# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

ระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้หลักการจำแนกความชื้นจากคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศทำให้อากาศที่แต่ละระดับความชื้นมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกัน ระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติที่นำเสนอมีความซับซ้อนต่ำ ประกอบด้วยเซนเซอร์ภาคส่งและเซนเซอร์ภาครับ ติดตั้งตรงข้ามกันตามแนวยาวของโรงเรือน ทำให้ตรวจสอบความชื้นได้อย่างทั่วถึง และมีส่วนควบคุมและประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ซึ่งประมวลผลได้อย่างละเอียดและรวดเร็ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับโรงเรือนขนาดใหญ่ หรือโรงเรือนประเภทอื่นๆ ที่ต้องการควบคุมความชื้น

การดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้นั้น จะต้องกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานที่สอดคล้องและเป็นลำดับอย่างมีระบบ ขั้นตอนการวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดมีขั้นตอนเริ่มจาก การออกแบบสายอากาศที่สามารถแพร่กระจายคลื่นได้หลายทิศทาง ครอบคลุมทั่วทั้งโรงเรือน จากนั้นสร้างระบบเซ็นเซอร์สร้างโรงเรือนทดสอบ และติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ในโรงเรือนทดสอบ ระบบที่ติดตั้งแล้วถูกนำไปทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงระดับความชื้นอากาศภายในโรงเรือนเพาะเห็ดสำหรับใช้ตั้งค่าในส่วนควบคุมและประมวลผล จนได้เป็นระบบต้นแบบที่สมบูรณ์ จากนั้นจึงทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบและสรุผลการทดลองต่อไป

## ออกแบบและสร้างสายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ ทำหน้าที่รับและส่งคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ระหว่างภาคส่งและภาครับ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศให้แพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการ และครอบคลุมพื้นที่โรงเรือนเพาะเห็ดอย่างทั่วถึง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ช่วยในการประหยัดพลังงานให้กับระบบ อีกทั้งยังสามารถลดการเกิดสัญญาณรบกวน (Yang et al.,2007)

### 1. สายอากาศส่ง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สายอากาศที่ใช้ในระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ คือ สายอากาศปรับทิศทางลำคลื่นของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นได้ สามารถปรับเลือกทิศทางการแพร่กระจายคลื่นได้ 4 ทิศทางครอบคลุมทั้ง 4 ด้านของโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า ชนิดของสายอากาศที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์ โครงสร้างของสายอากาศที่ประกอบด้วย ส่วนแพร่กระจายคลื่นระนาบกราวด์ขนาดใหญ่ และวัสดุฐานรองซึ่งคั่นระหว่างส่วนแพร่กระจายคลื่นและระนาบกราวด์ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสร้างง่าย มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรต่างๆ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์โดยทั่วไปมีรูปแบบการ

แพร่กระจายคลื่นเป็นครึ่งวงกลมบริเวณด้านหน้าของส่วนแพร่กระจายคลื่น ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปซ์ (w) ยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง ดังสมการที่ (3.1) (Balanis, 2012)

$$w = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \tag{3.1}$$

เมื่อ c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ $f_r$ คือความถี่ทำงานของสายอากาศในงานวิจัยนี้คือ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ $\varepsilon_r$ คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง สายอากาศออกแบบให้สร้างด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็น 4.1 ความสูงของวัสดุฐานรองเป็น 1.4 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้เลือกใช้ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นความถี่เสรี (Industrial, scientific and medical radio band: ISM Band) ที่สามารถใช้งานได้อิสระโดยไม่ต้องขออนุญาต ขนาดของสายอากาศที่ได้จากการคำนวณถูกใช้เป็นค่าเบื้องต้นในการสร้างสายอากาศจำลองด้วยโปรแกรมจำลองสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศจำลองโดยปรับขนาดของสายอากาศ ให้สายอากาศสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นนำขนาดของสายอากาศที่ได้จากการจำลองมาสร้างเป็นสายอากาศส่งต้นแบบ และทดสอบสมรรถนะของสายอากาศส่งต้นแบบ เพื่อนำไปใช้ในระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ

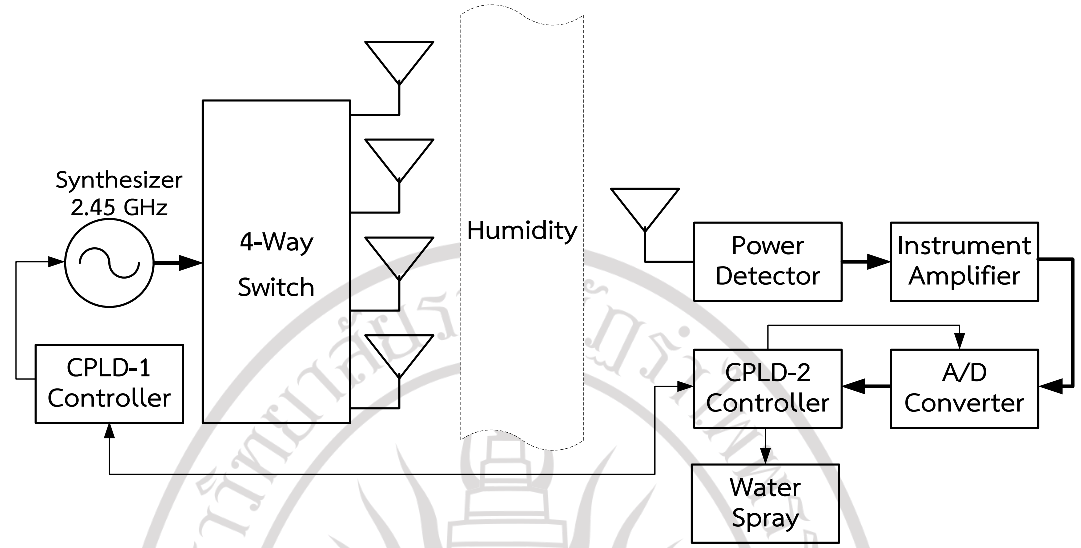
**2. สายอากาศรับ**

สายอากาศรับใช้เป็นสายอากาศไมโครสตริปแพทช์เช่นเดียวกับสายอากาศส่ง ใช้โครงสร้างสายอากาศแบบพื้นฐานคือ รูปสี่เหลี่ยม ที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบด้านหน้า เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจากสายอากาศส่งทั้ง 4 ทิศทาง การออกแบบสายอากาศรับมีขั้นตอนเดียวกับสายอากาศส่ง คือ ใช้การคำนวณขนาดเบื้องต้นแล้วนำไปสร้างสายอากาศจำลองในโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อปรับขนาดให้เหมาะสมให้สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นนำไปสร้างเป็นสายอากาศรับต้นแบบ และทดสอบสมรรถนะของสายอากาศรับต้นแบบ

## สร้างและติดตั้งระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติต้นแบบ

ระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติประกอบด้วย เซนเซอร์ภาครับและเซนเซอร์ภาคส่ง ติดตั้งอยู่คนละฝั่งตามแนวยาวของโรงเรือน ส่วนของเซนเซอร์ภาคส่งประกอบด้วยสายอากาศส่งทำงานส่งคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 4 ทิศทาง ไปยังเซนเซอร์ภาครับ เซนเซอร์ภาครับทำหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งมาจากเซนเซอร์ภาคส่งทั้ง 4 ทิศทาง นำมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำเข้าสู่ส่วนควบคุมและประมวลผล โดยเปรียบเทียบค่าความชื้นที่วัดได้กับระดับความชื้นอ้างอิงที่ต้องการ เพื่อตัดสินใจสั่งให้ระบบฉีดพ่นละอองน้ำทำงานเมื่อความชื้นต่ำกว่ากำหนด โครงสร้างของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดแสดงดังภาพที่ 3.1

สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี




**ภาพที่ 3.1** โครงสร้างของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ

**1. สร้างระบบต้นแบบ**

โครงสร้างของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติที่ออกแบบถูกนำไปสร้างเป็นระบบต้นแบบ โดยเซนเซอร์ภาคส่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยวงจรสังเคราะห์ความถี่ (Synthesizer) เพื่อส่งออกไปยังสายอากาศส่งทีละทิศทาง ส่วนเซนเซอร์ภาครับทำหน้าที่รับสัญญาณจากสายอากาศส่ง สัญญาณที่รับได้ถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรตรวจจับกำลังงาน (Power detector) จากนั้นถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนท์ ทำหน้าที่ขยายช่วงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วงที่สังเกตให้กว้างขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อคเป็นดิจิตอล (A/D Converter) เพื่อนำไปประมวลผลที่ส่วนควบคุมและประมวลผลในอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ชนิด CPLD (Complex programmable logic device) หากความชื้นในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่าที่ตั้งค่าไว้ในระบบ ส่วนควบคุมสั่งการให้ระบบฉีดพ่นละอองน้ำทำงาน นอกจากนี้ส่วนควบคุมการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อคเป็นดิจิตอล และส่วนควบคุมที่เซนเซอร์ภาคส่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรสังเคราะห์ความถี่

**2. สร้างโรงเรือนทดสอบ**

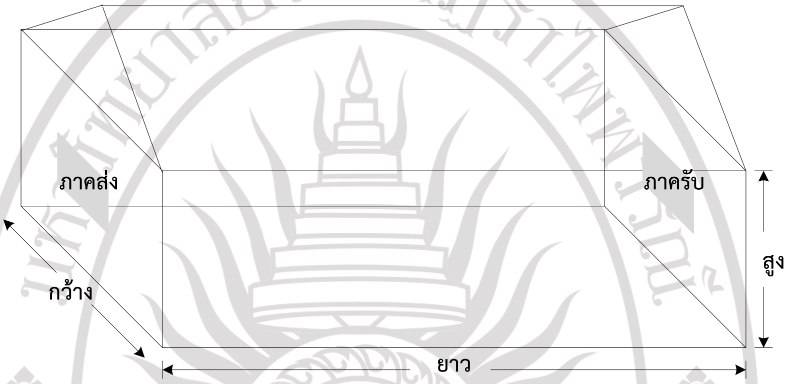
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้อมูลในการออกแบบโรงเรือนทดสอบ และการติดตั้งระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ ได้มาจากการศึกษาข้อมูลขนาดของโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าโครงสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าของเกษตรกรกลุ่มเพาะเห็ดเศรษฐกิจ หมู่ 8 ต.รำพัน อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรีเพบว่า โดยทั่วไปแล้วขนาดของโรงเรือนออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณก้อนเห็ดที่บรรจุอยู่ภายใน และพื้นที่สร้างโรงเรือนเป็นหลัก โดยขนาดที่ได้รับการแนะนำอยู่ที่ 6 เมตร x 8 เมตร x 3 เมตร สามารถบรรจุจำนวนของก้อนเห็ด 2,500 ก้อน (Mabveni, 2004 และกรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ในงานวิจัยนี้ประยุกต์โครงสร้างจากโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบของกลุ่มผลิตเห็ดเศรษฐกิจครบวงจร หมู่ 8 ต.รำพัน อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี และสอดคล้องกับพื้นที่ เพื่อให้การนำไปปรับใช้งานจริงไม่ยุ่งยาก โรงเรือนเพาะ

เห็ดทดสอบถูกสร้างขึ้นในพื้นที่ของทางกลุ่ม และใช้ก้อนเห็ดที่ผลิตจากกลุ่มในการทดสอบควบคุมความชื้น

**3. ติดตั้งระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติ**

ระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติต้นแบบถูกนำไปติดตั้งในโรงเรือนเพาะเห็ดทดสอบ เซนเซอร์ภาคส่งและเซนเซอร์ภาครับถูกติดตั้งอยู่ตรงข้ามกันตามแนวยาวของโรงเรือนดังภาพที่ 3.2




**ภาพที่ 3.2** การติดตั้งระบบเซนเซอร์ในโรงเรือนเพาะเห็ด

สายอากาศส่งจะเดินทางผ่านอากาศใน 4 ทิศทาง แนวยาวของโรงเรือนไปยังฝั่งรับทั้ง 4 มุม ทำให้คลื่นเดินทางผ่านอากาศในโรงเรือนครอบคลุมทั่วทั้งโรงเรือน นอกจากนั้นทำการสร้างระบบฉีดพ่นละอองน้ำ (Water spay) สำหรับปรับเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน บริเวณด้านบนชั้นวางก้อนเห็ดและด้านหลังชั้นวางก้อนเห็ด ระบบฉีดพ่นละอองน้ำควบคุมการปิดเปิดด้วยส่วนควบคุมและประมวลผลที่เซนเซอร์ภาครับของระบบผ่านวาล์วไฟฟ้า

## ทดสอบค่าอ้างอิงระดับความชื้นในอากาศ

การตัดสินใจเพื่อควบคุมความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดใช้การจำแนกค่ากำลังงานที่รับได้จากสายอากาศรับ เนื่องจากเมื่อความชื้นในอากาศสูงทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นสูง คลื่นจึงส่งผ่านได้น้อย ดังนั้นระดับความชื้นในอากาศจึงแปรผันกับกำลังงานที่ส่งผ่านระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ค่ากำลังงานคลื่นความถี่ที่รับได้เมื่อความชื้นในอากาศอยู่ในช่วง 70% - 80% จะถูกนำไปใช้ตั้งค่าเป็นระดับอ้างอิงในส่วนควบคุมและประมวลผล เพื่อตัดสินใจควบคุมการฉีดพ่นละอองน้ำของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ด

**1. ทดสอบการส่งผ่านคลื่นความถี่**

ทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อส่งผ่านคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ผ่านอากาศที่มีความชื้นแต่ละระดับ ด้วยสายอากาศส่งทั้ง 4 ทิศทาง โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรตรวจจับกำลังงานที่เซนเซอร์ภาครับ ระดับความชื้นที่ทดสอบคือ ตั้งแต่ 60%- 85% ครอบคลุมช่วงความชื้นที่เหมาะสมต่อการเปิดดอกของเห็ดนางฟ้าคือ 70-80% การปรับความชื้นจะทำโดยใช้การพ่น

ละอองน้ำภายในโรงเรือนทดสอบแล้ววัดค่าความชื้นในอากาศด้วยเครื่องวัดความชื้นมาตรฐาน เปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากเซนเซอร์ภาครับของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นต้นแบบที่สร้างขึ้น ในการทดสอบจะบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงควบคู่กัน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อของการทำงานของระบบเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

**2. วิเคราะห์ค่าอ้างอิงระดับความชื้น**

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากสายอากาศส่งทั้ง 4 ทิศทาง ค่าระดับความชื้น ที่วัดได้จากการส่งผ่านคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำในการแบ่งระดับความชื้น โดยเลือกค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อความชื้นในอากาศ มีค่าอยู่ที่ 70% - 80% เป็นค่าอ้างอิงระดับความชื้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเปิดดอกของเห็ดนางฟ้า นำค่าแรงดันอ้างอิงที่ได้จากการทดสอบระดับความชื้นมาตั้งค่าในส่วนควบคุมและประมวลผลเพื่อตัดสินใจควบคุมการทำงานของระบบฉีดพ่นละอองน้ำ เมื่อระดับความชื้นในอากาศมีค่าต่ำกว่าระดับอ้างอิง

**3. สร้างส่วนควบคุมและประมวลผล**

ส่วนควบคุมและประมวลผล เพื่อตัดสินใจควบคุมการทำงานของระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติใช้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซนเซอร์ภาครับมาประมวลผลวิเคราะห์ที่ระดับความชื้นต่างๆ ลงบนอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ชนิด CPLD เพื่อให้ได้ระบบส่วนควบคุมและประมวลผล ควบคุมความชื้นที่สมบูรณ์ ระบบจะวัดความชื้นแล้วตัดสินใจควบคุมให้ฉีดพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนทดสอบเมื่อความชื้นต่ำกว่า 70% โดยหลังการพ่นละอองน้ำ เพื่อให้ความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่มากจนทำให้เกิดน้ำขังที่ก้อนเห็ด มีปัญหาเชื้อราตามมา ระบบเซนเซอร์จะทำการวัดความชื้นทุก 30 นาที และฉีดพ่นละอองน้ำไม่เกินครั้งละ 5 นาที

## ทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบ

ทดสอบประสิทธิภาพระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติต้นแบบที่สมบูรณ์ถูกติดตั้งในโรงเรือนเพาะเห็ดทดสอบ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน เก็บผลโดยใช้เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น (Data logger) วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้ จากนั้นสรุปผลการวิจัยที่ได้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี