

ศึกษาความหนาแน่นของเลนส์ครึ่งซีกวงกลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

Study Infill Density of the Hemispherical Lens for Improved Antenna Efficiency

ธนกร สุธรรม^{1,2} ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์¹ ดิศพล เลิศสุวรรณวงษ์² รัชดาพร แสงเพชร² บุญฤทธิ์ คุ่มเขต และ นิพนธ์ ทางทอง^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 67016171@kmitl.ac.th,

chuwong.ph@kmitl.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี thanakorn.s@en.rmutt.ac.th,

didsapol_l@mail.rmutt.ac.th, patchadaporn.s@en.rmutt.ac.th, boonyarit.k@en.rmutt.ac.th, nipont.t@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอความหนาแน่นของวัสดุที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยด้านหน้าของสายอากาศถูกออกแบบเป็นแพตช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และด้านหลังเป็นกราวด์เต็ม ทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งสายอากาศนี้จะทำงานร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลม ใช้วัสดุ Polylactic Acid (PLA) และมีความหนาแน่นของวัสดุต่างกันคือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ จากผลการทดสอบพบว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความถี่คลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยที่ความหนาแน่นของวัสดุต่างกัน สำหรับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของความหนาแน่นของวัสดุที่ 20%, 40%, 60% และ 80% เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวแต่ไม่อยู่ในมุม 0 องศา ยกเว้นที่ความหนาแน่นของวัสดุ 100% เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวที่มุม 0 องศา อีกทั้งยังมีอัตราขยายสูงสุดที่ 4.35 dBi ดังนั้นความหนาแน่นของวัสดุจึงมีผลต่อการหักเหของลำแสงของคลื่น

คำสำคัญ: เลนส์ครึ่งซีกวงกลม สายอากาศเลนส์ ความหนาแน่นของวัสดุ เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ

Abstract

This paper proposes the effect of material density on antenna performance enhancement. The proposed antenna is designed with a rectangular patch, the back side is a full ground plane, and operates at a frequency of 2.4 GHz. This antenna works in conjunction with a hemispherical lens, uses polylactic acid (PLA) material with varying material densities of 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% and using 3D printing technology. The measurement results indicate that the reflection coefficient shows slight frequency deviations with varying material densities. The radiation patterns at material densities of 20%, 40%, 60%, and 80% exhibited unidirectional, but not at 0 degrees. However, at 100% material density, the radiation pattern was unidirectional at 0 degrees. Moreover, it achieved a maximum gain of 4.35 dBi. Therefore, the material density significantly affects the beam refraction of electromagnetic waves.

Keywords: Hemispherical lens, Lens antenna, Infill density, 3D-Printed technology

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเครือข่ายและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สำหรับในยุคปัจจุบันโดยเทคโนโลยีนี้ได้แทรกซึมเข้าไปอยู่ในระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น จีพีเอส (GPS) รีโมตคอนโทรลประตูโรงรถ เมาส์ คีย์บอร์ด ชุดหูฟังไร้สาย และโทรศัพท์บ้านไร้สาย เป็นต้น นอกจากนี้เทคโนโลยีดังกล่าวยังมีนักวิจัยให้ความสนใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งต่าง ๆ อาทิเช่น [1 - 3] การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศจึงกลายเป็นอีกหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในระบบที่ต้องการอัตราขยายสูง และการกระจายคลื่นที่แม่นยำ เทคนิคในการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศมีหลากหลายเทคนิค เช่น สายอากาศอาร์เรย์ [4 - 5] ตัวสะท้อนสายอากาศ [6 - 7] เลนส์ [8 - 9] และอภิวัด [10 - 11] ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิคเลนส์มาทำงานร่วมกับสายอากาศ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถปรับปรุงลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศ โดยการใช้เลนส์เพื่อรวมและโฟกัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้รูปแบบการกระจายคลื่นที่ต้องการมากขึ้น อีกทั้งยังไม่ต้องปรับหรือแก้ไขการออกแบบของสายอากาศอีกด้วย

เลนส์ที่ใช้ในงานด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นเลนส์ไดอิเล็กทริก ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถปรับปรุงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นและเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเลนส์ครึ่งซีกวงกลม (hemispherical lens) ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ด้วยโครงสร้างที่มีข้อได้เปรียบด้านความง่ายในการออกแบบและผลิต สามารถทำงานร่วมกับสายอากาศแถบเดียว และแถบกว้างได้เป็นอย่างดี ปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการทำงานของเลนส์ประเภทนี้คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งมีผลต่อดัชนีหักเห (refractive index) และการโฟกัสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หากสามารถออกแบบหรือเลือกใช้ความหนาแน่นของเลนส์ให้เหมาะสม ก็จะสามารถควบคุมทิศทางของคลื่น เพิ่มอัตราขยาย และลดการกระจายของคลื่นออกด้านข้างได้

ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาความหนาแน่นของเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศแถบเดียวที่มีความถี่ 2.4 GHz ทำงานร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลม ที่ขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยกระบวนการ Fused Deposit Modeling (FDM) เลนส์จะถูกกำหนดให้มีความหนาแน่นของวัสดุอยู่ที่ 20% - 100% ที่ 5 ตัวอย่าง สำหรับการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยาย ซึ่งจะถูกรวบรวมในหัวข้อถัดไป

2. การออกแบบและผลการจำลอง

2.1 การออกแบบสายอากาศและเลนส์ครึ่งซีกวงกลม

จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลม โดยแบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz ใช้วัสดุฐานรอง FR-4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 และค่าการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 0.002 ด้านหน้าของสายอากาศเป็นแพตช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีอิมพีแดนซ์ของสายป้อนสัญญาณ 50 โอห์ม และมีช่องว่างระหว่างสายป้อนสัญญาณกับแพตช์เพื่อช่วยให้การแมตช์อิมพีแดนซ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับด้านหลังของสายอากาศเป็นแผ่นกราวด์เต็ม ซึ่งสายอากาศมีขนาดโดยรวมอยู่ที่ $40 \times 46 \times 1.6$ ตารางมิลลิเมตร นอกจากนี้ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ออกแบบนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ [12]

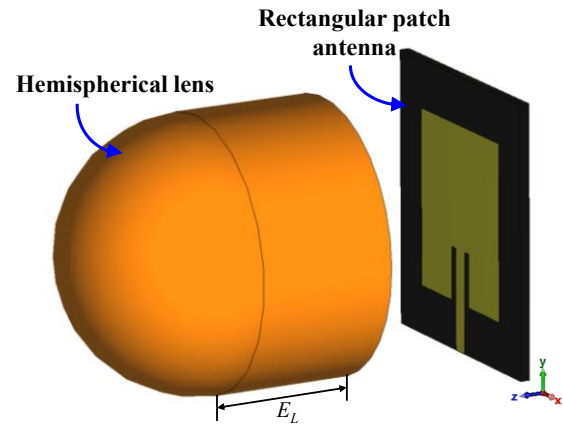
ส่วนที่สองเป็นการออกแบบเลนส์ครึ่งซีกวงกลม โดยใช้วัสดุ PLA เป็นพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบของข้าวโพด ธัญพืช มันสำปะหลัง และอ้อย ผ่านกระบวนการหมัก วัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติเฉพาะคือ มีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่างที่ 180 – 220 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ง่าย สวยงาม เย็นตัวเร็ว เก็บรายละเอียดได้ดี และมีความแข็งแรง อีกทั้งยังมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 2.75 และค่าการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 0.0027 [13] โครงสร้างของเลนส์ครึ่งซีกวงกลมแสดงในรูปที่ 1 โดยมีความยาวของเลนส์ (E_L) และรัศมีของเลนส์เท่ากับ 23 มิลลิเมตร

2.2 การออกแบบความหนาแน่นของเลนส์ครึ่งซีกวงกลม

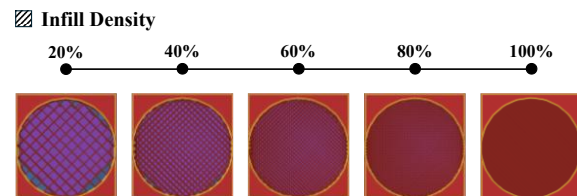
การออกแบบความหนาแน่นของเลนส์ครึ่งซีกวงกลมเป็นศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นของเลนส์มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่ออกแบบในซอฟต์แวร์จำลองและวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (CST Microwave Studio) จะส่งออกไฟล์เป็น .STL จากนั้นนำไฟล์นี้เข้าสู่ซอฟต์แวร์ Anycubic Slicer และทำการกำหนดความหนาแน่นของเลนส์ (infill density) ที่ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับการขึ้นรูปเลนส์ใช้เครื่อง Anycubic Kobra 2 Pro มีความเร็วในการพิมพ์สูงสุด 500 มม. ต่อวินาที มีระบบปรับระดับอัตโนมัติแบบ LeviQ 2.0 (25 จุด) หลักการทำงานคือเครื่องจะทำความร้อนเพื่อละลายพลาสติก PLA ที่มีขนาดเส้นเท่ากับ 1.75 ± 0.02 มิลลิเมตร โดยพลาสติกที่ถูกหลอมละลายจะเปลี่ยนจากสถานะของแข็งมาเป็นรูปแบบของเหลว ไหลออกมาที่หัวฉีด เครื่องจะเคลื่อนหัวฉีดเพื่อวาดรูปร่างหน้าตัดขวาง (cross section) ของโมเดล 3 มิติ ขึ้นมาเป็นชั้นต่อชั้น ทำไปเรื่อย ๆ จนออกมาเป็นชิ้นงาน

2.3 ผลการจำลอง

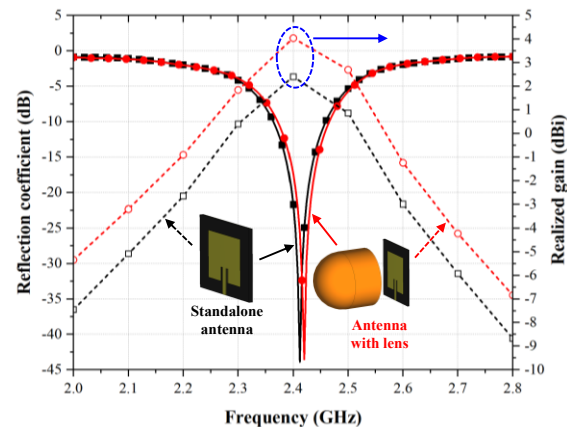
รูปที่ 3 แสดงผลการจำลองการเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศเดี่ยวและสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลมของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient, S_{11}) และอัตราขยายของสายอากาศ จากรูปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศเดี่ยว (เส้นทึบสีดำ) ทำงาน



รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศและเลนส์ครึ่งซีกวงกลม

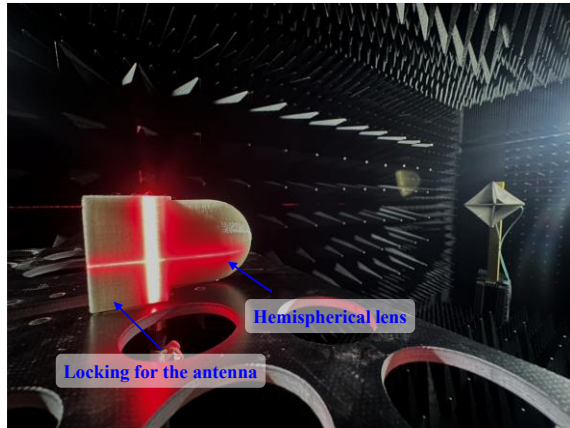


รูปที่ 2 ความหนาแน่นของเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่ใช้ในการออกแบบ

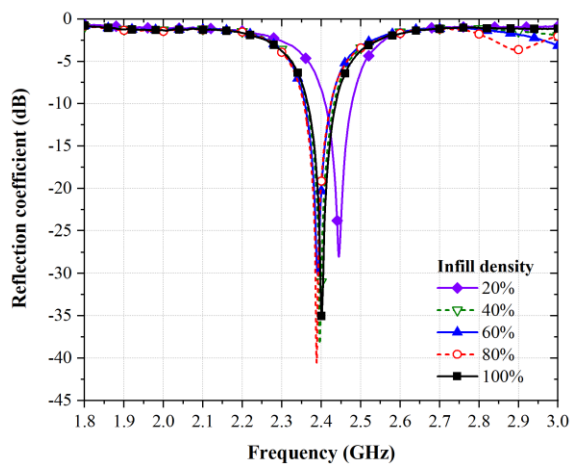


รูปที่ 3 ผลการจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) และอัตราขยาย (gain) ของสายอากาศสำหรับสายอากาศเดี่ยวเทียบกับสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลม

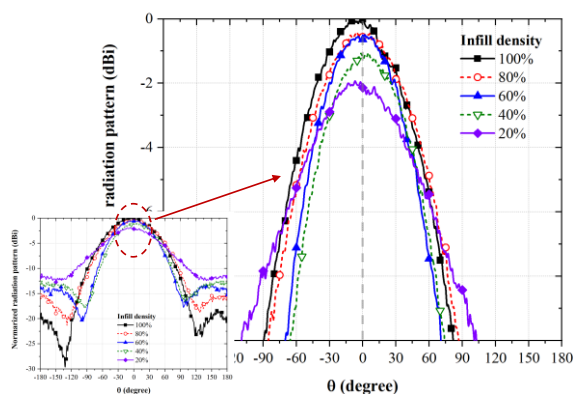
ที่ความถี่ 2.41 GHz และมีอัตราขยาย (เส้นประสีดำ) เท่ากับ 2.4 dBi เมื่อเพิ่มเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่มีความหนาแน่น 100% ร่วมกับสายอากาศ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (เส้นทึบสีแดง) ทำงานที่ความถี่ 2.42 GHz และมีอัตราขยาย (เส้นประสีแดง) เท่ากับ 4.04 dBi ดังนั้นจากการเปรียบเทียบผลการจำลองข้างต้นจะเห็นว่าการเพิ่มเลนส์ครึ่งซีกวงกลมไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการทำงาน แต่สามารถช่วยเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้มากขึ้นถึง 1.64 dBi



รูปที่ 4 การตั้งค่าการทดสอบรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลมในห้องทดสอบไร้คลื่นสะท้อน



รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกที่มีความหนาแน่นของวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100%



รูปที่ 6 ผลการทดสอบรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกที่มีความหนาแน่นของวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100%

3. ผลการทดสอบและการอภิปราย

การตั้งค่าการทดสอบของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกวงกลมจะถูกติดตั้งในห้องทดสอบไร้คลื่นสะท้อน (anechoic chamber) ตามเงื่อนไขของสนามระยะไกล (far field) เพื่อทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4 สายอากาศจะถูกประกอบเข้ากับเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่ถูกออกแบบให้มีตัวยึด (locking) ติดกับเลนส์เพื่อให้สะดวกต่อการทดสอบและใช้งานจริง โดยในห้องทดสอบไร้คลื่นสะท้อนจะติดตั้งเซนเซอร์ไว้สำหรับการวางชิ้นงานให้อยู่ในจุดศูนย์กลางและให้ตรงกับสายอากาศตัวส่ง (horn antenna) รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศร่วมกับเลนส์ครึ่งซีกที่มีความหนาแน่นของวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% ทำงานที่ความถี่ 2.444 GHz, 2.396 GHz, 2.392 GHz, 2.388 GHz และ 2.40 GHz ตามลำดับ

การนำเลนส์ครึ่งซีกวงกลมมาทำงานร่วมกับสายอากาศ เลนส์จะทำหน้าที่รวมคลื่นและโฟกัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ได้รูปแบบการกระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว ในความหนาแน่นของวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% ซึ่งมีเพียงความหนาแน่นของวัสดุ 100% เท่านั้นที่สามารถโฟกัสที่มุม 0 องศาได้ และมีอัตราขยายสูงสุด 4.35 dBi ดังแสดงในรูปที่ 6 นอกจากนี้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความหนาแน่นของวัสดุที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความหนาแน่นของวัสดุที่แตกต่างกัน

/ความหนาแน่นของวัสดุ	20%	40%	60%	80%	100%
ความถี่ทำงาน (GHz)	2.44	2.39	2.39	2.38	2.40
θ (degree)	-7	5	2	7	0
ความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลัง (degree)	107	84	81	95	93
อัตราขยาย @ 0 degree (dBi)	2.21	3.79	3.88	4.06	4.35

4. สรุป

การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่มีความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันถูกนำเสนอในบทความนี้ โดยนำสายอากาศไมโครสตริปแบบพื้นฐานที่ออกแบบการทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz มาประกอบเข้ากับเลนส์ครึ่งซีกวงกลมที่มีความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างคือ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% ขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าความหนาแน่นของวัสดุที่ต่างกันทำให้ลำคลื่นเกิดการหักเหไปในทิศทางที่ไม่ได้กำหนดไว้ และมีเพียงความหนาแน่นของวัสดุ 100% เท่านั้นที่ตรงตามเงื่อนไขและให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าความหนาแน่นของวัสดุจึงมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูง เช่น ระบบเรดาร์ การสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบ 5G/6G ซึ่งจำเป็นต้องใช้สายอากาศที่มีลำคลื่นแคบ ควบคุมทิศทางได้แม่นยำ และมีอัตราขยายสูง การศึกษาชิ้นนี้จะช่วยส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึกในการเลือกวัสดุและโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนางานประจำสู่
งานวิจัย สำหรับบุคลากรสายสนับสนุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี ประจำปีงบประมาณ 2568 (Routine to Research: R2R)

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Pukrongta et al., "Implementing Dual-Inverted L-Shape Grooves on the Dual-Band Monopole Antenna for Portable WiFi, WiMAX, and 5G Applications," *2024 12th International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, Pattaya, Thailand, 2024, pp. 1-4.
- [2] B. Kumkhet, P. Rakluea, N. Wongsin, P. Sangmahamad, W. Thaiwiro and C. Mahatthanajutaphat, "Ultra Wideband Fabric MIMO Antenna for future 5G Applications," *2022 19th International Conference on Electrical Engineering /Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 2022, pp. 1-4.
- [3] S. Hongdumnuen, W. Chanwattanapong and B. Kumkhet, "Multiband Thin Film Antenna for WLAN and LTE MIMO Systems," *2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C)*, Bangkok, Thailand, 2021, pp. 139-142.
- [4] N. Supreeyakitikul, P. Akkaraekthalin, S. Kawdungta and C. Phongcharoenpanich, "Deployable Wideband Circularly Polarized S-Band Antenna Array for CubeSat Applications," *2024 12th International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, Pattaya, Thailand, 2024, pp. 1-3.
- [5] I. J. Q. Santos et al., "Twin-Array Quasi FSS Reflector with Dual Band Cross-Dipole for 5G Base Station Antenna Application," *2023 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Phrachuap Khirikhan, Thailand, 2023, pp. 136-140.
- [6] S. Chaimool, C. Rakluea, P. Sangmahamad, Y. Zhao, A. Worapishet and P. Akkaraekthalin, "Experiment of a Phase-Gradient Metasurface Reflector for Millimeter Wave and 5G Applications," *2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Madrid, Spain, 2022, pp. 1-3.
- [7] T. Sutham, W. Thaiwiro and P. Akkaraekthalin, "Design of Ultra-Wideband Inverted U-Shaped Slot Antenna with Reflector for GPR Applications," *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 2022, pp. 1-4.
- [8] P. Sangpet, V. Pirajanchai, S. Chalermwisutkul, S. Chudpooti, P. Akkaraekthalin and N. Chudpooti, "Investigation of Beam Steering Using a Rotatable All-Dielectric Hemispherical Lens Assembly with an Ultra-Wideband Antenna," *2024 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)*, Bangkok, Thailand, 2024, pp. 344-346.
- [9] N. Chudpooti et al., "An Additive 3D-Printed Hemispherical Lens With Flower-Shaped Stub Slot Ultra-Wideband Antenna for High-Gain Radiation," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 91225-91233, 2023.

- [10] S. Chaimool, N. Prasert and C. Rakluea, "Low-Cost FR-4 Metasurface-Enhanced Microstrip Patch Antenna Array for Wideband 5G millimeter-Wave Applications," *2024 IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, Sendai, Japan, 2024, pp. 118-121.
- [11] S. Chaimool, C. Rakluea, P. Sangmahamad, Y. Zhao, A. Worapishet and P. Akkaraekthalin, "Experiment of a Phase-Gradient Metasurface Reflector for Millimeter Wave and 5G Applications," *2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Madrid, Spain, 2022, pp. 1-3.
- [12] P. Sangpet, T. Sutham, P. Sangmahamad, T. Pechrkool, B. Kumkhet and N. Chudpooti, "The Passenger Counting Prototype on the Aircraft Using Microwave Sensors," *2025 13th International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, Hua Hin, Thailand, 2025, pp. 1-4.
- [13] H.-N. Morales-Lovera, J.-L. Olvera-Cervantes, A.-E. Perez-Ramos, A. Corona-Chavez, and C. E. Saavedra, "Microstrip sensor and methodology for the determination of complex anisotropic permittivity using perturbation techniques," in *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, pp. 2205, 2022.



นายธนกร สุธรรม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ระดับ
ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ นักวิชาการ
ศึกษาปฏิบัติการ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
มีความสนใจด้านงานวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ
ระบบสื่อสารไร้สาย



ศ.ดร.ชวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยม), ปริญญาโท และ
ปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์
ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และยังเป็น
หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมสายอากาศและการประยุกต์ทาง
แม่เหล็กไฟฟ้า ความสนใจด้านการวิจัยเกี่ยวกับ การออกแบบสายอากาศ
สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายและการสื่อสารเคลื่อนที่หลากหลายรูปแบบ



นายดิศพล เลิศสุวรรณวงศ์ สำเร็จการศึกษาระดับ
ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กำลังศึกษา
ต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง Aircraft Appearance Supervisor บริษัท
ไทย โลอัน เมนทารี จำกัด มีความสนใจด้านงานวิจัยเกี่ยวกับ aircraft
engine thrust reverser simulation



ดร.รัชดาพร แสงเพชร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความสนใจด้านงานวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศ เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ และสายอากาศบนชิป



ผศ.ดร.บุญฤทธิ์ คุ่มเซต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (มทร.) ในปี พ.ศ. 2552, 2554 และ 2567 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี มีความสนใจด้านงานวิจัยเกี่ยวกับ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT), LPWAN, WBAN, Meta surfaces, สายอากาศ MIMO สายอากาศแบบสวมใส่ แดบแม์เหล็กไฟฟ้า (EBG) และเทคโนโลยีไร้สาย



ผศ.ดร.นิพนธ์ ทางทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หัวหน้าศูนย์สถาบันการbinแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความสนใจด้านงานวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศระบบสื่อสารไร้สาย เทคโนโลยีด้านอากาศยาน