การออกแบบและวางแผนจัดการน้ำเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในเขตป้องกัน เมืองมรดกโลกหลวงพระบางสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

เกอมัว ต่งปอ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

การออกแบบและวางแผนจัดการน้ำเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในเขตป้องกัน
เมืองมรดกโลกหลวงพระบางสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

โดย

เกอมัว ต่งปอ

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....

(รองศาสตราจารย์ศิริชัย หงษ์วิทยากร)

วันที่ 13 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัชวิชญ์ ติกุล)

วันที่ 13 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(อาจารย์ ดร.ปรัชมาศ ลัญชานนท์)

วันที่ 13 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2558

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....

(อาจารย์ ดร.พันธุ์ระวี กองบุญเทียม)

วันที่ 13 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2558

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2558

ชื่อเรื่อง การออกแบบและวางแผนจัดการน้ำเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ในเขตป้องกันเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ชื่อผู้เขียน นายเกอมัว ต่งปอ

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ศิริชัย หงษ์วิทยากร

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนในปัจจุบัน และ 2) เพื่อออกแบบและวางแผนกักเก็บน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่เมืองอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบาง เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยการกำหนดพื้นที่เขตป้องกันเมืองมรดกโลกที่มีปัญหาการเกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุด มีขนาด 570 ไร่ ครอบคลุม 8 หมู่บ้านในเขตป้องกันมรดกโลก ซึ่งได้แก่ หมู่บ้านทาดหลวง ป่องคำ มะโน เวียงไซ นาเวียงคำ ทาดโบสด วิชุน และ หมู่บ้านหมื่นนา เป็นกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่โดยเฉพาะข้อมูลด้านพื้นที่ทึบน้ำ พื้นที่หนองน้ำ ลักษณะของดิน ลักษณะพืชพรรณ และ ลักษณะความลาดชัน และทำการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูลเพื่อหาพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่า และออกแบบวางแผน

จากการศึกษาพบว่า การจัดการน้ำฝนในพื้นศึกษามีประสิทธิภาพต่ำ โครงสร้างพื้นฐานเมืองหลวงพระบางได้รับการออกแบบเพื่อเน้นการระบายน้ำออกจากพื้นที่เป็นหลัก ลักษณะพื้นผิวการก่อสร้างใช้วัสดุทึบน้ำเป็นจำนวนมากโดยไม่จำเป็น ไม่มีการควบคุมการขยายพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบ ไม่นิยมกักเก็บน้ำฝนด้วยอุปกรณ์ถังเก็บน้ำ และไม่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนคลองระบายน้ำที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่เป็นคลองคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่ให้ได้มากและเร็วที่สุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าออกจากพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 8.62 ลบ.ม./วินาที ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่ามากที่สุดเกิดจากพื้นผิวหลังคา และพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุดได้แก่ หมู่บ้านเวียงไซ หมู่บ้านป่องคำ และหมู่บ้านนาเวียงคำเป็น จากการเปรียบเทียบก่อน และ หลังการออกแบบวางแผนจัดการน้ำไหลบ่าตามแนวคิดต้นแบบของ WSUD และ LID พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ได้ถึงร้อยละ 42.46 ซึ่งจากปริมาณน้ำไหลบ่า (Q)= 8.62 ลบ.ม./วินาที เหลือ 4.92ลบ.ม./วินาที

Title	Water Sensitive Design and Planning for Sustainable Development in Buffer Zone of Luang Prabang Lao People's Democratic Republic
Author	Mr. Kermoua Tongpor
Degree of	Master of Science in Environmental Planning and Design
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Sirichai Hongvityakorn

ABSTRACT

The objectives of this study were to: 1) investigate the efficiency current stormwater management and 2) design and plan water storage plan for reducing an amount of runoff to Luang Prabang the world's heritage town for the occurrence of sustainable development. The buffer zone of Luang prabang having a problem of surface runoff covered an area of 570 rai or 8 villages namely Thatluang, Mano, Viengxay, Pongkham, Naviengkham, Thabosot, Visune and Meunna. Data were obtained by field survey particularly on impervious area, water area, soil type, plant varieties and slope. Obtained data were analyzed for finding the surface runoff areas.

Results of the study revealed that the efficiency of stormwater management in locale of the study was found at a low level. The infrastructure of Luang Prabang was designed focusing mainly on water drainage out of the town which was mostly constructed by using impervious materials. There was no control on the expansion of impervious area in the horizontal areas, rain storage by using a water tank was not popular there. Most drainage swales were concrete which 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 of highest amount of runoff was found at villages namely Viengxay, Pongkham and Naviengkham. Based on a comparision, it was found that an amount of water runoff could be reduce for 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.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริชัย หงส์วิทยากร ซึ่งรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะ วางแนวทาง ตลอดจนช่วยให้ข้อมูล และเอกสารที่เกี่ยวข้องต่างๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งการเขียนบทวิจัยได้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัชวิชญ์ ติกุล และ ดร.ปรัศมาศ ลัญชานนท์ รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอกจนช่วยตรวจสอบแก้ไข จนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ องค์การ TICA ที่เป็นผู้สนับสนุนหลักในด้านทุนการศึกษา รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่คอยดูแล และอำนวยความสะดวกทุกอย่างให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนทุกคนที่ได้ให้กำลังใจช่วยเหลือกันมา ขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเพื่อนทุกท่านในเมืองมรดกโลกหลวงพระบางที่ได้อำนวยความสะดวกในการให้ข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณ แม่ และน้องๆ ในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและส่งเสริมการศึกษาของข้าพเจ้าในครั้งนี้

เกอมัว ต่งปอ

มีนาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRATCT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
เป้าหมายการออกแบบและวางแผนการจัดการน้ำ	4
ขอบเขตเนื้อหาการศึกษา	4
ขอบเขตพื้นที่การศึกษา	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
นิยามศัพท์	7
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
ทฤษฎีการเกิดน้ำไหลบ่าและปริมาณน้ำไหลบ่า	9
แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง	20
แนวคิดและเทคนิคการออกแบบพื้นที่เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง	27
กรอบแนวคิดในการวิจัย	58
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	60
การศึกษาทฤษฎี	60
พื้นที่ศึกษา	60
การเก็บข้อมูล	60
การวิเคราะห์ข้อมูล	63
อุปกรณ์ใช้ในการวิจัย	72
สรุปแผนการดำเนินงาน	73

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบ 74

การวิเคราะห์ตัวแปรเกิดน้ำไหลบ่า 75

การวิเคราะห์พื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า 84

การวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยการเกิดน้ำไหลบ่า 88

การกำหนดแนวคิดในการออกแบบและวางแผน 88

การออกแบบ 94

การประเมินการลดปริมาณน้ำไหลบ่า Q หลังการออกแบบ 115

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 118

อภิปรายผล 119

สรุปผล 121

ข้อเสนอแนะ 121

บรรณานุกรม 122

ภาคผนวก 127

ภาคผนวก ก คำศัพท์ไทย – ลาว 128

ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย 131

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff; C)	15
2	สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C)	16
3	ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C) ตามการใช้ที่ดิน	17
4	ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C) ตามลักษณะการใช้สอยพื้นที่	9
5	ปริมาตรน้ำไหลบ่าที่ลดได้จากร่องปลูกหญ้าแห้ง	31
6	ความสามารถในการลดไหลบ่าจากพื้นปูวัสดุซึมน้ำ	35
7	ความสามารถในการลดไหลบ่าจากสวนหลังคา	41
8	สัดส่วนการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ	46
9	ความสามารถในการลดน้ำไหลบ่าของ Grass channel	51
10	การลดอัตราน้ำไหลบ่าจากการใช้ถังเก็บน้ำฝน	52
11	การลดอัตราน้ำไหลบ่าจากการซึม	54
12	ความสามารถลดน้ำไหลบ่าจากการแก้ไขดิน	56
13	ความสามารถในการลดอัตราน้ำไหลบ่าจากแนวคิดทั้งหมดของ Hirschman and Collins	57
14	สถิติปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนในพื้นที่เทศบาลเมืองหลวงพระบาง	63
15	ความเข้มของฝน	64
16	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) หลังการออกแบบ	71
17	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา	74
18	สัมประสิทธิ์การระบายน้ำตามลักษณะของดิน	76
19	ขนาดของพื้นที่แยกตามสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ	86
20	ปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ต่างๆ	87
21	ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบ (Zone : A)	115
22	ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบ (Zone : B)	116
23	ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบ (Zone : C)	117
24	เปรียบเทียบปริมาณเกิดจากพื้นที่ก่อน และ หลังการออกแบบ	120

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ที่ตั้งพื้นที่ศึกษา	5
2	ขอบเขตพื้นที่ศึกษาระดับหมู่บ้าน	6
3	สรุปทฤษฎีน้ำไหลบ่า (Surface Runoff)	13
4	แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ LID	23
5	แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ LID	23
6	แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ WSUD	24
7	สรุปปนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง	26
8	รูปหน้าตัด ของร่องปลูกหญ้า Cross Section for bioswales	28
9	ลักษณะโครงสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)	29
10	ตัวอย่างผ้ากันดินพังทลายในร่องปลูกหญ้า (biodegradable geotextiles)	30
11	การใช้ผ้ากันดินพังพลายในร่องปลูกหญ้า (biodegradable geotextiles	30
12	รูปหน้าตัดลักษณะรางตื้นซับน้ำ (Cross section of Infiltration trench)	32
13	ลักษณะการออกแบบบ่อซึม Infiltration baisn	33
14	ลักษณะพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving)	34
15	Shallow Wetland	37
16	Extended Detention (ED) Shallow Wetland	38
17	Pocket Wetland	39
18	แบบสวนบนหลังคา (Rooftop Garden)	40
19	ลักษณะการออกแบบสวนน้ำฝน	42
20	รูปตัดการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ	45
21	ลักษณะการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ Biodetention ที่ลานจอดรถ	47
22	Cross section of Micro – Bio-detention	48
23	Micro – Bio-detention Plan view	48
24	ผังหลัก Grass channel	50
25	ลักษณะการออกแบบ Grass channel	50

ภาพ		หน้า
26	ถังเก็บน้ำ Rain Tanks	52
27	อ่างเก็บน้ำ Cisterns	53
28	ลักษณะรูปตัดการออกแบบ Landscape Infiltration, Section view	55
29	ลักษณะการออกแบบคันดินกั้นน้ำ Infiltration Berm	55
30	ลักษณะการออกแบบพื้นที่ Sheetflow	57
31	กรอบแนวคิดการออกแบบและวางแผนเพื่อลดน้ำหลบ่าในหลวงพระบาง	59
32	ลักษณะความเข้มของฝนเมืองหลวงพระบาง	65
33	แผนการดำเนินงาน	73
34	แผนที่แสดงลักษณะการใช้พื้นผิว	75
35	โครงข่ายถนนยางมะตอยและลักษณะถนนยางมะตอย	77
36	ขนาดและที่ตั้งพื้นที่คอนกรีต	78
37	พื้นที่หลังคาทั่วไป หลังคาดาดฟ้า	79
38	ลักษณะอาคารที่เป็นหลังคาดาดฟ้า	80
39	พื้นที่ดินเปลือย	80
40	พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น	81
41	พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น	82
42	พื้นที่แหล่งกักเก็บน้ำน้ำ	83
43	พื้นที่ความลาดชัน	84
44	แผนที่พื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า (คำนวณด้วยค่าร้อยละ)	85
45	แผนที่กำหนดพื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า	86
46	ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : A	90
47	ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : B	91
48	ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : C	93
49	แผนที่แสดงพื้นที่อนุรักษ์เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า	94
50	แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบ Zone : A	95
51	ลักษณะการออกแบบลดน้ำไหลบ่าบริเวณอนุสาวรี สุพานุวง	95
52	แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบและลักษณะการออกแบบ Zone : B	96
53	แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบและลักษณะการออกแบบ Zone : C	97
54	สภาพหนองกักเก็บน้ำเลขที่ 136, 144 ที่ถูกถมจากการตกตะกอน	98

ภาพ		หน้า
55	ออกแบบลักษณะบ่อกักเก็บน้ำ	99
56	รูปตัดหนองกักเก็บน้ำ	99
57	ตัวอย่างนองกักเก็บน้ำหลังการออกแบบ	100
58	แผนที่แสดงพื้นที่หนองน้ำ Pond Area	101
59	สภาพปัจจุบันของหนองน้ำ 101, 102, 103, 109, 110	101
60	ผังหลักหนองเก็บน้ำ ED Pond	102
61	รูปตัดแนวยาวหนองเก็บน้ำ ED Pond	102
62	สภาพปัจจุบันของลานจอดรถหน้าอนุสาวรีย์ สุพานุวง	103
63	ภาพทัศนียภาพลานจอดรถ	103
64	ผังหลักลานจอดรถ	104
65	ผังรูปตัดขวางระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio detention)	104
66	ลักษณะการออกแบบ (ผังหลัก MASTER PLAN)	105
67	ภาพทัศนียภาพถนนทำร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)	106
68	รูปตัดร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)	106
69	ลักษณะถังเก็บน้ำในครัวเรือน	107
70	การติดตั้งถังเก็บน้ำแบบฝัง	108
71	การติดตั้งถังเก็บน้ำแบบฝัง	108
72	ลักษณะการใช้พื้นที่เพื่อติดตั้งถังเก็บน้ำ	109
73	สภาพหลังคาโรงแรมลีเจนหลวงพระบาง	111
74	รูปตัดแสดงโครงสร้างสวนหลังคา	112
75	ลักษณะภาพทัศนียภาพ	112
76	ผังหลัก MASTER PLAN รางตื้นซับน้ำ	113
77	ผังลักษณะโครงสร้างของถนนที่มีรางตื้นซับน้ำ	113
78	ลักษณะโครงสร้างทางเท้าที่นิยมใช้ในหลวงพระบาง	114
79	ลักษณะโครงสร้างทางเท้าที่ซึมน้ำได้	114

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

"น้ำ คือ ชีวิต ซึ่งน้ำมีหลักสำคัญว่า คนต้องมีน้ำบริโภค และใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูก เพราะชีวิตอยู่ที่น้ำ ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้..." เป็นพระราชดำรัสความตอนหนึ่งของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในราชอาณาจักรไทย

ปัจจุบัน น้ำได้กลายเป็นประเด็นที่สำคัญระดับโลก จนองค์การสหประชาชาติได้มีการประกาศให้มีวันน้ำโลก (World Day for Water หรือ World Water Day) ขึ้นในปี ค.ศ.1992 ซึ่งกำหนดให้วันที่ 22 มีนาคม ของทุกปี เป็นวันน้ำโลก เพื่อระลึกถึงความสำคัญของน้ำ ที่เป็นความต้องการขั้นพื้นฐาน ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลก อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวในหมู่มวลมนุษยชาติ ในเรื่องการอนุรักษ์น้ำ และการพัฒนาแหล่งน้ำ ตลอดจนดำเนินการตามข้อเสนอแนะของที่ประชุมสหประชาชาติปี 1992 ว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา หรือที่เรียกกันว่า Agenda 21 จัดขึ้นโดยองค์การน้ำแห่งสหประชาชาติ (UN Water) เนื่องจากองค์การสหประชาชาติ ได้ตระหนักถึงปัญหาการขาดแคลนน้ำที่กำลังทวีความรุนแรงมากขึ้น และอาจก่อให้เกิดปัญหาการแย่งชิงน้ำขึ้นในอนาคต (องค์การสหประชาชาติ, 2535: ระบบออนไลน์)

การพัฒนาเมืองในยุคของอุตสาหกรรม ที่เจริญรุ่งเรืองไปด้วยการขนส่งทางบก เป็นผลให้เกิดความต้องการพื้นที่อำนวยความสะดวก เพื่อตอบสนองการใช้พาหนะรถยนต์เป็นหลัก ทำให้มีการขยายพื้นที่คอนกรีต พื้นที่ยางมะตอย และพื้นผิววัสดุทึบน้ำชนิดอื่นๆเป็นบริเวณกว้างและกว้างขึ้นต่อเนื่องตามการขยายตัวของเมืองโดยเฉพาะบรรดาตัวเมืองใหญ่ และเมืองท่องเที่ยวที่สำคัญ ปัจจุบันพื้นที่ทึบน้ำดังกล่าวกลายเป็นปัญหาใหม่ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเส้นทางชีวิตของน้ำ เช่น การปิดกั้นเส้นทางการซึมของน้ำลงสู่ชั้นใต้ดิน จนเกิดผลกระทบต่อระบบธรณีวิทยาในระยะยาว ส่วนปัญหาปัจจุบันคือ มวลน้ำขนาดใหญ่ไหลรวมกันลงสู่พื้นที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก จนกลายเป็นน้ำไหลบ่า และเกิดน้ำท่วมพื้นที่ท้ายน้ำ ส่งผลเสียหายทั้งระบบนิเวศธรรมชาติตลอดจนชีวิต และ ทรัพย์สินของมนุษย์เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ปรากฏการณ์นี้เห็นได้บ่อยขึ้นในปัจจุบัน (วิไลสัก พูลิพัน, 2556)

เมืองหลวงพระบางสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1353 โดยอาศัยความอุดมสมบูรณ์ของน้ำและที่ตั้งชัยภูมิที่ดีของแม่น้ำมาเป็นจุดแข็งในการตั้งถิ่นฐาน เช่น ใช้แม่น้ำโขงและแม่น้ำคานเป็นคูเมืองในการป้องกันการโจมตีของศัตรู ใช้เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งที่สำคัญของเมืองหลวงพระ

บางกับเมืองอื่นๆของอาณาจักรล้านช้างในสมัยนั้น น้ำในหลวงพระบางจึงได้สัมพันธ์กับพื้นฐานวัฒนธรรม และ วิถีชีวิตของชาวเมืองหลวงพระบางมาโดยตลอด ซึ่งนอกจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน ใช้น้ำในการเกษตรกรรม ใช้น้ำในการเลี้ยงปลาแล้ว ยังใช้น้ำในการทำพิธีทางศาสนา เช่น การลอยกระทง บุญหดน้ำ (สงกรานต์) และ บุญเทศกาลช่วงเรือ เป็นต้น นอกจากนี้ชาวเมืองหลวงพระบางยังมีความเชื่อที่เล่าต่อกันมาว่า มีพญานาคถึง 15 วงศ์ตระกูลกระจายอยู่ในบ่อน้ำจุดต่างๆของเมือง และคอยปกป้องดูแลความสงบสุขให้แก่ชาวเมืองหลวงพระบางแห่งนี้มาตลอด จากความเชื่อ วิถีชีวิต วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม และ ชัยภูมิที่ดีสวยงามและอุดมสมบูรณ์แห่งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มรดกโลก จึงทำให้เมืองหลวงพระบางเป็นเมืองมรดกโลกขององค์การ UNESCO ในปี ค.ศ. 1995 และ มีการพัฒนาและขยายตัวมาจนทุกวันนี้ (วิไลสัก พูลิพัน, 2556)

ในช่วงที่ผ่านมา เมืองหลวงพระบางได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณนักท่องเที่ยวจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง ได้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำของเมืองอย่างมาก โดยเฉพาะเรื่องน้ำเสียที่ปล่อยจากชุมชน ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติภายในเมือง และพื้นที่น้ำหลายจุดถูกปรับสภาพพื้นผิวใหม่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจอื่น (วิไลสัก พูลิพัน, 2556) จากการปลูกสร้างขยายต่อเติมบ้านเรือน โรงแรม ร้านอาหาร รวมถึงถนนและพื้นที่สาธารณะต่างๆ เพื่อความสะดวกสบายในการเข้าถึงและการบริการการท่องเที่ยว ทำให้เกิดพื้นที่ทึบน้ำเป็นบริเวณกว้าง (องค์การพัฒนาและบริหารตัวเมืองหลวงพระบาง, 2556) ในขณะที่น้ำฝนที่ตกในเมืองหลวงพระบางมีปริมาณมากคือ ตั้งแต่ 1500-3000 มิลลิเมตรต่อปี (กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์แขวงหลวงพระบาง, 2557) ได้ทำให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่า (Runoff) บนผิวดินในอัตราที่สูงและได้นำขยะมูลฝอย สิ่งเจือปน สารพิษ และโลหะหนักต่างๆลงสู่แหล่งน้ำ และหนองปลาที่ขึ้นบัญชีมรดกโลกเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดความเสียหาย อันเนื่องมาจากการทับถมของขยะมูลฝอยในหนองปลา ทำให้เกิดตื้นเขิน ปลาไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ และ ตายเป็นจำนวนมาก ไม่เหมาะต่อการเลี้ยงปลาอีกต่อไป (องค์การ UNESCO หลวงพระบาง, 2554) หากมรดกโลกประเภทหนองปลาจำนวน 184 บ่อในบริเวณเขตเมืองมรดกโลกสูญหายไป ก็เท่ากับว่าส่วนหนึ่งของพื้นฐานวิถีชีวิตดั้งเดิมที่เป็นมรดกของชาวโบราณแห่งนี้ก็สูญหายไปด้วย แล้วความเป็นมรดกโลกของเมืองหลวงพระบางก็จะเสื่อมโทรม และขาดความนิยม นอกนั้นจะขาดพื้นที่รับน้ำ พื้นที่บำบัดน้ำเสีย พื้นที่ชุ่มน้ำที่จะสร้างความสดชื่นความเย็นสบายที่ส่งเสริมความน่าอยู่และความน่าเที่ยวของเมืองหลวงพระบาง

จากบทบาทหน้าที่เป็นเมืองศูนย์กลางของจังหวัด (แขวง) และเป็นเมืองท่องเที่ยวระดับโลก ทำให้เทศบาลเมืองหลวงพระบางมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรสูงถึง 4.5% ต่อปี จำนวนประชากรในเทศบาลเมืองมรดกโลกหลวงพระบางที่มีเพียง

12,000 คนในปี ค.ศ. 1995 เพิ่มเป็น 55,989 คนในปี 2009 (ธีระพงศ์ โพธิ์มั่น, 2553) และ คาดการณ์ว่า จำนวนประชากรในพื้นที่บริเวณเทศบาลเมืองมรดกโลกหลวงพระบางจะยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราสูงแบบนี้ไปอีกหลายปี และจะมีประชากรมากถึง 100,000 คนในปี ค.ศ 2025 (องค์การพัฒนาและบริหารตัวเมืองหลวงพระบาง, 2556)

ข้อมูลดังกล่าวได้สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการในการขยายพื้นที่เพื่ออยู่อาศัย และ ระบบโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อรองรับจำนวนประชากรที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้ ย่อมหมายถึงว่าจะมีการเพิ่มพื้นที่ทึบน้ำขยายเป็นวงกว้างตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำที่เป็นมรดกโลกอย่างแน่นอน ถ้าขาดแนวทางการวางแผนจัดการที่ถูกต้องและทันการ สิ่งแวดล้อมที่เคยเต็มไปด้วยความสดชื่นสวยงามแห่งนี้จะเกิดการเสื่อมโทรม เมืองหลวงพระบางอาจถูกถอนออกจากบัญชีขององค์การ UNESCO ในที่สุด เพราะความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมธรรมชาติคือ 1 ใน 3 เงื่อนไขหลักที่เมืองหลวงพระบางได้ขึ้นทะเบียนเป็นเมืองมรดกโลก

ในขณะที่เป้าหมายการพัฒนาของเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง ได้กำหนดวิสัยทัศน์อย่างชัดเจน ดังนี้ (องค์การ UNESCO หลวงพระบาง, 2556: ระบบออนไลน์)

1. อนุรักษ์เมืองหลวงพระบางให้เป็นเมืองมรดกโลกตลอดไป
2. ส่งเสริมเมืองหลวงพระบางให้เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวด้านวัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ และธรรมชาติ
3. พัฒนาเมืองหลวงพระบางให้เป็นสวนอุทยานที่มีชีวิตชีวา เป็นเมืองน่าอยู่ และเมืองสภาพแวดล้อมดี
4. สร้างเมืองหลวงพระบางให้เป็นศูนย์กลางศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประวัติศาสตร์วัฒนธรรมลาว

ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงแนวทางการออกแบบและวางแผนการจัดการน้ำในเขตพื้นที่ป้องกันเขตอนุรักษ์เมืองมรดกโลกหลวงพระบาง เพื่ออนุรักษ์ระบบสิ่งแวดล้อมธรรมชาติโดยเฉพาะระบบนิเวศน้ำให้คงอยู่ และทรงคุณค่าไปพร้อมๆ กับการขยายตัวของเมือง และให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง

2. เพื่อออกแบบและวางแผนลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบาง

เป้าหมายการออกแบบและวางแผนการจัดการน้ำ

1. ปกป้องสภาพธรรมชาติ
2. บูรณาการ การจัดการน้ำฝนให้เข้ากับภูมิทัศน์
3. รักษาคุณภาพน้ำ
4. ลดปริมาณน้ำไหลบ่า และ อัตราไหลสูงสุด
5. ลดงบประมาณในการสร้างระบบระบายน้ำของเมือง

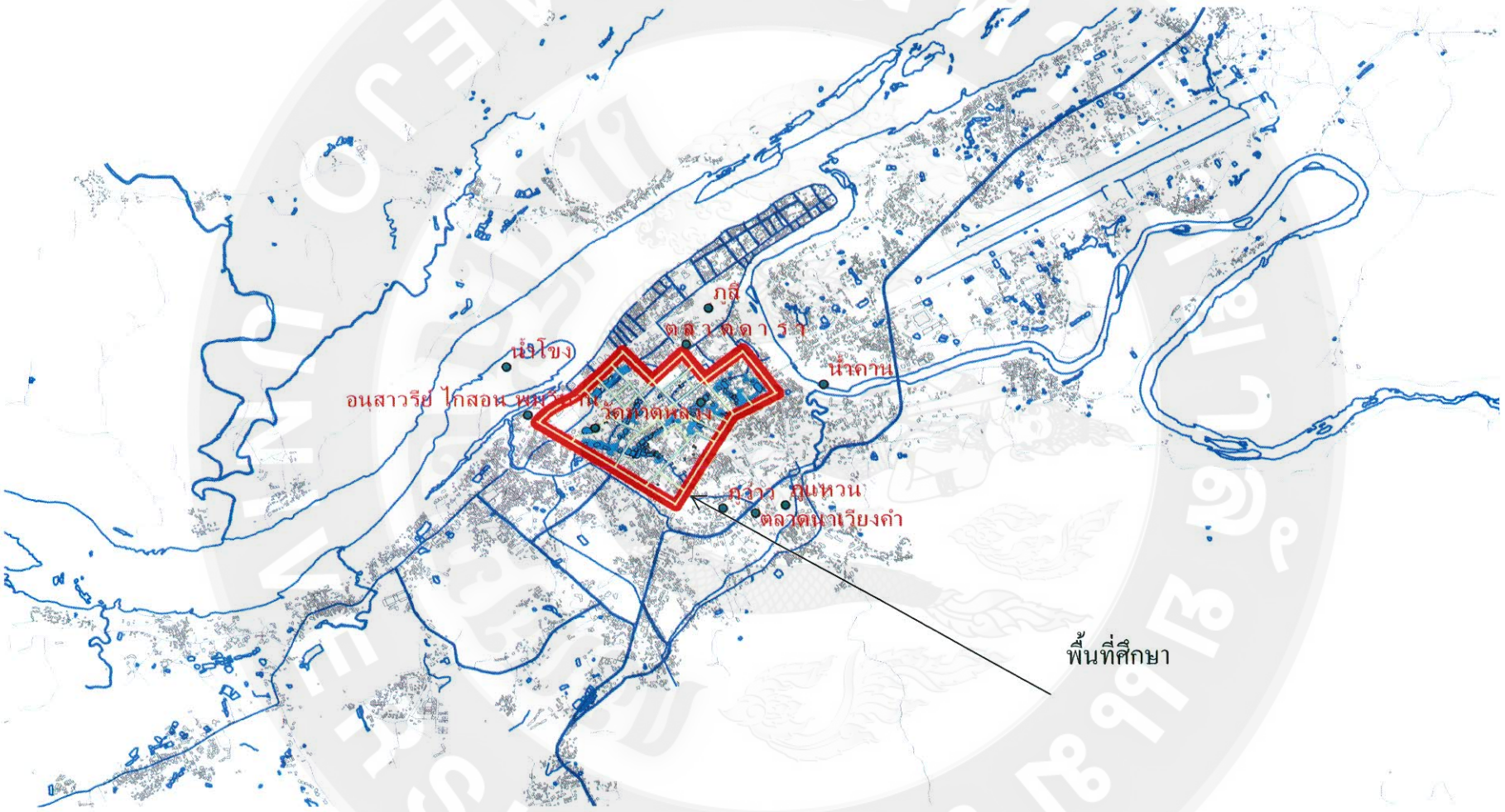
ขอบเขตเนื้อหาการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นในการออกแบบและวางแผนจัดการน้ำฝนที่ไหลบนผิวดินเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า (Runoff) และรักษาคุณภาพน้ำในเมืองมรดกโลกหลวงพระบางโดยมีปัจจัยเกี่ยวข้อง คือ

1. การหน่วงน้ำ
2. การกักเก็บน้ำ
3. การระบายน้ำ

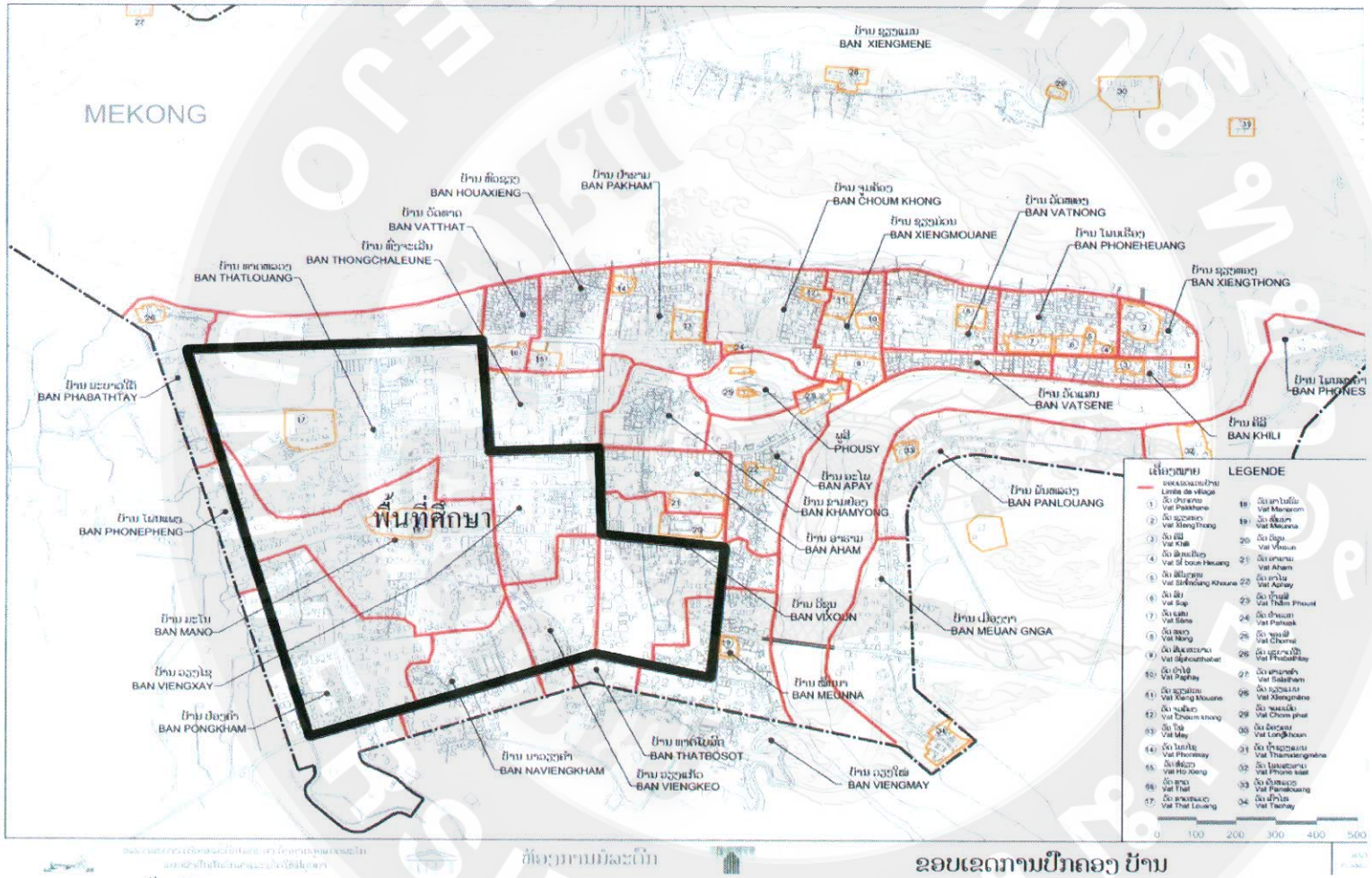
ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนด พื้นที่ป้องกัน (Buffer Zone) เขตอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบางที่ถูกกำหนดเป็นเขต ZPP-Ub ขององค์การยูเนสโกในปี ค.ศ. 1995 มีขนาดพื้นที่ทั้งหมด 570 ไร่ หรือ (912,000 ตารางเมตร) ครอบคลุม 8 หมู่บ้าน ในเขตใจกลางเทศบาลเมือง คือ หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านมะโน หมู่บ้านป่องคำ หมู่บ้านเวียงไซ หมู่บ้านนาเวียงคำ หมู่บ้านทาดโบสด หมู่บ้านหมื่นนา และหมู่บ้านวิชุน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีหนองน้ำที่อยู่ในบัญชีขององค์การ UNESCO เป็นจำนวนมาก และได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม และน้ำเสียมากที่สุด ขอบเขตพื้นที่ศึกษาได้แสดงในภาพ 1 และ 2



ภาพ 1 ที่ตั้งพื้นที่ศึกษา

ที่มา: องค์การพัฒนาและบริหารตัวเมืองหลวงพระบาง (2556)



ภาพ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาระดับหมู่บ้าน

ที่มา: องค์การ UNESCO หลวงพระบาง (2556: ระบบออนไลน์)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปัญหาระบบโครงสร้างการจัดการน้ำฝนในปัจจุบัน
2. ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติในเขตป้องกันเมืองมรดกโลก
3. ทราบถึงปัจจัยและข้อจำกัดในการจัดการน้ำฝนในเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง
4. เป็นแนวทางในการออกแบบวางแผนจัดการน้ำฝนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
5. เป็นพื้นฐานนำไปสู่การสร้างมาตรฐานการออกแบบวางแผนผังชุมชนและผังเมืองที่มีการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

นิยามศัพท์

ประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนในเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง หมายถึง การบริหารจัดการน้ำฝนเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า และน้ำท่วมในพื้นที่ตลอดถึงพื้นที่ท้ายน้ำ

น้ำไหลบ่า (Surface Runoff) หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลจากผิวพื้นดินลงสู่ร่องน้ำ ลำห้วย หรือลำคลอง น้ำไหลบ่าบนผิวดินคือ น้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งแล้วถูกซึมซับลงในดิน พืชดูดไปใช้ ถูกเก็บกักไว้ในพื้นที่ หรือระเหยไปในอากาศ น้ำที่เหลือจากขบวนการต่างๆแล้วไหลลงสู่ร่องน้ำ ลำห้วย หรือลำคลอง ก็คือ “น้ำไหลบ่า”

การลดปริมาณน้ำไหลบ่า หมายถึง การเพิ่มความสามารถการกักเก็บน้ำไว้ในพื้นที่เพื่อลดปริมาณน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ศึกษา

ความเข้มของน้ำฝน (Rainfall intensity) หมายถึง ความรุนแรงของฝน หรือความลึกของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ใดหนึ่งในช่วงระยะเวลาใดหนึ่งที่แน่นอน โดยทั่วไปแล้วความเข้มของน้ำฝนจะถูกกำหนดความลึกเป็นมิลลิเมตรในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง (mm/h) ในรอบ 2 ปี รอบ 5 ปี 10 ปี 25 ปี 50 ปี 100 ปี 200 ปี 500 ปี 1,000 ปี

การหน่วงน้ำ (Delay) หมายถึง การชะลอความเร็วไหลของน้ำออกจากพื้นที่ให้ช้าลง หรือค่อยๆระบายน้ำออกด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น โดยผ่านระบบการกักเก็บน้ำในพื้นที่ เพื่อลดอัตรา และปริมาณน้ำไหลบ่าให้กับพื้นที่ท้ายน้ำ

การกักเก็บน้ำ หมายถึง การกักขังน้ำไว้ในพื้นที่ด้วยรูปแบบต่างๆ เช่น การกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ การกักเก็บน้ำไว้บนผิวดินด้วย ถังเก็บน้ำ หนองน้ำ สระน้ำ อ่างเก็บน้ำ แก้มลิง เขื่อน รวมทั้งการกักเก็บน้ำไว้ด้วยการให้ซึมซับลงไปเก็บไว้เป็นระบบน้ำใต้ดิน

การระบายน้ำ หมายถึง น้ำฝนส่วนเกินจากการกักเก็บ จะระบายออกจากพื้นที่ด้วยระบบระบายน้ำที่ช่วยหน่วงน้ำให้เกิดการซึมซับน้ำลงในพื้นดิน

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการเกิดน้ำไหลบ่าและปริมาณน้ำไหลบ่า
   1.1 แนวคิดการเกิดน้ำไหลบ่าจากการพัฒนาเมือง
   1.2 แนวคิดการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่า (Q = CIA)
2. แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง
   2.1 แนวคิดการกักเก็บน้ำและหน่วงน้ำ (Surface storage)
   2.2 แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ WSUD
   2.3 แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ LID
   2.4 แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ David Hirschman and Kelly Collins Center
3. แนวคิดและเทคนิคการออกแบบเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง

ทฤษฎีการเกิดน้ำไหลบ่าและปริมาณน้ำไหลบ่า

ไชยสิทธิ์ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์) ได้กล่าวว่า น้ำไหลบ่าบนผิวดิน (Surface Runoff) หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลจากผิวพื้นดินลงสู่ร่องน้ำ ลำห้วย หรือลำคลอง น้ำไหลบ่าบนผิวดินคือ น้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งแล้วถูกซึมซับลงในดินพืชดูดไปใช้ถูกเก็บกักไว้ในพื้นที่หรือระเหยไปในอากาศ น้ำที่เหลือจากขบวนการต่างๆแล้วไหลลงสู่ร่องน้ำ ลำห้วย หรือลำคลอง คือน้ำไหลบ่า อัตราและปริมาณของน้ำไหลบ่าจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น

1. ความรุนแรง ปริมาณ และทิศทางของฝนที่ตก
2. ลักษณะความลาดเท และการเก็บกักน้ำบนพื้นผิวของพื้นที่
3. ลักษณะ และคุณสมบัติของดิน ซึ่งมีผลต่ออัตราการซึมซับน้ำ
4. ชนิด และปริมาณของพืชพรรณที่ปกคลุมผิวพื้นดิน
5. ขนาดของลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำ

ณัฐฐีร์ (2554) ได้กล่าวว่า ตามธรรมชาติแล้วน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก และจะไหลรวมกันจนเกิดเป็นพื้นที่กักเก็บน้ำพื้นฐาน ซึ่งหมายถึงแม่น้ำสายต่างๆ หรือน้ำที่ไหลซึมลงไปในดินแล้วจะถูกกักเก็บโดยอัตโนมัติ ซึ่งถือว่าอยู่ในวัฏจักรของระบบการ

หมุนเวียนของน้ำ แต่ในกรณีของปัญหาเกิดน้ำไหลบ่านั้น เนื่องจากน้ำไหลมารวมตัวกันเป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว จากมีฝนตกหนัก ในขณะที่ประสิทธิภาพการหน่วง และการกักเก็บน้ำฝนไว้ในพื้นที่บกพร่อง น้ำปริมาณจำนวนมากจึงไหลออกจากพื้นที่ เกิดเป็นปรากฏการณ์น้ำบ่า (Runoff)และไหลไปรวมกันในพื้นที่ที่ต่ำกว่าโดยมีปริมาณเกินความสามารถในการรองรับ และ ระบายของพื้นที่จึงเกิดเป็นปัญหาอุทกภัยน้ำท่วมในพื้นที่ท้ายน้ำ

ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติไทย (National Disaster Warning Center) (2556: ระบบออนไลน์) ได้กล่าวว่า น้ำป่าไหลหลาก (flash flood) เป็นภัยธรรมชาติอันเนื่องมาจากการตกของฝนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สูญเสียชีวิต และทรัพย์สินเป็นจำนวนมากในแต่ละปี น้ำป่าไหลหลากเกิดขึ้นได้อย่างไร อะไรคือสาเหตุที่ทำให้เกิด ประเด็นคำถามเหล่านี้มีปัจจัยต่างๆมากมายที่ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลาก ปัจจัยหลักที่สำคัญ 2 ประการ คือ ความหนักเบาของฝนและช่วงเวลาที่ฝนตก ความหนักเบาของฝนหมายถึง อัตราความเร็วที่ฝนตก ส่วนช่วงเวลา หมายถึง ความยาวนานของฝนที่ตก ปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในอันดับรองลงไป คือ สภาพดินและสภาพสิ่งปกคลุมดินหรือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฝนที่ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากเป็นฝนที่ตกหนักในช่วงเวลาสั้นๆ อาจเกิดขึ้นได้ภายในเวลาไม่กี่นาทีหรืออาจตกเป็นเวลานานหลายๆชั่วโมง ความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าสามารถพัดพารถยนต์ ต้นไม้ อาคารต่างๆ และสะพานได้อย่างง่ายดาย ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้เกิดดินถล่มและกัดเซาะถนนขาดหายไป โดยปกติมักไม่มีการเตือนภัยน้ำป่าไหลหลาก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้คนจำนวนมากสูญเสียชีวิต โดยเฉพาะชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานตามบริเวณหุบเขาที่เป็นที่ราบน้ำท่วม (flood plain)

Spirn (1984 อ้างโดย ณัฐฐีร์, 2554) ได้กล่าวถึง ต้นเหตุของปัญหาน้ำท่วมไว้ในหนังสือ Granite-Garden น้ำไหลลงสู่ที่ต่ำเสมอนั้นหมายถึง แม่น้ำทุกสายไหลลงสู่ทะเล ซึ่งทะเลไม่เคยเต็ม วัฏจักรของน้ำเป็นระบบที่ยิ่งใหญ่ คือ ฝนตกลงมาสู่พื้นดิน และถูกดูดซึมลงไปในดิน ต้นไม้เติบโตด้วยน้ำในดินและคายน้ำออกมาเป็นไอ ส่วนที่เหลือไหลลงสู่มหาสมุทรก่อนที่จะระเหยเป็นไอน้ำกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศอีกครั้ง แต่เนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงของเมืองทำให้วัฏจักรของน้ำไม่สามารถหมุนเวียนได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวดินที่ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำลงไปในดินจนเกิดสิ่งที่เรียกว่า น้ำไหลนอง (runoff)

การเกิดน้ำไหลบ่าจากการพัฒนาเมือง

ศนิ (2555) ได้กล่าวว่า ตามธรรมชาติเมื่อเกิดฝนตกลงมา น้ำส่วนหนึ่งจะตกค้างอยู่ที่พืชพรรณตั้งแต่ไม้ยืนต้นจนถึงไม้คลุมดินและระเหยสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนหนึ่งจะซึมกลับลงดิน

หลังจากผ่านการกรองสารปนเปื้อนบางชนิดตามวิถีธรรมชาติ ส่วนที่เหลือจึงไหลลงสู่แหล่งน้ำลำคลองต่างๆ แต่ลักษณะพื้นที่ในเขตเมืองอันมีสัดส่วนของปริมาณพื้นผิวดาดแข็งจำนวนมาก เช่น ลานจอดรถ ถนน ดาดฟ้าอาคาร กลับสกัดกั้นมิให้น้ำฝนที่ตกลงมาซึมกลับสู่ชั้นใต้ดิน ปริมาณน้ำผิวดินจำนวนมหาศาลจึงเกิดขึ้น และสร้างภาระที่ต้องทำการระบายออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการท่วม เอกสารเผยแพร่แนวคิด LID Strategies โดย Prince George's County กล่าวไว้ว่า ระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดิน ณ ปัจจุบันในเขตเมืองใหญ่ส่วนมากยังเป็นแบบอนุรักษ์นิยม (Conventional Stormwater Management) และมีแนวคิดพื้นฐานว่า "น้ำผิวดินเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต้องจัดการระบายออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็วที่สุด" แนวคิดนี้ให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพความรวดเร็วของการระบายน้ำออกจากพื้นที่ไม่ว่าจะมีปริมาณมากเพียงใดก็ตาม ดังนั้นองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ถนน หลังคา รางระบายน้ำ ขอบทาง ท่อน้ำ ลานจอดรถ จึงได้รับการออกแบบให้สามารถลำเลียงน้ำผิวดินออกจากพื้นที่ได้อย่าง "รวดเร็วที่สุด" น้ำผิวดินจำนวนมากจะไหลลงสู่ท่อระบายน้ำใต้ดิน ก่อนเดินทางไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมขนาดใหญ่ที่ปลายทาง (end-of-pipe-system) และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ มลพิษปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ มลพิษปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน และการกัดเซาะชายฝั่ง เป็นต้น

Ferguson (2002 อ้างโดย ศนิ, 2555) ได้กล่าวว่า ปัจจุบันระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินส่วนมากยังเป็นแบบอนุรักษ์นิยมนี้ ไม่เปิดโอกาสให้ระบบอุทกวิทยา (hydrologic cycle) ในพื้นที่สามารถทำหน้าที่ของตัวเองได้อย่างที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติ หากแต่ถูกแทรกแซงด้วยกระบวนการเชิงวิศวกรรมที่เร่งให้เกิดความเร็วเกินปกติ นอกจากนี้ เมื่อระบบมีอายุเก่าแก่ก็ต้องใช้งบประมาณจำนวนมหาศาลในการซ่อมแซมหรือสร้างใหม่ นอกจากการทำหน้าที่ระบายน้ำออกจากพื้นที่แล้ว ระบบนี้ไม่สามารถตอบสนองการเป็นแหล่งน้ำใช้ อุปโภค บริโภคของชุมชน (community facilities) การเป็นภูมิทัศน์ที่ดีของชุมชนตลอดจนเป็นถิ่นที่อยู่ (habitat) ของสัตว์ท้องถิ่นอื่นๆ ในพื้นที่ได้ ซึ่งความต้องการนอกเหนือที่กล่าวมานี้ยังเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาสภาพแวดล้อมเมืองที่ไม่ยั่งยืน

ณัฐฐีร์ (2554) ได้กล่าวว่า ปัจจุบันการคมนาคมทางบกที่ใช้ถนนลาดยางโดยการทำถนนแอสฟัลท์ติกและคอนกรีตปกคลุมพื้นดินนั้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงไปใต้ดินมีปริมาณน้อยกว่าปกติ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำไหลบ่า และ น้ำท่วมในเมือง และชุมชน พื้นที่ส่วนใหญ่ที่เคยเป็นพื้นที่ที่ประชาชนใช้ทำการเกษตรกรรมประกอบด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำ มีแอ่งน้ำ หนอง บึง และลำคลองธรรมชาติ เป็นตัวรับน้ำเข้าและระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้อย่างสะดวก มีความสมดุลตามสภาพธรรมชาติดีโดยไม่มีน้ำท่วม เมื่อมีการพัฒนาพื้นที่ดังกล่าวให้เป็น

