บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการทดลองเกี่ยวกับแผ่นยางพาราที่ได้จากการตากแดดตามธรรมชาติ และแผ่นยางพาราที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในงานวิจัยโดยการเปรียบเทียบสี ปริมาณเชื้อรา และความชื้นสุดท้ายของแผ่นยาง ใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจสอบยางพาราตรวจสอบคุณภาพสีและประเมินคุณภาพของแผ่นยางพารา

4.1 แผ่นยางพาราจากการตากแดดแผ่นยางตามธรรมชาติ

สำหรับการทดลองตากแผ่นยางพาราตามธรรมชาติ คือการตากแผ่นยางไว้กลางแจ้ง โดยไม่สนใจสภาพอากาศไม่ว่าจะฝนตกหรือมีน้ำค้าง ตากจนกว่าแผ่นยางจะแห้งในการทดลองแบ่งการตากเป็น 2 วิธีการตาก คือการตากแบบใช้เวลาเท่ากับการอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้ง กับการตากให้แห้งสนิทตามธรรมชาติทั้ง 2 วิธี เริ่มตากจากแผ่นยางพาราสด ตัวอย่างชิ้นงานแผ่นยางพาราสดตามรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างชิ้นงานของแผ่นยางพาราสด

4.1.1 การตากแบบใช้เวลาเท่ากับกับการอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้ง

จุดประสงค์ของการตากแบบใช้เวลาเท่ากับการอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้งคือเปรียบเทียบผลผลิตภัณฑ์ที่ได้กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งในงานวิจัยว่าแตกต่างกันอย่างไรในระยะเวลาเท่ากัน รูปตัวอย่างชิ้นงานแสดงตามรูปที่ 4.2และตารางที่ 4.1แสดงน้ำหนักแผ่นยางและการเปลี่ยนแปลงหลังผ่านไป 20 ชั่วโมง

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างชิ้นงานการตากแบบใช้เวลาเท่ากันกับการอบแห้งยางพาราด้วยเครื่องอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลตัวอย่างแผ่นยางพาราที่ตากแบบใช้เวลา 20 ชั่วโมง

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนตาก (กรัม)	น้ำหนักหลังตาก (กรัม)	เปลี่ยนแปลง (กรัม)	เปลี่ยนแปลง (%)
1	1,870	1,540	330	17.65%
2	2,080	1,640	440	21.15%
3	1,940	1,540	400	20.62%
เฉลี่ย	**1,963.33**	**1,573.33**	**390**	**19.86%**

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าแผ่นยางพาราที่ตาก 20 ชั่วโมง ยังมีสีขาวอยู่ แต่ก็มีสีเหลืองเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าผิวยางเริ่มแห้งแล้ว และตารางที่ 4.1จะเห็นว่าความชื้นลดลงไปโดยเฉลี่ย 19.86% (มาตรฐานเปียก)ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นบนแผ่นยางพาราเนื่องจากระยะเวลาตากยังสั้นอยู่และแผ่นยางยังไม่แห้งเต็มที่

4.1.2 การตากแบบแห้งสนิทตามธรรมชาติ

การตากให้แห้งสนิทตามธรรมชาติ เป็นวิธีทั่วไปที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการทำแห้งแผ่นยางพารา เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่าย แต่วิธีนี้ใช้เวลานานที่สุด โดยทั่วไปการตากแห้งตามธรรมชาติจะใช้เวลาประมาณ 7-21 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ในงานวิจัยใช้เวลาตากทั้งหมด 14 วัน รายละเอียดแสดงตามรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานการตากตามธรรมชาติ 14 วัน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลตัวอย่างแผ่นยางพาราที่ตากธรรมชาติ 14 วัน

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนตาก (กรัม)	น้ำหนักหลังตาก (กรัม)	เปลี่ยนแปลง (กรัม)	เปลี่ยนแปลง (%)
1	1,840	1,260	580	31.52%
2	1,900	1,290	610	32.11%
3	2,100	1,440	660	31.43%
เฉลี่ย	**1,946.67**	**1,330.00**	**616.67**	**31.68%**

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าชิ้นงานมีเชื้อราสีขาวขึ้นอยู่ทั่วไปทั้งชิ้น และชิ้นงานมีสีขุ่น ภายในชิ้นงานยังเห็นแกนสีขาว ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานยังไม่แห้งสนิทดีและจากตารางที่ 4.2จะเห็นว่าความชื้นลดลงไปกว่า 31.68%

