

บทที่ 5

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

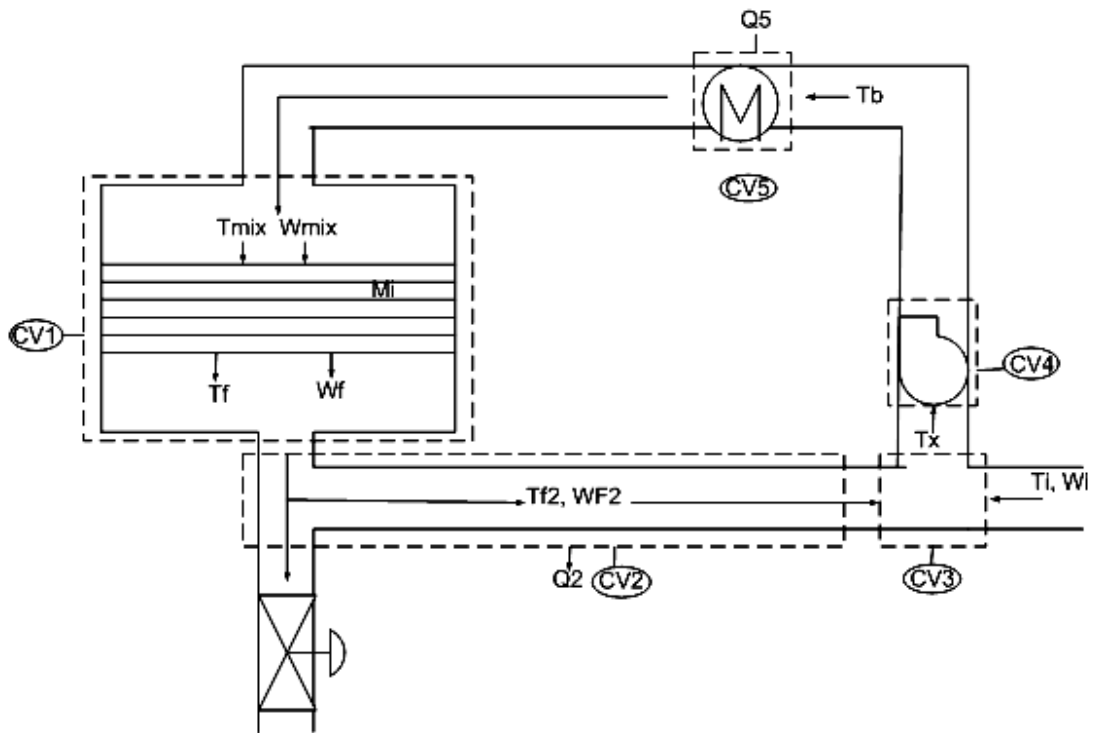
สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540) อธิบายพื้นฐานการอบแห้งที่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นการอธิบายกลไกการอบแห้งวัสดุเพียงหนึ่งชั้น หรือเมล็ดพืชชั้นบางเท่านั้น โดยทั่วไปเรามักจะอบแห้งวัสดุครั้งละจำนวนมาก ทำให้สภาวะอากาศที่ไหลผ่านชั้นวัสดุเปลี่ยนไปตามระยะทางที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านดังนั้นจึงต้องพิจารณาสมดุลมวลและพลังงานที่เกิดขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำไปใช้ทำนายการอบแห้งได้ ซึ่งสามารถศึกษาแนวทางหรือเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดอย่างประหยัดโดยไม่ต้องพึ่งการทดลองมากนัก สุภวรรณ วชิรมน (2533) อธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเมล็ดพืชที่ใช้ในการทำนายการอบแห้งได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง และมีอยู่หลายแบบจำลองด้วยกัน เช่น แบบจำลองไม่สมดุลของ Booker *et al.* (1975) คือไม่มีสมดุลทางความร้อนและความชื้นระหว่างเมล็ดพืชกับอากาศ สามารถใช้ทำนายได้ดี แต่มีการคำนวณมีมากและซับซ้อนใช้เวลามาก ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ แบบจำลองอีกแบบคือแบบจำลองลอการิทึม (Logarithmic Model) ของ Hukill และ Barre *et al.* แบบจำลองนี้จะยุ่งยากน้อยกว่าแบบจำลองของ Booker *et al.* สามารถทำนายได้ถูกต้องพอสมควรแต่ไม่คำนึงถึงผลของอุณหภูมิของเมล็ดพืชขณะจะเริ่มอบซึ่งอาจสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้ง นอกจากนี้สภาวะของอากาศอบแห้งต้องคงที่และความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชในแต่ละชั้นต้องเท่ากัน และแบบจำลองที่มีการศึกษาและใช้กันมากอีกแบบหนึ่งคือแบบจำลองแบบใกล้สมดุลเป็นแบบจำลองที่มีสมดุลทางความร้อนแต่ไม่มีสมดุลทางความชื้นซึ่งใช้เวลาในการคำนวณไม่นานมากเกินไปและถูกต้องพอสมควร

ในที่นี้ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นหนาแบบเบดอยู่กับที่ของ Soponronnarit (2540) และ Aree *et al.* (2000) ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีที่มาจากแนวคิดเดียวกับแบบจำลองการอบแห้งของ Brooker *et al.* (1973) มาประยุกต์ใช้กับการจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสมมติว่ามีการสมดุลทางความร้อนระหว่างยางดิบที่ทำการอบแห้งกับอากาศร้อนที่ใช้อบแห้ง โดยมีข้อสมมติดังนี้

1. มีสมดุลทางความร้อนระหว่างอากาศและยางดิบที่อบแห้ง
2. การไหลของอากาศเป็นแบบลูกสูบหรือจุกอุด (Plug type)
3. ห้องอบแห้งหุ้มด้วยฉนวนความร้อนหนาพอและไม่มีความจุความร้อน

4. ความชื้นจำเพาะของอากาศชั้นและของยางดิบคงที่ในช่วงเวลาสั้น ๆ ไม่มีเกรเดียนท์อุณหภูมิในยางดิบที่ใช้อบแห้ง

โดยการพิจารณาที่ชั้นบาง (ΔX) ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในเครื่องอบแห้ง ในช่วงเวลาหนึ่ง (Δt) พิจารณาปริมาตรควบคุม CV1 ในภาพประกอบที่ 5.1 ซึ่งเป็นส่วนของห้องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งยางแท่ง ในการพิจารณาจะแบ่งชั้นของยางดิบออกเป็นชั้นบาง ๆ การคำนวณจะพิจารณาที่ละชั้นโดยอากาศร้อนจะไหลตั้งฉากกับแนวชั้นบางของยางดิบสภาวะของยางดิบที่ผ่านการอบแห้งของแต่ละชั้นจะเป็นสภาวะเริ่มต้นของชั้นถัดไป และสภาวะอากาศของชั้นบางสุดท้ายจะเป็นสภาวะของอากาศที่ออกจากปริมาตรควบคุม CV1 แบ่งชั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้



ภาพประกอบที่ 5.1 ปริมาตรควบคุมของเครื่องอบแห้งยางแท่ง

1. การคำนวณหาอุณหภูมิและความชื้นของยางดิบหลังสมดุล

สมมติว่าอากาศชั้นตรงทางเข้าของชั้นบางจะสมดุลทางความร้อนกับยางดิบในชั้นนั้น
ดังนั้น

$$C_a T_{mix} + W_{mix} (2502.3 + C_v T_{mix}) + RC_{pw} \theta_0 = C_a T_{eq} + W_{mix} (2502.3 + C_v T_{eq}) + RC_{pw} T_{eq}$$

(5.1)

หรือ

$$T_{eq} = \frac{(C_a + C_v W_{mix})T_{mix} + C_{pw}R\theta_0}{C_a + C_v W_{mix} + C_{pw}R} \quad (5.2)$$

เมื่อ C คือ ความร้อนจำเพาะ, $\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
 T คือ อุณหภูมิของอากาศ, $^\circ\text{C}$
 θ คือ อุณหภูมิของยางดิบ, $^\circ\text{C}$
 W คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, $\text{kg of water} / \text{kg of dry air}$
 R คือ อัตราส่วนของมวลของยางดิบแห้งต่อมวลของอากาศแห้ง
 $= \frac{M_{pw}}{M_{mix}\Delta t} \quad (5.3)$

M_{pw} คือ มวลแห้งของยางดิบ, kg

M คือ อัตราการไหลของอากาศแห้ง, kg/h

สัญลักษณ์กำกับล่าง

a คือ อากาศแห้ง

v คือ ไอน้ำ

pw คือ ยางดิบ

mix คือ อากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง

eq คือ เงื่อนไขหลังสมดุลความร้อน

ขั้นตอนต่อไปคำนวณหาความชื้นสมดุลโดยใช้สมการของ Tirawanichakul and Tirawanichakul (2005)

$$1 - RH = \exp(-ATM_{eq}^B) \quad (5.4)$$

โดย $A = 0.00686577$ $R^2 = 0.86$

$$B = 1.02474 \quad R^2 = 0.86$$

เมื่อ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในชั้นอบแห้งนั้นๆ , เศษส่วน

T คือ อุณหภูมิ, $^\circ\text{C}$

A, B คือ ค่าคงที่

2. การคำนวณหาความชื้นของยางดิบภายหลังการอบแห้ง

การคำนวณหาความชื้นของยางดิบ จะใช้รูปแบบสมการการอบแห้งเอมไพริคัล Two Term Exponential ของ Sharaf-Eldeen (1979)

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} = A \exp(-Bt) + (1 - A) \exp(-BA t) \quad (5.5)$$

โดย

$$A = -0.000012 T^2 + 0.002507 T + 0.973109 \quad R^2 = 0.99$$

$$B = 0.00049674 T^2 - 0.1016144 T + 5.291145 \quad R^2 = 0.99$$

และ ใช้รูปแบบสมการการอบแห้งทางทฤษฎี โดยใช้รูปทรงแผ่นแบนราบกว้างและยาวมาก

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{p=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2p+1)^2}\right] \exp\left[-\frac{(2p+1)^2 \pi^2 X^2}{4}\right] \quad (5.6)$$

โดย

$$X = \frac{A}{V} (Dt)^{1/2}$$

$$D = A \exp\left(\frac{-B}{T_{abs}}\right)$$

$$A = 0.000015 \quad R^2 = 0.96$$

$$B = 113.2885 \quad R^2 = 0.96$$

เมื่อ

- MR คือ อัตราส่วนการอบแห้ง
- M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
- M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
- X คือ ระยะทางเฉพาะ (Characteristic length)
- A คือ พื้นที่ผิว, m^2
- V คือ ปริมาตร, m^3
- p คือ จำนวนเต็มมีค่าเป็น 1,2,3,....
- T คือ อุณหภูมิอบแห้ง, $^{\circ}C$
- t คือ เวลาการอบแห้ง, นาที
- A, B คือ ค่าคงที่
- n คือ จำนวนเต็มมีค่าเป็น 1,2,3,...

จากสมการที่ (5.5) และ (5.6) สามารถหาความชื้นเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาน้อย ๆ โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (5.5) หรือ (5.6) เทียบกับเวลา

3. การคำนวณหาสภาวะอากาศหลังจากการอบแห้ง

จากหลักการทรงมวล ได้ว่า ความชื้นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากเมล็ดพืช สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$W_f = (M_{in} - M_f)R + W_{mix} \quad (5.7)$$

โดย

$$R = \frac{M_{pw}}{M_{mix} \Delta t}$$

เมื่อ M_{pw} คือ มวลแห้งของยางดิบ, kg

จากหลักทรงพลังงานจะได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแสดอากาศรวมกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของยางดิบอบแห้งเท่ากับผลรวมของความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม เมื่อจัดเทอมต่าง ๆ จะได้

$$T_f = \frac{C_a T_{mix} + W_{mix} (2502.3 + C_v T_{mix}) + RC_{pw} \theta - W_f 2502.3}{C_a + W_f C_v + RC_{pw}} \quad (5.8)$$

จากสมการที่ (5.7) และ (5.8) สามารถหาค่า W_f และ T_f ได้ จากนั้นต้องตรวจสอบสถานะอากาศว่าเป็นไปได้หรือไม่ เนื่องจากสภาพอากาศจะต้องมีค่า $RH < 1$ เท่านั้น ถ้า $RH > 1$ แล้วจะแทนค่า W_f และ T_f และ M_f ด้วยค่าก่อนผ่านการอบแห้ง เพื่อคำนวณค่า W_f และ T_f ใหม่ โดยที่ W_f เป็นฟังก์ชันของ T_f เมื่อสมมติว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังการควบแน่นมีค่าเท่ากับ 1 จะสามารถแทนค่า W_f ด้วย $f(T_f)$ และสามารถแก้สมการหาค่า T_f ได้โดยใช้เทคนิคของ Newton-Raphson แล้วจึงทำนายสถานะอากาศและความชื้นของเมล็ดพืชที่ได้จากการควบแน่น (Moisture condensation) ดังนี้

$$C_a T_{mix} + W_{mix} (2502.3 + C_v T_{mix}) + RC_{pw} T_{mix} = C_a T_f + W_f (2502.3 + C_v T_f) + RC_{pw} T_f \quad (5.9)$$

$$\text{และ } M_f = M_o - \frac{(W_f - W_{mix})}{R} \quad (5.10)$$

ขั้นตอนการอบแห้งนี้จะพิจารณาที่ชั้นบาง ๆ เท่านั้น และสมมติว่าอากาศและอุณหภูมิตรงทางออกของชั้นบางชั้นก่อนเป็นอากาศและอุณหภูมิตรงทางเข้าของชั้นบางที่อยู่ถัดไป การคำนวณนี้จะดำเนินต่อไปจนถึงชั้นบนสุด ซึ่งจะเป็นการอบแห้งชั้นหนาโดยรวมชั้นบางแต่ชั้นเข้าด้วยกันและเวลาการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นครั้งละ Δt การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อเวลาอบแห้งสูงกว่าหรือเท่ากับที่ตั้งไว้

4. การคำนวณสถานะอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง

พิจารณาปริมาตรควบคุม CV2 ในภาพประกอบที่ 5.1 เป็นท่ออากาศไหลเวียนกลับ จากกฎทรงพลังงานจะได้ว่า การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแสดอากาศเท่ากับผลรวมของ

ความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างท่ออากาศไหลเวียนกลับกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เราสามารถคำนวณอุณหภูมิของอากาศไหลเวียนกลับก่อนที่จะเข้าผสมกับอากาศใหม่ได้ดังนี้

$$T_{f2} = \frac{Q_2 / (RCm_{mix}) + C_a T_f + W_f C_v T_f}{C_a + W_f C_v} \quad (5.11)$$

โดย

- T_{f2} คือ อุณหภูมิของอากาศเวียนกลับก่อนเข้าผสมกับอากาศใหม่, °C
 RC คือ อัตราส่วนการไหลเวียนกลับของอากาศหลังการอบแห้ง, เศษส่วน
 Q_2 คือ อัตราการสูญเสียความร้อนของท่ออากาศไหลเวียนกลับให้กลับสิ่งแวดล้อม, kW

เมื่อพิจารณาปริมาตรควบคุม CV3 ในภาพประกอบที่ 5.2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการผสมระหว่างอากาศไหลเวียนกลับกับอากาศใหม่ จากกฎทรงมวล ปริมาณไอน้ำก่อนเข้าห้องอบแห้งจะเท่ากับปริมาณไอน้ำของอากาศบวกกับปริมาณไอน้ำของอากาศที่หมุนเวียนกลับซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$RCm_{mix}W_f + m_i W_i = m_{mix} W_{mix} \quad (5.12)$$

เมื่อ

- m_i คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศใหม่, kg/s
 W_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศใหม่, เศษส่วน

และมวลของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งจะเท่ากับมวลของอากาศที่ไหลเวียนกลับบวกกับมวลของอากาศใหม่ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m_{mix} = RCm_{mix} + m_i \quad (5.13)$$

จากสมการ (5.12) และ (5.13) จะได้

$$W_{mix} = (1 - RC)W_i + RCW_f \quad (5.14)$$

5. แบบจำลองคุณสมบัติอากาศชื้น

จากคุณสมบัติอากาศชื้นสามารถคำนวณหาความชื้นสัมพัทธ์ได้ดังนี้

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (5.15)$$

โดย

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, เศษส่วน
 P_v คือ ความดันของไอน้ำในอากาศ, kPa
 P_{vs} คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัว, kPa

6. แบบจำลองความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและความร้อน

6.1 การคำนวณอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าพัดลม

พิจารณาปริมาตรควบคุม CV3 ดังในภาพประกอบที่ 5.1 จากหลักการทรงพลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศจะเท่ากับศูนย์ ไม่เกิดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนน้อยมาก สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$m_{mix}C_aT_x + m_{mix}W_{mix}(2502.3 + C_vT_x) - m_iC_a(T_i) - m_iW_i(2502.3 + C_vT_i) - R C m_{mix} C_a T_{f2} - R C m_{mix} C_a T_{f2} - R C m_{mix} W_f (2502.3 + C_v T_{f2}) = 0 \quad (5.16)$$

เมื่อ T_x คือ อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าพัดลม, °C

T_i คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

6.2 การคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพัดลม

พิจารณาปริมาตรควบคุม CV4 ในภาพประกอบที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแสอากาศเท่ากับงานเพลลาที่ให้แก่พัดลม โดยสมมติว่า การถ่ายเทความร้อนที่ปริมาตรควบคุมมีน้อยมาก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\Delta T_{fan} = \frac{P_t}{1000(\rho_a \eta_f)(C_a + C_v W_{mix})} \quad (5.17)$$

เมื่อ ΔT_{fan} คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพัดลม, °C

P_t คือ ความดันรวมของระบบ, Pa

η_f คือ ประสิทธิภาพของพัดลม, เศษส่วน

6.3 การคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน

พิจารณาปริมาตรควบคุม CV5 ในภาพประกอบที่ 5.1 เป็นส่วนที่ให้พลังงานความร้อนจะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของกระแสอากาศเท่ากับการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม และปริมาณความร้อนที่ได้รับจากตัวอุ่นอากาศ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_h = [m_{mix}(C_a + C_v W_{mix})T_{mix} - T_b] - Q_5 \quad (5.18)$$

เมื่อ Q_h คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน, kW

Q_5 คือ อัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ heater, kW

T_b คือ อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากพัดลม, °C

6.4 การคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของพัดลม

การคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของพัดลมคืองานที่ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม สามารถคำนวณได้จากกำลังงานที่เอาชนะแรงเสียดทานของ

ระบบซึ่งจะมีกระแสลมร้อนไหลผ่านระบบโดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของระบบท่อต่าง ๆ ภายในระบบทั้งหมด (รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก จ.) และส่วนของเบตภายในห้องอบแห้ง โดยมีรูปแบบสมการของแต่ละส่วนดังนี้

ในช่วงการอบแห้งโดยใช้ทิศทางลมจากด้านบนลงด้านล่าง (P_1)

$$P_1 = [20.1999 - 1.075RC + 15.8292RC^2] \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

และในช่วงการอบแห้งโดยใช้ทิศทางลมจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (P_2)

$$P_2 = [22.9719 - 1.075RC + 34.378RC^2] \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

$$P_L = P_1 + P_2 \quad (5.19)$$

และ
$$P_B = H(1 - \varepsilon)(\rho_p - \rho_a) \left(\frac{g}{g_c} \right) \quad (5.20)$$

โดย P_L คือ ความดันลดภายในระบบท่อทั้งหมด, Pa

P_B คือ ความดันลดที่เกิดจากเบตภายในห้องอบแห้ง, Pa

ε คือ สัดส่วนช่องว่างของอากาศของยางดิบ, เศษส่วน

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

ρ_p คือ ความหนาแน่นของยางดิบ, kg/m^3

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก = $32.2 \text{ ft} / \text{s}^2$

g_c คือ dimensional constant = $32.2 \text{ lb}_m \text{ ft} / (\text{lb}_f \text{ s}^2)$

ดังนั้นความดันรวมของระบบจะคำนวณจากสมการ

$$P_t = P_L + P_B \quad (5.21)$$

จากนั้นนำค่าความดันลดในระบบมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของพัดลมดังสมการ

$$W_M = \frac{P_t (m_{mix} / \rho_a)}{\eta_f} \quad (5.22)$$

เมื่อ W_M คือ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์, kW

ดังนั้นจะพิจารณาหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยมวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ หากสมการ

$$SEC = [2.6(\sum W_M) + (\sum Q_h) \Delta T] / M_w \quad (5.23)$$

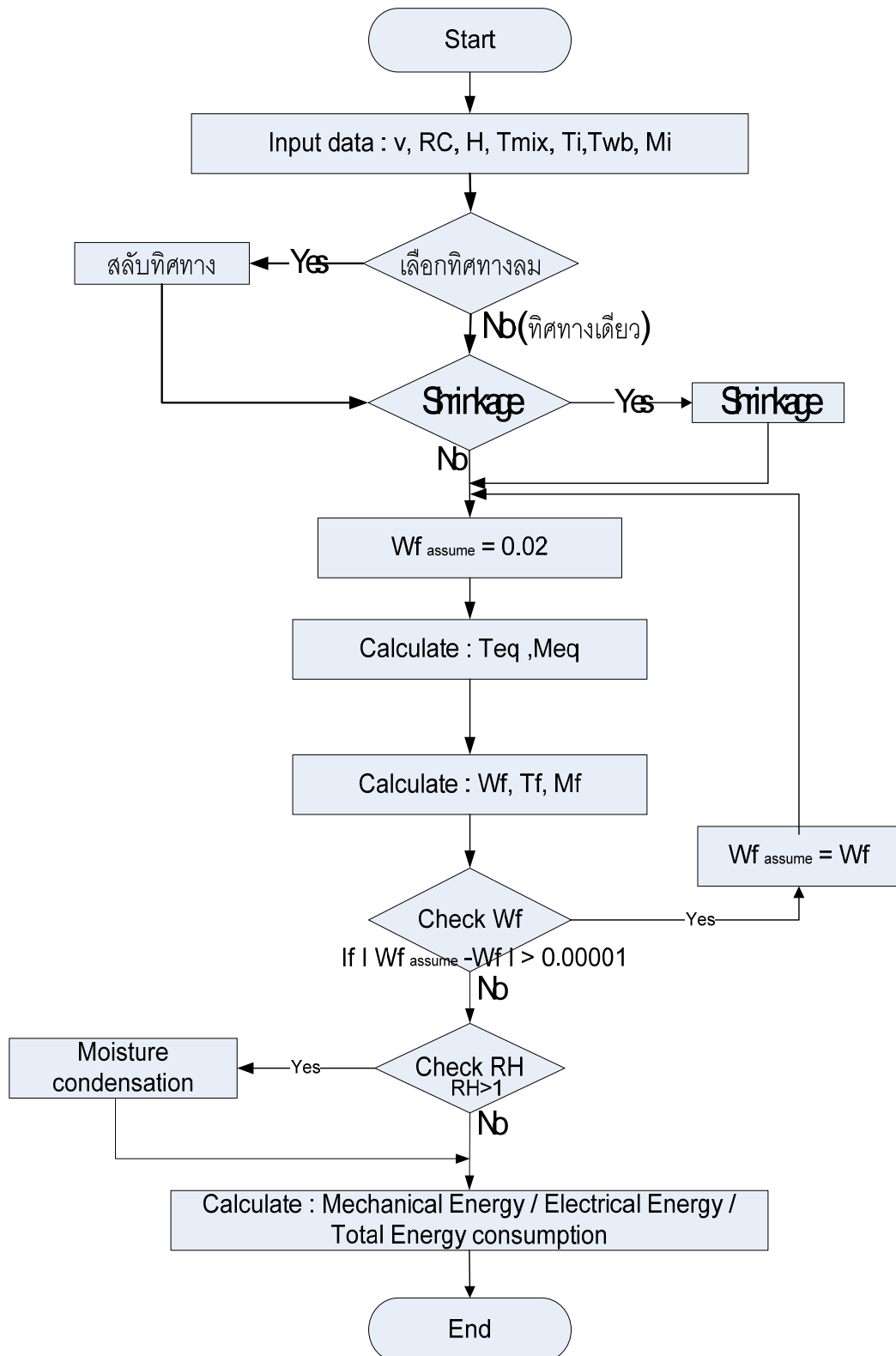
เมื่อ SEC คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kgfwatervapora

- $\sum W_M$ คือ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์, kW
 $\sum Q_h$ คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน, kW
 M_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออก, kg

7. ขั้นตอนการคำนวณ

1. กำหนดข้อมูลเริ่มต้นที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ คือ v , RC , H , T_{mix} , T_i , T_{wb} , $time$ และ M_{in} เลือกทิศทางลม (ทิศทางเดียวหรือสลับทิศทางลม) และเลือกค่าการยุบตัว
2. คำนวณหาค่า W_{mix} จากสมการที่ (5.14) โดยสมมติค่า $W_f = 0.02$
3. นำค่า W_{mix} คำนวณค่า T_{eq} จากสมการ (5.2) เพื่อหาค่า RH และค่า M_{eq} จากสมการที่ (5.4)
4. คำนวณหาค่า M_f จากอนุพันธ์เทียบกับเวลาจากสมการ (5.5) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งเอมพิริคัล และคำนวณหาค่า M_f จากอนุพันธ์เทียบกับเวลาจากสมการ (5.6) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งแบบทฤษฎี
5. คำนวณค่า W_f จากสมการ (5.7) และคำนวณหาค่า T_f จากสมการ (5.8)
6. เปรียบเทียบค่า W_f ที่คำนวณได้กับค่าที่สมมติขึ้น ถ้ามีความแตกต่างกันมากกว่า 0.00001 ก็ให้กลับไปคำนวณค่าต่าง ๆ ใหม่ โดยสมมติค่า W_f ตอนเริ่มต้นให้เท่ากับค่าที่คำนวณได้
7. ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า W_f ที่คำนวณได้กับค่าที่สมมติขึ้น มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 0.00001
8. นำค่า ค่า W_f และค่า T_f ที่คำนวณได้ไปคำนวณหาค่า RH แล้วตรวจสอบสถานะนี้ว่าเป็นไปได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ ($RH > 1$) นำค่า T_{mix} และค่า W_f ใหม่ไปคำนวณหาค่า Moisture condensation
9. คำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน จากสมการ (5.18) และความสิ้นเปลืองพลังงานของพัดลม จากสมการ (5.22) และ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากสมการ (5.23) ตามลำดับ

ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงเป็น flow chart ได้ดังภาพประกอบที่ 5.2



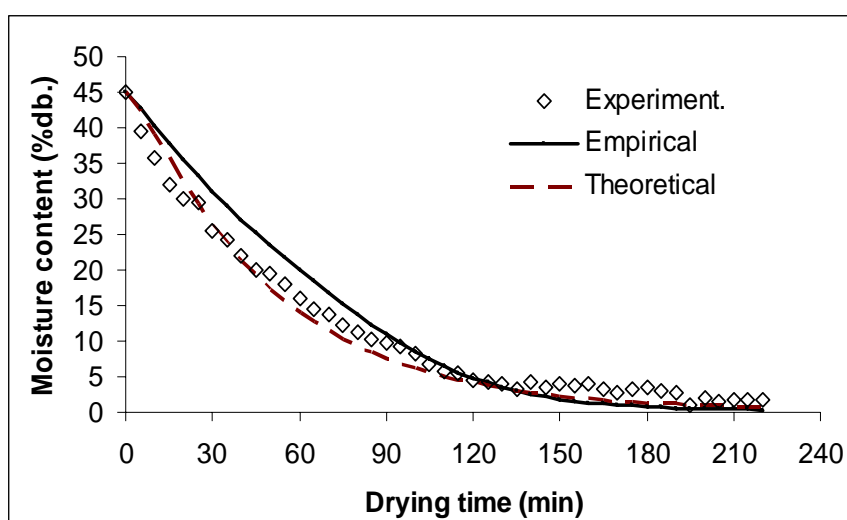
ภาพประกอบที่ 5.2 แผนภูมิขั้นตอนจำลองการอบแห้งยางแท่ง

5.2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งยางดิบกับผลการทดลอง

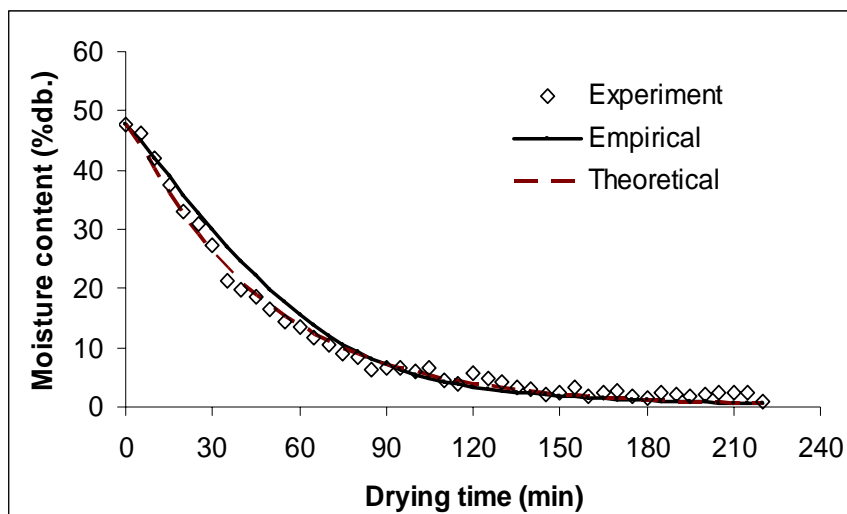
การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นกับผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ และการค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยแบบจำลองจะใช้เงื่อนไขการอบแห้งที่เหมือนกับเงื่อนไขการทดลอง โดยใช้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ เท่ากับ 0.7 ประสิทธิภาพของพัดลม 0.7 และประสิทธิภาพของตัวทำความร้อนเท่ากับ 0.9 นำมาทำนายการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อม เท่ากับ 30°C อุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 26°C ที่อัตราการวนกลับของอากาศเท่ากับ 90 %

5.2.1 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งยางดิบกับผลการทดลองอบแห้งยางดิบด้วยอุณหภูมิคงที่ ทิศทางลมจากบนลงล่าง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบที่ 5.3-5.4 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยข้อมูลจากแบบจำลองในช่วง 100 นาที แรกมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลอง และมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเวลาที่เหลือ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางแบบทฤษฎีนั้นให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองมากกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางแบบเอมพิริคัล

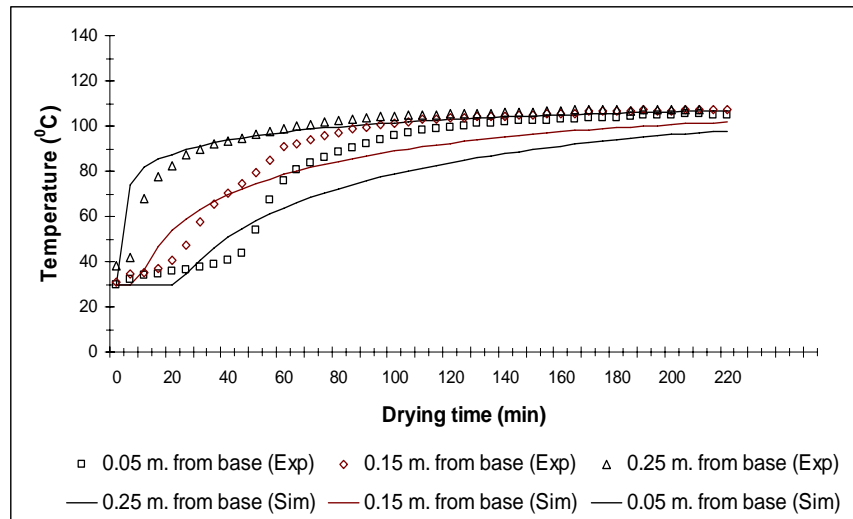


ภาพประกอบที่ 5.3 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 110°C ความชื้นเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 45.1%มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.2)

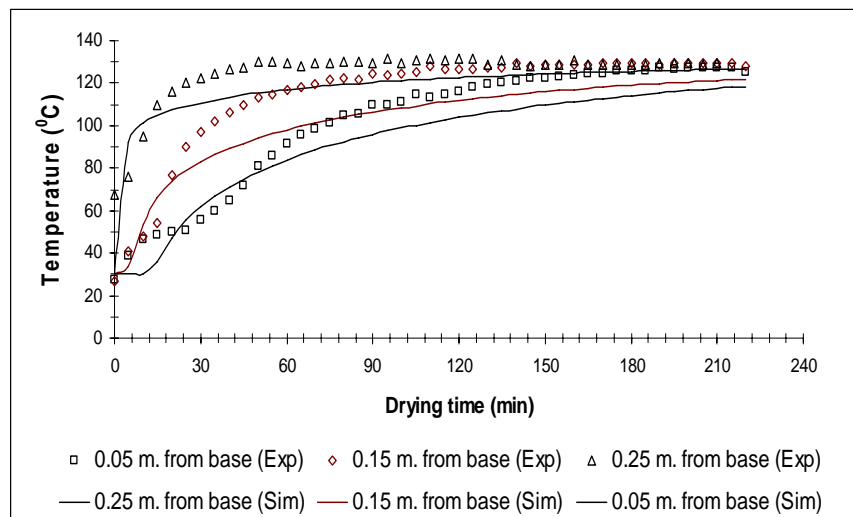


ภาพประกอบที่ 5.4 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ความชื้นเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 47.7%มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.4)

จากภาพประกอบที่ 5.5-5.6 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง พบว่า ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นยางดิบที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและค่อย ๆ เข้าสู่ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกับผลการทดลองมาก โดยข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใกล้เคียงกันในชั้นแรกของยางที่ปะทะลมร้อน ส่วนในชั้นอื่น ๆ ค่าที่ได้จากแบบจำลองจะแตกต่างจากค่าที่ได้จากข้อมูลการทดลองอย่างเห็นได้ชัดในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางแบบเอมพิริคัล ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางแบบทฤษฎีนั้นให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองมากกว่า

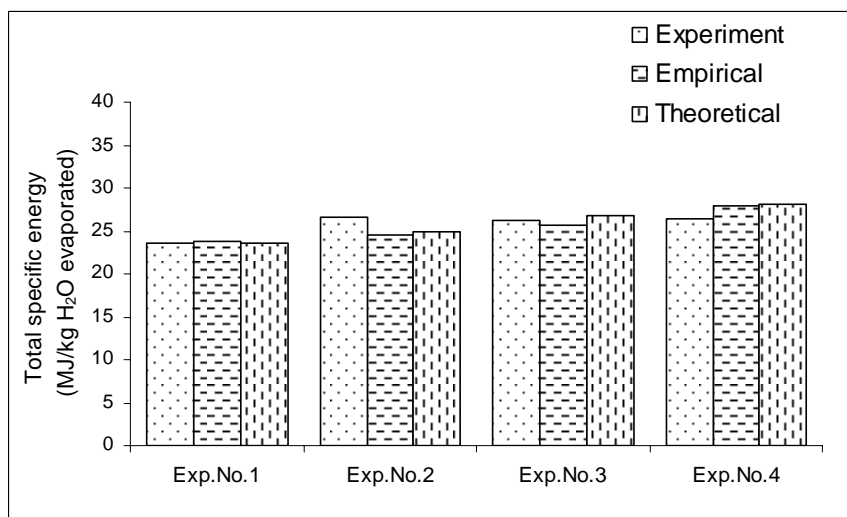


ภาพประกอบที่ 5.5 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อุณหภูมิอบแห้ง 110°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 45.1% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.2)



ภาพประกอบที่ 5.6 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 47.7% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.4)

จากภาพประกอบที่ 5.7 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลอง พบว่า ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันกับข้อมูลจากการทดลอง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแบบจำลองที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งทั้งแบบเอมพิริคัลและแบบทางทฤษฎี ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน



Exp No.1 อุณหภูมิอบแห้ง 108°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 47.7%
มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

Exp No.2 อุณหภูมิอบแห้ง 110°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 45.1%
มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

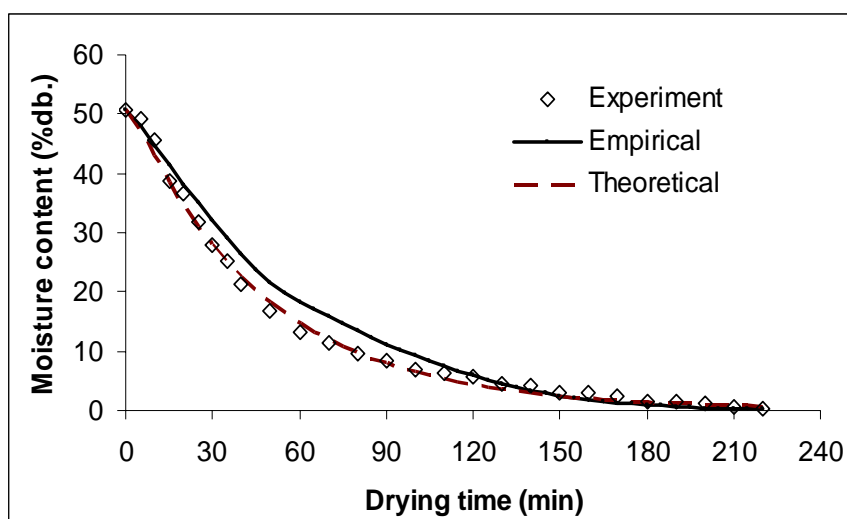
Exp No.3 อุณหภูมิอบแห้ง 120°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 45.7%
มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

Exp No.4 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 220 นาที ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 47.7%
มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

ภาพประกอบที่ 5.7 เปรียบเทียบข้อมูลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลอง

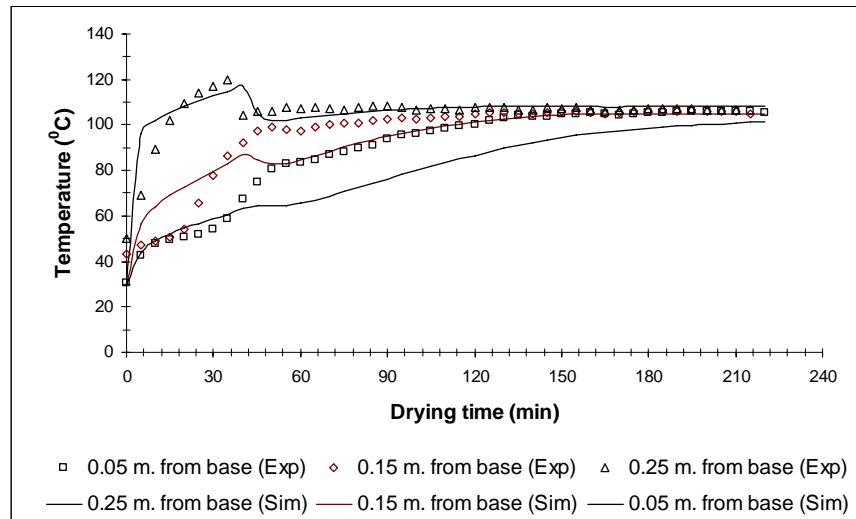
5.2.2 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งยางดิบกับผลการทดลองอบแห้งยางดิบด้วย 2 ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง ทิศทางลมจากบนลงล่าง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง โดยแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งรูปแบบทางทฤษฎีจะให้ข้อมูลใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าแบบจำลองที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล

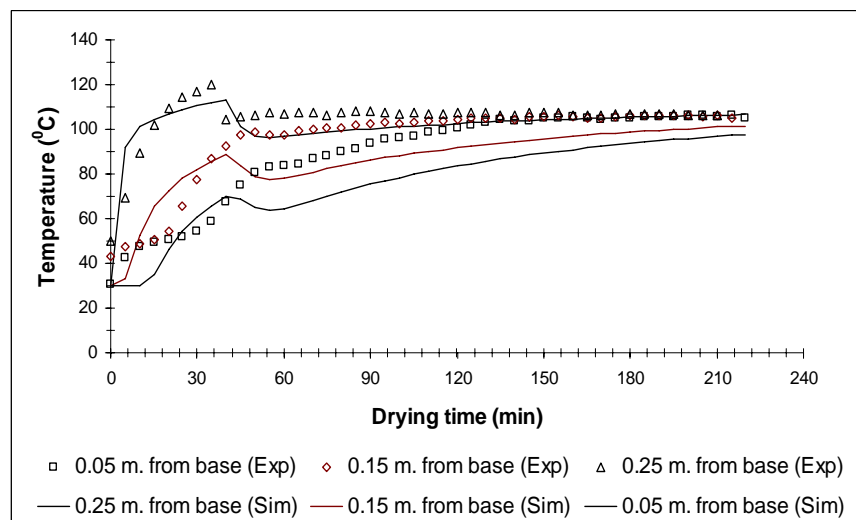


ภาพประกอบที่ 5.8 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ความชื้นเริ่มต้น 50.8 %มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.5)

จากภาพประกอบที่ 5.9-5.10 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง พบว่า ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นยางดิบที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและค่อย ๆ เข้าสู่ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยแบบจำลองที่ใช้รูปแบบสมการอบแห้งแบบทฤษฎีจะให้ข้อมูลในช่วงการอบแห้งช่วงแรกที่ใกล้เคียงกับการทดลอง แต่มีความแตกต่างกันในช่วงการอบแห้งในช่วงที่เหลือ โดยข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง



ภาพประกอบที่ 5.9 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ความชื้นเริ่มต้น 50.8 %มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.5)



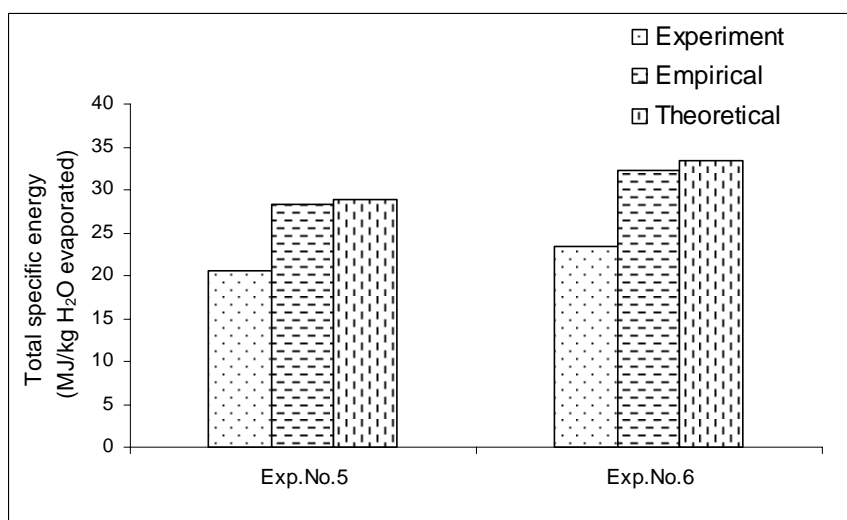
ภาพประกอบที่ 5.10 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบทฤษฎี อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ตามด้วย 110°C

ระยะเวลา 180 นาที ความชื้นเริ่มต้น 50.8 %มาตรฐานแห้ง ความเร็ว

ลม

2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.5)

จากภาพประกอบที่ 5.11 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลอง พบว่า ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จากแบบจำลองแตกต่างจากข้อมูลจากการทดลองอยู่พอสมควร ซึ่งแบบจำลองทั้งสองนี้อธิบายการใช้ค่าพลังงานจำเพาะในรูปแบบการอบแห้งแบบนี้ไม่ได้ ซึ่งเป็นไปได้จากข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองไม่ดีจึงทำให้การจำลองการใช้พลังงานได้ค่าที่ไม่ดีตามไปด้วย



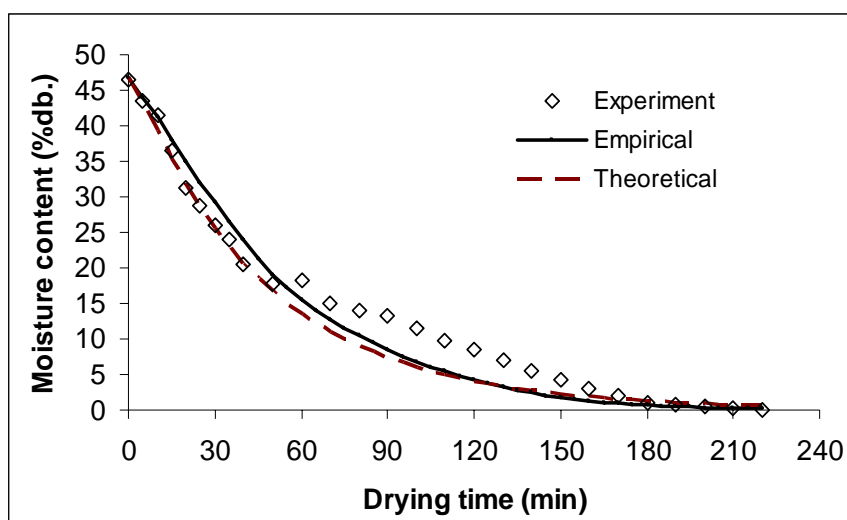
Exp No.5 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ความชื้นเริ่มต้น 50.8% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

Exp No.6 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ความชื้นเริ่มต้น 40.7% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

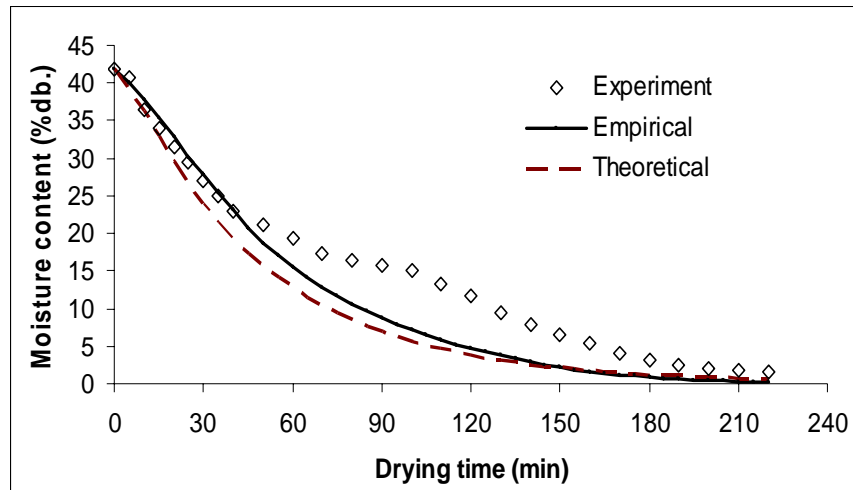
ภาพประกอบที่ 5.11 เปรียบเทียบข้อมูลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลอง

5.2.3 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งยางดิบกับผลการทดลองอบแห้งยางดิบด้วย 2 ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง ทิศทางลมจากบนลงล่างในช่วงอุณหภูมิอบแห้งช่วงแรกและทิศทางลมจากล่างขึ้นบนในช่วงอุณหภูมิที่เหลือ

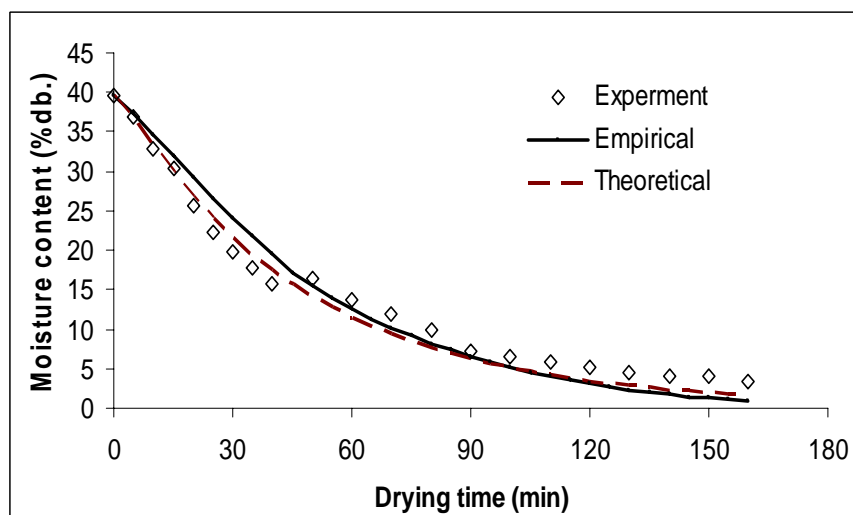
การเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลจากการทดลอง ในส่วนนี้ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้สภาวะการจำลองเช่นเดียวกับสภาวะการทดลองจากข้อมูลในตารางที่ 4.1 จากภาพประกอบที่ 5.12-5.15 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูล การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลอง Exp.No.18, 22, 24 และ 25 ตามลำดับ พบว่า ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้จากการทดลอง โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิอบแห้งในช่วงแรก และค่อย ๆ ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้ง ช่วงที่สอง แต่จะแตกต่างกันในช่วงเวลา 40-150 นาที ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่า ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจากในการทดลองเมื่อปรับเปลี่ยนทิศทางลมทำให้ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จะมีผลกระทบจากลมร้อนที่ให้แก่เนื้ออย่างดิบ ทำให้ค่าที่อ่านได้มีมากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสอง พบว่า แบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบทฤษฎีจะให้ผลที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล



ภาพประกอบที่ 5.12 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 46.7% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.18)

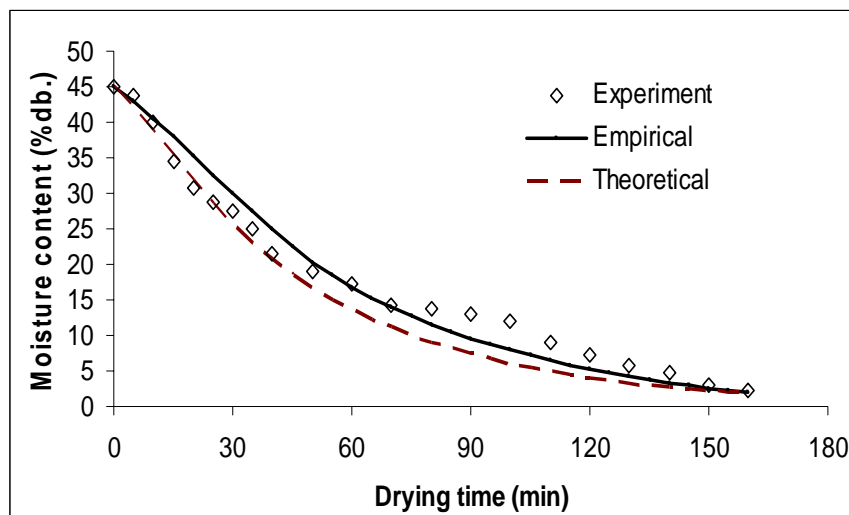


ภาพประกอบที่ 5.13 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 42.0% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที (Exp.No.22)



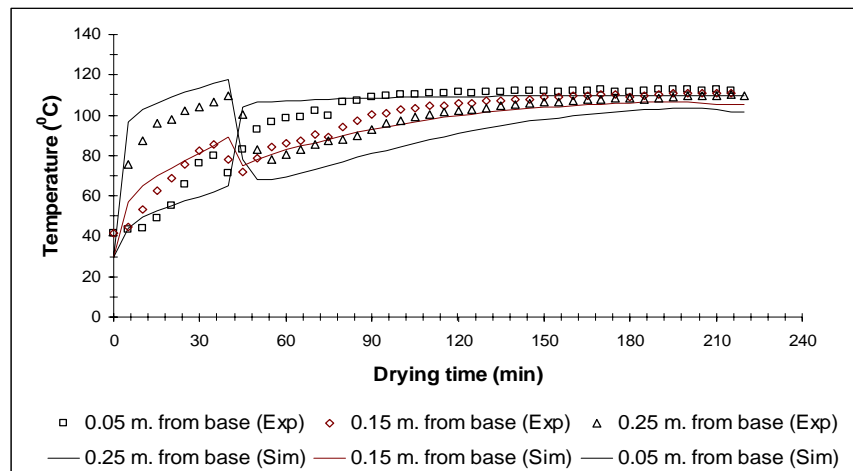
ภาพประกอบที่ 5.14 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 120 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน

ความชื้นเริ่มต้น 39.6% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที
(Exp.No.24)



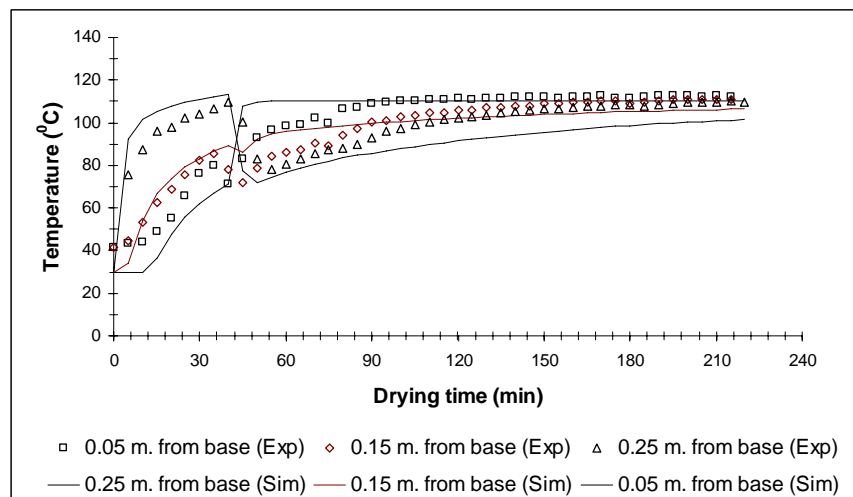
ภาพประกอบที่ 5.15 การเปรียบเทียบความชื้นของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 120 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 44.0 %มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที (Exp.No.25)

จากภาพประกอบที่ 5.16–5.19 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลอง พบว่า ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากแบบทดลอง โดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิอบแห้งสูงในช่วงแรก และค่อย ๆ เข้าสู่ค่าที่ใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิอบแห้งช่วงที่เหลือ แต่แตกต่างกันในช่วงอุณหภูมิอบแห้งที่สอง โดยข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าข้อมูลอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งทางทฤษฎีกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งทางทฤษฎีจะให้ข้อมูลอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล



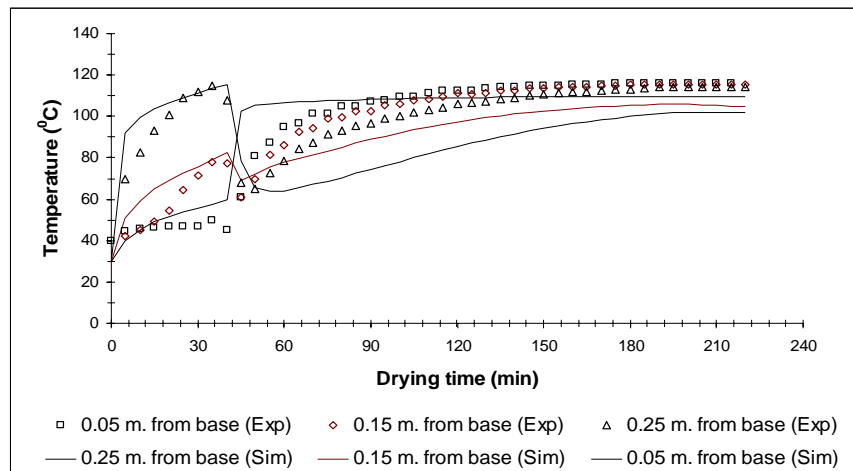
ภาพประกอบที่ 5.16 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลม

จากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 46.7 %มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที (Exp.No.13)

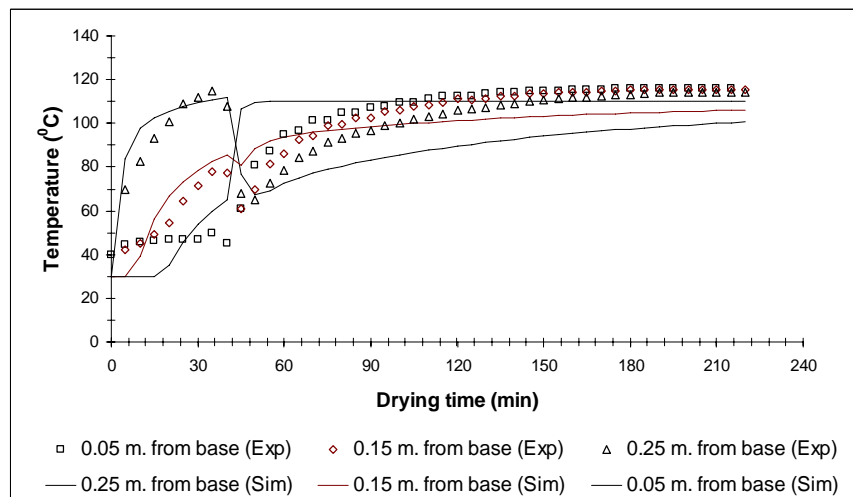


ภาพประกอบที่ 5.17 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบทฤษฎี อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 46.7 %มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อ

วินาที (Exp.No.13)



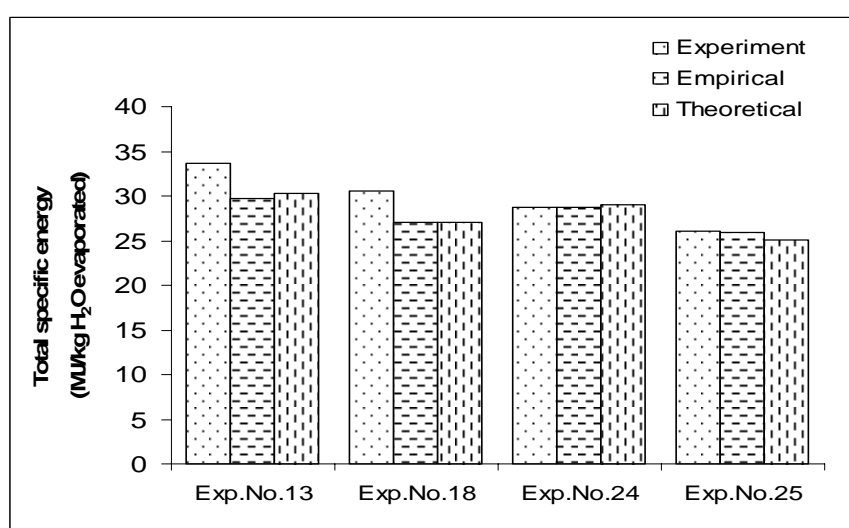
ภาพประกอบที่ 5.18 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 42.0% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที (Exp.No.18)



ภาพประกอบที่ 5.19 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาในชั้นยางของการอบแห้งยางดิบที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่ใช้สมการอบแห้งแบบทฤษฎี อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 42.0% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อ

วินาที (Exp.No.18)

จากภาพประกอบที่ 5.20 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลอง พบว่า ข้อมูลค่าพลังงานจำเพาะที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยมีค่าแตกต่างกันประมาณ 10% และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองแบบ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการทางทฤษฎีให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล



Exp.No.13 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 46.7% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

Exp.No.18 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 180 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 42.0% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที

Exp.No.24 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 120 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 39.6% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

Exp.No.25 อุณหภูมิอบแห้ง 130°C ระยะเวลา 40 นาที ทิศทางลมจากบนลงล่าง ตามด้วย 110°C ระยะเวลา 120 นาที ทิศทางลมจากล่างขึ้นบน ความชื้นเริ่มต้น 44.0% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที

ภาพประกอบที่ 5.20 เปรียบเทียบข้อมูลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

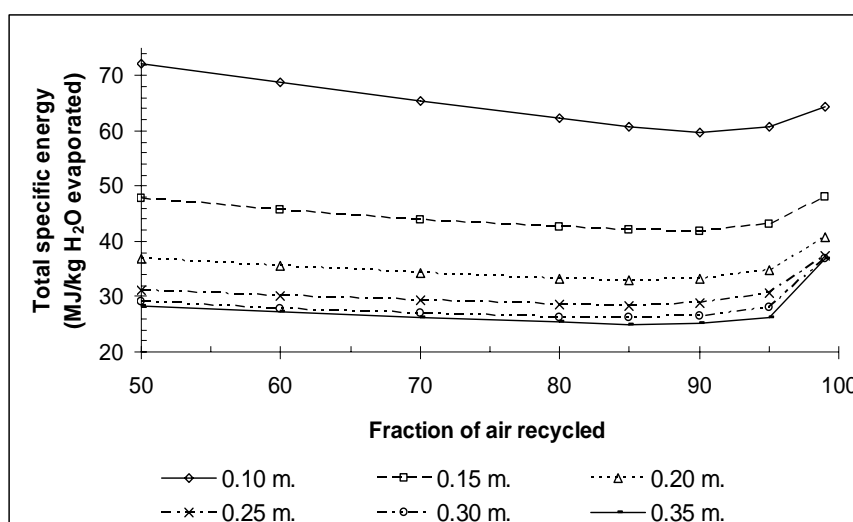
จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ และค่าพลังงานจำเพาะ ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลอง และสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ ค่าพลังงานจำเพาะได้ดีในรูปแบบการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว และรูปแบบการอบแห้งแบบ 2 ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง เปลี่ยนทิศทางลม ส่วนรูปแบบการอบแห้งแบบ 2 ช่วงอุณหภูมิ ทิศทางลมทิศทางเดียวนั้นสามารถทำนายได้ดีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยแบบจำลองสามารถทำนายได้ดีเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นเพราะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ข้อมูลในการสร้างสมการอยู่ในช่วงอุณหภูมิ $100^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C}$ ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำ แบบจำลองจะทำนายได้ผลที่ไม่ดี และในส่วนของค่าพลังงานจำเพาะยังอธิบายได้ไม่ดีพอ เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการทางทฤษฎีและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการเอมพิริคัล พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการทางทฤษฎีสามารถทำนายข้อมูลการทดลองได้ดีกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้รูปแบบสมการเอมพิริคัลในทุกรูปแบบการทดลอง

5.3 ผลการทำนายการอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายเพื่อหาแนวทางการอบแห้งยางดิบเพื่ออุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบใกล้เคียงของ Saponronarit (2540) และ Aree *et al.* (2000) ซึ่งในการทำนายการอบแห้งยางแท่งจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งชั้นบางทางทฤษฎี เนื่องจากการเปรียบเทียบในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งชั้นบางทางทฤษฎีดีกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการอบแห้งชั้นบางแบบเอมพิริคัล และใช้สมการความชื้นสมดุล (สมการที่ 5.4) โดยใช้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ เท่ากับ 0.7 ประสิทธิภาพของพัดลม 0.7 และประสิทธิภาพของตัวทำความร้อนเท่ากับ 0.9 นำมาทำนายการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อม เท่ากับ 30°C อุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 26°C ชั้นยางหนา 0.10-0.35 เมตร ความชื้นเริ่มต้นของยางดิบ 30-60% มาตรฐานแห้ง การไหลของอากาศในช่วง 0.10-0.20 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรยาง และอัตราการวนกลับของอากาศ 0-99% ทำนายการอบแห้งในรูปแบบการอบแห้งด้วยอุณหภูมิตอบแห้ง 2 ช่วงอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ 130°C ระยะเวลา 40 นาที และตามด้วย อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 120 นาที ค่าต่าง ๆ ที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายได้ ได้แก่ พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งความชื้นและอุณหภูมิของยางดิบภายหลังการอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งผลการทำนายสามารถสรุปได้ดังนี้

5.3.1 อิทธิพลของความหนาของยางแห้ง

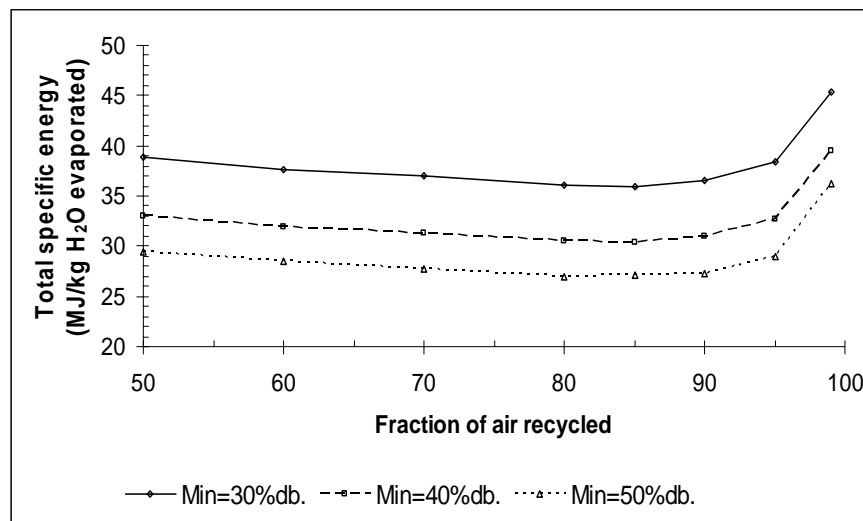
จากภาพประกอบที่ 5.21 แสดงอิทธิพลของความหนาของยางแห้งต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะโดยอัตราการวนกลับของอากาศอยู่ระหว่าง 0-99 % , ความชื้นเริ่มต้น 45% มาตรฐานแห้ง ความหนาของยางอยู่ระหว่าง 0.10-0.35 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 0.14 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรยางดิบ พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะมีค่ามากที่ความหนาของยางดิบน้อยๆ และ ที่ความหนาของยางมากกว่า 0.25-0.35 เมตร ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพประกอบที่ 5.21 อิทธิพลของความหนาของยางแห้งต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะ

5.3.2 อิทธิพลของความชื้นเริ่มต้นของยางแห้ง

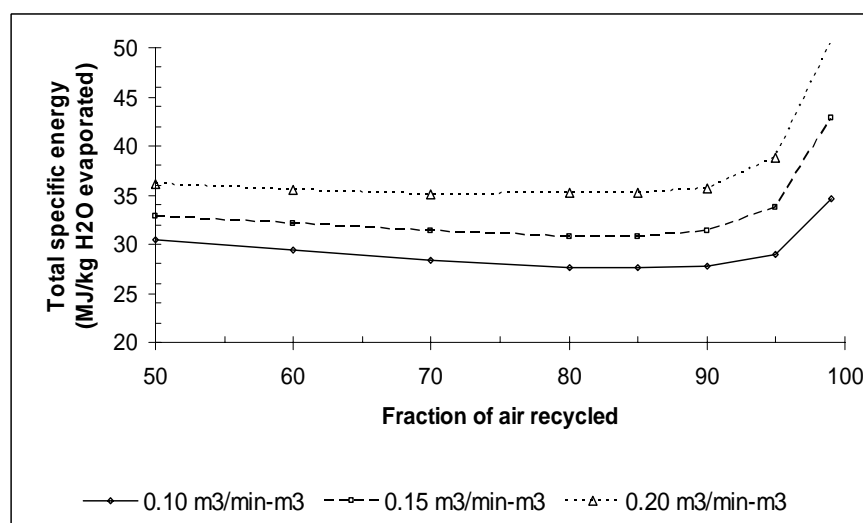
จากภาพประกอบที่ 5.22 แสดงอิทธิพลของความชื้นเริ่มต้นของยางแห้งต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะโดยอัตราการวนกลับของอากาศอยู่ระหว่าง 0-99 % ความหนาของยางเท่ากับ 0.25 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 0.14 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรยาง พบว่า ค่าความชื้นเริ่มต้นของยางดิบน้อยค่าการใช้พลังงานจะมากและจะลดลงเมื่อค่าความชื้นเริ่มต้นของยางดิบเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 5.22 อิทธิพลของความชื้นเริ่มต้นของยางแห้งต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะ

5.3.3 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศ

จากภาพประกอบที่ 5.23 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะโดย ความหนาของยางเท่ากับ 0.25 เมตร ความชื้นเริ่มต้น 45% มาตรฐานแห้ง อัตราการวนกลับของอากาศอยู่ระหว่าง 0-99% อัตราการไหลของอากาศ 0.10-0.20 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรยาง พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 5.23 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศต่อความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะ

5.3.4 อิทธิพลของอัตราการวนกลับของอากาศ

จากภาพประกอบที่ 5.21-5.23 พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการวนกลับของอากาศจนถึง 85% และเมื่อเพิ่มอัตราการวนกลับของอากาศขึ้นอีก ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นอัตราการวนกลับของอากาศที่ดีที่สุดเท่ากับ 85%

5.4 วิเคราะห์ผล

จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้มีคุณภาพวางแท่งเป็นไปตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยสุด พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับการทดลองการอบแห้งด้วย 2 ช่วงอุณหภูมิและการสลับทิศทางลมร้อน โดยผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในเนื้อยางมีความใกล้เคียงกันโดยแตกต่างกันในชั้นบนสุดของยาง (0.25 เมตรจากฐานของกระบะ) และการเปลี่ยนแปลงของความชื้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันเล็กน้อยในช่วงหลังจากการเปลี่ยนทิศทางลม และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบทฤษฎีจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล และจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายการอบแห้งยางแท่ง เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่ทำให้ได้อย่างแท่งเป็นไปตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 โดยใช้พลังงานจำเพาะน้อยสุด พบว่า เมื่อเพิ่มความหนาของยางดิบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยลง และมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความหนามากกว่า 0.30 เมตร ความชื้นของยางดิบต้องมีค่ามากจึงจะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยลง อัตราการไหลของอากาศต้องมีค่าน้อยจึงจะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยลง และอัตราการวนกลับของอากาศมาใช้ใหม่ ที่ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยสุดอยู่ที่ 85%