



# การประยุกต์ใช้งานสายอากาศโมโนโพลสำหรับระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติ ในโรงเรือนเพาะเห็ด ประพันธ์ ลีกุล\* และพรพิมล ฉายแสง

## The Monopole Antenna for Automatic Humidity Control System Applications in Mushroom Growing Houses

Prapan Leekul\* and Pornpimon Chaisaeng

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000  
Department of Telecommunication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat  
University, Chanthaburi, 22000, Thailand.

\* Corresponding author. E-mail address: prapan.l@rbru.ac.th

Received: 2 May 2017; Accepted: 15 June 2017

### บทคัดย่อ

ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติภายในโรงเรือนเพาะเห็ดใช้การวัดความชื้นจากการรับและส่งคลื่นความถี่ด้วยสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 วิเคราะห์ความแตกต่างของกำลังงานจากคลื่นเดินทางผ่านอากาศที่มีความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด สำหรับตัดสินใจให้ระบบทำการฉีดพ่นละอองน้ำให้กับโรงเรือน เพื่อให้ความชื้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าตลอดเวลา ระบบควบคุมความชื้นที่สร้างขึ้นทำงานที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ประกอบด้วยภาคส่งและภาครับติดตั้งอยู่ตรงข้ามกันตามแนวยาวของโรงเรือนต้นแบบ ภาคส่งสร้างจากอุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่ที่ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ สัญญาณความถี่ที่สร้างขึ้นถูกขยายด้วยวงจรขยายกำลังงานและส่งผ่านสายอากาศ ภาครับแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและขยายให้ข้อมูลชัดเจนก่อนประมวลผลและตัดสินใจปรับความชื้นให้เหมาะสมสำหรับเห็ดนางฟ้าคือ 70% - 80% ผลการทดสอบควบคุมความชื้นในโรงเรือนจากระบบที่สร้างขึ้นตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. พบว่าค่าความชื้นอยู่ในช่วง 74.9% - 77.5% ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

คำสำคัญ: เซนเซอร์ไมโครเวฟ สายอากาศโมโนโพล ควบคุมความชื้น เห็ดนางฟ้า

### Abstract

This paper presents an automatic humidity control system in Sajor-caju mushroom growing house by using the transmitted and received RF signal from rectangular monopole antennas which are fabricated on FR4 substrate printed circuit board. An analysis of power variation from a travelling wave of the humid air in the mushroom growing house is used to control a water spray system to keep the humidity for the Sajor-caju mushroom. The built-in humidity control system operates at a frequency of 915 MHz, consisting of the transmitter and receivers. Both of antennas are installed across the length of the mushroom growing house. The transmission part is a synthesizer controlled by a field programmable logic gate array. The signal is amplified by power amplifier before sending to the transmitting antenna. At the receiver, the electromagnetic wave is converted to DC voltage and then it is amplified in order to use as the utilize data of the water spray in mushroom growing house. The DC voltages from humidity level of 70% - 80% are determined as a threshold value for the decision. The experiment of the humidity control of the mushroom growing house was tested from 6 am to 6 pm. From the measured results, it is showed that the humidity has the range from 74.9% to 77.5%, which is in the range of the appropriate humidity for the mushroom growing house.

Keywords: Microwave sensor, Monopole antenna, Humidity control, Sajor-caju mushroom



## บทนำ

การบริโภคเห็ดภายในประเทศปัจจุบันโดยเฉลี่ยคนไทยบริโภคเห็ดเป็นจำนวน 10 กิโลกรัมต่อคนต่อปี รวมถึงการนำเห็ดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมทำให้มีมูลค่าโดยรวมกว่า 3 หมื่นล้านบาท (Learn & rich, 2012) โดยเฉพาะเห็ดนางฟ้ามีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของตลาดสูงขึ้น รวมถึงมูลค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี (Koprakhon, 2016) ดังนั้นจึงมีผู้สนใจเพาะเห็ดนางฟ้ากันมากขึ้นส่งผลให้การเพิ่มปริมาณผลผลิตจึงเป็นสิ่งสำคัญซึ่งปกติการเพิ่มผลผลิตทำได้ด้วยการปรับความชื้นในโรงเรือนให้เหมาะสมกับความต้องการของเห็ด โดยอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ในการสังเกตสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ด ทำให้ความชื้นไม่แม่นยำและใช้เวลาในการตรวจสอบสภาพอากาศตลอดทั้งวัน ส่งผลให้ผู้เริ่มต้นเพาะเห็ดเพื่อจำหน่ายมีทักษะไม่เพียงพอ จึงมีการพัฒนาการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติเช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นสำเร็จรูป การควบคุมการทำงานของระบบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ระบบปรับความชื้นแบบอัตโนมัติ (Paka, WongYai, & Thomya, 2014) การพัฒนาระบบระบายอากาศคู่กับการติดตั้งระบบควบคุมสภาพอากาศแบบอัตโนมัติ (Chotinan, 2012) ซึ่งในระบบควบคุมสภาพอากาศที่มีการวิจัยผ่านมานั้นได้ตรวจวัดความชื้นเพียงบางส่วนของโรงเรือน เมื่อนำไปใช้ในโรงเรือนขนาดใหญ่ทำให้การตรวจวัดทำได้ไม่ครอบคลุมทั้งโรงเรือน รวมถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปทั้งหมดจึงมีต้นทุนสูง

คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าเฉพาะของแต่ละวัสดุที่ประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity) และความซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพันธ์รูปแบบเชิงซ้อน คือ  $\epsilon_r = \epsilon_r' - \epsilon_r''$  ซึ่ง  $\epsilon_r'$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) เป็นค่าการเก็บสะสมพลังงานของสนามไฟฟ้าของวัสดุ และ  $\epsilon_r''$  คือตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric loss factor) เป็นค่าการเปลี่ยนพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นความร้อนของวัสดุ (Hippel, 1954) ดังนั้นคลื่นที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะเกิดการลดทอนของ

คลื่นมากกว่าตัวกลางที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ เนื่องจากเกิดการเก็บสะสมพลังงานของสนามไฟฟ้ามากกว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของอากาศและน้ำที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าเป็น 1 และ 78.9 ตามลำดับ (Ikediala, Hansen, Tang, Drake, & Wang, 2002) ดังนั้นเมื่ออากาศมีความชื้นสูงจึงเกิดการลดทอนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์แต่ละระดับคือ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 70% มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อยู่  $4.06 \times 10^{-5}$  (Choi & Kim, 2013) และจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อสร้างเซนเซอร์ตรวจสอบความสูงของผลปาล์มน้ำมันจากคุณสมบัติไดอิเล็กทริกในช่วงความถี่ 1 ถึง 5 กิกะเฮิร์ตซ์ (Yeow, Abbas, & Khalid, 2010) และการคัดแยกรสชาติส้มหวานจากความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้เทคนิคอวกาศว่าง (Free space technique) ที่ให้ความแม่นยำในการคัดแยกถึง 95.47% (Leekul, Chivapreecha, & Krairiksh, 2016) จึงเห็นได้ว่าระบบเซนเซอร์ไมโครเวฟมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุต่างๆ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบเซนเซอร์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า โดยประยุกต์ใช้เทคนิคอวกาศว่างสำหรับการพัฒนาระบบ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการวัดในพื้นที่เปิด ดังนั้นจึงเหมาะกับการวัดความชื้นในโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่ ระบบเซนเซอร์ถูกออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากความถี่นี้เป็นคลื่นความถี่สาธารณะซึ่งมีอุปกรณ์ที่ออกแบบมารองรับการใช้งานหลากหลายและความถี่ไม่สูงมากทำให้ราคาไม่แพง รวมถึงไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณเครือข่ายไร้สาย (Wifi) ระบบควบคุมความชื้นจะทำงานโดยสร้างคลื่นความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ เดินทางผ่านอากาศภายในโรงเรือนไปยังภาครับ ค่ากำลังงานของคลื่นความถี่ที่วัดได้ถูกนำมาประมวลผลเพื่อระบุความชื้นภายในโรงเรือน การประมวลผลของระบบได้ใช้เปรียบเทียบค่าความชื้นที่วัดได้กับค่าความชื้นอ้างอิงเพื่อตัดสินใจ และควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเพาะเห็ดนางฟ้าคือ อยู่ในช่วง 70% - 80% ตลอดเวลา

เนื้อหาประกอบด้วยทฤษฎีการออกแบบและพัฒนาสายอากาศโมโนโพลตันแบบความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ แผนผังการทำงานของระบบควบคุมความชื้นรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละส่วน สร้างเป็นระบบต้นแบบสำหรับติดตั้งในโรงเรือนเพาะเห็ด ทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระดับความชื้นที่ 75% เพื่อใช้เป็นค่าระดับอ้างอิงสำหรับประมวลผล ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติ

### การพัฒนาสายอากาศและระบบ

#### 1. การพัฒนาสายอากาศ

สายอากาศที่ใช้งานในระบบควบคุมความชื้นเป็นสายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีข้อดีคือ ขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่เล็กประมาณ 1 ใน 4 ของความยาวคลื่น สร้างได้ง่าย และสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ส่วนแพร่กระจายคลื่นจะวางอยู่บนระนาบกราวด์เสมือน กันด้วยวัสดุฐานรอง (Khan, Azim, & Islam, 2014) การออกแบบสายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์รูปสี่เหลี่ยม เริ่มจากกำหนดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (Dielectric substrate:  $\epsilon_r$ ) ที่นำมาใช้สร้างสายอากาศ กำหนดความถี่ทำงาน ( $f_r$ ) และความหนาของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) ซึ่งสามารถคำนวณความกว้าง ( $W$ ) และความยาว ( $L$ ) ของแพทช์เบื้องต้นได้จากสมการที่ (1) - (2) (Balanis, 2005)

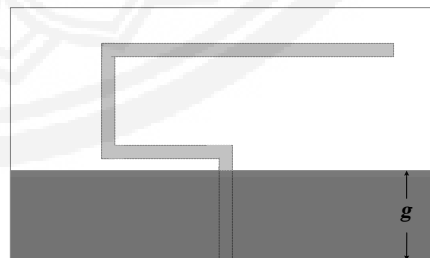
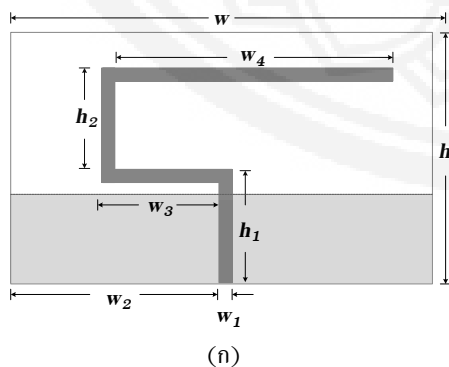
$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (1)$$

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

เมื่อ  $\epsilon_0$  และ  $\mu_0$  คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าซึมซาบแม่เหล็กของสุญญากาศ ตามลำดับ

โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์สำหรับระบบควบคุมความชื้นพัฒนามาจากเทคนิคการสร้างส่วนแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบชดวน เพื่อเป็นการลดขนาดของสายอากาศ (Marrocco, 2003). โดยกำหนดให้ความถี่ทำงานคือ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ สร้างด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 ซึ่งมีค่าคงที่

ไดอิเล็กตริก 4.1 และหนา 1.414 มิลลิเมตร ขนาดของสายอากาศจากการคำนวณถูกใช้เป็นขนาดเบื้องต้นเพื่อจำลองการทำงานในโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อปรับขนาดของสายอากาศให้ทำงานได้ดีที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ โครงสร้างด้านหน้าของสายอากาศเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 1 (ก) และด้านหลังในรูปที่ 1 (ข)

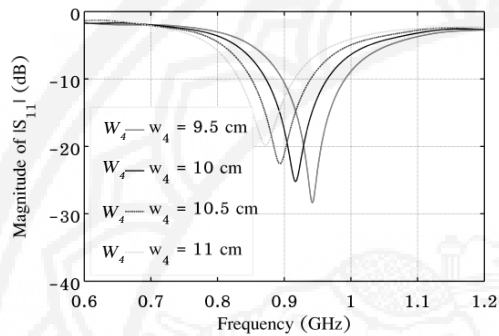


รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

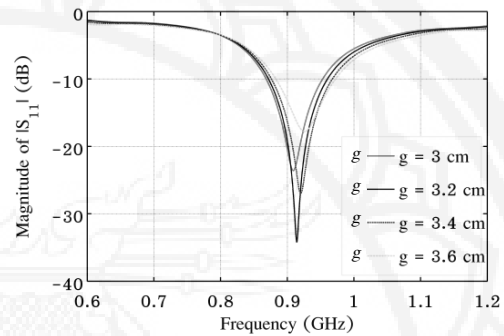


จำลองการปรับขนาดสายอากาศ ( $w_4$ ) เพื่อให้สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ  $|S_{11}|$  (dB) ต่ำสุดที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยปกติเมื่อความยาวเพิ่มขึ้นความถี่ทำงานจะต่ำลง เนื่องจากความยาวคลื่นแปรผันโดยตรงกับขนาด ผลการจำลองพบว่าที่ความยาว  $w_4$  เท่ากับ 9.5 10 10.5 และ 11 เซนติเมตร ความถี่ทำงานของสายอากาศอยู่ที่ 941 915 897 และ 875 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 2 จึงเห็นได้ว่าที่  $w_4$  ยาว 10 เซนติเมตร สายอากาศทำงานที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ การปรับ

ระยะความสูงของระนาบกราวด์ ( $g$ ) เพื่อหาความสูงที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับต่ำสุด จำลองปรับความสูงของระนาบกราวด์ในช่วง 3.0 3.2 3.4 และ 3.6 เซนติเมตร ผลคือสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ -23.32 -34.69 -21.72 และ -15.16 dBตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความสูงของระนาบกราวด์ 3.2 เซนติเมตร เหมาะสมเนื่องจากค่าพารามิเตอร์  $|S_{11}|$  (dB) ต่ำสุด



รูปที่ 2 ผลการปรับความยาวของสายอากาศ



รูปที่ 3 ผลการปรับความสูงของระนาบกราวด์

เมื่อได้ความยาว  $w_4$  และความสูงของระนาบกราวด์ของสายอากาศ รวมถึงการปรับโครงสร้างทั้งหมด จึงได้

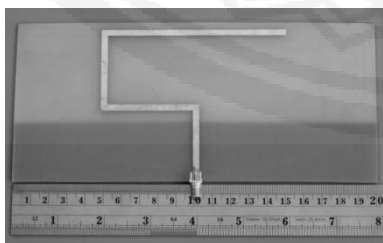
ขนาดที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของสายอากาศ

พารามิเตอร์	$w$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$h$	$h_1$	$h_2$	$g$
ความยาว (cm)	20	0.3	9.9	5.1	10	9	4.4	4.4	3.2

ขั้นตอนต่อมาคือการสร้างสายอากาศต้นแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 ทั้งหมด 2 ตัว สำหรับ

ภาคส่งและภาครับ โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบแสดงในรูปที่ 4 (ก)



(ก)

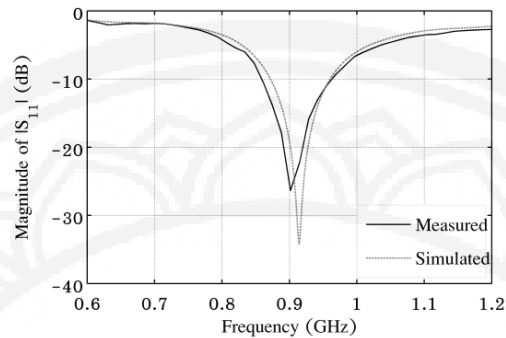


(ข)

รูปที่ 4 สายอากาศต้นแบบ (ก) โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ (ข) การทดสอบสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

การทดสอบสมรรถนะสายอากาศต้นแบบด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Vector network analyzer) Agilent Fieldfox รุ่น N9916A ก่อนการวัดทุกครั้งต้อง ปรับเทียบ (Calibrations) เสมอ ด้วย 3 ขั้นตอนคือ วัดแบบเปิดวงจร วัดแบบปิดวงจร และวัดแบบมีโหลด

โดยปรับเทียบในช่วงความถี่ 600 ถึง 1200 เมกะเฮิร์ตซ์ วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศต้นแบบ เพื่อทดสอบสมรรถนะและช่วงความถี่ทำงานดังแสดง ในรูปที่ 4 (ข)



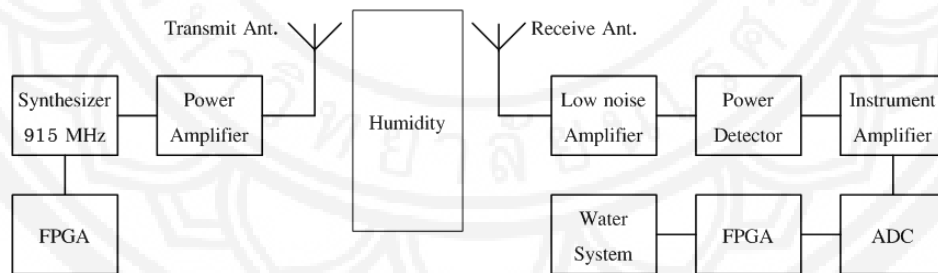
รูปที่ 5 ผลการทดสอบและการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ

การทดสอบพบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ดี ในช่วงความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และเมื่อเปรียบเทียบ ค่าพารามิเตอร์  $S_{11}$  (dB) ที่ได้จากการวัดจริงกับการ จำลองสายอากาศต้นแบบ ผลที่ได้สอดคล้องไปในทิศทาง เดียวกันแสดงดังในรูปที่ 5

## 2. การพัฒนาระบบควบคุมความชื้น

ระบบควบคุมความชื้นที่สร้างขึ้นประกอบด้วย สายอากาศโมโนโพล 2 ตัว อุปกรณ์ขยายกำลังงาน (Power amplifier) อุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่ (Frequency

synthesizer) อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ (Field programmable logic gate array: FPGA) อุปกรณ์ขยาย กำลังงานแบบสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier) อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน (Power detector) วงจรแปลง สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to digital convertor: ADC) อุปกรณ์ทั้งหมดถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อ ควบคุมความชื้นในโรงเรือเพาะเห็ด ภาควงและภาควงรับ ถูกติดตั้งตามแนวยาวของโรงเรือน ดังแผนผังในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังของระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือเพาะเห็ด

## 3. ภาควงสัญญาณ

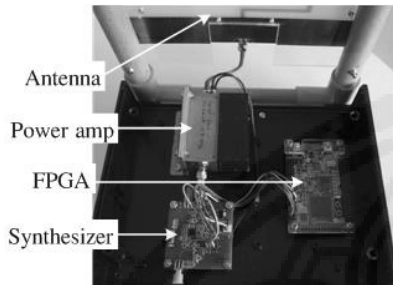
ภาควงของระบบควบคุมความชื้นทำหน้าที่สร้าง คลื่นความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ ด้วยอุปกรณ์สังเคราะห์ ความถี่รุ่น LMX2531 ที่ประกอบด้วย VCO และ เฟสล็อกคูล สามารถสังเคราะห์ความถี่ได้ตั้งแต่ 0.35 ถึง 4.4 กิกะเฮิร์ตซ์ (Texas instruments, 2014) ควบคุม ให้อุปกรณ์สร้างความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และให้กำลังงาน

0 dBm ได้ใช้อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ป้อนสัญญาณ ดิจิทัล 192 บิต ที่ขา DATA ป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา CLK ป้อนสัญญาณควบคุมการโหลดข้อมูลที่ขา LE และ ป้อนสัญญาณควบคุมการปล่อยความถี่ที่ขา CE ของอุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่ อุปกรณ์ลอจิกแบบ โปรแกรมได้ที่ใช้คือ รุ่น Deo-Nano EP4CE22F17C6N ทำงานได้ที่ความเร็วสูงสุด 50 เมกะเฮิร์ตซ์ (Terasic

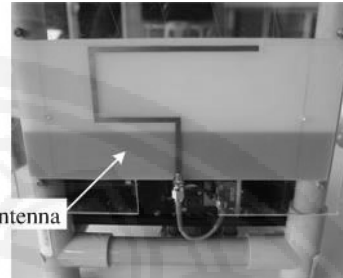


technologies, 2012) ซึ่งเพียงพอต่อการควบคุมอุปกรณ์ สร้างความถี่ จากนั้นคลื่นความถี่ที่สร้างขึ้นจะเดินทางผ่าน อุปกรณ์ขยายกำลังงาน MITEQ รุ่น AMF- 3F-00820096-14-30P (MITEQ, 2005) เพื่อขยายกำลัง

งานก่อนส่งไปยังสายอากาศ ส่วนสุดท้ายของภาคส่งคือ สายอากาศโมโนโพลต้นแบบ ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ ออกอากาศ ภาคส่งสัญญาณของระบบควบคุมความถี่ ต้นแบบแสดงดังในรูปที่ 7



(ก)



(ข)

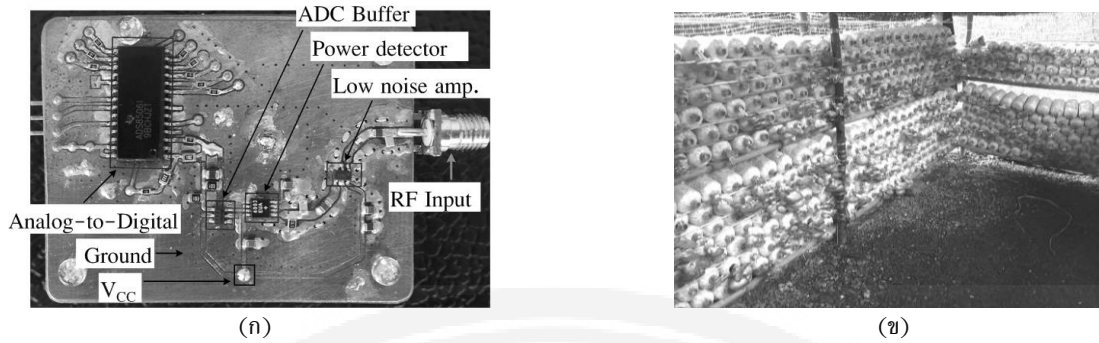
รูปที่ 7 ภาคส่งสัญญาณต้นแบบ (ก) ส่วนติดตั้งอุปกรณ์ภาคส่ง (ข) ส่วนติดตั้งสายอากาศ

#### 4. ภาครับสัญญาณ

ภาครับใช้สายอากาศโมโนโพลรับกำลังงานของ คลื่นความถี่วิทยุ จากนั้นส่งต่อไปที่อุปกรณ์ขยายกำลังงาน แบบมีสัญญาณรบกวนต่ำรุ่น MAX2641 เพื่อขยายกำลัง งานและกรองสัญญาณรบกวนออก อุปกรณ์ขยายขนาด กำลังงานทำการขยายกำลังเพิ่มจากเดิมอีก +13 dBm (Maximintegrated, 2015) จากนั้นกำลังงานของคลื่น ความถี่ถูกส่งไปยังอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานรุ่น MAX4003 ขนาดกำลังงานของคลื่นความถี่จะถูก เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ตรวจจับกำลัง งานจะรับข้อมูลขาเข้าเป็นกำลังของความถี่วิทยุได้ในช่วง - 45 ถึง 0 dBm เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็น ข้อมูลขาออกในช่วง 0.4 ถึง 1.6 โวลต์ (Maximintegrated, 2003) ข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะถูกส่งต่อเข้าสู่วงจรบัฟเฟอร์ MAX4475 หรือวงจรกัน ชนเพื่อ แมทซ์ อิมพีแดนซ์ ระหว่าง 2 อุปกรณ์ และขยายแรงดันเป็น 2 เท่า (Maximintegrated, 2012) จากนั้นข้อมูลที่ถูกลบขยายจะเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณแอนะ- ล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ADS8506 ขนาด 12 บิต

(Texas instruments, 2007) เพื่อเปลี่ยนข้อมูล แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรแปลง สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลถูกออกแบบให้ เหมาะสมกับระดับแรงดันของระบบควบคุมความถี่ต้นแบบ ให้รับข้อมูลขาเข้าในช่วง 0 - 4 โวลต์ และใช้อุปกรณ์ ลอจิกแบบโปรแกรมได้ ควบคุมให้แปลงข้อมูลขาเข้า ในช่วง 0 ถึง 1.999939 โวลต์ เป็นสัญญาณดิจิทัลในช่วง 000000000000 ถึง 011111111111 และในช่วงข้อมูล ขาเข้า 2 ถึง 3.999939 โวลต์ เป็นสัญญาณดิจิทัลในช่วง 100000000000 ถึง 111111111111 ซึ่งจะเห็นว่า สามารถแบ่งระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างละเอียด

โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ที่ลายวงจรถูกออกแบบให้เหมาะสมต่อการทำงาน ที่ความถี่สูง ใช้เทคโนโลยีในการเคลือบรูปเพื่อให้เป็นตัวนำ ไฟฟ้า (Through hole) รวมถึงใช้ระนาบกราวด์ด้านหลัง ของแผ่นวงจร เพื่อให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณความถี่ สูงน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) และโรงเรือนเพาะเห็ด ที่ใช้สำหรับทดสอบในรูปที่ 8 (ข)



รูปที่ 8 (ก) ภาครับสัญญาณต้นแบบ (ข) ภายในโรงเรียนเห็ดทดสอบ

การประมวลผลเพื่อตัดสินใจของระบบควบคุม ความชื้นอัตโนมัติใช้วงจรซึ่งถูกออกแบบด้วยโปรแกรม Quartus II Web Edition v10.1 และติดตั้งลงบนอุปกรณ์ ลอจิกแบบโปรแกรมได้ ทำหน้าที่ประมวลข้อมูลที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าของข้อมูลอ้างอิงที่ตั้งไว้ เพื่อปรับ ความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติจากการฉีด พ่นละอองน้ำ

#### การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบระบบควบคุมความชื้นทำการทดสอบใน

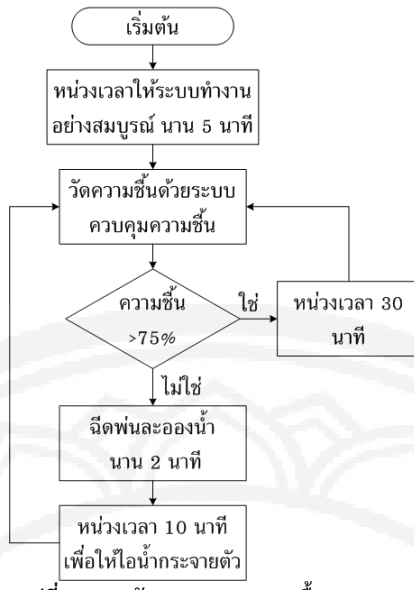
ตารางที่ 2 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับได้เมื่ออากาศมีความชื้นแต่ละระดับ

ระดับความชื้น (%)	65	70	75	80
แรงดันไฟฟ้า (V)	2.125	2.121	2.115	2.112

จากการทดสอบพบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รับได้ เพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศลดลง ค่าความแตกต่าง ของแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละระดับความชื้นมีความละเอียด ต่ำสุดประมาณ 0.003 โวลต์ ซึ่งจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น ADS8506 ขนาด

โรงเรือนเพาะเห็ดขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 6 เมตร และ สูง 2.5 เมตร เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านหรือ  $IS_{2,1}$  (dB) ของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์แต่ละระดับ เริ่มด้วย การทดสอบหาระดับอ้างอิงสำหรับตัดสินใจในการควบคุม ความชื้น โดยปรับระดับความชื้นภายในโรงเรือนจากนั้นจึง วัดระดับความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นรุ่น HTC-2 (Mym instrument, n.d.) ให้มีค่าตั้งแต่ 65% ถึง 80% ปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 5% บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานที่แต่ละระดับความชื้น จำนวน 10 ครั้ง นำมาหาเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2

12 บิต ที่มีสามารถแบ่งระดับของแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า แตกต่างกันถึงทศนิยมลำดับที่ 3 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทความนี้จึงเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ 2.114- 2.117 โวลต์ เพื่อควบคุมให้โรงเรือนเพาะเห็ดมีระดับ ความชื้นอยู่ที่ 75%



รูปที่ 9 แผนผังการควบคุมความชื้นของระบบ

ทำการทดสอบระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในเขตพื้นที่ ต.ท่าช้าง อ.เมือง จ.จันทบุรี ทดสอบวัดความชื้นจำนวน 5 วัน คือวันที่ 5 15 16 19 และ 22 กันยายน พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่ง การควบคุมความชื้นของระบบมีขั้นตอนแสดงดังแผนผังในรูปที่ 9

การวัดค่าความชื้นภายในโรงเรือนหลังจากระบบทำงานเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบด้วยเครื่องวัดความชื้นรุ่น

HTC-2 วัดทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. ของทั้ง 5 วัน จากนั้นนำข้อมูลในแต่ละชั่วโมงของทั้ง 5 วัน มาทำการเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติสามารถปรับความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงที่อุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง

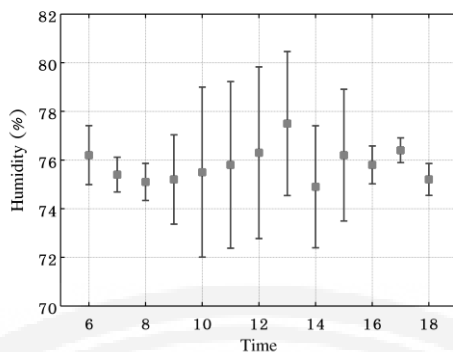
เวลา (น.)	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
อุณหภูมิ (°C)	25.9	26.9	27.5	29.1	30.1	30.8	31.2	32.5	31.8	30.2	29.8	28.5	27.5
ความชื้น (%)	76.2	75.4	75.1	75.2	75.5	75.8	76.3	77.5	74.9	76.2	75.8	76.4	75.2

เมื่ออุณหภูมิเกิน 30 องศาเซลเซียส ความแม่นยำของระบบลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 70% ถึง 80% ตลอดเวลา รวมถึงค่าความชื้นเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของทั้ง 5 วัน ที่วัดได้มีค่าต่ำสุดที่ 74.9% และมีค่าสูงสุดที่ 77.5%

**อภิปรายผลการทดลอง**

ข้อมูลความชื้นที่วัดได้แต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน ช่วงเช้าและช่วงเย็นค่าความชื้นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ช่วงกลางวันค่าความชื้นจะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากสภาพอากาศช่วงกลางวันมีอุณหภูมิสูง จึงเกิดความผิดพลาดในการปรับความชื้นของระบบ เนื่องมาจากสัญญาณรบกวนความร้อน (Thermal noise) ดังแสดงในรูปที่ 10





รูปที่ 10 ความแตกต่างของค่าความชื้นภายในโรงเรือนในแต่ละชั่วโมง

ระบบควบคุมความชื้นมีข้อจำกัดในการทำงานหรืออาจมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ คือ 1) ขนาดกำลังงานของคลื่นความถี่ที่อุปกรณ์ส่งเคราะห์ความถี่สร้างแต่ละครั้ง 2) เสถียรภาพของระบบก่อนตรวจสอบความชื้น 3) อุณหภูมิที่มีผลกับระบบควบคุมความชื้น 4) สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปเมื่อดอกเห็ดบาน ดังนั้นการควบคุมขนาดกำลังงานอุปกรณ์ส่งเคราะห์ความถี่จึงต้องควบคุมให้มีขนาดกำลังงานเท่ากันทุกครั้งเมื่ออุปกรณ์ส่งเคราะห์ความถี่ทำงานระบบควบคุมความชื้นจะยังไม่วัดความชื้นในทันทีเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จึงจะวัดความชื้น การระบายความร้อนให้กับระบบเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากต้องป้องกันสัญญาณรบกวนความร้อน และเมื่อดอกเห็ดมีจำนวนมากควรปรับระดับอ้างอิงเนื่องจากดอกเห็ดทำให้เกิดการลดทอนกำลังงานคลื่นความถี่และส่งผลให้ความชื้นที่วัดได้ผิดพลาด ดังนั้นการชดเชยกำลังงานและทำให้ระบบมีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ระบบควบคุมความชื้นที่สร้างขึ้นสามารถวัดได้อย่างละเอียดเนื่องจากความชื้นมีผลต่อความถี่สูงมากกว่าความถี่ต่ำ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังงานที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ จึงชัดเจนกว่าที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ 12 บิต จึงทำให้แบ่งระดับของกำลังงานที่ส่งผ่านความชื้นได้ละเอียดมากกว่า Choi and Kim (2013) การวัดความชื้นของระบบใช้การวัดแบบส่งผ่านตลอดทั้งความยาวของโรงเรือน ทำให้วัดได้ครอบคลุมพื้นที่ภายในโรงเรือน นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบสร้างขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาถูกทำให้มีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำกว่า Paka et al. (2014)

### สรุปผลการทดลอง

ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติด้วยสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ทำงานที่ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ สายอากาศทั้ง 2 ตัว ติดตั้งอยู่ตรงข้ามกันตามแนวยาวของโรงเรือนเพาะเห็ดมีระยะห่างกัน 6 เมตร ซึ่งถูกใช้เป็นตัวส่งและตัวรับ วัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านหรือ  $IS_{21}$  (dB) ของอากาศที่มีความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดในช่วง 65% ถึง 80% เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสำหรับการตัดสินใจในการควบคุมความชื้น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้อยู่ในช่วง 2.114 ถึง 2.117 โวลต์ ซึ่งจะให้ระดับความชื้นที่ 70% ถึง 80% เหมาะสมต่อการเปิดดอกเห็ดนางฟ้า ทดสอบการปรับความชื้นอัตโนมัติด้วยระบบฉีดพ่นละอองน้ำภายในโรงเรือนเป็นเวลา 5 วัน ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. พบว่าความชื้นที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง 74.9% ถึง 77.5% ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่ยอมรับได้สำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า

### เอกสารอ้างอิง

- Balanis, C. A. (2005). *Antenna theory: analysis and design*. (3rd ed.). New York, USA: John Wiley and Sons.
- Choi, J. M., & Kim, T. W. (2013). Humidity sensor using an air capacitor. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 14(4), 182-186.



- Chotinan, N. (2012). Automation control environment in mushroom growing house. *Phlibai Newsletter Journal*, 15(1), 2-5.
- Hippel, A. V. (1954). *Dielectric materials and applications, the technology*. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Ikediala, J. N., Hansen, J. D., Tang, J., Drake, S. R., & Wang, S. (2002). Development of a saline water immersion technique with RF energy as a postharvest treatment against codling moth in cherries. *Postharvest Biology and Technology*, 24(2), 209-221.
- Khan, N. I., Azim, A., & Islam, S. (2014). Radiation characteristics of a quarter-wave monopole antenna above virtual ground. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(4), 339-342.
- Koprakhon, C. (2016). *The study of investment the Sajor-Caju mushroom* (Master's thesis). Major of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University.
- Learn & rich (2012). mushroom demand "food-drug-beauty". Retrieved from <http://www.prachachat.net>.
- Leekul, P., Chivapreecha, S., & Krairiksh, M. (2016). Microwave sensor for tangerine classification based on coupled-patch antennas. *International Journal of Electronics*, 103(8), 1287-1300.
- Marrocco, G. (2003). Gain-optimized self-resonant meander line antennas for RFID applications. *IEEE Antennas and Wireless propagation letters*, 2(1), 302-305.
- Maximintegrated. (2003). *MAX4003 evaluation kit*. CA, USA: Datasheet.
- Maximintegrated. (2012). *MAX4475 wide-band, low-noise, low-distortion operational amplifiers*. CA, USA: Datasheet.
- Maximintegrated. (2015). *Max2641 300 MHz to 2500 MHz SiGe ultra-low-noise amplifier*. CA, USA: Datasheet.
- MITEQ. (2005) *AMF 3F 00820096 14 30P 1 Amplifier*. New York, USA: Datasheet.
- Mym instrument. (n.d.). *HTC-2 Temperature and humidity meter with probe digital clock hygrometer. Digital thermohygrometer*. Medellín, Colombia: Datasheet.
- Paka, S. WongYai, S. & Thomya, A. (2014). Developing suitable system of temperature and humidity control for mushroom's growth at Baan Tung Bor Paan's mushroom farm, Pongyangkok, Hangchat, Lampang. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 7(1), 58-69.
- Terasic technologies. (2012). *Terasic DEO-Nano. User manual*. Taiwan: Hsinchu.
- Texas instruments. (2007). *12-Bit 40-ksps low power sampling analog-to-digital converter with internal reference and parallel/serial interface*. TX, USA: Datasheet.
- Texas instruments. (2014). *LMX2531 high performance frequency synthesizer system with integrated VCO*. TX, USA: Datasheet.
- Yeow, Y., Abbas, Z., & Khalid, K. (2010). Application of microwave moisture sensor for determination of oil palm fruit ripeness. *Measurement Science Review*, 10(1), 7-14.