



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การพัฒนาระบบการลดมลพิษ-กักเก็บน้ำด้วยการใช้พืชพรรณ
เพื่อบรรเทาปัญหาภาวะโลกร้อน

DEVELOPMENT OF BIOREMEDIATION- BIORETENTION
APPLICATION TO REDUCE GLOBAL WARMING EFFECT

โดย

พริกานต์ บรรเจิดกิจ ดารณี ด่านวันดี ศุภางค์ ทิพย์พิทักษ์



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การพัฒนาระบบการลดมลพิษ-กักเก็บน้ำด้วยการใช้พืชพรรณเพื่อบรรเทาปัญหา
ภาวะโลกร้อน

DEVELOPMENT OF BIOREMEDIATION-BIORETENTION APPLICATION TO
REDUCE GLOBAL WARMING EFFECT

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2552

จำนวน 360,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวพริกานต์ บรรเจิดกิจ

ผู้ร่วมโครงการ นางสาวดารณี ด่านวันดี

นางศุภางค์ ทิพย์พิทักษ์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

20 มกราคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552 จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	6
สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย	17
อุปกรณ์การทำวิจัย	17
วิธีการทดลอง	21
ผลการทดลองและวิจารณ์	28
สรุปผลการทดลอง	63
เอกสารอ้างอิง	64

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง	11
2	การเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด	25
3	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%การอุ้มน้ำ (ขั้นตอนที่1)	29
4	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%COD Removal (ขั้นตอนที่1)	31
5	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ% Removal (ขั้นตอนที่1)	32
6	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า pH (ขั้นตอนที่1)	34
7	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%COD Removal	38
8	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%SS- Removal	42
9	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า % การอุ้มน้ำ	46
10	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเป็นกรด-ด่าง	50
11	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%BOD Removal	54
12	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเคดเมียม	57
13	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าไอเอ็ม	59
14	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสูงของต้นไม้	62

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงหลักการใช้ระบบพืชพรรณเพื่อบำบัดคุณภาพน้ำและกักเก็บน้ำ	7
2	แสดงพื้นที่การใช้ระบบพืชพรรณ	7
3	กระถาง ไม้สำหรับทดลองในขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2	21
4	วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2	23
5	การจัดเรียงชั้นวัสดุกรองที่ใช้ในการทดลอง Treatment ละ 3 ชั้น	24
6	พืชที่ใช้ในการทดลองระบบ Bioretention จำลอง	27
7	แสดงการเปรียบเทียบค่า % การอุ้มน้ำ ทั้งหมด 6 Treatment	29
8	แสดงการเปรียบเทียบค่า %COD Removal ทั้งหมด 6 Treatment	30
9	แสดงการเปรียบเทียบค่า %SS Removal ทั้งหมด 6 Treatment	32
10	แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ทั้งหมด 6 Treatment	34
11	แสดงค่า %COD-Removal แบบที่ 1	36
12	แสดงค่า %COD-Removal แบบที่ 2	36
13	แสดงค่า %SS-Removal แบบที่ 1	39
14	แสดงค่า %SS-Removal แบบที่ 2	39
15	แสดงค่า % การอุ้มน้ำ แบบที่ 1	43
16	แสดงค่า % การอุ้มน้ำ แบบที่ 2	43
17	แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง แบบที่ 1	47
18	แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง แบบที่ 2	47
19	แสดงค่า %BOD-Removal แบบที่ 1	51
20	แสดงค่า %BOD-Removal แบบที่ 2	51
21	แสดงค่าแคลเซียม แบบที่ 1	55
22	แสดงค่าแคลเซียม แบบที่ 2	55
23	แสดงค่าไอเอ็ม แบบที่ 1	58
24	แสดงค่าไอเอ็ม แบบที่ 2	58
25	แสดงค่าความสูงของต้นไม้ควบคุม	60

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
26	แสดงค่าความสูงของต้นไม้ควบคุม แบบที่ 1	60
27	แสดงค่าความสูงของต้นไม้ควบคุม แบบที่ 2	61



การพัฒนาระบบการลดมลพิษ-กักเก็บน้ำด้วยการใช้พืชพรรณ เพื่อบรรเทาปัญหาภาวะโลกร้อน

พिरกานต์ บรรเจิดกิจ¹ ดารณี ด่านวันดี² ศุภางค์ ทิพย์พิทักษ์¹

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาประเภทและประสิทธิภาพของวัสดุรองดินที่ใช้ในการปลูกพืชจากวัสดุต้นทุนต่ำในการกรองมลภาวะทางน้ำ โดยเลือกทดสอบจากวัสดุเหลือทิ้งทางการก่อสร้างเนื่องจากมีความแข็งแรงและมีรูพรุนเหมาะสมต่อการนำมาดูดซับความสกปรกในน้ำ โดยเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง 3 ชนิด คือ เศษกระเบื้อง เศษปูน และเศษอิฐมอญ ทำการจัดเรียงวัสดุเหล่านี้ตามอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบความสามารถในการลดค่าซีไอดีจากน้ำเสียชุมชน พบว่า การใส่วัสดุตามลำดับบนลงล่าง ดังนี้ กระเบื้อง : เศษปูน : อิฐมอญ ที่อัตราส่วน 1 : 1 : 2 และ อิฐมอญ : เศษปูน : กระเบื้อง ที่อัตราส่วน 1 : 1 : 2 มีความสามารถในการลดค่าซีไอดีที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นคัดเลือกประเภทของพรรณไม้ที่แตกต่างกันคือ ถั่วปิ่นโต หรือ ถั่วบราซิล (พื้นคลุมดิน) วานิลีนมังกรต่าง พลับพลึงตีนเป็ด และชาฮกเกี้ยน ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้ที่นิยมใช้ในการเป็นไม้ประดับสาธารณะ ทำการทดสอบประสิทธิภาพการลดมลภาวะทางน้ำ พบว่าพืชทั้ง 4 ชนิดมีความสามารถในการลดมลภาวะทางน้ำแตกต่างกัน โดยพบว่าวานิลีนมังกรต่างและชาฮกเกี้ยนมีความสามารถในการลดค่าซีไอดีของน้ำเสียกว่า 50% ในขณะที่พลับพลึงตีนเป็ดมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีในระยะแรกของการทดสอบมากกว่าพืชชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าหากใช้พืชเดี่ยวร่วมกับพืชคลุมดิน (ถั่วปิ่นโต) สามารถลดค่าความสกปรกในรูปของซีไอดีและสารแขวนลอยได้มากกว่าการใช้พืชเดี่ยวประมาณ 20% อย่างไรก็ตามการทดสอบชี้ชัดว่าการใช้พืชเพื่อการลดค่าความสกปรกของน้ำจำเป็นต้องใช้พืชมากกว่า 1 ชนิดทำงานร่วมกันจึงจะเห็นประสิทธิภาพอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : การลดมลพิษด้วยระบบพืชพรรณ การกักเก็บน้ำด้วยระบบพืชพรรณ
ระบบการกรองน้ำด้วยการปลูกพืช

DEVELOPMENT OF BIOREMEDIATION- BIORETENTION APPLICATION TO REDUCE GLOBAL WARMING EFFECT

PEERAKARN BANJERDKIJ¹, DARANEE DANWANDEE², SUPANG TIPPITAK¹

¹ Faculty of Science Maejo University

² Faculty of Architecture and Environmental Design Maejo University

Abstract

This research was studied to types and efficiency of soil-based materials that planting crops from low-cost materials in the filtration of water pollution. The selected test materials as construction waste through strong and appropriate porous for absorbing impurities in the water. The use of building materials, 3 types of fragment tile , cement and brick to sort these materials according to different ratio to test the ability to reduce domestic wastewater. The results found that the materials put tiles: cement: brick the ratio 2: 1: 1 and brick: cement: tiles exact ratio 1: 1: 2 has the ability to appropriate reduced COD. Then select the different type of tree species is Pinto bean (ground covered crop), Snake Plant, Spider Lily and *Carmona retusa* (Vahl) Masam.. This is a popular plants used in ornamental plants. Efficiency testing to reduce pollution of water found that 4 plant species have the different ability to reduce water pollution. The found that a Snake Plant and *Carmona retusa* (Vahl) Masam ability to reduce COD over 50% while Spider Lily effective in lowering the first stage of testing than another plant species, significantly. It also found that if using a single crop with cover crop (Pinto bean) to reduce COD and suspended solids was higher than use of single plants about 20%. However, the result indicated that using plants to reduce the components in wastewater need more than 1 type of collaboration is to see the efficiency clearly.

Key words: Bioremediation , Bioretention, Biofiltration

คำนำ

ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นควบคู่กับการพัฒนาความเจริญก้าวหน้า ของทุกประเทศ กล่าวคือ การพัฒนายิ่งรุดหน้าปัญหาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและภาวะมลพิษโดยเฉพาะในเมืองขนาดใหญ่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับประเทศไทยที่กำลังประสบกับปัญหาดังกล่าวอยู่ในขณะนี้ ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับเมืองขนาดใหญ่ ได้แก่ ปัญหามลภาวะเป็นพิษทางน้ำ โดมความร้อนในเขตเมือง ขาดแคลนทรัพยากรดินและป่าไม้ในเขตเมือง ขาดสมดุลระบบ นิเวศเมือง อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนที่ในปัจจุบันประชากรทั้งโลกกำลังเผชิญอยู่

การใช้ระบบพืชพรรณ ซึ่งประกอบไปด้วย ประเภทของพืช ความหลากหลายของแบบที่เจริญในดิน ปริมาณของสารอินทรีย์ ประเภทของดิน การจัดวางและการเลือกใช้วัสดุรองดินเพื่อการปลูกพืช มีประโยชน์ต่อการดำรงอยู่ของมนุษย์ชาติอย่างมากมาย เช่น การช่วยลดมลภาวะทางน้ำ และลดอัตราไหลบ่าของน้ำฝน (Runoff) ด้วยการกักเก็บน้ำไว้ ซึ่งส่งผลให้งบประมาณการก่อสร้าง ระบบระบายน้ำและระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมืองลดลง เป็นการบริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบ และยั่งยืน การสร้างสมดุลของระบบนิเวศเมืองและส่งเสริมการสร้าง ความหลากหลายทางชีวภาพในเขตเมือง และช่วยลดปรากฏการณ์โดมความร้อนในเมือง (Urban Heat Islands) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ นอกจากนี้การกักเก็บน้ำของพืช ยังส่งเสริมให้ระดับของน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นช่วยลดความเสี่ยงของการ เกิดแผ่นดินไหว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่นิยมใช้น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค การใช้ระบบพืชพรรณถือเป็นหลักการที่ควรนำมาศึกษาและพัฒนา เพื่อหาต้นแบบระบบการปลูกพืชพรรณอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งสามารถประยุกต์หลักการนี้ในการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ กล่าวคือ การนำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ในภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ทดแทนน้ำรดต้นไม้ได้อีกทางหนึ่งงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยประยุกต์ โดยมุ่งเน้นการบรรเทาปัญหาการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน คือ งบประมาณการสร้างระบบระบายน้ำแยกและระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั่ว ประเทศไทย กล่าวคือ ระบบระบายน้ำ (Drainage System) ของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบระบายน้ำแบบรวม (Combined System) เป็นระบบระบายน้ำที่รับทั้งน้ำเสียและน้ำฝน การพิจารณา ออกแบบขนาดของท่อระบายน้ำ จึงต้องคำนึงถึงการรองรับปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในแต่พื้นที่ขนาดของท่อระบายน้ำที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่ มาก เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากประเทศอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีปริมาณ

น้ำฝนเฉลี่ยต่อปีค่อนข้างสูง รวมทั้งการใช้ระบบระบายน้ำแบบรวมมีข้อดีคือ ค่าลงทุนการก่อสร้าง (Construction Cost) ต่ำกว่าเท่าตัว เมื่อเทียบกับการออกแบบระบบระบายน้ำแบบแยก (Separated System) จึงทำให้ประเทศไทยเลือกใช้ระบบระบายน้ำแบบรวม ในอดีตประเทศไทยสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมืองซึ่งรับบำบัดทั้งน้ำเสียและน้ำฝน โดยน้ำฝนมีความสกปรกจากการชะล้างผิวการจราจรและจากมลพิษทางอากาศ ทำให้อายุการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียมีขนาดใหญ่ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาสูงแต่ในปัจจุบัน แนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำในเขตเมืองได้เปลี่ยนไป ดังจะเห็นได้ว่าเมืองขนาดใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ ได้มีการออกแบบระบบที่รวบรวมน้ำเสียแยกออกจากระบบระบายน้ำเนื่องจากในแต่ละเมืองได้มีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมืองและสร้างระบบระบายน้ำฝนแยกออกจากน้ำเสีย เพื่อเป็นการลดขนาดของโรงบำบัดน้ำเสียและลดภาระการบำบัดน้ำเสีย รวมของเมืองการสร้างระบบระบายน้ำฝนส่งผลให้ประเทศต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการลงทุนมหาศาล จึงทำให้การออกแบบระบบระบายน้ำแบบแยกเช่นนี้ ทำได้กับเมืองขนาดใหญ่ที่คุ้มค่ากับการลงทุน ทั้งในแง่เศรษฐกิจและสังคม ดังนั้นยังเหลืออีกหลายเมืองของประเทศที่ควรมีการลงทุนในลักษณะนี้เช่นกัน เนื่องจากทุกเมืองควรมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมืองเพื่อลดมลพิษของเมือง

ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการลดขนาดระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมืองโดยไม่จำเป็นต้องลงทุนกับการสร้างระบบระบายน้ำฝนแยก คือ การใช้ระบบพืชพรรณเพื่อช่วย ในการกักเก็บน้ำ (Bioretention) และลดมลภาวะทางน้ำ (Bioremediation) โดยเฉพาะน้ำฝน พร้อมทั้งปรับปรุง คุณภาพสิ่งแวดล้อมของ เมืองอีกทางหนึ่ง

คุณค่าอีกทางหนึ่งของการใช้ระบบพืชพรรณ คือ ต้นไม้จากระบบพืชพรรณสามารถช่วยกรองสารพิษจากอากาศได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นกลุ่มก๊าซที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน ลดความร้อนในบรรยากาศโดยพืชจะคายน้ำในช่วงกลางวัน ทำให้อุณหภูมิ ลดลง สามารถลดการใช้ เครื่องปรับอากาศได้ประมาณ 40% การใช้ระบบพืชพรรณสามารถลดปัญหาด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมือง ใช้เป็นเครื่องมือส่งเสริมระบบนิเวศเมือง บรรเทาปัญหาโดมความร้อนในเขตเมือง ภายใต้การสร้างทัศนียภาพที่สวยงามจากการออกแบบพื้นที่ตามหลักการทางภูมิทัศน์ เป็นการสร้างเมืองให้สวยงามและมีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากรายได้ส่วนหนึ่งของประเทศไทยมาจากการท่องเที่ยว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดค่าความสกปรกของน้ำและความสามารถในการกักเก็บน้ำของการจัดเรียงวัสดุกรอง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชพรรณที่ใช้ในการลดค่าความสกปรกของน้ำ และความสามารถในการกักเก็บน้ำ
3. เพื่อศึกษาระบบ Bioretention จำลองด้วยพื้นที่ต้นแบบศึกษา
4. เพื่อเป็นแนวทางการสร้างเมืองน่าอยู่และสวยงามตามหลักการออกแบบทางภูมิทัศน์ ภายใต้การใช้ระบบพืชพรรณ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ประเภทของวัสดุรองดินที่มีประสิทธิภาพในการลดมลภาวะทางน้ำและต้นทุนต่ำ
2. ได้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการลดภาระการระบายน้ำฝนและการลดมลภาวะทางน้ำ
3. ได้รูปแบบของการออกแบบพื้นที่ภายใต้หลักการใช้ระบบพืชพรรณอย่างเป็นรูปธรรม
4. ได้แนวทางการจัดการปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยระบบพืชพรรณ

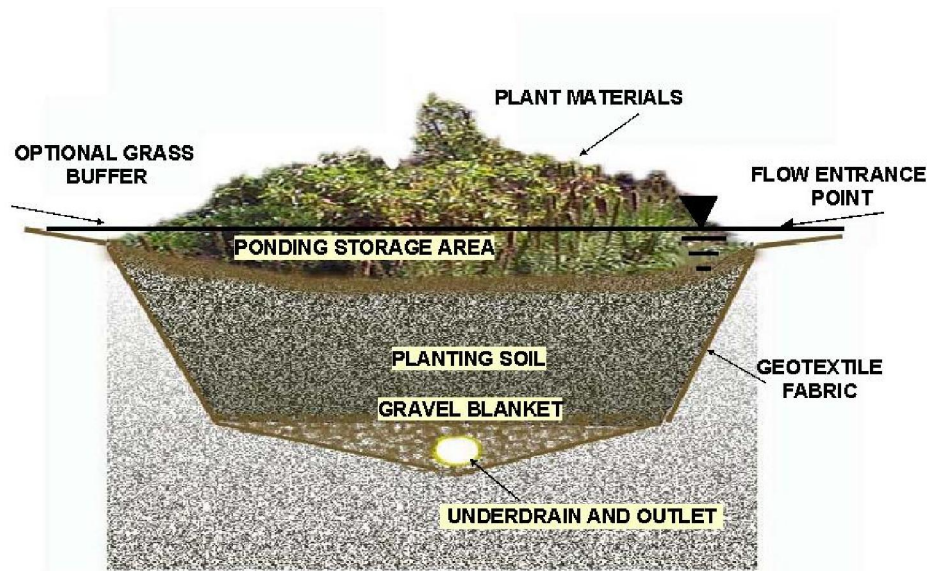
หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. หน่วยงานราชการ เช่น จังหวัด เทศบาลเมือง เทศบาลนคร เทศบาลตำบล โรงพยาบาลและสถาบันการศึกษา เพื่อลดงบประมาณการก่อสร้างระบบระบายน้ำของเมืองและฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมือง บรรเทาปัญหาความร้อนในเขตเมือง เป็นต้น
2. หน่วยงานภาคเอกชน เช่น กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตโรงงานพร้อมทั้งลดงบประมาณในการก่อสร้างระบบระบายน้ำของโรงงาน กลุ่มธุรกิจการโรงแรมและห้างสรรพสินค้า ที่ต้องการสนับสนุนการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมืองและสร้างบรรยากาศสวยงามให้กับสถานที่ โดยเฉพาะการปรับปรุงบริเวณลานจอดรถ เป็นต้น
3. ประชาชนทั่วไป นำหลักการระบบพืชพรรณไปประยุกต์ใช้ในการปลูกต้นไม้บริเวณที่อยู่อาศัย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และบรรเทาความร้อนในชุมชน

การตรวจเอกสาร

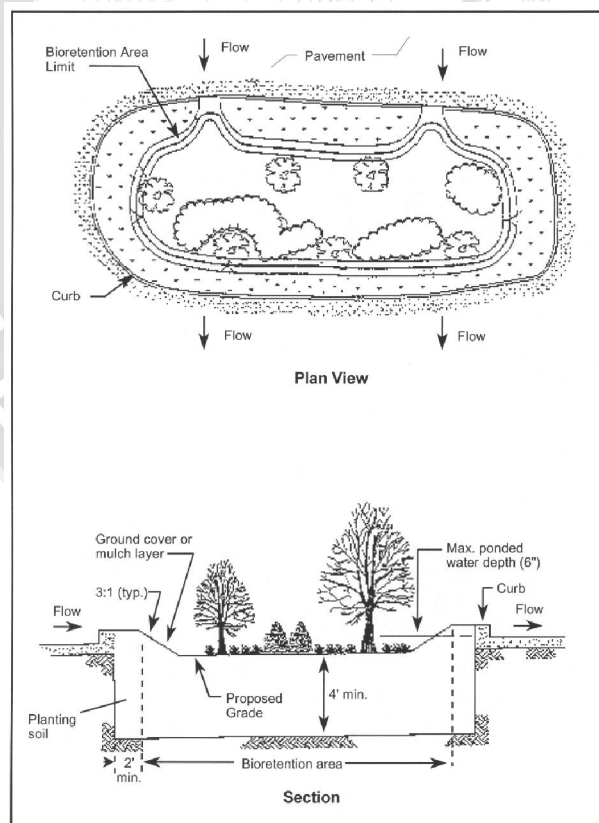
ปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองขนาดใหญ่เป็นปัญหาที่นับวันทวีความรุนแรงมากขึ้น และแผ่ขยายไปกว้างขึ้น เช่น ปัญหามลภาวะทางน้ำซึ่งมุ่งเน้นแต่น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและอุตสาหกรรมโดยลึ้มค้ำึงถึงน้ำฝนที่สารปนเปื้อนจำพวกฝุ่นละออง โลหะหนัก จากการจราจรและบรรยากาศ ปัญหาด้านอากาศเป็นพิษจากการจราจร ทำให้ขาดอากาศที่สะอาดเพียงพอต่อการหายใจของมนุษย์มีผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ ปัญหาด้านความร้อนสะสมในเขตเมืองหรือเรียกว่า โคมความร้อนในเขตเมือง ซึ่งนับวันปัญหานี้ได้ทวีความรุนแรงอย่างเห็นได้ชัด ปัญหาการขาดความสวยงามในเขตเมือง เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบทางสายตาและความรู้สึกที่มีต่อทัศนียภาพของเมืองอันส่งผลต่อภาพลักษณ์ของชุมชนนั้น ๆ โดยเฉพาะชุมชนที่มีบทบาทเป็นแหล่งท่องเที่ยว และปัญหาการเกิดน้ำท่วมฉับพลัน ปัญหาน้ำท่วมในชุมชนเกิดจากสภาพข้อจำกัดทางกายภาพของพื้นที่ และจากการก่อสร้างโครงการต่าง ๆ โดยขาดการศึกษาผลกระทบและวางแผนรองรับ เช่น โครงข่ายถนน และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

แนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองได้คือ การใช้ระบบพืชพรรณ (ภาพที่ 1 และ 2) กล่าวคือ โดยทั่วไปการปลูกต้นไม้ตามพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ทางเดินเท้า เกาะกลางถนน สวนสาธารณะ สวนหย่อม สนามออกกำลังกาย ในเขตเมืองที่มีอยู่ ยังขาดการศึกษาการวางรูปแบบของการปลูกต้นไม้ที่สามารถเอื้อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของการแก้ไข ปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองอย่างถูกหลักการ ตัวอย่างเช่น การวางวัสดุรองพื้นดิน โดยคำนึงถึงความสามารถในการช่วยกรองความสกปรกของน้ำและการระบายน้ำ การเลือกพรรณไม้ให้เหมาะสมกับการลดมลภาวะทางน้ำพร้อมปรับปรุงคุณภาพอากาศทำหน้าที่เสมือนปอดของเมือง และสร้างทัศนียภาพให้สวยงาม เป็นต้น



ภาพที่ 1 แสดงหลักการใช้ระบบพืชพรรณเพื่อบำบัดคุณภาพน้ำและกักเก็บน้ำ

ที่มา : www.nahbrc.org (ค้นเมื่อ 18/05/2005)



ภาพที่ 2 แสดงพื้นที่การใช้ระบบพืชพรรณ

ที่มา : danpatch.ecn.purdue.edu (ค้นเมื่อ 18/05/2005)

ดังนั้นงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ระบบพืชพรรณเพื่อฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมเมืองในด้านต่าง ๆ มีดังนี้

1. การเพิ่มพื้นที่รับน้ำ ลดอัตราและปริมาณน้ำไหลบ่า (Storage Increasing and Runoff Reducing)

การปรับเปลี่ยนพื้นที่โล่งโดยใช้ระบบพืชพรรณทำให้เกิดการเพิ่มสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดิน (Coefficient of runoff; C) ถ้าพื้นที่ใดมีค่า C ต่ำ แสดงว่ามีความสามารถในการลดอัตราปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินได้สูง ซึ่งค่า C โดยทั่วไปของพื้นปูนคอนกรีตหรือลาดยางมะตอยมีค่าเท่ากับ 0.95 ในขณะที่พื้นสนามหญ้ามีค่า C อยู่ระหว่าง 0.05-0.35 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ (Gary, 1976) ดังนั้นพื้นที่สนามหญ้าจึงมีความสามารถในการรับน้ำและลดอัตราน้ำไหลบ่าได้ดีกว่า พื้นี่ปูคอนกรีตหรือลาดยางประมาณกว่า 2 เท่า จากการศึกษาของ Pitt and Voorhess, (1995) ได้คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลบ่าประจำปีพบว่าปริมาณน้ำไหลจากสวนบนหลังคาน้อยกว่าหลังคาทั่วไป 30-35% ต่อปี เช่นเดียวกับการศึกษาของ NRCA, (2001) สถาบันการศึกษาคุณภาพดินในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรมการจำลอง (Source Loading and Management Model; SLAMN) ในการปรับเปลี่ยนพื้นที่โล่งบนหลังคาที่พักอาศัยเป็นสวนบนหลังคา พบว่าสามารถลดอัตราการไหลของน้ำบนหลังคาได้เกือบ 50% ซึ่งเมื่อคิดเทียบเป็นมูลค่าการก่อสร้างระบบระบายน้ำ สามารถลดงบประมาณในการก่อสร้างได้ประมาณ 40% ของมูลค่าการก่อสร้างระบบระบายน้ำ

2. การลดมลภาวะทางน้ำ (Reduction of Water Pollutants)

ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการลดภาระบรรทุกของเสีย (Organic loading) และค่ามลพิษอื่น ๆ เช่น การช่วยกรองเศษขยะและการลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำฝนจากบริเวณพื้นผิวการจราจรและเขตทางเท้า ซึ่งพบว่าการใช้พืชเพื่อช่วยในการลดมลภาวะทางน้ำสามารถ ลดค่าใช้จ่ายได้ 50-80% เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ (ตะแกรงดักขยะ) และกระบวนการทางเคมี (สารเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนัก) (ดัดแปลงจาก www.treepeople.org) ความสามารถในการกำจัดมลพิษในน้ำด้วยระบบพืชพรรณ คือ ปริมาณองค์ประกอบของไนโตรเจน 30-80%, องค์ประกอบของฟอสฟอรัส 20-80%, โลหะหนัก (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Cr Al) 20-90%, ค่าความสกปรกของน้ำในรูป BOD 35% และในรูป COD 60-90% ค่าสารแขวนลอยและความขุ่นมากกว่า 90% (Deletic, A. and Fletcher, T.D., 2005, Glass, C and Bissouma, S., 2005, Hsieh C.H. and Davis, A.P., 2005, Kim *et al.*, 2003, Davis, et al., 2003, Davis *et al.*, 2001, Barrett, et al., 1998 and PGDER, 1993) การใช้ระบบพืชพรรณซึ่ง

เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตของระบบดินและน้ำ โดยทำงานร่วมกันด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาในการลดมลภาวะทางน้ำ ซึ่งมีกระบวนการหลักในการลดมลภาวะทางน้ำ คือ 1. การใช้พืชบำบัด (Phytoremediation) เป็นกระบวนการที่อาศัยพืชช่วยในการดูดซับมลภาวะ โดยเฉพาะสารพิษต่าง ๆ และโลหะหนัก 2. การใช้จุลินทรีย์ในดินทั้งแบคทีเรียและรา ในการลดกลุ่มสารพิษเฉพาะ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ 3. การหมุนเวียนธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Nutrient Assimilation) เป็นกระบวนการที่เกิดโดยการทำงานระหว่างแบคทีเรียและพืชในการแลกเปลี่ยนและใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารทั้งสอง

3. การจัดการปัญหาน้ำท่วมขัง (Flood Management)

ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการชะลอน้ำก่อนเข้าสู่ระบบท่อระบายน้ำของเมือง เป็นการกักเก็บน้ำชั่วคราว หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบพืชพรรณช่วยเพิ่มอัตราการระบายน้ำผิวดิน เป็นการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมขังบนผิวดินได้เป็นอย่างดี จาก www.brownfieldstsc.org และ www.epa.gov/TIO ได้ประมาณการค่าใช้จ่ายในการควบคุมการระบายน้ำท่า (Hydraulic cost) เมื่อใช้พืชช่วยในการชะลอน้ำคิดเป็นมูลค่าที่ลดลงประมาณ 60%

4. การเพิ่มปริมาณระดับน้ำใต้ดิน (Enhancement of Potable Water)

จากการที่ระบบพืชพรรณช่วยส่งเสริมการชะลอน้ำโดยการกักเก็บน้ำชั่วคราว ส่งผลให้น้ำที่ถูกกักขังมีโอกาสซึมลงสู่ใต้ดินมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ลดภาวะการเกิดปัญหาดินทรุดในบางพื้นที่ที่ประชาชนนิยมใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค

5. การลดมลภาวะทางอากาศ (Reduction of Air Pollution)

ต้นไม้จากระบบพืชพรรณสามารถช่วยกรองสารพิษจากอากาศได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นกลุ่มก๊าซที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน ลดความร้อนในบรรยากาศโดยพืชจะคายน้ำในช่วงกลางวันทำให้อุณหภูมิลดลง สามารถลดการใช้เครื่องปรับอากาศได้ประมาณ 40% (ดัดแปลงจากwww.treepeople.org)

6. การเพิ่มมูลค่าทางสุนทรียภาพ (Value add of Aesthetic)

นอกจากระบบพืชพรรณจะช่วยฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น การมีพืชในเขตเมืองที่มากขึ้นเกิดความร่มรื่น เป็นการสร้างความรู้สึกด้านสุนทรียภาพที่ดีของประชาชน ทำให้คุณภาพชีวิตโดยเฉพาะด้านสุขภาพจิตที่ดีขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของคนเมือง และต่อเนื่องไปยังประสิทธิภาพการพัฒนาเมืองให้สวยงามและดีขึ้น ซึ่งการสร้างสุนทรียภาพของเมืองด้วยการเลือกใช้ระบบพืชพรรณต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักการทางภูมิทัศน์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านสุนทรียภาพอย่างแท้จริง โดยเฉพาะชุมชนที่มีรายได้จากการ

ท้องถิ่นสามารถใช้ระบบพืชพรรณของเมืองสร้างเมืองให้สวยงาม นอกจากนั้นระบบพืชพรรณยังมีส่วนส่งเสริมสร้างสมดุลระบบนิเวศเมืองโดยเป็นที่อยู่อาศัยของนก ปลา แมลง และสัตว์อื่น ๆ

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปประโยชน์ของระบบพืชพรรณเพื่อสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ได้ดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 แสดงประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง

หัวข้อ	รายละเอียด
1. การปรับปรุงคุณภาพอากาศ	การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) : 1. ต้นไม้โตเต็มวัย 1 ต้น สามารถดูดซับ CO₂ ได้ 48 ปอนด์ต่อปี พร้อมทั้งผลิต O₂ ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการหายใจของ 2 คน (McAliney, 1993) 2. ในสหรัฐอเมริกา พบว่า ต้นไม้ในชุมชนเมืองสามารถสะสมคาร์บอน (C) จากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ 13 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อปี และสามารถลดปริมาณ C จากการจราจรได้ 0.88 – 1.06 ปอนด์ CO₂ต่อไมล์ (Nowak, 1995) นอกจาก CO₂ พบว่าต้นไม้สามารถ ลดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ถ่านไม้และปลดปล่อยสู่บรรยากาศ 60% ลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และลดปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀) ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน) ของน้ำมันดีเซลซึ่งเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ต้นไม้สามารถลดความสกปรกของมลพิษเหล่านี้ได้มากกว่า 60% โดยดักจับมลพิษนี้ไว้ที่ใบไม้ จากการทดสอบประโยชน์ของต้นไม้ในสวนแห่งหนึ่ง (ขนาด 212 เฮกเตอร์) พบว่า สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองได้ 48 ปอนด์ต่อวัน, ไนโตรเจนไดออกไซด์ 9 ปอนด์ต่อวัน, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 6 ปอนด์ต่อวัน และคาร์บอนมอนอกไซด์ 2 ปอนด์ต่อวัน ซึ่งคิดเทียบเป็นมูลค่าที่ต้องบำบัดมลพิษเหล่านี้เป็นเงิน 136 ดอลลาร์ต่อวัน (www.coloradotrees.org ค้นเมื่อ 7/9/2005) การปลูกต้นไม้เป็นระยะเวลา 50 ปี ต้นไม้สามารถผลิต O₂ เป็นมูลค่า 31,250 ดอลลาร์, ลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมมลพิษทางอากาศได้ 62,000 ดอลลาร์, สามารถเพิ่มปริมาณน้ำหมุนเวียนในสภาพแวดล้อมคิดเป็นมูลค่าของน้ำที่เพิ่มมาเป็น 37,500 ดอลลาร์ และลดการพังทลายของหน้าดินคิดเป็นมูลค่า 31,250 ดอลลาร์ (Coder, 1996)

ตารางที่ 1 แสดงประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
2. การรักษาคุณภาพน้ำ	1. ลดการชะหน้าดิน พบว่า ระบบรากพืชสามารถช่วยยึดหน้าดินไว้ได้ดี 2. ป้องกันสารมลพิษต่าง ๆ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ พบว่า ระบบการดูดซับธาตุอาหารของรากพืชช่วยกรองและลดปริมาณสารพิษก่อนปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้ 3. ชะลอการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (น้ำท่า) ซึ่งพบว่าทุก ๆ 5% ของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นสามารถลดอัตราการไหลบ่าของน้ำผิวดินได้ประมาณ 2% (www.coloradotrees.org) และพบว่าเรือนยอดของต้นไม้สามารถดักน้ำฝนได้ประมาณ 17% ถ้าเพิ่มปริมาณเรือนยอดความสามารถในการดักน้ำฝนเพิ่มขึ้น (American Forests, 1999) 4. เพิ่มปริมาณน้ำใต้ดิน ต้นไม้จึงเปรียบเสมือนตัวกรองมลพิษธรรมชาติ (bio-filter) สามารถช่วยลดการไหลบ่าของน้ำฝน ลดปริมาณสารปนเปื้อนต่าง ๆ และช่วยนำธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ที่ปนเปื้อนมากับน้ำฝนไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นไม้ ซึ่งถ้าปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำได้
3. การประหยัดพลังงาน	1. ต้นไม้สามารถให้ร่มเงาแก่ตัวอาคาร ส่งผลให้อาคารสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันได้มากถึง 65% หรือคิดเทียบเป็นการลดปริมาณการใช้ น้ำมันได้ถึง 500,000 บาเรลต่อวัน (American Forests, 1999) หรือคิดเทียบเป็นความสามารถของต้นไม้ในการประหยัดค่าใช้จ่ายได้เป็น ต้นไม้โตเต็มวัย 3 ต้นต่อบ้าน 1 หลัง สามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานของประเทศสหรัฐได้ 2 พันล้านดอลลาร์ต่อปี (McAlinney, 1993) 2. การจัดวางต้นไม้อย่างถูกตำแหน่ง ส่งผลให้ประหยัดพลังงาน ทั้งในแง่ของการให้ร่มเงาอาคาร กีดขวางลมในฤดูหนาว และลดอุณหภูมิโดยรวม (จากการคายน้ำ) ได้มากถึง 20-25% เมื่อเทียบกับการไม่ปลูกต้นไม้

ตารางที่ 1 แสดงประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
	3. ลดปัญหาโดมความร้อนในเขตเมือง โดยต้นไม้ใหญ่ที่มีขนาดของพุ่มใบกว้าง 30 ฟุต สามารถคายน้ำได้ 150 ลิตรต่อวัน ซึ่งเพียงพอต่อการระบายความร้อนในปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 100 ดวง นาน 8 ชั่วโมง
4. การยืดอายุการใช้งานของผิวถนน	ต้นไม้ใหญ่สามารถยืดอายุการใช้งานของผิวจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งถนนลาดยางมะตอย เนื่องจากยางมะตอยมีคุณสมบัติสามารถยืดตัวได้เมื่อโดนความร้อนในเวลากลางวัน และหดตัวในเวลากลางคืน ส่งผลให้ยางมะตอยเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น โดยปกติถนนยางมะตอยควรได้รับการบำรุงรักษาใน ทุก ๆ 7-10 ปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 50,000 ดอลลาร์ต่อไมล์ (Center fo Urban., 1999) ดังนั้นในการปลูกต้นไม้ใหญ่ซึ่งให้ร่มเงากับผิวจราจร ทำให้ยืดอายุการใช้งานของถนนยางมะตอยได้นานขึ้น คือ บำรุงรักษาทุก ๆ 20-25 ปี
5. ความปลอดภัยจากการจราจร	ต้นไม้เพิ่มความปลอดภัยในการจราจร เนื่องจากต้นไม้ที่ใหญ่และสูงส่งผลให้เกิดความรู้สึกว่าถนนแคบ ทำให้ผู้ขับขี่เพิ่มความระมัดระวังในการใช้ยานพาหนะมากขึ้น นอกจากนี้การปลูกต้นไม้ริมทางเดินเรียบเสมือนกำแพงกั้นระหว่างคนเดินเท้าและผู้ขับขี่ ลดการตกกระแทบของไฟส่องของยานพาหนะที่สวนทางมา และใช้เป็นแนวสายตาที่ชัดเจนแก่ผู้ขับขี่ในกรณีที่เป็นโค้งถนน
6. ระบบเศรษฐกิจที่ยั่งยืน	1. การมีต้นไม้ในเมืองโดยรอบส่งผลต่อบรรยากาศของควมน่าลงทุนทางธุรกิจ และการท่องเที่ยวในเมืองนั้น ๆ 2. บริเวณสถานที่พักอาศัยและทำงานที่มีต้นไม้โดยรอบ มีโอกาสในการถูกซื้อขายหรือเช่าสูง 3. สถานที่ทำงานที่มีต้นไม้โดยรอบ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานดีขึ้น ลดภาวะเบื่อหน่ายที่ทำงาน (www.coloradotrees.org)

ตารางที่ 1 แสดงประโยชน์ของระบบพืชพรรณในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
7. การเพิ่มมูลค่าที่ดิน	การมีต้นไม้ปลูกในที่ดินทำให้มูลค่าที่ดินเพิ่มขึ้น 5-15% เมื่อเทียบกับที่ดินที่ไม่มีต้นไม้ (www.coloradotrees.org)
8. การเพิ่มคุณภาพสังคมเมือง	1. ต้นไม้ช่วยเสริมให้ความสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนบ้านดีขึ้น ลดภาวะความรู้สึกแปลกหน้า และลดความก้าวร้าวในชุมชน 2. ลดจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ 3. ลดมลภาวะทางเสียง เนื่องจากต้นไม้เป็นแนวกำบังเสียงที่ดีกว่าเข้าสู่ตัวอาคาร โดยที่ต้นไม้สามารถดูดซับเสียงได้ 50% (www.coloradotrees.org)

การออกแบบระบบพืชพรรณมีเกณฑ์การออกแบบ (Design Criteria) ที่ควรพิจารณาดังนี้ (NJS BMP Manual, 2004)

1. ปริมาณการกักเก็บน้ำ, ความลึกของน้ำที่กักเก็บเหนือพื้นดิน และระยะเวลาการกักเก็บ

ปริมาณที่ใช้ในการกักเก็บน้ำขึ้นอยู่กับคุณภาพการลดความสกปรกของน้ำ โดยทั่วไประบบพืชพรรณควรให้น้ำอยู่ในระบบอย่างน้อย 72 ซม. และความลึกของระดับน้ำกักเก็บไม่ควรเกิน 12 นิ้วสำหรับระบบพืชพรรณประเภทบ่อ (Basin) และไม่เกิน 8 นิ้วสำหรับระบบพืชพรรณที่เป็นริ้วยาว (Swale)

2. อัตราการซึมน้ำ

การออกแบบระบบพืชพรรณควรมีอัตราการซึมน้ำที่สามารถให้น้ำอยู่ในระบบได้ไม่น้อยกว่า 72 ซม. และถ้าในการทดสอบอัตราการซึมน้ำจากระบบจำลองได้ 4 นิ้วต่อชม. ในการออกแบบจริงต้องใช้อัตราการซึมน้ำที่ 2 นิ้วต่อชม. เนื่องจากในการนำไปใช้จริงค่าอัตราการซึมน้ำจะ ลดลงเพราะเกิดการอุดตันจากสิ่งสกปรกตามช่องว่างของน้ำและอากาศของระบบพืชพรรณ

3. ประเภทของดินที่ใช้ในระบบพืชพรรณ

ดินในระบบพืชพรรณเป็นแหล่งอาหารและน้ำของพืช การเลือกใช้ดินแต่ละประเภทมีผล ต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีบทบาทในการดูดซับความสกปรก ประเภทของดิน

ที่แนะนำให้ใช้ความมืองค์ประกอบของดินเหนียว 10-15% ททราย 65% และ pH ควรอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 และระดับความลึกของดินนี้ไม่ควรน้อยกว่า 3 ฟุต ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่เก็บน้ำและอัตราการซึมผ่าน ที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของดินเป็นสำคัญ

4. ชนิดของพืชพรรณ

พืชพรรณมีส่วนสำคัญในการลดธาตุอาหารและสารสกปรกออกจากน้ำ จึงควรพิจารณาเลือกชนิดของต้นไม้ให้มีประสิทธิภาพในการลดสิ่งสกปรก โดยทั่วไปควรปลูกต้นไม้ประมาณ 1,000 ต้นต่อเอเคอร์ และระยะห่างระหว่างต้นไม้ไม่ควรน้อยกว่า 12 ฟุตสำหรับไม้ยืนต้น และ 8 ฟุตสำหรับไม้พุ่ม

5. ประเภทและความหนาของวัสดุรองพื้น

โดยทั่วไปใช้วัสดุรองพื้นด้วยกรวดและทรายซึ่งมีความหนาไม่น้อยกว่า 3 นิ้วและ 12 นิ้ว ตามลำดับ โดยเทไว้เหนือท่อรวบรวมน้ำ การใช้วัสดุรองพื้นเพื่อเป็นการป้องกันสารแขวนลอยขนาดเล็กจากดินอุดตันท่อรวบรวมน้ำ

6. ปริมาณน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบพืชพรรณ

ปริมาณน้ำเข้ามีผลต่อการชะหน้าดิน ควรมีการออกแบบการชะลดความแรงของน้ำก่อน เข้าระบบพืชพรรณ รวมทั้งปริมาณน้ำไหลเข้าและออกจากระบบมีผลต่อระยะเวลาที่เก็บ

7. อัตราน้ำล้นออก

อัตราน้ำล้นออกจากระบบพืชพรรณ ต้องมีการพิจารณาและออกแบบท่อรองรับไว้ เนื่องจากการเกิดปริมาณน้ำไหลเข้าระบบเกินค่าการออกแบบไว้อาจเกิดขึ้นได้

นอกเหนือประโยชน์ของการเลือกใช้และออกแบบระบบพืชพรรณเพื่อการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเมืองแล้ว การออกแบบตามหลักภูมิทัศน์เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของพื้นที่อย่างมีศักยภาพสูงเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากทำให้เกิดการสร้างสุนทรียภาพของเมือง และเป็นการนำข้อมูลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เห็นเป็นรูปธรรมอย่างแท้จริง

การออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรมโดยใช้ระบบพืชพรรณเพื่อสุนทรียภาพและ นันทนาการ

ในการออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรมเป็นการเลือกใช้วัสดุพืชพรรณ ความงาม สุนทรียภาพและประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่ ผสมผสานกับองค์ความรู้ทางด้านพืชพรรณ ด้าน วิศวกรรม และ สิ่งแวดล้อม ซึ่งมีหลักการและขั้นตอนการออกแบบโดยเน้นถึงการนำระบบพืชพรรณไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจาก EPA, 1999) ดังนี้

1. **ความลาดชันของพื้นที่** ความลาดชันของพื้นที่มีความสำคัญต่อการออกแบบและการระบายน้ำในพื้นที่ ซึ่งจะมีผลต่อการวางพื้นที่ใช้สอย และการออกแบบพืชพรรณ รวมทั้งการถูกกัดเซาะของพื้นที่ศึกษา
2. **ขนาดของพื้นที่** การออกแบบภูมิทัศน์ จำเป็นจะต้องทราบขนาดของพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วย ความกว้าง ยาว ทิศทางต่างๆของพื้นที่ เพื่อพิจารณาความเพียงพอต่อการกักเก็บน้ำ ชั่วคราวของระบบพืชพรรณ
3. **ทิศทางของแสง** เป็นประโยชน์ในการเลือกขนาดและชนิดของพรรณไม้และปลูกไม้บังแสงแดด/ไม้ให้ร่มเงา สามารถเลือกตำแหน่งที่ปลูกได้อย่างเหมาะสม หรือเลือกวัสดุปูพื้นผิวทางเดิน หรือวัสดุประกอบอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสมซึ่งจะช่วยลดความร้อนของแสง และมลภาวะต่างๆได้
4. **ทิศทางลม** การสำรวจทิศทางของลม เพราะลมจะมีผลต่อความชื้นและความเย็นสบายของผู้ใช้ประโยชน์พื้นที่
5. **ดิน** การทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของดินว่าเป็นดินเหนียว ดินร่วน หรือดินทราย ดูความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพของดิน ชั้นหน้าดิน และระดับน้ำใต้ดิน เพื่อใช้ในการเลือกใช้วัสดุรองพื้นดินและชนิดพรรณไม้ให้เหมาะสมกับชนิดของดิน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดมลภาวะทางน้ำ
6. **สภาพภูมิอากาศ** การทราบข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ เช่น อยู่ในเขตร้อน อากาศแห้งแล้ง เขตหนาว หรือเขตฝนตก เป็นข้อมูลที่จะนำมาใช้พิจารณาเลือกชนิดพืชพรรณ ภูฏาชนิดต่างๆ ลักษณะการเจริญเติบโต และสภาวะที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่
7. **พรรณไม้เดิม** การออกแบบจะคำนึงถึงการใช้พรรณไม้เดิมที่มีอยู่แล้วเป็นสำคัญ แต่มีการเพิ่มเติมระบบพืชพรรณในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อการลดมลภาวะทางน้ำ โดยควรให้มี อัตราส่วนไม้พุ่มต่อไม้ยืนต้น ในพื้นที่ออกแบบมีค่า 2:1 ถึง 3:1

8. **สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ** การพิจารณาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่และพื้นที่ข้างเคียง ให้มีความเชื่อมโยงต่อเนื่อง เกิดความสวยงามให้กับผู้ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ข้างเคียง เพื่อเสริมสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับชุมชนโดยรอบ

สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย

ระยะเวลา 1 ปี (ตุลาคม 2551-กันยายน 2552)

สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ (ห้อง2405) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ห้องปฏิบัติการกลาง (2409) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3. โรงเรือนกระจก อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อุปกรณ์การทำวิจัย

ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัย จะประกอบไปด้วย

1. วัสดุปลูก
 - ดิน ซึ่งจะใช้ดินที่มีแคลเซียมปนเปื้อน จาก ต.แม่ตาว อ. แม่สอ ด. จังหวัดตาก
2. ทರาย
3. วัสดุกรอง / วัสดุตัวกลาง
 - อิฐมอญ
 - เศษปูน
 - เศษกระเบื้อง

พรรณไม้ที่เลือกใช้ได้แก่

1. ถั่วปิ่นโต หรือ ถั่วบราซิล (พืชน้ำ)
2. ว่านลิ้นมังกรต่าง
3. พลับพลึงตีนเป็ด
4. ซาฮกเกี้ยน

โดยมีหลักการในการเลือกพืชดังนี้ คือ

1. เป็นพืชที่นิยมปลูกประดับทั่วไป
2. เป็นพรรณไม้ที่นิยมใช้ในการจัดแต่งออกแบบสวนทางภูมิสถาปัตยกรรม
3. มีราคาถูก ง่าย
4. เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่าย

ภาชนะบรรจุ ได้แก่

1. ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46 cm³ สูง 30 cm³ จำนวน 18 ใบ สำหรับวัสดุตัวกลาง และเพิ่มเป็น 48 ใบ สำหรับการทดสอบระบบ Bioretention
2. ขามพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm³ จำนวน 18 ใบ สำหรับวัสดุตัวกลาง และเพิ่มเป็น 48 ใบ สำหรับการทดสอบระบบ Bioretention

อุปกรณ์

1. น้ำเสีย จากบ่อกักน้ำเสียก่อนเข้าระบบในโรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. น้ำกลั่น
3. ปีกเกอร์ ขนาด 50 100 150 500 1000 ml
4. กระบอกตวง ขนาด 50 100 1000 ml
5. หลอดซีโอดี ขนาด 20x15 ml
6. ขวดบีโอดี ขนาด 300 ml
7. ปีเปต ขนาด 1 2 5 10 ml
8. บิวเรต ขนาด 50 ml
9. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
10. กระดาษกรอง GF/C Whatman ขนาด 47 ml
11. ถังมือ ขนาด M , L
12. ขวดน้ำกลั่น
13. ปากคืบ
14. กระดาษฟรอย
15. ลูกยางดูดสาร
16. โถดูดความชื้น

เครื่องมือ

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด | ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PL 3002 |
| 2. เครื่อง pH meter | ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Professional Meter PP-50 |
| 3. ตู้เย็น | ยี่ห้อ Sanyo |
| 4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ | ยี่ห้อ Binder GMBH |
| 5. เครื่องกรองสุญญากาศ | ยี่ห้อ EMERSON |
| 6. ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ | ยี่ห้อ Binder GMBH |
| 7. ตู้ดูดควัน | ยี่ห้อ M I-LAB |

สารเคมี

การวิเคราะห์หาค่าซีไอโอดี (Chemical Oxygen Demand ; COD)

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
3. เพอร์โรซีนอินดิเคเตอร์
4. เพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต

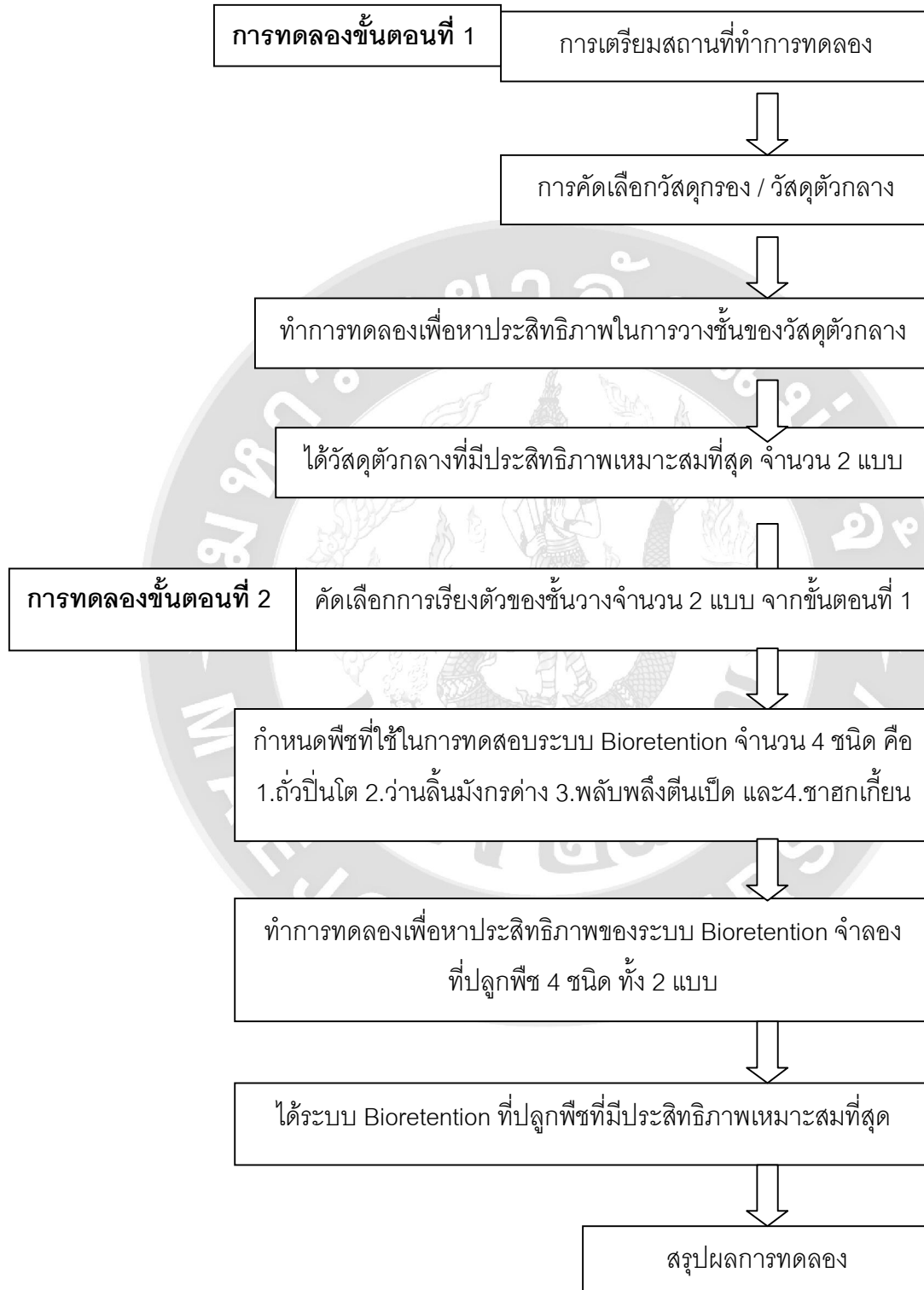
การวิเคราะห์หาค่าบีไอโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

1. สารละลายอัลคาไล-ไฮโดรไดค์-ไฮไซด์
2. แมงกานีสซัลเฟต
3. น้ำแป้ง
4. โซเดียมไฮโอซัลเฟต

การวิเคราะห์หาค่าไอเอ็ม (Organic matter; OM)

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
3. เพอร์โรซีนอินดิเคเตอร์
4. เพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต

แผนการทดลอง



วิธีการทดลอง

การเตรียมอุปกรณ์

กระถาง : กระถาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46 cm³ สูง 30 cm³ สำหรับปลูก ต้นไม้สูง 60 cm³ นำมาล้างให้สะอาด แล้วนำมาเจาะรูด้านล่างของถังอย่างสม่ำเสมอ ให้น้ำไหลออกเพื่อ นำไปวิเคราะห์

ถาด : ถาด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm³ ไว้ด้านล่างของกระถาง สำหรับรองรับน้ำที่ไหลออก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 cm³ เพื่อให้เก็บน้ำได้ทั่วถึง

วัสดุกรอง : กระเบื้อง อิฐ และปูน จากการเหลือใช้ในงานก่อสร้าง นำมาทุบให้มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันโดยประมาณ แล้วนำมาแช่น้ำค้างไว้ประมาณ 1 คืน เพื่อกำจัดเศษวัสดุจำพวกปูนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการทำกระเบื้อง อิฐ และปูนให้ออกไปให้มากที่สุด แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้ง รอการเตรียมลงกระถางปลูก

โดยงานวิจัยนี้ ได้แบ่งขั้นตอนในการทดลองงานวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การหาวัสดุตัวกลางที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด
2. การทดลองปลูกพืชภายใต้ระบบ Bioretention ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 3 กระถาง ไว้สำหรับทดลองในขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนี่ 2

การทดลองขั้นตอนที่ 1 : การหาวัสดุตัวกลางที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด

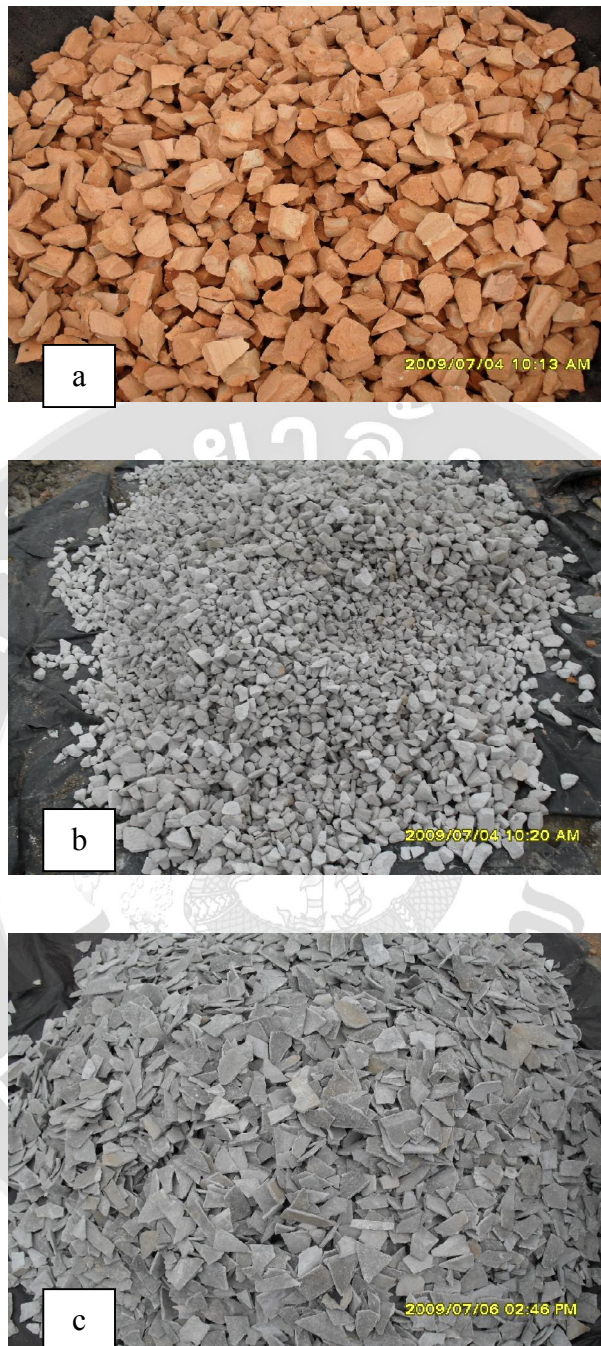
1.1 การเตรียมสถานที่ทำการทดลอง

ทำการเตรียมห้องปฏิบัติการทดลอง โดยการทำความสะอาดห้องปฏิบัติ ทำการจัดวางสิ่งของให้เป็นระเบียบเรียบร้อยตามระเบียบของห้องปฏิบัติการอย่างถูกต้อง ทำการเช็คอุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการก่อนทำการทดลอง เพื่อที่จะได้ทราบก่อนทำการทดลองในห้องปฏิบัติการมีอุปกรณ์และสารเคมีอะไรบ้าง

ทำการเตรียมสถานที่เพาะปลูกพืช โดยใช้โรงเรือนกระจก เป็นสถานที่ทำการทดลองเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด เพื่อสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ง่าย เช่น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการรด แต่ละ Treatment เป็นต้น ทำการจัดอุปกรณ์ให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

1.2 การคัดเลือกวัสดุกรอง / วัสดุตัวกลาง

ทำการคัดเลือกวัสดุกรองที่มีอยู่ตามท้องถิ่น ซึ่งจะเป็นวัสดุที่เหลือใช้ในทางการก่อสร้างต่างๆ ที่มีอยู่รอบและในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยส่วนมากแล้ววัสดุที่เหลือใช้ในทางการก่อสร้างนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นจำพวก เศษปูน เศษอิฐ และเศษกระเบื้อง (ดังภาพที่ 4) ซึ่งเมื่อทำการศึกษาในวัสดุทั้ง 3 จำพวกนี้แล้ว พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทำการเป็นวัสดุกรอง โดยที่คุณสมบัติบางประการของแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น เศษปูน จะมีลักษณะเป็น รูปทรงขนาดเล็ก เศษอิฐ มีความสามารถในการช่วยดูดซับน้ำได้ดีและเศษกระเบื้อง มีลักษณะดูดซับน้ำได้ดีเช่นเดียวกัน (<http://www.biymagazine.com/thread-68-1-1.html>, วันที่ 30 กุมภาพันธ์ 2553) จากนั้นทำการทดลองเรียงชั้นของวัสดุตัวกรอง หรือวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมที่สุดในการช่วยบำบัดน้ำเสีย โดยกำหนดมาให้เศษปูนอยู่ตรงกลางของชั้น เนื่องจาก เศษปูนนั้นจะทำให้ค่าความ เป็นกรด - ด่างของน้ำเสียที่ออกมาจากกระถางเป็นค่าสูง ซึ่งมีรายละเอียดการเรียงชั้นของวัสดุตัวกลางแต่ละอัตราส่วน ดังภาพที่ 5 โดยก่อนนำไปทดสอบ นำวัสดุตัวกลางเหล่านั้นมาทุบให้มีขนาดใกล้เคียงกัน และนำแช่น้ำประมาณ 1 คืน เพื่อกำจัดเศษของวัสดุที่ตกค้างจากการทุบ และล้างด้วยน้ำ นำวัสดุตัวกลางไปผึ่งลมให้แห้ง ประมาณ 1 วัน

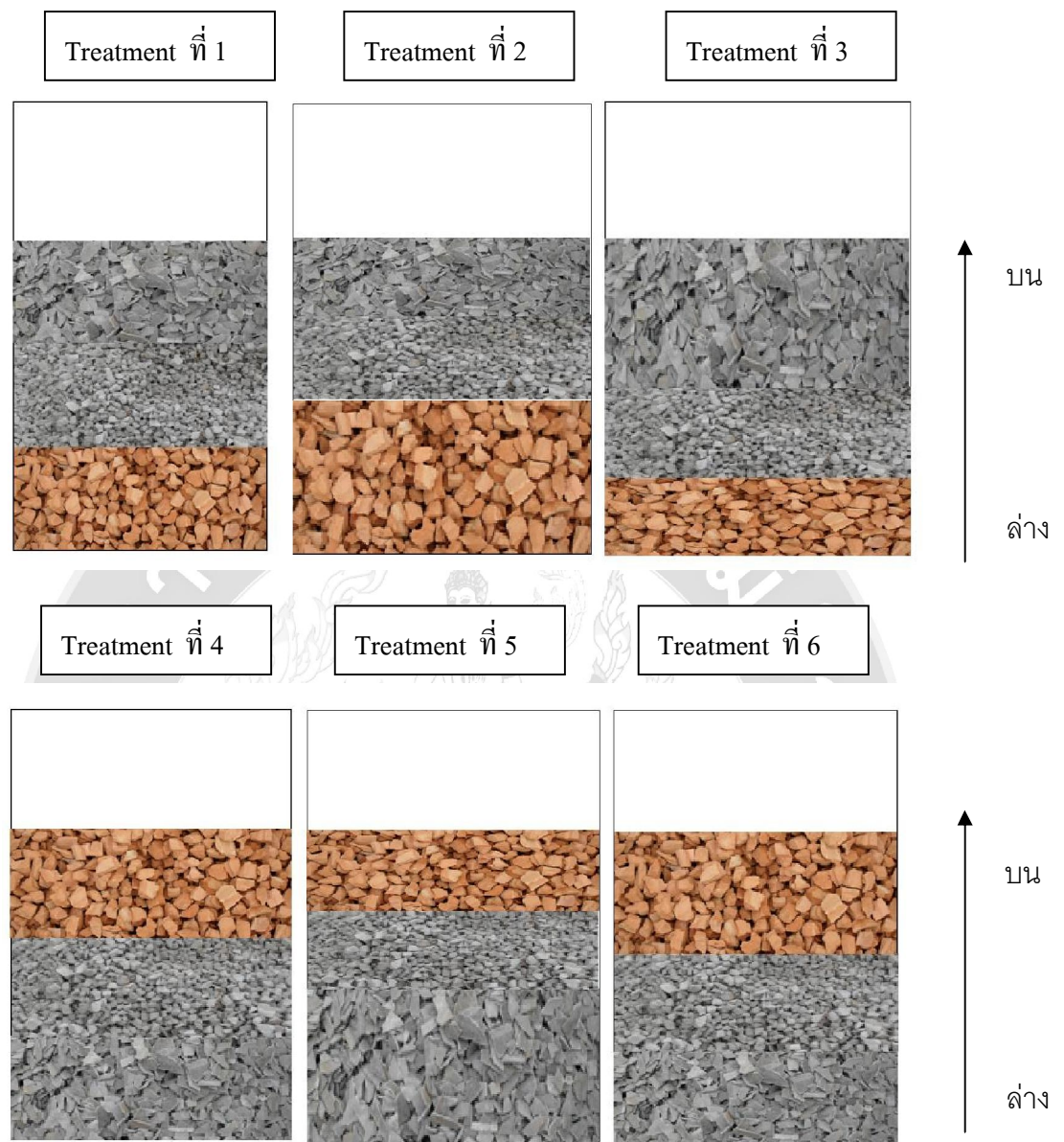


ภาพที่ 4 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองในชั้นตอนที่ 1 และชั้นตอนที่ 2

a คืออิฐมอญ

b คือเศษปูน

c คือเศษกระเบื้อง



ภาพที่ 5 การจัดเรียงชั้นวัสดุกรวดที่ใช้ในการทดลอง Treatment ละ 3 ชั้น

Treatment ที่ 1 คือ เศษกระเบื้อง : เศษปูน : เศษอิฐ อัตราส่วน 1 : 1 : 1

Treatment ที่ 2 คือ เศษกระเบื้อง : เศษปูน : เศษอิฐ อัตราส่วน 1 : 1 : 2

Treatment ที่ 3 คือ เศษกระเบื้อง : เศษปูน : เศษอิฐ อัตราส่วน 2 : 1 : 1

Treatment ที่ 4 คือ เศษอิฐ : เศษปูน : เศษกระเบื้อง อัตราส่วน 1 : 1 : 1

Treatment ที่ 5 คือ เศษอิฐ : เศษปูน : เศษกระเบื้อง อัตราส่วน 1 : 1 : 2

Treatment ที่ 6 คือ เศษอิฐ : เศษปูน : เศษกระเบื้อง อัตราส่วน 2 : 1 : 1

1.3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเรียงตัวของชั้นวัสดุกรอง / วัสดุตัวกลาง

ทำการทดลองโดยเก็บน้ำเสียจากบ่อกักน้ำเสียในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย หลังจากนั้นทำการ เจือจางน้ำเสีย ให้มีความเข้มข้นของน้ำเสียอยู่ที่ 100 % 75 % 50 % และ 25 % ตามลำดับ หลังจากนั้นได้นำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นดังที่กำหนดไว้ ทำการรดน้ำที่ Treatment ที่ 1 ถึง Treatment ที่ 6 หลังจากนั้นนำภาดมารองน้ำเสียที่จะออกจากแต่ละ Treatment และนำไปวิเคราะห์ผลในพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ 1.ค่าซีโอดี(COD) 2.ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) และ 3.ค่าของแข็งแขวนลอย(SS) และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ

1.4 การคัดเลือกการเรียงตัวของชั้นวัสดุตัวกลางที่มีความเหมาะสมที่สุด

ทำการคัดเลือกการเรียงตัวของชั้นวัสดุตัวกลางที่มีประสิทธิภาพในการลดมลภาวะที่เหมาะสมที่สุด จำนวน 2 แบบ

การทดลองขั้นตอนที่ 2 : การทดลองปลูกพืชภายใต้ระบบ Bioretention ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด

2.1 การเตรียม Treatment เพาะปลูกพืช

2.1.1 การเตรียม Treatment เพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด ทั้ง 2 แบบจากขั้นตอนที่ 1 แบบละ 8 Treatment Treatment ละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 24 กระถาง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด

Treatment เพาะปลูก แบบที่ 1			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
Treatment ที่ 1	ควบคุม	ควบคุม	ควบคุม
Treatment ที่ 2	ต้นกล้วยปิ่นโต	ต้นกล้วยปิ่นโต	ต้นกล้วยปิ่นโต
Treatment ที่ 3	ต้นว่านลั่นทมกรด่าง	ต้นว่านลั่นทมกรด่าง	ต้นว่านลั่นทมกรด่าง
Treatment ที่ 4	ต้นว่านร่วมกับต้นกล้วย	ต้นว่านร่วมกับต้นกล้วย	ต้นว่านร่วมกับต้นกล้วย
Treatment ที่ 5	ต้นพลับพลึงดินเบ็ด	ต้นพลับพลึงดินเบ็ด	ต้นพลับพลึงดินเบ็ด
Treatment ที่ 6	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นกล้วย	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นกล้วย	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นกล้วย
Treatment ที่ 7	ต้นชาฮกเกี้ยน	ต้นชาฮกเกี้ยน	ต้นชาฮกเกี้ยน
Treatment ที่ 8	ต้นชาร่วมกับต้นกล้วย	ต้นชาร่วมกับต้นกล้วย	ต้นชาร่วมกับต้นกล้วย

ตารางที่ 2 การเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด (ต่อ)

Treatment เพาะปลูก แบบที่ 2			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
Treatment ที่ 1	ควบคุม	ควบคุม	ควบคุม
Treatment ที่ 2	ต้นถั่วปิ่นโต	ต้นถั่วปิ่นโต	ต้นถั่วปิ่นโต
Treatment ที่ 3	ต้นว่านลั่นมั่งกรต่าง	ต้นว่านลั่นมั่งกรต่าง	ต้นว่านลั่นมั่งกรต่าง
Treatment ที่ 4	ต้นว่านร่วมกับต้นถั่ว	ต้นว่านร่วมกับต้นถั่ว	ต้นว่านร่วมกับต้นถั่ว
Treatment ที่ 5	ต้นพลับพลึงดินเปิด	ต้นพลับพลึงดินเปิด	ต้นพลับพลึงดินเปิด
Treatment ที่ 6	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นถั่ว	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นถั่ว	ต้นพลับพลึงร่วมกับต้นถั่ว
Treatment ที่ 7	ต้นชาฮกเกี้ยน	ต้นชาฮกเกี้ยน	ต้นชาฮกเกี้ยน
Treatment ที่ 8	ต้นชาร่วมกับต้นถั่ว	ต้นชาร่วมกับต้นถั่ว	ต้นชาร่วมกับต้นถั่ว

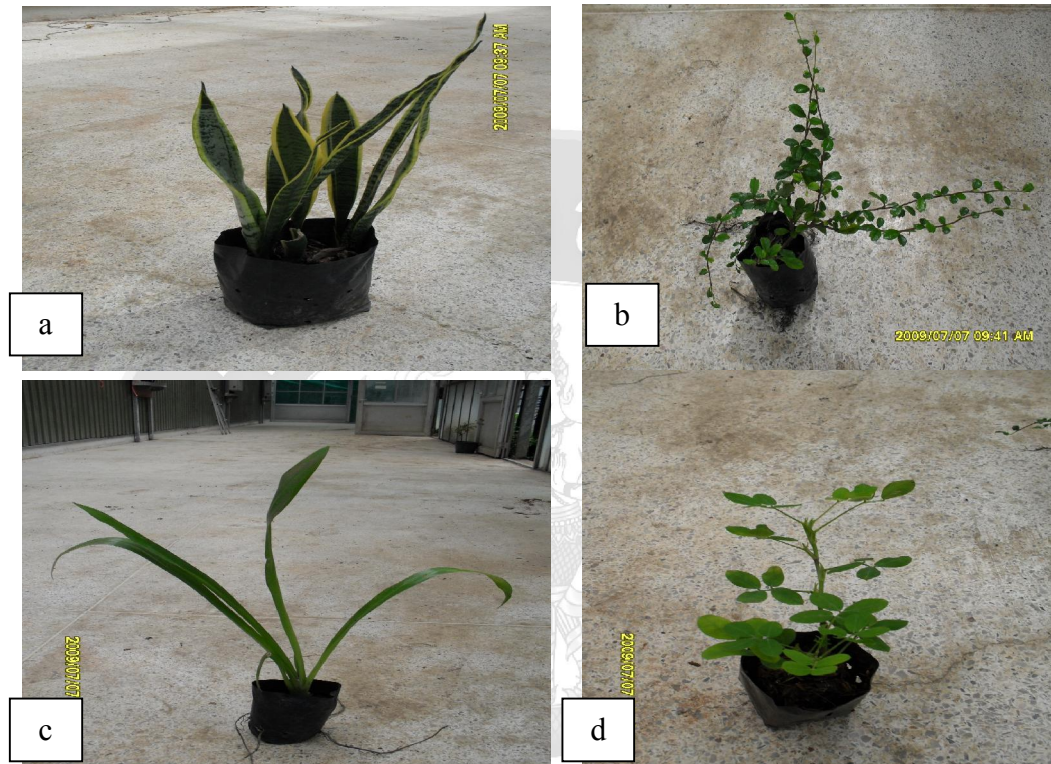
ทำการเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด คือ 1.ต้นว่านลั่นมั่งกรต่าง, 2.ต้นพลับพลึงดินเปิด, 3.ต้นชาฮกเกี้ยน และต้นถั่วปิ่นโต (ดังภาพที่ 6) โดยนำต้นพืชทั้ง 4 ชนิดมาทำการเพาะปลูกลงบน กระถางทั้ง 2 แบบ ตามตารางที่ 2 ซึ่งจะได้กระถางรวมกันทั้งหมด 48 กระถาง

2.2 การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ Bioretention จำลอง

ทำการทดลองโดยเก็บน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เจือจางน้ำเสีย ให้มีความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีในช่วง 30 – 60 mg/L นำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตามที่กำหนด ไว้ ปริมาณ 1,000 ml ไปรดกระถางทั้ง 48 กระถาง นำภาดไปรองรับน้ำที่ผ่านระถางทั้ง 48 กระถาง นำน้ำเสียที่ออกจากกระถางไปทำการวิเคราะห์หาค่าตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ 1.ค่าซีไอดี 2.ค่าของแข็งแขวนลอย 3.ค่าพีเอช 4.ค่าประสิทธิภาพการกักน้ำ และ 5.ค่าบีไอดี นอกจากนี้ยังมีการวัดค่าไอเอ็มในดิน เพื่อหาสารอินทรีย์ในดินที่เป็นองค์ประกอบหลักของการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดในแต่ละ Treatment ซึ่งมีผลรวมไปถึงความสูงของพืชด้วย ทำการวัดค่าแคดเมียมในดิน เพื่อทราบค่าพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการลดค่าแคดเมียม ทำการวัดค่าความสูงของพืช เพื่อทราบถึงการเจริญเติบโตของพืช ทำการวัดค่าความชื้นในอากาศ และวัดค่าความชื้นในดิน เพื่อทราบความชื้นในดินและในอากาศที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียและการเจริญเติบโตของพืช โดยการเจริญเติบโตของพืชดูได้จากลักษณะใบและความสูงของต้นไม้

2.3 ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบ Bioretention จำลอง

นำข้อมูลจากข้อ 2.2 ทั้งหมด เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพืช 4 ชนิดทั้ง 2 แบบ เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ Bioretention จำลอง ที่มีประสิทธิภาพในการลดมลภาวะที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 6 พืชที่ใช้ในการทดลองระบบ Bioretention จำลอง

a คือต้นว่านลิ้นมังกรต่าง

b คือต้นพลับพลึงดินเปิด

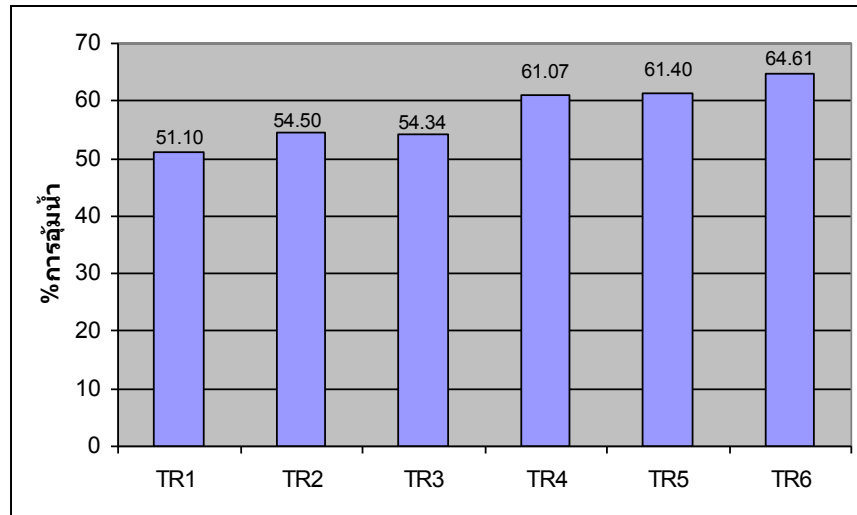
c คือต้นชาฮกเกี้ยน

d คือต้นถั่วปิ่นโต

ผลการทดลองและวิจารณ์

นําน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้จากโรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเก็บจากบ่อกักน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ทำการทดลองโดยการให้น้ำเสียไหลผ่านวัสดุตัวกลางที่สนใจศึกษาทดลอง งานวิจัยครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบหาประสิทธิภาพการเรียงชั้นของวัสดุตัวกลาง ซึ่งเลือกใช้เศษวัสดุก่อสร้าง 3 ชนิด คือ เศษปูน เศษกระเบื้อง และเศษอิฐ ที่มีการเรียงตัวในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ภาพที่ 16) นําน้ำที่ผ่านแต่ละ Treatment ไปทำการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าของแข็งแขวนลอย ของการเรียงชั้นวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด จากนั้น ขั้นตอนที่ 2 บรรจุวัสดุตัวกลางที่เลือกได้จากการทดลองขั้นตอนที่ 1 ลงใน Treatment บรรจุทราย ดิน ตามลำดับ และทำการเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด คือ 1.ว่านลิงมังกรดำ 2.พลับพลึงตีนเป็ด 3.ชาฮกเกี้ยน และ 4.ถั่วปิ่นโต (ตารางที่ 2) กำหนดให้ Treatment ที่ไม่มีการปลูกพืชเป็นชุดควบคุมสำหรับการเป็นตัวควบคุมในการปลูกพืช ส่วน Treatment ที่ปลูกเฉพาะถั่วปิ่นโต เป็นชุดควบคุมสำหรับการเป็นตัวควบคุมในการปลูกพืชคลุมดิน (ถั่วปิ่นโต) การทดลองนี้เป็นการจำลองระบบ Bioretention เพื่อทำการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำ ประสิทธิภาพในการลด COD BOD SS และค่า pH นอกจากนี้มีการวัดค่า OM ในดิน แคลเซียมในดิน ความสูงของต้นไม้ วัดค่าอุณหภูมิในอากาศ และวัดค่าอุณหภูมิในดิน เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

การทดลองขั้นตอนที่ 1: การทดสอบเพื่อหาความสามารถในการอุ้มน้ำ ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าของแข็งแขวนลอย เพื่อหาประสิทธิภาพการเรียงตัวของชั้นวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมจากวัสดุก่อสร้าง 3 ชนิด คือ 1.เศษปูน 2.เศษกระเบื้อง และ 3.เศษอิฐ โดยมีทั้งหมด 6 Treatment (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า % การอุ้มน้ำ ทั้งหมด 6 Treatment

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%การอุ้มน้ำ (ขั้นตอนที่1)

Treatment	พารามิเตอร์
	%การอุ้มน้ำ
TR1	51.10a
TR2	54.50a
TR3	54.34a
TR4	61.07a
TR5	61.40a
TR6	64.61a

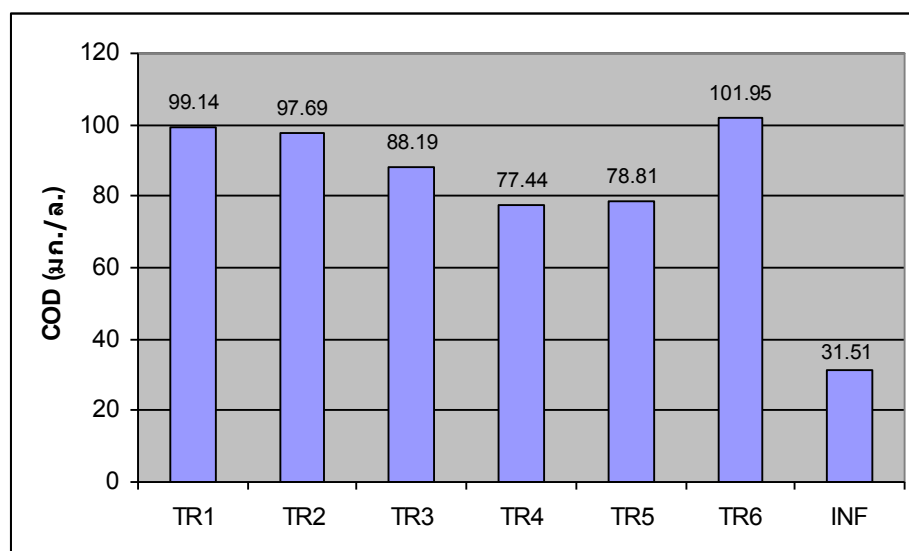
จากภาพที่ 7 แสดงค่า % การอุ้มน้ำ ของแต่ละ Treatment สามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพของ % การอุ้มน้ำ ในแต่ละTreatment จากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ TR6, TR5, TR4, TR2, TR3, และ TR 1 ตามลำดับ ซึ่งวัสดุกรองที่ประกอบไปด้วยเศษกระเบื้อง เศษปูน และอิฐมอญ โดยก่อนที่จะทำการทดลอง วัสดุกรองจะถูกทุบให้มีขนาดเล็กลง ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แล้วนำมาแช่น้ำเพื่อทำความสะอาด และผึ่งแดดให้แห้ง ทำให้ความชื้นที่ผิวดังกล่าวมีน้อยมาก เมื่อนำน้ำมาผ่านตัวกลางที่แห้งสนิทนี้ ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดจะดูดซับน้ำไว้จนเต็มพื้นที่ผิว

ซึ่งเมื่อทำการทดลองพบว่า อิฐเป็นวัสดุกรองที่มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำได้มากกว่าวัสดุกรองที่เป็นกระเบื้อง เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2)

กับ TR3 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 2:1:1) การคั่งน้ำของ TR2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR3 และเมื่อเทียบ TR5 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 1:1:2) กับ TR6 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 2:1:1) การคั่งน้ำของ TR6 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR5 อีกประการหนึ่งคือ ประสิทธิภาพในการคั่งน้ำของ Treatment ที่มีการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) มีประสิทธิภาพในการคั่งน้ำได้มากกว่า การเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) เมื่อเปรียบเทียบ TR1 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR4 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การคั่งน้ำของ TR4 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR1 เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR6 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การคั่งน้ำของ TR6 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR2 และเมื่อเปรียบเทียบ TR3 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR5 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การคั่งน้ำของ TR5 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR3

จะเห็นได้ว่า %การคั่งน้ำของ TR4, TR5 และ TR6 มีประสิทธิภาพในการคั่งน้ำมากกว่า TR1, TR2 และ TR3 และจากกราฟนี้สามารถบอกได้ว่า %การคั่งน้ำของ TR6 มีประสิทธิภาพในการคั่งน้ำดีที่สุดจาก Treatment ทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) และมีอัตราส่วนวัสดุกรองของอิฐอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 2:1:1)

และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 3) ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านวัสดุกรอง พบว่า ทุก TR มีการคั่งน้ำได้ประมาณ 50-65% ใกล้เคียงกันซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติต่อกัน



ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า %COD Removal ทั้งหมด 6 Treatment

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ %COD Removal (ขั้นตอนที่ 1)

Treatment	พารามิเตอร์
	%COD Removal
TR1	-258.36a
TR2	-249.92a
TR3	-210.71a
TR4	-176.99a
TR5	-177.89a
TR6	-236.00a

จากภาพที่ 8 แสดงค่า %COD Removal ซึ่งในระบบ Bioretention จะมีส่วนของวัสดุกรองเป็นส่วนประกอบซึ่งสามารถลดสารมลภาวะทางน้ำได้ (พูนศิริ, 2543) โดยในแต่ละ Treatment สามารถลดค่า COD ได้ใกล้เคียงกันเรียงลำดับความสามารถในการลดค่า COD ในแต่ละ Treatment จากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ TR4, TR5, TR3, TR6, TR2, และ TR1 ตามลำดับ

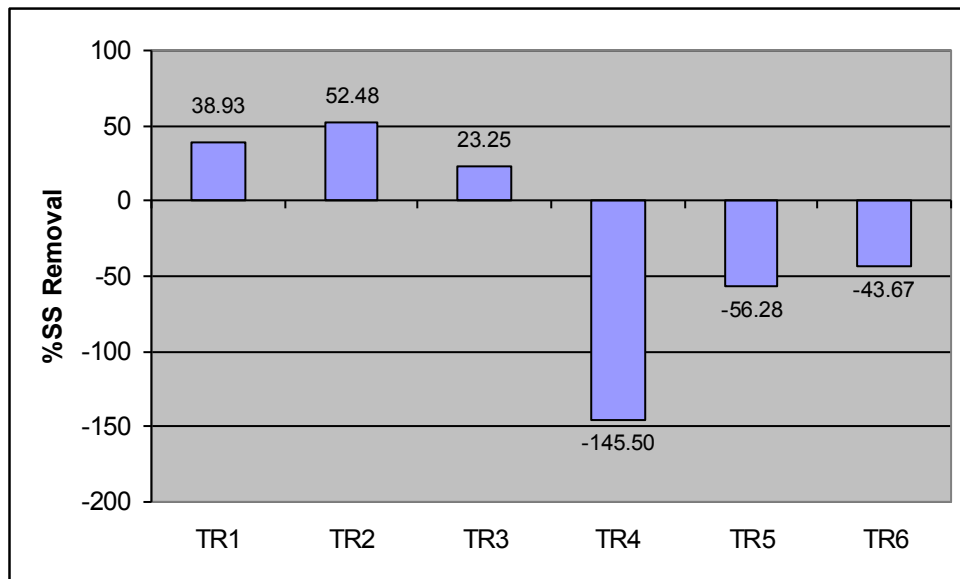
จากการทดลองพบว่า การลดค่า COD ของ Treatment ที่มีอัตราส่วนวัสดุกรองของกระเบื้องสามารถลดค่า COD ได้มากกว่า Treatment ที่มีอัตราส่วนวัสดุกรองของอิฐ เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2) กับ TR3 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 2:1:1) การลดค่าของ TR3 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR2 และเมื่อเทียบ TR5 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 1:1:2) กับ TR6 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 2:1:1) การลดค่า COD ของ TR5 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR6

อีกประการหนึ่งคือ การลดค่า COD ของ Treatment ที่มีการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) สามารถลดค่า COD ได้มากกว่าการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) เมื่อเปรียบเทียบ TR1 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR4 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า COD ของ TR4 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR6 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า COD ของ TR6 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบ TR3 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ

กระเบื้องปู:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR5 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า COD ของ TR5 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ถึงแม้ค่าการบำบัดน้ำเสียหรือ %COD Removal มีค่าติดลบ เนื่องจากการทดลองมีระยะเวลาในการทดลองที่จำกัด แต่จากกราฟนี้ก็สามารถบอกได้ว่า TR5 และ TR4เหมาะสมต่อการลดค่าCODได้ดีที่สุดใกล้เคียงกันจากTreatmentทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) และมีอัตราส่วนวัสดุกรองของกระเบื้องอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 1:1:2) เป็นผลให้การลดค่าCODมีประสิทธิภาพสูงสุด

และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4) ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านวัสดุกรอง พบว่า ทุก TRมี %COD Removal ใกล้เคียงกันซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า %SS Removal ทั้งหมด 6 Treatment

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ%SS Removal (ขั้นตอนที่1)

Treatment	พารามิเตอร์
	%SS Removal
TR1	38.93ab
TR2	52.48a
TR3	23.25ab
TR4	-145.50c

TR5	-56.28bc
TR6	-43.67bc

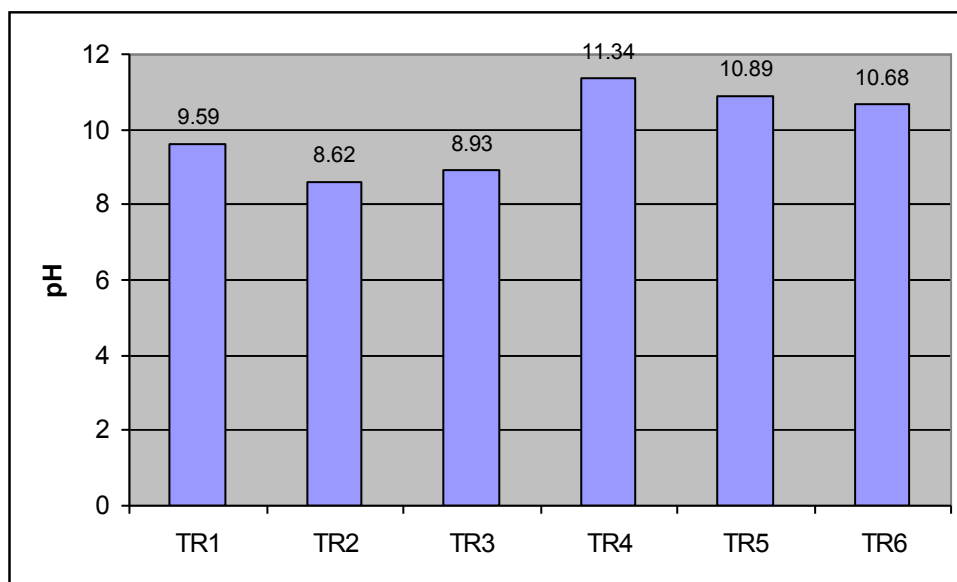
จากภาพที่ 9 แสดงค่า %SS Removal ซึ่งในระบบ Bioretention จะต้องมีการวัดการกรองเป็นส่วนประกอบซึ่งวัสดุกรองนั้นสามารถลดตะกอนแขวนลอยได้ (สมชายและคณะ, 2541) โดยจากผลการทดลองพบว่า สามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพในการลดค่า SS ในแต่ละ Treatment จากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ TR2, TR1, TR3, TR6, TR5, และ TR4 ตามลำดับ

ซึ่งพบว่า อิฐเป็นวัสดุกรองที่มีประสิทธิภาพการลดค่า SS ได้มากกว่าวัสดุกรองที่เป็นกระเบื้อง เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2) กับ TR3 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 2:1:1) การลดค่า SS ของ TR2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR3 และเมื่อเทียบ TR5 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 1:1:2) กับ TR6 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 2:1:1) การลดค่า SS ของ TR6 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR5

อีกประการหนึ่งคือ การลดค่า SS ของ Treatment ที่มีการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) สามารถลดค่า SS ได้มากกว่าการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) เมื่อเปรียบเทียบ TR1 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR4 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า SS ของ TR1 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR4 เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR6 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า SS ของ TR2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR6 และเมื่อเปรียบเทียบ TR3 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR5 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) การลดค่า SS ของ TR3 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า TR5

จะเห็นได้ว่า TR1, TR2 และ TR3 สามารถลดค่า SS ได้ ส่วน TR4, TR5 และ TR6 ยังไม่สามารถลดค่า SS ได้ อาจเป็นผลมาจากระยะเวลาในการทดลองที่จำกัด และจากกราฟนี้สามารถบอกได้ว่า TR2 มีประสิทธิภาพในการลดค่า SS ได้ดีที่สุดจาก Treatment ทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) และมีอัตราส่วนวัสดุกรองของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2) เป็นผลให้การลดค่า SS มีประสิทธิภาพสูงสุด

และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 5) ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านวัสดุกรอง พบว่า TR2 มี %SS Removal ที่ดีที่สุดแตกต่างจาก TR อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดย TR4 มี %SS Removal ที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ทั้งหมด 6 Treatment

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า pH (ขั้นตอนที่ 1)

Treatment	พารามิเตอร์
	pH
TR1	9.59c
TR2	8.62d
TR3	8.93d
TR4	11.34a
TR5	10.89b
TR6	10.68b

จากภาพที่ 10 แสดงค่า pH ของแต่ละ Treatment สามารถเรียงลำดับค่า pH ในแต่ละ Treatment ที่มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้คือ TR2, TR3, TR1, TR6, TR5, และ

TR4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า อิฐเป็นวัสดุกรองที่มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่าวัสดุกรองที่เป็นกระเบื้อง เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2) กับ TR3 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 2:1:1) ค่า pH ของ TR2 จะมีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่า TR3 และเมื่อเทียบ TR5 ที่มีอัตราส่วนของกระเบื้องอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 1:1:2) กับ TR6 ที่มีอัตราส่วนของอิฐอยู่มาก (อิฐ:ปูน:กระเบื้อง 2:1:1) ค่า pH ของ TR6 จะมีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่า TR5

อีกประการหนึ่งคือ ค่า pH ของ Treatment ที่มีการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) เมื่อเปรียบเทียบ TR1 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR4 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) ค่า pH ของ TR1 มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่า TR4 เมื่อเปรียบเทียบ TR2 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR6 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) ค่า pH ของ TR2 มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่า TR6 และเมื่อเปรียบเทียบ TR3 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) กับ TR5 ที่มีการเรียงชั้นวัสดุแบบ อิฐ:ปูน:กระเบื้อง (บน:กลาง:ล่าง) ค่า pH ของ TR3 มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่า TR5

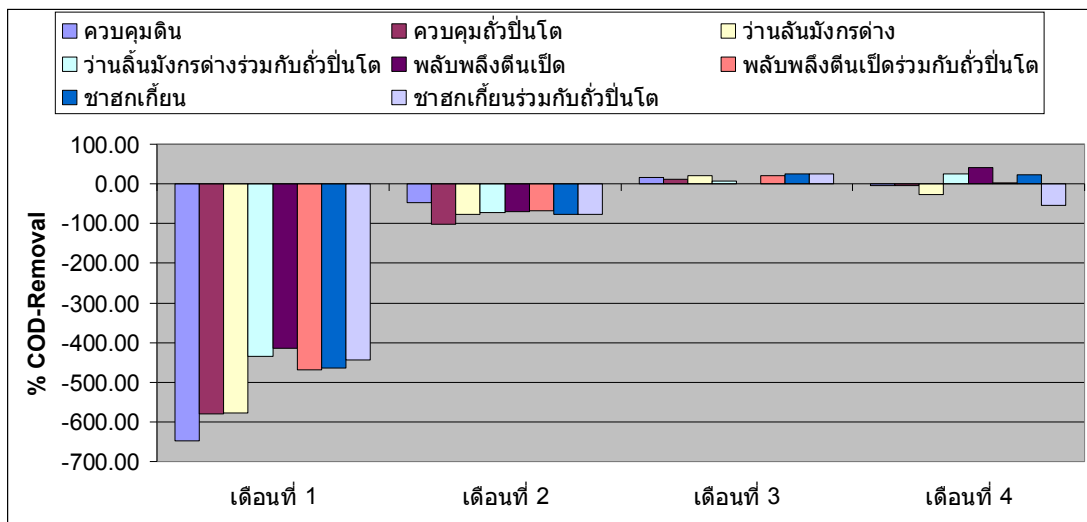
จะเห็นได้ว่า ค่า pH ของ TR1, TR2 และ TR3 มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมมากกว่า TR4, TR5 และ TR6 และจากกราฟนี้สามารถบอกได้ว่าค่า pH ของ TR2 มีความเหมาะสมต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมดีที่สุดจาก Treatment ทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากการเรียงชั้นวัสดุกรองแบบ กระเบื้อง:ปูน:อิฐ (บน:กลาง:ล่าง) และมีอัตราส่วนวัสดุกรองของอิฐอยู่มาก (กระเบื้อง:ปูน:อิฐ 1:1:2)

และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 6) ของน้ำตัวอย่างที่ผ่านวัสดุกรอง พบว่า TR4 มีค่า pH ที่สูงที่สุดแตกต่างจาก TR อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ TR2 และ TR3 มีค่า pH ที่ต่ำที่สุด

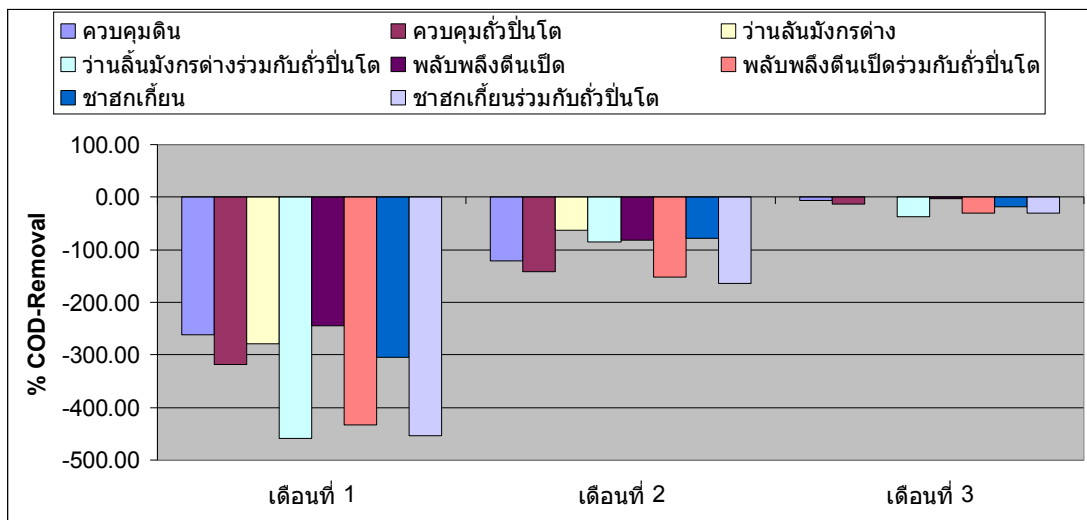
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 3,4,5 และ 6) ของชั้นตอนที่ 1 พบว่า TR 2 และ TR 5 มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและการอุ้มน้ำ ดังนั้นจึงคัดเลือก TR 2 และ TR 5 มาทดสอบการปรับปรุงคุณภาพน้ำเมื่อปลูกร่วมกับพืชพรรณในชั้นตอนต่อไป

การทดลองชั้นตอนที่ 2 : การทดลองปลูกพืชภายใต้ระบบ Bioretention ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด โดยเลือกแบบที่ 1 (TR 2) และแบบที่ 2 (TR 5) จากการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ซึ่ง แบบที่ 1 ทำทั้งหมด 4 เดือน และแบบที่ 2 ทำทั้งหมด 3 เดือน เนื่องจาก แนวโน้มของการลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถลดลงอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มลดลงต่อไปเรื่อยๆ ให้ผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 11 แสดงค่า % COD-Removal แบบที่ 1



ภาพที่ 12 แสดงค่า % COD-Removal แบบที่ 2

จากภาพที่ 11 การทดสอบระบบ Bioretention กับการจัดเรียงวัสดุกรองแบบที่ 1 พบว่าความสามารถในการลดค่า %COD-Removal ของแต่ละชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าแนวโน้มในการเพิ่มค่า %COD-Removal ของพืชแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ในเดือนที่ 1 ค่า %COD-Removal ที่ติดลบมาก เนื่องจาก

เป็นช่วงแรกที่เราเริ่มมีการปลูกพืชลงในแต่ละ Treatment ทำให้พืชยังไม่สามารถช่วยในการเพิ่มค่า %COD-Removal ได้และดินในแต่ละ Treatment ยังไม่สามารถช่วยในการดูดซับน้ำ เสียได้น้ำที่ออกจาก Treatment ส่วนใหญ่จะมีตะกอนดินปนเปื้อน เนื่องจากน้ำที่ไ้รดได้ชะล้าง ดินให้ลงมา เพราะว่าดินยังไม่อึดตัว และในเดือนที่ 2 3 และ 4 ต้นพืชแต่ละชนิดเริ่มมีการปรับตัวและเจริญเติบโต ทำให้พืชที่ปลูกในแต่ละ Treatment เริ่มเพิ่มค่า %COD-Removal มากขึ้น โดยที่พืชในเดือนแรกจะให้ค่า %COD-Removal ตีดลบค่อนข้างสูง ในเดือนสุดท้ายพืชจะช่วยให้ค่า %COD-Removal เพิ่มขึ้นถึง 50 % จะเห็นได้ว่า พืชสามารถช่วยในการเพิ่มค่า %COD-Removal ได้มาก ทั้งนี้เป็นเพราะดินเริ่มมีการอึดตัว (ศิริสุดาและคณะ, 2552) จะสังเกตว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ที่มีพืชคลุมดินปลูกร่วม จะสามารถช่วยเพิ่ม %COD-Removal ได้มากกว่าการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่มีพืชคลุมดินปลูกร่วม ผลแสดงในเดือนสุดท้ายของการทดลอง พบว่า การปลูกพลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่วปิ่นโตมีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มค่า %COD-Removal ได้ดีกว่าพืชอีก 2 ชนิด เนื่องจากต้นพลับพลึงตีนเป็ดจะมีลำต้นที่เป็นหัวอยู่ใต้ดิน ซึ่งหัวของต้นพลับพลึงจะช่วยในการดูดซับน้ำและการดูดแร่ธาตุต่างๆ ในดินและน้ำเสียที่เราใช้รดลงไปทำให้ พลับพลึงตีนเป็ดมีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่ม %COD-Removal ให้มากขึ้น อีกทั้งยังมีถั่วปิ่นโตที่ช่วยในการดูดซับน้ำเสียอีกด้วย นอกจากนี้ ดินยังเป็นส่วนช่วยในการดูดซับน้ำเสียและวัสดุทรงทั้ง 3 ชนิดที่เลือกสามารถช่วยลดมลภาวะทางน้ำได้เป็นอย่างดี โดยที่ต้นพลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่วปิ่นโต สามารถช่วยเพิ่มค่า %COD-Removal ถึง 40% รองลงมา ต้นว่านลั่นทมกับถั่วปิ่นโต สามารถช่วยเพิ่มค่า %COD-Removal ถึง 25% เช่นเดียวกับต้นชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต จะเห็นได้ว่า พืชทั้ง 2 ชนิดที่มีต้นถั่วปิ่นโตปลูกร่วมจะมีค่า %COD-Removal ที่ไม่แตกต่างกัน และ พืชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่มีต้นถั่วปิ่นโตปลูกร่วมไม่มีความแตกต่างกันเช่นเดียวกัน โดยที่ ค่า %COD-Removal ของพืชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่มีถั่วปิ่นโตปลูกร่วม คือ 20% ดังนั้นการที่ปลูกพืชคลุมดินร่วมจะช่วยเพิ่ม %COD-Removal ขึ้นอีก 5%

จากภาพที่ 12 การทดสอบระบบ Bioretention กับการจัดเรียงวัสดุทรงแบบที่ 2 พบว่า ความสามารถในการลดค่า %COD-Removal ของแต่ละชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย จะเห็นได้ว่า ช่วงเดือนแรก ค่า %COD-Removal ตีดลบมาก เดือนที่ 2 และ 3 พบว่า %COD-Removal ตีดลบน้อยลง เนื่องจากต้นพืชมีความเจริญเติบโตและดินมีการปรับตัวและดินอึดตัวในที่สุด (ศิริสุดาและคณะ, 2552)

เมื่อเทียบผลการทดลองการหาค่า %COD-Removal ทั้ง 2 แบบ (ภาพที่ 11 และ ภาพที่ 12) พบว่า การจัดเรียงวัสดุทรงแบบที่ 1 จะให้ค่า %COD-Removal ที่ดีกว่าการจัดเรียงวัสดุทรง

แบบที่ 2 ถึง 20% และพืชที่มีผลต่อการช่วยเพิ่ม %COD-Removal มาก คือ ต้นพลับพลึงดินเปิด รองลงมาคือต้นว่านลิ้นมังกรต่าง และต้นชาฮกเกี้ยน และการเรียงของชั้นวัสดุกรองและดินมีผลทำให้ช่วยเพิ่มค่า %COD-Removal อีกด้วย (สมชายและคณะ, 2541)

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 30 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 23 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 7

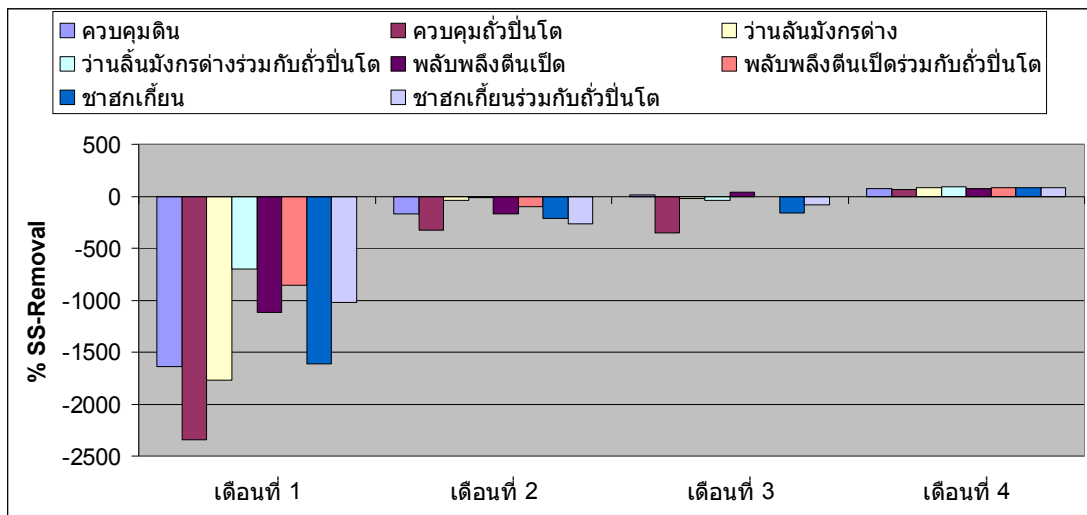
ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า %COD-Removal

Treatment	%COD-Removal แบบที่ 1	%COD-Removal แบบที่ 2
ควบคุมดิน	-270.75 a	-152.28 a
ควบคุมถั่วปิ่นโต	-260.46 a	-185.27 a
ว่านลิ้นมังกรต่าง	-238.84 a	-140.51 a
ว่านลิ้นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต	-192.13 a	-235.24 a
พลับพลึงดินเปิด	-182.05 a	-132.35 a
พลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโต	-203.02 a	-242.39 a
ชาฮกเกี้ยน	-201.51 a	-161.34 a
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต	-201.00 a	-254.91 a

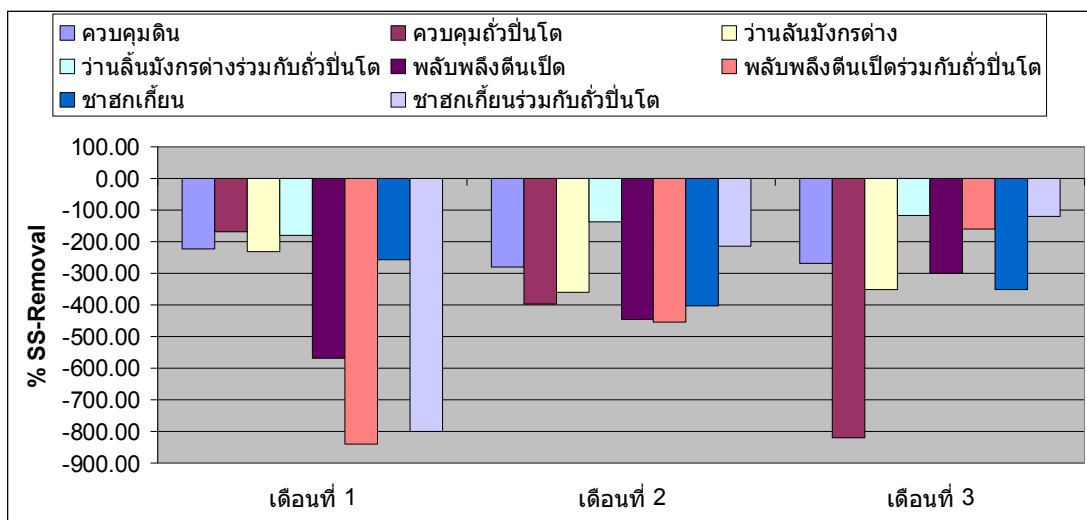
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 7 นำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่า %COD-Removal แบบที่ 1 และค่า %COD-Removal แบบที่ 2 แต่ละ Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่พลับพลึงดินเปิดทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการช่วยเพิ่มค่า %COD-Removal มากที่สุด นอกจากนี้ งานวิจัยได้มีการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

การวัดค่าของแข็งแขวนลอย โดยงานวิจัยได้ทำการศึกษาค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากแต่ละ Treatment นำมาคำนวณเป็นค่า % SS-Removal ของการจัดเรียงวัสดุกรองทั้ง 2 แบบ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 13 แสดงค่า % SS-Removal แบบที่ 1



ภาพที่ 14 แสดงค่า % SS-Removal แบบที่ 2

จากภาพที่ 13 พบว่า ความสามารถในการช่วยเพิ่ม % SS-Removal ในพืชแต่ละชนิด จากการทดลองจะเห็นได้ว่า Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโต ในเดือนแรกจะให้ค่า % SS-Removal ตีลบสูง ซึ่งให้ผลลบที่มากกว่า Treatment อื่นๆ แต่อย่างไร ในเดือนแรก Treatment ที่ให้ค่า % SS-Removal ที่ตีลบน้อยที่สุด คือ ต้นพืชที่ปลูกพืชคลุมดินร่วมด้วยทุก Treatment เมื่อเทียบ

กับพืชชนิดเดียวกัน โดยการปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต ให้ค่าติดลบน้อยที่สุด แต่ก็ยังถือว่าค่า % SS-Removal ยังสูง เมื่อเทียบกับค่า % SS-Remover ในเดือนถัดไป โดยที่ในเดือน 2 และเดือนที่ 3 ค่า % SS-Removal ของพืชแต่ละชนิดให้ค่าติดลบน้อยกว่า Treatment ที่ควบคุมพืชคลุมดิน และต้นพลับพลึงตีนเป็ด ในเดือนที่ 3 จะให้ค่า % SS-Removal มากกว่าพืชชนิดอื่น ประมาณ 40% และก็ยังมากกว่า Treatment ที่ควบคุมดิน ประมาณ 30% เนื่องจาก พลับพลึงตีนเป็ดเป็นพืชที่ลำต้นเป็นหัว ทำให้สามารถช่วยในการดูดซับน้ำได้ดี และอีกทั้งดินช่วยในการช่วยลดค่า % SS-Removal และยังมีชั้นวัสดุรองที่ช่วยในการกรองของแข็งอีกชั้นหนึ่ง ทำให้ของแข็งไม่สามารถผ่านชั้นดินและชั้นวัสดุรองได้ทำให้ช่วยลดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำลงได้ ส่วน ในเดือนแรกที่ค่า % SS-Removal ที่ติดลบมาก เนื่องจาก เศษดินและเศษวัสดุรองยังไม่อึดตัว ทำให้เกิดการชะล้างดินและวัสดุรองออกมาพร้อมกับน้ำเสียด้วยทำให้เกิดค่า % SS-Removal ที่ติดลบมากดังแสดงในภาพที่ 6.17 และในเดือนสุดท้าย เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่และพืชคลุมดินก็ยังมีส่วนช่วยในการลดค่าของแข็งแขวนลอย ทำให้ช่วยลดค่าของแข็งแขวนลอยได้มาก (จิทัมพร, 2540) และอีกทั้งดินและวัสดุรองอึดตัวทำให้ไม่เกิดการชะล้างดินและวัสดุรอง และพืชที่ช่วยลดค่า % SS-Removal ได้ดี ได้แก่ ว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต ประมาณ 90% รองลงมา ว่านลั่นมั่งกรต่างและชาฮกเกี้ยน ประมาณ 85% พลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่วปิ่นโตและชาฮกเกี้ยน ร่วมกับถั่วปิ่นโต ประมาณ 80% และพลับพลึงตีนเป็ด ประมาณ 70 % เช่นเดียวกับ Treatment ที่เป็นตัวควบคุมดินและควบคุมถั่วปิ่นโต จะเห็นได้ว่าพืชทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยลดค่าของแข็งแขวนลอยได้

จากภาพที่ 14 พบว่า ความสามารถในการช่วยเพิ่ม % SS-Removal ในพืชแต่ละชนิด จากผลการทดลองแบบที่ 2 พบว่า ในช่วงเดือนแรกของการทดลอง % SS-Removal ยังไม่สามารถช่วยในการลดค่าของแข็งแขวนลอยลงได้ เนื่องจาก พืชทั้ง 3 ชนิดยังมีการเจริญเติบโตไม่เต็มที่และอีกทั้งพืชทั้ง 3 ชนิดยังเริ่มมีการลงปลูกใหม่ในแต่ละ Treatment ทำให้พืชทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถช่วยลดค่า % SS-Removal ลงได้ รวมทั้งดินและวัสดุรองในแต่ละ Treatment ยังไม่สามารถช่วยลดค่าของแข็งแขวนลอย น้ำที่ออกมาจากแต่ละ Treatment จะมีส่วนผสมของดินและวัสดุรองปนเปื้อนลงมากับน้ำด้วย โดยที่ส่วนใหญ่พืชทั้ง 3 ชนิดจะช่วยลดค่า % SS-Removal ติดลบสูงเมื่อเทียบกับค่า % SS-Removal ในเดือนถัดไป โดยที่ค่า % SS-Removal ในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 ค่า % SS-Removal ติดลบน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบพืชทั้ง 3 ชนิดอย่างละเอียดแล้ว พบว่าการปลูกต้นว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต จะให้ค่า % SS-Removal ที่ดีกว่าการปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมถึงพืชชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ปลูกพืชคลุมดินร่วมด้วย เนื่องจากการปลูกถั่วปิ่นโต ซึ่งถั่ว

ปิ่นโตเป็นพืชที่มีรากมาก ทำให้ดินมีช่องขนาดเล็กระหว่างอนุภาคมีน้อยขึ้นส่งผลทำให้ของแข็งแขวนลอยมีโอกาสที่จะผ่านได้น้อย (ประไพและคณะ, 2542) รวมถึงพืชทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตทำให้รากของพืชทั้ง 3 ชนิด ขยายในวงกว้างและไปแทรกในช่องว่างระหว่างดินทำให้ดินลดช่องว่างเหล่านั้นทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านลงไปไม่สามารถผ่าน ในชั้นดิน และวัสดุกรองลงไปได้ อีกทั้งดินและวัสดุกรองยังไม่ชะล้างลงไปด้วย เนื่องจากดินและวัสดุกรองอิมตัว และมีการจัดเรียงเป็นอนุภาคของหน้าตัดที่มีช่องขนาดเล็กระหว่างอนุภาคทำให้น้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยไม่สามารถไหลผ่านลงไปได้ (ประไพและคณะ, 2542)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองค่า % SS-Removal ทั้ง 2 แบบ (ภาพที่ 13 และภาพที่ 14) พืชที่ช่วยในการลดค่า % SS-Removal ได้ดี คือ ต้นว่านลิ้นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต ซึ่งสามารถช่วยลดค่า % SS-Removal ได้มากถึง 90% โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่ควบคุมดินและที่ควบคุมถั่วปิ่นโต มีค่า % SS-Removal ประมาณ 20% และเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ปลูกพืชคลุมดินและพืชอีก 2 ชนิด มีค่า % SS-Removal ประมาณ 5% ถึง 20% ถึงแม้ว่า ค่า % SS-Removal ในแบบที่ 2 จะไม่สามารถช่วยในการลดค่า % SS-Removal ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่ควบคุมและที่ปลูกเฉพาะถั่วปิ่นโตแล้ว พบว่า สามารถช่วยลดค่า % SS-Removal ได้มากกว่า เป็นเพราะว่าการเรียงตัวของวัสดุตัวกลางแบบที่ 2 เป็นการเรียงตัวที่ยังไม่แน่นพอที่จะช่วยในการดูดซับน้ำเสีย สังเกตจากผล % SS-Removal จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงวัสดุกรอง ไม่สามารถช่วยในการลดค่าความเป็นมลพิษทางของแข็งแขวนลอยเช่นเดียวกัน

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 14 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 13 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 8

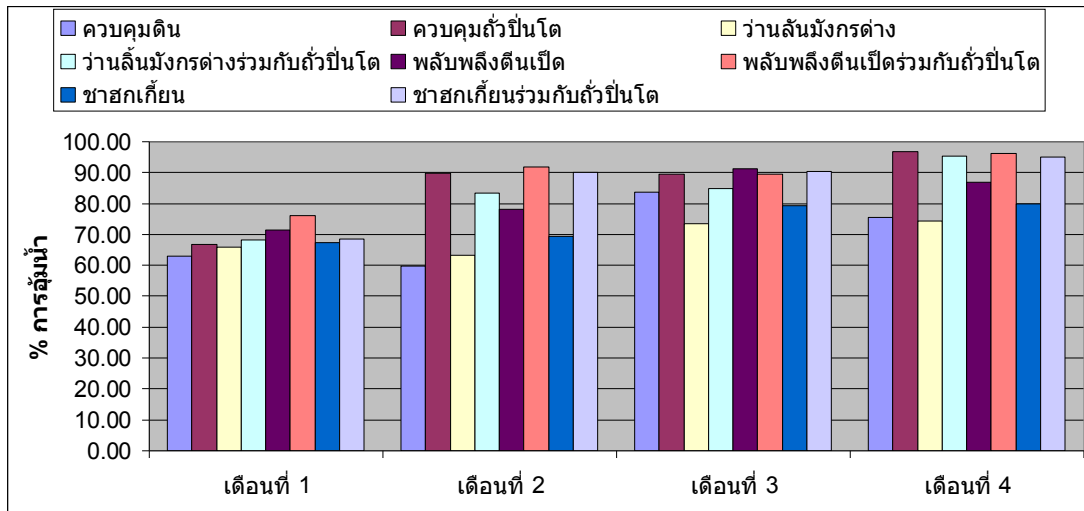
ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า % SS-Removal

Treatment	% SS-Removal แบบที่ 1	% SS-Removal แบบที่ 2
ควบคุมดิน	-264.26 a	-258.69 a
ควบคุมถั่วป่นโต	-489.19 a	-456.58 a
ว่านลินมังกรต่าง	-251.36 a	-317.11 a
ว่านลินมังกรต่างร่วมกับถั่ว	-146.24 a	-144.85 a
ป่นโต		
พลิกปลิงดินเปิด	-181.74 a	-439.41 a
พลิกปลิงดินเปิดร่วมกับถั่ว	-197.04 a	-482.24 a
ป่นโต		
ชาฮกเกี้ยน	-432.84 a	-342.20 a
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วป่นโต	-299.43 a	-365.43 a

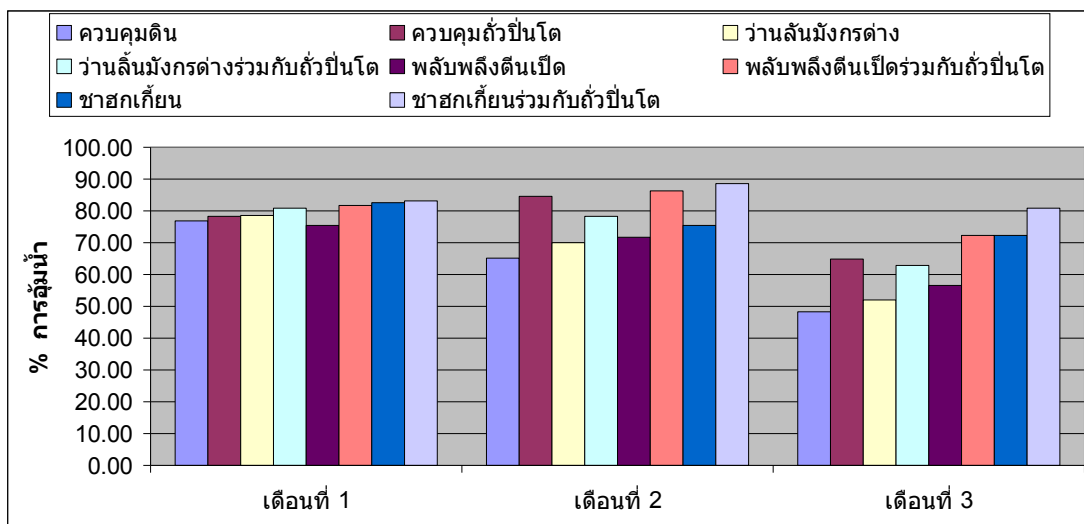
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 8 น้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่า % SS-Removal แบบที่ 1 และค่า % SS-Removal แบบที่ 2 แต่ละ Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ว่านลินมังกรต่างร่วมกับถั่วป่นโตทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการช่วยลดค่า % SS-Removal น้อยที่สุด

งานวิจัยได้ทำการวัดหาค่า % การอุ้มน้ำ เพื่อทราบถึงการดูดซับน้ำของแต่ละ Treatment มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแต่ละ Treatment และศึกษาวัสดุกรองสามารถช่วยในการดูดซับน้ำได้ ให้ผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 15 แสดงค่า % การอุ้มน้ำ แบบที่ 1



ภาพที่ 16 แสดงค่า % การอุ้มน้ำ แบบที่ 2

จากภาพที่ 15 พบว่า ความสามารถในการช่วยเพิ่ม % การอุ้มน้ำ ในพืชแต่ละชนิด ให้ผลดังต่อไปนี้ ในเดือนที่ 1 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 62.97 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 66.84 % Treatment ที่ปลูกว่างนลินมังกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 65.93 % Treatment ที่ปลูกว่างนลินมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 68.09 % Treatment ที่ปลูกพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 71.40 % Treatment ที่ปลูกพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 76.22 % Treatment ที่ปลูกชาสเกียนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 67.37 % Treatment ที่ปลูกชาสเกียนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 68.48 % ในเดือนที่ 2 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 59.86 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโต

ให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 89.86 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 63.40 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 83.43 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 78.03 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 91.88 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 69.49 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 90.07 % ในเดือนที่ 3 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 83.78 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 89.48 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 73.46 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 84.78 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 91.24 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 89.43 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 79.27 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 90.50 % ในเดือนที่ 4 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 75.94 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 96.69 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 74.49 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 95.35 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 86.96 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 96.09 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 79.91 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 95.14 % จากภาพที่ 6.19 พบว่า ในช่วงเดือนแรกของการลงการเพาะปลูกพืชในแต่ละชนิด % การอุ้มน้ำ ของแต่ละพืชจะไม่มีมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจาก พืชยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ทำให้ % การอุ้มน้ำ มีค่าน้อยกว่าในเดือนถัดไป แต่เมื่อดูในเดือนแรกแล้ว พบว่า % การอุ้มน้ำ ยังมีค่าสูง เป็นเพราะว่า ดินและวัสดุตุ้มกลางยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำและยังไม่อิ่มตัว (ธวัชชัย, 2535) แต่เมื่อเวลาผ่านไป พืชทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตรวมทั้งพืชคลุมดินมีความเจริญเติบโตตามไปด้วย ส่งผลทำให้ % การอุ้มน้ำ มีค่าสูงมากขึ้นตามลำดับ โดยที่ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง พืชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ปลูกพืชคลุมดินกับตัวควบคุมดิน พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่มีการปลูกพืชคลุมดินให้ค่า % การอุ้มน้ำ มากกว่าตัวควบคุมดิน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการปลูกพืชคลุมดินกับตัวควบคุมถั่วปิ่นโต พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกพืชคลุมดินให้ค่า % การอุ้มน้ำ มากกว่าตัวควบคุมถั่วปิ่นโต โดยที่เมื่อเปรียบเทียบพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า ต้น

พลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโต ให้ค่า % การอุ้มน้ำ มากที่สุด ประมาณ 96% รองลงมา คือ ว่าน
 ลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตและชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต ประมาณ 95% จะเห็นได้ว่า พืชทั้ง 3
 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันในการช่วยลดค่า % การอุ้มน้ำ

จากภาพที่ 16 พบว่า ความสามารถในการช่วยเพิ่ม % การอุ้มน้ำ ในพืชแต่ละชนิด ให้ผล
 ดังต่อไปนี้ ในเดือนที่ 1 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 76.81 %
 Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 78.20 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่น
 มั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 78.64 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่ว
 ปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 80.85 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ
 ประมาณ 75.46 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ
 ประมาณ 81.78 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 82.68 %
 Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 83.09 % ในเดือนที่ 2
 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 65.16 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโต
 ให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 84.49 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ
 ประมาณ 70.03 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ
 ประมาณ 78.28 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 71.76 %
 Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 86.41 %
 Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 75.31 % Treatment ที่ปลูกชา
 ฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 88.56 % ในเดือนที่ 3 พบว่า Treatment ที่
 ควบคุมมีค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 48.24 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ
 ประมาณ 64.97 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 52.00 %
 Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 62.84 %
 Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 56.65 % Treatment ที่ปลูก
 พลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 72.16 % Treatment ที่ปลูกชา
 ฮกเกี้ยนให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 72.19 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้
 ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 80.84 % จากภาพที่ 16 พบว่า ในช่วงเริ่มปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด
 ความสามารถในการลดค่า % การอุ้มน้ำ มีค่าไม่แตกต่างกันมาก เป็นเพราะว่า พืชทั้ง 3 ชนิดยังไม่
 เจริญเต็มที่อีกทั้งดินและวัสดุรองยังไม่อิ่มตัว ทำให้ความสามารถในการช่วยลด % การอุ้มน้ำ
 ของต้นไม้อย่างไม่ค่อยดีแต่ที่ผลการทดลองของแบบที่ 2 ค่า % การอุ้มน้ำที่สูง เนื่องจากดินและ วัสดุ
 ตัวกลางยังมีความสามารถช่วยดูดซับน้ำและยังไม่อิ่มตัวทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำได้

มาก (ธวัชชัย, 2535) แต่เมื่อเดือนต่อมา ค่า % การอุ้มน้ำ ลดลงแต่ก็เมื่อเปรียบเทียบพบว่า พีช ทั้ง 3 ชนิดที่มีการปลูกพืชคลุมดินสามารถช่วยลดค่า % การอุ้มน้ำ ได้มากกว่าตัวควบคุมถั่วปิ่นโต และ พีชทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ได้ปลูกพืชคลุมดินก็ยังให้ค่าความสามารถในการลดค่า % การอุ้มน้ำ ได้มากกว่าตัวควบคุมดิน โดยเมื่อเทียบระหว่างพีชทั้ง 3 ชนิด พบว่า การปลูกต้นชาฮกเกี้ยนร่วมกับ ถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 88% รองลงมาการปลูกต้นพลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 86% และการปลูกต้นว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % การอุ้มน้ำ ประมาณ 79% จะเห็นได้ว่า พีชทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันในการช่วยลดค่า % การอุ้มน้ำ

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 14 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 13 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 9

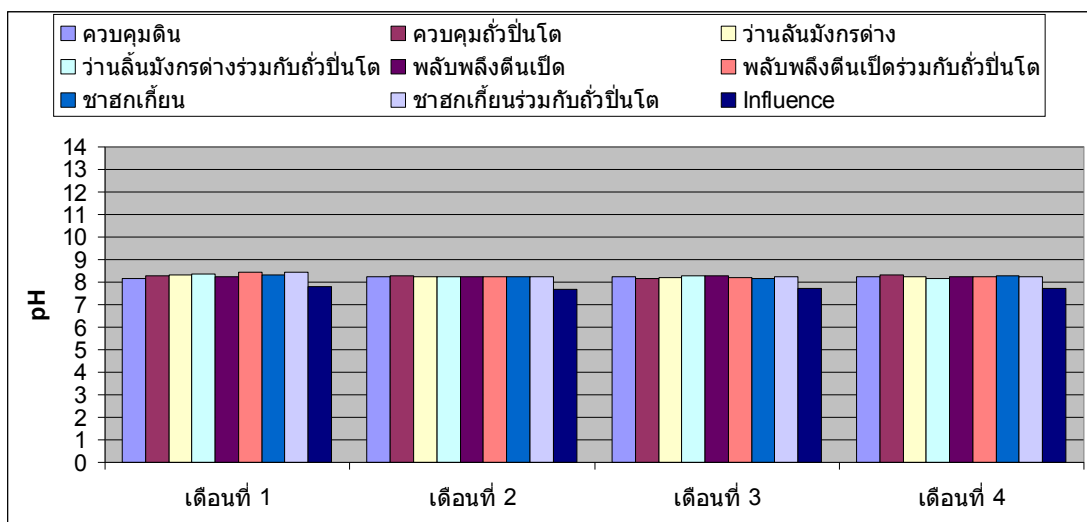
ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า % การอุ้มน้ำ

Treatment	% การอุ้มน้ำ แบบที่ 1	% การอุ้มน้ำ แบบที่ 2
ควบคุมดิน	67.43 c	65.86 d
ควบคุมถั่วปิ่นโต	80.31 a	76.66 abc
ว่านลั่นมั่งกรต่าง	67.61 c	69.07 cd
ว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต	78.18 ab	75.36 bc
พลับพลึงตีนเป็ด	78.52 ab	69.43 cd
พลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่วปิ่นโต	84.93 a	80.67 ab
ชาฮกเกี้ยน	71.51 bc	77.69 ab
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต	81.11 a	84.18 a

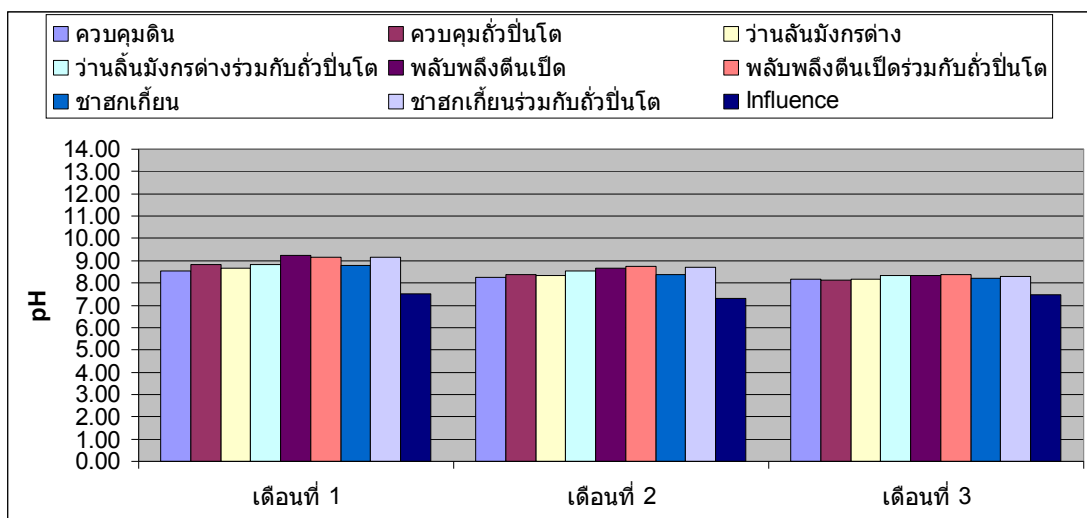
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 9 น้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่า % การอุ้มน้ำ แบบ ที่ 1 และค่า % การอุ้มน้ำ แบบที่ 2 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ชาวสก็นร่วมกับถั่วปิ่นโตทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการช่วยเพิ่มค่า % การอุ้มน้ำมากที่สุด

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำเสีย เนื่องจาก น้ำที่ออกจากแต่ละ Treatment มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ไม่มีความแตกต่างกัน ดังผลแสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 17 แสดงค่า ความเป็นกรด - ด่าง แบบที่ 1



ภาพที่ 18 แสดงค่า ความเป็นกรด - ด่าง แบบที่ 2

[illegible]

ประมาณ 8.25 Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า ความเป็นกรด - ต่าง
ประมาณ 8.26 Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า ความเป็นกรด - ต่าง ประมาณ 8.27
Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า ความเป็นกรด - ต่าง ประมาณ 8.24
Treatment ของน้ำ Influence ให้ค่า ความเป็นกรด - ต่าง ประมาณ 7.74

[illegible]

จากภาพที่ 17 และภาพที่ 18 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำ Influence จะอยู่ที่ประมาณ 7.70 และจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 8.50 ในน้ำที่ออกแต่ละ Treatment ซึ่งความแตกต่างนี้ถือได้ว่าเป็นความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ถ้าหากว่าน้ำที่ผ่านระบบนี้ไปแล้วถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก เนื่องจากในน้ำปกติมีค่าความเป็นกรด – ด่าง อยู่ที่ประมาณ 8.5-8.8 สิ่งมีชีวิตก็ยังคงดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยเฉพาะในบ่อเลี้ยงปลาหรือสัตว์น้ำมีค่าความเป็นกรด – ด่าง ประมาณ 6.5-9 ก็จะไม่ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเป็นไปได้ด้วยดีและการเจริญเติบโตของพืชน้ำเป็นไปได้ด้วยดี (ศิริพรรณ, 2536)

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 31 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 23 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 10

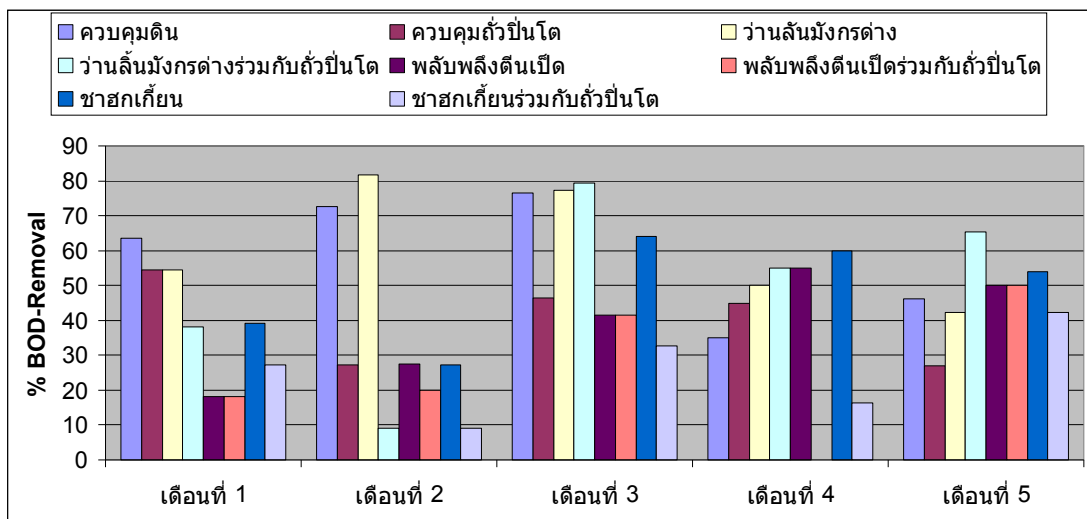
ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า ความเป็นกรด – ด่าง

Treatment	pH แบบที่ 1	pH แบบที่ 2
ควบคุมดิน	8.21 b	8.35 c
ควบคุมถั่วป่นโต	8.26 ab	8.50 bc
ว่านลินมังกรต่าง	8.26 ab	8.42 bc
ว่านลินมังกรต่างร่วมกับถั่วป่นโต	8.28 ab	8.61 ab
พลิกปลังดินเปิด	8.25 ab	8.82 a
พลิกปลังดินเปิดร่วมกับถั่วป่นโต	8.30 a	8.83 a
ชาฮกเกี้ยน	8.27 ab	8.52 bc
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วป่นโต	8.32 a	8.80 a

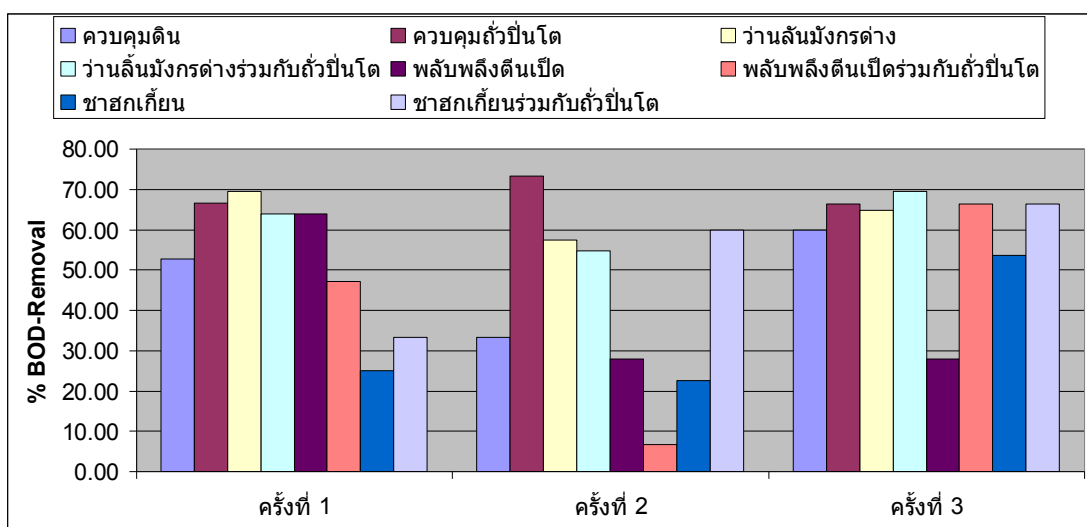
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 10 น้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่าง แบบที่ 1 และค่าความเป็นกรด – ด่าง แบบที่ 2 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่วาล์วมังกรต่างทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการช่วยลดค่า ความเป็นกรด – ด่าง น้อยที่สุด

นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้มีการศึกษาหาค่า % BOD-Removal แสดงผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 19 แสดงค่า % BOD-Removal แบบที่ 1



ภาพที่ 20 แสดงค่า % BOD-Removal แบบที่ 2

ภาพที่ 19 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่า % BOD-Removal ในพืชแต่ละชนิด ให้ผลดังแสดงต่อไปนี้ ในเดือนที่ 1 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ

63.64% Treatment ที่ควบคุมตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 54.55% Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 54.55% Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 18.18% Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 18.18% Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 18.18% Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 9.09% Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 27.27 % ในเดือนที่ 2 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ 72.73 % Treatment ที่ควบคุมตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 27.27 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 81.82 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 9.09 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 27.27 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 9.09 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 27.27 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 9.09 % ในเดือนที่ 3 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ 76.55 % Treatment ที่ควบคุมตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 46.55 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 77.24 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 79.31 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 41.38 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 41.38 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 64.14 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 32.76 % ในเดือนที่ 4 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ 35.00 % Treatment ที่ควบคุมตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 45.00 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 50.00 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 55.00 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 55.00 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 0.00 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 60.00 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับตัวป็นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ -30.00 % ในเดือนที่ 5 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ

46.15 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 26.92 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 42.31 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 65.38 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 50.00 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 50.00 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 53.85 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 42.31 %

จากภาพที่ 19 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่า % BOD-Removal การปลูกพืชทั้ง 8 Treatments มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ Treatment ที่มีการปลูกพืชสามารถช่วยลดค่า % BOD-Removal ได้ดีและพืชช่วยบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention (เพ็ญศรี, 2550)

ภาพที่ 20 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่าบีโอดี ในพืชแต่ละชนิด ให้ผลดังแสดงต่อไปนี ในเดือนที่ 1 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ 52.78% Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 66.67% Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 69.44% Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 63.89% Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 63.89% Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 47.22% Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า % BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 25.00% Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า % BOD-Removal ประมาณ 33.33 % ในเดือนที่ 2 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า % BOD-Removal ประมาณ 33.33 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 73.33 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 57.33 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 54.67 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า% BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 28.00 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ที่ติดลบประมาณ 6.67 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 22.67 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 60.00 % ในเดือนที่ 3 พบว่า Treatment ที่ควบคุมมีค่า% BOD-Removal ประมาณ 60.00 % Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 66.40 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 64.80 % Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-

Removal ประมาณ 69.60 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 28.00 % Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 66.40 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 53.60 % Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่า% BOD-Removal ประมาณ 66.40%

จากภาพที่ 20 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่า % BOD-Removal การปลูกพืชทั้ง 8 Treatments ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พืชที่ปลูกแต่ละ Treatment สามารถช่วยลดค่า % BOD-Removal ได้รวมทั้งดินที่ใช้ในการปลูกพืชยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการช่วยบำบัดน้ำเสียที่ออกจาก Treatment (ยุทธนา, 2545)

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 5 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 3 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 11

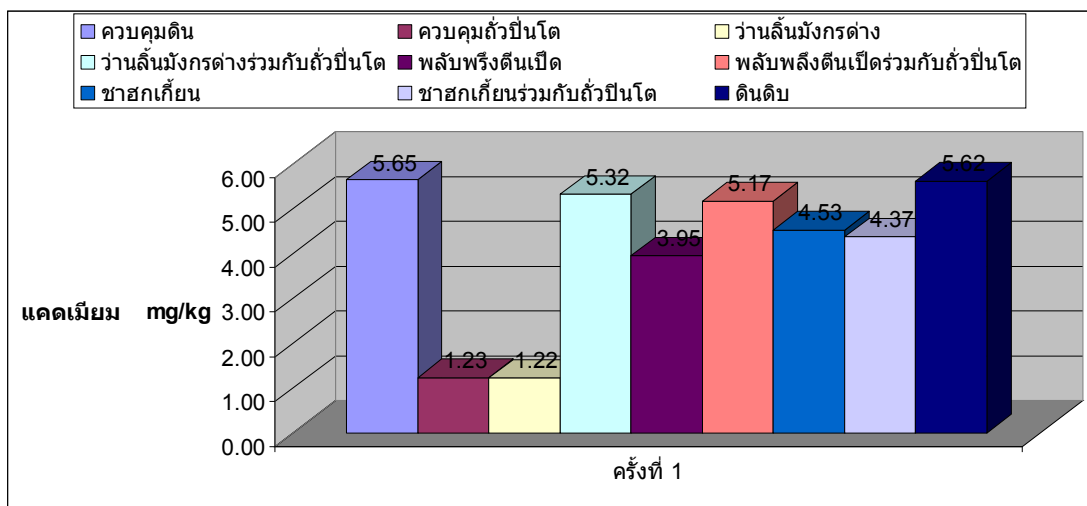
ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า % BOD-Removal

Treatment	% BOD-Removal แบบที่ 1	% BOD-Removal แบบที่ 2
ควบคุมดิน	58.81 a	48.70 ab
ควบคุมถั่วปิ่นโต	40.05 ab	68.80 a
ว่านลิ้นมังกรต่าง	61.18 a	63.85 ab
ว่านลิ้นมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต	49.38 ab	62.72 ab
พลับพลึงดินเปิด	38.40 ab	39.96 ab
พลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโต	25.93 b	40.09 ab
ชาฮกเกี้ยน	48.89 ab	33.75 b
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต	25.54 b	53.24 ab

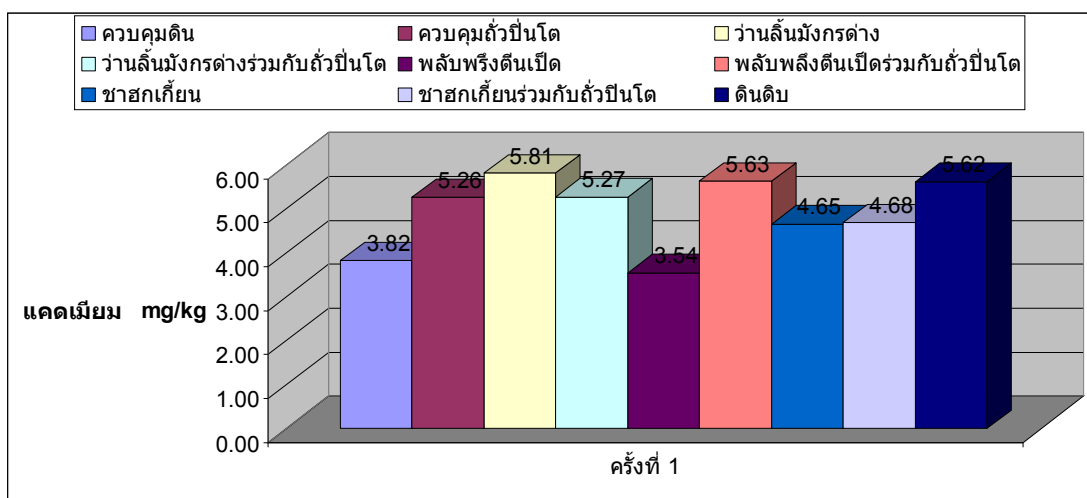
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 11 น้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่า % BOD-Removal แบบที่ 1 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และค่า % BOD-Removal แบบที่ 2 แต่ละ Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่วาล์วมังกรต่างทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการช่วยเพิ่มค่า % BOD-Removal มากที่สุด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นหาแคดเมียมในดินแต่ละ Treatment แสดงผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 21 แสดงค่าแคดเมียม แบบที่ 1



ภาพที่ 22 แสดงค่าแคดเมียม แบบที่ 2

ภาพที่ 21 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่าแคดเมียม ในพืชแต่ละชนิด ให้ผลดังแสดงต่อไปนี้ Treatment ที่ควบคุมมีค่าแคดเมียม ประมาณ 5.65 mg/kg Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 1.23 mg/kg Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 1.22 mg/kg Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.32 mg/kg Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 3.95 mg/kg Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.17 mg/kg Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 4.53 mg/kg Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 4.37 mg/kg Treatment ที่ดินดิบมีแคดเมียม ประมาณ 5.62 mg/kg

ภาพที่ 22 พบว่า ความสามารถในการช่วยลดค่าแคดเมียม ในพืชแต่ละชนิด ให้ผลดังแสดงต่อไปนี้ Treatment ที่ควบคุมมีค่าแคดเมียม ประมาณ 3.82 mg/kg Treatment ที่ควบคุมถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.26 mg/kg Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.81 mg/kg Treatment ที่ปลูกว่านลั่นมั่งกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.27 mg/kg Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 3.54 mg/kg Treatment ที่ปลูกพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 5.63 mg/kg Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 4.65 mg/kg Treatment ที่ปลูกชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ค่าแคดเมียม ประมาณ 4.68 mg/kg Treatment ที่ดินดิบมีแคดเมียม ประมาณ 5.62 mg/kg

จากภาพที่ 21 และภาพที่ 22 พบว่า ความสามารถในการลดค่าแคดเมียมของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดสามารถช่วยลดค่าแคดเมียมลงได้เพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับดินดิบ ดังนั้น พืชทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันในผลการวิเคราะห์ค่าแคดเมียม เนื่องจาก น้ำได้ชะล้างแคดเมียมในดินออกไป ทำให้แคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินลดลง และอีกทั้งตัววัสดุรองยังช่วยกำจัดความเป็นพิษของน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียที่ออกจากแต่ละ Treatment มีความสกปรกน้อย (สุรทินและคณะ, 2543)

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 3 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 3 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 12

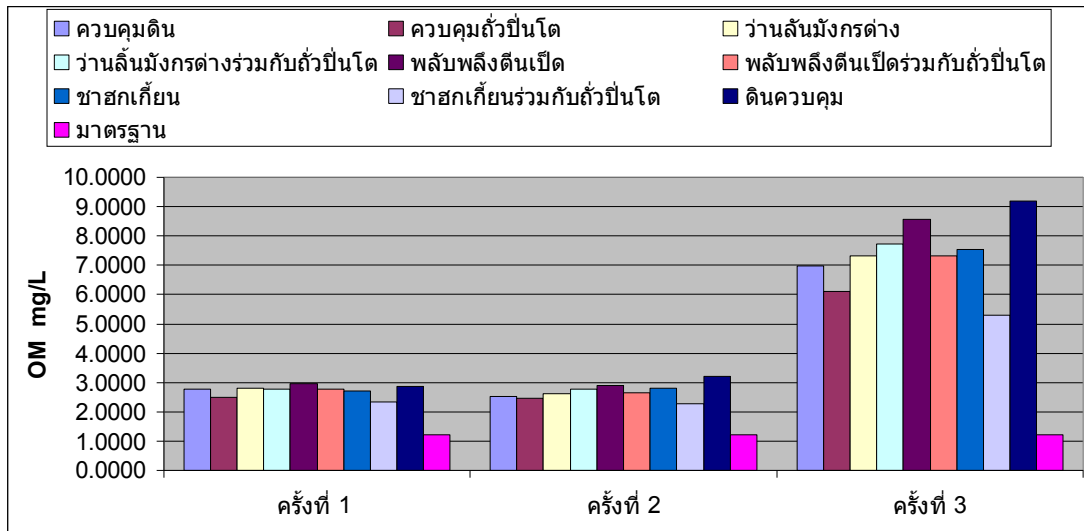
ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแคดเมียม

Treatment	แคดเมียมแบบที่ 1 (mg/kg)	แคดเมียมแบบที่ 2 (mg/kg)
ควบคุมดิน	5.64 a	4.77 ab
ควบคุมถั่วป่นโต	1.23 b	6.64 ab
ว่านล้นมังกรต่าง	1.22 b	5.81 ab
ว่านล้นมังกรต่างร่วมกับถั่ว ป่นโต	4.09 a	4.50 ab
พลิกปลิงดินเปิด	3.23 ab	3.54 b
พลิกปลิงดินเปิดร่วมกับถั่ว ป่นโต	5.17 a	5.64 ab
ซาสกเกี้ยน	5.60 a	4.65 ab
ซาสกเกี้ยนร่วมกับถั่วป่นโต	3.07 ab	4.71 ab

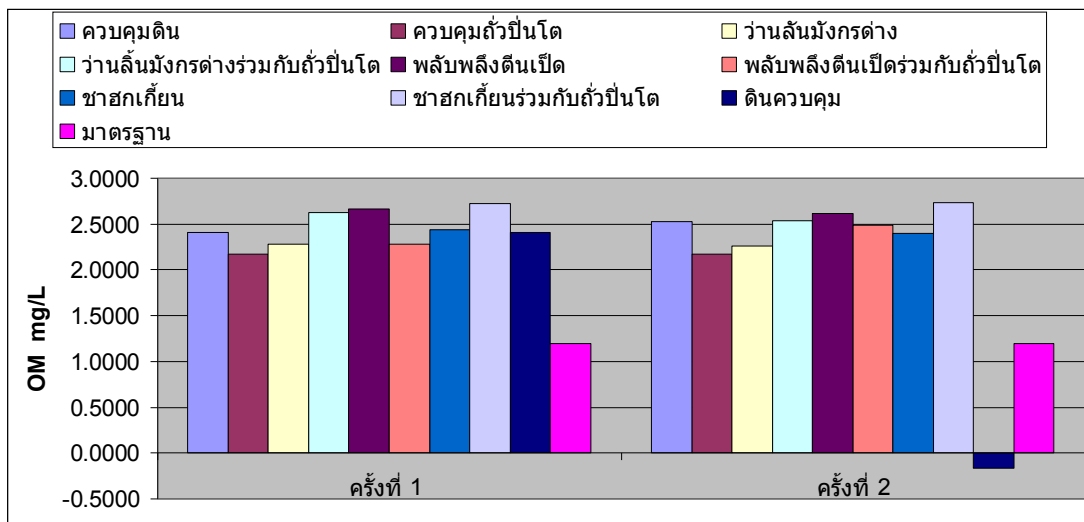
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 12 นำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่าแคดเมียมแบบที่ 1 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ว่านล้นมังกรต่างให้ผลในการช่วยลดค่าแคดเมียมได้มากที่สุด และค่าแคดเมียมแบบที่ 2 แต่ละ Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่พลิกปลิงดินเปิดให้ผลในการช่วยเพิ่มค่าแคดเมียมน้อยที่สุด

นอกจากนี้งานวิจัยได้ทำการศึกษาหาไอเอ็มในดิน เพื่อศึกษาสารอาหารของดินแต่ละ Treatment เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด แสดงผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 23 แสดงค่าโอเอ็ม แบบที่ 1



ภาพที่ 24 แสดงค่าโอเอ็ม แบบที่ 2

จากภาพที่ 23 พบว่า โดยดินชุดนี้นำมาจาก ต.แม่ตาว อ.แม่สลด จ.ตาก ซึ่งมาตรฐานค่าโอเอ็มของดินชุดนี้จะอยู่ที่ 1.2 mg/kg เมื่อวัดค่าโอเอ็มของดินควบคุมซึ่งเป็นดินก่อนลงปลูกจะวัดได้ประมาณ 5.1 mg/kg ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เหมาะสมสำหรับนำไปปลูกต้นไม้ เพราะต้นไม้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินชุดนี้ เมื่อนำดินชุดนี้ไปปลูกต้นไม้ตามลักษณะ Treatment ต่างๆแล้วพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่าโอเอ็มในแต่ละ Treatment จะสูงขึ้นหรือต่ำลงเล็กน้อย แต่ครั้งสุดท้ายจะวัดได้สูงที่สุด แต่ก็ต่ำกว่าดินควบคุมก่อนลงปลูก โดยเมื่อค่าโอเอ็มเฉลี่ยในพืชแต่ละชนิดพบว่าต้นพลัปปลึงดินเปิดจะมีค่าโอเอ็มเฉลี่ยที่สูงที่สุดประมาณ

4.25 -4.8 mg/kg ต้นว่านลิ้นมังกรต่างประมาณ 4.25 - 4.4 mg/kg และต้นชาฮกเกี้ยนประมาณ 3.5 - 4.35 mg/kg ซึ่งถือว่าในแต่ละ Treatment จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยใน Treatment ควบคุมจะอยู่ที่ประมาณ 3.7 - 4.1 mg/kg

จากภาพที่ 24 พบว่า โดยดินชุดนี้นำมาจาก ต.แม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก ซึ่งมาตรฐานค่าไอเอ็มของดินชุดนี้จะอยู่ที่ 1.2 mg/kg เมื่อวัดค่าไอเอ็มของดินควบคุมซึ่งเป็นดินก่อนลงปลูกจะวัดได้ประมาณ 4.3 mg/kg ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานประมาณ 3 mg/kg เหมาะสมสำหรับนำไปปลูกต้นไม้ เพราะต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินชุดนี้ โดยจะพบว่าเมื่อนำต้นไม้ไปปลูกลงในแต่ละ Treatment ครั้งแรกจะมีค่าไอเอ็มที่สูง ประมาณ 3 mg/L แต่พอครั้งที่ 2 จะเห็นว่า ค่าไอเอ็มแต่ละ Treatment จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าไอเอ็มที่ลดลงเหลือประมาณ 2 mg/L โดยเมื่อดูค่าไอเอ็มเฉลี่ยในพืชแต่ละชนิด พบว่า พลับพลึงตีนเป็ด และ ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต ให้ค่าไอเอ็มประมาณ 2.6 – 2.7 mg/kg ซึ่งค่าไอเอ็มสูงกว่าค่าควบคุมดินประมาณ 0.1 - 0.2 mg/kg

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 3 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 6 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 13

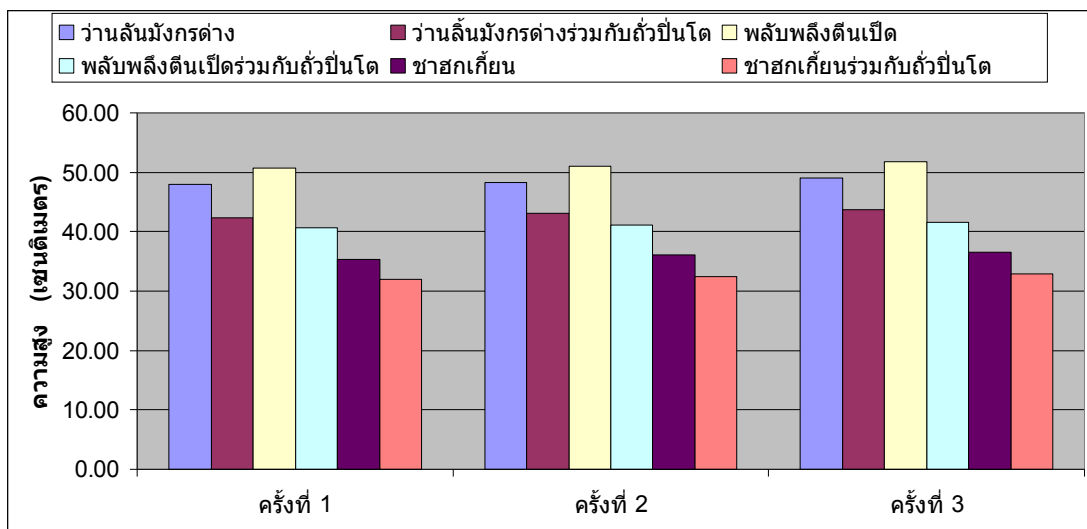
ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าไอเอ็ม

Treatment	ไอเอ็ม แบบที่ 1 (mg/kg)	ไอเอ็ม แบบที่ 2 (mg/kg)
ควบคุมดิน	4.09 a	2.46 abc
ควบคุมถั่วปิ่นโต	3.68 a	2.18 c
ว่านลิ้นมังกรต่าง	4.25 a	2.27 bc
ว่านลิ้นมังกรต่างร่วมกับถั่ว ปิ่นโต	4.42 a	2.58 ab
พลับพลึงตีนเป็ด	4.80 a	2.64 ab
พลับพลึงตีนเป็ดร่วมกับถั่ว ปิ่นโต	4.25 a	2.39 abc
ชาฮกเกี้ยน	4.34 a	2.42 abc
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโต	3.30 a	2.73 a

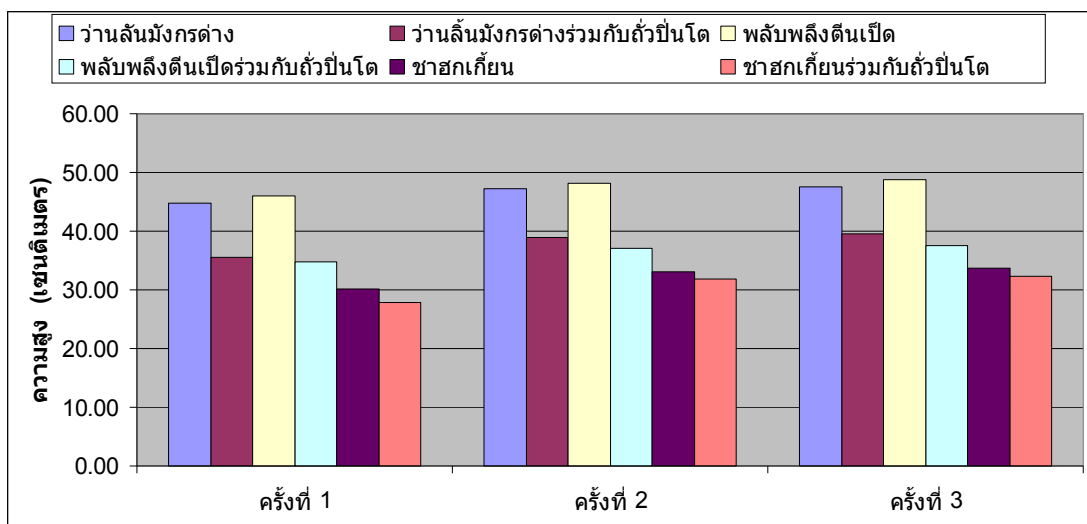
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 13 น้ำเสียที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่าไอเอ็มแบบที่ 1 แต่ละ Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่พลับพลึงดินเปิดให้ผลในการช่วยเพิ่มค่าไอเอ็มมากที่สุด และค่าไอเอ็มแบบที่ 2 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตให้ผลในการช่วยเพิ่มค่าไอเอ็มมากที่สุด

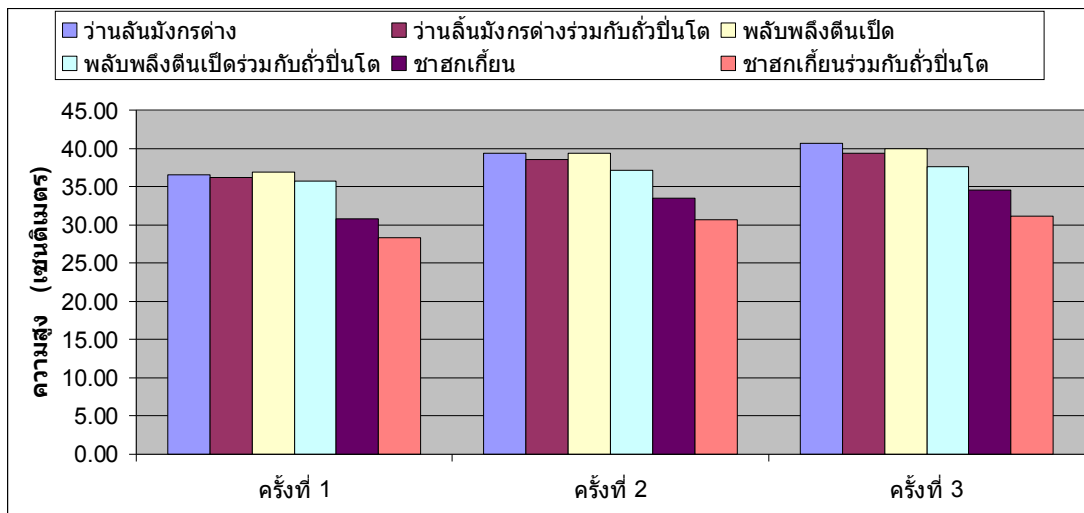
นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้มีการศึกษาความสูงของต้นไม้ที่ปลูกแต่ละ Treatment โดยทำการปลูกต้นไม้ควบคุมด้วยการใช้น้ำประปาในการรดน้ำเปรียบเทียบกับใช้น้ำเสีรดต้นไม้ ให้ผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 25 แสดงค่าความสูงของต้นไม้ควบคุม



ภาพที่ 26 แสดงค่าความสูงของต้นไม้ แบบที่ 1



ภาพที่ 27 แสดงค่าความสูงของต้นไม้ แบบที่ 2

จากภาพที่ 26 พบว่า ความสูงของต้นไม้แต่ละ Treatment มีแนวโน้มที่ไม่ต่างกันมาก โดยความสูงต้นวานลันมังกรต่างและต้นพลับพลึงดินเปิด ให้ค่าความสูงที่สูงประมาณ 30 - 45 cm. ส่วนต้นวานลันมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต ต้นพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโต ต้นชาฮกเกี้ยนและต้นชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตทั้ง 3 ครั้ง ประมาณ 25 - 30 cm. และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำประปา พบว่า ต้นพืชแต่ละ Treatment ที่ใช้น้ำประปามีความสูงกว่า ต้นพืชที่ใช้น้ำเสียรดแต่ละ Treatment ประมาณ 5 - 10 cm.

จากภาพที่ 27 พบว่า ความสูงของต้นไม้แต่ละ Treatment มีแนวโน้มที่ไม่ต่างกันมาก โดยความสูงต้นวานลันมังกรต่างร่วมกับถั่วปิ่นโต ต้นวานลันมังกรต่าง ต้นพลับพลึงดินเปิด และต้นพลับพลึงดินเปิดร่วมกับถั่วปิ่นโต ให้ค่าความสูงที่สูงประมาณ 35 cm. แต่เมื่อเวลาผ่านไป ความสูงของต้นไม้นี้ จะให้ความสูงประมาณ 40 cm. ซึ่งสูงกว่าช่วงเดือนแรกอยู่ประมาณ 5 cm. ส่วนต้นชาฮกเกี้ยนและต้นชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่วปิ่นโตทั้ง 3 ครั้ง ประมาณ 30 - 35 cm. และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำประปา พบว่า ต้นพืชแต่ละ Treatment ที่ใช้น้ำประปามีความสูงกว่า ต้นพืชที่ใช้น้ำเสียรดแต่ละ Treatment ประมาณ 10 - 15 cm.

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มค่าจากการทดลองไปวิเคราะห์แบบที่ 1 จำนวน 9 ค่า แบบที่ 2 จำนวน 9 ค่า และควบคุม 9 ค่า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความสูงของต้นไม้

Treatment	ความสูง แบบที่ 1 (cm)	ความสูง แบบที่ 2 (cm)	ความสูง ควบคุม (cm)
ว่านลั่นมั่งกรด่าง	48.47 a	38.83 a	46.52 a
ว่านลั่นมั่งกรด่าง ร่วมกับถั่วปิ่นโต	43.07 b	38.03 ab	38.00 b
พลับพลึงตีนเป็ด	51.17 a	38.73 a	47.66 a
พลับพลึงตีนเป็ด ร่วมกับถั่วปิ่นโต	41.14 b	36.81 b	36.48 b
ชาฮกเกี้ยน	36.00 c	32.92 c	32.28 c
ชาฮกเกี้ยนร่วมกับถั่ว ปิ่นโต	32.41 d	30.03 d	30.62 c

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี DMRT

จากตารางที่ 14 ที่ผ่านระบบ Bioretention จำลอง พบว่า ค่าความสูงของต้นไม้มแบบที่ 1 และค่าความสูงของต้นไม้มควบคุม แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่พลับพลึงตีนเป็ดให้ผลค่าความสูงของต้นไม้มสูงที่สุด และค่าความสูงของต้นไม้มแบบที่ 2 แต่ละ Treatment มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ว่านลั่นมั่งกรด่างให้ผลค่าความสูงของต้นไม้มสูงที่สุด

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 การทดสอบเพื่อหาความสามารถในการอุ้มน้ำ ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าของแข็งแขวนลอย เพื่อหาประสิทธิภาพการเรียงของชั้นวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมของวัสดุก่อสร้าง 3 ชนิด คือ 1.เศษปูน 2.เศษกระเบื้อง และ 3.เศษอิฐ พบว่า พารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาในการเลือกการเรียงตัวของชั้นวัสดุตัวกลางที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ค่าซีไอดี ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าความเป็นกรด - ด่าง และค่าความสามารถการอุ้มน้ำ ตามลำดับ มีผลดังต่อไปนี้ จากภาพที่ 6 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ TR 5 TR 4 และ TR 3 ตามลำดับ จากภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ TR 2 TR 3 และ TR 4 ตามลำดับ จากภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ TR 3 TR 4 และ TR 5 ตามลำดับ จากภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ TR 5 TR 3 และ TR 2 ตามลำดับ จากภาพที่ 10 และภาพที่ 11 เป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอย พบว่า ทั้ง 6 Treatments ไม่มีความแตกต่างกัน จากภาพที่ 12 ภาพที่ 13 ภาพที่ 14 และภาพที่ 15 ตามลำดับ เป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพในการลดค่าความเป็นกรด - ด่าง พบว่าทั้ง 6 Treatments ไม่มีความแตกต่างกัน จากภาพที่ 16 ภาพที่ 17 ภาพที่ 18 และภาพที่ 19 ตามลำดับ เป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำ พบว่าทั้ง 6 Treatments ไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาแนวโน้มประสิทธิภาพการลดค่าต่างๆ พบว่า TR 2 และ TR 5 ให้ผลการทดลองในการทดสอบการหาประสิทธิภาพการเรียงของชั้นวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับ Treatment อื่นๆ กล่าวคือ TR 2 และ TR 5 ต่างสามารถลดค่าซีไอดีได้มากกว่า Treatment อื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ปริมาณของเศษกระเบื้องในแต่ละ Treatment มีอัตราส่วนมากกว่า เศษปูน และเศษอิฐ ซึ่งเศษปูนและเศษอิฐมีความสามารถในการช่วยลดความเป็นพิษ ทั้งนี้ เศษปูนและเศษอิฐยังช่วยให้ น้ำที่ออกจากแต่ละ Treatment มีค่าความเป็นด่างสูง เมื่อเทียบกับเศษกระเบื้อง ดังนั้น จึงเลือก TR 2 และ TR 5 เป็น Treatment ในการทำการทดลองขั้นที่ 2 การทดลองปลูกพืช ภายใต้ระบบ Bioretention ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด ต่อไป กำหนดให้ TR 3 เป็น Treatment เพาะปลูก แบบที่ 1 และ TR 5 เป็น Treatment เพาะปลูก แบบที่ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

เอกสารอ้างอิง

1. American Forests, “How Trees Fight Climate Change”, 1999
2. Barrett, M.E., Walsh, P.M., Malina, J.F., and Charbeneau, R.J. et al., **Performance of Vegetative Controls for Treating Highway Runoff**. Journal of Environmental Engineering, 124 (11) : 1121-1128, 1998.
3. Coder, Dr. Kim D., **Identified Benefits of Community Trees and Forests**, University of Georgia, October, 1996
4. Davis, A.P., Shokouhian, M., Sharma, H., and Minami, C., **Laboratory Study of Biological Retention for Urban Stormwater Management**. Water Environ Res, Jan-Feb 73 (1) : 5-14. 2001.
5. Davis, A.P., Shokouhian, M., Sharma, H., Minami, C., and Winogradoff, D., **Water Quality Improvement through Bioretention : Lead, Copper and Zinc Removal**. Water Environ Res, Jan-Feb 73 (1) : 73-82, 2003.
6. Deletic, A. and Fletcher, T.D., **Performance of Grass Filters Used for Stormwater Treatment-a field and modeling study**. Journal of Hydrology, 2005: 1-15.
(Article in Press; available on www.sciencedirect.com)
7. Gary, O.R., **Plants/People/ and Environmental Quality: a study of plants and their environmental functions**. Published by US department of Interior, National Park Science, Washing D.C., 1976.
8. Glass, C and Bissouma, S., **Evaluation of a Parking Lot Bioretention Cell for Removal of Stormwater Pollutants**. WIT Transaction of Ecology and the Environmental, Vol 8. ISSN 1743-3541 (online) www.witpress.com, 2005.
9. Hsieh C.H. and Davis, A.P., **Multiple-event Study of Bioretention for Treatment of Urban Stormwater Runoff**., Water Sci Tech, 51 (3-4) : 177-8, 2005.
10. Kim H., Seagren, E.A., and Davis, A.P., **Engineered Bioretention for Removal of Nitrate from Stormwater Runoff**. Water Environ Res, Jul-Aug 75 (4) : 355-67, 2003.

11. McAliney, Mike. **Arguments for Land Conservation:** Documentation and Information Sources for Land Resource Protection, Trust for Public Land, Sacramento, CA, December, 1993.
12. New Jersey Stormwater Best Practices Manual (NJS BMP), **Chapter 9: Standard for Bioretention System**, January 2004.
13. Nowak, David J., **Urban Trees and Air Quality**, November, 1995.
14. NRCS. Soil Quality Institute 2000. **Urban Technique Note 2**, as report by Ocean Country Soil Conservation District, Forked River, NJ., 2001.
15. Pitt, R. and J. Voorhees, **Source loading and management model (SLAMM)**, Seminar Publication: Nation Conference on Urban Runoff Management: Enhancing Urban Watershed Management at the Local, Country, and State Levels. March 30-April 2, 1993. Center of Environmental Research Information, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/625/R-95/003. pp. 225-243, April 1995.
16. Prince George's Country Department of Environmental Resources (PGDER), **Design Manual for Use of Bioretention in Stormwater Management**. Division of Environmental Management, Watershed Protection Branch, Landover, MD, 1993.
17. **Stormwater Technology Fact Sheet Bioretention** , September 1999. Published by the USEPA United States Environmental Protection Agency, EPA 832-F-99-012.
18. **Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities**, March 1999. Published by the USDA Forest Service's Western Center for Urban Forest Research and Education.

Internet

- www.treepeople.org (ค้นเมื่อ 7/09/2005)
- www.coloradotrees.org (ค้นเมื่อ 7/9/2005)
- www.nahbrc.org (ค้นเมื่อ 18/05/2005)
- www.brownfieldstsc.org (ค้นเมื่อ 18/05/2005)
- www.epa.gov/TIO (ค้นเมื่อ 18/05/2005)