บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เมื่อดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่การออกแบบและสร้างสายอากาศ การออกแบบและพัฒนาระบบ รวมถึงการติดตั้งและทดสอบระบบ มีผลการดำเนินงานและผลการทดลองดังนี้

4.1 สายอากาศ

ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดถูกออกแบบให้ทำงานที่ย่านความถี่ 915 เมกกะเฮิรตซ์ ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้สำหรับส่งและรับคลื่นไมโครเวฟในระบบ สายอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ สายอากาศโมโนโพลแบบแพทช์เนื่องจากเป็นสายอากาศที่กะทัดรัด สามารถสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ได้ทำให้ช่วยลดต้นทุน การออกแบบสายอากาศเริ่มจากการคำนวณขนาดตามทฤษฎีเพื่อใช้เป็นขนาดเบื้องต้นเพื่อใช้ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากการจำลองจะได้ขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมซึ่งสามารถทำงานได้ดีในย่านความถี่ 915 เมกกะเฮิรตซ์ จากนั้นนำขนาดของสายอากาศที่ได้จากการจำลองมาใช้สร้างสายอากาศต้นแบบจำนวน 2 ตัว ทดสอบสมรถนะของสายอากาศต้นแบบให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการก่อนนำไปใช้งานจริงในระบบที่ภาคส่งและภาครับ

4.1.1 ผลการออกแบบสายอากาศโมโนโพล

สายอากาศที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสายอากาศโมโนโพลแบบแพทช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การออกแบบสายอากาศเริ่มด้วยการคำนวณขนาดของสายอากาศตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 การคำนวณขนาดของสายอากาศใช้ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทำงาน (f_r) ของระบบควบคุมความชื้น สายอากาศถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) 4.2 และหนา (h) 1.414 มิลลิเมตร ความกว้างของสายอากาศ (W) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) ดังนี้

จากสมการที่ (2.1) แทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อหาขนาดของสายอากาศ

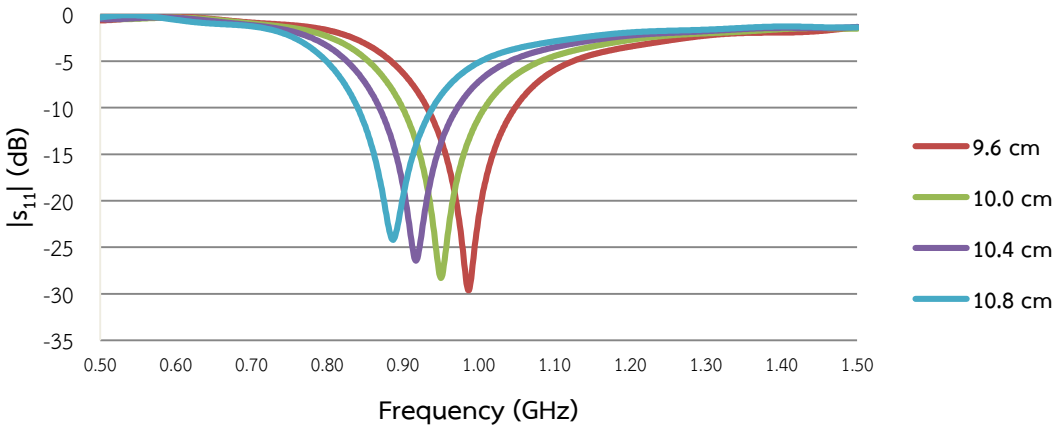
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$W = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}$$

$$W = \frac{3\times10^8}{2(9.15\times10^8)} \sqrt{\frac{2}{4.2+1}}$$

$$W = 10.1 \quad cm$$

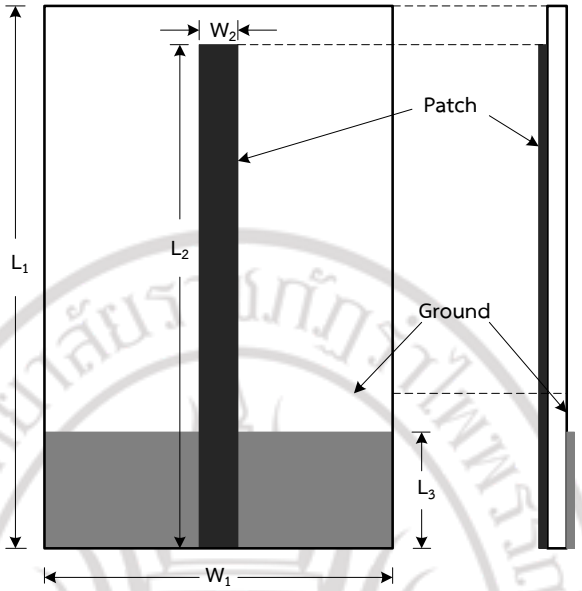
ผลจากการคำนวณได้ขนาดของสายอากาศมีค่าเป็น 10.1 เซนติเมตร จากนั้นนำขนาดที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นขนาดเบื้องต้นสำหรับสร้างเป็นสายอากาศจำลองในโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อศึกษาสมรรถนะของสายอากาศ การจำลองการทำงานของสายอากาศเป็นการทดสอบปรับขนาดความสูงแพทช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ส่วนแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศตั้งแต่ 9.6 – 10.8 เซนติเมตร ผลการจำลองปรับความสูงของสายอากาศ ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ค่า $|S_{11}|$ เมื่อปรับขนาดความสูงของสายอากาศ

ผลการจำลองพบว่าเมื่อความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้นที่ช่วงความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ค่า $|S_{11}|$ มีค่าสูงขึ้น และสายอากาศมีความถี่ทำงานที่ต่ำลง (ความถี่รีโซแนนท์) ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความสูงของสายอากาศอยู่ที่ 10.4 เซนติเมตร เนื่องจากสายอากาศสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ คือมีค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 เดซิเบล ขนาดที่เลือกใช้นี้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โครงสร้างของสายอากาศจำลองประกอบด้วย ส่วนแพร่กระจายคลื่นหรือแพทช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทรงสูงอยู่ด้านหน้า และด้านหลังเป็นกราวด์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าคั่นกลางด้วยวัสดุฐานรองดังภาพที่ 4.2 และขนาดของสายอากาศที่ได้จากการจำลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.2 สายอากาศโมโนโพลที่นำเสนอ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสายอากาศ

ขนาด (เซนติเมตร)	W_1	W_2	L_1	L_2	L_3
	5.2	0.4	10.9	10.4	1.75

4.1.2 การออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (EBG) จะเริ่มจากการคำนวณหาขนาดด้วยทฤษฎีเช่นเดียวกับสายอากาศ เพื่อใช้เป็นขนาดเบื้องต้นในการสร้างโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจำลองในโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อศึกษาคุณสมบัติการทำงานในช่วงความถี่ (f_r) 915 เมกะเฮิรตซ์ โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบรูปดอกเห็ด สร้างด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) 4.2 หนา (h) 1.414 มิลลิเมตร และทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์หนา 0.0795 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับสายอากาศ กำหนดระยะห่างระหว่างแต่ละเซลล์ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเป็น g = 1 มิลลิเมตร ขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (W) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3) เริ่มด้วยการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำ (L) ดังนี้

$$L = \mu h$$

$$L = 1.78 \;\; nH$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

จากนั้นคำนวณหาค่าความจุประจุ (C) จากสมการของความถี่ทำงาน (ω_0) ได้ว่า

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

หรือ $$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

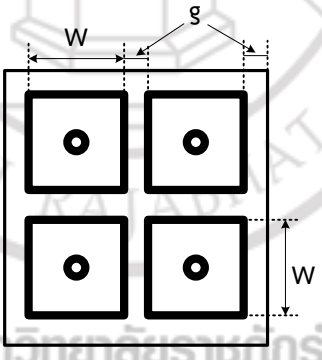
ดังนั้น $$C = 1.7 \;\; nF$$

นำค่าความจุประจุที่ได้มาคำนวณหาค่าขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะได้

$$C = \frac{W\varepsilon_0(1+\varepsilon_r)}{\pi}\cosh^{-1}\left(\frac{W+g}{g}\right)$$

$$W = 7.056 \;\; cm$$

จากการคำนวณขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ได้ขนาดแต่ละเซลล์เป็น 7.056 x 7.056 ตารางเซนติเมตร ใช้เซลล์ทั้งหมดจำนวน 2 x 2 เซลล์ เพื่อให้ครอบคลุมของสายอากาศทั้งหมด โครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองแสดงดังภาพที่ 4.3 และขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.2



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.3 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (ก) ด้านบน (ข) ภาพตัดขวาง

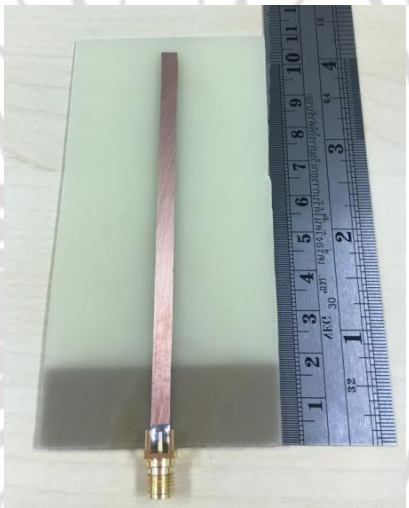
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 4.2 ขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ขนาด (เซนติเมตร)	W	g	h
	70	0.1	1.4

4.1.3 สายอากาศต้นแบบ

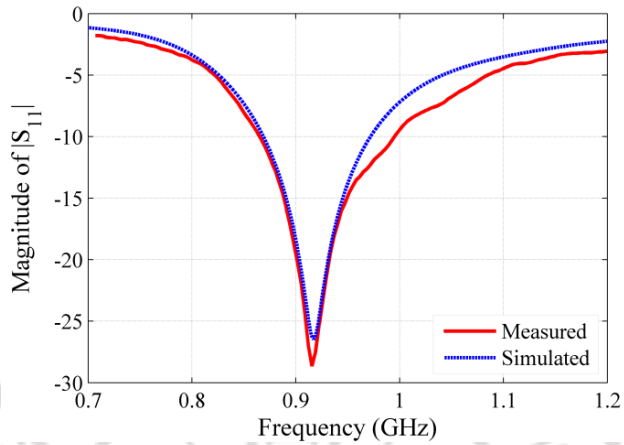
ขนาดของสายอากาศที่ได้จากการจำลองการทำงาน นำมาสร้างสายอากาศต้นแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 โดยสร้างสายอากาศทั้งหมด 2 ตัว เพื่อใช้ติดตั้งในระบบที่ภาคส่งและภาครับ ลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 สายอากาศต้นแบบ

จากนั้นนำสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นทั้ง 2 ตัว มาทำการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศโดยการวัดค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) เพื่อทดสอบย่านความถี่ทำงานของสายอากาศต้นแบบ ผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงดังภาพที่ 4.5

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



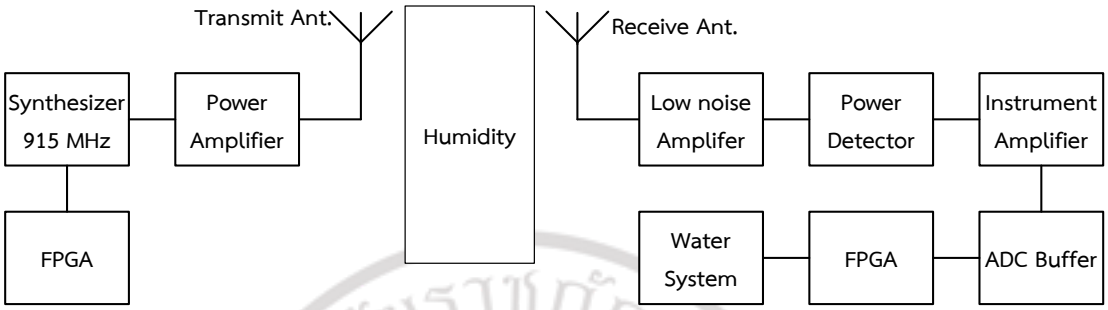
ภาพที่ 4.5 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

จากผลการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองพบว่าสายอากาศต้นแบบสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ค่า $|S_{11}|$ ที่ได้จากการวัดจริงของสายอากาศต้นแบบมีค่าสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับที่ได้จากการจำลอง แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 การพัฒนาระบบ

ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดประกอบด้วยภาครับและภาคส่ง ซึ่งทำงานสัมพันธ์กัน โดยภาคส่งมีหน้าที่สร้างคลื่นความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ แล้วทำการขยายกำลังงานของสัญญาณก่อนส่งผ่านสายอากาศทางภาคส่งออกไป เมื่อคลื่นเดินทางผ่านอากาศภายในโรงเรือนเพาะเห็ดซึ่งมีไอน้ำในอากาศไปถึงภาครับ สายอากาศรับจะรับคลื่นความถี่แล้วแปลงคลื่นความถี่ที่รับได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปประมวลผลที่ส่วนควบคุมโดยค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับได้เปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Threshold) ของระดับความชื้นที่เหมาะสมกับการเปิดดอกเห็ดนางฟ้าตั้งค่าไว้ หากความชื้นที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าความชื้นที่กำหนดไว้ จะควบคุมให้ระบบจ่ายน้ำทำงานฉีดพ่นละอองน้ำภายใน-ภายนอกโรงเรือนเพื่อปรับความชื้นภายในโรงเรือนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม แผนผังการทำงานของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดดังภาพที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.6 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ด

4.2.1 ระบบต้นแบบ

ภาคส่งและภาครับของระบบควบคุมความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบที่สร้างขึ้นในงานวิจัยประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ดังนี้

1) อุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์

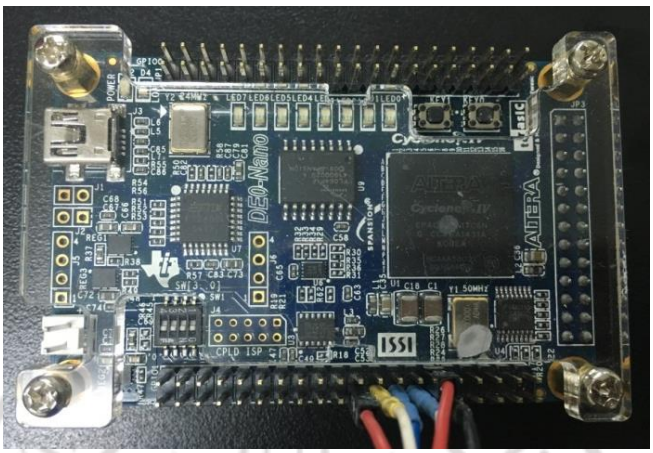
อุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่ (Frequency synthesizer) รุ่น LMX2531 ของบริษัท Texas Instrument ประกอบด้วย VCO และเฟสล็อคลูป สามารถสังเคราะห์ความถี่ได้ตั้งแต่ 35 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 4.4 กิกะเฮิรตซ์ ทำงานในช่วงแรงดัน 2.8 ถึง 3.2 โวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ อุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่นี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณต่อเนื่องความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ลักษณะของอุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่ แสดงดังภาพที่ 4.7

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

ภาพที่ 4.7 อุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์

2) อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้

อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ (Field programmable gate array: FPGA) ที่อยู่ในภาคส่งทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์สร้างสัญญาณให้สร้างเฉพาะสัญญาณความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ รุ่น DEO-Nano EP4CE22F17C6N (Altera, 2009) ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ รุ่น DEO-Nano EP4CE22F17C6N

อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้จะถูกติดตั้งอยู่ที่ภาครับเช่นกัน โดยในภาครับอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ทำหน้าที่ประมวลผลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้ และควบคุมระบบจ่ายน้ำให้ทำงานฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อปรับความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติ

3) วงจรขยายกำลังงาน

วงจรขยายกำลังงาน (Power amplifier) ติดตั้งอยู่ที่ภาคส่งทำหน้าที่ขยายกำลังงานของสัญญาณความถี่ที่สร้างมาจากอุปกรณ์สร้างสัญญาณความถี่เพื่อให้มีกำลังงานสูงขึ้นก่อนที่จะถูกส่งผ่านสายอากาศส่งออกไป เนื่องจากภาคส่งและภาครับอยู่ไกลกัน และเดินทางผ่านอากาศที่มีไอน้ำทำให้สัญญาณเกิดการลดทอน ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณมีกำลังงานมากพอที่ภาครับจะรับสัญญาณได้จึงต้องทำการขยายกำลังงานของสัญญาณก่อนส่งผ่านสายอากาศออกไป

4) อุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifiers) รุ่น MAX2641 ติดตั้งอยู่ที่ภาครับ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและกรองสัญญาณรบกวนจากคลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับจากสายอากาศรับ ก่อนส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน

5) อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน

อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน (RF power detector) ติดตั้งอยู่ที่ภาครับ ทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนต่ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ รุ่น MAX4003 ซึ่งสามารถรับสัญญาณอินพุตได้ในช่วง -45 ถึง 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) และให้สัญญาณเอาต์พุตอยู่ในช่วงกว้าง 0.8 ถึง 1.2 โวลต์

6) วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนท์

วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนท์ (Instrument amplifier) ติดตั้งอยู่ที่ภาครับทำหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่ต้องการจากอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานให้กว้างขึ้นเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างชัดเจน การทำงานของวงจรขยายนี้คือ เมื่อรับสัญญาณต่ำสุดเข้ามาแล้วสัญญาณจะถูกลดให้เป็น 0 โวลต์ และเมื่อแรงดันขาเข้าเพิ่มขึ้น แรงดันขาออกจะถูกขยาย

อย่างเป็นเชิงเส้น และเมื่อถึงค่าสูงของแรงดันขาเข้าสูงสุดที่ต้องการแรงดันขาออกถูกขยายสูงสุดคือ 5 โวลต์

7) วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (ADC Buffer) ก่อนนำสัญญาณเข้าสู่อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ต่อไป ติดตั้งอยู่ที่ภาครับ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรบัฟเฟอร์ รุ่น MAX4475 ซึ่งมีสัญญาณรบกวนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำ

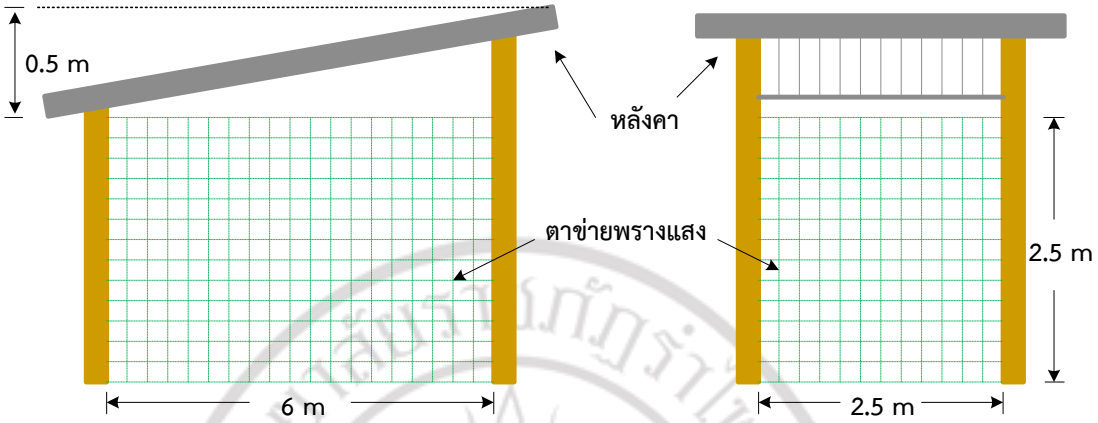
นำอุปกรณ์ดังที่กล่าวมาข้างต้นมาเชื่อมต่อกันเป็นระบบที่เสร็จสมบูรณ์ บรรจุลงในกล่องอเนกประสงค์ และเพิ่มพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ขยายกำลังงาน ดังภาพที่ 4.9 (ก) คือส่วนของกล่องบรรจุอุปกรณ์ภาคส่งอยู่ภายใน และภาพที่ 4.9 (ข) คือส่วนด้านหน้าที่ติดตั้งสายอากาศ

ภาพที่ 4.9 ระบบต้นแบบ (ก) กล่องบรรจุอุปกรณ์ (ข) ส่วนติดตั้งสายอากาศ

4.2.2 โรงเรือนเห็ดต้นแบบ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในโรงเรือนเห็ดต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยออกแบบให้โรงเรือนสามารถบรรจุก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าภูฐานได้จำนวน 1,000 ก้อน โรงเรือนเห็ดต้นแบบมีขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.5 เมตร ล้อมรอบโรงเรือนด้วยซาแลนทึบ มีประตูด้านหน้าสำหรับเข้าออกภายในโรงเรือน ลักษณะโครงสร้างของโรงเรือนต้นแบบที่ออกแบบแสดงดังภาพที่ 4.10

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.10 การออกแบบขนาดโรงเรือนเห็ด (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า

เมื่อออกแบบโครงสร้างของโรงเรือนเห็ดต้นแบบสำหรับใช้ในการทดลองแล้ว ทำการสร้างโรงเรือนเห็ดต้นแบบ โดยส่วนของโครงสร้างทำมาจากเหล็ก หลังคามุงด้วยกระเบื้อง และโรงเรือนถูกคลุมด้วยตาข่ายซาแลนทึบสีดำที่ความเข้มแสง 70% โรงเรือนเห็ดต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 4.11

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างของโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภายในโรงเรือนประกอบด้วยชั้นสำหรับวางก้อนเห็ดทั้งหมด 1,000 ก้อน ซึ่งสร้างจากไม้ไผ่ จำนวน 2 ชั้น ชั้นที่ 1 สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร สำหรับวางก้อนเห็ดซ้อนกันจำนวน 7 ชั้น ระยะห่างระหว่างชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 คือ 60 เซนติเมตร วางก้อนเห็ดซ้อนกันจำนวน 6 ชั้น วางอยู่ทั้ง 3 ด้านของโรงเรือน เว้นทางด้านหน้าไว้ซึ่งเป็นประตูเข้าออก ลักษณะชั้นวางเห็ดที่สร้างขึ้นเมื่อวางก้อนเห็ดจำนวน 1,000 ก้อนเรียบร้อยก่อนทำการเปิดดอกแสดงดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12 ชั้นวางเห็ด

การปรับความชื้นภายในโรงเรือนเห็ดใช้ระบบฉีดพ่นละอองน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระบบพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนสำหรับปรับค่าความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด และระบบฉีดพ่นละอองน้ำบนหลังคาโรงเรือนสำหรับเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิโดยรอบโรงเรือน ระบบฉีดพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนประกอบด้วยหัวฉีดน้ำแบบสปริงเกอร์ติดตั้งอยู่ทั้ง 4 จุด ของเพดานหลังคาโรงเรือน ดังภาพที่ 4.13 (ก) ระบบฉีดพ่นละอองน้ำบนหลังคาสร้างจากหัวฉีดน้ำแบบสปริงเกอร์เช่นเดียวกับภายในโรงเรือน ติดตั้งอยู่ 2 จุดบนหลังคาโรงเรือนดังภาพที่ 4.13 (ข)

ลิขสิทธิ์ของ ...รรณี

ภาพที่ 4.13 (ก) การติดตั้งระบบฉีดพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนเห็ด

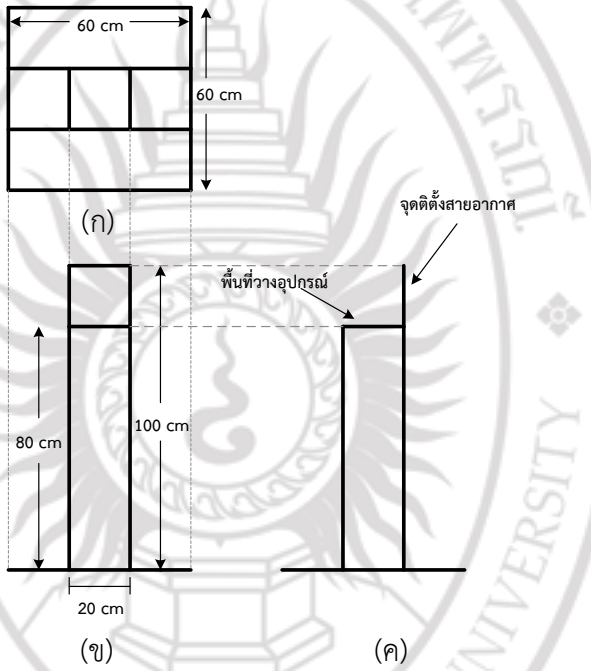
ภาพที่ 4.13 (ข) การติดตั้งสปริงเกอร์บนหลังคาโรงเรือนเพาะเห็ดของระบบฉีดพ่นละอองน้ำ

ส่วนของการควบคุมระบบจ่ายน้ำใช้อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้จะเชื่อมต่ออยู่กับวาล์วน้ำไฟฟ้าหรือโซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดระบบฉีดพ่นละอองน้ำ เพื่อปรับความชื้นภายในโรงเรือน ในกรณีที่ความชื้นต่ำกว่าระดับอ้างอิงที่กำหนดไว้ลักษณะโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบสำหรับทำการทดลองที่สร้างเสร็จแล้วแสดงดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14 โรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์

4.2.3 การติดตั้งระบบ

หลังจากสร้างระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติและโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบสำหรับการทดลองเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งระบบที่สร้างขึ้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด โดยให้อุปกรณ์ภาคส่งและภาครับติดตั้งอยู่ด้านหน้าและด้านหลังของโรงเรือนเพาะเห็ดตามนาวยาวของโรงเรือน ดังนั้นภาครับและภาคส่งจะอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 6 เมตร กล่องบรรจุระบบถูกนำมาวางไว้บนฐานวางอุปกรณ์ ซึ่งถูกออกแบบให้สายอากาศอยู่สูงจากพื้น 1 เมตร เพื่อให้คลื่นถูกส่งผ่านอากาศที่อยู่บริเวณหน้าก้อนเห็ดนางฟ้า โครงสร้างของฐานวางอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 โครงสร้างของฐานวางอุปกรณ์ (ก) ด้านบน (ข) ด้านหน้า (ค) ด้านข้าง

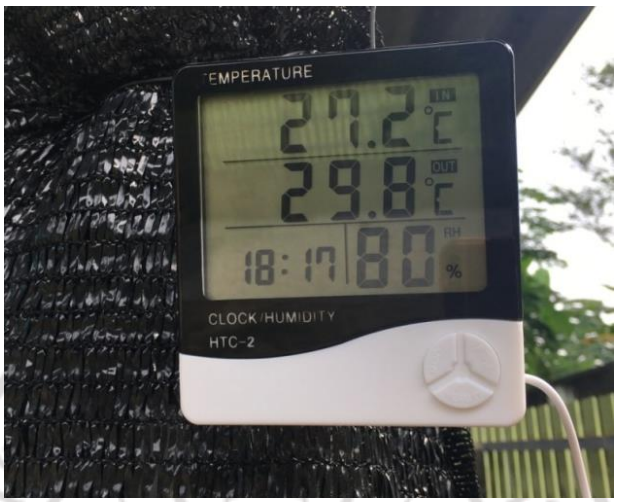
นำโครงสร้างที่ออกไว้ไปสร้างเป็นฐานวางอุปกรณ์ด้วยท่อพีวีซีขนาด ½ นิ้ว และติดตั้งกล่องอเนกประสงค์บรรจุอุปกรณ์บนพื้นที่สำหรับวางกล่องอุปกรณ์ และติดตั้งสายอากาศ ฐานวางอุปกรณ์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วแสดงดังภาพที่ 4.16

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 4.16 ฐานวางอุปกรณ์สำหรับภาคส่ง

4.3 ผลการทดสอบระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติเป็นการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ ดังนั้นการทดสอบจึงกระทำในวันที่มีสภาพอากาศใกล้เคียงกันคืออากาศปลอดโปร่งและไม่มีฝน โดยงานวิจัยนี้ทำการทดสอบในพื้นที่ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นช่วงที่ฝนเริ่มตกลดลง และมีแดดมากขึ้น ดังนั้นความชื้นในอากาศจึงลดลงในช่วงกลางวันโดยเฉพาะช่วงเที่ยง การทดสอบระบบเริ่มด้วยการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับได้จากภาครับที่ระดับความชื้นในอากาศมีค่าตั้งแต่ 50% - 80% ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่ครอบคลุมช่วงความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ดนางฟ้า การปรับความชื้นภายในโรงเรือนตั้งแต่ 50% - 80% เพื่อเก็บผลการทดลองนั้นใช้การฉีดพ่นละอองน้ำ การเก็บผลค่าความชื้นใช้เครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐานรุ่น HTC-2 (Mym instrument, n.d.) โดยเครื่องมือวัดความชื้นที่ใช้แสดงดังภาพที่ 4.17 นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อความชื้นในการอากาศอยู่ในช่วง 70% - 80% ไปใช้ในการตั้งค่าเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงให้กับระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติ สำหรับสร้างส่วนควบคุมระบบฉีดพ่นละอองน้ำต่อไป จากนั้นเมื่อสร้างส่วนควบคุมระบบเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดสอบการทำงานของระบบให้สามารถควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 70% - 80% ได้ตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 4.17 เครื่องวัดความชื้น

4.3.1 ระดับความชื้นอ้างอิง

การทดสอบระบบเริ่มทำงานของภาคส่งสร้างสัญญาณความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ สัญญาณมีกำลังส่ง 30 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ผ่านอากาศที่มีระดับความชื้นตั้งแต่ 50% - 80% เพิ่มขึ้นทีละ 10% ในโรงเรือนเพาะเห็ดซึ่งภาครับและภาครับอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 6 เมตร วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ภาครับจากวงจรบัฟเฟอร์แอนะล็อคจำนวน 10 ครั้ง การทดสอบการพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศลดลง ความแตกต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละระดับความชื้นในอากาศคือ 0.01 โวลต์ ซึ่งค่าความแตกต่างที่ได้สามารถแยกความชื้นได้ชัดเจน เนื่องจากระบบการวัดที่สร้างขึ้นสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้คงที่ตลอดเวลาที่ภาครับส่งสัญญาณ ทำให้สามารถแยกระดับความแตกต่างได้แม้ค่าความแตกต่างจะมีค่าไม่สูงมากนักค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่รับได้เมื่อผ่านอากาศที่มีความชื้นแต่ละระดับ

ระดับความชื้น (%Rh)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
50	2.14
60	2.13
70	2.12
80	2.11

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ระดับความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าภูฐาน คือ 70%-80% ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 2.11-2.12 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงเพื่อใช้ตั้งค่าในระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติ

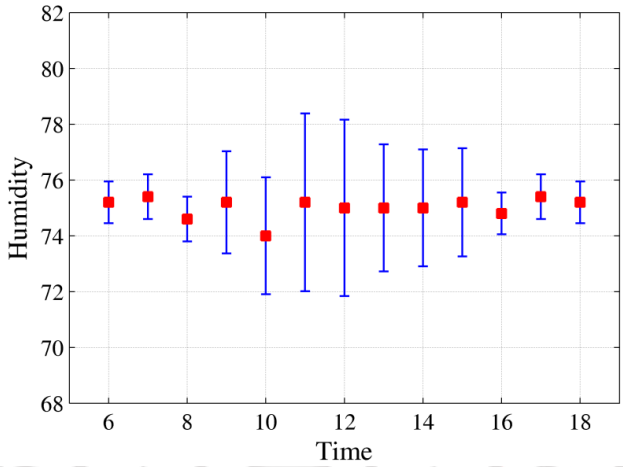
4.3.2 ผลการควบคุมความชื้นในโรงเรือนเห็ด

การทดสอบผลการควบคุมความชื้นของระบบจะทำการติดตั้งระบบที่สร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์แล้วภายในโรงเรือนเพาะเห็ดต้นแบบ หลังจากระบบเริ่มทำงานเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ทำการวัดค่าความชื้นภายในโรงเรือนด้วยเครื่องวัดความชื้นมาตรฐานทุกชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น. บันทึกค่าที่วัดได้ ซึ่งในการควบคุมการฉีดพ่นละอองน้ำจะควบคุมฉีดเป็นเวลา 2 นาทีต่อครั้ง และพักอีก 20 นาทีก่อนที่ระบบจะทำการวัดค่าความชื้นอีกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนเห็ดได้รับน้ำมากเกินไป ซึ่งอาจนำมาสู่ปัญหาน้ำขังในก้อนเห็ดและก้อนเห็ดเน่าได้ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลาของทั้ง 5 วัน แสดงดังตารางที่ 4.4 และค่าอุณหภูมิและความชื้นของแต่ละวันแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลาของทั้ง 5 วัน

เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%Rh)
6.00	25.4	**75.2**
7.00	26.6	**75.4**
8.00	27	**74.6**
9.00	28.8	**75.2**
10.00	29.8	**74**
11.00	30.8	**75.2**
12.00	30.8	**75**
13.00	31	**75**
14.00	24.8	**75**
15.00	29.2	**75.2**
16.00	28.8	**74.8**
17.00	28	**75.4**
18.00	27	**75.2**

ผลการวัดค่าความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดพบว่า ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 70% ถึง 80% ตลอดเวลา ซึ่งค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ตลอดทั้งวันมีค่าอยู่ในช่วง 74% - 75.4% นำค่าความชื้นที่วัดได้ทั้ง 5 วันภายในโรงเรือนเพาะเห็ดมาวาดกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงการกระจายของกลุ่มข้อมูลค่าความชื้นที่วัดได้ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ผลการวัดค่าความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด

จากกราฟในภาพที่ 4.18 จะเห็นว่าข้อมูลความชื้นที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลาของวันมีการกระจายของกลุ่มข้อมูลแตกต่างกันโดยในช่วงเช้าและช่วงเย็นค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงกลางวันค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันมากขึ้น เนื่องมาจากสภาพอากาศในช่วงกลางวันมีอุณหภูมิสูง ส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ในระบบเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่ากำลังงานของสัญญาณที่ส่งผ่านจากสัญญาณการรบกวนจากอุณหภูมิ (Thermal noise) ขึ้นได้ แต่ทั้งนี้ค่าความชื้นสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในช่วงกลางวันยังคงอยู่ในช่วงความชื้นที่เหมาะสม ผลการทดสอบการควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าได้ตลอดเวลาคือ 70% - 80% เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงในช่วงกลางวันทำให้เกิด ซึ่งมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ

4.4 สรุปผล

ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยภาคส่งและภาครับทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณด้วยสายอากาศโมโนโพลซึ่งออกแบบให้ทำงานร่วมกับโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ โดยที่ภาคส่งและภาครับติดตั้งอยู่คนละฝั่งของตามแนวยาวของโรงเรือน การทดสอบระบบกระทำภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.5 เมตร การทำงานของระบบเริ่มด้วยภาคส่งสร้างสัญญาณความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ จากนั้นทำการขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายกำลังงานก่อนส่งผ่านสายอากาศส่ง สัญญาณเดินผ่านอากาศภายในโรงเรือนเพาะเห็ดไปยังสายอากาศรับ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรับถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและผ่านเข้าสู่วงจรขยายก่อนเข้าสู่ระบบควบคุมเพื่อประมวลผลและตัดสินใจการปรับความชื้นด้วยระบบฉีดพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนต่อไป ระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ตั้งค่าในส่วนควบคุมเป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบส่งสัญญาณผ่านอากาศภายในโรงเรือนเพาะเห็ดที่ระดับความชื้นตั้งแต่ 50% - 80% ปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 10% แล้วจึงวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ภาครับ ผลที่ได้พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า

ที่แสดงถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเปิดดอกเห็ดนางฟ้าคือ 70% - 80% นั้นมีค่า 2.11-2.12 โวลต์ ซึ่งค่านี้ถูกนำไปประมวลผลและใช้เป็นค่าอ้างอิงในส่วนควบคุมเพื่อตัดสินใจให้ระบบฉีดพ่นละอองน้ำทำงาน ดังนั้นหากระดับสัญญาณที่รับได้มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิงระบบฉีดพ่นละอองน้ำจะทำงาน ผลการทดสอบการควบคุมความชื้นในโรงเรือนทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 18.00 น. พบว่าค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ตลอดทั้งวันมีค่าอยู่ในช่วง 74% - 75.4% ซึ่งอยู่ในช่วงของความชื้นที่เหมาะสมต่อการเปิดดอกเห็ดนางฟ้าคือ 70% - 80%

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี