สำหรับหน้าตัดกล่องและหน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน ดังสมการที่ (21) และ (22)

$$L_r = 2r_y E\sqrt{JA}/M_r \quad (21)$$

$$M_r = F_{yt}S_x \quad (22)$$

เมื่อ $M_n<M_p$

ในกรณีนี้คานจะมีการยืดด้านข้างไม่เพียงพอ เมื่อ $L_b>L_r$ คานจะเกิดการโก่งเดาะด้านข้าง เนื่องจากการบิดในช่วงอิลาสติกAISC/LRFD กำหนดให้

สำหรับหน้าตัด I ที่มีความสมมาตรทั้ง 2 แกน และหน้าตัด Cดังสมการที่ (23)

$$M_n = M_{cr} = C_b\frac{\pi}{L_b}\sqrt{EI_yGJ+\left(\frac{\pi E^2}{L_b}\right)I_yC_w} \quad (23)$$

สำหรับหน้าตัดกล่องสมมาตรและหน้าตัดสี่เหลี่ยม ดังสมการที่ (24)

$$M_n = M_{cr} = \frac{2C_bE\sqrt{JA}}{L_b/r_y} \quad (24)$$

2) คานหน้าตัดไม่อัดแน่น

คานซึ่งมีชิ้นส่วนของปีกและเอวมีค่า $\lambda_p<\lambda<\lambda_r$ ในคานประเภทนี้กำลังโมเมนต์ระบุสามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ $M_r \le M_n<M_p$

เป็นกรณีที่คานเกิดการวิบัติในช่วงอินอิลาสติก ซึ่งอาจเกิดจาก 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ในปีกและเอว ทั้งนี้เนื่องจากปีกและมีค่าสตีฟเนสไม่เพียงพอที่จะให้หน้าตัดเกิดโมเมนต์พลาสติกได้ ดังสมการที่ (25)

$$M_n = M_p - (M_p - M_r)\left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right) \quad (25)$$

โดยที่ λ,λ_rและλ_pเป็นค่าสัดส่วนความชะลูดของชิ้นส่วนที่เป็นปีกหรือเอว แล้วแต่กรณี

กรณีที่ 2 เกิดการโก่งเดาะด้านข้างเนื่องจากการบิด ทั้งนี้เนื่องจากคานมีการยึดด้านข้างไม่เพียงพอ $L_p<L_b \leq L_r$ ในกรณีนี้AISC/LRFD กำหนดให้กำลังโมเมนต์ระบุมีค่าดังสมการที่ (26)

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - M_r\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \quad (26)$$

เมื่อ $M_n<M_r$

เป็นกรณีที่คานเกิดการวิบัติในช่วงอิลาสติกเนื่องจากเกิดการโก่งเดาะด้านข้างซึ่งเกิดจากการบิด กำลังโมเมนต์รับจะมีค่าดังสมการที่ (23) และ (24) สำหรับหน้าตัดรูปต่างๆ ได้กล่าวไว้ตามสมการที่ (23) และ (24) (ทักษิณและอัครวัชร, 2553; วสท., 2546)

2.25 การโก่งขององค์อาคารเหล็ก

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการโก่ง **(Deflection)** ของคาน เขียนได้ดังสมการที่ (27)

$$\Delta = \alpha_d \frac{WL^3}{EI} \quad (27)$$

โดยที่ Δ = ค่าการโก่ง, เซนติเมตร

α_d = ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงกระทำภายนอก และสภาพการรองรับที่ปลาย

W = น้ำหนักบรรทุกใช้งาน, กิโลกรัม

L = ความยาวของคาน, เซนติเมตร

E = โมดูลัสยืดหยุ่น, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

I = โมดูลัสอินเนอร์เชีย

ในการออกแบบคาน มาตรฐาน ว.ส.ท. และ AISC / LRFDได้กำหนดให้คำนึงถึงการโก่งตัวของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานและสำหรับคานที่รับผนังก่ออิฐ ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน จะต้องมีค่าไม่เกิน 1/360 ของความยาวคาน ดังสมการที่ (28)

$$\Delta_a \leq \frac{L}{360} \quad (28)$$

โดยที่ Δ_a = ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน, เซนติเมตร

L = ความยาวคาน, เซนติเมตร

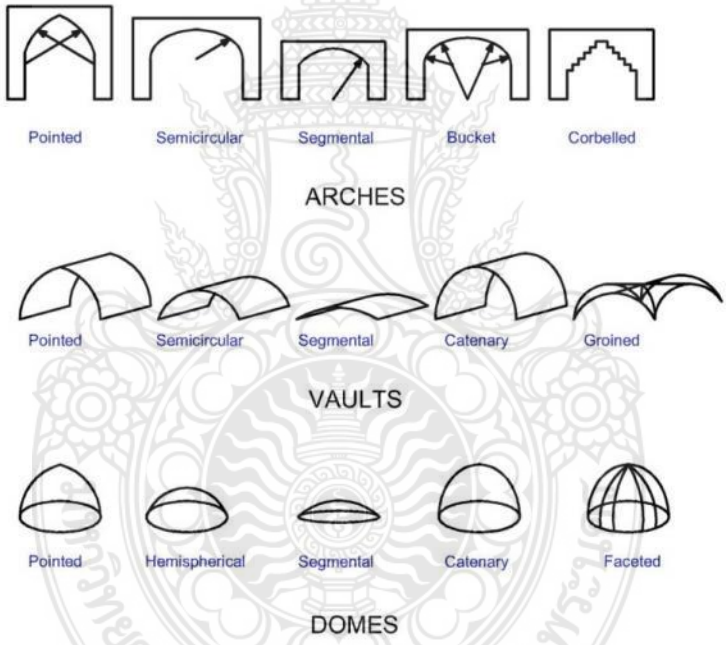
สำหรับ AISC/LRFD ได้ระบุว่า “การเปลี่ยนแปลงรูปร่างขององค์อาคารใด ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน จะต้องไม่มีผลกระทบต่อลักษณะการใช้งานของโครงสร้างนั้นๆ” แต่ไม่ได้ระบุค่าการโก่งสูงสุดไว้ อนึ่งค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่นิยมใช้กันทั่วไป (วสท., 2546) ได้แก่

องค์อาคารที่มีการฉาบปูน : L / 360 < 2.5,เซนติเมตร

พื้นที่ไม่มีการฉาบปูน : L / 240, เซนติเมตร

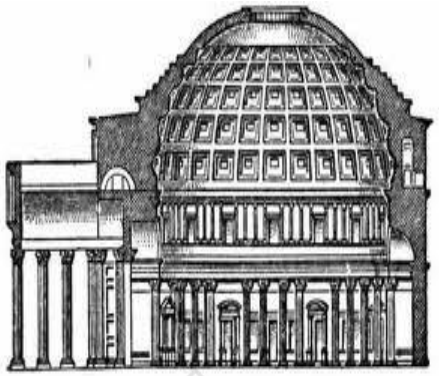
2.26 ความเป็นมาทางสถาปัตยกรรมโดม

ประวัติศาสตร์โดมได้มีการยอมรับว่าเป็นสถาปัตยกรรมโบราณที่มีประสิทธิภาพในเรื่องของความงดงาม และความแข็งแรงในรูปทรงของตัวเอง โดยพัฒนาการของ Dome เริ่มจากส่วนโค้ง (Arch) ของกำแพงโบราณทั้งในยุโรปและอาหรับ ต่อมาส่วนโค้ง (Arch) ของกำแพงโบราณได้มีพัฒนาการมาเป็นซุ้มทางเดินหลังคาโค้ง (Arches) และห้องใต้ดินรูปทรงโค้ง (Vaults) และได้มีการพัฒนาต่อจากซุ้มทางเดินหลังคาโค้งมาเป็นหลังคาโค้งหรือเรียกกันว่า Dome ในปัจจุบัน (Herz , 1975)



รูปที่ 2.5 วิวัฒนาการของรูปทรงโดม (Herz , 1975)

Dome ปรากฏครั้งแรกที่บริเวณรอบสุสานโบราณในตะวันออกกลาง อินเดีย และเมดิเตอร์เรเนียนเป็นการปรับตัวกับที่อยู่อาศัยขนาดเล็กที่ได้พัฒนาวัฒนธรรมเก่าแก่ที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ Yurt Igloos และTeepees เนื่องจากคลาดแคลนวัสดุแต่ต้องการที่พักอาศัยที่แข็งแรงและมีน้ำหนักเบาที่สามารถสร้างหรือรื้อถอนได้อย่างสะดวก เพื่อการโยกย้ายจักรวรรดิโรม (Rome) ได้นำสถาปัตยกรรมนี้มาใช้เป็นครั้งแรกในการสร้าง Pantheon ในกรุงโรม (Herz , 1975)



รูปที่ 2.6 Pantheon ในกรุงโรม (Herz , 1975)

ในสมัยจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) สถาปนิกได้คิดค้นการรับน้ำหนักโดมจากฐานลูกบาศก์เป็นส่วนโค้งสามเหลี่ยม (PendentivesDomes) ต่อมาจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) ได้ถูกเปอร์เซียยึดครองและได้นำสถาปัตยกรรมรูปทรงโดมนี้ไปแพร่หลายในประเทศมุสลิมแล้วได้ทำการสร้างสุเหร่าโซเฟีย (Sophiamosque) ซึ่งได้ใช้สถาปัตยกรรมรูปทรงโดมที่ได้รับมาจากจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) เป็นองค์ประกอบหลักในการออกแบบ (Herz , 1975)

รูปที่ 2.7 สุเหร่าโซเฟีย (Sophiamosque) (Herz , 1975)

สถาปัตยกรรมทรงโดมนี้ยังได้แพร่หลายจากประเทศมุสลิมไปยังรัสเซีย ซึ่งมีรูปทรงโดมที่เป็นเอกลักษณ์ของตน และได้กลายมาเป็นสัญลักษณ์ทางศาสนาของรัสเซียมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าโดมหัวหอม (Onion Dome) (Herz , 1975)

รูปที่ 2.8 โดมหัวหอม (Onion Dome) (Herz , 1975)

อาจกล่าวได้ว่า Dome มีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากในโลกของโรมัน คริสต์ และอิสลาม ซึ่งได้นำสถาปัตยกรรมนี้มาเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบสถานที่สำคัญต่างๆDome ยังได้มีการแพร่หลายไปทั่วโลกและได้รับความนิยมมาเรื่อยจนปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปทรงโดมมาเป็นที่พักอาศัยและสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ด้วยเพราะสถาปัตยกรรมที่งดงาม และความมั่นคงของโครงสร้าง (Herz , 1975)

รูปที่ 2.9 บ้านรูปทรงโดม (Dome House) (Herz , 1975)

รูปที่ 2.10 สนามกีฬาซุปเปอร์โดม (Super Dome) (Herz , 1975)

2.27 คุณสมบัติที่ดีของโครงสร้างรูปทรงโดม

โดม ถือเป็นสถาปัตยกรรมที่งดงามและยังมีโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพมากเช่นเดียวกัน สิ่งก่อสร้างทรงโดมนี้จะใช้เวลาในการก่อสร้างรวมถึงวัสดุในการก่อสร้างน้อยและเบากว่าอาคารปรกติ แต่ถึงแม้ว่าโครงสร้างโดมจะใช้วัสดุที่น้อยและเบากว่าก็สามารถต้านทานต่อการเกิดภัยธรรมชาติอย่างแรงลมหรือพายุได้ดีกว่าอาคารปรกติ เนื่องจากลักษณะทรงกลมจะมีความแข็งแรงมากกว่าเพราะทุกๆจุดของโครงสร้างรูปทรงโดมจะมีการกระจายความเครียดเท่าๆกันตลอดทั้งโครงสร้าง แต่การทนต่อการเกิดแผ่นดินไหวนั้นก็ต้องขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวด้วย ซึ่งถ้าเทียบกับอาคารปรกติแล้วโครงสร้างทรงโดมก็ยังสามารถทนต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้ดีกว่า และเนื่องจากโดมมีพื้นที่ผิวที่น้อยกว่าอาคารที่มีรูปร่างอื่นๆประมาณ 30% ที่มีพื้นที่เท่ากัน ขนาดเดียวกัน จึงทำให้ลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นลงไป 30%จากอาคารรูปร่างอื่นๆด้วย ทำให้โครงสร้างรูปทรงโดมนี้จึงเหมาะเป็นอย่างยิ่งกับการสร้างในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศที่รุนแรง (Herz , 1975; Albert, 1968)

2.28 โครงสร้างเปลือกบาง

โครงสร้างเปลือกบาง (Thin Shell) คือ โครงสร้างรูปทรง 3 มิติที่บางและแข็งแรงครอบคลุมเนื้อที่ด้วยผิวโค้งโครงสร้างเปลือกบางหรือโครงสร้างเปลือกหอยเป็นโครงสร้างที่มีรูปทรงต้านต่อน้ำหนักภายนอกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การที่โครงสร้างชนิดนี้มีเปลือกบางจึงไม่สามารถพัฒนาความเค้นดัดได้ชัดเจนแต่มีความหนาพอที่จะรับน้ำหนัก โดยการอัด การดึง และการเฉือน

โครงสร้างเปลือกบาง (Membrane) รับน้ำหนักโดยการโค้งและการบิดของเปลือกบางซึ่งเป็นโครงสร้างประเภทรับแรงดึงแต่เพียงอย่างเดียว จัดเป็นโครงสร้างที่มีรูปทรงต้านแรงภายนอกแต่ถ้าหากคว่ำรูปทรงอันนี้ และรับน้ำหนักชนิดเดียวกันนี้ จะได้รูปทรงของโครงสร้างที่ต้านแรงอัดแต่เพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากโครงสร้างเปลือกบางมีลักษณะการต้านแรงภายนอกเหมือนโครงสร้างเปลือกบางซึ่งประสิทธิภาพอันนี้ได้จากความโค้งและการบิดของพื้นผิว นอกจากนี้ความหนาของโครงสร้างเปลือกบางมีมากกว่าโครงสร้างเปลือกบาง ทำให้มีความแข็งแกร่งมากกว่า จึงสามารถต้านได้ทั้งแรงอัด แรงดึง และแรงเฉือน

กลไกการรับน้ำหนักของโครงสร้างเปลือกบางจะที่มีลักษณะการโค้งคว่ำ จะทำเกิดแรงที่ผิวสองชุดซึ่งกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกัน และความเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัสช่วยในการรับน้ำหนัก แรงที่เกิดขึ้นในเปลือกบางทั้งสองชุดที่ตั้งฉากกันมีพฤติกรรมคล้ายกับโครงสร้างแผ่นเรียบ (Plate) ซึ่งแรงเฉือนระหว่างแถบที่ติดกันจะช่วยในการรับน้ำหนัก

โครงสร้างเปลือกบางจะแสดงพฤติกรรมอย่างเหมาะสม ถ้าหากความเค้นเปลือกเกิดขึ้นตลอดผิวโดมทั้งผืนกล่าวกันว่า การรับน้ำหนักโดยปฏิกิริยาทางโครงสร้างเปลือกบางเป็นที่ทราบกันว่ามี 3 กรณีจะต้องเกิดขึ้นอย่างเหมาะสมสำหรับโดม เพื่อเกิดปฏิกิริยาทางเปลือกบาง (Thin-Shell Action)

1) โดมจะต้องมีเปลือกบางและต้องไม่ให้เกิดปฏิกิริยาทางการดัดของวัสดุ

2) ต้องมีโค้งที่เหมาะสมต้องมีความแข็งแรง แข็งแกร่งเพราะเป็นรูปทรงเพื่อการรับแรง

3) ต้องมีจุดรองรับที่เหมาะสม ดังนั้นจะต้องเกิดความเค้นดัดเพียงเล็กน้อยในขอบเขตที่จำกัดของเปลือกบาง

กรณีทั้งสามข้อนี้จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาของเปลือกบาง เมื่อใดก็ตามที่รูปทรงของเปลือกบางและการรับน้ำหนักบรรทุกไม่สามารถมีคุณสมบัติครบทั้งสามข้อ เพราะเนื่องจากความยากลำบากในการก่อสร้าง หรือเนื่องมาจากเหตุผลทางความงาม หรือความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรมทำให้เกิดปฏิกิริยาของการดัดเกิดขึ้น ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพทางโครงสร้างของเปลือกบางลดลงทันที (ชลธี, 2552)

2.29 หลังคาโครงโค้ง

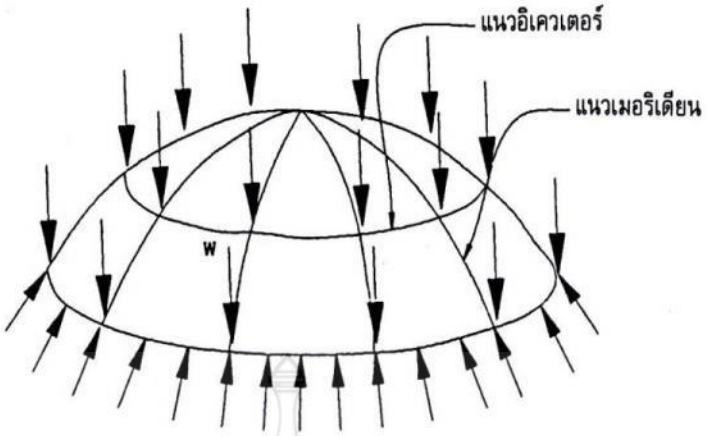
หลังคาโครงโค้ง (Arched Roofs) ได้จากการนำโครงสร้างโครงโค้งมาวางขนานกัน และใช้ชิ้นส่วนที่วางขวางมุงด้วยโครงวัสดุที่เป็นแผ่น ทำให้ได้รูปร่างของโครงหลังคาแบบประทุน (Barrel Roofs) ชิ้นส่วนเชื่อมระหว่างโครงโค้งถ่ายน้ำหนักหลังคาไปยังโครงโค้งโดยการดัด หรือโดยพฤติกรรมของโค้ง และถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นดินส่วนใหญ่โดยการอัด ในการออกแบบรูปร่างของโครงโค้งจะต้องพยายามออกแบบให้ใกล้เคียงกับรูปร่างฟิวนิคคิวล่าร์ของน้ำหนักคงที่ น้ำหนักจรรับโดยการดัดในทรงโค้ง

โครงโค้งคลุมพื้นที่วงกลมโดยใช้โค้งวางรอบๆเส้นรอบรูปชนรวมกันเหนือจุดศูนย์กลาง การถ่ายน้ำหนักในแนวดิ่งทำให้เกิดแรงถีบที่ฐานของโครงโค้ง จำเป็นที่จะต้องออกแบบฐานรากให้สามารถต้านแรงถีบนี้ หรือจะใช้คานโค้งรอบรัดแรงดึง หลังคาโค้งคลุมพื้นที่วงกลมโดยปราศจากเสาทำให้ได้พื้นที่ใช้สอยกว้างขวางมากขึ้น เพื่อสามารถทำประโยชน์ได้หลายประเภท (ชลธี, 2552)

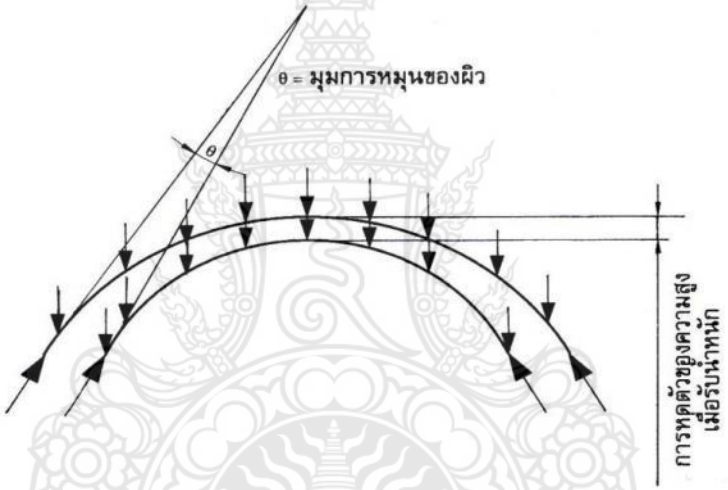
รูปที่ 2.11 ลักษณะของหลังคาโครงโค้งเป็นรัศมี (ชลธี, 2552)

2.30 พฤติกรรมทางโครงสร้างเปลือกบางในโดมครึ่งวงกลม

พฤติกรรมของโครงสร้างโดมครึ่งวงกลมที่รองรับโดยขอบฐานโดยรอบ เนื่องจากน้ำหนักในแนวดิ่งซึ่งสมดุลกันทั้งสองข้างของแนวแกน (เนื่องจากน้ำหนักตายตัว) คือผลที่เกิดจากลักษณะของรูปทรงของโดมเอง ในโครงสร้างเปลือกบาง เส้นตัดในระนาบเมอริเดียนและเส้นตัดในระนาบตั้งฉากกับระนาบเมอริเดียนเป็นเส้นโค้งหลัก และเป็นระนาบความเค้นหลัก ความเค้นในระนาบตัดทั้งสองคือความเค้นดึงและความเค้นอัด ซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความหนาของเปลือกบางที่มีความหนาน้อยจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โครงโค้งที่มีลักษณะของฟิวนิคคูลาร์จะเกิดขึ้นเฉพาะกับน้ำหนักที่มากระทำเพียงแบบเดียวเท่านั้น แต่ในระนาบเส้นเมอริเดียนของโดมจะมีลักษณะของฟิวนิคคูลาร์จากน้ำหนักที่มากระทำหลายแบบ พฤติกรรมความแตกต่างนี้ก็เนื่องมาจากความจริงที่ว่า ในขณะที่โครงโค้งของวงกลมไม่มีที่รองรับในระนาบนอน แต่ระนาบเมอริเดียนของโดมครึ่งวงกลมมีการรองรับโดยวงแหวนในระนาบนอนที่ขนานกันหลายวงเพื่อต้านการเคลื่อนที่ในระนาบนอนโดยการเกิดความเค้นในระนาบเส้นรอบรูป เพราะผลมาจากพฤติกรรมทางฟิวนิคคูลาร์ เนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกแบบต่างๆ ที่สมมาตร โดมจะไม่เปลี่ยนรูปร่างไปตามน้ำหนักที่แปรเปลี่ยน ดังนั้นจึงเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรต่อการแปรเปลี่ยนของน้ำหนัก ดังที่กล่าวมาแล้วการมีส่วนในการช่วยรับแรงของแหวนระนาบนอนกับพฤติกรรมของฟิวนิคคูลาร์ของโดม (ชลธี, 2552)



รูปที่ 2.12 ความเค้นในแนวเมอริเดียนในโดมเปลือกบางครึ่งวงกลม (ชลธี, 2552)

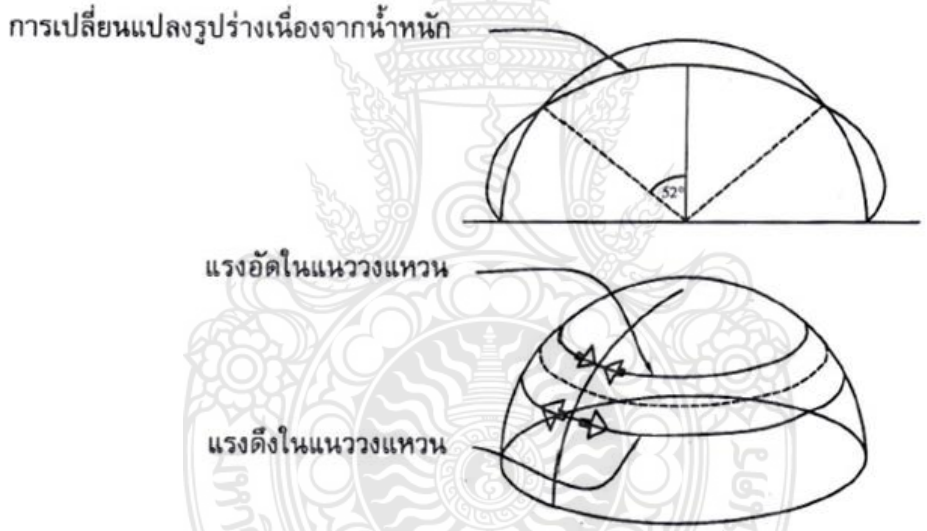


รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงรูปของโดมที่โค้งน้อย (ชลธี, 2552)

จะชี้ให้เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงรูปของโค้งระนาบตั้ง เมื่อรับน้ำหนัก โดมที่มีความโค้งน้อย การโค้งระนาบตั้งจะโก่งภายใต้น้ำหนัก และโค้งยุบลงตามละนาบแกนของโดม ซึ่งทำให้วงแหวนตามระนาบนอนหดสั้นเข้า และรัศมีของวงแหวนน้อยลง วงแหวนระนาบนอนจึงเกิดการอัด ซึ่งเป็นการต้านทานโค้งในระนาบนอนหดสั้นเข้า และรัศมีของวงแหวนน้อยลง วงแหวนระนาบนอนจึงเกิดการอัด ซึ่งเป็นการต้านทานโค้งในระนาบตั้งไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่โค้งลงได้อย่างอิสระ หรืออาจกล่าวได้ว่า โดมที่โค้งน้อยที่มีสมดุลในแกนอาจพิจารณาได้ว่า มีพฤติกรรมเหมือนโค้งฟิวนิคคูลาร์จำนวนมากรองรับด้วยวงแหวนขนานกันในระนาบนอน ทำให้เกิดความเค้นอัดกับโค้งระนาบตั้งและวงแหวนในระนาบนอนและทางทฤษฎีสามารถสร้างได้จากวัสดุที่รับแรงอัดได้ดี เช่น อิฐ หิน เป็นต้น

เมื่อโดมมีความโค้งมาก จุดยอดของโดมจะเคลื่อนลงเมื่อรับน้ำหนัก แต่ส่วนล่างใกล้ฐานของโดมจะเคลื่อนที่ออกภายนอก วงแหวนในระนาบนอนส่วนบนจะหดตัวลง แต่วงแหวนในระนาบนอนส่วนล่างจะมีความยาวเพิ่มขึ้น และเกิดความเค้นดึง ซึ่งต้านการเคลื่อนของโค้ง ในระนาบตั้ง มีวงแหวนในระนาบนอนอยู่ในตำแหน่งหนึ่งที่แน่นอนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวเลย ซึ่งตำแหน่งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่มากระทำ เช่น โดมที่อยู่ภายใต้น้ำหนักตัวเอง วงแหวนที่ทำมุม 52 องศา กับแนวแกนจะไม่เปลี่ยนแปลงความยาว แต่โดมนี้ เมื่อรับน้ำหนักหิมะที่จะกระจายสม่ำเสมอโดมมากขึ้น วงแหวนในระนาบนอนที่ไม่เกิดความ

เค้นเลย ทำมุม 45 องศา กับแนวแกนของโดมเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นจากโดมเป็นความเค้นอัดและความเค้นดึงแต่เพียงอย่างเดียวดังนั้นความเครียดที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดน้อยมาก ความแข็งเกร็งของโดมครึ่งวงกลมจึงสูงอย่างมาก ตัวอย่าง เช่น ความหนาของโดมครึ่งวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 30เมตร จะหนาเพียง 7.6 เซนติเมตรเท่านั้น ซึ่งรับน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักของหิมะจะเกิดการแอ่นตัวเพียง 1/10 เซนติเมตรเท่านั้น อัตราส่วนช่วงกว้างกับการแอ่นตัวเท่ากับ 1200 ซึ่งเทียบกับคานซึ่งอยู่ที่ 300 – 800 เนื่องจากโครงสร้างมีการโก่งตัว เช่น คาน การโค้งออกของโดมบริเวณขอบโดยรอบของฐานมีขนาดน้อยกว่าการโก่งตัวของยอดโดมเพียง 1/100 เซนติเมตรของ การหมุนตามแนวขอบ (Boundary Rotation) คือการเปลี่ยนแปลงของแนวโค้งแนวตั้งเพียง 1/100 ขององศา ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับพฤติกรรมที่แสดงโดยเปลือกบางที่ได้จากการหมุน ซึ่งมีรูปตัดของโค้งอื่นๆ จึงอธิบายได้ว่า เนื่องจากความแข็งแรงของโดมครึ่งวงกลม จึงสามารถลดความหนาลงให้มีขนาดน้อยเช่นนั้นได้ ดังเช่นอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาเท่ากับ 300 เป็นเรื่องที่ปรกติ โดมที่ทำด้วยเหล็กซึ่งใช้กับอาคารของเตาปฏิกรณ์ปรมาณู มีอัตราเท่ากับ 1000 อัตราส่วนเช่นนี้เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของเปลือกไข่ ซึ่งมีอัตราส่วนเพียง 30 หรือกับโครงสร้างที่รับแรงดัด ซึ่งมีอัตราส่วน เท่ากับ 20 ความหนาของโครงเปลือกบางส่วนใหญ่ถูกกำหนดเนื่องจากมีความจำเป็นในการต้านทานการโก่งเดาะ (ชลธี, 2552)

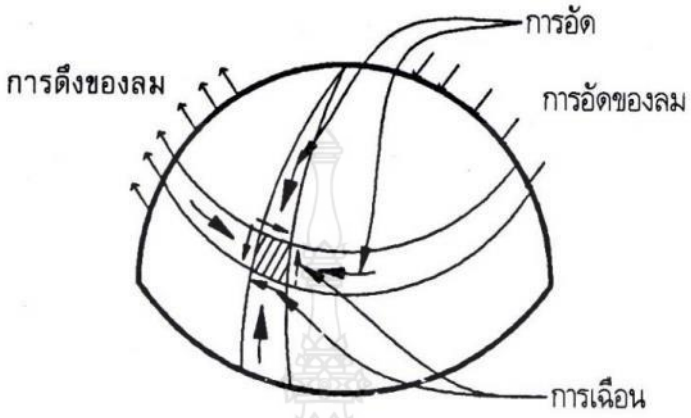


รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโดมที่มีโค้งมากภายใต้น้ำหนักตายตัว (ชลธี, 2552)

เป็นที่ทราบแล้วว่า โครงสร้างเปลือกบางจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามการผันแปรของน้ำหนักเพื่อที่จะไม่ให้เกิดความเค้นอัด ในโครงสร้างโดมเปลือกบาง การอัดจะเกิดขึ้นแทน แม้ว่าถ้าหากความเค้นหลัก (Direct Stresses) ในโค้งระนาบตั้งฉากกับพื้นและวงแหวนในระนาบนอนไม่สามารถรับน้ำหนักที่กระทำทั้งหมดได้ กลไกอย่างที่สามจึงมีความจำเป็นในการทำให้เกิดความสมดุลของความแตกต่างที่ไม่สมดุล เช่น กลไกของความเค้นเฉือน (คล้ายกับการรับแรงเฉือนโดยการบิดในโครงสร้างแผ่น) เพื่อไม่ให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเกินความเค้นปลอดภัย (ชลธี, 2552)

ความเค้นหลัก (การอัดและการดึง) และการเฉือนภายในผิวของผืนโดมจะเฉลี่ยและสมดุลกับน้ำหนักบนโดมครึ่งวงกลมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูป เมื่อนำกลไกของการรับแรงเฉือนมาพิจารณาซึ่งกล่าวได้ว่าโดมมีลักษณะของฟิวนิคคูลาร์ต่อน้ำหนักปรกติทั้งหมด ดั้งนั้นจึงมีความเสถียรภายใต้สถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างเช่นโดมต้านแรงในแนวนอนแรงอัดและแรงดูดของลม

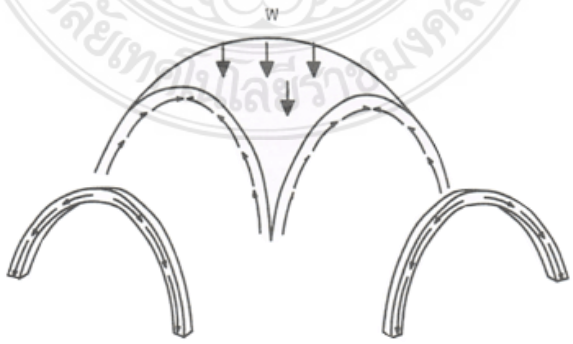
จนเกิดความเค้นขึ้นที่ผิว 3 ชนิด ความเค้นเฉือนเนื่องจากลมมีค่ามากที่สุดอย่างหนึ่งด้วย ตัวอย่างเช่น ลมที่มีความเร็ว 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่กระทำต่อโดมคอนกรีตหนา 7.5 เซนติเมตรมีช่วงเส้นผ่าศูนย์กลาง 30เมตร ทำให้เกิดความเค้นเฉือนที่ผิวเพียง 199 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรในขณะที่ความเค้นเฉือนปลอดภัยที่ยอมให้มากถึง 1,067 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 2.15 ลักษณะกลไกของการเฉือนในโดม (ชลธี, 2552)

2.31 ความเค้นในโครงเปลือกรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง

โครงโค้งแบบต่างๆ อาจจะใช้กับโครงเปลือกบางแบบถ่ายเปลี่ยนผิวกับโค้งสองทิศทาง โค้งของวงกลมหรือส่วนของวงกลมของพาราโบลาได้ถูกนำมาใช้กันทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบโค้งทั้งหมดโครงเปลือกบางรูปถ่ายเปลี่ยนผิวรองรับด้วยความเค้นเฉือนบนโค้งขอบ เหมือนกับโครงเปลือกประทุนที่รับโดยการเฉือนโดยชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงหัวท้าย โค้งที่รองรับมีความแข็งแกร่งตามระนาบผืน แต่อาจจะอ่อนตามระนาบตั้งฉากกับชิ้นส่วน เพื่อว่าการดัดหรือการดึงที่ตั้งฉากกับโค้งจะไม่เกิดที่ขอบของโครงเปลือกบาง พิจารณาแล้วปฏิกิริยาของโครงเปลือกถ่ายเปลี่ยนผิวโค้งอาจจะเหมือนปฏิกิริยาคล้ายคลึงมากกับโดมตื้นและเกิดความเค้นอัดตามแนวโค้งทั้งสองส่วนของเปลือกบางใกล้โค้งที่รองรับจะเกิดการดัดที่เป็นคลื่นจำนวนหนึ่ง และแม้ว่าจะจางหายไปอย่างรวดเร็วในมุมของเปลือกบางที่มีการโค้งตั้งฉากกับโค้งที่รองรับการเพิ่มความหนาของเปลือกบางบริเวณขอบก็มีความจำเป็น



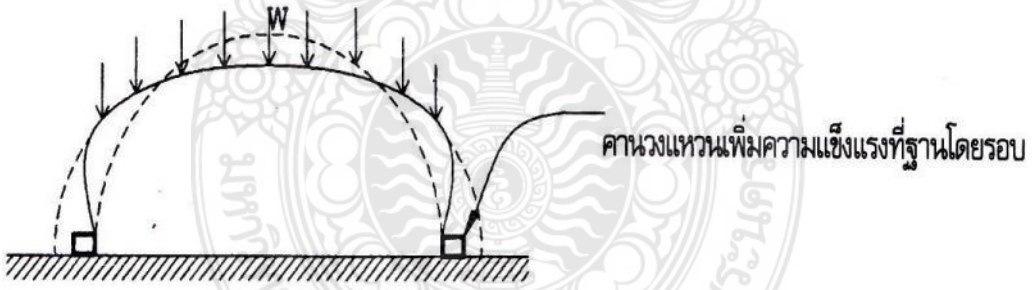
รูปที่ 2.16 ลักษณะการเฉือนที่ขอบของโครงเปลือกบางรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง (ชลธี, 2552)

2.32 ความเค้นดัดในโดม

โดม รับน้ำหนักโดยความเค้นที่ผิว (การอัด การดึง และการเฉือน) เพราะการเกิดแรงเฉือนทำให้มีลักษณะทางฟิวนิคคูลาร์สำหรับน้ำหนักทุกประเภท แต่โดยปรกติเนื่องจากโดมจะมีผิวที่บางมาก ถ้าหากมีแนวโน้มที่จะเกิดความเค้นดัดที่ใดก็ตามในผิวโดม ซึ่งจะมีค่าเกินกว่าความเค้นความปลอดภัยที่ยอมให้ง่ายมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในกรณีเช่นนั้น

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของโดมเปลือกบาง สมมุติว่า มีอิสระที่ยอมให้เคลื่อนที่ได้เล็กน้อย ซึ่งจำเป็นสำหรับสภาวะเปลือกบางที่เกิดความเค้น ดังนั้นโดมจึงมีความเค้นผิวเกิดขึ้นเมื่อรับน้ำหนัก และเนื่องจากความเครียดทำให้ยอดของโดมเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งเล็กน้อยเนื่องจากการแอ่นตัวของยอดโดมไม่ได้รับการป้องกันไว้ สภาวะความเค้นสภาวะของความเค้นของเปลือกบางจึงคงอยู่ในบริเวณใกล้เคียง สถานการณ์ความแตกต่างทั้งหมดนี้อาจเกิดขึ้นแทนการเกิดที่ฐานของโดม

โดมครึ่งวงกลมมีแนวโน้มที่จะแบะออกที่บริเวณฐาน ขอบฐานโดยรอบเคลื่อนที่ออกด้านนอกแม้ว่าจะมีขนาดเพียงเล็กน้อยมาก มากไปกว่านี้ ปฏิกิริยาของที่รองรับของโดมจะต้องอยู่ในทิศทางของการโค้งในระนาบตั้ง เนื่องจากโค้งของระนาบตั้งมีลักษณะของฟิวนิคคูลาร์ของน้ำหนักปฏิกิริยาในทิศทางอื่นๆ อาจทำให้เกิดการดัดขึ้นในโดม อาจจะกล่าวได้ว่า เพื่อที่จะให้เกิดภาวะของความเค้นในผิวแต่เพียงอย่างเดียว ขอบนอกโดยรอบที่ฐานจะต้องมีอิสระต่อการเคลื่อนที่ไปยังทิศทางด้านนอก มากไปกว่านั้น แรงปฏิกิริยาของที่รองรับที่ฐานระนาบเมอริเดียนของโค้งระนาบตั้งฉาก คือ ฟิวนิคคูลาร์ของน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำไม่ได้ การเคลื่อนที่ของขอบรอบที่ฐานของโดมทำให้เกิดความยากลำบากในทางปฏิบัติและเป็นการยากที่จะยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการหมุน เพื่อที่จะคงสภาพเส้นสัมผัสวงกลมที่เปลี่ยนรูปเส้นโค้งระนาบฉากเมื่อขอบนอกฐานหมุนเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของเปลือกบางภายใต้น้ำหนัก(ชลธี, 2552)



รูปที่ 2.17 การเสียรูปเนื่องจากการดัดที่บริเวณฐานที่เพิ่มความแข็งแรงโดยรอบ (ชลธี, 2552)

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้ว บริเวณวงแหวนโดยรอบฐานของเปลือกบางจะได้รับการเสริมความแข็งแรงโดยวงแหวนที่มีความแข็งแกร่ง ซึ่งป้องกันการเคลื่อนที่สู่ทิศทางภายนอกและการหมุนของขอบโดยรอบที่ฐานทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงผลักและการดัดแนวฐานโดยรอบ โครงสร้างเปลือกบางซึ่งจะแบะออกและหมุนบริเวณฐานโดยรอบภายใต้น้ำหนักทำให้เกิดความเค้นผิวและเกิดการย่นหรือการเปลี่ยนแปลงผืนโค้งทันทีทันใด และเกิดความเค้นดัดบริเวณโดยรอบของขอบล่าง ความยุ่งยากเนื่องจากการดัดที่เกิดขึ้นบริเวณโดยรอบของโดมนั้น ไม่ได้ทะลุลึกขึ้นไปด้านบนของเปลือกบาง แต่ถูกจำกัดอยู่ในแถบแคบๆ บริเวณใกล้เคียงกับขอบโดยรอบ การสลายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณขอบล่างของโดมได้รับโดยคุณสมบัติที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของโครงเปลือกบางซึ่งได้รับการหน่วงโดยวงแหวนระนาบนอน

วงแหวนระนาบนอนมีความแข็งแรงต่อการดึงและการอัด ทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนตัวที่มากดังนั้น จึงเกิดปริมาณย่นเข้าและย่นออกมากของโค้งระนาบตั้งฉากกับพื้น และการดัดจำนวนที่น้อยจะสลายตัวไปเมื่อมีระยะห่างจากขอบโดมโดยรอบขึ้นไป การสลายตัวของความเค้นดัดคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ของคานต่อเนื่อง ซึ่งความเค้นดัดที่สลายตัวอย่างรวดเร็วจากช่วงคานที่รับน้ำหนักไปยังช่วงคานต่อเนื่องบนจุดรองรับ ในโครงเปลือกบางโค้งระนาบตั้งจะต่อเนื่องบนจุดรองรับของวงแหวนระนาบนอน และการดัดจะหายไปจากขอบโดยรอบของโดมพร้อมกับการโก่งที่เป็นคลื่นเหมือนคานต่อเนื่อง

ความกว้างของพื้นที่ ที่มีผลต่อการดัดโดยรอบของขอบโดมเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของอัตราส่วนของความหนาต่อรัศมีของโดม ดังนั้นเพื่อที่จะลดความกว้างของพื้นที่ที่มีปัญหา เปลือกของโดมจะต้องมีความบางลง ดังเช่น ความหนาเท่ากับ 1/400 ของรัศมีความกว้างของพื้นที่ที่มีปัญหามีเพียง 1/10 ดังนั้นโครงเปลือกบางส่วนใหญ่ตามความจริงแล้วก็อยู่ในภาวะของการเกิดความเค้น

ปัญหาที่เกิดจากการดัดมีความรุนแรงกว่าเนื่องจากน้ำหนักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อโครงเปลือกบางที่ได้รับแสงแดดจัดจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดมจะเปลี่ยนรูปร่างโดยการเพิ่มรัศมีเท่าๆกัน ถ้าหากวงแหวนที่ฐานยึดแน่นป้องกันการเคลื่อนที่ของเปลือกโดมก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความโค้งทันทีและเกิดความเค้นสูง เหมือนกับที่เกิดขึ้นตามอธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของขอบโดยรอบของโดมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมากกว่าการที่เกิดจากน้ำหนัก โดยปรกติความเค้นดัดเนื่องจากการขยายตัวอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วจะมากกว่าเนื่องจากน้ำหนักคงที่ (ชลธี, 2552)

2.33 สมมติฐาน

1) ระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายมีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง

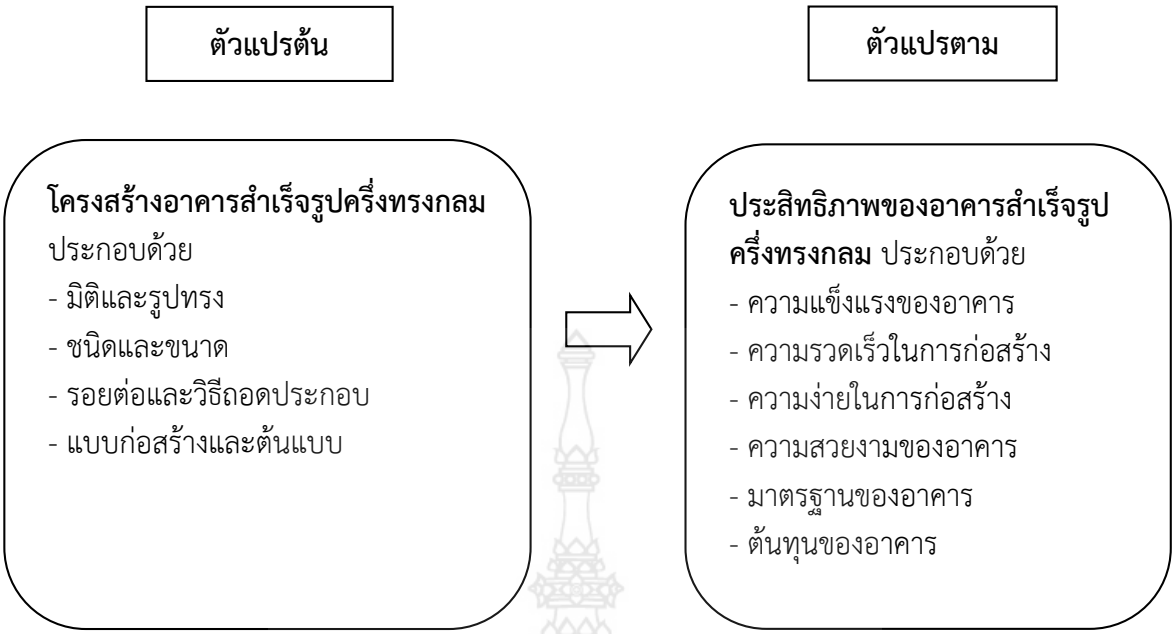
2) ระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายสามารถผ่านการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้

3) ระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายสามารถก่อสร้างและถอดประกอบได้ง่าย

4) ระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย เป็นที่สนใจของหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และประชาชนทั่วไป

2.34 กรอบแนวความคิด

จากข้อมูลที่รวบรวม สามารถวาดกรอบแนวความคิด เพื่อใช้ในการพัฒนาอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายได้ ดังนี้

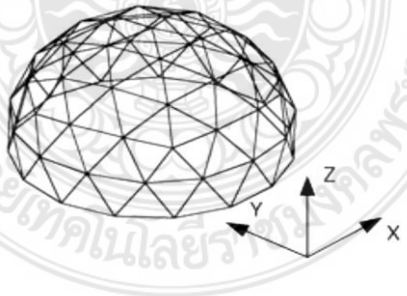


รูปที่ 2.18 กรอบแนวความคิดของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

2.35 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

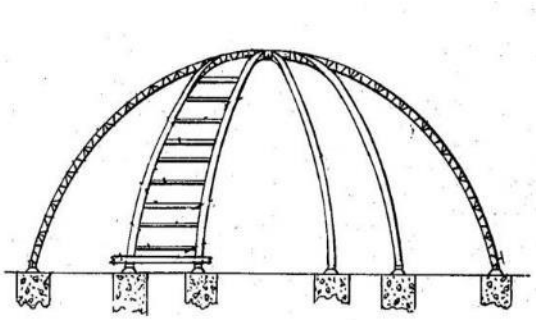
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย สามารถสรุปได้ ดังนี้

Buckminster Fuller (1926) สถาปนิกและวิศวกร ได้คิดค้น ออกแบบ จีโอเดสิกโดม (Geodesic Dome) ซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมและแปดเหลี่ยมนำมาใช้เพื่อแบ่งเป็นส่วนของท่อนที่มีความยาวเท่ากัน ได้รับสิทธิบัตรการออกแบบทรงโดมของสหรัฐอเมริกาในปี 1954 (Marek, 2009)

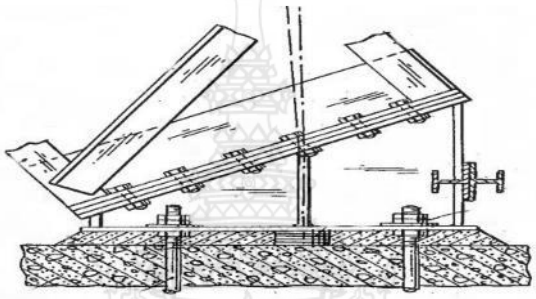


รูปที่ 2.19 โครงสร้างโดมของ Buckminster Fuller (Marek, 2009)

Albert A. Fink (1968) ได้ออกแบบโครงสร้างโดมซึ่งมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งประกอบด้วยเหล็กฉากที่นำมาต่อเข้ากันเป็นโครงโค้งประกอบกันด้วยการเชื่อมและสลักเกลียว



รูปที่ 2.20 ลักษณะโครงสร้างโดมของ Albert A. Fink (Albert, 1968)



รูปที่ 2.21 ลักษณะรอยต่อที่ฐานโครงสร้าง (Albert, 1968)

สุธี ปิยะพิพัฒน์ (2550) โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านฉุกเฉินช่วยคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว เพื่อการตอบสนองและบรรเทาความเดือดร้อนของผู้ประสบภัย ไม่ว่าจะเกิดในภูมิภาคใดก็ตาม โดยโครงการดังกล่าว เป็นการศึกษาออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารบ้านแถวชั้นเดียว จำนวน 4 หน่วย ที่สร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในระบบก่อสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบถอดสำเร็จ (Knock Down System) โดยจัดทำแบบรูปและรายการตลอดจนขั้นตอนการติดตั้ง รวมทั้งกำหนดควบคุมราคาต่อห้อง และควบคุมระยะเวลาในการติดตั้ง ภายใต้การแนะนำของการเคหะแห่งชาติ (กคช.) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ จากผลการศึกษาได้แบบรูปและรายการ ตลอดจนรายละเอียดของขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปบ้านแถวชั้นเดียวสำหรับบ้านฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ ขนาด 4 × 16 ตารางเมตร โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และราคาก่อสร้างต่ำที่สามารถหาได้รวดเร็วในระยะเวลา 3 วัน โดยใช้แรงงานท้องถิ่น หรือแรงงานกึ่งทักษะ ปฏิบัติการติดตั้งตามแบบรูปรายละเอียด โครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปดังกล่าวใช้ระบบโครงสร้างแบบโครงสร้างข้อแข็ง (Frame Structure) ในระหว่างการเตรียมชิ้นส่วนสำหรับการติดตั้ง เมื่อนำมาติดตั้งจะได้อาคารในระบบ Knock Down ซึ่งต้นทุนทั้งค่าวัสดุและค่าแรงงานประกอบต่อหน่วย จะอยู่ในราคาประมาณ 91,720 บาท (ไม่รวมค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ) ซึ่งเป็นราคาที่ยอมรับได้ หากความต้องการในการก่อสร้างที่ 2,3,4,5,6,7 และ 8 หน่วย เมื่อนำผลการก่อสร้างมาวิเคราะห์เชิงสถิติโดยใช้ทฤษฎีพหุนาม(Regression Analysis , R^2)ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ราคาค่าก่อสร้างที่ลดลง (บาท) กับจำนวนบ้านพักฉุกเฉิน (หน่วย) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์ในรูปแบบ Non- Linear Equation ได้ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลเป็นร้อยละ 98.67 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันดีมาก และยังพบอีกว่าถ้าต้องให้ค่าใช้จ่ายลดลงควรทำการ

ผลิตบ้านพักฉุกเฉินมากกว่า 7.781 หลังขึ้นไป และเป็นอาคารบ้านฉุกเฉินช่วยคราวได้เป็นอย่างดี รวมทั้งจากผลการศึกษายังพบว่าโครงการดังกล่าว สามารถที่จะทำการแยกหน่วย (Separate Part Of Structure)ได้ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในท้องที่ต่างๆกรณีเกิดภัยพิบัติได้เป็นอย่างดี ระบบโครงสร้างใช้จุดต่อยึดชิ้นส่วนด้วยสลักเกลียว (Bolt) จึงทำให้การถอดประกอบทำได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถนำไปยังสถานที่เกิดเหตุพิบัติภัยได้สะดวกและทันท่วงที โดยการขนส่งสามารถทำได้โดยการใช้รถบรรทุกชนิด 6 ล้อขนาดบรรทุกน้ำหนัก 10 ตัน สามารถขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้จำนวน 2 หน่วยต่อ 1 เที่ยวการขนส่ง โดยรวมชิ้นส่วนทุกระบบแล้วหรือหากกรณีที่มีความจำเป็นต้องการขนส่งคราวละมากๆ สามารถทำได้โดยใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ (เทรลเลอร์) ซึ่งสามารถขนส่งได้จำนวน 4 หน่วยต่อ 1 เที่ยวการขนส่ง เมื่อทำการก่อสร้างแล้วสามารถที่จะมีอายุการใช้งาน ในสภาวะการใช้งานปรกติ และมีการบำรุงรักษาสภาพของชิ้นส่วนเป็นอย่างดีได้ประมาณ 3-5 ครั้ง ซึ่งหากคิดต้นทุนค่าก่อสร้างต่อหน่วย ต่ออายุการใช้งานที่คุ้มทุนแล้ว จะมีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยที่ 30,573.41 บาทต่อหน่วยเท่านั้น

สนธพล กริชนวรักษ์ (2554) อาคารพักอาศัยชั่วคราวเป็นอาคารสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นในระบบอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้วยวัตถุดิบที่ผลิตได้อย่างสำเร็จรูป มีมาตรฐานและ ปริมาณมาก รูปแบบของอาคารมีการพัฒนาตาม วัสดุสมัยใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไป จากผ้าสู่ไม้ จากไม้สู่เหล็ก จากเหล็กสู่วัสดุสังเคราะห์ โดยมีกระบวนการติดตั้งที่สะดวก รวดเร็ว สามารถขนส่งไปยังพื้นที่ต่างๆได้โดยสะดวกโดยเฉพาะเมื่อมีการผนวกแนวคิดของการออกแบบอาคารสำเร็จรูป เข้ากับทฤษฎีการออกแบบอาคาร ทำให้เกิดรูปแบบของอาคารที่มีประโยชน์ใช้สอยหลากหลายขึ้นในการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยแบบสำเร็จรูป ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงเทคนิคและรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ ทั้งในกระบวนการออกแบบ การผลิตชิ้นส่วนและการดำเนินการติดตั้งโดยเฉพาะรายละเอียดการติดตั้งที่จะมีผลต่อการเลือกวิธีการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนเป็นอย่างมาก เช่นอาคารตัวอย่างในงานวิจัยนี้ใช้ระบบการประสานพิกัดในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยเลือกใช้ระบบการติดตั้งแบบถอดประกอบ (Knock down) ในการติดตั้ง ทำให้จุดเชื่อมต่อ และลักษณะของรอยต่อของชิ้นส่วนเป็นสิ่งที่สำคัญมากต้องมีการคำนวณแบบรอยต่อในระดับมิลลิเมตร เพื่อให้การติดตั้งทำได้ง่าย และสามารถปรับปรุงเพิ่มเติมการใช้สอยได้อย่างหลากหลายภายได้ระบบพิกัดมูลฐานขนาด 0.60 × 0.60 เมตร ที่เป็นสัดส่วนร่วมจากเลขคู่ 0.20 เมตร กับเลขคี่ 0.30 เมตร จากการศึกษาข้อมูลที่สรุปได้ และการทดสอบในอาคารตัวอย่าง แสดงให้เห็นถึงแนวความคิดที่เป็นรูปธรรมในด้านเทคนิคการออกแบบอาคารพักอาศัยชั่วคราวที่มีรูปแบบเหมาะสมกับสภาวะของประเทศไทยและตอบสนองต่อการใช้สอยขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่ผู้ออกแบบทุกคนควรจะคำนึงถึงในการออกแบบอาคารพักอาศัยชั่วคราวให้เหมาะสมกับประเทศไทย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลองเพื่อพัฒนาโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาโครงสร้างอาคารรูปครึ่งทรงกลม

1) เหล็กรูปพรรณ ขนาดและหน้าตัดต่างๆ เกรด SM 400 ตามมาตรฐาน มอก.1227 มีกำลังดึงคราก่ระหว่าง 2,350 – 2,450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีกำลังดึงสูงสุด 4,000 – 5,100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

รูปที่ 3.1 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดกลม

รูปที่ 3.2 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2) สลักเกลียว ขนาดและความยาวต่างๆ แบบไม่แต่งผิว ชนิด ASTM A307 กำลังรับแรงดึง 4,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3) เครื่องเชื่อมไฟฟ้า หน้ากากกันแสง พร้อมลวดเชื่อมไฟฟ้า เกรด E60 กำลังรับแรงเฉือน 1,260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยทำการเชื่อมพอกให้มีขนาดต่ำสุด ไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร และเชื่อมรอบโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.3 ถึง 3.5

รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 3.4 หน้ากากกันแสง

รูปที่ 3.5 ลวดเชื่อมไฟฟ้า

4) เครื่องตัดเหล็ก ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องตัดเหล็ก

5) เครื่องดัด พับ และม้วนเหล็ก

6) เครื่องเจียรแบบมือถือ ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องเจียรแบบมือถือ

7) ชุดอุปกรณ์เจาะรู และขันสลักเกลียวชนิดต่างๆ เช่น สว่านไฟฟ้า ไขควง ประแจบล็อก ประแจเลื่อน และประแจปากตาย เป็นต้น ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.10

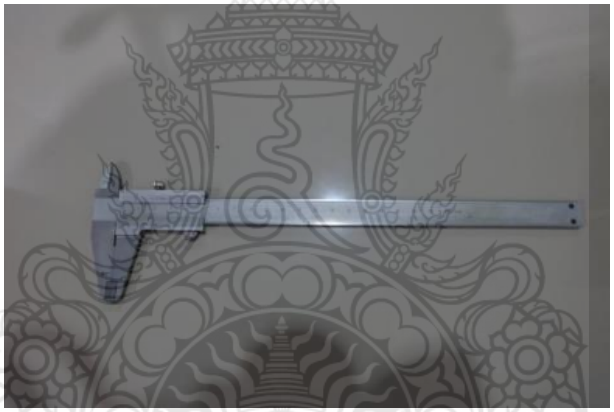
รูปที่ 3.8 สว่านไฟฟ้า

รูปที่ 3.9 ประแจบล็อก

รูปที่ 3.10 ประแจเลื่อน

8) ชุดอุปกรณ์การวัดขนาดและระดับ เช่น ตลับเมตร เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ระดับน้ำ ไม้ฉาก และลูกดิ่ง เป็นต้น ดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.14

รูปที่ 3.11 ตลับเมตร



รูปที่ 3.12 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

รูปที่ 3.13 ไม้ฉาก

รูปที่ 3.14 ลูกดิ่ง

9) ค้อน และสิ่ว ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16

รูปที่ 3.15 ค้อน

รูปที่ 3.16 สิ่ว

10) ชุดอุปกรณ์คอนกรีต เช่น เกียงฉาบ เกียงก่อ กระบะปูน และจอบ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 เกียงฉาบ

11) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล
12) เครื่องพิมพ์
13) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเปลือกผนังอาคาร (เพิ่มเติมจากการพัฒนาโครงสร้างอาคาร)
1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2) ทรายละเอียด ดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 ทรายละเอียด

3) เส้นใยมะพร้าว ย่อยให้มีความยาวไม่เกิน 2.54 เซนติเมตร หรือ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 เส้นใยมะพร้าว

4) น้ำยากันซึม
5) สีน้ำทาผนัง
6) น้ำประปา
7) แบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 แบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร

8) แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

9) เครื่องผสมปูน ดังรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.24 เครื่องผสมปูน

10) แผ่นไม้อัด สำหรับหล่อเปลือกอาคาร หนา 4 มิลลิเมตร

11) เหล็กเส้นกลม RB เกรด SR24 ขนาด 6 มิลลิเมตร

12) ตะแกรงเหล็กสี่เหลี่ยม # ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.56 มิลลิเมตร ระยะห่าง 0.5 นิ้ว ดังรูปที่ 3.25

รูปที่ 3.25 ตะแกรงเหล็กสี่เหลี่ยม

3.2 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป

3.2.1 ออกแบบลักษณะ รูปแบบ และพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม โดยคำนึงถึงรายละเอียดด้านต่างๆ ได้แก่

1) มิติ และลักษณะภายนอกอาคาร

2) ชิ้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด

3) โครงสร้างอาคาร

4) รอยต่ออาคารแบบน็อกดาวน์

3.3.2 ออกแบบเปลือกอาคาร สำหรับติดตั้งลงบนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของเปลือกอาคาร ซึ่งเป็นการนำอัตราส่วนผสมของปูนฉาบทั่วไปมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยเส้นใยมะพร้าว จำนวน 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	เส้นใยมะพร้าว	น้ำยากันซึม	น้ำประปา
C0	1	3	0	0.02	0.5
C5	1	3	0.05	0.02	0.5
C10	1	3	0.1	0.02	0.5
C15	1	3	0.15	0.02	0.5
C20	1	3	0.2	0.02	0.5
C25	1	3	0.25	0.02	0.5

3.3 การออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป

ออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป เพื่อให้การดำเนินการก่อสร้างเกิดความสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง

2) ขั้นตอนการรื้อถอน

3.4 การประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป

ประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยไม่รวมถึงค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการทดลองเบื้องต้น

3.5 การขึ้นรูปต้นแบบอาคารสำเร็จรูป

3.5.1 การขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคาร

จากแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่ออกแบบ สามารถขึ้นรูปส่วนต่างๆ ประกอบด้วย

1) ขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างตามการออกแบบ

2) ขึ้นรูปรอยต่อตามการออกแบบ

3.5.2 การขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคาร

ขึ้นรูปตัวอย่างเปลือกอาคารสำหรับทดสอบคุณสมบัติ จำนวน 2 รูปแบบ ได้แก่ ตัวอย่างขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร และตัวอย่างขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร โดยมีขั้นตอนการขึ้นรูป ดังนี้

1) ตวงส่วนผสมตามที่ออกแบบ

รูปที่ 3.26 การชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่ออกแบบ

รูปที่ 3.27 การชั่งน้ำหนักทรายละเอียดตามอัตราส่วนที่ออกแบบ

2) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

3) เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ

รูปที่ 3.28 การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.29 การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

4) ถอดแบบหล่อ

5) บ่มตัวอย่างเปลือกอาคารในอากาศ ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน

3.5.3 การขึ้นรูปเปลือกอาคารตามการออกแบบ

1) คัดเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดจากตัวอย่างทดสอบ จำนวน 1 อัตราส่วน

2) ติดตั้งเหล็กเส้นกลม ขนาด 6 มิลลิเมตร ในแนวตั้ง ทุกระยะ 10 เซนติเมตร

3) ติดตั้งแผ่นไม้อัด เป็นแบบหล่อ

4) ติดตั้งเหล็กตะแกรง เป็นเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าว ดังรูปที่ 3.30

รูปที่ 3.30 การติดตั้งแผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรง สำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร

5) ตวงส่วนผสมตามที่คัดเลือก
6) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน
7) ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้ ดังรูปที่ 3.31 ถึง 3.33

รูปที่ 3.31 ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้

รูปที่ 3.32 เปลือกอาคารเบื้องต้นที่ผ่านการเทหล่อเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 3.33 ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้

8) ฉาบเรียบเปลือกอาคารให้มีความสวยงามเรียบร้อย ดังรูปที่ 3.34 และ 3.35

รูปที่ 3.34 การฉาบเรียบเปลือกอาคารให้มีความสวยงามเรียบร้อย

รูปที่ 3.35 เปลือกอาคารที่ผ่านการหล่อและฉาบเรียบแล้ว

3.6 การทดสอบอาคารสำเร็จรูป

3.6.1 การทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้าง และขึ้นรูปโครงสร้างแล้ว จึงนำโครงสร้างและรอยต่อของอาคารสำเร็จรูป มาทำการทดสอบตามพฤติกรรมต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่

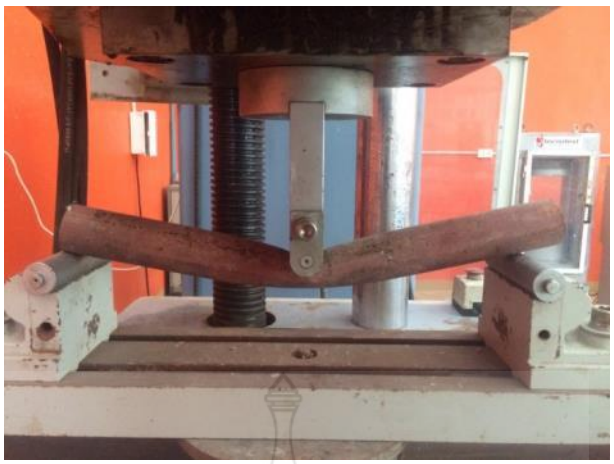
1) ความต้านทานแรงอัดของโครงสร้าง

2) ความต้านทานแรงดัดของโครงสร้าง

3) รอยต่อของโครงสร้าง

รูปที่ 3.36 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม

รูปที่ 3.37 การวิบัติของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด



รูปที่ 3.38 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

รูปที่ 3.39 การเชื่อมรอบเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมด้วยลวดเชื่อม

รูปที่ 3.40 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม

3.6.2 การทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคาร

ทำการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเปลือกอาคาร ซึ่งจำเป็นต่อการใช้งาน โดยใช้ตัวอย่างทดสอบ จำนวน 5 ก้อนต่อการทดสอบ ซึ่งการทดสอบต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

รูปที่ 3.41 การชั่งน้ำหนักเพื่อทดสอบความหนาแน่น

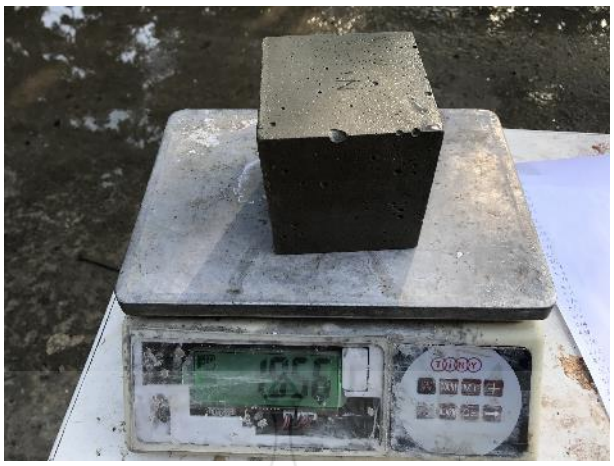
รูปที่ 3.42 การชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร

2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

รูปที่ 3.43 การอบก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.44 การแช่ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารลงในน้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.45 การเช็ดก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารให้แห้งเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.46 การชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

3) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

รูปที่ 3.47 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM

รูปที่ 3.48 ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

4) ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.378-2531

รูปที่ 3.49 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM

รูปที่ 3.50 แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

5) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2012) โดยใช้แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

6) การใช้งานจริง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

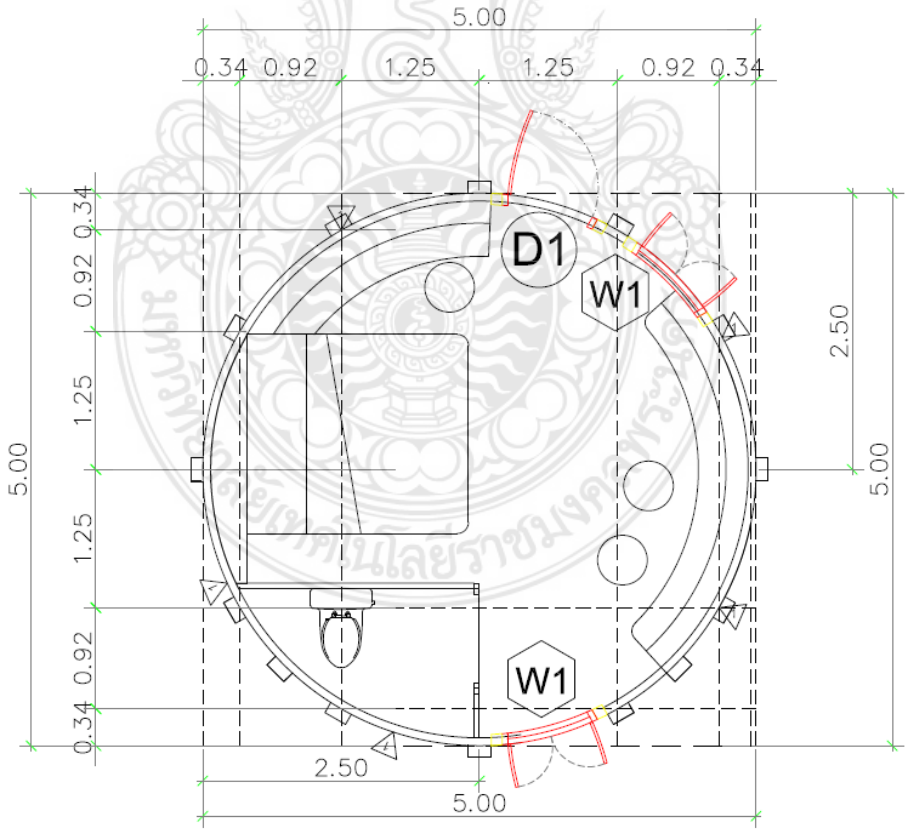
ผลการดำเนินงานวิจัยโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” เป็นการออกแบบและขึ้นรูปโครงสร้างและเปลือกอาคารนั้น สามารถสรุปเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ ดังนี้

4.1 ผลการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

จากการออกแบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายในด้านต่างๆ ได้แก่ มิติและลักษณะภายนอกอาคาร ชิ้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด โครงสร้างอาคาร และรอยต่ออาคารแบบน็อกดาวน์ สามารถสรุปผลการออกแบบแบ่งเป็น 2 ด้าน ดังนี้

4.1.1 มิติและลักษณะภายนอกอาคาร

ในด้านของมิติและลักษณะภายนอกอาคารได้ออกแบบเป็นอาคารทรงครึ่งทรงกลมแบบส่วนฐานตรง คล้ายรูปทรงของกระสุนปืน เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับใช้สอยเพิ่มมากขึ้น กำหนดให้อาคารมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวม 19.635 ตารางเมตร ความสูงจากระดับพื้นถึงเพดาน 3.5 เมตร โดยส่วนโค้งของครึ่งทรงกลมเริ่มที่ความสูง 1 เมตรจากระดับพื้น ภายในสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของห้องนอน และส่วนของห้องน้ำ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบมิติและลักษณะภายนอกอาคารทรงครึ่งทรงกลม

4.1.2 โครงสร้างและรอยต่ออาคาร

คำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยใช้วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD) สำหรับโครงสร้างเหล็ก (ทักษิณ และอัครวัชร, 2553) และวิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (วินิต, 2545) ดังนี้

1) กำหนดน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร ประกอบด้วย

1.1) น้ำหนักบรรทุกคงที่

- น้ำหนักวัสดุมุงหลังคา	5	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- น้ำหนักเหล็กโครงสร้าง	10	กิโลกรัมต่อตารางเมตร

1.2) น้ำหนักบรรทุกจร

- น้ำหนักบรรทุกจรหลังคา	50	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- น้ำหนักบรรทุกจรอาคารพักอาศัย	150	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- แรงลม ตาม วสท. (0 - 10 เมตร)	50	กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2) การแบ่งน้ำหนักบรรทุกในการออกแบบโครงสร้าง ใช้วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) (วสท., 2546) โดยใช้ $P_u = 1.2D + 1.6L$ เมื่อ P_u คือ น้ำหนักบรรทุกสำหรับนำไปออกแบบ D คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ และ L คือ น้ำหนักบรรทุกจร

ทำการออกแบบโครงสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยใช้ท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 60.5 มิลลิเมตร ความหนา 3.2 มิลลิเมตร ขึ้นรูปด้วยการดัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็นโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่

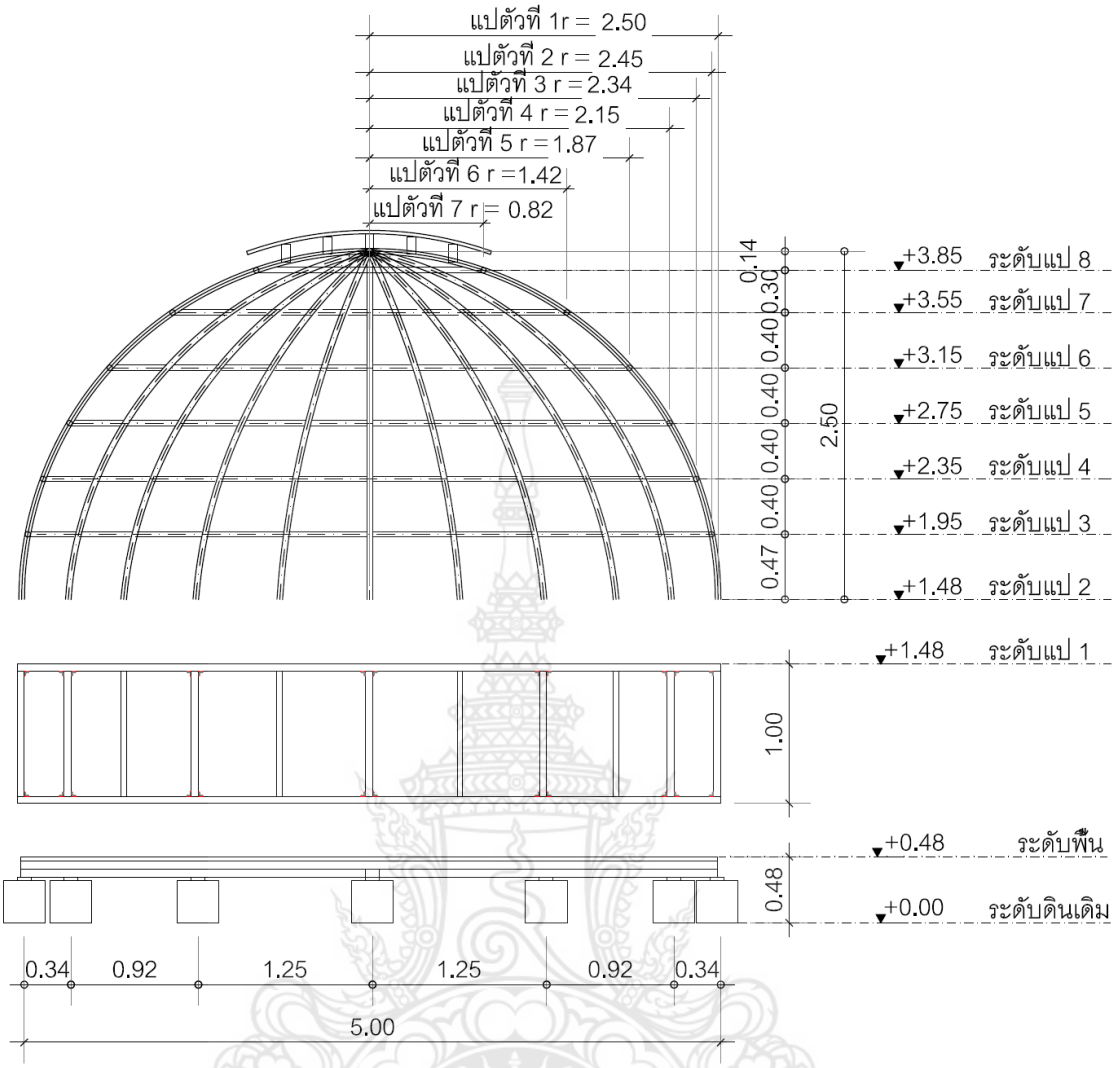
1) โครงสร้างผนัง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแนวตั้ง รัศมีความโค้ง 1 ความโค้ง รวมทั้งสิ้น 18 ท่อน และส่วนแนวนอน รัศมีความโค้ง 7 ความโค้ง รวมทั้งสิ้น 48 ท่อน ดังรูปที่ 4.2

2) โครงสร้างหลังคา รวมทั้งสิ้น 1 ท่อน ดังรูปที่ 4.2

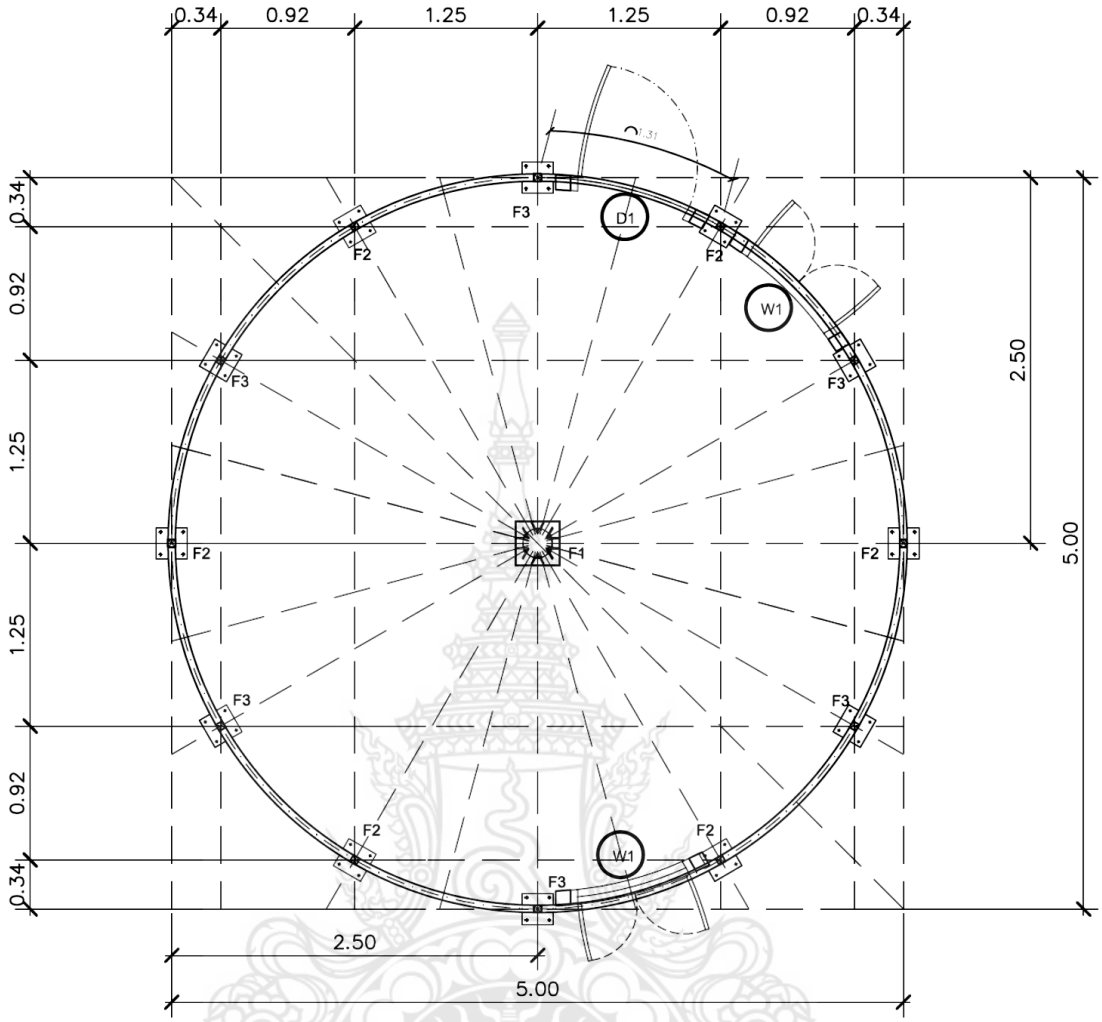
3) โครงสร้างพื้น รวมทั้งสิ้น 12 ท่อน ดังรูปที่ 4.3

4) โครงสร้างฐานราก รวมทั้งสิ้น 13 ฐาน ดังรูปที่ 4.4

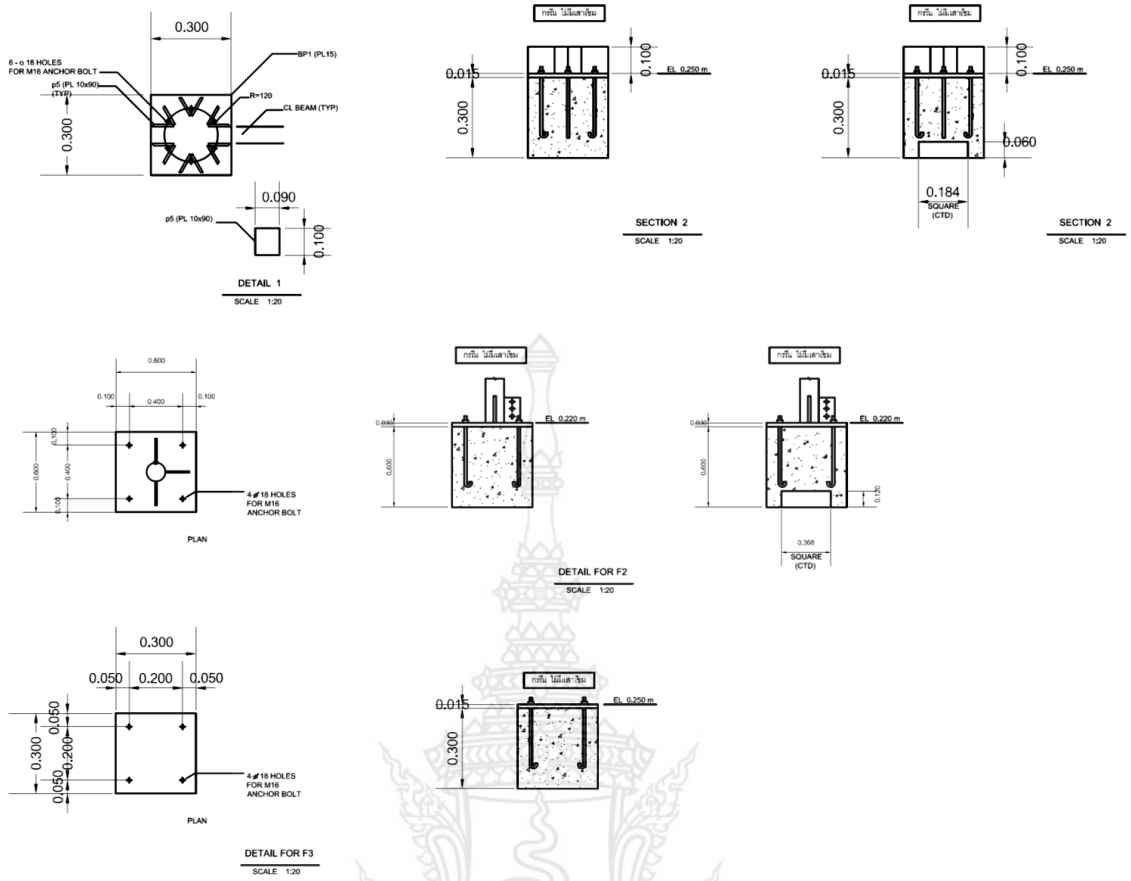
ในส่วนของโครงสร้างผนังอาคาร เมื่อขึ้นรูปแล้วแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ตามแนวตั้งเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้งคล้ายกับการปอกเปลือกส้ม แต่ละส่วนมีลักษณะเหมือนกัน 5 ส่วน และลักษณะแตกต่างกัน 1 ส่วน (เป็นส่วนของประตู)



รูปที่ 4.2 แบบโครงสร้างผนังส่วนแนวตั้งและแนวนอนของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 4.3 แบบโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 4.4 แบบโครงสร้างฐานรากของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม

4.2 ผลการออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป

โครงสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม ถูกออกแบบให้ใช้จุดยึดต่อชิ้นส่วนด้วยสลักเกลียว ทำให้สามารถถอดประกอบและนำไปยังสถานที่ก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก และจัดวางชิ้นส่วนทุกระบบให้แบ่งแยกไปตามหมวดหมู่ที่ออกแบบอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งในส่วนขั้นตอนการก่อสร้างหรือการประกอบชิ้นส่วนอาคารทรงครึ่งทรงกลม สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) กิจกรรม A การเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง ขนาดไม่น้อยกว่า 8.00 x 8.00 ตารางเมตร โดยทำความสะอาดสถานที่และบดอัดพื้นดินให้เรียบเสมอกัน พร้อมทั้งทำการปักผังและวางผังของตัวอาคาร

2) กิจกรรม B การติดตั้งโครงสร้างฐานราก โดยทำการขุดดิน วางไม้แบบ วางเหล็กเส้นกลม เกรด SR24 ขนาด 6 มิลลิเมตร (ความยาว 0.70 เมตร สำหรับฐานรากแผ่ และความยาว 0.40 เมตร สำหรับฐานรากเสาเข็ม) จำนวน 4 เส้น วางแนวละ 2 เส้น สูงจากก้นหลุม 0.05 เมตร และเทคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายหยาบ: หินก่อสร้าง: น้ำ เท่ากับ 1: 2: 4: 0.7 โดยน้ำหนัก ในส่วนของขนาดของฐานราก สำหรับฐานรากแผ่ ใช้ความกว้าง ไม่น้อยกว่า 0.80 x 0.80 เมตร หนาไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร สำหรับฐานรากเสาเข็ม ใช้ความกว้าง ไม่น้อยกว่า 0.50 x 0.50 เมตร เสาเข็ม ขนาด 0.15 x 0.15 เมตร ยาว 6 เมตร จำนวน 1 ต้น (เมื่อพื้นที่รับแรงแบกทานได้ต่ำกว่า 2 ตันต่อตารางเมตร) พร้อมทั้งวางแผ่นเหล็กและอุปกรณ์ยึดเพื่อรับโครงสร้างพื้นและผนัง

3) กิจกรรม C การติดตั้งโครงสร้างพื้นหรือตง จำนวน 12 ท่อน เพื่อเป็นโครงสร้างสำหรับรองรับแผ่นพื้นซีเมนต์บอร์ด

4) กิจกรรม D การติดตั้งโครงสร้างผนัง จำนวน 6 ส่วน โดยใช้สลักเกลียวขันให้แน่นตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้

5) กิจกรรม E การติดตั้งแผ่นพื้น โดยใช้แผ่นซีเมนต์บอร์ด ขนาดความหนาไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และทำการยึดแผ่นพื้นติดกับตงเหล็กด้วยตะปูเกลียวปลายปล่อย โดยยึดห่างจากขอบแผ่นซีเมนต์บอร์ด ไม่ต่ำกว่า 30 มิลลิเมตร จนครบตามที่ได้ออกแบบไว้

6) กิจกรรม F การอุดรอยต่อแผ่นพื้น โดยใช้ปูนสำหรับอุดรอยต่อระหว่างแผ่นซีเมนต์บอร์ดทุกแนวให้เรียบร้อย

7) กิจกรรม G การติดตั้งโครงสร้างส่วนหลังคา จำนวน 1 ส่วน เข้ากับโครงสร้างผนังที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งติดตั้งวัสดุมุงหลังคา (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

8) กิจกรรม H การติดตั้งโครงสร้างประตูและหน้าต่าง โดยเริ่มจากการติดตั้งวงกบประตูและหน้าต่าง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

9) กิจกรรม I การติดตั้งแผ่นผนังหรือเปลือกอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

10) กิจกรรม J การอุดรอยต่อผนัง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

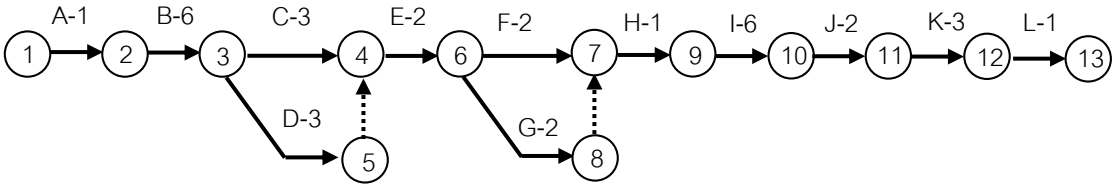
11) กิจกรรม K การตกแต่งอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

12) กิจกรรม L การติดตั้งบานประตูและหน้าต่าง พร้อมอุปกรณ์ครบชุด (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

จากกิจกรรมขั้นตอนการก่อสร้างดังกล่าว ทั้ง 12 กิจกรรม สามารถสรุประยะเวลาที่ใช้ และลำดับขั้นตอนการก่อสร้างได้ ดังตารางที่ 4.1 และการเขียนแผนก่อสร้างด้วยวิธี CPM (critical path method) ได้ ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลม

กิจกรรม		ระยะเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	กิจกรรมก่อนหน้า	หมายเหตุ
A	การเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง	1	ไม่มี	กิจกรรมแรก
B	การติดตั้งโครงสร้างฐานราก	6	A	-
C	การติดตั้งโครงสร้างพื้น	3	B	-
D	การติดตั้งโครงสร้างผนัง	3	B	พร้อมกับกิจกรรม C
E	การติดตั้งแผ่นพื้น	2	C	-
F	การอุดรอยต่อแผ่นพื้น	2	E	-
G	การติดตั้งโครงสร้างส่วนหลังคา	2	E	พร้อมกับกิจกรรม F
H	การติดตั้งโครงสร้างประตูและหน้าต่าง	1	F	-
I	การติดตั้งแผ่นผนัง	6	H	-
J	การอุดรอยต่อผนัง	2	I	-
K	การตกแต่งอาคาร	3	J	-
L	การติดตั้งบานประตูและหน้าต่าง	1	K	กิจกรรมสุดท้าย



รูปที่ 4.5 แผนการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method)

จากรูปที่ 4.5 แผนการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method) สามารถคำนวณระยะเวลาการก่อสร้างที่ใช้ได้ เท่ากับ 27 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (คำนวณจากระยะเวลาทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน และใช้แรงงาน จำนวน 4 คน)

สำหรับการรื้อถอนให้ทำการย้อนขั้นตอนติดตั้งกลับในส่วนที่สามารถทำได้ง่าย และไม่เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอาคาร กล่าวคือ

1) การรื้อถอนบานประตูและหน้าต่าง
2) การรื้อถอนโครงสร้างส่วนหลังคา
3) การสกัดรอยต่อของผนัง
4) การรื้อถอนโครงสร้างประตูและหน้าต่าง
5) การรื้อถอนแผ่นผนัง
6) การรื้อถอนแผ่นพื้น
7) การรื้อถอนโครงสร้างพื้น
8) การรื้อถอนโครงสร้างผนัง
9) การรื้อถอนโครงสร้างฐานราก
10) การปรับพื้นที่ก่อสร้าง

4.3 ผลการประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป

ผลการประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยไม่รวมถึงค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการทดลองเบื้องต้น สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม

ประเภทงาน	ราคา (บาท)
งานฐานราก	10,000
งานโครงสร้างพื้น ผนัง และหลังคา	90,000
งานแผ่นผนัง	60,000
งานแผ่นพื้น	20,000
งานวัสดุมุงหลังคา	10,000
งานประตู	2,500
งานหน้าต่าง	2,500
งานสี	5,000
รวมทั้งสิ้น	200,000

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปต้นทุนค่าก่อสร้างต่อพื้นที่ใช้สอย เท่ากับ 10,186 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นราคาค่าก่อสร้างที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมใช้โครงสร้างเหล็กที่ต้องดัดโค้งจำนวนมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานของโครงสร้างอาคารที่เมื่อก่อสร้างแล้ว สามารถรื้อถอนและนำไปก่อสร้างในสถานที่อื่นได้ จะทำให้ต้นทุนเกิดความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

4.4 ผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

1) ขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปตามที่ได้ออกแบบ โดยทำการดัดเย็นเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.5 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องดัดโค้ง การตัดเหล็กด้วยเครื่องตัดเหล็ก และการตกแต่งหน้าตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ ดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.8

รูปที่ 4.6 การดัดโค้งของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมให้มีรัศมีต่างๆ ตามต้องการ

รูปที่ 4.7 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม

รูปที่ 4.8 การตกแต่งรอยตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ

2) ประกอบโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูป โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า พร้อมทั้งตัดแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างออกเป็น 6 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้ง ดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.19

รูปที่ 4.9 การวางผังโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.10 การวางโครงสร้างแนวนอนและแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.11 โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.12 การเชื่อมอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 4.13 การเชื่อมกันของโครงสร้างแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.14 การติดตั้งโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.16 การเชื่อมพอกบริเวณรอยต่อของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.17 โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม ทั้ง 6 ส่วน

รูปที่ 4.18 การตกแต่งรอยเชื่อมของโครงสร้างด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ

รูปที่ 4.19 ชิ้นส่วนโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมแต่ละส่วน

3) นำโครงสร้างผนังส่วนบนที่ขึ้นรูปแล้ว มาประกอบเข้ากับโครงสร้างผนังส่วนล่าง โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.34

รูปที่ 4.20 การประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่างเพื่อรองรับโครงสร้างผนังส่วนบน

รูปที่ 4.21 การเชื่อมโครงสร้างผนังส่วนล่าง

รูปที่ 4.22 การวางรอยต่อส่วนล่างชั่วคราวของโครงสร้างผนัง

รูปที่ 4.23 การนำโครงสร้างผนังส่วนบนขึ้นไปเพื่อประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่าง

รูปที่ 4.24 การวัดขนาดของโครงสร้างผนังอาคารส่วนล่าง

รูปที่ 4.25 การยกโครงสร้างผนังส่วนบนไปติดตั้งบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง

รูปที่ 4.26 การนำโครงสร้างผนังส่วนบนวางบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง

รูปที่ 4.27 การจัดโครงสร้างผนังส่วนบนให้เข้ารูป

รูปที่ 4.28 การทำสลักชั่วคราวเพื่อช่วยให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้ง่าย

รูปที่ 4.29 การเชื่อมโครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างให้ติดกันชั่วคราว

รูปที่ 4.30 การขันชะเนาะเพื่อให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้อย่างสมบูรณ์

รูปที่ 4.31 การขันชะเนาะโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน

รูปที่ 4.32 การวางแนวดิ่งเพื่อให้โครงสร้างผนังมีความสมมาตร

รูปที่ 4.33 การเชื่อมโครงสร้างผนังชั่วคราวเพื่อให้โครงสร้างเข้ารูปอย่างสมบูรณ์

รูปที่ 4.34 โครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างที่เชื่อมติดกันแล้ว

4) ประกอบโครงสร้างพื้นให้สอดคล้องกับโครงสร้างผนัง โดยการใช้เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 75 x 45 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร เป็นตงสำหรับรองรับแผ่นพื้น ดังรูปที่ 4.35 และ 4.36

รูปที่ 4.35 โครงสร้างพื้นที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างผนังส่วนล่าง

รูปที่ 4.36 โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมก่อนการเจาะรูเพื่อทำรอยต่อ

5) เตรียมรอยต่อของโครงสร้างแต่ละส่วน โดยใช้การเจาะโครงสร้างด้วยสว่านไฟฟ้า และยึดให้ติดกันด้วยสลักเกลียว ดังรูปที่ 4.37 และ 4.38

รูปที่ 4.37 การเจาะรูโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว

รูปที่ 4.38 รูเจาะของโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว

6) ประกอบโครงสร้างหลังคา โดยการเชื่อมให้มีลักษณะเป็นวงกลม แล้วจึงนำไปติดตั้งเข้ากับโครงสร้างผนัง ดังรูปที่ 4.39 และ 4.40

รูปที่ 4.39 การประกอบโครงสร้างหลังคาโดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 4.40 โครงสร้างหลังคาที่ยึดเข้ากับโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน

7) ประกอบโครงสร้างหลังคา โดยการเชื่อมให้มีลักษณะเป็นวงกลม ดังรูปที่ 4.41

รูปที่ 4.41 โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมที่มีความสมบูรณ์

จากผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป พบว่า ขนาดของโครงสร้างที่พัฒนาในปีที่ 1 นี้ สามารถแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 13 ส่วนหลัก ได้แก่ ผนัง 6 ส่วน พื้น 6 ส่วน และหลังคา 1 ส่วน โดยสามารถนำโครงสร้างทั้งหมดนี้ ขึ้นรถบรรทุก 6 ล้อ และยังเหลือพื้นที่สำหรับบรรทุกส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคารได้ นอกจากนี้ อาจสามารถขนส่งอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมนี้ได้ จำนวน 2 หลัง หากมีการจัดสรรพื้นที่ให้เหมาะสมและเป็นระเบียบ (สุธี และคณะ, 2550)

4.5 ผลการทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

จากการนำโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปไปทดสอบการในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความต้านทานแรงอัดของโครงสร้าง ความต้านทานแรงดัดของโครงสร้าง และรอยต่อของโครงสร้าง สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการออกแบบและการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงที่สำคัญของโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในอาคารสำเร็จรูปทรงกลม

พฤติกรรมการรับแรง	ผลการออกแบบ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ผลการทดสอบ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ตัวคูณความปลอดภัย
โครงสร้างรับแรงอัด	720	1,130	1.57
โครงสร้างรับแรงดัด	1,440	2,636	1.83
รอยเชื่อมรับแรงเฉือน	1,260	2,350	1.86
ค่าเฉลี่ย			**1.76**

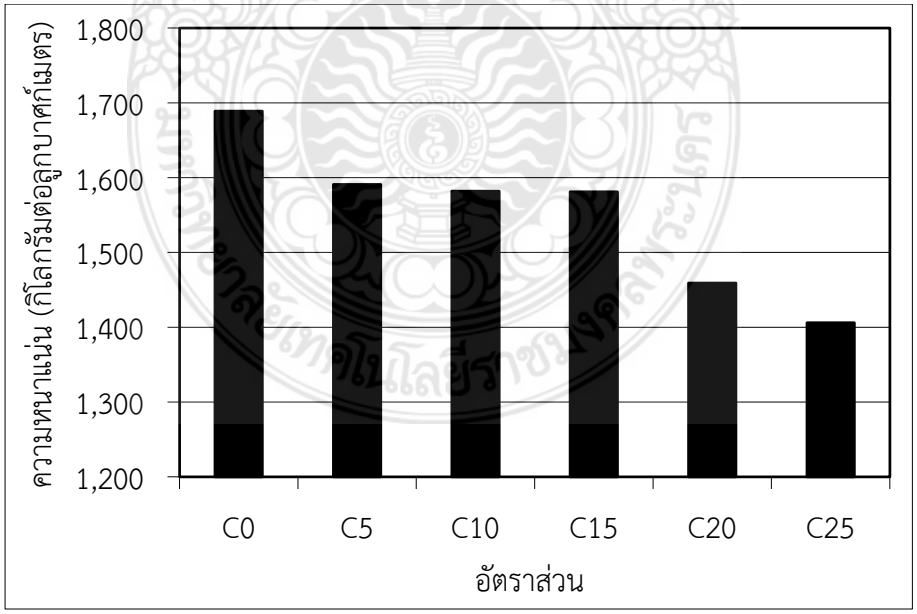
จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าที่ได้จากการออกแบบตามวิธี LRFD มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งแสดงว่า โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมที่ออกแบบมีความแข็งแรงสูงกว่าการรับแรงจริง โดยสามารถคำนวณเป็นค่าตัวคูณความปลอดภัย (Safety Factor, S.F.) เฉลี่ย เท่ากับ 1.76 (ทักษิณ และอัครวัชร, 2553; มนัส, 2539)

4.6 ผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคาร

ผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการใช้งานเป็นเปลือกอาคาร สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

4.6.1 ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

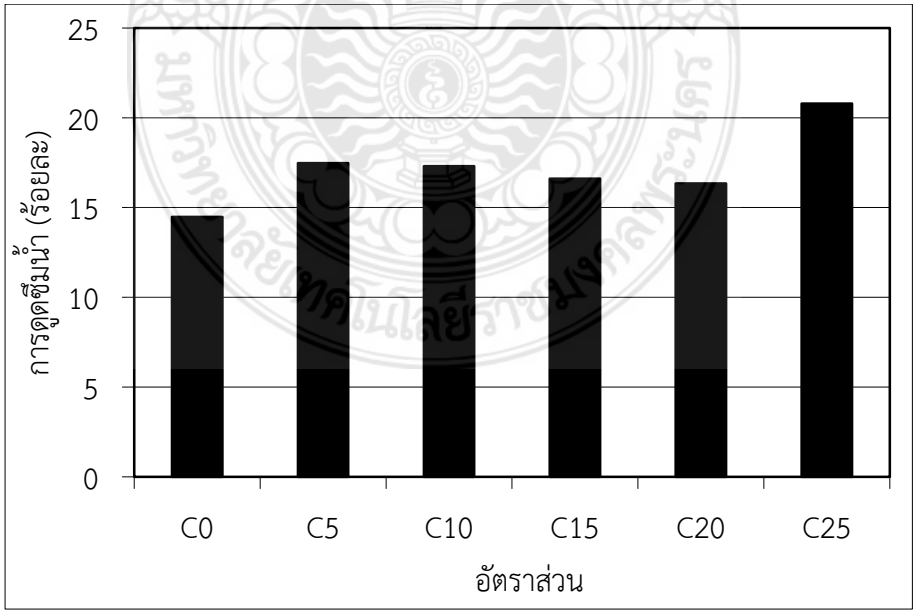
จากรูปที่ 4.42 พบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีค่าลดต่ำลง เมื่อผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว

(อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วน C5, C10, C15, C20, และ C25 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของเส้นใยมะพร้าวที่มีค่าเพียง 0.6 (Faherty et al., 1995) นอกจากนี้ การเรียงตัวของเส้นใยมะพร้าวจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีความหนาแน่นลดลงดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากภาพขยายเส้นใยมะพร้าวในรูปที่ 4.43

รูปที่ 4.43 ภาพขยายเส้นใยมะพร้าวที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า

4.6.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.44

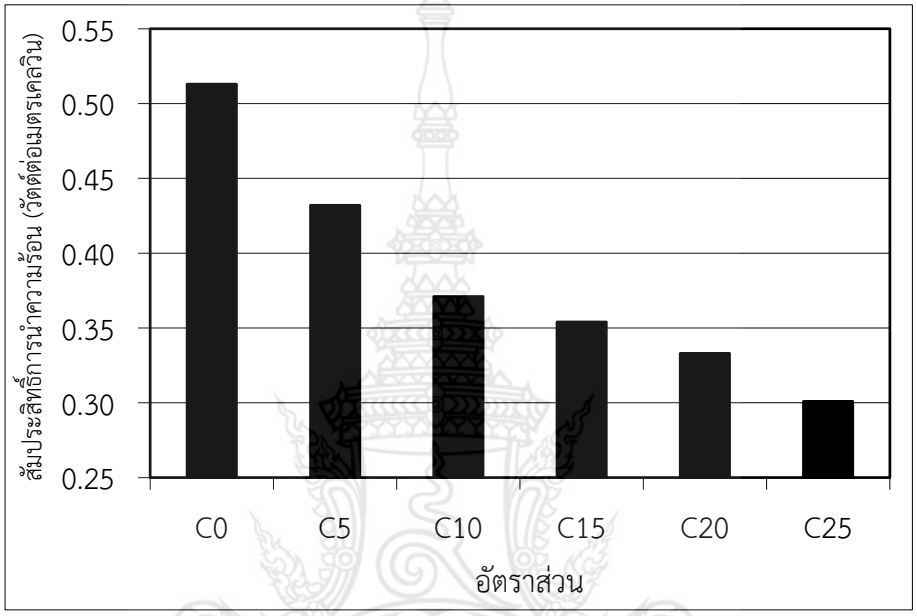


รูปที่ 4.44 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.44 พบว่า ลักษณะเส้นใยมะพร้าวที่มีช่องว่างจากการเรียงตัว นอกจากจะมีผลต่อความหนาแน่นที่ลดลงแล้ว ยังมีผลต่อการดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารที่เพิ่มมากขึ้น (ปริญญา และชัย, 2551) โดยตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว (อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด และตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นใกล้เคียงกัน

4.6.3 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.45

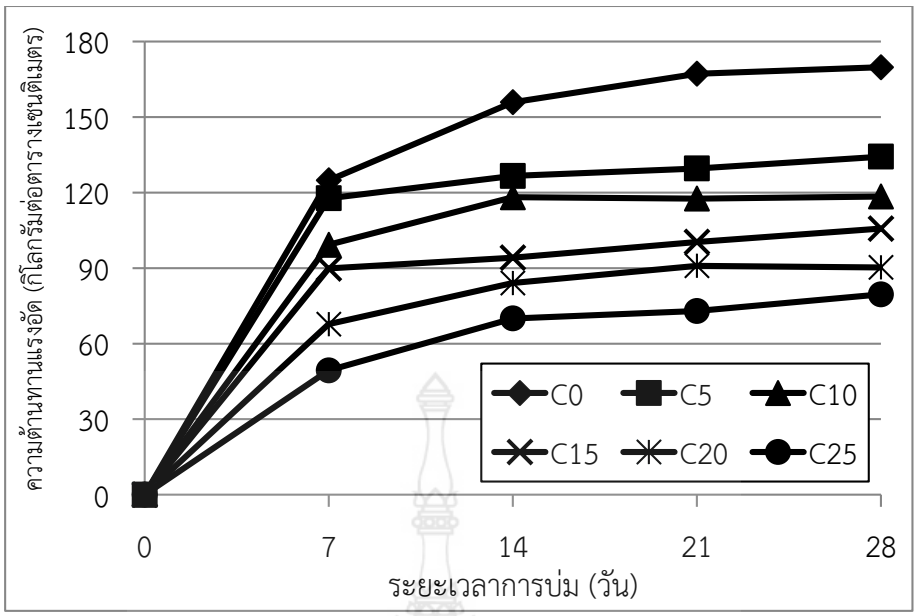


รูปที่ 4.45 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ดังรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่า เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยสามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารให้ลดลงได้ ซึ่งตัวอย่างเปลือกอาคารที่ผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากที่สุด (อัตราส่วน C25) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างเปลือกอาคารที่ผสมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วน C20, C15, C10, C5 และเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว (อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวและการผสมเส้นใยมะพร้าวที่ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในเนื้อเปลือกอาคาร และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง (ธนัญชัย และคณะ, 2549)

4.6.4 ความต้านทานแรงอัด

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.46

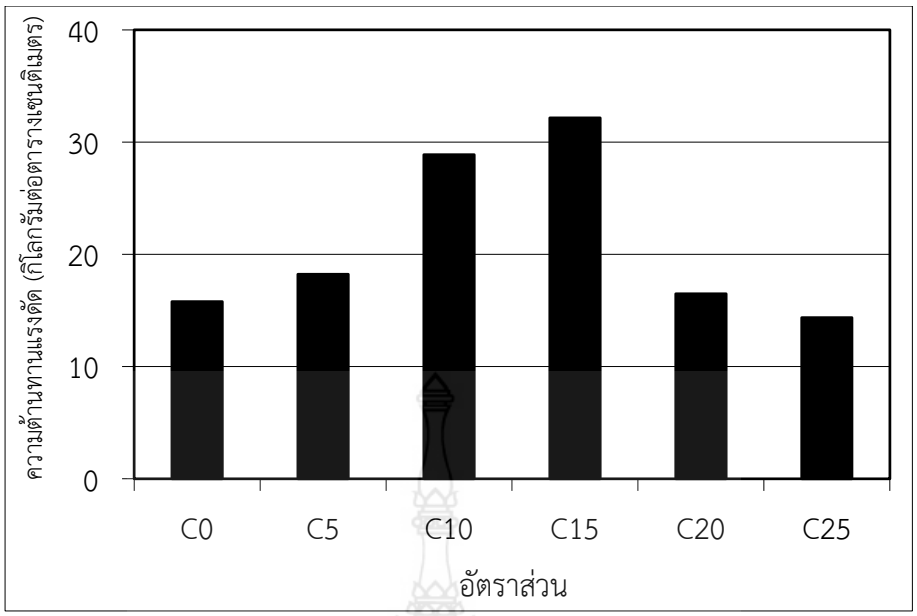


รูปที่ 4.46 ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่มต่างๆ ในรูปที่ 4.46 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมาก จะมีค่าต่ำกว่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณน้อยหรือไม่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวเลย เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและทำให้เกิดช่องว่างมากเมื่อเรียงตัวอยู่ในส่วนผสม ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีผลต่อพื้นที่การรับแรงอัดที่ลดลง และทำให้ตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากมีค่าความต้านทานแรงอัดต่ำดังกล่าว (ปริญญา และชัย, 2551)

4.6.5 ความต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวในรูปที่ 4.47 พบว่า การผสมเส้นใยมะพร้าวลงในแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร มีผลช่วยให้ค่าความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจากแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่มีการผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้งนี้ เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเซลลูโลสที่สามารถรับแรงดึงให้แก่วัสดุเมื่อต้องรับแรงดัดได้ (Bledzki and Gassan, 1999) ดังรูปที่ 4.48 อย่างไรก็ตาม หากผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่มากเกินไปหรือมากกว่าอัตราส่วน C15 จะทำให้ความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารลดลง โดยเป็นผลมาจากช่องว่างที่เกิดมากขึ้นภายในเนื้อเปลือกอาคารเมื่อมีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากเกินไปนั้น ไม่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ (ปริญญา และชัย, 2551)

รูปที่ 4.48 ลักษณะแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากทดสอบความต้านทานแรงดัด

จากผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการใช้งานเป็นเปลือกอาคาร ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัด ทำให้สามารถพิจารณาคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคาร คือ อัตราส่วน C10 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากพอสมควร มีความหนาแน่นที่ต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เบากว่าผนังคอนกรีตทั่วไปที่หนักถึง 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ปริญญา และชัย, 2551) มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ซึ่งมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีกว่าผนังทั่วไป ดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 โดยไม่เกินกว่าค่าที่คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน ร้อยละ 25 (สมอ., 2533) นอกจากนี้ ยังเป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงถึง 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าปูนฉาบทั่วไป ตาม มอก.1776-2542 (สมอ., 2542) ที่กำหนดไว้คือ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูงกว่าคอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 คือ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สมอ., 2533) และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าผนังปูนฉาบทั่วไปที่รับแรงดัดได้เพียง 15.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้วยเหตุนี้ จึงเลือกอัตราส่วน C10 สำหรับขึ้นรูปเป็นเปลือกอาคารในการขึ้นรูปต้นแบบต่อไป

4.7 ผลการขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคารสำเร็จรูป

การขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคารสำเร็จรูป เป็นการนำโครงสร้างอาคารที่ขึ้นรูปแล้ว มาขึ้นรูปเปลือกอาคาร โดยดำเนินการ ดังนี้

4.7.1 การขนส่งและประกอบโครงสร้างอาคาร

รูปที่ 4.49 การขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปโดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อ

รูปที่ 4.50 การประกอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่แยกชิ้นส่วนมา

รูปที่ 4.51 การประกอบฐานของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

รูปที่ 4.52 ฐานของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

รูปที่ 4.53 การติดตั้งตงของโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

รูปที่ 4.54 โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่พร้อมสำหรับการขึ้นรูปและติดตั้งเปลือกอาคาร

4.7.2 การติดตั้งเหล็กเส้นกลม เหล็กตะแกรง และแบบหล่อ

รูปที่ 4.55 การติดตั้งเหล็กเส้นกลมสำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร

รูปที่ 4.56 แผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรง สำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร

4.7.3 ติดตั้งวงกบต่างๆ ไว้ก่อนการฉาบเปลือกอาคาร

4.7.4 ตวง และผสมส่วนผสมตามอัตราส่วนที่คัดเลือก คือ อัตราส่วน **C10**

4.7.5 เทฐานราก และฉาบส่วนผสมของเปลือกอาคารให้มีความหนา 7 เซนติเมตร เพื่อให้มีระยะที่เปลือกอาคารหุ้มโครงสร้าง แล้วจึงทำการนำแผ่นไม้อัดออก

รูปที่ 4.57 การฉาบเปลือกอาคารลงบนแผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรงที่เตรียมไว้

รูปที่ 4.58 ภายในเปลือกอาคารที่มีการฉาบเบื้องต้นไว้แล้ว

รูปที่ 4.59 อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมที่มีการฉาบเบื้องต้นแล้ว

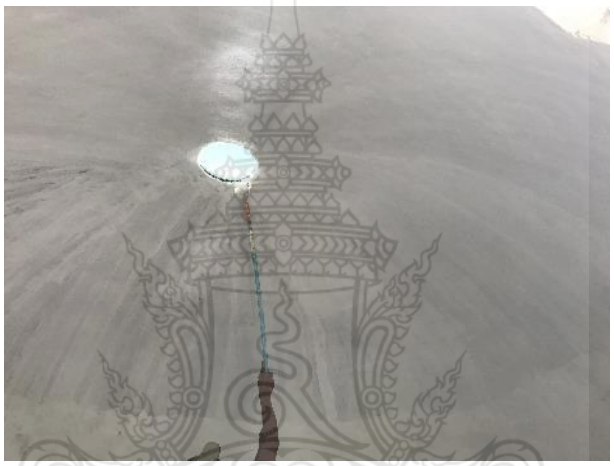
4.7.6 ตัดและติดตั้งชิ้นส่วนพื้นลงบนตงของอาคารโดยใช้แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์

รูปที่ 4.60 การตัดแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์สำหรับใช้เป็นพื้นอาคาร

รูปที่ 4.61 การติดตั้งชิ้นส่วนพื้นโดยใช้แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ลงบนตงของอาคาร

4.7.7 ฉาบเรียบผนัง พื้น และส่วนต่างๆ ของอาคารอีกครั้งด้วยส่วนผสมจากอัตราส่วน C10 เดิม แล้วจึงทำการทาสีอาคารด้วยสีรองพื้นต่อไป

รูปที่ 4.62 การใช้นั่งร้านช่วยในการก่อสร้าง



รูปที่ 4.63 การทาสีผนังอาคารสำเร็จรูปทรงกลม

4.7.8 ติดตั้งเฟอร์นิเจอร์และส่วนต่างๆ สำหรับใช้งาน

รูปที่ 4.64 การติดตั้งม้านั่งภายในอาคารเพื่อใช้งาน

4.7.9 ทาสีอาคารด้วยสีน้ำ และตรวจสอบความเรียบร้อย

รูปที่ 4.65 ด้านข้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี

รูปที่ 4.66 ด้านหน้าอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี

รูปที่ 4.67 ด้านหลังอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี

รูปที่ 4.68 ด้านหน้าอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

รูปที่ 4.69 ด้านข้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

รูปที่ 4.70 ด้านหลังอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

รูปที่ 4.71 ด้านบนของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

รูปที่ 4.72 ภายในของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

4.7.10 การติดตั้งระบบไฟฟ้าและแสดงสว่าง

รูปที่ 4.73 การติดตั้งระบบแสงสว่างของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม

รูปที่ 4.74 การติดตั้งระบบไฟฟ้าของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการดำเนินงานของโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” สามารถสรุปผลการดำเนินงาน แบ่งเป็นข้อๆ ตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

5.1.1 ได้ระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงคล้ายหัวกระสุน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร ความสูง 3.5 เมตร พื้นที่ใช้สอย 19.635 ตารางเมตร โครงสร้างหลักผลิตจากท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 60.5 มิลลิเมตร ความหนา 3.2 มิลลิเมตร ขึ้นรูปด้วยการดัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน แบ่งเป็นโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ โครงสร้างผนัง โครงสร้างหลังคา โครงสร้างพื้น และโครงสร้างฐานราก มีต้นทุนค่าก่อสร้าง 10,186 บาทต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง เท่ากับ 27 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (คำนวณจากระยะเวลาทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน และใช้แรงงาน จำนวน 4 คน)

5.1.2 ได้องค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย โดยการใช้การแบ่งโครงสร้างของผนังออกเป็น 6 ส่วน ตามแนวตั้งเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้งคล้ายกับการปอกเปลือกส้ม แต่ละส่วนมีลักษณะเหมือนกัน 5 ส่วน และลักษณะแตกต่างกัน 1 ส่วน (เป็นส่วนของประตู) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแบ่งส่วนที่มีความสะดวกในการขนส่ง และก่อสร้างได้รวดเร็ว

5.1.3 จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย เปรียบเทียบกับการออกแบบตามวิธี LRFD พบว่ามีค่าตัวคูณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76 และเปลือกอาคารทั้งหมดใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายละเอียด: เส้นใยมะพร้าว: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 โดยน้ำหนัก (อัตราส่วน C10) เสริมด้วยเหล็กเส้นกลมและเหล็กตะแกรง เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 ความต้านทานแรงอัด 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.4 ได้ต้นแบบโครงสร้างและเปลือกอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย จำนวน 1 ต้นแบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนค่างานโครงสร้างผนัง พื้น และหลังคา ซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

เอกสารอ้างอิง

กิตติเดช แก้วฉา, 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากใบยางพารา, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2553. คู่มือฝึกอบรมการปลุกจิตสำนึกเพื่อเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม**.** กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย.

ชลธี อิ่มอุดม, 2552. ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชีวารัตน์ ม่วงพัฒน์, 2552. เส้นใยธรรมชาติสำหรับวัสดุผนังอาคาร, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

ณรงค์ เพ็งปรีชา, 2517. กาวสำหรับงานไม้, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

ในฝัน แว่วสอ, 2547, การผลิตวัสดุติดผนังภายในด้วยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทักษิณ เทพชาตรี และอัครวัชร เล่นวารี, 2553. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ธวัช จิรายุส, 2535. การจับยึดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของไม้ยูคาลิปตัส. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 7 เดือน ม.ค.-เม.ย.2535. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. หน้า 85.

ธวัช จิรายุส, 2551. ปัญหาวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบ. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

ธวัท รอบรู้, 2547, การศึกษาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบ, เทคโนโลยีศิลปอุตสาหกรรม (ก่อสร้างและงานไม้) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551. โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบอาคารพักอาศัย 5 ชั้น ในระบบประสานพิกัดและชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อรองรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม**.** รายงานฉบับสมบูรณ์. บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด.

ปิยะวดี บัวจงกล, วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์, วีรญา ธรรมขันธ์, บวรวิชญ์ แพงวงค์, และพิทักษ์ หางาม, 2552. แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไผ่, งานอุตสาหกรรมแผ่นไม้ประกอบ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

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

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

พงศ์วิทย์ ลิมป์พิศุทธ์, 2547, การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบยักษ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาวดี เมธะคานนท์, 2548. สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดผลิตจากกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

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

มนัส อนุศิริ, 2539. การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

วรธรรม อุ่นจิตติชัย, 2546. การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยและเศษไม้สัก, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย, 2547ก. เมื่อสารพัดเศษวัสดุเหลือทิ้งกลายร่างเป็น (เสมือน). กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, นวัตกรรม ปีที่ 5 ฉบับ 17 มีนาคม 2547.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย และคณะ, 2547ข, ผลกระทบของไม้วัตถุดิบต่อการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซีส, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

วิสูตร จิระดำเกิง, 2551. การประมาณราคาค่าก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยรังสิต.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2546. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

สุธี ปิยะพิพัฒน์, 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ**.** รายงานฉบับสมบูรณ์, คณะครุศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุธี ปิยะพิพัฒน์, ศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์ และสมศักดิ์ คำปลิว. 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉิน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี 5 (10): หน้า 63-74.

สนธพล กริชนวรักษ์, 2554. เทคนิคการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราวระบบก่อสร้างเร็วด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณสำเร็จรูป. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก. 378-2531), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2542. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมอร์ตาร์สำหรับฉาบ (มอก. 1776-2542), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อาคม ปาสีโล, 2550. การศึกษาสมบัติปาร์ติเกิลบอร์ดที่ทำจากฟางข้าวและแกลบ, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3.

Albert A. Fink, 1968. Dome Structure and Method of Fabrication and Erection. United States Patent Office Patent.

American Society for Testing and Materials, 2012. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.

Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B., & Shin, U. C., 2007. Development of coconut coir-based lightweight cement board. Construction and Building Materials. 21(2), 277–288.

Bledzki, A.K. and Gassan, J., 1999. Composites Reinforced with Cellulose based Fibers. Progress in Polymer Science 24, pp.221-274.

Debby Guha-Sapir, Femke Vos, Regina Below and Sylvain Ponserre, 2011. Annual Disaster Statistical Review: The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Institute of Health and Society (IRSS) Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium.

Faherty, Keith F. and Williamson, Thomas G., 1995. Wood Engineering and Construction Handbook. Second Edition. New York: McGraw-Hill, Inc.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Natural Fibers: Coir, International Year of Natural Fibers 2009. Retrieved December 1, 2011.

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

Marek Kubik, 2009. Structural Analysis of Geodesic Domes**.** Charles Augarde, Durham University School of Engineering.

Pramot Weeranukul and Kittipong Suweero, 2016. Development of cement boards from coconut shell ash for energy and environment conservation. KKU ENGINEERING JOURNAL 43 (S1). pp.173-175.

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

ภาคผนวก

ก ร่างบทความสำหรับเผยแพร่

ข หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์

ภาคผนวก ก

ร่างบทความสำหรับเผยแพร่

ภาคผนวก ข

หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์

การพัฒนาเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อการประหยัดพลังงาน
Development of Building-envelope Mixed with Coconut Fiber for Energy Saving

ปราโมทย์ วีรานุกูล [1*] และกิตติพงษ์ สุวีโร [2]

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[*] E-mail: pramot.w@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวที่ประหยัดพลังงาน โดยออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายละเอียด: เส้นใยมะพร้าว: น้ำยากันซึม: น้ำประปา จำนวน 6 อัตราส่วน เท่ากับ 1: 3: 0: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.05: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.15: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.2: 0.02: 0.5, และ 1: 3: 0.25: 0.02: 0.5 โดยน้ำหนัก ทดสอบคุณสมบัติที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า อัตราส่วน 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้เป็นเปลือกอาคาร โดยมีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 ความต้านทานแรงอัด 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเปลือกอาคารที่ได้สามารถนำไปหล่อหรือฉาบเป็นผนังอาคารที่ประหยัดพลังงานได้ดี

คำสำคัญ: เปลือกอาคาร, เส้นใยมะพร้าว, ประหยัดพลังงาน, ความต้านทานแรงดัด

Abstract

The objectives of this research are to develop the building-envelope mixed with coconut fiber for energy saving. The 6 ratios of Portland cement type 1: fine sand: coconut fiber: waterproofed liquid: tap water were designed which equal to 1: 3: 0: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.05: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.15: 0.02: 0.5, 1: 3: 0.2: 0.02: 0.5, and 1: 3: 0.25: 0.02: 0.5 by weight. The samples tested at 28 days of curing. The 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 of ratio is the suitable ratio to use as the building-envelope, and it had the properties as following: density 1,582 kg/m^3, thermal conductivity coefficient 0.371 watt/m.Kelvin, water absorption 17.31 %, compressive strength 118.47 ksc, and bending strength 28.88 ksc. This developed building-envelope can apply to cast and plaster as the walls in the energy saving building.

Keywords: Building-envelope, Coconut fiber, Energy saving, Bending strength

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เปลือกอาคาร (building-envelope) เป็นส่วนประกอบภายนอกของอาคารที่ต้องสัมผัสและป้องกันผู้อยู่อาศัยจากสภาวะแวดล้อม จากหน้าที่ของเปลือกอาคารดังกล่าว ทำให้การพัฒนาเปลือกอาคารมีผลโดยตรงต่อการใช้งานหรือการอยู่อาศัย โดยเฉพาะการประหยัดพลังงานที่เปลือกอาคาร สามารถช่วยลดหรือป้องกันการส่งผ่านของอุณหภูมิเข้ามาภายในอาคาร ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลงได้ เส้นใยมะพร้าว เป็นเศษวัสดุจากเปลือกมะพร้าวที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปในอุตสาหกรรม เป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่มีสารพิษ มีลักษณะเป็นเส้นใยยาว น้ำหนักเบา ทนแดด ทนฝน นำความร้อนต่ำ สามารถต้านทานปฏิกิริยาจากจุลินทรีย์ ทนการกัดกร่อนจากน้ำเค็มได้ดี (Asasutjarit et al., 2007) เส้นใยชนิดนี้ มีปริมาณมากตามความนิยมเพาะปลูกมะพร้าวทั่วประเทศ ภาคใต้ ได้แก่ นครศรีธรรมราช ชุมพร สุราษฎร์ธานี กระบี่ และตรัง ภาคกลาง ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม นครปฐม เพชรบุรี และราชบุรี ภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี จันทบุรี ระยอง ตราด และฉะเชิงเทรา รวมเป็นพื้นที่ปลูก 2,163,439 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 1,917,287 ไร่ ผลผลิตรวม 1,947,963.59 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 1,016 กิโลกรัมต่อไร่ (สกอ., 2547; Pramot and Kittipong, 2016) การนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมในวัสดุเปลือกอาคาร จึงมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาสมบัติด้านน้ำหนัก ความแข็งแรงคงทน และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ โครงการ “การพัฒนาเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อการประหยัดพลังงาน” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเปลือกอาคารที่มีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน เป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ช่วยลดปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าว ช่วยสร้างงาน สร้างรายได้ สู่เกษตรกรชาวสวนมะพร้าว ซึ่งเป็นชุมชนฐานรากของประเทศได้

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2) ทรายละเอียด
3) เส้นใยมะพร้าว ย่อยให้มีความยาวไม่เกิน 2.54 เซนติเมตร หรือ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 เส้นใยมะพร้าว

4) น้ำยากันซึม
5) สีน้ำทาผนัง
6) น้ำประปา

7) แบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 แบบหล่อ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร

8) แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

9) เครื่องผสมปูน
10) แผ่นไม้อัด สำหรับหล่อเปลือกอาคาร หนา 4 มิลลิเมตร
11) เหล็กเส้นกลม RB เกรด SR24 ขนาด 6 มิลลิเมตร
12) ตะแกรงเหล็กสี่เหลี่ยม # ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.56 มิลลิเมตร ระยะห่าง 0.5 นิ้ว
13) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล
14) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

3. การออกแบบส่วนผสมของเปลือกอาคาร

ออกแบบส่วนผสมของเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว โดยการนำอัตราส่วนผสมของปูนฉาบทั่วไป มาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยเส้นใยมะพร้าว จำนวน 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	เส้นใยมะพร้าว	น้ำยากันซึม	น้ำประปา
C0	1	3	0	0.02	0.5
C5	1	3	0.05	0.02	0.5
C10	1	3	0.1	0.02	0.5
C15	1	3	0.15	0.02	0.5
C20	1	3	0.2	0.02	0.5
C25	1	3	0.25	0.02	0.5

4. การขึ้นรูปตัวอย่าเปลือกอาคาร

ขึ้นรูปตัวอย่างเปลือกอาคารสำหรับทดสอบคุณสมบัติ จำนวน 2 รูปแบบ ได้แก่ ตัวอย่างขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร และตัวอย่างขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร โดยมีขั้นตอนการขึ้นรูป ดังนี้

1) ตวงส่วนผสมตามที่ออกแบบ
2) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน
3) เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ
4) ถอดแบบหล่อ
5) บ่มตัวอย่างเปลือกอาคารในอากาศ ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน

5. การทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคาร

ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเปลือกอาคาร ซึ่งจำเป็นต่อการใช้งาน โดยใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 5 ก้อนต่อการทดสอบ ซึ่งการทดสอบต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

3) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533

รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM

รูปที่ 6 ก้อนตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด

4) ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.378-2531

รูปที่ 7 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารด้วยเครื่อง UTM

รูปที่ 8 แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

5) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2012) โดยใช้แผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร

6) การใช้งานจริง โดยการหล่อและฉาบเปลือกอาคารลงบนโครงสร้างเหล็กรูปครึ่งทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร สูง 3.5 เมตร พื้นที่ใช้สอย 19.635 ตารางเมตร (รูปที่ 9) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.1) คัดเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดจากตัวอย่างทดสอบ จำนวน 1 อัตราส่วน

