การศึกษาการใช้ “Ruby Script” ในการสร้างรายละเอียดเหล็กเสริม สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Reinforcement Detailing for Reinforced Concrete Structures using “Ruby Script”

จักรี ติยะวงศ์สุวรรณ[1*]

Chakkree Tiyawongsuwan[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพฯ 10160

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์0-2807-4500-27ต่อ327อีเมล์ :chakkreet@sau.ac.th

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรม “SketchUp” เพื่อเขียนรายละเอียดเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น การเสริมเหล็กฐานรากแบบต่างๆคานพื้น และจุดต่ออาคาร เพื่อให้เห็นลักษณะการเสริมเหล็กของโครงสร้างชนิดต่างๆ ในรูปแบบสามมิติทำให้สามารถเข้าใจการเสริมเหล็กได้มากขึ้น ต่างจากการอ่านแบบวิศวกรรมสองมิติ ที่แสดงด้วยรูปแปลน รูปด้าน รูปตัด และรูปขยาย ทำความเข้าใจกับแบบยากกว่า และกรณีโครงสร้างมีการเสริมเหล็กที่มีความซับซ้อน การทำความเข้าใจโครงสร้างจากแบบสองมิติอาจไม่เพียงพอ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการนำเสนอการแสดงภาพแบบสามมิติในการเขียนรายละเอียดเหล็กเสริมงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสามมิติ แม้จะมีความยุ่งยากมากกว่า เมื่อใช้ภาษา “Ruby Script” เข้ามาช่วยสร้างแบบจำลองก็สามารถลดความยุ่งยากลง ทำได้อย่างรวดเร็วมีพิกัดถูกต้องแม่นยำ สามารถแก้ไขแบบจำลองสามมิติได้สะดวกและเมื่อทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา ก็สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์

คำสำคัญ: รายละเอียดเหล็กเสริม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ภาษา Ruby Script โปรแกรม SketchUp

Abstract This paper presents the application of “Ruby Script” in “SketchUp” software to create detailing of reinforcement of reinforced concrete structures in three-dimensional models, such as reinforced steel of foundations, beams, floor slabs, and joints. This method displays reinforcement patterns of reinforced concrete structure in three-dimensional views which helps us understand the reinforced structure better than two-dimensional engineering drawing. A two-dimensional models only illustrates views of plans, sides, cross sections, and details, which result in more difficult to understand the drawings. In addition, the two-dimensional drawing may not be insufficient for the case of complex reinforced concrete structures. Therefore, this study proposes on illustration in three-dimensionalviews of reinforcement detailing in reinforced concrete structure. The application of “Ruby Script” creating the models can minimize the complications of work. This script can process the model quickly and precisely. The three-dimensional

model can be conveniently edited. Furthermore, when this created model is tested with a smart phone application, it can display the results precisely and completely.

***Keywords*:** Reinforced Steel Details, Reinforced Concrete Structures, Ruby Script, SketchUp

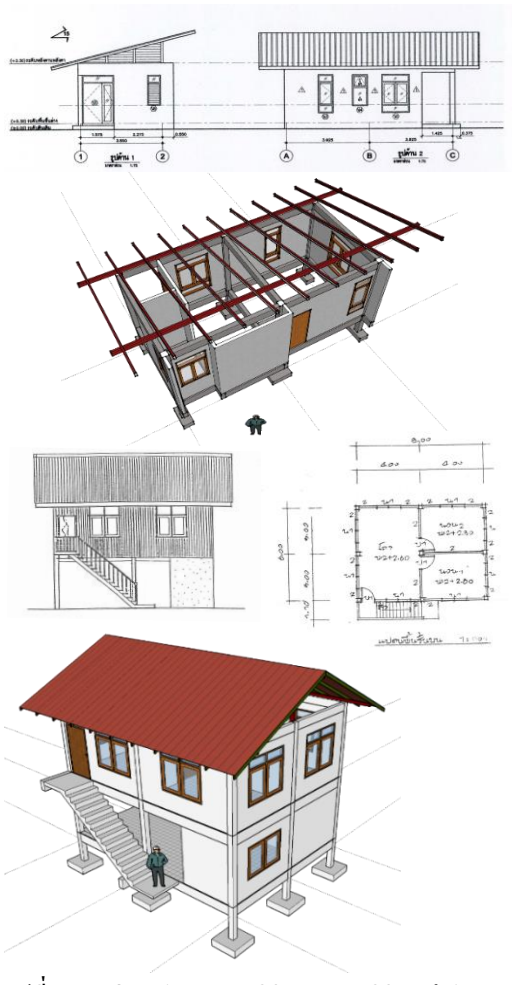
1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการก่อสร้าง การออกแบบและการเขียนแบบก่อสร้างได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้แบบก่อสร้างที่ใช้ในการก่อสร้างปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น แบบก่อสร้างที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างถูกปรับเปลี่ยนไปตามยุคสมัย แต่บางครั้งจากความซับซ้อนของรายเหล็กเสริมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้แบบก่อสร้างเกิดความผิดพลาดตกหล่นในส่วนของแบบ หรือส่วนของแบบขยายนั้นไม่ชัดเจน มีรายละเอียดไม่ครบถ้วน ทำให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง เช่น ผู้รับเหมาเจ้าของงาน ไม่สามารถเห็นรายละเอียดขอเหล็กเสริมที่ถูกต้องของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือทำให้มีความเข้าใจไม่ตรงกันตามแบบก่อสร้าง ทำให้เกิดปัญหาในการดำเนินการก่อสร้าง หรือเสริมเหล็กไม่ถูกต้องตามเจตนาของผู้ออกแบบเมื่อก่อสร้างออกมาแล้วอาจได้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างไม่แข็งแรงตามที่ต้องการ จึงมีความจำเป็นที่ควรจะมีการศึกษารายละเอียดของการเสริมเหล็กในโครงสร้าง เพื่อให้ได้การก่อสร้างที่ถูกต้อง อีกทั้งยังต้องสามารถควบคุมโครงการก่อสร้าง จึงควรทำการศึกษาขั้นตอนวิธีการและการตรวจสอบแบบรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีความถูกต้อง โดยเฉพาะข้อมูลรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต่าง ๆ

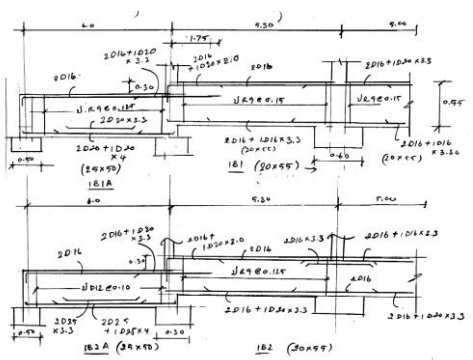
ในการทำแบบจำลองสามมิติของอาคารด้วยคอมพิวเตอร์จึงได้เริ่มมีบทบาทในการนำเสนอแบบจำลองของอาคารก่อนจะทำการก่อสร้างจริงดังแสดงในรูปที่ 1 ได้ทดลองการนำเสนอแบบจำสองสามมิติในมุมมองของสถาปัตย์ของแบบบ้าน [1] ปัจจุบันยังได้มีการทำแบบจำลองสามมิติทางด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่น โยธา เครื่องกล และไฟฟ้า เป็นต้น ในการนำเสนอของวิศวกรรมโยธาจะเป็นแสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนอาคารต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นอาคารเช่น คาน เสา แผ่นพื้น ฐานราก และโครงเหล็กหลังคา เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองสามมิติในการแสดงแบบการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตเหล็กได้จากโครงสร้างที่ใช้แบบสองมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2 ต้องอาศัยทักษะความชำนาญในการอ่านแบบก่อสร้างและทำรายการเสริมเหล็ก (Bar-Cut List) ปัจจุบันมีโปรแกรมที่สามารถช่วยในการสร้างแบบจำลองสามมิติของเหล็กเสริมหลายบริษัทเป็นทางเลือกให้ใช้งานได้ตามกำลังทุนของแต่ละบริษัท

โปรแกรม “Autodesk Revit” [2] เป็นโปรแกรมสำหรับใช้งานช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ โดยใช้หลักการสร้างระบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือการสร้างรูปแบบจำลองข้อมูลของอาคาร (Building Information Modeling) แทนการเขียนแบบสิ่งที่จะได้ติดตามมาคือ แบบก่อสร้าง รายการประกอบแบบต่างๆ ภาพทัศนียภาพ และถอดแบบวัสดุก่อสร้างอย่างคร่าวๆ ได้ รูปแบบของการใช้งานจะเป็นสามมิติดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3

