การเลือกใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว”

นายยิ่งยศ เงินมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาภูมิสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสถาปัตยกรรม ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WASTE MATERIALS USAGE AS WATER RETENTION FOR GREEN ROOF

Mr. Yingyot Ngoenmak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Landscape Architecture Program in Landscape Architecture

Department of Landscape Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเลือกใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำสำหรับ"หลังคาเขียว"
โดย	นายยิ่งยศ เงินมาก
สาขาวิชา	ภูมิสถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวณัฐ โอศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กนกวลี สุธีธร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังสนา บุณโยภาส)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวณัฐ โอศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์กนกวลี สุธีธร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยิ่งยศ เงินมาก : การเลือกใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำสำหรับ"หลังคาเขียว" (WASTE MATERIALS USAGE AS WATER RETENTION FOR GREEN ROOF) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวณัฐ โอศิริ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: อาจารย์ กนกวลี สุธีธร, 144 หน้า.

ปัจจุบันการพัฒนาเมืองเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีสิ่งก่อสร้างปกคลุมพื้นที่ทางธรรมชาติมากขึ้น สิ่งที่ตามมาก็คือปัญหาสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองที่เพิ่มมากขึ้น หนึ่งในปัญหานั้นก็คือ ปัญหาน้ำหลาก ซึ่งเกิดจากหลังคาของอาคาร ทางเท้า และถนน ไม่สามารถดูดซับน้ำฝนที่ตกลงมาได้ หากมีปริมาณน้ำหลากมาก จะทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน วิธีที่ช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าวคือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่หน่วงน้ำในเขตเมืองให้มากยิ่งขึ้น และการทำ"หลังคาเขียว"เป็นหนึ่งในคำตอบที่ช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าวได้

"หลังคาเขียว"คือ การปลูกพืชบนหลังคา มีส่วนช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยปกติโครงสร้าง "หลังคาเขียว"มีส่วนประกอบ 5 ส่วน คือ 1)ชั้นของพืช 2)ชั้นดินปลูก 3)ชั้นระบายน้ำ 4)ชั้นฉนวนป้องกันรากของพืช 5)ชั้นวัสดุกันซึม แต่ปัจจุบันวัสดุในการทำ"หลังคาเขียว"จะใช้วัสดุสังเคราะห์ที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม ทำให้ต้องใช้ต้นทุนในการก่อสร้างที่สูงขึ้น สำหรับประเทศไทยการทำ"หลังคาเขียว"ยังเป็นเรื่องใหม่ ทำให้วัสดุบางชนิดไม่สามารถหาได้ในประเทศ โดยเฉพาะวัสดุในชั้นระบายน้ำ จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่า วัสดุในชั้นดังกล่าวสามารถนำวัสดุเหลือใช้มาทดแทนได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มาใช้ในชั้นระบายน้ำของ"หลังคาเขียว" เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการชะลอน้ำหลาก

ในการทดลองได้ทำการคัดเลือกวัสดุ ที่จะนำมาทดสอบประสิทธิภาพการชะลอน้ำทั้งหมด 9 ชนิด คือ กรวด เศษปูน หิน เศษอิฐ เศษกระเบื้อง ถ่านไม้ กิ่งไม้แห้ง กาบมะพร้าว และโฟม แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1)การทดลองกลางแจ้ง วิธีการทดลองคือ นำวัสดุเหลือใช้บรรจุใส่กระบะทดลอง ปิดด้วยตาข่ายกันดินและเททับด้วยชั้นดิน จากนั้นปลูกหญ้าไว้ชั้นบนสุด เก็บข้อมูลปริมาณในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม โดยใช้ฝนธรรมชาติ 2)การทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ วิธีการทดลองคือ บรรจุวัสดุเหลือใช้ลงในเครื่องจำลองน้ำฝน จากนั้นเปิดน้ำให้ไหลผ่านชั้นวัสดุ โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณความเข้มฝนที่ 150 มิลลิเมตรต่อ 30 นาที ทำการบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ถังรองน้ำทุกๆ 5นาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง

ผลการทดลองพบว่า เกิดความแตกต่างกับผลการทดลองทั้ง 2 ส่วน ทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆคือ ชั้นดินปลูก พืช และฝน อีกทั้งยังพบว่าการที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องและฝนทิ้งช่วง มีส่วนต่อประสิทธิภาพในการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้เช่นกัน โดยวัสดุบางชนิดชะลอน้ำได้ดีเมื่อฝนทิ้งช่วง บางชนิดชะลอน้ำได้ดีเมื่อฝนต่อเนื่อง และสามารถสรุปได้ว่า กรวด เศษกระเบื้อง และโฟม เป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำมากที่สุดจากวัสดุทั้งหมด 9 ชนิด

ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม
สาขาวิชาภูมิสถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4874160825: LANDSCAPE ARCHITECTURE

KEYWORD: GREEN ROOF/ WATER RETENTION/ WASTE MATERIALS.

YINGYOT NGOENMAK : WASTE MATERIALS USAGE AS WATER RETAINTION FOR GREEN ROOF. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.NAVANAT OSIRI. THESIS CO-ADVISOR: KANOKWALEE SUTEETHORN, 144 pp.

Nowadays, urban development area grows very rapidly. Such development area means the replacement of urban natural surfaces by built or impervious surfaces which cause numbers of urban environment problems. "Runoff" is the noted one among those problems that comes from rooftops, pavements and roads which cannot absorb excessive rain fall and that sometimes lead to a sudden flood. There are many ways to remedy this problem, to increase green area to retain rain water and runoff or "green roof" is one of those ways.

Generally, "green roof" means planting on the roof slab. It has a structure comprises of 5 components which are: - 1.) Growing medium 2.) Substrate layer 3.) Drainage layer 4.) Insulation root barrier 5.) waterproofing membrane. All of these components usually industrialize with high cost and sometimes is imported since the knowledge of green roof is still new in Thailand especially the drainage layer. Thus, the aims of this thesis is to look for local waste materials to test and measure the runoff retention co efficiency so to replace that imported drainage layer.

This thesis experiment selects 9 studied waste materials to measure the runoff retention co efficiency which are pebbles, concrete chips, rocks, brick chips, ceramic chips, charcoals, dry sticks, dry coconut peels and foams. The experiment separated into 2 parts following: - 1.) Out door experiment by using 9 boxes contain 9 different studied materials exposed to natural rain fall and collected the data from September to October 2.) Hydrology engineering laboratory (in door) experiment by collecting data from the studied materials in stimulating control condition.

The experiment results show that there are differences between the 2 parts. That leads to indicate the factors which affect runoff retention co efficiency of studied materials. Those factors are substrate layer, plants and rain. Moreover, the results show that the continuity of rain fall is another factor as well as those mentioned that affect runoff retention co efficiency. Thus, the conclusion of this thesis is that the suitable materials to use as drainage layer determine from the highest runoff retention co efficiency are pebbles, ceramic chips and foams.

Department of Landscape Architecture
Field of study Landscape Architecture
Academic year 2007

Student's signature .....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้เกิดจากการจัดทำเพียงคนเดียว ทั้งยังเกิดจากบุคคลมากมายที่ให้การสนับสนุนในด้านต่าง ทั้งทางด้านสติปัญญาและแรงกาย จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ จึงอยากใช้โอกาสในหน้ากระดาษอันน้อยนิดนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้

- ขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้การเลี้ยงดูลูกจนเติบใหญ่ ทั้งยังส่งเสียให้ทุนการศึกษาตลอดมา โดยไม่ปริปากบนสักครึ่งคำ
- ขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวณัฐ โอศิริ และอาจารย์กนกวลี สุธีธร ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาให้กับลูกศิษย์ที่ทำตัวเฉื่อยชาคนนี้
- ขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม ที่ให้ความรู้ในด้านต่างๆ ทำให้เพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ในการทำงานได้อย่างดี
- ขอบพระคุณอาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้ความรู้มากมายในเรื่องของการทดลอง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้
- ขอบพระคุณร้านบุญอนันต์ ย่านประชานิเวศน์ คุณแม่เปาและเปา ที่ให้ใช้หลังคาของร้านเป็นสถานที่ทำการทดลอง และช่วยพูดไกล่เกลี่ยปัญหาที่เกิดจากทดลองกับบ้านใกล้เรือนเคียงให้ อีกทั้งยังช่วยจัดแจงยกอุปกรณ์การทดลอง ทำให้การเก็บข้อมูลราบรื่นเป็นอย่างดี
- ขอบพระคุณพี่ๆร้านบุญอนันต์ ที่สละแรงกาย และเวลาในการทำงาน มาช่วยยกและติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง
- ขอบพระคุณแนน ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาในการทำงาน เปรียบเสมือนเป็นมันสมองส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
- ขอบพระคุณ โอ แบงค์ และออย ที่คอยช่วยสละแรงกาย ขนย้ายอุปกรณ์การทดลองทำให้การทำงานสะดวกราบรื่นยิ่งขึ้น
- ขอบพระคุณมิงค์ ถึงแม้ไม่ได้ช่วยอะไรมากมาย แต่อย่างน้อยก็ช่วยบ่นและจ้ำจี้จ้ำไช จนทำให้ต้องรีบเร่งทำงานให้ได้ตามกำหนดเวลา
- ขอบพระคุณพี่วัช ที่ช่วยแปลบทคัดย่อจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

สารบัญแผนภูมิ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ.....

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 3

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

1.6 นิยามศัพท์..... 6

บทที่ 2 วรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....

2.1 การศึกษาประโยชน์และวิธีการทำ“หลังคาเขียว”..... 7

2.1.1 หลังคาเขียว..... 7

2.1.2 ประโยชน์จาก “หลังคาเขียว” 9

2.1.3 ข้อควรคำนึงในการทำ”หลังคาเขียว”..... 18

2.1.4 โครงสร้างของ ”หลังคาเขียว”..... 21

2.2 การเลือกใช้วัสดุเพื่อชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว”..... 23

2.3 การศึกษาด้านวิศวกรรมชลศาสตร์..... 25

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ“หลังคาเขียว”..... 27

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....

3.1 ขั้นเตรียมการเก็บข้อมูล..... 35

3.1.1 การกำหนดวัสดุชะลอน้ำ..... 35

3.1.2 สรุปน้ำหนักและราคาของวัสดุ..... 42

3.1.3 การกำหนดลักษณะการทดลอง..... 42

หน้า

3.1.4 การเตรียมการทดลอง..... 43
3.1.5 การกำหนดปริมาณน้ำฝนเพื่อใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์.... 49
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 51
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....
4.1 ผลการเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้ง..... 52
4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้งแสดงเป็นตาราง..... 53
4.2 การวิเคราะห์แผนภูมิที่ได้จากการทดลอง..... 59
4.2.1 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ตกจริง..... 59
4.2.2 สรุปความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิด..... 70
4.2.3 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนในรูปแบบของร้อยละ 71
4.2.4 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง 81
4.3 ผลการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์..... 82
4.3.1 การวิเคราะห์แผนภูมิจากการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์..... 83
4.3.2 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดในการทดลองห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์..... 93
4.3.3 สรุปแนวโน้มการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์กับการทดลองกลางแจ้ง..... 94
4.4 ผลการเก็บข้อมูลด้านกายภาพ..... 96
4.4.1 สภาพของพืช..... 96
4.4.2 สภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... 97
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการวิจัย.....
5.1 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง..... 99
5.2 สรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของผลการทดลองกลางแจ้ง และผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์..... 100
5.3 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุเหลือใช้ที่นำมาชะลอน้ำและพืชที่ปลูกในกระบะทดลอง..... 101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5.4 การนำวัสดุเหลือใช้มาชะลอน้ำใน “หลังคาเขียว”..... 101
5.5 สรุปคุณสมบัติของวัสดุท้องถิ่นที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ทำ“หลังคาเขียว”... 103
5.6 ข้อเสนอแนะ..... 104
รายการอ้างอิง..... 106
ภาคผนวก..... 108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 145

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงผลการทดสอบน้ำหลาก (run off) กับรูปแบบหลังคาในแบบต่างๆที่ Rowe ออกแบบการทดลองไว้.....	15
ตารางที่ 2.2	แสดงน้ำหนักของวัสดุส่วนหนึ่งที่มักถูกนำมาใช้ในการทำ"หลังคาเขียว".....	19
ตารางที่ 2.3	การรายงานลักษณะของฝน.....	26
ตารางที่ 2.4	การรายงานประเภทฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	27
ตารางที่ 3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุและหลักเกณฑ์ในกาคัดเลือกวัสดุชะลอน้ำสำหรับ"หลังคาเขียว".....	35
ตารางที่ 3.2	แสดงน้ำหนักและราคาวัสดุแต่ละชนิด.....	42
ตารางที่ 3.3	การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดของฝนตกจริง.....	50
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงการบันทึกการวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำ ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2550	53
ตารางที่ 4.2	แสดงปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2550.....	56
ตารางที่ 4.3	แสดงวันที่เก็บผลการทดลองโดยสามารถวัดปริมาณน้ำในถังได้.....	59
ตารางที่ 4.4	แสดงการเปรียบเทียบความสามารถการชะลอน้ำของแต่วัสดุในวันที่เก็บผลการทดลองกลางแจ้งได้.....	70
ตารางที่ 4.5	แสดงปริมาณน้ำฝนในแต่ละวันที่สามารถเก็บข้อมูลโดยวัดปริมาณน้ำในถังได้ในรูปแบบร้อยละ(%).....	71
ตารางที่ 4.6	สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง.....	81
ตารางที่ 4.7	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลในแต่ละช่วงเวลา.....	82
ตารางที่ 4.8	แสดงปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่บันทึกผลการทดลอง.....	89
ตารางที่ 4.9	สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง.....	93
ตารางที่ 4.10	แสดงปริมาณร้อยละของพื้นที่ต้นหญ้าที่เหลือในแต่ละสัปดาห์.....	96
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุท้องถิ่นระหว่างการทดลองทั้ง 2 ส่วน.....	100

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แผนภูมิรูปภาพในการทดลองวัดอุณหภูมิของพื้นผิว"หลังคาเขียว"ที่มีพืชปกคลุม กับ "หลังคาเขียว"ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม..... 11

ภาพที่ 2.2 แผนภูมิรูปภาพในการทดลองวัดอุณหภูมิของพื้นผิว"หลังคาเขียว"ที่มีพืชปกคลุม "หลังคาเขียว"ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม และหลังคาที่ไม่มีอะไรปกคลุมเลย 12

ภาพที่ 2.3 ภาพตัดแสดงชั้นดินของ"หลังคาเขียว"ที่มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต..... 13

ภาพที่ 2.4 ภาพวาดแสดงความแตกต่างระหว่างหลังคามุงกระเบื้องทั่วไปกับหลังคาที่มีการทำ"หลังคาเขียว"..... 14

ภาพที่ 2.5 แสดงการทดลองของ Kohler เปรียบเทียบน้ำหลากบนพื้นผิวหลังคาพื้นราบ (คอนกรีตเสริมเหล็ก)กับหลังคาพื้นราบที่ทำ"หลังคาเขียว"..... 15

ภาพที่ 2.6 แสดงภาพตัดส่วนประกอบโครงสร้างของ"หลังคาเขียว"..... 21

ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการปูแผ่นระบายน้ำสังเคราะห์บนวัสดุป้องกันรากของพืช..... 23

ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบจำลองอุทกวิทยาอย่างง่าย..... 26

ภาพที่ 2.9 รูปแสดงรูปตัด "หลังคาเขียว" ที่ถูกออกแบบไว้โดยนักศึกษามหาวิทยาลัย Virginia Wesleyan รัฐเวอร์จิเนีย(Virginia)..... 28

ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภูมิรูปภาพของการทดสอบการจัดการน้ำฝนของ"หลังคาเขียว" รูปแบบต่างๆ..... 29

ภาพที่ 2.11 แสดงกระบะทดลองรูปแบบต่างๆทั้งหมด 32 กระบะ..... 30

ภาพที่ 2.12 แสดงผลสรุปเป็นแผนภูมิรูปภาพของการทดลองการจัดการน้ำฝนในระดับชั้นวัสดุที่แตกต่างกัน..... 31

ภาพที่ 2.13 แสดงผลการทดสอบการจัดการน้ำฝนของ"หลังคาเขียว"..... 32

ภาพที่ 2.14 แสดงผลการทดสอบการจัดการน้ำในของหลังคาทั้ง 4 แบบ..... 33

ภาพที่ 3.1 กรวดแม่น้ำสีขาวเบอร์ 1..... 36

ภาพที่ 3.2 ถ่ายหินคลุกสำหรับก่อสร้างเบอร์ 2..... 36

ภาพที่ 3.3 เศษปูนขนาด 2 ถึง 4 นิ้วโดย..... 37

ภาพที่ 3.4 เศษอิฐขนาด 1 ถึง 3 นิ้ว..... 38

ภาพที่ 3.5 เศษกระเบื้องขนาด 2 ถึง 4 นิ้ว..... 38

ภาพที่ 3.6 ถ่านไม้..... 39

หน้า

ภาพที่ 3.7 กิ่งไม้แห้งเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ถึง 2 เซนติเมตรความยาว 10 ถึง 20 เซนติเมตร 40
ภาพที่ 3.8 กาบมะพร้าวขนาด 2 ถึง 3 นิ้ว..... 40
ภาพที่ 3.9 โฟมขนาด 1 ถึง 3 นิ้ว..... 41
ภาพที่ 3.10 แสดงการวางกระบะทดลองก่อนใส่วัสดุ..... 43
ภาพที่ 3.11 แสดงการตัวอย่างการบรรจุวัสดุชะลอน้ำลงในกระบะทดลอง..... 44
ภาพที่ 3.12 แสดงการวางตาข่ายก่อนบรรจุดินปลูก..... 44
ภาพที่ 3.13 แสดงการบรรจุดินปลูกและปูหญ้าทับลงบนหน้าดิน..... 44
ภาพที่ 3.14 แสดงชั้นของวัสดุเมื่อบรรจุลงกระบะทดลองเป็นที่เรียบร้อย..... 45
ภาพที่ 3.15 แสดงการต่อท่อระหว่างรูระบายน้ำและถังรองรับน้ำ..... 45
ภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งถังรองน้ำกับกระบะทดลอง..... 45
ภาพที่ 3.17 แสดงภาพตัดกระบะทดลอง..... 46
ภาพที่ 3.18 แสดงอุปกรณ์จำลองน้ำฝนในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์..... 47
ภาพที่ 3.19 แสดงอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำและจับเวลาการไหลของน้ำ..... 48
ภาพที่ 3.20 แสดงอุปกรณ์ควบคุมความดันและปริมาณน้ำให้ได้ตามต้องการ..... 48
ภาพที่ 3.21 แสดงถังน้ำที่ทำมาตราส่วนเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ..... 48
ภาพที่ 3.22 แสดงตัวอย่างการบรรจุวัสดุลงในอุปกรณ์จำลองน้ำฝน..... 49

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1.1	แสดงขั้นตอนในการวิจัย.....	5
แผนภูมิที่ 4.1	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 10 กันยายน2550.....	60
แผนภูมิที่ 4.2	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 11 กันยายน 2550.....	61
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 16 กันยายน 2550.....	62
แผนภูมิที่ 4.4	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 20 กันยายน 2550.....	63
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 28 กันยายน 2550.....	64
แผนภูมิที่ 4.6	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 10 ตุลาคม 2550.....	65
แผนภูมิที่ 4.7	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 11 ตุลาคม 2550.....	66
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 12 ตุลาคม 2550.....	67
แผนภูมิที่ 4.9	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 14 ตุลาคม 2550.....	68
แผนภูมิที่ 4.10	แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2550.....	69
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกรวด.....	72
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษปูน.....	73
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของหิน.....	74
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษอิฐ.....	75
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษกระเบื้อง.....	76
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของถ่านไม้.....	77
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกิ่งไม้แห้ง.....	78

หน้า

แผนภูมิที่ 4.18	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกาบมะพร้าว.....	79
แผนภูมิที่ 4.19	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของโฟม……..	80
แผนภูมิที่4.20	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกรวด.....	83
แผนภูมิที่4.21	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษปูน.....	84
แผนภูมิที่4.22	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของหิน……..	84
แผนภูมิที่4.23	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษอิฐ……	85
แผนภูมิที่4.24	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของถ่าน……	85
แผนภูมิที่4.25	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกาบมะพร้าว.....	86
แผนภูมิที่4.26	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของโฟม……	86
แผนภูมิที่4.27	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษกระเบื้อง…….	87
แผนภูมิที่4.28	แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกิ่งไม้แห้ง.....	87
แผนภูมิที่4.29	แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำแต่ละวัสดุ ณ ช่วงเวลาที่จดบันทึก ตั้งแต่นาทีที่ 0 ถึง นาทีที่ 45.....	90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการพัฒนาเมืองเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จากการคาดการณ์ขององค์กรสหประชาชาติปริมาณสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น ถนน อาคาร จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 83 ในปี ค.ศ. 2030 (United Nation, 2002; Antrop, 2004) และทำให้มีสิ่งก่อสร้างปกคลุมพื้นที่ตามธรรมชาติมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆทั้งในเขตเมืองและแถบชานเมือง หนึ่งในปัญหาที่ตามมาคือปัญหาน้ำท่วมฉับพลันที่เกิดจากผิวดินระบายน้ำฝนที่ตกลงมาไม่ทัน เนื่องจากพื้นดินที่ถูกปกคลุมด้วยอาคารหรือถนนไม่สามารถดูดซับน้ำในช่วงที่ฝนตกหนัก ทำให้เกิดปัญหาน้ำหลาก(run off) จากนั้นจะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองอื่นๆตามมา เช่น การชะล้างสารพิษลงสู่แหล่งน้ำ พัดพาตะกอนและขยะหนักลงสู่แม่น้ำลำคลอง วิธีที่ช่วยบรรเทาปัญหาน้ำหลากก็คือ การเพิ่มพื้นที่ชะลอน้ำไม่ให้น้ำฝนที่ตกลงมาไหลลงไปรวมตัวได้อย่างรวดเร็วเกินไป ดังนั้นการสร้างพื้นที่หน่วงน้ำ(water retention)และพื้นที่สีเขียว(green area)ในเมืองให้มากขึ้น คือหนึ่งในคำตอบที่เหมาะสมในการบรรเทาปัญหาน้ำหลากที่เกิดจากฝน

หลักสำคัญในการแก้ปัญหาน้ำหลากคือการชะลอน้ำในบริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างปกคลุม การทำ“หลังคาเขียว”(green roof) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในจัดการปัญหาที่เกิดขึ้น มีการทดลองและวิจัยมากมายในเรื่องของ“หลังคาเขียว” แสดงให้เห็นว่า“หลังคาเขียว”มีประโยชน์ต่อเมืองและสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการลดปริมาณน้ำหรือชะลอน้ำหลากที่เกิดจากฝนที่ตกลงมาในเขตเมืองได้ โดยการเปลี่ยนพื้นที่ดาดแข็งที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้(impervious surface)จนทำให้เกิดน้ำหลาก ไปเป็นพื้นผิวที่น้ำซึมผ่านได้ จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและการชะลอน้ำของ”หลังคาเขียว”หลายๆเมืองในประเทศเยอรมัน สามารถลดปริมาณน้ำหลากได้ร้อยละ 54 สำหรับแต่ละอาคาร (Mentens et al., 2005) ผลการทดลองนี้บ่งชี้ให้เห็นศักยภาพของ“หลังคาเขียว”ในการจัดการน้ำหลากได้อย่างดี ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่เมืองที่มีสิ่งก่อสร้างและพื้นผิวดาดแข็งปกคลุมมาก

“หลังคาเขียว” คือ หลังคาที่มีการปลูกพืชบนพื้นของหลังคา โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ “หลังคาเขียว”แบบปล่อย(extensive green roof) (วิกิพีเดียวสารานุกรมเสรี, ม.ป.ท.) เป็นระบบที่มีน้ำหนักเบา มีการบำรุงรักษาต่ำ โดยทั่วไปมักจะมีความหนาประมาณ 4-6 นิ้ว หากมีความลึกมากกว่านี้เรียกว่า “หลังคาเขียว” แบบดูแล(intensive green roof) (วิกิพีเดียวสารานุกรมเสรี, ม.ป.ท.) สามารถปลูกพืชได้หลากหลายมากขึ้นและเข้าไปใช้เป็นพื้นที่ทำกิจกรรมต่างๆได้

1. วัสดุป้องกันการรั่วซึมของน้ำสู่ชั้นโครงสร้างหลังคาอาคาร (waterproofing membrane)
2. ฉนวนป้องกันรากของพืช (insulation root barrier)
3. ชั้นระบายน้ำ (drainage layer) เป็นส่วนที่สำคัญในการทำ“หลังคาเขียว” ช่วยชะลอน้ำฝนที่ไหลลงมาจากชั้นดินที่มีความลึกไม่มาก ทำให้ดินและพืชมีโอกาสในการดูดซับน้ำมากขึ้น และป้องกันดินไม่ให้ถูกชะล้างไปตามระบบระบายน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมาได้
4. ชั้นวัสดุปลูก (substrate layer) โดยทั่วไปจะเป็นการผสมระหว่างแร่ธาตุที่มีน้ำหนักเบาและวัสดุที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น ดินเหนียวหรือดินทั่วไป หินลาวา อิฐ เป็นต้น
5. ชั้นของพืช (growing medium) เป็นส่วนบนสุดของการทำ“หลังคาเขียว” โดยชนิดและขนาดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบหรือเจ้าของโครงการ

ปัจจุบันมีการทดลองและการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำ“หลังคาเขียว”ในหลายๆประเทศ โดยเฉพาะในประเทศแถบยุโรป และจากงานวิจัยต่างๆพบว่า วัสดุที่ใช้ทำ“หลังคาเขียว”ในแต่ละพื้นที่ ส่วนมากจะใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น (Nigel and Noel,2004) ยกตัวอย่างในชั้นวัสดุปลูก เช่น หินพิวมิซ (pumice) ปะการัง หินลาวา วัสดุเหล่านี้มักจะนำมาผสมกับดิน ส่วนชั้นระบายน้ำ (drainage layer) เป็นชั้นที่มีส่วนช่วยชะลอน้ำและไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อปลูกพืช จึงใช้เป็นอินทรียวัตถุหรืออาจจะไม่ใช่ก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักจะใช้วัสดุเหลือใช้ที่หาได้ในท้องถิ่นและมีราคาไม่แพง เช่น เศษหิน เศษกระเบื้อง เศษปูน เป็นต้น

แต่ในปัจจุบันมีการผลิตเป็นวัสดุสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ทดแทน เพื่อความสะดวกสบายและประหยัดเวลาในการหาวัสดุเหล่านี้ และมีวัสดุบางชนิดที่สามารถใช้วัสดุมาตรฐานที่ผลิตจากโรงงาน ยกตัวอย่างเช่น แผ่นกันซึม (waterproof membrane) ที่เป็นวัสดุกันซึมในชั้นของหลังคา หรือ จีโอเทกซ์ไทล์ (geotextile) ที่ใช้กั้นระหว่างชั้นวัสดุปลูกกับชั้นระบายน้ำ (drainage layer) แม้กระทั่งวัสดุที่ใช้ในชั้นระบายน้ำก็ยังเป็นวัสดุสังเคราะห์เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีวัสดุสังเคราะห์อื่นๆอีกมากที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ แต่วัสดุเหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง และเหมาะสมกับสภาพอากาศของแต่ละท้องถิ่น ส่วนในประเทศไทยนั้นการทำ“หลังคาเขียว”ยังเป็นเรื่องใหม่ วัสดุต่างๆที่ใช้ทำ“หลังคาเขียว”ดังกล่าวไม่สามารถหาได้ในประเทศไทย

ปัจจัยต่างๆทางด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศ วัสดุ และพืช มีผลทำให้เกิดความแตกต่างในการทำ“หลังคาเขียว”ของแต่ละท้องถิ่น จากที่กล่าวมาในเรื่องของวัสดุท้องถิ่นในที่นี้จะหมายถึง

วัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นสามารถนำมาใช้ทำ“หลังคาเขียว” ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่ายและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม มาใช้ในชั้นระบายน้ำของ“หลังคาเขียว” เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการชะลอน้ำหลาก คาดว่าการศึกษานี้จะช่วยแสดงให้เห็นว่าการทำ“หลังคาเขียว”ด้วยวัสดุท้องถิ่นสามารถทำได้ หาง่าย ทนทาน ราคาถูก และเหมาะสมกับสภาพอากาศในเมืองไทย โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาวัสดุระบายน้ำจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการและประโยชน์ของ“หลังคาเขียว”
2. ทดลองใช้วัสดุเหลือที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นในการทำ“หลังคาเขียว” เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการชะลอน้ำหลาก
3. สามารถบอกคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ที่เหมาะสมในการทำ“หลังคาเขียว”ได้
4. ใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับ“หลังคาเขียว”ในประเทศไทยในอนาคต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาในเรื่อง“หลังคาเขียว” ตั้งแต่วิธีการทำ คุณประโยชน์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาข้อมูลในส่วนอื่นๆ เช่นทางด้านวิศวกรรมชลศาสตร์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไปการออกแบบการทดลอง โดยการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะให้ความสำคัญกับวัสดุในชั้นระบายน้ำสำหรับ”หลังคาเขียว”เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทั้งการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผล จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้และคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้ทดลอง

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเก็บรวมภาคทฤษฎีโดยศึกษาจากเอกสารงานวิจัย โดยเน้นไปที่บทความที่เกี่ยวข้องการทดลองต่างๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาหาวัสดุเหลือใช้มาทำชั้นระบายน้ำใน “หลังคาเขียว”
2. ศึกษาวัสดุเหลือใช้เพื่อนำมาทดลองประสิทธิภาพการชะลอน้ำในชั้นระบายน้ำของ “หลังคาเขียว” และออกแบบวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเฉพาะสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถสร้าง“หลังคาเขียว”ลงบนหลังคาอาคารได้โดยตรง เพราะมีพื้นที่ขนาดใหญ่ และต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นระบายน้ำของ“หลังคาเขียว” จึงต้องกำหนดขนาดของพื้นที่ให้เหมาะสมกับการเก็บข้อมูล

3. ทำการทดลองโดยบรรจุวัสดุเหลือใช้สำหรับชะลอน้ำ 9 ชนิดที่ผ่านตามหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุในการทดลอง ซึ่งก็คือ 1)กรวด 2)หิน 3)เศษปูน 4)เศษกระเบื้อง 5)ถ่านไม้ 6)กาบมะพร้าว 7)กิ่งไม้แห้ง 8)โฟม 9)เศษอิฐ ลงในกระบะทดลอง การทดลองนี้ได้เลือกหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กความลาดชัน 1ต่อ 200 ของร้านบุญอนันต์ บริเวณย่านประชานิเวศน์ในกรุงเทพฯ เป็นตัวแทนของพื้นที่ทดลอง “หลังคาเขียว” ขนาดของกระบะมีความกว้าง 0.90 เมตร ความยาว 1.20 เมตร ความสูง 0.30 เมตร และนำวัสดุเหล่านี้มาวางบนกระบะ จากนั้นจึงเป็นชั้นของดินปลูกและพืชคลุมดิน โดยใช้ 1 วัสดุต่อ 1 กระบะ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

<u>ส่วนที่ 1</u> ทดลอง “หลังคาเขียว” กลางแจ้ง ทำการเก็บข้อมูลโดยการจดบันทึกช่วงเวลาที่ฝนตก และวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำหลังจากฝนตก 1 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด ว่ามีความสามารถในการชะลอน้ำมากน้อยเท่าไร

<u>ส่วนที่ 2</u> ทดลองโดยใช้อุปกรณ์จำลองน้ำฝน (Rainfall Hydrograph) ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการเก็บข้อมูลโดยจดบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ถังรองน้ำทุกๆ 5 นาที เพื่อดูความสามารถในการชะลอน้ำ และสังเกตความเปลี่ยนแปลงการชะลอน้ำของวัสดุทุกช่วงเวลา รวมเวลาทั้งหมด 60 นาที จากนั้นจึงนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองกลางแจ้ง (การทดลองในส่วนที่ 2 นี้ทดลองเฉพาะวัสดุชะลอน้ำโดยไม่มีชั้นดินปลูกและพืช เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลา สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง เพราะหากเพิ่มชั้นดินลงไปด้วยจะทำให้ใช้เวลาในการทดลองมากยิ่งขึ้น)

โดยทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถเก็บข้อมูลควบคู่กันไปได้

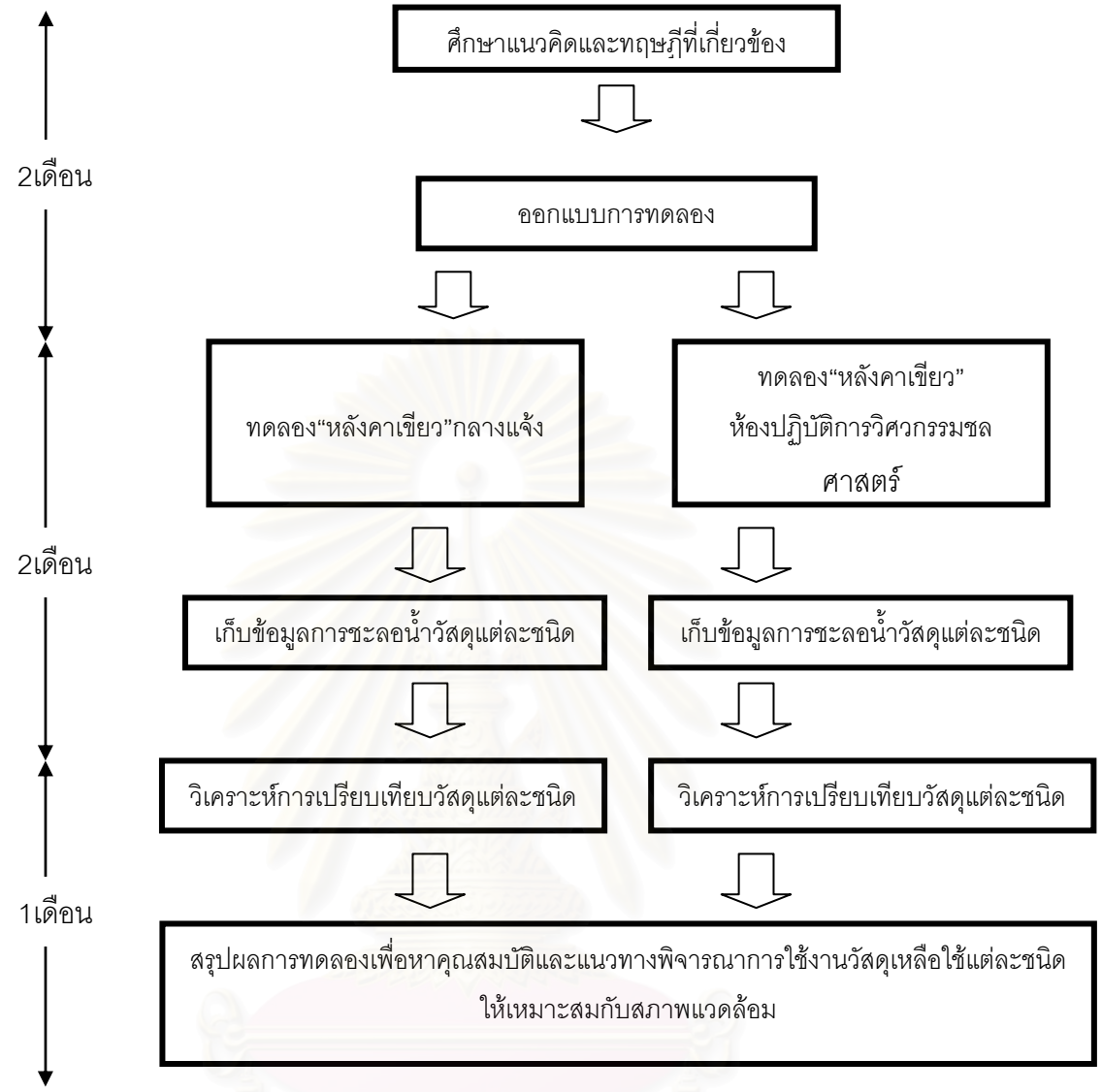
4. วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

วิเคราะห์ความสามารถในการชะลอน้ำ คุณภาพ และการระเหยของน้ำในวัสดุแต่ละชนิดในกระบะทดลอง“หลังคาเขียว”กลางแจ้ง

วิเคราะห์ข้อมูลการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดที่ทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

วิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดระหว่างการทดลองกลางแจ้ง และการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

5. สรุปผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการพิจารณาใช้งานวัสดุแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงขั้นตอนในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มองค์ความรู้ในหลักการและทฤษฎีในเรื่องของ “หลังคาเขียว” ภายใต้สภาพความแตกต่างระหว่างวัสดุ
2. เล็งเห็นถึงประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุเพื่อขยายผลไปสู่ความแพร่หลายในการทำ “หลังคาเขียว” และส่งผลต่อการช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในเมือง
3. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้ที่หาได้ในท้องถิ่น ในการสร้าง ”หลังคาเขียว” ในประเทศไทย

1.6 นิยามศัพท์

1. “หลังคาเขียว” (green roof) หมายถึงหลังคาของอาคาร ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณและดิน หรือพืชคลุมดิน ที่อยู่เหนือระบบป้องกันการซึมน้ำ (waterproof membrane) รวมไปถึงชั้นของการระบายน้ำและระบบการรดน้ำ
2. น้ำหลาก (run off) หมายถึงภาวะของน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วกลายเป็นน้ำท่า ในบริเวณพื้นที่ที่เกินศักยภาพหรือไม่มีความสามารถในการซับน้ำ
3. กระบะทดลอง หมายถึงกระบะที่ได้ทำการออกแบบในขั้นตอนของการทดลอง เพื่อนำไปทดลองเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำ
4. วัสดุชะลอน้ำ หมายถึงวัสดุเหลือใช้ที่นำมาทำชั้นระบายน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว” มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวัสดุเหลือใช้เพื่อนำมาชะลอการไหลของน้ำสำหรับ “หลังคาเขียว” เป็นการศึกษาโดยใช้แนวคิดการทำ“หลังคาเขียว” จากวรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) เพื่อนำมาสรุปในการเลือกใช้วัสดุและวิธีการทดลอง “หลังคาเขียว” แบ่งได้เป็นดังนี้

1. การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ “หลังคาเขียว”
2. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ “หลังคาเขียว”
3. การศึกษาในด้านการใช้วัสดุ
4. การศึกษาด้านวิศวกรรมชลศาสตร์

2.1 การศึกษาประโยชน์และวิธีการทำ “หลังคาเขียว”

การศึกษาในขั้นต้นได้ทำการรวบรวมเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ “หลังคาเขียว” มีดังต่อไปนี้

2.1.1 หลังคาเขียว

หลังคาเขียวคือการปลูกพืชบนหลังคาและผนัง เป็นนวัตกรรมใหม่ และมีส่วนช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อม สามารถสร้างบนหลังคาได้ทุกรูปแบบและทุกขนาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับความสามารถในการรับน้ำหนักของหลังคา โดยปกติแล้วการทำ “หลังคาเขียว” นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (Dunnett and kingsbury, 2004)

1. “หลังคาเขียว”แบบดูแล (Intensive green roof) คือ “หลังคาเขียว” ที่มีความลึกของดินและวัสดุต่างๆ ตั้งแต่ 15 เซนติเมตรขึ้นไป โดยปกติแล้วจะปลูกพืชคลุมดินจนไปถึงพืชที่มีลำต้นขนาดใหญ่โดยมนุษย์สามารถเข้าไปใช้งานได้เช่น แต่ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

2. “หลังคาเขียว”แบบปล่อย (Extensive green roof) คือ “หลังคาเขียว” ที่มีความลึกของดินและวัสดุต่างๆ ตั้งแต่ 2-15 เซนติเมตร (0.8-6 นิ้ว) โดยจะไม่สนใจเรื่องของการใช้งานต่างๆ โดยมนุษย์ บางทีอาจจะปล่อยให้พืชเจริญเติบโตโดยธรรมชาติ

หรืออาจจะใช้หญ้า ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษามาก มีน้ำหนักเบาจึงไม่ต้องห่วงเรื่องน้ำหนักที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างหลังคา

หลังคานิเวศ (Ecoroof) (วิกิพีเดียวสารานุกรมเสรี, ม.ป.ท.) หรือหลังคาธรรมชาติ เป็นอีกชื่อหนึ่งที่ใช้เรียกแทน“หลังคาเขียว”โดยปกติแล้วการเรียกหลังคานิเวศมักนิยมเรียกกันในประเทศอเมริกา เนื่องจากสามารถนำมาใช้จำแนกชนิดของหลังคาได้ดีกว่า เพราะการทำ “หลังคาเขียว” จะมีเรื่องของระบบนิเวศวิทยาเข้ามาเกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ยังเรียกว่า หลังคาน้ำตาล (Brown roof) (วิกิพีเดียวสารานุกรมเสรี, ม.ป.ท.) ได้เช่นกัน หลังคาน้ำตาลเป็น”หลังคาเขียว”ชนิดหนึ่ง การทำหลังคาน้ำตาลจะมีเพียงชั้นวัสดุระบายน้ำ ไม่มีเจตนาที่จะปลูกพืช หากจะมีพืชก็คือการขึ้นเองโดยธรรมชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอน้ำฝนที่ตกลงมา หรือป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์กระทบกับหลังคาอาคารโดยตรง ปกติแล้ววัสดุที่นำมาใช้จะเป็นเศษวัสดุก่อสร้าง เช่น เศษปูน เศษหิน เศษกระเบื้อง เป็นต้น

การทำ“หลังคาเขียว” นั้นถูกนำไปใช้ในหลายประเทศในโลก แต่วิธีใช้สอยจะแตกต่างกันด้วย ภูมิอากาศ วัฒนธรรม และปัจจัยทางการเมือง ในทำนองเดียวกันประโยชน์ใช้สอยของหลังคาเขียวอาจเปลี่ยนแปลงตามสภาพธรรมชาติได้ ทั้งเรื่องของการลดอุณหภูมิ การจัดการน้ำฝน ฯลฯ

ประเทศในแถบทวีปยุโรปประเทศเยอรมันเป็นศูนย์กลางในการศึกษาและเผยแพร่เรื่องของหลังคาเขียว สิ่งปลูกสร้างประมาณร้อยละ 43 ของประเทศเยอรมัน มีการส่งเสริมให้ทำ” หลังคาเขียว”ในทุกๆระดับ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์เป็นอีกประเทศหนึ่งที่ส่งเสริมการทำ“หลังคาเขียว” โดยกำหนดนโยบายให้เขตพื้นที่ที่กำลังจะพัฒนาให้เป็นเขตเศรษฐกิจต้องมีพื้นที่ทางธรรมชาติร้อยละ 25 ซึ่ง “หลังคาเขียว”เป็นอีกหนึ่งนโยบายสำคัญในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองเช่นกัน ประเทศรัสเซียมีการส่งเสริมให้ทำ“หลังคาเขียว”โดยเน้นให้เป็นพื้นที่ปลูกพืชเพื่อเป็นแหล่งอาหารในระดับครัวเรือน

ในประเทศแถบอเมริกาเหนือแนวความคิดในการทำ“หลังคาเขียว”เกิดขึ้นจากกลุ่มนักวิจัย นักออกแบบ นักพฤกษศาสตร์ เดินทางไปชมการทำ“หลังคาเขียว”ในประเทศแถบยุโรป และระบบอุตสาหกรรมการทำ“หลังคาเขียว”ในยุโรปก็ขยายตัวมาสู่อเมริกาเหนือ เช่นในเมืองชิคาโก (Chicago) “หลังคาเขียว”จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการลดอุณหภูมิให้อาคารและการลดรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้น้อยลง

ส่วนประเทศในแถบเอเชีย อเมริกาใต้ และออสเตรเลีย การนำ“หลังคาเขียว”มาใช้จะมีข้อแตกต่างจากพื้นที่อื่นๆที่กล่าวมาเนื่องจากภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีฝนตกชุกและมีการระเหยของน้ำสูง มีปัญหาเรื่องของน้ำท่วมและการชะล้างหน้าดินเป็นปัญหาใหญ่ “หลังคาเขียว” สามารถลดปริมาณน้ำหลากได้และสามารถชะลอการเกิดปัญหาน้ำท่วมได้ในระดับหนึ่ง แต่สิ่งที่ควรระวังในการทำหลังคาเขียวในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นคือ การเลือกใช้พืชเนื่องจากมีปริมาณน้ำมาก จะทำให้พืชเจริญเติบโตไวและอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงหรือพาหะนำโรคอื่นๆ ได้ (Dunnett and kingsbury, 2004)

2.1.2 ประโยชน์จาก “หลังคาเขียว”

การทำ “หลังคาเขียว” มีประโยชน์ตั้งแต่ระดับหลังคาเรือนไปจนถึงระดับสาธารณะ โดยประโยชน์จาก “หลังคาเขียว” มีดังนี้

1. **สร้างความสวยงาม**

การเปลี่ยนหลังคาอาคารปกติสู่“หลังคาเขียว”สามารถใช้เป็นพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจในที่พักอาศัยได้อย่างดี เราสามารถสร้างสิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้เองจากอาคารที่เราอยู่ สามารถสร้างความเป็นส่วนตัวที่เป็นพื้นที่ภายนอกอาคารได้ หลีกหนีจากความแออัดของเมืองได้และมีสวนที่อยู่บนหลังคายังช่วยให้ปลอดภัยจากคนที่ชอบทำลายทรัพย์สินของสาธารณะ (vandalism)

นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่ออาคารข้างเคียง จากการสังเกตของการใช้งานหลังคาในอาคารพักอาศัยแห่งหนึ่งในเมืองพอร์ทแลนด์ (Portland) ในสหรัฐอเมริกาพบว่าเมืองมีการทำ“หลังคาเขียว”บนพื้นที่หลังคาอาคาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้งานโดยคนที่อยู่ในอาคารนั้นจะมาทำกิจกรรมกันมากขึ้น เช่นการจัดเลี้ยง การนำสัตว์เลี้ยงมาเดินเล่น การพักผ่อน ซึ่งปกติใช้เพียงแค่ตากผ้าเท่านั้น

2. **เป็นแหล่งผลิตอาหาร**

พื้นที่ของหลังคาสามารถเพิ่มโอกาสในการผลิตอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเมืองที่มีอาคารหนาแน่นมาก พืชที่สามารถนำมาทำอาหารได้ก็สามารถปลูกได้กับหลังคาธรรมดาทั่วไปโดยใช้การทำ“หลังคาเขียว”แบบปล่อย (extensive green roof) โดยทั่วไปแล้วจะนิยมปลูกพืชจำพวกผักสวนครัวและพืชสมุนไพร แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือความลึกของระดับชั้นดินที่เหมาะสมกับพืชที่นำมาปลูกและระบบการให้น้ำแก่พืช ยกตัวอย่างเช่น โรมแรม แฟร์เมาน์ท (Fairmount) ที่

เมืองแวนคูเวอร์ ประเทศแคนาดา ใช้พื้นที่ 195 ตรม. ที่เป็นชั้นดาดฟ้าของโรงแรมนำมาปลูกผักและสมุนไพรสำหรับใช้ในกิจการโรงแรม โดยการประเมินขั้นต้นจะช่วยประหยัดค่าใช่จ่ายในส่วนนี้ไปได้ถึงปีละ 25,000 – 30,000 เหรียญแคนาดา

3. **สร้างความงามให้กับเมือง**

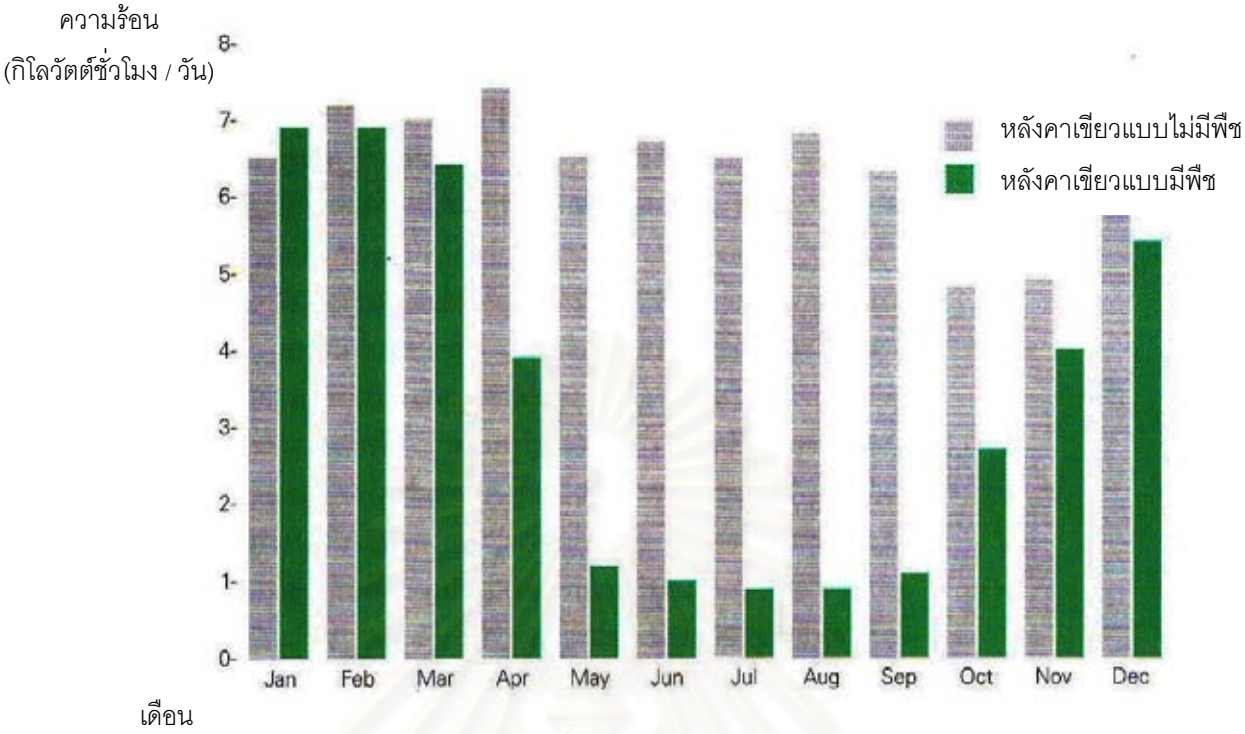
ในเมืองที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อมีอาคารอยู่รวมกันมากๆหลังคาของอาคารจะเป็นส่วนหนึ่งที่มีพื้นผิวไม่น่ามอง การทำ“หลังคาเขียว”ให้กับอาคารต่างๆจะสามารถปรับเปลี่ยนหลังคาอาคารต่างๆที่มีความกระด้างให้ดูน่ามองยิ่งขึ้น โดยพืชที่เจริญเติบโตอยู่บนหลังคา นอกจากเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับพื้นที่เมืองแล้ว การทำหลังคาเขียวยังช่วยผ่อนคลายการใช้ชีวิตที่มีความกดดันในเมืองได้อย่างดี เพียงแค่ใช้การมองเท่านั้นก็ทำให้เกิดความรู้สึกในทางที่ดีขึ้น

4. **ยืดอายุการใช้งานของหลังคา**

รังสีอัลตราไวโอเลท (Ultraviolet)สามารถเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของส่วนประกอบต่างๆที่เป็นสารเคมี และลดทอนการทำงานของหลังคาตามหลักวิศวกรรม หลังคาเป็นฉนวนที่ดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ มีการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิของหลังคาที่เมืองโตรอนโต(Toronto) ประเทศแคนาดาพบว่า หลังคาที่ไม่มีการทำ“หลังคาเขียว”จะมีอุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียสในตอนบ่าย ส่วนหลังคาที่มีการทำ“หลังคาเขียว”อุณหภูมิโดยปกติจะต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส การทำ“หลังคาเขียว”จะช่วยยืดอายุการใช้งานของหลังคาได้เป็นอย่างดี อีกปัญหาหนึ่งของหลังคาจำพวกคอนกรีตเสริมเหล็กคือการรั่วซึม ซึ่งหากหลังคาระบายน้ำได้ไม่ดีน้ำจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก การทำ“หลังคาเขียว”เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถบรรเทาปัญหาดังกล่าวได้

5. **เป็นฉนวนป้องกันและช่วยประหยัดพลังงาน**

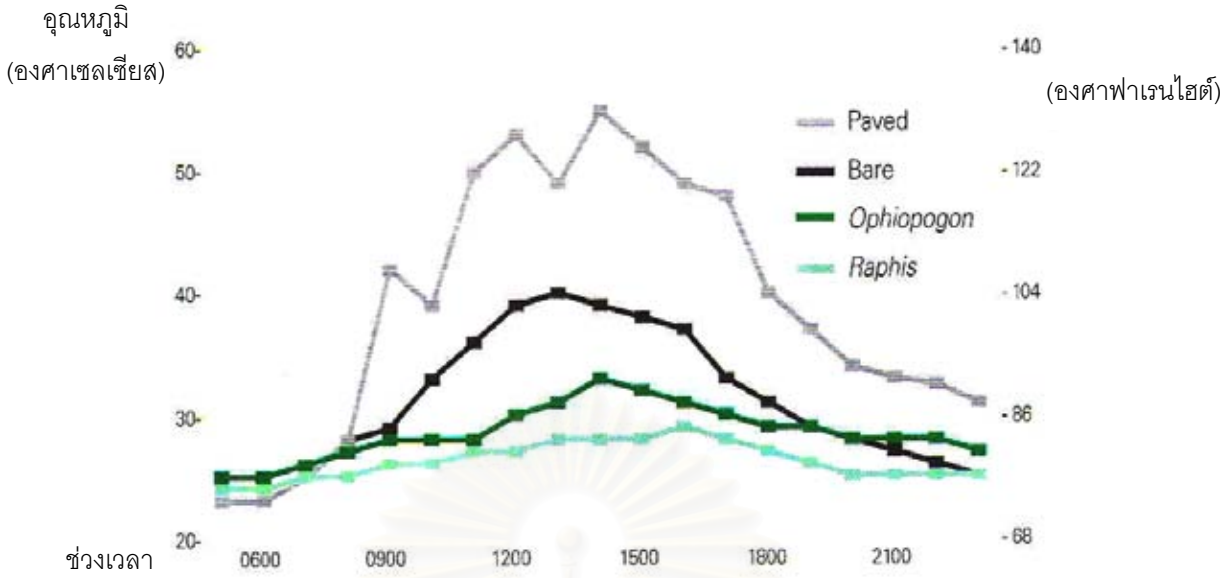
การทำ“หลังคาเขียว”จะช่วยลดผลกระทบจากพลังงานความร้อนภายนอกอาคารได้ โดยส่วนที่ทำหน้าที่ลดผลกระทบนี้คือพืชที่ปลูกอยู่บนหลังคาเขียว จากการทดลองของ ลุย (Lui) และบาสคาราน (Baskaran) ชั้นของพืชบน“หลังคาเขียว”นั้นสามารถลดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ร้อยละ 90 เมื่อวัดอุณหภูมิภายในอาคารพบว่าอุณหภูมิภายในอาคารลดลงไป 3-4 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอาคารบริเวณรอบ“หลังคาเขียว”มีอุณหภูมิอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียส ดังนั้นอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศภายในสามารถช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการใช้ไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิรูปภาพในการทดลองวัดอุณหภูมิของพื้นผิว"หลังคาเขียว"ที่มีพืชปกคลุม กับ "หลังคาเขียว"ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม (Dunnett and Kingsbury, 2004)

จากข้อมูลพบว่าหลังคา"หลังคาเขียว"ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม มีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกันตลอดปี ส่วน"หลังคาเขียว"ที่มีพืชปกคลุม ในช่วงเดือนที่มีอากาศหนาวจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนที่มีอากาศร้อน แสดงว่า"หลังคาเขียว"แบบที่มีพืชปกคลุมสามารถเป็นฉนวนป้องกันอากาศหนาวและอากาศร้อนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Paved	คือหลังคาปกติที่ไม่มี“หลังคาเขียว”ปกคลุม
Bare	คือ“หลังคาเขียว”ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม
Ophiopogon	คือ“หลังคาเขียว”ที่มีชั้นดินและพืชปกคลุม
Raphis	คือการไหลของน้ำ

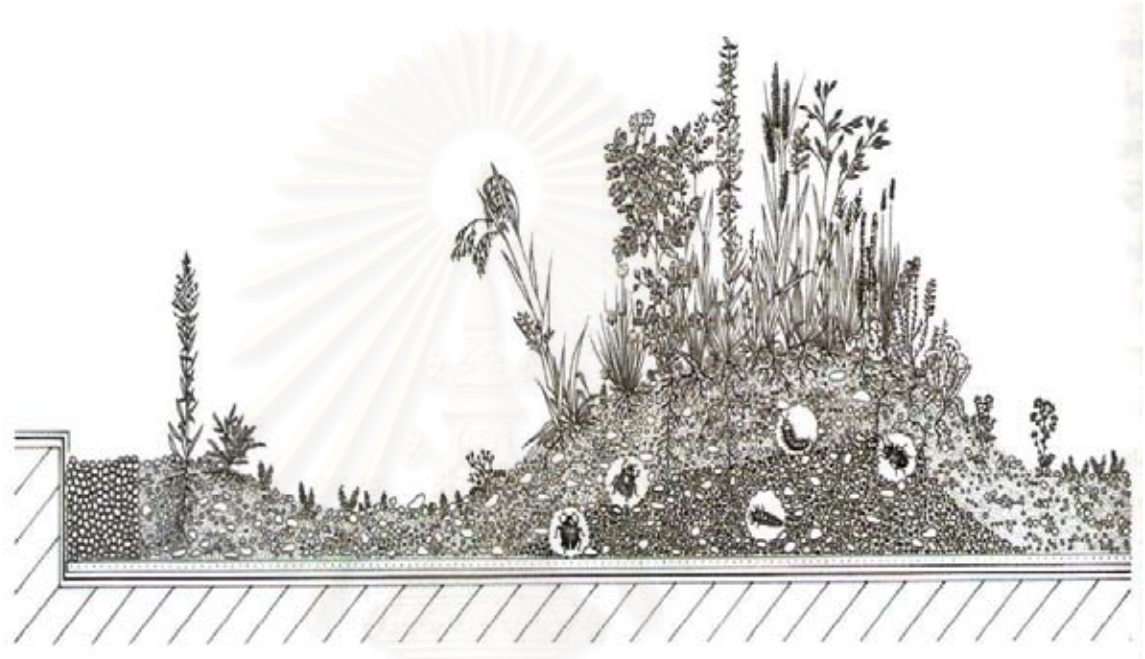
ภาพที่ 2.2 แผนภูมิรูปภาพในการทดลองวัดอุณหภูมิของพื้นผิว“หลังคาเขียว”ที่มีพืชปกคลุม “หลังคาเขียว”ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม และหลังคาปกติ (Dunnett and Kingsbury, 2004)

จากข้อมูลพบว่าหลังคาทั้ง 3 แบบ “หลังคาเขียว”ที่มีชั้นดินและพืชปกคลุม สามารถลดอุณหภูมิและชะลอการไหลของน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือ“หลังคาเขียว”ที่มีแต่ชั้นดินปกคลุม และสุดท้ายคือหลังคาปกติที่ลดอุณหภูมิและชะลอน้ำได้น้อยที่สุด

6. “หลังคาเขียว”ทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

ประโยชน์ของ“หลังคาเขียว”อีกอย่างหนึ่งคือเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต (natural habitat) และช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) โดยที่ชั้นดินของ”หลังคาเขียว” มักจะถูกใช้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกแมลงต่างๆ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความหลากหลายได้โดยที่แมลงที่มาอาศัยอยู่ใน“หลังคาเขียว”มีวงจรชีวิตและเป็นส่วนหนึ่งในห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้ยังเป็นอาหารให้สัตว์จำพวกนกด้วย มีงานวิจัยของสถาบันวิจัยที่ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ทำการศึกษาอาคารที่ทำ“หลังคาเขียว”พบว่า ในฤดูต่างๆสามารถพบนกหลากหลายชนิดมาอาศัยอยู่บนหลังคาเพื่อหาอาหาร ซึ่งนกที่พบนั้นตามปกติจะสามารถพบได้ใน

บริเวณป่า ทุ่งหญ้า อ่างเก็บน้ำ ไม่สามารถพบได้ในเขตเมือง ดังนั้น“หลังคาเขียว”จึงทำหน้าที่เสมือนเป็นเครื่องมือเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่สีเขียว (green corridoor) ในเมือง ยกตัวอย่างเช่น สวนสาธารณะ พื้นที่รกร้างว่างเปล่า และพื้นที่ว่างริมทางรถไฟ ทำให้เกิดเป็นพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ได้



ภาพที่ 2.3 ภาพตัดแสดงชั้นดินของ“หลังคาเขียว”ที่มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต (Dunnett and Kingsbury, 2004)

7. **“หลังคาเขียว”กับการจัดการน้ำ**

เมื่อฝนตกจะเห็นได้ชัดถึงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ที่ปกคลุมไปด้วยพืชกับพื้นที่ดาดแข็ง โดยพื้นที่ที่ปกคุลมไปด้วยพืชน้ำฝนที่ตกลงมาจะถูกดูดซับโดยชั้นดินและพืชบางส่วน จากนั้นน้ำที่เหลือจะไหลรวมไปสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ส่วนพื้นที่ดาดแข็งที่ถูกมนุษย์สร้างขึ้น น้ำไม่สามารถถูกดูดซับจึงไหลไปสู่ระบบระบายน้ำและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะตามลำดับ ร้อยละ 75 ของฝนที่ตกในเขตเมืองจะหายไปกับน้ำหลากที่ไหลลงสู่ระบบระบายน้ำ ไม่สามารถเก็บไว้ใช้ได้ น้ำที่ถูกระบายจากพื้นที่ดาดแข็งในเมืองสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยตรงทำให้คุณภาพของน้ำตามแม่น้ำลำคลองลดลง เนื่องจากน้ำได้ชะล้างนำสารเคมีที่ปนเปื้อนจากพื้นที่ดาดแข็งลงมาด้วย

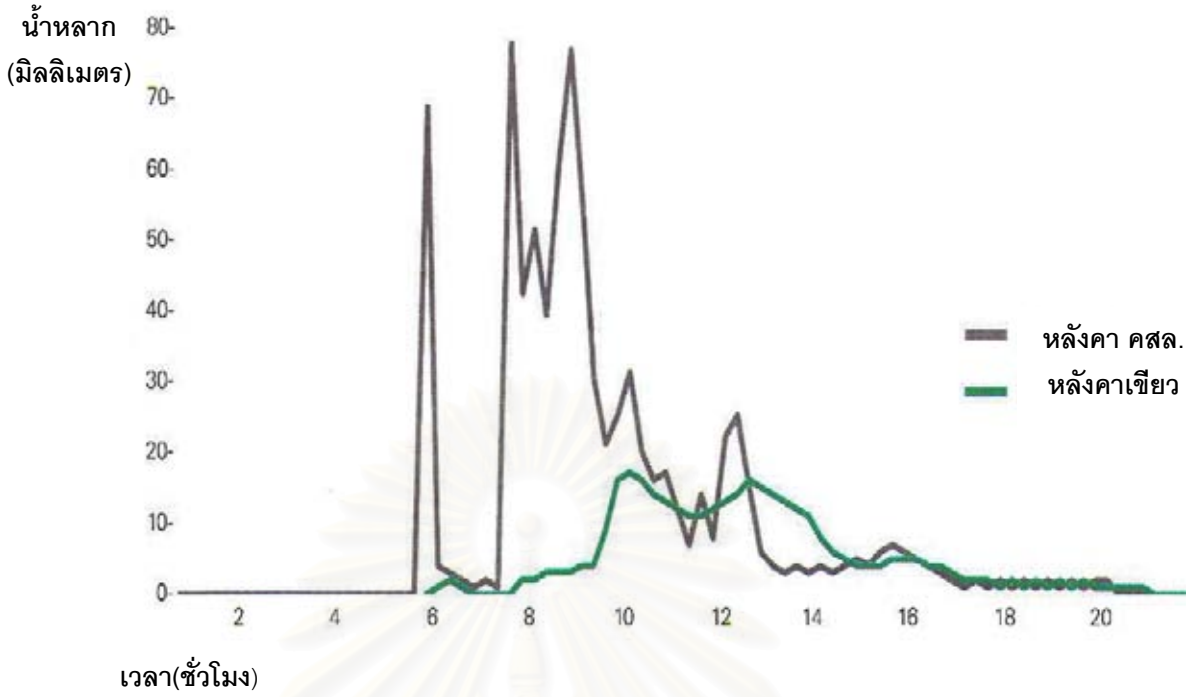
ฝนที่ตกลงมาอย่างหนักนำมาสู่ปัญหามากมายในเขตเมือง เมื่อหลังคาอาคารและถนนไม่สามารถดูดซับได้น้ำที่ล้นลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียตามบ้านเรือนจะชะล้างสารพิษหรือสิ่งปฏิกูล เช่น สารไฮโดรคาร์บอน โลหะหนัก คราบน้ำมัน สารเคมีต่างๆ สู่แหล่งน้ำทำให้ประสิทธิภาพของ

ระบบบำบัดลดลง ปัญหาที่หนักที่สุดก็คือการชะล้างหน้าดิน และน้ำท่วม การทำ "หลังคาเขียว"สามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ภาพที่ 2.4 ภาพวาดแสดงความแตกต่างระหว่างหลังคามุงกระเบื้องทั่วไปกับหลังคาที่มีการทำ "หลังคาเขียว"จะพบว่ารางระบายน้ำของหลังคามุงกระเบื้องมีปริมาณมากกว่า (Dunnett and Kingsbury, 2004)

"หลังคาเขียว"มีส่วนช่วยในการจัดการน้ำหลาก โดยน้ำฝนจะถูกดูดซับโดยช่องว่างระหว่างชั้นดิน หรือถูกชะลอให้ช้าด้วยชั้นวัสดุชะลอน้ำ ให้พืชมีเวลาในการดูดซับน้ำหรือบางส่วนที่ขังอยู่จะระเหยไปสู่ชั้นบรรยากาศ มีบางส่วนอาจค้างอยู่ตามใบของพืชที่ปลูกไว้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.5 แสดงการทดลองของ Kohler เปรียบเทียบน้ำหลากบนพื้นผิวหลังคาปกติ (คอนกรีตเสริมเหล็ก) กับหลังคาที่ทำ"หลังคาเขียว" (Dunnett and Kingsbury, 2004)

ความสามารถในการกักเก็บน้ำของ"หลังคาเขียว"มีหลายระดับ ขึ้นอยู่กับ ฤดูกาล ความลึกของชั้นวัสดุ จำนวนและรูปแบบของชั้นของวัสดุต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้าง"หลังคาเขียว" ความลาดชันของหลังคา พืชที่ใช้ปลูก และความเข้มของฝน ยกตัวอย่างงานวิจัยของ Rowe (Rowe, 2003) เปรียบเทียบระหว่าง หลังคาทั่วไปกับหลังคาที่มีการทำ"หลังคาเขียว"ในระดับความหนาของชั้นวัสดุที่แตกต่างกัน

รูปแบบหลังคา (Roof type)	**การไหลนอง (มิลลิเมตร) Runoff (mm)**	**การไหลนอง (ร้อยละ) Runoff (percent)**
หลังคามาตรฐาน (Standard)	665	81
หลังคามาตรฐานกับชั้นกรวดหนา 5 เซนติเมตร (Standard with 5 cm of gravel)	636	77
หลังคามาตรฐานกับชั้นวัสดุหนา 5 เซนติเมตร (Green roof with 5 cm of substrate)	409	50

หลังคามาตรฐานกับชั้นวัสดุหนา 10 เซนติเมตร (Green roof with 10 cm of substrate)	369	45
หลังคามาตรฐานกับชั้นวัสดุหนา 15 เซนติเมตร (Green roof with 15 cm of substrate)	329	40

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดสอบน้ำหลาก (run off) กับรูปแบบ"หลังคาเขียว"ที่มีชั้นวัสดุในความหนาต่างกัน

จะเห็นได้ชัดว่าค่าการไหลหลากระหว่างหลังคาทั่วไปกับหลังคาที่มีการทำ"หลังคาเขียว" นั้นมีความแตกต่างกันมาก ส่วน"หลังคาเขียว"ที่มีระดับชั้นวัสดุต่างๆกันมีค่าการไหลหลากของน้ำแตกต่างกันไม่มากนัก

8. **ช่วยลดมลภาวะในอากาศ**

ปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นในเมืองที่มีความหนาแน่นมาก มักเกิดขึ้นโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจของมนุษย์ โดยทั่วไปแล้ว มลภาวะไม่ใช่สาเหตุหลักของการเสียชีวิต แต่ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำลายระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ทำให้เสียชีวิตก่อนเวลาอันควร ในประเทศอังกฤษมีการประเมินว่าจะพบคนที่เสียชีวิตด้วยปัญหามลภาวะเป็นพิษเพิ่มขึ้นเป็น 24,000 คนต่อปี

อย่างที่รู้กันว่าพืชในเขตเมืองสามารถช่วยกรองสารพิษต่างๆออกจากอากาศได้เป็นอย่างดี จากการทดลองของ Peck (Peck et al.1999) พบว่าอาคารที่มีการทำ"หลังคาเขียว"สามารถลดสารโลหะหนักที่อยู่ในอากาศได้อย่างดี โดยพืชที่อยู่บน"หลังคาเขียว"สามารถลดปริมาณแคดเมียม (cadmium) ทองแดง (copper) และตะกั่ว (lead) ในอากาศได้ถึงร้อยละ95 และลดแร่สังกะสีได้ร้อยละ16

9. **ลดปัญหาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง** (Urban Heat Island Effect)

ในเมืองที่มีพื้นที่ดาดแข็งมาก อาคารบ้านเรือนหนาแน่น ประชากรสูง และมีการใช้พลังงานทั้งที่ผลิตเองและจากธรรมชาติอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ตัวอาคารนอกจากจะสะสมความร้อนจากธรรมชาติไว้ แล้วยังเป็นแหล่งผลิตความร้อนที่ไม่สามารถระบายได้เนื่องจากอาคารต่างๆบดบังทิศทางลมเอาไว้ ต้นไม้มีน้อย พื้นที่ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้มีมากขึ้น และปัจจัยอื่นๆอีกมากเกิดปัญหาต่างๆคือ กลางวันและกลางคืนมีอุณหภูมิสูง ความชื้นสูงขึ้น ปริมาณมลพิษใน

อากาศ เกิดหมอกควัน และปัญหาต่างๆอีกมาก สิ่งนี้ถูกเรียกรวมๆว่าปรากฏการณ์เกาะความร้อน (urban heat island effect)

หน้าที่หลักของพืชที่อยู่ในเขตเมืองคือ ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้เกิดกระบวนการระเหยของน้ำทั้งจากพืชและจากพื้นดิน ทำให้อากาศโดยรอบเย็นขึ้น ลดความร้อนจากพื้นผิวโดยรอบ ทำให้อากาศภายในเมืองดีขึ้น จึงบอกได้ว่า"หลังคาเขียว"เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการบรรเทาปัญหานี้ได้ เพราะนอกจากพื้นผิวดาดแข็งในเมืองที่เป็นอาคารหรือท้องถนนต่างๆแล้วส่วนที่ได้รับผลกระทบจากพลังงานความร้อนโดยตรงคือหลังคาของอาคารต่างๆ พืชที่ปลูกอยู่บน"หลังคาเขียว" จะช่วยดูดซับพลังงานความร้อนเอาไว้แล้วนำไปผลิตอาหารและยังทำให้เกิดกระบวนการระเหยได้

จากการทดลองอาคารที่มี"หลังคาเขียว"ต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองโตรอนโต (Toronto)ของ Bass พบว่าอาคารที่มี"หลังคาเขียว"นั้นสามารถบรรเทาปัญหาจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน โดยตัวอาคารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียง 0.5 องศาเซลเซียสเท่านั้น

10. ลดปัญหามลภาวะทางเสียง

พื้นที่ดาดแข็งภายในเมืองส่งผลต่อการสะท้อนของเสียง"หลังคาเขียว" สามารถใช้เป็นฉนวนในการดูดซับเสียงได้ มีการทดลองหลังคาเขียวที่มีความหนาของชั้นดิน 12 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดเสียงสะท้อนลงได้ 40 เดซิเบล (decibels) และในระดับชั้นดินที่มีความหนา 20 ซม. สามารถลดเสียงสะท้อนลงได้ 46-50 เดซิเบล ต่างประเทศมักจะนำหลังคาเขียวไปใช้กับอาคารหรือบ้านที่อยู่ใกล้ๆ กับบริเวณของสนามบินเพราะ สามารถบรรเทาปัญหาเรื่องเสียงได้ในระดับหนึ่ง

11. ช่วยชะลอการลุกลามการเกิดเพลิงไหม้

"หลังคาเขียว" ช่วยชะลอการเกิดเพลิงไหม้สู่หลังคาของอาคารได้เนื่องจากมีความชื้นอยู่ในชั้นดินและมีพืชอยู่ ยกตัวอย่างเช่น ในประเทศเยอรมัน เพื่อรักษาความชื้นของ"หลังคาเขียว" จึงทำการติดตั้งระบบหัวจ่ายน้ำเมื่อเกิดเพลิงไหม้ใน"หลังคาเขียว" ผลที่ได้คือสามารถหยุดการลุกลามของไฟสู่หลังคาของอาคารได้อย่างดี

สรุปประโยชน์จาก“หลังคาเขียว”

จากการรวมรวมข้อมูลของ Nigel and Noel “หลังคาเขียว” มีประโยชน์ต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อมมากมายทั้งระดับหลังคาเรือนจนถึงระดับเมือง โดยสามารถสรุปประโยชน์จาก“หลังคาเขียว”ได้ดังนี้ (Dunnett and Kingsbury, 2004)

1. สร้างงานให้มนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม
2. ลดอุณหภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island) ได้ถึง1-2 องศาเซลเซียส
3. ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน
4. สร้างพื้นที่นันทนาการทั้งที่เป็นพื้นที่สาธารณะและพื้นที่ส่วนตัว
5. เป็นแหล่งผลิตอาหารทั้งคนและสัตว์
6. ลดปริมาณก๊าซต่างๆที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกจากอาคารและที่เกิดจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island)
7. ลดปริมาณหมอกควันในเมืองได้ร้อยละ 5-10
8. ดักจับฝุ่นละอองโดยพืชที่ปลูกอยู่ใน “หลังคาเขียว”
9. มีประสิทธิภาพในการชะลอหรือหน่วงน้ำฝนที่ตกลงมา

2.1.3 ข้อควรคำนึงในการทำ“หลังคาเขียว”

“หลังคาเขียว”เป็นชั้นที่ถูกเพิ่มเติมโดยชั้นวัสดุต่างๆและพืชที่ใช้ปลูกบนหลังคาทั่วไป ซึ่งแตกต่างกับสวนหลังคา (roof garden) ตรงที่พืชถูกปลูกอยู่ในกระบะ และผู้ปลูกสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระ หรือเพิ่มเติมเข้าไปได้บนหลังคา ระเบียง หรือชานบ้าน (Peck and Kuhn 2000) ในการทำ“หลังคาเขียว”จะต้องมีชั้นของการระบายน้ำบรรจุอยู่บนวัสดุที่สามารถป้องกันหลังคาจากรากของพืชและน้ำจาก“หลังคาเขียว”ได้ ดังนั้นหากต้องการทำ“หลังคาเขียว” ควรจะคำนึงถึงหลักการต่างๆดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา

ในแต่ละประเทศหรือท้องถิ่นมีมาตรฐานการก่อสร้างหลังคาที่แตกต่างกันเนื่องมาจากวัสดุ การออกแบบ ภูมิอากาศ และวัฒนธรรมในพื้นที่นั้น การทำ“หลังคาเขียว” แบบปล่อย (extensive) นั้นจะมีน้ำหนักเบา ซึ่งหลังคาที่ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักตามปกติก็สามารถรองรับได้ โดยปกติ“หลังคาเขียว”แบบปล่อยในความลึกที่ 5-15 เซนติเมตร น้ำหนักจะอยู่ที่ 70-170 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หากเป็นการทำ“หลังคาเขียว”แบบดูแล (intensive) โครงสร้างหลังคาจะต้องถูกออกแบบมาเพื่อการรับน้ำหนักมาตั้งแต่ต้น หากมีการเพิ่มเติม “หลังคาเขียว”เข้าไป

ภายหลังการก่อสร้างจะต้องคำนึงถึงเรื่องการรับน้ำหนักของหลังคาอย่างมาก โดยปกติ “หลังคาเขียว”แบบดูแลน้ำหนักจะอยู่ที่ 290-970 กก./ตรม. การเลือกใช้วัสดุในการทำ“หลังคาเขียว” ให้มีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของหลังคานั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง

วัสดุ(Materials)	**น้ำหนักในระดับความหนาที่ 1 ซม. / ตรม.** Weight of a 1cm layer (kg per square meter)
หินลูกรัง (Gravel)	16-19
กรวด (Pebbels)	19
หินพิวมิซ (Pumice)	6.5
อิฐ (Brick)	18
ทราย (Sand)	18-22
หินผสมทราย (Sand and gravel mixed)	18
หน้าดิน (Topsoil)	17-20
น้ำ (Water)	10
หินลาวา (Lava)	8
หินภูเขาไฟ (Perlite)	5
แร่จำพวกซิลเกต (Vermiculite)	1
ดินไลก้า (ดินสังเคราะห์ LECA)	3-4

ตารางที่ 2.2 แสดงน้ำหนักของวัสดุส่วนหนึ่งที่มักถูกนำมาใช้ในการทำ“หลังคาเขียว” (Dunnett and Kingsbury, 2004)

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าน้ำหนักของวัสดุแต่ละชนิดที่ถูกนำมาทำ“หลังคาเขียว” หากลองเปรียบเทียบเป็นน้ำหนักต่อตารางเมตร อย่างเช่น กรวด(เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากที่ที่สุดในตาราง) ที่ความลึก 1 เซนติเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 19 กิโลกรัม เมื่อนำมาทำชั้นระบายน้ำสำหรับ “หลังคาเขียว” ความหนาของกรวดจะอยู่ที่ 5 เซนติเมตร ดังนั้นกรวดจะมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 95 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อรวมชั้นดินและพืชจะมีน้ำหนักประมาณ 125 ถึง 135 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และถ้าฝนตกมีความปริมาณ 90 มิลลิเมตร หาก“หลังคาเขียว”ทำการชะลอและดูดซับน้ำฝนไว้ทั้งหมด ทำให้น้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 215 ถึง 225 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ก็ยังพบว่าเพียงพอที่หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับน้ำหนักได้

2. **ความลาดชันของหลังคา** (Roof slope)

โดยปกติการทำ“หลังคาเขียว”สามารถทำบนหลังคาได้ทุกๆรูปแบบ แต่การทำ “หลังคาเขียว” ควรคำนึงในเรื่องความลาดชันของหลังคาและการลื่นไหลของวัสดุต่างๆ โดยปกติแล้วนิยมใช้ความลาดชันของหลังคาไม่เกิน 30 องศา หากหลังคาที่มีความลาดชันมากกว่า 30 องศาขึ้นไป ควรจะต้องพิจารณาในเรื่องของการนำวัสดุมาใช้ทำ“หลังคาเขียว”เพื่อไม่ให้วัสดุต่างๆลื่นไหลตามน้ำฝนที่ตกลงมา

3. **ลม** (Wind)

ลมสามารถทำให้เกิดปัญหาบริเวณขอบและมุมของวัสดุที่ใช้ทำ“หลังคาเขียว” ปกติจะพบว่า“หลังคาเขียว”ที่ไม่มีการออกแบบหรือยึดกับตัวหลังคาให้ดี ทำให้บริเวณมุมของวัสดุบรรจุเกิดการหลุดร่อน หรือเปิดออกเมื่อมีลมแรงมากระทบ สร้างความเสียหายต่อ“หลังคาเขียว”

4. **การชลประทาน** (Irrigation)

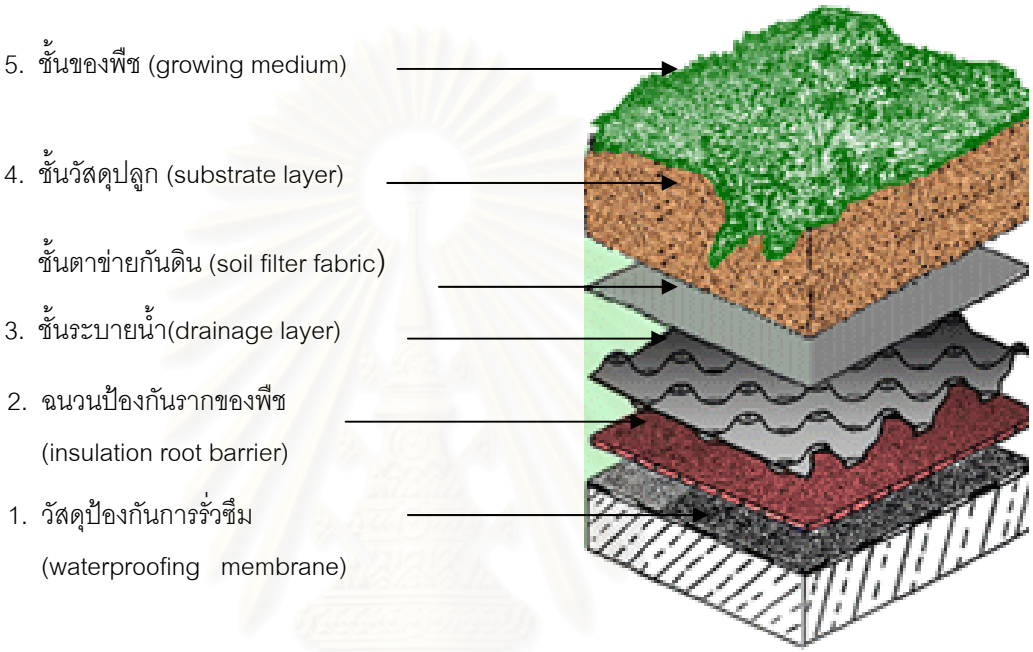
การวางระบบการให้น้ำต่อ“หลังคาเขียว” มีประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น สามารถนำน้ำในบ้านกลับไปใช้บนหลังคา พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี เป็นต้น โดยทั่วไปการทำระบบน้ำของ“หลังคาเขียว” มี 4 ประเภทคือ

1. ระบบหัวฉีดแบบสปริงเกอร์ (Sprinkler systems)
2. ระบบน้ำหยด (Drip systems)
3. ระบบฉีดน้ำแบบฝอย (Capillary systems)
4. ระบบรดน้ำทั่วไป เช่น การใช้สายยางรดน้ำต่อจากท่อน้ำประปา (Standing water systems)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 โครงสร้างของ “หลังคาเขียว”

การทำ“หลังคาเขียว”สามารถทำบนหลังคาได้หลายประเภท ข้อควรคำนึงต่างๆที่กล่าวในข้างต้นจะเป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจเรื่องของการก่อสร้างไม่ว่าจะการเลือกใช้วัสดุ หรือความหนาของชั้นดินหรือชั้นวัสดุต่างๆ จึงจำเป็นจะต้องมีการอธิบายในส่วนของชั้นวัสดุต่างๆให้พอเข้าใจเพื่อความถูกต้องในการก่อสร้าง



ภาพที่ 2.6 แสดงภาพตัดส่วนประกอบโครงสร้างของ“หลังคาเขียว”

1. ส่วนป้องกันการรั่วซึม (Weatherproof membrane หรือ Waterproof membrane)

เป็นชั้นของการป้องกันน้ำจาก“หลังคาเขียว”ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาอาคาร การทำ“หลังคาเขียว”ทุกที่จำเป็นต้องมีวัสดุในส่วนนี้อยู่ด้วย ในบางครั้งสามารถใช้วัสดุป้องกันการรั่วซึมป้องกันการทำลายพื้นผิวหลังคาจากรากของพืชได้เช่นกัน แต่ไม่เป็นที่นิยมนัก เนื่องจากวัสดุป้องกันการรั่วซึมนั้นไม่ได้ถูกสร้างมาใช้เฉพาะในส่วนของการป้องกันรากของพืช โดยปกติจะใช้วัสดุสังเคราะห์เช่น แผ่นพลาสติกเช่น แผ่นพีวีซี (PVC)หรือแผ่นยางสังเคราะห์ เช่น ยางที่มีส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอน หรือ อีพีดีเอ็ม (EPDM) การติดตั้งหรือการใช้งานขึ้นอยู่กับวัสดุนั้นๆ บางชนิดใช้การเชื่อมติดกับโครงสร้างหลังคาด้วยความร้อน บางชนิดเพียงแค่วางส่วนข้อต่อให้เหลื่อมซ้อนกันเท่านั้น ความหนาและขนาดของวัสดุขึ้นอยู่กับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุกันซึมที่เหมาะสมกับสภาพหลังคาแต่ละประเภทจะส่งผลดี

ต่อการทำ“หลังคาเขียว” ช่วยให้ลดความเสียหายของหลังคาที่เกิดจากรากของพืชและน้ำฝนที่ตกลงมาได้

2. **ส่วนป้องกันรากของพืช** (Root protection barrier)

เป็นชั้นของวัสดุที่วางลงไปบนวัสดุป้องกันการรั่วซึม ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พีวีซี (PVC) เพื่อไม่ให้รากของพืชไปทำลายวัสดุต่างๆให้เกิดความเสียหาย โดยปกติจะผลิตที่ความหนา 0.8-1.0 ซม. การใช้งานเพียงนำไปวางบนหลังคาจากติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมแล้ว

3. **ชั้นการระบายน้ำ** (Drainage layer)

เมื่อชั้นดินได้รับน้ำจากฝนหรือน้ำจากที่อื่น น้ำที่ตกลงมาจะมีแรงกระทำต่อโพรงอากาศในชั้นดิน ทำให้ดินอัดตัวกันแน่นและอิ่มตัว ทำให้น้ำไม่สามารถระบายออกได้ ในบางครั้งหากมีน้ำปริมาณมากอาจล้นและนำดินออกจากส่วนนั้นๆไปด้วย ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบระบายน้ำของอาคารและพืช ดังนั้นชั้นระบายน้ำเป็นส่วนที่รองจากชั้นดินของ”หลังคาเขียว” มีหน้าที่รองรับและระบายน้ำออกจากชั้นดินที่อิ่มตัวจากน้ำ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการชะลอน้ำฝนไม่ให้ไหลลงไปรวมกันอย่างรวดเร็ว สถาบันวิจัยในประเทศเยอรมันพบว่า *(Nigel and Noel, 2004)* ชั้นการระบายน้ำสามารถชะลอและกักเก็บน้ำได้ในระดับหนึ่ง และพืชสามารถดูดซับน้ำที่ถูกชะลอการระบายออกไปใช้ได้ในช่วงที่มีภูมิอากาศแห้งแล้ง วัสดุที่นำมาใช้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ได้แก่

1) วัสดุที่มีลักษณะเป็นเศษหรือเม็ดเล็กๆ (Granular materials) เช่น กรวดขนาดเล็ก เศษหิน เศษอิฐ หินลาวา (lava rock) หินพิวมิซ (pumice) ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะทนแรงกดจากน้ำและน้ำหนักของดินและพืชได้ และเมื่อนำไปใช้จะต้องมีโพรงอากาศพอที่จะระบายน้ำและชะลอน้ำได้ปกติจะมีความหนา 6 เซนติเมตร หรือ 2 นิ้ว

2) วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นและมีรูพรุน (Porous mats) เช่น ฟองน้ำ หรือใช้วัสดุเหลือใช้เช่นเบาะต่างๆ แต่ควรระวังการใช้วัสดุที่มีการดูดซึมน้ำมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดผลลบต่อพืชที่ปลูกได้ เช่นทำให้รากเน่า

3) พลาสติกน้ำหนักเบาหรือ แผ่นระบายน้ำสังเคราะห์ (Lightweight plastic or polystyrene drainage modules) เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักเบาแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของดินและน้ำได้ ให้ผลในการระบายน้ำสูง มีความหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร ปกติจะผลิตเป็นอุตสาหกรรมถึงแม้จะติดตั้งได้ง่ายแต่ก็ยังมีราคาแพง

ภาพที่2.7 แสดงตัวอย่างการปูแผ่นระบายน้ำสังเคราะห์บนวัสดุป้องกันรากของพืช

4. **ชั้นดินปลูกหรือวัสดุปลูก** (Growing medium or substrate)

เป็นชั้นของวัสดุที่นำมาปลูกเพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนประกอบวัตถุดิบที่ใช้ผสมเป็นดินปลูกขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่จะนำมาปลูกและสภาพพื้นที่ต่างๆ โดยทั่วไปแล้วความหนาของชั้นดินจะมีตั้งแต่ 2.5 ถึง 10 เซนติเมตร ซึ่งหากมีความหนามากกว่านี้อาจจะมีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ เรื่องจากจะต้องเผื่อในเรื่องของวัสดุการทำ“หลังคาเขียว” ในชั้นอื่นๆ และเรื่องน้ำหนักของน้ำเช่นกัน

2.2 การเลือกใช้วัสดุเพื่อชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว”

จากการศึกษาที่ผ่านมาการทำ“หลังคาเขียว”เป็นที่นิยมกันมากในแถบยุโรปซึ่งเรียกได้ว่าเป็นต้นกำเนิดของ“หลังคาเขียว” วัสดุชะลอน้ำสำหรับ”หลังคาเขียว”ที่นำมาใช้มักเป็นวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ทั่วไปในท้องถิ่นแถบประเทศยุโรป วัสดุบางชนิดในประเทศไทยหาได้ยากและมีราคาแพง แต่ปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้กันทั่วไปคือวัสดุสังเคราะห์ มีการผลิตแบบอุตสาหกรรมที่ถูกพัฒนาให้มีคุณภาพดี ซึ่งไม่มีการผลิตในประเทศไทยและราคาค่อนข้างแพง (พชร, 2547)

1. **วัสดุชะลอน้ำ**

ในการเลือกใช้วัสดุชะลอน้ำไม่มีการเรียบเรียงเป็นเอกสารเฉพาะ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาเรื่องวัสดุทำ“หลังคาเขียว”ที่นิยมใช้กันในต่างประเทศ พบว่ามีวัสดุดังต่อไปนี้ เศษกระเบื้อง อิฐหัก หินลูกรัง กรวด เศษปูน(จากจากการก่อสร้าง) หินลาวา หินภูเขาไฟ หินพิวมิซ (Earth Pledge, 2005) ทำให้ทราบในขั้นต้นว่าวัสดุที่นำมาทำวัสดุชะลอน้ำควรมีข้อพิจารณาดังนี้ (Dunnett and Kingsbury, 2004)

-เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น

-เป็นวัสดุเหลือใช้และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle)

-มีขนาดไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไป (ขึ้นอยู่กับวัสดุและการพิจารณาเลือกใช้)

-ทนต่อแรงกดและไม่อัดตัวกันแน่นเมื่ออิ่มตัวจากน้ำ

-ราคาถูก

2. **วัสดุปลูก**

จากการศึกษาพบว่าข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุชะลอน้ำในขั้นต้น มีหลักเกณฑ์ในบางส่วนที่เหมือนกับการเลือกใช้วัสดุปลูกสำหรับพืช วัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดทางทฤษฎีต้องมีคุณสมบัติดังนี้ (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.)

-คุณสมบัติรักษาอัตราส่วนของน้ำและอากาศให้เหมาะสม อัตราส่วนของ น้ำ :อากาศ ที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ = 50 : 50

- ไม่มีการอัดตัวหรือยุบตัวเมื่อเปียกน้ำหรือเมื่อใช้ไปนานๆ

- ไม่สลายตัวทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ

- รากพืชสามารถแพร่กระจายได้สะดวกทั่วทุกส่วนของวัสดุปลูก

- ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืชเจือปนอยู่

- มีคุณสมบัติเฉื่อยทางเคมี คือไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหารและกับภาชนะที่ใช้บรรจุ

- เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (C.E.C.) ต่ำหรือไม่มีเลย เพื่อจะได้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืชที่อยู่ในวัสดุปลูก

-ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรค

-สามารถนำวัสดุปลูกไปฆ่าเชื้อและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย

วัสดุปลูกที่เหมาะสมและนิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ ทราย พีท (ซากพืชที่อยู่ในหนองน้ำและยังสลายตัวไม่สมบูรณ์) สแฟกนัมมอส (พืชที่ขึ้นตามหนอง บึง นำมาทำให้แห้ง) เวอร์มิคูไลท์ เปลือกมะพร้าว (กาบมะพร้าวหรือขุยมะพร้าว) เปลือกไม้หรือกิ่งไม้ขนาดเล็ก เม็ดพลาสติก สังเคราะห์ ใบไม้แห้ง เม็ดดินเผา ถ่านไม้ โฟม (มุกดา, 2547)

3. **สรุปการเลือกวัสดุเหลือใช้เพื่อนำมาใช้ชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว”**

จากเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ในการนำวัสดุมาทดลองจำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกที่เหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปเป็นหลักในการเลือกใช้วัสดุและได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น
2. เป็นวัสดุเหลือใช้และนำกลับมาใช้ใหม่ได้
3. มีขนาดไม่เล็กจนเกินไปและไม่ใหญ่จนเกินไป(ขึ้นอยู่กับวัสดุและการพิจารณาเลือกใช้)
4. ทนต่อแรงกดและไม่อัดตัวกันแน่นเมื่ออิ่มตัวจากน้ำ
5. ไม่สลายตัวหรือสลายตัวได้ช้าทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ
6. ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรค
7. ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืชเจือปนอยู่
8. ราคาถูก

2.3 **การศึกษาด้านวิศวกรรมชลศาสตร์** (Hydraulic engineering)

การศึกษาด้านวิศวกรรมชลศาสตร์นั้นมีความสำคัญต่อวิทยานิพนธ์นี้เช่นกัน เนื่องจากการทดลองจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับอุทกวิทยาในเบื้องต้น เพื่อให้เข้าใจถึงความสำคัญในเรื่องการระบายน้ำและนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบ และวิเคราะห์ผลการทดลอง (กีรติ, 2542)

1. **อุทกวิทยา** (hydrology)

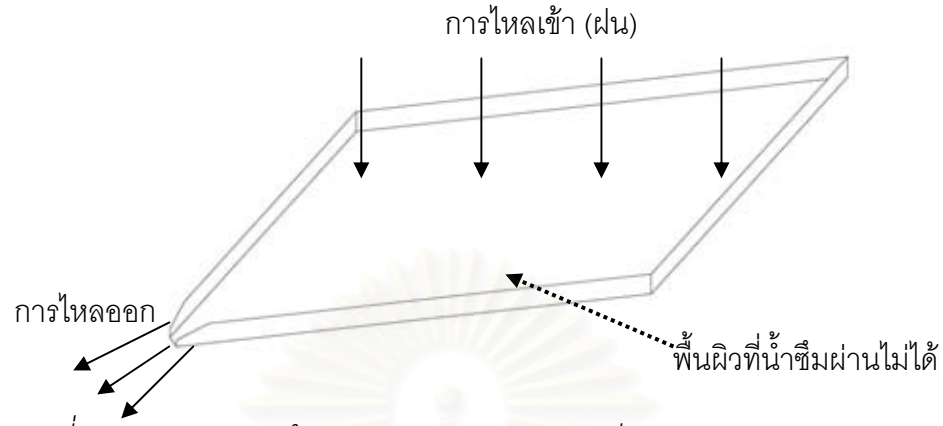
เป็นวิชาการแขนงหนึ่งที่ว่าด้วยเรื่องน้ำเป็นหลัก ซึ่งจะศึกษาการเกิด การเคลื่อนที่การหมุนเวียน การเปลี่ยนแปลง การแผ่กระจายตัวของน้ำ และคุณสมบัติของน้ำ การเรียนรู้อุทกวิทยาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้มากมายเช่น การระบายน้ำ การควบคุมน้ำท่วม การควบคุมการกัดเซาะ เป็นต้น

ในวงจรอุทกวิทยาจะเป็นการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงของน้ำในส่วนต่างๆอยู่ตลอดเวลา โดยจะไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของขบวนการเปลี่ยนแปลง ระบบวงจรอุทกวิทยาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบย่อยคือ

1. น้ำในบรรยากาศ
2. ระบบน้ำผิวดิน
3. ระบบน้ำใต้ผิวดิน

และเพื่ออธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์เกี่ยวกับตัวแปรต่างๆในวงจรอุทกวิทยาในเบื้องต้น จะแสดงแบบจำลองอุทกวิทยาอย่างง่าย(simple hydrologic system model)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบจำลองอุทกวิทยาอย่างง่าย (กีรติ, 2542)

2. **น้ำจากอากาศ** (Precipitation)

น้ำจากอากาศหรือหยาดน้ำฟ้า เกิดจากการที่ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศได้รับความเย็นและกลั่นตัว จากนั้นมีการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นมีน้ำหนักมากขึ้นกว่าแรงลอยตัวในอากาศจึงตกลงมาเป็นเม็ดเล็กๆ สู่ผิวโลกเป็นของเหลว เช่น ฝน หรือเป็นของแข็ง เช่น ลูกเห็บ (hail) หรือรูปของผลึกน้ำแข็ง เช่น หิมะ

รูปแบบของน้ำจากอากาศ (forms of precipitation) โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งตามขนาดและสภาวะของน้ำ ดังต่อไปนี้ 1)ฝนละออง (drizzle) เส้นผ่าศูนย์กลางจะอยู่ในช่วง 0.1 มิลลิเมตร ถึง 0.5 มิลลิเมตร โดยอัตราการตกหรือความเข้มฝนไม่เกิน 1 มม./ชม. 2)ฝน (rain) เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.5 มิลลิเมตร 3)ฝนปรอยน้ำแข็ง (glaze) 4)ฝนน้ำแข็ง (rime) 5)หิมะ (snow) 6)ลูกเห็บ(hail) 7)เม็ดน้ำแข็งเล็กๆ (sleet) สำหรับประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา แบ่งการรายงานฝนตามปริมาตรน้ำฝนดังตาราง 2.2 2.3 และ

ลักษณะของฝน	**ปริมาณน้ำฝน**
ฝนวัดจำนวนไม่ได้	P < 0.1 มม.
ฝนเล็กน้อย	0.1 มม. <= P <=10 มม.
ฝนปานกลาง	10.1 มม. <= P <= 35 มม.
ฝนหนัก	35.1 มม. <= P <= 90 มม.
ฝนหนักมาก	90.1 มม. <= P

หมายเหตุ P คือ ปริมาณน้ำฝน (มม.) ที่ตกใน 1 วัน

ตารางที่ 2.3 การรายงานลักษณะของฝน

ประเภทฝน	ความเข้มฝน (มม./ชม.)
ฝนตกเล็กน้อย	1-5
ฝนตกปานกลาง	5-10
ฝนตกหนัก	10-20
ฝนตกหนักมาก	มากกว่า 20

ตารางที่ 2.4 การรายงานประเภทฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

จากตารางที่ 2.3 และ 2.4 ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาของผลการทดลองได้ เนื่องจากลักษณะและประเภทของฝนอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ที่คัดเลือกมาทำการทดลอง

4. **ฝนในกรุงเทพมหานคร**

ฤดูฝนในกรุงเทพฯ เริ่มจากกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม สำหรับช่วงต้นฤดูฝนคือกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน กรุงเทพฯ จะอยู่ภายใต้อิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตลอดช่วงฤดูฝนจนถึงเดือนสิงหาคม ในช่วงปลายฤดูฝนคือเดือนกันยายนลมมรสุมจะเลื่อนมาอยู่บริเวณอยู่บริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งลมมรสุมช่วงนี้มีกำลังแรง และเคลื่อนตัวไปบริเวณอ่าวไทยในปลายเดือนตุลาคม ทำให้เดือนกันยายนโดยปกติแล้วจะเป็นเดือนที่มีฝนตกมากที่สุดโดยเฉลี่ยมากกว่า 300 มิลลิเมตร (กีรติ, 2542)

ดังนั้นการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการเลือกช่วงที่มีลมมรสุมกำลังแรง ในภาคกลางของประเทศ ซึ่งก็คือช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม ทำการทดลอง“หลังคาเขียว”

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ“หลังคาเขียว”

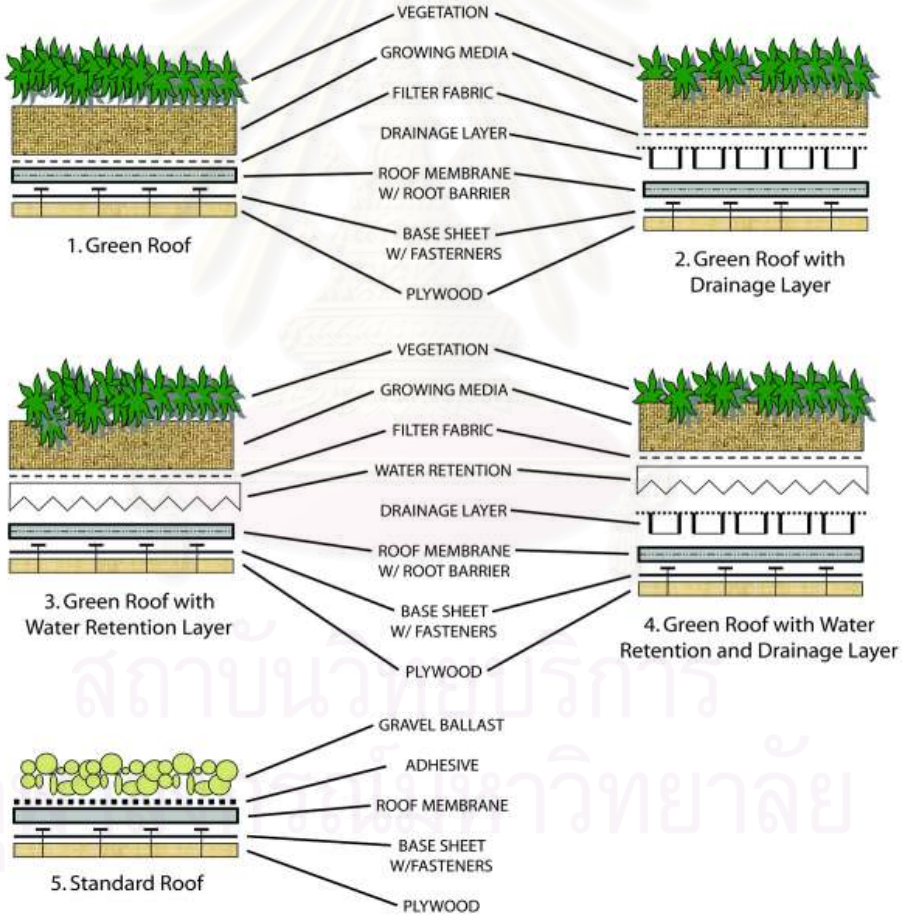
ในประเทศไทยการทำ“หลังคาเขียว”ยังไม่เป็นที่รู้จักและแพร่หลาย รวมทั้งเอกสารประกอบการวิจัยที่สามารถหาได้ยังมีน้อยและเป็นของต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อศึกษาวิธีการทำ“หลังคาเขียว” และประโยชน์ต่างๆ รวมทั้งยังเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลองได้

จากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ“หลังคาเขียว”ทำให้พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ“หลังคาเขียว”ที่มีต่อสภาพแวดล้อม ทั้งเรื่องของการลดอุณหภูมิภายในอาคาร การลดมลพิษ การจัดการน้ำฝน และอื่นๆ เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้เกี่ยวข้องกับ

การทดลองวัสดุชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว” จึงนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำฝนมานำเสนอเป็นข้อมูลดังนี้

1. **การทดลอง** Green roof Monitoring Experiment **ในปี ค.ศ.** 2006 **โดยอาจารย์** Margaret Reese, Elizabeth Malcolm, Maynard Schaus **และนักศึกษามหาวิทยาลัย** Virginia Wesleyan **รัฐเวอร์จิเนีย** (Virginia) (Greenroof Monitoring Experiment, n.d.)

ทดสอบประโยชน์ของ“หลังคาเขียว”ในเรื่องของการจัดการน้ำฝน ลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน การเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ การยืดอายุการใช้งานของหลังคา ในการศึกษานี้ จำลอง“หลังคาเขียว”ออกเป็น 4 รูปแบบ รวมทั้งหลังคาแบบมาตรฐานที่มีชั้นกรวดอยู่ด้านบนอีก 1 รูปแบบดังรูป



ภาพที่2.9 แสดงภาพตัด “หลังคาเขียว” ที่ถูกออกแบบไว้โดยนักศึกษามหาวิทยาลัย Virginia Wesleyan รัฐเวอร์จิเนีย (Virginia)

“หลังคาเขียว”แบบที่ 1 คือ “หลังคาเขียว” ที่ไม่มีชั้นการระบายน้ำ

“หลังคาเขียว”แบบที่ 2 คือ “หลังคาเขียว” ที่มีชั้นการระบายน้ำ

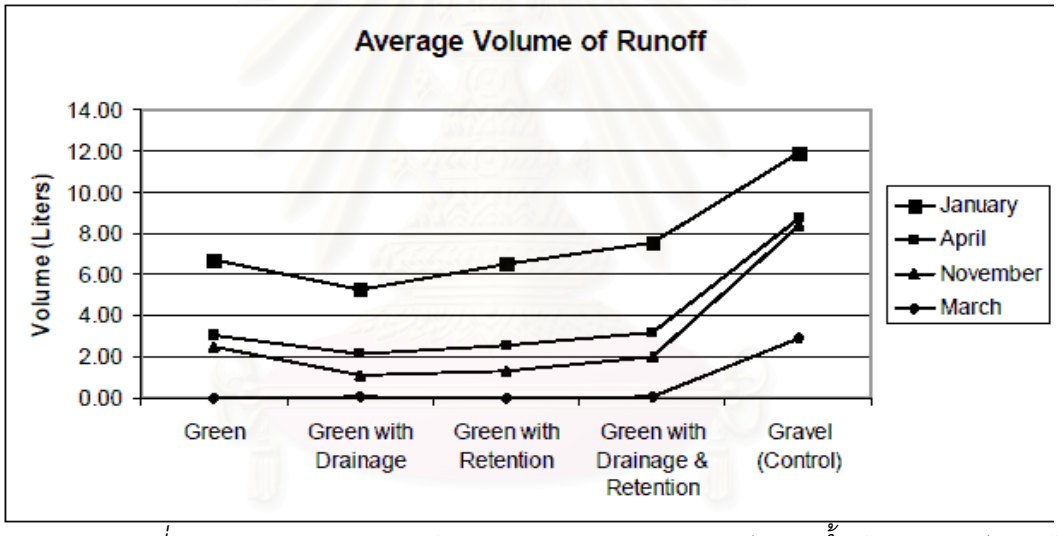
“หลังคาเขียว”แบบที่ 3 คือ “หลังคาเขียว” ที่มีชั้นวัสดุสำหรับหน่วงน้ำ

"หลังคาเขียว"แบบที่ 4 คือ "หลังคาเขียว" ที่มีชั้นการระบายน้ำและมีชั้นของวัสดุสำหรับหน่วงน้ำ

"หลังคาเขียว"แบบที่ 5 คือ หลังคาแบบมาตรฐานที่มีชั้นหินอยู่ด้านบน

วิธีการทดลองคือ สร้างกระบะทดลองขนาด 0.90x1.20x0.20 เมตร ทำการบรรจุวัสดุต่างๆ ตามรูปแบบ"หลังคาเขียว" ที่ออกแบบการทดลองไว้แล้ว โดยแบ่งออกเป็น "หลังคาเขียว" แบบละ 2 กระบะ แต่ละกระบะต่อเชื่อมด้วยถังรองน้ำด้านล่าง จากนั้นตั้งทิ้งไว้กลางแจ้งและรอให้ฝนตก ทำการเก็บข้อมูลในเดือนมกราคมจนถึงเดือนธันวาคม โดยวัดปริมาณน้ำฝนในถังรองน้ำในแต่ละครั้งที่กักเก็บได้ จากนั้นจึงเททิ้งและต่อเชื่อมถังน้ำกับกระบะทดลองในสภาพเดิม

เมื่อนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการจัดการน้ำฝนสามารถแสดงเป็นแผนภูมิรูปภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภูมิรูปภาพของการทดสอบการจัดการน้ำฝนของ"หลังคาเขียว" รูปแบบต่างๆ

จากรูปที่2.9 พบว่าหลังคาในแบบต่างๆสามารถชะลอน้ำได้ต่างกัน โดยเฉพาะหลังคาในแบบที่ 2 คือ "หลังคาเขียว" ที่มีชั้นการระบายน้ำ สามารถชะลอน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือหลังคาในแบบที่ 3,1,4 และ5 ตามลำดับ

จากภาพที่ 2.8 พบว่าการทดลองดังกล่าวมีการเพิ่มเติมชั้นหน่วงน้ำ (water retention layer) เข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชะลอน้ำ แต่จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า "หลังคาเขียว"แบบที่มีชั้นหน่วงน้ำ มีประสิทธิภาพการชะลอน้ำน้อยกว่า"หลังคาเขียว"แบบที่มีแต่ชั้นระบายน้ำ

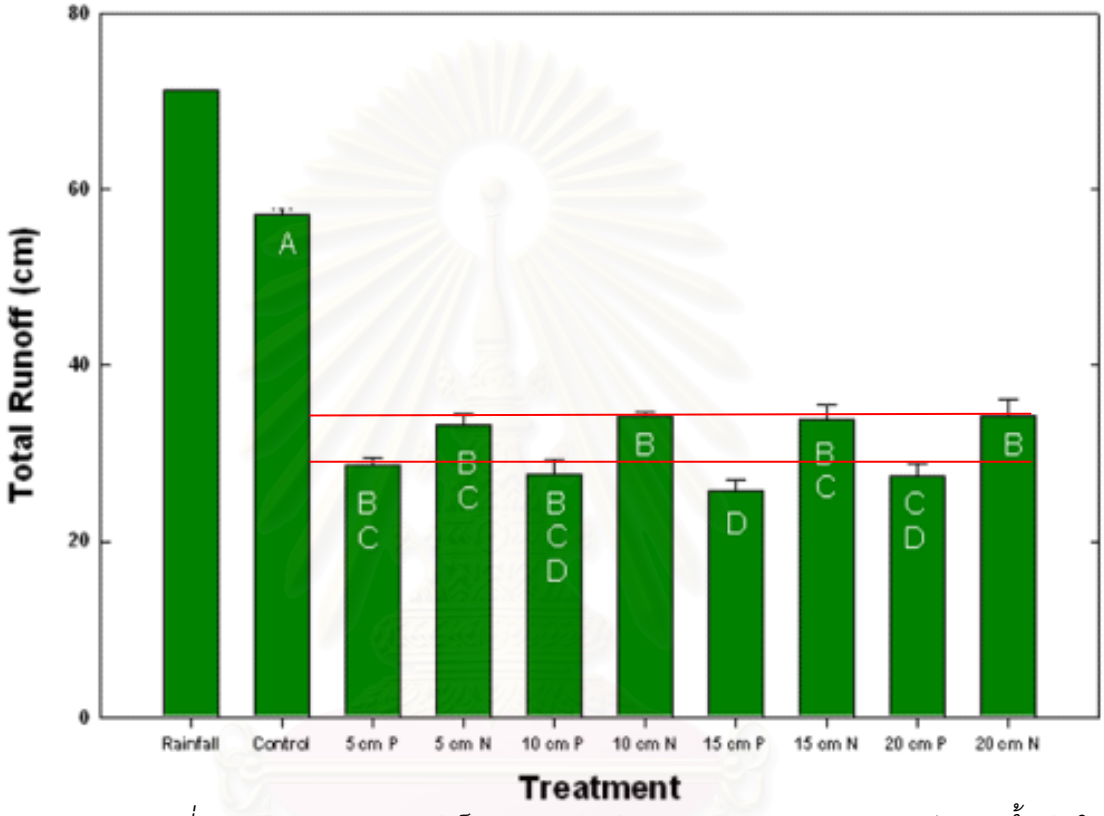
2. **การทดลอง**Green Roof Environmental Evaluation Network (G.R.E.E.N.) **ในปี ค.ศ.** 2005 **ของ** Dr.Bill Retzlaff **แห่งมหาวิทยาลัยเซาท์เทรินอิลลินอยซ์** (Southern Illinois) (The G.R.E.E.N. research report, n.d.)

การทดสอบความสามารถในการจัดการน้ำฝนของ“หลังคาเขียว” โดยการทดลองในกระบะขนาด 0.70x0.70 เมตร แบ่งระดับความลึกของชั้นวัสดุและดินที่ต่างกันคือ ระดับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร และ20 เซนติเมตร ระดับความลึกละ 4 กระบะ และแบ่งเป็นแบบที่ปลูกพืชครึ่งหนึ่งและไม่ปลูกพืชอีกครึ่งหนึ่ง รวมได้ทั้งหมด 32 กระบะ โดยส่วนประกอบแต่ละกระบะประกอบด้วย แผ่นวัสดุกันซึมติดทับกับแผ่นไม้อัดในชั้นล่างสุดของกระบะ และวางทับด้วยวัสดุในชั้นระบายน้ำ ซึ่งเรียกว่าแผ่น JRD ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ จากนั้นจึงเททับด้วยชั้นดินในความลึกต่างๆที่กำหนดไว้ข้างต้น และปลูกพืชบนกระบะในจำนวนที่กำหนดไว้ จากนั้นต่อเชื่อมในแต่ละกระบะด้วยถังรองน้ำ

การเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่เดือน กันยายนของปี ค.ศ. 2005 และสิ้นสุดที่เดือนกันยายนปี ค.ศ. 2006 เป็นเวลา 1 ปี ทำการบันทึกข้อมูลในแต่ละวันที่สามารถกักเก็บน้ำฝนได้ในถังรอง และชั่งน้ำหนักของน้ำที่กักเก็บได้ จากนั้นจึงเทน้ำทิ้งและทำการเชื่อมต่อถังรองเข้าไป จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ SAS ซึ่งจะทำการประมวลผลและการชะลอน้ำและประมวลผลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศในตลอดช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล

ภาพที่ 2.11 แสดงกระบะทดลองรูปแบบต่างๆทั้งหมด 32 กระบะ

ผลการทดลองพบว่า ในตลอด 1 ปีที่ทำการทดลอง สามารถกักเก็บน้ำฝนได้ทั้งสิ้น 69 ครั้ง โดยที่“หลังคาเขียว”แบบไม่ปลูกพืช สามารถชะลอน้ำโดยเฉลี่ยร้อยละ 52 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา และ“หลังคาเขียว” แบบปลูกพืชสามารถชะลอน้ำได้เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 61 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา

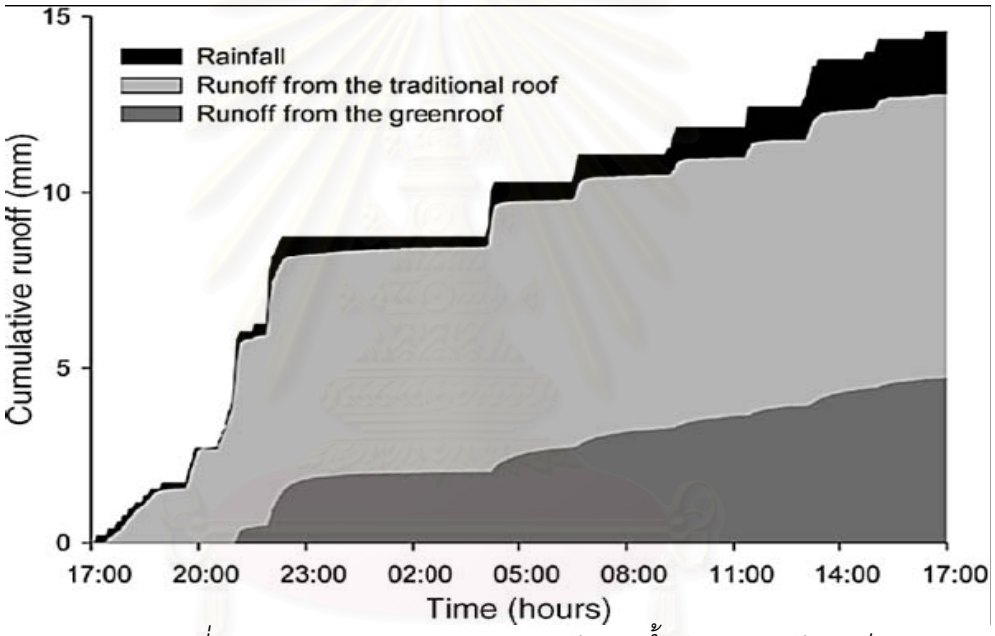


ภาพที่ 2.12 แสดงผลสรุปเป็นแผนภูมิรูปภาพของการทดลองการจัดการน้ำฝนในระดับชั้นวัสดุที่แตกต่างกัน P คือกระบะที่ปลูกพืช และ N คือกระบะที่ไม่ได้ปลูกพืช

จากรูปจะพบว่า “หลังคาเขียว”แบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืชสามารถชะลอและกักเก็บน้ำได้ต่างกันมาก แต่พบว่าในระดับของชั้นดินและวัสดุในที่มีความแตกต่างความสามารถในการชะลอและเก็บน้ำนั้นจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก จุดที่น่าสนใจอีกจุดหนึ่งคือ ในระดับความลึก 15 เซนติเมตร ทั้งแบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช สามารถชะลอและเก็บน้ำได้ดีกว่าระดับความลึก 20 เซนติเมตร สาเหตุเนื่องมาจากกระบะที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีน้ำหนักของชั้นดินไปกดทับวัสดุระบายน้ำสังเคราะห์มาเกินไป จึงทำให้ประสิทธิภาพในการชะลอน้ำลดลง

3. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century **โดย** Joreon Mentens , Dirk Raes , Martin Hermy (Landscape and Urban Planning, 2006)

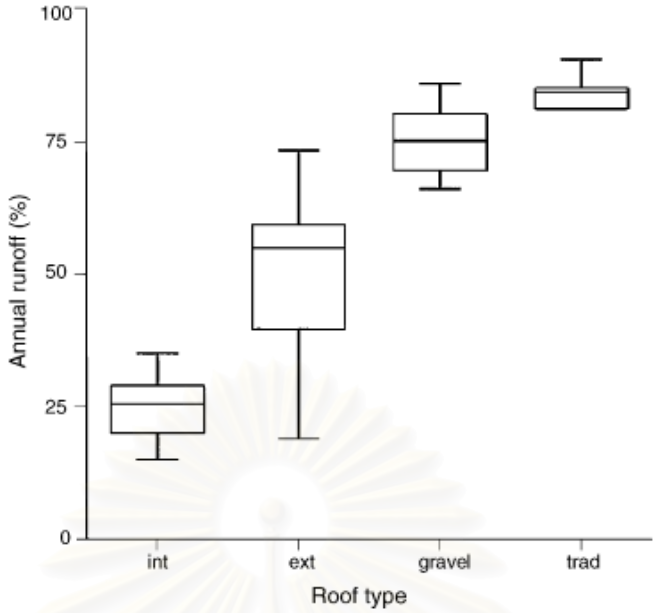
ทำการทดสอบ“หลังคาเขียว” 3 แบบและหลังคาปกติ รวมทั้งหมด 4 แบบ โดยครั้งแรกทำการพิสูจน์ความสามารถของ“หลังคาเขียว” ว่ามีความสามารถในการจัดการน้ำฝนได้อย่างดี จากรูปแสดงให้เห็นว่า“หลังคาเขียว”สามารถลดปริมาณน้ำหลากได้อย่างดีโดยดูจากพื้นที่สีเทาเข้มซึ่งมีพื้นที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่สีเทาอ่อนซึ่งแสดงถึงหลังคาที่ไม่ได้ทำ“หลังคาเขียว”



ภาพที่ 2.13 แสดงผลการทดสอบการจัดการน้ำฝนของ”หลังคาเขียว”

ขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้กำหนด“หลังคาเขียว”ทั้งหมด 3 แบบ คือ 1)แบบดูแล (ความลึกของชั้นดิน ชั้นระบายน้ำ และชั้นฉนวนป้องกันราก รวม 350มิลลิเมตร) 2)แบบปล่อย (ความลึกของชั้นดิน ชั้นระบายน้ำ และชนวนป้องกันรากของพืช รวม 150มิลลิเมตร) 3)แบบที่ใส่กรวดเท่านั้น (ความลึกของชั้นกรวด 50มิลลิเมตร) และ 4)แบบที่ไม่มี“หลังคาเขียว” รวมทั้งหมด 4แบบนำมาทดสอบประสิทธิภาพการชะลอน้ำ

ทำการเก็บข้อมูลตลอดปี ค.ศ. 2004 โดยบันทึกปริมาณน้ำฝนด้วยอุปกรณ์อิเลคทรอนิคที่ติดตั้งไว้กับหลังคาแบบต่างๆ และประเมินผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.14 แสดงผลการทดสอบการจัดการน้ำในของหลังคาทั้ง 4 แบบ

จากการเก็บข้อมูลตลอดปีพบว่า“หลังคาเขียว”แบบดูแล (int) สามารถลดปริมาณการไหลนองได้ดีที่สุด โดยวัดปริมาณน้ำที่ออกมาจากหลังคาเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 19 ถึง 25 รองลงมาคือแบบปล่อย (ext) วัดปริมาณน้ำที่ออกมาจากหลังคาโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 37 ถึง 60 และแบบที่มีชั้นของกรวด (gravel) วัดปริมาณน้ำที่ออกมาจากหลังคาโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 67 ถึง 80 สุดท้ายคือแบบทั่วไป (trad) วัดปริมาณน้ำที่ออกมาจากหลังคาโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 82 ถึง 87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวัสดุสำหรับชะลอน้ำในการทำ“หลังคาเขียว”จากวัสดุที่ต่างกัน โดยทำการทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาออกแบบงานวิจัย และคัดเลือกวัสดุที่นำมาทดสอบ การออกแบบการทดลอง การเตรียมเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดสอบ การเก็บและการบันทึกข้อมูล การประมวลผลข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้วัสดุสำหรับชะลอน้ำใน“หลังคาเขียว”

3.1 ขั้นเตรียมการเก็บข้อมูล

3.1.1 การกำหนดวัสดุชะลอน้ำ

จากบทที่ 2 เรื่องการเลือกใช้วัสดุเพื่อชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว” ทำให้สามารถสรุปหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุทั้ง 10 ข้อ รวมทั้งสามารถเลือกวัสดุที่ควรนำมาใช้ในการทดลองและแสดงเป็นตารางเพื่อได้ดังต่อไปนี้

<u>สรุปหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุสำหรับ“หลังคาเขียว”</u>

1. เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น
2. เป็นวัสดุเหลือใช้และนำกลับมาใช้ใหม่ได้
3. มีขนาดไม่เล็กจนเกินไปและไม่ใหญ่จนเกินไป
   (ขึ้นอยู่กับวัสดุและการพิจารณาเลือกใช้)
4. ทนต่อแรงกดและไม่อัดตัวกันแน่นเมื่ออิ่มตัวจากน้ำ
5. ไม่สลายตัวหรือสลายตัวช้าทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ (มีอายุการใช้งานนาน)
6. ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรค
7. ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืชเจือปนอยู่
8. ราคาถูก

หลักเกณฑ์ข้อที่ / วัสดุ	1	2	3	4	5	6	7	8
เศษกระเบื้อง	■	■	■	■	■	■	■	■
อิฐหัก	■	■	■	■	■	■	■	■
หินลูกรัง	■	■	■	■	■	■	■	■
กรวด	■	■	■	■	■	■	■	■
โฟม	■	■	■	■	■	■	■	■
เศษปูน (คอนกรีต)	■	■	■	■	■	■	■	■
หินลาวา			■	■	■	■	■	
หินภูเขาไฟ			■	■	■	■	■	
หินพิวมิซ			■	■	■	■	■	
ทราย	■	■			■	■	■	■
พีท					■	■	■	
สแฟกนัมฟอส					■	■	■	
เวอร์มิคูไรท์					■	■	■	
เปลือกมะพร้าว	■	■	■	■	■	■	■	■
กิ่งไม้แห้งหรือเปลือกไม้	■	■	■	■	■	■	■	■
เม็ดพลาสติกสังเคราะห์		■		■	■	■	■	
ใบไม้แห้ง	■	■				■	■	■
เม็ดดินเผา			■			■	■	
ถ่านไม้	■	■	■	■	■	■	■	■

ตารางที่3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุและหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุชะลอน้ำสำหรับ"หลังคาเขียว"

ในการคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ จะเลือกจากวัสดุที่มีคุณสมบัติตรงกับหลักเกณฑ์การคัดเหลือทุกข้อ ดังนั้นสามารถสรุปวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาทดลองประสิทธิภาพการชะลอน้ำคือ

1. กรวด
2. เศษปูน
3. หิน
4. เศษอิฐ
5. เศษกระเบื้อง
6. ถ่านไม้
7. กิ่งไม้แห้ง
8. กาบมะพร้าว
9. โฟม

จากตางรางที่ 3.1 สามารถสรุปวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุชะลอน้ำสำหรับ“หลังคาเขียว”ได้ดังต่อไปนี้

1. กรวด

ภาพที่ 3.1 กรวดแม่น้ำสีขาวเบอร์ 1

กรวดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นกรวดเบอร์ 1 คุณสมบัติทั่วไปของกรวดคือ ไม่เปลี่ยนแปลงค่าต่างๆของน้ำ ไม่มีรูพรุน สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามร้านขายวัสดุปลูกต้นไม้ หรือแหล่งจำหน่ายอื่นๆ ราคาถุงละ 40 บาท (สำรวจ ณ สวนจตุจักร วันที่ 15 สิงหาคม 2550) ในการทดลองใช้กรวด 8 ถุง ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 66 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคารวม 320 บาทต่อตารางเมตร

2. หิน

ภาพที่3.2 ถ่ายหินคลุกสำหรับก่อสร้างเบอร์ 2

หินที่ใช้ในการทดลองเป็นหินเบอร์ 2 มีคุณสมบัติทั่วไปคือ มีความคงทนสูงมาก ไม่อุ้มน้ำ ระบายอากาศดีมาก ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรคและแมลง ไม่มีปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับพืช (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้างหรือแหล่งที่ผลิต ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 62 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคา 40 บาทต่อตารางเมตร (สำรวจ ณ ร้านวัสดุก่อสร้างย่านประชาชื่น กรุงเทพฯ วันที่ 17 สิงหาคม 2550)

3. เศษปูน(คอนกรีต)

ภาพที่3.3 เศษปูนขนาด 2 ถึง 4 นิ้วโดยประมาณ

เศษปูนที่ใช้ในการทดลองสามารถหาได้จากที่ทิ้งอุปกรณ์สร้างทั่วไป หรือสามารถหาได้จากอาคารที่มีการรื้อถอน ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 51 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคา 30 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งราคาดังกล่าวเป็นราคาที่ผู้วิจัยใช้ว่าจ้างในการเก็บและคัดเลือกขนาดของเศษปูนให้ได้ขนาดที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เศษอิฐ

ภาพที่3.4 เศษอิฐขนาด 1 ถึง 3 นิ้ว โดยประมาณ

เศษอิฐที่ใช้ในการทดลองหาได้จากแหล่งผลิตอิฐต่างๆ สามารถหาซื้อได้ในราคาถูก คุณสมบัติทั่วไปของเศษอิฐคือเก็บความชื้นได้ดีพอสมควร มีความพรุน อายุการใช้งานยาวนาน ไม่ย่อยสลาย และเป็นวัสดุที่มีความสะอาดโดยตัวเองอยู่แล้ว (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 42 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคา 20 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งราคาดังกล่าวเป็นราคาที่ใช้ว่าจ้างในการเก็บและคัดเลือกขนาดของเศษอิฐให้ได้ขนาดที่ต้องการ ราคาขายจริงของเศษอิฐโดยทั่วไปจะเรียกหน่วยเป็นคันรถ (รถกระบะ) ตกราคาคันรถละ 200 บาท

5. เศษกระเบื้อง

ภาพที่3.5 เศษกระเบื้องขนาด 2 ถึง 4 นิ้วโดยประมาณ

เศษกระเบื้องที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นกระเบื้องที่ใช้มุงหลังคาของอาคารทั่วไปที่หมดอายุการใช้งานแล้ว เนื่องจากหากใช้กระเบื้องที่ยังอยู่ในอายุการใช้งาน จะผสมสารที่ทำให้วัสดุกันความชื้น จะทำให้กระเบื้องไม่เก็บกักความชื้นและไม่ดูดซับน้ำ สามารถหาได้จากแหล่งที่ทิ้งอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป สามารถเก็บความชื้นหรืออุ้มน้ำได้มาก น้ำหนักเบา (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนักรวม 31 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคา 50 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งราคาดังกล่าวเป็นราคาที่ใช้ว่าจ้างในการเก็บ ทุบ และคัดเลือกขนาดของเศษกระเบื้องให้ได้ขนาดที่ต้องการ

6. ถ่านไม้

ภาพที่3.6 ถ่านไม้

ถ่านที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นถ่านไม้ที่สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายของชำทั่วไป หรือแหล่งที่ผลิตถ่าน มีคุณสมบัติคือมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไม่มีแร่ธาตุอื่นๆ ย่อยสลายยาก มีน้ำหนักเบา อุ้มน้ำพอสมควรแต่ระบายน้ำได้ดี ถ่านเป็นวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรากพืช (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 11.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคาถุงละ 10 บาท ในการทดลองใช้ถ่าน 10 ถุงต่อตารางเมตร ราคารวมเท่ากับ 100 บาทต่อตารางเมตร (สำรวจ ณ ร้านขายของชำในตลาดชุมชนรถไฟจตุจักร วันที่ 17 สิงหาคม 2550)

7. กิ่งไม้แห้ง

ภาพที่3.7 กิ่งไม้แห้งเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ถึง 2 เซนติเมตร ความยาว 10 ถึง 20 เซนติเมตร โดยประมาณ

กิ่งไม้แห้งในการทดลองนี้สามารถหาได้ทั่วไปจากบริเวณที่มีการตัดต้นไม้ หรือแหล่งที่ทิ้งขยะ ที่ความหนา 5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคา 60 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งราคาดังกล่าวเป็นราคาที่ใช้ว่าจ้างในการเก็บ หัก และคัดเลือกขนาดของกิ่งไม้แห้งให้ได้ขนาดที่ต้องการ ดังนั้นในการก่อสร้างจริงคาดว่าสามารถหาในราคาที่ถูกกว่านี้ได้

8. กาบมะพร้าว

ภาพที่3.8 กาบมะพร้าวขนาด 2 ถึง 3 นิ้ว โดยประมาณ

กาบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถหาได้จากแหล่งจำหน่ายวัสดุปลูกต้นไม้ หรือแหล่งที่มีการทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับมะพร้าว ซึ่งหากซื้อจากแหล่งจำหน่ายวัสดุปลูกจะมีความทนทานมากกว่า เนื่องจากมีการคัดเลือกมาแล้ว มีคุณสมบัติคืออุ้มน้ำได้ดีมาก มีความพรุนสูง ความคงทนพอสมควรแต่ต้องเลือกใช้กาบมะพร้าวที่แก่มาก เมื่อใช้ไปนานๆอาจจะอัดตัวแน่นขึ้น (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) แต่ทดแทนด้วยราคาที่ถูกและหาซื้อได้ง่าย น้ำหนัก 7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ราคาถุงละ 10 บาท ในการทดลองใช้กาบมะพร้าว 6 ถุงต่อตารางเมตร ดังนั้นราคารวมเท่ากับ 60 บาทต่อตารางเมตร (สำรวจ ณ สวนจตุจักร วันที่ 15 สิงหาคม 2550)

9. โฟม

ภาพที่3.9 โฟมขนาด 1 ถึง 3 นิ้ว โดยประมาณ

โฟมที่ใช้ในการทดลองสามารถหาได้จากแหล่งค้าของเก่าและแหล่งผลิต เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ใช้ห่อหุ้มสินค้า มีคุณสมบัติคือ มีน้ำหนักเบา ไม่อุ้มน้ำแต่ช่องว่างระหว่างก้อนโฟมสามารถเก็บความชื้นได้ดี หากเลือกใช้ชนิดที่แข็งสามารถรับน้ำหนักดินและพืชได้มาก และรากสามารถแทงผ่านก้อนโฟมได้ (อิทธิสุนทร, ม.ท.ป.) โดยทั่วไปราคาขายอยู่ที่ 15 บาทต่อกิโลกรัม ในการทดลองนี้ใช้โฟม 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สำรวจ ณ ร้านขายของเก่าในชุมชนรถไฟจตุจักร วันที่ 15 สิงหาคม 2550) ดังนั้นราคาที่ใช้จริงประมาณ 7.5 บาทต่อตารางเมตร

3.1.2 สรุปน้ำหนักและราคาของวัสดุ

ถึงแม้ว่าการทำ"หลังคาเขียว" เป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา สามารถสร้างบนหลังคาอาคารทั่วไปได้ แต่น้ำหนักของวัสดุอาจจะมีผลต่อการพิจารณาเลือกใช้ ดังนั้นในส่วนนี้จะทำการแสดงน้ำหนักวัสดุแต่ละชนิดรวมกับดินปลูกได้ดังนี้

วัสดุ	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	ถ่าน	กาบมะพร้าว	โฟม	เศษกระเบื้อง	กิ่งไม้แห้ง
น้ำหนักวัสดุ กก./ตรม.	66	51	62	42	11.5	7	0.5	31	10
น้ำหนักดินปลูก กก./ตรม.	24	24	24	24	24	24	24	24	24
รวม กก./ตรม.	90	75	86	66	35.5	31	24.5	55	34
ราคา บ./ตรม.	320	30	40	20	100	60	7	50	60

ตารางที่3.2 แสดงน้ำหนักและราคาวัสดุแต่ละชนิด

จากตารางที่ 3.2 สามารถจัดลำดับวัสดุชะลอน้ำที่มีน้ำหนักต่อตารางเมตรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ 1.กรวด 90 กก./ตรม. 2.หิน 86 กก./ตรม. 3.เศษปูน 75 กก./ตรม. 4.เศษอิฐ 66 กก./ตรม. 5.เศษกระเบื้อง 55 กก./ตรม. 6.ถ่าน 35.5 กก./ตรม. 7.กิ่งไม้แห้ง 34 กก./ตรม. 8.กาบมะพร้าว 31กก./ตรม. 9.โฟม 0.5กก./ตรม.

ส่วนราคาสามารถจัดลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ 1.กรวด 320 บ./ตรม. 2.ถ่าน 100 บ./ตรม. 3.กาบมะพร้าว 60 บ./ตรม. 4.กิ่งไม้แห้ง 60 บ./ตรม. 5.เศษกระเบื้อง 50 บ./ตรม. 6.หิน 40 บ./ตรม. 7.เศษปูน 30 บ./ตรม. 8.เศษอิฐ 20 บ./ตรม. 9.โฟม 7 บ./ตรม.

จากข้อมูลพบว่า กรวดเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักและราคาต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด ส่วนโฟมเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักและราคาต่อหน่วยพื้นที่น้อยที่สุด ส่วนเศษกระเบื้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักและราคาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ปานกลาง

3.1.3 การกำหนดลักษณะการทดลอง

เนื่องจากก่อนการเก็บข้อมูล ในขั้นตอนของการติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ กับฝนที่ตกจริง ทำให้ทราบข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้ง เนื่องจากการเก็บข้อมูลกลางแจ้งใช้การสังเกตและจดบันทึก และไม่มีอุปกรณ์ทันสมัยที่สามารถรวบรวมข้อมูลพร้อมกันทั้ง 9 กระบะได้ ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถเก็บข้อมูลการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดได้ จึงจำเป็นจะต้องแยกการทดลองออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

<u>ส่วนที่ 1</u> การเก็บข้อมูลกลางแจ้ง กำหนดให้หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ความลาดชันของหลังคา 1 : 200 ของร้านบุญอนันต์ เป็นอาคารที่ตั้งอยู่ย่านประชานิเวศน์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ เป็นตัวแทนหลังคาที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ผู้วิจัยไม่สามารถสังเกตการณ์ชะลอน้ำฝนของวัสดุต่างๆได้ตลอดเวลา และไม่มีอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ทันสมัยช่วยในการเก็บข้อมูล

3.1.4 การเตรียมการทดลอง

การเตรียมการทดลองแบ่งการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์การทดลองออกเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกับการแบ่งลักษณะการทดลอง

การเตรียมการทดลองส่วนที่ 1 การเก็บข้อมูลกลางแจ้ง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่างๆทำให้ออกแบบการทดลองได้ดังนี้คือ กระบะบรรจุวัสดุชะลอน้ำสำหรับ “หลังคาเขียว” มีขนาด กว้าง 0.90 ม. ยาว 1.20 ม. สูง 0.20 ม. เจาะรูสำหรับระบายน้ำที่มุมหนึ่ง ปิดทึบ 3 ด้านและอีกหนึ่งด้านจะใช้แผ่นพลาสติกใสปิดเพื่อให้สามารถเห็นภายในได้ ทั้งหมดจำนวน 9 กระบะ ตามจำนวนวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยแต่ละกระบะบรรจุวัสดุ 1 ชนิด ความหนาเท่ากับ 2 นิ้ว หรือ 5 ซม. จากนั้นจึงปูทับด้วยตาข่ายพลาสติกสังเคราะห์ตาถี่ เพื่อป้องกันดินที่อยู่ด้านบนแทรกตัวเข้าไปอุดระหว่างช่องว่างของวัสดุ จากนั้นจึงเทดินปลูกลงไป โดยระดับความลึกของดินอยู่ที่ 3 นิ้ว หรือ 7.5 ซม. และปูหญ้าทับลงไปบนหน้าดินอีกชั้นหนึ่ง

การเก็บข้อมูลกลางแจ้งจะเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 เดือน ใช้ฝนช่วงสั้นคือเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2550 และสิ้นสุดวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2550 โดยใช้ต้นหญ้าเป็นตัวแทนของพืช เพื่อสังเกตว่าวัสดุชะลอน้ำที่คัดเลือกมาแต่ละชนิดมีผลกระทบต่อพืชอย่างไรบ้าง

ภาพที่ 3.10 แสดงการวางกระบะทดลองก่อนใส่วัสดุ

ภาพที่ 3.11 แสดงการตัวอย่างการบรรจุวัสดุชะลอน้ำลงในกระบะทดลอง

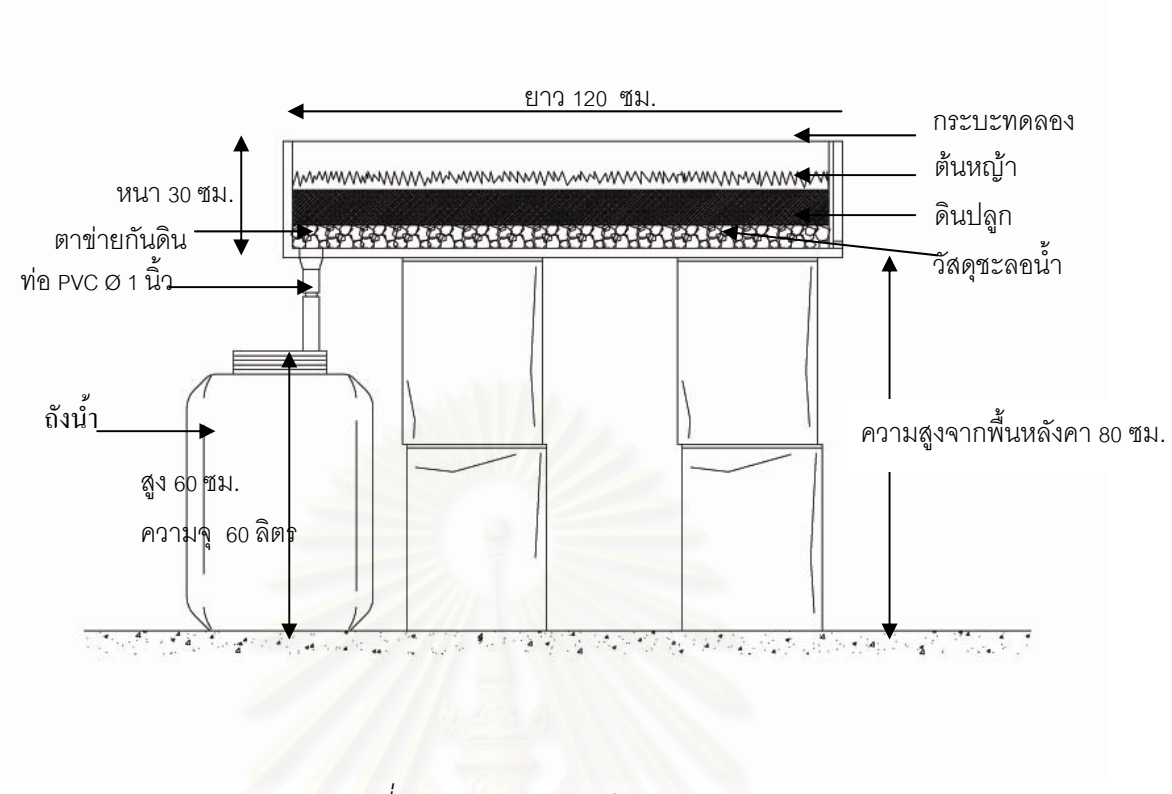
ภาพที่ 3.12 แสดงการวางตาข่ายก่อนบรรจุดินปลูก

ภาพที่ 3.13 แสดงการบรรจุดินปลูกและปูหญ้าทับลงบนหน้าดิน

ภาพที่ 3.14 แสดงชั้นของวัสดุเมื่อบรรจุลงกระบะทดลองเป็นที่เรียบร้อย

ภาพที่ 3.15 แสดงการต่อท่อระหว่างรูระบายน้ำและถังรองรับน้ำ

ภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งถังรองน้ำกับกระบะทดลอง



ภาพที่ 3.17 แสดงภาพตัดกระบะทดลอง

<u>การเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้ง</u>

ในส่วนของการทดลองกลางแจ้ง เก็บข้อมูลจากปริมาณฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ โดยที่หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆแล้วเสร็จจะรดน้ำในช่วงเวลา 9.00น. ลงบนกระบะต่างๆเพื่อให้พืชได้สามารถปรับตัวกับดินที่ปลูกใหม่และเพื่อให้ดินเกิดความชุ่มชื้นเป็นเวลา 2 วัน หลังจากนั้นเมื่อฝนตกลงมาจะทำการจดบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกระบะทดลองทั้ง 9 กระบะในเวลา 9.00น. ของวันถัดไปทุกวันเป็นเวลา 2 เดือน โดยจะทำการตวงและบันทึกปริมาณน้ำที่อยู่ฝนถังรองของแต่ละกระบะ เมื่อทำบันทึกปริมาณน้ำเสร็จ จะทำการเทน้ำในแต่ละถังทิ้ง เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่อยู่ในถังของวันถัดไป

<u>การเตรียมการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</u>

จากการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ทำให้ทราบปัญหาของการเก็บข้อมูลคือ 1) ไม่สามารถสังเกตการไหลของน้ำได้พร้อมกันทั้ง 9 กระบะ 2) ปัญหาในเรื่องสถานที่และช่วงเวลาการตกของฝน ทำให้ไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้ตลอดเวลา ดังนั้นจึง

จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลจากห้องปฏิบัติการชลศาสตร์เพิ่มเติมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลกลางแจ้ง

ลักษณะการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือจำลองน้ำฝนขนาดเล็ก (Rainfall Hydrographs) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีขนาดเท่ากับกระบะทดลองที่ได้ออกแบบไว้พอดีคือ กว้าง 0.90 ม. ยาว 1.20 ม. สูง 0.20 ม. โดยจะทำการบรรจุวัสดุที่คัดเลือกมาครั้งละ 1 ชนิดให้ได้ความลึก 5 ซม. เท่ากับการทดลองกลางแจ้ง และเปิดน้ำให้ท่วมชั้นวัสดุ แช่ทิ้งไว้หนึ่งคืนเพื่อให้วัสดุอิ่มตัวจากน้ำ

หลังจากที่ทำการแช่วัสดุให้อิ่มตัวเรียบร้อยแล้ว จะทำการระบายน้ำที่แช่ออกทั้งหมดและรอจนน้ำทั้งหมดถูกระบายออกมา จากนั้นจึงเปิดน้ำปริมาตรรวมทั้งหมด 150 ลิตรให้ไหลผ่านชั้นวัสดุเป็นเวลา 30 นาที จึงปิดน้ำ และทำการสังเกตการณ์ไหลของน้ำต่อไปอีก 30 นาที รวมเวลาทั้งหมด 60นาที และทำการจดบันทึกจากถังรองน้ำที่ทำมาตราส่วนไว้

<u>การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์</u>

จากวิธีที่อธิบายไว้ข้างต้นจะทำการจดบันทึกปริมาณของน้ำที่ไหลลงสู่ถังรองน้ำที่ทำมาตราส่วนไว้ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลาทั้งหมด 60 นาที และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งต่อวัสดุ 1 ชนิด

ภาพที่ 3.18 แสดงอุปกรณ์จำลองน้ำฝนในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ (Rainfall Hydrograph)

ภาพที่ 3.19 แสดงอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำและจับเวลาการไหลของน้ำ

ภาพที่ 3.20 แสดงอุปกรณ์ควบคุมความดันและปริมาณน้ำให้ได้ตามต้องการ

ภาพที่ 3.21 แสดงถังน้ำที่ทำมาตราส่วนเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ

ภาพที่ 3.22 แสดงตัวอย่างการบรรจุวัสดุลงในอุปกรณ์จำลองน้ำฝน

3.1.5 การกำหนดปริมาณน้ำฝนเพื่อใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำ แต่ไม่สามารถกำหนดปริมาณน้ำจากวิธีการเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนในเดือนที่เลือกทดลองได้ (เดือนกันยายน-เดือนตุลาคม) เนื่องจากวิธีหาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนดังกล่าวนั้นไม่ได้มาตรฐานและหากนำมาใช้ในการทดลองจะได้ค่าของปริมาณน้ำฝนที่น้อยกว่าที่ควรจะต้องใช้ ดังนั้นการกำหนดปริมาณน้ำฝนในการทดลองจึงต้องนำหลักการทางวิศวกรรมชลศาสตร์มาใช้คือการเลือกคาบการเกิดฝน ความจำเป็นของการเลือกคาบการเกิดฝนเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำฝนและเวลาในการเปิดน้ำสำหรับอุปกรณ์จำลองน้ำฝนในห้องปฏิบัติการ

1. การเลือกคาบการเกิด

คาบการเกิด (Return Period) สำหรับการออกแบบนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกซึ่งมีหลายลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เช่น ลักษณะทางกายภาพของเมือง ความหนาแน่นของประชากร ขนาดของระบบระบายน้ำ เงินทุนในการก่อสร้าง ฯลฯ (อุบลวรรณ, 2542)

สำหรับคาบการเกิดเพื่อการออกแบบระบบระบายน้ำในกรุงเทพมหานครเท่าที่มีการศึกษาไว้มีการเลือกใช้ดังนี้

- ตามรายงานการศึกษาแผนแม่บทของระบบระบายน้ำเสียและระบบป้องกันน้ำท่วมของพื้นที่กรุงเทพมหานครและฝั่งธนบุรีของ Camp Dresser and Mekee มีเกณฑ์ในการเลือกใช้คาบการเกิดสำหรับออกแบบระบบระบายน้ำตามลักษณะการใช้ที่ดิน คือ
  1) สำหรับพื้นที่เขตอุตสาหกรรมใช้คาบการเกิด 5 ปี

2) สำหรับพื้นที่อยู่อาศัยในลักษณะต่างๆใช้คาบการเกิด 2 ปี

- จากงานวิจัยเรื่อง Bangkok Runoff Hydrograph ของ รัตพันธ์ ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในกรุงเทพมหานคร เลือกใช้คาบการเกิด 5 ปี สำหรับฝนออกแบบ
- ตามรายงานการศึกษาพื้นที่ระบายน้ำในกรุงเทพชั้นใน (City Core) ของบริษัท BFCD Joint Venture ใช้คาบการเกิด 5 ปี สำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำ
- การศึกษาเรื่องรูปแบบการตกของฝนมาตรฐาน สำหรับกรุงเทพมหานคร ของ นิตยา ใช้คาบการเกิด 5 ปีสำหรับฝนออกแบบ

จากข้อมูลดังกล่าว ในการศึกษานี้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบของฝนออกแบบโดยวิธีต่างๆ จึงเลือกคาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปีในการวิเคราะห์ เพราะว่าคาบการเกิดดังกล่าวมีการใช้ในการศึกษาที่ผ่านมาและเป็นที่ยอมรับในการออกแบบระบบระบายน้ำในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

2. รูปแบบการกระจายความเข้มฝนของฝนตกจริง

จากข้อมูลของ อุบลวรรณ (อุบลวรรณ, 2542) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสถานีวัดน้ำฝน 4 แห่งในกรุงเทพมหานคร ทำให้ตารางการเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดของฝนตกจริงดังนี้

คาบการเกิด 2 ปี		คาบการเกิด 5 ปี	
ช่วงเวลา (นาที)	ความเข้มฝน (มม./ชม.)	ช่วงเวลา (นาที)	ความเข้มฝน (มม./ชม.)
30	100-140	30	120-150
60	100-120	60	110-140
120	60-110	120	70-120
180	50-80	180	60-100
240	50-60	240	60-70

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดของฝนตกจริง

สรุปการกำหนดปริมาณน้ำฝนสำหรับใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปปริมาณน้ำฝนที่ต้องใช้ในการทดลองนี้คือ เลือกใช้คาบการเกิด 5 ปี และเลือกใช้ช่วงเวลา 30 นาทีแรกของความเข้มฝนสูงสุด จะได้ความเข้มฝนที่ต้องใช้คือ 150 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเลือกจดบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ถังรองน้ำทุกๆ 5 นาที

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการชะลอน้ำ ของวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆจากการจดบันทึกปริมาณน้ำฝนในการทดลองกลางแจ้งกับข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานคร
2. วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุเหลือที่นำมาชะลอน้ำ ในการทดลองกลางแจ้ง คือ ผลกระทบต่อพืชที่ใช้ปลูก ความทนทานของวัสดุ น้ำหนักของวัสดุ
3. วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการชะลอน้ำ ของวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์
4. วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการทดลองกลางแจ้งและการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากบทที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง การทดลองกลางแจ้ง และส่วนที่สอง การทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ ดังนั้นผลการทดลองจึงแสดงเป็น 2 ส่วนเช่นกัน

4.1 ผลการเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้ง

การเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้งทำโดยจดบันทึกวันและเวลาที่ฝนตกแต่ละครั้ง และผลอื่นๆ เช่น ความสูงของพืช(วัดความสูงสัปดาห์ละ 1 ครั้ง) หรือการสังเกตลักษณะของวัสดุที่นำมาทดลอง โดยจะทำการวัดผลในเวลา 9.00 น. ของทุกวัน จากนั้นจึงนำไปเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยา และแสดงออกมาเป็นแผนภูมิต่างๆ จากนั้นจึงนำแผนภูมิที่ได้มาไปอภิปรายต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลการทดลองกลางแจ้งแสดงเป็นตาราง

วัสดุ / วันที่	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กากมะพร้าว	โฟม	ปริมาณฝน
	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
01/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	1.2
02/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	2
03/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
04/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
06/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
07/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
08/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
09/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
10/09/07	9.35	15.5	10.6	15.5	14	13.125	16.8	17.125	16.125	28.9
11/09/07	7	12.1	13	11.125	8.2	11.3	11.25	11.75	9.6	22.8
12/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
13/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
14/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	4.4
15/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
16/09/07	47.6	53.4	53.6	50.5	46	51	50.5	49.2	48.8	91
17/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
18/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
19/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20/09/07	16	10.3	12	15	11.2	14	15	15.1	16	54.6
21/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
22/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
23/09/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
24/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
25/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
26/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

วัสดุ / วันที่	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กากมะพร้าว	โฟม	ปริมาณฝน
	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
29/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
30/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
01/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
02/10/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
03/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
04/10/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
05/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
06/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
07/10/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
08/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
09/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
10/10/07	12	16.75	16	12.8	12.5	15.1	14.5	15.3	15.9	29.2
11/10/07	18.25	20.3	20.25	19.5	18.8	19.5	18.25	19.25	16.5	38.9
12/10/07	4.55	5.55	5.5	4.75	4.75	5	4.7	4.85	4.65	11.1
13/10/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	0.9
14/10/07	11	12.2	11.75	11	10.9	11.5	11	10.75	11.75	32.6
15/10/07	9.6	12.5	10.5	11	10.25	10.25	11	9.5	9.5	19.9
16/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
17/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
18/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
19/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
21/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
22/10/07	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
23/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
24/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
25/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
26/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
27/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

วัสดุ / วันที่	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กากมะพร้าว	โฟม	ปริมาณฝน
	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
30/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

หมายเหตุ T คือ วันที่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลองแต่ไม่มีน้ำอยู่ในถังรองน้ำ ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณน้ำได้

หมายเหตุ จากตาราง ค่าตัวเลขคือน้ำที่ไหลออกจากกระบะลงสู่ถังรองน้ำ ค่าตัวเลขน้อยคือสามารถชะลอน้ำได้มาก ในทางกลับกันค่าตัวเลขมากแสดงว่าสามารถชะลอน้ำได้น้อย

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการบันทึกการวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำ ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.1 แถวแรก(แนวตั้ง) แสดงวันที่ทั้งหมดของการทดลองแถวต่อมาแสดงผลการวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำของวัสดุทั้ง 9 ชนิด และตารางแถวสุดท้ายแสดงปริมาณน้ำฝนที่ตกจริงบริเวณสถานที่ทดลอง โดยนำข้อมูลจากปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงมาเปรียบเทียบ ซึ่งปริมาณฝนจะอธิบายในตารางถัดไป

วันที่	เวลาทำการตรวจ																									รวม	มม.
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400		
01/09/07	2.7	0.2	0	0	0	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.6	7.2	
02/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
03/09/07	0	0	0	0	0	1.3	0.4	0	0.3	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0	T	2	
04/09/07	T	0	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	
05/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
06/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
07/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
08/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
09/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0.6	0.5	T	0.2	0	1.3	
10/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.3	7.6	1.2	0.3	30	
11/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	22.5	0.6	0	0	0	23	
12/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0	
13/09/07	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
14/09/07	0	0	0	0	0	0	0.8	2	0.5	1.1	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.9	0	0	0	6.2	
15/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	
16/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	9.7	38.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50	91
17/09/07	8.8	29	26	2	1.8	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0	0	68	
18/09/07	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.3	0	0	0	0.5	
19/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0.1	0	0	0	0.4	2	0.7	0	0	6.5	
20/09/07	0	0	0	0	0	0.5	0.1	0	0.5	0.3	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	13.3	1.3	21.3	45	56.8
21/09/07	3.9	2.4	2.5	1.2	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	T	0	12	
22/09/07	0	0	0	0	0.1	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
23/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
24/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
25/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
26/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
27/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
28/09/07	0	0	0	0.1	0.7	0.6	1	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	T	1.6	3.1	0.8	0.7	T	9.8	
29/09/07	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0.6	
30/09/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	T	0.1	0	0	0.1	
01/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0.4	T	0	0	0	0.4	
02/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

วันที่	เวลาทำการตรวจ																								รวม	มม.
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400		
03/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
04/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05/10/07	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.5	0	0	0	21	
06/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0	T	
07/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
08/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
09/10/07	0	0	0	0	0	0.5	1.1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	T	2.5	0.2	0	0	0	0	0	4.9	
10/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	T	3.3	0.1	0	0	0	0	0	25.5	25	2.2	1.9	0.1	59	
11/10/07	0.8	1.5	1.2	1.1	0.4	0.2	0.1	0.4	1	1.9	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	8.9	38.9
12/10/07	6.9	28	3.4	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.1	16.4	0.6	67	
13/10/07	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	8.2	0.5	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	11	
14/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	33	
15/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.2	3.1	1.7	0.7	20	19.9
16/10/07	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
17/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
18/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
19/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
20/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
21/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
22/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0	0	T	
23/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
24/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
25/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
26/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	
27/10/07	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	
28/10/07	0	0	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	
29/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
30/10/07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0	
31/10/07	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	T	T	T	T	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

T คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณน้ำฝนได้

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงของกรุงเทพฯ โดยจะบันทึกข้อมูลทุกเวลา 9.00 น.ของวันถัดไป และจะเริ่มนับเวลาการบันทึกใหม่ตั้งแต่ 10.00 น. ของวันเดียวกัน โดยจะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับวันและเวลาที่ฝนตกจริงบริเวณสถานที่ทดลอง จากนั้นจึงนำมาทำเครื่องหมายต่างๆเพื่อให้ทราบถึงปริมารน้ำฝน ณ เวลาที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยสัญลักษณ์ต่างๆจะแบ่งออกเป็นดังนี้

แสดงช่วงเวลาที่เริ่มทำการเก็บข้อมูลของวันถัดไป คือนับตั้งแต่เวลา 10.00 น.

แสดงปริมาณน้ำฝนที่ตรงกับช่วงเวลาที่บันทึกบริเวณสถานที่ทดลอง

แสดงปริมาณน้ำฝนที่รวมกับน้ำฝนของวันถัดไป เช่น วันที่ 11 ตุลาคม ฝนตกเวลา 01.00-05.00น.ของวันที่ 12 ตุลาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นวันที่สามารถแสดงผลการทดลองโดยการวัดปริมาณน้ำในถังรองได้มีทั้งสิ้น 10 วัน คือ

ชนิด	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กาบมะพร้าว	โฟม	ปริมาณฝน
วันที่	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
10/09/07	9.35	15.5	10.6	15.5	14	13.125	16.8	17.125	16.125	28.9
11/09/07	7	12.1	13	11.125	8.2	11.3	11.25	11.75	9.6	22.8
16/09/07	47.6	53.4	53.6	50.5	46	51	50.5	49.2	48.8	91
20/09/07	16	10.3	12	15	11.2	14	15	15.1	16	54.6
28/09/07	5.5	3.5	5	2.25	0.75	2.25	3.75	3.8	4.5	7.8
10/10/07	12	16.75	16	12.8	12.5	15.1	14.5	15.3	15.9	29.2
11/10/07	18.25	20.3	20.25	19.5	18.8	19.5	18.25	19.25	16.5	38.9
12/10/07	4.55	5.55	5.5	4.75	4.75	5	4.7	4.85	4.65	11.1
14/10/07	11	12.2	11.75	11	10.9	11.5	11	10.75	11.75	32.6
15/10/07	9.6	12.5	10.5	11	10.25	10.25	11	9.5	7.5	19.9

ตารางที่ 4.3 แสดงวันที่เก็บผลการทดลองโดยสามารถวัดปริมาณน้ำในถังได้

4.2 การวิเคราะห์แผนภูมิที่ได้จากการทดลอง

ในส่วนของการทดลองกลางแจ้งสามารถแบ่งการนำเสนอและวิเคราะห์แผนภูมิออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ

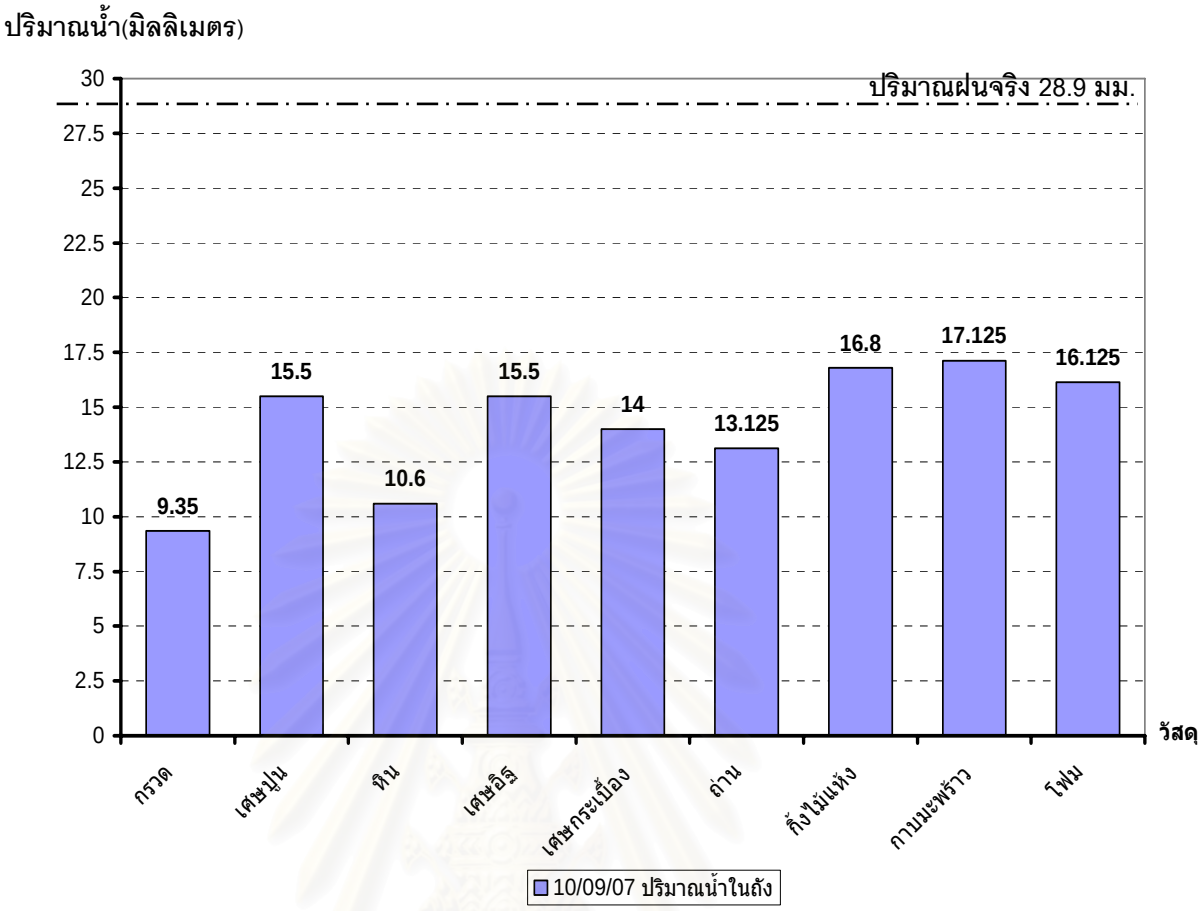
4.2.1 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ตกจริง

4.2.2 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนในรูปแบบของร้อยละ

4.2.1 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังรองน้ำของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ตกจริง

การวิเคราะห์แผนภูมิในส่วนนี้จะนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3 มาเปลี่ยนเป็นแผนภูมิแท่งโดยจะเปรียบเทียบปริมาณน้ำของวัสดุต่างๆในแต่ละวันที่สามารถวัดปริมาณน้ำฝนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

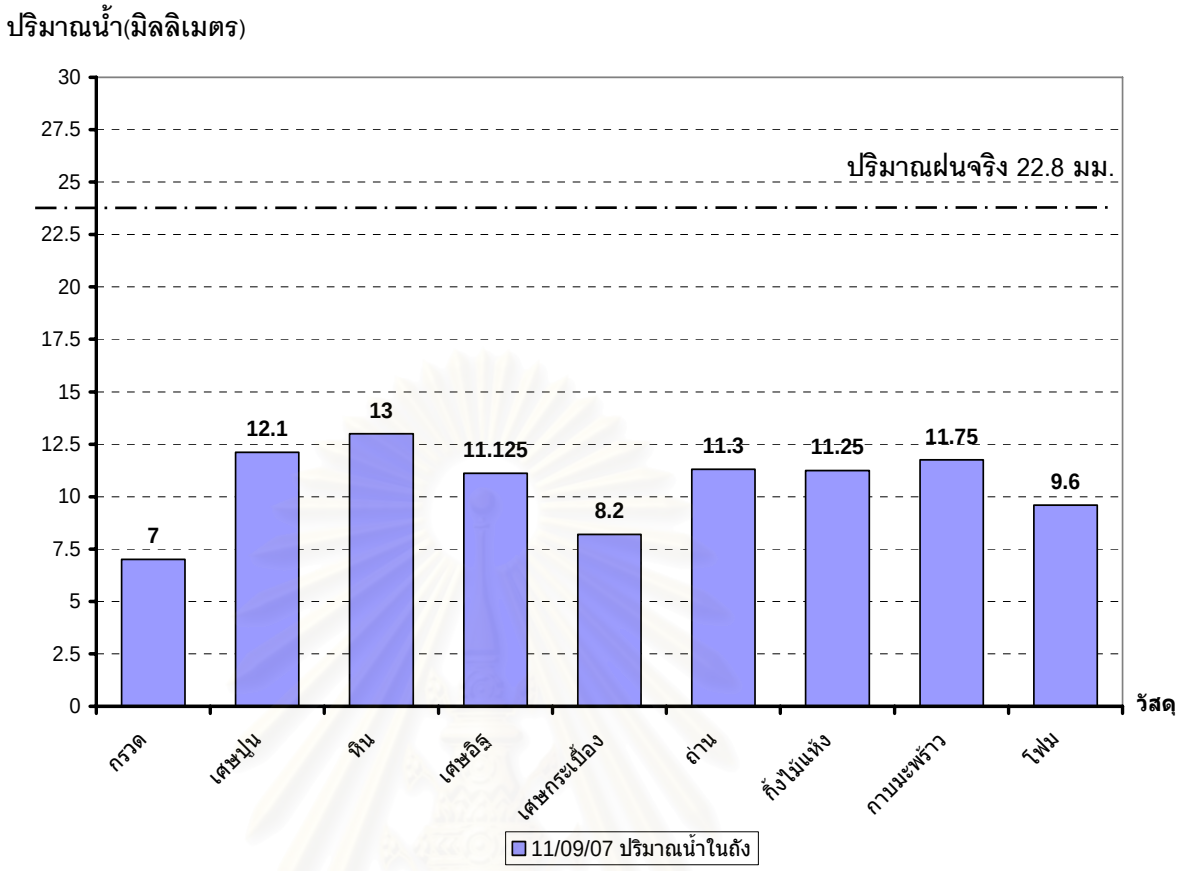


แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 10 กันยายน 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 10 กันยายน 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กรวด หิน ถ่าน เศษกระเบื้อง เศษปูน เศษอิฐ โฟม กิ่งไม้แห้ง และกาบมะพร้าว จากมากไปน้อยตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตว่า ความสามารถในการชะลอน้ำของกรวดมากที่สุด ทั้งที่กรวดเป็นวัสดุที่ไม่มีความพรุน ส่วนกาบมะพร้าวชะลอน้ำได้น้อยที่สุด ทั้งที่คาดว่าจะชะลอได้ดีที่สุด เพราะกาบมะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้มากที่สุด สาเหตุมาจากการใส่วัสดุใน 2 วันแรกต้องทำการรดน้ำปรับสภาพของต้นหญ้า และมีฝนตกเล็กน้อยติดกัน 2-3 วันก่อนจะถึงวันที่เก็บข้อมูลได้ ทำให้กาบมะพร้าวดูดซับน้ำจนอิ่มตัว ทำให้ความสามารถในการชะลอน้ำของกาบมะพร้าวลดลง

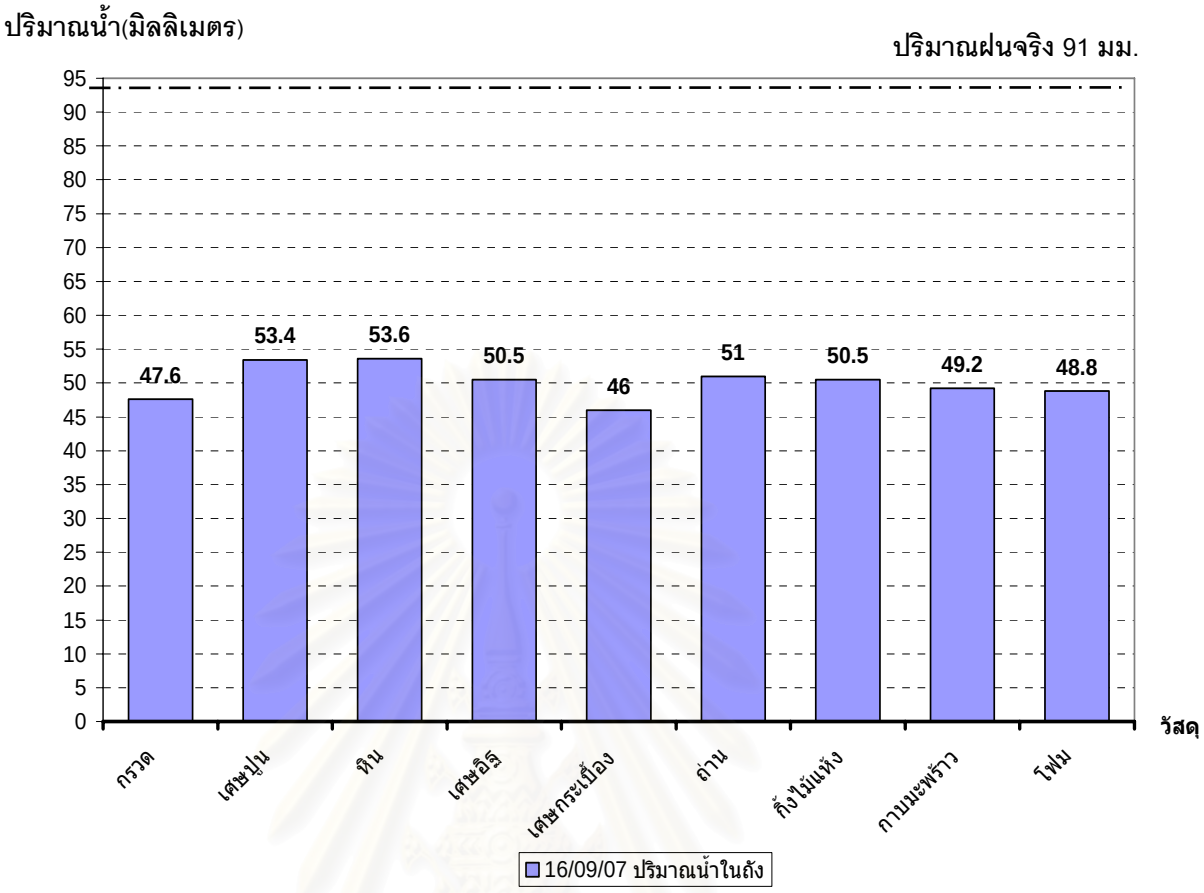


แผนภูมิที่ 4.2 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 11 กันยายน 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 11 กันยายน 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กรวด เศษกระเบื้อง โฟม เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง ถ่าน กาบมะพร้าว เศษปูน และหิน จากมากไปน้อยตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า กรวดสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุด เศษกระเบื้องและโฟมสามารถชะลอน้ำได้มากขึ้น ส่วนอิฐ ถ่าน กิ่งไม้แห้ง และกาบมะพร้าวสามารถชะลอน้ำได้มากขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณฝนที่น้อยกว่าวันที่ 10 กันยายน ทำให้วัสดุหลายชนิด ชะลอน้ำได้ดีในปริมาณฝนวันดังกล่าว ส่วนเศษปูนหากเปรียบเทียบกับปริมาณในวันที่ฝนตกก่อนหน้านี้จะเห็นว่าความสามารถในการชะลอน้ำมากขึ้นเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าจากการที่ฝนตกก่อนหน้านี้ ทำให้เศษปูนใกล้ถึงจุดอิ่มตัวจากน้ำแล้ว ส่วนหินที่ชะลอน้ำได้น้อยที่สุดอาจเนื่องมาจาก วัสดุชนิดนี้ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

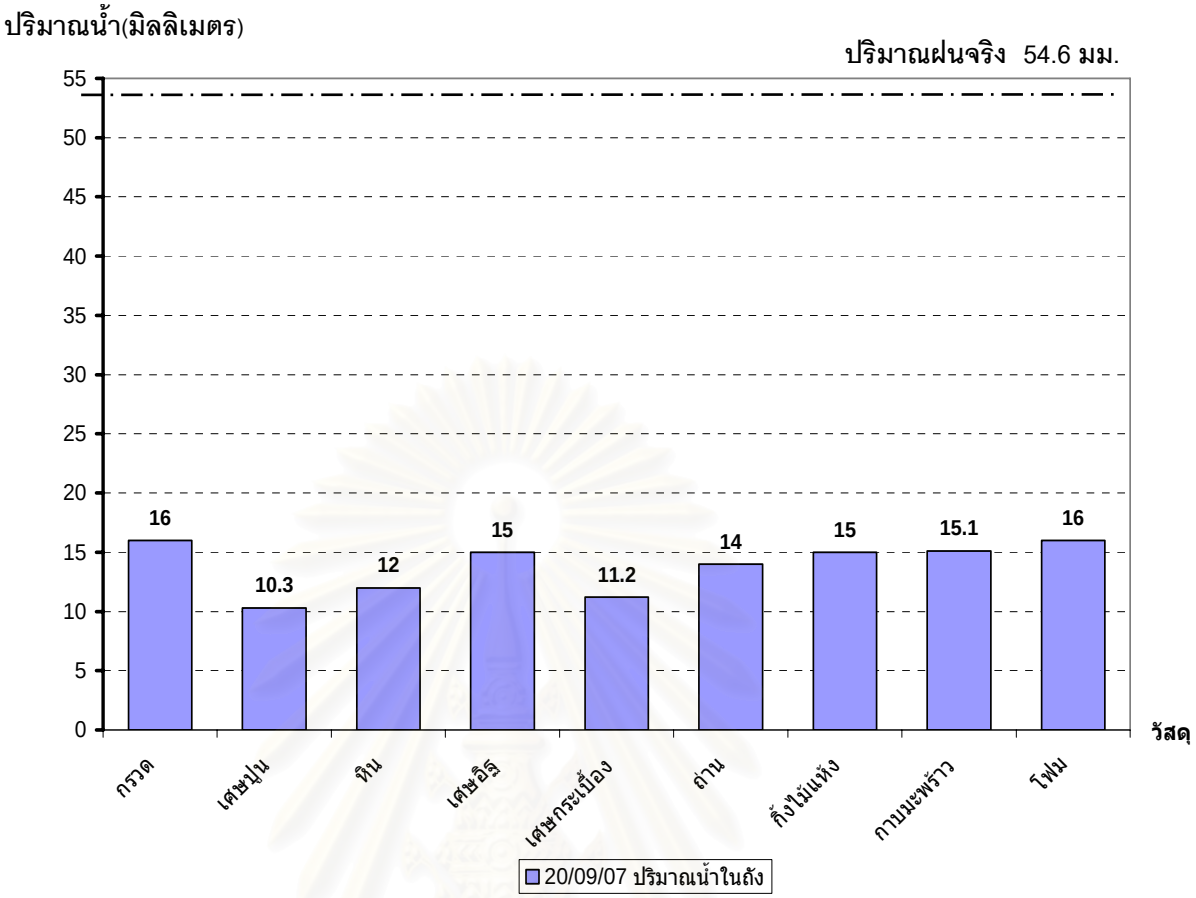


แผนภูมิที่ 4.3 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 16 กันยายน 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 16 กันยายน 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ เศษกระเบื้อง กรวด โฟม กากมะพร้าว เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง ถ่าน เศษปูน และหิน จากมากไปน้อยตามลำดับ

จากแผนภูมิวันดังกล่าว จะเห็นว่าความสูงของแผนภูมิวัสดุแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากฝนที่ตกในวันดังกล่าวมีปริมาณมากถึง 91 มิลลิเมตร หากเปรียบเทียบกับลักษณะของฝนตามหลักอุตุนิยมวิทยาแล้ว ถือว่าเป็นฝนที่ตกหนักมาก(มากกว่า 90.1 มิลลิเมตร) ดังนั้นกล่าวได้ว่า วันที่มีฝนตกปริมาณมากและต่อเนื่อง (จากการบันทึกผลการทดลองวันดังกล่าวมีฝนตกติดต่อถึง 11 ชั่วโมง) ทำให้วัสดุแต่ละชนิดอิ่มตัวและมีความสามารถในการชะลอน้ำใกล้เคียงกัน



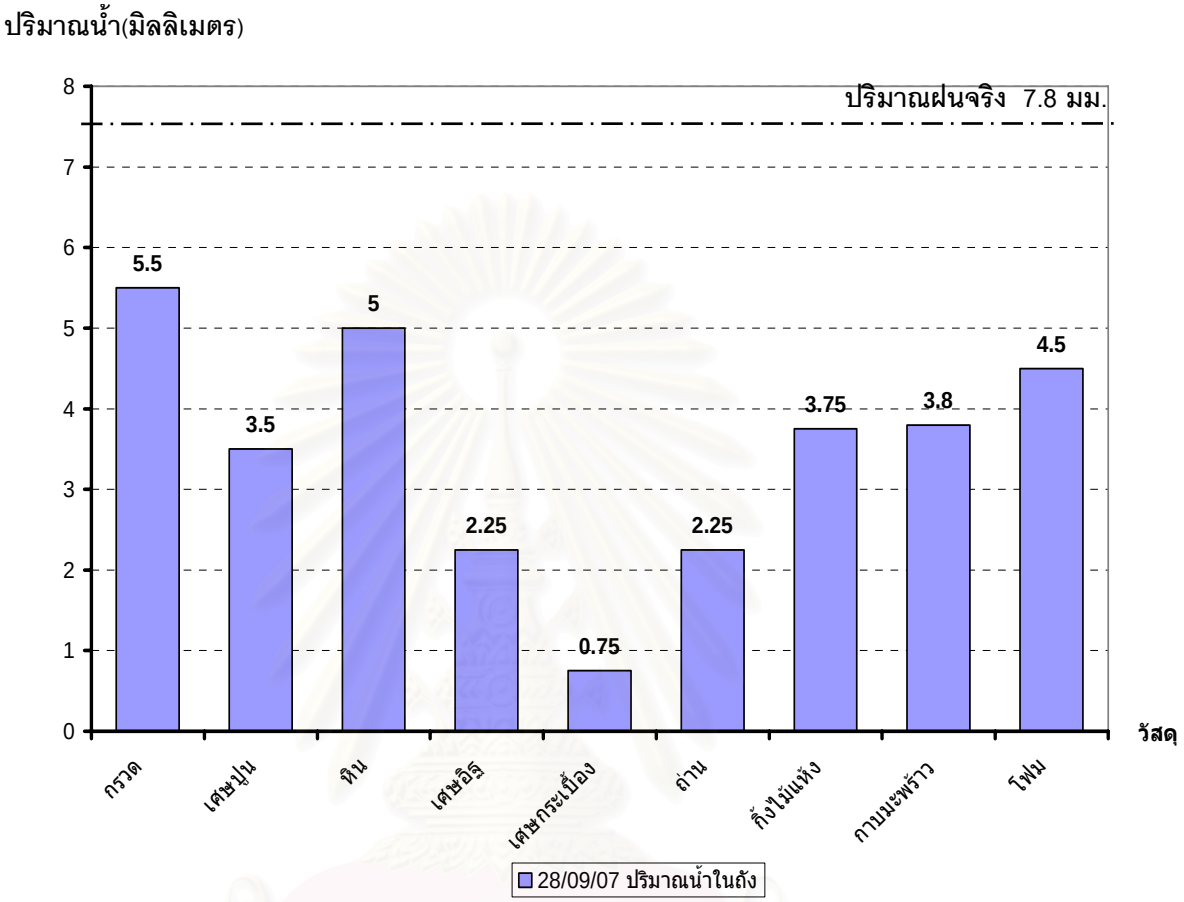
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 20 กันยายน 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 20 กันยายน 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ เศษปูน เศษกระเบื้อง หิน ถ่าน เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง กาบมะพร้าว กรวด และ โฟม จากมากไปน้อยตามลำดับ

จากตารางปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงพบว่าวันที่ 17-19 ฝนทิ้งช่วงไม่ตกบริเวณสถานที่ทดลองถึง 3 วัน และในวันที่ 20 กันยายน ฝนตกติดต่อกันเป็นเวลาหลายชั่วโมง พบว่าเศษปูนและหินสามารถชะลอน้ำได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น อาจเนื่องมาจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่ดูดซับน้ำทำให้ความชื้นที่อยู่ในกระบะระเหยได้รวดเร็ว และมีส่วนให้ชะลอน้ำได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ส่วนเศษกระเบื้องยังสมารถชะลอน้ำได้มากเป็นอันดับต้นๆของวัสดุทั้งหมด ส่วนถ่าน กิ่งไม้แห้งและกาบมะพร้าว ยังคงอยู่ในกลุ่มที่มีการชะลอน้ำได้ปานกลาง ซึ่งในส่วนนี้บอกได้ว่า การที่ฝนทิ้งช่วงไม่มีผลกระทบต่อการระเหยของน้ำในวัสดุดังกล่าว ซึ่งหากดูจากคุณสมบัติทางกายภาพแล้ววัสดุทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับน้ำและเก็บความชื้นได้ค่อนข้างดี ส่วนกรวดและโฟม ที่สามารถชะลอน้ำได้น้อยกว่าวัสดุชนิดอื่นหากลองสังเกตจากข้อมูลของวันที่ 16 กันยายนก็เป็นวันที่ฝนทิ้ง

ช่วงและมีฝนตกติดต่อกันหลายชั่วโมงเช่นกัน กล่าวได้ว่ากรวดและโฟมจะชะลอน้ำได้น้อยในวันที่ฝนทิ้งช่วงและมีฝนตกต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน

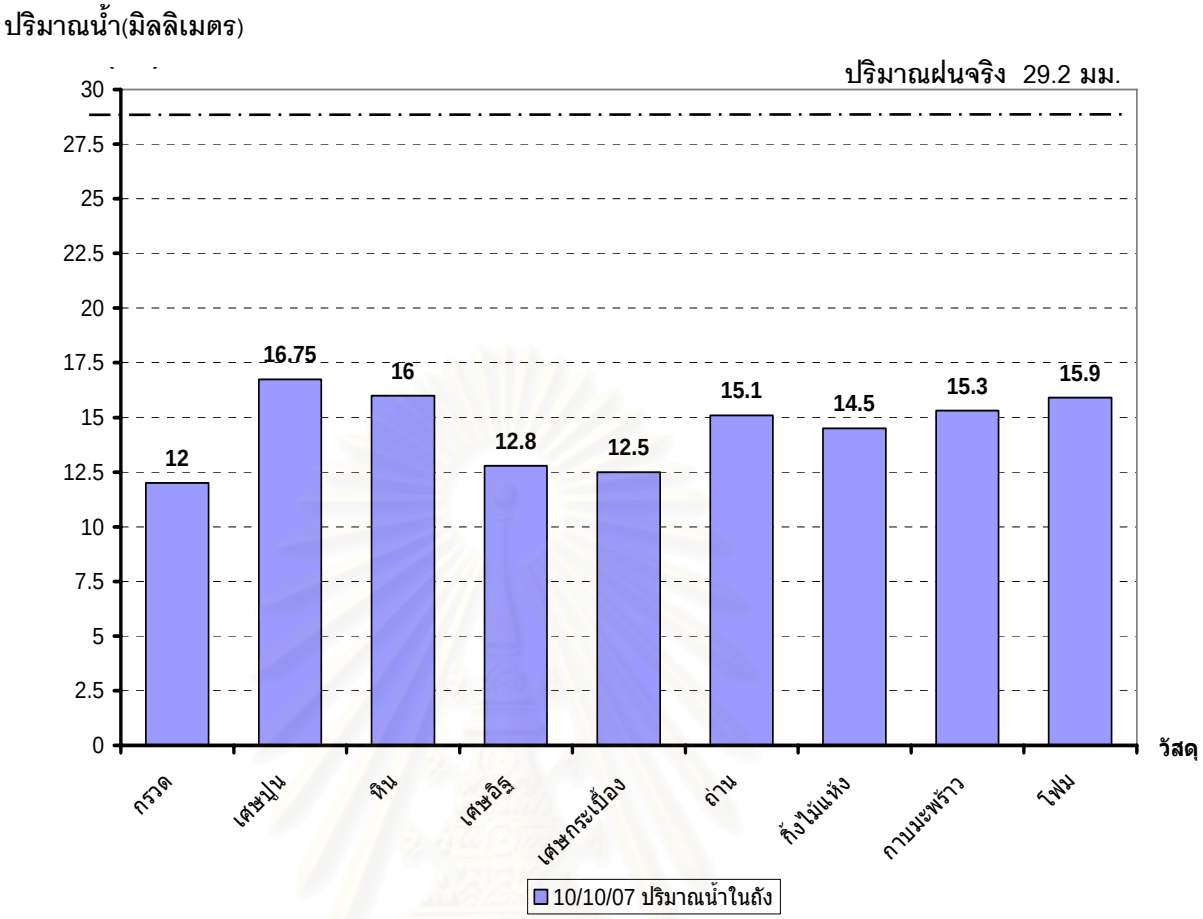


แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 28 กันยายน 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 28 กันยายน 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ เศษกระเบื้อง ถ่าน เศษอิฐ เศษปูน กิ่งไม้แห้ง กาบมะพร้าว โฟม หิน และ กรวด จากมากไปน้อยตามลำดับ

หลังจากที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกเป็นเวลา 7 วัน คือตั้งแต่วันที่ 21-27 กันยายน พบว่าเศษกระเบื้องยังคงเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้ดี แต่เศษอิฐ เศษปูน และหินเป็นวัสดุที่มีการชะลอน้ำได้น้อยกว่าวัสดุชนิดอื่น โดยเฉพาะหินเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำไม่คงที่มากที่สุด และคาดว่าเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของหิน ส่วนกิ่งไม้แห้ง และกาบมะพร้าวยังคงชะลอน้ำได้ปานกลาง ส่วนกรวดและโฟมหลังจากที่ฝนทิ้งช่วงไปเป็นเวลาหลายวัน ความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้จะน้อยลง

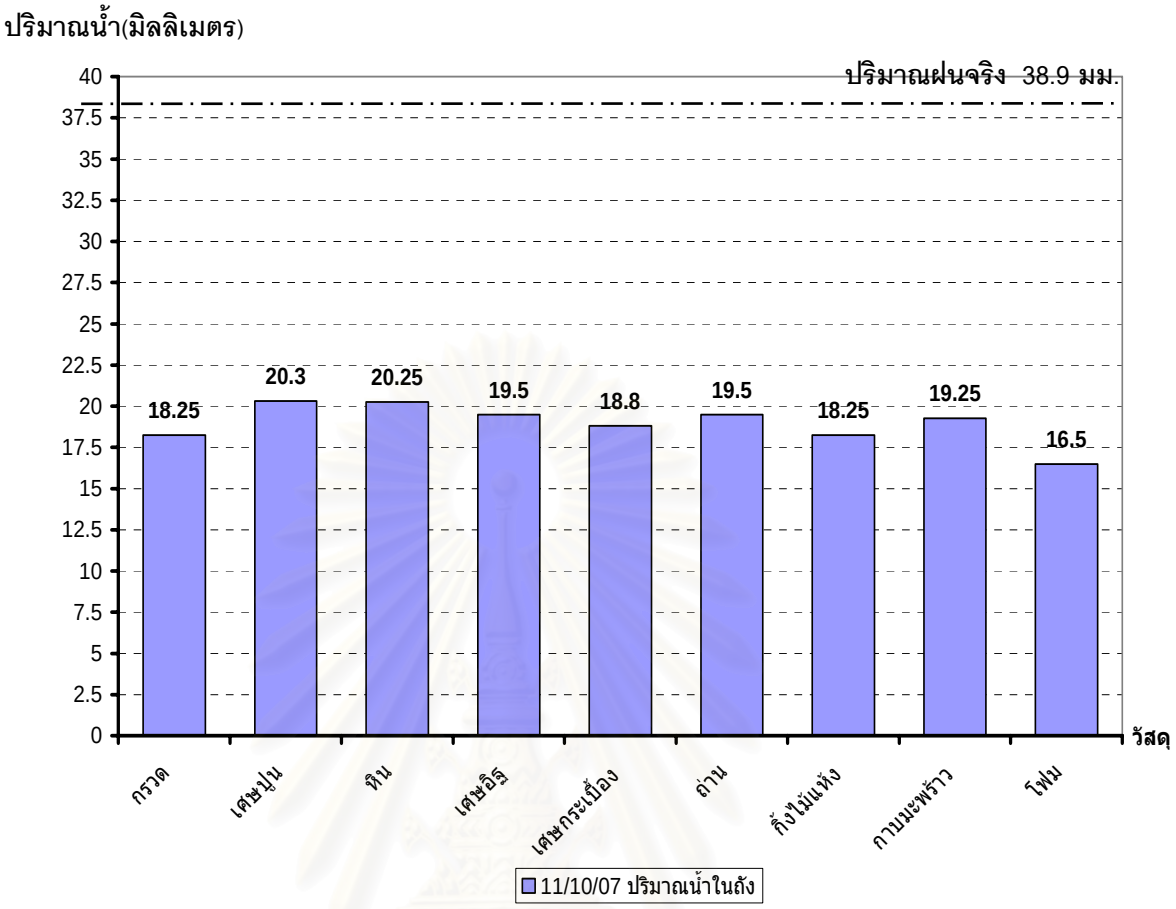


แผนภูมิที่ 4.6 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 10 ตุลาคม 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 10 ตุลาคม 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กรวด เศษกระเบื้อง เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง ถ่าน กาบมะพร้าว โฟม หิน และเศษปูน จากมากไปน้อยตามลำดับ

พบว่ากรวดสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุด หากเปรียบเทียบกับต้นเดือนกันยายนที่มีฝนตกต่อเนื่องกัน ในวันที่ 10 กันยายน กรวดก็เป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้มากที่สุดเช่นกัน เป็นส่วนสนับสนุนว่ากรวดสามารถชะลอน้ำได้มากในช่วงที่มีฝนตกต่อเนื่องหลายวัน ส่วนเศษกระเบื้องยังคงเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้มากแม้ฝนจะตกต่อเนื่องหรือทิ้งช่วงก็ตาม ส่วนถ่าน โฟม กิ่งไม้แห้ง และกาบมะพร้าว ยังคงเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้ปานกลาง ส่วนเศษปูน และหิน ชะลอน้ำได้น้อย

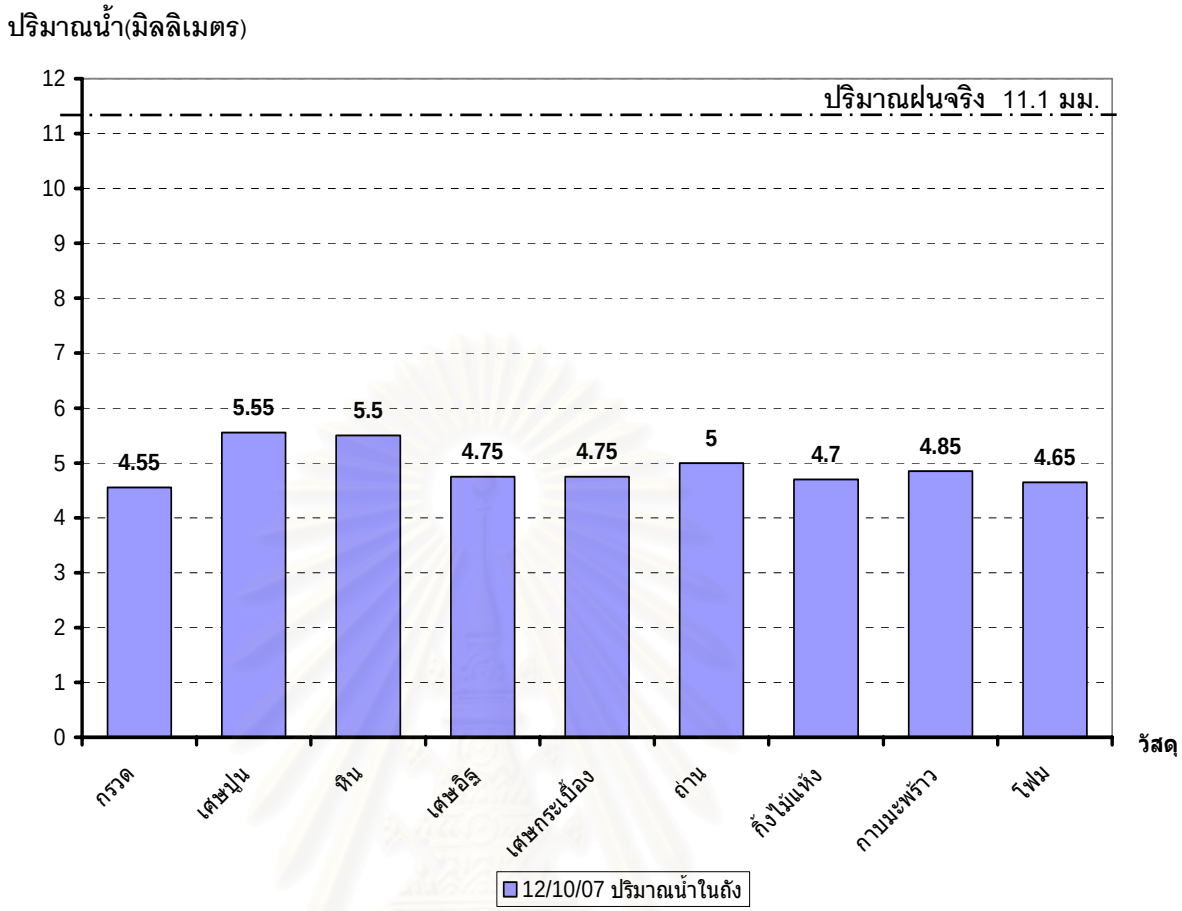


แผนภูมิที่ 4.7 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 11 ตุลาคม 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 11 ตุลาคม 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ โฟม กรวด กิ่งไม้แห้ง เศษกระเบื้อง กาบมะพร้าว ถ่าน เศษอิฐ หิน และเศษปูน จากมากไปน้อยตามลำดับ

วันดังกล่าวฝนตกต่อเนื่องกันหลายชั่วโมง พบว่ากรวดและโฟมสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุด หากเปรียบเทียบกับวันที่ 16 กันยายน เป็นวันที่มีฝนตกต่อเนื่องกันหลายชั่วโมง ก็จะพบว่ากรวดและโฟมสามารถชะลอน้ำได้มากเช่นกัน หากดูจากแผนภูมิแท่งจะเห็นว่าหลังจากที่ฝนตกติดกัน 2 วัน และเป็นเวลาหลายชั่วโมงติดต่อกัน ทำให้การชะลอน้ำแต่ละวัสดุนั้นแตกต่างกันน้อยมาก แต่เศษปูนและหินยังคงเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยกว่าวัสดุอื่นเช่นเดิม

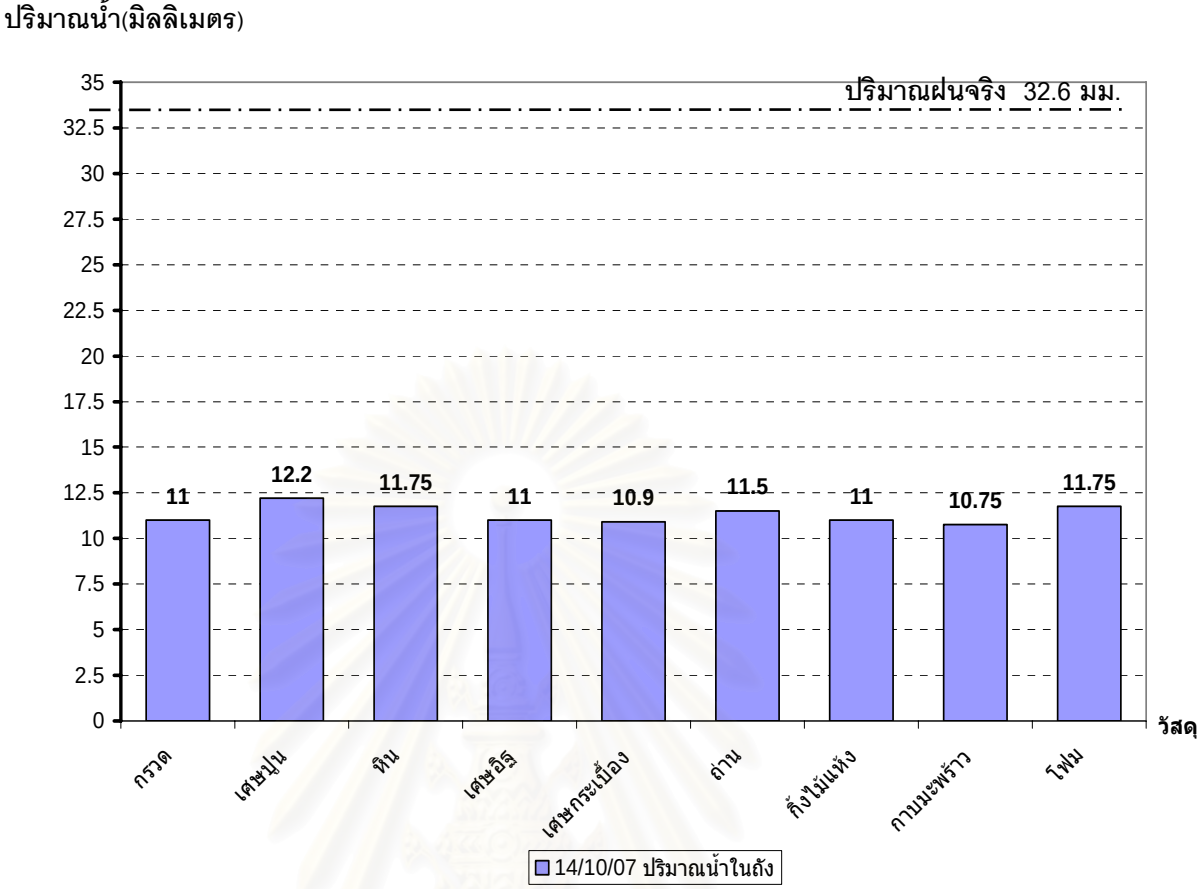


แผนภูมิที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 12 ตุลาคม 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 12 ตุลาคม 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กรวด โฟม กิ่งไม้แห้ง เศษกระเบื้อง เศษอิฐ กาบมะพร้าว ถ่าน หิน และเศษปูน จากมากไปน้อยตามลำดับ

วันที่ 12 ตุลาคม เป็นวันที่มีฝนตกไม่ถึง 1 ชั่วโมง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวันที่11 ตุลาคม พบว่าความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องมาจากฝนตกติดต่อกันหลายวัน และจากแผนภูมิยังพบอีกว่า ความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดแตกต่างกันน้อยมาก แต่เศษปูนและหินยังคงเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยกว่าวัสดุอื่นเช่นเดิม

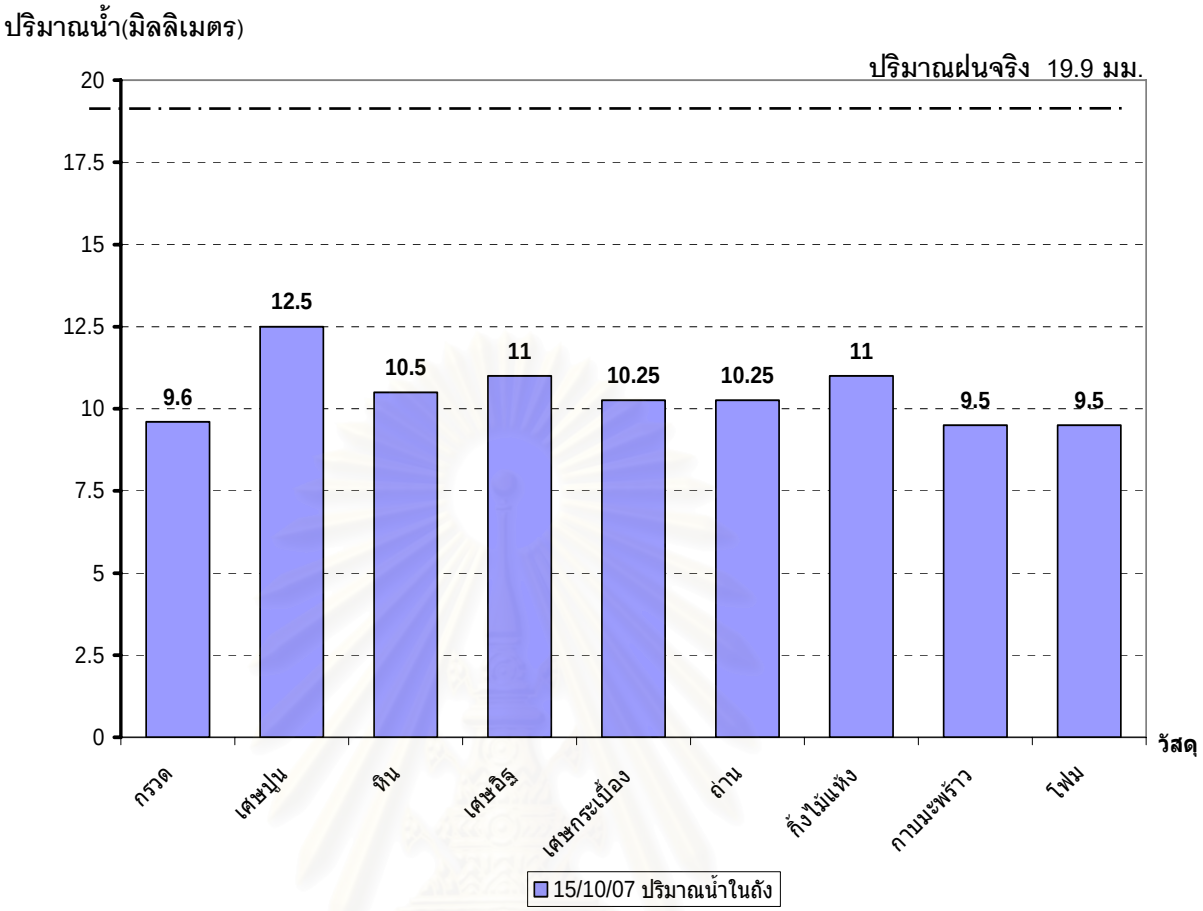


แผนภูมิที่ 4.9 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 14 ตุลาคม 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 14 ตุลาคม 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กาบมะพร้าว เศษกระเบื้อง กรวด เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง ถ่าน โฟม หิน และเศษปูน จากมากไปน้อยตามลำดับ

พบว่ากาบมะพร้าวในวันที่ 14 ตุลาคม มีความสามารถในการชะลอน้ำได้มากที่สุด หากเปรียบเทียบกับวันที่ 10-12 ตุลาคม ที่ฝนตกต่อเนื่องกัน พบว่ากาบมะพร้าวสามารถชะลอน้ำได้มากเป็นลำดับต้นๆ ส่วนเศษกระเบื้องยังคงความสามารถในการชะลอน้ำได้มากในลำดับต้นๆ เช่นกัน ส่วนกรวดหลังจากที่ฝนทิ้งช่วงในการตกของวันที่ 13 ไป พบว่าความสามารถในการชะลอน้ำใกล้เคียงกับ เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง ถ่าน โฟม และหิน ส่วนเศษปูนยังเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยที่สุดเช่นเดิม แต่จากแผนภูมิพบว่าค่าของปริมาณน้ำในแต่ละวัสดุนั้น แตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากฝนที่ตกต่อเนื่องกันมาหลายวัน



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในถังของวัสดุแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกจริง ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2550

<u>อภิปรายแผนภูมิวันที่ 15 ตุลาคม 2550</u>

วัสดุที่มีสามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดคือ กาบมะพร้าว โฟม กรวด เศษกระเบื้อง ถ่าน หิน เศษอิฐ กิ่งไม้แห้ง และเศษปูน จากมากไปน้อยตามลำดับ

พบว่ากาบมะพร้าว กรวด และโฟม มีค่าของปริมาณน้ำเท่ากัน โดยเฉพาะกรวดและโฟม ที่สามารถชะลอน้ำได้มากขึ้นหลังจากฝนตกต่อเนื่องหลายชั่วโมงและตกติดต่อกัน 2 วัน ส่วนเศษกระเบื้อง ยังสามารถชะลอได้มากในลำดับต้นๆของวัสดุต่างๆ ส่วนถ่านและหินทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถชะลอน้ำได้มากขึ้น เศษอิฐและกิ่งไม้แห้งที่สามารถชะลอน้ำได้น้อยลง เนื่องจากการที่ฝนตกติดต่อกันทำให้วัสดุอิ่มตัวจากน้ำ ส่วนเศษปูนยังสามารถชะลอน้ำได้น้อยที่สุดเช่นเดิม

4.2.2 สรุปความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิด

เมื่อนำข้อมูลจากแผนภูมิข้างต้นมาจัดลำดับสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบจากมากไปหาน้อยจะได้ตารางดังต่อไปนี้ (ลำดับที่ 1 คือชะลอน้ำได้มากที่สุด ลำดับที่ 9 คือชะลอน้ำได้น้อยที่สุด)

วันที่ฝนตก / ลำดับที่	10/09/07	11/09/07	16/09/07	20/09/07	28/09/07	10/10/07	11/10/07	12/10/07	14/10/07	15/10/07
1	กรวด	กรวด	เศษกระเบื้อง	เศษปูน	เศษกระเบื้อง	กรวด	โฟม	กรวด	กาบมะพร้าว	โฟม
2	หิน	เศษกระเบื้อง	กรวด	เศษกระเบื้อง	ถ่าน	เศษกระเบื้อง	กรวด	โฟม	เศษกระเบื้อง	กาบมะพร้าว
3	ถ่าน	โฟม	โฟม	หิน	เศษอิฐ	เศษอิฐ	กิ่งไม้แห้ง	กิ่งไม้แห้ง	กรวด	กรวด
4	เศษกระเบื้อง	เศษอิฐ	กาบมะพร้าว	ถ่าน	เศษปูน	กิ่งไม้แห้ง	เศษกระเบื้อง	เศษกระเบื้อง	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง
5	เศษปูน	ถ่าน	กิ่งไม้แห้ง	กิ่งไม้แห้ง	กิ่งไม้แห้ง	ถ่าน	กาบมะพร้าว	เศษอิฐ	กิ่งไม้แห้ง	ถ่าน
6	เศษอิฐ	กิ่งไม้แห้ง	ถ่าน	เศษอิฐ	กาบมะพร้าว	กาบมะพร้าว	ถ่าน	กาบมะพร้าว	ถ่าน	หิน
7	โฟม	กาบมะพร้าว	เศษอิฐ	กาบมะพร้าว	โฟม	โฟม	เศษอิฐ	ถ่าน	โฟม	เศษอิฐ
8	กิ่งไม้แห้ง	เศษปูน	เศษปูน	โฟม	หิน	หิน	หิน	หิน	หิน	กิ่งไม้แห้ง
9	กาบมะพร้าว	หิน	หิน	กรวด	กรวด	เศษปูน	เศษปูน	เศษปูน	เศษปูน	เศษปูน

กรวด เศษกระเบื้อง โฟม ถ่าน กิ่งไม้แห้ง เศษอิฐ กาบมะพร้าว หิน เศษปูน

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถการชะลอน้ำของแต่วัสดุในวันที่เก็บผลการทดลองกลางแจ้ง

อภิปรายตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่า กรวดเป็นวัสดุที่สามารถชะลอน้ำได้มากที่สุดเป็นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 คือเศษกระเบื้อง ลำดับที่ 3 คือ โฟม ลำดับที่ 4 คือ ถ่าน ลำดับที่ 5 คือ กิ่งไม้แห้ง ลำดับที่ 6 คือ เศษอิฐ ลำดับที่ 7 คือ กาบมะพร้าว ลำดับที่ 8 คือ หิน ลำดับที่ 9 คือ เศษปูน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การวิเคราะห์แผนภูมิโดยการแสดงปริมาณน้ำฝนในรูปแบบของร้อยละ(%)

การวิเคราะห์แผนภูมิในส่วนนี้จะนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3 มาเปลี่ยนเป็นค่าในรูปแบบร้อยละ และแสดงข้อมูลการชะลอน้ำฝนเปรียบเทียบ 1 วัสดุต่อ 1 แผนภูมิ

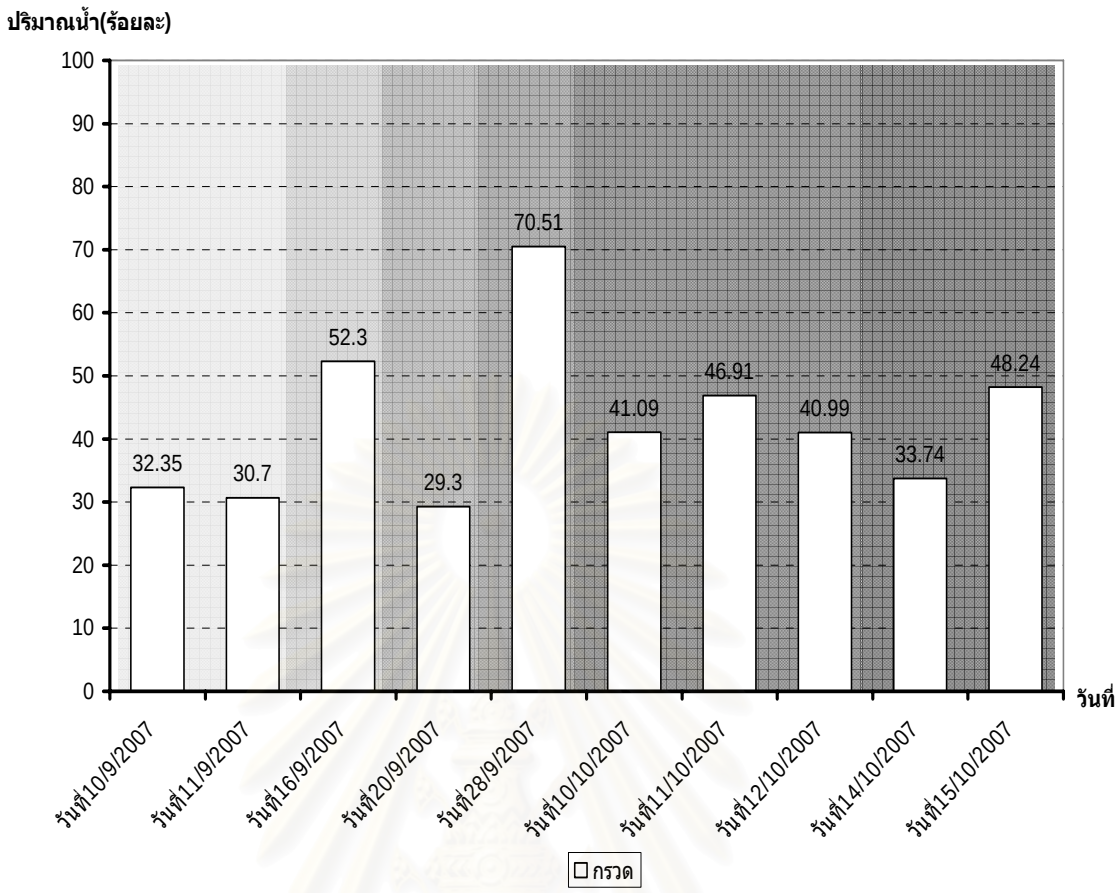
ชนิด / วันที่	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กาบมะพร้าว	โฟม	ปริมาณฝน
	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
10/09/07	32.35	53.63	36.67	53.63	48.44	45.41	58.13	59.25	55.79	100
11/09/07	30.7	53.07	57.01	48.79	35.96	49.56	49.34	51.53	42.1	100
16/09/07	52.3	58.68	58.9	55.49	50.54	56.04	55.49	54.06	53.62	100
20/09/07	29.3	18.86	21.97	27.47	20.51	25.64	27.47	27.65	29.3	100
28/09/07	70.51	44.87	64.1	28.84	9.61	28.84	48.07	48.71	57.69	100
10/10/07	41.09	57.36	54.79	43.83	42.8	51.71	49.65	52.39	54.45	100
11/10/07	46.91	52.18	52.05	50.12	48.32	50.12	46.91	49.48	42.41	100
12/10/07	40.99	50	49.54	42.79	42.79	45.04	42.34	43.69	41.89	100
14/10/07	33.74	37.42	36.04	33.74	33.43	35.27	33.74	32.97	36.04	100
15/10/07	48.24	62.81	52.76	55.27	51.5	51.5	55.27	47.73	47.73	100

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำฝนในแต่ละวันที่สามารถเก็บข้อมูลโดยวัดปริมาณน้ำในถังได้ในรูปแบบร้อยละ(%)

จากตารางที่ 4.5 สามารถนำมาแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังต่อไปนี้

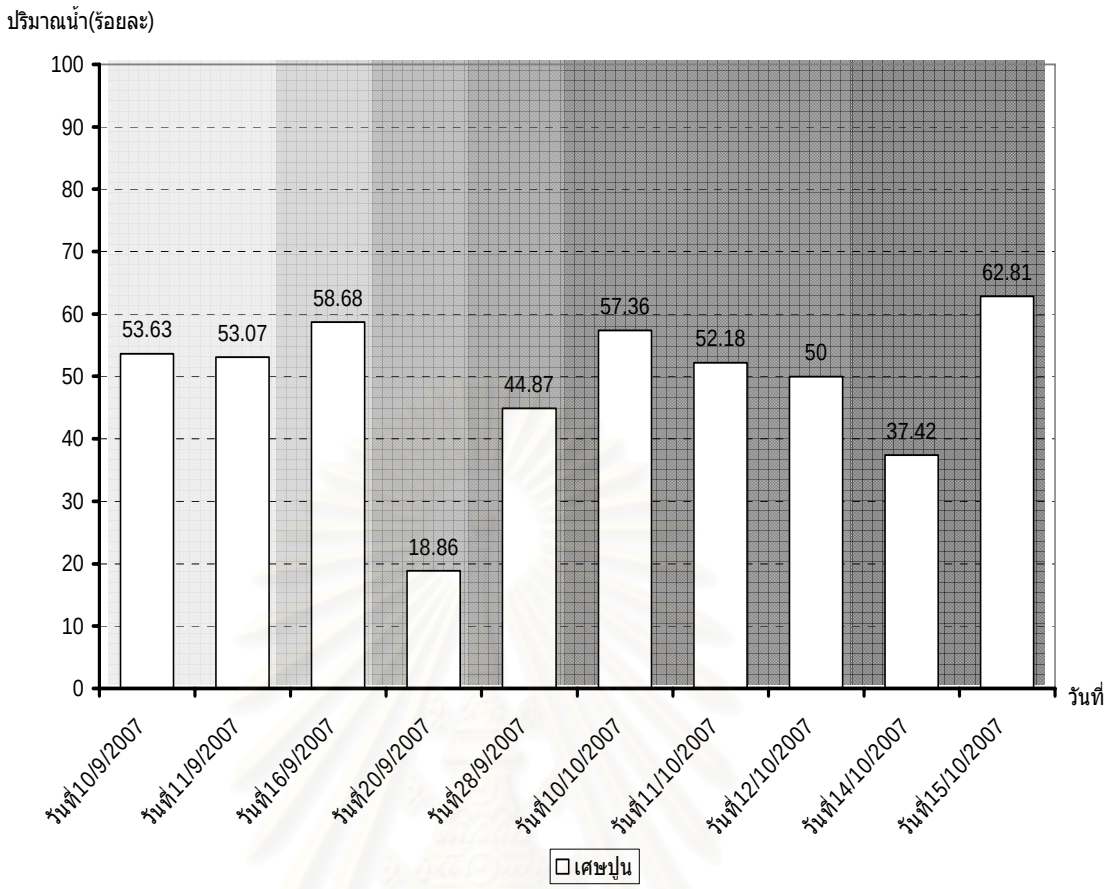
- คือส่วนที่มีการรดน้ำปรับสภาพหญ้าในวันที่ 1,2 ก.ย. และมีฝนตกในวันที่ 1,3,9 ก.ย. แต่ฝนมีปริมาณน้อยไม่สามารถวัดค่าได้
- คือส่วนที่ฝนตกก่อนหน้านี้ในวันที่ 12 และ 14 ก.ย. แต่มีปริมาณน้อยไม่สามารถวัดค่าได้
- คือส่วนที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกตั้งแต่วันที่ 17-19 ก.ย.
- คือส่วนที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกตั้งแต่วันที่ 21-27 ก.ย.
- คือส่วนที่ฝนทิ้งช่วงตั้งแต่ 29 ก.ย.-9 ต.ค. แต่มีฝนตกเล็กน้อยในวันที่ 2 , 4 และ7 ตุลาคม
- คือส่วนที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกในวันที่ 13 ต.ค.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกรวด

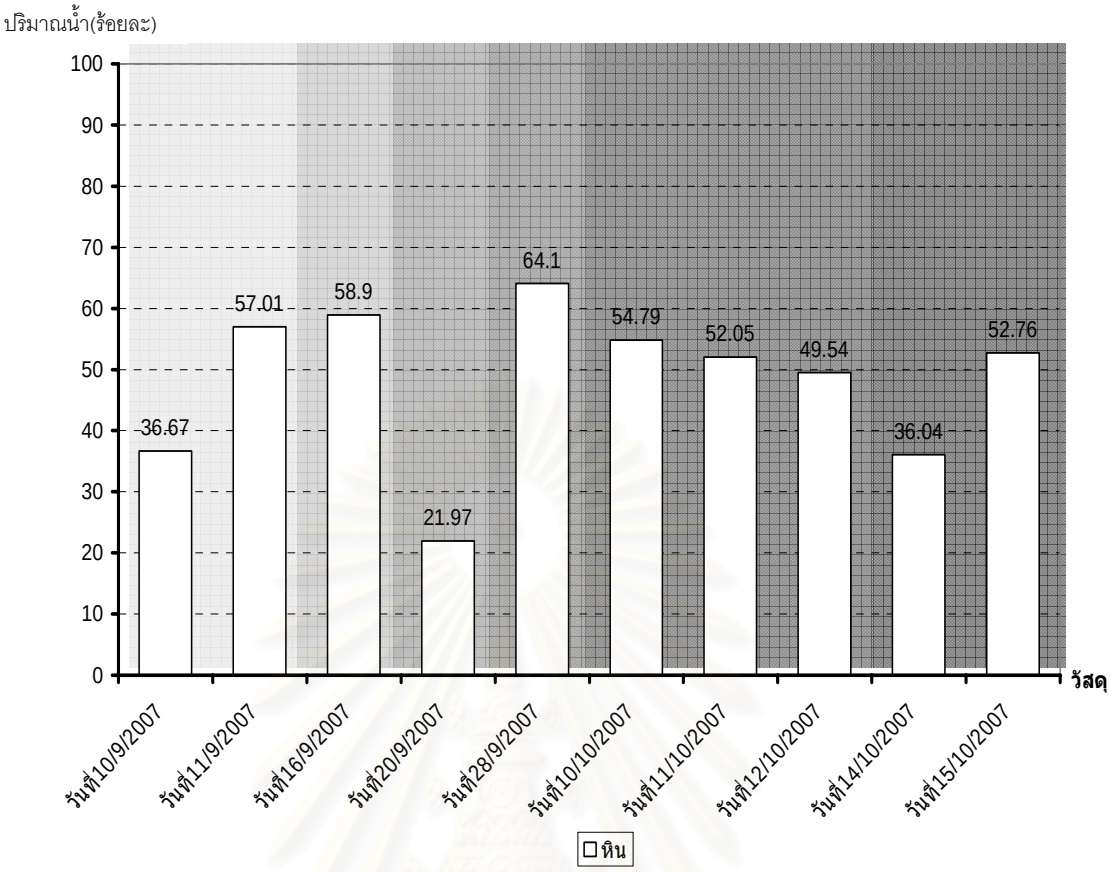
จากแผนภูมิพบว่าในวันที่ วันที่มีฝนตกต่อเนื่องกันเช่นวันที่ 10-11 ก.ย. กรวดสามารถชะลอนำฝนได้มากขึ้นตามลำดับ และวันที่ 10-12 ต.ค. ที่มีฝนตกติดต่อกัน 3 วัน อัตราการชะลอน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่น่าสังเกตว่าใน 3 วันดังกล่าวค่าของกรวดมีตัวเลขที่สูงต่ำสลับกัน ดังนั้นคาดว่ากรวดเป็นวัสดุที่มีค่าของการชะลอน้ำไม่คงที่ ซึ่งสภาพของฝนในวันต่างๆน่าจะมีผลต่อวัสดุชนิดนี้เป็นอย่างมาก และยังพบอีกว่าหากเป็นวันที่มีฝนทิ้งช่วงไม่ตกหลายวันจะทำให้กรวดชะลอน้ำได้น้อยลง ถึงแม้วันที่ 20 ก.ย. จะมีค่าตัวเลขน้อยก็ตาม แต่หากลองเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นในวันเดียวกันนี้พบว่า กรวดเป็นวัสดุที่มีการชะลอน้ำฝนได้มากกว่าวัสดุอื่นๆ แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่ากรวดสามารถชะลอน้ำได้มากเกินครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ฝนตกจริง



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษปูน

จากค่าตัวเลขที่ส่วนใหญ่มากเกินกว่า ร้อยละ 50 เห็นได้ชัดว่าเศษปูนเป็นวัสดุที่สามารถชะลอน้ำได้น้อย แต่หากลองเปรียบแผนภูมิแต่ละวันจะพบว่าเศษปูนเป็นวัสดุที่มีความสามารถชะลอน้ำได้ค่อนข้างคงที่ในช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันหลายวัน แต่จะมีค่าลดลงหรือชะลอน้ำได้มากขึ้นเมื่อมีฝนทิ้งช่วง เช่นวันที่ 20 ก.ย. และ 28 ก.ย. อาจคาดการณ์ได้ว่าเศษปูนเป็นวัสดุที่มีการดูดซับและคายน้ำได้เร็ว

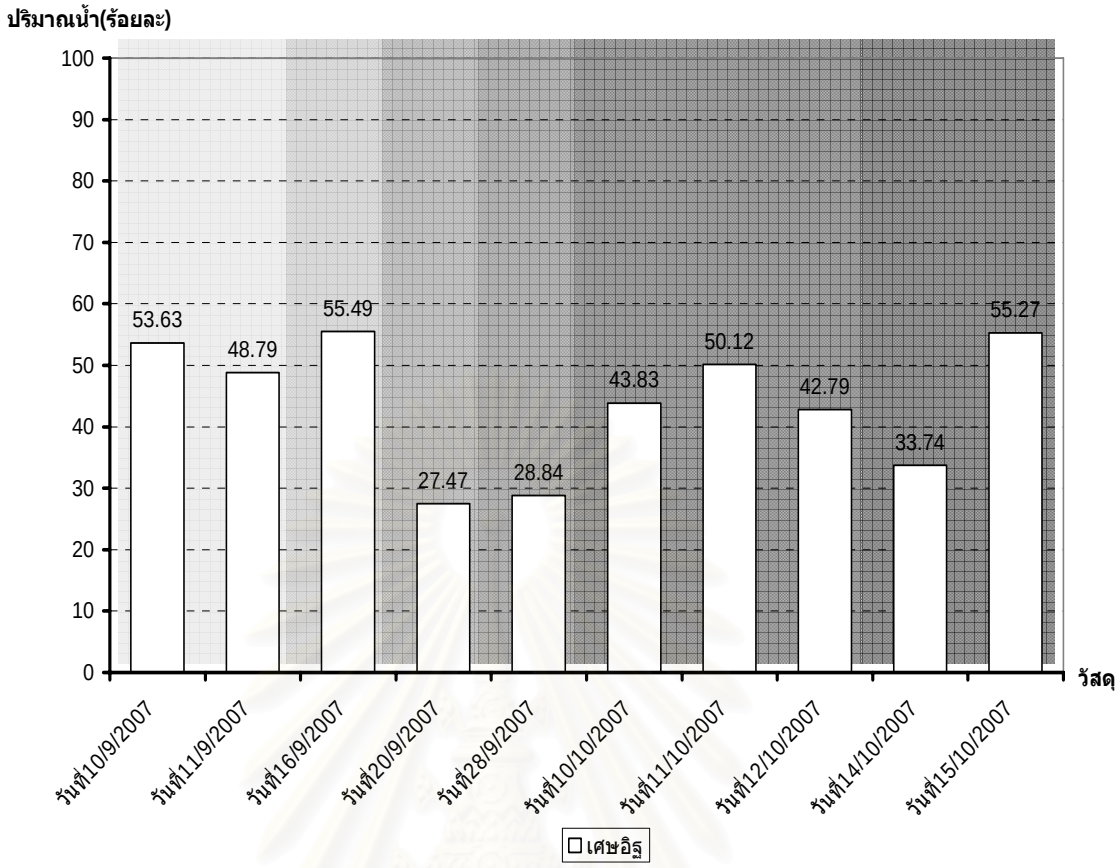
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของหิน

จากแผนภูมิจะพบว่าตัวเลขส่วนใหญ่ของหินจะมีค่าเกินร้อยละ 50 เห็นได้ชัดว่าหินมีความสามารถในการชะลอน้ำได้น้อย ซึ่งค่าส่วนใหญ่นั้นใกล้เคียงกับเศษปูน เนื่องมาจากเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่ก็มีค่าการชะลอน้ำค่อนข้างจะคงที่ในช่วงที่มีฝนตกติดต่อกัน ส่วนวันที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกนั้นความสามารถในการชะลอน้ำของหินจะเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย

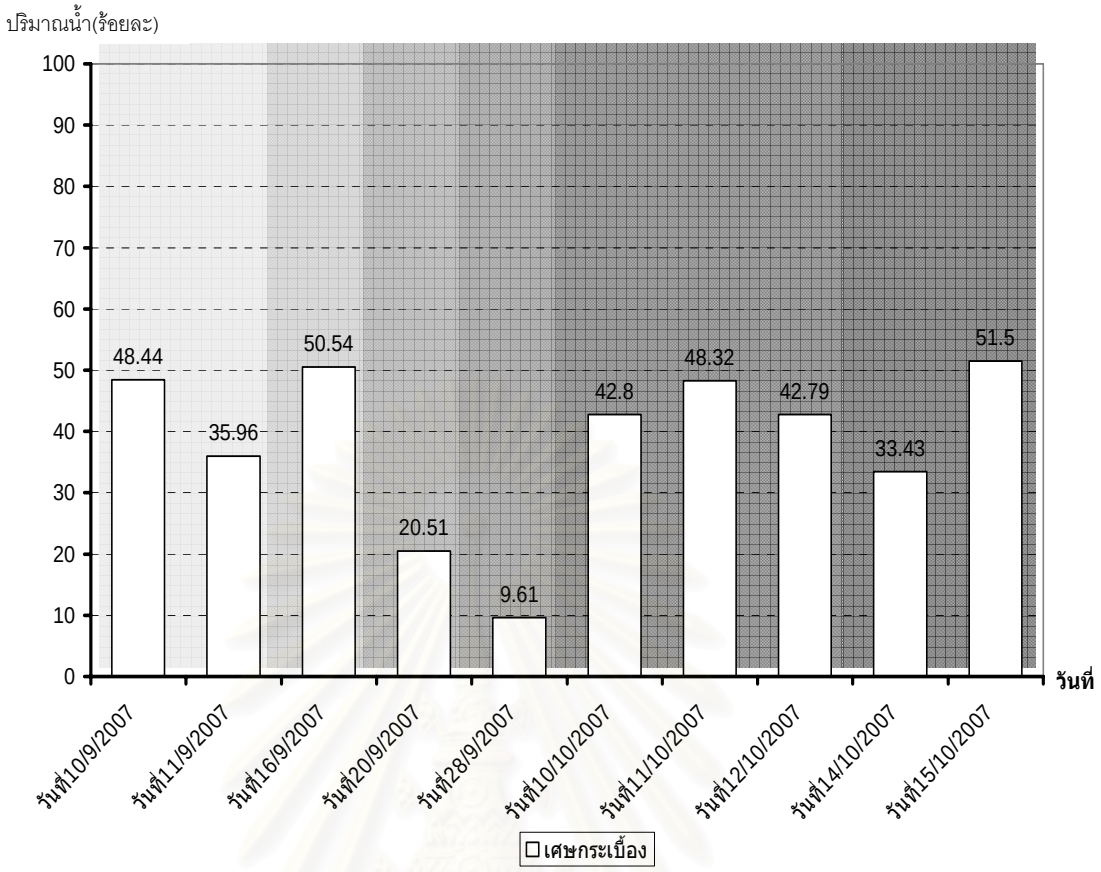
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษอิฐ

จากแผนภูมิพบว่าเศษอิฐเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการชะลอน้ำได้ค่อนข้างน้อย แต่หากเปรียบเทียบกับแผนภูมิของเศษปูนและหิน เศษอิฐยังจัดว่ามีความสามารถในการชะลอน้ำได้มากกว่า แต่จากระดับของแผนภูมิที่มีความสูงใกล้เคียงกัน แม้ว่าจะเป็นวันที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกอย่างวันที่ 20 และ 28 ก.ย. จึงคาดการณ์ได้ว่าเศษอิฐเป็นวัสดุที่ดูดซับน้ำได้ดีแต่น้ำระเหยออกได้ช้า ทำให้แผนภูมิมีระดับไม่แตกต่างกันมาก

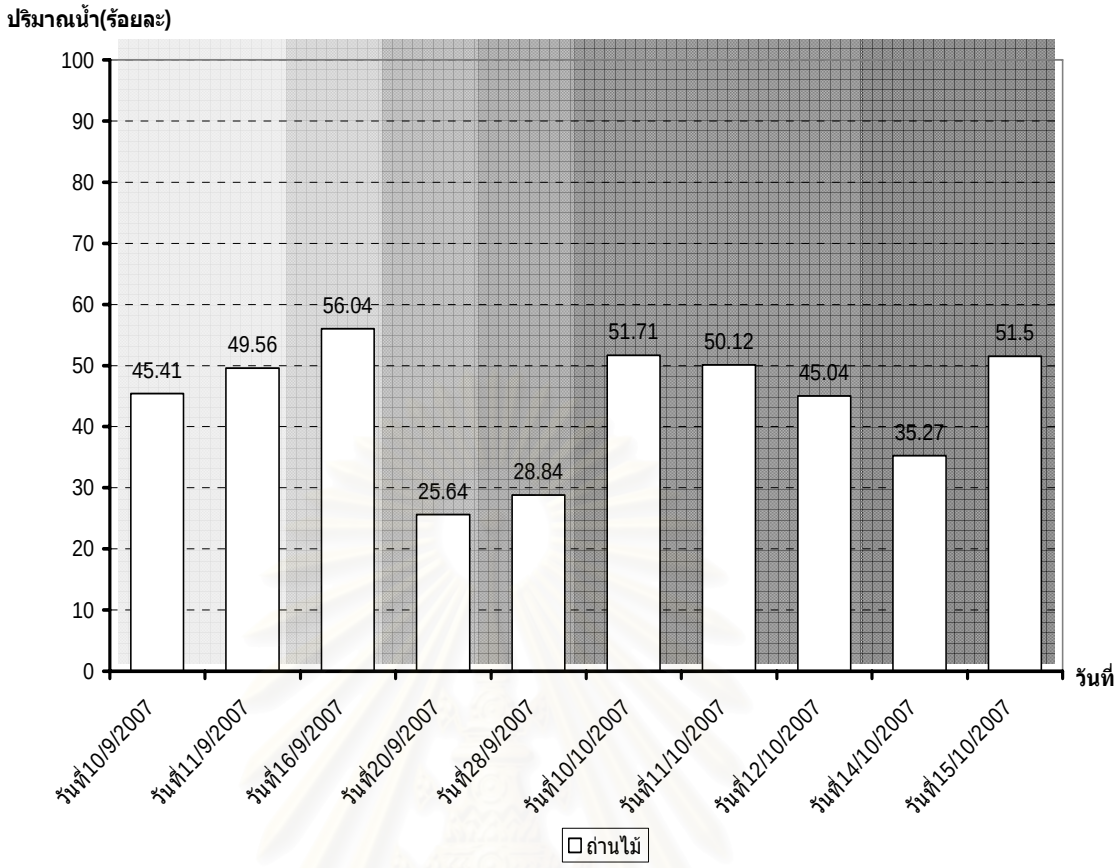
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของเศษกระเบื้อง

จากแผนภูมิพบว่าเศษกระเบื้องเป็นวัสดุที่สามารถชะลอน้ำได้ดีหากเปรียบเทียบกับวัสดุต่างๆ แม้จะเป็นช่วงที่มีฝนตกต่อเนื่องกันหลายวัน และจะสามารถชะลอน้ำได้ดีมากในช่วงที่มีฝนทิ้งช่วงไป เช่นวันที่ 20 กับ 28 ก.ย. และวันที่ 10 กับ 14 ต.ค. แต่หากเป็นช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันหลายวันความสามารถในการชะลอน้ำของเศษกระเบื้องจะน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เห็นได้จากความแตกต่างในระดับวันต่างๆ ของแผนภูมิของวันที่ฝนตกต่อเนื่องและวันที่ฝนทิ้งช่วง

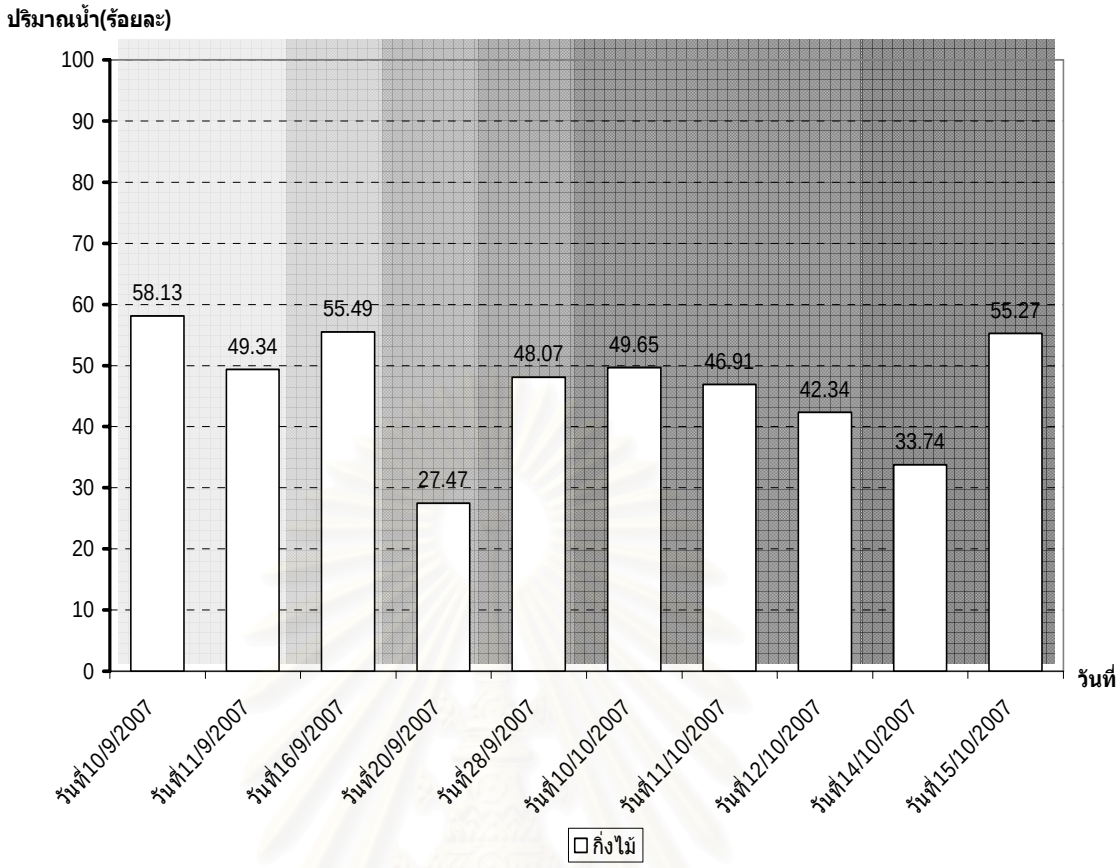
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของถ่านไม้

พบว่าลักษณะของแผนภูมิมีลักษณะการซะลอน้ำคล้ายกับเศษอิฐ แต่สามารถซะลอน้ำได้ดีกว่า แต่หากเปรียบเทียบในด้านความสามารถการซะลอน้ำกับวัสดุหลายๆชนิด ถ่านเป็นวัสดุที่สามารถซะลอน้ำได้ในระดับปานกลาง โดยดูจากค่าตัวเลขในแผนภูมิจะเห็นว่าวันที่ซะลอน้ำได้มากกว่าร้อยละ 50 และน้อยกว่าร้อยละ 50 มีสัดส่วนเท่ากัน แต่จากแผนภูมิจะเห็นว่าในส่วนที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตก ถ่านสามารถซะลอน้ำได้ค่อนข้างดี คาดการณ์ได้ว่าน้ำที่ถูกดูดซับในวัสดุชนิดนี้ระเหยได้ดี

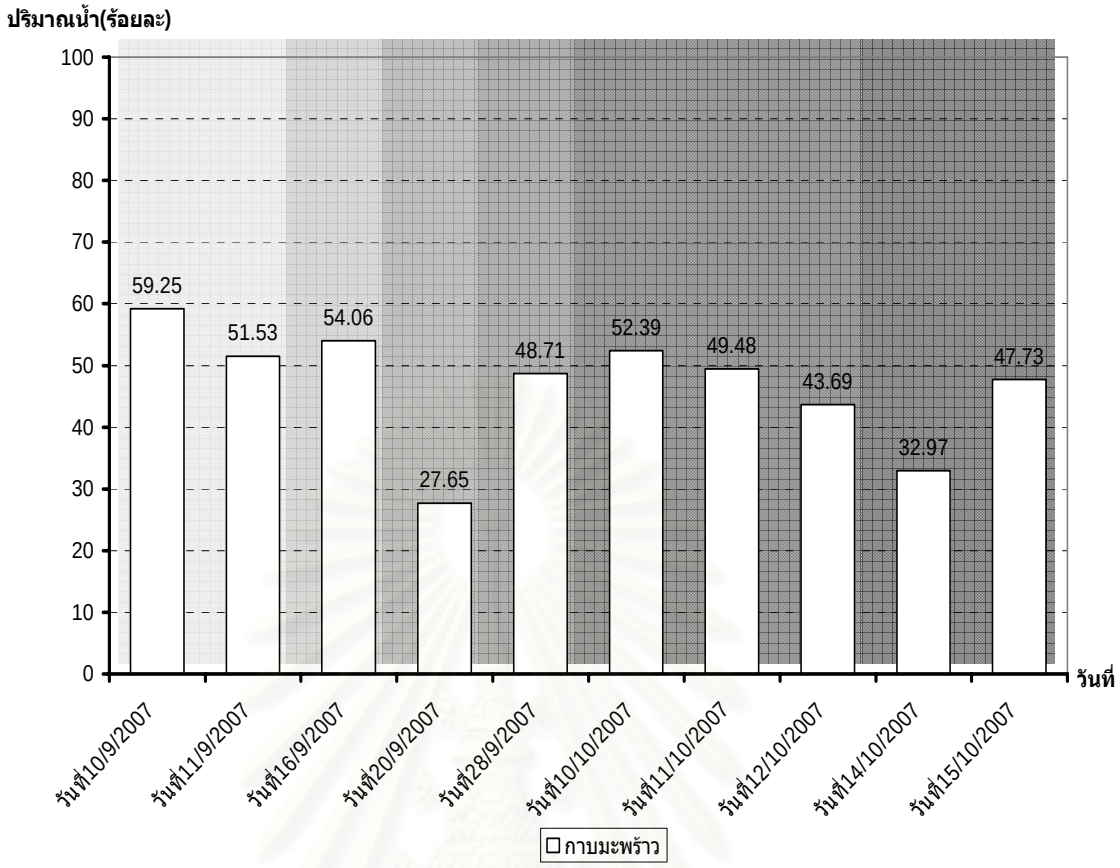
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกิ่งไม้แห้ง

จากแผนภูมิกิ่งไม้แห้งเป็นวัสดุที่สามารถชะลอน้ำได้ค่อนข้างน้อยหากเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ และจากแผนภูมิจะพบว่าช่วงที่มีฝนตกติดต่อกันหลายวันก่อนหน้าที่จะวัดปริมาณน้ำได้เช่น ในช่วงของวันที่ 10-11 ก.ย. จึงทำให้แผนภูมิในวันดังกล่าวมีค่าสูงมาก แสดงว่ากิ่งไม้แห้งเป็นวัสดุที่อิ่มตัวจากน้ำได้เร็ว และจากแผนภูมิในวันที่ 28 ก.ย. และวันที่ 10 ต.ค. ยังคงมีค่าตัวเลขสูงอยู่แสดงว่าในช่วงที่ฝนไม่ตก กิ่งไม้แห้งสามารถดูดซับน้ำได้ดี ซึ่งตรงส่วนนี้เองทำให้บอกได้ว่าการชะลอน้ำของกิ่งไม้แห้งไม่ดีเท่าที่ควร

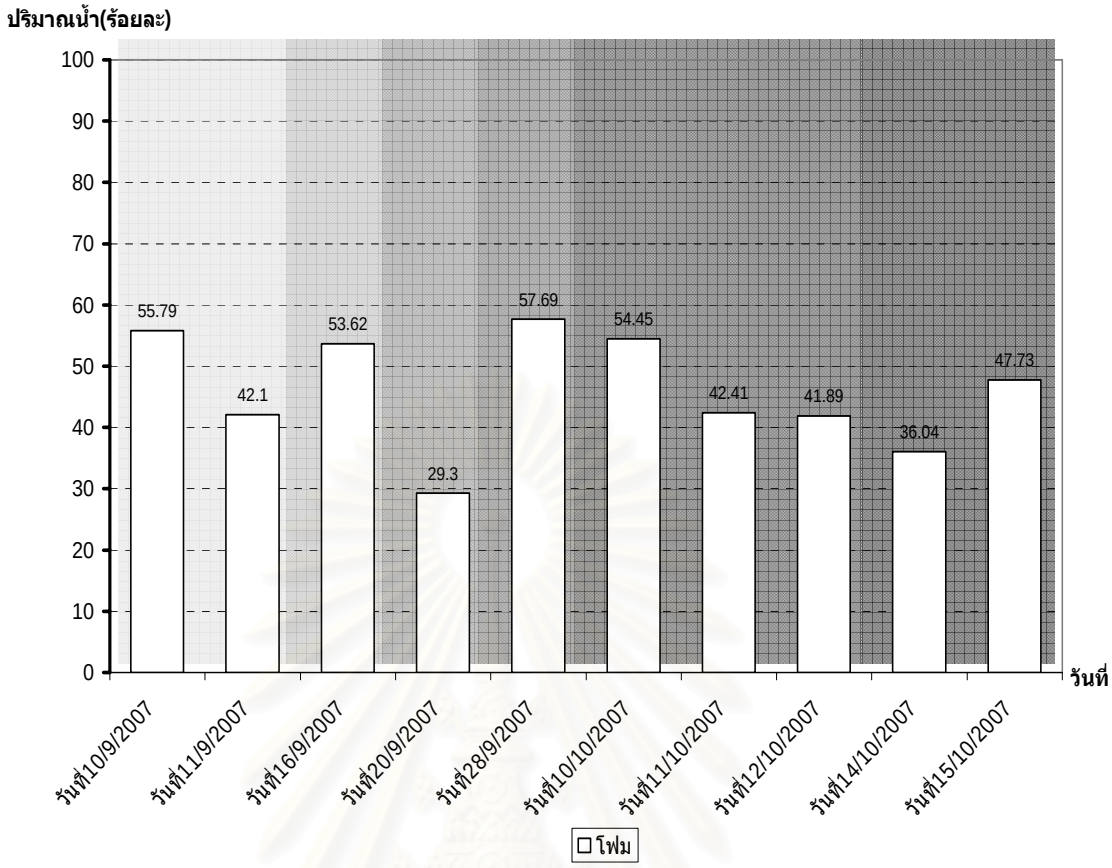
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของกาบมะพร้าว

ลักษณะแผนภูมิของกาบมะพร้าวเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุต่างๆ จะใกล้เคียงกับกิ่งไม้แห้งทั้งรูปแบบแผนภูมิและค่าความสามารถในการชะลอน้ำ เช่นวันที่ 10 ก.ย. และ 10 ต.ค. จะเห็นว่าความสามารถในการชะลอน้ำจะน้อยลง เนื่องจากหลายวันก่อนหน้านี้ได้ทำการรดน้ำและมีฝนตกเล็กน้อยซึ่งอาจจะทำให้วัสดุชนิดนี้อิ่มตัวจากน้ำ ส่วนในวันที่ 20 และ 28 ก.ย. แม้ทั้ง 2 วันดังกล่าวจะมีฝนทิ้งช่วง แต่ค่าตัวเลขยังคงสูงอยู่แสดงว่ากาบมะพร้าวยังดูดซับน้ำเอาไว้มากเช่นเดียวกับกิ่งไม้แห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเป็นร้อยละของโฟม

จากแผนภูมิเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดต่างๆ พบว่าโฟมมีความสามารถชะลอน้ำใกล้เคียงกับกรวด และเศษกระเบื้อง แต่แตกต่างกันที่ความสามารถในการชะลอน้ำของโฟม มีค่าคงที่มากกว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมา อาจเนื่องมาจากโฟมสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่า โดยสังเกตได้จากแผนภูมวันที่ 10 ก.ย. และ 10 ต.ค. ที่โฟมมีรูปแบบของแผนภูมิใกล้เคียงกับกิ่งไม้แห้งและกาบมะพร้าวที่ดูดซับน้ำได้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง

จากการอภิปรายเปรียบเทียบการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด ทำให้สามารถสรุปว่าวัสดุชนิดใดมีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำมากกว่ากัน ส่วนการเปรียบเทียบวัสดุชะลอน้ำในรูปแบบร้อยละ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิด จากข้อมูลที่อภิปรายในข้างต้น พบว่า พฤติกรรมการชะลอน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) ฝนทิ้งช่วง 2) ฝนตกต่อเนื่อง ดังนั้นจากการอภิปรายผลการทดลองกลางแจ้งทั้ง 2 ส่วน สามารถนำมาสรุปเป็นตารางอย่างง่ายได้ดังนี้

ลำดับวัสดุแต่ละชนิด	พฤติกรรมการชะลอน้ำ			
	ฝนทิ้งช่วง	ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำ(ร้อยละ)	ฝนตกต่อเนื่อง	ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำ(ร้อยละ)
1. กรวด	★★★	62.83	★★★	58.81
2. เศษกระเบื้อง	★★★	64.99	★★★	56.24
3. โฟม	★★	54.30	★★★	55.50
4. ถ่าน	★★	54.91	★★	53.28
5. กิ่งไม้แห้ง	★★	52.80	★	52.42
6. เศษอิฐ	★★	52.65	★	52.45
7. กาบมะพร้าว	★	51.76	★	52.75
8. หิน	★	52.27	★	50.97
9. เศษปูน	★	50.18	★	48.05

ตารางที่ 4.6 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง
(ลำดับที่ 1 คือ วัสดุที่ชะลอน้ำได้มากที่สุด ลำดับที่ 9 คือ วัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยที่สุด)

★★★ ความสามารถในการชะลอน้ำมาก ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำร้อยละ 55 ขึ้นไป

★★ ความสามารถในการชะลอน้ำปานกลาง ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำร้อยละ 52.50-55

★ ความสามารถในการชะลอน้ำน้อย ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำร้อยละ 52.50 ลงไป

จากตารางที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่า

1. กรวด เศษกระเบื้อง และโฟม เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำมาก
2. ถ่าน กิ่งไม้แห้ง และเศษอิฐ เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำปานกลาง
3. กาบมะพร้าว หิน และเศษปูน เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำน้อย

4.3 ผลการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์โดยเครื่องจำลองน้ำฝน (Rainfall Hydrograph) เปิดน้ำปริมาณ 150 มม. หรือ คิดเป็นปริมาตร 150 ลิตร ตามพื้นที่ของอุปกรณ์ทดลอง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงปิดน้ำและปล่อยให้น้ำไหลต่อไปอีก 30 นาที ทำการจดบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลลงมาสู่ถังรองทุกๆ 5 นาที วัสดุ 1 ชนิดจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ตามตารางดังต่อไปนี้

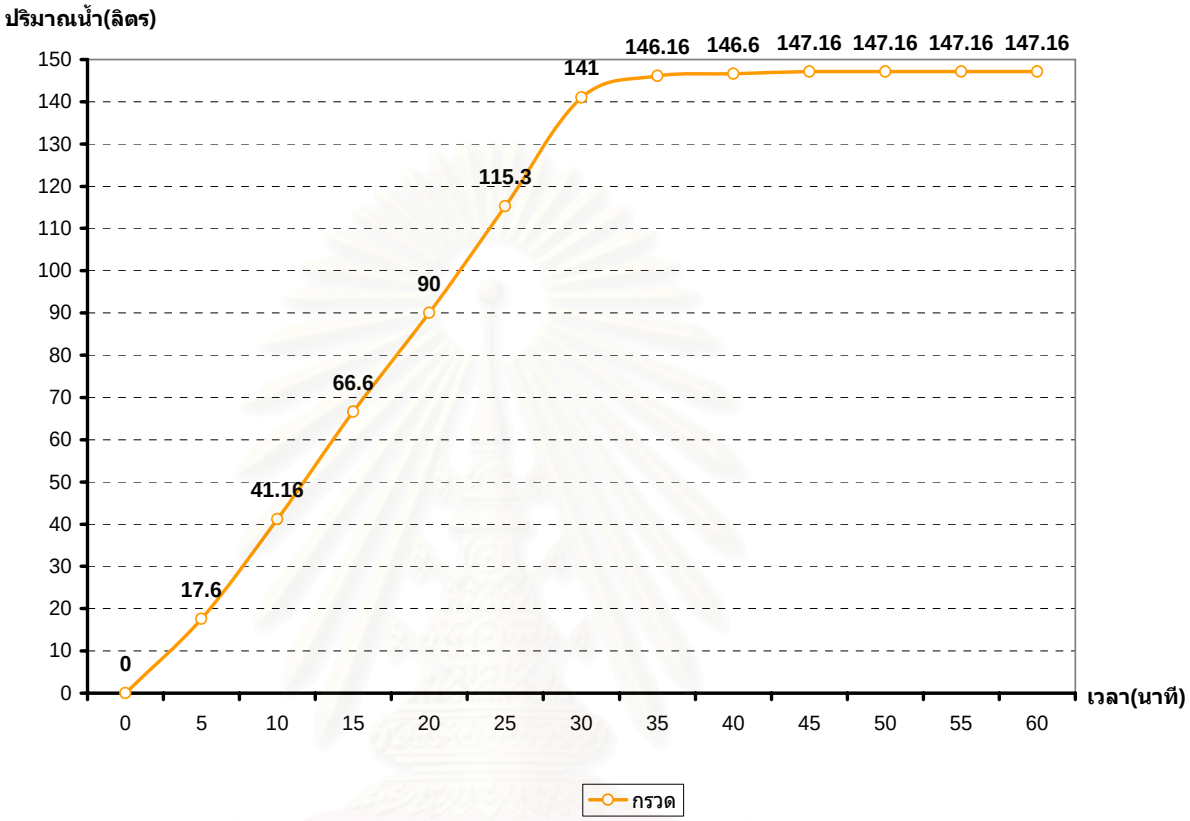
เวลา(นาที) / วัสดุ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	น้ำที่หายไป
กรวด	0	17.6	41.16	66.6	90	115.3	141	146.16	146.6	147.16	147.16	147.16	147.16	2.84
เศษปูน	0	17	40.5	66.3	90.5	115.5	140.5	147	147.5	148	148	148	148	2
หิน	0	17	41.16	66	90	115	140	146.5	147	147.5	147.5	147.5	147.5	2.5
เศษอิฐ	0	17	41	67	91	116.6	141.6	147.6	148.6	149.16	149.16	149.16	149.16	0.84
ถ่าน	0	15.83	39.3	65.16	88.6	113.3	138.3	144.5	145.5	146	146	146	146	4
กาบมะพร้าว	0	15.16	39	64.5	89	114	139.3	147	148	148.5	148.5	148.5	148.5	1.5
โฟม	0	15	38	63	87	111.83	137	145	146	146.5	146.5	146.5	146.5	3.5
เศษกระเบื้อง	0	14.5	37.5	62.5	86.5	111	136	144.5	145.5	146	146	146	146	4
กิ่งไม้แห้ง	0	14	37.83	62.83	86.83	111.3	135.6	145.6	146.16	146.6	146.6	146.6	146.6	3.4

ตารางที่4.7 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลในแต่ละช่วงเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

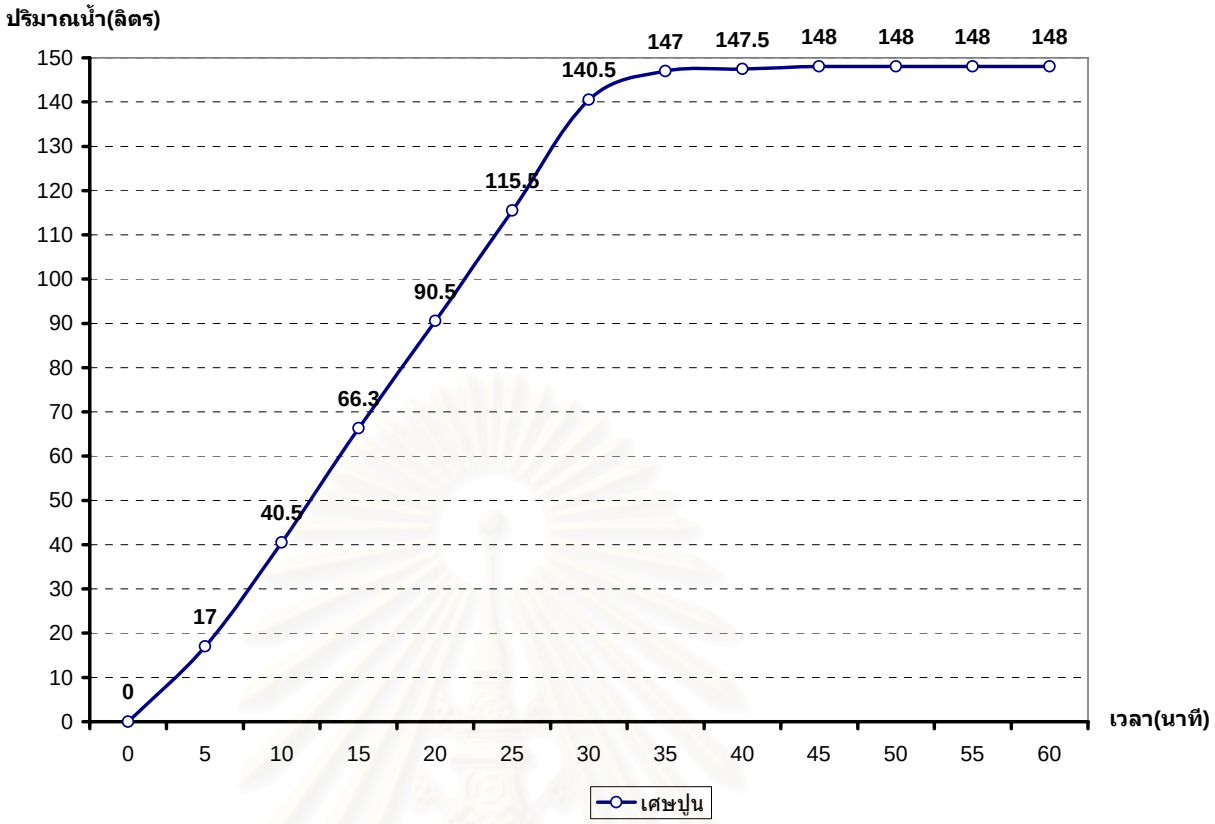
4.3.1 การวิเคราะห์แผนภูมิจากการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมซลศาสตร์

ผลของการทดลองในห้องปฏิบัติการจากตารางที่ 4.5 สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภูมิและอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

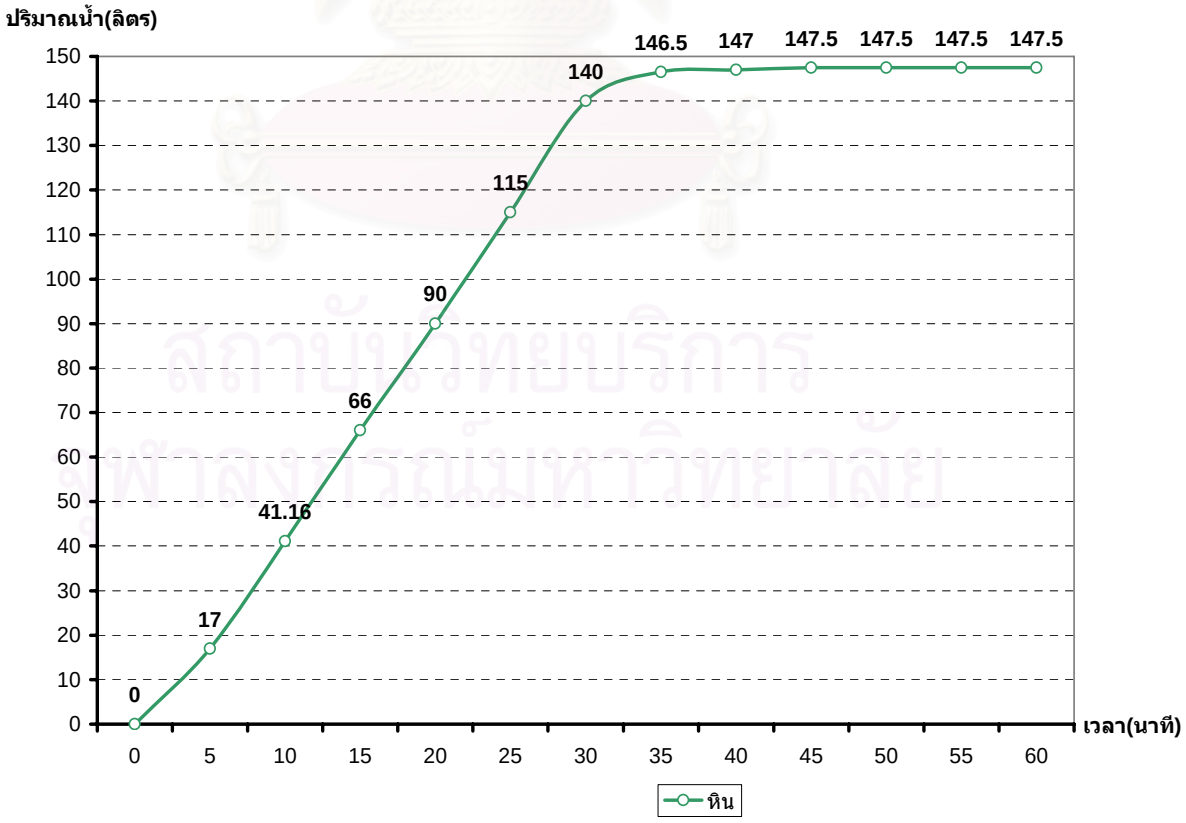


แผนภูมิที่4.20 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกรวด

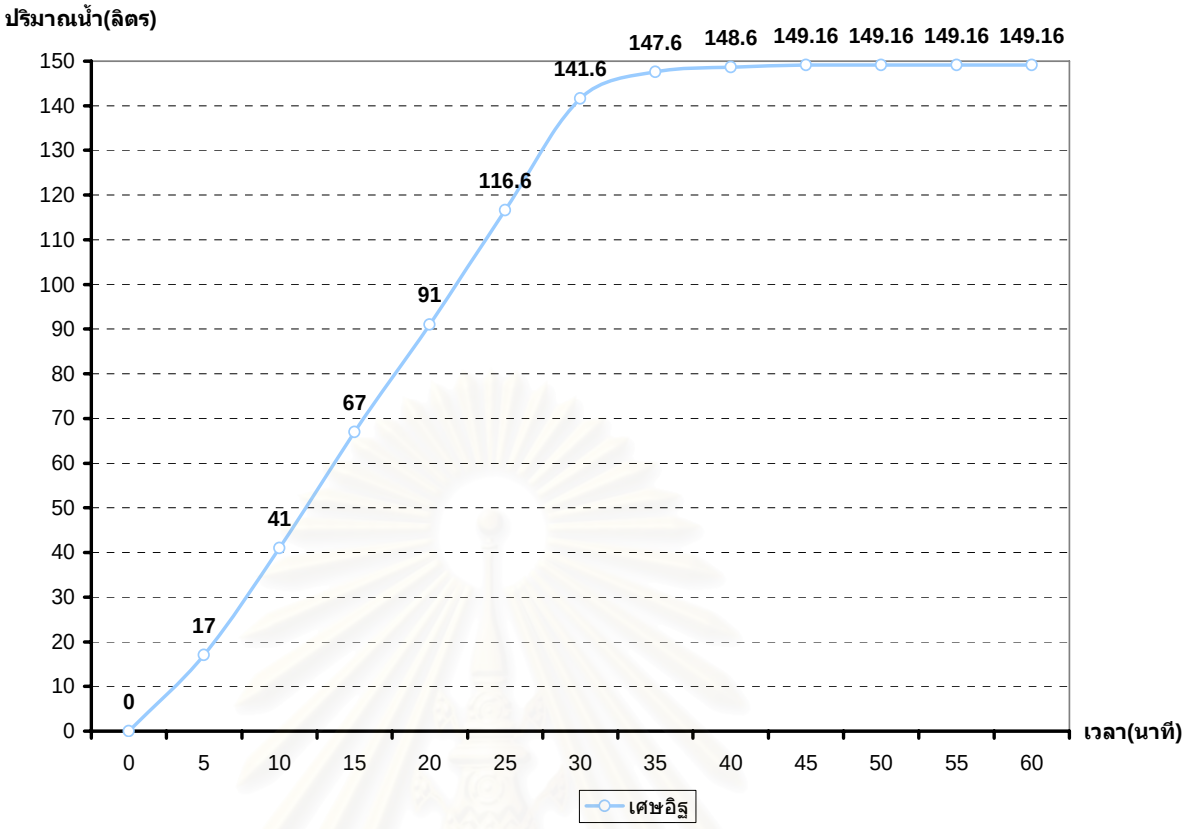
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



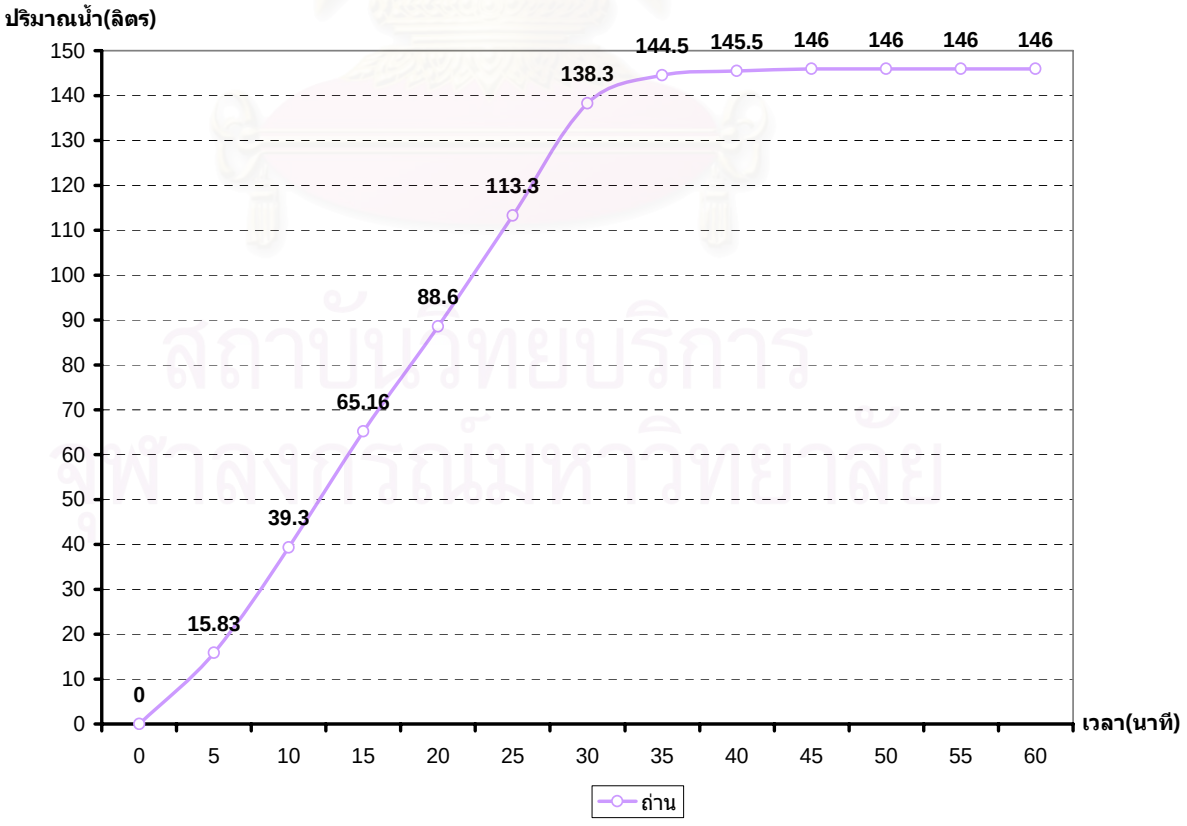
แผนภูมิที่4.21 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษปูน



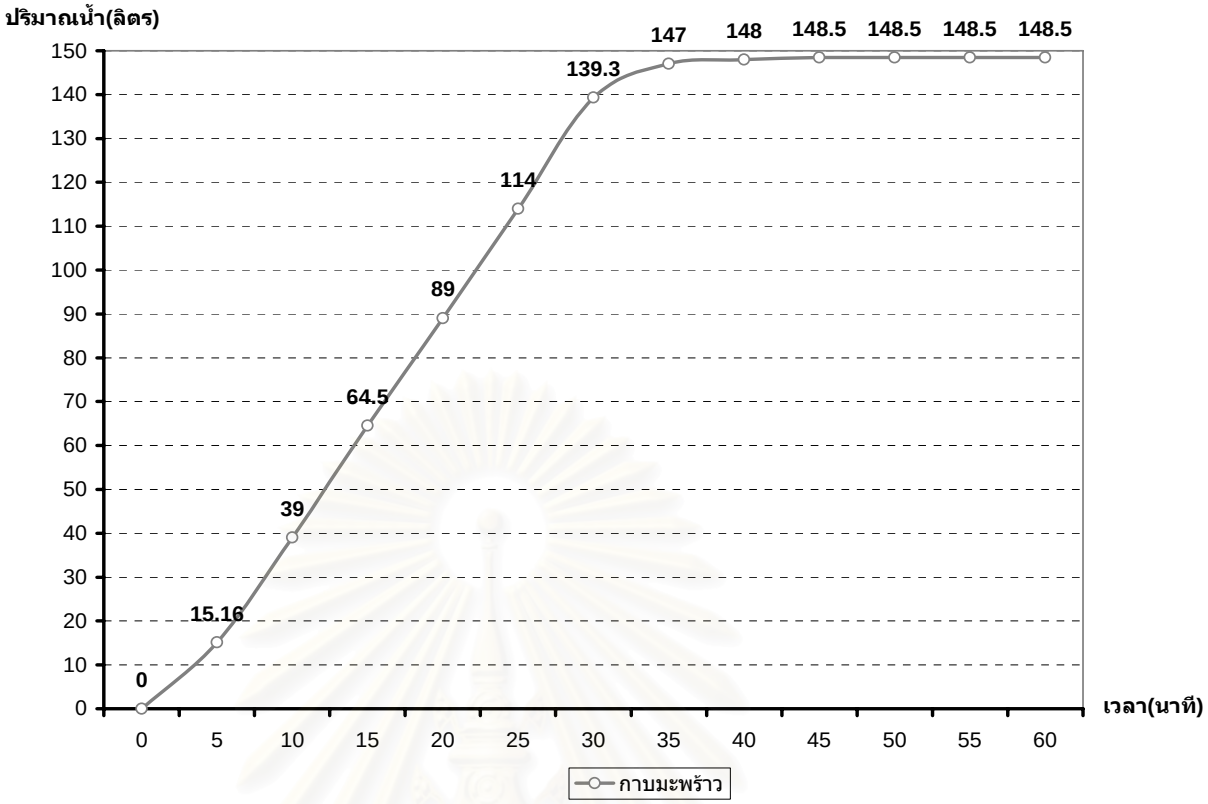
แผนภูมิที่4.22 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของหิน



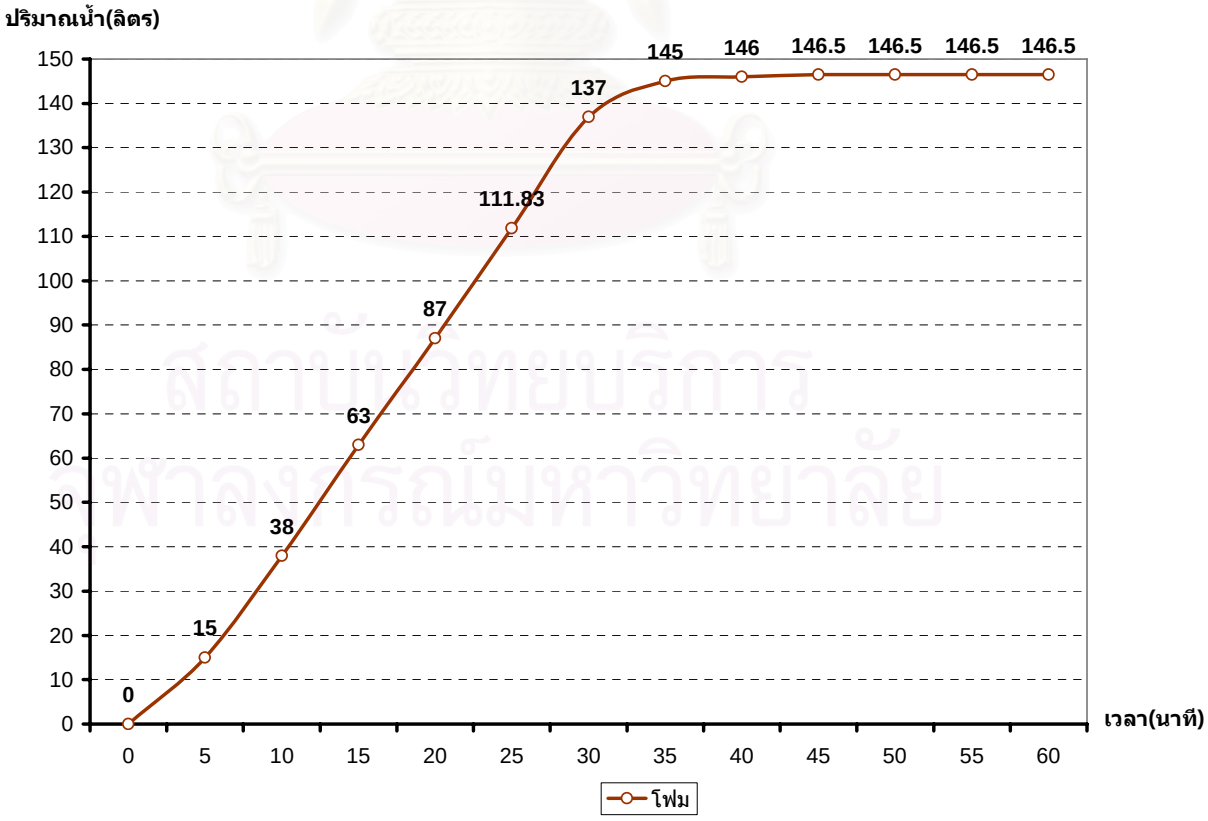
แผนภูมิที่4.23 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษอิฐ



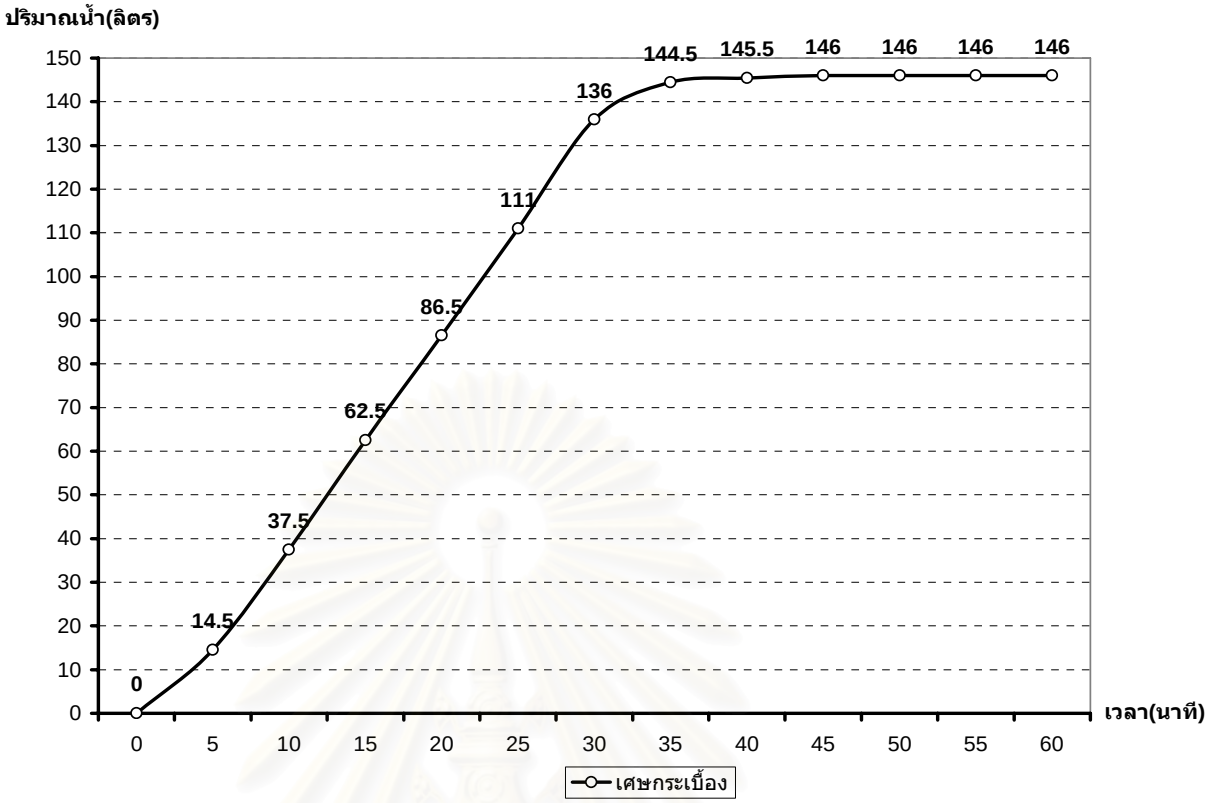
แผนภูมิที่4.24 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของถ่าน



แผนภูมิที่4.25 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกาบมะพร้าว



แผนภูมิที่4.26 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของโฟม



แผนภูมิที่4.27 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของเศษกระเบื้อง

แผนภูมิที่4.28 แสดงปริมาณน้ำที่ไหลสู่ถังรองน้ำในแต่ละช่วงเวลาของกิ่งไม้แห้ง

<u>อภิปรายแผนภูมิการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ</u>

เมื่อนำแผนภูมิทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าลักษณะของแผนภูมิเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน โดยภาพรวมหลังทำการเปิดน้ำ 30 นาที และปล่อยให้น้ำไหลต่อไปอีก 30 นาที พบว่าเมื่อปิดน้ำในนาทีที่ 30 ต่อมาอีก 15 นาที นั่นคือนาทีที่ 45 ปริมาณน้ำในถังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก โดยทุกวัสดุจะเป็นเช่นนี้ คาดการณ์ว่าวัสดุชั้นระบายน้ำ จะใช้เวลาครึ่งหนึ่งของเวลาที่ฝนตกในการระบายน้ำฝน หลังจากที่ฝนหยุดตกและน้ำไหลลงมาสู่ชั้นวัสดุชะลอน้ำเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

หลังจากที่ได้ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว จะนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองกลางแจ้ง แต่ทว่าผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้เป็นเพียงข้อมูลในการสนับสนุนหรือดูแนวโน้มที่เกิดขึ้นของผลการทดลองกลางแจ้งเท่านั้น เนื่องจากการกำหนดค่าของหน่วยเวลาที่แตกต่างกันคือ การทดลองกลางแจ้งทำการเก็บข้อมูลเป็นวัน ส่วนการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการมีหน่วยเป็นนาที ทั้งนี้มีปัจจัยด้านการควบคุมตัวแปรอีกมากที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมาเปรียบเทียบโดยตรง

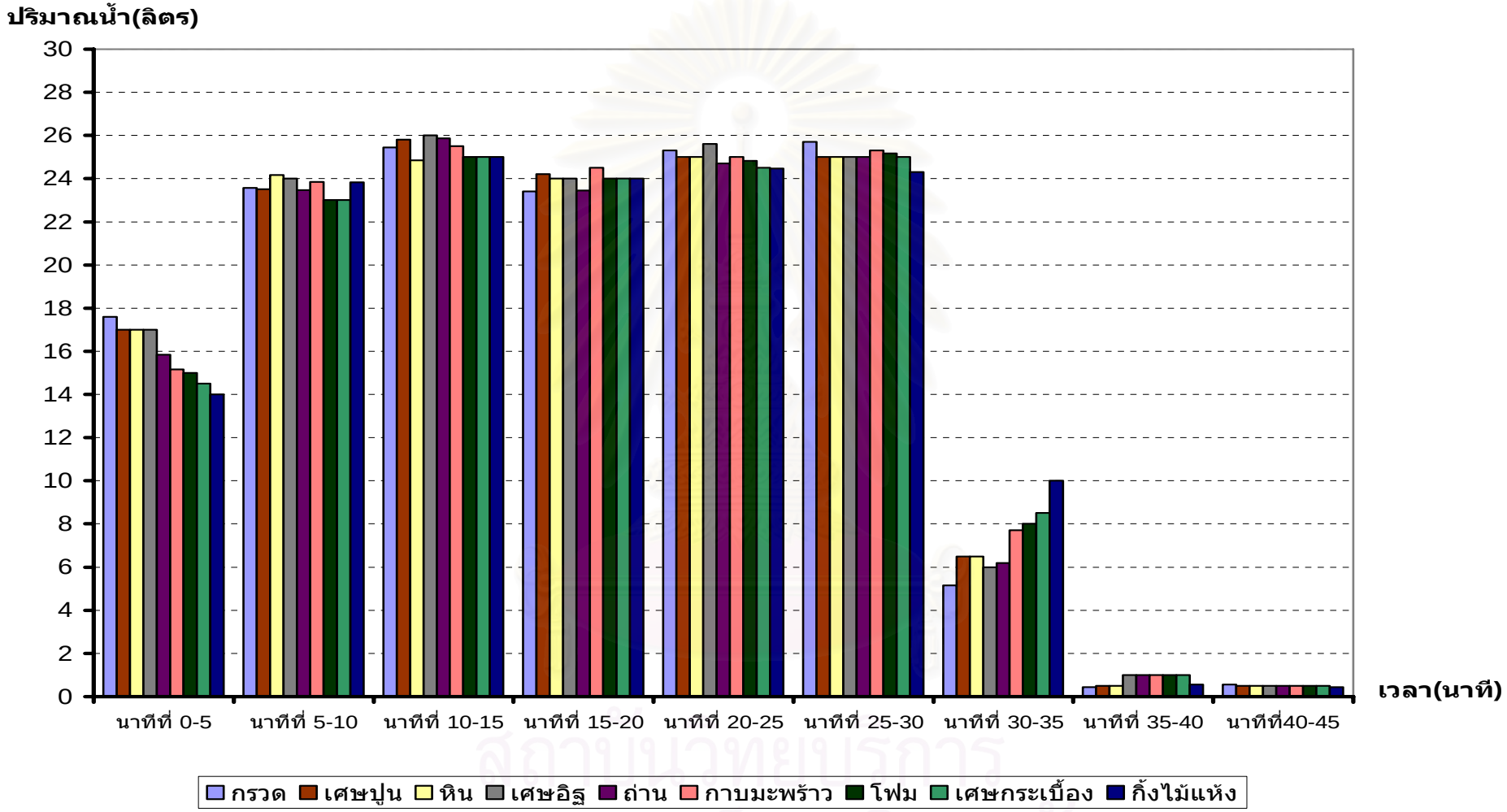
เมื่อนำแผนภูมิวัสดุทุกชนิดมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าแผนภูมิเชิงเส้นของวัสดุทั้ง 9 ชนิดทำให้เกิดความสับสนยากแก่การวิเคราะห์ข้อมูล แผนภูมิเปรียบเทียบวัสดุจึงปรับมาใช้เป็นแผนภูมิแท่งแทนเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายยิ่งขึ้น โดยจะนำข้อมูลจากตารางที่ 4.5 มาหาค่าปริมาณน้ำที่เพิ่มระหว่างช่วงเวลาที่จดบันทึก เช่น ปริมาณน้ำของกรวดระหว่างนาทีที่ 5-10 เมื่อนำมาลบกันจะได้ปริมาณน้ำ เท่ากับ 23.56 ลิตร จากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นแผนภูมิและทำการอภิปรายต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลา / วัสดุ	นาทีที่ 0-5	นาทีที่ 5-10	นาทีที่ 10-15	นาทีที่ 15-20	นาทีที่ 20-25	นาทีที่ 25-30	นาทีที่ 30-35	นาทีที่ 35-40	นาทีที่ 40-45
กรวด	17.6	23.56	25.44	23.4	25.3	25.7	5.16	0.44	0.56
เศษปูน	17	23.5	25.8	24.2	25	25	6.5	0.5	0.5
หิน	17	24.16	24.84	24	25	25	6.5	0.5	0.5
เศษอิฐ	17	24	26	24	25.6	25	6	1	0.5
ถ่าน	15.83	23.47	25.86	23.44	24.7	25	6.2	1	0.5
กาบมะพร้าว	15.16	23.84	25.5	24.5	25	25.3	7.7	1	0.5
โฟม	15	23	25	24	24.83	25.17	8	1	0.5
เศษกระเบื้อง	14.5	23	25	24	24.5	25	8.5	1	0.5
กิ่งไม้แห้ง	14	23.83	25	24	24.47	24.3	10	0.56	0.44

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่บันทึกผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่4.29 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำแต่ละวัสดุ ณ ช่วงเวลาที่จดบันทึก ตั้งแต่นาทีที่ 0 ถึง นาทีที่ 45

อภิปรายแผนภูมิที่ 4.29

นาทีที่ 0-5

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.กรวด 2.เศษปูน หิน เศษอิฐ 3.ถ่าน 4.กาบมะพร้าว 5.โฟม 6.เศษกระเบื้อง 7.กิ่งไม้แห้ง และสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าวัสดุจะแยกให้เห็นอย่างชัดเจนได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวัสดุที่ชะลอน้ำได้มาก คือ ถ่าน กาบมะพร้าว โฟม เศษกระเบื้อง และกิ่งไม้แห้ง และกลุ่มวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อย คือ กรวด เศษปูน หิน เศษอิฐ แสดงให้เห็นว่าเมื่อแช่วัสดุทิ้งไว้ 1 คืน แล้วเริ่มทดลองวัสดุยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่

นาทีที่ 5-10

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.หิน 2.เศษอิฐ 3.กาบมะพร้าว 4.กิ่งไม้แห้ง 5.กรวด 6.เศษปูน 7.ถ่าน 8. โฟม และเศษกระเบื้อง หลังจากฝนตกระยะเวลาหนึ่งจนวัสดุเริ่มอิ่มตัวจากน้ำ จะพบว่ากาบมะพร้าว และกิ่งไม้แห้ง มีความสามารถในการชะลอน้ำน้อยลงกว่ากรวดและเศษปูน และเมื่อดูจากความสูงของแผนภูมิพบว่าวัสดุเกือบทุกชนิดมีค่าการชะลอน้ำใกล้เคียงกันมากขึ้น

นาทีที่ 10-15

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.เศษอิฐ 2.ถ่าน 3.เศษปูน 4.กาบมะพร้าว 5.กรวด 6.โฟม เศษกระเบื้อง และกิ่งไม้แห้ง 7.หิน พบว่าวัสดุทุกชนิดสามารถชะลอน้ำได้น้อยลงกว่านาทีที่ 5-10 อาจเนื่องมากจากนาทีที่ 10-15 เป็นช่วงที่วัสดุอิ่มตัวจากน้ำเต็มที่ แต่ถ่าน และกาบมะพร้าวเห็นได้ชัดเจนว่าความสามารถในการชะลอน้ำน้อยลงกว่าเดิมมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เริ่มเปิดน้ำ ส่วนโฟม เศษกระเบื้อง และกิ่งไม้แห้ง ยังสามารถชะลอน้ำได้มากเช่นเดิม และยังพบว่าหินในช่วงเวลาดังกล่าวมีความสามารถในการชะลอน้ำได้มากที่สุดในจำนวนวัสดุทั้งหมด

นาทีที่ 15-20

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.กาบมะพร้าว 2.เศษปูน 3.หิน เศษอิฐ โฟม เศษกระเบื้อง และกิ่งไม้แห้ง 4. ถ่าน 5.กรวด พบว่าวัสดุทุกชนิดในช่วงเวลาดังกล่าวมีความสามรถในการชะลอน้ำมากขึ้นเล็กน้อย โดยเฉพาะกรวดจะเห็นได้ชัดว่าความสามารรถในการชะลอน้ำของกรวดสลับมากกันน้อยตามช่วงเวลา ส่วนถ่านสามารถชะลอน้ำได้มากขึ้น ส่วนวัสดุอื่นๆจะพบว่าช่วงแรกที่เปิดน้ำ

จะสามารถแยกกันได้อย่างชัดว่าวัสดุชนิดไหนชะลอน้ำได้มากกว่ากัน จนมาถึงช่วงเวลาดังกล่าววัสดุหลายชนิดมีความสามารถในการชะลอน้ำเท่าๆกัน เนื่องมาจากเมื่อวัสดุต่างๆอิ่มตัวจากน้ำทำให้คุณสมบัติในการะชะลอของวัสดุทุกชนิดจะใกล้เคียงกัน ยกเว้นแต่กาบมะพร้าวที่เห็นได้ชัดเจนว่าสามารถชะลอน้ำได้น้อยลงไปเรื่อยๆตามเวลาที่เปิดน้ำ

นาทีที่ 20-25

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.เศษอิฐ 2.กรวด 3.เศษปูน หิน กาบมะพร้าว 4.โฟม 5.ถ่าน 6.เศษกระเบื้อง 7.กิ่งไม้แห้ง พบว่าความสามารถการชะลอน้ำของวัสดุทุกชนิดในช่วงเวลาดังกล่าวน้อยลง วัสดุที่ดูดซับน้ำได้มากคือ กิ่งไม้แห้ง เศษกระเบื้อง โฟม ถ่าน สามารถชะลอน้ำได้มากกว่าเศษอิฐ กรวด เศษปูน เล็กน้อย ยกเว้นกาบมะพร้าวที่เป็นยังชะลอน้ำได้น้อยเนื่องจากวัสดุยังคงอิ่มตัวจากน้ำอยู่ แผนภูมิจึงสูงเป็นลำดับต้นๆในช่วงเวลาดังกล่าว

นาทีที่ 25-30

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.กรวด 2.กาบมะพร้าว 3.โฟม 4.เศษปูน หิน เศษอิฐ ถ่าน เศษกระเบื้อง 5.กิ่งไม้แห้ง จากช่วงเวลาดังกล่าวพบว่าความสามารถในการชะลอน้ำแต่ละวัสดุน้อยลงและปริมาณน้ำที่ชะลอได้กลับมาใกล้เคียงกัน คล้ายกับช่วงเวลาที่ 10-15 ซึ่งวัสดุอิ่มตัวจากน้ำ แต่จะเห็นว่าความสามารถในการชะลอน้ำของกรวดน้อยที่สุด รองลงมาคือกาบมะพร้าว จะเห็นว่าหลังจากที่กาบมะพร้าวอิ่มตัวจากน้ำแล้วความสารถในการชะลอน้ำน้อยลงอยู่ตลอดเวลา

นาทีที่ 30-35

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.กิ่งไม้แห้ง 2.เศษกระเบื้อง 3.โฟม 4.กาบมะพร้าว 5.เศษปูน และหิน 6. ถ่าน 7.เศษอิฐ 8.กรวด เมื่อปิดน้ำหลังจากนาทีที่ 30 แล้วพบว่า วัสดุที่ชะลอน้ำได้มากคือ กรวด เศษปูน หิน เศษอิฐ ถ่าน ซึ่งแตกต่างกับช่วงเวลาที่เปิดน้ำว่าวัสดุเหล่านี้ชะลอน้ำได้น้อย ลักษณะของแผนภูมิเมื่อปิดน้ำจะตรงกันข้ามกับช่วงเวลา 0-5 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มเปิดน้ำ ดังนั้นคาดการณ์ได้ว่าวัสดุเหล่านี้จะชะลอน้ำได้มากในช่วงเวลาที่ฝนหยุดตกหรือฝนตกเล็กน้อย

นาทีที่ 35-40

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.เศษอิฐ ถ่าน กาบมะพร้าว โฟม และเศษกระเบื้อง 2.กิ่งไม้แห้ง 3.เศษปูน และหิน 4.กรวด จะพบว่ารูปแบบแผนภูมิใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ 30-40 โดยเศษปูน หิน และกรวด ชะลอน้ำได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆถึงเท่าตัว เว้นแต่กิ่งไม้แห้งที่มีความสามารถในการชะลอน้ำเพิ่มมากขึ้น

นาทีที่ 40-45

จากแผนภูมิดังกล่าวสามารถไล่ลำดับความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุต่างๆจากน้อยไปมากได้ดังนี้ 1.กรวด 2.เศษปูน หิน เศษอิฐ เศษกระเบื้อง ถ่าน กาบมะพร้าว และโฟม 3.กิ่งไม้แห้ง จากแผนภูมิพบว่าเมื่อถึงช่วงเวลาดังกล่าว ความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุทุกชนิดใกล้เคียงกัน แต่กรวดชะลอน้ำได้น้อยที่สุด

4.3.2 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดในการทดลองห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำในแต่ละวัสดุ สามารถนำมาสรุปการจัดลำดับประสิทธิภาพการชะลอน้ำ ได้ดังต่อไปนี้

ลำดับวัสดุแต่ละชนิด	ค่าเฉลี่ยในการชะลอน้ำจากนาทีที่ 0-30
1. กิ่งไม้แห้ง	27.12
2. เศษกระเบื้อง	27.20
3. โฟม	27.40
4. ถ่าน	27.66
5. กาบมะพร้าว	27.86
6. หิน	28.00
7. เศษปูน	28.10
8. กรวด	28.20
9. เศษอิฐ	28.32

ตารางที่ 4.9 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง

(ลำดับที่ 1 คือ วัสดุที่ชะลอน้ำได้มากที่สุด ลำดับที่ 9 คือ วัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยที่สุด)

หมายเหตุ การหาค่าเฉลี่ยจะใช้นาทีที่ 0-30 ซึ่งเป็นช่วงที่เปิดน้ำเท่านั้น

4.3.3 สรุปแนวโน้มการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์กับการทดลองกลางแจ้ง

จากที่กล่าวในตอนต้นของการแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำของช่วงเวลาต่างๆว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ จะนำมาเป็นแนวโน้มของการทดลองกลางแจ้ง ซึ่งผลที่ออกมาพบว่ามีบางส่วนของผลการทดลองที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับการทดลองกลางแจ้ง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบระหว่างการทดลองกลางแจ้ง และการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ สามารถบอกแนวโน้มที่เหมือนกันได้ดังต่อไปนี้

กรวด

แนวโน้มผลการทดลองของกรวดที่สอดคล้องกันคือ การคาดการณ์ว่ากรวดเป็นวัสดุที่สามารถดูดซับและคายน้ำได้รวดเร็ว โดยสังเกตผลจากการที่แผนภูมิมีลักษณะสูงต่ำสลับกันไปมา และเมื่อฝนตกเป็นระยะเวลาหนึ่ง กรวดมีความสามารถในการชะลอน้ำดีขึ้นหากเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ

เศษปูน

แนวโน้มของเศษปูนที่สอดคล้องกับผลการทดลองกลางแจ้งคือ เศษปูนเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการชะลอน้ำได้น้อยมาก แต่จะชะลอน้ำได้ดีเล็กน้อยในช่วงฝนเริ่มตก หรือถ้าเปรียบเทียบเป็นการทดลองกลางแจ้ง อาจเปรียบได้กับเวลาที่ฝนทิ้งช่วง

หิน

แนวโน้มผลการทดลองของหินที่สอดคล้องกันคือ หินเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการชะลอน้ำน้อยมากแต่ความสามารถในการชะลอน้ำคงที่และสม่ำเสมอมากกว่า เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเศษปูน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบคล้ายกัน

เศษอิฐ

แนวโน้มผลการทอลองของเศษอิฐที่สอดคล้องกันคือ เศษอิฐเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการชะลอน้ำปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ แต่ดีกว่าเศษปูนและหิน และเมื่อเศษอิฐอิ่มตัวจากน้ำเต็มที่ความสามารถในการชะลอน้ำของอิฐจะน้อยมากซึ่งในบางช่วงเวลาจะน้อยกว่าเศษปูน และหิน

ถ่าน

แนวโน้มผลการของถ่านที่สอดคล้องกันคือ ถ่านเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการชะลอน้ำปานกลางเมื่อเทียบกับวัสดุต่างๆ แต่ดีกว่าเศษอิฐ ดูดซับน้ำได้ในระดับหนึ่ง จะเห็นได้จากแผนภูมิในส่วนของถ่านหากเปรียบเทียบกับวัสดุต่างๆจะพบว่าความสูงแผนภูมิจะอยู่ในระดับกลางเกือบทุกช่วงเวลา

กาบมะพร้าว

แนวโน้มผลการทดลองของกาบมะพร้าวที่สอดคล้องกันคือ กาบมะพร้าวเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้ดีเมื่อยังไม่อิ่มตัวจากน้ำ เมื่อดูจากแผนภูมิจะเห็นว่ากาบมะพร้าวในช่วงต้นสามารถชะลอน้ำได้มาก เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งที่กาบมะพร้าวอิ่มตัวจากน้ำจะทำให้ความสามารถในการชะลอน้ำน้อยลงอย่างมาก โดยสังเกตจากแผนภูมิที่มีความสูงอยู่ในลำดับต้นๆเมื่อวัสดุอิ่มตัวแล้ว

โฟม

แนวโน้มการทดลองของโฟมที่สอดคล้องกันคือ โฟมเป็นวัสดุที่สามารถชะลอน้ำได้มากหากเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ แต่ดูดซับน้ำได้ดีในระดับหนึ่ง และชะลอน้ำได้ดีเมื่อฝนตกต่อเนื่องกัน เมื่ออิ่มตัวจากน้ำความสามารถในการชะลอน้ำจะลดลงอยู่ในระดับปานกลาง

เศษกระเบื้อง

แนวโน้มการทดลองของเศษกระเบื้องที่สอดคล้องกันคือ เศษกระเบื้องมีความสามารถในการชะลอน้ำได้ดีมากเป็นลำดับต้นๆเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น เมื่ออิ่มตัวจากน้ำก็ยังสามารถชะลอน้ำได้มากกว่า

กิ่งไม้แห้ง

แนวโน้มผลการทดลองของกิ่งไม้แห้งที่สอดคล้องกันคือ กิ่งไม้แห้งเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้มากเมื่อยังไม่อิ่มตัวจากน้ำ แต่เมื่อมีฝนตกติดต่อกันความสามารถในการชะลอน้ำจะลดลงใกล้เคียงกับกาบมะพร้าวแต่คงที่มากกว่า

4.4 ผลการเก็บข้อมูลด้านกายภาพ

จากการเก็บข้อมูลความสามารถในการซะลอน้ำของวัสดุที่เลือกไว้ นอกเหนือจากผลในด้านการซะลอน้ำ ช่วงระหว่างเก็บผลการทดลองสามารถเก็บข้อมูลที่สามารถนำมาเป็นส่วนช่วยวิเคราะห์ได้มีดังนี้

4.4.1 สภาพของพืช

จากวิธีวิจัยที่กล่าวไปในบทที่ 3 พืชที่นำมาใช้คือหญ้า โดยจะทำการสังเกตและจดบันทึกความสูงของหญ้า และพื้นที่ของหญ้าที่เหลืออยู่ในกระบะทดลอง อาทิตย์ละ 1 ครั้ง โดยจดบันทึกทุกวันสุดท้ายของสัปดาห์คือวันอาทิตย์ รวมทั้งดูสภาพของหญ้าเมื่อทำการรื้อถอนหญ้าออกจากกระบะทดลอง รวมทั้งสิ้น 8 ครั้ง

สรุปการเก็บข้อมูลต้นหญ้าในกระบะทดลอง

วัสดุ / ช่วงเวลา	กรวด	เศษปูน	หิน	เศษอิฐ	เศษกระเบื้อง	ถ่านไม้	กิ่งไม้	กาบมะพร้าว	โฟม
	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
สัปดาห์ที่ 1 (กันยายน)	20	95	95	90	80	95	60	60	55
สัปดาห์ที่ 2 (กันยายน)	15	85	85	80	70	90	50	50	40
สัปดาห์ที่ 3 (กันยายน)	15	85	85	80	70	90	50	50	40
สัปดาห์ที่ 4 (กันยายน)	15	85	85	80	70	90	50	50	40
สัปดาห์ที่ 5 (ตุลาคม)	5	65	65	60	60	80	35	40	20
สัปดาห์ที่ 6 (ตุลาคม)	5	65	65	60	60	80	35	40	20
สัปดาห์ที่ 7 (ตุลาคม)	0	35	35	30	45	65	20	30	5
สัปดาห์ที่ 8 (ตุลาคม)	0	5	5	10	30	50	10	20	0

ตารางที่4.10 แสดงปริมาณร้อยละของพื้นที่ต้นหญ้าที่เหลือในแต่ละสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางพบว่าในสัปดาห์แรกที่นำต้นหญ้ามาปลูก ในแต่ละกระบะเหลือพื้นที่ของหญ้าเหลือแตกต่างกัน โดยเฉพาะกรวดเหลือพื้นที่เพียงร้อยละ 20 เท่านั้น แต่ในสัปดาห์ต่อมาหากเปรียบเทียบพื้นที่กับสัปดาห์แรกพบว่าพื้นที่ของหญ้าในกระบะต่างๆลดลงเล็กน้อย และในสัปดาห์ที่ 3-4 ของเดือนกันยายนพื้นที่ของหญ้าในแต่ละกระบะยังคงที่เท่าเดิมเนื่องจากมีฝนตกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นพื้นที่ของหญ้าลดลงอย่างมากในสัปดาห์แรก อาจเนื่องมาจากสภาพของหญ้าที่ซื้อมานั้นมีการตายเป็นบางส่วนอยู่ก่อนแล้ว

