การประเมินการใช้งานบล็อกซึมน้ำสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์

EVALUATION OF PERVIOUS BLOCKS TO MITIGATE FLOOD ISSUES IN FLOOD VULNERABILITY AREAS OF BANGKOK USING HYDRAULIC MODELING

ราชพล เจริญภานุชาติ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

การประเมินการใช้งานบล็อกซึมน้ำสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์

ราชพล เจริญภานุชาติ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EVALUATION OF PERVIOUS BLOCKS TO MITIGATE FLOOD ISSUES IN FLOOD VULNERABILITY AREAS OF BANGKOK USING HYDRAULIC MODELING

RATCHAPHON CHAROENPANUCHART

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF ENGINEERING

(Civil Engineering)

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการใช้งานบล็อกซึมน้ำสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์

ของ

ราชพล เจริญภานุชาติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธุ์)

..... ประธาน
(ดร.เดชพล จิตรวัฒน์กุลศิริ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด)

ชื่อเรื่อง	การประเมินการใช้งานบล็อกซึมน้ำสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์
ผู้วิจัย	ราชพล เจริญภานุชาติ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธิดา ทีปรักษพันธุ์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM เพื่อช่วยในการบรรเทาอุทกภัยในกรุงเทพมหานคร หลังจากการจัดทำระบบระบายน้ำและประมวลผลแบบจำลอง พบว่า มีพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้งหมด 29 พื้นที่ และมีปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเกินขีดความสามารถการรองรับปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่กรุงเทพมหานครสามารถรับได้คือ 0.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อที่จะบรรเทาผลกระทบดังกล่าวจึงเสนอให้ใช้บล็อกซึมน้ำที่มีสมบัติที่สามารถช่วยบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม การพิจารณาสมบัติของบล็อกซึมน้ำจะเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) ค่าสมบัติที่นำเข้าแบบจำลองจะมีค่าการไหลซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 1,640.00 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาตรโพรงเท่ากับร้อยละ 14.59 และใช้พื้นที่เฉลี่ยร้อยละ 21.14 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด หลังจากการประมวลแบบจำลอง พบว่าสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดลงเหลือ 0.76 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงร้อยละ 22.06 เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าสูงสุดเดิมก่อนนำเข้าบล็อกซึมน้ำ ซึ่งเป็นค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่อยู่ในขีดความสามารถของกรุงเทพมหานคร หลังจากนั้นนำสมบัติในแบบจำลองไปออกแบบบล็อกซึมน้ำจริงตามมาตรฐานเดิม หลังการทดสอบจากห้องปฏิบัติการพบว่า ค่าซึมผ่านน้ำเท่ากับ 1,642.66 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และปริมาตรโพรงเท่ากับร้อยละ 14.56 มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ปรับแก้ไว้ในแบบจำลองเท่ากับร้อยละ 0.12 อีกทั้งบล็อกซึมน้ำดังกล่าวมีความสามารถรับแรงกดลดลงจาก 5.36 เมกะปาสคาล เหลือเพียง 4.86 เมกะปาสคาล แต่ยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) ที่ระบุไว้

คำสำคัญ : แบบจำลอง PCSWMM, การบรรเทาอุทกภัย, บล็อกซึมน้ำ, น้ำท่วมเมือง

Title	EVALUATION OF PERVIOUS BLOCKS TO MITIGATE FLOOD ISSUES IN FLOOD VULNERABILITY AREAS OF BANGKOK USING HYDRAULIC MODELING
Author	RATCHAPHON CHAROENPANUCHART
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Suthida Theepharaksapan , Ph.D.

This research focuses on leveraging PCSWMM hydraulic modeling to aid in mitigating floods in Bangkok. Following the establishment of the Bangkok drainage system and the simulation of a model, 29 flood vulnerability areas were identified. The average peak runoff was found to be 0.95 m3/s, This value exceeds the Bangkok drainage system's capacity threshold of 0.82 m3/s for accommodating peak runoff, resulting in flooding. To address this issue, the proposal suggests implementing pervious blocks with properties to aid in flood mitigation in vulnerable. The consideration for selecting the properties of the pervious block aligns with the ACI 522 (2010) standard, with a permeability of 1,640.00 mm/hr., a porosity of 14.59% and the thickness of the Pervious Block was adjusted to 9 cm, which utilized area corresponds to 21.14% of the total considered area. After simulating the implementation of pervious blocks resulted in a reduction of peak runoff to 0.76 m3/s, a decrease of 22.06% compared to previous levels. This peak runoff value remains within the capacity threshold of Bangkok's drainage system. Subsequently, the permeability characteristics and porosity ratio from model were utilized in the actual block design, followed by retesting according to ACI 522 (2010) standards. From the laboratory testing, it was observed that the permeability value of 1,642.66 mm/hr, and porosity of 14.59%. These values deviated by 0.12%, from the initially properties pervious block in modeling. Furthermore, a decrease in compressive strength was observed in the pervious block, with a reduction from 5.36 MPa to 4.86 MPa, while still adhering to the standards specified in ACI 522 (2010).

Keyword : PCSWMM Model, Flood Mitigation, Pervious Block, Urban Flooding

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลักที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้การชี้แนะในการหาคำตอบเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการจัดทำวิจัยด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนด้านทุนการศึกษา ประสานงานด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดระหว่างจัดทำวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ Computational Hydraulics Int. (CHI) ที่มอบทุนการศึกษาสำหรับการจัดทำแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เดชพล จิตรวัฒน์กุลศิริ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อมาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และให้คำแนะนำ และข้อเสนอต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ภาควิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำ ประสานงานด้านเอกสารให้กับทางผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร นายสุราษฎร์ เจริญชัยสกุล และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลด้านอุทกวิทยา ทำให้วิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายที่สุดนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณคนในครอบครัวที่มีส่วนในการสนับสนุนให้กำลังใจตลอดการทำวิจัย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ขอขอบพระคุณ

ราชพล เจริญภานุชาติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ขอบเขตข้อมูลด้านอุทกวิทยา 2

ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา 2

ขอบเขตด้านวัสดุสำหรับบล็อกพื้นซึมน้ำ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 1

ข้อมูลวัสดุและการทดสอบบล็อกซึมน้ำ 1

บล็อกประสานปูพื้นทั่วไป 1

บล็อกซึมน้ำ 1

วัสดุและส่วนผสมของบล็อกซึมน้ำ 3

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 3

มวลรวมหยาบ 3

การทดสอบวัสดุสำหรับบล็อกซึมน้ำ 3
ลักษณะมวลรวมที่ต้องการ 3
การทดสอบความถ่วงจาเพาะแห้งของมวลรวม 3
การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม (ร้อยละโดยมวล) 4
การทดสอบหาอัตราส่วนช่องว่างมวลรวม 4
การทดสอบการไหลแผ่ แบบหล่อคาลิเปอร์ 4
เกณฑ์การวัดผลคุณสมบัติของวัสดุ 4
การทดสอบบล็อกซึมน้ำ 5
การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต 5
การทดสอบความต้านแรงอัด 5
การทดสอบการดูดซึมน้ำ 6
การทดสอบซึมผ่านน้ำ 6
ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา 6
สภาพพื้นที่ทั่วไปกรุงเทพมหานคร 6
ภูมิประเทศกรุงเทพมหานคร 6
ภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร 7
การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรุงเทพมหานคร 7
ข้อมูลด้านอุทกวิทยาพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร 9
พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร 9
ระบบระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา 21
ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา 24
ข้อมูลพื้นฐานแบบจำลอง PCSWMM 26
ท่อระบายน้ำ 26

ปริมาณน้ำฝน 31
ปริมาณน้ำท่า 31
การจำลองระบบการซึมของน้ำในดิน 33
การจำลองการระเหยของน้ำ 33
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 34
ความสัมพันธ์ของ LID Control ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า 35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 1
การรวบรวมข้อมูล และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการ 1
การรวบรวมข้อมูล 1
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการ 2
วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับบล็อกซึมน้ำ 2
การวิเคราะห์ข้อมูลด้านพื้นที่ 3
การวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุทกวิทยา 3
การออกแบบอัตราส่วนและส่วนผสมของบล็อกซึมน้ำ 3
การทดสอบบล็อกซึมน้ำเพื่อหาค่าสมบัติซึมน้ำเริ่มต้น 6
การคำนวณปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม 6
การคำนวณค่าการซึมผ่านน้ำ 6
การคำนวณหาปริมาตรโพรงหรือความพรุน 7
การคำนวณหาความสามารถการรับแรงอัด 7
การนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง PCSWMM 8
การประมวลผลแบบจำลอง PCSWMM 12
การสอบเทียบแบบจำลอง 12

การสอบเทียบ 12
จัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมจากการสอบเทียบแบบจำลอง 12
ประมวลผลแบบจำลองกรณีมีบล็อกซึมน้ำ 13
แผนการดำเนินงานวิจัย 14
บทที่ 4 ผลการศึกษา 1
ผลการจัดแบบจัดทำลองชลศาสตร์ PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา 1
องค์ประกอบของแบบจำลอง 1
ผลการสอบเทียบแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา 4
ค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์ที่ได้จากการสอบเทียบ 4
1. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่า 4
2. ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง 5
3. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ 6
4. ผลการสอบเทียบแบบจำลอง 6
การจัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมในกรุงเทพมหานคร 9
ต้นแบบบล็อกซึมน้ำสำหรับใช้เป็นค่าพื้นฐานในแบบจำลอง 19
การนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM 23
ขอบเขตพื้นที่สำหรับการนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลอง 23
ประสิทธิภาพบล็อกซึมในการบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา 25
การปรับแก้สมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบ 29
การทดสอบบล็อกซึมน้ำหลังการปรับแก้สมบัติในแบบจำลอง 32
การออกแบบบล็อกซึมน้ำตามสมบัติที่ปรับแก้ 32
ผลการทดสอบบล็อกซึมน้ำหลังการปรับสมบัติใหม่ 33
การประยุกต์ใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่ศึกษา 35

การจัดทำแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำ 35
เขตหลักสี่ 36
เขตบางเขน 37
เขตจตุจักร 38
เขตดินแดง 40
เขตราชเทวี 41
เขตพญาไท 42
เขตพระนคร 43
เขตห้วยขวาง และเขตวัฒนา 44
เขตสวนหลวง 45
เขตสาทร 46
เขตบางกะปิ 47
เขตจอมทอง 48
เขตบางแค 49
เขตภาษีเจริญ 50
เปรียบเทียบการใช้งานระหว่างบล็อกทางเท้าทั่วไปและบล็อกซึมน้ำ 51
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 1
สรุปผลการวิจัย 1
ข้อเสนอแนะ 3
บรรณานุกรม 4
ภาคผนวก 8
ประวัติผู้เขียน 17

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 เกณฑ์มวลรวมหยาบจากการนำกลับมาใช้ใหม่ 5
ตาราง 2 กำหนดการใช้สัญลักษณ์ในผังเมืองเมืองรวมกรุงเทพมหานคร 7
ตาราง 3 ค่าระดับน้ำสูงสุดแม่น้ำเจ้าพระยาวัดระดับ ณ ปากคลองตลาด ใกล้สะพานพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก 24
ตาราง 4 ปริมาณน้ำฝนสะสม (มิลลิเมตร) และความเข้มฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง) สำหรับช่วงเวลาและค่าการเกิดซ้ำของฝนในกรุงเทพมหานครย้อนหลัง 10 ปี พ.ศ. 2556 ถึง 2565 25
ตาราง 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในสมการแมนนิ่งสำหรับการไหลในท่อ 27
ตาราง 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในสมการแมนนิ่งสำหรับการไหลในทางน้ำเปิด 28
ตาราง 7 หน้าตัดการไหลที่สามารถใช้ได้ในแบบจำลอง 28
ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์ C ของ Hazen - Williams 30
ตาราง 9 ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการไหลบ่าสำหรับการใช้ในแบบจำลอง PCSWMM 31
ตาราง 10 สมบัติขั้นต่ำในการออกแบบบล็อกซึมน้ำตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) 3
ตาราง 11 สมบัติมวลรวมหยาบที่ใช้ในการออกแบบบล็อกซึมน้ำ 4
ตาราง 12 การออกแบบส่วนผสมสำหรับทำบล็อกซึมน้ำในการหาสมบัติพื้นฐาน 4
ตาราง 13 อัตราการส่วนการใช้วัสดุผสมต่อหนึ่งตัวอย่าง 5
ตาราง 14 องค์ประกอบที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองระบบระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา 1
ตาราง 15 ค่าร้อยละการไหลบ่าตามการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในแบบจำลอง 4
ตาราง 16 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ได้จากการสอบเทียบในแบบจำลอง 5
ตาราง 17 ผลการสอบเทียบสถานการณ์น้ำท่วมในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM 6
ตาราง 18 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดของพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม 29 พื้นที่ 7
ตาราง 19 ค่าสมบัติซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำ 19

ตาราง 20 ค่าหน่วยน้ำหนักมวลรวมหยาบและปริมาณช่องว่างของมวลรวมหยาบ 19
ตาราง 21 ค่าความสามารถการรับแรงกดของบล็อกซึมน้ำ 20
ตาราง 22 การเปรียบเทียบอัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมและปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ 22
ตาราง 23 การเทียบหน่วยสมบัติของบล็อกซึมน้ำสำหรับใช้ในแบบจำลอง 22
ตาราง 24 ขอบเขตการใช้บล็อกซึมน้ำแทนทางเท้าในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม 23
ตาราง 25 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมสามารถรองรับได้ 25
ตาราง 26 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าสูงสุดก่อนและหลังใช้บล็อกซึมน้ำของตัวอย่าง PB9.5,6 ... 27
ตาราง 27 สมบัติของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้ 29
ตาราง 28 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดหลังการปรับแก้สมบัติของบล้อกซึมน้ำ 30
ตาราง 29 อัตราการส่วนการใช้วัสดุผสมต่อหนึ่งตัวอย่างของสมบัติใหม่ 32
ตาราง 30 ผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำหลังการปรับแก้สมบัติบล็อกซึมน้ำ 33
ตาราง 31 ค่าความสามารถการรับแรงกดหลังการปรับแก้สมบัติของบล็อกซึมน้ำใหม่ 33
ตาราง 32 ตารางเปรียบเทียบค่าสมบัติในแบบจำลองกับการทดสอบในปฏิบัติการ 35
ตาราง 33 การเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างบล็อกทางเท้าทั่วไปและบล็อกซึมน้ำ 51
ตาราง 34 สรุปผลงานใช้งานบล็อกซึมน้ำจากการใช้แบบจำลอง PCSWMM 2
ตาราง 35 รายละเอียดสถานีสูบน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง 8

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตซึมน้ำ.....2

ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างการใช้งานบล็อกซึมน้ำ 2

ภาพประกอบ 3 แผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่กฎกระทรวงให้ใช้บังคับ พ.ศ. 2556 8

ภาพประกอบ 4 ร่างแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินกรุงเทพมหานคร ปรับปรุงครั้งที่ 4.....9

ภาพประกอบ 5 แผนที่แสดงพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร 22 พื้นที่ 10

ภาพประกอบ 6 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดอนเมือง อนุสรณ์สถาน เขตดอนเมือง 11

ภาพประกอบ 7 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมแจ้งวัฒนะ เขตหลักสี่ และเขตบางเขน 11

ภาพประกอบ 8 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรัชดาภิเษก พหลโยธิน แยกเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร 12

ภาพประกอบ 9 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมลาดพร้าว บางกะปิ นวมินทร์ เขตลาดพร้าว และเขตบางกะปิ 12

ภาพประกอบ 10 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดินแดง ห้วยขวาง เขตดินแดง และเขตห้วยขวาง.....13

ภาพประกอบ 11 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนเพชรบุรี จากทางรถไฟถึงถนนอโศกมนตรี เขตราชเทวี และเขตดินแดง 13

ภาพประกอบ 12 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนทหาร พระรามที่ 6 คลองสามเสน และพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระรามที่ 5 คลองผดุงกรุงเกษม คลองสามเสน 14

ภาพประกอบ 13 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรามคำแหง เขตบางกะปิ 14

ภาพประกอบ 14 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระจันทร์ รอบสนามหลวง ถนนท้ายวัง ถนนหน้าพระลาน เขตพระนคร เขตสัมพันธวงศ์ และเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย 15

ภาพประกอบ 15 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนจันทน์ เซนต์หลุยส์ สวนพลู ทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร และเขตยานนาวา 15

ภาพประกอบ 16 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมพระราม 1 เขตปทุมวัน เขตคลองเตย เขตวัฒนา....16

ภาพประกอบ 17 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งเหนือ เขตวัฒนา และเขตคลองเตย . 16
ภาพประกอบ 18 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งใต้ ศรีนครินทร์ เขตบางนา..... 17
ภาพประกอบ 19 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมตลิ่งชัน ฉิมพลี ทุ่งมังกร สวนผัก เขตตลิ่งชัน 17
ภาพประกอบ 20 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมเพชรเกษม เขตบางแค และเขตทวีวัฒนา 18
ภาพประกอบ 21 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนบางบอน 1 เขตบางบอน 18
ภาพประกอบ 22 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนภาษีเจริญชายทะเล เขตภาษีเจริญ 19
ภาพประกอบ 23 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ..... 19
ภาพประกอบ 24 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุวินทวงศ์ เขตมีนบุรี 20
ภาพประกอบ 25 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง และเขตบางกะปิ 20
ภาพประกอบ 26 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมบางซื่อ เขตบางซื่อ..... 21
ภาพประกอบ 27 คลองระบายน้ำในกรุงเทพมหานคร 22
ภาพประกอบ 28 แผนที่แสดงระบบระบายน้ำของกรุงเทพมหานคร 22
ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในฟังก์ชัน LID control ของแบบจำลอง PCSWMM..... 36
ภาพประกอบ 30 ตัวอย่างการออกแบบขนาดบล็อกเพื่อคำนวณส่วนผสม 5
ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างฟังก์ชันการนำเข้าสมบัติบล็อกซึมน้ำในแบบจำลอง PCSWMM (ก) การตั้งค่าพื้นผิว และ (ข) การตั้งค่าชั้นกักเก็บน้ำ 8
ภาพประกอบ 32 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลระบบระบายน้ำในแบบจำลอง PCSWMM..... 8
ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างการตั้งค่าหน้าตัดการไหล ค่าระดับ และข้อมูลระบบระบายน้ำที่จำเป็นในแบบจำลอง PCSWMM 9
ภาพประกอบ 34 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลพื้นที่เข้าแบบจำลอง PCSWMM 9
ภาพประกอบ 35 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลพื้นที่ที่จำเป็นเข้าสู่แบบจำลอง PCSWMM..... 10
ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแบบจำลอง PCSWMM 10

ภาพประกอบ 37 ตัวอย่างการใช้ฟังก์ชัน Rain gage Editor สำหรับการจำลองข้อมูลฝนในแบบจำลอง PCSWMM 11

ภาพประกอบ 38 ตัวอย่างการนำเข้าของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแบบจำลอง PCSWMM โดยฟังก์ชัน LID Control..... 11

ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างการนำเข้าของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเข้าสู่พื้นที่ศึกษา..... 12

ภาพประกอบ 40 ผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 14

ภาพประกอบ 41 รูปแบบการวางโหนดของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา..... 2

ภาพประกอบ 42 รูปแบบการวางทางระบายน้ำของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา..... 3

ภาพประกอบ 43 รูปแบบการวางทางพื้นที่รับน้ำของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา 3

ภาพประกอบ 44 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ หน้า มทบ.11 9

ภาพประกอบ 45 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ถึง วงเวียนบางเขน 10

ภาพประกอบ 46 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนเทศบาลสงเคราะห์..... 10

ภาพประกอบ 47 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนกำแพงเพชร 3 และถนนกำแพงเพชร 2 (หน้าห้าง เจ เจ มอล์ล) 11

ภาพประกอบ 48 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนรัชดาภิเษก หน้าธนาคารกรุงเทพ และหน้าศาลอาญารัชดาภิเษก 11

ภาพประกอบ 49 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณ ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24..... 12

ภาพประกอบ 50 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณแยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2..... 12

ภาพประกอบ 51 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนประชาสุขหน้าปากซอย ซอย 53..... 13

ภาพประกอบ 52 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนศรีอยุธยา สน.พญาไท สันติราษฎรวิทยาลัย โรงเรียนศรีอยุธยา และ ถนนพระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา..... 13

ภาพประกอบ 53 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมถนนพระราม 6 แยกทางด่วน และถนนพหลโยธิน ถึงแยกสะพานควาย..... 14

ภาพประกอบ 54 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนถนนประดิพัทธ์ ถึงแยกสะพานควาย และแยกสะพานควายถึงถนนวิภาวดี 14

ภาพประกอบ 55 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณสนามไชย ถึง หน้าวัดโพธิ์ 15
ภาพประกอบ 56 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมถนนเพชรบุรี ถึง สิงห์คอมเพล็กซ์ และถนนอโศกมนตรี (แยกอโศก) 15
ภาพประกอบ 57 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณ พัฒนาการแยกศรีนครินทร์ ถึง คลองลาว 16
ภาพประกอบ 58 พื้นจุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนสาธุประดิษฐ์ ถึง แยกถนนจันทน์ 16
ภาพประกอบ 59 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี ถึง กรีตสปอร์ตหัวหมาก 17
ภาพประกอบ 60 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนจอมทอง ซอย 12 ถึง แยกวุฒากาศ 17
ภาพประกอบ 61 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนหมู่บ้านเศรษฐกิจ ถึง เวียนกาญจนาภิเษก และถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92) 18
ภาพประกอบ 62 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนเพชรเกษม หน้าตลาดบางแค ถึงคลองบางหว้า 18
ภาพประกอบ 63 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของบล็อกซึมน้ำ 20
ภาพประกอบ 64 การทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของบล็อกซึมน้ำ 21
ภาพประกอบ 65 กราฟปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อเวลาการเกิดน้ำท่าจากการใช้บล็อกซึมน้ำ ของตัวอย่าง PB9.5,6 28
ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยหลังปรับแก้สมบัติบล็อกซึมน้ำ 31
ภาพประกอบ 67 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าก่อนและหลังการปรับแก้สมบัติ 31
ภาพประกอบ 68 ตัวอย่างการออกแบบขนาดบล็อกเพื่อคำนวณส่วนผสม 32
ภาพประกอบ 69 การทดสอบการซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้สมบัติ 34
ภาพประกอบ 70 การทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้สมบัติ 34
ภาพประกอบ 71 ภาพรวมแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำ 35
ภาพประกอบ 72 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตหลักสี่ 36

ภาพประกอบ 73 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตหลักสี่ 37
ภาพประกอบ 74 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตจตุจักร 38
ภาพประกอบ 75 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตจตุจักร (ขยายบริเวณถนนกำแพงเพชร 2 และกำแพงเพชร 3) 39
ภาพประกอบ 76 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตดินแดง 40
ภาพประกอบ 77 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตราชเทวี 41
ภาพประกอบ 78 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตพญาไท 42
ภาพประกอบ 79 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตพระนคร 43
ภาพประกอบ 80 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตห้วยขวาง และเขตวัฒนา 44
ภาพประกอบ 81 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตสวนหลวง 45
ภาพประกอบ 82 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตสาธร 46
ภาพประกอบ 83 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตบางกะปิ 47
ภาพประกอบ 84 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตจอมทอง 48
ภาพประกอบ 85 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตบางแค 49

ภาพประกอบ 86 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตภาษีเจริญ..... 50

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กรุงเทพมหานครเป็นเขตเมืองฝน (Tropical country) ที่มีการเจริญเติบโตของชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ทึบน้ำ (Impervious area) เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนลักษณะของพื้นที่ดังกล่าวจะทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาไม่สามารถระบายออกสู่ระบบระบายน้ำได้ทันหรือซึมลงสู่พื้นดินเพื่อช่วยลดอัตราการไหลบ่าของน้ำฝนได้ ส่งผลให้กรุงเทพมหานครประสบปัญหาน้ำท่วมขังในหลายพื้นที่ อีกทั้งกรุงเทพมหานครมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 39.4 เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 32 ปี (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566, ฉ-30) ทำให้บางพื้นที่ที่เป็นจุดอ่อนน้ำท่วม (Flood vulnerability area) มีโอกาสเกิดน้ำท่วมขังเพิ่มมากขึ้น

ปัญหาน้ำท่วมขังในบางพื้นที่ของกรุงเทพมหานครหากต้องการแก้ไขในทางกายภาพของระบบระบายน้ำนั้นเป็นได้ยาก จึงต้องมีโครงสร้างซึมน้ำที่สามารถนำมาใช้ในพื้นที่เขตเมืองที่มีพื้นที่ว่างอย่างจำกัดเพื่อเป็นส่วนช่วยในการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมและลดอัตราการไหลบ่าของน้ำฝนลงได้ ปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีนโยบายด้านเพิ่มขนาดพื้นสีเขียวและเพิ่มพื้นที่ว่างในเขตเมืองเพื่อให้มีพื้นที่รับน้ำฝนมากขึ้น (คมกริช ธนะเพทย์ และ กาจวิศว์ กล้าหาญ , 2566) ซึ่งโครงสร้างที่เหมาะต่อการปรับปรุงให้เป็นโครงสร้างซึมน้ำและสามารถใช้ร่วมกับนโยบายของกรุงเทพมหานครได้นั้นคือ ทางเดินเท้า (Pathway) เนื่องจากเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ส่วนใหญ่ภาครัฐเป็นผู้ครอบครอง จึงง่ายต่อการปรับปรุงมากกว่าโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่ต้องใช้พื้นที่ว่างขนาดใหญ่และอาจอยู่ในกรรมสิทธิ์ของภาคเอกชนที่ไม่สามารถปรับปรุงได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ Personal computer storm water management model (PCSWMM) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร อีกทั้งใช้แบบจำลองดังกล่าวช่วยในวิเคราะห์สมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบที่มีผลต่อการบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา บล็อกซึมน้ำจะเป็นส่วนหนึ่งของระบบทางเท้าที่จะทำให้ระบบทางเท้าแบบเดิมเป็นทางเท้าที่สามารถช่วยรองรับน้ำฝนที่ตกลงมา ลดอัตราการไหลบ่าที่ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่ที่เป็นจุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครและเป็นไปตามแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green infrastructure) ที่จะปรับเปลี่ยนพื้นที่ในเขตเมืองให้มีประสิทธิภาพในการบรรเทาปัญหาอุทกภัยเพื่อที่จะตอบสนองนโยบายของกรุงเทพมหานครได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประยุกต์ใช้จำลองทางชลศาสตร์ PCSWMM เพื่อวิเคราะห์และจัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมในกรุงเทพมหานคร

2. ประยุกต์ใช้จำลองทางชลศาสตร์ PCSWMM วิเคราะห์สมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบที่สามารถช่วยบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

3. ประยุกต์แบบจำลองทางชลศาสตร์ PCSWMM เพื่อจัดทำแผนที่การบรรเทาปัญหาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตข้อมูลด้านอุทกวิทยา

1. ปริมาณน้ำฝนในกรุงเทพมหานครย้อนหลัง 10 ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2565

2. สถิติน้ำท่วมย้อนหลังในกรุงเทพมหานครย้อนหลัง 2 ปี พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

3. ข้อมูลทางกายภาพของระบบระบายน้ำในพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ เส้นทางของท่อระบายน้ำ ขนาดของท่อระบายน้ำ เส้นทางและขนาดของคูคลองระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ และบ่อสูบน้ำ เป็นต้น ตามแผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ปรับปรุงล่าสุด ปี พ.ศ. 2566 (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566)

4. แบบจำลองทางชลศาสตร์ Personal computer storm water management model (PCSWMM) สำหรับการศึกษา (Education License)

5. ฟังก์ชันโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ ร่องซับน้ำ (Infiltration trench)

ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานครได้กำหนดพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยเป็นพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วม 22 พื้นที่ ได้แก่

1. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดอนเมือง อนุสรณ์สถาน เขตดอนเมือง เนื้อที่ประมาณ 37.64 ตารางกิโลเมตร

2. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมแจ้งวัฒนะ เขตหลักสี่ และเขตบางเขน เนื้อที่ประมาณ 35.78 ตารางกิโลเมตร

3. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรัชดาภิเษก พหลโยธิน แยกเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร เนื้อที่ประมาณ 36.76 ตารางกิโลเมตร

4. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมลาดพร้าว บางกะปิ นวมินทร์ เขตลาดพร้าว และเขตบางกะปิ เนื้อที่ประมาณ 42.02 ตารางกิโลเมตร

5. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดินแดง ห้วยขวาง เขตดินแดง และเขตห้วยขวาง เนื้อที่ประมาณ 18.00 ตารางกิโลเมตร

6. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนเพชรบุรี จากทางรถไฟถึงถนนอโศกมนตรี เขตราชเทวี และเขตดินแดง เนื้อที่ประมาณ 9.54 ตารางกิโลเมตร

7. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนทหาร พระรามที่ 6 คลองสามเสน เนื้อที่ประมาณ 6.42 ตารางกิโลเมตร

8. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระรามที่ 5 คลองผดุงกรุงเกษม คลองสามเสน เนื้อที่ประมาณ 5.78 ตารางกิโลเมตร

9. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรามคำแหง เขตบางกะปิ เนื้อที่ประมาณ 11.44 ตารางกิโลเมตร

10. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระจันทร์ รอบสนามหลวง ถนนท้ายวัง ถนนหน้าพระลาน เขตพระนคร เขตสัมพันธวงศ์ และเขตป้อมปราบศัตรูพ่ายเนื้อที่ประมาณ 8.69 ตารางกิโลเมตร

11. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนจันทน์ เซนต์หลุยส์ สวนพลู ทุ่งมหาเมฆ เขตสารท และเขตยานนาวา เนื้อที่ประมาณ 25.25 ตารางกิโลเมตร

12. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมพระรามที่ 1 เขตปทุมวัน เขตคลองเตย และเขตวัฒนา เนื้อที่ประมาณ 11.66 ตารางกิโลเมตร

13. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งเหนือ เขตวัฒนา และเขตคลองเตย เนื้อที่ประมาณ 22.60 ตารางกิโลเมตร

14. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งใต้ ศรีนครินทร์ เขตบางนา เนื้อที่ประมาณ 40.36 ตารางกิโลเมตร

15. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมตลิ่งชัน ฉิมพลี ทุ่งมังกร สวนผัก เขตตลิ่งชัน เนื้อที่ประมาณ 3.60 ตารางกิโลเมตร

16. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมเพชรเกษม เขตบางแค และเขตทวีวัฒนา เนื้อที่ประมาณ 8.75 ตารางกิโลเมตร

17. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนบางบอน 1 เขตบางบอน เนื้อที่ประมาณ 0.81 ตารางกิโลเมตร

18. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนภาษีเจริญชายทะเล เขตภาษีเจริญ เนื้อที่ประมาณ 2.49 ตารางกิโลเมตร

19. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ เนื้อที่ประมาณ 3.33 ตารางกิโลเมตร

20. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุวินทวงศ์ เขตมีนบุรี เนื้อที่ประมาณ 0.74 ตารางกิโลเมตร

21. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง และเขตบางกะปิ เนื้อที่ประมาณ 13.25 ตารางกิโลเมตร

22. พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมบางซื่อ เขตบางซื่อ มีเนื้อที่ประมาณ 2.85 ตารางกิโลเมตร

ขอบเขตด้านวัสดุสำหรับบล็อกพื้นซึมน้ำ

1. วัสดุผสมและการทดสอบของบล็อกซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) สำหรับบล็อกคอนกรีตพรุน

2. พิจารณาความหนาของบล็อกซึมน้ำ 2 ขนาด ได้แก่ 6 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร

3. มวลรวมหยาบ ได้แก่ มวลรวมธรรมชาติ (หินปูน) ขนาด 9.5 มิลลิเมตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงศักยภาพและสมบัติการซึมน้ำของบล็อกซึมน้ำที่เป็นแนวทางในบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

2. ทราบถึงแนวทาการใช้งานบล็อกซึมน้ำเพื่อเป็นแนวทางบรรเทาอุทกภัยในเมืองตามแนวคิดการพัฒนาเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ไปพัฒนา และใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ที่เกิดปัญหาอุทกภัยของกรุงเทพมหานคร

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอหัวข้อต่อไปนี้

1. ข้อมูลวัสดุและการทดสอบบล็อกซึมน้ำ
2. ข้อมูลทั่วไปของกรุงเทพมหานครและพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วม 22 พื้นที่
3. ข้อมูลด้านอุทกวิทยาของกรุงเทพมหานครและพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วม 22 พื้นที่
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลวัสดุและการทดสอบบล็อกซึมน้ำ

บล็อกประสานปูพื้นทั่วไป

บล็อกประสานปูพื้น คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หรือคอนกรีตบล็อก คือ คอนกรีตบล็อกตันที่สามารถนำมาวางเรียงตัวประสานกันได้อย่างต่อเนื่องมีสีธรรมชาติตามวัสดุที่นำมาผสมกันหรือสีเจือปนอยู่ทั้งก้อน หรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้า มีรูปร่างแบบใดก็ได้ที่เหมาะสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ หรือลานเก็บวัสดุ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้น หรือชั้นรองพื้นให้สอดคล้องและเหมาะสมกับการใช้งาน (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2558, 2565)

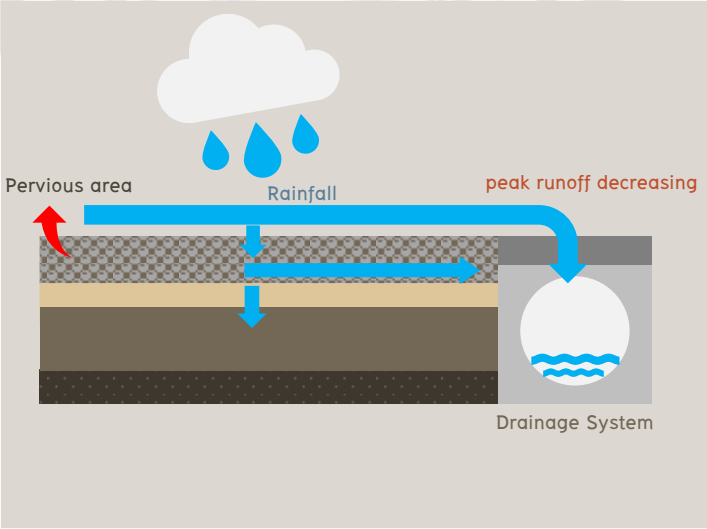
บล็อกซึมน้ำ

บล็อกซึมน้ำ (Pervious block) เป็นบล็อกคอนกรีตที่มีรูพรุนมากกว่าบล็อกทั่วไป เนื่องจากมีการใช้อัตราส่วนและขนาดของมวลรวมหยาบที่เปลี่ยนตามการใช้งานทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถไหลผ่านรูพรุนหรือช่องว่าง (Void) ที่เกิดขึ้นระหว่างมวลรวมส่วนใหญ่จะใช้บล็อกนี้ปูพื้นบริเวณที่ไม่มีการรับแรงกดมาก อาทิ ทางเท้า ลานจอดรถ เป็นต้น ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบและการประเมินศักยภาพสมบัติของตัวบล็อกอย่างเป็นทางการ การออกแบบตัวบล็อกจำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสมบัติหลาย ๆ ด้านเมื่อต้องการเพิ่มความพรุนของบล็อกความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลง หรือต้องการเพิ่มกำลังรับแรงอัดความพรุนจะลดลง โดยจากมาตรฐาน American concrete institute 522 (2010) กล่าวคอนกรีตพรุน หรือบล็อกคอนกรีตซึมน้ำจะมีค่าความซึมผ่านน้ำอยู่ที่ 0.14 – 1.22 เซนติเมตรต่อวินาที และมีกำลังการรับแรงอัดอยู่ที่ 2.8 – 28 เมกะปาสคาล ในการออกแบบส่วนแรกคือด้านมวลรวมส่วนใหญ่นิยมใช้มวลหยาบที่มีขนาดตั้งแต่ 9.5 มิลลิเมตร ถึง 12.5 มิลลิเมตร ส่วนที่สองคือปริมาณเพสต์ที่ใช้จะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 15 – 25 โดยปริมาตร และส่วนส่วนคือปริมาตรโพรง (Void content) จะมีปริมาตร

อยู่ที่ร้อยละ 15 – 35 โดยปริมาตรเพื่อการซึมที่ดี หรือต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรเมื่อต้องการกำลังอัดที่สูงขึ้น จะทำให้มีขนาดโพรงด้านในอยู่ประมาณ 2 – 8 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตซึมน้ำ

ที่มา : https://civiconcepts.com/blog/pervious-concrete



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างการใช้งานบล็อกซึมน้ำ

วัสดุและส่วนผสมของบล็อกซึมน้ำ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) คือ ผลิตภัณฑ์สำหรับยึดประสานทีมีลักษณะเป็นผง จากการบดเม็ดปูนกับแคลเซียมซัลเฟตรูปใดรูปหนึ่งหรือหลายรูป อาจมีหินปูน วัสดุผสมเพิ่มอนินทรีย์ และวัสดุผสมเพิ่มอินทรีย์ได้ ปูนซีเมนต์แบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษ ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนต่อซัลเฟตปานกลางหรือเกิดความร้อนปานกลางขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการค่าความต้านแรงอัดสูงได้เร็ว ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความร้อนต่ำขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตสูง ซึ่งในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เนื่องจากเป็นปูนที่เหมาะกับการใช้งานทุกประเภทและราคาไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับประเภทอื่น ๆ (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511, 2565, น. 1)

มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) หมายถึง มวลรวมที่ส่วนใหญ่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มิลลิเมตร และมีส่วนที่ละเอียดกว่าผสมอยู่ได้บ้าง (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560, 2562, น. 1)

การทดสอบวัสดุสำหรับบล็อกซึมน้ำ

สำหรับมวลรวมผสมคอนกรีตจากการนำกลับมาใช้ใหม่มวลรวมผสมคอนกรีตชนิดนี้ต้องทดสอบวัสดุที่นำมาใช้ผสมดังนี้

ลักษณะมวลรวมที่ต้องการ

มวลรวมผสมคอนกรีตต้องแข็งแรง แน่น ทนทาน สะอาด ไม่มีส่วนผุกร่อนหรือวัชพืชปนอยู่ ทั้งไม่ควรมีลักษณะแบนหรือยาว หรือพรุนที่มองเห็นได้ด้วยตา การทดสอบให้ปฏิบัติโดยการตรวจพินิจ (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560, 2562, น. 5)

การทดสอบความถ่วงจาเพาะแห้งของมวลรวม

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุน (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2566a) การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตฐาน ASTM C127 (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560, 2562, น. 8)

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม (ร้อยละโดยมวล)

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ คือ หาปริมาณของน้ำที่มวลรวมคายออกมาหรือดูดซึมเข้าไปจากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้สามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2566a) การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตฐาน ASTM C127 (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560, 2562, น. 8)

การทดสอบหาอัตราส่วนช่องว่างมวลรวม

การทดสอบอัตราส่วนปริมาณของช่องว่างในวัสดุ คือ ปริมาณของช่องว่างที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อน้ำหรือสารอื่น ๆ ได้ถูกลดลงหรือนำออกจากวัสดุนั้น ๆ การทดสอบอัตราส่วนช่องว่างช่วยในการวัดปริมาณของช่องว่างที่สามารถรับของได้ในวัสดุนั้น การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C29

การทดสอบการไหลแผ่ แบบหล่อคาลิเปอร์

การทดสอบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความข้นและความเหนียวของคอนกรีต โดยถ้าคอนกรีตมีความข้นมากและความเหนียวมาก จะทำให้มีการแผ่ของคอนกรีตที่ช้าลงบนโต๊ะและมีการกระจายน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถ้าคอนกรีตมีความข้นน้อยและความเหนียวน้อย ทำให้มีการแผ่ของคอนกรีตที่เร็วขึ้นและมีการกระจายมากขึ้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C230/C230M

เกณฑ์การวัดผลคุณสมบัติของวัสดุ

เกณฑ์การวัดผลของมวลรวมหยาบจะแบ่งเป็นชั้นคุณภาพตามมวลรวมที่นำกลับมาใช้อธิบายได้ดังนี้

1. ชั้นคุณภาพ 1 แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1.1 มวลรวมหยาบซึ่งประกอบด้วยมวลรวมหยาบที่นำกลับมาใช้ใหม่ล้วน

1.2 มวลรวมหยาบซึ่งประกอบด้วยมวลรวมหยาบจากแหล่งธรรมชาติ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 โดยมวลและมวลรวมหยาบที่นากลับมาใช้ใหม่ชั้นคุณภาพ 2 ไม่เกินร้อยละ 20 โดยมวล

1.3 มวลรวมหยาบซึ่งประกอบด้วยมวลรวมหยาบจากแหล่งธรรมชาติ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 โดยมวล และมวลรวมหยาบที่นากลับมาใช้ใหม่ชั้นคุณภาพ 3 ไม่เกินร้อยละ 10 โดยมวล

2. ชั้นคุณภาพ 2 คือ มวลรวมหยาบส่วนใหญ่หรือทั้งหมดที่ได้มาจากคอนกรีตที่ใช้แล้ว

3. ชั้นคุณภาพ 3 คือ มวลรวมหยาบส่วนใหญ่หรือทั้งหมดที่ได้มาจากวัสดุก่อหรือผสมระหว่างวัสดุก่อและคอนกรีตที่ใช้แล้ว

ตาราง 1 เกณฑ์มวลรวมหยาบจากการนำกลับมาใช้ใหม่

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			วิธีการทดสอบ
	ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2	ชั้นคุณภาพ 3	
ความถ่วงจำเพาะแห้งของมวลรวม	> 2.40	> 2.00	> 1.50	ASTM C127
ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละโดยมวล)	< 3	< 10	< 20	ASTM C127

ที่มา: พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560. (2562, 29 มกราคม). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลรวมผสมคอนกรีต มอก. 566-2562.

การทดสอบบล็อกซึมน้ำ

การทดสอบของบล็อกซึมน้ำที่นำมาประยุกต์ใช้ในในแบบจำลองจะทดสอบตามมาตรฐาน ACI522 (2010) ดังนี้

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีต ใช้กันทั่วไปทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ วิธีนี้ทำได้ง่ายและเครื่องมือที่ใช้ก็ทำได้มากยากนัก ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่วัดได้สำหรับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมเดียวกันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยิ่งน้อย กำลังของคอนกรีตที่ได้ยิ่งสูงขึ้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2566c)

การทดสอบความต้านแรงอัด

การทดสอบความต้านทานของวัสดุต่อแรงบีบอัด โดยการกดหรือบีบอัดชิ้นทดสอบ การทดสอบนี้มีความสำคัญในการประเมินความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุต่อแรงบีบอัด เช่น คอนกรีตหรืออิฐ ซึ่งมักต้องรับแรงบีบอัดในการใช้งานจริง เมื่อแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับกำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุ วัสดุนั้นจะแตกหัก กำลังต้านแรงอัดจะอยู่ในหน่วย เมกะปาสคาล หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2566b) การทดสอบจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C39

การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐเป็นกระบวนการทดสอบที่ใช้เพื่อวัดความสามารถของอิฐในการดูดน้ำหรือสารละลายอื่น ๆ ผ่านตัวอิฐ. การทดสอบนี้ทำให้เราทราบถึงความสามารถการดูดน้ำเข้าไปในตัวของอิฐมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปปรับใช้ในพื้นที่ก่อสร้างตามสภาพแวดล้อม การทดสอบจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C642

การทดสอบซึมผ่านน้ำ

เป็นกระบวนการทดสอบทางวิศวกรรมที่ใช้เพื่อวัดความสามารถของวัสดุหรือโครงสร้างในการป้องกันการไหลซึมของน้ำผ่านตัววัสดุหรือโครงสร้างนั้น ๆ กระบวนการนี้ช่วยให้เราประเมินความทนทานของวัสดุแต่การทำบล็อกซึมน้ำจำเป็นต้องใช้ค่าซึมผ่านน้ำและปรับโครงสร้างบล็อกให้มีความแข็งเหมาะสมกับการใช้งานบนทางเท้า การทดสอบนี้จะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D2434

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

สภาพพื้นที่ทั่วไปกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ประมาณ 1,568 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ลุ่มต่ำตอนปลายของแม่น้ำเจ้าพระยาใกล้ฝั่งทะเลอ่าวไทย มีความสูงของพื้นดินเฉลี่ยประมาณ 0.00 ถึง +1.50 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566, น. 2-1) โดยมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดปทุมธานี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดสมุทรปราการ และอ่าวไทย
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดสมุทรสาคร และจังหวัดนครปฐม

ภูมิประเทศกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในบริเวณภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย บริเวณละติจูดที่ 13.45 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.28 องศาตะวันออก โดยกรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย พื้นที่ซึ่งในทางภูมิศาสตร์เรียกว่าบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำพา (Alluvium) โดยเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย (The Lower General Plain of Thailand) เป็นพื้นที่อุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเพาะปลูกข้าวและพืชประเภทต่าง ๆ (ศูนย์สารสนเทศกรุงเทพมหานคร, 2566)

ภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมที่มีลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งทำให้กรุงเทพมหานครมีอากาศหนาวเย็นและแห้งในช่วงฤดูหนาว ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นมรสุมที่มีลมพัดจากทิศตะวันตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทำให้มีอากาศชุ่มชื้นและฝนตกในช่วงฤดูฝน กรุงเทพมหานครแบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนมีค่าอยู่ประมาณ 1400 – 1600 มิลลิเมตรตลอดปี และอาจมีพายุหมุนเขตร้อนเข้าสู่กรุงเทพมหานคร เช่น พายุดีเปรสชันที่มีความรุนแรงไม่มากทำให้กรุงเทพมหานครมีฝนตกหนักและน้ำท่วมในบางพื้นที่เมื่อพายุดังกล่าว (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2566)

การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครมีการบังคับใช้ผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556 ซึ่งแบ่งการ ใช้ประโยชน์ที่ดินดังภาพประกอบ 3 (กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. ๒๕๕๖, 2556) ปัจจุบันมีการร่างผังการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปรับปรุงครั้งที่ 4 เพื่อทบทวนและปรับปรุงข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวางและจัดทำร่างผังเมือง และจัดทำแผนผังแสดงแหล่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แผนผังแสดงผังน้ำ รวมถึงแผนผังอื่น ๆ ที่จำเป็นให้มีองค์ประกอบตามที่กำหนดในมาตรา 22 แห่งพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2562 มีความสอดคล้องกับสภาพข้อเท็จจริงด้านกายภาพ นโยบายของภาครัฐ วิสัยทัศน์การพัฒนาเมือง ความต้องการของประชาชนและเป็นไปตามหลักวิชาการด้านผังเมือง (สำนักงานโครงการ สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง, 2565)

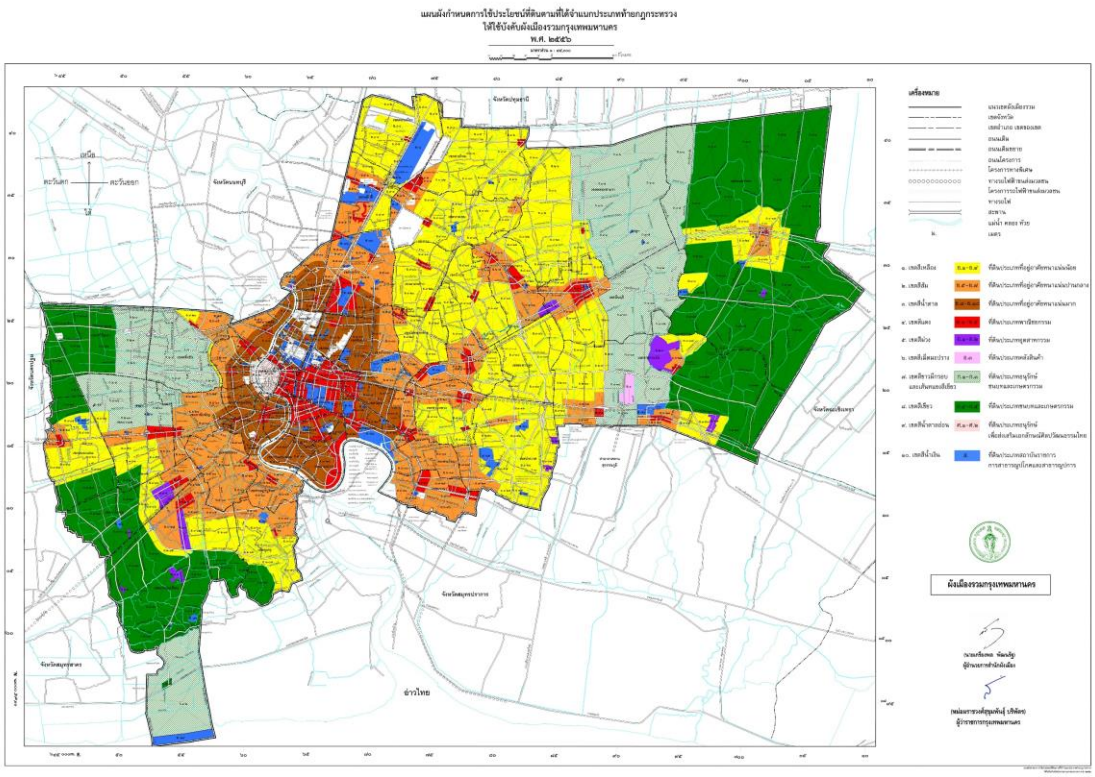
ตาราง 2 กำหนดการใช้สัญลักษณ์ในผังเมืองเมืองรวมกรุงเทพมหานคร

ประเภทสี	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน
เขตสีเหลือง	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย
เขตสีส้ม	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นปาน
เขตสีน้ำตาล	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก
เขตสีแดง	ที่ดินประเภทพาณิชยกรรม
เขตสีม่วง	ที่ดินประเภทอุตสาหกรรม
เขตสีเม็ดมะปราง	ที่ดินประเภทคลังสินค้า
เขตสีขาวมีกรอบและเส้นทแยงสีเขียว	ที่ดินประเภทอนุรักษ์ชนบทและเกษตรกรรม

ตาราง 2 (ต่อ)

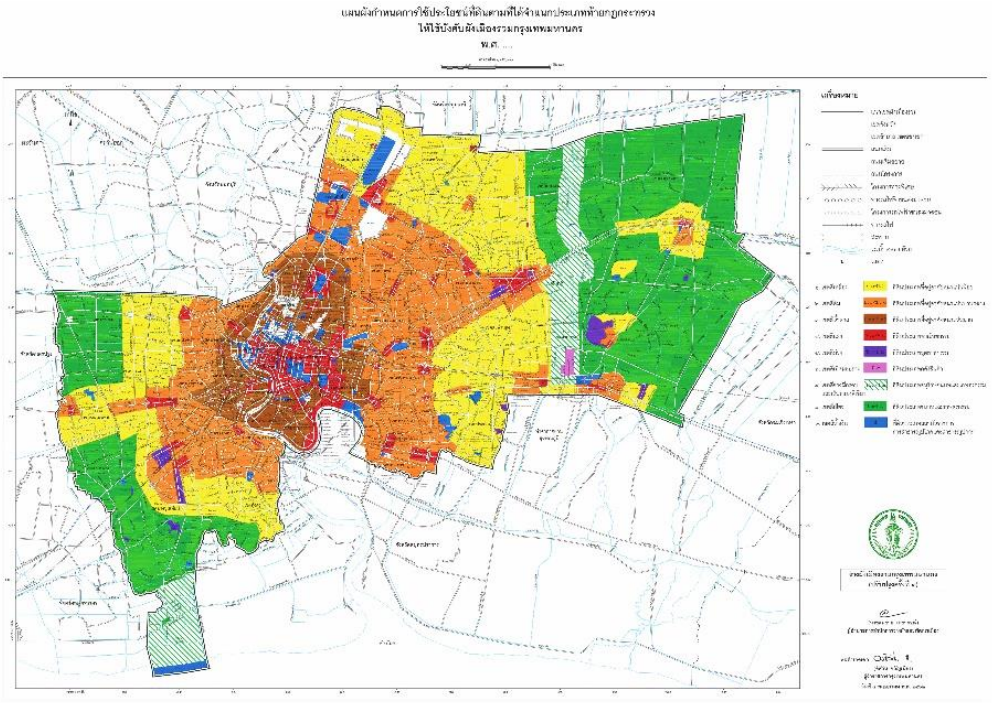
ประเภทสี	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน
เขตสีเขียว	ที่ดินประเภทชนบทและเกษตรกรรม
เขตสีน้ำตาลอ่อน	ที่ดินประเภทอนุรักษ์เพื่อส่งเสริมเอกลักษณ์ศิลปะวัฒนธรรมไทย
เขตสีน้ำเงิน	ที่ดินประเภทสถาบันราชการการสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ

ที่มา: กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. ๒๕๕๖. (2556). ราชกิจจานุเบกษา (เล่ม 130 ตอนที่ 41ก).



ภาพประกอบ 3 แผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่กฎกระทรวงให้ใช้บังคับ พ.ศ. 2556

ที่มา: สำนักการวางผังเมืองและพัฒนาเมืองกรุงเทพมหานคร. (2556). ผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2556.



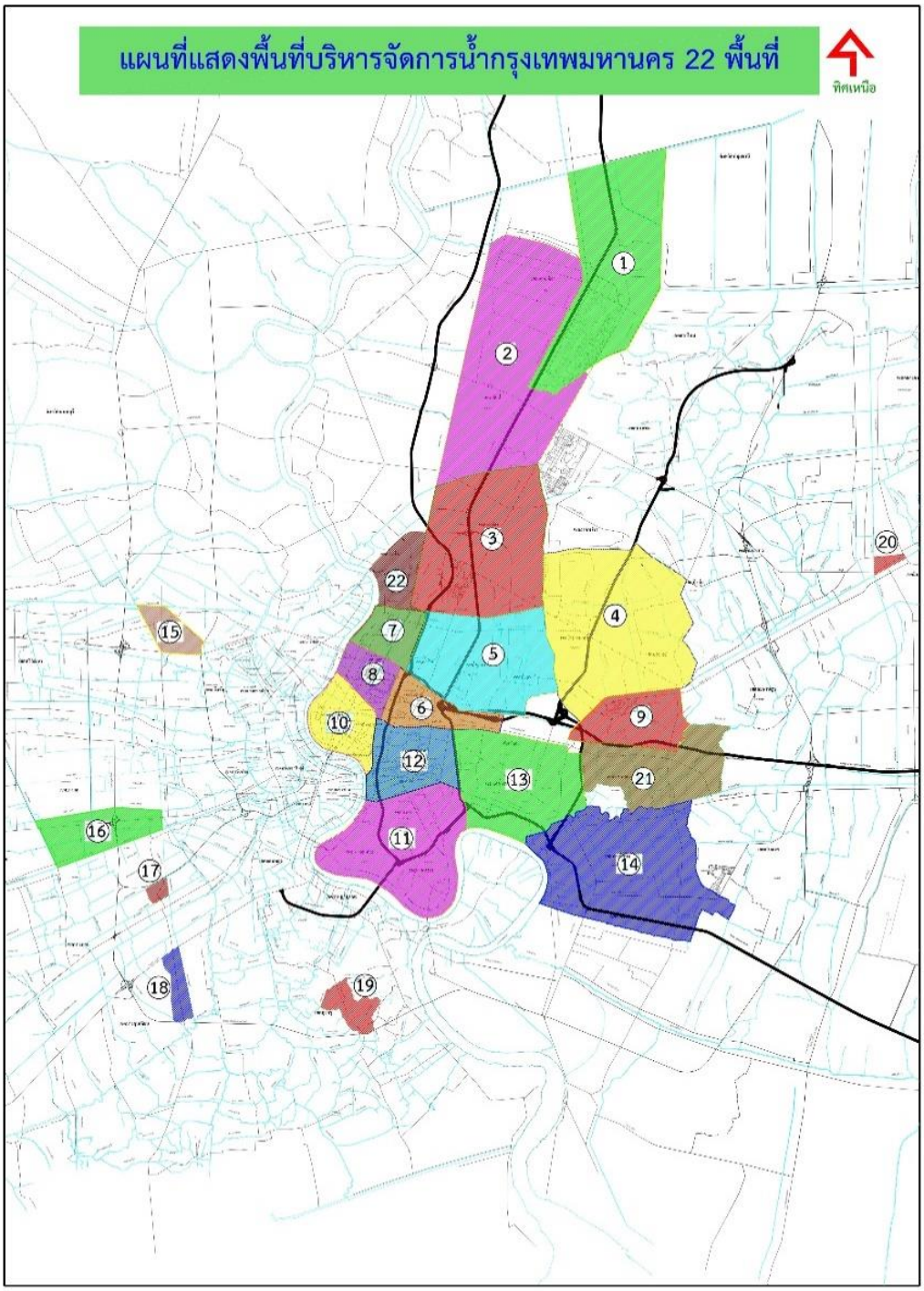
ภาพประกอบ 4 ร่างแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินกรุงเทพมหานคร ปรับปรุงครั้งที่ 4

ที่มา: สำนักงานโครงการ สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง. (2565). โครงการวางและจัดทำผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร ปรับปรุงครั้งที่ 4.

ข้อมูลด้านอุทกวิทยาพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

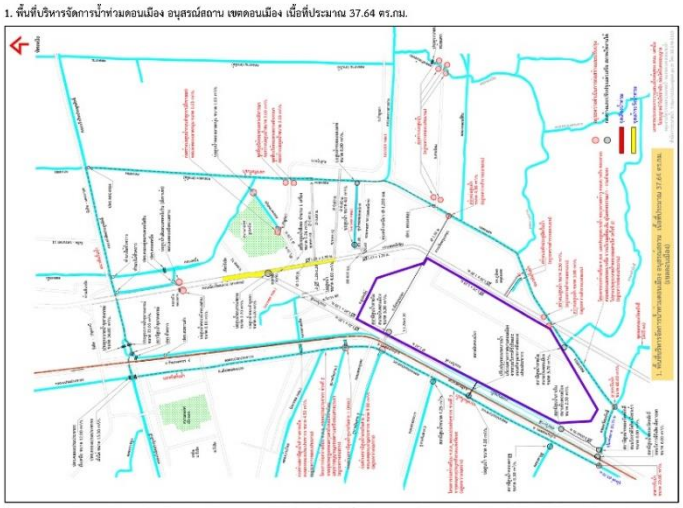
พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากกรุงเทพมหานครประสบปัญหาน้ำท่วมบ่อยครั้ง ทางสำนักการระบายน้ำจึงมีมาตรการสำหรับบริหารจัดการน้ำท่วม โดยแบ่งพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมหรือพื้นที่ปิดล้อมเป็น 22 พื้นที่ เพื่อทำให้ง่ายต่อการดูแล และแก้ไขปัญหาน้ำท่วม ซึ่งลักษณะและขอบเขตของพื้นที่แสดงในภาพประกอบ 5 ถึง ภาพประกอบ 26 ดังนี้



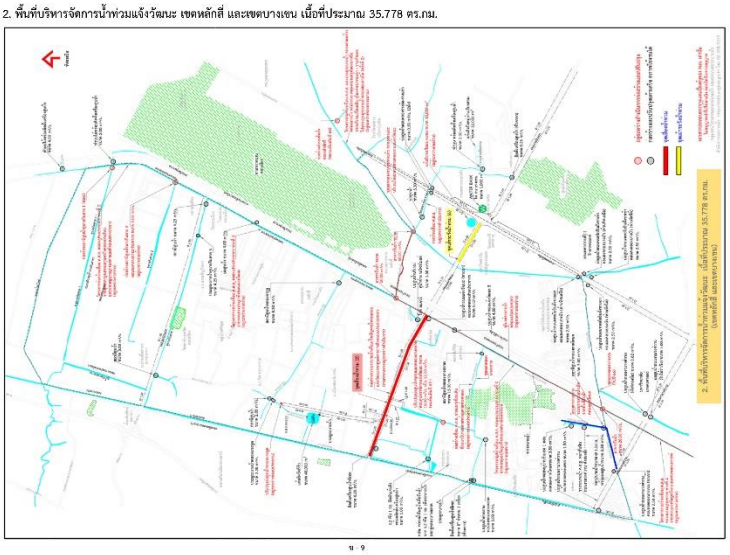
ภาพประกอบ 5 แผนที่แสดงพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร 22 พื้นที่

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-7



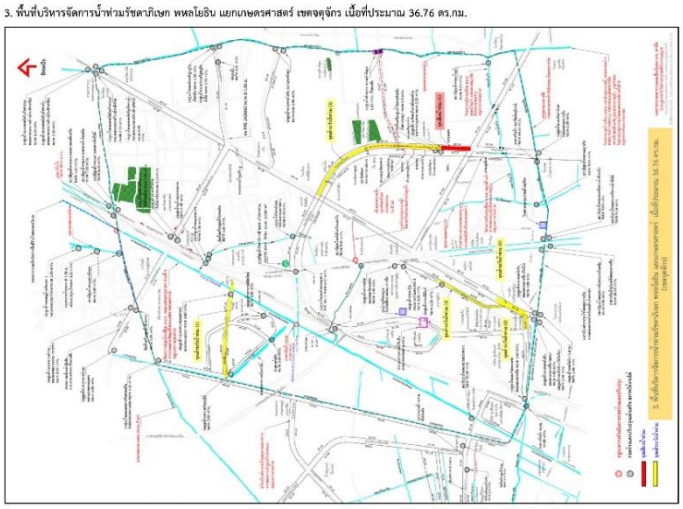
ภาพประกอบ 6 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดอนเมือง อนุสรณ์สถาน เขตดอนเมือง

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-8



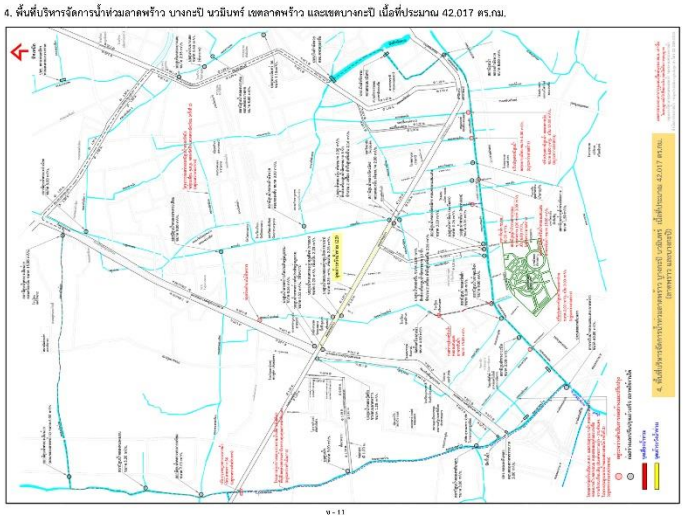
ภาพประกอบ 7 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมแจ้งวัฒนะ เขตหลักสี่ และเขตบางเขน

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-9



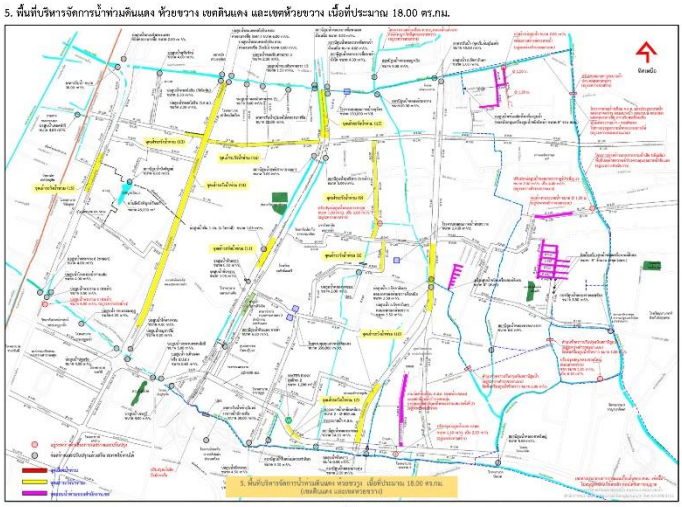
ภาพประกอบ 8 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรัชดาภิเษก พหลโยธิน แยกเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-10



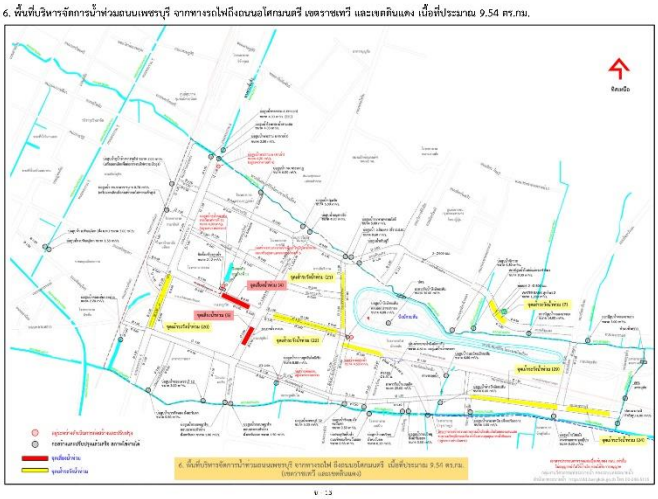
ภาพประกอบ 9 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมลาดพร้าว บางกะปิ นวมินทร์ เขตลาดพร้าว และเขตบางกะปิ

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-11



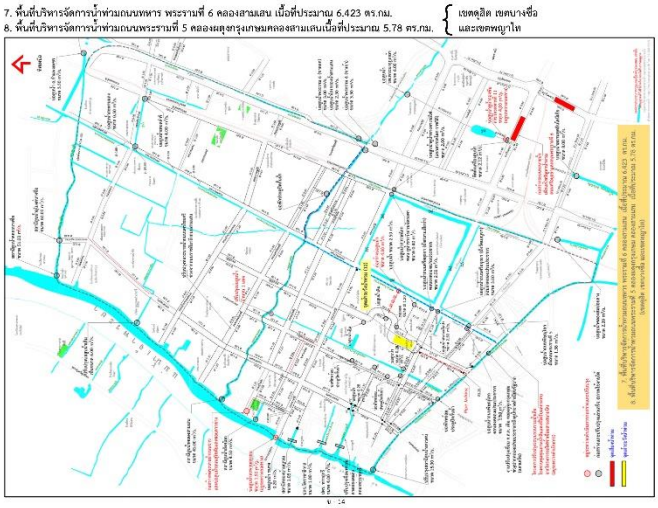
ภาพประกอบ 10 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมดินแดง ห้วยขวาง เขตดินแดง และเขตห้วยขวาง

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-12



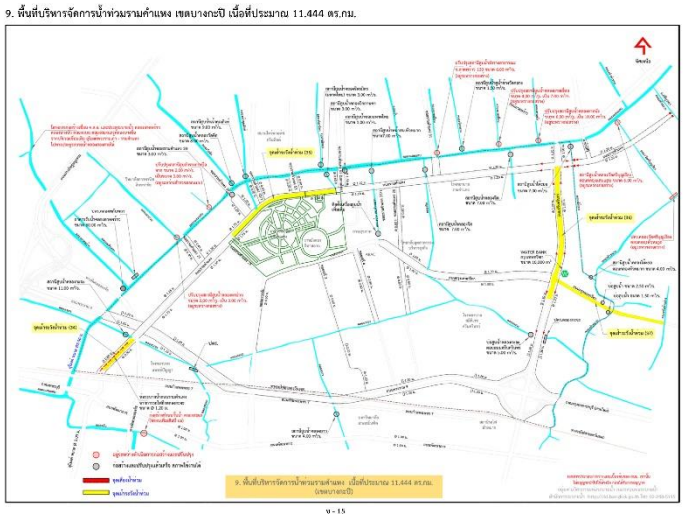
ภาพประกอบ 11 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนเพชรบุรี จากทางรถไฟถึงถนนอโศกมนตรี เขตราชเทวี และเขตดินแดง

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-13



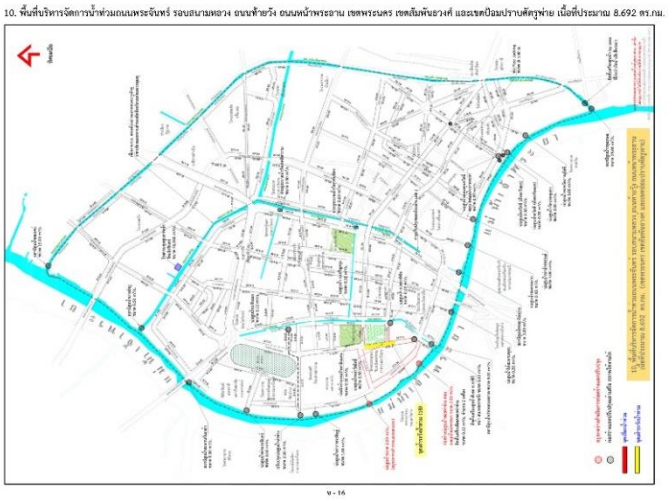
ภาพประกอบ 12 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนทหาร พระรามที่ 6 คลองสามเสน และพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระรามที่ 5 คลองผดุงกรุงเกษม คลองสามเสน

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-14



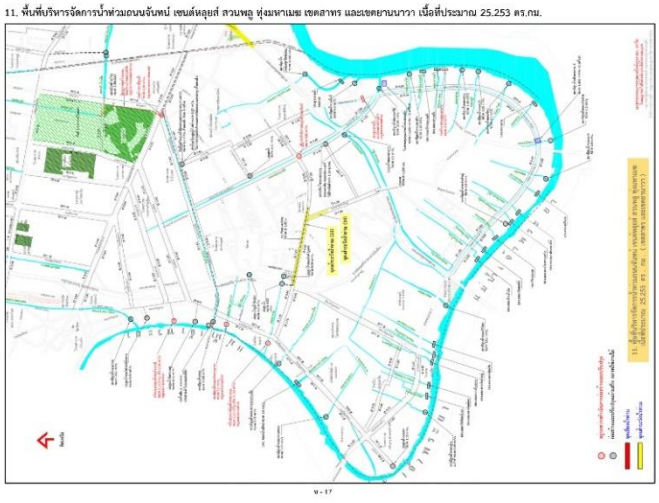
ภาพประกอบ 13 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมรามคำแหง เขตบางกะปิ

ที่มา: : สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-15



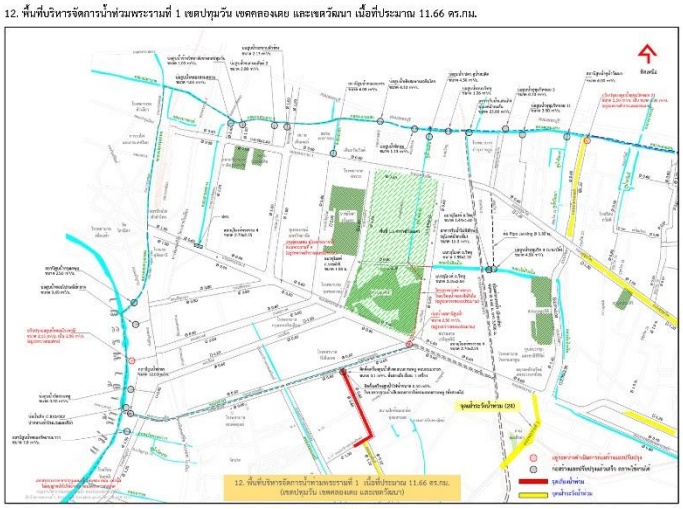
ภาพประกอบ 14 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพระจันทร์ รอบสนามหลวง ถนนท้ายวัง ถนนหน้าพระลาน เขตพระนคร เขตสัมพันธวงศ์ และเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย

ที่มา: : สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-16



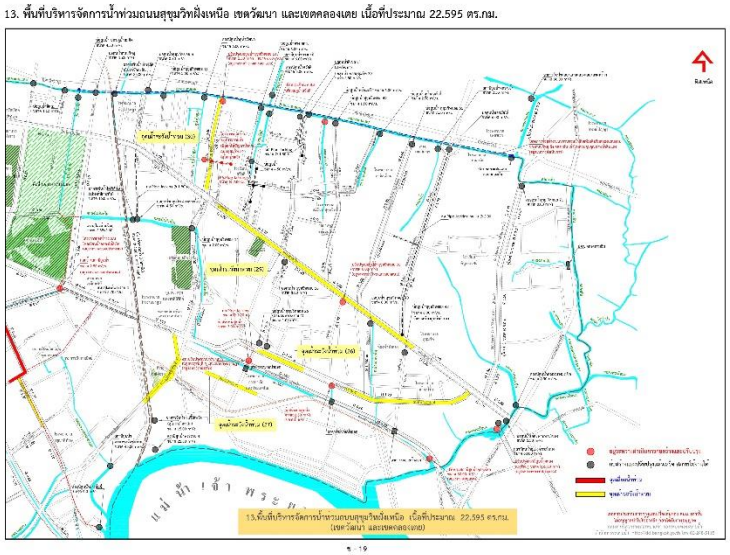
ภาพประกอบ 15 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนจันทน์ เซนต์หลุยส์ สวนพลู ทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร และเขตยานนาวา

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-17



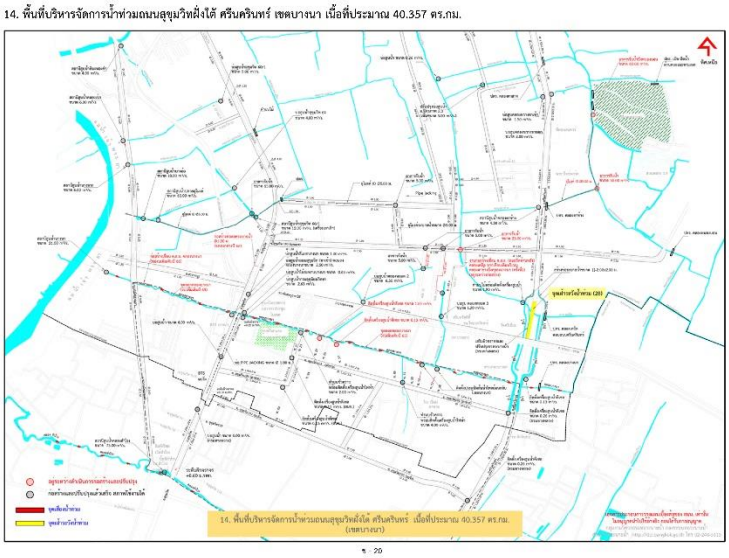
ภาพประกอบ 16 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมพระราม 1 เขตปทุมวัน เขตคลองเตย เขตวัฒนา

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-18



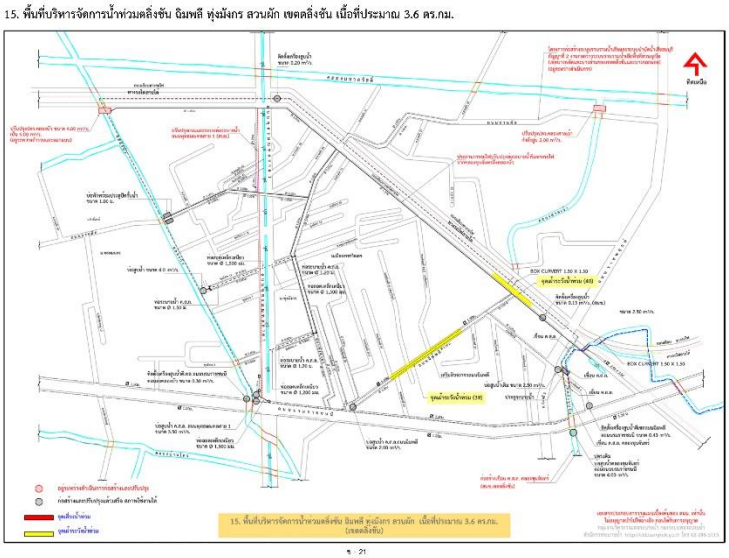
ภาพประกอบ 17 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งเหนือ เขตวัฒนา และเขตคลองเตย

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-19



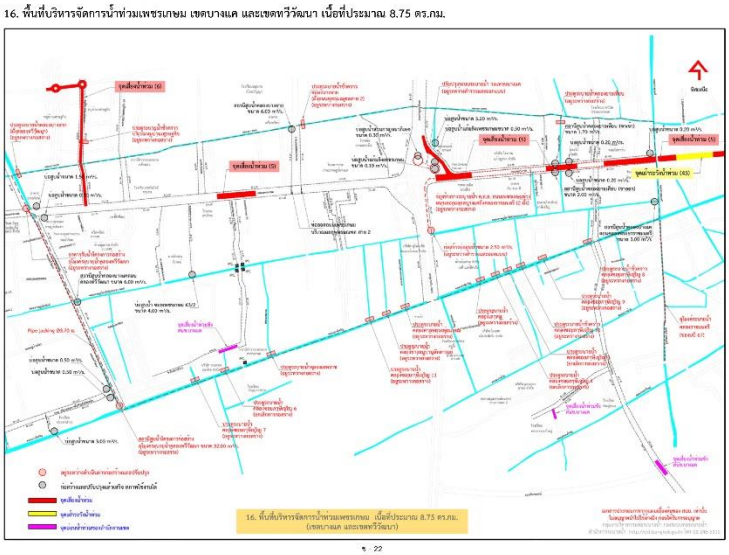
ภาพประกอบ 18 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุขุมวิทฝั่งใต้ ศรีนครินทร์ เขตบางนา

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-20



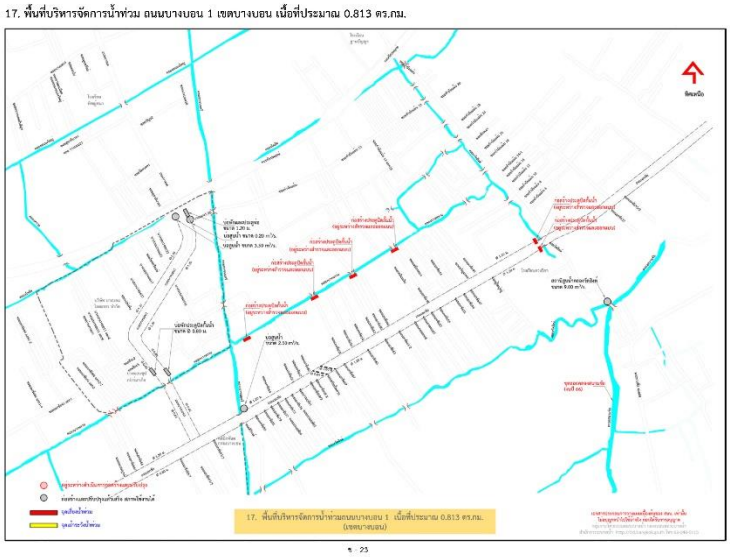
ภาพประกอบ 19 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมตลิ่งชัน ฉิมพลี ทุ่งมังกร สวนผัก เขตตลิ่งชัน

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-21



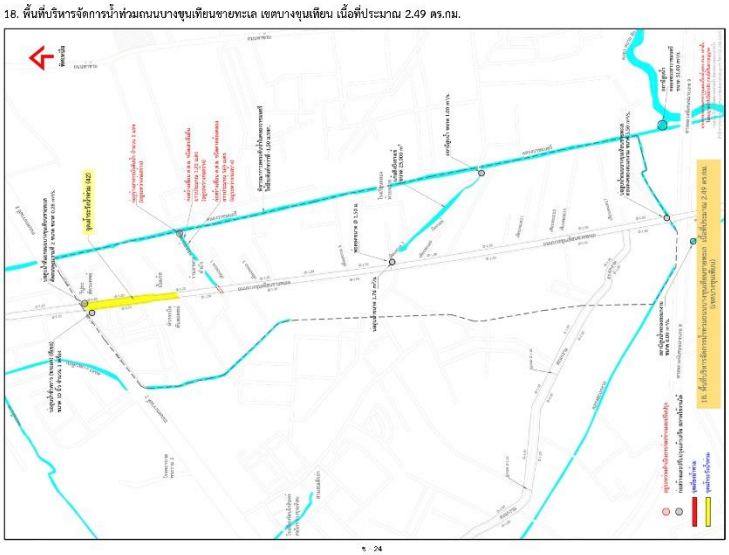
ภาพประกอบ 20 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมเพชรเกษม เขตบางแค และเขตทวีวัฒนา

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-22



ภาพประกอบ 21 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนบางบอน 1 เขตบางบอน

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-23

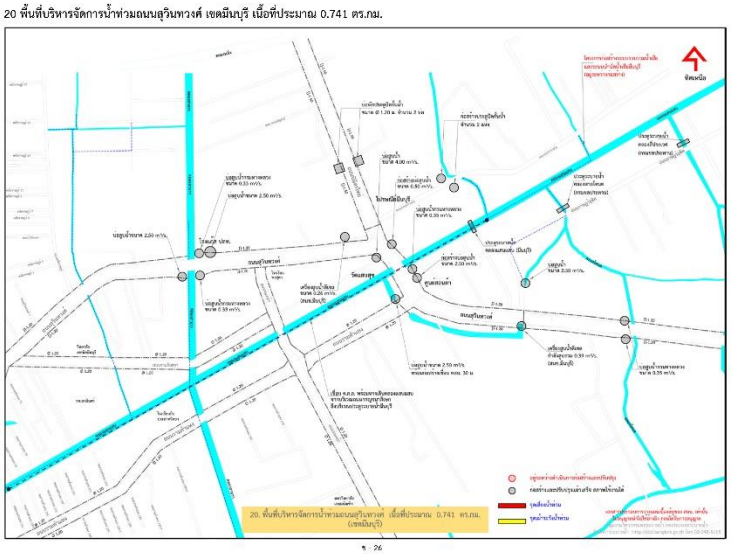


ภาพประกอบ 22 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนภาษีเจริญชายทะเล เขตภาษีเจริญ

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-24

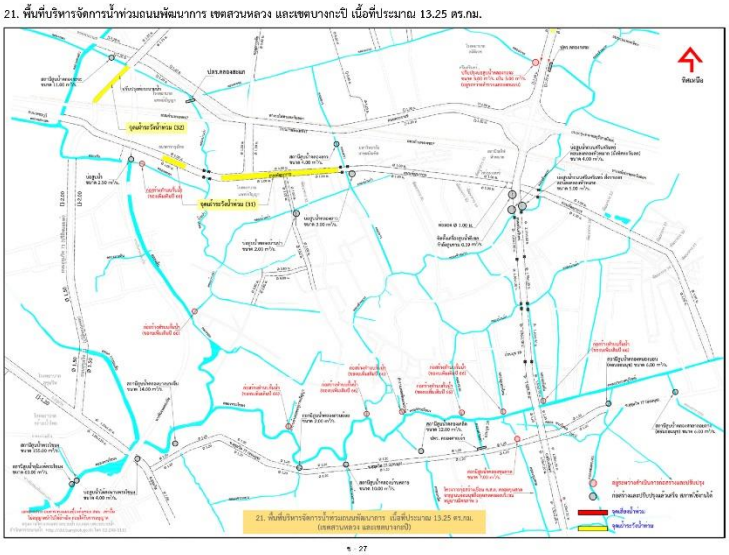
ภาพประกอบ 23 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-25



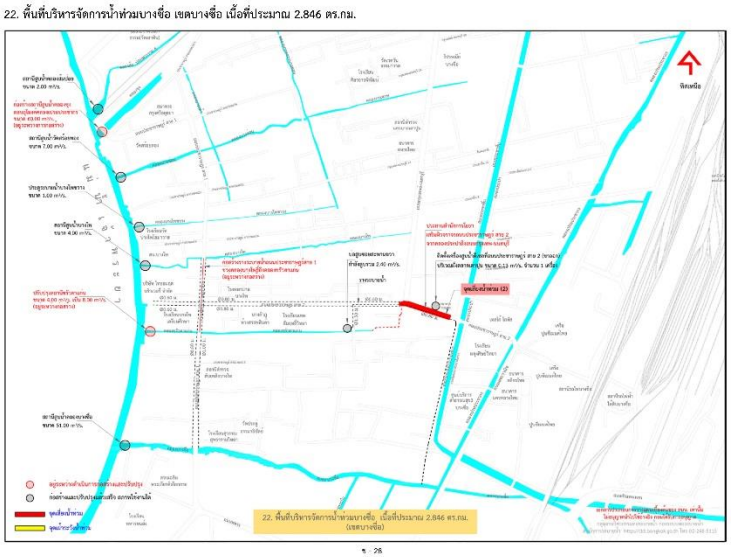
ภาพประกอบ 24 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนสุวินทวงศ์ เขตมีนบุรี

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-26



ภาพประกอบ 25 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง และเขตบางกะปิ

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-27



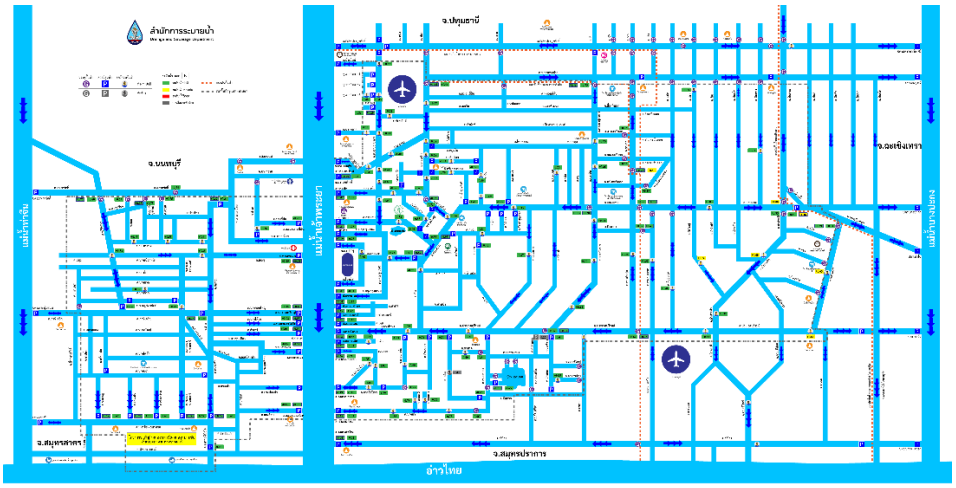
ภาพประกอบ 26 พื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมบางซื่อ เขตบางซื่อ

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. ข-27

ระบบระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา

ในการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังเนื่องจากฝนตกในพื้นที่ปิดล้อมของกรุงเทพมหานครได้ก่อสร้างระบบระบายน้ำ เพื่อเร่งระบายน้ำท่วมขังในพื้นที่ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาและอ่าวไทยโดยเร็ว โดยปัจจุบันขีดความสามารถของระบบระบายน้ำจะสามารถรองรับปริมาณฝนที่ตกสะสมรวมได้ไม่เกิน 80 มิลลิเมตรใน 1 วัน (ใน 1 วัน โดยเฉลี่ยแล้วฝนตกประมาณ 3 ชั่วโมง) หรือสามารถแปลงเป็นความเข้มของฝนไม่เกิน 58.7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ประกอบด้วยระบบระบายน้ำต่าง ๆ (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566, น. 2-9) ดังนี้

1. คู คลองระบายน้ำ จำนวนทั้งสิ้น 1,980 คลอง ความยาวรวม ประมาณ 2,744 กิโลเมตร ดัง



ภาพประกอบ 27 คลองระบายน้ำในกรุงเทพมหานคร

ที่มา: https://weather.bangkok.go.th/klongmap

ภาพประกอบ 28 แผนที่แสดงระบบระบายน้ำของกรุงเทพมหานคร

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. 1-2

2. ท่อระบายน้ำ จะมีความยาวประมาณ 6,564 กิโลเมตร และจะแบ่งออกเป็นถนนสายหลัก 2,050 กิโลเมตรในตรอก ซอย ความยาวประมาณ 4,514 กิโลเมตร

3. สถานีสูบน้ำ ประตูระบายน้ำ บ่อสูบน้ำ เพื่อระบายน้ำท่วมขังเนื่องจากฝนตกในพื้นที่ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ประกอบด้วย สถานีสูบน้ำ 193 แห่ง ประตูระบายน้ำ 248 แห่ง และบ่อสูบน้ำ 368 แห่ง

4. อุโมงค์ระบายน้ำขนาดใหญ่ กรุงเทพมหานครได้ก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ เพื่อระบายน้ำจากพื้นที่น้ำท่วมขังให้ระบายลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยตรง นอกจากนี้ยังช่วยเร่งระบายน้ำหลากจากพื้นที่ภายนอกให้ระบายผ่าน คลองระบายน้ำเข้ามาในพื้นที่ป้องกัน แล้วไหลลงสู่อุโมงค์ระบายน้ำใต้ดิน เพื่อระบายลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งสามารถช่วยให้การระบายน้ำหลากเพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วมนอกพื้นที่ป้องกันของกรุงเทพมหานครได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันได้มีการดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำขนาดใหญ่แล้ว 4 แห่ง ความยาวรวม 19.37 กิโลเมตร มีประสิทธิภาพการระบายน้ำรวม 195 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยมีรายละเอียด (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566, น. 2-10) ดังนี้

4.1 โครงการก่อสร้างระบบผันน้ำเปรมประชากร มีขีดความสามารถในการระบายน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อุโมงค์ใต้ดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.40 เมตร ยาวประมาณ 1.88 กิโลเมตร แก้ไขปัญหาน้ำท่วมพื้นที่ตอนบนของกรุงเทพมหานครริมคลองเปรมประชากรเขตบางซื่อ จตุจักร หลักสี่ และดอนเมือง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3.50 ตารางกิโลเมตร

4.2 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำบึงมักกะสันลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา มีขีดความสามารถในการระบายน้ำ 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และท่อระบายน้ำใต้ดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.60 เมตรยาวประมาณ 5.98 กิโลเมตร ช่วยแก้ไขปัญหาน้ำท่วม เขตวัฒนา ปทุมวัน ราชเทวี พญาไท ห้วยขวาง และดินแดง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 26 ตารางกิโลเมตร

4.3 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา พื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร ได้แก่ พื้นที่เขตห้วยขวาง บางกะปิ บึงกุ่ม วัฒนา วังทองหลาง และลาดพร้าว อุโมงค์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.00 เมตร ยาวประมาณ 5.11 กิโลเมตร มีขีดความสามารถในการระบายน้ำ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4.4 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำใต้คลองบางซื่อจากคลองลาดพร้าวถึงแม่น้ำเจ้าพระยา เริ่มจากบริเวณถนนรัชดาภิเษก ลอดใต้คลองบางซื่อไปออกแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณเกียกกาย พื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 56 ตารางกิโลเมตร ได้แก่ พื้นที่เขตห้วยขวาง ดินแดง พญาไท จตุจักร ลาดพร้าว วังทองหลาง บางซื่อ และดุสิต อุโมงค์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.00 เมตร ยาวประมาณ 6.40 กิโลเมตร ก่อสร้างสถานีสูบน้ำตอนปลายอุโมงค์กำลังสูบ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

กรุงเทพมหานครมีการแบ่งระบบระบายน้ำเป็นระบบระบายน้ำหลักและระบบระบายน้ำรอง ระบบระบายน้ำหลักจะรับน้ำมาจากระบบระบายน้ำรองที่มาจากบ้านเรือน ซอย และท่อข้างถนน ส่งมาที่คู คลองที่เป็นระบบระบายน้ำหลัก และระบบออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาสู่อ่าวไทยระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพจะมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำที่มาจากอีกสาเหตุหนึ่งคือระดับน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาเพิ่มมากขึ้น ระดับน้ำเจ้าพระยาจะมีระดับสูงกว่าปกติในช่วงฤดูฝน ทำให้ยากต่อการระบายส่งผลให้พื้นที่ในเมืองมีอัตราการเกิดน้ำท่วมเพิ่มมากขึ้น

ตาราง 3 ค่าระดับน้ำสูงสุดแม่น้ำเจ้าพระยาวัดระดับ ณ ปากคลองตลาด ใกล้สะพานพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก

ปี	2526	2538	2539	2545	2549	2551	2553	2554	2560	2564	2565
ระดับน้ำสูงสุด (ม.รทก.)	2.13	2.27	2.14	2.12	2.22	2.17	2.10	2.53	2.10	2.32	2.32

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. น. 1-3

ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานครปกติแล้วฤดูฝนจะเริ่มช่วงเดือนพฤษภาคม และสิ้นสุดประมาณเดือนตุลาคม มีปริมาณและความถี่ของฝนสูงที่สุดระหว่างเดือนสิงหาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ประกับเป็นช่วงที่มีโอกาสเกิดพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้ามาในประเทศไทยและใกล้กรุงเทพมหานคร จากข้อมูลประมาณสะสมคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2553) เฉลี่ยทั้งปีวัดที่กรุมอุตุนิยมวิทยามีค่าประมาณ 1648.4 มิลลิเมตร (สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2566, น. 1-2)

ตาราง 4 ปริมาณน้ำฝนสะสม (มิลลิเมตร) และความเข้มฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง) สำหรับช่วงเวลาและค่าการเกิดซ้ำของฝนในกรุงเทพมหานครย้อนหลัง 10 ปี พ.ศ. 2556 ถึง 2565

รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)	**ช่วงเวลา ปริมาณน้ำฝนสะสม (มิลลิเมตร) และความเข้มฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)**								
	5 **นาที**	10 **นาที**	15 **นาที**	30 **นาที**	1 **ชั่วโมง**	2 **ชั่วโมง**	6 **ชั่วโมง**	12 **ชั่วโมง**	24 **ชั่วโมง**
2	11.77	19.60	27.01	42.73	58.73	69.72	79.75	84.51	98.03
	163.28	*119.77*	*108.02*	*85.46*	*58.73*	*34.89*	*13.29*	*7.05*	*4.08*
5	14.28	23.19	31.34	50.11	71.10	87.00	102.24	108.28	126.12
	171.34	*139.27*	*126.16*	*100.22*	*71.10*	*43.50*	*17.04*	*9.02*	*5.25*
7	15.10	24.18	33.02	52.63	74.94	90.82	109.58	116.08	135.16
	181.15	*145.45*	*132.08*	*103.24*	*75.14*	*142.66*	*53.90*	*9.66*	*17.45*
10	15.94	25.33	34.54	55.00	79.27	96.61	117.11	124.02	144.56
	189.24	*151.95*	*138.16*	*110.00*	*79.29*	*49.20*	*19.52*	*10.33*	*6.02*
12	17.08	26.07	35.31	56.25	81.38	101.30	120.90	128.03	149.27
	196.32	*155.22*	*141.23*	*112.49*	*81.38*	*146.63*	*20.15*	*10.67*	*6.22*
15	16.88	26.53	36.23	56.86	83.66	104.84	125.53	132.90	155.02
	198.87	*159.19*	*144.93*	*136.09*	*83.92*	*52.43*	*20.92*	*11.08*	*6.46*
20	17.53	27.39	37.26	59.66	87.15	109.43	131.42	139.11	162.34
	207.27	*164.25*	*149.68*	*119.38*	*87.15*	*54.67*	*21.90*	*11.59*	*6.75*
30	20.96	35.95	50.94	73.74	90.75	120.31	135.95	156.57	180.48
	251.50	*227.63*	*203.77*	*147.48*	*90.75*	*40.10*	*22.66*	*13.05*	*7.52*
50	22.92	39.25	55.57	80.54	99.30	131.95	149.35	172.59	199.80
	275.08	*248.68*	*222.29*	*161.08*	*99.30*	*43.98*	*24.89*	*14.38*	*8.32*
100	25.57	43.70	61.82	89.71	110.83	147.65	167.42	194.19	225.85
	306.89	*19.63*	*247.26*	*179.42*	*110.83*	*49.22*	*27.90*	*16.18*	*9.41*

หมายเหตุ: *ตัวเลขเอียงขีดเส้นใต้* หมายถึง ค่าความเข้มฝน หน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ที่มา: สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566).

ข้อมูลพื้นฐานแบบจำลอง PCSWMM

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย U.S. Environmental Protection Agency เพื่อใช้ในการจำลองและการจัดการน้ำฝนและน้ำเสีย โดยส่วนใหญ่ใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการน้ำฝนในเมือง (Urban water management) เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดน้ำท่วม โดยคุณสมบัติของแบบจำลอง PCSWMM อธิบายได้ดังนี้

1. บริหารจัดการน้ำฝนและจำลองการแก้ไขระบบท่อระบายน้ำ
2. วิเคราะห์ความเสี่ยงและสร้างแผนที่น้ำท่วม
3. ออกแบบบ่อหน่วงน้ำ
4. ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
5. ออกแบบโครงสร้างพื้นฐานตามแนวคิดการพัฒนาเพื่อเป็นต่อสิ่งแวดล้อม
6. จำลองสถานการณ์แบบไดนามิกในรูปแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ

ท่อระบายน้ำ

แบบจำลอง PCSWMM จะจำลองระบบการไหลของน้ำในท่อระบาย (Conduit) เหมือนกับแบบจำลอง SWMM 5 โดยจะคำนวณอัตราการไหลในท่อจากสมการของแมนนิ่ง (Manning's equation) ในหน่วยของสหรัฐอเมริกา (United States customary units: U.S. units) ดังสมการที่ 1

$$Q = \frac{1.49}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง

A คือ หน้าตัดการไหล หน่วย ตารางเมตร

R คือ รัศมีชลศาสตร์ หน่วย เมตร

S คือ ความลาดชันพื้นที่การไหล

ตาราง 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในสมการแมนนิ่งสำหรับการไหลในท่อ

Conduit Material n	n
ท่อซีเมนต์ใยหิน	0.011 - 0.015
อิฐ	0.013 - 0.017
ท่อเหล็กหล่อ	
- ท่อเหล็กหล่อ (ชุบซีเมนต์และทาผิว)	0.011 - 0.015
คอนกรีตมอนอลิทิก	
- แบบเรียบ	0.012 - 0.014
- แบบหยาย	0.015 - 0.017
ท่อคอนกรีต	0.011 - 0.015
เหล็กท่อดำ (1/2-in. x 2-2/3-in. แบบลอน)	
- เรียบ	0.022 - 0.026
- กรุยหญ้า	0.018 - 0.022
- ปูพื้นด้วยยางแอสฟัลท์	0.011 - 0.015
ท่อพลาสติก (เรียบ)	0.011 - 0.015
ท่อดินแปรรูป	
- แบบท่อ	0.011 - 0.015
- แผ่นปิด	0.013 - 0.017

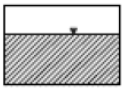
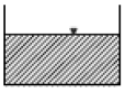
ที่มา: ASCE (1982). Gravity Sewer Design and Construction ASCE Manual of Practice. New York.

ตาราง 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในสมการแมนนิ่งสำหรับการไหลในทางน้ำเปิด

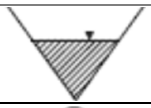
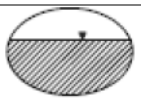
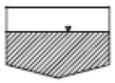
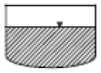
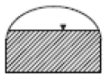
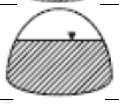
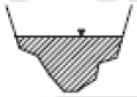
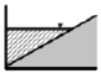
Channel Type	n
แนวท่อ	
- แบบแอสฟัลท์	0.013 - 0.017
- แบบอิฐ	0.012 - 0.018
- คอนกรีต	0.011 - 0.020
- เศษหิน	0.020 - 0.035
- พืชพรรณ	0.030 - 0.40
คลองแบบขุดลอก	
- พื้นดินดั้งเดิม	0.020 - 0.030
- มีความคดโค้ง	0.025 - 0.040
- มีหิน	0.030 - 0.045
- ร้าง	0.050 - 0.140
คลองธรรมชาติ (ลำธารเล็ก ๆ ความกว้างด้านบน ที่ระดับน้ำท่วม < 100 ฟุต)	
- หน้าตัดสม่ำเสมอ	0.030 - 0.070
- หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ	0.040 - 0.100

ที่มา : ASCE (1982). Gravity Sewer Design and Construction ASCE Manual of Practice. New York.

ตาราง 7 หน้าตัดการไหลที่สามารถใช้ได้ในแบบจำลอง

ชื่อ	รูปแบบ	รูปหน้าตัด	ชื่อ	รูปแบบ	รูปหน้าตัด
วงกลม	เต็มความสูง		วงกลมr Force Main	เต็มความสูง	
วงกลมเต็มท่อ	เต็มความสูง, ลึกจำกัด		ท่อปิดสี่เหลี่ยม	เต็มความสูง, ความขรุขระ	
ท่อเปิดสี่เหลี่ยม	เต็มความสูง, กว้าง		คางหมู	เต็มความสูง, ฐานกว้าง, ลาดชัน	

ตาราง 7 (ต่อ)

ชื่อ	รูปแบบ	รูปหน้าตัด	ชื่อ	รูปแบบ	รูปหน้าตัด
สามเหลี่ยม	เต็มความสูง, บนกว้าง		วงรีแนวนอน	เต็มความสูง, กว้าง	
วงรี	เต็มความสูง, กว้างจำกัด		โค้ง	เต็มความสูง, กว้าง	
บาลาโบลิก	เต็มความสูง, บนกว้าง		โค้งแคบ	เต็มความสูง, บนกว้าง, โค้ง	
สีเหลี่ยม ฐาน สามเหลี่ยม	เต็มความสูง, บนกว้าง สามเหลี่ยมสูง		สี่เหลี่ยมมน	เต็มความสูง, บนกว้าง, ล่างรัศมี	
ทรงตะกร้า	เต็มความสูง ,ล่างกว้าง, บนรัศมี		รูปไข่	เต็มความสูง	
เกือกม้า	เต็มความสูง		โกธิค	เต็มความสูง	
รูปโซ่	เต็มความสูง		กึ่งวง	เต็มความสูง	
ตะกร้า	เต็มความสูง		Semi-Circular	เต็มความสูง	
ไม่ สม่ำเสมอ	Transect Coordinate		ปรับรูปแบบ ท่อปิด	เต็มความสูง, รัศมี, ตำแหน่ง	
ช่องถนน	สำรวจ				

ที่มา: Lewis A. Rossman และ Michelle A. Simon (2022). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2*. Washington D.C.: Office of Research and Development. P. 56.

การคำนวณอัตราการไหลของหน้าตัดการไหลในท่อบางประเภทของแบบจำลองจะมีการใช้สมการที่ต่างออกไป สำหรับท่อที่มีหน้าตัดแบบ Circular Force Main จะใช้สูตร Hazen - Williams แสดงดังสมการที่ 2 หรือ Darcy - Weisbach แสดงดังสมการที่ 3 แทนสมการแมนนิ่ง

$$Q = 1.318CAR^{0.63}S^{0.54} \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}}AR^{\frac{1}{2}}S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

C คือ สัมประสิทธิ์ของ Hazen - Williams

A คือ หน้าตัดการไหล หน่วย ตารางเมตร

R คือ รัศมีชลศาสตร์ หน่วย เมตร

S คือ ความลาดชัน

f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy - Weisbach

g คือ ความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์ C ของ Hazen - Williams

Type of Pipe	ค่า C
ท่อที่ตรงและเรียบ	140
ท่อเรียบมาก	130
ไม้เรียบ และอิฐเรียบ	120
เหล็กลินที่สร้างใหม่ โครงเหล็กอัด และดินเหนียว	110
เหล็กหล่อเก่า และอิฐธรรมดา	100
เหล็กลินเก่า และโครงเหล็กที่อัดเก่า	95
เหล็กเก่าสภาพที่ไม่ดี	60-80

ที่มา: ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี (2545). สมการของ Hazen Williams วิศวกรรมชลศาสตร์ (เล่ม 2, น. 9-4 - 6). กรุงเทพมหานคร.

ปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ผู้ใช้นำไปใช้กับโปรแกรม SWMM โดยใช้เครื่องมือ Rain Gage ผู้ใช้ต้องระบุรูปแบบข้อมูลที่บันทึกเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ในรูปแบบ Time series คือใช้ข้อมูล ปริมาณความเข้มฝน ปริมาตรของน้ำฝน หรือปริมาตรฝนสะสมของน้ำฝน ต่อช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องกับการอ่านปริมาณน้ำฝนแต่ละครั้ง เช่น ปริมาณฝนราย 15 นาที หรือ ปริมาณฝนราย 1 ชั่วโมง เป็นต้น

ปริมาณน้ำท่า

การคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff) ได้โดยแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยจะถูกพิจารณาเป็น Non-linear ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflows) มาจากปริมาณน้ำฝนและน้ำที่ไหลออกมาจากพื้นที่รับน้ำย่อยที่อยู่ทางเหนือน้ำ ส่วนปริมาณน้ำไหลออก (Out flows) จากพื้นที่รับน้ำย่อยที่พิจารณาได้แก่ น้ำที่ซึมลงใต้ดิน (Infiltration) การระเหย (Evaporation) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าอาจมีความแตกต่างกันเนื่องจากวิธีการประมาณปริมาณน้ำท่าที่ต่างกัน โดยแบบจำลอง SWMM จะคำนวณด้วยสมการเรชั่นแนล (Rational Equation) คือ

$$Q = CiA \tag{4}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำท่า หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลบ่าบนพื้นผิว

A คือ พื้นที่การไหลบ่า หน่วย ตารางเมตร

i คือ ความเข้มฝน หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที

ตาราง 9 ค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละการไหลบ่าสำหรับการใช้ในแบบจำลอง PCSWMM

Land Use or Surface Characteristics	Percent Impervious (%)
เขตพานิชย์	95
ที่อยู่อาศัย:	
- มากกว่า 2.5 เอเคอร์	12
- มากกว่า 0.75 เอเคอร์ ถึง 2.5 เอเคอร์	20

ตาราง 9 (ต่อ)

Land Use or Surface Characteristics	Percent Impervious (%)
- มากกว่า 0.25 เอเคอร์ ถึง 0.75 เอเคอร์	30
- 0.25 เอเคอร์ หรือเล็กว่า	45
- บ้านเดี่ยวหลายยูนิต	60
- ทาวเฮาทีหลายยูนิต	75
- อพาร์ทเมนต์	80
โรงงาน:	
- ขนาดเล็ก	80
- ขนาดใหญ่	90
สิ่งอำนวยความสะดวก:	
- ดินประเภท A & B	2
- ดินประเภท C & D	25
- สวน หรือสุสาน	10
- สนามเด็กเล่น	25
- โรงเรียน	55
- รางรถไฟ	50
- หลังคา	90
พื้นที่ยังไม่พัฒนา:	
- รางน้ำเก่า	2
- กรีนเบลท์ หรือการเกษตร	2
ถนน:	
- ลาดยาว	100
- แอสฟัลท์รีไวเคิล	75
- กรวด	40
-ทางขับขี่และเดิน	90

ที่มา: Weld County (2021). Design Criteria of The Rational Method. Retrieved from https://www.weld.gov/Government/Departments/Public-Works/Engineering-Criteria-Manual

การจำลองระบบการซึมของน้ำในดิน

แบบจำลอง PCSWMM จะจำลองการซึมของน้ำในดิน (Infiltration) โดยการใช้สมการของ Horton ซึ่งระบุไว้ว่าอัตราการซึม (f) ในเวลา t ใด ๆ มีความสัมพันธ์กับอัตราการซึมเริ่มต้น (f_0), อัตราการซึมในสภาวะสมดุล (f_c), ค่าคงที่ของการซึม k, และเวลา (t). เริ่มต้นที่เวลาเริ่มต้น, อัตราการซึม f0 จะมีค่าสูงสุดเนื่องจากช่องว่างในดินมีปริมาณน้ำมาก, ทำให้การซึมเกิดขึ้นเร็ว. และเมื่อเวลาผ่านไป, พื้นดินเริ่มชื้นขึ้นช่องว่างจะลดลง ทำให้อัตราการซึมลดลงตามเวลาจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล (สุธิดา ทีปรักษพันธุ์, 2565) ดังสมการที่ (5)

อัตราการซึม, $$f = f_c + (f_0 + f_c)e^{-kt} \quad (5)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ขึ้นกับคุณสมบัติของดินและลักษณะผิวดิน

f_0 คือ อัตราการซึมเริ่มต้น

f_c คือ อัตราการซึมของน้ำเมื่อเวลาผ่านไปนานจนกระทั่งคงที่

การจำลองการระเหยของน้ำ

การจำลองระเหยของน้ำ (Evaporation) ของแบบจำลอง PCSWMM มีหลายรูปแบบ อาทิ การจำลองโดยของมูลการระเหยโดยตรงแบบขั้นเวลา (Time step) หรือ จำลองโดยการใช้ข้อมูลอุณหภูมิรายเดือนหรือรายปี ซึ่ง PCSWMM จะใช้วิธี Evaporation coefficient ในการคำนวณการระเหยของน้ำ แสดงสมการดังนี้ (Lewis A. Rossman และ Michelle A. Simon, 2022)

การระเหยของน้ำ, $$E_a = k \times (T - T_0) \quad (6)$$

เมื่อ E_a คือ อัตราการระเหยของน้ำ

k คือ ค่าคงที่ของการระเหย (Evaporation Coefficient)

T คือ อุณหภูมิในองศาเซลเซียส

T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณ

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

โครงสร้างพื้นฐานเป็นโครงสร้างใช้แนวคิดการพัฒนาเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Low impact development: LID) ที่ถูกพิสูจน์แล้ว่าสามารถช่วยบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในเขตเมือง (Zhu Yifei และคนอื่น ๆ, 2023) โดยการจัดสรรพื้นที่ในเขตเมืองให้สามารถรองรับรองน้ำฝน โดยจำลองให้พื้นที่เขตเหมือนใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมเดิมตามธรรมชาติคือการเปลี่ยนให้พื้นที่ให้สามารถซึมซับน้ำฝนที่ตกลงมาได้เหมือนฟองน้ำ (Sponge city) อีกทั้งสามารถมีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ด้านคุณภาพน้ำ ด้านคุณภาพอากาศ และความร้อน เป็นต้น (Choi, Berry, และ Smith, 2021)

โดยแบบจำลอง PCSWMM สามารถจำลองการใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ที่ต้องการได้โดยการใช้ฟังก์ชัน LID control สามารเลือกใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวได้ 8 รูปแบบ (Lewis A. Rossman และ Michelle A. Simon, 2022, P. 81) ดังนี้

1. พื้นน้ำซึมผ่านได้ (Permeable pavement) เป็นระบบที่ทำให้พื้นที่มีความพรุนมักจะประยุกต์ใช้หินกรวดรวมกับคอนกรีตพรุนหรือแอสฟัลท์ (Asphalt) ร่วมกัน

2. ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio-retention cells) เป็นระบบที่ผสมผสานพื้นที่ที่ใช้ให้เป็นพื้นที่ที่ลุ่มน้ำที่สามารถกักเก็บน้ำฝนและระบบระบายน้ำส่วนใหญ่จะใช้ชั้นหินกรวด (Gravel) กับพื้นที่ที่มีพืชพรรณเข้ารวมด้วยกัน

3. สวนฝน (Rain gardens) เป็นระบบที่คล้ายกับระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณแต่ระบบจะมีความซับซ้อนน้อยกว่า และเหมาะกับใช้ในขอบเขตที่เล็กกว่า

4. ถังเก็บน้ำฝน (Rain barrels) ระบบถังเก็บน้ำฝนจากหลังคา เพื่อเก็บไว้ใช้ประโยชน์ในหน้าแล้งได้ สามารถประยุกต์ใช้เป็นบ่อกักเก็บน้ำได้

5. ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (Vegetative swales) คือทางน้ำเปิดที่เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำรวบกับการมีพืชพรรณปกคลุม และความลาดชันเพื่อส่งน้ำฝนไปยังระบบระบายน้ำ

6. หลังคาสีเขียว (Green roof) ระบบที่ปรับเปลี่ยนมาจากระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณและมาปรับใช้ในพื้นที่บนหลังคาแทน

7. ร่องตื้นซับน้ำ (Infiltration Trench) เป็นระบบที่ทำให้พื้นที่มีความพรุนที่สามารถซึมน้ำได้ และสามารถชะลอปริมาณน้ำท่าได้ดี

8. ระบบกักเก็บน้ำจากหลังคา (Roof Top) เป็นระบบรวบรวมน้ำฝนจากหลังคาและปล่อยลงสู่พื้นที่ซึมน้ำเพื่อชะลอเวลาการเกิดน้ำท่าสูงสุด (Peak runoff) แทนการให้น้ำฝนระบายลงสู่ระบบระบายน้ำโดยตรง

ความสัมพันธ์ของ LID Control ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า

หลักการของ LID Control ในแบบจำลอง PCSWMM ที่สัมพันธ์กับการไหลซึมผ่านของน้ำนั้นจะมีสมการของ Green-Ampt Infiltration สมการดังกล่าวอธิบายถึงความสัมพันธ์ค่าที่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับปริมาณการซึมของน้ำทีทำให้มีผลต่อปริมาณน้ำท่าที่เกิด โดยสมการแสดงดังนี้

$$q_i = \frac{K_s(H_i\text{-}H_s)+\varphi}{1+K_s(\frac{d}{1000})} \quad (7)$$

เมื่อ

q_i คือ อัตราการไหลของน้ำซึม (หน่วย: มม./ชม.)

H_i คือ Initial moisture content ของดิน (หน่วย: มม.)

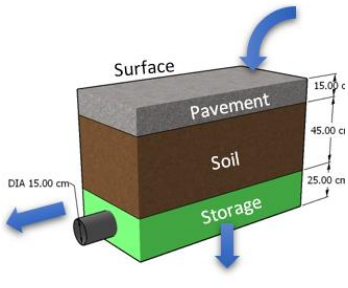
H_s คือ Saturation moisture content ของดิน (หน่วย: มม.)

φ คือ Matric head (หน่วย: มม.)

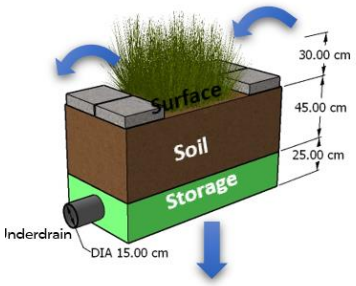
K_s คือ Hydraulic conductivity ของดิน (หน่วย: มม./ชม.)

d คือ ความหนาของระบบเก็บน้ำ (หน่วย: มม.)

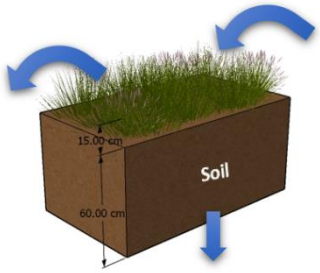
ค่า hydraulic conductivity ของดิน มีผลกระทบต่อการไหลของน้ำในดิน โดยถ้าค่านี้มาก จะแสดงถึงความสามารถในการไหลของน้ำของดินที่ดี น้ำสามารถไหลผ่านดินได้มาก และการซึมซับน้ำในดินจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นด้วย ในทางกลับกัน ถ้าค่านี้น้อย จะแสดงถึงความสามารถในการไหลของน้ำของดินที่ไม่ดี น้ำสามารถไหลผ่านดินได้น้อย และการซึมซับน้ำในดินจะเกิดขึ้นช้าลง ในแบบจำลองจะใช้การเทียบเท่าของดินเสมือนเป็นโครงสร้างภายในของโครงสร้างซึมน้ำ



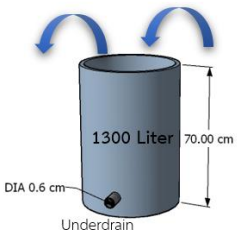
(ก)



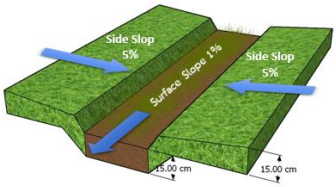
(ข)



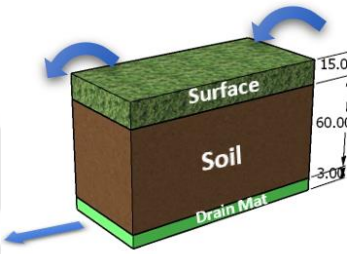
(ค)



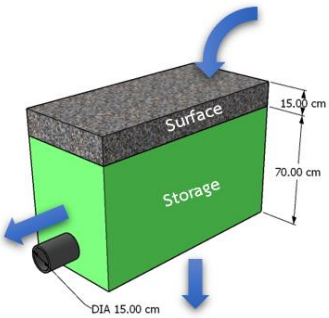
(ง)



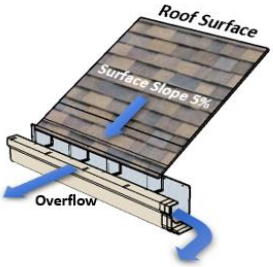
(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในฟังก์ชัน LID control ของแบบจำลอง PCSWMM

(ก) พื้นน้ำซึมผ่านได้ (Permeable Pavement); (ข) ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio-Retention Cells); (ค) สวนฝน (Rain Gardens); (ง) ถังเก็บน้ำฝน (Rain Barrels); (จ) ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (Vegetative Swales); (ฉ) หลังคาสีเขียว (Green Roof); (ช) ร่องตื้นซับน้ำ (Infiltration Trench); และ (ซ) ระบบกักเก็บน้ำจากหลังคา (Roof Top)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Panuwat Joyklad, Adnan Nawaz, และ Qudeer Hussain (2018)ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้เศษอิฐบดอัดแทนการใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติในการผสมคอนกรีต และทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีเศษอิฐบดผสม จะศึกษาเกี่ยวกับความหนาแน่น ความสามารถในการรับอัด ความสามารถในการรับดึง ความสามารถในการรับดัด ค่าของโมดูลัสของยัง และพฤติกรรมเมื่อได้รับความเค้น และความเครียด และเปรียบเทียบกับการใช้มวลรวมหยาบแบบดั้งเดิม อัตราส่วนการเปรียบเทียบคือมีส่วนผสมคอนกรีตร้อยละ 50 และ 100 พบว่า คุณสมบัติเกี่ยวกับความแข็งจะลดลงเมื่อมีส่วนผสมของเศษอิฐบดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเครียด และความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น

Dilraj Singh และ Surinder Pal Singh (2021) ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ใช้เศษคอนกรีตจากการรีไซเคิลนำกลับมาใช้ใหม่แทนมวลรวมหยาบจากธรรมชาติรวมกับการเติมซิลิกาฟูม (SF) และเมตาไคโอลิน (MK) แทนเถ้าลอย (FA) จากการทดสอบคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ พบว่าส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่มีคุณสมบัติดีขึ้น จะมีการเติม SF และ MK แทนที่ FA บางส่วนในและเป็นประโยชน์ต่อคุณสมบัติของคอนกรีตซึมผ่านของ RCA ส่วนผสมที่มี FA ร้อยละ 10, SF ร้อยละ 10 และ MK ร้อยละ 10 ที่มี RCA ร้อยละ 25 มีคุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุดในบรรดาส่วนผสมทั้งหมด

Masashi Sugiyama (2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแข็งตัวและการละลายของน้ำในคอนกรีตพรุนที่เศษกระเบื้องหลังคาบดเป็นวัสดุผสม การทดสอบจะมี 2 ชุดการทดสอบ คือ ชุดที่ 1 ทดสอบการรับแรงอัด และโมดูลัสความยืดยุ่น พบว่า คอนกรีตเมื่อส่วนผสมของเศษกระเบื้องหลังคาบดร้อยละ 20 – 100 จะมีค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในช่วงของส่วนผสมที่มีเศษกระเบื้องหลังคาบดร้อยละ 20 – 60 และชุดที่ 2 คือ การทดสอบการแข็งตัวและการละลายของน้ำในคอนกรีตพรุน ซึ่งจะทดสอบ 2 รูปแบบ คือ การแข็งตัวและการละลายของน้ำในน้ำ และการแข็งตัวของน้ำในอากาศและการละลายของน้ำในน้ำ ผลการวิจัยพบว่าการใช้วัสดุกระเบื้องหลังคาแบบบดไม่มีผลเสียต่อการต้านทานการแช่แข็งและละลายของคอนกรีตพรุน

Bian, Liu, Gao, Ma, และ Rong (2022) การวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบสูตรผสม (Mix design) ที่ปรับปรุงของคอนกรีตพรุน (Pervious concrete) เพื่อให้คอนกรีตพรุนมีคุณสมบัติโครงสร้างที่ดีขึ้น ผลลัพธ์จากการทดสอบเมื่อความหนาของชั้นคอนกรีตร่วนอยู่ระหว่าง 0.35 มม. ถึง 0.55 มม. ค่าอัตราการรั่วไหล (permeability coefficient) อยู่ระหว่าง 4.88 มม./วินาที ถึง 8.9 มม./วินาที และค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนอยู่ระหว่างร้อยละ 22 ถึง 36 และความแข็งแรงแรงฉีด

(compressive strength) อยู่ระหว่าง 5.9 MPa ถึง 18.5 MPa การเพิ่มความหนาจะทำให้คอนกรีตพรุนแข็งแรงขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนและอัตราการไหลจะลดลง

Li, Feng, Zhu, Chu, และ Kwan (2021) ศึกษาผลของความพรุนของต่อประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำและความแข็งแรง มีสูตรผสมน้ำต่อคอนกรีตร้อยละ 0.20 ถึง 0.35 สำหรับสูตรคอนกรีตพรุนที่ทดสอบ ความสามารถในเรื่องความแข็งแรงและการระบายน้ำดีที่สุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนน้ำ/ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0.25 โดยความสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความระบายน้ำแนะนำให้ตั้งค่าปริมาณส่วนเสริมที่ร้อยละ 25 พร้อมกับสัดส่วนน้ำ/ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0.25 ซึ่งค่าอัตราการไหลผ่านประมาณ 3 ถึง 4 มม. /วินาที และความแข็งแรงบนคิวบ์ประมาณ 35 MPa

Yan, Gong, Wang, และ Lu (2013) ได้การวิเคราะห์คุณสมบัติของโครงสร้างคอนกรีตที่มีรูพรุนโดยการออกแบบความหนาของชั้นเคลือบที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีออกแบบโดยใช้ปริมาตรต่ออัตราส่วนพื้นที่ วิธีทำรูปทรงสามมิติและสัณฐานวิทยาทางคณิตศาสตร์เพื่อแยกลักษณะโครงสร้างรูพรุน พบว่าคุณสมบัติโครงสร้างรูพรุนที่แยกออกมามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความหนาของชั้นเคลือบ คอนกรีตที่มีรูพรุนมีความหนาจากการเคลือบทินเนอร์มีคุณสมบัติโครงสร้างรูพรุนที่ดีกว่าแต่คุณสมบัติทางกลที่ต่ำลง เมื่อความหนาของชั้นเคลือบอยู่ที่ 590 μm ความพรุนของคอนกรีตพรุนสูงกว่าร้อยละ 26 ค่า pH ที่ 28 วันคือ 9.72 กำลังรับแรงอัดที่ 28 วันคือ 12.1 MPa และขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพคือมีขนาดมากกว่า 4.60 มม.

Tamm Ottar, Kokkonen Teemu, Warsta Lassi, Dubovik Maria, และ Koivusalo Harri (2023) ได้ใช้แบบจำลอง SWMM ในการพยากรณ์เหตุการณ์น้ำท่วมจากเหตุการณ์ปัจจุบัน รวมทั้งสร้างแบบจำลองสำหรับเมืองในอนาคตอนาคต ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับระบบกักเก็บน้ำ 6 รูปแบบ ตามฤดูกาลรายเดือน ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงฤดูหนาวจะมีการปริมาณน้ำไหลบ่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงแนะนำให้เพิ่มขีดความสามารถในการระบายน้ำเพิ่ม และควรปรับเปลี่ยนพื้นที่กักเก็บน้ำทั้งเมือง มากกว่าเฉพาะที่เสี่ยงน้ำท่วมเพื่อรองรับกับสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในอนาคต

Eskandaripour Mehrtash, Golmohammadi Mohammad H., และ Soltaninia Shahrokh (2023) ได้ศึกษาการออกแบบกลยุทธ์การพัฒนาที่มีผลกระทบต่ำ (LID) อย่างสำหรับการจัดการเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณการใช้งานในเขตเมืองให้มีความเหมาะสมที่สุด โดยใช้ 3 โครงสร้าง ได้แก่ รางระบายน้ำที่มีพืชพรรณปกคลุม ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ และพื้นน้ำซึมผ่านได้ โดยใช้แบบจำลอง SWMM ในการจำลองปริมาณน้ำไหลบ่าของน้ำท่าและการใช้ LID ผลการวิจัยพบว่าระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณเป็น LID ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุง

คุณภาพน้ำ ซึ่งระบบสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) ได้ถึงร้อยละ 91, 78 และ 74 ผลลัพธ์ยังชี้ให้เห็นว่าการผสมผสาน LID อย่างเหมาะสมนั้นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และสามารถลดความเข้มข้นของ TSS เพิ่มได้ถึงร้อยละ 14 – 16 เมื่อเทียบกับระบบกักเก็บด้วยพืชพรรณที่ใช้อย่างเดียว นอกจากนี้การผสมผสาน LID ที่เหมาะสมที่สุดช่วยลดความเข้มข้นของ TSS ในปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง SWMM-SMA จะเพิ่มประสิทธิภาพการจำลอง (SWMM-SMA) ทำให้สามารถออกแบบและควบคุม LID และคุณภาพน้ำไหลบ่าได้ดียิ่งขึ้น

Yang Boyuan, Zhang Ting, Li Jianzhu, Feng Ping, และ Miao Yuanjingjing (2023) ได้ศึกษาการใช้ LID โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าให้เหมาะสมกับการลดปริมาณการเกิดปริมาณน้ำท่า พร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุน โดยใช้แบบจำลอง SWMM ในการช่วยจำลองออกแบบดังกล่าว พบว่า การเลือกการออกแบบ LID ที่ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าให้เหมาะสมของพื้นผิวจาก 0.7 เหลือประมาณ 0.5 ทำให้ระยะเวลาการไหลของน้ำในท่อลดลงจาก 1.62 ชั่วโมง เป็น 0.04 – 0.47 ชั่วโมง และต้นทุนการลงทุนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 395,000 – 872,000 เยน ทำให้การควบคุมน้ำท่วมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Pineau Béatrice และคนอื่น ๆ (2021) ได้ศึกษาการจัดการน้ำฝนในพื้นที่เมืองโดยใช้วิธีเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (GI) เป็นวิธีที่ดีในการลดปริมาณน้ำที่ไหลออกและเพิ่มคุณภาพของน้ำในสภาพแวดล้อมในพื้นที่เมือง ในกรณีศึกษาที่มอนทรีออล ควีเบก แคนาดา ได้มีการประเมินประสิทธิภาพของระบบการจัดการน้ำฝนที่มีระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณและบ่อหน่วงน้ำน้ำฝนในฤดูหนาว พบว่า ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณสามารถลดปริมาณการไหลบ่าและลดปริมาณสารของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ตะกั่ว ทองแดง และไฮโดรคาร์บอน และลดไนโตรเจนทั้งหมด แต่บ่อหน่วงน้ำสามารถลดปริมาณการไหลและเปลี่ยนทิศทาการไหลได้ดี สรุปแล้วในช่วงฤดูน้ำของพื้นที่ศึกษาใช้ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณก็เพียงพอต่อการลดปริมาณน้ำที่ไหลออกและเพิ่มคุณภาพของน้ำในสภาพแวดล้อมได้ดี

Huang Chien-Lin, Hsu Nien-Sheng, Liu Hung-Jen, และ Huang Yao-Hsien (2018) ได้ศึกษาการพัฒนาการออกแบบการประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว สำหรับปริมาณน้ำฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ของชุมชนมินเชง (Min-Sheng) ในไต้หวัน โดยการใชโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 8 อย่างคือ ระบบพื้นน้ำซึมผ่านได้ ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ สวนฝน ถังเก็บน้ำฝน รางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม หลังคาสีเขียว ร่องตื้นซับน้ำ และโครงสร้างใหม่ที่ออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดและชะลอน้ำท่า ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

สามารถลดปริมาณน้ำได้อยู่ในช่วงร้อยละ 19.13 ถึง 29.80 และชะลอน้ำท่าได้อยู่ในช่วงร้อยละ 20 ถึง 37.50

Paithankar Deepak N. และ Taji Satish G. (2020) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของหลังคาเขียวตามกลยุทธ์ลดปริมาณน้ำจากพายุอย่างยั่งยืน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลอง SWMM เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการจำลอง การไหลสูงสุดลดลงจาก 7.13 ลิตร/วินาที เป็น 6.36 ลิตร/วินาทีสำหรับหลังคาเขียว – 1 (GR-1) และ 1.45 ลิตร/วินาที เป็น 1.30 ลิตร/วินาที สำหรับหลังคาเขียว – 2 (GR-2) ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ LID ร่วมกับหลังคาเขียวสามารถช่วยลดปริมาณน้ำที่ไหลบ่าจากพายุโดยการเพิ่มระยะเวลากักเก็บ และชะลอการไหลของน้ำได้

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาค้นคว้าด้านโปรแกรม SWMM และงานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว รวมถึงการใช้คอนกรีตพรุนในการจัดการน้ำและประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วมในพื้นที่เมือง งานวิจัยเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องและสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงและวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำในพื้นที่ที่เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

บางงานวิจัยได้นำแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาอุทกภัย ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมแบบจำลอง SWMM การใช้คอนกรีตพรุน และการนำแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมาเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาอุทกภัยในพื้นที่นี้ การรวบรวมและนำเสนอข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้จะเสริมสร้างความเข้าใจและรองรับงานวิจัยนี้ในการพัฒนาแนวทางการจัดการน้ำและการแก้ไขปัญหาน้ำในพื้นที่เมืองในอนาคตได้มากขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูล และอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการ
2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้านพื้นที่
3. การวิเคราะห์ข้อมูลการอุทกวิทยา
4. การวิเคราะห์ข้อมูลบล็อกซึมน้ำ
5. การนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง PCSWMM (Education License Version)
6. การประมวลผลแบบจำลอง PCSWMM (Education License Version)

การรวบรวมข้อมูล และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการ

การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ

1. ข้อมูลลักษณะทางกายของบล็อกซึมน้ำ
2. ข้อมูลสมบัติซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำ
3. ข้อมูลอัตราส่วนช่องว่างของบล็อกซึมน้ำ

ข้อมูลทุติยภูมิ

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร จากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

2. แผนผังระบบระบายน้ำในพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร จากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

3. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร 10 ปี (ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2565) จากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

4. ข้อมูลสถิตน้ำท่วมขังบนถนนในพื้นที่บริหารจัดการน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ย้อนหลัง 2 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ. 2564 ถึง 2565

5. ข้อมูลผังเมืองและผังการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2556 (เป็นปีที่ปรับปรุงครั้งล่าสุด) จากสำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการ

ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

1. โปรแกรมแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM (Education License Version)
2. โปรแกรมทางสถิติ Microsoft Excel 365
3. โปรแกรมทางภูมิศาสตร์ Quantum GIS 3.34.3 (Free Software)

วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับบล็อกซึมน้ำ

1. วัสดุสำหรับบล็อกประสานปูพื้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมหยาบธรรมชาติหรือหินปูนย่อย น้ำประปา

2. อุปกรณ์สำหรับบล็อกประสานปูพื้นเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ

2.1 ขวดแก้วมาตรฐานเลอแซททีเลียร์

2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักในน้ำ

2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักที่อ่านได้ละเอียด 0.05 กิโลกรัม

2.4 ตะแกรงมาตรฐาน

2.6 เทอร์โมมิเตอร์

2.7 ถังเหล็กทรงกระบอก

2.8 กรวยเหล็ก

2.9 เหล็กปาด

2.10 แบบหล่อคอนกรีต และแบบหล่อบล็อกซึมน้ำ

2.11 แท่นทดสอบการไหลแผ่

2.12 คาลิเปอร์

2.13 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

2.14 แผ่นกด

2.15 ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ (110±5 ºC)

2.16 เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านพื้นที่

1. จัดเตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรุงเทพมหานคร เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าจากตาราง 9 สำหรับนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง

2. จัดเตรียมแผนที่สำหรับการทำแบบจำลอง ผังการระบายน้ำ ตำแหน่งสถานีสูบน้ำในพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

1. นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนในกรุงเทพมหานครจากตาราง 4 จัดทำ Intensity Duration Frequency Curve ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มน้ำฝน ช่วงเวลาและความถี่การเกิดซ้ำในรอบปีต่าง ๆ โดยความเข้มฝนจะเท่ากับความลึกฝนต่อช่วงเวลาของฝนที่ฝนตกช่วงนั้น ๆ

2. จัดเตรียมข้อมูลท่อระบายน้ำในพื้นที่ศึกษาสำหรับนำเข้าสู่แบบจำลอง อาทิ ข้อมูลอัตราการการไหลเริ่มต้นของท่อระบายน้ำ ค่าระดับ และหน้าตัดการไหลท่อระบายน้ำ เป็นต้น

การออกแบบอัตราส่วนและส่วนผสมของบล็อกซึมน้ำ

การออกแบบอัตราส่วนและส่วนผสมจะอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 522 (2010) โดยจะกำหนดค่าความหนาของบล็อก 120 มิลลิเมตร เพื่อเป็นหาค่าสมบัติเริ่มต้นสำหรับใส่ในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM

ตาราง 10 สมบัติขั้นต่ำในการออกแบบบล็อกซึมน้ำตามมาตรฐาน ACI 522 (2010)

รายละเอียดข้อมูล	จำนวน	หน่วย
ปริมาตรโพรง	มากกว่า 10	%
อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	0.3	

ตาราง 11 สมบัติมวลรวมหยาบที่ใช้ในการออกแบบบล็อกซึมน้ำ

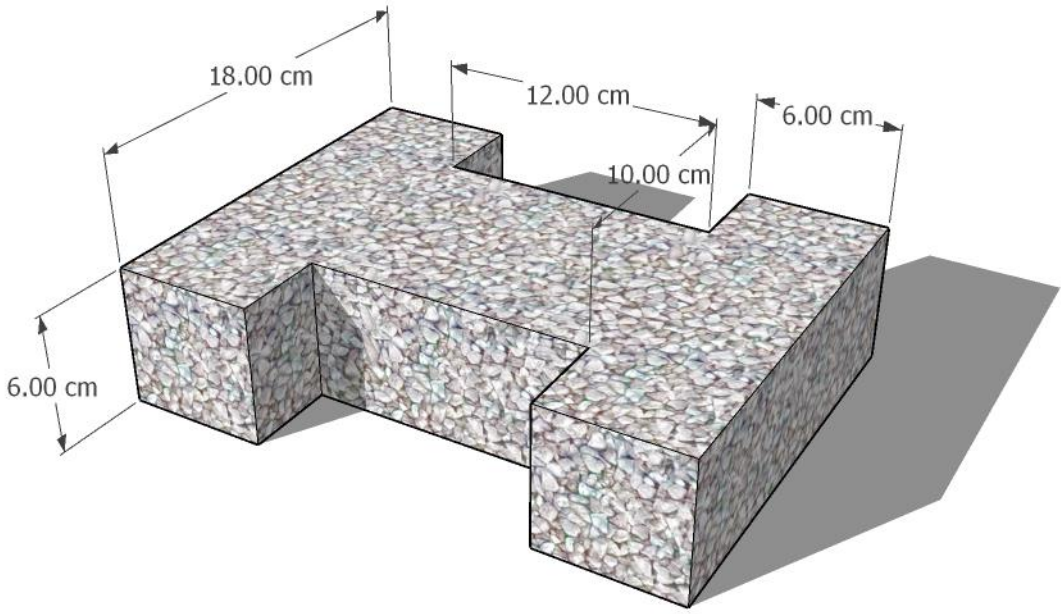
มวลรวมหยาบ	รายละเอียด	หน่วย
ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ	9.5	มม.
ความถ่วงจำเพาะ	1.9	
หน่วยน้ำหนักในสภาพแห้งและการกระทุ้งแน่น	1125	กก./ม^3
ค่าการดูดซึมน้ำ	11.5	%
ปริมาณความชื้น	1	%

ตาราง 12 การออกแบบส่วนผสมสำหรับทำบล็อกซึมน้ำในการหาสมบัติพื้นฐาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
1. คำนวณน้ำหนักมวลรวมหยาบ	1113.75	กก.	
2.ปรับน้ำหนักมวลรวมตามสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง	1241.83	กก.	
3.คำนวณหาปริมาตรเพสต์	0.2	ลบ.ม.	ไม่ควรต่ำกว่า 0.15
4.คำนวณหาปริมาณปูนซีเมนต์	324.15	กก.	
5.คำนวณหาปริมาณน้ำ	97.24	กก.	
6.หาปริมาตรส่วนของแข็ง			
6.1 ปริมาตรมวลรวมหยาบ	0.65	ลบ.ม.	
6.2 ปริมาตรซีเมนต์	0.10	ลบ.ม.	
6.3 ปริมาตรน้ำ	0.10	ลบ.ม.	
ปริมาตรรวม	0.85	ลบ.ม.	
7.ตรวจสอบปริมาตรโพรง	14.59	%	ผ่านมากกว่า 10%
8.สรุปปริมาณส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร			
8.1 ปริมาณมวลรวมหยาบ	1241.83	กก.	
8.2 ปริมาณซีเมนต์	324.15	กก.	
8.3 ปริมาณน้ำ	97.24	กก.	
ปริมาณรวม	1663.23	กก.	

ตาราง 13 อัตราการส่วนการใช้วัสดุผสมต่อหนึ่งตัวอย่าง

รายละเอียด	**ขนาด/ปริมาณ**	**หน่วย**
รูปทรงบล็อกซึมน้ำ รูปตัว H	กว้าง x ยาว x หนา	
ขนาดบริเวณตรงกลาง H (1 ส่วน)	10 x 12 x 6	เซนติเมตร
ขนาดบริเวณปีกตัว H (2 ส่วน)	6 x18 x 6 x 2(ชิ้น)	เซนติเมตร
ปริมาณส่วนผสมต่อบล็อก		
ปริมาณมวลรวมหยาบ	2.504	กิโลกรัม
ปริมาณซีเมนต์	0.653	กิโลกรัม
ปริมาณน้ำ	0.196	กิโลกรัม



ภาพประกอบ 30 ตัวอย่างการออกแบบขนาดบล็อกเพื่อคำนวณส่วนผสม

การทดสอบบล็อกซึมน้ำเพื่อหาค่าสมบัติซึมน้ำเริ่มต้น

การทดสอบในขั้นตอนนี้จะเป็นทดสอบเพื่อหาค่าสมบัติการซึมน้ำเริ่มต้นสำหรับใช้ในแบบจำลองชลศาสตร์ซึ่งขั้นตอบการทดสอบจะเป็นตามเนื้อในบทที่ 2 หัวข้อ “การทดสอบวัสดุสำหรับบล็อกซึมน้ำ” ในที่นี้จะกล่าวถึงการทดสอบที่ได้มาซึ่งค่าสมบัติที่ใช้ในแบบจำลอง กับการทดสอบความสามารถการรับแรงกดเพื่อเปรียบตามมาตรฐาน ACI522 (2010)

การคำนวณปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม

ในการหาอัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมเมื่อนำมวลไปทดสอบแล้วจะต้องนำมาคำนวณหาตามมาตรฐาน ASTM C29 ซึ่งจะมีสมการสำหรับคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราส่วนช่องว่าง} = \frac{(S\times W)\text{-}M}{S\times W}\times 100 \quad (8)$$

เมื่อ S คือ ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม

W คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ลบ.ม.)

M คือ หน่วยน้ำหนักอัดแน่นของมวลรวม (กก./ลบ.ม.)

การคำนวณค่าการซึมผ่านน้ำ

หลังการทดสอบในการหาค่าการซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำจะนำมาคำนวณหาตามมาตรฐาน ASTM C29 ซึ่งจะมีสมการสำหรับคำนวณแสดงดังนี้

$$k \text{ (ค่าการซึมผ่านน้ำ, ซม./วินาที)} = \frac{QL}{HAt} \quad (9)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เมตร) ที่วัดเวลา t (วินาที)

A คือ ขนาดหน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L คือ ความสูงของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

H คือ ระยะห่างระหว่างระดับน้ำที่ทางออก 2 ทาง (เซนติเมตร)

การคำนวณหาปริมาตรโพรงหรือความพรุน

หลังจากการออกแบบและตรวจสอบปริมาตรโพรงเบื้องต้นตามมาตรฐานแล้วเมื่อดำเนินการจัดทำบล็อกซึมแล้วเสร็จจะต้องนำมาคำนวณหาปริมาตรโพรงที่แท้จริง (กมล ตรีผอง และ รณกร เทพวงษ์, 2563) ดังสมการ

$$V_{(\text{ปริมาตรโพรง, ร้อยละ})} = \left(1-\frac{W_2-W_1}{V_1}\right)\times 100 \quad (10)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักก้อนตัวอย่างชั่งในน้ำ (กก.)

W_2 คือ น้ำหนักก้อนตัวอย่างชั่งในอากาศ (กก.)

V_1 คือ ปริมาตรของตัวอย่าง (ลบ.ม.)

การคำนวณหาความสามารถการรับแรงอัด

การทดสอบนี้มีความสำคัญในการประเมินความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุต่อแรงบีบอัด เมื่อดำเนินการจัดทำบล็อกตามที่ออกแบบไว้แล้วเสร็จจะต้องนำมาทดสอบความสามารถการรับแรงกดและนำมาคำนวณดังสมการนี้

$$P = \frac{F}{A} \quad (11)$$

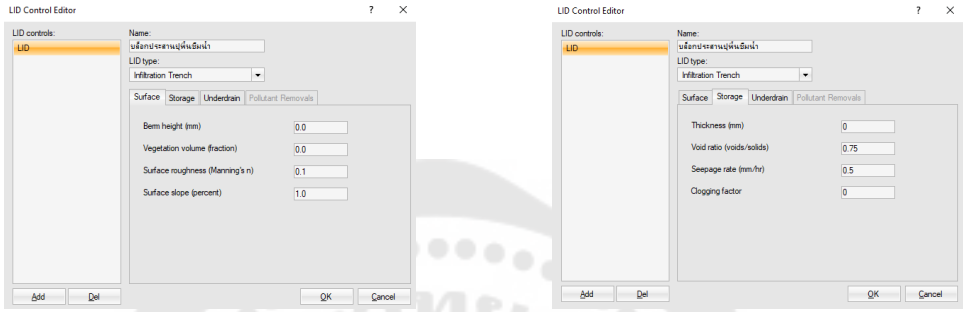
เมื่อ P คือ ความต้านแรงอัด (เมกะปาสคาล)

F คือ แรงกดสูงสุดที่กระทำต่อหน้าตัด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่ผิวหน้ารับแรงกด (ตารางมิลลิเมตร)

การนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง PCSWMM

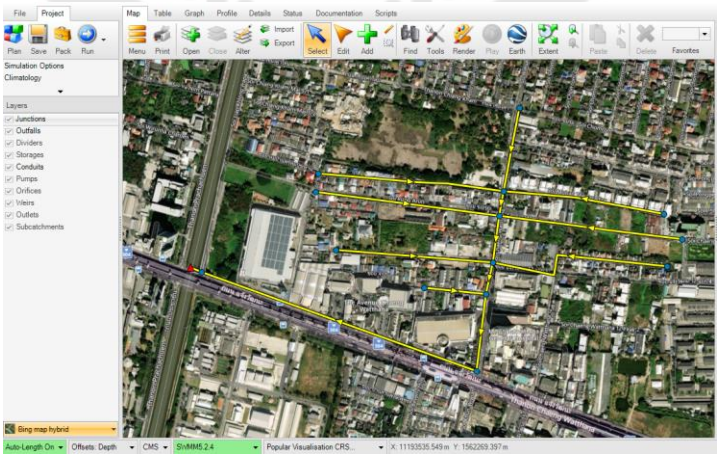
1. เทียบค่าจาก ในหน่วยเดียวกันกับแบบจำลอง PCSWMM เพื่อวิเคราะห์และประเมินศักยภาพการซึมน้ำในการบรรเทาปัญหาน้ำท่วม ได้แก่ ค่าความหนาของบล็อก (มิลลิเมตร) ค่าอัตราส่วนของว่าง (ร้อยละ) และค่าการไหลผ่าน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)



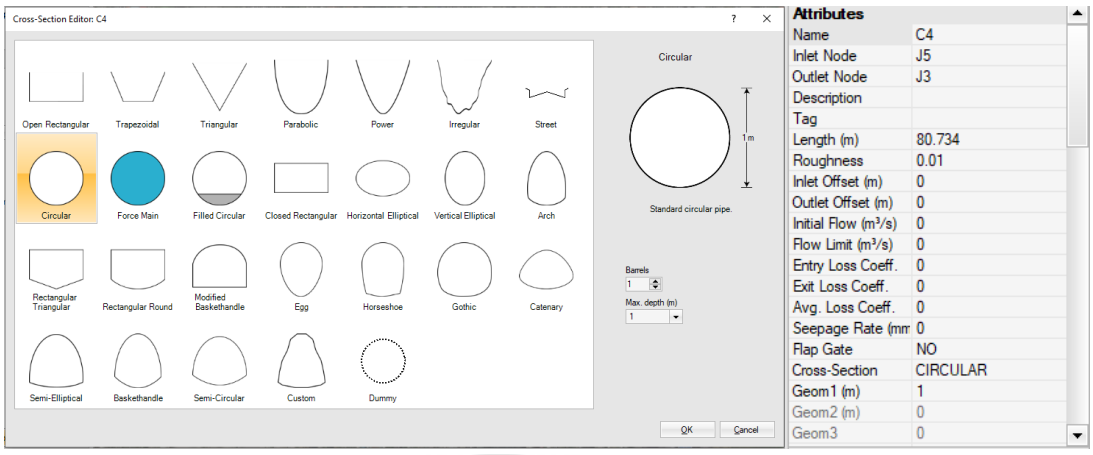
(ก) (ข)

ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างฟังก์ชันการนำเข้าสมบัติบล็อกซึมน้ำในแบบจำลอง PCSWMM (ก) การตั้งค่าพื้นผิว และ (ข) การตั้งค่าชั้นกักเก็บน้ำ

2. นำเข้าข้อมูลระบบระบายน้ำ อาทิ ผังระบบท่อระบาย ค่าระดับท่อระบายน้ำ หน้าตัดการไหลท่อ คูคลอง และทางน้ำเปิดดังตาราง 7 ในพื้นที่ศึกษาสู่แบบจำลอง PCSWMM

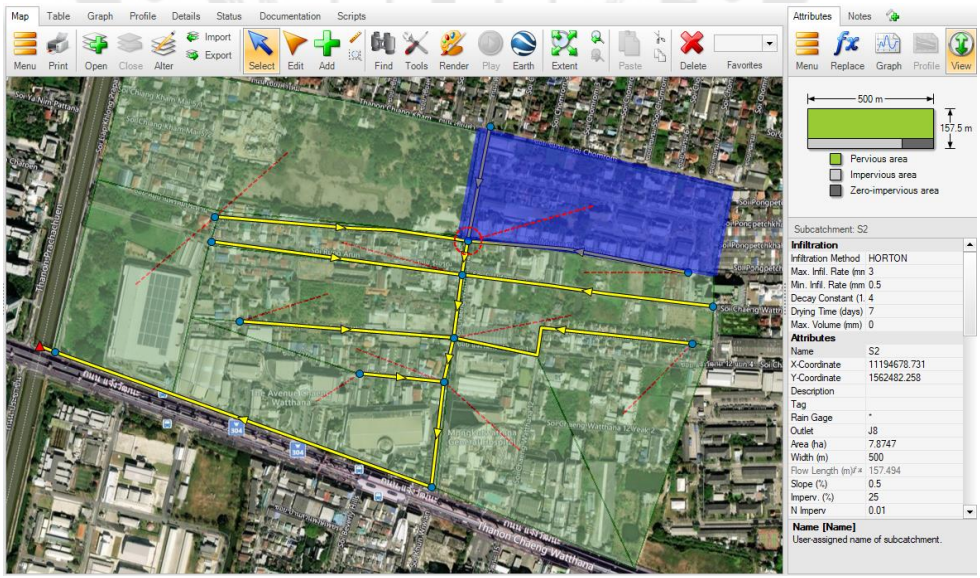


ภาพประกอบ 32 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลระบบระบายน้ำในแบบจำลอง PCSWMM

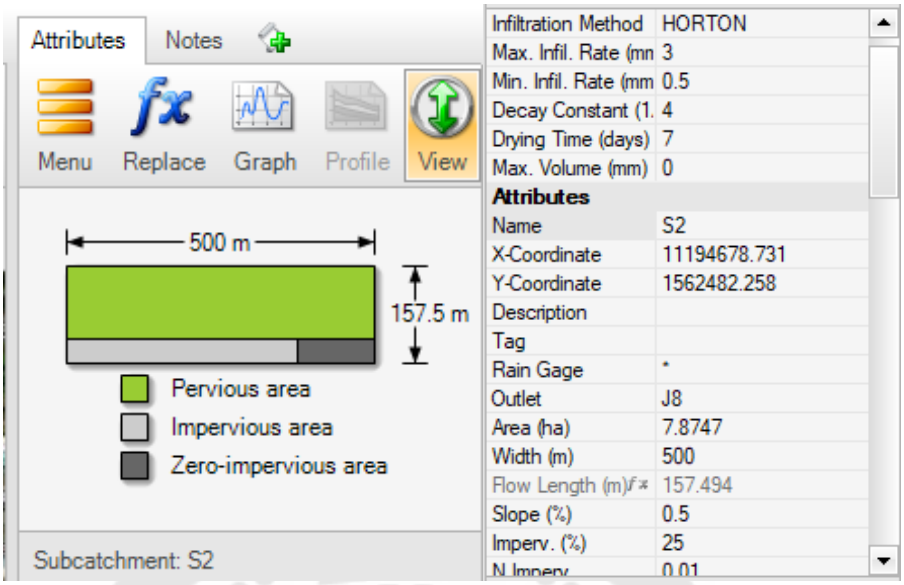


ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างการตั้งค่าหน้าตัดการไหล ค่าระดับ และข้อมูลระบบระบายน้ำที่จำเป็นในแบบจำลอง PCSWMM

3. นำเข้าข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา และลักษณะพื้นที่สำหรับทำ Sub catchment ในแบบจำลอง PCSWMM

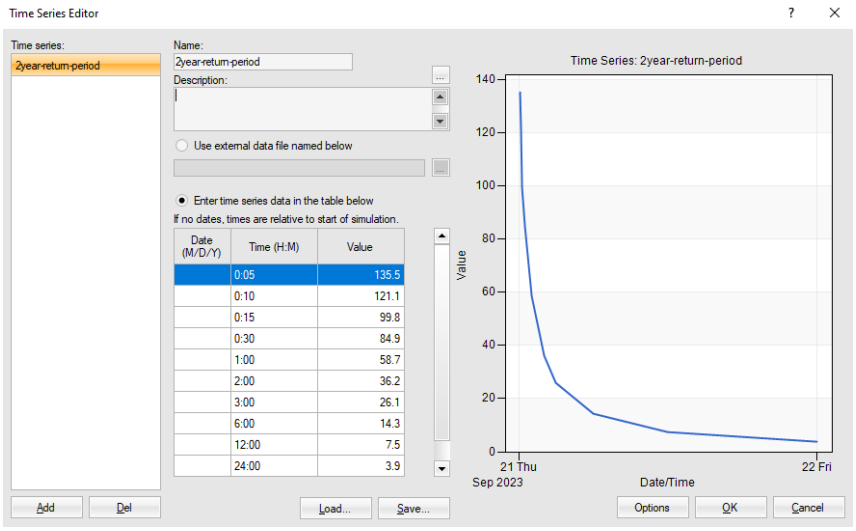


ภาพประกอบ 34 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลพื้นที่เข้าแบบจำลอง PCSWMM

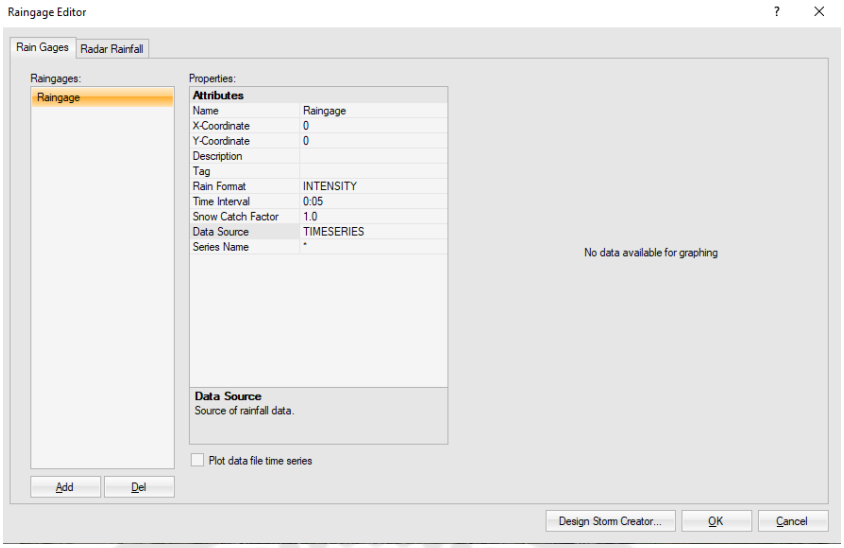


ภาพประกอบ 35 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลพื้นที่ที่จำเป็นเข้าสู่แบบจำลอง PCSWMM

4. นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแบบจำลอง PCSWMM จากการทำ Intensity Duration Frequency Curve

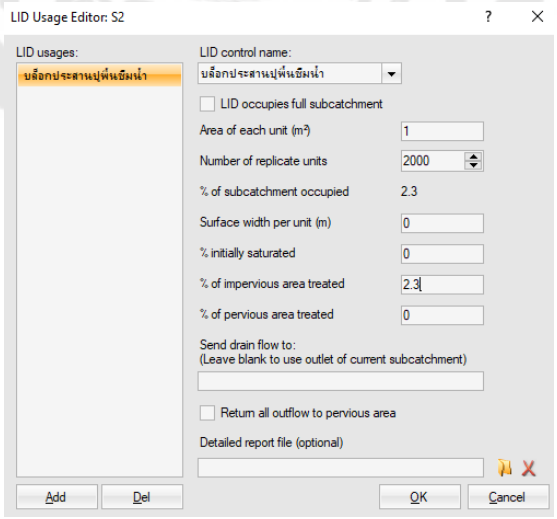


ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแบบจำลอง PCSWMM



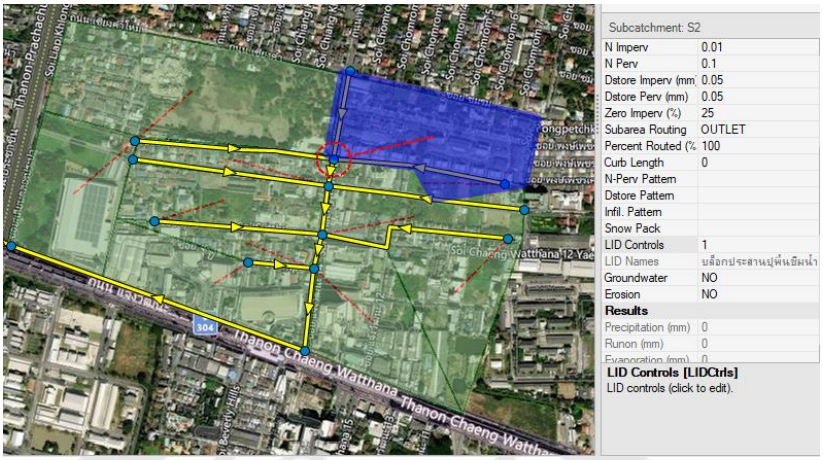
ภาพประกอบ 37 ตัวอย่างการใช้ฟังก์ชัน Rain gage Editor สำหรับการจำลองข้อมูลฝนในแบบจำลอง PCSWMM

5. นำเข้าข้อมูลบล็อกซึมน้ำเข้าสู่แบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชัน LID Control Editor โดยจะประยุกต์ใช้โครงสร้าง Infiltration trenches จำลองการใช้บล็อกซึมน้ำ



ภาพประกอบ 38 ตัวอย่างการนำเข้าของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแบบจำลอง PCSWMM โดยฟังก์ชัน LID Control

6. นำเข้าบล็อกซึมน้ำเข้าสู่พื้นที่ โดยนำเข้าใส่ใน Sub catchment



ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างการนำเข้าของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเข้าสู่พื้นที่ศึกษา

การประมวลผลแบบจำลอง PCSWMM

การสอบเทียบแบบจำลอง

การสอบเทียบ

1. จำลองสถานการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในพื้นที่โดยเลือกใช้เหตุการณ์น้ำท่วม และฝนตกในพื้นที่จากข้อมูลรายงานสถานการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2566 เพื่อให้แบบจำลองมีสถานการณ์และระบบระบายน้ำใกล้เคียงกับปัจจุบันมากที่สุด

2. ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความความขรุขระแมนนิ่งของท่อ (ค่า n) จากตาราง 5 ถึง ตาราง 6 และค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่า (ค่า C) ให้ตำแหน่งน้ำท่วม ปริมาณน้ำที่ไหลออกในพื้นที่ศึกษาในแบบจำลองใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงตามรายงานสถานการณ์น้ำท่วมจากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

จัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมจากการสอบเทียบแบบจำลอง

จากการสอบเทียบแบบจำลองจะได้ตำแหน่งของน้ำท่วมที่แสดงบนแผนที่ที่ได้วางระบบระบายน้ำไว้ จากนั้นจะนำมาจัดทำแผนที่แสดงจุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในงานด้านอื่น ๆ และการวางแผนพื้นที่ในอนาคต

ประมวลผลแบบจำลองกรณีมีบล็อกซึมน้ำ

ประมวลผลการใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

1. ตรวจสอบขนาดพื้นที่ทางเท้าบริเวณที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเพื่อนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลอง PCSWMM ให้เสมือนกับพื้นที่จริง

2. ประมวลผลแบบจำลองที่นำเข้าบล็อกซึมน้ำโดยมีสมบัติการซึมน้ำขั้นต่ำจากการทดสอบแล้ว

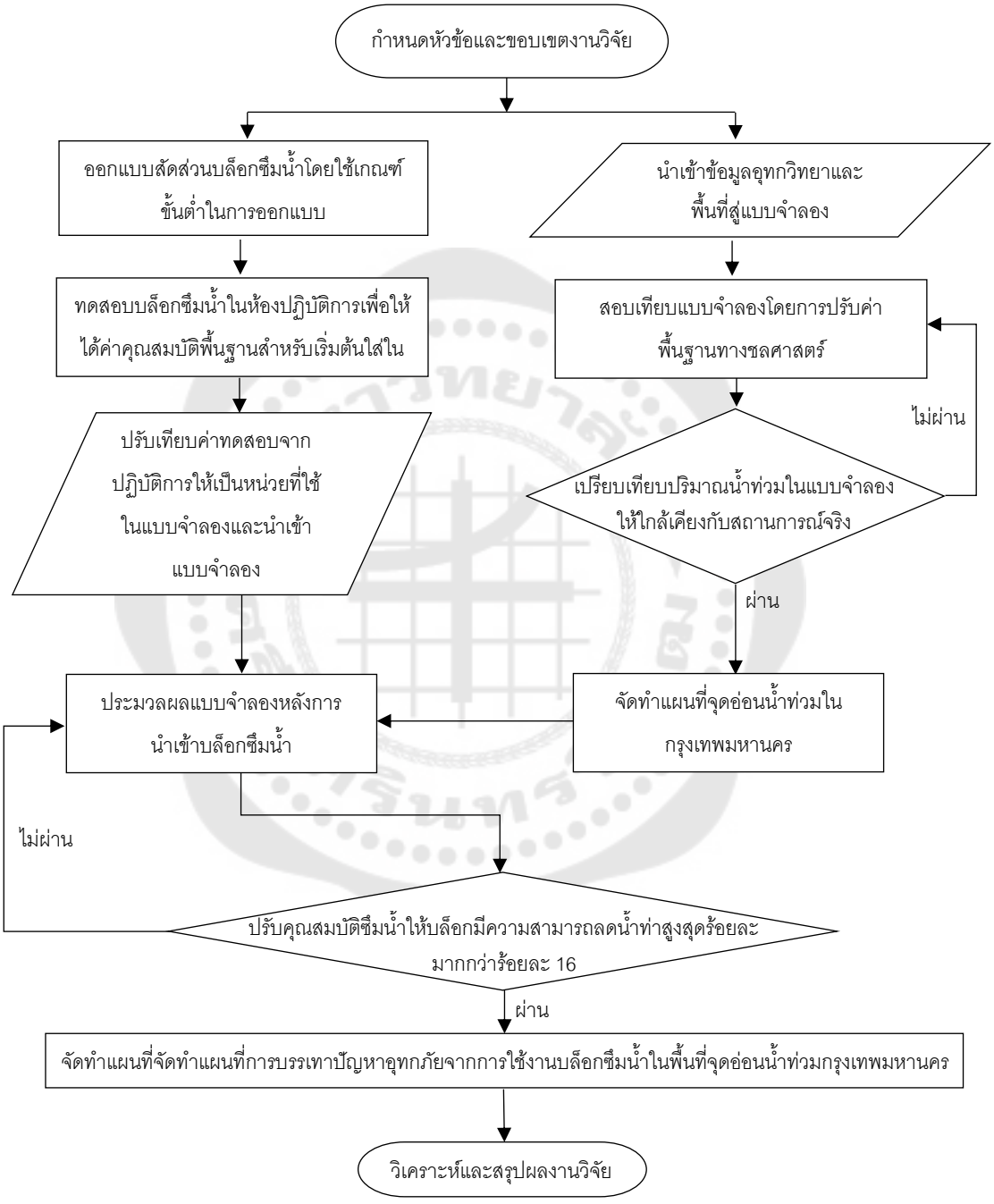
3. ประเมินความสามารถของบล็อกซึมน้ำ และปรับสมบัติให้สามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดไม่เกิน 0.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้มากกว่าร้อยละ 15.85 ซึ่งเป็นขีดความสามารถการรับน้ำท่าสูงสุดของกรุงเทพมหานคร

4. จัดทำบล็อกซึมน้ำจริงตามคุณสมบัติที่ปรับในแบบจำลอง และทดสอบตามมาตรฐาน ACI 522 (2010)

5. จัดทำแผนที่การใช้งานบล็อกซึมน้ำในการบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาอุทกภัย ทำการรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 ถึง เมษายน พ.ศ. 2567 ดังนี้



ภาพประกอบ 40 ผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ผลการศึกษางานวิจัยเพื่อเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. การจัดทำแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา
2. การจัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร
3. การทดสอบบล็อกซึมน้ำเพื่อใช้เป็นค่าพื้นฐานในแบบจำลอง
4. การนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM
5. การทดสอบบล็อกซึมน้ำหลังการปรับสมบัติบล็อกซึมน้ำต้นแบบ
6. การจัดทำแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

ผลการจัดแบบจัดทำลองชลศาสตร์ PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา

องค์ประกอบของแบบจำลอง

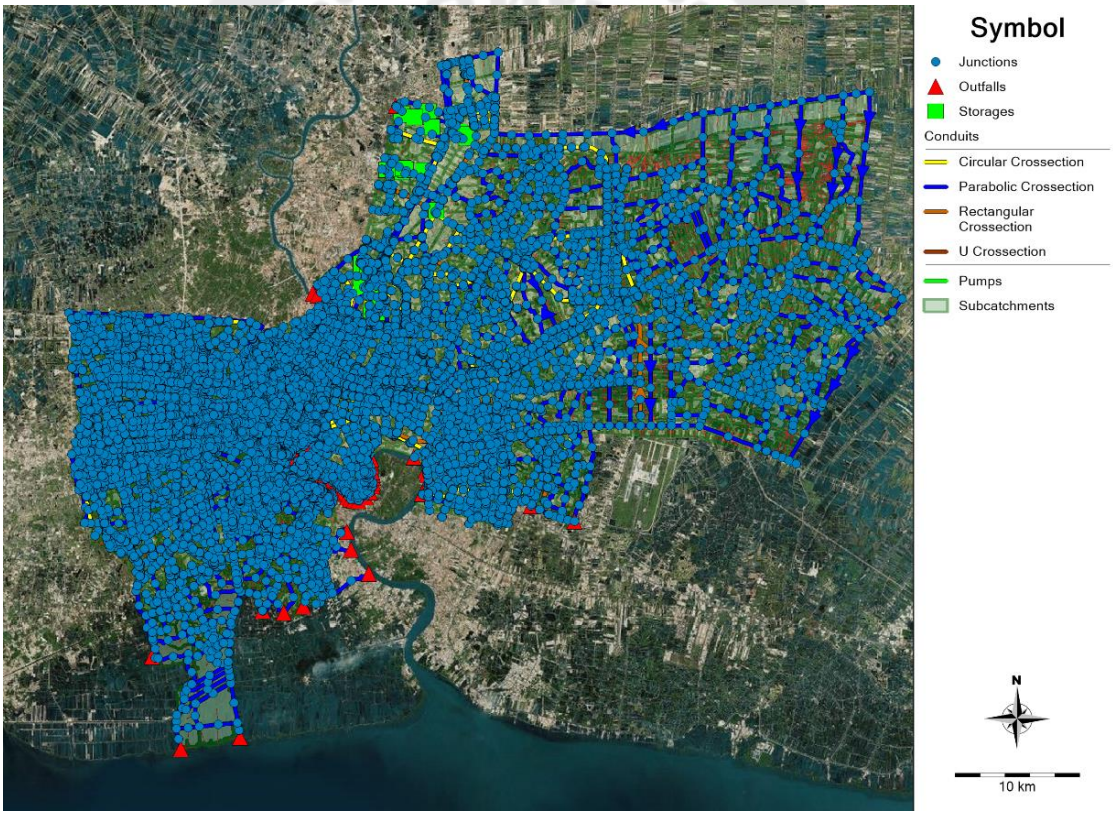
ในการจัดทำแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ของระบบระบายน้ำในพื้นที่ศึกษานั้นจะประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ ได้แก่ โหนด (Node) ท่อ (Conduit) พื้นที่รับน้ำ (Subcatchment) ปั๊มน้ำ (Pump) ที่กักเก็บน้ำ (Storage) และจุดปล่อยน้ำ (Outfall) ซึ่งโหนดจะใช้วางในส่วนของบ่อพักน้ำ หรือจุดต่อของท่อหรือทางน้ำเปิดในแบบจำลอง ปั๊มน้ำจะแทนด้วยสถานีสูบน้ำ ที่กักเก็บน้ำจะใช้แทนในส่วนของบ่อน้ำ หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และจุดปล่อยน้ำทิ้งที่จะรวบรวมน้ำปล่อยออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยา และอ่าวไทย จากการจัดทำแบบจำลองระบบระบายน้ำตามข้อมูลพื้นฐานจากสำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานครนั้นจะแสดงองค์ประกอบดังนี้

ตาราง 14 องค์ประกอบที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองระบบระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา

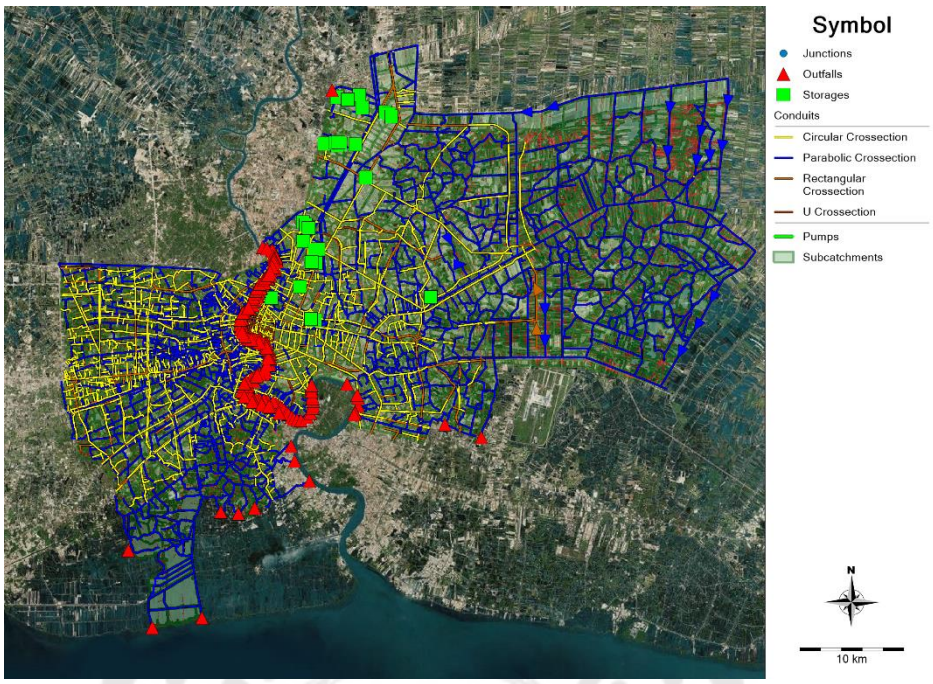
องค์ประกอบ	จำนวน	หน่วย
โหนด (Node)	17,294	จุด
ทางระบายน้ำ (Conduit)		
- หน้าตัดการไหลวงกลม	9,649	เส้น

ตาราง 14 (ต่อ)

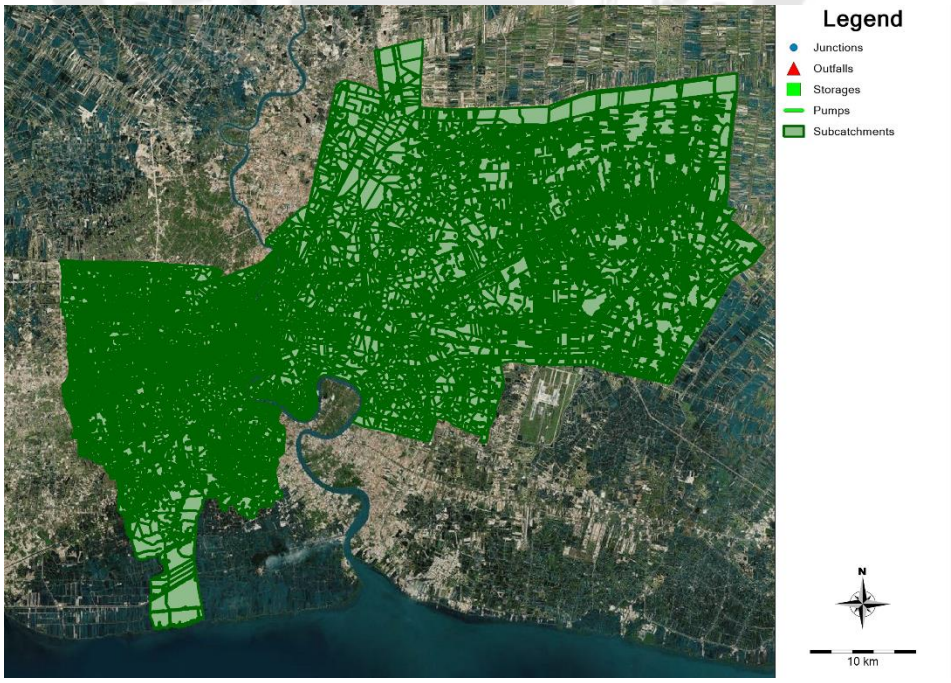
องค์ประกอบ	จำนวน	หน่วย
- หน้าตัดการไหลสี่เหลี่ยม	1,138	เส้น
- หน้าตัดการไหลรูปตัวยู	322	เส้น
- หน้าตัดการไหลพาราโบลิค	8,684	เส้น
พื้นที่รับน้ำ (Subcatchment)	22,150	แห่ง
สถานีสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ (Pump)	276	แห่ง
ที่กักเก็บน้ำ (Storage)	27	แห่ง
จุดปล่อยน้ำ (Outfall)	182	จุด



ภาพประกอบ 41 รูปแบบการวางโหนดของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 42 รูปแบบการวางทางระบายน้ำของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 43 รูปแบบการวางทางพื้นที่รับน้ำของแบบจำลอง PCSWMM ในพื้นที่ศึกษา

ผลการสอบเทียบแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

ในการสอบเทียบแบบจำลองจำเป็นต้องกำหนดค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนสู่แบบจำลอง ซึ่งค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่นำเข้าสู่แบบจำลองมีค่าดังนี้

ค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์ที่ได้จากการสอบเทียบ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่า

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่า (Runoff coefficient) เป็นค่าที่แสดงถึงร้อยละการซึมน้ำของของแต่ละพื้นที่รับน้ำ จะกำหนดตามตาราง 9 จากบทที่ 2 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าที่ใช้ในแบบจำลองจะมีค่าตั้งแต่ 0 (ซึมมาก) ถึง 100 (ไม่มีการซึม) การนำเข้าค่าร้อยละการไหลบ่า (Impervious Percentage) ในพื้นที่รับน้ำในพื้นที่ศึกษาจะกำหนดค่าร้อยละการไหลบ่าตามข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากสำนักการวางผังและพัฒนาเมือง กรุงเทพมหานครดังตาราง 15

ตาราง 15 ค่าร้อยละการไหลบ่าตามการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในแบบจำลอง

Land use Type	Impervious Percentage
พื้นที่แหล่งน้ำที่มีพืชน้ำ (Aquatic plant)	10
ที่ดินเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Aquaculture land)	10
พื้นที่แหล่งน้ำเทียม (Artificial water body)	0
พื้นที่ชุมชนเมือง และพานิชย์ (City, Town and Commercial)	95
ถนนและพื้นคอนกรีต (Street and Concrete place)	100
สนามกอล์ฟ (Golf course)	25
พื้นที่เกษตรกรรมปลูกดอกไม้ (Horticulture)	38
ที่ดินอุตสาหกรรม (Industrial land)	85
พื้นที่อาคารสถาบัน (Institutional land)	85
ป่าชายเลน (Mangrove forest)	36
บึงป่า (Marsh and Swamp)	25
เหมือง และหลุม (Mine and Pit)	42
พื้นที่สวนผลไม้ (Orchard)	38
ที่ดินก่อสร้างอื่น ๆ (Other built-up land)	95
ที่ดินผสมผสาน (Other miscellaneous land)	22

ตาราง 15 (ต่อ)

Land use Type	Impervious Percentage
นาข้าว (Paddy field)	38
ทุ่งหญ้า และไร่ (Pasture and farmhouse)	42
พื้นที่เพาะปลูก (Perennial crop)	25
พื้นที่เพาะปลูกและสวนผลไม้ (Perennial crop/Orchard)	31.5
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (Rangeland)	38
หมู่บ้าน (Village)	75

2. ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning roughness coefficient ; n) เป็นค่าที่ใช้คำนวณอัตราการไหลในท่อเมื่อท่อมีค่า n มากจะทำให้อัตราการไหลลดลง หมายถึง น้ำไหลได้ยากขึ้นเมื่อมีน้ำปริมาณมากจะทำให้เกิดล้น (Overflow) ออกมา การใช้ค่า n จะกำหนดตามตาราง 5 และตาราง 6 จากบทที่ 2 ซึ่งในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ที่จำลองสถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในพื้นที่ที่มีสถานการณ์ปกติ และในพื้นที่ที่มีสถานการณ์น้ำท่วมที่ต่างกัน ดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ได้จากการสอบเทียบในแบบจำลอง

ประเภทหน้าตัดการไหล	**บริเวณที่ระบบระบายปกติ**	**บริเวณที่เกิดน้ำท่วม**
หน้าตัดการไหลวงกลม	0.016	0.018
หน้าตัดการไหลสี่เหลี่ยม	0.020	0.030
หน้าตัดการไหลรูปตัวยู	0.020	0.030
หน้าตัดการไหลพาราโบลิค	0.030	-

3. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ

จากการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนในรูปแบบ IDF Curve ในการสอบเทียบแบบจำลองจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี (ตาราง 4 จากบทที่ 2) มีค่าความเข้มฝนต่ำสุดที่ 5.24 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และความเข้มฝนสูงอยู่ที่ 171.34 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยแบบจำลองจะประมวลฝนในรูปแบบ Time series ในเวลา 24 ชั่วโมงสำหรับการประมวลผล 1 ครั้ง

4. ผลการสอบเทียบแบบจำลอง

จากการสอบเทียบแบบจำลอง โดยการปรับค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์เพื่อให้ค่าปริมาณน้ำท่วมในหน่วยของลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ พื้นที่ตามรายงานน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2566 ใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำท่วมในหน่วยเดียวกันของแบบจำลองทางชลศาสตร์ PCSWWM ดังตาราง 17 และได้ค่าปริมาณการเกิดน้ำท่าสูงสุดดังตาราง 18

ตาราง 17 ผลการสอบเทียบสถานการณ์น้ำท่วมในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่วม จริง (ลบ.ม./ชั่วโมง)	ผลการสอบเทียบ ปริมาณน้ำท่วม (ลบ.ม./ชั่วโมง)	ร้อยละ ความคาดเคลื่อน
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	1260.00	1260.21	0.02
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	900.00	899.54	0.05
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	75.00	74.58	0.56
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	450.00	449.79	0.05
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	1125.00	1125.71	0.06
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	225.00	224.92	0.04
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	3150.00	3149.50	0.02
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	600.00	599.21	0.13
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	630.00	624.96	0.80
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	514.50	514.67	0.03
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	375.00	374.58	0.11
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	75.00	74.92	0.11
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	75.00	74.96	0.06
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	97.50	97.29	0.21
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	5250.00	5251.71	0.03

ตาราง 17 (ต่อ)

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่วมจริง (ลบ.ม./ชั่วโมง)	ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่วม (ลบ.ม./ชั่วโมง)	ร้อยละความคาดเคลื่อน
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	742.50	742.33	0.02
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	112.50	112.00	0.44
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	1890.00	1890.00	0.00
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	67.50	68.83	1.98
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	997.50	995.71	0.18
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	225.00	222.71	1.02
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	2362.50	2362.50	0.00
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	562.50	563.79	0.23
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี – กรีนสปอร์ตหัวหมาก	637.50	637.46	0.01
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	168.75	168.67	0.05
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	360.00	359.96	0.01
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	315.00	313.42	0.50
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม 92)	270.00	270.17	0.06
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	675.00	674.75	0.04
		ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อน			0.23

ตาราง 18 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดของพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม 29 พื้นที่

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	Peak Runoff (m^3/s)
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	3.17
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	2.73
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	0.15
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	1.43
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	0.72
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	1.06

ตาราง 18 (ต่อ)

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	Peak Runoff (m^3/s)
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	1.13
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	0.54
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	0.45
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	0.16
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	0.40
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	0.42
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	0.57
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	1.21
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	0.41
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	0.96
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	1.49
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	0.54
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	0.10
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	0.55
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	1.12
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	1.21
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	0.15
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี - กรีนสปอร์ตหัวหมาก	0.66
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	0.22
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	0.32
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	1.54
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92)	3.08
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	1.05
		ค่าเฉลี่ย	0.95

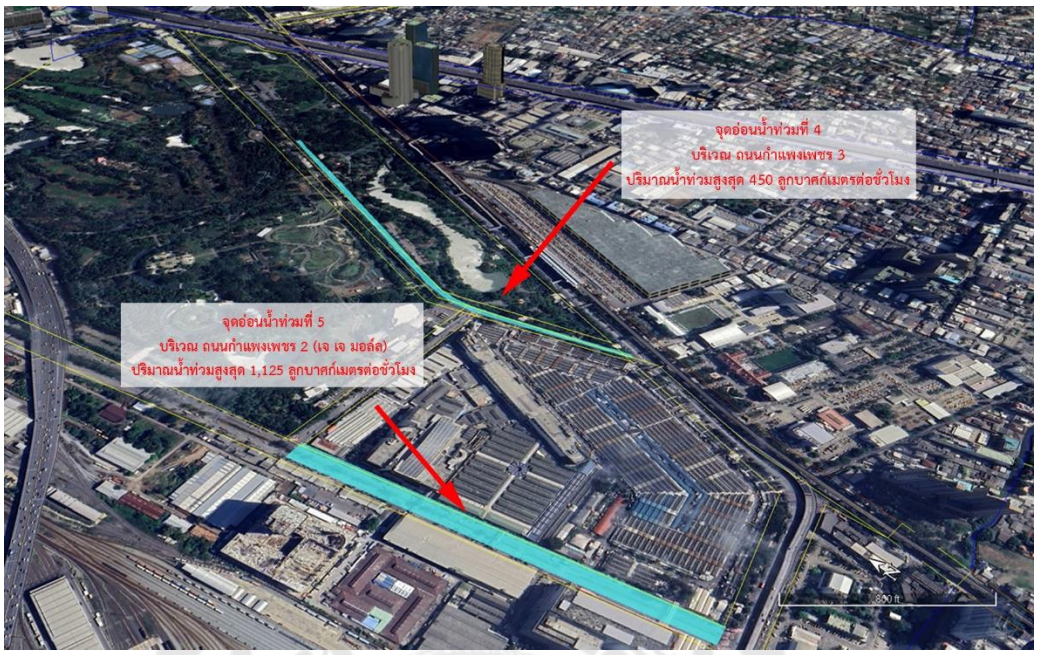
การจัดทำแผนที่จุดอ่อนน้ำท่วมในกรุงเทพมหานคร

จากการประมวลผลและสอบเทียบแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ทำให้ทราบพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซากทั้งหมด 29 พื้นที่ ตามข้อมูลสถิติรายงานสถานการณ์น้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2566 จากนั้นส่งออกข้อมูลระบบระบายน้ำและพื้นที่ที่แจ้งเตือนน้ำท่วมจากแบบจำลองเข้าสู่โปรแกรม Quantum GIS เพื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะได้แผนที่แสดงพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมดังนี้

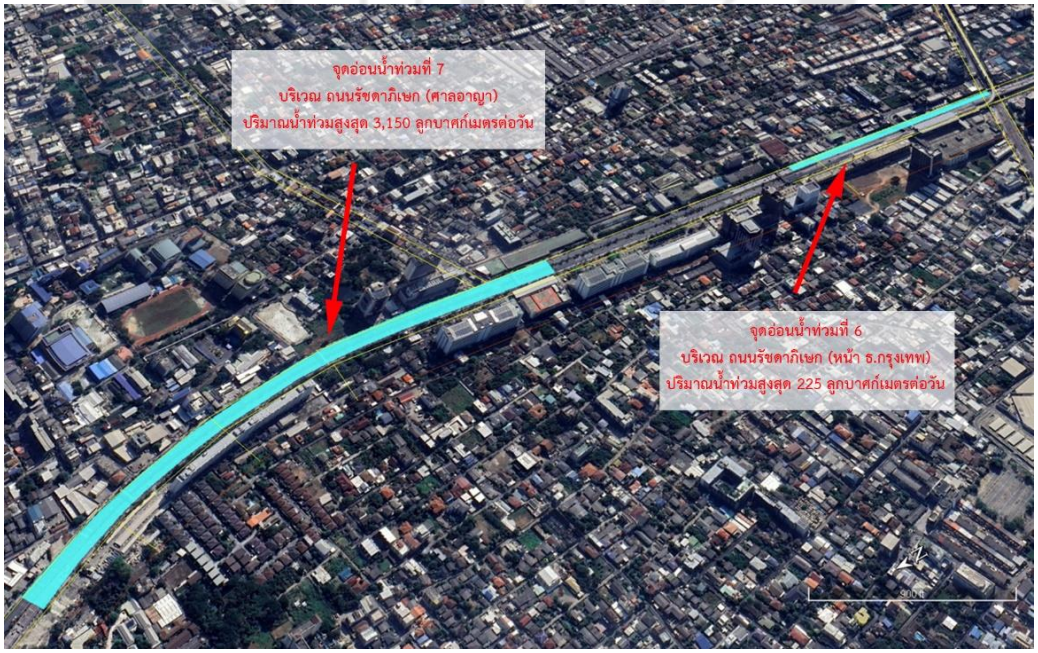
ภาพประกอบ 44 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ หน้า มทบ.11

ภาพประกอบ 45 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ถึง วงเวียนบางเขน

ภาพประกอบ 46 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนเทศบาลสงเคราะห์



ภาพประกอบ 47 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนกำแพงเพชร 3 และถนนกำแพงเพชร 2 (หน้า ห้าง เจ เจ มอล์ล)

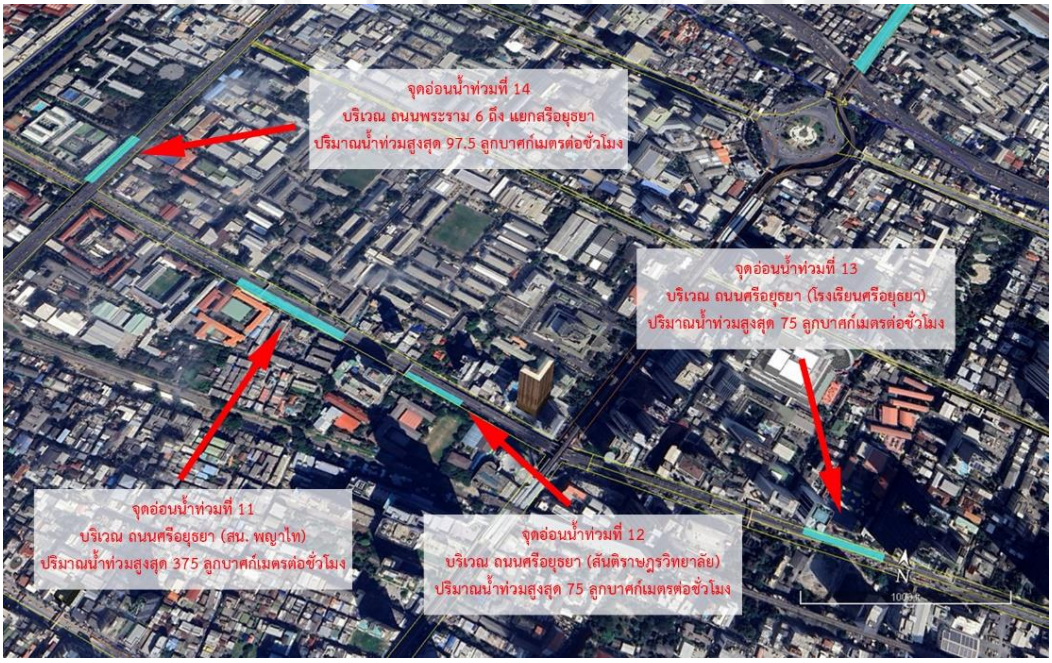


ภาพประกอบ 48 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนรัชดาภิเษก หน้าธนาคารกรุงเทพ และหน้าศาลอาญารัชดาภิเษก

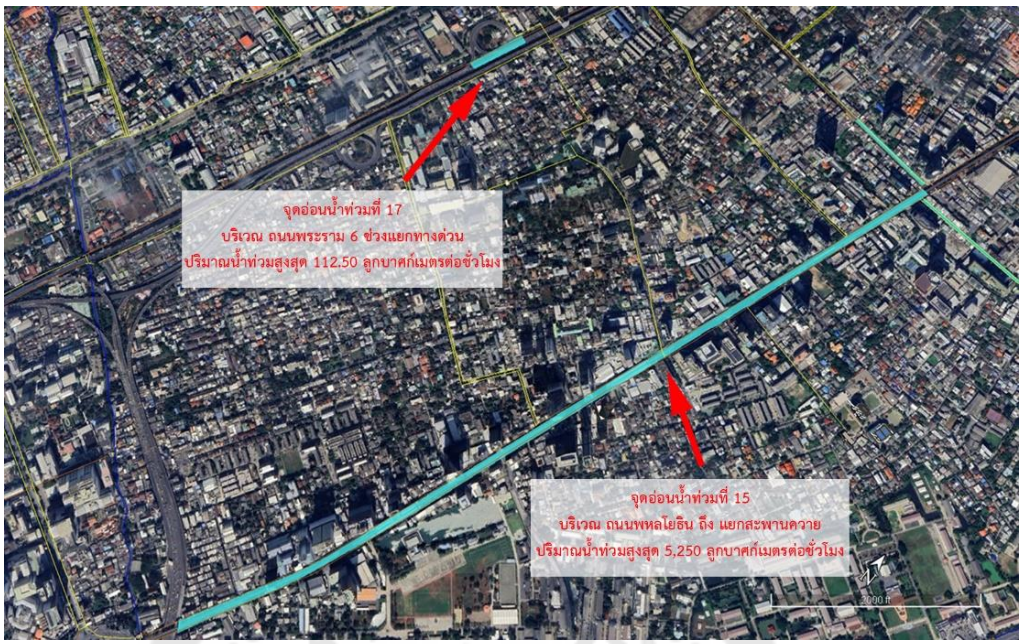
ภาพประกอบ 49 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณ ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24

ภาพประกอบ 50 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณแยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2

ภาพประกอบ 51 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนประชาสุขหน้าปากซอย ซอย 53



ภาพประกอบ 52 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนศรีอยุธยา สน.พญาไท สันติราษฎรวิทยาลัย โรงเรียนศรีอยุธยา และ ถนนพระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา

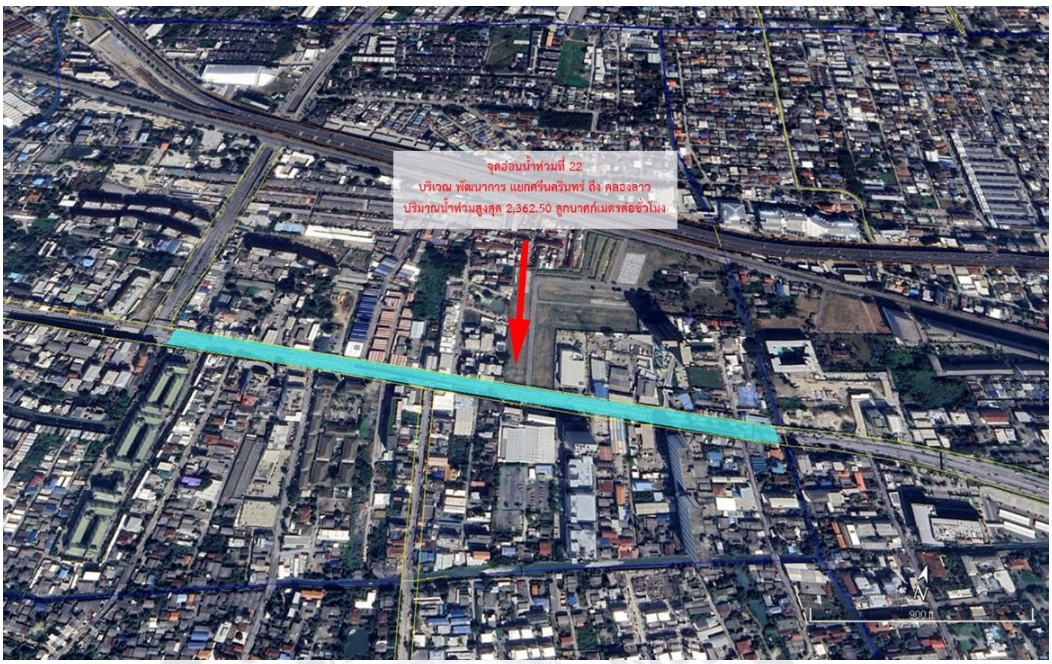


ภาพประกอบ 53 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมถนนพระราม 6 แยกทางด่วน และถนนพหลโยธิน ถึงแยกสะพานควาย

ภาพประกอบ 54 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนถนนประดิพัทธ์ ถึงแยกสะพานควาย และแยกสะพานควายถึงถนนวิภาวดี

ภาพประกอบ 55 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณสนามไชย ถึง หน้าวัดโพธิ์

ภาพประกอบ 56 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมถนนเพชรบุรี ถึง สิงห์คอมเพล็กซ์ และถนนอโศกมนตรี (แยกอโศก)



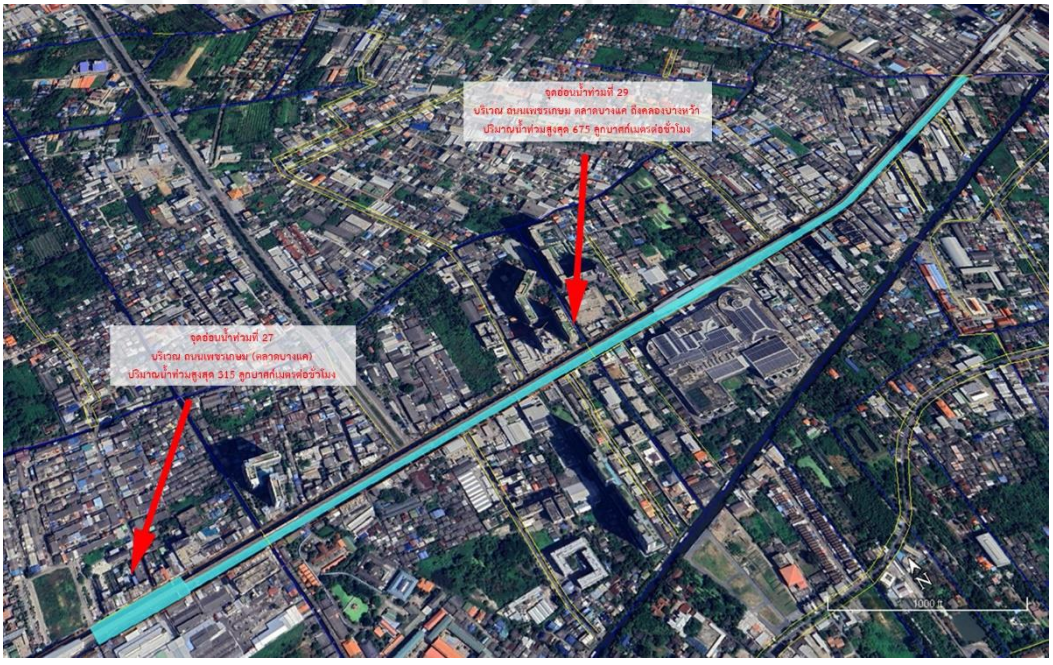
ภาพประกอบ 57 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณ พัฒนาการแยกศรีนครินทร์ ถึง คลองลาว

ภาพประกอบ 58 พื้นจุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนสาธุประดิษฐ์ ถึง แยกถนนจันทน์

ภาพประกอบ 59 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี ถึง กรีตสปอร์ตหัวหมาก

ภาพประกอบ 60 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนจอมทอง ซอย 12 ถึง แยกวุฒากาศ

ภาพประกอบ 61 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนหมู่บ้านเศรษฐกิจ ถึง เวียนกาญจนาภิเษก และถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92)



ภาพประกอบ 62 พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมบริเวณถนนเพชรเกษม หน้าตลาดบางแค ถึงคลองบางหว้า

ต้นแบบบล็อกซึมน้ำสำหรับใช้เป็นค่าพื้นฐานในแบบจำลอง

ในการหาค่าสมบัติบล็อกซึมน้ำที่สามารถช่วยลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้นั้นจำเป็นต้องมีค่าพื้นฐานที่เป็นต้นแบบก่อนปรับค่าสมบัติ จากการออกแบบส่วนผสม และสัดส่วนการใช้วัสดุตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) โดยใช้ค่าเกณฑ์ขั้นต่ำในการออกแบบ จะนำค่าสมบัติที่ได้จากการทดสอบมาใช้เป็นค่าพื้นฐาน หรือค่าเริ่มต้นก่อน และจะนำเข้าค่าสมบัติของบล็อกซึมน้ำโดยใช้ฟังก์ชัน LID ที่เป็นฟังก์ชันสำหรับการใช้งานโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแบบจำลอง จากการทดสอบตามError! Reference source not found. จากบทที่ 3 จะทดสอบบล็อกซึมน้ำทั้งหมด 3 ตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดความคลาดเคลื่อน หรือความผิดพลาดจากการทดสอบ ดังนี้

ตาราง 19 ค่าสมบัติซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำ

ตัวอย่าง	L, cm	A, cm^2	H, cm	t, sec	Q, cm^3	°C	k, cm/sec	เฉลี่ย
PB9.5,6,A	6	336	8	5.76	100	31	0.0388	
PB9.5,6,B	6	336	8	5.87	100	31	0.0380	0.0383
PB9.5,6,C	6	336	8	5.85	100	31	0.0382	

ตาราง 20 ค่าหน่วยน้ำหนักมวลรวมหยาบและปริมาณช่องว่างของมวลรวมหยาบ

ตัวอย่าง	ปริมาตรถัง (ลบ.ม.)	น้ำหนักหิน (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม	ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม
หินขนาด 9.5 mm	0.0069	10.86	1574.00	1.90	998.00	16.99	
หินขนาด 9.5 mm	0.01472	23.17	1574.00	1.90	998.00	16.99	16.99
หินขนาด 9.5 mm	0.02854	44.92	1574.00	1.90	998.00	16.99	

ตาราง 21 ค่าความสามารถการรับแรงกดของบล็อกซึมน้ำ

ตัวอย่าง	แรงกดสูงสุด (kN)	แรงกดสูงสุด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย (MPa)
PB9.5,6,A	200	200000.00	33600	5.95	5.36
PB9.5,6,B	160	160000.00	33600	4.76	
PB9.5,6,C	180	180000.00	33600	5.36	

ภาพประกอบ 63 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของบล็อกซึมน้ำ

ภาพประกอบ 64 การทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของบล็อกซึมน้ำ

จากการทดสอบหาค่าสมบัติทั้ง 3 สมบัติ พบว่าจะได้ค่าสมบัติการซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.038 เซนติเมตรต่อวินาที และอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับร้อยละ 16.99และความสามารถการรับแรงกดของบล็อกเฉลี่ยเท่ากับ 5.36 เมกะปาสคาล ซึ่งเมื่อเปรียบกับงานวิจัยของ El-Hassan, Kianmehr, และ Zouaoui (2019) เมื่อบล็อกซึมน้ำหรือคอนกรีตพรุนที่มีค่าอัตราส่วนช่องว่างในค่าที่เท่ากัน ค่าสมบัติการซึมผ่านน้ำจะเท่ากับ 0.034 เซนติเมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าค่าสมบัติการซึมผ่านน้ำมีความใกล้เคียงกัน แต่ความสามารถกำลังรับแรงอัดของบล็อกจะต่ำกว่า อย่างไรก็ตามบล็อกซึมน้ำต้นแบบนั้นเป็นตามมาตรฐาน ACI522 (A.C.I. Committee, 2010) ที่กล่าวไว้ว่าคอนกรีตพรุนจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดอยู่ระหว่าง 2.8 – 28 เมกะปาสคาล

ค่าอัตราการส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ แต่ค่าอัตราการส่วนช่องว่างที่ได้จะมากกว่าปริมาตรโพรงเนื่องจากปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำนั้นจะคำนวนร่วมกับปริมาณเพสต์ที่เคลือบผิวของมวลรวมหยาบทำให้ปริมาตรโพรงในบล็อกซึมน้ำเล็กลง ทำให้ช่องระหว่างมวลรวมหลังผสมกับเพสต์แล้วมีค่าลดลงตามไปด้วย

ตาราง 22 การเปรียบเทียบอัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมและปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ

สมบัติ	ค่าที่ได้ (ร้อยละ)
อัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวม	16.99 (ตาราง 20)
ปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ	14.59 (ตาราง 12)

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM โดยใช้ฟังก์ชัน LID เพื่อนำเข้าสมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และจะใช้สมบัติของบล็อกซึมน้ำ 3 สมบัติ คือ ความหนาของบล็อก สมบัติการซึมผ่านน้ำและปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ จากนั้นเปลี่ยนหน่วยของสมบัติให้สอดคล้องกับแบบจำลอง เพื่อเตรียมค่าสำหรับนำเข้าแบบจำลองต่อไปดังนี้

ตาราง 23 การเทียบหน่วยสมบัติของบล็อกซึมน้ำสำหรับใช้ในแบบจำลอง

สมบัติของบล็อกซึมน้ำ	หน่วยจากการทดสอบในปฏิบัติการ	หน่วยที่ใช้ในแบบจำลอง
ความหนาของบล็อก	**มิลลิเมตร**	
ค่าที่ใช้	60	60
สมบัติกาซึมผ่านน้ำ	**เซนติเมตรต่อวินาที**	**มิลลิเมตรต่อชั่วโมง**
ค่าที่ใช้	0.038	1379.22
ปริมาตรโพรงของบล็อกซึมน้ำ	**ร้อยละ**	**อัตราส่วน**
ค่าที่ใช้	14.59	0.1459

การนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM

ขอบเขตพื้นที่สำหรับการนำเข้าบล็อกซึมน้ำในแบบจำลอง

การนำเข้าบล็อกซึมน้ำต้นแบบที่มีสมบัติจากทดสอบการทดสอบในปฏิบัติการนั้นจะต้องขั้นแรกจะต้องตรวจสอบขอบเขตพื้นที่สำหรับนำเข้าบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้ง 29 แห่ง ซึ่งบล็อกซึมน้ำนี้จะใส่เข้าไปในส่วนของทางเดินเท้าริมถนนทั้งสองข้างทางอ้างอิงจากข้อมูลพื้นที่ว่างของกรุงเทพมหานคร (สำนักการวางผังเมืองและพัฒนาเมืองกรุงเทพมหานคร, 2556) และการสำรวจด้วย Google Earth Pro จะได้ตำแหน่งและขอบเขตการนำเข้าบล็อกแต่ละพื้นที่ดังนี้

ตาราง 24 ขอบเขตการใช้บล็อกซึมน้ำแทนทางเท้าในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ขอบเขตพื้นที่ที่พิจารณา (ตารางเมตร)	ร้อยละการใช้บล็อกซึมน้ำในพื้นที่พิจารณา
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	89,396.53	20.10
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	74,667.89	22.10
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	40,683.60	21.60
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	71,177.21	20.45
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	70,007.26	21.77
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	51,338.89	19.50
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	54,585.70	22.00
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	12,739.65	18.80
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	63,014.90	21.84
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	43,122.53	21.65
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	18,535.91	19.30
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	9,651.12	22.80
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	26,390.13	22.90

ตาราง 24 (ต่อ)

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ขอบเขตพื้นที่ที่พิจารณา (ตารางเมตร)	ร้อยละการใช้บล็อกซึมน้ำในพื้นที่พิจารณา
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	9,651.12	22.80
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	26,390.13	22.90
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	29,747.47	20.20
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	69,302.40	21.94
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	23,183.18	21.60
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	37,177.97	17.80
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	19,489.27	21.60
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	11,206.84	22.40
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	57,973.73	20.40
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	27,374.40	21.90
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	153,001.04	21.50
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	27,589.66	22.00
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี - กรีนสปอร์ตหัวหมาก	31,197.15	19.25
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	136,711.96	22.03
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	103,905.42	20.23
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	81,621.01	22.40
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92)	175,628.21	20.60
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	129,679.59	22.50

ประสิทธิภาพบล็อกซึมในการบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานครได้ออกแบบระบบระบายน้ำให้สามารถรองรับน้ำฝนในรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี หรือรองรับปริมาณความเข้มฝนได้ประมาณ 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อนำปริมาณความเข้มฝนมาคำนวณหาค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Peak Runoff) ที่กรุงเทพมหานครสามารถรองรับได้จากสมการ Rational (สมการที่ (4) จากบทที่ 2) ได้ค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้ง 29 พื้นที่รองรับได้ดังนี้

ตาราง 25 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมสามารถรองรับได้

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่รองรับได้ (m^3/s)
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	1.22
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	1.02
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	0.55
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	0.97
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	0.95
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	0.70
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	0.74
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	0.17
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	0.86
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	0.59
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	0.25
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	0.13
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	0.36
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	0.41
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	0.94
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	0.32
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	0.51
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	0.27
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	0.15

ตาราง 25 (ต่อ)

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่รองรับได้ (m^3/s)
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	0.79
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	0.37
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	2.08
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	0.38
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี - กรีนสปอร์ตหัวหมาก	0.42
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	1.86
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	1.42
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	1.11
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92)	2.39
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	1.77
		ค่าเฉลี่ย	0.82

ค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยที่พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมสามารถรองรับได้คือ 0.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ปัจจุบันสถานการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นทำให้มีค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุด เท่ากับ 0.95 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ตาราง 18) เป็นค่าที่เกินขีดความสามารถที่รองรับได้ของแต่ละพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม หากต้องการให้พื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมสามารถรองรับน้ำท่าที่เกิดขึ้นได้จะต้องลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดให้ได้ร้อยละ 15.85 จึงจะสามารถบรรเทาอุทกภัยที่เกิดขึ้นของแต่ละพื้นที่ได้

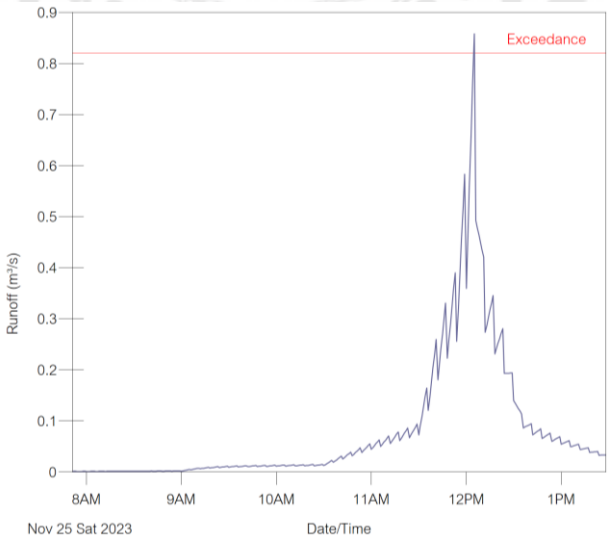
ในการประมวลผลแบบจำลองจะได้ค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่เกิดขึ้นทั้ง 29 พื้นที่จากการใช้บล็อกที่มีสมบัติเริ่มต้นจากการใช้บล็อกที่มีความหนา 6 เซนติเมตร ค่าการซึมผ่านน้ำเท่ากับ 1379.22 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.1459 พบว่าสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ย 0.85 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที คิดเป็นร้อยละการลดลงเท่ากับ 11.03 ซึ่งยังไม่สามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดให้อยู่ในขีดความสามารถของพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ดังตาราง 26

ตาราง 26 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าสูงสุดก่อนและหลังใช้บล็อกซึมน้ำของตัวอย่าง PB9.5,6

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีไม่มีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีมีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ร้อยละการลดลง
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	3.17	2.88	8.99
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	2.73	2.45	10.07
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	0.15	0.13	13.92
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	1.43	1.26	11.54
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	0.72	0.64	12.11
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	1.06	0.95	9.48
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	1.13	1.02	9.78
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	0.54	0.49	9.26
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	0.45	0.40	10.93
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	0.16	0.14	12.50
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	0.40	0.36	9.49
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	0.42	0.37	11.90
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	0.57	0.50	11.50
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	1.21	1.10	9.50
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	0.41	0.36	10.88
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	0.96	0.86	10.42
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	1.49	1.36	8.72
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	0.54	0.49	9.26
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	0.10	0.08	17.35
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	0.55	0.50	8.94
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	1.12	1.01	10.27
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	1.21	1.09	10.25
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	0.15	0.12	16.39

ตาราง 26 (ต่อ)

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีไม่มีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีมีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ร้อยละการลดลง
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี - กรีนสปอร์ตหัวหมาก	0.66	0.60	9.47
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	0.22	0.19	10.93
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	0.32	0.27	15.79
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	1.54	1.38	10.06
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม 92)	3.08	2.80	9.11
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	1.05	0.93	11.09
		ค่าเฉลี่ย	0.95	0.85	11.03



ภาพประกอบ 65 กราฟปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อเวลาการเกิดน้ำท่าจากการใช้บล็อกซึมน้ำของตัวอย่าง PB9.5,6

การปรับแก้สมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบ

หากต้องการให้บล็อกซึมสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมให้เป็นไปตามขีดความสามารถของกรุงเทพมหานครเพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัยจะต้องลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดให้ต่ำกว่า 0.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือร้อยละ 15.85 ดังนั้นจึงต้องปรับค่าสมบัติที่มีผลต่อการลดน้ำท่าของบล็อกซึมน้ำได้แก่ ค่าการซึมผ่านน้ำ อัตราส่วนช่องว่างของบล็อก หรือความหนาของบล็อก ทางผู้ทำวิจัยจะทำการปรับค่าสมบัติของบล็อกคือ ค่าการซึมผ่านน้ำ และความหนาของบล็อกซึมน้ำ

การปรับค่าการซึมผ่านน้ำ และความหนาของบล็อกเพื่อให้บล็อกซึมน้ำสามารถช่วยลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมไม่ให้เกินขีดความสามารถการรองรับน้ำท่าสูงสุดของกรุงเทพมหานครได้จะได้ค่าค่าการซึมผ่านน้ำ และความหนาของบล็อกเท่ากับ 1640.00 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าปริมาตรโพรงหลังปรับแก้จะมีค่าเท่าเดิมเนื่องจากใช้ขนาดมวลรวมหยาบเท่าเดิมดังตาราง 27

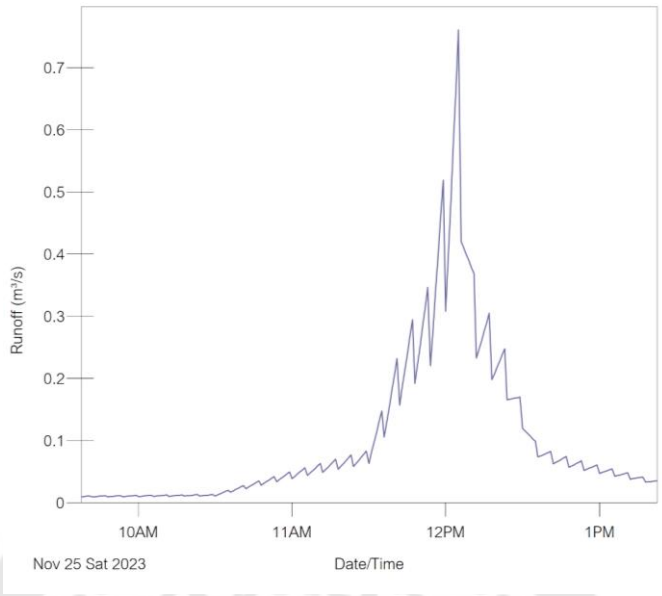
ตาราง 27 สมบัติของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้

สมบัติของที่ปรับใหม่	ค่า/ปริมาณ	หน่วย
ความหนาของบล็อก	90.00	มิลลิเมตร
ค่าซึมผ่านน้ำ	1640.00	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
ปริมาตรโพรง	0.1459	(มวลรวมขนาดเดิม)

