

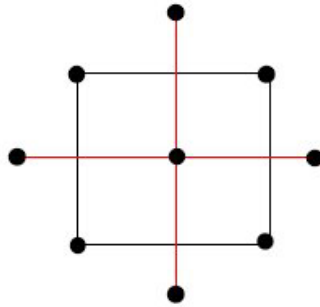
$$B = \begin{bmatrix} 2\beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k} \\ \beta_{12} & 2\beta_{22} & \dots & \beta_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{1k} & \beta_{2k} & \dots & 2\beta_{kk} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Central-composite design เป็นวิธีหนึ่งที่เสริมขึ้นจากวิธี factorial design โดยการเพิ่ม star หรือ axial points เขียนในลักษณะเมตริกซ์เป็น

$$\begin{array}{cccccc} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \left[ \begin{array}{ccccc} +\alpha & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\alpha & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & +\alpha & 0 & & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & +\alpha & & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha & & 0 \\ & & \dots & & \\ 0 & 0 & 0 & & +\alpha \\ 0 & 0 & 0 & & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 & & 0 \end{array} \right] \end{array}$$

จำนวนการทดลองด้วยวิธี central-composite design เท่ากับผลรวมของ factorial points,  $2^k$  กับ axial points,  $2k$  และจุดกลางหรือ center point,  $n$  ซึ่งจุดนี้อาจซ้อนกันขึ้นอยู่กับทางเลือกจำนวนการทดลองซ้ำ ดังนั้นจำนวนการทดลองด้วยวิธี central-composite design คือ  $2^k + 2k + n$  การทดลอง

ระยะห่างระหว่าง center point กับ axial point คือ  $\alpha$  ค่านี้ต้องเป็นค่าที่แน่ใจได้ว่าจะทำให้ค่า variance ในการทำนายมีค่าน้อยสุดและเป็นระยะที่ทำให้สมมาตรหรือทำให้แบบการทดลองมี rotatability ค่า  $\alpha$  เท่ากับ  $\sqrt[4]{F}$  โดยที่  $F$  คือ จำนวน factorial points เท่ากับ  $2^k$  แม้ว่าจำนวน center point จะไม่ส่งผลต่อค่า  $\alpha$  แต่เพื่อลด variance ในการทำนาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็น center of the factor space ควรใช้ 3-5 center points ในการออกแบบการทดลอง ลักษณะของรูปแบบการทดลองแบบ central-composite ที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร แสดงได้ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ลักษณะ 2 factors central-composite design

ในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบนี้ได้เลือกใช้ 2 factors คือ อุณหภูมิ และความเร็วลม ส่วน Response คือ ความชื้นยางแผ่นดิบ และ/หรือ เวลาที่ใช้อบแห้ง แต่ด้วยข้อจำกัดที่ไม่สามารถเลือกใช้ยางแผ่นดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากันได้ทุกการทดลอง และไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบแห้งให้คงที่เท่ากันตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จึงต้องมีการเลือกใช้ข้อมูลการทดลองในบางช่วงของผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธี response surface

แต่ละเงื่อนไขการทดลองจะถูกระบุด้วย code -1, 0, 1 ส่วนค่า -1.414 และ 1.414 จะเป็น code ที่แทน axial points แบบการทดลองสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบที่มี 2 factors แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบการทดลอง central-composite design ที่มี 2 factors

| Exp # | T      | v      | Resp_1 | Resp_2 |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1     | 1      | 1      |        |        |
| 2     | 1.414  | 0      |        |        |
| 3     | -1     | -1     |        |        |
| 4     | 0      | 1.414  |        |        |
| 5     | 0      | 0      |        |        |
| 6     | 0      | 0      |        |        |
| 7     | 0      | 0      |        |        |
| 8     | 0      | -1.414 |        |        |
| 9     | 1      | -1     |        |        |
| 10    | -1.414 | 0      |        |        |
| 11    | -1     | 1      |        |        |
| 12    | 0      | 0      |        |        |

Resp\_1, Resp\_2 คือ ความชื้นยางแผ่นดิบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เงื่อนไขการทดลอง 0, 0 เป็นเงื่อนไขการทดลองที่ center point ซึ่งในแบบการทดลองนี้มี 4 center points สำหรับ code ของ T และ v ดูได้จากตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าของตัวแปร T และ v ที่อ่านจาก Code

| Independent variables                                     | Coding of DOE |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                           | -1.414        | -1    | 0     | 1     | 1.414 |
| T (Celcius)                                               | 33            | 35    | 40    | 45    | 47    |
| <sup>1</sup> Fan motor frequency (Hz)                     | 25            | 28    | 35    | 42    | 45    |
| <sup>2</sup> Air velocity inside the drying chamber (m/s) | 0.167         | 0.188 | 0.234 | 0.281 | 0.301 |

<sup>1</sup> At 50 Hz, the fan has volume air flow of 1620 cu.m/h (953 cfm).

<sup>2</sup> The cross section area of drying chamber is 1.2x1.2 sq.m.

### 3.7 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ

ยางแผ่นดิบแต่ละชุดที่นำมาทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำในช่วงเดือน พ.ย.48 - ม.ค.49 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของทางภาคใต้จะมีความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง  $0.40 \text{ kgkg}^{-1}$  -  $0.60 \text{ kgkg}^{-1}$  (ฐานแห้ง) ส่วนยางแผ่นดิบที่นำมาทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับอากาศในช่วงเดือน ก.พ.49 - เม.ย.49 จะมีความชื้นเริ่มต้นแตกต่างกันมากกว่า ตั้งแต่  $0.30 \text{ kgkg}^{-1}$  -  $0.65 \text{ kgkg}^{-1}$  (ฐานแห้ง) ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งและเวลาที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ในการทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ในช่วง 40%-75% ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ส่วนการทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำให้กับอากาศก่อนไหลเข้าตู้อบจะทำให้อากาศร้อนในตู้อบมีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55%-80%

#### 3.7.1 การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ

ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำในตารางที่ 3.4 ที่เงื่อนไข T, v เป็น 0,0 หรือที่ center point ของแบบการทดลอง เป็นการทดลองซ้ำ แต่เนื่องจากยังต้องทดลองเพิ่มในเงื่อนไขดังกล่าวจากความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัด ผลที่แสดงในตารางจึงใช้ค่าเฉลี่ยของ Resp\_1 และ Resp\_2 เหมือนกันเพื่อเป็นการลด variance และเพิ่มค่า correlation coefficient ใน response surface model

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ

| Exp # | T (Coded) | T (c) | v (Coded) | v (m/s) | f(Hz) | volume flow (cu.m/h) | Resp_1 | Resp_2 | RH (%) | Intial MC (kgkg <sup>-1</sup> ) |
|-------|-----------|-------|-----------|---------|-------|----------------------|--------|--------|--------|---------------------------------|
| 1     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35    | 1458                 | 0.1766 | 20.83  | 50.5   | 0.448                           |
| 2     | 0         | 40    | -1.414    | 0.167   | 25    | 1215                 | 0.1935 | 20.83  | 44.6   | 0.485                           |
| 3     | -1        | 35    | 1         | 0.281   | 42    | 972                  | 0.2288 | 23.67  | 66.5   | 0.450                           |
| 4     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35    | 1562                 | 0.1766 | 20.83  | 50.5   | 0.448                           |
| 5     | -1        | 35    | -1        | 0.188   | 28    | 1215                 | 0.2471 | 22.83  | 68.1   | 0.442                           |
| 6     | -1.414    | 33    | 0         | 0.234   | 35    | 1215                 | 0.1926 | 23.00  | 58.4   | 0.523                           |
| 7     | 1         | 45    | 1         | 0.281   | 42    | 1215                 | 0.1326 | 22.17  | 46.7   | 0.524                           |
| 8     | 1         | 45    | -1        | 0.188   | 28    | 868                  | 0.1415 | 23.83  | 49.9   | 0.444                           |
| 9     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35    | 972                  | 0.1766 | 20.83  | 50.5   | 0.448                           |
| 10    | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35    | 1215                 | 0.1766 | 20.83  | 50.5   | 0.448                           |
| 11    | 0         | 40    | 1.414     | 0.301   | 45    | 1458                 | 0.1339 | 20.83  | 50.2   | 0.496                           |
| 12    | 1.414     | 47    | 0         | 0.234   | 35    | 1215                 | 0.13   | 18.67  | 46.3   | 0.595                           |

Resp\_1 is the final moisture content of rubber sheet at a certain drying condition. (kg kg<sup>-1</sup>)

Resp\_2 is the drying time of which the rubber sheet has reached its final moisture content. (h)

RH is the average relative humidity inside drying chamber throughout drying period.

สมการพหุคูณตอบสนองสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำได้จากการใช้วิธี multiple regression และตัดเทอมที่มีนัยสำคัญน้อยออกไป จะได้สมการ Quadratic ดังสมการที่ (3.5)

$$1/ \text{Resp}_1 = b_0 + b_1(T) + b_2(v) + b_3(T*T) + b_4(T*v) + b_5(v*v) \quad (3.5)$$

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> และ b<sub>4</sub> เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆในสมการ (3.5)

ผลการวิเคราะห์ค่า R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup><sub>adj</sub> และค่าที่สำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า  $R^2$  และค่าทางสถิติจากการทำ regression (ไม่สเปรย์น้ำ)

| Summary                     |        |
|-----------------------------|--------|
| R                           | 0.925  |
| $R^2$                       | 0.856  |
| $R^2$ adjusted              | 0.736  |
| Standard Error              | 0.634  |
| # Points                    | 12     |
| PRESS                       | 17.16  |
| $R^2$ for Prediction        | -0.024 |
| Durbin-Watson d             | 2.472  |
| First Order Autocorrelation | -0.241 |
| Collinearity                | 0.960  |
| Coefficient of Variation    | 10.688 |

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ variance (ไม่สเปรย์น้ำ)

| ANOVA      |       |     |       |       |          |    |
|------------|-------|-----|-------|-------|----------|----|
| Source     | SS    | SS% | MS    | F     | F Signif | df |
| Regression | 14.34 | 86  | 2.868 | 7.132 | 0.01652  | 5  |
| Residual   | 2.413 | 14  | 0.402 |       |          | 6  |
| Total      | 16.75 | 100 |       |       |          | 11 |

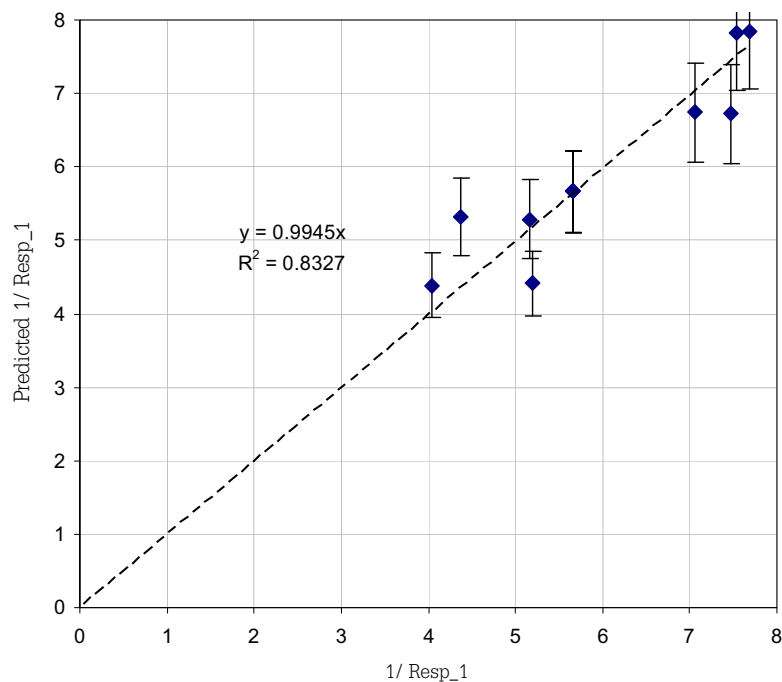
ตารางที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.5)

|    |         | P value  | Std Error | -95%     | 95%   | t Stat | VIF   |
|----|---------|----------|-----------|----------|-------|--------|-------|
| b0 | 5.663   | 1.98E-06 | 0.317     | 4.887    | 6.438 | 17.86  |       |
| b1 | 1.216   | 0.00163  | 0.224     | 0.667    | 1.765 | 5.423  | 1.000 |
| b2 | 0.506   | 0.06467  | 0.224     | -0.04220 | 1.055 | 2.259  | 1.000 |
| b3 | 0.234   | 0.387    | 0.251     | -0.380   | 0.847 | 0.933  | 1.042 |
| b4 | 0.03766 | 0.909    | 0.317     | -0.738   | 0.813 | 0.119  | 1.000 |
| b5 | 0.172   | 0.519    | 0.251     | -0.442   | 0.785 | 0.685  | 1.042 |

แม้ว่าค่า  $R^2$  จากตารางที่ 3.5 มีค่า 0.856 ก็ตาม แต่จะเห็นว่าค่า  $R^2$  และ  $R^2_{adj}$  มีค่าใกล้เคียงกัน สมการที่ 3.5 จึงสามารถใช้ในการทำนายได้ โดยมีค่า standard error เท่ากับ 0.634 แต่หากค่า  $R^2$  มีค่าใกล้เคียง 1 แต่ค่า  $R^2_{adj}$  มีค่าต่ำมากๆ เช่น 0.5 หรือ 0.25 แสดงว่าสมการที่ได้เป็นสมการที่ over fitting จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายผลตอบสนองของตัวแปรอิสระ

ในตารางที่ 6 จะเห็นว่า ค่าทางสถิติ  $F_{signif}$  มีค่าน้อยกว่า F มาก แสดงให้ทราบว่าสมการที่ได้จากการทำ regression มีนัยสำคัญเพียงพอในการนำไปใช้งาน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละเทอมในสมการที่ 5 จะต้องมีความ P-value ต่ำ ยิ่งสัมประสิทธิ์ของเทอมใดมีค่า P-value ต่ำ แสดงให้เห็นว่าเทอมดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองมากกว่าเทอมที่มีค่า P-value สูงกว่า

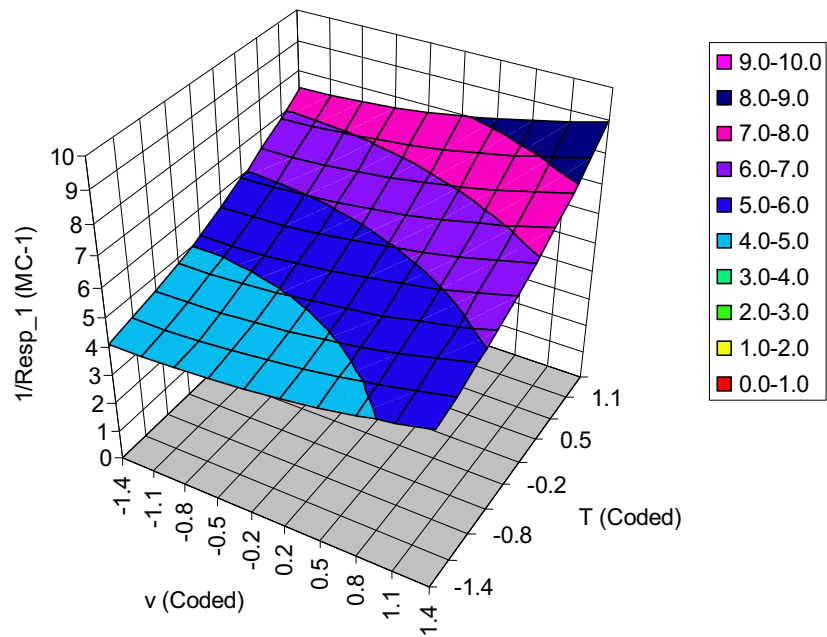
Predicted 1/ Resp\_1 and 95% Confid Int Mean vs. 1/ Resp\_1



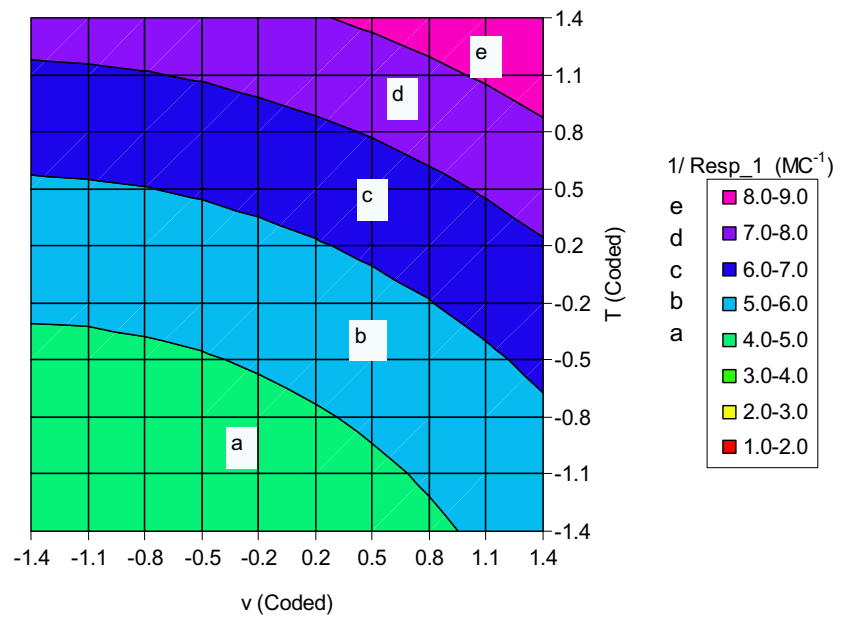
รูปที่ 3.27 แสดงผลการใช้สมการที่ 3.5 ทำนายค่า 1/resp\_1 เทียบกับค่าจริง

รูปที่ 3.27 แสดงให้เห็นว่าค่าทำนายผลตอบสนองมีค่าเบี่ยงเบนออกจากค่าจริงบ้าง แต่ส่วนใหญ่ค่า predicted 1/resp\_1 มีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 โดยค่า  $R^2$  ของการทำนายมีค่า 0.833

จากสมการที่ 3.5 สามารถนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองของ 1/resp\_1 หรือ 1/MC ต่ออุณหภูมิและความเร็วลมในการระบายอากาศในลักษณะของ code ของตัวแปรได้ สำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบแบบไม่สเปรย์น้ำได้ โดยรูปที่ 3.28 และ 3.29 เป็นกราฟพื้นผิวและ contour ตามลำดับ

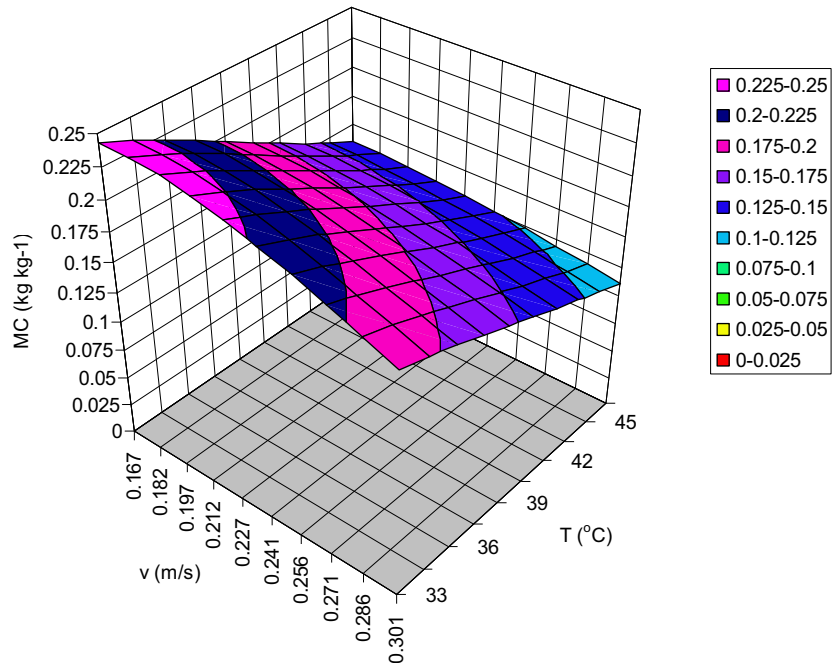


รูปที่ 3.28 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ  $1/\text{resp}_1$  หรือ  $1/\text{MC}$  ต่อตัวแปรอิสระ  $T$  (coded) และ  $v$  (coded)

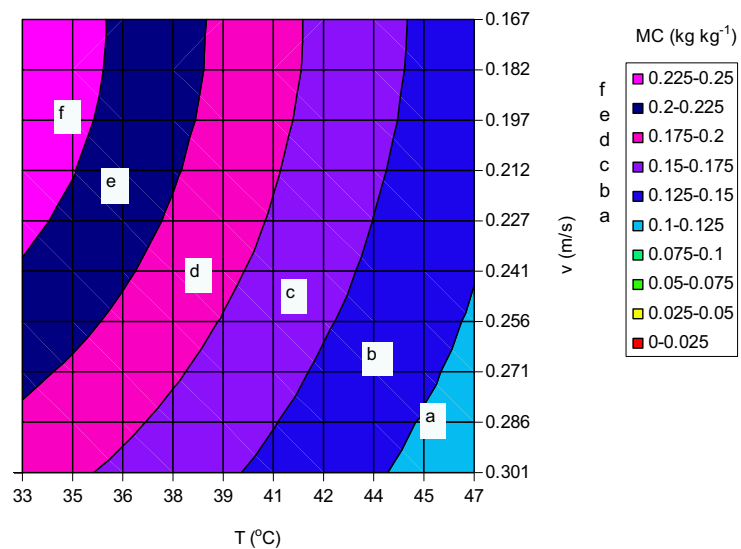


รูปที่ 3.29 กราฟแสดง contour ของ  $1/\text{MC}$  ต่อตัวแปรอิสระ  $T$  (coded) และ  $v$  (coded)

จากกราฟรูปที่ 3.28 และ 3.29 เปลี่ยนค่า coded ของ T และ v เป็นค่าจริงได้พื้นผิวตอบสนองดังกราฟ  
ในรูปที่ 3.30 และกราฟ contour ของความชื้นยางแผ่นดิบหลังอบ ดังรูปที่ 3.31 ตามลำดับ



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ  
T (°C) และความเร็วลม v (m/s)



รูปที่ 3.31 กราฟแสดง contour ของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ  
T (°C) และความเร็วลม v (m/s)

จากกราฟรูปที่ 3.30 และ 3.31 จะเห็นได้ว่าการอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศตลอดเงื่อนไขที่มีการระบายอากาศด้วยความเร็วลม 0.167-0.301 m/s เห็นได้ชัดว่าบริเวณ a เป็นบริเวณเงื่อนไขที่ทำให้ความชื้นยางแผ่นดิบลดลงได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยอยู่ในเงื่อนไขความเร็วลมมากกว่า 0.245 m/s และอุณหภูมิสูงกว่า 44.3°C ความชื้นสัมพัทธ์ในเงื่อนไขนี้อยู่ระหว่าง 47-50% ซึ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ปกติในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใสทางภาคใต้ในช่วง 9:00 น. - 15:00 น. ดังนั้นหากสามารถทำให้ความเร็วลมและอุณหภูมิในโรงตากยางและความเร็วลมมากกว่าค่าดังกล่าวได้ก็จะช่วยลดความชื้นในยางแผ่นดิบลงได้มาก

สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบพบว่ามีความใกล้เคียงกันเกือบทุกเงื่อนไขการอบแห้ง และเนื่องจากผลการทำ regression เพื่อหาพื้นผิวตอบสนองสำหรับ resp\_2 ไม่มีนัยสำคัญเพียงพอและค่า  $R^2$  ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 มาก จึงไม่ได้นำสมการพื้นผิวตอบสนองดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนั้นในกรณีของการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ ตัวแปรอิสระจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าต่อความชื้นในยางแผ่นดิบ

### 3.7.2 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ

ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าตู้อบ แสดงดังตารางที่ 3.8 เนื่องจากความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นดิบที่ทำการทดลองบางเงื่อนไขสามารถลดลงได้ต่ำสุดถึง 0.020 kgkg<sup>-1</sup> ในขณะที่เวลาที่ใช้อบแห้งในบางเงื่อนไขมากถึง 64 ชั่วโมง ขณะที่ความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบส่วนใหญ่้น้อยกว่าการทดลองแบบไม่สเปรย์น้ำ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองจากผลการทดลองในตารางที่ 7 พบว่าไม่มีเทอมหรือตัวแปรอิสระใดที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ความชื้นยางหลังอบและเวลาที่ใช้) ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความชื้นยางเริ่มต้นและความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้และไม่ได้กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระที่รวมอยู่ในแบบการทดลองจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่อนข้างมาก และเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในกรณีของการทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำ มีความแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมากตั้งแต่ 13-64 ชั่วโมง ในขณะที่การทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำมีความแตกต่างกันไม่มาก คือตั้งแต่ 18.7-23.7 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถนำวิธีการพื้นผิวตอบสนองมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ค่าของ Resp\_1 ในตารางที่ 8 จะพิจารณาเฉพาะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้ยางแผ่นดิบมีความชื้นลดลงจาก 0.350 kgkg<sup>-1</sup> ไปเป็น 0.150 kgkg<sup>-1</sup> แทนที่จะเลือกใช้ความชื้นในยางแผ่นเป็นผลตอบสนองสำหรับวิเคราะห์พื้นผิว เหตุผลที่เลือกใช้ความชื้นยางในช่วงนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่ค่าสูงสุดไม่เกินค่าความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบ (0.357-0.623 kgkg<sup>-1</sup>) และค่าต่ำสุดที่เลือกเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบแบบไม่สเปรย์น้ำ (0.13 kgkg<sup>-1</sup>)

หากใช้วิธีเดียวกันนี้โดยเลือกใช้ช่วงความชื้นยางแผ่นดิบลดลงจาก  $0.350 \text{ kgkg}^{-1}$  ไปเป็น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  มาใช้กับการณีการทดลองโดยไม่สเปรย์น้ำ จะไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีหลายเงื่อนไขที่ความชื้นของยางแผ่นดิบ หลังอบสูงกว่าค่า  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ

| Exp # | T (coded) | T ( $^{\circ}\text{C}$ ) | v (coded) | v (m/s) | f (Hz) | volume flow (cu.m/h) | Resp_1 ( $\text{kgkg}^{-1}$ ) | Resp_2 (h) | RH (%) | Initial MC ( $\text{kgkg}^{-1}$ ) |
|-------|-----------|--------------------------|-----------|---------|--------|----------------------|-------------------------------|------------|--------|-----------------------------------|
| 1     | 1         | 45                       | 1         | 0.281   | 42     | 1458                 | 0.055                         | 49         | 69     | 0.394                             |
| 2     | 1.414     | 47                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.063                         | 36         | 58.3   | 0.363                             |
| 3     | -1        | 35                       | -1        | 0.188   | 28     | 972                  | 0.116                         | 36         | 77.8   | 0.435                             |
| 4     | 0         | 40                       | 1.414     | 0.301   | 45     | 1562                 | 0.083                         | 30.8       | 61.4   | 0.381                             |
| 5     | 0         | 40                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.066                         | 37.5       | 58.5   | 0.434                             |
| 6     | 0         | 40                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.109                         | 48         | 62.4   | 0.623                             |
| 7     | 0         | 40                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.126                         | 48         | 65.6   | 0.378                             |
| 8     | 0         | 40                       | -1.414    | 0.167   | 25     | 868                  | 0.074                         | 54         | 63.9   | 0.526                             |
| 9     | 1         | 45                       | -1        | 0.188   | 28     | 972                  | 0.02                          | 48         | 59.7   | 0.446                             |
| 10    | -1.414    | 33                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.06                          | 64         | 73.7   | 0.376                             |
| 11    | -1        | 35                       | 1         | 0.281   | 42     | 1458                 | 0.133                         | 13         | 71.6   | 0.357                             |
| 12    | 0         | 40                       | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 0.13                          | 46         | 66.1   | 0.385                             |

Resp\_1 is the final moisture contents of rubber sheet at a certain drying condition. ( $\text{kg kg}^{-1}$ )

Resp\_2 is the drying time of which the rubber sheet has reached its final moisture content. (h)

RH is the average relative humidity inside drying chamber throughout drying period.

ในตารางที่ 3.8 ที่เงื่อนไขการทดลองซ้ำ ที่มี coded เป็น 0,0 ได้ใช้ค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองซ้ำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อลด variance ในสมการพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้น

สมการพื้นผิวตอบสนองสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำจากข้อมูลในตารางที่ 3.9 ได้จากการใช้วิธี multiple regression และตัดเทอมที่มีนัยสำคัญน้อยออกไป จะได้สมการ Quadratic ดังสมการที่ (3.6)

$$\text{Resp}_1 = b_0 + b_1(T) + b_2(T^2) + b_3(T \cdot v) + b_4(v \cdot v) \quad (3.6)$$

$b_0, b_1, b_2, b_3$  และ  $b_4$  เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆในสมการ (3.6)

สมการที่ 3.6 ให้ค่า  $R^2$  ดีที่สุดในรูปแบบที่ไม่ต้อง transform ผลตอบสนอง  $\text{resp}_1$  ไปเป็น  $1/\text{resp}_1$  เหมือนกับสมการที่ 3.5

ผลการวิเคราะห์ค่า  $R^2$ ,  $R^2_{\text{adj}}$  และค่าที่สำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 3.10, 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ พิจารณาช่วงความชื้นยางแผ่นดิบลดลงจาก 0.350 ไปเป็น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$

| Exp # | T (coded) | T (c) | v (coded) | v (m/s) | f (Hz) | volume flow (cu.m/h) | Resp_1 (h) | RH (%) | Initial MC (kgkg <sup>-1</sup> ) |
|-------|-----------|-------|-----------|---------|--------|----------------------|------------|--------|----------------------------------|
| 1     | 1         | 45    | 1         | 0.281   | 42     | 1458                 | 18.83      | 69     | 0.394                            |
| 2     | 1.414     | 47    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 11.76      | 58.3   | 0.363                            |
| 3     | -1        | 35    | -1        | 0.188   | 28     | 972                  | 22.15      | 77.8   | 0.435                            |
| 4     | 0         | 40    | 1.414     | 0.301   | 45     | 1562                 | 14.03      | 61.4   | 0.381                            |
| 5     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 22.62      | 58.5   | 0.434                            |
| 6     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 22.62      | 62.4   | 0.623                            |
| 7     | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 22.62      | 65.6   | 0.378                            |
| 8     | 0         | 40    | -1.414    | 0.167   | 25     | 868                  | 9.27       | 63.9   | 0.526                            |
| 9     | 1         | 45    | -1        | 0.188   | 28     | 972                  | 13.54      | 59.7   | 0.446                            |
| 10    | -1.414    | 33    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 28.77      | 73.7   | 0.376                            |
| 11    | -1        | 35    | 1         | 0.281   | 42     | 1458                 | 10.33      | 71.6   | 0.357                            |
| 12    | 0         | 40    | 0         | 0.234   | 35     | 1215                 | 22.62      | 66.1   | 0.385                            |

Resp\_1 represents drying time (h) to reduce MC from 0.350 to  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$ .

ตารางที่ 3.10 แสดงค่า  $R^2$  และค่าทางสถิติจากการทำ regression (สเปรย์น้ำ)

| Summary                     |        |
|-----------------------------|--------|
| IRI                         | 0.884  |
| $R^2$                       | 0.781  |
| $R^2$ adjusted              | 0.656  |
| Standard Error              | 3.661  |
| # Points                    | 12     |
| PRESS                       | 470.43 |
| $R^2$ for Prediction        | -0.099 |
| Durbin-Watson d             | 2.291  |
| First Order Autocorrelation | -0.157 |
| Collinearity                | 0.960  |
| Coefficient of Variation    | 20.046 |
| Precision Index             | 14.617 |

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ variance (สเปรย์น้ำ)

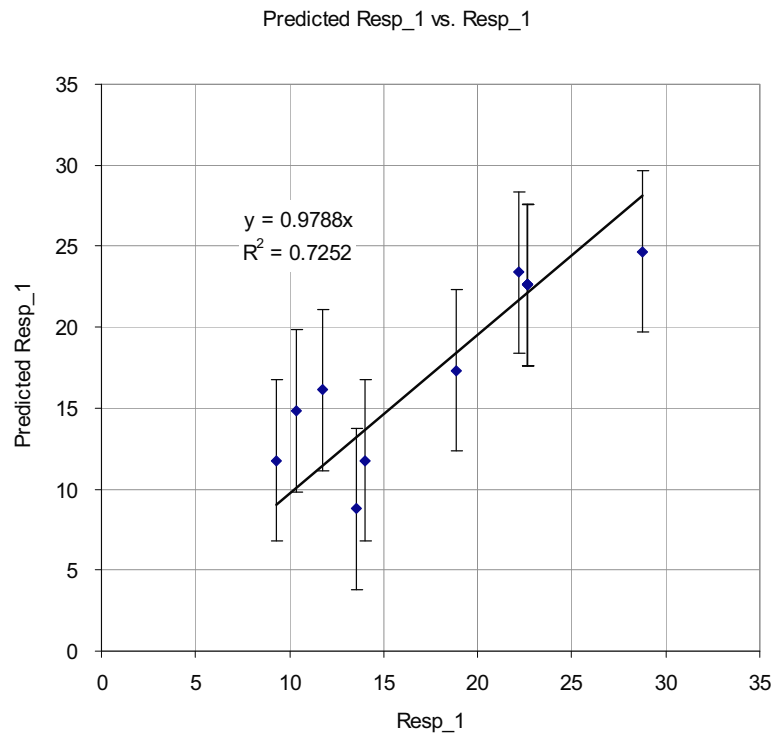
| ANOVA      |        |         |       |        |          |    |
|------------|--------|---------|-------|--------|----------|----|
| Source     | SS     | SS%     | MS    | F      | F Signif | df |
| Regression | 334.10 | 78      | 83.53 | 6.233  | 0.01841  | 4  |
| Residual   | 93.81  | 22      | 13.40 |        |          | 7  |
| LOF Error  | 82.48  | 19 (88) | 27.49 | 9.7072 | 0.02622  | 3  |
| Pure Error | 11.33  | 3 (12)  | 2.832 |        |          | 4  |
| Total      | 427.91 | 100     |       |        |          | 11 |

ตารางที่ 3.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.6)

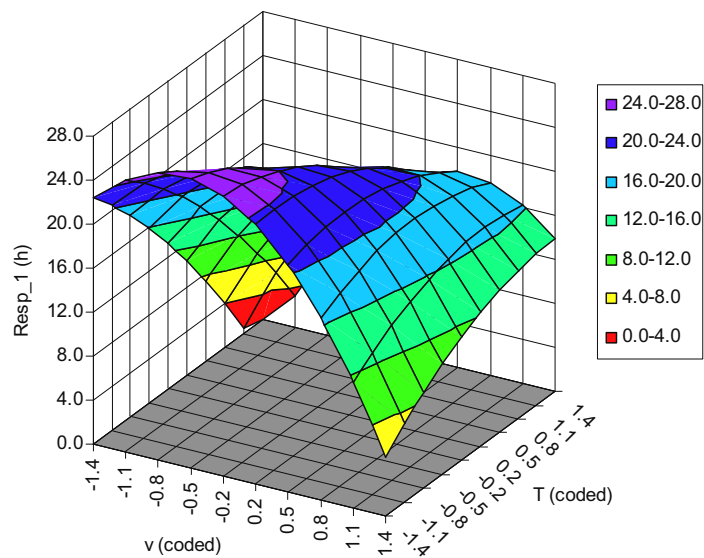
|    |        | P value   | Std Error | -95%     | 95%     | t Stat | VIF   |
|----|--------|-----------|-----------|----------|---------|--------|-------|
| b0 | 22.61  | 5.226E-06 | 1.830     | 18.29    | 26.94   | 12.36  |       |
| b1 | -3.021 | 0.05232   | 1.294     | -6.081   | 0.03996 | -2.334 | 1.000 |
| b2 | -1.111 | 0.468     | 1.447     | -4.533   | 2.311   | -0.768 | 1.042 |
| b3 | 4.278  | 0.05208   | 1.830     | -0.05063 | 8.606   | 2.337  | 1.000 |
| b4 | -5.420 | 0.00722   | 1.447     | -8.842   | -1.997  | -3.745 | 1.042 |

จะเห็นได้ว่าค่า  $R^2$  ในกรณีของการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยการสเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศเข้าตู้อบ จะมีค่าต่ำกว่าในกรณีของการทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำ เนื่องจากผลของปัจจัยรบกวนจากความชื้นที่เพิ่มเข้าไปทำให้สภาพบรรยากาศในตู้อบจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งไว้ตามแบบการทดลอง ทำให้การตัดต่อการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าถี่ขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในตู้อบในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจึงมีการกวัดแกว่งในทิศทางที่มีค่ามากและน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้มากกว่าในกรณีการทดลองโดยไม่สเปรย์น้ำ ทำให้ลักษณะของสมการที่ได้จากการทำ regression เพื่อนำมาสร้างพื้นผิวตอบสนองมีค่า  $R^2$  น้อยกว่ากรณีไม่สเปรย์น้ำแม้ว่าจะนำของมูลเฉพาะในช่วงความชื้นยางแผ่นดิบตั้งแต่ 0.350 ลดลงไปถึง  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  มาใช้ในการวิเคราะห์ก็ตาม อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดีผลการวิเคราะห์ทางหลักสถิติพบว่าสมการที่ 3.6 มีนัยสำคัญเพียงพอที่สามารถใช้ทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในช่วงความชื้นยางแผ่นดิบดังกล่าวข้างต้น ที่เงื่อนไขอบแห้งตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ได้

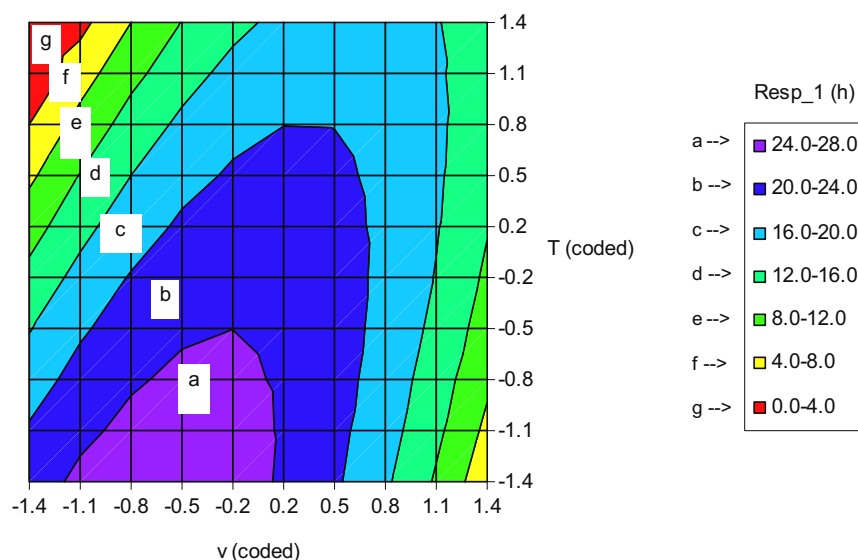
ค่าการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบจากความชื้นยางแผ่นลดลงจาก 0.350 ไปเป็น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  แสดงดังกราฟรูปที่ 3.32 ค่าทำนายด้วยสมการที่ 3.6 มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าจริงจากการทดลองน้อยกว่า 5 ชั่วโมง ในเงื่อนไขต่างๆที่ครอบคลุมในแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.32 แสดงผลการใช้สมการที่ 3.6 ทำนายค่า resp\_1 เทียบกับค่าจริง



รูปที่ 3.33 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ  $\text{resp}_1$  หรือ  $t$  (h) ต่อตัวแปรอิสระ  $T$  (coded) และ  $v$  (coded)

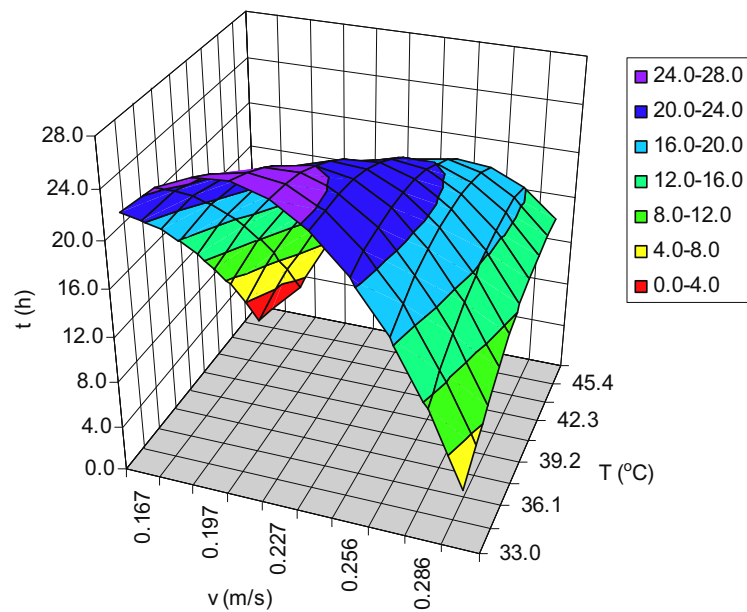


รูปที่ 3.34 กราฟแสดง contour ของ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)

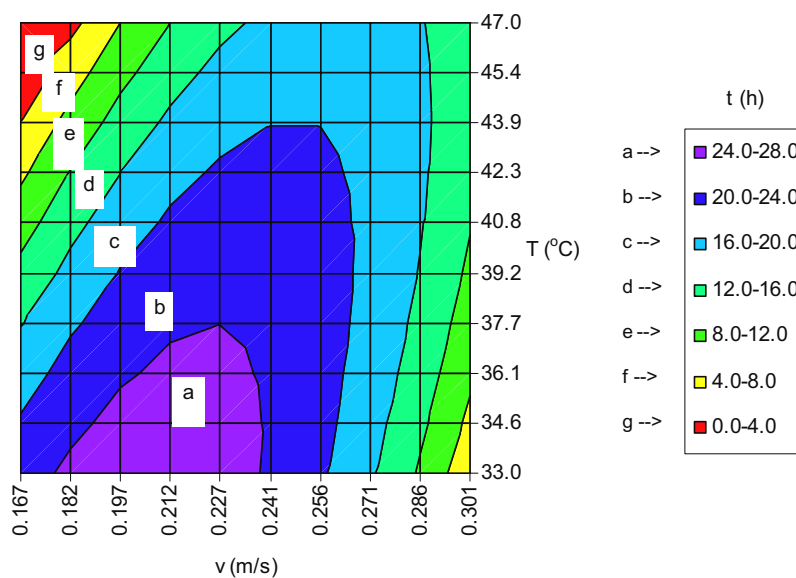
จากกราฟรูปที่ 3.33 และ 3.34 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีความเร็วลมต่ำแต่อุณหภูมิสูงและบริเวณที่มีความเร็วลมสูงแต่อุณหภูมิต่ำ ตามเงื่อนไขที่มีในแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ (บริเวณตามแนวเส้นทะแยงมุมในรูป contour รูปที่ 3.34 จากด้านซ้ายบนและล่างขวา) หรือบริเวณ f, g จะใช้เวลาในการลดความชื้นยางแผ่นดิบในช่วง  $0.35 \text{ kgkg}^{-1}$  ไปเป็น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  สั้นที่สุดเมื่อเทียบกับที่เงื่อนไขการทดลองอื่นๆ หากพิจารณาบริเวณ a จะเห็นว่าเป็นโซนที่ความเร็วลมไม่สูง (coded -1.15 ถึง 0.15) และอุณหภูมิไม่สูง (coded -0.5 ถึง -1.4) จะใช้เวลาในการลดความชื้นยางแผ่นดิบลงในช่วงดังกล่าวมากถึง 24 ชั่วโมง และการที่อุณหภูมิใดๆ เวลาที่ลดความชื้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเร็วลม และจะสูงสุด ณ ความเร็วลมหนึ่ง แล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมจะมีผลต่อการแห้งของยางแผ่นดิบในขณะที่ความชื้นยางแผ่นยังมีค่าสูงกว่าจุดเหมาะสมกว่า โดยจุดเหมาะสมของยางแผ่นดิบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ในบริเวณเส้นโค้งของกราฟในรูปที่ 3.33 อาจเป็นผลเนื่องจากความชื้นยางแผ่นมีค่าใกล้เคียงกับจุดเหมาะสม ในสภาพบรรยากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในต้อบขณะนั้น

จากกราฟพื้นผิวตอบสนองและกราฟ contour สามารถสร้างกราฟพื้นผิวและกราฟ contour ที่ decoded ตัวแปรอิสระได้ดังรูปที่ 3.35 และ รูปที่ 3.36 ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าแม้อุณหภูมิในต้อบแห้งไม่สูงมาก ประมาณ  $33-35^{\circ}\text{C}$  ก็สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งยางแผ่นดิบให้เหลือความชื้น 15% ลงได้โดยการเพิ่มอัตราการระบายอากาศหรือความเร็วลม ดังนั้นในการออกแบบโรงตากแห้งยางแผ่นดิบในลักษณะที่มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศให้สามารถระบายอากาศขึ้นออกจากโรงตากให้ได้มากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันจำเป็นต้องระมัดระวังความชื้นจากภายนอกที่อาจจะเข้ามาทำให้อัตราการแห้งตัว

ของยางแผ่นซ้าลง ส่วนที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง ( $42-47^{\circ}\text{C}$ ) จะเห็นว่าอัตราการระเหยอากาศเพียง 800-900 ลบ.ม./ชม. ก็เพียงพอสำหรับทำให้ยางแผ่นดิบแห้งตัวลงเหลือความชื้น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่อัตราการระเหยอากาศต้องเป็น 1200-1500 ลบ.ม./ชม.



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของเวลา  $t$  (h) ที่ใช้ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบจาก  $0.350 \text{ kgkg}^{-1}$  ไปเป็น  $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$  ต่อตัวแปรอิสระ  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ  $v$  (m/s)



รูปที่ 3.36 กราฟแสดง contour ของ  $t$  (h) ต่อตัวแปรอิสระ  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ  $v$  (m/s)

### 3.7.3 การนำผลที่ได้จากการทดลองมากำหนดเงื่อนไขการตากแห้งในโรงตากยางแผ่นดิบ

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าวิธีพื้นผิวตอบสนองสามารถใช้ในการมองภาพการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่สนใจ เมื่อเงื่อนไขหรือตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนและเป็นจริง เนื่องจากการใช้ข้อมูลจริงจากผลการทดลอง และสามารถใช้ในการทำนายผลตอบสนองในเงื่อนไขที่ไม่ได้ทำการทดลองในช่วงของตัวแปรอิสระที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ แต่ก็มีข้อด้อยหากใช้ในการทำนายนอกช่วงตัวแปรอิสระที่ออกแบบไว้อาจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของตัวแปรอิสระอื่นที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบที่ไม่คงที่ตลอดการอบแห้ง โดยเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศในแต่ละวันและความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบที่ไม่เท่ากันในทุกๆครั้งของการทดลอง ดังนั้นการวิเคราะห์คุณลักษณะการแห้งตัวของยางแผ่นดิบและอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบจึงจำเป็น

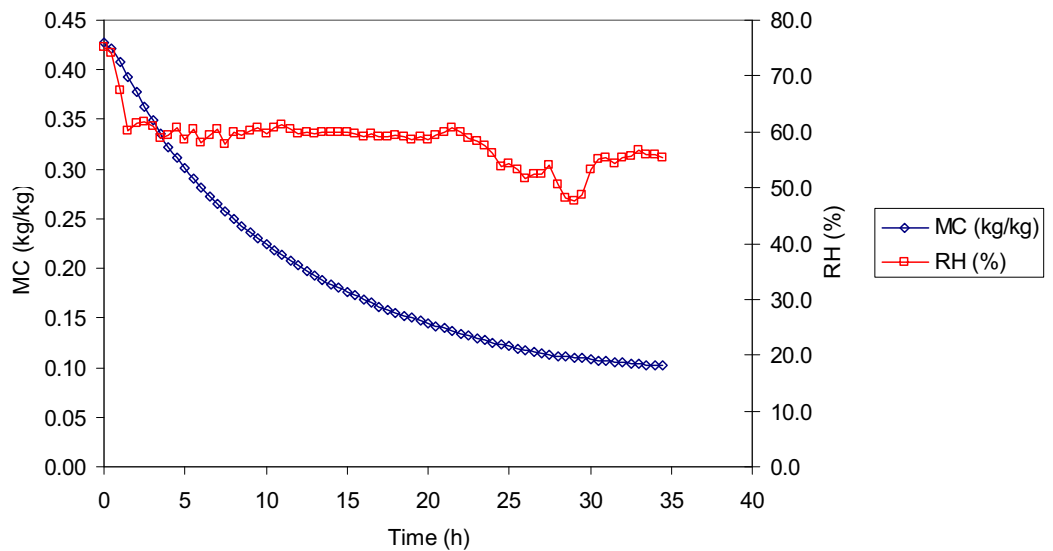
ในการออกแบบโรงตากแห้งยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้นยางสำหรับสหกรณ์สวนยางพาราที่ร่วมโครงการ ได้ออกแบบให้อุณหภูมิที่สามารถทำได้มีอุณหภูมิถึง  $40^{\circ}\text{C}$  โดยสภาพความชื้นสัมพัทธ์ปกติของวันในพื้นที่ดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 60-65% ส่วนในวันที่มีความชื้นสูง (รูปที่ 3.38) มีความชื้นประมาณ 70-75% ความเร็วลมในโรงเรือนของสหกรณ์สวนยางที่ปัจจุบันมีการผึ่งยางในโรงเรือนรีดยางมีค่าประมาณ 0-0.5 m/s แม้ว่าอุณหภูมิในโรงเรือนจะต่ำกว่า  $32^{\circ}\text{C}$  แต่ที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  จะมีความเร็วลมเฉลี่ยในการระบายอากาศประมาณ 0.234 m/s ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกัน



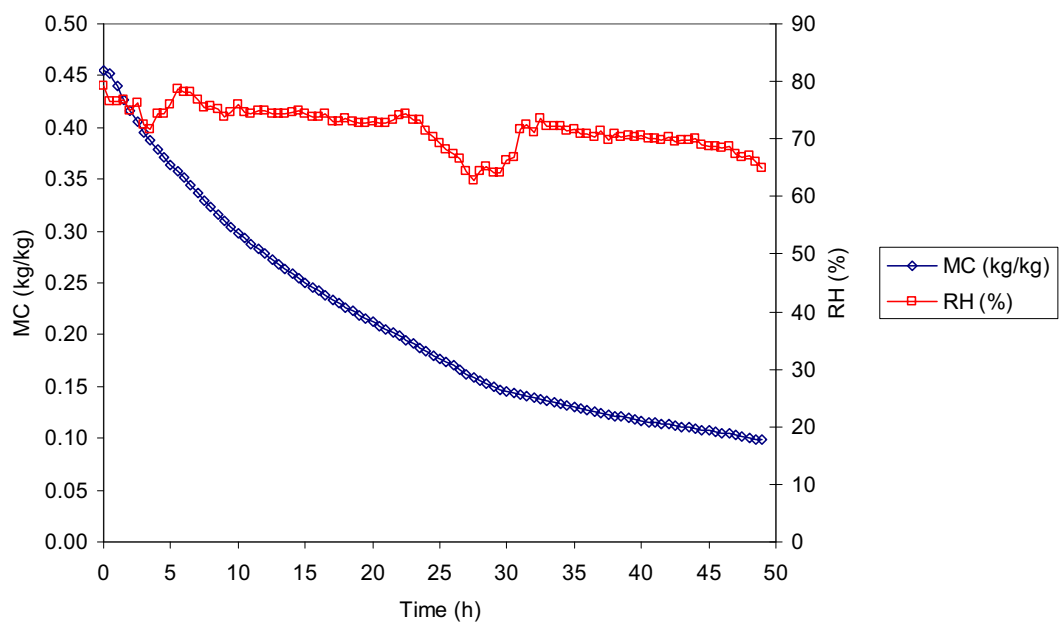
รูปที่ 3.37 การผึ่งยางในร่มโดยแขวนกับราวไม้ไผ่บนกระเบยโครงเหล็กภายในโรงเรือนรีดยางแผ่นของสหกรณ์สวนยางพารา

จากรูปที่ 3.38 พบว่าหากต้องการลดความชื้นยางแผ่นดิบจาก 42.5% เหลือ 10% (ลดไป 32.5%) จะต้องใช้เวลาตากยาง 35 ชั่วโมง หรือ 1 วันครึ่ง ขณะที่ในสภาพความชื้นสูงในรูปที่ 3.39 จะต้องใช้เวลาถึง 48 ชั่วโมง หรือ 2 วัน ซึ่งในทางปฏิบัติ ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการตากหรือผึ่งยางแผ่นดิบข้ามวัน ผลของอุณหภูมิและ

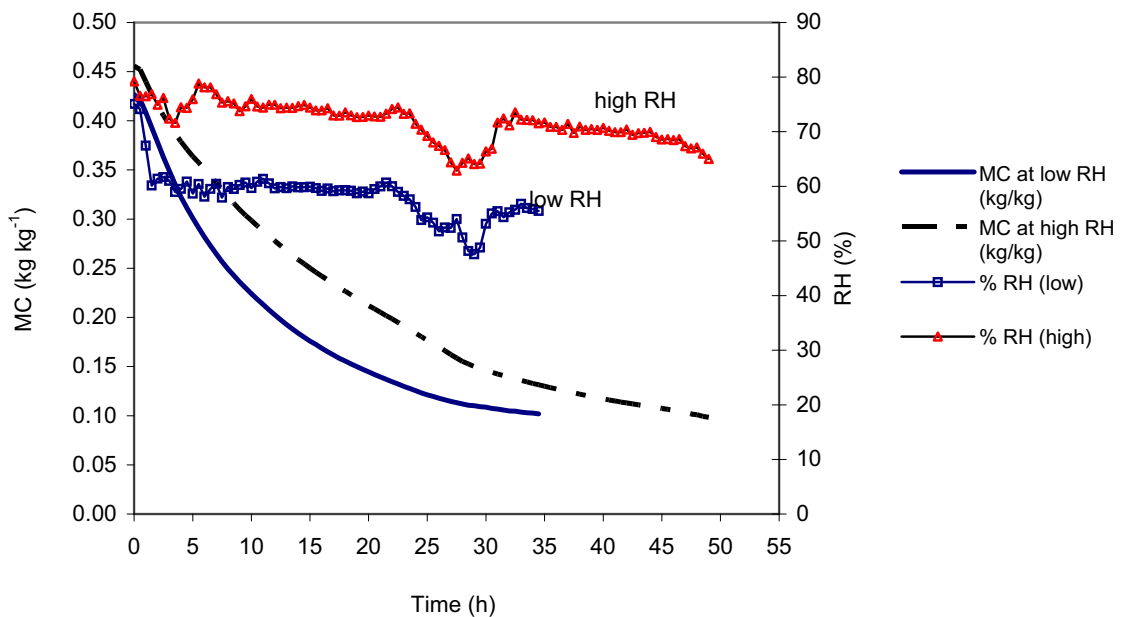
ความชื้นสัมพัทธ์เวลากลางคืนมีความแตกต่างจากกลางวันมาก ส่งผลให้ยางแผ่นดิบขึ้นราได้ และหากฝืนหรือตาก  
ยางเฉพาะกลางวันที่มีแดดจะต้องใช้เวลาถึง 3-5 วัน



รูปที่ 3.38 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55-60% ความเร็วลม 0.234 m/s (ไม่สเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.39 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 65-75% ความเร็วลม 0.234 m/s (สเปรย์น้ำ)

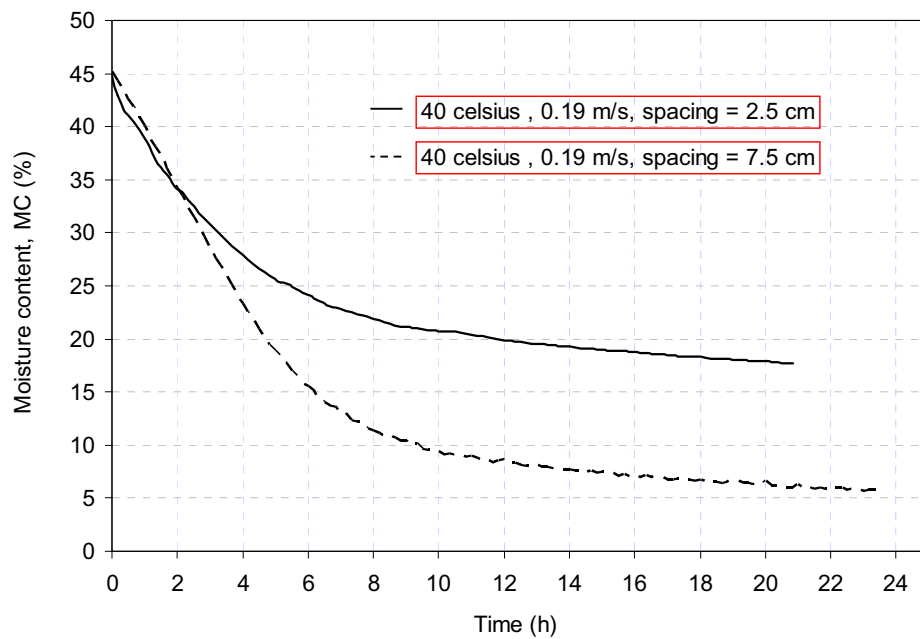


รูปที่ 3.40 เปรียบเทียบผลการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 เซลเซียส ความเร็วลม 0.234 m/s (ระหว่างสเปรย์น้ำ (high RH) กับไม่สเปรย์น้ำ (Low RH))

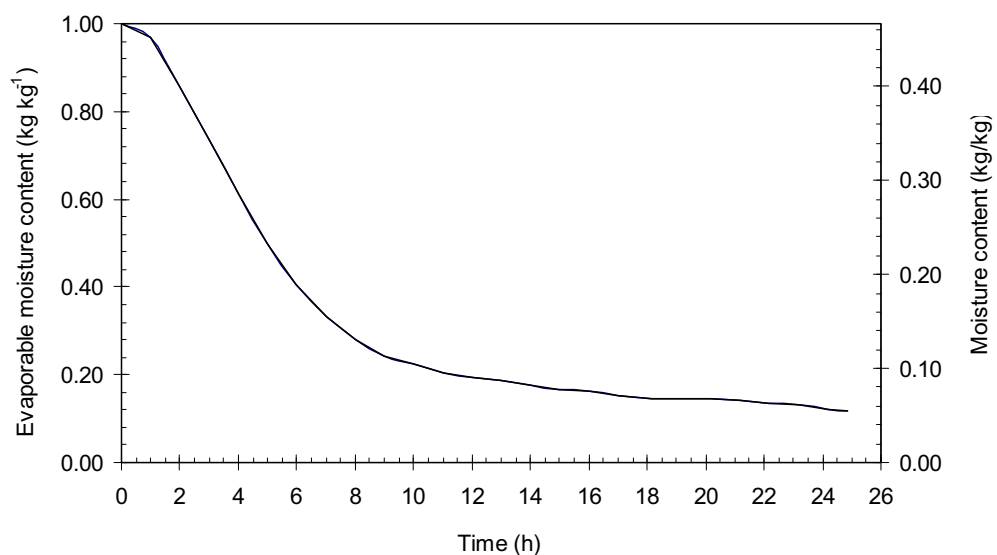
ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จะเน้นการลดความชื้นยางแผ่นดิบในสภาพการทำงานปกติของสหรณส์สวนยาง โดยใช้เวลาในการตากยางแผ่นดิบเพียง 8-10 ชั่วโมง ของเวลากลางวันที่มีแดด จากนั้นจึงนำเข้าห้องรมควันซึ่งคาดว่าจะช่วยลดการใช้ไม้ฟืนลงได้ สำหรับการตากแห้งยางแผ่นดิบ 1 วัน เฉพาะกลางวันที่มีแดด (8-10 ชั่วโมง) โดยพิจารณาจากรูปที่ 3.38 รูปที่ 3.39 และรูปเปรียบเทียบของรูปทั้งสองดังรูปที่ 3.40 คาดว่าจะสามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ 15 ถึง 20 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

รูปที่ 3.40 เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s แต่ระยะห่างระหว่างแผ่นต่างกัน ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นยางเท่ากับ 2.5 cm เป็นระยะห่างปกติที่สหรณส์สวนยางใช้ในการปฏิบัติฝั้ยางในโรงเรือนและในห้องรมควัน ส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ 7.5 cm คือระยะห่างเมื่อมีการเว้นช่องว่างระหว่างแผ่นยาง 1 ราวไม้ไผ่ ซึ่งการเว้นระยะห่าง 1 ราวไม้ไผ่นี้จะทำให้ปริมาณยางแผ่นที่แขวนบนกระบะโครงเหล็กมีปริมาณลดลงครึ่งหนึ่ง จากปกติ 400-500 แผ่น เหลือ 200-250 แผ่นต่อกระบะ หรือมีปริมาณเท่ากับ 750 แผ่นต่อห้องรม (ห้องรมควันยางมีความจุ 3 กระบะ) แต่ผลที่แตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 3.40 คือ ที่ระยะห่างมากกว่า อัตราการแห้งตัวของยางแผ่นจะสูงกว่า ทั้งนี้ที่ระยะห่าง 2.5 cm ยางแผ่นที่แขวนบนราวใกล้กันมาก และเนื่องจากแผ่นยางที่รีดออกมา มักมีลักษณะเป็น

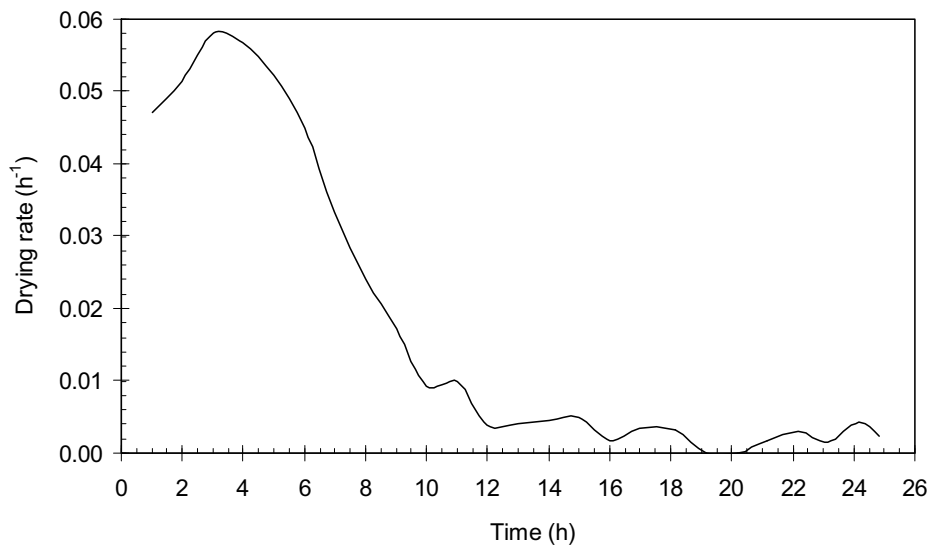
แผ่นคลื่น ไม่ตรงสม่ำเสมอ ทำให้แผ่นยางมีโอกาสสัมผัสติดแผ่นใกล้เคียงและทำให้การระบายความชื้นไม่ดี แผ่นยางจึงแห้งได้ช้า



รูปที่ 3.40 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นในยางแผ่น ที่อบแห้งอุณหภูมิ 40°C แต่ระยะห่างระหว่างแผ่นต่างกัน (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.41 กราฟแสดงสัดส่วนความชื้นที่เหลือในยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.42 กราฟ drying rate ของยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)

รูปแสดงส่วนความชื้นที่เหลือในยางแผ่นระหว่างการอบแห้งเมื่อทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ) แสดงดังรูปที่ 3.41 จะเห็นได้ว่าเมื่ออบแห้งถึงชั่วโมงที่ 12 ความชื้นภายในยางแผ่นค่อยๆ ลดลงต่ำกว่า 10% ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำกว่า saturation point ของยางแผ่นดิบ (เหลือความชื้นที่สามารถดึงออกได้จากยางแผ่นประมาณ 20%) อัตราการแห้งของยางแผ่นดิบ ดังในรูปที่ 3.42 จะต่ำและค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นหากออกแบบให้โรงตากยางแผ่นดิบสามารถรักษาเงื่อนไขสภาพแวดล้อมภายในโรงตากเป็นไปตามการอบแห้งในรูปที่ 3.41 ได้ คาดว่าจะสามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ถึง 20% ภายในระยะเวลา 10-12 ชั่วโมง

## บทที่ 4

### การทดลองตากยางแผ่นดิบในโรงตากยาง

---

จากการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ การออกแบบโรงตากยางแผ่นดิบจะพิจารณาอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการระเหยอากาศเป็นสำคัญ ซึ่งหากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไปมากอาจจำเป็นต้องเปลี่ยนเงื่อนไขการตากให้เหมาะสม โดยโรงตากยางนี้จะเป็นต้นแบบแก่สหกรณ์สวนยางอื่น ๆ ที่มีความต้องการในการตากยางเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการรมยาง

อุปกรณ์ที่ใช้วัดและทดสอบในงานวิจัยนี้มีดังนี้

ก. อุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น CM3 สำหรับวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ในโรงตากยาง

ข. หัววัดความเร็วลม สำหรับวัดความเร็วลมในห้องทดสอบและโรงตากยาง

ค. เทอร์โมคัปเปิล Type K สำหรับวัดอุณหภูมิในห้องทดสอบและโรงตากยาง

ง. หัววัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ RENSE รุ่น HT-740-T-03 สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องทดสอบและโรงตากยาง

จ. ตู้อบ ยี่ห้อ House Worth รุ่น HT-1800 สำหรับอบแห้งแผ่นยางตัวอย่างในการหาน้ำหนักยางแห้งเพื่อคำนวณค่าความชื้นฐานแห้งของแผ่นยาง

ช. เครื่องชั่งละเอียด  $\pm 0.01$  g ยี่ห้อ Satorious รุ่น BP-3100 สำหรับชั่งน้ำหนักแผ่นยางเพื่อคำนวณค่าความชื้นฐานแห้งของแผ่นยาง

ซ. ชุดเก็บข้อมูล DAQPro 8 ช่องสัญญาณ รุ่น DT - 605 สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงตากยาง

ปัจจัยสภาพแวดล้อมบรรยากาศและปัจจัยที่ไม่สามารถทำการควบคุมได้ อาจเกิดจากกลไกมากมายหลายอย่าง ขึ้นกับโครงสร้างของแผ่นยาง เพราะเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละวัตถุ เช่นคุณสมบัติสำหรับการแพร่หรือคุณสมบัติการไหลผ่านรูเล็กเนื่องจากเนื้อยางมีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นต้น

ปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ ได้แก่ ทิศทางการไหลของอากาศ ความเร็วของอากาศ ระยะเวลาในการตาก ระยะห่างระหว่างแผ่นยางการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้เหมาะสมกับลักษณะของโรงตากยาง ทำให้สามารถลดปริมาณความชื้นของยางได้ดีขึ้น ส่วนการตรวจสอบการเกิดราจะใช้การดูด้วยสายตาของแผ่นยางตัวอย่าง

#### 4.1 ลักษณะโรงตากยางแผ่นดิบเดิมของสหกรณ์ที่เข้าร่วมโครงการ

การทดลองตากยางจริงในโรงตากยางของสหกรณ์ที่เข้าร่วมโครงการ จะทดลองในโรงตากยางที่สร้างขึ้นใหม่ เนื่องจากลักษณะของโรงตากยางเดิมไม่สามารถขึ้นกระบะราวตากยางแผ่นเข้าไปในโรงตากได้ และหากทำการปรับปรุง จะมีค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกับการสร้างโรงตากยางใหม่ที่มีการลดขนาดลงให้เพียงพอสำหรับปริมาณยางแผ่นดิบ 1 ห้องรมยาง

โรงตากยางแผ่นดิบของสหกรณ์สวนยางพาราทุ่งโพธิ์ อ.นาหม่อม จ.สงขลา เป็นโรงตากยางเก่าดังรูป 4.1 (ก) มีการชำรุดเนื่องจากขาดการดูแลรักษา ลักษณะโรงตากยางแผ่นดิบ เป็นโรงเรือนเปิดโล่งด้านข้าง ไม่สามารถป้องกันละอองฝนหรือความชื้นที่เข้าสู่โรงตากได้ หลังโรงตากคาบด้วยแผ่นพลาสติกใส ในช่วงเช้าโรงตากจะไม่ได้รับแสงอาทิตย์เนื่องจากถูกบังด้วยโรงเรือนรีดยางแผ่นและโรงรมยางแผ่น จะได้รับแสงอาทิตย์เฉพาะช่วงเที่ยงและบ่ายเท่านั้น การตากยางต้องนำยางไปแขวนบนราวตากในโรงเรือน ไม่สามารถยกกระบะราวตากยางหรือขึ้นเข้าไปในโรงตากได้ ด้วยข้อจำกัดของโรงตากยางแผ่นดิบที่มีอยู่ จึงได้มีการสร้างโรงตากยางแผ่นดิบขึ้นใหม่เพื่อใช้ศึกษาวิจัย โดยใช้พื้นที่บริเวณด้านข้างทางทิศเหนือของโรงเรือนสหกรณ์สวนยางที่ได้รับการจัดสรรให้เป็นพื้นที่ 7.2 x 3 ตารางเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับตากยางแผ่นดิบขนาด 1 ห้องรม หรือปริมาณ 3 กระบะราวแขวนยาง (1200-1400 แผ่น) ดังรูป 4.1 (ข)

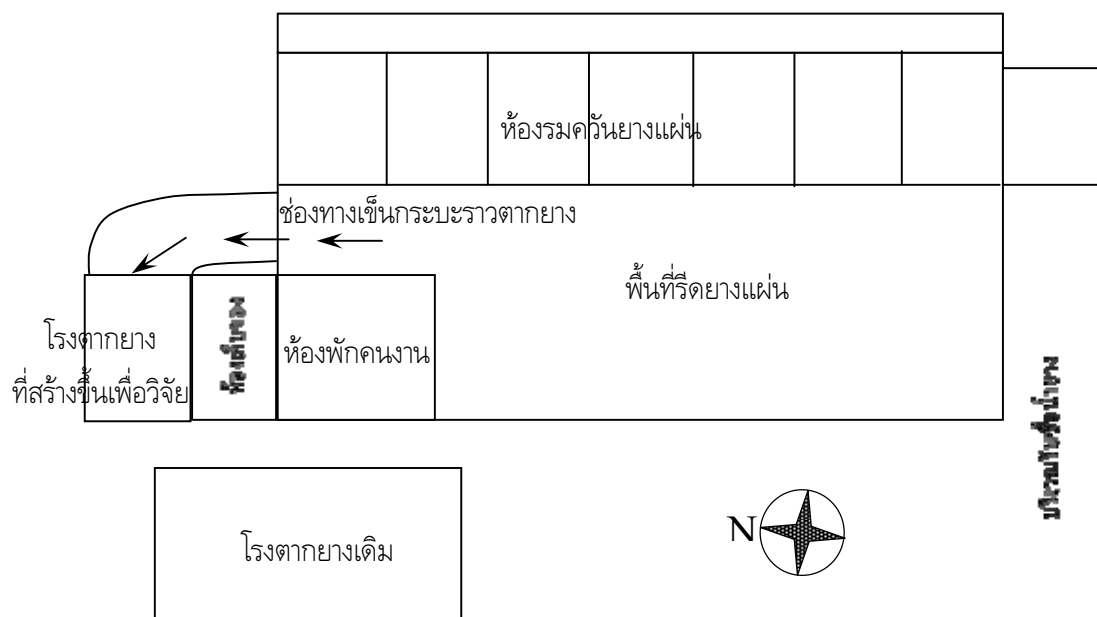


(ก) โรงตากยางเดิมของสหกรณ์ที่เข้าร่วมโครงการ



(ข) พื้นที่สร้างโรงตากยางใหม่

รูปที่ 4.1 บริเวณโดยรอบและลักษณะของโรงตากยางเดิม



รูปที่ 4.2 แสดงผังบริเวณของสหกรณ์สวนยางพาราทุ่งโพธิ์ อ.นาหม่อม จ.สงขลา

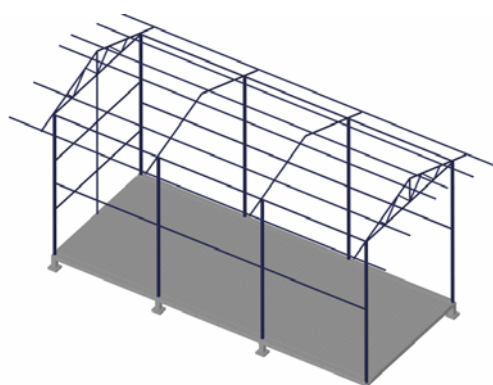
เนื่องจากพื้นที่ 7.2x3 ตารางเมตร ที่ใช้สร้างโรงตากยางใหม่ค่อนข้างน้อย ไม่มีที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งแผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จึงได้ออกแบบโรงตากยางแผ่นดิบให้มีการใช้พัดลมดูดอากาศช่วยระบายความชื้นและช่วยถ่ายเทความร้อนภายในโรงตาก และใช้พื้นที่ห้องและผนังของโรงตากยางเป็นแผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์

#### 4.2 ลักษณะโรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย

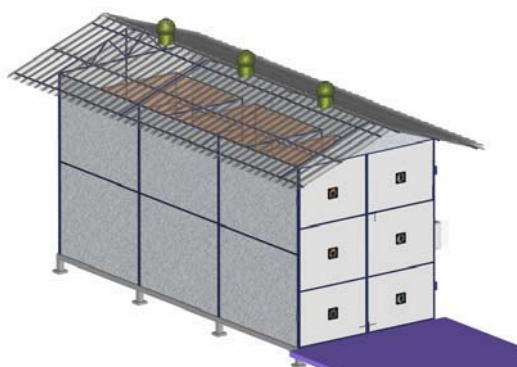
ลักษณะของโรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้น เป็นโรงเรือนหลังคาจั่ว กว้าง 3 เมตร ยาว 7.2 เมตร สูง 3.4 เมตร เมื่อบรรจุกระบะแขวนยางแผ่นในโรงตากยางจะมีพื้นที่ว่างด้านข้างด้านละ 0.5 เมตร ตัวโครงสร้างโรงตากยางทำด้วยเหล็กสี่เหลี่ยม 1 นิ้ว ลาดพื้นคอนกรีต ผนังด้านข้าง (ด้านยาว 7.2 เมตร) ทำด้วยแผ่นสังกะสีปูฉนวนโฟม ฝ้าด้านในและพื้นคอนกรีตทาสีดำ หลังคาโรงเรือนปูด้วยกระเบื้องลอนคู่โปรงใสเอียงทำมุม 20 องศา มีพัดลมระบายอากาศชนิดหมุนด้วยตัวเอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว จำนวน 3 ตัว ติดตั้งอยู่ด้านบน โดยอาศัยการระบายอากาศโดยธรรมชาติ ส่วนประตูโรงเรือนทำด้วยแผ่นสังกะสีด้านในทาสีดำ ระหว่างกลางบุด้วยฉนวนโฟมเช่นเดียวกับผนังโรงเรือนด้านข้าง มีพัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ติดอยู่บริเวณประตู ใช้ไฟฟ้า 220 VAC กินกำลังไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 300 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมพร้อมกันทั้ง 6 ตัว

จะทำให้อากาศไหลผ่านภายในโรงตากยางแผ่นด้วยความเร็วประมาณ 0.25-0.5 m/s บริเวณผนังด้านตรงข้าม ประตุมุงด้วยตะแกรงลวดแล้วปิดด้วยแผ่นพลาสติกใสเปิดช่องบางส่วนให้อากาศไหลผ่านเข้ามาได้ และเพื่อให้แสงอาทิตย์ในทางทิศตะวันตกส่องผ่านเข้ามาได้ในช่วงบ่าย

ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย  $32^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิในโรงตากขณะไม่มียางและไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศมีค่าประมาณ  $45^{\circ}\text{C}$



(ก) โครงหลังคาโรงตากยาง



(ข) ลักษณะโรงตากยางที่ออกแบบ

รูปที่ 4.3 ภาพสเก็ตโครงสร้างโรงตากยางแผ่นดิบที่ออกแบบ

ตารางที่ 4.1 ขนาดและวัสดุที่ใช้สร้างโรงตากยางแผ่นดิบเพื่อวิจัย

| Fabrication materials of the rubbersheet solar dryer |                                                                              |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Gross dimensions of the dryer                        | 300 x 720 x340 cm                                                            |
| Net surface area available for drying                | 21.6 m <sup>2</sup>                                                          |
| Absorber materials                                   | black painted on galvanized steel sheet and black painted concrete floor     |
| Glazing materials                                    | Polyethylene (PE)                                                            |
| Insulation materials                                 | Polystyrofoam                                                                |
| Thickness of insulation                              | 2.5 cm                                                                       |
| Number of rubbersheet trays used                     | 3                                                                            |
| Force ventilation                                    | 6 axial-typed fans, 220 VAC 50 watts                                         |
| Natural roof ventilator                              | 24 inches diameter, 3 ventilators with 170,000 cfh at average speed of 3 m/s |



(ก) ประตูด้านหน้าโรงตากยาง



(ข) ลักษณะภายในโรงตากยาง ผนังและพื้นทาสีดำ



(ค) บริเวณด้านหลังโรงตากยาง



(ง) ภาพด้านหลังโรงตากยางขณะตากยาง

รูปที่ 4.4 ภาพด้านหน้า ภายใน ด้านหลัง และขณะตากยางของโรงตากยางแผ่นดิบ



(ก) ภาพด้านข้างโรงตากยาง



(ข) ภาพยางแผ่น มองลอดตะแกรงด้านหลังโรงตากยาง



(ค) รวแขวนยางแผ่นดิบ



(ง) รวแขวนยางแผ่นดิบ

รูปที่ 4.5 โรงตากยางและลักษณะยางแผ่นดิบขณะแขวนบนราวตากในโรงตากยาง

#### 4.3 การทำงานของสหรณสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการ

การทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตาก เป็นการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าโรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นสามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบที่ผ่านการรีดมาได้มากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงสภาพการทำงานจริงของสหรณสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการ ปริมาณยางแผ่นดิบที่ทางสหรณสวนยางพาราผลิตได้ในแต่ละวันอาจแตกต่างกันบ้าง ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางดิบที่รับซื้อได้จากเกษตรกรและสภาพอากาศในแต่ละวัน ทั้งนี้ได้นำเสนอผลการทดลองที่มีการผลิตยางแผ่นดิบได้มากกว่า 500 แผ่นต่อวัน

การทำงานของสหรณสวนยางพาราทุ่งโพธิ์ที่เข้าร่วมโครงการ จะรับซื้อน้ำยางสดในช่วงเช้าถึงเที่ยง แล้วรีดเป็นยางแผ่นเสร็จในช่วงบ่ายของแต่ละวัน จากนั้นจึงผึ่งไว้ในโรงเรือนให้สะเด็ดน้ำประมาณ 2-3 ชั่วโมง ความชื้นยางแผ่นดิบจะลดลงเหลือ 55-60% แล้วจึงนำเข้าห้องรมควันโดยไม่ได้มีการตากแห้ง บางครั้งการผึ่งสะเด็ดน้ำอาจใช้เวลาข้ามคืนแล้วนำไปรมควันในเช้าวันถัดไป ดังนั้นขั้นตอนการลดความชื้นยางแผ่นดิบจะกระทำได้ในกรณีเดียวคือ เมื่อสหรณรีดยางแผ่นเสร็จในช่วงบ่ายของแต่ละวันต้องผึ่งแห้งในโรงเรือนเป็นเวลา 1 คืน ซึ่งส่งผลให้ความชื้นในยางแผ่นดิบลดลงจาก 60-65% เหลือ 45-50% หลังจากนั้นจึงนำเข้าโรงตากยางที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย ตั้งแต่เวลา 7:00-8:00 น. และตากแห้งในโรงตากจนถึงเวลา 17:00 น. แต่หากมีการรับซื้อน้ำยางสดในช่วงเช้าจนถึงบ่ายโดยมีการเติมน้ำยาเคมีเพื่อชะลอการแข็งตัวของน้ำยาง แล้วจึงค่อยรีดเป็นยางแผ่นในเวลาเช้าตรู่เวลา 3:00-6:00 น. ของวันถัดไป หลังจากรีดยางแผ่นดิบเสร็จก็สามารถนำยางแผ่นเข้าโรงตากยางได้เลย ซึ่งในกรณีนี้ยางแผ่นดิบจะมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 50-55%

การนำเสนอผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบ จะระบุเงื่อนไขการทำงานของสหรณสวนยางดังกล่าวข้างต้นและการจัดระยะห่างระหว่างแผ่นยางด้วยรหัสดังนี้ X1-X2-X3-X4

โดยที่ความหมายของ X1, X2 และ X3 เป็นดังนี้

X1 หมายถึง ช่วงเวลาของการรีดยางแผ่นและการผึ่งยางในโรงเรือน หากการรีดยางแผ่นดิบกระทำในช่วงบ่ายแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 1 คืน X1 จะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ PM หากการรีดยางแผ่นดิบกระทำในช่วงเช้าตรู่แล้วจึงนำเข้าโรงตากยางในเช้าของวันที่รีดยางนั้น ให้แทนด้วยสัญลักษณ์ AM

X2 หมายถึง ปริมาณยางที่ตากแห้งโดยพิจารณาใน 2 กรณี คือ ปริมาณยางแผ่นดิบเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณยางแผ่นดิบที่จุได้ในห้องรมควันยางแผ่น 1 ห้อง (ตั้งแต่ 500-750 แผ่น) ให้สัญลักษณ์เป็น H หากยางแผ่นมีปริมาณใกล้เคียงกับที่จุได้เต็มห้องรมควันยางแผ่น 1 ห้อง (ตั้งแต่ 1000-1500 แผ่น) ให้สัญลักษณ์เป็น F

X3 หมายถึง ระยะห่างระหว่างยางแผ่นแต่ละแผ่นที่แขวนบนราวตาก โดยให้สัญลักษณ์เป็น D1 หากระยะห่างระหว่างแผ่นเป็น 2.5 เซนติเมตร (ไม่เว้นระยะ) และให้สัญลักษณ์เป็น D2 เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเป็น 7.5 เซนติเมตร (เว้นระยะ 1 ราวไม่ไผ่)

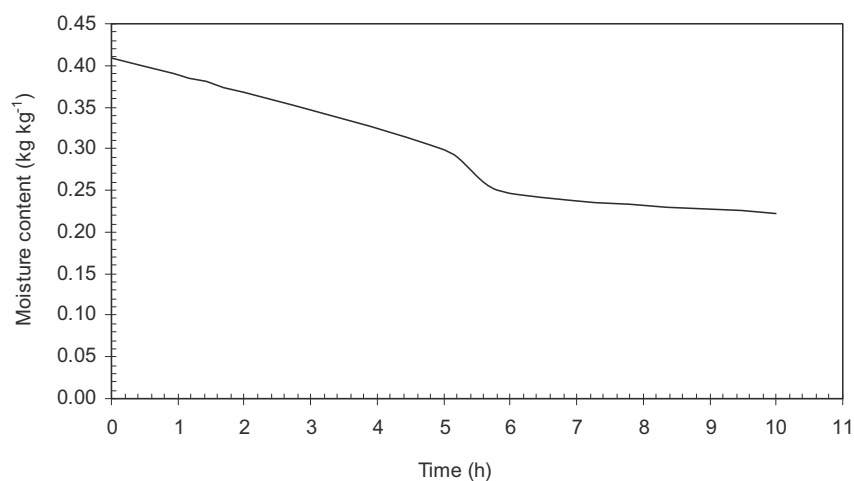
X4 แทนหมายเลขการทดลอง เขียนเป็น 01, 02, 03,..... เป็นต้น

#### 4.4 ผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตาก

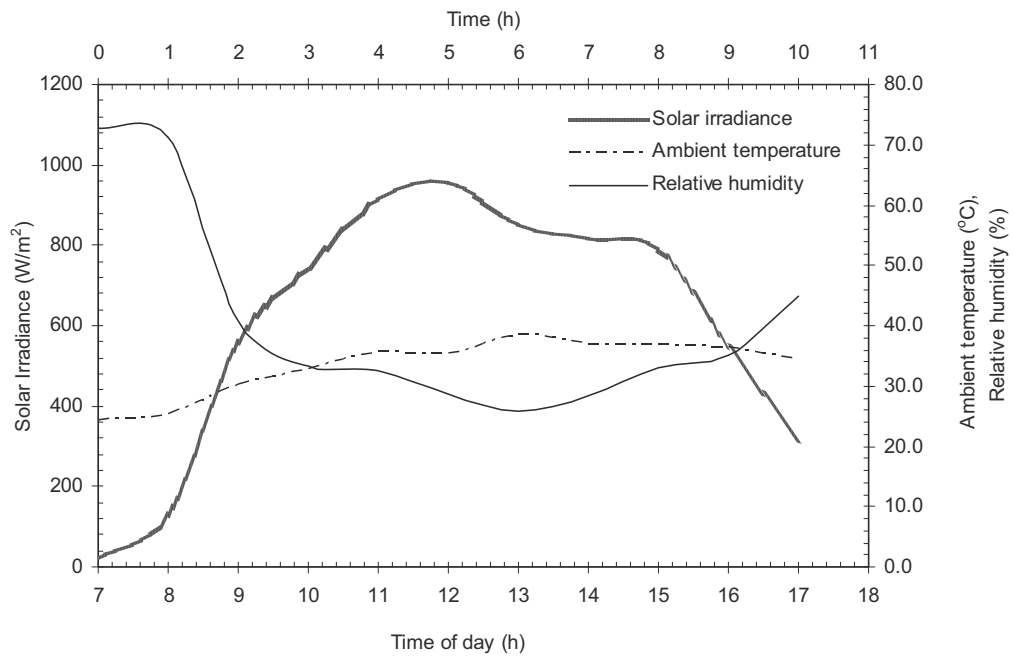
ในการทดลองจะเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ น้ำหนักยางแผ่นดิบที่เปลี่ยนไประหว่างการตากแห้ง ปริมาณการใช้ไม้พินที่ใช้ในการรมควัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการใช้ไม้พินในกรณีที่ไม่ได้มีการตากแห้งยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้น และตรวจสอบปริมาณยางแผ่นที่เสียจากการรมควัน การนำเสนอผลการทดลองจะนำเสนอผลการทดลองที่มียางแผ่นดิบเพียงพอ ตามปริมาณที่ระบุในหัวข้อก่อนหน้านี้

##### 4.4.1 ผลการทดลอง PM-H-D1-01

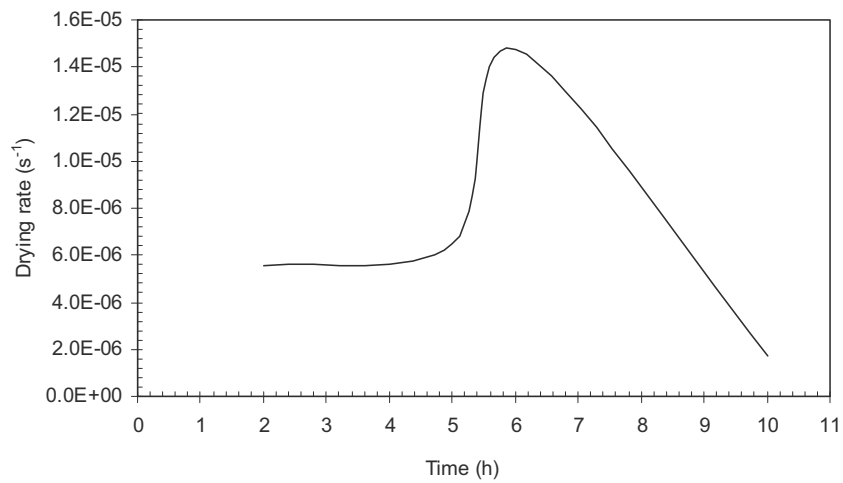
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 1 คืน จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 750 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm ไม่เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



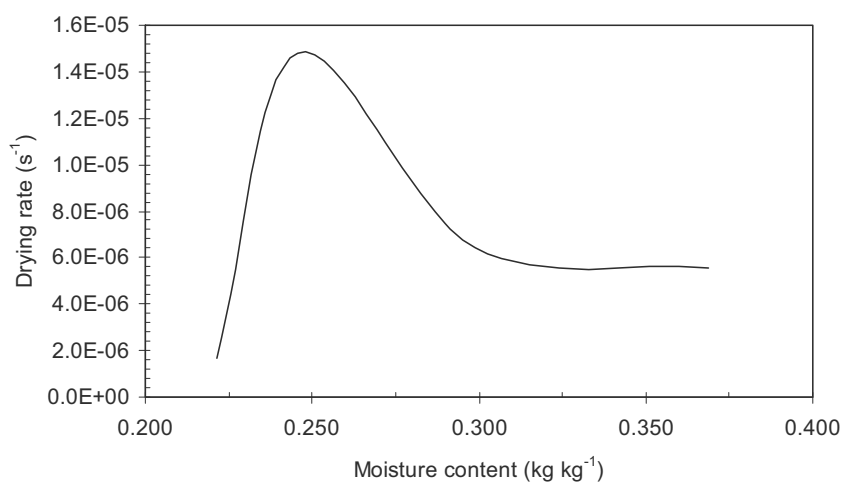
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D1-01



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D1-01



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D1-01



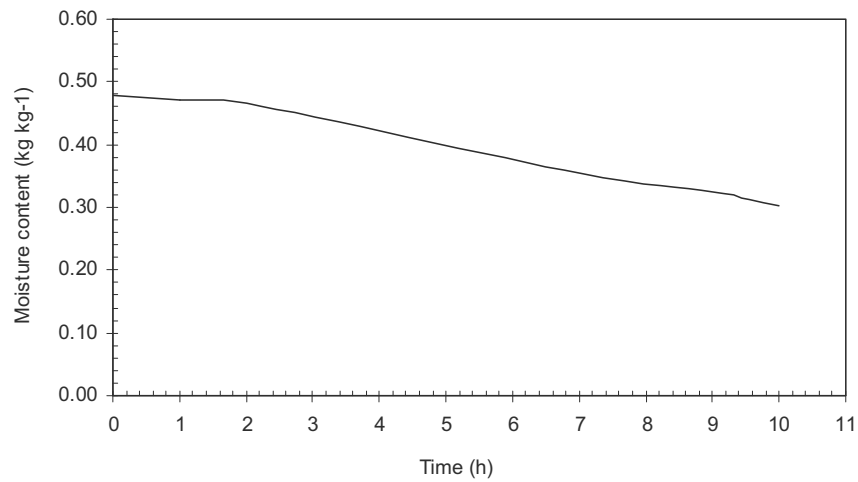
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง PM-H-D1-01

จากการทดลอง PM-H-D1-01 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 41% เหลือ 22% ซึ่งลดลงไปได้ 19% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 33 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความชื้นแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 603 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้พินที่ 0.61 กิโลกรัมไม้พินต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมควันทิ้งการตากแห้ง

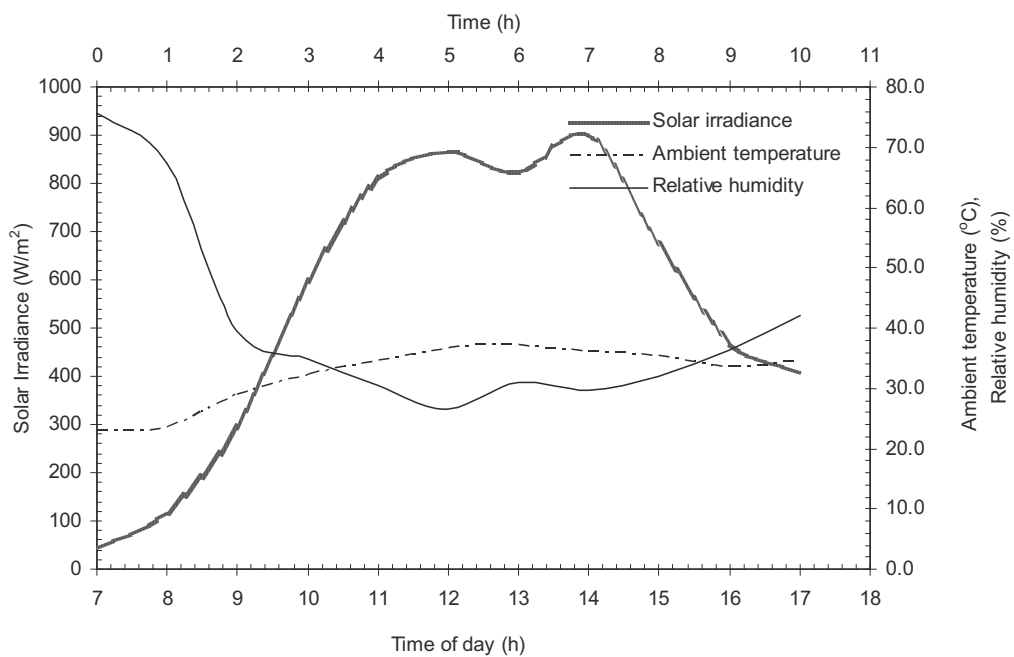
อัตราการแห้งของยางแผ่นดิบในการทดลองนี้สูงสุดเมื่อความชื้นในยางแผ่นดิบลดลงเหลือ 25% ซึ่งเป็นชั่วโมงที่ 6 ของการตากยาง หรือประมาณเวลา 13:00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่ำสุดของวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7

#### 4.4.2 ผลการทดลอง PM-H-D2-02

เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 1 คืน จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 850 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm ไม่เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า

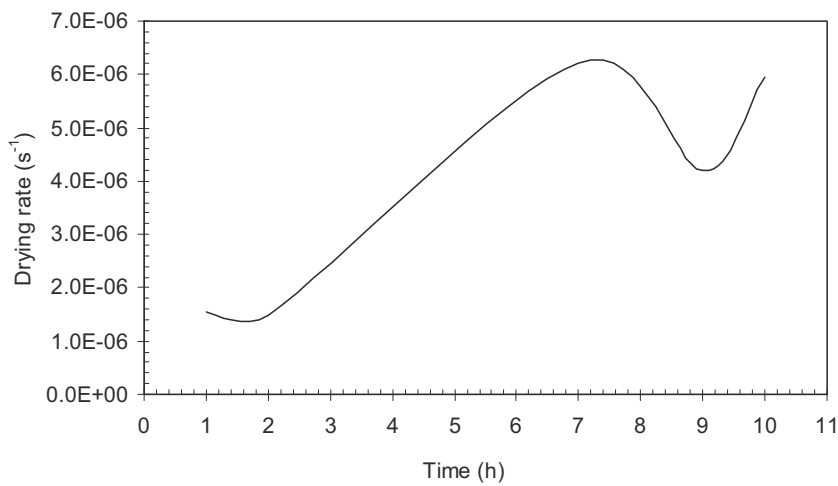


รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D2-02

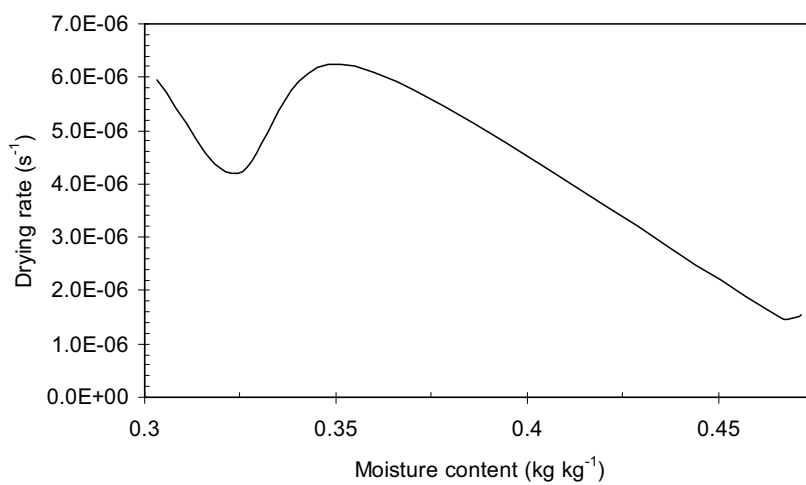


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D2-02

อัตราการแห้งของยางแผ่นดิบในการทดลองนี้สูงสุดเมื่อความชื้นในยางแผ่นดิบลดลงเหลือ 35% ซึ่งเป็นชั่วโมงที่ 7 ของการตากยาง หรือประมาณเวลา 14:00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D2-02

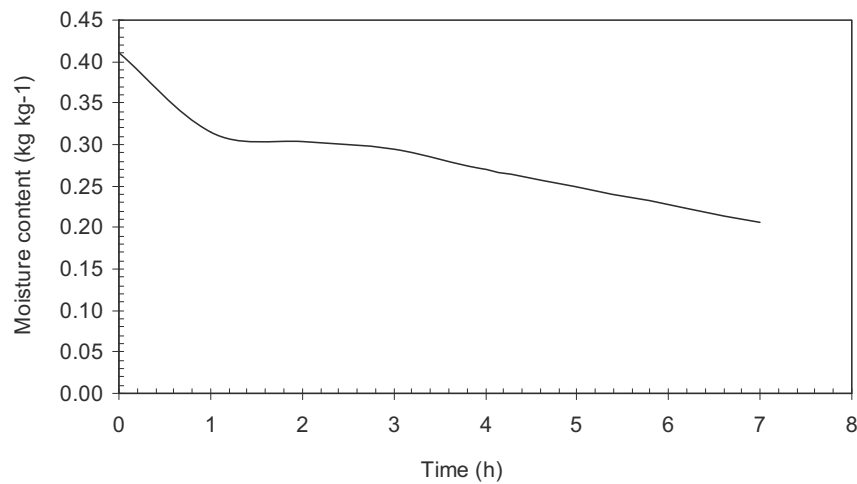


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง PM-H-D2-02

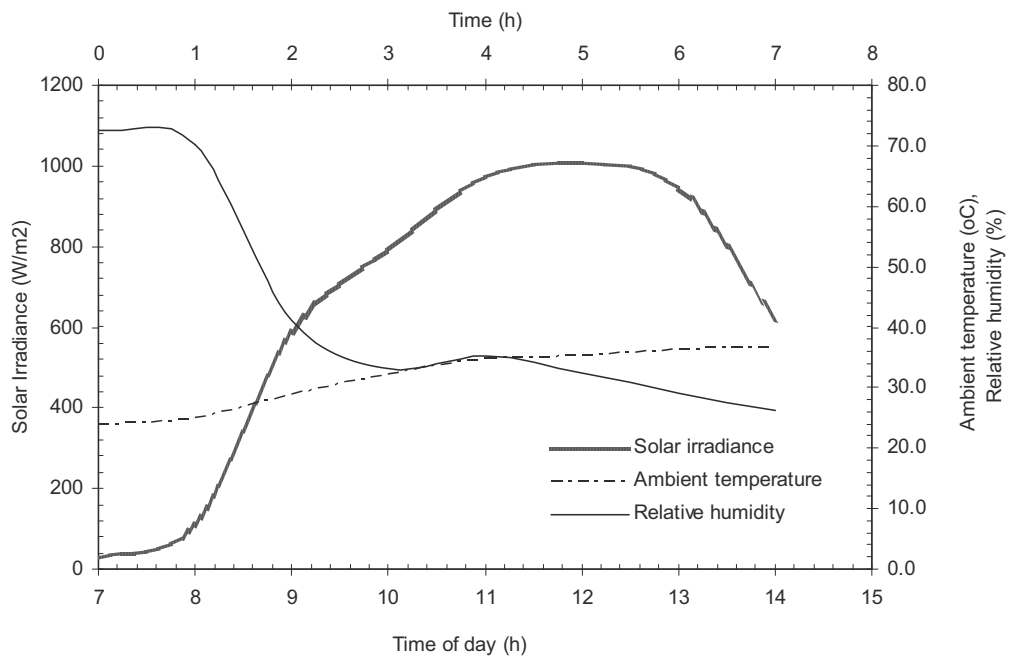
จากการทดลอง PM-H-D2-02 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 48% เหลือ 30% ซึ่งลดลงไปได้ 28% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 31 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความชื้นแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 545 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้พื้นที่ 0.58 กิโลกรัมไม้พื้นที่ต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมคั้นหลังการตากแห้ง

#### 4.4.3 ผลการทดลอง PM-H-D2-03

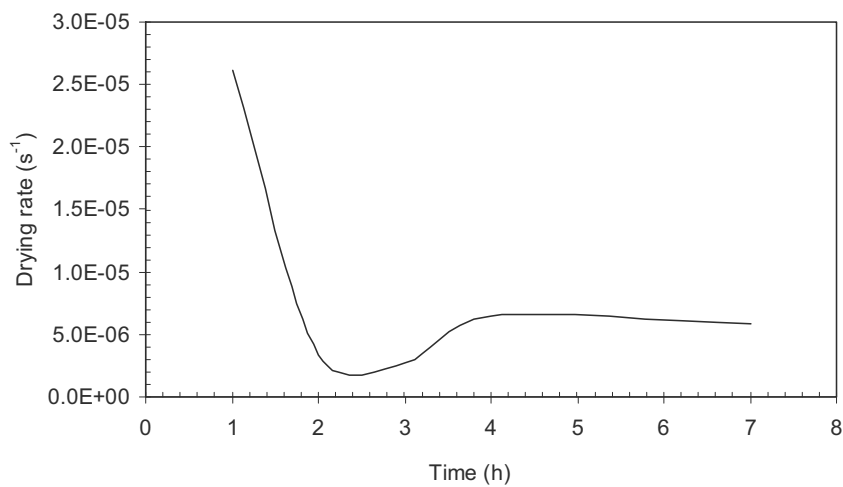
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 1 คืน จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 600 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



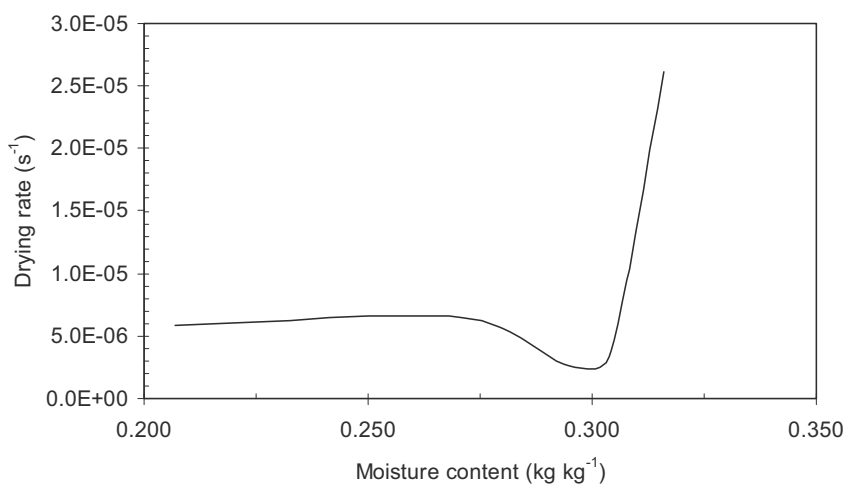
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D2-03



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D2-03



รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D2-03

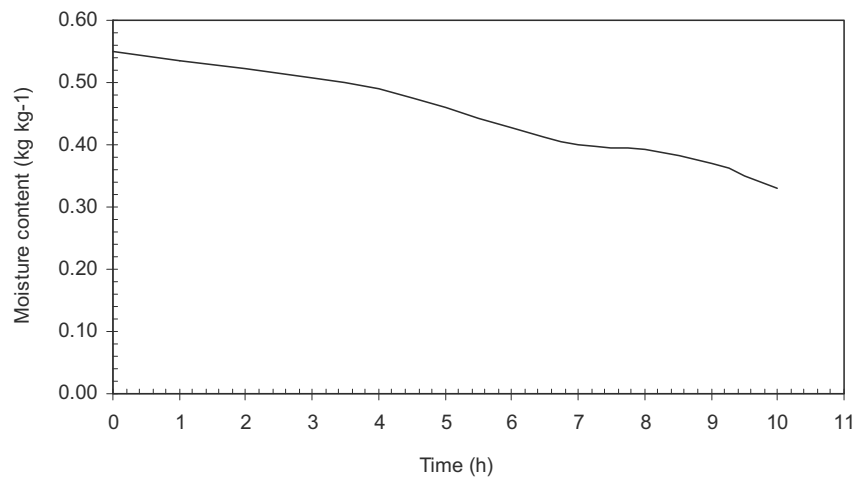


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง PM-H-D2-03

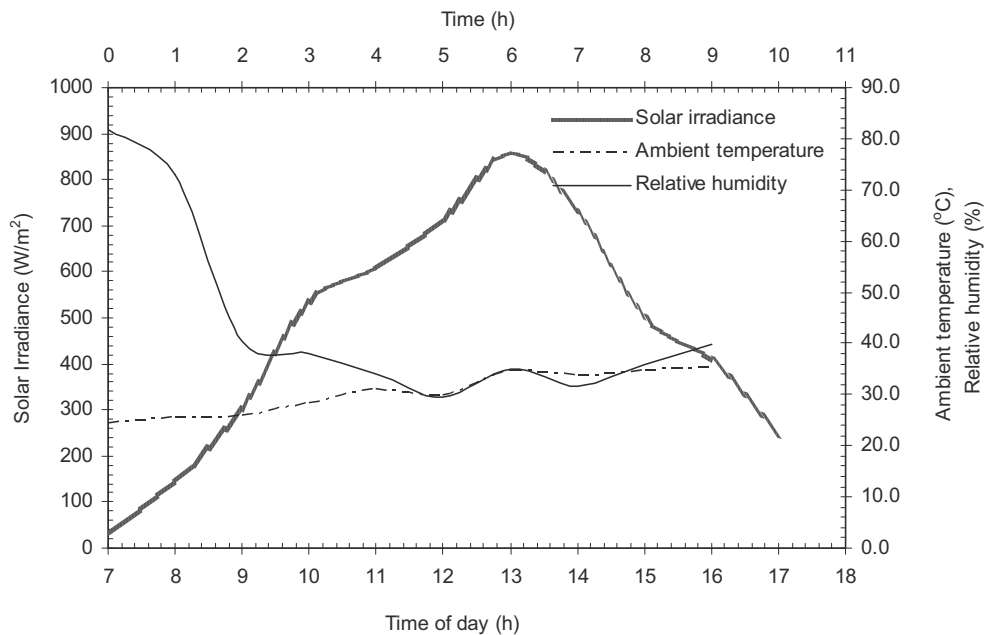
จากการทดลอง PM-H-D2-03 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 43% เหลือ 20% ซึ่งลดลงไปได้ 23% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความชื้นแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 632 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้ฟืนที่ 0.79 กิโลกรัมไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรื้อคว้นหลังการตากแห้ง จะเห็นว่าการทดลองนี้มีการใช้ไม้ฟืนในการรื้อคว้นยางสูงกว่า 2 กรณีแรก เนื่องจากปริมาณยางแผ่นที่รื้อคว้นมีน้อยกว่า

#### 4.4.4 ผลการทดลอง AM-F-D1-04

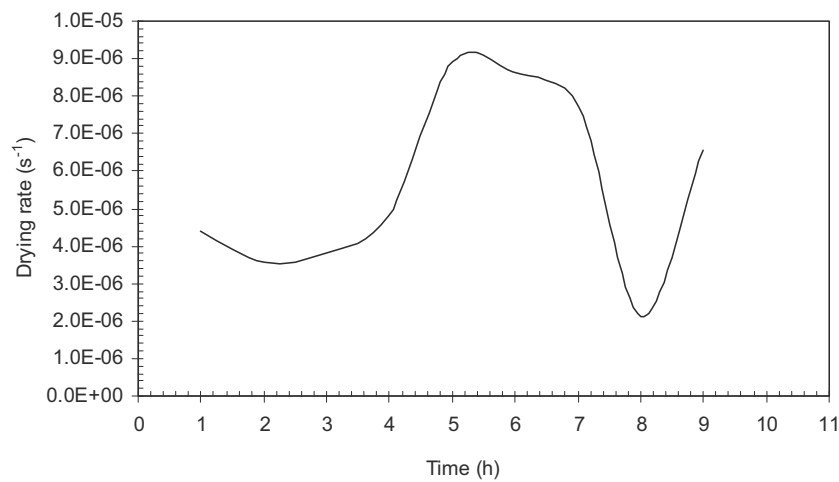
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากการรีดยางแผ่นดิบเวลาเช้าตรู่ จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 1300 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



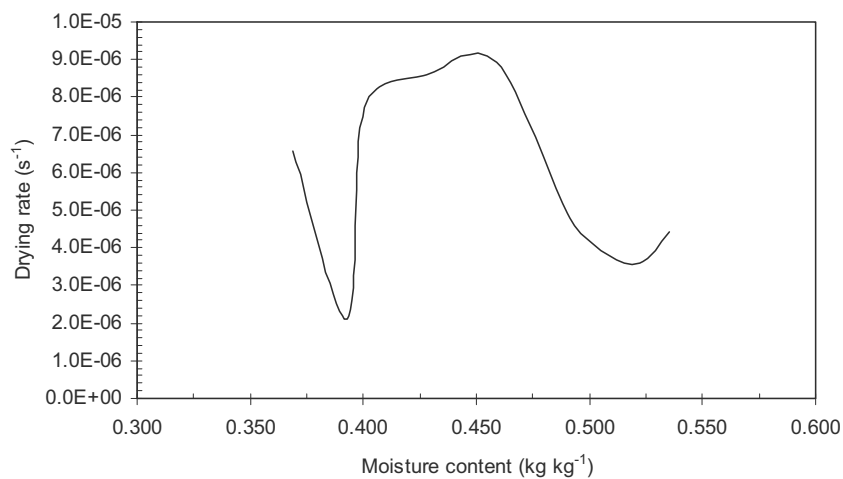
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-04



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-04



รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-04

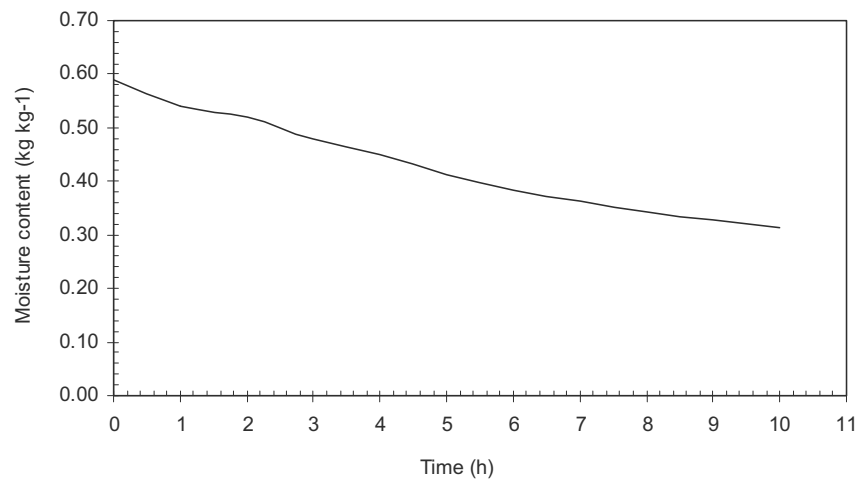


รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-04

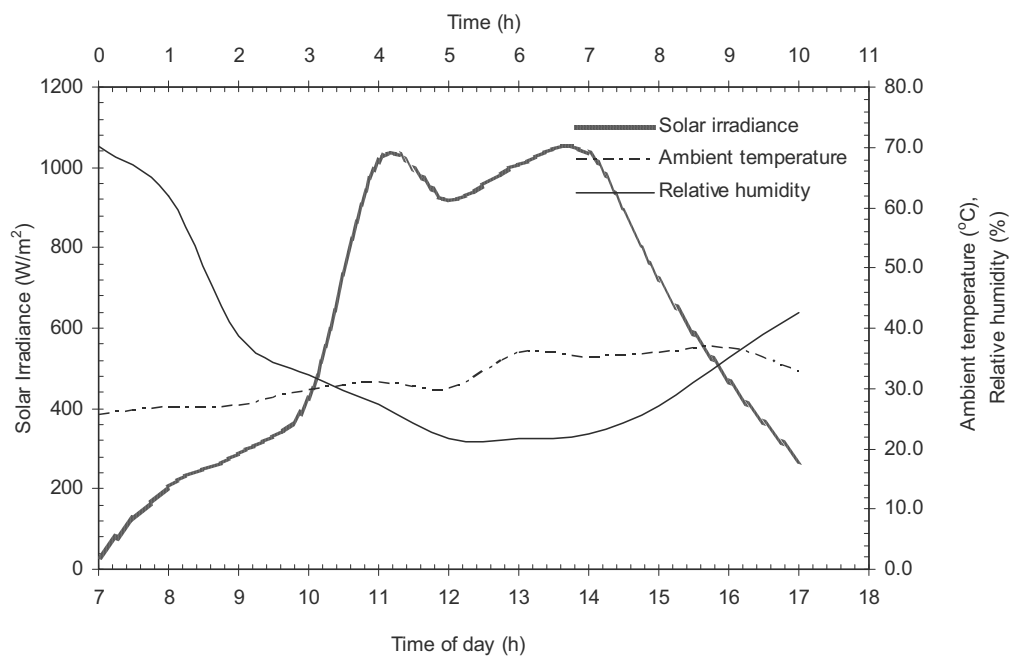
จากการทดลอง AM-F-D1-04 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 55% เหลือ 33% ซึ่งลดลงไปได้ 22% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 30 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 461 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้พื้นที่ 0.909 กิโลกรัมไม้พื้นที่ต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมควันทิ้งการตากแห้ง

#### 4.4.5 ผลการทดลอง AM-F-D1-05

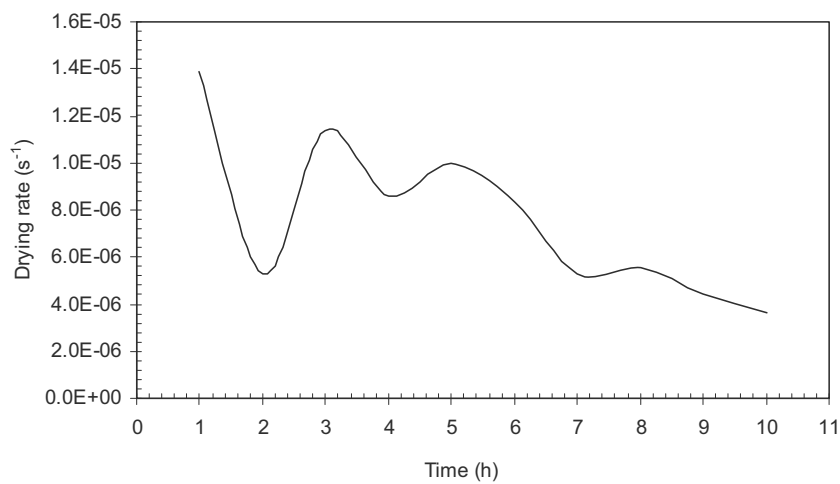
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากการรีดยางแผ่นดิบเวลาเช้าตรู่ จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 1300 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



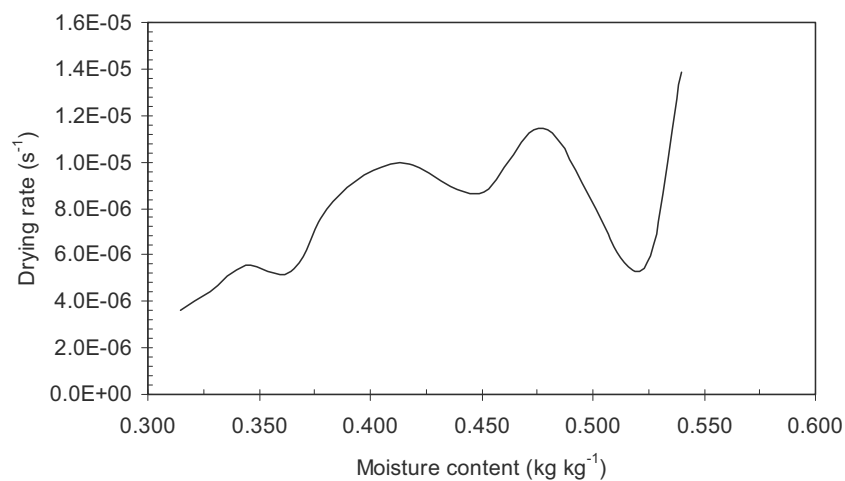
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-05



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-05



รูปที่ 4.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-05

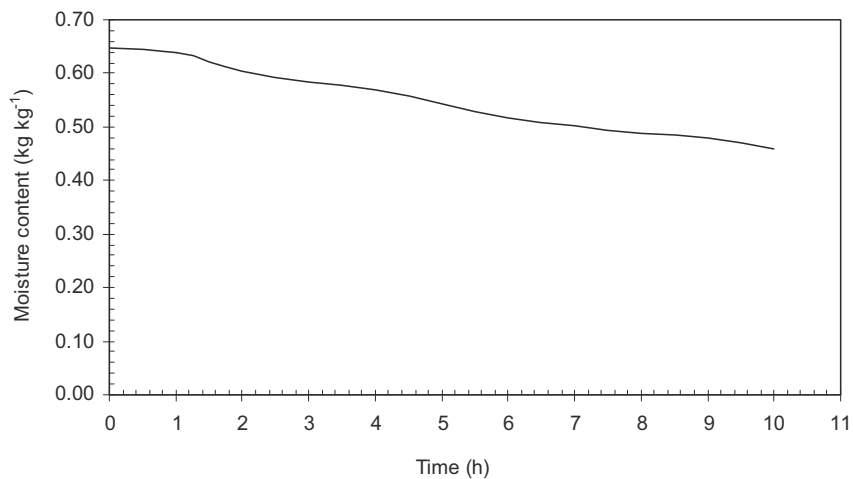


รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-05

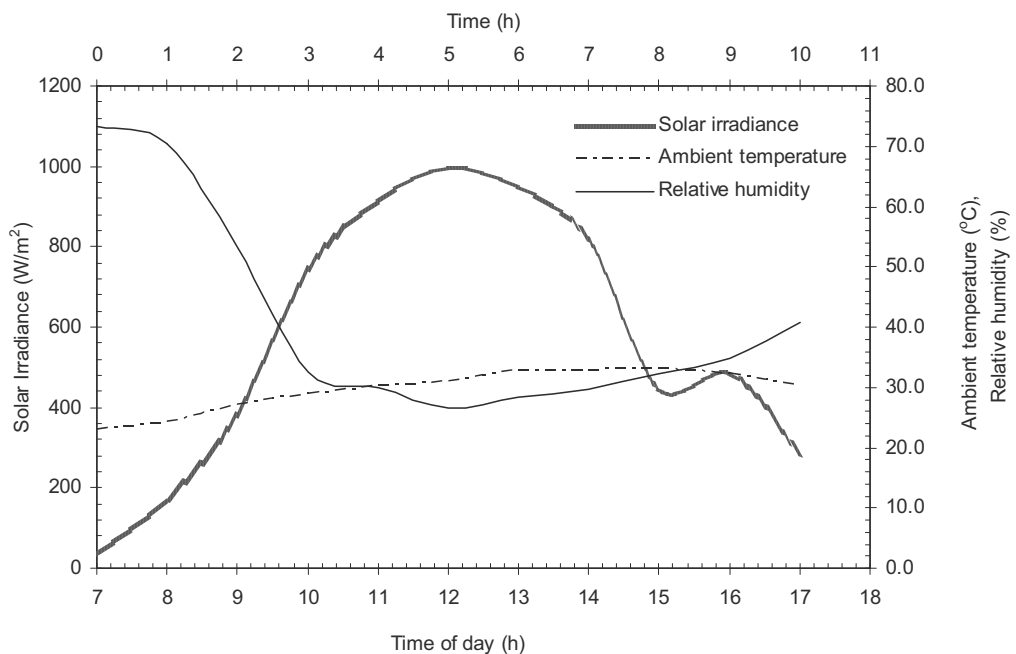
จากการทดลอง AM-F-D1-05 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 59% ถึง 31% ซึ่งลดลงไปได้ 28% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 31 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 31.5 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความชื้นเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 579 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้ฟืนที่ 0.918 กิโลกรัมไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมควันทิ้งการตากแห้ง

#### 4.4.6 ผลการทดลอง AM-F-D1-06

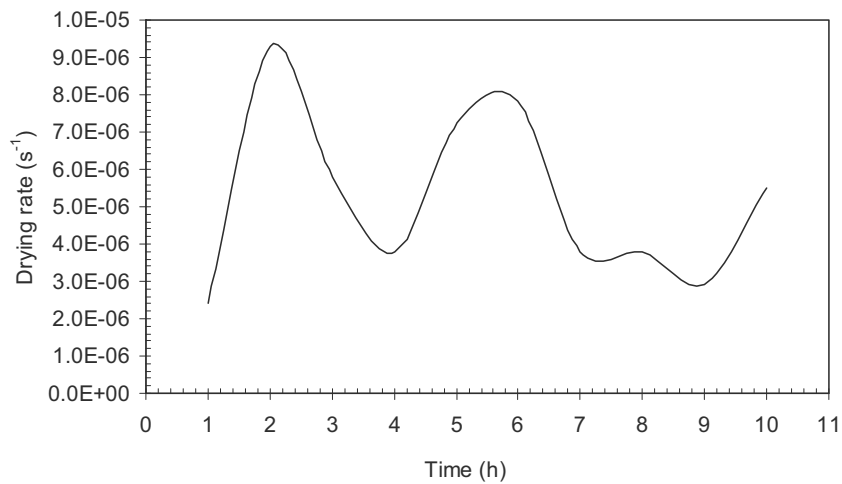
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากการรีดยางแผ่นดิบเวลาเช้าตรู่ จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 1300 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



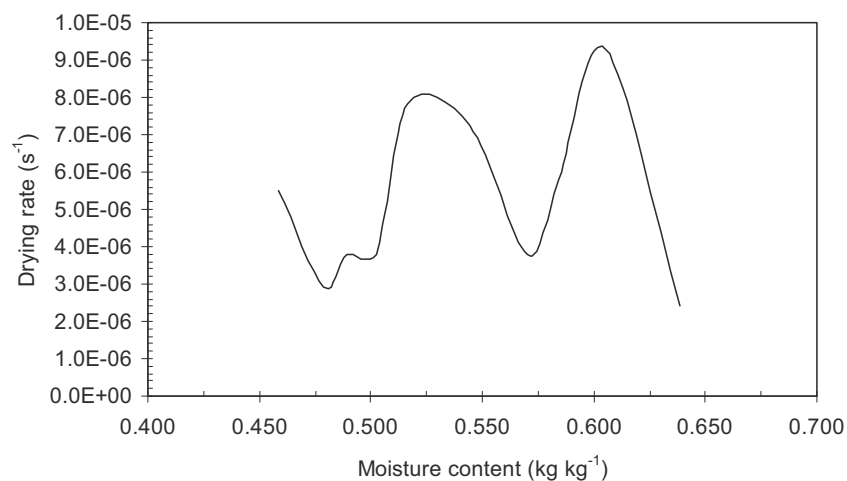
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-06



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-06



รูปที่ 4.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-06

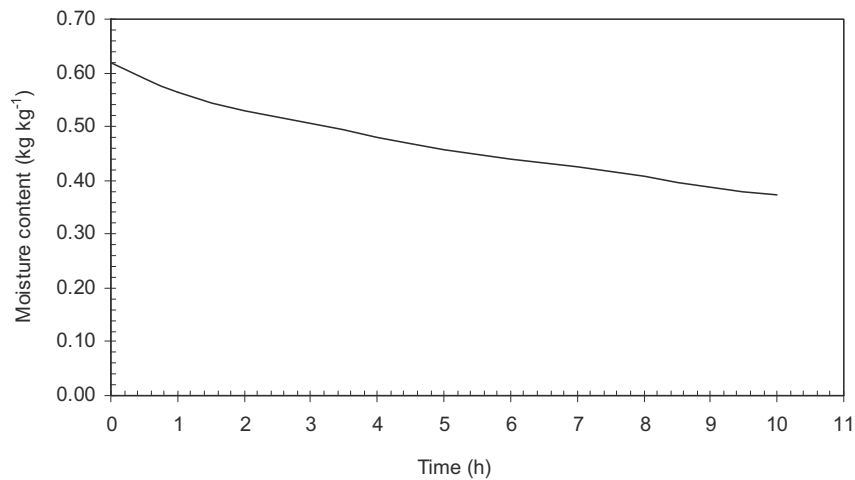


รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-06

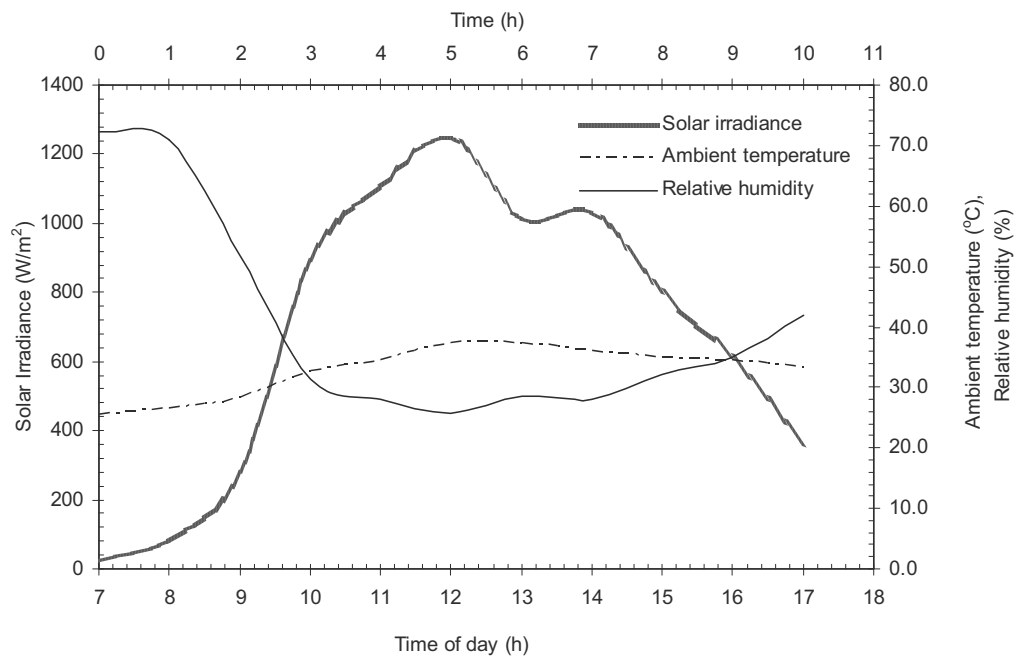
จากการทดลอง AM-F-D1-06 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 65% ถึง 46% ซึ่งลดลงไปได้ประมาณ 19% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 27.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 30 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความชื้นแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 565 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้ฟืนที่ 0.82 กิโลกรัมไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมควันหลังการตากแห้ง

#### 4.4.7 ผลการทดลอง AM-F-D1-07

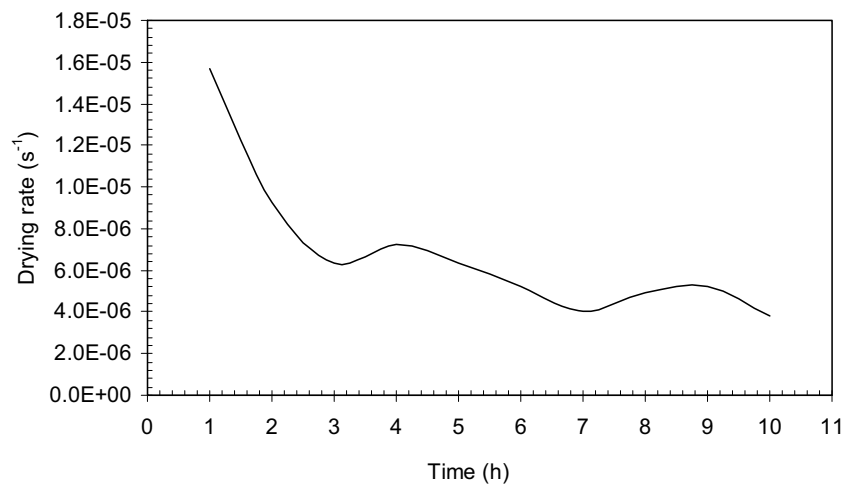
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากการรีดยางแผ่นดิบเวลาเช้าตรู่ จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 1300 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



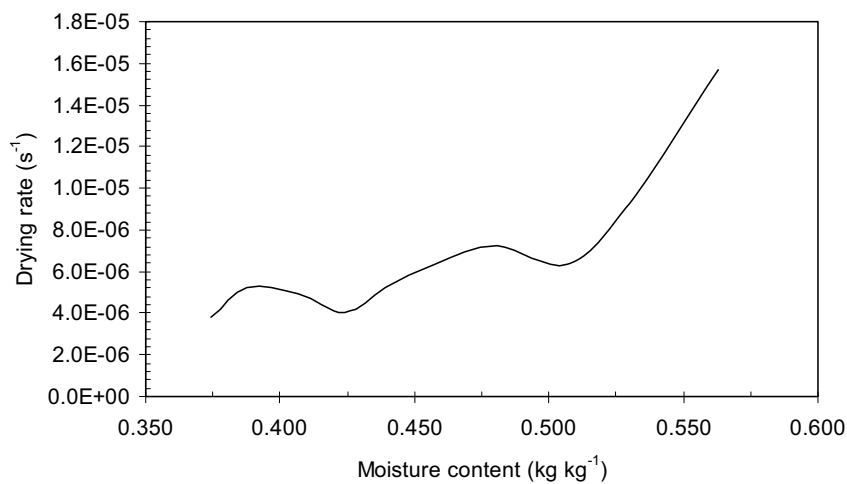
รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-07



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-07



รูปที่ 4.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-07

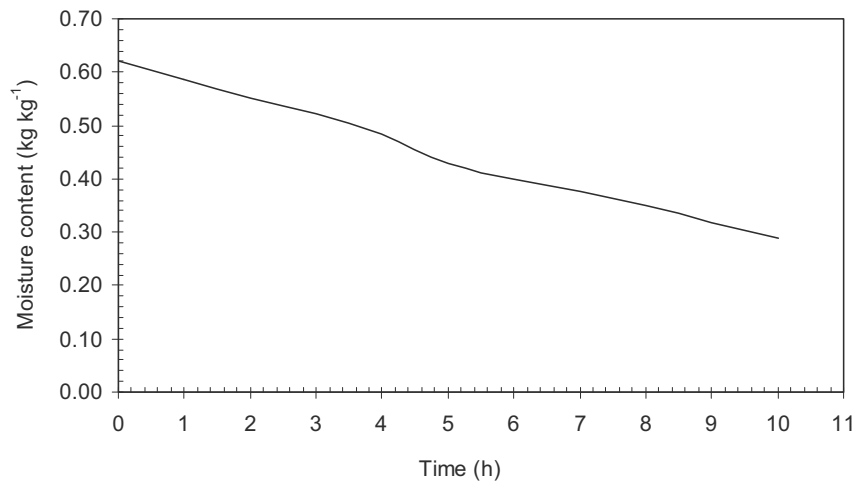


รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-07

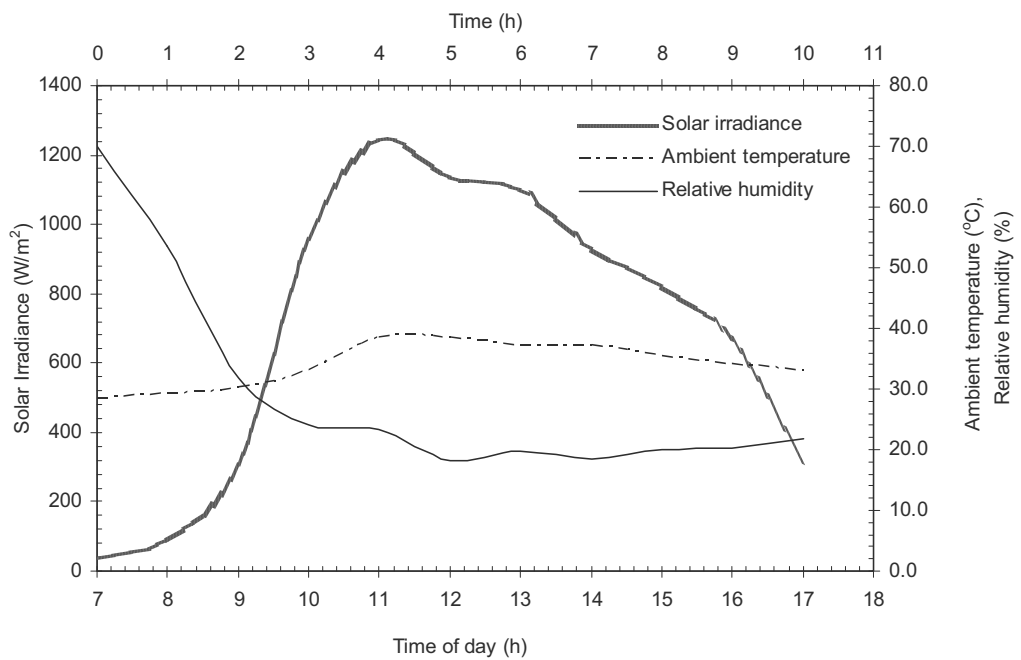
จากการทดลอง AM-F-D1-07 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 62% ถึง 37.5% ซึ่งลดลงไปได้ประมาณ 24.5% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 31 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 677 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้ฟืนที่ 0.77 กิโลกรัมไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางสุก จากการรวมควันทิ้งการตากแห้ง

#### 4.4.8 ผลการทดลอง AM-F-D1-08

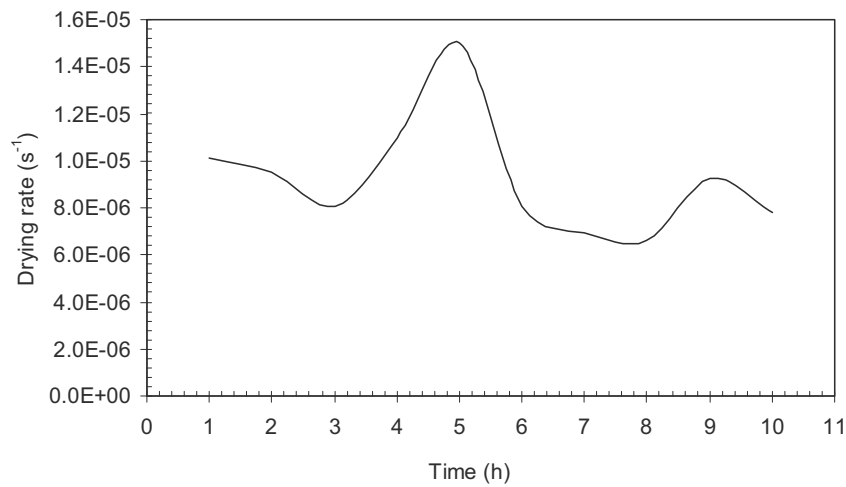
เป็นผลการทดลองที่ยางแผ่นดิบถูกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากการรีดยางแผ่นดิบเวลาเช้าตรู่ จำนวนยางแผ่นดิบเท่ากับ 1300 แผ่น ระยะห่างระหว่างแผ่น 2.5 cm เปิดประตูโรงตากด้านหน้าตอนเช้า



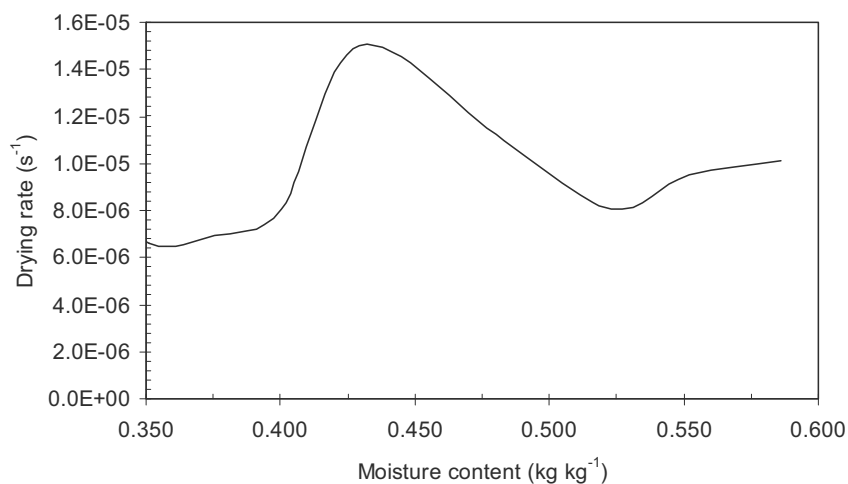
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-08



รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-08



รูปที่ 4.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-08



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-08

จากการทดลอง AM-F-D1-08 โรงตากแห้งยางแผ่นดิบสามารถลดความชื้นภายในแผ่นยางจาก 62% ถึง 29 % ซึ่งลดลงไปได้ประมาณ 33 % ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงตากที่ 32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงตากที่ 34 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองและมีความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองที่ 690 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการใช้ไม้พินที่ 0.74 กิโลกรัมไม้พินต่อกิโลกรัมยางสุก จากการม้วนวันหลังการตากแห้ง

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบและปริมาณการใช้ไม้พินในการรมควันยางแผ่นที่ผ่านการตากแห้งในโรงตาก

| การทดลอง   | ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> ) | อุณหภูมิเฉลี่ย 7:00-17:00น. (°C) |      | ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เวลา7:00-17:00 น. (%) |     | การใช้ไม้พินของยางแผ่นรมควันที่ผ่านการตาก (kg/kg) | การใช้ไม้พินเฉลี่ยของยางแผ่นรมควันที่ไม่ผ่านการตากในโรงตาก (kg/kg) <sup>(+)</sup> | ความชื้นในยางแผ่นดิบที่ลดลงได้ (%) | หมายเหตุ<br><br>(ความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างแผ่นยางมีค่าระหว่าง 0.25-0.50 m/s) |
|------------|----------------------------------------------|----------------------------------|------|----------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|            |                                              | (1)                              | (2)  | (1)                                          | (2) |                                                   |                                                                                   |                                    |                                                                            |
| PM-H-D1-01 | 603                                          | 33                               | 32   | 41                                           | 43  | Fuel wood MC 20.03%                               |                                                                                   | 19                                 | Int. MC = 41%,<br>750 pcs, Door closed (AM)                                |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.61<br>(0.66) <sup>(x)</sup>                     | 0.96                                                                              |                                    |                                                                            |
| PM-H-D2-02 | 545                                          | 32                               | 31   | 40                                           | 42  | Fuel wood MC 20.07%                               |                                                                                   | 28                                 | Int. MC = 48%,<br>850 pcs, Door closed (AM)                                |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.58<br>(0.66) <sup>(x)</sup>                     | 0.96                                                                              |                                    |                                                                            |
| PM-H-D2-03 | 632                                          | 32                               | 32   | 43                                           | 42  | Fuel wood MC 21.53%                               |                                                                                   | 20                                 | Int. MC = 41%,<br>580 pcs, Door opened (AM)                                |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.79<br>(0.66) <sup>(x)</sup>                     | 0.96                                                                              |                                    |                                                                            |
| AM-F-D1-04 | 461                                          | 30                               | 28   | 44                                           | 49  | Fuel wood MC 29.93%                               |                                                                                   | 22                                 | Int. MC = 55%,<br>1300 pcs, Door opened (AM)                               |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.909<br>(0.83) <sup>(y)</sup>                    | 1.22                                                                              |                                    |                                                                            |
| AM-F-D1-05 | 579                                          | 31                               | 31.5 | 36                                           | 38  | Fuel wood MC 45.78%                               |                                                                                   | 27.5                               | Int. MC = 59%,<br>1300 pcs, Door opened (AM)                               |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.918<br>(0.83) <sup>(y)</sup>                    | 1.22                                                                              |                                    |                                                                            |
| M-F-D1-06  | 565                                          | 30                               | 27.5 | 40                                           | 41  | Fuel wood MC 57.60%                               |                                                                                   | 19                                 | Int. MC = 65%,<br>1300 pcs, Door opened (AM)                               |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.82<br>(0.83) <sup>(y)</sup>                     | 1.22                                                                              |                                    |                                                                            |
| AM-F-D1-07 | 677                                          | 33                               | 31   | 40.5                                         | 42  | Fuel wood MC 60.11%                               |                                                                                   | 24.5                               | Int. MC = 62%,<br>1200 pcs, Door opened (AM)                               |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.77<br>(0.83) <sup>(y)</sup>                     | 1.22                                                                              |                                    |                                                                            |
| AM-F-D1-08 | 690                                          | 34                               | 32   | 29                                           | 34  | Fuel wood MC 36.44%                               |                                                                                   | 33                                 | Int. MC = 62%,<br>1300 pcs, Door opened (AM)                               |
|            |                                              |                                  |      |                                              |     | 0.74<br>(0.83) <sup>(y)</sup>                     | 1.22                                                                              |                                    |                                                                            |

(1) แทนข้อมูลภายนอกโรงตากยาง (2) แทนข้อมูลภายในโรงตากยาง

<sup>(x)</sup> และ <sup>(y)</sup> เป็นค่าเฉลี่ยการใช้ไม้พินกรณีทดลองเฉพาะเงื่อนไข PM- และ AM- ตามลำดับ

<sup>(+)</sup> เป็นข้อมูลการใช้ไม้พินเฉลี่ยของการรมควันยางแผ่นที่ไม่ได้ผ่านการตากในโรงตาก ที่มีปริมาณยางแผ่นเท่ากัน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการหาแนวทางที่เหมาะสมในการตากยางแผ่นดิบในโรงตากที่สร้างขึ้น และลดจำนวนยางแผ่นดิบที่ขึ้นราเนื่องจากการตากยางที่ไม่แห้งดี หากยางแผ่นดิบที่ผ่านการตากยังคงมีความชื้นมากกว่า 40% และไม่ได้นำเข้าห้องรมควันหลังจากการตากก็มีโอกาสขึ้นราสูง จากผลการทดลองที่มีการปรับเปลี่ยนวิธีการตากยางในโรงตาก ยางแผ่นดิบที่ได้จะมีความชื้นระหว่าง 20-45% ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นในยางแผ่นดิบ และความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน ด้วยสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวันค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในช่วงครึ่งเช้าของวัน และขนาดของโรงตากยางที่มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ 3x7.2 ตารางเมตร การตากยางแผ่นดิบในโรงตาก 1 วัน ให้ความชื้นลดลงเหลือ 20% ในกรณีที่ไม่ได้มีการเว้นระยะราวตากยางแผ่น ทำให้ยากหากไม่มีพัดลมระบายอากาศช่วยในการระบายความชื้นออกจากโรงตาก เนื่องจากแผ่นยางที่อยู่ใกล้เคียงกันจะเกาะติดกันและกักเก็บความชื้นไม่ให้ระเหยออกไปได้โดยง่าย

แม้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในโรงตากยางแห้งแผ่นดิบที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัยจะมีค่าประมาณ 32°C ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้คำนวณไว้คือ 40°C ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการตากยางนั้น ยางแผ่นดิบมีความชื้นสูง การระเหยของน้ำจากแผ่นยาง ทำให้อุณหภูมิภายในโรงตากลดลงมาก อย่างไรก็ตามโรงตากแห้งยางแผ่นดิบก็ยังคงสามารถใช้ลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ถึง 20% โดยเฉลี่ย ทั้งนี้เนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นในโรงตากมีค่าระหว่าง 30-49% ซึ่งต่ำกว่าเงื่อนไขการทดลอง อบแห้งยางแผ่นดิบในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55-60% ความเร็วลม 0.234 m/s (รูปที่ 3.38 ในบทที่ 3)



บริเวณที่เกิดราสีขาว มักเกิดที่บริเวณรอยย่นของแผ่นยาง และเป็นบริเวณที่ความชื้นระคายออกจากแผ่นยางได้ไม่ดีหรือบริเวณที่แผ่นยางอยู่บนราวตากใกล้กัน ติดกัน

รูปที่ 4.38 ลักษณะการเกิดราขึ้นบนแผ่นยางหลังจากการตาก

ตัวอย่างภาพยางที่เกิดราแสดงดังรูปที่ 4.38 ซึ่งเกิดเฉพาะการทดลองที่ PM-H-D1-01 การทดลองเดียว มีปริมาณยางแผ่นดิบที่ขึ้นรา 30% ของจำนวนยางแผ่นทั้งหมดที่ตาก ( 225 แผ่น) อันเป็นผลเนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองที่ไม่เปิดประตูด้านหน้าในตอนเช้า และไม่ได้เว้นระยะห่างระหว่างแผ่นยาง จึงมียางแผ่นส่วนหนึ่ง

โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางแผ่นที่ตากอยู่ราวด้านล่าง (3 แถวล่าง) ของกระบะ จะโดนน้ำที่เกาะอยู่ระหว่างแผ่นของยางแผ่นชั้นบนตกใส่ ทำให้ผิวหน้ายางแผ่นมีความชื้นสูง ไม่สามารถแห้งตัวได้ดี ประกอบกับไม่ได้มีการเปิดพัดลมระบายอากาศด้านหน้าประตู จึงทำให้เกิดราขาวขึ้น และสาเหตุของการขึ้นรา อาจวิเคราะห์จากข้อเท็จจริงสองประการ ประการที่หนึ่ง คือ การทอดเงาของอาคารโรงเรือนใหญ่บังแดดในบางส่วนของโรงตาก และประการที่สอง คือ การที่ประตูหน้าต่างเข้าโรงตากบังแสงแดดในตอนเช้า กล่าวคือ ในเวลาตอนเช้าแดดจะส่องมาในทิศทางด้านหน้าของประตูทางเข้าโรงตาก แต่ในขณะที่ประตูของโรงตากเป็นประตูทึบ จึงเป็นการปิดกั้นแสงแดดที่จะส่องกระทบที่ยางแผ่นดิบเปรียบเสมือนเป็นการผึ่งยางในที่ร่ม ในห้องปิดที่มีความชื้นสะสมภายในห้องสูง ณ เวลาดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุให้แผ่นยางขึ้นรา ดังภาพข้างต้น

โรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นออกแบบให้รับแสงอาทิตย์เฉพาะด้านบนและด้านหลัง ส่วนด้านข้างเป็นผนังทึบบุฉนวนป้องกันความร้อนสูญเสีย โดยด้านหน้ามีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศบนประตูผนังทึบ ทำให้ไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในช่วงเช้า ในการทดลอง PM-H-D2-03 จนถึงทดลอง AM-F-D1-08 ได้มีการเปิดประตูโรงตากทางด้านหน้าให้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 7:00-12:00 น. และในเวลา 12:00-17:00 น. จึงปิดประตูด้านหน้าแล้วเปิดพัดลมระบายอากาศ วิธีการดังกล่าวทำให้ยางแผ่นดิบทั้งหมดที่ผ่านการตากโดยไม่เว้นระยะราวตาก ซึ่งมีปริมาณเต็มห้องตากไม่เกิดรา ดังนั้นการเปิดพัดลมระบายอากาศ 6 ตัว จะทำงานเพียง 5 ชั่วโมงต่อวัน ใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5 kWh/วัน ซึ่งเป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าประมาณ 4.5 บาท/วัน

ในส่วนของคุณภาพยางแผ่นดิบหลังการตากและหลังการรมควัน จัดอยู่ในชั้น 1-3 ทั้งนี้จากผลการทดลองอื่นๆ ยกเว้นการทดลอง PM-H-D1-01 ไม่มีการพบการเกิดราขึ้น แม้ว่าจะไม่เว้นระยะห่างระหว่างแผ่นเนื่องจากมีการเปิดประตูโรงตากในช่วงเช้า เพื่อให้ยางแผ่นมีการระบายความชื้นบางส่วนออกไปและเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงตากให้สูงขึ้นก่อนที่จะปิดประตูด้านหน้าโรงตาก ตั้งแต่เวลาเที่ยงจนถึงเย็น และเปิดพัดลมระบายอากาศที่ด้านหน้าประตู

ยางแผ่นดิบที่ตากแห้งในโรงตากเมื่อนำไปรมควันจะประหยัดการใช้ไม้ฟืนลงได้ 0.3-0.4 กิโลกรัม/ไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน หรือใช้ไม้ฟืนลดลง 31-39% (การรมควันยางแผ่นดิบโดยไม่ได้ตากยางเพื่อลดความชื้นของสหรณส์สวนยางพาราที่ร่วมโครงการ จะใช้ไม้ฟืนเฉลี่ย 0.96-1.22 กิโลกรัม/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2) คิดเป็นต้นทุนที่ลดลง 24 - 32 สตางค์/แผ่น หรือประหยัดได้ 312-416 บาทต่อการรมควันยางแผ่น 1 ห้องรม (คิดที่ราคาไม้ฟืน 80 สตางค์/กิโลกรัม) ทั้งนี้ราคาไม้ฟืนที่ทางสหรณส์สวนยางพารารับซื้ออาจจะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.80-1.50 บาท/กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับฤดูที่รับซื้อ ในระยะเวลา 1 ปี หากวันทำงานของสหรณส์ที่มีการรมควันยางแผ่น 90 ครั้ง (ใช้เวลาครั้งละ 3 วัน) ไม่รวมฤดูฝนหรือช่วงที่ไม่มีน้ำยางสด

(3 เดือน) จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไม่พินเป็นเงิน 28,080-37,440 บาท/ปี โดยปกติการม้วนยางแผ่นของสหกรณ์ที่ร่วมโครงการจะใช้เวลาประมาณ 4 วันต่อครั้ง เนื่องจากการตากแห้งยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้น เมื่อมีการใช้โรงตากยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้น ระยะเวลาในการม้วนยางแผ่นลดลงเหลือ 2.5-3 วัน หากคิดระยะเวลาในการคั้นทุน สำหรับโรงตากยางที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัยที่มีขนาดความจุปริมาณยางแผ่น 1 ห้องม้วน ซึ่งลงทุนค่าก่อสร้างและวัสดุทั้งสิ้น 100,000 บาท จะใช้เวลาคั้นทุนประมาณ 2 ปี 8 เดือน ถึง 3 ปี 8 เดือน

โดยสรุป ข้อดีของการตากยางแผ่นดิบในโรงตาก แผ่นยางจะไม่โดนแสงอาทิตย์โดยตรง ยกเว้นในช่วงเช้าที่มีการเปิดประตูด้านหน้าโรงตากยาง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มของแสงอาทิตย์และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ส่งผลต่อคุณสมบัติของยางน้อย อีกทั้งการตากยางในโรงตากเป็นการป้องกันฝุ่นและสิ่งสกปรกที่อาจจะมาเกาะบนแผ่นยาง ส่งผลต่อคุณภาพยางแผ่น ในการตากแห้งยางแผ่นดิบที่เหมาะสมในโรงตากยางควรมีการระบายอากาศที่ดี มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์อย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ขนาดของโรงตากยางแผ่นมีความจุค่อนข้างพอดีกับห้องม้วน ซึ่งปริมาณยางแผ่นดิบที่ตากบนราวตากจะไม่สามารถเว้นระยะห่างเพื่อเพิ่มพื้นที่การไหลของอากาศผ่านแผ่นยางได้ แต่หากในวันที่สหกรณ์สวนยางมีปริมาณน้ำยางสดไม่เพียงพอที่จะรีดเป็นยางแผ่นดิบได้ ปริมาณเต็มห้องม้วน เช่น มีปริมาณ เพียงหนึ่งในสาม หรือครึ่งหนึ่ง หรือสามในสี่ ก็ควรเว้นระยะห่างระหว่างยางแผ่นดิบในการตากเพื่อลดความชื้น จะช่วยให้อัตราการแห้งสูงขึ้น และสามารถลดความชื้นในยางแผ่นดิบได้มากขึ้น ทำให้การใช้ไม้พินในการม้วนยางแผ่นลดลงได้มากขึ้นเช่นกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยการตากแห้งยางแผ่นดิบที่เหมาะสมต่อการม้วนด้วยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการลดความชื้นยางแผ่นดิบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วย ก่อนที่จะนำไปม้วนเพื่อจะได้ลดปริมาณการใช้ไม้ฟืนอันเป็นต้นทุนในการผลิตอย่างหนึ่ง โดยมีสหกรณ์สวนยางพาราในท้องถิ่นเข้าร่วมโครงการ คือ สหกรณ์สวนยางพาราทุ่งโพธิ์

#### 5.1 สรุปผลคุณลักษณะการแห้งตัวของยางแผ่นดิบ จากการทดลองอบแห้งยางในห้องปฏิบัติการ

จากผลการศึกษาดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในห้องปฏิบัติการ สำหรับทุกเงื่อนไขการอบแห้ง จากยางแผ่นดิบที่มีความชื้นเริ่มต้น 40-60% เมื่อเริ่มอบแห้งจะมีอัตราการแห้งที่สูงในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นจะมีอัตราการแห้งที่ลดลงจนถึงชั่วโมงที่ 10 จึงมีอัตราการอบแห้งที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากยางแผ่นดิบเริ่มมีความชื้นสมดุลกับสภาพบรรยากาศอบแห้ง ในเงื่อนไขการอบแห้งที่มีอุณหภูมิและความเร็วลมสูงแต่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะให้อัตราการอบแห้งที่สูงและใช้เวลาในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นยางแผ่นดิบลงเหลือ 20% สั้นกว่าซึ่งเป็นไปตามหลักความเป็นจริง เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองจะทำให้สามารถมองภาพการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่สนใจได้อย่างชัดเจน ซึ่งผลตอบสนองที่สนใจสำหรับการอบแห้งยาง คือ ความชื้นหลังการอบยางแผ่นดิบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเงื่อนไขหรือตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิและความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากวิธีพื้นผิวตอบสนองเป็นการใช้ข้อมูลจริงจากผลการทดลอง ทำให้สามารถใช้ทำนายผลตอบสนองในเงื่อนไขที่ไม่ได้ทำการทดลองในช่วงของตัวแปรอิสระที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ แต่ก็มีข้อด้อยหากใช้ในการทำนายนอกช่วงตัวแปรอิสระที่ออกแบบไว้อาจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของตัวแปรอิสระอื่นที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบที่ไม่คงที่ตลอดการอบแห้ง โดยเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศในแต่ละวันและความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบที่ไม่เท่ากันในทุกๆครั้งของการทดลอง

จากกราฟพื้นผิวตอบสนองและกราฟ contour สามารถสร้างกราฟพื้นผิวและกราฟ contour ที่ decoded ตัวแปรอิสระได้ ผลที่ได้พบว่าแม้อุณหภูมิในตู้อบแห้งไม่สูงมาก ประมาณ 33-35°C ก็สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งยางแผ่นดิบให้เหลือความชื้น 15% ลงได้โดยการเพิ่มอัตราการระบายอากาศหรือความเร็วลมให้สูงขึ้น การออกแบบโรงตากแห้งยางแผ่นดิบในลักษณะที่มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศช่วย ให้สามารถระบายอากาศขึ้นออกจากโรงตากให้ได้มากที่สุดโดยใช้พลังงานให้น้อยที่สุด

แต่ในขณะเดียวกันจำเป็นต้องระมัดระวังความชื้นจากภายนอกที่อาจจะเข้ามาทำให้อัตราการแห้งตัวของยางแผ่นช้าลง ส่วนที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง ( $42-47^{\circ}\text{C}$ ) จะเห็นว่าอัตราการระบายอากาศเพียง 800-900 ลบ.ม./ชม. ก็เพียงพอสำหรับทำให้ยางแผ่นดิบแห้งตัวลงเหลือความชื้น  $0.150\text{ kgkg}^{-1}$  ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่อัตราการระบายอากาศต้องเป็น 1200-1500 ลบ.ม./ชม. ซึ่งผลการทดลองนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบโรงตากยางแผ่นดิบ โดยคำนึงถึงอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้นในโรงตากยางและอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสม

## 5.2 สรุปผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตากที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย

โรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัยมีลักษณะเป็นโรงเรือนหลังคาจั่ว กว้าง 3 เมตร ยาว 7.2 เมตร สูง 3.4 เมตร เมื่อบรรจุกระเบาะแขวนยางแผ่นในโรงตากยางจะมีพื้นที่ว่างด้านข้างด้านละ 0.5 เมตร ตัวโครงสร้างโรงตากยางทำด้วยเหล็กสี่เหลี่ยม 1 นิ้ว ลาดพื้นคอนกรีต ผนังด้านข้าง (ด้านยาว 7.2 เมตร) ทำด้วยแผ่นสังกะสีบุฉนวนโฟม ฝ้าด้านในและพื้นคอนกรีตทาสีดำ หลังคาโรงเรือนบุด้วยกระเบื้องลอนคู่โปร่งใสเอียงทำมุม 20 องศา มีพัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว จำนวน 3 ตัว ติดตั้งอยู่ด้านบน อากาศระบายอากาศโดยธรรมชาติ ประตูโรงเรือนทำด้วยแผ่นสังกะสีด้านในทาสีดำ ระหว่างกลางบุด้วยฉนวนโฟมเช่นเดียวกับผนังโรงเรือนด้านข้าง มีพัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ติดอยู่บริเวณประตูใช้ไฟฟ้า 220 VAC กินกำลังไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 300 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมพร้อมกันทั้ง 6 ตัว จะทำให้อากาศไหลผ่านภายในโรงตากยางแผ่นด้วยความเร็วประมาณ 0.25-0.5 m/s บริเวณผนังด้านตรงข้ามประตูมุงด้วยตะแกรงลวด แล้วปิดด้วยแผ่นพลาสติกใสเปิดช่องบางส่วนให้อากาศไหลผ่านเข้ามาได้ และเพื่อให้แสงอาทิตย์ในทางทิศตะวันตกส่องผ่านเข้ามาได้ในช่วงบ่าย ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย  $32^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิในโรงตากขณะไม่มียางแผ่นและไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศมีค่าประมาณ  $45^{\circ}\text{C}$

ผลการทดลองตากยางแผ่นดิบในโรงตาก พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในโรงตากยางแห้งแผ่นดิบที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัยมีค่าประมาณ  $32^{\circ}\text{C}$  ซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเมื่อบรรจุยางแผ่นดิบในโรงตากเต็มความจุ คือ 1300 แผ่น ภายในโรงตากยางค่อนข้างมีความชื้นสูงและมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโรงตากยาง แต่เนื่องจาก มีการระบายอากาศขึ้นออกจากโรงตากยางโดยธรรมชาติทางหลังคาโรงตากยาง และใช้พัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งบริเวณประตูด้านหน้า รวมถึงมีผนังโรงตากยางที่บุฉนวนป้องกันความร้อนสูญเสีย ช่วยส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นในโรงตากมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 30-49% ทำให้สามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ถึง 20% เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

ยางแผ่นดิบที่ผ่านการตากแห้งในโรงตาก เมื่อนำไปรมควัน พบว่า ประหยัดการใช้ไม้ฟืนลงได้ 0.3-0.4 กิโลกรัม ไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน หรือใช้ไม้ฟืนลดลง 31-39% คิดเป็นต้นทุนที่ลดลง 24 - 32 สตางค์/แผ่น หรือประหยัดได้ 312-416 บาท ต่อการรมควันยางแผ่น 1 ห้องรม จะใช้เวลาคั้นทุนสำหรับโรงตากยางแผ่น ประมาณ 2 ปี 8 เดือน ถึง 3 ปี 8 เดือน โดยปกติการรมควันยางแผ่นของสหกรณ์ที่ร่วมโครงการจะใช้เวลาประมาณ 4 วันต่อครั้ง เนื่องจากไม่มีการตากแห้งยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้น เมื่อมีการใช้โรงตากยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้น ระยะเวลาในการรมควันยางแผ่นลดลงเหลือ 2.5-3 วัน คุณภาพยางแผ่นรมควันที่ได้อยู่ในระดับชั้นคุณภาพ 1-3 ไม่มียางแผ่นที่เกิดราหรือตำหนิจากยางพองยกเว้นการทดลอง PM-H-D1-01 ทั้งนี้การเกิดยางพองขึ้นอยู่กับการควบคุมอุณหภูมิและความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในห้องรมควัน ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของโครงการวิจัยนี้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

การทำงานกับโรงตากยางที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย หากในวันที่มีปริมาณยางแผ่นดิบเต็มห้อง ควรเปิดประตูโรงตากในช่วงเช้าถึงเที่ยง เพื่อให้แสงอาทิตย์ในช่วงเช้าส่องเข้าด้านหน้าประตูโรงตาก (ด้านทิศตะวันออก) เป็นการระบายความชื้นยางแผ่นดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างสูง และช่วยให้พื้นคอนกรีตได้รับความร้อน แล้วจึงปิดประตูในช่วงเที่ยงถึงเย็นพร้อมกับเปิดพัดลมระบายอากาศหน้าประตูช่วย จะทำให้โรงตากยางสามารถระบายความชื้นออกจากยางแผ่นดิบได้ดีขึ้น หากมียางแผ่นดิบไม่เต็มห้อง ควรเว้นระยะระหว่างราวแขวนยางแผ่น จะช่วยให้ลดความชื้นในยางแผ่นดิบได้มากยิ่งขึ้น เป็นการช่วยลดการใช้ไม้ฟืนในการรมควันยางแผ่นได้เพิ่มขึ้น

สำหรับสหกรณ์สวนยางพาราที่ต้องการลดความชื้นยางแผ่นดิบ โดยไม่ต้องการตากยางแผ่นดิบกลางแจ้ง ซึ่งเสี่ยงกับสิ่งสกปรก หากมีฝนตกก็จะเป็นการเพิ่มความชื้นในยางแผ่นดิบและอาจขึ้นราได้ หรือได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเนื้อยาง ควรสร้างโรงเรือนตากยางแผ่นดิบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ และหากสหกรณ์ใดมีพื้นที่เพียงพอและไม่มีสิ่งก่อสร้างบังแนวแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ก็สามารถสร้างโรงตากยางเพื่อลดความชื้นได้ โดยอาจจะขยายขนาดของโรงตากยางให้มีความจุยางแผ่นดิบได้มากขึ้น อาจเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่าของปริมาณความจุยางแผ่นในโรงรมควัน หากมีเงินลงทุนมากพอ ควรออกแบบให้โรงตากยางควรมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์อย่างเพียงพอ โดยเพิ่มอุปกรณ์แผงรับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนเข้าโรงตาก หรือออกแบบให้ผนังทุกด้านของโรงตากยางโปร่งใส โดยใช้แผ่นกระจก หรือใช้แผ่นพลาสติกใส แต่แผ่นพลาสติกใสจะไม่ทนต่อรังสี UV ทำให้มีอายุการใช้งานสั้น หากใช้กระจกใสก็จะมีต้นทุนที่สูง

การออกแบบโรงตากยางแผ่นดิบเช่นเดียวกับที่สร้างขึ้นวิจัยนี้ มีข้อดีที่ไม่ต้องใช้วัสดุราคาแพง และใช้พัดลมดูดอากาศที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ (1.5 kWh/ครั้งที่ตากยาง) ช่วยในการระบายความชื้นออกจากโรงตากยาง หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงตากยางให้สูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ จำเป็นต้องมีแผงความร้อนรับรังสีจากดวงอาทิตย์เพิ่มเข้ามา แต่สทหรณ์ที่จะดำเนินโครงการ ต้องมีพื้นที่ว่างเพียงพอและไม่มีสิ่งก่อสร้างบังแนวแสงอาทิตย์ตลอดวัน

## บรรณานุกรม

---

คู่มือส่งเสริมสหกรณ์กองทุนสวนยาง, กรมส่งเสริมสหกรณ์, สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, พ.ศ. 2538.

จารุวรรณ พรหมวิเศษ, “อิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่มีผลต่อการแห้งของยางแผ่น”, โครงการงาน  
เลขที่ 6/2537, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่,  
2537.

ชิต ทัศนกุล, “โรงตากยางพลังงานแสงอาทิตย์” ข้อมูลจากสถาบันวิจัยยางภูเก็ต, กรมวิชาการเกษตร,  
2545.

สถาบันวิจัยยาง, “ผลผลิตยางธรรมชาติแห่งประเทศไทยแยกตามประเภท ปี 2544”, กรมวิชาการเกษตร,  
พ.ศ. 2545.

สมบัติ พุทธจักร, สมบัติเชิงฟิลิกส์และเชิงรีโอโลยีของยาง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545.

สำนักประสานงานชุดโครงการวิจัยยางพารา, “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา ปี 2545,” สำนักงาน  
กองทุนสนับสนุนการวิจัย, พ.ศ. 2545.

Breymayer, M.; Pass, T.; Mühlbauer, W.; Amir, E. J. and Mulato, S. Solar-assisted  
smokehouse for the drying of natural rubber on small-scale Indonesian farms. *Renewable  
Energy*, 3(8), 1993, 831-839.

Ekechukwu, O. V. and Norton, B. Review of solar-energy drying systems II: An  
overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40, 1999, 615-655

Jayasuriya, M. M.; Mithrananda, K. M. U.; Yapa, S.; Ratnayake, U.; Siriwardena, S.;  
Kumara, G.; Liyanage, R.; Kurupu, C. and Wejeseckara, M. Effects of drying conditions on the

technological properties of sheet natural rubber. *Journal of Malaysian Rubber Research*. 3(3), 2000.

Prasertsan, S. and Kirirat, P. Factor Affecting Rubber Sheet Curing. *RERIC International Energy Journal*, 15(2), 1993, 77-87.

Pratoto, A.; Daguenet, M. and Zeghmami, B. Sizing solar-assisted natural rubber dryers. *Solar Energy*. 61(4), 1997, 287-291.

Pratoto, A.; Daguenet, M. and Zeghmami, B. A simplified technique for sizing solar-assisted fixed-bed batch dryers: Application to granulated natural rubber. *Energy Conversion and Management*, 39(9), 1998, 963-971.

Treybal, R. E. *Mass-Transfer Operations*, 2nd ed., McGraw-Hill, N. Y., U.S.A, pp. 1981, 571-623.

Madamba, P.S. The Response Surface Methodology : An Application to Optimize Dehydration Operations of Selected Agricultural Crop. *Lebensm. Wiss. u.-Technol.* 2002, 35, 584-592.

Guerrero, S.; Alzamora, S.M.; Gerschenson, L.N. Optimization of a Combined Factors Technology for Preserving Banana Purre to Minimize Colour Changes Using the Response Surface Methodology. *J. Food Eng.* 1996, 28, 307-322.

Redhe, M.; Forsberg, J.; Jansson, T.; Marklund, P.O.; Nilsson, L. Using the Response Surface Methodology and the D-optimality Criterion in Crashworthiness Related Problems. *Struct Multidisc Optim.* 2002, 28, 185-194.

Wang, G. Li, H.; Aryasomayajula, S.R.; Grandhi, R.V. Two-level optimization of airframe structures using response surface approximation. *Struct Multidisc. Optim.* 2000, 20, 116-124.

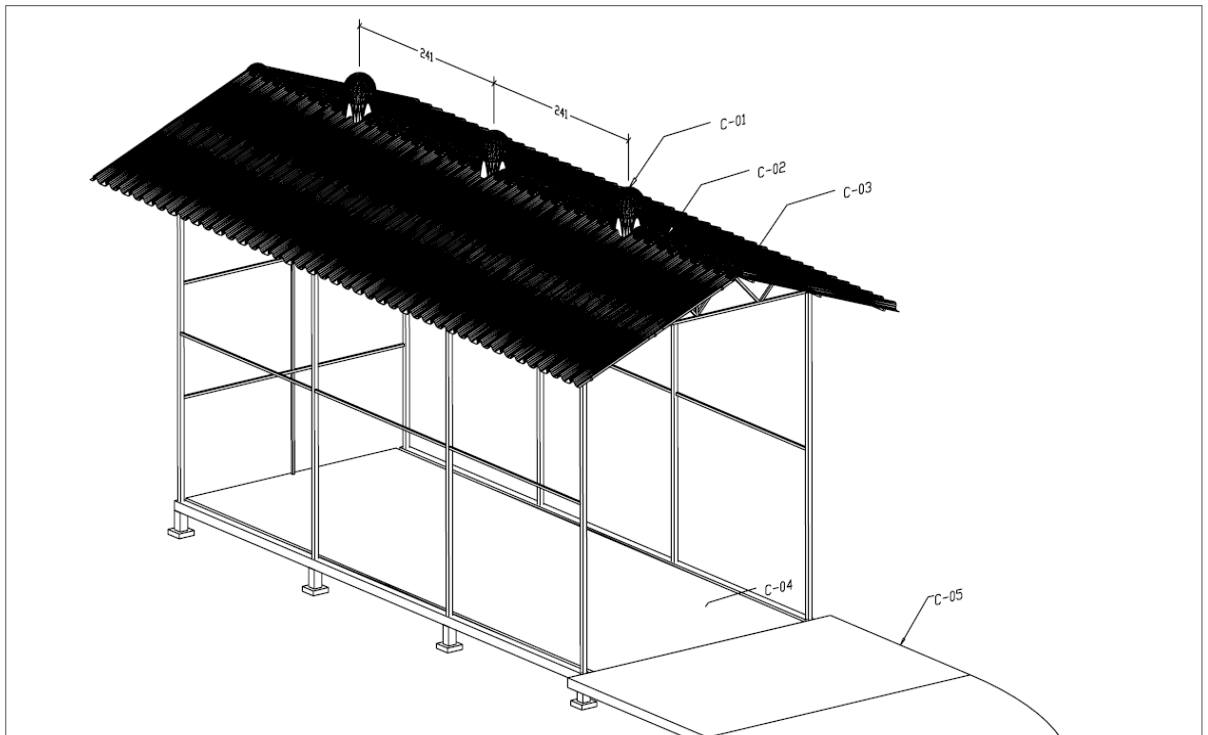
Golovidov, O.B. *Variable-Complexity Response Surface Approximations for Aerodynamic Parameters in HSCT Optimization*. M.SC.Thesis, Virginia polytechnic institute and State University : Blacksburg, Virginia, 1997.

Myers, R.H.; Montgomery, D.C.; *Response Surface Methodology : Process and product optimization using designed experiments*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons Inc.: USA, 2002; 798.

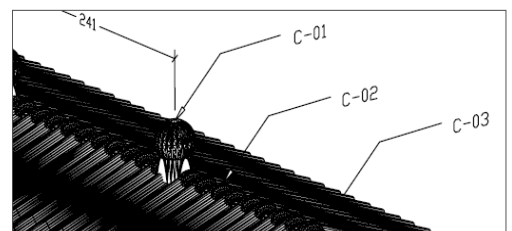
George, K. M., Thomas, K. T., Joseph, S., Nair, R. B. Effect of sun drying on the properties of sheet rubber. *Indian Journal of Natural Rubber Research*. 2002, 20(2), 129-136.

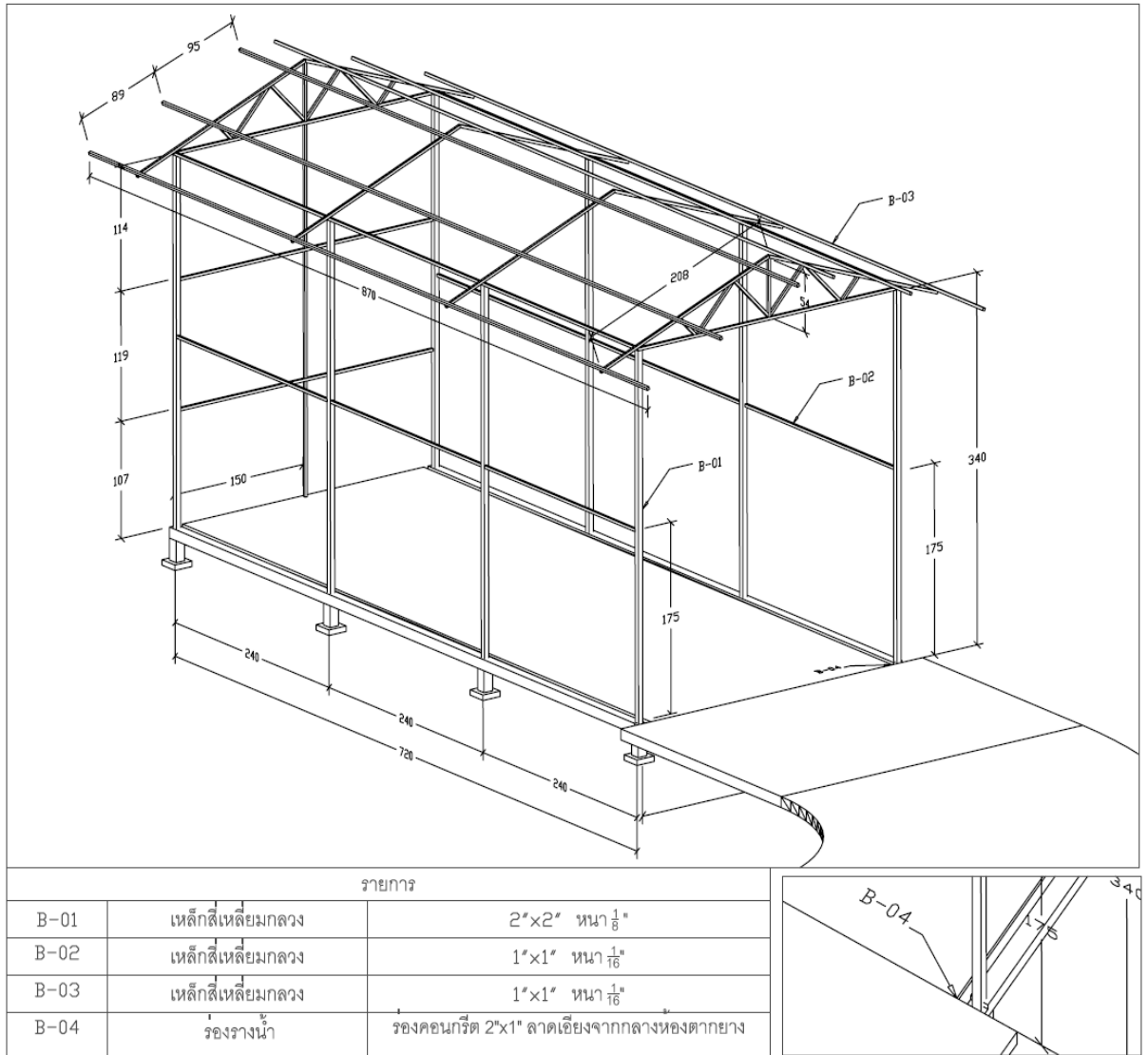
ภาคผนวก

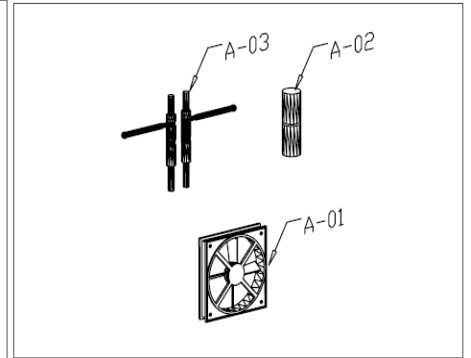
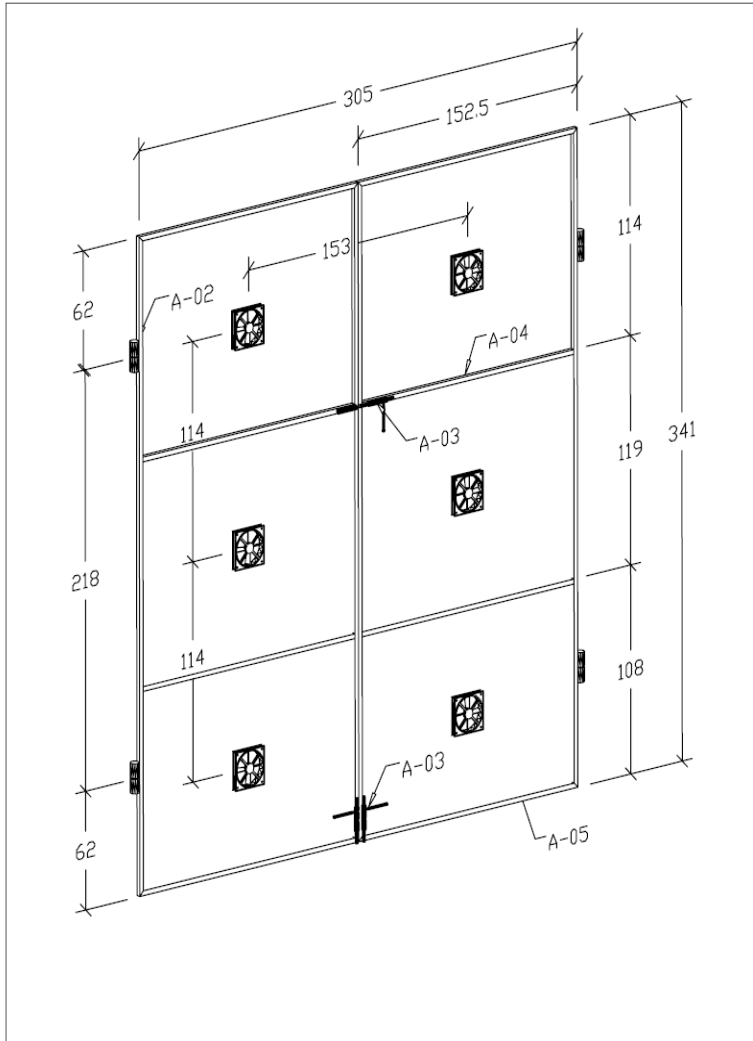
ผ.1 แบบโครงสร้างโรงตากยางแผ่นดิบ



| รายการ |                                                           |           |
|--------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| C-01   | ฟัดลมระบายอากาศ                                           | Ø 1'-1.5' |
| C-02   | ครอบมุมกระเบื้องใส                                        |           |
| C-03   | กระเบื้องลอนใส                                            |           |
| C-04   | พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในโรงตากยางแผ่น                      | หนา 4"    |
| C-05   | พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเชื่อมต่อระหว่างโรงตากยางกับโรงรมยาง | หนา 4"    |

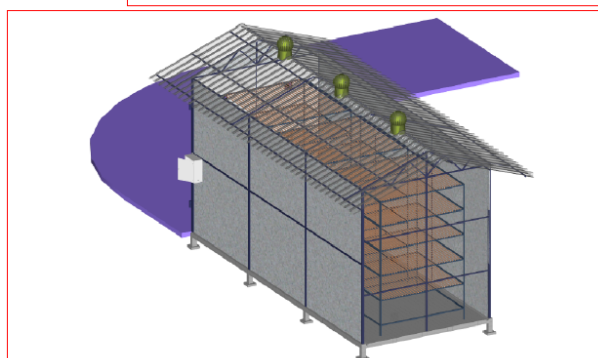
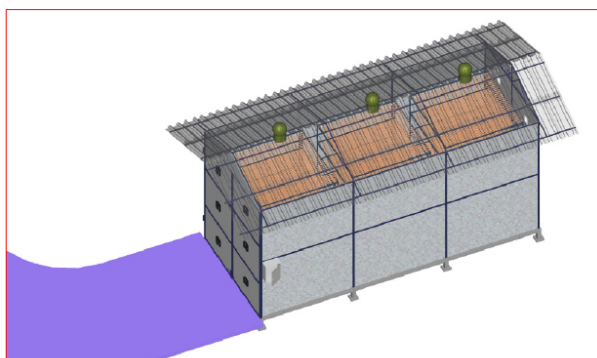
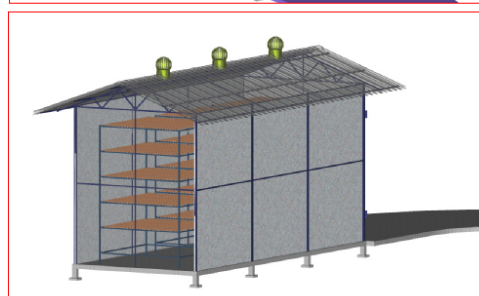
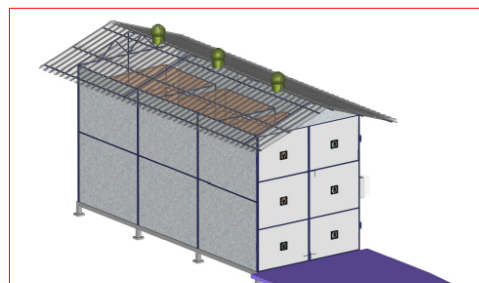
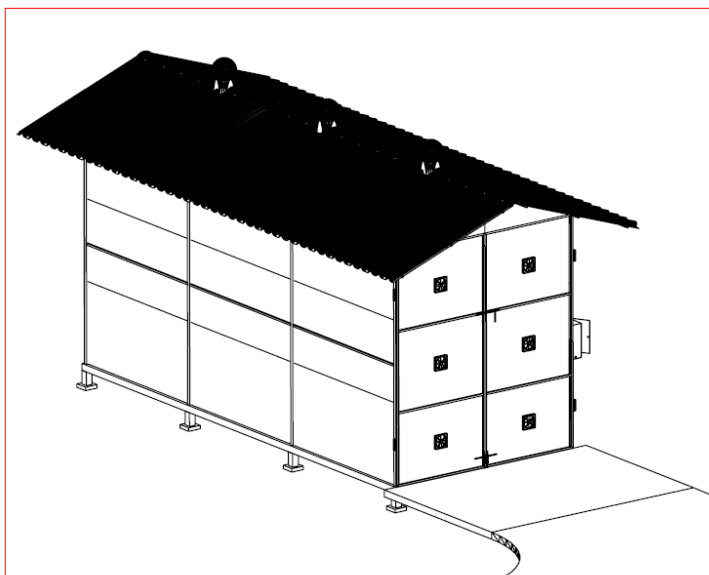


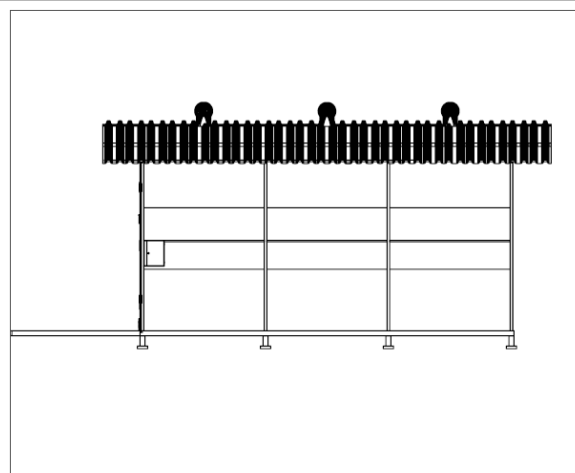
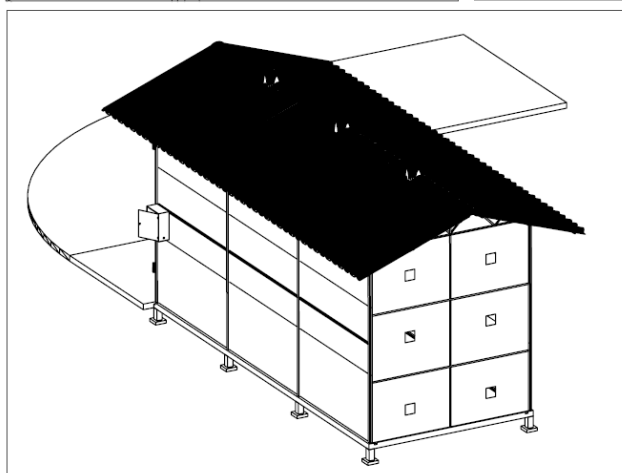
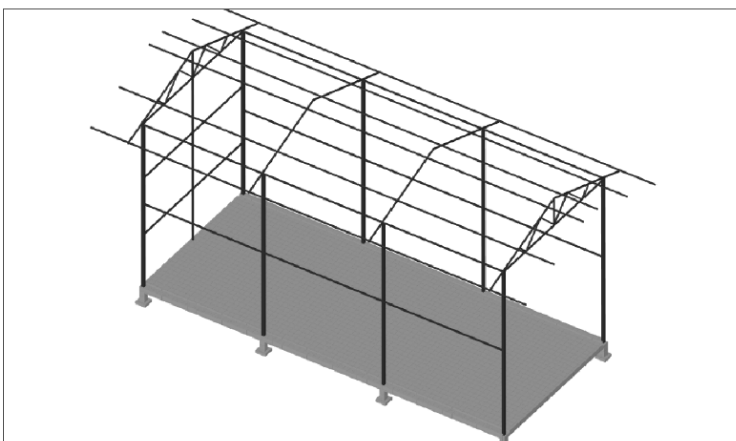
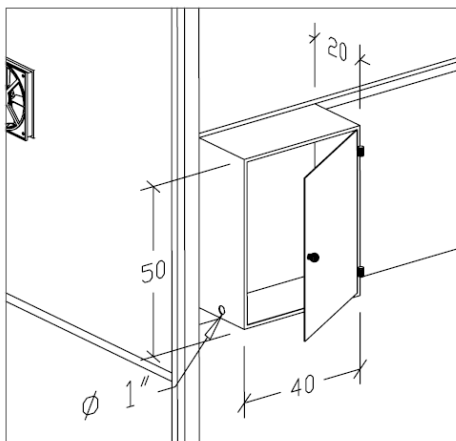


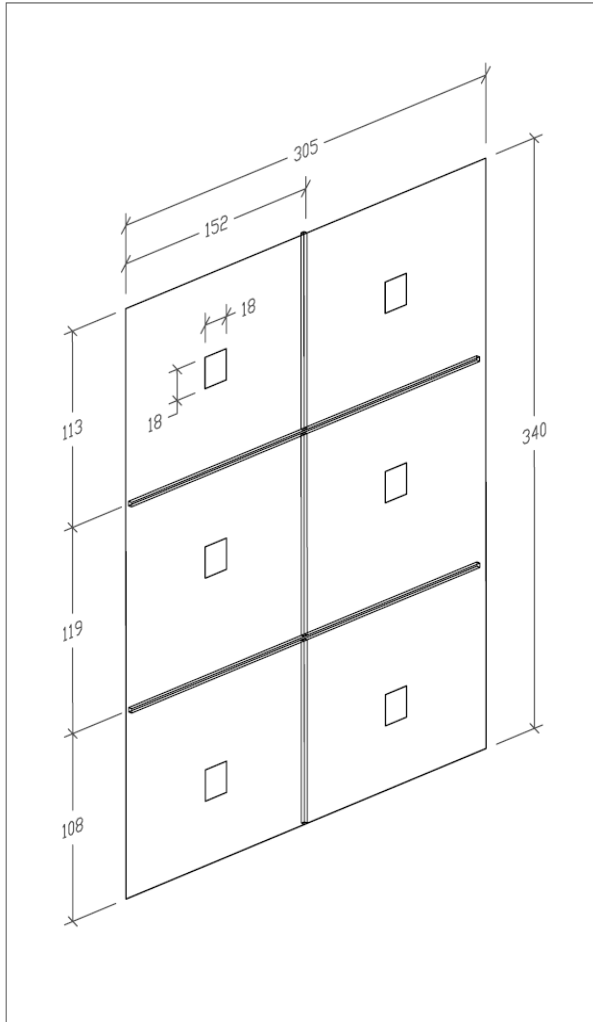


| รายการ |                     |                                                                          |
|--------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| A-01   | พัดลมดูดอากาศ       | Ø8"~1 220VAC<br>0.32A 65W                                                |
| A-02   | บูชเหล็ก            | Ø1.5"x4"                                                                 |
| A-03   | กลอนเหล็ก           | ใช้เหล็กเส้นก่อสร้าง Ø $\frac{1}{2}$ "                                   |
| A-04   | เหล็กสี่เหลี่ยมกลวง | 1"x1" หนา $\frac{1}{16}$ "                                               |
| A-05   | บานประตู            | แผ่นสังกะสีบางยี่ห้อมุตยี่ห้อ<br>กับโครงเหล็กประตูภายใน<br>บุด้วยฉนวนโฟม |

- โครงเหล็กประตูทำด้วยสีกัลวานี
- ฉนวนประตูด้านในที่บุด้วยแผ่นสังกะสีบางให้ทำด้วยสีกัลวานี

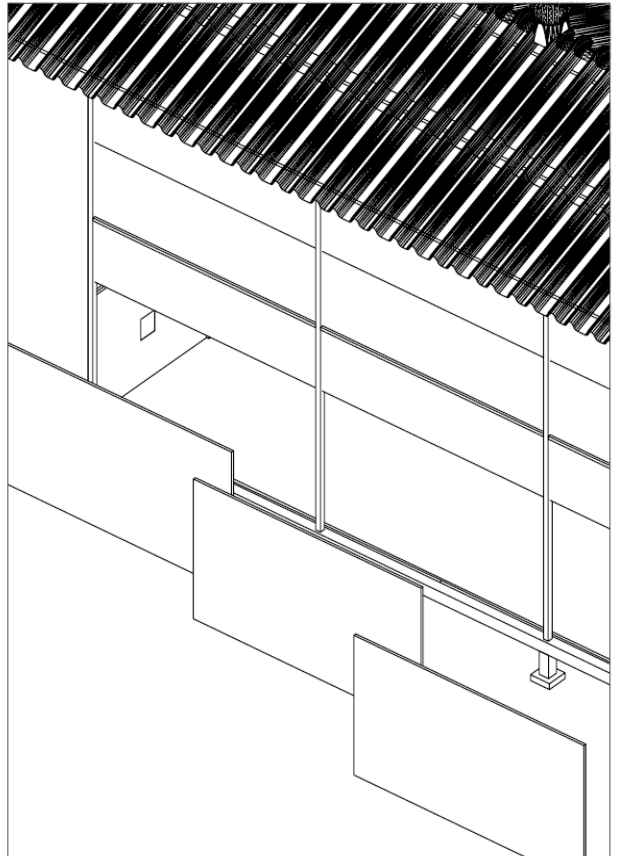






- ผนังห้องตากยางด้านหลังประกอบจากแผ่นกระจุไสหนา 3 มม. เจาะรูสี่เหลี่ยมขนาด 18x18 ตร.ซม. จำนวน 6 แผ่น ขนาดแสดงดังรูปทางซ้ายมือ

- ผนังห้องตากยางด้านข้างทั้งสองข้างทำด้วยแผ่นสังกะสีบางย่นมุดยึดกับโครงเหล็กด้านข้าง ส่วนตรงกลางของความหนาผนังด้วยฉนวนโฟม (รูปล่าง แยกผนังด้านข้าง)



## ผ.2 ค่าความร้อนของไม้ยางพารา

---

ค่าความร้อนไม้ยางพาราที่ความชื้นไม้ต่างๆ

| ความชื้น (%ฐานแห้ง) | ค่าความร้อน (kJ/kg) |
|---------------------|---------------------|
| 11.1                | 16,240              |
| 17.6                | 15,200              |
| 25.0                | 14,100              |
| 33.3                | 13,100              |
| 42.8                | 12,050              |
| 53.8                | 11,000              |
| 66.6                | 9,960               |
| 81.8                | 8,910               |
| 100.0               | 7,870               |
| 122.2               | 6,450               |
| 150.0               | 5,360               |
| 185.7               | 4,270               |
| 233.3               | 3,180               |
| 300.0               | 2,090               |

ที่มา : Proceeding of European-Asean Conference on Combustion of Solids and Treatment of Products, 1995. pp. E-03