



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

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

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล
ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2559
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้าง เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้าง เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อก่อสร้างต้นแบบอาคาร และเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีอาคารสำเร็จรูป ครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย ออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีตัวคุณความต้านทาน และน้ำหนักบรรทุก (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 บาทต่อ ตารางเมตร (รวมโครงสร้างและเปลือกอาคาร) ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 27 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (ใช้แรงงาน 3 คน) จากการใช้ระบบการประสานทางพิกัด ทำให้สามารถติดตั้งและรื้อถอนได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อนำไปช่วยเหลือผู้ประสบภัย เมื่อนำโครงสร้างมาทดสอบ สามารถคำนวณตัวคุณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76 นอกจากนี้ ผลงานที่ออกแบบสามารถยื่นขอจดแจ้งลิขสิทธิ์และเขียนเป็นบทความเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

คำสำคัญ: อาคารสำเร็จรูป, ครึ่งทรงกลม, โครงสร้างเหล็ก, ถอดประกอบง่าย, ผู้ประสบภัย

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. 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, Easy Assembly, Sufferer

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ก
สารบัญ	ข
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บ้านน็อคดาวน	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 การโคงขององค์อาคารเหล็ก	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 ความเค้นตัดในโดม	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	47
3.3 การออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป	48
3.4 การประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป	48
3.5 การขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	48
3.6 การทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	48
3.7 การยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา	50
3.8 การเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย	50
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	51
4.1 ผลการออกแบบอาคารสำเร็จรูป	51
4.2 ผลการออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป	56
4.3 ผลการประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป	58
4.4 ผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	59
4.5 ผลการทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป	72
4.6 ผลการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา	72
4.7 ผลการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย	72
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผล	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	77
ก ร่างคำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์	
ข แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก	
ค ร่างบทความสำหรับเผยแพร่	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการวางฐานรองรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobe ของสถาปนิก Nader Khalili	7
2.2	ลักษณะบ้านถุทรายของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ 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	สนามกีฬาซูเปอร์โดม (Super Dome)	30
2.11	ลักษณะของหลังคาโครงโค้งเป็นรัศมี	32
2.12	ความเค้นในแนวเมริเดียนในโดมเปลือกบางครึ่งวงกลม	33
2.13	การเปลี่ยนแปลงรูปของโดมที่โค้งน้อย	33
2.14	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโดมที่มีโค้งมากภายใต้น้ำหนักตายตัว	34
2.15	ลักษณะกลไกของการเฉือนในโดม	35
2.16	ลักษณะการเฉือนที่ขอบของโครงเปลือกบางรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง	35
2.17	การเสีรูปเนื่องจากการตัดที่บริเวณฐานที่เพิ่มความแข็งแรงโดยรอบ	36
2.18	กรอบแนวความคิดของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย	38
2.19	โครงสร้างโดมของ Buckminster Fuller	38
2.20	ลักษณะโครงสร้างโดมของ Albert A. Fink	39
2.21	ลักษณะรอยต่อที่ฐานโครงสร้าง	39
3.1	हेลักรูปพรรณหน้าตัดกลม	41
3.2	हेลักรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	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	เครื่องทดสอบเนกประสงค์	47
3.19	การทดสอบความต้านทานแรงดัดของเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลม	48
3.20	การวิบัติของเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลมจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	49
3.21	เหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลมที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	49
3.22	การเชื่อมรอบเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลมด้วยลวดเชื่อม	49
3.23	การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลม	50
4.1	แบบมิติและลักษณะภายนอกอาคารทรงครึ่งทรงกลม	52
4.2	แบบโครงสร้างผนังส่วนแนวตั้งและแนวนอนของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	54
4.3	แบบโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	55
4.4	แบบโครงสร้างฐานรากของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม	56
4.5	แผนการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method)	58
4.6	การตัดโค้งของเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลมให้มีรัศมีต่างๆ ตามต้องการ	59
4.7	เหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลม	60
4.8	การตกแต่งรอยตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ	60
4.9	การวางผังโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	60
4.10	การวางโครงสร้างแนวนอนและแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	61
4.11	โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	61
4.12	การเชื่อมอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า	61
4.13	การเชื่อมกันของโครงสร้างแนวตั้งของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	62
4.14	การติดตั้งโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	62
4.15	ลักษณะโครงสร้างผนังแนวนอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	62
4.16	การเชื่อมพอกบริเวณรอยต่อของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม	63
4.17	โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม ทั้ง 6 ส่วน	63
4.18	การตกแต่งรอยเชื่อมของโครงสร้างด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ	63
4.19	ชิ้นส่วนโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมแต่ละส่วน	64
4.20	การประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่างเพื่อรองรับโครงสร้างผนังส่วนบน	64
4.21	การเชื่อมโครงสร้างผนังส่วนล่าง	64
4.22	การวางรอยต่อส่วนล่างชั่วคราวของโครงสร้างผนัง	65
4.23	การนำโครงสร้างผนังส่วนบนขึ้นไปเพื่อประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่าง	65
4.24	การวัดขนาดของโครงสร้างผนังอาคารส่วนล่าง	65
4.25	การยกโครงสร้างผนังส่วนบนไปติดตั้งบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง	66
4.26	การนำโครงสร้างผนังส่วนบนวางบนโครงสร้างผนังส่วนล่าง	66
4.27	การจัดโครงสร้างผนังส่วนบนให้เข้ารูป	66
4.28	การทำสลักชั่วคราวเพื่อช่วยให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้ง่าย	67

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.29	การเชื่อมต่อโครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างให้ติดกันชั่วคราว	67
4.30	การขึ้นชะเนาะเพื่อให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้อย่างสมบูรณ์	67
4.31	การขึ้นชะเนาะโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน	68
4.32	การวางแนวตั้งเพื่อให้โครงสร้างผนังมีความสมมาตร	68
4.33	การเชื่อมต่อโครงสร้างผนังชั่วคราวเพื่อให้โครงสร้างเข้ารูปอย่างสมบูรณ์	68
4.34	โครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างที่เชื่อมติดกันแล้ว	69
4.35	โครงสร้างพื้นที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างผนังส่วนล่าง	69
4.36	โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมก่อนการเจาะรูเพื่อทำรอยต่อ	69
4.37	การเจาะรูโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว	70
4.38	รูเจาะของโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว	70
4.39	การประกอบโครงสร้างหลังคาโดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า	71
4.40	โครงสร้างหลังคาที่ยึดเข้ากับโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน	71
4.41	โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมที่มีความสมบูรณ์	71



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารทรงเครื่องทรงกลม	57
4.2	ราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงเครื่องทรงกลม	59
4.3	การเปรียบเทียบผลการออกแบบและการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงที่สำคัญของโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในอาคารสำเร็จรูปทรงกลม	72



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันภัยพิบัติทางธรรมชาติกำลังเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการเตรียมความพร้อมรับมือกับสิ่งที่เกิดขึ้น 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 ล้านดอลลาร์ และวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2553 เกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศชิลี ความรุนแรง 8.8 ริกเตอร์ มูลค่าความเสียหายกว่า 30 พันล้านเหรียญ หรือการเกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศจีนในวันที่ 13 เมษายน 2553 ความรุนแรง 6.9 ริกเตอร์ และการเกิดอุทกภัยที่ประเทศปากีสถาน ในวันที่ 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) (ว., 2520) มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัย รวมเป็นเวลา 2 ปี ปีที่ 1 (พ.ศ.2559) ดำเนินการพัฒนาและออกแบบโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม และปีที่ 2 (พ.ศ.2560) ดำเนินการพัฒนาเปลือกผนังอาคารถอดประกอบได้ ที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ต้นทุนต่ำ และใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับใช้กับโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม

โครงการวิจัยนี้ เป็นการดำเนินโครงการวิจัยในปีที่ 1 ซึ่งจะได้โครงสร้างทรงครึ่งทรงกลมสำหรับใช้ในโครงการวิจัยถัดไป โดยจะช่วยให้การพัฒนาอาคารสำเร็จรูปสามารถถอดประกอบได้ง่าย และมีความมั่นคงแข็งแรง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง

1.2.2 เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.3 เพื่อทราบถึงทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.4 เพื่อทดสอบการก่อสร้างต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

1.2.5 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายให้กับผู้สนใจ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีพื้นที่ใช้สอย 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 ประเมินราคาวัสดุในส่วนของราคาโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย โดยไม่รวมค่าแรงวิชาชีพค่าขนส่ง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยใช้ข้อกำหนดราคากลางของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์

1.3.9 ดำเนินงานพัฒนาโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย ได้แก่

- 1) มิติและรูปทรงของโครงสร้าง
- 2) ชนิดและขนาดของโครงสร้าง
- 3) รอยต่อและวิธีถอดประกอบของโครงสร้าง
- 4) แบบก่อสร้างและต้นแบบของโครงสร้าง

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

1.4.5 หน่วยงานภาครัฐที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.6 หน่วยงานภาคเอกชนที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์



บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บ้านน็อคดาวน์

บ้านน็อคดาวน์ คือ บ้านสำเร็จรูป (Finished Home) ซึ่งจะไม่มีเสาและคานแต่จะใช้ผนังเป็นตัวรับน้ำหนักแทน โดยยึดหลักของระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing System) ทั้งนี้ผนังและส่วนประกอบต่างๆภายในบ้านจะถูกออกแบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แล้วนำชิ้นส่วนมาประกอบกัน โดยแต่ละชิ้นส่วนจะมีการประกอบที่หน้างานได้โดยสะดวกและมีความคลาดเคลื่อนน้อย เนื่องจากได้มีการออกแบบและผลิตแต่ละชิ้นส่วนจากโรงงาน บ้านน็อคดาวน์เป็นธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ที่ได้รับความนิยมมานานมากในต่างประเทศและกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆในประเทศไทย การสร้างบ้านน็อคดาวน์เป็นที่นิยมมากในประเทศที่มักประสบปัญหาภัยธรรมชาติบ่อยครั้ง เนื่องจากในการสร้างบ้านน็อคดาวน์นั้น ทั้งรวดเร็ว สะดวก ราคาถูก และแข็งแรงทนทานอีกด้วย โดยข้อดีของบ้านน็อคดาวน์ ได้แก่ บ้านน็อคดาวน์มีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง จึงทำให้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้อีกกว่า 40% มีจำนวนแรงงานในการก่อสร้างที่น้อยลง และยังมีความมั่นคงแข็งแรง ให้ความสะอาดในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง รวมไปถึงไม่ทำลายสภาพแวดล้อมทางเสียง ส่วนข้อจำกัดของบ้านน็อคดาวน์ ได้แก่ บ้านน็อคดาวน์จะมีโครงสร้างที่มีน้ำหนักมาก จึงจำเป็นต้องมีเสาเข็มที่ยาวกว่าบ้านในการก่อสร้างปกติ และยังไม่เหมาะสมกับบ้านที่มีรายละเอียดซับซ้อนมาก รวมถึงไม่เหมาะสมกับการดัดแปลงโครงสร้างของตัวบ้าน หรือแม้กระทั่งปรับปรุงซ่อมแซมส่วนเล็กๆ น้อยๆ เช่น การตอกตะปู เป็นต้น (มามี, 2541)

2.2 บ้านพักอาศัยชั่วคราวสำหรับกรณีฉุกเฉิน

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

2.3 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวของทางราชการ

กฎกระทรวงฉบับที่ 9 พ.ศ.2528 ข้อ 4 อาคารชั่วคราวเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างอาคารถาวร ซึ่งสูงไม่เกิน 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 และยังได้กำหนดให้มีส่วนที่ถูกลักษณะ สำหรับคนงานเข้าพักอาศัยในอัตราที่ 1 ต่อ 25 คน และได้กำหนดโทษสำหรับการปลูกสร้างอาคารชั่วคราวโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือปลูกสร้างผิดแบบที่ได้รับอนุญาต เช่นเดียวกับการขออนุญาตและการควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2525 อย่างไรก็ตาม

ตาม การขออนุญาตปลูกสร้างอาคารชั่วคราวตามมาตรา 21 ในปัจจุบันยังได้รับการผ่อนผันในเรื่องต่างๆ ตามมาตรา 8 (ประธาน, 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 และใช้หรือแลกเปลี่ยนการใช้อาคารชนิดใด หรือประเภทใด

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 จึงแต่งตั้งคณะกรรมการประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิ จากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ร่วมกันจัดร่างมาตรฐานของอาคารชั่วคราวสำหรับผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง และสถานรับเลี้ยงเด็กที่เป็นบุตรหลานของผู้ใช้แรงงานก่อสร้างก่อนวัยเรียน ตลอดจนสภาพแวดล้อมในบริเวณที่พักอาศัย เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปปฏิบัติเป็นมาตรฐาน นำคุณภาพชีวิตที่ดีมาสู่แรงงานกลุ่มหนึ่งซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี และมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง (ประธาน, 2539) ผลสรุปจากคณะกรรมการชุดดังกล่าว ได้เห็นควรให้มีการกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของสวัสดิการขั้นพื้นฐานในเรื่องที่พักอาศัย ห้องน้ำ - ห้องส้วม และสถานรับเลี้ยงเด็กก่อนวัยเรียน โดยที่มาตรฐานเหล่านั้น ได้แก่ขนาดกว้าง ยาว สูง หน้าต่าง ช่องระบายอากาศ วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาคารดังกล่าวอาจถูกกำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง โดยเขียนรายการประกอบแบบไว้ เช่นเดียวกับการจัดสถานที่สำหรับวิศวกรบริหารโครงการ หรือผู้ควบคุมงานซึ่งผู้รับจ้างจะ

ยึดถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาและรายการก่อสร้าง จะได้คิดราคารวมเสนอพร้อมกับประมูลโครงการด้วย (สุธี, 2550)

ข้อกำหนดอาคารชั่วคราวสำหรับผู้ใช้งานก่อสร้างอาคารพักอาศัย

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

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

- ให้มีประตูและหน้าต่างอย่างน้อยห้องละ 1 ชุด

- ช่องทางเดินภายในอาคารสำหรับพักอาศัยต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร และมีแสงสว่าง

เห็นได้ชัดเจน

- ระยะดิ่งระหว่างพื้นถึงยอดฝ้าหรือผนังของอาคารตอนต่ำสุด 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 หรือไม้อัดแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร หรือกระดานอัดหรือไม้อัดแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร ไม้พื้นใช้ไม้กระดาน 1 × 8 นิ้ว หรือไม้อัดแผ่นเรียบ 12 มิลลิเมตร หลังคา ใช้หลังคาสังกะสีลอนคู่ หรือกระเบื้องลอนเล็ก เป็นต้น (สุธี, 2550)

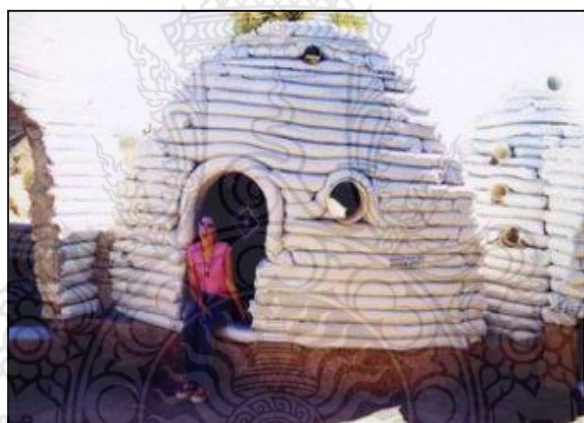
2.5 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

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

ก่อสร้างอาคารคือการใช้เทคนิคราคาถูกลงที่เขาเรียกว่า Super Adobe นี้ทำให้รัฐบาลของประเทศต่างๆ แสดงความสนใจที่จะนำมาใช้ในประเทศของตนเอง



รูปที่ 2.1 ลักษณะการวางฐานรองรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่สร้างด้วยระบบ Super Adobe ของสถาปนิก Nader Khalili (สุธี, 2550)



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

2.6 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศญี่ปุ่น

ในปี ค.ศ.1995 เกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่เมืองโกเบประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นการเกิดแผ่นดินไหวครั้งยิ่งใหญ่ที่สุดครั้งหนึ่งของโลก ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อทรัพย์สิน และชีวิตของประชาชนชาวญี่ปุ่นอย่างมาก ซึ่งหลังจากแผ่นดินไหวสงบลงเจ้าหน้าที่จากหน่วยงาน อาสาสมัครในการช่วยเหลือนั้น ได้มีสถาปนิกอาสาที่เข้าไปให้ความช่วยเหลือในด้านที่อยู่อาศัยของผู้ประสบภัย บ้านพักอาศัยที่ทีมงานอาสาสมัครเข้าไปให้ความช่วยเหลือ เป็นบ้านพักอาศัยที่ทำมาจากท่อกระดาษ (Paper Pipe) โดยจัดสร้างในลักษณะบ้านพักท่อกระดาษ (Paper log House) เพื่อเป็นอาคารพักอาศัย ทดแทนการใช้เต็นท์พักอาศัยที่ติดตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับบ้านของผู้ประสบภัยที่เสียหายไปที่กำลังทรุดโทรมลง แต่เนื่องจากบ้านพักอาศัยที่ทางราชการจัดหาให้นี้อยู่ห่างไกลพื้นที่เดิม จึงทำให้เกิดปัญหาไกลจากสถานที่ทำงาน และโรงเรียนของลูกหลาน ซึ่งเป็นปัญหาที่มักจะพบในพื้นที่ประสบภัยต่างๆ ในการออกแบบบ้านท่อกระดาษ ได้มีการออกแบบ และทดลองก่อสร้างขึ้น โดยบ้านพักอาศัยชั่วคราวมีขนาดพื้นที่ 16.1ตาราง

เมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใกล้เคียงกับมาตรฐานของบ้านผู้ลี้ภัยที่ออกแบบโดย UNCHR (United Nation Commission for Human) ส่วนฐานรากของบ้านทำมาจากลิ่งเปียร์พลาสติก ภายในบรรจุด้วยทรายผนังประกอบขึ้นมาจากท่อกระดาษที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ยึดติดกันด้วย Bolt โดยมีการสอดแผ่นฟองน้ำกันน้ำไว้ระหว่างท่อแต่ละท่อด้วย ส่วนหลังคาของอาคาร ก็นำแผ่นพลาสติกมาทำเป็นฝ้าเพดานและหลังคาทรงจั่ว เพื่อให้สามารถเปิดระบายอากาศได้ เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จนำไปใช้งาน ก็เป็นที่ยอมรับของประชาชนผู้ประสบภัยเป็นอย่างดี โดยทางทีมงานอาสาสมัครพบว่าบ้านท่อกระดาษมีข้อดีอยู่หลายอย่างที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างเป็นอาคารสำหรับอยู่ชั่วคราวของผู้ประสบภัย เนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูก หาได้ง่ายในพื้นที่ ก่อสร้างและรื้อถอนได้ง่ายในระยะเวลาอันสั้น โดยบุคคลทั่วไปที่ไม่มีความรู้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการช่วยเหลือยังสามารถนำวัสดุที่เหลือใช้มาทำการรีไซเคิลได้ ซึ่งทำให้รัฐบาลไม่จำเป็นต้องเสียงบประมาณในการเก็บรักษา และดูแลซ่อมแซม นอกจากนี้บ้านพักอาศัยแบบบ้านท่อกระดาษที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศญี่ปุ่นนั้น ยังได้มีการผลิต และก่อสร้างบ้านพักอาศัยชั่วคราวออกมาอีกหลายรูปแบบ เช่น แบบบ้านพักอาศัยสำเร็จรูปประกอบสำเร็จ หรือแบบตู้คอนเทนเนอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 อาคารบ้านพักอาศัยชั่วคราว เมืองโกเบ ที่ก่อสร้างด้วยท่อกระดาษ

2.7 ตัวอย่างบ้านพักอาศัยชั่วคราวที่ประเทศเวียดนาม

ประเทศเวียดนาม เป็นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่อยู่ใต้อาณาบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทย ทำให้มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ใกล้เคียงกับประเทศไทยเป็นอย่างมาก ประเทศเวียดนามเป็นประเทศที่ประสบกับเหตุอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง ทำให้มีความต้องการบ้านฉุกเฉินในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ไทยได้รับทราบวิธีการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยของทางเวียดนามอยู่ตลอด จากการติดต่อประสานงานกันอยู่อย่างสม่ำเสมอระหว่างสภาภาษาเวียดนามกับสภาภาษาไทย โดยเฉพาะความต้องการทางด้านรูปแบบการอยู่อาศัยของผู้ประสบภัย ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน รูปแบบของบ้านฉุกเฉินที่ใช้ในในประเทศเวียดนามนั้น มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1) รูปแบบที่เป็นอาคารชั้นเดียว (ทั้งแบบติดพื้นดิน และยกพื้น) เป็นอาคารในรูปแบบต่างๆที่สร้างด้วยระบบโครงสร้างเหล็ก ไม่มีผนัง ทำให้ประชาชนต้องมีการต่อเติมผนังขึ้นมาเองด้วยชิ้นส่วนและวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นตามแต่ความพอใจของตัว

2) รูปแบบที่มีลักษณะเป็นอาคารสูง 2 ชั้น โดยมีขนาดความสูงของชั้นล่างมากกว่าชั้นบน ใช้ในการเก็บของ และเป็นสถานที่นอนในเวลากลางคืน ส่วนเวลากลางวัน หรือการอยู่อาศัย การดำรงชีวิตส่วนใหญ่จะใช้พื้นที่ด้านล่างเป็นพื้นที่ในการประกอบกิจกรรมต่างๆหรือถ้าหากประชาชนมีความต้องการที่

จะอยู่อาศัยทั้งด้านบนและด้านล่าง ก็สามารถต่อเติมส่วนของผนังอาคารได้ด้วยตนเอง ด้วยวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นนั้นๆ แต่จะทำให้อาคารกลายเป็นอาคารถาวร ที่ไม่สามารถทำการถอดชิ้นส่วนเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่อื่นๆต่อไปได้ (สุธี, 2550)

2.8 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์สึนามิ)

สืบเนื่องมาจากการเกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ที่ ต.น้ำก้อ จ.เพชรบูรณ์ ทางสภาอากาศไทย โดยมูลนิธิเพื่อนพึ่ง(ภา)ยามยาก สำนักงานอากาศชาติ จึงได้มีความคิดในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราว เพื่อนำไปให้ความช่วยเหลือประชาชนตามรายละเอียดข้อมูลที่ได้กล่าวมาในหัวข้อข้างต้นทำให้มีการออกแบบปรับปรุงบ้านพักอาศัยฉุกเฉินขึ้นมาใหม่ โดยยึดแนวความคิดที่ พระเจ้าวรวงศ์เธอพระองค์เจ้าโสมสวลี พระวรราชธิดาตามาตุ 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 ซิงค์คาลูม (Zincalume) พื้นปูด้วยไม้อัดหนา 15 มิลลิเมตร เพื่อให้มีน้ำหนักเบา ระบบก่อสร้างอาคารใช้ระบบ Knock down เพื่อให้สามารถถอดออกเมื่อไม่มีความต้องการใช้งาน และสามารถนำไปก่อสร้างในพื้นที่อื่นต่อไปได้อย่างรวดเร็วความต้องการอาคารบ้านพักอาศัยชั่วคราวสำหรับผู้ประสบภัย ของทางสภาอากาศไทยมีจำนวนความต้องการถึง 173 ยูนิต ภายในระยะเวลา 1 เดือน ทางบริษัท BHP Steel Building Products (Thailand) Ltd. ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการ จึงได้ทำการออกแบบก่อสร้างโดยคำนึงถึงระบบการติดตั้งที่เป็นลักษณะ Step by Step คือต้องมีลำดับขั้นตอนอย่างชัดเจนเพื่อให้การยึดชิ้นส่วนต่างๆต้องใช้วัสดุประเภท น็อต Bolt หมุดยิง หรือ ตะปูเกลียวทั้งหมด เพื่อให้สามารถถอดออกจากรัน และนำมาประกอบใหม่ได้ตามความต้องการข้อจำกัดในการออกแบบ และดำเนินการก่อสร้างอาคารคือต้องมีการออกแบบชิ้นส่วนแต่ละชั้นให้มีขนาดที่สามารถผลิตได้โดยเครื่องจักรที่มีอยู่ในโรงงานเหมาะสมสำหรับการขนส่งและมีตำแหน่งของรูเจาะต่างๆที่เหมาะสม คือ เมื่อมีการหันซ้าย หรือ หันขวา ก็ยังสามารถที่จะติดตั้งได้ เนื่องจากผู้ที่ดำเนินการติดตั้งอาจไม่ใช่บุคคลซึ่งมีความรู้ทางการก่อสร้างเลย ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในการออกแบบ และต้องมีการตรวจสอบจากอาคารตัวอย่างที่ดำเนินการก่อสร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นส่วน (สุธี, 2550)

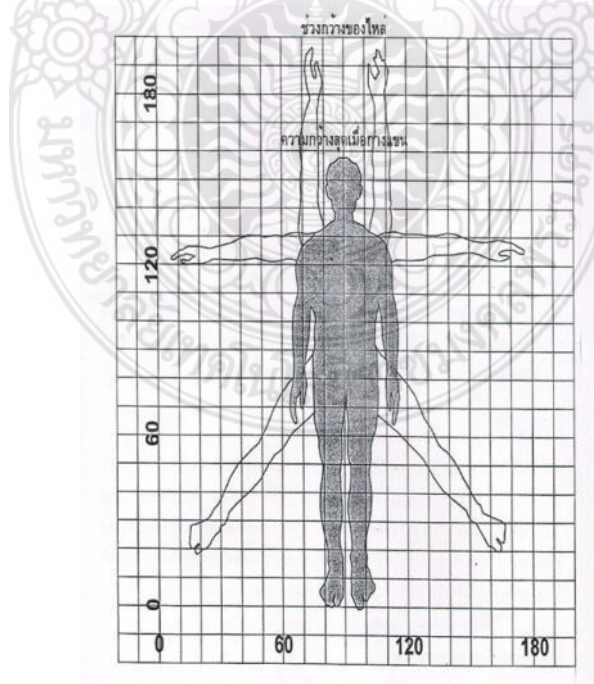
2.9 บ้านพักชั่วคราวในประเทศไทย (กรณีเหตุการณ์โคลนถล่มที่ภาคเหนือ)

หลังจากเหตุการณ์อุบัติภัยที่ จ.เพชรบูรณ์ เมื่อ เดือนสิงหาคม ปี 2544 แล้ว ประเทศไทยก็ยังประสบกับปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติเรื่อยมา และเหตุการณ์ครั้งสำคัญที่สร้างความเสียหายครั้งใหญ่ให้กับพี่น้องชาวไทยคือครั้งเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม นั้นได้เกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักเกิดน้ำท่วมฉับพลันส่งผลให้มีดินโคลนถล่มในพื้นที่ อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก คาดว่าอาจจะถึง 100 ราย กลายเป็นวิกฤตภัยร้ายแรงของประเทศอีกครั้งหนึ่งสร้างความเสียหายกับชีวิตและทรัพย์สินของชาวบ้านเป็นอย่างมาก คณะรัฐมนตรีได้พิจารณาอนุมัติการใช้จ่ายเงินในการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยอย่างเร่งด่วน โดยในส่วนของบ้านสำเร็จรูปนั้นนายกรัฐมนตรีก้าวว่า ทางมูลนิธิไทยคมได้อาสาให้ความช่วยเหลือบ้านน็อคดาวน จำนวน 400 หลัง ให้กับผู้ที่ประสบภัยที่บ้านเรือนเสียหายหลังจากเหตุการณ์น้ำท่วม รูปแบบที่จะนำไปมอบให้กับชาวบ้านในครั้งนี้ยังคงแนวคิดเดิมของบ้านฉุกเฉินชั่วคราว

นั่นคือ ต้องเร่งก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว และราคาถูกแต่ที่แตกต่างไปจากรูปแบบบ้านเดิมๆที่เคยทำมาก็คือ แนวคิดในเรื่องของการอยู่อาศัยแบบชั่วคราวและต้องรื้อถอนนั้น ถูกกำหนดให้เป็นบ้านในลักษณะแบบถาวรที่ชาวบ้านได้รับบริจาค (ต้องผ่อนชำระค่าบ้านให้รัฐประมาณ 900 บาท ต่อเดือน) ดังนั้นรูปแบบบ้านของมูลนิธิจึงได้ถูกออกแบบขึ้นใหม่หมดและมีความแตกต่างจากบ้านฉุกเฉินที่เคยใช้กับเหตุการณ์ภัยพิบัติครั้งที่ผ่านมา แบบบ้านของมูลนิธิไทยคมที่ได้มอบให้กับชาวบ้านที่ประสบภัยตามนโยบายของรัฐบาลในครั้งนี้เป็นอาคารยกใต้ถุนสูงระบบ Knock down แบบ Skeleton โครงสร้างอาคาร หลังคาและบันไดเป็นเหล็ก ผนังวิ้วบอร์ด 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 ระยะเวลา ความกว้าง ยาว สูง ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมและวิถีชีวิตของตนเอง 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 ส่วนประกอบที่ผลิตขึ้นไม่พอดีกับวัสดุชิ้นอื่นที่ทำเตรียมไว้หรือแม้ส่วนประกอบขึ้นเดียวกันซึ่งผลิตจากโรงงานอื่นๆความยุ่งยากจึงเกิดขึ้นเสมอ 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 ค่าของหน่วยที่จะมาเกี่ยวข้องกับ การประสานทางพิกัดนี้จะต้องเป็นค่าที่เพิ่มหรือลดจากผลคูณของหน่วยพิกัดมูลฐาน ตัวอย่าง เช่นใช้ ฟ เป็นหน่วยพิกัดมูลฐานหน่วยคูณพิกัดมูลฐานอาจเป็น 3 ฟ. หรือ 6 ฟ. (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.12 การออกแบบในระบบประสานทางพิกัด

แนวคิดในการออกแบบอาคารในระบบประสานทางพิกัดถูกใช้มาตั้งแต่ในสมัยกรีกและโรมัน หน่วยพิกัด (Module) ถูกนำมาใช้เพื่อก่อให้เกิดความสัมพันธ์ทางด้านมิติ (Dimension) และสัดส่วน (Proportion) ที่สอดคล้องจนเกิดความงดงามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป แต่การออกแบบในระบบประสานทางพิกัดได้ถูกพัฒนาอย่างจริงจังในช่วงสมัยเริ่มต้นของสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบประสานทางพิกัด คือการกำหนดให้ขนาด ระยะ และชิ้นส่วนต่างๆ ของอาคารมีการประสานสอดคล้องซึ่งกันและกัน เพื่อก่อให้เกิดการประกอบติดตั้ง การก่อสร้างที่มีความสะดวก รวดเร็ว 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 และที่วางนั้นมีความสำคัญ มิติที่ใช้ต้องมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกับชิ้นส่วนอื่นๆ ที่จะประกอบเข้าด้วยกันในภายหลัง และต้องมีค่าความสัมพันธ์กับการใช้งานหรือส่วนอื่นๆ ที่ไม่ได้เป็นชิ้นส่วนของอาคารโดยตรง การกำหนดมิติในระบบประสานพิกัดในอาคาร (ชวลิต, 2528) ประกอบด้วย

