

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความชื้นข้าวเปลือก โดยวิเคราะห์จากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีที่มาของแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่เกิดจากการศึกษาตามเอกสารต่างๆ ดังนี้

#### แนวคิด และทฤษฎี

แนวคิดการวัดความชื้นข้าวเปลือกที่นำเสนอในงานวิจัยนี้อาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) เนื่องจากการลดทอนกำลังงานของคลื่นที่แปรผันกับค่าไดอิเล็กตริก ( $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$ ) ตามระดับความชื้นข้าวเปลือกที่แตกต่างกัน ลักษณะการส่งผ่านคลื่นความถี่ที่นำเสนอทำในทิศทางตั้งฉากกันระหว่างสายอากาศส่งและรับ ภายในระบบประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ให้สายอากาศส่งกำลังงานไฟฟ้าไปที่ข้าวเปลือกตัวอย่าง เมื่อสายอากาศตัวที่ 2 รับกำลังงานไฟฟ้าที่สะท้อนผ่านข้าวเปลือกเข้ามาบันทึกเป็นข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มความชื้นที่เกิดจากปัจจัยของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์

จากการศึกษาปัจจัยแปรผันของความชื้นข้าวเปลือกตามคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริก ซึ่ง Gupta, L. อธิบายถึงความเหมาะสมของการใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายกำลังงานแบบมีทิศทาง สามารถวัดความชื้นวัสดุขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกด้วยเทคนิคการใช้คลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากสามารถชดเชยค่าการลดทอนที่เกิดจากอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยคงที่ด้วยการการสอบเทียบ (calibration) รวมถึงโพรงอากาศของวัสดุได้ง่าย (Gupta, L., 2017 : 65-67) คุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกที่แปรผันตรงกับ ความชื้นในผลิตภัณฑ์เกษตรเป็นประเด็นที่มีการศึกษาแพร่หลาย (Nelson & Kraszewski, 1990 : 1303-1305, Nelson, 1991 : 845-869, Nelson, S. O. et al., 2001 และ Nelson, S. O. et al., 2008 : 104-112) และมีความเป็นไปได้ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ระดับความชื้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

#### การพัฒนาสายอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

พื้นฐานของสายอากาศที่ใช้ในงานวิจัยพัฒนามาจากสายอากาศแบบไมโครสตริป (microstrip) เนื่องจากลักษณะองค์ประกอบของสายอากาศมีความซับซ้อนต่ำ (low-profile) และสามารถปรับแต่งการทำงานได้ดีที่ความถี่ 2 ย่าน (Zahid, S., et al., 2019) องค์ประกอบของสายอากาศถูกพัฒนามา

แผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR-4 และโครงสร้างได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ความถี่ทำงานที่ 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยจำลองการปรับระยะกราวด์สตริป  $gl$  และ  $gh$  รวมถึงการปรับค่าตัวเก็บประจุและค่าตัวเหนี่ยวนำของสายอากาศต้นแบบในโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (CST Microwave Studio 2019) ลักษณะโครงสร้างตัวนำสัญญาณของสายอากาศแสดงดังภาพที่ 2.2 (ก) และระนาบกราวด์แสดงในภาพที่ 2.2 (ข) จากการจำลองสายอากาศต้นแบบสามารถกำหนดขนาดองค์ประกอบของโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ความถี่ทำงานได้แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งตัวแปรตั้งต้นในการกำหนดขนาดโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบพิจารณาตามสมการที่ (1) และ (2) (Balanis, 2016 : 788-797) สำหรับการกำหนดขนาดอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (passive device) บนสายอากาศต้นแบบพิจารณาภายใต้เงื่อนไขอิมพีแดนซ์แมตซ์ (impedance matched condition) ตามสมการที่ (3) (Pozar, 2012 : 228-243)

$$W = \frac{v}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = \frac{v}{2f - \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$Z_0 = jX + \frac{1}{jB + 1/(R_L + jX_L)} \quad (3)$$

นอกจากการปรับปรุงโครงสร้างสายอากาศและอุปกรณ์ผู้วิจัยติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุม  $90^\circ$  (corner reflector) ทำงานร่วมกับสายอากาศต้นแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งทำหน้าที่สะท้อนกำลังงานส่งผลให้แบบรูปการแผ่พลังงานให้สามารถระบุทิศทาง (directional pattern) ส่งไปที่ข้าวเปลือกตัวอย่าง รวมถึงการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบมีลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบตามภาพที่ 2.3 ประกอบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์แบบหนึ่งหน้าขนาดความกว้าง  $h$  ยาว  $l$  ประกบกกันทำมุม  $90^\circ$  เมื่อแผ่นวงจรพิมพ์ประกบกันมีขนาดอุปกรณ์สะท้อนเท่ากับ  $D$  และมีระยะสายอากาศคือ  $sa$  ซึ่งขนาดของตัวแปรต่างๆ ที่ปรากฏในตารางที่ 2.1 สามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (4) – (7) ดังนี้ (Kraus, 1940 : 513-519)

$$\lambda < D < 2\lambda \quad (4)$$

$$l \approx 2s \quad (5)$$

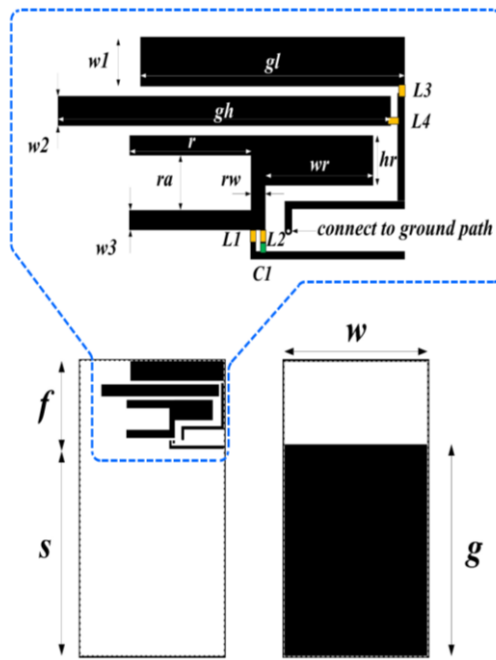
$$\lambda/3 < s < 2\lambda/3 \quad (6)$$

$$h > (1.2 - 1.5) \quad \text{เท่าของสายอากาศหลัก} \quad (7)$$

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลตัวแปรและขนาดตัวแปรสายอากาศ

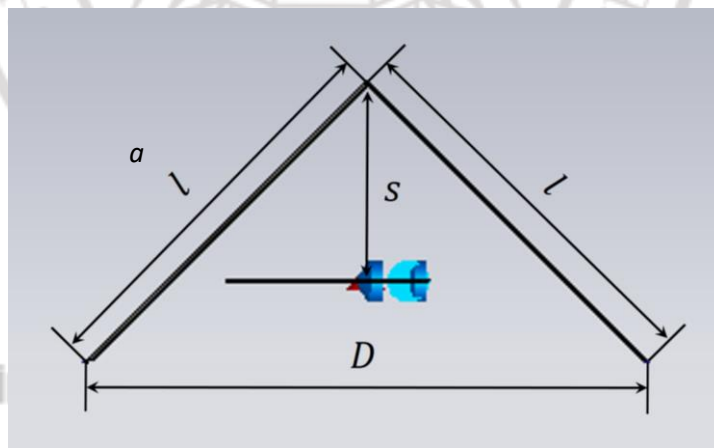
ตัวแปร	ขนาดตัวแปร	ตัวแปร	ขนาดตัวแปร
f	23 mm	rw	1.6 mm
s	52 mm	wr	11.9 mm
w	45 mm	hr	5 mm
g	54 mm	h	112 mm
line	0.8 mm	l	146 mm
gl	29.3 mm	sa	73 mm
w1	5 mm	D	206 mm
w2	3 mm	C1	2.4 pF
w3	2 mm	L1	2.4 nH
gh	36.9 mm	L2	5.6 nH
r	13.5 mm	L3	6.8 nH
ra	5.5 mm	L4	19 nH

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



(ก) (ข)

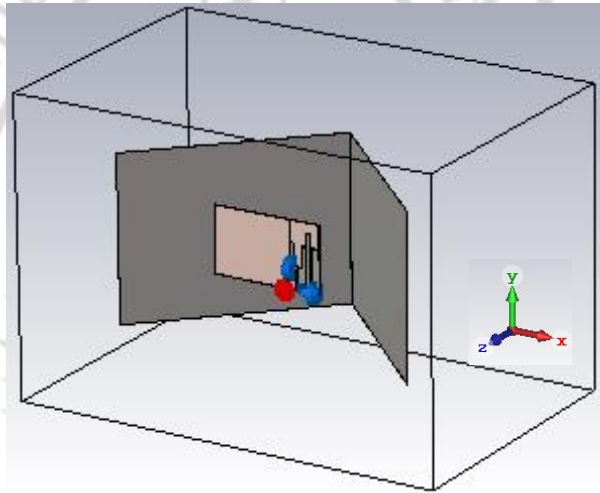
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุม

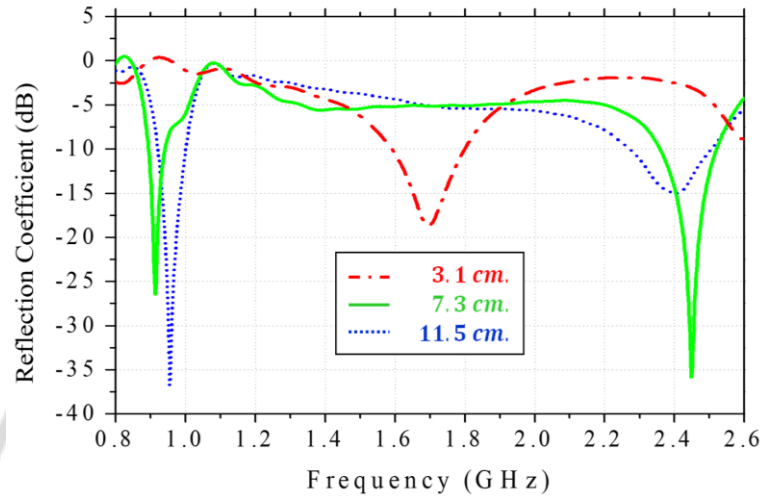
การจำลองโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ค่าอัตราการขยายและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $S_{11}$ ) ที่เกิดจากระยะห่างระหว่างสายอากาศและอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุมมีลักษณะการติดตั้งตามภาพที่ 2.3

รวมถึงทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นข้อมูลที่น่ามาใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งระยะการติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนดังกล่าวพิจารณาจากสมการที่ (6) แสดงผลการจำลองและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากการกำหนดระยะติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนคลื่นทั้งหมด 3 ระยะ คือ 3.1 7.3 และ 11.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการจำลองพบว่าระยะที่เหมาะสม คือ 7.3 เซนติเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีขนาดอยู่ที่ -25.47 และ -35.26 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 2.4

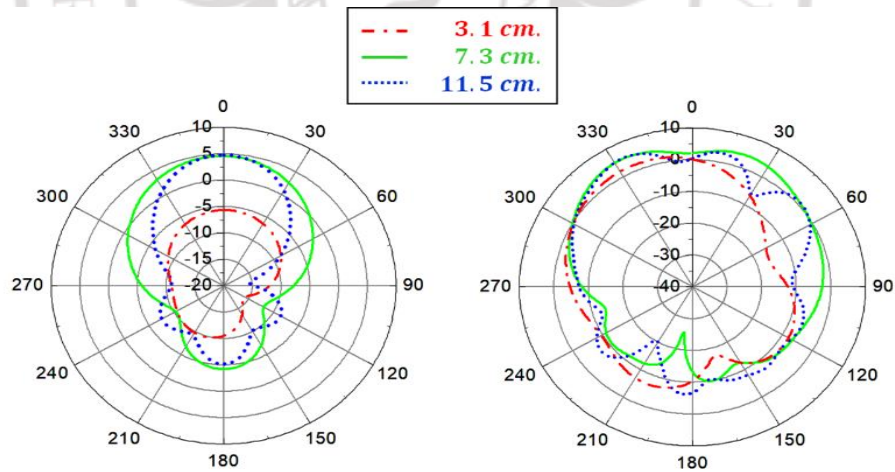


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างสายอากาศและอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุม

สำหรับการติดตั้งสายอากาศต้นแบบกับอุปกรณ์สะท้อนคลื่นถูกจัดวางในลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงานร่วมขั้ว (co-polarized) ซึ่งมีลำคลื่นหลักเมื่อพิจารณาตำแหน่งสายอากาศตามระยะการติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุมที่ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ มีลักษณะระบุมทิศทาง (directional) มีอัตราขยาย 3.59 เดซิเบลไอโซโทรปิก ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ก) และที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีทิศทางแพร่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้าของสายอากาศและให้อัตราการขยายที่ 4.05 เดซิเบลไอโซโทรปิก ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ข)



ภาพที่ 2.4 ผลจำลองการปรับระยะอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุม



(ก) ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

ภาพที่ 2.5 แบบรูปการแพร่กระจายลำคลื่นหลักของสายอากาศ

เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาค่าอัตราการขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของลำคลื่นหลักของสายอากาศทั้งสองความถี่จากระยะติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุมที่เหมาะสมอยู่ที่ 7.3 เซนติเมตร และสามารถติดตั้งเข้ากับระบบการตรวจวัดได้สะดวก



## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rai, A.K. และคนอื่นๆ (2018) นำเสนอเครื่องมือวัดความชื้นเมล็ดพืชใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้าตามค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยสอบเทียบค่าความชื้นกับเมล็ดข้าวเปลือก ถั่วเหลือง และข้าวสาลี สามารถวัดความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 8-25 ความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ  $\pm 1$  แต่ข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำของวิธีนี้คือต้องเตรียมปริมาณข้าวเปลือกให้เหมาะสมกับภาชนะ

Lin, L. และคนอื่นๆ (2019) นำเสนอเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์คลื่นในย่านใกล้อินฟราเรด (NIR) แสดงผลประเมินค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ความชื้นข้าวเปลือกในช่วงความชื้นร้อยละ 13-30 มีความแม่นยำอยู่ที่ 0.936 เช่นเดียวกับการศึกษาความชื้นข้าวเปลือก

Ravi, P. และคนอื่นๆ (2014) นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบด้วยคลื่นแสงในย่านใกล้อินฟราเรด แสดงผลประเมินค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มีความแม่นยำอยู่ที่ 0.97 แต่งานวิจัยดังกล่าวมีข้อจำกัดในด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดและเครื่องมือวิเคราะห์ผลมีราคาสูง

ประพันธ์ ลีกุล และพรพิมล ฉายแสง (2561) นำเสนอการประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อแบ่งระดับความชื้นข้าวเปลือกระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ ผลการวิจัยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญตามคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือกที่ระดับความชื้น 56 – 64 % ซึ่งยังไม่อยู่ในระดับความชื้นที่ยังคงคุณภาพของข้าวเปลือก

ปพนพัชญ์ ธนาเศรษฐ์วัฒน์ พรพิมล ฉายแสง และประพันธ์ ลีกุล นำเสนอเทคนิคการตรวจวัดความชื้นดินแบบไร้การสัมผัสด้วยคลื่นความถี่ 2.40 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ สามารถตรวจวัดระดับความชื้นจากการสะท้อนผ่านของกำลังงานระหว่างสายอากาศส่งและรับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

Gupta, L. (2017) นำเสนอถึงข้อข้อดีของการใช้สายอากาศที่แพร่กระจายแบบมีทิศทางสำหรับการวัดความชื้นวัสดุขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายการลดทอนของวัสดุที่เกิดจากอุณหภูมิ และโพรงอากาศระหว่างวัสดุได้ง่าย