

นวัตกรรมกักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม Innovative Underground Stormwater Storage System for Water Retention and Flood Prevention

กานต์ ศรีสุวรรณ¹ และ พลพัฒน์ นิลอุบล^{2, 3*}

¹บริษัท บีทีเค เมเนจเม้นท์จำกัด ²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ศูนย์นวัตกรรมเพื่อการปรับตัวกับภัยน้ำ

Karnt Srisuwan¹ and Polpat Nilubon^{2, 3*}

¹Founder, BPK Management Co.,Ltd., 959/3, Itsaraphap Rd., Thonburi, Bangkok, 10600

²Assistant Professor, Department of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Pathum Thani 12110

³Director, Water Adaptation Innovation Center, Pathum Thani 12110

*Email: polpat_n@rmutt.ac.th

Received: Jul 31, 2025

Revised: Nov 2, 2025

Accepted: Nov 25, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินหลังจากการติดตั้งนวัตกรรม กักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม เพื่อเป็นการเสริมสร้างความสามารถในการรับมือน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานครซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อปัญหาน้ำท่วมจากแม่น้ำและน้ำฝนอันเกิดจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น (SLR) การขยายตัวของเมือง และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 พร้อมกับเครื่องมือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สร้างแผนที่แสดงระดับน้ำท่วมที่มีความละเอียดสูง ภายใต้เงื่อนไขของช่วงเวลาการเกิดซ้ำของน้ำท่วม (Return Periods) และสถานการณ์ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น และทำการคำนวณมูลค่าความเสียหายคาดการณ์รายปีโดยอิงจากการเปลี่ยนแปลงของประเภทอาคารและการใช้ที่ดินที่คาดการณ์ไว้ในปี 2025

คำสำคัญ: กักเก็บใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำ, มาตรการปรับตัวและป้องกันน้ำท่วม, การปรับตัวต่อสภาวะภูมิอากาศในเมือง, แนวทางการแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติเป็นพื้นฐาน, กรุงเทพมหานคร

Abstract

This study evaluates the effectiveness of an underground rainwater storage system following the installation of an innovative underground stormwater retention system, inspired by the "Monkey Cheek" concept, for flood prevention. The project aims to enhance flood resilience in Dusit District, Bangkok, a high-risk area prone to both riverine and pluvial flooding, exacerbated by sea level rise (SLR), urban expansion, and climate change. Using the MIKE 11 hydrodynamic model in combination with Geographic Information System (GIS) tools, high-resolution flood inundation maps were developed under various flood return periods and sea level rise scenarios. Furthermore, the study calculates the estimated annual damage cost based on projected changes in building typologies and land use by the year 2025.

Keywords: Underground stormwater storage, Flood adaptation and flood prevention, Urban climate adaptation, Nature based solutions, Bangkok

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุทกภัยเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของเมืองทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการขยายตัวของเมืองส่งผลให้พื้นที่เมืองมีความเปราะบางมากขึ้น (United Nations, 2022) ปัญหานี้ไม่ได้เป็นเพียงแค่ภัยธรรมชาติ แต่ยังเกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่เพียงพอและการบริหารจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดฝนตกหนักบ่อยขึ้นและมีปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ (IPCC, 2021) นอกจากนี้ภัยแล้งที่รุนแรงขึ้นในบางพื้นที่ยังส่งผลให้ดินมีความสามารถในการซึมน้ำลดลง เมื่อฝนตกหนักน้ำจึงไม่สามารถซึมลงดินได้ดีและเพิ่มความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลัน

สำหรับประเทศไทย ปัญหาระบบระบายน้ำท่วมได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และยังไม่สามารถจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในเขตเมืองและชนบท ในอดีตการแก้ไขปัญหามุ่งเน้นการกักเก็บน้ำไว้ในรูปแบบของการก่อสร้างเขื่อนหรือบ่อกักเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำฝนและเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้งซึ่งเป็นมาตรการที่ต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถนำพื้นที่นั้นไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการสร้างแหล่งกักเก็บน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองระบบหลัก ได้แก่ 1) ระบบเปิด ซึ่งต้องมีการขุดบ่อลงลึกถึงชั้นหินอุ้มน้ำเพื่อกักเก็บน้ำ โดยเมื่อน้ำเต็มบ่อก็จะเอ่อล้นขึ้นมาโดยอัตโนมัติและสามารถนำไปใช้เพื่อการเกษตรได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อเสียคือ น้ำสามารถระเหยได้จากแสงแดด และ 2) ระบบปิด ซึ่งเป็นการเปิดผิวดินเพื่อเติมน้ำลงสู่ใต้ดินโดยตรงโดยพื้นที่ด้านบนจะถูกปิดคลุมด้วยดินและทราย ทำให้สามารถใช้พื้นที่นั้นได้ตามปกติ อย่างไรก็ตามระบบปิดมี

ขนาดเล็กและเหมาะสมสำหรับระดับครัวเรือนเท่านั้น เนื่องจากไม่ได้มีโครงสร้างที่แข็งแรงรองรับน้ำปริมาณมหาศาล จากการตระหนักถึงภัยคุกคามที่เพิ่มขึ้นจากอุทกภัยหรือน้ำท่วมที่ก่อให้เกิดผลกระทบหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็น 1) ความเสียหายทางเศรษฐกิจ อันได้แก่ ความเสียหายต่อโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน สะพาน และระบบขนส่งสาธารณะ ตลอดจนทรัพย์สินของประชาชนและธุรกิจ ในบางกรณี เมืองอาจต้องหยุดกิจกรรมทางเศรษฐกิจเป็นเวลานาน 2) ผลกระทบต่อสังคมและสุขภาพ เช่น โรคที่เกิดจากน้ำเสียปนเปื้อน และ 3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีอุตสาหกรรมและของเสียจากครัวเรือนที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (UNEP, 2021) สำหรับพื้นที่เขตเมืองรูปแบบของปัญหาของอุทกภัยคือ อุทกภัยจากแม่น้ำล้นตลิ่ง และอุทกภัยจากน้ำท่วมขัง เนื่องจากปริมาณฝนที่มากเกินไป บริษัท บีพีเค เมเนจเม้นท์ จำกัด จึงได้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหามาจากนวัตกรรมทางวิศวกรรมเพื่อมาใช้ในการป้องกันน้ำท่วม ในรูปแบบของการพัฒนาโครงสร้างกักเก็บน้ำใต้ดินให้มีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องสูญเสียพื้นที่ไปโดยเปล่าประโยชน์ เพื่อเป็นการเสริมความสามารถในการรับมืออุทกภัย มีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากอุทกภัย ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมประโยชน์ด้านนิเวศวิทยาและสังคม (Kabisch et al., 2016; Schipper, 2007) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่แท้จริงของมาตรการเหล่านี้ยังต้องได้รับการประเมินเพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตเมือง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำนวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” มาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตพื้นที่เมือง และประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและรูปแบบปริมาณน้ำฝนที่รุนแรงขึ้น เพื่อการบริหารจัดการความเสี่ยงจากอุทกภัยเพื่อลดผลกระทบในอนาคต และเพื่อให้แน่ใจว่ามาตรการที่นำมาใช้สามารถปรับตัวได้ตามการเปลี่ยนแปลงของพลวัตน้ำท่วม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ดำเนินการนำนวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” มาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำท่วมในเขตพื้นที่เมือง
2. ประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง
3. พัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำเพื่อรองรับสถานการณ์ในอนาคต

3. สมมติฐาน/กรอบแนวคิด

3.1 สมมติฐานในการวิจัย

1. นวัตกรรม “แก้มลิงใต้ดิน” สามารถลดปัญหาน้ำท่วมในเขตเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด?
2. ปัจจัยใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง?

