

การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณ น้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น

Development of Building Information Modeling (BIM) Tools to Calculate the Stormwater Runoff in Preliminary Design Stage

รับบทความ	30/04/2020
แก้ไขบทความ	07/06/2020
ยอมรับบทความ	16/06/2020

ภัทรพล วัชรเมธากุล อรรถจัน เศรษฐบุตร

ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pattarapol Watcharamaethakul, Atch Sreshthaputra

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

Pattarapol.watc@gmail.com, Atch.S@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาน้ำท่วมขังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว อาทิเช่น กรุงเทพมหานคร ทำให้ในปัจจุบันมีเกณฑ์ในการออกแบบต่าง ๆ เช่น เกณฑ์ประเมินอาคารเขียว LEED เกณฑ์ประเมินอาคารเขียว TREES และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการการระบายน้ำฝนไม่ให้ท่วมขังภายในพื้นที่ โดยมีแนวคิดของเกณฑ์ในการออกแบบคือ การให้น้ำภายในพื้นที่ของโครงการให้ได้ปริมาณ หรืออัตราการไหลที่สามารถชะลอน้ำภายในโครงการให้น้ำภายนอกโครงการระบายลงสู่ระบบสาธารณะได้ทัน ทำให้มีความจำเป็นในการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝนในปัจจุบัน เช่น การคำนวณมือ การใช้ตาราง Microsoft Excel หรือการใช้โปรแกรมเฉพาะทาง (SWMM, WinSLAMM, Autodesk Storm and Sanitary) มีความซับซ้อน และยุ่งยากแก่นักออกแบบ อีกทั้งยังต้องใช้ความรู้ด้านการจัดการน้ำฝนเพื่อใช้งานเครื่องมือ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เข้ามาใช้ในการออกแบบโครงการต่าง ๆ โดยโปรแกรมที่ได้รับความนิยมมากในประเทศไทย ได้แก่ โปรแกรม Revit ซึ่งภายในจะมีโปรแกรมเสริม Dynamo ที่มีความสามารถในการดึงข้อมูลจากแบบจำลองโปรแกรม Revit มาใช้ในการคำนวณข้อมูลทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน ทำให้ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกพัฒนาเครื่องมือเสริมโดยใช้โปรแกรม Revit และโปรแกรมเสริม Dynamo ที่สามารถคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากได้อย่างอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการศึกษาจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การสำรวจความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน การพัฒนาเครื่องมือเสริม และทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนา และการถอดปริมาณพื้นที่จากโปรแกรม Revit เพื่อนำมาคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel ปรากฏว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ $\pm 2.52\%$ ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณพื้นที่จากชุดคำสั่งภายในโปรแกรม Dynamo ที่มีจำกัด ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณภายในโปรแกรมเสริม Dynamo 2.3

คำสำคัญ: ปริมาณน้ำฝนไหลหลาก แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น

Abstract

Currently, flooding is a problem that occurs frequently. Which mostly occurs in developed areas such as Bangkok. Which makes various design criteria, such as LEED, TREES and EIA, with the concept of design criteria to delay water within the project area so water outside the project area could be discharged to the public system in time. It is necessary to calculate the amount of stormwater runoff volume and discharge rate. The stormwater runoff volume calculation tools nowadays, such as manual calculations, Microsoft Excel worksheets or using the stormwater management programs, are complex and complicated for designers. It also requires knowledge of stormwater management to use these tools. Currently, the Building Information Model (BIM) is being used in the design of various projects. The most popular program in Thailand is Revit, which has an add-on program called Dynamo that can retrieve data from Revit to calculate complex mathematical data. Therefore, in this research, have used Revit and Dynamo to develop the stormwater runoff calculation tool that can automatically calculate the stormwater runoff volume and discharge rate. The process to develop the tools is literature reviewing, target survey and tools developing. Furthermore, comparing the calculation results to check the accuracy of the developed tools. By comparing the result from the developed tools with the result from the calculation in Microsoft Excel. It appears that the developed tool has the maximum error of $\pm 2.52\%$ which occurs from using the Dynamo script in Dynamo 2.3 which has the limitation of tools.

keywords: *Stormwater Runoff, Building Information Modeling, Preliminary Design Stage*

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาน้ำท่วมขังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง เนื่องด้วยสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศประมาณ 1,572.5 มิลลิเมตร และมีจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยทั่วประเทศสูงถึง 135 วันต่อปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2562) ส่งผลให้ในบางพื้นที่มีการระบายน้ำไม่ทัน โดยพื้นที่ที่มีผลกระทบมากที่สุด คือพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้วซึ่งมีการออกแบบ และปรับปรุงพัฒนาพื้นที่ให้มีอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ อาทิเช่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีผู้คนอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก และนับเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ที่พัฒนาแล้วมากที่สุดในประเทศไทย ปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ที่พัฒนาแล้ว คือปัญหาการจัดเตรียมพื้นที่ที่ซึมน้ำภายในที่ตั้งของอาคารที่มีปริมาณน้อยเกินไป หรือมีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณพื้นที่ที่ซึมน้ำเดิมก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างอาคาร ทำให้เกิดการระบายน้ำฝนออกจากที่ตั้งที่เร็วเกินไป จนไม่สามารถระบายลงสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะได้ทัน ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขัง หรือน้ำไหลนอง (ดำรงศักดิ์ ริมชมภู, 2560)

การออกแบบผังบริเวณต้องมีการคำนึงถึงการจัดการน้ำฝน เพื่อให้ปริมาณการไหลหลากของน้ำฝนที่ออกนอกที่ตั้งน้อยกว่า หรือเทียบเท่าปริมาณเดิมก่อนที่จะทำการออกแบบ โดยในปัจจุบันได้มีเกณฑ์ในการออกแบบต่าง ๆ ที่มีการบังคับใช้ หรือเป็นแนวทางในการออกแบบผังบริเวณของสถาปนิก และภูมิสถาปนิก เช่น กฎหมายผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร, เกณฑ์ประเมินอาคารเขียว LEED ของ USGBC เกณฑ์ประเมินอาคารเขียว TREES ของสถาบันอาคารเขียวไทย และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นหน้าที่ของสถาปนิก ภูมิสถาปนิก หรือที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม ในการคำนวณ และออกแบบเพื่อให้บรรลุตามเกณฑ์ที่นำมาใช้ แต่ในกระบวนการทำงานที่มีการทำงานร่วมกันของหลากหลายฝ่าย ทำให้เกิดความล่าช้าอันเนื่องจาก ปัญหาที่เป็นผลมาจากสถาปนิกออกแบบผังบริเวณที่ไม่สอดคล้องกับเกณฑ์ในการออกแบบผังบริเวณเพื่อจัดการน้ำฝน ทำให้ภูมิสถาปนิกหรือผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการออกแบบผังบริเวณเพื่อจัดการน้ำฝน ต้องทำการแก้ไขแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์ในการออกแบบ และทำการส่งแบบกลับไปยังสถาปนิกเพื่อทำการออกแบบต่อไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นหลายครั้งในการทำงานโครงการหนึ่ง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโครงการเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ล่าช้า ดังนั้น การให้สถาปนิกมีส่วนร่วมในการออกแบบผังบริเวณเพื่อการจัดการน้ำฝนที่มากขึ้นจะช่วยลดความล่าช้า และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานสำหรับสถาปนิก การคำนวณปริมาณการไหลหลากของน้ำฝนเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากไม่ใช่ด้านที่เชี่ยวชาญโดยตรง ทำให้ทำการคำนวณได้ช้า และขาดความแม่นยำ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยสถาปนิกในการคำนวณ และการออกแบบ เช่น Microsoft Excel, WinSLAMM, Autodesk Storm and Sanitary Analysis, Autodesk Civil 3D ฯลฯ โดยแต่ละโปรแกรมจะมีวิธีใช้งาน และข้อดี - ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจัดการและคำนวณข้อมูลในรูปแบบตาราง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายสำหรับสถาปนิก เพราะเป็นโปรแกรมที่บุคคลทั่วไปสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย โดยวิธีการทำงานของโปรแกรม คือการใส่ข้อมูลลงตาราง และใส่สูตรการคำนวณเพื่อคำนวณออกมาเป็นผลลัพธ์ ในกรณีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก คือการใส่ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณลงไปในตารางของโปรแกรม Microsoft Excel ได้แก่ ค่าพื้นที่ของพื้นที่ผิวที่รับน้ำ ซึ่งได้มาจากการคำนวณมือ หรือการคำนวณผ่านโปรแกรม AutoCAD และค่าสัมประสิทธิ์การไหลหลากของวัสดุ แต่เนื่องด้วยเป็นโปรแกรมที่อาศัยการใส่ข้อมูลโดยมนุษย์ ทำให้ทำงานได้ช้าและเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย และหากมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล จะต้องทำการใส่ข้อมูลใหม่ทั้งหมดเพื่อผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1970 ได้มีการพัฒนาโปรแกรม WinSLAMM เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งที่มาของมลพิษของน้ำไหลหลาก และคุณภาพของน้ำไหลหลาก ภายในบริเวณตัวเมือง ตัวโปรแกรมนั้นมีพื้นฐานมาจากการสำรวจภาคสนามจริงโดยอาศัยกระบวนการทางทฤษฎี มีวิธีการคำนวณโดยใช้ Small Storm Hydrology ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความแม่นยำ และได้รับการยอมรับจากเกณฑ์ LEED ให้ใช้ในการคำนวณปริมาณการไหลหลากของน้ำฝนตามเกณฑ์ LEED ND และ

LEED BD+C ในหัวข้อ การจัดการน้ำฝน โดยวิธีการใช้งานโปรแกรมในการคำนวณ คือการสร้างแบบจำลองน้ำไหลหลากขึ้นภายในตัวโปรแกรม หรือนำเข้าข้อมูลทาง GIS เข้ามาใช้เป็นแบบจำลอง ซึ่งในกระบวนการออกแบบจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของแบบอยู่บ่อยครั้ง ส่งผลให้หากมีการเปลี่ยนแปลงของแบบจะทำให้เกิดความล่าช้า เนื่องจากจะต้องทำการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ในทุก ๆ ครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง

โปรแกรม Autodesk Storm and Sanitary เป็นโปรแกรมที่ครอบคลุม และการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ระบบอุทกวิทยาการ และการวิเคราะห์ระบบไฮดรอลิก ที่สามารถช่วยในการวางแผน และออกแบบระบบระบายน้ำภายในเมือง ท่อระบายน้ำฝน (รวมถึงระบบระบายน้ำบนทางหลวง) และท่อระบายน้ำสุขาภิบาล โดยสามารถคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากได้จากการนำเข้าแบบจำลองจากโปรแกรม Autodesk Civil 3D และนำแบบจำลองมาใส่ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการคำนวณ ซึ่งโปรแกรม Autodesk Civil 3D เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม ทำให้ต้องมีความรู้ด้านวิศวกรรมระดับหนึ่ง เพื่อสามารถสร้างแบบจำลองได้ หรือหากใช้วิธีการนำเข้าแบบจำลองจากโปรแกรมอื่นเข้ามา จะต้องใช้เวลาในการปรับแก้แบบจำลองก่อนนำมาใช้ในการคำนวณมาก จึงทำให้การใช้ Autodesk Storm and Sanitary ในการคำนวณน้ำฝนไหลหลากสำหรับสถาปนิกยังเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสมทั้งในแง่ความเชี่ยวชาญ และเวลา

BIM (Building Information Modeling) หรือ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้าง โดยการสร้างแบบจำลองอาคาร (building model) พร้อมข้อมูลหรือสารสนเทศ (information) ในองค์ประกอบของแบบจำลองนั้น ๆ จำลองการก่อสร้างอาคารจริง แนวคิดของ BIM ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Charles M. Eastman ตีพิมพ์ในวารสารเอไอเอ (AIA Journal) เมื่อปี ค.ศ. 1975 ในครั้งแรกใช้ชื่อว่า “Building Description System” จนเมื่อปีค.ศ.1986 จึงเปลี่ยนมาใช้คำว่า “Building Information Modeling” ที่นำเสนอโดย Robert Aish ปัจจุบัน BIM ถูกนำมาใช้กับงานออกแบบสถาปัตยกรรมมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการผนวกการทำงานออกแบบสถาปัตยกรรม ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ เข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำแบบจำลองอาคาร และข้อมูลต่าง ๆ ในแบบจำลองอาคาร ไปใช้ในการทำงานขั้นต่อ ๆ ไป (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ใช้ในการทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร อยู่หลายผลิตภัณฑ์ เช่น Autodesk Revit, ArchiCAD, Vectorworks, Allplan Architecture, AECOsim Building Designer ฯลฯ (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) โดยโปรแกรมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเทศไทย ได้แก่ Autodesk Revit

Revit เป็นผู้นำตลาดที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดสำหรับโปรแกรมแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ในด้านการออกแบบสถาปัตยกรรม โดยได้ออกวางจำหน่ายโดยบริษัท Autodesk ในปีค.ศ. 2002 ซึ่งโปรแกรม Autodesk Revit เป็นแพลตฟอร์มที่แยกออกมาจาก Autodesk AutoCAD โดยมีลักษณะโครงสร้างของไฟล์ที่มีความแตกต่างกัน โดยโปรแกรม Revit ประกอบไปด้วย โปรแกรม Revit Architecture, Revit Structure และ Revit MEP การใช้งานโปรแกรมสามารถใช้บนระบบปฏิบัติการ Windows และ Macs โดยใช้ผ่าน Windows Bootcamp Plug - in ทั้งระบบแบบ 32 บิต และ 64 บิต (Eastman, Teicholz, Sacks & Liston, 2011)

ปัจจุบัน ในประเทศไทยมีการใช้งานโปรแกรม Autodesk Revit อย่างแพร่หลายทั้งในงานวิศวกรรม และงานสถาปัตยกรรม แต่เนื่องจากตัวโปรแกรมยังมีขีดจำกัดในการทำงานอยู่ ซึ่งโปรแกรมมีจุดด้อยในการสร้างแบบจำลองที่มีซับซ้อนสูงเนื่องจากโปรแกรมมีการทำงานโดยใช้ระบบอ้างอิงจากระนาบการทำงาน (work plane) เพื่อสร้างแบบจำลอง หรือการนำข้อมูลจากแบบจำลองมาใช้ในการวิเคราะห์ที่ยังไม่ครอบคลุมในทุกด้าน จึงมีการนำเครื่องมือเสริมที่ชื่อว่า Autodesk Dynamo Studio มาช่วยเพิ่มขีดจำกัดของโปรแกรม ให้สามารถทำงานในส่วนที่นอกเหนือความสามารถของโปรแกรม โดยความสามารถของ Autodesk Dynamo Studio คือการเขียนสคริปต์ ซึ่งมีอินเตอร์เฟซการใช้งานที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่าย ทำให้ผู้ที่ไม่ได้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ สามารถใช้งานได้

Dynamo พัฒนาโดยบริษัท Autodesk inc. เพื่อใช้กับ โปรแกรม Revit เป็นโปรแกรมที่ทำให้ผู้ที่ไม่ได้เรียนมาในสาขาคอมพิวเตอร์ ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบ 3 มิติ ได้อย่างที่ต้องการโดยใช้ การกำหนด เป็น Diagram ของแนวความคิด โดยย่อการทำงานเป็นจุด เรียกว่า Node เมื่อต้องการทำงานอะไร ก็ให้ไปหา Node ที่ต้องการมาในการสร้างโปรแกรม และในแต่ละ Node ก็จะบอก Input และ Output เป็นรูปภาพ (ThaiBIMpro, 2015)

การทำงานออกแบบโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ โดยเฉพาะโครงการอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ที่ต้องการความแม่นยำของแบบจำลองเพื่อการประเมินราคาการก่อสร้างที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แต่ในปัจจุบันยังไม่สามารถใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการจัดการน้ำฝนได้ เนื่องจากยังขาดเครื่องมือในการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การพัฒนาเครื่องมือบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เพื่อเป็นประโยชน์แก่สถาปนิก และเพื่อนำเครื่องมือไปใช้ในการพัฒนาเมืองต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุด
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยในการคำนวณการไหลหลากของน้ำฝน ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น
3. เพื่อทดสอบ และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น ด้วยการเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร
2. ศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุด โดยใช้วิธีการคำนวณตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว LEED, TREES และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม EIA
3. ศึกษากระบวนการการออกแบบในช่วงการออกแบบขั้นต้น (preliminary design)
4. ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก โดยผ่านเครื่องมือเสริม Dynamo ภายในโปรแกรม Revit

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประเภทการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (product development) ที่มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น โดยสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนวรรณกรรม งานวิจัย ทฤษฎี ข้อกำหนด ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำฝน และการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากสำหรับพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว เพื่อศึกษาแนวคิด และแนวทางในการทำงาน ที่มา และความสำคัญ ในการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น โดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้ 1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายและเกณฑ์ในการออกแบบสำหรับอาคารเขียว เพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก 2. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือการ

คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก 3. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 4. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือเสริม 5. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 การสำรวจความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องการความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง เพื่อสำรวจความต้องการ และปัญหาในการทำงานในปัจจุบัน โดยสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่จะทำการสัมภาษณ์ได้ดังนี้ 1.กลุ่มวิชาชีพสถาปนิก 2.กลุ่มวิชาชีพภูมิสถาปนิก 3. กลุ่มนักวิจัย และที่ปรึกษาอาคารเขียว 4. วิศวกร

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก โดยใช้โปรแกรม Revit และโปรแกรมเสริมในการพัฒนาเครื่องมือเสริม ซึ่งได้มีการวางแผนในการทำงานโดยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือเสริม

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณจากเครื่องมือเสริม และผลการคำนวณโดยวิธีการคำนวณพื้นที่ภายในแบบจำลอง Revit และใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ซึ่งแบบจำลองที่จะนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ จะมีความแตกต่างในด้านลักษณะขององค์ประกอบภายในแบบจำลอง และลักษณะการใช้งานของอาคาร ซึ่งในการสร้างแบบจำลอง Revit ได้มีการสร้างองค์ประกอบต่าง ๆ และกำหนด Parameter ที่ชื่อว่า Stormwater Calculation Material เพื่อใช้สำหรับการดึงข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel มาใช้ในการคำนวณภายในโปรแกรม Dynamo โดยจะทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 5 แบบจำลอง ได้แก่ 1.อาคารขนาดเล็ก 2.อาคารบ้านพักอาศัย 3.อาคารสูงพร้อมสวนหลังคา 4.กลุ่มอาคารบนเนินเขา 5.อาคารสูงพร้อมผนังเอียง

ขั้นตอนที่ 5 การนำเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนามาสาธิตวิธีการใช้งานเครื่องมือให้แก่สถาปนิก ภูมิสถาปนิก ที่ปรึกษาอาคารเขียว และวิศวกร เพื่อการประเมินผลการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การนำเสนอเรื่องการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และเกณฑ์ในการประเมินอาคารเขียว 2. การสาธิตวิธีการใช้งานเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนา 3. การสัมภาษณ์โดยใช้คำถามปลายเปิด

ผลการศึกษา

1. การศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุด

จากการศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุด ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว LEED, TREES และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม EIA (Environmental impact assessment) พบว่ามีการใช้วิธีการคำนวณทั้งหมด 2 วิธี (ตาราง 1) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำวิธีการคำนวณทั้ง 2 วิธีมาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือเสริมเนื่องจากวิธีทั้ง 2 สามารถคำนวณได้ค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจำเป็นต่อการประเมิน LEED, TREES, EIA

ตาราง 1 วิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก และการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุด

Rational Method	Small Storm Hydrology Method
$Q = CiA$	Runoff Volume = $P/1000 \times R_v \times A$
ใช้ในการประเมินเกณฑ์ TREES และ EIA	ใช้ในการประเมินเกณฑ์ LEED
Q = อัตราน้ำไหลหลากสูงสุด (ลบ.ม./ชั่วโมง) C = สัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดิน i = ความเข้มฝน (เมตร/ชั่วโมง) A = พื้นที่ระบายน้ำ (ตร.ม.)	Runoff Volume = ปริมาณน้ำฝนไหลหลาก (ลบ.ม.) P = เปอเซ็นต์ไต้ที่ 95 ของปริมาณน้ำฝน (มม.) R_v = สัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดิน A = พื้นที่รับน้ำ (ตารางเมตร)

2. การพัฒนาเครื่องมือเสริม

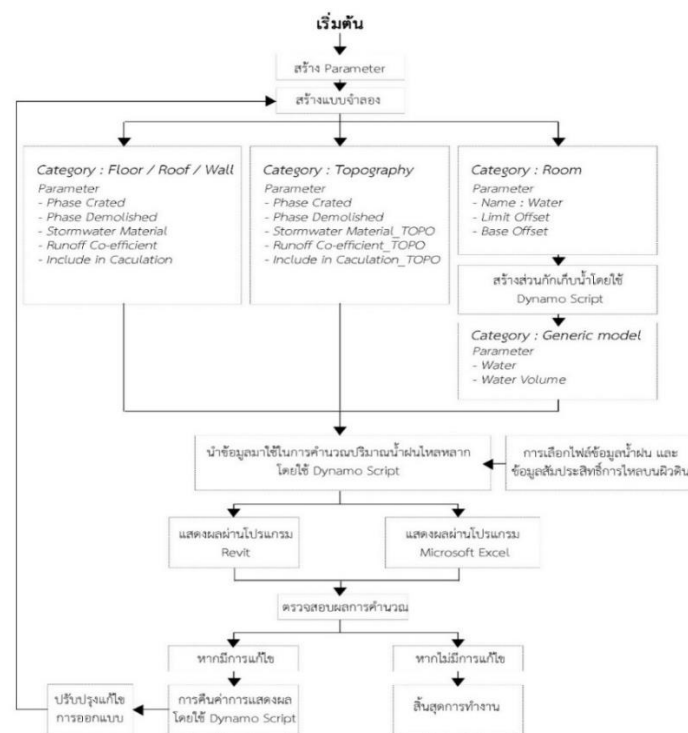
การพัฒนาเครื่องมือเสริมในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์โปรแกรมต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ไฟล์โปรแกรม Revit ไฟล์โปรแกรม Dynamo และไฟล์โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งแบ่งตามสกุลไฟล์ได้ทั้งหมด 6 สกุลไฟล์ (ตาราง 2) ซึ่ง Dynamo Script ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากได้ใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารภายในโปรแกรม Revit มาใช้ในการคำนวณ โดยมีการคัดแยกข้อมูลตาม Parameter ต่าง ๆ ได้แก่ Include in Calculation, Phase Created และ Phase Demolished และได้มีการนำเข้าข้อมูลน้ำฝน และสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินจากไฟล์โปรแกรม Microsoft Excel พร้อมทั้งแสดงผลค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินผ่านโปรแกรม Revit และแสดงผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากผ่านโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำผลการคำนวณไปใช้ในการประเมินงานออกแบบได้ในภายหลัง (ภาพ 3)

ตาราง 2 เครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนา

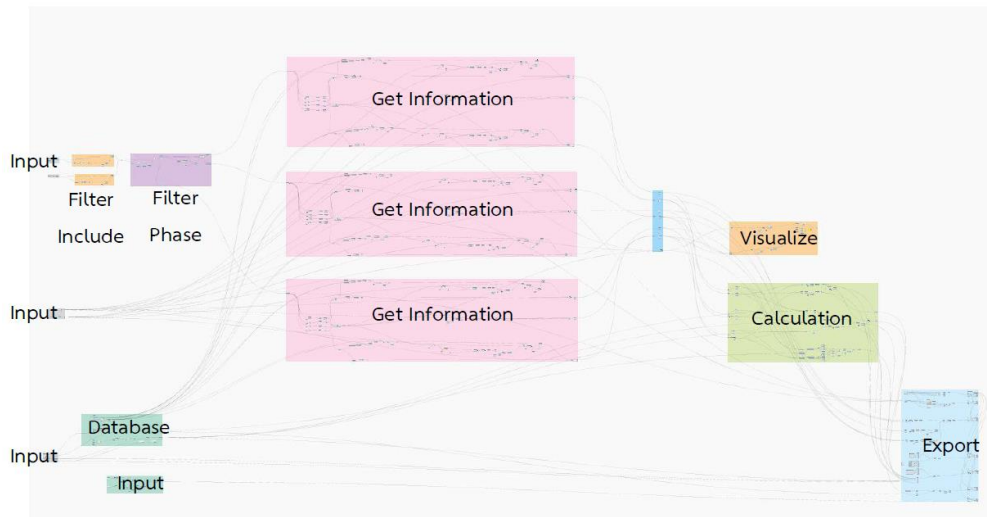
โปรแกรม	ไฟล์	คำอธิบาย
Revit	Stormwater Calculation Template.rte	ไฟล์ตั้งต้นในการทำงาน
	Stormwater Calculation Material Library.adsklib	เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุ
	ShareParameter - Stormwater Runoff Calculation.txt	เก็บรวบรวมข้อมูล Shared Parameter ที่ใช้ภายในเครื่องมือ
Microsoft Excel	Stormwater Calculation Data.xlsx	เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ
	Stormwater Calculation - Result Template.xlsx	ไฟล์ตั้งต้นในการบันทึกผลการคำนวณ
Dynamo	<i>Dynamo Workspace</i>	
	Stormwater_01_Preparation.dyn	เตรียมการใช้งาน
	Stormwater_02_Generate Retaining Pond.dyn	สร้างบ่อหน่วงน้ำ

Stormwater_03_Calculating.dyn	คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก
Stormwater_04_Reset.dyn	คืนค่าตั้งต้นของการแสดงผล
Stormwater_05_Construction Cost Calculation.dyn	คำนวณค่าก่อสร้าง
<i>Dynamo Custom Node</i>	
01_Preparation.dyf	เตรียมการใช้งาน
02_GenerateRetainingPond.dyf	สร้างบ่อหน่วงน้ำ
03_Calculating.dyf	คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก
04_Reset.dyf	คืนค่าตั้งต้นของการแสดงผล
05_ConstructionCostCalculation.dyf	คำนวณค่าก่อสร้าง

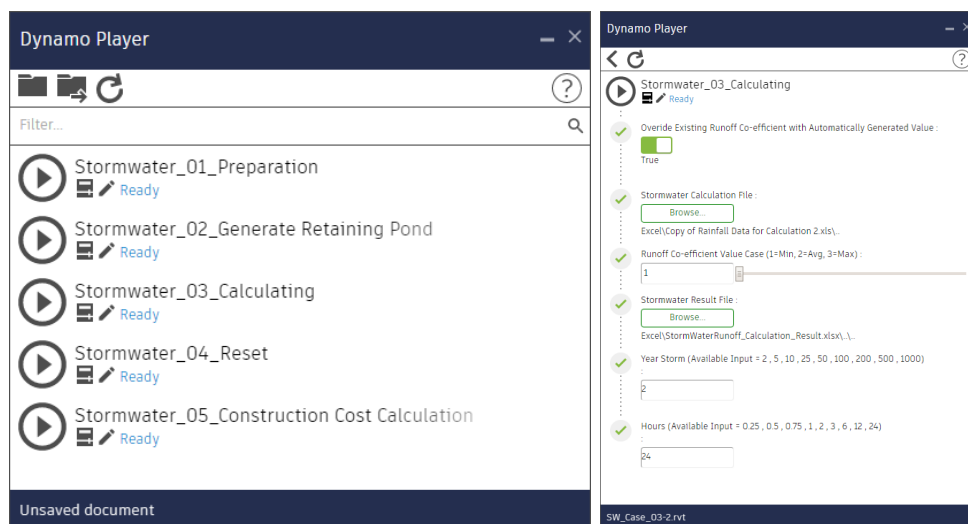
สำหรับการพัฒนาเครื่องมือเสริม ได้มีการออกแบบขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานให้สามารถใช้งานได้สะดวก และประหยัดการทำงานมากที่สุด โดยใช้งานผ่านโปรแกรม Dynamo Player (ภาพ 4) ซึ่งมีวิธีการใช้งานโดยการกดปุ่ม Run ไปที่แต่ละลำดับ และได้ผลการคำนวณแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ 1. การแสดงผลผ่านสีในโปรแกรม Revit 2. การแสดงผลการคำนวณผ่านโปรแกรม Microsoft Excel โดยมีรายละเอียดดังนี้



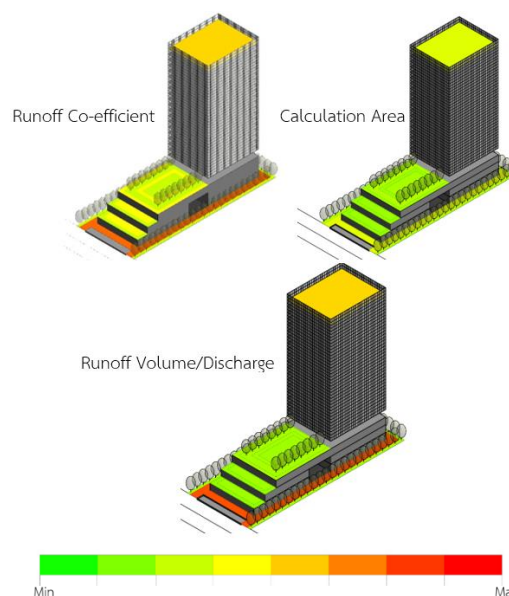
ภาพ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ



ภาพ 3 ภาพรวมของเครื่องมือที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยชิ้นนี้



ภาพ 4 การใช้งานเครื่องมือผ่านโปรแกรม Dynamo Player



ภาพ 5 การแสดงผลของค่าการคำนวณภายใน Revit รูปแบบ Hidden line

Storm Water Runoff Calculation Summary Report

4/8/2020 14:21

Storm Water Runoff Calculation Summary Report 02

4/8/2020 14:21

Project Information

Project Name
Project Number
Project Status
Client Name
Address

Project Name
Project Number
Project Status
Owner
Enter address here

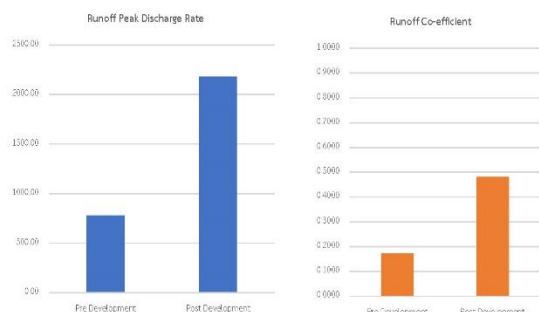
Calculation Information

Rainfall Intensity
Year Storm
Hours

9.5
2
24

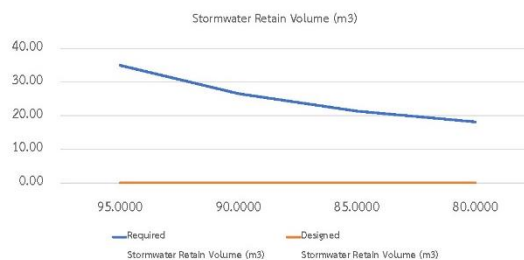
Summary Result

	Pre Development	Post Development	Difference
Runoff Peak Discharge Rate (m ³ /hr)	778.80	2179.89	179.9 %
Area Weighted Average			
Runoff Co-efficient	0.1700	0.4782	181.27 %
Calculation Area (m ²)	1308.8999	1302.5362	



Stormwater Runoff Volume

Percentile	Event	Required Stormwater Retain Volume (m ³)	Designed Stormwater Retain Volume (m ³)
95	56.165	34.98	0
90	42.6	26.53233663	0
85	34.2	21.30061095	0
80	29.1	18.12420329	0



LEED Credit Acquired	0	of 4
TREES Option 1 Credit Acquired	4	of 4
TREES Option 2 Credit Acquired	0	of 4

Design Guideline

Design the project that has infiltration surface. Select landscape materials such as grass blades (which has grass area 20% of the surface area). floor plates with space between the plates, or flooring materials which have gap or hole and water can leak through the ground. Use retention pond which can be natural type or man-made.

Construction Cost

T16

ภาพ 6 ส่วนสรุปผลการคำนวณภายในโปรแกรม Microsoft Excel

3. การตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้น

การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือเสริมได้ทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างผลการคำนวณจากเครื่องมือเสริม และผลการคำนวณจากการใช้โปรแกรม Revit ในการวัดพื้นที่ผิว และนำมาคำนวณใน Microsoft Excel ซึ่งตัวแปรที่จะนำมาเปรียบเทียบมีทั้งหมด 4 ตัวแปรได้แก่ 1. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ย หลังการพัฒนาโครงการ (ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก) 2. พื้นที่ผิวที่รับน้ำ หลังการพัฒนาโครงการ (พื้นที่ผิวที่ตั้งฉากกับแกนโลก) 3. ปริมาณน้ำฝนไหลหลาก (ใช้ค่าตำแหน่ง Percentile Rainfall Event ที่ 95) 4. อัตราการไหลหลากสูงสุด ซึ่งจากการเปรียบเทียบสามารถสรุปผลได้ดังตาราง 3 โดยค่าที่เป็นบวก หมายถึง ค่าที่คำนวณจากโปรแกรมเสริมมีค่ามากกว่า ค่าที่คำนวณจาก Microsoft Excel

ตาราง 3 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือเสริม

กรณีศึกษา	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)			
	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ย หลังการพัฒนาโครงการ	พื้นที่ผิวที่รับน้ำ หลังการพัฒนาโครงการ (m ²)	ปริมาณน้ำฝนไหลหลาก หลังการพัฒนาโครงการ (m ³)	อัตราการไหลหลากสูงสุด หลังการพัฒนาโครงการ (m ³ /hr)
อาคารขนาดเล็ก	+ 0.02%	+ 0.09%	+ 0.09%	+ 0.10%
อาคารบ้านพักอาศัย	- 0.46%	+ 0.66%	+ 0.26%	+ 0.21%

อาคารสูงพร้อมสวนหลังคา	0.00%	- 0.28%	- 0.28%	- 0.27%
กลุ่มอาคารที่ตั้งอยู่บนเนินเขา	+ 0.03%	- 1.42%	- 1.39%	- 2.52%
อาคารสูงพร้อมผนังเอียง	+ 0.37%	- 0.78%	- 0.42%	- 0.42%
ค่าต่ำสุด	± 0.00%	± 0.09%	± 0.09%	± 0.10%
ค่าสูงสุด	± 0.46%	± 1.42%	± 1.39%	± 2.52%

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ย

พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.00-0.46% ซึ่งจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนดังกล่าว พบว่าเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ยมีการคำนวณโดยใช้ค่าพื้นที่ผิวที่รับน้ำถ่วงน้ำหนัก ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ยเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของพื้นที่ผิวที่รับน้ำ

พื้นที่ผิวที่รับน้ำ

พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.09-1.42% ซึ่งจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนดังกล่าว พบว่าเกิดขึ้นจากการคำนวณพื้นที่จากชุดคำสั่งภายในโปรแกรม Dynamo ที่มีจำกัด ส่งผลให้ผู้วิจัยต้องออกแบบวิธีการคำนวณพื้นที่จากชุดคำสั่งที่มีอยู่ ซึ่งจะเกิดข้อจำกัดในการใช้งานที่มากขึ้น อาทิเช่น การขึ้นแบบจำลองที่ต้องทำการแบ่งแยกชิ้นส่วนขององค์ประกอบให้ชัดเจนเมื่อถูกองค์ประกอบที่อยู่ระดับเหนือกว่าบดบัง ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อคำนวณพื้นที่ผิวที่ถูกหลังคาบัง หรือการคำนวณพื้นที่ผิวที่ซับซ้อนจะทำให้มีประสิทธิภาพต่ำเช่นกัน สังเกตได้จากผลการคำนวณของกลุ่มอาคารที่ตั้งอยู่บนเนินเขาที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าประเภทอื่น เนื่องจากแบบจำลองพื้นผิวนั้นมีลักษณะเป็นองค์ประกอบขึ้นเดียวที่มีความละเอียดสูง

ค่าปริมาณน้ำฝนไหลหลาก

พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.09 -1.39% ซึ่งจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนดังกล่าว พบว่าเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของค่าพื้นที่ผิวที่รับน้ำ เนื่องจากเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กันตามสูตรการคำนวณ (ตาราง 1)

ค่าอัตราการไหลหลากสูงสุด

พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.10-2.52% ซึ่งจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนดังกล่าว พบว่าเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของค่าพื้นที่ผิวที่รับน้ำ เนื่องจากเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กันตามสูตรการคำนวณ (ตาราง 1)

4. ผลการสาธิตเครื่องมือที่ได้จากการพัฒนากับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง

จากการสาธิตการใช้งานเครื่องมือที่ได้จากการพัฒนากับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง ได้แก่ 1. สถาปนิก 2. ภูมิสถาปนิก 3. นักวิจัย และที่ปรึกษาอาคารเขียว 4. วิศวกร สามารถสรุปประเด็นจากการสาธิตได้ดังนี้

ความยากงานในการใช้งานเครื่องมือ

เครื่องมือที่ได้จากการพัฒนามีความยากง่ายในการใช้งานตั้งแต่ ง่ายถึงปานกลาง โดยผู้ใช้งานจำนวนหนึ่งได้มีความเห็นว่าเครื่องมือมีขั้นตอนการใช้งานที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน และอีกจำนวนหนึ่งได้มีความเห็นว่าเครื่องมือมีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ยาก แต่อาจต้องใช้เวลาในการเรียนรู้จึงจะใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง

ประโยชน์ของเครื่องมือต่อการทำงาน

กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงได้มีความเห็นว่าเครื่องมือที่ได้จากการพัฒนามีประโยชน์ต่อการทำงานนอกแบบโครงการต่าง ๆ สำหรับ สถาปนิก ภูมิสถาปนิก และวิศวกร เนื่องจากสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานเห็นภาพรวมของการจัดการน้ำฝนและเป็นตัวช่วยในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์ อีกทั้งยังช่วยในการลดเวลาการทำงาน แต่สำหรับที่ปรึกษาอาคารเขียวมีความเห็นว่าเรื่องการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากมีวิธีการคำนวณที่ค่อนข้างง่ายจึงเป็นประโยชน์ค่อนข้างน้อยสำหรับที่ปรึกษาอาคารเขียว

การพิจารณาในการใช้เครื่องมือเสริม

กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานส่วนใหญ่ได้มีความเห็นว่าจะพิจารณาในการนำเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนาไปใช้ในการทำงานจริง เนื่องจากเหตุผล ได้แก่ ความสามารถในการแก้ปัญหาที่ซ้ำซ้อน ความสามารถในการประหยัดเวลาในการทำงาน ความแม่นยำที่สูง และมีการอธิบายด้วยแผนภาพซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ในส่วนของผู้ที่ไม่พิจารณาในการนำเครื่องมือเสริมไปใช้ในการทำงาน มีเหตุผลอันเนื่องมาจากความนิยมในการใช้ BIM ที่ยังไม่เป็นที่นิยมมากนักสำหรับสถาปนิก และภูมิสถาปนิก โดยเฉพาะการทำงานในช่วงขั้นตอนการออกแบบขั้นต้นจนถึงขั้นตอนการพัฒนาแบบสำหรับภูมิสถาปนิก เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) อาทิเช่น Revit ยังมีเครื่องมือหรือชุดคำสั่งที่ไม่เอื้อต่อการทำงานของภูมิสถาปนิกมากนัก แต่หากในอนาคตมีความนิยมในการใช้งานที่มากขึ้น ก็จะพิจารณาในการใช้งานเครื่องมือเสริม

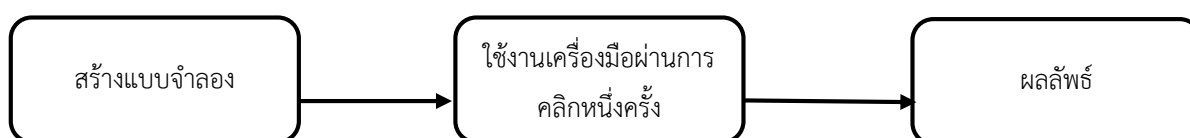
ข้อเสนอแนะ และคำถามเพิ่มเติม

กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม โดยสามารถสรุปเป็นประเด็นดังต่อไปนี้

1. หากนำเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนาไปใช้ในการศึกษารูปแบบของพื้นที่หนองน้ำแล้ว จะทำให้เป็นฐานข้อมูลความรู้ต่อไปได้ในอนาคตเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอิทธิพลของน้ำและฝนสูง
2. การพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือเสริม ถ้าสามารถนำเรื่องน้ำใต้ดินเข้ามาเป็นปัจจัยในการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียด แม่นยำมากขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำใต้ดินมีผลต่อการซึมผ่าน

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารโดยใช้โปรแกรม Revit และโปรแกรมเสริม Dynamo ทำให้มีความสามารถในการดึงข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อนำมาใช้ในการถอดปริมาณและคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งสามารถแก้ไขอุปสรรคในการทำงานระหว่างสถาปนิก และผู้อื่นได้ เช่น การลดระยะเวลาในการทำงาน การแก้ไขแบบเพื่อความสอดคล้องกับเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อการจัดการน้ำฝน หรือการใช้เครื่องมือเสริมเพื่อคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลากโดยปราศจากผู้เชี่ยวชาญ



ภาพ 7 การทำงานโดยใช้เครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนา

จากการพัฒนาเครื่องมือ พบว่าควรมีการจัดทำฐานข้อมูลวัสดุสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก เนื่องจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีปริมาณที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของวัสดุที่มีอยู่ภายในปัจจุบัน ทำให้ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน นอกจากนี้ควรมีการผลักดันการใช้งานเทคโนโลยี BIM ในการออกแบบโครงการให้มากขึ้น เนื่องจากความคิดเห็นจากกลุ่มผู้ใช้งานส่วนหนึ่งระบุว่า ความนิยมในการใช้งาน BIM ในการออกแบบโครงการในปัจจุบันยังมีไม่มากนัก ทำให้มีการพิจารณาในการใช้เครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนาน้อย จึงมีความจำเป็นในการผลักดันให้การออกแบบโครงการต่าง ๆ ใช้งาน BIM ในการออกแบบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น จนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือการจัดการอาคารหลังการก่อสร้าง เพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน ลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการออกแบบโครงการ และเพื่อเพิ่มความแม่นยำของการก่อสร้าง

บรรณานุกรม

- เดชา บุญค้ำ. (2557). *การวางผังบริเวณและงานบริเวณ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). *พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2561). *ปริมาณน้ำฝน*. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://tmd.go.th/info/info.php?FileID=55>
- ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ. (2556). *การตรวจสอบแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการจัดระดับชั้นความละเอียดของข้อมูลสำหรับแบบจำลองสารสนเทศอาคารของสถาบันอเมริกัน กับวิธีการหาปริมาณงานสถาปัตยกรรมในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- ณัชชา เอกเร้งแสน. (2559). *การพัฒนาโปรแกรมเสริมในแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟในอาคาร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- ณัฐธาดา บุญถัด (2560). *การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ด้วยโปรแกรม Revit & Dynamo ตามหลักเกณฑ์การคำนวณของกฎหมายพลังงาน (BEC)*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- ดำรงศักดิ์ ริมชุมภู. (2560). *การกำหนดค่าการซึมผ่านไหลของบนสวนชั้นน้ำฝนสำหรับงานภูมิสถาปัตยกรรม*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร).
- ThaiBIMpro. (2015). *การเขียนโปรแกรมด้วยการวาดโปรแกรม Dynamo*. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://thaibimpro.blogspot.com/2015/12/dynamo.html>
- ธัญธร คำไพโรจน์. (2560). *เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- วรพงศ์ รัตนอนุสรณ์. (2559). *การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อตรวจสอบกฎหมายอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร กรณีศึกษา: อาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานคร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- สถาบันอาคารเขียวไทย. (2557). *เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับการเตรียมความพร้อมการก่อสร้างและอาคารปรับปรุงใหม่*. สืบค้นจาก www.tgbi.or.th>trees
- สมาคมสถาปนิกสยามฯ. (2558). *คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย (Thailand BIM Guideline)*. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์.
- อภิเกียรติ เจริญสุทธิโยธิน. (2560). *แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เพื่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- Autodesk.(2019).What Is Autodesk storm and sanitary analysis? Retrieved 2019, November 19, from <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/troubleshooting/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Installation-Civil3D/files/GUID-A4080DA5-3C5C-47E3-9396-F42FD24DBF2C-htm.html>

- Eastman, Chuck, Teicholz, Paul, Sacks, Rafael & Liston, Kathleen. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Toronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Ferguson, B. L. (1998). *Introduction to stormwater*. Toronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Krygiel, E. (2008). *Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling*. Toronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Thai Green Building Institute. (2017). *Thai's rating of energy and environmental sustainability for new construction and major renovation and core and shell building*. Retrieved from www.Tgbi.or.th
- The Dynamo Primer. (2019). *What is visual programming?* Retrieved 2019, November 19, from https://primer.dynamobim.org/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html
- U.S. Green Building Council. (2014). *LEED reference guide for neighborhood development*. Washington, DC: U.S. Green Building Council.
- Water Environment Federation American Society of Civil Engineers. (1992). *Design and construction of urban stormwater management systems*. New York: American Society of Civil Engineers.