6.2) ติดตั้งเหล็กเส้นกลม ขนาด 6 มิลลิเมตร ในแนวตั้ง ทุกระยะ 10 เซนติเมตร

6.3) ติดตั้งแผ่นไม้อัด เป็นแบบหล่อ

6.4) ติดตั้งเหล็กตะแกรง เป็นเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าว ดังรูปที่ 10

รูปที่ 9 โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่พร้อมสำหรับการหล่อและฉาบเปลือกอาคาร

รูปที่ 10 การติดตั้งแผ่นไม้อัด เหล็กเส้นกลม และเหล็กตะแกรง สำหรับหล่อแผ่นเปลือกอาคาร

6.5) ตวงส่วนผสมตามที่คัดเลือก

6.6) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

6.7) ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้ ดังรูปที่ 11 และ 12

รูปที่ 11 ฉาบส่วนผสมในแบบหล่อที่มีการติดตั้งตะแกรงเหล็กไว้

รูปที่ 12 เปลือกอาคารเบื้องต้นที่ผ่านการเทหล่อเรียบร้อยแล้ว

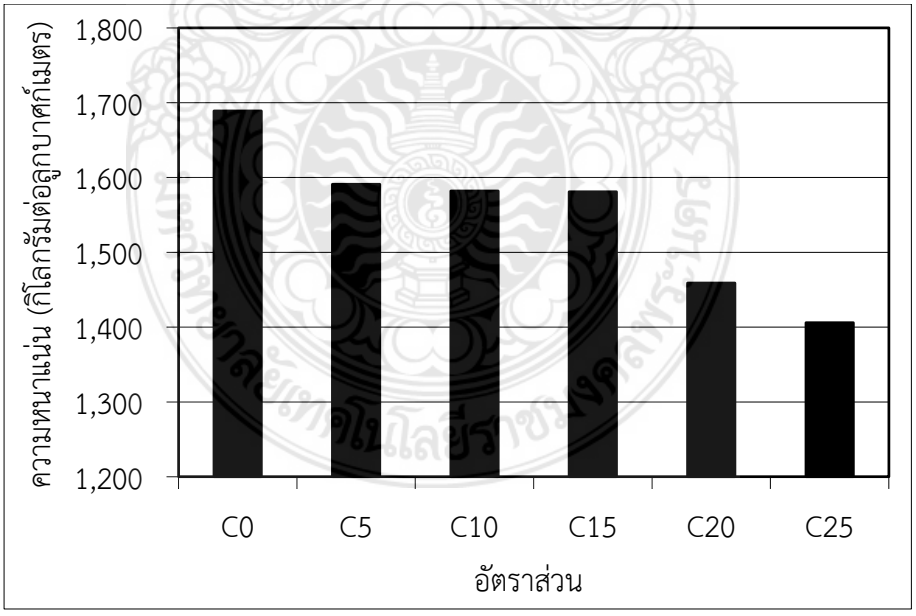
6.8) ฉาบเรียบและทาสีน้ำเปลือกอาคารให้มีความสวยงามเรียบร้อย

6. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการใช้งานเป็นเปลือกอาคาร สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

6.1 ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

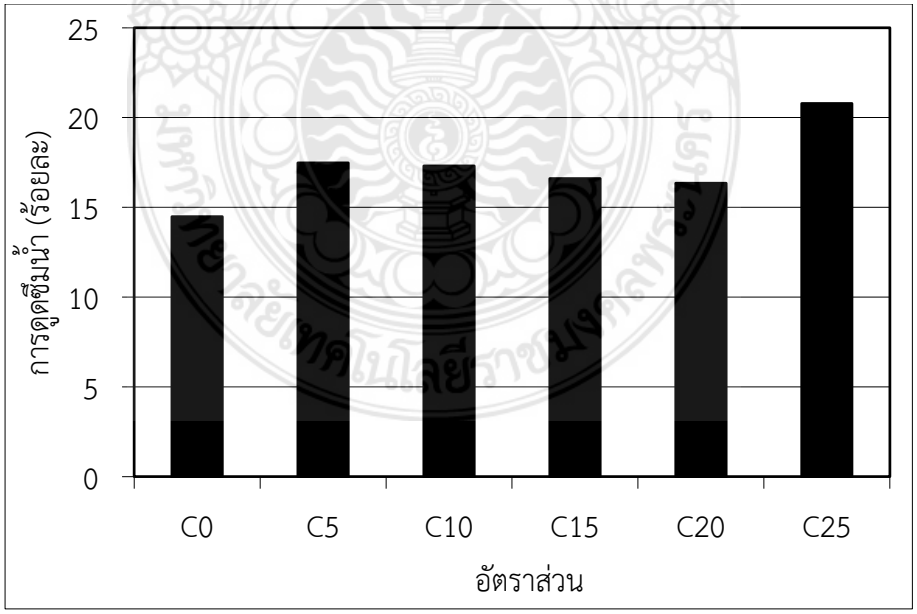
จากรูปที่ 13 พบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีค่าลดต่ำลงเมื่อผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว (อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว

อัตราส่วน C5, C10, C15, C20, และ C25 เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของเส้นใยมะพร้าวที่มีค่าเพียง 0.6 (Faherty et al., 1995) นอกจากนี้ การเรียงตัวของเส้นใยมะพร้าวจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีความหนาแน่นลดลงดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากภาพขยายเส้นใยมะพร้าวในรูปที่ 14

รูปที่ 14 ภาพขยายเส้นใยมะพร้าวที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า

6.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 15



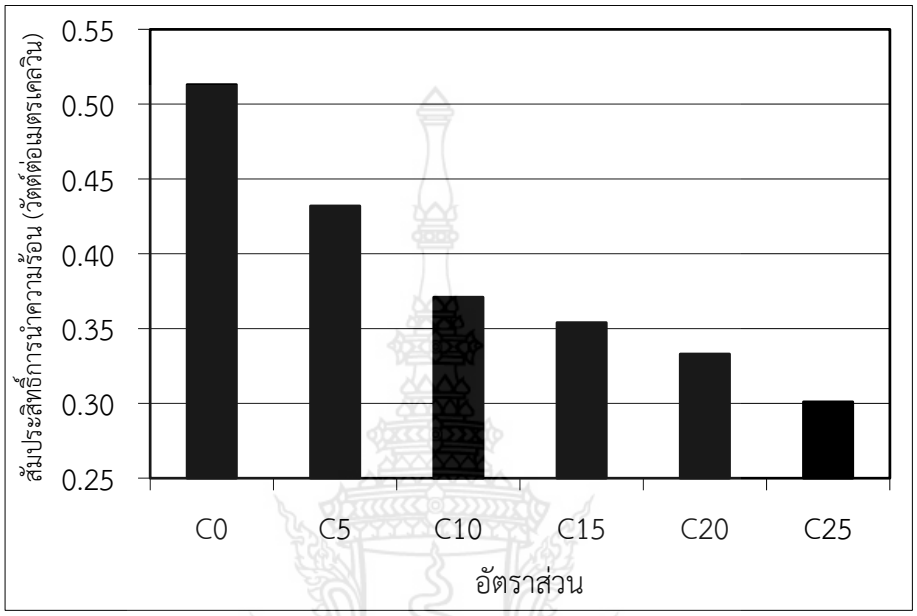
รูปที่ 15 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 15 พบว่า ลักษณะเส้นใยมะพร้าวที่มีช่องว่างจากการเรียงตัว นอกจากจะมีผลต่อความหนาแน่นที่ลดลงแล้ว ยังมีผลต่อการดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปลือกอาคารที่เพิ่มมากขึ้น (ปริญญา และชัย,

2551) โดยตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว (อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด และตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวมีการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นใกล้เคียงกัน

6.3 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 16

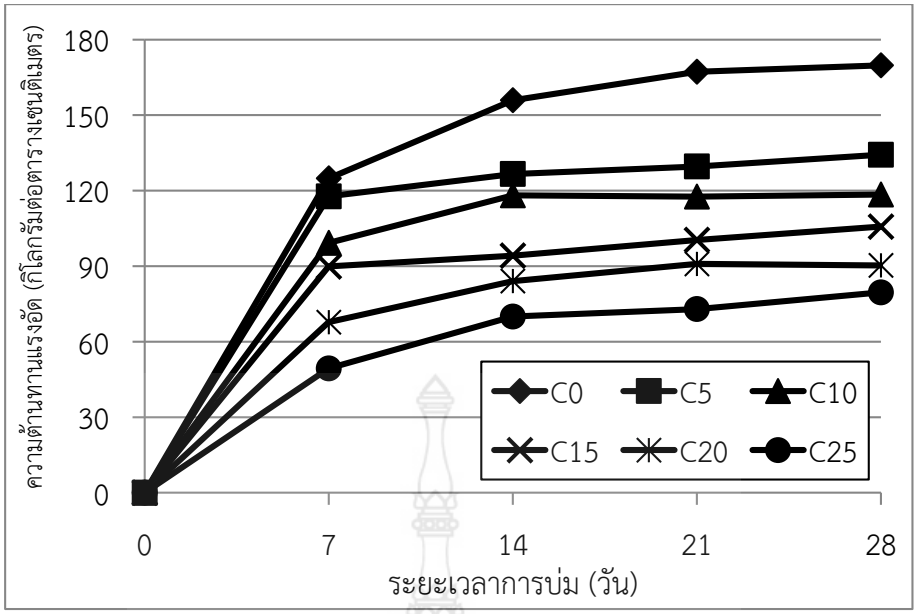


รูปที่ 16 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ดังรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่า เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยสามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างเปลือกอาคารให้ลดลงได้ ซึ่งตัวอย่างเปลือกอาคารที่ผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากที่สุด (อัตราส่วน C25) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างเปลือกอาคารที่ผสมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วน C20, C15, C10, C5 และเปลือกอาคารที่ไม่ผสมเส้นใยมะพร้าว (อัตราส่วน C0) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวและการผสมเส้นใยมะพร้าวที่ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในเนื้อเปลือกอาคาร และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง (ธนัญชัย และคณะ, 2549)

6.4 ความต้านทานแรงอัด

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 17

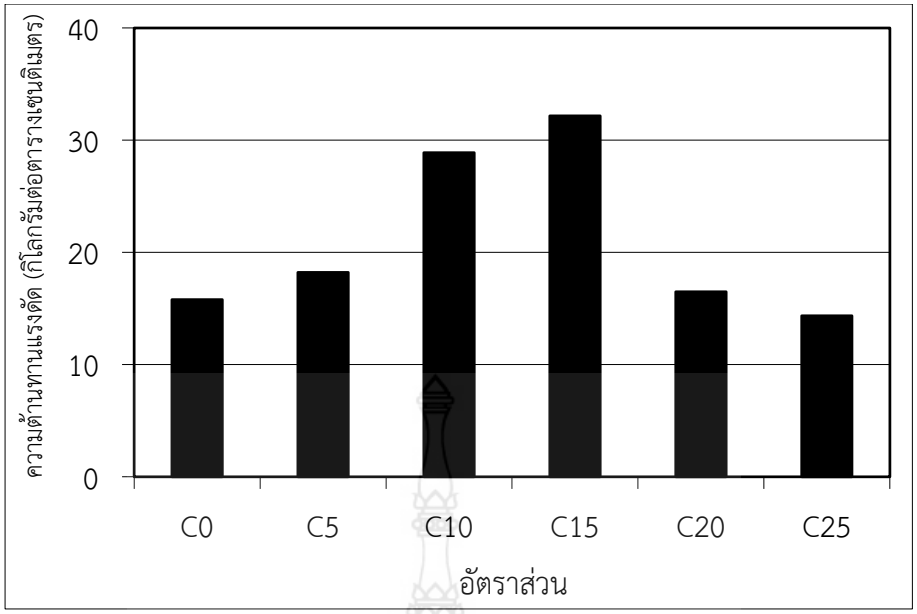


รูปที่ 17 ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่มต่างๆ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่มต่างๆ ในรูปที่ 17 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมาก จะมีค่าต่ำกว่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณน้อยหรือไม่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวเลย เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและทำให้เกิดช่องว่างมากเมื่อเรียงตัวอยู่ในส่วนผสม ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีผลต่อพื้นที่การรับแรงอัดที่ลดลง และทำให้ตัวอย่างเปลือกอาคารที่มีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากมีค่าความต้านทานแรงอัดต่ำดังกล่าว (ปริญญา และชัย, 2551)

6.5 ความต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว ที่อายุการบ่ม 28 วัน

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวในรูปที่ 18 พบว่า การผสมเส้นใยมะพร้าวลงในแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคาร มีผลช่วยให้ค่าความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจากแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่ไม่มีการผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้งนี้ เป็นผลมาจากเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเซลลูโลสที่สามารถรับแรงดึงให้แก่วัสดุเมื่อต้องรับแรงดัดได้ (Bledzki and Gassan, 1999) ดังรูปที่ 19 อย่างไรก็ตาม หากผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่มากเกินไปหรือมากกว่าอัตราส่วน C15 จะทำให้ความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างเปลือกอาคารลดลง โดยเป็นผลมาจากช่องว่างที่เกิดมากขึ้นภายในเนื้อเปลือกอาคารเมื่อมีการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากเกินไปนั้น ไม่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ (ปริญญา และชัย, 2551)

รูปที่ 19 ลักษณะแผ่นตัวอย่างเปลือกอาคารที่วิบัติจากทดสอบความต้านทานแรงดัด

6.6 การใช้งานจริง

จากผลการทดสอบตัวอย่างเปลือกอาคารตามคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการใช้งานเป็นเปลือกอาคาร ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความต้านทานแรงอัด และความ

ต้านทานแรงดัด ทำให้สามารถพิจารณาคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารในการทดสอบใช้งานจริง คือ อัตราส่วน C10 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากพอสมควร มีความหนาแน่นที่ต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เบากว่าผนังคอนกรีตทั่วไปที่หนักถึง 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ปริญญา และชัย, 2551) มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ซึ่งมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีกว่าผนังทั่วไป ดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 โดยไม่เกินกว่าค่าที่คอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน ร้อยละ 25 (สมอ., 2533) นอกจากนี้ ยังเป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดสูงถึง 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าปูนฉาบทั่วไป ตาม มอก.1776-2542 (สมอ., 2542) ที่กำหนดไว้คือ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูงกว่าคอนกรีตบล็อกก่อผนัง ตาม มอก.58-2533 คือ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สมอ., 2533) และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าผนังปูนฉาบทั่วไปที่รับแรงดัดได้เพียง 15.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้วยเหตุนี้ จึงเลือกอัตราส่วน C10 สำหรับขึ้นรูปเป็นเปลือกอาคารในการขึ้นรูปต้นแบบต่อไป ส่วนผลการขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคาร โดยนำโครงสร้างอาคารที่ขึ้นรูปแล้ว มาหล่อและฉาบเปลือกอาคาร พบว่า เปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว สามารถใช้งานเป็นผนังอาคารได้ดี ผนังมีความเรียบ ไม่แตกร้าว รวมทั้ง หล่อและฉาบได้ง่ายเช่นเดียวกับวัสดุจำพวกคอนกรีตทั่วไป ดังรูปแสดงผลการดำเนินงานต่อไปนี้

รูปที่ 20 อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมที่มีการฉาบเบื้องต้นแล้ว

รูปที่ 21 ด้านหน้าอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมก่อนทาสี

รูปที่ 22 การทาสีผนังอาคารสำเร็จรูปทรงกลม

รูปที่ 23 ด้านข้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมหลังทาสี

7. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินการ พบว่า เปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายละเอียด: เส้นใยมะพร้าว: น้ำยากันซึม: น้ำประปา เท่ากับ 1: 3: 0.1: 0.02: 0.5 โดยน้ำหนัก (อัตราส่วน C10) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้หล่อและฉาบเป็นเปลือกอาคารได้ดี โดยเปลือกอาคารที่ได้มีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,582 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.371 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 17.31 ความต้านทานแรงอัด 118.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าความต้านทานแรงดัด 28.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถใช้งานเป็นผนังอาคารได้ดี ผนังมีความเรียบ ไม่แตกร้าว ตลอดจนหล่อและฉาบได้ง่ายเช่นเดียวกับวัสดุจำพวกคอนกรีตทั่วไป

สำหรับข้อเสนอแนะ ควรมีการนำส่วนผสมที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปเชิงอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนค่างานเปลือกอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและประหยัดพลังงานในอาคารต่างๆ ได้มากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2560 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

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

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

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.), 2547. โครงการพัฒนาวัสดุมวลเบาจากเส้นใยมะพร้าว, ชุดโครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีมะพร้าว. เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนล่าง สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก. 378-2531), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2542. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมอร์ตาร์สำหรับฉาบ (มอก. 1776-2542), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

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

Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B., & Shin, U. C., 2007. Development of coconut coir-based lightweight cement board. Construction and Building Materials. 21(2), 277–288.

Bledzki, A.K. and Gassan, J., 1999. Composites Reinforced with Cellulose based Fibers. Progress in Polymer Science 24, pp.221-274.

Faherty, Keith F. and Williamson, Thomas G., 1995. Wood Engineering and Construction Handbook. Second Edition. New York: McGraw-Hill, Inc.

Pramot Weeranukul and Kittipong Suweero, 2016. Development of cement boards from coconut shell ash for energy and environment conservation. KKU ENGINEERING JOURNAL 43 (S1). pp.173-175.

บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด

ARIYASUTTHI INTERTRADE CO.,LTD.

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

วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2560

เรื่อง ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล งานวิจัยเรื่อง อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตามที่ บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด ได้นำเอาผลงานวิจัย ของ ผศ.ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล งานวิจัย เรื่อง อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย ไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนของบ้านทรงโดมรวมไปถึงการติดตั้งผนังสำเร็จรูปของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม และเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นผลให้บริษัท สามารถลดค่าใช้จ่ายและมีรายได้เพิ่มขึ้น

ในการนี้ ทางบริษัทจึงขอขอบคุณมายัง ผศ.ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล งานวิจัยเรื่อง อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือมา ณ ที่นี้

ขอแสดงความนับถือ

.....

นายธวัชชัย อริยะสุทธิ

ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