บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

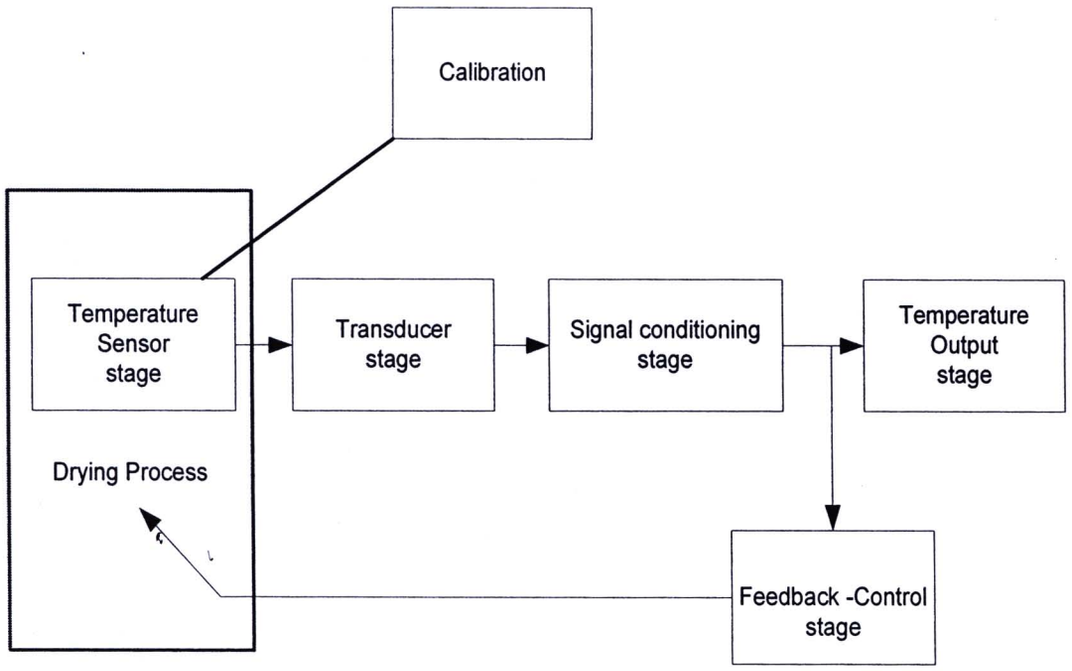
เตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ทั่วไปที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันพบว่ายังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานอบแห้งได้อย่างเต็มกระบวนการเนื่องจากยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้และไม่สามารถควบคุมสัดส่วนการจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนต่อมวลของวัสดุตามต้องการได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางพัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ทั่วไปให้สามารถนำมาใช้กับงานอบแห้งได้ตลอดกระบวนการด้วยการพัฒนาเพิ่มเติมอุปกรณ์ส่วนตรวจจับอุณหภูมิพร้อมควบคุมให้คงที่ ส่วนดูดความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ส่วนชั่งน้ำหนักเพื่อใช้สังเกตการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขณะทำการอบแห้งที่ไม่ต้องนำออกมาวัดภายนอก ส่วนควบคุมกำลังงานการให้ความร้อน ส่วนวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าพร้อมเพิ่มเติมเครื่องมือวัดปริมาณการรั่วของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มความมั่นใจในด้านปลอดภัยจากการใช้งานทั้งนี้จึงได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นตอนการกำหนดแนวทางการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์

ในขั้นตอนการกำหนดแนวทางพัฒนานี้ประกอบไปด้วยแนวคิดการทำงานของเตาอบไมโครเวฟที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดอุณหภูมิในการอบแห้งคงที่ได้ และแนะนำหลักการเลือกอุปกรณ์สำหรับพัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานอบแห้งตามขอบเขตที่ได้กำหนดในงานวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 แนวคิดการทำงานของเตาอบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ทั่วไปที่ผู้ใช้งานยังไม่สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบแห้งได้ตามต้องการงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการป้อนกลับค่าอุณหภูมิบนวัสดุขณะทำการอบแห้งกลับมาควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้หลอดแมกนีตรอนจ่ายกำลังงานการให้ความร้อนสู่วัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟเหมาะสมตามกำลังการให้ความร้อนต่อมวลวัสดุที่กำลังอบแห้งโดยได้กำหนดแนวคิดขั้นตอนการทำงาน 4 ขั้นตอน แสดงดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 แนวคิดที่ใช้ออกแบบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้

จากภาพ 3.1 สามารถอธิบายข้อมูลประกอบในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

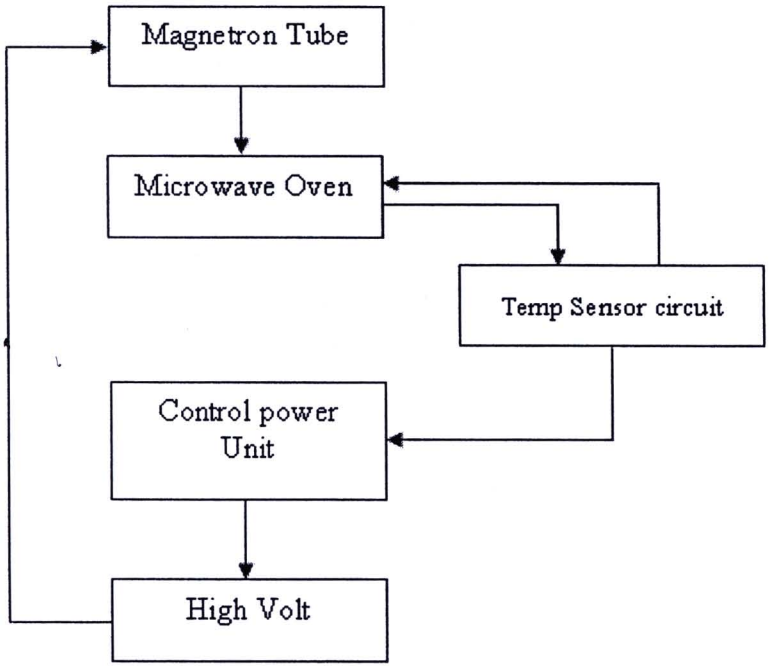
1. Temperature sensor – transducer stage เป็นขั้นตอนในการเลือกชนิดรูปแบบของตัวตรวจจับอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งพร้อมแปลงข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้เป็นพลังงานไฟฟ้าก่อนส่งต่อไปยังภาค Signal conditioning stage ในภาคนี้จำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานในระดับหนึ่งเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการตรวจจับให้น่าเชื่อถือ

2. Signal conditioning stage เป็นขั้นตอนในการปรับปรุงจัดการรูปแบบของสัญญาณอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ให้มีความเหมาะสมในเชิงขนาดความแรงโดยทำการขยายสัญญาณพร้อมตัดสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคการกรองสัญญาณ

3. Temperature output stage เป็นขั้นตอนที่ออกแบบให้มีการแสดงผลอุณหภูมิที่ทำการตรวจจับได้ให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าอุรหภูมิ

4. Feedback – control stage เป็นขั้นตอนในการแปลสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้มาใช้ในการป้อนกลับควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้หลอดแมกนีตรอนจ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟสู่ห้องอบแห้งตามกำลังงานการให้ความร้อนต่อมวล (วัตต์ต่อกรัม) ที่ต้องการ

