KKU Res.j. 2014; 19(2) : 261-221
http://resjournal.kku.ac.th

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา

Design of Experiment for Evaluating The Optimal Condition in Drying Process of Rubberwood

สมศักดิ์ แก้วพลอย[1], กุลยุทธ บุญเซ่ง[1]*
Somsak Kaewploy[1], Kulyuth Boonseng[1]

[1] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[*]Correspondent author : somsakkp@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมมินิแทป รุ่น 16 ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ เวลาและการเปิด-ปิดปล่องระบายในกระบวนการอบ เพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนด การทดลองนี้ใช้ไม้ยางพาราขนาดหน้าไม้ 2 นิ้ว ที่ผ่านกระบวนการอัดน้ำยามาแล้ว โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล เต็มรูปแบบทั่วไป พบว่าปัจจัยอุณหภูมิและเวลาในการอบเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์เคน เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าสามารถกำหนดสภาวะในการอบไม้ยางพาราด้วยสมการถดถอยคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น = $343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B^2 + 0.053AB$ ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้และกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 8-12%

Abstract

This research work aimed to evaluate the optimal condition in drying process of rubberwood that had been applied in lumber trade of rubberwood. The design of experiment approach and result analysis by applying the Minitab program of version 16 were applied in the present study. The study factors affecting on % moisture content as standard required were temperature, time and open-close damping in drying process. In the present experiment, the material was 2 inch-thickness rubberwood through a fumigation process. After applying experimental design of completely general factorial model, It was found that the factors of temperature and time in drying, affected on the wood moisture significantly statistic. After that, the optimal drying condition of rubber wood was evaluated by applying Box-Behnken Design. The analytical result concluded that regression equation of drying condition of rubberwood was % moisture content = $343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B^2 + 0.053AB$ which derived from analysis of reliable data in 8- 12% limited moisture content range.

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, ไม้ยางพารา, กระบวนการอบไม้

Keywords : Design of Experiment, Rubberwood, Drying Process

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในภาคใต้ ซึ่งจุดประสงค์หลักของการปลูกยางพาราเพื่อต้องการน้ำยาง แต่เมื่อต้นยางพารามีอายุได้ 25 ถึง 30 ปี และให้น้ำยางน้อยลง เกษตรกรจะทำการตัดโค่นต้นยางพาราเพื่อปลูกใหม่ทดแทน โดยในอดีตต้นยางพาราที่ถูกตัดโค่นจะนำไปใช้ทำเป็นฟืนเผาถ่านหรือเผาทำลายทิ้ง เนื่องจากขาดเทคโนโลยีในการรักษาเนื้อไม้ และเทคนิคในการผลิตที่ดีเพียงพอ (1) แต่ในปัจจุบันต้นยางพาราที่ได้จากการตัดโค่นจะถูกนำไปแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรมไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราจัดเป็นทรัพยากรที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำ ถูกทำลายด้วยแมลง มอดและราได้ง่าย รวมถึงเป็นไม้ที่มีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูง จึงกลายเป็นอาหารของพวกแมลงและเชื้อรา (2) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา การป้องกันการผุพังจากการเข้าทำลายของแมลง เชื้อราและศัตรูทำลายไม้อื่นๆ ด้วยการนำสารประเภทกำจัดเชื้อราและแมลงเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของไม้ โดยการใช้น้ำยาเคมีซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันรักษาเนื้อไม้ให้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากที่สุดและคงทนติดกับเนื้อไม้โดยการอัดน้ำยาด้วยแรงดัน ซึ่งจะช่วยให้น้ำยาเข้าไปในเนื้อไม้ได้ลึกและทั่วถึงภายในเวลาอันรวดเร็ว หากน้ำยาสามารถซึมเข้าไปถึงใจกลางไม้ได้จะเป็นการป้องกันที่ดีที่สุด

กระบวนการผลิตไม้ยางพาราแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรมประกอบด้วย กระบวนการเลื่อยไม้ กระบวนการการอัดน้ำยาและกระบวนการอบ ซึ่งองค์ความรู้ที่ใช้ในกระบวนการผลิตดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของบุคลากรภายในโรงงานเป็นหลัก ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไม่สูงเท่าที่ควร และผลผลิตไม้แปรรูปที่ได้ไม่ได้มาตรฐานเดียวกันและมีความไม่แน่นอน

ปัญหาในการแปรรูปไม้ยางพารามีหลายอย่าง เช่น การคัดเลือกไม้และขนาดไม้ กระบวนการอัดน้ำยา กระบวนการอบ เป็นต้น โดยในกระบวนการการอบถือว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญกระบวนการหนึ่ง (3) ก่อนที่จะนำไปจำหน่ายส่งให้ลูกค้าต่อไป เนื่องจากต้องใช้เวลาและพลังงานสูง ซึ่งจะต้องควบคุมความชื้นของไม้ที่ผ่านการอบให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วง 8-12% อย่างไรก็ตามหากไม้ที่ทำการตรวจวัดค่าความชื้นไม่ได้ตามที่กำหนดก็จะทำการอบต่อไป (4) จนกว่าจะได้ค่าความชื้นของไม้ยางพาราตามมาตรฐาน (5) หรือในบางครั้งอาจใช้การดมกลิ่นหรือการฟังเสียงการเคาะเพื่อตรวจสอบค่าความชื้น (6)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยวิธีการออกแบบการทดลอง โดยการนำไม้ที่ผ่านกระบวนการเลื่อยและกระบวนการอัดน้ำยามาทำการอบ เพื่อตรวจสอบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการคือเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 8-12% สภาวะใดทำให้ไม้ยางพารามีความชื้นที่เหมาะสม

2. วิธีวิจัย

2.1 เครื่องจักรอุปกรณ์และเครื่องมือ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยวิธีการออกแบบการทดลอง โดยใช้เครื่องจักรอุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

2.1.1 ไม้ยางพารา

หลังจากเลื่อยไม้ยางพาราขนาดหน้าไม้ 2 นิ้ว ตามจำนวนที่ต้องการแล้วจะนำไม้มาเรียงกอง ให้ได้ขนาดกองประมาณ 1x1x1.5 เมตร เพื่อจัดเข้าถังอัดน้ำยาและอัดน้ำยา ซึ่งก็จะได้ไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการอัดน้ำยาดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดน้ำยา

2.1.2 เครื่องตอกวัดความชื้นไม้

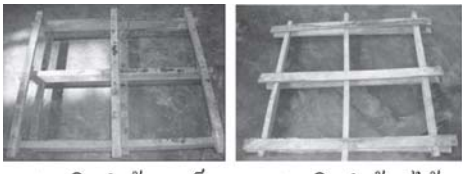
เครื่องตอกวัดความชื้นยี่ห้อ DELMHORST เป็นเครื่องตอกวัดค่าความชื้นประเภท Resistance-Type เครื่องมือประเภทนี้ใช้หลักของการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่แปรผันไปกับการไหลของกระแสไฟฟ้าตรง (Direct Electric Current: DC) การเป็นฉนวนไฟฟ้าของไม้เพิ่มขึ้นมากเมื่อความชื้นในไม้ลดลง ซึ่งสามารถวัดค่าความชื้นได้สูงสุด 80 % และต่ำสุดได้ 5 % โดยใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข็มตอก

ด้านหนึ่งไปอีกด้าน โดยอาศัยความชื้นในไม้ระหว่างหัวตอกวัดและส่งผลมายังหน้าจอเพื่อแสดงค่าความชื้นของไม้ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

2.1.3 พาลเลตหรือไม้หนุน (Pallet)

พาลเลตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวางรองไม้เพื่อนำเข้าห้องอบ ซึ่งทำมาจากไม้หรือเหล็กดังรูปที่ 3