ส่วนสัปดาห์ที่ 5(เดือนตุลาคม) พบว่าพื้นที่ของต้นหญ้าในกระบะต่างๆลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากช่วงต้นเดือนตุลาคมมีฝนทิ้งช่วงหลายวัน ในสัปดาห์ที่ 6 พื้นที่ของหญ้าคงที่เนื่องจากมีฝนตกอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสัปดาห์ที่ 7 และ 8 พบว่าพื้นที่ของหญ้าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากช่วงกลางเดือนจนถึงปลายเดือนตุลาคมมีฝนทิ้งช่วงทำให้หญ้าแห้งตายเป็นจำนวนมาก

นอกจากนี้หากดูจากพื้นที่ของหญ้าที่ลดลงแต่ละกระบะแล้วพบว่า กรวด เศษปูน หิน เศษอิฐ และโฟม มีอัตราการตายของหญ้ามากกว่าวัสดุอื่นๆ ส่วนเศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกิ่งไม้แห้ง มีอัตราการตายของหญ้าน้อยกว่า ส่วนวัสดุที่มีอัตราการตายของหญ้าน้อยที่สุดคือกาบมะพร้าว

<u>ระบบรากของต้นหญ้า</u>

หลังจากสิ้นเดือนตุลาคมได้ทำการรื้อถอนดินและหญ้าออกจากกระบะทดลอง พบว่ารากของหญ้าจะหยั่งรากลงไปสู่ชั้นดินและผ่านชั้นตาข่ายกรองดินลงไปสู่ชั้นของวัสดุชะลอน้ำ แต่ก็พบว่ากระบะของเศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกาบมะพร้าว เป็นกระบะที่มีรากลึกที่สุดและมีปริมาณมากกว่าวัสดุชนิดอื่น โดยเฉลี่ยพื้นที่ของรากที่หยั่งลึกลงไป เศษกระเบื้อง และถ่านไม่อยู่ที่ร้อยละ 60 ส่วนกาบมะพร้าวอยู่ที่ร้อยละ 50

4.4.2 **สภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง**

เมื่อสิ้นสุดช่วง 2 เดือนในการทดลองกลางแจ้ง พบว่าวัสดุชะลอน้ำในกระบะทดลองในส่วนรูปร่างและรูปทรงมีขนาดและรูปร่างเช่นเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่วัสดุบางชนิดสามารถสังเกตได้ชัดเจน โดยสามารถบอกลักษณะสภาพวัสดุต่างๆได้ดังต่อไปนี้

<u>กรวด เศษปูน หิน และโฟม</u>

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสภาพของวัสดุดังกล่าวแห้งสนิทไม่มีความชื้นหรือน้ำหลงเหลืออยู่ในวัสดุเลยแม้แต่น้อย อาจเนื่องจากฝนทิ้งช่วงในครึ่งเดือนหลังของเดือนตุลาคมไปถึง

15 วัน แสดงว่าน้ำในวัสดุรวมจะระเหยจนหมดภายในระยะเวลา 15 วันหรืออาจจะใช้เวลาน้อยกว่า 15 วัน

<u>เศษอิฐ เศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกิ่งไม้แห้ง</u>

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสภาพของวัสดุดังกล่าวมีความชื้นหรือน้ำหลงเหลืออยู่ในวัสดุอยู่เล็กน้อย หลังจากฝนทิ้งช่วงในครึ่งเดือนหลังของเดือนตุลาคมไปถึง 15 วัน แสดงว่าน้ำในวัสดุจะระเหยจนหมดใช้ระยะเวลามากกว่า 15 วัน และยังพบอีกว่ากิ่งไม้แห้งเริ่มผุและหักง่ายหลังจากใช้งานเพียง 2 เดือน

<u>กาบมะพร้าว</u>

เมื้อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสภาพของวัสดุดังกล่าวมีความชื้นหรือน้ำหลงเหลืออยู่มากจนแฉะ หลังจากที่ฝนทิ้งช่วงในครึ่งเดือนหลังของเดือนตุลาคมไปถึง 15 วัน แสดงว่าน้ำในวัสดุจะระเหยจนหมดใช้เวลามากกว่า 15 วันและมากกว่า เศษอิฐ เศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกิ่งไม้แห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองวัสดุชะลอน้ำทั้ง 9 ชนิด พบว่าความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งวัสดุบางชนิดเมื่อนำมาทดลองชะลอน้ำในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์จะมีความสามารถในการชะลอน้ำได้น้อย แต่เมื่อนำมาทดลองชะลอน้ำใน “หลังคาเขียว” จะสามารถชะลอน้ำได้มาก บางชนิดเมื่อนำมาใช้กับ “หลังคาเขียว” ไม่เปลี่ยนแปลงความสามารถในการชะลอน้ำ และวัสดุบางชนิดก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน

5.1 สรุปประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเหลือใช้ในการทดลองกลางแจ้ง

ในบทที่ 4 เมื่อนำวัสดุทั้งหมด 9 ชนิด มาจัดลำดับและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการชะลอน้ำ ผลการทดลองทำให้ทราบว่า วัสดุเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำ ที่แนะนำให้ใช้ในการทำ “หลังคาเขียว” มีทั้งสิ้น 3 ชนิด คือ

1. <u>กรวด</u> เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำมากที่สุดในเวลาที่ฝนตกต่อเนื่อง แต่พฤติกรรมการชะลอน้ำของกรวดในเวลาที่ฝนทิ้งช่วงจะอยู่ระดับปานกลาง
2. <u>เศษกระเบื้อง</u> เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการชะลอน้ำมากทั้งเวลาที่ฝนตกต่อเนื่องและฝนทิ้งช่วง แต่ปริมาณน้ำที่ชะลอได้ในเวลาที่ฝนตกต่อเนื่องจะน้อยกว่ากรวด
3. <u>โฟม</u> เป็นวัสดุที่มีพฤติกรรมการชะลอน้ำเหมือนกับกรวด คือชะลอน้ำได้มากเวลาที่ฝนตกต่อเนื่อง และเวลาที่ฝนทิ้งช่วงจะชะลอน้ำได้ในระดับปานกลาง แต่ปริมาณน้ำที่ชะลอได้ในเวลาที่ฝนตกต่อเนื่อง จะน้อยกว่ากรวดและเศษกระเบื้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 สรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของผลการทดลองกลางแจ้ง และผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

จากการอภิปราย วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลองวัสดุชะลอน้ำในการทดลองแต่ละส่วนของบทที่ 4 สามารถนำมาเปรียบเทียบเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ประเภทการทดลอง / ลำดับที่	การทดลองกลางแจ้ง (มีชั้นดินปลูกและพืช)	การทดลองในห้องปฏิบัติการฯ (เฉพาะชั้นวัสดุ)
1	กรวด	กิ่งไม้แห้ง
2	เศษกระเบื้อง	เศษกระเบื้อง
3	โฟม	โฟม
4	ถ่าน	ถ่าน
5	กิ่งไม้แห้ง	กาบมะพร้าว
6	เศษอิฐ	หิน
7	กาบมะพร้าว	เศษปูน
8	หิน	กรวด
9	เศษปูน	เศษอิฐ

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุท้องถิ่นระหว่างการทดลองทั้ง 2 ส่วน (ลำดับที่ 1 คือวัสดุที่ชะลอน้ำได้มากที่สุด และลำดับที่ 9 คือวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยที่สุด)

จากตารางพบว่าความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุบางชนิด เกิดความแตกต่างระหว่างการทดลองทั้ง 2 ส่วน และวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการชะลอน้ำคือ กรวด กิ่งไม้แห้ง กาบมะพร้าว และเศษอิฐ ส่วนวัสดุที่ไม่เปลี่ยนแปลงความสามารถในการชะลอน้ำคือ เศษกระเบื้อง โฟม ถ่าน หิน และเศษปูน

ทำให้ทราบว่า การทดลองระหว่างการทดลองกลางแจ้งและการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ มีปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการชะลอน้ำของวัสดุเกิดความแตกต่างกัน คือ การทดลองกลางแจ้งมีชั้นดินและหญ้าปกคลุมชั้นบนของวัสดุชะลอน้ำ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องของสภาพภูมิอากาศคือ ฝนทิ้งช่วง และฝนที่ตกต่อเนื่อง ส่วนการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์มีแต่ชั้นวัสดุชะลอน้ำเท่านั้น และเป็นการจำลองสภาพที่ฝนตกหนักและต่อเนื่องกัน

สามารถบอกได้ว่าชั้นดิน พืช และฝน เป็นปัจจัยที่ทำให้วัสดุต่างๆเกิดประสิทธิภาพในการชะลอน้ำอย่างเต็มที่ ยกตัวอย่างวัสดุชะลอน้ำที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ กรวด เมื่อนำมาใช้ทำ “หลังคาเขียว”เป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้มากที่สุด แต่เมื่อนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการโดยที่ไม่มีชั้นดินและพืช ความสามารถในการชะลอน้ำของกรวดน้อยลงอย่างมาก ส่วนเรื่องของสภาพภูมิอากาศฝนทิ้งช่วง และฝนตกต่อเนื่องนั้น เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบน้อยกว่าดินและหญ้า

5.3 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุเหลือใช้ที่นำมาชะลอน้ำและพืชที่ปลูกในกระบะทดลอง

ความชื้นที่เหลืออยู่ในวัสดุแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นหญ้า คือ วัสดุที่มีอัตราการตายของหญ้าน้อยคือวัสดุที่ใช้เวลาในการระเหยของน้ำมากกว่า 15 วัน ซึ่งก็คือ กาบมะพร้าว รองลงมาคือ เศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกิ่งไม้แห้ง ส่วนวัสดุที่มีอัตราการตายของหญ้ามากที่สุดคือวัสดุที่ใช้เวลาในการระเหยน้อยกว่า 15 วัน คือ กรวด เศษปูน หิน และเศษอิฐ

ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าความชื้นในวัสดุแต่ละชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและระบบรากของหญ้าที่หยั่งลึกลงไป คือเศษกระเบื้อง ถ่านไม้ และกาบมะพร้าว จากการเก็บข้อมูลวัสดุเหล่านี้ล้วนเป็นวัสดุที่เก็บความชื้นได้ดี และมีรากของหญ้าอยู่มาก ดังนั้นการที่หญ้าหยั่งรากลึกลงไปหาวัสดุที่เก็บความชื้น เนื่องมาจากเวลาที่ฝนทิ้งช่วงทำให้เกิดความแห้งแล้ง

5.4 การนำวัสดุเหลือใช้มาชะลอน้ำใน “หลังคาเขียว”

กรวด

การนำไปใช้งานเหมาะกับพื้นที่ฝนตกน้อยถึงพื้นที่ที่มีฝนชุก หรืออาจเรียกได้ว่าเหมาะแก่การใช้งานในทุกสภาพพื้นที่ แต่เนื่องด้วยกรวดเป็นวัสดุที่แห้งได้ง่ายเมื่อฝนทิ้งช่วง การทำ “หลังคาเขียว”อาจจะต้องวางแผนเกี่ยวกับการให้น้ำพืชบ่อยกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ไม่สามารถนำกรวดมาใช้ชะลอน้ำโดยที่ไม่มีชั้นดินและพืชได้ เนื่องจากการนำกรวดมาใช้ชะลอน้ำเพียงอย่างเดียว ทำให้ความสามารถในการชะลอน้ำของกรวดลดลง แต่ข้อเสียของวัสดุชนิดนี้คือราคาที่สูงถึงแม้จะหาซื้อได้ง่ายก็ตาม ซึ่งหากรวมราคาดินปลูกจะมีราคาประมาณ 420 บาทต่อตารางเมตร

เศษกระเบื้อง

การนำไปใช้งานเหมาะกับการทำ“หลังคาเขียว”บนพื้นที่หลังคาที่มีพื้นที่กว้างมาก เนื่องจากราคาถูกและหาได้ง่าย ในเรื่องของน้ำหนักเศษกระเบื้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักปานกลาง

เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทั้ง 9 ชนิด และข้อดีอีกส่วนหนึ่งของเศษกระเบื้องที่พบจากการทดลองคือรากของพืชที่ใช้ร่วมกับการทดลองจะหยั่งรากลึกกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ

โฟม

การนำไปใช้งานเหมาะกับ“หลังคาเขียว”ทุกขนาดและหลังคาทุกรูปแบบ เนื่องจากโฟมมีความทนทานสูงซึ่งโดยคุณสมบัติโดยทั่วไปของโฟมคือไม่สามารถย่อยสลายได้ หาซื้อได้ง่าย ราคาถูกและมีน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่เบามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทุกชนิด แต่เนื่องจากโฟมเป็นวัสดุที่ดูดซับและคายน้ำได้เร็ว จึงจำเป็นต้องมีการดูแลเรื่องระบบการให้น้ำพืชอยู่เสมอ

เศษปูน

การนำไปใช้งานเหมาะกับการทำ“หลังคาเขียว” ที่มีบริเวณกว้างมาก เนื่องจากเศษปูนสามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาถูกมาก ถึงแม้จะต้องมีการคัดแยกให้ได้ขนาดที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้ก็ตาม ถึงแม้เศษปูนจะหนักรองมาจากกรวดและหินก็ตาม แต่สิ่งที่ควรคำนึงเมื่อนำเศษปูนมาใช้คือเรื่องของความสามารถในการรับน้ำหนักของหลังคา และความสามารถในการชะลอน้ำที่น้อยมาก ซึ่งในการใช้งานจริงหากต้องการให้เศษปูนชะลอน้ำได้ดี อาจจะต้องเพิ่มความหนาของวัสดุชะลอน้ำเข้าไปด้วย นั่นหมายถึงน้ำหนักของวัสดุที่จะต้องเพิ่มขึ้นอีก

หิน

การนำไปใช้งานไม่เหมาะกับการทำ“หลังคาเขียว”มากนัก ถึงแม้สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก ไม่จำเป็นต้องคัดแยกขนาดเนื่องจากมีขนาดมาตรฐานในการผลิตมาแล้ว แต่หินไม่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ อีกทั้งเป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้น้อยมาก และหินเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากในการใช้งาน ซึ่งหลังคาบางชนิดอาจต้องพิจารณาในเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักของหลังคา และหินมีความสามารถในการชะลอน้ำที่น้อยมาก ซึ่งในการใช้งานจริงหากต้องการให้หินชะลอน้ำได้ดี อาจจะต้องเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุชะลอน้ำเข้าไปด้วย นั่นหมายถึงน้ำหนักของวัสดุที่จะต้องเพิ่มขึ้นอีก

เศษอิฐ

การนำไปใช้งานนั้นเหมาะกับการทำ“หลังคาเขียว”ที่มีพื้นที่กว้างมาก เนื่องจากราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามแหล่งผลิต และไม่จำเป็นต้องคัดแยกขนาดเหมือนเศษปูนเนื่องจากสามารถทำให้เศษอิฐแตกจนมีขนาดตามที่ต้องการได้ ในเรื่องน้ำหนักเศษอิฐเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงเรื่องการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา

ถ่าน

การนำไปใช้งานนั้นเหมาะกับการทำ“หลังคาเขียว”ที่มีบริเวณไม่กว้างมาก เนื่องจากถ่านมีข้อจำกัดในเรื่องของราคาที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบราคาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถึงแม้จะมีน้ำหนักเบาก็ตาม แต่ถ่านมีข้อดีที่เหมือนกับเศษกระเบื้องและกาบมะพร้าว อุ้มน้ำได้ดีและย่อยสลายยาก จึงทำให้ช่วงที่ฝนตกน้อยพืชใน“หลังคาเขียว” จะหยั่งรากลึกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ จึงทำให้การใช้ถ่านอาจช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของระบบการให้น้ำใน”หลังคาเขียว”

กิ่งไม้แห้ง

จากผลการทดลองกิ่งไม้แห้งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีน้ำหนักเบา และราคาถูกในบางสถานที่สามารถเก็บได้เอง แต่เนื่องจากผลการทดลองกลางแจ้งพบว่า เมื่อทำการทดลองผ่านพ้นไปรวมระยะเวลาทั้งสิ้น 2 เดือน กิ่งไม้แห้งจะผุและหักง่าย ซึ่งในส่วนนี้คาดว่าเป็นปัญหาในเรื่องของความทนทานของวัสดุที่ไม่ควรนำมาใช้ในการทำ“หลังคาเขียว”อย่างยิ่ง

กาบมะพร้าว

การนำกาบมะพร้าวไปใช้งานนั้นเหมาะกับ“หลังคาเขียว”ทุกรูปแบบ เนื่องจากกาบมะพร้าวมีน้ำหนักเบาและมีราคาค่อนข้างถูก สามารถดูดซับน้ำได้ดี และมีข้อดีที่เหมือนกับถ่านและเศษกระเบื้องคือจากผลการทดลองพืชที่ใช้ปลูกใน“หลังคาเขียว” จะหยั่งรากลึกว่าวัสดุชนิดอื่นๆในช่วงที่ฝนน้อย จึงทำให้การใช้กาบมะพร้าวอาจช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของระบบการให้น้ำใน“หลังคาเขียว” แต่ข้อจำกัดคือเมื่อใช้กาบมะพร้าวไปในระยะเวลาหนึ่ง กาบมะพร้าวอาจจะอัดตัวกันแน่นมากขึ้น หรืออาจจะดูดซับน้ำจนอาจทำให้รากของพืชเน่าได้ ดังนั้นการใช้กาบมะพร้าวจึงจำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนวัสดุหรือดูแลมากกว่าวัสดุชนิดอื่น

5.5 สรุปคุณสมบัติของวัสดุท้องถิ่นที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ทำ”หลังคาเขียว”

จากผลการทดลองทำให้สามารถอนุมานได้ว่า วัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทำ“หลังคาเขียว” ควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. <u>มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการชะลอน้ำ</u> คุณสมบัติดังกล่าวคือรูปทรงโค้งมน หรือไม่มีเหลี่ยมมุมมากจนเกินไป ยกตัวอย่างกรวด แม้ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ แต่เมื่อนำมาทำ“หลังคาเขียว” จะสามารถชะลอน้ำได้ดีมาก สาเหตุอาจมาจากคุณสมบัติด้านพื้นผิวสัมผัสของกรวด ที่มีรูปทรงโค้งมน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุน้อยลงและน้ำไหลผ่านยากขึ้น

2. <u>ดูดซับน้ำได้ดี</u> เนื่องจาก“หลังคาเขียว” เป็นโครงสร้างที่ต้องการการดูแลรักษาต่ำ หากวัสดุชะลอน้ำสามารถดูดซับน้ำได้ในระดับหนึ่ง จะช่วยเรื่องการเก็บน้ำและความชื้นในสภาวะที่อากาศแล้ง ทำให้พืชไม่ขาดน้ำและช่วยให้พืชหยั่งรากลึกมากขึ้น ซึ่งจะทำให้พืชแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายการให้น้ำของ“หลังคาเขียว” ทั้งนี้ไม่ควรใช้วัสดุที่ดูดซับน้ำได้ดีมากจนเกินไป ซึ่งอาจทำให้รากของพืชเน่าได้
3. <u>ทนทานไม่ย่อยสลายหรือย่อยสลายได้ยาก</u> ยกตัวอย่างเช่น กิ่งไม้แห้ง เป็นวัสดุที่ชะลอน้ำได้ดีปานกลาง น้ำหนักเบา และราคาถูก แต่เมื่อนำมาใช้ในการทดลองเพียง 2 เดือน พบว่ากิ่งไม้แห้งเริ่มผุและหักง่ายขึ้น ดังนั้นการใช้วัสดุที่ย่อยสลายง่ายและไม่ทนทาน จะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการบำรุงรักษามากขึ้น
4. <u>ราคาไม่แพง</u> เนื่องจากการทำ”หลังคาเขียว”เป็นโครงสร้างที่ต้องใช้วัสดุชะลอน้ำปริมาณมาก ดังนั้นการใช้วัสดุที่มีราคาไม่แพงจะช่วยให้ง่ายต่อการตัดสินใจทำ“หลังคาเขียว” ในพื้นที่หลังคาที่กว้างมากๆได้ เช่น หลังคาของอาคารสำนักงาน หรือหลังคาของชุดพักอาศัย เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุชะลอน้ำ ดิน และหญ้าจะอยู่ระหว่าง 157 ไปจนถึง 470 บาทต่อตารางเมตร
5. <u>น้ำหนักเบา</u> การทำ”หลังคาเขียว” จำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาพอที่โครงสร้างหลังคาสามารถรองรับได้ เนื่องจากหลังคาของอาคารส่วนใหญ่ไม่มีการออกแบบเผื่อสำหรับการเพิ่มเติมโครงสร้างอื่นๆที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งในส่วนนี้จำเป็นจะต้องคำนึงน้ำหนักของน้ำฝนเข้าไปด้วย นอกจากนี้หากใช้วัสดุทำ”หลังคาเขียว”ที่มีน้ำหนักเบามาก จะช่วยในให้สามารถก่อสร้างบนหลังคาที่หลากหลายขึ้น เช่น หลังคากระเบื้องลอนคู่ หลังคาเหล็กรีดรอน หลังคากระเบื้องคอนกรีต เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ น้ำหนักของวัสดุท้องถิ่นที่นำมาใช้ชะลอน้ำ ดิน และหญ้า จะอยู่ระหว่าง 24.5 จนถึง 90 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

5.6 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองกลางแจ้ง
   - วิทยานิพนธ์นี้เป็นการเก็บข้อมูลผลการทดลองเพียงช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้ได้ผลที่แท้จริงของผลการทดลองกลางแจ้ง ควรทำการทดลองตลอดช่วงฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม
   - การเก็บข้อมูลในระยะสั้น (2 เดือน) ผลการเก็บข้อมูลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าประเภทของฝน และลักษณะฝน ตามหลักของอุทกวิทยา มีผลกระทบต่อวัสดุแต่ละ

ชนิดอย่างไรบ้าง เนื่องจากตลอดเวลา 2 เดือน หรือ 61 วัน สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 10 วันเท่านั้น ข้อมูลในส่วนนี้จึงวิเคราะห์ได้เพียงว่า เวลาที่ฝนทิ้งช่วงกับฝนตกอย่างต่อเนื่อง มีผลกระทบอย่างไรต่อวัสดุชะลอน้ำ ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลได้ผลที่แน่นอนและหลากหลายยิ่งขึ้น

- ปรับเปลี่ยนพืชที่ใช้ทดลองให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้น เนื่องจากการการทดลองนี้เพียงใช้หญ้าเป็นตัวแทนของพืช หากลองปรับเปลี่ยนชนิดและขนาดของพืช อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการชะลอน้ำของวัสดุเช่นกัน
- ทดลองในระดับองศาของหลังคาที่แตกต่างกันคือ 15 องศา และ 30 องศา เนื่องจาก การทดลองในองศาของหลังคาที่แตกต่างกัน อาจทำให้วัสดุชะลอน้ำเกิดผลที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการเกิดผลที่แตกต่างระหว่างการทดลองกลางแจ้งและการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ แต่ทั้งนี้ไม่ควรทำการทดลองในระดับหลังคาที่ 45 องศา เนื่องจากการทำ“หลังคาเขียว”จะต้องคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของวัสดุหากหลังคาที่มีความชันมาก
- ในการทดลองกลางแจ้งให้ผลการทดลองที่แตกต่างจาก ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ เนื่องจากมีปัจจัยในเรื่อง ชั้นดิน พืช และฝนเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการทดลองกลางแจ้ง ควรเพิ่มกระบะทดลองอีกหนึ่งชุด (9 กระบะ) ซึ่งแต่ชั้นวัสดุชะลอน้ำเท่านั้น จะทำให้ตรวจสอบและเปรียบเทียบข้อมูลของผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนได้

2. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

- ควรเก็บข้อมูลในระดับความเข้มฝนที่แตกต่างกัน เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการเก็บข้อมูลในระดับความเข้มฝนที่มากที่สุด ดังนั้นการเลือกทดลองในระดับความเข้มฝนที่แตกต่างกัน อาจทำให้ผลการทดลองวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และมีข้อมูลมาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบมากยิ่งขึ้น
- เพิ่มเติมให้มีการใส่ชั้นดินปลูกลงไปบนชั้นของชั้นวัสดุชะลอน้ำ เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลของการทดลองทั้ง 2 ส่วนมาวิเคราะห์ร่วมกันได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กีรติ ลีวัจนกุล. วิศวกรรมชลศาสตร์ เล่มที่1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2542.

ไทยเอนจิเนียริง. การออกแบบระบบระบายน้ำ. (ม.ป.ท.) [online] แหล่งที่มา : www.thaiengineering.com

พชร เลิศปิติวัฒนา. การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

มุกดา สุขสวัสดิ์. วัสดุปลูกไม้ดอกไม้ประดับ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บ้านและสวน, 2547.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. หลังคาเขียว.(ม.ป.ท.) [online] แหล่งที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki

สุดสวาสดิ์ ศรีสถาปัตย์. การออกแบบพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

อิทธิสุนทร นันทกิจ . การปลูกพืชในวัสดุปลูก. (ม.ป.ท.). [online] แหล่งที่มา : www.kmitl.ac.th/hydro/Substratdoc.html

อุบลวรรณ เจนพานิชทรัพย์. การปรับปรุงเกณฑ์การวิเคราะห์สำหรับฝนออกแบบสำหรับกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Earth Pledge. GREEN ROOFS Ecological and Construction. Atglen : Schiffer Publishing, 2005.

Greenroof Monitoring Experiment.(n.d.) [Online] Available from : http://facultystaff.vwc.edu/~emalcolm/greenroof.html

Landscape and Urban Planning Volume 77. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century . 3, 30 (August 2006) : 217-226

Nigel Dunnett and Noel Kingsbury. Planting Green Roofs and Living Walls. Portland, Oregon : Timber Press, 2004.

Nyuk Hien Wong, Su Fen Tay, Raymond Wong, Chui Leng Ong, Angelia Sia. Life cycle cost analysis of rooftop gerdens in Singapore. (n.d.) [Online] Available from : www.sciencedirect.com

The G.R.E.E.N. research report. (n.d.) [Online] Available from : http://www.greenroofs.com/green_research_report..html

Tobias Emilsson, Kaj Rolf. Comparison of establishment methods for extensive green roof in southern Sweden. (n.d.) [Online] Available from : www.sciencedirect.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกผลการทดลองกลางแจ้ง

บันทึกการทดลองของวันที่ 1 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกช่วงกลางคืน เวลาประมาณ 22.30-22.45น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพต้นหญ้า
1. กรวด	-	สูง 4 ซม.
2. เศษปูน	-	สูง 4 ซม.
3. หิน	-	สูง 4 ซม.
4. อิฐหัก	-	สูง 4 ซม.
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง 4 ซม.
6. ถ่านไม้	-	สูง 4 ซม.
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง 4 ซม.
8. กาบมะพร้าว	-	สูง 4 ซม.
9. โฟม	-	สูง 4 ซม.

*** ไม่มีน้ำฝนอยู่ในถังรองน้ำ

บันทึกการทดลองของวันที่ 2 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกช่วงกลางคืน เวลาประมาณ 02.00-09.30น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** มีน้ำอยู่ในถังรองน้ำ แต่ไม่สามารถวัดปริมาตรได้เนื่องจากมีจำนวนน้อยมาก

บันทึกการทดลองของวันที่ 3 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกช่วงกลางคืน วันที่ 3 กันยายน เวลาประมาณ 21.20.00-22.00น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** ไม่มีน้ำอยู่ในถังรองน้ำ

*** จากการสังเกตบริเวณด้านข้างกระบะทดลองพบว่ามีลอยการซึมผ่านของน้ำลงมายังชั้นของวัสดุชะลอน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุต่างๆ ดังนี้ 1.กรวด 2.เศษปูน 3.หิน 4.อิฐหัก 5.เศษกระเบื้องยิปซั่ม 9.โฟม ขณะเดียวกัน 6.ถ่านไม้ 7.กิ่งไม้เล็กๆ 8.กาบมะพร้าว ไม่มีร่องรอยการซึมผ่านของน้ำ

บันทึกการทดลองของวันที่ 4 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลองในวันที่ 4 กันยายน

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 5 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลองในวันที่ 5 กันยายน

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 6 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลา 8.20 - 8.25 น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 7 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 8 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 9 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลา 18.30-18.45 น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ20
2. เศษปูน	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ95
3. หิน	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ95
4. อิฐหัก	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ90
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
6. ถ่านไม้	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ95
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
8. กาบมะพร้าว	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
9. โฟม	-	สูง4.25 เหลือพื้นที่ร้อยละ55

บันทึกการทดลองของวันที่ 10 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลา 20.20-22.00 น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	9.35	
2. เศษปูน	15.50	
3. หิน	10.60	
4. อิฐหัก	15.50	
5. เศษกระเบื้อง	14.00	
6. ถ่านไม้	13.125	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	16.80	
8. กาบมะพร้าว	17.125	
9. โฟม	16.125	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 11 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลา 19.30-20.30น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	7.00	
2. เศษปูน	12.10	
3. หิน	13.00	
4. อิฐหัก	11.125	
5. เศษกระเบื้อง	8.20	
6. ถ่านไม้	11.30	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	11.25	
8. กาบมะพร้าว	11.75	
9. โฟม	9.60	

บันทึกการทดลองของวันที่ 12 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลา 22.00-22.10

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 13 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	
10. ดิน	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 14 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตก2ครั้ง คือช่วงเช้า 6.30 - 8.45 และช่วงกลางคืน 20.10 - 21.15

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 15 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 16 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตก2ครั้งช่วงเวลาประมาณ 12.00 - 14.30 และเวลาประมาณ 02.00 - 3.00น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	47.6	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ15
2. เศษปูน	53.4	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
3. หิน	53.6	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
4. อิฐหัก	50.5	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
5. เศษกระเบื้อง	46	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ70
6. ถ่านไม้	51	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ90
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	50.5	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
8. กาบมะพร้าว	49.2	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
9. โฟม	48.8	สูง4.50 เหลือพื้นที่ร้อยละ40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 17 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 18 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** มีน้ำอยู่ในถังรองน้ำ แต่ไม่สามรถวัดได้เนื่องจากมีปริมาณน้อย คาดว่าเป็นน้ำที่ตกค้างอยู่ในกระบะ ส่วนกระบะกาบมะพร้าวและเศษอิฐมีปริมาณน้ำตกค้างมาก ส่วนถังอื่นมีน้ำเช่นกัน แต่ปริมาณน้อยกว่า 2 กาบมะพร้าว และเศษอิฐ

บันทึกการทดลองของวันที่ 19 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 20 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลาประมาณ 8.00น. - 8.30น. และตกเวลา 20.30 – ช่วงเช้าของวันถัดไป แต่ช่วงที่ฝนตกมากจะอยู่ในช่วงเวลา 21.30-24.00น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	16	
2. เศษปูน	10.3	
3. หิน	12	
4. อิฐหัก	15	
5. เศษกระเบื้อง	11.2	
6. ถ่านไม้	14	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	15	
8. กาบมะพร้าว	15.1	
9. โฟม	16	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 21 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** มีน้ำอยู่ในถังรองน้ำ แต่ไม่สามรถวัดได้เนื่องจากมีปริมาณน้อย คาดว่าเป็นน้ำที่ตกค้างอยู่ในกระบะ ปริมาณน้ำไม่มีความแตกต่างกัน

บันทึกการทดลองของวันที่ 22 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 23 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกเวลาประมาณ 18.00น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ15
2. เศษปูน	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
3. หิน	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
4. อิฐหัก	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ70
6. ถ่านไม้	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ90
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
8. กาบมะพร้าว	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
9. โฟม	-	สูง4.75 เหลือพื้นที่ร้อยละ40

*** ขณะที่ฝนทิ้งช่วงไม่ตกติดต่อกัน 3 วันสภาพของดินปลูกและวัสดุก็ยังมีน้ำเปียกชื้นอยู่โดยเฉพาะกระบะที่ใช้ถ่านในการชะลอน้ำ

บันทึกการทดลองของวันที่ 24 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 25 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 26 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 27 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 28 กันยายน 2550

ฝน : ฝนตกช่วงเช้าวันที่ 28 เวลาประมาณ 7.00-8.30น. และอีกช่วงคือ 17.00 – 22.30น. ตกหนักในช่วงเวลา 17.00-17.45น. และตกเบาลงจนถึงกลางดึกของวันที่ 28

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	5.5	
2. เศษปูน	3.5	
3. หิน	5	
4. อิฐหัก	2.25	
5. เศษกระเบื้อง	0.75	
6. ถ่านไม้	2.25	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	3.75	
8. กาบมะพร้าว	3.80	
9. โฟม	4.50	

*** จากข้อมูลปริมาณฝนกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงที่บันทึกว่าเวลา ตกหนักในช่วงเวลา 17.00-17.45น. ผู้บันทึกไม่ได้อยู่ในสถานที่ทดลอง หากดูจากข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงแล้วพบว่า เวลาดังกล่าวไม่มีฝนตก การจดบันทึกจึงไม่สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน

บันทึกการทดลองของวันที่ 29 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 30 กันยายน 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ15
2. เศษปูน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
3. หิน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ85
4. อิฐหัก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ70
6. ถ่านไม้	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ90
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
8. กาบมะพร้าว	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
9. โฟม	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 1 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** วันที่ 1 ตุลาคม 2550 ทำการขุดดินและสำรวจสภาพวัสดุและต้นหญ้าสังเกตได้ว่า กระบะที่มีรากของหญ้าลงลึกไปถึงชั้นวัสดุจะมีอยู่ในทุกๆกระบะ แต่กระบะที่รากของหญ้าลงลึกมากที่สุดคือกระบะของเศษกระเบื้อง เศษปูน และกาบมะพร้าว

บันทึกการทดลองของวันที่ 2 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกเวลาประมาณ 17.30 – 17.50น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 3 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 4 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกเวลาประมาณ 17.00-17.05น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 5 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 6 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 7 ตุลาคม 2550

ฝน : มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ5
2. เศษปูน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ65
3. หิน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ65
4. อิฐหัก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
6. ถ่านไม้	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ35
8. กาบมะพร้าว	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ40
9. โฟม	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ20

**** ขณะที่ฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง ผู้บันทึกผลไม่อยู่ในสถานที่ทดลอง ทั้งนี้ทราบจากร้านค้าข้างเคียงว่ามีฝนตกบริเวณดังกล่าว

บันทึกการทดลองของวันที่ 8 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 9 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 10 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกช่วงกลางดึกประมาณ 21.20-23.30น. ของวันที่ 10 ตุลา

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	12	
2. เศษปูน	16.75	
3. หิน	16	
4. อิฐหัก	12.8	
5. เศษกระเบื้อง	12.5	
6. ถ่านไม้	15.1	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	14.5	
8. กาบมะพร้าว	15.3	
9. โฟม	15.9	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 11 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกช่วงหลังเที่ยงคืนของวันที่ 11

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	18.25	
2. เศษปูน	20.3	
3. หิน	20.25	
4. อิฐหัก	19.5	
5. เศษกระเบื้อง	18.8	
6. ถ่านไม้	19.5	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	18.25	
8. กาบมะพร้าว	19.25	
9. โฟม	16.5	

บันทึกการทดลองของวันที่ 12 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกช่วงกลางคืนเวลา 22.10-23.05น. ของวันที่ 12 ตุลา

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	4.55	
2. เศษปูน	5.55	
3. หิน	5.50	
4. อิฐหัก	4.75	
5. เศษกระเบื้อง	4.75	
6. ถ่านไม้	5.00	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	4.70	
8. กาบมะพร้าว	4.85	
9. โฟม	4.65	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 13 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกช่วงเย็นของวันที่ 13 ตุลา

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 14 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกช่วงเย็นของวันที่ 14 ตุลา เวลาประมาณ 16.15-17.40น.

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	11	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ5
2. เศษปูน	12.2	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ65
3. หิน	11.75	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ65
4. อิฐหัก	11	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
5. เศษกระเบื้อง	10.90	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ60
6. ถ่านไม้	11.50	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ80
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	11	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ35
8. กาบมะพร้าว	10.75	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ40
9. โฟม	11.75	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 15 ตุลาคม 2550

ฝน : ฝนตกเวลาประมาณ 19.30น. จนถึงเวลากลางดึก

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	29.60	
2. เศษปูน	32.50	
3. หิน	30.50	
4. อิฐหัก	31	
5. เศษกระเบื้อง	30.25	
6. ถ่านไม้	31.25	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	31	
8. กาบมะพร้าว	29.50	
9. โฟม	27.50	

บันทึกการทดลองของวันที่ 16 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** จากการสังเกตพบว่ากระบะที่มีหยดน้ำอยู่ในชั้นวัสดุมากที่สุด ยังคงเป็นกระบะของถ่านไม้ ส่วนกระบะอื่นๆหยดน้ำในชั้นวัสดุน้อยลงกว่าเดือนแรกที่ทำการทดลอง หรือบางกระบะแทบจะไม่มีหยดน้ำ อาจจะเป็นไปได้ว่าหญ้ามีส่วนช่วยในการกักเก็บความชื้นและน้ำภายในชั้นวัสดุทดลอง

บันทึกการทดลองของวันที่ 17 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 18 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 19 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 20 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

*** สภาพของชั้นวัสดุชะลอน้ำยังเปียกชื้นอยู่ เมื่อดูจากด้านข้างของกระบะทดลองพบว่าเกือบทุกกระบะไม่มีหยดน้ำเกาะติดอยู่ แต่กระบะที่ใช้ถ่านยังคงมีหยดน้ำเกาะติดอยู่บริเวณชั้นวัสดุชะลอน้ำ ส่วนดินปลูกเริ่มแห้งลงเรื่อยๆ แต่ด้านล่างของวัสดุชะลอน้ำยังมีความชื้นสะสมอยู่

บันทึกการทดลองของวันที่ 21 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ0
2. เศษปูน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ35
3. หิน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ35
4. อิฐหัก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ30
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ45
6. ถ่านไม้	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ65
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ20
8. กาบมะพร้าว	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ30
9. โฟม	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ5

บันทึกการทดลองของวันที่ 22 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 23 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 24 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 25 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 26 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 27 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 28 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ0
2. เศษปูน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ5
3. หิน	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ5
4. อิฐหัก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ10
5. เศษกระเบื้อง	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ30
6. ถ่านไม้	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ50
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ10
8. กาบมะพร้าว	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ20
9. โฟม	-	สูง5.00 เหลือพื้นที่ร้อยละ0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 29 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

บันทึกการทดลองของวันที่ 30 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกการทดลองของวันที่ 31 ตุลาคม 2550

ฝน : ไม่มีฝนตกบริเวณสถานที่ทดลอง

ชนิดวัสดุ	สถานะต่างๆของส่วนประกอบในกระบะทดลอง	
	ปริมาณน้ำ	สภาพของหญ้า
1. กรวด	-	
2. เศษปูน	-	
3. หิน	-	
4. อิฐหัก	-	
5. เศษกระเบื้อง	-	
6. ถ่านไม้	-	
7. กิ่งไม้ขนาดเล็ก	-	
8. กาบมะพร้าว	-	
9. โฟม	-	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บันทึกผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์

กรวด น้ำหนัก 66 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ (มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	17	18	18	17.6
10	40.5	41.5	41.5	41.16
15	66	67	67	66.6
20	89	90.5	90.5	90
25	114	116	116	115.3
30	140	141.5	141.5	141
35	145.5	146.5	146.5	146.16
40	146	147	147	146.6
45	146.5	147.5	147.5	147.16
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

ถ่านไม้ น้ำหนัก 11.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ (มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	15.5	16	16	15.83
10	39	39.5	39.5	39.3
15	65	65	65.5	65.16
20	88.5	88.5	89	88.6
25	113	113	114	113.3
30	138	138	139	138.3
35	144	144	145.5	144.5
40	145	145	146.5	145.5
45	145.5	145.5	147	146
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

อิฐหัก น้ำหนัก 42 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	17	17	17	17
10	41	41	41	41
15	67	67	67	67
20	91	91	91	91
25	117	116.5	116.5	116.6
30	142	141.5	141.5	141.6
35	148	147.5	147.5	147.6
40	149	148.5	148.5	148.6
45	149.5	149	149	149.16
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

เศษปูน น้ำหนัก 51 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	17	17	17	17
10	40.5	40.5	40.5	40.5
15	66	66.5	66.5	66.3
20	90.5	90.5	90.5	90.5
25	115.5	115.5	115.5	115.5
30	140.5	140.5	140.5	140.5
35	147	147	147	147
40	147.5	147.5	147.5	147.5
45	148	148	148	148
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

โฟม น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	15	15	15	15
10	38	38	38	38
15	63	63	63	63
20	87	87	87	87
25	111.5	112	112	111.83
30	137	137	137	137
35	145	145	145	145
40	146	146	146	146
45	146.5	146.5	146.5	146.5
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

เศษกระเบื้อง น้ำหนัก 31 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	14.5	14.5	14.5	14.5
10	37.5	37.5	37.5	37.5
15	62.5	62.5	62.5	62.5
20	86.5	86.5	86.5	86.5
25	111	111	111	111
30	136	136	136	136
35	144.5	144.5	144.5	144.5
40	145.5	145.5	145.5	145.5
45	146	146	146	146
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

หิน น้ำหนัก 62 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	17	17	17	17
10	40.5	41.5	41.5	41.16
15	66	66	66	66
20	90	90	90	90
25	115	115	115	115
30	140	140	140	140
35	146.5	146.5	146.5	146.5
40	147	147	147	147
45	147.5	147.5	147.5	147.5
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

กิ่งไม้แห้ง น้ำหนัก 10 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	14	14	14	14
10	37.5	38	38	37.83
15	62.5	63	63	62.83
20	86.5	87	87	86.83
25	111	111.5	111.5	111.3
30	135	136	136	135.6
35	144	145	145	145.6
40	145.5	146.5	146.5	146.16
45	146	147	147	146.6
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

กาบมะพร้าว น้ำหนัก 7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ปริมาณน้ำ(มม.) / เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5	14.5	15.5	15.5	15.16
10	38	39.5	39.5	39
15	63.5	65	65	64.5
20	88	89.5	89.5	89
25	113	114.5	114.5	114
30	138	140	140	139.3
35	146	147.5	147.5	147
40	147	148.5	148.5	148
45	147.5	149	149	148.5
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

- นายยิ่งยศ เงินมาก
- เกิดวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2523
- ที่อยู่ปัจจุบัน 122/55 ตะวันนาเรซซิเดนท์ ซอย วิภาวดีรังสิต 17 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นประถามและมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทิวไผ่งาม ปีการศึกษา 2540
- จบการศึกระดับปริญญาตรีจาก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยารังสิต ปีการศึกษา 2546

ประวัติการทำงาน

- ฝึกงานบริษัท ISO GROUP ปี พ.ศ. 2544
- ผู้ช่วยสถาปนิกบริษัท Dot design ปี พ.ศ. 2547
- สถาปนิกอิสระ ปี พ.ศ.2547

ผลงานทางวิชาการ

- เป็นตัวแทนอิโคโมสประเทศไทย เข้าร่วมทำวิจัยภาคสนาม Vernadoc 2005 ที่ประเทศฟินแลนด์ ปี พ.ศ. 2548
- ร่วมทำวิจัย การวางแผนแม่บทเพื่อการพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนบนเกาะลันตา ปี พ.ศ. 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย