

การจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลของดิน
โดยใช้แกลบคลุมดิน

Heat and Mass Transfer Simulation in Soil
by Using Rice Husk

อุษาวดี ตันติวารนุรักษ์ วท.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน)
Usavadee Tuntiwaranuruk M.Sc. (Energy Technology)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Asst. Prof., Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131

มารีนา มะหณี วท.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน)
Marina Mani M.Sc. (Energy Technology)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
Asst. Prof., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

คำสำคัญ : การจำลอง, การถ่ายเทความร้อนและมวล, แกลบ, ดิน
Key words : Simulation, Heat and Mass Transfer, Rice Husk, Soil

Abstract

An analysis is presented for simulation the daily variations of the temperature and moisture distribution in soil and rice husk by using computer program. Numerical calculations have been performed for corresponding to the average meteorological data of year 2000 at Burapha University. The appropriate temperature about 20 - 25 °C and appropriate moisture about 60-65 percent wet basis for horticulture at thickness of husk 7.5 cm which this thickness covered soils size 100.0 X 100.0 X 30.0 cm³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลของดินโดยใช้กลบคลุมดิน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำนายอุณหภูมิและความชื้นของดินที่ความลึกต่างๆ นี้ใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์รายวันและอุณหภูมิอากาศที่มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี จากการคำนวณพบว่ากลบที่ใช้คลุมดินที่เหมาะสมที่สุดในการนำคลุมดินที่มีขนาด 100.0 X 100.0 X 30.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ควรหนาประมาณ 7.5 เซนติเมตร จะทำให้ได้อุณหภูมิดินประมาณ 20 - 25 องศาเซลเซียส และความชื้นของดิน 60 - 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นของดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ

1. บทนำ

งานวิจัยนี้จะทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลของดินที่ใช้กลบคลุมดิน เพื่อทำนายอุณหภูมิและความชื้นของดินที่ความลึกต่างๆ รวมทั้งสามารถกำหนดความหนาของกลบที่เหมาะสมที่สุดในการนำคลุมดินที่มีขนาด 100.0 X 100.0 X 30.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ทำให้ได้อุณหภูมิดินประมาณ 20 - 25 องศาเซลเซียสและความชื้นของดิน 60 - 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นของดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ (Garg, 1985) ก่อนการทดลองจริง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยรักษาหรือลดอุณหภูมิภายในดินโดยป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยน้ำในเวลากลางวัน และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในเวลากลางคืน

2. สมดุลความร้อนและมวล

2.1 สมการสมดุลความร้อนและมวล

สมดุลของสมการพลังงานเริ่มต้นสำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงในระบบหลายองค์ประกอบ (Multicomponent system) (Bird et. al., 1980) แสดงดังนี้

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{q} - (\tau \cdot \nabla \bar{\mathbf{v}}) + \sum_{i=1}^n \bar{\mathbf{j}}_i \bar{\mathbf{g}}_i + \left(\frac{\partial \ln \hat{\mathbf{v}}}{\partial \ln T} \right)_{p,xi} \frac{DP}{DT} + \sum_{i=1}^n \bar{\mathbf{H}}_i [\nabla \cdot \mathbf{J}_i - \mathbf{R}_i] \quad (1)$$

โดยที่เทอมทางซ้ายมือแทนเทอมของพลังงานสะสมภายในวัตถุ และเทอมขวามือ เทอมแรกแทนการนำความร้อนในวัตถุ เทอมที่สองแทนการสลายตัวของพลังงาน (Energy dissipation) เนื่องจากความเสียดทานในการไหล เทอมที่สามแทนผลรวมของพลังงานจากแรงดึงดูดของโลกในแต่ละองค์ประกอบ และเทอมที่สี่แทนพลังงานจากการเปลี่ยนความดันและปริมาตร และเทอมสุดท้ายแทนพลังงานที่แต่ละมวลสารนำพลังงานเข้าออก และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ

โดยที่ $\frac{DT}{Dt}$ คือ substantial time derivative

หรือ

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V}_x \frac{\partial T}{\partial X} + \mathbf{V}_y \frac{\partial T}{\partial Y} + \mathbf{V}_z \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (2)$$

โดยที่ \mathbf{V} แทนอัตราเร็วของกระแสในแต่ละทิศทาง เมื่อระบบไม่มีความเร็ว และแรงโน้มถ่วง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรน้อยมาก และไม่มีอิทธิพลของการแพร่เชิงความร้อน ซึ่งเป็นปริมาณน้อยมาก สมการ (1) จะลดรูปได้ดังนี้

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{q} + \bar{\mathbf{H}}(\nabla \cdot \mathbf{J}) \quad (3)$$

โดยที่สมการฟลักซ์พลังงานของสารบริสุทธิ์ ซึ่งมีเฉพาะ
การนำความร้อนเกิดขึ้นคือ

$$\mathbf{q} = -k\nabla T \quad (4)$$

โดยที่ $\nabla T = \mathbf{i} \frac{\partial T}{\partial X} + \mathbf{j} \frac{\partial T}{\partial Y} + \mathbf{k} \frac{\partial T}{\partial Z}$ (5)

แทนสมการ (4) ในสมการ (3) จะได้

$$\rho_m C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k\nabla^2 T + \mathbf{H}(\nabla \cdot \mathbf{j}) \quad (6)$$

จากสมการต่อเนื่อง (Equation of continuity) ของสาร
หลายองค์ประกอบ

$$\frac{D\rho_w}{Dt} = (\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}) - (\nabla \cdot \bar{\mathbf{j}}) + r_i$$

$$\mathbf{i} = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

และเมื่อระบบไม่มีความเร็วของสารต่างๆ และไม่มีปฏิกิริยา
เคมีเกิดขึ้นจะได้

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{j}} = -\frac{\partial \rho_w}{\partial t} \quad (8)$$

แทนสมการ (8) ลงในสมการ (6) จะได้

$$\rho_m C_p \frac{\partial T}{\partial t} =$$

$$k\nabla^2 T - \mathbf{H} \left(-\frac{\partial \rho_w}{\partial t} \right) \quad (9)$$

หรือ $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T - \frac{\mathbf{H}}{C_p} \frac{\partial W}{\partial t}$ (10)

เมื่อระบบมีปริมาตรคงที่และการถ่ายเทมวลมี
เฉพาะการแพร่มวลน้ำอย่างสม่ำเสมอเท่านั้นจะได้สมการ

การแพร่มวลสาร หรือ Fick's second of diffusion
ดังนี้

$$\frac{D\rho_w}{Dt} = \mathbf{D} \cdot \nabla^2 \rho_w \quad (11)$$

หรือ เมื่อหารทั้งสองข้างด้วยความเข้มข้นของสารผสม
(ρ_m) จะได้

$$\frac{Dw}{Dt} = \mathbf{D} \cdot \nabla^2 w \quad (12)$$

สมการ (10) และ (11) เป็นสมการเริ่มต้น
สำหรับกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในขณะ
เดียวกัน (Simultaneous of heat and mass transfer)
ในสภาวะไม่คงที่

2.2 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น

การแก้สมการที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนและมวล
ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อหาค่าอุณหภูมิและความชื้นที่
จุดต่างๆ ในวัสดุจะต้องทราบเงื่อนไขขอบเขต (boundary
condition) และเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) ของ
ระบบ เงื่อนไขขอบเขตจะระบุค่าของอุณหภูมิความชื้น
อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ขอบเขตของระบบ
ส่วนเงื่อนไขเริ่มต้นจะระบุค่าของอุณหภูมิความชื้นที่จุด
ต่างๆ ในระบบขณะที่เริ่มพิจารณา หรือที่เวลา $t = 0$

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนผิวดินแถบที่คลุม
ดิน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนและ
การแผ่รังสีความร้อนที่ผิวเข้าสู่ตัวกลาง ก็จะมีค่าเท่ากับ
อัตราการถ่ายเทความร้อนจากผิวเข้าสู่ภายใน ดังนั้น
เงื่อนไขขอบเขตที่ผิวจะหาได้จากสมการสมดุลความร้อน
ดังนี้

$$\alpha I + h(T_a - T)|_{x=0} - \sigma \varepsilon (T^4 - T_{sky}^4)|_{x=0}$$

$$= -k \frac{\partial T}{\partial X} \Big|_{x=0} \quad \text{ที่ } x = 0 \quad (15)$$

และเงื่อนไขขอบเขตจากสมการสมดุลมวลที่ผิวดังนี้

$$\begin{aligned} h_m (W_a - W) \Big|_{x=0} &= 0 \\ &= D_m \frac{\partial W}{\partial X} \Big|_{x=0} \quad \text{ที่ } x=0 \quad (16) \end{aligned}$$

ถ้าพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตที่กึ่งกลาง

$$\begin{aligned} X &= L_1, t > \infty \\ \frac{\partial T}{\partial X} &= 0 \quad \text{ที่ } X = L_1, t > \infty \quad (17) \\ \frac{\partial W}{\partial X} &= 0 \quad \text{ที่ } X = L_1, t > \infty \quad (18) \end{aligned}$$

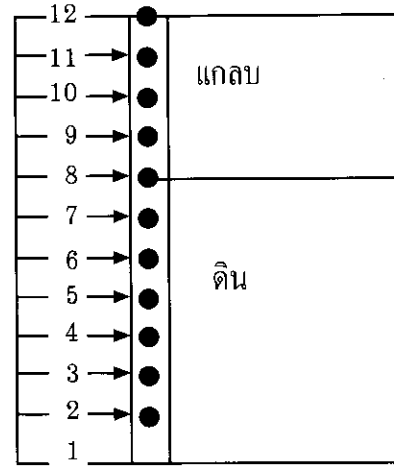
สมการเริ่มต้นเมื่อเวลา $t = 0$

$$T = T_i \quad (19)$$

$$W = W_i \quad (20)$$

3. การประมวลผลจากแบบจำลอง

การประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะแสดงผลของตัวแปรที่ต้องการทราบค่าคืออุณหภูมิและความชื้น และสามารถแสดงค่าของการคำนวณในแต่ละจุดต่อภายใน แสดงแผนภูมิการทำงานดังรูปที่ 1 แต่งานวิจัยนี้เลือกศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของแกลบที่ใช้คลุมดินความหนา 30 เซนติเมตรซึ่งแบ่งชั้นพิจารณาภายในดิน 8 ชั้นคือชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 8 และแบ่งความหนาของแกลบเป็น 4 ชั้นคือ ชั้นที่ 9 - ชั้นที่ 12 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 สำหรับการปลูกพืชลักษณะไม้ดอกไม้ประดับที่ต้องการหาความหนาของแกลบที่ใช้คลุมดินให้ได้อุณหภูมิดินประมาณ 20 - 25 องศาเซลเซียสและความชื้นประมาณ 60 - 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก



รูปที่ 2 การแบ่งชั้นกระจายอุณหภูมิของแกลบและดิน
กับเวลาที่ความหนาต่างๆ

3.1 การกระจายอุณหภูมิ

การกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองภายในแกลบคลุมดินขนาด 100.0 x 100.0 x 30.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อใช้ค้ำรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในเดือนมกราคม 2543 โดยที่เวลาเริ่มต้นจะกำหนดให้รดน้ำที่แกลบและดินเท่ากันคืออุณหภูมิเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้น 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกพบว่า การกระจายอุณหภูมิดินที่เหมาะสมตลอดวันในเวลา 24 ชั่วโมง (83,400 วินาที) จะได้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของแกลบและอุณหภูมิของดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบต่างๆ คือ 1 เซนติเมตร 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 - 5 ซึ่งมีลักษณะการกระจายของสีจะแตกต่างกัน อุณหภูมิของแกลบชั้นที่ 1 เป็นเส้นประสีแดง ชั้นที่ 2 เป็นเส้นประสีเขียว ชั้นที่ 3 เป็นเส้นประสีน้ำเงิน ชั้นที่ 4 เป็นเส้นประสีฟ้า ชั้นที่ 5 เป็นเส้นสีชมพูเข้ม ซึ่งเป็นเส้นรอยต่อระหว่างแกลบและดิน และอุณหภูมิของดินชั้นที่ 6 เป็นเส้นสีดำทึบ ชั้นที่ 7 เป็นเส้นทึบสีแดง ชั้นที่ 8 เป็นเส้นทึบสีเขียว ชั้นที่ 9 เป็นเส้นทึบสีน้ำเงิน ชั้นที่ 10 เป็นเส้นทึบสีฟ้า ชั้นที่ 11 เป็นเส้นทึบชมพู และชั้นที่ 12 เป็นเส้นทึบสี

ค่าเหมือนกับอุณหภูมิของดินชั้นที่ 6 จากรูปที่ 3- รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกราฟการกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาต่างๆ โดยพิจารณาความสามารถของแกลบที่จะรักษาอุณหภูมิของดินให้อยู่ระหว่าง 20 - 25 องศาเซลเซียสได้ สรุปได้ดังนี้

(1) การจำลองอุณหภูมิภายในแกลบและดินจะเปลี่ยนตามเวลาตั้งแต่เวลา 6.00 น. ที่ทำการรดน้ำให้อุณหภูมิและความชื้นของแกลบและดินเริ่มต้นมีค่าเท่ากันและอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งช่วงเวลา 13.00 น. (28,800 วินาที) ถึง 14.00 น. (32,400 วินาที) จะมีค่าอุณหภูมิแกลบและอุณหภูมิดินสูงสุด และตั้งแต่เวลา 17.00 น. (43,200 วินาที) จะไม่นำค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบมาทำการคำนวณ เพราะถือว่ามีความน้อยมาก หลังจากนั้นอุณหภูมิแกลบจะลดลงและจะคงที่

(2) ที่ความหนาของแกลบคลุมดิน 1 เซนติเมตร พบว่าอุณหภูมิของดินชั้นที่ 8 (ชั้นบนสุด) มีค่าอุณหภูมิของดินอยู่ระหว่าง 20 - 46 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงเกินความต้องการ จะมีอุณหภูมิของดินชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 5 เท่านั้นที่สามารถรักษาอุณหภูมิของดินให้อยู่ในช่วงดังกล่าวได้

(3) ที่ความหนาของแกลบคลุมดิน 5 เซนติเมตร พบว่าอุณหภูมิของดินชั้นที่ 8 (ชั้นบนสุด) มีค่าอุณหภูมิของดินอยู่ระหว่าง 20 - 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแกลบให้มากขึ้นก็จะรักษาอุณหภูมิของดินได้มากขึ้น แต่ก็ยังมีอุณหภูมิของดินชั้นที่ 6 - ชั้นที่ 8 สูงเกินความต้องการ จะมีอุณหภูมิของดินชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 5 เท่านั้น ที่สามารถรักษาอุณหภูมิของดินให้อยู่ในช่วงดังกล่าวได้

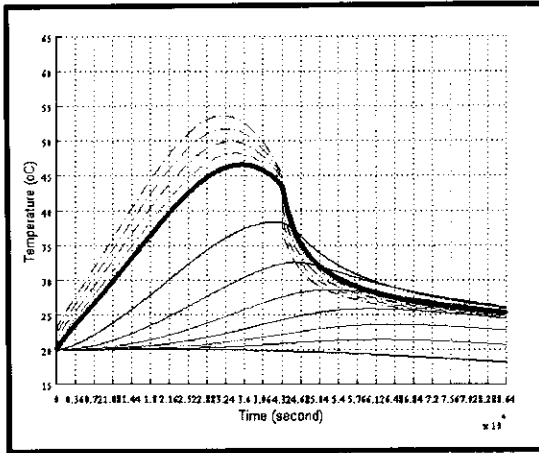
(4) ที่ความหนาของแกลบคลุมดิน 10 เซนติเมตร จะพบว่าอุณหภูมิของดินชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 8 จะเป็นชั้นที่สามารถรักษาอุณหภูมิของดินได้ตามความต้องการ ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแกลบให้มากขึ้นก็จะรักษาอุณหภูมิของดินได้ แต่ก็สิ้นเปลืองแกลบที่ใช้คลุมดิน

(5) ที่ความหนาของแกลบคลุมดิน 20 เซนติเมตร อุณหภูมิทุกชั้นของดินจะสามารถรักษาอุณหภูมิของดินได้ตามความต้องการ แต่ก็สิ้นเปลืองแกลบที่ใช้คลุมดินเช่นเดียวกัน

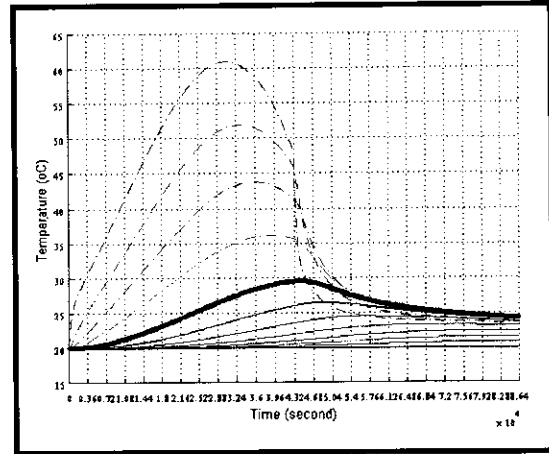
ดังนั้นการจำลองอุณหภูมิของดินเพื่อให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกพืชลักษณะไม้ดอกไม้ประดับควรเลือกความหนาของแกลบคลุมดินในช่วงระหว่าง 5 - 10 เซนติเมตร เพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิของดินได้ตามความต้องการ ดังนั้นจึงทำการขยายช่วงความหนาของแกลบคือ 7.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7 เพื่อนำมาหาข้อสรุปซึ่งจะพบว่าที่ความหนาของแกลบคลุมดิน 7.5 เซนติเมตรนี้ จะรักษาอุณหภูมิของดินให้อยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียสได้ ซึ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกพืชลักษณะไม้ดอกไม้ประดับ

3.2 การกระจายความชื้น

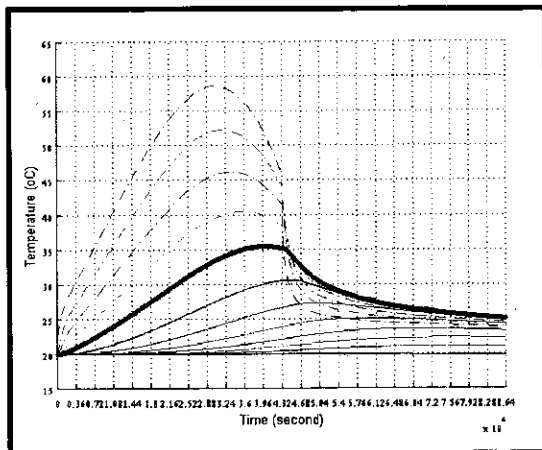
สำหรับการกระจายความชื้นของแกลบหนาต่างๆ คือ 1 เซนติเมตร 5 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร คลุมดินขนาด 100.0 X 100.0 X 30.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขอุณหภูมิเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้น 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าการกระจายความชื้นของแกลบและดินที่เหมาะสมตลอดวันในเวลา 24 ชั่วโมง (83,400 วินาที) แสดงดังรูปที่ 8 - 13 จะพบว่าความหนาของแกลบคลุมดิน 7.5 และ 10 เซนติเมตร จะรักษาความชื้นได้ดีกว่าที่ความหนาของแกลบ 1-5 เซนติเมตร และถึงแม้ว่าความหนาของแกลบคลุมดินที่ 20 เซนติเมตร จะรักษาความชื้นของดินดีกว่าแต่จะสิ้นเปลืองแกลบโดยไม่จำเป็น ดังนั้นควรเลือกใช้ที่ความหนาของแกลบในช่วง 7.5 เซนติเมตร และในช่วงเวลาตอนกลางวันเวลาตั้งแต่ 6.00 น.ถึง 17.00 น. (0 - 43,200 วินาที) ความชื้นของดินจะลดลง และในช่วงเวลาตั้งแต่ 17.00 น. เป็นต้นไป ความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง



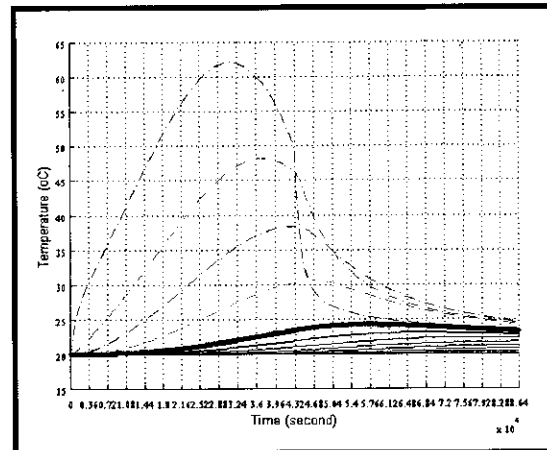
รูปที่ 3 การกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 1 เซนติเมตร



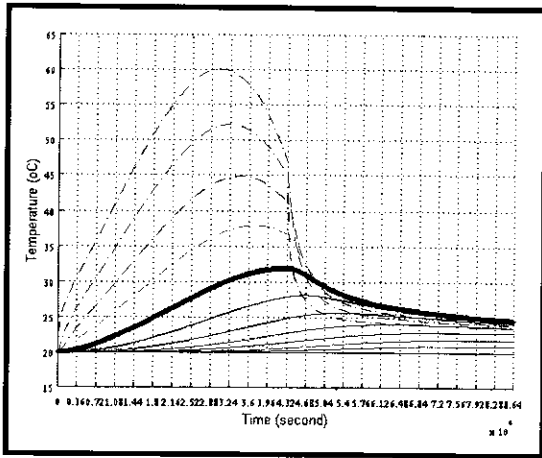
รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 10 เซนติเมตร



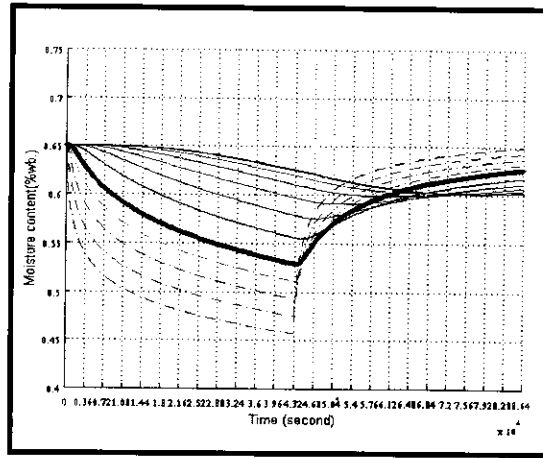
รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 5 เซนติเมตร



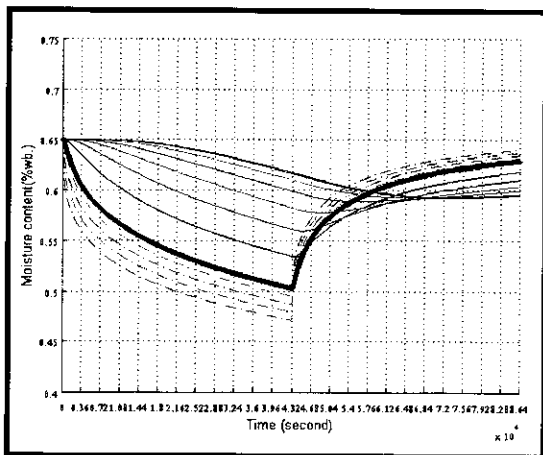
รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 20 เซนติเมตร



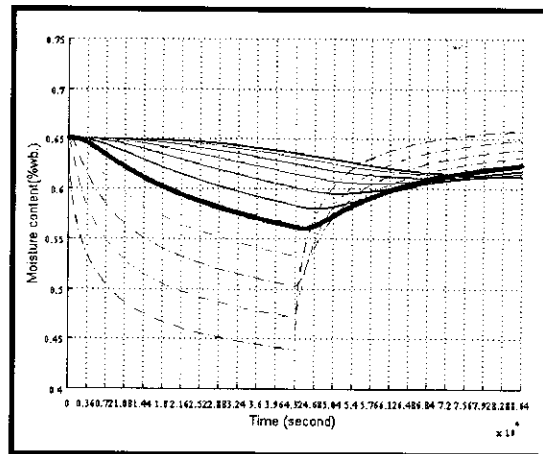
รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 7.5 เซนติเมตร



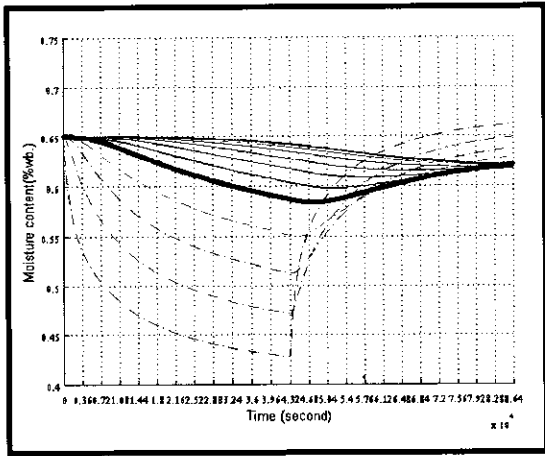
รูปที่ 9 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 2.5 เซนติเมตร



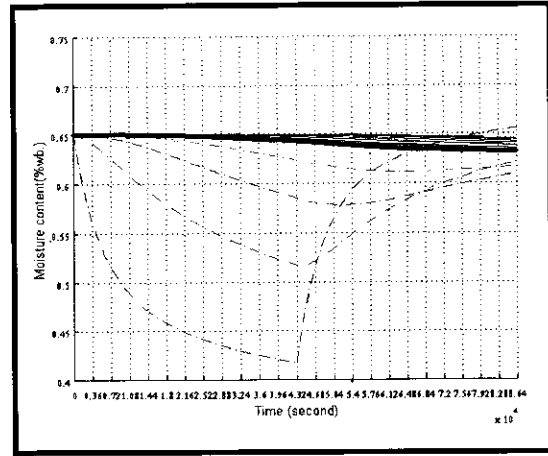
รูปที่ 8 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 1 เซนติเมตร



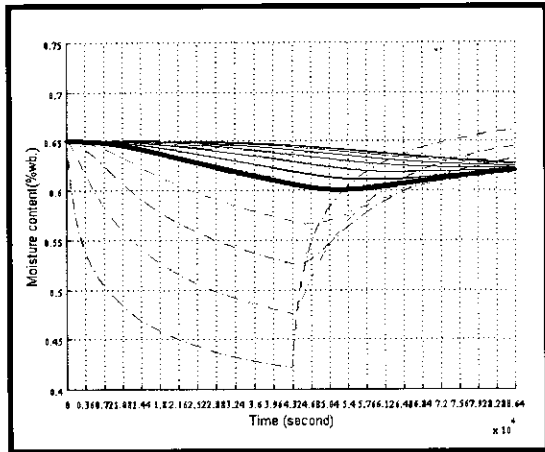
รูปที่ 10 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่ความหนาของแกลบ 5 เซนติเมตร



รูปที่ 11 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่
ความหนาของแกลบ 7.5 เซนติเมตร



รูปที่ 13 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่
ความหนาของแกลบ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 12 การกระจายความชื้นของแกลบและดินกับเวลาที่
ความหนาของแกลบ 10 เซนติเมตร

3.3 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิและความชื้น

จากการทำแบบจำลองพบว่าที่ความหนาของแกลบ 7.5 เซนติเมตร ที่ใช้กลุ่มดินขนาดความสูง 30 เซนติเมตร ตั้งแต่ชั้นที่ 1 - ชั้นที่ 8 จะเป็นความหนาที่เหมาะสมในการปลูกพืช ซึ่งจะเป็นการรักษามันให้อยู่ในช่วง 20 - 25 องศาเซลเซียส และความชื้นของดินอยู่ในช่วง 60 - 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกได้ แต่ชั้นใดที่เหมาะสมนั้นต้องพิจารณาลักษณะของดินพืชแต่ละชนิดด้วย

4. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลของดินโดยใช้แกลบคลุมดิน พบว่าทุกชั้นของดินขนาดความหนา 30 เซนติเมตร พบว่าที่ความหนาของแกลบประมาณ 7.5 เซนติเมตร สามารถรักษามันดินได้ตลอดทั้งวัน โดยมีอุณหภูมิประมาณ 20 - 25 องศาเซลเซียส และความชื้นประมาณ 60 - 65 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดินพืชนำมาปลูกบนดิน

	5. รายการสัญลักษณ์	6. เอกสารอ้างอิง
Cp	ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg °C)	Al - Kayssi, A.W. (2002). <u>Spatial Variability of Soil Temperature under Greenhouses Conditions Renewable Energy</u> . pp.453-462.
D	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (m ² /s)	Badalt, J., Y., Ayers, D.L., and Schoenhals. (1981). <u>Transient Heat and Mass Transfer in Soil</u> , Bird, Stewart and Lightfoot, 1960, transport phenomena, John Wiley & sons, 780p.
em	ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	Bligh, T. (1976). <u>A Comparison of Energy Conservation in Earth Covered VS. Non- Earth Covered Building</u> . Proc. of Conf., On Alternatives in Energy Conservation, The Use of Earth Covered Building, Texas, pp.85-105.
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m ² K)	Bharadwaj, S.S. and Bansal, N.K., (1981). <u>Temperature Distribution Inside Ground For Various Surface Conditions, Building and Environment</u> . Vol.16, No.3 ,pp.183-192.
h _m	สัมประสิทธิ์การพามวล (m/s)	Garg, H.P. (1985). <u>Advance in Solar Energy Technology Volume 3</u> . D Reidel publishing Company
h _{tg}	ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ (J/kg)	ณรงค์ โฉมเฉลา. (2534). เทคโนโลยีการผลิตไม้ดอกไม้ประดับ, สมาคมไม้ดอกไม้ประดับแห่งประเทศไทย.
I	รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้น (W/m ²)	มนัส สังวรศิลป์ และวารรัตน์ ภัทรอมรกุล. (2543). คู่มือโปรแกรม <u>MATLAB ฉบับสมบูรณ์</u> , อินโฟเพรส, 508หน้า.
k	ค่าการนำความร้อน (W/m °C)	รัตนา จิระรัตนานนท์. (2538). การถ่ายเทมวล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ชลบุรี. หน้า 115-136.
k _{eff}	ค่าการนำความร้อนโดยรวม (W/m °C)	ศักดิ์ชัย ไกลดำ. (2542). การประเมินค่ารังสีอาทิตย์รวมจากอุณหภูมิของอากาศ ณ จังหวัด ชลบุรี, การศึกษาวิชาโครงการฟิสิกส์ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 60 หน้า.
LL	ความหนาของดิน (m)	อดิศร กระแสชัย และคณะ. (2539). การปรับปรุงรูปแบบการสร้างโรงเรือนไม้ดอก, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ตามโครงการวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงที่ 43 ,งบประมาณปี 2539.
M	อัตราส่วนความชื้น (ร้อยละ)	
mo	อัตราส่วนความชื้น เริ่มต้น(ร้อยละ)	
N	จำนวน time step	
q	ปริมาณพลังงานความร้อน (W/m ²)	
T	อุณหภูมิ (°C)	
T _{surr}	อุณหภูมิประสิทธิผลของอุณหภูมิท้องฟ้า (K)	
T _o	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (K)	
t	เวลา (s)	
th	ความหนาของแกลบ (m)	
to	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	
V	ปริมาตร (m ³)	
ρ	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	
σ	ค่าคงที่ Stefan-Boltzman Constant (W/m ² K ⁴)	
สัญลักษณ์ตัวห้อย		
h	ความร้อน	
i	ชั้น	
m	มวล	
t	เวลา	
1	แกลบ	
2	ดิน	