1) มิติ (Dimension) หมายถึง ระยะระหว่างจุด 2 จุด มิติเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมากในขั้นตอนการวางแผนและการออกแบบอาคารในระบบอุตสาหกรรมมิติของชิ้นส่วนสำเร็จรูปกับเนื้อที่ที่เตรียมไว้สำหรับติดตั้งส่วนประกอบจำเป็นจะต้องมีการประสานกันอย่างดี เรียกว่า มิติประสานซึ่งแสดงถึง ขนาดเนื้อที่ความต้องการของส่วนประกอบเมื่อรวมรอยต่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าแล้ว มิติประสานนี้จะใช้

ได้ผลดีเมื่องานชิ้นต่างๆที่เกี่ยวข้องเนื่องกับมิติประสานมีความถูกต้องแน่นอน เมื่อกำหนดระบบมิติประสานแล้วการนำไปใช้ในชั้นต่างๆของงานเอานำมาใช้ ได้ในหลายขั้นตอน เช่น ใช้ในการออกแบบโดยสถาปนิก วิศวกร ใช้ในการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในขั้นตอนการติดตั้งโดยคนงาน เป็นต้น การวัดหรือการใช้มิติในลักษณะที่แตกต่างกันทำให้เกิดปัญหาในการวัดขึ้นจนทำให้ส่วนประกอบที่มีขนาดผิดไปจากที่คำนวณไว้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าความเบี่ยงเบนและความคลาดเคลื่อนที่แน่นอนในเรื่องของมิติที่อาศัยซึ่งกันและกันโดยกำหนดว่าความเบี่ยงเบนควรมีเท่าใดจึงจะมีความเหมาะสม

2) มิติอาศัยซึ่งกันและกัน (Inter – dependence Dimension) หมายถึง มิติที่ใช้ทำงานตามที่มีความสัมพันธ์ โดยตรงกับมิติที่มีอยู่ก่อน สำหรับในงานก่อสร้างอาคารย่อมจะประกอบไปด้วยงานหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกัน ปัญหาอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อการสร้าง คือ งานที่จะต้องรอกันคนงานบางกลุ่มไม่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ต้องรอให้คนงานอีกกลุ่มหนึ่งทำงานส่วนนั้นให้เสร็จก่อน ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเพราะงานส่วนต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยมิติซึ่งกันและกันเช่น งานหน้าต่างจะไม่สามารถเริ่มติดตั้งได้ถ้าพื้น ผนัง หรือฝ้าเพดานติดตั้งยังไม่เสร็จ เป็นต้น (ชวลิต, 2528) งานออกแบบก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป พบว่า การจัดลำดับของงานที่เตรียมไว้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการรอกันออกไปได้ แต่อาจเกิดปัญหาในเรื่องของความแม่นยำขึ้นมาแทน เนื่องจากการที่ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปให้มีขนาดที่แม่นยำตามความต้องการนั้นทำให้ได้ยากและทำให้ต้นทุนการผลิต รวมถึงค่าแรงสูงขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมากๆยังไม่สามารถกำหนดขนาดให้มีความแม่นยำได้โดยทั่วทุกจุด ในการออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้มิติอาศัยซึ่งกันและกันในส่วนที่ไม่มีความจำเป็น โดยมีหลักการ ดังนี้

- การใช้รอยต่อแบบสัมผัส หรือเว้นร่อง ควรใช้ให้น้อยแห่งที่สุด เพราะถ้ามีรอยต่อหลายแห่งก็จะทำให้เกิดมิติอาศัยซึ่งกันและกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นในการติดตั้งชิ้นส่วนตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเข้าด้วยกัน จะนิยมเว้นเนื้อที่รอยต่อเอาไว้ด้วย แล้วถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อแบบสัมผัส การทำงานอาจเกิดปัญหาเนื่องจากการยึดหดตัวของวัสดุได้โดยเฉพาะถ้าชิ้นส่วนมีความแม่นยำไม่เพียงพอ รวมถึงถ้าหากการติดตั้งไม่มีความชำนาญก็จะทำให้การทำงานเป็นไปได้ยากในทางตรงกันข้ามถ้ารอยต่อที่ใช้เป็นรอยต่อประเภทเว้นร่อง การทำงานก็จะสะดวกขึ้นสามารถที่จะเตรียมเนื้อที่ที่ต้องการได้ง่ายกว่า แต่เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะเห็นรอยต่อได้อย่างชัดเจน การใช้รอยต่อประเภทนี้จะใช้เฉพาะที่เป็นงานพิเศษซึ่งจะแสดงให้เห็นชำนาญของช่างก่อสร้างออกมาได้

- ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งแบบผิวสัมผัสและเปลี่ยนมาใช้ในการติดตั้งแบบขอบต่อขอบหรือขอบต่อผิวแทน

- ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งชิ้นส่วนที่มีรอยต่อหลายแบบในเวลาเดียวกัน จะทำให้เกิดความลำบากในการทำงาน เนื่องจากการยึดหดตัวของวัสดุและความไม่แม่นยำในการผลิต (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.14 ความเบี่ยงเบน

ความเบี่ยงเบน (Deviation) คือ ความแตกต่างในการวัดระยะส่วนประกอบกับขนาดทางพิกัดของส่วนประกอบนั้นในการออกแบบและการก่อสร้าง โดยทั่วไปจะทำงานด้วยขนาดที่กำหนดแน่นอนแต่การที่มีความแม่นยำในการปฏิบัติจึงต้องมีการคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนด้วยเสมอ ความเบี่ยงเบนนี้อาจเกิดขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งของการทำงานก็ได้ เช่น การควบคุมขนาดที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอในขั้นตอนการผลิต การยึดหดตัว การสูญเสีรูปร่างเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการขนส่ง หรือการเก็บรักษาในพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของความเบี่ยงเบน ดังนี้

- 1) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีสาเหตุมาจาก
 - ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต
 - คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้และวิธีการผลิตชิ้นส่วนวัสดุต่างๆ
- 2) ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากติดตั้ง
 - ความไม่แม่นยำในการวัด และการควบคุมขนาดระหว่างการติดตั้ง
 - ขนาดและประเภทของวัสดุที่ใช้
 - วิธีการในการทำงาน และการติดตั้ง
 - ขนาดของอาคารที่จะติดตั้งส่วนประกอบอาจมีขนาดที่ผิดไปจากเดิม ซึ่งเป็นปัญหาที่

พบได้มากที่สุด

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 จะยอมให้เกิดระยะเบี่ยงเบนได้มากที่สุดเท่าใด โดยการกำหนดความคลาดเคลื่อนให้ง่ายและมีความสะดวกมากที่สุด ควรจะกำหนดให้ ค่าความเบี่ยงเบนของขนาดมูลฐานในทางลด (Negative) มีค่าเท่ากับค่าความเบี่ยงเบนของขนาดมูลฐานในทางเพิ่ม (Positive) และถ้างานนั้นๆ มีความจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (เนื่องจากงานไม่มีความต้องการความแม่นยำ) ก็สามารถใช้นิยามมูลฐานได้ ในการติดตั้งชิ้นประกอบหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน ระยะที่วัดได้ (Actual Measurement) หลังการติดตั้งนั้นจะมีขนาดอยู่ระหว่างผลรวมของขนาดเล็กลที่สุดที่ยอมให้กับขนาดใหญ่ที่สุดที่ยอมให้และการวัดค่าความคลาดเคลื่อนรวมให้ใช้การบวกความคลาดเคลื่อนของชิ้นส่วนที่ติดต่อกันเข้าด้วยกันซึ่งจะสามารถทราบความคลาดเคลื่อนรวมของชิ้นส่วนได้อย่างชัดเจน ในทางปฏิบัติ อาจมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นในทางลดหรือทางเพิ่ม หรืออาจเกิดขึ้นในด้านใดด้านหนึ่งทางเดียวก็ได้แต่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดอาจจะมีน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบแต่ละชิ้นรวมกัน (บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551)

2.16 มิติประสาน

มิติประสาน (Coordinating Dimension) คือ มิติหรือระยะที่เตรียมไว้เพื่อติดตั้งส่วนประกอบ หรือกลุ่มของส่วนประกอบ หรือส่วนมูล (Element) ขนาดประสานเท่ากับขนาดใช้งานรวมกับเนื้อที่บริเวณขอบทั้งสองด้าน การเลือกมิติประสานสำหรับส่วนประกอบสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับความตั้งใจจากประสบการณ์ที่พบบ่อยในการติดตั้ง และขนาดของส่วนประกอบที่จะกำหนดเป็นขนาดใช้งานที่ควรสามารถวัดได้อย่างแน่นอนและมีการกำหนดตายตัวในการออกแบบ ขนาดประสานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเนื้อที่รอยต่อทั้งสองข้างซึ่งมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและปัจจัยอีกหลายอย่าง ในการประกอบชิ้นส่วนประกอบอาคารหลายๆชิ้นเข้าด้วยกันมิติประสานของส่วนประกอบเหล่านี้จะไม่มี ความแน่นอน เหมือนกับที่กำหนดไว้ในชิ้นส่วนประกอบชิ้นเดียว ในกรณีนี้มิติประสานที่กำหนดควรที่จะกำหนดตามประสบการณ์ที่พบบ่อยๆในปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการออกแบบมิติประสานมีความสำคัญมากในการก่อสร้างอาคาร ถ้ามิติมีความแน่นอนก็จะไม่มีความยุ่งยากเกิดขึ้น แต่ถ้ามิติมีการเปลี่ยนแปลงอยู่

ตลอดเวลา ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาปัญหาอย่างใกล้ชิดในทุกๆ จุด เพื่อตรวจสอบว่ามีดินนั้นเปลี่ยนแปลงจนเป็นเหตุให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อส่วนประกอบที่มีมิติอาศัยซึ่งกันและกันหรือไม่มิติประสานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (Testa, 1959) คือ

1) มิติประสานที่แน่นอน คือ มิติประสานของส่วนประกอบที่มีความเป็ยงเบนเกิดขึ้นน้อยมาก จนสามารถที่จะถูกกลืนหายไปในรอบต่อที่กำหนดให้ จึงไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อขนาดประสานของส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก เช่น การติดตั้งส่วนประกอบของโครงสร้างขนาดใหญ่บางชนิดจำเป็นที่จะต้องมีความประสานที่แน่นอนเมื่อติดตั้งส่วนประกอบปลั๊กย่อย เช่น ประตู หน้าต่าง ก็จะถึมิติประสานของโครงสร้างเป็นหลักอ้างอิง ในบางกรณีส่วนประกอบของโครงสร้างก็มึรอยต่อที่ไม่แน่นอน เช่น ผนังก่ออิฐ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำงานตามลำดับขั้นตอน จึงมีการกำหนดขอบเขตของเนื้องานที่โครงสร้างไว้ให้แน่นอนและดำเนินการติดตั้งส่วนประกอบโครงสร้างภายในขอบเขตนั้นๆเพื่อถึมิติประสานหลักในการดำเนินงานชนิดอื่นต่อไป

2) มิติประสานที่ไม่แน่นอน คือ ค่าความเป็ยงเบนของส่วนประกอบเกิดขึ้นมากกว่าที่จะอยู่ในรอยต่อได้ มิติประสานก็จะเปลี่ยนแปลงได้ในทันที การทำงานจะต้องดำเนินไปโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วยสามัญสำนึก โดยพิจารณาถึงธรรมชาติและลักษณะของส่วนประกอบที่นำมาใช้ เช่น ครุภัณฑ์ในห้องครัวที่จำเป็นจะต้องติดตั้งด้วยวิธีการต่อแบบสัมผัสจำเป็นที่จะต้องผลิตขนาดของส่วนประกอบให้มีความเป็ยงเบนไปในทางลดเพื่อการติดตั้งจะสามารถทำได้อย่างสะดวกในพื้นที่ที่มีเนื้อที่ไม่พอดี และอาจจะใช้บัวไม้ปิดเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยก็ได้ แต่ถ้าเป็นผนังเบาภายในห้องก็ควรอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตชิ้นส่วนให้มีความเป็ยงเบนของส่วนประกอบไปในทางเพิ่มเพื่อให้สามารถตัดส่วนเกินออกได้อย่างง่าย

2.17 หน่วยพิกัด

ในทางทฤษฎี “พื้นฐานพิกัดเป็นหน่วยของการวัด” ซึ่งจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจใน มิติต่างๆ ทั้ง 2 และ 3 มิติ และพิกัดมีความสัมพันธ์กันภายในสเกลหรือขนาดสัดส่วนเดียวกันยกตัวอย่างได้จากสถาปนิก และช่างก่อสร้างได้ใช้หลักการเป็นมูลฐาน ในการใช้การประสานทางพิกัด ของสัดส่วนอยู่แล้วมาตั้งแต่สมัยโบราณ จะเห็นว่ามีกำหนดหรือระยะส่วนประกอบอาคารให้มีความสัมพันธ์กันทุกๆ ส่วน หรือมีความสัมพันธ์กันระหว่างส่วนย่อยกับส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจจะได้จากการสังเกตตามธรรมชาติ หรือรูปความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับทางเรขาคณิตรูปต่างๆ แม้แต่สัดส่วนของมนุษย์เองก็ตาม ตามประมวลศัพท์ “หน่วยพิกัด” (Module) คือ หน่วยของขนาดซึ่งใช้เป็นตัวเพิ่มในการประสานทางมิติ หน่วยขนาดดังกล่าวอาจเป็นหน่วยที่ใช้วัดขนาดโดยการวัดคูณ โดยการลบออก หรือโดยการแบ่งออกก็ได้ ในการก่อสร้างได้มีการพิจารณาใช้หน่วยพิกัดประเภทต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น 12 ประเภท ดังนี้

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

- ขนาดตามธรรมชาติของวัตถุดิบ
- ความจำเป็นทางด้านเทคโนโลยีในการผลิต
- คุณสมบัติได้จากด้านคุณภาพของวัตถุดิบ
- ความต้องการของตลาดและสภาวะการเศรษฐกิจของการผลิต

ในปัจจุบันของวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ใช้ได้กับเครื่องมือขนาดเล็กใช้ได้แรงงานคน โดยมีการช่วยเหลืออาศัยเครื่องมืออื่นช่วยน้อยในขนาดแนวมของหน่วยพิกัดวัสดุก่อสร้างจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับเทคนิคการก่อสร้าง เทคนิคในการผลิตในระบบอุตสาหกรรม ทั้งจากโรงงานผลิตวัสดุและการประกอบเป็นตัวอาคารในสถานที่ก่อสร้าง

2) หน่วยพิกัดในการใช้งาน (Performance Module) ถูกกำหนดขึ้นมาถึงประโยชน์มาก ข้อเสีย น้อย เมื่อคำนึงการนำวัสดุไปใช้อย่างไร ในกรณีนี้ไม่เกี่ยวกับเรื่องทางกล ทางการป้องกันเสียงทางเคมี ทางไฟฟ้า หรือทางความร้อน แต่ไปเกี่ยวข้องกับด้านคุณสมบัติทางโครงสร้างและสภาวะทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า ตัวอย่างเช่น การใช้วัสดุอย่างหนึ่งมีความหนาอย่างหนึ่งกำลังอาจไม่พอ แต่ถ้าใช้ขนาดโตตามหน่วยพิกัดก็โตไป การนำมาใช้งานจำเป็นต้องเลือกขนาดที่โตซึ่งไม่ประหยัด หรือใช้ ขนาดเล็กแต่ต้องมีการปรับปรุงให้กำลังมากขึ้นวิธีอื่น หรือถ้านำวัสดุมาใช้ก็เหมาะสมดีแล้ว แต่น้ำหนักตัว วัสดุ อาจมากเกินไปยอมรับ เช่น ลักษณะของกำแพงก่ออิฐรับน้ำหนัก เมื่ออาคารมีความสูงขึ้นจำนวนก้อน อิฐที่รองรับก็ต้องเพิ่มขึ้น ความหนาเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะได้สามารถรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นของอาคารได้ เมื่อ วัสดุก่อสร้างมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ไม้ พลาสติก โลหะ แร่ จะเห็นว่า หน่วยพิกัดการใช้งานจะเกิดขึ้น จากการรวมกันขึ้นจาก หน่วยพิกัดมูลฐาน เฉพาะวัสดุแต่ละชนิด

3) หน่วยพิกัดทางเรขาคณิต (Geometry Module) หมายถึง ระบบสัมพันธ์ของสัดส่วนของทั้ง โครงสร้างของข้อมูลเฉพาะแห่งและแผนผังทั่วไปดังนั้น จึงคลุมไปถึงระเบียบการพิกัดที่ถูกเลือกมาใช้ เพื่อให้เกิดการปรับตัวภายใน และให้ทำได้หลายๆ วิธีด้วยกัน สามารถกระทำได้โดยเพิ่มส่วนหรือลดส่วนลง ก็ได้ โดยใช้ชุดพิกัดตัวเลขได้หลายชุดด้วย วิธีใช้หน่วยพิกัดทางเรขาคณิตจะเกี่ยวโยงไปไม่เพียงแต่เรื่อง ส่วนย่อยที่ได้สัดส่วนของขนาด กว้าง ยาว ใช้เป็นส่วนมูลอาคาร การใช้ผังพิจารณาหน่วยพิกัดนี้ ต้อง คำนึงถึงทั้งพิกัดระหว่างจุดกับจุด เส้นกับเส้น พื้นที่กับพื้นที่ และ ปริมาตรกับปริมาตร

4) หน่วยพิกัดปฏิบัติ การลำเลียง การขนส่ง (Handling Module) ถูกบังคับโดยธรรมชาติทาง กายภาพของหน่วยพิกัดนั้น โดยคำนึงถึงการขนส่ง การเก็บ และการติดตั้ง การยกเคลื่อนย้ายด้วย เครื่องจักร และด้วยแรงงานธรรมดา การบรรจุเคลื่อนย้ายด้วยพาหนะขนส่ง สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ข้อจำกัดของมิติ ความกว้างยาวขององค์ประกอบอาคารเพื่อความสะดวกในระหว่างการก่อสร้าง จึงต้อง คำนึงถึง หน่วยพิกัดการปฏิบัติการวัสดุชิ้นเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยแรงงานมนุษย์ 1-2 คน แต่การ เคลื่อนย้ายโดยมนุษย์นี้จะถูกจำกัดโดยช่วงกว้างของแขน และหากวัตถุที่มีชิ้นใหญ่ก็จะถูกเคลื่อนย้ายโดย เครื่องจักร การเคลื่อนย้ายต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ ระหว่างการก่อสร้างด้วยเช่น แรงลมระหว่าง การนำวัสดุพิกัดไปทำการติดตั้งเป็นต้นตัวอย่างเช่น ของความยาวของพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง กำหนดตัวแปร ของความยาวและขนาดของชิ้นงานที่ผลิต

5) หน่วยพิกัดทางโครงสร้าง (Structure Module) เกี่ยวข้องกับขนาดความโต และช่วงพาด ขนาดตัววัสดุบรรจุระหว่างโครง หรือส่วนอื่นที่พาดอยู่ข้างบน ความลึก ความหนาของคาน หน่วยพิกัด โครงสร้างมีความสำคัญไปถึงการวางรอยต่อ การใช้โครงองค์อาคารอื่นๆ พาดอยู่อย่างไรบนโครงสร้าง สำคัญตัวอย่างเช่น การใช้อาคารโครงสร้างเหล็กต้องคำนึงถึงพิกัดที่มีความสัมพันธ์ของช่วงพาดระหว่าง โครงสร้าง การออกแบบควรคำนึงถึงความยาวของเหล็กรูปพรรณซึ่งอยู่ที่ 6 เมตรเป็นต้น

6) หน่วยพิกัดส่วนมูล (Element Module) เป็นหน่วยพิกัดขนาดกว้างยาว ถูกกำหนดโดยรูปร่าง ลักษณะซึ่งอาจจำแนกย่อยลงเป็นชนิดทางพื้นผิวโปร่งแสง โปร่งใส เป็นโครงกรอบ และอาจจำแนกเป็น ลักษณะทางรูปร่างเช่น เป็นรูปโค้ง รูปหักมุม รูปส่วนมูลรับน้ำหนัก รูปส่วนมูลไม่รับน้ำหนัก ส่วนมูลเลื่อน ได้ ส่วนมูลติดตาย ส่วนมูลทางตั้ง ส่วนมูลทางนอน ทำให้สะดวกในการจัดหมวดหมู่และทำการเลือกใช้ และยังสัมพันธ์กับวิธีการผลิตของโรงงาน และสร้างความเป็นสากลไม่ให้เกิดความแตกต่าง แบ่งแยก ระหว่างรูปแบบองค์ประกอบแต่ละอันด้วย

7) หน่วยพิกัดรอยต่อ (Joint Module) จุดที่ต้องยึดแข็งแรง ต่างจากแนวชนที่ชิดกันเพื่อความ เรียบร้อย หน่วยพิกัดรอยต่อจำกัดไว้ตรงตำแหน่งต่างๆ นอกเหนือไปจากแนวที่ชิดกันระหว่างแผ่นส่วนมูล ฐานดังกล่าว รอยต่อที่กล่าวถึงนี้ต้องต่อด้วยวิธีกล ใช้ง่ายสะดวกต่อการประกอบ ให้ติดตั้งแผ่นมูลฐานไว้

ได้ตามต้องการให้มีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ และอาจใช้อุปกรณ์ต่อ ยึดติดตรงตำแหน่งกำหนดไว้ วาง เป็นจิ้งหหวะพิกัดได้ 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 ทั้งตำแหน่งที่ตั้งของพวกอุปกรณ์ต่างๆ เช่นสายเคเบิลช่องเดินท่อช่องออกท่อที่มีอยู่ในระบบการก่อสร้างทั้งสิ้น หมวดใหญ่ๆ ของอุปกรณ์จัดเป็น 4 หมวดใหญ่ๆดังกล่าว และมีหมวดย่อยๆอีก เช่น อุปกรณ์ไฟ แสงสว่างกำลัง การติดต่อคมนาคม การปรับอากาศ การระบายอากาศ น้ำร้อนน้ำเย็น น้ำใช้ ท่อระบายอากาศ ท่อแก๊ส การรวบรวมสิ่งต่างๆ ตามที่กล่าวมานี้เป็นหน้าที่สำคัญในการสร้างความเป็นระบบที่เป็นระเบียบให้เกิดกับการประสานทางพิกัดต่างๆไปและจะสำเร็จได้จากการทำการติดตั้งตามจุดต่างๆ อย่างถูกต้องมั่นคงและต้องทำการวางแผนการติดตั้ง ตั้งแต่เริ่มแรกอย่างเป็นลำดับขั้นตอน

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

12) หน่วยพิกัดทางออกแบบ (Planning Module) เป็นผลรวมของหน่วยพิกัดทั้งหลายที่กล่าวมาแล้ว การปรับ การนำมาใช้ร่วมกันให้ได้ หน่วยพิกัดนี้จะควบคุมหัวข้อต่างๆ ของหน่วยพิกัดที่กล่าวถึงข้างต้นให้นำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตารางพิกัดแผนผัง ที่มีลักษณะการใช้วัสดุระบบโครงสร้าง และระบบการก่อสร้างที่ต่างกันย่อมหมายถึง ลักษณะทางสถาปัตยกรรมจะให้ผลที่แตกต่างกันไปด้วยพิกัดแผนผังที่ใช้งานได้ดีที่สุด จะต้องมีความสัมพันธ์กับพิกัดมูลฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้กับการผลิตวัสดุก่อสร้างตามมาตรฐานของการประสานทางพิกัดตารางพิกัดแผนผังในแบบจะให้ความสะดวกรวดเร็วในการให้มาตราส่วน การกำหนดจุด ตำแหน่งและระยะ และในการหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อมวล ที่วางต่อที่ว่างหรือระหว่างที่ว่างกับมวล 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 Grid) โดยกำหนดขนาดของตารางตามขนาดของหน่วยคูณพิกัดที่เลือกใช้สำหรับการออกแบบ ในกรณีที่เลือกใช้ขนาดตารางพิกัดเท่ากับหน่วยพิกัดมูลฐาน (100 มิลลิเมตร) จะเรียกรูปแบบนี้ว่าตารางมาตรฐาน (Standard Grid) โดยตารางพิกัดที่เลือกใช้นั้น อาจเป็นตารางพิกัดที่อยู่ในแนวระนาบราบ เช่น

ตารางพิกัดที่ใช้ในการออกแบบผังพื้น หรืออาจอยู่ในแนวระนาบตั้ง เช่น ตารางพิกัดของรูปด้าน หรืออาจเลือกใช้ทั้งสองแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระนาบที่อ้างอิง ปกติตารางพิกัดจะมีการประสานหรือสัมพันธ์สอดคล้องกันในทุกระนาบในลักษณะของ 3 มิติ แต่ก็ไม่จำเป็นต้องมีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น การเลือกใช้ตารางพิกัดในแนวระนาบราบและในแนวระนาบตั้งจึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน ตารางพิกัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้แก่

1) ตารางพิกัดแผนผัง (Planning Module Grid) เป็นตารางที่ใช้สำหรับการออกแบบทั่วไป เช่น ผังอาคารที่แสดงขึ้นส่วนผนังการกันห้อง การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ขนาดของพิกัดแผนผังได้มาจากการประสานหรือขนาดพิกัดอื่นๆ เช่น พิกัดโครงสร้าง พิกัดวัสดุความต้องการการใช้สอย เป็นต้น

2) ตารางพิกัดโครงสร้าง (Structure Grid) เป็นตารางพิกัดที่แสดงตำแหน่ง ระยะต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร เช่น ตารางที่เกิดจากเส้นแสดงแนวเสา หรือเส้นแสดงแนวคาน

3) ตารางพิกัดอ้างอิง (Reference Grid) เป็นตารางที่ใช้แสดงขนาด ระยะ หรือตำแหน่งของเส้นสายต่างๆ ในแบบก่อสร้าง ใช้อ้างอิงเพื่อสื่อความหมายให้เข้าใจ (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) คือการนำระบบการประสานทางพิกัดมาใช้ในการก่อสร้าง โดยใช้ในทุกขั้นตอนของการทำงาน ตั้งแต่การออกแบบ การผลิตวัสดุก่อสร้างหรือขึ้นส่วนอาคาร การใช้วัสดุก่อสร้าง ตลอดจนจนถึงการติดตั้ง ซึ่งช่วยให้งานก่อสร้างมีความสะดวกรวดเร็ว และประหยัด วัตถุประสงค์หลักของระบบการประสานทางพิกัด คือ ต้องการให้ขนาดของชิ้นส่วนของอาคารต่างๆ ที่ผลิตขึ้น 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) ช่วยให้การปฏิบัติงานก่อสร้างอาคารที่จะประกอบขึ้นส่วนประกอบของอาคารในสถานที่ก่อสร้างทำได้ง่าย และสะดวกขึ้น

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

ในการออกแบบ ก่อสร้างอาคารด้วยระบบประสานทางพิกัดนั้น มีหลักการขั้นพื้นฐานของการประสานทางพิกัด ดังนี้

1) การกำหนดขนาด หรือระยะของส่วนประกอบของอาคาร ต้องมีความสัมพันธ์กันทุกๆ ส่วน เช่น ขนาดส่วนประกอบของพื้นจะต้องสัมพันธ์กับส่วนประกอบของหลังคาของเพดานและของผนัง เป็นต้น

2) ขนาดหรือระยะของส่วนประกอบ จะต้องเป็นขนาด หรือระยะที่เกิดจากผลคูณของหน่วยพิกัดมูลฐานเสมอ และขนาดพิกัดมูลฐานจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะให้เกิดการยืดหยุ่นในการออกแบบได้

3) ขนาดของตารางตามพิกัด (Modular Grid) ให้ถือหน่วยวัดขนาด 10 เซนติเมตร เป็นขนาดเล็กที่สุด

4) ขนาดของส่วนประกอบ (Component) ที่กำหนดไว้ตามตารางทางพิกัดจะต้องเผื่อระยะรอยต่อไว้แล้ว คือ ขนาดของส่วนประกอบที่ผลิตจากโรงงานโดยทั่วไป ย่อเล็กกว่าขนาดมิติตามพิกัด

5) ขนาดหรือระยะของส่วนประกอบในตารางตามพิกัดจะต้องเท่ากับขนาดหรือระยะของส่วนประกอบที่ผลิตจากโรงงาน รวมถึงเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มี และรวมด้วยรอยต่อเชื่อมระหว่างก้อน

6) เนื่องมาจากการผลิตส่วนประกอบจากโรงงาน ไม่สามารถทำให้ตรงตามความเป็นจริงที่กำหนดได้เสมอไป จึงได้ตั้งเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไว้ว่าให้น้อยหรือมากได้เท่าใด

การออกแบบอาคาร โดยใช้ระบบประสานทางพิกัด ไม่ได้มีข้อบังคับตายตัว แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะอาคาร วัสดุก่อสร้าง ระบบโครงสร้าง ฯลฯ ทั้งนี้มีข้อควรพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ

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

2) มิติพิกัด หมายถึง เนื้อที่สำหรับประจุนส่วนประกอบอาคาร หรือเมื่อทำการก่อสร้างจะบรรจุขึ้นส่วนสำเร็จรูปในเนื้อที่นั้น 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) เป็นงานที่แท้จริงผู้ประมาณการต้องมีความละเอียด สามารถแบ่งงวดงานและเงินได้อีกทั้งใช้ประมาณการจำนวนวัสดุเข้าลานสนามซึ่งต้องมีความละเอียดของที่ส่งต้องไม่ขาดและไม่เผื่อของเสียมากเกินไปเพราะของบางอย่างต้องสั่งครั้งเดียวกันเช่นกระเบื้องเพราะการเอามาแต่ละครั้งสั่งจะได้ไม่เหมือนกันการประมาณราคาชนิดนี้ผู้ประมาณการต้องมีประสบการณ์มีความละเอียดและรวดเร็ว

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

2.21 การออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธี LRFD

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

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

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

$$1.4D$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5L_r$$

$$1.2D + 1.6L_r + (0.5L_r \text{ หรือ } 0.8W)$$

$$1.2D + 1.6W + 0.5L + 0.5L_r$$

$$1.2D \pm 1.0E + 0.5L$$

$$0.9D \pm (1.3W \text{ หรือ } 1.0E)$$

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 ได้กำหนดค่า ϕ (วสท., 2546; ทักษิณและอัศววัชร, 2553) ดังต่อไปนี้

สำหรับองค์อาคารรับแรงดึง

$$\phi_t = 0.90 \text{ ที่สภาวะขีดจำกัดในลักษณะการคราก (yielding)}$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ ที่สภาวะขีดจำกัดในลักษณะการขาด (rupture)}$$

สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

$$\phi_c = 0.90$$

สำหรับองค์อาคารรับแรงดัด

$$\phi_b = 0.90$$

สำหรับองค์อาคารรับแรงเฉือน (เฉพาะเอว)

$$\phi_v = 0.90$$

สำหรับรอยเชื่อม

$$\phi = 0.75 - 0.80$$

สำหรับสลักเกลียว

$$\phi = 0.75 \text{ สำหรับแรงดึงและแรงเฉือน}$$

2.22 การออกแบบองค์อาคารเหล็กรับแรงดึง

องค์อาคารรับแรงดึง (tension members) ได้แก่ องค์อาคารที่รับแรงดึงตามแกน มักจะพบใน โครงสร้างเหล็กทั่วไป ตามปกติจะทำหน้าที่เป็นองค์อาคารหลักในโครงสร้างจำพวกสะพาน หลังคา โครงข้อหมุน ตัวยึด (tie rods) และตัวยึดกันลม (wind bracings) ในโครงอาคารสูงหลายชั้น สำหรับ โครงสร้างที่องค์อาคารรับแรงดึง ทำหน้าที่รอง ได้แก่ โครงสร้างระบบกำแพง หรือพื้นที่มีตัวยึดระหว่าง กำแพงหรือพื้น เพื่อให้เกิดความแข็งแรง ไม่เกิดการไหวตัวได้ง่าย เป็นต้น แบบขององค์อาคารรับแรงดึง อาจได้แก่ องค์อาคารเดี่ยว ซึ่งได้แก่ ซึ่งได้แก่ เหล็กที่มีรูปร่างและขนาดมาตรฐานที่ผลิตขายทั่วไป เช่น เหล็กกลม เหล็กแบน ลวดเหล็ก เคเบิล เหล็กรูปพรรณ เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัวไอ เป็นต้น หรืออาจได้แก่ องค์อาคารประกอบ (built-up members) ซึ่งประกอบขึ้นจากเหล็กมาตรฐานดังกล่าว ข้างต้นโดยทั่วไป การใช้้องค์อาคารเดี่ยวจะประหยัดกว่าการใช้้องค์อาคารประกอบ อย่างไรก็ตามองค์ อาคารประกอบมีความจำเป็น ในกรณีที่้องค์อาคารเดี่ยวมีขนาดเล็กและไม่สามารถรับแรงดึงได้พอ หรือใน กรณีที่ต้องการลดค่าอัตราส่วนความชะลูด (slenderness ratio) ขององค์อาคารรับแรงดึง เป็นต้น

1) การวิบัติเนื่องจากแรงดึง (Tension Failure) การศึกษาพบว่า การวิบัติเนื่องจากแรงดึงในองค์ อาคารรับแรงดึงอาจเกิดขึ้นได้จาก 2 กรณี ดังนี้

1.1) การคราก (yielding) บนพื้นที่หน้าตัดรวม ณ บริเวณหน้าตัดที่ห่างจากจุดต่อ
 1.2) การขาด (rupture) บนพื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล ณ หน้าตัดที่เป็นจุดต่อ
 ในกรณีการวิบัติแบบการเกิดการครากบนพื้นที่หน้าตัดรวม กำลังรับแรงดึงของหน้าตัดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2)

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

โดยที่ T_n = กำลังแรงดึงระบุ, กิโลกรัม
 F_y = หน่วยแรงดึงคราก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
 A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม, ตารางเซนติเมตร

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

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

โดยที่ T_n = กำลังแรงดึงระบุ, กิโลกรัม
 A_e = พื้นที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล, ตารางเซนติเมตร

2) ข้อกำหนดขององค์อาคารรับแรงดึง

2.2.1) พื้นที่หน้าตัดรวม (Gross Area) A_g ขององค์อาคารที่ตำแหน่งใดๆ ได้แก่ ผลรวมของผลคูณของความหนา และความกว้างของแต่ละส่วนของหน้าตัดวัดตั้งฉากกับแนวแกนขององค์อาคาร สำหรับความกว้างรวมของเหล็กฉาก ได้แก่ ผลรวมของความกว้างของขาทั้งสองลบด้วยความหนา

2.2.2) พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area) A_n ขององค์อาคาร ได้แก่ ผลรวมของผลคูณของความหนาและความกว้างสุทธิ ของแต่ละส่วนของหน้าตัด ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

ในการคำนวณพื้นที่หน้าตัดสุทธิสำหรับแรงดึงและแรงเฉือน ความกว้างของรูเจาะสำหรับสลักเกลียวใช้เท่ากับขนาดระบุของสลักเกลียวบวก 2 มิลลิเมตร

สำหรับรูเจาะที่เรียงกันเป็นแนวทแยงหรือเฉียงไปมา ความกว้างสุทธิของส่วนดังกล่าวคำนวณจากความกว้างรวม ลบด้วยผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะทั้งหมดในแนว แล้วบวกด้วย

ค่า $\frac{s^2}{4g}$ ของช่วงเฉียงทั้งหมดทุกช่วง

โดยที่ S = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกันในทิศทางตามแนวแกน ขององค์อาคาร, มิลลิเมตร
 G = ระยะระหว่างศูนย์กลางของรูเจาะสองรูที่อยู่ต่อเนื่องกันในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนขององค์อาคาร, มิลลิเมตร

ระยะตามแนวขวางของศูนย์กลางของรูเจาะที่อยู่ติดกันในขาตรงข้ามกันของเหล็กฉากจะเท่ากับผลรวมของระยะตามแนวขวางจากสันด้านนอกของเหล็กฉากถึงรูเจาะลบด้วยความหนา และในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดสุทธิผ่านรอยเชื่อมแบบอุดร่องหรืออุดรู จะไม่คิดรวมพื้นที่ของวัสดุเชื่อม

2.2.3) พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล (Effective Net Area) สำหรับองค์อาคารรับแรงดึงสามารถหาได้ ดังนี้

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดหรือรอยเชื่อมลงโดยตรงกับหน้าตัดขวางของแต่ละชิ้นส่วน พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_e มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดสุทธิ A_n

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดหรือรอยเชื่อม ผ่านเพียงบางส่วนของชิ้นส่วนของหน้าตัดขวางขององค์อาคาร พื้นที่หน้าตัดประสิทธิผล A_e คำนวณได้จาก

- เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยตัวยึดเพียงอย่างเดียวดังสมการที่ (4)

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

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

\bar{X} = ระยะเยื้องศูนย์กลางของรอยต่อ, มิลลิเมตร

l = ความยาวของรอยต่อในทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ, มิลลิเมตร

เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยรอยเชื่อมตามยาวไปยังองค์อาคารอื่นๆที่ไม่ใช่แผ่นเหล็ก หรือโดยการเชื่อมตามยาวร่วมกับเชื่อมตามขวางดังสมการที่ (5)

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

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

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม, ตารางมิลลิเมตร

เมื่อแรงดึงส่งถ่ายโดยการเชื่อมเพียงอย่างเดียวดังสมการที่ (6)

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

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต่อโดยตรง, ตารางมิลลิเมตร

U = 1.0

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

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

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 การออกแบบของค้ำอาคารเหล็กรับแรงอัด

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

- 1) ประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกัน (homogeneous materials)
- 2) ปราศจากหน่วยแรงคงค้าง (residual stresses)
- 3) ตั้งอยู่ในแนวตั้ง (perfectly straight)
- 4) น้ำหนักกระทำตามแนวแกนผ่านจุดศูนย์กลาง (axially loaded)

ในโครงสร้างต่างๆ ไป เสดังกล่าวยากนักที่จะพบเห็น เนื่องจากจะมีการดัด (bending) แผงปนอยู่ไม่มากนักน้อย ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพฤติกรรมของเสาที่มีน้ำหนักกระทำในแนวแกนแต่เพียงอย่างเดียว ส่วนพฤติกรรมของเสาที่มีโมเมนต์กระทำร่วมแรงอัดตามแกน

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

ในการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัดโดยใช้วิธี LRFD สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ (8)

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

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

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

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

การโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก(ไม่รวมกรณีที่หน้าตัดมีชิ้นส่วนขลุค)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 = หน่วยแรงอัดอีลาสติก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2.24 การออกแบบของค้ำอาคารเหล็กรับแรงดัด

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

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

โดยที่ Z_x = โมดูลัสพลาสติก, เซนติเมตร³
 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 $M_n = M_p$ แต่ต้องทำการวิเคราะห์คานด้วยวิธีอิลาสติก AISC/LRFD กำหนดให้
ความยาวไร้ซึ่งการยึดด้านข้าง $L_b \leq L_{pd}$ ดังนี้

สำหรับหน้าตัด I และ C ดังสมการที่ (14)

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

สำหรับหน้าตัดเหล็กกล่อง และหน้าตัดสี่เหลี่ยมตันดังสมการที่ (2.15)

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

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

F_y = หน่วยแรงครากในปีกคาน, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

M_p = โมเมนต์พลาสติก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

เมื่อ $M_r \leq M_n < M_p$

ในกรณีนี้คานจะมีการยึดด้านข้างไม่เพียงพอ เมื่อ $L_p \leq L_b \leq L_r$ คานจะเกิดการโก่งเดาะด้านข้าง
เนื่องจากการบิดในช่วงอิลาสติก AISC/LRFD กำหนดให้กำลังของคานในช่วงนี้แปรเปลี่ยนแบบเส้นตรง
จาก M_r ถึง M_p ดังสมการที่ (16)

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

โดยที่ C_b = สัมประสิทธิ์สำหรับกรณีที่โมเมนต์ภายในมีค่าไม่สม่ำเสมอ

L_r = ความยาวไร้ซึ่งการยึดด้านข้างสูงสุดซึ่งคานยังคงมีพฤติกรรมการโก่ง
เดาะด้านข้างเนื่องจากการบิดในช่วงอิลาสติก, เซนติเมตร

AISC/LRFD ได้กำหนดค่า L_r และ M_r ไว้ดังนี้

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

(20)

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

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

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

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

โดยที่	M_r	=	กำลังโมเมนต์ระบุดสูงสุดในช่วงอีลาสติก, กิโลกรัม-เซนติเมตร
	F_L	=	ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $(F_{yf}-F_r)$ กับ F_{yw} , กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
	F_{yf}	=	หน่วยแรงครากของปีก, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
	F_{yw}	=	หน่วยแรงครากของเอว, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
	F_r	=	หน่วยแรงค้ำในปีก, 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 $M_n < M_p$

ในกรณีนี้คานจะมีการยึดด้านข้างไม่เพียงพอ เมื่อ $L_b > L_r$ คานจะเกิดการโก่งเดาะด้านข้าง เนื่องจากการบิดในช่วงอีลาสติก AISC/LRFD กำหนดให้

สำหรับหน้าตัด I ที่มีความสมมาตรทั้ง 2 แกน และหน้าตัด C ดังสมการที่ (23)

$$M_n = M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E^2}{L_b} \right) I_y C_w} \quad (23)$$

สำหรับหน้าตัดกล่องสมมาตรและหน้าตัดสี่เหลี่ยม ดังสมการที่ (24)

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

2) คานหน้าตัดไม่อัดแน่น

คานซึ่งมีชิ้นส่วนของปีกและเอวมี่ค่า $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ ในคานประเภทนี้กำลังโมเมนต์ระบุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ $M_r \leq M_n < M_p$

เป็นกรณีที่คานเกิดการวิบัติในช่วงอินอีลาสติก ซึ่งอาจเกิดจาก 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ในปีกและเอว ทั้งนี้เนื่องจากปีกและมีค่าสตีเฟนส์ไม่เพียงพอที่จะให้หน้าตัดเกิดโมเมนต์พลาสติกได้ 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_r และ λ_p เป็นค่าสัดส่วนความชะลุดของชิ้นส่วนที่เป็นปีกหรือเอว แล้วแต่กรณี

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

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

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	=	น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน, กิโลกรัม
	L	=	ความยาวของคาน, เซนติเมตร
	E	=	โมดูลัสยืดหยุ่น, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
	I	=	โมดูลัสอินเนอร์เซีย

ในการออกแบบคาน มาตรฐาน ว.ส.ท. และ AISC / LRFD ได้กำหนดให้คำนึงถึงการโก่งตัวของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานและสำหรับคานที่รับผนังก่ออิฐ ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน จะต้องไม่เกิน 1/360 ของความยาวคาน ดังสมการที่ (28)

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

โดยที่	Δ_a	=	ค่าการโก่งสูงสุดที่ยอมให้ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน, เซนติเมตร
	L	=	ความยาวคาน, เซนติเมตร

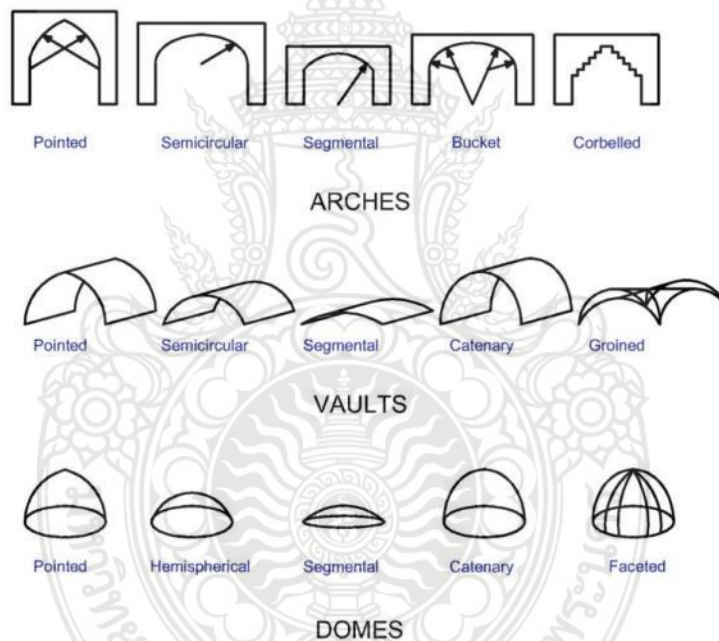
สำหรับ AISC/LRFD ได้ระบุว่า “การเปลี่ยนแปลงรูปร่างขององค์อาคารใด ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน จะต้องไม่มีผลกระทบต่อลักษณะการใช้งานของโครงสร้างนั้นๆ” แต่ไม่ได้ระบุค่าการโก่งสูงสุดไว้อันึ่งค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่นิยมใช้กันทั่วไป (วสท., 2546) ได้แก่

องค์อาคารที่มีการฉาบปูน : $L / 360 < 2.5$, เซนติเมตร

พื้นที่ไม่มีการฉาบปูน : $L / 240$, เซนติเมตร

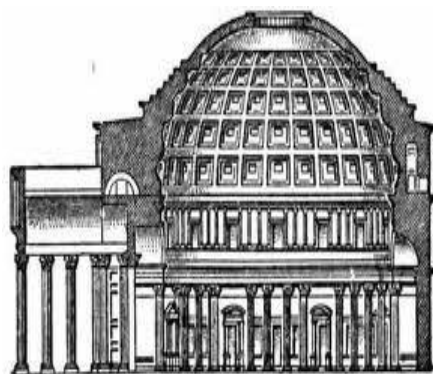
2.26 ความเป็นมาทางสถาปัตยกรรมโดม

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 และ Teepees เนื่องจากคลาดแคลนวัสดุแต่ต้องการที่พักอาศัยที่แข็งแรงและมีน้ำหนักเบาที่สามารถสร้างหรือรื้อถอนได้อย่างสะดวก เพื่อการโยกย้ายจักรวรรดิโรม (Rome) ได้นำสถาปัตยกรรมนี้มาใช้เป็นครั้งแรกในการสร้าง Pantheon ในกรุงโรม (Herz , 1975)



รูปที่ 2.6 Pantheon ในกรุงโรม (Herz , 1975)

ในสมัยจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) สถาปนิกได้คิดค้นการรับน้ำหนักโดมจากฐานลูกบาศก์เป็นส่วนโค้งสามเหลี่ยม (Pendentives Domes) ต่อมาจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) ได้ถูกเปอร์เซียยึดครองและได้นำสถาปัตยกรรมรูปทรงโดมนี้ไปแพร่หลายในประเทศมุสลิมแล้วได้ทำการสร้างสุเหร่าโซเฟีย (Sophia mosque) ซึ่งได้ใช้สถาปัตยกรรมรูปทรงโดมที่ได้รับมาจากจักรวรรดิไบเซนไทน์ (Byzantine) เป็นองค์ประกอบหลักในการออกแบบ (Herz , 1975)



รูปที่ 2.7 สุเหร่าโซเฟีย (Sophia mosque) (Herz , 1975)

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



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

อาจกล่าวได้ว่า Dome มีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากในโลกของโรมัน คริสต์ และอิสลาม ซึ่งได้นำสถาปัตยกรรมนี้มาเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบสถานที่สำคัญต่างๆ Dome ยังได้มีการแพร่หลายไปทั่วโลก และได้รับความนิยมมาเรื่อยๆ จนปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปทรงโดมมาเป็นที่พักอาศัยและสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ด้วยเพราะสถาปัตยกรรมที่งดงาม และความมั่นคงของโครงสร้าง (Herz , 1975)



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



รูปที่ 2.10 สนามกีฬาซูเปอร์โดม (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 จะได้รับรูปทรงของโครงสร้างที่ต้านแรงอัดแต่เพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากโครงสร้างเปลือกบางมีลักษณะการต้านแรงภายนอกเหมือนโครงสร้างเปลือกบางซึ่งประสิทธิภาพอันนี้ได้จากความโค้งและการบิดของพื้นผิว นอกจากนี้ความหนาของโครงสร้างเปลือกบางมีมากกว่าโครงสร้างเปลือกบาง ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า จึงสามารถต้านได้ทั้งแรงอัด แรงดึง และแรงเฉือน

กลไกการรับน้ำหนักของโครงสร้างเปลือกบางจะมีลักษณะการโค้งคว่ำ จะทำให้เกิดแรงที่ผิวสองชุดซึ่งกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกัน และความเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัสช่วยในการรับน้ำหนัก แรงที่เกิดขึ้นในเปลือกบางทั้งสองชุดที่ตั้งฉากกันมีพฤติกรรมคล้ายกับโครงสร้างแผ่นเรียบ (Plate) ซึ่งแรงเฉือนระหว่างแถบที่ติดกันจะช่วยในการรับน้ำหนัก

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

- 1) โดมจะต้องมีเปลือกบางและต้องไม่ให้เกิดปฏิกิริยาทางการดัดของวัสดุ
- 2) ต้องมีโค้งที่เหมาะสมต้องมีความแข็งแรง แข็งแกร่งเพราะเป็นรูปทรงเพื่อการรับแรง
- 3) ต้องมีจุดรองรับที่เหมาะสม ดังนั้นจะต้องเกิดความเค้นดัดเพียงเล็กน้อยในขอบเขตที่จำกัดของเปลือกบาง

เปลือกบาง

กรณีทั้งสามข้อนี้จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาของเปลือกบาง เมื่อใดก็ตามที่รูปทรงของเปลือกบางและการรับน้ำหนักบรรทุกไม่สามารถมีคุณสมบัติครบทั้งสามข้อ เพราะเนื่องจากความยากลำบากในการก่อสร้าง หรือเนื่องมาจากเหตุผลทางความงาม หรือความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรมทำให้เกิดปฏิกิริยาของการดัดเกิดขึ้น ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพทางโครงสร้างของเปลือกบางลดลงทันที (ชลธี, 2552)

2.29 หลังคาโครงโค้ง

หลังคาโครงโค้ง (Arched Roofs) ได้จากการนำโครงสร้างโครงโค้งมาวางขนานกัน และใช้ชิ้นส่วนที่วางขวางมุงด้วยโครงวัสดุที่เป็นแผ่น ทำให้ได้รูปร่างของโครงหลังคาแบบประทุน (Barrel Roofs) ชิ้นส่วนเชื่อมระหว่างโครงโค้งถ้าย้ำน้ำหนักหลังคาไปยังโครงโค้งโดยการตัด หรือโดยพฤติกรรมของโค้ง และถ้าย้ำน้ำหนักลงสู่พื้นดินส่วนใหญ่โดยการอัด ในการออกแบบรูปร่างของโครงโค้งจะต้องพยายามออกแบบให้ใกล้เคียงกับรูปร่างพีวนิคควาลาร์ของน้ำหนักคงที่ น้ำหนักจรรีบโดยการตัดในทรงโค้ง

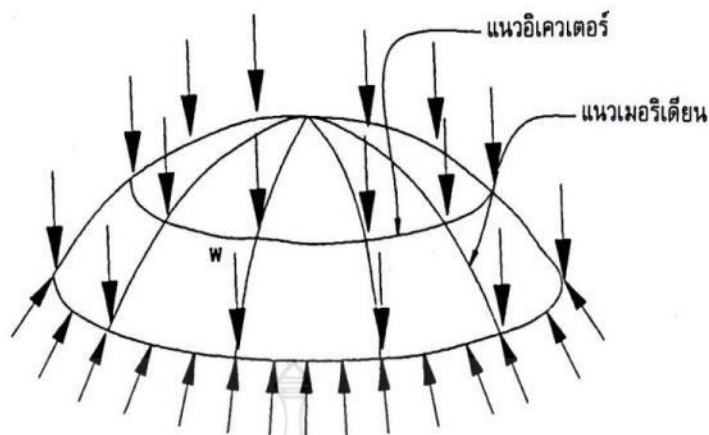
โครงโค้งคลุมพื้นที่วงกลมโดยใช้โค้งวางรอบๆเส้นรอบรูปขนรวมกันเหนือจุดศูนย์กลาง การถ้าย้ำน้ำหนักในแนวตั้งทำให้เกิดแรงถีบที่ฐานของโครงโค้ง จำเป็นที่จะต้องออกแบบฐานรากให้สามารถต้านแรงถีบนี้ หรือจะใช้คานโค้งรอบรัดแรงตั้ง หลังคาโค้งคลุมพื้นที่วงกลมโดยปราศจากเสาทำให้ได้พื้นที่ใช้สอยกว้างขวางมากขึ้น เพื่อสามารถทำประโยชน์ได้หลายประเภท (ชลธี, 2552)



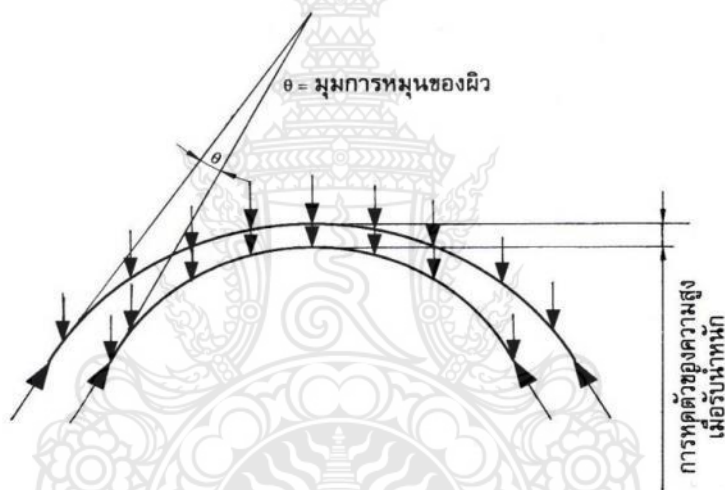
รูปที่ 2.11 ลักษณะของหลังคาโครงโค้งเป็นรัศมี (ชลธี, 2552)

2.30 พฤติกรรมทางโครงสร้างเปลือกบางในโดมครึ่งวงกลม

พฤติกรรมของโครงสร้างโดมครึ่งวงกลมที่รองรับโดยขอบฐานโดยรอบ เนื่องจากน้ำหนักในแนวตั้งซึ่งสมดุลกันทั้งสองข้างของแนวแกน (เนื่องจากน้ำหนักตายตัว) คือผลที่เกิดจากลักษณะของรูปทรงของโดมเอง ในโครงสร้างเปลือกบาง เส้นตัดในระนาบเมอริเดียนและเส้นตัดในระนาบตั้งฉากกับระนาบเมอริเดียนเป็นเส้นโค้งหลัก และเป็นระนาบความเค้นหลัก ความเค้นในระนาบตัดทั้งสองคือความเค้นดึงและความเค้นอัด ซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความหนาของเปลือกบางที่มีความหนาน้อยจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โครงโค้งที่มีลักษณะของพีวนิคควาลาร์จะเกิดขึ้นเฉพาะกับน้ำหนักที่มากกระทำเพียงแบบเดียวเท่านั้น แต่ในระนาบเส้นเมอริเดียนของโดมจะมีลักษณะของพีวนิคควาลาร์จากน้ำหนักที่มากกระทำหลายแบบ พฤติกรรมความแตกต่างนี้ก็เนื่องมาจากความจริงที่ว่า ในขณะที่โครงโค้งของวงกลมไม่มีที่รองรับในระนาบนอน แต่ระนาบเมอริเดียนของโดมครึ่งวงกลมมีการรองรับโดยวงแหวนในระนาบนอนที่ขนานกันหลายวงเพื่อดำเนินการเคลื่อนที่ในระนาบนอนโดยการเกิดความเค้นในระนาบเส้นรอบรูป เพราะผลมาจากพฤติกรรมทางพีวนิคควาลาร์ เนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกแบบต่างๆ ที่สมมาตร โดมจะไม่เปลี่ยนรูปร่างไปตามน้ำหนักที่แปรเปลี่ยน ดังนั้นจึงเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรต่อการแปรเปลี่ยนของน้ำหนัก ดังที่กล่าวมาแล้วการมีส่วนในการช่วยรับแรงของแหวนระนาบนอนกับพฤติกรรมของพีวนิคควาลาร์ของโดม (ชลธี, 2552)



รูปที่ 2.12 ความเค้นในแนวเมริเดียนในโดมเปลือกบางครึ่งวงกลม (ชลธี, 2552)



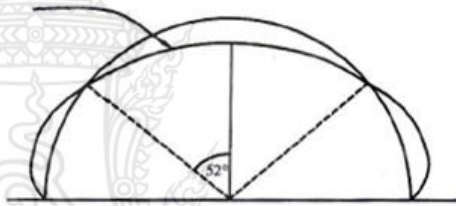
รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงรูปของโดมที่โค้งน้อย (ชลธี, 2552)

จะชี้ให้เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงรูปของโค้งระนาบตั้ง เมื่อรับน้ำหนัก โดมที่มีความโค้งน้อย การโค้งระนาบตั้งจะโค้งภายใต้น้ำหนัก และโค้งยุบลงตามเส้นแกนของโดม ซึ่งทำให้วงแหวนตามระนาบนอนหดสั้นเข้า และรัศมีของวงแหวนน้อยลง วงแหวนระนาบนอนจึงเกิดการอัด ซึ่งเป็นการต้านทานโค้งในระนาบนอนหดสั้นเข้า และรัศมีของวงแหวนน้อยลง วงแหวนระนาบนอนจึงเกิดการอัด ซึ่งเป็นการต้านทานโค้งในระนาบตั้งไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่โค้งลงได้อย่างอิสระ หรืออาจกล่าวได้ว่า โดมที่โค้งน้อยที่มีสมดุลในแกนอาจพิจารณาได้ว่า มีพฤติกรรมเหมือนโค้งพิวนิคูลาร์จำนวนมากรองรับด้วยวงแหวนขนานกันในระนาบนอน ทำให้เกิดความเค้นอัดกับโค้งระนาบตั้งและวงแหวนในระนาบนอนและทางทฤษฎีสามารถสร้างได้จากวัสดุที่รับแรงอัดได้ดี เช่น อิฐ หิน เป็นต้น

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

ความเค้นเฉย ทำมุม 45 องศา กับแนวแกนของโดมเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นจากโดมเป็นความเค้นอัด และความเค้นดึงแต่เพียงอย่างเดียวดังนั้นความเครียดที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดน้อยมาก ความแข็งแรงของโดมครึ่งวงกลมจึงสูงอย่างมาก ตัวอย่าง เช่น ความหนาของโดมครึ่งวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เมตร 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 จึงสามารถลดความหนาของหิมะให้มีความหนาแน่นขึ้นได้ ดังเช่นอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา เท่ากับ 300 เป็นเรื่องที่น่าประหลาด โดมที่ทำด้วยเหล็กซึ่งใช้กับอาคารของเตาปฏิกรณ์ปรมาณู มีอัตราเท่ากับ 1000 อัตราส่วนเช่นนี้เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของเปลือกไข่ ซึ่งมีอัตราส่วนเพียง 30 หรือกับโครงสร้างที่รับแรงดัด ซึ่งมีอัตราส่วน เท่ากับ 20 ความหนาของโครงสร้างเปลือกบางส่วนใหญ่ถูกกำหนดเนื่องจากมีความจำเป็นในการต้านทานการโก่งเดาะ (ชลธี, 2552)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากน้ำหนัก



แรงอัดในแนววงแหวน



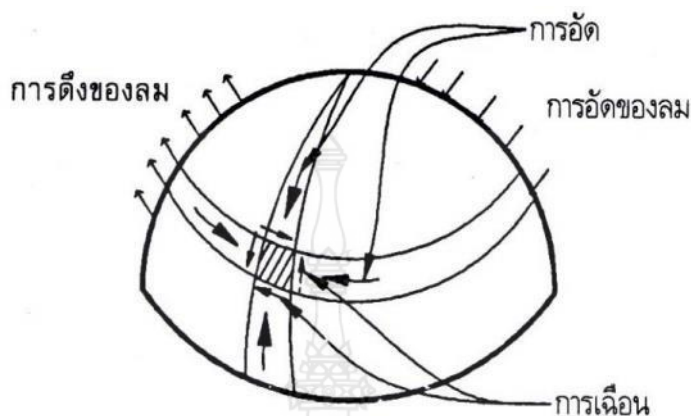
แรงดึงในแนววงแหวน

รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโดมที่มีโค้งมากภายใต้น้ำหนักตายตัว (ชลธี, 2552)

เป็นที่ทราบแล้วว่า โครงสร้างเปลือกบางจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามการผันแปรของน้ำหนัก เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความเค้นอัด ในโครงสร้างโดมเปลือกบาง การอัดจะเกิดขึ้นแทน แม้ว่าถ้าหากความเค้นหลัก (Direct Stresses) ในโค้งระนาบตั้งฉากกับพื้นและวงแหวนในระนาบนอนไม่สามารถรับน้ำหนักที่กระทำทั้งหมดได้ กลไกอย่างที่สองจึงมีความจำเป็นในการทำให้เกิดความสมดุลของความแตกต่างที่ไม่สมดุล เช่น กลไกของความเค้นเฉย (คล้ายกับการรับแรงเฉยโดยการบิดในโครงสร้างแผ่น) เพื่อไม่ให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเกินความเค้นปลอดภัย (ชลธี, 2552)