ก) ชนิดทำด้วยเหล็ก ข) ชนิดทำด้วยไม้

รูปที่ 3 พาลเลตหรือไม้หนุน

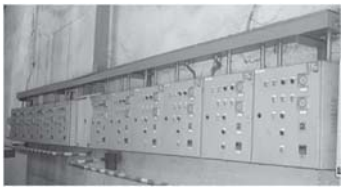
2.1.4 สายไฟ

สายไฟเป็นอุปกรณ์ช่วยในการนำความชื้นจากไม้ผ่านออกมาตามสายนอกห้องอบมารออยู่ที่ปลายสายอีกด้านหนึ่งเพื่อรอการตรวจสอบค่าความชื้นของไม้ โดยไม่ต้องเปิดเตาอบเพื่อนำไม้ออกมาตรวจสอบดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ลักษณะของสายไฟที่ใช้ต่อออกมาเพื่อตรวจสอบค่าความชื้นของไม้

2.1.5 ตู้ควบคุมระบบการทำงาน

ตู้ควบคุมระบบการทำงานอัตโนมัติ เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติ ในส่วนต่างๆ เช่น การตั้งค่าของอุณหภูมิในห้องอบ การเปิดปิดปล่องระบายอากาศ การจ่ายไอน้ำเข้าห้องอบ การควบคุมการหมุนเวียนของพัดลม (7) เป็นต้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

2.1.6 เตาอบ

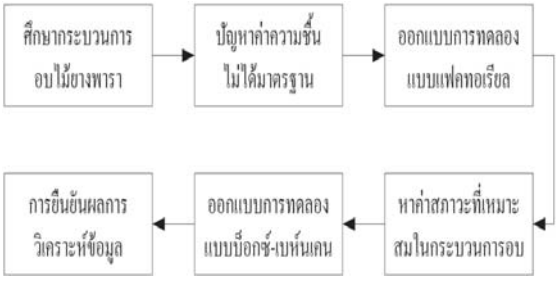
เตาอบมีขนาด 6x7x6 ลูกบาศก์เมตร โดยจะสร้างห้องติดกันและหันหลังให้กันในหนึ่งแถวจะมี 5 ห้อง ในห้องจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนด้านล่างไว้สำหรับวางไม้ และส่วนบนสำหรับระบบการทำงานของพัดลมและระบบความร้อน ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ลักษณะของเตาอบแบบห้อง

2.2 วิธีการทดลอง

โดยเริ่มจากศึกษากระบวนการอบไม้ยางพาราและข้อมูลการอบ เพื่อระบุปัญหาที่เกิดขึ้นและต้องได้รับการแก้ไข จากการศึกษาพบว่ามีค่าความชื้น (Humidity) ของไม้ยางพาราไม่ได้ตามมาตรฐานเมื่อถึงเวลาที่ใช้ในการอบ ทำให้ต้องใช้เวลาในการอบต่อไปจนกว่าจะได้ค่าความชื้นที่ต้องการ ทำให้สูญเสียพลังงานสูง (8) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) จากการวิเคราะห์โดยวิธีระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญพบว่าปัจจัยหลักที่สำคัญมาจากสาเหตุไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ เครื่องจักร วิธีการ และคน จึงเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญที่สามารถควบคุมได้มาใช้ในการวิจัยคือ อุณหภูมิ เวลาในการอบไม้ยางพารา และเวลาการเปิด-ปิดปล่องระบาย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลอง 2 ขั้นตอนคือ (1) การทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของไม้ยางพาราที่ได้จากกระบวนการอบ (9) โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป (Generals Full Factorial Design) และ (2) การทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน แล้วจึงทำการยืนยันผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กรอบแนวคิดในการออกแบบการทดลอง

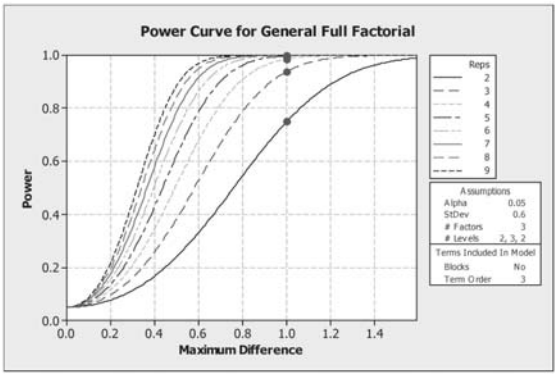
3. ผลและการวิเคราะห์

3.1 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง (Sample Size)

สำหรับการอบไม้ยางพาราเพื่อการทดสอบความชื้น (Humidity) ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab การวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 โดยการเก็บข้อมูลจากการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบที่เวลา 14 วันได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความชื้นเท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์2 ในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab จะอาศัยหลักการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยพิจารณาจากค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) ที่มีค่าสูงแทน (10) ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งผลการหาขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ตัวอย่าง จะมีกำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) เท่ากับ 0.9388 ดังนั้นสำหรับในการทดลองนี้จึงใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ในการทดลอง

3.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าความชื้นของไม้ยางพารา โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomization) (11) ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองได้ดังนี้ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการอบไม้ยางพารา ซึ่งทำการอบตามแผนการอบที่โรงงานใช้อยู่ คืออุณหภูมิในการอบ โดยมีระดับปัจจัย (Factor Level) 2 ระดับ (65°C และ 70°C) เวลาในการอบ มีระดับปัจจัย 3 ระดับ (4 วัน 8 วัน และ 12 วัน) และการเปิด-ปิดปล่องระบายในทุกๆ 1 ชั่วโมง มีระดับปัจจัย 2 ระดับ (เปิด 2 นาที ปิด 6 นาที และเปิด 3 นาที ปิด 6 นาที) โดยทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (Replication) เท่ากับ 3 ซ้ำ ซึ่งมีตัวแปรตอบสนองคือค่าความชื้น โดยได้สภาวะการทดลองจำนวน 12 สภาวะ รวมทั้งหมด 36 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 การกำหนดลำดับสภาวะโดยวิธีการสุ่มแบบปกติเพื่อลดความแปรปรวน แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab R.16

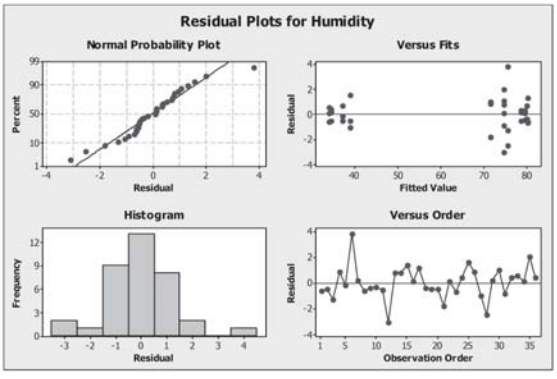


รูปที่ 8 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดลอง

การวิเคราะห์เริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต้องตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ (12) โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ถึงคุณสมบัติ (Model Adequacy Checking) ของข้อมูล 3 ประการด้วยกันคือ การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independence Test) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป

อุณหภูมิในการอบ (°C)	เวลาในการอบ (วัน)					
	4 วัน		8 วัน		12 วัน	
	เวลาเปิดปล่องระบาย		เวลาเปิดปล่องระบาย		เวลาเปิดปล่องระบาย	
	2 นาที	3 นาที	2 นาที	3 นาที	2 นาที	3 นาที
65°C	79.59	79.72	73.87	79.45	40.34	36.59
	79.65	79.79	75.58	73.12	38.25	37.85
	80.12	81.75	74.89	74.32	37.73	36.95
70°C	80.01	79.07	76.68	72.68	34.74	33.89
	79.78	78.86	75.78	72.54	33.79	33.18
	79.19	78.22	71.61	69.89	34.49	34.33



รูปที่ 9 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

จากรูปที่ 9 ข้อมูลมีการกระจายไร้รูปแบบ ซึ่งแสดงว่ามีความอิสระของข้อมูลนั่นคือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม นอกจากนี้กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ดำเนินการทดลอง และจากการทดลองข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ

การวิเคราะห์ผลการทดลองของการทดสอบความชื้นโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองวัดความชื้น ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลว่า R^2 มีค่าเท่ากับ 99.61% ซึ่งหมายความว่าถ้าหากความแปรปรวนในข้อมูลมี 100 เปอร์เซ็นต์[2] แล้วความแปรปรวน 99.61 เปอร์เซ็นต์[2] สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือสามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ แสดงว่าข้อมูลมีสารสนเทศต่อการวิเคราะห์ และพิจารณาค่า R^2 ที่ได้รับการปรับค่า (Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 99.43%) ซึ่งมีค่าใกล้กับค่า R^2 แสดงว่าจำนวนข้อมูลมีเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 2 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ก่อนแล้วทำการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ต่อ ซึ่งพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าอิทธิพลร่วมมีผลกระทบต่อค่าความชื้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนอิทธิพลหลักมีผลกระทบต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากรูปที่ 10 ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความชื้นไม้ยางพาราคืออุณหภูมิในการอบ โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอุณหภูมิจาก 65°C เป็น 70°C ค่าความชื้นจะลดลง โดยเมื่อปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเวลาในการอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นลดลงด้วย และจากรูปที่ 11 พบว่าปัจจัยร่วมอื่นๆ ไม่ส่งผลต่อความชื้น จากการทดลองเบื้องต้น จึงได้มีการออกแบบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ เวลาในการอบและเวลาการเปิด-ปิดปล่องระบายต่อไป

ตารางที่ 2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

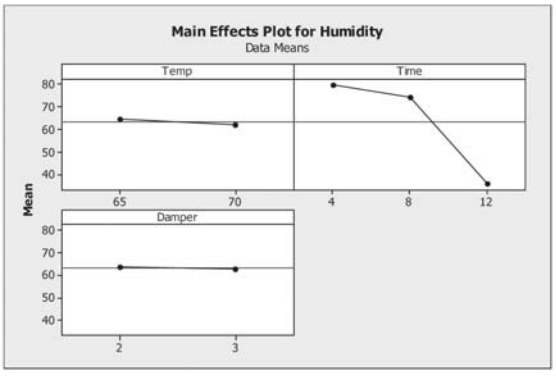
General Linear Model: Humidity versus Temp, Time, Damper

Factor	Type	Levels	Values
Temp	fixed	2	65, 70
Time	fixed	3	4, 8, 12
Damper	fixed	2	2, 3

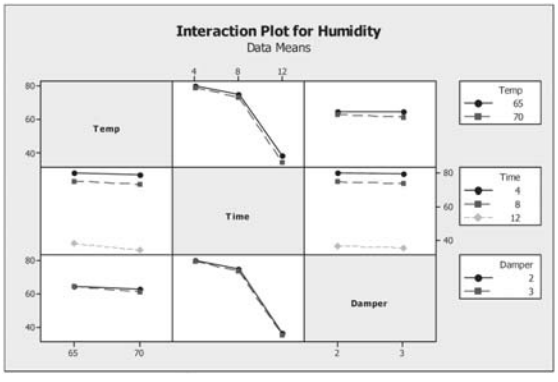
Analysis of Variance for Humidity, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	1	47.7	47.7	47.7	21.31	0.000
Time	2	13588.2	13588.2	6794.1	3036.62	0.000
Damper	1	5.8	5.8	5.8	2.61	0.119
Temp*Time	2	12.7	12.7	6.4	2.84	0.078
Temp*Damper	1	4.2	4.2	4.2	1.89	0.182
Time*Damper	2	1.4	1.4	0.7	0.30	0.740
Temp*Time*Damper	2	9.2	9.2	4.6	2.05	0.151
Error	24	53.7	53.7	2.2		
Total	35	13722.9				

