การวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว

ANALYSIS OF STORMWATER RUNOFF ABSORPTION POTENTIAL PER CONSTRUCTION COST OF GREEN ROOF

ชวิศ มหาวรรณ[1,*], กิตติคุณ จิตไพโรจน์[2] และ ดำรงศักดิ์ รินชุมภู[2]
[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรบัณฑิตศึกษา, สาขาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง, จังหวัดเชียงใหม่, ประเทศไทย
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: chawit_m@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ในการลดปริมาณน้ำท่านั้นมีแนวคิดการพัฒนาเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม Low impact development (LID) มีหลากหลายวิธี ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แนวทางการจัดการเพื่อลดปริมาณน้ำท่าด้วยหลังคาเขียว (Green roof) เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ดินที่จำกัดในการจัดการ จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองของพื้นที่ในส่วนของหลังคาชั้นดาดฟ้าอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะและอาคารขนาดใหญ่ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐานเดิม (Base case) กับกรณีที่พัฒนาเป็นพื้นที่หลังคาเขียว (Green roof) เปรียบเทียบทั้งสิ้นจำนวน 3 กรณี ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการก่อสร้างหลังคาเขียวให้มีศักยภาพในการลดปริมาณน้ำท่า ด้วยการเลือกใช้วัสดุคุณสมบัติ และขนาดต่าง ๆ กัน จึงสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว ได้ผลลัพธ์เป็นกรณีที่ 2 แนวทางเลือก (GR-2) เปรียบเทียบกับกรณีฐานเดิม (Base case) โดยใช้ค่าวัสดุชั้นโครงสร้าง ดังนี้ ความลึกชั้นดินปลูก B = 4 นิ้ว, ความพรุนวัสดุดินปลูก (C) = 25 เปอร์เซ็น, ความลึกของชั้นระบายน้ำ D = 2 นิ้ว และความพรุนวัสดุระบายน้ำ (E) = 95 เปอร์เซ็น จะสามารถลดปริมาณน้ำท่า (Runoff) ลงได้ 0.02 นิ้ว เป็นสัดส่วน Runoff ที่ลดลงได้ 99 เปอร์เซ็น มีพื้นที่ BMP Area เป็น 100 เปอร์เซ็น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง เท่ากับ 848,250.00 บาท ได้ศักยภาพการรับปริมาณน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง คิดเป็น -0.34 นิ้ว/บาท เป็นแนวทางเลือกที่มีศักยภาพในการรับน้ำท่าได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: *หลังคาเขียว, ศักยภาพการรับน้ำท่า, แนวทางการจัดการที่ดี (BMP), ต้นทุนค่าก่อสร้าง*

Abstract

In order to reduce the amount of runoff, there are several ways to reduce the environmental impact of low impact development (LID). This research has chosen a management approach to reduce the amount of runoff with green roofs because there is no need to use limited land area for management. Based on the analysis of the area in the roof of the 30 years building, Faculty of Engineering Chiang Mai University Chiang Mai Province. Which are public buildings and large buildings. By comparing the original base case and the case that developed as a green roof (Green roof), a total of 3 cases were compared with the Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) computer simulation program in Autodesk Infraworks to be alternative approaches for the construction of green roofs to have the potential to reduce the amount of runoff. By choosing different materials, properties and sizes. Therefore, the results of the analysis of the water intake potential can be summarized as to the cost of the construction of green roofs. The result was the second case, the alternative approach (GR-2) compared with the original base case by using the cost of structural layer materials as follows: Depth of potting soil B = 4 inches, porosity of potting soil material (C) = 25%. The sensor, the depth of the drainage layer D = 2 inches and the porosity of the drainage material (E) = 95 percent will be able to reduce the runoff volume by 0.02 inches, a 99 percent reduction in Runoff ratio with BMP area. Area is 100 percent covering the entire area. As for the price, the construction cost is 848,250.00 baht, and the water intake capacity per construction cost is -0.34 inches/baht, which is the best choice for the water intake potential

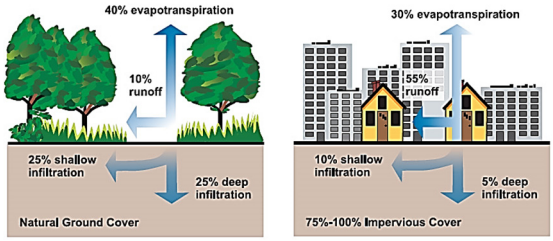
Keywords: *Green roof, Runoff Absorption, Best Management Practices (BMP), Construction Cost*

1. บทนำ

การขยายตัวของเมืองจากความหนาแน่นของประชากร โครงสร้างทางเศรษฐกิจ โครงสร้างพื้นฐาน ที่พักอาศัย และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เป็นเหตุให้ต้องขยายพื้นที่เพื่อรองรับการเจริญเติบโตของพื้นที่เมือง จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร[1] ทำให้ต้องมีการขยายพื้นที่เพื่อรองรับ จึงมีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย

ประเทศไทยนั้นก็มีการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ประกอบกับการวางแผนการบริหารจัดการที่ยังไม่ดีมากนัก มีการใช้พื้นที่สีเขียวแปรสภาพเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกมากมายที่ขาดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม[2] เช่น สภาวะอากาศที่ร้อนผิดปกติ จำนวนฝุ่นละออง PM2.5 ในปริมาณมาก น้ำท่วมขังไหลนอง เป็นต้น ซึ่งจากผลกระทบต่าง ๆ เหล่านี้ต่างสร้างความเดือดร้อนต่อการดำรงชีวิตและทรัพย์สินของประชากร

จากผลกระทบที่กล่าวมาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเมืองที่ทำให้เกิดความเสียหายมากคือเรื่องของน้ำท่วมขังไหลนอง เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ในช่วงฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดนำเอาความชื้นเข้าพื้นที่ของประเทศไทยทำให้เกิดฝนตกชุกโดยทั่วไป[3] และปัจจัยที่สำคัญที่เกิดจากการพัฒนาที่ไม่มีการบริหารจัดการที่ดี การสร้างสิ่งปลูกสร้างเพื่ออำนวยความสะดวกจำนวนมาก ทำให้พื้นที่ซึมน้ำทางธรรมชาติลดน้อยลง ซึ่งพื้นที่รับน้ำทางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลงจึงเกิดปัญหาน้ำท่าและปัญหาน้ำท่วมขังอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 1 ในกระบวนการสร้างอาคารบ้านเรือนยังจำเป็นต่อการอยู่อาศัยและใช้ดำรงชีวิต ทำอย่างไรในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองที่มีพื้นที่อย่างจำกัดและมีต้นทุนในการพัฒนาบริหารจัดการที่ดีไม่มากจนเกินไป เพื่อลดปัญหาปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากฝนตก



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของน้ำในพื้นที่ธรรมชาติกับพื้นที่ในเขตเมือง
ที่มา : Sameer Dhalla, Christine Zimmer. (2010). Low Impact Development Stromwater Management Planning and Design Guide [4]

ในการลดปริมาณน้ำท่าอันเกิดจากฝนนั้นมีหลายทางเลือกในการบริหารจัดการน้ำ เพื่อชะลอ เก็บกัก และการระบาย โดยใช้แนวคิดต้นแบบของ Water Sensitive Urban Design (WSUD) ตามแนวทางการบริหารจัดการพื้นที่ที่ดีที่สุด Best management practices (BMP) ด้วยแนวคิดการพัฒนาพื้นที่เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม Low impact development (LID) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการนำธรรมชาติมาเป็นองค์ประกอบประยุคใช้ในพื้นที่เมืองเพื่อจัดการปัญหาน้ำท่า ในพื้นที่รับน้ำที่แตกต่างกันมีหลายรูปแบบ เช่น สวนแนวตั้ง (Green wall), หลังคาเขียว (Green roof), พื้นผิวน้ำซึมผ่านได้ (Porous paving) รางตื้นซับน้ำ (Infiltration trenches), ปลูกพืชพรรณธรรมชาติในรางน้ำ (Bioretention swales), กักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณในบ่อ (Bioretention basins) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในรูปแบบที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องใช้ที่ดินในการจัดการ แต่มีรูปแบบหนึ่งที่ไม่จำเป็นต้องใช้ที่ดินในการจัดการ คือ รูปแบบหลังคาเขียว (Green roof) ซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่ในเขตเมืองที่มีอยู่อย่างจำกัด[5] และหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคารส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ว่างในส่วนของอาคารที่ไม่ได้ใช้งาน รูปแบบสวนหลังคาได้รับการพิสูจน์ในเบื้องต้นพบว่าสามารถช่วยชะลอการไหลของน้ำได้[6] ในขณะเดียวกันเรื่องการลงทุนในการทำหลังคาเขียวนั้นมีการลงทุนที่สูงกว่าหลังคาปกติ[7] ทั้งนี้เพื่อให้เกิดกระบวนการในการตัดสินใจพัฒนาหลังคาเขียวอย่างรอบด้าน ดังนั้นกระบวนการวิจัยนี้จึงดำเนินการหาแนวทางในการตอบสนองทั้งความสามารถในการรับน้ำท่าเพิ่มขึ้น แปรผกผันกับต้นทุนของการออกแบบหลังคาเขียวที่ลดลง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการพัฒนาหลังคาเขียวเพื่อลดปริมาณน้ำท่าในเขตเมือง

1.1. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว

1.2. ขอบเขตของการวิจัย

1.2.1. ขอบเขตด้านเนื้อหา

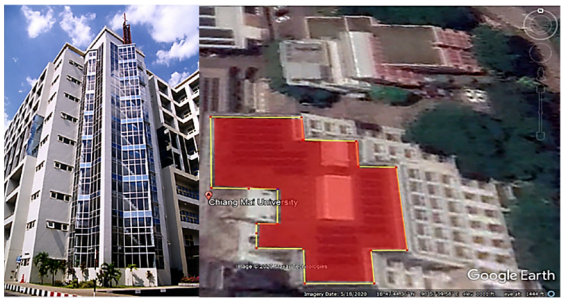
ศึกษาศักยภาพการรับน้ำไหลนองต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังเขียว โดยนำหลักการออกแบบการจัดการน้ำไหลนอง ตามแนวทางการบริหารจัดการพื้นที่ที่ดีที่สุด Best management practices (BMP) ด้วยแนวคิดการพัฒนาพื้นที่เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม Low impact development (LID), Green infrastructure (GI) และ Water sensitive urban design (WSUD)

1.2.2. ขอบเขตของการใช้เครื่องมือ

การใช้โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360 โดยวิธีคำนวณ TR-55 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

1.2.3. ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

การวิจัยนี้ใช้พื้นที่ในส่วนของหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 2 ซึ่งจัดเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะและอาคารขนาดใหญ่ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522[8] มีขนาดพื้นที่ของชั้นดาดฟ้ารวม 1,950 ตารางเมตร เพื่อใช้เป็นอาคารต้นแบบในการทำการจำลองศักยภาพการรับน้ำท่า จำนวน 1 โครงการ



รูปที่ 2 พื้นที่ชั้นดาดฟ้าอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : http://www.geocities.ws/entaneer-cmu/cmu-2002-slide-01.html[9]

1.3. การทบทวนวรรณกรรม

1.3.1. แนวทางการจัดการน้ำท่า

จากการศึกษางานวิจัยของ จีระนันท์ สุกุล.[10] การศึกษาประสิทธิภาพรับน้ำไหลนองในพื้นที่สวนส่วนกลางของโครงการหมู่บ้านจัดสรรขนาดกลางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้หลักแนวทางในการออกแบบเพื่อ การชะลอ กักเก็บ และระบายน้ำ ตามแนวคิด Water sensitive urban design (WSUD) และแนวคิด Low impact development (LID) เป็นแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยการนำธรรมชาติมาเป็นองค์ประกอบประยุคใช้ในพื้นที่เมืองเพื่อจัดการปัญหาน้ำท่วม รูปแบบของพื้นที่รับน้ำที่แตกต่างกันมีหลายรูปแบบ ซึ่งในส่วนของหลังคาเขียว (Green roof) สามารถลดปริมาณน้ำไหลนองได้ถึงร้อยละ 100 ซึ่งจากปริมาณน้ำไหลนอง 1.80 นิ้ว เหลือ 1.57 นิ้ว มีราคาต้นทุนการพัฒนาที่ถูกกว่าพื้นที่ฐานเดิม 330,085.84 บาท และมีประสิทธิภาพการรับน้ำไหลนองต่อราคาต้นทุนสูงสุด -0.17 นิ้วต่อบาท จากผลการวิจัยที่กล่าวมานั้นจึงเป็นแนวทางในการจัดการน้ำในการศึกษางานวิจัยนี้ ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การรับน้ำท่า เพื่อนำมาพัฒนาหลังคาเขียว (Green roof) ให้มีศักยภาพในการรับน้ำท่าให้ดียิ่งขึ้น

1.3.2. การคำนวณปริมาณน้ำท่า

ในการจัดการน้ำท่าด้วยแนวคิด Low impact development (LID) ใช้การคำนวณด้วยวิธี TR-55 สามารถใช้เพื่อออกแบบตามข้อกำหนดของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐฯ Environmental Protection Agency (EPA) มาตรา 438 ของรัฐบาลกลาง และมาตรฐานในการก่อสร้างอาคารเขียว LEED SSc4 (v4) และ SS6.1 (2009) และมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES-NC [11] จากการศึกษาใช้วิธีในการลดปริมาณน้ำท่าด้วยสมการ Curve number method [12]

สมการพื้นฐานมีดังนี้

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (1)$$

$$S = \frac{(1000)}{CN} - 10 \quad (2)$$

โดยที่

P คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา มีหน่วยเป็นนิ้ว

Q คือ ปริมาณน้ำท่า มีหน่วยเป็นนิ้ว

S คือ ปริมาณศักยภาพสูงสุดในการดูดซับน้ำของลุ่มน้ำ มีหน่วยเป็นนิ้ว

CN คือ Runoff curve number ได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียด Runoff curve number (CN)

พื้นที่ (Landuse)	สภาพทางอุทกวิทยา (Hydrologic Condition)	กลุ่มดินทางอุทกวิทยา A	B	C	D
พื้นที่ป่า (Wood and Forest Land)	พอใช้ (Pool)	45	66	77	83
	แย่ (Fail)	36	60	73	79
	ดี (Good)	25	55	70	77
พื้นที่ผสมระหว่างป่าไม้กับทุ่งหญ้า หรือสวนป่า (Wood Grass combination or Orchard)	พอใช้ (Pool)	57	73	82	86
	แย่ (Fail)	43	65	76	82
	ดี (Good)	32	58	72	79
ทุ่งหญ้า (Rangeland and Herbaceous)	พอใช้ (Pool)	-	80	87	93
	แย่ (Fail)	-	71	81	89
	ดี (Good)	-	62	74	85
พื้นที่โรงงาน (Industrial districts)	พอใช้ (Pool)	76	85	90	93
	แย่ (Fail)	74	83	88	90
	ดี (Good)	81	88	91	93

ที่มา : พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และพิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์[13]

A คือ ดินที่ทีเนื้อหยาบ ชั้นดินลึกดูดซับน้ำได้ดี อัตราการซับน้ำ 0.30-0.45 นิ้ว/ชม.

B คือ ดินเนื้อปานกลางถึงหยาบ ชั้นดินลึกดูดซับน้ำได้ดี อัตราการซับน้ำ 0.15-0.30 นิ้ว/ชม.

C คือ ดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด ชั้นดินตื้นดูดซับน้ำไม่ดี อัตราการซับน้ำ 0.05-0.15 นิ้ว/ชม.

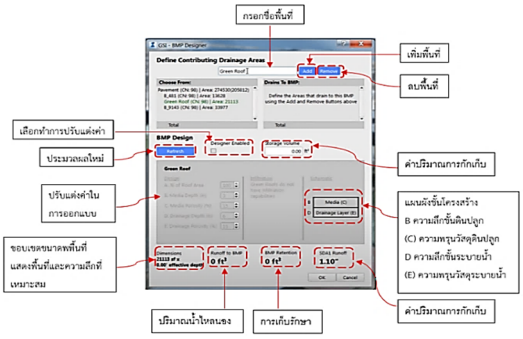
D คือ ดินเนื้อละเอียด ชั้นดินตื้นดูดซับน้ำไม่ดี อัตราการซับน้ำ 0.00-0.05 นิ้ว/ชม.

1.3.3. เครื่องมือเทคนิคการจำลองการศึกษาประสิทธิภาพการรับน้ำท่า

ในการทำให้กระบวนการคำนวณมีประสิทธิภาพ เครื่องมือหรือซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการช่วยคำนวณจึงต้องมีความสอดคล้องกับรูปแบบ TR-55 เนื่องจากสถาบันอาคารเขียวไทย (TREES) ได้รับรองการคำนวณด้วยวิธี TR-55 ไว้ใน TREES-NC ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360 ดังรูปที่ 3-4 (คู่มือการใช้ Autodesk Green Stormwater Infrastructure Extension for Infraworks 360™ V1.0.0, 2015) [14] เป็นเครื่องมือที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

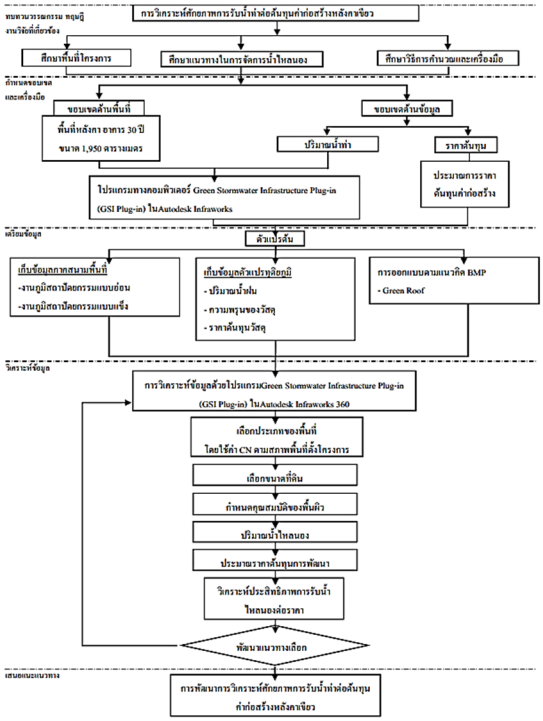
1. การขึ้นแบบจำลองของพื้นที่ที่ต้องการ
2. การตั้งค่าการวิเคราะห์ และการเลือกวิธีการคำนวณ
3. กำหนดลักษณ์พื้นที่
4. เลือกประเภทของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำหลังคาเขียวในการช่วยลดการไหลนองของน้ำ
5. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลให้ค่าเข้าใกล้ศูนย์

รูปที่ 3 หน้าต่างหลักโปรแกรม Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ในAutodesk Infraworks 360



รูปที่ 4 หน้าต่างการออกแบบ GSI-BMP designer

2. ระเบียบวิธีการวิจัย



2.1. การทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี

ในการทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การพัฒนาพื้นที่รับน้ำไหลนองในส่วนของหลังคาเขียว (Green roof) ตามแนวคิดในการจัดการน้ำผิวดิน Low impact development (LID) ด้วยวิธีการคำนวณปริมาณน้ำไหลนองโดยใช้เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360

2.2. กำหนดขอบเขตงานวิจัยและเครื่องมือ

การกำหนดขอบเขตงานวิจัยนั้น ประกอบไปด้วย ขอบเขตด้านพื้นที่ และขอบเขตด้านเนื้อหาในงานวิจัย โดยกำหนดขอบเขตด้านพื้นที่ในการวิจัยเป็นพื้นที่หลังคาชั้นด้านฟ้า (Flat slab) ชื่ออาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีพื้นที่ทำการวิจัยรวม 1,950 ตารางเมตร เพื่อทำเป็นโมเดลแบบจำลองการ

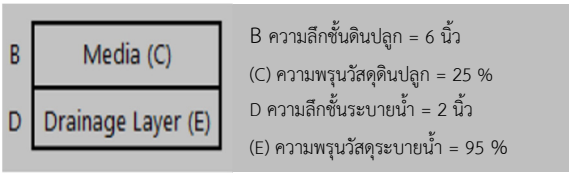
พัฒนาพื้นรับน้ำท่า ในส่วนของขอบเขตเนื้อหา ศึกษาแนวคิด และทฤษฎี ในการพัฒนาพื้นที่การรับปริมาณน้ำท่า (Runoff) โดยใช้เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ในAutodesk Infraworks 360 ในการพัฒนาต้องมีการศึกษาหลักในการประมาณราคาต้นทุนให้มีความสอดคล้องกับต้นทุนในการพัฒนาประสิทธิภาพรับปริมาณน้ำท่า (Runoff)

3. การเตรียมข้อมูล

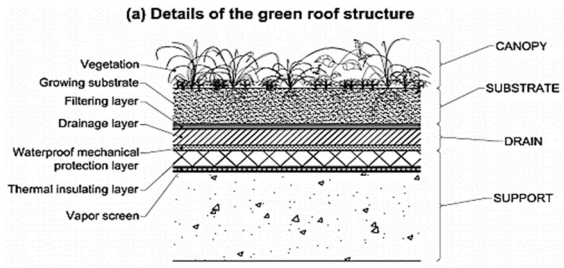
การเตรียมข้อมูลนั้นจะต้องให้มีความสอดคล้องกับตัวโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น B คือ ความลึกชั้นดินปลูก, (C) คือ ความพรุนวัสดุดินปลูก, D คือ ความลึกชั้นระบายน้ำ, (E) คือ ความพรุนวัสดุระบายน้ำ เป็นต้น เพื่อให้ข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังรูปที่ 5

3.1 เก็บข้อมูลภาคสนามพื้นที่ งานภูมิสถาปัตยกรรมอ่อน (softscape) และงานภูมิสถาปัตยกรรมแข็ง (hardscape) [15]

3.2 เก็บข้อมูลตัวแปรทุติยภูมิ ประกอบไปด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ 1. ปริมาณน้ำฝน ใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรวมในคาบ 10 ปี ค่าน้ำฝนอยู่ที่ 3.15 นิ้ว[16] 2. ความพรุนของวัสดุ 3. ราคาต้นทุนวัสดุ ดังตารางที่ 2 โดยจะทำการเปรียบเทียบแต่ละกรณี เทียบกับกรณีฐาน (Base case)



รูปที่ 5 แผนผังชั้นโครงสร้างหลังคาเขียว



รูปที่ 6 ตัวอย่างโครงสร้างหลังคาเขียว

ที่มา Dynamic simulation of the green roofs impact on building energy performance [17]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุปลูกและชั้นระบายน้ำ ทั้ง 3 กรณี

ตัวแปร	ชนิด	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
		ค่า	ค่า	ค่า
ความลึกชั้นดินปลูก (B)	ดินร่วน	6 (นิ้ว)	4 (นิ้ว)	3 (นิ้ว)
ความพรุนวัสดุดินปลูก (C)		25 %	25 %	25 %
ความลึกชั้นระบายน้ำ (D)	Plantercell	2 (นิ้ว)	2 (นิ้ว)	2 (นิ้ว)
ความพรุนวัสดุระบายน้ำ (E)	DC30	95 %	95 %	95 %

3.1. การวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลข้างต้น เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360 ด้วยวิธีการคำนวณ TR-55 ตามแนวทางการจัดการที่ดี Best Management Practices (BMP) การออกแบบในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้นต้องทำการเลือกพื้นที่ในการทำแบบจำลอง กำหนดและตั้งค่าคุณสมบัติของวัสดุ วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า (Runoff) โดยทำการการเปรียบเทียบระหว่างกรณีฐาน (Basecase) คือ หลังคาคอนกรีต (Flat Slab) กับกรณีต่างๆ ที่มีการพัฒนาเป็นหลังคาเขียว (Green roof) ในส่วนของพื้นผิวที่นำมาพัฒนาเป็นหลังคาเขียว นั้นต้องทำการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างเพื่อต้องการทราบต้นทุนในการพัฒนา จะได้ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว ด้วย ΔRunoff / ΔCost หรือ ($\Delta Runoff_{New}$ – $Runoff_{Base\ case}$)/ ($\Delta Cost_{New}$ - $\Delta Cost_{Base\ case}$) เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่

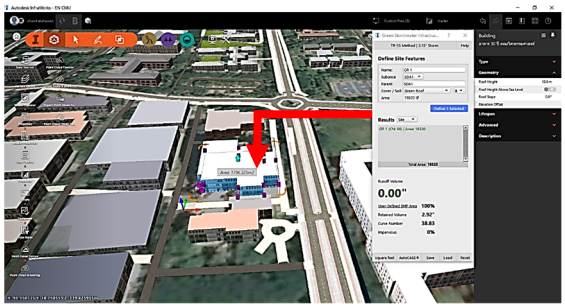
3.2. เสนอแนะแนวทาง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ทำให้ทราบค่าปริมาณการรับน้ำท่า (Runoff) และจากการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว ของพื้นผิวที่ทำการจำลองแต่ละรูปแบบ ทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการรับน้ำท่า ของพื้นที่หลังคาเขียว (Green roof) ในแต่ละกรณี ต่อราคาต้นทุนในการพัฒนา เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ในการตัดสินใจสำหรับการพัฒนาพื้นที่หลังคาเขียวอย่างมีประสิทธิภาพ

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาพื้นที่ในส่วนของหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 2 ซึ่งจัดเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะและอาคารขนาดใหญ่ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีขนาดพื้นที่ของชั้นดาดฟ้ารวม 1,950 ตารางเมตร เพื่อใช้เป็นอาคารต้นแบบในการทำการจำลองศักยภาพการรับน้ำไหลนอง จำนวน 1 โครงการ จากการการวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว

โดยการวิเคราะห์ในแต่ละกรณี เทียบกับกรณีฐาน (Base Case) ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360 โดยวิธีคำนวณ TR-55 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรวมในคาบ 10 ปี (Return period) มีค่า 3.15 นิ้ว ได้ค่าน้ำท่า (Runoff) เท่ากับ 2.92 นิ้ว เป็นพื้นที่ BMP ทั้งหมด ดังนั้นในการเปรียบเทียบแต่ละกรณี เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการพัฒนาการรับปริมาณน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว ด้วยการเลือกใช้วัสดุ คุณสมบัติ และขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 2 โดยอ้างอิงจากกรณีฐาน (Base Case) จะได้ผลการวิจัย ดังตารางที่ 3



รูปที่ 7 รูปแบบจำลองพื้นที่ชั้นดาดฟ้าอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการรับน้ำไหลนองต่อราคาต้นทุน

แนวทางเลือก	Runoff (นิ้ว)	Cost (บาท)	ΔRunoff (นิ้ว)	ΔCost (บาท)	ศักยภาพ (นิ้ว/บาท) (ΔRunoff / ΔCost) x10^5
Base Case	2.92	0			
กรณีที่ 1 (GR-1)	0	875750	-2.92	875750	-0.33
กรณีที่ 2 (GR-2)	0.02	848250	-2.90	848250	-0.34
กรณีที่ 3 (GR-3)	0.27	823750	-2.65	823750	-0.32

ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าแนวทางเลือก Green roof กรณีที่ 1 แนวทางเลือก (GR-1) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน (Base case) สามารถลดปริมาณน้ำท่า (Runoff) ลงได้ 0 นิ้ว เป็นสัดส่วนRunoffที่ลดลงได้ 100 เปอร์เซ็น มีพื้นที่ BMP Area เป็น 100 เปอร์เซ็น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง เท่ากับ 875,750.00 บาท ได้ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง คิดเป็น -0.33 กรณีที่ 2 แนวทางเลือก (GR-2) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน (Base case) สามารถลดปริมาณน้ำท่า (Runoff) ลงได้ 0.02 นิ้ว เป็นสัดส่วน Runoff ที่ลดลงได้ 99 เปอร์เซ็น มีพื้นที่ BMP Area เป็น 100 เปอร์เซ็น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง เท่ากับ 848,250.00 บาท ได้ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง คิดเป็น -0.34 กรณีที่ 3 แนวทางเลือก (GR-3) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน (Base case) สามารถลดปริมาณน้ำท่า (Runoff) ลงได้ 0.27 นิ้ว เป็นสัดส่วน Runoff ที่ลดลงได้ 91 เปอร์เซ็น มีพื้นที่ BMP Area เป็น 100 เปอร์เซ็น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง เท่ากับ 823,750.00 บาท ได้ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง คิดเป็น -0.32

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์แบบจำลองของพื้นที่หลังคาเขียว (Green roof) ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ Green Stormwater Infrastructure Plug-in (GSI Plug-in) ใน Autodesk Infraworks 360 เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการก่อสร้างหลังคาเขียวให้มีศักยภาพในการลดปริมาณน้ำท่า ด้วยการเลือกใช้วัสดุ คุณสมบัติ และขนาดต่างๆกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้างหลังคาเขียว กรณีที่ 2 แนวทางเลือก (GR-2) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน (Base case) สามารถลดปริมาณน้ำท่า (Runoff) ลงได้ 0.02 นิ้ว เป็นสัดส่วน Runoff ที่ลดลงได้ 99 เปอร์เซ็น มีพื้นที่ BMP Area เป็น 100 เปอร์เซ็น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง เท่ากับ 848,250.00 บาท ได้ศักยภาพการรับน้ำท่าต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง คิดเป็น -0.34 เป็นแนวทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดปริมาณน้ำท่าได้ดีที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ทำให้ทราบค่าปริมาณการรับน้ำท่า (Runoff) และจากการประมาณต้นทุนค่าก่อสร้าง ของพื้นผิวที่ทำการจำลองแต่ละกรณี ทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการรับน้ำท่า (Runoff) ของพื้นที่หลังคาเขียว (Green roof) ต่อต้นทุนค่าก่อสร้าง เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ในการตัดสินใจสำหรับการพัฒนาพื้นที่หลังคาเขียวอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการปรับเปลี่ยนวัสดุประเภทอื่น ที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและราคาต้นทุน เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ศักยภาพการรับน้ำท่าให้ดียิ่งขึ้น เพื่อเป็นแนวทางเลือกให้กับผู้นำไปใช้งานต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ดำรงศักดิ์ รินชุมภู อาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ และเอาใจใส่ จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ ที่ได้ให้กำลังใจส่งเสริมการศึกษามาโดยตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้ และ บ.ดิวันโอวัน เปอร์เซ็นต์ จำกัด. (2558). *การขยายตัวของความเป็นเมือง*. (Urbanization).

[2] ภาวิณี อินชมภู, และ สืบสิริ ศรีธัญรัตน์. (2560). *การพัฒนาโครงข่ายพื้นที่สีเขียวในกรุงเทพมหานคร*. ACADEMIC JOURNAL of ARCHITECTURE, 66, 99-120.

[3] ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทย สืบค้นจาก : http://ncteched. fte.kmutnb.ac.th/?page_id=301.

[4] Sameer Dhalla, Christine Zimmer. (2010). *Low Impact Development Stromwater Management Planning and Design Guide*. Wootton-Beard, P. C., Xing, Y., Durai Prabhakaran, R. T., Robson, P., Bosch, M., Thornton, J. M., Donnison, I. (2016). Improving the impact of plant science on urban planning and design. Buildings, 6(4), 48.

[5] กนกวลี สุธีธร. (2548). *หลังคาเขียว: ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน*. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์(ฉบับงานบริการ วิชาการสู่สังคม ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม), 1:125-137.

[6] ยิ่งยศ เงินมาก. (2550). *การเลือกใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำสำหรับ "หลังคาเขียว"*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาภูมิสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาภูมิสถาปัตยกรรม ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม.

[7] วรินทร กิติอนันต์ภัทร์. (2562). *การวิเคราะห์สมบัติวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว*. สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี.

[8] พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522.

[9] http://www.geocities.ws/entaneer-cmu/cmu-2002-slide-01.html

[10] จีระนันท์ สุกุล. (2560). *การศึกษาประสิทธิภาพรับน้ำไหลนองในพื้นที่สวนส่วนกลางของโครงการหมู่บ้านจัดสรรขนาดกลางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[11] สถาบันอาคารเขียวไทย. (2553). *การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้าง และปรับปรุงโครงการใหม่*. กรุงเทพมหานคร: สถาบันอาคารเขียวไทย.

[12] Battiata Joseph, David Hirschman, Kelly Collins and Greg Hoffmann. (2008). *The Runoff Reduction Method. Center for Watershed Protection, Mechanicsville, VA*. Retrieved from http://ucowr.org/files/Achieved_Journal.

[13] พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และพิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์. (2551). *การกำหนดค่า SCS-CN ของพืชคลุมดินเพื่อการจัดการพื้นที่ต้นน้ำ*. Retrieved from สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช:

[14] Autodesk Green Stormwater Infrastructure Extension for Infraworks 360™ User Guide for V1.0.0. August 2015

[15] ศศิยา ศิริพานิช. (2554). *ภูมิทัศน์พื้นฐาน (Fundaamental Landscape)*. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[16] สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่. *สถิติปริมาณฝนในคาบ 13 ปีย้อนหลัง ช่วง พ.ศ.2546 ถึง 2558*.

[17] Rakotondramiarana, H. T., Ranaivoarisoa, T. F., & Morau, D. (2015). *Dynamic simulation of the green roofs impact on building energy performance*. case study of Antananarivo, Madagascar. Buildings, 5(2), 497-520.