บทที่ 4
ผลการวิจัย

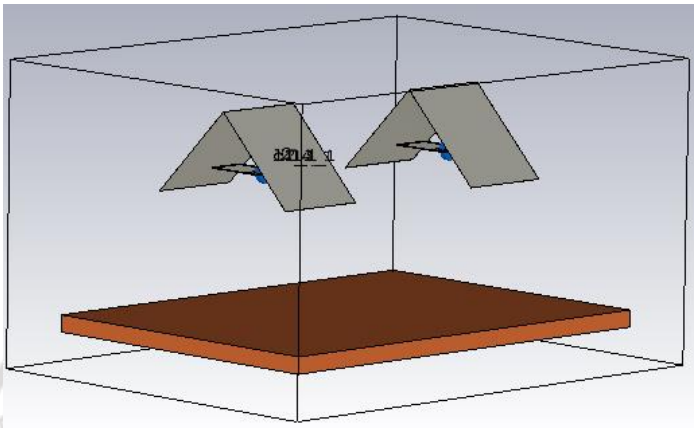
เมื่อดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอนตามวิธีวิจัยที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 สามารถอธิบายผลการวิจัยดังนี้

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

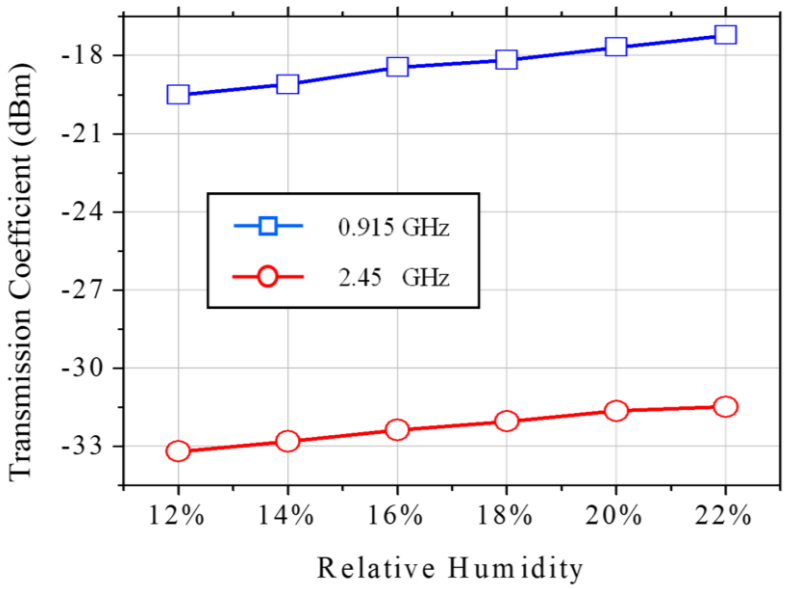
ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าระดับความชื้นของข้าวเปลือกตัวอย่างในช่วงร้อยละ 12 14 16 18 20 และ 22 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยพิจารณาจากข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่ออ้างอิงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Nelson, 1991) ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยกำหนดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกแบบจำลองความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 2.45, 2.66, 2.87, 3.11, 3.37 และ 3.63 ตามลำดับ สำหรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของความถี่ 0.915 กิกะเฮิตรซ์ มีขนาดอยู่ที่ 2.89, 3.18, 3.47, 3.78, 4.09 และ 4.41 (Nelson, 2001) ในแบบจำลองความชื้นข้าวเปลือกของระบบกำหนดปริมาตรขนาด 32x63x2 เซนติเมตร การจำลองคุณสมบัติข้าวเปลือกตามระดับความชื้นภายในระบบประกอบด้วยสายอากาศต้นแบบตัวที่ 1 ที่พัฒนาขนาดขององค์ประกอบสายอากาศหลักและโครงสร้างเมื่อติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุมตามทฤษฎีในบทที่ 2 ให้ทำหน้าที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสายอากาศต้นแบบตัวที่ 2 ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสายอากาศตัวที่ 1 ทำหน้าที่รับพลังงานที่สะท้อนผ่านข้าวเปลือก

1. แบบจำลองของระบบ

การจำลองระบบในภาพที่ 4.1 กำหนดกำลังส่งที่ 0 เดซิเบล เพื่อวิเคราะห์ค่ากำลังงานที่ถูกดูดกลืนไปในแบบจำลองข้าวเปลือกตามระดับความชื้นเป้าหมายของการทดสอบ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแบบจำลองข้าวเปลือกซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเอกพันธ์ (homogeneous material) ที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นเพิ่มขึ้นในช่วง –19.5 ถึง –17.25 เดซิเบล และ –33.4 ถึง –31.5 เดซิเบล ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการจำลองระดับความชื้นข้าวเปลือกร้อยละ 12 – 22 ตามแสดงตามภาพที่ 4.2 จึงอธิบายได้ว่ากำลังงานส่งผ่านที่สะท้อนออกมาจากข้าวเปลือกที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์ มีขนาดที่ค่อนข้างสูงเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการแปรผันของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ทำงาน 2.45 กิกะเฮิรตซ์



ภาพที่ 4.1 การจัดองค์ประกอบจำลองการทดสอบ



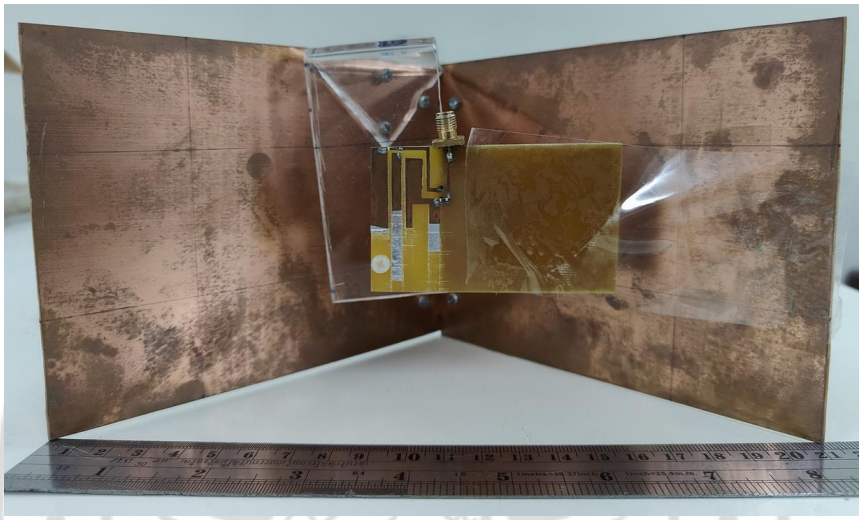
ภาพที่ 4.2 ผลจำลองค่าการสะท้อนผ่านกำลังงานตามระดับความชื้นข้าวเปลือก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2. สายอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

จากการจำลองระบบตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกในขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำแนกระดับความชื้นจากการส่งผ่านกำลังงานของ 2 คลื่นความถี่ที่สะท้อนมา

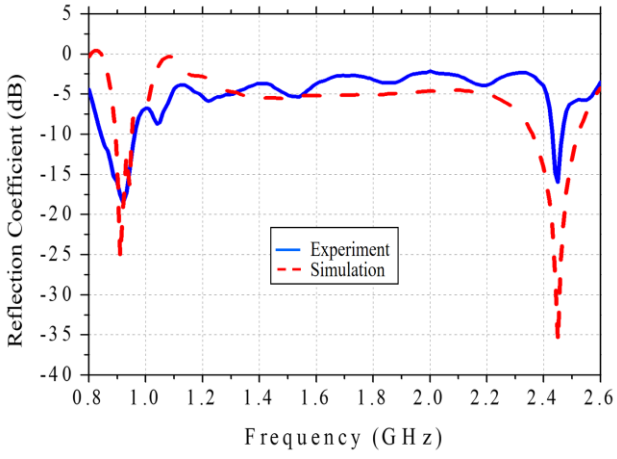
จากข้าวเปลือก สำหรับสายอากาศต้นแบบที่สร้างเสร็จมีขององค์ประกอบสายอากาศหลักและโครงสร้างของอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุมติดตั้งอยู่ทางด้านหลังของสายอากาศหลักตามภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 สายอากาศหลักและอุปกรณ์สะท้อนคลื่นแบบมุม

สำหรับสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นทั้งสองมีแนวโน้มคุณสมบัติสอดคล้องกับผลการจำลอง เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกับผลการจำลองที่แสดงในภาพที่ 4.4

จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบมีผลการทดสอบที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ที่ -17.90 และ -16.54 เดซิเบล เมื่อพิจารณาที่ความถี่ทำงานของการจำลองคุณสมบัติสายอากาศมีขนาดอยู่ที่ –25.47 และ -35.26 เดซิเบล แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความแตกต่างกันเนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกวัสดุของชิ้นงานจริงมีความคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดของการจำลอง รวมถึงการปรับแต่งขนาดองค์ประกอบของสายอากาศหลักและการบัดกรี แต่แนวโน้มความถี่ทำงานทั้งผลการจำลองคุณสมบัติ และชิ้นงานสายอากาศต้นแบบยังเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน ในทำนองเดียวกันตัวแปรอื่นของสายอากาศต้นแบบ เช่น แบบภาพการแผ่พลังงานมีลักษณะที่สอดคล้องกับผลการจำลองคุณสมบัติสายอากาศตามที่แสดงในภาพที่ 2.6 เพียงแต่กำลังการแพร่กระจายของความถี่ทำงานมีขนาดต่างกันเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมของการทดสอบ

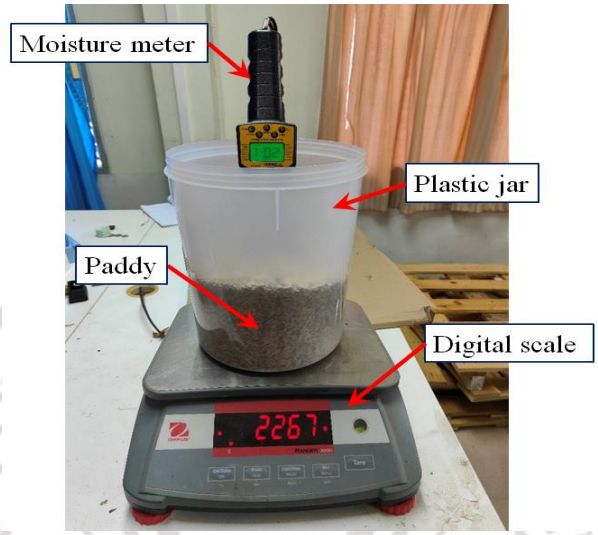


ภาพที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ระหว่างผลการจำลองกับสายอากาศต้นแบบ