ความเค้นหลัก (การอัดและการดึง) และการเฉยภายในผิวของพื้นโดมจะเฉลี่ยและสมดุลกับน้ำหนักบนโดมครึ่งวงกลมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูป เมื่อนำกลไกของการรับแรงเฉยมาพิจารณาซึ่งกล่าวได้ว่าโดมมีลักษณะของพินิคูลาร์ต่อน้ำหนักปรกติทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความเสถียรภายใต้สถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นอย่างสม่าเสมอ ตัวอย่างเช่นโดมต้านแรงในแนวนอนแรงอัดและแรงดุดของลม

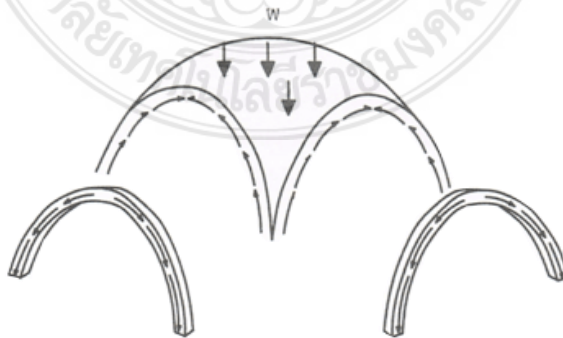
จนเกิดความเค้นขึ้นที่ผิว 3 ชนิด ความเค้นเนื่องมาจากลมมีค่ามากที่สุดอย่างหนึ่งด้วย ตัวอย่างเช่น ลมที่มีความเร็ว 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่กระทำต่อโดมคอนกรีตหนา 7.5 เซนติเมตรมีช่วงเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เมตร ทำให้เกิดความเค้นเฉือนที่ผิวเพียง 199 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรในขณะที่ความเค้นเฉือนปลอดภัยที่ยอมให้มากถึง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



รูปที่ 2.15 ลักษณะกลไกของการเฉือนในโดม (ชลธี, 2552)

2.31 ความเค้นในโครงเปลือกทรงกลมที่เปลี่ยนผิวโค้ง

โครงโค้งแบบต่างๆ อาจจะใช้กับโครงเปลือกทรงกลมแบบถ่ายเปลี่ยนผิวกับโค้งสองทิศทาง โค้งของวงกลมหรือส่วนของวงกลมของพาราโบลาได้ถูกนำมาใช้กันทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบโค้งทั้งหมดโครงเปลือกทรงกลมรูปถ่ายเปลี่ยนผิวรองรับด้วยความเค้นเฉือนบนโค้งขอบ เหมือนกับโครงเปลือกทรงกลมที่รับโดยการเฉือนโดยขึ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงหัวท้าย โค้งที่รองรับมีความแข็งแรงตามระนาบผืน แต่อาจจะอ่อนตามระนาบตั้งฉากกับขึ้นส่วน เพื่อว่าการตัดหรือการดึงที่ตั้งฉากกับโค้งจะไม่เกิดที่ขอบของโครงเปลือกทรงกลมพิจารณาแล้วปฏิกริยาของโครงเปลือกทรงกลมที่เปลี่ยนผิวโค้งอาจจะเหมือนปฏิกริยาคล้ายคลึงมากกับโดมตัน และเกิดความเค้นอัดตามแนวโค้งทั้งสองส่วนของเปลือกทรงกลมโค้งโค้งที่รองรับจะเกิดการตัดที่เป็นคลื่นจำนวนหนึ่ง และแม้ว่าจะจางหายไปอย่างรวดเร็วในมุมของเปลือกทรงกลมที่มีการโค้งตั้งฉากกับโค้งที่รองรับ การเพิ่มความหนาของเปลือกทรงกลมบริเวณขอบก็มีความจำเป็น



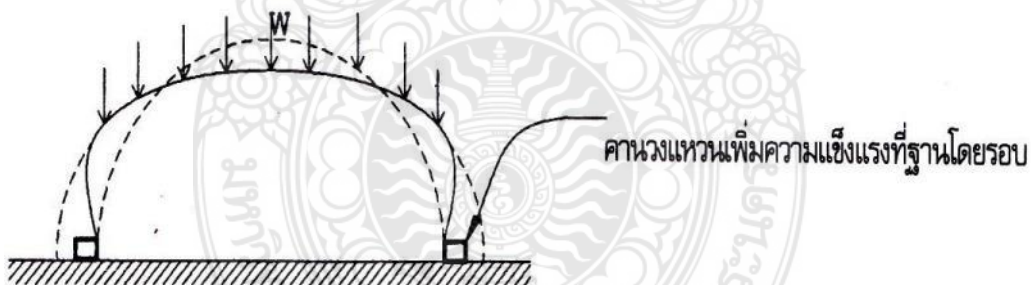
รูปที่ 2.16 ลักษณะการเฉือนที่ขอบของโครงเปลือกทรงกลมรูปถ่ายเปลี่ยนผิวโค้ง (ชลธี, 2552)

2.32 ความเค้นดัดในโดม

โดม รับน้ำหนักโดยความเค้นที่ผิว (การอัด การดึง และการเฉือน) เพราะการเกิดแรงเฉือนทำให้มีลักษณะทางฟิสิกส์สำหรับน้ำหนักทุกประเภท แต่โดยปกติเนื่องจากโดมจะมีผิวที่บางมาก ถ้าหากมีแนวโน้มที่จะเกิดความเค้นดัดที่ใดก็ตามในผิวโดม ซึ่งจะมีค่าเกินกว่าความเค้นความปลอดภัยที่ยอมรับได้ง่ายมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในกรณีเช่นนั้น

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของโดมเปลือกบาง สมมุติว่า มีอิสระที่ยอมให้เคลื่อนที่ได้เล็กน้อย ซึ่งจำเป็นสำหรับสภาวะเปลือกบางที่เกิดความเค้น ดังนั้นโดมจึงมีความเค้นผิวเกิดขึ้นเมื่อรับน้ำหนัก และเนื่องจากความเครียดทำให้ยอดของโดมเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเล็กน้อยเนื่องจากการแอ่นตัวของยอดโดมไม่ได้รับการป้องกันไว้ สภาวะความเค้นสภาวะของความเค้นของเปลือกบางจึงคงอยู่ในบริเวณใกล้เคียง สถานการณ์ความแตกต่างทั้งหมดนี้อาจเกิดขึ้นแทนการเกิดที่ฐานของโดม

โดมครึ่งวงกลมมีแนวโน้มที่จะแบะออกที่บริเวณฐาน ขอบฐานโดยรอบเคลื่อนที่ออกด้านนอก แม้ว่าจะมีขนาดเพียงเล็กน้อยมาก มากไปกว่านี้ ปฏิบัติการของที่รองรับของโดมจะต้องอยู่ในทิศทางของการโค้งในระนาบตั้ง เนื่องจากโค้งของระนาบตั้งมีลักษณะของฟิสิกส์คูลาร์ของน้ำหนักปฏิบัติในทิศทางอื่นๆ อาจทำให้เกิดการดัดขึ้นในโดม อาจจะทำให้เกิดภาวะของความเค้นในผิวแต่เพียงอย่างเดียว ขอบนอกโดยรอบที่ฐานจะต้องมีอิสระต่อการเคลื่อนที่ไปยังทิศทางด้านนอก มากไปกว่านั้น แรงปฏิบัติของที่รองรับที่ฐานระนาบเมอริเดียนของโค้งระนาบตั้งฉาก คือ ฟิสิกส์คูลาร์ของน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำไม่ได้ การเคลื่อนที่ของขอบรอบที่ฐานของโดมทำให้เกิดความยากลำบากในทางปฏิบัติและเป็นการยากที่จะยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการหมุน เพื่อที่จะคงสภาพเส้นสัมผัสวงกลมที่เปลี่ยนรูปเส้นโค้งระนาบฉากเมื่อขอบนอกฐานหมุนเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของเปลือกบางภายใต้น้ำหนัก (ชลธิ, 2552)



รูปที่ 2.17 การเสียรูปเนื่องจากการดัดที่บริเวณฐานที่เพิ่มความแข็งแรงโดยรอบ (ชลธิ, 2552)

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้ว บริเวณวงแหวนโดยรอบฐานของเปลือกบางจะได้รับการเสริมความแข็งแรงโดยวงแหวนที่มีความแข็งแรง ซึ่งป้องกันการเคลื่อนที่สู่ทิศทางภายนอกและการหมุนของขอบโดยรอบที่ฐานทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงผลักและการดัดแนวฐานโดยรอบ โครงสร้างเปลือกบางซึ่งจะแบะออกและหมุนบริเวณฐานโดยรอบภายใต้น้ำหนักทำให้เกิดความเค้นผิวและเกิดการย่นหรือการเปลี่ยนแปลงผิวน้ำหนักที่หนักใด และเกิดความเค้นดัดบริเวณโดยรอบของขอบล่าง ความยุ่งยากเนื่องจากการดัดที่เกิดขึ้นบริเวณโดยรอบของโดมนั้น ไม่ได้ทะลุขึ้นไปด้านบนของเปลือกบาง แต่ถูกจำกัดอยู่ในแถบแคบๆ บริเวณใกล้เคียงกับขอบโดยรอบ การคลายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณขอบล่างของโดมได้รับโดยคุณสมบัติที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของโครงเปลือกบางซึ่งได้รับการหนุนโดยวงแหวนระนาบนอน

วงแหวนระนาบนอนมีความแข็งแรงต่อการดึงและการอัด ทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนตัวที่มากดังนั้นจึงเกิดปริมาณยื่นเข้าและยื่นออกมากของโค้งระนาบตั้งฉากกับพื้น และการตัดจำนวนที่น้อยจะสลายตัวไปเมื่อมีระยะห่างจากขอบโดมโดยรอบขึ้นไป การสลายตัวของความเค้นดัดคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ของคานต่อเนื่อง ซึ่งความเค้นดัดที่สลายตัวอย่างรวดเร็วจากช่วงคานที่รับน้ำหนักไปยังช่วงคานต่อเนื่องบนจุดรองรับ ในโครงเปลือกบางโค้งระนาบตั้งจะต่อเนื่องบนจุดรองรับของวงแหวนระนาบนอน และการดัดจะหายไปจากขอบโดยรอบของโดมพร้อมกับการโค้งที่เป็นคลื่นเหมือนคานต่อเนื่อง

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

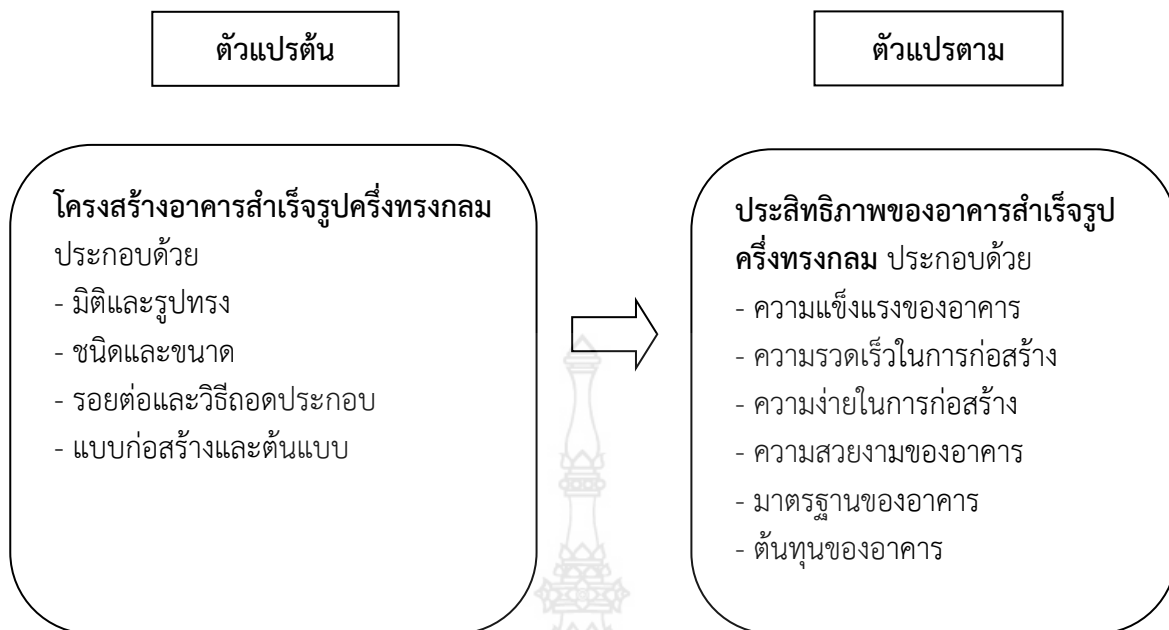
ปัญหาที่เกิดจากการดัดมีความรุนแรงกว่าเนื่องจากน้ำหนักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อโครงเปลือกบางที่ได้รับแสงแดดจัดจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดมจะเปลี่ยนรูปร่างโดยการเพิ่มรัศมีเท่าๆกัน ถ้าหากวงแหวนที่ฐานยึดแน่นป้องกันการเคลื่อนที่ของเปลือกโดมก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความโค้งทันทีและเกิดความเค้นสูง เหมือนกับที่เกิดขึ้นตามอธิบายไว้ข้างต้น 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

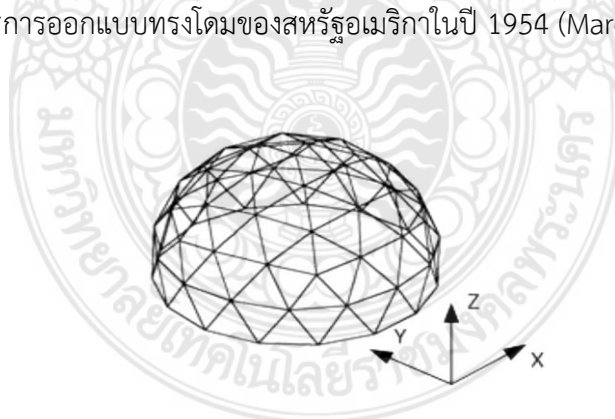


รูปที่ 2.18 กรอบแนวความคิดของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

2.35 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

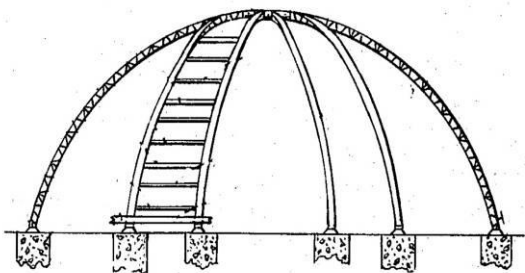
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย สามารถสรุปได้ ดังนี้

Buckminster Fuller (1926) สถาปนิกและวิศวกร ได้คิดค้น ออกแบบ จีโอดีสิกโดม (Geodesic Dome) ซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมและแปดเหลี่ยมนำมาใช้เพื่อแบ่งเป็นส่วนๆของท่อนที่มีความยาวเท่ากัน ได้รับสิทธิบัตรการออกแบบทรงโดมของสหรัฐอเมริกาในปี 1954 (Marek, 2009)

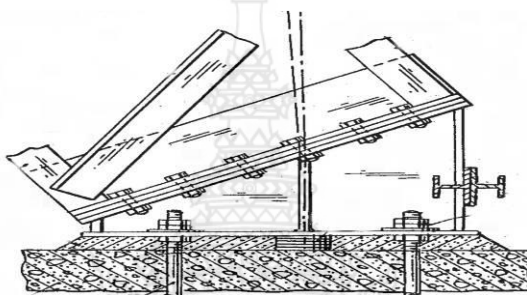


รูปที่ 2.19 โครงสร้างโดมของ Buckminster Fuller (Marek, 2009)

Albert A. Fink (1968) ได้ออกแบบโครงสร้างโดมซึ่งมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งประกอบด้วย เหล็กฉากที่นำมาต่อเข้ากันเป็นโครงโค้งประกบกันด้วยการเชื่อมและสลักเกลียว



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



รูปที่ 2.21 ลักษณะรอยต่อที่ฐานโครงสร้าง (Albert, 1968)

สุธี ปิยะพิพัฒน์ (2550) โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านฉุกเฉินช่วยชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว เพื่อการตอบสนองและบรรเทาความเดือดร้อนของผู้ประสบภัย ไม่ว่าจะเกิดในภูมิภาคใดก็ตาม โดยโครงการดังกล่าว เป็นการศึกษาออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารบ้านแถวชั้นเดียว จำนวน 4 หน่วย ที่สร้างด้วยขึ้นส่วนสำเร็จรูปในระบบก่อสร้างแบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปแบบถอดสำเร็จ (Knock Down System) โดยจัดทำแบบรูปและรายการตลอดจนขั้นตอนการติดตั้ง รวมทั้งกำหนดควบคุมราคาต่อห้อง และควบคุมระยะเวลาในการติดตั้ง ภายใต้การแนะนำของการเคหะแห่งชาติ (กคช.) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ จากผลการศึกษาได้แบบรูปและรายการ ตลอดจนรายละเอียดของขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปบ้านแถวชั้นเดียวสำหรับบ้านฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ ขนาด 4×16 ตารางเมตร โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และราคาก่อสร้างต่ำที่สามารถหาได้รวดเร็วในระยะเวลา 3 วัน โดยใช้แรงงานท้องถิ่น หรือแรงงานกึ่งทักษะ ปฏิบัติการติดตั้งตามแบบรูปรายละเอียด โครงสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปดังกล่าวใช้ระบบโครงสร้างแบบโครงสร้างข้อแข็ง (Frame Structure) ในระหว่างการเตรียมขึ้นส่วนสำหรับการติดตั้ง 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) ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ราคาต่อก่อสร้างที่ลดลง (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 ระบบโครงสร้างใช้จุดต่อยึดขึ้นส่วนด้วยสลักเกลียว (Bolt) จึงทำให้การถอดประกอบทำได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถนำไปยังสถานที่เกิดเหตุพิบัติภัยได้สะดวกและทันที่ ทั้งนี้ โดยการขนส่งสามารถทำได้โดยการใช้รถบรรทุกชนิด 6 ล้อขนาดบรรทุกน้ำหนัก 10 ตัน สามารถขนส่งขึ้นส่วนสำเร็จรูปได้จำนวน 2 หน่วยต่อ 1 เทียวการขนส่ง โดยรวมขึ้นส่วนทุกระบบแล้วหรือหากกรณีที่มีความจำเป็นต้องการขนส่งคราวละมากๆ สามารถทำได้โดยใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ (เทรลเลอร์) ซึ่งสามารถขนส่งได้จำนวน 4 หน่วยต่อ 1 เทียวการขนส่ง เมื่อทำการก่อสร้างแล้วสามารถที่จะมีอายุการใช้งาน ในสภาวะการใช้งานปกติ และมีการบำรุงรักษาสภาพของขึ้นส่วนเป็นอย่างดีได้ประมาณ 3-5 ครั้ง ซึ่งหากคิดต้นทุนค่าก่อสร้างต่อหน่วย ต่ออายุการใช้งานที่คุ้มทุนแล้ว จะมีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยที่ 30,573.41 บาทต่อหน่วยเท่านั้น

สนธพล กริชนวก์ (2554) อาคารพักอาศัยชั่วคราวเป็นอาคารสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นในระบบอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้วยวัตถุดิบที่ผลิตได้อย่างสำเร็จรูป มีมาตรฐานและ ปริมาณมาก รูปแบบของอาคารมีการพัฒนาตาม วัสดุสมัยใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไป จากผ้าสู่มั จากไม้สู่อเหล็ก จากเหล็กสู่วัสดุสังเคราะห์ โดยมีกระบวนการติดตั้งที่สะดวก รวดเร็ว สามารถขนส่งไปยังพื้นที่ต่างๆได้โดยสะดวกโดยเฉพาะเมื่อมีการผนวกแนวคิดของการออกแบบอาคารสำเร็จรูป เข้ากับทฤษฎีการออกแบบอาคาร ทำให้เกิดรูปแบบของอาคารที่มีประโยชน์ใช้สอยหลากหลายขึ้นในการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยแบบสำเร็จรูป ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงเทคนิคและรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ ทั้งในกระบวนการออกแบบ การผลิตขึ้นส่วนและการดำเนินการติดตั้งโดยเฉพาะรายละเอียดการติดตั้งที่จะมีผลต่อการเลือกวิธีการออกแบบ และผลิตขึ้นส่วนเป็นอย่างมาก เช่นอาคารตัวอย่างในงานวิจัยนี้ใช้ระบบการประสานพิกัดในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยเลือกใช้ระบบการติดตั้งแบบถอดประกอบ (Knock down) ในการติดตั้ง ทำให้จุดเชื่อมต่อ และลักษณะของรอยต่อของขึ้นส่วนเป็นสิ่งสำคัญมากต้องมีการคำนวณแบบรอยต่อในระดับมิลลิเมตร เพื่อให้การติดตั้งทำได้ง่าย และสามารถปรับปรุงเพิ่มเติมการใช้สอยได้อย่างหลากหลายภายใต้ระบบพิกัดมาตรฐานขนาด 0.60×0.60 เมตร ที่เป็นสัดส่วนร่วมจากเลขคู่ 0.20 เมตร กับเลขคี่ 0.30 เมตร จากการศึกษาข้อมูลที่สรุปได้ และการทดสอบในอาคารตัวอย่าง แสดงให้เห็นถึงแนวความคิดที่เป็นรูปธรรมในด้านเทคนิคการออกแบบอาคารพักอาศัยชั่วคราวที่มีรูปแบบเหมาะสมกับสภาวะของประเทศ ไทยและตอบสนองต่อการใช้สอยขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่ผู้ออกแบบทุกคนควรจะคำนึงถึงในการออกแบบอาคารพักอาศัยชั่วคราวให้เหมาะสมกับประเทศไทย

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” ในปีที่ 1 เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลองเพื่อพัฒนาโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1) เหล็กรูปพรรณ ขนาดและหน้าตัดต่างๆ เกรด SM 400 ตามมาตรฐาน มอก.1227 มีกำลังดึงครากระหว่าง 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 แบบไม่แตงผิว ชนิด ASTM A307 กำลังรับแรงดึง 4,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3) เครื่องเชื่อมไฟฟ้า หน้ากากกันแสง พร้อมลวดเชื่อมไฟฟ้า เกรด E60 กำลังรับแรงเหวี่ยง 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) เครื่องตัด 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 ส่วนไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 ประแจล็อก



รูปที่ 3.10 ประแจเลื่อน

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



รูปที่ 3.11 ตลับเมตร



รูปที่ 3.12 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์



รูปที่ 3.13 ไม้ฉาก



รูปที่ 3.14 ลูกตึง

9) ค้อน และสว่าน ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.15 ค้อน



รูปที่ 3.16 สว่าน

10) ชุดอุปกรณ์คอนกรีต เช่น เกียงฉาบ เกียงก่อ กระจับปุ่น 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

3.2 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป

ออกแบบลักษณะ รูปแบบ และพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม โดยคำนึงถึงรายละเอียดด้านต่างๆ ได้แก่

- 1) มิติ และลักษณะภายนอกอาคาร
- 2) ชั้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด
- 3) โครงสร้างอาคาร
- 4) รอยต่ออาคารแบบนี้อกดาวนั

3.3 การออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป

ออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป เพื่อให้การดำเนินการก่อสร้างเกิดความสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง
- 2) ขั้นตอนการรื้อถอน

3.4 การประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป

ประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยไม่รวมถึงค่าแรง ค่าภาษี ค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการตลาดเบื้องต้น

3.5 การขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

จากแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่ออกแบบ สามารถขึ้นรูปส่วนต่างๆ ประกอบด้วย

- 1) ขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างตามการออกแบบ
- 2) ขึ้นรูปรอยต่อตามการออกแบบ

3.6 การทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้าง และขึ้นรูปโครงสร้างแล้ว จึงนำโครงสร้างและรอยต่อของอาคารสำเร็จรูป มาทำการทดสอบตามพฤติกรรมต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่

- 1) ความต้านทานแรงอัดของโครงสร้าง
- 2) ความต้านทานแรงดัดของโครงสร้าง
- 3) รอยต่อของโครงสร้าง



รูปที่ 3.19 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของเหล็กgrupพรรณหน้าตัดวงกลม



รูปที่ 3.20 การวิบัติของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.21 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.22 การเชื่อมรอบเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมด้วยลวดเชื่อม



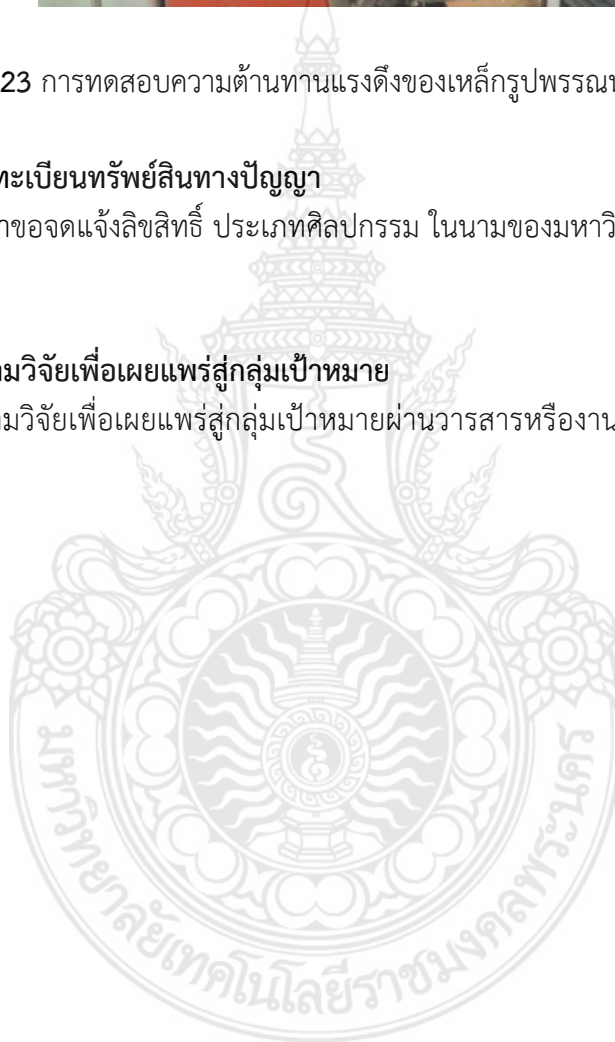
รูปที่ 3.23 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม

3.7 การยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

ร่างและยื่นคำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์ ประเภทศิลปกรรม ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.8 การเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย

เขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมายผ่านวารสารหรืองานประชุมวิชาการ ระดับชาติหรือนานาชาติ



บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

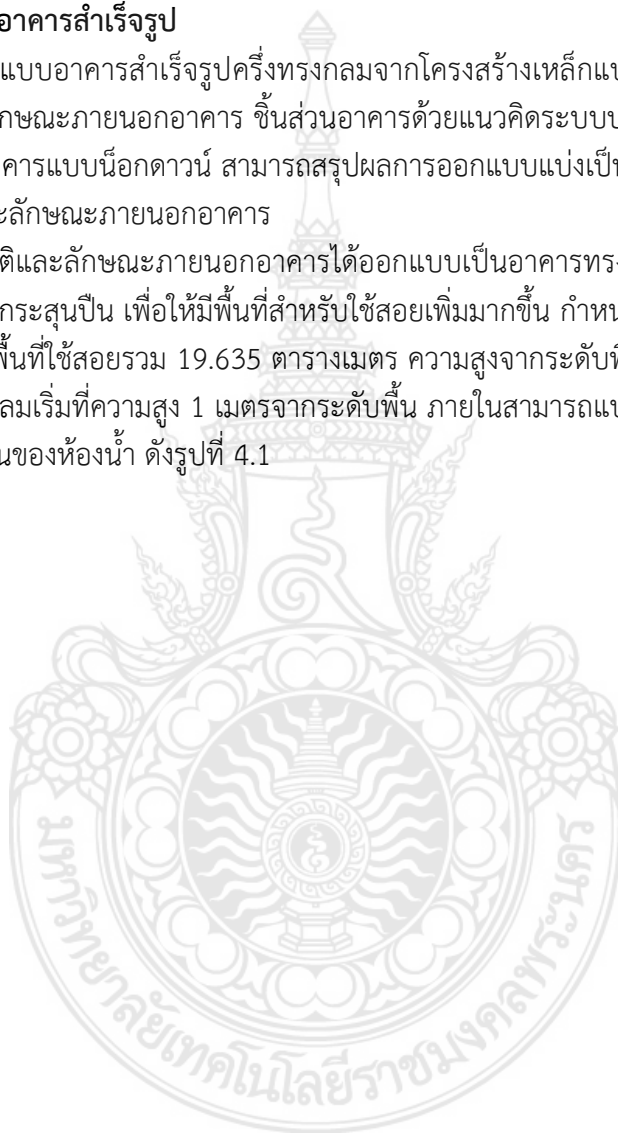
ผลการดำเนินงานวิจัยโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” ในปีที่ 1 ซึ่งเป็นการออกแบบและขึ้นรูปโครงสร้างอาคารนั้น สามารถสรุปเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ ดังนี้

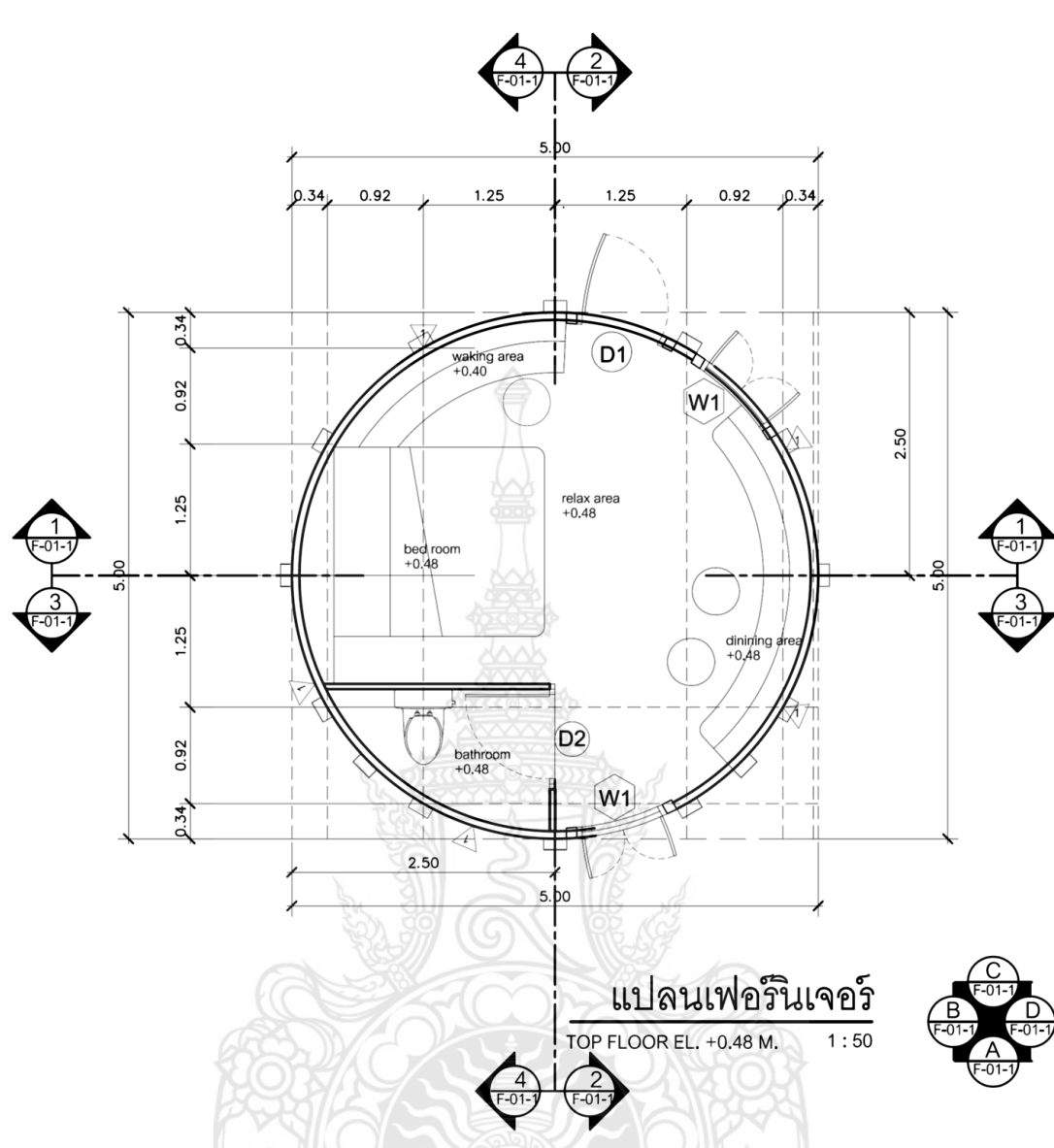
4.1 ผลการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

จากการออกแบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายในด้านต่างๆ ได้แก่ มิติและลักษณะภายนอกอาคาร ชั้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด โครงสร้างอาคาร และรอยต่ออาคารแบบนี้อกดาว์น 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 และ อัครวัชร, 2553) และวิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (วินิต, 2545) ดังนี้

1) กำหนดน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร ประกอบด้วย

1.1) น้ำหนักบรรทุกคงที่

- น้ำหนักวัสดุผนังหลังคา 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 ขึ้นรูปด้วยการตัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน 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

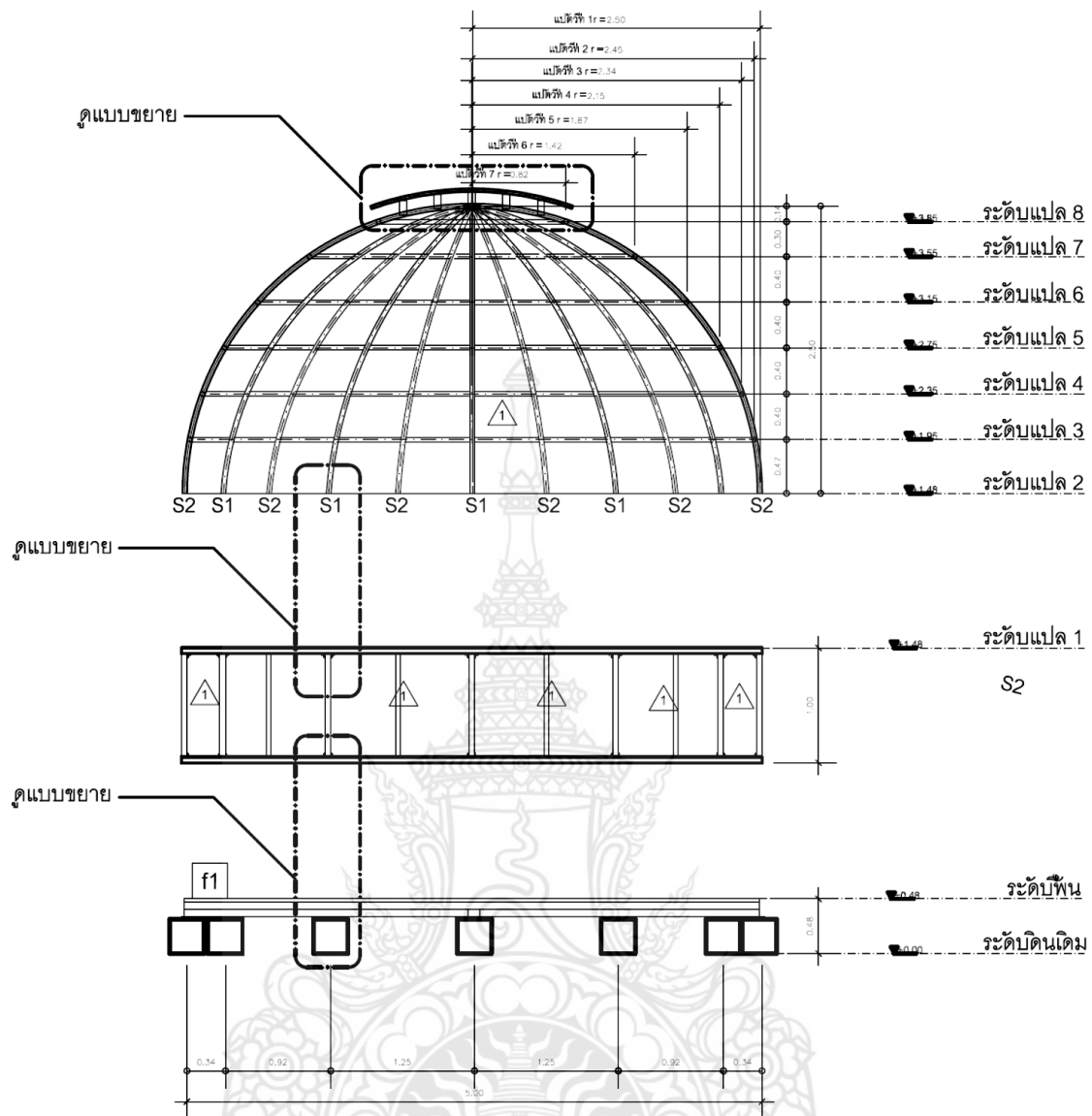
2) โครงสร้างหลังคา รวมทั้งสิ้น 1 ท่อน ดังรูปที่ 4.2

3) โครงสร้างพื้น รวมทั้งสิ้น 12 ท่อน ดังรูปที่ 4.3

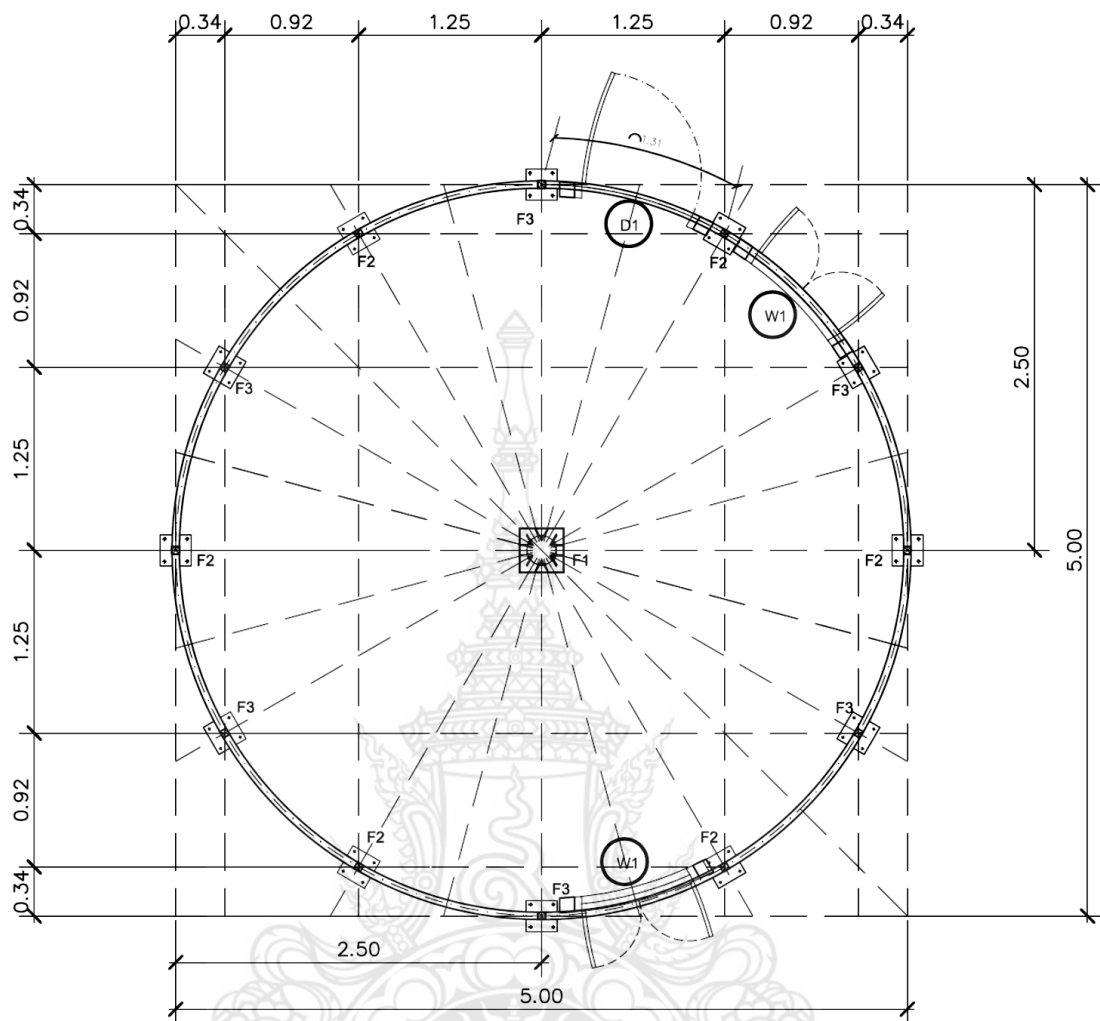
4) โครงสร้างฐานราก รวมทั้งสิ้น 13 ฐาน ดังรูปที่ 4.4

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

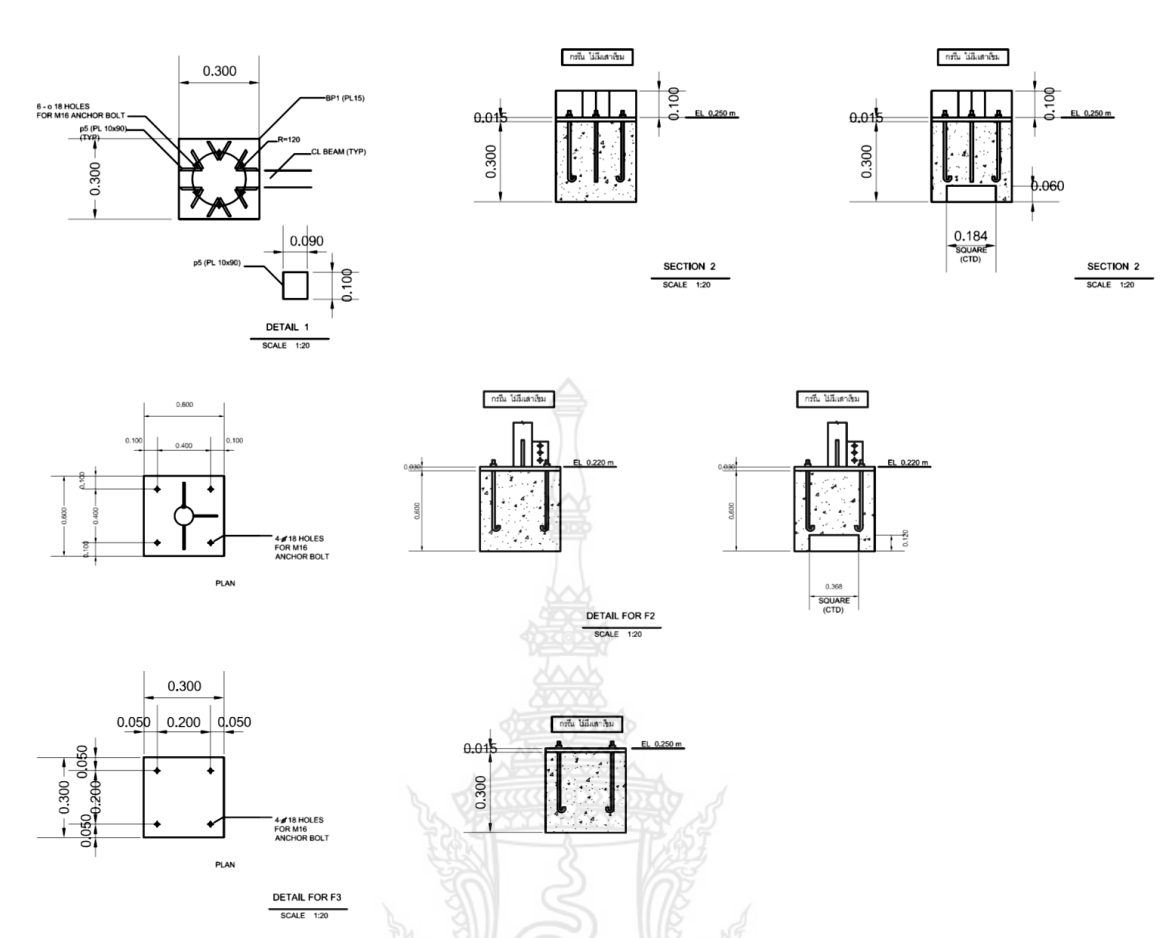




รูปที่ 4.2 แบบโครงสร้างผนังส่วนแนวตั้งและแนวนอนของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 4.3 แบบโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 4.4 แบบโครงสร้างฐานรากของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม

4.2 ผลการออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป

โครงสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม ถูกออกแบบให้ใช้จุดยึดต่อชิ้นส่วนด้วยสลักเกลียว ทำให้สามารถถอดประกอบและนำไปยังสถานที่ก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก และจัดวางชิ้นส่วนทุกระบบให้แบ่งแยกไปตามหมวดหมู่ที่ออกแบบอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งในขั้นต้นของการก่อสร้างหรือการประกอบชิ้นส่วนอาคารทรงครึ่งทรงกลม 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 สูงจากกันหลุม 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 ต้นต่อตารางเมตร) พร้อมทั้งวางแผ่นเหล็กและอุปกรณ์ยึดเพื่อรับโครงสร้างพื้นและผนัง
- 3) กิจกรรม C การติดตั้งโครงสร้างพื้นหรือตง จำนวน 12 ท่อน เพื่อเป็นโครงสร้างสำหรับรองรับแผ่นพื้นซีเมนต์ปอร์ต

4) กิจกรรม D การติดตั้งโครงสร้างผนัง จำนวน 6 ส่วน โดยใช้สลักเกลียวขันให้แน่นตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้

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

6) กิจกรรม F การอุดรอยต่อแผ่นพื้น โดยใช้ปูนสำหรับอุดรอยต่อระหว่างแผ่นซีเมนต์บอร์ดทุกแนวให้เรียบร้อย

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

8) กิจกรรม H การติดตั้งโครงสร้างประตูและหน้าต่าง โดยเริ่มจากการติดตั้งวงกบประตูและหน้าต่าง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

9) กิจกรรม I การติดตั้งแผ่นผนังหรือเปลือกอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

10) กิจกรรม J การอุดรอยต่อผนัง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

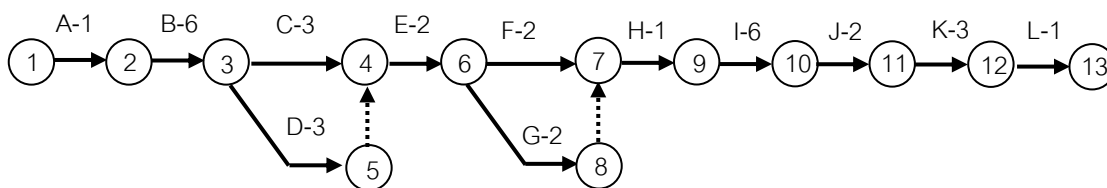
11) กิจกรรม K การตกแต่งอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

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 แผนการก่อสร้างอาคารทรงเครื่องทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method)

จากรูปที่ 4.5 แผนการก่อสร้างอาคารทรงเครื่องทรงกลมด้วยวิธี 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

ผลการประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงเครื่องทรงกลม โดยไม่รวมถึงค่าแรง ค่าภาษี ค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการตลาดเบื้องต้น สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม

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

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

4.4 ผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

1) ขึ้นรูปขึ้นส่วนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปตามที่ได้ออกแบบ โดยทำการตัดเย็นเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.5 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดโค้ง การตัดเหล็กด้วยเครื่องตัดเหล็ก และการตกแต่งหน้าตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ ดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.8



รูปที่ 4.6 การตัดโค้งของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมให้มีรัศมีต่างๆ 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 การติดตั้งโครงสร้างผนังแนวอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างผนังแนวอนส่วนบนสุดของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม



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 การขึ้นขณะเนาะโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน



รูปที่ 4.32 การวางแนวตั้งเพื่อให้โครงสร้างผนังมีความสมมาตร



รูปที่ 4.33 การเชื่อมโครงสร้างผนังชั่วคราวเพื่อให้โครงสร้างเข้ารูปอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.34 โครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างที่เชื่อมติดกันแล้ว

4) ประกอบโครงสร้างพื้นให้สอดคล้องกับโครงสร้างผนัง โดยการใช้เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 75 x 45 มิลลิเมตรหนา 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 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับค่าออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานได้ 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 และอัศววัชร, 2553; มนัส, 2539)

4.6 ผลการยื่นคำขอจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

ได้คำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์เรื่อง “แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก” ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล และ ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร เป็นผู้สร้างสรรค์

4.7 ผลการเขียนบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย

ได้ร่างบทความเรื่อง “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” สำหรับตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ หรือวารสาร ในระดับชาติ หรือนานาชาติ

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการดำเนินงานของโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” สามารถสรุปผลการดำเนินงาน แบ่งเป็นข้อๆ ตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

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

5.2 ได้องค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย โดยการใช้การแบ่งโครงสร้างของผนังออกเป็น 6 ส่วน ตามแนวตั้งเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้งคล้ายกับการปกเปลือกส้ม แต่ละส่วนมีลักษณะเหมือนกัน 5 ส่วน และลักษณะแตกต่างกัน 1 ส่วน (เป็นส่วนของประตู) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแบ่งส่วนที่มีความสะดวกในการขนส่ง และก่อสร้างได้รวดเร็ว

5.3 จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย เปรียบเทียบกับการออกแบบตามวิธี LRFD พบว่ามีค่าตัวคูณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76

5.4 ได้ต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย จำนวน 1 ต้นแบบ สำหรับใช้พัฒนาเปลือกอาคารในปีถัดไป

5.5 ได้คำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์เรื่อง “แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก” ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และร่างบทความเรื่อง “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายให้กับผู้สนใจ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนค่างานโครงสร้างผนัง พื้น และหลังคา ซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติเดช แก้วฉา, 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากใบยางพารา, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2553. คู่มือฝึกอบรมการปลูกจิตสำนึกเพื่อเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย.
- ชลธิ 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 เทพชาติศรี และอัศววัชร เล่นวารีย์, 2553. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธุดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุจน์จิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. Journal of Architectural/Planning Research and Studies Volume 4. 2006 Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.
- ธวัช จิรายุส, 2535. การจับยึดพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของไม้ยูคาลิปตัส. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 7 เดือน ม.ค.-เม.ย.2535. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. หน้า 85.
- ธวัช จิรายุส, 2551. ปัญหาวัตถุพิษในอุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบ. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ธวัช รอบรู้, 2547, การศึกษาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบ, เทคโนโลยีศิลปอุตสาหกรรม (ก่อสร้างและงานไม้) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551. โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบอาคารพักอาศัย 5 ชั้น ในระบบประสานพิกัดและขึ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อรองรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม. รายงานฉบับสมบูรณ์. บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด.
- ปิยะวดี บัวจงกล, วัลยุท เพื่องวิวัฒน์, วีรญา ธรรมจันทร์, บวรวิษณุ แพงวงศ์, และพิทักษ์ หางาม, 2552. แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้, งานอุตสาหกรรมแผ่นไม้ประกอบ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนากการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ประสาน ศรีศุภชัยยา, 2539. สภาพปัจจุบันและความคาดหวังเกี่ยวกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวและถาวรของผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศ์วิทย์ ลิมป์พิศุทธิ์, 2547, การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบยักษ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ภาวดี เมธะคานนท์, 2548. สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดผลิตจากกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

- มามี โดบารมีกุล, 2541. การศึกษากระบวนการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนัส อนุศิริ, 2539. การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2546. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยและเศษไม้สัก, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2547ก. เมื่อสารพัดเศษวัสดุเหลือทิ้งกลายเป็น (เสมือน). กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, นวัตกรรม ปีที่ 5 ฉบับ 17 มีนาคม 2547.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย และคณะ, 2547ข. ผลกระทบของไม้วัตถุดิบต่อการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้ยูคาลิปตัสความลาดชัน, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- วิสูตร จิระดำเกิง, 2551. การประมาณราคาก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2546. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สุธี ปิยะพิพัฒน์, 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉินชั่วคราวกรณีเกิดภัยพิบัติ. รายงานฉบับสมบูรณ์, คณะครุศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สุธี ปิยะพิพัฒน์, ศุภสิทธิ์ พงศ์ศิระสถิตย์ และสมศักดิ์ คำปลิว. 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉิน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. 5 (10): 63-74.
- สนธพล กริชนวรักษ์, 2554. เทคนิคการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราวระบบก่อสร้างเร็วด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณสำเร็จรูป. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2520. การก่อสร้างอาคารระบบอุตสาหกรรม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- 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, 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.
- 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.
- 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.

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





ภาคผนวก

ก ร่างคำขอจดแจ้งลิขสิทธิ์

ข แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก

ค ร่างบทความสำหรับเผยแพร่



คำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์

ประเภทงานอันมีลิขสิทธิ์

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> วรรณกรรม | <input type="checkbox"/> ดนตรีกรรม |
| <input type="checkbox"/> นาฏกรรม | <input type="checkbox"/> ภาพยนตร์ |
| <input checked="" type="checkbox"/> ศิลปกรรม | <input type="checkbox"/> งานแพร่เสียงแพร่ภาพ |
| <input type="checkbox"/> โสตทัศนวัสดุ | <input type="checkbox"/> งานอื่นใดในแผนกวรรณคดี |
| <input type="checkbox"/> สิ่งบันทึกเสียง | <input type="checkbox"/> แผนกวิทยาศาสตร์หรือแผนกศิลปะ |

สำหรับเจ้าหน้าที่

เลขคำขอ ลข.

รับวันที่

ทะเบียนข้อมูลเลขที่

เอกสารแนบ

- สำเนาคำขอ ลข.01
- หนังสือรับรองความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์
- ผลงานหรือภาพถ่าย
- สำเนาบัตรประจำตัวหรือหนังสือรับรองนิติบุคคล
- หนังสือมอบอำนาจ (ถ้ามี)
- เอกสารอื่น ๆ (ถ้ามี)

<p>1. ชื่อเจ้าของลิขสิทธิ์</p> <p>ชื่อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร</p> <p>สัญชาติ ไทย</p> <p>เลขประจำตัวประชาชน/นิติบุคคล <input type="text" value="0"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="2"/></p>	<p>2. ชื่อตัวแทน</p> <p>ชื่อ</p> <p>สัญชาติ</p> <p>เลขประจำตัวประชาชน/นิติบุคคล <input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/><input type="text" value=""/></p>
<p>ที่อยู่</p> <p>เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล</p> <p>เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร</p> <p>รหัสไปรษณีย์ 10300</p>	<p>ที่อยู่</p> <p>รหัสไปรษณีย์</p>
<p>โทรศัพท์ 0-2549-3417 โทรสาร 0-2549-3412</p>	<p>โทรศัพท์ โทรสาร</p>
<p>3. สถานที่ติดต่อในประเทศไทย เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300</p>	
<p>4. ชื่อผู้สร้างสรรค์ หรือนามแฝง</p> <p>ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วิจารณ์กุล</p> <p>สัญชาติ ไทย</p> <p>เลขประจำตัวประชาชน/นิติบุคคล <input type="text" value="3"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="9"/></p>	<p>5. ชื่อผู้สร้างสรรค์ร่วม หรือนามแฝง</p> <p>ชื่อ ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร</p> <p>สัญชาติ ไทย</p> <p>เลขประจำตัวประชาชน/นิติบุคคล <input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="1"/></p>
<p>ที่อยู่</p> <p>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร</p> <p>เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ</p> <p>รหัสไปรษณีย์ 12110</p>	<p>ที่อยู่</p> <p>หน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี</p> <p>แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล</p> <p>39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี</p> <p>รหัสไปรษณีย์ 12110</p>
<p>โทรศัพท์ 0- โทรสาร 0-2282-9009</p>	<p>โทรศัพท์ 08-1199-4705 โทรสาร 0-2549-4033</p>
<p>วัน เดือน ปี ที่จดทะเบียนนิติบุคคล</p>	<p>วัน เดือน ปี ที่จดทะเบียนนิติบุคคล 19 พฤษภาคม พ.ศ.2528</p>
<p>วัน เดือน ปี ที่ผู้สร้างสรรค์ตาย (เฉพาะบุคคลธรรมดา)</p>	<p>วัน เดือน ปี ที่ผู้สร้างสรรค์ตาย (เฉพาะบุคคลธรรมดา)</p>

6. ชื่อผลงาน (โปรดสะกดชื่อผลงานที่ถูกต้อง) แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจาก โครงสร้างเหล็ก

7. ประเภทของงาน

7. ประเภทของงาน

วรรณกรรม

ลักษณะงาน

- หนังสือ จุลสาร สิ่งเขียน
 สิ่งพิมพ์ ปาฐกถา เทศนา
 คำปราศรัย สุนทรพจน์
 โปรแกรมคอมพิวเตอร์
 งานนิพนธ์อื่น ๆ (ระบุ).....

นาฏกรรม

ลักษณะงาน

- ท่ารำ
 ท่าเต้น
 การแสดงใบ้
 การทำท่าหรือการแสดง
ที่ประกอบขึ้นเป็นเรื่องราว

ศิลปกรรม

ลักษณะงาน

- จิตรกรรม (เช่น ภาพวาด)
 ประติมากรรม (เช่น รูปปั้น/แกะสลัก)
 ภาพพิมพ์ (เช่น ภาพปกหนังสือ)
 สถาปัตยกรรม (เช่น งานออกแบบ
อาคาร/สิ่งปลูกสร้าง)
 ภาพถ่าย
 ภาพประกอบ แผนที่ฯ
 ศิลปประยุกต์ (งานที่นำไปใช้ประโยชน์
อย่างอื่น)

สิ่งบันทึกเสียง

โสตทัศนวัสดุ

ภาพยนตร์

ดนตรีกรรม

งานแพร่เสียงแพร่ภาพ

งานอื่นใดอันเป็นงานในแผนกวรรณคดี

ลักษณะงาน

- ทำนอง โน้ตเพลง
 ทำนองและคำร้อง แผนภูมิเพลง
 คำร้องที่แต่งเพื่อประกอบทำนอง

ลักษณะงาน

- งานแพร่เสียง
 งานแพร่ภาพ
 งานแพร่เสียงและภาพ

แผนกวิทยาศาสตร์หรือแผนกศิลปะ

ลักษณะงาน

- ลายลัก ลายปัก
 อื่น ๆ (ระบุ).....

ผลงานที่ยื่นประกอบคำขอ แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจาก โครงสร้างเหล็ก จำนวน 1 ชุด

8. ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

เป็นผู้สร้างสรรค์เอง

เป็นผู้ว่าจ้าง

เป็นผู้รับจ้าง ซึ่งสัญญาจ้าง

ทำของกำหนดให้ผู้รับจ้าง

เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

เป็นนายจ้างซึ่งมีหนังสือ

ตกลงกับลูกจ้างว่า ให้

นายจ้างเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

เป็นกระทรวง ทบวง กรม

หรือหน่วยงานของรัฐหรือของ

ท้องถิ่นที่มีลิขสิทธิ์โดยการจ้างหรือ

ตามคำสั่งหรือการควบคุมของตน

เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์

รับโอนทั้งหมดในงานสร้างสรรค์

รับโอนลิขสิทธิ์บางส่วน

○ สิทธิในการทำซ้ำ

○ สิทธิในการดัดแปลง

○ อื่น ๆ (ระบุ).....

เป็นผู้ดัดแปลงโดยได้รับอนุญาต

จากเจ้าของลิขสิทธิ์

โดย ○ การแปล

○ อื่น ๆ (ระบุ).....

เป็นผู้รวบรวมโดย

นำเอาผลงานอันมีลิขสิทธิ์ มารวบรวมหรือประกอบเข้ากัน

โดยได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ในรูป ○ พจนานุกรมฯ สารานุกรม

○ เว็บเพจ

○ อื่น ๆ (ระบุ).....

เป็นผู้นำเอาข้อมูลหรือสิ่งอื่นใดมารวบรวมหรือประกอบเข้ากัน

ในรูป ○ ฐานข้อมูล

○ อื่น ๆ (ระบุ).....

9. ลักษณะการสร้างสรรค์

- สร้างสรรค์ขึ้นเองทั้งหมด สร้างสรรค์บางส่วน (ระบุ)
- อื่น ๆ (ระบุ)

10. สถานที่สร้างสรรค์ สร้างสรรค์ในประเทศ (ระบุ) ประเทศไทย

11. ปีที่สร้างสรรค์ (ระบุ) พ.ศ. 2559

12. การโฆษณางาน (การนำสำนักงานออกจำหน่ายโดยความยินยอมของผู้สร้างสรรค์ โดยสำเนาจำนวนมากพอสมควร)

- ยังไม่ได้โฆษณา
- ได้โฆษณาแล้วโดยโฆษณาครั้งแรกเมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.
ณ ประเทศ

13. การแจ้ง/จดทะเบียนลิขสิทธิ์ในต่างประเทศ

- ไม่เคยแจ้งหรือจดทะเบียน แจ้งหรือจดทะเบียนไว้แล้วที่ประเทศ (ระบุ)

14. การอนุญาตให้ใช้ลิขสิทธิ์/โอนลิขสิทธิ์

- ไม่เคยอนุญาตให้ใช้ลิขสิทธิ์ / โอนลิขสิทธิ์
- อนุญาตให้ใช้ลิขสิทธิ์ / โอนลิขสิทธิ์ให้แก่ เมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.
- อนุญาต/โอนลิขสิทธิ์ (แบบสำเนาสัญญาหรือนิติกรรม)
- สิทธิทั้งหมด สิทธิบางส่วน (ระบุ)
- อนุญาต/โอนลิขสิทธิ์ (แบบสำเนาสัญญาหรือนิติกรรม)
- ตลอดอายุลิขสิทธิ์ มีกำหนดเวลา (ระบุ).....ปี

15. การเผยแพร่ข้อมูลลิขสิทธิ์

- ข้าพเจ้าอนุญาตให้คนอื่นตรวจสอบเอกสารในแฟ้มคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์และผลงานของข้าพเจ้าได้
- ข้าพเจ้าไม่อนุญาตให้บุคคลใดตรวจสอบเอกสารในแฟ้มคำขอฯ และผลงานของข้าพเจ้า
- อื่น ๆ (โปรดระบุ)

ทั้งนี้ ข้าพเจ้ารับทราบว่า กรมฯ ให้บริการตรวจค้นข้อมูลลิขสิทธิ์แก่ประชาชนทั่วไปทางคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต ข้าพเจ้ายินดีเผยแพร่ข้อมูลตามที่ปรากฏในแบบ ลข.01

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความข้างต้นเป็นความจริงทุกประการและหลักฐานที่ส่งประกอบคำขอเป็นหลักฐานที่ถูกต้อง หากปรากฏภายหลังว่าข้าพเจ้าไม่ได้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์หรือตัวแทนรับมอบอำนาจจากบุคคลดังกล่าว และก่อให้เกิดความเสียหายแก่บุคคลหนึ่งบุคคลใด หรือกรมทรัพย์สินทางปัญญา ข้าพเจ้าขอเป็นผู้รับผิดชอบในความเสียหายที่เกิดขึ้นทุกประการ

ลงชื่อ.....เจ้าของลิขสิทธิ์ / ตัวแทน

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

...../...../.....

หมายเหตุ ในกรณีที่แบบ ลข.01 มีเนื้อที่ไม่พอ และต้องการระบุรายละเอียดเพิ่ม ให้ใช้ใบต่อท้าย ลข.01

โดยระบุหมายเลขกำกับข้อ และหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

การดำเนินการตามคำขอนี้ ไม่ต้องเสียค่าธรรมเนียมใด ๆ ทั้งสิ้น

หนังสือรับรองความเป็นเจ้าของงานลิขสิทธิ์

โดยหนังสือฉบับนี้ นาย/นาง/นางสาว/บริษัท/ห้างหุ้นส่วน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.....
ตั้งอยู่เลขที่เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย
ทะเบียนนิติบุคคลเลขที่ (ถ้ามี) 0 9940 00151 94 2 ขอรับรองว่าเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ในงานอันมี
ลิขสิทธิ์ประเภท ศิลปกรรม ชื่อผลงาน แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก.....
ที่ยื่นคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา เมื่อวันที่ แต่เพียงผู้เดียว

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ หากปรากฏภายหลังว่าข้าพเจ้าไม่ได้เป็นเจ้าของ
ลิขสิทธิ์และก่อให้เกิดความเสียหายแก่บุคคลหนึ่งบุคคลใดหรือกรมทรัพย์สินทางปัญญา ข้าพเจ้าขอเป็นผู้รับผิดชอบในความ
เสียหายที่เกิดขึ้นทุกประการ

ลงชื่อเจ้าของลิขสิทธิ์

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

ตำแหน่ง (ถ้ามี)อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ประทับตรา (ถ้ามี)

วันที่ เดือน พ.ศ.

แบบแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างสรรค์ผลงานโดยย่อ

แบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก เป็นแบบอาคารที่มีลักษณะเป็นรูปทรงคล้ายหัวกระสุน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร ความสูง 3.5 เมตร พื้นที่ใช้สอย 19.635 ตารางเมตร โครงสร้างหลักผลิตจากท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 60.5 มิลลิเมตร ความหนา 3.2 มิลลิเมตร ขึ้นรูปด้วยการตัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน แบ่งเป็น โครงสร้างออกเป็น 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) โดยโครงสร้างของผนังแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ตามแนวตั้งเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้งคล้ายกับการปอกเปลือกส้ม แต่ละส่วนมีลักษณะเหมือนกัน 5 ส่วน และลักษณะแตกต่างกัน 1 ส่วน (เป็นส่วนของประตู) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแบ่งส่วนที่มีความสะดวกในการขนส่งและก่อสร้างได้รวดเร็ว จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย เปรียบเทียบกับการออกแบบตามวิธี LRFD พบว่า มีค่าตัวคูณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76



ลงชื่อ.....เจ้าของลิขสิทธิ์ / ตัวแทน

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

...../...../.....

โครงการบ้านทรงโดมสำเร็จรูปกรณีเกิดภัยพิบัติ
PREFABRICA DOME HOUSE IN CASE OF DISASTER



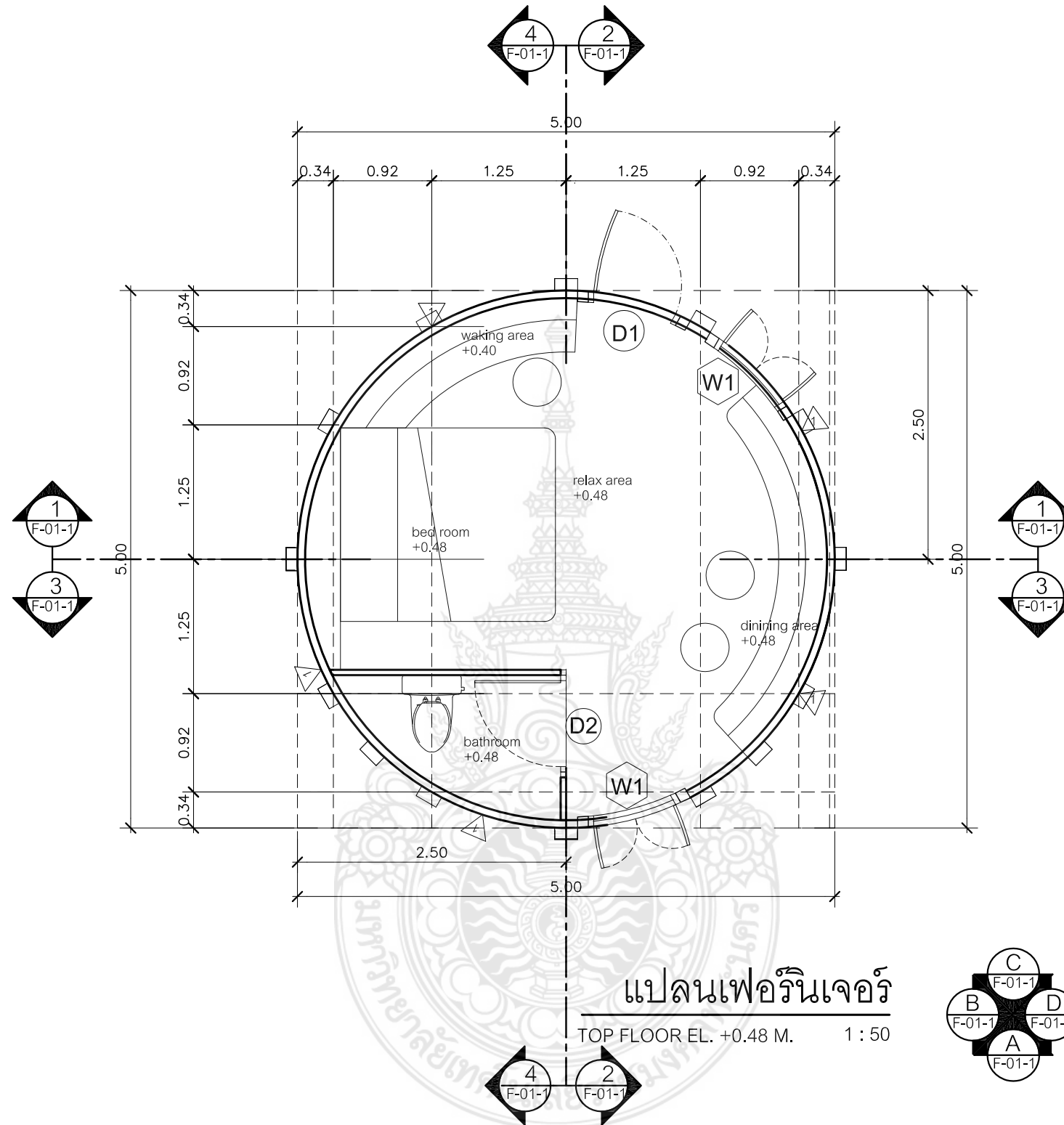
CONTENT

CODE	DESCRIPTION
ID-01	สารบัญแบบ
ID.ES.-01	รายการประกอบแบบการก่อสร้าง
ID.ES.-02	แปลนเครื่องเรือน , แปลนพื้น
ID.ES.-03	แปลนไฟ , แปลนคาน
ID.ES.-04	แปลนหลังคา
ID.ES.-05	รูปตัดอาคารและรูปด้านภายใน A
ID.ES.-06	รูปตัดอาคารและรูปด้านภายใน B
ID.ES.-07	รูปตัดอาคารและรูปด้านภายใน C
ID.ES.-08	รูปตัดอาคารและรูปด้านภายใน D
ID.ES.-09	ELEVATION I
ID.ES.-10	ELEVATION J
ID.ES.-11	ELEVATION S
ID.ES.-12	ELEVATION T
ID.ES.-13	แบบขยายเฟอร์นิเจอร์
ID.ES.-14	DETAIL.1
ID.DE.-01	DETAIL.2
ID.DE.-02	DETAIL.3
ID.DE.-03	
ID.DE.-04	

PROJECT	ARCHITECTS :	INTERIOR DESIGNERS:	STRUCTURAL ENGINEERS:	MACHANICAL ENGINEERS:
บ้านสำเร็จรูปถอดประกอบง่าย จากไม้ยางพารา				
OWNER :			ELECTRICAL ENGINEERS:	SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:	DRAWING TITLE:
	SCALE :
	1 : 50





รายการวัสดุ	
f1	พื้นวูวบอร์ด หน้า 20 มิลลิเมตร
△1	ผนังแผ่นไม้ ตีทับแนว ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร

PROJECT
 แนวคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
 กรณเกิดภยพบต
 OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

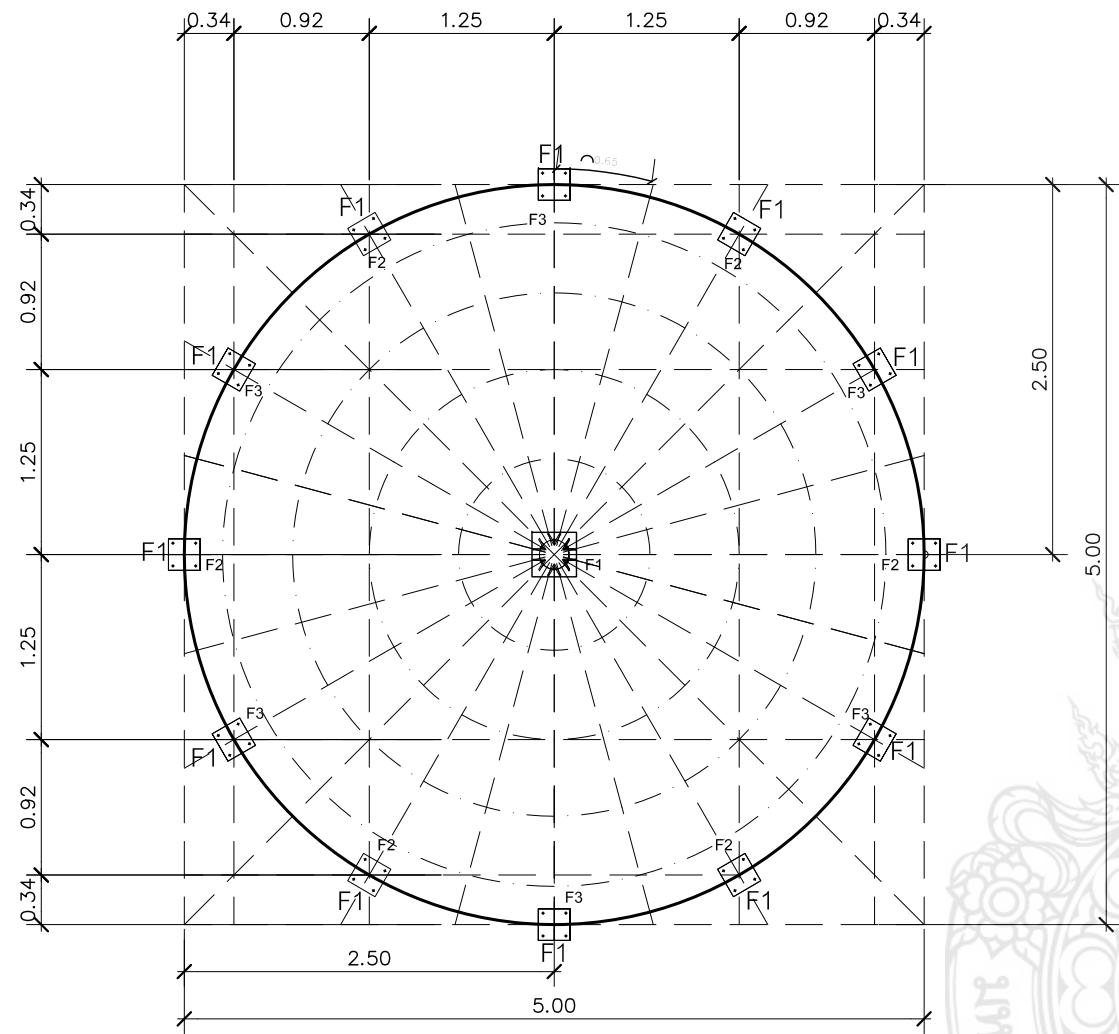
SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

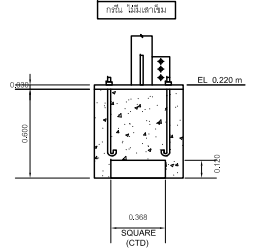
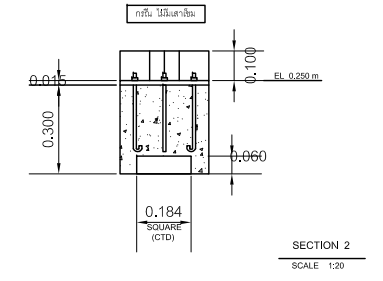
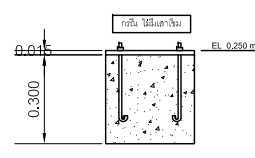
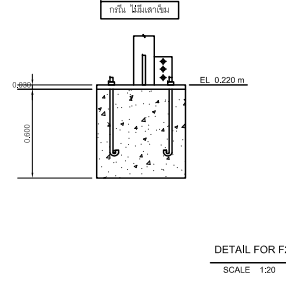
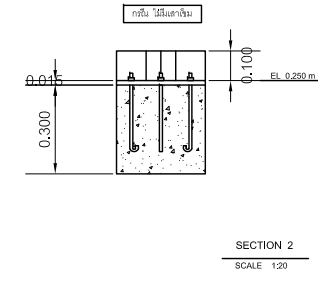
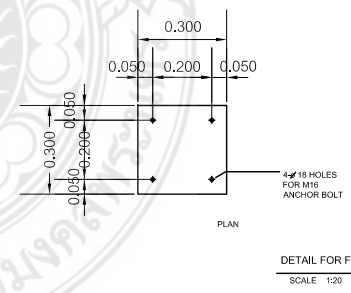
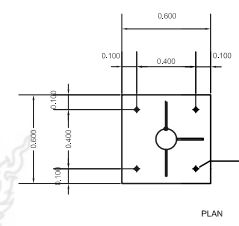
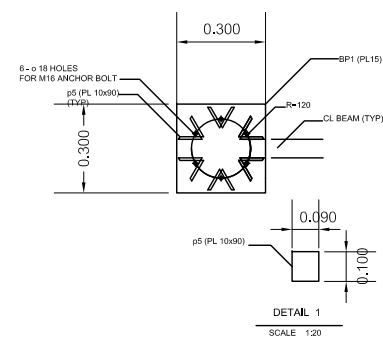
 SCALE :
 1 : 50

DRAWING TITLE:





FOUNDATION BASE PLAN
1 : 50



PROJECT
แนวคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
กรณีเกิดภัยพิบัติ
OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

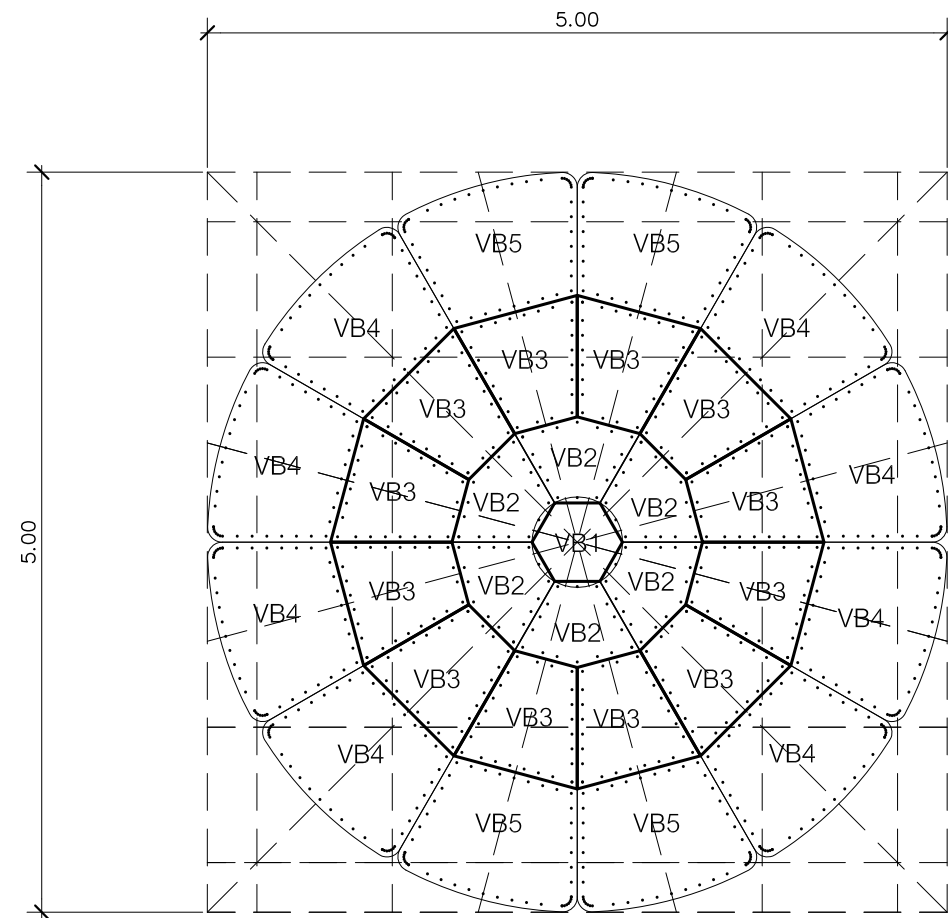
ELECTRICAL ENGINEERS:

SANTINARY ENGINEERS:

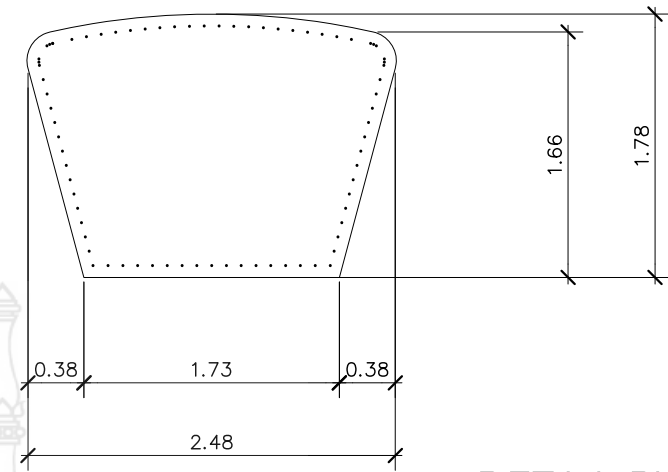
DRAWING TITLE:

DRAWING TITLE:
SCALE :
1 : 50

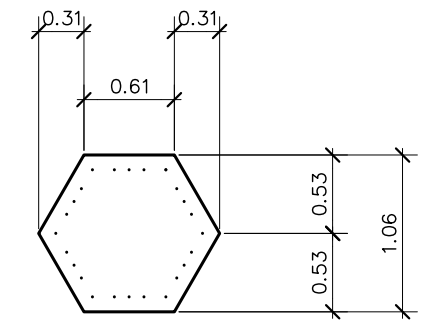




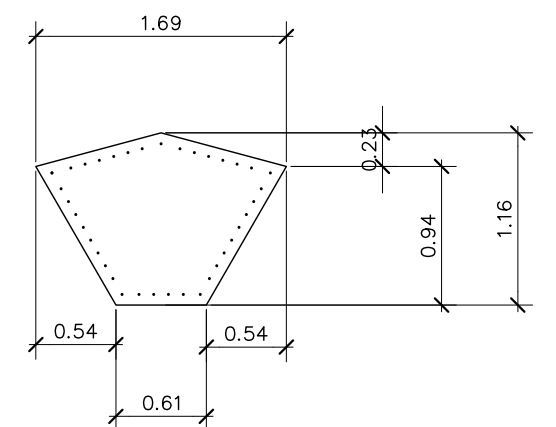
20 mm. VIVA BOARD PLAN +0.40
1 : 100



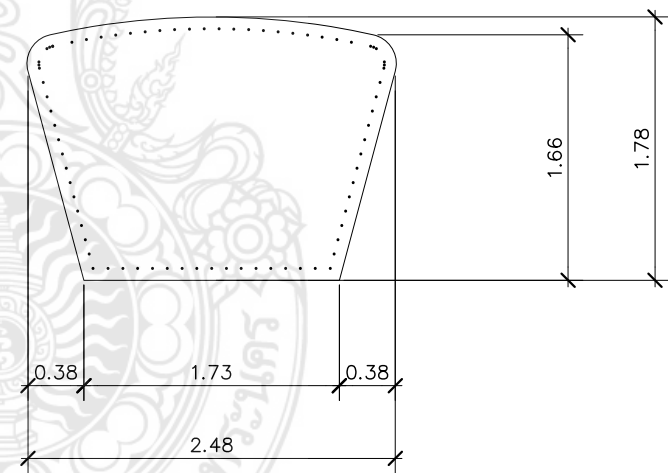
DETAIL BV5
1 : 10



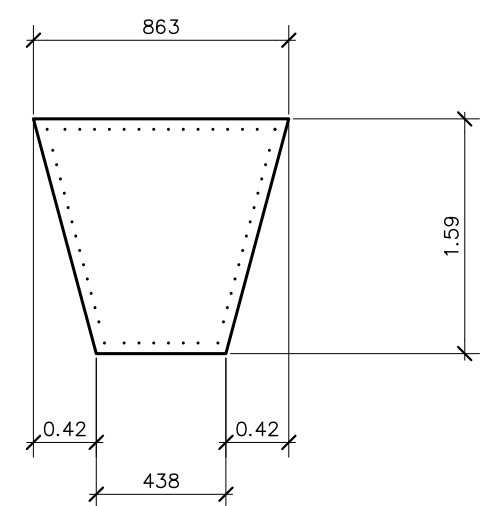
DETAIL BV1
1 : 10



DETAIL BV2
1 : 10



DETAIL BV4
1 : 10



DETAIL BV3
1 : 10

PROJECT
แนวคิตำบลทรงโดยตัวเรีจรูป
กรณเกิดกยพบต
OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

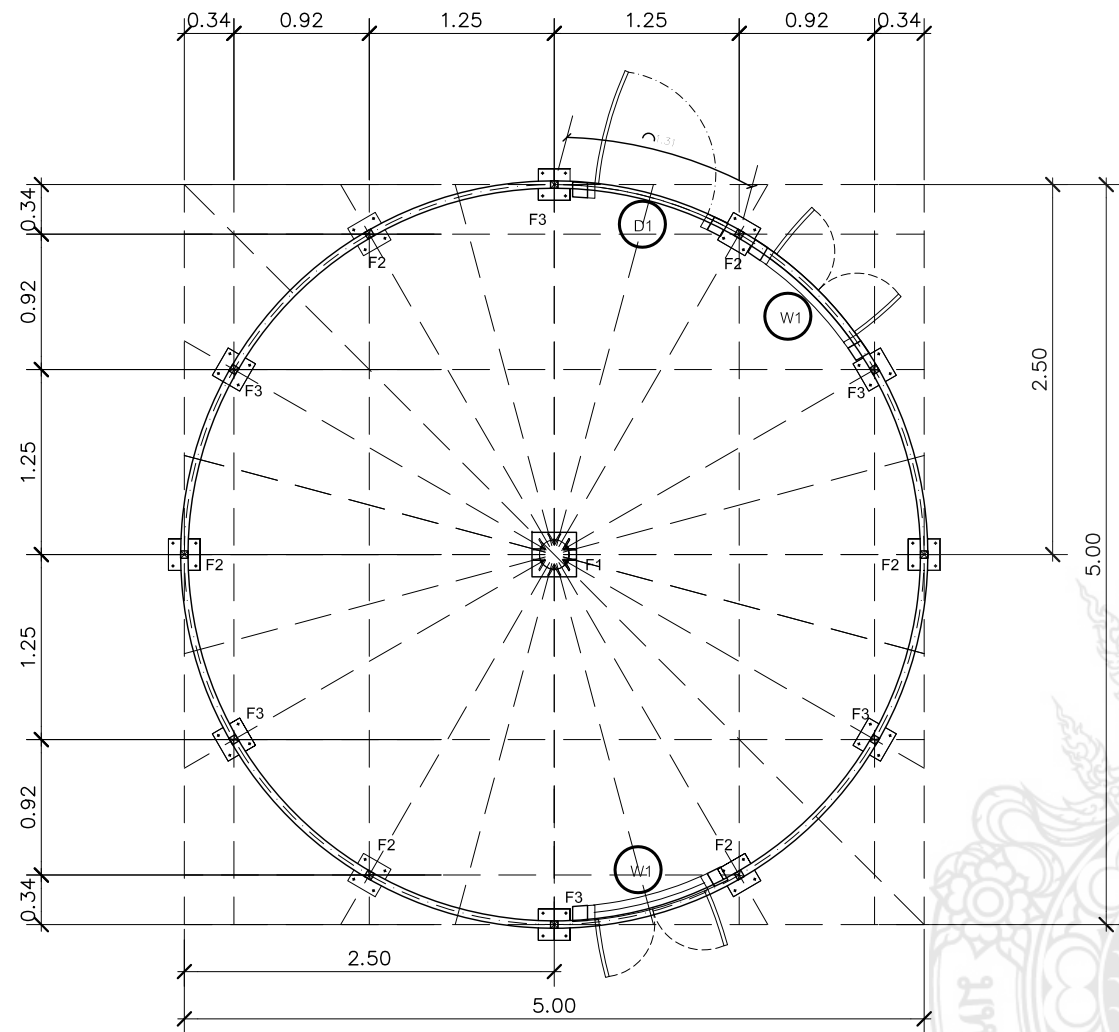
SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

DRAWING TITLE:

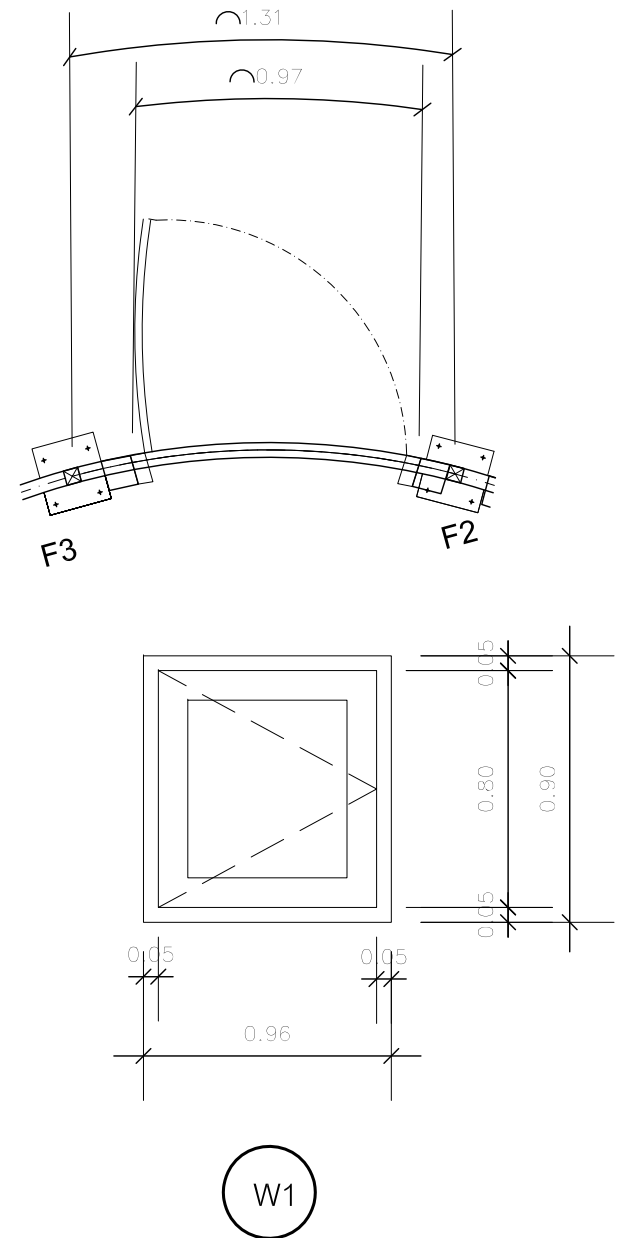
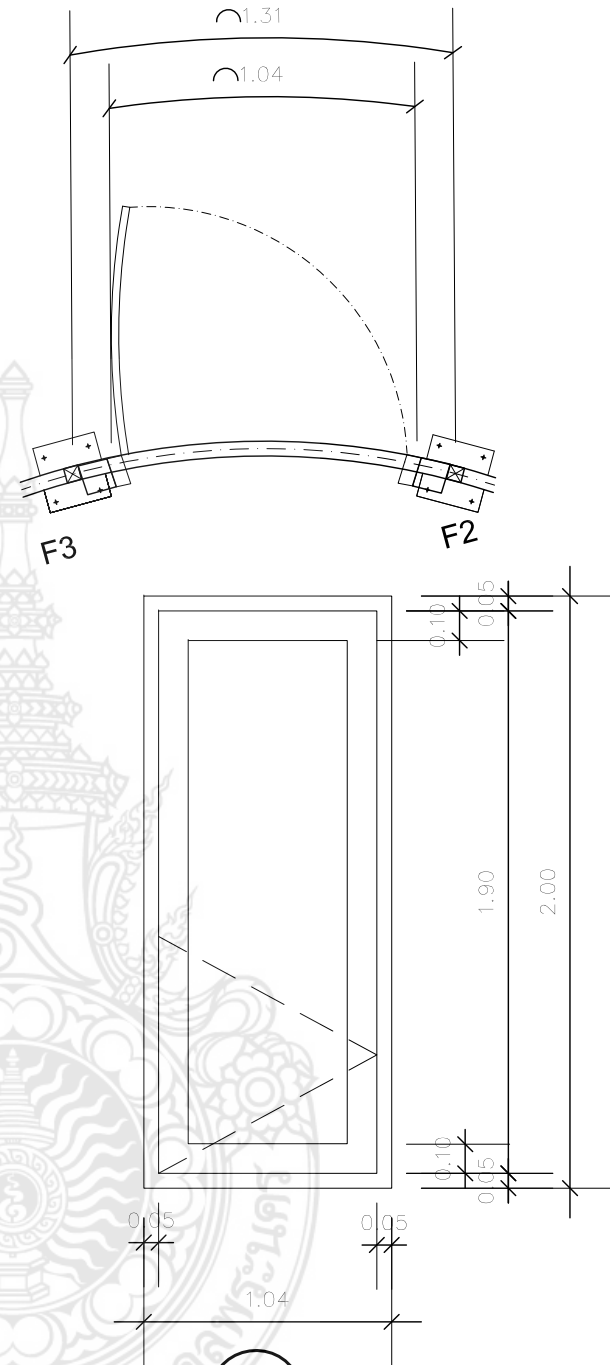
SCALE :
1 : 50





FOUNDATION BASE PLAN

1 : 50



PROJECT
 แนวคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
 กรณเกิดภยพบต
 OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

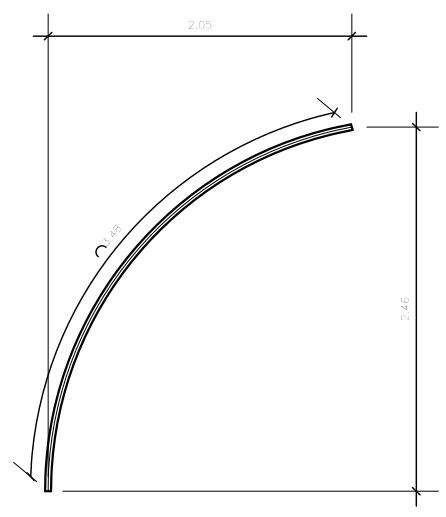
SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

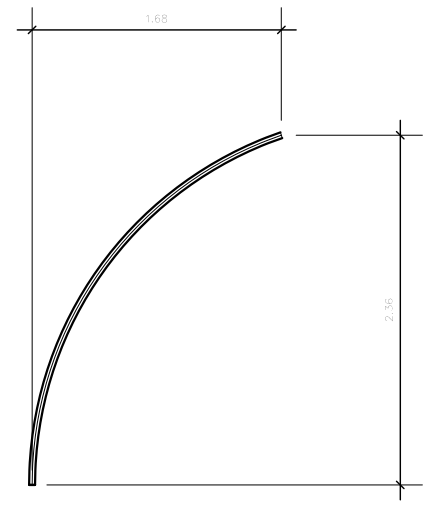
DRAWING TITLE:

SCALE :
 1 : 50

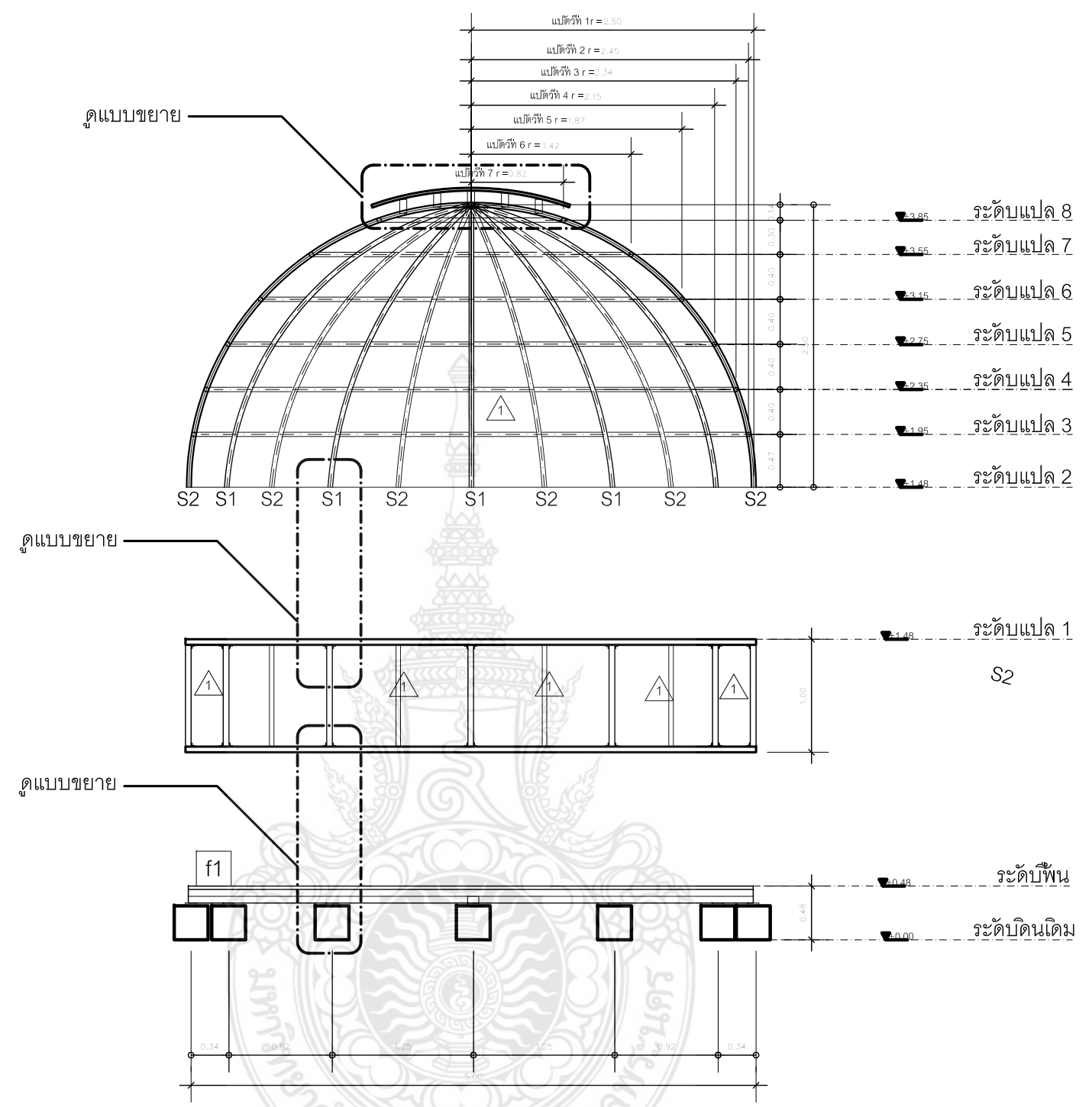




DETAIL S1
SCALE 1:100



DETAIL S2
SCALE 1:100



รายการวัสดุ	
f1	พื้นวูวบอร์ด หน้า 20 มิลลิเมตร
△	ผนังแผ่นไม้ ตีทับแนว ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร

PROJECT
แนวคิบบานทรงโดยตู้เร่รูป
กรณีเกิดภัยพิบัติ
OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

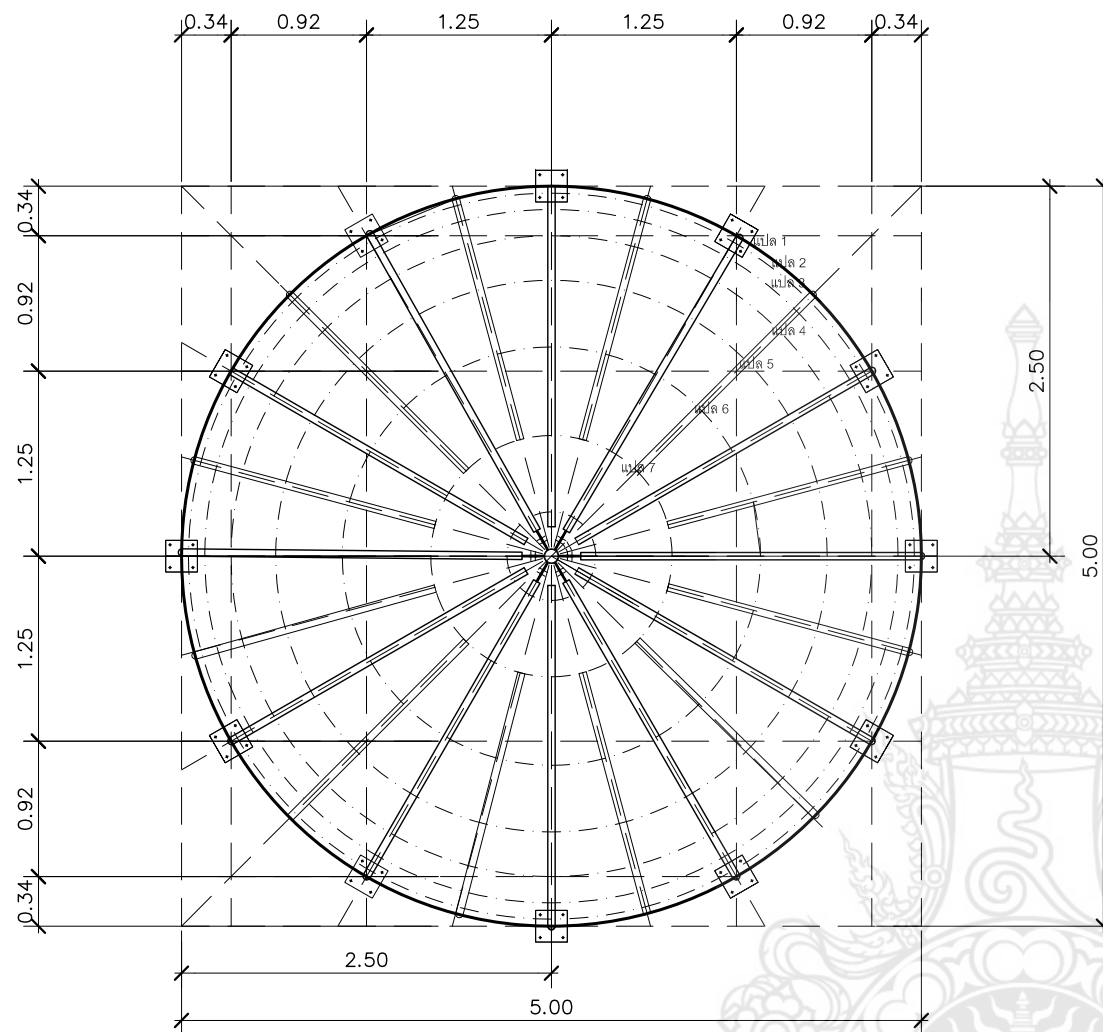
ELECTRICAL ENGINEERS:

SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

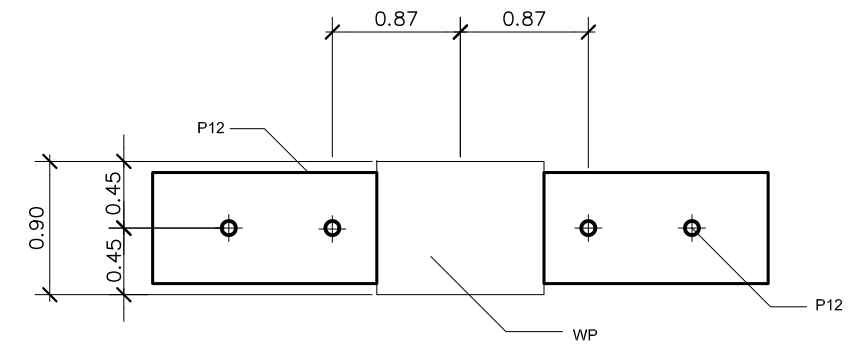
DRAWING TITLE:

SCALE :
1 : 50

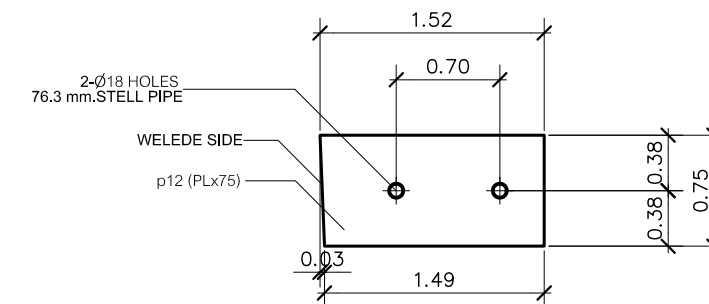


ROOF STRUCTURE PLAN

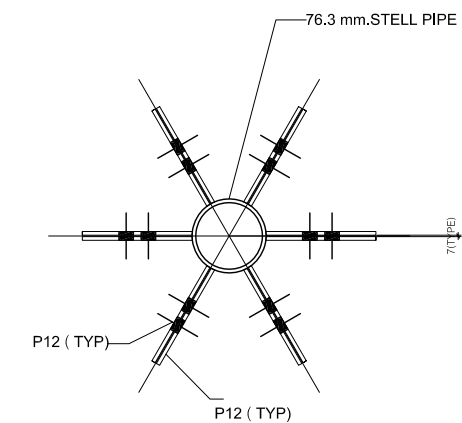
1 : 100



ELEVATION



P12 DETAIL



PLAN

PROJECT
 แนวคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
 กรณเกิดภยพบต
 OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

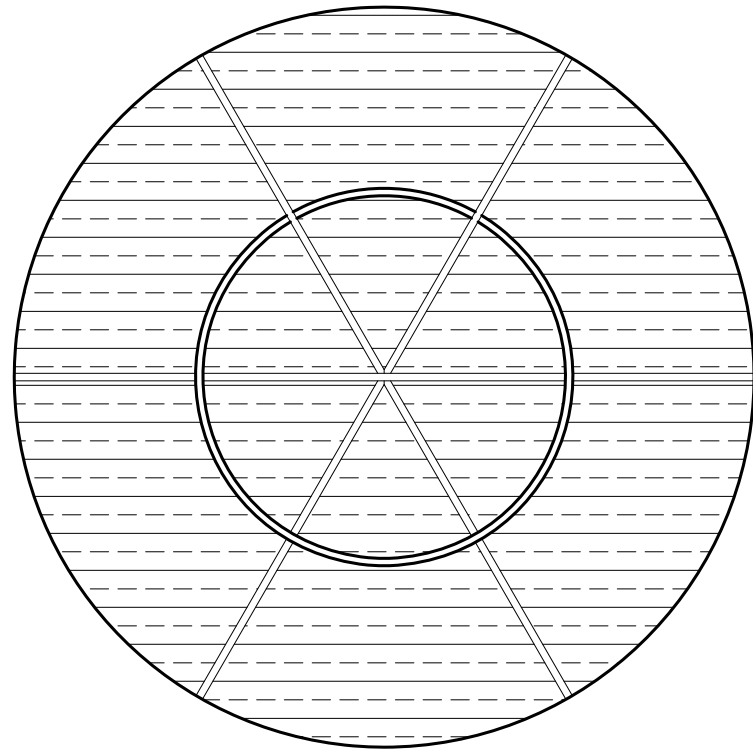
SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

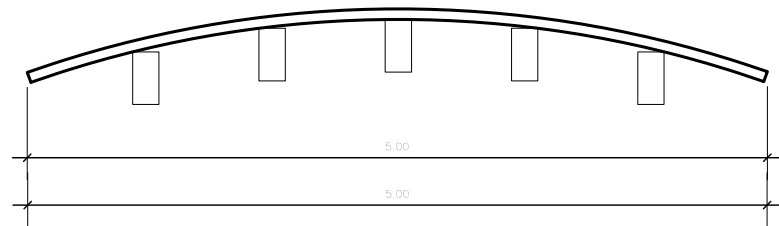
 SCALE :
 1 : 50

DRAWING TITLE:

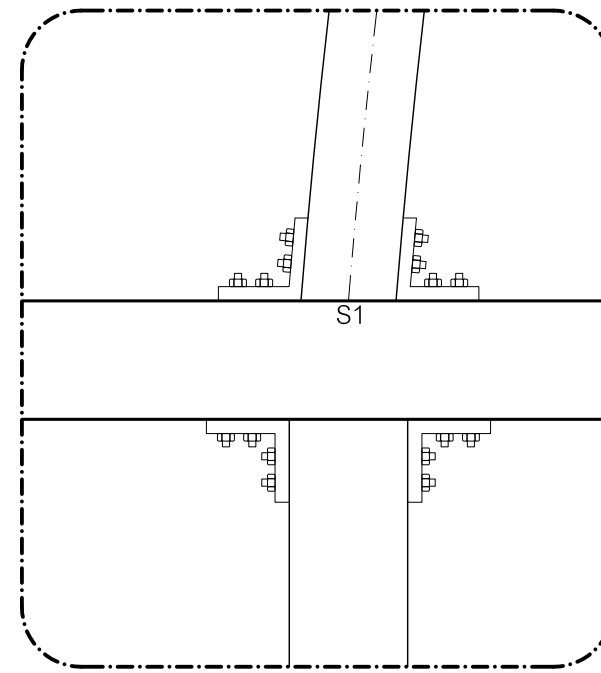
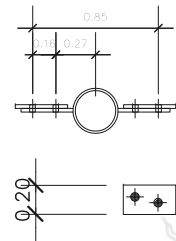




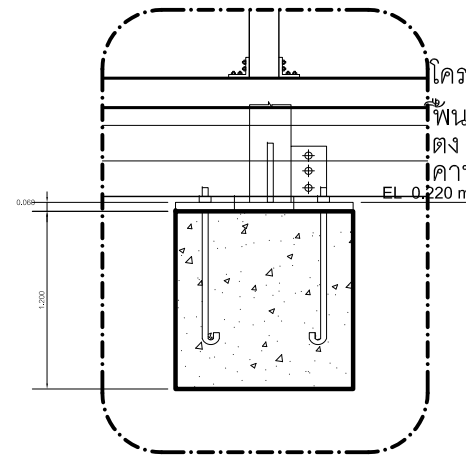
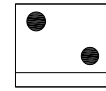
TOP ROOF PLAN
1 : 100



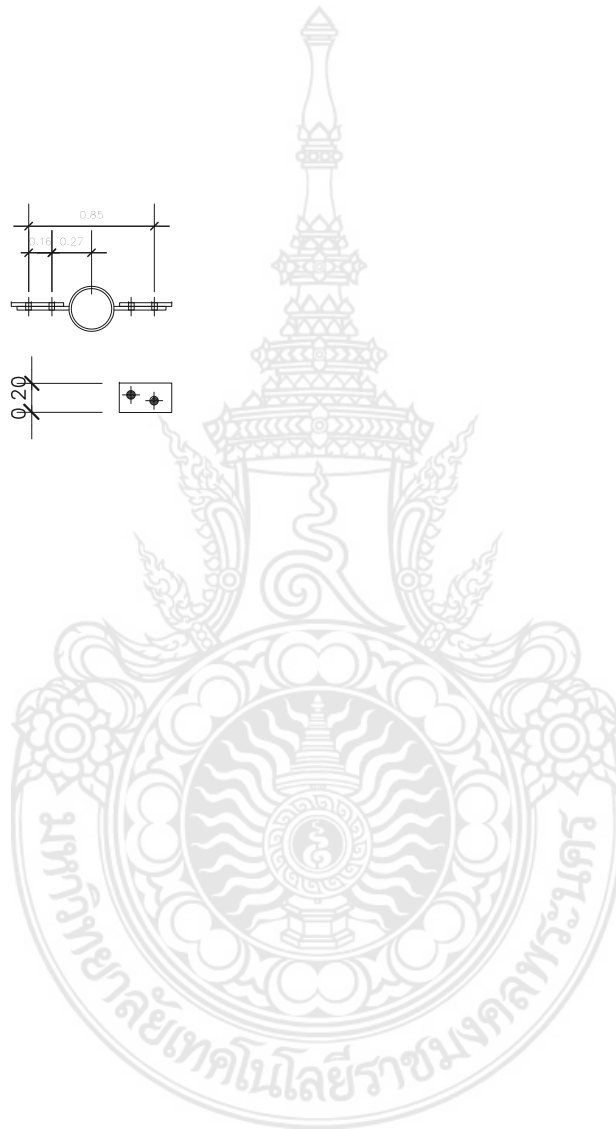
TOP ROOF PLAN
1 : 100



DETAIL
NO SCALE



DETAIL
NO SCALE



PROJECT
แนวคิตำบลทรงโดมสู่ไร่จูป
กรณเกิดภัยพิบัติ
OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

DRAWING TITLE:

SCALE :
1 : 50



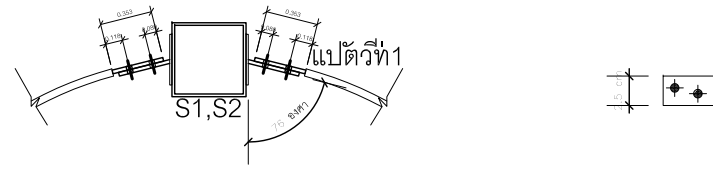
CONNECTION DETAIL FOR SAG RODS

**NOT SCALE

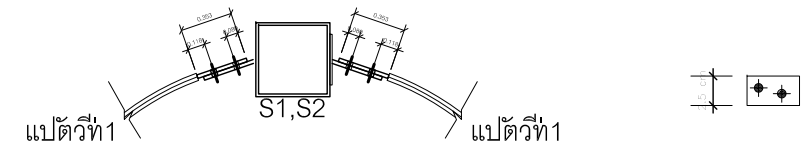
CONNECTION DETAIL FOR SAG RODS

**NOT SCALE

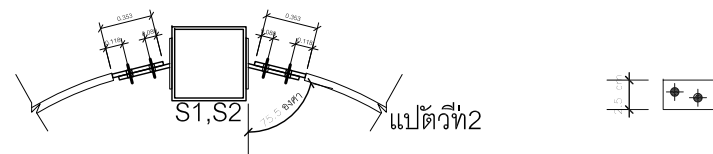
ระดับแปล 1
ระดับสูงถึง 2.50 cm.



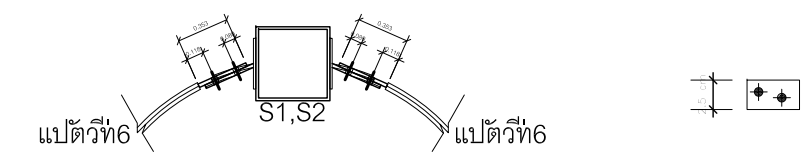
ระดับแปล 5
ระดับสูงถึง 1.87 cm.



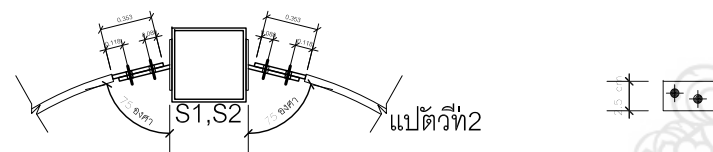
ระดับแปล 2
ระดับสูงถึง 2.45 cm.



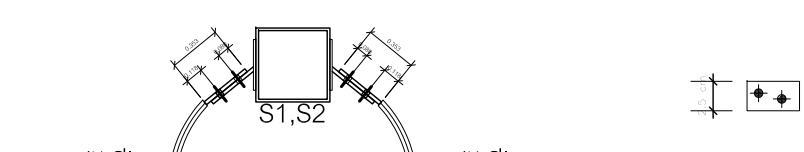
ระดับแปล 6
ระดับสูงถึง 1.42 cm.



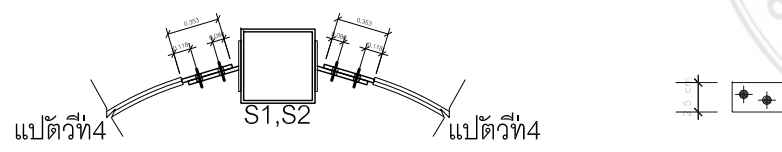
ระดับแปล 3
ระดับสูงถึง 2.35 cm.



ระดับแปล 7
ระดับสูงถึง 0.82 cm.



ระดับแปล 4
ระดับสูงถึง 2.15 cm.



PROJECT
แนวความคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
กรรมเกิดกายพบต
OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

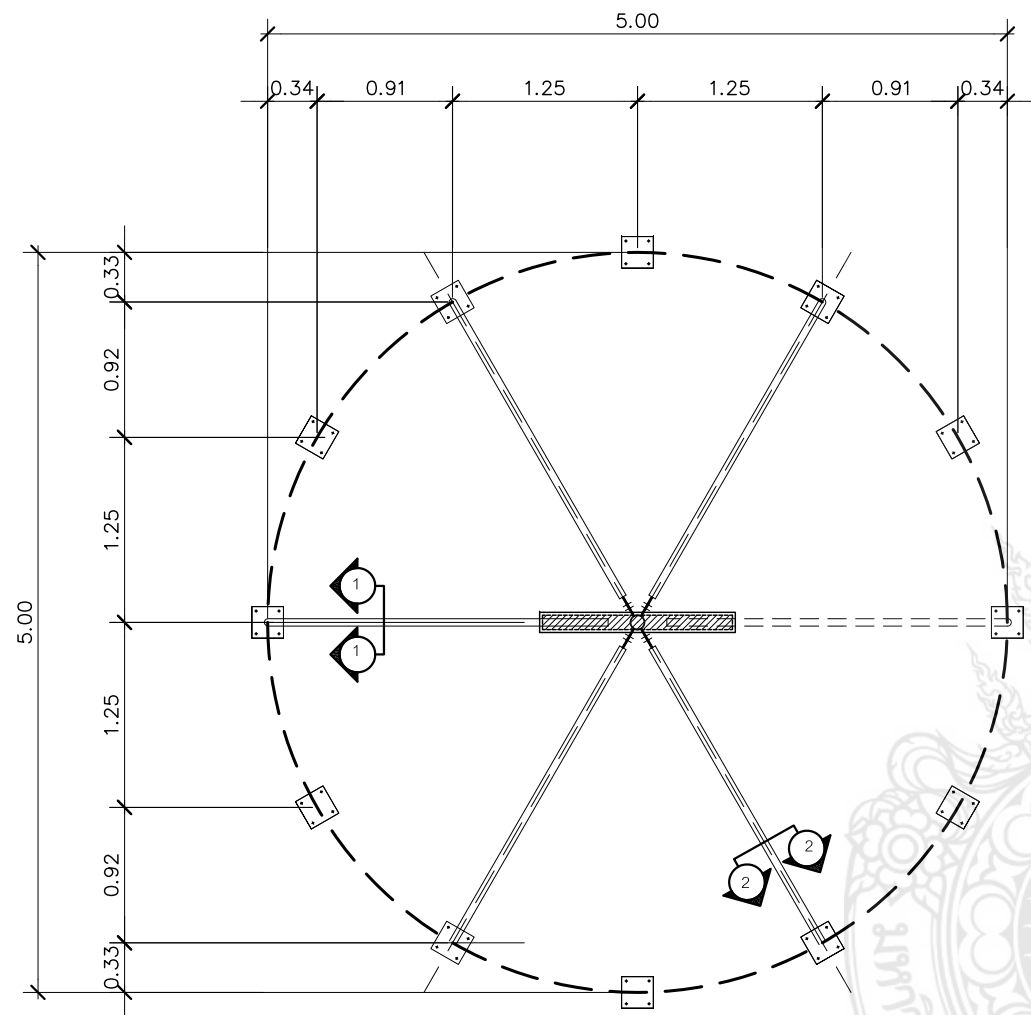
SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:

DRAWING TITLE:

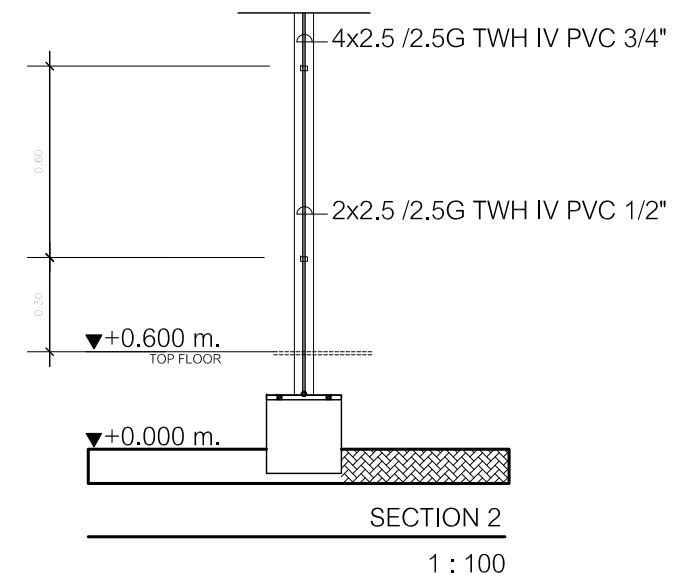
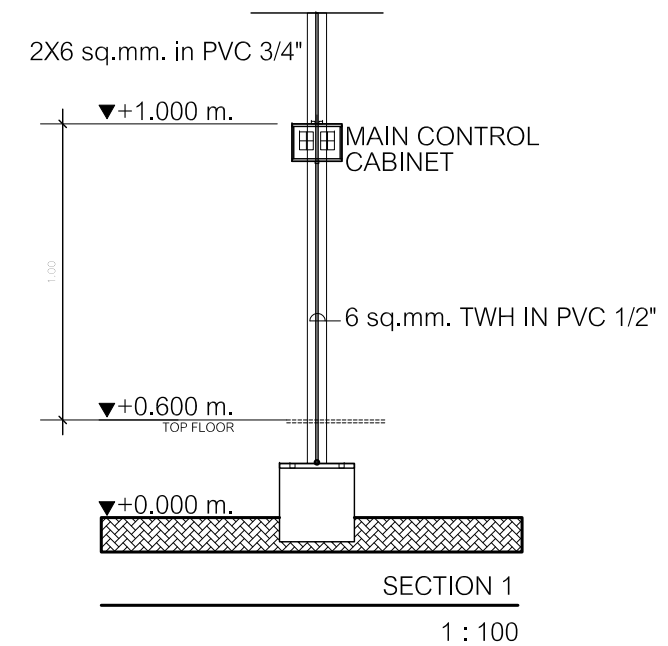
SCALE :
1 : 50





ELECTRICITY PLAN

1 : 100



PROJECT
 แนวคิดบ้านทรงโดมสู่เรีจรูป
 กรณเกิดภัยพิบัติ
 OWNER :

ARCHITECTS :

INTERIOR DESIGNERS:

STRUCTURAL ENGINEERS:

MACHANICAL ENGINEERS:

ELECTRICAL ENGINEERS:

SANTINARY ENGINEERS:

DRAWING TITLE:		DRAWING TITLE:	
SCALE :		SCALE :	
1 : 50		1 : 50	



การศึกษาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมวลเบาด้วย
เทคนิคการฉีดโฟมเป็นแกนกลางผนัง
Study of Light-weight Precast Concrete Wall Panel Product with Aerated
Foam Injection Technique as Core Wall

