# การออกแบบและวางแผนจัดการน้ำเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในเขตป้องกันเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

# Water Sensitive Design and Planning for Sustainable Development in the Buffer Zone of Luang Prabang World Heritage City, Lao People's Democratic Republic

เกอมัว ต่งปอ[1*] ศิริชัย หงษ์วิทยากร[2] ณัชวิชญ์ ติกุล[2] และ ปรัชมาศ ลัญชานนท์[2]

Kermoua Tongpor[1*] Sirichai Hongvityakorn[2] Nachawit Tikul[2] and Pradchamas Lanchanon[2]

[1*] *นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290*

[2] *อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290*

[1*] *Graduate student in Master of Architecture and Environmental Design Faculty, Maejo University, Phrao-Chiangmai Rd, Nonghan, Sansai District, Chiangmai, Thailand 50290*

[2] *Lecturer in Master of Architecture and Environmental Design Faculty, Maejo University, Phrao-Chiangmai Rd, Nonghan, Sansai District, Chiangmai, Thailand 50290*

**Corresponding author, E-mail: somchayy@gmail.com*

---

**บทคัดย่อ**

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนในปัจจุบัน และ 2) เพื่อออกแบบและวางแผนกักเก็บน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่เมืองอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบาง เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยการกำหนดพื้นที่เขตป้องกันเมืองมรดกโลกที่มีปัญหาการเกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุด มีขนาด 570 ไร่ ครอบคลุม 8 หมู่บ้านในเขตป้องกันมรดกโลก ซึ่งได้แก่ หมู่บ้านทาดหลวง ป่องคำ มะโน เวียงไซ นาเวียงคำ ทาดโบสด วิชุน และหมู่บ้านหมื่นนา เป็นกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่โดยเฉพาะข้อมูลด้านพื้นที่ทึบน้ำ พื้นที่หนองน้ำ ลักษณะของดิน ลักษณะพืชพรรณ และ ลักษณะความลาดชัน และทำการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูลเพื่อหาพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่า และออกแบบวางแผน จากการศึกษาพบว่า การจัดการน้ำฝนในพื้นศึกษามีประสิทธิภาพต่ำ โครงสร้างพื้นฐานเมืองหลวงพระบางได้รับการออกแบบเพื่อเน้นการระบายน้ำออกจากพื้นที่เป็นหลัก ลักษณะพื้นผิวการก่อสร้างใช้วัสดุทึบน้ำเป็นจำนวนมากโดยไม่จำเป็น ไม่มีการควบคุมการขยายพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบ ไม่นิยมกักเก็บน้ำฝนด้วยอุปกรณ์ถังเก็บน้ำ และไม่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนคลองระบายน้ำที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่เป็นคลองคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่ให้ได้มากและเร็วที่สุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าออกจากพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 8.62 ลบ.ม./วินาที ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่ามากที่สุดเกิดจากพื้นผิวหลังคาและพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุดได้แก่ หมู่บ้านเวียงไซ หมู่บ้านป่องคำ และหมู่บ้านนาเวียงคำเป็น จากการเปรียบเทียบก่อนและหลังการออกแบบวางแผนจัดการน้ำไหลบ่าตามแนวคิดต้นแบบของ WSUD และ LID พบว่า สามารถลด

ปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ได้ถึงร้อยละ 42.46 ซึ่งจากปริมาณน้ำไหลบ่า (Q )= 8.62 ลบ.ม./วินาที เหลือ 4.92 ลบ.ม./วินาที

***คำสำคัญ:*** *น้ำไหลบ่า สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ การกักเก็บน้ำ*

**Abstract**

The objectives of this study were to: 1) investigate the efficiency of current stormwater management and 2) design and plan water sensitivity to reduce the amount of runoff to Luang Prabang the world's heritage town for the occurrence of sustainable development. The buffer zone of Luang Prabang suffers from surface runoff that covers an area of 570 rai or 8 villages namely Thatluang, Mano, Viengxay, Pongkham, Naviengkham, Thabosot, Visune and Meunna. The data were collected using field survey particularly on impervious area, water area, soil type, plant varieties and slope. The obtained data were analyzed for finding the surface runoff areas. Results of the study revealed that the efficiency of the stormwater management in the locale of study was found at a low level. The infrastructure of Luang Prabang was designed focusing mainly on water drainage out of the town mostly constructed by using impervious materials. There was no control on the expansion of the impervious area, rain storage by using a water tank was not popular there. Most drainage swales were concrete. It was aimed to accelerate water drainage as fast as possible. According to an analysis, it was found that an amount of runoff out of locale of the study was 8.62 cubic meters per second. A high amount of runoff was found mostly from the roof of buildings and the areas with the highest amount of runoff was found at villages namely Viengxay, Pongkham and Naviengkham. Based on a comparison study, it was found that water runoff can be reduced by 42.46 percent (from 8.6 to 4.92 cubic meters per second) after the design and planning of stormwater management in accordance with the WSUD and LID concepts.

***Keywords:*** *surface runoff, coefficient of runoff, water storage*

## 1. บทนำ

"น้ำ คือ ชีวิต ซึ่งน้ำมีหลักสำคัญว่า คนต้อง มีน้ำบริโภค และใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกเพราะชีวิตอยู่ที่น้ำ ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้" เป็นพระราชดำรัสความตอนหนึ่งของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในราชอาณาจักรไทย หลวงพระบางเป็นเมืองที่เก่าแก่แห่งหนึ่งในแถบแนวแม่น้ำโขง สร้างขึ้นเมื่อเมื่อประมาณปี ค.ศ.1353 โดยอาศัยความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ และที่ตั้งชัยภูมิที่ดีของแม่น้ำเป็นจุดแข็งในการตั้งถิ่นฐานเช่น อาศัยแม่น้ำโขงและแม่น้ำคานเป็นคูเมืองในการป้องกันการโจมตีของศัตรู ใช้แม่น้ำเป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งที่สำคัญของเมืองหลวงพระบางกับเมืองอื่น ๆ ของอาณาจักรล้านช้างในสมัยนั้น น้ำในหลวงพระบางจึงได้สัมพันธ์กับพื้นฐานวัฒนธรรม และวิถีชีวิตของชาวเมืองหลวงพระบางมาโดยตลอดซึ่งนอกจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน ใช้น้ำในการทำเกษตรกรรมแล้วยังใช้น้ำในการทำพิธีทางศาสนา เช่น การลอยกระทง เทศการสงกรานต์ (บุญหดน้ำ) และเทศกาลช่วงเรือเป็นต้น นอกจากนี้ชาวเมืองหลวงพระบางยังมีความเชื่อที่เล่าต่อกันมาว่า มีพญานาคถึง 15

วงศ์ตระกูลกระจายอยู่ในหนองน้ำจุดต่าง ๆ ของเมือง และคอยปกป้องดูแลความสงบสุขให้แก่ชาวเมืองหลวงพระบางมาตลอด จากความเชื่อ วิถีชีวิต วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม และ ชัยภูมิที่ดีสวยงามและอุดมสมบูรณ์นี้ จึงทำให้เมืองหลวงพระบางกายเป็นเมืองมรดกโลกขององค์การ UNESCO ในปี ค.ศ. 1995 ภายใต้ 3 เงื่อนไขหลัก เช่น 1) เป็นเมืองที่ยังคงอุดมสมบูรณ์ไปด้วยมรดกทางวัฒนธรรม จารีตประเพณี และความเชื่อที่สัมพันธ์กับวิถีชีวิตอันดีงามโดยยึดหลักธรรมทางศาสนาพุทธเป็นแนวทางในการดำรงชีวิต 2) เป็นเมืองที่ยังมีมรดกทางสถาปัตยกรรมอันเก่าแก่หลายแห่งที่สะท้อนถึงความประณีต ความคิดสร้างสรรค์ และความระเอียดอ่อนของคนในยุคก่อน และ 3) เป็นเมืองที่ยังมีระบบนิเวศ สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติที่ยังคงความอุดมสมบูรณ์ และหลากหลาย ซึ่งหนึ่งในพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้ขึ้นบัญชีขององค์การ UNESCO คือ พื้นที่หนองน้ำจำนวน 183 หนอง มีขนาดพื้นที่ 94,207 ตารางเมตร (องค์การ UNESCO หลวงพระบาง, 2554)

หลังจากเข้าเป็นเมืองมรดกโลก หลวงพระบางได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด มีนักท่องเที่ยวเข้ามามากขึ้นเรื่อยๆ แขนงการบริการมีการขยายตัวเป็นเงาตามตัว ได้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำของเมืองอย่างมาก โดยเฉพาะเรื่องน้ำเสียที่ปล่อยจากชุมชน และหน่วยบริการต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติภายในเมือง พื้นที่น้ำหลายจุดถูกปรับสภาพพื้นผิวใหม่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจอื่น (วิไลสัก พูลิพัน, 2556) จากการปลูกสร้างขยายต่อเติมบ้านเรือน อาคารพาณิชย์โรงแรม ร้านอาหาร รวมถึงถนนและพื้นที่สาธารณะต่างๆเพื่อความสะดวกสบายในการเข้าถึง และการบริการการท่องเที่ยว ทำให้เกิดพื้นที่ทึบน้ำเป็นบริเวณกว้าง (UDAA Luang Prabang, 2556) ในขณะที่น้ำฝนที่ตกลงในเมืองหลวงพระบางมีปริมาณมากถึง 1500-3000 มิลลิเมตรต่อปี (กรมอุตุและธรณีศาสตร์แขวงหลวงพระบาง, 2557) ได้ทำให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่า (runoff) บนผิวดินในอัตราที่สูงและได้พัดเอาขยะมูลฝอย สิ่งเจือปน สารพิษ และโลหะหนักต่างๆลงสู่แหล่งน้ำ และ หนองปลาที่ขึ้นบัญชีของมรดกโลกเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดความเสียหาย เช่น การทับถมสิ่งเศษเหลือเข้าในหนองปลา ทำให้เกิดการตื้นเขิน ปลา ตายเป็นจำนวนมาก (องค์การ UNESCO หลวงพระบาง, 2554)

จากการทำหน้าที่เป็นเมืองศูนย์กลางของจังหวัด และทั้งยังเป็นเมืองท่องเที่ยวระดับโลก ทำให้เทศบาลเมืองหลวงพระบางมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเห็นจากอัตราการเพิ่มขึ้นสูงถึง 4.5% ต่อปี จำนวนประชากรในเทศบาลเมืองมรดกโลกหลวงพระบางที่มีเพียง 12,000 คนในปี ค.ศ. 1995 เพิ่มมาเป็น 55,989 คนในปี 2009 (ธีระพงศ์ โพธิ์มั่น, 2553) และคาดการณ์ว่า จำนวนประชากรในพื้นที่บริเวณเทศบาลเมืองมรดกโลกหลวงพระบางยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราสูงแบบนี้ไปอีกหลายปี ซึ่งจะมีประชากรมากถึง 100,000 คนในปี ค.ศ.2025 (UDAA Luang Prabang, 2556)

ข้อมูลดังกล่าวได้สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการในการขยายพื้นที่เพื่ออยู่อาศัย และ ระบบโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อรองรับจำนวนประชากรดังกล่าว ย่อมหมายถึงว่าจะมีการเพิ่มพื้นที่ทึบน้ำขยายเป็นวงกว้างตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำมรดกอย่างแน่นอนและจะส่งผลในทางลบถึงความยั่งยืนของเมืองมรดกโลกหลวงพระบางอีกด้วย ถ้าขาดแนวทางการวางแผนจัดการที่ถูกต้องและทันการ เมืองหลวงพระบางอาจถูกถอนออกจากบัญชีขององค์การ UNESCO ในที่สุดก็ได้ เพราะความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมธรรมชาติคือ 1 ใน 3 เงื่อนไขหลักที่เมืองหลวงพระบางได้ขึ้นทะเบียนเป็นเมืองมรดกโลก และเป็น 1ใน 3 ปัจจัยพื้นฐานของหลักการพัฒนาที่ยั่งยืน ในขณะที่วิสัยทัศน์การพัฒนาของเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง

ได้กำหนดไว้ว่า 1) อนุรักษ์เมืองหลวงพระบางให้เป็นเมืองมรดกโลกตลอดไป 2) ส่งเสริมเมืองหลวงพระบางให้เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวด้านวัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ และธรรมชาติ 3) พัฒนาเมืองหลวงพระบางให้เป็นสวนอุทยานที่มีชีวิตชีวา เป็นเมืองน่าอยู่และเมืองสภาพแวดล้อมดี 4) สร้างเมืองหลวงพระบางให้เป็นศูนย์กลางศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประวัติศาสตร์วัฒนธรรมของลาว (องค์การ UNESCO หลวงพระบาง, 2556) ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงแนวทางการออกแบบ และวางแผนการจัดการน้ำในเขตพื้นที่ป้องกันเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง เพื่อรักษาระบบสิ่งแวดล้อมธรรมชาติโดยเฉพาะระบบนิเวศน้ำให้เกิดความสมบูรณ์และเกิดสมดุลกับเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆกับการอนุรักษ์เมืองมรดกและการพัฒนาเมืองแบบยั่งยืนต่อไป ซึ่งผู้ศึกษาหวังว่าบทวิจัยนี้จะเป็นฐานข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อองค์การ UNESCO องค์การพัฒนาและบริหารตัวเมือง กรมโยธา กรมการส่งเสริมท่องเที่ยว แขนงสิ่งแวดล้อม และภาคส่วนอื่นๆที่เกี่ยวข้องรวมถึงประชาชนอีกด้วย

**2. วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการจัดการน้ำเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง

2. เพื่อออกแบบ และวางแผนลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบาง

**3. วิธีการวิจัย**

3.1 ขอบเขตเนื้อหา

ศึกษาการจัดการน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าภายในเมืองมรดกโลกหลวงพระบางโดยเน้นศึกษาการกักเก็บน้ำ การหน่วงน้ำ และ การระบายน้ำ ตามหลักการและแนวคิดต้นแบบของ (Water Sensitive and Urban Design; WSUD) และแนวคิดต้นแบบการพัฒนาที่ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Low Impact Development; LID) รวมถึงการศึกษาแนวคิดการลดน้ำไหลบ่า (runoff reduction method) ของ Chesapeake Stormwater Network (SCN) ตามหลักการ Best Management Practices (BMP) โดยผ่านกรณีศึกษาของโครงการลดน้ำไหลบ่าใน Chesapeake bay โดย David Hirschman and Kelly Collins Center, 2008

3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

กำหนดพื้นที่ป้องกัน (Buffer Zone) เขตอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบางขององค์การยูเนสโก มีขนาดพื้นที่ทั้งหมด 570 ไร่ ครอบคลุม 8 หมู่บ้านในเขตใจกลางเทศบาลเมือง ได้แก่ หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านมะโน หมู่บ้านป่องคำ หมู่บ้านเวียงไซ หมู่บ้านนาเวียงคำ หมู่บ้านทาดโบสด หมู่บ้านวิชุน และหมู่บ้านหมื่นนา เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีหนองน้ำที่ขึ้นบัญชีขององค์การ UNESCO เป็นจำนวนมาก และได้รับผลกระทบจากน้ำไหลบ่ามากที่สุดในปัจจุบัน