S = 1.49579 R-Sq = 99.61% R-Sq(adj) = 99.43%



รูปที่ 10 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความชื้นไม้ยางพารา



รูปที่ 11 อิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่าความชื้นไม้ยางพารา

3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสม

การปรับตัวแปรเพื่อหาค่าความชื้น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความชื้นของไม้ยางพาราคืออุณหภูมิและเวลาในการอบ ดังนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมโดยใช้แผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) (11) โดยมีการทดลองทั้งหมดมี 13 สภาวะรวมทั้งหมด 15 การทดลอง ซึ่งแผนการทดลองนี้ได้มีการกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 3 ระดับ โดยการเพิ่มค่ากลางของระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษาในแผนการทดลองเบื้องต้น ดังนั้นอุณหภูมิในการอบ (ปัจจัย A) ศึกษาที่ 65°C 70°C และ 75°C เวลาในการอบ (ปัจจัย B) ศึกษาที่ 8 วัน 10 วัน และ 12 วัน เวลาการเปิด-ปิดปล่องระบายในทุกๆ 1 ชั่วโมง (ปัจจัย C) ศึกษาที่ เปิด 2 นาทีปิด 6 นาที เปิด 3 นาทีปิด 6 นาที และเปิด 4 นาทีปิด 6 นาที จากนั้นดำเนินการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completed Randomization) ซึ่งออกแบบการสุ่มโดยใช้โปรแกรม Minitab และดำเนินการตามแผนที่วางไว้

ตารางที่ 3 วิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวผลตอบสนองสำหรับการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

Response Surface Regression: Humidity versus Temp, Time, Damper

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Humidity

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16.1967	0.2246	72.113	0.000
Temp	-0.7612	0.1375	-5.535	0.003
Time	-13.2163	0.1375	-96.090	0.000
Damper	0.2225	0.1375	1.618	0.167
Temp*Temp	0.1392	0.2025	0.687	0.522
Time*Time	5.3692	0.2025	26.520	0.000
Damper*Damper	0.0217	0.2025	0.107	0.919
Temp*Time	0.5300	0.1945	2.725	0.042
Temp*Damper	-0.0575	0.1945	-0.296	0.779
Time*Damper	-0.3825	0.1945	-1.966	0.106

S = 0.389022 PRESS = 10.0161

R-Sq = 99.95% R-Sq(pred) = 99.34% R-Sq(adj) = 99.86%

Analysis of Variance for Humidity

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	1511.34	1511.34	167.93	1109.61	0.000
Linear	3	1402.39	1402.39	467.46	3088.85	0.000
Temp	1	4.64	4.64	4.64	30.63	0.003
Time	1	1397.35	1397.35	1397.35	9233.31	0.000
Damper	1	0.40	0.40	0.40	2.62	0.167
Square	3	107.24	107.24	35.75	236.20	0.000
Temp*Temp	1	0.23	0.07	0.07	0.47	0.522
Time*Time	1	107.01	106.44	106.44	703.34	0.000
Damper*Damper	1	0.00	0.00	0.00	0.01	0.919
Interaction	3	1.72	1.72	0.57	3.79	0.093
Temp*Time	1	1.12	1.12	1.12	7.42	0.042
Temp*Damper	1	0.01	0.01	0.01	0.09	0.779
Time*Damper	1	0.59	0.59	0.59	3.87	0.106
Residual Error	5	0.76	0.76	0.15		
Lack-of-Fit	3	0.60	0.60	0.20	2.65	0.286
Pure Error	2	0.15	0.15	0.08		
Total	14	1512.10				

หลังจากดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไปแล้วมีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่เก็บมาว่าเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ จึงต้องพิสูจน์คุณสมบัติข้อมูล จากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลปรากฏว่าข้อมูลมีคุณภาพทั้ง 3 ประการคือมีการเก็บข้อมูลมาอย่างสุ่ม มีความเป็นปกติของข้อมูล และข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนตามที่ได้ออกแบบไว้

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า R2 มีค่าเท่ากับ 99.95% ซึ่งหมายความว่าถ้าหากความแปรปรวนในข้อมูลมี 100 เปอร์เซ็นต์2 แล้วความแปรปรวน 99.95 เปอร์เซ็นต์2 สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือสามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความผันแปรของข้อมูลค่าความชื้นส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย แสดงว่าการออกแบบการทดลองนี้มีความถูกต้องและมีความเหมาะสม จึงสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาเปิด-ปิดปล่องระบาย (A*C) เวลาในการอบกับและเวลาเปิด-ปิดปล่องระบาย (B*C) พจน์กำลังสองของเวลาเปิด-ปิดปล่องระบาย (C*C) พจน์กำลังสองของอุณหภูมิ (A*A) และอิทธิพลหลักของเวลาเปิด-ปิดปล่องระบาย (C) มีผลต่อความความชื้นของไม้ยางพาราอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงทำการเพิ่มองศาความอิสระ (DF) กับรีพีททะบิลิตี้ด้วยการรวมอิทธิพลร่วมให้กับรีพีททะบิลิตี้โดยการลดรูป (Reduce Model) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวผลตอบสนองโดยการลดรูป

Response Surface Regression: Humidity versus Temp, Time

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Humidity

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16.2886	0.1614	100.930	0.000
Temp	-0.7612	0.1510	-5.043	0.001
Time	-13.2163	0.1510	-87.547	0.000
Time*Time	5.3577	0.2210	24.245	0.000
Temp*Time	0.5300	0.2135	2.483	0.032

S = 0.426983 PRESS = 4.63684
R-Sq = 99.88% R-Sq(pred) = 99.69% R-Sq(adj) = 99.83%

Analysis of Variance for Humidity

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	1510.28	1510.28	377.57	2070.98	0.000
Linear	2	1401.99	1401.99	701.00	3844.97	0.000
Temp	1	4.64	4.64	4.64	25.43	0.001
Time	1	1397.35	1397.35	1397.35	7664.51	0.000
Square	1	107.16	107.16	107.16	587.80	0.000
Time*Time	1	107.16	107.16	107.16	587.80	0.000
Interaction	1	1.12	1.12	1.12	6.16	0.032
Temp*Time	1	1.12	1.12	1.12	6.16	0.032
Residual Error	10	1.82	1.82	0.18		
Lack-of-Fit	4	0.58	0.58	0.14	0.70	0.620
Pure Error	6	1.24	1.24	0.21		
Total	14	1512.10				

หลังจากวิเคราะห์ผลจากโมเดลลดรูปแล้ว จะสร้างตัวแบบความสัมพันธ์ของผลต่างค่าความชื้นจากปัจจัยที่มีผลกระทบ แต่ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบความสัมพันธ์หรือตัวแบบถดถอยนั้น ผู้วิจัยไม่ทราบว่าตัวแบบที่แท้จริงของข้อมูลผลต่างค่าความชื้นนั้นเป็นอย่างไร จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยเสียก่อนด้วยวิธีการทดสอบความไม่สมรูปกับข้อมูล ซึ่งจะเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปริมาณเศษเหลือจากความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูล โดยจะวิเคราะห์ผลผ่านความไม่สมรูปกับข้อมูล (Lack of Fit) (13) จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า P-Value ของการทดสอบความไม่สมรูปกับข้อมูล (Lack of Fit) มีค่าสูง (P=0.620) ทำให้ค่า F หรืออัตราส่วนความแปรปรวน (Variance Ratio) มีค่าน้อย แสดงว่าความสมรูปของตัวแบบกับข้อมูลมีความเหมาะสม จึงสามารถยอมรับตัวแบบนี้และจะได้สมการความสัมพันธ์ของผลต่างค่าความชื้นดังแสดงในสมการที่ 1

เปอร์เซ็นต์ความชื้น = 343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B2 + 0.053AB (1)

ผลจากการใช้ Response Optimizer ได้ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบไม้ยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบไม้ยางพารา

ปัจจัย	ระดับ
อุณหภูมิในการอบ (°C)	75
เวลาในการอบ (วัน)	12

3.4 การยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การยืนยันผลโดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากตารางที่ 5 ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง โดยทำการเก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 100 ตัวอย่าง การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการและค่าสถิติของกระบวนการ พบว่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกระบวนการอบไม้ยางพาราอยู่ในเกณฑ์ที่ได้มาตรฐาน และมีค่า C_{pk} อยู่ในเกณฑ์ดี ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6. ค่าสถิติต่างๆ ของกระบวนการอบไม้ยางพารา

ค่าทางสถิติ	กระบวนการอบไม้ยางพารา
เปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้ยางพาราโดยเฉลี่ย	9.88
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.38
ช่วงความเชื่อมั่นเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยที่ 95%	$9.61 \leq \mu \leq 10.16$
C_{pk}	1.08

4. สรุปผลการวิจัย

การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบไม้ยางพาราโดยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นให้ได้ตามค่ามาตรฐาน โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomization Factorial Design) โดยในเบื้องต้นกำหนดตัวแปรที่คาดว่ามีผลในการทดลองคือ อุณหภูมิ เวลาในการอบและเวลาการเปิด-ปิดปล่องระบาย ผลตอบสนองคือเปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้ยางพารา ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้ยางพาราอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คืออุณหภูมิ และเวลาในการอบ เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์เคน สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น = 343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B2 + 0.053AB เมื่อทำการทดลองยืนยันผลเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยและช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน และค่า C_{pk} อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และบริษัทผู้ร่วมทำวิจัย ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ที่ให้เข้าไปทำการศึกษาและทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Boonseng K. A Study on the Influence of Rubberwood Drying Parameters. [M.Eng thesis] Songkhla: Prince of Songkhla University; 2006. Thai.

(2) Ratanawilai T, Boonseng K, Chuchom S. Drying Time Reduction of Rubberwood. KKU Res J. 2012; 17(4) : 505-507. Thai.

(3) Yamsaengsung R, Buaphud K. Effects of superheated steam on the drying of rubberwood. Songklanakarin J. Sci. Technol. 2006; 28(4): 803-816.

(4) Dechanan K. Fundamental of wood utilization. Royal Forest Department; 2004. 168p. Thai.

(5) Theppaya T. Identification of good practice in sawn rubberwood-drying process report. Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University; 1999. 88 p. Thai.

(6) Theppaya T, Prasertsan S. Parameters influencing drying behavior of rubberwood (Hevea Brazilliensis) as determined from desorption experiment. Dry Technol. 2002; 20(2): 507-525.

(7) Kollman FFP, Cote WA. Principles of wood science and technology: solid wood. Germany: Springer-Verlag; 1968.

(8) Yamsaengsung R, Sattho T. Superheated steam vacuum drying of rubberwood. Dry Technol. 2008; 26(6): 798–805.

(9) Sudasna-na-Ayudthya P, Luangpaiboon P. Design and Analysis of Experiments. Bangkok. Top Publishing. 2008. Thai.

(10) Ploypanichareon K. Statistical for Engineering 2. Bangkok. Technology Promotion Association (Thailand-Japan). 2008. Thai.

(11) Montgomery DC. Design and Analysis of Experiment. New York. John Wiley&Sons. 2000.

(12) Montgomery DC. Applied Statistics and Probability for Engineering. New York. John Wiley&Sons. 2003.

(13) Navidi W. Statistics for Engineering and Scientists. New York. McGraw-Hill. 2008