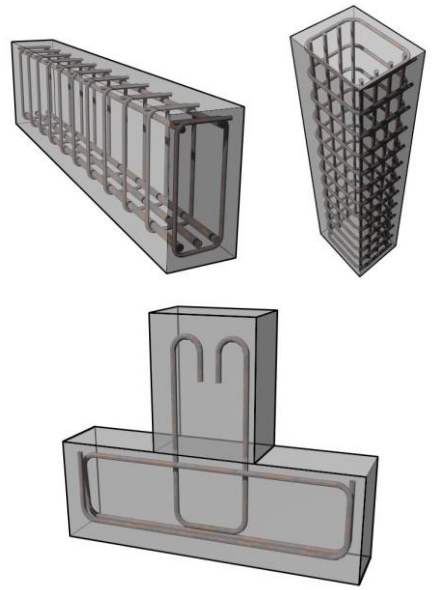
โปรแกรม ArchiCAD เป็นโปรแกรมออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรม รวมทั้งงานระบบการก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า BIM (Building Information Modeling) หรือการจำลองการก่อสร้างอาคารที่ออกแบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์โดยผลที่ได้รับจะแตกต่างจากการเขียนแบบสองมิติหรือการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยผู้ใช้งานสามารถทราบถึงปริมาณ จำนวนและพื้นที่-



รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบสองมิติ และสามมิติจากโปรแกรม “SketchUp” [3]



รูปที่ 2 ตัวอย่างแสดงรายละเอียดการเขียนภาพร่างการ-เสริมเหล็กในคานต่อเนื่อง

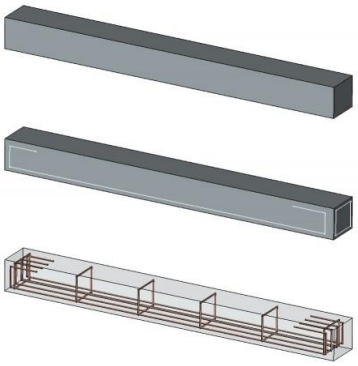


รูปที่ 3 การสร้างเหล็กเสริมด้วยโปรแกรม “Revit” [4]

ต่างๆ ได้ [5] ส่วน “Eptar Reinforcement” [6] เป็นโปรแกรมเสริมสำหรับใส่เหล็กเสริมในอาคาร สำหรับ “ArchiCAD” โปรแกรมมีเครื่องมือในการช่วยเขียนแบบทั้งสองมิติและสามมิติได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4

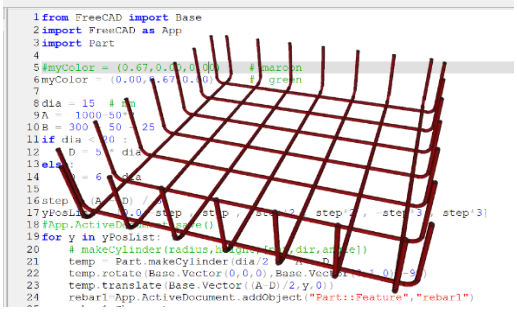
รูปที่ 4 ตัวอย่างเหล็กเสริมที่สร้างด้วยโปรแกรมเสริม “eptar” [6]

โปรแกรม “FreeCAD” เป็นโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติที่ปรับค่าตัวแปรของวัตถุได้ ใช้งานสร้างแบบจำลองสามมิติทางด้านเครื่องกล และสามารถใช้สร้างวัตถุงานสถาปัตยกรรม ในส่วนของโมดูล “Arch” ที่ใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรมสามารถสร้าง-



รูปที่5 การสร้างเหล็กเสริมด้วยโปรแกรม “FreeCAD” [7]

แบบจำลองสามมิติของเหล็กเสริมได้ แต่ยังเป็นอย่างง่าย ที่ยังไม่ถูกต้องตามมาตรฐานอยู่ระหว่างการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองแสดงในรูปที่5 แต่สามารถสร้างวัตถุที่มีลักษณะเป็นพาราเมตริกออบเจ็คท์ได้ด้วยภาษาสคริปต์ไพธอน จะได้เหล็กเสริมตามมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 6



```
from FreeCAD import Base
import FreeCAD as App
import Part

#myColor = (0.67,0.00,0.00)    # maroon
myColor = (0.00,0.67,0.00)    # green

dia = 15  # mm
A = 1000-50
B = 300-50-25
if dia < 20 :
    D = 5 * dia
else :
    D = 6 * dia

step = (A-D) / 2.0
yPosList = [0.0, step, step*2, step*3, step*4]
#App.ActiveDocument.recompute()
for y in yPosList:
    # makeCylinder(radius,height,[pnt,dir,angle])
    temp = Part.makeCylinder(dia/2, A-D)
    temp.rotate(Base.Vector(0,0,0),Base.Vector(0,1,0),90)
    temp.translate(Base.Vector(D/2,y,0))
    rebar1=App.ActiveDocument.addObject("Part::Feature","rebar1")
```

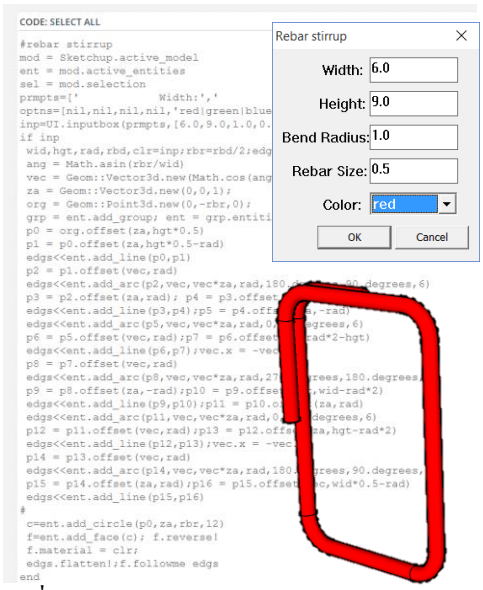
รูปที่ 6 การสร้างเหล็กเสริมด้วยภาษาสคริปต์ไพธอนของโปรแกรม “FreeCAD” [3]

สเกตช์อัป (SketchUp) [8] เป็นซอฟต์แวร์ในการพัฒนาวัตถุสามมิติ ใช้ในงานสถาปัตยกรรม วิศวกรรม ออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบเกมส์ และงานออกแบบอื่นๆ ทำงานผ่านระบบสามมิติ ออกแบบโดยบริษัท @Last Software ปัจจุบันบริษัท Trimble Navigation ได้เข้าซื้อกิจการของ “SketchUp” มีการพัฒนาเป็นรุ่นปัจจุบันคือ “SketchUp Pro 2016” ข้อดีของ “SketchUp” คือการใช้งานที่ง่ายและสะดวกเมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ สามมิติอื่นๆ ปัจจุบัน “SketchUp” มีอยู่ 2 รุ่น คือ “SketchUp Pro” และ “SketchUp Make” ซึ่งโปรแกรมหลังนี้สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีและรวมถึงมีความสามารถการใช้ภาษา “Ruby Script” เพื่อช่วยสร้างแบบจำลองได้อีกด้วย

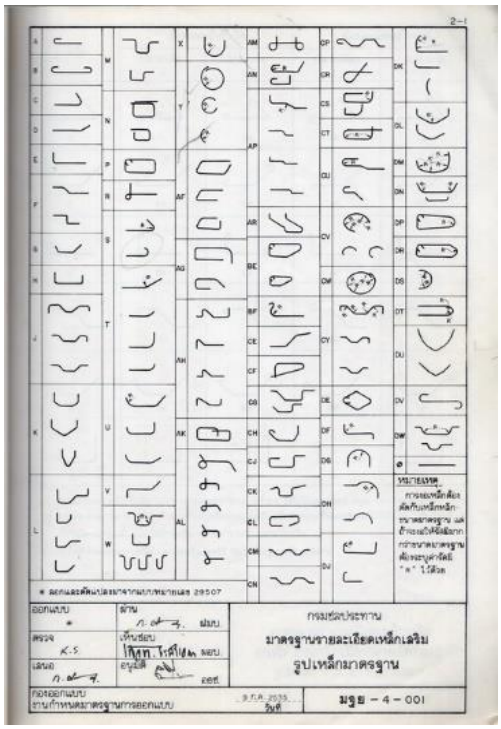
ภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรม “SketchUp” ทำให้ผู้ใช้สามารถเขียนส่วนเสริม (Plugin) เพิ่มความสามารถในการทำงานของโปรแกรมได้ ซึ่งข้อได้เปรียบของการเขียนสคริปต์ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ และคำสั่งในการควบคุมโปรแกรม “SketchUp” คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า “Ruby” ซึ่งเป็นภาษาเชิงวัตถุ(Object Oriented Programming)ในลักษณะอินเทอร์พรีเตอร์ (แปลผลทีละบรรทัด) ร่วมกับ “SketchUp API” เพื่อทำการควบคุมโปรแกรม “SketchUp” ในบางครั้งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของโปรแกรม “SketchUp” จะถูกเรียกว่าสคริปต์ (รหัสคำสั่งหรือคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมโปรแกรมในรูปแบบ Text File) หรืออาจเรียกว่า “Ruby Script” เพราะถูกเขียนด้วยพื้นฐานโครงสร้างภาษา Ruby และไฟล์ “Ruby Script” จะเป็นไฟล์นามสกุลลงท้ายด้วย .rb หรือ .rbs (ไฟล์ที่มีรหัสเพื่อป้องกันการแก้ไข) และสคริปต์นี้จะช่วยเขียนชิ้นส่วนสำหรับเมื่อมีการออกแบบที่ซับซ้อน สร้างชิ้นส่วนประกอบเล็กๆ และการสร้างวัตถุแบบเดียวกันแบบซ้ำๆ มีเพียงตำแหน่งที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้สคริปต์ช่วยเขียนในลักษณะนี้จะง่ายกว่าการเขียนรูปแบบสามมิติโดยตรงSdmitch [9] ได้นำเสนอสคริปต์สำหรับเขียนเหล็กปลอกดังแสดงในรูปที่ 7

กรมชลประทาน [10] ได้จัดทำเอกสารมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต โดยกำหนดวิธีการเขียนแบบการเสริมเหล็กให้มีระบบที่ถูกต้องเพื่อความสะดวกในการแสดงและถอดเหล็ก

เสริม ในเอกสารได้แสดงภาพแบบรายละเอียดของเหล็กเสริมมาตรฐานทรงต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 การสร้างเหล็กเสริมด้วยภาษาสคริปต์ Ruby ของโปรแกรม “SketchUp” [9]



รูปที่ 8 รูปเหล็กเสริมมาตรฐานทรงต่างๆ [10]

2. หลักการ

หลักการในการสร้างรายละเอียดการเสริมเหล็กเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปแบบ สามมิตินี้ มีความจำเป็นต้องเข้าใจในส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ การเขียนแบบรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบจำลองสามมิติของโปรแกรม “SketchUp” และภาษา “Ruby Script”

แบบรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งได้จากการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้วัสดุในการทำการก่อสร้างซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลัก 2 ชนิดคือ คอนกรีตและเหล็กเสริมบทความนี้ครอบคลุมเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปไม่รวมลวดเหล็กรับแรงดึง ผลลัพธ์ของการออกแบบทำให้ได้รายละเอียดของโครงสร้างคอนกรีตซึ่งปรากฏอยู่ในแบบโครงสร้างเพื่อใช้ทำการก่อสร้างก่อสร้างต่อไป ในส่วนของรายละเอียดของโครงสร้างต้องมีรายละเอียดที่สมบูรณ์ชัดเจนและง่ายต่อการอ่าน เช่น ขนาด ชนิด ตำแหน่งของเหล็กเสริมจึงควรระบุรายละเอียดเขาไปให้สมบูรณ์เพื่อผู้สร้างสามารถเข้าใจแบบได้มากที่สุดปัจจุบันส่วนใหญ่การวิเคราะห์และออกแบบปัจจุบันมักใช้คอมพิวเตอร์ รวมถึงการเขียนแบบการงานก่อสร้างในปัจจุบัน โดยมากมักอาศัยโปรแกรมเขียนแบบ CAD

การแสดงผลของแบบก่อสร้าง สองมิติแบบดั้งเดิม และสามารถแสดงผลเป็นแบบ สามมิติเพื่อทำให้แบบก่อสร้างมีความชัดเจนและเข้าใจแบบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบก่อสร้างที่เป็นรายละเอียดของจุดต่อซึ่งมีความเข้าใจได้ยาก ก็จะมีความชัดเจนมากขึ้นประกอบกับการพัฒนาทางสถาปัตยกรรมสามมิติคอมพิวเตอร์กราฟิกเริ่มเป็นที่นิยมในการออกแบบงานก่อสร้างอาคาร การใช้คอมพิวเตอร์สร้างภาพจำลอง และเสนอผลงานแก่ลูกค้าก่อนที่จะมีการสร้างงานจริง ทำให้ให้ลูกค้าสามารถเห็นรูปร่างและรูปภาพของอาคารหรือ

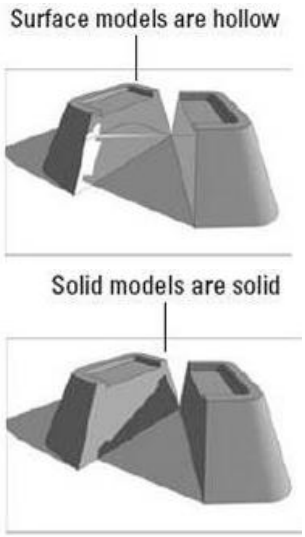
สิ่งก่อสร้างที่จะสร้าง เพื่อปรับความเข้าใจและการสร้างสามมิติก็สะดวกกว่าในสมัยก่อนมาก

แบบจำลอง สามมิติของโปรแกรม “Sketch-Up” มีแนวคิดในการออกแบบขึ้นรูปโมเดลของโปรแกรมเน้นหนักไปที่ความง่ายในการขึ้นรูป เพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถถ่ายทอดแนวความคิดในการออกแบบให้ออกมาได้อย่าง รวดเร็วที่สุด และมีขั้นตอนน้อยที่สุด ประกอบกับความยืดหยุ่นในการปรับแต่งโดยง่ายในลักษณะของการทำแบบร่างใน กระบวนการออกแบบโดยทั่วไป

แนวคิดของการขึ้นรูปโมเดลใน “SketchUp” จะแตกต่างจากโมเดลในโปรแกรม สามมิติอื่นๆ ซึ่งมีส่วนทำให้โมเดลที่ขึ้นรูปใน “SketchUp” นั้น มีความง่ายและปรับเปลี่ยนได้ง่าย กล่าวคือลักษณะของโมเดลใน “SketchUp” จะมีลักษณะแบบวัตถุแบบแผ่นแทนที่จะเป็นลักษณะแบบวัตถุทึบตันซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการแก้ไขได้ง่ายโดยที่ไม่มีการเพิ่มพื้นผิวเพิ่มเติมแต่อย่างใด อาจจะกล่าวได้ว่าลักษณะของ โครงสร้างในการสร้างโมเดลของโปรแกรม “SketchUp” นั้นเป็นการสร้างหรือขึ้นรูปทรงจากเส้น (Line) เป็นหลักหรือในที่นี้เรียกว่าเส้นขอบ (Edge) และมีการตรวจสอบว่าเส้นขอบดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นที่มีการปิดให้เกิดแผ่นระนาบหรือไม่ หากมีการปิดของเส้นขอบจนเกิดแผ่นระนาบก็จะมีการสร้างแผ่นพื้นผิว (Face) ขึ้นมาโดยอัตโนมัติ สำหรับแผ่นระนาบเดิมที่มีอยู่หากมีการขีดเส้นพาดลงไปแล้วแบ่งพื้นที่ออกจากกันก็จะมีการแยกระนาบนั้นออกทันที และหากมีการลบ เส้นนั้นทิ้ง ระนาบดังกล่าวก็จะเชื่อมกันดังเดิม สะดวกต่อการเขียนและแก้ไขแบบจำลองอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 9

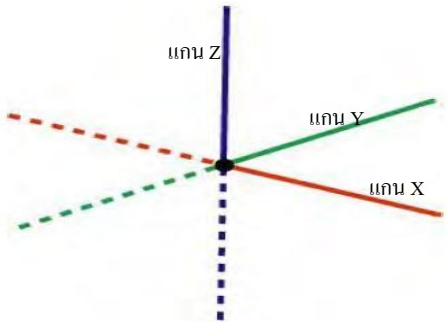
การทำงานสร้างโมเดลใน “SketchUp” จะเป็นการทำงานบนระบบ สามมิติ ไปพร้อมๆ กัน ซึ่งมีแนวแกนที่ใช้ควบคุมในพื้นที่ การทำงานแยกออกเป็น 3 แนวแกนสีแดง จะแทนแนวแกน X, สีเขียวจะแทนแนวแกน Y และ สีน้ำเงินจะแทนแนวแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งสีแนวของแนวแกนทั้งสามนี้จะมีผลอย่างมากในการกำหนดระนาบของโมเดลที่สร้างขึ้นมา การกำหนดมุมมองต่างๆ ยังสามารถเลือกการแสดงได้จาก View Toolbar เปิดเครื่องมือได้จาก View > Toolbar > Views

นอกจากนี้การสร้างโมเดลในโปรแกรม “SketchUp” ยังมีความง่ายด้วยความช่วยเหลือของเครื่องมือที่มีความฉลาดในการจับไปยังจุดต่างๆ หรือระนาบที่ต้องการได้ซึ่งเรียกวา “Inference Engine” โดยที่เครื่องมือนี้จะมีการทำงานเมื่อมีการใช้คำสั่งสร้างหรือแก้ไขวัตถุต่างๆ



รูปที่ 9 แนวคิดของการขึ้นรูปโมเดลใน “SketchUp” [11]

ภาษา “Ruby” ที่ใช้ทำงานร่วมกันกับโปรแกรม “SketchUp” เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะเป็นอินเทอร์พรีเตอร์เหมือนกับภาษาเพิร์ล ภาษาไพธอนและภาษาจาวา เป็นต้น โดยเป็นภาษาเชิงวัตถุที่มีรูปแบบภาษาที่ง่าย (Simple Syntax) สั้นกระชับ และไม่ซับซ้อน โครงสร้างภาษาไรนรูปแบบเฉพาะ ทำความเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว



รูปที่ 10 การทำงานบนแกนในระบบสามมิติของโมเดลใน “SketchUp” [11]

“SketchUp Ruby API” เป็น API (Application Programming Interface) ที่ติดตั้ง (Embedded) อยู่ในโปรแกรม “SketchUp” เพื่อให้ผู้ใช้งานหรือนักพัฒนาโปรแกรมสามารถเขียนสคริปต์เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมนอกเหนือไปจากคำสั่งพื้นฐานเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม “SketchUp” ควรใช้เครื่องมือหรือซอฟท์แวร์สำหรับช่วยในการเขียนสคริปต์ที่เรียกว่าโปรแกรม Text Editor ที่มีความสามารถในการสนับสนุนการทำงานที่เอื้ออำนวยต่อการเขียนหรือแก้ไขสคริปต์ซึ่งประกอบด้วยรหัสคำสั่งที่มีความสลับซับซ้อน ยกตัวอย่าง การเน้นคำด้วยเฉดสีในรหัสคำสั่ง การย่อหรือซ่อนบรรทัดของรหัสคำสั่งการเปิดและแสดงเอกสารหลายไฟล์พร้อมกัน หรือการค้นหาหรือการแทนที่คำในรหัสคำสั่งเอกสารหลายไฟล์พร้อมกัน เป็นต้นสำหรับการตรวจสอบความผิดพลาดของสคริปต์ที่จะพัฒนาภาษา Ruby รวมกับ “Ruby SketchUp API” เพื่อใช้เป็นโปรแกรมเสริมสำหรับโปรแกรม “SketchUp” ควรทำโดยการตรวจสอบผ่านเครื่องมือ “Ruby Console” ในโปรแกรม “SketchUp” เนื่องจาก “Debugger” อื่นๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบรหัสคำสั่งที่พัฒนาด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Ruby อาจไม่รู้จัก “Ruby SketchUp API” ที่ถูกติดตั้งอยู่ในโปรแกรม “SketchUp Ruby Console” เป็นเครื่องมือในโปรแกรม “SketchUp” อยู่ในเมนู Window > Ruby Console ใช้สำหรับป้อนคำสั่งและฟังก์ชั่นของ “Ruby Script API” โดย “Ruby Console” จะรองรับ การป้อนคำสั่งหรือสคริปต์ทีละบรรทัด ในกรณีที่สคริปต์มีความซับซ้อนหรือมีจำนวนหลายบรรทัด ควรใช้วิธีการสร้างสคริปต์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ จากนั้นจึงเรียกใช้งานไฟล์ดังกล่าวจาก “Ruby Console” ด้วยคำสั่ง “1oad”

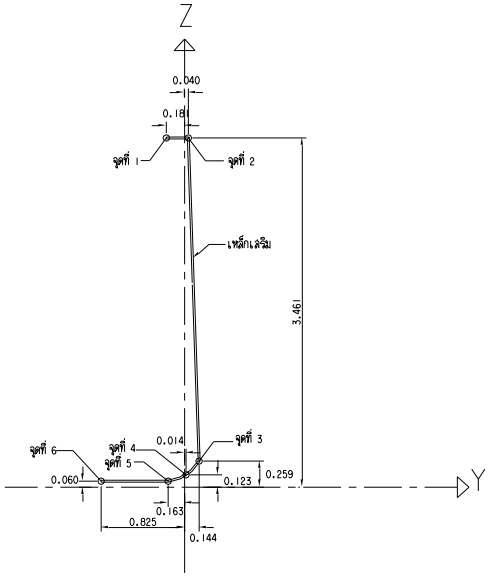
3. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง สามมิติของรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

งานวิจัยนี้มีแนวทางในการสร้างแบบจำลองสามมิติมีโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ โปรแกรม “DraftSight” สำหรับเขียนแบบ สองมิติ และโปรแกรม “SketchUp 2015” ทั้ง 2 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการ “MS. Windows 8.1 (64 bit)” จากนี้ยังทดสอบแบบจำลอง สามมิติผ่านเครื่อง Android Mobile ซึ่งแบ่งขั้นการสร้างแบบจำลองแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลแบบรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาข้อมูลของแบบรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดต่างๆ เช่น คาน เสา ฐานราก กำแพงกันดิน เป็นต้น เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการเสริมเหล็ก รายละเอียดในแบบ แบบขยายทั้งขนาดของโครงสร้างและตำแหน่งซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วแบบก่อสร้างในปัจจุบันก็ถูกเขียนด้วยโปรแกรมเขียนแบบในกลุ่มของโปรแกรม CAD อยู่แล้วทำให้สะดวกที่จะทำการแยกรายละเอียดรูปร่างและลักษณะของเหล็กเสริม โดยการถอดเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก (Bar-Cut List) ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งต้องพิจารณาไปถึงการตัดเหล็ก การต่อทาบ การดัดเหล็ก

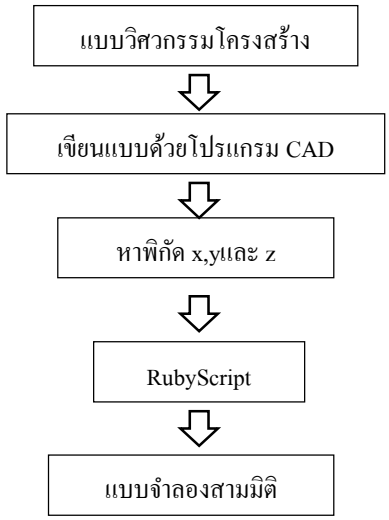
การประกอบและการติดตั้งเหล็กเสริมในโครงสร้างต้องมีความเข้าใจแบบก่อสร้าง แบบขยายโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้เกิดความแข็งแรงถูกต้องตรงกับความต้องการของวิศวกรผู้ออกแบบงานเสริมเหล็กในโครงสร้างนั้น



รูปที่ 11 ตัวอย่างการเขียนรูปเหล็กเสริมแยกออกเป็นชิ้นอ้างอิงแกน (Z,Y) [12]

จากแบบในโปรแกรม CAD เพื่อให้หาพิกัดของวัตถุ (เหล็กเสริม) ได้สะดวกขึ้น เพื่อนำพิกัดของวัตถุที่ได้มาป้อนลงใน “Ruby Script” สุดท้ายเปิดโปรแกรม “SketchUp” แล้วใช้ “Ruby Console” เรียกชุดคำสั่งที่ได้เขียนไว้ใน “Ruby Script” จะได้วัตถุเป็นรูปของเหล็กเสริมขึ้นมาตามจำนวนทำให้ได้แบบจำลองสามมิติของเหล็กเสริมในโครงสร้างเพื่อนำไปประกอบกับโครงคอนกรีตเพื่อให้ได้แบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์

จากแบบในโปรแกรม CAD เพื่อให้หาพิกัดของวัตถุ (เหล็กเสริม) ได้สะดวกขึ้น เพื่อนำพิกัดของวัตถุที่ได้มาป้อนลงใน “Ruby Script” สุดท้ายเปิดโปรแกรม “SketchUp” แล้วใช้ Ruby Console เรียกชุดคำสั่งที่ได้เขียนไว้ใน “Ruby Script” จะได้วัตถุเป็นรูปของเหล็กเสริมขึ้นมาตามจำนวนทำให้ได้แบบจำลองสามมิติของเหล็กเสริมในโครงสร้างเพื่อนำไปประกอบกับโครงคอนกรีตเพื่อให้ได้แบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์ ดังแสดงขั้นตอนเป็นแผนภาพในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ขั้นตอนการทำแบบจำลองสามมิติ

3.2 ขั้นตอนการการทดลองสร้างวัตถุสามมิติในโปรแกรม “SketchUp”

เมื่อรวบรวมข้อมูลรายละเอียดพร้อมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียด ส่วนประกอบต่างๆ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อนำมาสู่การออกแบบงานก่อสร้างสามมิติ ทำรายการแสดงเหล็ก (Bar Cut List) ของเหล็กเสริมใช้โปรแกรม “SketchUp” มาช่วยงานแสดงในรูปแบบของสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งจะแสดงขั้นตอนในการก่อสร้างเป็นภาพสามมิติภาพเสมือนจริง งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเขียนด้วยเครื่องมือโดยปกติของโปรแกรม “SketchUp” แต่มีความยุ่งยากมากเกินไป และในบทความนี้จะไม่กล่าวถึงการเขียนแบบจำลองโดยวิธีดังกล่าวนี้

3.3 ขั้นตอนการการทดลองสร้างวัตถุสามมิติในโปรแกรม “SketchUp”โดยใช้ “Ruby Script”

รายละเอียดรายการแสดงรายละเอียดของเหล็กเสริม (Bar Cut List) จากโปรแกรม CAD ทำให้ได้รูปเหล็กเสริมแยกออกเป็นชิ้น โดยให้มีแกนอ้างอิงแกนเดียวกันกับรูปตัดที่เขียนไว้แล้วให้ระยะระหว่างแกนอ้างอิงทั้งสองถึงจุดของวัตถุทุกจุดที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 11 จากรูปของตำแหน่งเหล็กเสริมแบบสองมิติจะสามารถทราบค่าพิกัดที่ต้องการได้ โดยพิกัดของวัตถุจุดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 อ่านค่าจากข้อมูลของวัตถุเส้นที่เขียนในโปรแกรม CAD แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดของจุดบนเหล็กเสริมที่อ่านได้จากโปรแกรมเขียนแบบ

จุดที่	x, ม	y, ม	z, ม
1	0.075	0.181	3.461
2	0.075	-0.040	3.461
3	0.075	-0.144	0.259
4	0.075	-0.144	0.123
5	0.075	0.163	0.060
6	0.075	0.825	0.060

เขียนคำสั่ง “drawFilletPolyline” พร้อมกับระบุขนาดเหล็กเสริมและความโค้งของการงอเหล็กใน “Ruby Script” โดยป้อนพิกัดทั้ง 6 จุดที่หามาได้ แล้วใช้ “Ruby Console” เรียกชุดคำสั่ง “mainsteel1” ที่ได้เขียนไว้ใน “Ruby Script” จะได้วัตถุสามมิติขึ้นมา 1 ชิ้นดังสคริปต์แสดงในรูปที่ 13 เมื่อเรียกใช้งานคำสั่งนี้จะได้แบบจำลองของเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 15 (ก)

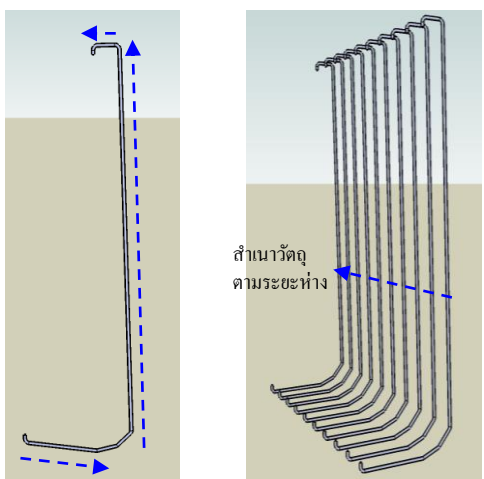
กรณีที่เป็นเหล็กรูปเดียวกันวางเรียงกันหลายๆ เส้น เช่น RB19@ 0.30 m. สามารถสั่งให้ทำซ้ำในทิศตามแนวแกนที่ต้องการได้ โดยเขียนคำสั่งใน “Ruby Script” เรียกชุดคำสั่ง “verticalRebarmainsteel1” ที่ได้เขียนไว้ใน “Ruby Script” จะได้วัตถุสามมิติขึ้นมา 10ชิ้น และเขียนเหล็กเสริมชิ้นอื่นๆ จนครบตามต้องการจะได้แบบจำลองสามมิติดังสคริปต์แสดงในรูปที่ 14 เมื่อเรียกใช้งานคำสั่งนี้จะได้แบบจำลองของเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 15 (ข) หลังจากที่ดำเนินการเขียนส่วนคำสั่งของเหล็กเสริมอื่นจนครบทุกชิ้นของกำแพงกันดันจะได้แบบจำลองของเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 16

```
def   mainsteel1
pts = Array.new
    pt1=Geom::Point3d.new(0.075.m,0.181.m,3.461.m)
    pt2=Geom::Point3d.new(0.075.m,-0.040.m,3.461.m)
    pt3=Geom::Point3d.new(0.075.m,-0.144.m,0.259.m)
    pt4=Geom::Point3d.new(0.075.m,-0.014.m,0.123.m)
    pt5=Geom::Point3d.new(0.075.m,0.163.m,0.060.m)
    pt6=Geom::Point3d.new(0.075.m,0.825.m,0.060.m)
pts = [pt1,pt2,pt3, pt4 ,pt5,pt6]
drawFilletPolyline( pts , 2*19.mm, 19.mm)
end
```

รูปที่ 13 รหัสคำสั่ง “mainsteel1” สำหรับสร้างเหล็กเสริม

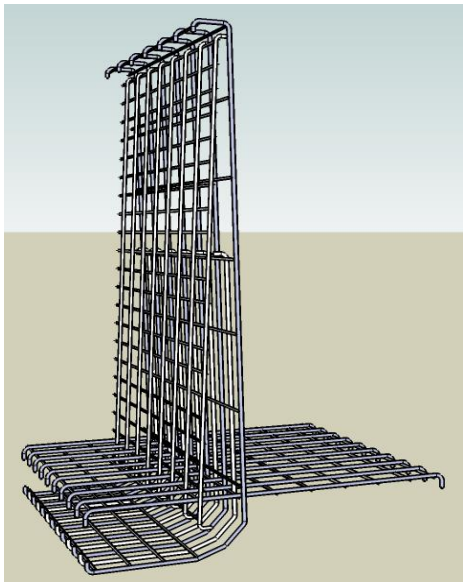
```
def  verticalRebarmainsteel1
spacing = 30.cm
   rebar1 = mainsteel1
1.upto(9) {  |i|
x1 = i * spacing
      group2 = rebar1.copy
point = Geom::Point3d.new x1, 0 , 0
      t = Geom::Transformation.new point
      group2.move! t
   }
end
```

รูปที่ 14 รหัสคำสั่ง “verticalRebarmainSteel1” สำหรับสร้างเหล็กเสริมหลักเป็นชุดตามระยะห่างที่กำหนด



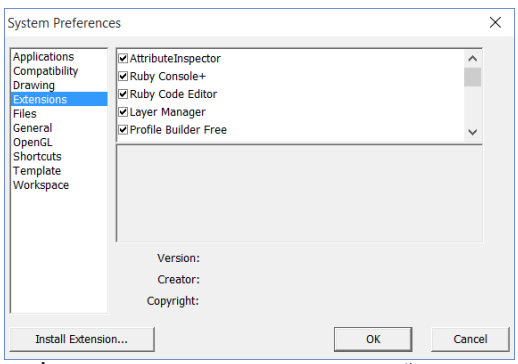
(ก) เหล็กเสริม-“mainsteel1” (ข) กลุ่มเหล็กเสริม “mainsteel1”-ตามระยะห่างที่กำหนด

รูปที่ 15 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการเสริมเหล็กสามมิติของโครงสร้างกำแพงกันดินด้วยสคริปต์

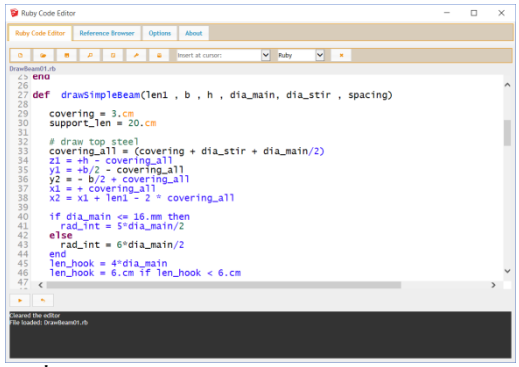


รูปที่ 16 แบบจำลองการเสริมเหล็กสามมิติของโครงสร้างกำแพงกันดิน

เนื่องจากโปรแกรมเสริมมีผู้พัฒนาปีนจำนวนมากจึงขอแนะนำสคริปต์ช่วยในการการเริ่มต้นเขียนเหล็กเสริม สำหรับส่วนเสริมใช้ในเขียนคำสั่งแนะนำใช้ “Ruby Code Editor” [13] ทำการติดตั้งโดยเรียกผ่านไดอะล็อกบ็อกซ์ “System Preferences” ดังแสดงในรูปที่ 17 ผ่านการคลิ๊กปุ่ม “Install Extension…” เมื่อติดตั้งแล้วจะแสดงการใช้งานแก้ไขคำสั่งดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 17 ไดอะล็อกบ็อกซ์แสดงส่วนการติดตั้งส่วนเสริมใน “SketchUp” และแสดงรายการส่วนเสริมที่ติดตั้งแล้ว

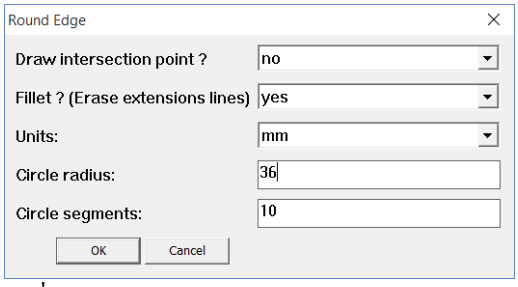


รูปที่ 18 ไดอะล็อกบ็อกซ์ของส่วนเสริม “Ruby Code Editor” ใช้แก้ไขคำสั่งและทดสอบการทำงานของคำสั่ง

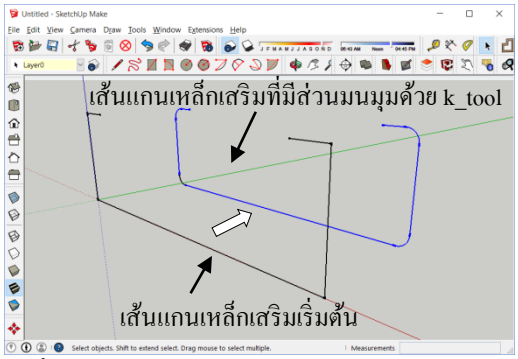
การสร้างแบบจำลองเหล็กเสริมแนะนำใช้ส่วนเสริมสองชุดทำงานร่วมกันดาวน์โหลดได้ที่ “ruby libraly depot” [14] โดยคำสั่งการจัดทำส่วนโค้งการดัดของเหล็กเสริมตามมาตรฐานงานคอนกรีตเสริมเหล็กจากส่วนเสริม “k tool 51” และการสร้างทรงกระบอกตามเส้นต่อเนื่องที่เป็นตัวแทนของเหล็กเสริมด้วยคำสั่งของส่วนเสริม“PipeAlongPath” ทั้งสองส่วนนี้จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .rb ให้สำเนาไฟล์ไปไว้ที่โฟลเดอร์ C:\Users\<user_name>\AppData\Roaming\SketchUp\SketchUp 2015\SketchUp\Plugins เมื่อเรียกใช้งานโปรแกรม “SketchUp” ก็จะทำการเรียกใช้งานส่วนเสริมโดยอัตโนมัติ

เมื่อเรียกใช้งานคำสั่ง “k tool/Round Edge” จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ดังแสดงในรูปที่ 19 โดยผู้ใช้จะต้องทำการป้อนข้อมูลสร้างสร้างส่วนโค้ง เช่น การแสดงจุดตัด การแสดงเส้นขยาย หน่วย รัศมี จำนวนส่วนโค้ง เมื่อทำการมนมุมของเส้นแกนเหล็กเสริมตัวอย่างจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 20

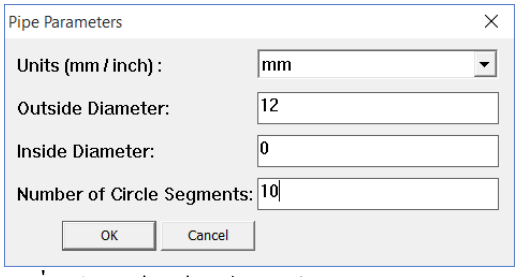
หลังจากได้แนวเส้นแกนของเหล็กเสริมแล้วจะทำการสร้างผิวของทรงกระบอกครอบเส้นแกนเพื่อเป็นตัวแทนของเหล็กเสริมโดยจะเรียกคำสั่งของ “PipeAlongPath” จะได้ไดอะล็อกบ็อกซ์ดังแสดงในรูปที่ 21 และผลการใช้คำสั่งจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 22



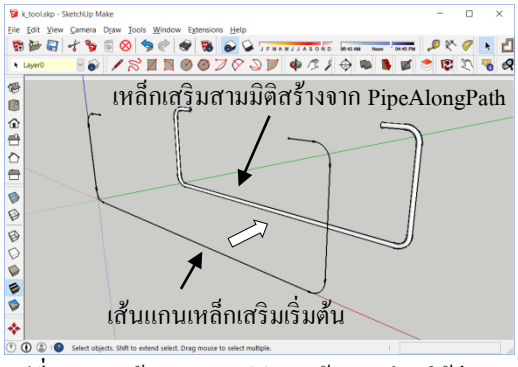
รูปที่ 19 ไดอะล็อกบ็อกซ์จากสคริปต์ “k_tool”



รูปที่ 20 การทำส่วนโค้งที่มุมเหล็กเสริมด้วย “k_tool”



รูปที่ 21 ไดอะล็อกบ็อกซ์เรียกใช้ “PipeAlongPath”



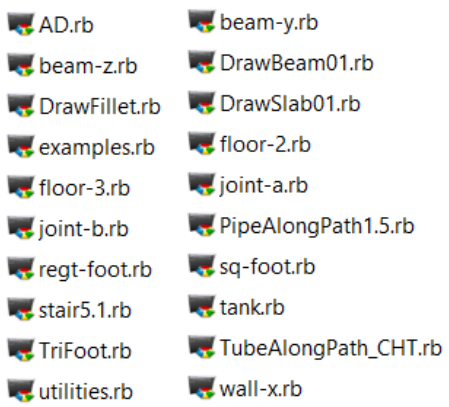
รูปที่ 22 การสร้างวัตถุสามมิติจากเส้นแกนโดยใช้ส่วนเสริม “PipeAlongPath”

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

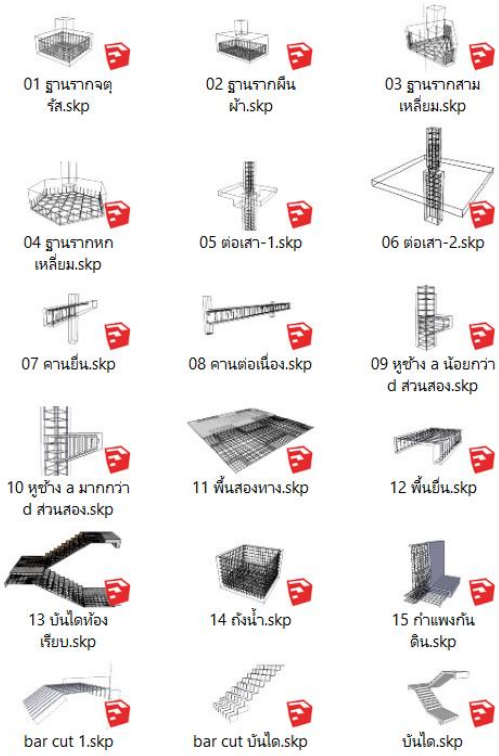
จากผลการดำเนินการวิจัย จะได้สคริปต์คำสั่งสำหรับสร้างเหล็กเสริมของส่วนโครงสร้างอาคารต่างๆ เช่น คาน เสา บันได พื้น ฐานราก เป็นต้น โดยผลการทดสอบการใช้งาน “Ruby Script” ในการสร้างแบบจำลองสามมิติอภิปรายดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบ

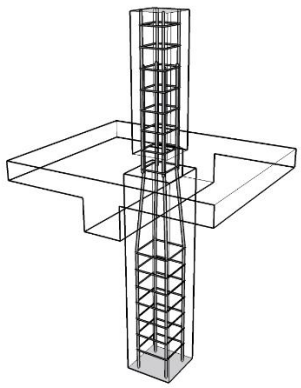
จากการประยุกต์ใช้ภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรมเพื่อใช้เขียนแบบจำลองสามมิติแสดงเหล็กเสริมในงานคอนกรีตโครงสร้าง จะได้กลุ่มคำสั่ง “Ruby Script” แสดงรายชื่อตามชื่อไฟล์สคริปต์ในรูปที่ 23 และเมื่อทำการเรียกคำสั่งจะได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองดังแสดงรายการตัวอย่างไฟล์ของแบบจำลองเหล็กเสริมในรูปที่ 24 เมื่อพิจารณาในรายละเอียดภาพขยายของแบบจำลองยกตัวอย่างในรูปที่ 25 ถึงรูปที่ 29 หลังจากนั้นทดสอบนำแบบจำลองอัพโหลดไปแสดงที่ “3DWareHouse” ดังแสดงในรูปที่ 30 และเมื่อติดตั้งแอพพลิเคชันสำหรับสมาร์ทโฟนสำหรับดูไฟล์สามมิติจะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 30 และรูปที่ 31



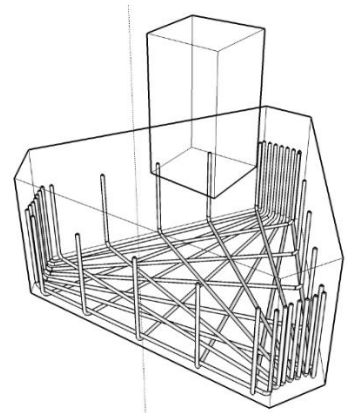
รูปที่ 23 รายชื่อไฟล์คำสั่งสคริปต์ภาษา Ruby ที่ใช้สร้างเหล็กเสริม



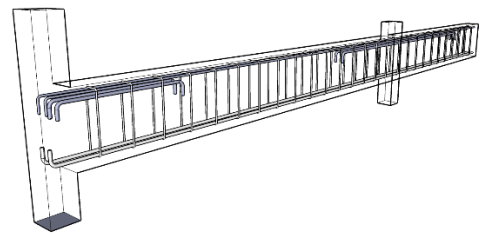
รูปที่ 24 แบบจำลองเหล็กเสริมต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้น



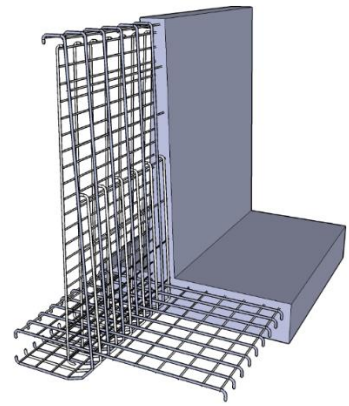
รูปที่ 25 การต่อเหล็กเสา



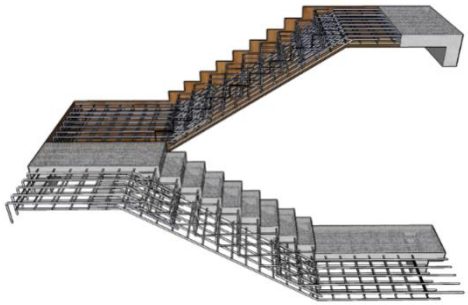
รูปที่ 26 ตัวอย่างการเสริมเหล็กโครงสร้างฐานราก



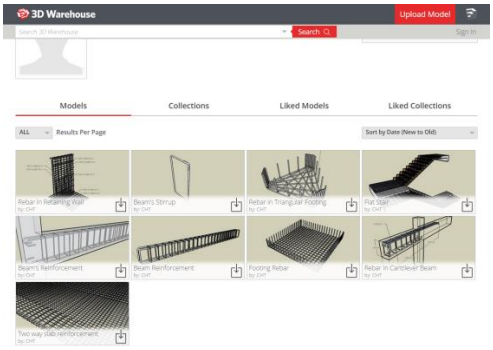
รูปที่ 27 ตัวอย่างการเสริมเหล็กโครงสร้างคาน



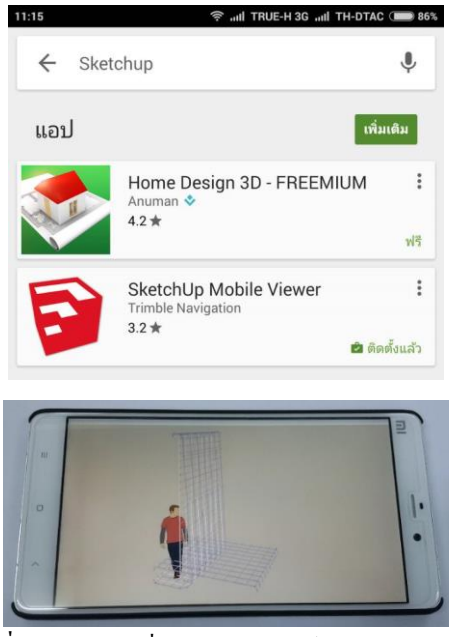
รูปที่ 28 ตัวอย่างการเสริมเหล็กโครงสร้างกำแพงกันดิน



รูปที่ 29 ตัวอย่างการเสริมเหล็กโครงสร้างบันได



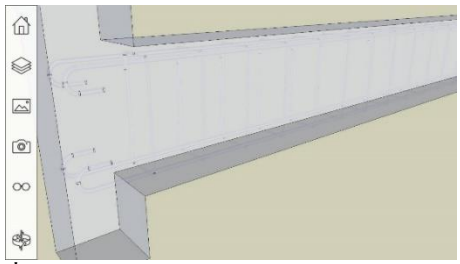
รูปที่ 30 การนำเสนอหรือเผยแพร่แบบจำลองผ่าน “3D Warehouse”



รูปที่ 31 แอพพลิเคชั่นสำหรับเปิดไฟล์ “SketchUp”บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาที่พบในการแสดงผลเหล็กเสริมในแอพพลิเคชั่นสำหรับโทรศัพท์สมาร์ทโฟนยังมีปัญหาการมองเห็นเหล็กเสริมที่ไม่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32 ปัญหาการมองเห็นของเหล็กเสริมไม่ชัดเจนในแอพพลิเคชั่นสำหรับโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

2. การใช้ ภาษา “Ruby Script” ในการเขียนแบบจำลองสามมิติ (3D Model) จำเป็นต้องเข้าใจในหลักการเขียนคำสั่งของภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรม “SketchUp” จึงจะสามารถเขียนแบบจำลองสามมิติได้และจะสามารถประยุกต์การใช้งานได้สูงสุด

3. แบบจำลองสามมิติจะถูกสร้างขึ้นบนแกนอ้างอิง X, Y และ Z จึงต้องมีการอ่านพิกัดของวัตถุทุกชิ้นแบบจำลองบางชิ้นมีการอ่านพิกัดของวัตถุมากกว่า 1,000 ครั้งทำให้ไม่สามารถคำนวณได้ จึงต้องใช้โปรแกรม CAD ช่วยในการเขียนรูปสองมิติ เพื่อหาพิกัดที่ถูกต้องก่อน

4. การหาพิกัดของรูปการเสริมเหล็กแบบสองมิติโดยใช้โปรแกรม CAD จะต้องเขียนภาพประกอบการเสริมเหล็กในตำแหน่งที่ถูกต้องแบบสองมิติขึ้นมาก่อนแล้วจึงจะแยกเหล็กเสริมออกเป็นชิ้น เพื่อหาพิกัด X, Y และ Z ของแต่ละจุดของวัตถุทุกชิ้น

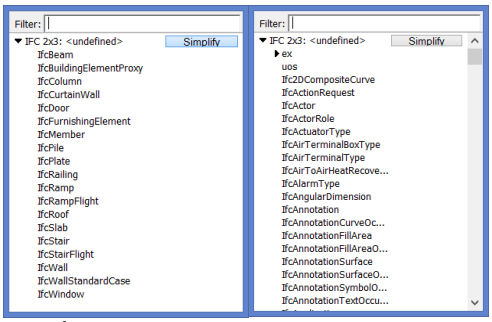
5. ควรส่งเสริมให้มีการพัฒนาการใช้ภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรม “SketchUp” ให้เชื่อมโยงและสามารถใช้พิกัดสองมิติจากโปรแกรม CAD นำมาสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติ (3D Model) ในโปรแกรม

“SketchUp” ได้ทันทีโดยไม่ต้องป้อนพิกัดในคำสั่งภาษา “Ruby Script” อีกครั้ง

6. ควรพัฒนาส่วนของคำสั่ง “Ruby Script” ให้สามารถทำงานสร้างเหล็กเสริมได้โดยไม่ต้องใช้งานโปรแกรมเสริม “k_tool” และ “PipeAlongPath”

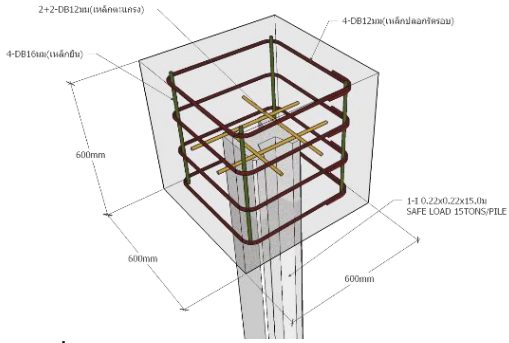
7. ควรทำการศึกษาการนำเหล็กเสริม(Rebar)ไปประกอบเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น ฐานราก เสา และคานเป็นต้น แล้วทำการตั้งเป็นคอมโพเนนท์ที่มีค่าปริมาณของวัสดุเก็บเพื่อนำไปใช้งานในการประมาณราคาและวางแผนการก่อสร้างต่อไป

8. ควรทำการศึกษาการส่งออกแบบจำลองเป็นไฟล์ IFC เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเบื้องต้น โดยทำการศึกษาขีดความสามารถของการกำหนดข้อมูล IFC ตามความสามารถของโปรแกรม “SketchUp” ดังแสดงรายชื่อของชิ้นส่วน IFC ในไดอะล็อกในรูปที่ 33 หรือเอกสารอ้างอิง [15]



รูปที่ 33 แท็กชนิดของข้อมูล IFCใน “SketchUp”

9. ควรจัดสร้างคอมโพเนนท์สำเร็จรูปสำหรับการใช้งานทางด้านอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 34 ตามแนวทางของการใช้งานสารสนเทศอาคาร [16]



รูปที่ 34 คอมโพเนนท์ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

5. สรุปผล

จากการประยุกต์ใช้ภาษา “Ruby Script” ในโปรแกรม “SketchUp” เพื่อใช้เขียนแบบจำลองสามมิติ (3D Model) แสดงเหล็กเสริมในงานคอนกรีตโครงสร้าง ทำให้สามารถเขียนแบบจำลองสาม [1] ของเหล็กเสริมได้รวดเร็วและง่ายขึ้นกว่าการเขียนจากคำสั่งสำเร็จในโปรแกรม “SketchUp” อีกทั้งตำแหน่งของวัตถุในแบบจำลอง จะมีพิกัดที่ถูกต้องแม่นยำกว่าการใช้คำสั่งสำเร็จที่มีอยู่ในโปรแกรม “SketchUp”

ผลที่ได้จากการเขียนแบบจำลองสามมิติของเหล็กเสริมนี้ทำให้มองเห็นการจัดตำแหน่งเหล็กเสริมได้อย่างชัดเจน สามารถหมุนแบบจำลองสามมิติดูได้โดยรอบ และขยายมุมมอง (Zoom) ดูในจุดที่ต้องการทราบลักษณะการวางของเหล็กเสริมได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณย่าแปลก เหมือนปิ่ว ห้องปฏิบัติการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ บริษัทบีเอ็นเอ็นดีไซน์แอนด์คอนซัลแตนท์ จำกัด อนุเคราะห์โปรแกรม “SketchUp” และผู้ประเมินบทความ ซึ่งให้ข้อคิดเห็นและความรู้แก่ผู้เขียนบทความเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณ ผศ.จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ ทำให้บทความนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] C.Tiyawongsuwan. (2558, December) Design of Reinforced Concrete Structures(SAU). [Online]. https://www.facebook.com/reinforced.concrete.design/(in Thai).

[2] Department of Provincial Administration, Construction House Drawings.: n.p., n.d. (in Thai).

[3] Wikipedia. (2014, September) Revit.[Online]. https://th.wikipedia.org/wiki/เรฟวิต (in Thai).

[4] H.Vasshaug. (2012) Autodesk® Revit® as a Tool for Modeling Concrete Reinforcement. [Online]. https://hvasshaug.files.wordpress.com/2014/12/se4240-autodeskc2ae-revitc2ae-as-a-tool-for-modeling-concrete-reinforcement1.pdf

[5] Eptar. (2014) [EPTAR] REINFORCEMENT 1.33 User Guide. [Online]. http://www.eptar.hu/cad_content/reinforcement/userguide/Eptar_Reinforcement_userguide_2014.pdf

[6] S.Tipthaveechai. ArchiCAD18: Thai Manual. [Online]. http://www.applicadthai.com/pages/archicad18-thai-manual/ (in Thai).

[7] FreeCAD. (2014, Dec) FreeCADDocumentation. [Online].http://www.freecadweb.org/wiki/index.php?title=Arch_Rebar

[8] SketchUp. [Online]. http://www.sketchup.com/

[9] Sdmitch. (2015, Jan) Drawing Rebar Details. [Online].http://sketchucation.com/forums/viewtopic.php?f=15&t=60851

[10] Royal Irrigation Department, Standard Specification for Concrete Reinforcement. n.p.: n.p.,1992 (in Thai).

[11] SketchUp Design Modeling. (2012, July) Scribd. [Online].https://www.scribd.com/doc/270660426/sketchup1-120607023929-phpapp01-pdf (in Thai).

[12] C.Panyasan, N.Peindee, and S.Phraiwan, "An Application of Computer Program for Reinforced Concrete Construction", Southeast Asia University, Bangkok, Student's Project 2006 (in Thai).

[13] Alexander C. Schreyer. (2013, April) Extension Warehouse. [Online]. https://extensions.sketchup.com/en/content/ruby-code-editor

[14] D.Bur. (2015, Jan) Ruby Library Depot: Plus-ins for SketchUp. [Online]. http://rhin.crai.archi.fr/rld/

[15] J.Bunjongsiri and A.Sritong, "The Conceptual Study of Building Information Modeling from SketchUp", in Proc. *SAU National Interdisciplinary Conference 2015*, Bangkok, 2015. [Online]. http://saunic2015.sau.ac.th/ (in Thai).

[16] The Association of Siamese Architects under Royal , Thailand BIM Guideline. Bangkok: Plus Press, 2015 (in Thai).

ประวัติผู้ประพันธ์ :

จักรี ติยะวงศ์สุวรรณ :สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท (วศ.ม.วิศวกรรมโครงสร้าง) มหาวิทยาลัยขอนแก่นปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่คอมพิวเตอร์สำหรับงานวิศวกรรมโยธา