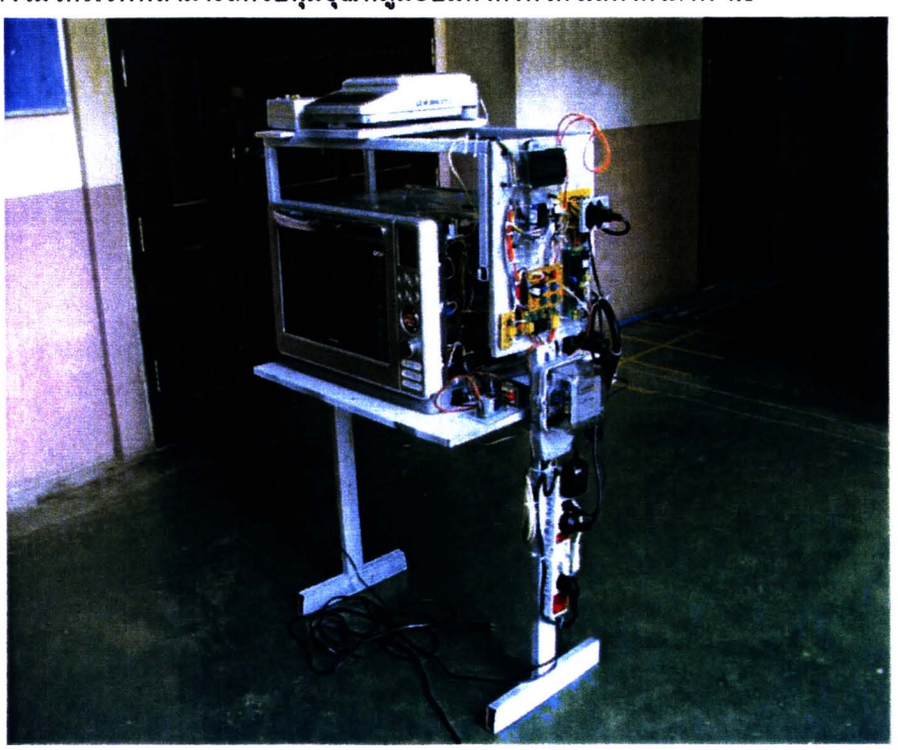
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบอ้างอิงตามขอบเขตงานวิจัย ประกอบไปด้วย ผลลัพธ์จากการพัฒนาชุดต้นแบบ ผลของตำแหน่งการวางวัสดุ และตำแหน่งการวางตัวตรวจจับ การสอบเทียบความเที่ยงตรงในการวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐาน การทดสอบผลของความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้ในงานอบแห้งจริง การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในงานอบแห้ง การทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น และการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน รายละเอียดสามารถแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ผลจากการพัฒนาการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ Toshiba รุ่น ER-A7CS ได้ชุดต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้ แสดงดังภาพ 4.1

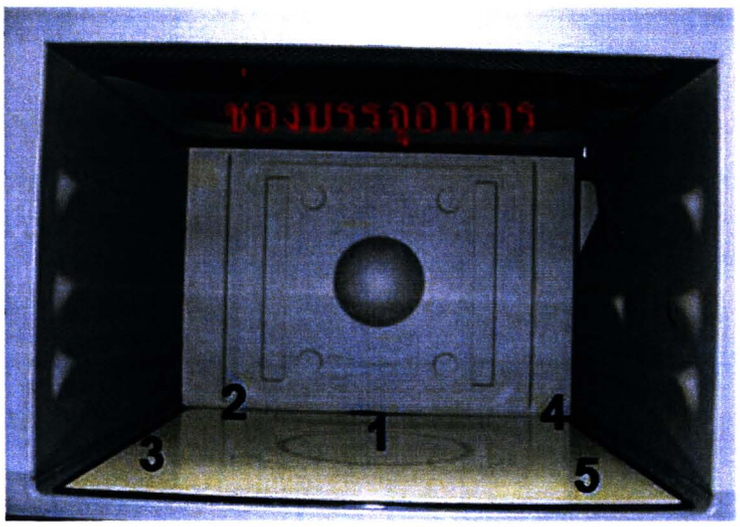


ภาพ 4.1 ชุดต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้

ชุดต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้ตามขอบเขตงานวิจัยที่กำหนด คือ รองรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการใช้คลื่นไมโครเวฟที่พัฒนามาจากเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดความจุ 30 ลิตร กำลังไฟฟ้าสูงสุด 900 วัตต์ ให้สามารถอ่านค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ในขณะทำการอบแห้งได้โดยไม่ต้องนำผลิตภัณฑ์ออกมาชั่งนอกห้องอบที่พิกัดน้ำหนักสูงสุด 450 กรัม กำหนดค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งได้ระหว่าง 35 ถึง 85 องศาเซลเซียส ผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราการจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนสูงสุด 2.0 วัตต์ต่อกรัม มีชุดพัดลมดูดอากาศพร้อมทั้งเครื่องมือวัดปริมาณการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ และมิเตอร์วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

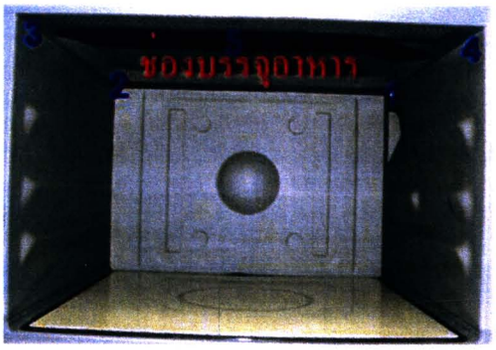
4.2 ผลของตำแหน่งการวางวัสดุ และตำแหน่งการวางตัวตรวจจับอุณหภูมิ

ตำแหน่งการวัสดุ และตัวตรวจจับอุณหภูมิในการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ที่มีขนาด 30 ลิตร ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กำลังสูงสุด 900 วัตต์ ยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7CS ให้ผลที่เหมาะสมแสดงดังภาพ 4.2 และ ภาพ 4.3



ภาพ 4.2 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางวัสดุ

ตำแหน่งการวางวัสดุที่เหมาะสมจะอยู่ตำแหน่งที่ 1 หรือตรงกึ่งกลางห้องอบแห้งตามการออกแบบใช้งานของไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7CS เนื่องจากเป็นจุดที่ได้รับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟได้ทั่วถึงและเข้มที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพการให้ความร้อนทั่วถึงกับผลิตภัณฑ์ในขณะอบสูงสุด เมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น ๆ

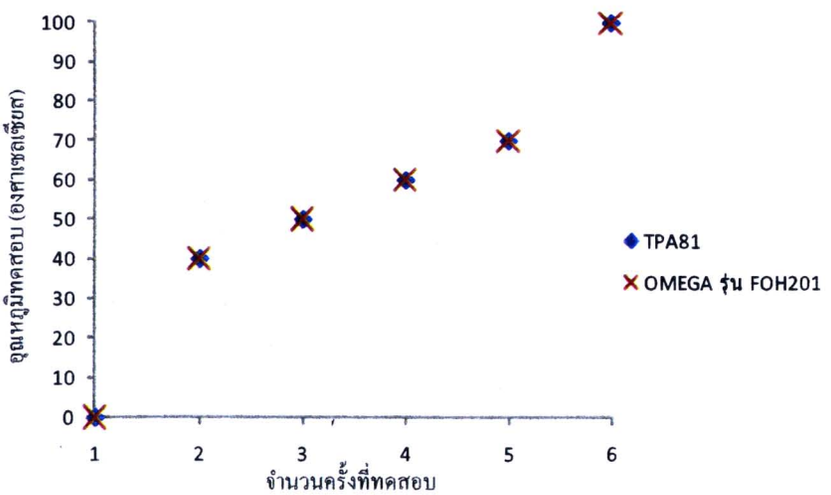


ภาพ 4.3 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางตัวตรวจจับอุณหภูมิ

ตำแหน่งการวางตัวตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ จุด 1 และ 2 เนื่องจากเป็นจุดที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นไมโครเวฟน้อยที่จึงให้ผลรบกวนตัวตรวจจับน้อยที่สุดในการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังภาคควบคุมระบบการทำงาน

4.3 ความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิ

ความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิเป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์มอไพล์ TPA81 ที่สร้างขึ้นเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานโดยอาศัยหลักการ Comparison with Standard Thermometer ผลความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิแสดงดังกราฟภาพ 4. 4

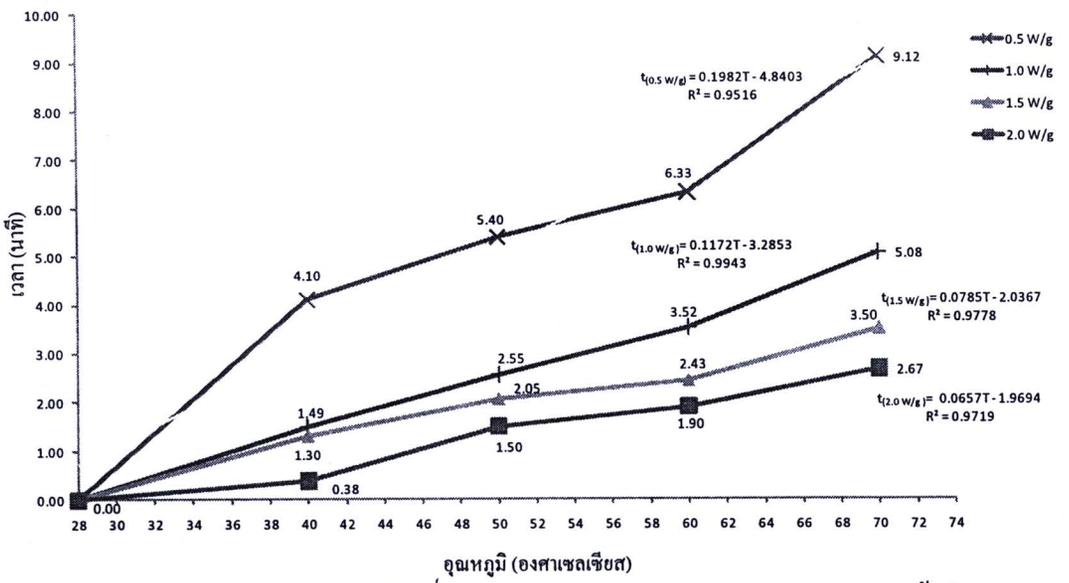


ภาพ 4.4 ผลการตรวจจับอุณหภูมิระหว่างเทอร์มอไพล์ TPA81 กับเครื่องมือมาตรฐาน เทอร์โมมิเตอร์แบบเส้นใยแก้วนำแสง ยี่ห้อ OMEGAรุ่น FOH201

จากกราฟภาพ 4.4 พบว่าจากการกำหนดจำนวนครั้งที่ใช้วัดอุณหภูมิทดสอบ 6 ค่า คือ 0, 40, 50, 60, 70 และ 100 องศาเซลเซียส ผลการตรวจจับอุณหภูมิของเครื่องมือทั้งสองได้ค่าที่ตรงกันทั้ง 6 ครั้งเมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรงเปรียบเทียบระหว่างอินฟราเรดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐานเทอร์โมมิเตอร์ได้ค่าความเที่ยงตรงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และความเที่ยงตรงนี้จะนำค่าที่ได้จากการวัดจากเทอร์มอไพล์ TPA81 ไปใช้ในระบบควบคุมที่สร้างขึ้น เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิวัสดุที่ถูกทำให้ร้อนมีค่าคงที่ตลอดเวลา และเมื่อสามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่ได้แล้วจะได้นำไปทดสอบกับการอบแห้งตะไคร้หั่นต่อไป

4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับวัสดุภายในห้องอบ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับวัสดุภายในห้องอบเป็นผลที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยกำหนดวัสดุทดสอบเป็นน้ำอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ปริมาณ 450 มิลลิกรัม อุณหภูมิควบคุมเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ทำความร้อนกำหนดตามค่าอุณหภูมิที่นิยมอบแห้ง คือที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และกำลังงานการให้ความร้อนต่อมวลกำหนดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ต่อกรัม ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงตามกราฟภาพ 4.5



ภาพ 4.5 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่แต่ละระดับกำลังงานการให้ความร้อนต่อมวล

จากกราฟภาพ 4.5 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนจะเพิ่มตามค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อกำหนดกำลังงานการให้ความร้อนคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนจะลดลงเมื่อเพิ่มค่ากำลังงานการให้ความร้อนตามลำดับเมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิคงที่ค่าใดค่าหนึ่งยกตัวอย่าง เช่น จากการจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนคงที่ 0.5 วัตต์ต่อกรัมที่จุดทดสอบอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสใช้ระยะเวลาในการทำความร้อน 4.1 นาที เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนจะเพิ่มตามเป็นลำดับ คือ 5.40, 6.33 และ 9.12 นาที และหากกำหนดจุดอุณหภูมิทดสอบคงที่ 40 องศาเซลเซียสแล้วจ่ายค่ากำลังงานการให้ความร้อน 0.5 วัตต์ต่อกรัมจะใช้ระยะเวลาในการทำความร้อน 4.1 นาที และเมื่อเพิ่มกำลังงานการให้ความร้อนเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ต่อกรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนจะลดลงตามเป็นลำดับ คือ 1.49, 1.30 และ 0.38 นาที

พบว่าลักษณะรูปแบบของกราฟที่ได้จากการจ่ายค่ากำลังงานการให้ความร้อนทั้ง 4 ค่ามีแนวโน้มของกราฟเป็นไปในทางเดียวกัน สามารถแสดงด้วยสมการ 4.1 ถึง 4.4

$$t_{(0.5W/g)} = 0.1928T - 4.8403 \quad (4.1)$$

$$t_{(1.0W/g)} = 0.1172T - 3.2853 \quad (4.2)$$

$$t_{(1.5W/g)} = 0.0785T - 2.0367 \quad (4.3)$$

$$t_{(2.0W/g)} = 0.0657T - 1.9694 \quad (4.4)$$

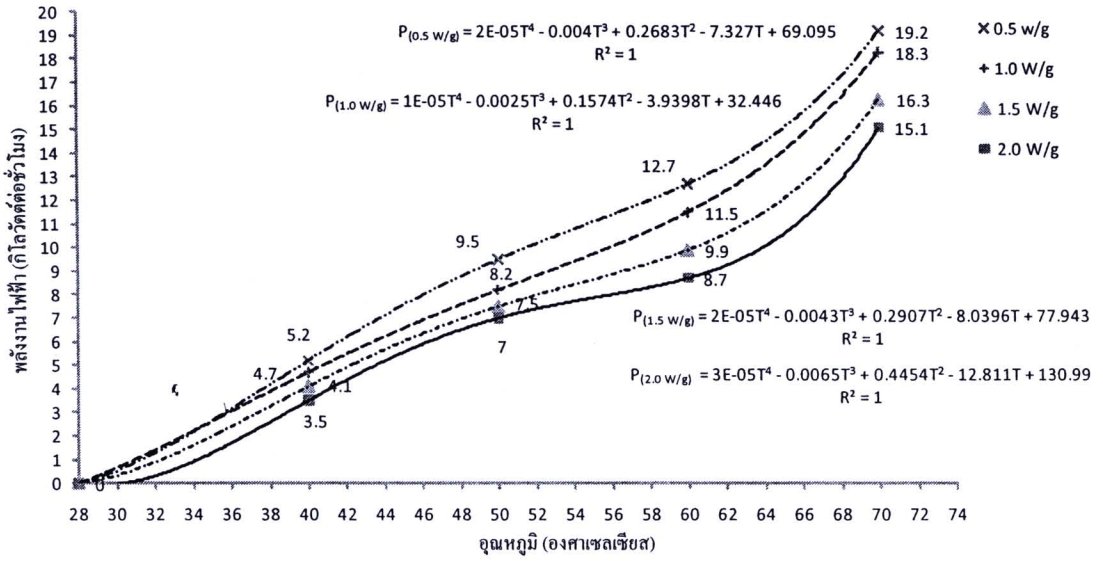
โดยที่

t แทน ระยะเวลาที่ใช้ทำความร้อนให้น้ำเพิ่มอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิที่ต้องการ (นาที)

T แทน อุณหภูมิที่ต้องการ (องศาเซลเซียส)

ผลเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับอุณหภูมิ และกำลังงานการให้ความร้อนที่ได้กล่าวมาขั้นต้นสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยในงานวิจัยนี้สามารถสรุปพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการทำความร้อนและค่าอุณหภูมิที่กำหนดใช้ในการอบแห้งเมื่อจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนคงที่ค่าใดค่าหนึ่งยกตัวออย่าง เช่น จ่ายกำลังงานการให้ความร้อนคงที่ 0.5 วัตต์ต่อกรัม เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะใช้พลังงานไฟฟ้า 2,050 มิลลิวัตต์-นาที แต่หากต้องทำความร้อนให้อุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็น 50, 60 และ70 องศาเซลเซียสปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะเพิ่มตามเป็นลำดับ คือ 2,700, 3,165 และ 4,560 มิลลิวัตต์-นาที

4.5 ผลการทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น เพื่อหาข้อสรุปว่าสามารถนำไปใช้งานอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้จริง



ภาพ 4.6 ผลจากการทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น

จากกราฟภาพ 4.6 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดกระบวนการอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่นจะลดลงตามการเพิ่มของอัตราการจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนเป็นลำดับ เนื่องจากพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดกระบวนการอบแห้งพบว่ามีการใช้มากเฉพาะช่วงการเริ่มต้นอบแห้งจากอุณหภูมิก่อนอบแห้งจนถึงจุดอุณหภูมิอบแห้งที่ต้องการเท่านั้น ยกตัวอย่าง เช่นมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 5.2 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ตลอดกระบวนการอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่นขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรให้ลดน้ำหนักจาก 450 กรัมเหลือ 45 กรัม ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อกำหนดกำลังงานการให้ความร้อน 0.5 วัตต์ต่อกรัมแต่ถ้าเปลี่ยนกำลังงานการให้ความร้อนเพิ่มเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ต่อกรัม การใช้พลังงานไฟฟ้าจะลดลงตามเป็นลำดับ คือ 4.7, 4.1 และ 3.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

พบว่าลักษณะรูปแบบของกราฟที่ได้จากการทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่นทั้ง 4 ค่ามีแนวโน้มของกราฟเป็นไปในทางเดียวกัน สามารถแสดงด้วยสมการ 4.5 ถึง 4.8

$$P_{(0.5W/g)} = (2\times10^{-5})T^4 - 0.004T^3 + 0.2683T^2 - 7.327T + 69.095 \quad (4.5)$$

$$P_{(1.0W/g)} = (1\times10^{-5})T^4 - 0.0025T^3 + 0.1574T^2 - 3.9398T + 32.446 \quad (4.6)$$

$$P_{(1.5W/g)} = (2\times10^{-5})T^4 - 0.0043T^3 + 0.2907T^2 - 8.0396T + 77.943 \quad (4.7)$$

$$P_{(2.0W/g)} = (3\times10^{-5})T^4 - 0.0065T^3 + 0.4454T^2 - 12.811T + 130.99 \quad (4.8)$$

โดยที่

P แทน ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)

T แทน อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

ผลเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอุณหภูมิอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น ที่ได้กล่าวมาขั้นต้นสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดกระบวนการอบแห้งกับวัสดุเกษตรอื่นได้

4.6 ผลการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในงานวิจัย เรื่อง การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

ผลการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในงานวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการกำหนดปัจจัยข้อมูลเบื้องต้น (ตามข้อ 3.2.5) ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณหาจุดคุ้มทุนโดยอาศัยสมการ 4.9

$$\text{Break - even point} = \frac{TFC}{Pd - TOC} \qquad (4.9)$$

จากผลการคำนวณในภาคผนวก ค พบว่าค่ารวมต้นทุนคงที่ (TFC) ทั้งหมดที่เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน เท่ากับ 4,110 บาทต่อปี รายรับจากการผลิต (Pd) ซึ่งได้จากการขายตะไคร้แห้งที่กิโลกรัมละ 50 บาท และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวม (TOC) เท่ากับ 32.5 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อนำค่ามาแทนในสมการที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน พบว่าจุดคุ้มทุนในงานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อต้องทำการขายตะไคร้อบแห้งไปจำนวน 234.86 กิโลกรัม