4.2 แผ่นยางพาราที่ได้จากเครื่องอบแห้งในงานวิจัย

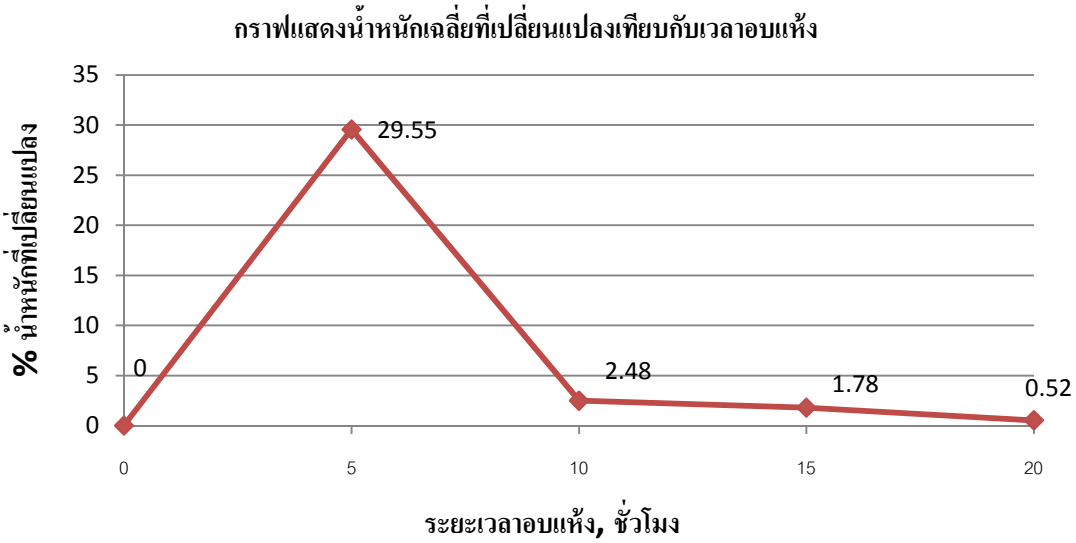
ลักษณะแผ่นยางพาราที่ได้จากเครื่องอบแห้งในงานวิจัย แสดงตามรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากเครื่องอบแห้งในงานวิจัย

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าตัวอย่างชิ้นงานมีลักษณะโปร่งแสง แสดงว่าชิ้นงานแห้งสนิท และพื้นผิวของชิ้นงานไม่มีเชื้อราปรากฏอยู่ ในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบ่งการอบแห้งเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 5 ชั่วโมง หยุดพักเครื่อง 1 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้เครื่องร้อนจนเกินไป เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับยานพาหนะไม่ได้ออกแบบมาให้ใช้งานที่รอบสูงๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน และในระหว่างพักเครื่องก็นำแผ่นยางมาชั่งตรวจวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง รายละเอียดของแผ่นยางแสดงตามตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวอย่างแผ่นยางพาราที่ได้จากเครื่องอบแห้งในงานวิจัย

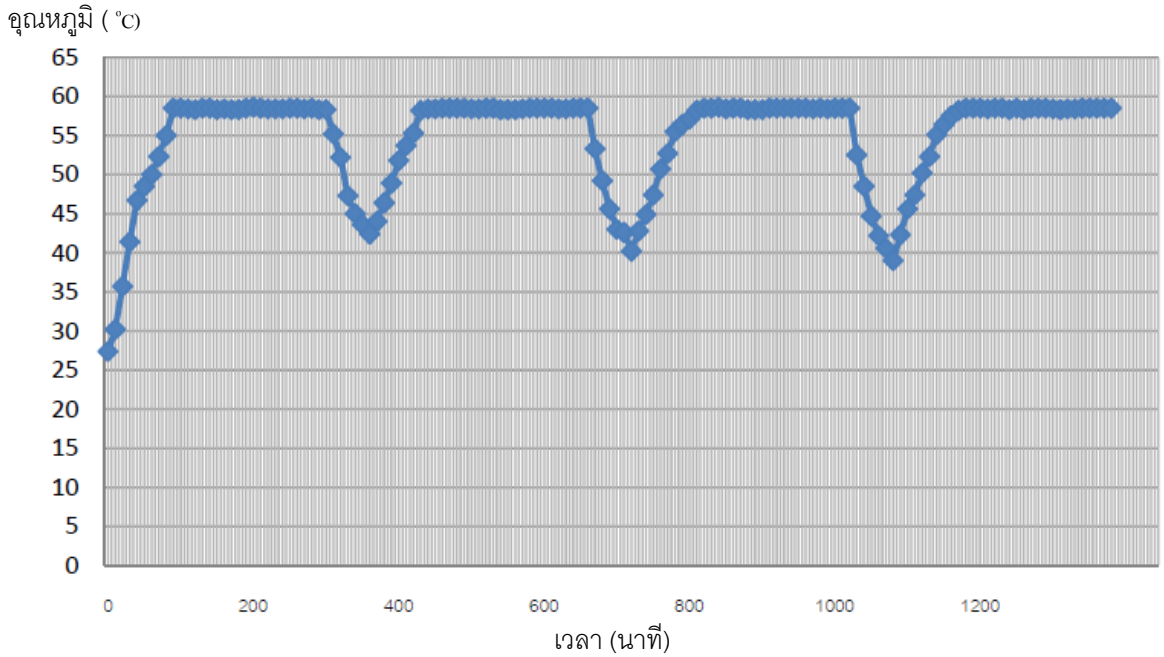
ชั่วโมงที่	**0**	**5**	**% เปลี่ยนแปลง**
น้ำหนักแผ่นที่ 1 (กรัม)	1,880	1,320	**29.79%**
น้ำหนักแผ่นที่ 2 (กรัม)	1,920	1,360	**29.17%**
น้ำหนักแผ่นที่ 3 (กรัม)	1,920	1,350	**29.69%**
เฉลี่ย	**1,906.67**	**1,343.33**	**29.55%**
ชั่วโมงที่	**5**	**10**	**% เปลี่ยนแปลง**
น้ำหนักแผ่นที่ 1 (กรัม)	1,320	1,290	**2.27%**
น้ำหนักแผ่นที่ 2 (กรัม)	1,360	1,320	**2.94%**
น้ำหนักแผ่นที่ 3 (กรัม)	1,350	1,320	**2.22%**
เฉลี่ย	**1,343.33**	**1,310.00**	**2.48%**
ชั่วโมงที่	**10**	**15**	**% เปลี่ยนแปลง**
น้ำหนักแผ่นที่ 1 (กรัม)	1,290	1,280	**0.78%**
น้ำหนักแผ่นที่ 2 (กรัม)	1,320	1,290	**2.27%**
น้ำหนักแผ่นที่ 3 (กรัม)	1,320	1,290	**2.27%**
เฉลี่ย	**1,310.00**	**1,286.67**	**1.78%**
ชั่วโมงที่	**15**	**20**	**% เปลี่ยนแปลง**
น้ำหนักแผ่นที่ 1 (กรัม)	1,280	1,260	**1.56%**
น้ำหนักแผ่นที่ 2 (กรัม)	1,290	1,290	**0.00%**
น้ำหนักแผ่นที่ 3 (กรัม)	1,290	1,290	**0.00%**
เฉลี่ย	**1,286.67**	**1,280.00**	**0.52%**



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงน้ำหนักเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาอบแห้ง

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าความชื้นจะลดลงมากในช่วงต้นของการอบแห้ง และจะค่อยๆ ลดลงจนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 15-20

ในการทดลอง ทุกๆ 5 ชั่วโมง ต้องมีการหยุดพักเครื่องยนต์ 1 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของเครื่องยนต์จากความร้อน ดังนั้นในการอบแห้งครั้งหนึ่ง ต้องหยุดพักรวมทั้งหมด 3ชั่วโมง รวมเวลาอบแห้งอีก 20 ชั่วโมง ทำให้การอบแห้งหนึ่งครั้งต้องใช้เวลาทั้งหมด 23ชั่วโมง ในช่วงของการหยุดพักเครื่องอุณหภูมิของระบบจะตกลงไป ตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งในช่วงเวลาการอบแห้งที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งตกลงช่วงที่หยุดพักเครื่อง โดยจะตกมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อมขณะนั้นๆ แต่อุณหภูมิจะไม่ตกลงเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม เนื่องจาก air strenghtener ซึ่งทำด้วยท่อเหล็กสามารถเก็บความร้อนไว้ได้ส่วนหนึ่ง ทำให้ต้องช่วงเริ่มอบแห้งต่ออุณหภูมิจะขึ้นถึงจุดสูงสุดเร็วกว่าช่วงเริ่มเดินเครื่องที่ชั่วโมงที่ 0

4.3 การตรวจสอบผลการทดลอง

การตรวจสอบผลการทดลองในงานวิจัย คือการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์และปริมาณความชื้นสุดท้ายที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์ ของชิ้นงานตัวอย่างได้แก่ชิ้นงานสด ชิ้นงานที่ตากธรรมชาติ 20 ชั่วโมง ชิ้นงานที่ตากธรรมชาติ 14 วัน และชิ้นงานที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในงานวิจัย ตรวจสอบสีด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินคุณภาพยางพารา และตรวจสอบความชื้น โดยอบตัวอย่างชิ้นงานด้วย

เครื่องอบแห้งไฟฟ้าจนชิ้นงานตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เพื่อหาความชื้นตั้งต้นและความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

4.3.1 การตรวจสอบสี

ในการตรวจสอบสี ถ่ายภาพเก็บสีแผ่นยางพารา แสดงตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบสีแผ่นยางพาราชนิดต่างๆ

	แผ่นยางสด
	แผ่นยางตาก 20 ชั่วโมง
	แผ่นยางจาก การตากธรรมชาติ 14 วัน
	แผ่นยางจากการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้ง

ตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบสีแผ่นยางพาราได้แก่แผ่นยางพาราสด แผ่นยางพาราตาก 20 ชั่วโมง แผ่นยางพาราตาก 14 วัน และแผ่นยางพาราจากเครื่องอบแห้ง สีของแผ่นยางพาราสดมีสีขาวน้ำนม สีของแผ่นยางตาก 20 ชั่วโมงยังคงเป็นสีขาวอยู่แต่เริ่มมีสีเหลืองปนเล็กน้อย แผ่นยางจากการตากธรรมชาติ 14 วันมีสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะทึบและสังเกตุเห็นเชื้อราปรากฏอยู่ทั่วไปในแผ่นยาง และ

แผ่นยางจากเครื่องอบแห้งมีลักษณะสีน้ำตาลออกเหลือง มีลักษณะใสและไม่พบเชื้อราบนแผ่นยาง ตรวจสอบแผ่นยางแต่ละชนิดด้วยสายตาของผู้ชำนาญการด้านการตรวจสอบยาง พบว่าแผ่นยางพาราจากเครื่องอบแห้ง ผ่านระดับยางแผ่นรมควันชั้น 1แผ่นยางพาราตาก 14 วัน ผ่านระดับแผ่นยางพาราทั่วไประดับ 2 ส่วนแผ่นยางพาราตาก 20 ชั่วโมง และแผ่นยางพาราสด ไม่ผ่านการพิจารณา

4.3.2 การตรวจสอบความชื้น

การตรวจสอบความชื้นมีวิธีการคือ นำชิ้นงานแต่ละชิ้นมาตรวจวัดน้ำหนักตั้งต้น (น้ำหนักกระป๋องบรรจุรวมกับชิ้นงาน) แล้วจึงนำเข้าเครื่องอบแห้งไฟฟ้า ตรวจวัดน้ำหนักทุกๆ 10ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นนำน้ำหนักสุดท้ายของชิ้นงานที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นตั้งต้น และความชื้นสุดท้ายได้ ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความชื้น

ชั่วโมงที่	**0**	**10**	**% เปลี่ยนแปลง**
ชิ้นสด (กรัม)	17.16	16.91	**1.46%**
ตาก 20 ชม. (กรัม)	21.69	21.53	**0.74%**
ตาก 14 วัน (กรัม)	22.3	22.29	**0.04%**
อบเครื่อง (กรัม)	19.23	19.22	**0.05%**
ชั่วโมงที่	**10**	**20**	**% เปลี่ยนแปลง**
ชิ้นสด (กรัม)	16.91	16.82	**0.53%**
ตาก 20 ชม. (กรัม)	21.54	21.5	**0.19%**
ตาก 14 วัน (กรัม)	22.29	22.28	**0.04%**
อบเครื่อง (กรัม)	19.22	19.22	**0.00%**
ชั่วโมงที่	**20**	**30**	**% เปลี่ยนแปลง**
ชิ้นสด (กรัม)	16.82	16.81	**0.06%**
ตาก 20 ชม. (กรัม)	21.5	21.48	**0.09%**
ตาก 14 วัน (กรัม)	22.28	22.27	**0.04%**
อบเครื่อง (กรัม)	19.22	19.22	**0.00%**
ชั่วโมงที่	**30**	**40**	**% เปลี่ยนแปลง**
ชิ้นสด (กรัม)	16.81	16.81	**0.00%**
ตาก 20 ชม. (กรัม)	21.48	21.48	**0.00%**
ตาก 14 วัน (กรัม)	22.27	22.27	**0.00%**
อบเครื่อง (กรัม)	19.22	19.22	**0.00%**

จากตารางที่ 4.5 คำนวณค่าความชื้นตั้งต้นได้คือ

- ชิ้นงานสด น้ำหนักเริ่มต้น 17.16 กรัม เป็นน้ำหนักกระป๋องบรรจุชิ้นงาน 16.11 กรัม ดังนั้น น้ำหนักชิ้นงานเท่ากับ

$$17.16 - 16.11 = 1.05g \tag{63}$$

และน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 16.81 กรัม ดังนั้น น้ำหนักความชื้นที่หายไปเท่ากับ

$$17.16 - 16.81 = 0.35g \tag{64}$$

ดังนั้น ความชื้นตั้งต้นของแผ่นยางพาราสดคือ

$$\frac{0.35}{1.05} \times 100\% = 33.33\%\ wb. \tag{65}$$

- ชิ้นงานตาก 20 ชั่วโมง น้ำหนักเริ่มต้น 21.69 กรัม เป็นน้ำหนักกระป๋องบรรจุชิ้นงาน 20.31 กรัม ดังนั้น น้ำหนักชิ้นงานเท่ากับ

$$21.69 - 20.31 = 1.38g \tag{66}$$

และน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 21.48กรัม ดังนั้น น้ำหนักความชื้นที่หายไปเท่ากับ

$$21.69 - 21.48 = 0.21g \tag{67}$$

ดังนั้น จากตารางที่ 4.1จากสมการ (48) และ (49) สามารถคำนวณหาค่าความชื้นแผ่นยางหลังผ่านไป 20 ชั่วโมงได้คือ

$$\frac{0.21}{1.38} \times 1573.33 = 239.42\ g \tag{68}$$

หรือเป็นความชื้นสุดท้ายคงเหลือ

$$\frac{239.42}{1963.33} \times 100\% = 12.19\%\ wb. \tag{69}$$

ความชื้นรวมของแผ่นยางคือ

$$390 + 239.42 = 629.42g \tag{70}$$

ดังนั้น ความชื้นตั้งต้นของแผ่นยางพาราตาก 20 ชั่วโมง คือ

$$\frac{629.42}{1963.33}\times 100\% = 32.06\%\ wb. \tag{71}$$

- ชิ้นงานตาก 14 วัน น้ำหนักเริ่มต้น 22.30 กรัม เป็นน้ำหนักกระป๋องบรรจุชิ้นงาน 20.42 กรัม ดังนั้น น้ำหนักชิ้นงานเท่ากับ

$$22.30 - 20.42 = 1.88g \tag{72}$$

และน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 22.27 กรัม ดังนั้น น้ำหนักความชื้นที่หายไปเท่ากับ

$$22.30 - 22.27 = 0.03g \tag{73}$$

ดังนั้น จากตารางที่ 4.2 จากสมการ (54) และ (55) สามารถคำนวณหาค่าความชื้นแผ่นยางหลังผ่านไป 14 วันได้คือ

$$\frac{0.03}{1.88}\times 1330 = 21.2234\ g \tag{74}$$

ความชื้นรวมของแผ่นยางคือ

$$616.67 + 21.2234 = 637.9g \tag{75}$$

หรือเป็นความชื้นสุดท้ายคงเหลือ

$$\frac{21.2234}{1946.67}\times 100\% = 1.09\%\ wb. \tag{76}$$

ดังนั้น ความชื้นตั้งต้นของแผ่นยางพาราตาก 14 วัน คือ

$$\frac{637.9}{1946.67}\times 100\% = 32.77\%\ wb. \tag{77}$$

- ชิ้นงานที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในงานวิจัย น้ำหนักเริ่มต้น 19.23 กรัม เป็นน้ำหนักกระป๋องบรรจุชิ้นงาน 17.81 กรัม ดังนั้น น้ำหนักชิ้นงานเท่ากับ

$$19.23 - 17.81 = 1.42g \tag{78}$$

และน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 19.22 กรัม ดังนั้น น้ำหนักความชื้นที่หายไปเท่ากับ

$$19.23 - 19.22 = 0.01g \tag{79}$$

ดังนั้น จากตารางที่ 4.3 จากสมการ (78) และ (79) สามารถคำนวณหาค่าความชื้นแผ่นยางหลังอบแห้งผ่านไป 20 ชั่วโมงได้คือ

$$\frac{0.01}{1.42} \times 1280 = 9.014\ g \tag{80}$$

ความชื้นรวมของแผ่นยางคือ

$$626.67 + 9.014 = 635.68g \tag{81}$$

หรือเป็นความชื้นสุดท้ายคงเหลือ

$$\frac{9.014}{1906.67} \times 100\% = 0.47\%\ wb. \tag{82}$$

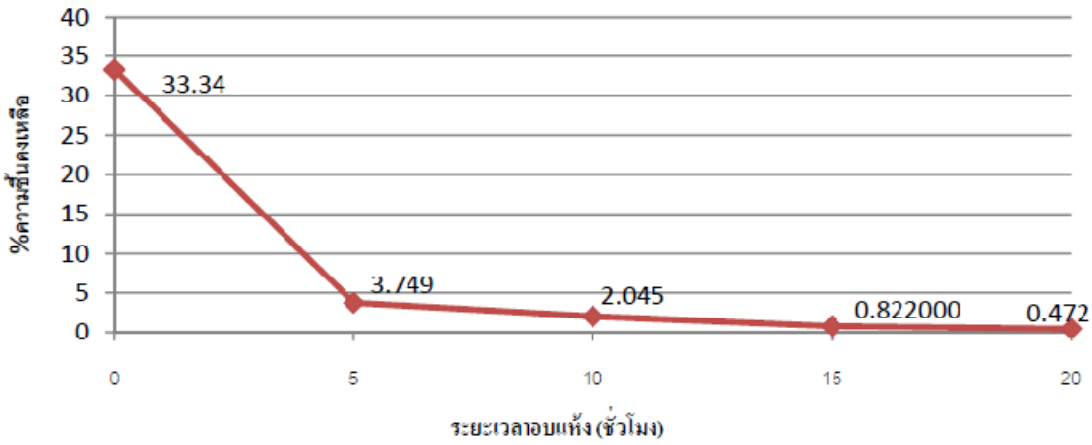
ดังนั้น ความชื้นตั้งต้นของแผ่นยางพาราหลังอบแห้งผ่านไป 20 ชั่วโมงคือ

$$\frac{635.68}{1906.67} \times 100\% = 33.34\%\ wb. \tag{83}$$

ดังนั้น ค่าความชื้นตั้งต้นเฉลี่ยของแผ่นยางพาราคือ

$$33.33 + 32.06 + 32.77 + 33.34 = 32.9\% wb. \tag{84}$$

ดังนั้น แผ่นยางที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง มีมวลแห้งสุทธิเท่ากับ 1280-9 = 1,271 g ความชื้นคงเหลือของแผ่นยางในแต่ละช่วงเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความชื้นคงเหลือในแผ่นยาง (wb.) ในแต่ละช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วใน 5 ชั่วโมงแรก เนื่องจากในตอนต้นเป็นช่วงการอุ่นวัสดุ ความชื้นที่ผิววัสดุยังสูงอยู่การอบแห้งจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นระเหยออกไปในปริมาณเพิ่มขึ้น จนความชื้นลดลงมากแล้วเข้าสู่ช่วงการอบแห้งที่คงที่และลดลง การอบแห้งจะเป็นการระเหยความชื้นที่เคลื่อนตัวผ่านเนื้อวัสดุออกมา ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้งเป็นหลัก จนถึงจุดที่เป็นความชื้นสมดุล ความชื้นจะไม่ลดลงต่ำไปอีก

ในชั่วโมงที่ 5 ของการทดลอง ความชื้นลดลงต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดคือ 5 % w.b. แล้ว แต่พบว่าแผ่นยางยังเป็นสีขุ่นขาวอยู่ จึงต้องอบต่อจนครบ 20 ชั่วโมง แผ่นยางจึงจะใสได้มาตรฐาน แสดงว่า ในการอบแห้ง 15 ชั่วโมงที่เหลือเป็นการในพลังงานเพื่อเพียงทำให้ยางใสขึ้น ดังนั้นการใช้พลังงานเสริมอย่างรังสีอาทิตย์เข้ามาช่วย จะช่วยประหยัดพลังงานลงไปได้มากเลยทีเดียว

4.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

การเดินเครื่องอบแห้งในงานวิจัย สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 58.5 °C ที่ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 1.68 m/s ซึ่งเครื่องสามารถทำอุณหภูมิได้ถึง 60 °C ได้ถ้าเดินเครื่องให้ถึง 3,000 รอบ/นาที แต่การเดินเครื่องที่ 3,000 รอบ/นาที ทำให้เครื่องมีปริมาณควันที่สูงมากและมีเสียงที่ดังมากด้วย เป็นการรบกวนชุมชนบริเวณทำการทดลอง จึงต้องจำกัดการเดินเครื่องไว้ที่ 2,700 รอบ/นาที จากการทดลองเพิ่มเติมยังพบว่า ในวันที่ฝนตก ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศใกล้เคียง 100% กรณีที่ไม่เดินเครื่องปั๊มความร้อนไปด้วย หรือเดินเครื่องเพียงแค่ใช้ความร้อนจากไอเสียในการอุ่นอากาศเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิของอากาศอบแห้งจะลดลงมาเหลือเพียง 52-55 °C แต่ถ้าใช้ปั๊มความร้อนตามปกติ อุณหภูมิ

ของอากาศอบแห้งประมาณ 56.5-57 ^{o}C แสดงว่าปั๊มความร้อนสามารถทำงานที่สภาวะต่างๆกันได้โดยยังคงสภาวะการทำงานได้ใกล้เคียงสภาวะปกติมากที่สุด

4.4.1 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้งในงานวิจัยและต้นทุนการผลิต

ในงานวิจัยใช้ค่าพลังงานจำเพาะ(specific energy consumption,SEC)ในการประเมิณความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน ในงานวิจัยนี้ค่าพลังงานจำเพาะ คือสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้นในแผ่นยางพารา โดยเพื่อความสะดวกในงานวิจัยจึงเลือกใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ แก๊สธรรมชาติเหลวหรือแก๊สชีวภาพได้ด้วย โดยที่ค่าพลังงานของ น้ำมันดีเซลเท่ากับ 36,414.76 kJ/L แก๊สธรรมชาติเท่ากับ 36,694.47 kJ/m^3 และแก๊สธรรมชาติเหลวเท่ากับ 50,220 kJ/kg[16] ในส่วนของแก๊สชีวภาพ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทนประมาณ 60% ซึ่งแก๊สมีเทนมีค่าพลังงานประมาณ 39,400 kJ/m^{3}ดังนั้นแก๊สชีวภาพจะมีค่าพลังงานประมาณ 23,640 kJ/m^3 [17] แบ่งเป็น 2 กรณี คือค่าพลังงานจำเพาะกรณีจริงจากงานวิจัย และค่าพลังงานจำเพาะในกรณีใช้งานเต็มความสามารถเครื่อง

สมการหาค่าพลังงานจำเพาะในการใช้งานจริงในงานวิจัยนี้คือ

$$SEC = \frac{energy\ usage}{moisture\ removed}, MJ / kgH_2O \tag{85}$$

สำหรับงานวิจัยใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 100 ลิตร ดังนั้นพลังงานที่ใช้ทั้งหมดคือ

$$Energy\ usage = 36414.76 \times 100 = 3641.476\ MJ \tag{86}$$

ทำการอบแห้งยางพาราจำนวน 15 แผ่น และจากสมการ (81) จะได้ความชื้นทั้งหมดที่ระเหยไปคือ

$$637.68 \times 15 = 9565.2g = 9.565\ kg \tag{87}$$

ดังนั้น ค่าพลังงานจำเพาะในงานวิจัยเท่ากับ

$$SEC = \frac{3641.476}{9.565} = 380.71\ MJ / kgH_2O \tag{88}$$

ต้นทุนการผลิตกรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (ราคาน้ำมันดีเซล ณ วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2556 เท่ากับ 29.99 บาท/ลิตร) เท่ากับ

$$100 \times 29.99 = 2999 \ Baht \tag{89}$$

กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สธรรมชาติ ถ้าใช้พลังงานรวมทั้งหมด 3641.476 MJ จะใช้แก๊สธรรมชาติทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{3641.476 \times 1000}{36694.47} = 99.238 \ m^3 \tag{90}$$

ถ้าแก๊สธรรมชาติที่ใช้ มีปริมาณแก๊สมีเทน 90% และคาร์บอนไดออกไซด์ 10% มีเทนมีความหนาแน่นปกติเท่ากับ 0.76 kg/m^3 [18] และคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่นปกติเท่ากับ 1.98 kg/m^3[19] คำนวณน้ำหนักแก๊สธรรมชาติได้คือ

$$\left[(99.238 \times 0.9) \times 0.76\right] + \left[(99.238 \times 0.1) \times 1.98\right] = 87.528 \ kg \tag{91}$$

ต้นทุนการผลิตกรณีใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (ราคาแก๊สธรรมชาติ ณ วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2556 เท่ากับ 10.50 บาท/กก.) เท่ากับ

$$87.528 \times 10.50 = 919 \ Baht \tag{92}$$

กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สธรรมชาติเหลว ถ้าใช้พลังงานรวมทั้งหมด 3641.476 MJ จะใช้แก๊สธรรมชาติทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{3641.476 \times 1000}{50220} = 72.51 \ kg \tag{93}$$

ต้นทุนการผลิตกรณีใช้แก๊สธรรมชาติเหลวเป็นเชื้อเพลิง (ราคาแก๊สธรรมชาติเหลว ณ วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2556 เท่ากับ 21.38 บาท/กก.) เท่ากับ

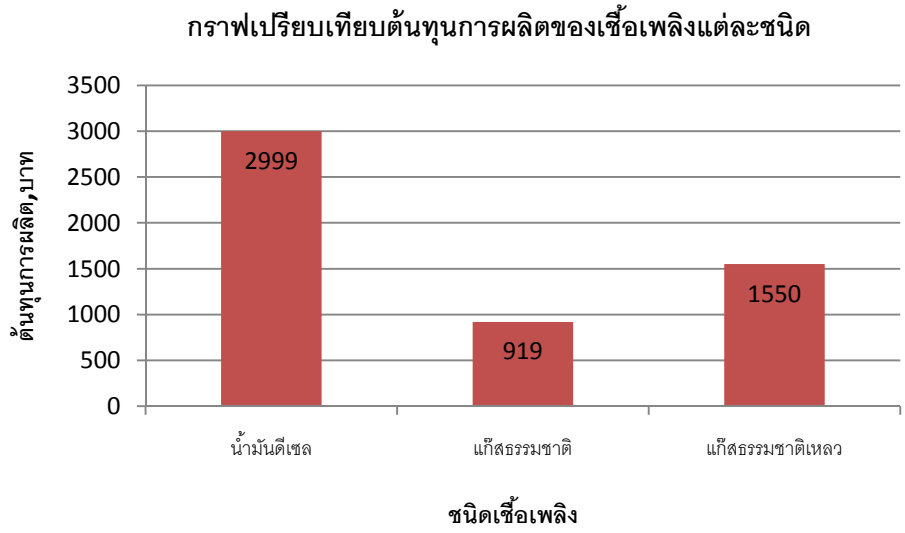
$$72.51 \times 21.38 = 1550 \ Baht \tag{94}$$

กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สชีวภาพ ถ้าใช้พลังงานรวมทั้งหมด 3641.476 MJ จะใช้แก๊สธรรมชาติทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{3641.476 \times 1000}{23640} = 154.039\ m^3 \qquad (95)$$

ในกรณีใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงไม่สามารถหาต้นทุนพลังงานได้ เนื่องจากแก๊สธรรมชาติผลิตได้จากวัสดุทางชีวภาพที่เหลือใช้เช่น มูลสัตว์ เศษพืช เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพมีต้นทุนในการจัดการระบบในช่วงแรก หลังจากนั้นต้นทุนในการผลิตจะต่ำลงมาก ทางผู้วิจัยเองสันนิษฐานว่า ถ้าใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สชีวภาพ หลังจากคืนทุนในส่วนของระบบแล้ว ต้นทุนพลังงานจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ และให้ความคุ้มค่ากว่ากันมาก

ดังนั้น ในส่วนของน้ำมันดีเซล แก๊สธรรมชาติ และแก๊สธรรมชาติเหลว สามารถเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตได้ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.8 สรุปได้ว่า เชื้อเพลิงที่คุ้มค่าในแง่ต้นทุนการผลิตที่สามารถคำนวณได้มากที่สุดคือแก๊สธรรมชาติ แต่ในเชิงปฏิบัติแล้ว การใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซลมีข้อดีตรงที่สะดวกในการขนย้ายและจัดการระบบเชื้อเพลิงมากที่สุด

4.4.2 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะในกรณีการใช้งานเต็มความสามารถของเครื่อง

จากสมมติฐานและสมการที่ (24) เครื่องอบแห้งในงานวิจัยออกแบบให้ระเหยความชื้นออกจากแผ่นยางทั้งหมด 30.9375 kg แต่จากสมการที่ (87) ในการปฏิบัติจริงแผ่นยางมีความชื้นจริงๆรวมทั้งหมดเท่ากับ 9.565 kgหรือเท่ากับ 0.638 kg ต่อแผ่นดังนั้น เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งยางพาราได้สูงสุดคือ 30.9375/0.638 = 48.5 แผ่น

จากสมการที่ (85) สามารถหาค่าพลังงานจำเพาะกรณีใช้งานเต็มความสามารถของเครื่องคือ

$$SEC = \frac{3641.476}{30.9375} = 117.70\ MJ / kgH_2O \qquad (96)$$

4.4.3 เปรียบเทียบการอบแห้งยางพาราในงานวิจัยกับการรมควัน

การรมควันเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในการอบแห้งยางพาราเชิงอุตสาหกรรม ในกรณีที่โรงรมควันมีขนาดเล็ก เชื้อเพลิงที่ใช้มักจะเป็นเศษไม้ยางพารา หรือที่เรียกกันว่าปลายไม้ยางพารา แต่ในโรงรมควันขนาดใหญ่มักใช้ไม้สับหรือไม้ฟืนมากกว่า เนื่องจากสามารถซื้อขายเชื้อเพลิงได้จำนวนมากกว่า

ขนาดของโรงรมควันยางพาราเรียกเป็นตัน เช่น โรงรมควันขนาด 10 ตัน หมายถึง โรงรมควันนั้นสามารถรมควันแผ่นยางพาราดิบได้ครั้งละ 10 ตัน ในการก่อสร้างโรงรมควันยางพารา ประสิทธิภาพของโรงรมควันไม่เท่ากัน โรงรมควันที่เล็กกว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าโรงรมควันขนาดใหญ่และอัตราส่วนการใช้ไม้ฟืนต่อปริมาณยางแห้งที่ได้มากกว่าโรงใหญ่อย่างชัดเจน ปกติโรงรมควันจะมีขนาดเล็กสุดที่ประมาณ 1-1.5 ตัน ซึ่งใช้กันในระดับสหกรณ์ยางพารา[20]และระดับอุตสาหกรรมจะมีขนาด 10 ตันขึ้นไปการรมควันยางพาราจำเป็นต้องใช้อากาศภายนอกเข้ามาผสมกับควันจากโรงรมควันให้อยู่ที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 ˚C เนื่องจากควันอย่างเดียวจะมีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้แผ่นยางอ่อนตัวและละลายได้

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงรมควัน กำหนดค่าการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะของยางพาราเท่ากับ 1.1 kg เชื้อเพลิง/1 kg ยางแห้ง[21] และราคาไม้ฟืนยางพารา ณ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 เท่ากับ 1.6 บาท/กก. โรงรมควันที่ใช้เป็นขนาด 1 ตัน คิดเป็นยางพาราสดเท่ากับ

$$\frac{1000}{1.90667} = 524.47 \text{ แผ่น} \quad (97)$$

คิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ

$$524.47 \times 1.28 = 671.32\ kg \quad (98)$$

ดังนั้น ต้องใช้จำนวนไม้ฟืนเท่ากับ

$$671.32 \times 1.1 = 738.45\ kg \quad (99)$$

หรือเป็นค่าใช้จ่ายรวม

$$738.45 \times 1.6 = 1{,}181.52\ Baht \quad (100)$$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานต่อแผ่นยาง 1 แผ่นเท่ากับ 1,181.52/524.47 = 2.25 บาท หรือเท่ากับ 1.76 บาท/กก.

สำหรับการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

- กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อแผ่นยาง 1 แผ่น เท่ากับ 2,999/48.5 = 61.84 บาท/แผ่น หรือเท่ากับ 48.31 บาท/กก.
- กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สธรรมชาติ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อแผ่นยาง 1 แผ่น เท่ากับ 919/48.5 = 18.95 บาท/แผ่นหรือเท่ากับ 14.8 บาท/กก.
- กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สธรรมชาติเหลว ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อแผ่นยาง 1 แผ่น เท่ากับ 1,550/48.5 = 31.96 บาท/แผ่นหรือเท่ากับ 24.97 บาท/กก.

การรมควันยางพารามีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าการใช้เครื่องอบแห้งอยู่มาก แต่ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้และระยะเวลาในการอบแห้ง ดีกว่าระบบรมควันหรือแบบตากธรรมชาติอยู่มาก เครื่องอบแห้งในงานวิจัยเป็นการพัฒนาเครื่องต้นแบบและวิจัยหลักการทำงาน ถ้ามีการปรับปรุงระบบเช่น ใช้อากาศจากการอบแห้งแล้วมาใช้ซ้ำโดยการดึงกลับมาใช้ใหม่หรืออบแห้งยางพาราซ้อนต่ออีกชั้น หรือการปรับปรุงให้เครื่องยนต์ไปผลิตไฟฟ้าแทน แล้วนำไฟฟ้าที่ได้มาขับเครื่องอัดไอและพัดลมส่งอากาศ ทำให้สามารถปรับรอบของเครื่องอัดไอและพัดลมส่งอากาศได้ง่าย

ขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ส่วนหนึ่งอาจนำไปเสริมในส่วนของการอุ่นอากาศก่อนอบแห้ง ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานจำนวนมากไปกับการผลิตไอเสียเพื่อนำไปอุ่นอากาศ หรือปรับปรุงให้ใช้พลังงานจากแก๊สชีวภาพเสริมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ เป็นต้นจากตัวอย่างการปรับปรุงที่กล่าวมาทั้งหมด จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำไปใช้จริงได้