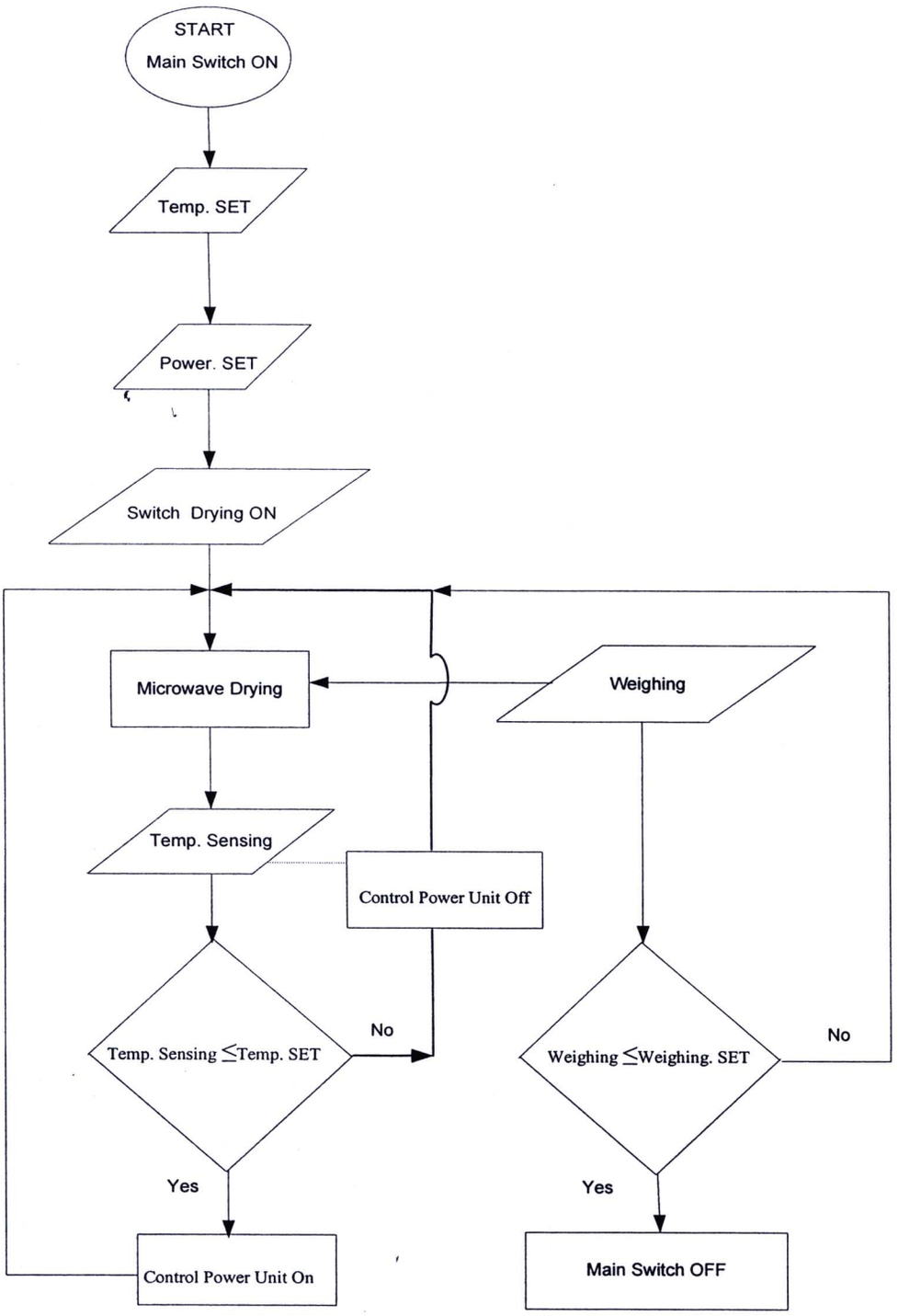
ออกแบบระบบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟต้นแบบที่มีการควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้ แสดงดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 แผนภาพแสดงระบบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

ลำดับการทำงานของระบบควบคุมเตาอบไมโครเวฟให้สามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้น เริ่มจากการเปิดสวิตช์ควบคุมหลัก (Main Switch ON) เพื่อจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจากนั้นกำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการ (Temp. SET) ปรับค่ากำลังวัตต์ไฟฟ้า (Power. SET) เริ่มต้นให้เหมาะสมกับมวลของวัสดุ กดสวิตช์เริ่มกระบวนการอบแห้ง (Switch Drying ON) เครื่องจะเริ่มทำงานโดยมีส่วนตรวจจับอุณหภูมิบนวัสดุภายในห้องอบแห้งตรวจจับพร้อมส่งผลการตรวจจับในรูปของสัญญาณไฟฟ้าไปยังภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้กับค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง (Temp. Sensing $\geq$Temp. SET) หากอุณหภูมิที่ตรวจจับได้บนวัสดุยังไม่ถึงค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งระบบควบคุมกำลังก็ทำงานต่อเรื่อย ๆ จนอุณหภูมิที่ตรวจจับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งระบบควบคุมก็จะหยุดทำงานชั่วคราวรอคำสั่งการตรวจจับอุณหภูมิบนวัสดุ โดยกระบวนการอบแห้งยังคงดำเนินการอย่างต่อเนื่องจนกว่าผู้ใช้งานจะทำการสั่งหยุดการทำงาน

(Main Switch OFF) เมื่อพบว่าค่าน้ำหนักที่อ่านได้เท่ากับ หรือน้อยกว่าค่าน้ำหนักสุดท้ายที่ต้องการ แสดงดังภาพ 3.3



ภาพ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิคงที่ในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

3.1.2 หลักการเลือกอุปกรณ์สำหรับพัฒนาเตาอบไมโครเวฟ

ในการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟสำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะหลักในการเลือกอุปกรณ์ที่สำคัญใช้พัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ให้เป็นเตาอบไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่มีการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 อย่างดังนี้

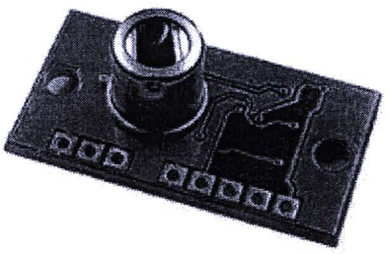
1. เตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ มีหลักการเลือกให้เหมาะสมกับขอบเขตของความสามารถในการจ่ายกำลังการให้ความร้อนต่อมวลผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ รวมถึงขนาดความจุ ระบบไฟฟ้า ความถี่ใช้งาน และขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าเหมาะสมกับความต้องการ เตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยจะมีขนาดความจุ 17 ลิตร ถึง 33 ลิตร ระดับการใช้พลังงาน 600 วัตต์ ถึง 1,450 วัตต์ ความถี่ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกเตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7C (S) ความจุ 30 ลิตร ความถี่ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ แสดงดังภาพ 3.4

ภาพ 3.4 เตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7C (S)

รูปแบบในการกระจายพลังงานคลื่นไมโครเวฟของเตาอบไมโครเวฟ Toshiba รุ่น ER-A7C (S) จะเป็นแบบที่ไม่อาศัยการหมุนของจาน แต่ใช้หลักการกระจายคลื่นไมโครเวฟให้ทั่วถึงด้วยตัวนำคลื่นไมโครเวฟแทน จึงส่งผลให้เกิดความเที่ยงตรงต่อตำแหน่งการวัดอุณหภูมิยิ่ง ๆ ขึ้น

2. อุปกรณ์ในการตรวจจับอุณหภูมิบนผลิตภัณฑ์ในขณะทำการอบแห้งมีหลักการเลือกที่ต้องคำนึงถึงผลกระทบจากคลื่นไมโครเวฟมายังตัวตรวจจับอุณหภูมิและอุปกรณ์เชื่อมต่ออื่น ๆ ในระบบดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกอุปกรณ์ตัวจับที่มีความสามารถตรวจจับแบบไม่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงเพื่อติดตั้งภายนอกใช้หลักการรับรังสีความร้อนที่เกิดบนวัสดุ อุปกรณ์ตัวตรวจจับที่เลือกใช้ คือ Thermopile sensor รุ่น TPA81 แสดงลักษณะรูปร่างตามภาพ 3.5

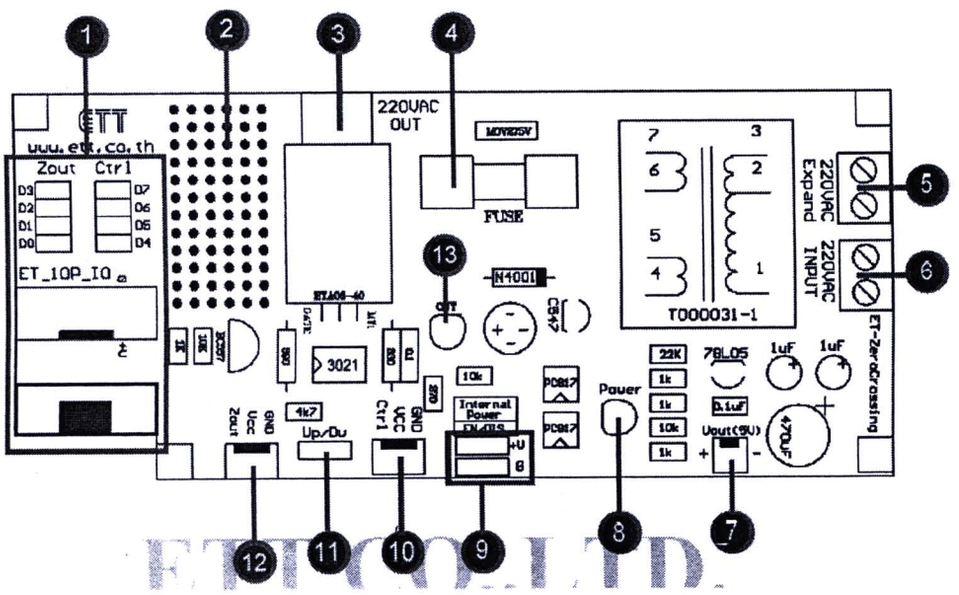
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพ 3.5 Thermopile sensor รุ่น TPA81

TPA81 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีความร้อนแบบอินฟาเรดในช่วงความยาวคลื่น 2 ถึง 22 ไมโครเมตร ตรวจจับอุณหภูมิได้ 8 จุดพร้อมกัน และเลื่อนตำแหน่งโมดูลสำหรับตรวจจับรังสีความร้อนได้ และสามารถเชื่อมต่อข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลรังสีความร้อนออกมาแสดงเป็นอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

3. อุปกรณ์ส่วนควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดแมกนีตรอนมีแนวทางในการลือก คือ ให้มีความสามารถรองรับขนาดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่หลอดแมกนีตรอนต้องการใช้งานในแต่ละระดับของกำลังการให้ความร้อนในงานวิจัยนี้เลือกเทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าร่วมกันระหว่าง Integral cycle control และ Phase control โดยทำการเลือกใช้แผงวงจรของ ET - OPTO AC DIMMER แสดงดังภาพ 3.6 มาใช้ควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุต



ภาพ 3.6 โครงสร้างของ ET - OPTO AC DIMMER

http://www.etteam.com/product/12A38.html[online]. (1 พฤศจิกายน 2553)

ET - OPTO AC DIMMER ใช้หลักการในการควบคุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับโดยในการควบคุมเฟสจะอาศัยการควบคุมการจุดชนวนขาเกตของไตรแอคที่มุมเฟสต่าง ๆ ใช้สัญญาณจากจุด Zero crossing เป็นจุดอ้างอิงในการกระตุ้นเฟส จากภาพ 3.6 สามารถแยกอธิบายส่วนประกอบเพิ่มเติมได้ดังนี้

หมายเลข 1 เป็นคอนเนกเตอร์สำหรับเชื่อมต่อระหว่างสัญญาณของอุปกรณ์ภายนอกกับสัญญาณภายในของบอร์ด ET - OPTO AC DIMMER โดยสัญญาณภายในบอร์ด คือ Zout, Ctrl, VCC และ GND

หมายเลข 2 เป็นพื้นที่เอนกประสงค์สำหรับต่อวงจรเพิ่มเติม

หมายเลข 3 เป็นขั้วต่อไฟเอาต์พุต 220 โวลต์

หมายเลข 4 เป็นฟิวส์สำหรับป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร

หมายเลข 5 เป็นจุดต่อขยายของสัญญาณไฟฟ้า 220 โวลต์ สำหรับนำไปต่อพวงกับอุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการ โดยไฟฟ้าที่จุดนี้จะต่อขนานมาจากขั้วต่อสัญญาณ 220 โวลต์

หมายเลข 6 เป็นจุดต่อสัญญาณไฟฟ้า 220 โวลต์เข้ามายังบอร์ดซึ่งสัญญาณนี้จะเชื่อมต่อขนานกับขั้วต่อ 220 โวลต์ Expand สำหรับนำไปต่อพ่วงกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการ

หมายเลข 7 เป็นขั้วต่อแรงดันเอาต์พุตกระแสตรง 5 โวลต์ที่ได้มาจากวงจรเรียงกระแสภายในบอร์ดโดยสามารถนำไปต่อเลี้ยงอุปกรณ์ภายนอกได้ เช่น ไมโครคอนโทรเลอร์

หมายเลข 8 เป็นหลอดไฟแสดงผลสำหรับแสดงสถานะของไฟฟ้าภายในบอร์ด

หมายเลข 9 เป็นจัมเปอร์สำหรับเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ และ GND

หมายเลข 10 เป็นขั้วต่อสัญญาณควบคุมไฟฟ้าที่จุด 220 โวลต์ OUT ทำงานที่ลอจิก “0”

หมายเลข 11 เป็นจัมเปอร์สำหรับเลือกรูปแบบของสัญญาณ Zero - Crossing มีรูปแบบ คือ Up เป็นการกำหนดให้สัญญาณที่มุมศูนย์องศาของสัญญาณเป็นลอจิก “1” และ Dw เป็นการกำหนดให้สัญญาณที่มุมศูนย์องศาของสัญญาณเป็นลอจิก “0”

หมายเลข 12 เป็นขั้วต่อสัญญาณเอาต์พุต Zero - Crossing

หมายเลข 13 เป็นหลอดไฟที่แสดงสถานะการทำงานของวงจรควบคุมไฟฟ้า 220 โวลต์เอาต์พุตติดสว่างแสดงว่ามีลอจิกไปทริก หรือ จุดชนวนการทำงานของ TRIAC แต่ถ้าหากดับแสดงว่าไม่มีลอจิกไปทริกหรือจุดชนวนการทำงานของ TRIAC

3.2 ขั้นตอนการกำหนดวิธีการทดสอบ

3.2.1 เลือกวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิอินฟราเรดที่สร้างขึ้นต้องการเพิ่มความน่าเชื่อถือในด้านความถูกต้องแม่นยำจากการวัดค่าอุณหภูมิในการสอบเทียบ งานวิจัยนี้เลือกใช้การสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201 ที่มีอุปกรณ์ตรวจจับเป็นเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องจากการวัดต้องคำนึงถึงการถูกรบกวนจากคลื่นไมโครเวฟขณะทำการวัด วิธีการสอบเทียบมีขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดอุณหภูมิสำหรับวัดเปรียบเทียบไว้ที่จุดต่ำสุด และสูงสุดที่เชื่อถือได้โดยยึดค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (น้ำแข็ง) จุดเดือด 100 องศาเซลเซียส และจุดอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัย คือ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสกำหนดใช้น้ำเป็นวัสดุทดสอบ

2. ทำการเลือกเครื่องมือการสอบเทียบมาตรฐานโดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201 ที่มีตัวตรวจจับเป็นเส้นใยแก้วนำแสงรองรับช่วงอุณหภูมิการวัดระหว่าง 40 ถึง 250 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำ ±1.0 องศาเซลเซียส (Full scale) ความละเอียด ±0.003% of FS (No averaging) ความเที่ยงตรง ± 0.01% of FS @ ±3.3 sigma limit (99.9% confidence level) ทำงานที่ Sampling Rate : 20 เฮิรตซ์

3. ดำเนินการวัดค่าอุณหภูมิที่กำหนดใช้ในการสอบเทียบจากเครื่องมือวัดทั้งสองตัวทำการปรับแก้ในส่วนโปรแกรมประมวลผลในชุดของเทอร์มอไพล์ที่สร้างขึ้นให้ตรงกับค่าของเครื่องวัดยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201

3.2.2 การทดสอบผลของความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้ในงานอบแห้ง

การทดสอบความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิที่ปรากฏบนวัสดุในงานอบแห้ง ได้กำหนดอุณหภูมิทดสอบไว้ที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้น้ำเป็นวัสดุในการทดสอบเนื่องจากมีการกระจายความร้อนดีทำให้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิผิวที่ต้องการวัดด้วยอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และอุณหภูมิภายในที่วัดด้วยเครื่องวัดยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201 โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. เตรียมความพร้อมของชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

2. กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 450 มิลลิกรัม ตลอดการทดลองที่ทุกระดับอุณหภูมิ

3. ทำการติดตั้งเครื่องวัดยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201 เข้าสู่ระบบชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบความเที่ยงตรง

4. ทำการนำข้อมูลที่ทดสอบได้มาวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงในการตรวจจับจากการวัดด้วยเครื่องมือทั้งสอง

3.2.3 การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในงานอบแห้ง

หลังจากทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิพร้อมทำการปรับความเที่ยงตรงแล้วจำเป็นต้องนำไปทำการทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในงานอบแห้งเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอบแห้งได้ โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. ให้เตรียมความพร้อมชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

2. กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 450 มิลลิกรัม ตลอดการทดลองที่ทุกระดับอุณหภูมิ

3. ทำการดำเนินการทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนให้น้ำเปลี่ยนอุณหภูมิจากปกติ 28 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบอบแห้งในงานวิจัย คือ อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับกำลังงานการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อมวลของน้ำ 4 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์

4. ทำการนำข้อมูลที่ทดสอบได้แล้ว มาวิเคราะห์หาระยะเวลา และสรุปพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.2.4 การทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น

ในการพัฒนาชุดควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้จำเป็นต้องมีการอบแห้งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อหาข้อสรุปว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกผลิตภัณฑ์เป็นชิ้นตะไคร้หั่นขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 450 กรัม มาทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จ่ายระดับกำลังงานการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อมวล 4 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ ต่อกรัม โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. ให้เตรียมความพร้อมชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

2. ทำการตรียมตะไคร้ที่จะใช้ในการอบโดยคัดเลือกตะไคร้ที่ระยะความบริบูรณ์เท่า ๆ กัน โดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อนับจากโคนต้นขึ้นมาเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ทำการคัดสิ่งเจือปนหรือส่วนที่มีตำหนิออกไป จากนั้นล้างด้วยน้ำประปา แล้วผึ่งให้

สะเด็ดน้ำจนผิวนอกแห้งสนิท ตัดให้มีความยาวนับจากโคนถึงปลายเป็น 15 เซนติเมตร แล้วนำมาหั่นตามขวางให้มีความหนา 2 มิลลิเมตรจากนั้นบรรจุลงในภาชนะที่แขวนลอยภายในเตาอบ-ไมโครเวฟเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งน้ำหนัก

3. ดำเนินการนำไปทดสอบกับงานอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 4 ค่า ได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับกำลังงานการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อมวล 4 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ ตามลำดับโดยกำหนดปัจจัย คือ น้ำหนักตะไคร้เริ่มต้น 450 กรัม น้ำหนักตะไคร้สุดท้าย 45 กรัมอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอยู่ระหว่าง 28 ถึง 30 องศาเซลเซียส

4. บันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดกระบวนการอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น

5. ให้นำข้อมูลที่ทดสอบได้มาใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนกำลังงานการให้ความร้อนกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.2.5 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน (Break even point)

จากตัวอย่างข้อมูลเบื้องต้นของการอบแห้งในข้อ 3.2.4 ถูกนำมาวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในการลงทุนสร้างชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้นี้ก็เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกลงทุนและการประยุกต์นำไปใช้งานอบแห้งจริงให้ทราบถึงชนิดผลิตภัณฑ์ จำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนควรเป็นเท่าไรอันจะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจว่างานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์อย่างไร โดยการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. กำหนดเงื่อนไขที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในการทำวิจัยครั้งนี้กำหนด

- อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก (ต่ำสุด) 1% ต่อปี ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ (ตามประกาศธนาคารแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 15 ธันวาคม 2553)
- อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับกิจการขนาดเล็ก 2.97 บาทต่อหน่วย (ตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณ ตุลาคม 2543)
- ค่าราคาตะไคร้สด 5 บาท ต่อ กิโลกรัม
- ราคาต้นทุนชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ควบคุมค่าของอุณหภูมิได้ราคา 20,000 บาท
- ราคาซากของชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้ เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาต้นทุน
- ค่าบำรุงรักษาชุดควบคุมกำลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ควบคุมค่าของอุณหภูมิได้ เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ของราคาต้นทุน

- อายุการใช้งานตลอดปี ที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี
- ค่าจ้างแรงงาน 168 บาทต่อวัน

(ตามประกาศกระทรวงแรงงานสำหรับอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ จังหวัดเชียงใหม่ ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2551) ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน คิดค่าจ้างชั่วโมงละ 21 บาท

2. ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยใช้เงื่อนไขเบื้องต้นจากข้อที่ 1 แทนค่าลงสมการ 3.1 ถึง 3.7 ตามลำดับ

$$D = \frac{(P - S)}{L} \tag{3.1}$$

โดยที่

D แทน ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อปี)

P แทน ราคาแรกซื้อ (บาท)

S แทน ค่าราคาเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

L แทน อายุการใช้งาน (ปี)

$$I = \frac{(P + S)i}{2} \tag{3.2}$$

โดยที่

I แทน ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน (บาทต่อปี)

P แทน ราคาแรกซื้อ (บาท)

S แทน ราคาเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

i แทน อัตราดอกเบี้ย (เปอร์เซ็นต์)

$$TFC = D + I + \text{ค่าซ่อมบำรุง} \tag{3.3}$$

โดยที่

TFC คือ รวมต้นทุนคงที่

$$Pm = WmP \tag{3.4}$$

โดยที่

Pm แทน ค่าวัตถุดิบ (บาทต่อกิโลกรัม)

Wm แทน น้ำหนักสดของวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (กิโลกรัม)

Pm แทน ราคาค่าวัตถุดิบต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)

$$Pe = WeE \tag{3.5}$$

โดยที่

Pe แทน ค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลกรัม)

We แทน หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)

E แทน ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

$$P_L = Tdl \tag{3.6}$$

โดยที่

P_L แทน ค่าแรงงานในการอบแห้ง (บาทต่อกิโลกรัม)

Td แทน เวลาที่ใช้ในการทำงานอบแห้งทั้งหมดจริง (ชั่วโมงทำงาน)

l แทน ราคาค่าจ้างแรงงาน (บาทต่อชั่วโมงทำงาน)

$$TOC = Pm + Pe + P_L \tag{3.7}$$

โดยที่

TOC แทน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวม

3. ทำการคำนวณหาจุดคุ้มทุนโดยนำข้อมูลจากข้อ 1 และ 2 มาวิเคราะห์