

สายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

WIDEBAND TRANSPARENT ANTENNA FOR MIMO COMMUNICATION TECHNOLOGY

บุษยากร รุ่งอุทัย¹ นภาพรณ ป่านแก้ว¹ พชรพล รักัญญการณ² ภัชดาพร แสงเพชร³ และ ชวลิต รักเหลือ^{4*}

¹สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี butsayakorn_r@mail.rmutt.ac.th
1164104001089@mail.rmutt.ac.th ²1164104005049@mail.rmutt.ac.th ³patchadaporn.s@en.rmutt.ac.th ⁴chawalit@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต วัสดุใช้อะคริลิกเป็นฐานรอง สายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างต้นแบบมีอัตราขยาย 2.5-5.0 dBi และมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ตลอดแถบความถี่ใช้งาน 690–2700 MHz โดยจะถูกลอกแบบผสมผสานระหว่างเทคนิคความหลากหลายทางโพลาริเซชัน เทคนิคการจัดวางระยะ เพื่อได้ค่าการแยกตัวต่ำกว่า -15 dB และ -18 dB สำหรับผลการจำลองการทำงานและการวัดจริงตามลำดับ สายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารต่าง ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

คำสำคัญ: สายอากาศโปร่งใส, ความถี่กว้าง, เทคโนโลยีหลายอินพุตหลายเอาต์พุต, การแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง

Abstract

This research presents a transparent wideband antenna for multiple-input multiple-output communication technology. The antenna is fabricated on an acrylic substrate. The prototype transparent wideband antenna exhibits a gain ranging from 2.5 to 5.0 dBi and an omnidirectional radiation pattern across the operating frequency band of 690–2700 MHz. The design incorporates polarization diversity and spatial arrangement techniques to achieve isolation levels of less than -15 dB in simulations and -18 dB in measurements. The transparent wideband antenna is well-suited for various MIMO communication applications.

Keywords: Transparent Antenna, Wideband, Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Technology, Omnidirectional Radiation Pattern

1. บทนำ

ระบบสื่อสารแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล ความจุของระบบ และลดผลกระทบจากการสะท้อนของสัญญาณ [1] การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบดังกล่าว

จำเป็นต้องพิจารณาทั้งการกระจายคลื่นรอบทิศทางและความหลากหลายทางโพลาริเซชัน โดยสายอากาศประเภทโมโนโพลเป็นโครงสร้างที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถแผ่พลังงานได้สม่ำเสมอในระนาบแนวนอน จึงเอื้อต่อการรับและส่งสัญญาณจากทุกทิศทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

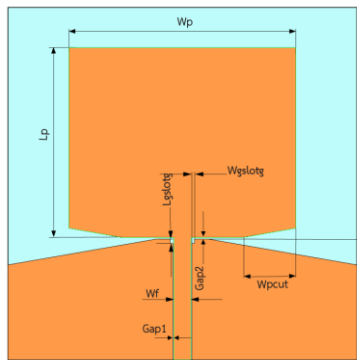
แนวโน้มการพัฒนาสายอากาศโปร่งใสได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา [2], [4] โดยมีจุดเด่นที่ความบางเบา ความกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไร้สายสมัยใหม่ วัสดุโปร่งใสนำมาใช้เป็นวัสดุฐานรองเพื่อสร้างโครงสร้างสายอากาศที่ตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว อีกทั้งยังมีการออกแบบให้รองรับแถบความถี่กว้าง [5]–[7] ครอบคลุมย่านความถี่ 700, 1800 และ 2600 MHz ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน 4G, 5G และเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ

สายอากาศระบบสื่อสารแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตควรมีการแยกสัญญาณระหว่างองค์ประกอบต่ำกว่า -15 dB ค่าการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดี ($S_{11} < -10$ dB) ความสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณต่ำ ($ECC < 0.5$) มีเกนและขนาดที่เหมาะสม [8], [9] งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลโปร่งใสโดยใช้แผ่นอะคริลิกเป็นวัสดุฐานรอง และใช้เทปทองแดงเป็นแพทช์ ซึ่งสามารถรองรับการทำงานในย่านความถี่ 690–2700 MHz มีค่าอัตราขยายเฉลี่ย 2.5 dBi และใช้เทคนิคการจัดวางร่วมกับความหลากหลายทางโพลาริเซชัน เพื่อให้ได้การแยกสัญญาณที่ดีและรูปแบบการแผ่พลังงานรอบทิศทาง และเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของระบบสื่อสารแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต [10]

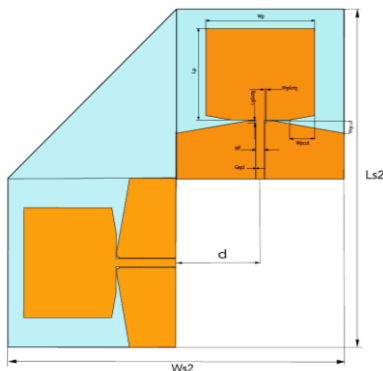
2. โครงสร้างสายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้าง

สายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างมีการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างสายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต สายอากาศถูกสร้างขึ้นบนวัสดุอะคริลิกที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ_r) 2.7 และความหนา 1 มิลลิเมตร โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอแสดงใน รูปที่ 1 และตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมของสายอากาศต้นแบบ จากโครงสร้างสายอากาศโปร่งใสแบบหนึ่งองค์ประกอบในรูปที่ 1(n) ในการออกแบบสายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้าง มีการกำหนดระยะ Gap ระหว่างแพทช์กับระยะบกราวด์และสร้างร่อง Wgslot บนกราวด์ระนาบ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการทำงานของสายอากาศ โดย Gap ช่วยให้เกิดการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้นและลดการสะท้อนกลับ ขณะที่ Wgslot ช่วยควบคุมการกระจายกระแสไฟฟ้า ทำให้สายอากาศสามารถรองรับย่าน

ความถี่กว้างขึ้นและมีการตอบสนองที่ดี การศึกษาผลกระทบของการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์และระนาบกราวด์โดยใช้พารามิเตอร์ Gap2 แสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อ Gap2 เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ต่ำที่สุดประมาณ -40 dB และ -35 dB ในช่วงความถี่ 1.5 GHz และ 2.8 GHz ซึ่งแสดงถึงการแมตช์ซิมพิแดนซ์ที่ดี ดังนั้นค่า Gap2 ที่เหมาะสมคือ 1 มิลลิเมตร ซึ่งช่วยให้สายอากาศสามารถแมตช์ซิมพิแดนซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ได้มีการปรับปรุงโครงสร้างเพิ่มเติมโดยการเจาะร่องระนาบกราวด์ ใช้พารามิเตอร์ Wgslot แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า Wgslot ที่ 1.5 มิลลิเมตร ให้ผลการแมตช์ซิมพิแดนซ์ที่ดีที่สุดในช่วง 2.5–3.0 GHz โดยมีค่า S_{11} ต่ำที่สุดประมาณ -35 dB



(ก)

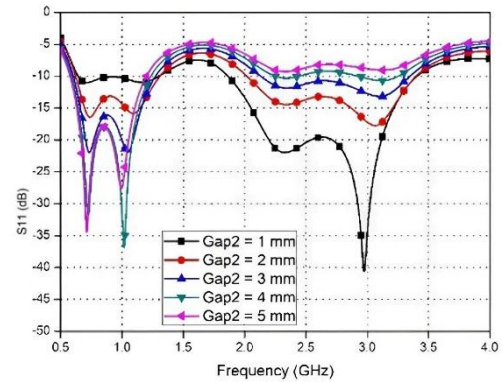


(ข)

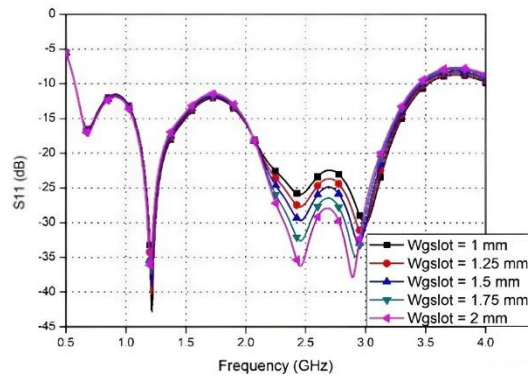
รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศ (ก) สายอากาศต้นแบบแบบหนึ่งองค์ประกอบ และ (ข) สายอากาศต้นแบบสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ

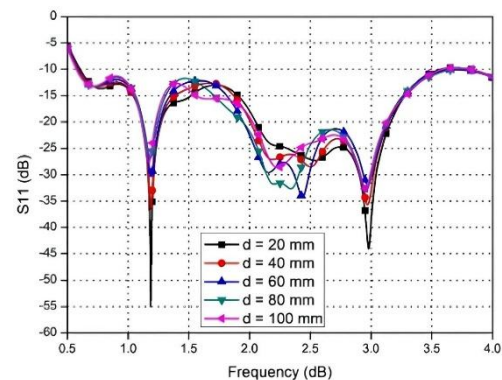
พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)
Ws2	200	Lg	70
Ls2	200	Gap1	0.5
Wp	130	Gap2	1
Lp	110	Wpcut	30
Wf	10	Wgcut	85
Lf	70	Lgslot	2.5
Wg	97.5	Wgslot	1.5



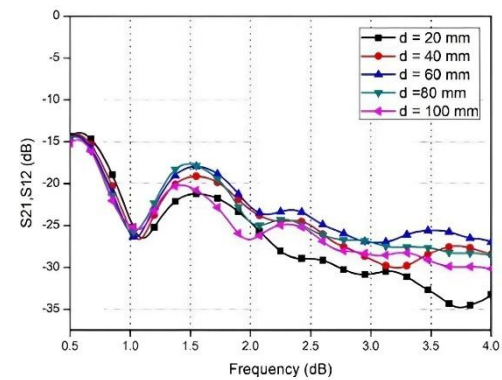
รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อศึกษาพารามิเตอร์ Gap2



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อศึกษาพารามิเตอร์ Wgslot



(ก)



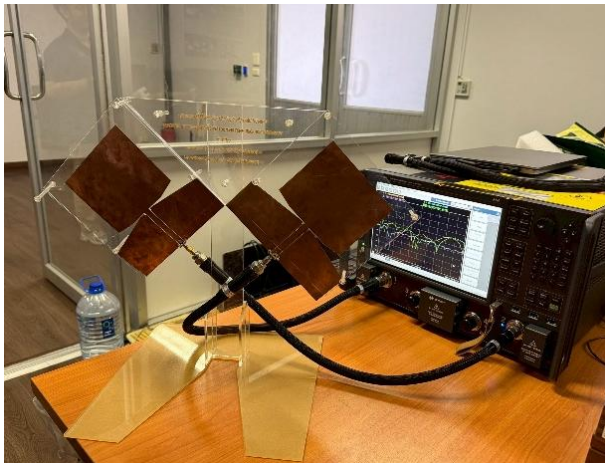
(ข)

รูปที่ 4 ผลจำลองค่าสัมประสิทธิ์ (ก) ผลจำลอง S_{11} เมื่อปรับค่าระยะ d และ (ข) ผลจำลองค่า S_{21} เมื่อปรับค่าระยะ d

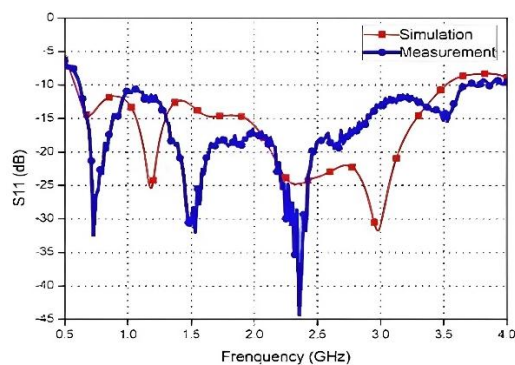
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองพอร์ต (d) จากโครงสร้างสายอากาศโปร่งใสแสดงในรูปที่ 1 (ข) เมื่อปรับระยะห่าง d พบว่าค่าที่เหมาะสมคือ 20 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ดังรูปที่ 4 (ก) การสะท้อนพลังงานของสัญญาณกลับ มีค่าน้อยกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 690–3500 MHz สายอากาศมีการแมตช์เชิงอิมพีแดนซ์ที่ดี ในขณะเดียวกัน รูปที่ 4(ข) แสดงค่า S_{21} พอร์ตทั้งสอง โดยมีค่าต่ำกว่า -15 dB ตลอดช่วงความถี่ ดังนั้นสายอากาศโปร่งใสต้นแบบที่มีระยะห่างระหว่างพอร์ตเท่ากับ 20 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่ดีทั้งในด้านการตอบสนองแถบความถี่ที่กว้างและการแยกสัญญาณ

3. การจำลองและการวัดผล

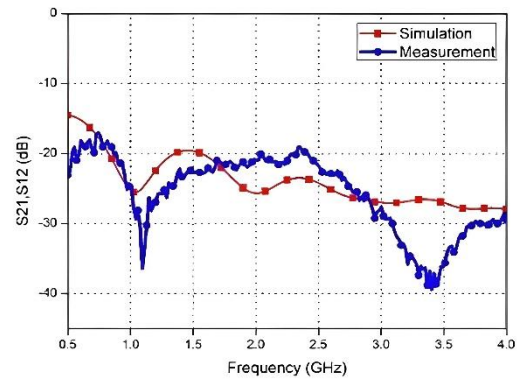
ในการทดสอบสายอากาศโปร่งใสต้นแบบ ได้ทำการสร้างชิ้นงานจริง และนำมาวัดค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นชิ้นงานสายอากาศระหว่างการวัดในห้องปฏิบัติการ ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ของสายอากาศแสดงในรูปที่ 6 พบว่าการตอบสนองต่อความถี่ครอบคลุมช่วง 600–4000 MHz ค่าการส่งผ่านระหว่างพอร์ต S_{21} แสดงในรูปที่ 7 มีค่าต่ำกว่า -15 dB ตลอดย่านความถี่ 500–4000 MHz ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าสายอากาศโปร่งใสต้นแบบสามารถทำงานได้ในย่านความถี่กว้าง



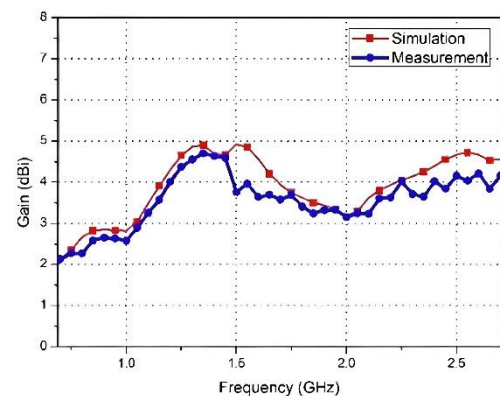
รูปที่ 5 ชิ้นงานสายอากาศโปร่งใสต้นแบบระหว่างการวัดค่าพารามิเตอร์



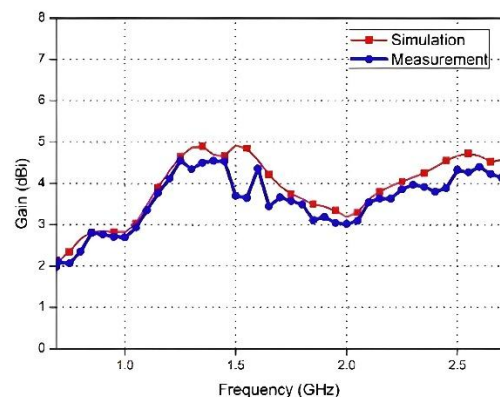
รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในการจำลองการทำงานและการวัดทดสอบจริงของ S_{11}



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในการจำลองการทำงานและการวัดทดสอบจริงของ S_{21}, S_{12}



(ก)

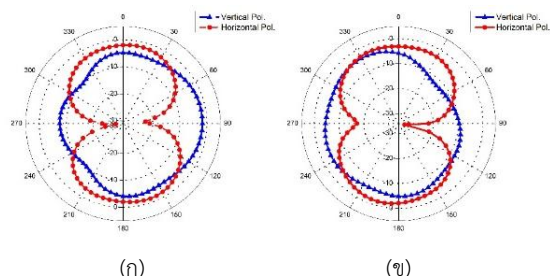


(ข)

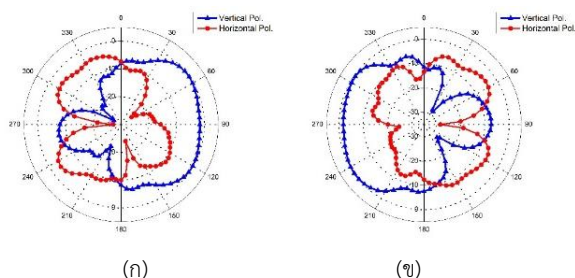
รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของผลการจำลองและผลวัดจริง พอร์ตของสายอากาศ (ก) พอร์ตที่ 1 (ข) พอร์ตที่ 2

ค่าอัตราขยายของสายอากาศจากการจำลองกับผลการวัดชิ้นงานต้นแบบ ทั้ง 2 พอร์ต ใช้งานได้ในช่วงความถี่ 690–2700 MHz มีค่าอัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 dB ดังรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าสายอากาศโปร่งใสสามารถทำงานในแถบความถี่ที่กว้างได้ดี และมีค่าการสูญเสียการส่งผ่านต่ำตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ และสามารถใช้งานร่วมกับการสื่อสารหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้ นอกจากนี้ค่าการแผ่กระจายคลื่นที่ได้ยังแสดงถึงความเหมาะสมของสายอากาศ ที่ต้องการทั้งแถบความถี่ที่กว้างและการทำงาน ของระบบสื่อสารแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต ที่มีประสิทธิภาพ

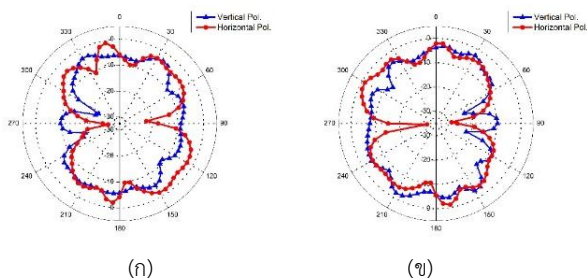
แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศโปร่งใสแถบความถี่กว้างต้นแบบที่ความถี่ 700 MHz, 1800 MHz และ 2600 MHz ถูกวัดโดยการส่งคลื่นทั้ง 2 รูปแบบตามลำดับ ได้แก่ ระบายโพลาไรเซชันแนวตั้งและระบายโพลาไรเซชันแนวนอน โดยผลการวัดรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของทั้ง 3 ความถี่แสดงดังรูปที่ 9, 10 และ 11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ความถี่ 700 MHz และ 2600 MHz มีแบบรูปการแผ่พลังงานหลักแบบรอบตัว ทั้งสองพอร์ตสามารถกระจายคลื่นได้อย่างสม่ำเสมอในหลายทิศทางและแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศที่ความถี่ 1800 MHz มีแบบรูปการแผ่พลังงานพบว่า พอร์ตที่ 1 มีลักษณะการแผ่พลังงานไปทางด้านขวาของกราฟ ในขณะที่พอร์ตที่ 2 แผ่พลังงานไปทางด้านซ้าย โดยทั้งสองพอร์ตมีรูปแบบการแผ่ที่ไม่สมมาตรและแตกต่างกันชัดเจนในทั้งสองแนวของโพลาไรเซชัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของทิศทางการแผ่พลังงาน และยังส่งผลต่อการสร้างความหลากหลายเชิงทิศทางและเชิงโพลาไรเซชัน



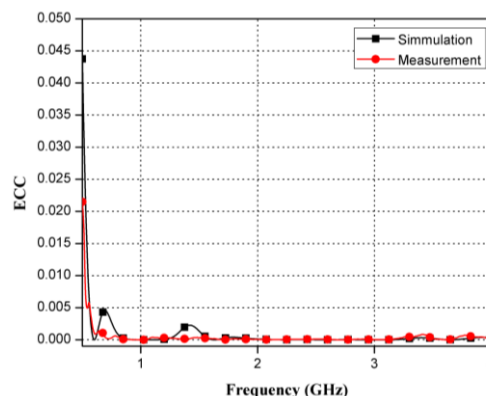
รูปที่ 9 รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศระนาบ XZ ที่ความถี่ 700 MHz (ก) พอร์ตที่ 1 (ข) พอร์ตที่ 2



รูปที่ 10 รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศระนาบ XZ ที่ความถี่ 1800 MHz (ก) พอร์ตที่ 1 (ข) พอร์ตที่ 2



รูปที่ 11 รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศระนาบ XZ ที่ความถี่ 2600 MHz (ก) พอร์ตที่ 1 (ข) พอร์ตที่ 2



รูปที่ 12 ค่าความสัมพันธ์ของเอนเวลลอป(Envelope Correlation Coefficient) จากผลการจำลองและผลการวัดจริงของสายอากาศโปร่งใส

ในการประเมินสมรรถนะของสายอากาศในระบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต ได้ทำการคำนวณค่าความสัมพันธ์ของเอนเวลลอป (Envelope Correlation Coefficient) ทั้งผลการจำลองและการวัดจริง ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของ MIMO ควรมีค่าไม่เกิน 0.5 จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 12 พบว่า ค่า ECC ของสายอากาศโปร่งใสที่นำเสนอนี้มีค่าต่ำกว่า 0.05 ตลอดย่านความถี่ 690–2700 MHz โดยค่าจากการจำลองและการวัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกันอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบมีความเป็นอิสระระหว่างพอร์ตสูงและมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการใช้งาน นอกจากนี้ค่า ECC ที่ต่ำกว่ามาตรฐานยังสะท้อนถึงความสามารถของสายอากาศในการลดการรบกวนระหว่างช่องสัญญาณ

4. สรุป

สายอากาศโปร่งใสแบบโมโนโพลสำหรับเทคโนโลยี หลายอินพุตหลายเอาต์พุต ซึ่งออกแบบบนวัสดุอะคริลิก และใช้เทปทองแดงเป็นแพทช์มีขนาด 40×40 เซนติเมตร รองรับการทำงานในช่วงความถี่ 690–2700 MHz ด้วยแบบรูปการแผ่คลื่นแบบรอบทิศทาง เหมาะสำหรับระบบ 4G, 5G และการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ สายอากาศต้นแบบมีการออกแบบโดยใช้เทคนิคความหลากหลายทางโพลาไรเซชันและการจัดวางระยะ เพื่อเพิ่มค่าการแยกตัว ซึ่งผลจากการจำลองแสดงค่า S_{11} ต่ำสุดประมาณ -40 dB และค่าการแยกตัวต่ำกว่า -15 dB เมื่อระยะห่างพอร์ตเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ขณะที่ผลการวัดจริงพบว่าค่า S_{11} ครอบคลุมย่านความถี่ 600–4000 MHz และ ค่าการแยกตัวต่ำกว่า -15 dB ตั้งแต่ความถี่ 500–4000 MHz แสดงถึงการแมตช์ซิงอิมพีแดนซ์ที่ดีและการแยกสัญญาณที่มีประสิทธิภาพอัตราขยายเฉลี่ยจากผลจำลองและการวัดจริงอยู่ที่ประมาณ 3.5 dBi และแบบรูปการแผ่พลังงานในที่ความถี่ 700 MHz และ 2600 MHz มีลักษณะรอบทิศทาง ขณะที่ 1800 MHz มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบเจาะจงทิศทาง แสดงให้เห็นว่าสายอากาศโปร่งใสต้นแบบมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในระบบสายอากาศหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่ต้องการทั้งความกว้างแถบความถี่ การแยกตัวที่ดี และการกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Zhao, C. Rakluea, T. Hongnara, and S. Chaimool, "A compact dual-broadband multiple-input multiple-output (MIMO) indoor base station antenna for 2G/3G/LTE systems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82238–82245, 2019.
- [2] B. Wu, X.-Y. Sun, H.-R. Zu, H.-H. Zhang, and T. Su, "Transparent ultrawideband halved coplanar Vivaldi antenna with metal mesh film," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 2532–2536, Dec. 2022.
- [3] T. Thianthong, et al., "Design of monopole transparent antenna for satellite internet aboard aircraft," in *Proc. 2025 13th Int. Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Hua Hin, Thailand, 2025, pp. 1–4.
- [4] S. Hong, Y. Kim, and C. W. Jung, "Transparent microstrip patch antennas with multilayer and metal-mesh films," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 772–775, 2017.
- [5] Z. Cheng, Z. Zhou, and Z. D. Chen, "Design of a wideband MIMO antenna based on indium-tin-oxide (ITO) material," in *Proc. 2023 IEEE 11th Asia-Pacific Conf. on Antennas and Propagation (APCAP)*, Guangzhou, China, 2023, pp. 1–2.
- [6] C. Rakluea, S. Chaimool, N. Wongsin, W. Amonvatsirikul, A. Chandadaeng, and P. Rakluea, "Low-cost dual-band transparent antenna for WLAN communication systems," in *Proc. 2024 IEEE Int. Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, Sendai, Japan, 2024, pp. 198–201.
- [7] F. López-Marcos, M. A. Vázquez-Agustín, and R. Torrealba-Meléndez, "Design and simulation of a MIMO octagonal-shape hybrid transparent-metallic film antenna for ultra-wideband systems," in *Proc. 2023 20th Int. Conf. on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, Mexico City, Mexico, 2023, pp. 1–6.
- [8] C. F. Zhou, J. X. Sun, and H. Li, "Wideband MIMO antenna with decoupling slots for 5G smartphone applications," in

Proc. 2021 Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP), Taipei, Taiwan, 2021, pp. 1–3.

- [9] B. A. F. Esmail, et al., "Design of compact dual-port super wideband MIMO antennas for communication systems," in *Proc. 2021 IEEE Asia-Pacific Conf. on Applied Electromagnetics (APACE)*, Penang, Malaysia, 2021, pp. 1–4.
- [10] A. A. Desai, S. K. Sharma, S. K. Mishra, and R. K. Gupta, "Transparent 2-element 5G MIMO antenna for Sub-6 GHz applications," *Electronics*, vol. 11, no. 2, p. 251, 2022.



บุษยากร รุ่งอุทัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, จังหวัดปทุมธานี, ประเทศไทย ในปี 2025 โดยปัจจุบันกำลังศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ความสนใจงานวิจัยครอบคลุมด้านการออกแบบและพัฒนาสายอากาศ การสื่อสารไร้สาย และเทคโนโลยีการสื่อสารความถี่สูง โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศโปร่งใส, วัสดุนาโน และการประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารสมัยใหม่



นภาพรณ ป่านแก้ว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, จังหวัดปทุมธานี, ประเทศไทย ในปี 2025 โดยในระหว่างการศึกษา มีความสนใจด้านสายอากาศ, เทคโนโลยีการสื่อสารความถี่สูง, การสื่อสารไร้สาย และได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยฉบับนี้



พชรพล รักธัญญการณ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, จังหวัดปทุมธานี, ประเทศไทย ในปี 2025 โดยในระหว่างการศึกษา มีความสนใจด้านสายอากาศ, เทคโนโลยีการสื่อสารความถี่สูง, การสื่อสารไร้สาย และได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยฉบับนี้



ดร.ภัชดาพร แสงเพชร สำเร็จระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม ระดับปริญญาโทและปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ความสนใจงานวิจัยสายอากาศ, เทคโนโลยี

การพิมพ์ 3 มิติ และสายอากาศบนชิป



ดร.worat รักเหลือ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญา
ตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ปริญญาโทวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต และปริญญาเอก สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ โดยปัจจุบันดำรง
ตำแหน่งอาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย ความสนใจด้าน

งานวิจัยของเขา ได้แก่ การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย, เมตาแมททีเรียล, เมตา
เซอร์เฟซ และเทคโนโลยีเสาอากาศ