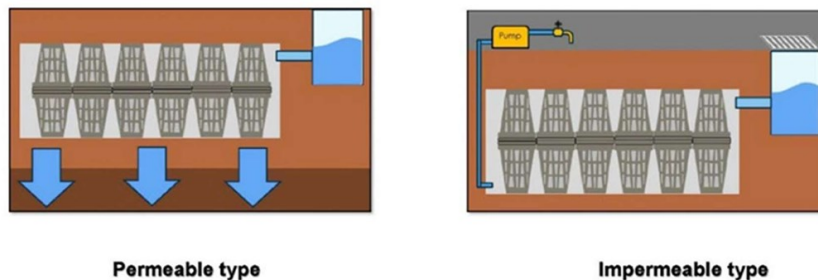
3.2 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาผลกระทบของอุทกภัย โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่อุทกภัยมีต่อชุมชน โครงสร้างพื้นฐาน และเศรษฐกิจ
2. การวิเคราะห์กลยุทธ์การปรับตัวด้วยการประเมินประสิทธิภาพของแนวทางการปรับตัว
3. บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการขยายตัวของเมือง ศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและการพัฒนาเมืองส่งผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของอุทกภัยอย่างไร
4. การใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีในการวางแผน ด้วยประเมินการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเฝ้าระวังและคาดการณ์อุทกภัย
5. การมีส่วนร่วมของชุมชนด้วยการวิเคราะห์บทบาทของชุมชนในการปรับตัวและการวางแผนมาตรการบรรเทาผลกระทบ

4. การดำเนินงานวิจัย

4.1 นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำช่วยป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจสูง และยังเป็นวิธีที่ยั่งยืนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการจัดหาจัดน้ำจืดในระยะยาว (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ความสามารถในการใช้งาน

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำสามารถติดตั้งได้ในหลากหลายพื้นที่ โดยสามารถปรับการใช้งานให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละพื้นที่ ได้แก่

1. ใต้ตัวอาคาร: ระบบสามารถติดตั้งใต้พื้นอาคารหรือใต้โครงสร้างของอาคารต่าง ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บน้ำโดยไม่ทำให้เสียพื้นที่ใช้งานภายนอก
2. ใต้ที่จอดรถ: การติดตั้งในพื้นที่จอดรถช่วยให้สามารถจัดการน้ำฝนที่ไหลมาจากการจอดรถยนต์หรือการใช้พื้นที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่กีดขวางการใช้งานพื้นที่
3. พื้นที่สวน: ในสวนหรือพื้นที่เปิดโล่ง ระบบนี้สามารถติดตั้งได้โดยไม่รบกวนการใช้พื้นที่สวนและยังช่วยในการจัดการน้ำสำหรับการรดน้ำต้นไม้หรือการใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ภายในสวน

4. ถนนและทางเดิน: ระบบสามารถติดตั้งได้ถนนหรือทางเดินในพื้นที่เมือง ซึ่งช่วยในการจัดการน้ำฝนที่ไหลลงมาจากถนนและลดปัญหาน้ำท่วมขัง

5. พื้นที่ที่อยู่อาศัยและสำนักงาน: การติดตั้งระบบในพื้นที่ที่อยู่อาศัยหรือสำนักงานช่วยในการจัดการน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เหล่านี้ โดยการเก็บน้ำฝนไว้ใช้ในช่วงที่ต้องการ เช่น การรดน้ำต้นไม้หรือใช้ในกิจกรรมภายในสำนักงาน

4.2 ระเบียบวิธีวิจัย

ติดตั้งนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ตามหลักการทางวิศวกรรม หลังการติดตั้งดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดินในสภาพแวดล้อมจริง และพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำเพื่อรองรับสถานการณ์ในอนาคตใช้วิธีการเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.2.1 การศึกษาเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การปรับตัวในการพัฒนาเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่แตกต่างกัน รายละเอียด ดังนี้

1) วิธีการเก็บข้อมูล ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขนาดของพื้นที่โครงการ ปริมาณการไหล คุณภาพน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนในแหล่งน้ำประเภทต่าง ๆ (แม่น้ำ คลอง และพื้นที่ลุ่มน้ำ) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ข้อมูลแผนที่น้ำท่วม (5 ช่วง ได้แก่ 1/2, 1/10, 1/25, 1/50 และ 1/100 ปี)

2) ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง คือ นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

3) เครื่องมือที่ใช้ คือ แบบจำลอง MIKE 11 พร้อมกับเครื่องมือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สร้างแผนที่แสดงระดับน้ำท่วมที่มีความละเอียดสูง

4) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การปรับตัวในการพัฒนาเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่แตกต่างกัน รายละเอียด ดังนี้

- สร้างแบบจำลองน้ำท่วมด้วยการสร้างเหตุการณ์น้ำท่วมภายใต้ระยะเวลาการเกิดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถแสดงผลกระทบจากน้ำท่วมด้วยความแม่นยำทางพื้นที่สูง ช่วยให้เห็นภาพของขอบเขตน้ำท่วมและความลึกของน้ำท่วมอย่างละเอียด ซึ่งมีความสำคัญต่อการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วมและกลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเมืองที่กว้างขึ้น อีกทั้งทำให้เข้าใจทั้งความเสี่ยงจากน้ำท่วมในระยะสั้นและผลกระทบระยะยาวจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในกรุงเทพมหานคร เช่น ในช่วงระยะเวลา 1/100 ปี พื้นที่ต่ำในเขตดุสิตบางแห่งอาจประสบกับความลึกของน้ำท่วมถึง 1.5 เมตร ซึ่งทำให้ทั้งพื้นที่ที่อยู่อาศัยและพื้นที่การค้าต้องเผชิญกับความเสี่ยง

อย่างมาก (กรุงเทพมหานคร, 2020) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวางแผนระยะยาวของเมืองและการออกแบบกลยุทธ์การบรรเทาน้ำท่วม

- สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเมือง เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเมืองอันเกิดจากการใช้ที่ดินและการขยายเมือง ซึ่งจะรวมเข้ากับแบบจำลองความเสียหายเพื่อคำนวณความเสียหายประจำปีที่เกิดการฉ่ำน้ำ (EAD: Expected Annual Damage) สำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ

4.2.2 การศึกษาเชิงคุณภาพ

กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชน ตัวแทนจากรัฐบาลกลาง หน่วยงานท้องถิ่น สมาชิกในชุมชน ภาคเอกชน และภาคการศึกษา ในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร การเก็บรวบรวมข้อมูล คือ การประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เน้นประเด็นเรื่องของการจัดการน้ำท่วมในเขตดุสิต สถานการณ์น้ำท่วมในปัจจุบัน การคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมในอนาคต และการเปลี่ยนแปลงเมือง

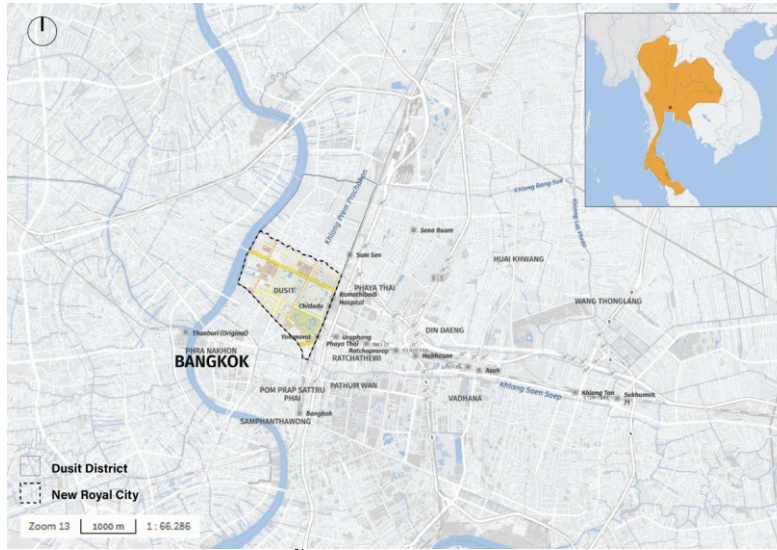
ประเด็นการประชุมเชิงปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งกลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมที่เหมาะสมกับพื้นที่ มุ่งเน้นการวิเคราะห์สถานการณ์ ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเพิ่มระดับน้ำทะเล (SLR) ความเข้มข้นของฝนที่เพิ่มขึ้น และการขยายตัวของเมือง ซึ่งเป็นการรวบรวมความคิดเห็นและแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถจัดการกับความเสียหายจากน้ำท่วมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งจะช่วยในการจัดกลุ่มข้อมูล เมื่อมีข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่มก็จะนำคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบกับเส้นทางในต้นไม้จนถึงคลาสปลายทาง ซึ่งก็คือ กลุ่มของข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน ภายในต้นไม้จะประกอบด้วยโหนด (Node) ซึ่งแต่ละโหนดจะใช้คุณลักษณะในการทดสอบ กิ่ง (Branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ทดสอบ และใบ (Leaf) คือจุดปลายของต้นไม้ที่แสดงถึงกลุ่มข้อมูลหรือคลาส ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะอยู่ที่ใบของต้นไม้ และโหนดที่อยู่จุดเริ่มต้นของต้นไม้จะเรียกว่า โหนดราก (Root node) ซึ่งเป็นเครื่องเพื่อช่วยในการประเมินและเลือกมาตรการจัดการน้ำท่วม โดยเป็นกระบวนการที่มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าร่วม เพื่อให้ได้มาซึ่งกลยุทธ์การปรับตัวที่พัฒนามาจากความรู้ในท้องถิ่นและได้รับการยอมรับทางสังคม (Patil et al., 2010)

5. ผลการวิจัย

5.1 ข้อมูลภาพรวมของพื้นที่ศึกษาในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

ลักษณะของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่เขตดุสิตส่วนใหญ่เป็นอาคารที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 60 อาคารพาณิชย์ คิดเป็นร้อยละ 20 และอาคารรัฐบาล คิดเป็นร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมดในเขตดุสิต คิดเป็นมูลค่าสะสมประมาณ 350 ล้านบาท (ภาพที่ 2) และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความสำคัญของพื้นที่และความจำเป็นในการวางแผนการใช้ที่ดินและมาตรการปรับตัวในการจัดการน้ำท่วมเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วม

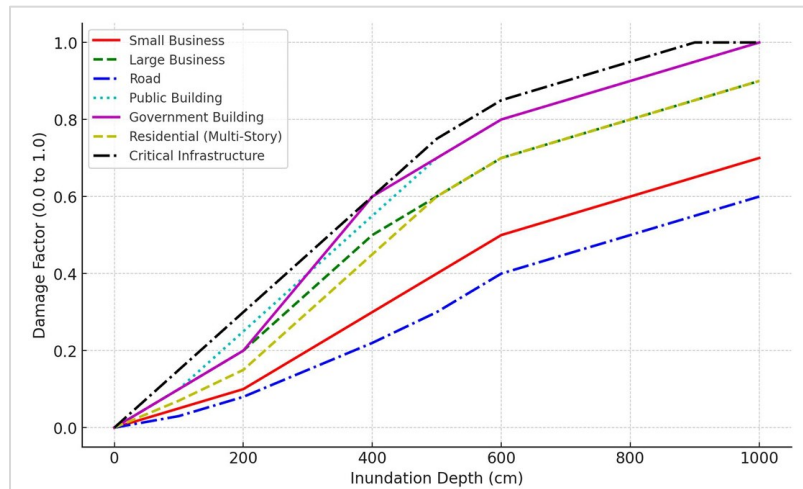


ภาพที่ 2 แผนที่พื้นที่ศึกษาในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

การคำนวณความเสียหายประจำปีที่เกิดจากน้ำท่วม (EAD) และสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงเมืองใช้วิธีวิธีการที่เสนอโดย Klijn & Skelcher (2007) และ De Moel & Aerts (2011) ด้วยการใช้ข้อมูลหลัก คือ 1) แผนที่ประเภทอาคารที่ระบุสินทรัพย์ที่เสี่ยง และ 2) แผนที่น้ำท่วมที่แสดงความลึกของน้ำในเหตุการณ์น้ำท่วม เพื่อประมาณความเสียหายที่เกิดกับสินทรัพย์ตามลักษณะของอาคารต่าง ๆ โดยใช้กราฟความน่าจะเป็นการเกินขีดจำกัด-ความเสียหาย หรือกราฟความเสี่ยง (de Moel et al., 2015; Grossi & Kunreuther, 2005; Meyer, 2018) เพื่อเป็นการพิจารณาถึงทั้งเหตุการณ์น้ำท่วมที่มีความน่าจะเป็นต่ำและสูง อีกทั้งเป็นเพื่อประเมินผลกระทบจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมต่อความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยทำการใช้แผนที่ประเภทอาคารที่คาดการณ์ไว้ในปี ค.ศ. 2025 ซึ่งพัฒนาเป็นส่วนหนึ่งของแผนแม่บทเศรษฐกิจและสังคม DDBT ปี 2025 (DPA, 2010) สำหรับการวิเคราะห์ เพื่อคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของเมืองและความเสี่ยงจากน้ำท่วมในช่วงเวลาต่าง ๆ

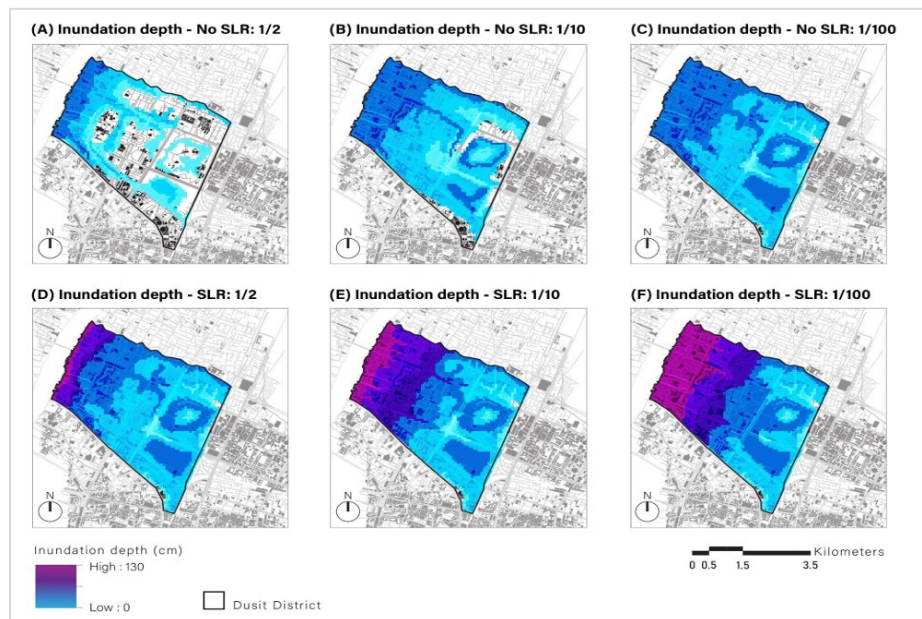
ตารางที่ 1 คำนวณความเสียหายสูงสุดและปัจจัยความเสียหายต่อความลึกของน้ำท่วมแต่ละเซนติเมตร

Building Type	Max Damage (USD per m ²)	Damage Factor (%) per cm Inundation Depth				
		10	50	100	300	500
Small Business	36.2	0.05	0.25	0.5	0.75	1
Large Business	36.2	0.04	0.25	0.45	0.68	1
Road	0.4	0.02	0.1	0.2	0.4	0.75
Public Building	26.1	0.04	0.25	0.4	0.6	0.8
Government Building	45	0.08	0.35	0.53	0.85	1
Residential (Multi -Story)	28.3	0.065	0.3	0.48	0.75	0.85
Critical Infrastructure	50	0.09	0.4	0.6	0.95	1



ภาพที่ 3 กราฟความเสียหาย

ความเสี่ยงจากน้ำท่วมปัจจุบันและในอนาคตเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร พิจารณาจากระยะเวลาการเกิดน้ำท่วม 3 ช่วง ได้แก่ 1/2 ปี, 1/10 ปี และ 1/100 ปี โดยมีและไม่มีการเพิ่มระดับน้ำทะเล (SLR) ที่ +30 ซม. ภายในปี ค.ศ.2050 แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ด้านตะวันตกของเขตมีความเสี่ยงน้ำท่วมที่ลึกที่สุด โดยระดับน้ำท่วมในกรณีที่รุนแรงที่สุด (1/100 ปี พร้อมกับ SLR) อาจสูงถึง 100-130 ซม. ในขณะที่พื้นที่ทางตะวันออกจะมีน้ำท่วมที่ตื้นกว่าปกติ โดยระดับน้ำท่วมมักจะต่ำกว่า 50 ซม. หากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น +30 ซม. ความลึกของน้ำท่วมในพื้นที่ตะวันตกจะเพิ่มขึ้น 20-30 ซม. แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงจากน้ำท่วมจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ภายในเขต โดยพื้นที่ทางตะวันตกมีความเปราะบางที่สุด



ภาพที่ 4 แผนที่ความลึกของน้ำท่วมที่จำลองเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความเสียหายจากน้ำท่วม (USD/ตร.ม.) ในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานครภายใต้สถานการณ์การใช้ที่ดินทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยคำนึงถึงระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น (SLR) แสดงช่วงเวลาการเกิดซ้ำของน้ำท่วมที่แตกต่างกัน (1/2 ปี, 1/10 ปี และ 1/100 ปี) ทั้งในกรณีที่ไม่มี SLR และในกรณีที่คาดการณ์ว่า SLR จะเพิ่มขึ้น 30 ซม. ภายในปี 2050 (SLR+30) การประเมินความเสียหายนี้อ้างอิงจากระดับความลึกของน้ำท่วม ความไวของอาคารประเภทต่าง ๆ และมูลค่าของอาคาร

กรณีที่ไม่มี SLR (A, B, C) ความเสียหายจากน้ำท่วมจะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของเขตเป็นหลัก สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/2 ปี (A) ความเสียหายจากน้ำท่วมยังค่อนข้างต่ำ โดยส่วนใหญ่พื้นที่ได้รับผลกระทบน้อยกว่า 5 USD/ตร.ม. อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเกิดซ้ำยาวขึ้น ความเสียหายจะกระจายกว้างขึ้นและรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/100 ปี (C) ซึ่งความเสียหายเกิน 20USD/ตร.ม. ในหลายพื้นที่ เมื่อพิจารณาสถานการณ์ SLR+30 ความเสียหายจากน้ำท่วมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั่วทั้งเขต โดยเฉพาะพื้นที่ทางตะวันตกและตอนกลาง ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างหนักในช่วงเวลาเกิดซ้ำ 1/100 ปี (F) โดยมีความเสียหายสูงถึง 20 USD/ตร.ม. หรือมากกว่าในหลายจุด การเพิ่มขึ้นของระดับความลึกของน้ำท่วมและความเปราะบางของอาคารส่งผลให้เกิดความเสียหายจากน้ำท่วมมากขึ้นในทุกช่วงเวลาเกิดซ้ำ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี SLR ซึ่งเน้นให้เห็นถึงความเปราะบางที่เพิ่มขึ้นของเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร โดยมีอาคารที่หลากหลายประกอบด้วยอาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอาคารราชการ โดยอาคารราชการคิดเป็น 20% ของอาคารทั้งหมด ในขณะที่อาคารที่พักอาศัยมีสัดส่วนประมาณ 60% และอาคารพาณิชย์และอุตสาหกรรมรวมกันอีก 20% ค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจที่คาดการณ์ต่อปี (EAD) สำหรับอาคารในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 10 ล้าน USD ต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 ล้าน USD ต่อปี ภายในปี 2025 เนื่องจากการขยายตัวของเมืองและผลกระทบจาก SLR การเพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญอย่างยิ่งของการวางแผนการใช้ที่ดินและมาตรการปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมที่เพิ่มขึ้น

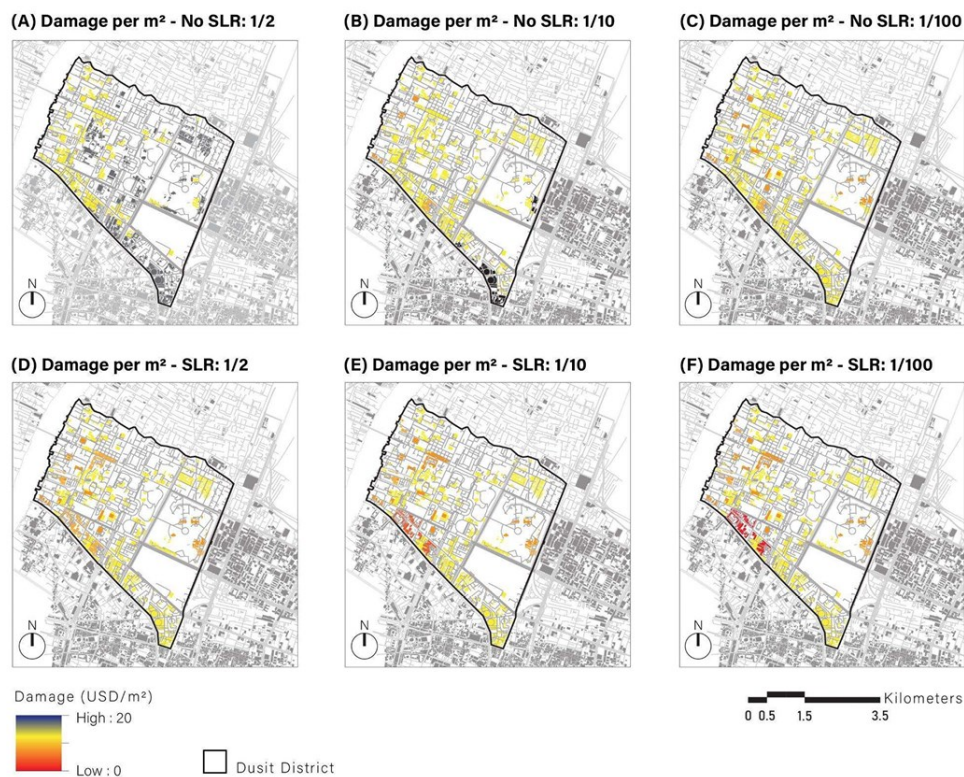
ภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำที่แตกต่างกันในส่วนของการเปรียบเทียบรายละเอียดของการไหลของน้ำ ความจุน้ำและความสามารถในการลดน้ำท่วมภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำของปริมาณฝนที่แตกต่างกันในเขต DDBT ข้อมูลถูกจัดแบ่งออกเป็นสองสถานการณ์ ได้แก่ สภาวะปกติก่อนเกิดฝนตกหนัก และสภาวะระบายน้ำโดยการลดระดับน้ำลง 1.00 เมตร เพื่อกักเก็บน้ำไว้นอกพื้นที่โครงการ ซึ่งทั้งสองสถานการณ์ได้รับการประเมินภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 10 ปี (142 มม./วัน) และ 100 ปี (202 มม./วัน) โดยมีการคำนวณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าของแต่ละกรณี แต่ละกรณีมีรายละเอียดดังนี้

1) กรณีสภาวะปกติ ในสถานการณ์ปกติค่าการระบายน้ำ ความจุน้ำและความสามารถในการกักเก็บน้ำขององค์ประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ บ่อ 9 (Pond 9), คลองระบายน้ำ (Canals), และระบบ USSS พร้อมทั้งค่ารวมทั้งหมด รวมถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำจากพื้นที่นอกโครงการ สังเกตได้ว่าระบบคลองระบายน้ำแสดงค่า

ความสามารถในการกักเก็บน้ำเป็นลบ ซึ่งบ่งชี้ถึงภาวะน้ำล้นหรือการกักเก็บที่ไม่เพียงพอในทั้งสองช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน

2) กรณีสภาวะระบายน้ำในสถานการณ์ที่มีการปรับระดับน้ำลง 1.00 เมตร พบว่าความจุน้ำรวมและความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบ่อ 9 ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มพื้นที่กักเก็บน้ำ โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขฝนที่รุนแรง นอกจากนี้ ระบบจัดการน้ำโดยรวมสามารถลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำเป็นบวก โดยเฉพาะในบริเวณ WB และบ่อ 9

ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่สามารถลดน้ำท่วมได้ โดยอยู่ที่ 496,000 ตร.ม. สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 10 ปี และ 184,000 ตร.ม. สำหรับช่วงเวลาเกิดซ้ำของฝน 100 ปี ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมาตรการบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

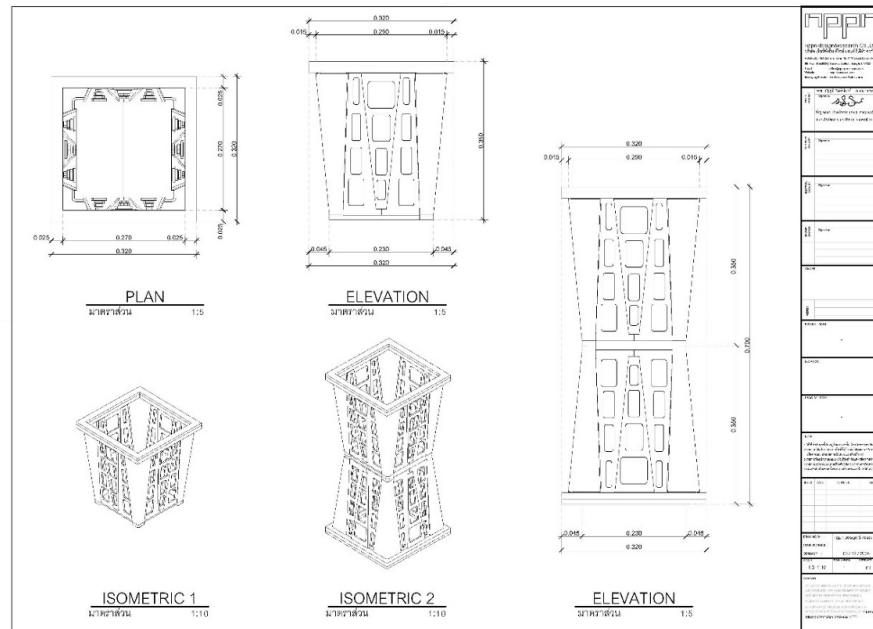


ภาพที่ 5 การประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม (USD/ตร.ม.) ภายใต้ช่วงเวลาเกิดซ้ำที่แตกต่างกัน

5.2 นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำ

นวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำมีโครงสร้างกักเก็บน้ำ ประกอบด้วย ส่วนกักเก็บน้ำ และส่วนท่อหุ้มร่วมกัน โดยส่วนกักเก็บน้ำจะเป็นโครงสร้างของบล็อกเก็บน้ำที่ถูกบรรจุอยู่ในส่วนท่อหุ้ม ที่ถูก

ออกแบบมาเพื่อห่อหุ้มกลุ่มบล็อกเก็บน้ำที่ทำจากเรซินสังเคราะห์ที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินที่มีระบบน้ำจากหลังคาหรือพื้นดิน และสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกได้ เพื่อให้ได้โครงสร้างกักเก็บน้ำที่ถูกพัฒนามาจากโครงสร้างเก็บน้ำฝนใต้ดินที่ฝังถึงเก็บน้ำใต้ดินแบบดั้งเดิมที่สามารถป้องกันการรั่วซึมโดยที่ไม่ต้องจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและลดขั้นตอนความยุ่งยากของการติดตั้ง



ภาพที่ 6 ภาพรวมส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างกักเก็บน้ำ

ผลการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำของนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดินสำหรับกักเก็บน้ำและป้องกันน้ำท่วม ผลการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ครอบคลุมขนาด 700x700x690 รายละเอียด ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 157.8 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

ตัวอย่างที่ 2 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 151.1 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

ตัวอย่างที่ 3 ผลการทดสอบแรงหรือความดันที่กระทำในทิศทางแนวนอน โดยแรงที่กระทำอยู่ที่ 150.3 กิโลนิวตันต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และการทดสอบที่มีทิศทางการกระทำของแรงในแนวตั้ง ซึ่งค่าความดันหรือแรงที่กระทำมีค่าน้อย 173.5 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

Specimen	Horizontal test direction, kN/m ²	Vertical test direction, kN/m ²	Size, mm
1	157.8	>173.5	700 x 700 x 690
2	151.1	>173.5	
3	150.3	>173.5	

Note: 1) Compression speed : 12.7 mm/min
2) Condition of testing : Temperature (23 ± 2)°C, Relative humidity (50 ± 5) %
3) Maximum capacity of compression tester : 85 kN



Horizontal test direction



Vertical test direction

ภาพที่ 7 ผลการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำ

การทดสอบตามมาตรฐาน RoHS เป็นการประเมินสารที่อาจเป็นอันตรายหลายอย่าง เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม เฮกซะวาเลนท์โครเมียม และโบรมีน โดยในการทดสอบโครงสร้างกักเก็บน้ำตามมาตรฐาน RoHS ด้วยเทคนิคเคมีเปิก เพื่อวัดปริมาณสาร RoHS ที่ถูกห้ามภายในหลอดทดลอง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน RoHS โดยทั่วไปแล้ว RoHS จะสงวนอัตราส่วนที่แน่นอนของค่าความเข้มข้นสูงสุดสำหรับสารต้องห้ามแต่ละชนิด แคดเมียมมีขีดจำกัดประมาณ 0.01% ในขณะที่ระดับอื่น ๆ มักจะตั้งไว้ที่ 0.1%

(A) Test Result Summary:

Test	Result	LOD	LOQ
	Submitted samples		
Lead (Pb) Content (mg/kg)	<13	2	13
Cadmium (Cd) Content (mg/kg)	ND	1	5
Mercury (Hg) Content (mg/kg)	ND	3	13
Chromium (VI) (Cr ^{VI}) Content (mg/kg)	ND	1	10
Polybrominated Biphenyls (PBBs) (mg/kg)			
Monobromobiphenyl (MonoBB)	ND	2	5
Dibromobiphenyl (DiBB)	ND	2	5
Trisbromobiphenyl (TriBB)	ND	2	5
Tetrabromobiphenyl (TetraBB)	ND	2	5
Pentabromobiphenyl (PentaBB)	ND	2	5
Hexabromobiphenyl (HexaBB)	ND	2	5
Heptabromobiphenyl (HeptaBB)	ND	2	5
Octabromobiphenyl (OctaBB)	ND	2	5
Nonabromobiphenyl (NonaBB)	ND	2	5
Decabromobiphenyl (DecaBB)	ND	2	5
Sum of Polybrominated Biphenyls (PBBs) (mg/kg)	ND	2	5
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) (mg/kg)			
Monobromodiphenyl Ether (MonoBDE)	ND	2	5
Dibromodiphenyl Ether (DiBDE)	ND	2	5
Trisbromodiphenyl Ether (TriBDE)	ND	2	5
Tetrabromodiphenyl Ether (TetraBDE)	ND	2	5
Pentabromodiphenyl Ether (PentaBDE)	ND	2	5
Hexabromodiphenyl Ether (HexaBDE)	ND	2	5
Heptabromodiphenyl Ether (HeptaBDE)	ND	2	5
Octabromodiphenyl Ether (OctaBDE)	ND	2	5
Nonabromodiphenyl Ether (NonaBDE)	ND	2	5
Decabromodiphenyl Ether (DecaBDE)	ND	2	5
Sum of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) (mg/kg)	ND	2	5
Phthalate Content (mg/kg)			
Diethyl hexyl phthalate (DEHP)	ND	15	25
Benzyl butyl phthalate (BBP)	ND	15	25
Dibutyl phthalate (DBP)	ND	15	25
Di-isobutyl phthalate (DIBP)	ND	15	25

Remark: mg/kg = Milligram per kilogram based on weight of sample = ppm
LOD = Limit of detection
LOQ = Limit of quantitation
ND = Not detected (Less than LOD)
< = Less than

Tested component: Black plastic

(B) RoHS Requirement:

Restricted substances	Limits
Lead (Pb)	0.1% (1000 mg/kg)
Cadmium (Cd)	0.01% (100 mg/kg)
Mercury (Hg)	0.1% (1000 mg/kg)
Chromium (VI) (Cr ^{VI})	0.1% (1000 mg/kg)
Polybrominated Biphenyls (PBBs)	0.1% (1000 mg/kg)
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)	0.1% (1000 mg/kg)
Diethyl hexyl phthalate (DEHP)	0.1% (1000 mg/kg)
Benzyl butyl phthalate (BBP)	0.1% (1000 mg/kg)
Dibutyl phthalate (DBP)	0.1% (1000 mg/kg)
Di-isobutyl phthalate (DIBP)	0.1% (1000 mg/kg)

ภาพที่ 8 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน RoHS

5.3 กลยุทธ์การจัดการน้ำท่วม

กลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร ได้แก่

1) กลยุทธ์คันกันน้ำตามแนวแม่น้ำ (River Dike Strategy) เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างระบบคันกันน้ำ (Levee System) ตลอดแนวแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อเป็นแนวป้องกันทางกายภาพเพื่อลดโอกาสเกิดน้ำท่วม โดยคันกันน้ำถูกออกแบบให้รับมือกับระดับน้ำสูงสุดถึง 2.8 เมตร ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้องกันน้ำท่วมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเขตนี้ (BMA, 2023) อย่างไรก็ตามหากระดับน้ำเกินกว่าจุดวิกฤต คันกันน้ำอาจล้นและก่อให้เกิดน้ำท่วมรุนแรงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี แผนรับมือฉุกเฉินและมาตรการป้องกันชั่วคราว เพื่อรับมือกับสถานการณ์น้ำล้น (Goeyinsup, 2022)

2) ระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดิน (Underground Stormwater Storage System - USSS) เป็นแนวทางเชิงกลยุทธ์ในการลดความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยการกักเก็บน้ำฝนส่วนเกินไว้ใต้ดิน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการน้ำดื่มได้ ระบบนี้ช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าบนพื้นผิวในช่วงที่ฝนตกหนัก ทำให้ลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Citaristi, 2022) ระบบ USSS ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ โดยสามารถรองรับปริมาณน้ำจำนวนมากในสภาวะอากาศรุนแรง (MacLean et al., 2020; Peterson et al., 2022) มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง

3) แนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐาน (Nature-Based Solutions - NBS) กลยุทธ์นี้ใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure) เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำในเมือง (Urban Wetlands), สวนซับน้ำฝน (Rain Gardens), และหลังคาเขียว (Green Roofs) เพื่อช่วยลดความไวต่อการเกิดน้ำท่วมและเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำตามธรรมชาติ (Badura et al., 2021) นอกจากการลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมแล้วยังช่วยปรับปรุงคุณภาพระบบนิเวศของเขตเมืองโดยเสริมสร้างความหลากหลายทางชีวภาพในเมืองและช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน (Debele et al., 2023; Pinto et al., 2023; Wang et al., 2024)

4) กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมือง (Combined Strategy with Adjusted Urban Transformation - WSC) เป็นแนวทางแบบองค์รวมที่ผสมผสานแนวคิดของทั้งสามกลยุทธ์ก่อนหน้านี้ และปรับการใช้ที่ดินเพื่อบรรเทาความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยมีแนวทางสำคัญ ได้แก่

4.1 ย้ายทรัพย์สินที่เปราะบางออกจากพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม

4.2 ปรับโซนนิ่ง เพื่อรองรับระบบระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.3 พัฒนา NBS เพื่อส่งเสริมการไหลเวียนและกักเก็บน้ำตามธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาจากประเภทอาคารและสถานการณ์ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น พบว่า

1. ระบบกักเก็บน้ำฝนใต้ดิน (USSS - S2) และแนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐาน (NBS - S3) สามารถลดมูลค่าความเสียหายที่คาดการณ์ (EAD) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่ 20% ถึง 100% ขึ้นอยู่กับสถานการณ์
2. กลยุทธ์กันกั้นน้ำตามแนวแม่น้ำให้ผลลัพธ์ที่ยอดเยียมภายใต้สภาวะปัจจุบัน โดยสามารถลดความเสียหายจากน้ำท่วมได้ถึง 100% อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (SLR) ประสิทธิภาพลดลงเหลือ 78% ทำให้เกิด EAD มูลค่า 0.155 ล้านดอลลาร์สหรัฐ
3. กลยุทธ์ที่มีความแข็งแกร่งและสามารถปรับตัวได้ดีที่สุดคือ กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมือง ซึ่งสามารถลดความเสียหายจากน้ำท่วมได้อย่างสมบูรณ์ โดยมูลค่าความเสียหายที่คาดการณ์ลดลงได้ 100% อีกทั้งยังช่วยประหยัดงบประมาณได้ทั้งหมด 12 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลนวัตกรรมแก้มลิงใต้ดิน หรือ Underground Stormwater Storage System (USSS) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อการจัดการน้ำฝนและการป้องกันน้ำท่วม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการพัฒนาเมืองหนาแน่นและพื้นที่จำกัด ระบบนี้มีลักษณะเด่นในการกักเก็บน้ำฝนส่วนเกินใต้ดิน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีจุดเด่นในเรื่องของประหยัดพื้นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การใช้งานอื่น ๆ เช่น ถนนหรือสวนสาธารณะ ช่วยลดปัญหาน้ำท่วมในเมืองที่มีการพัฒนาอย่างหนาแน่น โดยการจัดการน้ำฝนส่วนเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถรองรับน้ำได้มากถึง 95% ของปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บและสามารถจัดเก็บน้ำได้ในปริมาณมาก โดยไม่ต้องใช้พื้นที่บนผิวดิน ทำให้สามารถใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด กล่าวได้ว่าการออกแบบที่ยืดหยุ่นสามารถติดตั้งได้ง่ายและยืดหยุ่น โดยใช้วัสดุพลาสติกที่ทนทาน สามารถวางซ้อนกันได้หลายชั้น ซึ่งช่วยประหยัดพื้นที่ และสามารถใช้พื้นที่ที่มีข้อจำกัดได้ การศึกษานี้เน้นย้ำถึงบทบาทสำคัญของ กลยุทธ์การปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงน้ำท่วมแบบบูรณาการ ในการเสริมสร้างความสามารถในการรับมือของพื้นที่เมือง จากการศึกษากลยุทธ์การจัดการน้ำท่วมในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมืองเป็นแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการน้ำท่วมในระยะยาว สามารถรองรับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นทางเลือกที่ยั่งยืนที่สุดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความเสียหายจากน้ำท่วมเพิ่มขึ้น 112 – 115% ภายในปี 2050 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่เมืองร็อตเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดย de Moel et al. (2015) และ Poussin et al. (2016) ที่คาดการณ์ว่าความเสี่ยงจากน้ำท่วมจะเพิ่มขึ้น 97 – 185% ภายในปี 2050

นอกจากนี้การศึกษาผลกระทบของกลยุทธ์การปรับตัวต่อ EAD จากการศึกษาของ Poussin et al. (2012) ซึ่งพบว่าการป้องกันน้ำท่วมแบบ “dry-proofing” ในพื้นที่อื่นลด EAD ได้เพียง 40% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของ กลยุทธ์ผสมผสานพร้อมปรับเปลี่ยนโครงสร้างเมืองในเขตดุสิต กรุงเทพมหานครทั้งนี้

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมเกิดขึ้นจากการเติบโตของเศรษฐกิจทำให้มูลค่าทรัพย์สินสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของประชากรและอาคารส่งผลให้พื้นที่รับน้ำลดลง โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ไม่ได้รับการออกแบบรองรับการขยายตัวของเมือง อีกทั้งมีความหนาแน่นสูง และโอกาสพัฒนาโครงสร้างป้องกันน้ำท่วมเพิ่มเติมมีจำกัด

ความเสียหายจากน้ำท่วมในเขตอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 15.5 – 17.1% ในระยะสั้นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมกล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมสูงเนื่องจากอยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาและเผชิญน้ำท่วมตามฤดูกาลบ่อยครั้งความสำคัญของการพัฒนากลยุทธ์ที่หลากหลายและสามารถตอบสนองต่อความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สถานการณ์ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นและการขยายตัวของเมือง การวางแผนเพื่อสร้างความสามารถในการรับมือกับน้ำท่วมในอนาคต จำเป็นต้องผสานทั้งมาตรการเชิงโครงสร้างและแนวทางที่อิงกับธรรมชาติ เพื่อให้สามารถจัดการความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างความยั่งยืนของเมืองในระยะยาว นอกจากนี้จำเป็นต้องมีแผนที่น้ำท่วมที่มีความละเอียดสูงสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการตอบสนองฉุกเฉิน มีข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนเมืองในระยะยาว รวมถึงใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบมาตรการป้องกันน้ำท่วม

ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการหรือการนำไปใช้

1) กรอบการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม ผู้วางแผนเมืองสามารถ ระบุพื้นที่สำคัญที่ต้องการมาตรการป้องกัน และ จัดสรรงบประมาณด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบระบายน้ำ คันกั้นน้ำ และ แนวทางที่ใช้ธรรมชาติเป็นพื้นฐานได้ (NBS)

2) มาตรการเชิงรุกเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อสร้างความสามารถในการรับมือต่ออุทกภัยระยะยาว และเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของเมืองให้สอดคล้องกับความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรการบูรณาการโมเดลจำลองน้ำท่วมหลายมิติทั้งในเรื่องของการผสมผสานข้อมูลจาก Internet of Things (IoT) เช่น เซ็นเซอร์ระดับน้ำ อากาศ และการระบายน้ำ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง

2) พิจารณาผลกระทบของพายุที่รุนแรงขึ้นและเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝนตก

7. กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมวิจัยจาก ACTEC ประเทศญี่ปุ่น สำหรับการสนับสนุนด้านเทคนิคและความร่วมมือระหว่างประเทศ คณะทำงานจากศูนย์นวัตกรรมเพื่อการปรับตัวกับภัยน้ำ (Water Adaptation Innovation Center: WAIC) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ร่วมพัฒนาแนวคิด ออกแบบ วิเคราะห์ และจัดทำรายงานอย่าง

ครบถ้วน และทีมจาก NPPN Design and Research ที่มีบทบาทในการถ่ายทอดแนวคิดสู่ภาคปฏิบัติอย่างสร้างสรรค์

8. เอกสารอ้างอิง

- Aerts JCJH, Botzen WJW, Emanuel K, Lin N, de Moel H, Michel-Kerjan EO. (2014). Climate adaptation. Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science*.344(6183):473–75
- Asian Development Bank (ADB) (2022). Urban Climate Change Resilience in Southeast Asia: Flood Risk and Adaptation Strategies.
- Badura T, Krkoška Lorencová E, Ferrini S, Vačká řová D. (2021). Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. *Landscape and Urban Planning*. 215:104215
- Bangkok Metropolitan Administration (2020). Flood Risk Management in Bangkok: An Integrated Approach.
- Brown RR, Keath N, Wong THF. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water science and technology*
- Budhathoki A, Tanaka T, Tachikawa Y. (2023). Assessing extreme flood inundation and demographic exposure in climate change using large ensemble climate simulation data in the Lower Chao Phraya River Basin of Thailand. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 50:101583
- Canton, H. (2021). United Nations Environment Programme—UNEP. In *The Europa directory of international organizations 2021* (pp. 188-214). Routledge.
- Citaristi I. (2022). Asian Development Bank—ADB. In *The Europa Directory of International Organizations 2022*, pp. 453–57. London: Routledge
- de Moel H, Aerts JCJH. (2011). Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Nat. Hazards*. 58(1):407–25
- de Moel H, Jongman B, Kreibich H, Merz B, Penning-Rowsell E, Ward PJ. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*. 20(6):865–90

- Debele SE, Leo LS, Kumar P, Sahani J, Ommer J, et al. (2023). Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: A global analysis of NBS case studies. *Sci. Total Environ.* 902:165824
- Dutta D, Niu S. (2005). Impacts of Sea level rising on flooding in coastal cities: a case study in Bangkok, Thailand. *SEISAN KENKYU*
- Goeyinsup K. (2022). Impacts of future sea level rise on fluvial and coastal flood risk in Bangkok, Thailand
- Grossi P, Kunreuther H, eds. (2005). *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*. Boston: Kluwer Academic Publishers
- Haasnoot M, Di Fant V, Kwakkel J, Lawrence J. (2024). Lessons from a decade of adaptive pathways studies for climate adaptation. *Global Environmental Change.* 88:102907
- Hobbie SE, Grimm NB. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 375(1794):20190124
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Iturbide M, Fernández J, Gutiérrez JM, Pirani A, Huard D, et al. (2022). Implementation of FAIR principles in the IPCC: the WGI AR6 Atlas repository. *Sci. Data.* 9(1):629
- Jha AK, Bloch R, Lamond J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*
- Jones L, Harvey B, Cochrane L, Cantin B, Conway D, et al. (2018). Designing the next generation of climate adaptation research for development. *Reg. Environ. Change.* 18(1):297–304
- Jongman B, Winsemius HC, Fraser SA, Muis S, Ward PJ. (2018). Assessment and Adaptation to Climate Change-Related Flood Risks. In *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. Oxford University Press
- Klijn E-H, Skelcher C. (2007). Democracy and governance networks: compatible or not? *Public Adm.* 85(3):587–608

- Kumar P, Debele SE, Sahani J, Rawat N, Marti-Cardona B, et al. (2021). An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*. 217:103603
- Lee H, Calvin K, Dasgupta D, Krinner G, Mukherji A. 2023. IPCC, (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the ...
- MacLean SB, Vytiniotis A, Sykora DW. (2020). Laboratory testing and engineering analysis of an underground stormwater detention system. *Geo-Congress 2020*, pp. 60–69. Reston, VA: American Society of Civil Engineers
- Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. ... sixth assessment report ...
- Meyer V. (2018). Decision support on flood management in complex urban settings. is risk assessment the right approach or do we need decision heuristics? In *Urban Transformations*, Vol. 10, eds. S Kabisch, F Koch, E Gawel, A Haase, S Knapp, et al., pp. 363–73. Cham: Springer International Publishing
- Nicholls RJ, Cazenave A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*. 328(5985):1517–20
- Nilubon P, Laeni N. (2024). Re-thinking new possibilities for urban climate resilience planning in Bangkok: Introducing adaptation pathways through a multidisciplinary design workshop. *Environmental Science & Policy*. 154:103711
- Nilubon P, Veerbeek W, Zevenbergen C. (2016). Amphibious architecture and design: A catalyst of opportunistic adaptation? – case study bangkok. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 216:470–80
- Nilubon P, Veerbeek W, Zevenbergen C. (2019). Integrating climate adaptation into asset management planning – Assessing the adaptation potential and opportunities of an urban area in Bangkok. *International Journal of Water Resources Engineering*
- Nilubon P. (2021). *Opportunistic Adaptation: Using the Urban Renewal Cycle to Adapt to Climate Change*. London: CRC Press

- Patel A, Keriwala N, Mehta D, Shaikh M, Eslamian S. (2023). Flood resilient plan for urban area: A case study. In *Disaster Risk Reduction for Resilience: Climate Change and Disaster Risk Adaptation*, eds. S Eslamian, F Eslamian, pp. 161–90. Cham: Springer International Publishing
- Patil DD, Wadhai VM, Gokhale JA. (2010). Evaluation of decision tree pruning algorithms for complexity and classification accuracy. *IJCA*. 11(2):23–30
- Peterson LA, Gallagher PM, Spatari S. (2022). Life cycle environmental impact of underground plastic recharge chambers in stormwater management. *Buildings*. 12(6):867
- Pinto LV, Inácio M, Pereira P. (2023). Green and blue infrastructure (GBI) and urban nature-based solutions (NbS) contribution to human and ecological well-being and health. *Oxford Open Infrastructure and Health*. 1:
- Quinlan JR. (1987). Simplifying decision trees. *Int. J. Man Mach. Stud*. 27(3):221–34
- Raška P, Bezak N, Ferreira CSS, Kalantari Z, Banasik K, et al. (2022). Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *J. Environ. Manage*. 310:114725
- Rosenzweig B, Montalto FA, Orton P, Kaatz J, Maher N, et al. (2024). NPCC4: Climate change and New York City’s flood risk. *Ann. N. Y. Acad. Sci*.
- Rosenzweig BR, McPhillips L, Chang H, Cheng C, Welty C, et al. (2018). Pluvial flood risk and opportunities for resilience. *WIREs Water*. 5(6):e1302
- Rossi B, Marique A-F, Glaumann M, Reiter S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment*. 51:395–401
- Schipper ELF. (2007). *Climate change adaptation and development: Exploring the linkages*. Tyndall centre for climate change research working ...
- Scolobig A, Linnerooth-Bayer J, Pelling M, Martin JGC, Deubelli TM, et al. (2023). Transformative adaptation through nature-based solutions: a comparative case study analysis in China, Italy, and Germany. *Reg. Environ. Change*. 23(2):69
- Shi L, Chu E, Anguelovski I, Aylett A, Debats J, et al. (2016). Roadmap towards justice in urban climate adaptation research. *Nat. Clim. Chang*. 6(2):131–37

- Singkran N, Kandasamy J. (2016). Developing a strategic flood risk management framework for Bangkok, Thailand. *Nat. Hazards*. 84(2):933–57
- Smith A, Bates PD, Wing O, Sampson C, Quinn N, Neal J. (2019). New estimates of flood exposure in developing countries using high-resolution population data. *Nat. Commun*. 10(1):1814
- United Nations (UN). (2022). *World Cities Report (2022)*. United Nations (UN).
- Wang L, Zhao J, Lin Y, Chen G. 2024. Exploring ecological carbon sequestration advantage and economic responses in an ecological security pattern: A nature-based solutions perspective. *Ecol. Modell*. 488:110597
- Ward PJ, Marfai MA, Yulianto F, Hizbaron DR, Aerts JCJH. (2011). Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *Nat. Hazards*. 56(3):899–916
- Wise RM, Fazey I, Stafford Smith M, Park SE, Eakin HC, et al. (2014). Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*. 28:325–36
- World Bank (2012). *Thai flood 2011: Rapid assessment for resilient recovery and reconstruction planning: Overview (English)*. Washington, DC: World Bank.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/677841468335414861/Overview>
- Zheng HW, Shen GQ, Wang H. (2014). A review of recent studies on sustainable urban renewal. *Habitat Int*. 41:272–79