

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบระบบเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ด จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด เพื่อเข้าในธรรมชาติการเจริญเติบโตของเห็ดและเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบประมวลผล รวมถึงศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญเพื่อวิเคราะห์แนวทางและความเป็นได้ของงานวิจัย ได้แก่ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งหมายถึงรูปแบบที่แสดงความแรงของคลื่นในทิศทางต่างๆ โดยรอบสายอากาศ ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสูญเสียของคลื่นเมื่อเดินทางผ่านตัวกลาง และปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียของคลื่นเมื่อเดินทางตัวกลางคือคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งอากาศในโรงเรือนเพาะเห็ดมีไอน้ำอยู่ในอากาศมาก ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไดอิเล็กตริก และการสูญเสียของคลื่น โดยแต่ละหัวข้อนี้มีรายละเอียดดังนี้

เห็ดนางฟ้า

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาการเพาะเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านไร่เก่า ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายการพัฒนาของมหาวิทยาลัย คือ จังหวัดจันทบุรี ดังนั้นเห็ดที่เป็นต้นแบบในการวิจัยครั้งนี้ จึงได้เลือกเห็ดที่ทางกลุ่มวิสาหกิจฯ เพาะปลูกมาก เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงเมื่อสิ้นสุดโครงการวิจัย ทั้งนี้ระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถปรับค่าระดับความชื้นอ้างอิงเพื่อใช้กับเห็ดชนิดอื่นได้ เห็ดที่เป็นต้นแบบในการวิจัยนี้จึงเป็นเห็ดนางฟ้า

เห็ดเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นสูงในอาณาจักรเดียวกับเชื้อราและยีสต์ คือ อาณาจักรฟังไจ (Fungi) มนุษย์รู้จักการบริโภคเห็ดมาเป็นเวลานานเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสรรพคุณป้องกันโรค เห็ดแต่ละชนิดมีความต้องการสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยข้อมูลสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญของดอกเห็ดชนิดที่นิยมปลูกในประเทศไทยจากกรมวิชาการเกษตร ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงที่เหมาะสมต่อเห็ดแต่ละชนิด

เห็ดชนิดต่างๆ	อุณหภูมิ (°C)		ระยะที่เจริญเป็นดอกเห็ด	
	ระยะเส้นใย	ระยะดอก	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	แสง
เห็ดนางรม	24-32	20-28	70-80	เล็กน้อย
เห็ดนางฟ้าภูฐาน	24-28	25-32	70-80	เล็กน้อย
เห็ดเป๋าฮื้อ	24-28	28-32	70-90	เล็กน้อย
เห็ดยานางิ	24-26	15-20	75-80	เล็กน้อย

ที่มา: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2557

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดชนิดหนึ่งที่เพาะปลูกมากในประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ดีใน แอบริออนชื้น เห็ดนางฟ้ามีหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งเห็ดนางฟ้าที่ทางกลุ่มผลิตเห็ดเศรษฐกิจครบวงจร ผลิต ได้แก่ เห็ดนางฟ้าภูฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกเห็ดนางฟ้าภูฐาน (*Pleurotus sajor-caju Fr. Sing*) ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.1 เป็นต้นแบบในการวิจัยโดยเลือกระดับความชื้นของโรงเรือนเพาะเห็ด ทดสอบให้เหมาะสมกับเห็ดนางฟ้าภูฐาน



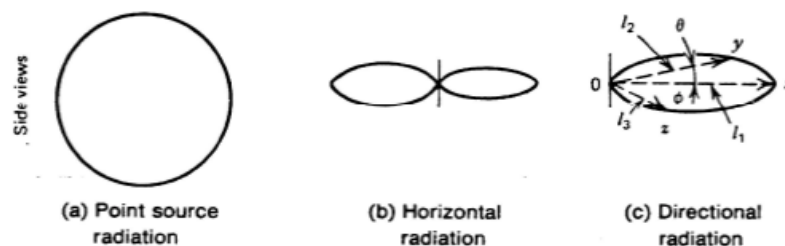
ภาพที่ 2.1 เห็ดนางฟ้าภูฐาน

ที่มา: National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2555

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern) หมายถึง ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ แสดงถึงลักษณะความแรงของสัญญาณที่แพร่กระจายรอบๆ สายอากาศในทุกทิศทาง ตัวแพร่กระจายในอุดมคติ หรือเรียกว่าจุดกำเนิด (Point source) มีลักษณะรูปแบบการแพร่กระจายเป็นรูปทรงกลม ซึ่งหมายความว่า ความเข้มสนามที่ระยะทางเท่าๆ กัน จะมีค่าเท่ากันหมดในทุกทิศทาง ดังภาพที่ 2.2 a สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายทางแนวนอน มีลักษณะรูปร่างเหมือนขนมโดนัทโดยมีสายอากาศเป็นแกนทางแนวตั้ง ดังภาพที่ 2.2 b สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายแคบมากๆ จะเป็นสายอากาศชนิดมีทิศทาง (Directional) แสดงดังภาพที่ 2.2 (กรมสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 138)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



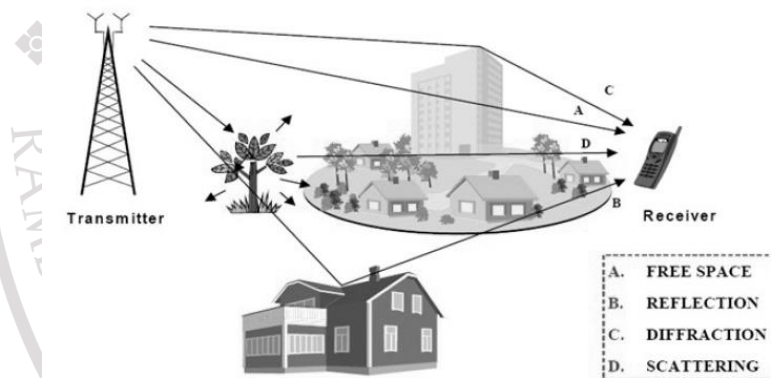
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

ที่มา: กรมสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 138

สายอากาศที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง โดยสายอากาศส่งออกแบบให้มีทิศทางพุ่งไปในแนวทะแยงมุมของโรงเรือนทั้ง 4 มุม

การแพร่กระจายคลื่น

ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Wave propagation) ในช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สาย (Wireless channel) นอกจากลักษณะการแพร่กระจายจากภาคส่งไปยังภาครับโดยตรงหรือ สัญญาณในแนวระดับสายตา (Line of sight) ยังมีลักษณะการแพร่ในลักษณะอื่นอีก 3 ประเภท ได้แก่ การสะท้อนกลับ (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการแตกกระเจิง (Scattering) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: Clarke, 2012

เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสามารถอธิบายได้ด้วย 3 ปรากฏการณ์ที่แทบจะแยกจากกันอย่างอิสระ ได้แก่

1) การสูญเสียตามระยะทาง คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อต้องส่งสัญญาณในช่องสัญญาณไร้สายในระยะทางไกล โดยค่าการสูญเสียประเภทนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับ

2) การจางหายจากการบดบัง (Shadow fading) คือ การที่สัญญาณซึ่งแพร่กระจายออกไปบางส่วนถูกบังด้วยสิ่งกีดขวางในสภาพภูมิประเทศ

3) การจางหายจากหลายวิถี (Multipath fading) คือ การซ้อนทับกันของสัญญาณในหลายทิศทาง ซึ่งสัญญาณเหล่านี้คือสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนกลับ การเลี้ยวเบน และการแตกกระเจิง ของสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่ง ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่ภาครับมีความผันผวนทั้งขนาดและเฟส เนื่องจากสัญญาณในแต่ละทิศทางอาจมีขนาดและเฟสต่างกัน มีทั้งการรวมกันแบบเสริมและ

หักล้าง และเดินทางมาถึงภาครับไม่พร้อมกัน โดยปกติแล้วการจำลองปรากฏการณ์การจางหายจากหลายวิถี จะใช้ฟังก์ชันทางสถิติ คือ การกระจายแบบเรย์เลห์ (Rayleigh distribution) และการกระจายแบบโรเซียน (Rician distribution)

การประมาณค่าการสูญเสียเนื่องจากการจางหายจากหลายวิถีในช่องสัญญาณไร้สายด้วยการแจกแจงแบบเรย์เลห์ จะใช้ในกรณีที่การแพร่กระจายคลื่นในช่องสัญญาณนั้น ไม่มีส่วนของสัญญาณในแนวระดับสายตา และการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบโรเซียน (Rician distribution) หรือการแจกแจงแบบไรซ์ (Rice distribution) เป็นรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้สำหรับการอธิบายลักษณะของการแพร่กระจายสัญญาณไร้สายเคลื่อนที่ หรือสัญญาณวิทยุที่ซึ่งจะทำการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบโรเซียนเมื่อลักษณะของการแพร่กระจายสัญญาณประกอบไปด้วยสัญญาณในแนวระดับสายตา และสัญญาณจากเส้นทางที่มีการสะท้อนหรือหักเหอื่นๆ ที่เดินทางมาถึงภาครับเท่านั้น คุณภาพของสัญญาณที่รับได้สามารถพิจารณาได้จากความแรงของสัญญาณในแนวระดับสายตาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบโรเซียนแสดงได้ดังสมการที่ (2.1) (Saunders, S. R. and Aragon-Zavala, A. 2007)

$$P_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-(r^2+s^2)/2\sigma^2} I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right) \quad (2.1)$$

เมื่อ I_0 คือ ฟังก์ชันเบสเซลปรับปรุงชนิดที่หนึ่งอันดับที่ศูนย์
 σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของส่วนจริงหรือส่วนจินตภาพ
 s คือ ขนาดของส่วนระยະแนวสายตา

การกระจายแบบโรเซียนนั้น โดยทั่วไปจะอธิบายอยู่ในรูปของค่าดัชนีโรเซียน (Rician factor: k) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$\text{k-factor} = \frac{s^2/2}{\sigma^2} = \frac{s^2}{2\sigma^2} \quad (2.2)$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{2k}} \quad (2.3)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ซึ่ง เห็นได้ว่าค่า k-factor นั้น เป็นตัวแปรที่แสดงถึงคุณลักษณะของค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้คือ s และค่าความแปรปรวนที่มีผลต่อระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้

คุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric property) เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของ

ตัวกลางส่งผลต่อการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถแบ่งแยกความแตกต่างของวัสดุโดยคุณสมบัติไดอิเล็กตริกได้ ในส่วนของค่าสภาพยอมไฟฟ้าซึ่งมีอิทธิพลต่อการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการลดทอนพลังงานคลื่นของวัสดุ ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพันธ์เชิงซ้อนสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.4)

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.4)$$

ส่วนจริง ϵ' คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) แสดงถึงการเก็บสะสมพลังงานสนามไฟฟ้าของวัสดุ ส่วนจินตภาพ ϵ'' คือตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) แสดงถึงการดูดกลืนและลดทอนกำลังงาน เป็นค่าที่บอกถึงการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบของความร้อนของวัสดุ (Keysight, 2017) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ_r) เป็นค่าที่ถูกลำมาหารด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสุญญากาศ (ϵ_0^*) ดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{\epsilon^*}{\epsilon_0^*} = \epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2.5)$$

อากาศเป็นวัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำที่สุด คือ มีค่าเป็น 1 และน้ำมีค่าประมาณ 80 ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (Komarov et al., 2005) ตัวอย่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2 ในวัสดุไดอิเล็กตริกสนามไฟฟ้า E_0 มีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากพื้นผิว z มีค่าเพิ่มขึ้นดังสมการที่ (2.6)

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
Air (dry)	1.00059
Bakelite	4.9
Nylon	3.4
Paper	3.7
Vacuum	1.00000
Water	80

ที่มา: ัญญา อุดอ้าย, 2547

$$E = E_0 e^{-\alpha z} \quad (2.6)$$

อัตราการลดทอนของสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ ดังสมการที่ (2.7) เมื่อ λ_0 คือค่าความยาวคลื่นในสุญญากาศ (Komarov et al., 2005)

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left[\frac{1}{2} \varepsilon' \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุแปรผันกับหลายปัจจัย ได้แก่ ความถี่ที่ใช้วัด อุณหภูมิ และค่าความชื้น โดยเฉพาะความถี่ส่งผลให้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมาก

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

ความชื้น (Humidity) คือ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ การบอกค่าปริมาณความชื้นนิยมแสดงในรูปของค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง “อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อ ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน” หรือ “อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง ต่อ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละดังสมการที่ (2.8)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ}}{\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว}} \times 100 \quad (2.8)$$

การวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศนั้นสามารถวัดได้จากเครื่องมือ 2 ชนิด คือ

1. ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง ประกอบไปด้วย เทอร์โมมิเตอร์สองอัน ยึดติดด้วยปลอกที่แข็งแรง ซึ่งสามารถแกว่งหมุนได้ด้วยมือ ด้านหนึ่งคือด้านเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งวัดอุณหภูมิอากาศ อีกด้านเป็นเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก (มีไส้ฝ้ายยึดติดอยู่ที่ส่วนปลายของเทอร์โมมิเตอร์) วัดอุณหภูมิอากาศที่ลดลงเมื่อน้ำระเหยออกไป ความแตกต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกที่มีค่าสูงแสดงถึงอากาศแห้งมาก การหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ทำได้โดยอ่านค่าจากตารางความชื้นสัมพัทธ์ที่แนบมาให้พร้อมเครื่องวัด

2. ไฮโกรมิเตอร์แบบดิจิตอลใช้งานได้ง่ายและสามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วงกว้าง แต่มีข้อจำกัดคือ ราคาจะแพงกว่าและต้องการการดูแลรักษามากกว่าไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบกระบวนการวิจัยที่ดีจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อเสนอแนะที่มีอยู่ก่อนหน้า สำหรับนำมาปรับใช้ออกแบบกระบวนการวิจัยให้มีความรัดกุม และพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยที่ศึกษาแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

1. งานวิจัยระบบควบคุมความชื้น

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า มีนักวิจัยได้ให้ความสนใจการควบคุมความชื้นและสภาพอากาศในโรงเรือนสำหรับเพาะปลูกพืชอย่างต่อเนื่อง เช่น

ปี 2011 ปาร์คและคณะได้พัฒนาระบบตรวจสอบและควบคุมความชื้นของโรงเรือนทางการเกษตรบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ระบบนี้ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น SHT71 ภายในโรงเรือนควบคุมการรับข้อมูลจากโนตเซนเซอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ แล้วส่งไปประมวลผลยังเครื่องคอมพิวเตอร์ (Park, 2011) ระบบนี้สามารถตรวจสอบความชื้นได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากมีจำนวนโนตเซนเซอร์มาก แต่ทั้งนี้จำนวนโนตเซนเซอร์ที่มากจึงทำให้มีความซับซ้อนที่สูง อีกทั้งปริมาณข้อมูลที่มากส่งผลให้ต้องใช้การส่งต่อข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล เพิ่มความซับซ้อนให้ระบบ

ปี 2016 อิสลามและคณะได้ออกแบบและสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดที่สามารถควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 80 ถึง 90% อย่างอัตโนมัติ โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นรุ่น EXTECH 445703 จำนวน 1 ตัว และปรับความชื้นโดยใช้เครื่องพ่นไอน้ำ (Humidifier) จำนวน 4 ตัว ติดตั้งอยู่ในโรงเรือนขนาด $5.8 \times 4.57 \times 2.74$ เมตร ตั้งเวลาทำงานของเครื่องพ่นไอน้ำแต่ละเครื่องนาน 15 นาที พัก 15 นาที สลับกันทั้ง 4 เครื่อง ผลการทดสอบพบว่าความชื้นที่ควบคุมได้อยู่ในช่วง $87.96\% \pm 2.26\%$ (Islam et al., 2016) เนื่องจากสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีผลกระทบต่อความชื้นภายในโรงเรือน ดังนั้นการตั้งเวลาของการควบคุมความชื้นของโรงเรือนอัตโนมัติจึงไม่ยืดหยุ่นสำหรับการใช้งานในฤดูกาลอื่น

ปี 2017 มาซูกิและยิง ได้ออกแบบระบบควบคุมสภาพอากาศสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติให้มีค่าความชื้นอยู่ที่ 85% ตรวจสอบความชื้นด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT222 ทุก 10 นาที ข้อมูลจากเซนเซอร์ถูกส่งไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno) หากค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 85% เครื่องพ่นไอน้ำจะทำงานเพื่อเพิ่มความชื้น การทำงานของระบบมีค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์วัดความชื้นอยู่ที่ $\pm 1.8\%$ (Marzuki & Ying, 2017) ระบบมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบที่มีการสร้างมาก่อนหน้า แต่การใช้เซนเซอร์วัดความชื้นเพียงจุดเดียวไม่เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงเรือนขนาดใหญ่ เนื่องจากการวัดความชื้นอาจไม่ครอบคลุมทั่วโรงเรือน ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมความชื้นที่มีความซับซ้อนต่ำ ประมวลผลได้แบบเวลาจริง และตรวจสอบความชื้นได้ทั้งโรงเรือนจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2. งานวิจัยการประยุกต์ใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเป็นปริมาณที่บอถึงความสามารถในการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละวัสดุ นักวิจัยได้นำความแตกต่างของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุมาใช้เพื่อตรวจสอบความชื้น เช่น ปี 2012 ธิญวัฒน์ ลิ้มปิติ ได้นำเสนอเซนเซอร์วัดความชื้น (In situ moisture) วัดความชื้นด้วยการวัดขนาดของการเชื่อมต่อร่วม ระหว่างโพลาริเซชันแบบขนานและตั้งฉากจากสายอากาศที่มีการสวิตซ์โพลาริเซชัน กำลังงานระหว่างที่วัดได้จากพารามิเตอร์ $|S_{21}|$ ของโพลาริเซชันขนานและตั้งฉากถูกนำมาพล็อตเพื่อหาจุดตัดในแต่ละระดับความชื้นอ้างอิง จึง

ทำให้ระบบมีความซับซ้อนต่ำ ราคาถูก ได้ใช้กับระบบอบแห้งแบบปิด และแสดงผลตรวจวัดได้ตามเวลาจริง (Limpiti & Krairiksh, 2012) แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของการตัดสินใจคือข้อมูลของโพลาริเซชันขนานและตั้งฉากต้องไปในทิศทางเดียวกัน และระยะการวัดความชื้นอยู่ในช่วงสนามระยะใกล้ (Near field) จึงทำให้การวัดอาจได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อน รวมถึงยังไม่สามารถวัดความชื้นแบบต่อเนื่อง

3. งานวิจัยสายอากาศปรับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

นักวิจัยให้ความสนใจการพัฒนาสายอากาศปรับทิศทางลำคลื่นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ปรับลำคลื่นได้หลายทิศทาง และไม่ซับซ้อน เช่น

ปี 2004 จางและคณะได้ศึกษาการปรับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดไมโครสตริปรูปเส้นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้แผ่นตัวนำ (Parasitic elements) ที่เป็นรูปทรงเดียวกันสำหรับบังคับทิศทางของส่วนแพร่กระจายคลื่น บนพื้นฐานของส่วนสะท้อนคลื่นและส่วนบังคับทิศทางเช่นเดียวกับสายอากาศแบบยาก็อดะ ซึ่งส่วนสะท้อนคลื่นมีความยาวมากกว่าสายอากาศ และส่วนบังคับทิศทางให้มีขนาดสั้นกว่าสายอากาศ (Zhang et al., 2004) แต่รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนแปลงทิศทางได้ชัดเจนในส่วนของระนาบ H เท่านั้น และปรับได้เพียง 2 ทิศทางคือ แกน $+y$ และ $-y$

ปี 2008 คังและคณะ นำเสนอเทคนิคการปรับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอย่างง่าย โดยการออกแบบสายอากาศโมโนโพลและสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรมิติเดียวกัน สายอากาศมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว เมื่อทำงานในโหมดสายอากาศโมโนโพล แต่เมื่อทำงานในโหมดสายอากาศไดโพล ใช้ระนาบกราวด์เป็นตัวสะท้อนคลื่นทำให้มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบเจาะจงทิศทาง (Kang et al., 2008) แต่ไม่สามารถปรับมุมของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นได้

ปี 2011 ฮาและจุง ได้ออกแบบการปรับทิศทางของลำคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ด้วยใช้การเจาะเป็นช่องรูปตัวยู ที่ความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีสวิตช์เสมือนเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างส่วนสายส่งสัญญาณ (Feeding line) และส่วนแพร่กระจายคลื่น สายอากาศที่ออกแบบสามารถปรับทิศทางของส่วนแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz ได้ 3 ทิศทางคือ 0 องศา 30 องศา และ 331 องศา (Ha & Jung, 2011) โครงสร้างของสายอากาศซับซ้อน และสร้างมาจากเงินซึ่งเป็นวัสดุราคาสูง

ปี 2012 โรดริโกและโจฟรีนำเสนอวิธีการปรับทิศทางของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศโมโนโพล ซึ่งสามารถปรับทิศทางได้หลายทิศทางกว้างถึงเกือบ 180 องศา โดยออกแบบแผ่นตัวนำเป็นพิกลขนาดเล็กลายขึ้นวางเรียงกันเชื่อมต่อกันด้วยสวิตช์ เทคนิคนี้สามารถบังคับทิศทางของส่วนแพร่กระจายคลื่นได้ดีในหลายทิศทาง (Rodrigo & Jofre, 2012) สายอากาศนี้สามารถปรับลำคลื่นได้หลายทิศทาง แต่สายอากาศมีความซับซ้อนสูงเนื่องจากใช้สวิตช์จำนวนมากขนาดใหญ่ และต้องมีหน่วยประมวลผลเพื่อควบคุมทิศทาง