การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการช่วยสร้างโมเดลโครงสร้าง Plate เหล็กประกอบ

โดย
นางสาวจีราพร เดชเดชากร

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม แผน ข แบบ ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการช่วยสร้างโมเดลโครงสร้าง Plate เหล็กประกอบ

โดย
นางสาวจีราพร เดชเดชากร

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม แผน ข แบบ ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PLUG-IN FOR STEEL STRUCTURE: MODEL CREATION PROGRAM FOR BUILT – UP FROM PLATE

By

MISS Jeeraporn DETDECHAKORN

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (Computer-aided Architectural Design)

Department of Architectural Technology

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2020

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการช่วยสร้างโมเดลโครงสร้าง Plate เหล็กประกอบ
โดย	จีราพร เดชเดชากร
สาขาวิชา	คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม แผน ข แบบระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ศาสตราจารย์ ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ศาสตราจารย์ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

61059301 : คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม แผน ข แบบ ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : PEB, Steel Structure

นางสาว จีราพร เดชเดชากร: การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการช่วยสร้างโมเดลโครงสร้าง Plate เหล็กประกอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศาสตราจารย์ ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์

เนื่องจากในปัจจุบัน ธุรกิจการก่อสร้างมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาช่วยในการทำงานในกระบวนต่างๆมากขึ้นอย่างแพร่หลาย ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวกมากขึ้น ภายใต้ระยะเวลาการทำงานที่น้อยลง รวมถึงการนำระบบการทำงาน "Building Information Modeling" เข้ามาเป็นแนวทางในการทำงานโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่รองรับแนวทางในการทำงานด้วยระบบ "Building Information Modeling" เป็นการทำงานที่ใช้โมเดล 3 มิติ เป็นเครื่องมือหลักในการทำงานร่วมกันระหว่างฝ่าย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสื่อสารและเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานได้มากขึ้นกว่าเดิม

อย่างไรก็ดี โปรแกรมสำเร็จรูปที่รองรับการทำงานด้วยระบบ "Building Information Modeling" นั้นมีราคาสูง อีกทั้งผู้ใช้งานยังต้องตระหนักถึงต้นทุนอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการทำงานแบบเต็มรูปแบบและการสื่อสารในการทำงานระหว่างฝ่ายที่มีประสิทธิภาพ ทำให้การทำงานด้วยระบบนี้ มีต้นทุนการทำงานที่สูงกว่าการทำงานในรูปแบบเดิม ดังนั้นการพิจารณานำเครื่องมือหรือโปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาใช้งาน ประสิทธิผลและราคาจึงเป็นปัจจัยหลักที่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึง นอกจากนี้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานภายใต้ระบบ Building Information Modeling นั้นมีค่อนข้างหลากหลาย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกเครื่องมือได้ตามความต้องการ แต่หากต้องสามารถส่งต่อข้อมูลที่สร้างเพื่อให้ฝ่ายที่เกี่ยวข้องได้นำไปใช้งานในกระบวนการอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ธุรกิจงานผลิตโครงสร้างเหล็กก็เป็นอีกธุรกิจหนึ่งที่นิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเฉพาะทางด้านงานเหล็ก ซึ่งมีราคาสูงและในการสร้างโครงสร้างเหล็กในรูปแบบ PEB หรือโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนั้นมีขั้นตอนการสร้างที่ซับซ้อน ทำให้เกิดต้นทุนการทำงานที่สูงตามไปด้วยนั่นเอง

จากปัจจัยข้างต้น จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมเสริมที่ทำงานในโปรแกรมที่มีราคาต่ำกว่าที่รองรับการพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยลดความซับซ้อนในการทำงานในส่วนของการ

สร้างโมเดลโครงสร้างเหล็ก ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อช่วยลดปัญหาความซับซ้อนที่ทำให้ผู้ใช้งานต้องเสียเวลามากและปัญหาในเรื่องราคาของโปรแกรมเพื่อลดต้นทุนการทำงานให้น้อยลง อีกทั้งยังมีแนวคิดในการพัฒนากระบวนการส่งข้อมูลที่สร้างเพื่อส่งไปทำงานกระบวนการอื่นในโปรแกรมเฉพาะทางได้โดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการสร้างโมเดลใหม่อีกด้วย

61059301 : Major (Computer-aided Architectural Design)
Keyword : Steel, Steel Structure

MISS JEERAPORN DETDECHAKORN : PLUG-IN FOR STEEL STRUCTURE: MODEL CREATION PROGRAM FOR BUILT – UP FROM PLATE THESIS ADVISOR : PROFESSOR THITIPAT PRATHARNSAP

Nowadays, there are various Software adopted into Construction Business increasingly. These Softwares are the tools helping users to maximize their outputs with shorter or limited time. Most of companies adopted and deployed the concept of "Building Information Modeling" or "BIM" into their business. BIM is a concept of working by using 3D Model to communicate with others related diciplins to let them communicate and collaborate their jobs in the same points of view.

By the way, accoding to BIM Concept, there are various tools or Software which working on the conept of BIM called "BIM Software" but mostly are high price,so propered tools need to be set for the best outputs. Becasue of the varities of BIM Software, main point of working on BIM is efficient communication between parties.

Steel Structure Business is one of business using BIM Software and working on BIM Concept. Becasue of the tasks, Steel Structure needs to use specialized Software which has very high cost. In this point will state in PEB or Plate Build-Up Steel Structure which has some complicated process of creation, so this point can cause high cost of working hour as well.

According to these points, Model Creation plug-in for Steel Structure of Plate Build - Up is created so that to reduce time of model creation. This ideas are to reduce working hour cost by reduce the time and complicated steps of working in model creation. By using lower cost of BIM Software that can work well for model creation with less steps but can forward the file to continue working for more detailing steps in Specialized Software and to be adjustable without redo a model.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการค้นคว้าอิสระนี้ มีจุดมุ่งเหมายเพื่อลดปัญหาและลดต้นทุนในการทำงานให้กับผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้นำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้

ทั้งนี้โครงการค้นคว้าอิสระสำเร็จลุล่วงได้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบริษัททริมเบิล โซลูชั่นส์ เอสอีเอ พีทีอี ลิมิเต็ด ในการสนับสนุนทั้งเงินทุนและซอฟต์แวร์ที่ใช้ค้นคว้า

ขอขอบพระคุณคุณพงษ์สุร อังคณานุชาติ ผู้จัดการประจำประเทศไทย

คุณตะวัน บุญนิธี คุณเชษฐ์ ชูทรัพย์ วิศวกรโครงสร้างผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านโปรแกรม Tekla Structure ที่ให้คำแนะนำและความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลและรูปแบบโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบรวมถึงข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการให้คำแนะนำด้านแนวคิดการออกแบบโปรแกรมเสริม แนวคิดการดำเนินการ รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ

ขอบขอบพระคุณ อาจารย์ธารา จำเนียรดำรงการ, อาจารย์ประยุทธ สำหรับคำแนะนำและแนวทางในการค้นคว้า

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ครอบครัวและเพื่อนที่คอยเป็นกำลังใจให้ทำให้โครงการค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จีราพร เดชเดชากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 1

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

บทที่ 2 บัญญัติคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 Built Up Beam ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบัน 3

- เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (hot-roll structural steel section) 3

-เหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ (Welded structural steel section) 4

2.2 โครงสร้างแบบ Plate ประกอบในปัจจุบัน 5

โครงสร้างอาคารขนาดใหญ่ (อาคาร โครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ STRUCTURAL STEEL BUILDING,2563) 5

2.3 รูปแบบโครงสร้างในปัจจุบัน 6

2.4 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในปัจจุบัน e.g. เกรดเหล็ก 8

2.4.1 ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการก่อสร้าง 8

2.4.2 ข้อดีเพิ่มเติมของการก่อสร้างด้วยรูปแบบ Built-Up 9

2.4.3. การศึกษาระบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอย....9
2.5 ตัวอย่างกรณีศึกษาข้อมูลทางสถิติทางโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและขนาดของโครงสร้างแบบ PEB....9
2.6. การใช้ประโยชน์จากข้อมูลในกระบวนการนำเสนองาน....11
2.7. กระบวนการทำงานในการสร้างโมเดลแบบ Plate ประกอบ....12
2.7.1. การใช้เครื่องมือ 2D CAD....12
2.7.2. การนำระบบ BIM (Building Information Modeling) เข้ามาใช้งาน....13
2.7.3. เครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำงานด้านโครงสร้างเหล็กในปัจจุบัน....15
Tekla Structure....15
Revit : Revit Structure....22
2.7.4. ปัญหาที่พบจากการใช้งานโปรแกรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน....25
2.8 การสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยเครื่องมืออื่นๆ....25
2.8.1. SketchUp....25
2.9 ความสามารถในการส่งข้อมูลระหว่างโมเดล....27
รูปแบบของ IFC....28
IFC File Format....28
IFC XML File Format....28
หน้าจอการตั้งค่า IFC ในโปรแกรมต่างๆ....29
2.10. SketchUp: IFC Export และปัญหาที่พบ....31
2.11. ข้อสรุปโดยรวม....31
บทที่ 3 การออกแบบและแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือ....35
แนวความคิดในการออกแบบโปรแกรม....35
3.1 แนวความคิด....35
3.2 แนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ....36

3.3 ความสามารถของโปรแกรมเสริมที่ต้องการพัฒนา....37
3.4 แนวทางในการพัฒนารูปแบบเครื่องมือ....37
3.4.1. การสร้างชิ้นงาน Web....38
3.4.2. การสร้างชิ้นงาน Flange....38
3.4.3 หลักการทำงานของกระบวนการสร้างโมเดล....40
3.5. การศึกษา Module ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเครื่องมือเสริม....41
3.5.1 Module Project Setting (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)....41
กระบวนการการทำงานของหน้าจอการทำงานที่สร้างขึ้น....43
3.5.2 Module Creation (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)....44
กระบวนการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม SketchUp....44
โครงสร้างเหล็กรูปแบบ A....45
ตัวอย่างโปรแกรมที่เขียนใน Module Creation ที่ใช้ในการสร้างโมเดลชิ้นงานหลักซึ่งได้แก่ Web และ Flange....46
โครงสร้างเหล็กรูปแบบ B....50
3.5.3. Module Export File (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)....53
กระบวนการทำงานในขั้นตอนของการสร้างไฟล์ IFC XML ต้นแบบที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure....53
3.6 สรุปผลข้อมูล....56
บทที่ 4 วิธีติดตั้งและใช้งานโปรแกรมเสริม....57
รูปแบบของตัวโปรแกรม....57
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา....65
ข้อคิดเห็นจากกลุ่มผู้ใช้งาน....66
กลุ่มผู้ใช้งานที่ใช้งานโปรแกรม Tekla Structure เป็นประจำ....66
กลุ่มผู้ใช้งานที่ใช้เคยใช้งานโปรแกรม Tekla Structure เป็นครั้งคราวและไม่เคยใช้เลย....66

แนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติม.....66
อุปสรรคและข้อจำกัด.....67
ข้อเสนอแนะ.....68
รายการอ้างอิง.....69
ภาคผนวก.....70
ภาคผนวก ก มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ.....71
ภาคผนวก ข เหล็กที่ขายในท้องตลาดตามมาตรฐานเหล็ก.....103
ประวัติผู้เขียน.....108

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 Build-up beam ที่มา Build-up Beam, https://tipsforconstruction.wordpress.com/2020/06/29/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%b0%e0%b9%80%e0%b8%a0%e0%b8%97%e0%b8%82%e0%b8%ad%e0%b8%87-%e0%b9%80%e0%b8%ab%e0%b8%a5%e0%b9%87%e0%b8%81%e0%b8%a3%e0%b8%b9%e0%b8%9b%e0%b8%9e%e0%b8%a3%e0%b8%a3%e0%b8%93-%e0%b9%80/ 5

ภาพที่ 2 รูปแบบโครงสร้างอาคารในปัจจุบัน ที่มา Pre-Engineering Building (PEB): TYPE OF STANDARD MAIN FRAME, http://ablengg.com/products/pre-engineered-buildings-peb/ 6

ภาพที่ 3 รูปแบบโครงสร้างอาคารที่นิยมใช้งาน ที่มา Pre-Engineering Building (PEB): TYPE OF STANDARD MAIN FRAME, http://ablengg.com/products/pre-engineered-buildings-peb/ 7

ภาพที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 1 ที่มา Framing schematics, https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics 10

ภาพที่ 5 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 2 ที่มา Framing schematics, https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics 10

ภาพที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 3 11

ภาพที่ 7 Workflow ที่ต้องการแก้ปัญหา 16

ภาพที่ 8 รูปแบบ User Interface ของโปรแกรม Tekla Structure 16

ภาพที่ 9 ตัวอย่างการเลือก Auto-Component ที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ 17

ภาพที่ 10 ตัวอย่างการทำงานด้วย Component ที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้กับผู้ใช้งานในโปรแกรม Tekla Structure 18

ภาพที่ 11ภาพด้านบน : การเลือกรูปแบบ Frame ที่ต้องการสร้าง ผู้ใช้งานจะต้องกรอกค่าที่จำเป็นเพื่อสร้างชิ้นงาน 18

ภาพที่ 12 ภาพด้านบน: ตัวอย่าง PEB Tapered และการตั้งค่า 19

ภาพที่ 13ตัวอย่าง: ภาพหน้าจอการทำงานของโปรแกรม Revit 23

ภาพที่ 14ตัวอย่าง: ภาพการเก็บค่าใน Family ของโปรแกรม Revit (1).....23

ภาพที่ 15 ตัวอย่าง: ภาพการเก็บค่าใน Family ของโปรแกรม Revit (2).....24

ภาพที่ 16ตัวอย่าง: หน้าจอการทำงานของโปรแกรม SketchUp.....26

ภาพที่ 17 รูปแบบการส่งข้อมูลด้วย IFC File 28

ภาพที่ 18 ตัวอย่าง: การจัดเก็บข้อมูลใน IFC File Format.....28

ภาพที่ 19 ตัวอย่าง: การจัดเก็บข้อมูลใน IFC XML File Format.....29

ภาพที่ 20 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Revit.....29

ภาพที่ 21 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Tekla Structure 30

ภาพที่ 22 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Tekla Structure (ต่อ).....30

ภาพที่ 23 ภาพการส่งไฟล์ IFC ไปยังโปรแกรม Tekla Structure.....31

ภาพที่ 24 Workflow การทำงานในรูปแบบเดิม.....32

ภาพที่ 25 ภาพ Workflow การทำงานในรูปแบบใหม่หลังพัฒนาโปรแกรมเสริม.....33

ภาพที่ 26 รูปแบบโครงสร้างที่ต้องการนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมเสริม 34

ภาพที่ 27 ตัวอย่างการกำหนดจุดเพื่อสร้างรูปสี่เหลี่ยม 40

ภาพที่ 28 ตัวอย่างการเก็บค่าขนาดชิ้นงานในไฟล์ IFC XML 40

ภาพที่ 29 ตัวอย่างหน้าจอการกรอกค่าของโปรแกรมเสริมในตอนแรก 42

ภาพที่ 30 รูปแบบการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปแบบ A.....42

ภาพที่ 31 รูปแบบการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปแบบ B.....43

ภาพที่ 32 ตัวอย่างการทำงานของหน้าจอการทำงานของโปรแกรมเสริม 43

ภาพที่ 33 ภาพการแสดงผลเตือนเมื่อมีการกรอกข้อมูลผิดพลาด 44

ภาพที่ 34 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ A 45

ภาพที่ 35 ตัวอย่าง Code ในการสร้างเสา Column ในส่วนของ Web และ Flange 47

ภาพที่ 36 ตัวอย่าง Code ในการสร้าง Rafter ในส่วนของ Web และ Flange 48

ภาพที่ 37 ภาพอธิบายการสร้างชิ้นงาน Rafter 49

ภาพที่ 38 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ B 50

ภาพที่ 39 ตัวอย่าง Code ในการสร้างชิ้นงานจั่วของโครงสร้างรูปแบบ B 51

ภาพที่ 40 ตัวอย่าง Code ในการสร้าง Flange ของชิ้นงานจั่วของโครงสร้างรูปแบบ B 52

ภาพที่ 41ภาพอธิบายการสร้างชิ้นงาน Ridge หรือจั่ว จากการส่งค่า $firstpoint, $secondpoint 52

ภาพที่ 42 ตัวอย่างการตั้งตัวแปรเพื่อแทนที่ค่า ใน IFC XML ที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure ..54

ภาพที่ 43 การเตรียมค่าที่ได้จากการสร้างโมเดลในโปรแกรม SketchUp เพื่อไปแทนที่ค่าใน IFC XML.....54

ภาพที่ 44 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งเพื่อให้แทนที่ค่าที่ได้จากการสร้างโมเดลไปยัง IFC XML ที่เตรียมไว้ 56

ภาพที่ 45 ตัวอย่างไฟล์ที่ถูกแทนที่ค่าและสร้างขึ้นเป็นไฟล์ IFC XML 56

ภาพที่ 46 ขั้นตอนการเปิด Ruby Console ในโปรแกรม SketchUp 57

ภาพที่ 47 ขั้นตอนการพิมพ์ load คำสั่งโปรแกรมเสริมใน Ruby Console 58

ภาพที่ 48 โปรแกรมเสริมถูกเรียกใช้งานในโปรแกรม SketchUp 58

ภาพที่ 49 ตัวอย่างการกรอกค่าในหน้าจอของโปรแกรมเสริม 59

ภาพที่ 50 หน้าจอแสดงโครงสร้างตามขนาดที่กรอกในโปรแกรม SketchUp.....59

ภาพที่ 51 ไฟล์ IFC XML ที่ได้จากการสร้างไฟล์ด้วยโปรแกรมเสริม.....60

ภาพที่ 52 ภาพหน้าจอการทำงานในโปรแกรม Tekla Structure 60

ภาพที่ 53 วิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าในโปรแกรม Tekla Structure.....61

ภาพที่ 54 วิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าในโปรแกรม Tekla Structure (ต่อ) 61

ภาพที่ 55 Reference Model ที่ได้จากไฟล์ IFC XML ที่นำเข้ามาในโปรแกรม Tekla Structure 62

ภาพที่ 56 ตัวอย่างกระบวนการ Convert ไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure.....62

ภาพที่ 57 ขั้นตอนการ Convert ไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure.....63

ภาพที่ 58 ภาพแสดงการ Convert ไฟล์ Reference Model เรียบร้อยแล้ว.....63

ภาพที่ 59 ภาพแสดงขั้นตอนการปิดไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure 64

ภาพที่ 60 โครงสร้างเหล็กที่สร้างจากโปรแกรมเสริมนำมาทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure 64

ภาพที่ 61 ตัวอย่างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ A ที่ได้จากโปรแกรมเสริมและนำไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure.....67

ภาพที่ 62 ตัวอย่างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ B ที่ได้จากโปรแกรมเสริมและนำไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure.....67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในการออกแบบทางวิศวกรรมนั้น มีการนำเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบเข้ามาใช้งานหลากหลาย ซึ่งเน้นการนำเครื่องมือเข้ามาปรับใช้ในการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันนั้นเครื่องมือเฉพาะทางสำหรับการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กที่นิยมใช้กัน ได้แก่ Tekla โดยนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบโมเดลโครงสร้างเหล็กซึ่งหากใช้วัสดุพื้นฐานหรือเหล็กรูปพรรณในการออกแบบแล้วนั้น โปรแกรมเฉพาะทางสามารถทำได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน แต่หากเป็นการออกแบบในลักษณะที่เป็น Plate ประกอบกันเป็นโครงเหล็กที่มีรูปร่างไม่คงที่ เช่น การสร้างโครงสร้างแบบ PEB หรือ Pre-Engineered Building จะทำได้ยากและมีขั้นตอนที่ซับซ้อน เนื่องจากค่าพื้นฐานที่โปรแกรมกำหนดมาให้นั้นมีความหลากหลายเพื่อรองรับการออกแบบโครงสร้างชนิดนี้ในรูปแบบและขนาดที่หลากหลาย ทำให้ผู้ใช้งานต้องเสียเวลาในการตั้งค่าและสร้างชิ้นงานต่างๆขึ้นมาเพื่อประกอบเป็นโครง อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนในส่วนของ Software นั้นมีราคาสูงและอาจจะไม่คุ้มค่าหากต้องเสียเวลาในการขึ้นโมเดลประเภท PEB ซึ่งหากสามารถทำงานในกระบวนการนี้ในเครื่องมือที่มีต้นทุนน้อยกว่าและสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่า ก็จะเป็นการช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการทำงานได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาเครื่องมือในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบเพื่อทดแทนกระบวนการสร้างโมเดลที่มีความซับซ้อนที่เกิดขึ้นในโปรแกรม Tekla Structure โดยสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลจากโมเดลโดยการส่งต่อไฟล์ข้อมูลที่ได้ผ่าน IFC XML ไปทำงานต่อได้ในกระบวนการอื่นๆ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการสร้างโครงสร้างสำเร็จรูปหรือ PEB (Pre-Engineered Buildings) มีอยู่ 3 แบบหลัก คือ การสร้างจากเหล็กรูปพรรณคือการนำเอาเหล็กรูปพรรณที่มีรูปแบบและมาตรฐานที่แน่นอนมาประกอบกัน, โครงถักสำเร็จรูป (Truss) และการสร้างโครงจาก Portal Frame ซึ่งเป็นการสร้างโครงสร้างจากการนำ Plate มาประกอบกันในรูปแบบที่ไม่ตายตัว เช่น หัวเสามีขนาดใหญ่กว่าฐานเสา เป็นต้น จึงมีความยุ่งยากในการตั้งค่าและการสร้าง แต่โครงสร้างที่นิยมใช้กันในโครงสร้าง

ขนาดเล็กและขนาดกลางมักใช้ระบบ Plate มาประกอบกัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกโครงสร้างที่เป็น Plate ประกอบกันมาเป็นกรณีศึกษา

สำหรับโครงสร้างแบบ Plate ประกอบในโปรแกรม Tekla มีการเตรียมค่าเบื้องต้นในการสร้างโครงเหล็กชนิดนี้ แต่มีความซับซ้อนและต้องเสียเวลาในการตั้งค่าค่อนข้างมาก อีกทั้งโปรแกรมมีราคาสูง หากเราสามารถขึ้นโมเดลชนิดนี้ด้วยโปรแกรมอื่นที่มีต้นทุนน้อยกว่าและสามารถส่งข้อมูลไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla ได้ น่าจะเป็นประโยชน์ในกระบวนการทำงานมากขึ้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษารูปแบบมาตรฐานของโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบที่นิยมใช้ในประเทศไทย

2. ศึกษารูปแบบและวิธีการตั้งค่าการสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบเพิ่มเติม ในโปรแกรม Tekla หรือโปรแกรมอื่นๆในลักษณะเดียวกันเพื่อการนำมาปรับใช้ในการสร้างโปรแกรมเสริม

3. ศึกษาถึงรูปแบบและข้อมูลของมาตรฐานเหล็กแบบ Plate ที่จะนำมาใช้งาน

4. ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการนำเสนองานในขั้นตอน Preliminary ว่ามีข้อมูลจำเป็นใดบ้างเพื่อจะได้ใส่ข้อมูลให้ถูกต้องในขั้นตอนการสร้างโมเดล

5. พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
บัญญัติคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

NC File คือ รูปแบบข้อมูลหรือ File Format ที่เครื่องจักรสามารถอ่านข้อมูลเพื่อกระบวนการผลิตชิ้นงานตามแบบที่ต้องการ

AutoCAD คือ โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเขียนแบบ 2 มิติ

Tekla Structure คือโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานเฉพาะด้านโครงสร้างและสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องจักรเพื่อการผลิตได้

2.1 Built Up Beam ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบัน

ความหมายของ Built-Up Beam และความแตกต่างระหว่างคานประกอบและเหล็กรูปพรรณ

เหล็กรูปพรรณ (เรื่องน่ารู้ของวัสดุก่อสร้าง : ประเภทของเหล็กรูปพรรณ, 2563) เหล็กโครงสร้างอาคารที่มีรูปแบบหน้าตัดหลากหลาย ใช้เป็นโครงสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น เสา คาน คอสะพาน เป็นต้น โดยรูปแบบของหน้าตัด และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อการนำไปใช้งาน

โครงสร้างในแต่ละส่วนของอาคารที่ต่างกันสามารถแบ่งประเภทได้ตามกระบวนการผลิต ซึ่งมี 3 ประเภทได้แก่

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (hot-roll structural steel section)

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น (Cold form structural steel section)

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ (Welded structural steel section)

- เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (hot-roll structural steel section)

มีการผลิตมากมายหลายมาตรฐาน และมีการผลิตใช้งานในต่างประเทศมายาวนาน เนื่องจากผลิตได้รวดเร็ว และเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง โดยประเทศผู้ผลิตเหล็ก จะผลิตเหล็กโดยมีมาตรฐานเป็นของตนเอง เพื่อให้ประเทศที่มีการจัดการ

อุตสาหกรรมแบบเดียวกันยอมรับและ นำไปใช้งาน มาตรฐานเหล็กตามระบบ ที่นิยมใช้กันเป็นมาตรฐานสากล มี 3 ระบบ คือ

ระบบอเมริกา นิยมใช้กัน 2 มาตรฐาน

– ระบบ AISI (American Iron and Steel Institute)

– ระบบ SAE (Society of Automotive Engineer)

ระบบเยอรมัน เรียกว่า DIN (Deutsche Industrial Norms)

ระบบญี่ปุ่น เรียกว่า JIS (Japanese Industrial-Standards)

ซึ่งในประเทศไทยมีการผลิตและกำหนดมาตรฐานโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนเองภายในประเทศแล้ว เช่น

เหล็กเส้นกลม (ROUND BARS)

เหล็กเส้นข้ออ้อย (DEFORMED BARS)

เหล็กเพลาขาว (STEEL ROUND BARS)

เหล็กสี่เหลี่ยมตัน (STEEL ROUND BARS)

- เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดเย็น (Cold formed structural steel)

คือ กระบวนการพับขึ้นรูปเหล็กกล้าที่มีลักษณะเป็นแผ่น ในอุณหภูมิปกติ ซึ่งวัตถุดิบ คือ การใช้เหล็กแผ่นรีดร้อนหรือเหล็กแผ่นชุบสังกะสีเป็นวัตถุดิบ เช่น

เหล็ก Light Gauge (LIGHT LIP CHANNEL)

ท่อกลมดำ (CARBON STEEL TUBES)

เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมจตุรัส,ท่อเหลี่ยม (CARBON STEEL SQUARE PIPES)

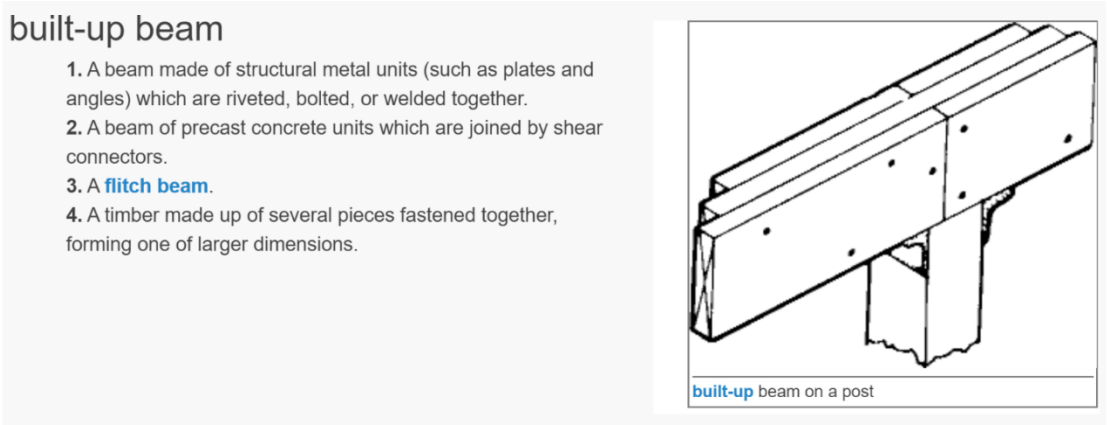
เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (CARBON STEEL RECTANGULAR PIPES)

ท่อเหล็กอาบสังกะสี (GALVANIZED STEEL PIPES)

-เหล็กโครงสร้างรูปพรรณเชื่อมประกอบ (Welded structural steel section)

คือ เหล็กโครงสร้างที่เกิดจากการนำแผ่นเหล็กที่มีความหนามากกว่า 3 มิลลิเมตรมาเชื่อมเป็นหน้าตัดต่าง ๆ ตามขนาดที่ต้องการมักใช้ในงานชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารที่มีรูปแบบและขนาดเฉพาะเจาะจง

Built-Up คือ โครงสร้างหรือชิ้นงานเหล็กที่มีการแปรรูปและประกอบกันตามขนาดและรูปแบบเฉพาะ ตามความต้องการนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถช่วยในการประมาณเหล็กที่ต้องการใช้ได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถได้รูปแบบตามความต้องการอีกด้วย



ภาพที่ 1 Build-up beam

ที่มา Build-up Beam,

https://tipsforconstruction.wordpress.com/2020/06/29/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%b0%e0%b9%80%e0%b8%a0%e0%b8%97%e0%b8%82%e0%b8%ad%e0%b8%87-%e0%b9%80%e0%b8%ab%e0%b8%a5%e0%b9%87%e0%b8%81%e0%b8%a3%e0%b8%b9%e0%b8%9b%e0%b8%9e%e0%b8%a3%e0%b8%a3%e0%b8%93-%e0%b9%80/

2.2 โครงสร้างแบบ Plate ประกอบในปัจจุบัน

โครงสร้างอาคารขนาดใหญ่

(อาคารโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ STRUCTURAL STEEL BUILDING,2563)

ในปัจจุบันเริ่มมีการความต้องการโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่อย่างกว้างขวาง จึงมีการทำรูปแบบการก่อสร้างแบบ PEB (Pre-Engineered Building) เข้ามาใช้งานอย่างต่อเนื่อง

PEB. (Pre-Engineered Building)[1] คือโครงสร้างสำเร็จรูปเป็นระบบ การก่อสร้างอาคารโดยใช้โครงสร้างเหล็กแบบน็อคดาวน์ ที่ขึ้นรูปชิ้นส่วนจากโรงงานนับเป็นโครงสร้างที่ประหยัดที่สุดของการใช้เหล็กมาขึ้นรูปโดยที่โครงสร้างทุกส่วนจะถูกออกแบบให้สอดคล้องกับการรับแรงของอาคารจริงอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกร และโครงสร้างทุกส่วนจะถูกจัดเตรียมขึ้นพร้อมทำสีให้แล้วเสร็จจากโรงงานก่อนขนส่งไปติดตั้งที่หน้างานด้วยระบบ Bolt Connection

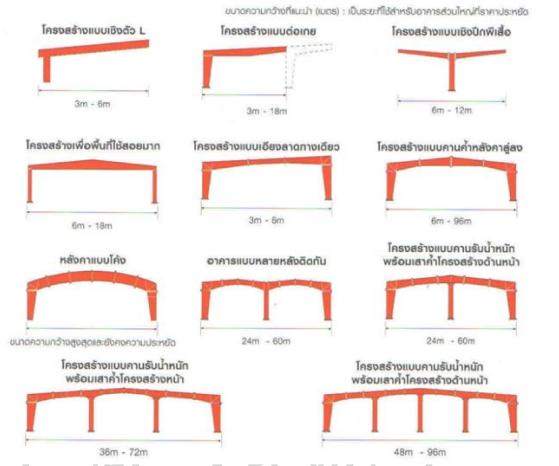
อาคารทั้งหมดของเราถูกออกแบบตามหลักเกณฑ์การก่อสร้างอาคารและมาตรฐานล่าสุด ได้แก่ MBMA 2010, ASCE 2005, AISC 2005, IBC 2012, AISI 2001, AWS 2008, ASTM 2006

อย่างไรก็ตาม ได้มีการใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ PEB (Pre-Engineered Building) ในการก่อสร้างอาคารขนาดกลางและขนาดเล็กด้วยเช่นกัน ซึ่งในแต่ละโครงการและขนาด จะมีรูปแบบของชิ้นงานในโครงสร้างที่แตกต่างออกไป และเมื่อโครงการมีขนาดและรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น การนำเหล็กรูปพรรณมาใช้เพียงอย่างเดียว จึงไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีขนาดและความยาวที่ตายตัว จึงมีการนำกระบวนการ Built-Up เข้ามาใช้ เพื่อช่วยในการปรับค่าขนาดและรูปร่างให้ได้

ตามความต้องการ เพื่อลดการสูญเสียวัสดุเหล็กที่อาจจะต้องเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เช่น การก่อสร้างที่ต้องการความยาวและหน้าตาของเหล็กที่แตกต่างไปจากมาตรฐานเหล็กรูปพรรณ เป็นต้น

2.3 รูปแบบโครงสร้างในปัจจุบัน

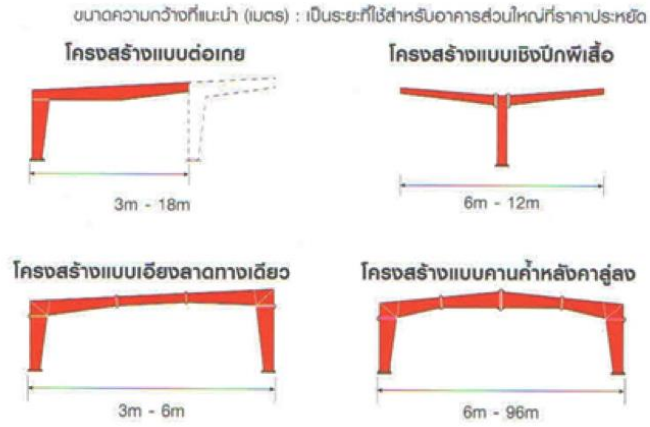
จากรูปด้านล่างคือรูปแบบโครงสร้างอาคารที่มีการนำไปใช้งาน ซึ่งมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับขนาดและวัตถุประสงค์การใช้งาน



ภาพที่ 2 รูปแบบโครงสร้างอาคารในปัจจุบัน

ที่มา Pre-Engineering Building (PEB): TYPE OF STANDARD MAIN FRAME, http://ablengg.com/products/pre-engineered-buildings-peb/

อย่างไรก็ตาม จากที่ได้สัมภาษณ์คุณตะวัน บุญนิธิ ตำแหน่ง Technical Specialist บริษัท Trimble Solutions Rep. Office Thailand ผู้ให้บริการและจำหน่ายโปรแกรม Tekla ในประเทศไทยและยังเป็น วิศวกรโครงสร้างผู้มีประสบการณ์ในด้านการทำงานออกแบบโครงสร้างเหล็กในรูปแบบต่างๆ เพื่อสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบของโครงสร้างอาคารที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้ให้ข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ คือ รูปแบบของโครงสร้างอาคารนั้น ชิ้นงานที่นำมาประกอบกันจะมีความแตกต่างกันออกไปตามขนาดของอาคาร ในปัจจุบัน มีรูปร่างตัวอย่างดังภาพด้านล่าง ซึ่งรูปแบบในแต่ละชิ้นส่วนนั้นจะมีรูปแบบแตกต่างออกไปตามขนาดของพื้นที่ใช้สอยที่ต้องการ โดยใช้ชิ้นส่วนเหล็กไม่กี่รูปแบบมาประกอบเป็นโครงอาคารในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสถาปนิกจะเป็นผู้ออกแบบโครงสร้างเบื้องต้นเพื่อนำเสนอภาพรวมและรายละเอียดของโครงการที่ร่างแบบไว้ให้ลูกค้าได้ทราบและพิจารณาก่อนดำเนินการในกระบวนการถัดไปและในโครงสร้างแบบ Plate ประกอบนั้น โครงสร้างที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีรูปร่างหลักเพียงไม่กี่รูปแบบตามภาพด้านล่าง ซึ่งเป็นส่วนที่จะนำไปพัฒนาเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3 รูปแบบโครงสร้างอาคารที่นิยมใช้งาน

ที่มา Pre-Engineering Building (PEB): TYPE OF STANDARD MAIN FRAME,

http://ablengg.com/products/pre-engineered-buildings-peb/

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.4 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในปัจจุบัน e.g. เกรดเหล็ก

ปัจจุบันใช้การอ้างอิงค่ามาตรฐานจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (มอก.1227-2558)[1] ซึ่งผู้ผลิตเหล็กจะมีการให้บริการของขนาดและรูปแบบพิเศษที่แตกต่างกันออกไป เช่น ความหนาพิเศษ หรือ การสั่งประกอบแบบพิเศษ เป็นต้น แต่ก็ยังเป็นการให้บริการเหล็กเกรดมาตรฐานอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทยและมาตรฐาน JIS ซึ่งเป็นมาตรฐานเกรดเหล็กที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่ก็มีการให้บริการเหล็กในเกรดมาตรฐานต่างประเทศด้วย เช่น มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials)[2]

ทั้งนี้ ในการอ้างอิงมาตรฐานเหล็กในการผลิตนั้น ต้องรองรับและสอดคล้องกับพื้นที่ในการก่อสร้างโครงการ เช่น การสร้างโครงสร้างเพื่อส่งออกไปก่อสร้างต่างประเทศ ซึ่งจำเป็นต้องผลิตชิ้นงานตามความต้องการและมาตรฐานของพื้นที่ในการก่อสร้าง เป็นต้น

2.4.1 ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการก่อสร้าง

ข้อดีของระบบการก่อสร้างแบบ PEB (Pre-Engineered Building)

ที่มา PEB (Pre-Engineered Building, https://construction-forum.ssi-steel.com/

- สามารถช่วยลดระยะเวลาก่อสร้างโดยรวมได้
- มีความยืดหยุ่นในการขยายและต่อเติม (Flexibility of Expansion)
- สามารถเพิ่มพื้นที่การใช้งานได้โดย ระยะห่างระหว่างเสากว้าง (Large Clear Span) : ตัวอาคารโครงสร้างสามารถมีระยะห่างระหว่างเสาถึงเสา (span length) ได้ถึง 90 เมตร
- การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) : เนื่องจากชิ้นส่วนของอาคารถูกสร้างขึ้นจากโรงงานที่มีมาตรการควบคุมคุณภาพทั้งหมด ทำให้สามารถมั่นใจในคุณภาพของชิ้นส่วนที่นำมาประกอบและติดตั้งเพื่อทำโครงสร้างอาคาร
- การบำรุงรักษาน้อยลง (Low Maintenance) : การเคลือบสีของชิ้นส่วนอาคาร PEB สามารถทำได้ง่ายกว่าอาคารโครงถัก (truss system) ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมาก ทั้ง top chord – bottom chord – diagonal – vertical – connection ทำให้สามารถดำเนินการทาสีได้ง่าย การควบคุมคุณภาพสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลงเนื่องจากสมรรถนะที่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบต้องการ
- การก่อสร้าง (Erection) : สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว (Completely Knocked Down Condition) เนื่องจากไม่มีการตัดและเชื่อมหน้า และนอกจากนี้ด้วย

คุณสมบัติของ PEB ที่มีความเบากว่าโครงสร้างเหล็กปกติ ทำให้สามารถติดตั้งได้ง่าย โดยการใช้สลักเกลียวและเครน นำไปสู่การก่อสร้างที่มีความรวดเร็วมาก และช่วยลดการใช้คน และวัสดุที่มากเกินความจำเป็น

2.4.2 ข้อดีเพิ่มเติมของการก่อสร้างด้วยรูปแบบ Built-Up

เป็นการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างตามความต้องการในการก่อสร้าง สามารถประเมินค่าใช้จ่ายและวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมวัสดุได้อีกด้วย เนื่องจากเป็นการผลิตชิ้นงานตามความต้องการ ทำให้นอกเหนือจากประโยชน์ของการก่อสร้างแบบ PEB (Pre-Engineered Building) แล้วยังรับประโยชน์เพิ่มเติมในส่วนของการผลิตชิ้นงานที่ลดวัสดุให้ตรงกับความต้องการและค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นได้

2.4.3. การศึกษาระบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอย

จากการศึกษาถึงข้อมูลอ้างอิงจากการศึกษาข้อมูลทางโครงสร้างเหล็กในการสร้างโครงอาคารต่างๆ ซึ่งเป็นการเลือกระบบโครงสร้างให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอยและน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง ซึ่งจะมีความเกี่ยวเนื่องในการทำงานในกระบวนการขั้นต่อไปหลังจากกระบวนการสร้างโมเดล ในกระบวนการนี้ผู้ใช้งานจะต้องทราบถึงความต้องการในการสร้างโมเดลเบื้องต้น เช่น ความสูงโดยรวม ระยะของ Span ระยะห่างระหว่าง Frame และองศาของหลังคา เพื่อให้สามารถสร้างโครงสร้างที่แข็งแรงและอยู่ในภายในงบประมาณที่ต้องการ และจากสถิติทางโครงสร้างมีแนวคิดในการศึกษาและพัฒนาในส่วนของ Portal Frame ที่มีระยะห่างของ span ไม่เกิน 100 เมตรเท่านั้น

2.5 ตัวอย่างกรณีศึกษาข้อมูลทางสถิติทางโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและขนาดของโครงสร้างแบบ PEB

3.1 Structure types

There are four basic structural configurations that provide a clear interior space for a single storey building:

- Rigid framed structures (portal frames and rigid-frame trusses)
- Pinned frame beam-and-column structures
- Cable-supported roofs
- Arched roofs

For the first three configurations, the designer has the option of providing either a flat roof or a pitched roof.

Typical spans and span/depth ratios for the primary roof members in pinned and rigid framed buildings are given in Table 3.1.

Table 3.1 Typical spans and structural depths for single storey structures

Structure type	Roof beam depth	Typical span range
Pinned frames		
Simple beam	span/30 to span/40	Up to approximately 20 m
Fabricated Beam	span/20 to span/25	Up to approximately 30 m
Perforated web beam	span/20 to span/60	Up to approximately 45 m
Truss roof (pitched)	span/5 to span/10	Up to approximately 20 m
Truss roof (flat)	span/15 to span/20	Up to approximately 100 m
Rigid frames		
Portal frame	span/60	15 m – 45 m
Truss roof (flat)	span/15 to span/20	Up to approximately 100 m

ภาพที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 1

ที่มา Framing schematics, https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics

Steel beams [top]

Beams are designed to resist bending moments and shear forces. The shapes of hot rolled profiles are designed to achieve optimum bending properties for the use of steel. In the scheme design of uniformly loaded steel beams, sections with a span/depth ratio of 18 to 20 are typically used, i.e. for a span of 8 m, the steel beam will be approximately 450 mm deep. The table gives typical span-to-depth ratios for various types of beams used in different floor systems. Primary beams span between columns and secondary beams span between primary beams and support the floor slab directly.

Typical span/depth ratios

Form of construction	Span/depth ratios for different beam solutions	
	Secondary beams	Primary beams
Steel beam	18-20	13-15
Composite beam	22-25	16-18
Cellular beam*	20-27	15-18
Shallow floor beam	26-28	-
Steel truss*	15-18	12-15

Note:
*Allows for the passage of services through the beam depth

Complex services integration in cellular, long-span beams, Bishop Aukland Hospital
(Image courtesy of of Kloeckner Westok)

ภาพที่ 5 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 2

ที่มา Framing schematics,

https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics

North American Steel Construction Conference

Rules of Thumb for Steel Design

NORTH AMERICAN STEEL CONSTRUCTION CONFERENCE

Socrates A. Ioannides, Ph.D., S.E., is President and John L. Ruddy, P. E., is Chief Operating Officer, of Structural Affiliates International, Inc., in Nashville. This article is based on a paper scheduled to be presented at the 2000 North American Steel Construction Conference in Las Vegas.

In earlier times when computers were neither available nor essential, one objective of the structural design process was to discover a computational method, which was elegant, simple and appropriately accurate. When such a process was identified it was recorded as an expedient approach to solving a recurring structural design problem. Thus, quick "Rules of Thumb" became essential resources for the structural engineer. As computer software has proliferated, become very comprehensive, and been made very user friendly, the importance of "Rules of Thumb" and approximate methods has been diminished. It has been argued that, with the computational speed and ease of application of computer methods, the need for approximations and "Rules of Thumb" no longer exists. However, equally imposing arguments can be made for the value of these quick approaches such as:

- *The structural engineer should have tools to make on-the-spot intelligent decisions,*
- *A reasonable solution is often required as computer input,*
- *The validity of the computer output should be verified with rational approximations.*

So, with the objective of fostering continued development, use and enthusiasm for "Rules of Thumb" and approximate methods, several steel framing "Rules of Thumb" are presented in this paper. In general, these rules of thumb are service-load based, which simplifies their application. Formal checks can then be made with factored loads and LRFD or service loads and ASD in the final design.

Structural Depths:

Inevitably, a question raised in a project concept meeting is what will be the structural depth? Regularly, the participants are impressed by the response of the structural engineer and that positive impression lasts if the actual depths designed fall within the range of these early predictions. Therefore, it is important to have established rules of thumb, which allow structural depth predictions. The depth of the structural system is influenced by the span of the elements as well as such variables as the spacing of elements, loads and loading conditions, continuity, etc. Nonetheless, ratios of span to depth can often be relied upon to provide a guide and a starting point from which further refinement can be made. With the caution that variables other than span need to be considered, the information in Table 1 is presented.

It is convenient to remember that serviceable steel section depths are in the range of ½" of depth for each foot of span (L/24). Some people might find it easier to remember the following simplified rule where the length is expressed in feet and the depth of the member in inches:

Depth of Roof Beams, Roof Joists = 0.5*Length

Depth of Floor Beams, Floor Joists = 0.6*Length

Depth of Composite Beams = 0.55*Length

Table 1: Structural Depths

System	L/d_s	Span Range
Steel Beam	20 to 28	0' to 75'
Steel Joist		
Floor Member	20	8' to 144'
Roof Member	24	
Plate Girder	15	40' to 100'
Joist Girder	12	20' to 100'
Steel Truss	12	40' to 300'
Space Frame	12 to 20	80' to 300'

ภาพที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลสถิติทางโครงสร้างแบบที่ 3

ที่มา North American Steel Construction, 2000

2.6. การใช้ประโยชน์จากข้อมูลในกระบวนการนำเสนองาน

ในกระบวนการเสนองานเบื้องต้นให้กับลูกค้า (Preliminary Design) จะเป็นการนำเสนอรายละเอียดเพื่อประกอบการตัดสินใจ ซึ่งเป็นการนำเสนอรูปแบบของโครงการเบื้องต้น ซึ่งนอกจากรูปแบบของโครงการที่ต้องการนำเสนอแล้วนั้น ยังเป็นการเสนอรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นให้กับลูกค้าได้พิจารณาอีกด้วย ในปัจจุบัน เริ่มมีการทำงานด้วยโมเดล 3 มิติแพร่หลายมากขึ้น ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ใส่อยู่ในโมเดลมาใช้ประโยชน์ได้ทันที ซึ่งจากกระบวนการทำงานด้วยรูปแบบ 2D CAD จะเป็นลักษณะการประมาณค่า ด้วยวิธีการคำนวนแยกออกมาจากการเขียนแบบ ทำให้การประมาณราคามีความคลาดเคลื่อน และหากมีการแก้ไขจากลูกค้า จะต้องทำงานซ้ำ

กระบวนการใหม่ ทำให้เสียเวลามากขึ้น ระบบการทำงานด้วยโมเดล 3 มิติหรือ BIM จึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ไขปัญหาในการทำงานระบบเดิม ทำให้กระบวนการประมาณราคาเบื้องต้นสามารถทำได้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

2.7. กระบวนการทำงานในการสร้างโมเดลแบบ Plate ประกอบ

วิธีการทำงานในปัจจุบัน

ในปัจจุบันนั้นมีการทำงาน 2 รูปแบบคือ การใช้เครื่องมือเพื่อสร้างชิ้นงานแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ (การนำระบบ BIM: Building Information Modelling มาใช้) ซึ่งมีรายละเอียดการใช้งานและปัญหาที่พบแยกตามการใช้งาน ดังนี้

2.7.1. การใช้เครื่องมือ 2D CAD

เข้ามาช่วยในการทำงาน ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานที่ผู้ใช้งานต้องทำและจัดการด้วยตัวเองเป็นหลัก การใช้งานจะเป็นการลากเส้นแบบ Single Line จนกว่าจะได้รูปแบบตามที่ต้องการ

- ปัญหาที่พบ: การทำงานด้วยด้วยวิธีการใช้เครื่องมือแบบ 2D CAD เนื่องจาก 2D CAD มีต้นทุนในการทำงานไม่สูงนัก และมีหลายโปรแกรมให้เลือกใช้ เช่น AutoCAD, GStarCAD, ZWCAD เป็นต้น

- ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐานในการลากเส้นทีละเส้น จนกว่าจะได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ

- ไม่มีเครื่องมือพื้นฐานในโปรแกรมที่ช่วยในการสร้างหรือขึ้นรูป รวมถึงการทำแบบ

- ถ้าต้องการข้อมูลที่เกี่ยวกับชิ้นงานที่สร้างขึ้น เช่น ขนาด น้ำหนัก หรือ พื้นที่ จะต้องกรอกข้อมูลแยกต่างหากใน Excel และเสี่ยงต่อความผิดพลาดเนื่องจากชิ้นงานมีรูปแบบที่หลากหลายและจำนวนชิ้นงานมีจำนวนมาก ทำให้ข้อมูลที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนและอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานในขั้นตอนอื่นๆ ทำให้เสียเวลาเพิ่มขึ้นในการแก้ปัญหาและอาจจะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นในกรณีของการสั่งเหล็กผิดพลาด

- ในการส่งแบบเข้ากระบวนการผลิต จะต้องนำแบบที่ได้จาก 2D CAD มาทำแบบที่เป็น NC File อีกครั้งเพื่อส่งเข้าเครื่องจักรการผลิต

- การนับจำนวนชิ้นงาน (Numbering) เป็นการสร้างหมายเลขของชิ้นงานต่างๆ ที่มีรูปร่างไม่มีเหมือนกัน โดยผู้ใช้งานต้องจำหมายเลขชิ้นงานที่สร้าง (Part Mark Number) และต้องส่งเข้ากระบวนการผลิต ว่ามีกี่ชิ้น มีชิ้นใดซ้ำกันหรือไม่ เนื่องจาก Part Mark Number จะต้องไม่ซ้ำกัน

- จากเรื่องการนับจำนวนชิ้นงาน หากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างของชิ้นงานชิ้นใดชิ้นหนึ่ง จะต้องแก้ไขและปรับเลข Part Mark Number ให้สอดคล้องกับชิ้นงานนั้นๆ ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย เพราะชิ้นงานมีจำนวนมาก

- การแก้ไขเบื้องต้นจากผู้ใช้งาน: จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานในการทำงานด้วยด้วยวิธีการใช้เครื่องมือแบบ 2D CAD มีวิธีการแก้ไขปัญหา คือ ต้องใช้เวลาในการทำงานมากกว่าเดิม และจำเป็นต้องใช้จำนวนผู้ใช้งานเพื่อช่วยในการทำงานในกระบวนการต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น การรับจำนวน Bolt ที่อยู่ในแบบ หรือการนับจำนวนชิ้นงาน (Numbering) จะต้องแบ่งพื้นที่ในการนับชิ้นงาน เพื่อป้องการการผิดพลาดและ ผู้ใช้งานทั้งหมดต้องตกลงขอบเขตในการทำงานให้ชัดเจน เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องและมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้น การเพิ่มทางเลือกของเครื่องมือที่นำมาใช้ในการทำงาน จึงเป็นทางเลือกสำคัญในการแก้ไขปัญหาในเรื่องของความซ้ำซ้อนของการทำงาน ระยะเวลา และการนำข้อมูลที่ต้องการในส่วนต่างๆมาใช้ประโยชน์ได้

- กระบวนการที่ต้องการ

การลดระยะเวลาและกระบวนการในการสร้างงานหรือแบบก่อสร้าง แต่เพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องมากกว่าเดิม รวมถึงข้อมูลโครงการที่จำเป็นต้องใช้ ซึ่งจากเดิมเป็นการใส่ข้อมูลโดยผู้ใช้งาน ทำให้สามารถเกิดความผิดพลาดได้ และความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการสร้างงานไปจนถึงการใส่ข้อมูลจะส่งผลกระทบต่อภาพรวมของโครงการ ทำให้เกิดความสูญเสียในส่วนต่างๆได้ เช่น การสูญเสียงบประมาณเพิ่มเติมโดยไม่จำเป็น การทุบทิ้งหน้างาน การสร้างไม่เสร็จตรงตามกำหนด การซื้อวัสดุผิดพลาด เป็นต้น

2.7.2. **การนำระบบ BIM (Building Information Modeling) เข้ามาใช้งาน**

เพิ่มมากขึ้นและมีการใช้โปรแกรมสร้างโมเดล 3 มิติ ในการใช้งานอย่างแพร่พลาย ซึ่งระบบ BIM (Building Information Modeling) เป็นระบบการทำงานที่สร้างโมเดล 3 มิติ เพื่อจำลองชิ้นงานก่อนการสร้างหรือการผลิต อีกทั้งยังสามารถใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆกับชิ้นงานที่สร้างขึ้น เพื่อให้ข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำไปใช้งานในกระบวนการอื่นๆได้อีกด้วย จึงเป็นการช่วยแก้ปัญหาจากกระบวนการทำงานด้วยวิธีการทำงานแบบ 2D CAD

อย่างไรก็ตาม เครื่องมือที่ทำงานบนระบบ BIM (Building Information Modeling) ในบางโปรแกรมก็ยังมีข้อจำกัดในการสร้างโมเดล 3 มิติในบางรูปแบบ เช่น การสร้างรูปทรงอิสระ หรือการสร้างชิ้นงานรูปร่างไม่สมส่วน เป็นต้น หรืออาจจะมีเครื่องมือพื้นฐานที่ช่วยการสร้างโมเดลที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

ปัญหาที่พบ : การใช้เครื่องมือบนระบบ BIM (Building Information Modeling)

-โปรแกรมที่ทำงานบนระบบ BIM (Building Information Modeling) **มีราคาสูง** ผู้ใช้งานหรือผู้ประกอบการจำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละโปรแกรม และความสามารถในการทำงานต่างๆ ของโปรแกรม รวมถึงต้นทุนของ Hardware ที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการทำงานอีกด้วย เช่น Tekla Structure เป็นโปรแกรมเฉพาะทางในการทำงานด้านเหล็กเพื่อการผลิตและติดตั้งและเป็นเครื่องมือเฉพาะทางที่ช่วยในการทำงานในส่วนของการสร้างโมเดลเพื่อการผลิตและการติดตั้งแต่มีราคาสูงทำให้การเข้าถึงการใช้งาน ถูกจำกัดอยู่ในผู้ใช้งานเฉพาะกลุ่มที่พร้อมต่อการลงทุนเท่านั้น

- ขาดผู้ใช้งานที่มีความรู้ความเข้าใจ ที่สามารถประยุกต์การทำงานในระบบ BIM เพื่อการสร้างโมเดลที่สามารถนำไปใช้งานต่อในกระบวนการอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้จนครบกระบวนการ เช่น การใส่ข้อมูลที่เพียงพอต่อการประมาณราคาหรือการประมาณวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น

- การสร้าง Parametric Model ด้วยเครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรมมีขั้นตอนที่ซับซ้อน ต้องใช้เวลาในการสร้างค่อนข้างมาก

- Tekla Structure มีกระบวนการเฉพาะทาง เช่น คำสั่งในการนับจำนวนชิ้นงานเพื่อให้หมายเลขชิ้นงาน (Numbering Process/Part Mark Number), การสร้างแบบเพื่อการผลิตและแบบประกอบ และการสร้าง NC File เพื่อส่งเข้าเครื่องจักร ในขณะที่โปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆไม่มีเครื่องมือเฉพาะทางเหล่านี้ ทำให้ต้องใช้เครื่องมือเสริมอื่นๆในกระบวนการนี้ เช่น การใช้โปรแกรม AutoCAD เข้ามาช่วย เป็นต้น

-ไฟล์ทำงานมีขนาดใหญ่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงาน ทำให้เกิดข้อจำกัดในการสร้างโมเดล

การแก้ไขเบื้องต้นจากผู้ใช้งาน : การทำงานด้วยด้วยวิธีการใช้เครื่องมือบนระบบ BIM (Building Information Modeling)

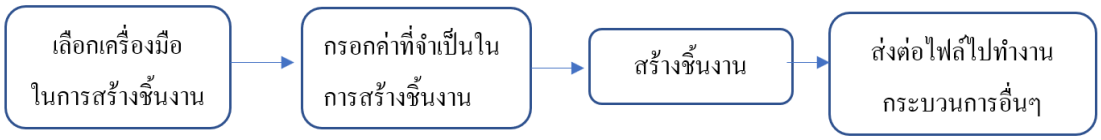
- เงื่อนไขเรื่องราคา: เลือกใช้งานเครื่องมือที่มีกำลังในการลงทุนรวมถึงเริ่มต้นการลงทุนที่จำนวนน้อย พร้อมทั้งเรียนรู้วิธีการในการทำงานให้เหมาะสมกับเครื่องมือที่มี เพื่อให้การทำงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ทำงานด้วยเครื่องมือเดิมที่ใช้งานอยู่ โดยหาวิธีการทำงานอื่นๆ หรือ Plug-in เพิ่มเติมที่ช่วยให้ทำงานได้สะดวกมากขึ้น
- การ Corroborate ระหว่างโปรแกรม: ใช้โปรแกรมที่มีความสามารถในการทำงานด้านใดๆได้ดี เพื่อสร้างโมเดลที่ต้องการเบื้องต้นและส่งไปทำงานต่อในโปรแกรมอื่นที่สามารถทำงานเฉพาะทางได้กสะดวกมากยิ่งขึ้น เช่น การส่งเข้าไปทำงานต่อใน

โปรแกรม Revit เพื่อ Simulation การทำงานภาพรวมร่วมกับฝ่ายอื่นๆ หรือ การส่งเข้าโปรแกรม Tekla Structure เพื่อทำงานต่อในส่วนของงานผลิตและติดตั้ง เป็นต้น

กระบวนการที่ต้องการ: โมเดลและข้อมูลที่อยู่ในโมเดล ครบถ้วนตรงกับความต้องการที่จะนำไปใช้งานต่อ

2.7.3. เครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำงานด้านโครงสร้างเหล็กในปัจจุบัน

ในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบในปัจจุบันนั้น เครื่องมือที่เป็นที่นิยมนำมาช่วยในการสร้างได้แก่โปรแกรม Tekla Structure และ โปรแกรม Revit: Structure ซึ่งในกระบวนการทำงานจะมีขั้นตอนหลักในการทำงาน คือ



จากกระบวนการข้างต้นจะมีรายละเอียดในการทำงานดังต่อไปนี้ ได้แก่

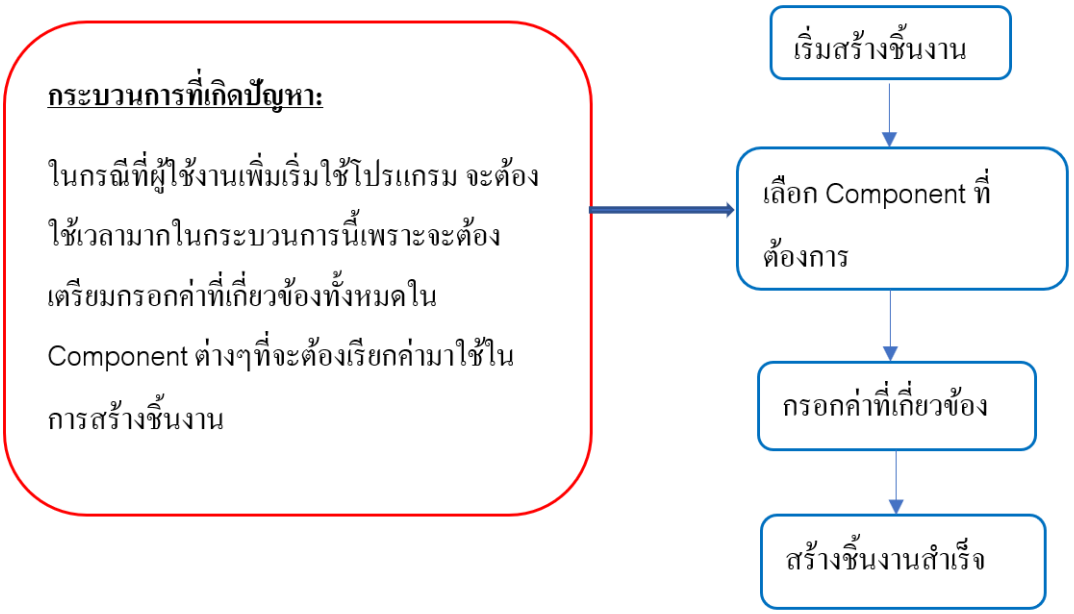
Tekla Structure

เป็นเครื่องมือเฉพาะทางด้านโครงสร้างเหล็กและคอนกรีตในการสร้างโมเดล 3 มิติ พร้อมรายละเอียดข้อมูลที่เก็บอยู่ในโมเดลเพื่อการนำไปใช้งานในกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการผลิตและกระบวนการติดตั้ง

ปัจจุบันในการทำงานเหล็กในกระบวนการผลิตและการติดตั้ง เครื่องมือหลักที่นิยมใช้ทำงานอย่างแพร่หลายคือโปรแกรม Tekla Structure ที่สามารถรองรับการทำงานในระบบ 3 มิติและทำงานในด้านการสร้างแบบเฉพาะทาง เช่น แบบก่อสร้าง แบบติดตั้งหรือแบบเพื่อการผลิต รวมไปถึงการส่งไฟล์ข้อมูลเข้าเครื่องจักรในการผลิตได้ทันที อย่างไรก็ตามในการสร้างโครงสร้างแบบ Plate ประกอบนั้น โปรแกรม Tekla Structure ได้เตรียมเครื่องมือเพื่อรองรับการสร้างชิ้นงานที่มีรูปแบบหลากหลาย และถึงแม้ว่ารูปแบบที่ต้องการสร้างเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน แต่ผู้ใช้งานก็ยังคงต้องกรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในหลายส่วน จึงยังคงทำให้เกิดความซับซ้อน เสียเวลา และผู้ใช้งานต้องมีความเข้าใจและเชี่ยวชาญในการใช้งานโรปแกรมรวมถึงข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต้องกรอกลงไปด้วย

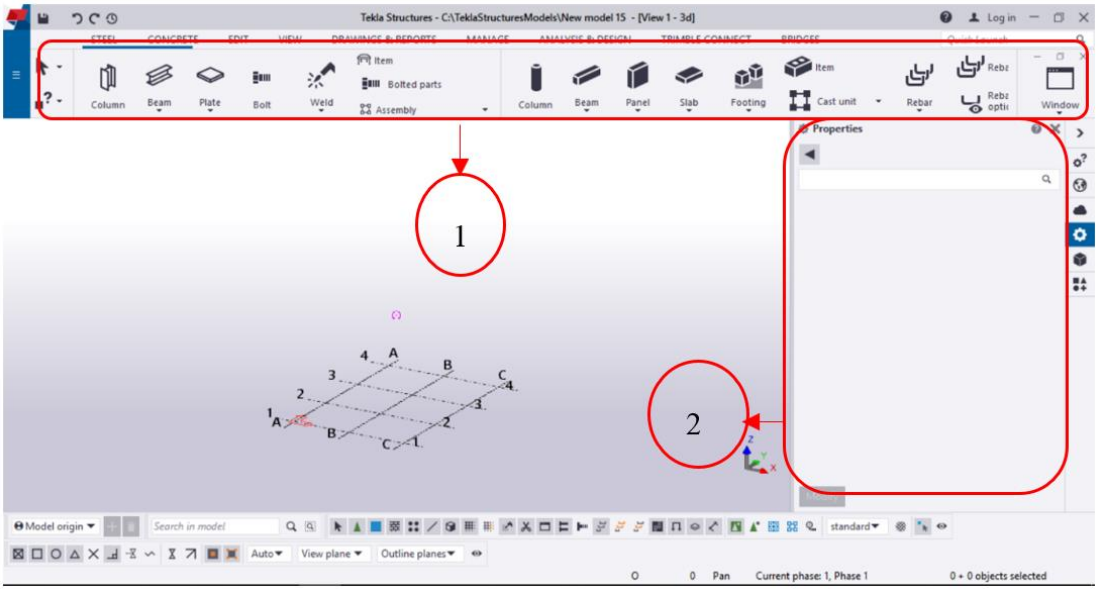
Workflow กระบวนการทำงานในปัจจุบัน

กระบวนการสร้างชิ้นงานโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบ



ภาพที่ 7 Workflow ที่ต้องการแก้ปัญหา

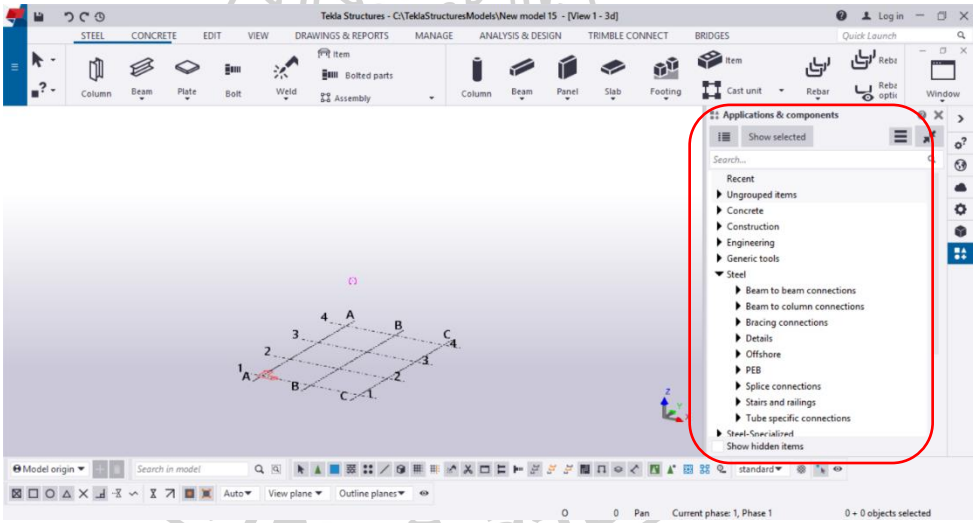
ตัวอย่างการทำงานด้วยโปรแกรม Tekla Structure



ภาพที่ 8 รูปแบบ User Interface ของโปรแกรม Tekla Structure

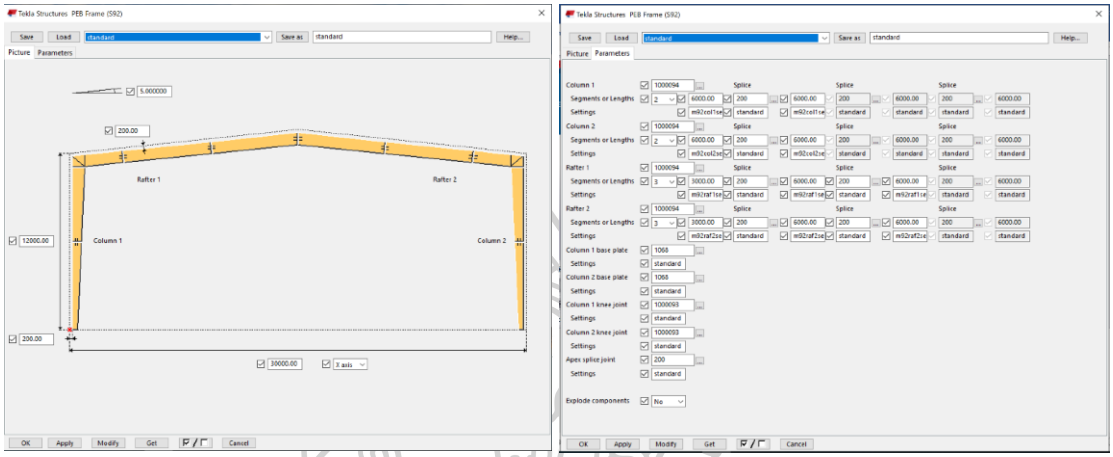
จากภาพที่ 8 รูปแบบ User Interface ของโปรแกรม Tekla Structure ด้านบนจะเห็นได้ว่าแถบเครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรม Tekla Structure เป็นแบบObject กำหนดชื่อและรูปภาพประกอบ แยกแถบเครื่องมือพื้นฐานการใช้งานในงานต่างๆ เช่น เหล็ก คอนกรีต ไว้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใช่งานสามารถเลือกใช้เครื่องมือที่ต้องการได้ และยังมีแถบแสดงข้อมูลด้านข้างหรือที่เรียกว่า Property Plane ซึ่งเป็นแถบที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูข้อมูลที่ต้องการได้

ในการสร้าง Plate ประกอบในโปรแกรม Tekla Structure นั้น เนื่องจากเป็นโปรแกรมเฉพาะทางด้านโครงสร้างจึงมีเครื่องมือหรือ Component ที่เกี่ยวข้องกับงานต่างๆเตรียมไว้ให้ใช้งานดังภาพด้านล่าง ผู้ใช้งานสามารถเลือกตามหมวดหมู่ที่โปรแกรมได้กำหนดไว้ นำมาใช้งานได้ทันที อีกทั้งยังสามารถปรับค่าเฉพาะต่างๆใน Component ที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ และบันทึกไว้เพื่อนำกลับมาใช้งานได้อีกในอนาคต

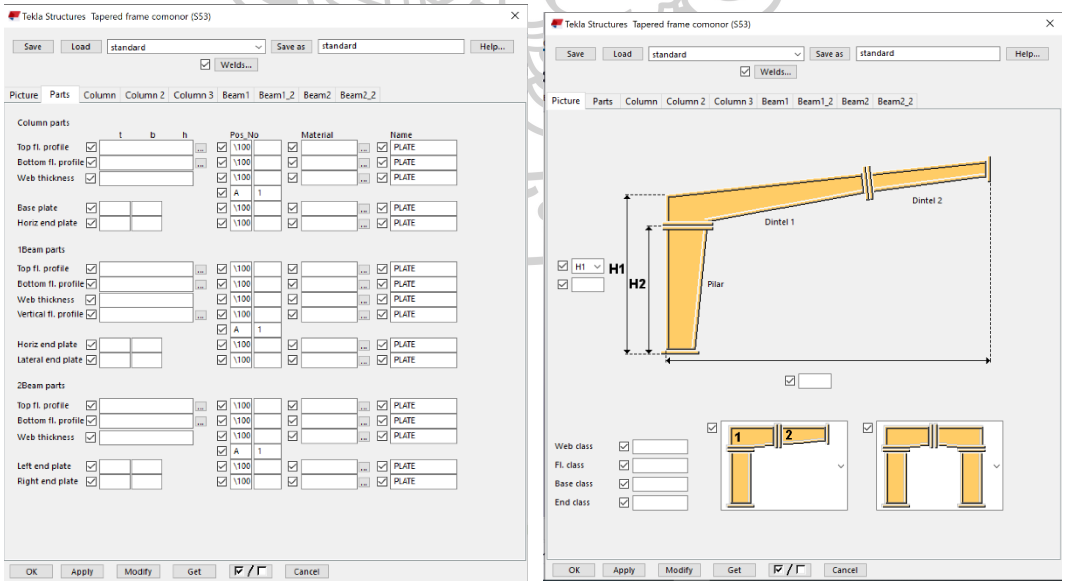


ภาพที่ 9 ตัวอย่างการเลือก Auto-Component ที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้

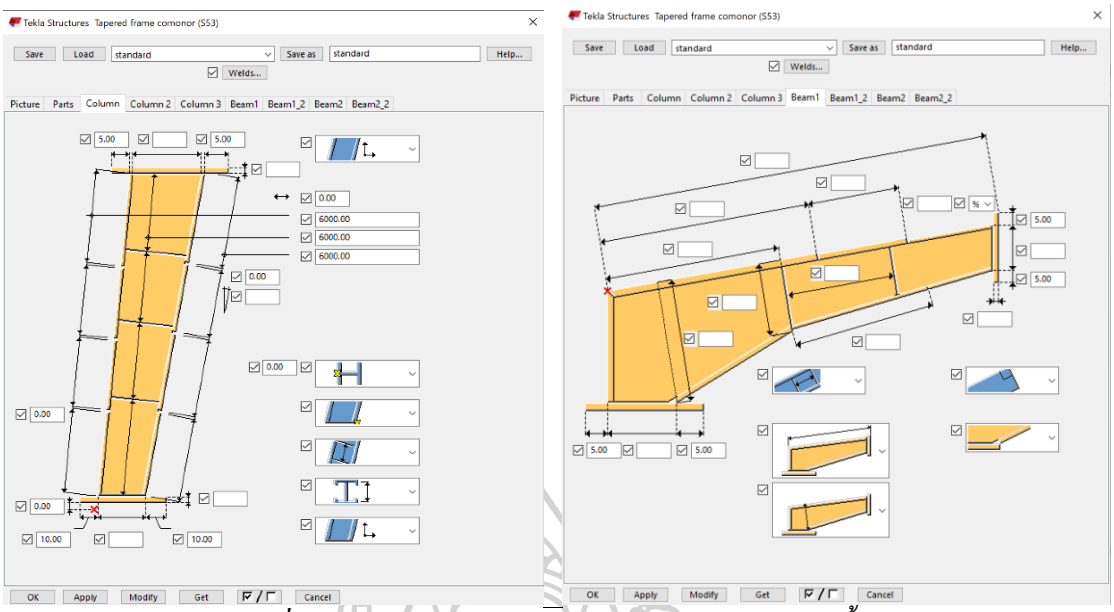
จากภาพผู้ใช้งานสามารถเลือก components พื้นฐานในการสร้าง PEB เพื่อนำมาสร้าง Plate ประกอบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบและชิ้นงานของ PEB ได้จาก List ใน PEB และเมื่อได้รูปแบบตามที่ต้องการแล้ว ก็สามารถใส่ค่าขนาดที่ต้องการ และสามารถปรับค่าต่างๆ ตามที่โปรแกรมได้รองรับ ได้ตามรูปด้านล่างดังนี้



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการทำงานด้วย Component ที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้กับผู้ใช้งานในโปรแกรม Tekla Structure



ภาพที่ 11ภาพด้านบน : การเลือกรูปแบบ Frame ที่ต้องการสร้าง ผู้ใช้งานจะต้องกรอกค่าที่จำเป็นเพื่อสร้างชิ้นงาน



ภาพที่ 12 ภาพด้านบน: ตัวอย่าง PEB Tapered และการตั้งค่า

มหาวิทยาลัยศิลปากร

จากรูปข้างต้น โปรแกรมได้เตรียมข้อมูลพื้นฐานในการสร้างโมเดล PEB และชิ้นงานในแต่ละชิ้นให้กับผู้ใช้งานในการปรับค่าและขนาดต่างๆตามความต้องการ ซึ่งในการปรับค่าต่างๆนั้น โปรแกรมรองรับรูปแบบไว้ค่อนข้างหลากหลาย ทำให้การปรับขนาดและค่าต่างๆ มีความซับซ้อน ทำให้ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก อีกทั้งข้อมูลต่างๆ นอกเหนือจากค่าขนาดที่จำเป็นในการสร้างชิ้นงาน ผู้ใช้งานสามารถมากรอกค่าเพิ่มเติมหลังจากที่ได้รับ Design Drawing มาแล้ว

อย่างไรก็ตาม Tekla Structure มีเครื่องมือพื้นฐานที่ช่วยในการทำแบบเฉพาะต่างๆ ตามความต้องการและสามารถกำหนดหมายเลขชิ้นงาน (Part mark Numbering) อัตโนมัติทุกครั้งก่อนสร้างแบบ ทำให้ข้อมูลที่ได้ในแบบนั้น เป็นข้อมูลที่อัพเดทเสมอ หากมีการแก้ไขขนาดหรือรูปร่างของชิ้นงาน โปรแกรมจะทำการปรับค่าให้อัตโนมัติ ทำให้ช่วยป้องกันความผิดพลาด และลดระยะเวลาการกำหนดหมายเลขชิ้นงานในรูปแบบการทำงานด้วย 2D CAD ได้ นอกจากนี้ Tekla Structure สามารถ Export ไฟล์ข้อมูลต่างๆ ผ่านไฟล์ IFC เพื่อส่งไปทำงานร่สมกันกับโปรแกรมอื่นๆ และยังสามารถ Export ไฟล์เฉพาะต่างๆ เพื่อส่งเข้าเครื่องจักรการผลิต รวมถึงไฟล์เฉพาะทางงานโครงสร้างเพื่อนำไปทำงานร่วมกันกับโปรแกรมเฉพาะทางอื่นๆได้อีกด้วย และเนื่องด้วยความสามารถในการทำงานด้านโครงสร้าง Tekla Structure จึงเป็นเครื่องมือหลักของผู้ใช้งานด้านโรงผลิตเนื่องจากความถูกต้องของข้อมูลที่ได้แล้ว ยังช่วยลดระยะเวลาและข้อผิดพลาดต่างๆที่เกิดจากผู้ใช้งานได้อีกด้วย

ข้อดี

- โปรแกรมมี profile ข้อมูลเกรดเหล็กในท้องตลอดรองรับการทำงาน
- มี component ต่างๆ เช่น ข้อต่อระหว่างชิ้นงาน รวมถึงเครื่องมือการสร้างชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ สำหรับงานโครงสร้างเตรียมไว้ให้ สามารถเพิ่มได้เองจากการปรับค่าเพิ่มเติม รองรับการทำงานโครงสร้างในรูปแบบที่หลากหลาย
- สามารถดาวน์โหลด plug-in/add-on เพิ่มเติมที่นอกเหนือจากที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้ได้ไม่จำกัด โดยไม่มีค่าใช้จ่าย (สำหรับลูกค้าที่ต่ออายุการใช้งานรายปีหรือ Maintenance fee)
- มีเครื่องมือพื้นฐานที่รองรับการทำงานด้านโครงสร้างอย่างครบถ้วนทั้งในด้านงานเหล็กและคอนกรีต เพื่อกระบวนการผลิตรวมถึงการติดตั้งและก่อสร้าง
- รองรับการทำงานของโมเดลที่ซับซ้อนและประกอบไปด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรม

- สามารถผลิตแบบได้หลากหลาย สอดคล้องกับงานโครงสร้าง เช่น General Assessment Drawing หรือ Single Part Drawing และสามารถกำหนด Part Mark Number ในกระบวนการ Part Mark Numbering ได้ตามความต้องการและความเหมาะสมของโครงการ เช่น การกำหนดเลขหรือตัวอักษรขึ้นต้นในการ Numbering เป็นต้น
- สามารถสร้างรีพอร์ตจากข้อมูลที่อยู่ในโมเดลในรูปแบบต่างๆได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน
- สามารถ Export File ได้หลากหลายรูปแบบและวัตถุประสงค์ เช่น การ Export เป็น IFC File เพื่อส่งไปทำงานร่วมกับโปรแกรมอื่นบนระบบ BIM หรือการ Export File เป็น NC File หรือ Unitecnik เพื่อส่งชิ้นงานเข้าเครื่องจักรการผลิต

ข้อด้อย

- ราคาสูง ทำให้การใช้งานด้วยโปรแกรม Tekla Structure ถูกจำกัดอยู่ในผู้ใช้งานเฉพาะกลุ่มที่คุ้มค่ากับการลงทุน เช่น การนำไปใช้งานกับโปรเจคขนาดใหญ่ เป็นต้น และทำให้มีต้นทุนการทำงานสูง
- การตั้งค่าการใช้งานมีความซับซ้อน เหมาะสำหรับผู้ใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญในงานวิศวกรรม
- การสร้างโมเดลที่ไม่ใช่เหล็กรูปพรรณทำได้ไม่สะดวก ใช้เวลามาก

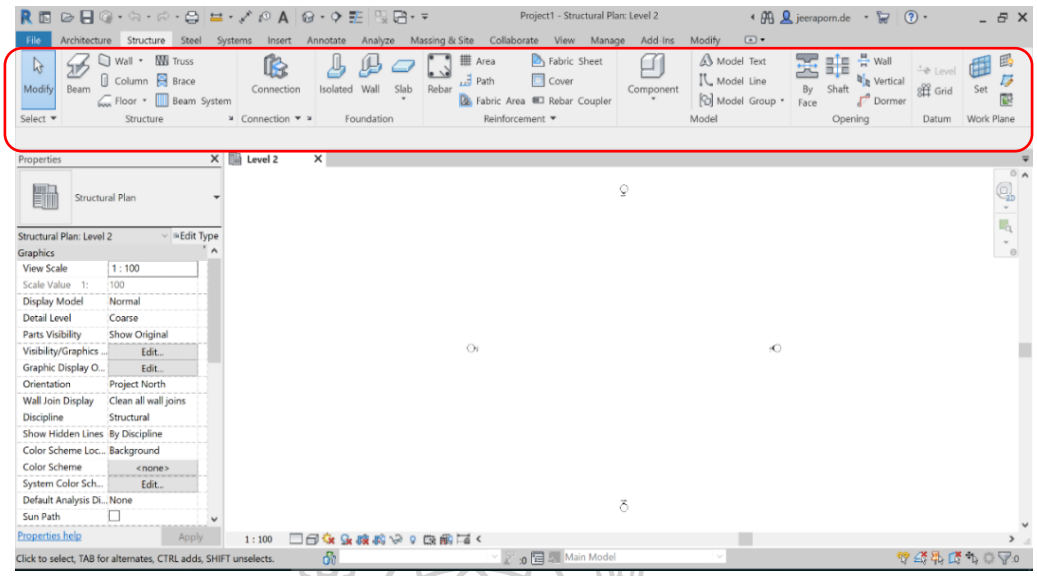
มหาวิทยาลัยศิลปากร

จะเห็นได้ว่ากระบวนการในช่วงต้นนั้น ผู้ใช้งานจะต้องดำเนินการหลายขั้นตอนในกระบวนการสร้างชิ้นงานเหล็กแบบ Plate ประกอบ และกระบวนการนี้จะใช้ระยะเวลานานขึ้น หากผู้ใช้งานไม่มีความชำนาญในการใช้งานโปรแกรมและข้อมูลที่จำเป็นต้องใส่ลงไปเนื่องจากการใส่ค่ามีความซับซ้อน อาจจะต้องแก้โมเดลหลายครั้งจนกว่าจะได้รูปแบบตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้เสียเวลาค่อนข้างมากในกระบวนการนี้ จึงมีแนวคิดในการลดระยะเวลาในการทำงานในขั้นตอนเหล่านี้ให้เกิดความสะดวกต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการทำงานด้วยโปรแกรม Tekla Structure ในกระบวนการดังกล่าว ทำให้เกิดต้นทุนสูงจากการทำงานซ้ำซ้อน และไม่คุ้มค่ากับเวลาที่เสียไป โดยการตัดกระบวนการสร้างโมเดลโครงสร้าง Plate ประกอบในโปรแกรมอื่นที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ทำงานได้สะดวกกว่า ราคาต้นทุนโปรแกรมน้อยกว่า Tekla Structure แต่สามารถส่งโมเดลที่สร้างได้กลับไปทำงานในโปรแกรม Tekla Structure ในกระบวนการอื่นต่อไป จะทำให้เกิดประโยชน์ในการลดต้นทุนในด้านต่างๆได้ เช่น ต้นทุนแรงงานที่เกิดขึ้น เป็นต้น

Revit : Revit Structure

Revit คือ โปรแกรมสร้างโมเดล 3 มิติที่สามารถใส่ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับโมเดลนั้นๆ ได้ตามความต้องการ เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบ BIM (Building Information Modelling) ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก และวิศวกร ในการสร้างและประมวลผลภาพรวมของโครงการรวมถึงการนำข้อมูลที่ได้นั้น ไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่นๆได้ เช่น การวางแผนการก่อสร้างโครงการ หรือการประมาณราคาและวัสดุ เป็นต้น

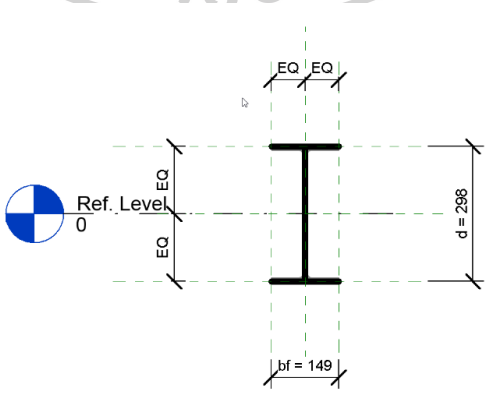
ในการสร้าง Plate ประกอบนั้น โปรแกรม Revit จะใช้เครื่องมือพื้นฐานในส่วนของงานโครงสร้าง หรือ ที่รู้จักกันในชื่อ Revit Structure ซึ่งมีรูปแบบดังภาพ



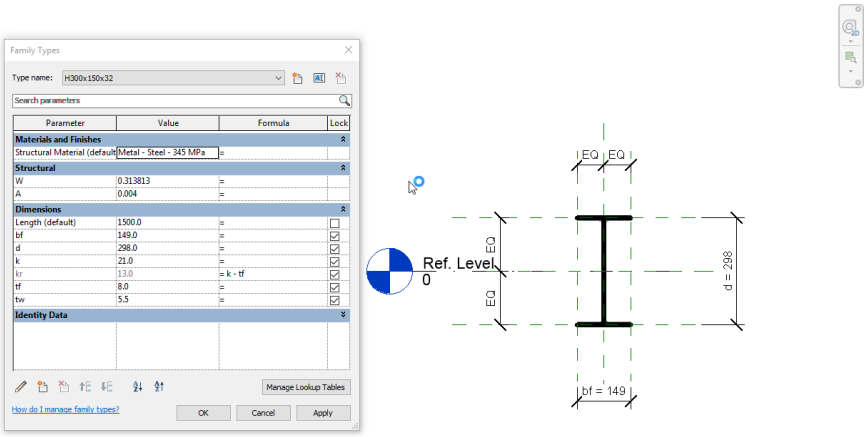
ภาพที่ 13ตัวอย่าง: ภาพหน้าจอการทำงานของโปรแกรม Revit

เครื่องมือพื้นฐานของ Revit Structure จะเป็นรูปแบบ Object คือมีชื่อและรูปภาพของคำสั่งนั้นๆประกอบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้งานคำสั่งได้สะดวก อีกทั้งยังมีแถบข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใส่หรือเลือกข้อมูลที่ต้องการได้ แต่ในกระบวนการสร้าง Plate ประกอบนั้น หากเป็นการสร้างชิ้นงานเพียงชิ้นเดียวหรือจำนวนไม่มาก ผู้ใช้งานสามารถสร้างชิ้นในพื้นที่ทำงานได้ทันที หรือสามารถเลือกชิ้นงานที่โปรแกรมสร้างไว้ (Family) ใน Library มาใช้งานทันที

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากชิ้นงาน Plate ประกอบมีรูปร่างและขนาดที่ไม่คงที่ ผู้ใช้งานนิยมสร้างชิ้นงานรูปแบบที่ต้องการเก็บไว้เป็น Family และจึงเรียกมาใช้งาน เนื่องจาก การสร้างชิ้นงานเป็นแบบ Family นั้นสามารถปรับขนาดและรูปร่างได้สะดวกกว่าการสร้างชิ้นงานใหม่ในพื้นที่ทำงาน ในการสร้าง Family ชิ้นงานสามารถสร้างได้โดยการปรับรูปแบบจาก Family พื้นฐานที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้และจึงปรับขนาดและใส่ค่าอื่นๆที่ต้องการ ตามรูปด้านล่าง



ภาพที่ 14ตัวอย่าง: ภาพการเก็บค่าใน Family ของโปรแกรม Revit (1)



ภาพที่ 15 ตัวอย่าง: ภาพการเก็บค่าใน Family ของโปรแกรม Revit (2)

จากรูปจะเห็นว่า ค่าเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานสามารถใส่ค่าได้ใน Family ที่สร้างขึ้น และเมื่อนำไปใช้งาน ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการถอดปริมาณหรือการคำนวนค่าเฉพาะที่เกี่ยวข้องได้ และยังสามารถ Export ไฟล์โมเดลที่ได้ผ่าน IFC เพื่อนำไปทำงานต่อในโปรแกรมเฉพาะทางอื่นๆ เช่น Tekla Structure หรือ SolidWorks เป็นต้น

ข้อดี

- มีเครื่องมือพื้นฐานที่รองรับการทำงานสำหรับหลายฝ่าย ได้แก่ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรระบบ รวมถึงผู้รับเหมาโครงการที่สามารถใช้ประโยชน์จากการวางแผนก่อสร้างได้
- สามารถรองรับงานระบบสาธารณูปโภคทั้งในและนอกอาคาร
- เนื่องจากมีเครื่องพื้นฐานรองรับการทำงานสำหรับผู้ใช้งานหลายกลุ่ม ทำให้การประสานงานระหว่างโมเดลของแต่ละงานมีความสะดวก

ข้อด้อย

- การสร้าง Parametric Model ต้องใช้เวลามาก และกระบวนการซับซ้อน
- โปรแกรม Revit ไม่สามารถรองรับไฟล์ที่มีความซับซ้อนในการทำงานได้ ทำให้ไม่สามารถสร้างโครงเหล็กที่มีความหลากหลายและซับซ้อนได้
- ไม่สามารถสร้างแบบการผลิตและกำหนดหมายเลขเพื่อการผลิต (Part mark Numbering)
- มีราคาค่อนข้างสูง
- จำเป็นต้องใช้ Hardware ที่มีคุณสมบัติสูงในการประมวลผล

2.7.4. ปัญหาที่พบจากการใช้งานโปรแกรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

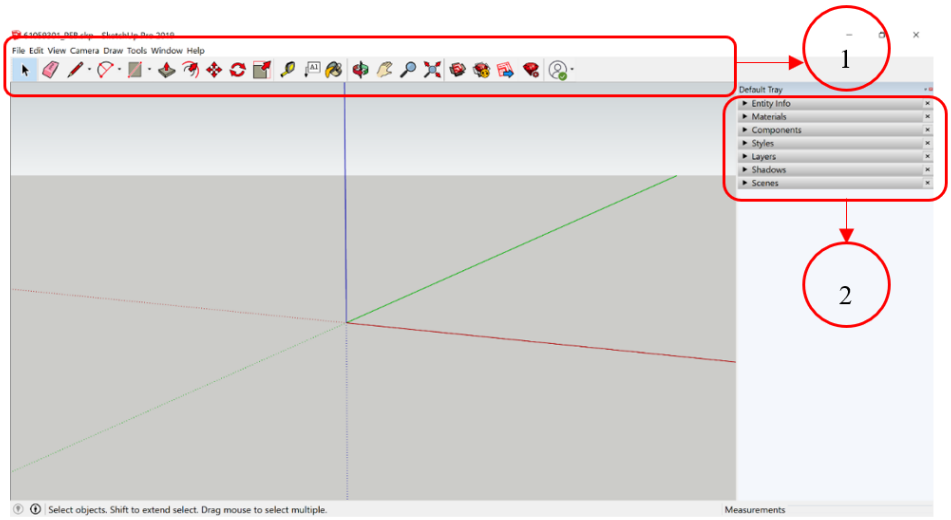
โปรแกรม Tekla Structure และ โปรแกรม Revit มีราคาต้นทุนที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งในการกระบวนการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนั้นมีขั้นตอนซับซ้อน รวมถึงปัจจัยอื่นๆที่ต้องนึงถึง เช่น ต้นทุนของ Hardware เนื่องจาก ความพร้อมของ Hardware ต้องสามารถรองรับการทำงานที่มีไฟล์งานขนาดใหญ่ เป็นต้น จึงทำให้ผู้ใช้งานที่เป็นบริษัทขนาดกลางและขนาดเล็กมีข้อจำกัดในเข้าถึงเครื่องมือดังกล่าวที่ช่วยในกระบวนการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบ ทำให้การประสานการทำงานของผู้ใช้งานยังมีความซ้ำซ้อน เนื่องจากไม่สามารถใช้เครื่องมือที่สามารถสร้างและส่งต่อไฟล์ข้อมูลไปใช้งานต่อได้ทันที ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงการพัฒนาเครื่องมือที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้สะดวก รวดเร็วมากขึ้นแต่ต้นทุนการทำงานน้อยลง

2.8 การสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยเครื่องมืออื่นๆ

2.8.1. SketchUp

SketchUp เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างโมเดล 3 มิติในรูปแบบต่างๆ ที่มีความง่ายต่อการใช้งาน ราคาไม่สูง เป็นที่แพร่หลายทั้งงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม รองรับการสร้างชิ้นงานที่มีรูปแบบไม่ตายตัว ด้วยเครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรมที่เอื้อต่อการสร้างรูปแบบใดๆตามแนวคิดของผู้ใช้งาน ทำให้ SketchUp เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานในการร่างรูปแบบใดๆ ในกระบวนการของ Conceptual ไปจนถึงการสร้างโมเดลรูปร่างต่างๆ ตามที่กำหนดภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว และเนื่องจากเป็นโปรแกรมขนาดเล็ก การประมวลผลจึงสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ไม่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของ Hardware เป็นปัจจัยหลักเหมือนซอฟต์แวร์อื่นๆ อีกทั้งยังมีเครื่องมือที่ช่วยในการนำเสนอ ทำให้ SketchUp เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการออกแบบโครงการต่างๆ

อีกทั้งโปรแกรม SketchUp ยังรองรับการเขียน API ด้วยภาษา Ruby Script ทำให้สามารถสร้างตัวช่วยในการทำงานต่างๆ ในรูปแบบของ Plug-in/Add-on ได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น



ภาพที่ 16ตัวอย่าง: หน้าจอการทำงานของโปรแกรม SketchUp

แถบเครื่องมือพื้นฐาน (1) ของ SketchUp ไม่ซับซ้อน มีการแยกแถบการใช้งานในส่วนต่างๆอย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และใช้งานได้ในระยะเวลาไม่นาน อีกทั้งยังมีแถบที่แสดงข้อมูลต่างๆ (2) เกี่ยวกับชิ้นงานหรือโมเดล สามารถเลือกปรับค่าหรือใส่ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องที่ต้องการ เพื่อการนำโมเดลที่ได้ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อดี

- ราคาไม่สูง เป็นมิตรกับผู้ใช้งานในหลากหลายระดับ
- สามารถสร้างโมเดลรูปทรงต่างๆตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี
- ขนาดไฟล์ไม่ใหญ่ ใช้ทรัพยากรเครื่องคอมพิวเตอร์น้อย
- มีการประมวลผลที่รวดเร็ว สะดวกในการสร้างแผนการนำเสนองานให้กับลูกค้า ด้วยเครื่องมือพื้นฐานในโปรแกรม
- สามารถสร้างโมเดลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเครื่องมือไม่ซับซ้อน
- รองรับการทำงานด้วย API เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถสร้าง plug-in/add-on ได้ตามความต้องการ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้
- รองรับการ Export File ในรูปแบบ IFC

ข้อด้อย

- ชิ้นงานที่สร้างขึ้น ไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องใส่ให้อัตโนมัติ ผู้ใช้งานต้องใส่ข้อมูลเอง ไม่มี Library/Component ที่ช่วยในการสร้างชิ้นงาน ผู้ใช้งานต้องสร้างเองทั้งหมด
- ไม่มีเครื่องมือพื้นฐานสำหรับสร้างแบบต่างๆ อัตโนมัติ
- ไม่มีเครื่องมือในการกำหนดหมายเลขชิ้นงานเพื่อการผลิต (Part mark Numbering)
- ไม่มีเครื่องมือพื้นฐานในการประมาณราคาหรือวัสดุ ผู้ใช้งานต้องดำเนินการด้วยตัวเอง

2.9 ความสามารถในการส่งข้อมูลระหว่างโมเดล

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ ทั้งความล่าช้าและความซับซ้อนของกระบวนการทำงาน ทำให้มีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปและระบบการทำงาน BIM (Building Information Modelling) เข้ามาช่วยในกระบวนการทำงานอย่างแพร่หลายมากขึ้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการทำงาน ดังนั้น การประสานงานและทำงานร่วมกันจากหลายฝ่าย ที่มีความแตกต่างทั้งทางแนวคิดและเครื่องมือ ต้องมีการกำหนดข้อตกลงร่วมกัน เพื่อให้การทำงานมีความราบรื่น ลดข้อขัดแย้ง และสามารถตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ เพื่อทำการแก้ไขก่อนการก่อสร้างจริง ดังนั้นตัวกลางในการทำงานร่วมกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งได้แก่ การใช้ IFC (Industrial Foundation Classes) เป็นชนิดไฟล์หลักในการทำงานร่วมกันระหว่างฝ่าย

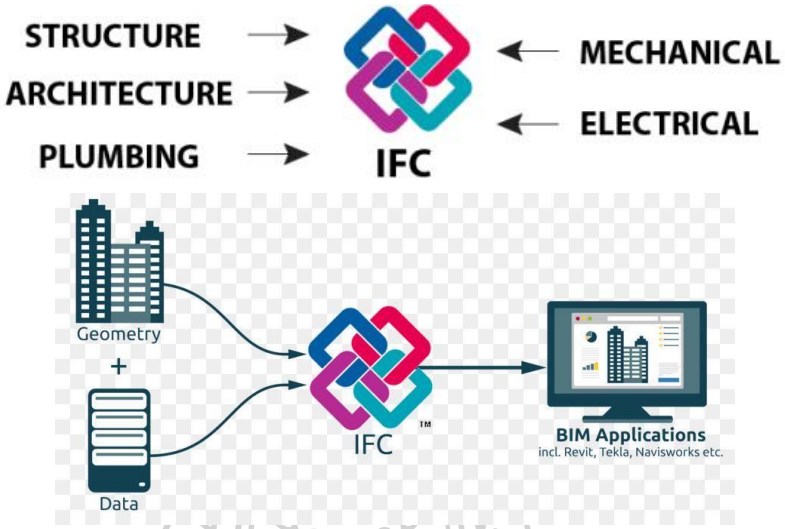
IFC (Industrial Foundation Classes)

ที่มา IFC File Format, https://www.e-zigurat.com/blog/en/ifc-and-bim-interoperability/

IFC (Industrial Foundation Classes) คือ มาตรฐานการส่งข้อมูลไฟล์ดิจิตอล, international standard (ISO 16739-1:2018), ที่เกี่ยวกับสิ่งก่อสร้างรูปแบบต่างๆ ทั้งอาคารและโครงสร้างทางระบบสาธารณูปโภค รองรับข้อมูลจากโปรแกรมใดๆก็ตามที่สนับสนุนทำงานบนระบบ BIM (Building Information Modelling) ซึ่งมีรูปแบบมาตรฐานโครงสร้างข้อมูลที่ส่งออกจากโปรแกรมใดๆ ก็ตาม ที่สามารถปรับแก้ไขได้ตามความเหมาะสม

ในปัจจุบัน IFC เป็นเครื่องมือที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรม ทั้งยังเป็นตัวกลางในการทำงานระหว่างฝ่ายผู้ใช้งาน เช่น การส่งโมเดลจากสถาปนิกไปให้วิศกรโครงสร้างเพื่อทำงานต่อในขั้นตอนถัดไป เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สำคัญที่เก็บ

อยู่ในโมเดลที่ส่งต่อกันไปมาระหว่างฝ่าย ทำให้เกิดการทำงานร่วมกันที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 17 รูปแบบการส่งข้อมูลด้วย IFC File

รูปแบบของ IFC

IFC หรือ Industrial Foundation Class แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ

IFC File Format

เป็นไฟล์ข้อมูลที่บรรจุรายละเอียดต่างๆของชิ้นงานที่สร้างขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลเป็นรายบรรทัด และทำงานแบบ reference line ใช้สำหรับเพื่อการอ่านค่าของชิ้นงานที่ส่งมาเพียงเท่านั้น ไม่เหมาะสำหรับการแก้ไข เนื่องจากสามารถผิดพลาดได้ง่าย

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition[CoordinationView_V2.0, QuantityTakeOffAddOnView]', 'Option [BaseQuantities:On]', 'Option [GridExport:On]', 'Option
[Assemblies:Off]', 'Option [Bolts:On]', 'Option [Rebars:On]', 'Option [PourObjects:Off]', 'Option [Welds:Off]', 'Option [SurfaceTreatments:On]', 'Option
[LocationBy:0]', 'Option [ViewColors:Off]', 'Option [SectionedSpine:Off]', 'Option [PropertySets:On]', 'Option [Export all:On]'),'2;1');
FILE_NAME('out.ifc','2020-10-12T10:51:50',('TEKLAAD\\jeede'),('Structural Designer'),'IFC Database Version: Work','Tekla Structures 2020, IFC Export
Version: 4.0.0.0 Mar  5 2020','');
FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));
ENDSEC;

DATA;
#1= IFCPERSON('TEKLAAD\\jeede','Undefined',$,$,$,$,$);
#2= IFCORGANIZATION($,'Trimble Solutions Corporation',$,$,$);
#3= IFCPERSONANDORGANIZATION(#1,#2,$);
#4= IFCAPPLICATION(#2,'2020','Tekla Structures','Multi material modeling');
#5= IFCOWNERHISTORY(#3,#4,$,.NOCHANGE.,$,$,$,1602474710);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#7= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#8= IFCDIRECTION((0.,1.,0.));
#9= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#10= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,#9,#7);
#11= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,1.E-05,#10,$);
#12= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,*,#11,$,.MODEL_VIEW.,$);
#13= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Axis','Model',*,*,*,*,#11,$,.GRAPH_VIEW.,$);
#14= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('FootPrint','Model',*,*,*,*,#11,$,.MODEL_VIEW.,$);
#15= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,.MILLI.,.METRE.);
```

ภาพที่ 18 ตัวอย่าง: การจัดเก็บข้อมูลใน IFC File Format

IFC XML File Format

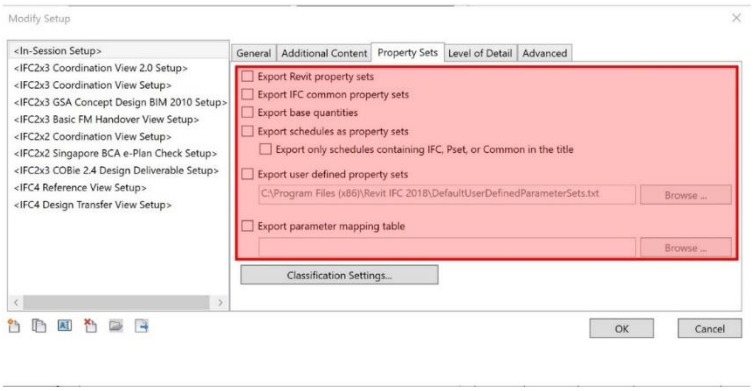
เป็นมาตรฐานไฟล์ข้อมูลที่เก็บรายละเอียดต่างๆของชิ้นงานที่สร้างขึ้นเหมือนกันกับ IFC File Format แต่แตกต่างที่ IFC XML File Format นั้น ไม่มีการอ้างอิง reference line เหมือนกับ IFC

File Format ทำให้สามารถปรับแต่งและแก้ไขข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ได้

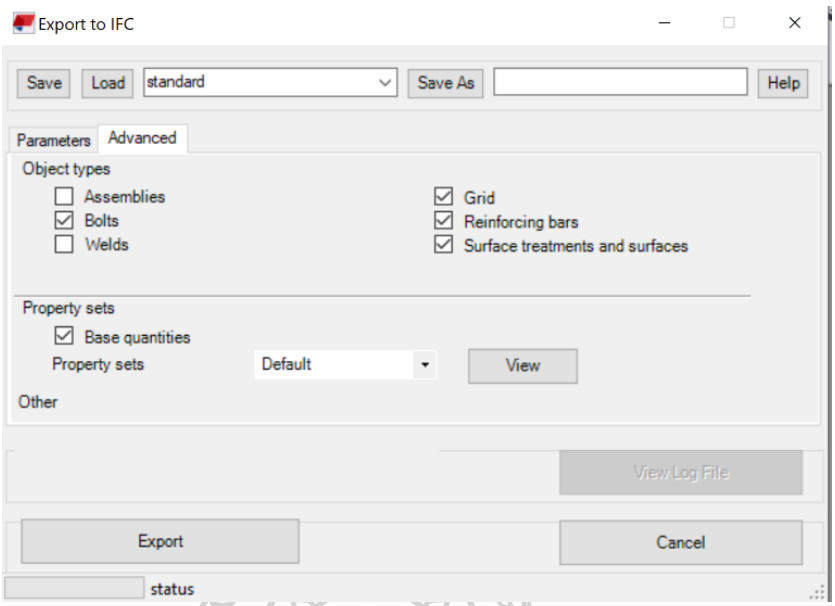
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ex:iso_10303_28 xmlns:ex="urn:iso.org:standard:10303:part(28):version(2):xmlschema:common" xmlns:xsi=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:schemaLocation="urn:iso.org:standard:10303:part(28):version(2):xmlschema:common
http://www.iai-tech.org/ifcXML/IFC2x3/FINAL/ex.xsd" version="2.0">
 <ex:iso_10303_28_header>
   <ex:name>PEB Beam Flange Web Plate.ifcXML</ex:name>
   <ex:time_stamp>2020-09-21T19:53:18</ex:time_stamp>
   <ex:author>TEKLAAD\chech</ex:author>
   <ex:organization>Structural Designer</ex:organization>
   <ex:preprocessor_version>IFC Database Version: Work</ex:preprocessor_version>
   <ex:originating_system>Tekla Structures 2020 Service Pack 3, IFC Export Version: 4.0.0.0 Sep  2 2020</ex:originating_system>
   <ex:authorization/>
   <ex:documentation>ViewDefinition[CoordinationView_V2.0, QuantityTakeOffAddOnView]</ex:documentation>
 </ex:iso_10303_28_header>
 <uos id="uos_1" description="ViewDefinition[CoordinationView_V2.0, QuantityTakeOffAddOnView]" configuration="i-ifc2x3" edo="" xmlns=
 "http://www.iai-tech.org/ifcXML/IFC2x3/FINAL" xsi:schemaLocation="http://www.iai-tech.org/ifcXML/IFC2x3/FINAL
 http://www.iai-tech.org/ifcXML/IFC2x3/FINAL/IFC2x3.xsd">
  <IfcPerson id="i1">
   <Id>TEKLAAD\chech</Id>
   <FamilyName>Undefined</FamilyName>
  </IfcPerson>
  <IfcOrganization id="i2">
   <Dimensions>
    <IfcDimensionalExponents xsi:nil="true" ref="i17"/>
   </Dimensions>
   <UnitType>lengthunit</UnitType>
   <Name>FOOT</Name>
   <ConversionFactor>
    <IfcMeasureWithUnit xsi:nil="true" ref="i16"/>
   </ConversionFactor>
  </IfcConversionBasedUnit>
  <IfcSIUnit id="i19">
   <UnitType>areaunit</UnitType>
   <Name>square_metre</Name>
  </IfcSIUnit>
  <IfcMeasureWithUnit id="i20">
   <ValueComponent>
    <IfcRatioMeasure>0.09290304</IfcRatioMeasure>
   </ValueComponent>
   <UnitComponent>
    <IfcSIUnit xsi:nil="true" ref="i19"/>
   </UnitComponent>
  </IfcMeasureWithUnit>
  <IfcDimensionalExponents id="i21">
   <LengthExponent>2</LengthExponent>
   <MassExponent>0</MassExponent>
   <TimeExponent>0</TimeExponent>
   <ElectricCurrentExponent>0</ElectricCurrentExponent>
   <ThermodynamicTemperatureExponent>0</ThermodynamicTemperatureExponent>
   <AmountOfSubstanceExponent>0</AmountOfSubstanceExponent>
   <LuminousIntensityExponent>0</LuminousIntensityExponent>
```

ภาพที่ 19 ตัวอย่าง: การจัดเก็บข้อมูลใน IFC XML File Format

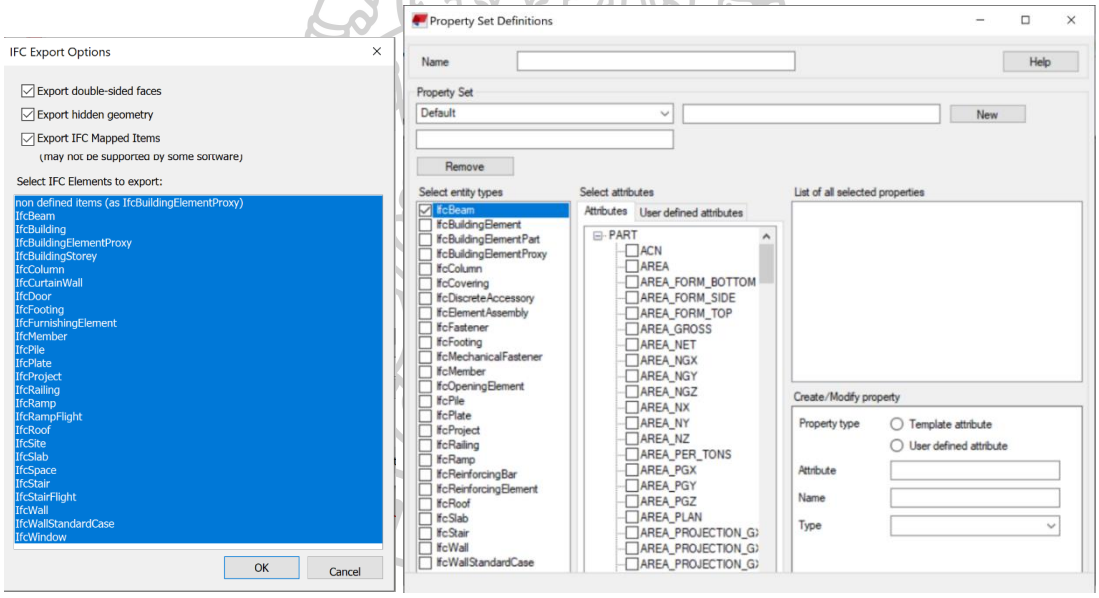
หน้าจอการตั้งค่า **IFC** ในโปรแกรมต่างๆ



ภาพที่ 20 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Revit



ภาพที่ 21 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Tekla Structure



ภาพที่ 22 ตัวอย่าง: การตั้งค่า IFC ในโปรแกรม Tekla Structure (ต่อ)

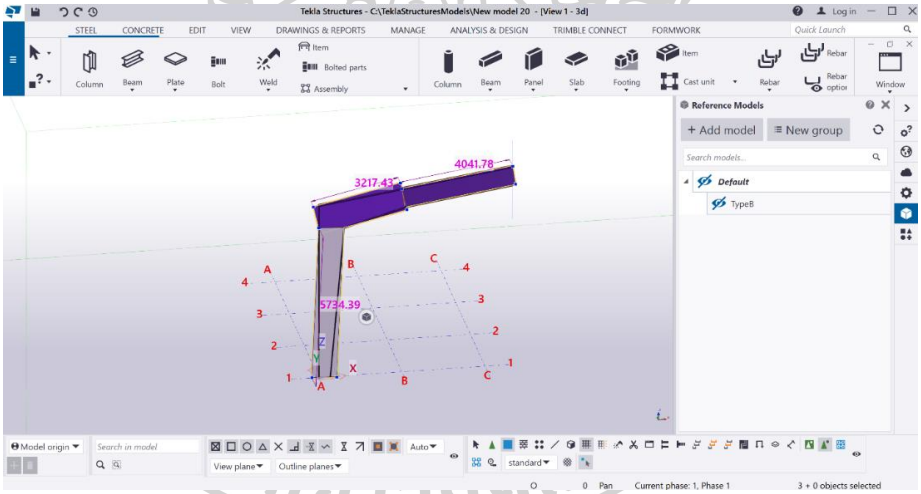
2.10. SketchUp: IFC Export และปัญหาที่พบ

โปรแกรม SketchUp นั้น สามารถ Export IFC ไฟล์แต่ไม่สามารถส่งออกไฟล์ IFC XML ได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการปรับแต่งข้อมูลจาก IFC XML ที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure เพื่อเป็น Template ในการสร้างข้อมูล IFC XML จากโปรแกรม SketchUp จากการศึกษารูปแบบ IFC File Format ของโปรแกรม SketchUp และโปรแกรม Tekla Structure พบว่ารูปแบบไฟล์ที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างกันในหลายกรณี เนื่องจาก

- โปรแกรม SketchUp ไม่มี Component ทำให้ไม่มีข้อมูลของ Component เหมือนกับ BIM Application อื่นๆ

- โปรแกรม SketchUp ไม่มีรูปแบบข้อมูลของระดับชั้นอาคาร

- เมื่อโปรแกรม Tekla Structure ได้รับไฟล์ IFC จากโปรแกรม SketchUp ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ทันที ต้องขึ้นชิ้นงานใหม่ด้วยเครื่องมือในโปรแกรม Tekla Structure อีกครั้งเพื่อนำไปใช้งานต่อในกระบวนการอื่นๆ ดังภาพ



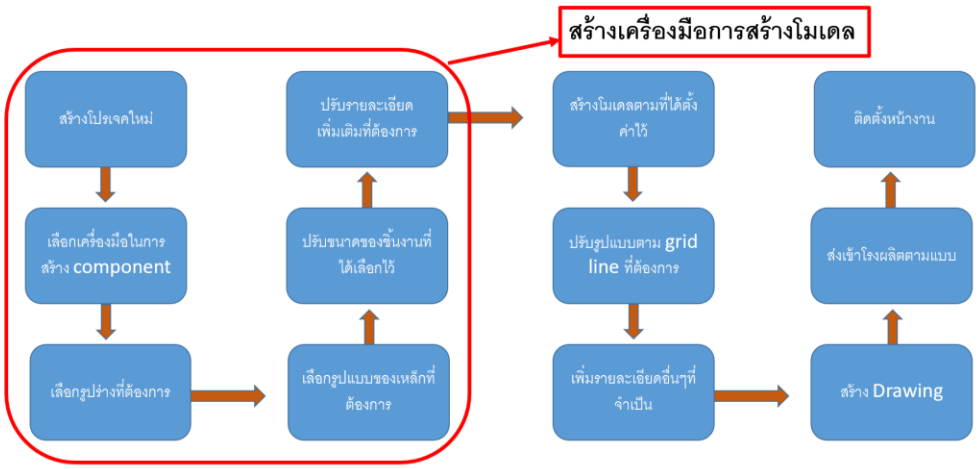
ภาพที่ 23 ภาพการส่งไฟล์ IFC ไปยังโปรแกรม Tekla Structure

2.11. ข้อสรุปโดยรวม

จากการศึกษาข้อมูลในการทำงานกระบวนการสร้างโครงสร้างแบบ Plate ประกอบนั้นมีกลุ่มเป้าหมายหลักคือกลุ่มผู้ใช้งานที่ต้องสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบในกระบวนการออกแบบเค้าโครงโครงสร้างเหล็กก่อนการส่งต่อไปยังกระบวนการอื่น ซึ่งปัญหาที่พบคือ ราคาของเครื่องมือที่ต้องการนำมาใช้นั้นมีราคาสูง และมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน ทำให้เกิดต้นทุนการทำงานสูง รวมถึงการส่งต่อข้อมูลไปยังโปรแกรมที่แตกต่างกันนั้นไม่สามารถนำไฟล์ที่ส่งต่อไปใช้งานทันที ต้องเสียเวลาขึ้นโมเดลชิ้นงานใหม่ จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยลดปัญหา

ดังกล่าว ด้วยการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยโปรแกรม SketchUp และสามารถส่งต่อไฟล์โมเดลที่สร้างได้โดยใช้ไฟล์ IFC XML File Format เนื่องจากสามารถปรับแต่งข้อมูลได้สะดวกกว่า IFC ปกติ จากนั้นส่งไปทำงานต่อยังโปรแกรม Tekla Structure เพื่อทำงานต่อในกระบวนการอื่นๆได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาสร้างโมเดลชิ้นงานใหม่

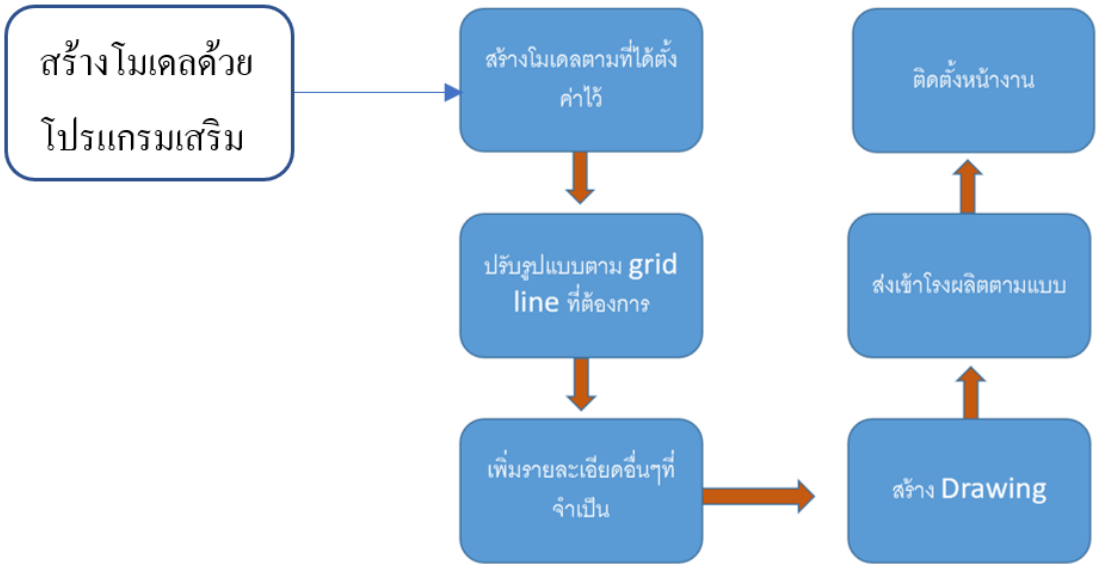
Workflow การทำงานในรูปแบบเดิม



ภาพที่ 24 Workflow การทำงานในรูปแบบเดิม

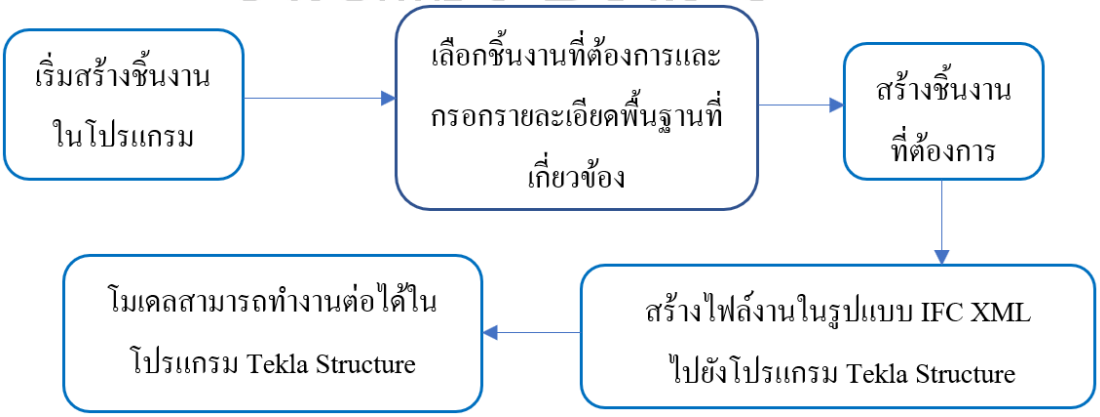
มหาวิทยาลัยศิลปากร

จากกระบวนการที่เป็นปัญหาเดิมที่แสดงใน workflow ด้านบน จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือเพื่อลดขั้นตอนที่เสียเวลาด้วยโปรแกรม SketchUp โดยเปลี่ยนจากกระบวนการเดิมเป็นดังนี้



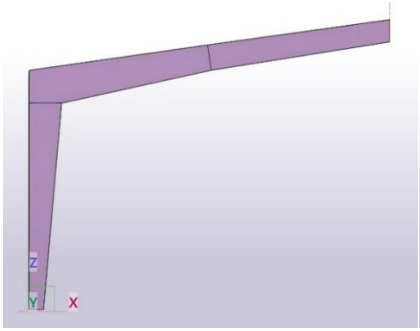
ภาพที่ 25 ภาพ Workflow การทำงานในรูปแบบใหม่หลังพัฒนาโปรแกรมเสริม

Workflow ของโปรแกรมเสริมที่ต้องการพัฒนา

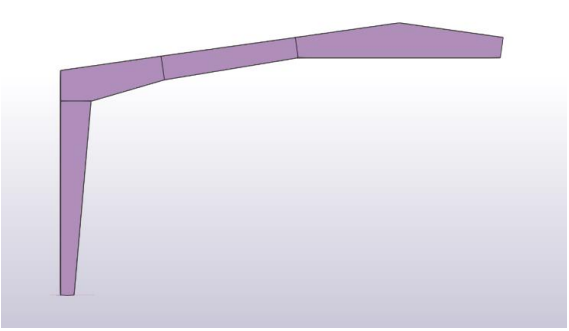


และจากที่ได้ศึกษาถึงรูปแบบมาตรฐานทั่วไปของโครงสร้างมี่นิยมใช้ในปัจจุบัน จึงได้สรุปรูปแบบโครงสร้างที่ต้องการพัฒนาเครื่องมือเสริมเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบ A



รูปแบบ B



ภาพที่ 26 รูปแบบโครงสร้างที่ต้องการนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมเสริม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
การออกแบบและแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือ

แนวความคิดในการออกแบบโปรแกรม

3.1 แนวความคิด

จากปัญหาที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 พบว่าระยะเวลาการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบ ด้วยโปรแกรม Tekla Structure มีขั้นตอนที่ซับซ้อนในการใส่ค่ารายละเอียดของชิ้นงานที่ต้องการสร้างในเครื่องมือที่โปรแกรมมีให้ และจากการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานทำให้ทราบถึงกระบวนการการสร้างโมเดล ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการป้อนค่าเพื่อกำหนดรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการประมาณ 10-15 นาทีต่อชิ้น และจากตัวอย่างโครงการขนาด 1,000 ตารางเมตรจะต้องใช้ plate ประกอบอย่างน้อย 15 รูปแบบ (อ้างอิงจากถ้า 1 โครง frame มีชิ้นงาน plate ประกอบ 5 รูปแบบ และในโครงการมีโครง Frame 3 รูปแบบ ทำให้ต้องเตรียมรูปแบบ plate ประกอบไว้ทั้งหมด 15 รูปแบบ) ทำให้ต้องเสียเวลาในกระบวนการกรอกข้อมูลในส่วนต่างๆเพื่อสร้างและรวมถึงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการปรับแก้ขนาดหรือรูปทรงชิ้นงาน โดยเฉพาะผู้ใช้งานที่ไม่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรม ทำให้เกิดต้นทุนที่สูงในการทำงาน

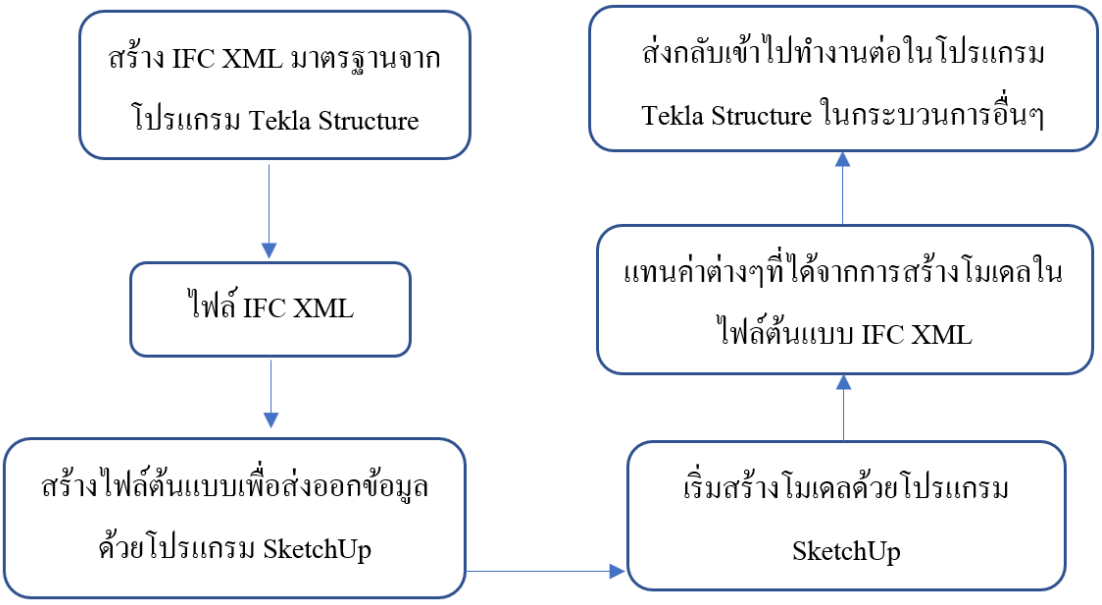
จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยลดขั้นตอน ระยะเวลา และต้นทุนในการทำงาน เพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากขึ้น โดยเลือกศึกษาโปรแกรม SketchUp เพื่อนำมาพัฒนาเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาข้างต้น เนื่องจากข้อดีที่ได้ระบุไว้ก่อนหน้า ตามรายละเอียดดังนี้

- ราคาไม่สูง เป็นมิตรกับผู้ใช้งานในหลากหลายระดับ
- สามารถสร้างโมเดลรูปทรงต่างๆตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี
- ขนาดไฟล์ไม่ใหญ่ ใช้ทรัพยากรเครื่องคอมพิวเตอร์น้อย
- มีการประมวลผลที่รวดเร็ว สะดวกในการสร้างแผนการนำเสนองานให้กับลูกค้า ด้วยเครื่องมือพื้นฐานในโปรแกรม
- สามารถสร้างโมเดลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเครื่องมือไม่ซับซ้อน
- รองรับการทำงานด้วย API เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถสร้าง plug-in/add-on ได้ตามความต้องการ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้

และจากข้อดีที่ได้กล่าวมานั้น SketchUp มี API ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถเขียนโปรแกรมเสริมเข้าไปได้ ซึ่งทำให้สามารถปรับค่าและรูปแบบการทำงานได้ตรงกับความต้องการ

แต่เนื่องจากโปรแกรม SketchUp ไม่สามารถสร้างไฟล์ IFC XML เพื่อส่งออกได้จึงมีแนวคิดในการสร้างไฟล์ IFC XML ที่เป็นต้นแบบโดยการสร้างไฟล์ IFC XML จากโปรแกรม Tekla Structure แล้วส่งข้อมูลออกมา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

กระบวนการการทำงานของ IFC XML จากโปรแกรมเสริมที่ต้องการพัฒนา



3.2 แนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ

3.2.1. ในการพัฒนาเครื่องมือในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนั้น ผู้ศึกษาได้เคยศึกษาถึงวิธีการเขียนโค้ดโปรแกรมด้วยภาษา Ruby เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบและวิธีการนำไปใช้งานบนโปรแกรม SketchUp และเพื่อนำโมเดลที่สร้างส่งกลับไปทำงานในกระบวนการอื่นๆในโปรแกรม Tekla Structure โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.2.2 เตรียมข้อมูลที่จำเป็นของชิ้นงานในแต่ละรูปแบบว่ามีข้อมูลในส่วนใดบ้าง เพื่อเตรียมการสร้างหน้าจอการทำงาน

3.2.3. ศึกษาถึงรูปแบบชิ้นงานว่ามีกี่รูปแบบเพื่อรองรับการสร้างเครื่องมือเพื่อให้สามารถสร้างและนำไปใช้งานได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

3.2.4. ศึกษาถึงข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างชิ้นงาน เช่น ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง เป็นต้น

3.2.5. ศึกษาถึงข้อมูลอื่นๆเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องสำหรับการประมาณราคา ซึ่งในกรณีนี้ในขั้นตอนของ Preliminary Design จะต้องการข้อมูลของพื้นที่และน้ำหนักของชิ้นงานทั้งต่อชิ้นและโดยรวม

3.2.6. ศึกษาถึงรูปแบบของข้อมูลในการส่งไฟล์ IFC ว่ามีรูปแบบข้อมูลที่ครบถ้วนหรือไม่

3.2.7. ศึกษาเครื่องมือเพื่อปรับข้อมูลไฟล์ IFC ที่ส่งออกจากโปรแกรม SketchUp ให้ครบถ้วนตามที่โปรแกรม Tekla Structureต้องการ

3.3 ความสามารถของโปรแกรมเสริมที่ต้องการพัฒนา

3.3.1. เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างโมเดล 3 มิติเหล็กแบบ plate ประกอบได้ด้วยการกรอกค่าเบื้องต้น

3.3.2. สามารถสร้างชิ้นงานโครงสร้างเหล็กแบบ plate ประกอบรูปแบบพื้นฐานได้

3.3.3. เพื่อให้ผู้ใช้งานลดระยะเวลาในการสร้างโมเดล 3 มิติโครงสร้างเหล็กแบบ plate ประกอบ

3.3.4. เพื่อให้สามารถส่งต่อข้อมูลของโมเดลที่สร้างขึ้นไปทำงานต่อในกระบวนการอื่นๆ ในโปรแกรม Tekla Structure เช่น การใส่รายละเอียดเพิ่มเติมจากโมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อการผลิต เป็นต้น

จากการศึกษาข้างต้น ได้ทราบถึงข้อดีจากการพัฒนาเครื่องมือข้างต้นด้วยโปรแกรม SketchUp คือ สามารถสร้างโมเดลตามรูปแบบที่ต้องการผ่าน API และยังสามารถกำหนดค่าต่างๆ ได้ตามต้องการแต่อย่างไรก็ดี ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของการส่งต่อข้อมูลการทำงานจากโปรแกรม SketchUp ไปยังโปรแกรม Tekla Structure ที่ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ ดังนั้น จึงมีแนวคิดในการพัฒนาจากกระบวนการทำงานแบบเดิมเพื่อให้รองรับการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบในรูปแบบอื่นๆที่นิยมใช้ในท้องตลาดในปัจจุบัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างชิ้นงานที่ต้องการได้สะดวกมากยิ่งขึ้น รวมถึงการพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อปรับแต่งข้อมูลการส่งต่อไฟล์ในรูปแบบ IFC XML โดยการสร้างไฟล์ IFC XML ต้นฉบับจากโปรแกรม Tekla Structure เพื่อให้สามารถส่งโมเดลไปทำงานต่อในกระบวนการอื่นๆ ได้

3.4 แนวทางในการพัฒนารูปแบบเครื่องมือ

ศึกษาถึงรูปแบบของการสร้างชิ้นงานในโปรแกรม SketchUp ซึ่งส่งผลถึงการส่งข้อมูลไปแทนที่ข้อมูลในไฟล์ IFC XMLต้นแบบที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure และเพื่อให้สอดคล้องกับการจัดเก็บข้อมูลในไฟล์ IFC XML

ในการสร้างชิ้นงานโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนั้นจะแบ่งการสร้างออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.4.1. การสร้างชิ้นงาน Web

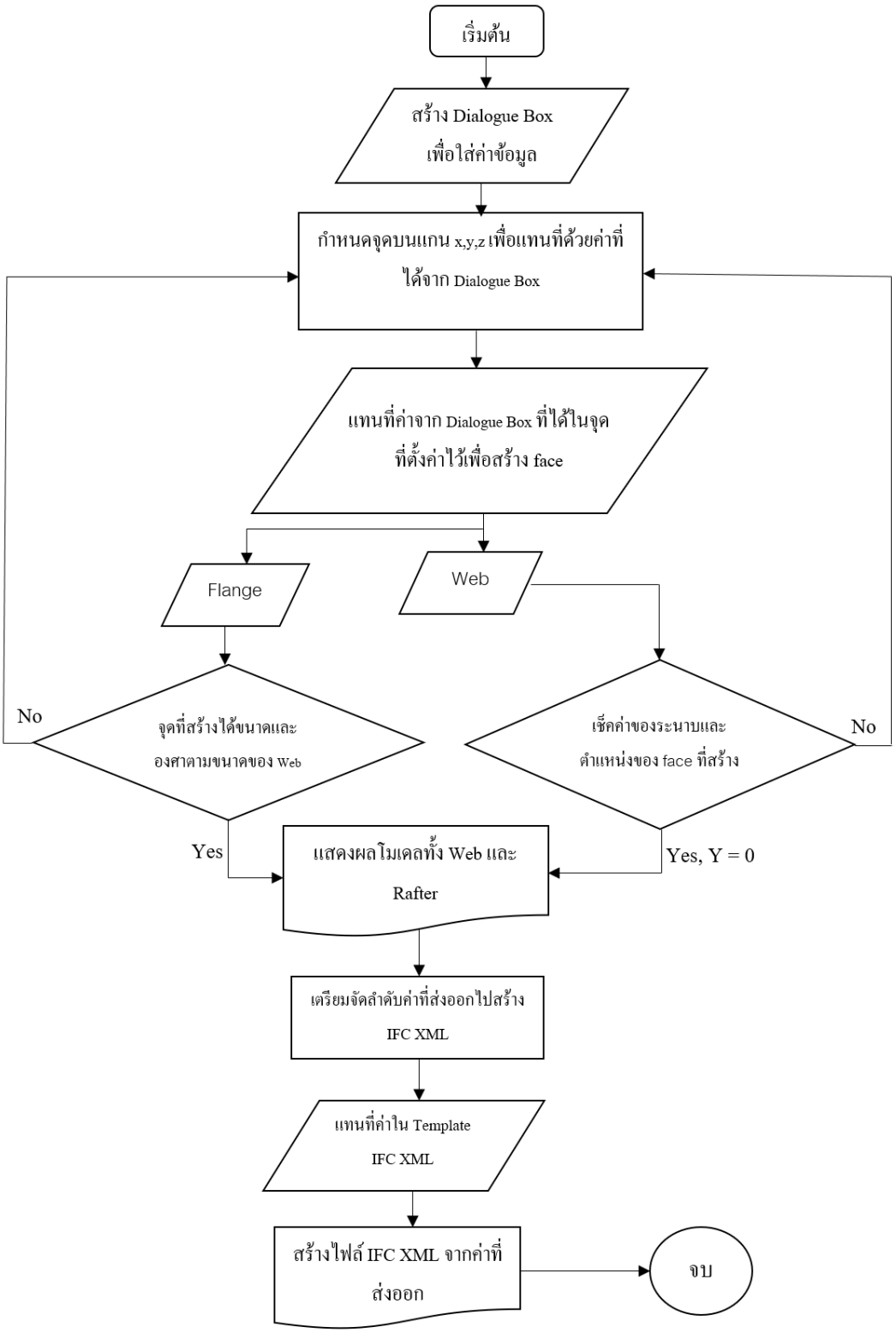
มีองค์ประกอบข้อมูล ได้แก่

- มี Polyline เพื่อใช้ในการสร้างชิ้นงาน
- มีความหนาของชิ้นงาน

3.4.2. การสร้างชิ้นงาน Flange

มีองค์ประกอบข้อมูล ได้แก่

- มี Polyline เพื่อใช้ในการร้างชิ้นงาน
- มีความหนาของชิ้นงาน

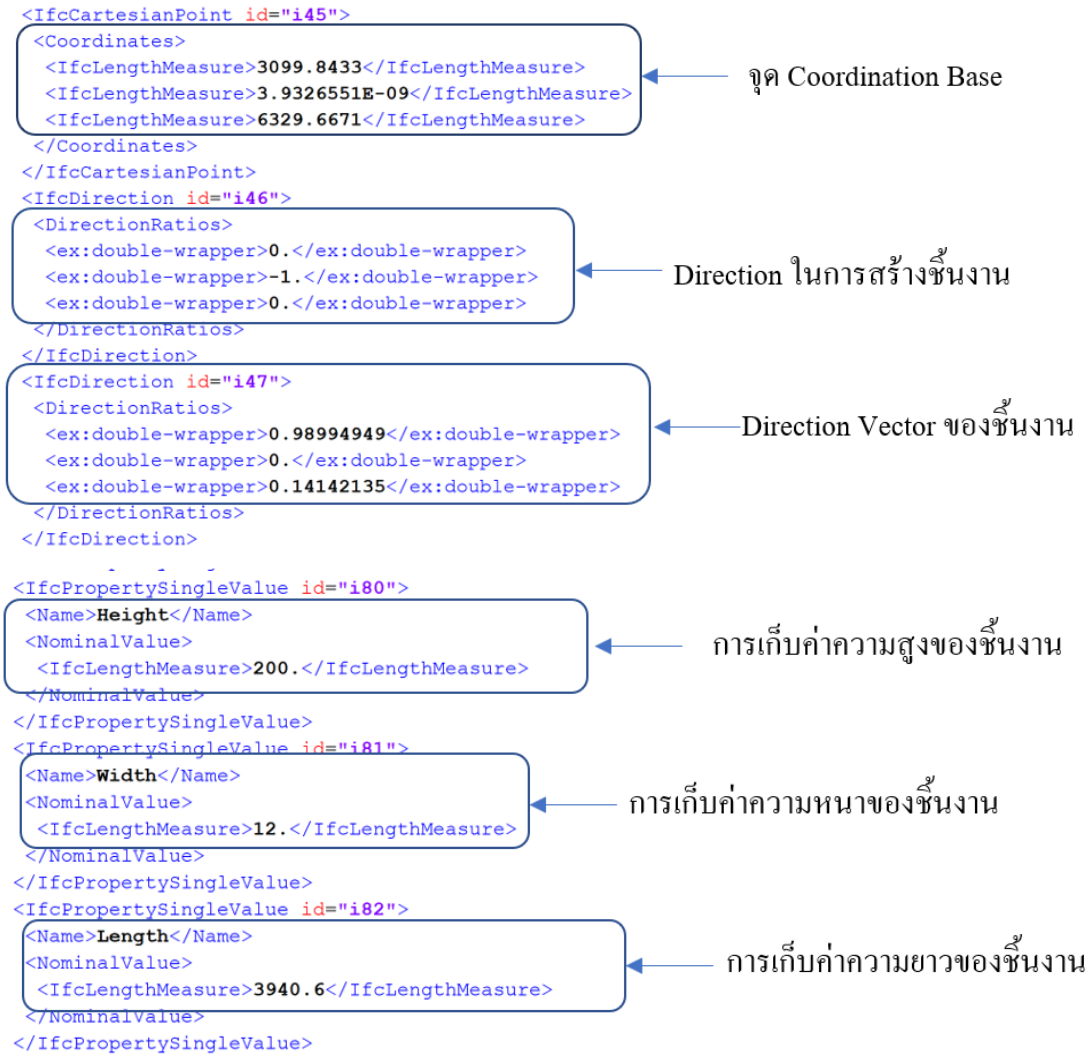

เริ่มต้น
สร้าง Dialogue Box
เพื่อใส่ค่าข้อมูล
กำหนดจุดบนแกน x,y,z เพื่อแทนที่ด้วยค่าที่
ได้จาก Dialogue Box
แทนที่ค่าจาก Dialogue Box ที่ได้ในจุด
ที่ตั้งค่าไว้เพื่อสร้าง face
Flange
Web
No
จุดที่สร้างได้ขนาดและ
องศาตามขนาดของ Web
เช็คค่าของระนาบและ
ตำแหน่งของ face ที่สร้าง
No
Yes
Yes, Y = 0
แสดงผลโมเดลทั้ง Web และ
Rafter
เตรียมจัดลำดับค่าที่ส่งออกไปสร้าง
IFC XML
แทนที่ค่าใน Template
IFC XML
สร้างไฟล์ IFC XML จากค่าที่
ส่งออก
จบ

3.4.3 หลักการทำงานของกระบวนการสร้างโมเดล

ในกระบวนการสร้างโมเดลนั้น จะมีหลักการคือการกำหนดจุดตามแกน X, Y, Z เพื่อให้สามารถสร้างรูปในแบบที่ต้องการ ซึ่งจะแทนค่าที่ผู้ใช้งานกรอกรายละเอียดนำไปใส่ตามจุดที่กำหนดไว้ และเพิ่มค่าความหนาเพื่อสร้างเป็นรูปแบบ 3 มิติ ในกรณีของของการสร้างชิ้นงาน Web จะมีตัวอย่างในการสร้างรูปดังนี้

```
points = []
points[0] = [0,0,0]
points[1] = [columnbasewidth,0,0]
points[2] = [columntopwidth,0,columnheight]
points[3] = [0,0,columnheight]
```

ภาพที่ 27 ตัวอย่างการกำหนดจุดเพื่อสร้างรูปสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 28 ตัวอย่างการเก็บค่าขนาดชิ้นงานในไฟล์ IFC XML

3.5. การศึกษา Module ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเครื่องมือเสริม

จากการศึกษาถึงรูปแบบและข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบก่อนหน้านี้ จึงได้มีการจำแนก Module ในการสร้างเครื่องมือเพื่อนำไปลดขั้นตอนกระบวนการสร้างโมเดลในโปรแกรม Tekla Structure ในกระบวนการที่มีความซับซ้อนและเสียเวลาค่อนข้างมาก ซึ่งเครื่องมือที่ต้องการพัฒนานั้นจะต้องลดความซับซ้อนในการกรอกข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นทั้งในส่วนของการสร้างโมเดลใหม่และการปรับค่าขนาดเมื่อมีการแก้ไข อีกทั้งยังสามารถส่งต่อข้อมูลต่างๆเพื่อให้ไปทำงานต่อได้ในกระบวนการอื่นใน Tekla Structure ได้โดยการส่งไฟล์ผ่าน IFC XML ไฟล์ และจากการศึกษาถึงกระบวนการทำงานที่เป็นปัญหาเพื่อพัฒนาเครื่องมือเสริมนั้น จึงได้แยกกระบวนการสร้างออกเป็น 3 Module ดังนี้

3.5.1. Project Setting: Information input, sizing, profile creation interface

3.5.2. Model Creation

3.5.3 Export File

โดยในแต่ละ Module จะมีกระบวนการทำงาน ข้อมูลและวิธีการที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.5.1 Module Project Setting (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)

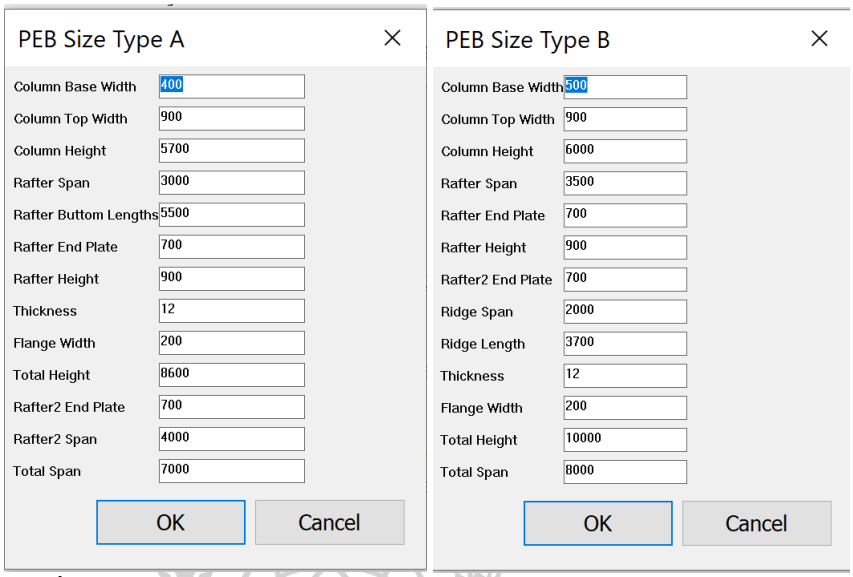
เป็นกระบวนการป้อนค่าต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อสร้างโมเดลชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ ผู้ใช้งานจะต้องป้อนค่าตามจุดที่ได้กำหนดไว้ให้ดังภาพด้านล่าง (ภาพที่ 29) เป็นการเตรียมรูปแบบของชิ้นงานและข้อมูลต่างๆที่จำเป็น เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้งานในการสร้างโมเดลและใช้ประโยชน์สำหรับการประมาณราคาเบื้องต้น

มีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ

1. ศึกษาถึงรูปแบบของโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบที่นิยมใช้กันในท้องตลาด

2. เมื่อได้รูปแบบแล้วจึงศึกษาถึงรายละเอียดที่จำเป็นในการสร้างโมเดล เช่น วิธีการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม Tekla Structure เพื่อกำหนดวิธีการสร้างโมเดลในโปรแกรม SketchUp ให้มีความสอดคล้องกัน และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับ IFC XML ที่เป็นต้นแบบจากโปรแกรม Tekla Structure

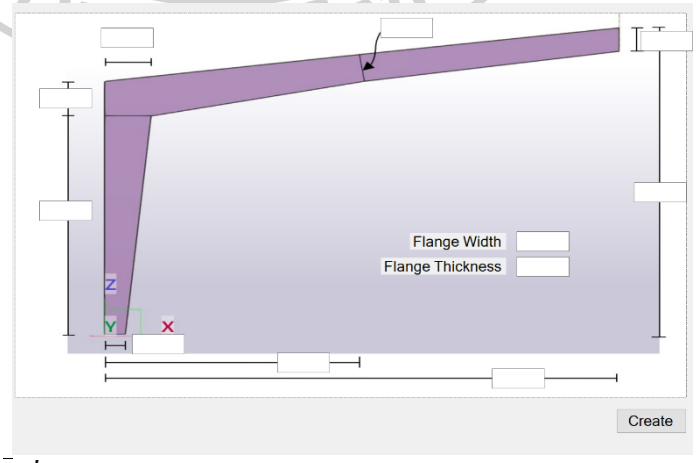
3. กำหนดรูปแบบของหน้าจอการใช้งานเพื่อให้สามารถป้อนค่าต่างๆที่จำเป็นได้สะดวก ไม่ซับซ้อนหลักการของการพัฒนาหน้าจอการทำงานนั้น คือ การสร้างเครื่องมือที่สามารถให้ผู้ใช้งานสามารถกรอกค่าและขนาดที่จำเป็น อย่างไรก็ตาม ได้มีการทดลองการสร้างหน้าจอการทำงานเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถกรอกค่าที่ต้องการได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และได้ออกแบบหน้าจอดังรูปด้านล่าง



ภาพที่ 29 ตัวอย่างหน้าจอการกรอกค่าของโปรแกรมเสริมในตอนแรก

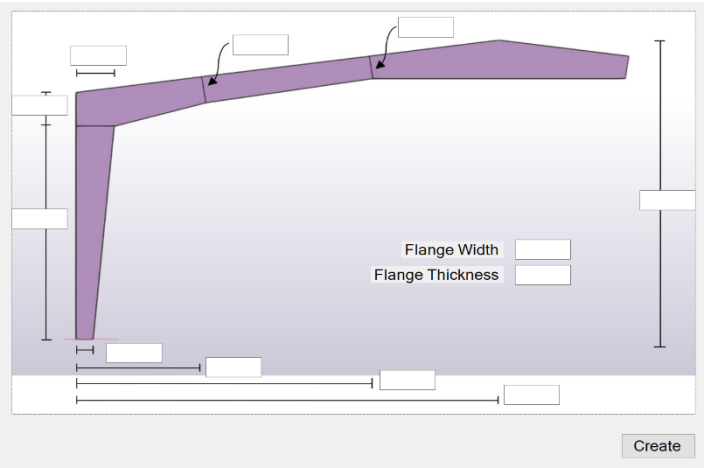
จากการออกแบบเบื้องต้นในภาพด้านบน พบว่าการใช้ชื่อชิ้นงานเป็นหัวข้อในการกรอกค่านั้นอาจจะทำให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและอาจทำให้ค่าที่กรอกไม่ถูกต้อง จึงได้มีการเพิ่มรูปของโครงสร้างเหล็กที่ต้องการสร้างเข้าไปในหน้าจอการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงรูปแบบของโครงสร้างที่ต้องการสร้างว่ามีรูปแบบอย่างไร และยังสามารถกรอกค่าต่างๆตามที่ระบุไว้ในส่วนต่างๆของชิ้นงานในรูปภาพได้ เมื่อผู้ใช้งานกรอกค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว จึงนำค่าที่ได้นั้นไปจัดเก็บเป็นรูปแบบของข้อมูลที่สามารถส่งต่อไปยังโปรแกรม SketchUp เพื่อนำค่าตัวเลขที่ได้ไปดำเนินการสร้างโมเดล 3 มิติตามรูปแบบที่ผู้ใช้งานได้เลือกสร้าง ซึ่งจะมีรูปแบบและขั้นตอนการทำงานดังรูปด้านล่างนี้

<u>รูปแบบ A</u>



ภาพที่ 30 รูปแบบการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปแบบ A

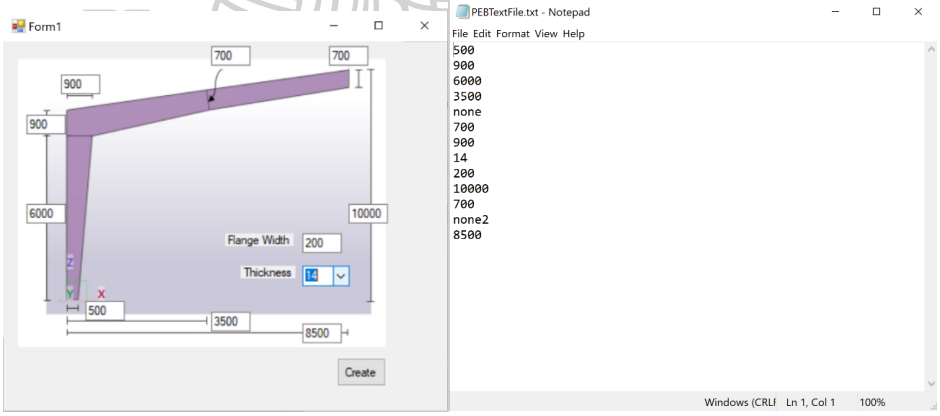
<u>รูปแบบ B</u>



ภาพที่ 31 รูปแบบการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปแบบ B

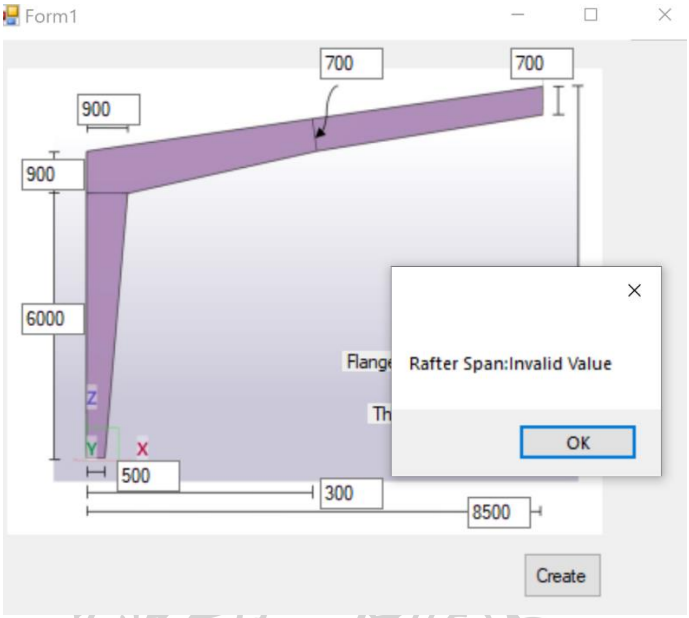
กระบวนการการทำงานของหน้าจอการทำงานที่สร้างขึ้น

หน้าจอของการทำงานจะให้ผู้ใช้งานกรอกค่าขนาดที่ต้องการ ซึ่งในกระบวนการนี้จะเก็บค่าที่ได้ไว้ในรูปแบบของ Text File หลังจากนั้นจะนำเข้าไปทำงานต่อในกระบวนการสร้างโมเดล 3 มิติ ในโปแกรม SketchUp ซึ่งในกระบวนการนี้นั้น จะเป็นขั้นตอนที่มีรูปแบบการทำงานเดียวกันทั้ง 3 รูปแบบที่ได้เตรียมไว้



ภาพที่ 32 ตัวอย่างการทำงานของหน้าจอการทำงานของโปรแกรมเสริม

ในกระบวนการนี้เอง ได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของการป้องกันการกรอกค่าผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและส่งผลต่อรูปแบบของชิ้นงานที่ต้องการสร้างได้ จึงได้มีการตั้งค่าในส่วนของการกรอกข้อมูล เพื่อเตือนให้ผู้ใช้งานทราบและตรวจสอบค่าที่กรอกอีกครั้ง ดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 33 ภาพการแสดงผลเตือนเมื่อมีการกรอกข้อมูลผิดพลาด

3.5.2 Module Creation (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)

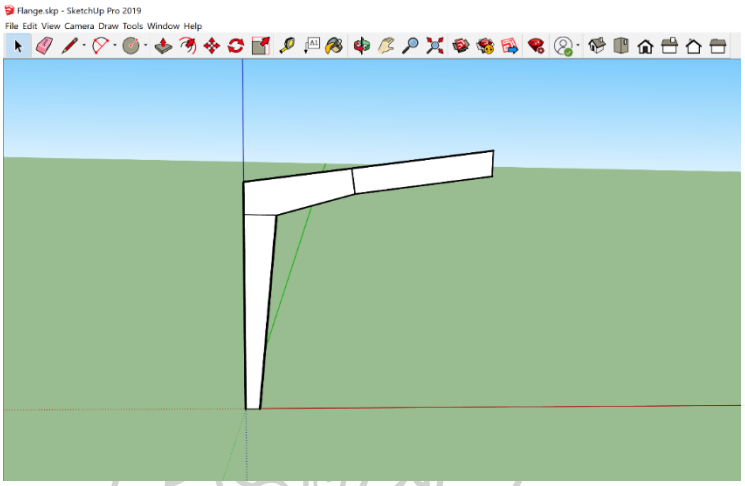
ใน Module นี้จะเป็นการทำงานในการสร้างโมเดล ซึ่งจะประกอบไปด้วยการประกอบชิ้นงานที่สร้างขึ้นจากการป้อนค่าที่ได้จากการทำงานใน Module Project Setting เพื่อให้ได้รูปแบบของโครงสร้างที่ต้องการและเพื่อให้สามารถส่งต่อข้อมูลไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure ได้ จึงได้ทำการทดลองและศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมถึงขั้นตอนและวิธีการสร้างโมเดลของทั้งสองโปรแกรม และได้พบว่าในขั้นตอนของการสร้างโมเดลในโปรแกรม SketchUp จะต้องสอดคล้องกับวิธีการสร้างโมเดลในโปรแกรม Tekla Structure เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลใน IFC XML File ที่มีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็น จากนั้นจึงทำการสร้างโมเดล โดยมีขั้นตอนดังนี้

กระบวนการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม SketchUp

ในกระบวนการสร้างโมเดล 3 มิตินั้น จะนำค่าที่ได้จากการกรอกข้อมูลผ่านหน้าจอการทำงานและนำข้อมูลที่ได้นั้น มาทำการสร้างโมเดล 3 มิติ ในโปรแกรม SketchUp ได้เตรียมรูปแบบการสร้างชิ้นงานแยกออกเป็น Column, Rafter และ Flangeซึ่งมีการแยกการทำงานของกระบวนการ

สร้างรูปแบบของชิ้นงานแต่ละชิ้นออกเป็น 2 ส่วนคือ รูปแบบที่เป็นการสร้างชิ้นงานในส่วนของ Web โดยมีรูปแบบโครงสร้างของ code ที่สร้างโดย Ruby Script แยกออกเป็น Module ในการสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นเตรียมไว้

โครงสร้างเหล็กรูปแบบ A



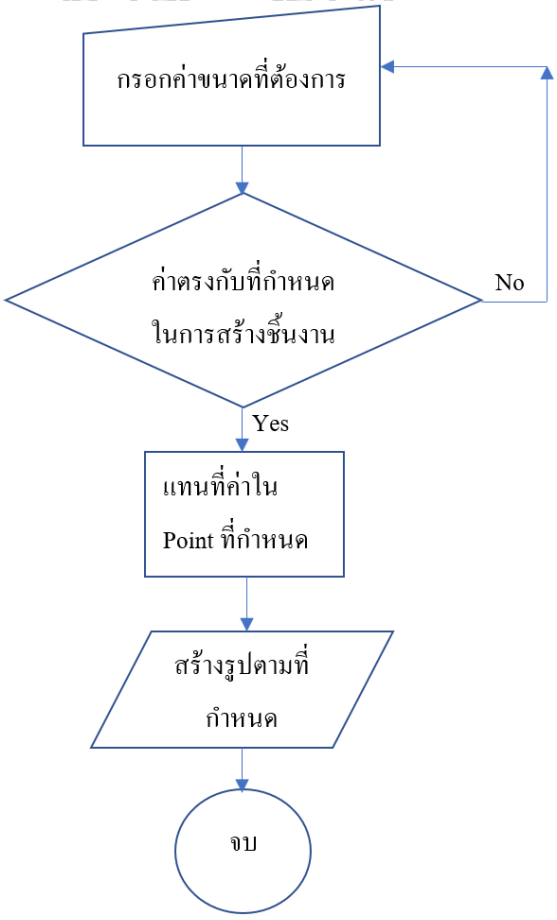
ภาพที่ 34 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ A

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตัวอย่างโปรแกรมที่เขียนใน Module Creation ที่ใช้ในการสร้างโมเดลชิ้นงานหลักซึ่งได้แก่ Web และ Flange

ในกระบวนการสร้างโมเดล Web และ flange นั้นจะมีกระบวนการดังนี้

1. กำหนดจุดหรือ Point เพื่อสร้างรูป
2. นำค่าที่ได้มาใส่ตามค่าตามจุด Point ที่กำหนด
3. ได้รูปสี่เหลี่ยมแบบ 2 มิติที่สร้างจากจุดหรือ Point
4. นำค่าความหนาที่ผู้ใช้กรอกค่ามาสร้างในรูปสี่เหลี่ยมที่ได้จาก Point
5. จะได้ชิ้นงานรูป 3 มิติในรูปแบบที่ต้องการ



```
def createcolumn (columnbasewidth,columntopwidth,columnheight,thickness,flangewidth)
    #Create blank component
    new_comp_def = Sketchup.active_model.definitions.add("Column");
    #set up drawing points
    points = []
    points[0] = [0,0,0]
    points[1] = [columnbasewidth,0,0]
    points[2] = [columntopwidth,0,columnheight]
    points[3] = [0,0,columnheight]

    #Create face of component
    newface = new_comp_def.entities.add_face(points);
    #check facing of Y axis
    newface.reverse! if newface.normal.y<0;
    #Pushpull
    newface.pushpull(thickness);
    #check pushpull
    ####
    # set transformation to half of web thick
    tPoint = Geom::Point3d.new(0,-(thickness/2),0)
    trans = Geom::Transformation.new(tPoint)
    Sketchup.active_model.active_entities.add_instance(new_comp_def,trans);

    # add IFC class
    new comp def.add classification("IFC 2x3", "IfcColumn")
    returndata = (flange "f1",points[1],points[2],thickness,flangewidth,0)
    px = points[0].x
    pz = points[3].z
    pstart = Geom::Point3d.new(px,0,0)
    pend = Geom::Point3d.new(px,0,pz)
     (flange "f2",pstart,pend,thickness,flangewidth,1)
```

ค่าที่จำเป็นในการสร้าง Column

การสร้างจุดเพื่อสั่งให้โปรแกรมสร้าง Face

การสร้างความหนาของชิ้นงาน

การสร้าง Flange

ภาพที่ 35 ตัวอย่าง Code ในการสร้างเสา Column ในส่วนของ Web และ Flange

```
def createrafter (columnheight,columntopwidth,rafterspan,rafterheight,thickness,totalheight,rafterendplate,rafter2endplate,
totalspan,flangewidth)
    new_comp_def = Sketchup.active_model.definitions.add("Rafter");

    # setup drawing points
    pt1 = (totalheight-(columnheight+rafterheight))
    pt2 = (columnheight+rafterheight)
    pt3 = (flangewidth/2)
    ptz = (pt1*rafterspan)/totalspan

    points = []

    points[0] = [0,0,columnheight]

    points[1] = [columntopwidth,0,columnheight]

    points[4] = [0,0,(columnheight+rafterheight)]

    # find point 3
    pitch = totalheight - rafterheight - columnheight
    pt3z = ((pitch * rafterspan) / totalspan) + rafterheight + columnheight

    p pt3z.to_mm
    points[3] = [rafterspan,0,pt3z]

    # find point 2
    # get vector from points
    nVector = points[4].vector_to(points[3])


    nVector = nVector.normalize
    # compute angle from vertical -
    vectorBase = Geom::Vector3d.new(1,0,0)
    vectorModel = Geom::Vector3d.new(nVector)
    angle = vectorBase.angle_between vectorModel

    dx = (Math.sin(angle) * rafterendplate)
    dz = (Math.cos(angle) * rafterendplate)

    pt2x = points[3].x + dx
    pt2z = points[3].z - dz
    points[2] = [pt2x,0,pt2z]
```

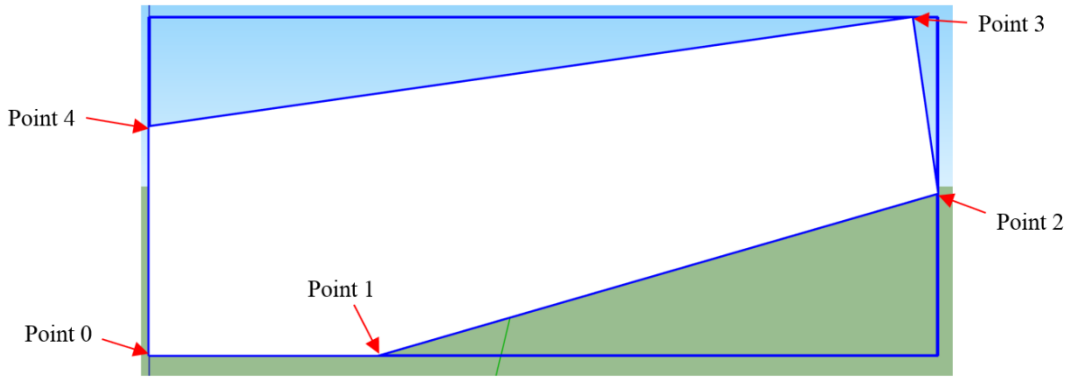
การกำหนดค่าในแต่ละจุดที่ต้องการให้โปรแกรมสร้าง face ของ Web ในส่วนของ Rafter ซึ่งจำเป็นต้องมีการคำนวนในส่วนระดับความเอียงให้สอดคล้องกับความสูงของ Web ในแต่ละชิ้น

```
returndata = (flange "f3",points[1],points[2],thickness,flangewidth,0)
px = points[0].x
pz = points[4].z
pstart = Geom::Point3d.new(px,0,0)
pend = Geom::Point3d.new(px,0,pz)

returndata = (flange "f4",pstart,pend,thickness,flangewidth,1)
pstart = points[4]
pend = points[3]
returndata = (flange "f5",pstart,pend,thickness,flangewidth,1)
```

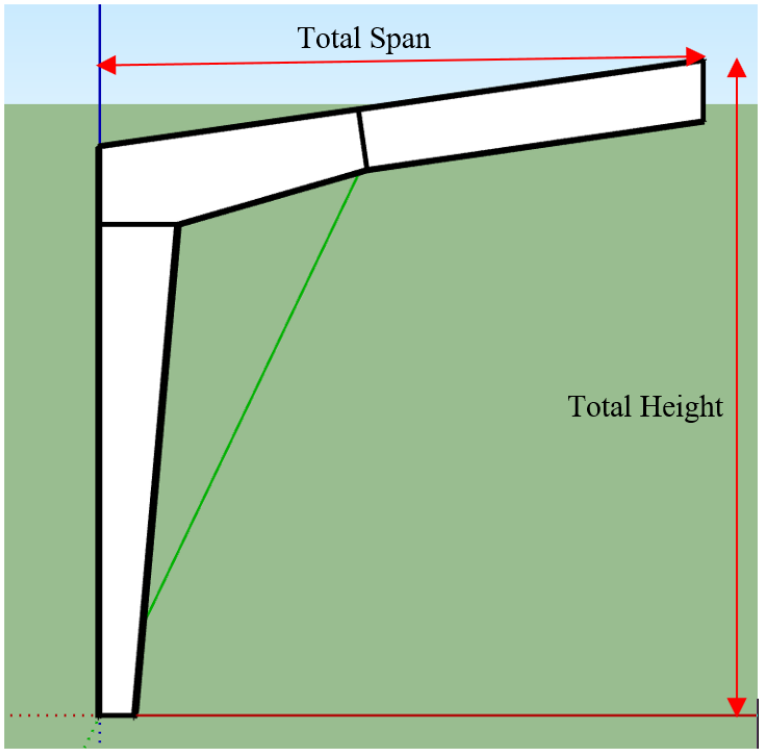
การสร้าง Flange

ภาพที่ 36 ตัวอย่าง Code ในการสร้าง Rafter ในส่วนของ Web และ Flange

ตัวอย่างการสร้างชิ้นงาน Rafter จาก Code ที่กำหนดด้านบน (รูปภาพที่ 36)

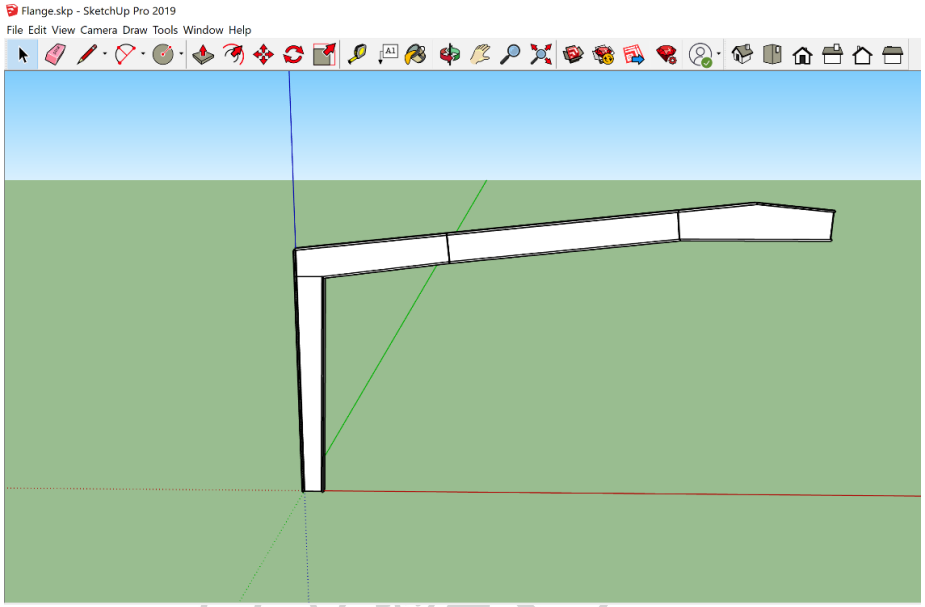


ค่าความเอียงของชิ้นงานที่คำนวนมาจากความยาวของ Rafter ที่ต้องการสร้างและนำมาคำนวนเทียบสัดส่วนระดับความลาดเอียงจาก Total Span และ Total



ภาพที่ 37 ภาพอธิบายการสร้างชิ้นงาน Rafter

โครงสร้างเหล็กรูปแบบ **B**

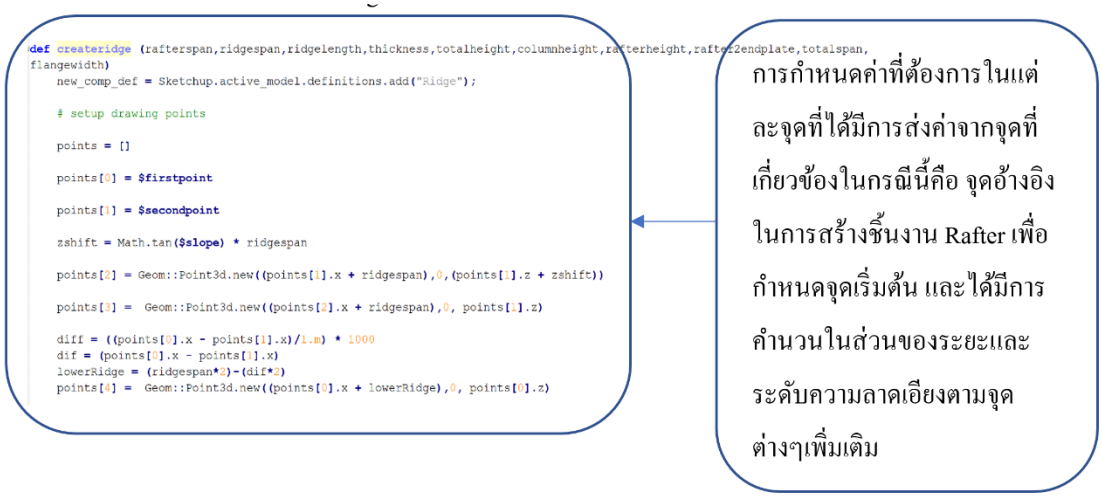


ภาพที่ 38 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ B

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Code ของ Module ที่ใช้สร้างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ B

มีการเตรียมข้อมูลและค่าต่างๆที่ต้องการคล้ายคลึงกับการสร้างโครงสร้างเหล็กในรูปแบบ A แต่จะมีการเพิ่มชิ้นงานที่เป็นจั่วกลางเพิ่มเข้ามา ซึ่งยังคงมีการขั้นตอนและรูปแบบในการสร้างชิ้นงานเหมือนกันกับโครงสร้างในรูปแบบ A คือ แบ่งการสร้างคำสั่งออกเป็นสองส่วน คือ การสร้างชิ้นงานที่เป็น Web และ Flange โดยมีตัวอย่าง Code ของการสร้างจั่วชิ้นกลางดังนี้



ภาพที่ 39 ตัวอย่าง Code ในการสร้างชิ้นงานจั่วของโครงสร้างรูปแบบ B

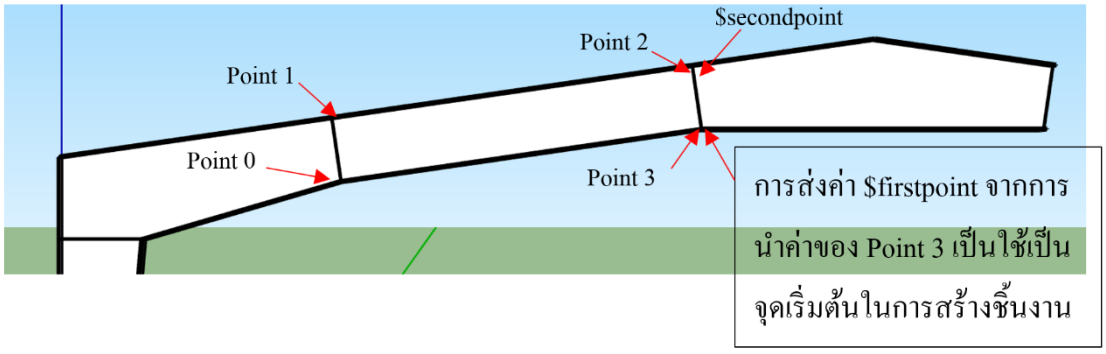
มหาวิทยาลัยศิลปากร

```
# create balnk component

new_comp_def = Sketchup.active_model.definitions.add("ridge")

# create face of component

newface = new_comp_def.entities.add_face(points)

newface.reverse! if newface.normal.y<0;

# pushpull
newface.pushpull(thickness)

# set transformation to half of web thick

tPoint = Geom::Point3d.new(0,-(thickness/2),0)
trans = Geom::Transformation.new(tPoint)

Sketchup.active_model.active_entities.add_instance(new_comp_def, trans)

# add IFC class
new_comp_def.add_classification("IFC 2x3", "IfcPlate")
returndata = (flange "f8",points[1],points[2],thickness,flangewidth,1)
pstart = points[2]
pend = points[3]

returndata = (flange "f9",pstart,pend,thickness,flangewidth,1)
pstart = points[0]
pend = points[4]

returndata = (flange "f10",pstart,pend,thickness,flangewidth,0)
```

การสร้าง Flange

ภาพที่ 40 ตัวอย่าง Code ในการสร้าง Flange ของชิ้นงานจั่วของโครงสร้างรูปแบบ B

<u>ตัวอย่างการสร้างชิ้นงาน Ridge หรือจั่ว จาก Code ที่กำหนดด้านบน (รูปภาพที่ 39)</u>

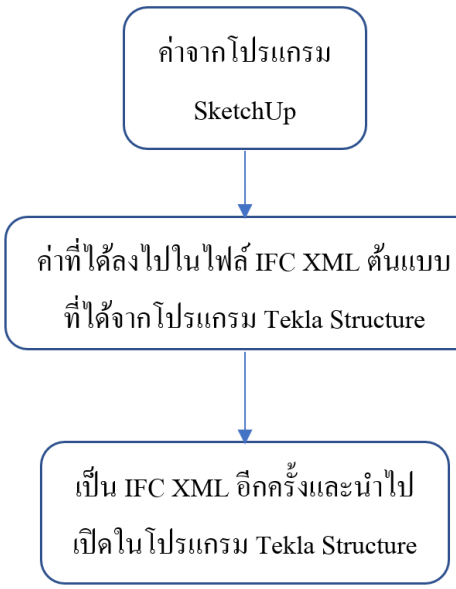


ภาพที่ 41ภาพอธิบายการสร้างชิ้นงาน Ridge หรือจั่ว จากการส่งค่า $firstpoint, $secondpoint

3.5.3. Module Export File (กระบวนการที่ทำในโปรแกรม SketchUp)

ใน Module Export File เป็นการศึกษาถึงความสมบูรณ์ของข้อมูลเมื่อมีการส่งต่อด้วย IFC XML File ทั้งจากโปรแกรม Tekla Structure และ SketchUp เพื่อให้การทำงานของทั้งสองโปรแกรม สามารถส่งต่อข้อมูลที่สร้างขึ้นไปทำงานต่อในอีกโปรแกรมได้ทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาในการสร้างโมเดลใหม่ มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษารูปแบบของ IFC XML File ที่ส่งออกจากโปรแกรม Tekla Structure และนำกลับเข้าไปทำงานในโปรแกรม Tekla Structure เองว่ามีข้อมูลใดเปลี่ยนไปจากเดิมหรือไม่
2. ศึกษารูปแบบของ IFC File ที่ส่งออกจากโปรแกรม SketchUp เพื่อส่งเข้าไปทำงานในโปรแกรม Tekla Structure
3. เปรียบเทียบข้อมูลที่ส่งออกจากโปรแกรม SketchUp และ Tekla Structure
4. เพิ่มข้อมูลที่โปรแกรม Tekla Structure ต้องการในโครงสร้างข้อมูล IFC XML File จากการดึงข้อมูลจากโปรแกรม SketchUp



กระบวนการทำงานในขั้นตอนของการสร้างไฟล์ IFC XML ต้นแบบที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure

ในการสร้างไฟล์ IFC XML ที่ได้จากการสร้างบไฟล์ต้นแบบจากโปรแกรม Tekla Structure นั้น จะใช้วิธีการสร้างตัวแปรในไฟล์ต้นแบบที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure โดยมีหลักการ คือ ตัวแปรที่ตั้งนั้นจะใช้ตัวย่อเป็นชื่อของชิ้นงานในการเขียน Coding จากโปรแกรม SketchUp เพื่อให้สามารถจับคู่ค่าของชิ้นงานที่ต้องการได้สะดวกยิ่งขึ้น

1. สร้างโมเดลในรูปแบบและขนาดเดียวกันกับโมเดลที่สร้างในโปรแกรม SketchUp เพื่อนำมาเทียบข้อมูลที่ไฟล์ IFC XML จัดเก็บ ว่ามีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลอย่างไร

2. เมื่อทราบถึงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลต่างๆแล้วจึงเตรียมการแทนค่าโดยการตั้งตัวแปรใน IFC XML ต้นแบบที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure ดังภาพ

```
<IfcCartesianPoint id="i92">
 <Coordinates>
  <IfcLengthMeasure>$$F9_00</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>$$F9_01</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>$$F9_02</IfcLengthMeasure>
 </Coordinates>
</IfcCartesianPoint>
<IfcDirection id="i93">
 <DirectionRatios>
  <ex:double-wrapper>$$F9_03</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>$$F9_04</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>$$F9_05</ex:double-wrapper>
 </DirectionRatios>
```

Base Coordinate

Direction Vector

ภาพที่ 42 ตัวอย่างการตั้งตัวแปรเพื่อแทนที่ค่า ใน IFC XML ที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure

3. จากนั้นเตรียมค่าที่ต้องการทำมาแทนที่จากในโปรแกรม SketchUp ซึ่งจะต้องจับคู่ข้อมูลให้ถูกต้องเพื่อการสร้างชิ้นงานที่มีขนาดและตำแหน่งที่ถูกต้อง ในส่วนของหลักการของการทำงานในส่วนนี้คือ ใช้คำสั่งให้โปรแกรมเสริมเตรียมส่งค่าที่ได้มีการใช้ในการสร้างโมเดลชิ้นงานและเรียงลำดับค่าที่ต้องการส่งออกตามข้อมูลที่ได้มีการตั้งค่าตัวแปรเตรียมไว้แล้วใน Template IFC XML ที่ได้จากโปรแกรม Tekla Structure

```
returndata = (flange "f9",pstart,pend,thickness,flangewidth,1)
$f9.push (f9start.x/1.m)*1000 #00
$f9.push (f9start.y/1.m)*1000 #01
$f9.push (f9start.z/1.m)*1000 #02
$f9.push (($f5vector.x)*-1)  #03
$f9.push ($f5vector.y)  #04
$f9.push ($f5vector.z)  #05
$f9.push dist1 #03
$f9.push dist1#04
$f9.push dist1
$f9.push dist1#05
```

ภาพที่ 43 การเตรียมค่าที่ได้จากการสร้างโมเดลในโปรแกรม SketchUp เพื่อไปแทนที่ค่าใน IFC XML

4. เขียนคำสั่งเพื่อให้โปรแกรมเสริมทำการแทนที่ค่าทุกตัวที่ได้เตรียมไว้ และสร้างเป็นไฟล์ IFC XML หลังจากที่ทำการแทนที่ค่าที่ต้องการเสร็จสิ้น โดยมีกระบวรการการทำงานดังนี้

4.1 สั่งให้โปรแกรมสร้างไฟล์ข้อมูลใหม่

4.2 เรียบเรียงค่าข้อมูลของชิ้นงานที่ต้องการส่งค่าออกไปแทนที่

4.3 เรียกไฟล์ Template IFC XML ที่เก็บไว้เพื่อแทนที่ค่าตัวแปรด้วยค่าข้อมูลของชิ้นงานที่ได้เตรียมไว้ โดยสั่งให้โปรแกรมจับคู่ตามชื่อตัวแปรที่กำหนด หากตรงกันให้นำชุดค่าข้อมูลไปแทนที่ โดยใช้หลักการการสั่งโปรแกรมให้อ่านทีละบรรทัดไปเรื่อยๆจนครบจำนวนที่ตั้งไว้

```
def gen_xml

    def array_to_file(arr, afile)
        open(afile, 'w') { |f|
          f.puts arr
        }
    end

    #sum up all array as ifcXML sequence
    arr_data = []
    # all data from calculation
    arr_data = $f10+$f9+$f8+$rd+$f6+$f3+$f1+$f7+$f5+$f4+$f2+$r2+$r1+$col

    # array of base code
    f10= ["$$F10_00","$$F10_01","$$F10_02","$$F10_03","$$F10_04","$$F10_05","$$F10_06","$$F10_07","$$F10_08","$$F10_09","$$F10_10"]
    f9 = ["$$F9_00","$$F9_01","$$F9_02","$$F9_03","$$F9_04","$$F9_05","$$F9_06","$$F9_07","$$F9_08","$$F9_09"]
    f8 = ["$$F8_00","$$F8_01","$$F8_02","$$F8_03","$$F8_04","$$F8_05","$$F8_06","$$F8_07","$$F8_08"]
    rd = ["$$RD_00","$$RD_01","$$RD_02","$$RD_03","$$RD_04","$$RD_05","$$RD_06","$$RD_07","$$RD_08","$$RD_09","$$RD_10","$$RD_11","$$RD_12","$$RD_13",
    "$$RD_14","$$RD_15"]
    f6 = ["$$F6_00","$$F6_01","$$F6_02","$$F6_03","$$F6_04","$$F6_05","$$F6_06"]
    f3 = ["$$F3_00","$$F3_01","$$F3_02","$$F3_03","$$F3_04","$$F3_05","$$F3_06","$$F3_07","$$F3_08","$$F3_09"]
    f1 = ["$$F1_00","$$F1_01","$$F1_02","$$F1_03","$$F1_04","$$F1_05","$$F1_06","$$F1_07","$$F1_08","$$F1_09"]
    f7 = ["$$F7_00","$$F7_01","$$F7_02","$$F7_03","$$F7_04","$$F7_05","$$F7_06"]
    f5 = ["$$F5_00","$$F5_01","$$F5_02","$$F5_03","$$F5_04","$$F5_05","$$F5_06"]
    f4 = ["$$F4_00","$$F4_01","$$F4_02","$$F4_03","$$F4_04","$$F4_05","$$F4_06"]
    f2 = ["$$F2_00","$$F2_01","$$F2_02","$$F2_03","$$F2_04","$$F2_05","$$F2_06"]
    r2 = ["$$R2_00","$$R2_01","$$R2_02","$$R2_03","$$R2_04","$$R2_05","$$R2_06","$$R2_07","$$R2_08","$$R2_09","$$R2_10"]
    r1 = ["$$R1_00","$$R1_01","$$R1_02","$$R1_03","$$R1_04","$$R1_05","$$R1_06","$$R1_07","$$R1_08","$$R1_09","$$R1_10"]
    col = ["$$Col_00","$$Col_01","$$Col_02","$$Col_03","$$Col_04","$$Col_05","$$Col_06","$$Col_07","$$Col_08","$$Col_09"]

    # all base code to compare
    arr_baseCode = f10+f9+f8+rd+f6+f3+f1+f7+f5+f4+f2+r2+r1+col
    #p arr_baseCode.length
    #p arr_data
    #p arr_data[0]

    # set root for data file  <---- change this to suitable your folder
    myroot = "C:\\Users\\jeede\\Documents\\Jee\\IS\\Program\\Test_C\\"
    # output file (ifcXML)
    afile_out = myroot+"tmp.ifcXML"
    # ifcXML template file
    afile_base = myroot+"PEB_BeamRidgeScale.ifcXML"

    # array to dump to file
    arr_out = []
counter = 0
# loop through the template file
File.open(afile_base).each do |line|
    # read line and eliminate carriage return key
    line = line.chomp
    str = line

    # if found $$  ***** cannot use 9 due to GUID has 9 in there name
    if (line.include? "$$")
        # substitue $$ base code with real data
        #p str
        str = str.gsub(arr_baseCode[counter], arr_data[counter].to_s)
        msg = "change "+ arr_baseCode[counter]+" with "+arr_data[counter].to_s
        #p msg
        # add to new output array
        arr_out << str
        # increase array index
        counter = counter + 1
    else
        arr_out.push str
    end
end
# dump array to text file (ifcXML)
array_to_file(arr_out, afile_out)
UI.openURL(afile_out)
p "ifcXML generated ----------------"
p ""
end
```

ภาพที่ 44 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งเพื่อให้แทนที่ค่าที่ได้จากการสร้างโมเดลไปยัง IFC XML ที่เตรียมไว้

เมื่อโปรแกรมแทนที่ค่าต่างๆที่ต้องการแล้ว จะสร้างไฟล์ IFC XML ที่ได้แทนที่ค่าที่ต้องการขึ้นมาใหม่ ดังภาพด้านล่าง (ภาพที่ 45)

```
<IfcCartesianPoint id="i45">
 <Coordinates>
  <IfcLengthMeasure>$$F10_00</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>$$F10_01</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>$$F10_02</IfcLengthMeasure>
 </Coordinates>
</IfcCartesianPoint>
<IfcDirection id="i46">
 <DirectionRatios>
  <ex:double-wrapper>0.</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>-1.</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>0.</ex:double-wrapper>
 </DirectionRatios>
</IfcDirection>
<IfcAxis2Placement3D id="i47">
 <Location>
  <IfcCartesianPoint xsi:nil="true" ref="i45"/>
 </Location>
 <Axis>
```

```
<IfcCartesianPoint id="i45">
 <Coordinates>
  <IfcLengthMeasure>8074.666666666665</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>0.0</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure>6757.281892946983</IfcLengthMeasure>
 </Coordinates>
</IfcCartesianPoint>
<IfcDirection id="i46">
 <DirectionRatios>
  <ex:double-wrapper>0.</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>-1.</ex:double-wrapper>
  <ex:double-wrapper>0.</ex:double-wrapper>
 </DirectionRatios>
</IfcDirection>
<IfcAxis2Placement3D id="i47">
 <Location>
  <IfcCartesianPoint xsi:nil="true" ref="i45"/>
 </Location>
 <Axis>
  <IfcDirection xsi:nil="true" ref="i46"/>
 </Axis>
```

ภาพที่ 45 ตัวอย่างไฟล์ที่ถูกแทนที่ค่าและสร้างขึ้นเป็นไฟล์ IFC XML

3.6 สรุปผลข้อมูล

หลังจากที่ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบโครงสร้างในส่วนต่างๆ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมเสริมนั้น และได้เตรียมข้อมูลรวมถึงการศึกษาถึงวิธีการทำงานเพิ่มเติม ทำให้ทราบถึงกระบวนการจัดการข้อมูลเพื่อให้สามารถสร้างไฟล์ข้อมูลระหว่างสองโปรแกรมได้อย่างถูกต้อง

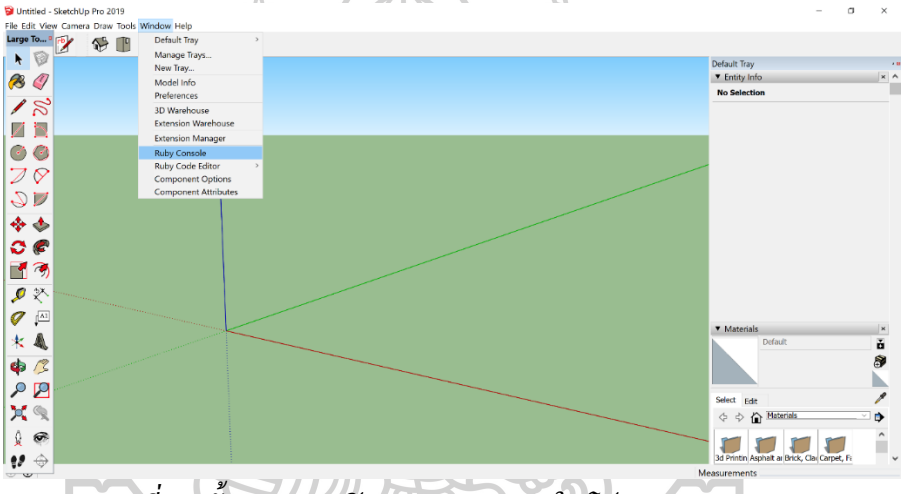
จึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องมือโปรแกรมเสริมที่ช่วยในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยโปรแกรม SketchUp จากการใช้ Ruby Script เป็นคำสั่งในการสร้างโมเดล รวมถึงการพัฒนาการส่งต่อไฟล์ข้อมูลจากโปรแกรมที่แตกต่างกัน 2 โปรแกรมโดยการสร้างไฟล์ IFC XML ที่เป็นต้นแบบหรือ Template ที่จะทำการแทนที่ข้อมูลค่าต่างๆที่ได้จากการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรมเสริมในโปรแกรม SketchUp เพื่อให้ได้ไฟล์ IFC XML ที่สามารถส่งต่อจากโปรแกรม SketchUp เพื่อไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure ได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาขึ้นโมเดลใหม่

บทที่ 4
วิธีติดตั้งและใช้งานโปรแกรมเสริม

อธิบายถึงหลักการและวิธีการใช้งานและรวมถึงวิธีการติดตั้งของโปรแกรมเสริมเพื่อใช้ในการสร้างโมเดลแบบ Plate เหล็กประกอบ ด้วยโปรแกรม SketchUp และส่งต่อข้อมูลที่ได้จากการสร้างโมเดลในโปรแกรม SketchUp ไปยังโปรแกรม Tekla Structure เพื่อนำไปใช้งานในกระบวนการอื่นๆ

รูปแบบของตัวโปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม SketchUp แล้วไปที่ Window -> Ruby Console

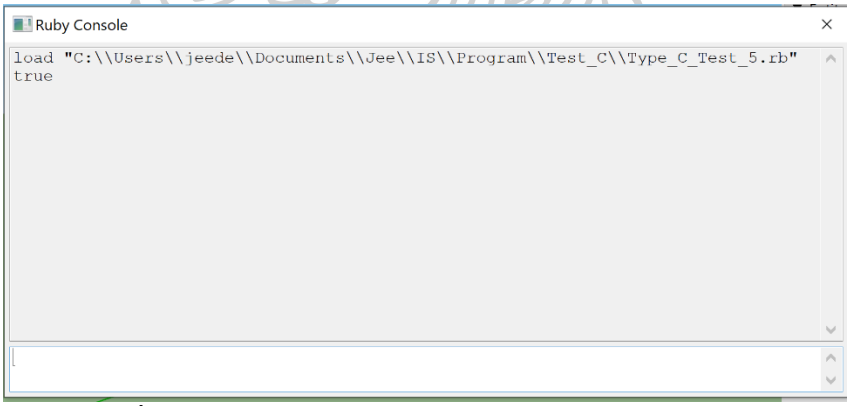


ภาพที่ 46 ขั้นตอนการเปิด Ruby Console ในโปรแกรม SketchUp

2. พิมพ์ Load คำสั่งโปรแกรมเสริมของชิ้นงานโครงสร้างเหล็กรูปแบบที่ต้องการที่สร้างขึ้นใน Ruby Console ในโปรแกรม SketchUp จากภาพด้านล่าง (ภาพที่ 47) เป็นตัวอย่างของไฟล์โปรแกรมที่ผู้ศึกษาได้จัดเก็บไว้ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเก็บไฟล์โปรแกรมเสริมได้ตามต้องการ เพียงต้องระบุ path ที่จัดเก็บให้ถูกต้องเพื่อเรียกโปรแกรมเสริมมาใช้งาน

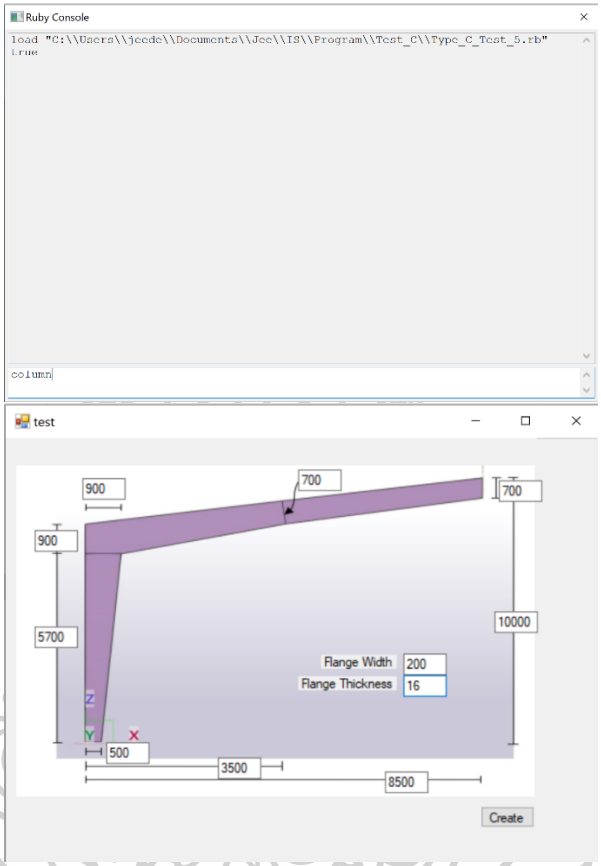
ภาพที่ 47 ขั้นตอนการพิมพ์ load คำสั่งโปรแกรมเสริมใน Ruby Console

3. โปรแกรมจะแสดงให้ทราบว่าโปรแกรมเสริมพร้อมใช้งาน



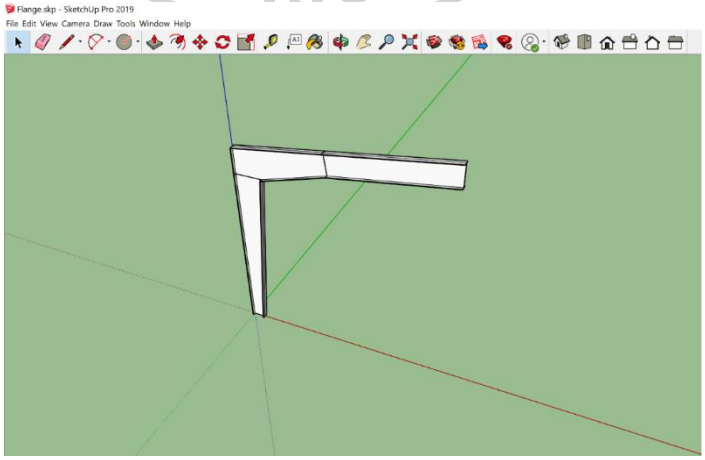
ภาพที่ 48 โปรแกรมเสริมถูกเรียกใช้งานในโปรแกรม SketchUp

4. พิมพ์คำสั่ง “Column” ลงใน Ruby Console ในการสร้างชิ้นงาน หน้าจอจะปรากฏรูปแบบของโครงสร้างที่เลือก จากนั้นให้ผู้ใช้งานกรอกค่าที่ต้องการและกด Create ตามภาพ



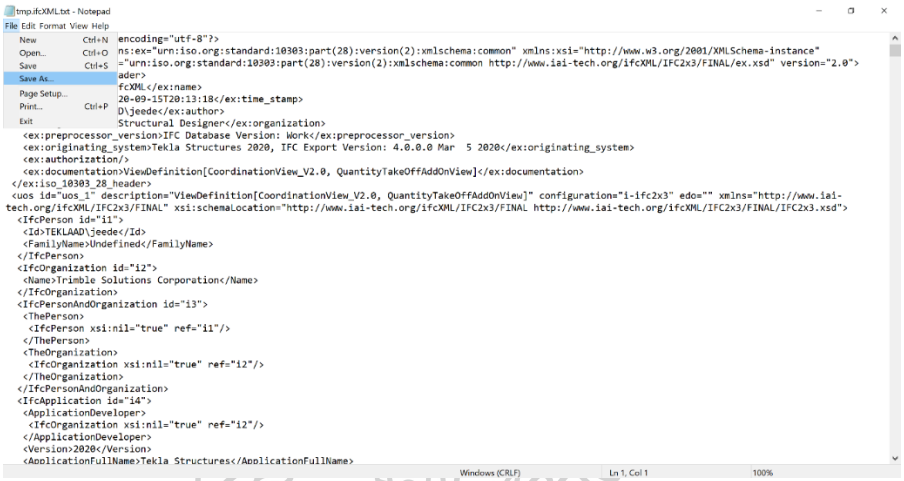
ภาพที่ 49 ตัวอย่างการกรอกค่าในหน้าจอของโปรแกรมเสริม

5. เมื่อกรอกค่าเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการนำค่าที่ได้ไปสร้างโมเดล 3 มิติในโปรแกรม SketchUp



ภาพที่ 50 หน้าจอแสดงโครงสร้างตามขนาดที่กรอกในโปรแกรม SketchUp

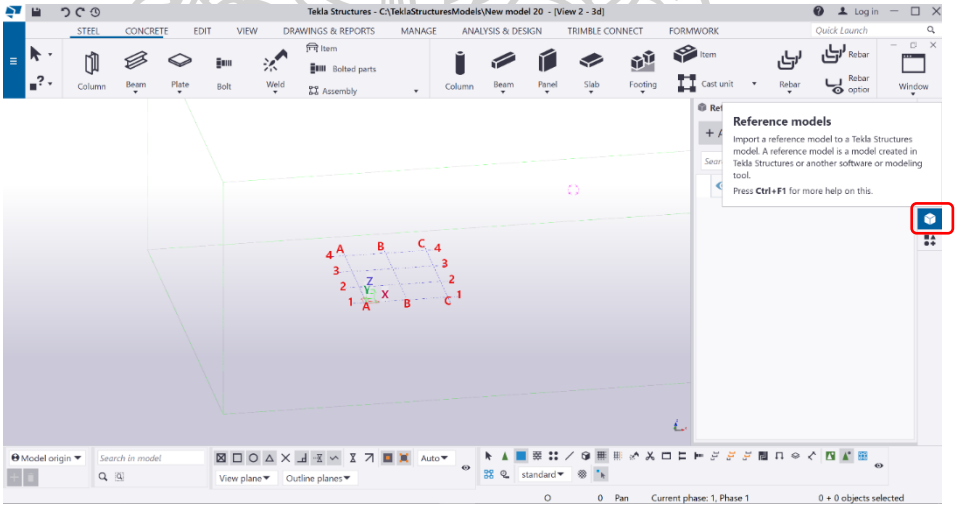
6. เมื่อได้โมเดลที่ต้องการตามรูปด้านบนแล้ว ให้พิมพ์คำสั่ง gen_xml ลงใน Ruby Console เพื่อสั่งให้โปรแกรมเสริมสร้างไฟล์ IFC XML จากนั้น จะได้ไฟล์ IFC XML แสดงบนหน้าจอในรูปแบบ Text File ให้เลือก Save As เพื่อบันทึกไฟล์ที่ได้ จากนั้นจะได้ไฟล์ IFC XML ที่พร้อมนำไปเปิดในโปรแกรม Tekla Structure เพื่อทำงานต่อ ตามภาพ



ภาพที่ 51 ไฟล์ IFC XML ที่ได้จากการสร้างไฟล์ด้วยโปรแกรมเสริม

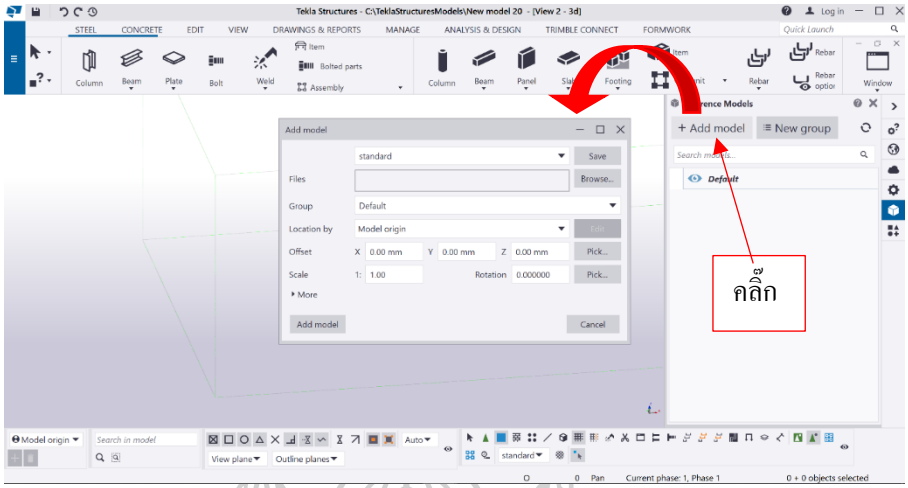
วิธีการ Import ไฟล์ที่ต้องการเข้าไปในโปรแกรม Tekla Structure

1. เลือกกล่องสี่เหลี่ยมในแถบด้านขวามือ จะเจอ option Reference Model



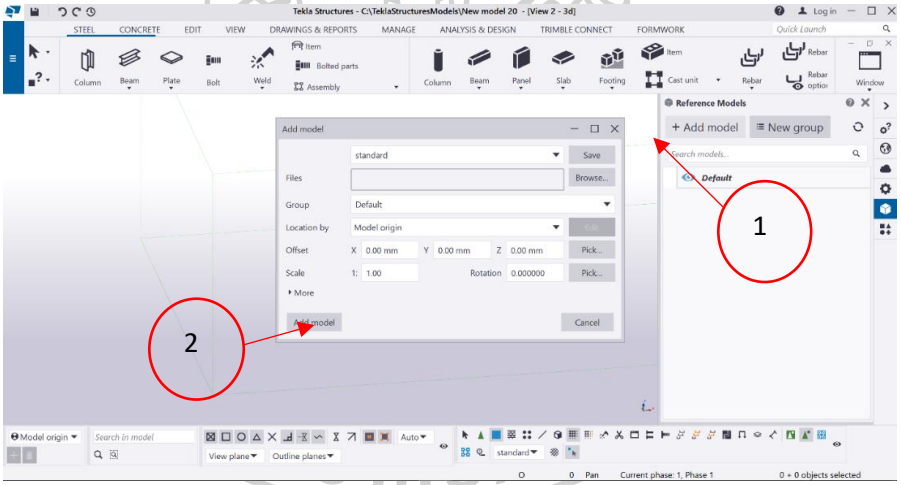
ภาพที่ 52 ภาพหน้าจอการทำงานในโปรแกรม Tekla Structure

2. เมื่อคลิ๊กเลือก “Add Model” หน้าต่างในการ Add Model จะแสดงขึ้น



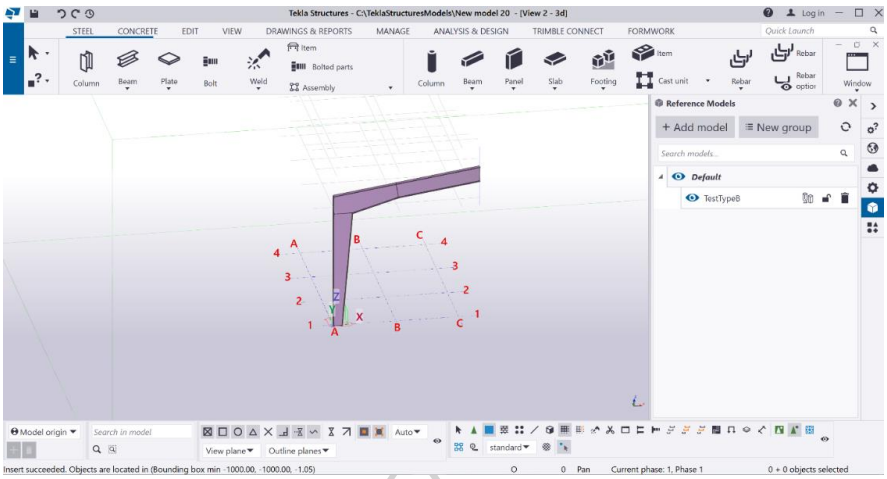
ภาพที่ 53 วิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าในโปรแกรม Tekla Structure

3. คลิ๊กเลือก “Browse” เพื่อหาไฟล์ IFC XML ที่ได้สร้างไว้จากโปรแกรมเสริม จากนั้นคลิ๊ก “Add Model”



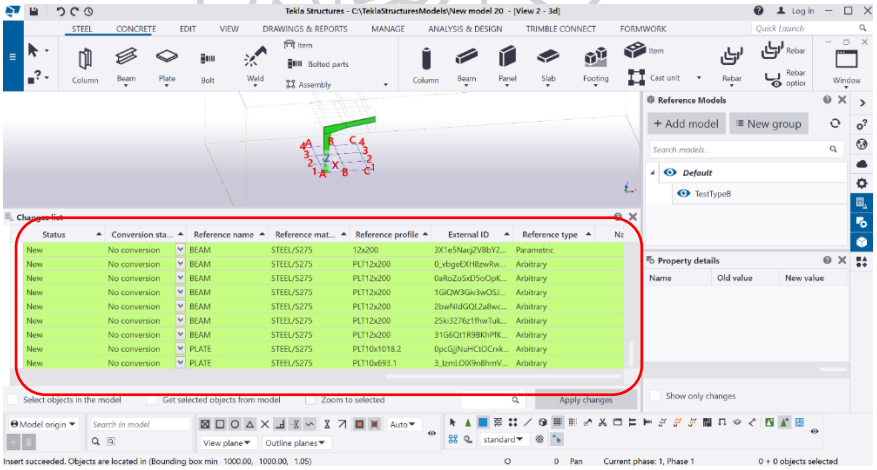
ภาพที่ 54 วิธีการเลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าในโปรแกรม Tekla Structure (ต่อ)

4. จากนั้นจะได้ Reference โมเดลที่สร้างจากโปรแกรม SketchUp



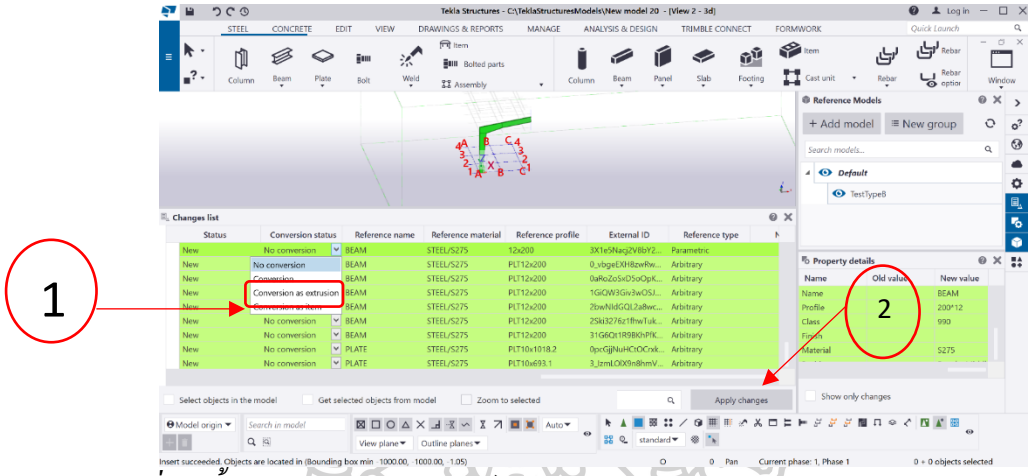
ภาพที่ 55 Reference Model ที่ได้จากไฟล์ IFC XML ที่นำเข้ามาในโปรแกรม Tekla Structure

5. เมื่อได้ Reference Model แล้ว ให้ทำการ Convert โมเดลที่ได้ ให้เป็น โมเดลที่เป็น Element ในโปรแกรม Tekla Structure เพื่อให้สามารถปรับค่าและขนาดต่างๆของชิ้นงานที่นำเข้ามาได้ โดยให้คลิ๊กเลือกที่ โดยเครื่องหมายนี้จะอยู่บนแถบชื่อไฟล์ที่นำเข้ามา จากนั้นโปรแกรม Tekla Structure จะแสดงแถบที่อธิบายชิ้นงานที่ได้นำเข้ามาดังภาพด้านล่าง



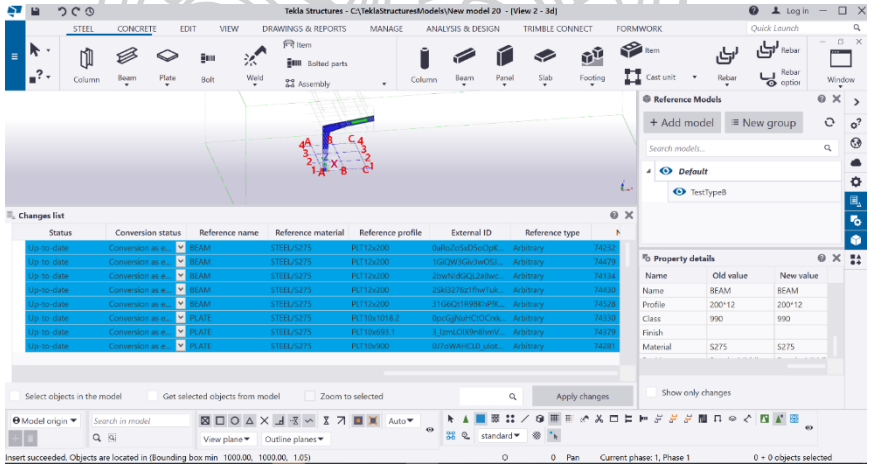
ภาพที่ 56 ตัวอย่างกระบวนการ Convert ไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure

6. จาก Change List ที่แสดงบนหน้าจอ จะแสดงถึงชิ้นงานทั้งหมดที่รับเข้ามา ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกที่จะ Convert ไฟล์ชิ้นงานทั้งหมด หรือ เลือกบางชิ้นก็ได้ โดยวิธีการ Convert File ให้คลิ๊กเลือกที่ Drop Down List ในช่อง Conversion Status และเลือก Conversion as extrusion จากนั้นคลิ๊ก “Apply changes”



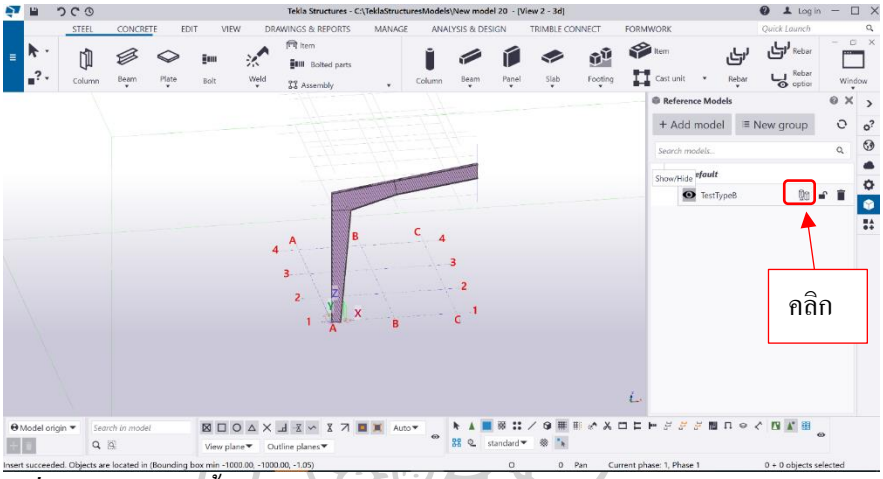
ภาพที่ 57 ขั้นตอนการ Convert ไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure

7. เมื่อคลิ๊ก “Apply changes” แล้ว หน้าจะแสดงรายการชิ้นงานที่ได้ทำการ Convert เป็น element ในโปรแกรม Tekla Structure เรียบร้อยแล้ว โดยจะแสดงแถบสีน้ำเงิน ตามในภาพ จากนั้นให้กด ปิดตารางที่แสดงรายการ



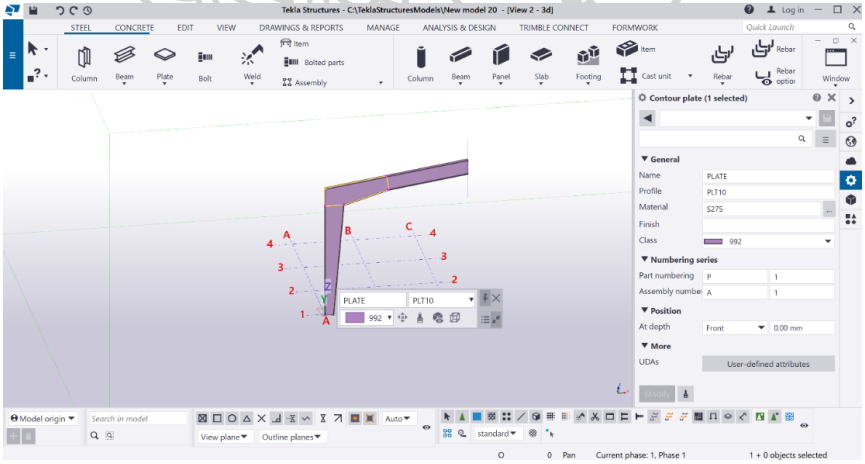
ภาพที่ 58 ภาพแสดงการ Convert ไฟล์ Reference Model เรียบร้อยแล้ว

8. เมื่อปิดตารางแสดงรายละเอียดการ Convert ชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานที่สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการอื่นต่อได้ แต่จะยังเป็นโมเดล 2 โมเดลซ้อนกัน 2 ชิ้น คือ Reference Model ที่นำเข้ามา และ Element Model ที่ได้ Convert แล้ว ให้ผู้ใช้งานปิด Reference Model โดยการคลิ๊กเลือกที่ หน้าชื่อ Reference Model ซึ่งจะเหลือแค่โมเดลที่เป็น Element ในโปรแกรม Tekla Structure ที่สามารถปรับค่าขนาดต่างๆได้



ภาพที่ 59 ภาพแสดงขั้นตอนการปิดไฟล์ Reference Model ในโปรแกรม Tekla Structure

9. หลังจากคลิ๊ก เพื่อปิดไฟล์ Reference Model แล้ว จะได้ไฟล์ที่พร้อมทำงานต่อดังรูปด้านล่าง



ภาพที่ 60 โครงสร้างเหล็กที่สร้างจากโปรแกรมเสริมนำมาทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ต้องการลดปัญหาในส่วนของระยะเวลาในการทำงานการสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยโปรแกรม Tekla Structure ที่มีขั้นตอนค่อนข้างซับซ้อน ทำให้เสียเวลาค่อนข้างมากในการทำงาน อีกทั้งโปรแกรม Tekla Structure มีราคาสูง จึงส่งผลทำให้ต้นทุนในการทำงานในกระบวนการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบมีต้นทุนการทำงานที่สูงตามไปด้วย จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือเสริมเพื่อนำมาช่วยสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบด้วยโปรแกรมที่มีราคาไม่สูง และมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการทำงานในกระบวนการนี้ได้ จากการศึกษาข้อมูลเพื่อการพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อช่วยสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบ นี้ ทำให้ได้ทราบถึงกระบวนการการทำงานร่วมกันของโปรแกรมที่รองรับระบบการทำงานด้วยระบบ BIM (Building Information Modeling) ทำให้ทราบถึงระบบการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบมาตรฐาน IFC และ IFC XML ซึ่งส่งผลถึงกระบวนการการทำงานในขั้นตอนต่างๆของผู้ใช้งานอีกด้วย

จากการศึกษาถึงข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆของการทำงานของโปรแกรมที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน จึงได้พัฒนาโปรแกรมเสริมที่ทำงานบนโปรแกรม SketchUp ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ราคาไม่สูง ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน รองรับการพัฒนาโปรแกรมเสริมหรือ API อีกด้วย

ในการพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อช่วยสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนี้ ได้สร้างเครื่องมือเพื่อช่วยลดความซับซ้อน ระยะเวลาในการทำงาน รวมถึงได้สร้างเครื่องมือเพื่อช่วยส่งต่อไฟล์ข้อมูลในรูปแบบมาตรฐาน IFC XML ไปยังเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นๆนอกเหนือจากโปรแกรม Tekla Structure ที่สามารถรองรับไฟล์ IFC XML ได้ ซึ่งคาดหวังว่าจะเป็นการช่วยเพิ่มช่องทางในการทำงานของผู้ใช้งานให้เกิดความสะดวก และคุ้มค่ามากยิ่งขึ้นกว่าเดิม

ข้อคิดเห็นจากกลุ่มผู้ใช้งาน

หลังจากที่ได้นำโปรแกรมเสริมที่ได้พัฒนาไปให้ทีมผู้ใช้งานในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรม Tekla Structure เป็นหลัก ได้ทดลองใช้งาน มีข้อคิดเห็นจากผู้ใช้งานดังนี้

กลุ่มผู้ใช้งานที่ใช้งานโปรแกรม Tekla Structure เป็นประจำ

คุณตะวัน บุญนิธี วิศวกรโครงสร้าง ได้ให้ความคิดเห็นถึงรูปแบบที่ได้เตรียมไว้ในส่วนของรูปแบบ A และ B มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากสามารถส่งไฟล์มาทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure ได้ ทำให้ผู้ใช้งานที่มีงบประมาณจำกัดในการลงทุนเครื่องมือการทำงาน ได้เข้าถึงเครื่องมือที่ช่วยสร้างชิ้นงานที่สามารถส่งต่อมายังโปรแกรม Tekla Structure ได้ทันที

คุณเชษฐ์ ชูทรัพย์ วิศวกรโยธา ได้เสนอข้อคิดเห็นในส่วนของการรับไฟล์งานจากโปรแกรม SketchUp โดยตรงได้ ทำให้สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ลดระยะเวลาทำให้ไม่ต้องขึ้นโมเดลใหม่จากไฟล์ IFC ที่ได้จากโปรแกรม SketchUp เหมือนปกติ ไม่ต้องทำงานซ้ำซ้อนเหมือนกระบวนการเก่าๆ

กลุ่มผู้ใช้งานที่ใช้เคยใช้งานโปรแกรม Tekla Structure เป็นครั้งคราวและไม่เคยใช้เลย

ผู้ใช้งานท่านที่ 1 ตำแหน่ง Draft จากบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่ดำเนินธุรกิจ Steel Fabrication

ให้ข้อคิดเห็นในส่วนของการใช้งานในโปรแกรม SketchUp คือ สามารถสร้างโครงสร้างเหล็กแบบ PEB ได้สะดวกรวดเร็ว ส่งต่อไปยังโปรแกรม Tekla Structure ได้เลย ช่วยลดระยะเวลาในการสร้างโมเดลได้ แต่รูปแบบที่โปรแกรมเสริมเตรียมไว้ให้นั้นมีเพียงแค่ 2 แบบ ควรจะมีรูปแบบอื่นๆเพิ่มเติม รวมถึงการพัฒนาการเรียกใช้โปรแกรมเสริม ควรเป็นแบบ 1 click

ผู้ใช้งานท่านที่ 2 ตำแหน่ง Modeler จากบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่ดำเนินธุรกิจ Steel Fabrication

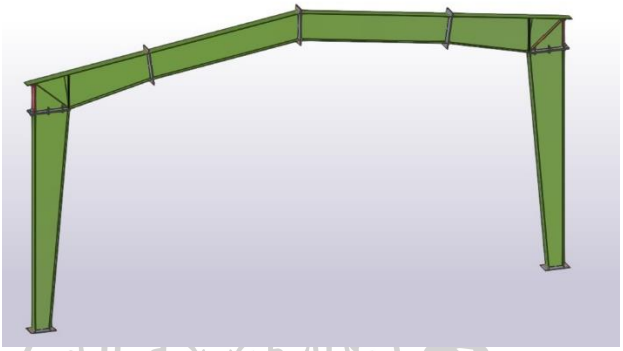
ให้ข้อคิดเห็นว่า ช่วยลดกระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยโปรแกรม Tekla Structure ได้ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถแบ่งงานในส่วนของการสร้างโมเดลไปให้ทีมที่ทำงานด้วยโปรแกรม SketchUp ขึ้นโมเดลแล้วส่งกลับมาให้ทางทีมที่ทำงานด้วยโปรแกรม Tekla Structure เพื่อทำงานอื่นๆต่อ ช่วยลดระยะเวลาในส่วนของการขึ้นโมเดลได้จากเดิม

แนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติม

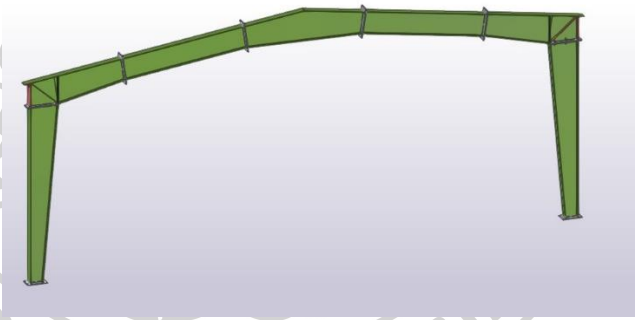
5.3.1 เนื่องจากในการพัฒนาโปรแกรมเสริมในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้เตรียมรูปแบบชิ้นงานในการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบเพียงสองรูปแบบเท่านั้น ซึ่งสามารถพัฒนารูปแบบที่สร้างขึ้นจากการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อสร้างรูปแบบของชิ้นงานโครงสร้างอาคารโรงงานอื่นที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นตามขนาดของอาคารที่ต้องการก่อสร้าง

5.3.2. สามารถพัฒนาการสร้างโมเดลที่มีชิ้นงานโครงสร้างอาคารแบบเต็มรูปแบบในโปรแกรม SketchUp เช่น การขึ้นโมเดลแบบเต็มโครงอาคารเพื่อใช้ประโยชน์อื่นๆเบื้องต้นก่อนส่งต่อไปยังโปรแกรมอื่นๆหรือโปรแกรม Tekla Structure เพื่อทำงานต่อในกระบวนการถัดไป เช่น Fabrication

ตัวอย่างโมเดลที่สร้างด้วยโปรแกรมเสริมและนำไปใช้งานต่อในโปรแกรม Tekla Structure



ภาพที่ 61 ตัวอย่างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ A ที่ได้จากโปรแกรมเสริมและนำไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure



ภาพที่ 62 ตัวอย่างโครงสร้างเหล็กรูปแบบ B ที่ได้จากโปรแกรมเสริมและนำไปทำงานต่อในโปรแกรม Tekla Structure

5.3.3. การพิมพ์คำสั่งใน Ruby Console สามารถพัฒนาให้เป็นการกดคำสั่งด้วยปุ่มกดแทนที่การพิมพ์ ทำให้เพิ่มความสะดวกต่อผู้ใช้งานได้

5.3.4. ในการศึกษานี้สามารถส่งต่อไฟล์ IFC XML ที่ได้ไปยังโปรแกรมอื่นๆ ที่รองรับการทำงานด้วย IFC XML และสามารถพัฒนารูปแบบของชิ้นงานที่ต้องการสร้างในโปรแกรม SketchUp เป็นชิ้นงานในรูปแบบอื่นๆที่ต้องการได้อีกด้วย

อุปสรรคและข้อจำกัด

โปรแกรมเสริมเพื่อการช่วยสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบนี้ ยังไม่สามารถรองรับความซับซ้อนของข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการกรอกได้ เช่น ความหนาของชิ้นงานแต่

ละชิ้นที่มีความแตกต่างกัน และรูปแบบของโครงสร้างที่เตรียมไว้ยังไม่ครอบคลุมถึงรูปแบบโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันทั้งหมด

ในการใช้งานโปรแกรมเสริม เป็นการพิมพ์คำสั่งลงใน Ruby Console ซึ่งไม่สะดวกต่อผู้ใช้งานบางท่านที่ไม่มีความเข้าใจในการทำงานด้วย Ruby Console

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของรูปแบบของโครงสร้างเหล็กแบบ Plate ประกอบในปัจจุบัน เพื่อรองรับโครงสร้างที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ทั้งรูปแบบสำเร็จและรูปแบบที่สามารถปรับเปลี่ยนความต้องการของผู้ใช้งานได้สะดวกมากขึ้น
2. คำสั่งต่างๆในโปรแกรมเสริมควรเป็นการกดปุ่มแทนที่การพิมพ์คำสั่งใน Ruby Console
3. ความสามารถในการทำ Quantity Take Off เบื้องต้น

รายการอ้างอิง

Build-Up Beam เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/built-up+beam.

Framing schematics เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics.

IFC File Format เข้าถึงเมื่อ 26 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://www.e-zigurat.com/blog/en/ifc-and-bim-interoperability/

North American Steel Construction. (2000). Rules of Thumb for Steel Design. *Modern Steel Construction*, 1.

PEB (Pre-Engineered Building) เข้าถึงเมื่อ 23 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://construction-forum.ssi-steel.com/.

Pre-Engineering Bullding (PEB): TYPE OF STANDARD MAIN FRAME เข้าถึงเมื่อ 23 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก http://ablengg.com/products/pre-engineered-buildings-peb/.

เรื่องน่ารู้ของวัสดุก่อสร้าง: ประเภทของเหล็กรูปพรรณ เข้าถึงเมื่อ 6 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://tipsforconstruction.wordpress.com/2020/06/29/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%b0%e0%b9%80%e0%b8%a0%e0%b8%97%e0%b8%82%e0%b8%ad%e0%b8%87-%e0%b9%80%e0%b8%ab%e0%b8%a5%e0%b9%87%e0%b8%81%e0%b8%a3%e0%b8%b9%e0%b8%9b%e0%b8%9e%e0%b8%a3%e0%b8%a3%e0%b8%93-%e0%b9%80/. (2563).

อาคารโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ STRUCTURAL STEEL BUILDING เข้าถึงเมื่อ 23 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://www.secsteel.com/%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B8%82%E0%B8%99%E0%B8%B2/.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
มาตรฐานเหล็กรูปพรรณ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2194 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน มาตรฐานเลขที่ มอก. 1227-2537

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน มาตรฐานเลขที่ มอก.1227-2537 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2009 (พ.ศ.2537) ลงวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ.2537 ดังต่อไปนี้

1. ให้แก้หมายเลขมาตรฐานเลขที่ "มอก. 1227-2537" เป็น "มอก. 1227-2539"
2. ให้ยกเลิกความในข้อ 3.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

   "3.2 เหล็กโครงสร้างแบ่งตามส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลออกเป็น 7 ชั้นคุณภาพ คือ SM 400 SM 490 SM 520 SM 570 SS 400 SS 490 และ SS 540 ตามตารางที่ 11 และตารางที่ 12

   หมายเหตุ ชั้นคุณภาพ SM 400 SM 490 SM 520 และ SM 570 เป็นชั้นคุณภาพที่เหมาะสำหรับการเชื่อม"
3. ให้ยกเลิกความในตารางที่ 9 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

ตารางที่ 9 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนา ความยาว ความได้ฉาก ความโก่ง ระยะเยื้องศูนย์ ความเว้าของลำตัวและความได้ฉากของปลายตัดสำหรับเหล็กรูปตัวเอช

(ข้อ 4.1 และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน		หมายเหตุ
H	น้อยกว่า 380		± 2.0		
	380 ถึงน้อยกว่า 580		± 3.0		
	580 และมากกว่า		± 4.0		
B	น้อยกว่า 95		± 2.0		
	95 ถึงน้อยกว่า 190		± 2.5		
	190 และมากกว่า		± 3.0		
ความหนา (t_1, t_2)	t_1	น้อยกว่า 16	± 0.7		
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.0		
		25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.5		
	t_2	น้อยกว่า 16	± 1.0		
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.5		
		25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.7		
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร		+ 40 0		
	เกิน 7 เมตร		ส่วนเกิน	40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตร ที่มากกว่า 7 เมตร	
			ส่วนขาด	ไม่มี	
ความได้ฉาก (T)	H ไม่เกิน 300		B ไม่เกิน 150	ไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
			B เกิน 150	ไม่เกินร้อยละ 1.0 ของมิติ B	
	H เกิน 300		B ไม่เกิน 125	ไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
			B เกิน 125	ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของมิติ B	
ความโก่ง	H ไม่เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 0.15 ของความยาว		
	H เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 0.10 ของความยาว		
ระยะเยื้องศูนย์ (S)	H ไม่เกิน 300 และ B ไม่เกิน 200		± 2.5		
	H เกิน 300 หรือ B เกิน 200		± 3.5		
ความเว้าของลำตัว (concavity of web) (W)	H	น้อยกว่า 400	2.0		
		400 ถึงน้อยกว่า 600	2.5		
		600 และมากกว่า	3.0		
ความได้ฉากของปลายตัด (squareness of cut end) (e)	H ไม่เกิน 187.5		ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร		
	B ไม่เกิน 187.5		ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร		
	H เกิน 187.5		ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของมิติ H		
	B เกิน 187.5		ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของมิติ B		

4. ให้ยกเลิกความในตารางที่ 11 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"ตารางที่ 11 ชั้นคุณภาพ และส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากเบ้า
(ข้อ 3.2 และข้อ 5.1)

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน สูงสุด	ซิลิคอน สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 ถึง 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SS 400	-	-	-	0.050	0.050
SS 490	-	-	-	0.050	0.050
SS 540	0.30	-	1.60 สูงสุด	0.040	0.040

หมายเหตุ 1. หากวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ ปริมาณธาตุต่าง ๆ ยอมให้มากกว่าที่กำหนดในตารางที่ 11 ได้อีกดังนี้

คาร์บอน 0.03
ซิลิคอน 0.05
แมงกานีส 0.05
ฟอสฟอรัส 0.01
กำมะถัน 0.01

2. - หมายถึง ไม่กำหนด"

5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 6.2.3

"6.2.3 การดัดโค้ง (เฉพาะชั้นคุณภาพ SS400 SS490 และ SS540)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.4 แล้ว ต้องไม่มีรอยแตกร้าวหรือปริที่ด้านนอกของส่วนโค้งของชิ้นทดสอบ"

6. ให้ยกเลิกความในตารางที่ 12 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"ตารางที่ 12 ชั้นคุณภาพ ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด และความต้านการกระแทก
(ข้อ 3.2 ข้อ 6.2.1 และข้อ 6.2.2)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึงที่จุดครากต่ำสุด เมกะพาสคัล		ความต้านแรงดึง	ความยืดต่ำสุด ร้อยละ			ความต้านการกระแทกต่ำสุด
	ความหนาไม่เกิน 16 มิลลิเมตร	ความหนาเกิน 16 มิลลิเมตร	เมกะพาสคัล	ความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร	ความหนา 5 ถึง 16 มิลลิเมตร	ความหนาเกิน 16 มิลลิเมตร	จูล
SM 400	245	235	400 ถึง 510	23	18	22	27
SM 490	325	315	490 ถึง 610	22	17	21	27
SM 520	365	355	520 ถึง 640	19	15	19	27
SM 570	460	450	570 ถึง 720	19	19	26	47
SS 400	245	235	400 ถึง 510	21	17	21	-
SS 490	285	275	490 ถึง 610	19	15	19	-
SS 540	400	390	540 ต่ำสุด	16	13	17	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่กำหนด"

7. ให้ยกเลิกความในข้อ 7.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"7.1 ที่เหล็กโครงสร้างทุกท่อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชั้นคุณภาพ

(2) ขนาด ความหนา และความยาว

(3) หมายเลขการหลอมแต่ละครั้งหรือเครื่องหมายอื่นใดที่แสดงถึงการหลอมแต่ละครั้ง

(4) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

การแจ้งรายละเอียดตามข้อ 7.1(1) และ (4) ต้องเป็นตัวนูน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น"

8. ให้ยกเลิกความในข้อ 8.2.1.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน หรือจากกระบวนการทำเหล็กโครงสร้างรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 ท่อน"

9. ให้ยกเลิกความในข้อ 8.2.2.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"8.2.2.1 ใช้ตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 8.2.1.2 แล้วทั้ง 3 ท่อน มาตัดปลายใดปลายหนึ่ง ยาวประมาณ 0.30 เมตร ท่อนละ 1 แท่ง เพื่อทดสอบลักษณะทั่วไป"

10. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.1.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.1.1.2 วิธีวัด

ให้วัด ณ บริเวณที่ห่างจากปลายทั้งสองไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร"

11. ให้ยกเลิกความใน (2) ของข้อ 9.1.3.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร"

12. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.1.3.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.1.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความได้ฉากเป็นมิลลิเมตร"

13. ให้ยกเลิกความใน (2) ของข้อ 9.1.4.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร"

14. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.1.5.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.1.5.1 เครื่องมือ

ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร"

15. ให้ยกเลิกความใน (2) ของข้อ 9.1.6.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร"

16. ให้ยกเลิกความใน (2) ของข้อ 9.1.7.1 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร"

17. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.1.7.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"9.1.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าความได้ฉากของปลายตัดที่มากที่สุดเป็นมิลลิเมตร ตามแนว B หรือตามแนว H"

18. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.4

"9.4 การดัดโค้ง (เฉพาะชั้นคุณภาพ SS400 SS490 และ SS540)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.244 เล่ม 11 โดยให้มีมุมการดัดโค้ง 180 องศา และรัศมีภายในของการดัดโค้ง 1.5 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชั้นคุณภาพ SS 400 และ 2 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชั้นคุณภาพ SS490 และ SS540"

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2539
สนธยา คุณปลื้ม
รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม
รักษาราชการแทนรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 87 ง
วันที่ 29 ตุลาคม พุทธศักราช 2539

ใบแก้คำผิด

มอก.1227-2537 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน

หน้า -8- ตารางที่ 5 สดมภ์ที่ 1 ให้แก้ไข "411 x 405"
เป็น "414 x 405"

ตุลาคม 2539

มอก. 1227-2537

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและชั้นคุณภาพ ขนาด ความหนา และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบทางเคมี คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "เหล็กโครงสร้าง"

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถึงเหล็กโครงสร้างที่ทำจากเหล็กกล้าละมุน (mild steel) โดยการรีดร้อนอันอาจนำไปใช้ในงานโครงสร้างได้

1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึง เหล็กรูปพรรณซึ่งมีประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโดยเฉพาะ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ หมายถึง เหล็กที่ผลิตออกมามีหน้าตัดเป็นรูปลักษณะต่างๆ ใช้ในงานโครงสร้าง

2.2 การรีดร้อน (hot rolling) หมายถึง การรีดและแปรรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) ให้เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

3. แบบและชั้นคุณภาพ

3.1 เหล็กโครงสร้างแบ่งตามรูปภาคตัดออกเป็น 5 แบบ ตามตารางที่ 1

3.2 เหล็กโครงสร้างแบ่งตามส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ SM 400 SM 490 SM 520 และ SM 570 ตามตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 1 แบบและรูปภาคตัด

(ข้อ 3.1)

แบบ		รูปภาคตัด
เหล็กฉาก (angle steel)	ขาเท่ากัน (equal leg)	
	ขาไม่เท่ากัน (unequal leg)	
เหล็กรูปรางน้ำ (channel steel)		
เหล็กรูปตัวเอช (H-section steel)		
เหล็กรูปตัวไอ (I-section steel)		
เหล็กรูปตัวที (T-section steel)		

4. ขนาด ความหนา และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดและความหนาของเหล็กโครงสร้าง ให้เป็นไปตามตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 7 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนา ความยาว ความโค้งฉาก ความโก่งและระยะเยื้องศูนย์สำหรับเหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัวไอและเหล็กรูปตัวทีตามตารางที่ 8 และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนา ความยาว ความโค้งฉาก ความโก่ง ระยะเยื้องศูนย์ ความเว้าของลำตัวและความโค้งฉากของปลายตัดสำหรับเหล็กรูปตัวเอชตามตารางที่ 9

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1

หมายเหตุ 1. มวลต่อความยาว 1 เมตร คำนวณได้จากสูตร

มวลต่อความยาว 1 เมตร = 0.785 a กิโลกรัม

เมื่อ a คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กโครงสร้าง เป็นตารางเซนติเมตร ตามตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 7 หรือคำนวณได้จากสูตรตามภาคผนวก ก.

2. รัศมีส่วนโค้ง พื้นที่หน้าตัด มวลต่อเมตร ระยะจากศูนย์ถ่วง โมเมนต์ความเฉื่อย รัศมีไจเรชัน tanα และมอดุลัสภาคตัด ตามตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 7 และตารางที่ 10 ให้ไว้เป็นเพียงข้อมูล

4.2 ความยาวของเหล็กโครงสร้างต้องเท่ากับ 6 เมตร หรือเป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 8 และตารางที่ 9 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1.2

มอก. 1227-2537

ตารางที่ 2 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากขาเท่ากัน

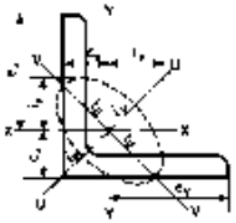
(ข้อ 4.1)

โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Zx = \frac{Ix}{A - Cx}$

$Zy = \frac{Iy}{B - Cy}$



ขนาด mm	ความหนา mm	รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์ถ่วง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4				รัศมีไจเรชัน cm				มอดุลัสภาคตัด cm^3	
A x B	t	r_1	r_2	a		Cx	Cy	I x	I y	I u สูงสุด	I v ต่ำสุด	i x	i y	i u สูงสุด	i v ต่ำสุด	Zx	Zy
25 x 25	3	4	2	1.427	1.12	0.719	0.719	0.797	0.797	1.26	0.332	0.747	0.747	0.940	0.483	0.448	0.448
	5	3.5	2.4	2.26	1.77	0.80	0.80	1.20	1.20	1.89	0.52	0.73	0.73	0.91	0.48	0.71	0.71
30 x 30	3	4	2	1.727	1.36	0.844	0.844	1.42	1.42	2.26	0.590	0.908	0.908	1.14	0.585	0.661	0.661
	5	5	2.4	2.78	2.18	0.92	0.92	2.16	2.16	3.41	0.92	0.88	0.88	1.11	0.57	1.04	1.04
40 x 40	3	4.5	2	2.336	1.83	1.09	1.09	3.53	3.53	5.60	1.46	1.23	1.23	1.55	0.790	1.21	1.21
	4	6	2.4	3.08	2.42	1.12	1.12	4.47	4.47	7.09	1.85	1.21	1.21	1.52	0.78	1.55	1.55
	5	4.5	3	3.755	2.95	1.17	1.17	5.42	5.42	8.59	2.25	1.20	1.20	1.51	0.774	1.91	1.91
	6	6	2.4	4.48	3.52	1.20	1.20	6.31	6.31	9.98	2.65	1.19	1.19	1.49	0.77	2.26	2.26
45 x 45	4	6.5	3	3.492	2.74	1.24	1.24	6.50	6.50	10.3	2.70	1.36	1.36	1.72	0.880	2.00	2.00
	5	6.5	3	4.302	3.38	1.28	1.28	7.91	7.91	12.5	3.29	1.36	1.36	1.71	0.874	2.46	2.46
50 x 50	3	7	2.4	2.96	2.33	1.31	1.31	6.86	6.86	10.8	2.88	1.52	1.52	1.91	0.99	1.86	1.86
	4	6.5	3	3.892	3.06	1.37	1.37	9.06	9.06	14.4	3.76	1.53	1.53	1.92	0.983	2.49	2.49
	5	6.5	3	4.802	3.77	1.41	1.41	11.1	11.1	17.5	4.58	1.52	1.52	1.91	0.976	3.08	3.08
	6	6.5	4.5	5.644	4.43	1.44	1.44	12.6	12.6	20.0	5.23	1.50	1.50	1.88	0.963	3.55	3.55
60 x 60	4	6.5	3	4.692	3.68	1.61	1.61	16.0	16.0	25.4	6.62	1.85	1.85	2.33	1.19	3.66	3.66
	5	6.5	3	5.802	4.55	1.66	1.66	19.6	19.6	31.2	8.09	1.84	1.84	2.32	1.18	4.52	4.52
65 x 65	5	8.5	3	6.367	5.00	1.77	1.77	25.3	25.3	40.1	10.5	1.99	1.99	2.51	1.28	5.35	5.35
	6	8.5	4	7.527	5.91	1.81	1.81	29.4	29.4	46.6	12.2	1.98	1.98	2.49	1.27	6.26	6.26
	8	8.5	6	9.761	7.66	1.88	1.88	36.8	36.8	58.3	15.3	1.94	1.94	2.44	1.25	7.96	7.96
70 x 70	6	8.5	4	8.127	6.38	1.93	1.93	37.1	37.1	58.9	15.3	2.14	2.14	2.69	1.37	7.33	7.33
75 x 75	6	8.5	4	8.727	6.85	2.06	2.06	46.1	46.1	73.2	19.0	2.30	2.30	2.90	1.48	8.47	8.47
	9	8.5	6	12.69	9.96	2.17	2.17	64.4	64.4	102	26.7	2.25	2.25	2.84	1.45	12.1	12.1
	12	8.5	6	16.56	13.0	2.29	2.29	81.9	81.9	129	34.5	2.22	2.22	2.79	1.44	15.7	15.7
80 x 80	6	8.5	4	9.327	7.32	2.18	2.18	56.4	56.4	89.6	23.2	2.46	2.46	3.10	1.58	9.70	9.70

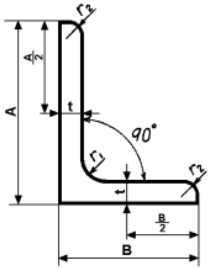
มอก. 1227-2537

ตารางที่ 2 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากขาเท่ากัน (ต่อ)

ขนาด mm	ความหนา mm	รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์ถ่วง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4				รัศมีไจเรชัน cm				มอดุลัสภาคตัด	
A x B	t	r_1	r_2	a		Cx	Cy	I x	I y	I u สูงสุด	I v ต่ำสุด	i x	i y	i u สูงสุด	i v ต่ำสุด	Zx	Zy
90 x 90	6	10	5	10.55	8.28	2.42	2.42	80.7	80.7	128	33.4	2.77	2.77	3.48	1.78	12.3	12.3
	7	10	5	12.22	9.59	2.46	2.46	93.0	93.0	148	38.8	2.76	2.76	3.48	1.77	14.2	14.2
	10	10	7	17.00	13.3	2.57	2.57	125	125	199	51.7	2.71	2.71	3.42	1.74	19.5	19.5
	12	11	4.8	20.3	15.9	2.66	2.66	148	148	234	61.7	2.7	2.7	3.4	1.75	23.3	23.3
	13	10	7	21.71	17.0	2.69	2.69	156	156	248	65.3	2.68	2.68	3.38	1.73	24.8	24.8
100 x 100	7	10	5	13.62	10.7	2.71	2.71	129	129	205	53.2	3.08	3.08	3.88	1.98	17.7	17.7
	10	10	7	19.00	14.9	2.82	2.82	175	175	278	72.0	3.04	3.04	3.83	1.95	24.4	24.4
	12	12	4.8	22.7	17.8	2.90	2.90	207	207	328	85.7	3.02	3.02	3.8	1.94	29.1	29.1
	13	10	7	24.31	19.1	2.94	2.94	220	220	348	91.1	3.00	3.00	3.78	1.94	31.1	31.1
120 x 120	8	12	5	18.76	14.7	3.24	3.24	258	258	410	106	3.71	3.71	4.67	2.38	29.5	29.5
130 x 130	9	12	6	22.74	17.9	3.53	3.53	366	366	583	150	4.01	4.01	5.06	2.57	38.7	38.7
	12	12	8.5	29.76	23.4	3.64	3.64	467	467	743	192	3.96	3.96	5.00	2.54	49.9	49.9
	15	12	8.5	36.75	28.8	3.76	3.76	568	568	902	234	3.93	3.93	4.95	2.53	61.5	61.5
150 x 150	12	14	7	34.77	27.3	4.14	4.14	740	740	1 180	304	4.61	4.61	5.82	2.96	68.1	68.1
	15	14	10	42.74	33.6	4.24	4.24	888	888	1 410	365	4.56	4.56	5.75	2.92	82.6	82.6
	19	14	10	53.38	41.9	4.40	4.40	1 090	1 090	1 730	451	4.52	4.52	5.69	2.91	103	103
175 x 175	12	15	11	40.52	31.8	4.73	4.73	1 170	1 170	1 860	480	5.38	5.38	6.78	3.44	91.8	91.8
	15	15	11	50.21	39.4	4.85	4.85	1 440	1 440	2 290	589	5.35	5.35	6.75	3.42	114	114
200 x 200	15	17	12	57.75	45.3	5.46	5.46	2 180	2 180	3 470	891	6.14	6.14	7.75	3.93	150	150
	20	17	12	76.00	59.7	5.67	5.67	2 820	2 820	4 490	1 160	6.09	6.09	7.68	3.90	197	197
	25	17	12	93.75	73.6	5.86	5.86	3 420	3 420	5 420	1 410	6.04	6.04	7.61	3.88	242	242
250 x 250	25	24	12	119.4	93.7	7.10	7.10	6 950	6 950	11 000	2 860	7.63	7.63	9.62	4.90	388	388
	35	24	18	162.6	128	7.45	7.45	9 110	9 110	14 400	3 790	7.49	7.49	9.42	4.83	519	519

ตารางที่ 3 ขนาดและความหนาของเหล็กฉากขาไม่เท่ากัน

(ข้อ 4.1)

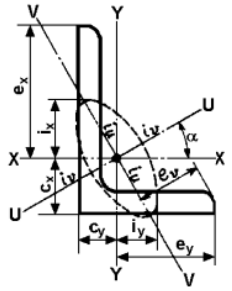


โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Zx = \frac{Ix}{A - Cx}$

$Zy = \frac{Iy}{B - Cy}$

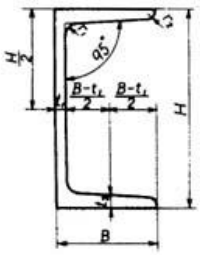


ขนาด mm	ความหนา mm	รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์ถ่วง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4				รัศมีไจเรชัน cm				tan ∝	มอดุลัสภาคตัด cm^3	
A x B	t	r1	r2	a		Cx	Cy	Ix	Iy	Iu สูงสุด	Iv ต่ำสุด	ix	iy	iu สูงสุด	iv ต่ำสุด		Zx	Zy
90 x 75	9	8.5	6	14.04	11.0	2.75	2.00	109	68.1	143	34.1	2.78	2.20	3.19	1.56	0.676	17.4	12.4
100 x 75	7	10	5	11.87	9.32	3.06	1.83	118	56.9	144	30.8	3.15	2.19	3.49	1.61	0.548	17.0	10.0
	10	10	7	16.50	13.0	3.17	1.94	159	76.1	194	41.3	3.11	2.15	3.43	1.58	0.543	23.3	13.7
125 x 75	7	10	5	13.62	10.7	4.10	1.64	219	60.4	243	36.4	4.01	2.11	4.23	1.64	0.362	26.1	10.3
	10	10	7	19.00	14.9	4.22	1.75	299	80.8	330	49.0	3.96	2.06	4.17	1.61	0.357	36.1	14.1
	13	10	7	24.31	19.1	4.35	1.87	376	101	415	61.9	3.93	2.04	4.13	1.60	0.352	46.1	17.9
125 x 90	10	10	7	20.50	16.1	3.95	2.22	318	138	380	76.2	3.94	2.59	4.30	1.93	0.505	37.2	20.3
	13	10	7	26.26	20.6	4.07	2.34	401	173	477	96.3	3.91	2.57	4.26	1.91	0.501	47.5	25.9
150 x 90	9	12	6	20.94	16.4	4.95	1.99	485	133	537	80.4	4.81	2.52	5.06	1.96	0.361	48.2	19.0
	12	12	8.5	27.36	21.5	5.07	2.10	619	167	685	102	4.76	2.47	5.00	1.93	0.357	62.3	24.3
150 x 100	9	12	6	21.84	17.1	4.76	2.30	502	181	579	104	4.79	2.88	5.15	2.18	0.439	49.1	23.5
	12	12	8.5	28.56	22.4	4.88	2.41	642	228	738	132	4.74	2.83	5.09	2.15	0.435	63.4	30.1
	15	12	8.5	35.25	27.7	5.00	2.53	782	276	897	161	4.71	2.80	5.04	2.14	0.431	78.2	37.0

มอก.1227-2537

ตารางที่ 4 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปรางน้ำ

(ข้อ 4.1)

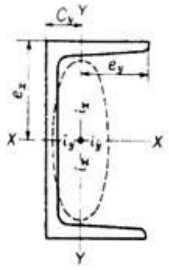


โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$

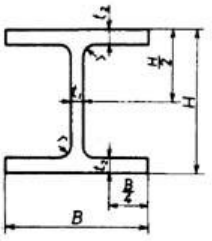
$Z_y = \frac{I_y}{B - C_y}$



ขนาด mm	ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์ถ่วง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4		รัศมีไจเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm^3	
H x B	t_1	t_2	r_1	r_2	a		C_x	C_y	I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	0	0.81	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	0	1.28	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	0	1.54	188	26.0	3.97	1.48	37.6	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	0	1.90	424	61.8	4.98	1.90	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	0	2.28	861	117	6.03	2.22	115	22.4
	9	12.5	15	7.5	30.59	24.0	0	2.31	1 050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.20	21.4	0	2.13	1 380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	0	2.21	1 950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	0	2.74	2 490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.6	0	2.40	4 180	294	9.74	2.58	334	44.5
	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	0	2.40	4 680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	0	2.22	6 440	309	11.5	2.52	429	45.7
	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	0	2.34	7 410	360	11.5	2.54	494	54.1
	12	16	19	9.5	61.90	48.6	0	2.28	7 870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	0	2.41	14 500	535	14.5	2.78	763	70.5
	13	16.5	18	9	78.96	62.0	0	2.33	15 600	565	14.1	2.67	823	73.6
	13	20	24	12	85.71	67.3	0	2.54	17 600	655	14.3	2.76	926	87.8

ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช

(ข้อ 4.1)

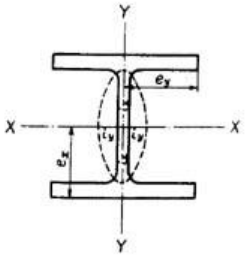


โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$

$Z_y = \frac{I_y}{B - B/2}$



ขนาด mm			ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm	พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4		รัศมีไจเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm^3	
H x B	t_1	t_2	r	a		I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 60	6	8	9	16.84	13.2	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
125 x 125	6.5	9	10	30.31	23.8	847	293	5.29	3.11	136	47.0
148 x 100	6	9	11	26.84	21.1	1 020	151	6.17	2.37	138	30.1
150 x 75	5	7	8	17.85	14.0	666	49.5	6.11	1.66	88.9	13.2
150 x 150	7	10	11	40.14	31.5	1 640	563	6.39	3.75	219	75.1
175 x 90	5	8	9	23.04	18.1	1 210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.2	2 880	984	7.50	4.38	330	112
194 x 150	6	9	13	39.01	30.6	2 690	507	8.30	3.61	277	67.6
198 x 99	4.5	7	11	23.18	18.2	1 580	114	8.26	2.21	160	23.0
200 x 100	5.5	8	11	27.16	21.3	1 840	134	8.24	2.22	184	26.8
200 x 200	8	12	13	63.53	49.9	4 720	1 600	8.62	5.02	472	160
200 x 204	12	12	13	71.53	56.2	4 980	1 700	8.35	4.88	498	167
208 x 202	10	16	13	83.69	65.7	6 530	2 200	8.83	5.13	628	218
244 x 175	7	11	16	56.24	44.1	6 120	984	10.4	4.18	502	113
244 x 252	11	11	16	82.06	64.4	8 790	2 940	10.3	5.98	720	233
248 x 124	5	8	12	32.68	25.7	3 540	255	10.4	2.79	285	41.1
248 x 249	8	13	16	84.70	66.5	9 930	3 350	10.8	6.29	801	269
250 x 125	6	9	12	37.66	29.6	4 050	294	10.4	2.79	324	47.0
250 x 250	9	14	16	92.18	72.4	10 800	3 650	10.9	6.29	867	292
250 x 255	14	14	16	104.7	82.2	11 500	3 880	10.5	6.09	919	304

มอก. 1227-2537

ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช (ต่อ)

ขนาด mm	ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm	พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4		รัศมีไจเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm^3	
H x B	t_1	t_2	r	a		I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
294 x 200	8	12	18	72.38	56.8	11 300	1 600	12.5	4.71	771	160
294 x 302	12	12	18	107.7	84.5	16 900	5 520	12.5	7.16	1 150	365
298 x 149	5.5	8	13	40.80	32.0	6 320	442	12.4	3.29	424	59.3
298 x 201	9	14	18	83.36	65.4	13 300	1 900	12.6	4.77	893	189
298 x 299	9	14	18	110.8	87.0	18 800	6 240	13.0	7.51	1 270	417
300 x 150	6.5	9	13	46.78	36.7	7 210	508	12.4	3.29	481	67.7
300 x 300	10	15	18	119.8	94.0	20 400	6 750	13.1	7.51	1 360	450
300 x 305	15	15	18	134.8	106	21 500	7 100	12.6	7.26	440	466
304 x 301	11	17	18	134.8	106	20 400	7 730	13.2	7.57	1 540	514
336 x 249	8	12	20	88.15	69.2	18 500	3 090	14.5	5.92	1 100	248
338 x 351	13	13	20	135.3	106	28 200	9 380	14.4	8.33	1 670	534
340 x 250	9	14	20	101.5	79.7	21 700	3 650	14.6	6.00	1 280	292
344 x 348	10	16	20	146.0	115	33 300	11 200	15.1	8.78	1 940	646
344 x 354	16	16	20	166.6	131	35 300	11 800	14.6	8.43	2 050	669
346 x 174	6	9	14	52.68	41.4	11 100	792	14.5	3.88	611	91.0
350 x 175	7	11	14	63.14	49.6	13 600	984	14.7	3.95	775	112
350 x 350	12	19	20	173.9	137	40 300	13 600	15.2	8.84	2 300	776
350 x 357	19	19	20	198.4	156	42 800	14 400	14.7	8.53	2 450	809
354 x 176	8	13	14	73.68	57.8	16 100	1 180	14.8	4.01	909	134
386 x 299	9	14	22	120.1	94.3	33 700	6 240	16.7	7.21	1 740	418
388 x 402	15	15	22	178.5	140	49 000	16 300	16.6	9.54	2 520	809
390 x 300	10	16	22	136.0	107	38 700	7 210	16.9	7.28	1 980	481
394 x 398	11	18	22	186.8	147	56 100	18 900	17.3	10.1	2 850	951
396 x 199	7	11	16	72.16	56.6	20 000	1 450	16.7	4.48	1 010	145
400 x 200	8	13	16	84.12	66.0	23 700	1 740	16.8	4.54	1 190	174
400 x 400	13	21	22	218.7	172	66 600	22 400	17.5	10.1	3 330	1 120
400 x 408	21	21	22	250.7	197	70 900	23 800	16.8	9.75	3 540	1 170
404 x 201	9	15	16	96.16	75.5	27 500	2 030	16.9	4.60	1 360	202
411 x 405	18	28	22	295.4	232	92 600	31 000	17.7	10.2	4 480	1 530
428 x 407	20	35	22	360.7	283	119 000	39 400	18.2	10.4	5 570	1 930
434 x 299	10	15	24	135.0	106	46 800	6 690	18.6	7.04	2 160	448
440 x 300	11	18	24	157.4	124	56 100	8 110	18.9	7.18	2 550	541
446 x 199	8	12	16	84.30	66.2	29 700	1 580	18.5	4.33	1 290	159
446 x 201	13	21	24	184.3	145	66 400	9 660	19.0	7.24	2 980	639

มอก. 1227-2537

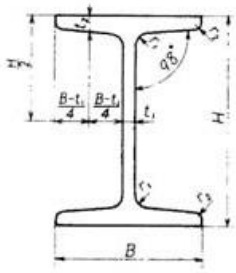
ตารางที่ 5 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวเอช (ต่อ)

ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีไจเรชัน		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm	cm^2	kg/m	cm^4		cm		cm^3	
H x B	t_1	t_2	r	a		I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
450 x 200	9	14	18	96.76	76.0	33 500	1 870	18.6	4.40	1 490	187
456 x 201	10	17	18	113.3	88.9	40 400	2 310	18.9	4.51	1 770	230
458 x 417	30	50	22	528.6	415	187 000	60 500	18.8	10.7	8 170	2 900
482 x 300	11	15	26	145.5	114	60 400	6 760	20.4	6.82	2 500	451
488 x 300	11	18	26	163.5	128	71 000	8 110	20.8	7.04	2 910	541
494 x 302	13	21	26	191.4	150	83 800	9 660	20.9	7.10	3 390	640
496 x 199	9	14	20	101.3	79.5	41 900	1 840	20.3	4.27	1 690	185
498 x 432	45	70	22	770.1	605	298 000	94 400	19.7	11.1	12 000	4 370
500 x 200	10	16	20	114.2	89.6	47 800	2 140	20.5	4.33	1 910	214
506 x 201	11	19	20	131.3	103	56 500	2 580	20.7	4.43	2 230	257
582 x 300	12	17	28	174.5	137	103 000	7 670	24.3	6.63	3 530	511
588 x 300	12	20	28	192.5	151	118 000	9 020	24.8	6.85	4 020	601
594 x 302	14	23	28	222.4	175	137 000	10 600	24.9	6.90	4 620	701
596 x 199	10	15	22	120.5	94.6	68 700	1 980	23.9	4.05	2 310	199
600 x 200	11	17	22	134.4	106	77 600	2 280	24.0	4.12	2 590	228
606 x 201	12	20	22	152.5	120	90 400	2 720	24.3	4.22	2 980	271
612 x 202	13	23	22	170.7	134	103 000	3 180	24.6	4.31	3 380	314
692 x 300	13	20	28	211.5	166	172 000	9 020	28.6	6.53	4 980	602
700 x 300	13	24	28	235.5	185	201 000	10 800	29.3	6.78	5 760	722
792 x 300	14	22	28	243.4	191	254 000	9 930	32.3	6.39	6 410	662
800 x 300	14	26	28	267.4	210	292 000	11 700	33.0	6.62	7 290	782
890 x 299	15	23	28	270.9	213	345 000	10 300	35.7	6.16	7 760	688
900 x 300	16	28	28	309.8	243	411 000	12 600	36.4	6.39	9 140	843
912 x 302	18	34	28	364.0	286	498 000	15 700	37.0	6.56	10 900	1 040

มอก. 1227-2537

ตารางที่ 6 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวไอ

(ข้อ 4.1)

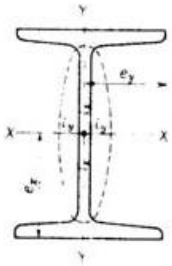


โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - H/2}$,

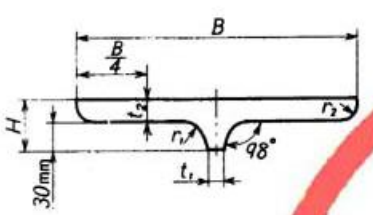
$Z_y = \frac{I_y}{H - H/2}$



ขนาด	ความหนา		รัศมีส่วนโค้ง		พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	ระยะจากศูนย์ถ่วง		โมเมนต์ความเฉื่อย		รัศมีไจเรชัน		มอดุลัสภาคตัด	
mm	mm		mm		cm^2	kg/m	cm		cm^4		cm		cm^3	
H x B	t_1	t_2	r_1	r_2	a		C_x	C_y	I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
100 x 75	5	8	7	3.5	16.43	12.9	0	0	281	47.3	4.14	1.70	56.2	12.6
125 x 75	5.5	9.5	9	4.5	20.45	16.1	0	0	538	57.5	5.13	1.68	86.0	15.3
150 x 75	5.5	9.5	9	4.5	21.83	17.1	0	0	819	57.5	6.12	1.62	109	15.3
150 x 125	8.5	14	13	6.5	46.15	36.2	0	0	1 760	385	6.18	2.89	235	61.6
180 x 100	6	10	10	5	30.06	23.6	0	0	1 670	138	7.45	2.14	186	27.5
200 x 100	7	10	10	5	33.06	26.0	0	0	2 170	138	8.11	2.05	217	27.7
200 x 150	9	16	15	7.5	64.16	50.4	0	0	4 460	753	8.34	3.43	446	10.0
250 x 125	7.5	12.5	12	6	48.79	38.3	0	0	5 180	337	10.3	2.63	414	53.9
	10	19	21	10.5	70.73	55.5	0	0	7 310	538	10.2	2.76	585	86.0
300 x 150	8	13	12	6	61.58	48.3	0	0	9 480	588	12.4	3.09	632	78.4
	10	18.5	19	9.5	83.47	65.5	0	0	12 700	886	12.3	3.26	849	118
	11.5	22	23	11.5	97.88	76.8	0	0	14 700	1 080	12.2	3.32	978	143
350 x 150	9	15	13	6.5	74.58	58.5	0	0	15 200	702	14.3	3.07	870	93.5
	12	24	25	12.5	111.1	87.2	0	0	22 400	1 180	14.2	3.26	1 280	158
400 x 150	10	18	17	8.5	91.73	72.0	0	0	24 100	864	16.2	3.07	1 200	115
	12.5	25	27	13.5	122.1	95.8	0	0	31 700	1 240	16.1	3.18	1 580	165
450 x 175	11	20	19	9.5	116.8	91.7	0	0	39 200	1 510	18.3	3.60	1 740	173
	13	26	27	13.5	146.1	115	0	0	48 800	2 020	18.3	3.72	2 170	231
600 x 190	13	25	25	12.5	169.4	133	0	0	98 400	2 460	24.1	3.81	3 280	259
	16	35	38	19	224.5	176	0	0	130 000	3 540	24.1	3.97	4 330	373

ตารางที่ 7 ขนาดและความหนาของเหล็กรูปตัวที

(ข้อ 4.1)

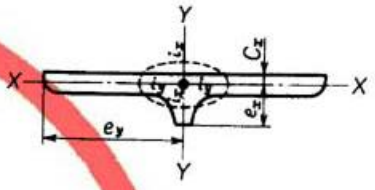


โมเมนต์ความเฉื่อย $I = ai^2$

รัศมีไจเรชัน $i = \sqrt{\frac{I}{a}}$

มอดุลัสภาคตัด $Z_x = \frac{I_x}{H - C_x}$,

$Z_y = \frac{I_y}{B - B/2}$



ขนาด mm	ความกว้าง mm	ความสูง mm	ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm		พื้นที่หน้าตัด cm^2	มวลต่อเมตร kg/m	ระยะจากศูนย์ถ่วง cm		โมเมนต์ความเฉื่อย cm^4		รัศมีไจเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm^3	
B x t_2	B	H	t_1	t_2	r_1	r_2	a		C_x	C_y	I_x	I_y	i_x	i_y	Z_x	Z_y
150 x 9	150	39	12	9	8	3	18.52	14.5	0.934	0	16.5	254	0.942	3.70	5.55	33.8
150 x 12	150	42	12	12	8	3	23.02	18.1	1.02	0	20.7	338	0.949	3.83	6.52	45.1
150 x 15	150	45	12	15	8	3	27.52	21.6	1.13	0	25.9	423	0.971	3.92	7.70	56.4
200 x 12	200	42	12	12	8	3	29.02	22.8	0.935	0	22.3	799	0.877	5.25	6.83	79.9
200 x 16	200	46	12	16	8	3	37.02	29.1	1.09	0	30.5	1 070	0.907	5.37	8.68	107
200 x 19	200	49	12	19	8	3	43.02	33.8	1.22	0	38.5	1 270	0.946	5.43	10.4	127
200 x 22	200	52	12	22	8	3	49.02	38.5	1.35	0	48.3	1 470	0.993	5.47	12.6	147
250 x 16	250	46	12	16	20	3	46.05	36.2	1.06	0	33.6	2 080	0.854	6.72	9.49	167
250 x 19	250	49	12	19	20	3	53.55	42.0	1.19	0	43.1	2 470	0.897	6.80	11.6	198
250 x 22	250	52	12	22	20	3	61.05	47.9	1.33	0	55.0	2 870	0.949	6.85	14.2	229
250 x 25	250	55	12	25	20	3	68.55	53.8	1.46	0	69.6	3 260	1.01	6.90	17.2	261

มอก. 1227-2537

ตารางที่ 8 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนา ความยาว ความได้ฉาก ความโก่ง และระยะเยื้องศูนย์สำหรับเหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปตัวไอและเหล็กรูปตัวที

(ข้อ 4.1 และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
A หรือ B	น้อยกว่า 50		± 1.5	
	50 ถึงน้อยกว่า 100		± 2.0	
	100 ถึงน้อยกว่า 200		± 3.0	
	200 และมากกว่า		± 4.0	
H	น้อยกว่า 100		± 1.5	
	100 ถึงน้อยกว่า 200		± 2.0	
	200 ถึงน้อยกว่า 400		± 3.0	
	400 และมากกว่า		± 4.0	
ความหนา (t หรือ t_1, t_2)	H ไม่เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	± 0.6	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	± 0.7	
		10 ถึงน้อยกว่า 16	± 0.8	
		16 และมากกว่า	± 1.0	
	H เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	± 0.7	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	± 0.8	
		10 ถึงน้อยกว่า 16	± 1.0	
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.2	
		25 และมากกว่า	± 1.5	
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร		+ 40 0	
	เกิน 7 เมตร		ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร ส่วนขาด ไม่มี	
ความได้ฉาก (squareness) (T)	เหล็กรูปตัวไอ		ไม่เกินร้อยละ 2 ของมิติ B	
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ		ไม่เกินร้อยละ 2.5 ของมิติ B	
ความโก่ง (bend)	เหล็กรูปตัวไอและตัวที		ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของความยาว	
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ		ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของความยาว	
ระยะเยื้องศูนย์ (eccentricity) (S)	เหล็กรูปตัวที		± 3.0	$s=\frac{b_1-b_2}{2}$

ตารางที่ 9 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนา ความยาว ความได้ฉาก ความโก่ง ระยะเยื้องศูนย์ ความเว้าของลำตัวและความได้ฉากของปลายตัดสำหรับเหล็กรูปตัวเอช

(ข้อ 4.1 และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
H	น้อยกว่า 400		± 2.0	
	400 ถึงน้อยกว่า 600		± 3.0	
	600 และมากกว่า		± 4.0	
B	น้อยกว่า 100		± 2.0	
	100 ถึงน้อยกว่า 200		± 2.5	
	200 และมากกว่า		± 3.0	
ความหนา (t_1, t_2)	t_1	น้อยกว่า 16	± 0.7	
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.0	
		25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.5	
	t_2	น้อยกว่า 16	± 1.0	
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.5	
		25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.7	
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร		+ 40 0	
	เกิน 7 เมตร		ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร ส่วนขาด ไม่มี	
ความได้ฉาก (T)	H ไม่เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 1.0 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
	H เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
ความโก่ง	H ไม่เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 0.15 ของความยาว	
	H เกิน 300		ไม่เกินร้อยละ 0.10 ของความยาว	
ระยะเยื้องศูนย์ (S)	H ไม่เกิน 300 และ B ไม่เกิน 200		± 2.5	$S=\frac{b_1-b_2}{2}$
	H เกิน 300 และ B เกิน 200		± 3.5	
ความเว้าของลำตัว (concavity of web) (W)	H	น้อยกว่า 400	2.0	
		400 ถึงน้อยกว่า 600	2.5	
		600 และมากกว่า	3.0	
ความได้ฉากของปลายหัด (squareness of cut end) (e)			ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของมิติ B หรือ H และต้องไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร	

ตารางที่ 10 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมวลต่อเมตร

(ข้อ 4.1)

ความหนา มิลลิเมตร	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
น้อยกว่า 10	± 5
10 และมากกว่า	± 4

หมายเหตุ 1. ให้ใช้ความหนาของด้านที่หนาที่สุดเป็นเกณฑ์

2. เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้ใช้ในการซื้อขายเหล็กโครงสร้างหนึ่งชุดที่มีขนาดและความหนาเดียวกัน มีจำนวนไม่น้อยกว่า 10 ชิ้น และมีมวลไม่น้อยกว่า 1 000 กิโลกรัม

5. ส่วนประกอบทางเคมี

5.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กโครงสร้างเมื่อวิเคราะห์จากเบ้าให้เป็นไปตามตารางที่ 11 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 11 ชั้นคุณภาพ และส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากเบ้า

(ข้อ 3.2 และข้อ 5.1)

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน สูงสุด	ซิลิคอน สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 ถึง 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.050	0.050

หมายเหตุ หากวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ ปริมาณธาตุต่าง ๆ ยอมให้มากกว่าที่กำหนดในตารางที่ 11 ได้อีกดังนี้

คาร์บอน	0.03
ซิลิคอน	0.05
แมงกานีส	0.05
ฟอสฟอรัส	0.01
กำมะถัน	0.01

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

เหล็กโครงสร้างต้องมีผิวทั้งหมดเรียบเกลี้ยง ไม่มีรอยปริ แตกร้าว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 สมบัติทางกล

6.2.1 ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 12

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

6.2.2 ความต้านการกระแทก (เฉพาะความหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร)

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 12

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.244 เล่ม 8 โดยชั้นคุณภาพ SM 400 SM 490 และ SM 520 ให้ทดสอบที่ 0 องศาเซลเซียส ส่วนชั้นคุณภาพ SM 570 ให้ทดสอบที่ -5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 12 ชั้นคุณภาพ ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด และความต้านการกระแทก

(ข้อ 3.2 และข้อ 6.2)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ต่ำสุด เมกะพาสคัล		ความต้านแรงดึง	ความยืด ต่ำสุด ร้อยละ			ความต้านการกระแทก ต่ำสุด
	ความหนา ไม่เกิน 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร	เมกะพาสคัล	ความหนา ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร	ความหนา 5 ถึง 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร	จูล
SM 400	245	235	400 ถึง 510	23	18	22	27
SM 490	325	315	490 ถึง 610	22	17	21	27
SM 520	365	355	520 ถึง 640	19	15	19	27
SM 570	460	390	570 ถึง 720	19	19	26	47

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่เหล็กโครงสร้างทุกท่อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชั้นคุณภาพ

(2) ขนาด ความหนา และความยาว

(3) หมายเลขการหลอมแต่ละครั้ง หรือเครื่องหมายอื่นใดที่แสดงถึงการหลอมแต่ละครั้ง

(4) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

หมายเหตุ การแจ้งรายละเอียดตามข้อ 7.1(1) และ (4) ต้องไม่ลบเลือนง่าย

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เหล็กโครงสร้างแบบ ชั้นคุณภาพ ขนาดและความหนาเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด ความหนา ความยาว ความได้ฉาก ความโก่ง ระยะเยื้องศูนย์ ความเว้าของลำตัว และความได้ฉากของปลายตัด

8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ท่อน

8.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.1 และข้อ 4.2 จึงจะถือว่าเหล็กโครงสร้างรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป

8.2.2.1 ใช้ตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 8.2.1.2 แล้วทั้ง 3 ท่อน มาตัดปลายใดปลายหนึ่ง ยาวประมาณ 1.50 เมตร ท่อนละ 1 แห่ง เพื่อทดสอบลักษณะทั่วไป

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.1 จึงจะถือว่าเหล็กโครงสร้างรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี และสมบัติทางกล

8.2.3.1 ใช้ตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 8.2.2.2 แล้วทั้ง 3 แท่ง นำมา 1 แท่งตัดเป็นชิ้นทดสอบ 2 ชิ้น เพื่อทดสอบส่วนประกอบทางเคมี 1 ชิ้น และทดสอบสมบัติทางกล 1 ชิ้น และสำรองไว้เพื่อทดสอบซ้ำอีก 2 แท่ง

8.2.3.2 ชิ้นทดสอบต้องเป็นไปตามข้อ 5.1 และข้อ 6.2 แล้วแต่กรณี จึงจะถือว่าเหล็กโครงสร้างรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

หากตำแหน่งที่ขาดอยู่ห่างจากจุดพิกัดที่อยู่ใกล้ น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวพิกัด ให้ทดสอบใหม่โดยใช้ชิ้นทดสอบใหม่อีก 1 ชิ้นจากตัวอย่างแท่งเดียวกัน

หากชิ้นทดสอบไม่เป็นไปตามข้อ 6.2.1 ให้นำตัวอย่างสำรองอีก 2 แท่งไปเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ แท่งละ 1 ชิ้น แล้วนำไปทดสอบซ้ำ ผลการทดสอบซ้ำต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 ทุกชิ้น จึงจะถือว่าเหล็กโครงสร้างรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเหล็กโครงสร้างต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 ข้อ 8.2.2.2 และข้อ 8.2.3.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าเหล็กโครงสร้างรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. การทดสอบ

9.1 ขนาด ความหนา ความยาว ความได้ฉาก ความโก่ง ระยะเยื้องศูนย์ ความเว้าของลำตัว และความได้ฉากของปลายตัด

9.1.1 A B H และความหนา

9.1.1.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตรสำหรับวัดมิติ A B และ H และเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตรสำหรับวัดความหนา

9.1.1.2 วิธีวัด

ให้วัด ณ บริเวณที่ห่างจากปลายทั้งสองไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร และตรงกลาง

9.1.1.3 การรายงานผล

รายงานค่าที่วัดได้ทุกค่า

9.1.2 ความยาว

วัดความยาวของตัวอย่างด้วยสายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร และยาวพอที่จะวัดความยาวของเหล็กโครงสร้างหนึ่งท่อนได้โดยตลอดในครั้งเดียว

มอก.1227-2537

9.1.3 ความโค้งฉาก

9.1.3.1 เครื่องมือ

(1) เหล็กฉาก ที่ขาด้านยาวมีความยาวมากกว่าด้านที่จะวัด

(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.1.3.2 วิธีทดสอบ

(1) วางตัวอย่างบนพื้นราบและเรียบ ให้ด้าน B ตั้งฉากกับพื้น

(2) วัดความกว้างของด้าน B เป็นมิลลิเมตร

(3) วางเหล็กฉากให้ขาด้านยาวตั้งฉากกับพื้น และเลื่อนเหล็กฉากให้ขอบมาสัมผัสกับผิวตัวอย่างด้านที่จะวัด

(4) วัดระยะห่างตั้งฉากระหว่างปลายตัวอย่างกับขอบของเหล็กฉากเป็นมิลลิเมตร (T)

9.1.3.3 วิธีคำนวณ

คำนวณค่าความโค้งฉาก จากสูตร

$$\text{ความโค้งฉาก ร้อยละ} = \frac{T}{B} \times 100$$

9.1.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความโค้งฉากเป็นร้อยละ

9.1.4 ความโก่ง

9.1.4.1 เครื่องมือ

(1) เส้นด้ายที่มีความยาวมากกว่าความยาวของตัวอย่าง

(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.1.4.2 วิธีวัด

(1) วางตัวอย่างบนพื้นราบ ให้ด้านใดด้านหนึ่งแนบกับพื้นราบ และวัดความยาวของตัวอย่างเป็นมิลลิเมตร (L)

(2) ขึงเส้นด้ายระหว่างปลายทั้งสองของด้านที่อยู่ในแนวตั้ง และวัดระยะห่างตั้งฉากที่มากที่สุดระหว่างเส้นด้ายกับผิวตัวอย่างในแนวนอนเป็นมิลลิเมตร (c)

(3) กลับตัวอย่างให้ด้านอื่นวางแนบกับพื้นราบ และทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 9.1.4.2(2) จนครบทุกด้าน

9.1.4.3 วิธีคำนวณ

คำนวณค่าความโก่ง จากสูตร

$$\text{ความโก่ง ร้อยละ} = \frac{c}{L} \times 100$$

9.1.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความโก่งที่มากที่สุดเป็นร้อยละ

9.1.5 ระยะเยื้องศูนย์

9.1.5.1 เครื่องมือ

ไม้บรรทัดเหล็กที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.1.5.2 วิธีวัด

วัดระยะระหว่างขอบของปีกกับผิวของลำตัวทั้ง 2 ด้านเป็นมิลลิเมตร (b_1 และ b_2 ตามลำดับ)

9.1.5.3 วิธีคำนวณ

คำนวณระยะเยื้องศูนย์ จากสูตร

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์ มิลลิเมตร} = \frac{b_1 - b_2}{2}$$

9.1.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าระยะเยื้องศูนย์ที่มากที่สุดเป็นมิลลิเมตร

9.1.6 ความเว้าของลำตัว (เฉพาะเหล็กรูปตัวเอช)

9.1.6.1 เครื่องมือ

(1) เส้นด้าย

(2) ไม้บรรทัดเหล็กที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.1.6.2 วิธีวัด

(1) วางตัวอย่างบนพื้นราบ ให้ปีกตั้งฉากกับพื้นราบ

(2) ขึงเส้นด้ายระหว่างมุมที่ชนกันระหว่างปีกกับลำตัวทั้ง 2 มุม โดยให้เส้นด้ายตั้งฉากกับด้านปีก และวัดระยะห่างที่มากที่สุดในแนวดิ่งระหว่างเส้นด้ายตั้งฉากกับผิวตัวอย่างเป็นค่าความเว้าของลำตัว

9.1.6.3 การรายงานผล

รายงานค่าความเว้าของลำตัวที่มากที่สุดเป็นมิลลิเมตร

9.1.7 ความโค้งฉากของปลายตัด (เฉพาะเหล็กรูปตัวเอช)

9.1.7.1 เครื่องมือ

(1) เหล็กฉาก ที่ขาด้านยาวมีความยาวมากกว่าด้านที่จะวัด (B หรือ H)

(2) ไม้บรรทัดเหล็ก ที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.1.7.2 วิธีวัด

(1) วางตัวอย่างให้ด้านใดด้านหนึ่งวางอยู่บนพื้นราบและเรียบ

(2) วัดความกว้างของด้านที่ตั้งฉากกับพื้นเป็นมิลลิเมตร (B หรือ H)

(3) วางเหล็กฉากให้ขาด้านยาวตั้งฉากกับพื้น และเลื่อนเหล็กฉากให้ขอบมาสัมผัสกับผิวหน้าของปลายตัดของตัวอย่าง

(4) วัดระยะห่างตั้งฉากระหว่างปลายตัวอย่างกับขอบของเหล็กฉากเป็นมิลลิเมตร (e)

9.1.7.3 วิธีคำนวณ

คำนวณความโค้งฉากของปลายตัด จากสูตร

$$\text{ความโค้งฉากของปลายตัด ร้อยละ} = \frac{e}{\text{B หรือ H}} \times 100$$

9.1.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าความโค้งฉากของปลายตัดที่มากที่สุดเป็นมิลลิเมตรและเป็นร้อยละของ B หรือ H

9.2 ส่วนประกอบทางเคมี

9.2.1 วิธีวิเคราะห์

ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไปหรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า

9.2.2 การรายงานผล

รายงานผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง

9.3 ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด

9.3.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบแรงดึง ที่สามารถจ่ายแรงได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องโดยตลอดในอัตราเร็วที่กำหนด

9.3.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

9.3.2.1 ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นทดสอบด้วยกรรมวิธีทางกล ตามแนวยาวของเหล็กโครงสร้างตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 1 เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยไม่ทำให้อุณหภูมิของชิ้นทดสอบสูงขึ้นมากเกินไป มี

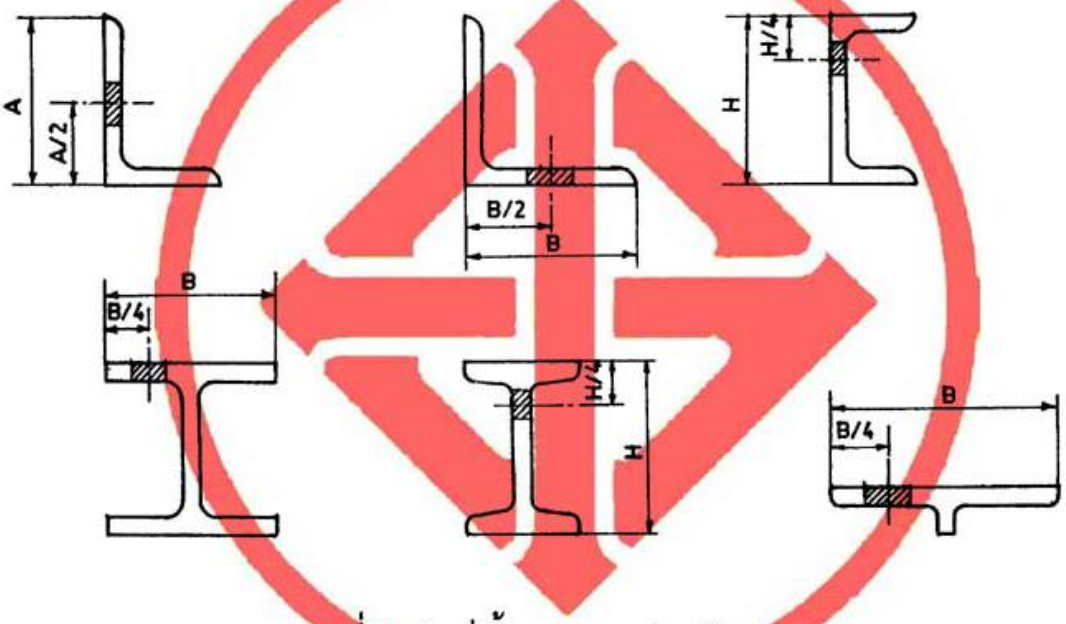
อัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาไม่เกิน 8 : 1 แล้วทำเป็นชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างและมิติตามตารางที่ 13

หมายเหตุ ถ้าไม่สามารถตัดตัวอย่างตามตำแหน่งที่กำหนดในรูปที่ 1 ได้ ให้ตัดตัวอย่างใกล้ตำแหน่งที่กำหนดเท่าที่จะทำได้ และในกรณีเหล็กรูปตัวเอชที่ไม่สามารถตัดตัวอย่างตามรูปที่ 1 ได้ ให้ตัดตัวอย่างตามตำแหน่งของเหล็กรูปตัวไอ

9.3.2.2 ชิ้นทดสอบต้องเป็นไปตามสภาพเดิมของเหล็กโครงสร้าง โดยไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนแต่อย่างใด ถ้าจะทำให้ตรงให้ใช้วิธีตัดเย็น และถ้ามีการบิดโค้งมากเกินไปให้ตัดทิ้ง

9.3.3 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติตาม มอก.244 เล่ม 4

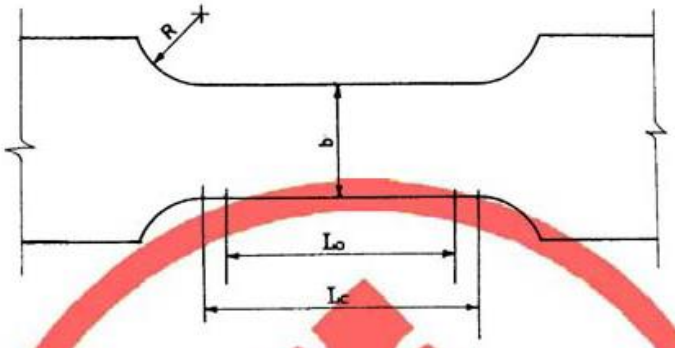


รูปที่ 1 ตำแหน่งชิ้นทดสอบตามรูปภาคตัด

(ข้อ 9.3.2.1)

ตารางที่ 13 รูปร่างและมิติของชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด

(ข้อ 9.3.2.1)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนา	ความกว้างของส่วนขนาน b	ความยาวพิกัด L_o	ความยาวของส่วนขนาน L_c	รัศมีส่วนโค้งของบ่า R ต่ำสุด
ไม่เกิน 6	25 ± 0.7	50 ± 5	ประมาณ 60	15
เกิน 6	40 ± 0.7	200 ± 20	ประมาณ 220	25

ภาคผนวก ก.
การคำนวณพื้นที่หน้าตัด
(ข้อ 4.1)

ก.1 การคำนวณพื้นที่หน้าตัด (a) เป็นตารางเซนติเมตรของเหล็กโครงสร้าง คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้ แล้วปัดเศษให้เหลือเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

ก.1.1 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กฉาก

ก.1.1.1 ขาเท่ากัน

$$a = \frac{t(2A - t) + 0.215(r_1^2 - 2r_2^2)}{100}$$

ก.1.1.2 ขาไม่เท่ากัน

$$a = \frac{t(A + B - t) + 0.215(r_1^2 - 2r_2^2)}{100}$$

ก.1.2 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูปตัวไอ

$$a = \frac{Ht_1 + 2t_2(B - t_1) + 0.615(r_1^2 - r_2^2)}{100}$$

ก.1.3 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูปรางน้ำ

$$a = \frac{Ht_1 + 2t_2(B - t_1) + 0.349(r_1^2 - r_2^2)}{100}$$

ก.1.4 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูปตัวเอช

$$a = \frac{t_1(H - 2t_2) + 2Bt_2 + 0.858r^2)}{100}$$

ก.1.5 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูปตัวที

$$a = \frac{Bt_2 + 0.307r_1^2 + 482.6}{100}$$

ภาคผนวก ข
เหล็กที่ขายในท้องตลาดตามมาตรฐานเหล็ก

SIAM YAMATO STEEL

STEEL TABLE

THAI STANDARD

Steel you can trust

PRODUCT SPECIFICATIONS

(Structural Steel and Steel Sheet Pile)

SPECIFICATIONS

Type of Product	Classifications		Mechanical Properties								
			Yield Point (min.) N/mm²		Tensile Strength	Elongation % (min.)			Impact	
			Thickness		N/mm²	Thickness (min.)			Temp. °C	Energy J (min.)
			t ≤ 16 mm	t > 16 mm		t<5	5≤t≤16	t > 16	t ≥ 12 mm	
Structural Steel	TIS 1227-2558 (2015)	SS400	245	235	400-510	21	17	21	-	-
		SS490[A]	285	275	490-610	19	15	19	-	-
		SS540	400	390	540 min.	16	13	17	-	-
		SM400	245	235	400-510	23	18	22	0	27
		SM490[A]	325	315	490-610	22	17	21	0	27
		SM520	365	355	520-640	19	15	19	0	27
		SM570[A]	460	450	570-720	19	19	26	-5	47
Steel Sheet Pile	TIS 1390-2539 (1996)	SY295	295		490 min.	17			-	-
		SY390	390		540 min.	15			-	-

Remark A-กรุณาติดต่อ SYS เพื่อขอคำแนะนำเพิ่มเติม สำหรับรายการนี้
(Please contact us in advance for these items)
-การดัดงอเย็น สำหรับชิ้นงานกลุ่ม SS400, SS490 และ SS540
(Bend test on material grades SS400, SS490 and SS540)

PRODUCT SPECIFICATIONS

(Structural Steel and Steel Sheet Pile)

SPECIFICATIONS

Type of Product	Classifications		Chemical Compositions (ladle analysis), %										
			C (max.)	Si (max.)	Mn	P (max.)	S (max.)	Cu (less than)	Ni (less than)	Cr (less than)	Mo (less than)	Ti (less than)	B (less than)
Structural Steel	TIS 1227-2558 (2015)	SS400	-	-	-	0.050	0.050	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SS490	-	-	-	0.050	0.050	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SS540	0.30	-	1.60 max.	0.040	0.040	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SM400	0.20	0.35	0.60-1.40	0.035	0.035	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SM490	0.18	0.55	1.60 max.	0.035	0.035	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SM520	0.20	0.55	1.60 max.	0.035	0.035	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008
		SM570	0.18	0. 55	1.60 max.	0.035	0.035	0.40	0.30	0.30	0.08	0.05	0.0008

Type of Product	Classifications		Chemical Compositions (ladle analysis), %		
			P (max.)	S (max.)	Cu (min.)
Steel Sheet Pile	TIS 1390-2539 (1996)	SY295	0.040	0.040	0.25
		SY390	0.040	0.040	0.25

เหล็กและวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในประเทศไทย

Type of Steel	Standard	Grade	Yield Strength Min. (MPa)	Tensile Strength Min. (MPa)
Structural Steel	TIS 1227	SS400	235	400–510
		SM520	355	520–640
Plate	TIS 1479	SS400	235	400–510
	TIS 1499	SM520B	355	520–640
	ASTM A572	A572 Gr.50	345	450
	BS EN	S355JR	345	470–630
Bolt	ASTM F568M	Class 4.6 (A307)	240	400
		Class 8.8 (A325)	660	830
		Class 10.9 (A490)	940	1040
	JIS 1186	F10T / S10T	900	1000–1200
Welding Electrode	AWS A5.1	E60xx	330	414
		E70xx	400	482

***High Strength Grade**

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจีราพร เดชเดชากร
วัน เดือน ปี เกิด	20 มกราคา 2528
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิชาเอกบรรณรักษศาสตร์และสารสนเทศศาสตร์ วิชาโทภาษาอังกฤษ
ที่อยู่ปัจจุบัน	33/9 หมู่บ้านพฤกษาวิลล์ 63/2 หมู่ 4 ต.บางไผ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000