ปราโมทย์ วีรานุกูล¹ และ กิตติพงษ์ สุวีโร²

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
² หน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

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 นอกจากนี้ ผลงานที่ออกแบบสามารถยื่นขอจดแจ้งลิขสิทธิ์และเขียนเป็นบทความเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ให้กับกลุ่มเป้าหมาย

คำสำคัญ: อาคารสำเร็จรูป, ครึ่งทรงกลม, โครงสร้างเหล็ก, ถอดประกอบง่าย, ผู้ประสบภัย

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. 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, Easy Assembly, Sufferer

1. บทนำ

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 ล้านดอลลาร์ และวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2553 เกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศชิลี ความรุนแรง 8.8 ริกเตอร์ มูลค่าความเสียหายกว่า 30 พันล้านเหรียญ หรือการเกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศจีนในวันที่ 13 เมษายน 2553 ความรุนแรง 6.9 ริกเตอร์ และการเกิดอุทกภัยที่ประเทศปากีสถาน ในวันที่ 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) (ว., 2520) มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัย รวมเป็นเวลา 2 ปี ปีที่ 1 (พ.ศ.2559) ดำเนินการพัฒนาและออกแบบโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม และปีที่ 2 (พ.ศ.2560) ดำเนินการพัฒนาเปลือกผนังอาคารถอดประกอบได้ ที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ต้นทุนต่ำ และใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับใช้กับโครงสร้างรูปทรงครึ่งทรงกลม

โครงการวิจัยนี้ เป็นการดำเนินโครงการวิจัยในปีที่ 1 ซึ่งจะได้โครงสร้างทรงครึ่งทรงกลมสำหรับใช้ในโครงการวิจัยปีถัดไป โดยจะช่วยให้การพัฒนาอาคารสำเร็จรูปสามารถถอดประกอบได้ง่าย และมีความมั่นคงแข็งแรง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง

2.2 เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

2.3 เพื่อทราบถึงทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคาร สำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

2.4 เพื่อทดสอบการก่อสร้างต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็ก แบบถอดประกอบง่าย

2.5 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบ ถอดประกอบง่ายให้กับผู้สนใจ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1) เหล็กรูปพรรณ ขนาดและหน้าตัดต่างๆ เกรด SM 400 ตามมาตรฐาน มอก.1227 มีกำลังดึง ครากระหว่าง 2,350 – 2,450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีกำลังดึงสูงสุด 4,000 – 5,100 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดกลม



รูปที่ 2 เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

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

3) เครื่องเชื่อมไฟฟ้า หน้ากากกันแสง พร้อมลวดเชื่อมไฟฟ้า เกรด E60 กำลังรับแรงเหวี่ยง 1,260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยทำการเชื่อมพอกให้มีขนาดต่ำสุด ไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร และเชื่อมรอบโครงสร้าง

4) เครื่องตัดเหล็ก

5) เครื่องตัด พับ และม้วนเหล็ก

6) เครื่องเจียรแบบมือถือ

7) ชุดอุปกรณ์เจาะรู และขันสลักเกลียวชนิดต่างๆ เช่น สว่านไฟฟ้า ไขควง ประแจบล็อก ประแจเลื่อน และประแจปากตาย เป็นต้น

8) ชุดอุปกรณ์การวัดขนาดและระดับ เช่น ตลับเมตร เวอร์เนียคาลิเปอร์ ระดับน้ำ ไม้ฉาก และลูกดิ่ง เป็นต้น

9) ค้อน และสิ่ว

10) ชุดอุปกรณ์คอนกรีต เช่น เกียงฉาบ เกียงก่อ กระบะปูน และจอบ เป็นต้น

11) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล

12) เครื่องพิมพ์

13) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

3.2 การออกแบบอาคารสำเร็จรูป

ออกแบบลักษณะ รูปแบบ และพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม โดยคำนึงถึงรายละเอียดด้านต่างๆ ได้แก่

1) มิติ และลักษณะภายนอกอาคาร

2) ชั้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด

3) โครงสร้างอาคาร

4) รอยต่ออาคารแบบนี้ยกตัว

3.3 การออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป

ออกแบบวิธีการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารสำเร็จรูป เพื่อให้การดำเนินการก่อสร้างเกิดความสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง
- 2) ขั้นตอนการรื้อถอน

3.4 การประมาณราคาอาคารสำเร็จรูป

ประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม โดยไม่รวมถึงค่าแรง ค่าภาษี ค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการตลาดเบื้องต้น

3.5 การขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

จากแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่ออกแบบ สามารถขึ้นรูปส่วนต่างๆ ประกอบด้วย

- 1) ขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างตามการออกแบบ
- 2) ขึ้นรูปรอยต่อตามการออกแบบ

3.6 การทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้าง และขึ้นรูปโครงสร้างแล้ว จึงนำโครงสร้างและรอยต่อของอาคารสำเร็จรูป มาทำการทดสอบตามพฤติกรรมต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่

- 1) ความต้านทานแรงอัดของโครงสร้าง
- 2) ความต้านทานแรงดัดของโครงสร้าง
- 3) รอยต่อของโครงสร้าง



รูปที่ 4 การวิบัติของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” ในปีที่ 1 ซึ่งเป็นการออกแบบและขึ้นรูปโครงสร้างอาคารนั้น สามารถสรุปเป็นหัวข้อ ดังนี้

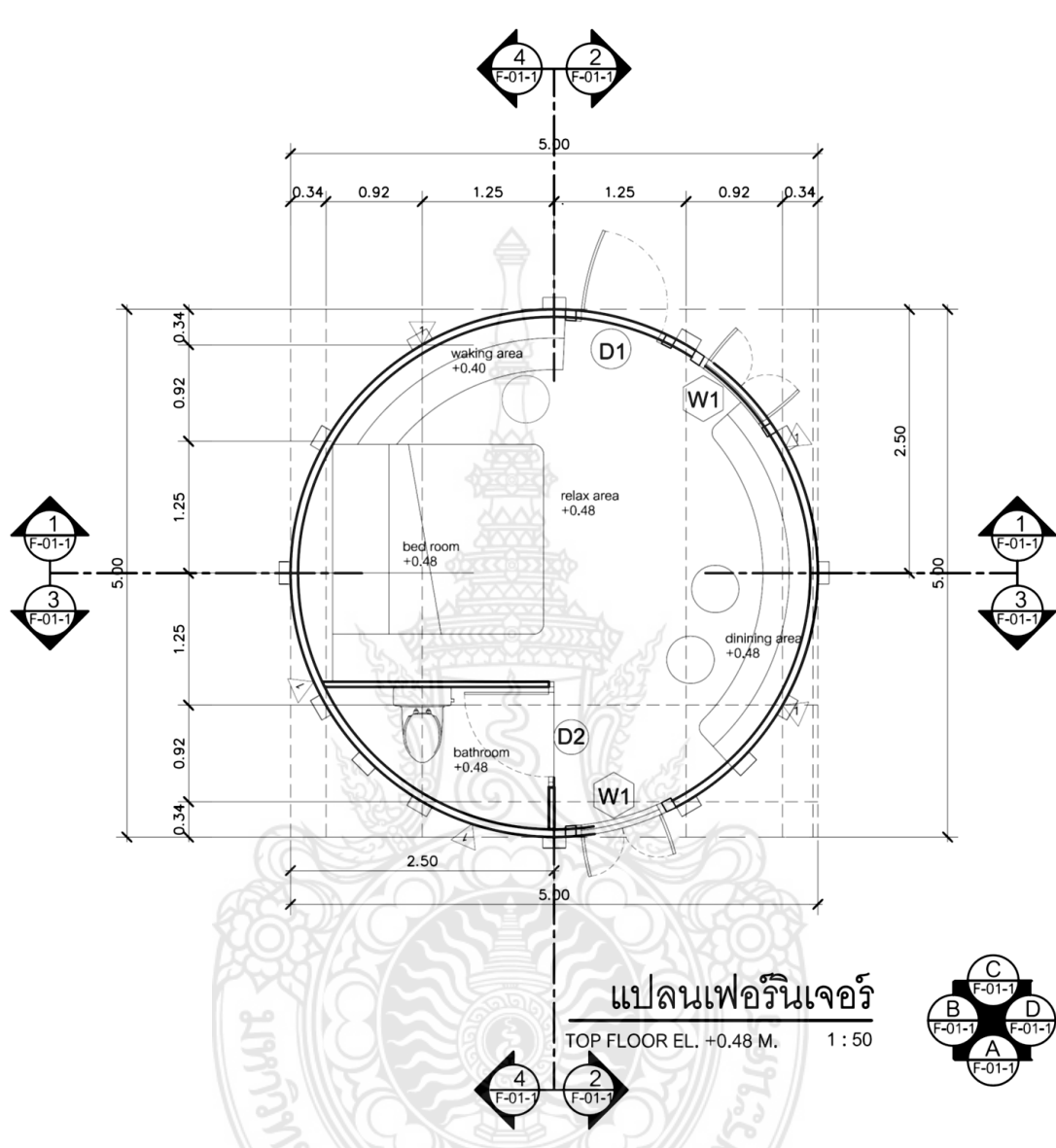
4.1 ผลการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

จากการออกแบบอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่ายในด้านต่างๆ ได้แก่ มิติและลักษณะภายนอกอาคาร ขึ้นส่วนอาคารด้วยแนวคิดระบบประสานทางพิกัด โครงสร้างอาคาร และรอยต่ออาคารแบบนี้อกดาว์น สามารถสรุปผลการออกแบบแบ่งเป็น 2 ด้าน ดังนี้

4.1.1 มิติและลักษณะภายนอกอาคาร

ในด้านของมิติและลักษณะภายนอกอาคารได้ออกแบบเป็นอาคารทรงครึ่งทรงกลมแบบส่วนฐานตรง คล้ายรูปทรงของกระสุนปืน เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับใช้สอยเพิ่มมากขึ้น กำหนดให้อาคารมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวม 19.635 ตารางเมตร ความสูงจากระดับพื้นถึงเพดาน 3.5 เมตร โดย

ส่วนโค้งของครึ่งทรงกลมเริ่มที่ความสูง 1 เมตรจากระดับพื้น ภายในสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของห้องนอน และส่วนของห้องน้ำ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบมิติและลักษณะภายนอกอาคารทรงครึ่งทรงกลม

4.1.2 โครงสร้างและรอยต่ออาคาร

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

1) กำหนดน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร ประกอบด้วย

1.1) น้ำหนักบรรทุกคงที่

- น้ำหนักวัสดุผนังหลังคา 5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- น้ำหนักเหล็กโครงสร้าง 10 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

1.2) น้ำหนักบรรทุกจร

- น้ำหนักบรรทุกจรหลังคา 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- น้ำหนักบรรทุกจรอาคารพักอาศัย 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- แรงแลม 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 ขึ้นรูปด้วยการตัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน 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 6

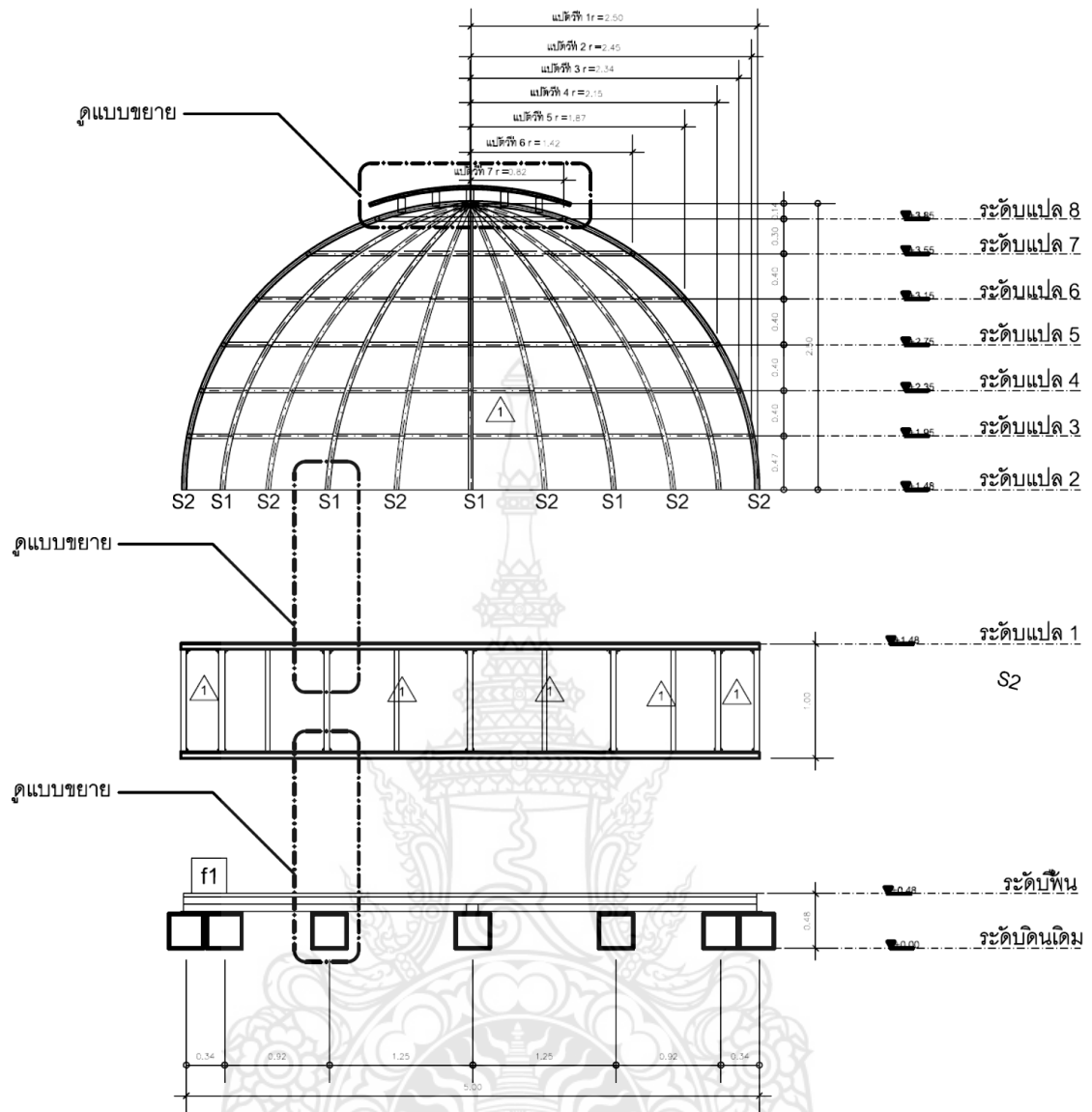
2) โครงสร้างหลังคา รวมทั้งสิ้น 1 ท่อน ดังรูปที่ 6

3) โครงสร้างพื้น รวมทั้งสิ้น 12 ท่อน ดังรูปที่ 7

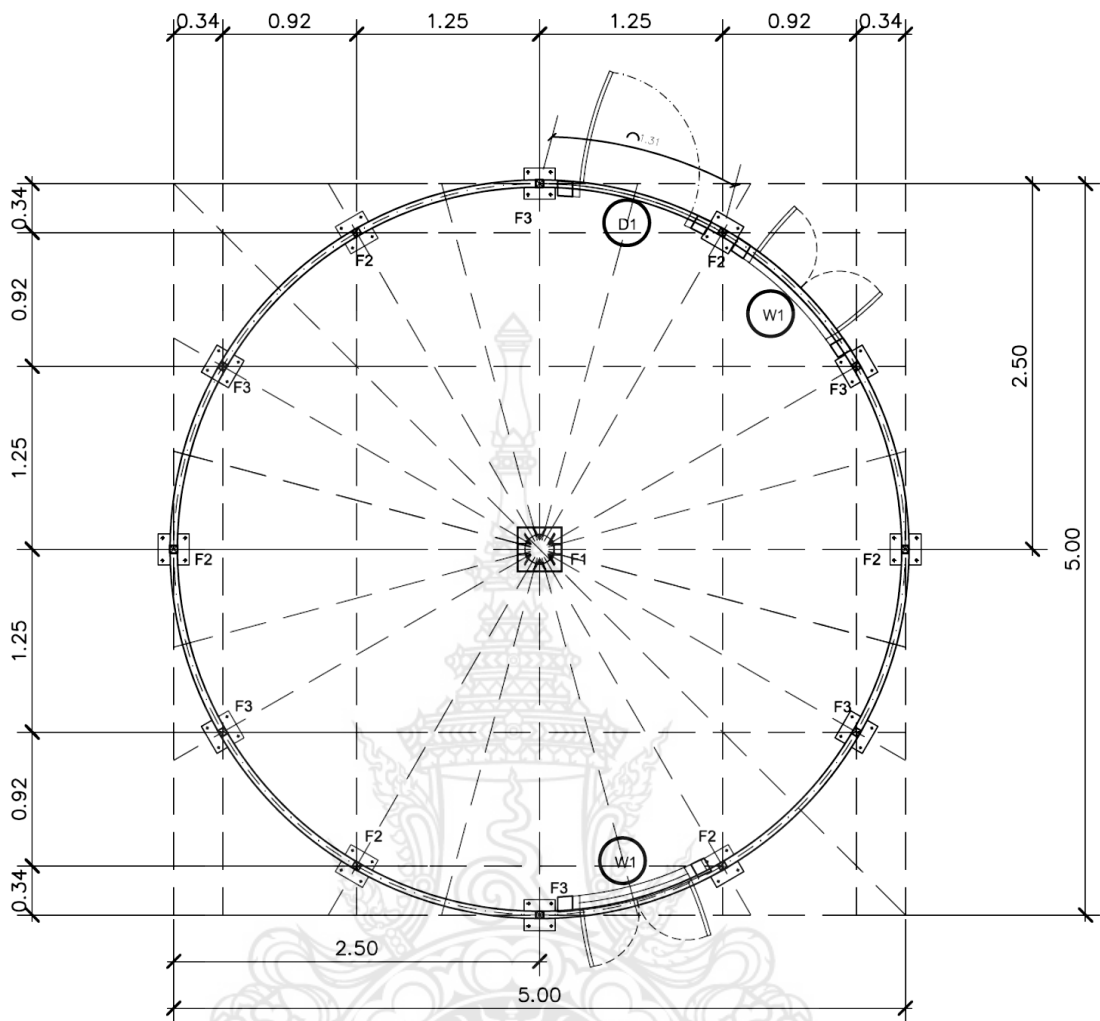
4) โครงสร้างฐานราก รวมทั้งสิ้น 13 ฐาน ดังรูปที่ 7

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





รูปที่ 6 แบบโครงสร้างผนังส่วนแนวตั้งและแนวนอนของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 7 แบบโครงสร้างพื้นของโครงการอาคารทรงครึ่งทรงกลม

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 สูงจากกันหลุม 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 ต้นต่อตารางเมตร) 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 และทำการยึดแผ่นพื้นติดกับตงเหล็กด้วยตะปูเกลียวปลายปล้อย โดยยึดห่างจากขอบแผ่นซีเมนต์บอร์ด ไม่ต่ำกว่า 30 มิลลิเมตร จนครบตามที่ได้ออกแบบไว้

6) กิจกรรม F การอุดรอยต่อแผ่นพื้น โดยใช้ปูนสำหรับอุดรอยต่อระหว่างแผ่นซีเมนต์บอร์ดทุกแนวให้เรียบร้อย

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

8) กิจกรรม H การติดตั้งโครงสร้างประตูและหน้าต่าง โดยเริ่มจากการติดตั้งวงกบประตูและหน้าต่าง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

9) กิจกรรม I การติดตั้งแผ่นผนังหรือเปลือกอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

10) กิจกรรม J การอุดรอยต่อผนัง (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

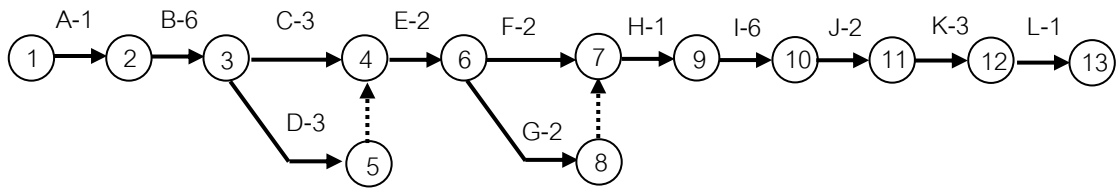
11) กิจกรรม K การตกแต่งอาคาร (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

12) กิจกรรม L การติดตั้งบานประตูและหน้าต่าง พร้อมอุปกรณ์ครบชุด (ดำเนินการศึกษาและพัฒนาในปีที่ 2)

จากกิจกรรมขั้นตอนการก่อสร้างดังกล่าว ทั้ง 12 กิจกรรม สามารถสรุประยะเวลาที่ใช้ และลำดับขั้นตอนการก่อสร้างได้ ดังตารางที่ 1 และการเขียนแผนก่อสร้างด้วยวิธี CPM (critical path method) ได้ ดังรูปที่ 8

ตารางที่ 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 8 แผนการก่อสร้างอาคารทรงครึ่งทรงกลมด้วยวิธี CPM (Critical Path Method)

จากรูปที่ 8 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 โดยไม่รวมถึงค่าแรง ค่าภาษี ค่าขนส่ง ค่าออกแบบ และค่าการตลาดเบื้องต้น สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคาค่าวัสดุก่อสร้างของอาคารทรงครึ่งทรงกลม

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

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปต้นทุนค่าก่อสร้างต่อพื้นที่ใช้สอย เท่ากับ 10,186 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นราคาค่าก่อสร้างที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมใช้โครงสร้างเหล็กที่ต้องตัดโค้งจำนวนมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานของโครงสร้างอาคารที่เมื่อก่อสร้างแล้ว สามารถรื้อถอนและนำไปก่อสร้างในสถานที่อื่นได้ จะทำให้ต้นทุนเกิดความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

4.4 ผลการขึ้นรูปต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

1) ขึ้นรูปขึ้นส่วนโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปตามที่ได้ออกแบบ โดยทำการตัดเย็นเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.5 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดโค้ง การตัดเหล็กด้วยเครื่องตัดเหล็ก และการตกแต่งหน้าตัดด้วยเครื่องเจียรแบบมือถือ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การตัดโค้งของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดวงกลมให้มีรัศมีต่างๆ ตามต้องการ

2) ประกอบโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูป โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า พร้อมทั้งตัดแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างออกเป็น 6 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้ง ดังรูปที่ 10 ถึง 12



รูปที่ 10 โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม



รูปที่ 11 โครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลม ทั้ง 6 ส่วน



รูปที่ 12 ชั้นส่วนโครงสร้างผนังส่วนบนของอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมแต่ละส่วน

3) นำโครงสร้างผนังส่วนบนที่ขึ้นรูปแล้ว มาประกอบเข้ากับโครงสร้างผนังส่วนล่าง โดยการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า ดังรูปที่ 13 ถึง 15



รูปที่ 13 การประกอบโครงสร้างผนังส่วนล่างเพื่อรองรับโครงสร้างผนังส่วนบน



รูปที่ 14 การทำสลักชั่วคราวเพื่อช่วยให้โครงสร้างผนังเข้ารูปได้ง่าย



รูปที่ 15 โครงสร้างผนังส่วนบนและส่วนล่างที่เชื่อมติดกันแล้ว

- 4) ประกอบโครงสร้างพื้นให้สอดคล้องกับโครงสร้างผนัง โดยการใช้เหล็กรูปพรรณหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 75 x 45 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร เป็นตงสำหรับรองรับแผ่นพื้น ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 โครงสร้างพื้นที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างผนังส่วนล่าง

5) เตรียมรอยต่อของโครงสร้างแต่ละส่วน โดยใช้การเจาะโครงสร้างด้วยสว่านไฟฟ้า และยึดให้ติดกันด้วยสลักเกลียว ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การเจาะรูโครงสร้างผนังอาคารเพื่อร้อยด้วยสลักเกลียว

6) ประกอบโครงสร้างหลังคา โดยการเชื่อมให้มีลักษณะเป็นวงกลม แล้วจึงนำไปติดตั้งเข้ากับโครงสร้างผนัง ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 โครงสร้างหลังคาที่ยึดเข้ากับโครงสร้างผนังอาคารส่วนบน

7) ประกอบโครงสร้างหลังคา โดยการเชื่อมให้มีลักษณะเป็นวงกลม ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 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 หากมีการจัดสรรพื้นที่ที่เหมาะสมและเป็นระเบียบ (สุธี และคณะ, 2550)

4.5 ผลการทดสอบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูป

จากการนำโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปไปทดสอบการในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความต้านทานแรงอัดของโครงสร้าง ความต้านทานแรงดัดของโครงสร้าง และรอยต่อของโครงสร้าง สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับกรอกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานได้ ดังนี้

ตารางที่ 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 3 พบว่า ค่าที่ได้จากการออกแบบตามวิธี LRFD มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งแสดงว่า โครงสร้างอาคารสำเร็จรูปทรงครึ่งทรงกลมที่ออกแบบมีความแข็งแรงสูงกว่าการรับแรงจริง โดยสามารถคำนวณเป็นค่าตัวคูณความปลอดภัย (Safety Factor, S.F.) เฉลี่ย เท่ากับ 1.76 (ทักษิณ และ อัครวัชร, 2553; มนัส, 2539)

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานของโครงการ “อาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย” สามารถสรุปผลการดำเนินงาน แบ่งเป็นข้อๆ ตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

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 ขึ้นรูปด้วยการตัดโค้งเย็นให้มีรัศมีแตกต่างกัน แบ่งเป็นโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ โครงสร้างผนัง โครงสร้างหลังคา โครงสร้างพื้น และโครงสร้างฐานราก มีต้นทุนค่าก่อสร้าง 10,186 บาทต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างเท่ากับ 27 ชั่วโมง หรือ 3 วัน (คำนวณจากระยะเวลาทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน และแรงงาน จำนวน 4 คน)

2) ได้องค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโดยใช้ระบบประสานทางพิกัดในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย โดยการใช้การแบ่งโครงสร้างของผนังออกเป็น 6 ส่วน ตามแนวตั้งเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้งคล้ายกับการปกเปิดอกส้ม แต่ละส่วนมีลักษณะเหมือนกัน 5 ส่วน และลักษณะแตกต่างกัน 1 ส่วน (เป็นส่วนของประตู) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแบ่งส่วนที่มีความสะดวกในการขนส่ง และก่อสร้างได้รวดเร็ว

3) จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย เปรียบเทียบกับการออกแบบตามวิธี LRFD พบว่ามีค่าตัวคูณความปลอดภัย (S.F.) เท่ากับ 1.76

4) ได้ต้นแบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย จำนวน 1 ต้นแบบ สำหรับใช้พัฒนาเปลือกอาคารในปีถัดไป

สำหรับข้อเสนอแนะ ควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตขึ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนค่างานโครงสร้างผนัง พื้น และหลังคา ซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมจากโครงสร้างเหล็กแบบถอดประกอบง่าย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

กิตติเดช แก้วฉา, 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากใบยางพารา, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2553. คู่มือฝึกอบรมการปลูกจิตสำนึกเพื่อเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย.

ชลธิ อิมอุตม, 2552. ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชีวารัตน์ ม่วงพัฒน์, 2552. เส้นใยธรรมชาติสำหรับวัสดุผนังอาคาร, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

ณรงค์ เพ็งปรีชา, 2517. กาบสำหรับงานไม้, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

- ในฝัน แว่วสอ, 2547, การผลิตวัสดุติดผนังภายในด้วยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทักษิณ เทพชาติ และอัครวัชร เล่นวารี, 2553. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรรณ อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549.
ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. Journal of
Architectural/Planning Research and Studies Volume 4. 2006 Faculty of
Architecture and Planning, Thammasat University.
- ธวัช จิรายุส, 2535. การจับยึดพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของไม้ยูคาลิปตัส. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 7
เดือน ม.ค.-เม.ย.2535. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. หน้า 85.
- ธวัช จิรายุส, 2551. ปัญหาวัตถุติดในอุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบ. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ธวัช รอบรู้, 2547, การศึกษาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบ, เทคโนโลยีศิลป
อุตสาหกรรม (ก่อสร้างและงานไม้) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2551. โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบอาคารพักอาศัย 5 ชั้น ใน
ระบบประสานพิคัดและขึ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อรองรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม. รายงานฉบับ
สมบูรณ์. บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด.
- ปิยะวดี บัวจงกล, วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์, วีรญา ธรรมจันทร์, บวรวิษณุ แพงวงศ์, และพิทักษ์ หางาม, 2552.
แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้, งานอุตสาหกรรมแผ่นไม้ประกอบ กลุ่มงานพัฒนา
อุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ประสาน ศรีศุภชัยยา, 2539. สภาพปัจจุบันและความคาดหวังเกี่ยวกับที่อยู่อาศัยชั่วคราวและถาวรของ
ผู้ใช้แรงงานก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศ์วิทย์ ลิ้มปิติศุทธิ์, 2547, การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบ
ยักษ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ภาวดี เมธะคานนท์, 2548. สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดผลิตจากกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, ศูนย์
เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- มามี โตบารมีกุล, 2541. การศึกษาระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในเขตกรุงเทพมหานครและ
ปริมณฑล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนัส อนุศิริ, 2539. การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2546. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยและเศษไม้สัก, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้
กรมป่าไม้.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2547ก. เมื่อสารพิเศษวัสดุเหลือทิ้งกลายเป็น (เสมือน). กองวิจัยผลิตผลป่าไม้
กรมป่าไม้, นวัตกรรม ปีที่ 5 ฉบับ 17 มีนาคม 2547.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย และคณะ, 2547ข. ผลกระทบของไม้วัตถุติดต่อการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่น
ปานกลางจากไม้ยูคาลิปตัสตามลุดูเลนซิส, กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- วิสูตร จิระคำเกิง, 2551. การประมาณราคาก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2546. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็ก
รูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระ
บรมราชูปถัมภ์.

- สุธี ปิยะพิพัฒน์, 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉินชั่วคราวกรณีภัยพิบัติ. รายงานฉบับสมบูรณ์, คณะครุศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สุธี ปิยะพิพัฒน์, ศุภสิทธิ์ พงศ์วิระสถิตย์ และสมศักดิ์ คำปลิว. 2550. โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉิน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. 5 (10): 63-74.
- สนธพล กริชนวรักษ์, 2554. เทคนิคการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราวระบบก่อสร้างเร็วด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณสำเร็จรูป. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2520. การก่อสร้างอาคารระบบอุตสาหกรรม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- 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, 2010. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.
- Asatjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghamati, B., & Shin, U. C., 2007. Development of coconut coir-based lightweight cement board. Construction and Building Materials. 21(2), 277–288.
- Debby Guha-Sapir, Femke Vos, Regina Below and Sylvain Ponsere, 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.
- 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.
- Testa Carlo, 1959. The Industrialization of Building, New York : Van Nostrand Reinhold.