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เป็นการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยการสำรวจข้อมูลทางกายภาพในภาคสนามกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลทุติยภูมิจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลลักษณะของดินและข้อมูลเส้นความสูง (contour)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการนำเข้าข้อมูลผ่านโปรแกรม Arc GIS 10.1 และสร้างเป็นแผนที่ข้อมูล จากนั้นใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay data) จากชั้นข้อมูลทั้งหมดที่เป็นตัวแปรต่อการเกิดน้ำไหลบ่าโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์พื้นที่ศักยภาพ (Potential Surface Analysis) หรือ (PSA) ด้วยการวางเกณฑ์ในการให้คะแนนตามค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำใน

ตารางของ ศิริชัย หงษ์วิทยากร และคณะ (2549) โดยกำหนด พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.85 \leq C \leq 1.00$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก เป็น (Zone A) พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.70 \leq C \leq 0.85$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตรามาก เป็น (Zone B) พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.50 \leq C \leq 0.70$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง เป็น (Zone C) พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $C < 0.50$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย เป็น (Zone D)

3.5 การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่า

การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าใช้สูตรพื้นฐาน Q = CIA โดยใช้หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที ซึ่ง

Q = ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด คิดเป็น ลบ.ม./วินาที

C = ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำบนพื้นผิว โดยใช้ตารางค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำบนพื้นผิวของ ศิริชัย หงษ์วิทยากร และคณะ. (2549) และ ปรับใช้อัตราความสามารถการลดน้ำไหลบ่าตามแต่ละแนวคิดการออกแบบของโดย David Hirschman and Kelly Collins Center. (2009)

I = ความเข้มของฝน คิดเป็น มิลลิเมตร/ชั่วโมง ใช้ข้อมูลจาก กรมอุตุ และธรณีศาสตร์แขวงหลวงพระบาง. (2557)

A = พื้นที่รับน้ำฝน คิดเป็นตารางเมตร

3.6 อุปกรณ์ใช้ในการวิจัย

3.6.1 Hardware

ซึ่งประกอบด้วย เครื่อง GPS 1 ชุด เครื่องบันทึกภาพจำนวน 1 ชุด เครื่อง Computer Notebook 1 ชุด เครื่อง Ipad (New Ipad) 1 เครื่องเพื่อนำทาง และเครื่องเขียน ปากกา กระดาษขาว และ แผนที่ที่สร้างไว้ 1 ชุด

3.6.2 software

ซึ่งประกอบด้วย ระบบปฏิบัติการ Window 7 โปรแกรม ArcGIS 10.1 โปรแกรม Auto cad civil 3D 2012 โปรแกรม Adobe Photoshop CS5 โปรแกรม Google Earth และโปรแกรมUniversal Maps Downloader

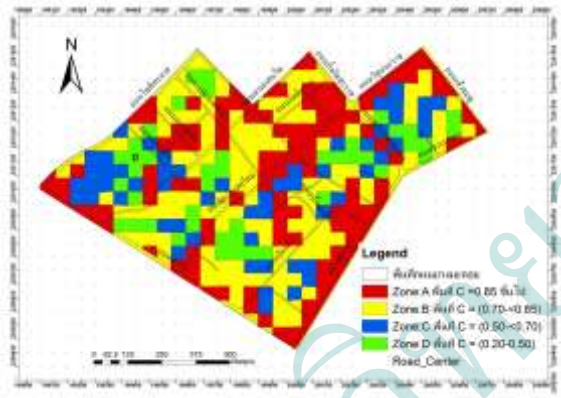
**4. ผลการวิจัย**

4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการจัดการน้ำ

ผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่เกิดน้ำพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.86 มีพื้นที่ 183.95 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32.27 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด Q = 3.45 ลบ.ม./วินาที พื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตรามากมีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.77 มีพื้นที่ 219.56 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 38.52 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด Q = 3.69 ลบ.ม./วินาที พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง มีสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.53 มีพื้นที่ 93.41ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 16.39 ปริมาณน้ำไหลบ่า Q = 1.08 ลบ.ม./วินาที ส่วนพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ย C = 0.25 มีพื้นที่ 73.08 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 12.82 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด Q = 0.40 ลบ.ม./วินาที และ สัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่า 0.69 ส่วนพื้นผิวเกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ พื้นผิวหลังคา พื้นผิวพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น และพื้นผิวถนนยางมะตอยและพื้นที่คอนกรีต

**ตารางที่ 1** แสดงปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ต่างๆ

| Zone | สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ C | | C เฉลี่ย | พื้นที่ ($m^2$) | ปริมาณน้ำไหลบ่าเฉลี่ย Q = m3/s |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 0.85 | 1.00 | 0.86 | 294,320.44 | 3.45 |
| B | 0.70 | 0.85 | 0.77 | 351,299.60 | 3.69 |
| C | 0.50 | 0.70 | 0.53 | 149,456.97 | 1.08 |
| D | 0.20 | 0.50 | 0.25 | 116,922.99 | 0.40 |
| | Total | | 0.69 | 912,000.00 | 8.29 |




**รูปที่ 1** แผนที่แสดงพื้นทีเกิดน้ำไหลบ่าในระดับต่างๆ

4.2 การออกแบบวางแผนลดปริมาณน้ำไหลบ่า

การเลือกแนวความคิดในการออกแบบเพื่อปรับใช้กับพื้นที่มรดกโลกหลวงพระบางนั้นผู้ศึกษาได้ปรับใช้แนวคิดต้นแบบของการจัดการน้ำของ (WSUD) (LID) และหลักการ (BMP) โดยผ่านกรณีศึกษาของโครงการ Chesapeake bay โดย David และ Kelly, 2008 โดยผ่านการพิจารณาตาม 3 เงื่อนไขอ้างอิงหลักคือ 1) อิงตามตัวแปรที่เป็นปัญหาตัวจริงในพื้นที่ซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ 2) อิงตามความเหมาะสมของแนวความคิดต่อกับปัญหานั้นๆและสามารถแก้ไขปัญหาได้จริงซึ่งได้มาจากการศึกษาภาคทฤษฎี และ 3) เป็นแนวคิดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นมรดกโลกของหลวงพระบาง ซึ่งเห็นได้จากแนวความคิดนั้นไม่นอนอยู่ในบรรดาข้อห้ามของระเบียบการก่อสร้างในเมืองมรดกหลวงพระบาง จึงเห็นว่า 9 แนวความคิดต่อไปนี้มีความเหมาะสมต่อบริบทพื้นที่หลวงพระบาง ซึ่งได้แก่ การทำสวนหลังคา (green roof) การเก็บน้ำด้วยถัง (rain tanks and cisterns) การทำร่องปลูกหญ้า (bio-swale) การทำรางตื้นซับน้ำ (infiltration trench) ทำระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-detention) การทำพื้นด้วยวัสดุซึมน้ำ (porous paving) การทำสวนน้ำฝน (rain garden) การทำที่ชุ่มน้ำ (constructed wetland) การแก้ไขปรับปรุงดิน (soil amendments) โดยออกแบบเป็นพื้นที่ต้นแบบ (prototype) ตามแต่ละพื้นที่ที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตราสูง เช่น พื้นที่ (Zone A,B,C) หลังการออกแบบพบว่า สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้มากถึงร้อยละ 42.46 ดังแสดงในตารางที่ 2 ต่อไปนี้

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลบ่าก่อน และ หลังการออกแบบ

| Zone | Q ก่อนออกแบบ | Q หลังออกแบบ | สัดส่วนที่ลดได้ % |
|---|---|---|---|
| A | 3.45 | 1.81 | 47.51 |
| B | 3.69 | 2.34 | 36.50 |
| C | 1.08 | 0.37 | 65.19 |
| D | 0.40 | 0.40 | 0.00 |
| Total | 8.62 | 4.92 | 42.46 |

**รูปที่ 2** การออกแบบพื้นที่ต้นแบบ (Zone A)

**5. การอภิปรายผล**

5.1 ประสิทธิภาพการจัดการน้ำ

จากการศึกษาวิเคราะห์พบว่า เมืองหลวงพระบางได้รับการออกแบบมาเพื่อเน้นการระบายน้ำออกจากพื้นที่เป็นหลัก ไม่ได้คำนึงถึงการกักเก็บน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า เห็นได้จากลักษณะพื้นผิวก่อสร้างที่ใช้วัสดุทึบน้ำเป็นจำนวนมาก ไม่มีระเบียบควบคุมการขยายพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบ ไม่นิยมการกักเก็บน้ำฝนด้วยอุปกรณ์ถังเก็บน้ำ หนองน้ำถูกถมจากการตกตะกอนของน้ำไหลบ่าในอัตรา 1.3% ต่อปี หรือเท่ากับ 848 ตารางเมตรต่อปี หากปล่อยให้เป็นแบบนี้ต่อไปหนองน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาจะถูกถมจนหมดภายในระยะเวลา 77 ปี หรือถูกถมหมดในปี ค.ศ.2091 คลองระบายน้ำที่สร้างขึ้นส่วนหลายเป็นคลองคอนกรีต ปริมาณน้ำไหลบ่ารวมของพื้นที่มีค่าเท่า Q = 8.29 ลบ.ม./วินาที พื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากที่สุดอันดับแรกได้แก่พื้นที่ zone: B คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 42.80 ของปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมด ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่หมู่บ้านมะโน หมู่บ้านป่องคำ หมู่บ้านนาเวียงคำ และหมู่บ้านเวียงไช พื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากอันดับที่ 2 ได้แก่พื้นที่ zone: A คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 40.05 พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ หมู่บ้านนาเวียงคำ ทาดโบสด และ หมู่บ้านเวียงไช ส่วนพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากเป็นอันดับที่ 3ได้แก่พื้นที่ zone: C มีสัดส่วนปริมาณน้ำไหลบ่าร้อยละ 12.53 พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านมะโน ป่องคำ และหมู่บ้านทาดโบสด

5.2 การออกแบบวางแผนลดปริมาณน้ำไหลบ่า

จากการออกแบบลดปัญหาน้ำไหลบ่าจากพื้นผิวประเภทต่างๆโดยการออกแบบพื้นที่ต้นแบบตามแนวคิดของ WSUD และ LID ได้ใช้แนวคิดการทำสวนบนหลังคา (rooftop garden) ในพื้นที่ที่หลังคาดาดฟ้า แนวคิดสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (porous paving) ออกแบบแทนพื้นที่คอนกรีตที่ไม่จำเป็น แนวคิดทำร่องปลูกหญ้า (bio swale)และรางตื้นซับน้ำ (infiltration trench) เพื่อชดเชยพื้นที่ซึมน้ำที่เสียไปจากการสร้างถนน และ อาคาร ใช้แนวคิดสร้างสวนน้ำฝน (rain garden)กับพื้นที่ดินเปลือยและพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น แนวคิดการกักเก็บน้ำด้วยระบบพืชพรรณและแนวคิดการเก็บน้ำฝนด้วยถังเก็บน้ำ ผลการคำนวณพบว่า สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ถึงร้อยละ 42.46 จาก Q = 8.62 ลบ.ม./วินาที ลดเหลือ 4.92 ลบ.ม./วินาที

**6. บทสรุป**

6.1 การจัดการน้ำฝนในพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบางมีประสิทธิภาพต่ำ

6.2 การออกแบบและวางแผนจัดการน้ำตามแนวคิดของ WSUD และ LID สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ถึงร้อยละ 42.46 เป็นแนวคิดพัฒนาตัวเมืองไปตามแนวทางที่ยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

1. เสนอให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องปรับปรุงระเบียบควบคุมการปลูกสร้างโดยเฉพาะการขยายพื้นที่คอนกรีตหรือพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบที่ส่งผลต่อการกักเก็บและระบายน้ำ

2. หากมีความจำเป็นในการสร้างพื้นที่ทึบน้ำควรสร้างพื้นที่รับน้ำเพื่อชดเชยพื้นที่ทึบน้ำที่เสียไป อย่างเช่น การใช้พื้นที่เพื่อสร้างอาคาร ควรคำนวณว่าพื้นที่ซึมซับน้ำที่เสียไปมีเท่าไรและต้องสร้างระบบกักเก็บน้ำใหม่ขึ้นมาชดเชย

3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรนำแนวคิดการออกแบบของการศึกษาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเมืองเพื่อก้าวสู่เมืองท่องเที่ยวสีเขียวให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

**7. กิตติกรรมประกาศ**

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริชัย หงส์วิทยากรซึ่งรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะ วางแนวทาง ตลอดจนช่วยให้ข้อมูล และ เอกสารที่เกี่ยวข้องต่างๆสำหรับการดำเนินวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งการเขียนบทวิจัยได้สำเร็จ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัชวิชญ์ ติกุล และ ดร.ปรัชมาศ ลัญชานนท์ รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงค์ วาฤทธิ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์ นอกนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ องค์การ TICA ที่เป็นผู้สนับสนุนหลักในด้านทุนการศึกษา รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่คอยดูแล และ อำนวยความสะดวกทุกอย่างให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนทุกคนที่ได้ให้กำลังใจช่วยเหลือกันมา ขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเพื่อนทุกท่านในเมืองมรดกโลกหลวงพระบางที่ได้อำนวยความสะดวกในการสนองข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณ แม่ และน้องๆในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและส่งเสริมการศึกษาของข้าพเจ้าครั้งนี้

**8. เอกสารอ้างอิง**

กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์. (2557). ลักษณะน้ำฝนในหลวงพระบาง. จังหวัดหลวงพระบาง: กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์หลวงพระบาง.7 น.

ธีระพงศ์ โพธิ์มั่น. (2553). การท่องเที่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ กรณีศึกษาวัดเชียงทองและปริมณฑลหลวงพระบาง.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 218.

วิไลสัก พูลิพัน. (2556). ศึกษาระบบระบายน้ำเปื้อนออกจากที่อยู่อาศัยของชุมชนในเขตมรดกโลกหลวงพระบาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว. 113 น.

ศิริชัย หงส์วิทยากร ดารณี ด่านวันดี ลักษณา สัมมานิธิ พีรการติ์ บรรเจิดกิจ สมคิด แก้วทิพย์ เยาวนิตย์ ธาราฉาย ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล ธรรมรงค์ สิงห์อยู่เจริญ วราภา วรพิชโยทัย ไพศาล กาญจนวงค์ และ เพ็ญรัตน์ หงส์วิทยากร. (2549). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียวเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และพื้นที่โดยรอบ. กรุงเทพฯ: สำนักงานและแผนทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม. 150 น.

องค์การ UNESCO หลวงพระบาง. (2554). สำรวจพื้นที่แหล่งน้ำมรดกในพื้นที่มรดกโลกหลวงพระบาง. องค์การ UNESCO หลวงพระบาง. น.1-65. ในรายงานการจัดการน้ำในพื้นที่แหล่งน้ำมรดกโลกประจำปี 2554.

องค์การ UNESCO หลวงพระบาง. (2556). แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.luangprabangheritage.org/index.php/lo/strategy-lao.html (15 มกราคม 2557)

UDAA Luang Prabang. (2556). การออกแบบและปฏิบัติแผนแม่บทระบบร่องระบายน้ำฝนและน้ำเปื้อนเทศบาลเมืองหลวงพระบาง. เมืองหลวงพระบาง: องค์การพัฒนา และบริหารตัวเมืองหลวงพระบาง. 242.

University of Arkansas Community Design Center (UACDC). (2010). Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas. University of Arkansas: Fay Jones school of rchitecture. 227.

David Hirschman and Kelly Collins. (2008). CSN Technical bulletin No. 4 Technical support for The Bay-wide runoff reduction method. Chesapeake: Center for watershed protection and Chesapeake Stormwater Network. 49.

มหาวิทยาลัยรังสิต