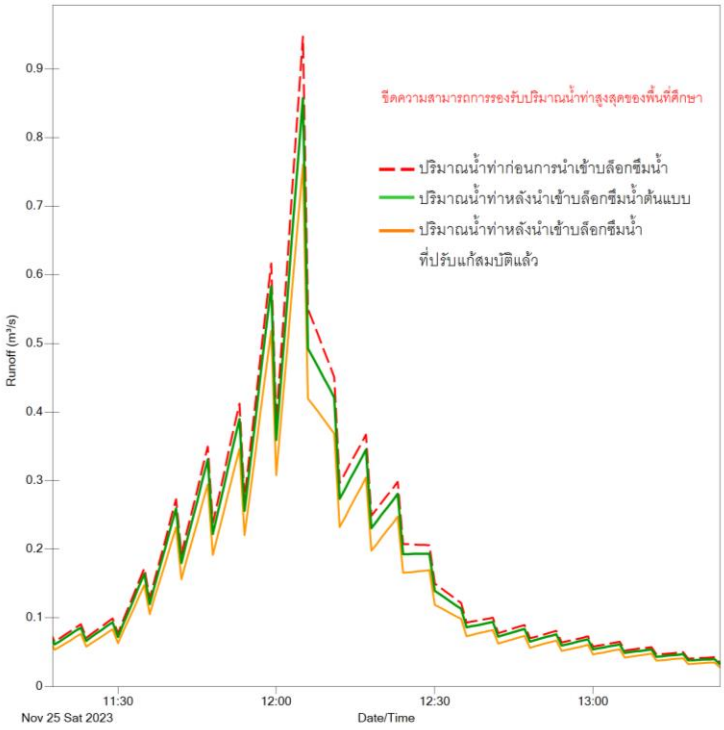
จากการใช้สมบัติที่ปรับแก้ใหม่ตามตาราง 27 ในการประมวลผลแบบจำลอง พบว่าพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้ง 29 พื้นที่ มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นลดลงเหลือ 0.76 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือร้อยละ 22.06 (ตาราง 28) ซึ่งค่าที่ได้นั้นทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมไม่เกินขีดความสามารถการรองรับน้ำท่าสูงสุดของกรุงเทพมหานคร จึงเสนอสมบัติที่ปรับแก้ตามตาราง 27 เพื่อนำออกแบบบล็อกซึมน้ำจริง และทดสอบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) ต่อไป

ตาราง 28 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดหลังการปรับแก้สมบัติของบล้อกซึมน้ำ

ลำดับ	เขต	ตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีไม่มีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีมีบล็อกซึมน้ำ (m^3/s)	ร้อยละการลดลง
1	หลักสี่	ถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11)	3.17	2.60	17.98
2	บางเขน	ถนนแจ้งวัฒนะ - วงเวียนบางเขน	2.73	2.18	20.15
3	จตุจักร	ถนนเทศบาลสงเคราะห์	0.15	0.11	27.84
4	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 3	1.43	1.10	23.08
5	จตุจักร	ถนนกำแพงเพชร 2 (เจ เจ มอล์ล)	0.72	0.55	24.22
6	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (หน้า ธ.กรุงเทพ)	1.06	0.86	18.96
7	จตุจักร	ถนนรัชดาภิเษก (ศาลอาญา)	1.13	0.91	19.56
8	ดินแดง	ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24	0.54	0.44	18.52
9	ดินแดง	แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2	0.45	0.35	21.85
10	ดินแดง	ถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53	0.16	0.12	25.00
11	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สน.พญาไท)	0.40	0.32	18.99
12	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (สันติราษฎร์วิทยาลัย)	0.42	0.32	23.81
13	ราชเทวี	ถนนศรีอยุธยา (โรงเรียนศรีอยุธยา)	0.57	0.44	11.50
14	ราชเทวี	ถ.พระราม 6 ถึง แยกศรีอยุธยา	1.21	0.98	9.50
15	พญาไท	ถ.พหลโยธิน ถึง แยกสะพานควาย	0.41	0.32	10.88
16	พญาไท	ถ.ประดิพัทธ์ ถึง แยกสะพานควาย	0.96	0.76	10.42
17	พญาไท	ถ.พระราม 6 ถึง ช่วงทางด่วน	1.49	1.23	8.72
18	พญาไท	แยกสะพานควาย ถึง ถ.วิภาวดี	0.54	0.44	9.26
19	พระนคร	สนามไชย ถึงหน้าวัดโพธิ์	0.10	0.06	17.35
20	ห้วยขวาง	เพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์	0.55	0.45	8.94
21	วัฒนา	ถนนอโศกมนตรี	1.12	0.89	10.27
22	สวนหลวง	พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว	1.21	0.96	10.25
23	สาทร	ถ.สาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์	0.15	0.10	16.39
24	บางกะปิ	ถนนศรีนครินทร์ แยกสำลี - กรีนสปอร์ตหัวหมาก	0.66	0.54	9.47
25	จอมทอง	ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ	0.22	0.17	10.93
26	บางแค	ถนน ม.เศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1	0.32	0.22	15.79
27	บางแค	ถนนเพชรเกษม (ตลาดบางแค)	1.54	1.23	10.06
28	บางแค	ถนนเพชรเกษม (หน้าบางจากเพชรเกษม92)	3.08	2.52	9.11
29	ภาษีเจริญ	เพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า	1.05	0.81	11.09
		ค่าเฉลี่ย	0.95	0.76	22.06



ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยหลังปรับแก้สมบัติบล็อกซึมน้ำ



ภาพประกอบ 67 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าก่อนและหลังการปรับแก้สมบัติ

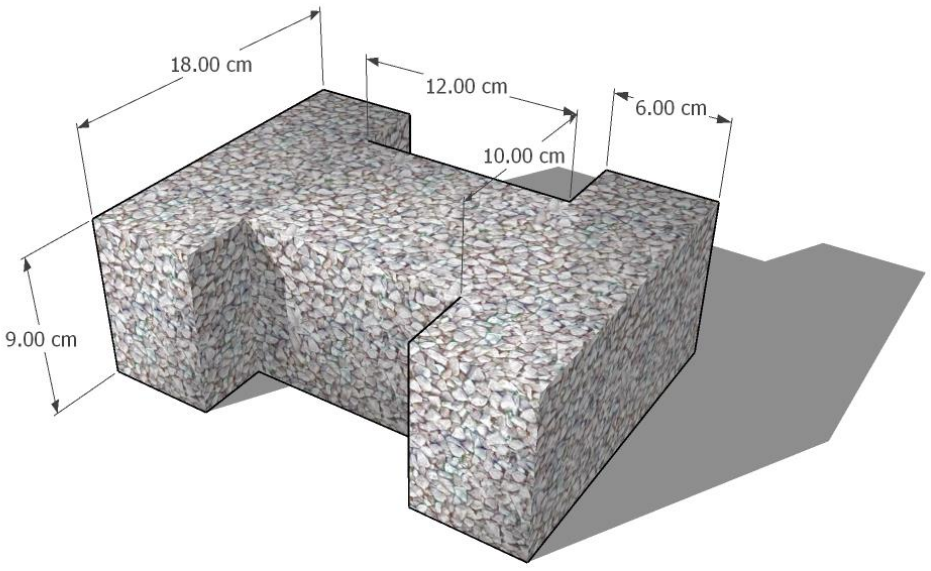
การทดสอบบล็อกซึมน้ำหลังการปรับแก้สมบัติในแบบจำลอง

การออกแบบบล็อกซึมน้ำตามสมบัติที่ปรับแก้

การออกแบบสัดส่วน และส่วนผสมของวัสดุสำหรับทำบล็อกซึมน้ำจะใช้ข้อมูลการคำนวณจากตาราง 10 ถึง ตาราง 12 จากบทที่ 3 จากนั้นนำมาคำนวณหาอัตราการส่วนการใช้วัสดุต่อตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอัตราส่วนของวัสดุที่ใช่ต่อ 1 ตัวอย่างจะได้ดังตาราง 29

ตาราง 29 อัตราการส่วนการใช้วัสดุผสมต่อหนึ่งตัวอย่างของสมบัติใหม่

รายละเอียด	ขนาด/ปริมาณ	หน่วย
รูปทรงบล็อกซึมน้ำ รูปตัว H	กว้าง x ยาว x หนา	
ขนาดบริเวณตรงกลาง H (1 ส่วน)	10 x 12 x 9	เซนติเมตร
ขนาดบริเวณปีกตัว H (2 ส่วน)	6 x18 x 9 x 2(ชิ้น)	เซนติเมตร
ปริมาณส่วนผสมต่อบล็อก		
ปริมาณมวลรวมหยาบ	3.755	กิโลกรัม
ปริมาณซีเมนต์	0.980	กิโลกรัม
ปริมาณน้ำ	0.294	กิโลกรัม



ภาพประกอบ 68 ตัวอย่างการออกแบบขนาดบล็อกเพื่อคำนวณส่วนผสม

ผลการทดสอบบล็อกซึมน้ำหลังการปรับสมบัติใหม่

การทดสอบบล็อกซึมน้ำตามมาตรฐาน ACI 522 (2010) จะทดสอบบล็อกซึมน้ำ 3 อย่าง คือ ทดสอบสมบัติการซึมผ่านน้ำ การทดสอบความสามารถการรับแรงกด และอัตราส่วนช่องว่างของบล็อก แต่จากการประมวลผลด้วยแบบจำลองปริมาตรโพรงของบล็อกซึมใช้ค่าเท่าเดิม หมายความว่า ขนาดของมวลรวมใช้ขนาดเดิมทำให้อัตราส่วนช่องว่างมีค่าเท่าเดิม ฉะนั้นการทดสอบบล็อกซึมน้ำจะเหลือ 2 การทดสอบ แต่ละการทดสอบจะใช้บล็อกซึมน้ำ 3 ตัวอย่าง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบระหว่างปฏิบัติการ และผลการทดสอบ พบว่า ค่าการซึมผ่านน้ำเท่ากับ 0.046 เซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 1,642.66 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ปรับแก้ใหม่ในแบบจำลองเท่ากับร้อยละ 0.16 และได้ทดสอบการรับแรงกดของบล็อกซึมน้ำรับแรงกดเฉลี่ยได้ 4.86 เมกะปาสคาล หลังการปรับแก้สมบัติบล็อกจะเห็นได้ว่าความสามารถในการับแรงกดลดลง แต่ยังคงเป็นไปตามมาตรฐานของ ACI522 (2010) แสดงผลการทดสอบดังตาราง 30 ถึง ตาราง 31

ตาราง 30 ผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำหลังการปรับแก้สมบัติบล็อกซึมน้ำ

ตัวอย่าง	L (cm)	A (cm^2)	H (cm)	T (sec)	Q (cm^3)	°C	k, (cm/sec)	เฉลี่ย
PB9.5,9A	9	336	11	5.36	100	31	0.0454	
PB9.5,9B	9	336	11	5.32	100	31	0.0458	0.046
PB9.5,9C	9	336	11	5.33	100	31	0.0457	

ตาราง 31 ค่าความสามารถการรับแรงกดหลังการปรับแก้สมบัติของบล็อกซึมน้ำใหม่

ตัวอย่าง	แรงกดสูงสุด (kN)	แรงกดสูงสุด (N)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย (MPa)
PB9.5,12A	100	100,000.00	33,600	2.98	
PB9.5,12B	80	80,000.00	33,600	2.38	3.08
PB9.5,12C	130	130,000.00	33,600	3.87	

ภาพประกอบ 69 การทดสอบการซึมผ่านน้ำของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้สมบัติ

ภาพประกอบ 70 การทดสอบความสามารถการรับแรงอัดของบล็อกซึมน้ำหลังปรับแก้สมบัติ

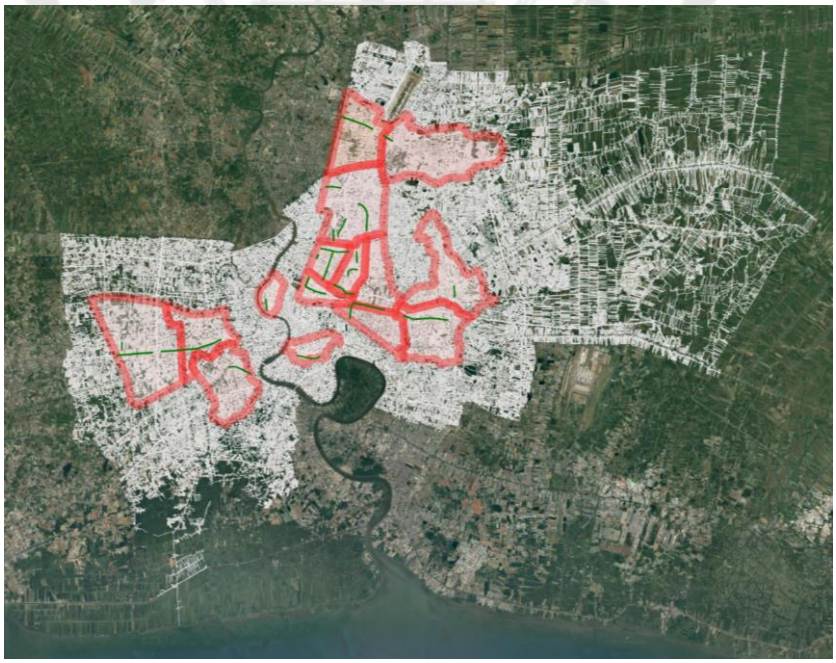
ตาราง 32 ตารางเปรียบเทียบค่าสมบัติในแบบจำลองกับการทดสอบในปฏิบัติการ

สมบัติของบล็อกซึมน้ำ	ค่าปรับแก้ในแบบจำลอง	ค่าจากการทดสอบในปฏิบัติการ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
การซึมผ่านน้ำ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)	1,640.00	1,642.66	0.16

การประยุกต์ใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่ศึกษา

การจัดทำแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำ

เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต จากการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และปริมาณประสิทธิภาพ จึงจัดทำแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำที่มีสมบัติที่เหมาะสมในลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดตามขีดความสามารถการรองรับปริมาณน้ำฝนของกรุงเทพมหานคร จะแบ่งแผนที่เป็นรายเขตที่ประสบปัญหาอุทกภัยทั้งหมด 15 เขต ได้แก่ เขตหลักสี่ เขตบางเขน เขตจตุจักร เขตดินแดง เขตราชเทวี เขตพญาไท เขตพระนคร เขตห้วยขวาง เขตวัฒนา เขตสวนหลวง เขตสาทร เขตบางกะปิ เขตจอมทอง เขตบางแค เขตภาษีเจริญ แต่ละเขตจะจัดทำแผนที่ได้ดังนี้



ภาพประกอบ 71 ภาพรวมแผนที่การบรรเทาอุทกภัยจากการใช้งานบล็อกซึมน้ำ

เขตหลักสี่

ในพื้นที่เขตหลักสี่ของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ (หน้า มทบ.11) ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 3.17 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 72 ได้ร้อยละ 20.10 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 89,396.53 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 17.98

ภาพประกอบ 72 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตหลักสี่

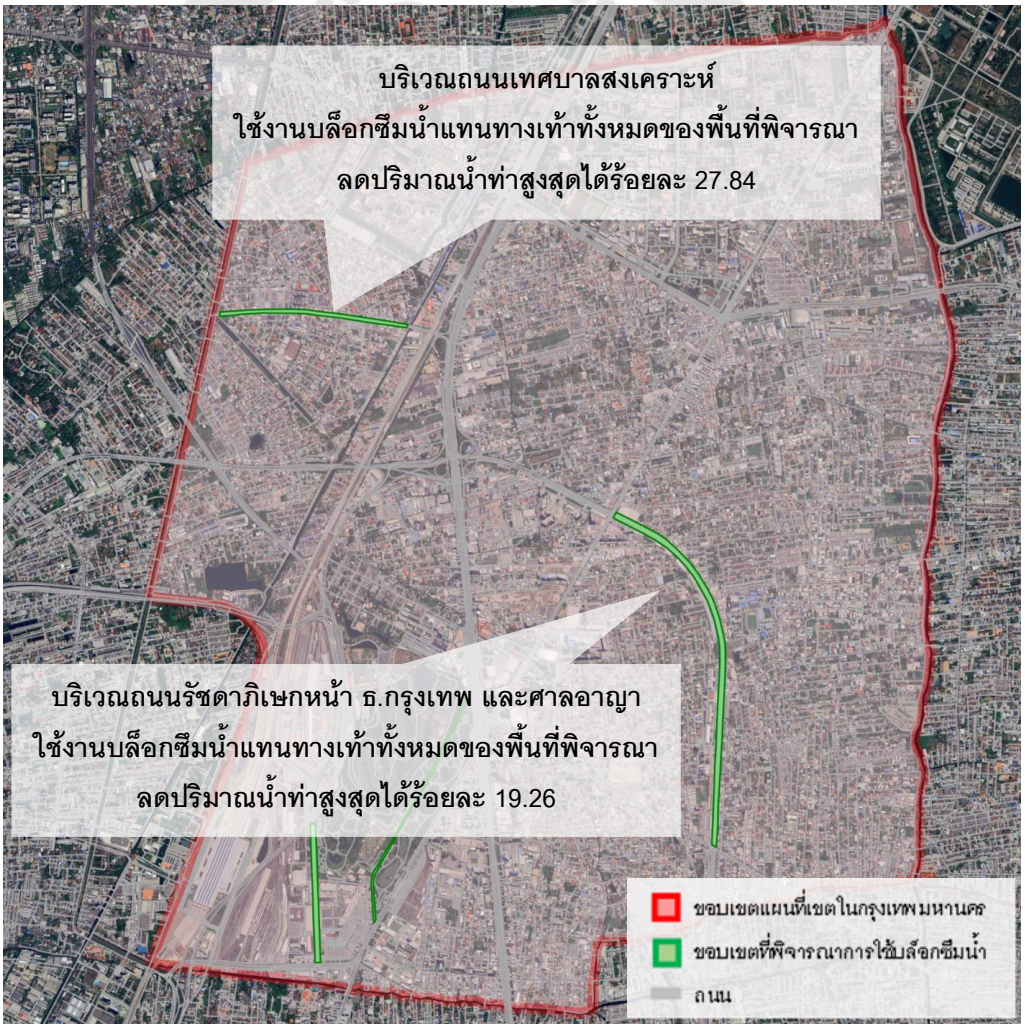
เขตบางเขน

ในพื้นที่เขตบางเขนของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนแจ้งวัฒนะ ถึง วงเวียนบางเขน ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 2.73 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 73 ได้ร้อยละ 22.10 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 74,667.89 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 20.15

ภาพประกอบ 73 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตหลักสี่

เขตจตุจักร

ในพื้นที่เขตจตุจักรของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนเทศบาลสงเคราะห์ ถนนกำแพงเพชร 2 (หน้าห้าง เจเจ มอล์ล) – กำแพงเพชร 3 ถนนรัชดาภิเษกหน้า ธ.กรุงเทพรัชดาฯ และศาลอาญารัชดาฯ ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 0.72 1.43 1.06 และ 1.13 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 74 ถึง ภาพประกอบ 75 ได้ถึงร้อยละ 20.10 21.77 20.45 19.50 22.00 ตามลำดับของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 27.84 24.22 23.08 18.96 19.56 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 74 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตจตุจักร

ภาพประกอบ 75 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตจตุจักร (ขยายบริเวณถนนกำแพงเพชร 2 และกำแพงเพชร 3)

เขตดินแดง

ในพื้นที่เขตดินแดงของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนประชาสงเคราะห์ ถึง ซอย 24 แยกประชาสงเคราะห์ ถึง ซ.สุทธิพร 2 และถนนประชาสุขปากซอย ถึง ซอย 53 ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.54 0.45 และ 0.16 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 76 ได้ถึงร้อยละ 18.80 21.84 และ 21.65 ตามลำดับของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 18.52 21.85 และ 25.00 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 76 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตดินแดง

เขตราชเทวี

ในพื้นที่เขตราชเทวีของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนศรีอยุธยา หน้า สน.พญาไท หน้าสันติราษฎร์วิทยาลัย หน้าโรงเรียนศรีอยุธยา และถนนพระราม 6 ถึงแยกศรีอยุธยา ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.40 0.42 0.57 และ 1.21 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดัง ได้ร้อยละ 19.30 22.80 22.90 และ 20.20 ตามลำดับของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 18.99 23.81 23.01 และ 19.01 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 77 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตราชเทวี

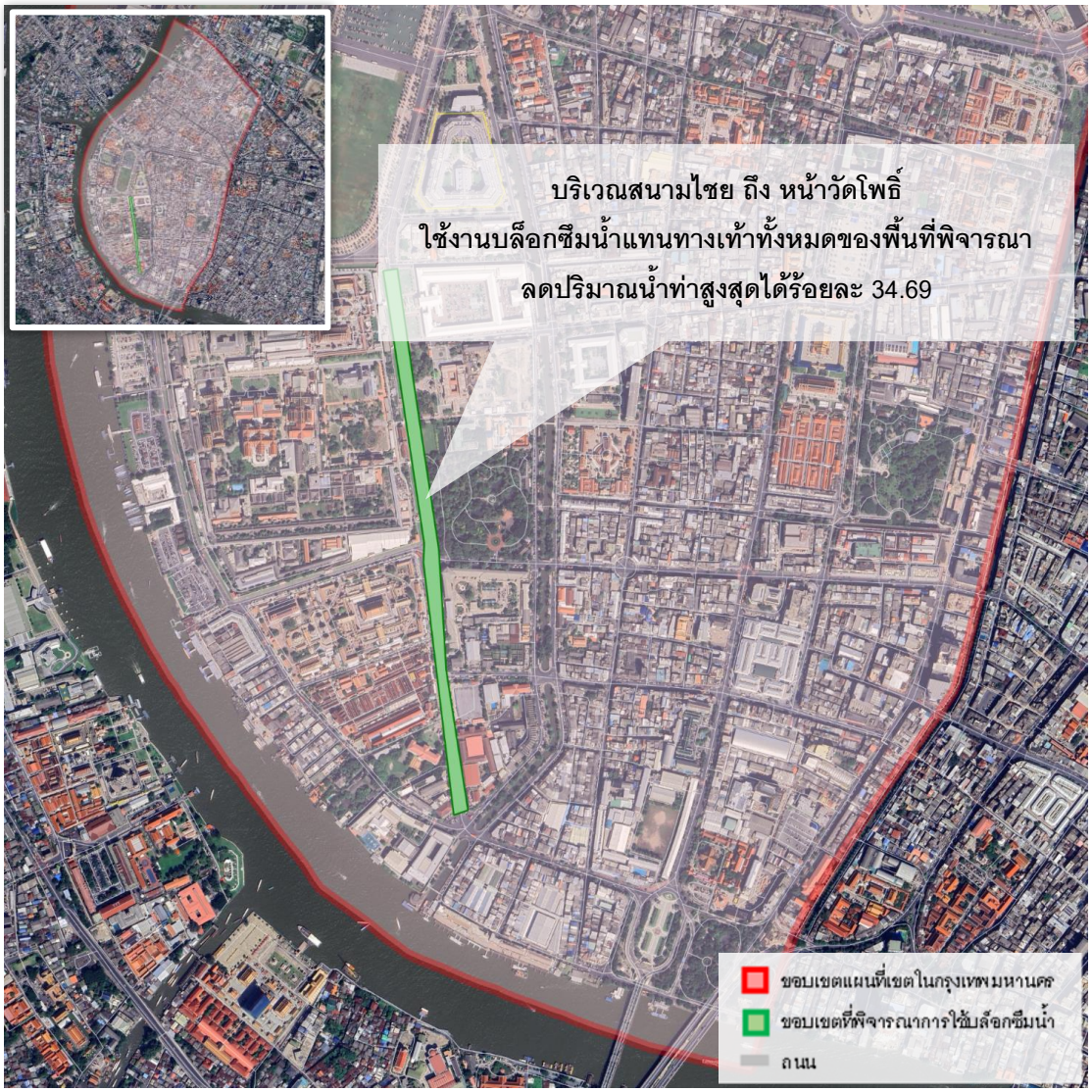
เขตพญาไท

ในพื้นที่เขตพญาไทของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนพหลโยธิน แยกสะพานควาย ถนนประดิพัทธ์ แยกสะพานควายถึงถนนวิภาวดี และช่วงทางด่วนพระราม 6 ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.41 0.96 0.54 และ 1.49 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 78 ได้ร้อยละ ตามลำดับของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 21.75 20.83 18.52 และ 17.45 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 78 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตพญาไท

เขตพระนคร

ในพื้นที่เขตพระนครของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ สนามไชย ถึง หน้าวัดโพธิ์ ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 79 ได้ร้อยละ 22.40 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 11,206.84 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 34.69



ภาพประกอบ 79 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตพระนคร

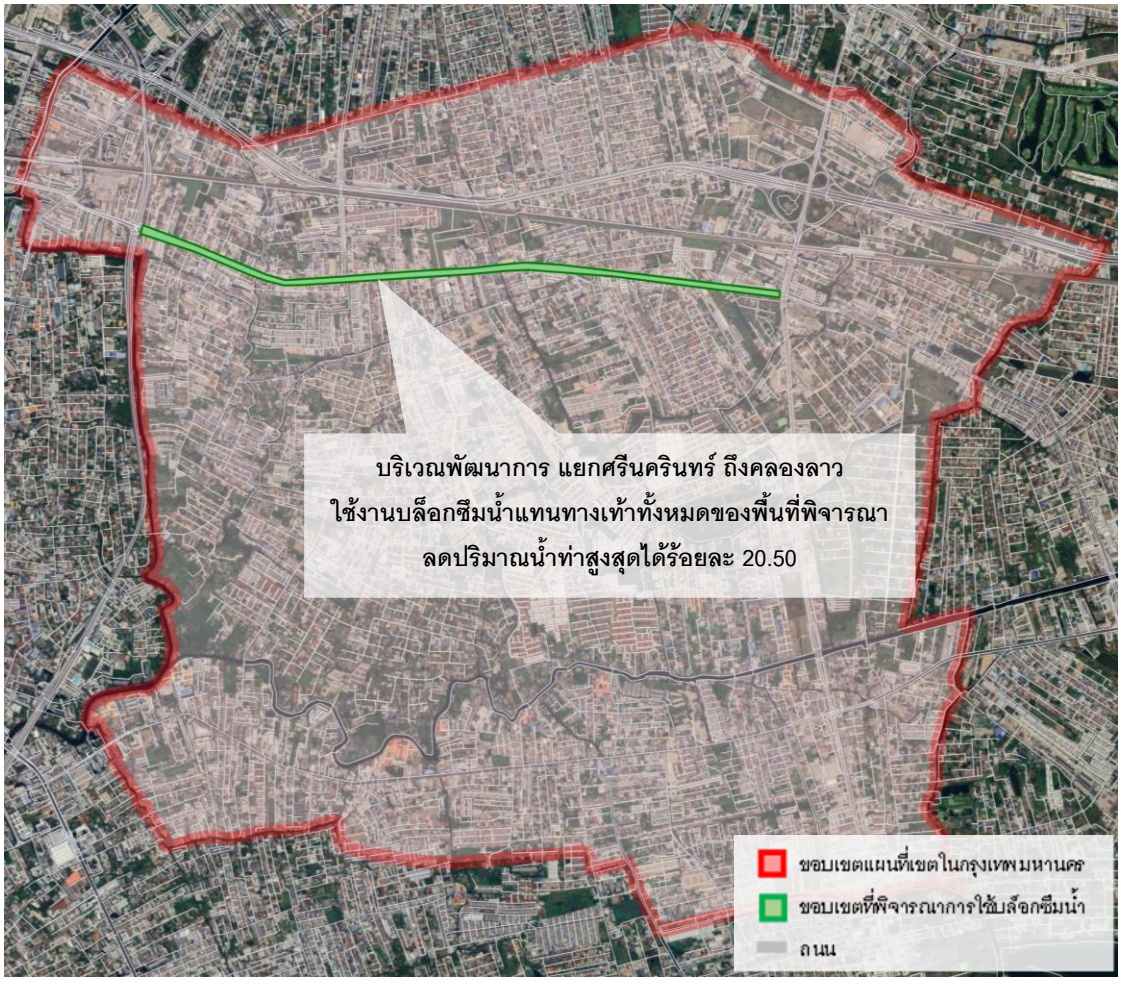
เขตห้วยขวาง และเขตวัฒนา

ในพื้นที่เขตห้วยขวางบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ ถึง สิงห์ คอมเพล็กซ์ และเขตวัฒนาบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนอโศกมนตรี ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.55 และ 1.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 80 ได้ร้อยละ 20.40 และ 21.90 ตามลำดับ ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 17.88 และ 20.54 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 80 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตห้วยขวาง และเขตวัฒนา

เขตสวนหลวง

ในพื้นที่เขตสวนหลวงของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 1.21 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 81 ได้ร้อยละ 22.40 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 153,001.04 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 20.50



ภาพประกอบ 81 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตสวนหลวง

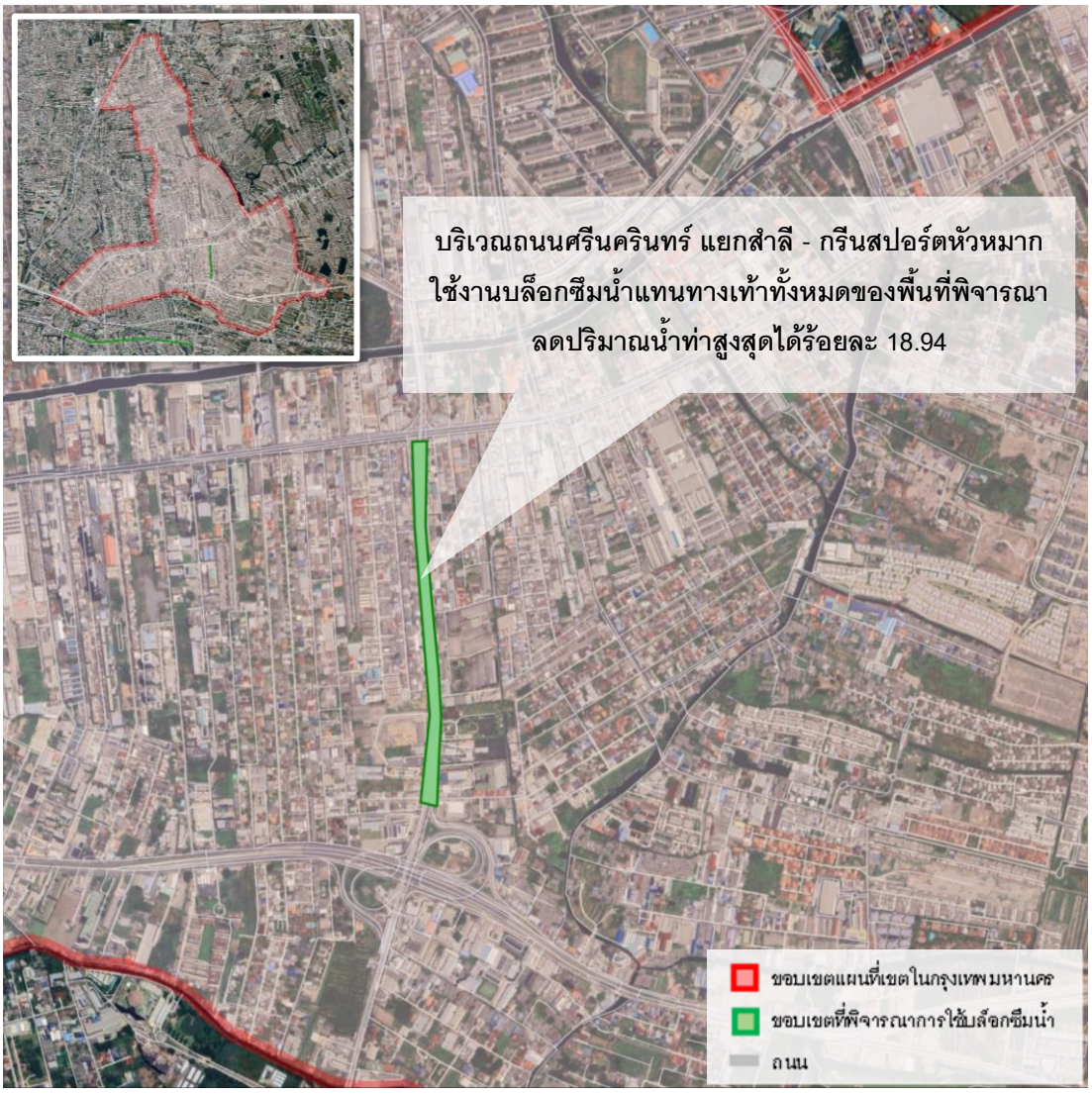
เขตสาทร

ในพื้นที่เขตสาทรของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนสาธุประดิษฐ์ แยกถนนจันทน์ ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 82 ได้ร้อยละ 22.00 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 27,589.66 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 32.77

ภาพประกอบ 82 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมเขตสาธร

เขตบางกะปิ

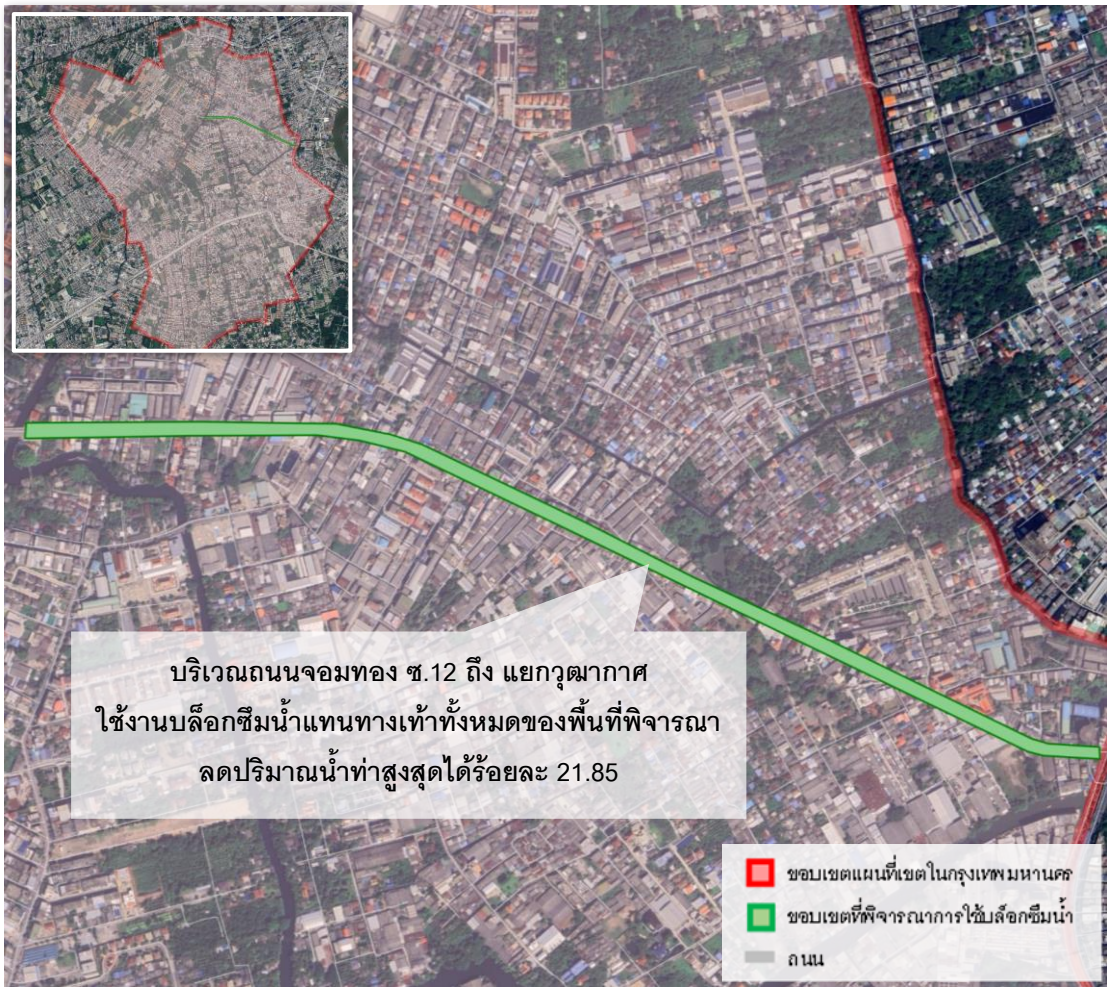
ในพื้นที่เขตบางกะปิของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ พัฒนาการ แยกศรีนครินทร์ ถึงคลองลาว ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.66 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 83 ได้ร้อยละ 19.25 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 31,197.15 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 18.94



ภาพประกอบ 83 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตบางกะปิ

เขตจอมทอง

ในพื้นที่เขตจอมทองของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนจอมทอง ซ.12 ถึง แยกวุฒากาศ ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.22 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 84 ได้ร้อยละ 22.03 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด 136,711.96 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 21.85



ภาพประกอบ 84 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตจอมทอง

เขตบางแค

ในพื้นที่เขตบางแคของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนหมู่บ้านเศรษฐกิจ ถึง วงเวียนกาญจนาภิเษก 1 และถนนเพชรเกษม ตลาดบางแค หน้าบางจากเพชรเกษม92 ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเท่ากับ 0.32 และ 3.08 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 85 ได้เฉลี่ยร้อยละ 20.23 และ 20.60 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 31.58 และ 18.21 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 85 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตบางแค

เขตภาษีเจริญ

ในพื้นที่เขตภาษีเจริญของกรุงเทพมหานครบริเวณที่ประสบปัญหาน้ำท่วมคือ ถนนเพชรเกษม ตลาดบางแค ถึง คลองบางหว้า ซึ่งเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากสามารถนำเข้าบล็อกซึมน้ำแทนทางเดินเท้าในบริเวณพื้นพิจารณาดังภาพประกอบ 86 ได้เฉลี่ยร้อยละ 21.45 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด จะสามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมได้ถึงร้อยละ 20.16

ภาพประกอบ 86 แผนที่การใช้ประโยชน์การใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วม เขตภาษีเจริญ

เปรียบเทียบการใช้งานระหว่างบล็อกทางเท้าทั่วไปและบล็อกซึมน้ำ

จากการวิเคราะห์ผลและประเมินผลการใช้งานบล็อกซึมน้ำด้วยแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM จะเห็นได้ว่าบล็อกซึมน้ำช่วยลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดลงและทำให้สามารถช่วยบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมลงได้ การใช้งานบล็อกซึมน้ำแทนการใช้งานบล็อกทั่วไปนั้นสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วมได้จริง แต่ยังคงมีข้อพิจารณาอยู่หลายด้านเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้งาน ข้อเปรียบเทียบบล็อกซึมน้ำกับบล็อกทางเท้าทั่วไปนั้นจะแสดงดังตาราง 33

ตาราง 33 การเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างบล็อกทางเท้าทั่วไปและบล็อกซึมน้ำ

ข้อเปรียบเทียบ	บล็อกซึมน้ำ	บล็อกทั่วไป
1. พิจารณาด้านการใช้งานทางกายภาพ		
1.1 ความสามารถการรับแรงกด (ความคงทน)	น้อย	มาก
1.2 ความขรุขระของพื้นผิว	มาก	น้อย
1.3 น้ำหนัก (เปรียบเทียบในขนาดที่เท่ากัน)	น้อย	มาก
2. พิจารณาด้านการใช้งานด้านอุทกวิทยา		
2.1 ความพรุน การซึมน้ำ	มาก	น้อย
2.2 การบรรเทาปัญหาน้ำท่วม	มาก	น้อย
3. พิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ (เฉพาะค่าวัสดุ)		
3.1 ราคาวัสดุ (เปรียบเทียบในขนาดที่เท่ากัน)	ต่ำกว่า	สูงกว่า

โดยสภาพการใช้งานทางเท้าของกรุงเทพมหานครในปัจจุบันไม่ได้ใช้สำหรับเดินเท้าเท่านั้น แต่ยังมีการใช้งานเพื่อสัญจรด้านอื่น ๆ อาทิ การใช้รถจักรยานหรือรถจักรยานยนต์ รถเข็นสินค้า เป็นต้น บล็อกที่มีความสามารถการรับแรงกดต่ำอาจเป็นปัญหาสำหรับการใช้งานดังกล่าว หากมีการใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่จริงควรพิจารณาข้อเปรียบเทียบด้านอื่นร่วมด้วยเพื่อหาแนวทางเพิ่มเติมสำหรับการใช้งานบล็อกซึมน้ำในพื้นที่นั้น ๆ

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยเรื่องแบบจำลองทางชลศาสตร์เพื่อประเมินการใช้งานบล็อกซึมน้ำสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น หลังจากได้ผลการดำเนินงานแล้ว สามารถสรุปผลการดำเนินงานโดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1 สรุปผลการวิจัย

2 ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การทำงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ Personal computer storm water management model (PCSWMM) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร อีกทั้งใช้แบบจำลองดังกล่าวช่วยในวิเคราะห์สมบัติของบล็อกซึมน้ำต้นแบบที่มีผลต่อการบรรเทาปัญหาอุทกภัย และนำมาใช้แทนทางเท้าในพื้นที่ศึกษาเพื่อตอบสนองนโยบายเกี่ยวกับการเพิ่มพื้นที่รับน้ำของกรุงเทพมหานครในอนาคต

การจำลองระบบระบายน้ำในกรุงเทพมหานครด้วย PCSWMM แสดงให้เห็นถึงพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้ง 29 พื้นที่ โดยมีการสอบเทียบและปรับค่าพื้นฐานทางชลศาสตร์จากปริมาณน้ำท่วมที่เกิดขึ้นจริงตามรายงานสถานการณ์น้ำท่วมของกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2566 ในหน่วยของลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่า พื้นที่ที่มีสถานการณ์ปกติมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งอยู่ในช่วง 0.016 ถึง 0.030 ในขณะที่พื้นที่ที่เกิดสถานการณ์น้ำท่วมมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งอยู่ในช่วง 0.018 ถึง 0.030 มีค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริงเฉลี่ยร้อยละ 0.23

การพิจารณาสมบัติบล็อกซึมน้ำเพื่อตอบสนองปัญหาน้ำท่วมของกรุงเทพมหานครร่วมกับการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM โดยสมบัติเริ่มต้นที่นำเข้าแบบทดสอบได้ทดสอบออกแบบตามมาตรฐานขั้นต่ำของ ACI 522 (2010) โดยผลจากออกแบบและทดสอบบล็อกซึมน้ำที่มีความหนา 6 เซนติเมตร จะมี 3 สมบัติ ได้แก่ ปริมาตรโพรงเท่ากับร้อลยะ 14.59 ค่าการซึมผ่านน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.038 เซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 1,379.22 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ

ความสามารถการรับแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 5.36 เมกะปาสคาล ได้นำเข้า 2 สมบัติของบล็อกซึมน้ำสู่แบบจำลองคือ ค่าการซึมผ่านน้ำ และปริมาตรโพรงของบล็อก การนำเข้าบล็อกซึมน้ำจะใส่แทนที่ในส่วนของทางเท้าในบริเวณพื้นที่จุดอ่อนน้ำท่วมทั้ง 29 พื้นที่ หรือเฉลี่ยร้อยละ 21.14 ของพื้นที่พิจารณาทั้งหมด พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยเหลือ 0.85 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงร้อยละ 11.03

จากขีดความสามารถการรองรับปริมาณน้ำท่าสูงสุดของกรุงเทพมหานครที่สามารถรองรับปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้เพียง 0.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จึงได้ทำการปรับค่าสมบัติของบล็อกซึมน้ำให้สอดคล้องกับขีดความสามารถดังกล่าว คือ ความหนาของบล็อกซึมน้ำปรับเป็น 9 เซนติเมตร ค่าซึมผ่านน้ำปรับเป็น 1,640.00 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และปริมาตรโพรงของบล็อกมีค่าเท่าเดิมเนื่องจากใช้ขนาดมวลรวมหยาบเท่าเดิมคือ 14.59 หลังการปรับสมบัติของบล็อกซึมน้ำ พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำท่าสูงสุดเฉลี่ยเหลือ 0.76 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงร้อยละ 22.06 จากนั้นนำสมบัติที่ได้จากการปรับแก้ในแบบจำลองมาออกแบบบล็อกซึมน้ำจริง พบว่า ค่าการซึมผ่านน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.046 เซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 1,642.66 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ปรับแก้ไว้ในแบบจำลองร้อยละ 0.12 อีกทั้งความสามารถการรับแรงกดเฉลี่ยลดลงจากเดิมเหลือเท่ากับ 4.86 เมกะปาสคาล หรือลดลงร้อยละ 3.33 แต่ค่าความความสามารถการรับแรงกดที่ลดลงนั้นยังคงเป็นตามที่มาตรฐาน ACI 522 (2010) กล่าวไว้

ตาราง 34 สรุปผลงานใช้งานบล็อกซึมน้ำจากการใช้แบบจำลอง PCSWMM

ตัวอย่างบล็อกซึมน้ำ	**ปริมาณน้ำท่าสูงสุด<u>ก่อน</u>นำเข้าบล็อก (ลบ.ม./วินาที)**	**ปริมาณน้ำท่าสูงสุด<u>หลัง</u>นำเข้าบล็อก (ลบ.ม./วินาที)**	**ร้อยละการลดลง (ต้องลดลงมากกว่าร้อยละ 16)**
บล็อกซึมน้ำหนา 6 เซนติเมตร			
- ค่าซึมผ่านน้ำ 1,379.22 มม./ชม.	0.95	0.85	11.03
- ปริมาตรโพรง ร้อยละ 14.59			
บล็อกซึมน้ำหนา 9 เซนติเมตร			
- ค่าซึมผ่านน้ำ 1,642.66 มม./ชม.	0.95	0.76	22.06
- ปริมาตรโพรง ร้อยละ 14.59			

ข้อเสนอแนะ

1 การศึกษาสมบัติด้านอื่นของบล็อกซึมน้ำควบคู่กับการใช้แบบจำลอง อาจสามารถพัฒนาบล็อกซึมน้ำที่สามารถบรรเทาน้ำท่วมได้ดียิ่งขึ้น

2 การศึกษาแบบจำลองอื่นควบคู่กับแบบจำลองชลศาสตร์ PCSWMM ได้แก่ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) หรือแบบจำลองด้านภูมิศาสตร์ จะสามารถช่วยบอกถึงข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ และความคุ้มค่าได้

3. การศึกษาความสกปรกของน้ำที่มีผลต่อการอุดตันของบล็อกซึมน้ำ อาจช่วยให้สามารถประเมินอายุการใช้งานสำหรับบรรเทาปัญหาอุทกภัยได้

4. การศึกษาพิจารณาเพิ่มความสามารถของบล็อกซึมน้ำในการบรรเทาอุทกภัยที่มากขึ้นเพื่อรองรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนในอนาคต

5.การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างอื่นของทางเท้าทำให้ทราบถึงผลกระทบที่อาจเป็นผลเสียต่อบล็อกซึมน้ำที่ใช้

บรรณานุกรม

A.C.I. Committee. (2010) . ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete. *Technical Documents*.

ASCE. (1982) . Gravity Sewer Design and Construction *ASCE Manual of Practice*. New York.

Bian, W., Liu, W., Gao, X., Ma, K., และ Rong, Y. (2022). Improved mix design method for pervious concrete based on slurry layer thickness. *Magazine of Concrete Research, 74*(2), 81-90.

Choi, C., Berry, P., และ Smith, A. (2021). The climate benefits, co-benefits, and trade-offs of green infrastructure: A systematic literature review. *Journal of Environmental Management, 291*, 112583.

Dilraj Singh, และ Surinder Pal Singh. (2021). Properties of pervious concrete with recycled concrete aggregates and cement replacements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 1-13.

El-Hassan, H., Kianmehr, P., และ Zouaoui, S. (2019) . Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag. *Construction and Building Materials, 212*, 164-175.

Eskandaripour Mehrtash, Golmohammadi Mohammad H., และ Soltaninia Shahrokh. (2023). Optimization of low-impact development facilities in urban areas using slime mould algorithm. *Sustainable Cities and Society, 93*, 104508.

Huang Chien-Lin, Hsu Nien-Sheng, Liu Hung-Jen, และ Huang Yao-Hsien. (2018) . Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation. *Journal of Hydrology, 564*, 542-558.

Lewis A. Rossman, และ Michelle A. Simon. (2022) . *Storm Water Management Model User's Manual Version 5. 2.* Washington D.C.: Office of Research and Development.

Li, L. G., Feng, J.-J., Zhu, J., Chu, S.-H., และ Kwan, A. K. H. (2021). Pervious concrete: effects of porosity on permeability and strength. *Magazine of Concrete Research,*

73(2), 69-79.

Masashi Sugiyama. (2005) . FREEZE-THAW RESISTANCE OF POROUS CONCRETE MIXED WITH CRUSHED ROOFING TILE *Achieving Sustainability in Construction* (291-298).

Paithankar Deepak N., และ Taji Satish G. (2020) . Investigating the hydrological performance of green roofs using storm water management model. *Materials Today: Proceedings, 32*, 943-950.

Panuwat Joyklad, Adnan Nawaz, และ Qudeer Hussain. (2018, November 2). Effect of Fired Clay Brick Aggregates on Mechanical Properties of Concrete. *Suranaree Journal of Science and Technology, 25*(4), 349-362.

Pineau Béatrice, Brodeur-Doucet Caroline, Corrivault-Gascon Juliette, Arjoon Diane, Lessard Paul, Pelletier Geneviève, และ Duchesne Sophie. (2021). Performance of green infrastructure for storm water treatment in cold climate (Canada). *Journal of Environmental Engineering and Science, 16*(4), 185-194.

Tamm Ottar, Kokkonen Teemu, Warsta Lassi, Dubovik Maria, และ Koivusalo Harri. (2023). Modelling urban stormwater management changes using SWMM and convection-permitting climate simulations in cold areas. *Journal of Hydrology, 622*, 129656.

Weld County. (2021) . Design Criteria of The Rational Method. Retrieved from https://www.weld.gov/Government/Departments/Public-Works/Engineering-Criteria-Manual

Yan, X., Gong, C., Wang, S., และ Lu, L. (2013). Effect of aggregate coating thickness on pore structure features and properties of porous ecological concrete. *Magazine of Concrete Research, 65*(16), 962-969.

Yang Boyuan, Zhang Ting, Li Jianzhu, Feng Ping, และ Miao Yuanjingjing. (2023). Optimal designs of LID based on LID experiments and SWMM for a small-scale community in Tianjin, north China. *Journal of Environmental Management, 334*, 117442.

Zhu Yifei, Xu Changqing, Liu Zijing, Yin Dingkun, Jia Haifeng, และ Guan Yuntao. (2023). Spatial layout optimization of green infrastructure based on life-cycle multi-objective optimization algorithm and SWMM model. *Resources, Conservation and*

Recycling, 191, 106906.

กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. ๒๕๕๖. (2556). ราชกิจจานุเบกษา (เล่ม 130 ตอนที่ 41ก). สืบค้นจาก https://webportal.bangkok.go.th/cpud/page/sub/25970/กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร--พศ-2556

กมล ตรีผอง, และ รณกร เทพวงษ์. (2563, 15-17 กรกฎาคม 2563). การศึกษาการซึมผ่านน้ำในคอนกรีตพรุนโดยใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล. Paper presented at the การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย.

คมกริช ธนะเพทย์, และ กาจวิศว์ กล้าหาญ. (2566). การวางและจัดทำผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร (ปรับปรุงครั งที่ *4*) การจัดให้มีที่โล่งและการบริหารจัดการน้ำ [เอกสารประกอบการประชุม]. กรุงเทพฯ: สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง กรุงเทพมหานคร.

ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี. (2545). สมการของ Hazen Williams วิศวกรรมชลศาสตร์ (เล่ม 2, น. 9-4 - 6). กรุงเทพมหานคร.

พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2558. (2565, 11 มกราคม). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น *827 - 2565* (เล่ม 140 ตอนพิเศษ 7 ง).

พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511. (2565, 11 กุมภาพันธ์). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. *15-2562* (เล่ม 139 ตอนพิเศษ 145ง น. 1-5). สืบค้นจาก https://www.tisi.go.th/data/standard/fulltext/TIS15-2562p.pdf

พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2560. (2562, 29 มกราคม). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลรวมผสมคอนกรีต มอก. *566-2562*. สืบค้นจาก https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/standards_development/TIS566_2562.pdf

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2566a). Aggregate Properties. สืบค้นจาก https://civil.eng.cmu.ac.th/courses/materials-testing/c2

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2566b). Brick Test. สืบค้นจาก https://civil.eng.cmu.ac.th/courses/materials-testing/b1

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2566c). Concrete Mix Proportioning. สืบค้นจาก https://civil.eng.cmu.ac.th/courses/materials-testing/c3

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2566). ภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร. สืบค้นจาก

http://climate.tmd.go.th/map/thailand

ศูนย์สารสนเทศกรุงเทพมหานคร. (2566). ที่ตั้งและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของกรุงเทพมหานคร. สืบค้นจาก https://apps.bangkok.go.th/info/m.info/nowbma/

สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. (2566). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2566. สืบค้นจาก https://dds.bangkok.go.th/content/doc3/index.php

สำนักการวางผังเมืองและพัฒนาเมืองกรุงเทพมหานคร. (2556). ผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556. สืบค้นจาก https://webportal.bangkok.go.th/cpud/page/sub/26113/ผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร-พศ2556

สำนักงานโครงการ สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง. (2565). โครงการวางและจัดทำผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร ปรับปรุงครั้งที่ 4. สืบค้นจาก http://plan4bangkok.com/download/

สุธิดา ทีปรักษพันธุ์. (2565). อุทกวิทยา [เอกสารประกอบการสอน]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภาคผนวก

ตาราง 35 รายละเอียดสถานีสูบน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
Chongnonsi_Pump30Q	146	145	21	30Q
P1	PJ117203	PJ117202	2	7Q
PP01202	PJ01202	PJ01201	1.4	2Q
PP07901	PJ07901	PJ01402	6	6Q
PP08002_2	PJ08002	PJ08001	1	7Q
PP100104	PJ100104	PJ100103	14	25Q
PP101303	PJ101303	PJ101302	12.6	18Q
PP103704	PJ103704	PJ103703	5.5	12Q
PP103905	PJ103905	PJ103904	0.42	0.65Q
PP104103	PJ104103	PJ104102	0.74	1.13Q
PP105403	PJ105403	PJ105402	1.4	2Q
PP105803	PJ105803	PJ105802	1.05	1.5Q
PP106203	PJ106203	PJ106202	1.4	2Q
PP106403	PJ106403	PJ106402	1.05	1.5Q
PP106803	PJ106803	PJ106802	1.05	1.5Q
PP108403	PJ108403	PJ108402	1.05	1.5Q
PP109803	PJ109803	PJ109802	1.05	1.85Q
PP110203	PJ110203	PJ110202	1.4	2.05Q
PP110303	PJ110303	PJ110302	5.8	11Q
PP110306	PJ110306	PJ110305	3.15	4.5Q
PP110308	PJ110308	PJ110307	0.35	0.5Q
PP110503	PJ110503	PJ110502	4.9	7Q
PP110507	PJ110507	PJ110506	2.8	4Q
PP110803	PJ110803	PJ110802	0.14	0.3Q
PP110903	PJ110903	PJ110902	0.42	0.6Q
PP111003	PJ111003	PJ111002	0.75	2.5Q
PP111105	PJ111105	PJ111104	12.6	18Q
PP111801	PJ111801	PJ111601	0.25	4Q
PP112001	PJ112001	PJ111901	6.5	12Q
PP113103_2	PJ113103	PJ113102	6	6Q
PP113203	PJ113203	PJ113202	6	6Q
PP113206	PJ113206	PJ113205	4	5Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP113803	PJ113803	PJ113802	14	21Q
PP113821_2	PJ113821	PJ113820	1.38	1.9Q
PP113828	PJ113828	PJ113827	0.18	0.26Q
PP114101	PJ114101	PJ113808	0.1	2Q
PP115302	PJ115302	PJ115301	2.2	4.3Q
PP115402	PJ115402	PJ115401	2.1	3Q
PP116002	PJ116002	PJ116001	0.84	1.2Q
PP116702	PJ116702	PJ116701	5	5Q
PP116803	PJ116803	PJ116802	4.8	7Q
PP117303	PJ117303	PJ117302	2.8	4Q
PP117803	PJ117803	PJ117802	1.4	2Q
PP117903	PJ117903	PJ117902	8	8Q
PP117905	PJ117905	PJ117904	1.65	2.4Q
PP118502	PJ118502	PJ118501	1.05	1.5Q
PP118602	PJ118602	PJ118601	1.05	1.5Q
PP118701	PJ118701	PJ118112	1.75	2.5Q
PP118801	PJ118801	PJ118113	2.1	3Q
PP118803	PJ118803	PJ118802	2.45	3.5Q
PP119109	PJ119109	PJ119108	98	155Q
PP119202	PJ119202	PJ119201	21	30Q
PP119205	PJ119205	PJ119204	1.4	2Q
PP119208	PJ119208	PJ119207	8.5	15Q
PP119402	PJ119402	PJ119401	2.8	4Q
PP119902	PJ119902	PJ119901	2.8	4Q
PP120102	PJ120102	PJ120101	4.375	6Q
PP120202	PJ120202	PJ120201	9.8	14Q
PP120602	PJ120602	PJ120601	1.4	2Q
PP120702	PJ120702	PJ120701	7	10Q
PP120902	PJ120902	PJ120901	8.4	12Q
PP121302	PJ121302	PJ121301	3.15	4.5Q
PP123403	PJ123403	PJ123402	2.8	4Q
PP123702	PJ123702	PJ123701	0.7	1Q
PP123705	PJ123705	PJ123704	2.8	4Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP123802	PJ123802	PJ123801	0.7	1Q
PP124403	PJ124403	PJ124402	1.4	2Q
PP16201	PJ16201	PJ07701	1.05	1.5Q
PP17402	PJ17402	PJ17401	8	8Q
PP17408	PJ17408	PJ17407	8	8Q
PP23104_2	PJ23104	PJ23313	1.65	2.35Q
PP24001	PJ24001	PJ17421	8	8Q
PP32902	PJ32902	PJ32901	1.4	2Q
PP33003	PJ33003	PJ33002	1.4	2Q
PP33110	PJ33110	PJ33109	1.4	2Q
PP33112_2	PJ33112	PJ33111	0	2Q
PP33305_2	PJ33305	PJ33304	1.4	2Q
PP33703	PJ33703	PJ33702	5.458	6Q
PP34003	PJ34003	PJ34002	35	51Q
PP34029_2	PJ34029	PJ36005	42	60Q
PP34031	PJ34031	PJ34030	3.71	5.3Q
PP34202	PJ34202	PJ34201	2.5	60Q
PP34613	PJ34613	PJ34612	14	20Q
PP34616_2	PJ34616	PJ35203	17	17Q
PP35002	PJ35002	PJ35001	8	8Q
PP35004	PJ35004	PJ35003	8	8Q
PP35202	PJ35202	PJ35201	14	20Q
PP35402	PJ35402	PJ35401	2.1	3Q
PP35404	PJ35404	PJ35403	1	3Q
PP35408	PJ35408	PJ35407	0.1	2Q
PP35502	PJ35502	PJ35501	2.1	3Q
PP35602	PJ35602	PJ35601	6	6Q
PP35605	PJ35605	PJ35604	5	5Q
PP35903	PJ35903	PJ35902	3.15	4.5Q
PP36104	PJ36104	PJ36103	1.4	2Q
PP36106	PJ36106	PJ36105	1.4	2Q
PP36202	PJ36202	PJ36201	5.7	6Q
PP36204	PJ36204	PJ36203	0.7	1Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP36302	PJ36302	PJ36301	1.75	2.5Q
PP36403	PJ36403	PJ36402	1.75	2.5Q
PP37002	PJ37002	PJ37001	1.4	2Q
PP37302	PJ37302	PJ37301	2.8	4Q
PP37402	PJ37402	PJ37401	4.369	6Q
PP37602	PJ37602	PJ37601	0.1	0.8Q
PP37802	PJ37802	PJ37801	2.1	3Q
PP37902	PJ37902	PJ37901	1.05	1.5Q
PP38202	PJ38202	PJ38201	4.5	6Q
PP38402	PJ38402	PJ38401	5	8Q
PP38404	PJ38404	PJ38403	1.4	2Q
PP38406	PJ38406	PJ38405	0.35	0.5Q
PP39402	PJ39402	PJ39401	10	15Q
PP39501	PJ39501	PJ35904	28	40Q
PP39503	PJ39503	PJ39502	1.4	2Q
PP39602	PJ39602	PJ39601	5.81	8.3Q
PP39702	PJ39702	PJ39701	1.4	2Q
PP39801	PJ39801	PJ35907	2.98	4.25Q
PP40001	PJ40001	PJ35909	6.3	9Q
PP40201	PJ40201	PJ36001	0.08	0.12Q
PP40204	PJ40204	PJ40203	0.14	0.2Q
PP40502	PJ40502	PJ40501	1.05	1.5Q
PP40602	PJ40602	PJ40601	1.05	1.5Q
PP41002	PJ41002	PJ41001	1.05	1.5Q
PP41302	PJ41302	PJ41301	0.8	1.5Q
PP41304	PJ41304	PJ41303	1.05	1.5Q
PP42002	PJ42002	PJ42001	1.75	2.5Q
PP42504	PJ42504	PJ42503	8.4	12Q
PP42602	PJ42602	PJ42601	2.8	4Q
PP42705	PJ42705	PJ42704	1.4	2Q
PP42902	PJ42902	PJ42901	8.4	12Q
PP43201	PJ43201	PJ39604	1.4	2Q
PP43302	PJ43302	PJ43301	5.3	Q5.30

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP43501	PJ43501	PJ39802	2.1	3Q
PP44502	PJ44502	PJ44501	28	40Q
PP44517	PJ44517	PJ44516	6	6Q
PP44525	PJ44525	PJ44524	8.5	15Q
PP44704	PJ44703	PJ44704	2.1	3Q
PP46001	PJ46001	PJ44504	3.657	5Q
PP46301	PJ46301	PJ44507	1.4	2Q
PP46602	PJ46602	PJ46601	4.9	7Q
PP46612	PJ46612	PJ46611	6.3	9Q
PP46702	PJ46702	PJ46701	2.24	3.2Q
PP46803	PJ46803	PJ46802	1.05	1.5Q
PP48602	PJ48602	PJ48601	0.35	0.5Q
PP48604	PJ48604	PJ48603	1.4	2Q
PP48801	PJ48801	PJ46201	0.06	D8in
PP50202	PJ50202	PJ50201	1.05	1.5Q
PP50403	PJ50403	PJ50402	1.75	2.5Q
PP50603	PJ50603	PJ50602	3.15	4.5Q
PP50802	PJ50802	PJ50801	1.05	1.5Q
PP51102	PJ51102	PJ51101	1.4	2Q
PP51402	PJ51402	PJ51401	0.39	0.39Q
PP51802	PJ51802	PJ51801	1.75	2.5Q
PP51901	PJ51901	PJ50601	1.05	1.5Q
PP53703	PJ53703	PJ53702	3.15	4.5Q
PP55901_2	PJ55901	PJ56001	0.08	0.5Q
PP56301	PJ56301	PJ56002	2.8	4Q
PP57403	PJ57403	PJ57402	28	45Q
PP57736	PJ57736	PJ57735	30	60Q
PP58005_2	PJ58005	PJ58004	0.49	0.7Q
PP58102	PJ58102	PJ58101	2.8	4Q
PP58202	PJ58202	PJ58201	2.8	4Q
PP58302	PJ58302	PJ58301	2.45	3.5Q
PP58402	PJ58402	PJ58401	0.5	6Q
PP58602	PJ58602	PJ58601	0.697	5Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP58702	PJ58702	PJ58701	2.8	4Q
PP58802	PJ58802	PJ58801	0.75	4Q
PP58901	PJ58901	PJ57707	1.551	5Q
PP59002	PJ59002	PJ59001	0.33	0.6Q
PP59102	PJ59102	PJ59101	2.8	4Q
PP59110_2	PJ59110	PJ71405	1.5	3.5Q
PP59303	PJ59303	PJ59302	5.5	6Q
PP59501	PJ59501	PJ57713	3.15	4.5Q
PP59602	PJ59602	PJ59601	5.5	9Q
PP59702	PJ59702	PJ59701	9.8	14Q
PP59706	PJ59706	PJ59705	1.4	2Q
PP59806_2	PJ59806	PJ71404	2.45	3.5Q
PP60002	PJ60002	PJ60001	1.4	2Q
PP61301	PJ61301	PJ57728	8	8Q
PP61802	PJ61802	PJ61801	7	11Q
PP62202	PJ62202	PJ62201	2.1	3Q
PP62402	PJ62402	PJ62401	2.1	3Q
PP62502	PJ62502	PJ62501	8	8Q
PP62506	PJ62506	PJ62505	0.58	1.2Q
PP62602	PJ62602	PJ62601	6.3	9Q
PP62702	PJ62702	PJ62701	2.1	3Q
PP62704	PJ62704	PJ62703	1.4	2Q
PP62802	PJ62802	PJ62801	2	3Q
PP62902	PJ62902	PJ62901	0.18	0.26Q
PP63102	PJ63102	PJ63101	0.18	0.26Q
PP63202	PJ63202	PJ63201	0.7	1Q
PP63302	PJ63302	PJ63301	4.9	7Q
PP63402	PJ63402	PJ63401	15	30Q
PP63502	PJ63502	PJ63501	4.9	7Q
PP63507	PJ63507	PJ63506	5	5Q
PP63802	PJ63802	PJ63801	6	6Q
PP63902	PJ63902	PJ63901	1.05	1.5Q
PP64002	PJ64002	PJ64001	2.8	4Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP64102	PJ64102	PJ64101	4.9	7Q
PP64202	PJ64202	PJ64201	7	10Q
PP64502	PJ64502	PJ64501	4.9	7Q
PP64506	PJ64506	PJ64505	2.8	4Q
PP65904	PJ65904	PJ65903	2.8	4Q
PP66706	PJ66706	PJ66705	7	10Q
PP67002	PJ67002	PJ67001	2.1	3Q
PP67901	PJ67901	PJ62005	2.45	3.5Q
PP68105	PJ68105	PJ68104	0.36	0.52Q
PP68302	PJ68302	PJ68301	2.1	3Q
PP68402	PJ68402	PJ68401	2.8	4Q
PP69001	PJ69001	PJ62603	1.58	2.26Q
PP69201	PJ69201	PJ62604	1.54	2.2Q
PP69401	PJ69401	PJ62706	0.6	2.26Q
PP69501_2	PJ69501	PJ62707	1.51	2.16Q
PP70704	PJ70704	PJ70703	0.74	1.05Q
PP70707	PJ70707	PJ70706	2.1	3Q
PP72502	PJ72502	PJ72501	0.06	D8in
PP72504	PJ72504	PJ72503	0.06	D8in
PP72506	PJ72506	PJ72505	0.06	D8in
PP72602	PJ72602	PJ72601	0.06	D8in
PP72801	PJ72801	PJ69202	0.18	0.26Q
PP74003	PJ74003	PJ74002	0.74	1.05Q
PP74703	PJ74703	PJ74702	10.5	15Q
PP74732	PJ74732	PJ74731	2.98	4.3Q
PP74737	PJ74737	PJ74736	2.98	4.3Q
PP75409	PJ75409	PJ75408	1.75	2.5Q
PP75411	PJ75411	PJ75410	1.75	2.5Q
PP76102	PJ76102	PJ76101	1.54	2.2Q
PP76204	PJ76204	PJ76203	0.7	1Q
PP76502	PJ76502	PJ76501	0.35	0.5Q
PP76702	PJ76702	PJ76701	1.4	2Q
PP76802	PJ76802	PJ76801	2.1	3Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP76902	PJ76902	PJ76901	0.7	1Q
PP77002	PJ77002	PJ77001	1.51	2.13Q
PP77102	PJ77102	PJ77101	1.05	1.5Q
PP77402	PJ77402	PJ77401	6	6Q
PP77802	PJ77802	PJ77801	1	3Q
PP77902	PJ77902	PJ77901	0.35	0.5Q
PP78002	PJ78002	PJ78001	0.88	1.26Q
PP78102	PJ78102	PJ78101	0.23	0.33Q
PP78202	PJ78202	PJ78201	0.35	0.5Q
PP78702	PJ78702	PJ78701	2.45	3.5Q
PP78802	PJ78802	PJ78801	5.9	6Q
PP78902	PJ78902	PJ78901	0.23	0.33Q
PP79102	PJ79102	PJ79101	5.671	6Q
PP79202	PJ79202	PJ79201	5.2	6Q
PP79402	PJ79402	PJ79401	4	5Q
PP80202	PJ80202	PJ80201	1.05	1.58Q
PP80302	PJ80302	PJ80301	1.05	1.5Q
PP80502	PJ80502	PJ80501	2.1	3Q
PP80602	PJ80602	PJ80601	1.75	2.5Q
PP80705	PJ80705	PJ80704	1.75	2.5Q
PP81302	PJ81302	PJ81301	0.5	4Q
PP82502_2	PJ82502	PJ82501	0.06	8IN
PP82601	PJ82601	PJ79302	1.05	1.5Q
PP82702	PJ82702	PJ82701	4.5	6Q
PP82902	PJ82902	PJ82901	1.05	1.5Q
PP83402	PJ83402	PJ83401	0.2	0.28Q
PP85202	PJ85202	PJ85201	4.5	6Q
PP86903	PJ86903	PJ86902	1.05	1.5Q
PP87203	PJ87203	PJ87202	2.1	4Q
PP87603	PJ87603	PJ87602	0.14	0.43Q
PP87703	PJ87703	PJ87702	3.15	4.5Q
PP87802	PJ87802	PJ87801	0.35	0.5Q
PP87902	PJ87902	PJ87901	0.14	0.3Q

ตาราง 35 (ต่อ)

ชื่อ	โหนดเข้า	โหนดออก	อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)	Pump Curve
PP88304	PJ88304	PJ88303	2.1	3Q
PP91904	PJ91904	PJ91903	0.35	0.5Q
PP94503	PJ94503	PJ94502	8	8Q
PP96302	PJ96302	PJ96301	0.08	0.12Q
PP98803	PJ98803	PJ98802	0.14	0.3Q
PP99203	PJ99203	PJ99202	1.4	2Q
PP99603	PJ99603	PJ99602	2.1	3Q
PP99803	PJ99803	PJ99802	0.74	1.08Q
PP99903	PJ99903	PJ99902	1.4	2Q
PUMP0.5Q	PJ40402	J119	0.35	0.5Q
TP1428002	TJ1428002	TJ1428001	1.05	1.5Q
TP1430002	TJ1430002	TJ1430001	1.05	1.5Q
TP1471003	TJ1471003	TJ1471002	1.05	1.5Q
TP1566003	TJ1566003	TJ1566002	1.05	1.5Q

ประวัติผู้เขียน