การประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ

พิทยา ขวัญกิจศักดา

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มิถุนายน 2565

การประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ

พิทยา ขวัญกิจศักดา

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มิถุนายน 2565

APPLICATION OF CATTAIL PLANT HARVESTED FROM ARTIFICIAL POND SYSTEM TO PRODUCE BIOLOGICAL POTS.

PITTAYA KWUNKIDSUKDA

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements for the Master of Engineering Degree

in Environmental Engineering

June 2022

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

เรื่อง

การประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์

เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ

ของ พิทยา ขวัญกิจศักดา

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

(ดร. โสมนัส สมประเสริฐ)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. สุขุมา ชิตาภรณ์พันธุ์)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. สุปรีดา หอมกลิ่น)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์
เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ

ผู้ศึกษาค้นคว้า: พิทยา ขวัญกิจศักดา, การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง: วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. โสมนัส สมประเสริฐ

คำสำคัญ: ระบบบึงประดิษฐ์,กระถางชีวภาพ,ต้นธูปฤาษี,การเก็บเกี่ยวพืช,การเพิ่มมูลค่า

บทคัดย่อ

พืชในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์มีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี โดยช่วยในการแพร่ของออกซิเจนเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายมลสารปนเปื้อนในน้ำ และยังช่วยในการนำสารอาหารที่ย่อยสลายมาได้ไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นพืช การเก็บเกี่ยวพืชจึงเป็นการนำมลสารส่วนที่สะสมไว้ในพืชออกจากระบบได้ทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามการเก็บเกี่ยวพืชมักพบปัญหาในการจัดการซากพืช ธูปฤาษี (*Typha* spp.) เป็นพืชที่ได้รับความนิยมปลูกในระบบบึงประดิษฐ์เป็นอย่างมาก และจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวออกจากระบบค่อนข้างถี่เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของละอองดอก ผู้วิจัยจึงสนใจนำพืชที่เก็บเกี่ยวออกนี้มาใช้ประโยชน์โดยการนำมาผลิตกระถางชีวภาพ และยังช่วยลดการใช้ถุงเพาะชำพลาสติกได้อีกด้วย โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ซึ่งมีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ของต้นธูปฤาษี แกลบดำ และกาวแป้งเปียกในอัตราส่วน 3:1:9 , 4:1:9 และ 5:1:9 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาขึ้นรูปกระถางด้วยเครื่องอัดกระถาง และทดสอบค่าความแข็งแรง ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซับน้ำในชิ้นงานตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่ากระถางชีวภาพที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง ต้นธูปฤาษี แกลบดำ และกาวแป้งเปียก 2:1:9 โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยมีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 5.2 นิวตัน/ตารางเมตร ค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.3 กรัม/ตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 71มีค่าไนโตรเจนและค่าฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางอยู่ที่ร้อยละ 0.43 และ 0.85 ตามลำดับ

Title: APPLICATION OF CATTAIL PLANT HARVESTED FROM ARTIFICIAL POND SYSTEM TO PRODUCE BIOLOGICAL POTS.

Author: Pittaya Kwunkidsukda, Independent Study: M.Eng. (Environmental Engineering), University of Phayao, 2022

Advisor: Dr. Somanat Somprasert

Keywords: Constructed wetlands sytem. Biological pots.Cattai (Typha spp.). Harvested plants. Value-adding

ABSTRACT

Plants in the constructed wetland treatment system play an important role in wastewater treatment by helping the diffusion of oxygen for microorganism to degradation the pollutants in the water. It also helps in the use of biodegradable nutrients for plant growth. Harvesting the plants is one way to remove the pollutants that have accumulated in the plants from the system. However, crop harvesting often presents problems with litter management. Cattail (*Typha* spp.) is a very popular plant grown in a constructed wetland treatment system. This plant needs to be harvested from the system quite often to prevent the spread of the flower droplets. Therefore, the researcher is interested in using the harvested plants for use in the production of biological pots. This method also reduce the use of plastic nursery bags as well. The experimental set was divided into 3 experimental sets with the ratio by weight of the cattail plant, the black rice husk and the starch adhesive in the ratio which are 3:1:9 , 4:1:9 and 5:1:9 . Then take the shape of the pots with a pot compactor and test the strength, density and the water absorption value of the sample specimen. From the study, it was found that the bio-pots using the ratio between cattail plant, black rice husk and wet starch glue 3:1:9 by weight had the best overall properties. The strength is 5.2 $x10^3 N/m^2$ and the density is 0.3 g/cm^2. and the water absorption value is 71% The nitrogen and phosphorus values collected in the pot samples were 0.43 percent and 0.85 percent, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือต่าง ๆ ของหลาย ๆ ท่าน ที่ให้การสนับสนุนผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.โสมนัส สมประเสริฐ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้แก่ผู้วิจัย รวมทั้งได้สละเวลา ให้การสนับสนุนเงินทุน ให้คำแนะนำและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ เกี่ยวกับแนวทางการวิจัย การปรับปรุงงานวิจัยและคอยชี้แนะ ทำให้ผู้วิจัยได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ วางแผน รวมทั้งแผนงานต่าง ๆ และสรุปข้อมูลได้อย่างราบรื่น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก จนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงคณะครูแผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคลำปางที่ได้สนับสนุนเครื่องมือเครื่องจักรกลและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ทุก ๆ ท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา จนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

พิทยา ขวัญกิจศักดา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System, CW) 3

ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 3

องค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 4

พืชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 6

ชนิดของพืชที่นิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 7

การดูแลเก็บเกี่ยวพืชในระบบบึงประดิษฐ์ 10

กระถางชีวภาพ 11

ธาตุอาหารสำหรับพืช 12

หน้าที่ของธาตุอาหารพืช 12

ทบทวนวรรณกรรม 14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 19
การออกแบบเครื่องอัดกระถาง 19
ขั้นตอนการทำกระถางชีวภาพ 22
การทดสอบสมบัติทางกายภาพ 23
การทดสอบสมบัติทางเคมี 24
บทที่ 4 ผลการวิจัย 26
เครื่องอัดกระถางชีวภาพ 26
วิธีการใช้เครื่องอัดกระถางชีวภาพ 27
อัตราส่วนในการขึ้นรูปกระถาง 30
ผลผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากพืชในระบบบึงประดิษฐ์ 31
การทดสอบค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ 31
การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ 33
ค่าความหนาแน่นของกระถางชีวภาพ 34
การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญความหนาแน่นของกระถางชีวภาพ 35
การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพ 37
ผลวิจัยสมบัติทางเคมีของกระถางชีวภาพ 39
การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ 40
ค่าฟอสฟอรัส 41
การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ 42
ผลการวิเคราะห์การลงทุนในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อผลิตกระถางชีวภาพจากพืชที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์ 43

ต้นทุนในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก....43
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตกระถางชีวภาพ....44
บทที่ 5 บทสรุป....46
ข้อเสนอแนะ....46
บรรณานุกรม....47
ภาคผนวก....50
ภาคผนวก ก วิธีการการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ....51
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นทางสถิติ(ANOVA)....58
ภาคผนวก ค แบบเครื่องอัดกระถาง....67
ประวัติผู้วิจัย....70

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ส่วนผสมของกระถางชีวภาพ 22

ตาราง 2 ปริมาณส่วนประกอบของกระถางชีวภาพจำนวน 1 ใบ 30

ตาราง 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) 34

ตาราง 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) 36

ตาราง 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) 38

ตาราง 6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ 39

ตาราง 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ 41

ตาราง 8 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก 43

ตาราง 9 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตกระถางชีวภาพ 44

ตาราง 10 ประมาณการระยะเวลาในการคืนทุน 45

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน 5
ภาพ 2 ชนิดของพืชระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ 6
ภาพ 3 พืชในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชลอยน้ำ 6
ภาพ 4 พืชในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชโผล่เหนือน้ำ 7
ภาพ 5 ลักษณะพืชระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชใต้น้ำ 7
ภาพ 6 ต้นธูปฤาษี 8
ภาพ 7 ต้นผักตบชวา 10
ภาพ 8 การตัดพืชที่ครบกำหนดเวลาเพื่อบำรุงรักษาระบบบึงประดิษฐ์ 11
ภาพ 9 แสดงส่วนประกอบของการขึ้นรูปภาชนะ 15
ภาพ 10 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัยในการผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษี 19
ภาพ 11 แบบเครื่องอัดกระถาง 20
ภาพ 12 แบบเครื่องอัดกระถาง 3 มิติ 21
ภาพ 13 แบบแม่พิมพ์กระถาง 21
ภาพ 14 ขั้นตอนการผลิตกระถางชีวภาพ 22
ภาพ 15 ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรง 23
ภาพ 16 การทดสอบการดูดซับน้ำ 24
ภาพ 17 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดกระถางชีวภาพ 27
ภาพ 18 วิธีการเปิดเครื่องอัดกระถาง 28
ภาพ 19 วิธีการเติมวัสดุที่จะผลิตกระถางชีวภาพลงในแม่พิมพ์ 28
ภาพ 20 การใช้เครื่องอัดกระถางกดอัดกระถางชีวภาพ 29
ภาพ 21 วิธีการนำกระถางชีวภาพออกจากแม่พิมพ์กระถาง 29

ภาพ 22 การนำกระถางชีวภาพออกจากแบบพิมพ์เพื่อตากให้แห้ง.....30
ภาพ 23 กระถางชีวภาพแต่ละอัตราส่วน 31
ภาพ 24 ลักษณะรอยแตกของชิ้นทดสอบแต่ละอัตราส่วน 32
ภาพ 25 ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ 32
ภาพ 26 รายละเอียดค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความ.....33
ภาพ 27 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ 33
ภาพ 28 ความหนาแน่นของกระถางชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ 35
ภาพ 29 รายละเอียดค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความ.....35
ภาพ 30 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถาง 36
ภาพ 31 รายละเอียดค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความ.....37
ภาพ 32 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพ 38
ภาพ 33 รายละเอียดค่าเฉลี่ยค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ 40
ภาพ 34 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยไนโตรเจนที่สะสมในกระถาง 40
ภาพ 35 รายละเอียดค่าเฉลี่ยค่าฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ.....42
ภาพ 36 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวอย่าง 42

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้กระถางเพาะชำและถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ผลิตมาจากพลาสติกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีความสะดวก ง่ายต่อการใช้งานรวมถึงมีการผลิตและจำหน่ายอย่างแพร่หลาย ในการเพาะชำต้นกล้าพืชเพื่อการเพาะปลูกนั้นจะใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตในระยะเวลาหนึ่งแล้วจะต้องเปลี่ยนกระถางและถุงเพาะชำออกซึ่งในการเปลี่ยนกระถางและถุงเพาะในแต่ละครั้งมักจะทำเกิดความเสียหายฉีกขาดชำรุดและใช้ไม่ได้จึงต้องทิ้งเป็นขยะโดยขยะเหล่านี้จะย่อยสลายและทำลายได้ยาก ในการกำจัดขยะพลาสติกนี้จะต้องเข้าสู่กระบวนการคัดแยกขยะเผาทำลายและฝังกลบ จากกระบวนการกำจัดขยะเหล่านี้จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นต้น ก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและกักเก็บรังสีอินฟราเรดเอาไว้แทนที่จะสะท้อนออกนอกโลก แต่ถูกกักเก็บไว้ในชั้นบรรยายกาศ จึงส่งผลให้ผิวโลกร้อนขึ้นเรื่อย ๆ เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน ขยะที่เกิดขึ้นจากพลาสติกนั้นจะมีค่า Emission factor อยู่ที่ 2.3990 (นันทพร สุทธิประภา และสุนิดา ทองโท, 2563) การนำเอาวัสดุทางธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติมาทดแทนการใช้พลาสติกจึงเป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลาสติก ลดปริมาณขยะพลาสติกรวมถึงลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำที่ได้รับความนิยมเนื่องจากค่าก่อสร้างและดำเนินการต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงโดยเฉพาะกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากการเกษตร ระบบบึงประดิษฐ์มีการใช้ต้นพืชปลูกร่วมในระบบเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายมลสาร พืชที่ปลูกอยู่ในระบบบึงประดิษฐ์เหล่านี้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวพืชที่อยู่ในระบบเพื่อลดความหนาแน่นของพืชและเป็นการนำไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ที่สะสมในพืชออกจากระบบอีกด้วย หากนำพืชที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมาผลิตเป็นกระถางชีวภาพจะลดปัญหาในการจัดการซากพืชที่เก็บเกี่ยวออกและยังใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากพืชเหล่านี้มีธาตุอาหารสะสมอยู่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและวิธีการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ
2. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของกระถางชีวภาพทางกายและเคมี

ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ต้นธูปฤาษี (*Typha angustifolia Linn.*) ที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่รองรับน้ำเสียชุมชน

2. ลักษณะของกระถางเป็นทรงกระบอกภายในกระถางจะมีทรงคางหมู โดยที่ปากกระถางจะมีความกว้าง ไม่น้อยกว่า 80 มิลลิเมตร ก้นกระถางภายในมีความกว้างไม่น้อยกว่า 37 มิลลิเมตร และมีความสูงของกระถางไม่น้อยกว่า 70 มิลลิเมตร

3. สมบัติทางกายภาพของกระถางชีวภาพที่ศึกษา ได้แก่ความแข็งแรง ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซับน้ำ

4. สมบัติทางเคมีของกระถางชีวภาพที่ศึกษา ได้แก่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถบริหารจัดการเก็บเกี่ยวปริมาณของเสียที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

2. ได้กระถางชีวภาพที่มีสารอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System, CW)

การบำบัดน้ำเสียแบบระบบบึงประดิษฐ์อาศัยวิธีการเลียนแบบธรรมชาติโดยอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติผสมผสานกับการปลูกพืชซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งทำให้เป็นระบบที่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าการปนเปื้อนของของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำในการก่อสร้างระบบ การดำเนินระบบ และการดูแลบำรุงรักษา ดังนั้นการลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์จึงเป็นการประหยัดเหมาะกับสภาพเศรษฐกิจ การใช้บึงประดิษฐ์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือชุมชน ซึ่งนอกจากจะลดการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้วยังสามารถน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกและเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพอีกด้วย

ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

1. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลเหนือดิน Free Water Surface (FWS) เป็นระบบบำบัดที่ใช้บ่อดินเป็นช่องทางไหลของน้ำ มีการบดอัดดิน เพื่อปรับระดับให้น้ำไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นพื้นด้านล่างบ่อปูด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำเสีย น้ำเสียในระบบถูกควบคุมให้ไหลในความเร็วต่ำและไหลบนผิวหน้าดินจากบริเวณน้ำเข้าถึงบริเวณน้ำออก ระบบนี้สามารถช่วยกำจัดเชื้อโรคได้ จากแสงแดดที่ส่องถึงผิวน้ำโดยตรง แต่จะมีการสูญเสียน้ำค่อนข้างมาก

2. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน Subsurface Flow System (SFS) เป็นระบบประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางเป็นองค์ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินหรือกรวดและใช้ชั้นดินปนทรายในการปลูกพืชน้ำ ตัวกลางทำหน้าที่ให้รากพืชยึดเกาะและทำให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ตัวกลางยังเป็นวัสดุให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และช่วยในการกรองสารแขวนลอย ซึ่งระบบนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

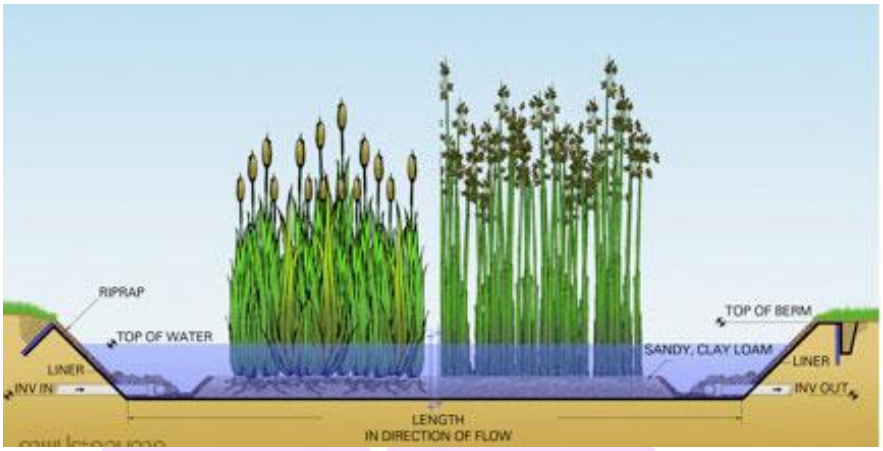
2.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow System) ระบบนี้น้ำเสียจะถูกปล่อยจากท่ออย่างช้า ๆ ให้ไหลผ่านชั้นตะกอนตัวกลางในแนวนอน จนกระทั่งถึงทางน้ำออกจากระบบ ในระหว่างการไหลน้ำเสียจะสัมผัสทั้งบริเวณที่มี

ออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ซึ่งบริเวณที่มีออกซิเจนเป็นบริเวณที่มีรากพืช เกิดปฏิกิริยา Nitrification และ Denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการในการย่อยสลาย NH_3 และ PO_4^{2-} เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นกรวด ตะกอนแขวนลอยและตะกอนจมตัว ถูกกำจัดโดยวิธีทางกายภาพโดยการปล่อยให้ตกตะกอนและวิธีการกรอง ผ่านชั้น กรวด และหิน สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ จะถูกกำจัดโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนละลายที่ปล่อยออกบริเวณรากพืชค่อนข้างต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดในการกำจัดแอมโมเนีย แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดและรองรับปริมาณสารอินทรีย์และไนเตรทได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา Nitrification และ Denitrification

2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินตามแนวดิ่ง (Vertical Subsurface flow System)ระบบนี้ประกอบด้วย ชั้นกรวด และปูทับด้วยทราย ซึ่งน้ำเสียจะถูกปล่อยให้ค่อย ๆ ไหลในแนวดิ่งลงสู่พื้นของระบบบึงประดิษฐ์ และที่ก้นระบบบึงประดิษฐ์จะเป็นที่กักเก็บน้ำ การปล่อยให้น้ำไหลตามแนวดิ่งเป็นการเติมออกซิเจนเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ในช่วงน้ำแห้ง อากาศจะเข้าไปแทรกในรูพรุนของดิน และเมื่อทำการสูบน้ำเข้า อากาศจะถูกผลักออกจากรูพรุนของตัวกลาง ทำให้ในน้ำเสียที่ถูกปล่อยเข้าระบบ จะได้รับปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบอีกทางหนึ่ง ระบบนี้เหมาะสมในการใช้ลดค่าความสกปรกของแอมโมเนียในน้ำเสียได้ดี ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูง ๆ เช่นสิ่งปฏิกูลได้โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มิลกรัม./ลิตร

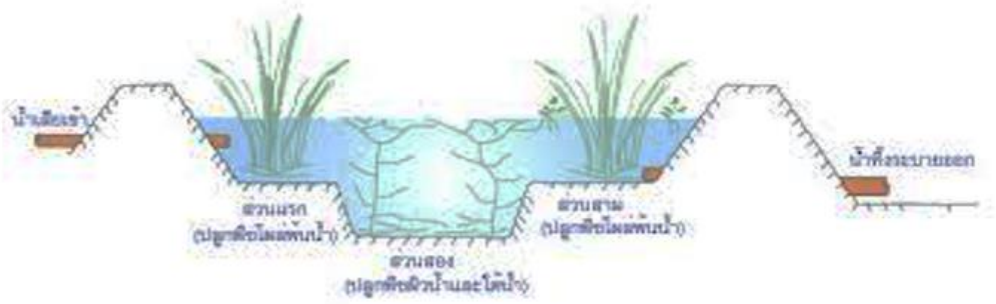
องค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

จุลินทรีย์ (microbial organisms) จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ แบคทีเรียชนิดแขวนลอย คือ แบคทีเรียเจริญเติบโตและอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ และแบคทีเรียชนิดเกาะติด คือ แบคทีเรียเจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก,ลำ ต้น) ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินนอกจากนี้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอนบริเวณด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์ด้วยดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน

ตัวกลาง (Media) หรือ ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ ได้แก่ หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป และมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบ ช่องว่างในชั้นกรองเป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ ทำให้เกิดกลไกการกรองมลสาร นอกจากนี้ยังเป็นที่ยึดเกาะของพืชและและเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ซึ่งตัวกลางที่ดีพืชจะสามารถยึดเกาะได้ดีและเป็นวัสดุที่ไม่ย่อยสลายง่าย พืชทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืช (Root–zone) เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทั้งยังช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง ซึ่งถือเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae) ในน้ำทางอ้อม เนื่องจากพืชสามารถนำสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย จึงไม่มีหน้าที่หลักในการย่อยสลายและดูดซึมสารอินทรีย์ มลสารที่พืชจะนำไปใช้ส่วนใหญ่ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ นอกจากนี้ยังมีการนำสารอาหารดูดซึมไว้ยังส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยกระบวนการ Phytoaccumulation จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยเห็นว่าสารอาหารที่พืชดูดซึมไว้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการนำซากพืชในระบบมาผลิตเป็นกระถางชีวภาพที่มีธาตุอาหารดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 ชนิดของพืชระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

พืชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชลอยน้ำ (floating plant), พืชโผล่เหนือน้ำ (emergent plant) และ พืชใต้น้ำ (submerged plant)

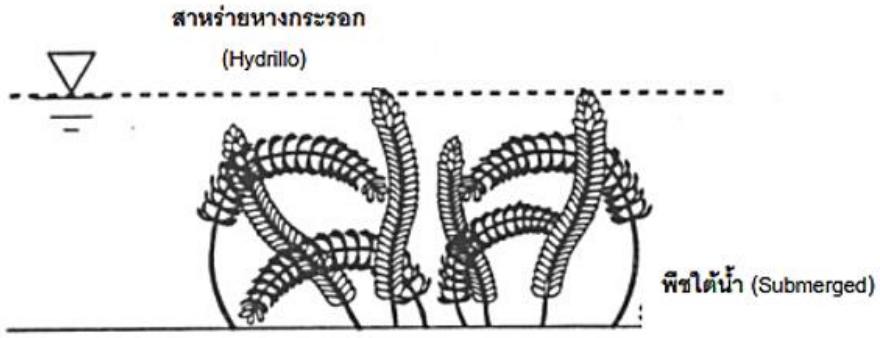
1. พืชลอยน้ำ (floating plant) เป็นไม้ที่สามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในน้ำและลอยอยู่ได้ หรือมีบางส่วนของต้นโผล่ขึ้นเหนือน้ำ ทั้งในน้ำตื้น หรือลึกโดยลำต้นมีลักษณะโป่งพองภายในกลวง ใบแผ่แบน หรือมีรากที่เปลี่ยนเป็นนวมรอบ ๆ ต้น และมีรากฝอยละเอียดอยู่ใต้น้ำ ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ได้แก่ จอก แหน ผักตบชวา ดังแสดงในภาพ 3

ภาพ 3 พืชในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชลอยน้ำ

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (emergent plant) เป็นพืชน้ำที่มีรากเจริญอยู่ในดินใต้น้ำ ใบและดอกชูขึ้นเหนือน้ำ ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่ ต้นกกบางชนิด ต้นธูปฤาษี พืชชนิดนี้เป็นพืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปรับตัว และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดีและสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่น้ำท่วมดังแสดงในภาพ 4

ภาพ 4 พืชในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชโผล่เหนือน้ำ

3. พืชใต้น้ำ (submerged plant) เป็นพืชที่มีทุกส่วนของต้นอยู่ใต้น้ำ มีรากยึดเกาะกับดิน หรืออินทรียวัตถุใต้น้ำหรือลอยอยู่ในน้ำเพื่อให้ต้นทรงตัวอยู่ได้ในระดับน้ำตั้งแต่ 20 ซม. จนลึกถึง 2 เมตร (ภาพ5) ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด ดีปลีน้ำ สันตะวาใบพาย เป็นต้น ถ้าระดับน้ำลึกมาก ๆ พืชประเภทนี้จะได้รับแสงน้อยและอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้



ภาพ 5 ลักษณะพืชระบบบำบัดน้ำเสียประเภทพืชใต้น้ำ

ชนิดของพืชที่นิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

1. ธูปฤาษีหรือกกช้าง (*Typha angustifolia Linn.* หรือ *Cattail*) เป็นพืชที่ขึ้นตามแหล่งน้ำมีความสูงประมาณ 1.5–3.0 เมตร ดอกออกเป็นช่อแบบสไปด (spike) รูปทรงกระบอกหรือช่อดอกแบบ spadix อยู่ปลายกานช่อแต่ไม่มี spathe รองรับ ก้านดอกยาวเรียวแข็งและมักชูช่อดอกสูงเกือบเท่าใบ ส่วนบนดอกตัวผู้ยาว 15–30 เซนติเมตร ส่วนล่างเป็นดอกตัวเมียมี 1 ตอนยาว

7–28 เซนติเมตร แต่อาจมี 2 ตอนได้เมื่อเจริญเต็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2–2.5 เซนติเมตร ดังภาพ 6 ธูปฤาษีเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการกำจัดและบำบัดน้ำเสีย เช่นสามารถดูดซับโลหะหนักจำพวก ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เยื่อ (pulp) ของต้นกกช้างนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fiber) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์, 2557) เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ สามารถนำมาใช้เป็นพืชคลุมดิน เพื่อลดการพังทลายของหน้าดิน เนื่องจากมีระบบรากที่ดี กกช้างมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ย่อย จะให้แก๊สมีเทน (methane) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ผลของกกช้างมี long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ pentacosane 1–triacontanol สารพวก phytosterol 2 ชนิด คือ B – sitosterol และ B–sitosteryl–3–0–B–D–glucopyranoside กกช้างสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กก. ต่อปี (สุรีย์รัตน์ อู๋สูงเนิน และคณะ, 2559)

ภาพ 6 ต้นธูปฤาษี

2. ผักตบชวา มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Eichlornia crassipes Solms ชื่อสามัญว่า Water Hyacinth อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae ดังภาพภาพ7 เป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำได้โดยไม่ต้องมีที่ยึดเกาะ สามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วมาก แผ่นใบคล้ายรูปหัวใจเป็นมันหนา ก้าน

ใบพองออกตรงช่องกลาง ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4–10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 C^{o} และในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7) (ผุสดี เอี่ยมสวัสดิ์ และคณะ 2554) ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นเปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุน ซึ่งกรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้า ๆ จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้น นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมาก ช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่ราก ช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่น ๆ คือ ประมาณร้อยละ 95 ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงประมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 77 ตามลำดับ (อภิโชติ อุฬารตินนท์, 2561) แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง จะส่งผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้น จึงควรมีการดูแลระบบเก็บต้นที่เจริญเต็มที่ขึ้นจากน้ำอย่างสม่ำเสมอ ไม่เช่นนั้น เมื่อผักตบชวาตาย จะเน่าอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ผักตบชวา ขึ้นได้ในทุกสภาพน้ำ และสามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยตรง แต่ถ้าน้ำเสียมีสารมลพิษอยู่ปริมาณสูงหรือน้ำเสียมีปริมาณมาก การผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจะให้ผลช้า และน้ำอาจเน่าเสียได้ จึงควรที่จะใช้ผักตบชวาร่วมกับการ จึงควรที่จะใช้ผักตบชวาร่วมกับการบำบัดน้ำเสียระบบอื่นด้วย

ภาพ 7 ต้นผักตบชวา

การดูแลเก็บเกี่ยวพืชในระบบบึงประดิษฐ์

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ มลสารหลายชนิดในน้ำเสียจะกลายเป็นสารอาหารสำคัญของพืช นอกจากนี้การย่อยสลายมลสารโดยจุลินทรีย์จะได้ผลผลิตซึ่งอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ซึ่งเป็นกระบวนการ plant-assisted bioremediation ลักษณะหนึ่งสารอาหารเหล่านี้จะถูกพืชนำไปใช้ในการสร้างและซ่อมแซมเซลล์ ทำให้สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช ถ้าไม่มีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบมลสารเหล่านี้จะกลับคืนสู่น้ำอีกครั้งเมื่อพืชตายลงและมีการย่อยสลายของซากพืช การดูแลให้ประสิทธิภาพของระบบดีอยู่เสมอจึงจำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวพืช (plant harvesting) เป็นระยะ ๆ อย่างสม่ำเสมอ สารอาหารที่สะสมอยู่ในพืชได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสซึ่งต้องทำการเก็บเกี่ยวประมาณ 1.4 กก./ตร.ม. (Zheng, et al., 2015) จากการศึกษาของ (เรขา ชนิตรบวร และคณะ, 2561) ได้ศึกษาการสะสมปริมาณธาตุอาหารของพืชบางชนิดในต้นแสมทะเลบริเวณพื้นที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งและพื้นที่ได้รับน้ำทิ้งบริเวณพื้นที่รองรับน้ำเสียชุมชนโครงการแหลมผักเบี้ยฯ บริเวณพื้นที่ได้รับน้ำทิ้งมีการสะสมไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (K) และโพแทสเซียม (P) มากกว่าพื้นที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งและการศึกษาการเจริญเติบโตของของต้นแสมทะเลระหว่างพื้นที่ได้รับน้ำทิ้งกับพื้นที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งมีความโตลำต้นเฉลี่ย 5.99 และ 7.15 เซนติเมตร และมีความสูงเฉลี่ย 5.59 และ 6.63 เมตรตามลำดับจะเห็นได้ว่าไม้แสมทะเลในพื้นที่ที่รับน้ำทิ้งมีการเจริญเติบโตมากกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งเนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารที่สูงกว่าจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการแหลมผักเบี้ย

การเก็บเกี่ยวพืชจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ ชนิดพืชและปริมาณของเสียที่ประปนมากับน้ำเสีย การจัดการเก็บ

เกี่ยวพืชในระบบบึงประดิษฐ์นั้นเพื่อกำจัดของเสียที่พืชดูดซึมเข้าไปในพืชนั้นไม่เห็นผลชัดเท่าใด แต่อาจจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนของพืชดีขึ้นต้นที่แก่หรือตายก็จะนำออกจากระบบเพื่อไม่เป็นภาระต่อระบบและการเก็บเกี่ยวพืชออกจะลดความแออัดของพืชซึ่งจะเป็นการควบคุมสภาพของบึงประดิษฐ์ให้อยู่ในสภาพที่ไม่รก โดยทั่วไประยะเวลาในการเก็บเกี่ยวพืชในระบบบึงประดิษฐ์จะสามารถเก็บเกี่ยวพืชได้ตั้งแต่พืชอายุ 90 วันขึ้นไปจนถึง 1 ปี หรือเมื่อพืชในระบบมีความหนาแน่นมากก็จะดำเนินการถอนพืชออกจากระบบเพื่อลดความหนาแน่นทำให้เกิดช่วงว่างในระบบทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพดีขึ้นดังแสดงในภาพ 8

ภาพ 8 การตัดพืชที่ครบกำหนดเวลาเพื่อบำรุงรักษาระบบบึงประดิษฐ์

กระถางชีวภาพ

กระถางชีวภาพ คือ กระถางที่ทำจากวัสดุที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และเพิ่มแร่ธาตุให้กับพืชที่ปลูก โดยเริ่มแรกทำการเตรียมส่วนผสมต่าง ๆ เช่น เตรียมพืชที่และตัวกลางที่จะใช้ ซึ่งตัวกลางที่จะใช้ต้องเป็นตัวกลางที่มีความสามารถในการประสานให้กระถางมีลักษณะเป็นรูปทรงอาทิเช่น แป้งมันสำปะหลังแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยจะใช้เครื่องอัดกระถางแบบอัตโนมัติหรือแบบให้แรงคนก็ตาม จากนั้นนำไปตากทิ้งไว้จนแห้งสนิทหรือเข้าเครื่องอบ ซึ่งคุณสมบัติของกระถางที่ได้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพกระถางชีวภาพที่ผลิตได้ต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการฉีกขาด เพราะกระถางต้องรับน้ำหนักจากดินและต้นไม้ที่ปลูกกระถางมีความสามารถในการย่อยสลายในเวลาสมควร เพราะหากนำกระถางไปปลูกลงดินกระถางต้องมีความสามารถในการย่อยสลายเพื่อไม่ให้เกิดมลพิษต่อดิน

2. สมบัติทางเคมีกระถางชีวภาพที่ผลิตได้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อเป็นอาหารเสริม และเพิ่มแร่ธาตุให้กับพืชที่ปลูกเพื่อให้พืชที่ปลูกมีสามารถนำสารอาหารที่มีในการะถางชีวภาพมาใช้และมีการเจริญเติบโตที่ดี

ธาตุอาหารสำหรับพืช

ธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโตออกดอก ออกผล ซึ่งมีอยู่ 16 ธาตุนั้น มี 3 ธาตุ ที่พืชได้มาจากอากาศและน้ำ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ส่วนอีก 13 ธาตุนั้น พืชต้องดูดดึงขึ้นมาจากดิน ซึ่งธาตุเหล่านี้ได้มาจากการผุพงสลายตัวของส่วนที่เป็นอนินทรียวัตถุและอินทรียวัตถุหรือฮิวมัสในดิน สามารถแบ่งตามปริมาณที่พืชต้องการใช้ได้ เป็น 2 กลุ่มคือ มหธาตุ และจุลธาตุ

1. มหธาตุ (macronutrients) มหธาตุหรือธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมากที่ได้มาจากดินมีอยู่ 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

1.1 ธาตุอาหารหลัก หรือ ธาตุปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจากสามธาตุนี้พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก แต่มักจะได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอกับความต้องการ ต้องช่วยเหลือโดยใส่ปุ๋ยอยู่เสมอ

1.2 ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า และไม่ค่อยมีปัญหาขาดแคลนในดินทั่ว ๆ ไปเหมือนสามธาตุแรก

2. จุลธาตุ หรือ ธาตุอาหารเสริม (micronutrients) จุลธาตุหรือธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) ไม่ว่าจะเป็นธาตุอาหารในกลุ่มมหธาตุหรือจุลธาตุ ต่างก็มีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยไปกว่ากัน เพราะความจริงแล้วธาตุทุกธาตุมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่า ๆ กัน จะต่างกันแต่เพียงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น ดังนั้นพืชจึงขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้ หากพืชขาดธาตุอาหารแม้แต่เพียงธาตุเดียวพืชจะหยุดการเจริญเติบโต แคระแกร็น ไม่ให้ผลผลิตและตายในที่สุด

หน้าที่ของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันไป และถ้าพืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ ก็จะแสดงอาการที่แตกต่างกันตามแต่ชนิด

ของธาตุอาหารที่ขาดแคลนนั้นดังต่อไปนี้

1. ไนโตรเจน มีหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ช่วยให้พืชมีสีเขียว เร่งการเจริญเติบโตทางใบ หากพืชขาดธาตุนี้จะแสดงอาการใบเหลือง ใบมีขนาดเล็กลง ลำต้นแคระแกร็นและให้ผลผลิตต่ำ

2. ฟอสฟอรัส มีหน้าที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ระบบรากจะไม่เจริญเติบโต ใบแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและหลุดร่วง ลำต้นแกร็นไม่ผลิดอกออกผล

3. โพแทสเซียม เป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ช่วยให้ผลเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลงบางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะไม่แข็งแรง ลำต้นอ่อนแอ ผลผลิตไม่เติบโต มีคุณภาพต่ำ สีไม่สวย รสชาติไม่ดี

4. แคลเซียม เป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด พืชขาดธาตุนี้ใบที่เจริญใหม่จะหงิกงอ ตายอดไม่เจริญ อาจมีจุดดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตกและมีคุณภาพไม่ดี

5. แมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรดด่างในเซลล์พอเหมาะและช่วยในการงอกของเมล็ด ถ้าขาดธาตุนี้ใบแก่จะเหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบจะร่วงหล่นเร็ว

6. กำมะถัน เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน และวิตามิน ถ้าขาดธาตุนี้ทั้งใบบนและใบล่างจะมีสีเหลืองซีด และต้นอ่อนแอ

7. โบรอน ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร มีบทบาทสำคัญในการติดผลและการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนและการแบ่งเซลล์ ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างก็จะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา โค้งและเปราะ

8. ทองแดง ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะชะงักการเจริญเติบโตและกลายเป็นสีดำ ใบอ่อนเหลือง และพืชทั้งต้นจะชะงักการเจริญเติบโต

9. คลอรีน มีบทบาทบางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะเหี่ยวง่าย ใบสีซีด และบางส่วนแห้งตาย

10. เหล็ก ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงและหายใจ ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีขาวซีดในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด

11. แมงกานีส ช่วยในการสังเคราะห์แสงและการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองในขณะที่เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวแล้วร่วงหล่น

12. โมลิบดินัม ช่วยให้พืชใช้ไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์และเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน ใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลือง ๆ ตามแผ่นใบ

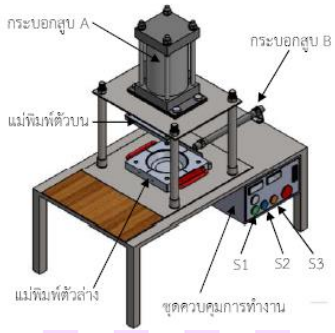
13. สังกะสี ช่วยในการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน คลอโรฟิลล์ และแป้ง ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีดและปรากฏสีขาว ๆ ประปรายตามแผ่นใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

ทบทวนวรรณกรรม

Zheng, et al., (2015) ได้ทำการประเมินผลกระทบของการเก็บเกี่ยวต่อปีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นอ้อเล็ก *Phragmites australis (Cav)* ในภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยได้ ทำการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโต เช่น ความหนาแน่นของมวลชีวภาพและความสูง โดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบบึงประดิษฐ์ขนาดต้นแบบที่มีการไหลเหนือพื้นผิว โดย CW–1 จะไม่ทำการเก็บเกี่ยว ศึกษาเปรียบเทียบกับ CW–2 ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อสิ้นสุดฤดูการเจริญเติบโต แต่ละ CW มีพื้นที่ 400 ตารางเมตร รองรับน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรมได้ 34 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่า CW–2 ที่ทำการเก็บเกี่ยวพืชมีความหนาแน่นของกอที่มากขึ้น (175 กิโลกรัม/ตารางเมตร) ปริมาณชีวมวลเพิ่มขึ้น (1.4 กิโลกรัม/ตารางเมตร) และความสูงของพืชสูงสุด (3.4 เมตร) มากกว่า CW 1 ที่ไม่ได้ทำการเก็บเกี่ยว การกำจัดสารอาหารโดยรวมของ CW–2 สูงขึ้นกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ CW–1 (40.6% ไนโตรเจนทั้งหมด และ 29.1% ฟอสฟอรัสทั้งหมด) จากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อมูลในการดูดซับสารอินทรีย์ในพืช ดังนั้น ทางผู้วิจัยถึงได้ทราบข้อมูลว่าพืชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์นั้นมีการดูดซับสารอาหารมาใช้

ธีรภัทร ลิ่มบุญเรือง และนิตต์อลิน พันธุ์อภัย (2560) ได้ศึกษาารออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา ดังภาพ 9 มีกลไกการทำงานด้วยระบบนิวเมติกส์ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้ามีกระบอกสูบ 2 ตัว ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ด้านบนลงมาประกบแม่พิมพ์ด้านล่าง (กระบอกสูบ A) และใช้เลื่อนแม่พิมพ์ด้านล่างเข้า–ออก (กระบอกสูบ B) การเตรียมส่วนผสมวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูปภาชนะ แบ่งอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับตัวประสานโดยน้ำหนักเป็น 3 ตัวอย่างคือ 25:75, 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ สามารถทำงานได้

ตามการออกแบบได้ดี ภาชนะที่อัดได้เป็นชามปากกว้าง ขนาดปากชาม : ก้นชาม : สูง:หนา เป็น 140:90:25:2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.63 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, 0.94 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.15 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การซึมน้ำของตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับร้อยละ 83.33, 55.55 และ 36.36 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าภาชนะที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับตัวประสาน คือ 50:50 โดยน้ำหนักและเหมาะสมสำหรับใส่อาหารแห้ง จากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดและการทดสอบเกี่ยวกับเครื่องอัดกระถาง ดังนั้นผู้วิจัยได้นำองค์ความรู้และแนวคิดเกี่ยวกับการผลิตและออกแบบเครื่องอัดกระถางมาประยุกต์ใช้เพื่อผลิตเป็นเครื่องอัดกระถางแบบพกพาเพื่อใช้ในการอัดกระถางชีวภาพที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์



ภาพ 9 แสดงส่วนประกอบของการขึ้นรูปภาชนะ

กิตติชัย โสพันนา และคณะ (2558) ศึกษาเรื่องการประดิษฐ์และสมบัติของกระถางชีวภาพ โดยวัตถุที่นำศึกษาได้แก่ ขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวา ซึ่งเป็นวัสดุในท้องถิ่นที่นำมาใช้ในการทำกระถางเพาะชำชีวภาพ ในอัตราส่วนของวัสดุต่อกาวแป้งเปียกเป็น 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก จากนั้นทดสอบ ค่าความแข็งแรง ค่าการดูดซับน้ำ นอกจากนั้นยังทดสอบหาค่า ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อีกด้วย จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนของวัสดุต่อกาวแป้งเปียก 1:4 มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด โดยที่ความ แข็งแรงของผักตบชวา ขุยมะพร้าว และฟางข้าว มีค่าเป็น 16.39 และ 3.56 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าการ ดูดซับน้ำพบว่าที่อัตราส่วน 1:2 มีค่ามากที่สุด โดยที่ค่าการดูดซับน้ำของขุยมะพร้าว ผักตบชวา และฟางข้าว มีค่าเป็นร้อยละ 75.60 72.33 และ 66.51 ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณไนโตรเจนที่มากที่สุดของขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวา คืออัตราส่วน

1:4, 1:4 และ 1:2 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.22 0.21 และ 0.21 ตามลำดับ อัตราส่วนที่มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดของขุยมะพร้าว ฟางข้าว และ ผักตบชวา คืออัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:2 โดยมีค่าเท่ากับ 38.62 117.13 และ 103.74 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนที่มีค่า ปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดของขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวา คืออัตราส่วน 1:2 1:4 และ 1:4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.56 6.46 และ 6.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ อาหารแห้ง จากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ในการผลิตกระถางชีวภาพ ผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้ดังกล่าวมาใช้ในการหาอัตราส่วนในการผลิตกระถางชีวภาพที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ภคินี ติปัญโญ และสรชัช มีโคม (2558) ได้ทำการทดสอบอัดกระถางผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังกับน้ำด้วยอัตราส่วน 200 : 75 กรัม และกาวแป้งเปียก 275 กรัม ผักตบชวาแห้ง 225 กรัม เคลือบผิวกระถางด้วยน้ำยางพารา เชลล์ฟลิ้นท์ โค้ท และสารเคลือบกันซึมบอสนี่ซิลิโคน วอเตอร์รีเพลเล้นท์ ชนิดละ 3 กระถาง นำทรายละเอียดบรรจุใน กระถางจนเต็ม ให้น้ำวันละ 1.5 ลิตร ในระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่า กระถางที่สามารถทนน้ำ ได้ดีที่สุดคือกระถางที่เคลือบด้วย เชลล์ฟลิ้นท์ โค้ท ยางพาราและบอสนี่ซิลิโคน วอเตอร์รีเพลเล้นท์ ตามลำดับจากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่าการทนน้ำ ผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้เกี่ยวกับการหาค่าความทนน้ำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับงานวิจัย

มลสุดา ลิวไธสง (2556) ได้ทำการศึกษาการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วยจากงานวิจัยนั้นมุ่งเน้นคิดคนเกี่ยวกับการผลิตภาชนะจากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทน ใหม่ได้โดยเป็นงานวิจัยเชิงทดลองซึ่งจะเลือกใช้กาบกล้วยที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่นเป็น วัตถุดิบหลักในการผลิตเส้นใยและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้น ใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67:33.33, 75:25 และ 100:0 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ความยาวของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสามขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบการต้านแรงดัดโค้ง การทดสอบการต้านแรงดึง การทดสอบการต้านแรงกระแทก การทดสอบหาค่าความหนาแน่น การทดสอบหาค่าการซึมน้ำ การทดสอบความร้อนและการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าปริมาณของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือส่งผลให้ค่าสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึงมีค่าลดลงในขณะที่สมบัติการต้านแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเมื่อปริมาณเส้นใยมีค่าร้อยละ 75 หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง อีกทั้งการเพิ่มปริมาณเส้นใยจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าการซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่วนอิทธิพลของความยาว

ของเส้นใยนั้น พบว่าเมื่อเส้นใยมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้สมบัติการต้านแรงดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึง สมบัติการต้านแรงกระแทกและค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการซึมน้ำของชิ้นงานจะมีค่าลดลง โดยชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพดีที่สุด คือ กรณีที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67:33.33 โดยน้ำหนัก และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาพบว่าชิ้นงานที่มีการผสมตัวประสานจะมีผิวหน้าเรียบ แต่จะมีรูพรุนเกิดขึ้นภายใน ชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน จากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติกระถางชีวภาพ ผู้วิจัยจึงนำความรู้ทางด้านนี้มาปรับใช้กับงานของตน

Castronuovo, et al., (2015) ได้กล่าวถึง กระถางชีวภาพ 3 ประเภท กระถางโพลีเอสเทอร์ที่ย่อยสลายได้, พืชธรรมดา หรือเสริมเส้นใยพืช และกระถางแบบดั้งเดิม (polypropylene, PP) โดยนำต้นคริสมาสต์ 2 ชนิด มาทดสอบ คือ (*E. pulcherrima cv Premium red*). ทำการทดสอบในเรือนกระจก โดยศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางการเกษตรรวมไปถึง กลไก ของกระถางที่ใช้ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ต้นคริสมาสต์ที่ปลูกในกระถางที่มีเส้นใยพืชมีคุณภาพที่ดี เมื่อเทียบกับดัชนีของปริมาณและคุณภาพทางการเพาะปลูกในบางตัว ซึ่งกระถางชีวภาพที่ทำจากโพลีเอสเทอร์ล้วน จะมีความสามารถในเรื่องการต้านเชิงกลที่ดี รวมทั้งยังสามารถคงสภาพสีได้เมื่อเวลาผ่านไป จากการทดลองยังพบอีกว่ากระถางชีวภาพที่ทำจากโพลีเอสเทอร์ซึ่งมีส่วนผสมของเส้นใยพืชร้อยละ 20 เหมาะสำหรับการปลูกต้นคริสมาสต์เนื่องจากอัตราความยืดหยุ่นมีสูงถึงร้อยละ 81.3

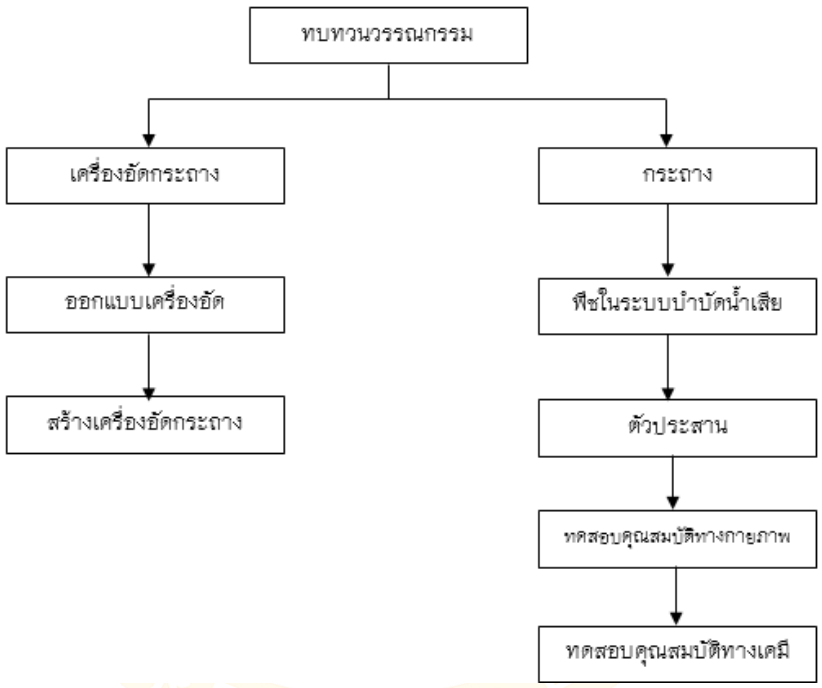
Phokha, Duangaupama and Ruangsan (2011) พบว่ากระถางที่ผลิตจากใบอ้อยที่เหมาะสมของส่วนประกอบของกระถางในรูปแบบกระถางสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ความกว้างด้านล่างและ 150 มิลลิเมตร ความสูง 100 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 1.36 กิโลกรัม กลุ่มตัวอย่างที่ไม่สามารถจะแห้งเป็นเวลา 1 วันเพราะมูลวัวที่ถูกผสมกับใบอ้อยที่จะเป็นปุ๋ยดูดซึมน้ำของกาวมันสำปะหลัง พบการเจริญเติบโตของราได้หลังจากการใช้งานเป็นเวลานาน ในอัตราส่วน อ้อยใบ:มูลโค:กาวมันสำปะหลัง:ซีเมนต์ (1:1:4:1) พบว่ากระถางอัตราส่วนที่แห้ง 1 วัน ก้นกระถางไม่ได้แห้งควรต้องมีการอบแห้งเป็นเวลา 2 วัน ของกระถาง การทดลองแรงอัดโดยการกดจากด้านบนของกระถางจนกระถางเสียรูปแสดงค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ 27.73 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร กระถาง โดยในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แนวทางในการผลิตกระถางชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้จากบทความข้างต้น เพื่อให้กระถางมีความแข็งแรงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อพืชที่เพาะปลูก

Schettini, et al., (2013) ได้ทำการทดสอบการย่อยสลายของกระถางชีวภาพ เปลือกมะเขือเทศ เมล็ด และเส้นใยป่านซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร กระดาษ และสิ่งทอ โดยใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นตัวประสาน กระถางสำหรับการเพาะปลูก เพื่อลดปริมาณขยะดังกล่าวและเพื่อลดการเกิดของเสียจากกระถางพลาสติกที่เกิดขึ้นจากการเพาะต้นไม้ในการเกษตร ได้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าการมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบโครงสร้างกระถางแสดงให้เห็นว่ามีโครงสร้างที่ดี กระถางได้ถูกนำมาทดสอบใช้งานจริง ในระหว่างปี ค.ศ. 2009 ที่ฟาร์มทดลองของมหาวิทยาลัยในบารี อิตาลี พบว่ากระถางมีการย่อยสลายได้และช่วยปรับปรุงพัฒนารากพืชและพืชที่ปลูกนอกจากนี้ยังสามารถช่วยหลีกเลี่ยงการฉีกขาดของรากขณะเคลื่อนย้ายในการปลูก และใช้เวลาย่อยสลายเพียง 2 สัปดาห์หลังจากปลูกลงพื้นที่กระถาง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทำกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์เพื่อผลิตกระถางชีวภาพมีขั้นตอนการดำเนินการตั้งแต่การออกแบบ การสร้างเครื่องอัดกระถาง การเตรียมวัสดุเพื่อผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียรวมถึงการศึกษาคุณสมบัติของกระถางทางกายภาพในด้านของความแข็งแรง ความหนาแน่น ค่าการดูดซับน้ำและคุณสมบัติทางเคมีอันได้แก่ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดังแสดงในภาพ 10

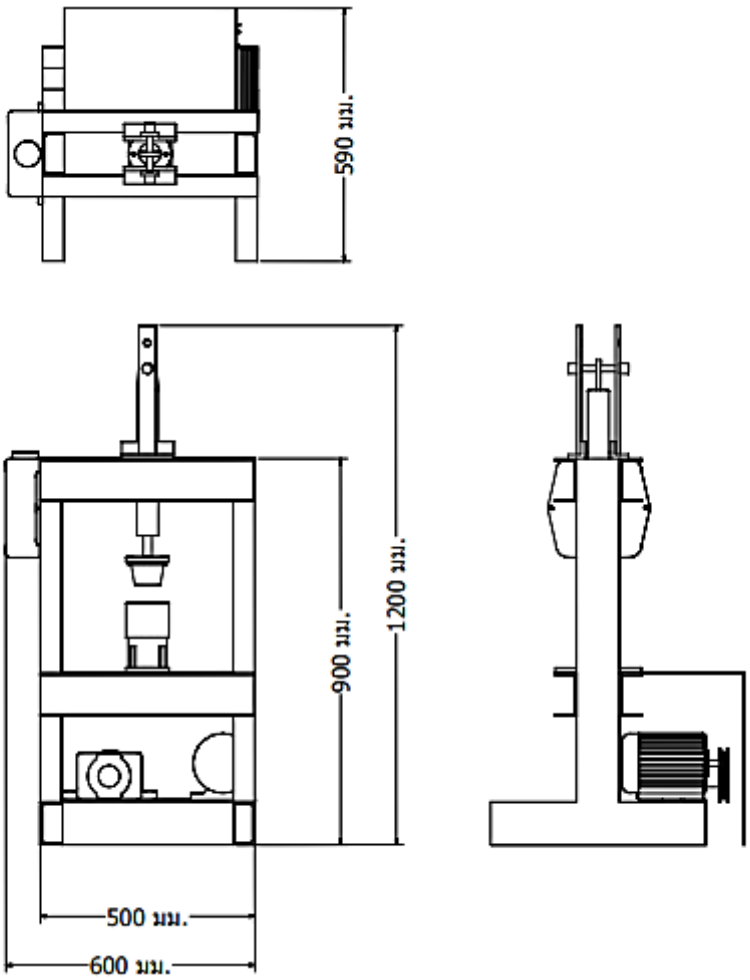


ภาพ 10 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัยในการผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษี

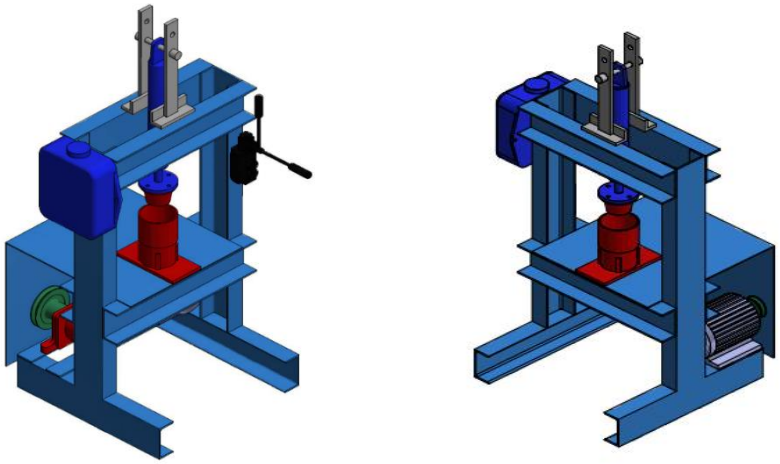
การออกแบบเครื่องอัดกระถาง

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดกระถาง สมมติฐานของเครื่องอัดใช้หลักการการกดอัดจากด้านบนลงด้านล่าง ซึ่งใช้แรงกดของไฮดรอลิกในการกดอัด และเลือกใช้เหล็กรางสี่เหลี่ยมเป็นโครงสร้างของเครื่องอัด เชื่อมยึดประกอบเพื่อความคงทนในการใช้งาน โครงสร้าง

เครื่องอัดกระถางทำจากเหล็กรางสี่เหลี่ยม ขนาด 3 นิ้ว โดยโครงสร้างของเครื่องมีขนาดความกว้างที่ 500 มิลลิเมตร ความยาวที่ 600 มิลลิเมตรและความสูงที่ 1200 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพ 11

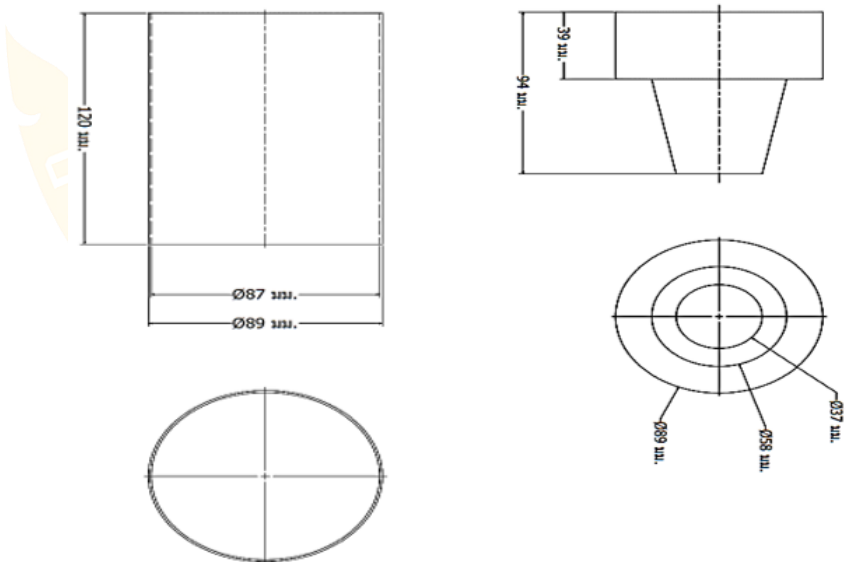


ภาพ 11 แบบเครื่องอัดกระถาง



ภาพ 12 แบบเครื่องอัดกระถาง 3 มิติ

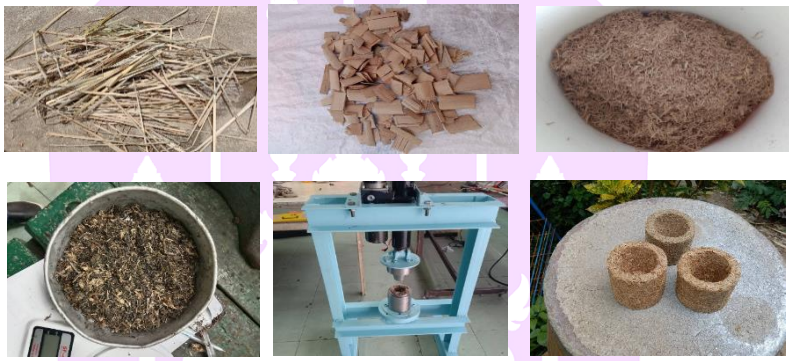
แม่พิมพ์กระถาง นำเหล็กเพลากลมขนาด 4 นิ้ว ความยาว 94 มิลลิเมตร นำมาผลิตเป็นแม่พิมพ์ให้ได้ขนาดด้านบนกว้าง 37 มิลลิเมตร ขนาดฐานด้านล่าง 89 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพ 13



ภาพ 13 แบบแม่พิมพ์กระถาง

ขั้นตอนการทำกระถางชีวภาพ

นำต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนนำมาตากแดดให้แห้ง 5-7 วัน เมื่อต้นธูปฤาษีแห้งสนิทแล้ว ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ตามภาพ 14 แล้วนำมาเข้าเครื่องปั่นให้ละเอียดจากนั้นนำชิ้นส่วนของต้นธูปฤาษีที่ปั่นแล้วไปผสมกับแกลบดำและกาวแป้งเปียก(แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ ในอัตราส่วน 89:340 กรัม ในการผสมวัสดุเพื่อทำกระถางชีวภาพจะผสมจำนวน 3 อัตราส่วนตามตาราง 1



ภาพ 14 ขั้นตอนการผลิตกระถางชีวภาพ

ตาราง 1 ส่วนผสมของกระถางชีวภาพ

ส่วนผสม	ต้นธูปฤาษี (น้ำหนักแห้ง)	แกลบดำ (น้ำหนักแห้ง)	กาวแป้งเปียก
1	3	1	9
2	4	1	9
3	5	1	9

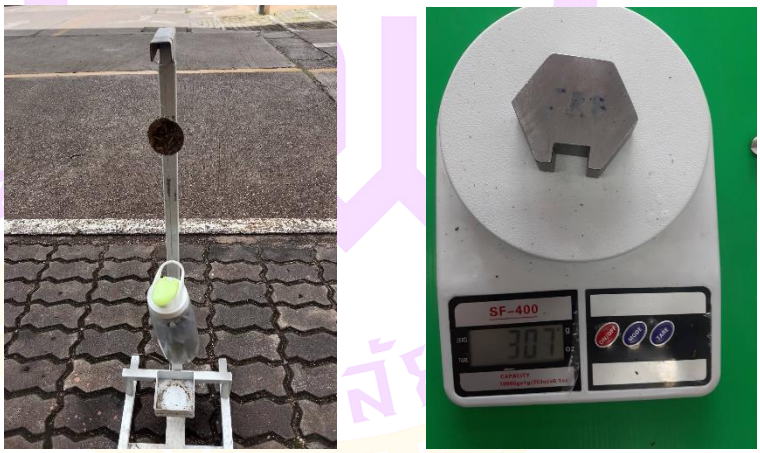
เมื่อผสมวัสดุทั้งหมดเข้ากันดีแล้วนำไปขึ้นรูปกระถางชีวภาพทรงกระบอกคางหมู ภายในปากกระถางมีความกว้างไม่น้อยกว่า 60 มิลลิเมตร ก้นกระถางมีขนาดไม่น้อยกว่า 37 มิลลิเมตรความสูงไม่น้อยกว่า 55 มิลลิเมตรและขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบขนาดเส้นรอบวง 49 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกขึ้นรูปแล้วไปตากให้แห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้เวลา 3-5 วัน จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจะวิเคราะห์แบบ 1 ตัวประกอบ (One – way

analysis of variance) หรือการวิเคราะห์แบบทางเดียว (One – way Classification) ใช้สำหรับทดสอบความแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ย (Mean) ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปซึ่งในการทดสอบสมบัติทางกายภาพได้แก่ การทดสอบความแข็งแรง การทดสอบความหนาแน่นและการหาค่าการดูดซับน้ำนั้นจะทำการทดสอบ 5 ซ้ำ การทดสอบสมบัติทางเคมีได้แก่การหาค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำซึ่งสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) แบบ 1 ตัวประกอบ (One – way analysis of variance) ได้

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1. การทดสอบความแข็งแรง

นำชิ้นทดสอบที่ได้เตรียมไว้ทั้ง 3 อัตราส่วนมาทดสอบค่าความแข็งแรงโดยการนำชิ้นทดสอบมาร้อยด้วยลวดและแขวนด้วยตุ้มน้ำหนักและเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าชิ้นทดสอบจะเกิดความเสียหายขาดออกจากกัน ดังภาพ15 แล้วบันทึกน้ำหนักที่ใช้โดยเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก (กิตติชัย โสพันนา และคณะ 2558) การทดสอบความแข็งแรงจะทำกับตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนจำนวน 5 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)



ภาพ 15 ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรง

2. การทดสอบความหนาแน่น

นำชิ้นทดสอบที่ได้เตรียมไว้ทั้ง 3 อัตราส่วนมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อนำมาหาคำนวณหาค่าความหนาแน่นโดยนำน้ำหนักที่ชั่งได้มาหารด้วยพื้นที่ของชิ้นทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ (เตือนใจ ปิยัง และคณะ 2561) การทดสอบ

ความหนาแน่นจะทำกับตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนจำนวน 5 ซ้ำจากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance

3. การทดสอบหาค่าการดูดซับน้ำ

นำชิ้นทดสอบที่ได้เตรียมไว้ทั้ง 3 อัตราส่วนมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักขณะแห้งจากนั้นนำไปแช่น้ำในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำเป็นเวลา 1 นาที ดังภาพ 16 จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปซับน้ำและชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำโดยเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก (เตือนใจ ปิยัง และคณะ 2561) การทดสอบค่าการดูดซับน้ำจะทำกับตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนจำนวน 5 ซ้ำจากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ภาพ 16 การทดสอบการดูดซับน้ำ

การทดสอบสมบัติทางเคมี

1. การทดสอบการหาค่าไนโตรเจน

นำชิ้นส่วนตัวอย่างกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9 และ 4:1:9 ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างกระถางที่ผ่านการอบมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ชั่งนำหนักตัวอย่างกระถางตัวอย่างละ 1 กรัม นำไปวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) โดยทดสอบหาค่าไนโตรเจนในพืชตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ

2. การทดสอบการหาค่าฟอสฟอรัส

นำชิ้นส่วนตัวอย่างกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9 และ 4:1:9 ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างกระถางที่ผ่านการอบมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ชั่งนำหนักตัวอย่างกระถางตัวอย่างละ 1 กรัม นำวิเคราะห์หาค่าฟอสฟอรัสด้วยวิธี Ascorbic method อ้างอิงโดย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) โดยทดสอบหาค่าฟอสฟอรัสในพืชตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ

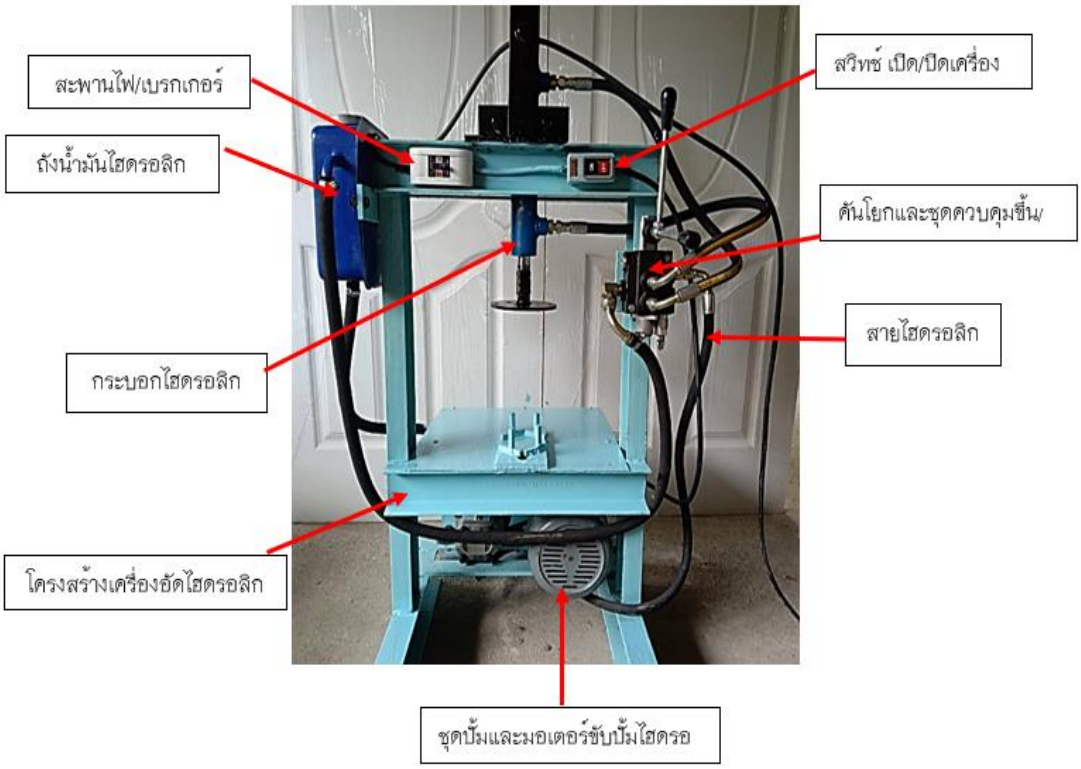
บทที่ 4

ผลการวิจัย

การทำวิจัยการประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสัดส่วนของพีชและตัวประสานที่เหมาะสมในการผลิตกระถางและเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระถางที่ใช้พืชต่างกันทั้งในเชิงกายภาพและเคมีรวมทั้งลักษณะขั้นตอนการสร้างเครื่องอัดกระถางกระถางชีวภาพรวมถึงวิธีการใช้งานของเครื่องอัดกระถางที่ถูกวิธี ซึ่งมีผลการดำเนินการ ดังนี้

เครื่องอัดกระถางชีวภาพ

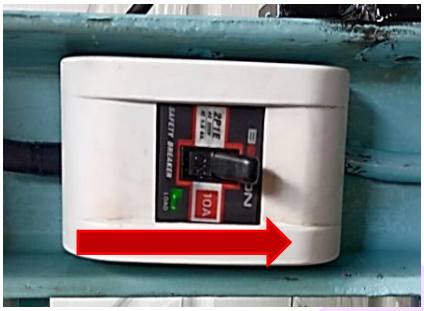
เครื่องอัดกระถางชีวภาพจะใช้วัสดุส่วนใหญ่ที่ผลิตมาจากโลหะประเภทเหล็กในการสร้างเกือบทั้งหมดเนื่องจากต้องการความแข็งแรงในการรับแรงกดอัด ซึ่งจะประกอบอุปกรณ์ต่างของเครื่องดังต่อไปนี้ ได้แก่ โครงสร้างของเครื่องทำด้วยเหล็กรูปตัวยูขนาด 4 นิ้ว นำมาตัดและประกอบเข้าด้วยกันโดยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า เมื่อได้โครงสร้างของเครื่องอัดกระถางแล้วนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาติดตั้งได้แก่ กระบอกไฮดรอลิก ชุดปั้มและมอเตอร์ขับปั้มไฮดรอลิก คันโยกและชุดควบคุมขึ้น/ลง ถังน้ำมันไฮดรอลิก สายไฮดรอลิก และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าตามลำดับ เมื่อประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เสร็จแล้วจะได้เครื่องอัดกระถางชีวภาพขนาดแรงกด 2,000 กิโลกรัม แสดงดังภาพ 17



ภาพ 17 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดกระถางชีวภาพ

วิธีการใช้เครื่องอัดกระถางชีวภาพ

1. ในการใช้งานเครื่องอัดกระถางอันดับแรกคือการเตรียมความพร้อมก่อนใช้เครื่อง เพื่อตรวจสอบระบบเครื่องอัดกระถางก่อนการใช้งานโดยการเสียบปลั๊กไฟฟ้าของเครื่อง ลำดับต่อไปคือการเปิดสะพานไฟ/เบรกเกอร์ของเครื่องและกดสวิทช์เครื่องในตำแหน่ง ON ดังภาพ 18 เพื่อให้เครื่องทำงานระหว่างที่เครื่องทำงานให้ตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ว่ามีสิ่งผิดปกติหรือไม่ เช่นเสียงดังเกินหรือมีน้ำมันรั่วเป็นต้น หากไม่มีสิ่งใดผิดปกติให้เปิดเครื่องไว้ 1–2 นาที แล้วปิดเครื่องในตำแหน่ง OFF และเมื่อพร้อมที่จะทำงานให้เริ่มต้นเปิดสวิทช์เครื่องใหม่อีกครั้ง

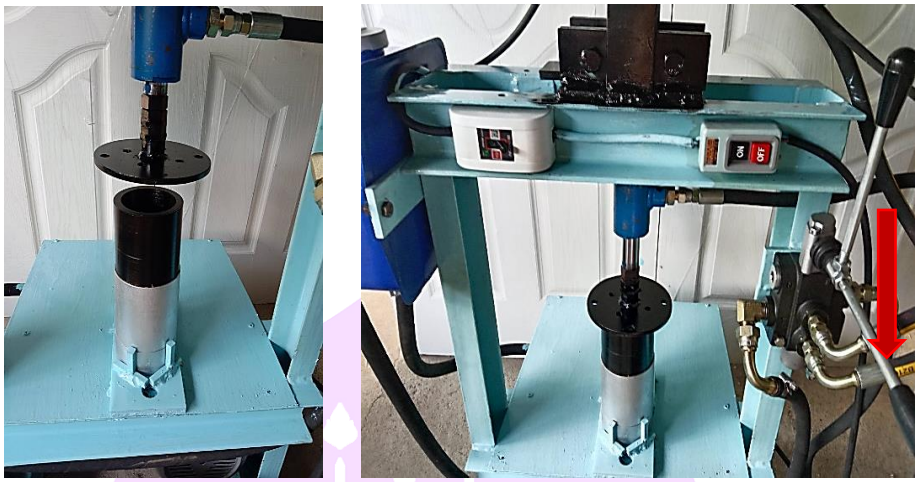



ภาพ 18 วิธีการเปิดเครื่องอัดกระถาง

2. นำแม่พิมพ์กระถางชีวภาพมาวางในตำแหน่งที่ต้องการและนำวัสดุที่จะนำไปผลิตกระถางในอัตราส่วนที่เหมาะสมมาเติมลงในแม่พิมพ์ให้เต็มดังแสดงในภาพ 19

ภาพ 19 วิธีการเติมวัสดุที่จะผลิตกระถางชีวภาพลงในแม่พิมพ์

3. วางแม่พิมพ์ตัวที่ 2 ปิดแม่พิมพ์ตัวที่ 1 จากนั้นใช้มือโยกหรือกดชุดควบคุมกระบอกไฮดรอลิกให้กดลงลึกลงไปประมาณ 2 นิ้ว แล้วโยกชุดควบคุมกลับในตำแหน่งเดิมดังแสดงในภาพ 20



ภาพ 20 การใช้เครื่องอัดกระถางกดอัดกระถางชีวภาพ

4. ใช้มือหมุดกระบอกแม่พิมพ์ให้หลุดออกจากเบ้ารองและให้ผลิกกลับตำแหน่งแม่พิมพ์จากคว่ำเป็นหงายแล้วกดกระบอกแม่พิมพ์ลงตัวกระถางจะถูกดันออกจากแบบ ดังแสดงในภาพ 21

ภาพ 21 วิธีการนำกระถางชีวภาพออกจากแม่พิมพ์กระถาง

5. หยิบกระถางชีวภาพออกจากแม่พิมพ์และนำไปตากให้แห้ง 1–3 วันจะได้กระถางชีวภาพที่พร้อมใช้งานดังแสดงในภาพ 22


ภาพ 22 การนำกระถางชีวภาพออกจากแบบพิมพ์เพื่อตากให้แห้ง

อัตราส่วนในการขึ้นรูปกระถาง

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปกระถางพบว่าที่อัตราส่วนของต้นธูปฤาษี:แกลบดำ:กาวแป้งเปียก อัตราส่วน 4:1:9 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปสำหรับกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีเนื่องจากมีการยึดเกาะที่พอดีและไม่แห้งไม่แฉะจนเกินไป เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วน 3:1:9 โดยน้ำหนัก พบว่าการยึดเกาะของพืชไม่ดีเนื่องจากปริมาณต้นธูปฤาษีน้อยเกินไปจึงได้ชิ้นตัวอย่างเปียกถอดออกจากแม่พิมพ์ยากและเมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วน 5:1:9 โดยน้ำหนัก พบว่าต้นธูปฤาษีมีส่วนผสมมากไปทำให้การยึดเกาะไม่ดีถอดออกจากแม่พิมพ์แล้วมีรอยแตกของกระถางดังแสดงในภาพ 23

ตาราง 2 ปริมาณส่วนประกอบของกระถางชีวภาพจำนวน 1 ใบ

อัตราส่วน	3:1:9 (กรัม)	4:1:9 (กรัม)	5:1:9 (กรัม)
ธูปฤาษี	48	60	71
แกลบดำ	15	15	14
กาวแป้งเปียก	150	138	128
รวม	213	213	213

3:1:9 4:1:9 5:1:9

ภาพ 23 กระถางชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

ผลผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากพืชในระบบบึงประดิษฐ์

กระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากพืชในระบบบึงประดิษฐ์นั้นจะใช้เวลาในการผลิตกระถางต่อ 1 ใบประมาณ 1 นาที ขนาดของกระถางจะมีความกว้างปากกระถาง 85 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร ความลึกกระถาง 55 เซนติเมตร โดยกระถางชีภาพ 1 ใบจะใช้ปริมาณต้นธูปฤาษีแห้งประมาณ 45-50 กรัม ซึ่งต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เมื่อนำมาตากแห้งจะมีน้ำหนักประมาณ 1,600 – 2,000 กรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นกระถางชีวภาพจะได้กระถางชีวภาพประมาณ 35-40 ใบ

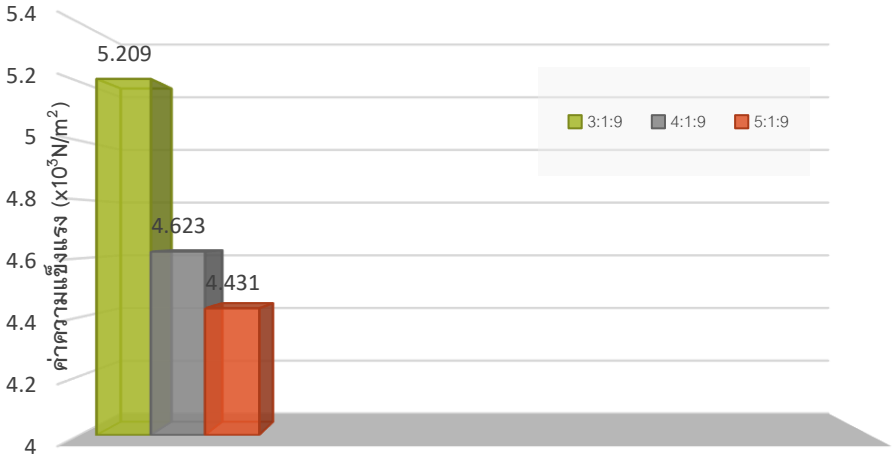
การทดสอบค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ

จากการทดสอบพบว่าค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีในส่วนผสมระหว่าง ต้นธูปฤาษี : แกลบดำ : กาวแป้งเปียก ในการรับน้ำหนักจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของต้นธูปฤาษีแห้งที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพ 24 และ 25 ในการผสมชิ้นส่วนต้นธูปฤาษีปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้การยึดเกาะระหว่างกาวแป้งเปียกจับตัวกับชิ้นส่วนของต้นธูปฤาษีน้อยลงเนื่องจาก ส่วนผสมของพืชน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆเมื่อกระถางแห้งแล้วจะมีความแข็งเนื่องจากกาวแป้งเปียกที่ผสมมีปริมาณ 9 ส่วนและพืชมีปริมาณ 3 ส่วน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนพืชมากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงลดน้อยลง ค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพที่อัตราส่วน 3:1:9 มีค่าความแข็งแรงในการรับน้ำหนักได้ 5.209 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร รองลงมาคืออัตราส่วน 4:1:9 และอัตราส่วน 5:1:9 ซึ่งได้ค่าความแข็งแรงในการรับน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่ 4.623 และ 4.431 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร จากงานวิจัยของ (กิตติชัย โสพันนา และคณะ, 2558) มีการทดสอบคุณสมบัติของกระถางที่ผลิตด้วยผักตบชวาที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกาวแป้งเปียกในอัตราส่วน 1:2 พบว่ามีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 5.76 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีแล้วที่อัตราส่วน 3:1:9

มีค่าที่ใกล้เคียงกันในด้านคุณสมบัติด้านความแข็งแรง จากมาตรฐาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติและเกณฑ์การทดสอบไม้อัดติดกาวโดยค่าการต้านแรงเฉือนและค่าการแตกของไม้ โดยใช้แรงกระทำตั้งแต่ 0.2–4.0 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร โดยที่ไม้อัดต้องมีการแตกน้อยกว่าร้อยละ 80 ซึ่งจากการทดลองกับกระถางชีวภาพที่ได้จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงที่ 4.0 กิโลนิวตัน/ตารางเมตรนั้นกระถางก็เกิดการแตกน้อยกว่าร้อยละ 80 เช่นเดียวกันดังนั้นช่วงค่าที่เหมาะคือ 4.0 กิโลนิวตัน/ตารางเมตรขึ้นไป

3:1:9 4:1:9 5:1:9

ภาพ 24 ลักษณะรอยแตกของชิ้นทดสอบแต่ละอัตราส่วน



ภาพ 25 ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ

การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ

ค่าความแข็งแรง		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
						Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9		5	5.209800	.0135536	.0060614	5.192971	5.226629	5.2000	5.2330	
อัตราส่วน 4: 1: 9		5	4.623000	.0029155	.0013038	4.619380	4.626620	4.6200	4.6270	
อัตราส่วน 5: 1: 9		5	4.430600	.0223450	.0099930	4.402855	4.458345	4.4150	4.4700	
Total		15	4.754467	.3433318	.0886479	4.564336	4.944597	4.4150	5.2330	
Model	Fixed Effects			.0151822	.0039200	4.745926	4.763008			
	Random Effects				.2343436	3.746168	5.762766			.1647047

ภาพ 26 รายละเอียดค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)

จากข้อมูลในภาพ 26 แสดงจำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9 , 4:1:9 และ 5:1:9 มีข้อมูลจำหน่วย 15 ข้อมูล (N) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 4.754467 (Mean) มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงน้อยสุด 4.4150 (Minimum) และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงมากสุด 5.2330 (Maximum) จากข้อมูลข้างต้นนี้นำไปคำนวณการวิเคราะห์ทางสถิติ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.648	2	.824	3573.769	.000
Within Groups	.003	12	.000		
Total	1.650	14			

ภาพ 27 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากภาพ 27 ได้ทดสอบข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าในภาพรวมค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าที่แตกต่างกัน (F=3573.769),(Sig=0.000) ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significant) น้อยกว่า 0.5 จึงต้องดำเนินการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อไป

ตาราง 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

method	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I–J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4:1:9	.5868000*	.0096021	.000	.560033	.613567
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.7792000*	.0096021	.000	.752433	.805967
	อัตราส่วน 4:1:9	อัตราส่วน 3:1:9	-.5868000*	.0096021	.000	-.613567	-.560033
		อัตราส่วน 5:1:9	.1924000*	.0096021	.000	.165633	.219167
	อัตราส่วน 5:1:9	อัตราส่วน 3:1:9	-.7792000*	.0096021	.000	-.805967	-.752433
		อัตราส่วน 4:1:9	-.1924000*	.0096021	.000	-.219167	-.165633

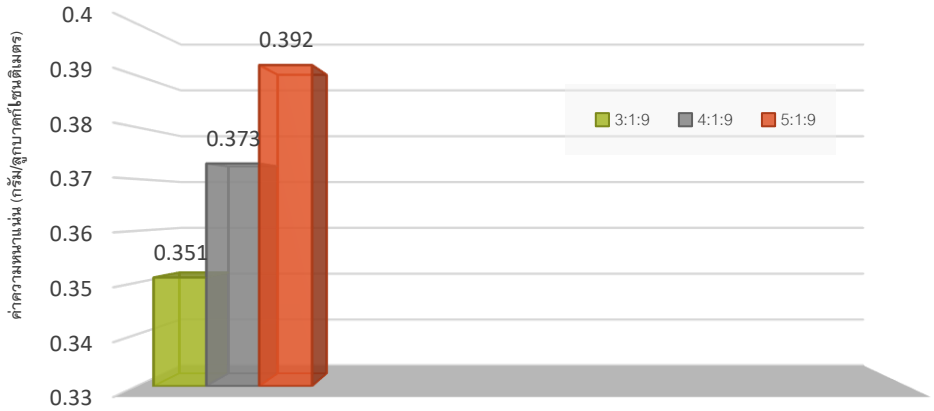
หมายเหตุ: The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตาราง 3 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพโดยใช้วิธีการของ Scheffe ในการทดสอบความแตกต่างแบบเปรียบเทียบรายคู่ พบว่าค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนเมื่อเทียบกันทั้งหมดแล้วมีค่า Sig=0.000 (Significant) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความหนาแน่นของกระถางชีวภาพ

ค่าความหนาแน่นที่ในอัตราส่วน 3:1:9 ,4:1:9 และ 5:1:9 พบว่าในอัตราส่วน 3:1:9 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.351 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ถัดมาคืออัตราส่วน 4:1:9 และอัตราส่วน 5:1:9 ซึ่งได้ค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.373 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.และ 0.392 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพ 28 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของของต้นธูปฤาษีแห้งที่ผสมในกระถางชีวภาพและชิ้นทดสอบนั้นเพิ่มขึ้นแต่ส่วนผสมอื่นคงเดิม เมื่อนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นโดยเอาน้ำหนักชิ้นทดสอบหารด้วยปริมาตรของชิ้นทดสอบ

จึงทำให้ค่าความหนาแน่นนั้นเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นที่เหมาะคืออัตราส่วน 3:1:9 เนื่องจากมีค่าน้อยที่สุดแต่ให้ความแข็งแรงมากกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ



ภาพ 28 ความหนาแน่นของกระถางชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ

การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญความหนาแน่นของกระถางชีวภาพ

ความหนาแน่น		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
						Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9		5	.391800	.0040866	.0018276	.386726	.396874	.3870	.3980	
อัตราส่วน 4: 1: 9		5	.373200	.0038987	.0017436	.368359	.378041	.3690	.3790	
อัตราส่วน 5: 1: 9		5	.350800	.0053104	.0023749	.344206	.357394	.3460	.3590	
Total		15	.371933	.0178384	.0046059	.362055	.381812	.3460	.3980	
Model	Fixed Effects			.0044759	.0011557	.369415	.374451			
	Random Effects				.0118526	.320936	.422931			.0004174

ภาพ 29 รายละเอียดค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)

จากข้อมูลในภาพ 29 แสดงจำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9, 4:1:9 และ 5:1:9 มีข้อมูลจำหน่วย 15 ข้อมูล (N) มีค่าเฉลี่ยของ

ข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 0.371933 (Mean) มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นน้อยสุด 0.3460 (Minimum) และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมากสุด 0.3980 (Maximum)

ความหนาแน่น	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.004	2	.002	105.188	.000
Within Groups	.000	12	.000		
Total	.004	14			

ภาพ 30 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากภาพ 30 ได้ทดสอบข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าในภาพรวมค่าความหนาแน่นของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าที่แตกต่างกัน (F=105.188),(Sig=0.000) ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significant) น้อยกว่า 0.5 จึงต้องดำเนินการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อไป

ตาราง 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)

method	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I–J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4:1:9	.0186000*	.0028308	.000	.010709	.026491
		อัตราส่วน 5:1:9	.0410000*	.0028308	.000	.033109	.048891
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0186000*	.0028308	.000	-.026491	-.010709
		อัตราส่วน 5:1:9	.0224000*	.0028308	.000	.014509	.030291
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0410000*	.0028308	.000	-.048891	-.033109
		อัตราส่วน 4:1:9	-.0224000*	.0028308	.000	-.030291	-.014509

หมายเหตุ: The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตาราง 4 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระถางชีวภาพโดยใช้วิธีการของ Scheffe ในการทดสอบความแตกต่างแบบเปรียบเทียบรายคู่ พบว่าค่าความหนาแน่นของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนเมื่อเทียบกันทั้งหมดแล้วมีค่า Sig=0.000 (Significant) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพ

ดูดซับน้ำ		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
						Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9		5	71.150000	.0291548	.0130384	71.113800	71.186200	71.1100	71.1800	
อัตราส่วน 4: 1: 9		5	76.798000	.0460435	.0205913	76.740829	76.855171	76.7500	76.8700	
อัตราส่วน 5: 1: 9		5	78.264000	.0230217	.0102956	78.235415	78.292585	78.2400	78.3000	
Total		15	75.404000	3.1747976	.8197292	73.645856	77.162144	71.1100	78.3000	
Model	Fixed Effects			.0341565	.0088192	75.384785	75.423215			
	Random Effects				2.1686921	66.072871	84.735129			14.1094427

ภาพ 31 รายละเอียดค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากข้อมูลในภาพ 31 แสดงจำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9, 4:1:9 และ 5:1:9 มีข้อมูลจำนวน 15 ข้อมูล (N) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 75.404 (Mean) มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำน้อยสุด 71.110 (Minimum)และค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำมากสุด 78.300 (Maximum)

ดูดซับน้ำ	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	141.097	2	70.548	60470.040	.000
Within Groups	.014	12	.001		
Total	141.111	14			

ภาพ 32 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากภาพ 32 ได้ทดสอบข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าในภาพรวมค่าการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าที่แตกต่างกัน (F=60470.040),(Sig=0.000) ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significant) น้อยกว่า 0.5 จึงต้องดำเนินการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อไป

ตาราง 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

method	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I–J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4:1:9	-5.6480000*	.0216025	.000	-5.708219	-5.587781
		อัตราส่วน 5:1:9	-7.1140000*	.0216025	.000	-7.174219	-7.053781
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	5.6480000*	.0216025	.000	5.587781	5.708219
		อัตราส่วน 5:1:9	-1.4660000*	.0216025	.000	-1.526219	-1.405781
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	7.1140000*	.0216025	.000	7.053781	7.174219
		อัตราส่วน 4:1:9	1.4660000*	.0216025	.000	1.405781	1.526219

จากตาราง 5 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำของกระถางชีวภาพโดยใช้วิธีการของ Scheffe ในการทดสอบความแตกต่างแบบเปรียบเทียบรายคู่ พบว่าค่าความหนาแน่นของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนเมื่อเทียบกันทั้งหมดแล้วมีค่า Sig=0.000 (Significant) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลวิจัยสมบัติทางเคมีของกระถางชีวภาพ

ค่าไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมในกระถางโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Kjeldahl method ซึ่งเป็นวิธีกระบวนการวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน ได้ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในตัวอย่างกระถางชีวภาพโดยทดสอบหาค่าไนโตรเจนในกระถางชีวภาพอัตราส่วน 3:1:9 และอัตราส่วน 4:1:9 ตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังตาราง 6

ตาราง 6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ

อัตราส่วน	ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนในตัวอย่าง (ร้อยละ)
3:1:9	0.43
4:1:9	0.44

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในตัวอย่างกระถางที่นำไปทดสอบทั้ง 2 อัตราส่วน ซึ่งใช้ปริมาณตัวอย่างกระถางที่ผสมแล้วบดแห้งละเอียดปริมาณที่เท่ากันคือ 1.00 กรัมต่อตัวอย่างที่นำไปทดสอบ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณจะได้ปริมาณไนโตรเจนในอัตราส่วน 3:1:9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.43 และปริมาณไนโตรเจนในอัตราส่วน 4:1:9 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.44 เมื่อเทียบกับการศึกษาของ (กิตติชัย โสพันนา และคณะ, 2558) งานวิจัยการประดิษฐ์และสมบัติของกระถางชีวภาพ มีปริมาณไนโตรเจนของกระถางผักตบชวา ขุยมะพร้าว และฟางข้าว โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.22 0.21 และ 0.21 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษี ทั้ง 3 อัตราส่วนจะมากกว่าเนื่องจากเป็นพืชที่เก็บเกี่ยวมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ซึ่งพืชเหล่านี้จะดูดซึมไนโตรเจนมาสะสมอยู่ในลำต้นจึงทำให้มีค่าไนโตรเจนสูงกว่า

การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ

					95% Confidence Interval for Mean				
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum	Between-Component Variance
อัตราส่วน 3:1:9	3	.441667	.0005774	.0003333	.440232	.443101	.4410	.4420	
อัตราส่วน 4: 1: 9	3	.436900	.0001000	.0000577	.436652	.437148	.4368	.4370	
Total	6	.439283	.0026370	.0010765	.436516	.442051	.4368	.4420	
Model Fixed Effects			.0004143	.0001691	.438814	.439753			
Random Effects				.0023833	.409000	.469566			.0000113

ภาพ 33 รายละเอียดค่าเฉลี่ยค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากข้อมูลในภาพ 33 แสดงจำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ยค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ ของกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9 และ 4:1:9 มีข้อมูลจำนวน 6 ข้อมูล (N) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 0.439283 (Mean) มีค่าเฉลี่ยค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพน้อยสุด 0.4368 (Minimum)และค่าเฉลี่ยค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพมากสุด 0.4420 (Maximum)

ไนโตรเจน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	46.703	.002
Within Groups	.000	4	.000		
Total	.001	5			

ภาพ 34 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยไนโตรเจนที่สะสมในกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากภาพ 34 ได้ทดสอบข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าในภาพรวมค่าไนโตรเจนที่สะสมในตัวอย่างกระถางชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าที่แตกต่างกัน (F=46.703),(Sig=0.02) ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significant) น้อยกว่า 0.5 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกระถางชีวภาพทั้ง 2 อัตราส่วนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในกระถางโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Ascorbic method ซึ่งเป็นวิธีกระบวนการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในพืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน ได้ปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในตัวอย่างทดสอบโดยทดสอบหาค่าฟอสฟอรัสกระถางชีวภาพอัตราส่วน 3:1:9 และอัตราส่วน 4:1:9 ตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 15

ตาราง 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ

อัตราส่วน	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (ร้อยละ)
3:1:9	0.85
4:1:9	0.87

ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมในตัวอย่างกระถางที่นำไปทดสอบทั้ง 2 อัตราส่วน ซึ่งใช้ปริมาณตัวอย่างกระถางที่ผสมแล้วบดแห้งละเอียดปริมาณที่เท่ากันคือ 1.00 กรัมต่อตัวอย่างที่นำไปทดสอบ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณจะได้ปริมาณฟอสฟอรัสในอัตราส่วน 3:1:9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.85 และปริมาณไนโตรเจนในอัตราส่วน 4:1:9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.87 เมื่อเทียบกับการศึกษาของ (กิตติชัย โสพันนา และคณะ, 2558) งานวิจัยการประดิษฐ์และสมบัติของกระถางชีวภาพ มีปริมาณฟอสฟอรัสของกระถางผักตบชวา ขุยมะพร้าว และฟางข้าว โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.04, 0.18 และ 0.10 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษี ทั้ง 2 อัตราส่วนจะมากกว่าเนื่องจากเป็นพืชที่เก็บเกี่ยวมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ซึ่งพืชเหล่านี้จะดูดซึมฟอสฟอรัสมาสะสมอยู่ในลำต้นจึงทำให้มีค่าฟอสฟอรัสสูงกว่า

การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญค่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพ

ฟอสฟอรัส		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
						Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9		3	.874079	.0004806	.0002775	.872885	.875273	.8736	.8745	
อัตราส่วน 4: 1: 9		3	.846194	.0070510	.0040709	.828678	.863709	.8394	.8535	
Total		6	.860136	.0159139	.0064968	.843436	.876837	.8394	.8745	
Model	Fixed Effects			.0049974	.0020402	.854472	.865801			
	Random Effects				.0139425	.682980	1.037293			.0003805

ภาพ 35 รายละเอียดค่าเฉลี่ยค่าฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากข้อมูลในภาพ 35 แสดงจำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพในอัตราส่วน 3:1:9 และ 4:1:9 มีข้อมูลจำนวน 6 ข้อมูล (N) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 0.860136 (Mean) มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพน้อยสุด 0.8394 (Minimum)และค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตัวอย่างกระถางชีวภาพมากสุด 0.8745 (Maximum) จากข้อมูลข้างต้นนี้นำไปคำนวณการวิเคราะห์ความแตกต่าง/ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อไป

ฟอสฟอรัส	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	198.534	.000
Within Groups	.000	4	.000		
Total	.000	5			

ภาพ 36 ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวอย่างกระถางชีวภาพโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากภาพ 36 ได้ทดสอบข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าในภาพรวมค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวอย่างกระถางชีวภาพทั้ง 2 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าที่แตกต่างกัน (F=198.534),(Sig=0.00) ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significant) น้อยกว่า 0.5 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในตัวอย่างกระถางชีวภาพทั้ง 2 อัตราส่วนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์การลงทุนในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อผลิตกระถางชีวภาพจากพืชที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์

การวิเคราะห์การลงทุนและจุดคุ้มทุนในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์สามารถประมาณการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ การประมาณการผลตอบแทน ร่วมถึงระยะเวลาในการคืนทุนดังต่อไปนี้

ต้นทุนในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก

ตาราง 8 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก

ที่	รายการ	จำนวน (บาท)
1	โครงสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก	2,000
2	แม่พิมพ์กระถาง	1,500
3	ชุดไฮครอลิก	7,840
4	อุปกรณ์สายไฮดรอลิก	1,800
5	น้ำมันไฮดรอลิก	450
6	มอเตอร์ไฟฟ้าขับปั๊มไฮดรอลิก	2,500
7	วัสดุและอุปกรณ์สำหรับทำสี	750
8	วัสดุและอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า	750
9	ค่าแรง	2,500
	รวม	**20,090**

จากตาราง 8 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ใช้ในการลงทุนเป็นจำนวนเงิน 20,090 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตกระถางชีวภาพ

ค่าใช้จ่ายในการผลิตกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีจะประกอบด้วย

1. ค่าวัสดุที่จะนำมาผลิตกระถางชีวภาพอันได้แก่ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดน้ำเสีย แกลบดำ และกาวแป้งเปียกซึ่งกระถาง 1 ใบ จะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 0.90บาท

2. ค่าเตรียมวัสดุได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ อาทิเช่น ค่าเชื้อเพลิง ค่าแรง ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยวพืชในระบบบึงประดิษฐ์ หรือค่าจ้างในการย่อยต้นธูปฤาษีก่อนการนำมาผสมกับวัสดุประสานและนำมาอัดขึ้นรูป จะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 1 บาท

3. ค่าไฟฟ้าที่นำมาผลิตกระถางชีภาพจะมีต้นทุ่นในการผลิตอยู่ที่ 0.10 บาทต่อกระถางชีวภาพ 1 ใบ ซึ่งเครื่องอัดไฮดรอลิกใช้กำลังไฟฟ้า 750 วัตต์ สามารถคำนวณต้นทุ่นกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) x จำนวนเครื่อง ÷ 1,000 x จำนวน ชม. = หน่วย/วัน

(750 x 1) / (1,000 x 1) = 0.75 หน่วย/ชั่วโมง

นำมาคำนวณค่าไฟฟ้าดังนี้

จำนวนหน่วยไฟฟ้า x ราคาค่าไฟฟ้า/หน่วย = จำนวนเงิน

0.75 x 4 = 3 บาท/ชั่วโมง

เครื่องอัดกระถางจะมีต้นทุ่นค่ากระไฟฟ้าอยู่ที่ 3 บาท/ชั่วโมง ซึ่ง 1 ชั่วโมงประมาณการว่าผลิตกระถางชีวภาพได้ 30 ใบ ดังนั้นกระถางชีวภาพ 1 ใบจะมีต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.10 บาท

ตาราง 9 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตกระถางชีวภาพ

ที่	รายการ	จำนวน (บาท)
1	ค่าวัสดุ	0.90
2	ค่าไฟฟ้า	0.10
3	ค่าเตรียมวัสดุ	1.00
	รวม	**2**

จากตาราง 9 แสดงรายการค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตกระถางชีวภาพต่อหน่วยการผลิตกระถางชีวภาพจำนวน 1 ใบ

การประมาณการระยะเวลาในการคืนทุน

การประเมินการระยะเวลาในการคืนทุนคำนวณโดยใช้ต้นทุนการลงทุนมาเปรียบกับราคาที่จำหน่ายจะได้ยอดที่ต้องผลิตตามราคาที่จำหน่ายแล้วนำมาคำนวณจำนวนวันที่สามารถผลิตกระถางชีวภาพ จากตารางจะประมาณการผลิตกระถางอยู่ที่ 60 ใบต่อวัน ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุนก็จะขึ้นอยู่กับราคาที่จำหน่ายต่อหน่วยและกำลังการผลิตกระถางชีวภาพต่อวันดังแสดงตามตาราง 10

ตาราง 10 ประมาณการระยะเวลาในการคืนทุน

ต้นทุน	ราคาขาย	กำไรสุทธิ (บาท)	จำนวนที่ต้องผลิต(ใบ)	เวลา(วัน)
20,090	12	10	2,009	33
	15	13	1,545	26
	17	15	1,339	22
	19	17	1,181	19
	22	20	1,004	16

จากตาราง 10 จะเห็นได้ว่าหากจำหน่ายกระถางชีวภาพหักต้นทุนแล้วจะมีกำไร 10 ,13,15,17,และ20 ในการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนจะต้องผลิตกระถางชีภาพจำนวน 2,009 ,1,545,1,339,1,181, และ 1,004 ใบ และเมื่อคิดตามระยะเวลาในการคืนทุนจะอยู่ที่ 33 ,26,22,19, และ16 วันตามลำดับ ดังนั้นผู้ศึกษาตั้งราคาขายในราคา 12 บาทเนื่องจากกระถางชีวภาพที่ผลิตขึ้นนี้มีต้นทุนการผลิตซึ่งรวมค่าวัสดุ อุปกรณ์และค่าดำเนินการแล้วรวมทั้งสิ้น 2 บาทต่อกระถางชีวภาพ 1 ใบ และระยะเวลาในการคืนทุนไม่นานเกินไป

บทที่ 5

บทสรุป

กระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากพืชในระบบบึงประดิษฐ์จากงานวิจัยพบว่าในอัตราส่วน 3:1:9 เหมาะสมมากที่สุดในการผลิตเป็นกระถางชีวภาพเนื่องจากมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดอยู่ที่ 5.209 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร มีค่าความหนาแน่น 0.351 กรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนอื่น ๆ และมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ที่ร้อยละ 71.15 เป็นค่าที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นแต่จะได้คุณสมบัติของกระถางในด้านความคงทนแข็งแรงและอายุการใช้งานของกระถางที่ยาวนาน นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมีของกระถางชีวภาพจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ที่ร้อยละ 0.43 และ 0.85 กระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีมีต้นทุน 2 บาทต่อกระถางควรกำหนดราคาขาย 12 บาท

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 หากต้องการนำกระถางชีวภาพไปใช้งานควรคำนึงถึงการเปื่อยยุ่ยของกระถางเนื่องจากกระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีหากได้รับน้ำที่ปริมาณมากจนเกินไป ดั้งนั้นการนำกระถางชีวภาพไปใช้งานควรรดน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 เครื่องอัดกระถางชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำมาดัดแปลงใช้เป็นเครื่องอัดอื่น ๆ ได้ เช่นนำมาอัดถ่านแท่ง นำมาอัดก้อนเพาะเชื้อเห็ด หรือนำมาอัดชิ้นงานทดสอบได้โดยการเปลี่ยนแม่พิมพ์เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงาน

2.2 กระถางชีวภาพที่ผลิตจากต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์ควรศึกษาต่อไปว่าเหมาะสมกับการปลูกพืชประเภทใดและควรตรวจสอบเรื่องคุณสมบัติทางเคมีและสารพิษที่สะสมในต้นพืช

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดิน น้ำ พืช กระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน**. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf

กิตติชัย โสพันนา และคณะ. (2558). การประดิษฐและสมบัติของกระถางชีวภาพ. **SNRU Journal of Science and Technology,** 7(2), 1-7.

ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ. (2557). **การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชาน อ้อย ผักตบชวา และ ธูปฤาษี.** สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก http://ir.swu.ac.th/jspui/bitstream/123456789/2631/2/Dusadi_ S_R378199.pdf

เตือนใจ ปิยัง และคณะ. (2561). การผลิตกระถางต้นไม้จากกากตะกอนน้ำมันปาล์มร่วมกับก้อนเชื้อเห็ดเก่า. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,** 10(3), 497-511.

เตือนใจ ปิยัง และคณะ. (2561). **การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย**. สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2565,จาก https://www.repository.rmutsv.ac.th/bitstream /handle/123456789/2070/FullText.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ธีรภัทร ลิ่มบุญเรือง และนิตต์อลิน พันธุ์อภัย. (2560). **การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา.** สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก https://tsme.org/home/phocadownload/ MENETT31/AMM/amm23.pdf.

นันทพร สุทธิประภาและสุนิดา ทองโท. (2563). การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในชุมชน กรณีศึกษา:ชุมชนในเขตเทศบาลตระการพืชผล. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย**, 14(3), 161-174.

ผุสดี เอี่ยมสวัสดิ์ และคณะ. (2554). **คู่มือการจัดการผักตบชวา**. สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2565, จาก http://lib.mnre.go.th/book/paktob.pdf

อภิโชติ อุฬารตินนท์. (2561). **ศึกษาคุณสมบัติผักตบชวาในการดูดซึมโลหะหนักในทางน้ำเปิด**. สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2565, จาก https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/ 2561/research.rmutsb-2561-20200413143436750.pdf

ภคินี ติปัญโญ และสรชัช มีโคม. (2558). **เครื่องอัดกระถางผักตบชวาไฮดรอลิก.** สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2565, จาก https://www.eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_ IdDoc264_IdPro649.pdf

มลสุดา สิวไธสง. (2556). **การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย**. สืบค้นเมื่อ 4 เมษายน 2565, จาก https://tsme.org/home/phocadownload/ MENETT27/production%pdf

เรขา ชนิตรบวร และคณะ. (2561). การสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่างๆของไม้แสมทะเลบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย. **วารสารวนศาสตร์**, 37(2), 71–83.

สุรีย์รัตน์ อู่สูงเนิน และคณะ. (2559). **การแปรรูปเซลลูโรสจากต้นธูปฤาษีในดินเดิมเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร**. สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2565, จาก http://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2559/M120689/Pimchan%20Patcaraporn.pdf

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). **มอก.178–2549** สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2565. จาก https://www.tisi.go.th/data/PR/pdf/R0178254900.pdf

Castronuovo, D., Picuno, P., Manera, C., Scopa, A., Sofo, A. and Candido, V. (2015). **Biodegradable pots for poinsettia cultivation: Agronomic and technical traits.** Retrieved April 4, 2022, from https://www.sciencedirect. com/science/article/abs/pii/S0304423815301898

Phokha, S., Duangaupama, K. and Ruangsan, K. (2011). **Plant pot production from the leaves of sugarcane**. Retrieved April 4, 2022, from https://scholar.google.com/scholar?hl=th&as_sdt=0%2C5&q=Phokha%2C+S.%2C+Duangaupama%2C+K.+and+Ruangsan%2C+K.+%282011%29.%2814+December+2015+%29+Plant+pot+production+from+the+leaves+of+sugarcane&btnG

Schettini, E., Santagata, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Mugnozza, G. S. and Vox, G. (2013). **Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico–chemical characterization and field performance. Resources.** Retrieved April 3, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344912002017

Zheng, Y., Wang, X. C., Ge, Y., Dzakpasu, M., Zhao, Y. and Xiong, J. (2015). Effects of annual harvesting on plants growth and nutrients removal in surface–flow constructed wetlands in northwestern China. **Ecological Engineering,** 83(1), 268–275.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

ภาคผนวก ก.–1 การวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจน (Kjeldahl method)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2 ตู้ดูดควัน (Hood)

1.3 เครื่องย่อยของเคลดาล (Kjeldahl digestion apparatus)

1.4 เครื่องกลั่นของเคลดาล (Kjeldahl distillation apparatus)

1.5 หลอดแก้ว Kjeldahl flask ขนาด 800 ml หรือ หลอดแก้ว Digestion tube ขนาด 250 ml

1.6 ขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 ml หรือ 250 ml

1.7 บิวเรต (Burette) ขนาด 50 ml

1.8 ปิเปต (Pipette) หรือกระบอกตวง (Cylinder)

2. สารเคมีและวิธีเตรียม

2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)

2.2 เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Commercial grade NaOH) อัตราส่วน 1:1 เตรียมจากเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กก. ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ A.R.grade 40 % เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2.3 กรดบอริก (Boric acid) 3 % เตรียมจากกรดบอริก 300 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 ลิตร

2.4 สารสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeltabs) ประกอบด้วย 4.85 กรัม ของ K_2SO_4 และ 0.15 กรัม ของ$CuSO_4$

2.5 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) เตรียมได้จากการละลาย 0.22 กรัม bromocresol green และ 0.075 กรัม methyl red ละลายใน 95% ethyl alcohol จำนวน 96 มล. เติม NaOH 0.1 M ปริมาตร 3.5 มล. ผสมเข้าด้วยกัน

2.6 สารละลายกรดเกลือมาตรฐาน 0.1 M เตรียมโดย ไทเทรตกับสารละลายด่างที่ทราบความ เข้มข้นแน่นอนโดยสารละลายด่างได้ถูก standardize ด้วย potassium acid phthalate สูตรโมเลกุล $KHC_8H_4O_4$ มีความบริสุทธิ์สูงมากเกือบไม่ดูดความชื้นเลยเป็น primary standard ควรอบให้แห้งด้วยการอบที่ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ phenolphthalein เป็น indicator หรืออาจเตรียมโดยไทเทรตกับ $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยใช้ methyl red เป็น indicator

3. วิธีวิเคราะห์

3.1 การย่อยสลาย

3.1.1 ชั่งตัวอย่างที่อบและบดละเอียดแล้ว 0.5–1.00 กรัม (ผ่านการอบที่ 65– 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 ml หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มล. เติมสารสำเร็จรูปอัดเม็ดจำนวน 2 เม็ด

3.1.2 เติม conc H_2SO_4 40 มล. ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 ml ลงในหลอดแก้ว

3.1.3 ทำ blank และตัวอย่างอ้างอิง (reference sample) โดยวิธีเดียวกัน

3.1.4 นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus ใช้อุณหภูมิประมาณ 100°C– 250°C–400°C หรือ digestion block ใช้อุณหภูมิประมาณ 400°C จนได้สารละลายใสใช้เวลาประมาณ 2 ชม. ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่น 400 มล. หรือถ้าอุปกรณ์ในการย่อยเป็นหลอดแก้วเติมน้ำกลั่น 75 มล. จนได้สารละลายใส

3.2 การกลั่น

3.2.1 เครื่อง Kjeldahl:ใส่สารละลายกรดบอริก 50 มล. ลงใน Erlenmeyer flaskขนาด 500 มล.หยด Mixed indicator 4–5 หยด นำไปวางรองรับ distillate จากเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดแก้วจุ่ม อยู่ในสารละลายบอริก แล้วเติมสารละลายเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด (1:1) จำนวน 50 มล. ลงใน Kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่าง ทำการกลั่น (ประมาณ 1 ชม.) จนได้ปริมาตร 250 มล. แล้วนำไปไทเทรต

3.2.2 เครื่องกลั่นสำหรับ block:ใส่สารละลายกรดบอริก 25 มล. ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml หยด Mixed indicator 4–5 หยด ในทำนองเดียวกันเติมสารละลายด่าง (NaOH 32%) ลงในหลอดแก้ว ที่มีสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 มล. จากเครื่องทำการกลั่นจนได้ปริมาตร 150 มล. ใช้เวลาประมาณ 5 นาทีแล้วนำไปไทเทรต

3.3 การไทเทรต

3.3.1 ไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วย H_2SO_4 มาตรฐานความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นสีม่วง (purple) คือจุดยุติ (end point)

3.3.2 ไทเทรต blank ในทำนองเดียวกัน

3.4 การคำนวณ

$$\%\text{ไนโตรเจน (Total Nitrogen)} = \frac{(A-B)\times C\times 0.014\times 100}{D}$$

A = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank

C = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (molar)

D = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

ภาคผนวก ก.–2 การเตรียมตัวอย่างพืชในรูปสารละลาย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2 ตู้ดูดควัน (Hood)

1.3 เตาย่อยชนิดพิเศษที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะสี่เหลี่ยม มีช่องบรรจุหลอด (Digestion block หรือ heat block) หรือเตานำความร้อน (Hot plate)

1.4 หลอดแก้ว Digestion tube ขนาด 250 มล. หรือขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล. หรือ 500 มล.

1.5 กรวยกรองหรือกระจกนาฬิกา

1.6 ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มล.

1.7 แท่งแก้วปลายเป็นยาง (Rubber policeman)

1.8 กรดไนตริกเข้มข้น (conc HNO_3)

1.9 กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc $HClO_4$)

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ชั่งตัวอย่างที่อบและบดละเอียดแล้ว 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

2.2 เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มล. และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 5 มล.

2.3 วางหลอดแก้วในเตาย่อย ซึ่งวางอยู่ในตู้ดูดควันที่ 150°C ระยะแรกจะมีควันสีน้ำตาลเกิดขึ้น เร่งอุณหภูมิเป็น 220°C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงเมื่อควันเปลี่ยนเป็นสีขาวให้ตรวจดูตัวอย่างในหลอด ถ้าเปลี่ยนเป็นสารละลายใสแล้วแสดงว่าการย่อยเสร็จสมบูรณ์ นำหลอดแก้วออกจากเตาย่อย วางในชองใส่หลอด ที่เตรียมไว้ รอจนตู้ดูดควันไปจนหมด

2.4 เมื่อตัวอย่างเย็นใช้น้ำฉีดล้างตัวอย่างข้าง ๆ หลอด กรองลงในขวดวัดปริมาตรจนได้ 100 มล. ปิดจุกแล้วเขย่าให้เข้ากันเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์หาธาตุ P, K

ภาคผนวก ก.–3 การวิเคราะห์หาค่าฟอสฟอรัส (Ascorbic method)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 UV–Spectrophotometer

1.2 เตาให้ความร้อน (Hot plate)

1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.4 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2. สารเคมีและวิธีเตรียม

2.1 น้ำยาที่ทำให้เกิดสี ammonium vanadomolybdate หรือ Barton's reagent ประกอบด้วย

2.1.1 น้ำยา A–เตรียมจากการละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท (ammonium molybdate – $(NH_4)6MO_7O_{24}\cdot 4H_2O$) 25 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มล.

2.1.2 น้ำยา B–เตรียมจากแอมโมเนียมเมตาวานาเดท (ammonium meta vanadate – NH_4VO_3)1.25 กรัม ในน้ำกลั่นที่อุ่นให้ร้อน 300 มล. ทิ้งให้เย็นแล้วเติมกรด HNO_3 เข้มข้นลงไป 250 มล.

2.1.3 นำ A และ B มาผสมกัน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.1.4 สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน (Standard Phosphorus หรือ Stock Standard Solution) 50 mg/L เตรียมโดยชั่ง potassium dihydrogen phosphate – KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°c เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยชั่ง 0.2195 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายซึ่งมีฟอสฟอรัสอยู่ 50 มก./ลิตร หรือจะเตรียมเป็นสารละลายฟอสฟอรัส 1000 มก./ลิตร ก็ได้ โดยชั่ง KH_2PO_4 4.393 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°c เมื่อจะใช้เป็น working standard ก็เตรียมสารละลายฟอสฟอรัส 50 หรือ 100 มก./ลิตร โดยวิธีเจือจางได้ตามต้องการ

3. วิธีวิเคราะห์

3.1 การเตรียม working standard

โดยปิเปต 0, 1, 2, 3 และ 4 ml จากสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 มก./ลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 มล. เติมน้ำยา Barton 5 มล.ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เพื่อเตรียมความเข้มข้นของ P เป็น 0, 2, 4, 6, 8 มก./ลิตร

3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

โดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มล. ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย (digestion) ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มล. เติมน้ำยา Barton 5 มล. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีสมบูรณ์อย่างน้อย 30 นาที

3.3 ก่อนการวัด

อุ่นเครื่อง UV–Spectrophotometer ไว้ประมาณ 30 นาที ตั้งความยาวคลื่น (wavelength) ของเครื่องที่ 420 nm. ทำ standard curve จาก working standard 0, 2, 4, 6, 8 มก./ลิตร ก่อนแล้วจึงวัด blank พร้อมทั้งตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

3.4 วัดความเข้มข้นของสีในสารละลายตัวอย่าง

ด้วยเครื่อง UV–Spectrophotometer ความเข้ม ของสีจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (ตัวอย่าง blank และตัวอย่างอ้างอิงก็ทำในทำนองเดียวกัน)

การคำนวณ

$$\%\text{ฟอสฟอรัส (Total phosphorus)} = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^6 S}$$

r = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องหน่วยเป็น ppm

d.f. = dilution factor เช่น 25/5 หรือ 25/1

S = น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นทางสถิติ(ANOVA)

Descriptives

ความแข็งแรง

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9	5	5.209800	.0135536	.0060614	5.192971	5.226629	5.2000	5.2330	
อัตราส่วน 4: 1: 9	5	4.623000	.0029155	.0013038	4.619380	4.626620	4.6200	4.6270	
อัตราส่วน 5: 1: 9	5	4.430600	.0223450	.0099930	4.402855	4.458345	4.4150	4.4700	
Total	15	4.754467	.3433318	.0886479	4.564336	4.944597	4.4150	5.2330	
Fixed Effects			.0151822	.0039200	4.745926	4.763008			
Random Effects				.2343436	3.746168	5.762766			.1647047

Test of Homogeneity of Variances

ความแข็งแรง

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.534	2	12	.121

ANOVA

ความแข็งแรง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.648	2	.824	3573.769	.000
Within Groups	.003	12	.000		
Total	1.650	14			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ความแข็งแรง

	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I–J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.5868000*	.0096021	.000	.561183	.612417
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.7792000*	.0096021	.000	.753583	.804817
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.5868000*	.0096021	.000	-.612417	-.561183
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.1924000*	.0096021	.000	.166783	.218017
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.7792000*	.0096021	.000	-.804817	-.753583
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.1924000*	.0096021	.000	-.218017	-.166783
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.5868000*	.0096021	.000	.560033	.613567
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.7792000*	.0096021	.000	.752433	.805967
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.5868000*	.0096021	.000	-.613567	-.560033
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.1924000*	.0096021	.000	.165633	.219167
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.7792000*	.0096021	.000	-.805967	-.752433
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.1924000*	.0096021	.000	-.219167	-.165633
LSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.5868000*	.0096021	.000	.565879	.607721
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.7792000*	.0096021	.000	.758279	.800121
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.5868000*	.0096021	.000	-.607721	-.565879
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.1924000*	.0096021	.000	.171479	.213321
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.7792000*	.0096021	.000	-.800121	-.758279
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.1924000*	.0096021	.000	-.213321	-.171479
Dunnett T3	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.5868000*	.0062000	.000	.564523	.609077
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.7792000*	.0116876	.000	.742906	.815494
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.5868000*	.0062000	.000	-.609077	-.564523
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.1924000*	.0100777	.000	.155267	.229533
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.7792000*	.0116876	.000	-.815494	-.742906
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.1924000*	.0100777	.000	-.229533	-.155267

หมายเหตุ: *. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ความแข็งแรง

	สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD[a]	อัตราส่วน 5: 1: 9	5	4.430600		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		4.623000	
	อัตราส่วน 3:1:9	5			5.209800
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe[a]	อัตราส่วน 5: 1: 9	5	4.430600		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		4.623000	
	อัตราส่วน 3:1:9	5			5.209800
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Descriptives

ความหนาแน่น

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9	5	.391800	.0040866	.0018276	.386726	.396874	.3870	.3980	
อัตราส่วน 4: 1: 9	5	.373200	.0038987	.0017436	.368359	.378041	.3690	.3790	
อัตราส่วน 5: 1: 9	5	.350800	.0053104	.0023749	.344206	.357394	.3460	.3590	
Total	15	.371933	.0178384	.0046059	.362055	.381812	.3460	.3980	
Fixed Effects			.0044759	.0011557	.369415	.374451			
Random Effects				.0118526	.320936	.422931			.0004174

Test of Homogeneity of Variances

ความหนาแน่น

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.423	2	12	.665

ANOVA

ความหนาแน่น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.004	2	.002	105.188	.000
Within Groups	.000	12	.000		
Total	.004	14			

ความหนาแน่น

	สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD[a]	อัตราส่วน 5: 1: 9	5	.350800		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		.373200	
	อัตราส่วน 3:1:9	5			.391800
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe[a]	อัตราส่วน 5: 1: 9	5	.350800		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		.373200	
	อัตราส่วน 3:1:9	5			.391800
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ความหนาแน่น

			Mean Difference			95% Confidence Interval	
	(I) สุตร	(J) สุตร	(I–J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.0186000*	.0028308	.000	.011048	.026152
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0410000*	.0028308	.000	.033448	.048552
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0186000*	.0028308	.000	-.026152	-.011048
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0224000*	.0028308	.000	.014848	.029952
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0410000*	.0028308	.000	-.048552	-.033448
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.0224000*	.0028308	.000	-.029952	-.014848
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.0186000*	.0028308	.000	.010709	.026491
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0410000*	.0028308	.000	.033109	.048891
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0186000*	.0028308	.000	-.026491	-.010709
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0224000*	.0028308	.000	.014509	.030291
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0410000*	.0028308	.000	-.048891	-.033109
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.0224000*	.0028308	.000	-.030291	-.014509
LSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.0186000*	.0028308	.000	.012432	.024768
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0410000*	.0028308	.000	.034832	.047168
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0186000*	.0028308	.000	-.024768	-.012432
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0224000*	.0028308	.000	.016232	.028568
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0410000*	.0028308	.000	-.047168	-.034832
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.0224000*	.0028308	.000	-.028568	-.016232
Dunnett T3	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	.0186000*	.0025259	.000	.011125	.026075
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0410000*	.0029967	.000	.032003	.049997
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0186000*	.0025259	.000	-.026075	-.011125
		อัตราส่วน 5: 1: 9	.0224000*	.0029462	.000	.013506	.031294
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	-.0410000*	.0029967	.000	-.049997	-.032003
		อัตราส่วน 4: 1: 9	-.0224000*	.0029462	.000	-.031294	-.013506

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Descriptives

ค่าดูดซับ

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9	5	71.150000	.0291548	.0130384	71.113800	71.186200	71.1100	71.1800	
อัตราส่วน 4:1:9	5	76.798000	.0460435	.0205913	76.740829	76.855171	76.7500	76.8700	
อัตราส่วน 5:1:9	5	78.264000	.0230217	.0102956	78.235415	78.292585	78.2400	78.3000	
Total	15	75.404000	3.1747976	.8197292	73.645856	77.162144	71.1100	78.3000	
Fixed Effects			.0341565	.0088192	75.384785	75.423215			
Random Effects				2.1686921	66.072871	84.735129			14.1094427

Test of Homogeneity of Variances

ค่าดูดซับ

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.049	2	12	.380

ANOVA

ค่าดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	141.097	2	70.548	60470.040	.000
Within Groups	.014	12	.001		
Total	141.111	14			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ค่าดูดซับ

	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I–J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	-5.6480000*	.0216025	.000	-5.705632	-5.590368
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-7.1140000*	.0216025	.000	-7.171632	-7.056368
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	5.6480000*	.0216025	.000	5.590368	5.705632
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-1.4660000*	.0216025	.000	-1.523632	-1.408368
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	7.1140000*	.0216025	.000	7.056368	7.171632
		อัตราส่วน 4: 1: 9	1.4660000*	.0216025	.000	1.408368	1.523632
Scheffe	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	-5.6480000*	.0216025	.000	-5.708219	-5.587781
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-7.1140000*	.0216025	.000	-7.174219	-7.053781
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	5.6480000*	.0216025	.000	5.587781	5.708219
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-1.4660000*	.0216025	.000	-1.526219	-1.405781
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	7.1140000*	.0216025	.000	7.053781	7.174219
		อัตราส่วน 4: 1: 9	1.4660000*	.0216025	.000	1.405781	1.526219
LSD	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	-5.6480000*	.0216025	.000	-5.695068	-5.600932
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-7.1140000*	.0216025	.000	-7.161068	-7.066932
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	5.6480000*	.0216025	.000	5.600932	5.695068
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-1.4660000*	.0216025	.000	-1.513068	-1.418932
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	7.1140000*	.0216025	.000	7.066932	7.161068
		อัตราส่วน 4: 1: 9	1.4660000*	.0216025	.000	1.418932	1.513068
Dunnett T3	อัตราส่วน 3:1:9	อัตราส่วน 4: 1: 9	-5.6480000*	.0243721	.000	-5.723153	-5.572847
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-7.1140000*	.0166132	.000	-7.163743	-7.064257
	อัตราส่วน 4: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	5.6480000*	.0243721	.000	5.572847	5.723153
		อัตราส่วน 5: 1: 9	-1.4660000*	.0230217	.000	-1.539956	-1.392044
	อัตราส่วน 5: 1: 9	อัตราส่วน 3:1:9	7.1140000*	.0166132	.000	7.064257	7.163743
		อัตราส่วน 4: 1: 9	1.4660000*	.0230217	.000	1.392044	1.539956

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ค่าดูดซับ

	สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD[a]	อัตราส่วน 3:1:9	5	71.150000		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		76.798000	
	อัตราส่วน 5: 1: 9	5			78.264000
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe[a]	อัตราส่วน 3:1:9	5	71.150000		
	อัตราส่วน 4: 1: 9	5		76.798000	
	อัตราส่วน 5: 1: 9	5			78.264000
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Descriptives

ฟอสฟอรัส	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9	3	.874079	.0004806	.0002775	.872885	.875273	.8736	.8745	
อัตราส่วน 4: 1: 9	3	.846194	.0070510	.0040709	.828678	.863709	.8394	.8535	
Total	6	.860136	.0159139	.0064968	.843436	.876837	.8394	.8745	
Fixed Effects			.0049974	.0020402	.854472	.865801			
Random Effects				.0139425	.682980	1.037293			.0003805

Test of Homogeneity of Variances

ฟอสฟอรัส

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.242	1	4	.108

ANOVA

ฟอสฟอรัส

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	46.703	.002
Within Groups	.000	4	.000		
Total	.001	5			

Descriptives

ไนโตรเจน	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
อัตราส่วน 3:1:9	3	.441667	.0005774	.0003333	.440232	.443101	.4410	.4420	
อัตราส่วน 4:1:9	3	.436900	.0001000	.0000577	.436652	.437148	.4368	.4370	
Total	6	.439283	.0026370	.0010765	.436516	.442051	.4368	.4420	
Fixed Effects			.0004143	.0001691	.438814	.439753			
Random Effects				.0023833	.409000	.469566			.0000113

Test of Homogeneity of Variances

ไนโตรเจน

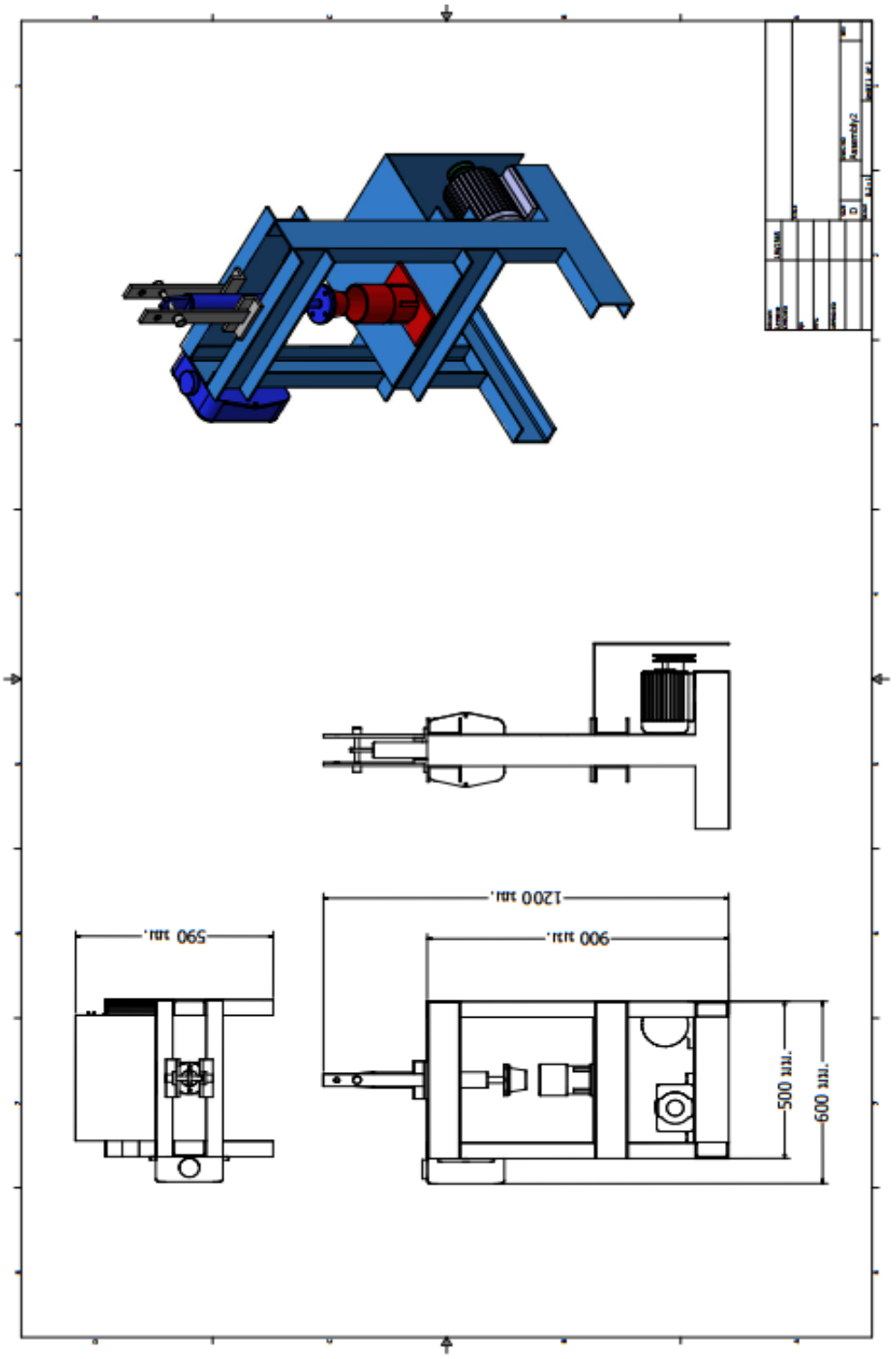
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
10.606	1	4	.031

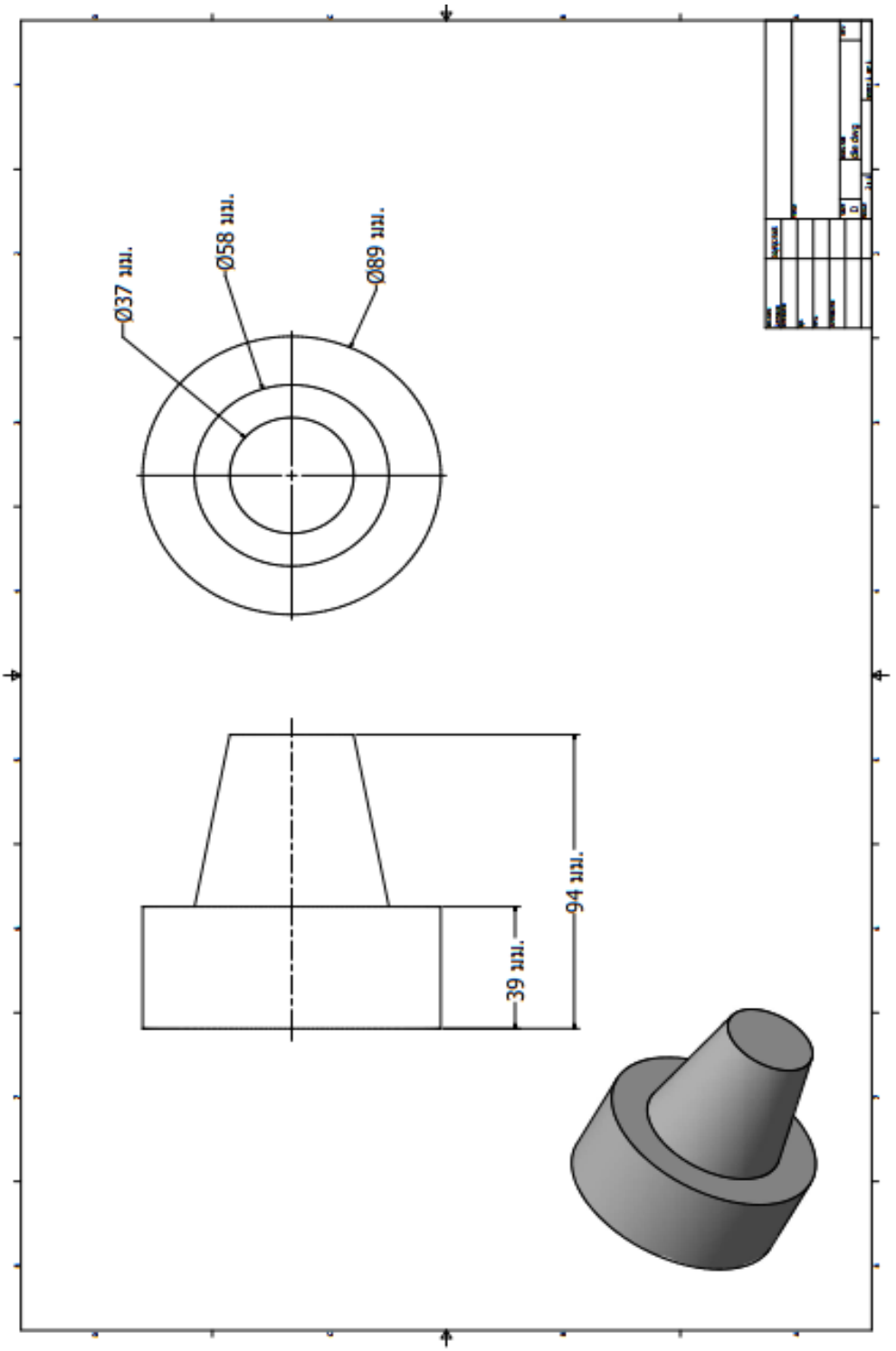
ANOVA

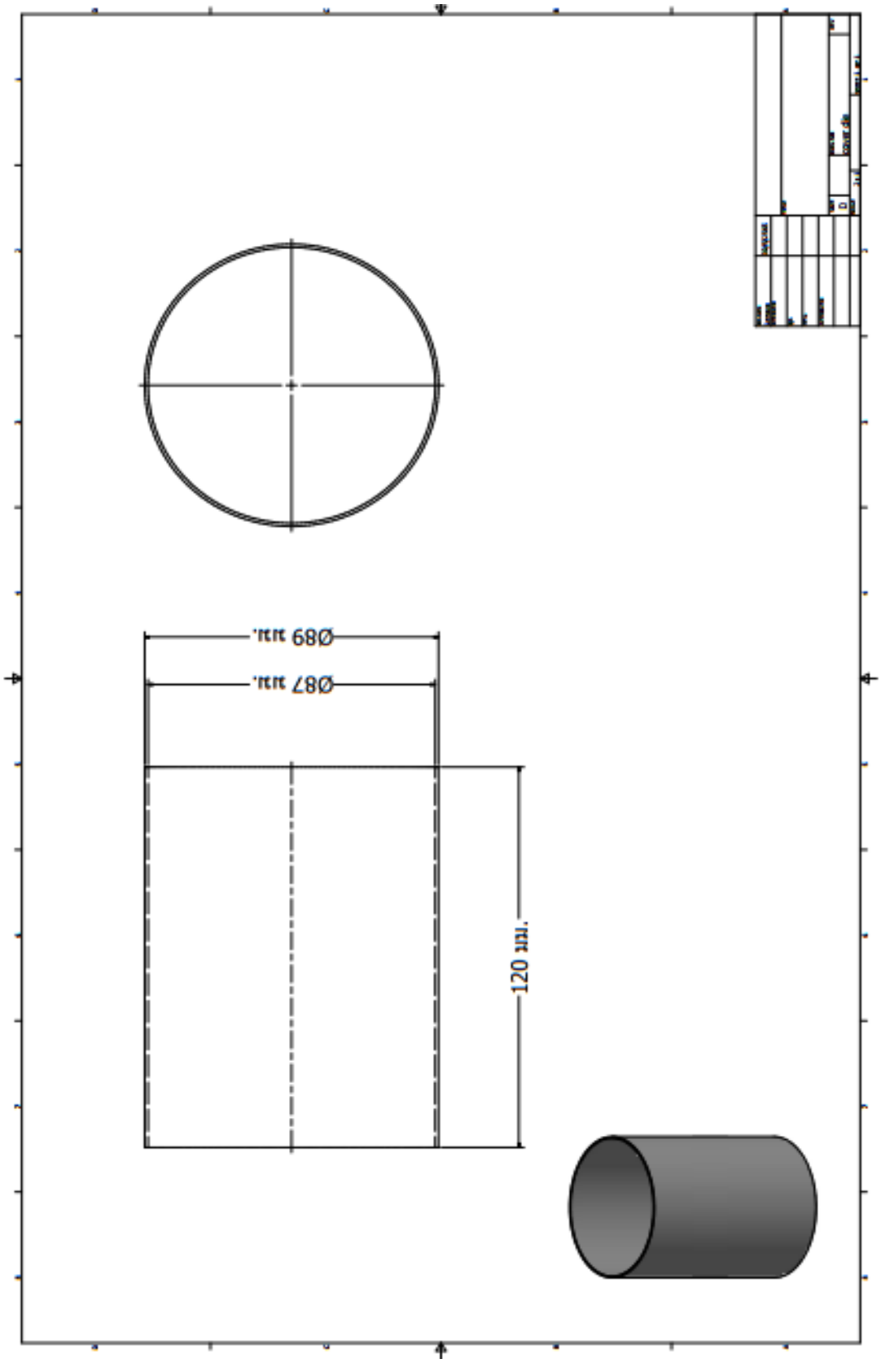
ไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	198.534	.000
Within Groups	.000	4	.000		
Total	.000	5			

ภาคผนวก ค แบบเครื่องอัดกระถาง




Ø37 мм.
Ø58 мм.
Ø89 мм.
94 мм.
39 мм.


Ø89 мм.
Ø87 мм.
120 мм.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	พิทยา ขวัญกิจศักดา
วัน เดือน ปี เกิด	12 กุมภาพันธ์ 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดลำปาง
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2545, คอ.บ., (วิศวกรรมอุตสาหการ), สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ, เชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	193 หมู่ที่ 4 ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง 52220
ผลงานตีพิมพ์	พิทยา ขวัญกิจศักดา (ผู้บรรยาย). (25-28 มกราคม 2565). การประยุกต์ใช้ต้นธูปฤาษีที่เก็บเกี่ยวจากระบบบึงประดิษฐ์เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ ในการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 11 (PRC) (1083-1090). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา