

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบให้น้ำใต้ดินแบบชิมน้ำด้วยต้นแบบกระเปาะเซรามิกส์ใน ดินร่วน

An Experimental Evaluation of the Efficiency of Subsurface Drip Irrigation System Using Ceramics Emitter Prototype in loam

ปิยะรส มาลีเจริญ^{1,2} และ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ. พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เลขที่ 47/433 หมู่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

*ติดต่อ: taweedej.s@ku.th,

บทคัดย่อ

การให้น้ำใต้ผิวดินด้วยวิธีการชิมน้ำถือเป็นหนึ่งในวิธีการให้น้ำที่ได้ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถให้น้ำแก่รากพืชที่อยู่ลึกลงไปใต้ดินได้โดยตรง และไม่สูญเสียไปกับการระเหยของน้ำบนผิวดินหรือปัจจัยอื่น ๆ เนื่องจากความชื้นในดินมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นของดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละชนิด บทความนี้เป็นนำเสนอผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการให้น้ำใต้ดินแบบชิมน้ำ โดยทำการทดลองในกระบะใส่ดินร่วนขนาด สูง 51 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 38 ซม. ที่มีการฝังต้นแบบกระเปาะเซรามิกส์ลึกลงไปใต้ดิน 5 เซนติเมตร และมีระบบให้น้ำเป็นแบบสร้างแรงดัน โดยต้นแบบกระเปาะเซรามิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร และมีความยาว 3 ขนาด ได้แก่ 75, 90 และ 110 มิลลิเมตร มีการผลิตที่อุณหภูมิ 950 และ 1050 องศาเซลเซียส เพื่อให้สามารถนำไปออกแบบระบบให้น้ำใต้ดินแบบชิมน้ำได้ตรงตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด

คำหลัก: การให้น้ำใต้ผิวดินแบบชิมน้ำ, การให้น้ำอย่างแม่นยำ, วัสดุที่มีรูพรุน

Abstract

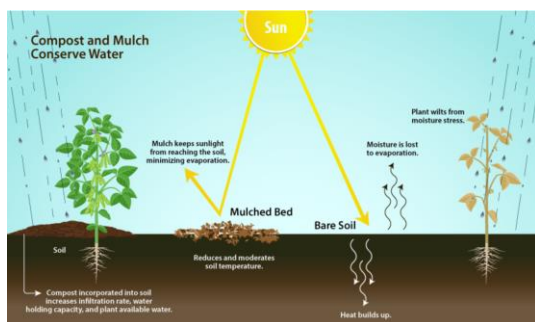
Subsurface drip irrigation (SDI) is one of the most effective irrigation methods because this method can provide the water directly to the root zone and prevent evaporation from soil surface or other factors. Due to the fact that soil moisture is an essential factor for plant growth, it is necessary to keep soil moisture at a proper level for each type of plant. This article demonstrates the efficiency of SDI using Ceramics Bulb as an emitter. The experiment was performed in the box (51 cm. height and diameter 38 cm.) which install ceramics emitters that buried 5-centimeter depth from soil surface and used dosing pump to create pressure in the system. In the experiment, the ceramics emitters prototype which have diameter of 30 millimeter and thickness about 3 millimeters with the length of 75, 90, 110 centimeters, respectively, were produced at high and low temperature (1050 and 950 °C). The result will be led to the proper watering system for each type of plant.

Keywords: Subsurface Drip Irrigation, Precision Irrigation, Porous Materials

1 บทนำ

หนึ่งในปัจจัยหลักสำหรับการเพาะปลูกคือ การได้รับน้ำอย่างเพียงพอและเหมาะสมตามระยะเวลาที่ต้องการ ดังนั้นการปลูกพืชที่อาศัยน้ำฝนตามฤดูกาลเพียงอย่างเดียว อาจมีโอกาสดินที่พืชจะขาดน้ำในระยะใดระยะหนึ่งของการเจริญเติบโตได้มาก

การให้น้ำที่เหมาะสมแก่พืชนั้นจะต้องทำการเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน เพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นเพียงพอ เหมาะแก่การดูดซึมของรากพืช แต่การให้น้ำที่ผิวดินนั้น สามารถมีการสูญเสียได้จากหลายปัจจัย โดยเฉพาะความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ให้น้ำระเหยเร็วขึ้น [1]



รูปที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำระหว่างการให้น้ำแก่พืช (ที่มา :

<https://www.calrecycle.ca.gov/organics/compostmulch/toolbox/waterconserv>)

วิธีการให้น้ำแก่พืชอย่างเหมาะสม ประการแรกคือการให้น้ำอย่างล้าลึกและไม่บ่อยมากนัก จะทำให้น้ำไหลไปถึงรากที่อยู่ลึกลงไปได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดิน หรืออีกอย่างคือวิธีการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง [2] ในขณะเดียวกันจะมีการให้ปุ๋ยผ่านทางน้ำ ซึ่งจะมีทั้งพืชกลุ่มผักและพืชกลุ่มผลไม้ โดยในผักจะเห็นผลลัพธ์ที่ค่อนข้างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีวิธีการให้น้ำที่สามารถปรับใช้ในฤดูกาลอื่น ๆ เช่น หน้าฝน เพื่อให้เหมาะสมกับการเติบโตของพืชในขณะนั้น ซึ่งวิธีที่ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้กับพืชสวนมากที่สุดคือ micro irrigations หรือการให้น้ำที่มีอัตราการไหลช้าและความดันต่ำ ที่เป็นวิธีที่สามารถทำให้ชาวสวนสามารถดูแลพืชได้อย่างแม่นยำ เพียงพอต่อความต้องการของ

พืช รวมถึงการให้สารอาหารแก่ต้นพืชได้ตรงจุด ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [3]

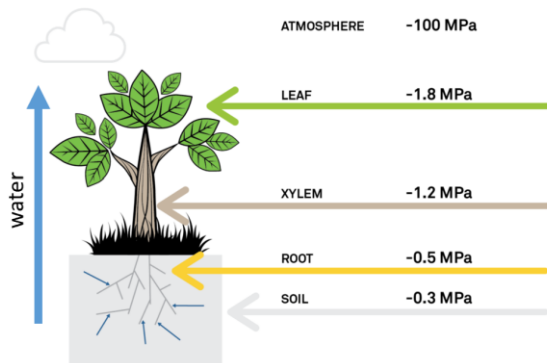
สภาพภูมิประเทศของประเทศไทยนั้น จัดว่าตั้งอยู่ในเขตร้อนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย จากข้อมูลการใช้ที่ดินของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2561 กล่าวว่าลักษณะของดินในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งที่เป็นดินตะกอน (Alluvial Soil) ดินเหนียว ปนทรายเล็กน้อย ถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช: และถึงแม้ว่าโดยรวมแล้วในประเทศไทยยังไม่ขาดแคลนน้ำ แต่ในบางลุ่มน้ำก็เริ่มมีความขาดแคลนน้ำแล้ว โดยจะเริ่มเกิดขึ้นเป็นประจำมากขึ้นในฤดูแล้งโดยเฉพาะในลุ่มน้ำภาคเหนือตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อน ซึ่งมีแนวโน้มจะมีลักษณะเป็นปัญหาดูแลมากขึ้นในอนาคต [4]

ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการเสนออีกหนึ่งทางเลือกในการประหยัดทรัพยากรน้ำสำหรับการเพาะปลูก คือ การให้น้ำใต้ผิวดินแบบซึมน้ำ (Subsurface Drip Irrigation, SDI) โดยมีการพัฒนาระบบให้น้ำใต้ดินโดยอาศัยหลักการคล้ายกับ tensiometer ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่ส่วนปลายมีกระเปาะทำจากเซรามิกที่มีรูพรุนเพื่อให้ น้ำซึมออก โดยอัตราการซึมน้ำออกจะขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน ณ ขณะนั้น ดังนั้นเมื่อดินรอบกระเปาะมีความแห้งมาก น้ำก็จะซึมออกมาตามไปด้วย โดยในสภาวะปกติจะมีการปล่อยให้การซึมออกของน้ำเป็นไปตามความชื้นโดยรอบแทนการรดน้ำแบบทั่วไป วิธีนี้จึงถือเป็นการให้น้ำที่ค่อนข้างแม่นยำ โดยระบบที่ทำการออกแบบจะสามารถควบคุมการให้น้ำผ่าน cloud เพื่อควบคุมการทำงานให้เหมาะสมตามสภาวะแวดล้อม และตามความต้องการของพืชที่เปลี่ยนไปตามช่วงวัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของต้นแบบระบบให้น้ำใต้ดินแบบซึมน้ำแก่พืชในดินร่วน โดยใช้ emitter เป็นรูปทรงคล้ายกระเปาะทำจากวัสดุเซรามิกส์

2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สรีรวิทยาของพืช โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืช จะการขับเคลื่อนด้วยแรงดันและความแตกต่างของสารเคมีภายในลำต้นของพืช ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดันลบซึ่งเกิดจากการระเหยออกทางใบ กระบวนการนี้เรียกว่ากลไก Cohesion-Tension (C-T) ซึ่งจะสามารถทำงานได้โดยอาศัย

แรงดึงดูดระหว่างพันธะไฮโดรเจนในน้ำ ช่วยให้สามารถเคลื่อนไปยังปลายใบที่อยู่สูงเหนือผิวดินมากๆได้ จะเรียกพลังงานที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำว่า พลังงานศักย์ของน้ำ (Water Potential, Ψ) โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีพลังงานศักย์สูง ไปสู่บริเวณที่พลังงานศักย์ต่ำ ดังรูปที่ 2 [5]



รูปที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในจากดินสู่ราก ลำต้น กิ่ง และใบพืชโดยอาศัยความแตกต่างของ water potential

(Ψ)

2.2 การให้น้ำแก่พืชแบบใต้ผิวดิน

สำหรับในประเทศไทย ระบบให้น้ำที่ทำให้ประหยัดต้นกำลังสูบน้ำ มีทั้งหมด 3 ระบบดังรูป 3 คือ ระบบมินิสปริงเกอร์ ระบบไมโครสเปรย์ และระบบน้ำหยด ซึ่งทั้ง 3 ระบบอาจมีการสูญเสียจากความร้อนที่ผิวดิน หรือกระจายไปตามลม ทำน้ำไม่สามารถลงลึกไปถึงรากที่อยู่ใต้ดินได้ การให้น้ำระบบน้ำหยดนั้น จะมีทั้งแบบใต้ดินและเหนือดิน ในงานวิจัยนี้จึงได้มีประยุกต์วิธีการให้น้ำแบบใต้ดินเพื่อลดปัญหาเหล่านี้ [6]

การชลประทานโดยการให้น้ำใต้ผิวดินนั้น ทำให้น้ำสามารถลงไปยังในระดับความลึกพอสมควรได้อาณาเขตรากพืช โดยสามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อยซึ่งจะไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน วิธีให้น้ำใต้ผิวดินนั้นจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก และยังสามารถปรับการให้น้ำให้เหมาะสมแก่พืชในช่วงอายุต่าง ๆ ได้สะดวก ลดการแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไป นอกจากนี้ ระบบการให้น้ำทางดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย การให้น้ำใต้ผิวดินเป็นการใช้น้ำปริมาณน้อย แต่มีความสม่ำเสมอ และมีการ

พัฒนาอุปกรณ์ในระบบเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เคยเกิดขึ้น เช่น การอุดตัน โดยปกติแล้วการให้น้ำแบบใต้ผิวดินที่ใช้เซรามิกส์เป็น emitter การใช้ความดันอยู่ที่ไม่เกิน 1 kPa [7] เนื่องจากโดยหลักการแล้ว การให้น้ำด้วยวิธีนี้จะเป็นการอาศัยการซึมน้ำออกจากความแตกต่างของพลังงานงานศักย์ของน้ำรอบ ๆ บริเวณรากพืช

การให้น้ำใต้ผิวดินมีข้อดีคือ [8]

1. การติดตั้งระบบให้น้ำ ใต้ผิวดินแบบถาวร มีการใช้แรงงานรายปีน้อยกว่าการติดตั้งระบบแบบบนพื้นผิว และยังเป็น การเพิ่มอายุการใช้งานของระบบอีกด้วย
2. ลดการเกิดโรคและช่วยลดวัชพืช
3. ช่วยลดการบดอัดของดิน
4. ให้น้ำและสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

2.3 การหาแรงดึงของน้ำในดิน

โดยทั่วไปแล้ว การหาแรงดึงของน้ำในดินจะอาศัยเครื่องมือที่ชื่อว่า Tensiometer ซึ่งส่วนปลายของเครื่องมือจะเป็นกระเปาะเซรามิกที่มีรูพรุน (porous ceramic cup) สามารถน้ำซึมผ่านได้ดังรูปที่ 3 สำหรับการซึมน้ำออกจากรูพรุนของกระเปาะเซรามิกนั้นจะอาศัยหลักความต่างระหว่างพลังงานศักย์ของน้ำ ในดินและในกระเปาะเซรามิก [9] โดยปล่อยให้ น้ำซึมออกจากส่วนปลายที่เป็นเซรามิกของเครื่องมือจนกระทั่งโดยรอบบริเวณมี water potential ไม่ต่างกัน หรือเรียกอีกอย่างว่ามีความชื้นทั้งนอกและในกระเปาะเท่ากัน น้ำจึงค่อย ๆ ซึมออกช้าลงจนกระทั่งหยุด

หลักการปล่อยให้ น้ำซึมออกผ่านเซรามิกที่มีรูพรุนนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย โดยมีการออกแบบกระเปาะเซรามิกสำหรับการให้น้ำใต้ผิวดินที่อาศัยหลักการทำงานจากความต่างของพลังงานศักย์ของน้ำ ของสภาพดินโดยรอบ ทำให้พืชได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งาน

2.4 การหาประสิทธิภาพการซึมน้ำของ emitter

ประสิทธิภาพการซึมน้ำของ emitter สามารถวัดได้จากปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการทดลอง ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 1

$$q_{Loss} = \frac{\Delta q_{in} - \Delta q_{out}}{\Delta q_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

ตารางที่ 1 แสดงขนาดความยาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต
กระเปาะเซรามิกส์

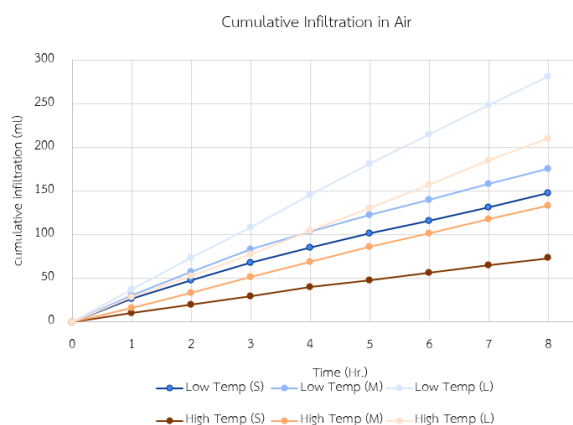
อุณหภูมิในการผลิต(°C)	ความยาว(mm)		
	(S)	(M)	(L)
1050 (High Temp)	75	90	110
950 (Low Temp)	75	90	110

โดยน้ำหนักของน้ำที่เปลี่ยนไปในถังน้ำและกระเปาะใส่ดิน จะถูกบันทึกและเก็บข้อมูลไว้เพื่อหาอัตราการซึมน้ำในทุกๆ ชั่วโมง และความดันของระบบจะถูกควบคุมที่ 1 kPa ด้วยปั๊ม ที่มีการต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูก ส่งไปยัง database ใน raspberry pi ที่ทำหน้าที่เหมือน sever เพื่อบันทึกข้อมูลและแสดงผลผ่าน user interface

4 ผลการทดลอง

การทำการหาอัตราการซึมน้ำของ emitter จะทำทั้งใน ดินร่วนและในอากาศ โดยการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลา ทั้งหมด 8 ชั่วโมงเพื่อทำการเก็บบันทึกผล การทดลองทั้งหมด ทำขึ้นที่อุณหภูมิห้อง มีอุณหภูมิเฉลี่ยคือ 28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 66 %

สำหรับอัตราการซึมน้ำสะสมในอากาศของ Emitter ทั้ง 6 แบบจะเป็นไปตามรูปที่ 6 ซึ่งอัตราการซึมน้ำสูงสุดจะเกิดขึ้นกับ emitter ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 950°C โดยอัตราการซึมน้ำ ต่อชั่วโมงของ emitter แต่ละแบบนี้ เป็นไปตามตารางที่ 2



รูปที่ 6 ปริมาณน้ำที่ซึมออกสะสมของ emitter แต่ละแบบ
ในอากาศ

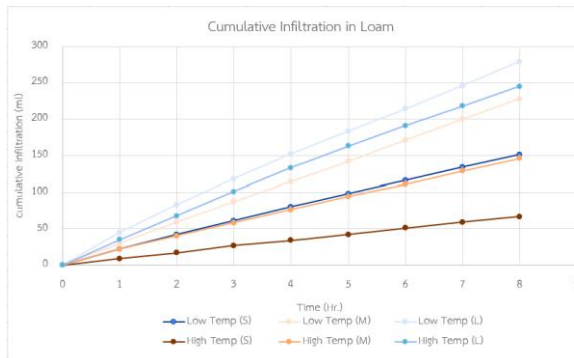
ตารางที่ 2 อัตราการซึมน้ำในอากาศเฉลี่ยต่อชั่วโมงของ
emitter แต่ละแบบ

Emitter		Avg .Discharge (ml/hr)
950°C	S	18.1
	M	23.09
	L	33.88
1050°C	S	8.89
	M	15.95
	L	19.55

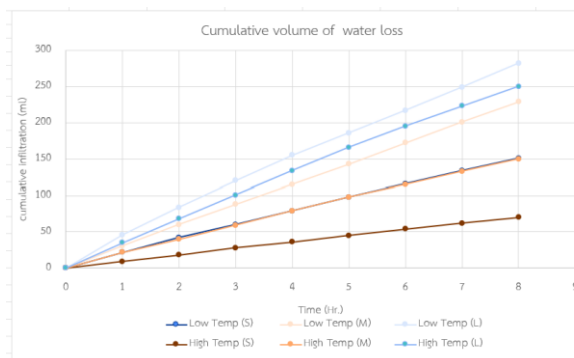
เมื่อทำการทดลองการหาอัตราการซึมน้ำในดินร่วน โดย ชั่งน้ำหนักของดินของดินที่เพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำที่ซึมออก เฉลี่ยต่อชั่วโมงจาก Emitter แต่ละแบบดังตารางที่ 3 และใน ส่วนของปริมาณการซึมออกสะสมของ emitter แต่ละแบบ ในรูปที่ 7 จะถูกนำไปเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลออกจากถัง ใน รูปที่ 8 ซึ่งเมื่อพิจารณาเทียบผลต่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก ดินและผลต่างของน้ำหนักน้ำในถังที่หายไปของ emitter แต่ละ ตัว จะพบว่าน้ำจะมีการสูญเสียไปบางส่วนจากการ เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการชั่งน้ำหนักถังน้ำ และ ปริมาณน้ำที่ซึมในดิน ซึ่งจะแสดงในรูปน้ำหนักดินที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 9 - รูปที่ 14 โดยร้อยละของการสูญเสียน้ำที่ถูก คำนวณจากสมการ 1 แสดงในตารางที่ 4 ร้อยละของการ สูญเสียน้ำระหว่างการให้น้ำใน emitter แต่ละแบบ ตารางที่ 3 อัตราการซึมน้ำในกระเปาะดินร่วนเฉลี่ยต่อชั่วโมง ของ emitter แต่ละแบบ

Emitter		Avg. Discharge (ml/hr.)
950°C	S	19.18
	M	28
	L	35.2
	S	9.56

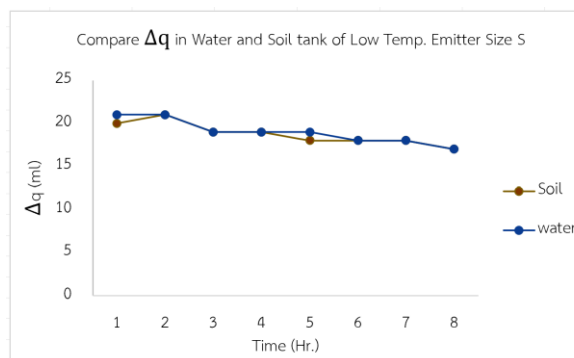
1050°C	M	19.12
	L	26.03



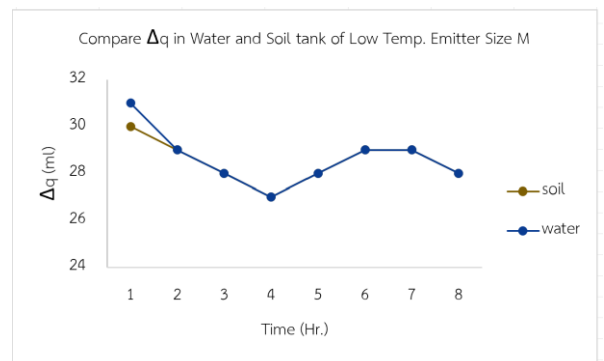
รูปที่ 7 ปริมาณน้ำที่ซึมออกสะสมของ emitter แต่ละแบบ
ในดินร่วน



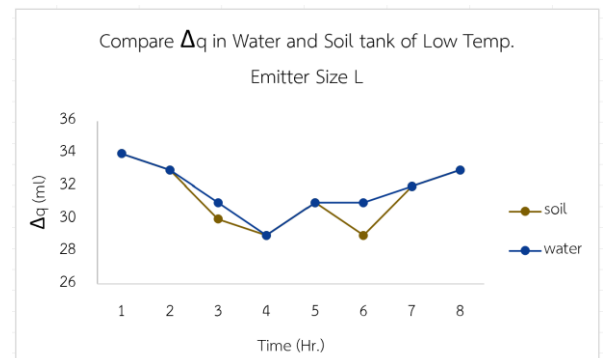
รูปที่ 8 ปริมาณน้ำที่ซึมออกสะสมจากถังน้ำของ emitter แต่ละแบบ



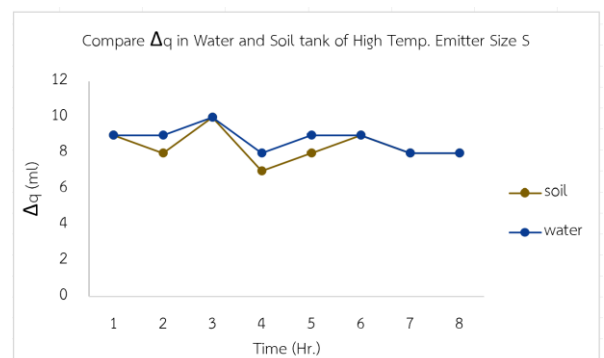
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้
จากถังน้ำและกระบะดินของ emitter ขนาดยาว 75 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 950°C



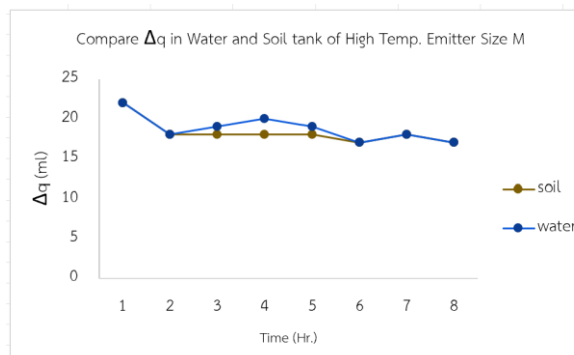
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้
จากถังน้ำและกระบะดินของ emitter ขนาดยาว 95 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 950°C



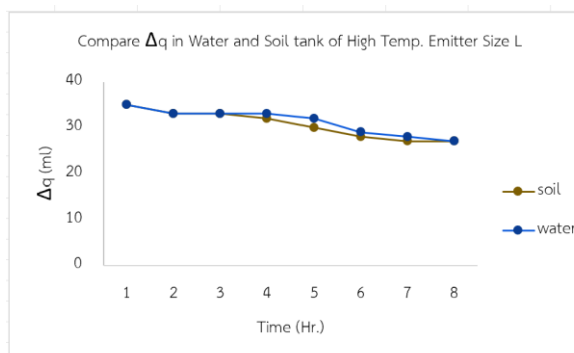
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้
จากถังน้ำและกระบะดินของ emitter ขนาดยาว 110 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 950°C



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้
จากถังน้ำและกระบะดินของ emitter ขนาดยาว 75 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 1050°C



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้จากถังน้ำและกระบอกดินของ emitter ขนาดยาว 95 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 1050°C



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบความต่างระหว่างปริมาณน้ำที่วัดได้จากถังน้ำและกระบอกดินของ emitter ขนาดยาว 110 mm.
ผลิตที่อุณหภูมิ 1050°C

ตารางที่ 4 ร้อยละของการสูญเสียระหว่างการให้น้ำใน emitter แต่ละแบบ

Emitter		Water Loss(%)
Low Temp	S	1.29
	M	1.97
	L	0.76
Hight Temp	S	1.92
	M	1.29
	L	1.19

5 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำการทดลองการให้น้ำแบบใต้ดินโดยใช้ emitter จะพบว่า อัตราการซึมของ emitter ในอากาศ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับอัตราการซึมที่เกิดขึ้นในดินร่วน โดย

emitter ที่มีการซึมน้ำออกมากที่สุดคือ emitter ขนาดยาว 110 เซนติเมตร ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 950°C มีอัตราการซึมน้ำออกในอากาศเฉลี่ยที่ 33.88 ml/hr. และ 35.2 ml/hr ในดิน ส่วนอัตราการซึมที่น้อยที่สุด จะเกิดใน emitter ขนาดยาว 75 เซนติเมตร ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 1050°C โดยมีอัตราการซึมน้ำเฉลี่ยในอากาศและในดินร่วนที่ 8.89 ml/hr. และ 9.56 ml/hr ตามลำดับ โดยการซึมน้ำจะมากขึ้นที่ความดัน 1 kPa เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [11] จะพบว่าอัตราการซึมน้ำทั้งในดินร่วนและในอากาศมีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากความดัน ซึ่งเป็นการป้องกันการอุดตันของ emitter และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำ ซึ่งจะลดปัญหา emitter ถูกพันด้วยรากไม้

สำหรับอัตราการซึมน้ำที่ได้จะถูกนำไปศึกษาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบระบบให้น้ำที่เหมาะสม เช่น การเลือกใช้กระเปาะหลายแบบต่อหนึ่งระบบ ในกรณีที่ต้องการอัตราการให้น้ำต่อพื้นที่แตกต่างกัน

ในส่วนของการสูญเสียจากการให้น้ำใต้ผิวดินด้วยวิธีนี้ พบว่าที่ความลึก 5 เซนติเมตรประสิทธิภาพของการให้น้ำจะสูญเสียไม่เกิน 2% ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับระบบ เพราะการให้น้ำในระดับที่ลึกลงไปใต้ดินจะเป็นการลดการสูญเสียน้ำจากสภาพแวดล้อมลง ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยอื่น ๆ ทั้งจากความร้อน และ ความชื้นโดยรอบ สามารถนำไปต่อยอดในส่วนของการให้น้ำแบบประหยัดและมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงการหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ต่อวันได้อย่างแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทดสอบความสามารถในการซึมน้ำจากตัวอย่างดินก่อนจะปลูกพืชอีกด้วย

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องวิจัย PID (Practical intelligent Design) ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย แก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

7 เอกสารอ้างอิง

[1] Dougherty, C.T., *The relationship between solar radiation, soil water, and water potential of ears of*

wheat. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1974.p. 459-463.

[2] Jauron, R. *Proper Watering Procedures*. 1994
[cited 2020 october,18]; Available from:
<https://hortnews.extension.iastate.edu/1994/6-8-1994/hohright.html>.

[3] Das, S.K.M.a.M., *Augmenting Water Use Efficiency in Horticulture*. 2016(December, 2016): p. pp 45-60.

[4] เจริญวิทย์, พ., สถานการณ์น้ำในประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2001.

[5] McElrone, A., et al., *Water uptake and transport in vascular plants*. Nat. Educ. Knowl., 2013.

[6] กรมส่งเสริมการเกษตร, การใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า...ในการปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น. 2015.

[7] Ashrafi, S., et al., *Simulation of infiltration from porous clay pipe in subsurface irrigation*. Hydrological Sciences Journal, 2002.

[8] Phene, C.J., et al. *ADVANTAGES OF SUBSURFACE IRRIGATION FOR PROCESSING TOMATOES*. 1987. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.

[9] สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ , เครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน (*Tensiometer*). 2017.

[10] *Compilation of air pollutant emission factors. Volume 1. Stationary point and area sources. Fifth edition*. 1995: United States.

[11] ศิริธนาพิพัฒน์, การทดสอบประสิทธิภาพการซึมน้ำของกระเปาะเซรามิกส์เพื่อใช้ในระบบการให้น้ำใต้ดินแก่พืช 2021.