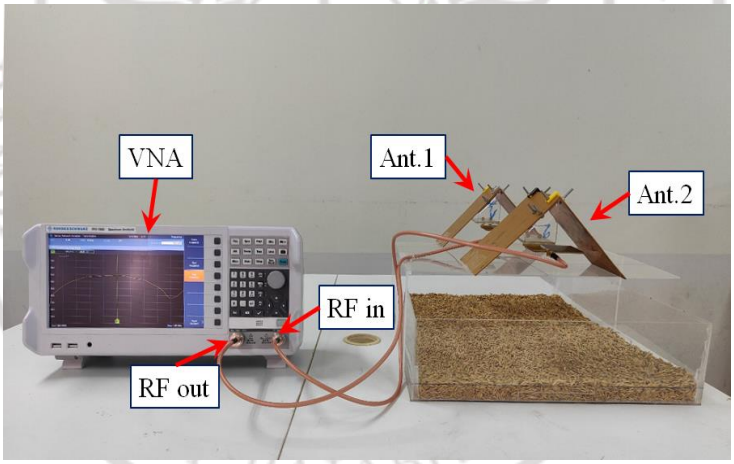
เตรียมการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบความชื้นข้าวเปลือกเริ่มจากการเตรียมภาชนะบรรจุจำนวน 6 ใบ สำหรับบรรจุข้าวเปลือกตัวอย่างที่แบ่งเป็น 6 ระดับ จากนั้นตวงข้าวเปลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลชั่งข้าวเปลือกน้ำหนัก 2,200 กรัม ใส่ภาชนะและวัดระดับความชื้นข้าวเปลือกตัวอย่างด้วยเครื่องมือมาตรฐานยี่ห้อสมาร์ทเซ็นเซอร์ (Smart sensor) รุ่น AR991 ตามระดับความชื้นเป้าหมายที่กำหนด คือ ร้อยละ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22 เพื่อนำไปตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกตามระดับความชื้นที่กำหนดจำนวน 10 รอบการทดสอบ โดยเริ่มที่ร้อยละ 12 และไปสิ้นสุดรอบการทดสอบที่ความชื้นร้อยละ 22 ในภาพที่ 4.5 แสดงการวัดระดับความชื้นของข้าวเปลือกทุกครั้งก่อนนำไปใส่กระบะอะคริลิกเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือก

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงในภาพที่ 4.6 ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายไฟฟ้ายี่ห้อ Rohde & Schwarz รุ่น FPC1500 เชื่อมต่อด้วยสายโคแอคเชียลชนิดสูญเสียต่ำ (low loss coaxial cable) อิมพีแดนซ์ 50 โอห์มกับสายอากาศตัวที่ 1 ที่ช่องเอาต์พุต และสายอากาศตัวที่ 2 ที่ช่องอินพุต ทำหน้าที่ส่งและรับกำลังงานไฟฟ้า มีระยะติดตั้งสายอากาศบนฐานอะคริลิกวางห่างกัน 18 เซนติเมตร และภาชนะทดสอบเป็นกระบะอะคริลิกสำหรับบรรจุข้าวเปลือกตัวอย่างขนาด 32x63x12 เซนติเมตร มีระยะของสายอากาศห่างจากข้าวเปลือก 15 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.5 การวัดความชื้นและน้ำหนักของข้าวเปลือกภายในภาชนะตัวอย่าง



ภาพที่ 4.6 อุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงานในข้าวเปลือก

3. ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

การทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความชื้น 6 ระดับ การวัดความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นครั้งแรกวัดโดยยังไม่ปรับความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นของอากาศที่อยู่โดยรอบข้าวเปลือกภายในภาชนะตัวอย่างที่บรรจุข้าวเปลือก การทดสอบค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ร้อยละ 12 สำหรับตัวอย่างอื่นทำการพรมน้ำเพื่อปรับความชื้น เมื่อได้ตัวอย่างข้าวเปลือกตามระดับความชื้นเป้าหมายที่กำหนด นำตัวอย่างมาวัดความชื้นก่อนบรรจุลงภาชนะทดสอบทุกครั้ง การทดสอบแต่ละรอบเริ่มต้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 12 เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแล้วเปลี่ยนข้าวเปลือกใส่ภาชนะตัวอย่าง จากนั้นข้าวเปลือกที่มีระดับ

ความชื้นลำดับถัดไปมาบรรจุลงในภาชนะทดสอบเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์จนกระทั่งถึงระดับความชื้นเป้าหมายสุดท้ายที่ร้อยละ 22 บันทึกผลเป็นการทดสอบครั้งที่ 1 สำหรับการทดสอบรอบถัดไปทำในลักษณะเดียวกันให้ครบทั้ง 10 ครั้ง ก่อนวัดแต่ละรอบทำการตรวจสอบระดับความชื้นเป้าหมายของแต่ละตัวอย่างให้ใกล้เคียงกันในแต่ละรอบการทดสอบ รวมถึงควบคุมให้อุณหภูมิโดยรวมของข้าวเปลือกอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่ากำลังงานที่ส่งผ่านความชื้นมีแนวโน้มผกผันอย่างเป็นเชิงเส้นมีพิสัยและนัยยะที่สามารถจำแนกระดับความชื้นของข้าวเปลือกที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ตามระดับความชื้น

ระดับความชื้น (ร้อยละ)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (เดซิเบลมิลลิวัตต์)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	-30.90	-30.82	-30.84	-30.82	-30.85	-30.90	-30.95	-30.90	-30.85	-30.90
14	-30.79	-30.82	-30.80	-30.77	-30.83	-30.78	-30.82	-30.80	-30.82	-30.78
16	-30.73	-30.77	-30.76	-30.72	-30.71	-30.73	-30.71	-30.69	-30.72	-30.73
18	-30.66	-30.67	-30.68	-30.64	-30.69	-30.67	-30.65	-30.63	-30.66	-30.68
20	-30.60	-30.62	-30.58	-30.62	-30.64	-30.58	-30.59	-30.62	-30.59	-30.61
22	-30.54	-30.57	-30.52	-30.54	-30.49	-30.53	-30.56	-30.52	-30.54	-30.51

ขณะเดียวกันที่ความถี่ทำงาน 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ได้จากการวัดความชื้นข้าวเปลือกมีลักษณะแนวโน้มการจำแนกระดับความชื้นอย่างเป็นเชิงเส้นสอดคล้องกันจากการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง โดยข้อมูลตามตารางที่ 4.2 แสดงพิสัยการจำแนกระดับความชื้นอย่างมีนัยะที่ชัดเจนที่แต่ละระดับความชื้นเป้าหมาย

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ตามระดับความชื้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ระดับความชื้น (ร้อยละ)	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (เดซิเบลมิลลิวัตต์)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	-38.29	-39.02	-38.74	-38.64	-38.97	-39.37	-38.88	-38.97	-39.12	-38.73
14	-38.11	-38.34	-38.55	-38.06	-38.42	-38.32	-38.41	-38.29	-38.37	-38.40
16	-37.26	-37.23	-37.05	-37.46	-37.29	-37.30	-37.27	-37.22	-37.17	-37.24
18	-36.50	-36.84	-36.28	-36.64	-36.48	-35.97	-36.76	-36.53	-36.56	-37.06

20	-36.04	-35.97	-36.23	-35.56	-35.60	-35.65	-35.86	-36.16	-36.08	-35.64
22	-35.46	-35.50	-35.49	-35.72	-35.54	-35.21	-35.51	-35.45	-35.48	-35.32

ผลการวิเคราะห์

ข้าวเปลือกเมื่อได้รับการบรรจุลงในกระบะอะคริลิกและปรับผิวหน้าของข้าวเปลือกให้เรียบมีระยะความสูงจากพื้นกระบะ 2.5 เซนติเมตร เมื่อเริ่มการทดสอบกำหนดกำลังการส่งของเครื่องวิเคราะห์เครื่อข่ายที่ 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ เพื่อตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกในช่วงระดับความชื้นร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 22 พบว่าที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกที่แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับเฉลี่ยอยู่ที่ –30.87 ถึง –30.53 เดซิเบลมิลลิวัตต์ และ -38.87 ถึง -35.47 เดซิเบลมิลลิวัตต์ เมื่อพิจารณาแนวโน้มความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์ แสดงในตารางที่ 4.3 มีค่าเบี่ยงเบนข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 เมื่อพิจารณาแถบความผิดพลาดของข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเฉลี่ยอยู่ในช่วง +0.04 ถึง -0.04 ขณะเดียวกันข้อมูลวัดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แสดงให้เห็นแนวโน้มความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการจำแนกระดับความชื้นในข้าวเปลือก มีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 และพิสัยของแถบความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง +0.37 ถึง -0.34

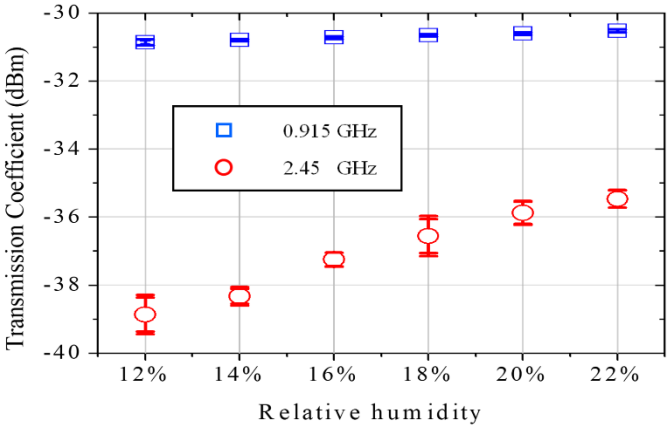
ดังนั้น จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านข้าวเปลือกระดับความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 22 ที่นำเสนอในบทความนี้แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ความเบี่ยงเบนของกำลังงานส่งผ่านที่แต่ละระดับเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อจำกัดในด้านพิสัยที่ใช้พิจารณาระดับความชื้น ในขณะที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ พบว่าค่าเบี่ยงเบนของกำลังงานที่ส่งผ่านข้าวเปลือกมีระดับที่ค่อนข้างสูง แต่มีพิสัยในการพิจารณาระดับความชื้นที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาในคาบเวลาเดียวกัน สำหรับข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมที่ทดลองในพื้นที่เปิดมีการชดเชยความผิดพลาด โดยอาศัยการพิจารณาค่าเฉลี่ยการวัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในแต่ละระดับความชื้นจำนวน 10 ครั้งเพื่อให้ผลทดสอบมีแนวโน้มใกล้ค่าจริงมากที่สุด ซึ่งในภาพที่ 4.1 แสดงแนวโน้ม และความแตกต่างของพิสัยสำหรับการจำแนกระดับความชื้นข้าวเปลือก แถบความผิดพลาดของข้อมูล รวมถึงค่าความเบี่ยงเบนที่สรุปในตารางที่ 4.3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแถบผิดพลาดที่ความถี่ 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

Moisture	0.915		2.45	
Content (%)	SD.	(±)	SD.	(±)
12	0.04	0.065	0.29	0.54
14	0.02	0.030	0.15	0.25

16	0.02	0.040	0.10	0.21
18	0.02	0.030	0.30	0.55
20	0.02	0.035	0.25	0.34
22	0.02	0.040	0.13	0.26



ภาพที่ 4.7 แนวโน้มความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านตามระดับความชื้นข้าวเปลือก

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของข้าวเปลือกที่มีความชื้นแตกต่างกันจำนวน 6 ระดับ โดยสร้างสายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่นความถี่ตรวจวัดกำลังงาน ผลที่ได้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความชื้นที่กำหนดไว้ 6 ระดับ แม้ว่าการตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกที่ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะพบว่าค่าความเบี่ยงเบนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีแนวโน้มที่ค่อนข้างต่ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 แต่มีข้อจำกัดในด้านพิสัยสำหรับการพิจารณาระดับความชื้นข้าวเปลือก ในขณะที่พิจารณาการตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แม้ว่าความเบี่ยงเบนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจะมีแนวโน้มที่ค่อนข้างสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 แต่ในด้านของพิสัยสำหรับการพิจารณาระดับความชื้นข้าวเปลือกสามารถจำแนกระดับความชื้นของแต่ละระดับได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการพิจารณาอัตราผกผันอย่างเป็นเชิงเส้นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แสดงพิสัยการจำแนกคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุได้อย่างชัดเจน