

## ETM-2034

การพัฒนาโปรแกรมใช้สำหรับวิเคราะห์พลังงานและค่าใช้จ่ายในกระบวนการทางวิศวกรรม กรณีศึกษาวัสดุ  
พูนแบบไม่อิ่มตัวโดยใช้ด้วยระบบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วม กับระบบลม  
ร้อนแบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

### **Analysis of Energy and Cost in Drying Process of Case Non-Hygroscopic Porous Packed Bed a Combined Unsymmetrical Multi-Feed Microwave and Hot Air Continue Belt System**

บุญยวีร์ ปฐมโฆสิตเสถียร วิโรจน์ จินดารัตน์ สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ศูนย์แห่งความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในงานวิศวกรรม (CEEE)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

#### **บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์พลังงานและประเมินต้นทุนโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการ  
อบแห้งมาเทียบเคียงกับการทดลองโดยใช้กรณีศึกษาอบวัสดุพูนแบบไม่อิ่มตัวโดยใช้ ไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลาย  
ตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับลมร้อน แบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง (CMCB) ซึ่งมุ่งเน้นเกี่ยวกับการพัฒนา  
ซอฟต์แวร์ให้มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ เพื่อ  
ทำนายความเป็นไปได้ในการลงทุนในเชิงธุรกิจ ในอนาคตได้ ผลที่ได้จากการคำนวณโปรแกรม คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้  
ในการอบแห้ง ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)  
และ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate Return) ของการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ  
ร่วมกับลมร้อน และ การอบแห้งระบบ Hybrid (เป็นการป้อนพลังงานอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนแล้วจึงป้อนพลังงานอีก  
อย่างหนึ่งสลับกันไปแต่จะไม่ป้อนพลังงานพร้อมกันจนจบกระบวนการ) ผลจากการศึกษาพบว่า ในกรณีศึกษาอบแห้ง  
แต่ละระบบจะมีค่าทางพลังงานและทางเศรษฐศาสตร์ไม่เท่ากัน การอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นจะใช้ระยะเวลาคืนทุน  
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) และ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate Return) น้อยกว่าการ  
อบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ในการเปรียบเทียบในการพิจารณา ระบบการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดจะต้อง  
คำนึงถึงอัตราผลตอบแทนสูงสุดในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน เป็นสำคัญ

**คำหลัก:** วิเคราะห์พลังงาน ประเมินต้นทุน ระบบไมโครเวฟ และ วัสดุพูนแบบไม่อิ่มตัว

#### **Abstract**

This project is for the presentation of the energy consumption analysis and budget costing of writing  
a program that uses for the comparison during the drying process of parawood pake (Hevea brasiliensis) by  
combined multi-feed microwave- convective air and continuous belt system (CMCB). The most important, this  
work focused about developing software for ease of use to analyze the economic cost of the system. The  
prediction of the possibility by investing in the business for the future will came from the experimental  
program. Electrical energy is used for drying as well as the cost of the wood drying process, such as by hot  
air drying. Drying in a microwave with heat and drying systems, Hybrid (the energy input one first and then  
the energy of the alternates, but it will not enter power simultaneously until the end of the process), this

paper will consider in hot air drying and microwave drying with hot air. The effect of drying with hot air and microwave drying with hot air. In the case of drying wood. I will have to tap the energy and economics are not equal. Drying with hot air then the payback period (Payback Period) the present value (Net Present Value) and return on investment (Internal Rate Return) less than air drying with microwave heating. In comparison to consider. Optimal drying system must take into account the rate of return on investment. Time and cost is important.

**Keywords:** energy consumption analysis and budget costing, Payback Period

## 1. บทนำ

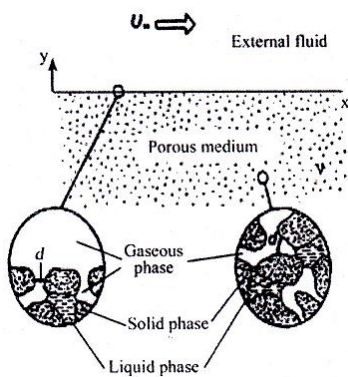
จากสภาวะทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งมีอัตราการแข่งขันในภาคธุรกิจที่สูงจึงทำให้อุตสาหกรรมการทางด้านการอบแห้ง จึงได้มีกระบวนการทางไมโครเวฟได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การอบแห้งอาหาร อบแห้งสิ่งทอ อบแห้งไม้และกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก การทำสเตอร์ไรส์ อีกทั้งในวงการแพทย์ เช่น การคลายเนื้อเยื่อที่แข็งตัว การอุ่นเลือด การกำจัดเนื้องอก และการกำจัดเชื้อโรคออกจากขยะติดเชื้อ นอกจากนี้ไมโครเวฟยังสามารถนำไปใช้ในงานแยกส่วนประกอบที่เป็นสารระเหยได้จากวัสดุผสม เช่น การแยกกำมะถันออกจากถ่านหินโดยการเผาไหม้ก่อนทำการแยก (Pre-Combustion Treatment) การแยกสารสกปรกออกจากดิน อีกด้วย สำหรับการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น กระบวนการทำความร้อนและกระบวนการอบแห้งวัสดุยังไม่แพร่หลาย จากเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีราคาสูงมาก ดังนั้นอุตสาหกรรมทางด้านการอบแห้ง จึงพยายามที่จะแข่งขัน กันทำให้ต้นทุนทางด้านการผลิตมีค่าต่ำที่สุด วิธีหนึ่งทีลดต้นทุนคือระบบการบริหารจัดการวิเคราะห์พลังงานและประเมินต้นทุน ด้วยระบบการจัดการโดยซอฟต์แวร์ ซึ่งพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในระบบการอบแห้งประเภทต่าง ๆ เพื่อสะดวกและลดค่าใช้จ่ายในระบบการอบแห้ง ดังนั้น การวิเคราะห์พลังงานและทางด้านความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ด้วยซอฟต์แวร์สามารถทำการพิจารณาตัดสินใจในการลงทุนได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้

ทำการศึกษาในส่วนของการวิเคราะห์พลังงานและประเมินต้นทุนโดยใช้ซอฟต์แวร์เลือกการเขียนโปรแกรม VBA(Visual Basic for Applications) มาเทียบเคียงกับการทดลองโดยใช้กรณีศึกษาการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับลมร้อน แบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง (CMCB) โดยในการทำวิจัยครั้งนี้จะนำระบบการวิเคราะห์ ดังกล่าว ไปจัดทำเป็นระบบ โปรแกรม VBA (Visual Basic for Applications) เพื่อช่วยในการประมวลผลการประเมินที่ได้จากชุดดัชนีค่าทางด้านพลังงาน และ ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากนั้นก็จะนำโปรแกรม VBA (Visual Basic for Applications) ดังกล่าว ไปทดสอบใช้กับการทดลองในกรณีศึกษา ซึ่งหลังจากนั้นก็ทำการสรุปผลที่ได้จากโปรแกรมที่เทียบเคียงกับการทดลองว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันเพื่อบ่งชี้ให้เห็นถึงข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์นั้นใช้ในงานอบแห้งได้จริง

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งในวัสดุพูน

การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนอยู่บนอิทธิพลจากความดันซึ่งเป็นกลไกหลักในการเคลื่อนที่ย้ายมวลความชื้นออกจากโครงสร้างวัสดุพูน



รูปที่ 1 ไตอะแกรมของกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุน

## 2.1 การสร้างความร้อนด้วยไมโครเวฟ

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟรวมถึงการกระจายความร้อนไมโครเวฟซึ่งทำให้ไดโพลสั่นสะเทือนและมีการหมุน เมื่อพลังงานไมโครเวฟออกจากเครื่องกำเนิดไมโครเวฟ ( $P_{in}$ ) จะมีการกระจายรังสีภายในเครื่องใช้ไมโครเวฟ วัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งมีแฟคเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor) ดูดซับพลังงานและถูกให้ความร้อนเพิ่มขึ้น จากนั้นมีการสร้างความร้อนขึ้นภายใน สมการพื้นฐานที่ใช้คำนวณความหนาแน่นของกำลังไมโครเวฟที่ดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก ( $P$ ) เป็นดังนี้

$$P = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \epsilon_r'' (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

ซึ่ง  $E$  คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  $f$  คือ ความถี่ไมโครเวฟ  $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของไมโครเวฟ  $\epsilon_r''$  คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพันธ์  $\epsilon_0$  คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ และ  $\tan \delta$  คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียแทนเจนต์

จากสมการ (1)  $P$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแทนเจนต์ และ ค่ารากที่สองของสนามไฟฟ้า หมายถึงเมื่อ  $\tan \delta$  ของตัวอย่างเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานและการสร้างความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ขณะที่เมื่อ  $\tan \delta$  น้อยกว่า ไมโครเวฟจะแทรกเข้าสู่ตัวอย่างโดยไม่มีการสร้างความร้อน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ดังเช่น ความร้อนจำเพาะ ขนาด และ คุณสมบัติของตัวอย่าง

เมื่อวัสดุได้รับความร้อนด้านเดียว พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและสัมประสิทธิ์การสูญเสียแทนเจนต์แปรผันไป ความลึกในการแทรกซึมถูกปรับและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกถูกปรับเปลี่ยน ความลึกในการแทรกซึมที่แสดงถึงความลึกซึ่งความหนาแน่นของกำลังลดลงถึง 37% จากค่าเริ่มต้นที่พื้นผิว

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r' \left( \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1 \right)}{2}}} \quad (2)$$

โดย  $D_p$  คือ ความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่น  $\epsilon_r'$  คือ แฟคเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริกสัมพันธ์ (relative dielectric loss factor) และ  $v$  คือ ความเร็วของไมโครเวฟ ความลึกในการแทรกซึมของกำลังไมโครเวฟถูกคำนวณตามสมการที่ (2)

การวิเคราะห์ พลังงาน  $P_1$  เป็นที่ต้องการเพื่อเพิ่มความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกร้อนขึ้น ซึ่งตั้งอยู่ในเครื่องประยุกต์ใช้ไมโครเวฟ อุณหภูมิของวัสดุ เริ่มต้น  $T_1$  ถูกเพิ่มถึง  $T_2$  พลังงาน ( $P_1$ ) สามารถถูกประมาณโดยสมการค่าความร้อนดังต่อไปนี้

$$P_1 = \frac{4.18 \cdot W \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \quad n \quad [W] \quad (3)$$

โดย  $W$  คือ น้ำหนักของวัสดุไดอิเล็กตริก,  $C_p$  คือความร้อนจำเพาะของวัสดุไดอิเล็กตริก,  $\Delta T$  คือการเพิ่มอุณหภูมิ ( $T_2 - T_1$ ), และ  $t$  คือ เวลาในการให้ความร้อน

การส่งถ่ายพลังงานในเครื่องประยุกต์ใช้สลับเนื่องมาจากสมการที่ (1) อัตราของพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยความหมายของแฟคเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริกของตัวอย่างสูญเสียพลังงานในอุปกรณ์ไมโครเวฟ ดังนั้นโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการแปลงนี้ ผลที่ได้จากการกำเนิดไมโครเวฟสามารถคำนวณได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$P_{in} = \frac{P_1}{\eta_m} \quad (4)$$

ซึ่ง

$$P_2 = \frac{Q \cdot S_p \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot 4.18}{60 \cdot \eta_m \cdot 10^3} \quad [W] \quad (5)$$

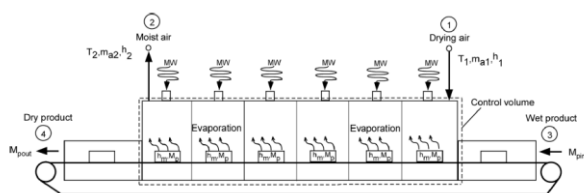
## ETM-2034

ซึ่ง  $\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟ  $Q$  คือ น้ำหนักต่อเมตรของวัสดุไดอิเล็กตริก  $S_p$  คือ อัตราการวางวัสดุไดอิเล็กตริกบนเครื่องลำเลียงแบบสายพาน  $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของวัสดุไดอิเล็กตริก และ  $\Delta T$  คือ ช่วงในการเพิ่มความร้อนของวัสดุ

ในกระบวนการอบแห้ง เราใช้กฎข้อแรกของเทอร์โมไดนามิกส์ (การเปลี่ยนแปลงพลังงาน) สำหรับปริมาณที่ได้รับความร้อนจะการส่งถ่ายความร้อนของการระเหยเป็นไอระหว่างของแข็งและลมร้อน และการปล่อยความร้อนไปยังสภาพแวดล้อม ความสมดุลของอัตราการใช้พลังงานถูกทำให้ยุ่งยากขึ้นโดยไม่สนใจพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของของลมเป่าแห้งและมวลของวัสดุแห้งภายในปริมาตรที่ควบคุมยังคงที่กับเวลา ความสมดุลของอัตราการใช้พลังงานสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{W_d (h_{m2} - h_{m1})}{\Delta t} = \dot{Q}_{\text{evap}} + \dot{m}_a (h_1 - h_2) + \dot{Q}_{\text{MW}} - \dot{Q}_{\text{loss}} \quad (6)$$

ซึ่ง  $\dot{Q}_{\text{evap}}$  คือ อัตราการส่งถ่ายความร้อนเนื่องจากการระเหยเป็นไอของน้ำ  $\dot{Q}_{\text{MW}} = P_{\text{in}}$  คือ พลังงานไมโครเวฟ  $h_m$  คือ เอนทาลปีของวัสดุ  $t$  คือ เวลา  $\dot{m}_a$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของลมเป่าแห้ง  $h$  คือ เอนทาลปีของลมเป่าแห้ง และ  $\dot{Q}_{\text{loss}}$  คือ อัตราการส่งถ่ายความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการวิเคราะห์หีบแห้งโดยใช้ลมร้อนจากการให้ไมโครเวฟป้อนตำแหน่งร่วมกับระบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง (CMCB) W. Jindarat [5]

### 2.2 การใช้พลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพของพลังงานในกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการส่งถ่ายความร้อนและมวลไปพร้อมๆ กัน มีการประเมินการใช้พลังงานจำเพาะระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยใช้ลมพาความร้อนที่เกิดจากการให้ไมโครเวฟหลายครั้งและระบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องร่วมกันและกระบวนการอบแห้งแบบพารังสี สภาวะในการอบแห้งคือกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิของลมพารังสี ความเร็วลมพารังสี และกำลังของไมโครเวฟ ได้เป็นสมการการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ดังนี้

SEC = กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง/ปริมาณน้ำที่ออกไประหว่างการอบแห้ง

$$SEC = \frac{P_{\text{total}}}{\text{Amount of water removed during drying}} \cdot \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (7)$$

ซึ่ง  $P_{\text{total}}$  คือกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง; พจน์นี้สามารถคำนวณจาก

$$P_{\text{total}} = P_{\text{mg}} + P_{\text{heater}} + P_{\text{exfan}} + P_{\text{blfan}} + P_{\text{cofan}} + P_{\text{con}} \cdot [kW \times 3600 \text{ s}] \quad (8)$$

ซึ่ง  $P_{\text{mg}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในแมกนีตรอน  $P_{\text{heater}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในฮีตเตอร์  $P_{\text{exfan}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในพัดลมดูดอากาศ  $P_{\text{blfan}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในพัดลมเป่า  $P_{\text{cofan}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในพัดลมทำความเย็น และ  $P_{\text{con}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ให้ในอุปกรณ์ลำเลียง ประสิทธิภาพของกำลังงาน ( $\eta_e$ ) สำหรับกระบวนการอบแห้งระบุเป็น

$$\eta_e = \frac{W_d [h_{fg} (M_{p1} - M_{p2}) + c_m (T_{m2} - T_{m1})]}{\dot{m}_{da} (h_1 - h_0) \Delta t + \Delta t \dot{Q}_{\text{MW}}} \quad (9)$$

### 2.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

#### ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

$$n = TS / Y_i \quad (10)$$

โดยที่  $n$  คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

TS คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

$Y_i$  คือ ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)

### 2.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV)

## ETM-2034

$$NPV = -k_0 + \left[ \frac{b_1 - c_1}{(i+1)} \right] + \left[ \frac{b_2 - c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[ \frac{b_t - c_t}{(i+1)^n} \right] \quad (11)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

$k_0$  คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)

$b_t$  คือ ผลตอบแทนในปีที่ 1,2,3...,n (บาท)

$c_t$  คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1,2,3...,n (บาท)

$i$  คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

$t$  คือ ปีของโครงการ คือปีที่ 1,2,3...,n(บาท)

$n$  คือ อายุของโครงการ (ปี)

### 2.5 อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR)

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(i+r)^t} = 0 \quad (12)$$

โดยที่  $B_t$  คือ ผลตอบแทนในปีที่  $t$  (บาท)

$C_t$  คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่  $t$  (บาท)

$t$  คือ ปีของโครงการที่มีค่า 1,2,...,(ปี)

$r$  คือ อัตราส่วนลด (%)

### 3.การคำนวณผล

ในการออกแบบโปรแกรมที่ใช้กันทั่วไปทางวิศวกรรมและทางด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะสะดวกต่อผู้ที่นำไปใช้งานและต้องแก้ไขง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมต่อตัวแปรของค่าคงที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งโปรแกรมที่ใช้คือ โปรแกรม ภาษา VBA (Visual Basic for Applications) มาใช้สร้างระบบงานใน Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป โดยการคำนวณหาค่าการวิเคราะห์ที่มีอยู่

1. การวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (CMCB) โดยหาค่าที่เหมาะสมและนำค่าที่ได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์หาค่าไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกคิดค่าไฟฟ้า

3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้ใช้ต้องหาข้อมูลต่างๆ มาป้อนลงในตัวโปรแกรมหลังจากนั้นจะได้ทำการคำนวณหาค่าตัวแปร

ต่างๆและแสดงให้เห็นในตัวแสดงผลซึ่งจะนำไปเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด

### 3.1 ขอบเขตการคำนวณ

ในการทดสอบทำตามเงื่อนไขในการทดสอบระบบการอบแห้งในกรณีศึกษาดังนี้

3.1.1 การคิดค่าไฟฟ้าตามเงื่อนไข ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 25 วันต่อเดือนทำงาน วันละ 8 ชั่วโมง

3.1.2 การคิดอัตราดอกเบี้ย ทำการคิดดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวลบอัตราดอกเบี้ยเงินเฟ้อของประเทศไทย คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์และอัตราเงินเฟ้อของประเทศไทยเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์

3.1.3 อัตราภาษีมูลค่าเพิ่มปัจจุบันคิดที่ 7 เปอร์เซ็นต์

### 4.วิเคราะห์ผล

จากการศึกษาสามารถแบ่งประเภทการอบแห้งในกรณีวัสดุพูนแบบไม่อึดตัวโดยใช้ด้วยระบบไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วม กับระบบลมร้อนแบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่องซึ่งสามารถแบ่งกรณีศึกษาได้ดัง ตารางที่ 1

จากข้อมูลจากตารางที่ 1 สามารถแบ่งประเภทระบบการอบแห้งเป็น 3 ประเภท คือ การอบแห้งในระบบความร้อนร่วม (Combine) เป็นการอบแห้งโดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ได้จากเครื่องทำความร้อน(Heater) การอบแห้งระบบไฮบริด(Hybrid) เป็นการอบแห้งแบบผสมระหว่างการใช้ลมร้อนจากบรรยากาศ(Ambient) โดยระบบจะเปิดลมร้อนก่อนแล้วจึงเปิดไมโครเวฟควบคู่กันไป และ ระบบการพาความร้อน (convection) ระบบนี้เป็นระบบใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้ไมโครเวฟร่วม ซึ่งในแต่ละกรณีที่ศึกษาทั้งหมด 10 กรณี แต่ละกรณีที่ศึกษานั้น มีผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการอบแห้งของแต่ละกรณีที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและระยะเวลาการอบแห้งนั้น (รูปที่ 3) นำมาวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนเพื่อใช้ในการพัฒนาผลต่อไป

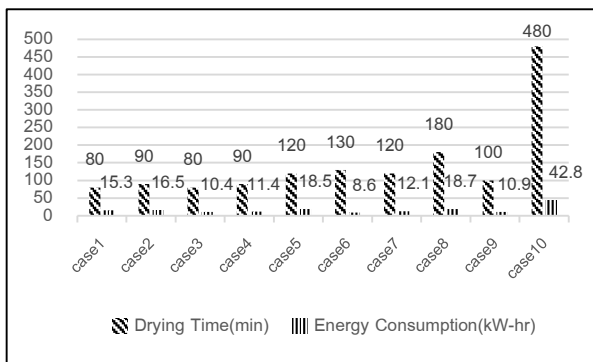


## ETM-2034

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาแบ่งตามการอบแห้งแต่ละระบบ

|            | Case | position | Air Temp(c°) | power   |
|------------|------|----------|--------------|---------|
| combine    | 1    | Top      | 70(HA)       | 6×800 w |
|            | 2    | Screw    | 70(HA)       | 6×800 w |
|            | 3    | Top      | 30(AA)       | 6×800 w |
|            | 4    | Screw    | 30(AA)       | 6×800 w |
| Hybrid     | 5    | Top      | (HA)/MW+(HA) | 6×800 w |
|            | 6    |          | (AA)/MW+(AA) | 6×800 w |
|            | 7    |          | (AA)/MW+(AA) | 6×800 w |
|            | 8    |          | MW+(HA)/(HA) | 6×800 w |
|            | 9    |          | (HA)/MW+(HA) | 6×800 w |
| Convection | 10   | -        | 70           | -       |

หมายเหตุ Top ทิศทางการป้อนคลื่นไมโครเวฟ  
ด้านบน Screw ทิศทางการป้อนคลื่นทางด้านข้าง  
ร่วมกับด้านบน

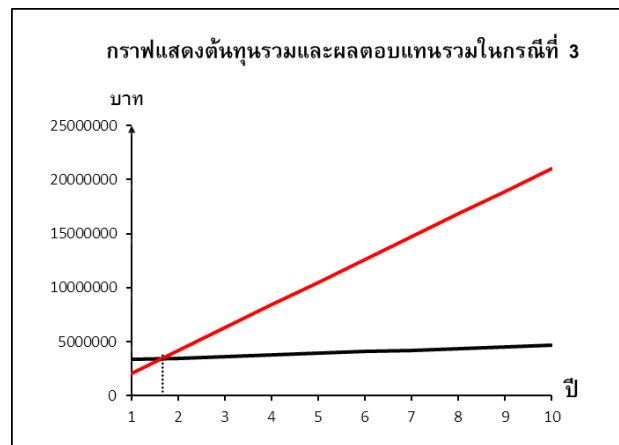


รูปที่ 3 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาการอบแห้งทั้งหมด 10 กรณี

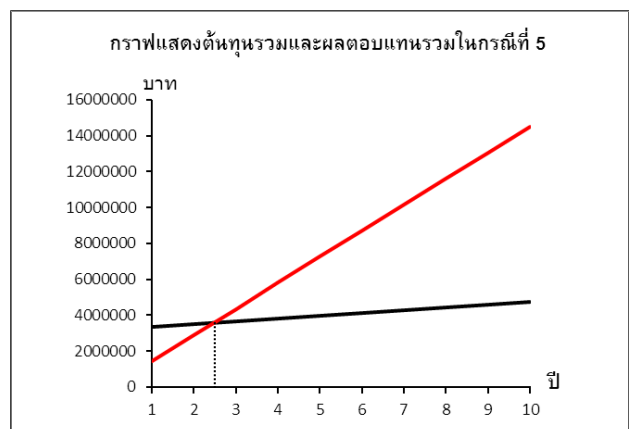
ผลจากการวิเคราะห์จากรูปที่ 3 จะแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือกรณีที่ 10 ใช้พลังงานไฟฟ้า 42.8 kW-hr ใช้เวลาในการอบแห้ง 480 นาที กรณีนี้ใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว(convection) กรณีที่ 1 และ กรณีที่ 3 ใช้การอบแห้งในระบบความร้อนร่วม (Combine) แต่อุณหภูมิต่างกัน จะเห็นได้ว่า เวลาในการอบแห้งจะเท่ากัน 80 นาที แต่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้นั้นต่างกัน กรณีที่ 1 ใช้พลังงานไฟฟ้า 15.3 kW-hr กรณีที่ 3 ใช้พลังงานไฟฟ้า 10.4 kW-hr ส่วนของการอบแห้งแบบไฮบริด (Hybrid) นั้น กรณีที่ 6 ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย คือ 8.6 kW-hr แต่

ใช้ระยะเวลานาน คือ 130 นาที ในส่วนกรณีที่ 5 และที่ 7 นั้น ใช้ระยะเวลาการอบแห้งระยะเวลาเท่ากัน 120 นาที แต่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ของกรณีที่ 5 คือ 18.5 kW-hr กรณีที่ 7 คือ 12.1 kW-hr

ดังนั้นการวิเคราะห์จึงเลือกกรณีที่ 3 (รูป 4) มาวิเคราะห์ต้นทุนรวมกับผลการตอบแทนรวม โดยใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนระยะเวลาการอบแห้งซึ่งระยะเวลาคืนทุน 1.7 ปี กรณีที่ 5 (รูปที่ 5) ระยะเวลาคืนทุน 2.7 ปี และกรณีที่ 10 (รูปที่ 6) ระยะเวลาคืนทุน 9.9 ปี นำมาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และหาปริมาณการพลังงานไฟฟ้า ของระบบการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (CMCB) ในกรณีศึกษา เพื่อหาระบบการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด

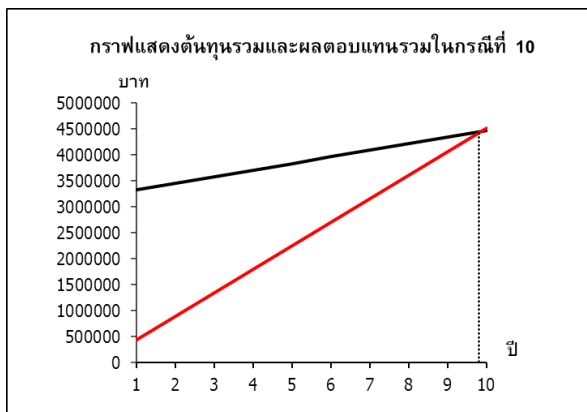


รูปที่ 4 กราฟแสดงต้นทุนรวมและผลตอบแทนรวมในกรณีที่ 3



รูปที่ 5 กราฟแสดงต้นทุนรวมและผลตอบแทนรวมในกรณีที่ 5

## ETM-2034



รูปที่ 6 กราฟแสดงต้นทุนรวมและผลตอบแทนรวมในกรณีที่ 10

หมายเหตุ  
— ผลตอบแทนรวม  
— ต้นทุนรวม

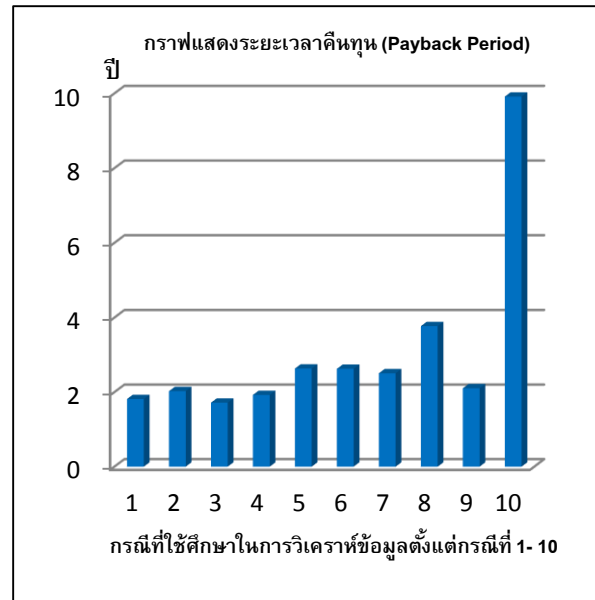
### 5.สรุปผลการคำนวณ

ในงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และหาปริมาณการพลังงานใช้ไฟฟ้า ของระบบการอบแห้งกรณีศึกษาอบวัสดุพูนแบบไม่อัมตวโดยใช้ไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับลมร้อน (CMCB) เพื่อหาระบบการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด

ในการทดสอบโปรแกรมนี้เรื่องที่สำคัญที่สุดเพื่อหาระบบที่เหมาะสมคือการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return) เพื่อเลือกระบบการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการผลิตและการลงทุน จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรมปรากฏว่าระบบอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ(กรณีที่ 3)ผลอัตราการตอบแทนการลงทุนมากที่สุดคือ 430.40 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาคืนทุน 1.7 ปี และผลกำไรที่ได้รับ 15,264,339 บาทต่อระยะเวลา 10 ปี การอบแห้งด้วยระบบไฮบริด(กรณีที่ 5)ผลอัตราการตอบแทนการลงทุนคือ 110.60 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาคืนทุน 2.7 ปี และผลกำไรที่ได้รับ 8,149,638 บาทต่อระยะเวลา 10 ปี การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว(กรณีที่ 10)อัตราการตอบแทนการลงทุนคือ 2.10 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาคืนทุน 9.9 ปีและผลกำไรที่ได้รับ -829,224 บาท ซึ่งเห็นว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวไม่คุ้มทุน ระบบอบแห้งด้วยลมร้อน

ร่วมกับไมโครเวฟให้ผลตอบแทนสูงกว่าซึ่งสอดคล้องกันมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดด้วย

รูปที่ 7 กราฟแสดงระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)



### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการอนุเคราะห์ให้แก่ผู้วิจัย

### 7.เอกสารอ้างอิง

- [1] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช "การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพูน(หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน และมวลสารในกระบวนการ อบแห้งวัสดุพูน)" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ฉบับที่ 1 ม.ค –เม.ย 2547, หน้า 1-11
- [2] วิมดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551). พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ, กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
- [3] Vangpradubchai. S., "Microwave and Hot-Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide" MENETT (2008).
- [4] W. Jindarat., "Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave-Convective Air and Continuous Belt

## ETM-2034

System (CMCB)" Drying Technology (2011),926-938.

[5]Leland'T Blank., Anthony,J.Tarquin , "Engineering Economics"Singapore,McGraw-Hill Companies,1988