

การออกแบบการทดลองในกระบวนการอบพรมด้วยเครื่องอินฟราเรด

Experimental Design in Carpet Drier Process with Infrared Machine

ศิริรัตน์ วงศ์ประกรณ์กุล¹ และ ศิริวรรณ โยธาจันทร์²

บทคัดย่อ

กระบวนการอบพรมด้วยเครื่องอบอินฟราเรดเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตพรมทอมือและทอเครื่องที่สำคัญ การศึกษาครั้งนี้พบว่า เวลาในการอบพรมขึ้นกับประสบการณ์การทำงานของพนักงานแต่ละคน โดยปกติใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด และระยะจากหลอดอินฟราเรดถึงหลังพรม ซึ่งมีช่วงพิสัย 1.58 - 2.08 วินาทีต่อเซนติเมตร และ 8 - 11 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวแปรปรวนร่วมที่ไม่สามารถควบคุมได้สองปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของพรม ดังนั้น ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด ระยะจากหลอดอินฟราเรดถึงหลังพรม และระยะทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดมีอิทธิพลต่อเวลาการแห้งของพรม ($p < 0.05$) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่มีอิทธิพลต่อเวลาการแห้งของพรม ($p > 0.05$) การตั้งค่าเครื่องอบอินฟราเรดที่ดีที่สุดคือ การตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดที่ระดับ 1.58 วินาทีต่อเซนติเมตร และระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลังพรมที่ระดับ 8 เซนติเมตร ด้วยความยาวของพรมขนาด 6 เมตร พนักงานใช้เวลาในการอบ 180 นาที หากคำนวณจากฟังก์ชันใช้เวลาในการอบเพียง 74.4258 นาที

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม, กระบวนการอบพรม, เครื่องอินฟราเรด

Abstract

Carpet drying process with the Infrared drier is an important process to produce hand-hook and machine-hook carpets. In this study, a drying carpet period depends on each worker's experience, normally around 2-3 hours. The control parameters of Infrared drier consist of a speed of the infrared machine and a distance from the infrared bulb to carpet. Both parameters are in controlled and the ranges are 8 - 11 centimeter and 1.58 - 2.08 sec/ centimeter, consequently. Beyond that, there are two covariate factors or concomitance variables which were not controlled such as the relative humidity and the carpet length. Therefore, the Design of experiment was an analysis of covariance. The results found that the "distance, the "speed" and the "length" were significant ($p < 0.05$), whereas the "RH" was not significant ($p > 0.05$). The suitable setup for Infrared Drier is 1.58 sec/ centimeter for speed and 8 cm. for distance. With a carpet of 6 meter long, drying time for a typical human work is approximately 180 minutes while for computerized machine is 74.43 minutes.

Keywords : Analysis of covariance, Carpet drying process, Infrared machine

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² นักศึกษา, ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. บทนำ

บริษัท Carpet จำกัด ได้ก่อตั้งโรงงานเมื่อ พ.ศ. 2528 ซึ่งในขณะนั้นเป็นเพียงการทอผ้าอย่างเดียว หลังจาก พ.ศ. 2530 จึงได้เริ่มทำการผลิตพรม ซึ่งในปัจจุบันมีทั้งพรมทอมือและทอเครื่อง โดยเน้นขอขายทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งในกระบวนการผลิตพรมมีหลายกระบวนการ ได้แก่ การออกแบบถอดลาย การย้อมไหม ขึ้นจาวาดลาย ทอพรม เล็กยาว ออพรม พับขอบ เชียร์รีง คัดแต่งหน้าพรม แต่กระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่ง คือ กระบวนการอบพรม หลังจากที่มีการเล็กล้างพรมเพื่อทำให้เส้นใยของพรมยืดติดไม่ให้หลุดออกขณะใช้งาน โดยกระบวนการนี้จะมีการนำผ้าตาข่ายมาขึงหลังพรม แล้วเล็กล้าง ทำให้มีความชื้นเกิดขึ้นบนพื้นพรม ก่อนนำไปจัดเก็บยังสต็อกสินค้าจึงต้องผ่านกระบวนการอบพรมโดยเครื่องอินฟราเรด เพื่อให้พรมแห้ง ในกระบวนการอบนี้ยังไม่สามารถระบุเวลาที่แน่นอนที่พรมแห้งได้ เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนอาศัยความชำนาญส่วนตัวเพื่อคาดคะเนเวลาใช้ในการอบพรมให้แห้ง และยังไม่ได้มีการศึกษามาก่อนว่าเวลาที่ใช้ในการอบพรมจนผืนพรมแห้งจะต้องใช้เวลาเท่าไร เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาการแห้งของพรม พบว่ามีปัจจัยหลายอย่าง ที่ส่งผลต่อเวลาการแห้งของพรมเช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative Humidity) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด ระยะทางจากหลอดอินฟราเรดกับหลังพรม และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด

งานวิจัยในเชิงการวิเคราะห์นั้นได้มีผู้วิจัยศึกษาหลายท่านได้ใช้หลักการทางสถิติเข้ามาวิเคราะห์ เช่น ชูทวีป [1] ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม มาวิเคราะห์สภาวะที่มีผลต่อการขจัดน้ำออกจากมะม่วงแก้วด้วยวิธีออสโมซิส ซึ่งผลการดำเนินการศึกษาสามารถนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบของผู้บริโภคกับคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression) วิรัช [2] ได้ศึกษาปัจจัยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องคัดขนาดข้าวสารสำหรับโรงสีข้าวขนาดเล็ก จากผลการศึกษาทำให้สามารถกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องคัดขนาดข้าวสารต้นแบบและพวงศัน และ นิพนธ์ [3] ศึกษาในระดับที่เหมาะสมของแ่

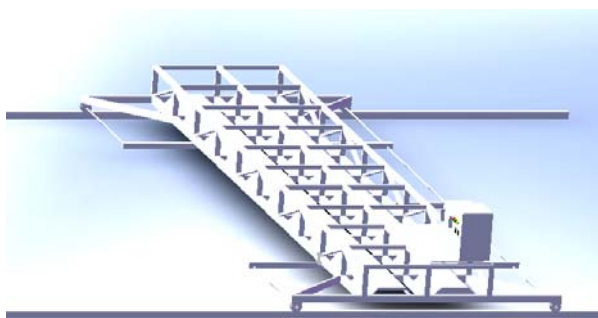
ละปัจจัย ที่มีผลต่อความทนทานต่อแรงเสียดทานของแขนจับ โดย การออกแบบการทดลองและวิธีการปั่นขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด พบว่าความทนทานต่อแรงเสียดทานของแขนจับสูงขึ้น โดยไม่ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเชื่อม และความลึกของรอยเชื่อมผิดไปจากข้อกำหนดของลูกค้า

ในงานวิจัยครั้งนี้ สนใจศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบพรมจนแห้ง โดยศึกษาจากปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดและหลังพรม และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด ส่วน 2 ปัจจัยร่วมที่ศึกษา คือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด ซึ่งปัจจัยร่วมทั้งสองนี้เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในขณะทดลอง หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดเวลาการอบพรมของเครื่องอินฟราเรดให้มากที่สุด ซึ่งความสามารถในการลดเวลาของการอบพรมลงทำให้สามารถลดค่าไฟได้ในปริมาณผลผลิตที่เท่ากัน เป็นการลดต้นทุนในการผลิต ในการวิเคราะห์และทดลองปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยนำหลักการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพรมระบบอินฟราเรด

เครื่องมืออบแห้งพรม เป็นเครื่องอินฟราเรดโดยใช้แสงอินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อน รังสีอินฟราเรดมีการแบ่งย่อยออกได้ 3 ระดับ คือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) ช่วงความยาวคลื่น 0.75 - 3 μm รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle infrared, mid-IR) ช่วงความยาวคลื่น 3 - 25 μm และ รังสีอินฟราเรดไกล (Far infrared, FIR) ช่วงความยาวคลื่น 25 - 100 μm รังสีอินฟราเรดมีจุดเด่นที่น่าสนใจ คือ ประการแรก พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว จุดเด่นตรงนี้เองที่ทำให้ผิวภายนอกวัสดุไม่เหี่ยวแห้ง และยังช่วยให้มีอัตราการอบแห้งที่สูงลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ด้วย ประการที่สองหลอดรังสีอินฟราเรดให้ heat flux ที่ค่อนข้างสูง

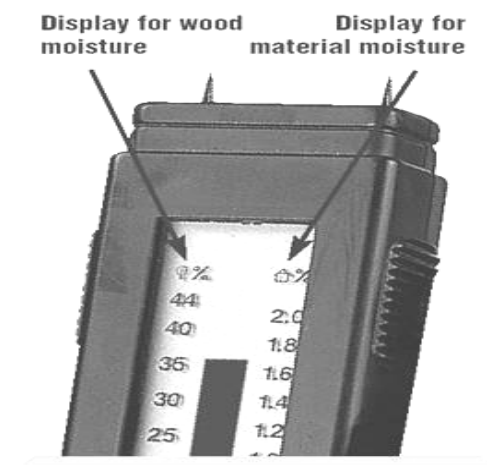


รูปที่ 1 เครื่องอบอินฟราเรด

และประการสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่ายเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ไม่มีความซับซ้อนของระบบ และตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว

2.2. อุปกรณ์ในการวัดความชื้นภายในพรม

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบกระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบพรม ความชื้นของอากาศเป็นความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำในบรรยากาศกับความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นจากพรมได้มาก อากาศโดยปกติจะมีอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 60-75 เมื่อทำให้อากาศร้อนขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อน เช่น 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะเป็นร้อยละ 15 - 25 ซึ่งจะสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับพรม ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ และลมจะพัดพาไอน้ำออกจากพรม ความชื้นในพรมจะลดลง ถ้าปริมาณความชื้นในอากาศสูงการแห้งของเส้นใยพรมช้าลง ใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้นเนื่องจากอากาศรับความชื้นได้น้อยลง ในทำนองตรงกันข้าม ถ้าปริมาณความชื้นในอากาศต่ำ เวลาในการอบแห้งน้อยลงอากาศสามารถรับปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA)

เป็นวิธีการปรับผลอันเนื่องมาจากตัวแปรปรวนกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งวิธีการนั้นจะเป็นการผสมผสานระหว่างการวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์การถดถอย [4] โดยมีรูปแบบสมการจำลอง คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(x_{ij} - \bar{x}_{..}) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

; $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, n$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j อยู่ในระดับ i ($i = 1, 2$) ของปัจจัย A

μ คือ ผลเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i คือ ผลที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A

β คือ ค่า Regression หรือ slope ที่ใช้ในการปรับอิทธิพลเนื่องจาก x ให้กับ y

x_{ij} คือตัวแปรปรวนร่วม (Covariate Variable)

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

สุรพล [5] ได้แสดงสมมติฐานที่รวมมาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และการวิเคราะห์การถดถอยไว้ ดังนี้

ตัวแปรปรวนร่วม (x_{ij}) เป็นค่าคงที่และวัดโดยปราศจากความคลาดเคลื่อน หมายความว่า x_{ij} ต่างๆ วัดอย่างถูกต้องและมีความสัมพันธ์กับค่า Y โดยที่สิ่งทดลองไม่มีอิทธิพลต่อค่า x_{ij}

หลังจากจัดความแตกต่างอันเนื่องมาจากบล็อกและสิ่งทดลองแล้ว สมการถดถอยของตัวแปร Y ที่ขึ้นต่อตัวแปรปรวนร่วม (x_{ij}) เป็นเส้นตรง และเป็นอิสระจากสิ่งทดลองและบล็อก หมายความว่า อิทธิพลของ x_{ij} ต่อ Y เหลือแล้วมีผลให้ค่า Y เพิ่มขึ้นหรือลดลงในอัตราที่คงที่ค่าหนึ่ง คือ $\beta(x_{ij} - \bar{x}_{..})$ ซึ่ง β คือสัมประสิทธิ์การถดถอย ส่วน x_{ij} คือค่าของตัวแปรปรวนร่วม โดยที่สัมประสิทธิ์การถดถอยคงที่หรือสม่ำเสมอ (ทุกสิ่งทดลองเหมือนกัน)

ผลตกค้าง (Residual) หรือความคลาดเคลื่อน จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนร่วมกัน (Common, σ^2)

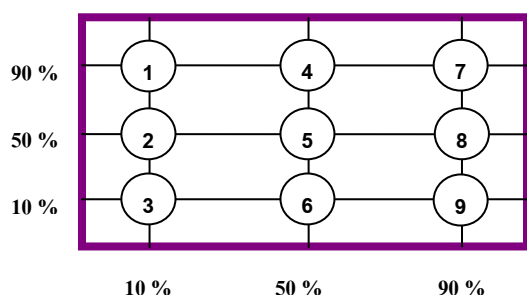
2.4 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่สามารถควบคุมจากลักษณะของเครื่องอบอินฟราเรดที่สามารถปรับได้ และทำการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด (Speed) ช่วงพิสัยของความเร็วอยู่ที่ 1.58 - 2.08 วินาทีต่อเซนติเมตร

ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลังพรม (Distance) ช่วงพิสัยของระยะห่างอยู่ที่ 8 - 11 เซนติเมตร

ส่วนปัจจัยตัวแปรปรวนร่วม ประกอบด้วย ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative Humidity: RH) และความยาวของพรม (Length) ซึ่งจำเป็นต้องทำการวัดความชื้น เพื่อเป็นการบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทดลอง และความชื้นของพรม ซึ่งตำแหน่งที่ใช้วัดมี 9 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งวัดความชื้นบนหลังพรม

3. ผลการทดลอง

จากปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนำมาออกแบบการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) เริ่มต้นทำการออกแบบลำดับการทดลองโดยสร้างแผนการสุ่มลำดับการทดลองแต่ละปัจจัยโดยใช้ตารางเลขสุ่ม ผลการสุ่มลำดับที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการสุ่มลำดับข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่	Speed (sec/cm)	Distance (cm)	ซ้ำที่	ลำดับการเก็บข้อมูล
1	2.5	11	1	1
2	2.5	11	2	9
3	2.5	11	3	5
4	2.5	8	1	2
5	2.5	8	2	10
6	2.5	8	3	6
7	1.9	11	1	12
8	1.9	11	2	3
9	1.9	11	3	11
10	1.9	8	1	8
11	1.9	8	2	7
12	1.9	8	3	4

จากนั้นดำเนินการทดลองตามลำดับ ผลการทดลองอบพรม โดยการปรับค่าปัจจัยที่ระดับต่างๆ ตามที่วางแผนการทดลองและได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ผลการทดลองที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมดังตารางที่ 3 พบว่าการทดสอบอันตรกิริยาระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด และระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลังพรม จะเห็นว่าไม่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($p > 0.05$)

การทดสอบสมมติฐานความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด จะเห็นว่ามีความแตกต่างของการแห้งของพรม ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาในการอบแห้ง ต่อปัจจัยของ
เครื่องอบอินฟราเรด

ตัวอย่าง ที่	RH (%)	Length (m)	Speed (sec/cm)	Distance (cm)	เวลาที่ แห้ง (min)
1	71	5.65	2.5	11	150
2	39	5.6			140
3	53	5.9			150
4	47	4.4		8	100
5	66	4			90
6	58	5			100
7	57	5.83	1.9	11	110
8	57	5.8			100
9	51	4.8			90
10	46	6.1		8	80
11	36	5.4			60
12	44	4			60

การทดสอบสมมติฐานระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรด
กับหลังพรม จะเห็นว่า**มีผล**ต่อเวลาการแห้งของพรม ($p < 0.05$)

การทดสอบสมมติฐานความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นว่า**ไม่มีผล**
ต่อเวลาการแห้งของพรม ($p > 0.05$)

การทดสอบสมมติฐานความยาวของพรมหรือระยะทางใน
การเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด จะเห็นว่า**มีผล**ต่อเวลาการ
แห้งของพรม ($p < 0.05$) ดังนั้นรูปแบบจำลองการถดถอยที่
เหมาะสม คือ

$$\hat{y} = -194.539 + 64.732 \times speed + 10.935 \times distance + 9.749 \times length \quad (2)$$

3.1 การทดสอบความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรปรวนร่วมความชื้นสัมพัทธ์กับตัวแปรตามเวลา ที่ใช้ในการอบพรม

การทดสอบความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์
ระหว่างตัวแปรปรวนร่วมความชื้นสัมพัทธ์กับตัวแปรตามเวลา
ที่ใช้ในการอบพรม ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA)
ระหว่างระยะเวลาในการอบแห้ง ต่อปัจจัย
ของเครื่องอบอินฟราเรด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10213.696(a)	5	2042.739	58.004	.000
Intercept	139.288	1	139.288	3.955	.094
SPEED	3622.519	1	3622.519	102.862	.000
DISTANCE	2008.995	1	2008.995	57.046	.000
SPEED * DISTANCE	66.764	1	66.764	1.896	.218
RH	45.846	1	45.846	1.302	.297
LENGHT	335.463	1	335.463	9.526	.021
Error	211.304	6	35.217		
Total	136500.000	12			
Corrected Total	10425.000	11			

* R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .963)

เมื่อระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด
ต่างกัน พิจารณาที่ อันตรกิริยาระหว่าง SPEED* RH ซึ่งได้ค่า
Significance ของการทดสอบ คือ 0.081 ซึ่งมากกว่าระดับ
นัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ สมมติฐาน
หลักได้ นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรม
กับความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่างกันเมื่อใช้ระดับความเร็วในการ
เคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดต่างกัน ($p > 0.05$) และทดสอบ
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรมกับความชื้น
สัมพัทธ์ เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหลอด อินฟราเรดกับหลังพรม
ต่างกัน พิจารณาที่ อันตรกิริยาระหว่าง DISTANCE * RH ซึ่ง
ได้ค่า Significance ของการทดสอบ คือ 0.394 ซึ่งมากกว่าระดับ
นัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ สมมติฐาน
หลักได้ นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรม
กับความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่างกัน เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหลอด
อินฟราเรดกับหลังพรมต่างกัน ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรวนร่วม
ความขึ้นสัมพันธ์กับตัวแปรตามเวลาที่ใช้ในการ
อบพรม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10165.885(a)	6	1694.314	32.694	.001
Intercept	535.443	1	535.443	10.332	.024
SPEED	478.721	1	478.721	9.238	.029
DISTANCE	.047	1	.047	.001	.977
RH	211.047	1	211.047	4.072	.100
SPEED * RH	247.272	1	247.272	4.771	.081
DISTANCE * RH	45.053	1	45.053	.869	.394
SPEED * DISTANCE * RH	331.823	1	331.823	6.403	.053
Error	259.115	5	51.823		
Total	136500.000	12			
Corrected Total	10425.000	11			

R Squared = .975 (Adjusted R Squared = .945)

3.2 การทดสอบความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรวนร่วมความยาวพรมกับตัวแปรตามเวลาที่ใช้ในการอบพรม

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5 เมื่อระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดต่างกัน พิจารณาที่ อันตรกิริยาระหว่าง SPEED* LENGHT ซึ่งได้ค่า Significance ของการทดสอบ คือ 0.834 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ สมมติฐานหลักได้ นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรม กับระยะทางที่เครื่องอินฟราเรดเคลื่อนที่ในขณะอบพรมไม่ต่างกันเมื่อใช้ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดต่างกัน ($p>0.05$) และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรมกับระยะทางที่เครื่องอินฟราเรดเคลื่อนที่ในขณะอบพรม เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหลอด อินฟราเรดกับหลังพรมต่างกัน

พิจารณาที่ อันตรกิริยาระหว่าง DISTANCE * LENGHT ซึ่งได้ค่า Significance ของการทดสอบ คือ 0.418 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ สมมติฐานหลักได้ นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาที่ใช้อบพรมกับระยะทางที่เครื่องอินฟราเรดเคลื่อนที่ในขณะอบพรมไม่ต่างกันเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหลอด อินฟราเรดกับหลังพรมต่างกัน ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรวนร่วม
ความยาวพรมกับตัวแปรตามเวลาที่ใช้ในการ
อบพรม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10199.721(a)	6	1699.954	37.730	.001
Intercept	65.856	1	65.856	1.462	.281
SPEED	17.274	1	17.274	.383	.563
DISTANCE	1.560	1	1.560	.035	.860
LENGHT	244.872	1	244.872	5.435	.067
SPEED * LENGHT	2.188	1	2.188	.049	.834
DISTANCE * LENGHT	35.058	1	35.058	.778	.418
SPEED * DISTANCE * LENGHT	6.848	1	6.848	.152	.713
Error	225.279	5	45.056		
Total	136500.000	12			
Corrected Total	10425.000	11			

R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .952)

4. สรุปผล

ผลการศึกษา พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรด ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลังพรม และระยะทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดมีอิทธิพลต่อ

เวลาการแห้งของพรม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่มีอิทธิพลต่อเวลาการแห้งของพรม

โดยจากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าการตั้งค่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องอินฟราเรดที่ระดับ 1.58 วินาทีต่อเซนติเมตร และระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลังพรมที่ระดับ 8 เซนติเมตร จะใช้เวลาในการอบพรมน้อยที่สุด โดยความสัมพันธ์สามารถแสดงในรูปฟังก์ชันเวลาการอบพรมต่อปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยได้ตามสมการที่ (2) ซึ่งผลงานวิจัยสามารถลดเวลาในการอบพรมเปรียบเทียบระหว่างการปฏิบัติงานตามประสบการณ์ของพนักงาน และผลการคำนวณตามฟังก์ชันของเวลาในการอบพรมภายใต้การตั้งค่าปัจจัยที่ดีที่สุด พบว่าสามารถลดเวลาลงจาก พนักงานใช้เวลาในการอบประมาณ 180 นาที ลงมาใช้เวลาในการอบ 74.43 นาที

5. กิตติกรรมประกาศ

ทำยนี้ ขอขอบคุณศูนย์ฝึกงานเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) ที่ให้การสนับสนุนทุนในงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีสะอาด จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา. การศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการจัดน้ำออกจากมะม่วงแก้วด้วยวิธีออสโมซิสสำหรับการอบแห้ง, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2542.
- 2 วิรัช อนุชาบุญ. การศึกษาปัจจัยเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องคัดข้าวสารสำหรับโรงสีข้าวขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2543.
- 3 พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, และ นิพนธ์ ธีระประวีตร. วิธีการป็นขึ้นด้วยเส้นทางที่ชันที่สุดแบบไม่เชิงเส้นและมีข้อจำกัด, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน, 2552, หน้า 18-24.
- 4 Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments, 6th edition, Wiley, New York, 2005.

- 5 สุรพล อุปดิษฐกุล. สถิติการวางแผนการทดลอง เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร, ภาควิชาพีชไรนา, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.