

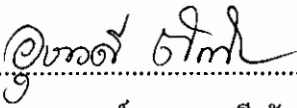
การศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์
เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน

ขวัญยืน ฤทธิ์แดง

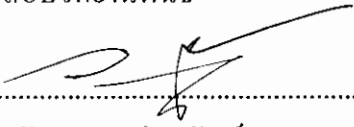
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ตุลาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

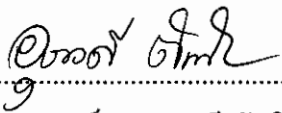
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ขวัญยืน ฤทธิ์แดง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

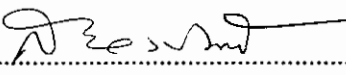
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

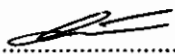

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวานุรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

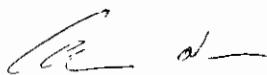

.....ประธาน
(ดร.วาทัญญ รอดประพัฒน์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวานุรักษ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สำเภา จงจิตต์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

การวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษา
โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ต้นติวานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สวนบ้านครอบครัว ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล นอกจากนี้ ยังได้รับความอนุเคราะห์จากผู้อำนวยการ โรงเรียนวังน้ำเย็นวิทยาคม ตลอดจนเพื่อนครู ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญช่วย คุณแม่สัมฤทธิ์ ฤทธิ์แดง และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้อำนาจใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญู กตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนครบเท่าทุกวันนี้

ขวัญยืน ฤทธิ์แดง

56920160: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: การปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์/ การคลุมดินด้วยพลาสติก/ อุณหภูมิดิน/ สมดุลพลังงาน
ขวัญยืน ฤทธิ์แดง: การศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ เมื่อมี
และไม่มีพลาสติกคลุมดิน (THE STUDY OF SOIL TEMPERATURE FOR LIME PLANTATION
IN CEMENT TUBE COVERED WITH PLASTIC MULCH AND WITHOUT PLASTIC MULCH)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อุษาวดี ดันติวารานุรักษ์, D.Sc. 56 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน วิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง โดยประมวลผลข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Excel ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกระหว่าง 0.1- 0.2 เมตร ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดินมีค่า 31.0 องศาเซลเซียส และ 29.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งยังอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวของเมนเดลคือ 23-34 องศาเซลเซียส การกระจายตัวของอุณหภูมิดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อมีพลาสติกคลุมดินมีลักษณะเช่นเดียวกับการไม่มีพลาสติกคลุมดิน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน ส่วนที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทำนายอุณหภูมิดินได้ใน 1 มิติ ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0.10 และ 0.20 เมตร โดยกรณีที่ไม่มีพลาสติกคลุมดิน ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 4.06 และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.33 ส่วนกรณีที่ มีพลาสติกคลุมดินมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 8.89 และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับร้อยละ 20.68

56920160: MAJOR: PHYSICS EDUCATIONAL; M.Sc. (PHYSICS EDUCATIONAL)

KEYWORDS: LIME PLANTATION IN CEMENT TUBE/ COVERED WITH PLASTIC
MULCH/ SOIL TEMPERATURE/ ENERGY BALANCE

KWANYUEN LITDAENG: THE STUDY OF SOIL TEMPERATURE FOR LIME
PLANTATION IN CEMENT TUBE COVERED WITH PLASTIC MULCH AND WITHOUT
PLASTIC MULCH. ADVISORY COMMITTEE: USAVADEE TUNTIWARANURUK, D.Sc.
56 P. 2015.

The purpose of this research was to soil temperature for lime plantation in cement tube covered with plastic mulch and without plastic mulch. Method of operation is divided into three parts: Data collection of optimum environmental conditions for growing lime plantation in cement tube. Creating a numerical model. And experiments to compare numerical model's soil temperature and experiments's soil temperature. Data were processed by Excel computer program. The results of this research reveal that the soil's average temperature at depth of 0.1 - 0.2 m for lime plantation in cement tube covered with black plastic mulch was 31.0 °C and the soil 's average temperature for lime plantation in cement tube without plastic mulch was 29.0 °C which is still at Mendel's optimum temperature for growing lime plantation is 23-34 °C. The numerical model 's the soil temperature distribution covered with plastic mulch was not much differ from covered without plastic mulch. The very variations of soil temperature occurred the soil surface. The numerical model revealed that the predicted soil temperature 1-D at depth of 0.1 and 0.2 m. In case covered without plastic mulch. The Error was in the range of 4.06% at minimum temperature, 3.33% at minimum temperature. and In case covered with plastic mulch The Mean Square Error was in the range of 8.89% at minimum temperature, 20.68% at minimum temperature.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
รายการสัญลักษณ์.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ควบคุมการเจริญเติบโตของมะนาว.....	3
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	6
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	16
ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในทอชีเมนต์	
เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน.....	16
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	18
การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง.....	22

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	25
ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์	
เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน.....	25
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	28
การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง.....	30
5 อภิปรายและสรุปผล.....	32
อภิปรายผล.....	32
สรุปผลการวิจัย.....	34
ข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก.....	39
ภาคผนวก ข.....	43
ภาคผนวก ค.....	45
ภาคผนวก ง.....	48
ภาคผนวก จ.....	50
ภาคผนวก ฉ.....	54
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ การส่งผ่านรังสีความร้อน จากแสงอาทิตย์ และค่าการแผ่รังสีความร้อนของพลาสติก.....	28
ง ข้อมูลความชื้นของดิน ระหว่างวันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558.....	49
จ-1 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 7-8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558.....	51
จ-2 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2558.....	52
จ-3 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558.....	53
ฉ ข้อมูลความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25-31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558.....	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 วงจรการออกดอกของมะนาว.....	5
2-2 กระบวนการถ่ายเทความร้อนของดินในตอนกลางวัน.....	7
2-3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนของดินในตอนกลางคืน.....	7
2-4 การถ่ายเทความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านพลาสติกคลุมดิน.....	11
3-1 เครื่องมือวัดความชื้นของดิน.....	16
3-2 การวัดค่าความชื้น.....	17
3-3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค.....	17
3-4 การติดตั้งหัววัดที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของต้นมะนาวที่กำลังออกดอก.....	18
3-5 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	19
3-6 ชั่งน้ำหนักก้อนดินด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล.....	20
3-7 ขอบเขตของการพิจารณาอุณหภูมิดิน.....	21
3-8 การเตรียมดินปลูกมะนาว.....	23
3-9 การติดตั้งหัววัดที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของดิน.....	23
4-1 การกระจายตัวของอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์.....	26
4-2 เปรียบเทียบของอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกสีดำคลุมดิน.....	27
4-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน.....	29
4-4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ.....	31
4-5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของดิน ในแต่ละช่วงเวลาต่าง ๆ.....	31
ก-1 การแบ่งจุดพิจารณาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์.....	40

รายการสัญลักษณ์

รายการสัญลักษณ์

c_p	specific heat (J/kg ⁰ C)
ρ	density (kg/m ³)
k	thermal conductivity (W/m ⁰ C)
T_a	ambient temperature (⁰ C)
T_{sky}	sky temperature (⁰ C)
I	solar radiation (W/m ²)
h_c	convective heat transfer coefficient (W/m ² K)
τ	solar transmittance
α	solar absorptance
ε	emissivity
σ	Stephan Boltzmen constant, 5.67×10^{-8} (W/m ² K ⁴)
x	distance element (m)
t	time (s)

สัญลักษณ์ตัวห้อย

s	soil
su	soil upper surface
p	Plastic Mulch

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะนาวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี จากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจที่มีแนวโน้มสูงขึ้น แทบทุกครัวเรือนต้องใช้น้ำมะนาวในการปรุงอาหารต่าง ๆ เช่น ต้มยำ แกง ทำน้ำพริก เป็นต้น และในส่วนของภาคอุตสาหกรรมได้นำน้ำมะนาวมาใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้ความต้องการของมะนาวมีมากยิ่งขึ้น ทำให้ในช่วงฤดูแล้ง ประมาณเดือนมีนาคม-เมษายนของทุกปี มะนาวจะมีราคาสูงกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวจะมีผลผลิตมะนาวออกสู่ตลาดน้อยจึงทำให้มะนาวมีราคาแพง (วัชระ ไชยณกุล, 2553) เพราะฉะนั้นการทำให้มะนาวมีผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงเดือนมีนาคม – เมษายนได้นั้น ต้องเกิดจากการจำลองสภาวะแวดล้อมของมะนาวให้เสมือนกำลังอยู่ในช่วงฤดูแล้ง มีงานวิจัยของนรินทร์ พูลเพิ่ม (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ ซึ่งเป็นเทคนิคการผลิตมะนาวแบบไร้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่สามารถบังคับให้มะนาวออกดอก ออกผล ตามวัน เวลา ที่เราต้องการได้ ให้ผลผลิตสูงถึง 150 - 750 ผลต่อต้น ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุและการปฏิบัติดูแลรักษาและจากการศึกษาของนาวิ จิระชีวี และคณะ (2555) พบว่าการใช้พลาสติกคลุมดินสามารถเก็บรักษาความชื้นในดิน ช่วยให้ประหยัดการให้น้ำในหน้าแล้ง และยังมีผลต่ออุณหภูมิภายในดิน

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิสำหรับปลูกมะนาวและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิของดิน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน และยังเป็นข้อมูลประกอบการปลูกมะนาวสำหรับเกษตรกรในการปลูกพืชผัก ผลไม้ต่าง ๆ ในแต่ละช่วงฤดูกาลได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอุณหภูมิดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ในการทำนายอุณหภูมิดินเมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน

3. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินที่ใช้สำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบอุณหภูมิดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน
2. ทำนายอุณหภูมิของดินในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาได้
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบในการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์

ขอบเขตของการวิจัย

1. มะนาวที่ศึกษาเป็นมะนาวพันธุ์แป้นจรรยา ณ สวนครอบครัว บ้านเลขที่ 57 หมู่ 1 ตำบลสะพานหิน อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี
2. ดินที่ใช้ประกอบด้วย ดินร่วน 3 ส่วน แกลบ 1 ส่วน ขี้เถ้าแกลบ 1 ส่วน และปุ๋ยคอก 1 ส่วน ซึ่งเป็นไปตามอัตราส่วนของกรมวิชาการเกษตร
3. พลาสติกคลุมดินที่ใช้เป็นพลาสติกสีดำประเภทพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene : LDPE) ความหนา 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 มิลลิเมตร
4. อุณหภูมิของดินที่ใช้ในการทำนายที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0.00 0.10 0.20 0.30 และ 0.40 เมตร

นิยามศัพท์เฉพาะ

การคลุมดินด้วยพลาสติก หมายถึงการคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำประเภทพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ

อุณหภูมิดิน หมายถึงอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ควบคุมการเจริญเติบโตของมะนาว

1. ลักษณะของมะนาวพันธุ์แป้นจรียา
2. อุณหภูมิดิน
3. ความชื้นของดิน

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ควบคุมการเจริญเติบโตของมะนาว

มะนาวเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดเล็ก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* (Christm &Panz) Swing. อยู่ในวงศ์ Rutaceae และอยู่ในสกุล *Citrus* ชื่อสามัญ Mexican lime, West Indian lime และ Key lime หรือเรียก lime หรือมะนาวไทย (สุภกิจ แก้วถนอม, 2540) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนถึงประเทศมาเลเซียและแพร่หลายไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลก (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2531) การเจริญเติบโตของมะนาวเป็นปรากฏการณ์ที่สลับซับซ้อน โดยมีการเพิ่มขนาด มีการพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่ต่างกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีปัจจัยต่าง ๆ เป็นตัวควบคุม ทั้งปัจจัยภายใน ได้แก่สารเคมีภายในต้น ฮอโมน และลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งเป็นตัวกำหนดแบบแผนลักษณะการเจริญเติบโต ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ น้ำ แร่ โน้มถ่วงและธาตุอาหารต่าง ๆ อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดการสร้างดอก การงอกของเมล็ด การพักตัวของพืช นอกจากอุณหภูมิ ยังมีน้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของพืช และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของดินอีกด้วย การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของมะนาวพันธุ์แป้นจรียา

มะนาวแป้นจรียา เป็นมะนาวที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างมะนาวแป้นรำไพกับมะนาวด่านเกวียน แล้วได้ลูกไม้ออกมาตั้งชื่อว่า มะนาวแป้นจรียา มีลักษณะพิเศษคือ เป็นมะนาวที่ปลูกง่าย โตเร็ว ทนทานต่อโรคแมลง โรคใบเหลือง โรคใบเป็นจุดได้ดี เวลาติดผล จะเป็นพวงคล้าย

มะนาวด้านเกวียน 5-8 ผลต่อพวง ผลเป็นรูปกลมแป้น มีขนาดโตกว่ามะนาวเป็นทั่วไป เปลือกผลบาง เวลาผ่าครึ่งคั้นเอาน้ำได้ง่าย ให้น้ำเยอะกว่ามะนาวทั่วไป น้ำมีรสเปรี้ยวจัด มีกลิ่นหอมเช่นเดียวกับน้ำมะนาวเป็นทั่วไป ที่สำคัญเวลาติดผลจะดกเต็มต้น จึงจัดเป็นมะนาวพันธุ์ใหม่ที่นำปลูกเพื่อเก็บผลรับประทานในครัวเรือนหรือปลูกเพื่อเก็บผลขายสร้างรายได้เป็นอย่างดี

2. อุณหภูมิดิน (Temperature)

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของมะนาว Mendel (1968) ได้กล่าวว่าพืชสกุล Citrus สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 12.5-39.0 °C แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตมากที่สุดคือ 23-34 °C และอุณหภูมียังมีผลต่อการออกดอกของมะนาว สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ (2548) ได้กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างตาออกหรือขจัดการพักตาออกในพืชได้จากการทดลองของ Harty and Staden (1988 อ้างถึงใน บัณฑิต เจริญน้ำ, 2547) พบว่าการปลูกส้มที่อุณหภูมิ 20 °C และ 10 °C ในเวลากลางวันและกลางคืน ตามลำดับ ร่วมกับการให้สาร Paclobutrazol นั้น ทำให้ส้มมีการออกดอกมากที่สุด ในขณะที่การปลูกในอุณหภูมิ 30 °C และ 20 °C ในเวลากลางวันและกลางคืน ตามลำดับร่วมกับการให้สาร Paclobutrazol นั้น มีผลให้ส้มมีการแตกใบอ่อนมากที่สุด

3. ความชื้นของดิน (Soil Moisture)

ความชื้นของดินประกอบด้วย 2 สถานะ คือ สถานะที่เป็นของเหลว เราเรียกว่า น้ำในดิน และสถานะที่เป็นก๊าซ เราเรียกว่า ไออน้ำในดิน ในประเทศที่มีอากาศหนาวจัด ความชื้นของดินอาจจะอยู่ในรูปของน้ำแข็ง ส่วนประเทศในเขตร้อน ส่วนใหญ่น้ำในดินจะอยู่ในรูปของของเหลว ดังนั้นความชื้นของดิน กับน้ำในดิน จึงมีความหมายเดียวกัน คือ ส่วนที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้าในส่วนของช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เต็มไม่มีก๊าซอยู่เลยเรียกว่า ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ความชื้นของดินหาได้จาก

$$P_w = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (2-1)$$

เมื่อ P_w คือ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (%)

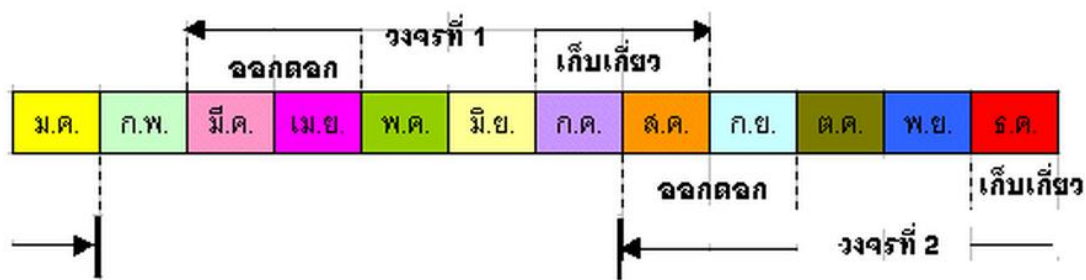
M_w คือ น้ำหนักความชื้น (g)

M_s คือ น้ำหนักดินอบแห้ง (g)

น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของมะนาว สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ (2548) กล่าวว่า น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลล์พืช พืชใช้น้ำกระบวนการเมแทบอลิซึม ช่วยละลายแร่ธาตุ ตลอดจนช่วยลำเลียงอาหารและแร่ธาตุ ในสภาพที่พืชขาดน้ำจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา แรงดันของน้ำ

ภายในเซลล์ทำให้เซลล์พืชเกิดความต่ง มีผลต่อการเจริญเติบโตและการขยายขนาดของเซลล์พืช นอกจากนี้ปริมาณน้ำในดินยังมีผลต่อการติดดอกของพืช ในสภาพที่พืชขาดน้ำหรือเกิดความเครียดในพืช (Water stress) จะมีการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอก แต่ในระยะการเจริญของตาดอกถ้าพืชเกิดการขาดน้ำมากเกินไปทำให้ตาดอกไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ กระบวนการสร้างตาดอกจะหยุดชะงักอยู่จนกว่าจะได้รับ จากการศึกษาของ Davies and Albrigo (1994 cited Inoue, 1990) พบว่า เมื่อมีอากาศเย็นและมีสภาพเครียดน้ำ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C ติดต่อกันหลายสัปดาห์จะทำให้เกิดการพัฒนาดอกขึ้น และจากการศึกษาของ Southwick and Davenport (1986) ได้ทำการทดลองในมะนาวตาฮิติซึ่งปลูกอยู่ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. โดยใช้วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ peat perlite และ sand ในอัตราส่วน 1:1:1 ตามลำดับ เมื่อต้นมีอายุประมาณ 1-2 ปี ทำการทดลองโดยทำให้เกิดสภาพความเครียดน้ำที่ระดับ -2.25 ถึง -3.5 MPa ซึ่งวัดจากค่าศักย์น้ำในใบ นาน 4-5 สัปดาห์ สามารถชักนำให้มีการออกดอกได้

จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ และความชื้นในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของมะนาว การทำให้มะนาวมีผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงเดือนมีนาคม – เมษายน เกิดจากการจำลองสภาวะแวดล้อมของมะนาวให้เสมือนกำลังอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ภาพที่ 2-1 แสดงวงจรการออกดอกของมะนาวในรอบ 1 ปี ต้นมะนาวที่ออกดอกตามฤดูกาลนั้นสามารถให้ผลผลิตได้ถึง 2 ครั้ง โดยครั้งแรก (วงจรที่ 1) มะนาวมีการออกดอกชุดใหญ่ในระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม หลังจากนั้นจะออกดอกชุดใหญ่เป็นครั้งที่สอง (วงจรที่ 2) ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม



ภาพที่ 2-1 วงจรการออกดอกของมะนาว (รวี เสรรฐภักดี, 2543)

การปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ จึงเป็นเทคนิคการผลิตมะนาวแบบไร้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่สามารถบังคับให้มะนาวออกดอก ออกผล ตามวัน เวลา ที่เราต้องการได้ (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.) ด้วยการกระตุ้นให้มะนาวออกดอก โดยเกษตรกรต้องจัดการให้น้ำมะนาวในเดือนกันยายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกชุก ในระหว่างนั้นจึงมีการนำพลาสติก ความยาวประมาณ 3 เมตร กว้าง 1 เมตร มาคลุมปากท่อซีเมนต์บริเวณโคนต้นเพื่อไม่ให้น้ำซึมลงไปดิน เป็นเวลานาน 15-30 วัน สังเกตดูเมื่อใบมะนาวมีอาการเหี่ยวหรืออาจมีใบร่วงบ้างแล้วจึงแกะพลาสติกที่คลุมโคนต้นมะนาวออก แล้วให้น้ำแก่ต้นมะนาวตามปกติ หลังจากนั้นมะนาวจะเริ่มออกดอก ออกผล จนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน และทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของดินที่เหมาะสมในขณะมะนาวกำลังออกดอก

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อทำนายอุณหภูมิของดิน โดยอาศัยหลักการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นในปริมาตรควบคุม แสดงได้ตามสมการดังต่อไปนี้

อัตราความร้อนที่ไหลเข้า + อัตราความร้อนที่ผลิตขึ้น = อัตราความร้อนที่ไหลออก + อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (สมศรี จรุงเรือง, 2542)

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g = \dot{E}_{out} + \dot{E}_{st} \quad (2-2)$$

เมื่อ \dot{E}_{in} , \dot{E}_{out} คือ อัตราพลังงานความร้อนที่ไหลเข้าและออกต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรตามลำดับ (W)

\dot{E}_g คือ อัตราความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W)

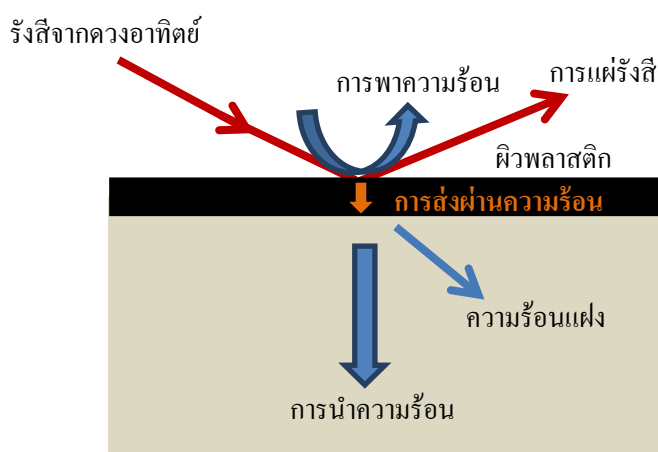
\dot{E}_{st} คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W)

ภายในดินไม่มีการผลิตความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นสมดุลพลังงานจึงเขียนได้เป็น

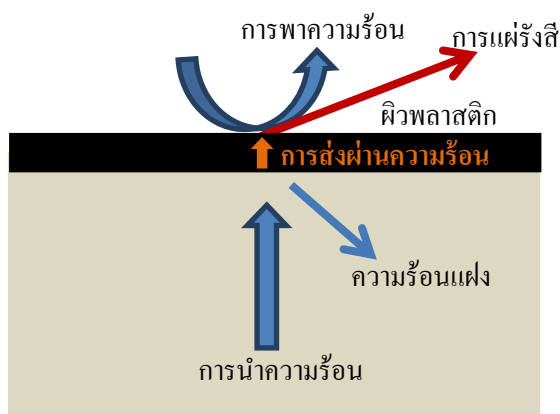
$$\dot{E}_{st} = \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} \quad (2-3)$$

ดินมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากพลังงานที่รับเข้ามาและสูญเสียออกไปที่ผิวดิน ในตอนกลางวัน ผิวพลาสติกได้รับพลังงานความร้อนจากรังสีที่ตกกระทบ และมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ดินชั้นล่าง การถ่ายเทความร้อนนี้มีค่าขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อน

และค่าความจุความร้อนของดิน นอกจากนี้การระเหยของน้ำในดิน การพาความร้อน และการแผ่รังสี บริเวณผิวพลาสติก ยังมีผลต่ออุณหภูมิดินอีกด้วย และในตอนกลางวันพื้นดินจะมีกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากดินชั้นล่างที่ได้สะสมไว้ในตอนกลางคืนไปยังผิวดินด้านบน โดยการนำความร้อนของดิน จะมีการระเหยของน้ำในดิน บริเวณที่ผิวพลาสติกมีการแผ่รังสีและการพาความร้อนของลมเกิดขึ้นอีกด้วย ดังภาพที่ 2-2 และ 2-3



ภาพที่ 2-2 กระบวนการถ่ายเทความร้อนของดินในตอนกลางวัน



ภาพที่ 2-3 กระบวนการถ่ายเทความร้อนของดินในตอนกลางคืน

จากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้เกิดขึ้นบริเวณผิวของพลาสติกคลุมดิน สามารถเขียนสมการสมดุลพลังงานได้ดังนี้

พลังงานที่เก็บสะสมไว้ = การดูดกลืนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ – การสูญเสียพลังงานความร้อนจากการพาความร้อน – การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสี – การสูญเสียการสูญเสียพลังงานจากการส่งผ่านความร้อน

$$\dot{E}_{st} = \dot{E}_{solar} - \dot{E}_{conv} - \dot{E}_{radi} - \dot{E}_{tran} \quad (2-4)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาดังนี้

1. ดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ไม่มีสิ่งปกคลุมและไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในดิน
 2. สมบัติทางกายภาพของดินเป็นอิสระต่ออุณหภูมิ
 3. รังสีบรรยากาศเกิดขึ้นเนื่องจากพิจารณาให้ท้องฟ้าเป็นวัตถุเทา
- เมื่อพิจารณาปริมาตรควบคุมในดินที่มีการนำความร้อนแบบไม่คงตัว และไม่มีความร้อนเกิดขึ้นภายในดิน สามารถเขียนสมการอนุพันธ์ย่อยของการถ่ายเทความร้อนภายในดินได้เป็น

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T \quad (2-5)$$

เมื่อ c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (J/kg.K)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³)

t คือ เวลา (s)

จากสมการ (2-5) สามารถลดรูปลงได้ถ้าสัมพันธ์กับการนำความร้อนคงที่ และเขียนใหม่ได้เป็น

$$\nabla^2 T = \frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-6)$$

เมื่อ D คือ ค่าการแพร่ความร้อน (thermal diffusivity, m²/s)

แทนค่าลาปลาเซียนโอเปอร์เรเตอร์ลงในสมการ จะได้สมการการนำความร้อนในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular coordinate) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-7)$$

เนื่องจากการไหลของความร้อนภายในดินที่อยู่ใกล้ผิวหน้าตามแนวนอนมีค่าน้อยมาก มีเพียงการไหลการไหลในแนวตั้งเท่านั้น สมการ (2-7) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-8)$$

จากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวดินหรือผิวพลาสติกและภายในดิน ดังนั้น การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่จำเป็นจะต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวต่อไปนี้

1. การนำความร้อน (Conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางที่บดบัง เกินขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน ความร้อนไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ และเมื่อพิจารณาการนำความร้อนใน 1 มิติ จะพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ตามระยะการเคลื่อนที่ของความร้อน ดังสมการ กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (สุรนันท์ ศรีชนยนิศย์, 2545)

$$q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-9)$$

เมื่อ q_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W)

A คือ พื้นที่ที่ถ่ายเทความร้อน (m^2)

T คือ อุณหภูมิ (K)

x คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m K)

เขียนสมการ (2-9) ใหม่ในรูปของฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux)

$$q''_{cond} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-10)$$

ที่จริงแล้วฟลักซ์ความร้อน q''_{cond} เป็นเวกเตอร์ รูปแบบทั่วไปของกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ ซึ่งเป็นการนำความร้อนในสมมติ เขียนได้เป็น

$$q''_{cond} = -k\nabla T = -k\left(\hat{i}\frac{\partial T}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial T}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad (2-11)$$

เมื่อ ∇T คือ เกรเดียนต์อุณหภูมิ

2. การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนที่บริเวณผิวพลาสติก เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศที่สัมผัสกับผิวพลาสติกที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับผิวพลาสติก ซึ่งเป็นการพาความร้อนแบบอิสระ สมการสำหรับการหาอัตราการพาความร้อนที่ผิวพลาสติกจะเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน ดังนี้

$$q_{conv} = h_c A (T_{plas} - T_a) \quad (2-12)$$

เมื่อ q_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อน (W)

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2\text{ }^\circ C$)

T_{plas} คือ อุณหภูมิที่ผิวพลาสติก ($^\circ C$)

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศ ($^\circ C$)

สมการ (2-12) สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของฟลักซ์ความร้อน

$$q''_{conv} = h_c (T_{plas} - T_a) \quad (2-13)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณผิวดินจึงขึ้นอยู่กับอัตราเร็วลม ที่ไหลผ่านและสามารถคำนวณได้จากสมการ (Garzoli & Blackwell, 1981)

$$h_c = 7.2 + 3.8v \quad (2-14)$$

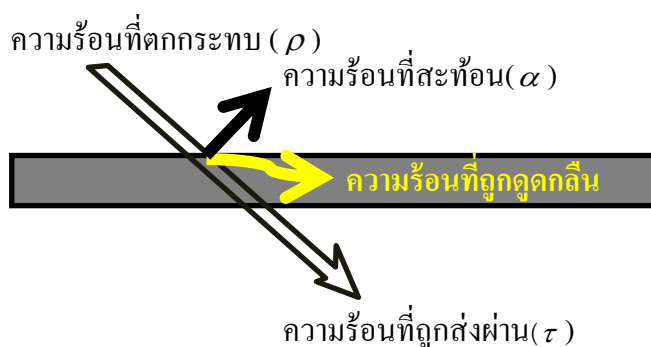
เมื่อ v คือ อัตราเร็วลมที่ผิวพลาสติกคลุมดิน (m/s) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมที่ผิวพลาสติกนั้น มีค่าขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่

3. การแผ่รังสี (Radiation)

ในการพิจารณารังสีของพลังงานความร้อนรวมที่ตกกระทบผิวพลาสติกในภาพที่ 2-4 พลังงานความร้อนรวมจากรังสีทุกทิศทาง เมื่อตกกระทบลงบนผิวพลาสติกแล้วจะมีพลังงานสะท้อนออกไป บางส่วนดูดกลืนไว้ในเนื้อพลาสติกและส่วนที่เหลือจะส่งผ่านไปยังผิวดินที่อยู่ลึกลงไป ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2-15)$$

- เมื่อ ρ คือ ค่าการสะท้อนของรังสีความร้อน
 α คือ ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อน
 τ คือ ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทความร้อนแสงอาทิตย์ผ่านพลาสติกคลุมดิน

ในวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -273°C หรือ 0 K ย่อมมีการแผ่รังสีตลอดเวลา อัตราส่วนระหว่างรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุจริงเทียบกับรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน เรียกว่า ค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของวัตถุ การแผ่รังสีของวัตถุทั่วไปมีสมการดังนี้

$$q_{radi} = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2-16)$$

- เมื่อ q_{radi} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (W)
 σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลซ์มันน์ ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$)
 ε คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสีของวัตถุเขา (ไม่มีหน่วย)
 A คือ พื้นที่การแผ่รังสี (m^2)
 T คือ อุณหภูมิของวัตถุดำ (K)

เขียนสมการ (2-16) ใหม่ในรูปฟลักซ์ความร้อน ได้เป็น

$$q''_{radi} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2-17)$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ผิวพลาสติกด้านบนจะมีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนทั้งในรูปของรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์และรังสีคลื่นยาวจากสิ่งแวดล้อม โดยฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบผิวดินจะหาได้จากสมการ

$$q''_{solar} = \alpha I \quad (2-18)$$

เมื่อ q''_{solar} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบวัสดุ (W/m^2)

α คือ การดูดกลืนความร้อนของวัสดุ

I คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบผิววัสดุ (W/m^2)

ในส่วนของฟลักซ์ความร้อนที่ถูกส่งผ่านพลาสติกคลุมดินมีสมการเป็น

$$q''_{tran} = \tau \quad (2-19)$$

เมื่อ q''_{tran} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุ (W/m^2)

τ คือ การส่งผ่านความร้อนของวัสดุ

และส่วนฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุไปยังอากาศมีสมการเป็น

$$q'' = \varepsilon \sigma (T^4 - T_{sky}^4) \quad (2-20)$$

และในหลายกรณีฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีสุทธิจากผิววัสดุไปยังอากาศ มักเขียนในรูปที่ง่ายกว่าคือ

$$q'' = h_r (T - T_{sky}) \quad (2-21)$$

เมื่อ q'' คือ ฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีสุทธิจากผิววัสดุไปยังอากาศ (W/m^2)

T คือ อุณหภูมิของผิววัสดุ (K)

T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า (K)

h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

โดยที่

$$h_r = \varepsilon \sigma (T + T_{sky})(T^2 + T_{sky}^2) \quad (2-22)$$

และ

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (2-23)$$

เมื่อ T_a คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

4. ความร้อนแฝง (Latent Heat)

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่สารคายหรือรับไว้เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ โดยที่สารนั้นมีอุณหภูมิคงที่ ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารหนึ่งหน่วยมวลเรียกว่า ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific latent heat)

พลັกซ์ความร้อนแฝงบริเวณผิวดินเนื่องจากการระเหยของน้ำในดินสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (นฤทธิ์ กลุ่มพงษ์, 2551)

$$LE = F(u)[b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_{sur})] \quad (2-24)$$

สำหรับ $263 \leq T \leq 303$ K ค่า a เท่ากับ 103 Pa/K และ b เท่ากับ 609 Pa

เมื่อ LE คือ ความร้อนแฝง (W/m-K)

Rh คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

โดยที่

$$F(u) = -0.0168fh_c \quad (2-25)$$

เมื่อ

$$f = \begin{cases} 1 & \text{สำหรับดินอิมตัว} \\ 0.6-0.8 & \text{สำหรับดินชื้น} \\ 0.4-0.5 & \text{สำหรับดินแห้ง} \\ 0.1-0.2 & \text{สำหรับดินแห้งแล้ง} \end{cases}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ม.ล.จากรุพันธ์ ทองแถม (2514) ได้ทำการศึกษาเรื่องอิทธิพลของวัสดุคลุมดินและอัตราการให้น้ำในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรด ผลการทดลองพบว่า วัสดุคลุมดินประเภทพลาสติกจะให้ผลดีกว่าวัสดุคลุมดินประเภทกระดาษและฟางข้าวในการเก็บรักษาปริมาณความชื้นในดิน วัสดุคลุมดินชนิดพลาสติกสีดำจะเก็บความชื้นในดินโดยเฉลี่ยได้สูงที่สุด รองลงมาคือพลาสติกใส กระดาษยางแอสฟัลท์ ฟางข้าว และ control ตามลำดับ ส่วนในด้าน

อุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิในดินโดยเฉลี่ยของแปลงปลูกสับปะรดที่ใช้พลาสติกสีดำเป็นวัตถุคลุมดิน จะให้ค่าอุณหภูมิในดินสูงที่สุด รองลงมาคือ พลาสติกใส กระจายยางแอสฟัลท์ ฟางข้าว และ control ตามลำดับ

Tunsuwan, Warrit, Hengsawad, and Sektheera (1984) ได้ทำการศึกษาเรื่องการทดลองใช้ วัสดุคลุมดินกับส้มโอพันธุ์ทองดี พบว่า การคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำจะทำให้อุณหภูมิในดินบริเวณ รากค่อนข้างคงที่มากกว่าการ ไม่คลุมดิน ทำให้ความกว้างของทรงพุ่ม ความสูงของต้น และเส้นผ่าน ศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้คลุมดิน

นาวิ จิระชีวี และคณะ (2555) ทำการศึกษาพัฒนาแนวทางการให้น้ำที่ลดปริมาณน้ำที่เกิน ความจำเป็น และพัฒนาวิธีการให้น้ำแบบประหยัดโดยใช้หลักการท่อเวนจูรี ดำเนินการทดสอบ การใช้งานกับแปลงปลูกข้าวโพดฝักสด 3 ฤดูปลูก ที่ อ. ศรีมหาโพธิ์ จ. ปราจีนบุรี พบว่าสามารถ ประหยัดปุ๋ยเคมีสูตรต่าง ๆ ได้ไม่น้อยกว่า 22-30% เมื่อเทียบกับการให้น้ำทางดินโดยได้ผลผลิตไม่ ลดลง และได้ทำการศึกษาวิธีการให้น้ำและปุ๋ยทางน้ำหาคได้พลาสติกคลุมดินที่กลบขอบพลาสติก อย่างมิดชิดโดยใช้เครื่องจักรคลุมพลาสติกในการปลูกช่วงฤดูร้อน ซึ่งแม้จะมีอุณหภูมิในได้พลาสติก สูงกว่าการกลบขอบพลาสติกบางส่วน ประมาณ 1-3 °C แต่พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการงอกและมีการเจริญเติบโตที่ระยะ 2 สัปดาห์หลังปลูกไม่แตกต่างกัน

อรรรณา ค้วงแพง และคณะ (2555) ทำการศึกษาอิทธิพลของการคลุมพลาสติกต่อการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับความลึก 30 เซนติเมตร ดำเนินการทดลองโดยทำ แปลงทดลองขนาด 1.2x6 เมตร จำนวน 4 แปลง ทำการทดลองดังนี้ แปลงที่ 1 ไม่คลุมพลาสติกและ ไม่ปลูกข้าวโพดหวาน แปลงที่ 2 ไม่คลุมพลาสติกและปลูกข้าวโพดหวาน แปลงที่ 3 คลุมพลาสติกดำ และไม่ปลูกข้าวโพดหวาน และแปลงที่ 4 คลุมพลาสติกดำและปลูกข้าวโพดหวาน ข้าวโพดหวาน เป็นพันธุ์ลูกผสม ไวท์สวีทเตอร์ 65 บันทึกข้อมูลอุณหภูมิดินที่ผิวดินและระดับความลึก 2.5, 5, 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ด้วย Thermocouple type T ทุกวัน วันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้า เวลา 6.00 น. และ ช่วงบ่าย เวลา 15.00 น. ตั้งแต่เดือน มกราคม – มีนาคม 2552 ผลการศึกษาพบว่า ในตอนบ่าย อุณหภูมิดิน ของแปลงที่ไม่คลุมพลาสติกและไม่ปลูกข้าวโพดหวานมีอุณหภูมิสูงถึง 35-40 °C การคลุมพลาสติก ทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินและลึกลงไปจากผิวดินลดลง เช่นเดียวกันกับแปลงที่มีไม่คลุมพลาสติกแต่มี การปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อต้นข้าวโพดหวานโตขึ้นและมีทรงพุ่มปกคลุมอยู่บนแปลงทำให้อุณหภูมิดิน ในแปลงลดลง การคลุมพลาสติกไม่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานแตกต่างจาก การปลูกในแปลงที่ไม่คลุมพลาสติก แต่ทำให้ออกดอกเร็วขึ้น

Ham, Kluitenberg, and Lamont (1993) ได้ศึกษาเรื่องสมบัติเชิงแสงของพลาสติกคลุม ดินที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า พลาสติกสีขาวและสี

เงินมีการสะท้อนของรังสีได้มากที่สุด และพบว่าการนำความร้อนผ่านพลาสติกและบริเวณผิวดินมีผลต่อการขอบเขตกระจายตัวของอุณหภูมิของอุณหภูมิ

Hanna et al. (1997) ได้ทำการศึกษาเรื่องการทดสอบการคลุมดินด้วยพลาสติกสีขาวและการให้น้ำหยดช่วงเช้ากับมะเขือเทศ ผลการศึกษาพบว่า การคลุมดินด้วยพลาสติกสีขาวจะช่วยลดอุณหภูมิของราก ส่วนการใช้น้ำหยดในช่วงเช้าและการคลุมดินด้วยพลาสติกสีขาว จะช่วยลดอุณหภูมิในดินได้ 1.3 - 0.45 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับการคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำตลอด 2 ปีที่ทำการทดลอง

Díaz-Pérez and Dean Batal (2002) ได้ศึกษาเรื่องสีของพลาสติกคลุมดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศและการได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณรากพืช โดยได้ทำการทดลองในบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากพลาสติกในแต่ละวันจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล การคลุมด้วยพลาสติกจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ (1-5 °C) ในตอนกลางวันอุณหภูมิบริเวณรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อคลุมด้วยพลาสติกสีดำ และจะมีค่าต่ำสุดเมื่อไม่คลุมดินหรือคลุมด้วยพลาสติกสีขาว การคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำหรือสีเทาจะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันสูงขึ้นถึง 4 °C เมื่อเทียบกับการไม่คลุมดิน อุณหภูมิของดินที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับการสะท้อนแสงของพลาสติกคลุม โดยพบว่าพลาสติกสีดำจะมีการสะท้อนแสงน้อยที่สุด ในขณะที่พลาสติกสีเงินมีการสะท้อนแสงได้มากที่สุด

Locher, Ombódi, Kassai, and Dimény (2005) ได้ทำการศึกษาเรื่องอิทธิพลของสีพลาสติกคลุมดินมีผลต่ออุณหภูมิและผลผลิตของพริกหยวก ที่ปลูกในบริเวณทางตอนเหนือของฮังการี ผลการศึกษาพบว่า พลาสติกคลุมดินที่มีสีอ่อน (ใส ม่วง และเขียวอ่อน) จะทำให้อุณหภูมิของดินสูงขึ้น 2.5-2.9 °C โดยเฉพาะพลาสติกสีม่วงซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้อาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ แต่ในกรณีคลุมด้วยพลาสติกสีเข้ม (ดำ เขียวเข้ม แดง) จะทำให้อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น 1.4-2.1 °C

Ajay Kumar Singh and Shashi Kamal (2012) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลของการคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำที่มีต่ออุณหภูมิและผลผลิตของมะเขือเทศที่ปลูกทางเทือกเขา Garhwal Himalayas ผลการศึกษาพบว่า การคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 2.3-3.4 °C และทำให้ผลผลิตมะเขือเทศเพิ่มขึ้น 20.7-29.8%

กล่าวโดยสรุป จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การใช้พลาสติกคลุมดินมีผลต่ออุณหภูมิทำให้อุณหภูมิในดินบริเวณรากค่อนข้างคงที่มากกว่าการไม่คลุมดิน นอกจากนี้ ยังช่วยทำให้ความกว้างของทรงพุ่ม ความสูงของต้น และเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าไม่ได้คลุมดิน

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายขึ้นสำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในดิน วิธีการดำเนินงานจึงแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ในสวนบ้านครอบครัว บ้านเลขที่ 57 หมู่ 1 ตำบลสะพานหิน อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยเลือกต้นมะนาวที่มีความสมบูรณ์และกำลังออกดอก มีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังนี้

1. ทำการสำรวจความชื้นดิน โดยนำเครื่องมือวัดความชื้น Tensiometer ติดตั้งที่บริเวณโคนต้นมะนาว ดังภาพที่ 3-1 และ 3-2 เริ่มบันทึกวันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูลในภาคผนวก ง



ภาพที่ 3-1 เครื่องมือวัดความชื้นของดิน



ภาพที่ 3-2 การวัดค่าความชื้น

2. ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ โดยเลือก ต้นมะนาวที่มีความสมบูรณ์และกำลังออกดอก จำนวน 2 ต้น จากนั้นทำการคลุมด้วยพลาสติกสีดำ จำนวน 1 ต้น แล้วเก็บข้อมูลอุณหภูมิ มีขั้นตอนนี้

2.1 นำเครื่องมือวัดอุณหภูมิ Digicon DP-70 และสายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค (Type -K) ซึ่งวัดค่าอุณหภูมิได้ในช่วง -40 - 250 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3-3 ไปวัดบริเวณใกล้โคนต้นมะนาว ที่ความลึกจากผิวดิน 0.00 0.10 0.20 และ 0.30 เมตร ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและสายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค



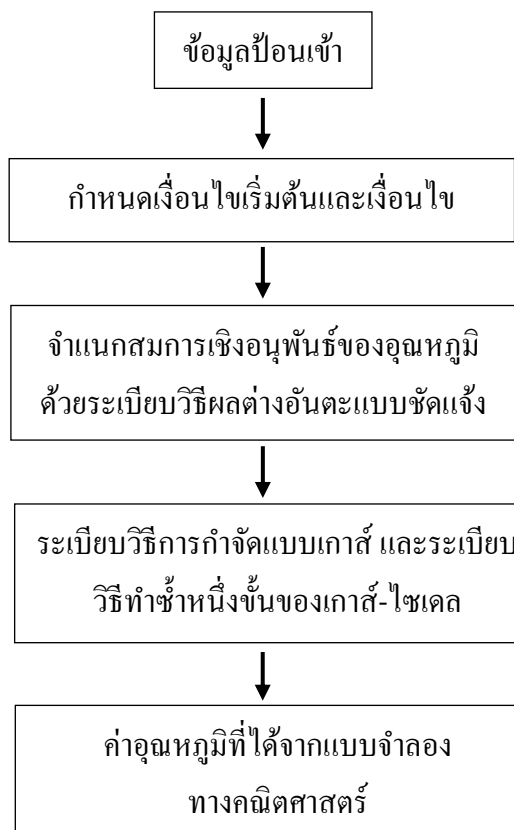
ภาพที่ 3-4 การติดตั้งหัววัดที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของต้นมะนาวที่กำลังออกดอก

2.2 บันทึกค่าอุณหภูมิ เป็นเวลา 3 วัน ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูลในภาคผนวก จ

2.3 นำค่าอุณหภูมิมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิของดิน ซึ่งเป็นการจำแนกสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งเป็นสมการพาราโบลาโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างอันตะแบบชัดเจน (Explicit Finite Difference Method) และอาศัยระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์ และระเบียบวิธีทำซ้ำหนึ่งชั้นของเกาส์-ไซเดล ดังแสดงรายละเอียดการแก้สมการหาคำตอบในภาคผนวก ก สำหรับหาอุณหภูมิของดิน ณ บริเวณต่าง ๆ โดยเริ่มจากการกำหนดค่าต่าง ๆ ในการคำนวณคือ ขอบเขตความหนาชั้นเวลา คุณสมบัติทางกายภาพของดินและพลาสติกคลุมดิน แล้วป้อนข้อมูลดังกล่าวลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Excel เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิ แสดงไว้ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรม ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรม ได้แก่ ขอบเขตความหนา ชั้นเวลา ค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ สมบัติทางแสงของพลาสติกคลุมดินและสมบัติทางกายภาพของดิน มีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังนี้

1.1 ขอบเขตความหนา การศึกษาได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงอรรถุณุมิของดินที่ความลึกไม่เกิน 0.40 เมตร ดังนั้นจึงแบ่งความลึกของดินออกเป็น 4 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนา 0.10 เมตร

1.2 ชั้นเวลา การศึกษาได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงอรรถุณุมิของดินในแต่ละช่วงเวลาซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงแบ่งชั้นเวลาในการศึกษาออกเป็นชั้นละ 3,600 วินาที

1.3 ค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ อรรถุณุมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นค่าที่มีผลต่ออรรถุณุมิบริเวณผิวของพลาสติกคลุมดิน

1.4 คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกคลุมดิน ได้แก่ สภาพดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ สภาพการแผ่รังสี และการส่งผ่านรังสี ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างพลาสติกความหนา 0.10 0.15 0.20 และ

0.25 มม. ไปตรวจวัดตามมาตรฐาน ASTM C 1371 ที่ห้องทดลองคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่น ได้จากการนำตัวอย่างดิน มาวัดค่าในห้องทดลอง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ดังภาพที่ 3-6 ค่าความจุความร้อนจำเพาะได้จากการทดลองของอุษาวดี ตันติวานุรักษ์ และคณะ (Usavadee, Sirichai, Suvit, & Sakarin, 2006) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,130 จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน ค่าความชื้นดินเฉลี่ยได้จากการเก็บข้อมูล จากสวนบ้านครูบอล ส่วนสภาพการนำความร้อน ผู้วิจัยส่งตัวอย่างดินไปตรวจตามมาตรฐาน ASTM C 177 และ ASTM D 1622 ที่ห้องทดลองอาคารวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



ภาพที่ 3-6 ชั่งน้ำหนักก้อนดินด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล

2. การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต (Initial and Boundary Conditions)

สำหรับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเพื่อหาค่าการกระจายอุณหภูมิภายในดิน จำเป็นต้องแก้สมการในสถานะที่เหมาะสม ซึ่งผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับสถานะทางกายภาพที่ขอบเขตของดิน ถ้าสถานะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ผลลัพธ์นี้จะขึ้นอยู่กับสถานะของดิน ณ เวลาเริ่มต้นด้วย

2.1 เงื่อนไขเริ่มต้น

ในการคำนวณหาอุณหภูมิของดิน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ผู้วิจัยได้วัดค่าอุณหภูมิที่ผิวดิน และพลาสติก ณ เวลา 07.00 น. ของวันที่ 25 – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 หลังจากนั้นทำการคำนวณหา ค่าอุณหภูมิของดิน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

2.2 เงื่อนไขขอบเขต

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเพื่อหาค่าการกระจายอุณหภูมิภายในดิน ในครั้งนี้ ได้แบ่งขอบเขตของการพิจารณาดังนี้

กรณีไม่มีพลาสติกคลุมดิน พิจารณาภาพที่ 3-7 (ก) การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณผิวดิน ($x=0$) พลังงานความร้อนที่สะสมบริเวณผิวดินเกิดจากการดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวดิน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการระเหยของน้ำ ซึ่งความร้อนที่บริเวณผิวดินนี้จะถูกส่งผ่านด้วยการนำความร้อนไปยังชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

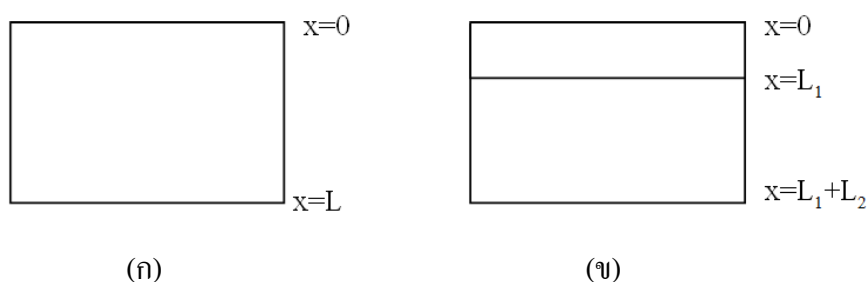
$$-k_s \left. \frac{\partial^2 T}{\partial x_s^2} \right|_{x=0} = \frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T_{su}) - \epsilon_s(T^4 - T_{sky}^4) - 0.0168 f h_c [b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_{su})] \quad (3-1)$$

ที่บริเวณดินด้านล่าง ($x=L$) อุณหภูมิมีค่าคงที่ ดังนั้นมีเกรเดียนท์ของอุณหภูมิเป็นศูนย์ ดังสมการ (3-2)

$$-k_s \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{x=L} = 0 \quad (3-2)$$

สำหรับการถ่ายเทความร้อนภายในดิน ($0 \leq x \leq L$) เกิดจากการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว เขียนได้ดังสมการ (3-3)

$$k_s \frac{\partial^2 T}{\partial x_s^2} = \rho_s c_{ps} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3-3)$$



ภาพที่ 3-7 ขอบเขตของการพิจารณาอุณหภูมิดิน (ก) ไม่มีพลาสติกคลุมดิน (ข) มีพลาสติกคลุมดิน

กรณีมีพลาสติกคลุมดิน การถ่ายเทความร้อนจากบริเวณผิวพลาสติกไปยังผิวดิน ($x=0$) ในภาพที่ 3-7 (ข) เกิดจากการส่งผ่านความร้อนของพลาสติก การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน สามารถเขียนสมการดังนี้

$$-k_s \frac{\partial^2 T}{\partial x_s^2} \Big|_{x=0} = \frac{\tau_p I(t)}{3600} + h_c (T_a - T_p) - \alpha \epsilon_p (T_p^4 - T_{sky}^4) \quad (3-4)$$

เมื่อพิจารณาพลาสติกมีความหนาน้อยมาก การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณรอยต่อระหว่างพลาสติกและผิวดิน ($x=L_1$) เกิดจากการบวนการนำความร้อน ดังสมการ (3-5)

$$-k_p \frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{x=L_1} = -k_s \frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{x=L_1} \quad (3-5)$$

ที่บริเวณดินด้านล่าง ($x=L_1+L_2$) อุณหภูมิมีค่าคงที่ ดังนั้นมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิเป็นศูนย์ ดังสมการ (3-6)

$$-k_s \frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{x=L_1+L_2} = 0 \quad (3-6)$$

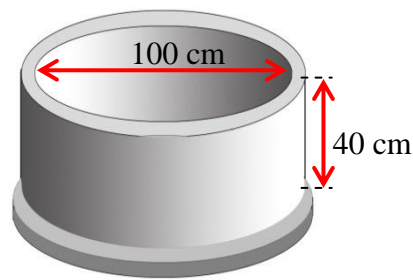
การถ่ายเทความร้อนภายในดิน ($L_1 \leq x \leq L_1 + L_2$) เกิดจากการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว เขียนได้ดังสมการ (3-3)

3. คำนวณค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง

หลังจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลของอุณหภูมิเป็นที่เรียบร้อยแล้วจากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยทำการทดลองแล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในวันและเวลาเดียวกัน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เตรียมดินสำหรับทำการทดลอง เป็นขั้นตอนก่อนทำการติดตั้งเครื่องมือ ผู้วิจัยจะเตรียมดินตามอัตราส่วน ซึ่งประกอบด้วย ดินร่วน 3 ส่วน แกลบ 1 ส่วน จี๊เจ้าแกลบ 1 ส่วน และปุ๋ยคอก 1 ส่วน ผสมให้เข้ากันแล้วตักใส่ท่อซีเมนต์ ดังภาพที่ 3-8 จำนวน 2 ท่อ แล้วทำการรดน้ำในปริมาณที่เท่ากันให้พอเหมาะทั้งสองท่อ จากนั้นคลุมด้วยพลาสติกสีดำความหนา 0.10 มิลลิเมตร จำนวน 1 ท่อ



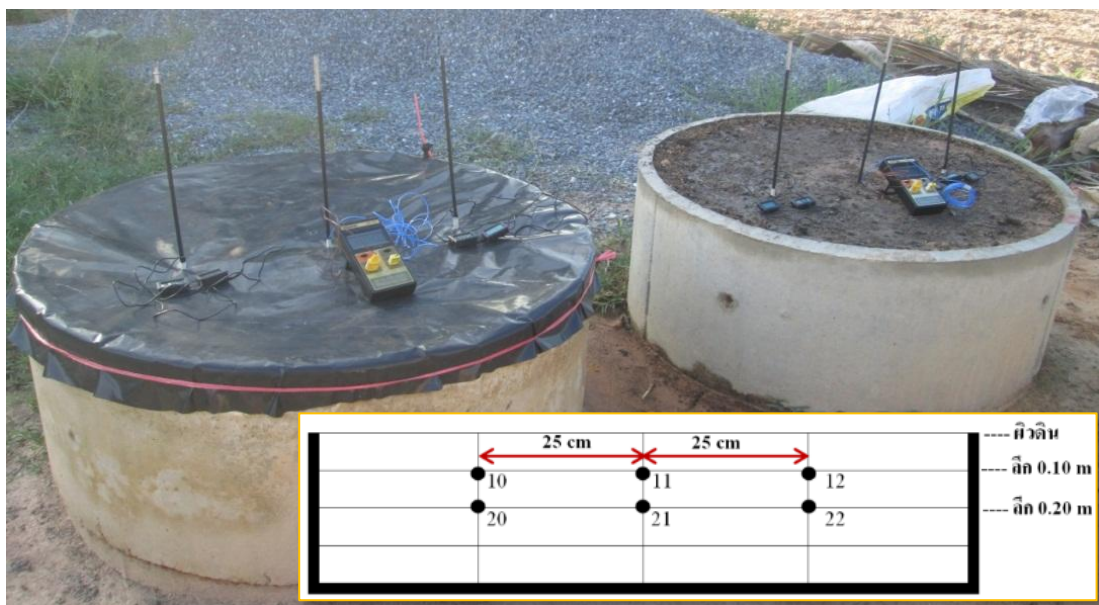
ก) การเตรียมท่อซีเมนต์



ข) ใส่นินที่ผสมตามอัตราส่วน

ภาพที่ 3-8 การเตรียมดินปลูग्มะนาว

2. ทำการทดลอง โดยนำเครื่องมือวัดอุณหภูมิ Digicon DP-70 และสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type -K) ในดินสำหรับปลูग्มะนาวในท่อซีเมนต์ ทั้งกรณีที่มีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0.10 และ 0.20 เมตร ตามลำดับ โดยแต่ละระดับความลึกจะติดตั้งหัววัดจำนวน 3 หัววัด ในแนวรัศมีห่างจากจุดศูนย์กลาง 0.25 เมตร รวมทั้งสิ้น 12 จุด ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 การติดตั้งหัววัดที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของดิน

4. บันทึกค่าอุณหภูมิเป็นเวลา 6 วัน มีขั้นตอนดังนี้

4.1 รดน้ำท่อที่ไม่มีพลาสติกคลุมในปริมาณ 20 ลิตร จากนั้นเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

4.2 รดน้ำท่อที่ไม่มีพลาสติกคลุมในปริมาณ 20 ลิตร จากนั้นเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

4.3 รดน้ำท่อที่ไม่มีพลาสติกคลุมในปริมาณ 20 ลิตร จากนั้นเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

5. นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบเชิงสถิติกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น โดยหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน ดังสมการ (3-7) ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ในภาคผนวก จ

$$\% Error = \left| \frac{O_i - P_i}{P_i} \right| \times 100 \quad (3-7)$$

เมื่อ O_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

P_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการทำนาย

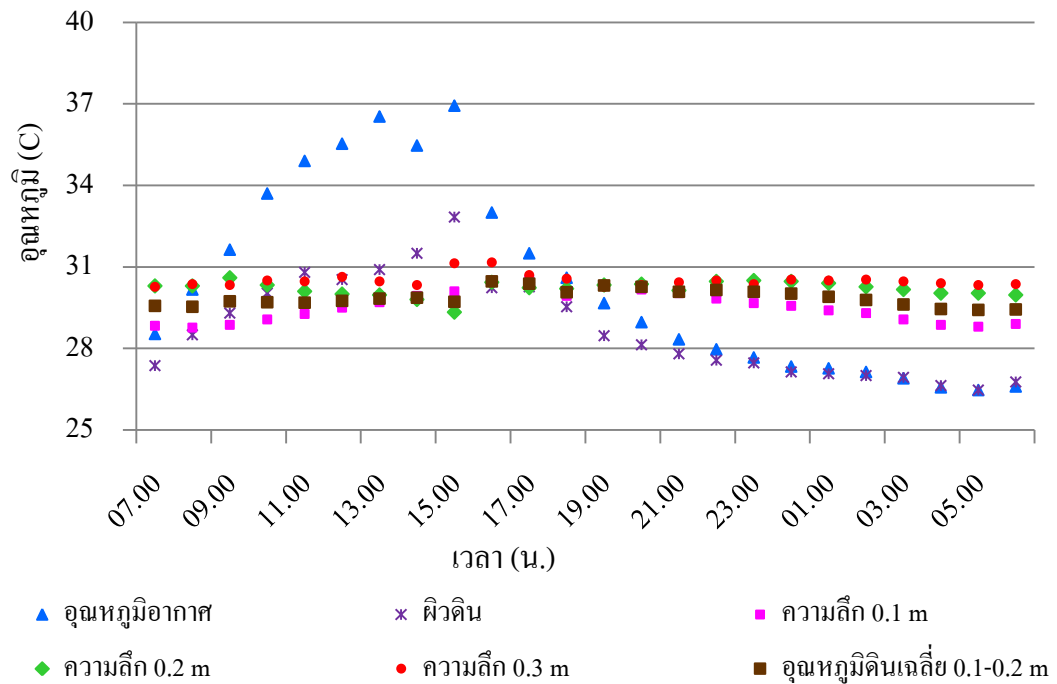
บทที่ 4

ผลการวิจัย

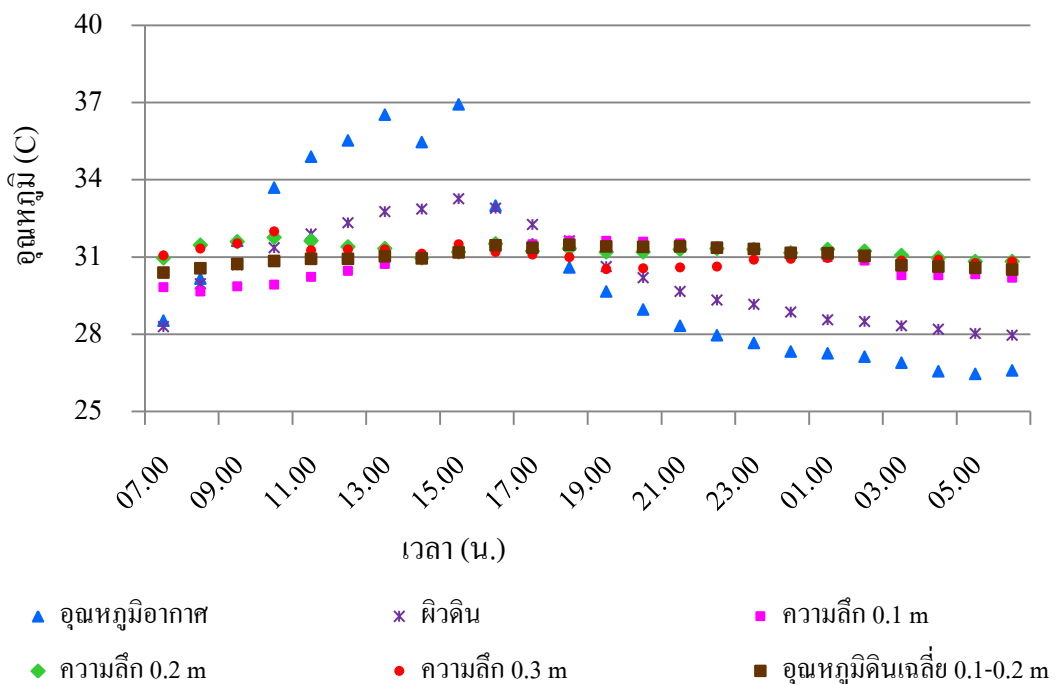
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกระนาดในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน โดยทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกระนาด แล้วสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดินตามระดับความลึกต่าง ๆ จากนั้นทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกระนาดในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน

จากการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกระนาดในท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร เมื่อมีพลาสติกคลุมดินความหนา 0.1 มม. และไม่มีพลาสติกคลุมดิน ในระหว่างการออกดอกของมะนาวพันธุ์แป้นจรีอายุ 8 เดือน ณ สวนครอบครัว โดยเริ่มทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินตั้งแต่ เวลา 07.00 น. ของวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 มีพบว่าความชื้นดินเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 76.3 สำหรับอุณหภูมิดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกระนาดได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 พบว่าเมื่อไม่มีพลาสติกคลุมดิน อุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกระหว่าง 0.1- 0.2 เมตร มีค่า 29.9 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 29.4 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 05.00 น. และมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยสูงสุด 30.5 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 16.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (ก) และเมื่อมีพลาสติกคลุมดินอุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกระหว่าง 0.1 - 0.2 เมตร มีค่า 31.0 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 30.4 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 07.00 น. และมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยสูงสุด 31.5 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 16.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิดินเมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน พบว่าการคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำทำให้อุณหภูมิดินเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น 1-3 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดินเฉลี่ยจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณผิวดิน ส่วนที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินจะมีค่าน้อยลง ดังภาพที่ 4-2



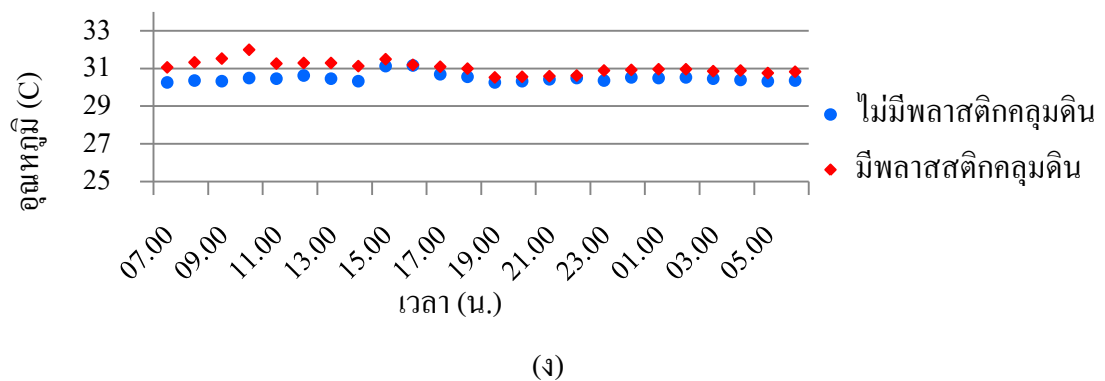
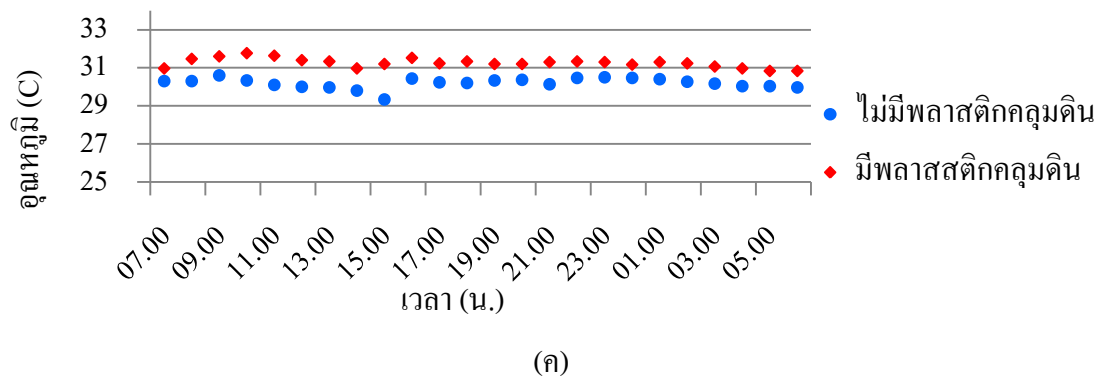
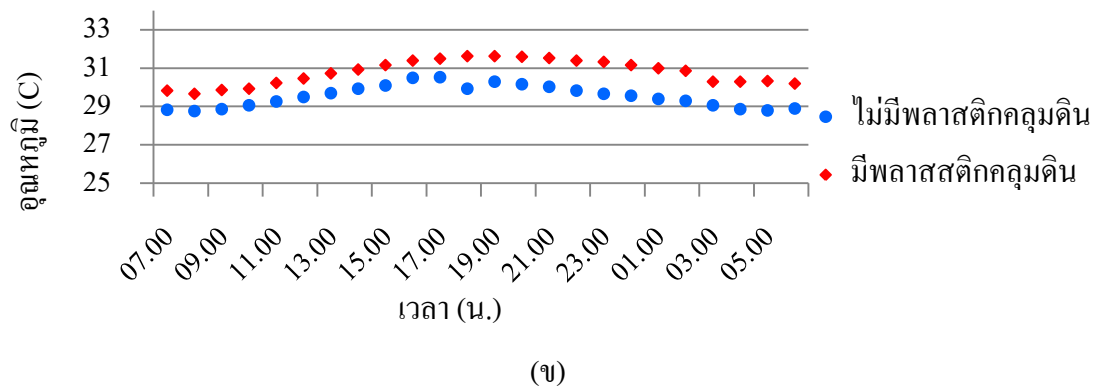
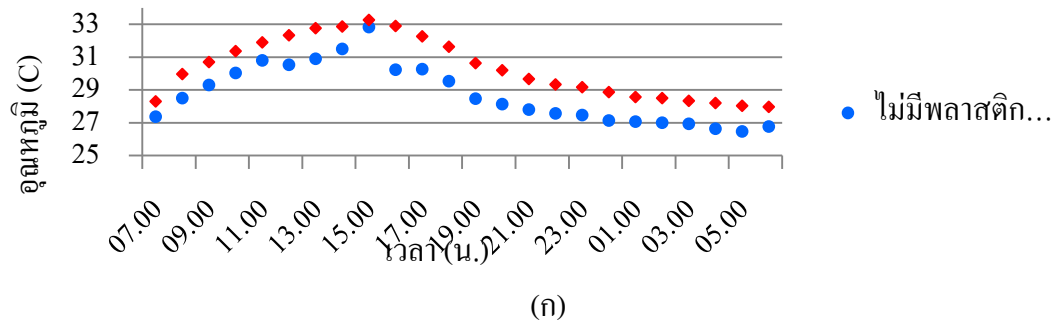
(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-1 การกระจายตัวของอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์

(ก) ไม่มีพลาสติกคลุมดิน (ข) มีพลาสติกคลุมดิน



ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบของอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกสีดำคลุมดิน (ก) ที่บริเวณผิวดิน (ข) ความลึก 10 ซม. (ค) ความลึก 20 ซม.(ง) ความลึก 30 ซม.

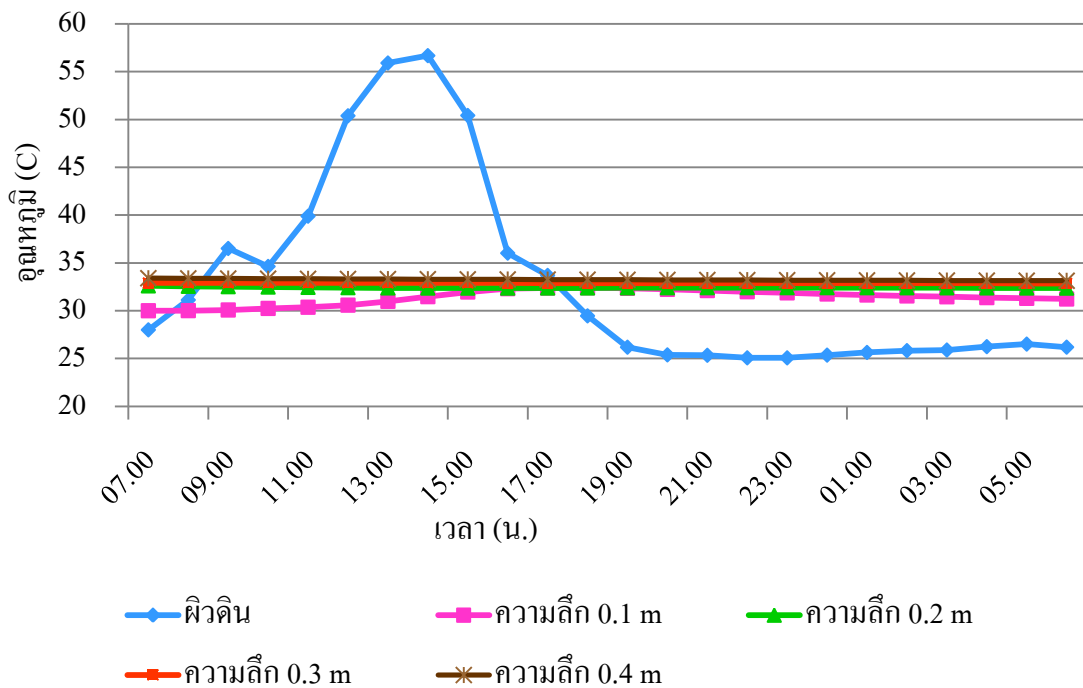
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ซึ่งได้ส่งตัวอย่างพลาสติกความหนา 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 มม. ไปตรวจวัดตามมาตรฐาน ASTM C 1371 ที่ห้องทดลองคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พบว่าสภาพการส่งผ่านความร้อนของพลาสติกที่ความหนา 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 มม. มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-1 การวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกพลาสติกสีดำความหนา 0.10 มม. ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้และหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด มาคลุมบริเวณโคนต้นมะนาว

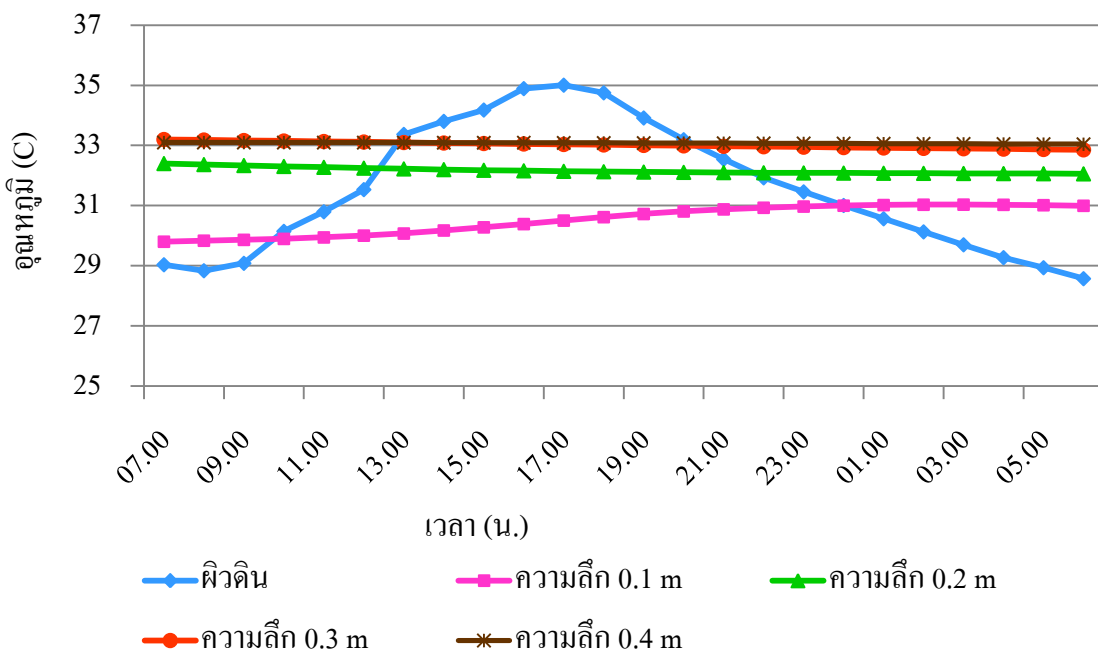
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ การส่งผ่านรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ และค่าการแผ่รังสีความร้อนของพลาสติก

ความหนา(mm)	การดูดกลืนรังสี	การส่งผ่านรังสี	การแผ่รังสี
0.10	0.946	0.005	0.90
0.15	0.945	0.004	0.91
0.20	0.952	0.000	0.88
0.25	0.946	0.001	0.88

จากผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน โดยมีความหนาแน่นของดินเท่ากับ 1,457.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความชื้นดินเท่ากับร้อยละ 76.3 ความจุความร้อนจำเพาะของดินเท่ากับ 1,130 จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน สภาพการนำความร้อนของดินเท่ากับ 0.1518 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน สภาพการแผ่รังสีของพลาสติกเท่ากับ 0.90 และค่าการส่งผ่านความร้อนของพลาสติกเท่ากับ 0.005 ทำการประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Excel พบว่ากรณีไม่มีพลาสติกคลุมดิน อุณหภูมิดินมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลากลางวัน โดยจะมีค่ามีสูงสุดที่บริเวณผิวดิน เมื่อเวลา 15.00 น. และมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ผิวดินเมื่อเวลาประมาณ 18.00 น. ส่วนในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิดินมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังภาพที่ 4-3 (ก) และกรณีมีพลาสติกคลุมดิน อุณหภูมิดินมีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อเวลาประมาณ 07.00 น. และมีอุณหภูมิสูงสุด เมื่อเวลา 18.00 น. นอกจากนั้นยังพบว่าค่าของอุณหภูมิที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงเช่นเดียวกับเมื่อไม่มีพลาสติกคลุมดิน ดังภาพที่ 4-3 (ข)



(ก)

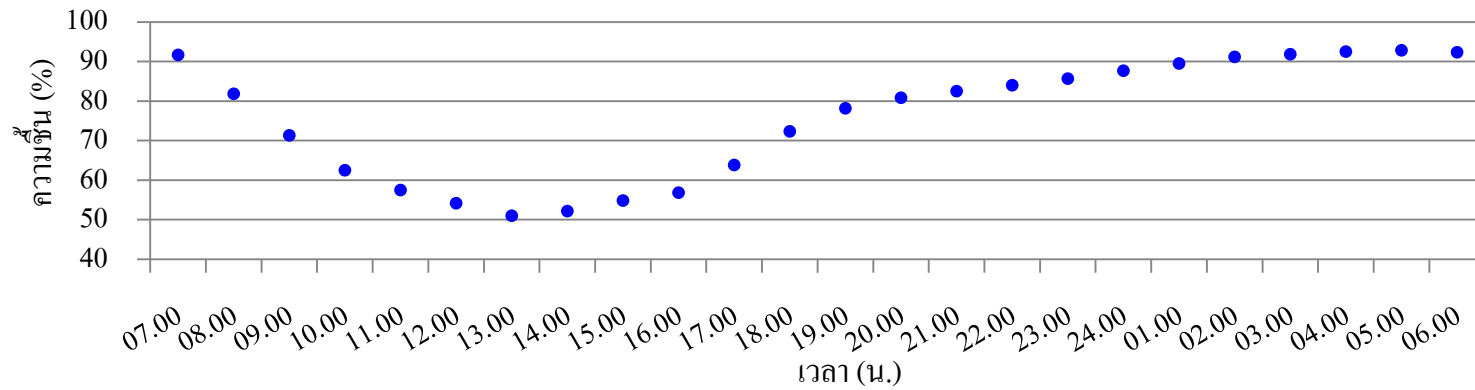


(ข)

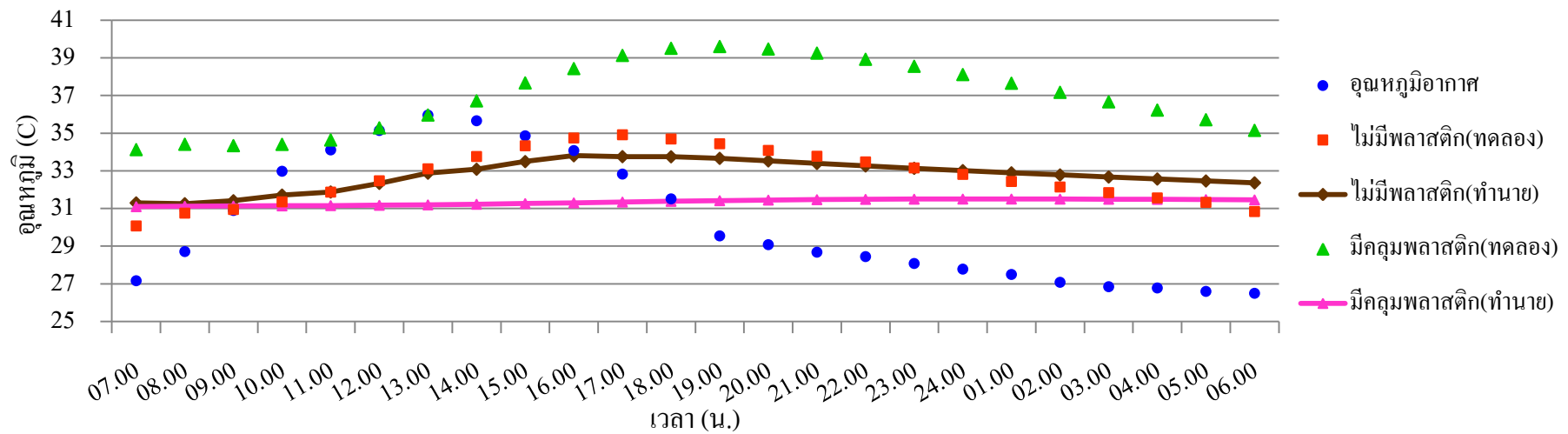
ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน (ก) ไม่มีพลาสติกคลุมดิน (ข) มีพลาสติกคลุมดิน

การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิสำหรับปลุกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ได้ทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0.10 และ 0.20 เมตร ณ สวนรอยยิ้มของพ่อ ตำบลหนองตะเคียนบอน อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเวลา 06.00 น. ของวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 พบว่าในช่วงเวลา 07.00 – 13.00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง และในช่วงเวลา 13.00 – 06.00 น. อุณหภูมิของอากาศมีค่าลดลงแต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4-4 และ 4-5 และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิดินในภาพที่ 4-5 เมื่อไม่มีพลาสติกคลุมดิน พบว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงมากกว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลอง โดยอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าระหว่าง 30.1 – 34.9 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลองมีค่าระหว่าง 31.3 – 33.8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเวลา 07.00 น. เท่ากับร้อยละ 4.06 และอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเวลา 17.00 น. เท่ากับร้อยละ 3.33 และเมื่อมีพลาสติกคลุมดินค่าอุณหภูมิความหนา 0.1 มม. พบว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 34.1 – 39.6 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลองมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 31.1 – 31.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเวลา 07.00 น. เท่ากับร้อยละ 8.89 และอุณหภูมิดินเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเวลา 19.00 น. เท่ากับร้อยละ 20.68 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในภาคผนวก จ



ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของดินในแต่ละช่วงเวลาต่าง ๆ

บทที่ 5

อุณหภูมิตามเวลาและสภาพแวดล้อม

จากการศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน โดยทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาว แล้วสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดินตามระดับความลึกต่าง ๆ จากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง สามารถอธิบายและสรุปผลได้ดังนี้

อธิบายผล

จากการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ณ สวนบ้านครูบอล โดยทำการรดน้ำเป็นประจำ 2 วันครั้ง เมื่อวัดค่าความชื้นของดินพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หลังจากทำการรดน้ำค่าความชื้นดินมีแนวโน้มลดลงมากในช่วงกลางวัน เนื่องจากดินจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดการนำความร้อนจากผิวดินลงสู่ดินชั้นล่าง ทำให้น้ำในดินมีการระเหยมาก โดยเฉพาะที่บริเวณผิวดินค่าความชื้นจึงมีค่าลดลงมาก และในช่วงเวลากลางคืนค่าความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเวลากลางคืนไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวดินชั้นล่าง จึงเกิดการนำความร้อนในดินจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ทำให้น้ำในดินด้านล่างเกิดการระเหยขึ้นมาสู่ชั้นดินด้านบน ค่าความชื้นดินจึงมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวดินเมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นเดียวกันคือ อุณหภูมิผิวดินจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน การใช้พลาสติกคลุมดินจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของดินมีค่าสูงขึ้น 1-3 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานาวี จิระชีวี และคณะ (2555), Díaz-Pérez and Dean Batal (2002), Locher et al. (2005), Ajay Kumar Singh and Shashi Kamal (2012) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ยังอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวตามการศึกษาของเมนเดล

จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิดิน โดยมีค่าความหนาแน่นของดินเท่ากับ 1,457.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความชื้นดินเท่ากับร้อยละ 76.3 ความจุความร้อนจำเพาะของดินเท่ากับ 1,130 จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน สภาพการนำความร้อนของดินเท่ากับ 0.1518 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน สภาพการแผ่รังสีของพลาสติกเท่ากับ 0.90 และค่าการส่งผ่านความร้อนของพลาสติกเท่ากับ 0.005 พบว่าเมื่อไม่มีพลาสติกคลุมดิน อุณหภูมิของดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิดินมีค่าค่อนข้างคงที่และเมื่อมีพลาสติกคลุมดินค่าความหนา 0.10 มม. ค่าอุณหภูมิผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับ

การไม่มีพลาสติกคลุมดินคือมีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระดับความลึกลงไปอุณหภูมิดินมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ผิวดิน สาเหตุเนื่องจากการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ได้นำส่วนของการถ่ายเทความร้อนจากการระเหยของน้ำในดินมาพิจารณา มีเพียงการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวดินเท่านั้น

การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลอง พบว่าอุณหภูมิดินจากการทดลองและจากแบบจำลองจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันคือ มีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน ส่วนที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง เมื่อนำค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าการทดลองจะเห็นมีค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลองตลอดทั้งวันมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยจากการทดลอง สาเหตุเนื่องมาจากการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้จากการใช้ค่าความชื้นดินคงที่เท่ากับร้อยละ 76.3 ซึ่งเกิดจากการนำค่าความชื้นดินมาเฉลี่ย แต่ในการทดลองค่าความชื้นดินจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้ดินมีการถ่ายเทความร้อนร่วมกับการถ่ายเทมวลด้วย และการถ่ายเทความร้อนของดินในท่อซีเมนต์อาจมิได้เกิดจากการนำความร้อนภายในดินในแนวตั้งเท่านั้น แต่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณด้านข้างและด้านล่างของท่อซีเมนต์ด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนของอุณหภูมิอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากพลังงานของแสงอาทิตย์ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิดินมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง และเมื่ออุณหภูมิกาลลงจะส่งผลให้อุณหภูมิดินมีค่าลดลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น การคำนวณค่าในแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลความชื้นของแสงอาทิตย์ ค่าความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ จากกรมอุตุนิยมวิทยา อาจมีค่าแตกต่างจากข้อมูลในพื้นที่จริง จึงเป็นสาเหตุสำคัญอีกประการที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิจากการทดลองกับการเก็บข้อมูลจะพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยจากการทดลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล เนื่องจากในการทดลองไม่มีการปลุกมะนาว แสงจากดวงอาทิตย์จึงตกกระทบผิวดินได้มากกว่า แต่สำหรับการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการวัดอุณหภูมิดินใต้ต้นมะนาวอายุ 8 เดือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีค่าขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ส่องบริเวณโคนต้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

1. งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของดินสำหรับการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดิน ของมะนาวพันธุ์เป็นจรียา อายุ 8 เดือน ขณะกำลังออกดอก พบว่า อุณหภูมิดินเฉลี่ยที่เหมาะสมต่อการออกดอกของมะนาวที่ระดับความลึกระหว่าง 0.1- 0.2 เมตร มีค่าระหว่าง 29.4 - 30.5 องศาเซลเซียส และเมื่อคลุมดินด้วยพลาสติกสีดำ จะทำให้อุณหภูมิดินเฉลี่ยระหว่าง 30.4 - 31.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 1-3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ยังคงอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวของเมนเดล โดยความหนาของพลาสติกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นเกษตรกรจึงสามารถใช้พลาสติกสีดำในการคลุมดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ได้

2. อุณหภูมิดินสำหรับปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์จากแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์เมื่อมีพลาสติกคลุมดินมีลักษณะเช่นเดียวกับการไม่มีพลาสติกคลุมดินคือมีการเปลี่ยนแปลงมากที่บริเวณผิวดิน ส่วนที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง อุณหภูมิดินเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ระดับความลึกระหว่าง 0.1- 0.2 เมตร เมื่อมีและไม่มีพลาสติกคลุมดินมีค่าระหว่าง 31.3-33.8 องศาเซลเซียส และ 31.4-31.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงของอุณหภูมิที่ได้จากการเก็บข้อมูล และยังคงอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของเมนเดล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจึงสามารถใช้ทำนายอุณหภูมิของดินได้ใน 1 มิติ ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0.10 และ 0.20 เมตร โดยในกรณีที่ไม่มีการคลุมดิน ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเวลา 07.00 น. เท่ากับร้อยละ 4.06 น. และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเวลา 17.00 น. เท่ากับร้อยละ 3.33 และกรณีที่หมีพลาสติกคลุมดินมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเวลา 07.00 น. เท่ากับร้อยละ 8.89 และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเมื่อเวลา 19.00 น. เท่ากับร้อยละ 20.68

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกมะนาวในท่อซีเมนต์ อาจมีค่าแตกต่างจากนี้ขึ้นอยู่กับอายุและชนิดพันธุ์ของมะนาว
2. การใช้ค่าอุณหภูมิจากแบบจำลอง เพื่อให้ผลการทำนายมีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้น ควรใช้สมบัติทางกายภาพของดิน ค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และความเร็วลมจากพื้นที่จริง

บรรณานุกรม

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่8). กรุงเทพฯ: เรื่องกรรมการพิมพ์.
- นฤทธิ์ กล่อมพงษ์. (2551). *การศึกษาการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในดิน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นรินทร์ พูลเพิ่ม.(ม.ป.ป.). *เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู ในวงบ่อซีเมนต์. จดหมายข่าวผลไม้*. เข้าถึงได้จาก http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n11/v_11-aug/kayaipon.html
- นาวิ จิระชีวี, สราวุฒิ ปานทน, วันชัย คุปวานิชพงษ์, วิโรจน์ โหราศาสตร์, ขนิษฐ หว่านณรงค์, ธวัชชัย สวัสดิ์, สมนึก นิยะโต และสุรัชย์ สวยลิก. (2555). การศึกษาระบบชลประทานน้ำหยดร่วมกับการพัฒนาอุปกรณ์จ่ายปุ๋ยแบบประหยัดและพลาสติกคลุมดิน. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่13* (หน้า 688). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- บัณฑิต เจริญจำ. (2547). *การศึกษาสภาพความเครียดน้ำและสารแพคโคลบิวทราโซลต่อการออกดอกของมะนาวพันธุ์แป้น*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ม.ล.จารุพันธ์ ทองแถม. (2514). *อิทธิพลของวัสดุคลุมดินและอัตราการให้น้ำในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของส้มประด*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รวี เสธฐักดี. (2543,ตุลาคม). *เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู*. *KU eMagazine*, 1(4). เข้าถึงได้จาก <http://www.ku.ac.th/e-magazine/october43/lemon/>
- วัชรระ ไชยณุกุล. (2553). *ต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนทำสวนมะนาวในอำเภอท่าสาย จังหวัดเพชรบุรี*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทั่วไป, คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ศุภกิจ แก้วถนอม. (2540). *การปลูกมะนาว*. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). *สรีรวิทยาของพืช*. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- สมศรี จรุงรุ่งเรือง. (2542). *ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. (2531). *มะนาว*. กรุงเทพฯ: สหมิตรออฟเซท.

- สุนันท์ ศรีณขนิตย์. (2545). *การถ่ายเทความร้อน*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) อบรมฯ ดั่งแพง, เศรษฐ์ เจริญเขต, เอกภพ มลินทานุช, ศิริินทร์ จันทโพธิ์, โนบุญฤทธิ โอคาดะ และ ฮารุโอะ ชูซูกิ. (2555). ผลของการใช้พลาสติกคลุมดินต่ออุณหภูมิดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์ลูกผสมไวท์สวีทเตอร์ 65. *วารสารวิจัย. กษ*, 43(2) (พิเศษ), 73-76.
- Ajay Kumar Singh & Shashi Kamal. (2012). Effect of black plastic mulch on soil temperature and tomato yield in mid hills of Garhwal Himalayas. *Journal of Horticulture and Forestry*, 4(4), 78-80.
- Davies, F.S., & Albrigo, L.G. (1994). Citrus. Redwood Book, Great Britain. Cited Inoue,H. 1990. Effect of temperature on bud dormancy and flower bud differentiation in satsuma mandarin. *J. Jap. Soc. Hort. Sci*, 58, 919–926.
- Garzoli, K. V., & Blackwell, J. (1981). An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.*, 26, 203-214.
- Hanna, H. Y., Millhollon, E. P., Herrick, J. K., & Fletcher, C. L. (1997). Increased Yield of Heat-Tolerant Tomatoes with Deep Transplanting, Morning Irrigation, and White Mulch. *Hort Science*, 32 (2), 224-226.
- Jay, M. Ham, Kluitenberg, G.J., & Lamont, W.J. (1993). Optical Properties of Plastic Mulches Affect the Field Temperature Regime. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118 (2), 188-193.
- Juan, C. Díaz-Pérez, & Dean, K. Batal. (2002). Colored Plastic Film Mulches Affect Tomato Growth and Yield Via Changes in Root-zone Temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127 (1), 127-135.
- Locher, J., Ombódi, A., Kassai, T., & Dimény, J. (2005). Influence of coloured mulches on soil temperature and yield of sweet pepper . *Europ.J.Hort.Sci.*, 70 (2), 245-251.
- Mendel, K. (1968). The influence of temperature and light on vegetative development of citrus tree. *The 'Iolcani Institute of Agricultural Research (N.U .LA.,)*, Bet Dagan, Israel, 1315 -E.
- Southwick, S.M., & Davenport, T.L. (1986). Characterization of water stress and low temperature effect on flower induction in citrus. *Plant Physiol*, 81, 26-29.

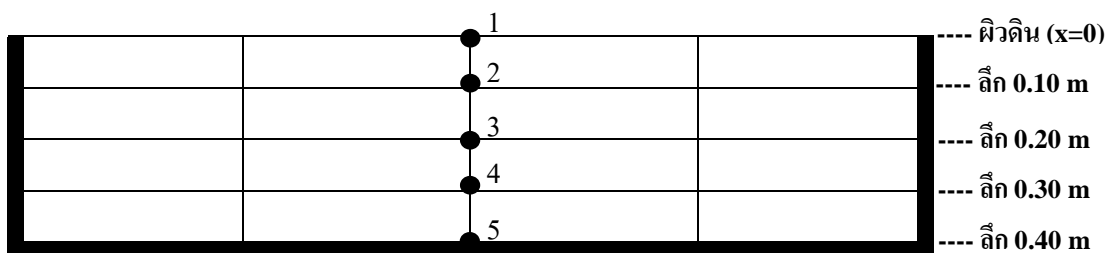
- Tunsuwan, T., Warrit, B., Hengsawad, V., & Sektheera, A. (1984). *Effect of Root Temperature on Growth of Pumelo. Citrus as Opium Poppy Replacement*. Final Report Faculty of Agriculture, Chiang Mai: Chiang Mai University, 71.
- Tuntiwaranuruk, U., Thepaa, S., Tia, S., & Bhumiratana, S. (2006). Modeling of soil temperature and moisture with and without rice husks in an agriculture greenhouse. *Renewable Energy*, 31, 1934–1949.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแต่ละบริเวณ

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแต่ละบริเวณ



ภาพที่ ก-1 การแบ่งจุดพิจารณาอุณหภูมิของดินสำหรับปลุกมะนาวในท่อซีเมนต์

กรณีไม่มีพลาสติกคลุมดิน

จุดที่ 1

อัตราการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ + อัตราการพาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่ดิน - อัตราการแลกเปลี่ยนรังสีสุทธิจากพลาสติกไปยังสิ่งแวดล้อม - อัตราการนำความร้อนในดิน - อัตราการระเหยของน้ำ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในดิน

$$\frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T) - \epsilon_s(T^4 - T_{sky}^4) - k_s \frac{\partial^2 T}{\partial x_s^2} - F(u)[b(1 - Rh) - a(RhT_a - T)] = \rho_s c_{ps} \Delta x_s \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T_1^t) - \epsilon_s(T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s}(T_1^t - T_2^t) - F(u)[b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_1)] = \rho_s c_{ps} \frac{\Delta x_s}{2} \frac{(T_1^{t+1} - T_1^t)}{\Delta t}$$

เมื่อ $P = \frac{2\Delta t}{\rho_s c_{ps} \Delta x_s}$ จะได้ว่า

$$P \left\{ \frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T_1^t) - \epsilon_s(T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s}(T_1^t - T_2^t) - F(u)[b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_1)] \right\} = (T_1^{t+1} - T_1^t)$$

$$T_1^{t+1} = T_1^t + P \left\{ \frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T_1^t) - \epsilon_s(T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s}(T_1^t - T_2^t) - F(u)[b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_1)] \right\}$$

$$T_1^{t+1} = T_1^t + P \left\{ \frac{\alpha_s I(t)}{3600} + h_c(T_a - T_1^t) - \epsilon_s(T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s}(T_1^t - T_2^t) - 0.0168 fh_c [b(1 - Rh) - a(RhT_a - T_1)] \right\}$$

จุดที่ 2-5

อัตราการนำความร้อนในดิน = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในดิน

$$k_s \frac{\partial^2 T}{\partial x_s^2} = \rho_s c_{ps} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$k_s \frac{T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t}{(\Delta x_s)^2} = \rho_s c_{ps} \frac{T_i^{t+1} - T_i^t}{\Delta t}$$

เมื่อ $R = \frac{k_s \Delta t}{\rho_s c_{ps} (\Delta x_s)^2}$ จะได้ว่า

$$T_i^{t+1} - T_i^t = R(T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t)$$

$$T_i^{t+1} = T_i^t + R(T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t) \quad \text{เมื่อ } i = 2, 3, 4, 5$$

จุดที่ 2 $T_2^{t+1} = T_2^t + R(T_1^t - 2T_2^t + T_3^t)$

จุดที่ 3 $T_3^{t+1} = T_3^t + R(T_2^t - 2T_3^t + T_4^t)$

จุดที่ 4 $T_4^{t+1} = T_4^t + R(T_3^t - 2T_4^t + T_5^t)$

จุดที่ 5 $T_5^{t+1} = T_5^t + R(T_4^t - 2T_5^t + T_s^t)$

กรณีมีพลาสติกคลุมดิน

จุดที่ 1

อัตราการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ + อัตราการพาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่พลาสติก -
อัตราการแลกเปลี่ยนรังสีสุทธิจากพลาสติกไปยังสิ่งแวดล้อม - อัตราการนำความร้อนในดิน =
อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในดิน

$$\frac{\tau_p I(t)}{3600} + h_c (T_a - T_p) - \epsilon_p (T_p^4 - T_{sky}^4) - k_s \frac{\partial^2 T}{\partial x_p^2} = \rho_s c_{ps} \Delta x_s \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\tau_p I(t)}{3600} + h_c (T_a - T_1^t) - \epsilon_p (T_1^4 - T_{sky}^4) - k_s \frac{(T_1^t - T_2^t)}{\Delta x} = \rho_s c_{ps} \frac{\Delta x_s}{2} \frac{(T_1^{t+1} - T_1^t)}{\Delta t}$$

เมื่อ $P = \frac{2\Delta t}{\rho_s c_{ps} \Delta x_s}$ จะได้ว่า

$$P \left[\frac{\tau_p I(t)}{3600} + h_c (T_a^t - T_1^t) - \epsilon_s (T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s} (T_1^t - T_2^t) \right] = (T_1^{t+1} - T_1^t)$$

$$T_1^{t+1} = T_1^t + P \left[\frac{\tau_p I(t)}{3600} + h_c (T_a^t - T_1^t) - \epsilon_s (T_1^4 - T_{sky}^4) - \frac{k_s}{\Delta x_s} (T_1^t - T_2^t) \right]$$

จุดที่ 2-5

อัตราการนำความร้อนในดิน = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในดิน

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$k \frac{T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t}{(\Delta x)^2} = \rho c_p \frac{T_i^{t+1} - T_i^t}{\Delta t}$$

เมื่อ $R = \frac{k_s \Delta t}{\rho_s c_{ps} (\Delta x_s)^2}$ จะได้ว่า

$$T_i^{t+1} - T_i^t = R(T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t)$$

$$T_i^{t+1} = T_i^t + R(T_{i-1}^t - 2T_i^t + T_{i+1}^t) \quad \text{เมื่อ } i = 2, 3, 4, 5$$

จุดที่ 2 $T_2^{t+1} = T_2^t + R(T_1^t - 2T_2^t + T_3^t)$

จุดที่ 3 $T_3^{t+1} = T_3^t + R(T_2^t - 2T_3^t + T_4^t)$

จุดที่ 4 $T_4^{t+1} = T_4^t + R(T_3^t - 2T_4^t + T_5^t)$

จุดที่ 5 $T_5^{t+1} = T_5^t + R(T_4^t - 2T_5^t + T_s^t)$

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบค่าสภาพการนำความร้อนของดิน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

126 ถนนประชากรูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 <http://www.kmutt.ac.th>

ที่ ศธ 5810/58274

25 มีนาคม 2558

เรื่อง แจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างดินสำหรับปลูกมะนาว จำนวน 1 ตัวอย่าง

เรียน คุณขวัญยืน ฤทธิ์แดง (มหาวิทยาลัยบูรพา)

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างดินสำหรับปลูกมะนาว จำนวน 1 ตัวอย่าง (7 ชั้น) เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยทำการวิเคราะห์/ทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 177 และ ASTM D 1622 ดังรายงานผลในเอกสารแนบท้าย

ลำดับที่	รายการตัวอย่าง	ความหนาชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ผลการทดสอบ
			ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, K, (W/m ² K)
1.	ดินสำหรับปลูกมะนาว	19.63	0.1518

สภาวะในการทดสอบ

- อุณหภูมิแผ่นร้อน = 37.7 องศาเซลเซียส
 - อุณหภูมิแผ่นเย็น = 10.0 องศาเซลเซียส
 - อุณหภูมิห้อง = 25.0 - 26.0 องศาเซลเซียส
 - เวลาที่ใช้ในการทดสอบ = 10 นาที
- จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ


(นายอ่อนสา นนทพละ)
ผู้วิเคราะห์/นักวิทยาศาสตร์


(นายอ่อนสา นนทพละ)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ


(ผศ. นิธิ บุรณจันทร์)
ผู้อำนวยการ

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายงานผลที่สมบูรณ์จะต้องมีประทับตราครุฑของมหาวิทยาลัยและลายมือชื่อจริงของผู้มีอำนาจ
รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แม้จะผลิตจากบริษัทเดียวกัน

ภาคผนวก ค

ผลการวัดค่าสมบัติทางแสงและพลังงานของพลาสติก



ที่ ศธ. 5803.4/58096

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด
เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

2 เมษายน 2558

เรื่อง แจ้งผลการวัดสมบัติทางแสงและพลังงานของชิ้นงานทดสอบ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

รายงานฉบับนี้แสดงผลการทดสอบค่าการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar reflectance) และค่าการส่องผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar transmittance) ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Shimadzu UV-3100 UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer. โดยค่าการทดสอบที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาค่าการสะท้อน และค่าการส่องผ่านในช่วงตามมองเห็น และช่วงพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้งหมด ตามมาตรฐาน ISO 9050 พร้อมกับคำนวณหาค่า U-Value, solar heat gain coefficient (SHGC) and Absorptance ของตัวอย่าง และทดสอบวัดค่าการคายความร้อน (Emissivity) ตามมาตรฐาน ASTM C 1371 ด้วยเครื่อง Emissometer ของบริษัท DEVICES&SERVICE รุ่น AE. ซึ่งผลการวัดและการคำนวณค่าต่าง ๆ ข้างต้นแสดงดังตารางต่อไปนี้

Sample	Visible ray (%)		Solar energy (%)		Absorptance (%)
	Transmittance	Reflectance	Transmittance	Reflectance	
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.10 mm.	0.0	5.0	0.5	4.9	94.6
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.15 mm.	0.0	5.3	0.4	5.1	94.5
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.20 mm.	0.0	4.9	0.0	4.8	95.2
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.25 mm.	0.0	5.5	0.1	5.3	94.6

ผลการวัดและการคำนวณค่าต่าง ๆ ข้างต้นแสดงดังตารางต่อไปนี้ (ต่อ)

Sample	U-Value (W/m ² K)	SHGC	Emissivity
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.10 mm.	5.64	0.30	0.90
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.15 mm.	5.68	0.30	0.91
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.20 mm.	5.56	0.30	0.88
พลาสติก LDPE สีดำ ความหนา 0.25 mm.	5.56	0.30	0.88

จึงเรียนมาเพื่อทราบ



(นายพิชณะ รักความสุข)

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาคผนวก ง
ข้อมูลความชื้นของดิน ขณะมะนาวออกดอก
ณ สวนบ้านครูบอล
วันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

ตารางที่ ๓ ข้อมูลความชื้นของดิน ระหว่างวันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เวลา (น.)	ความชื้นของดิน (%)	
	8-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2558	9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558
07.00	91.0	75.0
08.00	88.0	74.0
09.00	86.0	73.0
10.00	84.0	73.0
11.00	83.0	72.0
12.00	82.0	71.0
13.00	82.0	70.0
14.00	81.0	71.0
15.00	81.0	72.0
16.00	80.0	73.0
17.00	79.0	75.0
18.00	78.0	76.0
19.00	76.0	77.0
20.00	75.0	77.0
21.00	75.0	75.0
22.00	74.0	73.0
23.00	74.0	73.0
24.00	74.0	72.0
01.00	75.0	73.0
02.00	76.0	76.0
03.00	76.0	77.0
04.00	77.0	73.0
05.00	75.0	72.0
06.00	75.0	71.0
	เฉลี่ย	76.3

ภาคผนวก จ

ข้อมูลอุณหภูมิติน ขณะมะนาวกำลังออกดอก

ณ สวนบ้านครูบอล

วันที่ 7-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 7-8 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เวลา (น.)	อุณหภูมิของดิน (°C)							
	ไม่มีพลาสติกคลุมดิน				มีคลุมพลาสติก			
	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m
07.00	27.3	28.8	30.0	30.3	27.2	29.0	30.2	30.7
08.00	28.4	28.7	30.5	30.2	28.4	28.6	30.7	30.4
09.00	29.2	28.8	30.5	30.1	29.2	29.0	30.9	30.7
10.00	29.7	29.0	30.2	30.3	30.0	29.2	30.9	30.9
11.00	30.4	29.2	30.0	30.5	30.9	29.5	30.8	30.9
12.00	30.9	29.4	30.1	31.0	31.7	29.8	30.9	30.8
13.00	31.3	29.7	29.9	30.3	32.3	30.0	30.8	30.6
14.00	32.2	30.0	30.0	30.2	32.8	30.4	30.7	30.8
15.00	32.7	30.2	30.0	30.9	33.0	30.7	31.3	31.2
16.00	29.9	30.6	31.0	31.3	32.2	31.0	31.8	31.1
17.00	30.8	30.6	30.2	30.7	31.5	30.9	30.8	30.8
18.00	30.1	29.0	30.0	30.5	30.8	31.1	31.0	30.6
19.00	28.0	30.3	30.3	30.2	29.8	31.0	30.8	30.1
20.00	27.9	30.1	30.4	30.3	29.5	31.0	30.8	30.2
21.00	27.5	30.0	29.5	30.4	28.8	30.9	30.8	30.3
22.00	27.5	29.9	30.5	30.5	28.8	30.8	30.9	30.5
23.00	27.5	29.7	30.6	30.6	28.7	30.8	30.8	30.6
24.00	27.1	29.6	30.5	30.6	28.2	30.6	30.7	30.6
01.00	27.1	29.4	30.4	30.5	28.2	30.5	30.9	30.7
02.00	27.1	29.3	30.3	30.6	28.1	30.4	31.0	31.0
03.00	26.9	29.1	30.2	30.5	27.9	30.2	30.7	30.7
04.00	26.9	29.0	30.1	30.6	27.9	30.1	30.7	30.8
05.00	26.7	28.9	30.1	30.5	27.7	30.0	30.5	30.6
06.00	26.6	28.7	30.0	30.6	27.5	29.9	30.5	30.7

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เวลา (น.)	อุณหภูมิของดิน (°C)							
	ไม่มีพลาสติกคลุมดิน				มีคลุมพลาสติก			
	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m
07.00	27.1	28.7	30.4	30.2	27.9	29.8	31.1	31.0
08.00	28.2	28.6	29.9	30.3	29.6	29.8	31.4	31.2
09.00	29.0	28.7	30.0	30.2	30.2	29.8	31.7	31.1
10.00	29.8	28.9	30.0	30.3	31.2	29.7	32.7	31.9
11.00	30.9	29.0	30.1	30.3	32.2	30.1	32.3	31.7
12.00	31.1	29.3	29.9	30.3	32.9	30.4	31.8	31.7
13.00	31.5	29.6	29.8	30.3	33.4	30.8	31.8	31.5
14.00	32.6	29.9	29.7	30.8	34.0	31.0	31.0	31.4
15.00	36.0	30.2	28.5	31.7	34.5	31.4	30.8	32.3
16.00	31.2	30.9	30.1	31.8	34.0	31.7	31.3	31.2
17.00	30.7	31.0	30.2	30.8	33.1	32.0	31.4	31.2
18.00	29.7	30.9	30.4	30.8	32.7	32.2	31.6	31.3
19.00	29.1	30.8	30.6	30.4	31.6	32.2	31.5	30.8
20.00	28.7	30.7	30.7	30.5	31.1	32.2	31.6	30.8
21.00	28.4	30.5	30.9	30.7	30.7	32.2	31.8	30.9
22.00	27.9	30.3	30.9	30.8	30.0	32.1	31.9	31.0
23.00	27.7	30.1	30.9	30.8	29.8	32.0	31.9	31.2
24.00	27.4	30.0	30.9	30.8	29.5	31.9	31.9	31.1
01.00	27.3	29.8	30.9	30.8	29.0	31.6	31.9	31.3
02.00	27.2	29.7	30.7	30.8	28.9	31.5	31.7	31.2
03.00	27.4	29.5	30.6	30.8	29.1	30.4	31.7	31.1
04.00	26.9	29.2	30.4	30.5	28.8	30.7	31.5	31.1
05.00	26.9	29.2	30.4	30.5	28.6	31.0	31.4	31.0
06.00	27.2	29.7	30.4	30.5	28.7	30.8	31.4	31.1

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลอุณหภูมิดิน ระหว่างวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เวลา (น.)	อุณหภูมิของดิน ($^{\circ}\text{C}$)							
	ไม่มีพลาสติกคลุมดิน				มีคลุมพลาสติก			
	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.0 m	0.1 m	0.2 m	0.3 m
07.00	27.7	29.0	30.5	30.3	29.8	30.7	31.6	31.5
08.00	28.9	29.0	30.5	30.6	31.9	30.6	32.3	32.4
09.00	29.7	29.1	31.3	30.7	32.7	30.8	32.2	32.8
10.00	30.6	29.3	30.8	30.9	32.9	30.9	31.7	33.2
11.00	31.1	29.6	30.2	30.6	32.6	31.1	31.8	31.2
12.00	29.6	29.8	30.0	30.6	32.4	31.2	31.5	31.4
13.00	29.9	29.8	30.2	30.8	32.6	31.4	31.4	31.8
14.00	29.7	29.9	29.7	30.0	31.8	31.4	31.2	31.2
15.00	29.8	29.9	29.5	30.8	32.3	31.4	31.5	31.0
16.00	29.6	30.0	30.2	30.4	32.5	31.5	31.5	31.3
17.00	29.3	30.0	30.3	30.6	32.2	31.6	31.5	31.3
18.00	28.8	29.9	30.2	30.4	31.4	31.6	31.4	31.1
19.00	28.3	29.8	30.1	30.2	30.5	31.7	31.3	30.7
20.00	27.8	29.7	30.0	30.2	30.0	31.6	31.2	30.7
21.00	27.5	29.6	30.0	30.2	29.5	31.5	31.3	30.6
22.00	27.3	29.3	30.0	30.2	29.2	31.3	31.2	30.4
23.00	27.2	29.2	30.0	29.7	29.0	31.2	31.2	30.9
24.00	26.9	29.1	30.0	30.2	28.9	31.0	30.9	31.1
01.00	26.8	29.0	29.9	30.2	28.5	30.9	31.1	30.9
02.00	26.7	28.9	29.8	30.2	28.5	30.7	31.0	30.7
03.00	26.5	28.6	29.7	30.1	28.0	30.3	30.8	30.8
04.00	26.1	28.4	29.6	30.1	27.9	30.1	30.7	30.8
05.00	25.8	28.3	29.6	30.0	27.8	30.0	30.6	30.7
06.00	26.5	28.3	29.5	30.0	27.7	29.9	30.6	30.7

ภาคผนวก จ

เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ย
ระหว่างการทดลองกับผลการทำนายจากแบบจำลอง

ตารางที่ ๓ ข้อมูลความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิดินเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25-31 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เวลา (น.)	อุณหภูมิเฉลี่ยของดิน เมื่อไม่มีพลาสติกคลุม			อุณหภูมิดินเฉลี่ย เมื่อมีพลาสติกคลุมดิน		
	ดิน (C)		error (%)	(C)		error (%)
	ทดลอง	ทำนาย		ทดลอง	ทำนาย	
07.00	30.1	31.3	4.06	34.1	31.1	8.89
08.00	30.8	31.3	1.62	34.4	31.1	9.58
09.00	31.0	31.4	1.51	34.3	31.1	9.35
10.00	31.4	31.7	1.14	34.4	31.1	9.50
11.00	31.9	31.9	0.02	34.6	31.2	10.07
12.00	32.5	32.3	0.43	35.3	31.2	11.66
13.00	33.1	32.9	0.71	36.0	31.2	13.28
14.00	33.8	33.1	2.00	36.7	31.2	14.96
15.00	34.3	33.5	2.45	37.7	31.3	17.02
16.00	34.8	33.8	2.72	38.4	31.3	18.56
17.00	34.9	33.8	3.33	39.1	31.3	19.92
18.00	34.7	33.8	2.72	39.5	31.4	20.58
19.00	34.4	33.7	2.25	39.6	31.4	20.68
20.00	34.1	33.5	1.64	39.5	31.4	20.34
21.00	33.8	33.4	1.13	39.3	31.5	19.84
22.00	33.5	33.3	0.64	38.9	31.5	19.12
23.00	33.2	33.1	0.07	38.6	31.5	18.32
24.00	32.8	33.0	0.61	38.1	31.5	17.36
01.00	32.4	32.9	1.42	37.7	31.5	16.35
02.00	32.1	32.8	1.99	37.2	31.5	15.27
03.00	31.8	32.7	2.61	36.7	31.5	14.12
04.00	31.6	32.6	3.18	36.2	31.5	13.10
05.00	31.3	32.5	3.63	35.7	31.5	11.89
06.00	30.8	32.4	4.94	35.2	31.5	10.51