



แบบจำลองทางกายภาพการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุน เพื่องานอาคารเขียวตามหลักเกณฑ์ของ TREES-NC Physical Model of Porous Concrete in Green Building According to TREES-NC

Thanudkij Chareerat*^{*} Supatpong Mattaraj* Satawat Tesuka**

Anuwat Chuaysang** and Prapagon Uanglee**

ณัฏกิจ ชารีรัตน์* สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ* ศตวรรษ ทีสุกะ** อนุวัตร ช่วยแสง** และ ประภากร อ่างลี**

*สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

E-mail : thanudkij.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแบบจำลองทางกายภาพการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนเพื่องานอาคารเขียวตามหลักเกณฑ์ TREES-NC จากการศึกษาหลักเกณฑ์ของ TREES-NC ซึ่งประยุกต์มาจากหลักเกณฑ์ของ LEED พบว่า สามารถใช้คอนกรีตพรุนเพื่อการออกแบบอาคารเขียวได้ โดยทำให้ได้รับคะแนนรวมทั้งสิ้น 13 คะแนน จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว ในหมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง และหมวดที่ 8 นวัตกรรม การสร้างแบบจำลองทางกายภาพจัดทำตามอัตราส่วน 1:25 โดยใช้กรวดขนาดเล็กผสมอีพ็อกซีเรซิน ในการทำตัวอย่างคอนกรีตพรุน ซึ่งเป็นการจำลองให้มีคุณสมบัติคล้ายคอนกรีตพรุน ผลการทดสอบพบว่า น้ำ และอากาศสามารถไหลผ่านคอนกรีตพรุนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : อาคารเขียว; คอนกรีตพรุน; แบบจำลองทางกายภาพ

Abstract

This research studied on physical model of applications of porous concrete in green building according to TREES-NC standard. It was found that the applications of porous concrete in green building could be done according to TREES-NC standard which was modified from LEED standard and gained totally 13 points from various chapters; i.e. chapter 2 : site and landscape, chapter 5 : materials and resources and chapter 8 : innovation. The physical model of green building in this investigation was used for the scale of 1:25. Small size of gravel mixed with epoxy resin was used as porous concrete sample. After the model testing, it was found that water and air can be permeated very well through the porous concrete in green building physical model.

Keywords : Green building; porous concrete; physical model

บทนำ

“สภาอาคารเขียวโลก” ได้จัดตั้งขึ้นและมีสมาชิกอยู่ทั่วโลก โดยมีสหรัฐอเมริกาเป็นชาติแรกที่นำข้อกำหนด LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) หรือหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวมาใช้ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเป็นหลักเกณฑ์อาคารเขียวของนานาประเทศ รวมถึงประเทศไทยที่ก่อตั้งเป็น “มูลนิธิอาคารเขียวไทย” ขึ้นเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2553 โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยมีชื่อเกณฑ์ว่า “เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction, TREES-NC)”

อาคารเขียว (Green Building) เป็นอาคารที่สร้างขึ้นโดยมุ่งเน้นให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เป็นอาคารประหยัดพลังงาน ประหยัดการใช้น้ำและใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานจะไม่มีกฎหมายหรือกฎเกณฑ์บังคับแต่เกิดจากผู้ประกอบการต้องการให้อาคารที่สร้างขึ้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการนำคอนกรีตพูนมาประยุกต์ใช้ในตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ

คอนกรีตพูน คือ คอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียดในส่วนผสมเพื่อต้องการให้มีโพรงอยู่ภายใน เพื่อให้ น้ำหรือของเหลวสามารถซึมผ่านได้ คอนกรีตพูนถูกคิดค้นและพัฒนาในประเทศอังกฤษและอเมริกาเป็นเวลามากกว่า 30 ปี สามารถนำไปใช้งานในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น การนำคอนกรีตพูนมาใช้สำหรับงานปูผิวถนน ใช้ในการดาดคลองและพื้น รวมไปถึงการประยุกต์ใช้กับพื้นผิวที่ต้องสัมผัสน้ำอยู่เสมอ เช่น ห้องน้ำ บันได เฉลียงนอกบ้าน และทางเดินในสวนหย่อม เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ระบายน้ำได้ จึงสามารถป้องกันการลื่นล้มได้เป็นอย่างดี จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้คอนกรีตพูนในตัวอาคารและบริเวณโดยรอบได้ในหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้ได้รับคะแนนการประเมินเพิ่มขึ้นตามหลักเกณฑ์อาคารเขียว (TREES-NC) ของประเทศไทย [1-2]

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำคอนกรีตพูน

ในการผลิตคอนกรีตพูนโดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมหยาบคัดขนาดซึ่งเป็นมวลรวมหยาบที่มีอยู่ในท้องถิ่น สารลดน้ำปริมาณมาก (Type F, Superplasticizer) และน้ำสะอาด แต่ในการทำแบบจำลองทางกายภาพนี้ได้ใช้กรวดแม่น้ำขนาด 4.75-9.00 มิลลิเมตร มาผสมกับอีพ็อกซีเรซิน ในอัตราส่วนเรซิน (Rasin) : ฮาร์ดเดนเนอร์ (Hardener) เท่ากับ 1 : 0.5 โดยออกแบบอัตราส่วนโพรงของคอนกรีตพูนที่ร้อยละ 30 และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่ 1.0-2.0 เซนติเมตร/วินาที ทั้งนี้ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เป็นวัสดุภายในประเทศทั้งหมด

วิธีวิจัย

นำคอนกรีตพูนมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองทางกายภาพ ทำการทดสอบการซึมผ่านน้ำและระบบการระบายน้ำเพื่อให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้นตามหลักเกณฑ์อาคารเขียว (TREES-NC) งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของอาคารเขียวด้วยคอนกรีตพูนโดยมีประเด็นการประเมินแยกตามหมวดหมู่ดังต่อไปนี้ [3-5]

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์

- การซึมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม 4 คะแนน
- มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง 2 คะแนน

- มีพื้นที่ดาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ 1 คะแนน

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง

- การใช้วัสดุที่ขุด ผลิต ประกอบ หรือวัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด 2 คะแนน

หมวดที่ 8 นวัตกรรม

- ใช้ผนังคอนกรีตพูนเพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศภายในตัวอาคาร 1 คะแนน
- จัดสวนบนหลังคามากกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด 1 คะแนน
- ใช้รั้วคอนกรีตพูนเพื่อดูดซับเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์ 1 คะแนน

- การนำคอนกรีตพูนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้น 1 คะแนน

การนำคอนกรีตพูนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้คะแนนตามมาตรฐาน (TREES-NC) มีวิธีการดังต่อไปนี้

- การดูดซึมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม โดยเลือกใช้วัสดุปูพื้นที่มีโพรงช่องว่างซึ่งน้ำสามารถซึมผ่านลงสู่ดินได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตพูนทำวัสดุปูพื้นเนื่องจากคอนกรีตพูนมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและอากาศไหลผ่านได้ ทำให้ไม่มีน้ำขังที่ผิวของคอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มพื้นที่การซึมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วมขังได้ จึงสามารถนำคอนกรีตพูนไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย อาทิ ดาดฟ้าของอาคารและหลังคาโรงรถ บ้านโดข้างบ้าน โดยใช้คอนกรีตพูนทำชั้นบันได พื้นห้องน้ำ เพื่อให้มีน้ำไหลผ่านได้ ไม่มีน้ำขังที่พื้นห้องน้ำ ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ภาพบรรยายระบายน้ำโดยใช้คอนกรีตพูนทำผาปิดรางระบายน้ำแทนการใช้ตะแกรงเหล็ก เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการตกของระบายน้ำหรือของหล่นลงไปในรางระบายน้ำและเป็นการเพิ่มพื้นที่ใช้สอยได้อีก

- การจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากหลังคาและเปลือกอาคาร ซึ่งการจัดสวนบนดาดฟ้าและบนหลังคาโรงรถสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในตัวอาคารได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้ การจัดสวนบนหลังคาด้วยพืชคลุมดินที่โตเร็วจำพวกพืชตระกูลถั่วหรือหญ้าหรือพืชตกแต่งขนาดเล็ก จะช่วยให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้นในหัวข้อการลดพื้นที่ดาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

- การใช้วัสดุในพื้นที่ถนนหรือในประเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้ใช้วัสดุในท้องถิ่นและลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง โดยการก่อสร้างอาคารนั้นต้องหาซื้อวัสดุต่างๆ ในพื้นที่ใกล้เคียงก่อนเป็นอันดับแรกเพื่อลดการใช้พลังงานจากการขนส่ง ปัจจุบันการผลิตคอนกรีตพูนสามารถดำเนินการโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ทั้งหมดจากภายในประเทศได้แล้ว

- การถ่ายเทอากาศภายในตัวอาคาร การใช้คอนกรีตพูนในการทำผนังช่วยให้อากาศภายในตัวอาคารสามารถถ่ายเทได้ดีและสะดวกยิ่งขึ้น อาทิ พื้นที่ห้องครัวห้องรับแขก โดยช่วยลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

- การจัดสวนบนหลังคา ตามมาตรฐานกำหนดไว้ที่ร้อยละ 80 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้จัดสวนทั่วพื้นที่หลังคา คือ ร้อยละ 100 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด

- การลดเสียงรบกวน สามารถทำได้โดยใช้คอนกรีตพูนทำรั้วรอบบ้าน เนื่องจากคอนกรีตพูนสามารถใช้เป็นวัสดุในการดูดซับเสียงได้ โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของเสียงภายในโพรงของคอนกรีตพูน ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นได้สนับสนุนให้มีการใช้คอนกรีตพูนสำหรับใช้ลดเสียงรบกวนบริเวณข้างทางรถไฟ ริมทางด่วน และด้านข้างของถนนยกระดับหรือผนังด้านในของถนนใต้อุโมงค์ เป็นต้น [6]

ผลการวิจัยและวิจารณ์

แบบจำลองทางกายภาพ

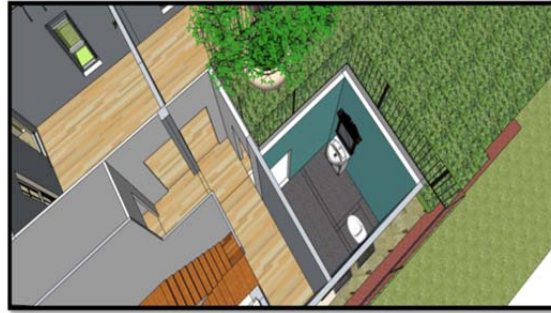
ผู้วิจัยได้ทดลองใช้วัสดุอะคริลิกทึบสีขาวในการขึ้นรูปโครงสร้างแบบจำลองอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น (3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ) และจำลองแผ่นคอนกรีตพูนโดยใช้กรวดขนาดเล็กซึ่งเชื่อมประสานกันด้วยอีพ็อกซีเรซิน เนื่องจากอะคริลิกมีความแข็งแรงและสามารถกันน้ำได้ เทียบเคียงได้กับผนังทึบน้ำ พื้นหรือหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบจำลองทางกายภาพที่สร้างขึ้นด้วยวัสดุอะคริลิกทึบและกรวดขนาดเล็กดังกล่าวมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8

ผลการทดสอบแบบจำลองทางกายภาพ

จากการทดสอบการใช้งานคอนกรีตพูนในส่วนต่างๆ ของแบบจำลอง อาทิ ดาดฟ้า บ้านโด ผนังห้องครัว พื้นห้องน้ำและรางระบายน้ำพบว่า เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ น้ำและอากาศสามารถไหลผ่านส่วนต่างๆ ของแบบจำลองที่ประยุกต์ใช้คอนกรีตพูน (กรวดขนาดเล็กเคลือบด้วยอีพ็อกซีเรซิน) ได้ ซึ่งทำให้การประยุกต์ใช้คอนกรีตพูนเพื่อการออกแบบอาคารเขียวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ TREES-NC และได้รับคะแนนเพิ่มขึ้นจำนวน 13 คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนลักษณะการไหลผ่านของน้ำแสดงดังรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 1 คอนกรีตพูนใช้ทำดาดฟ้า บ้านไผ่ข้างบ้าน



รูปที่ 2 คอนกรีตพูนใช้ทำพื้นห้องน้ำ



รูปที่ 3 คอนกรีตพูนในการจัดสวนบนหลังคา



รูปที่ 4 คอนกรีตพูนใช้ทำผนังภายในตัวบ้าน



รูปที่ 5 คอนกรีตพูนใช้ทำรั้วเพื่อลดเสียงรบกวน



รูปที่ 6 คอนกรีตพูนใช้ลดเสียงดังจากการจราจร

รูปที่ 7 แบบจำลองทางกายภาพจากอะคริลิกทึบ
ในส่วนงานโครงสร้างรูปที่ 8 แบบจำลองทางกายภาพของคอนกรีตพูนบริเวณ
ดาดฟ้าที่ทำจากกรวดขนาดเล็กวางบน
แผ่นอะคริลิกทึบ

ตารางที่ 1 คะแนนทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองทางกายภาพคอนกรีตพูนสำหรับงานอาคารเขียวมีดังนี้

หัวข้อ	คะแนนที่คาดว่าจะได้	คะแนนที่ได้จริง
หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์		
- การขึ้นน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม	4	4
- มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง	2	2
- มีพื้นที่ลาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ	1	1
หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง		
- การใช้วัสดุที่ขุด ผลิต ประกอบ หรือวัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่า ร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	2	2
หมวดที่ 8 นวัตกรรม		
- ใช้ผนังคอนกรีตพูนเพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศภายในตัวอาคาร	1	1
- จัดสวนบนหลังคามากกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด	1	1
- ใช้รั้วคอนกรีตพูนเพื่อดูดซับเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์	1	1
- การนำคอนกรีตพูนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้น	1	1
รวม	13	13



รูปที่ 9 การไหลผ่านของน้ำผ่านดาดฟ้าที่ทำด้วยคอนกรีตพูน



รูปที่ 10 การเทน้ำลงบนรางระบายน้ำที่ทำด้วยคอนกรีตพูน

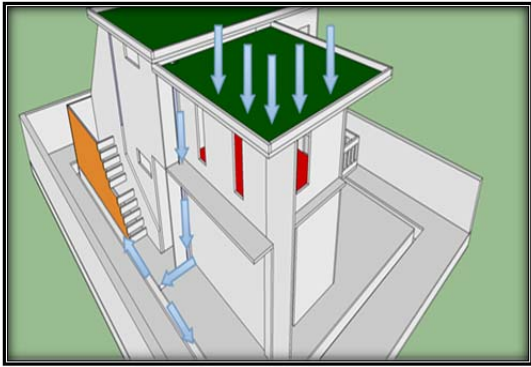
ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

บริเวณชั้นดาดฟ้าตรงทางขึ้นบันไดหลังบ้านและบริเวณหน้าบ้าน

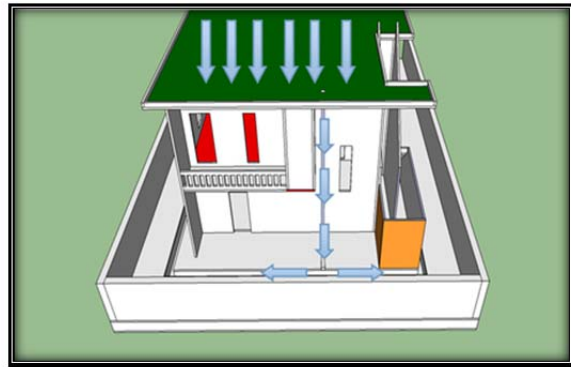
ผลการทดสอบพบว่า เมื่อน้ำกระทบกับพื้นผิวกรวดขนาดเล็กที่เคลือบด้วยอีพ็อกซีเรซิน น้ำจะกระจายไปรอบๆ บริเวณดาดฟ้า จากนั้นจะไหลลงสู่ช่องทางระบายน้ำและระบบท่อที่ได้จำลองไว้แล้วปล่อยออกสู่รางระบายน้ำรอบตัวบ้าน ดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12

บริเวณรางระบายน้ำ

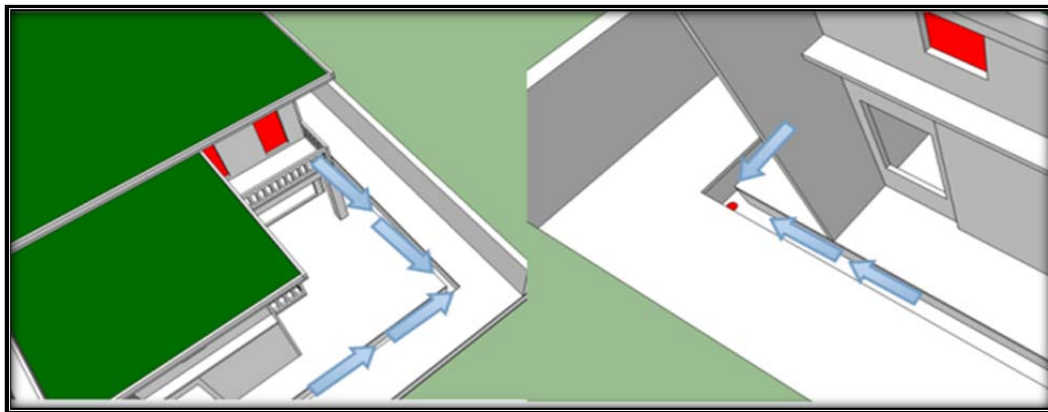
ผลการทดสอบพบว่า น้ำที่ไหลมาจากชั้นดาดฟ้าสามารถไหลผ่านระบบท่อลงสู่รางระบายน้ำที่มีฝาปิดรางระบายน้ำคอนกรีตพูนอยู่โดยรอบและระบายออกที่มุมทั้ง 4 เพื่อสามารถนำน้ำดังกล่าวไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไปได้อีก อาทิ งานรดน้ำต้นไม้ งานซักล้างบางประเภท เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14



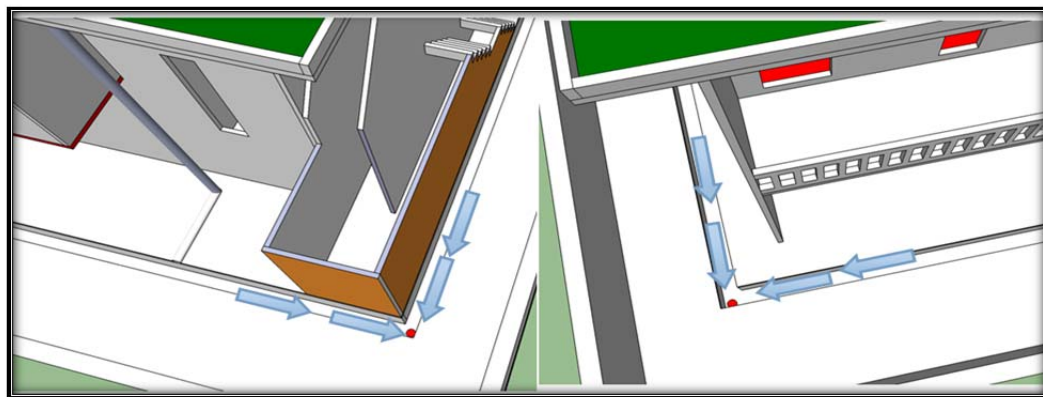
รูปที่ 11 การไหลของน้ำบริเวณชั้นดาดฟ้า
ตรงทางขึ้นบันไดหลังบ้าน



รูปที่ 12 การไหลของน้ำเมื่อซึมผ่านชั้นดาดฟ้าด้านหน้า



รูปที่ 13 การไหลของน้ำบริเวณมุมรางระบายน้ำหน้าบ้าน

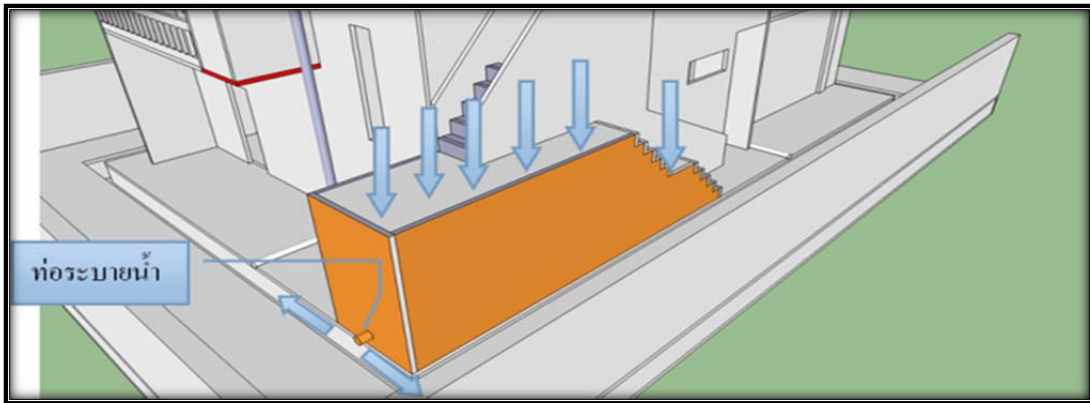


รูปที่ 14 การไหลของน้ำบริเวณมุมรางระบายน้ำหลังบ้าน

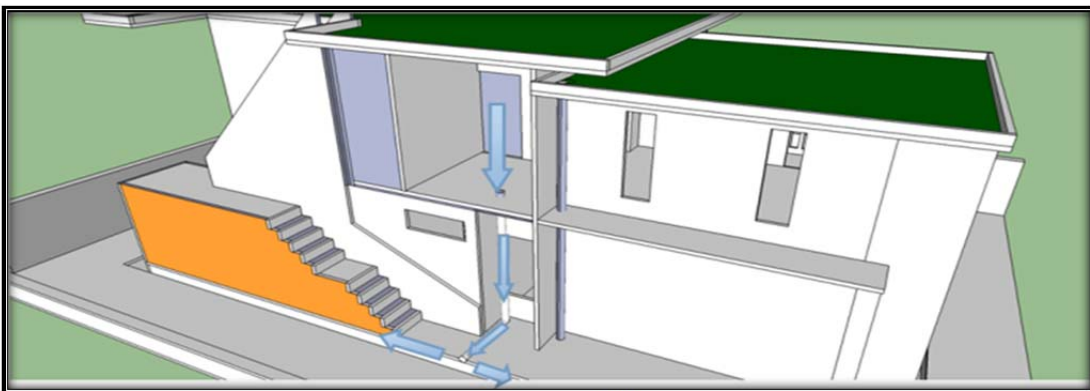
บริเวณทางขึ้นบันไดและห้องน้ำชั้นสอง

ผลการทดสอบพบว่า น้ำสามารถซึมผ่านบริเวณ
ชั้นบันไดและชานพักลงสู่ระบบท่อได้อย่างรวดเร็ว ลด
โอกาสการล้นไหลบริเวณชั้นบันได โดยน้ำดังกล่าวจะ

ระบายออกสู่ท่อระบายด้านข้างและไหลลงสู่รางระบายน้ำ
ดังแสดงในรูปที่ 15 นอกจากนี้ น้ำใช้จากห้องน้ำชั้นสองก็
สามารถไหลซึมผ่านคอนกรีตพุนและระบบท่อลงสู่ถัง
บำบัดน้ำเสีย (Septic tank) ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 การไหลของน้ำบริเวณชั้นบันไดและซานพัก



รูปที่ 16 การไหลของน้ำบริเวณห้องน้ำชั้นสอง

สรุปผล

จากการศึกษาแบบจำลองทางกายภาพการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนเพื่องานอาคารเขียวพบว่า บริเวณดาดฟ้าและบริเวณบันไดข้างบ้านนั้นสามารถระบายน้ำให้ไหลลงสู่รางระบายน้ำได้จริง เพื่อนำน้ำไปหมุนเวียนใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป ในส่วนของฝาดิรางระบายน้ำคอนกรีตพรุน เมื่อทดสอบแล้วน้ำสามารถไหลผ่านได้จริงเช่นกัน โดยทั้งนี้สามารถเพิ่มพื้นที่ใช้สอยรอบข้างบริเวณบ้านได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้ในส่วนของห้องน้ำ กล่าวคือน้ำสามารถไหลผ่านพื้นคอนกรีตพรุนแล้วไหลต่อไปตามท่อลงสู่ถังบำบัดน้ำเสียได้ โดยไม่มีน้ำขังอยู่บริเวณพื้นของห้องน้ำ ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุลื่นล้มในห้องน้ำ ในส่วนของการปลูกพืชและจัดสวนบนชั้นดาดฟ้าก็สามารถทำได้เช่นกัน เพื่อช่วยลดความร้อนจากแสงแดดที่ตกกระทบผิวอาคารและบนดาดฟ้าอาคาร ถือเป็นการลดพื้นที่ดาดฟ้าที่รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานอาคารในประเทศไทยถือว่าเป็นเรื่องใหม่ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการสนับสนุนการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนในตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ เพื่อให้ได้รับคะแนนที่เพิ่มขึ้นตามเกณฑ์อาคารเขียวในประเทศไทย (TREES-NC)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Technology Promotion Association (Thailand - Japan). Green Building: Energy Preservative Innovation for the World in New Generation. Special scoop. June - July 2009. Vol. 36 No. 205. (in Thai)

- [2] Thanudkij Chareerat et.al. 14-16 May 2008. Porous concrete: Environmentally Friendly Concrete. The 13th National Convention on Civil Engineering. P. 296. (in Thai)
- [3] Thai Green Building Institute. Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation (TREES-NC). 26 September 2012. (in Thai)
- [4] Pantuda Phthipiroj, Guideline for Green Building Design According to Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). (in Thai) (Source: <http://www.coa.co.th>)
- [5] U.S. Green Building Council, LEED 2009 for New Construction and Major Renovation., July 2012.
- [6] Japan Concrete Institute, Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete (2004) pp. 1-10.