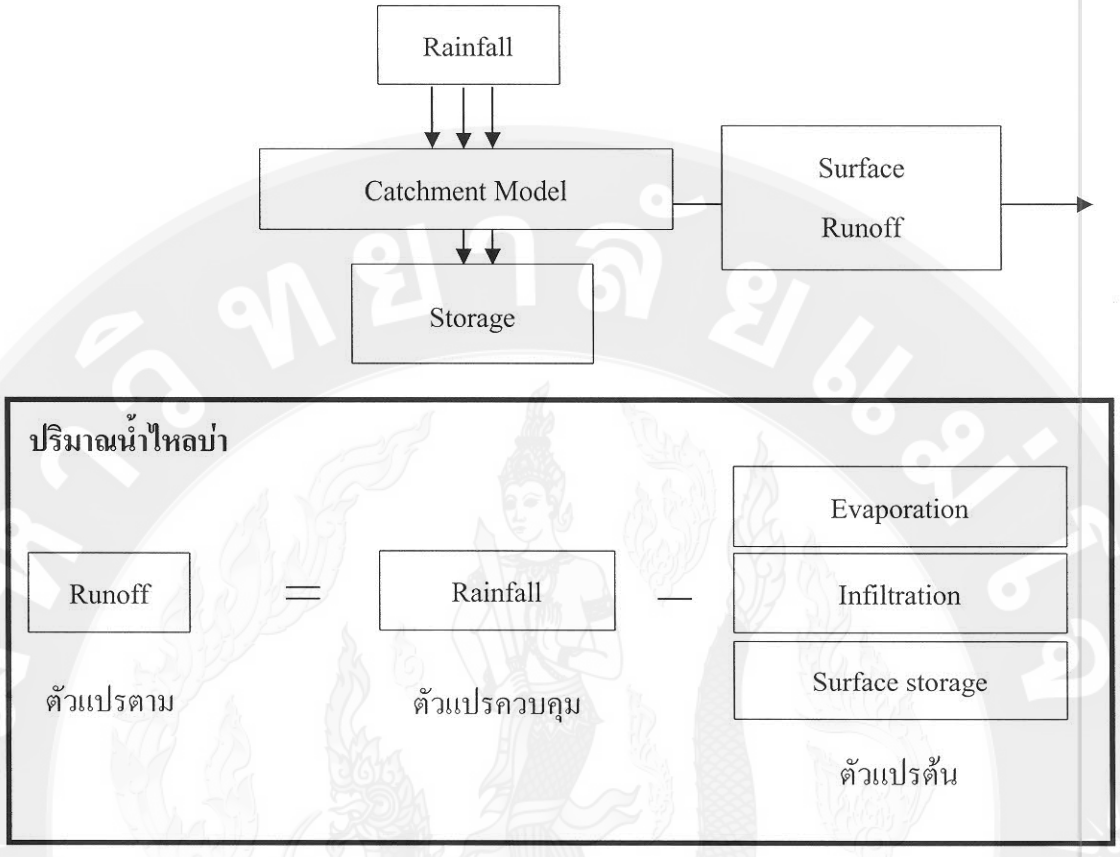
ชุมชนแหล่งอุตสาหกรรมหรือที่อยู่อาศัย จึงมีการถมดินปรับพื้นที่สร้างถนนใหม่ สิ่งก่อสร้างต่างๆ ขยายตัวออกไปเป็นบริเวณกว้าง เป็นเหตุให้แอ่งน้ำ หนอง บึง และลำคลองธรรมชาติทั้งหลายต้องถูกทำลาย สาเหตุสำคัญคือ ภายในเขตชุมชนที่ตั้งขึ้นใหม่หลายแห่งมักไม่ได้สร้างระบบการจัดการน้ำให้เหมาะสม ดังนั้นเมื่อถึงเวลาที่มีฝนตกหนักจึงทำให้เกิดน้ำไหลบาและน้ำท่วมตามมา

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดิน เช่น จากสนามหญ้าเป็นพื้นที่คอนกรีต การเปลี่ยนพื้นที่ธรรมชาติเป็นตัวเมือง พาให้เกิดการบุกรุกป่าและสิ่งแวดล้อม มีการเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศด้วยน้ำมือมนุษย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดพื้นผิวทึบน้ำมากขึ้นและเส้นทางน้ำถูกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลกระทบต่ออุทกวิทยา เกิดปรากฏการณ์น้ำไหลนอง (Run off) เพิ่มมากขึ้น ความเร็วในการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้นรวมถึงช่วงเวลาเกิดการไหลบ่าของน้ำเร็วขึ้นด้วย เกิดปัญหาการควบคุมปริมาณน้ำ (Spirn, 1984; Marsh, 2005 อ้างโดย ณัฐฐีร์, 2554) สามารถสรุปได้ว่า น้ำที่ไหลไปบนผิวดินจะมีการถ่ายเทไป ใน 3 รูปแบบ ดังนี้

1. น้ำส่วนหนึ่งถ่ายเทโดยการไหลซึม หมายถึงน้ำบนผิวดินไหลซึมลงไปในดิน
2. น้ำอีกส่วนถูกกักเก็บไว้บนผิวดิน โดยน้ำจะถูกขังบนผิวดินในแอ่งน้ำหรือหลุมต่างๆ
3. ส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำที่ไหลไปตามผิวดิน Overland flow ซึ่งจะไหลผ่านผิวดินจนไปเชื่อมต่อกับแม่น้ำ ในภูมิประเทศที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น จะมีอัตราการไหลซึมของน้ำลงดินในอัตราที่สูง ทำให้น้ำที่ไหลบนผิวดินมีปริมาณน้อย ในขณะที่ภูมิทัศน์สมัยใหม่ พื้นที่การเกษตรถูกแทนที่ด้วยสิ่งปลูกสร้าง มีผลโดยตรงกับปริมาณน้ำที่ไหลตามผิวดินมีความรุนแรงกว่าเดิม

สรุปแนวคิดทฤษฎีการเกิดน้ำไหลบ่า

น้ำไหลบ่า คือ ปริมาณน้ำส่วนเกินจากการกักเก็บในพื้นที่ที่มีฝนตก ปริมาณน้ำไหลบ่า ขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ของพื้นที่ หากต้องการลดปริมาณน้ำไหลบ่าลงเท่าใด ต้องเพิ่มขีดความสามารถในการกักเก็บ และหน่วงน้ำไว้ในพื้นที่ฝนตกให้ได้มากขึ้นเท่านั้น โดยการสร้างเงื่อนไขการซึมซับผ่านพื้นผิวและการกักเก็บน้ำบนผิวดินในรูปแบบต่างๆให้มากขึ้นเท่าที่ทำได้ ซึ่งต้องศึกษาลักษณะการเก็บกักน้ำบนพื้นผิวในพื้นที่ ลักษณะและคุณสมบัติของดิน ชนิดและปริมาณของพืชพรรณที่ปกคลุมผิวพื้นดิน ความลาดชันของพื้นที่



ภาพ 3 สรุปทฤษฎีน้ำไหลบ่า (Surface Runoff)

แนวคิดคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่า

จากทฤษฎีน้ำไหลบ่าข้างต้น ปริมาณน้ำไหลบ่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะสิ่งปกคลุมพื้นผิว คุณสมบัติของดิน และลักษณะกายภาพของพื้นที่ โดยมีสูตรพื้นฐานดังต่อไปนี้

$$Q = CIA \quad \text{(ระบบอังกฤษ)}$$

หรือ

$$Q = 0.278CIA \times 10^{-6} \quad \text{(ระบบเมตริก)}$$

Q = ปริมาณน้ำไหลสูงสุดของน้ำผิวดิน คิดเป็นลูกบาศก์เมตร ต่อ วินาที / ลูกบาศก์เมตรต่อ ชม

C = ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำบนพื้นผิว

I = ความเข้มของฝน คิดเป็น มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำฝนคิดเป็นตารางเมตร

ซึ่งในนั้น

I = มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นพื้นที่บริบทเดียวกัน

A = มีค่าคงที่ เนื่องจากขนาดพื้นที่เดิมไม่เปลี่ยนแปลง

C = มีค่าไม่คงที่ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของดิน สิ่งปกคลุมดิน และ ลักษณะความลาดชันของพื้นที่แต่ละจุดไม่เหมือนกัน

ดังนั้นจาก Q = CIA (เมื่อ A, I มีค่าคงที่) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Q คือ C (Q ⟷ C)

จากทฤษฎีดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า อยากลดค่าของ Q (ปริมาณน้ำไหลบ่า) ต้องลดค่าของ C (สัมประสิทธิ์การระบายน้ำผ่านพื้นผิว)

จาก Q = CIA เมื่อ C ⟶ Q

สัมประสิทธิ์การระบายน้ำผ่านพื้นผิว Coefficient of runoff (C) ได้หมายถึง ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำไว้ในพื้นที่รับน้ำ หรือการหน่วงน้ำไว้ในพื้นที่ ถ้าค่าของ C = 1 หมายความว่า น้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมาถูกระบายออกจากพื้นที่ร้อยละ 100 เก็บไว้ ร้อยละ 0 ถ้าค่าของ C = 0 หมายความว่า น้ำฝนถูกระบายออกจากพื้นที่ร้อยละ 0 กักเก็บไว้ ร้อยละ100, C = 0,65 หมายความว่า น้ำฝนถูกระบายออกจากพื้นที่ร้อยละ 65 กักเก็บไว้ ร้อยละ 35 ดังนั้นค่าของ C ยิ่งเล็กลงเท่าไร จะทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่า Q ยิ่งลดลงเท่านั้น ซึ่งจากการทดลอง และวิจัยการระบายน้ำผ่านพื้นผิวต่างๆ ได้สรุปออกมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff; C)

ลักษณะพื้นผิว Area Description	ค่าสัมประสิทธิ์ (C value) ต่ำสุด (Minimum)	 สูงสุด (Maximum)
พื้นที่หลังคา/roof, slag to metal	0.75	1.00
พื้นปูวัสดุ/Pavements		
- คอนกรีต/ยางมะตอย (concrete, asphalt)	0.70	0.95
- อิฐ / brick	0.70	0.85
- พื้นโรยกรวด / gravel	0.25	0.70
รางรถไฟ/railroad yard	0.25	0.35
พื้นผิวเป็นดิน/Earth surfaces		
ดินทราย/sand, from uniform grain size, no fine, to well – graded, some clay or silt		
- ดินเปลือย/base soil	0.15	0.50
- พืชพรรณไม่หนาแน่น/light vegetation	0.10	0.40
- พืชพรรณหนาแน่น/dense vegetation	0.05	0.30
ดินร่วน/loam, from sandy gravelly to clayey		
- ดินเปลือย / bare	0.20	0.60
- พืชพรรณไม่หนาแน่น/light vegetation	0.10	0.45
- พืชพรรณหนาแน่น/dense vegetation	0.05	0.35
กรวด/gravel, from clean gravel and gravel sand mixtures, no silt or clay to high clay or silt content		
- ดินเปลือย/base soil	0.25	0.65
- พืชพรรณไม่หนาแน่น/light vegetation	0.15	0.50
- พืชพรรณหนาแน่น/dense vegetation	0.10	0.40
ดินเหนียว/clay, from coarse sandy or silt to pure colloidal clays		
- ดินเปลือย/base soil	0.30	0.75
- พืชพรรณไม่หนาแน่น/light vegetation	0.20	0.60
- พืชพรรณหนาแน่น/dense vegetation	0.15	0.50
สนามหญ้า (ดินทราย)/lawns (sandy soil)		
- ความลาดชันร้อยละ 2/slops (flat)	0.05	0.10
- ความลาดชันร้อยละ 2-7/slops	0.10	0.15
- ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 7/slops	0.15	0.20

ตาราง 1 (ต่อ)

ลักษณะพื้นผิว Area Description	ค่าสัมประสิทธิ์ (C value) ต่ำสุด (Minimum)	 สูงสุด (Maximum)
สนามหญ้า (ดินเหนียว)/lawns (heavy soil)		
- ความลาดชันร้อยละ 2/slops (flat)	0.13	0.17
- ความลาดชันร้อยละ 2-7/slops	0.18	0.22
- ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 7/slops	0.25	0.35

หมายเหตุ ดินเปลือย หมายถึง ดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุมบนหน้าดิน

พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น หมายถึง พื้นที่มีพืชพรรณหลากหลายพันธ์ มีหลายชนิด และมีหลายระดับความสูงที่แตกต่างกันกระจายปกคลุมหน้าดินเป็นแผ่นผืนอย่างต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้าง

พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น หมายถึง พื้นที่มีพืชพรรณปกคลุมไม่สม่ำเสมอ และเบาบาง กระจายเป็นบางจุด

ที่มา: ศิริชัย และคณะ (2549)

ตาราง 2 สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C)

No.	ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหล	ค่า C
1 ความรุนแรงของน้ำฝน		
1.1	25 มม./ชั่วโมง	0.00
1.2	25 – 50 มม./ชั่วโมง	0.10
1.3	50 – 75 มม./ชั่วโมง	0.20
1.4	75 – 100 มม./ชั่วโมง	0.25
2 ลักษณะความลาดของพื้นที่เกิดฝน		
2.1	ค่อนข้างราบ เฉลี่ยความลาดชัน 0–5 %	0.00
2.2	ลูกคลื่น เฉลี่ยความลาดชัน 5–10 %	0.00
2.3	เป็นภูเขาเล็กๆ เฉลี่ยความลาดชัน 10–20 %	0.05
2.4	ค่อนข้างชัน เฉลี่ยความลาดชันมากกว่า 20 %	0.10

ตาราง 2 (ต่อ)

No.	ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหล	ค่า C
3 ลักษณะการซึมซับน้ำของดิน		
3.1	น้ำไหลบ่าน้อยมาก (ลักษณะดินเป็นดินทรายหรือดินร่วนปนทราย)	0.05
3.2	น้ำไหลบ่าปานกลาง (เป็นดินร่วนที่มีโครงสร้างของดินเหนียวปนด้วย	0.10
3.3	น้ำไหลบ่าสูง (น้ำซึมได้ช้ามาก และที่ผิวดินมีลักษณะตะกอนเคลือบ)	0.20
3.4	น้ำไหลบ่าสูงมาก (ลักษณะของพื้นที่มีดินตื้น หรือที่ที่มีหิน โผล่ ดินซึ่งมีลักษณะแข็งตัวเป็นแผ่นในฤดูแล้ง)	0.25
4 พืชคลุมดิน		
4.1	มีป่าทึบคลุมดิน	0.05
4.2	มีพืชคลุมดินไม่มากกว่า 50% ลักษณะป่าโปร่ง ๆ	0.10
4.3	ลักษณะแบบทุ่งหญ้าธรรมชาติ ซึ่งไม่มีไม่ยืนต้นเลย	0.20
4.4	ไม่มีพืชคลุมดินเลย	0.25
5 การเก็บกักน้ำของผิวพื้นดิน		
5.1	ในพื้นที่มีแหล่งเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ และ 90% ของพื้นที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ	0.00
5.2	พื้นผิวดินเป็นหุบ เป็นห้วยเล็กๆ มีน้ำไหลบ่าให้เห็นอยู่ มีคันดินมีอ่างเก็บน้ำบ้าง	0.05
5.3	พื้นที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ แต่มีแก่น้ำเล็ก ๆ บ้าง	0.05
5.4	ลักษณะพื้นที่เป็นแอ่งเล็ก ๆ แต่ส่วนใหญ่ราบและลาดเทไปเลย	0.10

ที่มา: ไชยสิทธิ์ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ตาราง 3 ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C) ตามการใช้ที่ดิน

Land use	C	Land use	C
		Lawns:	
		Sandy soil, flat, 2%	0.05 - 0.10
Business:		Sandy soil, avg., 2-7%	0.10 - 0.15
Downtonw areas	0.70 - 0.90	Sandy soil, steep, 7%	0.15 - 0.20
Neighborhood areas	0.50 - 0.70	Heavy soil, flat, 2%	0.13 - 0.17
		Heavy soil, avg., 2-7%	0.18 - 0.22
		Heavy soil, steep, 7%	0.25 - 0.35

ตาราง 3 (ต่อ)

Land use	C	Land use	C
		Agricultural land:	
		Bare packed soil	
		*Smooth	0.30 - 0.60
Residential:		*Rough	0.20 - 0.50
Single family areas	0.30 - 0.50	*Cultivated rows*	
Muti units, detached	0.40 - 0.60	*Heavy soil, no crop	0.30 - 0.60
Muti units, attached	0.60 – 0.75	*Heavy soil, with crop	0.20 - 0.50
Suburban	0.25 – 0.40	*Sandy soil, no crop	0.20 - 0.40
		*Sandy soil, with crop	0.10 - 0.25
		Pasture	
		*Heavy soil	0.15 - 0.45
		*Sandy soil	0.05 - 0.25
		Woodlands	0.05 - 0.25
Industrial		Streets:	
Light areas	0.50 – 0.80	Asphaltic	0.70 - 0.95
Heavy areas	0.60 – 0.90	Concrete	0.80 - 0.95
		Brick	0.70 - 0.85
Park, cemeteries	0.10 – 0.25	Unimproved areas	0.10 - 0.30
Playgrounds	0.20 – 0.35	Drives and walks	0.75 - 0.85
Railroad yard areas	0.20 – 0.40	Roofs	0.75 - 0.95

ที่มา: The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board 5.1.3 FS-(RC) (2011: Online)

ตาราง 4 ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C) ตามลักษณะการใช้สอยพื้นที่

ลักษณะใช้สอยของพื้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)
1. เขตธุรกิจ	
- หนาแน่น	0.70-0.95
- รอบๆ บริเวณเขตธุรกิจ	0.70-0.85
2. เขตที่พักอาศัย	
- ครอบครัวเดียว	0.30-0.50
- หลายครอบครัว, แยกกัน	0.40-0.60
- หลายครอบครัว, ติดกัน	0.60-0.75
3. เขตที่พักอาศัย (ชานเมือง)	0.25- 0.40
4. เขตอพาร์ทเมนท์	0.50-0.70
5. เขตอุตสาหกรรม	
- เบา	0.50-0.80
- หนัก	0.60-0.90
6. สวนสาธารณะ/สนามหญ้า	0.10-0.25
7. สวนเด็กเล่น	0.20-0.35
8. สถานีรถไฟ ชุมทาง	0.20-0.35
9. ที่รกร้าง/ที่ดินว่างเปล่า	0.10-0.30
10. ที่จอดรถ คสล./สนามกีฬาผิวทึบน้ำ	0.85-0.95
11. ที่จอดรถลาดยาง/หินคลุก	0.70-0.85

ที่มา: กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย (2545: ระบบออนไลน์)

จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Coefficient of runoff ; C) ได้แสดงให้เห็นว่า ค่า C มีผลมาจากปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ลักษณะของดิน
2. ลักษณะของสิ่งปกคลุมพื้นผิวดิน
3. ลักษณะความลาดชันของพื้นที่

แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง

แนวคิดการกักเก็บน้ำ และหน่วงน้ำ

ณัฐฐีร์ (2554) พื้นที่หน่วงน้ำหรือกักเก็บน้ำคือการสร้างพื้นที่ที่สามารถหน่วงน้ำไว้ก่อนที่จะระบายไปยังพื้นที่อื่นๆ พื้นที่กักเก็บน้ำ สามารถประยุกต์เข้ากับพื้นที่ว่างในเมืองในปัจจุบันได้ ไม่ว่าจะเป็นหลังคา ลานอเนกประสงค์ ลานจอดรถ หรือสวนสาธารณะ ซึ่งทั้งหมดล้วนถูกออกแบบมาเพื่อสามารถกักเก็บน้ำตามธรรมชาติได้ และยังช่วยในการลดปริมาณน้ำไหลนอง (Run off) ได้อีกด้วย ซึ่งสิ่งสำคัญสำหรับการป้องกันปัญหาน้ำท่วมคือการลดทอนสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำไหลบ่าด้วยการชะลอ กัก และเก็บน้ำไว้ ก่อนที่จะปล่อยให้ไหลเข้าสู่พื้นที่อื่นต่อไป การแก้ปัญหาปริมาณน้ำไหลบ่าจึงมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะของการกักเก็บน้ำได้ดังนี้

1. Depression storage คือ การกักเก็บน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ที่บริเวณผิวดิน โดยไม่สามารถระบายออกได้ต้องปล่อยให้มันไหลซึมลงไปในดิน หรือระเหยไปเองตามธรรมชาติ ซึ่งการกักเก็บในลักษณะนี้ ได้แก่ บ่อดิน หนอง บึง สระ อ่าง แอ่ง เป็นต้น (Pond, pool, lake)
2. Channel storage คือ การกักเก็บน้ำไว้ในพื้นที่ที่เป็นแม่น้ำเดิมอยู่แล้ว ซึ่งรวมถึงพื้นที่ริมตลิ่งของแม่น้ำดังกล่าวด้วย ได้แก่ ร่องน้ำ ลำน้ำ แก้มลิง (detention basin, pool, riffle, backswamp, splay, oxbow lake, oxbow)
3. Detention และ Retention storage คือ การสร้างพื้นที่กักเก็บและหน่วงน้ำในที่ต่างๆ เพื่อชะลอการไหลของน้ำก่อนที่จะไหลไปยังพื้นที่อื่นๆ ได้แก่ ร่องน้ำ คลองน้ำ หนองน้ำ
4. Ground water storage คือ พื้นที่กักเก็บและหน่วงน้ำใต้ดินผ่านการซึมซับ (Infiltration) ของน้ำผิวดิน ซึ่งได้แก่ น้ำบาดาล และชั้นน้ำใต้ดินเป็นต้น
5. Vegetation storage คือ การใช้พืชพรรณในการชะลอการไหล และกักเก็บน้ำ

แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ LID

ศนิ (2555) ในปี พ.ศ. 2542 หลังจากการค้นคว้าวิจัยอย่างยาวนาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติแห่งเทศบาลเมืองปรินซ์จอร์จ มลรัฐแมรี่แลนด์ (Prince George County Maryland, Department of Environmental Resources) ร่วมกับสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) ได้เผยแพร่คู่มือที่มีชื่อว่า Low-Impact

Development Design Strategies: An Integrated Design Approach เพื่อเป็นแนวทางต้นแบบให้กับหน่วยงานท้องถิ่นในมลรัฐต่างๆ ได้นำไปปรับใช้ และพัฒนาระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินให้มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และสร้างความยั่งยืนให้แก่สภาพแวดล้อม โดยได้นำเสนอว่า LID คือทางเลือกใหม่ของการบริหารจัดการน้ำผิวดินที่สามารถป้องกันน้ำไหลบ่า และอนุรักษ์ หรือฟื้นฟูระบบนิเวศวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ ด้วยการให้ความสำคัญกับการจัดการ ณ พื้นที่ต้นทาง (on-site management)

Coffman (2002 อ้างโดย ศนิ, 2555) อธิบายว่า แนวคิด LID นั้นมุ่งเน้นการรักษาสภาพระบบอุทกวิทยาในพื้นที่หลังการพัฒนาปรับเปลี่ยนให้ใกล้เคียงกับสภาพดั้งเดิมก่อนการพัฒนา (predevelopment hydrologic function) ตลอดจนมุ่งฟื้นฟูหน้าที่ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่สูญเสียไปให้กลับมาดีกว่าเดิม ด้วยการเลียนแบบพฤติกรรมการไหลของน้ำตามธรรมชาติอันได้แก่ การกักเก็บ (Surface storage) หน่วงเวลาการระบาย การซึมกลับ และการระบายออกของปริมาณน้ำไหลบ่า ที่เป็นแบบแผนเดียวกันต่อเนื่องตลอดภายในพื้นที่ โดยแนวทาง LID สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนในการพัฒนาพื้นที่ใหม่หรือการปรับปรุงพื้นที่เก่า (retrot) ในสภาพแวดล้อมเมือง ประโยชน์ขั้นพื้นฐานของแนวทาง LID คือการอนุรักษ์ และปรับปรุงคุณภาพน้ำ ป้องกันมลพิษปนเปื้อนในน้ำ บริหารจัดการน้ำผิวดิน น้ำไหลบ่าอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถป้องกันน้ำท่วม และประหยัดทั้งค่าก่อสร้าง และบำรุงรักษา สามารถอนุรักษ์แหล่งน้ำใต้ดิน ตลอดจนสร้างสภาพแวดล้อมที่น่าอยู่ให้กับชุมชนได้

Guillette (2010 อ้างโดย ศนิ, 2555) ได้กล่าวว่า ในทางปฏิบัติ LID เป็นการสร้างภูมิทัศน์เพื่อการบริหารจัดการน้ำผิวดินอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นการจัดการบนพื้นที่ต้นทาง เพื่อจัดการน้ำฝน ณ พื้นที่ที่ตกทันที มากกว่าการผลักภาระให้ระบบส่วนกลาง

Hager (2003 อ้างโดย ศนิ, 2555) ได้อธิบายรายละเอียดการประยุกต์ใช้แนวทาง LID เพื่อสร้างสรรค์ภูมิทัศน์ว่า สามารถจะเริ่มตั้งแต่ระดับการจัดการวางผังที่เน้นย้ำการอนุรักษ์องค์ประกอบทางภูมิทัศน์ธรรมชาติดั้งเดิมที่สำคัญของพื้นที่กักเก็บน้ำ เช่น กลุ่มพืชพรรณสำคัญเนิน แอ่งน้ำลุ่มต่ำ และจำกัดพื้นที่ทำงานก่อสร้างให้อยู่ในวงแคบที่สุด เคารพต่อสภาพภูมิประเทศดั้งเดิม (strategic grading) จากนั้นจึงบูรณาการเทคนิคพิเศษต่างๆเพื่อจัดการกับน้ำผิวดินที่เกิดขึ้น โดยคำนึงถึงหน้าที่ของการลำเลียง (conveyance) กักเก็บ (storage) ซึมกลับ (infiltration) และการจัดภูมิทัศน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

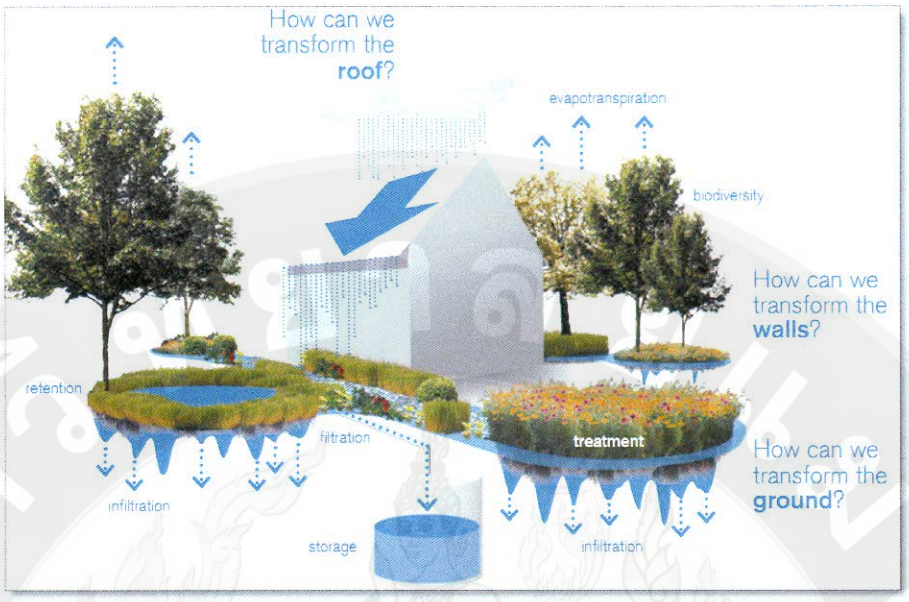
1. การลำเลียงน้ำผิวดินผ่านร่องระบายน้ำผิวหญ้า (grassed channels) ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (vegetation swales/bio-swales/bio-retention channels) และการซอยย่อยพื้นผิวดาดแข็งมิให้ต่อเนื่องด้วยการปลูกพืชพรรณแทนที่

2. การสร้างกระบวนการกักเก็บเพื่อลดปริมาณน้ำผิวดินสูงสุดที่ถูกระบายออกจากพื้นที่ (peak discharge) ด้วยองค์ประกอบภูมิทัศน์ต่างชนิด เช่นบ่อเก็บน้ำใต้ทางเท้า (pedestal sidewalks) สวนหลังคา สวนในบ้าน ถังเก็บน้ำฝน (rain barrels) หรือหน่วยเก็บน้ำใต้ดินในลักษณะอื่นๆ

3. การสร้างกระบวนการการซึมกลับเพื่ออนุรักษ์ระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้วยองค์ประกอบภูมิทัศน์ เช่น พื้นผิวแบบรูพรุน (permeable/porous pavements) คูน้ำ สระน้ำ และอุปกรณ์หน่วงน้ำใต้ดินเพื่อการปล่อยซึมกลับภายหลัง

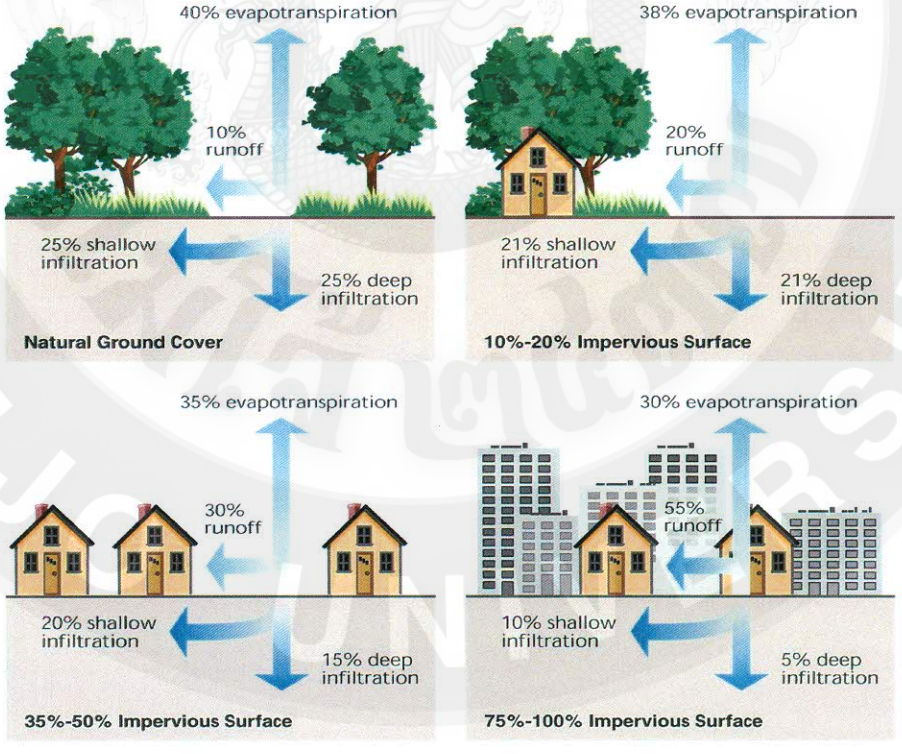
4. การจัดภูมิทัศน์เพื่อส่งเสริมกระบวนการลำเลียง กักเก็บ Storage ซึมกลับ การปรับลดความชันพื้นที่ และการใช้พืชคลุมดินท้องถิ่น

ทั้งนี้ เทคนิคของ LID ไม่จำเป็นต้องเป็นสิ่งใหม่ แต่เป็นนวัตกรรมทางแนวคิดของการบริหารจัดการน้ำผิวดิน โดยรวบรวม และปรับปรุงเทคนิควิธีการต่างๆ ที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างแนวทางการบริหารจัดการน้ำที่เบ็ดเสร็จ และกระจายตัวอย่างทั่วถึงในพื้นที่ต้นทาง สามารถตอบสนองทั้งการป้องกันน้ำไหลบ่า และฟื้นฟูระบบนิเวศของสภาพแวดล้อม เทคนิคของ LID ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโครงสร้างอันซับซ้อน แต่เป็นการใช้องค์ประกอบทาง ภูมิทัศน์เพื่อการระบายน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และหลากหลาย ด้วยเหตุนี้ LID จึงถูกใช้สลับกับคำว่า “สาธารณูปโภคสีเขียว” (green infrastructure) อย่างแพร่หลาย ความมีประสิทธิภาพของ LID ทำให้ EPA ของสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งต่อการนำแนวคิด LID และ Green Infrastructure ผนวกเข้าไว้ในการออกกฎหมายควบคุม (stormwater regulations) โดย EPA มีแนวโน้มที่จะนำเทคนิคเฉพาะของ LID บางเทคนิคบรรจุลงไปในเนื้อหาของกฎข้อบังคับได้แก่ สวนกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (rain garden) ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (bio-swales) หลังคาเขียว (green roofs) พื้นผิวแบบรูพรุน (porous paving) ลดการใช้ขอบทาง (curb cuts) และถังเก็บน้ำฝน (rain barrels & cisterns) เพื่อเป็นการสนับสนุนแนวคิดนี้ การเคลื่อนไหวอย่างจริงจังในประเทศสหรัฐอเมริกาตลอดจนในภูมิภาคอื่นทั่วโลก ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของ LID และแนวคิดสาธารณูปโภคสีเขียวต่อการพัฒนาสภาพแวดล้อมเมืองอย่างยั่งยืน (ศนิ, 2555)



ภาพ 4 แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ LID

ที่มา: University of Arkansas Community Design Center (2010)

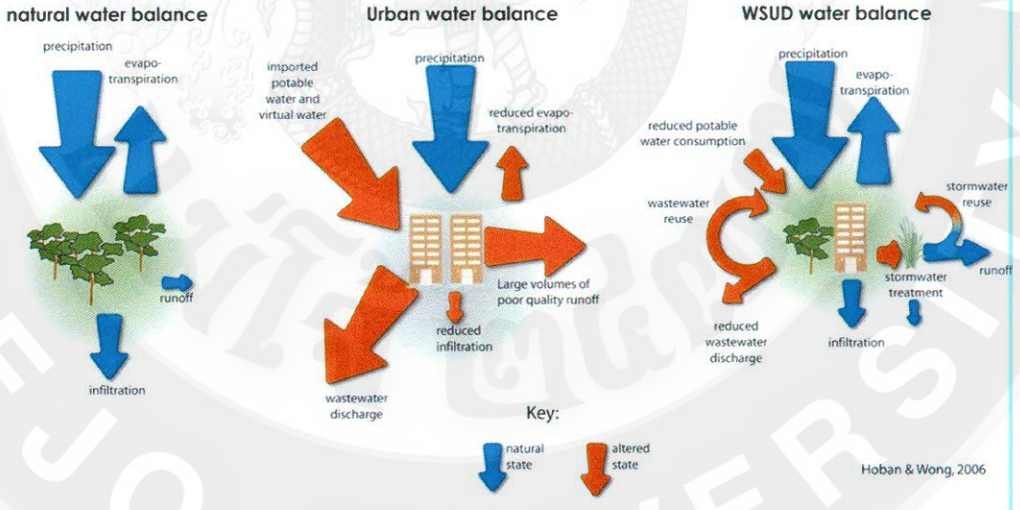


ภาพ 5 แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ LID

ที่มา: The City of Auburn Hills (2013: Online)

แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมืองของ WSUD

แนวคิดต้นแบบการพัฒนาบนหลักการของ “ Water Sensitive Design” เป็นแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำ และลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมืองซึ่งประกอบด้วย เทคนิคแนวใหม่ในทางภูมิสถาปัตยกรรมที่เป็น Soft Approach ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับน้ำในเมือง โดยสรุปได้ว่า แนวความคิดนี้เกิดมาจากงานวิจัยทางด้านการวางแผนภูมิทัศน์จากประเทศออสเตรเลีย และได้รับการนำมาใช้ปฏิบัติงานจริงที่เมืองซิดนีย์ เป็นแนวคิดที่เกี่ยวกับการวางแผน วางผังและออกแบบรายละเอียดองค์ประกอบต่างๆในภูมิทัศน์เมืองเพื่อช่วยจัดการทรัพยากรน้ำด้วยการใช้วัสดุและองค์ประกอบทางธรรมชาติเข้ามาช่วย เช่น การวางผังให้สอดคล้อง และ ตอบรับกับระบบทางอุทกวิทยา และเป็นแนวคิดที่ใช้ประโยชน์จากเส้นทางในหลายๆบทบาท เช่น ความสามารถของถนนที่สามารถใช้เป็นพื้นที่สีเขียวเพื่อการพักผ่อน โดยแนวคิด Water Sensitive Urban Design นี้ ได้เสนอทางเลือกที่จะใช้ระบบต่างๆในองค์ประกอบของภูมิทัศน์ให้มีบทบาทเพื่อการบรรเทาผลกระทบจากทางอุทกวิทยาได้ (ศิริชัย, 2548) แนวคิดการจัดการน้ำแบบ WUSD ได้แสดงแนวคิดการออกแบบวางแผนดังภาพ



ภาพ 6 แนวคิดการจัดการน้ำไหลบ่าของ WSUD

ที่มา: Darwin Harbour WSUD Strategy website. (No date: Online)

หลักการปฏิบัติ WUSD ในการจัดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของเมือง

หลักการปฏิบัติการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ Water Sensitive Urban Design (WSUD) ได้ใช้วิธีต่างๆ โดยผสมผสานเทคนิคการออกแบบวางแผน และการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์รวมถึงการใช้ระบบธรรมชาติเป็นตัวจัดการ โดยมีดังต่อไปนี้

1. การสร้างร่องปลูกหญ้า Bio-swale
2. การสร้างรางตื้นซับน้ำ Infiltration trench
3. การสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ Porous paving
4. การสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำ Constructed wetland
5. การสร้างสวนหลังคา Rooftop garden
6. การสร้างสวนน้ำฝน Rain garden
7. การสร้างระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio-retention system)

แนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่า

Hirschman and Collins (2008) ได้กล่าวไว้ว่า การลดปริมาณน้ำไหลบ่าของพื้นที่คือการจัดการเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดจากพื้นที่ต่างๆ โดยผ่านการลดปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่หลังคาอาคาร canopy interception ลดปริมาณน้ำไหลบ่าผ่านการซึมซับของดิน soil infiltration ลดน้ำไหลบ่าผ่านการระเหย evaporation ผ่านการกักเก็บปริมาณน้ำฝน rainfall harvesting ผ่านการออกแบบการซึมซับด้วยเทคนิควิศวกรรม engineered infiltration ผ่านการขยายพื้นที่ซึมซับ หรือขยายพื้นที่เพื่อการระเหย extended filtration or evapotranspiration ซึ่งการขยายพื้นที่ซึมซับน้ำรวมมี การสร้างพื้นที่การกักเก็บด้วยพืชพรรณ bio-retention หรือพื้นที่ร่องปลูกหญ้าแห้ง dry swales เพื่อชะลอระยะเวลาการส่งมอบปริมาณน้ำจากพื้นที่ต้นทางหาแม่น้ำ หรือลำคลองต่างๆ ให้ได้ 6 ชั่วโมงหรือมากกว่า โดยทั่วไปแล้วการออกแบบพื้นที่เพื่อจัดการปริมาณน้ำไหลบ่าเป็นการผนวกวิธีการลดปริมาณน้ำไหลบ่ากับการลดมลภาวะทางน้ำเข้าด้วยกัน โดยมีแนวความคิดและเทคนิคการออกแบบประกอบด้วย

1. การไหลแผ่ซ่านผ่านพื้นที่ป่าสงวน Sheet flow to Conserved Open Space
2. การปิดการเชื่อมต่อหลังคา Rooftop Disconnection
3. การซึมผ่านพื้นปูวัสดุซึมน้ำ Permeable Paving
4. การกักเก็บน้ำผ่านการสร้างหลังคาสีเขียว Green Roofs
5. การกักเก็บน้ำด้วยหญ้า Grass Channel

6. การกักเก็บน้ำด้วยระบบพืชพรรณ หรือ ร่องปลูกหญ้าแห้ง Bio-retention/Dry Swale

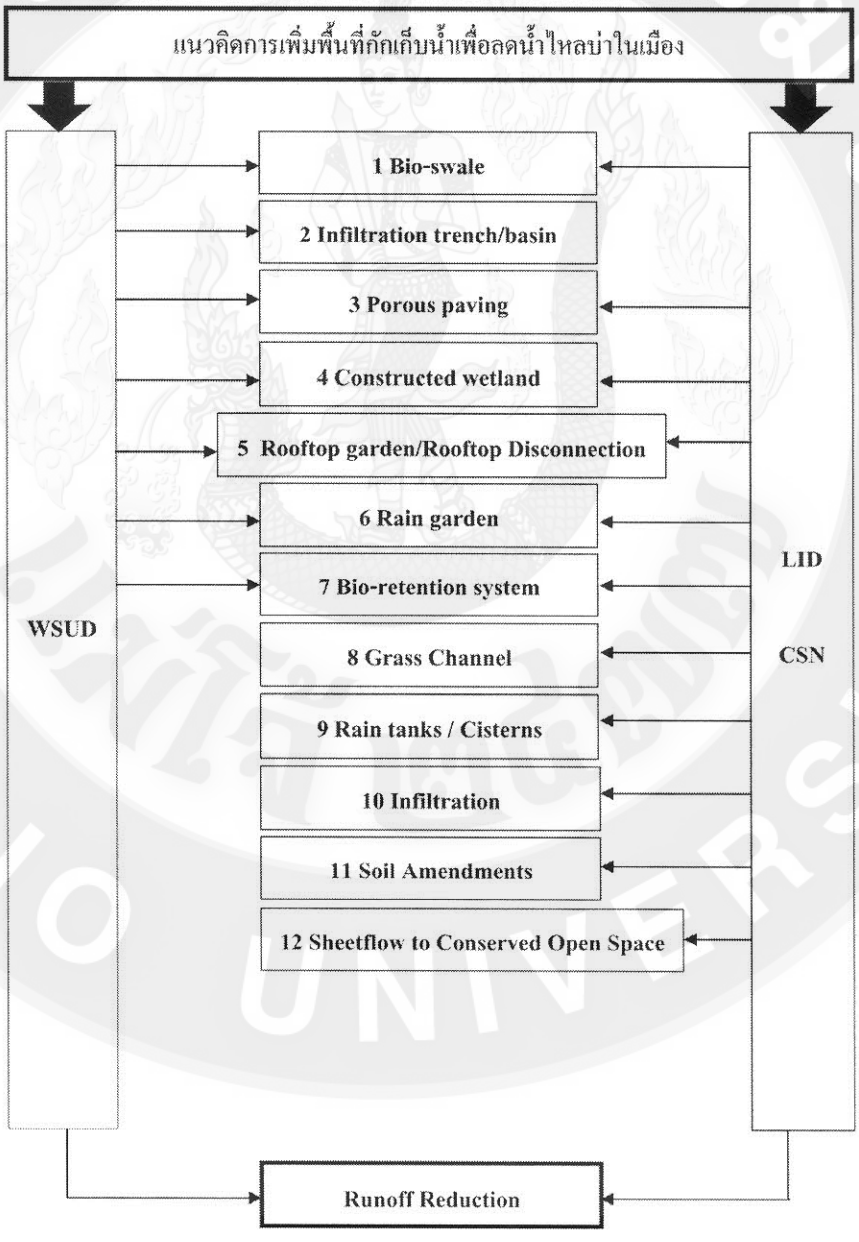
7. การกักเก็บน้ำด้วยร่องปลูกหญ้าเปียก Wet Swale

8. การกักเก็บผ่านการซึมซับ Infiltration

9. การขยายพื้นที่กักเก็บ Extended Detention

10. การแก้ไขดิน Soil Amendments

11. การกักเก็บด้วย ถังน้ำ Rain Tanks/Cisterns



ภาพ 7 สรุปแนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง

แนวคิดและเทคนิคการออกแบบพื้นที่เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในเมือง

การสร้างร่องปลูกหญ้า Bio-swale

วัตถุประสงค์ของร่องปลูกหญ้า (ศิริชัย และคณะ, 2549)

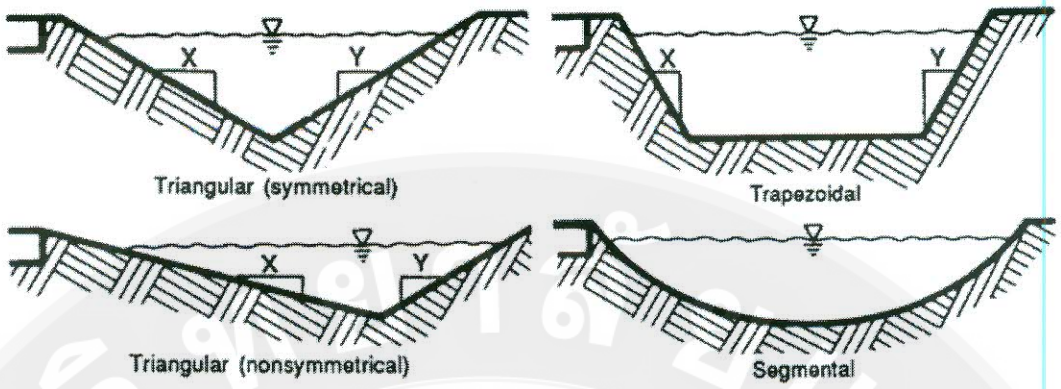
1. เป็นที่ไหลรวมกันของน้ำผิวดิน/น้ำฝนเพื่อจะระบายน้ำ/ลำเลียงน้ำออกจากพื้นที่
2. เป็นตัวกรองสารพิษ ขยะ และสิ่งเจือปนต่างๆในน้ำฝนก่อนที่จะระบายออกไป
3. เป็นตัวหน่วงน้ำไว้เพื่อลดอัตราน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม
4. เป็นสวนภูมิทัศน์เพิ่มเสริมความสวยงามและให้ความร่มรื่นให้ถนนน่าเดินยิ่งขึ้น
5. เป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว/เส้นทางน้ำของเมืองเพื่อเชื่อมต่อกับพื้นที่อื่นๆ
6. เป็นพื้นที่กันชน(Buffer)ให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนน
7. ใช้พืชพรรณในร่องช่วยดูดซับฝุ่นละอองที่เกิดจากการใช้รถใช้ถนน

การเลือกพื้นที่เพื่อก่อสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)

ใช้กับพื้นที่ต่ำริ้วยาว แนวยาวตามริมถนน ทางเท้าพื้นที่จอดรถ สวนสาธารณะ ร่องระบายน้ำ ครองน้ำ ที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป

ลักษณะการออกแบบร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)

Jurries (2003) กล่าวว่า หน้าตัดของร่องปลูกหญ้า Cross Section for bio-swales มีทั้งหมด 4 รูปแบบ ซึ่งได้แก่ แบบรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular) แบบรูปสามเหลี่ยม (triangular) แบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal) และ แบบเป็นรูปโค้ง (parabolic) ซึ่งในนั้นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal) เนื่องจากว่า เป็นโครงสร้างที่ง่ายต่อการก่อสร้าง การรับน้ำหนักน้ำและรับความดันของน้ำมีประสิทธิภาพสูง อำนวยความสะดวกในการบำรุงรักษา และ มีความโดดเด่นในด้านสุนทรียภาพกว่าแบบอื่นๆ ส่วนแบบรูปสามเหลี่ยม (triangular) เหมาะสมสร้างในพื้นที่ที่มีความชันสม่ำเสมอ (gentle slope) สำหรับแบบรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular) ไม่เหมาะต่อการสร้างเป็น Bio-swale เนื่องจากยากต่อการก่อสร้าง ยากต่อการบำรุงรักษา รวมทั้งไม่มีพื้นที่เพื่อการปลูกหญ้าตามสองฝั่งร่อง และ มีความเสี่ยงสูงต่อการเจื่อนของดินสองฝั่งครองเพราะมีความชันสูงมาก



ภาพ 8 รูปหน้าตัด ของร่องปลูกหญ้า Cross Section for Bio-swales

โดยทั่วไปแล้ว การทำร่องปลูกหญ้าในรูปหน้าตัดแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal) ข้างร่องมีความชันต่ำ หรือร่องมีตื้นมากยิ่งเป็นสิ่งที่ดี ถึงจะต้องสูญเสียพื้นที่มากในการสร้างก็ตาม ความลาดข้างครองควรอยู่ในสัดส่วน 3:1 ถึง 5:1 (แนวนอน:แนวตั้ง) โดยที่ต้องพิจารณาปัจจัยใจในการเจื่อนของดิน การกัดเซาะของน้ำหลาก และ ให้เหมาะกับประเภทของหญ้าที่จะปลูก รวมทั้งงานในขั้นตอนการปลูกหญ้า ตลอดจนการตัดหญ้า ดูแลหลังการสร้างสำเร็จ

ความกว้างของพื้นร่องรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (Bottom Width of trapezoidal swale)

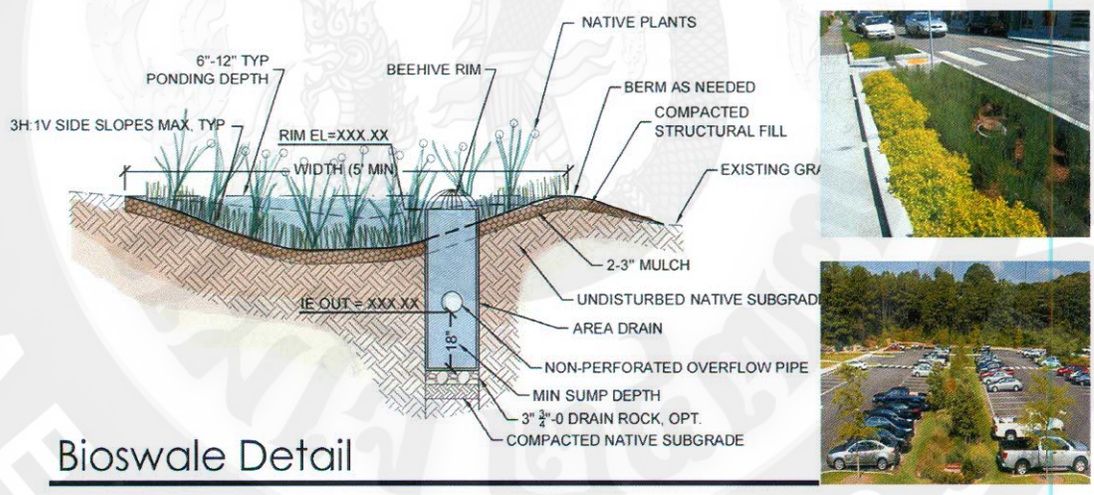
ความกว้างของพื้นร่องควรตั้งข้อพิจารณาให้ตอบสนองความต้องการในหลายด้าน เช่น ควรกำหนดให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำที่จะไหลผ่าน ปริมาณสารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัด รวมทั้งให้สะดวกต่อการบำรุงรักษาโดยเฉพาะการลงไปตัดหญ้าในร่อง ดังนั้นพื้นร่องควรมีความกว้างอย่างน้อย 2 feet หรือ 0.61 เมตร และ กว้างสูงสุดไม่ควรเกิน 8 feet หรือ 2.438 4 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกกระจ่าย และตกค้างของกระแสน้ำ

ความลึกของร่องปลูกหญ้ารูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (Depth of trapezoidal swale)

ความลึกของร่องควรคำนวณโดยให้ขอบบนสุดของร่องสูงกว่าระดับหน้าน้ำเวลาที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด อย่างน้อย 6 inch หรือ 15.24 เซนติเมตร เพื่อบังคับให้น้ำไหลไปตามร่ำครอง ทั้งรักษาร่องน้ำไม่ให้เกิดการเซาะเจื่อน รวมทั้งป้องกันมิให้น้ำล้นจากร่องไปท่วมพื้นที่อื่นโดยรอบ

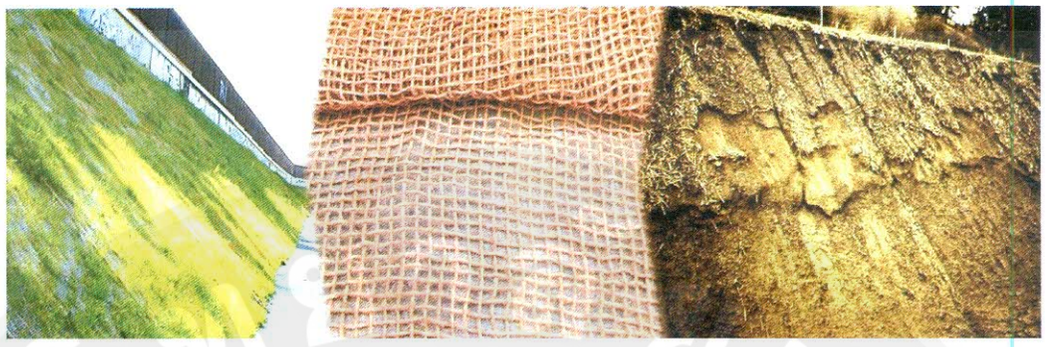
โครงสร้างของร่องน้ำปลูกหญ้า (Bio-swale Construction)

ในการสร้างร่องปลูกหญ้านั้น ควรทำให้ดินที่อยู่ในพื้นร่อง และสองข้างของร่องมีการจับตัวเป็นอย่างดี หรือทำให้ดินแน่นดีก่อนปลูกหญ้า พร้อมทั้งต้องตรวจดูองค์ประกอบที่จำเป็นของดินต่อพืชพรรณโดยเฉพาะในด้านสารอาหารที่จะสนองต่อการเจริญเติบโตของชนิดพืชที่จะนำมาปลูก ควรมีการเตรียมดินพื้น และ สองข้างของร่องน้ำให้ระเอียด โดยควรมีการไถพรวนดินเสริมสารอาหารที่ขาดในดิน รวมทั้งเสริมหิน ทราย หินกรวด และ ปุ๋ยหนัก compost เพื่อสร้างความสะดวก และ ความสามารถต่อการซึมซับของน้ำ ตลอดถึงการเปิดช่องว่างให้แก่อากาศในความต้องการของพืช โดยทั่วไปแล้วความลึกของส่วนประสมของดิน พื้น และข้างของร่องปลูกหญ้าควรอยู่ในระหว่าง 30.5 เซนติเมตร ถึง 61 เซนติเมตร ที่สำคัญที่สุดควรมีชั้นผ้าปกหุ้มชั้นนอกผิวคลองเพื่อรักษาไม่ให้ดินพังทลาย (เจื่อน) หลังการก่อสร้างใหม่ๆ โดยที่ต้องใช้วัสดุชนิดที่สามารถละลายได้เอง biodegradable geotextiles และควรใช้ผ้ารองพื้นร่องก่อนใส่หิน ทราย และ หินกรวดลงไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดการอุดตันต่อการซึมของน้ำ (Jurries, 2003: Online)



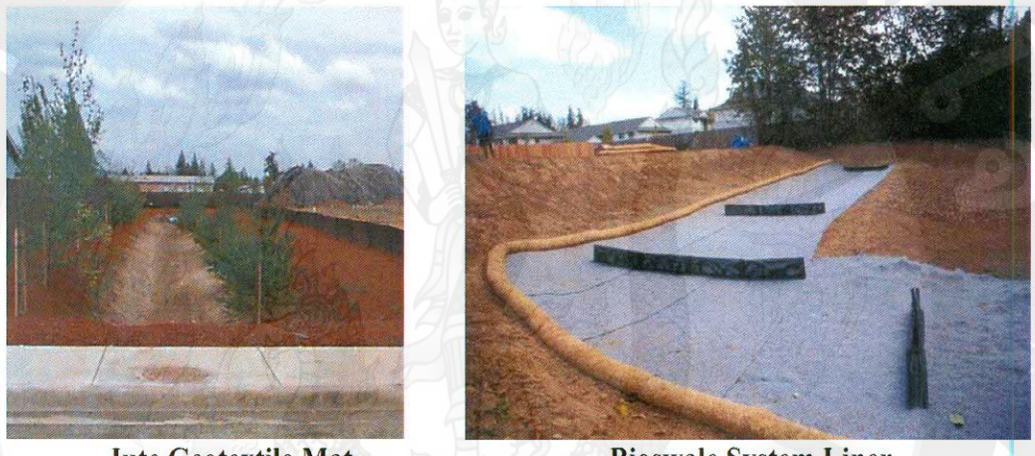
ภาพ 9 ลักษณะโครงสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)

ที่มา: Blair Parker Design (2013: Online)



ภาพ 10 ตัวอย่างผ้ากันดินพังทลายในร่องปลูกหญ้า (biodegradable geotextiles)

ที่มา: Magic Soils Australia (2013: Online)



Jute Geotextile Mat **Bioswale System Liner**

ภาพ 11 การใช้ผ้ากันดินพังทลายในร่องปลูกหญ้า (biodegradable geotextiles)

ที่มา: Jurries (2003)

ความสามารถการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของร่องปลูกหญ้า (Volumetric Runoff Reduction Achieved by Bio swale)

1. ร่องแห้ง Dry swale

Hirschman and Collins (2008) จากงานวิจัยการทดลองของ LID ในการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของร่องปลูกหญ้าแห้งพบว่า สามารถลดน้ำไหลบ่าได้ตั้งแต่ร้อยละ 40 ถึง ร้อยละ 60 โดยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ศักยภาพของดิน หิน ทราย หินกรวด หญ้า ความลาดชันของพื้นที่

ตาราง 5 ปริมาตรน้ำไหลบ่าที่ลดได้จากร่องปลูกหญ้าแห้ง

LID Practice	Location	% Runoff Reduction	Reference
Dry Bioswale	WA	98	Horner et al (2003)
Dry Bioswale	MD	40 - 60	Stagge (2006)
Dry Bioswale	TX	90	Barrett et al (1998)
Runoff Reduction Estimate		40 - 60	

ที่มา: Hirschman and Collins (2008: Online)

2.ร่องเปียก Wet swale

สำหรับร่องปลูกหญ้าเปียก เป็นพื้นที่เหมือนกับหนองน้ำ และพื้นที่ชุ่มน้ำ ดินมีความชื้นพอสมควร จึงไม่สามารถดูดซับน้ำ และ ลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้

การสร้างรางตื้นซับน้ำ/บ่อซึม Infiltration trench/Basin

Maryland Department of the Environment (2000) การกักเก็บน้ำน้ำฝนด้วยวิธีปล่อยให้ซึมซับเป็นการชะลอน้ำ และ กักขังน้ำฝนไว้ชั่วคราวโดยการเปิดช่องว่างให้น้ำซึมผ่านลงไปในดิน ซึ่งมี 2 รูปแบบ ได้แก่

1. การสร้างรางตื้นซับน้ำ (Infiltration Trench)
2. การเลือกพื้นที่เพื่อก่อสร้างรางตื้นซับน้ำ (Infiltration Basin)

การสร้างรางตื้นซับน้ำ

วัตถุประสงค์ของรางตื้นซับน้ำ (ศิริชัย และคณะ, 2549) หน้าที่หลักของรางตื้นซับน้ำ คือ

1. เป็นที่ไหลรวมกันของน้ำผิวดิน/น้ำฝนบริเวณใกล้เคียงเพื่อจะซึมซับลงไปใต้ดิน
2. เป็นตัวกรองสารพิษ ขยะ และสิ่งเจือปนต่างๆในน้ำก่อนที่จะซึมซับลงในดิน และระบายออก
3. เป็นตัวกักเก็บน้ำไว้เพื่อลดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม

4. เป็นตัวช่วยหน่วง หรือชะลอน้ำเพื่อลดอัตราน้ำไหลบ่าสูงสุด

5. เป็นสวนภูมิทัศน์เพิ่มเสริมสร้างความหลากหลายด้านทัศนียภาพให้แก่เมือง

การเลือกพื้นที่เพื่อก่อสร้างรางตื้นซับน้ำ

ใช้กับพื้นที่ต่ำที่น้ำสามารถไหลมารวมกัน ลักษณะพื้นที่เป็นริ้วยาวอ้อมรอบเมือง หรือหมู่บ้าน แนวยาวตามริมถนน พื้นที่จอดรถ สวนสาธารณะ สวนหย่อมบริเวณทางแยกที่เชื่อมต่อกับทางระบายน้ำสาธารณะ สามารถสร้างกับพื้นที่ขนาดเล็กได้

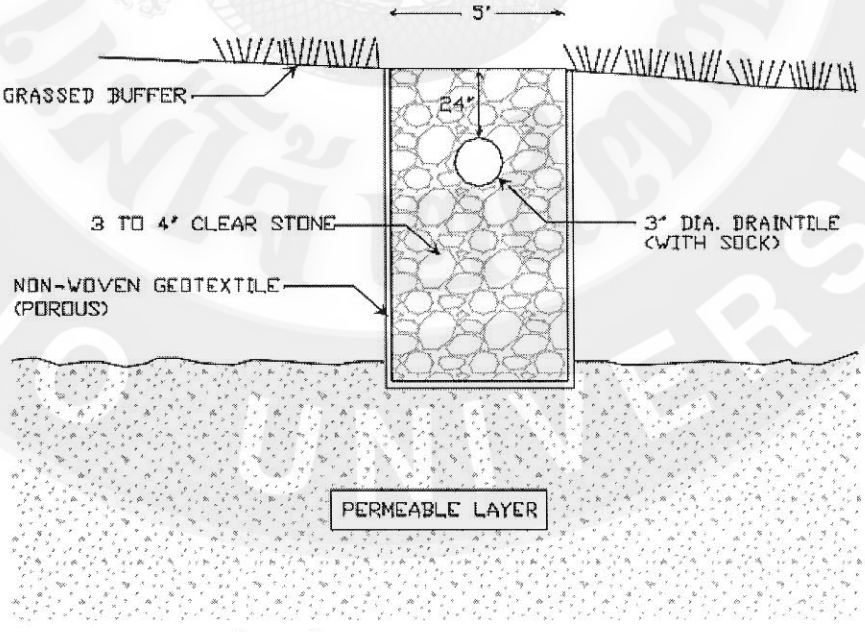
ลักษณะการออกแบบรางตื้นซับน้ำ (Infiltration trench)

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

1. ขนาดของรางควรออกแบบให้รับน้ำที่คำนวณได้จากพื้นที่

2. ขนาดของรางควรออกแบบเพื่อรับประกันให้สามารถซึมซับน้ำทันกับความเร็วรอบฝนที่จะตกในรอบต่อไปโดยต้องรู้ข้อมูลความเร็วรอบฝนในพื้นที่ให้ชัดเจนก่อนออกแบบ

3. องค์ประกอบโครงสร้าง ควรออกแบบตามความต้องการในการใช้งาน โดยให้ตอบสนองบำบัดสารปนเปื้อนชนิดใดเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบหลักจะมี หินกรวด (Gravel) ทราย (Sand) ท่อ (Pipe) และผ้ากันการอุดตัน (Geotextile)



ภาพ 12 รูปหน้าตัดลักษณะรางตื้นซับน้ำ (Cross section of Infiltration trench)

ที่มา: County of Dane-Wisconsin (2007: Online)

การสร้างบ่อซึมน้ำ Infiltration Basin

หน้าที่ของบ่อซึม (New Jersey Storm, 2004: online) คือ

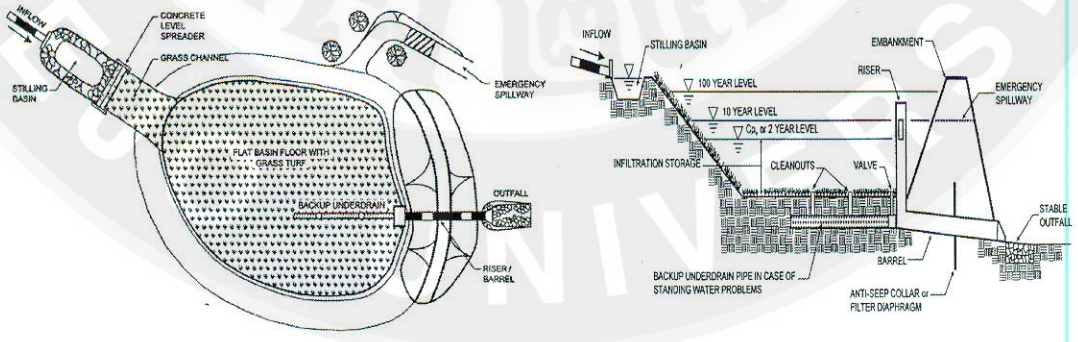
1. ช่วยกรองสารเจือปนที่ไหลมาจากน้ำไหลบ่า
2. ช่วยซึมน้ำเข้าไปในดิน
3. ช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดจากพื้นที่พัฒนา
4. ช่วยหน่วงการไหลของน้ำเพื่อลดปัญหาน้ำท่วม

การเลือกพื้นที่เพื่อสร้างบ่อซึม

การสร้างบ่อซึมเหมาะสำหรับพื้นที่ที่อัตราการซึมซับน้ำของดินสูงเท่านั้น ควรหลีกเลี่ยงสร้างบ่อซึมกับพื้นที่ที่มีมลภาวะทางน้ำสูง เพราะจะมีความเสี่ยงต่อน้ำใต้ดินที่จะปนเปื้อนสารพิษได้ พื้นที่หลีกเลี่ยงการสร้างบ่อซึมได้แก่

1. พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่พาณิชยกรรม พื้นที่ทำลายผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี พื้นที่ตกค้างสารกำจัดศัตรูพืช
2. พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อวัตถุอันตราย
3. พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการรั่วไหลของวัสดุที่เป็นพิษได้แก่ พื้นที่สถานีบริการน้ำมัน พื้นที่บำรุงรักษารถยนต์ และซ่อมแปลงรถยนต์
4. พื้นที่ที่เป็นที่พักของน้ำไหลบ่าจากเขตอุตสาหกรรม

ลักษณะการออกแบบบ่อซึม Infiltration Basin Design



a) Top View b) Section view

ภาพ 13 ลักษณะการออกแบบบ่อซึม Infiltration basin

แนวคิดการสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving)

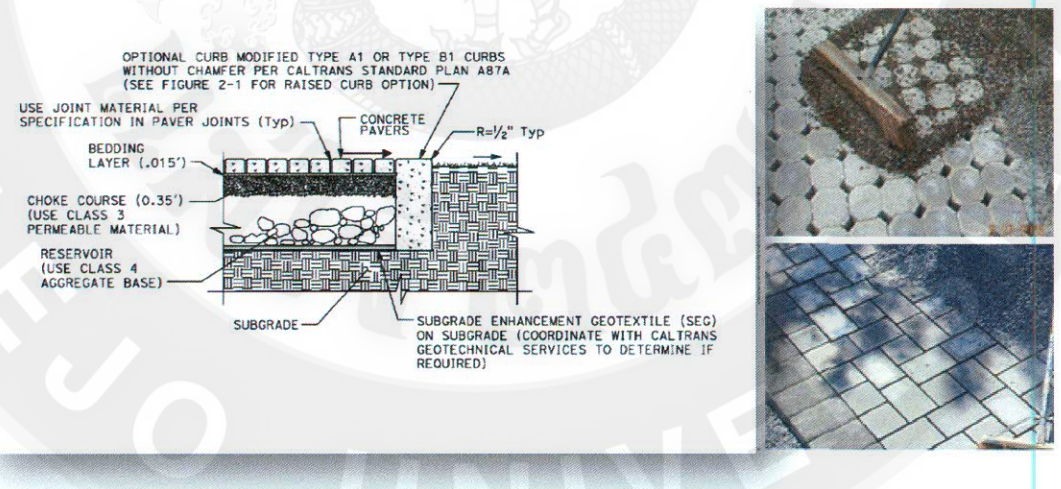
วัตถุประสงค์ของพื้นปูวัสดุซึมน้ำ

1. ใช้เป็นพื้นที่กิจกรรมกลางแจ้งสาธารณะ
2. เป็นตัวเปิดช่องว่างให้น้ำสามารถซึมซับน้ำลงไปใต้ดินได้ง่ายขึ้น
3. ช่วยเป็นตัวกรองสารพิษ ขยะ และสิ่งเจือปนต่างๆที่มานำน้ำ
4. เป็นตัวช่วยหน่วงน้ำไว้เพื่อลดการเกิดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม
5. เป็นสวนภูมิทัศน์ช่วยเสริมสร้างความหลากหลายด้านทัศนียภาพให้แก่เมือง

การเลือกพื้นที่เพื่อก่อสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving)

ใช้กับพื้นที่สาธารณะกลางแจ้งทุกประเภท อาทิ เดินเล่น เดินบ้าน สนามหลวง สวนสัตว์ ทางเท้า ที่จอดรถ ลานกีฬากลางแจ้ง ลานอเนกประสงค์ในโรงเรียน วัด/ศาสนาสถาน ที่โล่งในเมืองเป็นต้น

การออกแบบพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving)



ภาพ 14 ลักษณะพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving)

ที่มา: CT Caltrans (2013: Online)

ความสามารถการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของพื้นปูวัสดุซึมน้ำ

Hirschman and Collins (2008) จากงานวิจัยกว่า 12 ฉบับด้วยการสนับสนุนของ LID พบว่า การใช้พื้นปูวัสดุซึมน้ำ สามารถช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้อย่างหน้าพอใจ ซึ่งการทดลองนั้นมีทั้งการใส่ท่อระบายน้ำใต้พื้นวัสดุซึมนั้น และไม่ใส่ท่อรองพื้น

ตาราง 6 ความสามารถในการลดไหลบ่าจากพื้นปูวัสดุซึมน้ำ

LID Practice	Location	Runoff Reduction	Reference
Pervious Pavement*	ONT	99	Van Seters et al. (2006)
Pervious Pavement*	PA	94	Traver et al. (2006)
Pervious Pavement*	FRA	98	Legret and Colandini (1999)
Pervious Pavement*	NC	100	Bean et al. (2007)
Pervious Pavement*	NC	95 to 98%	Collins et al. (2007)
Pervious Pavement*	WA	97 to 100	Brattebo and Booth (2003)
Pervious Pavement*	CT	72	Gillert and Clausen (2006)
Pervious Pavement*	UK	78	Jefferies (2004)
Pervious Pavement#	NC	38 to 66	Collins et al. (2007)
Pervious Pavement#	PA	25-45	Pratt et al. (1989)
Pervious Pavement#	NC	66	Bean et al. (2007)
Pervious Pavement#	UK	53	Jefferies (2004)
Pervious Pavement#	MD	45 to 60	Schueler et al. (1987)
Pervious Pavement#	Lab	30 to 55	Anderden et al. (1989)
Runoff Reduction Estimate		453 to 75*	

หมายเหตุ * no underdrain collection / infiltration design; 3 underdrain collection

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

แนวคิดการจัดทำพื้นที่ชุ่มน้ำ (Constructed wetland)

วัตถุประสงค์ของพื้นที่ชุ่มน้ำ (ศิริชัย และคณะ, 2549)

1. ใช้เป็นพื้นที่กรอง และ บำบัดสิ่งปนเปื้อนที่ไหลมากับน้ำฝน/น้ำเสีย
2. เป็นตัวดูดให้น้ำสามารถซึมซับน้ำลงไปใต้ดิน
3. เป็นตัวกักเก็บและชะลอน้ำไว้เพื่อลดการเกิดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม

4. ช่วยเติมน้ำใต้ดิน(Groundwater recharge)ให้ดินมีความชื้น ช่วยพืชเจริญเติบโตดีขึ้น

5. ช่วยหน่วงน้ำให้เกิดปริมาณการระเหยไอกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศให้ได้สูงสุด

6. เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งหลาย

7. ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น ร่มรื่น เย็นสบายให้แก่เมือง

8. เป็นพื้นที่ศึกษาเรียนรู้ในด้านนิเวศวิทยาของเมือง

9. เป็นสวนภูมิทัศน์ช่วยเสริมสร้างความหลากหลายด้านนิเวศวิทยาของเมือง

การเลือกพื้นที่เพื่อสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำ (Constructed wetland)

Maryland Department of the Environment (2000) เงื่อนไขการเลือกพื้นที่ในการสร้าง ที่ชุ่มน้ำประกอบด้วยหลายปัจจัยที่สำคัญซึ่งได้แก่

1. พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อจัดการน้ำฝน ปกติแล้วควรอยู่ข้างล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำที่จะสนองน้ำฝนอย่างน้อย 25 เอเคอร์ ประมาณ 60 ไร่ หรือ มากกว่า สำหลับพื้นที่ที่ทำเป็น Porket wetland ควรมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 12ไร่ขึ้นไป

2. ต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่ขาดน้ำโดยพื้นฐาน และ/หรือมีน้ำไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อรับประกันการเจริญพันธ์ของพืช หรืออย่างน้อยควรมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการระเหยจากภัยแล้งไม่ต่ำกว่า 30 วัน

3. การเลือกที่ดินจัดสรรเพื่อสร้างที่ชุ่มน้ำควรเลือกใช้กับพื้นที่เป็นแหล่งน้ำเพื่อจะได้ใช้ศักยภาพของพื้นที่ในการจัดการน้ำ เช่น พื้นที่กักเก็บน้ำธรรมชาติ natural depressions พื้นที่กันชน buffers zone และพื้นที่ไม่มีเกิดความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงมาก undisturbed area ดีที่สุดควรอยู่ในพื้นที่ที่มีความสุนทรียภาพสูง มีการเข้าถึงสะดวก

4. ไม่ควรใช้กับพื้นที่น้ำที่เป็นทางเดินเรือ

5. ควรมีเส้นทางน้ำสำรองเพื่อปกป้องการเกิดน้ำไหลหลากรุนแรง ที่จะส่งผลเสียต่อการกัดกร่อน และ สร้างความเสียหายต่อพืชพรรณ

6. ส่วนปัจจัยอื่นๆ ควรให้ที่ชุ่มน้ำอยู่ห่างจากพื้นที่อื่นๆ ด้วยระยะใดหนึ่งที่แน่นอน เช่น

6.1 ห่างจาก เส้นอสังหาริมทรัพย์ property line ไม่น้อยกว่า 10 feet หรือ 3.048 เมตร

6.2 ห่างในพื้นที่แหล่งน้ำ/บ่อน้ำส่วนตัวของบุคคล private well ไม่น้อยกว่า 100 feet หรือ 30.48 เมตร

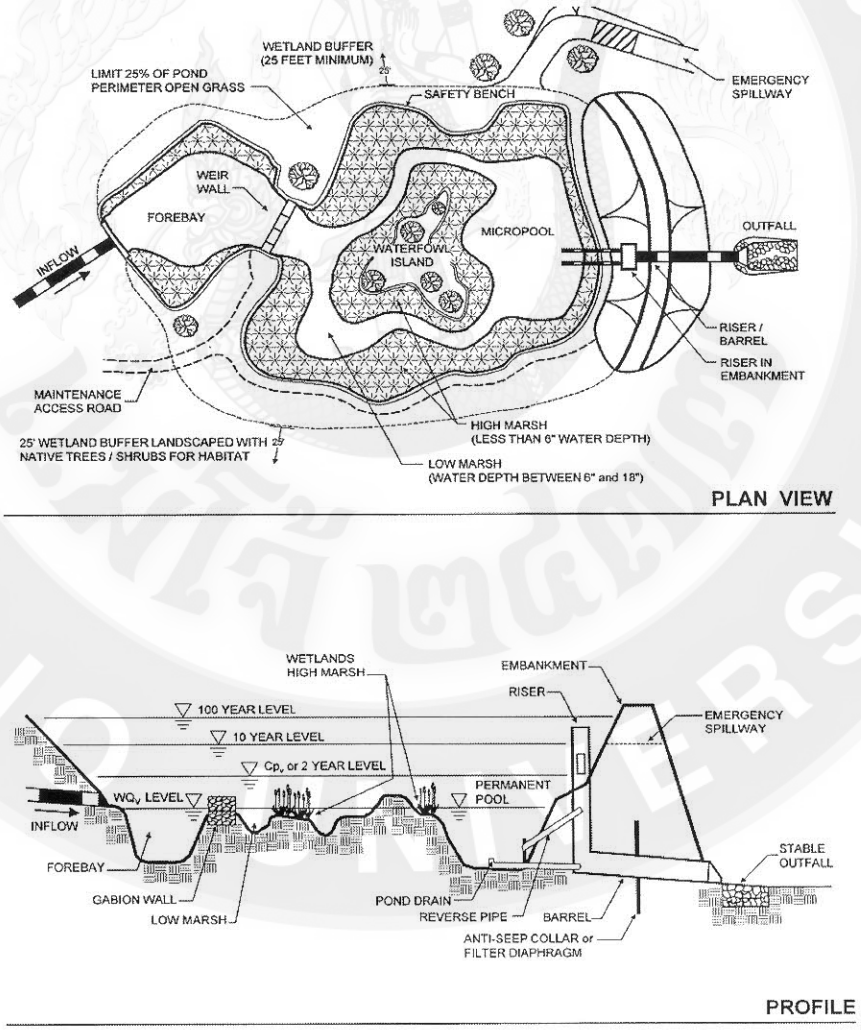
6.3 ห่างจากโรงบาลอย่างน้อย 250 feet หรือ 72 เมตร

6.4 ห่างจากถังกักเก็บสารมีพิษ septic system tank/leach field ไม่น้อยกว่า 50 feet หรือ 15 เมตร

ลักษณะการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

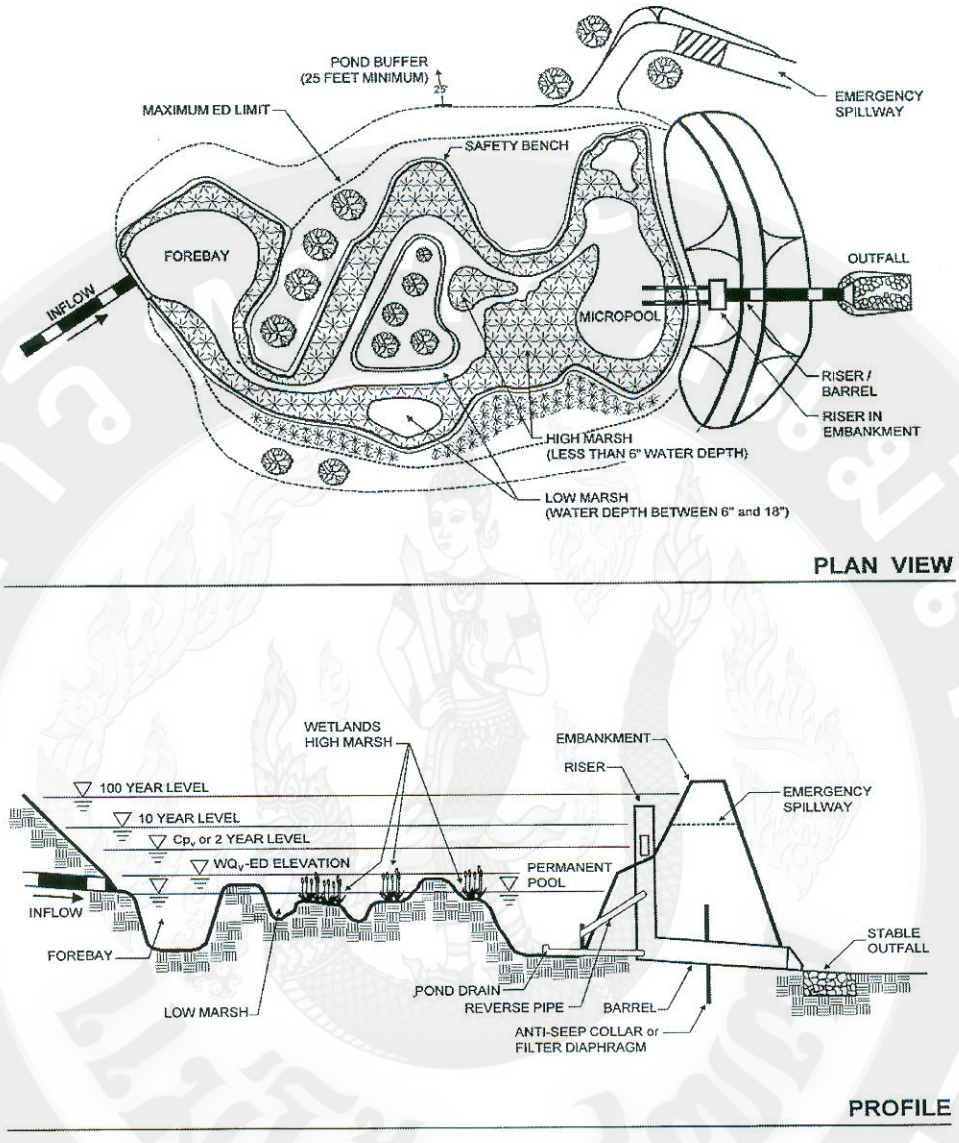
การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำมีทั้งหมด 4 รูปแบบ (Maryland Department of the Environment, 2000) ซึ่งได้แก่

1. Shallow Wetland
2. Extended Detention (ED) Shallow Wetland
3. Pond/Wetland Systems
4. Pocket Wetland



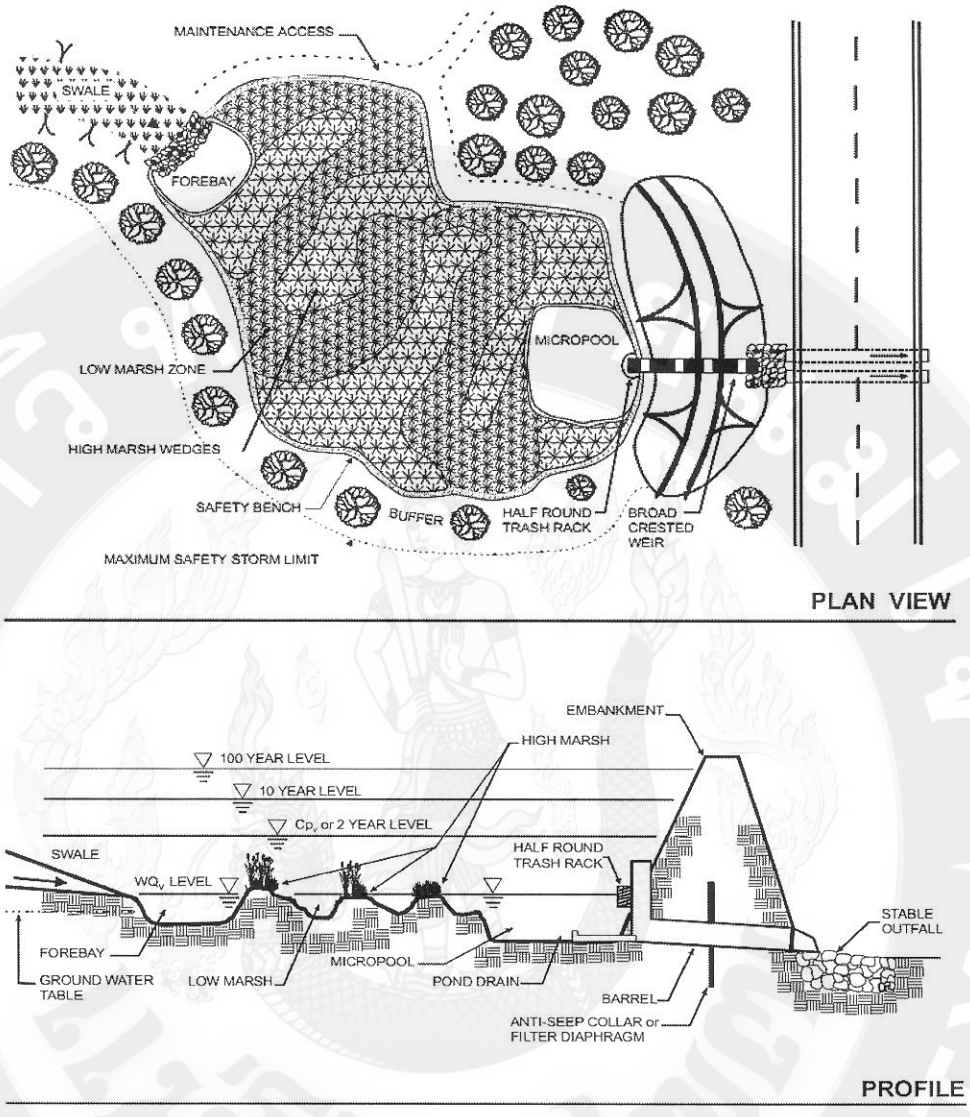
ภาพ 15 Shallow Wetland

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)



ภาพ 16 Extended Detention (ED) Shallow Wetland

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)



ภาพ 17 Pocket Wetland

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)

การทำสวนหลังคา Rooftop garden

วัตถุประสงค์ของสวนบนหลังคา (ศิริชัย และคณะ, 2549)

1. เป็นตัวกักเก็บและชะลอน้ำไว้เพื่อลดการเกิดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม

2. ช่วยหน่วงน้ำให้เกิดการระเหยอาย (Evaporation) ในปริมาณมากกับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ

3. ช่วยทำให้บ้านเย็นในฤดูร้อน และอุ่นในฤดูหนาว
4. ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น ร่มรื่น เย็นสบายให้แก่เมือง
5. เพิ่มพื้นที่สีเขียวในทางหนึ่งให้แก่ตัวเมือง
6. เพิ่มความสวยงามให้แก่บ้าน/อาคาร
7. เพิ่มความน่าอยู่ให้แก่อาคาร/เมืองมากขึ้น

การเลือกพื้นที่เพื่อก่อสร้างสวนบนหลังคา (Rooftop Garden)

สามารถทำได้กับหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคารทุกประเภท แต่ต้องเป็นอาคารที่มีความแข็งแกร่งเพียงพอ ที่พร้อมรับน้ำหนักของสวนดังกล่าวและมวลน้ำที่เติมน้ำหนักใส่หลังคาหลังจากอุ้มน้ำได้เป็นอย่างดี นอกนี้ Roof Garden ยังสามารถสร้างในแนวตั้งได้ ที่เรียกกันว่าสวนแนวตั้ง ซึ่งสร้างตามผนังบ้านชั้นนอก ตามกำแพงอ้อมบ้าน

การออกแบบสวนบนหลังคา (Rooftop garden design)

ภาพ 18 แบบสวนบนหลังคา (Rooftop Garden)

ที่มา: Green Roofs for Healthy Cities (2014: Online)

ความสามารถการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของสวนหลังคา

Hirschman and Collins (2008) จากงานวิจัยโดยการสนับสนนของ LID ในสหรัฐอเมริกาเมื่อเร็วๆ นี้พบว่า สวนหลังคาสามารถช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ ร้อยละ 45 ถึงร้อยละ 60 ซึ่งประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งได้แก่ ความลึกตื้นของพื้นสวน ความลาดชันของหลังคา รวมทั้งชนิดหญ้าที่เลือกใช้ และ ความหนาแน่นของหญ้าที่ปกคลุมสวน

ตาราง 7 ความสามารถในการลดไหลบ่าจากสวนหลังคา

LID Practice	Location	Runoff Reduction	Reference
Green Roof	USA	40 to 45%	Jarret et al. (2007)
Green Roof	Germany	54%	Mentens et al. (2005)
Green Roof	MI	30 to 85%	Getter et al. (2007)
Green Roof	OR	69%	Hutchinson (2003)
Green Roof	NC	55 to 63%	Moran and Hunt (2005)
Green Roof	PA	45%	Denardo et al. (2005)
Green Roof	MI	50 to 60%	VanWoert et al. (2005)
Green Roof	ONT	54 to 76%	Banting et al. (2005)
Green Roof	GA	43 to 60	Carter and Jackson (2007)
Runoff Reduction Estimate		45 to 60%	

หมายเหตุ * RR Estimate = Runoff Reduction Estimate

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

การทำสวนน้ำฝน Rain garden

วัตถุประสงค์ของสวนน้ำฝน

การทำสวนน้ำฝนเพื่อเป้าหมายในการจัดการน้ำ (ศิริชัย และคณะ, 2549) ซึ่งได้แก่

1. ใช้เป็นพื้นที่กรอง สิ่งปนเปื้อนที่ไหลมากับน้ำฝน
2. เป็นตัวกักเก็บและชะลอน้ำไว้เพื่อลดการเกิดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า/น้ำท่วม
3. ช่วยเติมน้ำใต้ดิน(Groundwater supply)ให้ดินมีความชื้น ช่วยพืชเจริญเติบโต

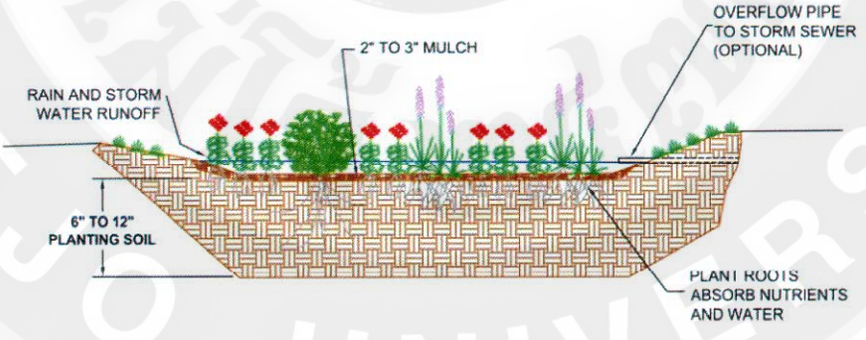
4. ช่วยให้น้ำเกิดการระเหยไอกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ
5. ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น ร่มรื่น เย็นสบายให้แก่เมือง
6. เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ และ รักษาความสมดุนของระบบนิเวศ
7. เป็นสวนภูมิทัศน์ พื้นที่สีเขียว เพิ่มความสวยงามให้แก่ตัวเมือง

การเลือกพื้นที่เพื่อจัดทำสวนน้ำฝน

จัดทำกับพื้นที่ว่างที่เป็นลานอเนกประสงค์ของเมือง/หมู่บ้าน บริเวณทางแยก สวนสาธารณะ สวนข้างบ้านเป็นต้น โดยที่สามรถปลูกพรรณไม้ พื้นถิ่น เป็นไม้กลางแจ้ง เช่น ไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และไม้กลมดิน ที่มีความทนทานต่อน้ำดี

Low Impact Development ควรสร้างสวนน้ำฝนกับพื้นที่ที่ต่ำ ลาดชันไม่เกิน 5% เป็นที่ไหลรวมกันของน้ำฝนที่มาจากพื้นที่ทึบน้ำ ซึ่งได้แก่ จุดพบกันของถนน เช่น ตรง สามแยก สี่แยก จุดวงเวียน ที่เป็นดินดีสะดวกต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นพื้นที่ที่มีโครงสร้างทางสาธารณูปโภคดี สะดวกต่อการบำรุงรักษารวมทั้งต้องเป็นดินที่มีความสามารถสูงในการซึมซับน้ำ ต้องเป็นพื้นที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ น้ำใต้ดินสูงสุดจากหน้าผิวดินไม่เกิน 0.61 เมตร ขนาดของสวนน้ำฝนควรมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 5 ถึง 10 ของพื้นที่ทึบน้ำ ส่วนพืชพรรณที่นำมาปลูกควรเป็นพืชพื้นถิ่นที่มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี

การออกแบบสวนน้ำฝน



ภาพ 19 ลักษณะการออกแบบสวนน้ำฝน

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)

การสร้างระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ Bio-retention system

แนวคิดแนวคิดการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ

ดารณี และคณะ (2555) การออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ หมายถึง บริบทหนึ่งของการออกแบบภูมิทัศน์ หรือการออกแบบทางกายภาพที่คำนึงถึงระบบระบายน้ำ และระบบกรองน้ำเสียโดยชั้นกรอง จากน้ำไหลบ่าหรือน้ำเสีย ภายใต้การออกแบบวางผังพืชพรรณ ตามหลักการทางภูมิทัศน์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่เป็นสำคัญ

ความสำคัญของการพัฒนาระบบกักเก็บน้ำของพืช ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ เป็นการปลูกต้นไม้ตามพื้นที่ต่างๆ เช่น ทางเท้าเกาะกลางถนน สวนสาธารณะ สวนหย่อม สนามออกกำลังกาย ในเขตเมืองที่มีอยู่ ยังขาดการศึกษาการวางรูปแบบของการปลูกต้นไม้ที่สามารถเอื้อประโยชน์ในด้านต่างๆ ของการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองอย่างถูกหลักการเช่น การวางวัสดุรองพื้นดิน โดยคำนึงถึงความสามารถในการช่วยกรองความสกปรกของน้ำและการระบายน้ำ การเลือกพรรณไม้ให้เหมาะสมกับการลดมลภาวะทางน้ำพร้อมปรับปรุงคุณภาพอากาศทำหน้าที่เสมือนปอดของเมืองและสร้างทัศนียภาพให้สวยงาม

การออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณเพื่อฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมือง ได้แก่

1. การเพิ่มพื้นที่รับน้ำ ลดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า (Storage Increasing and Runoff Reducing) การปรับเปลี่ยนพื้นที่โล่งโดยใช้ระบบพืชพรรณทำให้เกิดการเพิ่มสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดิน (Coefficient of runoff; C) ถ้าพื้นที่ ใดมีค่า C ต่ำ แสดงว่ามีความสามารถในการลด อัตราปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินได้สูง ซึ่งค่า C โดยทั่วไปของพื้นปูคอนกรีตหรือลาดยางมะตอยมีค่าเท่ากับ 0.95 ในขณะที่พื้นสนามหญ้ามีค่า C อยู่ระหว่าง 0.05-0.35 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ดังนั้น พื้นที่สนามหญ้าจึงมีความสามารถในการรับน้ำและลดอัตราน้ำไหลบ่าได้ดีกว่าพื้นที่ปูคอนกรีตหรือลาดยางประมาณกว่า 2 เท่า จากการศึกษาของ Pitt and Voorhess ได้คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลบ่าประจำปีพบว่า ปริมาณน้ำไหลจากสวนบนหลังคาน้อยกว่าหลังคาทั่วไป 30-35% ต่อปี เช่นเดียวกับการศึกษาของ NRCA สถาบันการศึกษาคุณภาพดินในรัฐนิวเจอร์ซีสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาโดยการใช้โปรแกรมการจำลอง (Source Loading and Management Model; SLAMN) ในการปรับเปลี่ยนพื้นที่โล่งบนหลังคาที่พักอาศัยเป็นสวนบนหลังคา พบว่าสามารถลดอัตราการไหลของน้ำบนหลังคาได้เกือบ 50% ซึ่งเมื่อคิดเทียบเป็นมูลค่าการก่อสร้างระบบระบายน้ำ สามารถลดงบประมาณในการก่อสร้างได้ประมาณ 40% ของมูลค่าการก่อสร้างระบบระบายน้ำ

2. การลดมลภาวะทางน้ำ (Reduction of Water Pollutants) ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการลดภาระบรรทุกของเสีย (Organic loading) และค่ามลพิษอื่นๆ เช่น การช่วยกรองเศษขยะและการลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำฝนจากบริเวณพื้นผิวการจราจร และ เขตทางเท้า ซึ่งพบว่าการใช้พืชเพื่อช่วยในการลดมลภาวะทางน้ำสามารถ ลดค่าใช้จ่ายได้ 50-80% เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ (ตะแกรงดักขยะ) และกระบวนการทางเคมี (สารเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนัก) ความสามารถในการกำจัดมลพิษในน้ำด้วยระบบพืชพรรณ คือ ปริมาณ องค์ประกอบของไนโตรเจน 30-80% องค์ประกอบของฟอสฟอรัส 20-80% โลหะหนัก (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Cr Al) 20-90%, ค่าความสกปรกของน้ำในรูป BOD 35% และในรูป COD 60-90% ค่าสารแขวนลอยและความขุ่นมากกว่า 90% การใช้ระบบพืชพรรณซึ่งเกี่ยวโยงกับสิ่งมีชีวิตและไม่ มีชีวิตของดินและน้ำ โดยทำงานร่วมกันด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาในการลดมลภาวะทางน้ำ ซึ่งมีกระบวนการหลักในการลดมลภาวะทางน้ำ คือ 1) การใช้พืชบำบัด (Phytoremediation) เป็นกระบวนการที่อาศัยพืชช่วยในการดูดซับมลภาวะ โดยเฉพาะสารพิษต่างๆ และโลหะหนัก 2) การใช้จุลินทรีในดินทั้งแบคทีเรียและรา ในการลดกลุ่มสารพิษเฉพาะ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ 3) การหมุนเวียนธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Nutrient Assimilation) เป็นกระบวนการที่เกิดโดยการทำงานระหว่างแบคทีเรียและพืชในการแลกเปลี่ยนและใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารทั้งสอง

3. การจัดการปัญหาน้ำท่วมขัง (Flood Management) ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการชะลอน้ำก่อนเข้าสู่ระบบท่อระบายน้ำของเมือง เป็นการกักเก็บน้ำชั่วคราว หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบพืชพรรณช่วยเพิ่ม อัตราการระบายน้ำผิวดินเป็น การบรรเทาปัญหาน้ำท่วมขังบนผิวดินได้เป็นอย่างดี ประมาณการค่าใช้จ่าย แนวทางการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio-retention Design Guideline) ในการควบคุมการระบายน้ำท่า (Hydraulic cost) เมื่อใช้พืชช่วยในการชะลอน้ำคิดเป็นมูลค่าที่ลดลงประมาณ 60%

4. การเพิ่มปริมาณระดับน้ำใต้ดิน (Enhancement of Potable Water) จากการที่ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการชะลอน้ำโดยการกักเก็บน้ำชั่วคราวส่งผลให้น้ำที่ถูกกักขังมีโอกาสซึมลงสู่ใต้ดินมากขึ้นทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ลดภาระการเกิดปัญหาดินทรุดในบางพื้นที่ที่ประชาชนนิยมใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค

5. การลดมลภาวะทางอากาศ (Reduction of Air Pollution) ต้นไม้จากระบบพืชพรรณสามารถช่วยกรองสารพิษจากอากาศได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นกลุ่มก๊าซที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน ลดความร้อนในบรรยากาศโดยพืชจะคายน้ำในช่วงกลางวันทำให้อุณหภูมิลดลง สามารถลดการใช้เครื่องปรับอากาศ ได้ประมาณ 40%

6. การเพิ่มมูลค่าทางสุนทรียภาพ (Value add of Aesthetic) นอกจากระบบพืชพรรณจะช่วยฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น การมีพืชในเขตเมืองที่มากขึ้นเกิดความร่มรื่น เป็นการสร้างความรู้สึกด้านสุนทรียภาพที่ดีของประชาชนทำให้คุณภาพชีวิตโดยเฉพาะด้านสุขภาพจิตที่ดีขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของคนเมืองและต่อเนื่องไปยังประสิทธิภาพการพัฒนาเมืองให้สวยงามและดีขึ้น ซึ่งการสร้างสุนทรียภาพของเมืองด้วยการเลือกใช้ระบบพืชพรรณต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักการทางภูมิทัศน์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านสุนทรียภาพอย่างแท้จริง โดยเฉพาะชุมชนที่มีรายได้จากการท่องเที่ยวสามารถใช้ระบบพืชพรรณของเมืองสร้างเมืองให้สวยงาม นอกจากนั้นระบบพืชพรรณยังมีส่วนส่งเสริมสร้างสมดุลระบบนิเวศเมืองโดยเป็นที่อยู่อาศัยของนก ปลา แมลง และสัตว์อื่นๆ (ดารณี และคณะ, 2555)

ภาพ 20 รูปตัดการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ
ที่มา: ดารณี และคณะ (2555)

เศรษฐพงค์ (2549) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหญ้าแพรกบริเวณลาดดินตัดของถนนสำหรับการกรองตะกอนขนาดต่างๆ ในน้ำไหลบ่าหน้าดินบนพื้นที่ภูเขา จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกรองของหญ้าแพรก ที่อัตราการไหลบ่าหน้าดิน 0.2 m3/hr. เมื่อเปรียบเทียบตามความสูงของต้นหญ้า 5, 10 และ 15 เซนติเมตร พบว่า หญ้าที่มีความสูง 5 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการกรองตะกอนดินเท่ากับร้อยละ 91.64 ที่ระยะเวลา 10 นาที และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา โดยพบว่าประสิทธิภาพลดลงเหลือร้อยละ 68.56 เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ในขณะที่หญ้าที่มีความสูง 10 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการกรองตะกอนดินที่ระยะเวลา 10 นาที เท่ากับร้อยละ 94.19 และประสิทธิภาพลดลงจนเหลือร้อยละ 67.24 เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ส่วนต้นหญ้าที่มีความสูง 15 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 94.73 ที่ระยะเวลา 10 นาที และลดลงเหลือ ร้อยละ 69.35 หลังจากผ่านไป 60 นาที ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกักกรองตะกอนของหญ้ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในทุกระดับความสูง

ของต้นหญ้าที่ทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหญ้าที่มีความสูงต่างๆ กันพบว่าประสิทธิภาพในการกักกรองตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของต้นหญ้าเพิ่มขึ้น

อาวุธ (2552) การประเมินการไหลบ่าของน้ำผิวดินและการสูญเสียดินโดยใช้แบบจำรองโครงการประเมินการชะกร่อนโดยน้ำ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปลูกพืชเชิงอนุรักษ์ดินและน้ำ 3 วิธี คือ การปลูกพืชแบบเกษตรกรนิยม (CP) การปลูกพืชแบบเกษตรกรนิยมและคลุมดินด้วยระแนงไม้ไผ่สาน (CP-BM) และ การปลูกพืชในร่องแล้วคลุมดินในร่องด้วยระแนงไม้ไผ่สาน (CF-M) รวมทั้งแปลงพื้นที่ว่างเปล่า (Ba) บ่งชี้ให้เห็นว่า การปลูกพืชในร่องแนวคลุมดิน ด้วยระแนงไม้ไผ่สาน (CF-M) ให้สมบัติทางฟิสิกส์ดีที่สุด มีการสงวนน้ำ และดินไม่ให้สูญเสียโดยน้ำไหลบ่าผิวดิน และจากการชะกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

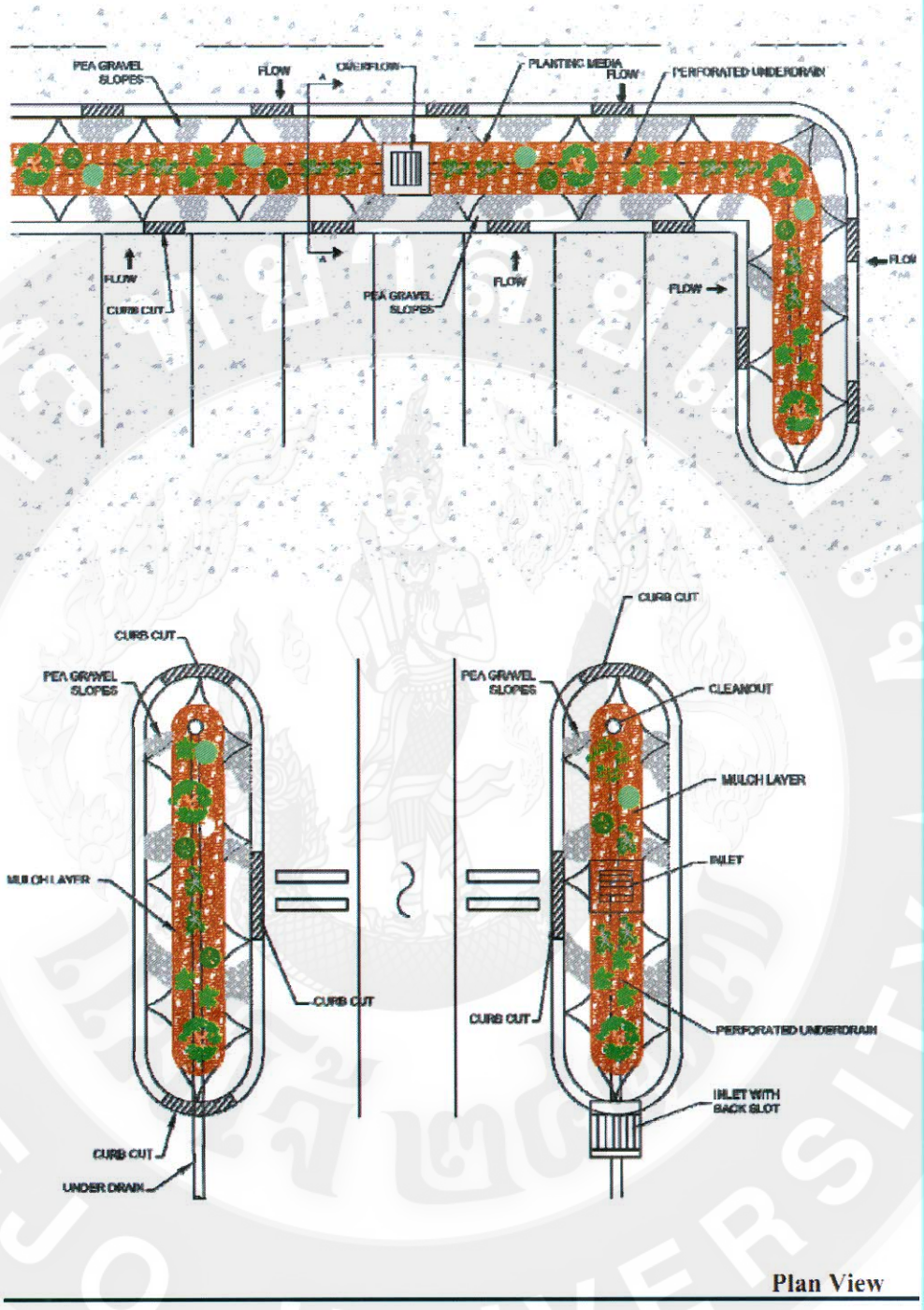
Hirschman and Collins (2008) จากกว่า 10 งานวิจัยของ LID พบว่า ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ สามารกลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ตั้งแต่ร้อยละ 40 ถึง 80 ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ลักษณะโครงสร้างของดิน ลักษณะพืชพรรณ ความหนาแน่นของพืชพรรณ และ ที่สำคัญขึ้นกับปัจจัยโครงสร้างของการออกแบบ จากการทดลองในสองลักษณะได้แก่ การสร้างท่อระบายน้ำข้างใต้พื้น และ การสร้างเพื่อการซึมลงดินเพียงอย่างเดียว ผลของการทดลองได้แสดงในตาราง 8

ตาราง 8 แสดงสัดส่วนการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ

LID Practice	Location	%Runoff Reduction	Reference
Bioretention*	CT	99%	Dietz and Clausen (2006)
Bioretention*	PA	86%	Ermilio (2005)
Bioretention*	FL	98%	Rushton (2002)
Bioretention*	AUS	73%	Lloyd et al. (2002)
Bioretention#	ONT	40%	Van Seters et al. (2006)
Bioretention#	Model	30%	Perez-Perdini et al. (2005)
Bioretention#	NC	40 to 60%	Smith and Hunt (2007)
Bioretention#	NC	20 to 29%	Sharkey (2006)
Bioretention#	NC	52 to 56%	Hunt et al. (2006)
Bioretention#	NC	20 to 50%	passeport et al. (2008)
Bioretention#	MD	52 to 65%	Davis (2008)
Runoff Reduction Estimate		40# to 80*	

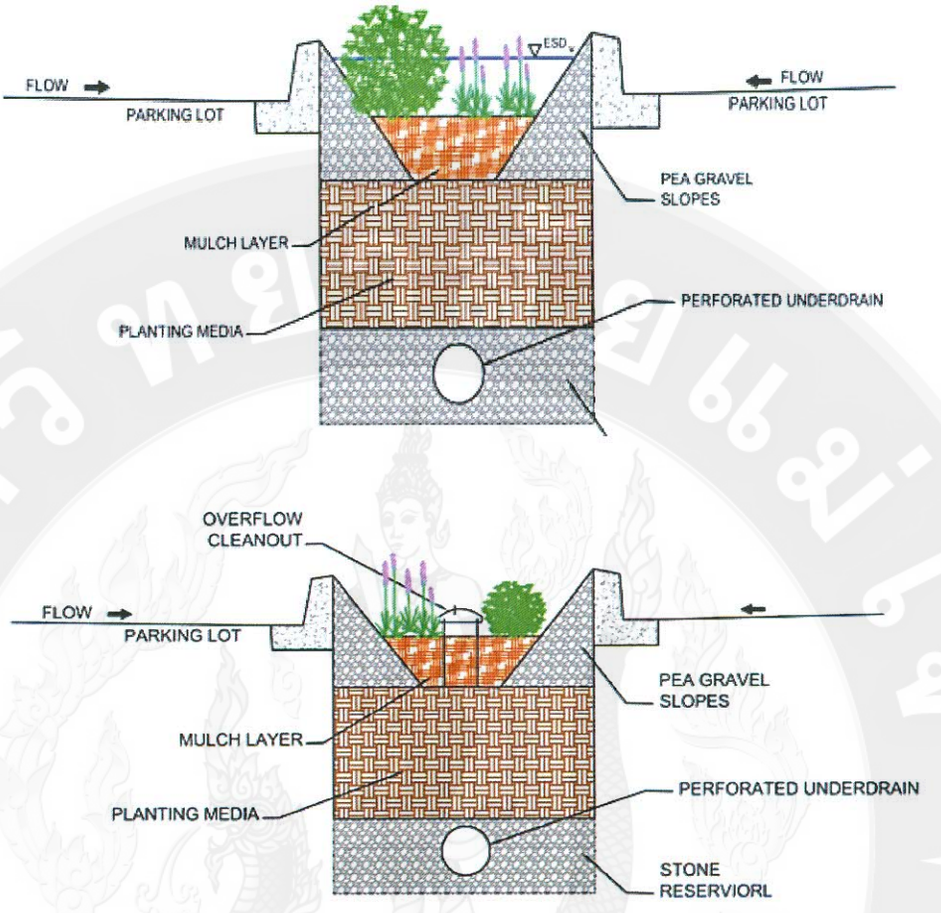
ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

หมายเหตุ * infiltration design; # underdrain design

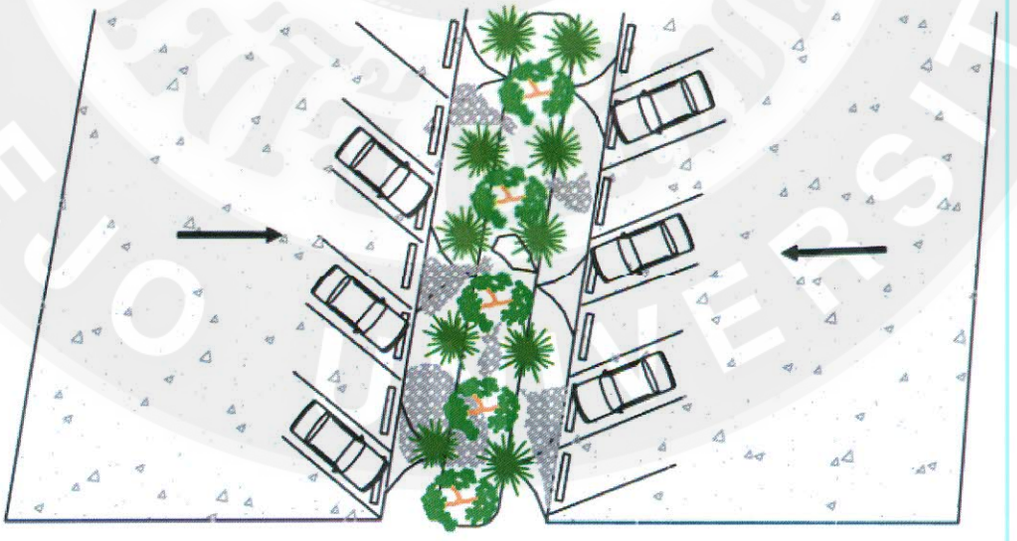


ภาพ 21 ลักษณะการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ Bio-detention ที่ลานจอดรถ

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)



ภาพ 22 Cross section of Micro – Bio-detention



ภาพ 23 Micro – Bio-detention Plan view

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)

การสร้างช่องปลูกหญ้า

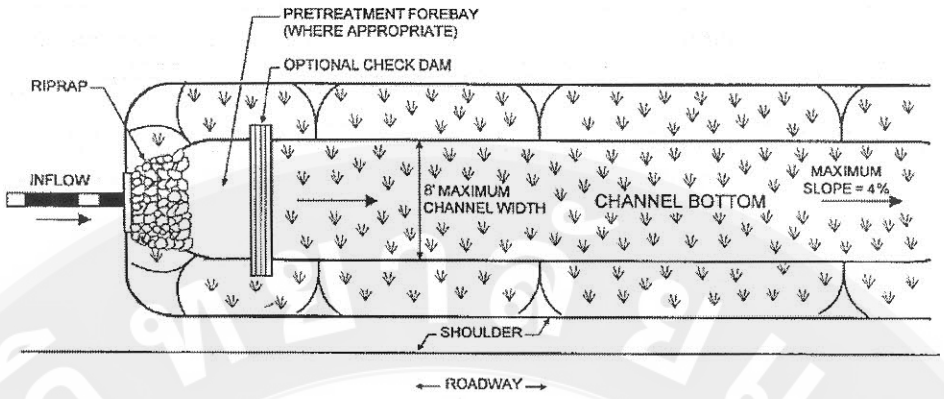
Hirschman and Collins (2008) ช่องปลูกหญ้า Grass Channel ใช้เป็นช่องทางระบายน้ำขนาดเล็ก กับพื้นที่จำกัด ทำหน้าที่ช่วยกรอง บำบัดน้ำฝน เพิ่มช่องทางการซึมของน้ำฝน และกักเก็บน้ำด้วยระบบพืชพรรณ เพื่อลดระดับน้ำไหลบ่าลง

การเลือกพื้นที่ในการสร้าง Grass Channel

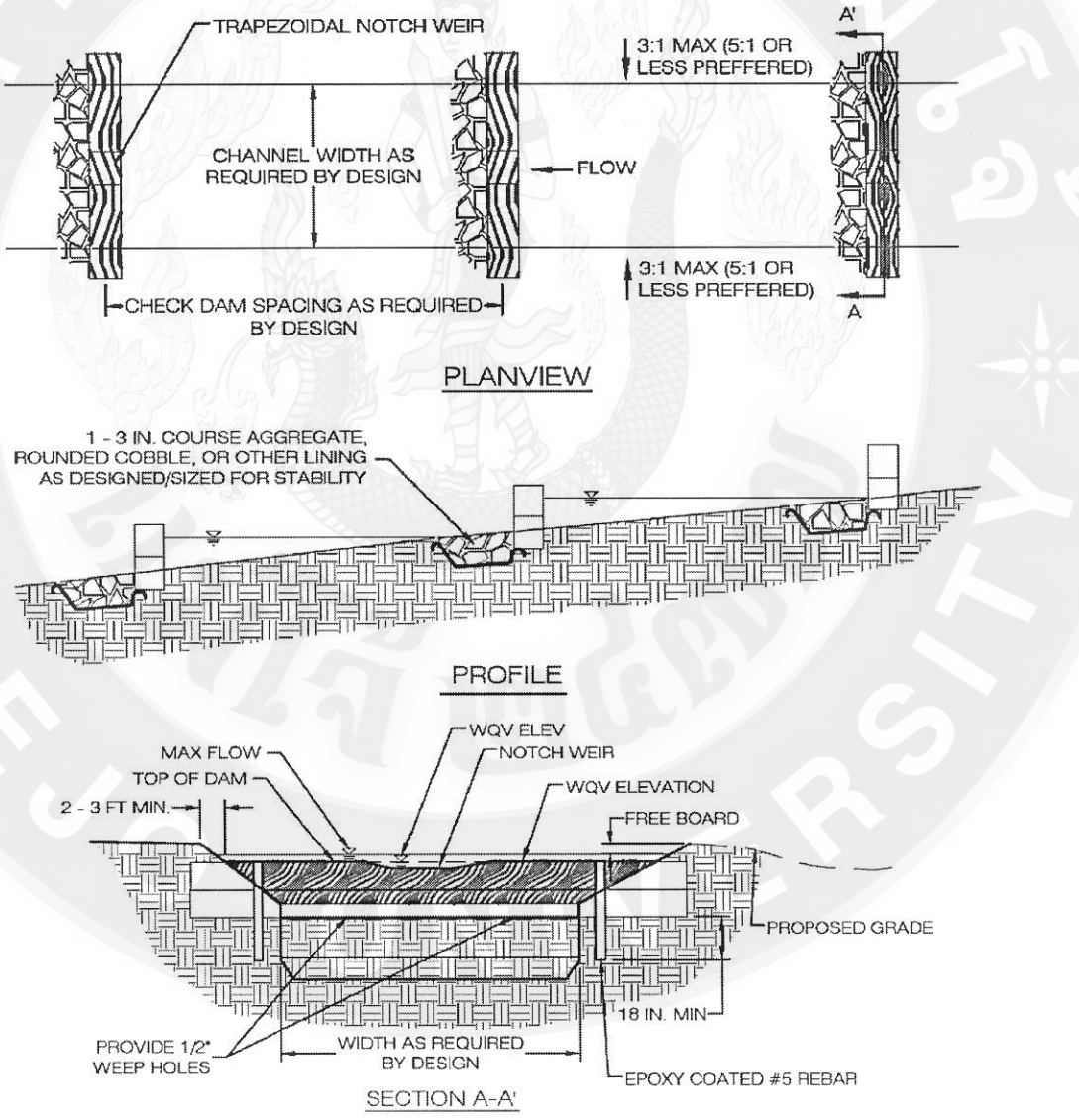
1. ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำไม่เกิน 5 เอเกอร์ หรือ 12 ไร่
2. เหมาะสมสร้างกับพื้นที่ที่รับน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ทึบน้ำโดยรอบ โดยเฉพาะพื้นที่ถนน สนามคอนกรีตเป็นต้น
3. มีความลาดชันไม่เกิน 4%
4. เหมาะสมที่สุดสำหรับที่เป็นดินที่ซึมน้ำได้น้อย
5. ตอบสนองกับการเจริญเติบโตของพืชพรรณที่มีความต้านทานสูงต่อสภาพแห้งแล้ง และน้ำท่วม
6. ปกติใช้กับพื้นที่เชื่อมต่อกับรำน้ำ/ล่องน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการลดน้ำไหลบ่า
7. เหมาะกับพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชน Residential
8. เหมาะกับพื้นที่เชิงพาณิชย์ Commercial
9. เหมาะกับพื้นที่อุตสาหกรรม Industrial

เกณฑ์ในการออกแบบช่องปลูกหญ้า Grass channel Design Criteria

1. พื้นของช่องปลูกหญ้าควรอยู่ระหว่าง 1.2 – 2.4 เมตร
2. ความชันของข้างช่องควรอยู่ในสัดส่วนไม่เกิน 3:1 (แนวตั้ง : แนวนอน)
3. ควรมีคันกั้นน้ำ Check dam เพื่อชะลอเวลาการไหลของน้ำ



ภาพ 24 ผังหลัก Grass channel



ภาพ 25 ลักษณะการออกแบบ Grass channel

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

ความสามารถในการลดน้ำไหลบ่าของ Grass channel

การลดน้ำไหลบ่าโดยช่องหญ้าโดยทั่วไปจะต่ำ โดยจะขึ้นกับปัจจัยลักษณะโครงสร้างของดิน ความชัน การปกคลุมของพืชพรรณ ความยาวของช่อง จากงานวิจัยในเร็วๆ นี้ พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ถึงร้อยละ 10 – 20 ดังแสดงในตารางล่างนี้

ตาราง 9 ความสามารถในการลดน้ำไหลบ่าของ Grass channel

LID Practice	Location	%Runoff Reduction	Reference
Grass Channel	VA	0	Schueler (1983)
Grass Channel	USA	40	Strecker et al. (2004)
Grass Channel	NH	0	UNHSC (2007)
Grass Channel	OR	27 to 41	Liptan and Murase (2000)
Runoff Reduction Estimate		10 to 20	

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

ถังเก็บน้ำบนดินและใต้ดิน

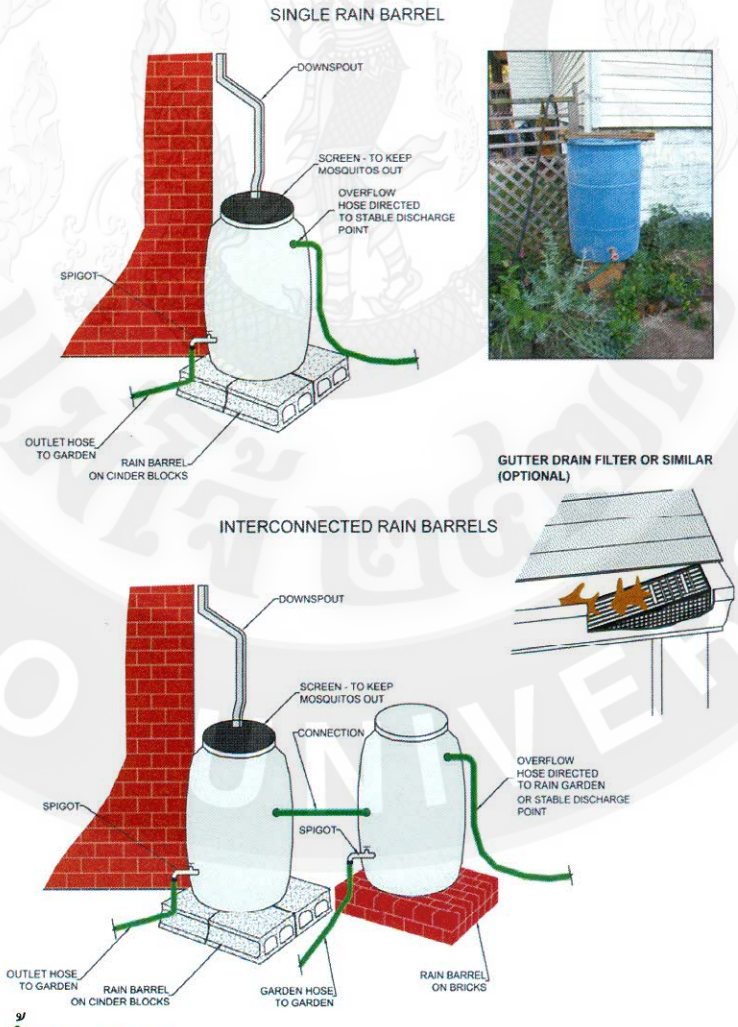
Hirschman and Collins (2008) ถึงแม้ว่าการลดน้ำไหลบ่าด้วยวิธีการใช้ถังเก็บน้ำฝนไม่เป็นทางเลือกที่แพร่หลายก็ตาม แต่จากการทดลอง และงานวิจัย ของ Coombes et al. (2002; Hardy et al., 2004; Kettle et al., 2004 cited by Hirschman and Collins, 2008) ภายใต้แนวคิดของ LID พบว่า การกักเก็บน้ำด้วยถังเก็บน้ำบนดินและใต้ดิน สามารถช่วยลดน้ำไหลบ่าได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งขึ้นกับปัจจัยความจุของถังเป็นสำคัญ กับความต้องการการใช้น้ำของชุมชน ซึ่งถ้าการออกแบบขนาดของถังสามารถบรรจุได้ปริมาตรของน้ำฝนที่ตกในหลังคา และสัมพันธ์กับความเร็วรอบของฝนในพื้นที่ ความสามารถในการลดน้ำไหลบ่าอาจได้ถึงร้อยละ 40 ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตาราง 10 การลดอัตราน้ำไหลบ่าจากการใช้ถังเก็บน้ำฝน

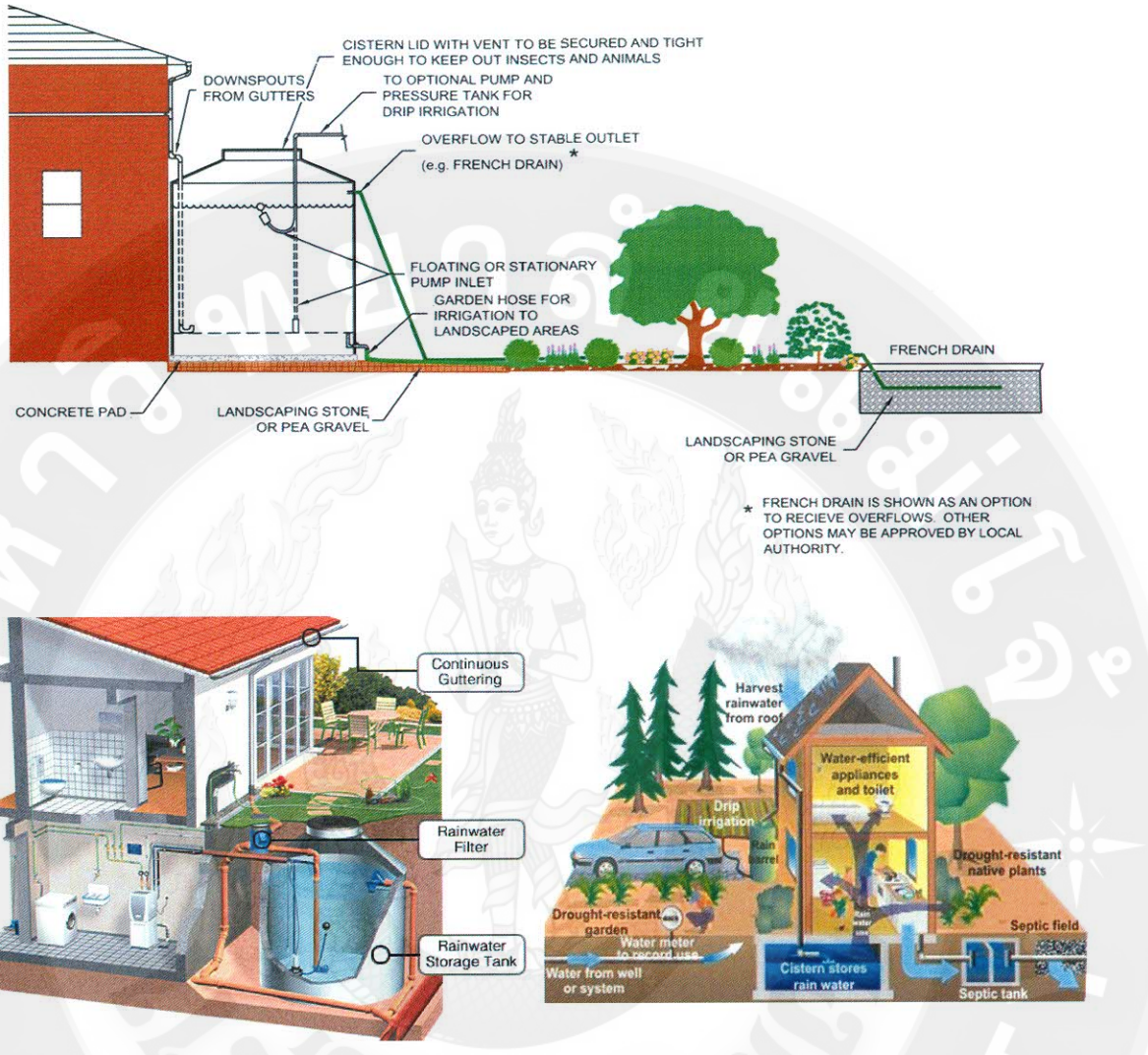
LID Practice	Location	Runoff Reduction	Reference
Dual Use Rain Tanks	AUS (semi-arid)	60 to 90%	Hardy et al. (2004)
Dual Use Rain Tanks	AUS (arid)	40 to 45%	Coombes et al. (2002)
Dual Use Rain Tanks	NZ	35 to 40%	Kettle et al. (2004)
RR Estimate		40%	

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

ลักษณะการออกแบบและติดตั้งถัง/อ่างเก็บน้ำฝน Rain Tanks/Cisterns



ภาพ 26 ถังเก็บน้ำ Rain Tanks



ภาพ 27 อ่างเก็บน้ำ Cisterns

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)

การสร้างการซึมซับน้ำของดิน Infiltration

การซึมซับน้ำด้วยสวนภูมิทัศน์ Landscape Infiltration

Maryland Department of the Environment (2000) ในพื้นที่สวนภูมิทัศน์ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณ สามารถใช้จัดการน้ำฝนได้หลากหลายประโยชน์ เช่น กักขัง กักเก็บน้ำฝน และบำบัดน้ำฝน น้ำฝนจะถูกกักไว้ชั่วคราว แล้วถูกกรองผ่านระบบหญ้า/พืชพรรณ ผ่านดิน และ หินกรวดที่อยู่ข้างล่างหน้าดิน จากนั้นซึมซับลงไปในชั้นดินธรรมชาติ ซึ่งการปฏิบัติการนี้จะดีหรือไม่นั้นขึ้นกับจากเจตนารมณ์ของผู้ออกแบบที่จะบูรณาการความหลากหลายของวัสดุเพื่อเป็นเครื่องมือใน

การกักเก็บ และบำบัดน้ำ ซึ่งในส่วนของการกักเก็บและซึมซับขึ้นกับสัดส่วนขององค์ประกอบวัสดุพื้นผิว เช่น สัดส่วนพืชพรรณ หิน ทราย อิฐ คอนกรีต ดินธรรมชาติ เป็นต้น

การซึมซับน้ำด้วยคันดิน Infiltration Berms

Maryland Department of the Environment (2000) การกักเก็บน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการซึมซับของน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า สามารถใช้วิธีการสร้างเขื่อน หรือคันดินให้ขนานกับเส้นความสูง contour ให้เกิดพื้นที่ depression area เพื่อกักขังน้ำในรูปแบบ depression storage ในพื้นที่ชั่วคราว โดยม่งหมายให้ ชะลอ หรือหน่วงน้ำไว้เพื่อเกิดอัตราการซึมสูงสุด แนวคิดนี้ควรใช้กับพื้นที่ว่างเปล่า และมีความลาดชันค่อนข้างสูง

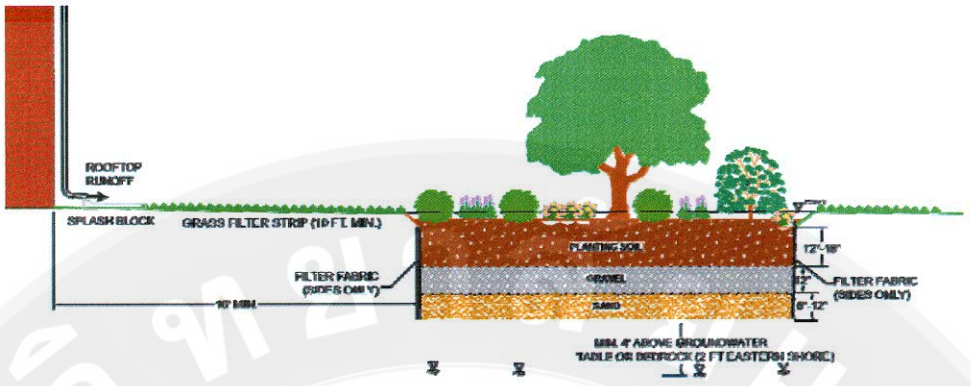
ความสามารถลดอัตราน้ำไหลบ่าของการซึมซับ Infiltration

Schueler (1983; UNHSC, 2005; Traver et al., 2006; Bright et al., 2007 อ้างโดย Hirschman and Kelly Collins, 2008) ได้ทำการวิจัยการซึมซับของน้ำโดยการเจตนาพบว่า การลดน้ำไหลบ่าจากการซึมซับเป็นวิธีที่ได้รับผลตอบรับสูง บางพื้นที่ที่มีน้ำไหลบ่าล้นออกมาเป็นเพราะน้ำ เกินความสามารถการซึมซับ ในพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดิน และเป็นชนิดดินที่ง่ายต่อการซึมน้ำสามารถลดอัตราน้ำไหลบ่าได้สูงถึงร้อยละ 90 ส่วนพื้นที่ที่มีการวางระบบท่อระบายใต้พื้นดินพบว่าสามารถลดน้ำไหลบ่าได้ร้อยละ 50

ตาราง 11 การลดอัตราน้ำไหลบ่าจากการซึม

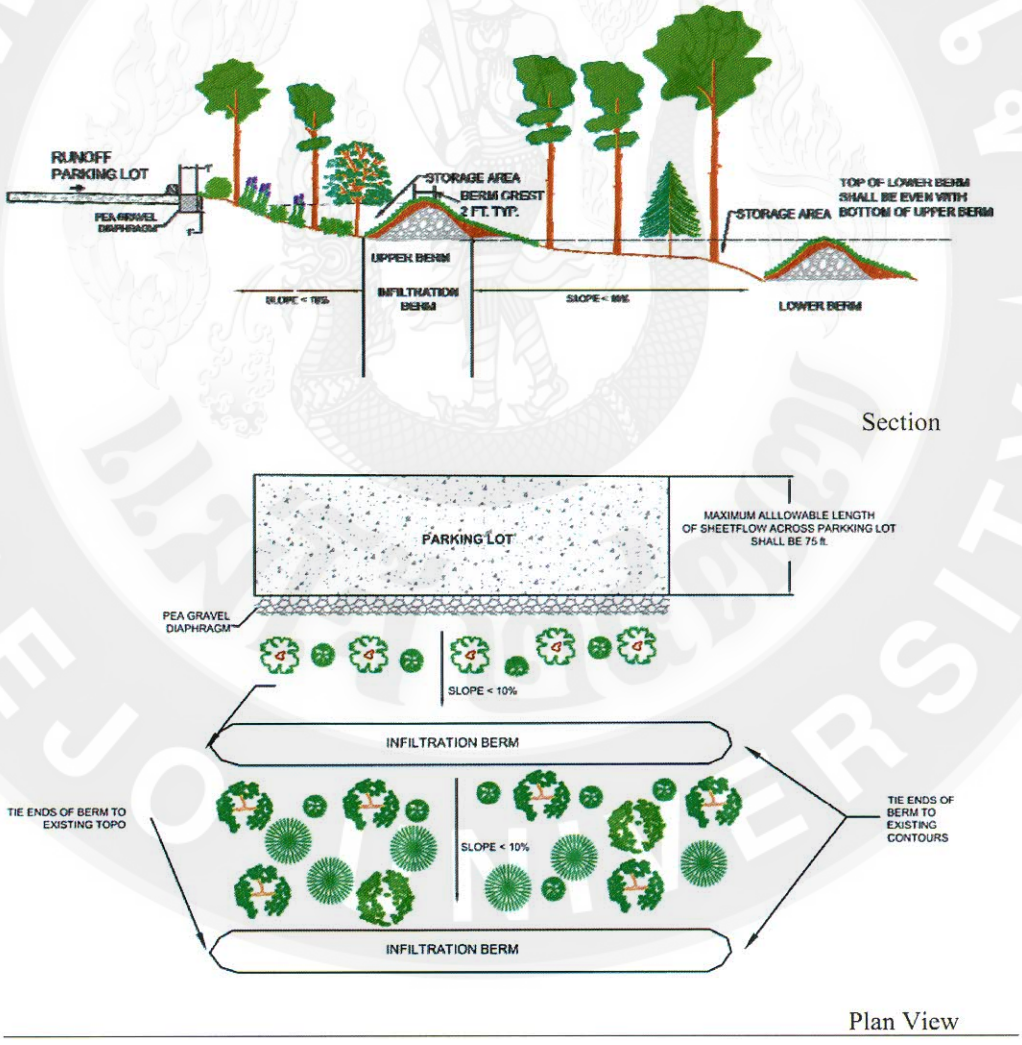
LID Practice	Location	Runoff Reduction	Reference
Infiltration	NH	90%	UNHSC (2005)
Infiltration	VA	60%	Schueler (1983)
Infiltration	PA	90%	Traver et al. (2006)
Infiltration	NC	96-100%	Bright et al. (2007)
Runoff Reduction Estimate		50 to 90%	

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)



ภาพ 28 ลักษณะรูปตัดการออกแบบ Landscape Infiltration, Section view

ที่มา: Hirschman and Kelly Collins (2008)



ภาพ 29 ลักษณะการออกแบบคันดินกั้นน้ำ Infiltration Berm

ที่มา: Hirschman and Kelly Collins (2008)

การแก้ไขดิน Soil Amendments

Low Impact Development ได้กล่าวว่า การปรับปรุงแก้ไขสภาพดิน Soil Amendments สามารถทำให้ดินเกิดช่องว่างมากขึ้น ส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และเก็บความชื้นของดิน ช่วยลดอัตราน้ำไหลบ่าได้มากขึ้น

Kolsti et al. (1995; Hielima, 1999; Balusek, 2003; Pitt et al. 1999; 2005 cited by Hirschman and Kelly Collins, 2008) ได้มีการศึกษาทดลองการลดอัตราน้ำไหลบ่าจากการแก้ไขปรับปรุง หรือไถพรวนดินให้เป็นดินร่วนซุย พร้อมเพิ่มอัตราส่วนปุ๋ยลงไปในดินในปริมาณมากขึ้น สามารถลดน้ำไหลบ่าได้ตั้งแต่ร้อยละ 50 – 70

ตาราง 12 ความสามารถลดน้ำไหลบ่าจากการแก้ไขดิน

LID Practice	Location	Runoff Reduction	Reference
Compost Amendment	WI	74 to 91%	Balusek (2003)
Compost Amendment	AL	84 to 91%	Pitt et al. (1999; 2005)
Compost Amendment	WA	29 to 50%	Kolsti et al. (1995)
Compost Amendment	WA	53 to 74%	Hielima (1999)
Runoff Reduction Estimate		50 to 75%	

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

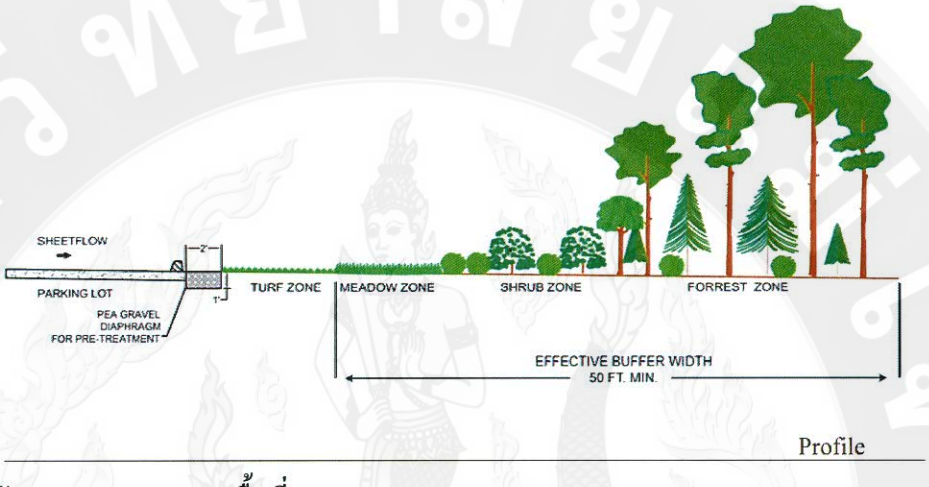
การกระจายการไหลของน้ำสู่พื้นที่สงวน Sheetflow to Conserved Open Space

วัตถุประสงค์ของการกระจายการไหลของน้ำฝน

ทำเพื่อแยกมวลน้ำออกจากกันเพื่อลดความรุนแรงของกกระแสการไหล และ ลดอัตราการซึมซับที่เกินจากจุดเดียวสู่หลายจุดที่แตกต่างกัน จะได้ช่วยกันแบ่งเบาการซึมซับ แนวคิดนี้คือ การจัดการน้ำพื้นฐานของหลักธรรมชาติ

การเลือกใช้พื้นที่

ใช้เป็นพื้นที่รับน้ำจากพื้นที่ทึบน้ำหรือพื้นที่ลุ่มน้ำในความลาดชันไม่เกิน 15% ซึ่งสามารถสร้างได้กับพื้นที่รับน้ำที่ไหลมาจาก จากถนน สนามกีฬา สนามคอนกรีตหน้าบ้าน จากหลังคา ทุ่งเลี้ยงสัตว์ หรือพื้นที่ใดก็ตามที่สามารถกระจายการรวมตัวของมวลน้ำ (Maryland Department of the Environment, 2000)



ภาพ 30 ลักษณะการออกแบบพื้นที่ Sheetflow

ที่มา: Maryland Department of the Environment (2000)

สรุปผลกการลดอัตราน้ำไหลบ่าจากแนวคิดต่างๆ

Hirschman and Collins (2008) ความสามารถในการลดอัตราน้ำไหลบ่าจากเทคนิคและแนวคิดทั้งหมดที่ศึกษามา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตาราง 13 ความสามารถในการลดอัตราน้ำไหลบ่าจากแนวคิดทั้งหมดของ Hirschman and Collins

No	**แนวคิดการจัดการ Practice**	**อัตราการลดน้ำไหลบ่า RR %**
1	Green Roof	45 to 60
2	Rooftop garden / Disconnection	25 to 50
3	Rain tanks and Cisterns	40
4	Permeable Pavement	45 to 75
5	Grass Channel	10 to 20
6	Bio-retention	40 to 80
7	Dry Swale	40 to 60

ตาราง 13 (ต่อ)

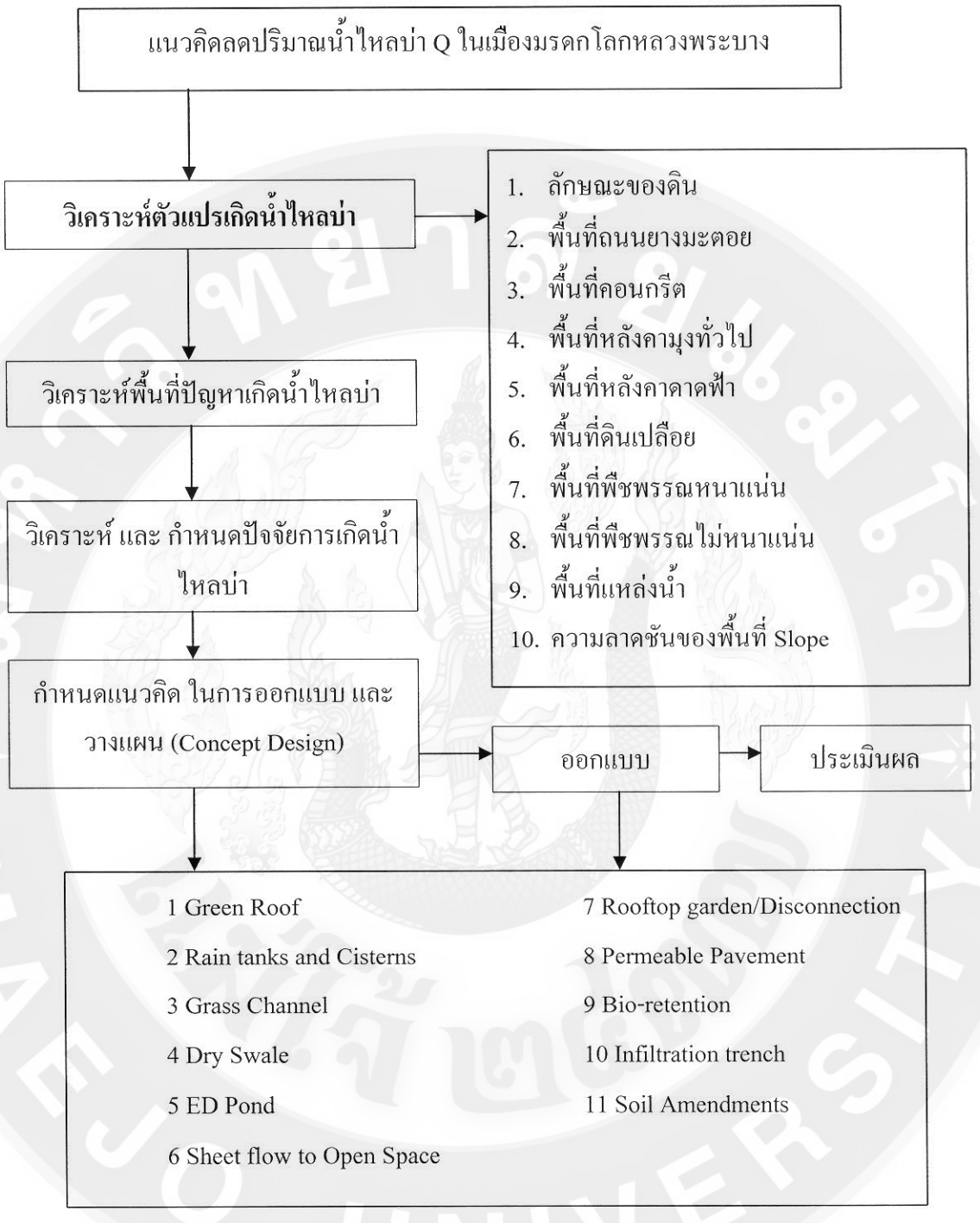
No	แนวคิดการจัดการ Practice	อัตราการลดน้ำไหลบ่า RR %
8	Wet Swale	0
9	Infiltration	50 to 90
10	ED Pond	0 to 15
11	Soil Amendments	50 to 75
12	Sheet flow to Open Space	50 to 75
13	Filtering Practice	0
14	Constructed Wetland	0
15	Wet Pond	0

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิด และเทคนิคการลดอัตราน้ำไหลบ่าในเมืองของ Low Impact Development (LID) และ Water Sensitive and Urban Design (WSUD) และแนวคิดการลดปริมาณน้ำไหลบ่าของ Hirschman and Collins (2008) การลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่สามารถปรับใช้ได้หลากหลายวิธีและมีประสิทธิภาพการลดน้ำไหลบ่าในอัตราที่แตกต่างกัน

สำหรับการปรับใช้แนวคิด และ เทคนิคลดปริมาณน้ำดังกล่าวกับพื้นที่เมืองหลวงพระบางในฉานะเป็นเมืองอนุรักษ์มรดกโลก ผู้ศึกษาได้เลือกใช้แนวคิดบางอย่างที่เห็นว่าเหมาะสมกับพื้นที่และทีประสิทธิภาพสูงต่อการจัดการน้ำ ดังแสดงในกรอบแนวคิดการวิจัยต่อไปนี้



ภาพ 31 กรอบแนวคิดการออกแบบและวางแผนเพื่อลดน้ำไหลบ่าในหลวงพระบาง

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาทฤษฎี

ศึกษาแนวคิดต้นแบบของ WSUD (Water Sensitive and Urban Design) และแนวคิดต้นแบบการพัฒนาที่ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม LID (Low Impact Development) รวมถึงการศึกษาแนวคิดการลดน้ำไหลบ่า SCN ของChesapeake Stormwater Network ตามหลักการ Best Management Practices (BMP) โดยผ่านกรณีศึกษาของโครงการลดน้ำไหลบ่าใน Chesapeake bay โดย Hirschman and Collins (2008)

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้กำหนดพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ป้องกัน (Buffer Zone) เขตอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบางที่ถูกกำหนดเป็นเขต ZPP-Ub ขององค์การยูเนสโกในปี 1995 มีขนาดพื้นที่ประมาณ 912,000 ตารางเมตร หรือ 570 ไร่ ครอบคลุม 8 หมู่บ้านในเขตใจกลางเนื่องจากเป็นหนึ่งในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากน้ำไหลบ่าและน้ำเสียจากชุมชนมากที่สุด

การเก็บข้อมูล

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้กำหนดในกรอบแนวคิดการวิจัยในบทที่ 2 โดยการรวบรวมข้อมูลข้อมูลทุติยภูมิ การถ่ายภาพแบบบันทึกข้อมูล การสำรวจข้อมูลภาคสนาม และ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ข้อมูลประชากร

การเก็บข้อมูลด้านประชากรในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำหนังสือถึงอำนาจการปกครองส่วนท้องถิ่น ห้องว่าการเมืองหลวงพระบาง โดยใช้ข้อมูลสถิติประชากร ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนประชากรในพื้นที่ จำนวนครัวเรือน จำนวนหญิง-ชาย

ข้อมูลน้ำฝน

เป็นข้อมูลทุติยภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกศาสตร์หลวงพระบางและส่วนหนึ่งจากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกศาสตร์นครหลวงเวียงจันท์ โดยข้อมูลประกอบไปด้วย สถิติปริมาณน้ำฝนรวม (Rainfall) แต่ละเดือนของเมืองหลวงพระบางในรอบ 6 ปี (2008-2013) จำนวนวันฝนตกในแต่ละเดือน (2008-2013) และความเข้มของฝน (Rainfall Intensity (I)) ซึ่งประกอบไปด้วยความเข้มของฝนระยะ 15 นาที 30 นาที 60 นาที 120 นาที 180 นาที และ 1440 นาที สัมพันธ์กับรอบ 5 ปี 10 ปี 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี

ลักษณะของดิน

เป็นข้อมูลทุติยภูมิจากห้องการที่ดินจากกรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหลวงพระบางที่แสดงถึงคุณลักษณะของดิน

ชั้นข้อมูลพื้นที่ถนน

สำหรับลักษณะพื้นผิวถนนได้ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยการสำรวจพื้นที่ถนนทุกสายในเขตศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยทางรถยนต์และทางเท้า (Footpath) โดยบันทึกลักษณะพื้นผิววัสดุของถนนซึ่งจะเน้นบันทึกบางจุดที่มีความแตกต่างทางด้านการใช้วัสดุปู เช่น ปูด้วยอิฐ คอนกรีต หรือดินเปลือย ส่วนพื้นผิวปูด้วยยางมะตอยถือเป็นพื้นผิวปกติ ส่วนขนาดของพื้นผิวได้ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการคำนวณด้วยโปรแกรม GIS ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ชั้นข้อมูลพื้นที่สนามคอนกรีต

พื้นที่สนามคอนกรีตได้ทำการเก็บข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามด้วยการบันทึกจุดพิกัดพื้นที่สนามคอนกรีตต่างๆ เช่น พื้นที่สนมาหน้าบ้าน พื้นที่สวนสาธารณะ พื้นที่ลานจอดรถ พื้นที่ออกกำลังกายและพื้นที่อื่นๆลงในแผนที่ ส่วนขนาดของพื้นที่ได้ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการคำนวณด้วยโปรแกรม GIS ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ชั้นข้อมูลพื้นที่อาคาร

ตัวอาคารในแนวตั้งไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเก็บน้ำจึงไม่ได้ศึกษา ส่วนที่เกี่ยวข้องคือ พื้นที่ตามแนวราบซึ่งได้แก่ภาคส่วนหลังคาของอาคาร ข้อมูลชั้นนี้ใช้วิธีเก็บจากการสำรวจภาคสนามโดยแบ่งหลังคาอาคารออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะหน้าตัด คือ หลังคาดาดฟ้าและหลังคาที่มีความลาดเอียง เช่น หลังคาหน้าจั่ว (Gable) หลังคาปั้นหยา (Hip) หลังคาหมาแหงน (Lean-to) หลังคาผีเสื้อ (Butter fly) และอื่นๆ เนื่องจากลักษณะการระบายน้ำและแนวคิดรูปแบบการจัดการไม่เหมือนกัน ซึ่งผู้ศึกษาบันทึกที่ตั้งอาคารหลังคาดาดฟ้าลงในแผนที่และเขียนคำอธิบายพร้อมทั้งบันทึกภาพด้วยเครื่องบันทึกภาพ Digital เนื่องจากมีจำนวนไม่มาก ส่วนที่เหลือที่เป็นหลังคาลาดเอียงลักษณะอื่นๆถือเป็นหลังคาระบายน้ำปกติทั่วไป สำหรับข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาได้ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GIS ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ชั้นข้อมูลพื้นที่ดินเปลือย

ทำการเก็บข้อมูลในลักษณะเหมือนพื้นที่คอนกรีตโดยการสำรวจพื้นที่ดินเปลือยที่เป็นพื้นที่พื้นที่สวนสาธารณะ เป็นที่กลางแจ้ง สนามออกกำลังกาย และ พื้นที่ว่างอื่นๆ

ชั้นข้อมูลพื้นที่พืชพรรณ

พื้นที่ว่าง หรือ พื้นที่สนามหญ้าได้จากการสำรวจเหมือนกับพื้นที่อื่นๆที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนขนาดพื้นที่พืชพรรณได้จากพื้นที่ทั้งหมดลบพื้นที่อาคาร พื้นที่ถนน พื้นที่สนามคอนกรีต พื้นที่ดินเปลือย พื้นที่หนองน้ำ หรือบ่อน้ำ

ชั้นข้อมูลพื้นที่หนองน้ำ หรือบ่อน้ำ (Pond)

ชั้นข้อมูลแหล่งน้ำนี้ได้จากฐานข้อมูลขององค์การ UNESCO ซึ่งเป็นข้อมูลลักษณะแผนที่ภาพนิ่งที่สำรวจเมื่อ ค.ศ. 2011 ผู้ศึกษาได้ทำการปรับปรุงข้อมูลโดยใช้แผนที่ดังกล่าวเป็นแผนที่พื้นฐานในการเก็บข้อมูลแหล่งน้ำ โดยการลงสำรวจสภาพหนองน้ำตามแผนที่ บันทึกพิกัดพร้อมคำอธิบายและถ่ายภาพสภาพแวดล้อมลักษณะของหนองน้ำ ซึ่งเน้นเฉพาะหนองน้ำที่มีปัญหาการตกตะกอน ตื้นเขิน ทับถม และเสื่อมโทรม ส่วนขนาดของพื้นที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม GIS ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)

ได้จากห้องการมรดกโลกหลวงพระบางที่ได้ดำเนินการสำรวจก่อนการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก ซึ่งเป็นข้อมูลในรูปแบบของแผนที่

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน (Rainfall)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี (Rainfall)

นำข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละเดือนในรอบ 6 ปีคำนวณด้วยโปรแกรม Excel for window โดยใช้ค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ในแต่ละเดือนของปีมารวมกัน เป็นค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกทั้งปี ส่วนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี ได้จากการเอาปริมาณน้ำฝนทั้งปีจำนวน 6 ปีบวกกันหาร 6 ดังที่แสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 14 สถิติปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนในพื้นที่เทศบาลเมืองหลวงพระบาง

Year / Month	2008	2009	2010	2011	2012	2013
January	50.4	-	24.0	6.7	10.8	28.0
February	60.6	0.7	-	-	-	1.5
March	136.6	23.9	24.6	121.6	27.7	67.5
April	166.5	112.1	196.3	127.0	174.7	93.8
May	254.7	127.0	115.3	272.3	226.3	135.0
June	230.6	218.2	146.4	520.2	312.5	238.6
July	357.9	371.3	321.1	291.1	306.0	294.2
August	273.7	169.8	372.6	532.5	337.2	394.1
September	171.3	147.6	90.4	269.1	106.8	332.9
October	73.8	78.6	19.2	83.8	102.5	65.2

ตาราง 14 (ต่อ)

Year / Month	2008	2009	2010	2011	2012	2013
November	13.4	9.0	-	92.0	118.3	29.0
December	20.0	-	57.2	-	1.4	56.9
0Total	1,809.5	1,258.2	1,367.3	2,233.5	1,733.2	1,735.7

หมายเหตุ

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี = (1,809.5+1,258.2+1,367.3+ 2,233.5 +1,733.2+1,735.7)/6

= 1,690mm

ที่มา: จากการคำนวณ

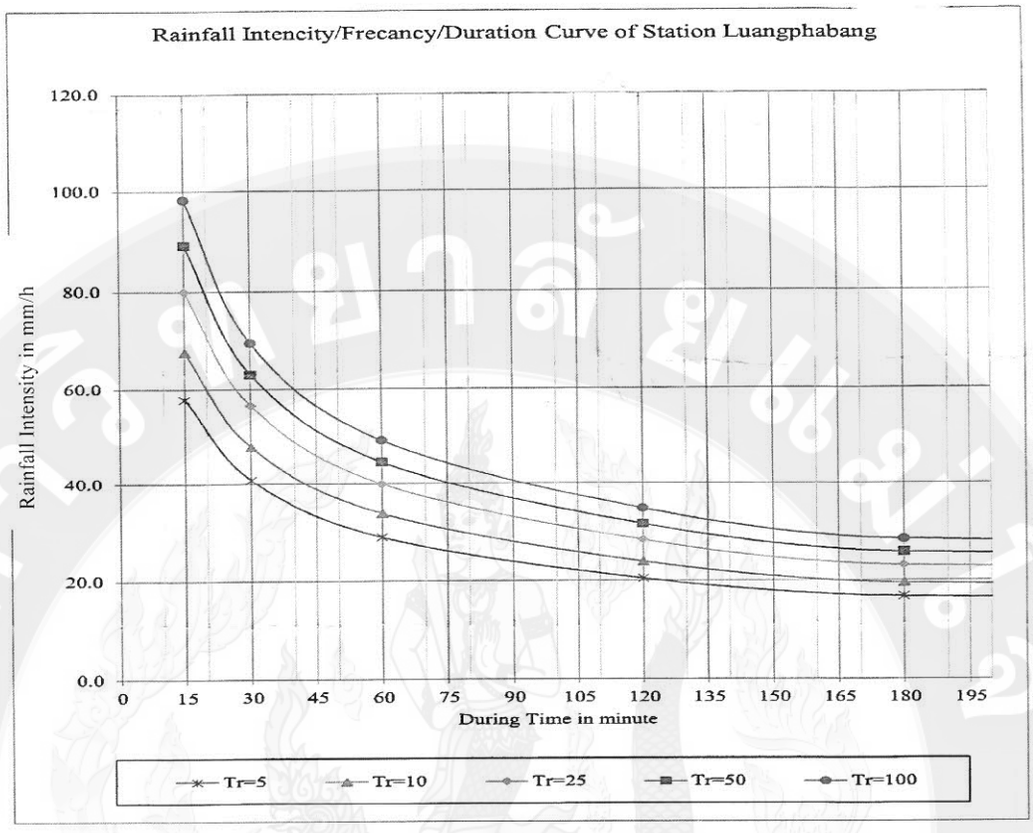
ความเข้มของฝน

ความเข้มของฝนเป็นข้อมูลที่ได้มีการคำนวณตามสูตรเฉพาะจากแหล่งข้อมูลของภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ตาราง 15 ความเข้มของฝน

	15'/15	30'/30	60'/60	120'/120	180'/180	1440'/1440
Tr = 5	50.3/57.8	35.5/40.9	25.1/28.9	17.8/20.4	14.5/16.7	5.1/5.9
Tr = 10	58.8/67.7	41.6/47.8	29.4/33.8	20.8/23.9	17.0/19.5	6.0/6.9
Tr = 25	69.5/80.0	49.2/56.5	34.8/40.0	24.6/28.3	20.1/23.1	7.1/8.2
Tr = 50	77.5/89.1	54.8/63.0	38.8/44.6	27.4/31.5	22.4/25.7	7.9/9.1
Tr = 100	85.4/98.2	60.4/69.5	42.7/49.1	30.2/34.7	24.7/28.4	8.7/10.0

ที่มา: กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์ แขวงหลวงพระบาง (2557)



ภาพ 32 ลักษณะความเข้มของฝนเมืองหลวงพระบาง
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกศาสตร์แห่งชาติลาว (2557)

การสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิว

การนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะพื้นผิวในของพื้นที่ สามารถวิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโปรแกรม Google Earth ที่มีการปรับปรุง Update ข้อมูลใหม่ล่าสุด ส่วนการโหลดภาพถ่ายทางอากาศเพื่อนำเข้าเป็นข้อมูลพื้นฐานให้ถูกต้องตามความเป็นจริงทั้งตำแหน่งและ ขนาดสัดส่วน ผู้ศึกษาได้ใช้วิธีการโหลดภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณพื้นที่เมืองหลวงพระบาง ด้วยการใช้ระบบโปรแกรม Universal Maps Downloader v6.871 เนื่องจากสามารถโหลดภาพถ่ายตรงตามขอบเขตที่ต้องการพร้อมให้ความละเอียดสูงและข้อมูลดาวโหลดยังประกอบด้วยค่าพิกัดที่พร้อมจะป้อนเข้าตำแหน่งที่ตั้งของภาพให้ถูกต้องกับตำแหน่งจริงของพื้นที่โดยสามารถตรงตามระบบค่าพิกัดของโปรแกรม GIS ไม่ต้องเสียเวลาเคลื่อนย้ายภาพ (Rectify) สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ใช้โปรแกรมGIS ในระบบพิกัด Coordinate System: WGS_1984_UTM - Zone_48N

การสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิว (Layer data)

ผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลจากการสำรวจ และบันทึกจากภาคสนาม นำเข้าในโปรแกรม GIS โดยมีภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ สร้างชั้นข้อมูล Shape file ตามที่ต้องการ จากนั้นใช้ชุดคำสั่ง Editor เพื่อ Digitize แต่ละชั้นข้อมูลเป็นรูป Polygon ตามที่ต้องการบนภาพถ่ายดาวเทียมผสมกับข้อมูลที่เก็บได้จากภาคสนาม

การคำนวณขนาดพื้นผิว (Calculate Area)

หลังจากนำเข้าข้อมูลแต่ละพื้นผิวได้แล้ว ทำการคำนวณขนาดพื้นที่ด้วยการสร้างตารางข้อมูลจากชุดเครื่องมือ Open attribute table ตามด้วยการเพิ่มห้องตารางข้อมูลที่ต้องการด้วยคำสั่ง Add field ตั้งชื่อข้อมูล Field ที่ต้องการแสดงเป็น Area และ กำหนดการแสดงเป็นรูปแบบ Double (ตัวเลข) จากนั้นสั่งโปรแกรมคำนวณขนาดพื้นที่ด้วยคำสั่ง Calculate geometry โปรแกรมจะแสดงขนาดพื้นที่ขึ้นเป็นหน่วย ตารางเมตร (m^2) ไร่ (Area/1600 m^2) เฮกเตอร์ (Ha = Area/10.000m^2) เนื่องจากต้องการนำข้อมูลขนาดพื้นที่ที่วิเคราะห์นี้ไปใช้กับสูตรคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าพื้นฐาน Q = CIA ซึ่ง A ได้ตั้งไว้เป็นหน่วย ตารางเมตร ดังนั้นผู้ศึกษาจึงตั้งค่าการแสดงผลขนาดพื้นที่ให้เป็นตารางเมตร (m^2)

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากพื้นที่ (Coefficient of runoff ; C)

ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากพื้นผิวแต่ละประเภท (C)

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของแต่ละพื้นผิว ผู้ศึกษาได้ใช้ตารางค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำผ่านพื้นผิวประเภทต่างๆ ของ ศิริชัย และคณะ (2549)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยจากพื้นผิวทั้งหมด

การคำนวณเพื่อทราบสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยรวมจากพื้นที่ทั้งหมด เนื่องจากต้องการคำนวณปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลบ่าออกจากพื้นที่ และต้องการเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลบ่าก่อนและหลังการออกแบบและวางแผนจัดการน้ำ ตามหลักการทางคณิตศาสตร์สัมประสิทธิ์การระบายน้ำรวมสามารถคำนวณได้จากผลบวกของผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การระบายน้ำบนพื้นผิวแต่ละประเภทกับขนาดพื้นที่ของพื้นผิวนั้นๆ หารพื้นที่ที่ศึกษาทั้งหมดดังแสดงในสมการข้างล่างนี้

$$C_{รวม} = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + \ldots + C_n \times A_n}{(A_1 + A_2 + \ldots + A_n)}$$

C1,C2,C3…Cn = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉพาะแต่ละพื้นผิว (ได้จากตาราง)

A1,A2,A3…An = ขนาดพื้นที่แต่ละพื้นผิว (ได้จากการวัด)

การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่า

กำหนดปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) เป็นดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำไหลบ่าของหลวงพระบางในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าผู้ศึกษาได้ใช้สูตร

$$Q = CIA$$

หรือ

$$Q = 0.278CIA \times 10^{-6}$$

ซึ่ง

Q = ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดจากพื้นที่ มีหน่วยเป็น (ลบ.ม. / วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (มีค่าตามลักษณะพื้นผิวที่ ลักษณะของดิน และ ลักษณะความลาดชัน)

I = ความเข้มของน้ำฝนในพื้นที่ (มิลลิเมตร/ชั่วโมง, mm/h)

A = ขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนที่ศึกษา

เมื่อ Q = (ลบ.ม. / วินาที หรือ ลบ.ม./ชั่วโมง) ในขณะที่ I มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/ชั่วโมง, mm/h

เมื่อ 1,000 มิลลิเมตร = 1 เมตร (1000mm = 1m) ซึ่ง I/1000 หน่วยจะเป็น ลบ.ม./ชั่วโมง

Q (ลบ.ม./ชม) = CIA/1000 ซึ่ง 1 ชั่วโมง = 3,600 วินาที เราจะได้

Q (ลบ.ม./วินาที) = CIA/1,000/3,600

ความสัมพันธ์ของสมการ Q = CIA

Q: ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ Q คือปริมาณน้ำไหลบ่าที่ต้องการลดให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีความหมายว่า Q ยิ่งมีค่าต่ำเท่าไร หมายถึงประสิทธิภาพการจัดการน้ำยิ่งดีขึ้นเท่านั้น

C: คือ สัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากพื้นที่ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามเงื่อนไข เช่น ลักษณะวัสดุพื้นผิวของพื้นที่ และ ความลาดชันของพื้นที่นั้นๆ

I: คือ ความเข้มของฝน (ความลึกของฝนมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร) ในระยะเวลา 60 นาที ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้พื้นที่ศึกษาขนาดเล็ก 570 ไร่ ในบริบทเดียวกัน ค่าของ Iจึงเท่ากันทุกจุดในพื้นที่

A: เป็นพื้นที่รับน้ำฝน (Catchment Area) ซึ่งมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อ A และ I มีค่าคงที่ ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Q คือ C ซึ่งเมื่อ C เพิ่มขึ้น ค่า Q ก็จะเพิ่มขึ้น และ เมื่อค่าของ C ลดลง ค่าของ Q ก็จะลดลงตามไป การลดปริมาณน้ำไหลบ่า(Q)จึงต้องการลดค่า C ลง โดยการลดค่าของ C สามารถทำได้จากการปรับเปลี่ยนการใช้วัสดุพื้นผิวในพื้นที่ศึกษาโดยต้องพิจารณาตามความเหมะสมของแต่ละพื้นที่

การวิเคราะห์พื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า

ศึกษาพื้นที่มีปัญหาน้ำไหลบ่าเพื่อนำไปสู่การออกแบบและวางแผนเพื่อลดน้ำไหลบ่าให้ตรงจุดมากที่สุด ผู้ศึกษาได้ใช้การซ้อนทับข้อมูลจากชั้นข้อมูลทั้งหมดที่เป็นตัวแปรต่อการเกิดน้ำไหลบ่าโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่ศักยภาพ Potential Surface Analysis (PSA) โดยโปรแกรม Microsoft Excel v.2010 ในระบบปฏิบัติการของ Window 7 ซึ่งกำหนดเกณฑ์ด้วยการให้คะแนนโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายของแต่ละชั้นข้อมูลเป็นค่าดัชนีดังนี้

พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.85 \leq C \leq 1.00$	เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก	= (Zone A)
พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.70 \leq C \leq 0.85$	เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตรามาก	= (Zone B)
พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $0.50 \leq C \leq 0.70$	เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง	= (Zone C)
พื้นที่ที่มีค่า C ในช่วง $C < 0.50$	เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย	= (Zone D)

การเลือกพื้นที่ออกแบบสำหรับพื้นผิวหลังคา

เนื่องจากหลังคาส่วนมากในพื้นที่เป็นหลังหน้าจั่วและปั้นหยา ซึ่งมีความลาดเอียง จึงไม่เหมาะต่อการเลือกเป็นพื้นที่ออกแบบเพื่อกักเก็บน้ำ ส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกเลือกเพื่อออกแบบการกักเก็บน้ำในครั้งนี้ได้แก่ประเภทหลังคาดาดฟ้า (flat roof)

การเลือกพื้นที่ออกแบบสำหรับพื้นผิวถนน

ได้เลือกพื้นที่ออกแบบจากพื้นที่ทางเท้าตามริมยาวของถนนทุกเส้น พื้นที่จอดรถข้างถนน ที่เป็นพื้นผิวคอนครีต ยางมะตอย และดินเปลือย

การเลือกพื้นที่ออกแบบสำหรับพื้นผิวถนนสนามคอนกรีต

พิจารณาเลือกพื้นออกแบบโดยการใช้พื้นที่ที่รับน้ำหนักจากรถยนต์ไม่มากเช่น สนามวัด สนามเล่นโรงเรียน สนามกีฬากลางแจ้ง สวนสาธารณะ สนามจอดรถ สถานที่อเนกประสงค์ ที่ออกกำลังกายเป็นต้น

การเลือกพื้นที่ออกแบบสำหรับพื้นที่ว่าง

เลือกใช้พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อื่น เช่น สนามหน้าบ้าน สวนสาธารณะ สนามเล่นโรงเรียน สวนสาธารณะ สนามจอดรถ สถานที่อเนกประสงค์ ที่ออกกำลังกายเป็นต้น

การเลือกพื้นที่อนุรักษ์

การเลือกพื้นที่ได้พิจารณาตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่โดยกำหนดวางแผนพื้นที่อนุรักษ์ และปรับปรุงพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเท่า 0 และพื้นที่แหล่งน้ำที่ขึ้นบัญชีมรดกโลก เช่น พื้นที่ หนองน้ำ บ่อดิน แหล่งน้ำ ที่ชุ่มน้ำ ลำธารเป็นต้น

การกำหนดแนวคิดการออกแบบ

1. พื้นที่ที่มีปัญหาที่ได้จากผลการวิเคราะห์
2. ความเหมาะสมของแนวคิด Concept ที่จะใช้แก้ปัญหาตามทฤษฎี
3. ผลกระทบของแนวคิดต่อสภาพแวดล้อมของมรดกโลกโดยที่ไม่ให้กระทบต่อการอนุรักษ์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

ผู้ศึกษาใช้ค่าปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) มาเป็นเกณฑ์ชี้วัดขีดความสามารถในการลดปริมาณน้ำไหลบ่าหลังการออกแบบเปรียบเทียบกับค่าปริมาณน้ำไหลบ่าในสภาพพื้นที่เดิม ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่า สามารถคำนวณได้จากสูตร Q = CIA โดยใช้หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที ซึ่ง**Q** (ลบ.ม./วินาที) Q= CIA/1,000/3,600 โดยกำหนดใช้ค่าความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ในรอบ 100 ปี ซึ่ง I = 49.1 มิลลิเมตร/ชั่วโมง เป็นค่าในการคำนวณ สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่ารวมทั้งพื้นที่ศึกษาได้จากผลบวกของปริมาณน้ำไหลบ่าเฉพาะของแต่ละ Zone(A, B, C, D) ซึ่ง Q รวม = Qa + Qb + Qc + Qd ซึ่ง Qa, Qb, Qc, Qd ได้จากผลคูณของสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Cรวม) ของ Zone คูณกับความเข้มน้ำฝนของพื้นที่ (I) คูณกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) ของ Zone สำหรับสัมประสิทธิ์การระบายน้ำรวม (Coefficient of runoff) รวมของ Zone สามารถคำนวณได้ตามสูตรข้างล่างนี้

$$C_{รวม} = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + \ldots + C_n \times A_n}{(A_1 + A_2 + \ldots + A_n)}$$

C1,C2,C3…Cn = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ เฉพาะแต่ละพื้นผิว (ได้จากตาราง)

A1,A2,A3…An = ขนาดพื้นที่แต่ละพื้นผิว (ได้จากการวัดคำนวณ)

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) หลังการออกแบบ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราความสามารถในการลดน้ำไหลบ่าของแต่ละแนวคิดตามตารางของ Hirschman and Collins (2008)

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) หลังการออกแบบ

No	แนวคิดการจัดการ Practice	อัตราการลดน้ำไหลบ่า RR %	ร้อยละของค่าC เทียบกับค่า C เดิม
1	Green Roof	45 to 60	52.5% (C เดิม)
2	Rooftop garden / Disconnection	25 to 50	37.5% (C เดิม)
3	Rain tanks and Cisterns	40	40 % (C เดิม)
4	Permeable Pavement	45 to 75	60% (C เดิม)
5	Grass Channel	10 to 20	15% (C เดิม)
6	Bio-retention	40 to 80	60% (C เดิม)
7	Dry Swale	40 to 60	50% (C เดิม)
9	Infiltration	50 to 90	70% (C เดิม)
10	ED Pond	0 to 15	7.5% (C เดิม)
11	Soil Amendments	50 to 75	62.5% (C เดิม)
12	Sheet flow to Open Space	50 to 75	62.5% (C เดิม)

ที่มา: Hirschman and Collins (2008)

การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าตามสูตร $Q = CIA$ หมายถึง ปริมาณน้ำไหลบ่าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าสัมประสิทธิ์ C บนพื้นที่ A เดิม ในศึกษาครั้งนี้ต้องการทราบว่าพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ C สูง และมีปริมาณน้ำไหลบ่า Q มากน้อยเท่าไรเพื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบ และกำหนดแนวความคิดออกแบบและวางแผน ผู้ศึกษาจึงได้แยกพื้นที่ทั้งหมด (A รวม) เป็นพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่า Zone ต่างๆโดยแบ่งเกณฑ์เป็น 4 ระดับ อาที พื้นที่ (A) มีค่า Cในช่วง $0.85 \leq C \leq 1.00$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก พื้นที่ (B) มีค่า Cในช่วง $0.70 \leq C \leq 0.85$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตรามาก พื้นที่ (C) มีค่า Cในช่วง $0.50 \leq C \leq 0.70$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง และพื้นที่ (D) มีค่า Cในช่วง $C < 0.50$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย ในการคำนวณตัวจริงพื้นที่ Zone ที่มีสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ C สูงกว่า แต่มีขนาดพื้นที่รับน้ำ A น้อยกว่า อาจมีปริมาณน้ำไหลบ่า Q น้อยกว่า พื้นที่ที่มีสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ C ต่ำกว่า แต่มีขนาดพื้นที่รับน้ำ A มากกว่า เนื่องจากค่าของ A ไม่ใช่พื้นที่เดิมตามความหมายของสูตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

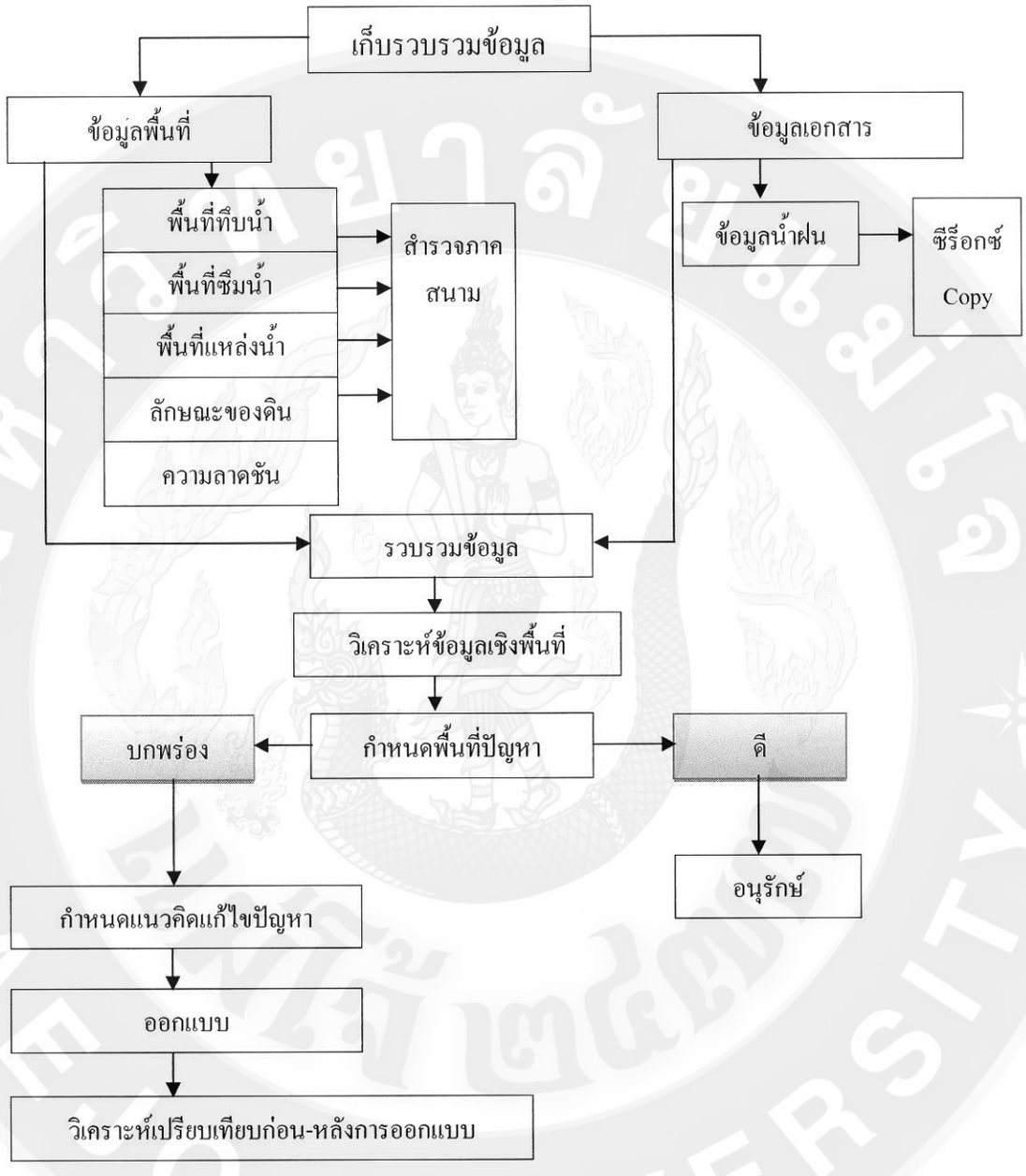
Hardware

1. เครื่อง USB 1 ชุด เพื่อเก็บข้อมูลประเภท File Computer
2. เครื่อง GPS 1 ชุด เพื่อบันทึกพิกัดจุดต่างๆ รวมทั้งความสูงของจุด
3. เครื่องบันทึกภาพจำนวน 1 ชุด เพื่อบันทึกภาพจริงตามจุดต่างๆที่ต้องการ
4. เครื่อง Computer Notebook 1 ชุด เพื่อบันทึกข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวัน
5. เครื่อง Ipad (New Ipad) 1 เครื่องเพื่อนำทางและแสดงจุดพิกัดปัจจุบัน
6. เครื่องเขียน ปากกา กระดาษขาว และ แผนที่พื้นฐาน (Base map) 1 ชุด

Software

1. ระบบปฏิบัติการ Window 7
2. โปรแกรม ArcGIS 10.1
3. โปรแกรม Microsoft Office2010 (Word, Excel, PowerPoint) เพื่อคำนวณ บันทึก นำเสนอ
4. โปรแกรม Auto cad civil 3D 2012 เพื่อใช้ในการออกแบบด้านเทคนิค 2D, 3D
5. โปรแกรม Adobe Photoshop CS5.1 เพื่อใช้ในงานออกแบบ
6. โปรแกรม Google Earth เพื่อให้ข้อมูลสภาพการใช้พื้นที่
7. โปรแกรม Universal Maps Downloader v6.871 เพื่อในการดาวโหลดภาพถ่ายทางอากาศ

สรุปแผนการดำเนินงาน



ภาพ 33 แผนการดำเนินงาน

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบ

จากการวิเคราะห์พบว่า พื้นที่โดยทั่วไปของเมืองมรดกโลกหลวงพระบางได้ออกแบบในลักษณะเพื่อเร่งระบายน้ำออกจากพื้นที่เป็นหลัก สังเกตได้จากพื้นที่พื้นผิวก่อสร้างเกือบทั้งหมดประกอบด้วยพื้นผิวคอนกรีต และยางมะตอยโดยไม่จำเป็น เช่น ทางเท้าทุกสาย สนามสาธารณะทุกที่ สนามเด็กเล่นหน้าโรงเรียน สนามหน้าวัด พื้นที่หน้าบ้าน สนามจอดรถริมถนน ตลาด ทางเท้าริมถนน และพื้นที่ใช้งานสาธารณะเป็นต้น หลังคาอาคารร้อยละ 97.08 ใช้วัสดุมุงที่เร่งระบบน้ำให้เร็ว และให้ได้มากที่สุด คือประเภทวัสดุซีแพคโมเนีย สังกะสี ดินเผา (ดินขอ) ส่วนที่เหลือคือหลังคาดฟ้า (หลังคาหน้าตัด) สำหรับพื้นที่ว่าง ปกคลุมไปด้วยดินเปลือยคิดเป็นร้อยละ 2.73 ของพื้นที่ศึกษา สนามหญ้าธรรมชาติที่ไม่หนาแน่น และไม่สม่ำเสมอมีสัดส่วนมากที่สุดคือร้อยละ 43.61 กระจายและแทรกไปตามช่องว่างต่างๆ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ส่วนพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณหนาแน่นส่วนมากเป็นพื้นที่ธรรมชาติที่ยังไม่ได้มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน พืชพรรณเป็นพืชธรรมชาติพื้นถิ่น ส่วนมากกระจากตามพื้นที่แหล่งน้ำตามแนวเขตอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำของ UNESCO จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า พื้นที่ที่ไม่สามารถซึมซับน้ำได้หรือเรียกว่าพื้นที่ทึบน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของการเกิดน้ำไหลบ่า (Impervious area) เกิดจากการสร้าง ถนน อาคาร และสนามคอนกรีต มีขนาดเท่ากับ 328,241.18 ตารางเมตร หรือ 205.15 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 36 ดังที่ได้ตารางต่อไปนี้

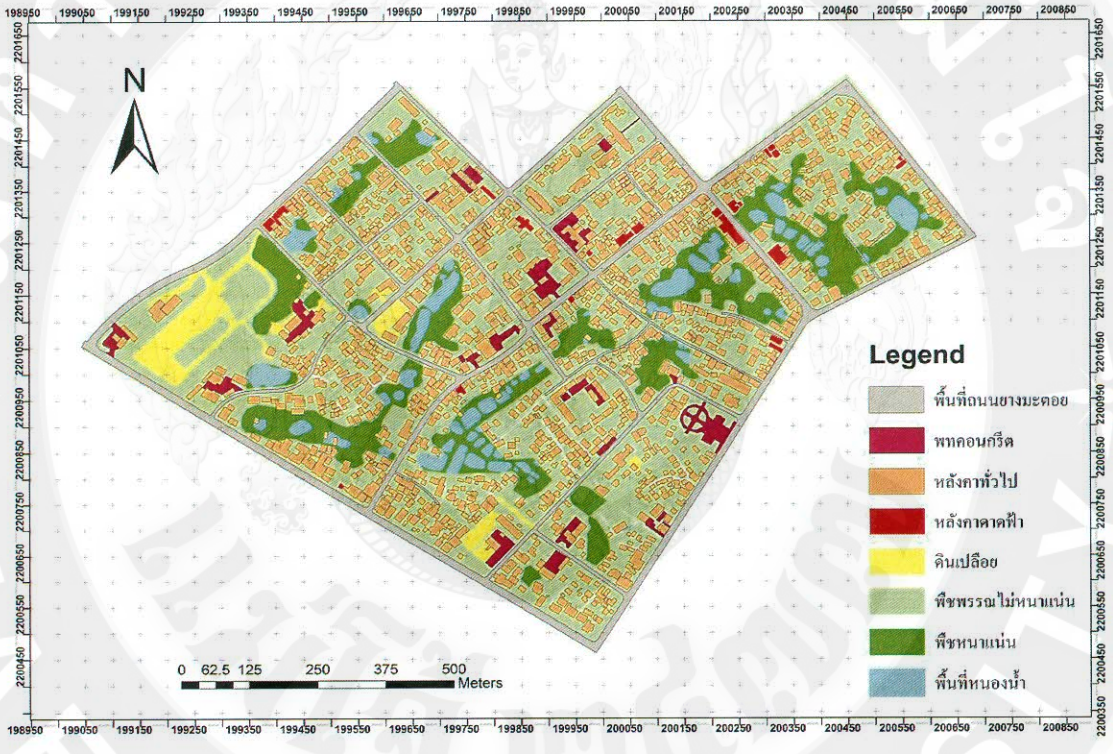
ตาราง 17 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ประเภทพื้นผิวรับน้ำ	ตารางเมตร	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	สัดส่วน(%)
1. พื้นที่ถนนยางมะตอย	99,201.92	62.00	10.88
2. พื้นที่คอนกรีต	20,118.19	12.57	2.21
3. พื้นที่หลังคามุงทั่วไป	202,819.06	126.76	22.24
4. พื้นที่หลังคาดาดฟ้า	6,102.01	3.81	0.67
5. พื้นที่ดินเปลือย	24,929.09	15.58	2.73
6. พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น	105,701.00	66.06	11.59
7. พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น	397,704.58	248.57	43.61

ตาราง 17 (ต่อ)

ประเภทพื้นผิวรับน้ำ	ตารางเมตร	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	สัดส่วน(%)
8. พื้นที่แหล่งน้ำ	55,424.15	34.64	6.06
รวม	912,000.00	570.00	100.00

ที่มา: จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพ 34 แผนที่แสดงลักษณะการใช้พื้นผิว

ที่มา: จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1

การวิเคราะห์ตัวแปรเกิดน้ำไหลบ่า

ลักษณะของดิน

จากข้อมูลกรมที่ดินแขวงหลวงพระบางพบว่า ดินในพื้นที่บริเวณเมืองหลวงพระบางมีลักษณะเหมือนกันทั่วพื้นที่ เป็นดินทับถมจากแม่น้ำโขงและน้ำคาน ลักษณะเป็นดินร่วนซุย

เป็นดินดีเหมาะต่อการเกษตร เป็นสาเหตุให้เจ้าชีวิตสมัยก่อนเลือกพื้นที่นี้ในการตั้งพระราชวัง องค์ประกอบของดินเป็นดินร่อนประมาณร้อยละ 70 ดินทรายร้อยละ 10 และดินอื่นๆ อีกในส่วนที่เหลือ (กรมที่ดินแขวงหลวงพระบาง) ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของดินในพื้นที่เท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของดินร่วนในตาราง 1 สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C) ของดินร่วนและมีค่าเท่ากันทั้งพื้นที่ โดยมีค่าดังต่อไปนี้

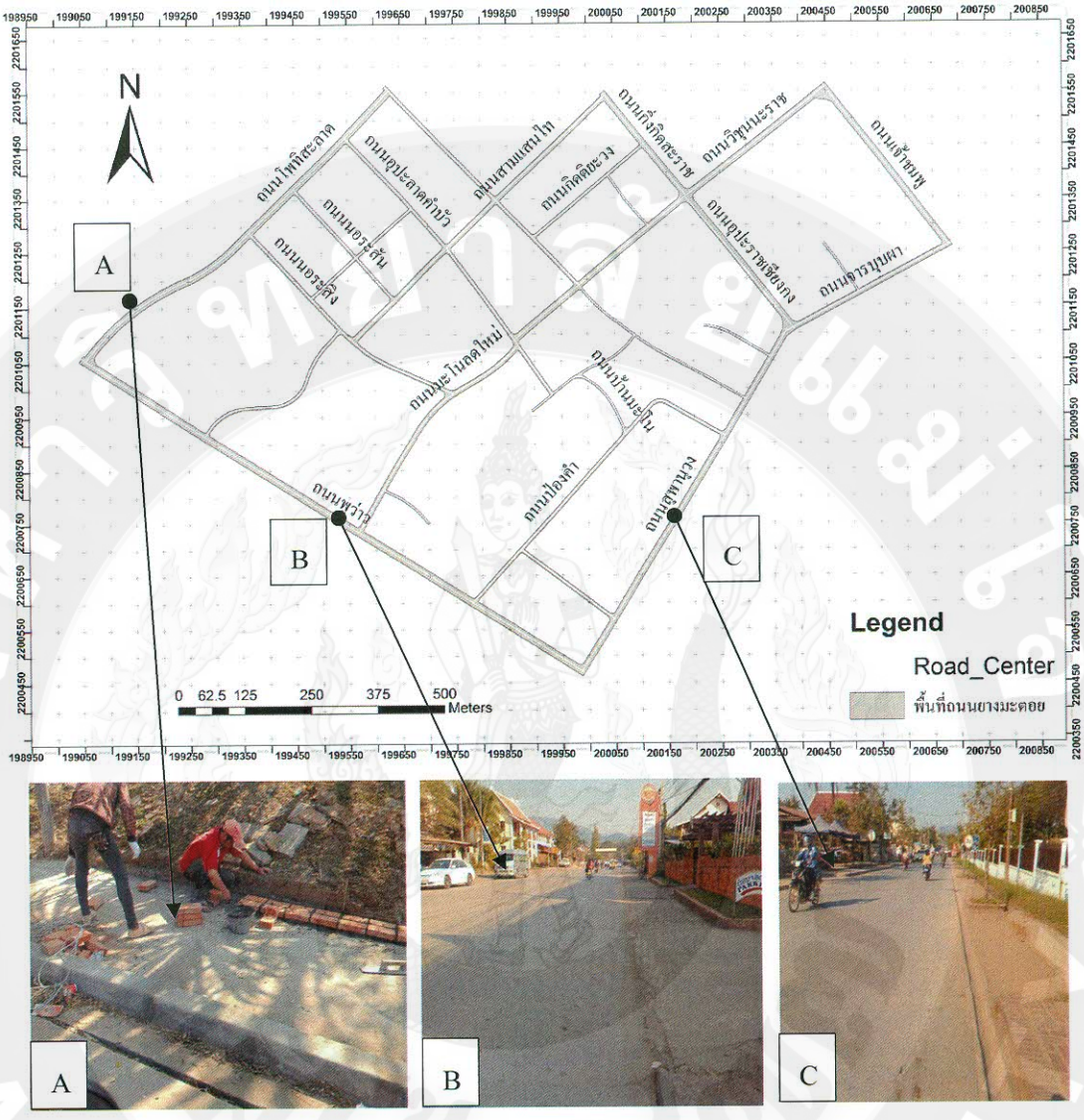
ตาราง 18 สัมประสิทธิ์การระบายน้ำตามลักษณะของดิน

ลักษณะพื้นผิว Area Description	C ต่ำสุด	C สูงสุด
ดินร่วน / loam, from sandy gravelly to clayey		
- ดินเปลือย / bare	0.20	0.60
- พืชพรรณไม่หนาแน่น / light vegetation	0.10	0.45
- พืชพรรณหนาแน่น / dense vegetation	0.05	0.35

ที่มา: ศิริชัย และคณะ (2549)

พื้นที่ถนน

ลักษณะถนนในพื้นที่ศึกษาเป็นถนนพื้นผิวยางมะตอย (Asphalt) โดยค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของถนนในพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ C= 0.95 สำหรับการแนวคิดการจัดการน้ำของระบบถนน คือ การเร่งระบายน้ำออกจากพื้นที่ให้ได้มาก และ เร็วที่สุด เห็นได้จากการทำร่องระบายน้ำแบบเปิดด้วยคอนกรีตตามริมถนนเป็นจำนวนมาก สำหรับขนาดของพื้นที่ถนนทั้งหมดเท่ากับ 99,201.92 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.88 ของพื้นที่



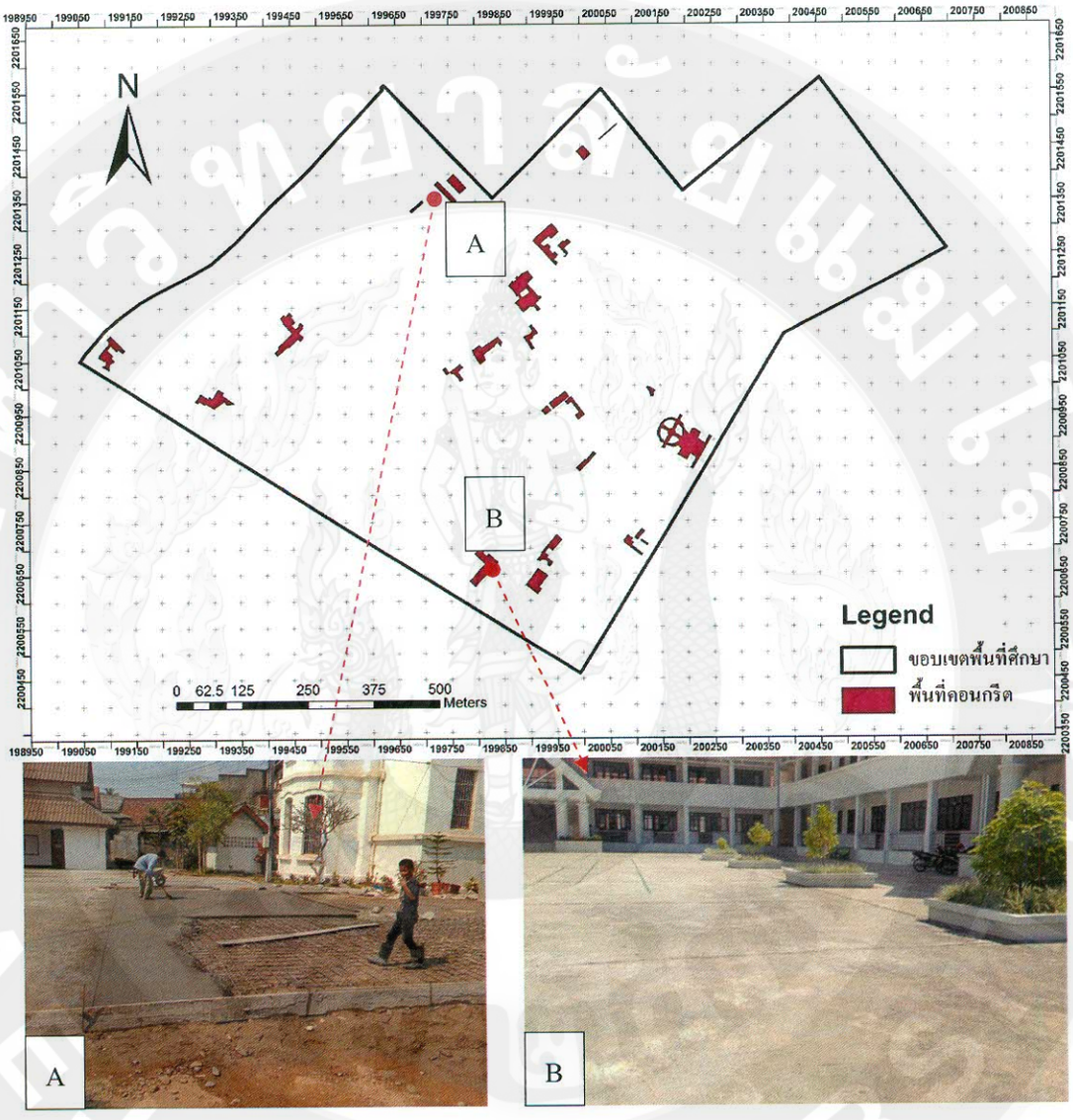
ภาพ 35 โครงข่ายถนนยางมะตอยและลักษณะถนนยางมะตอย

ที่มา: จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1 และจากการสำรวจภาคสนาม เดือนมกราคม พ.ศ. 2557

พื้นที่คอนกรีต

จากการสำรวจพบว่า พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ปูพื้นด้วยคอนกรีตที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายC = 0.95 (ศิริชัย และคณะ, 2549) กระจายไปตามพื้นที่ต่างๆ ส่วนมากเป็นพื้นที่ทางเท้าข้างถนน พื้นที่สาธารณะ เช่น สนามเล่นหน้าโรงเรียน ถานที่ราชการ พื้นที่ตลาด ที่จอดรถข้างถนน ที่จอดรถในวัด สนามรอบวัด รวมถึงพื้นที่ส่วนบุคคล อาทิ พื้นที่รอบบ้าน พื้นที่หน้าบ้านเป็นต้น

สนามคอนกรีตในพื้นที่ศึกษาจากการสำรวจเก็บข้อมูล และวิเคราะห์พบว่ามีขนาด 20,118.19 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนพื้นผิวร้อยละ 2.21 ของพื้นที่



ภาพ 36 ขนาดและที่ตั้งพื้นที่คอนกรีต

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

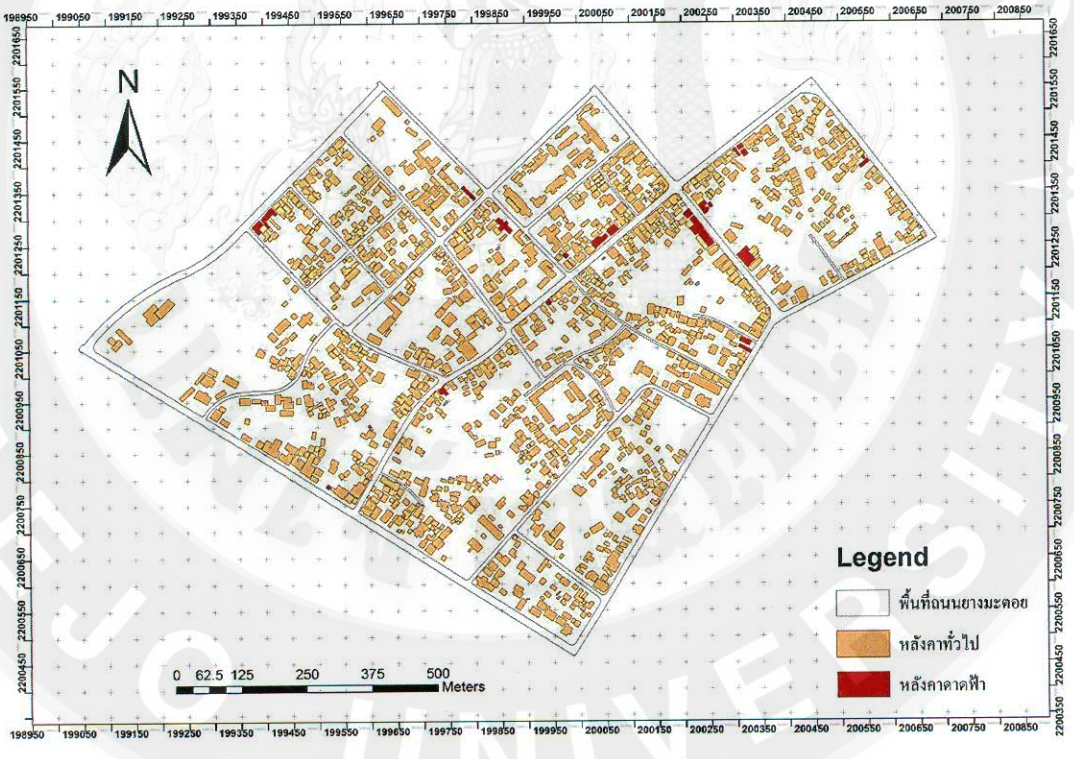
พื้นที่หลังคามุงทั่วไป

จากการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าในพื้นที่ศึกษามีหลังคาในรูปทรงประเภทต่างๆได้แก่ หลังคาหน้าจั่ว (Gable) หลังคาปั้นหยา (Hip) หลังคาหมาแหงน (Lean-to) หลังคาผีเสื้อ (Butter fly) แต่ที่นิยมกันมากที่สุดจนกลายเป็นเอกลักษณ์ของความเป็นเมืองมกรดกโลกหลวงพระ

บางคือ ประเภทหลังคาหน้าจั่ว (Gable) ซึ่งมีความสะดวกต่อการระบายน้ำออกจากอาคารและลดการความเสี่ยงการเกิดน้ำฝนไหลเข้าในอาคาร อย่างไรก็ตาม พื้นที่หลังคาประเภทนี้เป็นตัวแปรส่งผลต่อการเกิดน้ำไหลบ่ามากที่สุด เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำมีค่า C = 1 (ศิริชัย และคณะ, 2549) จากการวิเคราะห์ พบว่า พื้นที่หลังคาประเภทดังกล่าวมีพื้นที่เท่ากับ 202,819.06 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 22.24 ของพื้นผิว

พื้นที่หลังคาดาดฟ้า

จากการสำรวจข้อมูล พบว่า หลังคาดาดฟ้ามีจำนวนจำกัดมาก อาคารส่วนใหญ่ที่มีหลังคาดาดฟ้า (หลังคาหน้าตัด) มีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 6,102 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 0.67 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาคารพาณิชย์ จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า หลังคาดาดฟ้ามีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเท่ากับพื้นที่คอนกรีตทั่วไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ C = 0.95



ภาพ 37 พื้นที่หลังคาทั่วไป หลังคาดาดฟ้า

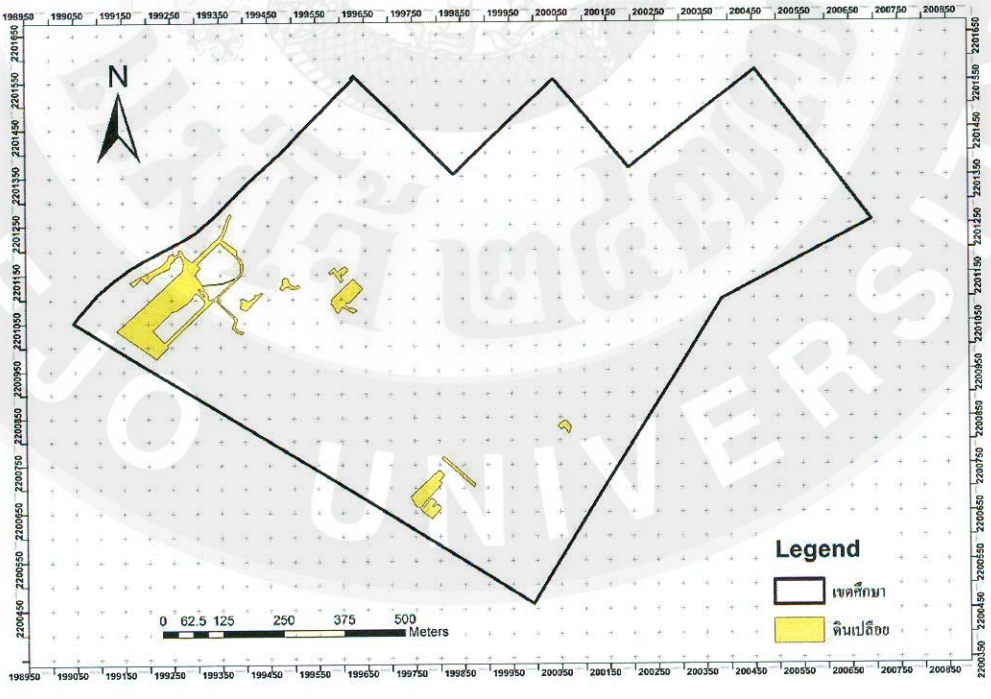
ที่มา: จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1

ภาพ 38 ลักษณะอาคารที่เป็นหลังคาดาดฟ้า

ที่มา: จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามเดือนกันยายน 2557

พื้นที่ดินเปลือย

จากการสำรวจข้อมูลพบว่า ในพื้นที่ศึกษามีพื้นที่ดินเปลือยกระจายอยู่ตามพื้นว่างบางส่วนโดยเฉพาะในพื้นที่สาธารณะ อาทิ เขตสนามทาดหลวง ที่เป็นพื้นที่จัดตลาดนัดของชุมชนในฤดูแล้ง พื้นที่ดินเปลือยทั้งหมดที่ได้จากการเก็บข้อมูลเท่ากับ 2,4929.09 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2.73 เนื่องจากลักษณะดินในบริเวณดังกล่าวเป็นดินร่วน ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของพื้นที่ดินเปลือยดังกล่าวมีค่า C = 0.60



ภาพ 39 พื้นที่ดินเปลือย

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น

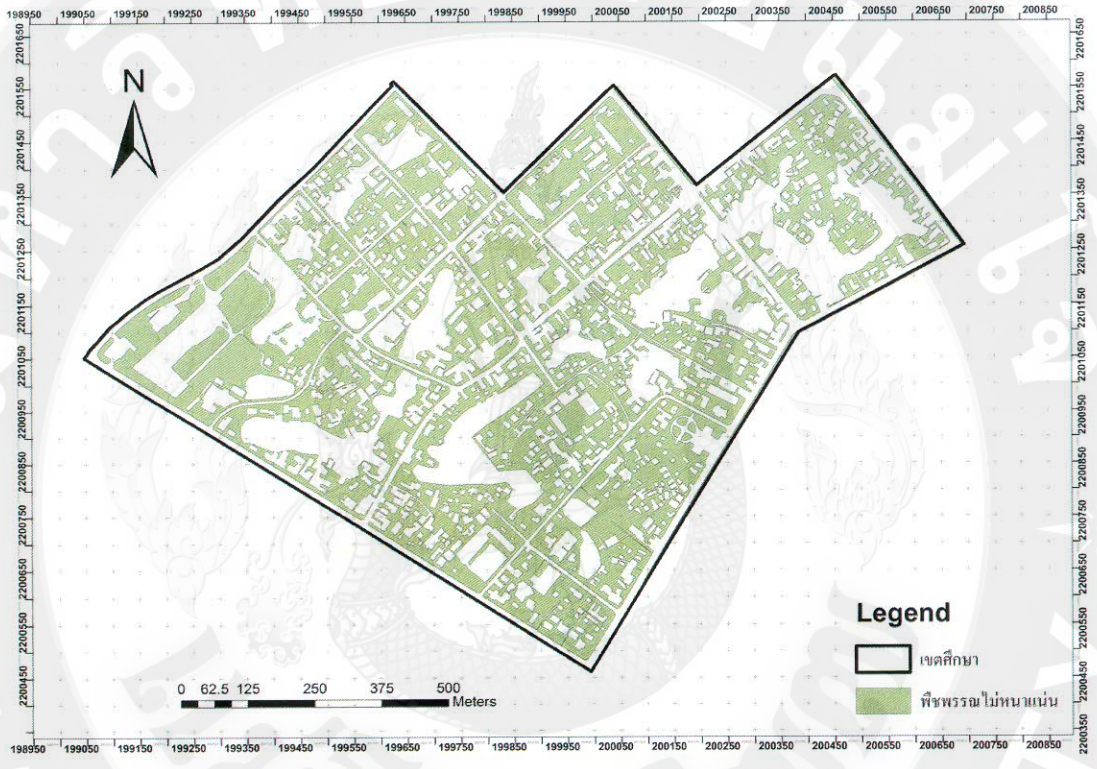
จากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม พื้นที่พืชพรรณหนาแน่นในพื้นที่ศึกษามีขนาดจำกัด ส่วนใหญ่จะอยู่ตามพื้นที่สงวนแหล่งน้ำขององค์การมรดกโลกเท่านั้น พืชพรรณส่วนมากเป็นพืชที่เกิดตามธรรมชาติ และมีระบบนิเวศตามธรรมชาติคอยให้การดูแลรักษา ลักษณะของพืชเป็นพืชคลุมดินเป็นส่วนใหญ่ อาทิ หญ้าแฝก เป็นต้น จากการวิเคราะห์ข้อมูล ขนาดพื้นที่ที่มีพืชพรรณหนาแน่นในพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 105,701 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ11.59 ของพื้นที่ทั้งหมด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำมีค่า C = 0.35

ภาพ 40 พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น

จากการสำรวจข้อมูลพืชพรรณ พบว่า พื้นที่ว่างส่วนใหญ่ในพื้นที่มีพืชพรรณเกิดขึ้นตามธรรมชาติกระจายอยู่ทั่วไปแบบไม่สม่ำเสมอตามความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนใหญ่เป็นพืชคลุมดิน ไม้ยืนต้น และไม้ผล อาทิ ต้นมะพร้าว มะม่วง และ ไม้ไผ่ เป็นต้น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำมีค่า C = 0.45



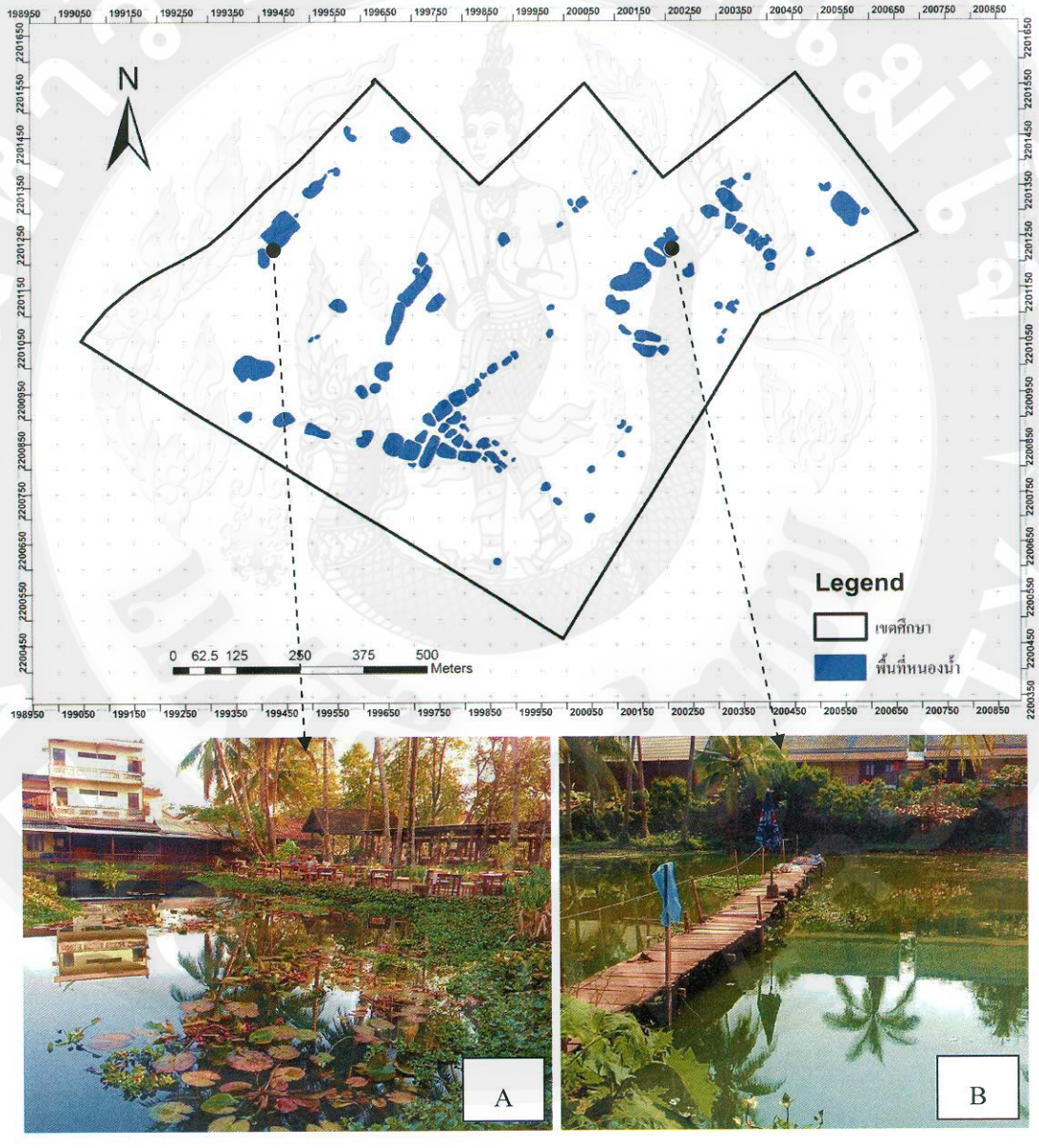
ภาพ 41 พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

พื้นที่แหล่งน้ำ

จากการสำรวจ พบว่า ในพื้นที่ศึกษามีบ่อดินกักเก็บน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นหนองน้ำเลี้ยงปลาก่อนขึ้นบัญชีเป็นมรดกดลกรวมทั้งหมดจำนวน 167 หนอง คิดเป็นเนื้อที่ได้ 65,602.24 ตารางเมตร (41ไร่) ความลึกเฉลี่ยของหนองปลาเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณน้ำสามารถกักเก็บได้สูงสุดถึง 65,602.24 ลบ.ม. ซึ่งหนองน้ำเลี้ยงปลาดังกล่าวถือว่าเป็นพื้นที่กักเก็บน้ำในรูปแบบ Depression storage ที่มีศักยภาพ แล เป็นหนึ่งในจุดแข็งในด้านการจัดการน้ำฝน ถึงแม้ว่าหนองน้ำจำนวนดังกล่าว จะได้ขึ้นทะเบียนบัญชีมรดกโลก และ องค์การ UNESCO ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการคุ้มครองดูแลเพื่ออนุรักษ์ไว้แล้วก็ตาม แต่จากการสำรวจพบว่า มีหนองน้ำ หรือบ่อดินจำนวน 62

หนองถูกถมอันเนื่องมาจากการตกตะกอนของน้ำไหลบ่า ซึ่งทำให้สูญเสียพื้นที่กักเก็บน้ำไปทั้งหมด 10,177 ตารางเมตร (6.36ไร่) ภายใน 12 ปี เป็นการลดความสามารถการกักเก็บน้ำจากเดิมถึง 10,177 ลบ.ม. เท่ากับศักยภาพการกักเก็บน้ำลดลงจากเดิมถึงร้อยละ 15.51 ถือว่าเป็นปัญหาที่ควรปรับปรุงเพื่อฟื้นคืนสภาพหนองกักเก็บน้ำจำนวนดังกล่าวให้กับมาใช้งานได้เหมือนเดิม ปัจจุบันหนองน้ำที่ยังใช้งานได้ในพื้นที่มีทั้งหมด 105 หนอง คิดเป็นพื้นที่ 55424.15 ตารางเมตร หรือ 34.64 ไร่ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำในหนองน้ำมีค่า C = 0

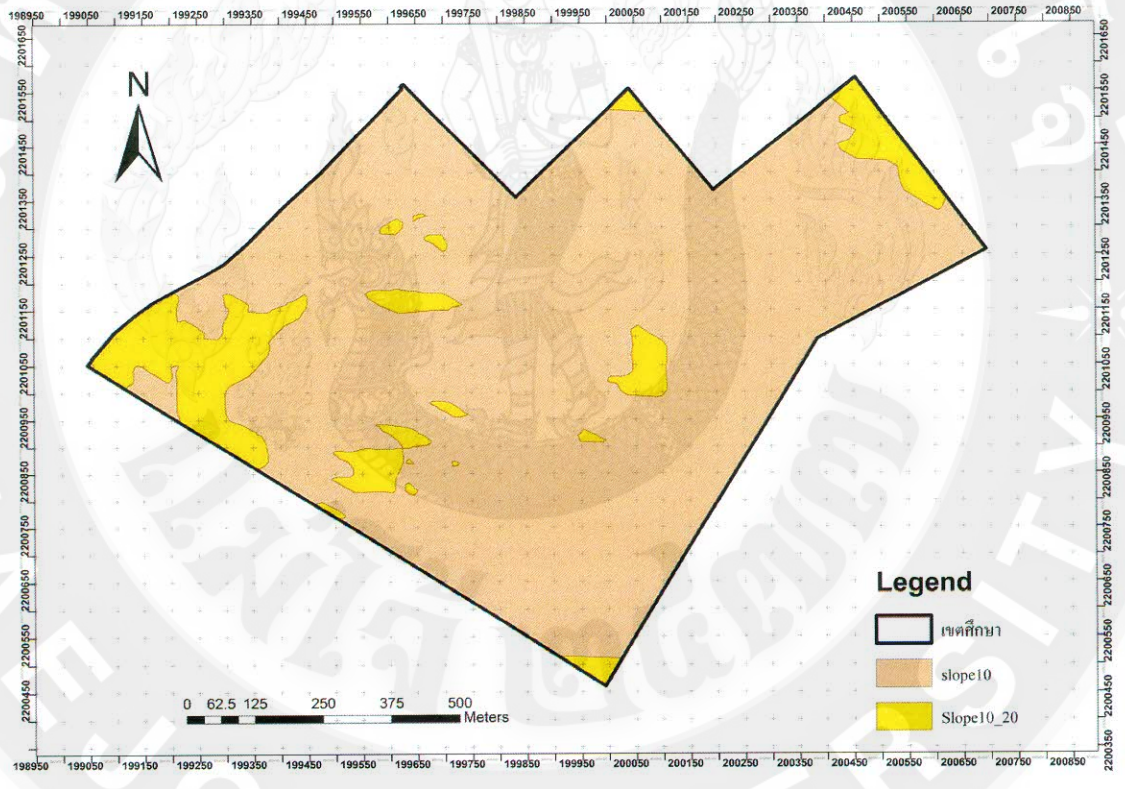


ภาพ 42 พื้นที่แหล่งกักเก็บน้ำน้ำ

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)

จากการสำรวจ พื้นที่เขตศึกษาพบว่า เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะราบเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับพื้นที่ที่มีความลาดชันมีเพียงเล็กน้อยกระจายไปตามคลองระบายน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะเขตวัดทาดหลวง เขตพื้นที่ลุ่มน้ำบ้านมะโน จากการวิเคราะห์ความลาดชันด้วยข้อมูลเส้นระดับความสูง (Contour) จากกรมโยธาเมืองหลวงพระบางพบว่า พื้นที่มีความลาดชันไม่เกิน 10% คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 89 ส่วนพื้นที่ความชันระหว่าง 10-20 มีขาดเท่ากับ 62 ไร่ กระจายเป็นบริเวณทั่วพื้นที่ศึกษา ส่วนความลาดชันเกิน 20% ไม่มีในพื้นที่ศึกษา จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของความชันแต่ 0% - 10% มีค่า C = 0 แต่ 10% - 20% มีค่า C = 0.05 (ไชยสิทธิ์, 2550) ที่แสดงในตาราง 2 จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำที่เกิดจากความชันมีค่า C = 0.04



ภาพ 43 พื้นที่ความลาดชัน

ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนมกราคม 2557

การวิเคราะห์พื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า

ตามแนวคิดทฤษฎี ปริมาณน้ำไหลบ่าเกิดจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน มีค่า Q ไม่เหมือนกัน ตามปัจจัยต่างๆที่ได้ศึกษามา เพื่อแก้ไขปัญหาตามศักยภาพพื้นที่ที่เกิดน้ำไหลบ่า ผู้ศึกษา

ได้ใช้ชั้นข้อมูลทั้งหมดที่เป็นตัวแปรต่อการเกิดน้ำไหลบ่ามาซ้อนทับกันเพื่อหาค่า C ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนและออกแบบแก้ไขต่อไป โดยการแบ่งพื้นที่เป็นตาราง Grid ในระยะ (50 x 50) เมตร ซึ่งกำหนดเกณฑ์คะแนนตามค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำของพื้นผิวแต่ละชนิดเป็นค่าดัชนี และแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังต่อไปนี้

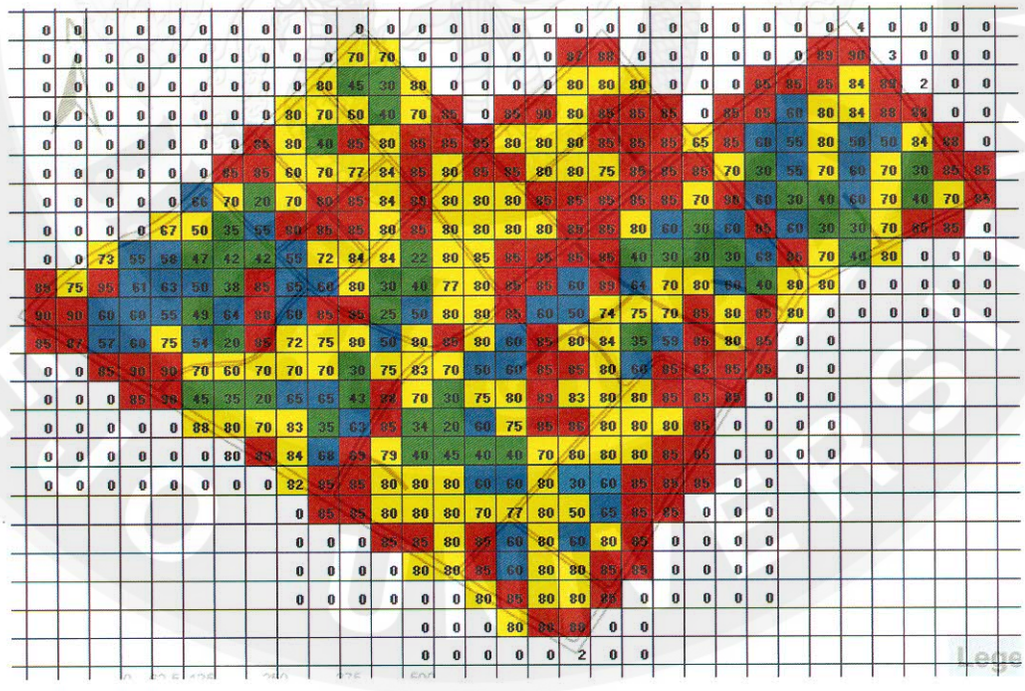
พื้นที่ Zone A : มีค่า C ในช่วง $0.85 \leq C \leq 1.00$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก

พื้นที่ Zone B : มีค่า C ในช่วง $0.70 \leq C \leq 0.85$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตรามาก

พื้นที่ Zone C : มีค่า Cในช่วง $0.50 \leq C \leq 0.70$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง

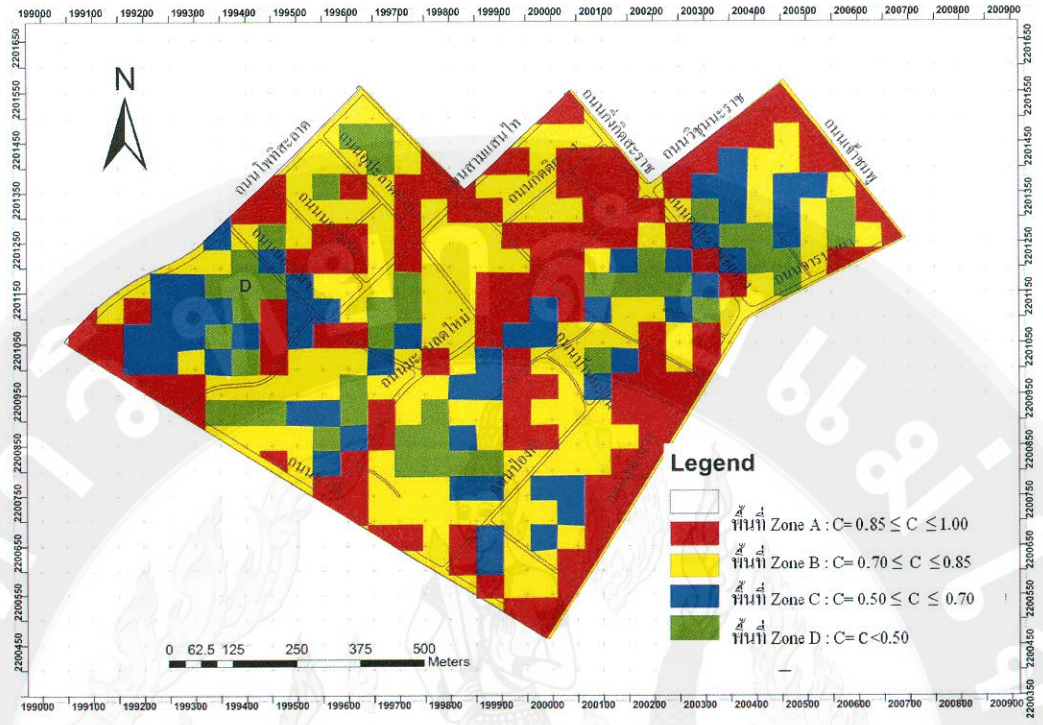
พื้นที่ Zone D : มีค่า C ในช่วง $C < 0.50$ เป็นพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย

จากการซ้อนทับข้อมูลได้แผนที่ที่แสดงถึงพื้นที่ที่เกิดปัญหาน้ำไหลบ่าแต่ละระดับดังภาพต่อไปนี้



ภาพ 44 แผนที่พื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า (คำนวณด้วยค่าร้อยละ)

ที่มา: จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PSA ในโปรแกรม Microsoft Excel 2010



ภาพ 45 แผนที่กำหนดพื้นที่ปัญหาเกิดน้ำไหลบ่า

ที่มา: จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพื้นที่สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำได้ผลดังนี้

ตาราง 19 ขนาดของพื้นที่แยกตามสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

Zone	สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ	ตารางเมตร	ไร่	สัดส่วน %
A	$0.85 \leq C \leq 1.00$	294,320.44	183.95	32.27
B	$0.70 \leq C \leq 0.85$	351,299.60	219.56	38.52
C	$0.50 \leq C \leq 0.70$	149,456.97	93.41	16.39
D	$C < 0.50$	116,922.99	73.08	12.82
	Total	912,000.00	570.00	100.00

ที่มา: จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1

ตาราง 20 ปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ต่างๆ

Zone	สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (C)		(C)เฉลี่ย	พื้นที่ (m^2)	ปริมาณน้ำไหลบ่าเฉลี่ย Q = m^3/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

ที่มา: จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1

จากข้อมูลตาราง พบว่า พื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก (Zone A) มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.86 มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 183.95ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32.27 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดที่ที่คำนวณได้ Q = 3.45 ลบ.ม./วินาที พื้นที่ส่วนมากตั้งอยู่หมู่บ้านเวียงไซ หมู่บ้านมะโน บ้านป่องคำ และหมู่บ้านนาเวียงคำ พื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตรามาก(Zone B) มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.77 มีพื้นที่เท่ากับ 219.56 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 38.52 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดที่คำนวณได้ Q = 3.69 ลบ.ม./วินาที พื้นที่ส่วนมากตั้งอยู่หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านมะโน หมู่บ้านป่องคำ และหมู่บ้านเวียงไซ พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง (Zone C) มีสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.53 มีพื้นที่ 93.41ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 16.39 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดที่คำนวณได้ Q = 1.08 ลบ.ม./วินาที พื้นที่ส่วนใหญ่ตั้งหมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านทาดโบสด ส่วนพื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย (Zone D) มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ C = 0.25 มีพื้นที่ 73.08 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 12.82 ปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดที่คำนวณได้ Q = 0.40 ลบ.ม./วินาที พื้นที่ส่วนใหญ่ตั้งอยู่หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านป่องคำ และหมู่บ้านทาดโบสด

การกำหนดพื้นที่ปัญหา ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่

Zone A : พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราสูงมาก เป็นพื้นที่ออกแบบและวางแผนจัดการน้ำ

Zone B : พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตรามาก เป็นพื้นที่ออกแบบและวางแผนจัดการน้ำ

Zone C : พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราปานกลาง เป็นพื้นที่ออกแบบและวางแผนปรับปรุง

Zone D : พื้นที่มีน้ำไหลบ่าในอัตราน้อย เป็นพื้นที่อนุรักษ์ไม่ได้ออกแบบและวางแผน

การวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยการเกิดน้ำไหลบ่า

จากชั้นข้อมูลทั้งหมด 9 ชั้นที่ได้ศึกษา พบว่า ชั้นข้อมูลที่มีผลมากที่สุดต่อการเกิดน้ำไหลบ่าพื้นที่คือ

อันดับ1: พื้นที่หลังคา (Rooftop Area)

อันดับ2: พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น (Low vegetation Area)

อันดับ3: พื้นที่ถนนยางมะตอย (Asphalt Area)

สรุปกำหนดปัจจัยปัญหา

เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ศึกษาให้ได้มากที่สุดต้องออกแบบและวางแผนลดน้ำไหลบ่าจาก 3 พื้นผิวเป็นหลัก ซึ่งได้แก่

1. พื้นที่หลังคา (Rooftop Area)
2. พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น (Low vegetation Area)
3. พื้นที่ถนนยางมะตอย (Asphalt Area)

การกำหนดแนวคิด ในการออกแบบและวางแผน

การกำหนดแนวคิดการออกแบบ เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่บริบทของเมืองมรดกโลกหลวงพระบางในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ใช้เกณฑ์ในการเลือก (Concept) โดยพิจารณาสามเงื่อนไขหลัก ซึ่งได้แก่

1. ปัจจัยด้านปัญหาที่ต้องการจัดการ
2. ความเหมาะสมของแนวคิด (Concept) ที่จะใช้แก้ปัญหาตามทฤษฎี
3. ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของมรดกโลกโดยเฉพาะด้านการอนุรักษ์

แนวคิดการออกแบบและวางแผนการจัดการน้ำ Zone : A

พื้นที่นำไหลบ่าเกิดจาก 1 พื้นที่หลังคา (Rooftop Area) 2 พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น (Low vegetation Area) และ 3 พื้นที่ถนนยางมะตอย (Asphalt Area) ดังนั้นผู้ศึกษาได้ใช้แนวคิดการจัดการทั้งหมด 9 แนวคิด ดังนี้

1. แนวคิดการใช้ถังเก็บน้ำ (Rain tanks/Cisterns) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่หลังคา

2. แนวคิดการใช้พื้นที่ตัดความต่อเนื่องของน้ำจากหลังคา (Rooftop disconnection)

3. แนวคิดการสร้างสวนหลังคา (Rooftop garden/ Green roof) เพื่อลดน้ำไหลบ่าในส่วนที่เกิดจากพื้นที่หลังคาดาดฟ้า

4. แนวคิดการใช้สวนน้ำฝน (Rain garden) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น รวมทั้งน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ทึบน้ำ

5. แนวคิดการสร้างช่องปลูกหญ้า (Grass Channel) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ที่จำกัด

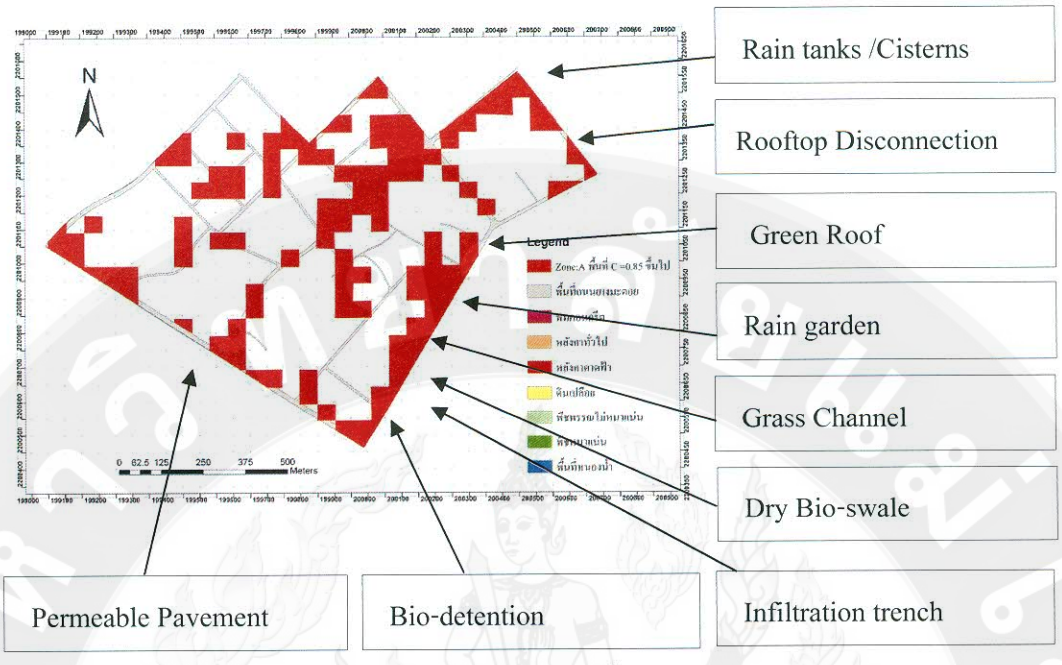
6. แนวคิดการสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) ตามพื้นที่ริมถนนเพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และ พื้นที่ทึบน้ำจุดต่างๆ

7. แนวคิดการสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่คอนกรีตที่ไม่จำเป็น เช่นทางเท้าตามริมถนนสายต่างๆ ที่จอดรถ สนามคอนกรีตหน้าบ้าน และ อื่นๆ เป็น

8. แนวคิดการสร้างการซึมของพื้นที่ (Infiltration) จากพื้นที่ต่างว่างและพืชพรรณไม่หนาแน่น

9. แนวคิดการสร้างที่เก็บน้ำด้วยพื้นพรรณ (Bio retention) เพื่อรับน้ำจากที่จอดรถ

การวางผังแนวคิดมีสองระดับได้แก่ ผังแนวคิดรวม และ ผังแนวคิดเฉพาะโดยแยกละเอียดตาม Zone ย่อย ดังแสดงในภาพต่อไปนี้



ภาพ 46 ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : A

แนวคิดการออกแบบและวางแผน Zone : B

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ตัวแปรการเกิดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ Zone : B ส่วนใหญ่เกิดจาก

1. พื้นที่หลังคา
2. พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่นตามพื้นที่ว่างทั่วไป
3. พื้นที่คอนกรีตบางส่วน
4. พื้นที่ถนน

ลักษณะพิเศษของพื้นที่ Zone B มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่พืชพรรณหนาแน่นเป็นบางบริเวณดังนั้น ตามแนวคิด ทฤษฎี ที่ศึกษามา การลดปัญหาน้ำไหลบ่าในพื้นที่ลักษณะดังกล่าว ผู้ศึกษาได้กำหนดแนวความคิดการออกแบบ (Concept design) ดังนี้

1. แนวคิดการใช้ถังเก็บน้ำ (Rain tanks/Cisterns) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่หลังคา

2. แนวคิดการใช้พื้นที่ตัดความต่อเนื่องของน้ำจากหลังคา (Rooftop disconnection)

3. แนวคิดการสร้างสวนหลังคา (Rooftop garden/ Green roof) เพื่อลดน้ำไหลบ่าในส่วนที่เกิดจากการพื้นที่หลังคาดาดฟ้า

4. แนวคิดการใช้สวนน้ำฝน (Rain garden) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น รวมทั้งน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ทึบน้ำ

5. แนวคิดการสร้างช่องปลูกหญ้า (Grass Channel)เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ที่จำกัด

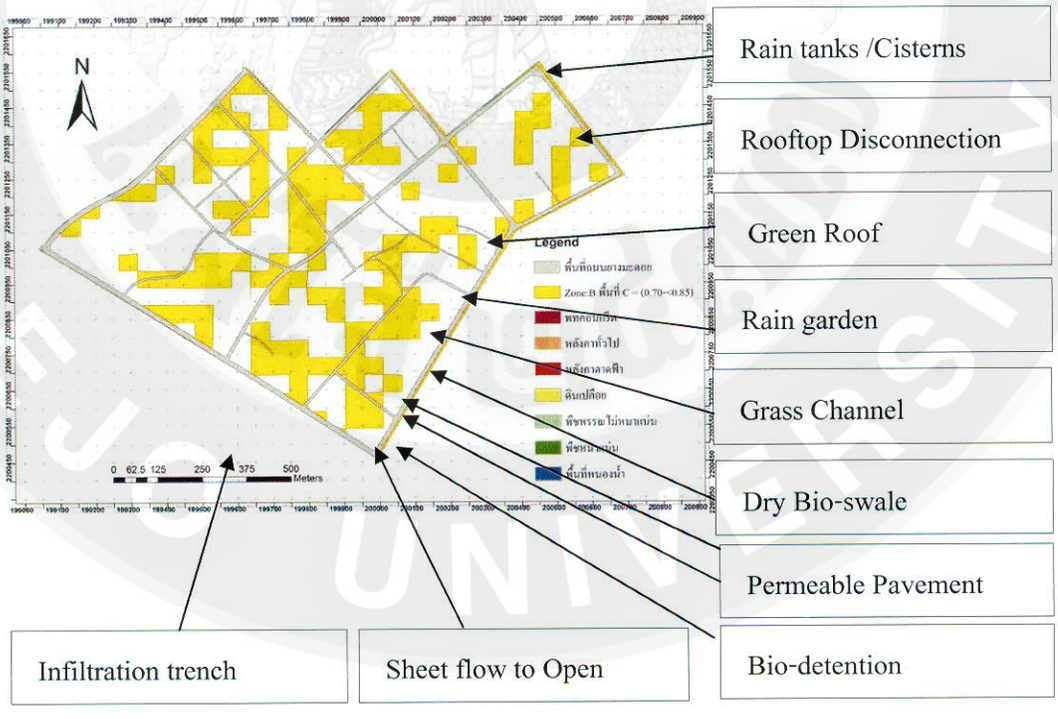
6. แนวคิดการสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) ตามพื้นที่ริมถนนเพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และ พื้นที่ทึบน้ำจุดต่างๆ

7. แนวคิดการสร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่คอนกรีตที่ไม่จำเป็น เช่นทางเท้าตามริมถนนสายต่างๆที่จอดรถ สนามคอนกรีตหน้าบ้าน

8. แนวคิดการสร้างการซึมของพื้นที่ (Infiltration) จากพื้นที่ว่าง และ พืชพรรณไม่หนาแน่น

9. แนวคิดการสร้างการไหลแผ่ซ่านเชื่อมกับพื้นที่พืชพรรณหนาแน่น(Sheet flow to Open Space)

10. แนวคิดการสร้างที่เก็บน้ำด้วยพื้นพรรณ (Bio retention) เพื่อรับน้ำจากพื้นที่ทึบน้ำต่างๆ



ภาพ 47 ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : B

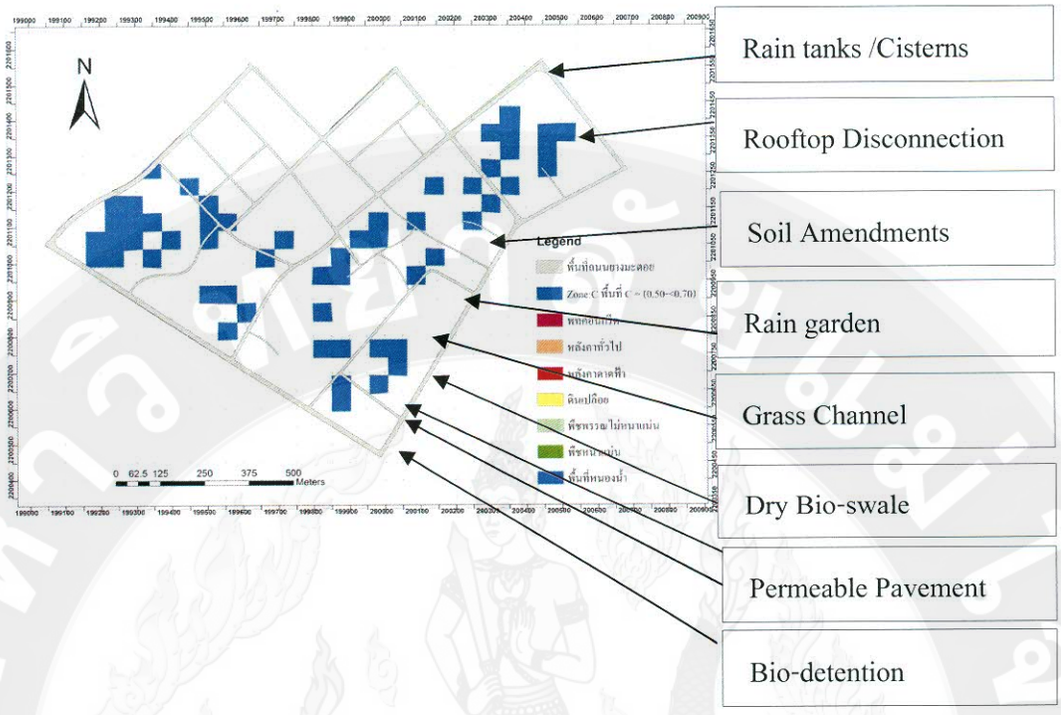
แนวคิดการออกแบบและวางแผน Zone : C

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ตัวแปรการเกิดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ Zone C ส่วนใหญ่เกิดจาก

1. พื้นที่ดินเปลือย
2. พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่นตามพื้นที่ว่าง
3. พื้นที่หลังคา
4. พื้นที่ถนน

ลักษณะพิเศษของพื้นที่ Zone C มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่พืชพรรณหนาแน่นหลายบริเวณรวมทั้งพื้นที่หนองน้ำบางส่วน ดังนั้นการลดปัญหาน้ำไหลบ่าที่สอดคล้องกับพื้นที่ลักษณะ Zone C ได้กำหนดแนวความคิดการออกแบบ (Concept design) ดังนี้

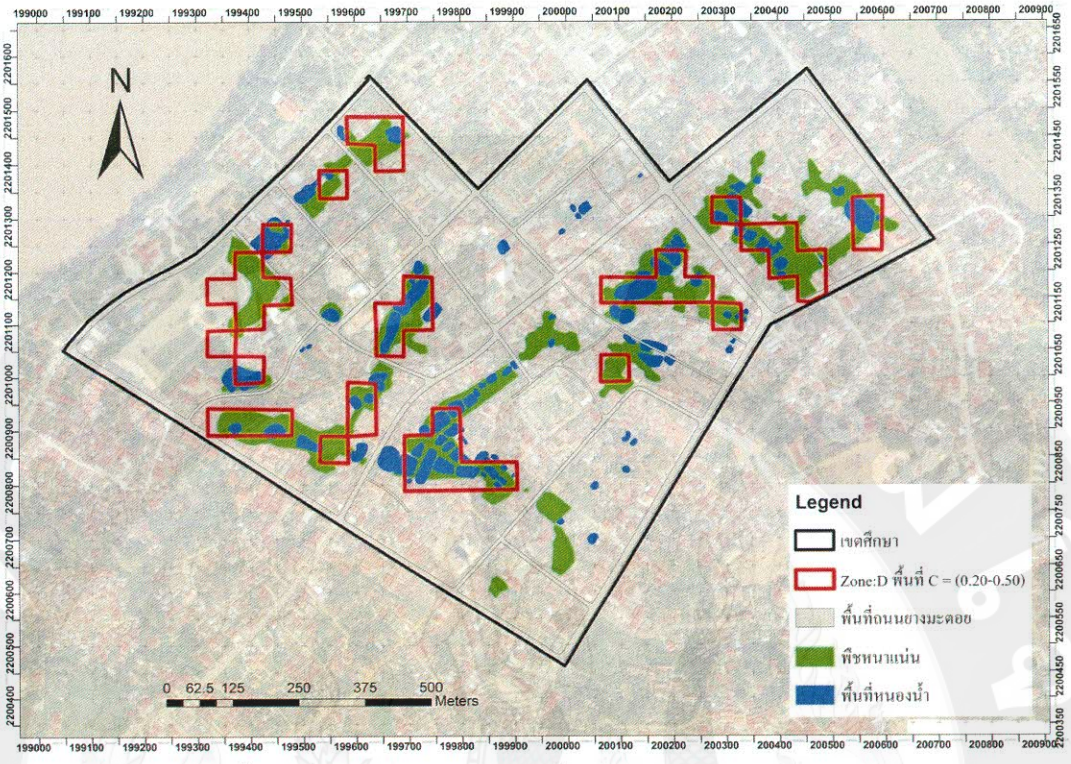
1. แนวคิดการใช้ถังเก็บน้ำ (Rain tanks /Cisterns) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่หลังคา
2. แนวคิดการใช้พื้นที่ตัดความต่อเนื่องของน้ำจากหลังคา (Rooftop disconnection)
3. แนวคิดการใช้สวนน้ำฝน (Rain garden) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น รวมทั้งน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ทึบน้ำ
4. แนวคิดการสร้างช่องปลูกหญ้า (Grass Channel) เพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ที่จำกัด
5. แนวคิดการสร้างร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) ตามพื้นที่ริมถนนเพื่อลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ถนน และ พื้นที่ทึบน้ำจุดต่างๆ
6. แนวคิดการสร้างการซึมของพื้นที่ (Infiltration) จากพื้นที่ต่างว่างเปล่า และ พืชพรรณไม่หนาแน่น
7. การแก้ไขปรับปรุงดิน (Soil Amendments) เพื่อเพิ่มช่องว่างในดินในการซึมซับของน้ำ
8. การสร้างที่เก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio retention)



ภาพ 48 ผังการกำหนดแนวคิดการออกแบบสำหรับพื้นที่ Zone : C

แนวคิดการออกแบบและวางแผน Zone : D

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า พื้นที่ Zone D เป็นพื้นที่เต็มไปด้วยพืชพรรณหนาแน่น และเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ อาทิ หนองน้ำ บ่อดิน จำนวนมาก ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลบ่าของพื้นที่พบว่า มีอัตราน้อยมาก ผู้ศึกษาจึงไม่ได้กำหนดแนวคิดการออกแบบและวางแผนเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า แต่ควรอนุรักษ์สภาพแวดล้อมให้คงอยู่แบบนี้ตลอดไป



ภาพ 49 แผนที่แสดงพื้นที่อนุรักษ์เพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่า
ที่มา: จากการสำรวจภาคสนาม

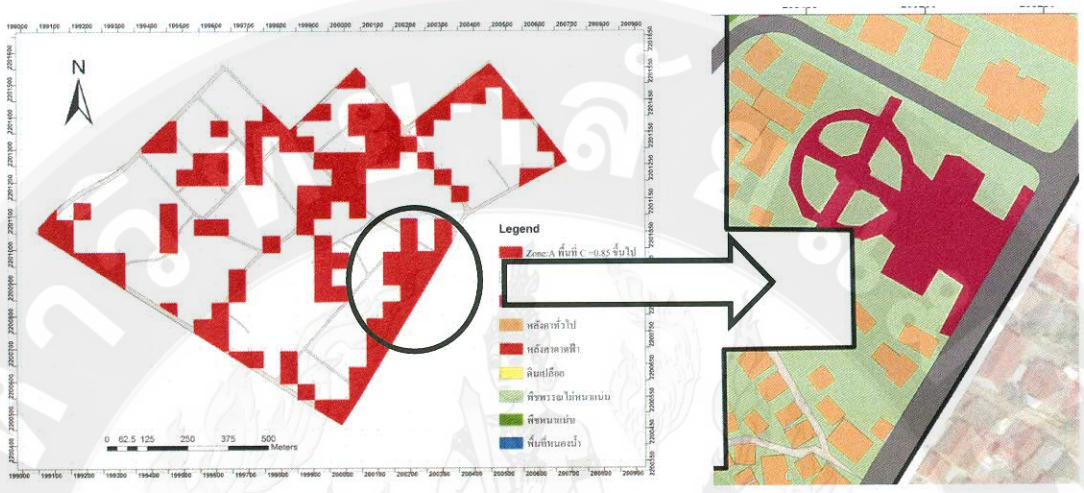
การออกแบบ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาที่เน้นหลักการ และ กระบวรการเป็นสำคัญ รวมถึงการมีเวลา และต้นทุนที่จำกัด ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบบางบริเวณเพื่อเป็นพื้นที่ต้นแบบกับ Zone : A,B,C,D เพื่อให้เห็นถึงลักษณะของแนวความคิดเท่านั้น

การออกแบบจัดการน้ำและลดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ Zone: A

พื้นที่ Zone: A เป็นเขตที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตราที่สูงที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำรวมC = 0.86 และปริมาณน้ำไหลบ่าคำนวณได้ Q = 3.45 ลบ.ม./วินาที ปัจจัยสำคัญเกิดจากพื้นผิวหลังคาเป็นอันดับแรกในสัดส่วนร้อยละ 40.54 อันดับที่ 2 เป็นพื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่นมีสัดส่วนร้อยละ 26.08 และ อันดับที่ 3 คือพื้นที่ถนนยางมะตอยซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 24.36 ของปริมาณน้ำไหลบ่าจาก Zone: A ดังนั้นการออกแบบจึงเน้นการลดน้ำไหลบ่าจากพื้นผิวดังกล่าว โดยใช้แนวคิด (Concept) ที่เหมาะสมกับพื้นผิว อาทิ การสร้างถังเก็บน้ำฝน (Rain tank) รางตื้นซับ

น้ำ (Infiltration trench) พื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving) ร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) รวมทั้งการสร้างสวนน้ำฝน (Rain garden) เป็นต้น โดยได้ใช้พื้นที่บริเวณอนุสาวรีย์ สุพานุวงเป็นพื้นที่ต้นแบบ

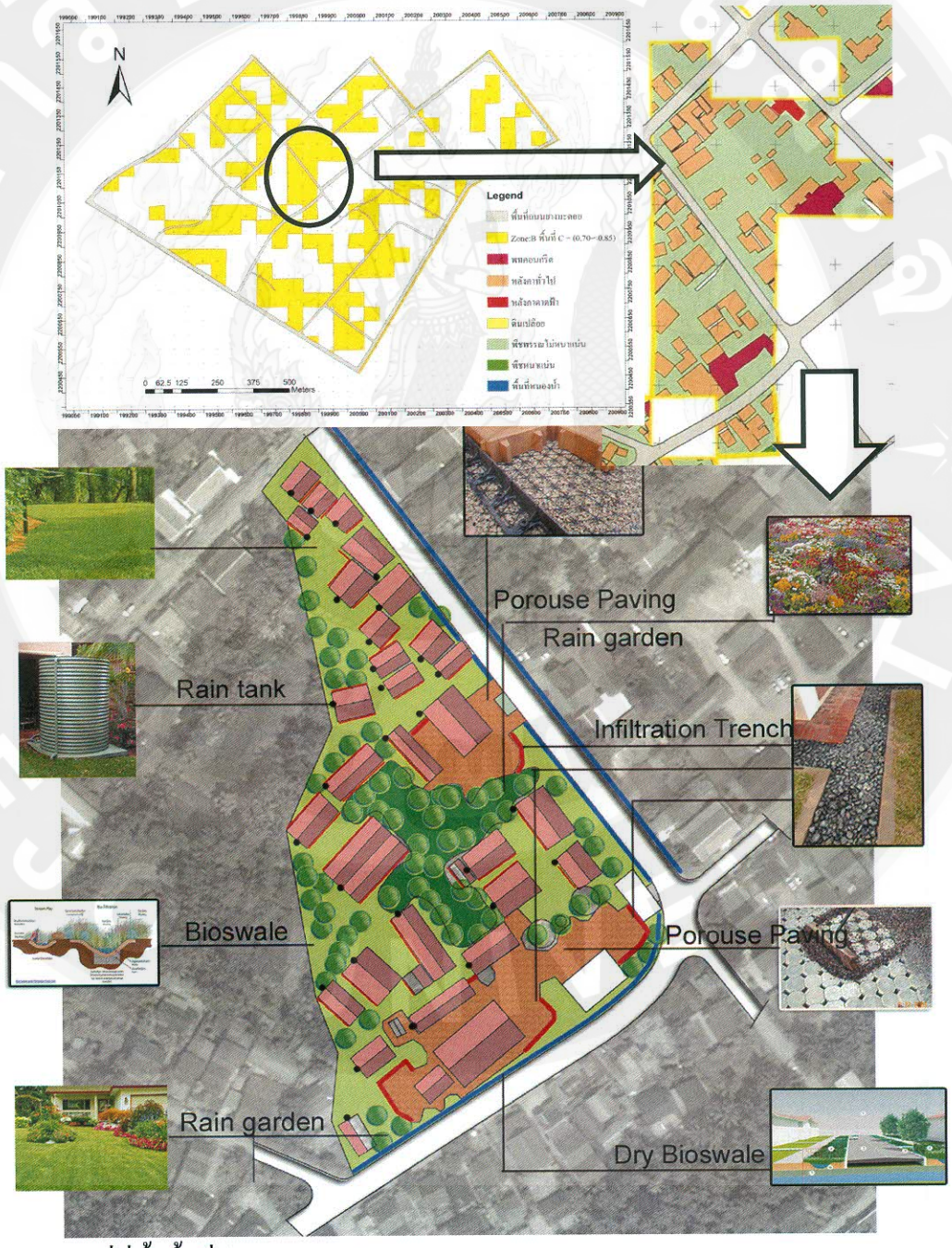


ภาพ 50 แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบ Zone : A

ภาพ 51 ลักษณะการออกแบบลดน้ำไหลบ่าบริเวณอนุสาวรีย์ สุพานุวง

การออกแบบจัดการน้ำและลดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ Zone: B

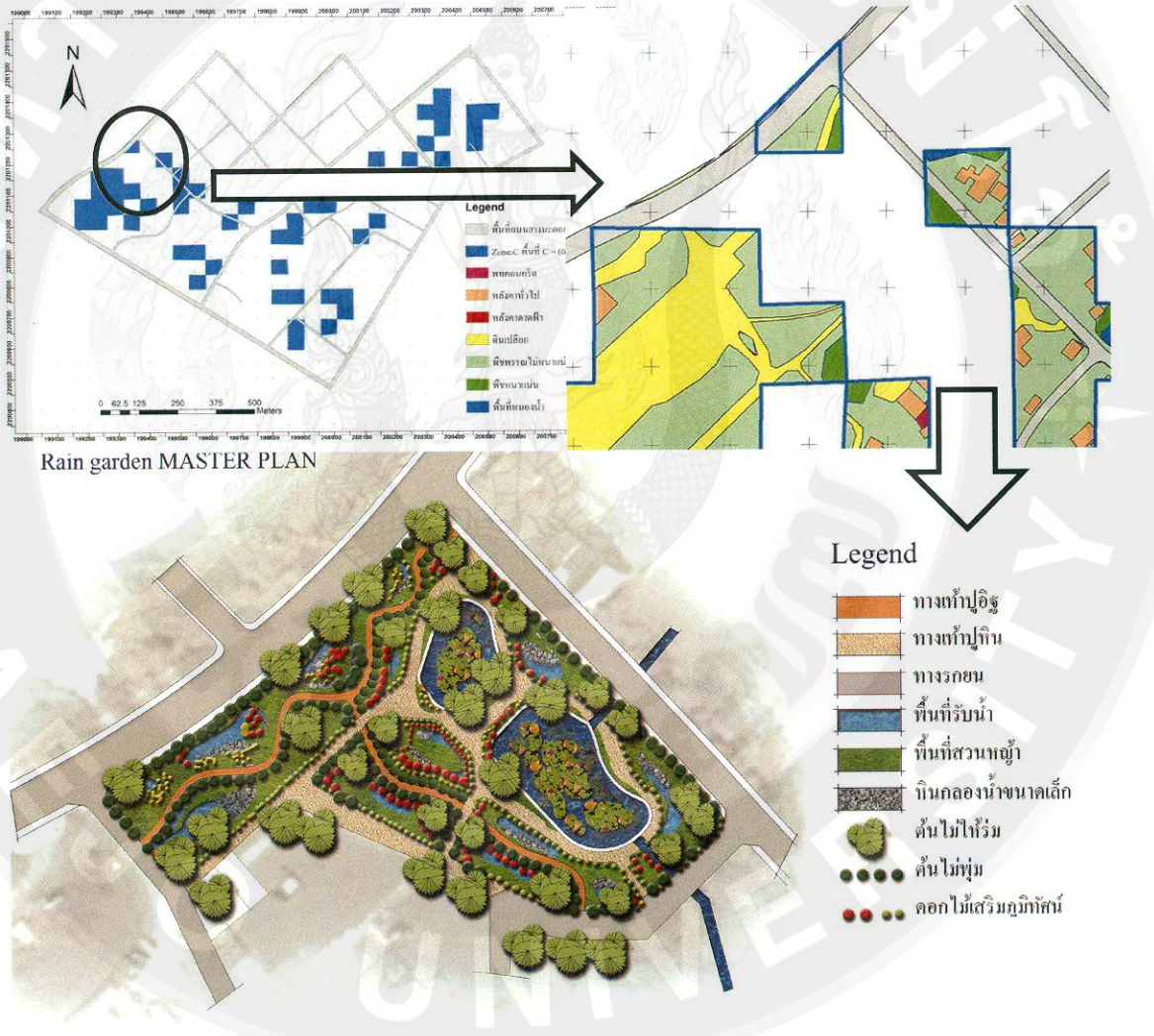
พื้นที่ Zone: B เป็นเขตที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตรามากโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ รวม C = 0.77 และ ปริมาณน้ำไหลบ่าคำนวณได้ Q = 3.69 ลบ.ม./วินาที ปัจจัยสำคัญเกิดจากพื้นผิวหลังคาเป็นอันดับแรก ตามด้วยพืชพรรณไม่หนาแน่น และถนนยางมะตอย ในการออกแบบได้เลือกพื้นที่บริเวณวัดมะโนเป็นพื้นที่ต้นแบบ



ภาพ 52 แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบ และลักษณะการออกแบบ Zone : B

การออกแบบจัดการน้ำและลดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ Zone: C

พื้นที่ Zone: C เป็นเขตที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตรามากโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ รวม C = 0.53 และ ปริมาณน้ำไหลบ่าคำนวณได้ Q = 1.08 ลบ.ม./วินาที ปัจจัยสำคัญเกิดจากพืชพรรณไม่หนาแน่นเป็นอันดับแรก ดังนั้นเมื่อต้องการลดน้ำไหลบ่าในพื้นที่นี้ ใช้แนวคิดการทำสวนน้ำฝนเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการออกแบบในครั้งนี้ได้ เลือกพื้นที่บริเวณสนามทาดหลวงเป็นพื้นที่ต้นแบบ เนื่องจากเป็นพื้นที่สวนสาธารณะ



ภาพ 53 แผนที่ที่ตั้งพื้นที่ต้นแบบและลักษณะการออกแบบ Zone : C

การออกแบบรายละเอียดแนวคิด ED Pond

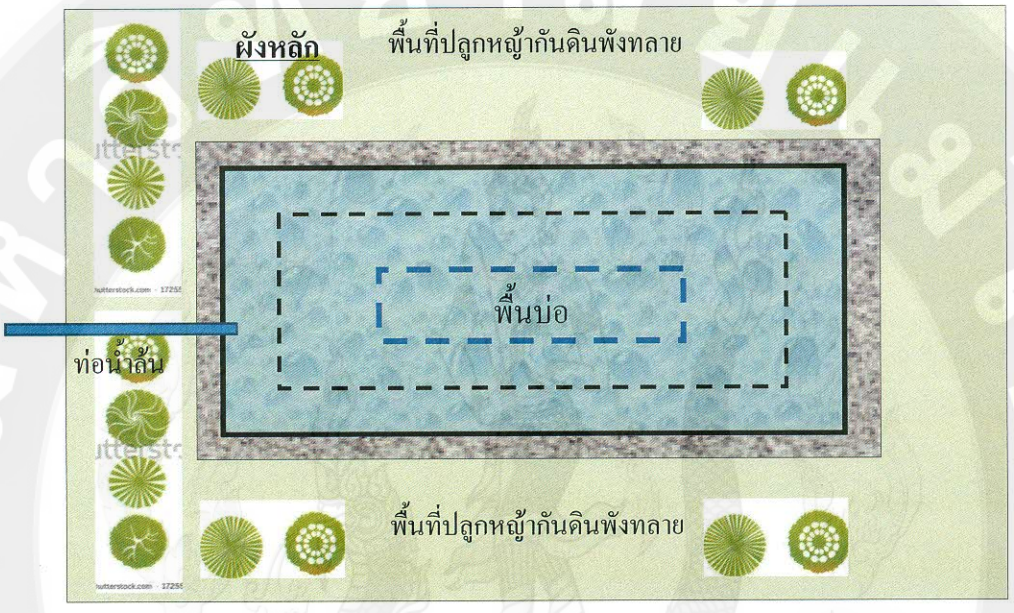
จากการสำรวจข้อมูล พบว่า ในพื้นที่ศึกษามีสระน้ำที่สร้างขึ้น เพื่อใช้เป็นหนองน้ำเลี้ยงปลา ก่อนขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกรวมทั้งหมดจำนวน 167 หนอง รวมเนื้อที่ได้ 65,602.24 ตารางเมตร (41ไร่) ความลึกเฉลี่ยของหนองปาเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณน้ำสามารถกักเก็บได้สูงสุดถึง 65,602.24 ลบ.ม. ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ Zone D ที่จัดเป็นเขตอนุรักษ์ดังที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ซึ่งถือว่าหนองน้ำเลี้ยงปลาดังกล่าวคือพื้นที่กักเก็บน้ำในรูปแบบ Depression storage ที่มีศักยภาพและเป็นหนึ่งในจุดแข็งในด้านการจัดการน้ำฝน

ปัญหาที่พบ ถึงแม้ว่าหนองปลาจำนวนดังกล่าว จะได้ขึ้นทะเบียนบัญชีของมรดกโลก และ องค์การ UNESCO ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการคุ้มครองดูแลเพื่ออนุรักษ์ไว้แล้วก็ตาม แต่จากการสำรวจของห้องการมรดกโลกหลวงพระบางล่าสุดในปี ค.ศ. 2011 พบว่า มีหนองน้ำ (สระน้ำ)จำนวน 62 หนองถูกถมอันเนื่องมาจากการตกตะกอนของน้ำไหลบ่า ซึ่งทำให้สูญเสียพื้นที่กักเก็บน้ำไปทั้งหมด 10,177 ตารางเมตร (6.36ไร่)ภายใน 12 ปี เป็นการลดความสามารถการกักเก็บน้ำจากเดิมถึง 10,177 ลบ.ม. หรือเท่ากับศักยภาพการกักเก็บน้ำลดลงจากเดิมถึงร้อยละ 15.51 ซึ่งเป็นปัญหาที่ควรปรับปรุงเพื่อฟื้นคืนสภาพหนองกักเก็บน้ำจำนวนดังกล่าวให้กับมาใช้งานได้เหมือนเดิม

ภาพ 54 สภาพหนองกักเก็บน้ำเลขที่ 136,144 ที่ถูกถมจากการตกตะกอน

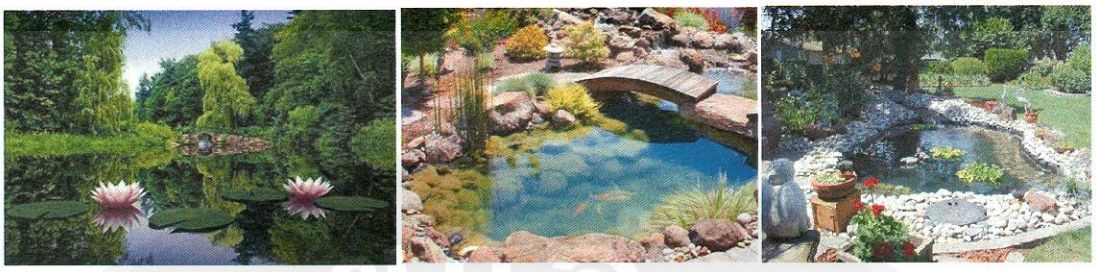
ที่มา: จากการสำรวจภาคสนามเดือนกุมภาพันธ์ 2558

เสนอแนวความคิดการแก้ไข การฟื้นคืนสภาพหนองน้ำที่ถูกถม และกำลังตื้นเขินจากตะกอนให้กลับมาใช้งานได้ใหม่ ควรทำการขุดเอาดินตะกอน และสิ่งตกค้างต่างๆออกจากหนองให้หมด โดยอาจใช้ทั้งแรงงานคนและแรงงานเครื่องจักเช่นรถขุดดินตามความเหมาะสม ลักษณะบ่อกักเก็บน้ำมีดังนี้



ภาพ 55 ออกแบบลักษณะบ่อกักเก็บน้ำ

ภาพ 56 รูปตัดหนองกักเก็บน้ำ



ภาพ 57 ตัวอย่างหนองกักเก็บน้ำหลังการออกแบบ

คำนวณผล

ปริมาณน้ำที่สามารถกักเก็บได้สูงสุดหลังการออกแบบดังนี้

V = พื้นที่หนองน้ำทั้งหมด คูณกับความสูง

= 65,602.24 m^2 x 2m

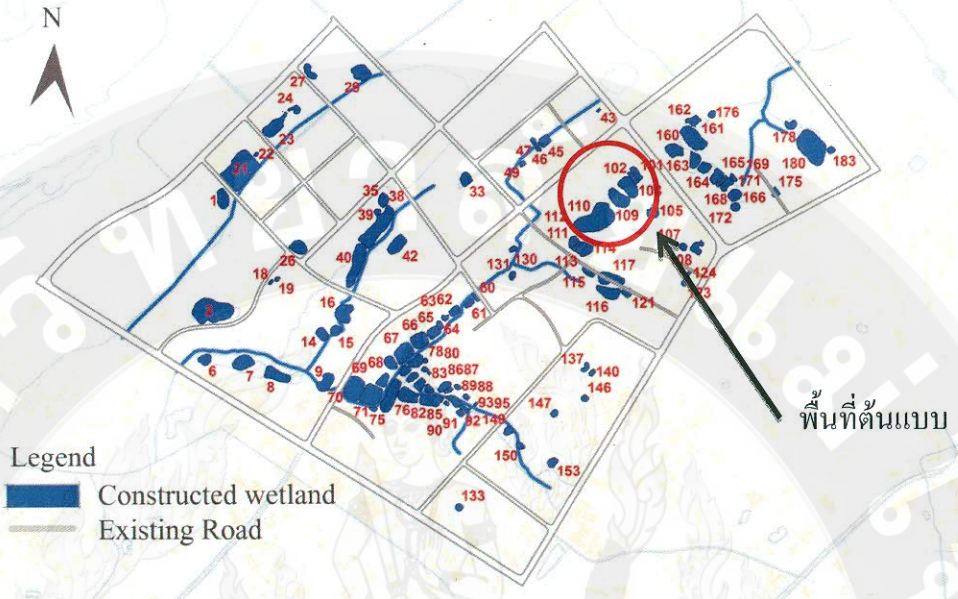
= 131,204.48 ลบ.ม.

ซึ่งสามารถกักเก็บน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ด้วยความลึก 143 mm ต่อครั้ง จากการคำนวณ พบว่า การฟื้นสภาพ และปรับปรุงหนองกักเก็บน้ำ ด้วยการขุดดินถม และตะกอนออก และเพิ่มความลึกอีก 1 เมตร สามารถเพิ่มความจุกักเก็บน้ำได้มากถึงสองเท่าตัว เป็นผลดีอย่างยิ่งต่อการกักเก็บน้ำฝนเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ นอกนี้ยังเพิ่มความสดชื่นเย็นสบายจากบริเวณหนองน้ำให้แก่เมือง และ เพิ่มความหลายหลายทางนิเวศรวมถึงเป็นการอนุรักษ์ และปกป้องมรดกโลกอีกด้วย

การออกแบบรายละเอียดแนวคิด (ED Pond) บริเวณ Zone : D

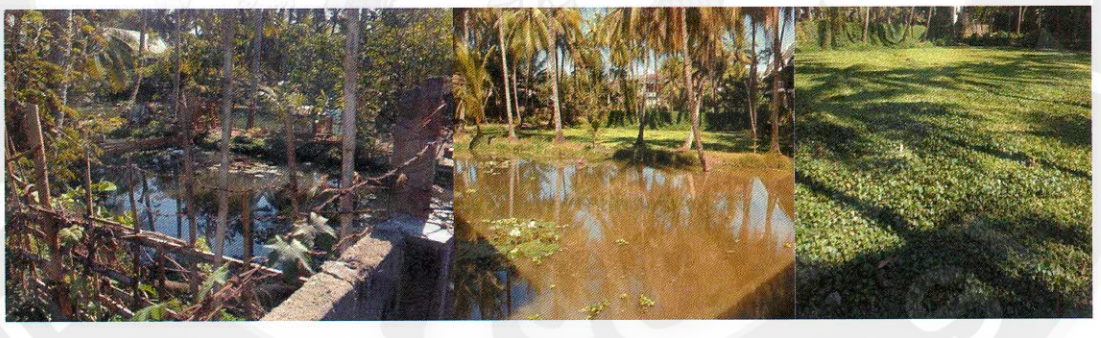
พื้นที่ต้นแบบ: หนองน้ำเลขที่ 101, 102, 103, 109, 110

หนองน้ำเลขที่ 101, 102, 103, 109, 110 เป็นหนองน้ำชุ่มน้ำที่สวยงามแห่งหนึ่งที่มีชื่อว่า “หนองบัวกางบึง” ขึ้นทะเบียนบัญชีขององค์กร UNESCO มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 และ เคยมีการออกแบบเพื่อทำหน้าที่จัดการน้ำในสถานะพื้นที่ชุ่มน้ำมาก่อนแล้ว ซึ่งเป็นการออกแบบวางแผนของห้องการ UNESCO ประจำหลวงพระบาง มาตั้งแต่ ค.ศ. 2001 แต่ปัจจุบันโครงการดังกล่าวถูกยุติลงเนื่องจากขาดปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญหลายอย่างโดยเฉพาะด้านการมีส่วนร่วมของชุมชน หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และ แหล่งเงินทุน ปัจจุบันยังคงเป็นหนองเก็บน้ำเพื่อเลี้ยงปลาตามธรรมชาติของผู้ถือครอง



ภาพ 58 แผนที่แสดงพื้นที่หนองน้ำ Pond Area

ที่มา: องค์การ UNESCO หลวงพระบาง (2554)

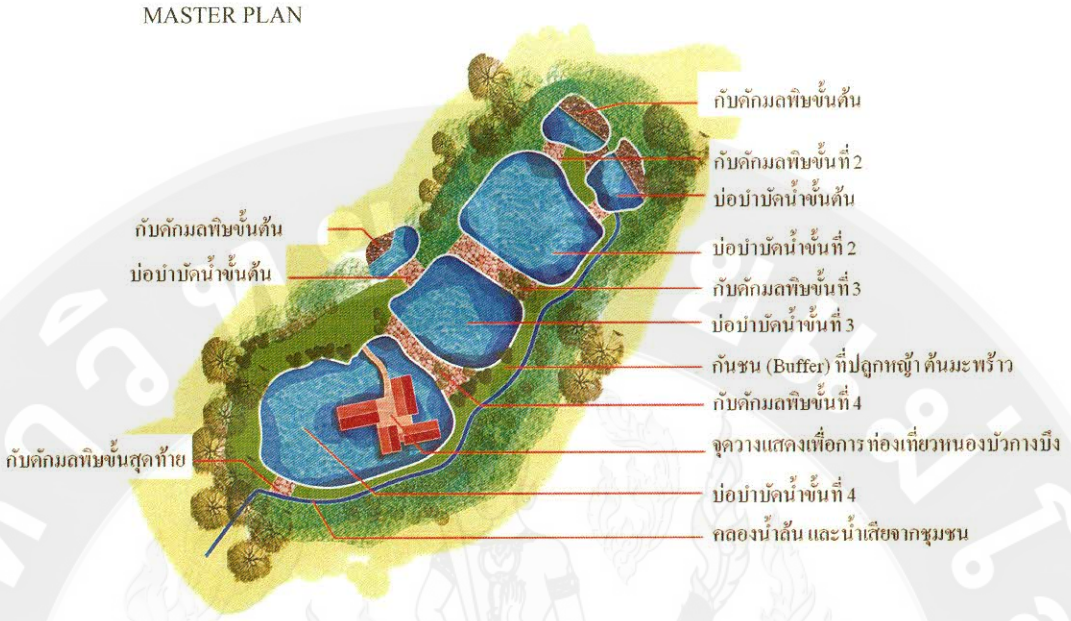


ภาพ 59 สภาพปัจจุบันของหนองน้ำ 101, 102, 103, 109, 110

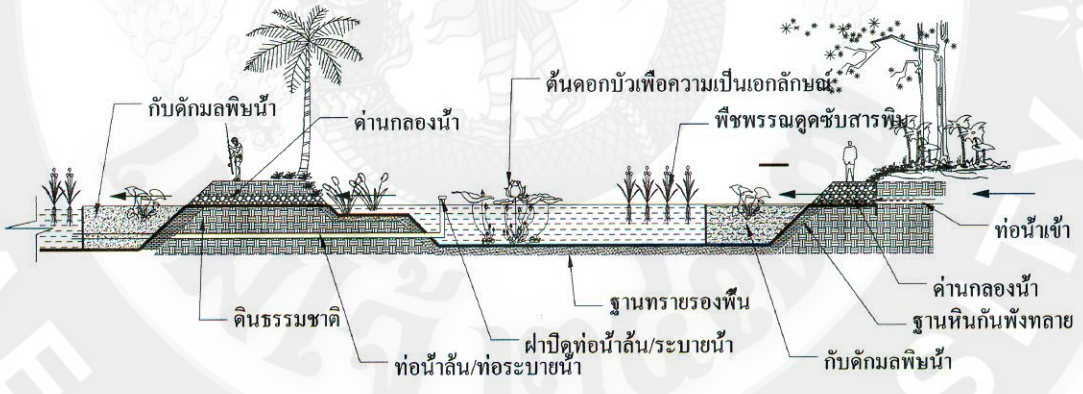
ที่มา: จากการเก็บข้อมูลภาคสนามเดือนกุมภาพันธ์ 2557

ลักษณะการออกแบบ

มุ่งเน้นเพื่อรักษาตัวหนองน้ำให้คงอยู่เพื่อใช้งานตลอดไปโดยที่รักษาขอบเขตของตัวบ่อ และปรับปรุงความลึกให้เพียงพอต่อการใช้งาน เช่น การกักเก็บน้ำเพื่อใช้เลี้ยงปลา และช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำฝน การบำบัดน้ำเสีย การซึมซับน้ำเพิ่มเติมระบบน้ำใต้ดินให้อยู่ในความสมดุล เพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่พื้นที่ ทั้งเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำหรับนักท่องเที่ยวตลอดไป



ภาพ 60 ผังหลักหนองเก็บน้ำ ED Pond



ภาพ 61 รูปตัดแนวยาวหนองเก็บน้ำ ED Pond

การออกแบบแนวคิด (Bio-detention) บริเวณพื้นที่ Zone : A

พื้นที่ต้นแบบ: ที่จอดรถหน้าอนุสาวรีย์ สุพานุวง

หน้าอนุสาวรีย์ สุพานุวงเป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งหนึ่งที่สำคัญที่อยู่ใจกลางเมือง และมีชุมชนหนาแน่น ทั้งสนามอนุสาวรีย์เป็นที่ออกกำลังของชุมชน ส่งผลต่อปริมาณรถยนต์ที่เข้ามาจอดในพื้นที่ดังกล่าวเป็นจำนวนมาก มีแนวโน้มที่พื้นที่จะได้รับสารน้ำมัน สิ่งเจือปน และโลหะ

ไหลลงสู่แหล่งน้ำ สร้างผลกระทบต่อระบบนิเวศ ปัจจุบันลานจอดรถได้สร้างตามริมยาวของถนนช่วงบริเวณด้านหน้าทางเข้าอนุสาวรีย์ สุพานุวง ในแง่ของการออกแบบเพื่อการจัดการน้ำไหลบ่ายังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นที่พื้นลานจอดปูด้วยคอนกรีต ไม่มีการวางแผนจัดการน้ำส่วนที่ไม่สามารถซึมลงไปในดินให้ไหลออกจากพื้นที่ และไม่มีแบบแผนการจัดการกับสิ่งเจือปนอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงเสนอแนวความคิดในการออกแบบพื้นที่จอดรถดังกล่าวด้วยการสร้างระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio detention) เพื่อให้สามารถรองรับการจอดรถตามปกติ และช่วยกรองสารพิษตลอดถึงการลดน้ำไหลบ่าอีกด้วย

ภาพ 62 สภาพปัจจุบันของลานจอดรถหน้าอนุสาวรีย์ สุพานุวง

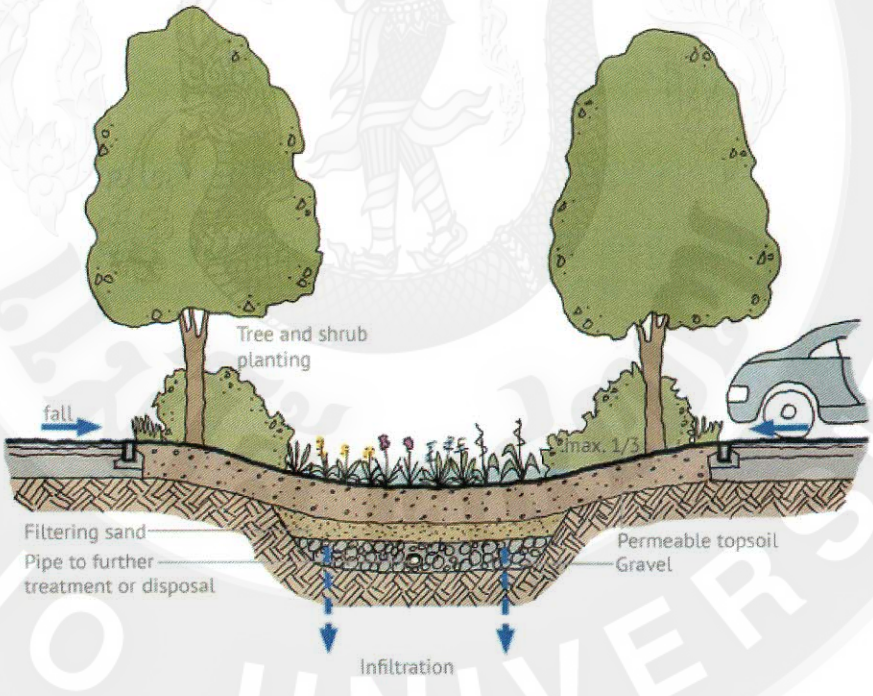
ที่มา: จากการเก็บข้อมูลภาคสนามเดือนกันยายน 2557

ภาพ 65 ภาพทัศนียภาพลานจอดรถ

หมายเหตุ หมายเลข 1 คือ พื้นที่ลานจอดทำด้วยวัสดุซึมน้ำ

หมายเลข 2 คือ ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio detention)

ภาพ 64 ผังหลักลานจอดรถ

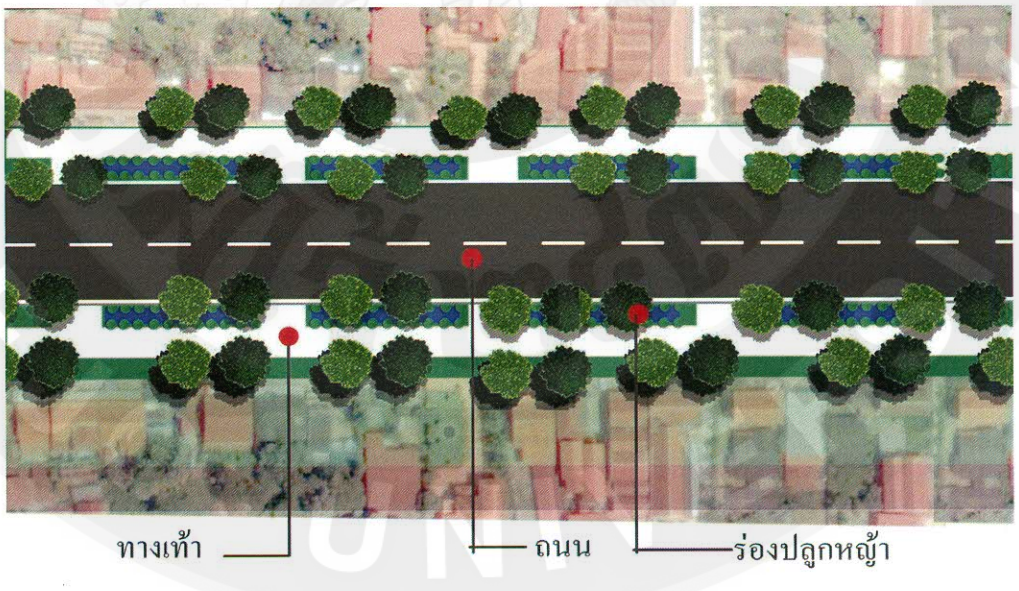


ภาพ 65 ผังรูปตัดขวางระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (Bio detention)

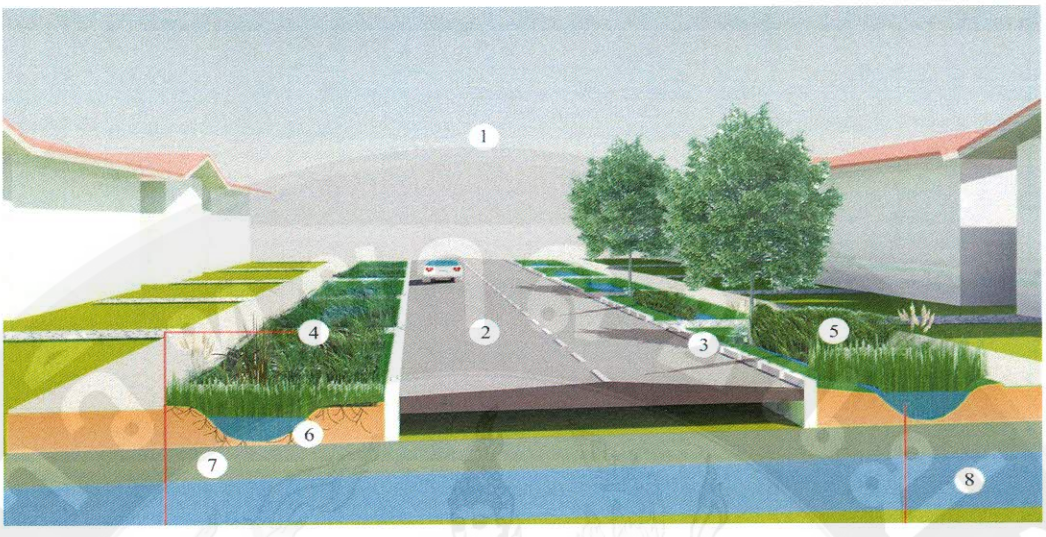
การออกแบบรายละเอียดแนวคิดร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) บริเวณ Zone : A

สำหรับการใช้แนวคิดร่องปลูกหญ้า (Bio-swale) กับพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบางมีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่แนวยาวตามข้างถนนทุกสาย เช่น ถนนพูว่าว ถนนพะมะหาปัดสะมัน ถนนโพทิราช ถนนมะโนใหม่เป็นต้น พื้นที่จอดรถในสถานที่ราชการ เช่น ห้องว่าการแขวงหลวงพระบาง ห้องว่าการเมืองหลวงพระบาง ห้องการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมเป็นต้น สถานที่ศึกษา เช่น โรงเรียนมัธยมสมบูรณ์ป่องคำ และที่จอดรถในสถานที่ศาสนาที่สำคัญเช่น วัดทาดหลวง วัดมะโน เป็นต้น นอกจากนี้การทำร่องน้ำปลูกหญ้า (Bio-swale) ยังเหมาะกับร่องระบายน้ำธรรมชาติ และคลองระบายน้ำเสียเพื่อช่วยในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่มากับน้ำฝนและน้ำเสียของชุมชน ในการออกแบบร่องปลูกหญ้าในพื้นที่ศึกษาสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ริมคลองต่างๆ เช่น คลองระบายบ้านท่งจะเลิน-บ้านทาดหลวง คลองระบายน้ำบ้านมะโน-บ้านทาดหลวง คลองระบายน้ำบ้านเวียงไซ – บ้านเวียงแก้ว – บ้านป่องคำ คลองระบายน้ำบ้านนาเวียงคำ-ป่องคำ และ คลองระบายน้ำบ้านวิชนเป็นต้น

พื้นที่ต้นแบบ: ถนนสุพานุวง

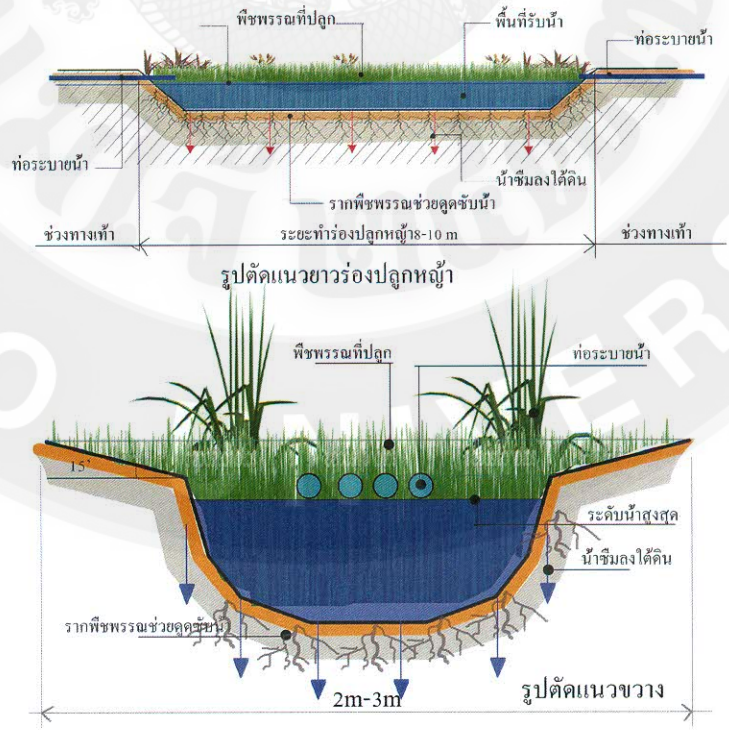


ภาพ 66 ลักษณะการออกแบบ (ผังหลัก MASTER PLAN)



ภาพ 67 ทัศนียภาพถนนทำร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)

หมายเหตุ (1) เมื่อเกิดฝนตก น้ำฝนจะตกลงสู่พื้นถนนและแนวทางเท้า (2) น้ำฝนจะพัดเอาสิ่งเจือปนต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน ปุ๋ย และสารกำจัดศัตรูพืชไหลไปตามน้ำฝน (3) น้ำและสิ่งเจือปนจะหันทิศไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ และร่องระบายน้ำปลูกหญ้า (4) ท่อระบายน้ำเมื่อน้ำเต็มร่อง (5)ใช้พืชพรรณพื้นถิ่นในการบำบัดสิ่งเจือปน ช่วยชะลอการไหลบ่า และ ช่วยขบวนการดูดซึม (6) ใช้รากพืชและต้นไม้ช่วยในการทำความสะอาดน้ำ (7) ชั้นดินอุ้มน้ำเพื่อเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (8) ระดับชั้นน้ำบาดาล



ภาพ 68 รูปตัดร่องปลูกหญ้า (Bio-swale)

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้พืชพรรณ

เนื่องจากเป็นร่องระบายน้ำริมถนน จึงควรเลือกใช้หญ้าชนิดที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมเมืองได้ดี และสามารถทนต่อน้ำดีเช่นกัน ควรใช้พันธ์หญ้าท้องถิ่นเพื่อง่ายต่อการปรับตัวและดูแลรักษา ควรใช้พรรณไม้ที่หลากหลายผสมผสานกันเพื่อให้เกิดทัศนียภาพที่สวยงามแก่ถนนทั้งเป็นการเพิ่มความงามของภูมิทัศน์เมืองด้วย

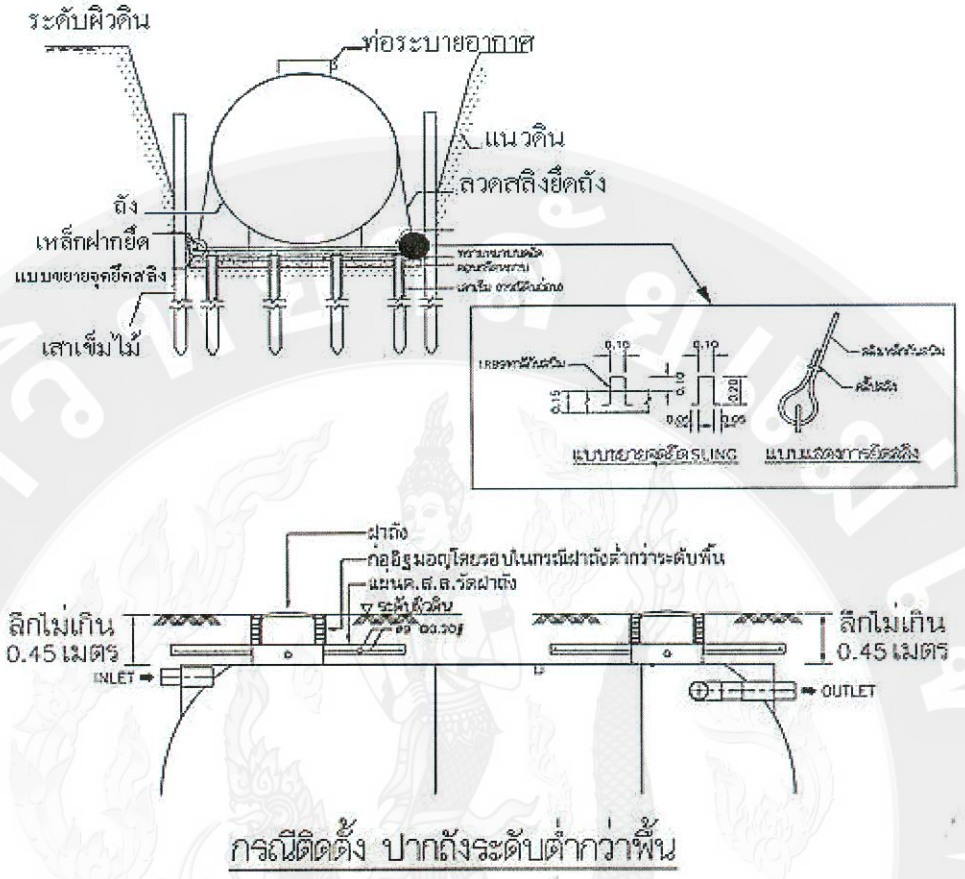
การออกแบบละเอียดแนวคิดการกักเก็บด้วยถังน้ำ (Rain tank) บริเวณพื้นที่Zone : A, B, C

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ พบว่า ประชาชนทั้งหมดใช้น้ำด้วยระบบน้ำประปาเป็นหลักรวมทั้งน้ำใช้ในห้องครัว น้ำใช้อาบสระล้างร่างกาย น้ำชักโครก และ น้ำใช้รดต้นไม้ และอื่นๆ ข้อมูลจากห้องการรัฐวิสาหกิจน้ำประปาหลวงพระบาง(2014) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาเฉลี่ย 194 ลิตร /1 คน/1วัน ในขณะที่น้ำฝนจำนวนมากถูกปล่อยทิ้งไปอย่างไร้ประโยชน์ทั้งยังก่อให้เกิดภัยน้ำบ่าและน้ำท่วมอีกด้วย

ปัญหาที่พบ

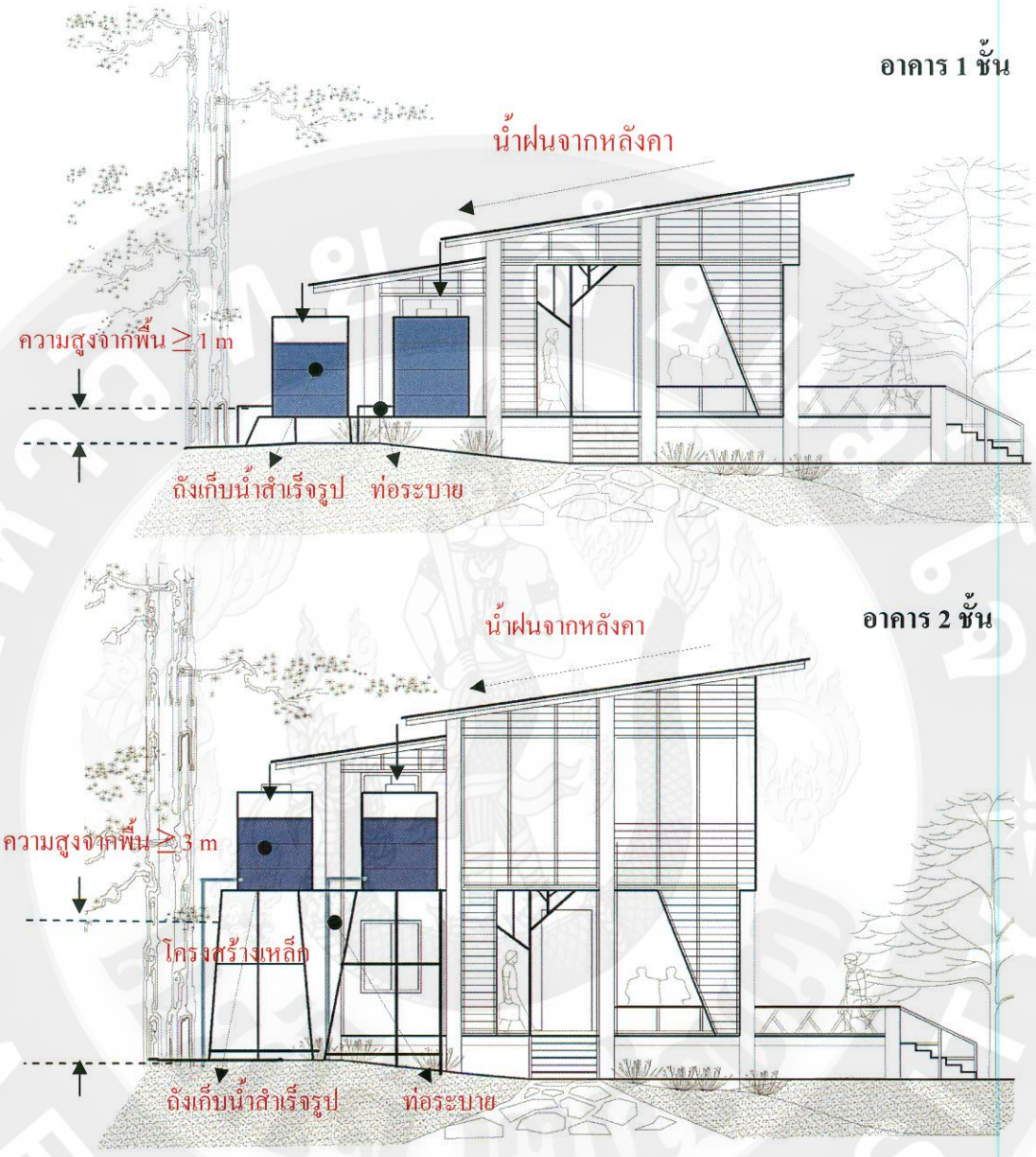
ไม่มีการใช้อุปกรณ์กักเก็บน้ำฝนแต่อย่างใดในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งในการกักเก็บน้ำในพื้นที่ และเสียโอกาสที่จะใช้ประโยชน์จากน้ำฝนเพื่อลดงบประมาณ หากมีการใช้ถังช่วยในการกักเก็บน้ำฝนเพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนอย่างน้อยครอบครัวละถังที่ความจุ 1,000 ลิตร จากจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษามีทั้ง **6,576** คน 1,161 ครอบครัว ใช้ถังเก็บน้ำจำนวน 1,161 ถัง และกักเก็บน้ำได้สูงสุด 1,161 ลบ.ม. นอกจากลดปริมาณน้ำไหลบ่าแล้วยังจะช่วยลดงบประมาณที่ใช้จ่ายในการใช้น้ำของครัวเรือนได้อีกด้วย น้ำฝนที่เก็บด้วยถัง สามารถนำไปใช้ประโยชน์แทนน้ำประปาได้ เช่น ใช้รดน้ำต้นไม้ ใช้ล้างรถยนต์ ใช้ซักล้างชัก รวมทั้งใช้การเกษตรขนาดเล็กในครัวเรือนได้

ภาพ 69 ลักษณะถังเก็บน้ำในครัวเรือน



ภาพ 70 การติดตั้งถังเก็บน้ำแบบฝัง

ภาพ 71 การติดตั้งถังเก็บน้ำแบบฝัง



ภาพ 72 ลักษณะการใช้พื้นที่เพื่อติดตั้งถังเก็บน้ำ

สรุปข้อดี-ข้อเสียการวางถังเก็บน้ำทั้งสองแบบ

1. แบบติดตั้งบนดิน

ข้อดี คือ สามารถเคลื่อนย้ายใช้ในพื้นที่อื่นได้ทุกเวลา เมื่อติดตั้งในพื้นที่สูงกว่าหน้าดินประมาณ 1 เมตรขึ้นไป การใช้น้ำก็ง่ายขึ้นเพียงเปิดท่อระบายจากพื้นถังน้ำก็จะไหลออกมาพร้อมนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำแต่อย่างใด เป็นการประหยัดพลังงาน และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานบนอาคารที่มีโครงสร้าง

แข็งแรงได้ โดยอาคารต้องมีการออกแบบมาเพื่อสงวนพื้นที่รองรับการติดตั้งถังน้ำโดยตรง และสามารถนำไปติดตั้งและใช้งานให้ผู้อาศัยบนดอย ภูเขา หรือที่ห่างไกลจากไฟฟ้าได้ด้วย

ข้อเสีย คือ ต้องเสียงบประมาณด้านโครงสร้างเพื่อรองรับตัวถังและปริมาณน้ำในขณะที่มีน้ำเต็มสูงสุด ซึ่งยิ่งสูงยิ่งต้องใช้โครงสร้างให้แข็งแรงมากขึ้น งบประมาณก็เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนั้นยังเป็นสิ่งกีดขวาง เกกะ และบดบังการมองเห็นของสายตา ถ้าหากมีพื้นที่จำกัดจะไม่เหมาะในการเลือกใช้วิธีนี้

2. แบบติดตั้งใต้ดิน

ข้อดี คือ ถังฝังไว้ใต้ดิน ไม่เป็นกีดขวาง เกกะ พื้นที่ สามารถใช้พื้นที่ที่ฝังถังใต้ดินไปใช้ประโยชน์อื่น ไม่ต้องเสียงบประมาณโครงสร้างรองรับตัวถัง เหมาะสำหรับครอบครัวที่มีที่ดินจำกัด

ข้อเสีย คือ การใช้น้ำทุกครั้งต้องใช้เครื่องสูบน้ำ เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือต้องใช้การสูบหรือใช้แรงงานมาก เพื่อที่จะตักน้ำขึ้นมา ก่อนจะนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งทำให้เสียเวลาและไม่ได้รับความสะดวก

การออกแบบรายละเอียดแนวคิดสวนหลังคา (Rooftop garden) บริเวณ Zone : A

สำหรับแนวคิด สวนบนหลังคาในเมืองหลวงพระบางนั้นมีความเหมาะเป็นอย่างยิ่ง เพราะเป็นเขตร้อนและมีปริมาณฝนตกมากถึง 2000-3000 มิลลิเมตร/ปี นอกจากช่วยในการจัดการน้ำในเมืองแล้ว การทำสวนบนหลังคาเมืองหลวงพระบางจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการรับมือกับปัญหาโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นในปัจจุบัน นอกนี้ยังเป็นการช่วยเสริมความเป็นสีเขียวของเมืองหลวงพระบางได้อีกทางหนึ่ง ส่งผลให้เกิดความร่มรื่นเย็นสบาย ดึงดูดนักท่องเที่ยว และช่วยปรับคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น การทำสวนบนหลังคาในพื้นที่ศึกษาสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอาคารทั่วไป โดยเฉพาะอาคารพักอาศัย อาคารชุด อาคารพาณิชย์ และ อาคารราชการทั่วไปที่มีโครงสร้างแข็งแกร่งเพียงพอ ในปัจจุบันพื้นที่ศึกษามีอาคารทั้งหมด 1,756 หลังคา มีพื้นที่ 209,012.30 ตารางเมตร หรือเท่ากับ 130.6 ไร่ เป็นพื้นที่ทึบน้ำขนาดใหญ่ที่สุดของพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 22.91 วัสดุหลังคาส่วนใหญ่ที่สุดเป็นกระเบื้อง รองลงมาคือหลังคาดินเผา หลังคาสังกะสีเป็นต้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นหลังคาที่ไม่ซึมซับน้ำ ทั้งเป็นตัวช่วยเร่งให้เกิดอัตราน้ำไหลบ่ามากที่สุด สำหรับหลังคาที่สามารถนำมาเป็นต้นแบบในการออกแบบวางแผนสวนหลังคาในครั้งนี้เป็นประเภทหลังคา

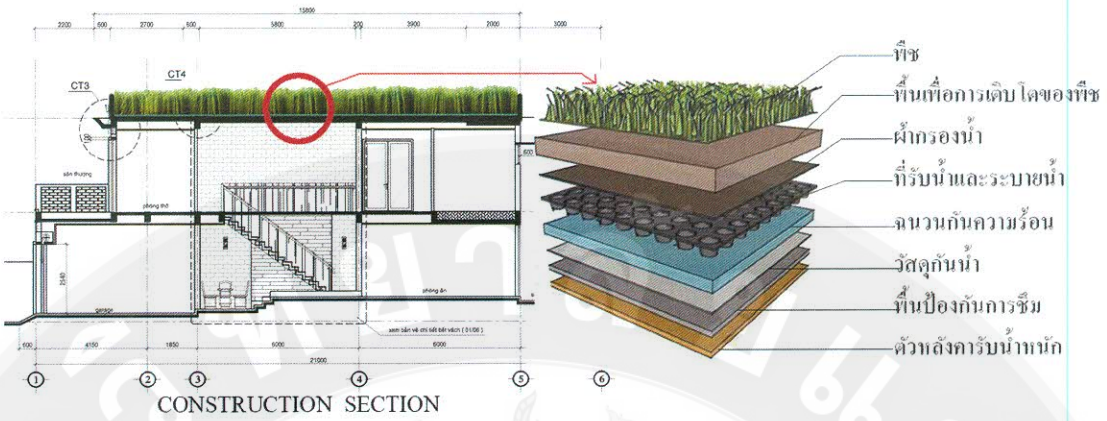
ดาดฟ้า มีพื้นที่ 6,105 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 3 ของพื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นหลังคาของอาคารใช้เพื่อการพาณิชย์

พื้นที่ต้นแบบ: โรงแรมลีเจนหลวงพระบาง

ปัจจุบันหลังคาของอาคารโรงแรมลีเจนหลวงพระบาง เป็นหลังคาคอนกรีต มีขนาดพื้นที่รวมกัน 280 ตารางเมตร เป็นอาคารสองชั้น มีความสูงประมาณ 10 เมตร ตั้งในพื้นที่ไม่มีสิ่งปกคลุมได้รับแสงแดด และน้ำฝน 100% ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

ภาพ 73 สภาพหลังคาโรงแรมลีเจนหลวงพระบาง

ที่มา: จากการเก็บข้อมูลภาคสนามเมื่อเดือนกันยายน 2557



ภาพ 74 รูปตัดแสดงโครงสร้างสวนหลังคา

ภาพ 75 ลักษณะภาพทัศนียภาพ

การออกแบบแนวคิดรางตื้นซับน้ำ (Infiltration trench) บริเวณ Zone : A, B และ C

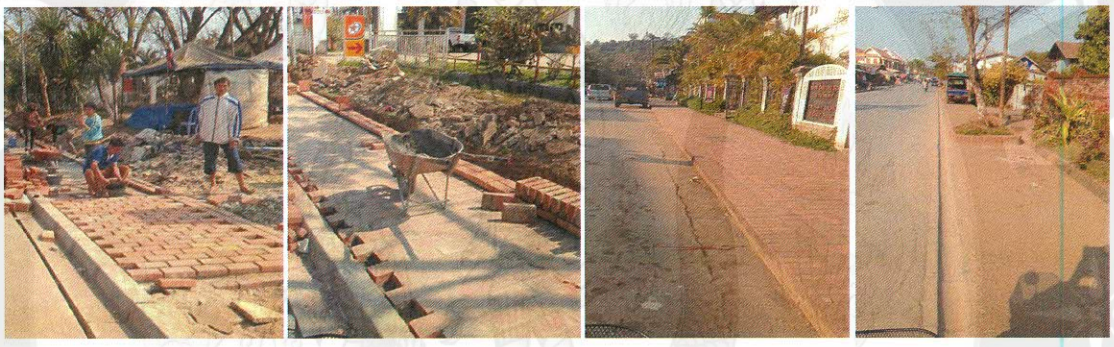
สำหรับแนวคิดการสร้างรางตื้นซับน้ำ (Infiltration trench) กับพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบางมีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ริ้วยาวตามริมถนนทุกสายที่ไม่มีร่องระบายน้ำ และ ถนนที่มีคลองระบายแบบปิด และเปิดที่ใช้วัสดุคอนกรีตแล้ว เช่น ถนนพูว่าว ถนนพะมะหาปัดสะมัน ถนนโพทิราช ถนนมะโนใหม่ เป็นต้น พื้นที่จอดรถในสถานที่ราชการเช่น ห้องว่าการแขวงหลวงพระบาง ห้องว่าการเมืองหลวงพระบาง ห้องการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมเป็นต้น สถานที่ศึกษา เช่น โรงเรียนมัธยมสมบูรณ์ ป่องคำ รวมถึงที่จอดรถในสถานที่ศาสนาที่สำคัญเช่น วัดทาดหลวง วัดมะโน เป็นต้น

ภาพ 76 ผังหลัก MASTER PLAN รางตื้นซับน้ำ

ภาพ 77 ผังลักษณะโครงสร้างของถนนที่มีรางตื้นซับน้ำ

การออกแบบแนวคิด (Porous paving) เพื่อลดน้ำไหลบ่าพื้นที่ทางเท้า

เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยวระดับโลก เมืองหลวงพระบางจึงเกิดการเดินเท้าเพื่อเที่ยวชมพื้นที่ต่างๆของนักท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก เป็นผลให้พื้นที่ทางเท้าขยายตัวในหลายพื้นที่แต่ที่สำคัญ ยังเป็นทางเท้าที่เป็นพื้นผิวทึบน้ำเป็นจำนวนมาก ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคอนกรีตและอิฐผสมโดยใช้คอนกรีตเป็นพื้นรองรับ แล้วจึงใช้อิฐเป็นชั้นบนสุด ทำให้น้ำไม่สามารถไหลซึมลงไปในดินได้ หากเปลี่ยนโครงสร้างพื้นที่ทางเท้าให้เป็นพื้นที่สามารถซึมน้ำได้โดยใช้ วัสดุซึมน้ำ (Porous paving) แทน จะสามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้อีกทางหนึ่ง ลักษณะการออกแบบมีดังต่อไปนี้



ภาพ 78 ลักษณะโครงสร้างทางเท้าที่นิยมใช้ในหลวงพระบาง

ภาพ 79 ลักษณะโครงสร้างทางเท้าที่ซึมน้ำได้

การประเมินการลดปริมาณน้ำไหลบ่า Q หลังการออกแบบ

ตาราง 21 ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบบริเวณ Zone : A

Zone : A							
No	**พื้นที่**	**ขนาด (m^2)**	**C-B**	**DS_RRE %**	**C-AF**	**C-Average**	**Q = M^3/s**
1	พื้นที่ถนนยางมะตอย	55,090.48	0.95	50.00	0.48	0.09	
2	พื้นที่คอนกรีต	14,734.04	0.95	60.00	0.38	0.02	
3	พื้นที่หลังคามุงทั่วไป	87,110.69	1.00	40.00	0.60	0.18	
4	พื้นที่หลังคาดาดฟ้า	4,554.65	0.95	52.50	0.45	0.01	
5	พื้นที่ดินเปลือย	1,669.73	0.60	62.50	0.23	0.00	
6	พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น	2,610.85	0.35	0.00	0.35	0.00	
7	พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น	124,496.33	0.45		0.35	0.15	
8	พื้นที่แหล่งน้ำ	4,053.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Total	294,320.44				0.45	1.811

หมายเหตุ C = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ RR = Reduction Runoff Estimate (ความสามารถลดน้ำไหลบ่า)

B = Before (ก่อนการออกแบบ) AF = After (หลังการออกแบบ)

DS = Design C-Average = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ย

ตาราง 22 ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบบริเวณ Zone : B

Zone : B							
No	**พื้นที่**	**ขนาด (m^2)**	**C-F**	**DS_RR %**	**C-AF**	**C-Average**	**Q = M^3/s**
1	พื้นที่ถนนยางมะตอย	35,500.20	0.95	50.00	0.48	0.06	
2	พื้นที่คอนกรีต	4,959.93	0.95	60.00	0.38	0.01	
3	พื้นที่หลังคามุงทั่วไป	85,028.71	1.00	40.00	0.60	0.18	
4	พื้นที่หลังคาดาดฟ้า	1,357.24	0.95	52.50	0.45	0.00	
5	พื้นที่ดินเปลือย	7,066.27	0.60	62.50	0.23	0.01	
6	พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น	20,799.38	0.35	0.00	0.35	0.03	
7	พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น	179,100.25	0.45		0.35	0.22	
8	พื้นที่แหล่งน้ำ	17,487.62	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Total	351,299.60				0.49	2.343

หมายเหตุ C = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ
B = Before (ก่อนการออกแบบ)
DS = Design
RR = Reduction Runoff Estimate (ความสามารถลดน้ำไหลบ่า)
AF = After (หลังการออกแบบ)
C-Average = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ย

ตาราง 23 ประเมินผลปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) หลังจากการออกแบบบริเวณ Zone : C

Zone : C							
No	**พื้นที่**	**ขนาด (m^2)**	**C-F**	**DS_RR %**	**C-AF**	**C-Average**	**Q = M^3/s**
1	พื้นที่ถนนยางมะตอย	5,622.86	0.95	50.00	0.48	0.01	
2	พื้นที่คอนกรีต	409.08	0.95	60.00	0.38	0.00	
3	พื้นที่หลังคามุงทั่วไป	21,509.11	1.00	40.00	0.60	0.04	
4	พื้นที่หลังคาดาดฟ้า		0.95	52.50	0.45	0.00	
5	พื้นที่ดินเปลือย	15,171.99	0.60	62.50	0.23	0.01	
6	พื้นที่พืชพรรณหนาแน่น	32,223.47	0.35	0.00	0.35	0.04	
7	พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น	66,070.39	0.45		0.35	0.08	
8	พื้นที่แหล่งน้ำ	8,450.07	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Total	149,456.97				0.18	0.376

หมายเหตุ C = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ RR = Reduction Runoff Estimate (ความสามารถลดน้ำไหลบ่า)

B = Before (ก่อนการออกแบบ) AF = After (หลังการออกแบบ)

DS = Design C-Average = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำเฉลี่ย

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนและการออกแบบและวางแผนพื้นที่เพื่อลดอัตราน้ำไหลบ่าให้ได้มากที่สุดในพื้นที่เมืองมรดกโลกหลวงพระบาง โดยที่ผู้ศึกษาได้เลือกใช้พื้นที่ป้องกัน (Buffer Zone) เขตอนุรักษ์มรดกโลกหลวงพระบางที่ถูกกำหนดเป็นเขต ZPP-Ub ขององค์การยูเนสโกในปีค.ศ. 1995 มีพื้นที่ทั้งหมด 570 ไร่หรือ (912,000 ตารางเมตร) ครอบคลุม 8 หมู่บ้านในเขตใจกลางเทศบาลเมืองมาเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีหนองน้ำที่ขึ้นทะเบียนบัญชีขององค์การ UNESCO เป็นจำนวนมาก และได้รับผลกระทบจากน้ำไหลบ่ามากที่สุดในปัจจุบัน

การศึกษาครั้งนี้ ได้สำรวจเก็บข้อมูลสภาพปัญหา ข้อมูลด้านกายภาพ ข้อมูลลักษณะของดิน ข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ ข้อมูลด้านลักษณะพื้นผิวการซึมซับน้ำ ข้อมูลด้านระบบการกักเก็บน้ำและระบายน้ำที่ รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Arc Gis 10.1 for Window และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำรวม (Coefficient) ด้วยโปรแกรม Excel for Window เพื่อวิเคราะห์พื้นที่และพื้นผิวที่เป็นปัญหาทำให้เกิดน้ำฝนไหลบ่ามากที่สุดโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (Potential Surface Analysis PSA) จากนั้นนำเอาปัญหาดังกล่าวไปสู่การกำหนดแนวคิดและรูปแบบการแก้ไขตามแนวคิดและทฤษฎีที่ศึกษามา โดยเฉพาะ แนวคิดต้นแบบของ (Water Sensitive and Urban Design WSUD) และ แนวคิดต้นแบบการพัฒนาที่ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Low Impact Development LID) รวมถึงการศึกษาแนวคิดการลดน้ำไหลบ่า (Runoff Reduction Method) ของ Chesapeake Stormwater Network (SCN) ตามหลักการ (Best Management Practices BMP) โดยผ่านกรณีศึกษาของโครงการลดน้ำไหลบ่าใน Chesapeake bay จัดทำโดย David Hirschman and Kelly Collins Center(2008)ผู้ศึกษาได้ประยุกต์ใช้ และเลือกแนวคิดการจัดการลดน้ำไหลบ่าจากแนวคิดต้นแบบต่างๆให้เข้ากับบริบทและลักษณะพิเศษของพื้นที่หลวงพระบางในสะถานะเป็นเมืองอนุรักษ์วัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อมเพื่อการท่องเที่ยวระดับโลก สำหรับการออกแบบนำเสนอเป็นพื้นที่ต้นแบบในพื้นที่บางบริเวณที่มีปัญหาการเกิดน้ำไหลบ่า

อภิปรายผล

ประสิทธิภาพการจัดการน้ำฝนในเขตมรดกโลกหลวงพระบาง

จากการศึกษา พบว่า เมืองหลวงพระบางได้รับการออกแบบเพื่อเน้นการระบายน้ำออกจากพื้นที่เป็นหลัก ไม่ได้คำนึงถึงการกักเก็บน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำไหลบ่าแต่อย่างใด โดยลักษณะพื้นผิวก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นวัสดุทึบน้ำ ไม่มีการควบคุมการขยายตัวของพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบ ไม่นิยมใช้การเก็บน้ำฝนด้วยอุปกรณ์ถังเก็บน้ำ จากการวิเคราะห์ พบว่า หนองน้ำถูกทับถมจากการตกตะกอนของน้ำไหลบ่าในอัตรา 1.3% ต่อปี หรือ 848 ตารางเมตรต่อปี หากปล่อยให้เป็นแบบนี้ต่อไปหนองน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาจะถูกถมจนหมดภายในระยะเวลา 77 ปี หรือถูกถมหมดภายในปี ค.ศ. 2091 คลองน้ำธรรมชาติถูกน้ำไหลบ่ากัดเซาะทำให้ดินพังทลายพบเห็นอยู่หลายบริเวณ ส่วนคลองระบายน้ำที่สร้างขึ้นทั้งหมดเป็นคลองคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งระบายน้ำฝนให้ออกจากพื้นที่ได้มากที่สุด และรวดเร็วที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำไหลบ่ารวมของพื้นที่มีค่า Q = 8.29 ลบ.ม./วินาที โดยพื้นที่ที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากเป็นอันดับแรก ได้แก่ พื้นที่ Zone: B คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 42.80 ของปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมด ซึ่งครอบคลุม หมู่บ้านมะโน หมู่บ้านป่องคำ หมู่บ้านนาเวียงคำและหมู่บ้านเวียงไซ พื้นที่ที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากเป็นอันดับที่ 2 ได้แก่ พื้นที่ Zone: A คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 40.05 ซึ่งครอบคลุม หมู่บ้านนาเวียงคำ ทาดโบสด และ หมู่บ้านเวียงไซ ส่วนพื้นที่ที่เกิดน้ำไหลบ่าในปริมาณมากเป็นอันดับที่ 3ได้แก่พื้นที่ Zone: C มีสัดส่วนปริมาณน้ำไหลบ่าร้อยละ 12.53 ซึ่งครอบคลุม หมู่บ้านทาดหลวง หมู่บ้านมะโน ป่องคำ และหมู่บ้านทาดโบสด และพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าอันดับสุดท้ายได้แก่พื้นที่ Zone: D มีสัดส่วนร้อยละ 4.62 ของปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เขตชุ่มน้ำเขตหมู่บ้านมะโนวัดทาดและหมู่บ้านทาดโบสด

ประเมินผลการลดน้ำไหลบ่าหลังการออกแบบและวางแผน

จากการออกแบบลดปัญหาน้ำไหลบ่าของพื้นผิวประเภทต่างๆตามแนวคิดของ WSUD, BMP และ LID อาทิ การทำสวนบนหลังคา (Rooftop garden) ในพื้นที่หลังคาดาดฟ้า สร้างพื้นปูวัสดุซึมน้ำ (Porous paving) แทนพื้นที่คอนกรีตบริเวณ ทางเท้า พื้นที่สาธารณะ สนามเด็กเล่นในโรงเรียนรวมถึงพื้นที่ศาสนา การทำร่องปลูกหญ้า (Bio swale) และรางตื้นซับน้ำ (Infiltration trench) เพื่อชดเชยพื้นที่ซึมน้ำที่เสียไปจากการสร้างถนนและอาคาร การสร้างสวนน้ำฝน (Rain

garden) ทดแทนพื้นที่ดินเปลือย และ พื้นที่พืชพรรณไม่หนาแน่น ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเกิดน้ำไหลบ่าในพื้นที่ ผลการออกแบบ พบว่า

ลดปริมาณน้ำไหลบ่าใน Zone: A

จากการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าที่ลดได้จากการใช้แนวคิดการออกแบบหลายรูปแบบตามความเหมาะสม และปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำไหลบ่ากับพื้นที่ Zone: A พบว่า หลังการออกแบบ สามารถลดอัตราน้ำไหลบ่าลงได้ถึงร้อยละ 47.51 โดยมีค่า C จากเดิม 0.86 เหลือ 0.45 และปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) เดิม 3.45 ลบ.ม./วินาที เหลือ 1.81 ลบ.ม./วินาที

ลดปริมาณน้ำไหลบ่าใน Zone: B

หลังการออกแบบตามแนวคิดและทฤษฎี พบว่า พื้นที่ Zone: B ที่เป็นพื้นที่เกิดน้ำไหลบ่าในอัตรามากที่สุด สามารถลดได้ถึงร้อยละ 36.50 ซึ่งจาก C เดิมมีค่า 0.77 ลดเหลือ 0.49 และปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) จากเดิม 3.69 ลบ.ม./วินาที ลดเหลือ 2.34 ลบ.ม./วินาที

ลดปริมาณน้ำไหลบ่าใน Zone: C

เนื่องจากพื้นที่ Zone: C เป็นพื้นที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นต่ำกว่า Zone A และ B ส่วนมากเป็นพื้นที่ว่างปกคลุมด้วยพืชพรรณไม่หนาแน่น ดังนั้นการลดน้ำไหลบ่าสามารถทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยที่แนวคิดหลักในการออกแบบ คือ สร้างสวนภูมิทัศน์น้ำฝน หรือ (Rain garden) จากการคำนวณ พบว่า สามารถลดน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ได้ในอัตราร้อยละ 65.19 ซึ่งจากเดิม C มีค่า 0.53 เหลือ C = 0.18 และปริมาณน้ำไหลบ่า (Q) เดิมมีค่า 1.08 ลบ.ม./วินาที ลดเหลือ 0.37 ลบ.ม./วินาที

ตาราง 23 เปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลบ่าของพื้นที่ก่อนและหลังการออกแบบ

Zone	Q ก่อนการออกแบบ(m3/s)	Q หลังการออกแบบ(m3/s)	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**

สรุปผล

การออกแบบวางแผนตามแนวคิดต้นแบบของ WSUD ,BMP และ LID พบว่าสามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ จากการออกแบบของพื้นที่ต้นแบบในพื้นที่ศึกษา พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้ถึงร้อยละ 42.46 ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่าจากเดิม 8.62 ลบ.ม./วินาที ลดเหลือ 4.92 ลบ.ม./วินาที นอกจากการลดปริมาณน้ำไหลบ่าแล้ว ยังมีผลพลอยได้ที่ส่งผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมือง และการสร้างความดึงดูดใจในด้านการท่องเที่ยวอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. เสนอให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องปรับปรุงระเบียบควบคุมการปลูกสร้างโดยเฉพาะการขยายพื้นที่คอนกรีตหรือพื้นที่ทึบน้ำตามแนวราบที่ส่งผลต่อการกักเก็บน้ำจากพื้นผิว
2. เสนอให้อนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติและหนองน้ำต่างๆในพื้นที่ให้คงสภาพตามธรรมชาติเพื่อใช้การซึมซับน้ำและการจัดการน้ำอีกต่อไป โดยควรจัดตั้งหน่วยงานเฉพาะเพื่อดูแลและบำรุงรักษาทั้งตรวจสอบสภาพเป็นประจำ
3. หากมีความจำเป็นในการสร้างพื้นที่ทึบน้ำ ควรสร้างพื้นที่รับน้ำเพื่อชดเชยพื้นที่ทึบน้ำที่สูญเสียไป เช่น การใช้พื้นที่เพื่อสร้างอาคาร ควรคำนวณว่าพื้นที่ซึมซับน้ำที่สูญเสียไปมีเท่าไร และ ต้องสร้างระบบกักเก็บน้ำใหม่ขึ้นมาชดเชย อาทิ ระบบกักเก็บด้วยถังน้ำ ระบบร่องปลูกหญ้า ระบบรางตื้นซับน้ำพร้อมทั้งการสร้างพื้นที่สวนน้ำฝนเป็นต้น
4. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรนำแนวคิดการออกแบบในการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาเมืองให้ก้าวสู่เมืองท่องเที่ยวสีเขียวเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มด้านโครงสร้างของดินในพื้นที่ เชื่อมโยงกับความสามารถการซึมซับน้ำของดิน
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มลักษณะการระเหยของน้ำของพื้นที่
3. ควรมีการศึกษาข้อจำกัดในการกักเก็บน้ำฝนด้วยถังน้ำของครัวเรือนในพื้นที่
4. ควรมีการศึกษาการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำไหลบ่าของชุมชน
5. ควรมีการศึกษาด้านการมีส่วนร่วมในการใช้ถังเก็บน้ำฝนของชุมชน

บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์ แขวงหลวงพระบาง. 2557. **ลักษณะน้ำฝนในหลวงพระบาง**. หลวงพระบาง: กรมอุตุนิยมและธรณีศาสตร์หลวงพระบาง. 7 น.

กระทรวงมหาดไทย กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. 2545. "ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบทางระบายน้ำ". [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.dla.go.th/work/e_book/eb1/5_5.pdf (15 มิถุนายน 2557).

ไชยสิทธิ์ อเนกสัมพันธ์. 2535. **อิทธิพลของการจัดการดินและพืชที่มีผลต่อการชะล้าง พังทลายของดินบนพื้นที่ลาดเทสูง**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.).

_____. ม.ป.ป. "การประเมินอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า". [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://e-library.ldd.go.th/Web_KM/Data/re_2.pdf (8 พฤศจิกายน 2557).

ณภัทร ตั้งกิจวานิชย์. 2549. **การจัดการน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยและสถานประกอบการในเขตเทศบาลนครอุดรธานี**. การค้นคว้าแบบอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 164 น.

ณัฐฐีร์ ตันติเลิศอนันต์. 2554. **แนวทางในการวางผังออกแบบภูมิทัศน์ เพื่อกักเก็บและระบายน้ำผิวดินในพื้นที่ชุมชนเมือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 107 น.

ดารณี ด่านวันดี, มุจลินทร์ ผลจันทร์ และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ. 2555. **แนวทางการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ**. เชียงใหม่: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 41 น.

ธนสาร อุดมโชค. 2545. **การจัดการน้ำใต้ดินและการประเมินประสิทธิผลโครงการพัฒนาน้ำใต้ดินสุโขทัย**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 212 น.

ธีระพงศ์ โพธิ์มั่น. 2553. **การท่องเที่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ : กรณีศึกษาวัดเชียงทองและปริมณฑลหลวงพระบาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 218 น.

พัชรินทร์ บัวลอย. 2549. **ความหลากหลายและวิวาทะเกี่ยวกับการจัดการน้ำ: กรณีศึกษากลุ่มผู้ใช้น้ำเหมืองฝายวังไฮ ตำบลเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 222 น.

พีรพัฒน์ ลือโฮ้ง. 2555. **แนวทางการบริหารจัดการน้ำท่วมของเทศบาลเมืองแพร่**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพะเยา. 68 น.

รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล, สุรชัย สมผดุง, วิชาญ หิรัญเกิด, นริศ หนูจันทน์ และ อิสระ ราสุวรรณ์. 2549. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และ การแพร่กระจายของดินเค็ม**. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 38 น.

วิไลวรรณ สุปรียาพร. 2543. **การจัดการน้ำเสียชุมชนในเทศบาลเมืองพระเยา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 87 น.

วิไลสัก พูลิพัน . 2556. **ศึกษาระบบระบายน้ำเปื้อนออกจากที่อยู่อาศัยของชุมชนในเขตมรดกโลกหลวงพระบาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว. 113 น.

ศนิ ลิ้มทองสกุล. 2555. **การประยุกต์ใช้แนวทางการบริหารจัดการน้ำผิวดินด้วยแนวคิด LID ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน**. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริชัย หงษ์วิทยากร. 2548. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียวเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และพื้นที่โดยรอบ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 180 น.

ศิริชัย หงส์วิทยากร, ดารณี ด่านวันดี, ลักษณา สัมมานิธิ, พีรการติ์ บรรเจิดกิจ, สมคิด แก้ว ทิพย์, เยาวนิตย์ ธาราฉาย, ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล, ธรรมรงค์ สิงห์อยู่เจริญ, วราภา วรพิชโยทัย, ไพศาล กาญจนวงค์ และ เพ็ญรัตน์ หงส์วิทยากร. 2549. **โครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียวเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และพื้นที่โดยรอบ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 150 น.

ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติไทย. 2556. "สาเหตุเกิดน้ำป่าไหลหลาก". [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://softbizplus.com/general (7 ตุลาคม 2557).

เศรษฐพงค์ ธรรมพิทักษ์. 2549. **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหญ้าแพรกบริเวณลาดดินตัดของถนนสำหรับการกรองตะกอนขนาดต่างๆ ในน้ำไหลบ่าหน้าดินพื้นที่ภูเขา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 154 น.

สหราช ทวีพงษ์. 2548. **ศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำพรม-เชิญ**. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 211 น.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. ปัญหาดินถล่ม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/3478-landslides-cause-protect (6 มกราคม 2557).

สิงหนาท แสงสีหนาท. 2545. **หลักการทางแนวคิดชุมชนเมืองที่ยั่งยืนในบริบทของไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 283 น.

เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม. 2554. เมืองนิเวศน์ (Eco-city): เมืองแห่งอนาคต. **วารสารสิ่งแวดล้อม** 15(3): 24-40.

องค์การพัฒนาและบริหารตัวเมืองหลวงพระบาง. 2556. **แผนแม่บทร่องระบายน้ำฝน และน้ำเปื้อน เทศบาลเมืองหลวงพระบาง**. หลวงพระบาง: กรมโยธา. 242 น.

องค์การสหประชาชาติ. 2535. "วันน้ำโลก". [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://guru.sanook.com/2363/วันน้ำของโลก-/ (13 มกราคม 2557).

องค์การ UNESCO หลวงพระบาง. 2554. สำรวจพื้นที่แหล่งน้ำมรดกในพื้นที่มรดกโลกหลวงพระบาง. องค์การ UNESCO หลวงพระบาง. น.1-65. ใน **รายงานการจัดการน้ำในพื้นที่แหล่งน้ำมรดกโลกประจำปี 2554**. แขวงหลวงพระบาง: องค์การมรดกโลก.

_____. 2556. "แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเมืองมรดกโลกหลวงพระบาง". [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.luangprabang-heritage.org/index.php/ lo/strategy-lao.html (15 มกราคม 2557).

อาวุธ ศิริรัตน์. 2552. **การประเมินการไหลบ่าของน้ำผิวดินและการสูญเสียดินโดยใช้แบบจำลองโครงการประเมินการชะกร่อนโดยน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 90 น.

Blair Parker Design. 2013. "Sustainable Site Design". [Online]. Available http://www.blairparkerdesign.com/wordpress/?p=455 (2 June 2014).

Country of Dane-Wisconsin. 2007. Dane County Erosion Control and Stormwater Management Manual. [Online]. Available http://www.danewaters.com/pdf/manual/ecsm_manual.pdf (2 June 2014).

CT Caltrans (Transportation Division of Design Office of Storm Water Management). 2013. Pervious Pavement Design Guidance. [Online]. Available www.uni-groupusa.org/PDF/Caltrans%20DG-**Pervious**-Pvm_102913.pdf (3 June 2014).

Darwin Harbour WUSD Strategy website. No date. "Water Sensitive Urban Design (WSUD)". [Online]. Available http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/5-430-00-1/CH6.htm (2 June 2014).

Green Roofs for Healthy Cities. 2014. "Green Roof F.A.Q.". [Online]. Available http://www.greenroofs.org/index.php/about/greenrooffaq. (5 June 2014).

Hirschman, D. and K. Collins. 2008. **CSN Technical Bulletin No. 4 Technical Support for the Bay-Wide Runoff Reduction Method**. Chesapeake Bay, VA,: Center for watershed protection and Chesapeake Stormwater Network. 25 p.

Jurries, D. 2003. **Biofilters (Bio-swales, Vegetative Buffers, & Constructed Wetlands) for Storm Water Discharge Pollution Removal**. State of Oregon: Department of Environmental Quality. 52 p.

Magic Soils Australia. 2013. "Magic Soils' Erosion Control". [Online]. Available http://www.magicsoils.com.au/products.html (13 September 2013).

Maryland Department of the Environment. 2000. **Maryland Stormwater Design Manual Volumes I & II**. Ellicott City: Center for Watershed Protection. 289p.

Melbourne water Management. Water Sensitive Urban Design (WSUD) integrates water cycle management into urban planning and design. [Online]. Available http://www.melbournewater.com.au/wsud (2 January 2013)

Molle, François. 2006. Planning and Managing Water Resources at the River-Basin Level: Emergence and Evolution of a Concept Colombo: International Water Management Institute. 38p. (IWMI Comprehensive Assessment Research Report 16).

New Jersey Stormwater. 2004. New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual. [Online]. Available http://www.njstormwater.org/bmp_manual/NJ_SWBMP_9.5.pdf (13 September 2013).

The City of Auburn Hills. 2013. "LOW IMPACT DEVELOPMENT". [Online]. Available http://www.auburnhills.org/departments/community_development/low_impact_development (13 November 2014).

The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board 5.1.3 FS-(RC). 2011. "Runoff Coefficient (C) Fact Sheet". [Online]. Available http://water.me.vccs.edu/courses/CIV246/table2b.htm (15 June 2014).

University of Arkansas Community Design Center (UACDC). 2010. **Low Impact Development: A Design Manual for Urban Areas**. University of Arkansas: Fay Jones school of Architecture. 227 p.

Wollongong Development Control Plan. 2009. Part E – General Controls – Environmental Controls, Water Sensitive Urban Design. [Online]. Available http://www.wsud.org/wp-content/uploads/2012/07/Wollongong-Council-DPC-Chapter-E15-Water-Sensitive-Urban-Design.pdf (2 January 2014).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คำศัพท์ไทย-ลาว

คำศัพท์ไทย-ลาว

เนื่องจากบทวิจัยนี้จะได้ใช้กับผู้อ่าน 2 ประเทศ โดยเฉพาะคนลาวและคนไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แปลหรือเปรียบเทียบความหมายคำศัพท์ระหว่างภาษาไทย และภาษาลาวบางคำที่แตกต่างกันที่ได้ใช้เขียนอยู่ในเนื้อหาของบทวิจัยนี้

ไทย	**ลาว**
บ้าน	เรือน
หมู่ 1,2,3,4	หน่วย 1,2,3,4
หมู่บ้าน	บ้าน
อำเภอ	เมือง
จังหวัด	แขวง
ศาลากลางจังหวัด	ห้องว่าการแขวง
โครงสร้างพื้นฐาน	โคงร่างพื้นฐาน
สานปนเปื้อน	ทาดปนเปื้อน
ยั่งยืน	ยืนยง
น้ำไหลบ่า	น้ำนอง, น้ำมาก
เพาะปลูก	ปูกฝัง
มิ/ไม่	บ่อ
เดือนมกราคม	มังกอน
กุมภาพันธ์	กุมพา
มีนาคม	มีนา
เมษายน	เมสา
พฤษภาคม	พึดสะพา
มิถุนายน	มิถุนา
กรกฎาคม	กอละกด
สิงหาคม	สิงหา
กันยายน	กันยา
ตุลาคม	ตุลา
พฤศจิกายน	พะจิก

ธันวาคม	ทันวา
รถ	ลด
เทศการสงกรานต์	บุญหดน้ำ
บ่อน้ำ	หนองน้ำ
บนผิวดิน	เทิงหน้าดิน
ขยะ	ขี้เหยื้อ
สิ่งเจือปน	สิ่งปนเปื้อน
สารพิษ	ทาดพิษ
รวดเร็ว	ไววา
วิสัยทัศน์	อุดมการณ์/ เป้าหมาย/คาดหมาย
วัตถุประสงค์	จุดประสงค์
อาทิ	เช่น
วัฏจักร	วงจรชีวิต
สิ่งปกคลุมพื้นดิน	สิ่งปกหน้าดิน
ความเร็ว	ความไว
หลังคาดาดฟ้า	หลังดาเพียง
ดินเปลือย	ดินแดง
ดินพังทลาย	ดินเจื่อน
สนาม	เด่น
ทุกจน	ทุกยาก
ดินเผา	ดินขอ
พื้นที่โดยรอบ	พื้นที่อ้อมแอ้ม
ข้างล่าง	ข้างลุ่ม
แนวราบ	แนวนอน
ราบ	เพียง
ผสมผสาน	ปะสมปะสาน

ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายเกอมัว ต่งปอ	
เกิดเมื่อ	5 กันยายน พ.ศ. 2523	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2542	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมสมบูรณ์ เทศบาลแขวงหลงน้ำทา
	พ.ศ. 2543	เข้าเตรียมวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว นครหลวงเวียงจันท์ สปป.ลาว
	พ.ศ. 2544	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสถาปนิก นครหลวงฮานอย (HAU) ประเทศเวียดนาม
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2551	อาจารย์ ประจำคณะวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว