การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรง เป็นท่อให้น้ำบนดินและใต้ดิน

STUDY OF REINFORCED POROUS RUBBER PIPE EFFICIENCIES AS ON-GROUND AND UNDERGROUND WATER IRRIGATION SYSTEMS

ณภัทร รัตนภักดี
ปิยธิดา ปลื้มภาณุภัทร

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF REINFORCED POROUS RUBBER PIPE EFFICIENCIES AS ON-GROUND AND UNDERGROUND WATER IRRIGATION SYSTEMS

NAPAT RATANAPAKDEE

PIYATIDA PLERMPANUPAT

COPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรงเป็นท่อให้น้ำบนดินและใต้ดิน Study of Reinforced Porous Rubber Pipe Efficiencies as On-ground and Underground Water Irrigation Systems
ชื่อนักศึกษา	นายณภัทร รัตนภักดี รหัสนักศึกษา 58050459 นางสาวปิยธิดา ปลื้มภาณุภัทร รหัสนักศึกษา 58050503
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.บุณณมา ศิริพันธ์โนน ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรงเป็นท่อให้น้ำบนดินและใต้ดิน
ชื่อนักศึกษา	นายณภัทร รัตนภักดี รหัสนักศึกษา 58050459
	นางสาวปิยธิดา ปลื้มภาณุภัทร รหัสนักศึกษา 58050503
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยสหกิจศึกษานี้ เป็นงานวิจัยต่อเนื่องในการศึกษา “ท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรง” ซึ่งเป็นอุปกรณ์ให้น้ำชนิดใหม่ที่ตอบโจทย์เกษตรอัจฉริยะ ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งราคาถูก ได้แก่ผงยางรถยนต์ ยางรีเคลม เสริมแรงด้วยเศษเส้นใยพลาย (Ply) จากขยะยางรถยนต์ งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ทั้งบนดินและใต้ดิน ศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อที่สภาวะต่าง ๆ การเกิดตะไคร่ จำลองสภาวะการใช้งานใต้ดินเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน เช่นการยุบตัวและอัตราการไหลของน้ำ รวมทั้งการเปรียบเทียบการใช้งานในแปลงปลูกจริง จากการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อในสภาวะต่าง ๆ พบว่าสภาวะดินแห้ง ดินเปียก สารละลายปุ๋ยเคมี น้ำ และความร้อน ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมในช่วงเวลาที่ศึกษา (2 เดือน) แต่ในสภาวะที่โดนแสงแดดมีผลต่อสมบัติเชิงกลเล็กน้อย เช่นค่าความแข็งกด และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพ ในการศึกษาการเกิดตะไคร่ในน้ำนิ่งพบว่า เกิดตะไคร่ 0.117 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านน้ำลดลง 12.5 เปอร์เซ็นต์ การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 118.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการอุดตันของตะไคร่ในรูพรุน จากการทดสอบการใช้งานใต้ดินพบว่าอัตราการซึมผ่านน้ำใต้ดินน้อยกว่าบนดิน ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อใต้ดินที่มีค่าน้อยกว่าบนดิน เนื่องจากผลของการกดอัดของดิน อัตราการซึมผ่านน้ำและระยะทางการแพร่ของน้ำในดินร่วนและดินทรายมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ น้ำหนักกดสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบนประมาณ 7 กิโลกรัม แต่น้ำยังสามารถซึมออกได้ พบว่าท่อสามารถใช้งานได้ทั้งบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินและใต้ดินและมีศักยภาพสูงที่จะจำหน่ายเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ดีอาจมีการปรับสูตรเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงบางสมบัติในบางการใช้งาน เช่นงานกลางแจ้ง งานที่ไม่เกิดตะไคร่ เป็นต้น

คำสำคัญ : การเกษตรอัจฉริยะ ท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรง ยางรีเคลม อุปกรณ์ให้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of Reinforced Porous Rubber Pipe Efficiencies as On-ground and Underground Water Irrigation Systems
Students	Mr. Napat Ratanapakdee Student ID 58050459
	Miss Piyatida Plermpanupat Student ID 58050503
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud

Abstract

In this cooperative study, a novel water irrigation equipment for smart agriculture so called "Reinforced Porous Rubber Pipe (RPRP)" was further studied. The pipe can be produced from worn-out tire wastes, i.e., ground tire rubber (GTR), reclaimed rubber (RR) and short ply fibers. In this work, efficiencies and applications of the RPRP were studied as on-ground and underground pipes. Studied scopes included degradation and resistance of the pipes to several environments, i.e., dried soil, wet soil, fertilizer solutions, direct sunlight, water, and hot-air oven. It was found that most of mechanical properties of the pipes in each environment were insignificantly changed during test period (2 months). However, properties of the pipes under direct sunlight had trends to deteriorate, e.g., hardness and %elongation at break due to degradation. From the algae formation under water test, average algae amount of 0.117 micrograms/cm^2 was found. As a result, water permeability was decreased 12.5 % and %diameter swell increased 118.8 % due to algae clogging. Due to the soil pressure, water permeability rates in underground tests were lower than those of on-ground tests corresponding to %diameter swell. Water permeation distances were unaffected by types of soils (loam and sand). Maximum compression load to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

completely fold the pipe was 7 kg. Comparative field tests of vegetable planting in different watering systems were also carried out, i.e. hand watering, on-ground and underground pipes. It was proven that the pipes can be used in both on-ground and underground applications with have high potentials for commercial applications. However, improved formulas for the pipes might be needed to study in some applications, e.g., direct sunlight and lost algae applications.

Keywords : Smart agriculture, Reinforced porous rubber pipe, Reclaimed rubber (RR) , Irrigation equipment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ ความร่วมมือ รวมถึงคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัยจากบุคคลและองค์กรต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและการปฏิบัติงาน ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ซึ่งเป็นผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ และผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบสหกิจศึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณบุญหาญ อู่อุดมยิ่ง บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในด้านปฏิบัติการทดลองงานวิจัย รวมถึงบุคลากรในบริษัทที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับทุนอุดหนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม และภาควิชาชีววิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุต่าง ๆ รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบตะไคร่

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด หากงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ นับเป็นความยินดีอย่างยิ่ง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ณภัทร รัตนภักดี

ปิยธิดา ปลื้มภาณุภัทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 7

1.3 ขอบเขต 7

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 ท่อยางน้ำซึม (Porous rubber pipe) 9

2.1.1 หลักการทำงาน 9

2.1.2 รูปแบบการใช้งาน 9

2.1.3 การผลิตท่อยางน้ำซึม 10

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้น้ำ 11

2.2 ดิน 11

2.2.1 ส่วนประกอบของดิน 11

2.2.2 ลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปของดิน 12

2.2.3 ดินที่ไม่เหมาะแก่การปลูกพืช 13

2.3 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช 14

2.4 ปุ๋ย 15

2.4.1 ประเภทของปุ๋ย 15

2.4.2 หลักการใช้ปุ๋ย 16

2.5 น้ำเพื่อการเกษตร 17

2.5.1 ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2 สมดุลของน้ำในดิน (Soil water balance) 19
2.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความชื้นในดิน
และน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 19
2.5.4 หลักของการให้น้ำแก่พืชปลูก 20
2.5.5 วิธีการให้น้ำแก่พืชปลูก 21
2.5.6 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ ของพืช 24
2.5.7 การตรวจวัดความชื้นในดิน (Soil moisture) 25
2.6 ตะไคร่น้ำ 26
2.6.1 การทดสอบตะไคร่น้ำ 27
2.6.1.1 วิธีทดสอบรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone) 27
2.6.1.2 มาตรฐานทดสอบ ASTMD3731 –04 โดยการวัดปริมาณ
คลอโรฟิลล์ เอ 28
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 34
3.1 แผนการดำเนินงาน 34
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 34
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 35
3.4 วิธีการทดลอง 35
3.4.1 การเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมที่สภาวะต่าง ๆ 35
3.4.2 การเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม 40
3.4.3 การใช้งานใต้ดินของท่อยางน้ำซึม 42
3.4.3.1 อัตราการซึมน้ำในใต้ดินของท่อยางน้ำซึม 42
3.4.3.2 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางท่อยางน้ำซึม 43
3.4.3.3 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึม 44
3.4.3.4 น้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบน 44
3.4.4 การใช้งานใต้ดินและบนดินในแปลงปลูก 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 46

4.1 การศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสภาวะต่าง ๆ 47

4.1.1 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อสภาวะดินแห้งและดินเปียก 47

4.1.2 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อแสง 49

4.1.3 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อสารละลายปุ๋ยเคมี 52

4.1.4 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อการแช่น้ำ 54

4.1.5 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อความร้อน (Heat aging) 56

4.2 การศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม 58

4.2.1 ปริมาณการเกิดตะไคร่น้ำบนพื้นผิวท่อยางน้ำซึม 58

4.2.2 อัตราการซึมผ่านน้ำหลังการเกิดตะไคร่น้ำ 59

4.2.3 สมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมหลังการเกิดตะไคร่น้ำ 61

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของท่อยางน้ำซึมในสภาวะใต้ดิน 62

4.3.1 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม 62

4.3.2 อัตราการซึมผ่านน้ำใต้ดิน 63

4.3.3 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึม 64

4.3.4 น้ำหนักกดสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบน 65

4.4 ผลการทดสอบของท่อยางน้ำซึมในการใช้งานจริง 66

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70

5.1 สรุปผลการทดลอง 70

5.2 ข้อเสนอแนะ 71

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก 78

ภาคผนวก ก 79

ภาคผนวก ข 82

ภาคผนวก ค 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิด 13
2.2 หน้าที่และความสำคัญของธาตุอาหารพืช และอาการของพืชเมื่อขาดธาตุอาหารหลัก..... 14
2.3 รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย 27
3.1 สมบัติบางประการของท่อยางน้ำซึม 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพจำลองการเกษตรแม่นยำ (Precision farming)	1
1.2 กองขยะยางรถยนต์	3
1.3 ภาพแสดงลักษณะของท่อยางน้ำซึม (Porous rubber pipe)	4
1.4 การให้น้ำทางผิวดินด้วยท่อยางน้ำซึม	5
1.5 การให้น้ำทางใต้ดินด้วยท่อยางน้ำซึม	6
2.1 รูปแบบการใช้งานของท่อยางน้ำซึม	10
2.2 แผนภูมิวงกลมแสดงอัตราส่วนร้อยละขององค์ประกอบในดิน	12
2.3 ลักษณะดินแต่ละชนิด	13
2.4 แหล่งที่มาและลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์	15
2.5 หลักการการใช้ปุ๋ยอย่างถูกวิธี	16
2.6 (a) Three-phase system of soil structure (b) ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้	18
2.7 สมดุลของน้ำในดิน	19
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความชื้นในดิน และน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	20
2.9 การให้น้ำทางผิวดินแบบท่วมผิวดินแปลงใหญ่ (บน) และแบบท่วมเฉพาะในร่องคู (ล่าง)	22
2.10 การให้น้ำทางใต้ผิวดินแบบคูเปิด (ซ้าย) และแบบท่อฝังดิน (ขวา)	23
2.11 ความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่าง ๆ	25
3.1 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในดินแห้ง	37
3.2 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในดินเปียก	37
3.3 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในน้ำ	38
3.4 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15และ สูตร 46-0-0 ตามลำดับ	38
3.5 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในแสงแดด	39
3.6 ตัวอย่างควบคุม (ไม่โดนแสง)	39
3.7 การวัดปริมาณการซึมผ่านของน้ำ	40
3.8 ท่อยางน้ำซึมที่ถูกแช่ในน้ำเพื่อให้เกิดตะไคร่	41
3.9 การวัด pH ของน้ำที่ใช้	41
3.10 การทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	43
3.11 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อถูกทับแบน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 การเพาะต้นกล้าในถาดหลุม	44
3.13 (ก) แปลงให้น้ำปกติ ให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน และให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน ตามลำดับ และ (ข) การวางท่อยางน้ำซึมใต้ดินที่ความลึก 15 เซนติเมตรก่อนการฝังกลบ	45
3.14 แปลงเพาะต้นกล้า	45
4.1 แผนผังแสดงการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของท่อยางน้ำซึม	47
4.2 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก	48
4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก	48
4.4 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก	49
4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก	49
4.6 ปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพแบบเชื่อมโยง (Crosslink) ในยางธรรมชาติ	50
4.7 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง	51
4.8 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง	51
4.9 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง	52
4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง	52
4.11 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี	53
4.12 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี	53
4.13 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี	54
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี	54
4.15 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ	55
4.16 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในน้ำ	55
4.17 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ	55
4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ	56
4.19 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน	56
4.20 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน	57
4.21 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน	57
4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน	57
4.23 ลักษณะของสาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella)	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope) แสดงลักษณะของท่อยางน้ำซึมบริเวณพื้นผิว (ด้านซ้าย) และพื้นผิวหน้าตัด (ด้านขวา) ที่ผ่านการแช่น้ำ เป็นระยะเวลา 2 เดือน (ภาพกำลังขยาย 40 เท่า) 59
4.25 อัตราการซึมผ่านน้ำก่อน-หลังการเกิดตะไคร่น้ำ 60
4.26 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อยางน้ำซึมก่อน-หลังการเกิดตะไคร่น้ำ 60
4.27 สมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมและหลังการเกิดตะไคร่ 61
4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึมบนดินและใต้ดิน 62
4.29 อัตราการซึมผ่านน้ำบนดิน และใต้ดิน (ดินร่วน, ดินทราย) 63
4.30 ลักษณะดินร่วน และดินทราย 64
4.31 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึมในดินร่วนและดินทราย 64
4.32 ตัวอยางการทดสอบการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึมในดินร่วนและดินทราย 64
4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกดและเปอร์เซ็นต์การเสียรูปของท่อยางน้ำซึม 65
4.34 ตัวอย่างการเสียรูปท่อยางน้ำซึม ก) ท่อยางน้ำซึมที่ยังไม่เสียรูป ข) เสียรูป 40 เปอร์เซ็นต์ ค) เสียรูป 80 เปอร์เซ็นต์ และ ง) เสียรูป 100 เปอร์เซ็นต์ 65
4.35 ท่อที่ถูกกดขณะมีการซึมผ่านของน้ำ 66
4.36 ความสูงของผักกวางตุ้งในแต่ละสัปดาห์ 67
4.37 ลักษณะของต้นกวางตุ้งในระยะเวลา 35 วัน ก) แปลงการให้น้าแบบปกติ ข) แปลงการให้น้าด้วยท่อยางน้าซึมใต้ดิน และ ค) แปลงการให้น้าด้วยท่อยางน้าซึมบนดิน 67
4.38 ค่าความยาวรากของแต่ละแปลง (ระยะเวลา 35 วัน) 68
4.39 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินในแต่ละสัปดาห์หลังการให้น้ำ (หน้าดิน) 68
4.40 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินในแต่ละสัปดาห์หลังการให้น้ำ (ใต้ดิน) 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไทยแลนด์ 4.0 เป็นวิสัยทัศน์เชิงนโยบายที่เปลี่ยนเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม [1] โดยมีฐานคิดหลัก คือ เปลี่ยนจาก การผลิตสินค้า "โภคภัณฑ์" ไปสู่สินค้าเชิง "นวัตกรรม" เปลี่ยนจากการขับเคลื่อนประเทศด้วยภาคอุตสาหกรรม ไปสู่การขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงได้มีการเปลี่ยนวิธีการทำที่มีลักษณะสำคัญ คือ เปลี่ยนจากการเกษตรแบบดั้งเดิมในปัจจุบันไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยีหรือการเกษตรอัจฉริยะ (Smart farming) [2] โดยในช่วง 20 ปีมานี้หลาย ๆ ที่ในโลกก็ได้เริ่มพัฒนาเทคโนโลยีด้านการเกษตรไปอีกขั้นกับการนำเครื่องมือใหม่ ๆ และระบบการเกษตรแม่นยำ (Precision farming) เข้ามาใช้ ซึ่ง Precision farming นั้นเกิดจากแนวคิดที่ว่าการปลูกพืชนั้นมีปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลทั้งเรื่องของดินฟ้าอากาศ ดังนั้นในไร่นาจึงมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ แม้จะอยู่ในไร่เดียวกันก็ตาม [3] จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีหรือหุ่นยนต์ เครื่องจักร ฯลฯ ที่มีความแม่นยำสูงเข้ามาช่วยในการทำงาน โดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด [4] ดังรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 ภาพจำลองการเกษตรแม่นยำ (Precision farming) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) เกิดจากวิกฤตการณ์ด้านทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน ระบบเศรษฐกิจต้องเผชิญกับความเสี่ยงด้านอุปทานจากการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตและปัญหามลภาวะของสิ่งแวดล้อม ทำให้แนวคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ถูกกล่าวถึงอีกครั้งจากทั้งองค์กรระหว่างประเทศ รัฐบาล และกลุ่มธุรกิจรายใหญ่ เนื่องจากระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพของการจัดการของเสียจากการผลิตและบริโภคด้วยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการผลิตและบริโภคแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Re-material) และสนับสนุนการใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งต่างจาก Linear economy ในปัจจุบันที่ให้ความสำคัญกับการเพิ่มกำไรของระบบเศรษฐกิจให้มากที่สุดเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ สหภาพยุโรปจึงนำแผนการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy package) มาใช้ เพื่อเป็นแนวทางให้แก่กลุ่มประเทศสมาชิกในการเพิ่มศักยภาพความสามารถในการแข่งขัน และนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน และบริษัท Accenture ยังได้คาดการณ์ว่าระบบเศรษฐกิจแบบใหม่จะทำให้เกิด Circular advantage จากโมเดลทางธุรกิจที่ต้องอาศัยนวัตกรรมการผลิตและบริโภคที่ล้ำสมัย ทั้งในกระบวนการผลิต การกระจายสินค้าและบริการ และการจัดการขยะและของเสีย และจะสามารถสร้างมูลค่าให้แก่ระบบเศรษฐกิจได้ถึง 4.5 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ภายในปี 2030 ทั้งนี้ แนวคิด Circular economy ตั้งอยู่บนหลักการ 3 ข้อ ได้แก่

1) การรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพทุนด้านทรัพยากรธรรมชาติ
2) การใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยการหมุนเวียนวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์
3) การรักษาประสิทธิภาพของระบบด้วยการระบุและลดผลกระทบเชิงลบให้มากที่สุด

หลักการทั้ง 3 ข้อ ทำให้เกิดลักษณะสำคัญของ Circular economy คือ การทำให้ระบบเศรษฐกิจไม่มีขยะ การขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยพลังงานหมุนเวียน การให้ความสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต และการที่ราคาสะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริง โดยเมื่อวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต (Manufacturing) และกระจายไปยังผู้บริโภคแล้ว (Distribution) สิ่งที่เหลือจากการบริโภค (Use and disposal) จะถูกนำกลับไปจัดสรรใหม่ (Reuse/Redistribution) หรือนำกลับสู่กระบวนการผลิตอีกครั้ง (Re-manufacturing/Recycle) เพื่อคืนความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ทรัพยากรธรรมชาติ ฟื้นฟูระบบนิเวศน์ ลดผลกระทบเชิงลบ และเพิ่มผลกระทบเชิงบวกต่อระบบเศรษฐกิจอย่างไรก็ตาม ระบบเศรษฐกิจปัจจุบันไม่ได้เป็น Linear economy ตลอดเวลา การนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่สามารถพบได้ในหลายประเทศทั่วโลก รวมไปถึงการเปลี่ยนรูปแบบธุรกิจจากการผลิตไปเป็นการบริการที่อาศัยเทคโนโลยี ดังนั้น Circular economy จึงไม่ใช่เรื่องของอนาคตอีกต่อไป [5]

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และส่งออกในรูปยางดิบมากที่สุดในโลก ปี 2561 มีจำนวนเกษตรกรที่ทำการปลูกยางพาราถึง 1.1 ล้านครัวเรือน [6] คิดเป็นสัดส่วนกว่า 90% ของผลผลิตยางพาราทั่วโลก อุตสาหกรรมยางพาราของประเทศถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราค่อนข้างมาก ซึ่งที่ผ่านมานโยบายในการพัฒนาอุตสาหกรรม

เอกสารนี้ [illegible] การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางพาราปลายน้ำของไทยไม่ชัดเจน ทำให้การผลิตของไทยส่วนใหญ่เป็นการแปรรูปยางพาราขั้นต้นเพื่อส่งออกตามความต้องการของประเทศ มีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางขั้นปลายจำนวนน้อย ทำให้ผู้ประกอบการไทยประสบปัญหาด้านการแข่งขันสูงจากลักษณะสินค้าที่มีความแตกต่างกัน (Low product differentiation) ปัญหาที่ไทยกำลังพบเจอ คือ การลงทุนพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราขั้นปลายของไทยที่ยังมีไม่มากนัก [7]

ในปัจจุบันยางรถยนต์ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของทุกคน ไม่ว่าจะเป็นยางล้อขนส่งบุคคลหรือสาธารณะ ในแต่ละปีมีการนำยางรถยนต์ไปใช้งานถึง 17 ล้านตันต่อปี ในประเทศไทยพบว่ามีขยะยางรถยนต์กว่า 600,000 ตัน [8] ซึ่งมีการสะสมของยางเสียจำนวนมาก ดังรูปที่ 1.2 ส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพ (โดยยุงเป็นพาหะ) สามารถติดไฟได้ และค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด

รูปที่ 1.2 กองขยะยางรถยนต์ [9]

จากที่กล่าวข้างต้น จึงได้มีการนำยางรถยนต์กลับมาใช้ใหม่ ด้วยการนำมาทำให้เป็นเศษยางเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น การนำเศษยางมาทำยางรีเคลม (Reclaimed rubber, RR) เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การรีเคลมเป็นกระบวนการเปลี่ยนยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว (เกิดโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ) โดยใช้สารเคมีและความร้อน ตัดพันธะเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง ให้เกิดเป็นยางที่มีสมบัติที่ไหลและขึ้นรูปใหม่ได้ อย่างไรก็ตามยางรีเคลมที่ถูกนำมาวัลคาไนซ์ใหม่ จะมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่ายางใหม่ ดังนั้นยางรีเคลมจึงมักจะถูกนำไปผสมร่วมกับยางใหม่เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางรีเคลมให้ดีขึ้น ขั้นตอนของกระบวนการรีเคลม คือ การแยกเอาชิ้นส่วนต่าง ๆ ของยางล้อที่ไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ เช่น ขอบลวด ออกไปก่อน แล้วนำส่วนของดอกยางและแก้มยางที่สามารถรีไซเคิลได้ไปบดให้ละเอียดและนำไปผ่านกระบวนการดีวัลคาไนซ์ (Devulcanization process) กำจัดสิ่งเจือปนออก และรีดเป็นแผ่นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้าย โดยทั่วไปยางล้อหนึ่งเส้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นยางร้อยละ 50-55 เขม่าดำร้อยละ 30 น้ำมันร้อยละ 8-10 และสารเคมีอื่น ๆ ร้อยละ 6-8 การผสมยางรีเคลมลงไปในยางใหม่จะไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป แต่จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดต่ำลง กระบวนการผลิตยางรีเคลมจะให้ผลผลิตร้อยละ 98 หมายความว่า ถ้าป้อนยางเข้าสู่กระบวนการผลิต 100 ตัน จะได้ผลผลิตยางรีเคลมเท่ากับ 98 ตัน โดยมีส่วนที่สูญหายไปจากการระเหยและการกลายเป็นสารอื่น [10]

สถานการณ์ปัจจุบันสภาวะโลกร้อนส่งผลโดยตรงต่อภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาพืชขาดน้ำส่งผลกระทบอย่างมากต่อผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลง ดังนั้นแนวทางการใช้น้ำในปัจจุบัน จึงไม่ใช่การกักเก็บสำรองน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ต้องรวมถึงการที่จะสามารถใช้น้ำอย่างไรให้เกิดประสิทธิผลประหยัดและมีประโยชน์สูงสุดอีกด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการให้น้ำที่ประหยัดน้ำและมีประสิทธิภาพต่อการปลูกพืช เช่น ท่อยางน้ำซึมที่ปัจจุบันได้รับการนิยมใช้อย่างแพร่หลาย

ท่อยางน้ำซึม (Porous rubber pipe) แสดงดังรูปที่ 1.3 เป็นนวัตกรรมที่ถูกริเริ่มจากแนวคิดที่ว่าจะทำอย่างไรให้คนหันมาสนใจปลูกต้นไม้กันมากขึ้นและประหยัดทั้งพลังงานและน้ำที่เป็นทรัพยากรโลก สิ่งที่ตอบโจทย์แรงบันดาลใจได้ดี คือ ต้องทำให้การดูแลต้นไม้ง่ายขึ้น สะดวกมากขึ้น และต้องประหยัด จึงได้มองเห็นโอกาสสำหรับการคิดค้นนวัตกรรมการให้น้ำ และได้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ท่อยางน้ำซึม ที่เราเห็นกันทั่วไปตามท้องตลาดขึ้นมา ซึ่งตอบโจทย์ให้แก่ผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก ทำให้คนปลูกต้นไม้สามารถดูแลและควบคุมการให้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกมากขึ้น โดยสามารถติดตั้งและควบคุมเวลาให้น้ำได้เป็นอย่างดี

ลักษณะของท่อยางน้ำซึม คือ มีความยืดหยุ่นสูง สามารถดัดโค้งได้ตามลักษณะที่ต้องการ มีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ทั่วทั้งท่อ ทำให้น้ำซึมออกมาอย่างสม่ำเสมอ โดยสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้จากการควบคุมความดันน้ำ ซึ่งน้ำประปาทั่วไปจะมีความดันน้ำประมาณ 0.5-1.6 บาร์

รูปที่ 1.3 ภาพแสดงลักษณะของท่อยางน้ำซึม (Porous rubber pipe) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อยางน้ำซึมนี้สามารถใช้ในการให้น้ำกับพืชทั้งทางผิวดินและใต้ผิวดิน โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนี้

ข้อดีของการให้น้ำทางผิวดิน

1. สามารถใช้ได้ดีกับดินและพืชเกือบทุกชนิด

2. มีความคล่องตัวสูง โดยสามารถให้น้ำแก่พืชในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ไม่ได้ให้น้ำ เช่น อาจให้น้ำแก่พืช 10 วันต่อครั้ง โดยใช้เวลาให้น้ำเพียงวันเดียวหรือสองวัน

3. ถ้ามีน้ำอยู่แล้วจะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้ โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ฉะนั้นความเสียหายของพืชอันเนื่องมาจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันจึงมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย

4. หากมีการออกแบบและให้น้ำที่เหมาะสม จะทำให้การให้น้ำแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงมาก

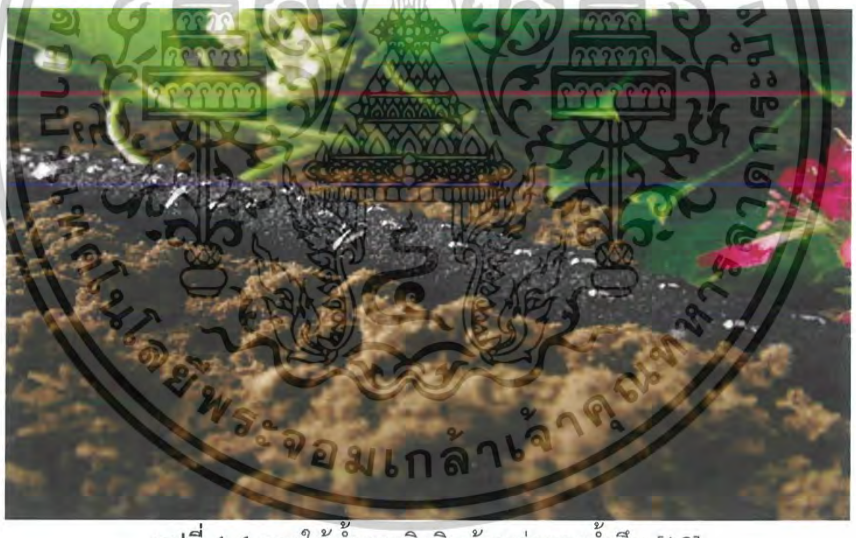
ข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน

1. พื้นที่ไม่ราบเรียบและลาดเทไม่สม่ำเสมอจะไม่เหมาะสมกับการให้น้ำแบบนี้

2. อาจเกิดการกัดเซาะแปลงขึ้นหากพื้นที่มีความลาดเทมาก

3. คันดินและคูน้ำอาจเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร

4. ส่วนมากต้องการความรู้และแรงงานในการให้น้ำแบบนี้ค่อนข้างสูง



รูปที่ 1.4 การให้น้ำทางผิวดินด้วยท่อยางน้ำซึม [12]

ข้อดีของการให้น้ำทางใต้ดิน

1. สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน

2. สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุต่าง ๆ ได้

3. มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไปน้อย

5. ระบบการให้น้ำทางดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย

<u>ข้อเสียของการให้น้ำทางใต้ดิน</u>

1. เนื่องจากวิธีนี้ต้องการให้มีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ในเขตรากและดินจะต้องมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงใช้ได้กับพื้นที่เพียงบางส่วนเท่านั้น

2. โดยปกติแล้วพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงจะต้องให้น้ำวิธีนี้เหมือนกัน มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำได้

3. น้ำชลประทานต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินและในเขตรากขึ้นได้

4. สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พืชที่มีรากลึก เช่น พืชสวน และพืชยืนต้นไม่เหมาะที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้ [12]

รูปที่ 1.5 การให้น้ำทางใต้ดินด้วยท่อยางน้ำซึม [12]

ในการใช้งานใต้ดินอาจมีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพของท่อลดลงได้ เช่น แรงกดอัดจากดินและวัตถุบนผิวดิน การเกิดตะไคร่ในท่อ และสภาวะต่าง ๆ ขณะใช้งานที่แตกต่างจากการใช้งานบนดิน

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง [13] เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน “ท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรง” โดยเป็นงานวิจัยร่วมกันระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและบริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด (SAENG THAI RUBBER CO., LTD.) ท่อยางน้ำซึมนี้มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยพลาย (Ply) จากยางรถยนต์ ทำให้ท่อมีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ยางรีเคลม (Reclaim rubber) เป็นวัตถุดิบ ทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิต ท่อยางน้ำซึมจึงมีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาต่อในด้านประสิทธิภาพการใช้ทั้งบนดินและใต้ดิน โดยมีการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อที่สภาวะต่างๆ ศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อ จำลองสภาวะการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานใต้ดินเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน และการเปรียบเทียบการใช้งานของท่อยางน้ำซึมทั้งบนดินและใต้ดินในแปลงปลูกจริง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาท่อยางน้ำซึมเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรงทั้งการใช้งานบนดินและใต้ดิน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

1) ศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมที่สภาวะต่าง ๆ
2) ศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม
3) จำลองการใช้งานใต้ดินของท่อยางน้ำซึม
4) ศึกษาการใช้งานของท่อยางน้ำซึมใต้ดินและบนดินในแปลงปลูกจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) การเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมที่สภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ดินแห้ง ดินเปียก แสง สารละลายปุ๋ยเคมี น้ำ และ ความร้อน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) คือ
   - ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)
   - ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)
   - ความแข็งกด (Hardness)
   - เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)
2) การเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม
   - ศึกษาอัตราการไหลของน้ำก่อนและหลังการเกิดตะไคร่เปรียบเทียบกัน
   - ศึกษาปริมาณการเกิดตะไคร่
3) การใช้งานใต้ดิน
   - ศึกษาอัตราการไหลของน้ำในใต้ดิน
   - ศึกษาระยะการกระจายตัวของน้ำในใต้ดิน
   - ศึกษาความแข็งแรงต่อการรับน้ำหนักใต้ดิน
4) การใช้งานจริง
   - ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต (ความสูงและความยาวราก) และความชื้นในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานท่อยางน้ำซึม และสามารถใช้ผลเหล่านั้นในการปรับปรุงสูตรที่ใช้ผลิต เพื่อให้ได้ท่อยางน้ำซึมประสิทธิภาพสูง
2) เกิดนวัตกรรมการให้น้ำทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ โดยสามารถนำท่อยางน้ำซึมไปใช้งานได้ทั้งบนดินและใต้ดิน และสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ให้น้ำสำหรับระบบการเกษตรอัจฉริยะ (Smart farming)
3) สามารถนำไปพัฒนาต่อในการใช้งานด้านท่ออากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ หรือเพื่อใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำได้
4) ช่วยลดขยะที่เกิดจากอุตสาหกรรมยาง และส่งเสริมอุตสาหกรรมยางและการเกษตรอัจฉริยะภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ท่อยางน้ำซึม (Porous rubber pipe)

ท่อยางน้ำซึม เป็นวัสดุสำหรับการให้น้ำพืชแนวใหม่ ตัวสายยางผลิตจากผงยางเก่าที่ใช้แล้ว ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ และทำให้เกิดรูพรุนโดยสารให้ฟอง (Blowing agent) และสารอื่น ๆ ที่จำเป็น (ขึ้นกับสูตรของบริษัทผู้ผลิต) ทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการรีด (Extrusion) ภายใต้ความร้อนและแรงดันที่ออกแบบ เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วสายยางจะมีลักษณะเป็นท่อกลมที่มีความยืดหยุ่นสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความยาวจะมีความแตกต่างกันออกไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและผู้ผลิต โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่นิยมผลิตในประเทศไทยเพื่อการจำหน่ายเท่ากับ 16 mm และความยาวที่นิยมผลิตคือ 15, 30, 50 และ 100 m ผนังของสายยางมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ รูพรุนดังกล่าวนี้มีขนาดเล็กมากในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตา เมื่อมีการจ่ายน้ำเข้าสู่สายยาง น้ำจะหยดออกมาตามรูพรุนเหล่านี้ อัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมขึ้นอยู่กับความดันน้ำต้นสาย ความยาวของสายยางและคุณสมบัติของสายยางแต่ละรุ่น [14]

2.1.1 หลักการทำงาน

น้ำจะเริ่มซึมออกจากพื้นผิวรอบสายยางอย่างสม่ำเสมอทำให้ต้นไม้ หญ้า หรือพืชอื่น ๆได้รับน้ำอย่างเพียงพอและสามารถดูดซึมน้ำทัน โดยใช้แรงดันน้ำน้อยเพียง 0.5 – 1.1 บาร์ หรือจากก๊อกน้ำก็สามารถใช้งานได้

2.1.2 รูปแบบการใช้งาน

ในปัจจุบันมีรูปแบบการใช้งานท่อยางน้ำซึมที่หลากหลาย ดังรูปที่ 2.1 ได้แก่

- จัดสวนแนวตั้ง
- จัดสวนแนวนอน
- ฝังใต้ดิน
- สวนบนหลังคา
- ท่อออกซิเจนสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) ภาพการจัดสวนแนวตั้ง

(b) ภาพการจัดสวนแนวนอน

(c) ภาพการฝังท่อยางน้ำซึมใต้ดิน

(d) ภาพท่อออกซิเจนสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ

รูปที่ 2.1 รูปแบบการใช้งานของท่อยางน้ำซึม [16-19]

ข้อดีของการใช้งานท่อยางน้ำซึม

1. ช่วยในการประหยัดการใช้น้ำ เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณการให้น้ำได้ง่ายและมีความแม่นยำ
2. เนื่องจากท่อยางน้ำซึมมีอัตราการไหลของน้ำช้า จึงสามารถช่วยป้องกันการไถลของดินและการพังทลายของหน้าดินในสวนด้วย
3. สามารถควบคุมความชื้นในดิน ซึ่งสามารถลดโอกาสการเกิดโรคในดินได้
4. ลดอัตราการแพร่กระจายของวัชพืชได้
5. ประหยัดเวลาในการทำงาน ไม่ต้องถือบัวรดน้ำหรือกระบอกฉีดน้ำไปรดด้วยตัวเอง [20]

2.1.3 การผลิตท่อยางน้ำซึม

ท่อยางน้ำซึมถูกผลิตจากขยะยางรถยนต์ เศษผงยาง และเส้นใย ซึ่งเริ่มจากการนำเศษผงยางมาแยกขนาดออก จากนั้นนำวัตถุดิบต่าง ๆ มาผสมกัน เมื่อเสร็จสิ้นนำมาบดยางด้วยเครื่องผสมนีดเดอร์จนเสร็จ ในขั้นตอนการบดขั้นสุดท้ายจะเติมสารให้ฟอง (Blowing agent) และสารกำมะถัน และออกยางออกมาในรูปแบบของแผ่นทิ้งไว้จนเย็น ในกระบวนการขึ้นรูปเราจะขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบการอัดรีด (Extrusion) โดยนำยางผสมสูตรที่ตัดเป็นแถบกว้างประมาณ 2 นิ้วใส่เข้าไปในเครื่องอัดรีด โดยมีอุณหภูมิของสกรู (Screw) กระบอกใส่สกรู (Barrel) และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดาย (Die) ปรับความเร็วของสกรูตามความเหมาะสม รอบ/ต่อนาที ยางที่ออกมาดายจะมีลักษณะเป็นท่อกลวง เมื่อได้ท่อยางน้ำซึมจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ให้ทำการเชื่อมโยงท่อยางด้วยเตาอบลมร้อนต่อเพื่อเชื่อมโยงให้เสร็จสิ้น [13]

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้น้ำ

อัตราการจ่ายน้ำนับว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ผู้ออกแบบการให้น้ำใช้ในการตัดสินใจวางแผนการให้น้ำกับพืช สำหรับสายยางน้ำซึมนั้นมีตัวแปรที่สำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการจ่ายน้ำคือ ช่วงเวลา ความยาวสายยาง และความดันน้ำต้นสาย โดยมีรายละเอียดดังนี้

- อัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อจ่ายน้ำเข้าสายยางที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อนด้วยความดันน้ำต้นสายคงที่อัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมมีปริมาณที่สูงมากในช่วงแรกและเริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนมีปริมาณที่เกือบคงที่
- อัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมตามความยาวสายยาง พบว่าสำหรับสายยางที่ยังไม่เคยใช้งานเมื่อเริ่มต้นจ่ายน้ำเข้าสาย อัตราการจ่ายน้ำในช่วงต้นสายมีปริมาณสูงมากและลดลงตามความยาวของสายยางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานการไหลระหว่างการไหลสูงมากในช่วงเริ่มต้นของการจ่ายน้ำ
- อัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมเปรียบเทียบกับความดัน พบว่าหากสายยางมีคุณสมบัติเหมือนกัน และความยาวที่ใช้งานมีค่าเท่ากัน อัตราการจ่ายน้ำขึ้นอยู่กับความดันน้ำต้นสายที่จ่ายเข้าสายยาง และยังพบอีกด้วยว่าความดันน้ำต้นสายเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการจ่ายน้ำของสายยางน้ำซึมมากที่สุด [14]

2.2 ดิน

ดิน เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติจากการสลายตัวผุพังของอนินทรียสาร ได้แก่ หินและแร่ กับอินทรีย์สาร ได้แก่ ซากพืชซากสัตว์ ผสมคลุกเคล้ากันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน และเมื่อมีน้ำและอากาศมารวมกันอย่างเหมาะสม จะช่วยค้ำจุนและเป็นแหล่งอาหารของพืช [21]

2.2.1 ส่วนประกอบของดิน

ดินในแต่ละพื้นที่จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างนี้จะมีมากขึ้นหากมีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องและใช้ประโยชน์จากดิน ส่วนประกอบของดิน มี 4 ส่วนใหญ่ ๆ ดังรูปที่ 2.4 คือ

1. **อนินทรียวัตถุ** เป็นส่วนที่ได้จากการสลายตัวผุพังของหิน และแร่อันเป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารพืช และควบคุมโครงสร้างของดิน

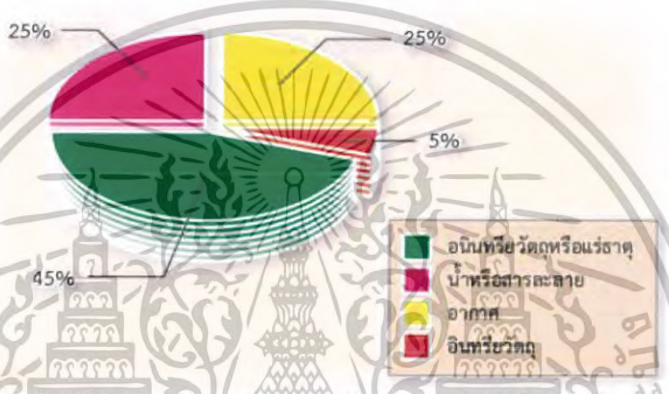
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **อินทรียวัตถุ** เป็นส่วนที่เน่าเปื่อยผุพังหรือเกิดจากการสลายตัวของเศษพืช อันเป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารพืช ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ดิน ควบคุมสมบัติทางกายภาพของดิน และจุลินทรีย์ดิน

3. **อากาศ** เป็นส่วนของก๊าซต่าง ๆ ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนดินหรือ อนุภาคดิน

4. **น้ำ** เป็นส่วนของน้ำที่พบอยู่ในช่องว่างของดินหรืออนุภาคของดิน

ดินในอุดมคติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรมีส่วนประกอบตามสัดส่วนโดยปริมาตร ดังนี้ อนินทรียวัตถุหรือแร่ธาตุร้อยละ 45 น้ำหรือ สารละลายร้อยละ 25 อากาศร้อยละ 25 และอินทรียวัตถุร้อยละ 5



รูปที่ 2.2 แผนภูมิวงกลมแสดงอัตราส่วนร้อยละขององค์ประกอบในดิน [22]

2.2.2 **ลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปของดิน**

1. **เนื้อดิน** บ่งบอกถึงความหยาบ ความละเอียดของอนุภาคดิน โดยทั่วไปเนื้อดินแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังรูปที่ 2.5 คือ

1.1 **ดินทราย** ประกอบด้วยอนุภาคทรายตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไป เป็นดินที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และน้ำซึมผ่านได้ง่ายมาก

1.2 **ดินร่วน** เป็นดินที่ประกอบด้วยอนุภาคของทรายและดินเหนียว ในปริมาณใกล้เคียงกัน เป็นดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช ไถพรวนได้ง่าย มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี และเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง

1.3 **ดินเหนียว** เป็นดินที่มีอนุภาคของดินเหนียว ร้อยละ 40 ขึ้นไป เนื้อละเอียดแน่น อุ้มน้ำได้ดี และไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ไม่เหมาะสมในการ เพาะปลูกพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ลักษณะดินแต่ละชนิด [23]

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิด [24]

ชนิดของดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (ม.ม. น้ำ/ซ.ม. ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำไปใช้ได้	พืชนำไปใช้ไม่ได้
ดินทราย	0.65 – 1.50	0.35 – 0.85	0.30 – 0.65
ดินร่วนปนทราย	1.50 – 2.30	0.75 – 1.15	0.75 – 1.15
ดินร่วน	2.30 – 3.40	1.15 – 1.70	1.15 – 1.70
ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.40 – 4.00	1.70 – 2.00	1.70 – 2.00
ดินร่วนปนดินเหนียว	3.60 – 4.15	1.50 – 1.80	2.10 – 2.35
ดินเหนียว	3.80 – 4.15	1.50 – 1.60	2.30 – 2.55

2. **สีดิน** เป็นสมบัติของดินขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบในดิน สภาพแวดล้อม และระยะเวลาการพัฒนามีประโยชน์ในการจำแนกชุดของดิน

3. **ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน** หรือ พีเอช (pH) ของดิน จะบอกเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0–14 ถ้าดินมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 แสดงว่าดินนั้นเป็นดินกรด ยิ่งมีค่าน้อยกว่า 7 มากก็จะเป็นกรดมาก แต่ถ้าดินมีพีเอชมากกว่า 7 จะเป็นดินด่าง ยิ่งมีค่ามากกว่า 7 มากก็จะเป็นด่างมาก สำหรับดินที่มีพีเอชเท่ากับ 7 พอดีแสดงว่าดินเป็นกลาง พีเอช (pH) ของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.2 ถึง 7.3

2.2.3 ดินที่ไม่เหมาะแก่การปลูกพืช

ดินแบบมีน้ำขังหรือดินลักษณะแน่นทึบ พืชจะไม่สามารถเติบโตได้ดีเท่าที่ควร เนื่องจากรากพืชขาดอากาศสำหรับใช้หายใจ ทำให้ไม่อาจดูดธาตุอาหารไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชกินอาหารแบบสารละลาย ดังนั้นถ้าปราศจากความชื้นในดิน ถึงแม้จะมีธาตุอาหารอยู่มากแค่ไหน แต่พืชก็ไม่สามารถดูดขึ้นไปใช้ได้จึงจำเป็นต้องมีน้ำไปหล่อเลี้ยงนั่นเอง

2.3 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช

พืชมีความต้องการธาตุอาหารต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งธาตุอาหาร ที่จำเป็นสำหรับพืชมีอยู่ด้วยกัน 16 ธาตุ ได้จากน้ำและอากาศ 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และได้จากดิน 13 ธาตุ โดยแบ่งตามปริมาณความต้องการ ของพืชได้ ดังนี้

- **ธาตุอาหารหลัก 3 ธาตุ** เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต ของพืช และพืชต้องการในปริมาณมากแต่ในดินมักจะขาด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม จึงต้องเพิ่มเติมให้ในรูปของปุ๋ย
- **ธาตุอาหารรอง 3 ธาตุ** เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชต้องการในปริมาณมากแต่น้อยกว่าธาตุหลัก คือ แคลเซียม กำมะถัน และแมกนีเซียม
- **ธาตุอาหารเสริม 7 ธาตุ** เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ไม่ได้ คือ ทองแดง โบรอน คลอรีน เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม และสังกะสี

ตารางที่ 2.2 หน้าที่และความสำคัญของธาตุอาหาร และอาการของพืชเมื่อขาดธาตุอาหารหลัก [23]

ธาตุอาหารพืช	หน้าที่และความสำคัญต่อพืช	อาการของพืชเมื่อขาดธาตุอาหารหลัก
ไนโตรเจน	เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ช่วยให้ พืชมีสีเขียว เร่งการเจริญ เติบโตทางใบ	ใบเหลือง ใบมีขนาดเล็กลง ลำต้นแคระแกร็นและให้ผลผลิตต่ำ
ฟอสฟอรัส	เร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด	ระบบรากจะไม่เจริญเติบโต ใบแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแล้วกลาย เป็นสีน้ำตาล และหลุดร่วง ลำต้นแกร็นไม่ผลิดอกออกผล
โพแทสเซียม	ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ด ทำให้ผลเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลงบางชนิด	พืชจะไม่แข็งแรง ลำต้นอ่อนแอ ผลผลิตไม่เติบโต มีคุณภาพต่ำ สีไม่สวย รสชาติไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปุ๋ย

ปุ๋ย คือ วัสดุที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ หรือสิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดธาตุอาหารพืช เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วจะปลดปล่อย หรือสังเคราะห์ธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่พืช [23] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มเติมธาตุอาหารที่ขาดแคลนให้แก่ดินและพืช แต่เนื่องจากปุ๋ยมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะคุณสมบัติ และมีธาตุอาหารต่าง ๆ ต่างกัน ปุ๋ยบางอย่างให้เฉพาะธาตุอาหารแต่ปุ๋ยบางอย่างนอกจากให้ธาตุอาหารแล้วยังช่วยปรับสภาพดินด้วย ดังนั้นก่อนการใช้ปุ๋ยเราควรจะต้องรู้จักปุ๋ยเสียก่อน

2.4.1 ประเภทของปุ๋ย

ปุ๋ยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ

1. **ปุ๋ยอินทรีย์** คือ สารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ผ่านกระบวนการผลิตธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี ทำให้รากพืชชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น

ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ พืชไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินก่อนแล้วจึงปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ พืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้

รูปที่ 2.4 แหล่งที่มาและลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์ [23]

2. ปุ๋ยเคมี คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารพืช เป็นสารประกอบ ที่ผ่านกระบวนการผลิตทางเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินที่มีความชื้นที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีจะละลายให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว “ปุ๋ยเคมีไม่ใช่สารพิษ” แต่เป็นวัสดุให้ธาตุอาหารเหมือน ๆ กับปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ เพียงแต่ปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่มีธาตุอาหารบางธาตุเท่านั้น โดยมีค่อนข้างเข้มข้น และเค็ม (ปุ๋ยอินทรีย์บางชนิดที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุอาหารค่อนข้างมากก็เค็มมากเช่นกัน) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีต้องใช้อย่างถูกต้อง เลือกปุ๋ยที่มีธาตุอาหารตามที่ดินขาดหรือพืชต้องการมาก และอย่าใส่ครั้งละมาก ๆ เพราะอาจทำให้พืชได้รับอันตรายจากความเค็มของดิน รวมทั้งจะเกิดการสูญเสียของปุ๋ยได้มากก่อนที่พืชจะทันได้ดูดกิน [24]

ปุ๋ยเคมีแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

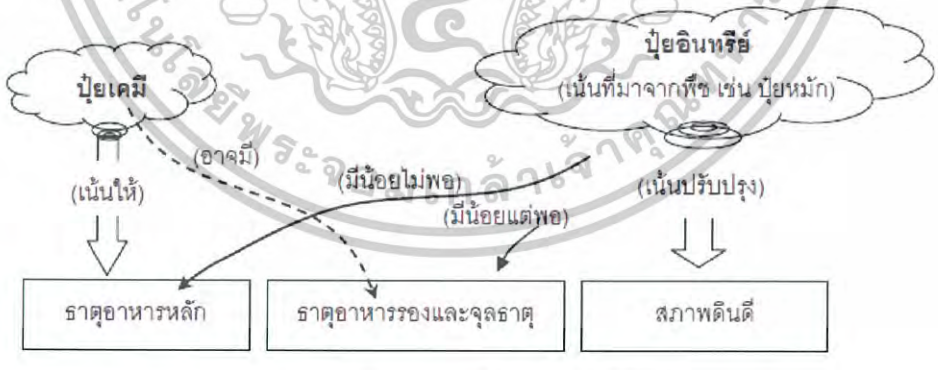
1. ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน (N) หรือ ฟอสฟอรัส (P) หรือ โพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบอยู่หนึ่งหรือสองธาตุแล้วแต่ชนิดของสารประกอบที่เป็นแม่ปุ๋ยนั้น ๆ มีปริมาณของธาตุอาหารที่คงที่ และมีความเข้มข้นสูง มักนำมาใช้ผสมเป็นปุ๋ยสูตรต่าง ๆ ได้แก่

- ยูเรีย (46-0-0)
- ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0)
- โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

2. ปุ๋ยผสม ได้แก่ ปุ๋ยที่มีการนำเอาแม่ปุ๋ยหลายชนิดมาผสมรวมกัน เพื่อให้ปุ๋ยที่ผสมได้มีปริมาณ และสัดส่วนของธาตุอาหาร N P และ K ตามที่ต้องการ เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่เหมาะที่จะใช้กับพืชและดินที่แตกต่างกัน [23]

2.4.2 หลักการใช้ปุ๋ย

การปลูกพืชในดิน หลักการใช้ปุ๋ยที่ถูกต้องจะต้องใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยปุ๋ยเคมีเน้นการให้ธาตุอาหารหลัก พวก เอ็น-พี-เค โดยเฉพาะเพื่อปรับสัดสวนเอ็น-พี-เค ให้เหมาะสมตามที่พืชต้องการ ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ใช้เพื่อเพิ่มพวกธาตุรองจุลธาตุ และช่วยปรับสภาพดิน



รูปที่ 2.5 หลักการการใช้ปุ๋ยอย่างถูกวิธี [23]

ในกรณีที่ดินมีธาตุบางธาตุอยู่บ้างแล้ว (รู้ได้จากการวิเคราะห์) เราก็อาจจะปรับสัดส่วนของเอ็น-พี-เคในปุ๋ยให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้ เช่น ถ้าดินมี พี และ เค พอเพียงอยู่แล้ว การใช้ปุ๋ยกับพืชผักกินใบอาจใช้แค่ปุ๋ยที่ให้ เอ็นอย่างเดียวเช่นปุ๋ยสูตร 46-0-0 ก็ได้อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ย เรามักจะมีการแบ่งใส่ปุ๋ยหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้พืชใช้ปุ๋ยได้ดีขึ้น รวมทั้งช่วยทำให้พืชได้รับสัดส่วนของ เอ็น-พี-เค อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตโดยเฉพาะพวกไม้ผล ซึ่งในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตต้องการสัดส่วน เอ็น-พี-เค ต่างกัน ดังนั้นเรามักมีการปรับเปลี่ยนการใช้ปุ๋ยสูตรต่าง ๆ ดังนี้

- ช่วงก่อนออกดอก : ใช้สัดส่วน 1-2-1 เช่นสูตร 12-24-12 เพื่อเร่งดอก
- ช่วงติดผลเล็ก ๆ : ใช้สัดส่วน1-1-2 เช่นสูตร 13-13-21 เพื่อสร้างผล
  แต่ถ้าช่วงสร้างผลยาวนานช่วงนี้อาจแบ่งย่อยอีก เช่น
  ใช้สัดส่วน 3-1-4 เช่นสูตร 15-5-20 ในช่วงแรกและ
  ใช้สัดส่วน 1-1-2 เช่นสูตร 13-13-21 ในช่วงใกล้ผลแก่
- หลังเก็บผล : ใช้สัดส่วน 2-1-1 เช่นสูตร 20-10-10 เพื่อบำรุงต้น

จะเห็นว่า เมื่อรวมในรอบปี ก็จะได้ธาตุอาหาร เอ็น-พี-เค ในสัดส่วนพอ ๆ กัน ตามที่พืชต้องการ เป็นต้น

การใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงแนวทางในการปฏิบัติเท่านั้น เพราะจริง ๆ แล้ว การใส่ปุ๋ยในแต่ละปีในสภาพดินที่ต่างกัน มีการปฏิบัติดูแลรักษาและการให้น้ำหรือสภาพฝนที่ต่างกัน การใช้ปุ๋ยเคมีในสูตรและอัตราเหมือน ๆ กันก็อาจจะให้ผลที่แตกต่างกันได้ ผู้ใช้ปุ๋ยควรที่จะต้องพิจารณาการตอบ สนองต่อปุ๋ยของพืช และปรับเปลี่ยนการเลือกใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมอยู่เสมอ

2.5 น้ำเพื่อการเกษตร

ลักษณะและสมบัติของน้ำเพื่อการเกษตรที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะขอจำกัดอยู่ในเฉพาะเรื่องของน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือน้ำบาดาล ที่จะใช้เลี้ยงกุ้งปลา หรือรดน้ำต้นไม้เท่านั้น จะไม่กล่าวถึงน้ำจากแหล่งน้ำในเขตเมืองที่เน่าเสีย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ปะปนอยู่มาก ทำให้น้ำขาดอากาศ (ออกซิเจน) นอกจากนี้ยังมีสิ่งอื่น ๆ เจือปนอีกมาก ทั้งที่เป็นและไม่เป็นพิษต่อคน สัตว์ และพืช สมบัติของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ (ยกเว้นน้ำในแม่น้ำ ลำธาร) โดยปกติจะเกี่ยวข้องกับลักษณะของดินบริเวณนั้น ๆ เช่น บริเวณที่เป็นกรดจัด น้ำในบ่อบริเวณนั้นก็เป็นกรดจัด หรือบริเวณที่เป็นดินเค็ม น้ำในแหล่งน้ำบริเวณนั้น ๆ ก็เค็มด้วย ดังนั้นสมบัติของน้ำที่สำคัญที่ควรทราบมีดังนี้

- ความเป็นกรด-ด่าง
- ความเค็ม

1. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

น้ำถ้าเป็นกรดหรือด่างมากเกินไปจะไม่เหมาะที่จะนำมาใช้รดต้นไม้ เพราะสามารถที่จะทำให้ดินเป็นกรดหรือด่างได้ การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ สามารถทำได้เช่นเดียวกับการวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยปกตินำ้มักมีปัญหาเกี่ยวกับเป็นกรดมากเกินไปในการแก้ไขความเป็นกรดของน้ำก็สามารถใช้ปูนชนิดต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับการแก้กรดของดิน แต่การใส่ปูนลงน้ำโดยตรง ต้องระวังเพราะอาจทำให้น้ำเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างรวดเร็ว กุ้งปลาปรับตัวไม่ทันอาจจะตายได้ นอกจากนี้เมื่อแก้กรดได้ระยะหนึ่งจะเกิดกรดขึ้นอีก จากที่ได้กล่าวแล้วว่ากรดจะมาจากดินเป็นสำคัญ ดังนั้นในกรณีที่บ่อกุ้งปลามีน้ำเป็นกรด มักจะแก้ไขสภาพดินบริเวณก้นบ่อ และขอบบ่อ โดยการสูบน้ำออก ใส่

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

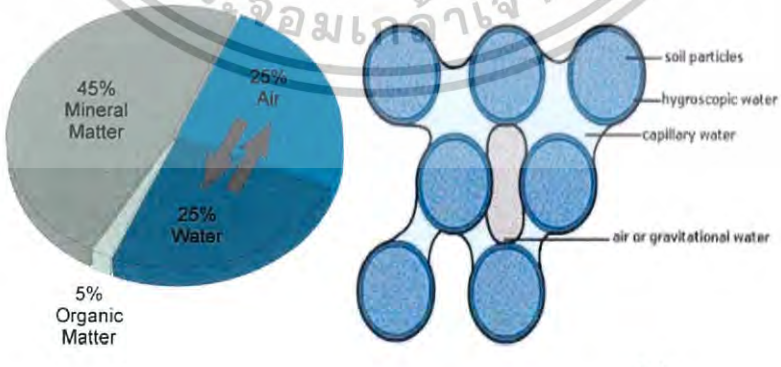
ปูนคลุกเคล้ากับดินแล้วอัดดินให้แน่น สำหรับปริมาณปูนที่จะใช้นั้น ได้จากการตรวจสอบความเป็นกรดของดินก้นบ่อ แล้วใส่ปูนในปริมาณที่แสดงไว้ในตารางในชุดตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของดินและน้ำ

2. ความเค็มของน้ำ

การที่น้ำมีความเค็ม เนื่องจากมีเกลือที่ละลายน้ำได้ปะปนอยู่ เช่นเดียวกับดิน น้ำที่เค็มถ้าใช้รดต้นไม้ไปนาน ๆ ก็จะทำให้ดินกลายเป็นดินเค็มได้ การที่จะดูว่าน้ำเค็มหรือไม่นั้น เราใช้เครื่องมือวัดความเค็มเช่นเดียวกันกับที่ใช้วัดความเค็มของดิน ค่าความเค็มที่วัดได้ ถ้ามากกว่า 0.75 มิลลิซีเมน/เซนติเมตร ก็ถือว่าไม่เหมาะสมแล้ว ไม่แนะนำให้ใช้รดต้นไม้ โดยเฉพาะถ้าดินเป็นดินเหนียวจะเกิดการสะสมเกลือเกิดดินเค็มได้ แต่ถ้าดินเป็นดินทราย ความเค็มน้ำระดับนี้ หรือมากกว่านี้เล็กน้อยยังพอใช้ได้เพราะดินทราย เกลือจะไม่สะสมหรือถูกชะล้างออกได้ง่ายการแก้ไขความเค็มของน้ำเพื่อการเกษตร โดยปกติจะไม่ทำกันเพราะไม่คุ้ม โดยทั่วไปถ้าน้ำเป็นน้ำเค็มมักจะหลีกเลี่ยงการนำมาใช้รดต้นไม้ หรือใช้กับพืชทนเค็ม [25]

2.5.1 ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ความชื้นในดินคืออะไร โดยทั่วไปดินจะประกอบด้วย 3 สถานะ คือส่วนที่เป็นของแข็งหรือเนื้อดินที่ประกอบด้วย แร่ (Mineral matter) และสารอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ส่วนที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยน้ำ (Water) ส่วนที่เป็นก๊าซที่ประกอบด้วย อากาศ (Air) และไอน้ำ (Water vapor) ตามรูปที่ 2.6 ดังนั้นส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำในดินจะเป็นความชื้นในดิน (Soil moisture) คือ ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้ ทำให้น้ำที่แทรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่องของเนื้อดิน (Capillary water) หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน (Hygroscopic water) ตามรูปที่ 2.6 (b) ถ้าในส่วนของช่องว่างในเนื้อดินมีน้ำอยู่เต็มไม่มีก๊าซอยู่เลยเรียกว่า ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated soil)



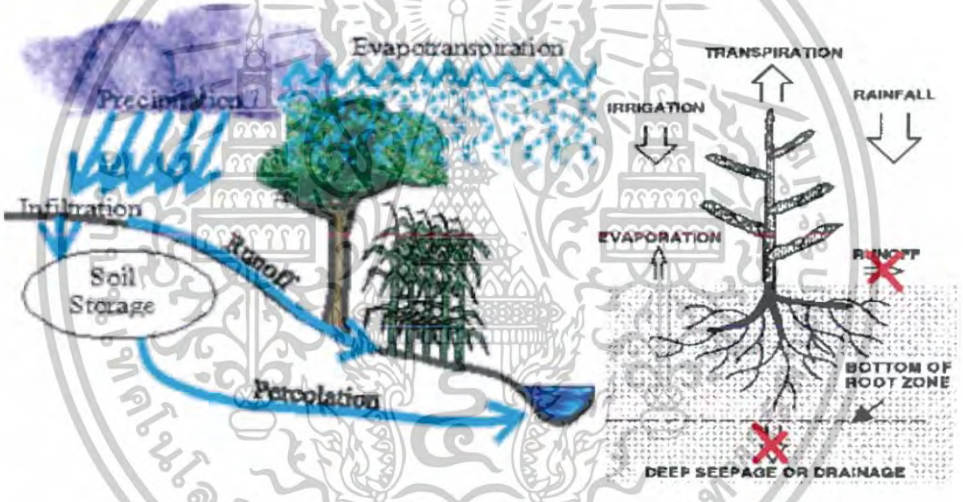
รูปที่ 2.6 (a) Three-phase system of soil structure (b) ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สมดุลของน้ำในดิน (Soil water balance)

ความชื้นในดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในขบวนการเมทาบอลิซึม (Metabolism) ต่าง ๆ เช่น ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและจุลินทรีย์ในดินบางชนิด แล้วความชื้นในดินมาจากไหน ในรูปที่ 2.7 จะแสดงถึงความสมดุลของน้ำในดิน โดยน้ำไหลเข้าคือน้ำฝนที่ตกลงมา หรือน้ำที่ได้จากการชลประทาน ส่วนน้ำไหลออกประกอบด้วย น้ำที่ระเหยออกจากหน้าดินโดยขบวนการการคายระเหย (Evapotranspiration) น้ำไหลบ่าหน้าดิน (Runoff) และน้ำซึมลงไปในดิน ซึ่งประกอบด้วยน้ำที่เก็บกักไว้ในดิน (Soil storage) หรือความชื้นในดิน และน้ำซึมลึก (Drainage water or percolation) ในทางการเกษตรจะตัดน้ำไหลบ่าหน้าดิน และน้ำซึมลึกออก ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเกษตร และจะพิจารณาระดับน้ำในดินที่ไม่เกินความลึกของรากพืช ดังนั้น

ความชื้นในดิน = ปริมาณน้ำฝน – การคายระเหยของน้ำ



รูปที่ 2.7 สมดุลของน้ำในดิน [25]

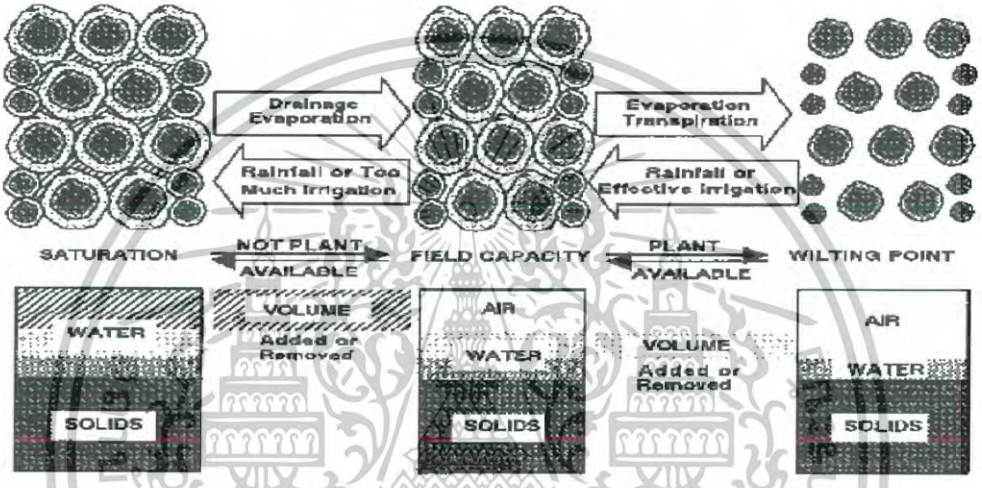
2.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความชื้นในดิน และน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ความชื้นในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างไร ในรูปที่ 2.8 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความชื้นในดิน และน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Relationship between plant available water and water distribution in the soil) หลังจากฝนตก ดินจะมีระดับความชื้นเท่ากับจุดอิ่มตัว (Saturation) เป็นระดับที่เนื้อดินเต็มไปด้วยน้ำ ที่ระดับนี้เนื้อดินจะไม่ยึดเกาะน้ำ จึงเป็นการง่ายที่จะนำน้ำจะออกจากอนุภาคดิน โดยการระเหยจากหน้าดิน และซึมลึกไปในดินชั้นล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก พืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำในดินประเภทนี้ได้น้อยมาก และน้ำที่ระดับนี้จะซึมลึกไปชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะหยุดซึมลึก ขณะนั้นระดับความชื้นในดินค่อนข้างคงที่ เรียกว่า ความจุภาคสนาม (Field capacity) ที่ระดับนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย โดยน้ำจะไหลไปมาช้า ๆ ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเสมือนน้ำที่อยู่นิ่ง ซึ่งจะถูกรากพืชดูดไปใช้และคายน้ำออกทางใบ (Transpiration) นอกจากนี้ยังระเหยออกจากผิวหน้าดินได้โดยตรง (Evaporation) หลังจากนั้นระดับความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point) ซึ่งรากพืชจะดูดน้ำจากดินไม่ได้อีก พืชจะแสดงอาการเหี่ยวถาวรโดยไม่ฟื้นหากไม่ได้เติมน้ำ โดยระบบชลประทาน หรือมีฝนตกลงมา ดังนั้นความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช (Available water) จะอยู่ในช่วงระหว่างความชื้นระดับความจุสนามและจุดแห้งเหี่ยวถาวร

ความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช = ความชื้นที่ความจุสนาม – ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความชื้นในดิน และน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช [25]

ความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก พบว่าความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืชของดินเหนียวที่เป็นดินเนื้อละเอียดจะมีช่วงกว้างกว่าดินร่วนและดินทราย ถ้าเนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากกว่าดินร่วนและดินเหนียว [25]

2.5.4 หลักของการให้น้ำแก่พืชปลูก

ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลตอบแทนสูงนั้นจะคำนึงถึงว่าเมื่อไรจึงจะควรให้น้ำแก่พืชและให้เป็นปริมาณเท่าใด ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่กำหนด 3 ประการคือพืชดินและน้ำ ดังนี้คือ

1. ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุพืช
2. ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในเขตราก
3. ปริมาณของน้ำที่จะหามาทำการชลประทานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของพืชและความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำและปริมาณน้ำที่จะต้องให้แต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามในบางครั้งไม่สามารถให้น้ำแก่พืชได้เต็มจำนวนตามที่พืชต้องการเสมอไป เนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้น ยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้นจึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไร และมีกำหนดการส่งน้ำมาอย่างไร เพื่อจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำอย่างเพียงพอแต่ไม่ตรงกับที่พืชต้องการจะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช อุณหภูมิ และสภาพของภูมิอากาศอื่น ๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้ง ปริมาณที่ให้ควรเพียงพอกับความต้องการน้ำของพืชไปจนกว่ากำหนดการให้น้ำคราวหน้า พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตลดลง หรือคุณภาพลดลง ถ้ามีการขาดน้ำที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ช่วงเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุดเรียกว่าช่วงวิกฤติ (Critical period) ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องคอยรักษาดินให้มีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ

2.5.5 วิธีการให้น้ำแก่พืชปลูก

การให้น้ำแก่พืชอาจทำได้หลายวิธีการที่จะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งจะต้องพิจารณาลักษณะของภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ พืชที่จะปลูก วิธีการเพาะปลูก เงินทุนตลอดจนน้ำต้นทุนที่จะนำมาให้แก่พืช โดยทั่วไปวิธีการให้น้ำ แบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ แบบแรกคือการให้น้ำบนผิวดิน (Surface irrigation) แบ่งย่อยเป็น การให้น้ำแบบฝอย (Springkler irrigation) การให้น้ำแบบหยด (Drip irrigation) และการให้น้ำไหลผ่านท่อบนผิวดิน และแบบที่สองเป็นการให้น้ำใต้ดิน แบ่งย่อยเป็นการให้น้ำในคู และการให้น้ำไหลเข้าท่อซึ่งฝังไว้ในดิน โดยงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญกับการให้น้ำไหลผ่านท่อบนผิวดินและการให้น้ำผ่านท่อใต้ผิวดินเป็นหลัก

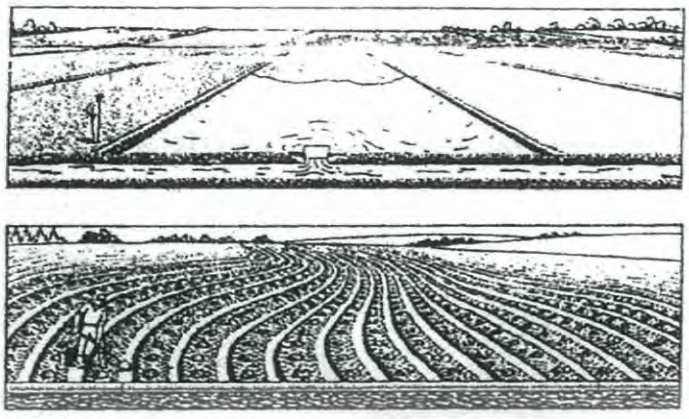
1. การให้น้ำทางผิวดิน

การชลประทานแบบนี้ให้น้ำโดยการขังหรือปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินและซึมลงไปในดินตรงบริเวณที่มีรากพืช การให้น้ำทางผิวดินอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ด้วยกันคือ (รูปที่ 2.9)

1.1 แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นแปลงใหญ่ (Flooding)

1.2 แบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่องคู (Furrow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การให้น้ำทางผิวดินแบบท่วมผิวดินแปลงใหญ่ (บน)
และแบบท่วมเฉพาะในร่องคู (ล่าง) [25]

สำหรับวิธีการให้น้ำท่วมเป็นผืนใหญ่นั้น โดยปกติแล้วต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่องคู ในแปลงปลูกที่ไม่มีความลาดเทจะต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแปลงปลูกที่มีความลาดเทเพราะแปลงที่ไม่มีความลาดเทน้ำจะไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในแปลงได้ช้า ดังนั้นจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูงเพื่อให้น้ำท่วมแผ่ไปทั้งแปลง หรือไหลจากหัวร่องไปถึงท้ายร่องอย่างรวดเร็ว การให้น้ำกับแปลงลาดเท ถ้าหากน้ำไหลไปถึงท้ายแปลงแล้วจะต้องลดอัตราการให้น้ำลง เพราะมิฉะนั้นน้ำจะไหลเลยท้ายแปลงออกไป ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

จากการที่มีวิธีการให้น้ำทางผิวดินหลายวิธีทำให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำจึงแตกต่างกันไปได้มาก แต่โดยเฉลี่ยแล้วประสิทธิภาพในการให้น้ำจะอยู่ระหว่าง 40-80 เปอร์เซ็นต์

ข้อดีของการให้น้ำทางผิวดิน

1. สามารถใช้ได้ดีกับดินและพืชเกือบทุกชนิด
2. มีความคล่องตัวสูง โดยสามารถให้น้ำแก่พืชในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ไม่ได้ให้น้ำ เช่น อาจให้น้ำแก่พืช 10 วันต่อครั้ง โดยใช้เวลาให้น้ำเพียงวันเดียวหรือสองวัน
3. ถ้ามีน้ำอยู่แล้วจะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้ โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ฉะนั้นความเสียหายของพืชอันเนื่องมาจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันจึงมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย
4. หากมีการออกแบบและให้น้ำที่เหมาะสม จะทำให้การให้น้ำแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงมาก

ข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน

1. พื้นที่ไม่ราบเรียบและลาดเทไม่สม่ำเสมอจะไม่เหมาะสมกับการให้น้ำแบบนี้
2. อาจเกิดการกัดเซาะแปลงขึ้นหากพื้นที่มีความลาดเทมาก
3. คันดินและคูน้ำอาจเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร
4. ส่วนมากต้องการความรู้และแรงงานในการให้น้ำแบบนี้ค่อนข้างสูง

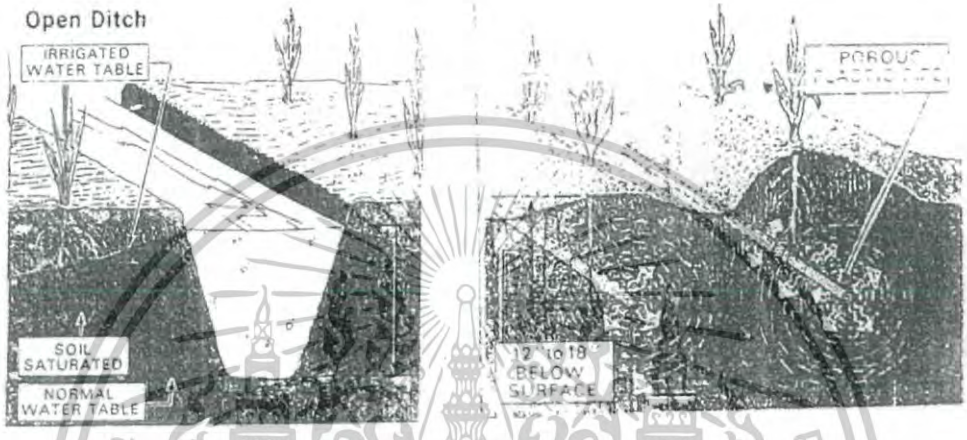
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การให้น้ำทางใต้ผิวดิน

การชลประทานแบบนี้เป็นการให้น้ำโดยการยกระดับน้ำใต้ดินให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่เขตรากได้ วิธีการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินอาจทำได้ 2 แบบ (รูปที่ 2.10) คือ

2.1 โดยการให้น้ำในคู

2.2 โดยการให้น้ำในท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดิน



รูปที่ 2.10 การให้น้ำทางใต้ผิวดินแบบคูเปิด (ซ้าย) และแบบท่อฝังดิน (ขวา) [25]

ความลึกของระดับน้ำใต้ดินขณะให้น้ำจะอยู่ระหว่าง 15-60 ซม. แต่โดยทั่วไปแล้วการให้น้ำแบบทางใต้ ประสิทธิภาพในการให้น้ำจะมีค่าระหว่าง 30-50 เปอร์เซ็นต์ แต่บางแห่งมีโอกาสสูงถึง 70-80 เปอร์เซ็นต์ ได้ ถ้าหากพื้นที่มีความเหมาะสม การให้น้ำทางใต้ผิวดินเหมาะสมที่จะใช้กับดินที่มีเนื้อดินชนิดเดียวกัน และการดูดซึมน้ำพอที่จะปล่อยให้น้ำไหลลงไปในดินได้เร็วทั้งด้าน ข้างและแนวดิ่ง น้ำจะลงไปภายในระดับความลึกพอสมควรใต้เขตรากพืช ชั้นดินก็จะต้องมีวัตถุรองรับเพื่อมิให้เกิดการสูญเสียโดยการไหลลึกลงไปในดินในจำนวนที่มากเกินไป โดยมีชั้นที่น้ำเกือบจะผ่านลงไปไม่ได้ในดินชั้นล่าง หรือโดยมีระดับน้ำใต้ดินสูงซึ่งจะทำให้สามารถรักษาระดับน้ำที่เข้าไปใต้ดินได้ตลอดฤดูปลูก การให้น้ำทางใต้ผิวดินเหมาะสมที่จะใช้กับพืชผัก พืชไร่ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชอาหารสัตว์ และสวนไม้ประดับ [25]

ความเหมาะสม

- เหมาะกับดินที่มีเนื้อชนิดเดียวกัน
- เนื้อดินมีการดูดซึมน้ำมากพอที่จะปล่อยให้น้ำไหลลงในดินได้เร็วทั้งแนวราบ และแนวดิ่ง
- พื้นที่ควรจะราบเรียบและเกือบอยู่ในแนวราบ
- พืชที่เหมาะสม คือ ผัก พืชไร่ หญ้าเลี้ยงสัตว์ และไม้ดอกต่าง ๆ แต่ไม่เหมาะสมกับพืชสวนและพืชยืนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่สำคัญ

- วิธีนี้ใช้กับดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และอัตราการดูดซึมสูง ซึ่งไม่สามารถให้น้ำทางผิวดินได้
- การระเหยน้ำจากผิวดินต่ำ
- สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่ที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุต่าง ๆ ได้
- สามารถใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย
- ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย
- ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

ข้อจำกัด

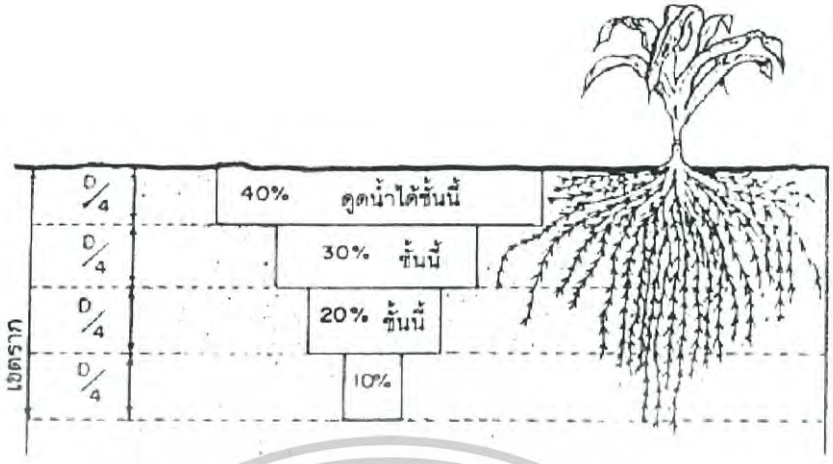
- ไม่สามารถใช้ได้ดีกับน้ำที่มีเกลือผสมอยู่มาก
- พื้นที่ข้างเคียงจะต้องมีการให้น้ำวิธีนี้ด้วยมิฉะนั้นจะมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำ
- การงอกของเมล็ดอาจจะไม่สม่ำเสมอถ้าไม่มีการควบคุมระดับน้ำใต้ดินให้มีการซึมอย่างสม่ำเสมอ
- สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พืชที่มีรากลึก เช่น พืชสวนและพืชยืนต้นไม่ เหมาะสมที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้
- ปุ๋ยที่ให้แก่พืชแผ่กระจายไปทั่วเขตรากได้ช้ากว่าแบบให้น้ำทางผิวดินหรือแบบฉีดฝอย

2.5.6 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ ของพืช

เนื่องจากว่ารากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในตอนบนของเขตรากและในบริเวณโคนต้น ดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้อย่างรวดเร็ว นอกจากความชื้นที่พืชดูดไปใช้แล้ว ดินยังสูญเสียน้ำโดยการระเหยไปจากผิวดินอีก ขณะที่ความชื้นของดินในชั้นนี้ค่อย ๆ ลดลงแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้นในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญ เติบโตจึงต้องมาจากดินในชั้นที่อยู่ต่ำลงมา

ในดินที่มีเนื้อสม่ำเสมอและมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตรากพืชจะใช้น้ำในตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก จากการทดลองพบว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีความชื้นมากพอกับความต้องการของพืชตลอดความลึก จะมีลักษณะการดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ ไปใช้คล้ายคลึงกัน กล่าวคือถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สอง 20 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สามและ 10 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สี่ตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 2.11 [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่าง ๆ [26]

2.5.7 การตรวจวัดความชื้นในดิน (Soil moisture)

ความชื้นของดินตามธรรมชาติ (Natural water content) เป็นการทดสอบพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของดิน ตามมาตรฐาน ASTM D4959-00 เช่น แรงเฉือน อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัวของดิน เป็นต้น ค่าพิกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg limits) ต่าง ๆ ที่ทดสอบก็คือค่าความชื้นของดินนั่นเอง (ในสถานะต่างกับความชื้นตามธรรมชาติ) การทดสอบความชื้นของดินจึงมีความจำเป็นในงานทดสอบดิน

ในทางปฏิบัติ ความชื้นของดินหาได้จากการนำตัวอย่างดินที่มีขนาดน้ำหนักมากพอ (สำหรับขนาดเม็ดดินแต่ละชนิด) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105-5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 – 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วคิดความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์ ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีความชื้นได้สูงกว่าดินที่มีมีเม็ดหยาบ เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่เฉพาะ (Specific surface) ซึมซับน้ำได้มากกว่า

วิธีการทดสอบ

1. ทำความสะอาดกระป๋องตัวอย่างดิน ตรวจสอบเบอร์กระป๋อง ชั่งน้ำหนักกระป๋อง (W_1) ถ้าเป็นกระป๋องแบบมีฝาปิด
2. ตรวจสภาพตัวอย่างดิน เลือกตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนดินในกอง หรือคัดจากตัวอย่างดินคงสภาพ ขนาดน้ำหนักดินที่ใช้ แสดงในตารางที่ 1 สำหรับดินเหนียว ควรใช้น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย 100 กรัม
3. บรรจุตัวอย่างดินลงในกระป๋อง ถ้าเป็นตัวอย่างดินเหนียวที่เป็นก้อน ใช้มีดหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ เพื่อให้แห้งง่าย ถ้าเป็นกระป๋องที่มีฝาปิด หลังบรรจุตัวอย่างเสร็จ ปิดฝาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียกรวมกระป๋อง (W_2) ถ้าเป็นกระป๋องที่ไม่มีฝาปิด ต้องรีบชั่งตัวอย่างทันทีที่บรรจุตัวอย่างเสร็จ ส่วนกระป๋องมีฝาปิด หลังจากปิดฝาแล้ว อาจใส่ถาดรวมไว้หลาย ๆ ตัวอย่างจึงนำไปชั่งครั้งเดียวกัน
5. หลังอบตัวอย่างไว้ข้ามคืน (ประมาณ 18-24 ชั่วโมง) นำกระป๋องตัวอย่างดินออกจากตู้อบ แล้วปิดฝากระป๋อง นำตัวอย่างกระป๋องตัวอย่างไปใส่ไว้ในอ่างแก้วดูดความชื้น (ถ้ามี) ทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น
6. นำกระป๋องตัวอย่างที่เย็นแล้วขึ้นชั่ง เป็นน้ำหนักตัวอย่างดินแห้งรวมกระป๋อง (W_2) จดบันทึกน้ำหนักให้ถูกต้องตามเบอร์กระป๋อง [27]

ความชื้นของดิน

$$W = (W_w / W_s) \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

$$= ((W_2 - W_3) / (W_3 - W_1)) \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

เมื่อ :

W_w = น้ำหนักน้ำในดิน (กรัม)
W_s = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)
W_1 = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)
W_2 = น้ำหนักตัวอย่างดินเปียก+กระป๋อง (กรัม)
W_3 = น้ำหนักตัวอย่างดินเปียก+กระป๋อง (กรัม)

2.6 ตะไคร่น้ำ

ตะไคร่น้ำ (Algae) คือ สาหร่ายเซลล์เดียวซึ่งจะเกาะยึดในพื้นที่ที่มีน้ำไหล เพราะน้ำที่ไหลจะมีทั้งออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารไหลเวียนดี แสงดี สาหร่ายพวกนี้จะมายึดเกาะกลายเป็นผืนเขียว ๆ

ตะไคร่น้ำยังประกอบไปด้วยสาหร่ายหลากหลายชนิดต่าง ๆ รวมทั้งพวกไซยาโนแบคทีเรียมาเกาะกลุ่มอยู่รวม ตัวกัน บางกลุ่มชอบเกาะยึดในบริเวณที่เปียกชื้น บางกลุ่มอยู่ในน้ำ แต่ละกลุ่มจะมีสีที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับว่าตะไคร่น้ำมีสาหร่ายกลุ่มใดเป็นองค์ประกอบ มักจะสับสนกับเทาที่เป็นสาหร่ายน้ำจืด [28]

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเองได้ ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายมีสารสีหรือรงควัตถุที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงกระจายอยู่ภายในเซลล์ หรืออาจกระจายอยู่ในไซโต-พลาสซึม โดยรงควัตถุที่พบในสาหร่ายแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) มีทั้งหมด 4 ชนิด: Chlorophyll – a, b, c และ d โดย Chlorophyll – a จะพบใน สาหร่ายทุกชนิด ส่วน Chlorophyll – b พบในสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเขียว Chlorophyll – c พบในสาหร่ายสีน้ำตาล และ Chlorophyll – d พบในสาหร่ายสีแดง

2. แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นสารจำพวกไขมัน ประกอบด้วย แคโรทีน (Carotene): เป็นรงควัตถุที่ให้สีส้ม และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) : เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง
3. ไฟโคบิลิน (Phycobilin) เป็นรงควัตถุที่พบเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดงเท่านั้น ประกอบด้วย ไฟโคเออริทริน (Phycoerythrin): เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงพบในสาหร่ายสีแดง ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) : เป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงิน พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และอัลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin) : เป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงิน [29]

ตารางที่ 2.3 รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย [29]

ชนิด	คลอโรฟิลล์				แคโรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	แบคทิริโอคลอโรฟิลล์			
	a	b	c	d			a	b	c	d
พืชมีดอก	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
เฟิน	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีเขียว	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีน้ำเงิน	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีแดง	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-

2.6.1 การทดสอบตะไคร่น้ำ

ในการทดสอบตะไคร่น้ำ แบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบเพื่อดูการยับยั้งของสารยับยั้งตะไคร่น้ำ และมีการตรวจสอบปริมาณตะไคร่น้ำในชิ้นงาน

2.6.1.1 วิธีทดสอบรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone)

เริ่มโดยการวางชิ้นงานทดสอบบนอาหารสำหรับเลี้ยงตะไคร่แบบกึ่งแข็ง โดยกำหนดให้ปริมาณเซลล์ตะไคร่เริ่มต้นในอาหารกึ่งแข็งมีค่าประมาณ 107 เซลล์ ต่อมิลลิลิตร ขณะทาการทดสอบมีการให้และไม่ให้แสงสลับกันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงประมาณ 2000 ลักซ์ อุณหภูมิทดสอบ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นบันทึกรัศมีการยับยั้งการเจริญ ของตะไคร่หรือการเกิดบริเวณใสรอบชิ้นงานทดสอบ โดยนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสลบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางของชิ้นงานแล้วหารด้วย 2

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 มาตรฐานทดสอบ ASTMD3731 –04 โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

เริ่มโดยเตรียมตัวกลางทดสอบจากอาหารเลี้ยงเชื้อตะไคร่แบบเหลวในขวดรูปชมพู่ ให้มีปริมาณตะไคร่เริ่มต้นประมาณ 107 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นบรรจุชิ้นงานทดสอบ ทำการบ่มเพาะเชื้อและเขย่าที่ความถี่ 150 รอบต่อนาที ขณะทำการทดสอบมีการให้และไม่ให้แสงสลับกันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิทดสอบ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นทำการสกัดคลอโรฟิลล์โดยใช้เมทานอล ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงในที่มืด แล้วนำไปแยกส่วนที่เป็นเซลล์และคลอโรฟิลล์ออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารสกัดที่ได้มาวัดความเข้มแสงโดยใช้เครื่อง UV spectrometer เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยเปรียบเทียบในกรณีผลการทดสอบที่ได้จากชิ้นงานที่มีและไม่มีสาร ยับยั้งตะไคร่ผสมอยู่การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทำได้โดยใช้สมการ ดังนี้ [30]

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ = [(A650 x 25.5) + (A665 x 4)] x 10 x 100

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปารณีย์ เผ่าภูธร และคณะ [31] ศึกษาหาปริมาณการใช้น้ำของผักกาดกวางตุ้ง (ผักกาดจอ) ได้ดำเนินการในถังไลซิมิเตอร์ ที่สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 1 (แม่แตง) ตำบลสันมหาพน อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยดำเนินการระหว่าง วันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 รวมระยะเวลา 35 วัน ทำการศึกษาโดยคำนวณปริมาณการใช้น้ำของผักกาดกวางตุ้ง (ผักกาดจอ) โดยตรวจวัดปริมาณความชื้นในดินเมื่อความชื้นในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ลดลง 25 เปอร์เซ็นต์แล้วกำหนดวันให้น้ำและปริมาณน้ำที่ให้โดยให้น้ำจนน้ำระบายออกและตรวจวัดปริมาณน้ำส่วนเกินออกด้านล่างของถังซึ่งผลการศึกษาปรากฏว่าผักกาดกวางตุ้ง (ผักกาดจอ) ใช้น้ำตลอดอายุ 35 วัน เท่ากับ 181.46 มิลลิเมตรหรือปริมาณการใช้น้ำต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 5.18 มิลลิเมตรค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำระหว่างปริมาณการใช้น้ำต่อวัน (ET) กับค่าเฉลี่ยการระเหย (E) จากอ่างวัดระเหยแบบ Class A pan คำนวณค่า K/p ได้เท่ากับ 1.99 และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำระหว่างค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำ (ET) กับค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยสูตรต่าง ๆ ได้ค่า Kc จากแต่ละสูตร คือ Modified Penman เท่ากับ 1.13, Blaney-Criddle เท่ากับ 1.25, Pan method เท่ากับ 2.34, Hargreaves เท่ากับ 1.10 , Radiation เท่ากับ 1.16 และ Penman-Monteith เท่ากับ 1.54 เก็บผลผลิตผักกาดกวางตุ้ง(ผักกาดจอ)เมื่ออายุ 35 วันได้ผลผลิตเฉลี่ย 9.09 กิโลกรัมต่อถัง (2.25 ตารางเมตร) ผักกาดกวางตุ้ง(ผักกาดจอ)ให้ผลผลิตทั้งหมด 6,464 กิโลกรัมต่อไร่โดยผักกาดกวางตุ้ง (ผักกาดจอ) มีค่าเฉลี่ยความสูงที่พร้อมเก็บเกี่ยวที่ 49.5 เซนติเมตร ต้น ผักกาดกวางตุ้ง (ผักกาดจอ) มีน้ำหนักต่อต้นเฉลี่ย 72.8 กรัม มีจำนวนใบต่อต้น 8 ใบ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย 1.42 เซนติเมตร

นฤชิต ศรีสวัสดิ์ และคณะ [32] ศึกษาผลการให้ปุ๋ยมูลไก่ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตของกล้วยไข่ ที่ปลูกในอำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว เริ่มปลูกกล้วยไข่ตั้งแต่เดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2557 และเก็บเกี่ยวเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2558 โดยเริ่มการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองใส่ปุ๋ยทุกเดือนเมื่อกล้วยไข่อายุ 3 เดือนหลังปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในกลุ่ม (Randomized complete block designs, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธีได้แก่ (T1) ไม่ใส่ปุ๋ย (T2) ใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 1 กก./ต้น (T3) ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 (เดือนที่ 3-4) 16-16-16 (เดือนที่ 5-6) และ 13-13-21 (เดือนที่ 7-9) อัตรา 0.25 กก./ต้น และ (T4) เติมปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าการเจริญเติบโตของกล้วยไข่ในด้านความสูงและขนาดเส้นรอบวงเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่ 4-6 โดยมีความสูงมากที่สุดในเดือนที่ 6 ของการใส่ปุ๋ยมูลไก่ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีความสูงของต้นเป็น 180.75, 188.25 และ 190 ซม. ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลไก่อย่างเดียวมีขนาดเส้นรอบวงของต้นมากที่สุดในเดือนที่ 6 (62 ซม.) และผลผลิตกล้วยไข่มีน้ำหนักหวีเฉลี่ยมากที่สุดคือ 1.6 กก./หวี สรุปว่าผลของการให้ปุ๋ยมูลไก่ปริมาณ 1 กก/ต้น โดยวิธีการหว่านรอบโคนต้นเดือนละครั้ง ทำให้กล้วยไข่ที่ปลูกในอำเภอวัฒนานคร จ.สระแก้ว มีการเจริญเติบโตและมีคุณภาพของผลผลิตดีไม่ต่างจากการให้ปุ๋ยเคมี

สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ และคณะ [33] ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการให้น้ำแก่พืชใต้ผิวดิน (Subsoil irrigation system, SIS) โดยใช้ดินเผาที่มีความพรุนตัวสูงที่สามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยแบบช้า ๆ โดยตรงบริเวณรากพืช ซึ่งจากการคัดเลือกส่วนผสมและทดสอบประสิทธิภาพวัสดุ โดยได้ดินเผา สูตรที่1 (F1) และสูตรที่2 (F2) ที่มีค่าการหดตัวหลังการเผา 5.00% และ 8.00% ของความยาวเริ่มต้น ค่าความแข็งแรง 51.00 kg/cm 2 และ 45.00 kg/cm 2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ 27.00% และ 45.00% ของน้ำหนักเริ่มต้น และมีขนาดรูพรุนประมาณ 1.26 และ 2.48 ตามลำดับ โดยได้ออกแบบดินเผารูพรุนเป็นทรงกลมและทรงวงแหวน หลังจากนั้นได้นำไปทดลองปลูกฟักทอง (*Cucurbita moschata* duchesne) พบว่าปริมาณการให้น้ำในแต่ละวันคิดเป็นสัดส่วนของระบบ SIS นั้นเฉลี่ยน้อยกว่าการให้น้ำแบบปกติ (Conventional irrigation system, CIS) คือ 1 : 2.15 เท่า และน้ำหนักต้นสดของระบบ SIS มีค่าเฉลี่ยมากกว่าการให้น้ำแบบปกติคือ 3.00 kg และ 2.35 kg ตามลำดับ จำนวนผลเฉลี่ยต่อต้นของการให้น้ำด้วยระบบ CIS มีจำนวนที่น้อยกว่าระบบ SIS 1.18 เท่า และจากการทดสอบค่าความแข็งของหน้าดินหลังปลูกพบว่าในแปลงที่มีการให้น้ำด้วยระบบ CIS มีค่าความแข็ง (140.95 kPa) สูงกว่าระบบการให้น้ำใต้ผิวดิน (48.16 kPa) ถึง 3:1 เท่า และจากการทดลองปลูกพริก (*Capsicum frutescens* Linn.) พบว่าการเจริญเติบโตของพริกทางด้านความสูงและความกว้างทรงพุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 และปริมาณการให้น้ำต่อต้นในแต่ละวันโดยเฉลี่ยของระบบ SIS น้อยกว่าระบบ CIS คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:2.4 เท่า และจากการทดสอบค่าความแข็งของผิวดินพบว่าการให้น้ำด้วยระบบ SIS (125.15 kPa) มีค่าความแข็งต่ำกว่าระบบ CIS (463.76 kPa) ฉะนั้นการให้น้ำด้วยระบบ SIS โดยใช้ดินเผารูพรุนไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดการใช้น้ำแต่ยังลดปัญหาการแน่นทึบของดินได้อีกด้วย

A.A. Siyal และคณะ [34] ศึกษารูปแบบการเปียกของดินด้วยการทดลองและจำลองแบบ (Hydrus (2D / 3D)) สำหรับระบบท่อใต้ดินที่ทำงานที่ความดันน้ำต่างกัน การคาดการณ์ปริมาณน้ำในดินที่ทำด้วย Hydrus พบว่าสอดคล้องกัน (R2 = 0.98) กับข้อมูลที่สังเกตได้ การจำลองเพิ่มเติมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrus ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการออกแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำให้ดินเปียก การเพิ่มแรงดันของระบบจะเพิ่มขนาดของโซนเปียก ความลึกในการติดตั้งมีผลต่อระยะห่างของน้ำที่ซึมด้านข้าง รวมถึงปริมาณการสูญเสียน้ำที่ระเหยได้ สำหรับการใช้น้ำที่กำหนดอัตราการระเหยของพื้นผิวที่เป็นไปได้ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของพื้นที่ที่เปียกน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความละเอียดของผิวดินจะมีการซึมผ่านน้ำของดินและการกักเก็บน้ำมากขึ้นในพื้นที่ที่เปียก โดยทั่วไปการแพร่กระจายในแนวนอนที่มากขึ้นเกิดขึ้นในดินเนื้อละเอียดหรือในกรณีของชั้นดินในชั้นผิวที่ละเอียดกว่า

พรลิขิต ทองรอด และคณะ [35] ศึกษาประสิทธิภาพของสายยางน้ำซึมที่ผลิตจากยางรถยนต์เก่ารีไซเคิลเพื่อนำมาใช้ในการให้น้ำกับพืช โดยได้ใช้สายยางน้ำซึมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภาย ใน 16 มิลลิเมตร ยาว 15 เมตร ทดสอบกับความดันน้ำใช้งาน 30, 40, 50, 60 และ 70 กิโลปาสคาล จากการศึกษาพบว่าอัตราการจ่ายน้ำลดลงตามระยะเวลาการให้น้ำในระหว่างกระบวน การการบ่มสายยาง หลังจากผ่านกระบวนการบ่มสายยางแล้วพบว่าอัตราการจ่ายน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยอัตราการจ่ายน้ำเฉลี่ยของสายยางและความสม่ำเสมอของการให้น้ำหลังการบ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันใช้งานเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอัตราการจ่ายน้ำอยู่ระหว่าง 0.42 ถึง 4.5 ลิตรต่อชั่วโมงต่อเมตร และค่าความสม่ำเสมอของการจ่ายน้ำอยู่ระหว่าง 48.7-71.3% ณ ความดันที่ใช้ทดสอบ 30 ถึง 70 กิโลปาสคาล อย่างไรก็ตามสายยางน้ำซึมสามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการให้น้ำได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกับพืชที่ปลูกเป็นแถว

อัฐพงษ์ กิตติ์ชัยวัชร์ และคณะ [36] ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและตะไคร่บนชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ โดยสารยับยั้งเชื้อรา ได้แก่ Carbendazim Triclosan และ 3-Iodopropinyl-N-butylcarbamate (IPBC) สารยับยั้งตะไคร่ คือ Terbutryn วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา ประกอบด้วยการทดสอบการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อรา (Inhibition of growth) ด้วยเทคนิค Disk diffusion test และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1413-76 โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) ส่วนวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่ ได้แก่ การวัดรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone) และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3731 –04 โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll A) เชื้อราและตะไคร่ทดสอบ คือ *Aspergillus Niger* และ *Chlorella vulgaris* ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมสาร IPBC และ Triclosan ในช่วง 1,000 ถึง 50,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบจากการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อราอยู่ในช่วง 52-100% และ 8-57% ตามลาดับ ในขณะที่ชิ้นงานที่ผสมสาร Carbendazim ไม่แสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราได้ ส่วนผลการทดสอบการชั่งน้าหนักแห้งของเชื้อรา พบว่า พอลิเอทิลีนทีผสมสาร IPBC มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่ พบว่า การผสมสาร Terbutryn ในช่วง 250 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้าหนัก ในพอลิเอทิลีนส่งผลให้มีค่ารัศมีการยับยั้งตะไครในช่วง 31–38 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลงตามปริมาณสาร

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terbutryn ที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้สำหรับการนำสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่มาผสมพร้อมกันในวัสดุพอลิเอทิลีน โดยเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพกับในกรณีการใช้สารยับยั้งเชื้อราหรือตะไคร่เพียงอย่างเดียวนั้น พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรายังคงมีค่าเท่าเดิม ในขณะที่ประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่มีค่าต่ำลง

สุทิน หิรัญอ่อน [37] ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวกวางตุ้งอนามัยในสภาพแวดล้อม 3 แบบ คือปลูกในสภาพแปลงปกติ (Field) ปลูกในโรงเรือนตาข่าย และการปลูกแบบมีแนวกันลม (โรงเรือนตาข่ายเปิดด้านบน) ระหว่างวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2541 ถึงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541 ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่าสภาพการปลูกทั้ง 3 แบบมีอิทธิพลต่อความสูง น้ำหนักสด และพื้นที่ใบของผักกาดเขียวกวางตุ้ง คือ ผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในโรงเรือนตาข่าย จะมีความสูงน้ำหนักสดและพื้นที่ใบมากที่สุด รองลงมาคือการปลูกแบบมีแนวกันลม (โรงเรือนตาข่ายเปิดด้านบน) และแปลงปกติตามลำดับ ส่วนจำนวนใบและน้ำหนักแห้ง สภาพการปลูกไม่มีอิทธิพลแต่พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากโรงเรือนตาข่าย แบบมีแนวกันลม (โรงเรือนตาข่ายเปิดด้านบน) และแปลงปกติ ตามลำดับ ในสภาพแปลงปกติ พบการเข้าทำลายของแมลงมากที่สุด รองลงมาคือ แบบมีแนวกันลม (โรงเรือนตาข่ายเปิดด้านบน) และโรงเรือนตาข่าย ตามลำดับ

บุญส่ง เลิศรัตนพงศ์ และคณะ [38] ศึกษาผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์หญ้ากินนีมอมบาซา (*Panicum maximum* cv. mombaza) เมื่อใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตราและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยต่างกันในพื้นที่จังหวัดยโสธร ระหว่างเดือนเมษายน 2552 ถึงเมษายน 2553 ระยะเวลา 1 ปี วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลองประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 ปลูกโดยไม่ใส่ปุ๋ย กลุ่มที่ 2 ใส่พร้อมปลูกอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ กลุ่มที่ 3 แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่พร้อมปลูกอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ช่วงหญ้ากินนีมอมบาซาเริ่มตั้งท้องหรือก่อนออกดอกประมาณ 1 เดือน อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และกลุ่มที่ 4 ใส่พร้อมปลูกอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่พร้อมปลูกอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ช่วงหญ้ากินนีมอมบาซาเริ่มตั้งท้องหรือก่อนออกดอกประมาณ 1 เดือนอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ จะได้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ของหญ้ากินนีมอมบาซาสูงสุด คือ 129.9 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ถ้าใส่ช่วงพร้อมปลูกเพียงครั้งเดียว อัตรา 25 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะได้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ 49.19 และ 59.45 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมล็ดพันธุ์ที่ได้จากทุกกลุ่มมีคุณภาพดี คือ มีความงอก ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ และมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด อยู่ระหว่าง 78.33–79.67 99.07–99.58 เปอร์เซ็นต์ และ 1.606–1.620 กรัม ตามลำดับ

Apisit Kositchaiyong และคณะ [39] ศึกษาพฤติกรรมของวัสดุ และการต่อต้านการเกิดตะไคร่ของพีวีซี (PVC) และวัสดุคอมโพสิตไม้พีวีซี (Wood PVC composites, WPVCs) โดยตรวจหาตะไคร่หลังจากการเพิ่มสารป้องกันตะไคร่ (Algacides) ที่ต่างชนิด และต่างความเข้มข้นกัน ไม้ที่พบได้ทั่วไปมี 3 ชนิด คือ Namely, Xylia kerrii Craib and Hutch, Hevea brasiliensis Muell และ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mangifera indica Linn. โดยสารป้องกันตะไคร่ที่ใช้ ได้แก่ ไอโซโปรตอน (Isoproturon (3-(4-isopropylphenyl)-1,1-dime- thylurea) และ เทอร์บูทริน (Terbutryn (N2-tert-butyl-N4-ethyl-6-methylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine) ซึ่งใช้ความเข้มข้นตั้งแต่ 0-1500 ppm โดยศึกษาผลจากสีพื้นผิวของวัสดุ สมบัติทางความร้อน โครงสร้างทางเคมี และสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาพบว่าการเติมสารไอโซโปรตอนมีแนวโน้มในการเปลี่ยนสีพื้นผิวของวัสดุสูง โดยเฉพาะพีวีซีมีค่าเดลต้าอีสูงสุด ในขณะที่การเพิ่มเทอร์บูทริน ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนสี ผลที่ได้จาก DSC, FT-IR และการทดสอบมุมสัมผัส (Contact angle testing) พบว่าไอโซโปรตอนมีโมเลกุลที่แข็งแรงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพีวีซีได้ และอาจทำให้เกิดการเสื่อสภาพของพีวีซี สมบัติเชิงกลของพีวีซีและวัสดุคอมโพสิตไม้พีวีซีนั้นเป็นผลโดยตรงจากการเพิ่มปริมาณของไม้ แต่การเติมสารป้องกันตะไคร่ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ผลของบริเวณการเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในสาหร่าย (Chlorella vulgaris TISTR 8580) ชี้ให้เห็นว่าเทอร์บูทรินมีประสิทธิภาพในการต่อต้านการเกิดตะไคร่ได้ดีกว่าไอโซโปรตอน โดยเทอร์บูรินมีขนาด 1000 ppm และไอโซโปรตอนมีขนาด 1500 ppm นอกจากนี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบในวัสดุคอมโพสิตไม้พีวีซีได้อีกด้วย

ปัฐวี พินิจกุล [13] ศึกษาสมบัติและการประยุกต์ใช้งานท่อยางน้ำซึมชนิดเสริมแรงที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ผสมยางรีเคลม (Reclaimed rubber, RR) และผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) เศษเส้นใยยางรถยนต์สั้น (Waste tire fiber, WTF) จากพลาย (Ply) ยางรถยนต์ใช้แล้วใช้เป็นสารเสริมแรง สารให้ฟองไดไนโตรโซเพนตะเมทิลีนเตตระมีน (DNPT) และคิกเกอร์ยูเรียถูกใช้เพื่อสร้างโครงสร้างเซลล์เปิด ทำการผสมด้วยเครื่องผสมนีดเดอร์ (Kneader) ขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยเตาอบลมร้อน (Hot air oven) อัตราส่วน GRT และยาง (NR, RR) ถูกควบคุมอยู่ที่ 60:40 (โดยน้ำหนัก) แล้วทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อยางน้ำซึมได้แก่ เวลาการเชื่อมโยง, อัตราส่วนระหว่าง NR:RR, ปริมาณสารให้ฟอง และศึกษาอิทธิพลของสารเสริมแรง เช่น ปริมาณเขม่าดำ, เปรียบเทียบปริมาณการใช้เส้นใยจากขยะยางรถยนต์ด้วยวิธีการนำมาใช้โดยตรงและการทำมาสเตอร์แบทช์ และเขม่าดำร่วมกับเส้นใย สมบัติของท่อยางน้ำซึมที่ศึกษาได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา อัตราการซึมผ่านของน้ำ เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม และการทดสอบความดันสูงสุดของท่อยางน้ำซึม จากการทดลองพบว่าเวลาการเชื่อมโยงที่เหมาะสม คือ 20 นาที ในการศึกษาผลของอัตราส่วนยาง NR:RR พบว่าสมบัติเชิงกลของท่อดีขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนยางธรรมชาติ อย่างไรก็ดีเขม่าดำในยางรีเคลมส่งผลกระทบถ้าใช้ยางธรรมชาติมาก พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตท่อคือ 50:50 จากการศึกษาอิทธิพลของสารเสริมแรงผสม (เขม่าดำและเส้นใย) พบว่าสมบัติบางประการเช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เขม่าดำ 50 phr และเส้นใย 6 phr แต่ความหนืดมูนนี่ มอดุลัส และความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามคาดเมื่อเพิ่มสารเสริมแรง อย่างไรก็ตามเมื่อควบคุมเขม่าดำ 50 phr ปริมาณเส้นใยที่ได้สมบัติเชิงกลสูงสุดคือ 4 phr การใช้เส้น

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยเสริมแรงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อยางน้ำซึมมีค่าลดลง และอัตราการซึมผ่านน้ำมีแนว- โน้มเป็นเส้นตรงและทนความดันได้สูงขึ้น ท่อยางน้ำซึมมีอัตราการซึมผ่านน้ำและความดันในแต่ละตำแหน่งใกล้เคียงกันแม้ว่าทดสอบท่อระยะยาว 50 เมตร มีต้นทุนการผลิตประมาณ 13 บาท/เมตร สรุปว่าท่อยางน้ำซึมในงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ แบ่งการทดลองเป็น

ส่วนที่ 1 ศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมที่สภาวะต่าง ๆ

ส่วนที่ 2 ศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม

ส่วนที่ 3 ศึกษาการจำลองสภาวะการใช้งานใต้ดินของท่อยางน้ำซึม

ส่วนที่ 4 ศึกษาการใช้งานของท่อยางน้ำซึมใต้ดินและบนดินในแปลงปลูกจริง

3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ท่อยางน้ำซึม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ความหนา 2.7 มิลลิเมตร บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด สมบัติบางประการแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของท่อยางน้ำซึม [13]

สมบัติของท่อยางน้ำซึม	ค่าที่ได้
ความหนืดมูนนี่ (ML 1+4 (100°C))	51.7
ความแข็งแรงดึง (MPa)	3.55
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)	190.9
มอดุลัสที่ 100% (MPa)	1.65
ความแข็งแรงฉีกขาด (kN/m)	15.08
ความแข็งกด (Shore A)	43.5
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.85
อัตราการซึมผ่านน้ำ (l/m/h) ณ ความดันดังนี้	
- 0.8 bar	2.3
- 1.1 bar	4.2

2. ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-16 ตรากระทิงลูกโลก บริษัท โรจน์พนกิจ จำกัด

3. ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 ตรากระทิงลูกโลก บริษัท โรจน์พนกิจ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้ทดสอบการเร่งอายุ (Aging oven) : รุ่น AG 1100 บริษัท Ueshima Seisakusho Co., Ltd.
2. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) : รุ่น TCS-2000 บริษัท สิทธิพร แอชโซชิแอชจำกัด
3. เครื่องตัดตัวอย่างรูปดัมเบลล์ : รุ่น KS-5010 บริษัท จินัน กาสอน เทสติ้ง จำกัด
4. เครื่องวัดความแข็ง (Hardness) Shore A : รุ่น GS-712N บริษัทเจทีซี ทูล จำกัด
5. เตาอบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น F400 บริษัท ไบน์เดอร์ จำกัด
6. เครื่องวัดความชื้นในดิน (Soil moisture meter) รุ่น YH-Soil4in1 บริษัท YHequipment Co., Ltd.

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมที่สภาวะต่าง ๆ

ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength) และความแข็งกด (Hardness) เพื่อดูสมบัติเชิงกลก่อนทำการทดสอบตามสภาวะต่าง ๆ

- การทดสอบความแข็งแรงดึง

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412 [40] การเตรียมชิ้นงานทดสอบทำการตัดชิ้นงานที่เชื่อมโยงแล้วให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะเป็น Die C เป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) ที่มีความยาวเกจ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร วิธีการทดสอบ ทำการทดสอบชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ Load cell ขนาด 500 N และอัตราเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที หาค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

$$\text{Tensile strength} = F/A \quad (3.1)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm^2)

$$\text{Elongation at break (\%)} = 100 \times ((L-L_0)/L_0) \quad (3.2)$$

เมื่อ L คือ ระยะที่ชิ้นงานทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (cm)

L_0 คือ ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 624 [41] การเตรียมชิ้นงานทดสอบ ทำการตัดชิ้นงานที่เชื่อมโยงแล้วให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะเป็น Die C วิธีการทดสอบ ทำการทดสอบชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ Load cell ขนาด 500 N และอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที หาค่าความแข็งแรงฉีกขาด

การคำนวณ

$$T_s = F/d \quad (3.3)$$

เมื่อ T_s คือ ความแข็งแรงฉีกขาด (kN/m)

F คือ แรงที่ใช้ในการดึงชิ้นงานจนขาด (kN)

d คือ ความหนาของชิ้นงาน (m)

- การทดสอบความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2240 [42] วิธีการทดสอบ ทดสอบด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ชนิดชอร์ A (Shore A durometer) โดยชิ้นงานทดสอบความแข็งกดจำนวน 5 ชิ้น (ความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร) วางซ้อนกันบนแท่นทดสอบ จากนั้นโยกคานข้างล่างให้ชิ้นงานทดสอบสัมผัสกับหัวกด (Indentor) เป็นเวลา 15 วินาที อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัด

ตอนที่ 1 ศึกษาจากการจำลองสภาวะการใช้งานจริง

1. นำตัวอย่างชิ้นงานมาทดสอบในสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

- ดินแห้ง

วัดความชื้นของดินโดยใช้สูตร

$$\%\text{ความชื้น} = (W_1 - W_2) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่าง} \quad (3.4)$$

- W_1 = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ
- W_2 = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในดินแห้ง

- ดินเปียก

วัดความชื้นของดินโดยใช้สูตร

$$\%\text{ความชื้น} = (W_1 - W_2) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่าง} \quad (3.4)$$

- W_1 = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ
- W_2 = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

รูปที่ 3.2 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในดินเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำ (น้ำประปา)

รูปที่ 3.3 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในน้ำ

- สารละลายปุ๋ยเคมี

ทำการทดสอบ 2 สภาวะคือ แช่สารละลายปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 และ สารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 โดยใช้อัตราส่วนผสมคือ ปุ๋ย 12 กรัมต่อน้ำ 600 มิลลิลิตร (2% w/v)

รูปที่ 3.4 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และสูตร 46-0-0 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดนแสง

รูปที่ 3.5 การทดสอบการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในแสงแดด

- ไม่โดนแสง

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างควบคุม (ไม่โดนแสง)

2. ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยจะนำตัวอย่างออกมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และความแข็งกดทุก ๆ สัปดาห์ จนครบ 8 สัปดาห์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การเสื่อมสภาพทางความร้อน (มาตรฐานการทดสอบ ISO 188) [43]

1. นำชิ้นงานเข้าตู้ทดสอบการเร่งอายุ (Aging Oven) ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 188 วิธีการทดสอบ ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมบ์เบลล์ (Dumbbell) type 1 (Die C - ASTM) แล้วนำไปบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นงานออกมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และความแข็งกดทุก ๆ 24 ชั่วโมง จนครบ 168 ชั่วโมง เพื่อดูสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงไป

3.4.2 การเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม

1. ตัดตัวอย่างท่อยางน้ำซึมความยาว 1 เมตร จำนวน 5 เส้น

2. ทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water permeability) โดยติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure gauge) ก่อนน้ำเข้าสู่ท่อยางน้ำซึมที่ความดันต่าง ๆ คือ 0.8, 1.3 และ 1.8 บาร์ โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 5 นาที รายงานผลในรูปของปริมาณการซึมผ่านของน้ำต่อเวลาต่อความยาวท่อ (l/h/m)

รูปที่ 3.7 การวัดปริมาณการซึมผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำสายยางไปแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 1 เดือน

รูปที่ 3.8 ท่อยางน้ำซึมที่ถูกแช่ในน้ำเพื่อให้เกิดตะไคร่

4. วัด pH น้ำที่ใช้แช่ท่อยางน้ำซึม

รูปที่ 3.9 การวัด pH ของน้ำที่ใช้

5. หลังจากครบ 1 เดือน นำสายยางมาตรวจสอบดังนี้

ตอนที่ 1 ตรวจสอบปริมาณการเกิดของตะไคร่ที่ท่อยางน้ำซึม [44]

1. นำสายยางไปแช่ในน้ำสะอาดเพื่อให้สาหร่ายที่อาจติดมากับน้ำหลุดออก
2. ตัดสายยางให้มีความยาว 1 เซนติเมตร จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ
3. นำชิ้นงานที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในหลอดทดลอง
4. ใส่ 5 ml of 5%KOH dissolved in 30% methanol และนำไปใส่ water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (หรือจนเซลล์ก้นหลอดเป็นสีเหลืองอ่อน ไม่มีสีเขียวปนที่เซลล์อีก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำหลอดทดลองทิ้งไว้สักครู่ให้เย็น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3500 รอบ เป็นเวลา 5 นาที
6. นำสารละลายสีเขียวใสส่วนบนไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร
7. คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไซยาโนแบคทีเรีย)

$$\text{Chlorophyll a } (\mu g/cm^2) = abs(665) \times 12.65 \quad (3.5)$$

หมายเหตุ 12.65 คือ ค่าที่ได้จากการทำ Calibration curve

ตอนที่ 2 นำมาวัดปริมาณน้ำที่ซึมออกมา เพื่อดูผลของตะไคร่ที่ส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านน้ำ โดยการให้น้ำที่ 0.5 , 0.8 , 1.3 , 1.8 บาร์

ตอนที่ 3 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อก่อนเปิดน้ำ และขณะน้ำไหลผ่านท่อ จากนั้นนำมาคำนวณดังนี้

$$\%\text{Diameter swell} = ((OD_{After} - OD_{Before}) / OD_{Before}) \times 100 \quad (3.6)$$

- OD_{Before} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อยางน้ำซึมก่อนน้ำซึมผ่าน
- OD_{After} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อยางน้ำซึมขณะน้ำซึมผ่าน

ตอนที่ 4 นำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้ ความแข็งกด (Hardness) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดณ จุดขาด (%Elongation at break)

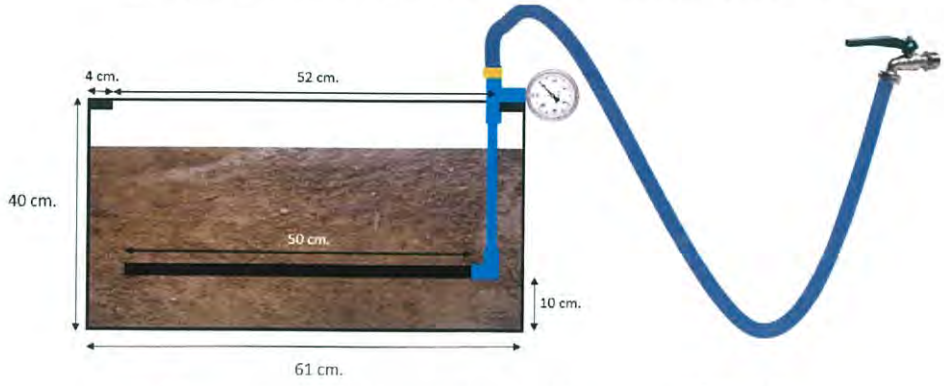
3.4.3 การใช้งานใต้ดินของท่อยางน้ำซึม

3.4.3.1 อัตราการซึมน้ำในใต้ดินของท่อยางน้ำซึม

1. ชั่งน้ำหนักตู้เปล่า
2. นำดินร่วนแห้งมาใส่ตู้กระจก โดยให้มีความสูงจากพื้นตู้ 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10
3. ทำการสุ่มตัดท่อยางน้ำซึมที่มีความยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 3 เส้น เปิดน้ำเข้าสู่ท่อโดยกำหนดแรงดันน้ำอยู่ที่ 0.8 – 1.1 bar โดยใช้ Pressure gauge เป็นมาตรวัด เป็นเวลา 2 นาที เพื่อไล่อากาศและเปิดรูพรุนของท่อ
4. วางท่อยางน้ำซึมลงในตู้กระจก โดยใช้ทรายหยาบกลบรอบ ๆ ท่อเพื่อป้องกันการอุดตันจากดินโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำดินร่วนแห้งมากลบท่อด้วยความสูงจากท่อขึ้นไป 15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.10 การทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อยางน้ำซึมใต้ดิน

6. ชั่งน้ำหนักทั้งหมด (รวมน้ำหนักทั้งตู้)
7. ทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water permeability) โดยติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure gauge) ก่อนน้ำเข้าสู่ท่อยางน้ำซึมที่ความดันต่าง ๆ คือ 0.8, 1.3 และ 1.8 บาร์ โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 5 นาที รายงานผลในรูปของปริมาณการซึมผ่านของน้ำต่อเวลาต่อความยาวท่อ (l/h/m)
8. เมื่อครบเวลา นำมาชั่งน้ำหนักทั้งหมดอีกครั้ง (รวมน้ำหนักทั้งตู้)
9. คำนวณหาน้ำหนักของน้ำ

   น้ำหนักของน้ำ = น้ำหนักทั้งหมดหลังให้น้ำ–น้ำหนักทั้งหมดก่อนให้น้ำ (3.7)
10. คำนวณหาปริมาตรของน้ำจากน้ำหนักของน้ำด้วยสูตร

    $D = m / v$; ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/cm^3 (3.8)
11. บันทึกปริมาตรของน้ำ (l/h/m) จากนั้นทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
12. ทำตามข้อ 1-10 โดยเปลี่ยนชนิดดินเป็นดินทราย

3.4.3.2 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม

1. ทำพร้อมกับการวัดอัตราการซึมผ่านน้ำใต้ดิน (3.4.3.3) โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อก่อนเปิดน้ำ และขณะน้ำไหลผ่านท่อ
2. นำขนาดที่วัดได้ทั้งสองครั้งมาคำนวณ ดังนี้

   $\%\text{Diameter swell} = ((OD_{After} - OD_{Before}) / OD_{Before}) \times 100$ (3.6)

   - OD_{Before} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อยางน้ำซึมก่อนน้ำซึมผ่าน
   - OD_{After} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อยางน้ำซึมขณะน้ำซึมผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.3 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึม

1. ทำพร้อมกับการวัดอัตราซึมผ่านน้ำใต้ดิน (3.4.3.3) สังเกตเมื่อเริ่มเกิดการซึมของน้ำผ่านท่อออกมา
2. เมื่อครบ 5 นาที ทำการวัดระยะทางการแพร่ของน้ำที่รอบ ๆ ท่อ
3. บันทึกผล

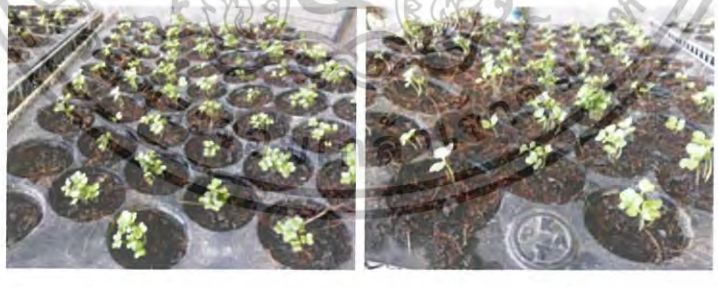
3.4.3.4 น้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบน

1. ตัดท่อยางน้ำซึมตัวอย่าง ยาว 10 เซนติเมตร
2. นำไปกดด้วยเครื่อง Universal testing (โหมด Compression) โดยเพิ่มน้ำหนักกดไปเรื่อย ๆ และหยุดเมื่อท่อไม่มีการเสียรูปเพิ่มเติม
3. บันทึกค่า

รูปที่ 3.11 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อถูกทับแบน

3.4.4 การใช้งานใต้ดินและบนดินในแปลงปลูก

1. เพาะต้นกล้าวางตุ้งเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตให้เท่า ๆ กัน



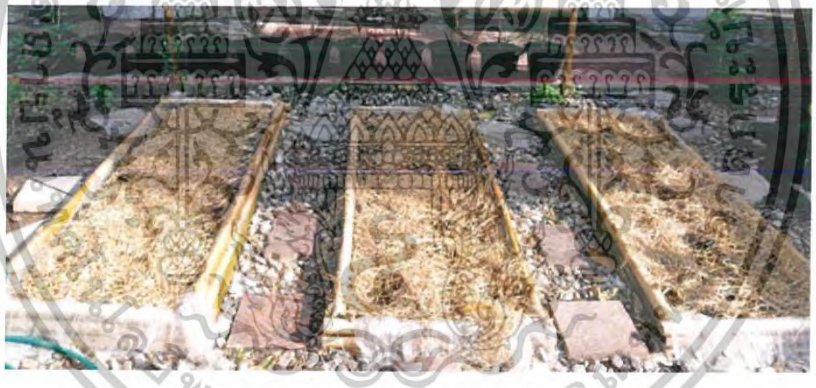
รูปที่ 3.12 การเพาะต้นกล้าในถาดหลุม

2. เตรียมแปลง 3 แปลง เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน ได้แก่ แปลงการให้น้ำปกติ การให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน และการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 (ก)แปลงให้น้ำปกติ ให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน และให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน ตามลำดับ และ(ข)การวางท่อยางน้ำซึมใต้ดินที่ความลึก 15 เซนติเมตรก่อนการฝังกลบ

3. นำต้นกล้าที่เพาะไว้ลงแปลง ทำการให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ปริมาณ 9 ลิตรต่อแปลงต่อวัน (เท่ากับ 6 ลิตรต่อตารางเมตร) เหมือนกันทั้ง 3 แปลง (ขนาด 0.8x2 ตารางเมตร) และทำการเก็บผลจนกระทั่งต้นกวางตุ้งเจริญเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยว (ประมาณ 30-35 วัน) โดยเรื่องที่ศึกษาและทำการเก็บผลมีดังนี้



รูปที่ 3.14 แปลงเพาะต้นกล้า

- <u>ศึกษาความชื้นในดิน</u> = วัดความชื้นก่อนการให้น้ำ หลังการให้น้ำทันที หลังการให้น้ำ 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ
- <u>ศึกษาความสูงของลำต้น</u> = วัดความสูงของลำต้น ทุก 7 วัน จนครบ 30 วัน โดยสุ่มวัดจำนวน 10 ต้น/แปลง แล้วนำความสูงที่ได้จาก 3 แปลงมาเปรียบเทียบกัน
- <u>ศึกษาความยาวราก</u> = วัดความยาวรากหลังจากปลูกเป็นระยะเวลา 35 วัน แล้วนำค่าที่ได้จาก 3 แปลงมาเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยของการทำสหกิจศึกษานี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง จากงานวิจัยเรื่อง "การศึกษาท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ผสมยางธรรมชาติและยางรีเคลม เพื่องานเกษตรกรรม" ของนายปฐวี พินิจ-กุล [13] ซึ่งเป็นงานวิจัยจากความร่วมมือของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด (SAENG THAI RUBBER CO., LTD.) โดยเน้นศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของท่อยางน้ำซึมที่ผลิตได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานเป็นอุปกรณ์ให้น้ำอัจฉริยะบนดินหรือใต้ดินในด้านการเกษตร ซึ่งได้นำท่อยางน้ำซึมที่ผลิตจากขยะยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกลับมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปัญหามลภาวะจากขยะ โดยมีการผสมเส้นใยสั้นจากเส้นใยพลาย (Ply) และสารเติมแต่ง (Additives) เพื่อเป็นส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติในการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้เน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของท่อยางน้ำซึมในขณะการใช้งาน และการนำไปใช้งานในแต่ละสภาวะ โดยแบ่งขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสภาวะต่าง ๆ

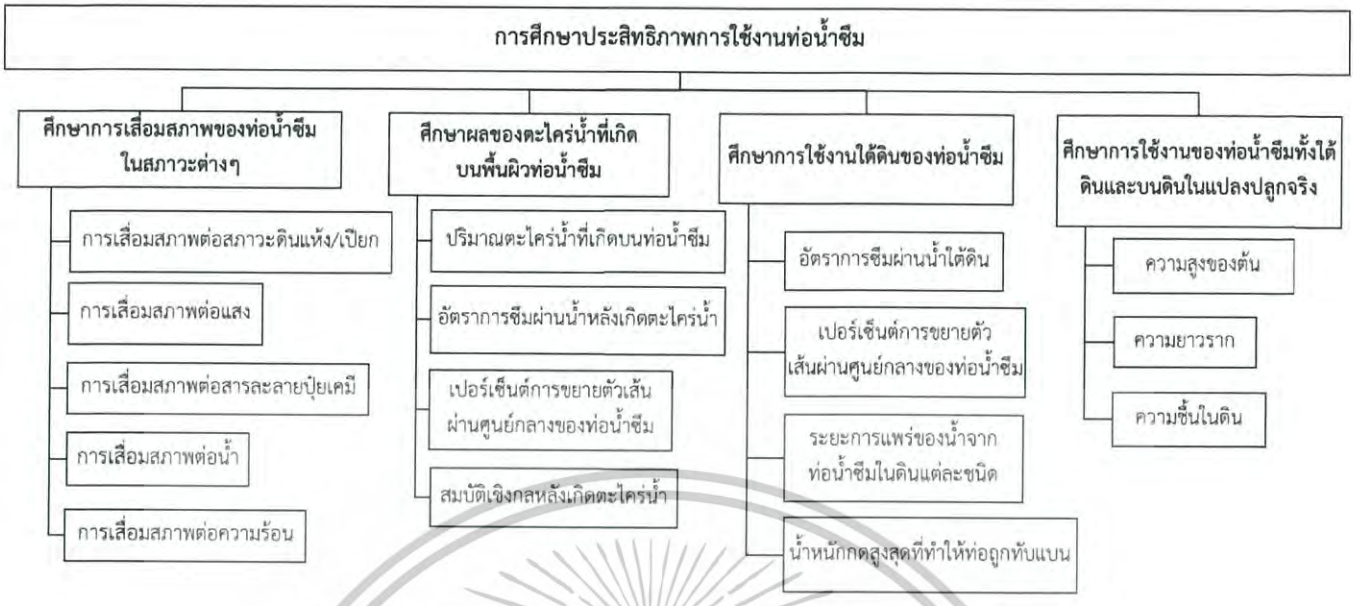
ตอนที่ 2 ศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม

ตอนที่ 3 ศึกษาการใช้งานใต้ดินของท่อยางน้ำซึม

ตอนที่ 4 ศึกษาการใช้งานของท่อยางน้ำซึมใต้ดินและบนดินในแปลงปลูกจริง

ในการทดสอบสมบัติเพื่อดูประสิทธิภาพการใช้งาน ได้แก่ สมบัติเชิงกล อัตราการให้น้ำ ปริมาณการเกิดตะไคร่ และเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม เพื่อวิเคราะห์ผลและเป็นแนวทางในการพัฒนาท่อยางน้ำซึมให้มีคุณสมบัติมากยิ่งขึ้น รายละเอียดในการทดสอบแต่ละตอน แสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของท่อยางน้ำซึม

4.1 การศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสภาวะต่าง ๆ

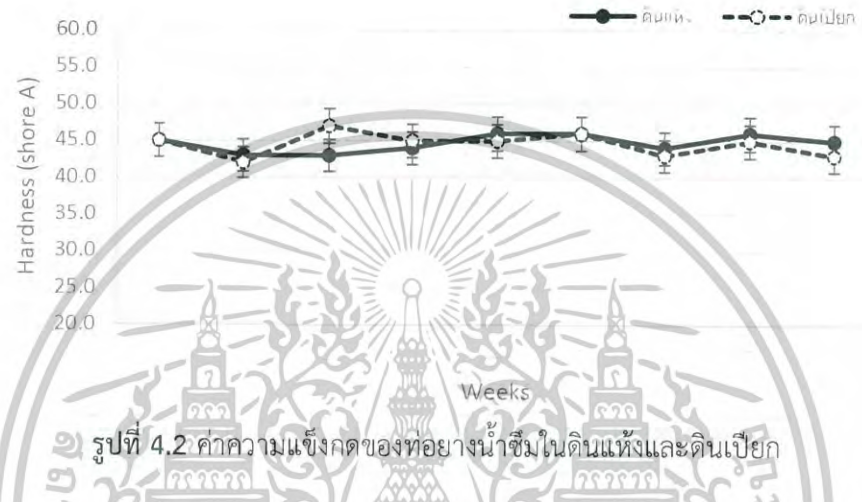
การเสื่อมสภาพของยางที่สามารถเกิดได้จากปัจจัยต่าง ๆ สาเหตุหลักที่สำคัญคือ การเกิดจากปัจจัยภายในตัวของยางเอง เนื่องจากยางมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือการมีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเสื่อมสภาพอาจสังเกตได้จากการแข็งตัว การอ่อนตัว รวมถึงการล้าตัวและการขยายตัวของรอยแตก โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นที่อุณหภูมิสูงหรือในสภาวะที่มีการปนเปื้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เช่น โลหะ ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จำลองสภาวะต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อท่อยางน้ำซึมทั้งในการใช้งานใต้ดินและบนดิน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของท่อยางน้ำซึม โดยหัวข้อการศึกษาการเสื่อมสภาพต่าง ๆ มีดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อสภาวะดินแห้งและดินเปียก

ในการใช้งานใต้ดิน ท่อยางน้ำซึมต้องสัมผัสกับดินแห้ง หรือเปียกที่อาจมีปุ๋ย หรือสารเคมีที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของท่อ จากการศึกษาการเสื่อมสภาพ (Degradation) ในสภาวะดินแห้งและเปียกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งกด (Hardness) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยท่อยางน้ำซึมในดินแห้งมีค่าความแข็งกดเปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 46 shore A ดินเปียกมีค่าความแข็งกดเปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 43 shore A ค่าความแข็งแรงดึงในดินแห้งมีค่าเปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.86 MPa ดินเปียกมีค่าเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

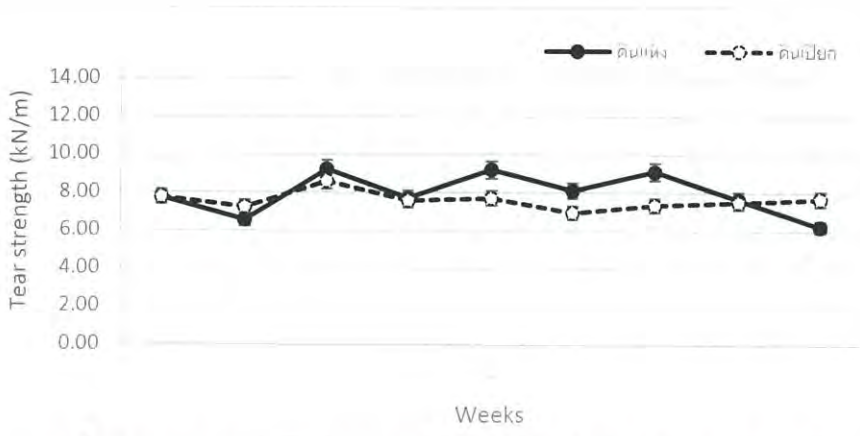
จาก 1.87 ไปเป็น 1.73 MPa ค่าความแข็งแรงฉีกขาดในดินแห้งมีค่าเปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 6.24 kN/m ดินเปียกมีค่าเปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 7.69 kN/m และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ในดินแห้งมีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 126 ดินเปียกมีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 118 แสดงดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียกไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลภายในช่วงเวลาที่ศึกษา (8 สัปดาห์)



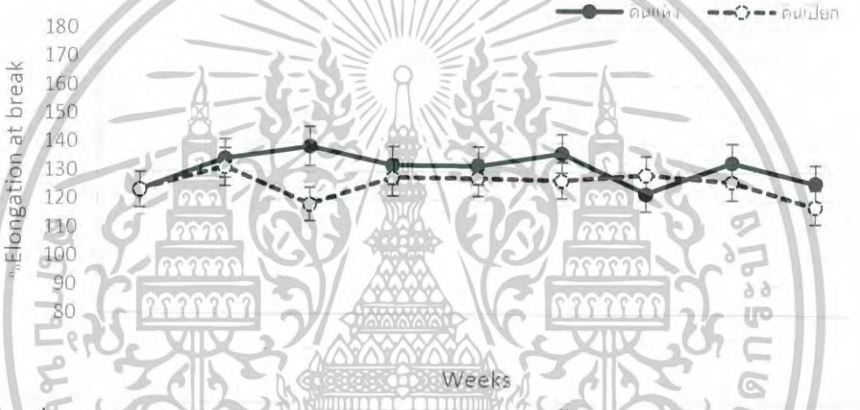
รูปที่ 4.2 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก

รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก



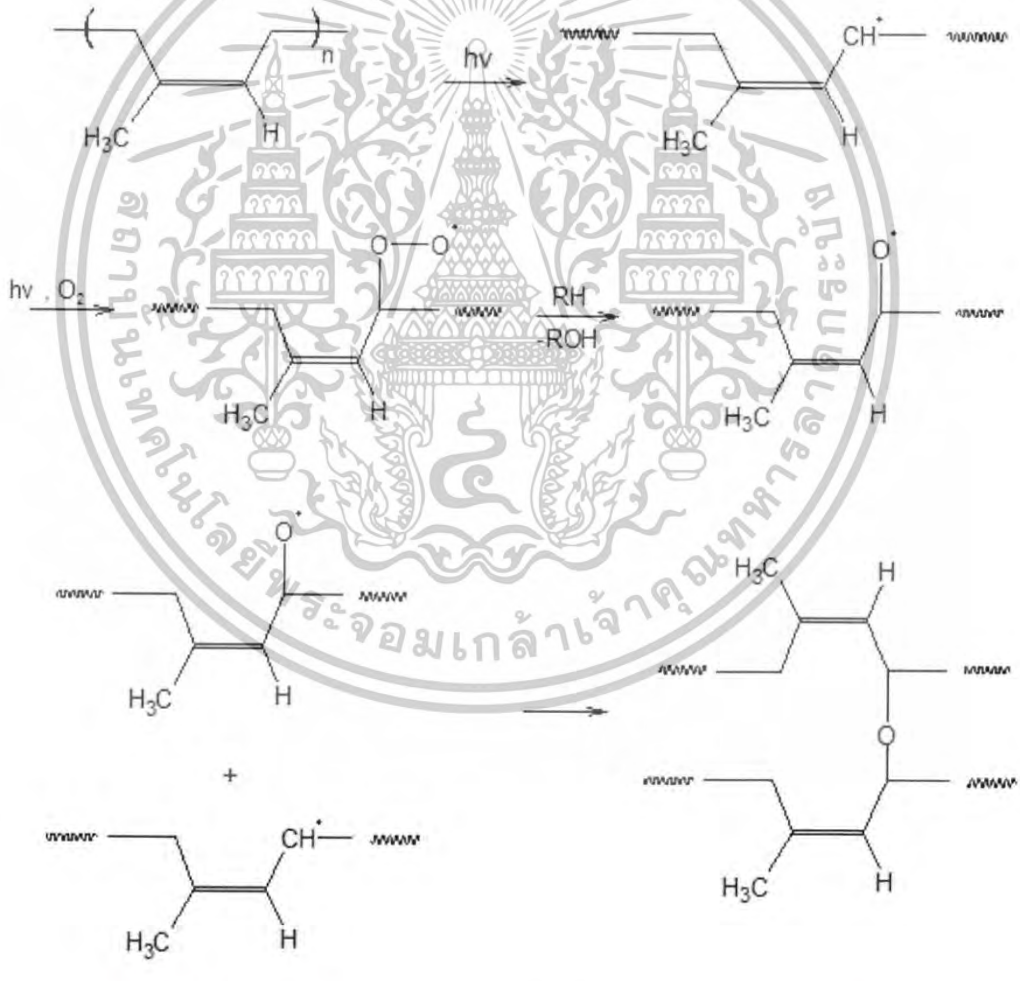
รูปที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในดินแห้งและดินเปียก

4.1.2 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อแสง

ในการใช้งานบนดิน ท่อยางน้ำซึมอาจเกิดการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะแสงแดดที่มี UV (Ultraviolet) อาจเร่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ โดยเฉพาะท่อยางที่มีการใช้ยางที่มีโครงสร้างพันธะคู่ไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยา UV degradation ได้ง่าย ดังนั้นในการทดลองตอนนี้จึงทำการศึกษาท่อยางน้ำซึมที่ตากแดด เปรียบเทียบกับท่อยางควบคุมที่อยู่ในกล่องไม่โดนแสง จากการศึกษาในระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า ค่าความแข็งกด (Hardness) ของท่อยางน้ำซึมที่ไม่โดนแสงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าเปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 46 shore A ส่วนท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 45 ไปเป็น 48 shore A ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยท่อที่ไม่โดนแสงมีค่าเปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.98 MPa ท่อที่โดนแสงมีค่าเปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.77 MPa ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญโดยท่อที่ไม่โดนแสงมีค่าเปลี่ยนจาก 7.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

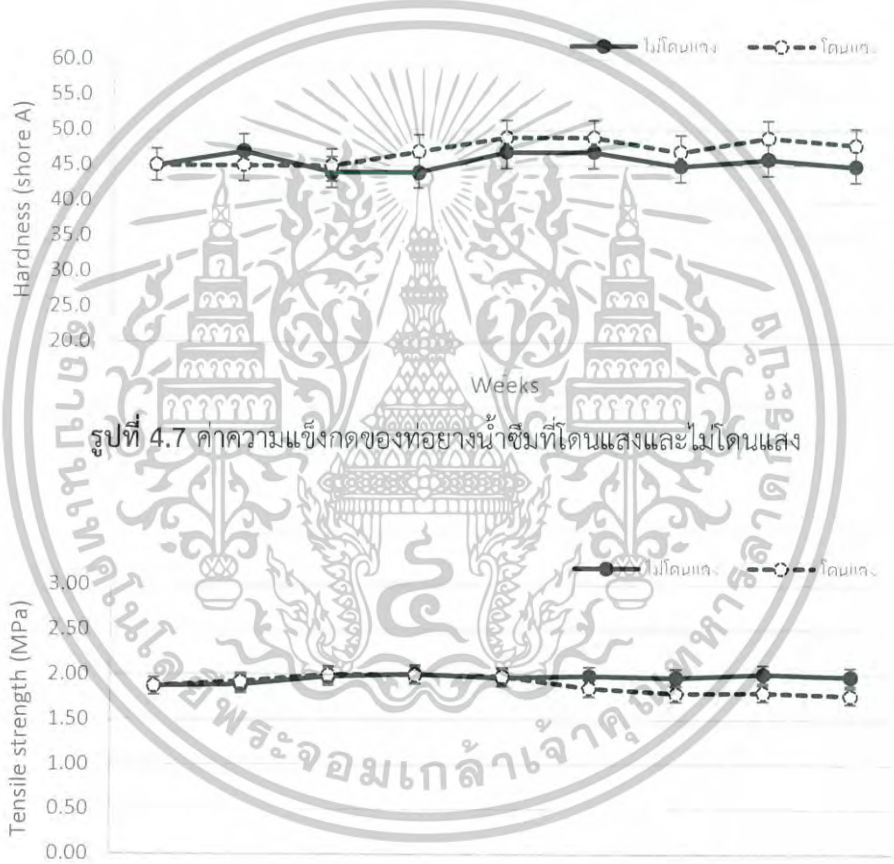
ไปเป็น 9.31 kN/m ท่อที่โดนแสงมีค่าเปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 8.03 kN/m และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของท่อที่ไม่โดนแสงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 122 ท่อที่โดนแสงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 99 แสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อแสงมีผลต่อท่อยางน้ำซึมทำให้ท่อมีความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยภายในช่วงเวลาที่ศึกษา (8 สัปดาห์) ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โครงสร้างภายในยางบางส่วนเกิดการเชื่อมโยงระหว่างกัน (Crosslinking) เพิ่มขึ้น ยางจึงมีความแข็ง และตึงตัวเพิ่มมากขึ้น แต่ยืดได้น้อยลง ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพแบบเชื่อมโยง (Crosslink) ในยางธรรมชาติ [45]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของท่อยางน้ำซึมมีผงยางรถยนต์เป็นองค์ประกอบหลัก และมียางธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมระหว่างผงยางรถยนต์ให้ติดกัน ซึ่งยางธรรมชาติเมื่อโดนแสงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและมีผลต่อสมบัติเชิงกล แต่เนื่องจากยางธรรมชาติไม่ใช่องค์ประกอบหลักของท่อยางน้ำซึม (มีอัตราส่วนของยางธรรมชาติ 40%) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงมีผลต่อท่อยางน้ำซึมเล็กน้อย ท่อยางน้ำซึมสูตรนี้สามารถใช้งานบนดินภายใต้ฟิล์มคลุมดิน (Mulch film) ได้ อย่างไรก็ดีถ้าต้องการใช้ท่อยางน้ำซึมกลางแจ้ง อาจทำการปรับปรุงสูตร ศึกษาชนิดและปริมาณสารเติมแต่งกลุ่ม Age protector เช่น UV absorber, Antioxidant

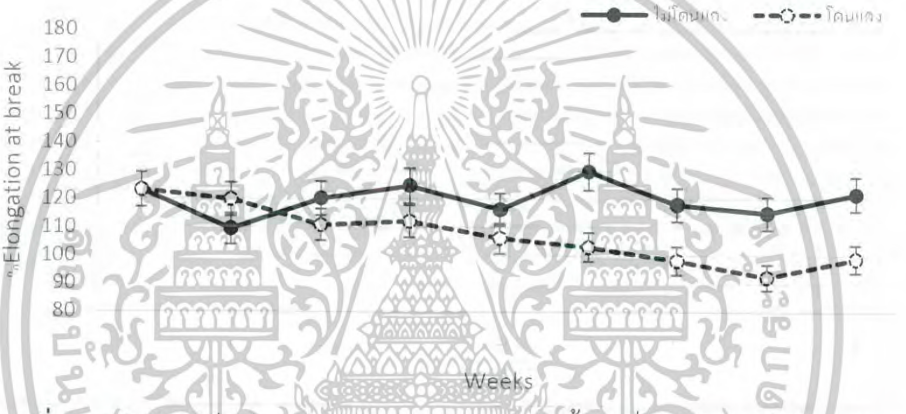


รูปที่ 4.7 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง

รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง



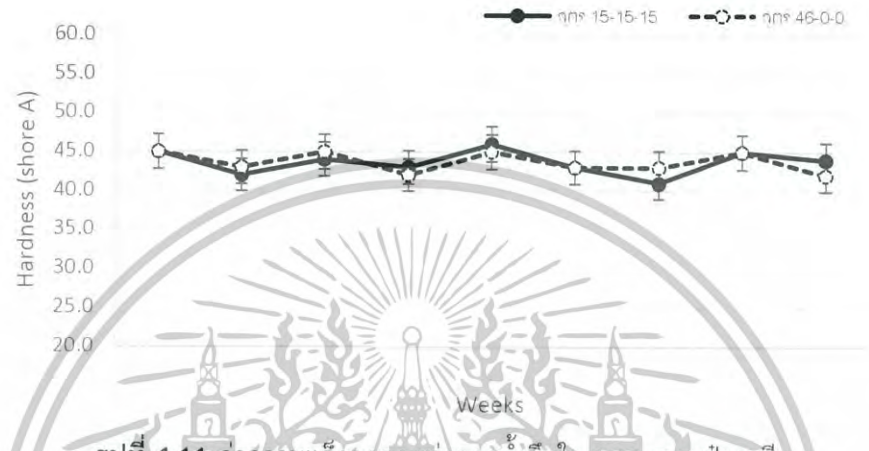
รูปที่ 4.10ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนแสงและไม่โดนแสง

4.1.3 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อสารละลายปุ๋ยเคมี

ในการใช้ท่อยางน้ำซึมอาจมีการประยุกต์ใช้ท่อยางเป็น "อุปกรณ์ให้ปุ๋ยน้ำ" ในบางช่วงเวลา ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะศึกษาว่าปุ๋ยน้ำมีผลหรือไม่ต่อการเสื่อมสภาพของท่อยาง จากการศึกษาในระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า ท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ 46-0-0 สมบัติเชิงกลมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยค่าความแข็งกด (Hardness) ของสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 มีค่าเปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 44 shore A สารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีค่าเปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 42 shore A ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 มีค่าเปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.79 MPa สารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีค่าเปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.71 MPa ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 มีค่าเปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 6.78 kN/m สารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีค่าเปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 6.79 kN/m และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 มีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีค่าเปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 122 แสดงดังรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ 46-0-0 ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลภายในช่วงเวลาที่ศึกษา (8 สัปดาห์)



รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี

รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี

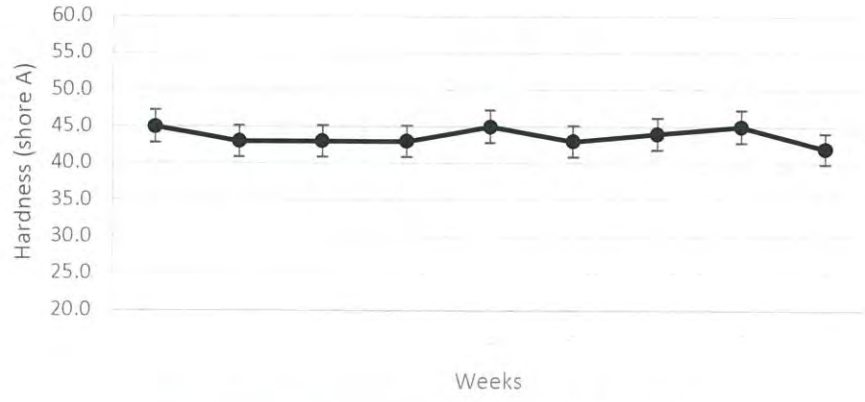
รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในสารละลายปุ๋ยเคมี

4.1.4 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อการแช่น้ำ

เนื่องจากท่อยางน้ำซึมมีส่วนประกอบของเส้นใยยางรถยนต์จากชั้นพลาย (Ply) ซึ่งดูดซับน้ำได้และอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเส้นใยกับยางลดลง ทำให้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมได้

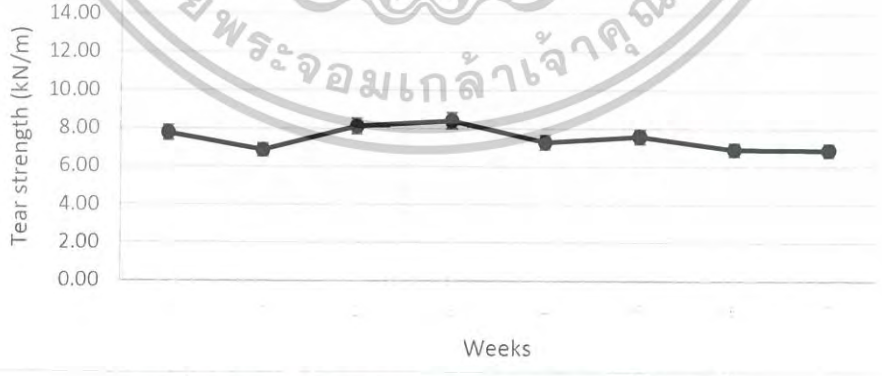
จากการศึกษาในระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่าการแช่ท่อยางน้ำซึมในน้ำ สมบัติเชิงกลมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าความแข็งกด (Hardness) เปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 42 shore A ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 1.62 MPa ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) เปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 6.87 kN/m และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 118 แสดงดังรูปที่ 4.15, 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในน้ำไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลภายในช่วงเวลาที่ศึกษา (8 สัปดาห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



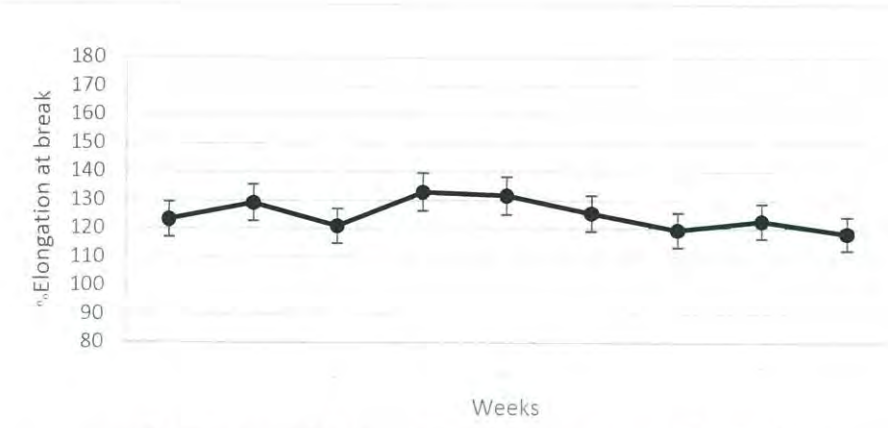
รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ

รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมในน้ำ



รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมในน้ำ

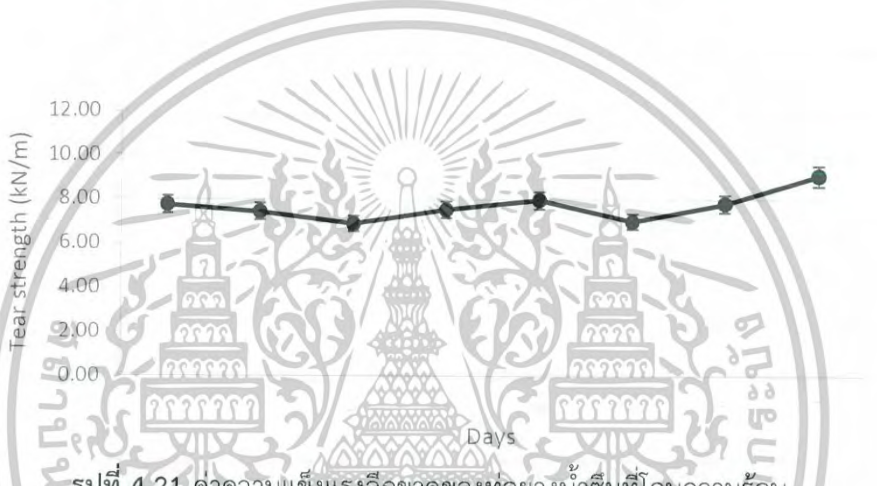
4.1.5 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพต่อความร้อน (Heat aging)

จากการศึกษาในระยะเวลา 7 วันพบว่าท่อยางน้ำซึมในสภาวะความร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง (สภาวะการเร่งการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน) มีสมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าความแข็งกด (Hardness) เปลี่ยนจาก 45 ไปเป็น 48 shore A ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปลี่ยนจาก 1.87 ไปเป็น 2.12 MPa ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) เปลี่ยนจาก 7.76 ไปเป็น 9.08 kN/m และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เปลี่ยนจาก 123 ไปเป็น 110 แสดงดังรูปที่ 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อยางน้ำซึมในสภาวะความร้อน ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลภายในช่วงเวลาที่ศึกษา

รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งกดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งแรงดึงของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน



รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน

รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อยางน้ำซึมที่โดนความร้อน

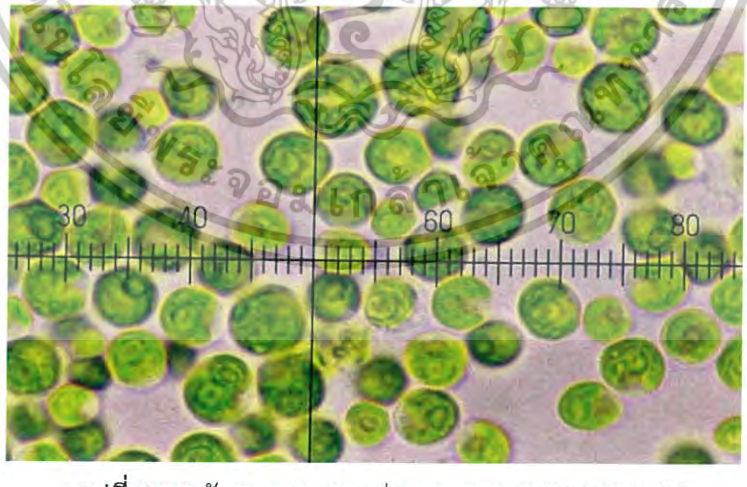
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อยางน้ำซึม

ตะไคร่น้ำ คือ สาหร่ายเซลล์เดียวซึ่งยึดเกาะในพื้นที่ที่มีน้ำไหล เพราะน้ำที่ไหลมีทั้งออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารไหลเวียนดี แสงดี สาหร่ายพวกนี้จะมายึดเกาะ กลายเป็นฝืนเขียว ตะไคร่น้ำยังประกอบไปด้วยสาหร่ายชนิดต่าง ๆ รวมทั้งพวกไซยาโนแบคทีเรียมาเกาะกลุ่มอยู่รวมตัวกัน บางกลุ่มเกาะยึดในบริเวณที่เปียกชื้น บางกลุ่มอยู่ในน้ำ แต่ละกลุ่มจะมีสีที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับว่าตะไคร่น้ำมีสาหร่ายกลุ่มใดเป็นองค์ประกอบ ในงานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณการเกิดตะไคร่น้ำบนพื้นผิวของท่อยางน้ำซึม ทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำหลังจากมีการเกิดตะไคร่น้ำ เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม และสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมหลังการเกิดตะไคร่น้ำ

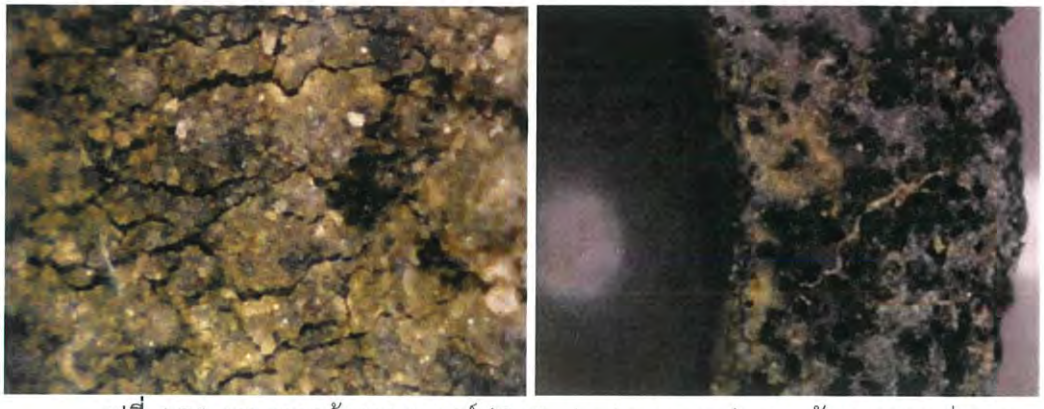
4.2.1 ปริมาณการเกิดตะไคร่น้ำบนพื้นผิวท่อยางน้ำซึม

เมื่อทดลองแช่ท่อยางน้ำซึมในน้ำเป็นระยะเวลา 2 เดือน และนำชิ้นงานมาหาปริมาณทั้ง 4 ชิ้นงาน พบปริมาณตะไคร่เฉลี่ยเท่ากับ 0.1170±0.001 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อนำน้ำตัวอย่างที่ติดมากับท่อยางน้ำซึมมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าชนิดตะไคร่น้ำที่มายึดเกาะที่บริเวณผิวท่อนั้นคือ สาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella) มีลักษณะกลม และมีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.23 ลักษณะของท่อยางน้ำซึมเมื่อเกิดการยึดเกาะของตะไคร่น้ำ มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งการยึดเกาะในลักษณะเหล่านี้ส่งผลให้แรงดันน้ำที่ใช้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการอุดตันของตะไคร่น้ำที่บริเวณรูพรุนของท่อยางน้ำซึม



รูปที่ 4.23 ลักษณะของสาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



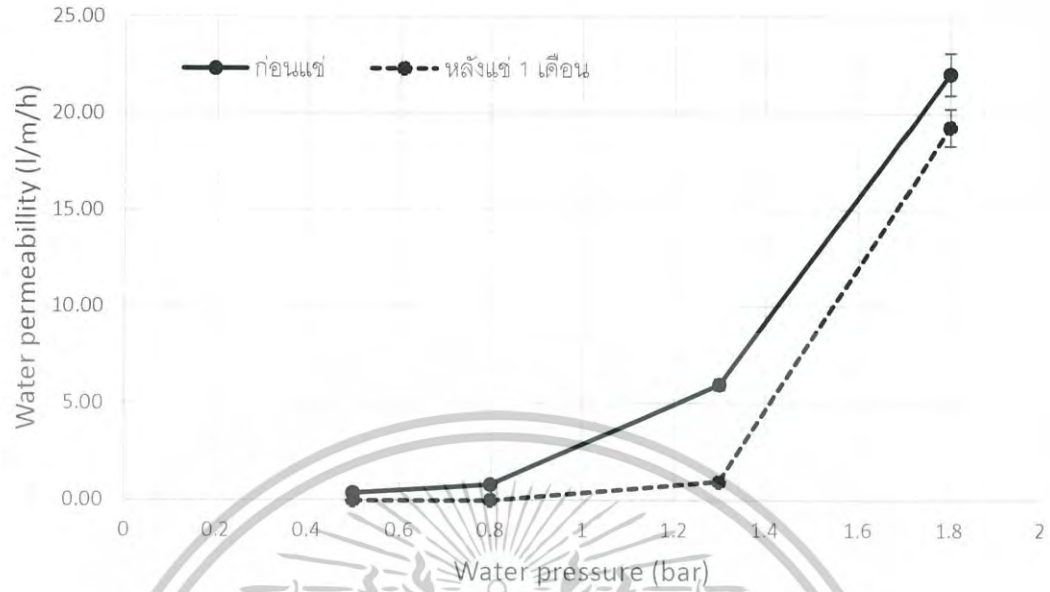
รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope) แสดงลักษณะของท่อยางน้ำซึมบริเวณพื้นผิว (ด้านซ้าย) และพื้นผิวหน้าตัด (ด้านขวา) ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 2 เดือน (ภาพกำลังขยาย 40 เท่า)

4.2.2 อัตราการซึมผ่านน้ำหลังการเกิดตะไคร่น้ำ

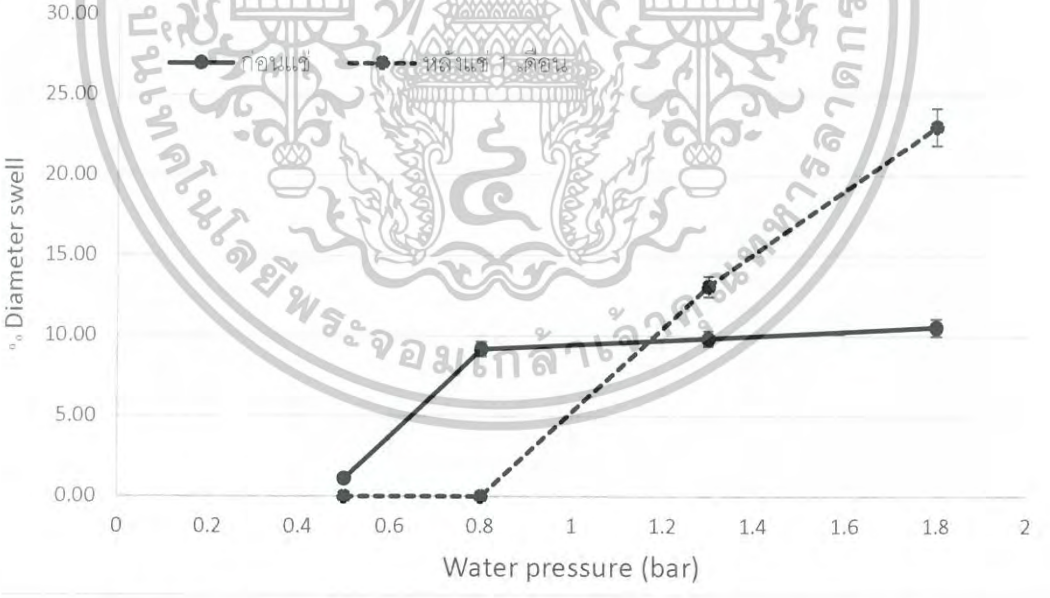
จากการศึกษาพบว่า ท่อยางน้ำซึมที่ถูกแช่น้ำไว้เป็นระยะเวลา 2 เดือน มีอัตราการซึมผ่านน้ำที่น้อยกว่าท่อยางน้ำซึมที่ไม่ได้แช่น้ำในทุก ๆ ความดัน เนื่องจากผลของการอุดตันของตะไคร่บริเวณรูพรุนทำให้ไปขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ และที่ความดันน้ำต่ำ ๆ ท่อยางน้ำซึมที่ถูกแช่น้ำจะมีอัตราการซึมผ่านที่น้อยมาก หรือไม่มีการซึมผ่านของน้ำเลย แต่เมื่อใช้ความดันน้ำที่มากพอ อัตราการซึมผ่านน้ำก็มีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับท่อที่ไม่ได้แช่น้ำ เนื่องจากแรงดันน้ำที่มากขึ้นทำให้ตะไคร่ที่อุดอยู่ที่รูพรุนหลุดออก ดังรูปที่ 4.25

ผลการศึกษาการขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางพบว่า ท่อยางน้ำซึมที่ถูกแช่น้ำเป็นระยะเวลา 2 เดือน เมื่อใช้ที่ความดันน้ำสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลมากจากการอุดตันของตะไคร่ที่บริเวณรูพรุนทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ จึงเกิดความดันน้ำสะสมภายในท่อจึงมีการขยายตัวที่มากกว่าปกติ ดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 อัตราการซึมผ่านน้ำก่อน-หลังการเกิดตะไคร่น้ำ

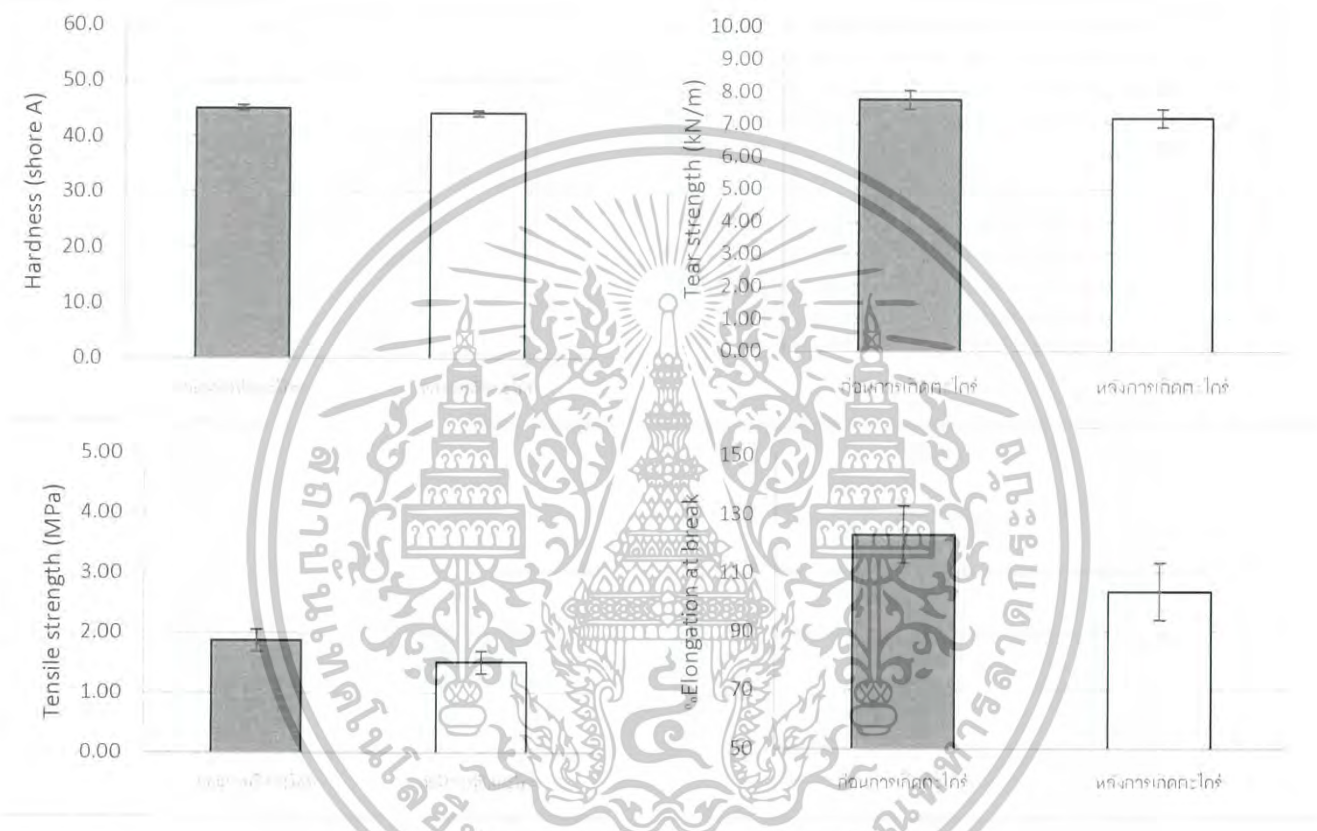


รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อยางน้ำซึมก่อน-หลังการเกิดตะไคร่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมหลังการเกิดตะไคร่น้ำ

การทดสอบสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมที่ผ่านการแช่น้ำมาเป็นเวลา 2 เดือน พบว่า สมบัติความแข็งกด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการเกิดตะไคร่ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึม ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 สมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึมก่อนและหลังการเกิดตะไคร่

อย่างไรก็ดีการใช้งานท่อยางน้ำซึมในสภาวะที่เกิดตะไคร่ภายในท่อไม่เหมาะกับการใช้งานที่ความดันน้ำต่ำ ๆ เนื่องจากน้ำจะไม่สามารถซึมผ่านได้ และจากระยะเวลาที่ศึกษา (2 เดือน) การเกิดตะไคร่ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อยางน้ำซึม

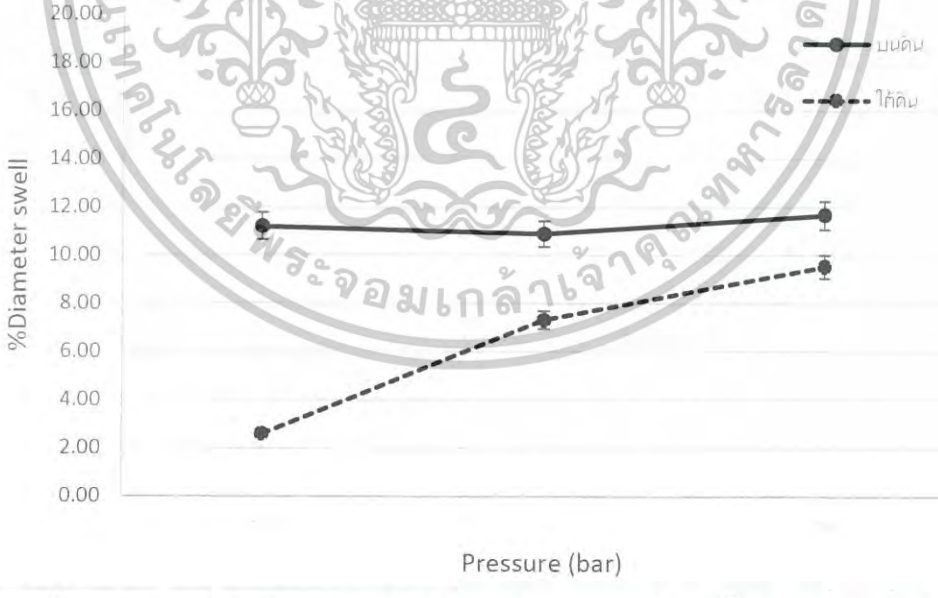
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของท่อยางน้ำซึมในสภาวะใต้ดิน

การใช้งานบนดินและใต้ดินของท่อยางน้ำซึม สภาวะต่าง ๆ ขณะใช้งานมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในหัวนี้จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของท่อยางน้ำซึมขณะใช้งานใต้ดิน ซึ่งดินที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 2 ชนิด คือ ดินร่วนและดินทราย โดยจะแบ่งเป็นเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

4.3.1 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึม

จากการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึมบนดินมีค่า 11.20 10.89 และ 11.67 ที่ความดันน้ำ 0.8 1.3 และ 1.8 บาร์ ตามลำดับ ส่วนท่อยางน้ำซึมใต้ดินมีค่า 2.58 7.31 และ 9.53 ที่ความดันน้ำ 0.8 1.3 และ 1.8 บาร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในการใช้งานบนดินที่ความดันต่างกัน เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการใช้งานใต้ดิน เปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ความดันน้ำต่ำเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่าน้อย และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในใต้ดินท่อจะถูกกดอัดจากดินในทุกทิศทาง (Hydrostatic pressure) จึงต้องใช้ความดันน้ำที่มากพอ ท่อจึงจะสามารถขยายตัวได้ อย่างไรก็ตามการขยายตัวในใต้ดินจะมีค่าน้อยกว่าบนดินเสมอที่ความดันเท่ากัน เนื่องจากผลของการถูกกดอัดจากดิน ดังรูปที่ 4.28



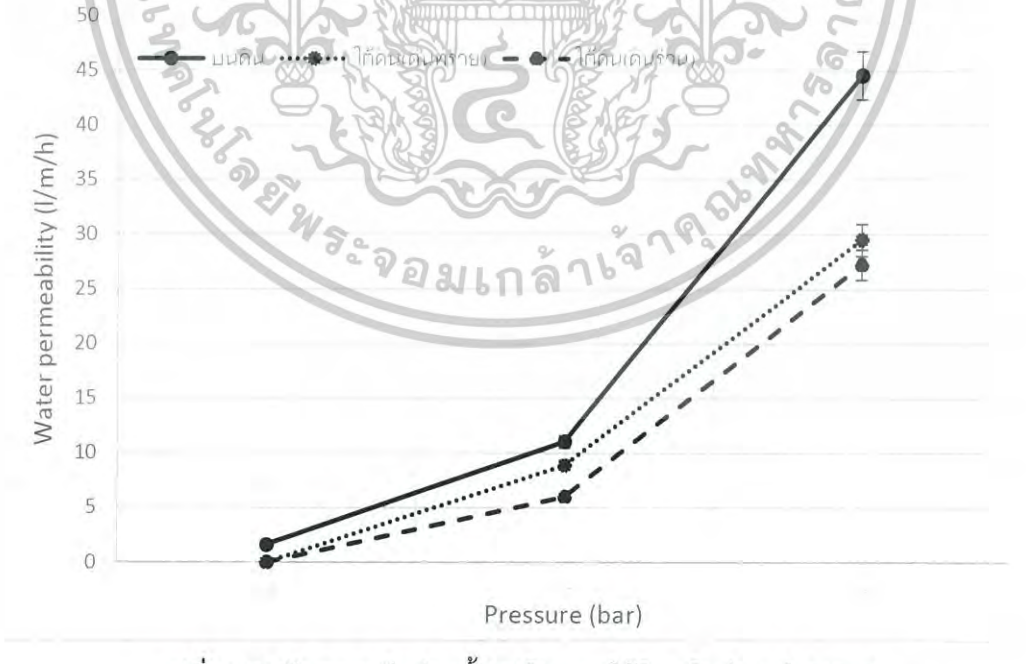
รูปที่ 4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยางน้ำซึมบนดินและใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 อัตราการซึมผ่านน้ำใต้ดิน

จากการศึกษาพบว่า อัตราการซึมผ่านน้ำในการใช้งานใต้ดินมีค่าน้อยกว่าการใช้งานบนดินในทุก ๆ ความดัน เนื่องจากในการใช้งานใต้ดินท่อมีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าบนดิน โดยอัตราการซึมผ่านน้ำของการใช้งานท่อยางน้ำซึมบนดินมีค่าเท่ากับ 1.62 11.04 และ 44.58 ลิตรต่อเมตรต่อชั่วโมง ที่ความดันน้ำ 0.8 1.3 และ 1.8 บาร์ ตามลำดับ และในใต้ดินจะมีอัตราการซึมผ่านน้ำอยู่ในช่วง 6-9 และ 27-30 ลิตรต่อเมตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 1.3 และ 1.8 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งที่ความดัน 0.8 บาร์ ไม่มีน้ำออก แสดงดังรูปที่ 4.29 เนื่องจากในการใช้งานใต้ดินจะมีแรงกดอัดจากดินกระทำอยู่กับท่อยางน้ำซึม ซึ่งการใช้ความดันน้ำที่ 0.8 บาร์ มีค่าไม่มากพอที่จะขยายรูพรุนของท่อเพื่อให้น้ำซึมออกมาได้ ดังนั้นในการใช้งานควรใช้ความดันที่มากกว่า 0.8 บาร์ขึ้นไป

การใช้งานใต้ดินในดินต่างชนิดกัน อาจส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านน้ำของท่อยางน้ำซึม โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกดินร่วนและดินทรายมาศึกษา เนื่องจากเป็นดินที่ใช้สำหรับการปลูกพืชส่วนใหญ่ จากการศึกษาพบว่าในดินทรายมีอัตราการซึมผ่านน้ำมากกว่าดินร่วนเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมากจากดินทรายเป็นดินเนื้อหยาบมีช่องว่างขนาดใหญ่ ส่วนดินร่วนเป็นดินเนื้อละเอียด มีช่องว่างขนาดเล็ก ส่งผลให้น้ำซึมผ่านดินทรายได้ดีกว่าดินร่วนเล็กน้อย สรุปได้ว่าชนิดของดินที่นำมาศึกษา (ดินร่วนและดินทราย) ไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.30



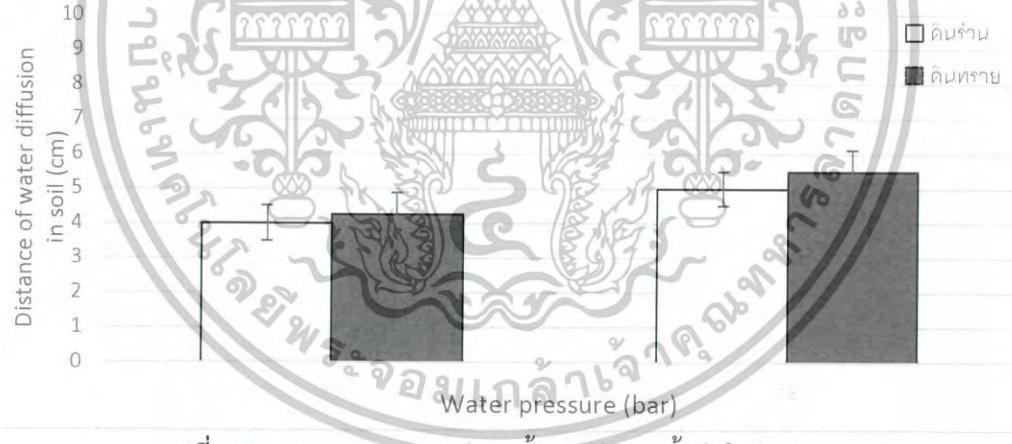
รูปที่ 4.29 อัตราการซึมผ่านน้ำบนดิน และใต้ดิน (ดินร่วน, ดินทราย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

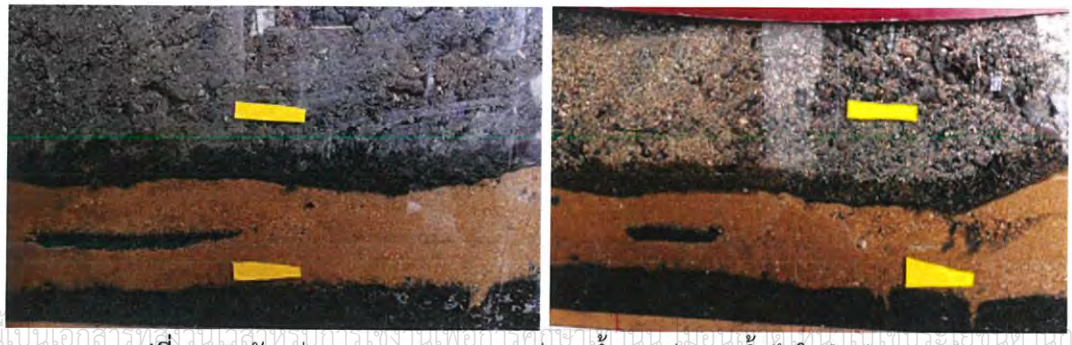
รูปที่ 4.30 ลักษณะดินร่วน และดินทราย

4.3.3 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึม

จากการศึกษาพบว่าระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึมในดินร่วนและดินทรายมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ความดันน้ำ 1.3 บาร์ มีระยะทางการแพร่ประมาณ 4 เซนติเมตร และที่ความดัน 1.8 บาร์ มีระยะทางการแพร่ประมาณ 5 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าการแพร่ของน้ำในดินร่วนและดินทรายมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.31 ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึมในดินร่วนและดินทราย



รูปที่ 4.32 ตัวอย่างการทดสอบการแพร่ของน้ำจากท่อยางน้ำซึมในดินร่วนและดินทราย

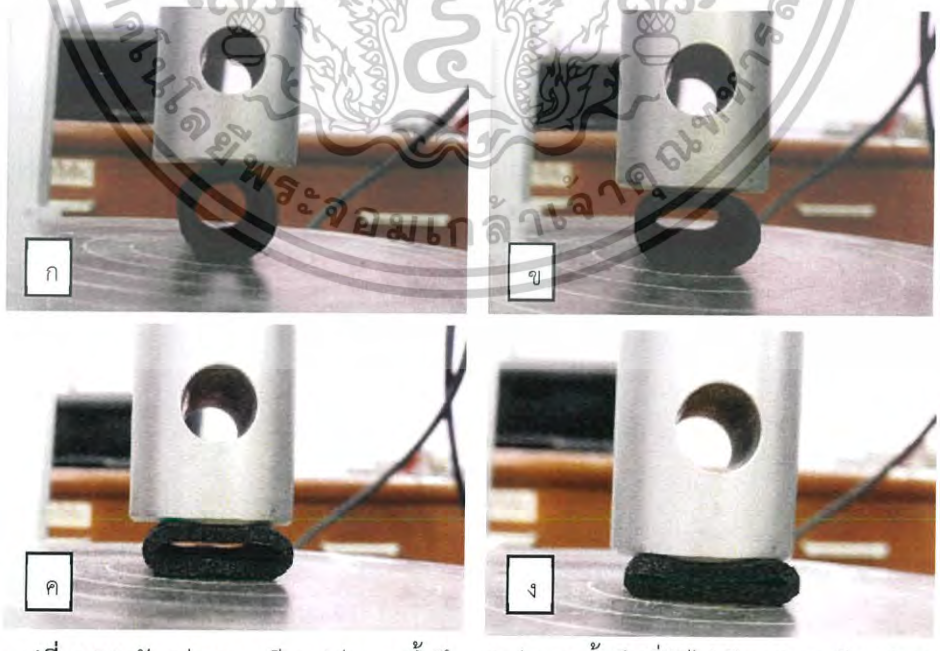
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 น้ำหนักกดสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบน

ในการใช้งานใต้ดินท่อยางน้ำซึมจะเจอกับสภาวะถูกกดทับซึ่งอาจทำให้ท่อยางน้ำซึมเสียรูปและมีผลต่อการซึมน้ำ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงทำการศึกษาหาน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบนเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของท่อยางน้ำซึม

จากการศึกษาพบว่าน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ท่อถูกทับแบนอยู่ที่ประมาณ 7 กิโลกรัม ซึ่งทำให้ท่อเสียรูป 100 เปอร์เซ็นต์ โดยท่อจะมีลักษณะลีบและแบน ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34

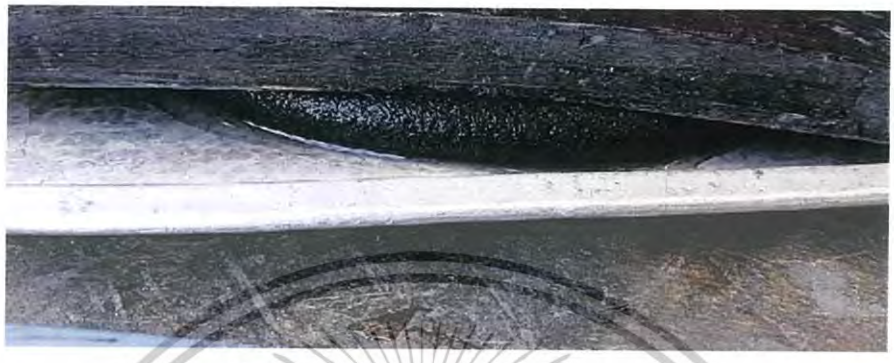
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกดและเปอร์เซ็นต์การเสียรูปของท่อยางน้ำซึม



รูปที่ 4.34 ตัวอย่างการเสียรูปท่อยางน้ำซึม ก) ท่อยางน้ำซึมที่ยังไม่เสียรูป ข) เสียรูป 40 เปอร์เซ็นต์ ค) เสียรูป 80 เปอร์เซ็นต์ และ ง) เสียรูป 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามแม้จะถูกกดด้วยน้ำหนักสูงสุดจนท่อแบน เมื่อนำไปใช้งานท่อจะมีแรงดันน้ำภายใน ทำให้ท่อสามารถขยายตัวได้ และเกิดการขยายตัวของรูพรุน ดังนั้นน้ำจึงสามารถซึมผ่านได้เช่นเดิม แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักกดไม่มีผลต่อการซึมผ่านของน้ำ ดังรูปที่ 4.35



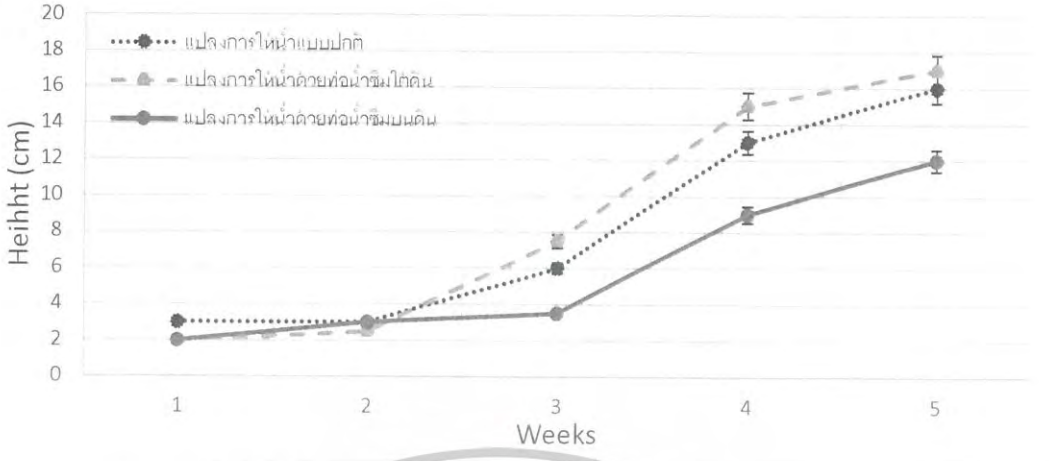
รูปที่ 4.35 ท่อที่ถูกกดขณะมีการซึมผ่านของน้ำ

4.4 ผลการทดสอบของท่อยางน้ำซึมในการใช้งานจริง

การทดสอบการนำท่อยางน้ำซึมไปใช้งานจริง อ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบอัตราการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมทั้งบนดินและใต้ดิน ซึ่งทำการทดสอบโดยทำแปลงทดลองทั้งหมด 3 แปลง ได้แก่ แปลงการให้น้ำแบบปกติ แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน และแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน เป็นระยะเวลา 35 วัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ในการศึกษาวัดค่าความสูงและความยาวราก เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของพืช และวัดความชื้นเพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำจากการระเหยในการให้น้ำด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่า ในระยะ 1-2 สัปดาห์แรก พืชมีลักษณะของรากที่ไม่ลึกมากพอส่งผลให้การให้น้ำทางใต้ดินมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน และแบบธรรมดา ซึ่งสังเกตได้จากความสูงของพืชในแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดินที่น้อยกว่าแปลงอื่น หลังจากสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป พืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้นส่งผลให้รากมีความลึกลงไปในชั้นดินมากขึ้น ทำให้รากพืชได้รับน้ำโดยตรง การให้น้ำใต้ดินจึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการให้น้ำแบบปกติ และการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดินตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 35 วัน แปลงการให้น้ำใต้ดินพืชมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 17 เซนติเมตร แปลงการให้น้ำแบบปกติพืชมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 16 เซนติเมตร และแปลงการให้น้ำบนดินด้วยท่อยางน้ำซึมพืชมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

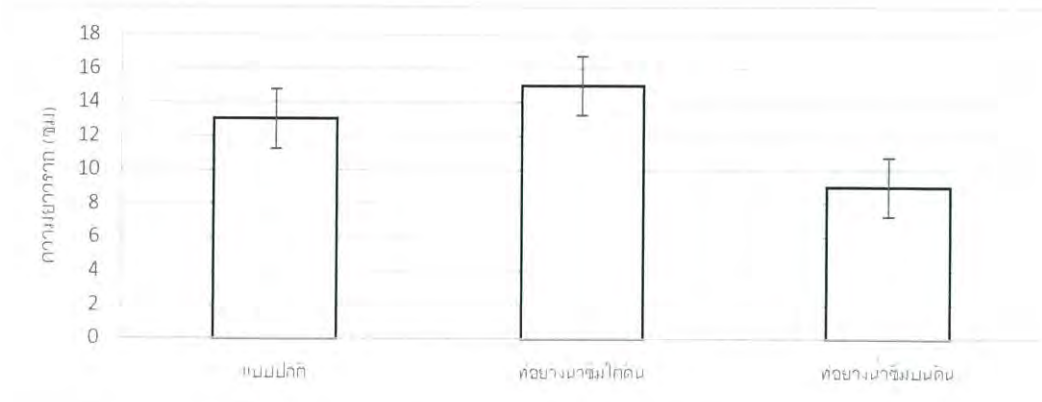


รูปที่ 4.36 ความสูงของผักกวางตุ้งในแต่ละสัปดาห์

ผลการศึกษาความยาวราก (ระยะเวลา 35 วัน) พบว่าแปลงการใช้น้ำใต้ดินมีความยาวรากมากที่สุด โดยมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 15 เซนติเมตร รองลงมาคือแปลงการให้น้ำแบบปกติ มีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 13 เซนติเมตร และ แปลงการให้น้ำบนดินมีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.37 และ 4.38

รูปที่ 4.37 ลักษณะของต้นกวางตุ้งในระยะเวลา 35 วัน ก) แปลงการให้น้ำแบบปกติ ข) แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน และ ค) แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน

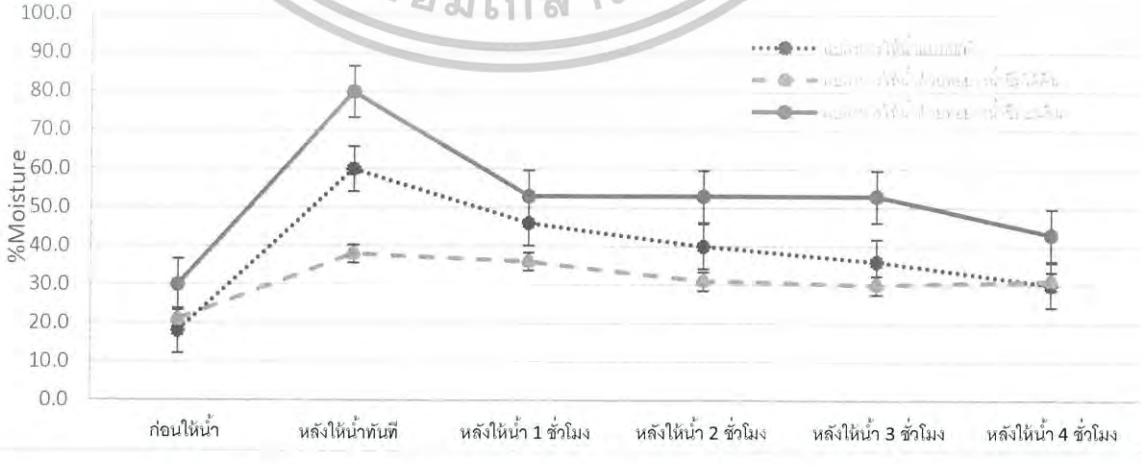
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 ค่าความยาวรากของแต่ละแปลง (ระยะเวลา 35 วัน)

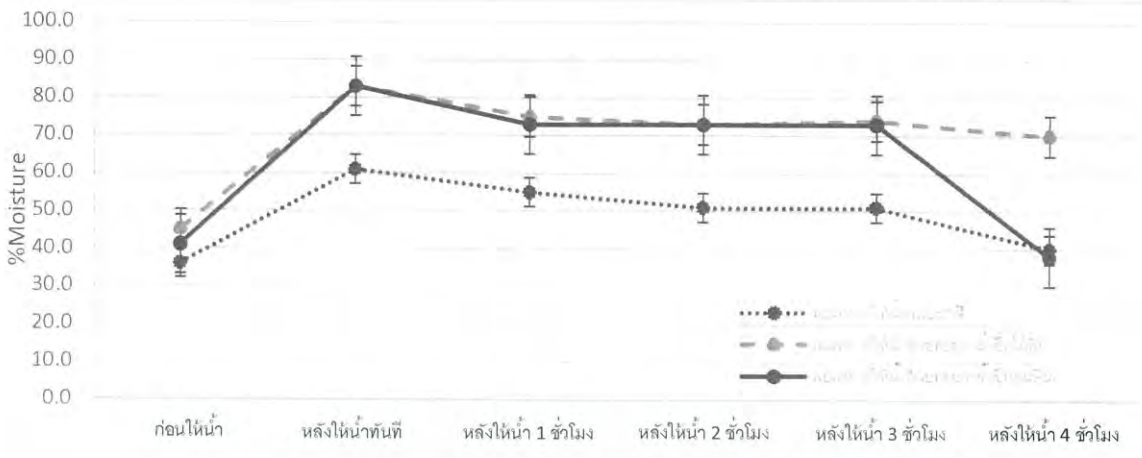
ผลการศึกษาความชื้น โดยการวัดจากเครื่อง Digital soil moisture meter พบว่าที่หน้าดิน (วัดที่ความลึกประมาณ 3 เซนติเมตร) แปลงการให้น้ำแบบปกติ และแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน หลังปิดน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดินเป็นแปลงที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหน้าดินต่ำที่สุด หลังปิดน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าลดลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ ดังรูปที่ 4.39

ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นใต้ดิน (วัดที่ความลึกประมาณ 12 เซนติเมตร) หลังการปิดน้ำ 1 ชั่วโมง ของทั้ง 3 แปลงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ แต่หลังจากการปิดน้ำเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง แปลงการให้น้ำปกติและแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดินเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ต่างจากแปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดินที่มีค่าลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.40 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้น้ำทางใต้ดินจะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยของน้ำได้



รูปที่ 4.39 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินในแต่ละสัปดาห์หลังการให้น้ำ (หน้าดิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินในแต่ละสัปดาห์หลังการให้น้ำ (ใต้ดิน)

จากการทดลองมีข้อสังเกตว่าในการให้น้ำด้วยท่อใต้ดิน ต้องใช้กับพืชที่มีความยาวของรากต้นไม้ที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ช่วงต้นพืชมีการเจริญเติบโตช้า คาดว่าเนื่องจากต้นไม้ช่วงต้นมีรากสั้น การฝังท่อลึก 15 เซนติเมตร ทำให้พืชไม่สามารถดูดน้ำได้ถึง ดังนั้นในการใช้งานจริงการให้น้ำทางใต้ดินด้วยท่อยางน้ำซึมควรใช้กับพืชที่ต้นโตและมีรากที่แข็งแรง หากจะใช้กับต้นกล้าจะต้องมีการรดน้ำแบบปกติช่วยในระยะแรก จนกระทั่งพืชโตในระยะหนึ่งจึงใช้การให้น้ำทางใต้ดินได้ และการให้น้ำทางใต้ดินจะทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาด้านการใช้งานของท่อยางน้ำซึม ทั้งการใช้งานบนดินและใต้ดิน การเสื่อมสภาพในสภาวะต่าง ๆ ที่อาจเจอเมื่อนำท่อน้ำซึมไปใช้งาน และการทดลองนำไปใช้จริง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ในการศึกษาการเสื่อมสภาพของท่อน้ำซึมในแต่ละสภาวะ พบว่าในสภาวะดินแห้ง ดินเปียก สารละลายปุ๋ยเคมี น้ำ ความร้อน ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึมในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (2 เดือน) แต่ในสภาวะที่โดนแสงแดดมีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยค่าความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการเกิดการเสื่อมสภาพจากแสง (Photo degradation)

2. จากการศึกษาการเกิดตะไคร่ที่มีผลต่อการใช้งานท่อน้ำซึม พบว่าตะไคร่ที่เกิดคือสาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella) โดยเกิดที่บริเวณพื้นผิวของท่อน้ำซึม มีปริมาณ 0.1170±0.001 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านน้ำมีแนวโน้มลดลง 12.5 เปอร์เซ็นต์ การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 118.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการอุดตันของตะไคร่ที่รูพรุน ทำให้เกิดความดันสะสมภายใน ท่อจึงมีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวที่มากกว่าปกติ เพื่อเปิดรูพรุนให้น้ำออก การใช้งานในสภาวะที่เกิดตะไคร่ภายในท่อไม่เหมาะกับการใช้งานที่ความดันต่ำ ๆ เพราะน้ำจะไม่สามารถซึมผ่านได้ และการเกิดตะไคร่ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อ

3. การศึกษาการใช้งานใต้ดินของท่อน้ำซึม พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำซึมของการใช้งานใต้ดินที่มีค่าการขยายตัวน้อยกว่าบนดิน เนื่องจากใต้ดินท่อน้ำซึมจะอยู่ในสภาวะที่ถูกดินกดอัดจากทุกทิศทาง ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการให้น้ำใต้ดินที่น้อยกว่าอัตราการให้น้ำบนดินในทุก ๆ ความดัน ซึ่งเป็นผลจากท่อที่ใช้งานใต้ดินขยายตัวได้น้อยกว่า ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องใช้ความดันน้ำที่สูงพอจึงจะทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ดี ซึ่งความดันที่ใช้ควรจะมากกว่า 0.8 บาร์ขึ้นไป

การใช้งานใต้ดินที่ดินต่างชนิดกัน โดยงานวิจัยนี้ศึกษาดิน 2 ชนิด ได้แก่ ดินร่วนและดินทราย ผลการศึกษาพบว่าอัตราการให้น้ำของดินทั้ง 2 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินทรายมีอัตราการให้น้ำมากกว่าดินร่วนเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากดินทรายมีเนื้อหยาบ และช่องว่างขนาดใหญ่ทำให้น้ำสามารถไหลผ่านได้ดีกว่า

ระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อน้ำซึมทั้งดินร่วนและดินทรายมีค่าอยู่ที่ประมาณ 4-5 เซนติเมตรขึ้นอยู่กับความดันน้ำที่ใช้ ซึ่งสรุปได้ว่าชนิดของดินไม่มีผลต่อระยะทางการแพร่ของน้ำจากท่อน้ำซึม

น้ำหนักกดสูงสุดที่ทำให้ท่อยางน้ำซึมถูกทับแบนมีค่าเท่ากับ 7 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำหนักนี้ไปกดท่อแล้วทดสอบการซึมผ่านของน้ำ น้ำก็ยังซึมผ่านได้เช่นเดิม เนื่องจากเมื่อเปิดน้ำ ภายในท่อจะมีแรงดันน้ำ ทำให้ท่อสามารถขยายตัวได้ ส่งผลให้รูพรุนมีการขยายด้วยเช่นกัน

4. จากการทดสอบการใช้งานจริง พบว่าท่อสามารถใช้ได้ทั้งบนดินและใต้ดิน โดยการใช้งานท่อน้ำซึมในใต้ดินควรใช้กับพืชที่โตและมีรากที่แข็งแรง จะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากการให้น้ำใต้ดินเป็นการให้น้ำโดยตรงที่ราก หากรากยาวไม่มากพอจะทำให้ความสามารถในการดูดน้ำลดลง ดังนั้นหากจะใช้กับการปลูกต้นกล้า จะต้องมีการรดน้ำช่วยในระยะแรกจนกว่าต้นจะโต และการให้น้ำด้วยวิธีการให้น้ำทางใต้ดินสามารถลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยของน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการให้น้ำบนดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการใช้งานท่อน้ำซึมในสภาวะต่าง ๆ สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป ดังนี้

1. ในการใช้งานท่อน้ำซึมบนดิน ควรใช้งานภายใต้ฟิล์มคลุมดิน (Mulch film) เพื่อยืดอายุการใช้งาน

2. ทดลองนำท่อยางน้ำซึมไปใช้งานกับการให้น้ำกับพืชชนิดต่าง ๆ เช่น พืชผักสวนครัว พืชยืนต้น

3. ศึกษาชนิดของสารป้องกันการเกิดตะไคร่ (Algaecides) เพื่อนำมาใช้กับท่อน้ำซึม

4. ปรับปรุงชนิดและปริมาณของสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) รวมทั้งสารป้องกัน UV (UV protector) ในสูตรยาง เพื่อนำมาใช้กับท่อน้ำซึมในการใช้งานบนดิน

5. ศึกษาการปรับปรุงวัสดุในสูตรท่อยางน้ำซึม เช่น การเปลี่ยนไปใช้เส้นใยยาวแทนการใช้เส้นใยสั้นแบบเดิมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับท่อ

6. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานท่อยางน้ำซึมในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ใช้ในการให้ปุ๋ยผ่านท่อน้ำยางน้ำซึมและใช้เป็นท่อให้ออกซิเจนในน้ำ รวมทั้งการใช้ท่อยางน้ำซึมเป็นท่อระบายน้ำ (Drainage pipe) ป้องกันน้ำท่วม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปานระพี. 2017. **Thailand 4.0 คืออะไร.** [Online]. Available : https://www.it24hrs .com/2017 /thailand-4-0/. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[2] ดร.สุวิทย์ เมษอินทรี. 2018. **ประเทศไทย 4.0 สร้างเศรษฐกิจใหม่**. [Online]. Available : http://fms .bru.ac.th/wp-content/uploads/2018/02/Dr.preecha.pdf

[3] Kawizara. 2015. **Precision Farming การเกษตรแบบใหม่ ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิ-ภาพการเพาะปลูก**. [Online]. Available : http://www.kawizara.com/2015 /04/ precision-farming. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[4] ดร.แดน มองต่างแดน. 2557. **เกษตรอัจฉริยะ : ทางเลือกเกษตรกรยุคไอที**. [Online]. Available : https://www.ptp.or.th/news/558. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[5] ปางอุบล อำนวยสิทธิ์. 2560. **Circular Economy: พลิกวิกฤตทรัพยากรด้วยระบบเศรษฐกิจใหม่**. [Online]. Available : https://www.scbeic.com/th/detail/product/383. เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 พ.ค. 62

[6] โอฬาร พิทักษ์ และคณะ. 2559. **ฐานข้อมูลการเกษตร**. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อ-สารกรมส่งเสริมการเกษตร.

[7] เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ และคณะ. 2561. **อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูป**. แนวโน้มธุรกิจ/ อุตสาหกรรม ปี 2561-63.

[8] อริยัน. 2560. **ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขยะยางรถยนต์**. [Online]. Available : http:// th.cnrealtopenergy.com/news/the-environmental-impact-of-waste-tire-433064 1.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[9] อดีตเหมียว. 2016. **21 ภาพมลพิษรอบโลก ย้ำเตือนให้เราตระหนักว่า มนุษย์ทำลายโลกใบนี้ไปมากเพียงใด**. [Online]. Available : https://www.catdumb.com/we-create - this-hell-with-our-own-hands-420/. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[10] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2556. **การขยายฐานการผลิตยางล้อเพื่อการส่งออก**. สถาบันพลาสติก และศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย.

[11] สมชาย ดอนเจดีย์. 2555. "เทคโนโลยีการให้น้ำด้วยสายยางน้ำซึม"วารสารสมาคมวิศวกรรม เกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (2555), 34–42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] คณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 2543. **น้ำและการให้น้ำ.** [Online]. Available : http://natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-111web/book/book%20content.htm/chapter09/Agri_09.htm. เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 62

[13] ปัฐวี พินิจกุล. 2561. "การศึกษาท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ผสมยางธรรมชาติ/ยางรีเคลมเพื่องานเกษตรกรรม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[14] สมชาย ดอนเจดีย์. 2555. **เทคโนโลยีการให้น้ำด้วยสายยางน้ำซึม.** Journal of the Thai Society of Agricultural Engineering Vol. 18 No. 1 34–42 เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 62

[15] บริษัท สายยางน้ำซึมเรนฟอเรสท์ จำกัด. 2559. **รายละเอียดและคู่มือการใช้งานสายยางน้ำซึม.** [Online]. Available : https://web.facebook.com/rainforestsoakerhose/?_rdc=1&_rdr. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ม.ค. 62

[16] IHome108. 2560. **รีวิวการ DIY. สวนแนวตั้ง vertical garden มาพร้อมระบบรดน้ำอัตโนมัติ ในงบไม่เกิน 10,000 บาท.** [Oniline]. Available : https://www.sanook.com/home/12701/. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ม.ค. 62

[17] Ebay. 2019. **HOZELOCK COMPATIBLE POROUS SOAKER HOSE GARDEN DRIP IRRIGATION WATERING PIPE LAWN.** [Oniline]. Available : https://www.ebay.co.uk/itm/HOZELOCK-COMPATIBLE-POROUS-SOAKER-HOSE-GARDEN-DRIP-IRRIGATION-WATERING-PIPE-LAWN-/131179663661. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 62

[18] Ebay. 2017. **Porous Leaky Pipe 50mts of 16mm for your Irrigation.** [Oniline]. Available : https://www.ebay.co.uk/itm/Porous-Leaky-Pipe-50mts-of-16mm-for-your-Irrig- ation-/380242472026. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 62

[19] Alibaba. 2017. **Porous Leaky Pipe 50mts of 16mm for your Irrigation.** [Oniline]. Available : https://www.ebay.co.uk/itm/Porous-Leaky-Pipe-50mts-of-16mm-for-your-Irrig- ation-/380242472026. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 62

[20] Epic gardening. 2019. **Porous Leaky Pipe 50mts of 16mm for your Irrigation.** [Oniline]. Available : https://www.epicgardening.com/how-to-use-a-soaker-hose/. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 62

[21] สุเทพ ทองแพ. 2543. **ดิน-ปุ๋ย-น้ำ สำหรับการปลูกพืช.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[22] Zonanorteenproduccion. 2017. **Según la UBA, el 42 % de los residuos pueden transformarse en abono para huertas.** [Oniline]. Available : *http://zonanorteenproduc-cion.com.ar/segun-la-uba-el-42-de-los-residuos-puedentransformarse-en-abono-para-huertas/*. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 62

[23] นางอมรทิพย์ ภิรมย์บูรณ์. 2558. การจัดการดินและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[24] อนุรัตน์ ศฤงคารภาษิต. 2542. **ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช.** . [Oniline]. Available : http://www.arcims.tmd.go.th/Research_files/ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 ม.ค. 62

[25] อภินันท์ กำนันรัตน์. 2539. **น้ำและการให้น้ำ**. [Oniline]. Available : http://natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-111web/Book%20outline.htm. เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 ม.ค. 62

[26] กรมชลประทาน. 2554. **คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช**. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน

[27] เชิดพันธุ์ อมรกุล. 2551. **Water content**. [Oniline]. Available : http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch03/ch032_W_theory.htm. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ม.ค. 62

[28] กร สุขเกษม. 2554. **ตะไคร่น้ำ**. [Oniline]. Available : https://sites.google.com/site/drgondragonazaz09/phl-ngan-ni-phunthi. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ม.ค. 62

[29] มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. 2552. **การสกัดรงควัตถุบางชนิดจากสาหร่าย**. [Online]. Available : science.crru.ac.th/biology/images/PDF/Phyco/LabPhyco-08.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ก.พ. 62.

[30] อัฐพงษ์ กิตติ์ชัยวัชร์. 2554. **ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและตะไคร่สำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่**. [Online]. Available : https://www.kmutt.ac.th/pprof/nation%20conf_Thai/national_proceeding_KU_2011_Antimicrobial%20efficiency%20for%20LLDPE.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ก.พ. 62.

[31] ปารณีย์ เผ่าภูธร. 2555. **การศึกษาหาปริมาณการใช้น้ำของผักกาดกวางตุ้ง.** [Online]. Available : http:// kmcenter.rid.go.th/kmc01/doc/om1-02072003.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 ม.ค. 62.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[32] นฤชิต ศรีสวัสดิ์. 2558. **ผลของปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของกล้วยไข่ในอำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว.** [Online]. Available : https://tci thaijo.org/index.p- hp/pnujr/article/ view/53642/44475. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ก.พ. 62.

[33] สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ. 2552. **ระบบการให้น้ำแก่พืชทางใต้ผิวดินโดยใช้ดินเผารูพรุนในพื้นที่ดินทับถมจากแผ่น ดินถล่ม.** [Online]. Available : www.thaiscience.info/journals/Arti cle/NUJ /10896 569.pdf เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ม.ค. 62.

[34] A.A. Siyal and T.H. Skaggs. 2009. **Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation.** Agricultural Water Management 96 : 893–904

[35] พรลิขิต ทองรอด. 2554. **ประสิทธิภาพการให้น้ำของสายยางน้ำซึม.** [Online]. *Available :* https ://researchconference.kps.ku.ac.th/article_8/pdf/o_eng10.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 ก.พ. 62.

[36] อัฐพงษ์ กิตติ์ชัยวัชร์, ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์, ธีระศักดิ์ หมากผิน และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. 2554. **ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและตะไคร่สำหรับพอลิเอ-ทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่.** 538, 50-57.

[37] สุทิน หิรัญอ่อน. 2542. **การศึกษาสภาพที่เหมาะสมต่อการผลิตผักกาดเขียวกวางตุ้งอนามัย.**

[38] บุญส่ง เลิศรัตนพงศ์ ศุภวันจักรี ดอนไลว และ อภินันท์ จินดานิรดุล. 2553. **ผลของการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ต่อผลผลิตและคุณภาพ ของเมล็ดพันธุ์หญ้ากินนีมอมบาซา.** [Online]. Available : https://d space.tarr.arda.or.th/bitstream/handle/6622815955/7128 /file.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 ก.พ. 62.

[39] Apisit Kositchaiyong, Vichai Rosarpitak, Benjaphorn Prapagdee and Narongrit Sombat- sompop. 2013. **Molecular characterizations, mechanical properties and anti-algal activities for PVC and wood/PVC composites containing urea- and triazine-based algaecides.** Composites: Part B. 53, 25–35.

[40] ASTM D412 Committee on standard. 1992. "Standard test methods for Vulcanized rubber and thermoplastic rubbers and thermoplasticelastomers tension." Philadephia : American Society for Testing and Materials.

[41] ASTM D624 Committee on standard. 1991. "standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber thermoplastic elastomers." Philadephia : American Society for Testing and Materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[42] ASTM D2240 Committee on standard. 1991. "Standard test methods for Rubber Property Durometer hardness." Philadephia : American Society for Testing and Materials.

[43] มอก.746-2530. 2552. "ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อยางดูดและส่งน้ำ". ราชกิจจานุเบกษา. 124. 7-24.

[44] รศ.ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. **Algae technology**. หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[45] Y.S. Duh, T.C. Ho, J.R. Chen, and C.S. Kao. 2015. **Thermal-oxidative degradation of rubber**. [Online]. Available : http://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Thermal%20Degradation%20Elastomers.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 พ.ค. 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาการเกิดตะไคร่ในท่อน้ำซึม

ตาราง ก.1 อัตราการซึมผ่านน้ำก่อนการเกิดตะไคร่

เส้นที่	ปริมาณน้ำที่ออก (l/hr/m)			
	0.5 bar	0.8 bar	1.3 bar	1.8 bar
1	0.40	0.96	6.00	22.08
2	0.39	0.83	7.92	33.00
3	0.41	0.68	4.20	21.00
Medium	0.39	0.82	6.00	22.08

ตาราง ก.2 อัตราการซึมผ่านน้ำหลังการเกิดตะไคร่

เส้นที่	ปริมาณน้ำที่ออก (l/hr/m)			
	0.5 bar	0.8 bar	1.3 bar	1.8 bar
1	0	0	0.960	19.320
2	0	0	1.680	19.680
3	0	0	0.336	6.480
Medium	0	0	0.96	19.32

ตาราง ก.3 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกก่อนและหลังเกิดตะไคร่ที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน	เส้นที่	Outside Diameter	
		ก่อนเกิดตะไคร่	หลังเกิดตะไคร่
0.5	1	19.65	19.9
	2	19.37	19.87
	3	19.78	19.66
medium		19.65	19.87
0.8	1	19.65	21.12
	2	19.37	21.53
	3	19.78	21.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

medium		19.65	21.45
1.3	1	19.65	21.54
	2	19.37	21.79
	3	19.78	21.58
medium		19.65	21.58
1.8	1	19.65	21.56
	2	19.37	21.85
	3	19.78	21.72
medium		19.65	21.72

ตาราง ก.4 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อน้ำซึมก่อนการเกิดตะไคร่น้ำ

Pressure (bar)	%diameter swell
0.5	1.12
0.8	9.16
1.3	9.82
1.8	10.53

ตาราง ก.5 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของท่อน้ำซึมหลังการเกิดตะไคร่น้ำ

Pressure (bar)	%diameter swell
0.5	0
0.8	0
1.3	13.06
1.8	23.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.6 สมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึมก่อนและหลังการเกิดตะไคร่

ท่อน้ำซึมก่อนการเกิดตะไคร่	ค่าสมบัติเชิงกล			
	Hardness (shore A)	Tensile strength (MPa)	Tear strength (kN/m)	%Elongation at break
1	45.0	1.99	7.38	136
2		1.87	8.15	123
3		1.79	7.76	118
Medium	45.0	1.87	7.76	123

ท่อน้ำซึมหลังการเกิดตะไคร่	ค่าสมบัติเชิงกล			
	Hardness (shore A)	Tensile strength (MPa)	Tear strength (kN/m)	%Elongation at break
1	44.0	1.73	7.72	115
2		1.47	6.62	104
3		1.50	7.19	99
Medium	44.0	1.50	7.19	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาการใช้งานใต้ดินของท่อน้ำซึม

ตาราง ข.1 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกก่อนและหลังเปิดน้ำของท่อน้ำซึมบนดินที่ความดันต่าง ๆ

Pressure (bar)	Order	Outside Diameter	
		before	after
0.8	1	19.52	20.36
	2	19.2	21.35
	3	18.82	24.22
medium		19.2	21.35
1.3	1	19.52	20.24
	2	19.2	21.29
	3	18.82	24.27
medium		19.2	21.29
1.8	1	19.52	20.47
	2	19.2	21.44
	3	18.82	24.03
medium		19.2	21.44

ตาราง ข.2 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกก่อนและหลังเปิดน้ำของท่อน้ำซึมใต้ดินที่ความดันต่าง ๆ

Pressure (bar)	Order	Outside Diameter	
		before	after
0.8	1	13.54	13.99
	2	13.54	13.64
	3	13.54	13.89
medium		13.54	13.89
1.3	1	13.54	14.53
	2	13.54	14.84
	3	13.54	14.49
medium		13.54	14.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8	1	13.54	14.6
	2	13.54	14.83
	3	13.54	15.31
medium		13.54	14.83

ตาราง ข.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำซึมบนดิน

Pressure (bar)	%diameter swell
0.8	11.20
1.3	10.89
1.8	11.67

ตาราง ข.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำซึมใต้ดิน

Pressure (bar)	%diameter swell
0.8	2.58
1.3	7.31
1.8	9.53

ตาราง ข.5 อัตราการซึมผ่านการใช้งานท่อน้ำซึมบนดิน

Order	Water permeability (l/hr/m)		
	0.8 bar	1.3 bar	1.8 bar
1	1.62	6.66	32.88
2	1.62	11.04	44.58
3	1.44	11.4	45.96
medium	1.62	11.04	44.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.6 อัตราการซึมผ่านการใช้งานท่อน้ำซึมใต้ดิน (ดินร่วน)

Order	Water permeability (l/hr/m)		
	0.8 bar	1.3 bar	1.8 bar
1	0	6	27.24
2	0	7.8	28.32
3	0	5.04	25.32
medium	0	6	27.24

ตาราง ข.7 อัตราการซึมผ่านการใช้งานท่อน้ำซึมใต้ดิน (ดินทราย)

Order	Water permeability (l/hr/m)		
	0.8 bar	1.3 bar	1.8 bar
1	0	10.2	33.24
2	0	6	25.44
3	0	8.88	29.52
medium	0	8.88	29.52

ตาราง ข.7 น้ำหนักกดที่ทำให้ท่อน้ำซึมถูกทับแบน

ระยะที่กดลง (mm.)	แรงที่ใช้ (N)				แรงที่ใช้ (Kg.)
	เส้นที่1	เส้นที่ 2	เส้นที่ 3	medium	
1	2.40	2.80	2.60	2.60	0.26
2	4.50	5.20	4.80	4.80	0.48
3	6.40	7.30	6.70	6.70	0.67
4	8.10	9.30	8.50	8.50	0.85
5	10.00	11.40	10.30	10.30	1.03
6	12.00	13.80	12.40	12.40	1.24
7	14.60	16.70	15.10	15.10	1.51
8	17.90	20.40	18.20	18.20	1.82
9	22.20	24.70	22.40	22.40	2.24
10	27.60	30.60	27.90	27.90	2.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	34.60	38.00	34.70	34.70	3.47
12	43.30	46.30	43.50	43.50	4.35
13	56.40	70.20	68.40	68.40	6.84

ตาราง ข.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การเสียรูป

Inside diameter	ระยะที่กด	ระยะที่เหลือ	%Compression
12.7	1	11.7	7.87
12.7	2	10.7	15.75
12.7	3	9.7	23.62
12.7	4	8.7	31.50
12.7	5	7.7	39.37
12.7	6	6.7	47.24
12.7	7	5.7	55.12
12.7	8	4.7	62.99
12.7	9	3.7	70.87
12.7	10	2.7	78.74
12.7	11	1.7	86.61
12.7	12	0.7	94.49
12.7	13	-0.3	102.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาการใช้งานท่อยางน้ำซึมในการใช้งานจริง

ตาราง ค.1 ความสูงของผักกวางตุ้งในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์	ต้นที่	แปลงการให้น้ำแบบปกติ (ซม)	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน (ซม)	แปลงการให้น้ำด้วยท่อน้ำซึมบนดิน (ซม)
สัปดาห์ที่ 1	1	3	2	3
	2	3	2	3
	3	4	2	2
	4	3	2	2
	5	3	2	2
	6	3	2	2
	7	4	3	2
	8	2	2	2
	9	3	2	2
	10	2	2	2
	medium	3	2	2
สัปดาห์ที่ 2	1	3	2	4
	2	4	2	3
	3	4	2	3
	4	3	3	2
	5	3	2	3
	6	3	3	2
	7	4	3	4
	8	2	3	2
	9	4	2	2
	10	2	3	3
	medium	3	2.5	3
สัปดาห์ที่ 3	1	5	6	***
	2	7	7	4
	3	7	7	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4	6	8	3
	5	5	8	4
	6	6	6	***
	7	5	8	***
	8	5	***	3
	9	6	***	3
	10	7	9	***
	medium	6	7.5	3.5
สัปดาห์ที่ 4	1	12	14	***
	2	14	15	10
	3	13	14	***
	4	14	16	9
	5	12	14	***
	6	13	15	***
	7	14	16	***
	8	10	***	***
	9	12	***	9
	10	14	18	***
	medium	13	15	9
สัปดาห์ที่ 5	1	16	16	***
	2	17	17	12
	3	15	16	***
	4	18	18	12
	5	16	15	***
	6	17	17	***
	7	16	18	***
	8	15	***	***
	9	14	***	13
	10	18	22	***
	medium	16	17	12

<u>หมายเหตุ</u> *** = พืชถูกนกกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 ความยาวรากแต่ละแปลง (ระยะเวลา 35 วัน)

รูปแบบการให้น้ำ	ความยาว (ซม)
แบบปกติ	13
	17
	12
medium	13
ท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	15
	13
	15
medium	15
ท่อยางน้ำซึมบนดิน	14
	8.5
	9
medium	9

ตาราง ค.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินก่อนให้น้ำ

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	18.0
		25.0
		16.0
	medium	18.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	31.0
		21.0
		18.0
	medium	21.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	43.0
		30.0
		18.0
	medium	30.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ใต้ดิน (ที่ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	33.0
		44.0
		36.0
	medium	36.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	44.0
		45.0
		55.0
	medium	45.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	41.0
		51.0
		36.0
	medium	41.0

ตาราง ค.4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการให้น้ำทันที

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	83.0
		60.0
		58.0
	medium	60.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	38.0
		26.0
		41.0
	medium	38.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	89.0
		70.0
		80.0
	medium	80.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ใต้ดิน (ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	58.0
		61.0
		73.0
	medium	61.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	71.0
		83.0
		83.0
	medium	83.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	83.0
		91.0
		77.0
	medium	83.0

ตาราง ค.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการให้ 1 ชั่วโมง

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	36.0
		46.0
		50.0
	medium	46.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	33.0
		41.0
		36.0
	medium	36.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	48.0
		56.0
		53.0
	medium	53.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ใต้ดิน (ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	51.0
		55.0
		58.0
	medium	55.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	75.0
		77.0
		73.0
	medium	75.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	73.0
		75.0
		66.0
	medium	73.0

ตาราง ค.6 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการให้ 2 ชั่วโมง

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	53.0
		40.0
		31.0
	medium	40.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	31.0
		28.0
		40.0
	medium	31.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	46.0
		53.0
		55.0
	medium	53.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ใต้ดิน (ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	51.0
		55.0
		50.0
	medium	51.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	77.0
		70.0
		73.0
	medium	73.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	73.0
		75.0
		68.0
	medium	73.0

ตาราง ค.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการให้ 3 ชั่วโมง

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	41.0
		36.0
		33.0
	medium	36.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	30.0
		28.0
		36.0
	medium	30.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	55.0
		41.0
		53.0
	medium	53.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ในดิน (ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	45.0
		51.0
		56.0
	medium	51.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	74.0
		75.0
		74.0
	medium	74.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	55.0
		73.0
		75.0
	medium	73.0

ตาราง ค.8 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการให้ 4 ชั่วโมง

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
หน้าดิน (ที่ความลึก 3 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	30.0
		41.0
		26.0
	medium	30.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	28.0
		31.0
		35.0
	medium	31.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	48.0
		40.0
		43.0
	medium	43.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปแบบการให้น้ำ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
ใต้ดิน (ความลึก 12 เซนติเมตร)	แปลงการให้น้ำแบบปกติ	35.0
		40.0
		48.0
	medium	40.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมใต้ดิน	70.0
		61.0
		70.0
	medium	70.0
	แปลงการให้น้ำด้วยท่อยางน้ำซึมบนดิน	36.0
		38.0
		53.0
	medium	38.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้