การพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม

Development of Ready-Made Member for Constructing Geodesic Dome Construction

ณวัฒน สุทธิกานต์ และโสภา วิศิษฏ์ศักดิ์

ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมในรูปแบบของสถาปัตยกรรมแบบชั่วคราวกึ่งถาวร ซึ่งสามารถถอดประกอดโครงสร้างได้อย่างอิสระ แต่ยังคงซึ่งความแข็งแรง คงทน และมีมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถปรับชิ้นส่วนของโครงสร้างโดมเพื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ใช้สอยให้เหมาะสม สามารถใช้งานได้หลากหลายกิจกรรม

ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมออกแบบและพัฒนาโดยคำนึงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง การเลือกใช้วัสดุ ขั้นตอนการติดตั้ง และการรื้อถอน หลักการทำงานในการออกแบบได้เลือกใช้การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้วยซอฟต์แวร์คำนวน SolidWorks และใช้ระบบก่อสร้างด้วยโครงสร้างถอดประกอบ จากผลการออกแบบได้โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโดมทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 3.5 เมตร สูง 2 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 9.62 ตารางเมตร และสามารถขยายชิ้นส่วนให้โครงสร้างมีพื้นที่ที่ใช้สอยมากขึ้นได้ 2 ระดับ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เมตร สูง 3.81 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 33.17 ตารางเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 5.32 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 63.59 ตารางเมตร ตามลำดับ

โครงสร้างของโดมทรงกลมที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้ สามารถติดตั้งและรื้อถอนได้อย่างรวดเร็ว โดยคู่มือการถอดประกอบอย่างละเอียดทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและลงมือก่อสร้างได้โดยง่าย จึงสามารถนำแนวคิดการออกแบบระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ไปเป็นแนวทางในการใช้งานจริง และสามารถนำการออกแบบนี้ไปเป็นแนวทางในการศึกษาปรับปรุง ให้มีความสมบูรณ์พร้อมใช้งานจริงต่อไปในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โดมทรงกลม, ชิ้นส่วนสำเร็จรูป, สถาปัตยกรรมแบบชั่วคราวกึ่งถาวร, โครงสร้างถอดประกอบ

Abstract

This research, Development of ready-made member for constructing geodesic dome construction aims to design and develop the ready-made member for constructing geodesic dome as semi-permanent architecture which is disassembled construction. But the structure still strong, durable and have safety standard for used. Moreover, this ready-made member isflexible. It can adjust the ledge of member to make more usable space which is adaptable for many more activities.

Development of ready-made member for constructing geodesic dome construction is designed and developed by considering of strength of construction, choosing materials, processes of installation and demolition. SolidWorks program was used for analyzing and designing structure and knock down system was used for the construction. From designing results appeared the prefabricated structure with geodesic dome shape whose beginning diameter was 3.5 meters, height was 2 meters, useful area was 9.62 square meters. And can adjust the ledge of member with 2 steps to diameter was 6.5 meters, height was 3.81 meters, useful area was 33.17 square meters and diameter was 9 meters, height was 5.32 meters, useful area was 63.59 square meters respectively.

Geodesic dome construction with this ready-made member could be installed and demolished so fast. With the detailed user manual make the user can understand and construct easily. This development of ready-made member concept could be used in real working and could be improved efficiently in the future.

Keywords: Geodesic Dome, Ready-Made Member, Semi-Permanent Architecture, Knock Down System

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน punarcher@gmail.com โทร. 086 603 0748

1. บทนำ

อาคาร บ้านเรือน เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตมนุษย์ มีหน้าที่ป้องกันภัยธรรมชาติต่าง ๆ และสร้างความสะดวกสบายในการอยู่อาศัย [1] อีกทั้งเป็นสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน มีรูปแบบ ขนาด และลักษณะการใช้งานแตกต่างกันออกไปให้สอดคล้องกับรูปแบบการใช้ชีวิต และสังคม วัฒนธรรมท้องถิ่นของแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ การก่อสร้างอาคารมีรูปแบบของสถาปัตยกรรมหลายประเภท หากจำแนกตามอายุการใช้งาน สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) สถาปัตยกรรมแบบถาวร (permanent building) คือ อาคารต่าง ๆ ที่มีอายุการใช้งานเกิน 15 ปีขึ้นไป เช่น โรงเก็บเครื่องบิน ตึกแถว ตึกที่ทำการ เป็นต้น 2) สถาปัตยกรรมแบบกึ่งถาวร (semi-permanent building) คือ อาคารที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 15 ปี และ 3) สถาปัตยกรรมแบบชั่วคราว (temporary building) คือ อาคารที่มีกำหนดเวลารื้อถอน อาคารสนาม หรือ อาคารที่กำหนดอายุใช้งาน 1-5 ปี [2] ซึ่งรูปแบบของการใช้แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของอาคาร โดยรูปแบบแต่ละประเภทจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของโครงสร้าง รูปแบบการก่อสร้าง และวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอีกด้วย เพื่อให้อาคารนั้น ๆ มีการใช้งานที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมามนุษย์ได้ก่อสร้างสถาปัตยกรรมขึ้นโดยอาศัยรูปแบบที่แข็งแรง คงทน มุ่งเน้นไปที่การ ก่อสร้างสถาปัตยกรรมแบบถาวร โดยต้องใช้ความรู้ ความสามารถ และเทคนิคการก่อสร้างเฉพาะ ซึ่งต้องมีการออกแบบและก่อสร้างโดยช่างก่อสร้าง เพื่อความถูกต้องและความปลอดภัยในการใช้งานของอาคาร แม้ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการก่อสร้างจะก้าวหน้าและได้มีการพัฒนาจนเกิดความสะดวกสบาย ง่ายต่อการจัดการและการบริหารงานก่อสร้าง แต่การเลือกใช้โครงสร้างแบบถาวรยังคงเป็นเรื่องยากและเป็นปัญหาสำหรับประชาชนทั่วไป เพราะไม่สามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างยาวนาน อีกทั้งต้องใช้ความสามารถทางด้านการช่างอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้โครงสร้างของอาคารที่มีความเรียบง่าย เช่น อาคารรูปทรงโดม ซึ่งใช้ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อสร้างอาคารในรูปแบบโครงสร้างที่ไม่ถาวร แต่มีความแข็งแรง คงทน สามารถประกอบติดตั้งได้รวดเร็ว จะส่งผลให้เกิดการประยุกต์ใช้ได้หลากหลายการใช้งาน และหลากหลายสภาพพื้นที่มากยิ่งขึ้น

โดมทรงกลม (geodesic dome) เป็นโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด แต่สามารถบรรจุปริมาตรที่มากที่สุดไว้ภายใน กล่าวคือมีพื้นที่ใช้สอยภายในต่อพื้นที่ผิวภายนอกก่อเกิดอรรถประโยชน์สูงสุดในโครงสร้างประเภทต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างอื่นในขนาดพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน โดมทรงกลมจะมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อยกว่าโครงสร้างอื่นมากถึง 30 เปอร์เซ็นต์ [3] ซึ่งการมีพื้นที่ผิวภายนอกที่น้อยนั้นส่งผลให้เกิดการใช้วัสดุในการก่อสร้างที่น้อยกว่าโครงสร้างประเภทอื่น ถือเป็นการประหยัดวัสดุอุปกรณ์ในการก่อสร้างเพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างอีกด้วย นอกจากนี้การมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อยกว่ายังช่วยให้อาคารมีพื้นที่ในการรับพลังงานความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารน้อยลงด้วย ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานที่จะสูญเสียในการใช้สอยอาคารในอนาคตอีกด้วย

ปัจจุบันนี้โดมทรงกลมส่วนมากมักมีการก่อสร้างเป็นรูปแบบโครงสร้างสำเร็จรูป (prefabricated structure) มีการกำหนดขนาด รูปแบบความถี่ (frequency) ลักษณะของชิ้นส่วน และวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างทั้งหมดมาจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการก่อสร้าง และเป็นปัญหาแก่ประชาชนทั่วไปในการติดต่อกับโรงงานผู้ผลิต นอกจากนี้การผลิตชิ้นส่วนจากโรงงานยังมีต้นทุนราคาที่สูง หากไม่ได้ผลิตตามจำนวนมาตราฐานที่โรงงานกำหนดอีกด้วย การพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ใช้ในการก่อสร้างโดมทรงกลมในลักษณะของสถาปัตยกรรมชั่วคราวกึ่งถาวร ซึ่งสามารถถอด-ประกอบได้หลายครั้ง [4] และเป็นชิ้นส่วนที่สามารถปรับขนาด รูปแบบความถี่ ลักษณะของชิ้นส่วน และวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างได้อย่างอิสระ เพื่อประยุกต์ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและ

วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยโครงสร้างยังคงอยู่บนพื้นฐานของความปลอดภัย มีความแข็งแรง ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ชิ้นส่วนทั้งหมดผ่านการออกแบบโดยใช้หลักการทางวัสดุศาสตร์ กลศาสตร์ รวมทั้งเวลา ต้นทุน ตลอดจนเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างทั้งหมด

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทรงโดม คุณสมบัติที่ดีของทรงโดม ขั้นตอนการออกแบบโดมทรงกลม และชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม โดยคำนึงถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง ข้อต่อ การเลือกใช้วัสดุ ทั้งวัสดุสำเร็จรูปและวัสดุจากทรัพยากรในท้องถิ่น ขั้นตอนการติดตั้ง การรื้อถอน และงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้าง หลักการทำงานในการออกแบบได้เลือกใช้ระบบการก่อสร้างแบบถอดประกอบ เพื่อให้สามารถติดตั้งและรื้อถอนได้อย่างสะดวกสบาย และง่ายสำหรับประชาชนทั่วไป อีกทั้งสามารถนำแนวคิดการออกแบบนี้ไปเป็นแนวทางในการใช้งานจริง และเป็นแนวทางในการศึกษาปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์พร้อมใช้งานจริงต่อไปในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อให้ประชาชนทั่วไปสามารถเรียนรู้โครงสร้างโดมทรงกลมได้อย่างเข้าใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีความเหมาะสมแก่การสร้างสถาปัตยกรรมชั่วคราวในระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัด แล้วนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการก่อสร้างโดมทรงกลม และเพื่อให้ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งหมายจะให้ถือเป็นมาตรฐานของชิ้นส่วนในการก่อสร้างโดมทรงกลม แต่เป็นเพียงตัวอย่างในการพัฒนาชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับโดมทรงกลมที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปในการประกอบโครงสร้าง ซึ่งผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในใช้งานชิ้นส่วน โดยการจำลองตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป (3D modeling) และการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation)

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ ทำการศึกษาแนวทางในการออกแบบและก่อสร้างโดมทรงกลมด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ซึ่งเป็นลักษณะสถาปัตยกรรมแบบชั่วคราว ให้สามารถติดตั้งและถอดประกอบได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง โดยได้ทำการออกแบบ ทำโมเดล และก่อสร้างโดมทรงกลมจำลอง เพื่อทดสอบการใช้งานจริง ผู้ศึกษาได้ทบทวนเอกสาร รวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประกอบการค้นคว้าวิจัย และเป็นแนวทางในการศึกษา ดังนี้

1.1 โดม (dome)

Fink Albert A. กล่าวว่า โดมถือเป็นสถาปัตยกรรมที่งดงามและยังมีโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพมากเช่นเดียวกัน สิ่งก่อสร้างทรงโดมนี้จะใช้เวลาในการก่อสร้างรวมถึงวัสดุในการก่อสร้างน้อยและเบากว่าอาคารปกติ แต่ถึงแม้ว่าโครงสร้างโดมจะใช้วัสดุที่น้อยและเบากว่าก็สามารถต้านทานต่อการเกิดภัยธรรมชาติอย่างแรงลมหรือพายุได้ดีกว่าอาคารปกติ เนื่องจากลักษณะทรงกลมจะมีความแข็งแรงมากกว่าเพราะทุก ๆ จุดของโครงสร้างรูปทรงโดมจะมีการกระจายความเครียดเท่า ๆ กันตลอดทั้งโครงสร้าง แต่การทนต่อการเกิดแผ่นดินไหวนั้นก็ต้องขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวด้วย ซึ่งถ้าเทียบกับอาคารปกติแล้วโครงสร้างทรงโดมก็ยังสามารถทนต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้ดีกว่า และเนื่องจากโดมมีพื้นที่ผิวที่น้อยกว่าอาคารที่มีรูปร่างอื่น ๆ ประมาณ 30% ที่มีพื้นที่เท่ากัน ขนาดเดียวกัน จึงทำให้ลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นลงไป 30% จากอาคารรูปร่างอื่น ๆ ด้วย ทำให้โครงสร้างรูปทรงโดมนี้จึงเหมาะเป็นอย่างยิ่งกับการสร้างในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศที่รุนแรง [5]

1.2 โดมทรงกลม (Geodesic Dome)

โดมทรงกลมเป็นโครงสร้างแบบ space structure ซึ่งเกิดจากการนำวัสดุมาสานถักกันเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมด้านเท่าจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นทรงกลมหรือส่วนของทรงกลม การถักทอชิ้นส่วนต่าง ๆ ทำให้แรงดึงและแรงอัดมีความสมดุลกันอย่างสมบูรณ์จนเกิดสิ่งที่เรียกว่า Tensegrity ซึ่งส่งผลให้รูปทรงคงตัว และการกระจายน้ำหนักเป็นไปด้วยดี จึงทำให้สามารถสร้างโดมให้มีขนาดใหญ่ได้ โดยวัสดุที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ตาม เห็นได้ว่าการสร้างรูปด้วยหลักการแบบนี้ รูปทรงที่ออกมามักจะเป็นทรงกลม กระบอก หรือทรงรี เพราะรูปทรงดังกล่าวสามารถคงรูป และกระจายน้ำหนักสู่ส่วนต่าง ๆ ได้ดี ทำให้โครงสร้างรูปแบบนี้มีความคงทนแข็งแรง

1.3 การออกแบบการต่อโครงสร้างเหล็ก

การออกแบบการต่อโครงสร้างเหล็กที่ดีนั้น ต้องพิจารณาออกแบบให้ข้อต่อ (connection) มีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าหรือมีกำลังรับน้ำหนักที่มากกว่าน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่ ซึ่งถ่ายผ่านจากพื้น คาน มายังส่วนต่าง ๆ ในข้อต่อโครงสร้างไม่ว่าจะเป็น เหล็กฉาก เหล็กแผ่น แนวรอยเชื่อม สลักเกลียว ฯลฯ โดยทั้งนี้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของข้อต่อโครงสร้างดังกล่าวข้างต้นจะมีสภาวะจำกัด (limit state) ที่แตกต่างกัน ตามรูปแบบหรือกลไกการวิบัติ (failure mechanism) ของส่วนประกอบของข้อต่อโครงสร้างดังกล่าว

1.4 สัดส่วนมนุษย์กับการออกแบบ

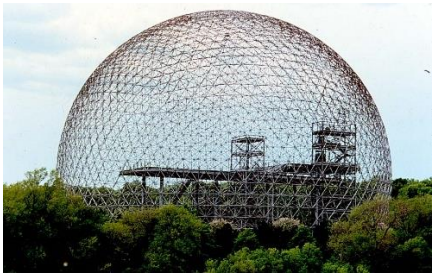
ความต้องการทางด้านกายภาพ มนุษย์มีความต้องการพื้นที่ที่มีขนาด ระยะ ความกว้าง ยาว สูง ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมและวิถีชีวิตของตอนเอง ดังนั้นระยะต่าง ๆ ของพื้นที่ประโยชน์ใช้สอยจำเป็นต้องเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของผู้ใช้สอยอาคาร และมีพื้นที่เพียงพอที่จะสามารถประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ที่หลากหลายได้อย่างเหมาะสม ในการพิจารณาสัดส่วนของผู้ใช้สอยอาคารพบว่าคนไทยโดยเฉลี่ยช่วงอายุ 20 – 40 ปีมีความสูงโดยประมาณ 167 เซนติเมตร

1.5 ระบบและกระบวนการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป เป็นการนำชิ้นส่วน สำเร็จรูปมาประกอบเข้าด้วยกันตามระบบประสานทาง พิกัด (modular coordination) และมีการประสานทาง ด้านมิติของชิ้นส่วนทั้งแนวตั้งและแนวนอนโดยมีการ ออกแบบรอยต่อ (joint design) เพื่อให้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้สมบูรณ์ หลักการและ พื้นฐานของบ้านระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีการแบ่งงาน ออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ระบบ (system) วัสดุ (material) วิธีการ (method) ชิ้นงาน (product) ระดับขั้น (class) และแนวแกน (grids) [6]

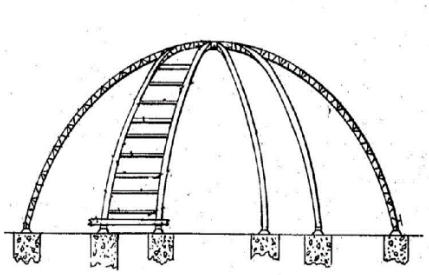
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1926 Buckminster Fuller สถาปนิกและวิศวกร ได้คิดค้น ออกแบบโดมทรงกลม (geodesic dome) ซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมและแปดเหลี่ยมนำมาใช้เพื่อแบ่งเป็นส่วนของท่อนที่มีความยาวเท่ากัน เขาได้รับสิทธิบัตรการออกแบบทรงโดมของสหรัฐอเมริกาในปี 1954 [7] ซึ่งโครงสร้างที่เขาได้ออกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 The Montreal Biosphere, world fair 1967

ในปี 1968 Albert A. Fink ได้ออกแบบโครงสร้างโดมซึ่งมีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งประกอบด้วยเหล็กฉากที่นำมาเมาต่อกันเป็นโครงโค้งประกอบกันด้วยการเชื่อมและสลักเกลียว [5] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างทรงโดมที่ออกแบบโดย Albert A. Fink

ในปี 2005 Marek Kubik ได้ศึกษาการโครงสร้างรูปทรงโดมแบบจีโอเดสิกโดม (geodesic dome) ด้วยหลักทางคณิตศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำระหว่างรอยต่อของโดมแบบโดมทรงกลม โดยใช้แผ่นจานเหล็กรูปวงกลม [8] ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 โครงสร้างทรงโดมที่ออกแบบโดย Marek Kubik

2. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธิการดำเนินงานศึกษาการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม ได้ออกแบบและทดสอบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อการก่อสร้างอาคารรูปทรงโดม สามารถแบ่งประเภทของการดำเนินงานได้ 4 ส่วน ดังนี้วิธิการดำเนินงานศึกษาการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม ได้ออกแบบและทดสอบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อการก่อสร้างอาคารรูปทรงโดม สามารถแบ่งประเภทของการดำเนินงานได้ 3 ส่วน ดังนี้

2.1 การออกแบบทางสถาปัตยกรรม

2.1.1 กำหนดรูปแบบของสถาปัตยกรรม โดยการกำหนดจะคำนึงถึงระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม ซึ่งในที่นี้ผู้ศึกษาได้เลือกโครงสร้างรูปทรงโดมในความถี่ 3V มาเป็นต้นแบบในการทดลองใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป เนื่องจากเป็นโดมที่มีความถี่เหมาะสมกับการประยุกต์การใช้งานที่หลากหลาย

2.1.2 กำหนดขนาด สัดส่วน และรูปแบบของสถาปัตยกรรม โดยการกำหนดความกว้าง ความยาว ความสูงของตัวอาคาร ที่เหมาะสมกับการใช้งานด้วยรูปร่างและสัดส่วนของคนไทย ตลอดจนต้องคำนึงถึงความต้องการพื้นที่ใช้สอยภายในสถาปัตยกรรมอีกด้วย โดยสถาปัตยกรรมทรงโดมที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้ ผู้ศึกษากำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 3.5 เมตร สูง 2 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 9.62 ตารางเมตร และสามารถขยายชิ้นส่วนให้โครงสร้างมีพื้นที่ที่ใช้สอยมากขึ้นได้ 2 ระดับ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เมตร สูง 3.81 เมตร มี

พื้นที่ใช้สอยประมาณ 33.17 ตารางเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 5.32 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 63.59 ตารางเมตร ตามลำดับ

2.1.3 กำหนดวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมรูปทรงโดม โดยผู้ศึกษากำหนดวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปคือ เหล็ก และอลูมิเนียมขึ้นรูปตามแบบที่กำหนด

2.2 การศึกษาเพื่อออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปและก่อสร้างอาคารโดมต้นแบบ

2.2.1 ศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารทรงโดม และปัจจัยต่าง ๆ ในการก่อสร้าง

2.2.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักเกณฑ์การออกแบบเพื่อนำไปพิจารณาทางเลือกในการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างสถาปัตยกรรมทรงโดม

2.2.3 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองสถาปัตยกรรมโดมในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบของชิ้นส่วนสำเร็จรูป และทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน

2.2.4 ออกแบบขั้นตอนการติดตั้ง-รื้อถอนอาคารสถาปัตยกรรมรูปทรงโดม ซึ่งประชาชนทั่วไปสามารถติดตั้งและก่อสร้างได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

2.3 การทดสอบชิ้นส่วนสำเร็จรูปและอาคารสถาปัตยกรรมทรงโดม

2.3.1 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยใช้โปรแกรม SolidWorks เพื่อทดสอบความแข็งแรง และหาค่าการรับแรงสูงสุดที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถก่อสร้างสถาปัตยกรรมรูปทรงโดมได้

2.3.2 ทำการวิเคราะห์การก่อสร้างสถาปัตยกรรมรูปทรงโดม โดยวิเคราะห์ถึงความสะดวกสบาย ความเข้าใจถึงขั้นตอนการติดตั้งและรื้อถอนที่ผู้ศึกษาได้ทำการออกแบบมาอย่างถูกต้อง เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของทุกชิ้นส่วนในโครงสร้าง

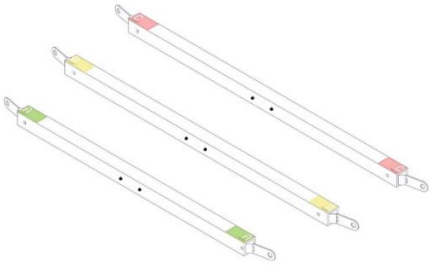
2.3.3 ทำการประเมินประสิทธิผลการก่อสร้างสถาปัตยกรรมรูปทรงโดมในด้านต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่ใช้สอย ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบถอดประกอบ การประกอบ การรับน้ำหนัก

3. ผลการวิจัย

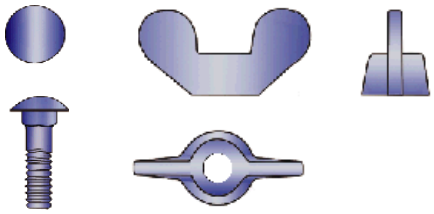
จากการศึกษากระบวนการในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม สามารถสรุปผลการออกแบบ ขั้นตอนการติดตั้ง รื้อถอน และการรับน้ำหนักขั้นต้น โดยสามารถจำแนกรายละเอียดของผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้กลม ได้ออกแบบและทดสอบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อการก่อสร้างอาคารรูปทรงโดม สามารถแบ่งประเภทของการดำเนินงานได้ 3 ส่วน ดังนี้

3.1 ผลการออกแบบ

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้าง ได้ผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมคำนวนโครงสร้าง SolidWorks และวัสดุต่าง ๆ ที่ผู้ศึกษาได้เลือกใช้สามารถจำแนกผลการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 4 ชิ้นส่วนทั้ง 3 ประเภท



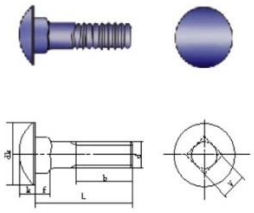
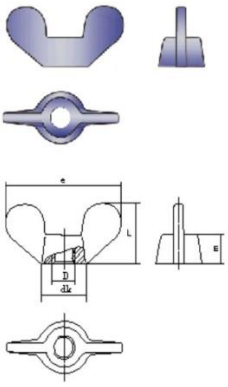
รูปที่ 5 ชิ้นส่วนสกรูหัวกลม (หัวเห็ด) และน็อตหางปลา

3.2 ขนาดและจำนวนของชิ้นส่วน

สถาปัตยกรรมรูปโดมทรงกลมแบบความถี่ระดับ 3 (Frequency Level 3; 3V) สามารถแบ่งประเภทของชิ้นส่วนหลักออกได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งในที่นี้ผู้ศึกษาได้ออกแบบให้ชิ้นส่วนทั้ง 3 ประเภทสามารถปรับชิ้นส่วนของโครงสร้างโดมเพื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ใช้สอยให้เหมาะสม สามารถใช้งานได้หลากหลายกิจกรรม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 3.5 เมตร สูง 2 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 9.62 ตารางเมตร และสามารถขยายชิ้นส่วนให้โครงสร้างมีพื้นที่ที่ใช้สอยมากขึ้นได้ 2 ระดับ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เมตร สูง 3.81 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 33.17 ตารางเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 5.32 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 63.59 ตารางเมตร ตามลำดับ รายละเอียดขนาดและจำนวนชิ้นส่วนสำเร็จรูปแต่ละประเภท ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ระดับ	สัดส่วนอาคาร	รหัส	รูปแบบชิ้นส่วน	ความยาว	จำนวน
1	DIAMETER : 3.47 m. HEIGHT : 2.05 m.	1A		0.60862 ม.	30 ชิ้น
		1B		0.70453 ม.	55 ชิ้น
		1C		0.72000 ม.	80 ชิ้น
2	DIAMETER : 6.46 m. HEIGHT : 3.81 m.	2A		1.13272 ม.	30 ชิ้น
		2B		1.31120 ม.	55 ชิ้น
		2C		1.34000 ม.	80 ชิ้น
3	DIAMETER : 9 m. HEIGHT : 5.32 m.	3A		1.57854 ม.	30 ชิ้น
		3B		1.82728 ม.	50 ชิ้น
		3C		1.86742 ม.	80 ชิ้น
* จำลองสัดส่วนมนุษย์มาตรฐานสูง 1.8 เมตร					

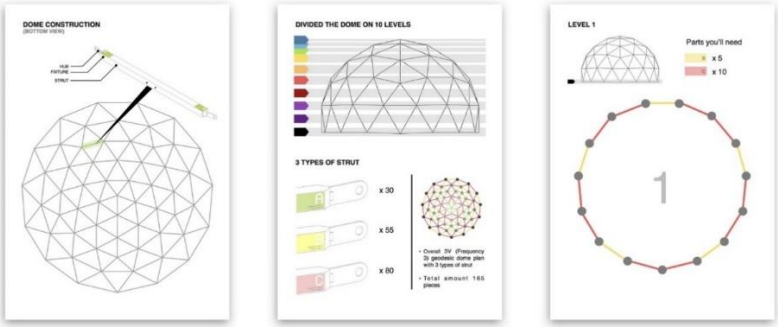
ตารางที่ 1 ตารางแสดงขนาดและจำนวนชิ้นส่วนแต่ละประเภท

รหัส	รูปแบบชิ้นส่วน	Thread Size	ความกว้าง (dk)	ความยาว (e)	ความสูง (L)	จำนวน
D1		M12	30.65 มม.	30.65 มม.	50 มม.	61 ชิ้น
D2		M12	20 มม.	62 มม.	31 มม.	61 ชิ้น

ตารางที่ 2 ตารางแสดงขนาดและจำนวนชิ้นส่วนแต่ละประเภท (ต่อ)

3.3 คู่มือสำหรับการติดตั้งระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

การศึกษาการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ เพื่อให้ประชาชนทั่วไปที่ใช้งานเกิดความเข้าใจในการติดตั้งอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้โดยง่าย ผู้ศึกษาได้จัดทำคู่มือสำหรับการติดตั้งระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยรูปแบบของคู่มือการติดตั้งโครงสร้างโดมทรงกลมมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นหนังสือขนาด A5 เพื่อให้มีความสะดวกสบายในการพกพา และเลือกใช้รูปแบบของเนื้อหาเป็นสื่อกราฟฟิกที่มีการแบ่งลำดับขั้นตอนของการติดตั้งโครงสร้างโดมทรงกลมออกเป็นระดับชั้น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างคู่มือการติดตั้งโครงสร้างโดมทรงกลม

3.4 ขั้นตอนการติดตั้ง

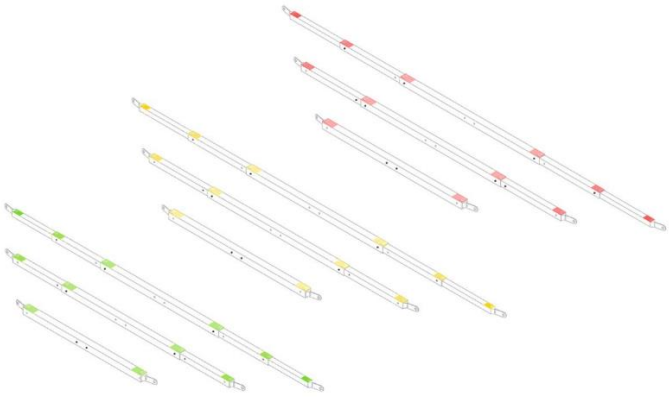
การศึกษาการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม หลังจากได้ดำเนินการออกแบบรูปแบบโครงสร้างและรูปแบบสถาปัตยกรรมแล้ว ต่อมาจึงได้เตรียมความพร้อมทางด้านการประกอบ (Built-up) ของโครงสร้างอาคาร ผู้ศึกษาได้เตรียมขั้นตอนการติดตั้งไว้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพื้นที่หน้าดิน
ขั้นตอนที่ 2 การปรับสภาพพื้นดิน
ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมชิ้นส่วนสำเร็จรูป
ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งชิ้นส่วนของฐาน
ขั้นตอนที่ 5 การติดตั้งโครงสร้างของตัวอาคาร
ขั้นตอนที่ 6 การตรวจสอบจุดต่อโครงสร้าง

3.5 ผลการทดสอบ

การศึกษาการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลม ผู้ศึกษาได้วิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณโครงสร้าง SolidWorks ซึ่งเป็นการเจาะลึกให้ผู้ศึกษาสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ไม่เพียงแต่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม แต่ยังคงสามารถใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้อีกด้วย

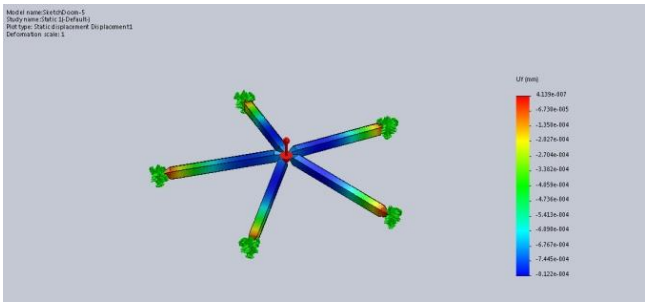
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณโครงสร้าง SolidWorks ได้ผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่ผ่านมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน โดยผู้ศึกษาได้ทำการทดสอบประกอบโครงสร้างของอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมที่ออกแบบทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ระดับที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นส่วน A ขนาด 0.60862 เมตร จำนวน 30 ชิ้น ชิ้นส่วน B ขนาด 0.70453 เมตร จำนวน 55 ชิ้น ชิ้นส่วน C ขนาด 0.72 เมตร จำนวน 80 ชิ้น, ระดับที่ 2 ประกอบด้วยชิ้นส่วน A ขนาด 1.13272 เมตร จำนวน 30 ชิ้น ชิ้นส่วน B ขนาด 1.3112 เมตร จำนวน 55 ชิ้น ชิ้นส่วน C ขนาด 1.34 เมตร จำนวน 80 ชิ้น และระดับที่ 3 ประกอบด้วยชิ้นส่วน A ขนาด 1.57854 เมตร จำนวน 30 ชิ้น ชิ้นส่วน B ขนาด 1.82728 เมตร จำนวน 55 ชิ้น ชิ้นส่วน C ขนาด 1.85742 เมตร จำนวน 80 ชิ้น ดังรูปที่ 7



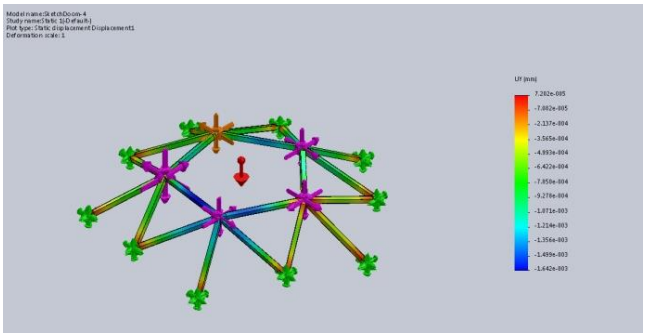
รูปที่ 7 ชิ้นส่วน 3 ประเภท ทั้ง 3 ระดับ

ทั้งนี้โครงสร้างโดมทุกระดับผ่านการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้าง ได้ผลการการทดสอบที่มีความแข็งแรง สามารถก่อสร้างเป้นโดมทรงกลมได้ ยกตัวอย่างเช่น โดมทรงกลมระดับที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เมตร สูง 2 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 9.62 ตารางเมตร จากการวิเคราะห์แบบ Displacement Analysis ของรูปแบบแรก หรือ แบบที่ไม่ยืดแขนของแต่ล่ะก้าน

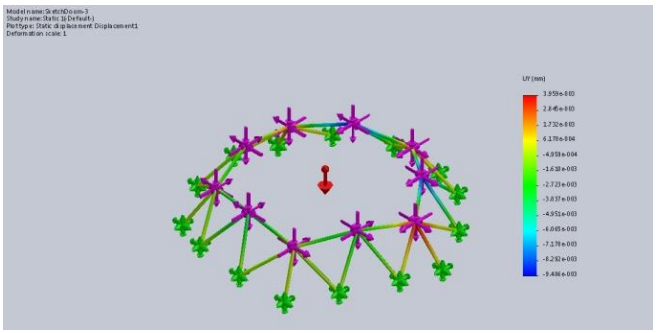
ออกไป โดยได้ทำการแยกชั้นของชิ้นงานในการทดสอบเนื่องจาก ตัวแปรที่มากเกินไปจนทำให้เครื่องไม่สามารถคำนวณได้ จนทำให้ได้ค่าตามที่แสดงในรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 11 เมื่อดูจากแถบสีบนชิ้นงานทำให้เห็นว่าค่าการโก่งงอของชิ้นงานมีค่าไม่ถึง 1 มิลลิเมตร จึงทำให้สามารถ วิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานสามารถรับน้ำหนักของตัวมันเองได้ และค่า Stress ในแต่ล่ะชิ้นไม่เกินค่า Maximum Stress ของชนิดของวัสดุที่ทำการทดสอบ ในที่นี้วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ใช้เป็น Aluminum โดยมีค่ากลางในการทดสอบมีค่าดังรูปที่ 12



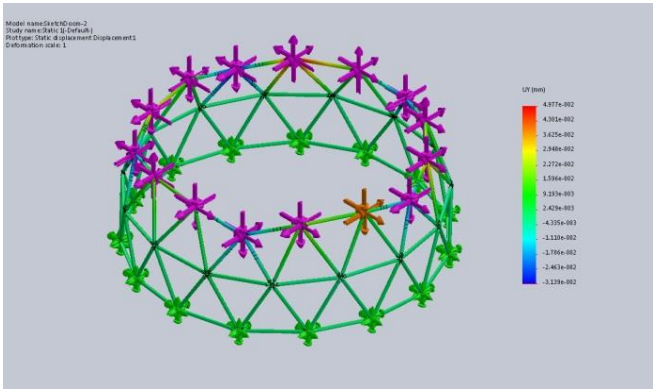
รูปที่ 8 การทดสอบ Displacement Analysis โครงสร้างโดมทรงกลมระดับที่ 1 ในระดับชั้นที่ 10



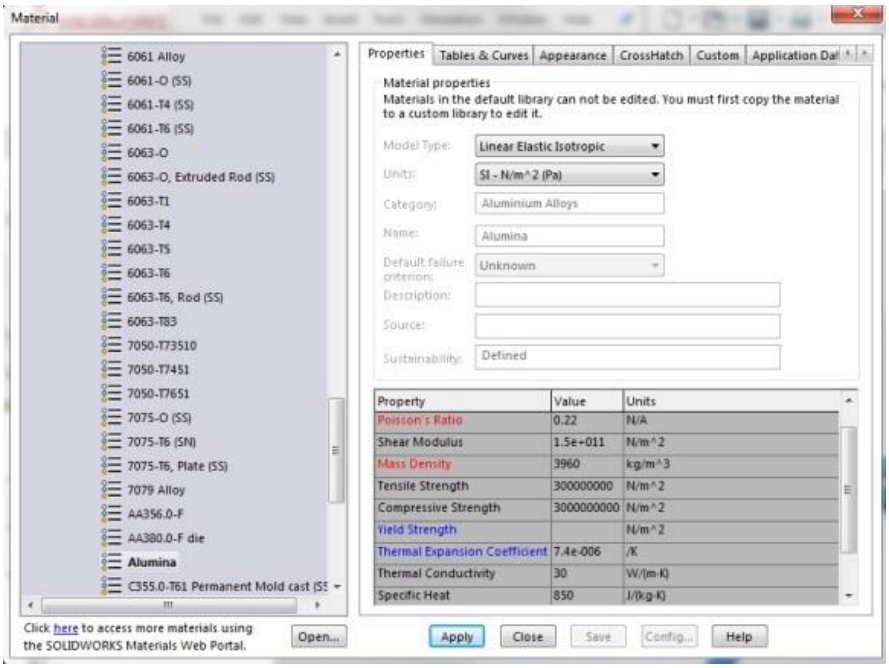
รูปที่ 9 การทดสอบ Displacement Analysis โครงสร้างโดมทรงกลมระดับที่ 1 ในระดับชั้นที่ 8 และ 9



รูปที่ 10 การทดสอบ Displacement Analysis โครงสร้างโดมทรงกลมระดับที่ 1 ในระดับชั้นที่ 6 และ 7



รูปที่ 11 การทดสอบ Displacement Analysis โครงสร้างโดมทรงกลมระดับที่ 1 ในระดับชั้นที่ 1, 2, 3, 4 และ 5



รูปที่ 12 ค่ากลางของวัสดุ Aluminum

4. สรุปผลและอภิปราย

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมที่จัดทำขึ้นมานี้ เหมาะสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการสร้างสถาปัตยกรรมแบบชั่วคราวกึ่งถาวร กล่าวคือจะมีการใช้งานที่ไม่เป็นระยะเวลายาวนาน หรือจะใช้งานเป็นระยะยาวก็ได้ โดยรูปแบบของโครงสร้างโดมทรงกลมสามารถขยายชิ้นส่วนได้ เพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอยภายในให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นที่พักอาศัย ที่พักผ่อน ที่เก็บของ โรงเรือนเพาะปลูก และสถาปัตยกรรมอื่น ๆ ที่ต้องการใช้โครงสร้างแบบรวดเร็ว สามารถแบ่งพื้นที่ความเป็นส่วนตัวออกจากพื้นที่โดยรอบ

การออกแบบระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ เลือกใช้ระบบก่อสร้างแบบถอดประกอบ (Knock Down System) ที่มีความมั่นคงแข็งแรง มีความปลอดภัย ไม่เกิดอันตรายต่อผู้ติดตั้งและใช้งานโครงสร้างจากระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้ นอกจากนี้ยังกำหนดให้สามารถรื้อถอนโครงสร้างได้ เพื่อไม่เพียงแต่รื้อถอนเพื่อขยายโครงสร้างให้ปรับเปลี่ยนตามลักษณะการใช้งาน แต่ยังคงสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งเพื่อใช้งานในสถานที่อื่น หรือกิจกรรมอื่น ๆ ได้อีกด้วย

โครงสร้างของโดมทรงกลมที่ประกอบด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้มีโครงสร้างของสถาปัตยกรรมเป็นลักษณะเป็นโดมทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 3.5 เมตร สูง 2 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 9.62 ตารางเมตร และสามารถขยายชิ้นส่วนให้โครงสร้างมีพื้นที่ที่ใช้สอยมากขึ้นได้ 2 ระดับ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เมตร สูง 3.81 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 33.17 ตารางเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 5.32 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 63.59 ตารางเมตร ตามลำดับ

งานวิจัยการพัฒนาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับก่อสร้างโดมทรงกลมนี้ มีเหตุผลในการเลือกใช้สถาปัตยกรรมรูปโดมทรงกลมแบบความถี่ระดับ 3 (Frequency Level 3; 3V) ที่ใช้ระบบชิ้นส่วนที่สามารถถอดประกอบและขยายพื้นที่ใช้สอยได้ เพื่อเป็นการสร้างนวัตกรรมใหม่ของสถาปัตยกรรมแบบชั่วคราวกึ่งถาวร เนื่องจากเป็นรูปทรงที่มีความงดงามของสถาปัตยกรรม และสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานได้หลากหลายประเภท นอกจากนี้ยังเป็นรูปทรงที่มีความเสถียรภาพทางโครงสร้าง (Stability) ลักษณะของรูปทรงโดมมีความสารถในการรับแรงลมได้ดี และสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สุธี ปิยะพิพัฒน์, ศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์ และสมศักดิ์ คำปลิว. 2550. “โครงการพัฒนาปรับปรุงระบบการก่อสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักฉุกเฉิน”. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 5, ฉบับที่ 10 (ก.ค. – ธ.ค. 2550), 63-74.

[2] กรมโยธาทหารอากาศ. 2550. “การแบ่งประเภทของอาคาร”. www.softbiz plus.com/knowledgemanagement/592-type-of-building [29 พฤษภาคม 2559]

[3] Michelle Kennedy Hogan. 2015. “5 Great Reason to Build a Geodesic Dome Home”. www.inhabitat.com/5-great-reasons-to-build-a-geodesic-dome-home/vaulted_structures_introduction_en.php [29 พฤษภาคม 2559]

[4] สนธพล กริชนวรักษ์, พรชัย เลาหชัย, และจาตุรนต์ วัฒนผาสุก. 2547. “เทคนิคการออกแบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยชั่วคราวระบบก่อสร้างเร็วด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณสำเร็จรูป”. วิทยานิพนธ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] Albert A. Fink 1968. “Dome Structure and Method of Fabrication and Erection”. United States Patent Office Patent.

[6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540. “การก่อสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป. ม.ป.ท.”.

[7] R. Buckminster Fuller. 1984. **Critical Path.** St. Martin’s Press. New York.

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